



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΜΕ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΤΕΧΝΗΤΗΣ
ΝΟΗΜΟΣΥΝΗΣ ΚΑΙ ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΤΟΝ ΧΩΡΙΚΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΧΡΥΣΑΪΔΑΣ ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ

Διπλωματούχου Αγρονόμου και Τοπογράφου Μηχανικού Ε.Μ.Π.

Διπλωματούχου Δ.Π.Μ.Σ. «Γεωπληροφορική» Ε.Μ.Π.

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ:

ΓΙΑΟΥΤΖΗ ΜΑΡΙΑ

Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ

Νοέμβριος 2017



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΜΕ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΤΕΧΝΗΤΗΣ
ΝΟΗΜΟΣΥΝΗΣ ΚΑΙ ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΤΟΝ ΧΩΡΙΚΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΧΡΥΣΑΪΔΑΣ ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ

Διπλωματούχου Αγρονόμου και Τοπογράφου Μηχανικού Ε.Μ.Π.

Διπλωματούχου Δ.Π.Μ.Σ. «Γεωπληροφορική» Ε.Μ.Π.

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ
ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

1. Μ. Γιαουτζή, Καθ. Ε.Μ.Π.
(Επιβλέπουσα)
2. Τ. Σελλής, Καθ. Swinburne University of
Technology
3. Α. – Σ. Σταφυλοπάτης, Καθ. Ε.Μ.Π.

ΕΠΤΑΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ
ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

1. Β. Βεσκούκης, Αν. Καθ. Ε.Μ.Π.
2. Μ. Κάβουρας, Καθ. Ε.Μ.Π.
(αντικατέστησε την επιβλέπουσα λόγω
συνταξιοδότησης)
3. Ι. Μουρμούρης, Καθ. Δ.Π.Θ.
4. Ι. Ψαρράς, Καθ. Ε.Μ.Π.
5. Γ. Φώτης, Καθ. Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ

Νοέμβριος 2017

Η έγκριση της διδακτορικής διατριβής από την Ανώτατη Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα (Ν. 5343/1932, Άρθρο 202).

*“Le bonheur est salutaire pour le corps,
mais c'est le chagrin qui développe les forces de l'esprit”*

Marcel Proust, À la recherche du temps perdu

Η παρούσα διδακτορική διατριβή έχει ως αντικείμενο τη μελέτη των Συστημάτων Στήριξης Αποφάσεων (ΣΣΑ) με έμφαση σε διαδικασίες λήψης αποφάσεων για τον χωρικό σχεδιασμό. Τα βασικά σημεία έρευνας εστιάζουν στη διαδικασία της πολυκριτηριακής αξιολόγησης ως ένα υποστηρικτικό εργαλείο για τη λήψη αποφάσεων, στη μοντελοποίηση και τη μαθηματική αναπαράσταση ποιοτικής πληροφορίας που εμπλέκεται σε μία διαδικασία αξιολόγησης καθώς και στη διαδικασία της χωρικής πολυκριτηριακής αξιολόγησης, η οποία υλοποιείται στο πλαίσιο ενός Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών.

Στόχος της διατριβής είναι η δόμηση ενός Συστήματος Στήριξης Αποφάσεων που διαχειρίζεται προβλήματα αξιολόγησης στο πλαίσιο του χωρικού σχεδιασμού. Για τον σκοπό αυτό αξιοποιούνται μοντέλα που έχουν προκύψει από προγενέστερες ερευνητικές προσπάθειες, στη βάση των οποίων αναπτύχθηκαν οι καινοτομίες που παρουσιάζονται στην παρούσα διατριβή.

Σε ένα πρώτο επίπεδο, διερευνάται η δυνατότητα ενσωμάτωσης εργαλείων τεχνητής νοημοσύνης, και πιο συγκεκριμένα της ασαφούς λογικής, σε ένα Σύστημα Στήριξης Αποφάσεων που υλοποιεί διαδικασίες πολυκριτηριακής αξιολόγησης. Στο πλαίσιο αυτό, προτείνονται δύο νέες προσεγγίσεις για την υλοποίηση πολυκριτηριακής αξιολόγησης με την υποστήριξη ενός συστήματος ασαφούς συμπερασμού (FAIDRA I) και ενός λεκτικού υπολογιστικού μοντέλου (FAIDRA II).

Σε ένα δεύτερο επίπεδο, διερευνάται η υλοποίηση χωρικής πολυκριτηριακής αξιολόγησης στο πλαίσιο ενός Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών. Έμφαση δίνεται στη δυνατότητα οπτικοποίησης των αποτελεσμάτων της αξιολόγησης καθώς και στην υλοποίηση χωρικής πολυκριτηριακής αξιολόγησης με εφαρμογή διακριτών και ασαφών μεθόδων.

Η διατριβή αποτελείται από τρία βασικά μέρη. Στο πρώτο μέρος, παρουσιάζεται το θεωρητικό πλαίσιο επάνω στο οποίο στηρίχθηκε η υλοποίηση των επιμέρους καινοτομιών. Το δεύτερο μέρος εστιάζει στην αναλυτική περιγραφή των νέων προτεινόμενων προσεγγίσεων και των καινοτόμων μοντέλων που αναπτύχθηκαν ενώ στο τρίτο μέρος, παρουσιάζονται οι μελέτες περίπτωσης όπου εφαρμόστηκαν τα νέα προτεινόμενα μοντέλα. Παράλληλα, παρουσιάζεται μία μελέτη περίπτωσης που αφορά

στη χωρική πολυκριτηριακή αξιολόγηση η οποία υλοποιήθηκε με εφαρμογή διακριτών και ασαφών μεθόδων.

Η διατριβή ολοκληρώνεται με τη συγκριτική ανάλυση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την εφαρμογή των νέων μοντέλων, την παρουσίαση των επιμέρους συμπερασμάτων και τη διερεύνηση πιθανών μελλοντικών προοπτικών για περαιτέρω ανάπτυξη και εφαρμογή των καινοτομιών που αναπτύχθηκαν.

Ευχαριστίες

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες στους ανθρώπους, που είτε εν γνώση τους είτε εν αγνοία τους, συνέβαλαν ουσιαστικά στην ολοκλήρωση αυτής της προσπάθειας.

Στην Καθηγήτρια κ. Μαρία Γιαουτζή, επιβλέπουσα της παρούσας διατριβής, η οποία πέρα από την αρχική ιδέα και την ανάθεση του θέματος, τις επιστημονικές γνώσεις, τις επισημάνσεις και τις πολύτιμες συμβουλές της, με δίδαξε να βλέπω τις ευχάριστες αλλά κυρίως τις δυσάρεστες εμπειρίες της ζωής μου, ως ένα «μάθημα» για όλα εκείνα που θα ακολουθήσουν και όχι ως τροχοπέδη στην εκπλήρωση των προσδοκιών και στην υλοποίηση των στόχων μου. Η διαρκής ενθάρρυνση και η υποστήριξη της, τόσο σε επιστημονικό όσο και σε προσωπικό επίπεδο, συνέβαλαν καθοριστικά στην ολοκλήρωση αυτής της πορείας αλλά κυρίως στην προσωπική μου ωρίμανση. Ο σεβασμός απέναντι στις διαφορετικές απόψεις και ο εποικοδομητικός διάλογος, η ειλικρινής αναγνώριση των προσπαθειών μου (είτε μικρών είτε μεγάλων), η καθοδήγηση και η συμπαράστασή της στις δύσκολες στιγμές υπήρξαν για εμένα η «χείρα βοηθείας» που με «σήκωνε» όταν έπεφτα και το εφαλτήριο για τη συνέχιση της προσπάθειας αλλά και για νέα ξεκινήματα.

Στον Καθηγητή κ. Τίμο Σελλή, μέλος της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής ο οποίος, ήδη από την περίοδο εκπόνησης της μεταπτυχιακής διπλωματικής μου εργασίας, μου προσέφερε τη δυνατότητα να «ανοίξω» τους ορίζοντές μου και να διευρύνω τα επιστημονικά μου ενδιαφέροντα μέσα από μία εξαιρετικά γόνιμη και άριστη συνεργασία. Το ήθος του και η μετριοφροσύνη του σε συνδυασμό με τη διεθνή επιστημονική του απήγηση, μου παρέδωσαν ανεκτίμητα μαθήματα ζωής.

Στον Καθηγητή κ. Ανδρέα – Γεώργιο Σταφυλοπάτη, μέλος της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής, ο οποίος, παρά το γεγονός ότι η συνεργασία μας ξεκίνησε αρκετά αργότερα, στάθηκε σημαντικός αρωγός στην ολοκλήρωση της διατριβής και

θερμός υποστηρικτής της όλης προσπάθειας. Του οφείλω ένα ειλικρινές «ευχαριστώ» για την ενθάρρυνση, τη γόνιμη συζήτηση, τις επισημάνσεις και την παραπομπή σε χρήσιμες βιβλιογραφικές αναφορές που στήριξαν την ολοκλήρωση της έρευνάς μου και έθεσαν τα θεμέλια για τη μελλοντική της προέκταση.

Στα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, Αν. Καθηγητή κ. Βασίλη Βεσκούκη, Καθηγητή κ. Μαρίνο Κάβουρα, Καθηγητή κ. Ιωάννη Μουρμούρη και Καθηγητή κ. Ιωάννη Ψαρρά. Ο κ. Βεσκούκης και ο κ. Κάβουρας υπήρξαν επί σειρά ετών καθηγητές μου κατά τη διάρκεια των προπτυχιακών και μεταπτυχιακών μου σπουδών στη Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Ε.Μ.Π. Τους κυρίως Μουρμούρη και Ψαρρά είχα την ευκαιρία να τους γνωρίσω κατά τη διάρκεια επιστημονικών συναντήσεων στα πλαίσια των συνεργασιών που ανέπτυξε η κ. Γιαουτζή.

Στις Αναπληρώτριες Καθηγήτριες κ. Μαρία Π. Παπαδοπούλου και κ. Χρυσή Λασπίδου με τις οποίες συνεργάζομαι τον τελευταίο χρόνο στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος SIM4NEXUS (HORIZON2020). Η ανεκτίμητη ευκαιρία που μου έδωσαν να εργαστώ σε ένα άκρως ενδιαφέρον και σημαντικό έργο, η άριστη και αρμονική συνεργασία μας, ο εμπλουτισμός του γνωστικού μου υποβάθρου, η εμπιστοσύνη που μου δείχνουν, η αναγνώριση και η ανταπόδοση των προσπαθειών μου και κυρίως, το ήρεμο και ευχάριστο κλίμα συνεργασίας που μου παρέχουν παρά το φόρτο εργασίας όλης της ομάδας, συνιστούν μερικές μόνο από τις αφορμές για να τους εκφράσω τις θερμές και ειλικρινείς μου ευχαριστίες.

Στον Δρ. Θωμά Χατζηχρήστο χωρίς τη συμβολή και τις συμβουλές του οποίου αρκετά θέματα δε θα είχαν ολοκληρωθεί. Πέρα από τη βοήθεια που επί σειρά ετών μου προσέφερε κατά τη διάρκεια των προπτυχιακών και μεταπτυχιακών μου σπουδών στη Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Ε.Μ.Π., η συμβολή του στην ολοκλήρωση της παρούσας διατριβής υπήρξε εξαιρετικά σημαντική. Οι χρήσιμες συμβουλές του επάνω στα θέματα της Ασαφούς Λογικής και των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών καθοδήγησαν την έρευνά μου, βοήθησαν στη συνέχιση και στην ολοκλήρωσή της ενώ παράλληλα, έδωσαν «τροφή» για περαιτέρω έρευνα και εξέλιξη. Πέρα από την εκτίμηση ως επιστήμονα και ως επαγγελματία, αισθάνομαι την ανάγκη να εκφράσω εκτός από τις θερμές ευχαριστίες μου, την ιδιαίτερη εκτίμηση και τον σεβασμό που έχω απέναντι στο έργο του, το ήθος του, την αξιοπρέπεια και την προσωπικότητά του.

Δεν ξεχνώ τον επιστημονικό συνεργάτη του κ. Τίμου Σελλή, κ. Κώστα Πατρούμπα, τον οποίο θα ήθελα για μία ακόμη φορά να ευχαριστήσω καθώς, η συνεργασία μας κατά

τη διάρκεια εκπόνησης της μεταπτυχιακής διπλωματικής μου εργασίας είχε ως αποτέλεσμα την «τριβή» μου επάνω σε θέματα πληροφορικής, την «αποκάλυψη» ενός νέου τρόπου προσέγγισης των ερευνητικών ζητημάτων και τον εμπλουτισμό των γνώσεών μου· παράγοντες οι οποίοι στήριξαν σημαντικά την περαιτέρω πορεία μου. Η εξαιρετική μας συνεργασία και η αμέριστη υποστήριξη από πλευράς του, της τότε προσπάθειάς μου, είναι μία από τις πιο ευχάριστες αναμνήσεις των μεταπτυχιακών μου σπουδών.

Στην Καθηγήτρια κ. Αναστασία Στρατηγέα για τη συνεργασία που αναπτύξαμε κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διδακτορικής μου διατριβής στο πλαίσιο ερευνητικών προγραμμάτων, διδασκαλίας μαθημάτων και συγγραφής επιστημονικών δημοσιεύσεων.

Στους τότε συνεργάτες της Μονάδας Χωρικού Σχεδιασμού και Περιφερειακής Ανάπτυξης κ. Η. Γραμματικογιάννη και κ. Α. Μπίσκα για τις ευνοϊκές συνθήκες συνύπαρξης και συνεργασίας στο εργαστήριο. Ιδιαίτερος δε, στον φίλο και συνεργάτη κ. Π. Σωφρονίδη για την εποικοδομητική ανταλλαγή απόψεων και ιδεών, το χιούμορ και τη συνεργασία επάνω σε θέματα ερευνητικά. Δε θα μπορούσα να μην αναφέρω τον κ. Γ. Σωμαράκη, με τον οποίο αν και η συνεργασία μας ήταν πιο σύντομη χρονικά, μου έδωσε την ευκαιρία να συνεργαστώ με έναν νέο ερευνητή γεμάτο ιδέες και διάθεση για δημιουργία. Ευχαριστίες και στην κ. Μ. Παναγιωτοπούλου για τη γόνιμη συνεργασία και την ανταλλαγή απόψεων επάνω σε κοινά επιστημονικά θέματα που μας απασχόλησαν.

Ξεχωριστή αναφορά κρατώ για την φίλη και συνεργάτιδα κ. Γεωργία Κουτσιούρη η οποία, πέρα από τη σημαντικότερη συνδρομή και βοήθεια σε θέματα διοικητικά, προσέφερε σε όλους τους σπουδαστές του εργαστηρίου αμέριστη κατανόηση και συμπαράσταση στις όποιες δυσκολίες ενώ, ήταν η αφορμή για να ξεκινήσουμε ευχάριστα και αισιόδοξα την ημέρα μας. Ένας άνθρωπος με ιδιαίτερες αρετές και καλές προθέσεις που είχα την τύχη να γνωρίσω και να συνεργαστώ μαζί του.

Στον Καθηγητή του Michigan State University κ. Mark Wilson ο οποίος συνέβαλε καθοριστικά στην οικονομική μου ενίσχυση (grant) από την International Geographical Union για τη συμμετοχή μου σε συνέδριο της συγκεκριμένης επιστημονικής οργάνωσης.

Στον Ε.Λ.Κ.Ε. του Ε.Μ.Π. για την οικονομική ενίσχυση που μου παρείχε για τη συμμετοχή μου σε συνέδρια και στη διδασκαλία εργαστηριακών ασκήσεων της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Ε.Μ.Π.

Η στιγμή που ένας κύκλος κλείνει, φέρνει μαζί της αναμνήσεις που παρά τη χρονική απόσταση που τις χωρίζει πια από το παρόν, οι άνθρωποι που τις «οικοδόμησαν» και τις «καθόρισαν», αφήνοντας σε αυτές το προσωπικό τους αποτύπωμα, τις διατηρούν

ανεξίτηλες στον χρόνο. Είτε σημαντικές είτε λιγότερο σημαντικές, οι αναμνήσεις συνθέτουν το παρελθόν που σμίλεψε το «είναι» μας και όρισε την πορεία μας σε αυτόν τον κόσμο.

Ας μου συγχωρέσει ο αναγνώστης το όποιο «ατόπημα» συναισθηματικής φόρτισης αλλά στο σημείο αυτό, μου είναι αδύνατο να μη θυμηθώ όλους εκείνους που με «πλούτισαν» και με «πλουτίζουν» καθημερινά ως άνθρωπο. Οι σπουδαίοι και αγαπημένοι μου φίλοι, που με την πάροδο των χρόνων κατάφεραν να δώσουν στις έννοιες «συμπαράσταση», «εμπιστοσύνη», «κατανόηση» και «χαρά» μία πολύ διαφορετική διάσταση από αυτήν που είχα κατά νου. Τους οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ από καρδιάς που στάθηκαν ακέραιοι «φρουροί» της φιλίας μας, αρωγοί κάθε προσπάθειας, εξαιρετικοί ακροατές κάθε προβληματισμού και άξιοι συνοδοιπόροι.

Κλείνω την παράγραφο αυτή με μία αναφορά στις «ρίζες». Σε αυτούς που οφείλω «αυτό που είμαι» και «το καλύτερο που θα ήθελα να γίνω», στους γονείς μου. Χωρίς την ατέρμονη υπομονή τους, την εμπιστοσύνη τους, την αφοσίωση, τη συγκατάβαση, την αγάπη τους και τη διαρκή οικονομική στήριξη που μου παρείχαν η όποια προσπάθεια από πλευράς μου, όχι απλά δεν θα είχε ολοκληρωθεί αλλά δεν θα είχε καν ξεκινήσει. Μία ευχαριστία είναι πολύ λίγη για να εκφράσω τη βαθιά μου ευγνωμοσύνη στη μητέρα μου Ελένη και στον πατέρα μου Γιώργο, για όλα τα ανεκτίμητα που μου έχουν προσφέρει έως τώρα. Κυρίως όμως γιατί προσπάθησαν να μου εμφυσήσουν αξίες που έχουν ως σημείο αναφοράς τον σεβασμό προς τον άνθρωπο και την ελεύθερη σκέψη.

Χρυσαΐδα Παπαδοπούλου

Αθήνα, 2017

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ.....	9
2.1. Διαδικασία Λήψης Απόφασης και Συστήματα Στήριξης Αποφάσεων.....	9
2.2. Η Αρχιτεκτονική των Συστημάτων Στήριξης Αποφάσεων (ΣΣΑ)	11
2.3. Συστήματα Στήριξης Αποφάσεων και Χωρικός Σχεδιασμός.....	13
2.4. Συστήματα Στήριξης Αποφάσεων και Ασαφής Λογική.....	17
2.5. Ενδεικτικά Παραδείγματα Συστημάτων Στήριξης Αποφάσεων	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Η ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΤΟΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ.....	23
3.1. Λήψη Απόφασης και Αξιολόγηση	23
3.2. Η Έννοια της Αξιολόγησης.....	26
3.3. Μέθοδοι Αξιολόγησης	30
3.3.1. Ανάλυση Κόστους-Οφέλους	31
3.3.2. Πολυκριτηριακή Αξιολόγηση.....	34
3.3.3. Διαδικασία Πολυκριτηριακής Αξιολόγησης.....	39
3.3.4. Βασικές Μέθοδοι Πολυκριτηριακής Αξιολόγησης.....	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΤΕΧΝΗΤΗ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ	71
4.1. Τεχνητή Νοημοσύνη – Εννοιολογικό Πλαίσιο	71
4.2. Soft Computing.....	77
4.2.1. Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (Artificial Neural Networks).....	79
4.2.2. Εξελικτικοί Αλγόριθμοι (Evolutionary Algorithms).....	83
4.2.3. Ασαφής λογική (Fuzzy Logic).....	85
4.3. Ο Ρόλος της Τεχνητής Νοημοσύνης στη Διαδικασία Αξιολόγησης	99
4.4. Περιπτώσεις Εφαρμογής Τεχνητής Νοημοσύνης σε Μεθόδους Πολυκριτηριακής Αξιολόγησης	103
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΣΤΟΝ ΧΩΡΙΚΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ.....	109
5.1. Ανάπτυξη και Εξέλιξη των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών	109
5.2. Γεωγραφικός Χώρος: Μοντελοποίηση και Αναπαράσταση – Εννοιολογικό Πλαίσιο.....	111
5.2.1. Χωρικά Μοντέλα και Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών	114
5.2.2. Δομή των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών	117
5.3. Οπτικοποίηση και Χωρικός Σχεδιασμός.....	122
5.4. Γεω-οπτικοποίηση, Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών και Αξιολόγηση	132
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ LIPSOR	139
6.1. LIPSOR – Μέθοδοι και Εργαλεία Στήριξης Αποφάσεων	139
6.1.1. Το Μοντέλο (Module) Micmac – Δομική Ανάλυση Συστήματος.....	143
6.1.2. Το Μοντέλο (Module) Mactor – Στρατηγικές Επιλογές και Παίγνια Συντελεστών	151
6.1.3. Το Μοντέλο (Module) Smic Prob-Expert – Κρίσεις Ειδικών.....	159
6.1.4. Το Μοντέλο (Module) Morphol – Μορφολογική Ανάλυση.....	163
6.1.5. Το Μοντέλο (Module) Multipol – Πολυκριτηριακή Αξιολόγηση	168
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ MULTIPOL – ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΣΗΜΕΙΩΝ ΜΕ ΙΔΙΑΙΤΕΡΟ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝ.....	171
7.1. Το Μοντέλο Πολυκριτηριακής Αξιολόγησης Multipol.....	172
7.1.1. Σύνθεση «Στρατηγικών Επιλογών» - Δράσεων.....	175

7.1.2. Αλγόριθμος Εφαρμογής του Μοντέλου Multipol	179
7.2. Σημεία του Μοντέλου Multipol με Ιδιαίτερο Ερευνητικό Ενδιαφέρον.....	198
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ MULTIPOL ΚΑΙ FAIDRA – Η ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΤΗΣ	
ΑΣΑΦΟΥΣ ΛΟΓΙΚΗΣ ΣΤΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ	203
8.1. Δόμηση Συστήματος Ασαφούς Συμπερασμού FAIDRA I	206
8.1.1. Στάδια Δόμησης Συστήματος Ασαφούς Συμπερασμού FAIDRA I	207
8.1.2. Δόμηση Ασαφούς Υπο-συστήματος FAIDRA Ia: Action-Policy Evaluation – Αξιολόγηση Δράσεων-Πολιτικών.....	223
8.1.3. Δόμηση Ασαφούς Υπο-συστήματος FAIDRA Ib: Policy-Scenario Evaluation – Αξιολόγηση Πολιτικών-Σεναρίων	245
8.2. Δόμηση Λεκτικού Υπολογιστικού Μοντέλου FAIDRA II.....	258
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ MULTIPOL, FAIDRA I ΚΑΙ FAIDRA II –	
ΜΕΛΕΤΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ	275
9.1. Εφαρμογή των Μοντέλων Multipol και FAIDRA στον Τομέα των Σιδηροδρομικών Μεταφορών.....	275
9.1.1. Εναλλακτικά Σενάρια Ανάπτυξης των Ελληνικών Σιδηροδρόμων – Πλαίσιο Εφαρμογής Πολυκριτηριακής Αξιολόγησης.....	276
9.1.2. Εναλλακτικά Σενάρια Ανάπτυξης των Ελληνικών Σιδηροδρόμων -Πολυκριτηριακή Αξιολόγηση Δράσεων-Πολιτικών – Σύγκριση δίτιμης (crisp) και ασαφούς (fuzzy) προσέγγισης	285
9.1.3. Εναλλακτικά Σενάρια Ανάπτυξης των Ελληνικών Σιδηροδρόμων - Πολυκριτηριακή Αξιολόγηση Πολιτικών-Σεναρίων – Σύγκριση δίτιμης (crisp) και ασαφούς (fuzzy) προσέγγισης	304
9.2. Εφαρμογή των Μοντέλων Multipol και FAIDRA I για την Ανάπτυξη του Αγροτικού Τομέα στο Πλαίσιο του Ευρωπαϊκού Προγράμματος AG2020	323
9.2.1. Αξιολόγηση Δράσεων-Πολιτικών στο AG2020	326
9.2.2. Αξιολόγηση Πολιτικών-Σεναρίων στο AG2020.....	337
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΘΕΣΕΩΝ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ	
ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΩΝ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ	345
10.1. Δόμηση Προβλήματος Χωρικής Πολυκριτηριακής Αξιολόγησης.....	347
10.2. Μέθοδοι Χωρικής Πολυκριτηριακής Αξιολόγησης – Ανάλυση Υπέρθεσης.....	350
10.2.1. Σταθμική Υπέρθεση (Weighted Overlay).....	350
10.2.2. Σταθμική Άθροιση (Weighted Sum).....	353
10.2.3. Ασαφής Υπέρθεση (Fuzzy Overlay)	354
10.3. Χωρική Πολυκριτηριακή Αξιολόγηση – Μελέτη Περίπτωσης	358
10.3.1. Πολυκριτηριακή Αξιολόγηση Υποψήφιων Θέσεων Χωροθέτησης Τουριστικής Μονάδας – Μέθοδος Σταθμικής Υπέρθεσης (Weighted Overlay)	361
10.3.2. Πολυκριτηριακή Αξιολόγηση Υποψήφιων Θέσεων Χωροθέτησης Τουριστικής Μονάδας – Μέθοδος Σταθμικής Άθροισης (Weighted Sum).....	368
10.3.3. Πολυκριτηριακή Αξιολόγηση Υποψήφιων Θέσεων Χωροθέτησης Τουριστικής Μονάδας – Μέθοδος Ασαφούς Υπέρθεσης (Fuzzy Overlay)	373
10.4. Συγκριτική Ανάλυση Αποτελεσμάτων Χωρικής Πολυκριτηριακής Αξιολόγησης	378
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ	385
11.1. Συμπεράσματα.....	387
11.2. Ερευνητικές Προοπτικές	391
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	393

Πίνακας 4-1: Ορισμοί της τεχνητής νοημοσύνης οργανωμένοι σε τέσσερις κατηγορίες.....	73
Πίνακας 6-1: Πίνακας δομικής ανάλυσης.....	146
Πίνακας 6-2: Πίνακας Άμεσων Επιδράσεων των συντελεστών (Matrix of Direct Influences – MDI).....	153
Πίνακας 6-3: Πίνακας Συντελεστών-Στόχων (1Matrix of Actors vs. Objectives – 1MAO)	156
Πίνακας 6-4: Πίνακας Συντελεστών-Στόχων (2Matrix of Actors vs. Objectives – 2MAO) – Ενσωμάτωση ιεράρχησης των στόχων από κάθε συντελεστή	157
Πίνακας 6-5: Πίνακας Συντελεστών-Στόχων (3Matrix of Actors vs. Objectives – 3MAO) – Ενσωμάτωση ισορροπίας δυνάμεων μεταξύ των συντελεστών	158
Πίνακας 6-6: Πίνακας ανάθεσης απλών πιθανοτήτων στις υποθέσεις που έχουν διατυπωθεί	161
Πίνακας 6-7: Πίνακας ανάθεσης υπό συνθήκη πιθανοτήτων στις υποθέσεις που έχουν διατυπωθεί – Πιθανότητα υλοποίησης μίας υπόθεσης i όταν έχει υλοποιηθεί μία άλλη υπόθεση j	161
Πίνακας 6-8: Πίνακας ανάθεσης υπό συνθήκη πιθανοτήτων στις υποθέσεις που έχουν διατυπωθεί – Πιθανότητα υλοποίησης μίας υπόθεσης i όταν δεν έχει υλοποιηθεί μία άλλη υπόθεση j	162
Πίνακας 6-9: Πίνακας μέσων πιθανοτήτων των σεναρίων.....	163
Πίνακας 7-1: Πίνακας Αξιολόγησης «Δράσεων-Πολιτικών».....	188
Πίνακας 7-2: Πίνακας Ιδιοτιμών και Αδράνειας (Αξιολόγηση Δράσεων – Πολιτικών)	191
Πίνακας 7-3: Πίνακας Αξιολόγησης «Πολιτικών-Σεναρίων»	193
Πίνακας 7-4: Πίνακας Ιδιοτιμών και Αδρανειών (Αξιολόγηση Πολιτικών – Σεναρίων)	196
Πίνακας 8-1: Βάση δόμησης ασαφών κανόνων.....	240
Πίνακας 8-2: Πίνακας επιπτώσεων Δράσεων-Κριτηρίων	266
Πίνακας 8-3: Πίνακας βαρών Κριτηρίων-Πολιτικών.....	266
Πίνακας 8-4: Πίνακας επιπτώσεων Πολιτικών-Κριτηρίων	268
Πίνακας 8-5: Πίνακας βαρών Κριτηρίων-Σεναρίων	268
Πίνακας 9-1: Ανάπτυξη σιδηροδρομικών μεταφορών - Αξιολόγηση δράσεων-πολιτικών (Multipol).....	286
Πίνακας 9-2: Ανάπτυξη σιδηροδρομικών μεταφορών - Ιεράρχηση δράσεων ως προς κάθε πολιτική (Multipol).....	287
Πίνακας 9-3: Ανάπτυξη σιδηροδρομικών μεταφορών - Ομαδοποίηση δράσεων ως προς κάθε πολιτική.....	289
Πίνακας 9-4: Ανάπτυξη σιδηροδρομικών μεταφορών - Αξιολόγηση δράσεων-πολιτικών (Υπο-σύστημα ασαφούς συμπερασμού FAIDRA Ia:Action-Policy Evaluation – Τραπεζοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής)	291
Πίνακας 9-5: Ανάπτυξη σιδηροδρομικών μεταφορών - Αξιολόγηση δράσεων-πολιτικών (Υπο-σύστημα ασαφούς συμπερασμού FAIDRA Ia:Action-Policy Evaluation – Τριγωνοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής)	291
Πίνακας 9-6: Ανάπτυξη σιδηροδρομικών μεταφορών - Ιεράρχηση δράσεων ως προς κάθε πολιτική – Συγκριτική ανάλυση αποτελεσμάτων.....	295
Πίνακας 9-7: Ανάπτυξη σιδηροδρομικών μεταφορών - Γενική ιεράρχηση δράσεων βάσει του μέσου όρου και της τυπικής απόκλισης για το σύνολο των πολιτικών	296
Πίνακας 9-8: Πίνακας επιπτώσεων Δράσεων-Κριτηρίων – Μοντέλο FAIDRA II	297
Πίνακας 9-9: Πίνακας βαρών Πολιτικών-Κριτηρίων – Μοντέλο FAIDRA II	297
Πίνακας 9-10: Πίνακας επιδόσεων Δράσεων-Πολιτικών – Μοντέλο FAIDRA II – Τραπεζοειδείς ασαφείς αριθμοί.....	299
Πίνακας 9-11: Πίνακας επιδόσεων Δράσεων-Πολιτικών – Μοντέλο FAIDRA II – Τραπεζοειδείς ασαφείς αριθμοί – Απο-ασαφοποιημένες τιμές.....	300
Πίνακας 9-12: Πίνακας επιδόσεων Δράσεων-Πολιτικών – Μοντέλο FAIDRA II – Τριγωνοειδείς ασαφείς αριθμοί.....	300

Πίνακας 9-13: Πίνακας επιδόσεων Δράσεων-Πολιτικών – Μοντέλο FAIDRA II – Τριγωνοειδείς ασαφείς αριθμοί – Απο-ασαφοποιημένες τιμές.....	300
Πίνακας 9-14: Ιεράρχηση δράσεων ανά πολιτική – Μοντέλο FAIDRA II	301
Πίνακας 9-15: Γενική ιεράρχηση δράσεων – Μοντέλο FAIDRA II.....	302
Πίνακας 9-16: Γενική ιεράρχηση δράσεων – Συγκεντρωτικά αποτελέσματα.....	303
Πίνακας 9-17: Ανάπτυξη σιδηροδρομικών μεταφορών - Αξιολόγηση Πολιτικών-Σεναρίων (Multipol).....	306
Πίνακας 9-18: Ανάπτυξη σιδηροδρομικών μεταφορών - Ιεράρχηση πολιτικών ως προς κάθε σενάριο (Multipol)	307
Πίνακας 9-19: Ανάπτυξη σιδηροδρομικών μεταφορών - Ομαδοποίηση πολιτικών ως προς κάθε σενάριο.....	310
Πίνακας 9-20: Ανάπτυξη σιδηροδρομικών μεταφορών - Αξιολόγηση Πολιτικών-Σεναρίων (Υπο-σύστημα Ασαφούς Συμπερασμού FAIDRA Ib: Policy-Scenario Evaluation – Τραπεζοειδείς συναρτήσεις Συμμετοχής).....	311
Πίνακας 9-21: Ανάπτυξη σιδηροδρομικών μεταφορών - Αξιολόγηση Πολιτικών-Σεναρίων (Υπο-σύστημα Ασαφούς Συμπερασμού FAIDRA Ib: Policy-Scenario Evaluation – Τριγωνοειδείς Συναρτήσεις Συμμετοχής).....	311
Πίνακας 9-22: Ανάπτυξη σιδηροδρομικών μεταφορών - Ιεράρχηση πολιτικών ως προς κάθε σενάριο – Συγκριτική ανάλυση αποτελεσμάτων.....	313
Πίνακας 9-23: Ανάπτυξη σιδηροδρομικών μεταφορών - Γενική ιεράρχηση πολιτικών βάσει του μέσου όρου και της τυπικής απόκλισης για το σύνολο των σεναρίων.....	315
Πίνακας 9-24: Πίνακας επιπτώσεων Πολιτικών-Κριτηρίων – Μοντέλο FAIDRA II.....	316
Πίνακας 9-25: Πίνακας βαρών Σεναρίων-Κριτηρίων – Μοντέλο FAIDRA II.....	316
Πίνακας 9-26: Πίνακας επιδόσεων Πολιτικών-Σεναρίων – Μοντέλο FAIDRA II – Τραπεζοειδείς ασαφείς αριθμοί.....	318
Πίνακας 9-27: Πίνακας επιδόσεων Πολιτικών-Σεναρίων – Μοντέλο FAIDRA II – Τραπεζοειδείς ασαφείς αριθμοί – Απο-ασαφοποιημένες τιμές.....	318
Πίνακας 9-28: Πίνακας επιδόσεων Πολιτικών-Σεναρίων – Μοντέλο FAIDRA II – Τριγωνοειδείς ασαφείς αριθμοί.....	319
Πίνακας 9-29: Πίνακας επιδόσεων Πολιτικών-Σεναρίων – Μοντέλο FAIDRA II – Τριγωνοειδείς ασαφείς αριθμοί – Απο-ασαφοποιημένες τιμές.....	319
Πίνακας 9-30: Ιεράρχηση πολιτικών ανά σενάριο – Μοντέλο FAIDRA II	319
Πίνακας 9-31: Γενική ιεράρχηση πολιτικών – Μοντέλο FAIDRA II	321
Πίνακας 9-32: Γενική ιεράρχηση πολιτικών – Συγκεντρωτικά αποτελέσματα	322
Πίνακας 9-33: AG2020 - Αξιολόγηση Δράσεων-Πολιτικών (Multipol).....	329
Πίνακας 9-34: AG2020 - Ομαδοποίηση δράσεων-πολιτικών	331
Πίνακας 9-35: AG2020 - Αξιολόγηση Δράσεων-Πολιτικών (Υπο-σύστημα Ασαφούς Συμπερασμού FAIDRA Ia: Action-Policy Evaluation – Τραπεζοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής).....	334
Πίνακας 9-36: AG2020 - Αξιολόγηση Δράσεων-Πολιτικών (Υπο-σύστημα Ασαφούς Συμπερασμού FAIDRA Ia: Action-Policy Evaluation – Τριγωνοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής).....	334
Πίνακας 9-37: AG2020 - Γενική ιεράρχηση δράσεων βάσει του μέσου όρου και της τυπικής απόκλισης για το σύνολο των πολιτικών.....	336
Πίνακας 9-38: AG2020 - Αξιολόγηση Πολιτικών-Σεναρίων (Multipol)	339
Πίνακας 9-39: AG2020 - Ομαδοποίηση πολιτικών ως προς κάθε σενάριο.....	341
Πίνακας 9-40: AG2020 - Αξιολόγηση Πολιτικών-Σεναρίων (Υπο-σύστημα Ασαφούς Συμπερασμού FAIDRA Ib: Policy-Scenario Evaluation – Τραπεζοειδείς Συναρτήσεις Συμμετοχής).....	342
Πίνακας 9-41: AG2020 - Αξιολόγηση Πολιτικών-Σεναρίων (Υπο-σύστημα Ασαφούς Συμπερασμού FAIDRA Ib: Policy-Scenario Evaluation – Τριγωνοειδείς Συναρτήσεις Συμμετοχής).....	342
Πίνακας 9-42: AG2020 - Γενική ιεράρχηση πολιτικών βάσει του μέσου όρου και της τυπικής απόκλισης για το σύνολο των σεναρίων.....	343

Πίνακας 10-1: Επιδόσεις υποψήφιων θέσεων χωροθέτησης ως προς το θεματικό επίπεδο-κριτήριο «χρήσεις γης».....	363
Πίνακας 10-2: Επιδόσεις υποψήφιων θέσεων χωροθέτησης ως προς το θεματικό επίπεδο-κριτήριο «κλίσεις».....	364
Πίνακας 10-3: Επιδόσεις υποψήφιων θέσεων χωροθέτησης ως προς το θεματικό επίπεδο-κριτήριο «οικισμοί».....	364
Πίνακας 10-4: Επιδόσεις υποψήφιων θέσεων χωροθέτησης ως προς το θεματικό επίπεδο-κριτήριο «οδικό δίκτυο».....	364
Πίνακας 10-5: Επιδόσεις υποψήφιων θέσεων χωροθέτησης ως προς το θεματικό επίπεδο-κριτήριο «υδρογραφικό δίκτυο».....	364
Πίνακας 10-6: Πίνακας επιπτώσεων των τιμών των θεματικών επιπέδων και βαρών των θεματικών επιπέδων-κριτηρίων – Σταθμική Υπέρθεση.....	365
Πίνακας 10-7: Πίνακας αξιολόγησης της Σταθμικής Άθροισης.....	370
Πίνακας 10-8: Πίνακας δεδομένων Ασαφούς Υπέρθεσης.....	376

Σχήμα 2-1: Αρχιτεκτονική συστημάτων στήριξης αποφάσεων	12
Σχήμα 3-1 : Στάδια διαδικασίας λήψης αποφάσεων «πριν» τη λήψη της απόφασης (pre-decision stage) και «μετά» τη λήψη της απόφασης (post-decision stage)	25
Σχήμα 3-2 : Επαναληπτική / Αναδραστική αναζήτηση της γνωσιακής ισοροπίας (απόφασης).....	25
Σχήμα 3-3: Το δίκτυο «παραγωγής» μίας απόφασης (decision-producing network)	25
Σχήμα 3-4: Γενική διάκριση μεθόδων αξιολόγησης.....	37
Σχήμα 3-5: Η διαδικασία της πολυκριτηριακής ανάλυσης	41
Σχήμα 3-6: Μοντέλο Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας	44
Σχήμα 4-1: Σχηματική αναπαράσταση ενός βιολογικού νευρώνα	81
Σχήμα 4-2: Σχηματική αναπαράσταση ενός α) τεχνητού νευρώνα και β) τεχνητού νευρωνικού δικτύου πολλαπλών επιπέδων	82
Σχήμα 4-3: Η σχέση μεταξύ επιχειρησιακής έρευνας, τεχνητής νοημοσύνης, εξελικτικών αλγορίθμων και άλλων επιμέρους επιστημονικών πεδίων	84
Σχήμα 4-4: Βασικά χαρακτηριστικά συναρτήσεων συμμετοχής	95
Σχήμα 4-5(α): Τριγωνοειδής συνάρτηση συμμετοχής.....	96
Σχήμα 4-5(β): Τραπεζοειδής συνάρτηση συμμετοχής.....	96
Σχήμα 5-1: Μέρη ενός Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών.....	119
Σχήμα 6-1: Το μοντέλο LIPSOR.....	141
Σχήμα 6-2: Χάρτης άμεσων επιδράσεων-εξαρτήσεων	148
Σχήμα 6-3: Γράφος άμεσων επιδράσεων-εξαρτήσεων	149
Σχήμα 6-4: Χάρτης άμεσων επιδράσεων-εξαρτήσεων των συντελεστών	154
Σχήμα 6-5: Μορφολογικός χώρος	165
Σχήμα 6-6: Συνδυασμός υποθέσεων για τη δόμηση σεναρίων – Ενδεικτικά αποτελέσματα για το σενάριο 4 (κωδικός: 2122222)	166
Σχήμα 6-7: Ταξινόμηση σεναρίων	167
Σχήμα 6-8: Χάρτης εγγύτητας σεναρίων	167
Σχήμα 7-1: «Δέντρο Σχετικότητας» – Στρατηγικός Σχεδιασμός στην Περίπτωση μίας Επιχείρησης.....	177
Σχήμα 7-2: Αξιολόγηση Δράσεων-Πολιτικών	184
Σχήμα 7-3: Αξιολόγηση Πολιτικών-Σεναρίων.....	185
Σχήμα 7-4: Χάρτης-Προφίλ (Profile Map) των Δράσεων ως προς τις Πολιτικές.....	189
Σχήμα 7-5: Χάρτης Ταξινόμησης Ευαισθησίας των Δράσεων (Classification Sensitivity Map)	189
Σχήμα 7-6: Χάρτης Εγγύτητας «Δράσεων-Πολιτικών» (Action/Policy Closeness Map) ...	191
Σχήμα 7-7: Χάρτης-Προφίλ (Profile Map) των Πολιτικών ως προς τα Σενάρια	194
Σχήμα 7-8: Χάρτης Ευαισθησίας / Ταξινόμησης των Πολιτικών (Classification Sensitivity Map)	195
Σχήμα 7-9: Χάρτης Εγγύτητας Πολιτικών-Σεναρίων (Policy/Scenario Closeness Map)....	195
Σχήμα 8-1: Βασικά στάδια δόμησης συστήματος ασαφούς συμπερασμού	207
Σχήμα 8-2: Λειτουργία συστήματος ασαφούς συμπερασμού – Βάση σχεδίασης συστήματος ασαφούς συμπερασμού FAIDRA I	208
Σχήμα 8-3: Δομή συστήματος ασαφούς συμπερασμού – Βάση σχεδίασης συστήματος ασαφούς συμπερασμού FAIDRA I	208
Σχήμα 8-4: Σύστημα Ασαφούς Συμπερασμού	217
Σχήμα 8-5: Δομή ασαφούς υπο-συστήματος συμπερασμού FAIDRA Ia: Action-Policy Evaluation	225
Σχήμα 8-6: Δομή ασαφούς υπο-συστήματος συμπερασμού FAIDRA Ia: Action-Policy Evaluation στο Matlab.....	225
Σχήμα 8-7: Ασαφοποίηση Εισόδου Action Score – Τραπεζοειδείς Συναρτήσεις Συμμετοχής	228

Σχήμα 8-8: Ασαφοποίηση Εισόδου Criterion Weight 1 – Τραπεζοειδείς Συναρτήσεις Συμμετοχής.....	230
Σχήμα 8-9: Ασαφοποίηση Εξόδου Action Policy Score – Τραπεζοειδείς Συναρτήσεις Συμμετοχής.....	232
Σχήμα 8-10: Τραπεζοειδής συνάρτηση συμμετοχής.....	233
Σχήμα 8-11: Ασαφοποίηση Εισόδου Action Score – Τριγωνοειδείς Συναρτήσεις Συμμετοχής.....	235
Σχήμα 8-12: Ασαφοποίηση Εισόδου Criterion Weight 1 – Τριγωνοειδείς Συναρτήσεις Συμμετοχής.....	236
Σχήμα 8-13: Ασαφοποίηση Εξόδου Action Policy Score – Τριγωνοειδείς Συναρτήσεις Συμμετοχής.....	237
Σχήμα 8-14: Τριγωνοειδής συνάρτηση συμμετοχής.....	238
Σχήμα 8-15: Η βάση των ασαφών κανόνων στο Fuzzy Logic Toolbox του Matlab.....	241
Σχήμα 8-16: Η λειτουργία των ασαφών κανόνων στο Matlab.....	242
Σχήμα 8-17: Γραφική αναπαράσταση του ασαφούς υπο-συστήματος FAIDRA Ia: Action-Policy Evaluation – Τραπεζοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής.....	244
Σχήμα 8-18: Γραφική αναπαράσταση του ασαφούς υπο-συστήματος FAIDRA Ia: Action-Policy Evaluation – Τριγωνοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής.....	244
Σχήμα 8-19: Δομή ασαφούς υπο-συστήματος συμπερασμού FAIDRA Ib: Policy-Scenario Evaluation.....	246
Σχήμα 8-20: Δομή ασαφούς υπο-συστήματος συμπερασμού FAIDRA Ib: Policy-Scenario Evaluation στο Matlab.....	247
Σχήμα 8-21: Ασαφοποίηση Εισόδου Policy Score – Τραπεζοειδείς Συναρτήσεις Συμμετοχής.....	249
Σχήμα 8-22: Ασαφοποίηση Εισόδου Criterion Weight 2 – Τραπεζοειδείς Συναρτήσεις Συμμετοχής.....	250
Σχήμα 8-23: Ασαφοποίηση Εξόδου Policy Scenario Score – Τραπεζοειδείς Συναρτήσεις Συμμετοχής.....	252
Σχήμα 8-24: Ασαφοποίηση Εισόδου Policy Score – Τριγωνοειδείς Συναρτήσεις Συμμετοχής.....	254
Σχήμα 8-25: Ασαφοποίηση Εισόδου Criterion Weight 2 – Τριγωνοειδείς Συναρτήσεις Συμμετοχής.....	254
Σχήμα 8-26: Ασαφοποίηση Εξόδου Policy Scenario Score – Τριγωνοειδείς Συναρτήσεις Συμμετοχής.....	255
Σχήμα 8-27: Γραφική αναπαράσταση του ασαφούς υπο-συστήματος FAIDRA Ib: Policy-Scenario Evaluation – Τραπεζοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής.....	257
Σχήμα 8-28: Γραφική αναπαράσταση του ασαφούς υπο-συστήματος FAIDRA Ib: Policy-Scenario Evaluation – Τριγωνοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής.....	257
Σχήμα 8-29: Σύστημα ασαφούς συμπερασμού FAIDRA I.....	258
Σχήμα 9-1: Πολυκριτηριακή αξιολόγηση Multipol.....	282
Σχήμα 9-2: Πολυκριτηριακή αξιολόγηση FAIDRA I.....	283
Σχήμα 9-3: Πολυκριτηριακή αξιολόγηση FAIDRA II.....	284
Σχήμα 9-4: Ανάπτυξη σιδηροδρομικών μεταφορών - Χάρτης Προφίλ Δράσεων-Πολιτικών.....	288
Σχήμα 9-5: Ανάπτυξη σιδηροδρομικών μεταφορών - Χάρτης Ευαισθησίας Δράσεων.....	288
Σχήμα 9-6: Ανάπτυξη σιδηροδρομικών μεταφορών - Χάρτης Εγγύτητας Δράσεων-Πολιτικών.....	289
Σχήμα 9-7: Ανάπτυξη σιδηροδρομικών μεταφορών - Επεξεργασία διακριτών (crisp) τιμών επιδόσεων δράσεων και βαρών κριτηρίων στο υπο-σύστημα ασαφούς συμπερασμού FAIDRA Ia: Action-Policy Evaluation – Ενδεικτικό αποτέλεσμα.....	290
Σχήμα 9-8: Ανάπτυξη σιδηροδρομικών μεταφορών - Χάρτης Προφίλ Πολιτικών-Σεναρίων.....	308
Σχήμα 9-9: Ανάπτυξη σιδηροδρομικών μεταφορών - Χάρτης Ευαισθησίας Πολιτικών.....	308

Σχήμα 9-10: Ανάπτυξη σιδηροδρομικών μεταφορών - Χάρτης Εγγύτητας Πολιτικών-Σεναρίων	309
Σχήμα 9-11: Ανάπτυξη σιδηροδρομικών μεταφορών - Επεξεργασία διακριτών (crisp) τιμών επιδόσεων πολιτικών και βαρών κριτηρίων στο υπο-σύστημα ασαφούς συμπερασμού FAIDRA Ib: Policy-Scenario Evaluation – Ενδεικτικό αποτέλεσμα	311
Σχήμα 9-12: AG2020 - Χάρτης Προφίλ Δράσεων-Πολιτικών	330
Σχήμα 9-13: AG2020 - Χάρτης Ευαισθησίας Δράσεων.....	330
Σχήμα 9-14: AG2020 - Χάρτης Εγγύτητας Δράσεων-Πολιτικών	331
Σχήμα 9-15: AG2020 - Χάρτης Προφίλ Πολιτικών-Σεναρίων	340
Σχήμα 9-16: AG2020 - Χάρτης Ευαισθησίας Πολιτικών.....	340
Σχήμα 9-17: AG2020 - Χάρτης Εγγύτητας Πολιτικών-Σεναρίων	341
Σχήμα 10-1: Στάδια υλοποίησης της χωρικής πολυκριτηριακής ανάλυσης / Ανάλυσης υπέρθεσης	349

Εικόνα 10-1: Ταξινόμηση καταλληλότητας θέσεων χωροθέτησης με εφαρμογή της μεθόδου της Σταθμικής Υπέρθεσης	368
Εικόνα 10-2: Ταξινόμηση καταλληλότητας θέσεων χωροθέτησης με εφαρμογή της μεθόδου της Σταθμικής Άθροισης.....	372
Εικόνα 10-3: Ταξινόμηση καταλληλότητας θέσεων χωροθέτησης με εφαρμογή της μεθόδου της Ασαφούς Υπέρθεσης	378
Εικόνα 10-4: Αποτελέσματα Σταθμικής Υπέρθεσης.....	382
Εικόνα 10-5: Αποτελέσματα Σταθμικής Άθροισης.....	382
Εικόνα 10-6: Αποτελέσματα Ασαφούς Υπέρθεσης.....	382

Χάρτης 10-1: Ταξινόμηση καταλληλότητας θέσεων χωροθέτησης με εφαρμογή της μεθόδου της Σταθμικής Υπέρθεσης	366
Χάρτης 10-2: Ταξινόμηση καταλληλότητας θέσεων χωροθέτησης με εφαρμογή της μεθόδου της Σταθμικής Άθροισης.....	371
Χάρτης 10-3: Ασαφοποίηση θεματικού επιπέδου-κριτηρίου «Χρήσεις γης».....	375
Χάρτης 10-4: Ταξινόμηση καταλληλότητας θέσεων χωροθέτησης με εφαρμογή της μεθόδου της Ασαφούς Υπέρθεσης	377
Χάρτης 10-5: Πλέον κατάλληλες περιοχές χωροθέτησης σύμφωνα με το συνδυαστικό αποτέλεσμα της Σταθμικής Υπέρθεσης και της Σταθμικής Άθροισης.....	383

ABSTRACT

This PhD thesis focuses on the study of Decision Support Systems (DSS) and decision making process under the framework of spatial planning. Emphasis is placed on Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) theory as a tool that supports decision making. In this context, the basic issues explored, concern: the mathematical representation and quantification of qualitative data and information involved in a Multi-Criteria Decision Analysis Process as well as, the application of a Spatial / GIS-based Multicriteria Analysis in the framework of a Geographical Information System.

The main goal of the current PhD thesis is the development of a Decision Support System that deals with Multi-Criteria Analysis problems with respect to spatial planning. In this context, several tools, already developed in earlier research studies, constitute the basis upon which innovative approaches are developed.

In a first level, the possibility for incorporating Artificial Intelligence tools, especially fuzzy logic, in a Multi-Criteria Analysis Decision Support System is explored. In this framework, two innovative approaches supporting the implementation of fuzzy Multi-Criteria Decision Analysis are developed. The first has to do with the design of a Fuzzy Inference System (FAIDRA I). The second concerns the development of a linguistic computational model (FAIDRA II).

In a second level, the issue of Spatial / GIS-based Multi-Criteria Decision Analysis is investigated through the implementation of district and fuzzy Multi-Criteria Analysis methods. Special emphasis is placed on the spatial dimension and the geo-visualization of results derived from the application of Multi-Criteria Decision Analysis in a Geographical Information System.

The PhD thesis consists of three main parts. In the first part, the theoretical foundations upon which the proposed innovative approaches were based on, is briefly presented. The second part focuses on the analytical description of the innovative models developed. The third part concerns the implementation of the proposed models in two separate case studies. In parallel, a case study having to do with the implementation of a Spatial Multi-Criteria Analysis by adopting discrete and fuzzy methods is presented.

Finally, a comparative analysis of the results derived from the implementation of the new proposed models takes place. Also, some conclusions are drawn and possible future perspectives for further study are deeply explored.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διαδικασία λήψης αποφάσεων συνιστά εγγενές χαρακτηριστικό κάθε ανθρώπινης δραστηριότητας. Οι αποφάσεις είτε λαμβάνονται απευθείας από τον ανθρώπινο εγκέφαλο είτε είναι προϊόν μίας διαδικασίας συνυπολογισμού παραμέτρων και αλληλεπιδράσεων που επηρεάζουν και συνδιαμορφώνουν την εκάστοτε απόφαση. Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, η απόφαση λαμβάνεται μέσα από την εκτίμηση ενός συνόλου εναλλακτικών λύσεων και των επιπτώσεών τους. Σε κάθε διαδικασία λήψης αποφάσεων, αρχικά, εντοπίζεται και οριοθετείται το πρόβλημα. Σε ένα επόμενο στάδιο, διερευνώνται οι πιθανές λύσεις του οι οποίες ενσωματώνουν ένα σύνολο παραμέτρων και μεταβλητών που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Στη συνέχεια, οι πιθανές λύσεις αξιολογούνται στη βάση κριτηρίων προκειμένου να διερευνηθεί το επίπεδο στο οποίο κάθε εναλλακτική λύση ικανοποιεί τους στόχους που έχουν τεθεί. Ανάλογα με τη φύση του προβλήματος, η παραπάνω διαδικασία ενσωματώνει ανά περίπτωση διαφορετικό βαθμό πολυπλοκότητας. Ως εκ τούτου, η λήψη μίας απόφασης μπορεί να συνιστά είτε μια απλή διαδικασία που ολοκληρώνεται σε εύλογο χρονικό διάστημα είτε μια περισσότερο σύνθετη διαδικασία που απαιτεί λεπτομερή ανάλυση των δεδομένων και της σχετικής πληροφορίας.

Η παρούσα διδακτορική διατριβή εστιάζει στη δόμηση ενός Συστήματος Στήριξης Αποφάσεων (FAIDRA) που επιλύει προβλήματα στο πλαίσιο του χωρικού σχεδιασμού. Το εν λόγω σύστημα αξιοποιεί ένα σύνολο μοντέλων που έχουν προκύψει από προηγούμενες ερευνητικές προσπάθειες και επιχειρεί την ενσωμάτωση καινοτομιών, που αποτελούν και τον πυρήνα της πρωτοτυπίας της παρούσας διατριβής.

Το ενδιαφέρον στο FAIDRA επικεντρώνεται στο στάδιο της αξιολόγησης και πιο συγκεκριμένα, της πολυκριτηριακής αξιολόγησης κατά τη διαδικασία λήψης μίας απόφασης.

Σε ένα πρώτο επίπεδο, εστιάζει στην αξιοποίηση εργαλείων της ασαφούς λογικής για τη δόμηση ενός Συστήματος Ασαφούς Συμπερασμού το οποίο υλοποιεί διαδικασίες πολυκριτηριακής αξιολόγησης. Παράλληλα, ενσωματώνει μία δεύτερη προσέγγιση που βασίζεται στην υιοθέτηση λεκτικών όρων μέσω των οποίων εκφράζονται επιδόσεις εναλλακτικών λύσεων και βάρη κριτηρίων τα οποία στη

συνέχεια, στη βάση των αρχών της ασαφούς αριθμητικής, αξιοποιούνται για την εφαρμογή της πολυκριτηριακής αξιολόγησης.

Σε ένα δεύτερο επίπεδο, η διατριβή εστιάζει στην οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από μία διαδικασία πολυκριτηριακής αξιολόγησης με την υποστήριξη των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ). Στο επίπεδο αυτό αναπτύσσεται το πλαίσιο υλοποίησης της πολυκριτηριακής αξιολόγησης στο περιβάλλον ενός ΣΓΠ και αναλύονται ζητήματα που σχετίζονται με τη διαχείριση χωρικών δεδομένων υπό το πρίσμα ασαφών και κλασικών (διακριτών) μεθόδων πολυκριτηριακής αξιολόγησης.

Η πολυκριτηριακή αξιολόγηση αποτελεί ένα εξαιρετικά ευρύ πεδίο έρευνας στο πλαίσιο του οποίου διερευνώνται νέες μέθοδοι και τεχνικές, εφαρμογές μεθόδων και τεχνικών ανά κατηγορίες προβλημάτων, ζητήματα που σχετίζονται με τη διαχείριση των δεδομένων που απαιτούνται σε μία διαδικασία πολυκριτηριακής αξιολόγησης, θέματα που αφορούν στη συμμετοχή ειδικών στη διαδικασία της αξιολόγησης κ.λπ.

Ένα από τα βασικά πεδία έρευνας της παρούσας διατριβής συνιστά η διαχείριση των δεδομένων που εμπλέκονται σε μία διαδικασία πολυκριτηριακής αξιολόγησης και η μοντελοποίηση κρίσεων εκφρασμένων από ειδικούς. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη διαχείριση της ποιοτικής πληροφορίας και αναζητώνται τρόποι για τη μοντελοποίηση και τη μαθηματική της αναπαράσταση. Στο πλαίσιο αυτό, διερευνάται ο ρόλος της τεχνητής νοημοσύνης και η αξιοποίηση της ασαφούς λογικής ως εργαλείου που παρέχει τη δυνατότητα υιοθέτησης μίας εναλλακτικής προσέγγισης για την εφαρμογή της πολυκριτηριακής αξιολόγησης.

Ο στόχος της παρούσας διατριβής είναι η δόμηση του Συστήματος Στήριξης Αποφάσεων FAIDRA το οποίο υλοποιεί διαδικασίες πολυκριτηριακής αξιολόγησης υιοθετώντας τη λογική της ασάφειας. Παράλληλα, διερευνάται η δυνατότητα υλοποίησης ασαφούς και κλασικής πολυκριτηριακής αξιολόγησης στο πλαίσιο ενός Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών.

Η δόμηση του FAIDRA στηρίζεται στη λογική της λειτουργίας του μοντέλου πολυκριτηριακής αξιολόγησης Multipol το οποίο αποτελεί υπο-μοντέλο του συστήματος LIPSOR για το σχεδιασμό μελλοντικών σεναρίων (Godet et al., 2004; Godet, 2007; Godet et al., 2008). Το Multipol υιοθετεί την προσέγγιση της σταθμικής άθροισης για την αξιολόγηση παρεμβάσεων ως προς επιμέρους πολιτικές και την

αξιολόγηση των πολιτικών αυτών ως προς έναν αριθμό εναλλακτικών λύσεων ή σεναρίων.

Παράλληλα, η διατριβή εστιάζει στην υλοποίηση χωρικής πολυκριτηριακής αξιολόγησης σε περιβάλλον ΣΓΠ με στόχο τη σύγκριση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από την εφαρμογή τόσο κλασικών (διακριτών) όσο και ασαφών μεθόδων πολυκριτηριακής αξιολόγησης, στο πλαίσιο αναζήτησης βέλτιστων θέσεων χωροθέτησης δραστηριοτήτων.

Οι πρωτοτυπίες βρίσκονται στην υιοθέτηση της ασαφούς λογικής για τη διαχείριση ποιοτικής-ασαφούς πληροφορίας που απαιτείται για την υλοποίηση της πολυκριτηριακής αξιολόγησης, αλλά και στη συγκριτική ανάλυση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από την εφαρμογή κλασικών και ασαφών μεθόδων αξιολόγησης σε περιβάλλον ΣΓΠ. Στο πλαίσιο αυτό, προτείνονται δύο νέες εναλλακτικές προσεγγίσεις πολυκριτηριακής αξιολόγησης.

Η πρώτη προσέγγιση αφορά στη δόμηση ενός Συστήματος Ασαφούς Συμπερασμού (FAIDRA I) το οποίο, στη βάση ασαφών κανόνων, υλοποιεί διαδικασίες πολυκριτηριακής αξιολόγησης παρεμβάσεων/δράσεων-πολιτικών και πολιτικών-σεναρίων εφαρμόζοντας διαδικασίες ασαφοποίησης, ασαφούς συμπερασμού και απο-ασαφοποίησης των ασαφών αποτελεσμάτων.

Η δεύτερη προσέγγιση αφορά στη δόμηση ενός λεκτικού υπολογιστικού μοντέλου (FAIDRA II) που βασίζεται στην υιοθέτηση λεκτικών όρων, οι οποίοι εκφράζουν επιδόσεις εναλλακτικών και βάρη κριτηρίων. Οι λεκτικοί όροι αναπαρίστανται μαθηματικά μέσω ασαφών αριθμών και των αντίστοιχων συναρτήσεων συμμετοχής και χρησιμοποιούνται για τη δόμηση πινάκων επιπτώσεων και βαρών, που αποτελούν τα δεδομένα για την υλοποίηση της πολυκριτηριακής αξιολόγησης. Ακολουθεί ο πολλαπλασιασμός των εν λόγω πινάκων και υπολογίζονται τα αποτελέσματα της αξιολόγησης.

Παράλληλα, υλοποιείται μία εφαρμογή χωρικής πολυκριτηριακής αξιολόγησης σε περιβάλλον ΣΓΠ με αξιοποίηση κλασικών και ασαφών πολυκριτηριακών μεθόδων και διερευνώνται επιμέρους διαφοροποιήσεις, μέσα από τη συγκριτική ανάλυση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από την εφαρμογή κάθε μεθόδου.

Η διατριβή αποτελείται από τρία βασικά μέρη.

Στο **πρώτο μέρος** παρουσιάζονται οι θεωρητικές βάσεις των επιμέρους αντικειμένων τα οποία αποτελούν συστατικά του FAIDRA. Τα αντικείμενα αυτά περιλαμβάνουν: τα Συστήματα Στήριξης Αποφάσεων, την πολυκριτηριακή

αξιολόγηση, την τεχνητή νοημοσύνη και την ασαφή λογική, την οπτικοποίηση και τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών καθώς και το μοντέλο πολυκριτηριακής αξιολόγησης Multipol.

Στο *δεύτερο μέρος* παρουσιάζεται η δομή του Συστήματος Στήριξης Αποφάσεων FAIDRA με έμφαση στο καινοτόμο σύστημα ασαφούς συμπερασμού FAIDRA I, στο λεκτικό υπολογιστικό μοντέλο FAIDRA II και στις διαδικασίες υλοποίησής τους.

Τέλος, στο *τρίτο μέρος* παρουσιάζονται δύο διαφορετικές μελέτες περίπτωσης όπου εφαρμόστηκε η προσέγγιση του FAIDRA καθώς και μία αντίστοιχη εφαρμογή κλασικής και ασαφούς πολυκριτηριακής αξιολόγησης σε περιβάλλον ΣΓΠ.

Πιο αναλυτικά:

- Το *κεφάλαιο 2* περιλαμβάνει την παρουσίαση του θεωρητικού υποβάθρου των Συστημάτων Στήριξης Αποφάσεων και τη γενική αρχιτεκτονική τους, το ρόλο των εν λόγω συστημάτων στο πλαίσιο λήψης αποφάσεων για το χωρικό σχεδιασμό, καθώς και το πλαίσιο αξιοποίησης της ασαφούς λογικής από ένα Σύστημα Στήριξης Αποφάσεων.
- Το *κεφάλαιο 3* εστιάζει στην περιγραφή του θεωρητικού υποβάθρου της πολυκριτηριακής αξιολόγησης. Παρουσιάζονται οι γενικές αρχές υλοποίησης και εφαρμογής της, ο ρόλος της στο πλαίσιο της διαδικασίας λήψης αποφάσεων καθώς και ένας αριθμός αντιπροσωπευτικών μεθόδων αξιολόγησης.
- Το *κεφάλαιο 4* πραγματεύεται το ζήτημα της αξιοποίησης εργαλείων τεχνητής νοημοσύνης στο πλαίσιο της πολυκριτηριακής αξιολόγησης. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη διαχείριση ποιοτικής πληροφορίας που εμπλέκεται σε μία διαδικασία πολυκριτηριακής αξιολόγησης μέσα από την υιοθέτηση εργαλείων της ασαφούς λογικής.
- Το *κεφάλαιο 5* εστιάζει στην οπτικοποίηση της πληροφορίας που χρησιμοποιείται για την υλοποίηση μίας διαδικασίας πολυκριτηριακής αξιολόγησης καθώς και στην οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν. Παρουσιάζονται οι βασικές αρχές της χωρικής πολυκριτηριακής αξιολόγησης και το πλαίσιο λειτουργίας της σε περιβάλλον ΣΓΠ.

- Το **κεφάλαιο 6** περιλαμβάνει την παρουσίαση του συστήματος LIPSOR που αφορά στη δόμηση σεναρίων μελλοντικής ανάπτυξης στο πλαίσιο του στρατηγικού σχεδιασμού. Παρουσιάζονται τα επιμέρους υπομοντέλα (modules) του LIPSOR και οι διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα για τη δόμηση σεναρίων, μέσα από την ανάλυση παραμέτρων και μεταβλητών που συνθέτουν το εκάστοτε υπό μελέτη σύστημα. Το κεφάλαιο αυτό έχει σαν στόχο την παρουσίαση των διαδικασιών που προηγούνται της πολυκριτηριακής αξιολόγησης Multipol, η οποία αποτελεί και το τελικό στάδιο εφαρμογής του συστήματος LIPSOR.
- Το **κεφάλαιο 7** εστιάζει στην αναλυτική περιγραφή του μοντέλου πολυκριτηριακής αξιολόγησης Multipol. Παρουσιάζει τη δομή του μοντέλου, τη μέθοδο που υιοθετείται για την υλοποίηση της πολυκριτηριακής αξιολόγησης και τον αλγόριθμο λειτουργίας του.
- Το **κεφάλαιο 8** εμβαθύνει στην παρουσίαση του Συστήματος Στήριξης Αποφάσεων FAIDRA που σχεδιάστηκε στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής. Περιγράφονται τα στάδια υλοποίησης της νέας προσέγγισης και η λογική ένταξης και λειτουργίας των εργαλείων της ασαφούς λογικής στα νέα μοντέλα.
- Το **κεφάλαιο 9** περιλαμβάνει δύο διαφορετικές μελέτες περίπτωσης όπου εφαρμόστηκε η νέα προσέγγιση. Παρουσιάζονται, τα αποτελέσματα που προκύπτουν από κάθε εφαρμογή καθώς και η συγκριτική ανάλυση των αποτελεσμάτων μεταξύ της κλασικής και της προτεινόμενης προσέγγισης πολυκριτηριακής αξιολόγησης.
- Το **κεφάλαιο 10** πραγματεύεται το θέμα της εφαρμογής κλασικής και ασαφούς πολυκριτηριακής αξιολόγησης σε περιβάλλον ΣΓΠ. Παρουσιάζεται μία μελέτη περίπτωσης που αφορά στην αναζήτηση της βέλτιστης θέσης χωροθέτησης δραστηριοτήτων, και ακολουθεί η συγκριτική ανάλυση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από την κλασική και την ασαφή χωρική πολυκριτηριακή αξιολόγηση.
- Το **κεφάλαιο 11** αφορά στη συνολική εκτίμηση των προτεινόμενων προσεγγίσεων της διατριβής, στην παρουσίαση των συμπερασμάτων που προέκυψαν από τις επιμέρους εφαρμογές καθώς και στις μελλοντικές ερευνητικές προοπτικές της παρούσας διατριβής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Το παρόν κεφάλαιο εστιάζει στην παρουσίαση των βασικών χαρακτηριστικών και των λειτουργιών των Συστημάτων Στήριξης Αποφάσεων (ΣΣΑ) με στόχο τη θεωρητική εμβάθυνση στο αντικείμενο των ΣΣΑ, τα οποία και αποτελούν το πλαίσιο ανάπτυξης των καινοτομιών της παρούσας διατριβής. Το πρώτο μέρος αφορά στη διερεύνηση και τη διατύπωση ενός συνεκτικού και πλήρους ορισμού των ΣΣΑ. Στο δεύτερο μέρος παρουσιάζεται η γενική δομή της αρχιτεκτονικής ενός ΣΣΑ ενώ στο τρίτο μέρος, περιγράφεται ο ρόλος των ΣΣΑ στο πλαίσιο λήψης αποφάσεων για το χωρικό σχεδιασμό. Στο τέταρτο μέρος δίνεται έμφαση στην ενσωμάτωση της διάστασης της οπτικοποίησης στα ΣΣΑ ενώ στη συνέχεια, διερευνάται η συμβολή της ασαφούς λογικής στις διαδικασίες επεξεργασίας δεδομένων και εξαγωγής συμπερασμάτων με τη βοήθεια των ΣΣΑ. Το κεφάλαιο κλείνει με μία συνοπτική περιγραφή ενός αριθμού αντιπροσωπευτικών μελετών περίπτωσης.

2.1. Διαδικασία Λήψης Απόφασης και Συστήματα Στήριξης Αποφάσεων

Η λήψη μίας απόφασης αποτελεί μία διαδικασία η οποία λαμβάνει χώρα είτε συνειδητά είτε ασυνειδήτα στο σύνολο σχεδόν των εκφάνσεων της ανθρώπινης καθημερινότητας. Το σύνολο των δραστηριοτήτων που υλοποιούνται από τον άνθρωπο, είναι αποτέλεσμα αποφάσεων και επιλογών οι οποίες στην απλούστερη μορφή τους εκτελούνται στιγμιαία από τον ανθρώπινο εγκέφαλο. Η αναγκαιότητα της λήψης μίας απόφασης και της υιοθέτησης της βέλτιστης επιλογής μεταξύ ενός αριθμού διαθέσιμων εναλλακτικών λύσεων, σε επιστημονικό και επιχειρησιακό επίπεδο, συστηματοποίησε τη διαδικασία λήψης αποφάσεων και έθεσε τις βάσεις για την ανάπτυξη των Συστημάτων Στήριξης Αποφάσεων που υποστηρίζουν τη διαδικασία υπολογιστικά.

Η συστηματοποίηση και η μοντελοποίηση της διαδικασίας αυτής με την υποστήριξη του ηλεκτρονικού υπολογιστή εξελίχθηκε ταυτόχρονα με την επιστήμη της πληροφορικής, των πληροφοριακών συστημάτων και της τεχνητής νοημοσύνης. Έτσι, τα κέντρα λήψης αποφάσεων έχουν σήμερα στη διάθεσή τους ένα σύνολο υπολογιστικών εργαλείων, σχεδιασμένων να υποστηρίζουν διαδικασίες λήψης

αποφάσεων και εκτίμησης επιπτώσεων εναλλακτικών λύσεων ανάλογα με τη φύση και τις ανάγκες του εκάστοτε προβλήματος που εξετάζεται.

Η έρευνα σχετικά με την ανάπτυξη συστημάτων στήριξης της διαδικασίας λήψης αποφάσεων άρχισε να κερδίζει έδαφος κατά τη δεκαετία του 1970 (Gorry and Scott Morton, 1971; Keen, 1980a; Guimarães Pereira and Corral Quintana, 2002). Τα Συστήματα Λήψης Αποφάσεων αντανakλούσαν από τότε τον ρόλο που μπορούσαν να διαδραματίσουν οι υπολογιστές κατά τη διαδικασία επεξεργασίας και εκτίμησης των απαραίτητων δεδομένων για τη λήψη μίας απόφασης (Keen, 1980b). Βασικός στόχος ήταν και παραμένει ο περιορισμός του ρίσκου που συνιστά εγγενές χαρακτηριστικό μίας διαδικασίας λήψης αποφάσεων, καθώς και της υποκειμενικότητας των κρίσεων που διατυπώνονται κατά τη διαδικασία αυτή. Η χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών συνέβαλε στον περιορισμό και των δύο αυτών παραμέτρων καθώς επιτρέπει την ταυτόχρονη επεξεργασία πολλαπλών δεδομένων και τη μοντελοποίηση σύνθετων συστημάτων. Παράλληλα, καθιστά δυνατή τη διερεύνηση πολύπλοκων και εξαιρετικά μεγάλων σε αριθμό σχέσεων αλληλεπίδρασης που δύνανται να επηρεάζουν την τελική επιλογή.

Η σταδιακή εξέλιξη των Συστημάτων Λήψης Αποφάσεων έθεσε πολύ γρήγορα το ζήτημα του εννοιολογικού πλαισίου των εν λόγω συστημάτων και οι επιστήμονες που ασχολούνται με το συγκεκριμένο αντικείμενο αναζητούν τον πλέον κατάλληλο και αντιπροσωπευτικό ορισμό. Η βασική προσέγγιση για τη σύνθεση του ορισμού ενός Συστήματος Στήριξης Αποφάσεων λαμβάνει υπόψη της τη δομή και τη φύση του προβλήματος που διαχειρίζεται το σύστημα, τη στρατηγική σχεδιασμού της διαδικασίας επίλυσής του και τη γνωστική διαδικασία που το κάθε κέντρο λήψης αποφάσεων εφαρμόζει για να επιλύσει το πρόβλημα (Keen, 1980a; Holseapple, 2008). Οι παράμετροι αυτές ενσωματώνουν την περιγραφική διεύδυση (descriptive insight) που απαιτεί η διαδικασία επίλυσης ενός προβλήματος, το θεωρητικό υπόβαθρο για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας της διαδικασίας, αλλά και τη στρατηγική που θα πρέπει να εφαρμοστεί προκειμένου οι υπολογιστές να αξιοποιηθούν προς την κατεύθυνση της λήψης μίας απόφασης μέσα από τον σχεδιασμό των ανάλογων «διεπαφών» (interfaces) (Keen, 1980a).

Κάθε μία από τις επιμέρους λέξεις του αγγλικού όρου 'Decision Support System' αναφέρεται σε ένα διακριτό στοιχείο του συστήματος. Έτσι, η λέξη 'Decision' αναφέρεται σε «μη τεχνικές», «λειτουργικές» και «αναλυτικές» διαδικασίες ενός Συστήματος Λήψης Αποφάσεων, η λέξη 'Support' αναφέρεται στην

κατανόηση και την εφαρμογή του τρόπου σκέψης των πολιτών, ενώ η λέξη 'System' αφορά στις απαιτήσεις σχεδιασμού και ανάπτυξης των αντίστοιχων εφαρμογών (Keen, 1987).

Ένας περιεκτικός και πλήρως αντιπροσωπευτικός ορισμός ενός ΣΣΑ ο οποίος χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα και αντανακλά τα βασικά χαρακτηριστικά και τις λειτουργίες που επιτελεί ένα ΣΣΑ, είναι αυτός που πρότεινε ο Turban το 1990 σύμφωνα με τον οποίο: ένα Σύστημα Στήριξης Αποφάσεων είναι ένα διαδραστικό, εύελκτο και προσαρμόσιμο σύστημα, που χρησιμοποιεί «κανόνες απόφασης», «μοντέλα», «βάσεις δεδομένων» και «κατάλληλες αναπαραστάσεις» των ζητούμενων από τα κέντρα λήψης αποφάσεων (Turban, 1990). Ο στόχος του συστήματος αυτού είναι η «ανάλυση και επίλυση προβλημάτων» τα οποία δεν είναι διαχειρίσιμα από τα κλασικά μοντέλα της επιχειρησιακής έρευνας και η «υποστήριξη» πολύπλοκων διαδικασιών λήψης αποφάσεων (Turban, 1990).

Είναι συνεπώς προφανές ότι τα ΣΣΑ αποτελούν μία διακριτή κατηγορία υπολογιστικών συστημάτων που παράγουν γνώση, αξιοποιώντας τις δυνατότητες που παρέχονται από την επεξεργασία της γνώσης αυτής, προκειμένου να υποστηρίξουν μία διαδικασία λήψης αποφάσεων (Holseapple, 2008).

2.2. Η Αρχιτεκτονική των Συστημάτων Στήριξης Αποφάσεων (ΣΣΑ)

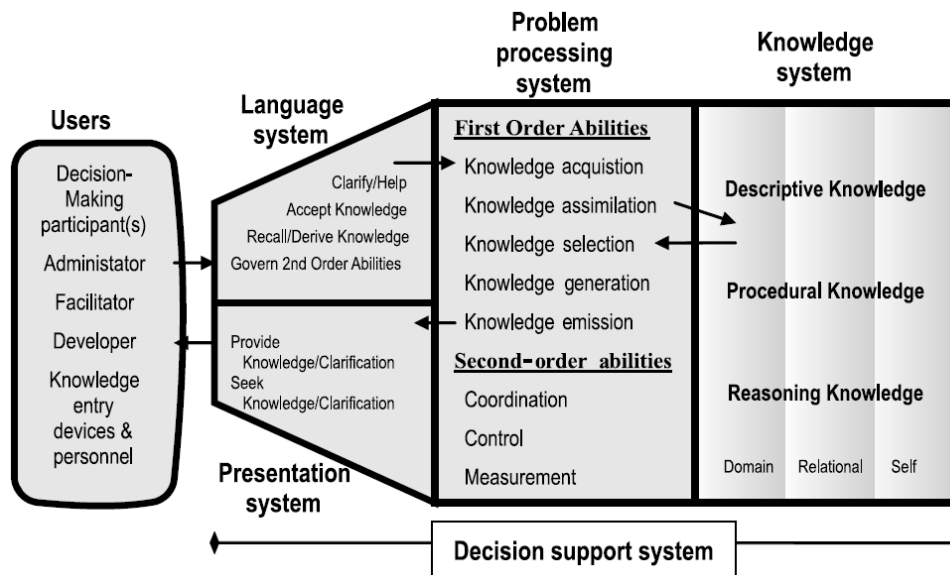
Η παρούσα ενότητα αφορά στην περιγραφή της αρχιτεκτονικής επάνω στην οποία στηρίζεται ο σχεδιασμός και η υλοποίηση των Συστημάτων Στήριξης Αποφάσεων. Η δομή αυτή συνιστά τη βάση σε κάθε ΣΣΑ, το οποίο όμως διαφοροποιείται ανάλογα με το πρόβλημα και τον τύπο γνώσης που διαχειρίζεται, καθώς και τις μεθόδους και τις τεχνικές που χρησιμοποιεί για την επεξεργασία της γνώσης και την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Η αρχιτεκτονική ενός Συστήματος Στήριξης Αποφάσεων περιλαμβάνει τρία κύρια μέρη: τη *βάση δεδομένων* στην οποία αποθηκεύεται το σύνολο των δεδομένων και της πληροφορίας που απαιτείται για να λειτουργήσει το σύστημα, το *μοντέλο* που αποτελείται από το σύνολο των μεθόδων και των τεχνικών που αξιοποιεί το σύστημα για την ανάλυση του προβλήματος που διερευνάται και τη *διεπαφή του χρήστη* μέσω της οποίας ο χρήστης αλληλεπιδρά με το σύστημα.

Μία πιο αναλυτική προσέγγιση σχετικά με τα επιμέρους τμήματα που απαρτίζουν τη συνολική δομή ενός Συστήματος Στήριξης Αποφάσεων περιλαμβάνει (Σχήμα 2-1) (Bonczek et al., 1981; Power, 2002; Holseapple, 2008):

- Το σύστημα γλώσσας που αφορά στα «μηνύματα που μπορεί να δέχεται» ένα Σύστημα Στήριξης Αποφάσεων (messages the DSS can accept).
- Το σύστημα αναπαράστασης που αφορά στα «μηνύματα που εκπέμπει» ένα Σύστημα Στήριξης Αποφάσεων (messages the DSS can emit).
- Το σύστημα γνώσης που αφορά στη «γνώση που αποθηκεύεται» στο Σύστημα Στήριξης Αποφάσεων.
- Το σύστημα επεξεργασίας και ανάλυσης ενός προβλήματος, που αφορά στο λογισμικό του συστήματος (software engine) το οποίο επεξεργάζεται τη γνώση και επιλύει το πρόβλημα.

Τα τέσσερα αυτά επιμέρους συστήματα αλληλεπιδρούν μεταξύ τους προκειμένου να ολοκληρωθούν οι διαδικασίες «αποθήκευσης», «επεξεργασίας», «αναπαράστασης» και «ανάλυσης» των δεδομένων που διαχειρίζεται το εκάστοτε Σύστημα Στήριξης Αποφάσεων.



Σχήμα 2-1: Αρχιτεκτονική συστημάτων στήριξης αποφάσεων
 Πηγή: Holseapple, 2008

Η αλληλεπίδραση των επιμέρους υπο-συστημάτων, στη γενικευμένη αναπαράσταση της αρχιτεκτονικής ενός Συστήματος Στήριξης Αποφάσεων, καθιστά

σαφές ότι η διαδικασία λήψης μίας απόφασης είναι αρκετά σύνθετη και αναδραστική. Εμπλέκει μία σειρά από χρήστες, διαδικασίες αναπαράστασης γνώσης, διαδικασίες επεξεργασίας γνώσης και διαδικασίες παραγωγής νέας γνώσης (πολυεπίπεδο σύστημα διαχείρισης), με στόχο την εξαγωγή συμπερασμάτων. Κάθε υπο-σύστημα που προηγείται, τροφοδοτεί το υπο-σύστημα που έπεται και αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία ανάλυσης και επίλυσης του εκάστοτε προβλήματος, το ΣΣΑ επιστρέφει το αποτέλεσμα στο χρήστη. Ο χρήστης εκτιμά το αποτέλεσμα και λαμβάνει την τελική απόφαση.

Η γενική αυτή δομή προσαρμόζεται ανά περίπτωση στα χαρακτηριστικά και τις απαιτήσεις της κάθε εφαρμογής. Ένα από τα βασικά συστατικά που είναι απαραίτητο να προσαρμοστεί στις ανάγκες του εκάστοτε προβλήματος είναι η γνώση η οποία περιλαμβάνει το θεωρητικό υπόβαθρο, την εμπειρία και τις κρίσεις που διατυπώνουν οι ειδικοί σχετικά με το συγκεκριμένο πρόβλημα και την απαιτούμενη για την επίλυσή του πληροφορία. Ανάλογα με τη φύση του προβλήματος προσαρμόζονται επίσης και οι μέθοδοι και τεχνικές (μοντέλο) που εφαρμόζονται για την επίλυσή του. Επίσης, μπορεί να διαφέρει και ο τύπος της πληροφορίας που ένα ΣΣΑ διαχειρίζεται (ποσοτική, ποιοτική, χωρική, κ.λπ.).

Στις ενότητες που ακολουθούν, παρουσιάζονται κάποια αντιπροσωπευτικά παραδείγματα ΣΣΑ τα οποία αφορούν σε διαφορετικές μεταξύ τους μελέτες περίπτωσης, με διαφοροποιημένες απαιτήσεις και διαφορετικό γνωστικό υπόβαθρο ανά περίπτωση. Παράλληλα, δίνεται έμφαση στο ρόλο που διαδραματίζουν τα Συστήματα Στήριξης Αποφάσεων σε προβλήματα που αφορούν στο χωρικό σχεδιασμό καθώς και σε περιπτώσεις ΣΣΑ που αξιοποιούν την ασαφή λογική για τη διαχείριση της ποιοτικής πληροφορίας και τον περιορισμό του ρίσκου.

2.3. Συστήματα Στήριξης Αποφάσεων και Χωρικός Σχεδιασμός

Από τα πρώτα βήματα της ανάπτυξής τους, τα Συστήματα Στήριξης Αποφάσεων παρουσίασαν μία ιδιαίτερη δυναμική στο χώρο της διαχείρισης περιβαλλοντικών προβλημάτων και της βιώσιμης ανάπτυξης καθώς ενσωμάτωναν το πλεονέκτημα της διαχείρισης *ημι-δομημένων, μη δομημένων* ή ακόμη και *κακώς διατυπωμένων* προβλημάτων (Courtney, 2001; Beynon et al., 2002; Uricchio et al., 2004).

Παράλληλα και σε πλήρη εναρμόνιση με το πλαίσιο ανάπτυξης που θέτουν οι τρεις πυλώνες της βιώσιμης ανάπτυξης (προστασία του φυσικού περιβάλλοντος, κοινωνική συνοχή, οικονομική ανάπτυξη), τα ΣΣΑ άρχισαν να αξιοποιούνται για τη λήψη αποφάσεων που αφορούσαν στον χωρικό σχεδιασμό και την εκτίμηση επιπτώσεων εναλλακτικών λύσεων και σεναρίων.

Τα προβλήματα του χωρικού σχεδιασμού είναι συνήθως εξαιρετικά σύνθετα, καθώς αφορούν σε συστήματα αποτελούμενα από ένα μεγάλο αριθμό δεδομένων, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με πολύπλοκες σχέσεις αλληλεπίδρασης. Στο πλαίσιο αυτό, ένα πρώτο ζήτημα που θα πρέπει να αντιμετωπιστεί είναι η ταυτόχρονη επίτευξη πολλαπλών στόχων οι οποίοι, ενώ τίθενται για την επίλυση ενός χωρικού προβλήματος, είναι συχνά αντικρουόμενοι εξαιτίας των διαφορετικών οπτικών που εκφράζουν (Densham, 1991). Η διαχείριση του ζητήματος αυτού «περνάει» μέσα από τον ορισμό πολλαπλών κριτηρίων τα οποία ενσωματώνουν τις διαφορετικές οπτικές των στόχων, θέτοντας τις παραμέτρους στη βάση των οποίων αξιολογούνται οι εκάστοτε εναλλακτικές. Κατά συνέπεια, η διαδικασία επίλυσης ενός προβλήματος εντάσσεται στο πλαίσιο της πολυκριτηριακής αξιολόγησης όπου, μία σειρά εναλλακτικών αξιολογείται στη βάση ενός αριθμού κριτηρίων αξιολόγησης. Έτσι, διερευνώνται οι επιπτώσεις κάθε εναλλακτικής ως προς τα κριτήρια αυτά και επιλέγεται ανά περίπτωση η καταλληλότερη εναλλακτική για την επίλυση του προβλήματος που εξετάζεται. Εφαρμόζεται δηλαδή ένα αναλυτικό πλαίσιο στη βάση του οποίου, ορίζονται οι παράμετροι που θα πρέπει να ικανοποιούν οι εναλλακτικές και εκτιμώνται οι επιπτώσεις των εναλλακτικών ως προς τις εν λόγω παραμέτρους.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η πολυκριτηριακή υποστήριξη αποφάσεων, όπως είχε ήδη επισημάνει ο Roy το 1985, δεν στοχεύει μόνο στην εξεύρεση μίας βέλτιστης λύσης. Πρωτίστως δίνει έμφαση στη δημιουργία ενός συνόλου σχέσεων που αναπτύσσονται μεταξύ ενός αριθμού δράσεων, προκειμένου οι «συντελεστές» που συμμετέχουν σε μία διαδικασία λήψης αποφάσεων να αποκτήσουν καλύτερη πληροφόρηση και να σχηματίσουν μία ολοκληρωμένη εικόνα του προβλήματος, των παραμέτρων που το συνθέτουν και των δεδομένων που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τη διαδικασία επίλυσής του (Roy, 1985).

Ένα άλλο ζήτημα που τίθεται κατά τη διαδικασία διαχείρισης προβλημάτων χωρικού σχεδιασμού, είναι εκείνο που αφορά στον χρονικό ορίζοντα του σχεδιασμού. Τα προβλήματα χωρικού σχεδιασμού και οι προτεινόμενες λύσεις αφορούν συνήθως σε μέσο-μακροπρόθεσμο χρονικό ορίζοντα, γεγονός που ενισχύει

το ρίσκο και την αβεβαιότητα των αποτελεσμάτων του σχεδιασμού. Τη λύση στο πρόβλημα αυτό, έρχονται να δώσουν οι αντίστοιχες μέθοδοι και τεχνικές δόμησης μελλοντικών εναλλακτικών λύσεων και σεναρίων οι οποίες δεν στηρίζονται στην πρόβλεψη και την προβολή της υπάρχουσας κατάστασης στο μέλλον, αλλά στη δόμηση «επιθυμητών» μελλοντικών εικόνων χωρίς περιορισμούς.

Καθοριστικό ρόλο στην επιλογή των μεθόδων και των τεχνικών που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση και επίλυση προβλημάτων χωρικού σχεδιασμού, παίζει το είδος της πληροφορίας και ο τύπος των δεδομένων που αξιοποιούνται ανά περίπτωση. Η πληροφορία μπορεί να είναι ποιοτικής, ποσοτικής ή και μεικτής φύσης οπότε και απαιτείται η αξιοποίηση εξειδικευμένων μεθόδων και εργαλείων προκειμένου αυτή να γίνει διαχειρίσιμη από το σύστημα που πρόκειται να την επεξεργαστεί, για την εξαγωγή των αντίστοιχων αποτελεσμάτων. Παράλληλα, ο βαθμός εγκυρότητας της πληροφορίας και ο περιορισμός της υποκειμενικότητας ενισχύονται με τη συμμετοχή ειδικών οι οποίοι διατυπώνουν κρίσεις και απόψεις στη βάση της ειδικής γνώσης και της εμπειρίας που διαθέτουν.

Τέλος, εξαιρετικό ενδιαφέρον παρουσιάζει η οπτική διάσταση των προβλημάτων χωρικού σχεδιασμού και η αναπαράσταση των αποτελεσμάτων του σχεδιασμού με την υποστήριξη συστημάτων διαχείρισης και αναπαράστασης της γεωγραφικής πληροφορίας. Το συγκεκριμένο ζήτημα αποτελεί αντικείμενο της επιστήμης των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ), η οποία συνιστά ένα επιστημονικό πεδίο αιχμής των τελευταίων τριάντα ετών. Οι τομείς στους οποίους εκτείνεται η έρευνα της συγκεκριμένης επιστήμης είναι πολυάριθμοι και ανάμεσα σε αυτούς συγκαταλέγονται: η αποθήκευση και η διαχείριση δεδομένων και πληροφορίας σε γεωβάσεις, η επεξεργασία και η ανάλυση χωρικών δεδομένων, η αναπαράσταση της γεωγραφικής πληροφορίας και η χαρτογραφική παραγωγή.

Παράλληλα, τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών ενσωματώνουν πλέον μεθόδους πολυκριτηριακής αξιολόγησης για τη διαχείριση προβλημάτων που εμπλέκουν κριτήρια με χωρική αναφορά, ολοκληρώνοντας με τον τρόπο αυτό μεθόδους πολυκριτηριακής αξιολόγησης και εργαλεία οπτικοποίησης της γεωγραφικής πληροφορίας.

Ένα ΣΣΑ για τον χωρικό σχεδιασμό λαμβάνει υπόψη όλες τις παραμέτρους που αναφέρθηκαν παραπάνω και είναι δομημένο με τέτοιο τρόπο ώστε να βοηθά τον σχεδιαστή στη λήψη αποφάσεων που αφορούν κυρίως στη διαχείριση χρήσεων γης. Ο ορισμός εναλλακτικών λύσεων και κριτηρίων αξιολόγησης, η «μηχανή»

επεξεργασίας δεδομένων και λήψης αποφάσεων (decision engine) και η διεπαφή του χρήστη αποτελούν τα βασικά στάδια ανάπτυξης ενός Συστήματος Στήριξης Αποφάσεων. Το κλειδί της επιτυχίας ενός ΣΣΑ συνίσταται στο βαθμό ανταπόκρισής του στις ανάγκες των χρηστών του (Guimarães Pereira and Corral Quintana, 2002).

Τα ΣΣΑ χωρικού σχεδιασμού υποστηρίζουν την επίλυση σύνθετων χωρικών προβλημάτων παρέχοντας ένα πλαίσιο ολοκλήρωσης: αναλυτικών διαδικασιών και διαδικασιών χωρικής μοντελοποίησης, διαχείρισης χωρικής και μη χωρικής πληροφορίας, απόκτησης και διαχείρισης γνώσης (domain knowledge), διαδικασιών αναπαράστασης χωρικής πληροφορίας και δυνατοτήτων παραγωγής αναφορών (reporting capabilities) (Sugumaran and DeGroot, 2011).

Στις περισσότερες περιπτώσεις δεν πρόκειται για ιδιαίτερα σύνθετα και πολύπλοκα υπολογιστικά συστήματα αλλά για μία συλλογή υπολογιστικών τεχνικών που συναποτελούν μία ολοκληρωμένη εργαλειοθήκη με τη βοήθεια της οποίας τα κέντρα λήψης αποφάσεων μπορεί να εμβαθύνουν στα ερωτήματα που τίθενται και να διαχειριστούν ζητήματα που αφορούν σε χωρικά προβλήματα (Batty, 2003). Συνιστούν με άλλα λόγια, ένα υποσύνολο υπολογιστικών γεω-πληροφοριακών εργαλείων, κάθε ένα από τα οποία ενσωματώνει μία ξεχωριστή ενότητα συνιστωσών (unique suite of components), που μπορεί να χρησιμοποιήσουν τα κέντρα λήψης αποφάσεων για να διερευνήσουν και να διαχειριστούν προβλήματα με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά (Geertman and Stillwell, 2004).

Συνοψίζοντας, τα ΣΣΑ χωρικού σχεδιασμού παρέχουν τη δυνατότητα μίας συνδυασμένης προσέγγισης ζητημάτων χωρικού σχεδιασμού και χωρικής ανάλυσης, μέσα από την ταυτόχρονη διερεύνηση παραμέτρων και μεταβλητών που εμπλέκονται σε προβλήματα χωρικού σχεδιασμού και διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στη λήψη μελλοντικών αποφάσεων. Στόχος είναι η ολοκληρωμένη και συνδυασμένη εκτίμηση των παραγόντων που επηρεάζουν τη διαδικασία λήψης αποφάσεων, η εμβάθυνση στις σχέσεις αλληλεπίδρασης των στοιχείων που συνθέτουν τα χωρικά συστήματα και ο περιορισμός του ρίσκου (Stratigea and Papadopoulou, 2013a; Stratigea and Papadopoulou, 2013b; Papadopoulou and Giaoutzi, 2014).

Παράλληλα, ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην αξιοποίηση συμμετοχικών προσεγγίσεων προκειμένου να ληφθούν υπόψη κρίσεις και εκτιμήσεις ειδικών μέσα από την ενσωμάτωση εξειδικευμένης γνώσης και εμπειρίας στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων και αξιολόγησης πολλαπλών εναλλακτικών (Papadopoulou and Giaoutzi, 2014). Ο περιορισμός της αβεβαιότητας που ενέχει κάθε μελλοντική απόφαση (Fang

and Marle, 2012; Lu et al., 2012), της υποκειμενικότητας και του πιθανού κινδύνου αποτυχίας (ρίσκο) του σχεδιαστικού αποτελέσματος αποτελούν ζητήματα αιχμής γύρω από τα οποία στρέφεται το ερευνητικό ενδιαφέρον των ημερών μας.

Η συμμετοχική προσέγγιση από τη μία πλευρά και η υιοθέτηση τεχνικών τεχνητής νοημοσύνης από την άλλη, αξιοποιούνται ευρέως προς την κατεύθυνση αυτή καθώς συνεισφέρουν επί της ουσίας στον εμπλουτισμό της απαιτούμενης πληροφορίας, στη διαχείριση ποιοτικών δεδομένων και στη λήψη περισσότερο αντικειμενικών αποφάσεων. Τα Συστήματα Στήριξης Αποφάσεων για τον χωρικό σχεδιασμό ενσωματώνουν ανάλογες μεθόδους και τεχνικές (Jankowski, 2009; Haughton et al., 2010; Valverde, 2011; Mc Call and Dunn, 2012) οι οποίες συμβάλλουν στη βελτίωση της ποιότητας του σχεδιαστικού αποτελέσματος και στην ολοκληρωμένη εκτίμηση των πολλαπλών διαστάσεων που συνθέτουν τα προβλήματα που αφορούν στον σχεδιασμό του χώρου.

2.4. Συστήματα Στήριξης Αποφάσεων και Ασαφής Λογική

Τα τελευταία χρόνια, αρκετά Συστήματα Στήριξης Αποφάσεων αξιοποιούν τα μαθηματικά εργαλεία της ασαφούς λογικής προκειμένου να προσεγγίσουν σε μεγαλύτερο βαθμό την ανθρώπινη συλλογιστική για την εξαγωγή συμπερασμάτων. Ορισμένα από τα βασικά πλεονεκτήματα της ασαφούς λογικής που αξιοποιούνται από τα σύγχρονα ΣΣΑ είναι η διαχείριση της ποιοτικής πληροφορίας, η ποσοτικοποίηση λεκτικών όρων μέσα από την υιοθέτηση αντίστοιχων μαθηματικών μοντέλων, ο περιορισμός του πιθανού μελλοντικού ρίσκου, η διαχείριση κρίσεων διατυπωμένων από ειδικούς, ο περιορισμός της υποκειμενικότητας και η μεγαλύτερη ευελιξία κατά τη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Στόχος είναι η υποστήριξη διαδικασιών λήψης αποφάσεων οι οποίες αφορούν σε δυναμικά χωρικά συστήματα, που χαρακτηρίζονται από πολύπλοκες σχέσεις αλληλεπίδρασης και μέσο-μακροπρόθεσμο χρονικό ορίζοντα.

Το θεωρητικό υπόβαθρο της προσέγγισης αυτής άρχισε να αναπτύσσεται αρκετά χρόνια πριν· η ενσωμάτωση όμως μεθόδων και εργαλείων της ασαφούς λογικής σε αντίστοιχα υπολογιστικά μοντέλα και ΣΣΑ εξελίσσεται μαζί με την επιστήμη της πληροφορικής και τον τομέα της τεχνητής νοημοσύνης. Οι βασικοί λόγοι που έστρεψαν την έρευνα προς την κατεύθυνση αυτή, είναι η ανάγκη

διαχείρισης ποιοτικής πληροφορίας η οποία σχετίζεται με τη μοντελοποίηση γνώσης προερχόμενης από ειδικούς συμμετέχοντες σε μία διαδικασία λήψης αποφάσεων (Dubois, 2011) καθώς και η προσομοίωση / μοντελοποίηση του τρόπου σκέψης και συλλογιστικής του ανθρώπινου εγκεφάλου.

Δεδομένου ότι ο τρόπος διεξαγωγής συλλογισμών από τον ανθρώπινο εγκέφαλο είναι περισσότερο προσεγγιστικός παρά ακριβής (Zadeh, 1992), η ασαφής λογική συνιστά ένα εργαλείο το οποίο δομείται ακριβώς στη βάση του παραπάνω προβληματισμού. Ως εκ τούτου, υποστηρίζει τη διαχείριση και μοντελοποίηση ποιοτικής πληροφορίας καθώς και την υλοποίηση συστημάτων ασαφούς συμπερασμού (έμπειρα συστήματα) τα οποία προσομοιώνουν διαδικασίες συλλογιστικής και λήψης αποφάσεων παρόμοιες με αυτές που επιτελεί ο ανθρώπινος εγκέφαλος.

Η ασαφής λογική θεωρείται μία επέκταση της κλασικής δίτιμης λογικής η οποία παρέχει ένα αποτελεσματικό εννοιολογικό πλαίσιο για τη διαχείριση του προβλήματος αναπαράστασης γνώσης σε περιβάλλον αβεβαιότητας και ανακρίβειας (Zadeh, 1983; Zadeh, 1992). Παράλληλα, η διαχείριση της αβεβαιότητας είναι ένας βασικός παράγοντας που λαμβάνεται υπόψη κατά τον σχεδιασμό έμπειρων συστημάτων καθώς, η πληροφορία που περιλαμβάνεται στη βάση γνώσης ενός τυπικού έμπειρου συστήματος είναι σε κάποιο βαθμό ανακριβής (imprecise), ελλιπής (incomplete) και ως εκ τούτου όχι απόλυτα αξιόπιστη (Zadeh, 1983).

Επιπλέον, η αξιοποίηση «ακριβών αριθμητικών τεχνικών» (precise numerical techniques) σε προβλήματα λήψης αποφάσεων είναι αμφισβητήσιμες διότι προϋποθέτουν τη διαθεσιμότητα μεγαλύτερου αποθέματος γνώσης σε σχέση με αυτήν που μπορεί να παρέχουν οι ειδικοί κατά τη διαδικασία εκτίμησης πιθανών αποφάσεων (Dubois, 2011). Συνεπώς, όταν ένας ειδικός αποδίδει μία «ακριβή τιμή» (precise value) σε ένα μέγεθος για την οποία έχει αμφιβολίες, η εν λόγω τιμή είναι πιο εύλογο να αναπαρασταθεί πιο πιστά με τη βοήθεια ενός διαστήματος τιμών ή ενός «ασαφούς διαστήματος» (Dubois, 2011).

Δύο παράμετροι που παίζουν επίσης σημαντικό ρόλο στην αξιοποίηση της ασαφούς λογικής από τον τομέα ανάπτυξης ΣΣΑ, είναι η διατύπωση κρίσεων από ειδικούς οι οποίες ενέχουν το στοιχείο της υποκειμενικότητας και ως εκ τούτου είναι λιγότερο ακριβείς (imprecise) καθώς και η δυνατότητα που παρέχουν «ειδικές» συναρτήσεις της ασαφούς λογικής (συναρτήσεις συμμετοχής) για μετατροπή λεκτικών όρων (ποιοτική πληροφορία) σε ποσοτικούς (Dubois, 2011).

Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί ότι η διαθέσιμη γνώση οργανώνεται σε δομές εξαγωγής συμπερασμάτων μέσω των ασαφών κανόνων που περιλαμβάνονται σε ένα έμπειρο σύστημα, αξιοποιώντας τις αρχές και τα αξιώματα της ασαφούς λογικής. Στόχος της διαδικασίας αυτής είναι η δόμηση «προτασιακών συλλογισμών» όμοιων με αυτούς που επιτελεί ο ανθρώπινος εγκέφαλος και από τους οποίους προκύπτουν τα τελικά συμπεράσματα.

Η πλειοψηφία των προβλημάτων που διερευνώνται υπό το πρίσμα αυτό, χαρακτηρίζονται από τον υψηλό βαθμό αβεβαιότητας του περιβάλλοντος εντός του οποίου παρατηρούνται καθώς και την αόριστη και μη ακριβή φύση των δεδομένων και της πληροφορίας που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τη διαδικασία επίλυσής τους (Martinez et al., 2010). Επιπρόσθετα, η απαραίτητη πληροφορία εκφράζεται συνήθως με τη βοήθεια λεκτικών όρων (ποιοτικής φύσεως πληροφορία) από ειδικούς και η επεξεργασία της απαιτεί τη διενέργεια υπολογισμών μεταξύ των εν λόγω λεκτικών όρων (Martinez et al., 2010).

Η ασαφής λογική παρέχει το πλαίσιο εντός του οποίου η πληροφορία αυτή μπορεί να μοντελοποιηθεί και να ποσοτικοποιηθεί ενώ παράλληλα, μέσω της ασαφοποίησης και της διατύπωσης ασαφών κανόνων, καθίσταται δυνατή η υλοποίηση μαθηματικών υπολογισμών και η εξαγωγή συμπερασμάτων. Για τον λόγο αυτό, είναι πλέον συστηματική η αξιοποίησή της τόσο κατά τη διαδικασία δόμησης ΣΣΑ όσο και κατά τη διαδικασία διενέργειας συλλογισμών από αυτά, μέσα από την προσομοίωση γνωστικών καταστάσεων του ανθρώπινου εγκεφάλου.

2.5. Ενδεικτικά Παραδείγματα Συστημάτων Στήριξης Αποφάσεων

Η ενότητα αυτή εστιάζει σε μία συνοπτική παρουσίαση ορισμένων περιπτώσεων αξιοποίησης ΣΣΑ για την εκτίμηση εναλλακτικών, τη διαχείριση και επεξεργασία ποιοτικών δεδομένων και πληροφορίας και την εξαγωγή συμπερασμάτων. Πολλά από τα πρώτα ΣΣΑ, τα οποία αφορούσαν κυρίως στον τομέα διαχείρισης περιβάλλοντος, δεν συνέβαλαν στον αναμενόμενο βαθμό στην αντιμετώπιση προβλημάτων του πραγματικού κόσμου (Zapatero, 1996; Giurponi, 2007). Όμως, η εξέλιξη της επιστήμης της πληροφορικής σε συνδυασμό με την εξέλιξη των μεθόδων πολυκριτηριακής αξιολόγησης και των μοντέλων εκτίμησης επιπτώσεων έχουν πλέον οδηγήσει στην ευρεία υιοθέτηση των ΣΣΑ από μία σειρά

επιστημονικών τομέων, με στόχο τη συνεκτίμηση παραμέτρων και επιπτώσεων για τη λήψη μελλοντικών αποφάσεων. Στη συνέχεια της παρούσας ενότητας, παρουσιάζονται ορισμένες ενδεικτικές μελέτες περίπτωσης οι οποίες αφορούν στην αξιοποίηση ΣΣΑ από διάφορους τομείς για τη διαχείριση διαφορετικής κάθε φορά φύσεως προβλημάτων και την αναζήτηση πιθανών λύσεων.

Η προσέγγιση ‘MULINO’ που προτάθηκε από τον Giurroni το 2007, συνιστά ένα παράδειγμα ΣΣΑ στον τομέα της διαχείρισης υδατικών πόρων. Δομήθηκε στο πλαίσιο σχεδιασμού της διαδικασίας εφαρμογής της Οδηγίας 2000/60/EK (Οδηγία-πλαίσιο για τα νερά) και υποστηρίζει την εφαρμογή μίας συμμετοχικής προσέγγισης για τη λήψη αποφάσεων που θα αφορούν στην ανάπτυξη: α) των προγραμμάτων μέτρων που προβλέπονται στην Οδηγία και, β) των σχεδίων διαχείρισης των λεκανών απορροής ποταμών των υδατικών διαμερισμάτων και των υπο-λεκανών που εντάσσονται στα όρια των άνωθι λεκανών απορροής (Giurroni, 2007). Το εν λόγω ΣΣΑ και η αντίστοιχη μεθοδολογία του αφορούν (Giurroni, 2007):

- στην ολοκλήρωση διαφορετικών προσεγγίσεων και μοντέλων σε ένα ενιαίο εργαλείο,
- στη διαχείριση της πολυπλοκότητας που χαρακτηρίζει τα συγκεκριμένα προβλήματα,
- στη διαχείριση μεγάλου όγκου διαθέσιμης πληροφορίας (ποιοτικής, ποσοτικής ή μεικτής),
- στην ενίσχυση της συμμετοχικότητας (επιστημονικοί φορείς, κέντρα λήψης αποφάσεων, stakeholders), και
- στη συνεκτίμηση προτιμήσεων και κρίσεων που εκφράζονται από τους επί μέρους συντελεστές που λαμβάνουν μέρος στη διαδικασία.

Ένα άλλο παράδειγμα που προτάθηκε από τους Capozzoli et al. το 2015, προέρχεται από τον τομέα της ενέργειας και αφορά στο σχεδιασμό ενός ΣΣΑ για τη διαχείριση ενέργειας σε δημόσια κτίρια (Capozzoli et al., 2015). Το εν λόγω ΣΣΑ είναι ένα διαδικτυακό εργαλείο το οποίο στοχεύει στη λήψη αποφάσεων για την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα μέσα από την εφαρμογή μίας σειράς δράσεων για την εβδομαδιαία διαχείριση των ενεργειακών συστημάτων (Capozzoli et al., 2015). Στο συγκεκριμένο ΣΣΑ, λαμβάνονται υπόψη παράμετροι όπως ο χώρος που καταλαμβάνει το κτίριο, η λειτουργία των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης και η κατανάλωση ενέργειας προερχόμενης από ανανεώσιμες πηγές (Capozzoli et al., 2015). Το σύνολο των

δράσεων που επεξεργάζεται το σύστημα βασίζονται σε μοντέλα πρόβλεψης και στην ενσωμάτωση κανόνων εξαγωγής συμπερασμάτων (logic inference rules) (Capozzoli et al., 2015).

Το επόμενο παράδειγμα αφορά σε ένα ΣΣΑ που υλοποιήθηκε από τους Menzel et al. το 2015. Ανήκει στον τομέα της διαχείρισης δασών και αφορά στη διερεύνηση της καταλληλότητας των ΣΣΑ που ενσωματώνουν συμμετοχικές μεθόδους και μεθόδους πολυκριτηριακής αξιολόγησης για τη λήψη αποφάσεων στη διαχείριση του εν λόγω φυσικού πόρου (Menzel et al., 2012). Γίνεται μία προσπάθεια προσδιορισμού των πλέον κατάλληλων κριτηρίων αξιολόγησης στο πλαίσιο του συμμετοχικού σχεδιασμού, βελτιστοποίησης των εν λόγω κριτηρίων στο πλαίσιο ανάπτυξης περισσότερο σύγχρονων και βελτιωμένων ΣΣΑ και εκτίμησης της αποτελεσματικότητας των Συστημάτων Στήριξης Συμμετοχικών Αποφάσεων στον τομέα της διαχείρισης δασών (Menzel et al., 2012).

Στον τομέα της διαχείρισης του περιβάλλοντος ανήκει και το τελευταίο παράδειγμα από τους Uricchio et al. το 2004, που αφορά στον σχεδιασμό ενός ΣΣΑ για την εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων προερχόμενων από ανθρώπινες δραστηριότητες (εκτίμηση περιβαλλοντικού ρίσκου), οι οποίες επηρεάζουν την ποιότητα των υπόγειων υδάτων (Uricchio et al., 2004). Στο πλαίσιο ανάπτυξης του συστήματος αυτού, χρησιμοποιείται μία ποιοτική προσέγγιση για τη διαχείριση της «ελλιπούς πληροφορίας» (incomplete information) προερχόμενης από ειδικούς η οποία αποθηκεύεται στη βάση γνώσης του συστήματος (Uricchio et al., 2004). Το σύστημα εστιάζει στην προστασία του υπόγειου υδροφορέα από τη μόλυνση λόγω χρήσης φυτοφαρμάκων και διαχειρίζεται την αβεβαιότητα και το περιβαλλοντικό ρίσκο αξιοποιώντας την ασαφή λογική (knowledge-based decision support system which is both algorithmic and qualitative) (Uricchio et al., 2004).

Συστήματα Στήριξης Αποφάσεων τα οποία είναι αυστηρά προσανατολισμένα στην εκτίμηση επιπτώσεων εναλλακτικών και των επιδόσεών τους στη βάση ενός αριθμού κριτηρίων αξιολόγησης, είναι το Definite, το Naiade, το LIPSOR κ.ά. Τα συστήματα αυτά ενσωματώνουν μία σειρά μεθόδων πολυκριτηριακής αξιολόγησης οι οποίες εμπεριέχουν τη συμμετοχική διάσταση. Η αναλυτική περιγραφή τους παρουσιάζεται σε επόμενο κεφάλαιο της παρούσας διατριβής. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στο στάδιο αξιολόγησης του συστήματος LIPSOR – μοντέλο πολυκριτηριακής αξιολόγησης Multipol – το οποίο και συνιστά τη βάση των καινοτομιών που αναπτύσσονται στη συνέχεια. Στο πλαίσιο αυτό διερευνάται η

δυνατότητα αξιοποίησης της ασαφούς λογικής με στόχο τον περιορισμό του ρίσκου και τη διαχείριση ποιοτικής πληροφορίας προερχόμενης από διατυπωμένες κρίσεις ειδικών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Η ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΤΟΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ

Το παρόν κεφάλαιο εστιάζει στο ζήτημα της αξιολόγησης και πιο συγκεκριμένα στο ρόλο της αξιολόγησης στον σχεδιασμό του χώρου, με στόχο να θέσει τις θεωρητικές βάσεις επάνω στις οποίες στηρίζεται στη συνέχεια ο σχεδιασμός του Συστήματος Στήριξης Αποφάσεων FAIDRA. Αρχικά, παρουσιάζονται κάποιιοι ορισμοί και τα βασικά στάδια της διαδικασίας αξιολόγησης, περιγράφεται ο ρόλος της αξιολόγησης στη διαδικασία λήψης αποφάσεων και εξετάζεται η φύση των δεδομένων που εμπλέκονται στη διαδικασία αυτή. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται συνοπτικά οι βασικές μέθοδοι αξιολόγησης, με έμφαση στις μεθόδους πολυκριτηριακής αξιολόγησης καθώς και στα αντίστοιχα μοντέλα που τις υλοποιούν.

3.1. Λήψη Απόφασης και Αξιολόγηση

Η έννοια της απόφασης υπεισέρχεται στο σύνολο σχεδόν των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, από την πιο απλή έως την πλέον σύνθετη. Η κάθε είδους επιλογή συνιστά το αποτέλεσμα μίας διαδικασίας λήψης αποφάσεων η οποία, είτε υλοποιείται «αυτόματα» είτε απαιτεί τη συστηματική μελέτη του προβλήματος που τίθεται, τη συλλογή δεδομένων και την επεξεργασία τους προκειμένου να προκύψει ένα τελικό αποτέλεσμα. Συνεπώς, όλα τα άτομα είναι κατά κάποιο τρόπο «κέντρα λήψης αποφάσεων» καθώς η κάθε τους δραστηριότητα είναι αποτέλεσμα μίας επιλογής που λαμβάνεται είτε συνειδητά είτε ασυνείδητα (Saaty, 2008a).

Συμφωνα με τον Saaty, η λήψη μίας απόφασης προϋποθέτει τον ορισμό του προβλήματος, τον προσδιορισμό της «ανάγκης» και του στόχου της απόφασης, τον καθορισμό των κριτηρίων στη βάση των οποίων θα ληφθεί η απόφαση, τον καθορισμό των εναλλακτικών λύσεων καθώς και τον ορισμό των ομάδων-στόχων ή ομάδων πίεσης που δύνανται να επηρεάσουν ή πρόκειται να επηρεαστούν από την απόφαση που θα ληφθεί (Saaty, 2008a). Επιπλέον, εμπεριέχει το στοιχείο της αξιολόγησης η οποία αποτελεί για τη διαδικασία λήψης αποφάσεων ένα υποστηρικτικό εργαλείο προσέγγισης της τελικής επιλογής. Ως εκ τούτου, η λήψη μίας απόφασης προϋποθέτει τη συγκέντρωση ενός γνωσιακού αποθέματος δεδομένων και πληροφοριών που αφορούν το ζήτημα που κάθε φορά διερευνάται

(στόχοι και κατευθύνσεις πολιτικής, εμπλεκόμενοι stakeholders, μελλοντικά σενάρια, επιπτώσεις εναλλακτικών, κ.λπ.) (Saaty, 1994).

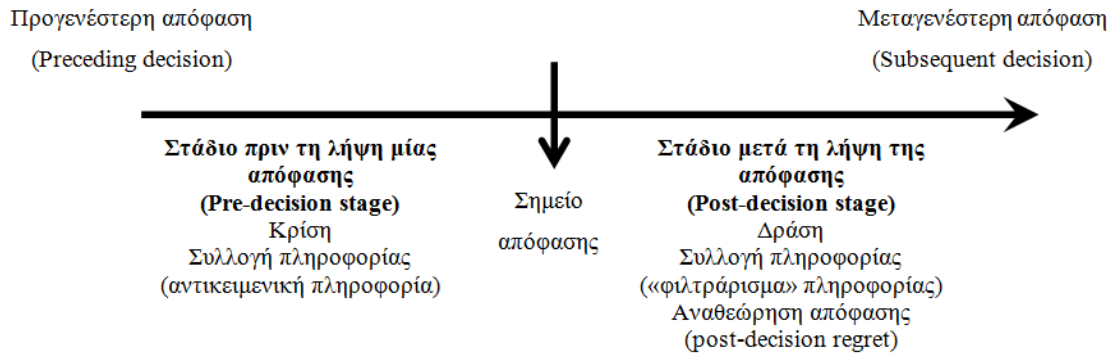
Τα ζητήματα που εξετάζονται στο πλαίσιο μίας διαδικασίας λήψης αποφάσεων, χαρακτηρίζονται συνήθως από υψηλό βαθμό πολυπλοκότητας οφειλόμενο σε διάφορους παράγοντες (Keeney, 1982). Οι βασικότεροι από αυτούς συνίστανται: στην ύπαρξη πολλαπλών στόχων, στη δυσκολία ορισμού αποτελεσματικών εναλλακτικών λύσεων, στη δυσκολία εκτίμησης απροσδιόριστων ή αόριστων / άυλων (intangible) παραμέτρων, στον μακροπρόθεσμο χρονικό ορίζοντα στον οποίο προβάλλονται συνήθως τα αποτελέσματα της διαδικασίας λήψης αποφάσεων (ρίσκο), στο πλήθος των ομάδων που επηρεάζονται από την εκάστοτε απόφαση ή δύνανται να την επηρεάσουν, κ.λπ. (Keeney, 1982).

Ο Milan Zeleny θεμελίωσε το 1982 ένα ιδιαίτερα αναλυτικό πλαίσιο (General Diagram of the Decision Making Process) όπου παρουσιάζονται τα επιμέρους βήματα μέσα από τα οποία ολοκληρώνεται μία διαδικασία λήψης απόφασης. Στο πλαίσιο αυτό, τίθενται ζητήματα όπως (Zeleny, 1982; Zeleny, 2008):

- η εμπάθυνση και η κατανόηση των στόχων και των εναλλακτικών λύσεων μέσα από τη συστηματική μελέτη του διαθέσιμου γνωστικού αποθέματος και των διαφορετικών εκφρασμένων απόψεων,
- ο καθορισμός ενός συνόλου εναλλακτικών λύσεων και η αξιολόγησή τους στη βάση ορισμένων κριτηρίων, χαρακτηριστικών ή ιδιοτήτων,
- η αναζήτηση πρόσθετων εναλλακτικών (στην περίπτωση όπου η «ιδανική» εναλλακτική δεν είναι εφικτή),
- η αναζήτηση πρόσθετης πληροφορίας καθώς η διαδικασία λήψης αποφάσεων βρίσκεται σε εξέλιξη,
- η αναθεώρηση των κριτηρίων που είχαν αρχικά τεθεί,
- η υιοθέτηση πρόσθετων εναλλακτικών που προσεγγίζουν περισσότερο την «ιδανική» εναλλακτική,
- η διαχείριση πιθανών συγκρούσεων,
- η ανάθεση βαρών στα κριτήρια αξιολόγησης, κ.λπ.

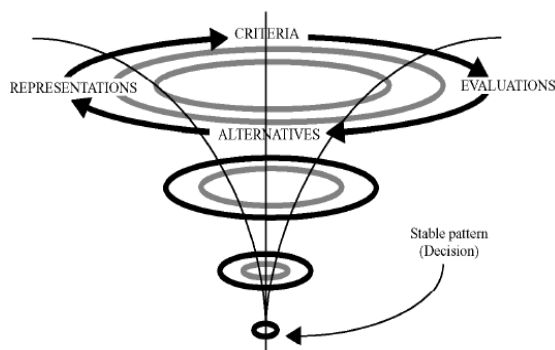
Η γενική εικόνα του παραπάνω πλαισίου και ο αναδραστικός της χαρακτήρας εξελίχθηκαν και παρουσιάστηκαν εκ νέου από τον Zeleny το 2008 (Σχήματα 3-1, 3-2 και 3-3). Τα επιμέρους βήματα της παραπάνω διαδικασίας βρίσκονται σε αλληλεπίδραση και υφίσταται μεταξύ τους μία συνεχής ανάδραση η οποία συμβάλλει στη μεγαλύτερη εμπάθυνση των ζητημάτων που εμπλέκονται σε μία διαδικασία

λήψης αποφάσεων και ως εκ τούτου, στη βελτίωση της ποιότητας της όλης διαδικασίας αλλά και στην ισχυροποίηση της εγκυρότητας του τελικού αποτελέσματος.



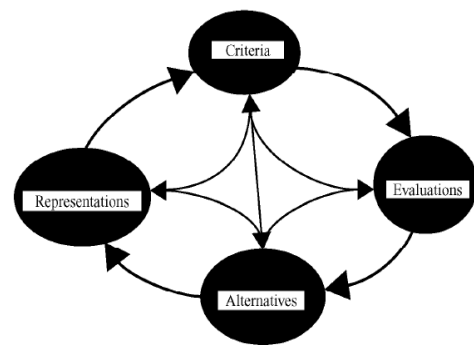
Σχήμα 3-1 : Στάδια διαδικασίας λήψης αποφάσεων «πριν» τη λήψη της απόφασης (pre-decision stage) και «μετά» τη λήψη της απόφασης (post-decision stage)

Πηγή: Zeleny, 2008



Σχήμα 3-2 : Επαναληπτική / Αναδραστική αναζήτηση της γνωσιακής ισοροπίας (απόφασης)

Πηγή: Zeleny, 2008



Σχήμα 3-3: Το δίκτυο «παραγωγής» μίας απόφασης (decision-producing network)

Πηγή: Zeleny, 2008

Η έννοια της αξιολόγησης είναι σύμφυτη με αυτή της λήψης αποφάσεων και συνιστά αναπόσπαστο κομμάτι της διαδικασίας, αποτελώντας ουσιαστικά το «όχημα» που οδηγεί στην τελική επιλογή. Είναι μία διαδικασία ανατροφοδότησης γνώσης, πληροφορίας και δεδομένων μεταξύ των επιμέρους σταδίων, με στόχο τη λήψη περισσότερο αντικειμενικών αποφάσεων (London School of Economics, 2009).

Η διαδικασία λήψης αποφάσεων ξεκινά με τον εντοπισμό ενός υφιστάμενου προβλήματος, την απόκλιση δηλαδή που παρατηρείται μεταξύ μίας επιθυμητής κατάστασης και της παρούσας κατάστασης. Υπό την έννοια αυτή, η αξιολόγηση συνιστά το μεθοδολογικό πλαίσιο μέσα από το οποίο ολοκληρώνεται η διαδικασία αναζήτησης λύσεων και επιλογής της πλέον κατάλληλης λύσης, της λύσης δηλαδή

που ανταποκρίνεται με τον αποτελεσματικότερο τρόπο στις ανάγκες του προβλήματος που διερευνάται.

3.2. Η Έννοια της Αξιολόγησης

Στην ενότητα αυτή, παρουσιάζεται το πλαίσιο στη βάση του οποίου δομείται η έννοια της αξιολόγησης μέσα από τη διερεύνηση μίας σειράς σχετικών βιβλιογραφικών αναφορών. Επίσης, γίνεται μία συνοπτική αναφορά στη σχέση της αξιολόγησης με τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών και την τεχνητή νοημοσύνη.

Σύμφωνα με την American Evaluation Association (2014), η αξιολόγηση ορίζεται ως μία «...*συστηματική διαδικασία προσδιορισμού αξίας ή σημαντικότητας*» η οποία, μπορεί να εφαρμοστεί με διάφορους τρόπους ανάλογα με τον στόχο που έχει αρχικά τεθεί και ορίζει το «τι πρόκειται να αξιολογηθεί». Η Norad ορίζει την αξιολόγηση ως τη «...*συστηματική συλλογή και ανάλυση δεδομένων προκειμένου να εκτιμηθούν τα δυνατά σημεία και οι αδυναμίες προγραμμάτων και πολιτικών, έτσι ώστε οι διάφοροι οργανισμοί να βελτιώσουν την αποδοτικότητά τους*» (Norad, 2015). Ανάλογα με το πλαίσιο στο οποίο εντάσσεται η έννοια της αξιολόγησης, διαφοροποιείται κυρίως ως προς τον στόχο που πρόκειται να αξιολογηθεί αλλά και ως προς τα τεχνικά εργαλεία που εφαρμόζονται κατά περίπτωση.

Στην παρούσα διατριβή, η αξιολόγηση μελετάται στο πλαίσιο του χωρικού σχεδιασμού και διερευνώνται περιπτώσεις εφαρμογής της σε προβλήματα που αφορούν στο χώρο. Παράλληλα, συνιστά τη βάση επάνω στην οποία σχεδιάζεται το Σύστημα Στήριξης Αποφάσεων FAIDRA, το οποίο αξιοποιεί την πολυκριτηριακή αξιολόγηση με στόχο τη δόμηση ολοκληρωμένων πακέτων πολιτικής και στρατηγικών μελλοντικών αναπτυξιακών κατευθύνσεων.

Οι ρίζες της αξιολόγησης είναι αρκετά παλιές, αρχής γενομένης από την επιστήμη των οικονομικών. Ο Simon το 1960, κατά την περιγραφή της διαδικασίας λήψης αποφάσεων, αναφέρεται σε «*επιλογή λύσεων ανάμεσα στις εναλλακτικές*» η οποία αποτελείται από τρία στάδια: τον *εντοπισμό ζητημάτων* που εμπεριέχουν απόφαση (ευφυής δράση), την *ανάπτυξη και ανάλυση πιθανών δράσεων* (σχεδιαστική δράση) και την *επιλογή λύσης* ανάμεσα στις εναλλακτικές (δράση επιλογής) (Simon, 1960). Σήμερα, η παγκοσμιοποίηση των αγορών, ο αυξανόμενος ανταγωνισμός και

οι ραγδαίες κοινωνικές και τεχνολογικές εξελίξεις δημιουργούν ένα κλίμα αβεβαιότητας και αστάθειας σε πεδία σχετικά με τις οικονομικές επιστήμες και τη διοίκηση επιχειρήσεων (Spronk et al., 2005). Στο πλαίσιο αυτό, η αξιολόγηση συνιστά ένα μεθοδολογικό εργαλείο κατάλληλο για τη διαχείριση της αβεβαιότητας και της πολυπλοκότητας που ενσωματώνουν οικονομικής φύσεως αποφάσεις (Spronk et al., 2005).

Οι Mintzberg et al. το 1976, εντάσσουν την αξιολόγηση στο ευρύτερο πλαίσιο της διαδικασίας λήψης αποφάσεων για την οποία προτείνουν τρία στάδια: το στάδιο της αναγνώρισης, το στάδιο της ανάπτυξης και το στάδιο της επιλογής (Mintzberg et al., 1976). Στο πλαίσιο του μοντέλου αυτού, η αξιολόγηση υπεισέρχεται στο στάδιο της επιλογής και περιλαμβάνει τη διατύπωση κρίσεων επί των προτεινόμενων λύσεων, τη διεξαγωγή διαπραγματεύσεων λόγω αντικρουόμενων στόχων, την ανάλυση και τη λήψη της τελικής απόφασης η οποία αποτελεί προϊόν των σταδίων που προηγήθηκαν (Mintzberg et al., 1976).

Ο Voogd, ένας από τους σημαντικότερους ερευνητές στο πεδίο της αξιολόγησης, αναφέρθηκε καταρχάς στις μελέτες αξιολόγησης στο πλαίσιο των οικονομικών επιστημών κάνοντας λόγο αρχικά για την «ανάλυση κόστους-οφέλους» μέσω της οποίας επιχειρείται η εκτίμηση σχεδίων στη βάση χρηματικών όρων (Voogd, 1982). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι εκτεταμένη έρευνα στο ζήτημα της εκτίμησης σχεδίων με εφαρμογή της ανάλυσης κόστους-οφέλους, έχει ήδη αρχίσει να διεξάγεται κατά τη δεκαετία του 1960 από τον Lichfield (Lichfield, 1960; Lichfield, 1964). Στη συνέχεια, αναφέρεται στις μεθόδους πολυκριτηριακής ανάλυσης οι οποίες συνιστούν το πλαίσιο μέσα στο οποίο πιθανές εναλλακτικές επιλογές (σχέδια, πολιτικές κατευθύνσεις, κ.λπ.) διερευνώνται υπό το φως ενός συνόλου κριτηρίων αξιολόγησης και ενός αριθμού αντικρουόμενων προτεραιοτήτων (Voogd, 1982).

Οι Nijkamp et al. (1990), εστιάζοντας στο ρόλο της αξιολόγησης στο σχεδιασμό του χώρου, υποστηρίζουν ότι ο στόχος της διαδικασίας αξιολόγησης είναι να καταστήσει περισσότερο «ορθολογική» τη διαδικασία του σχεδιασμού μέσα από τη συστηματική μελέτη και δόμηση του σχεδιαστικού προβλήματος και την εκτίμηση του συνόλου των επιπτώσεων των προτεινόμενων εναλλακτικών, συνιστώντας παράλληλα μία κυκλική διαδικασία που μπορεί να εφαρμοστεί σε όλα τα στάδια της διαδικασίας του σχεδιασμού (Nijkamp et al., 1990).

Οι Triantaphyllou et al. (1998) αναφέρονται στις βασικές μεθόδους πολυκριτηριακής αξιολόγησης στο πλαίσιο της επιχειρησιακής έρευνας και ορίζουν

την «Πολυκριτηριακή Διαδικασία Λήψης Αποφάσεων», ως την αξιολόγηση ενός αριθμού εναλλακτικών λύσεων στη βάση ορισμένων κριτηρίων αξιολόγησης (Triantaphyllou et al., 1998).

Οι Siskos et al. έχουν δημοσιεύσει μία σειρά από εργασίες που αφορούν στις μεθόδους πολυκριτηριακής αξιολόγησης UTA καθώς και σε εφαρμογές πολυκριτηριακής αξιολόγησης στον αγροτικό τομέα και τον τομέα της αγοράς (Siskos et al., 2001; Siskos and Grigoroudis, 2002; Siskos et al., 2016).

Εκτεταμένη έρευνα στον τομέα της πολυκριτηριακής αξιολόγησης έχουν επίσης διεξάγει οι Zorounidis και Doumpos (2002) μέσα από μία σειρά δημοσιευμένων εργασιών που αφορούν στην πολυκριτηριακή αξιολόγηση και τη διαδικασία λήψης αποφάσεων, στον ρόλο της αξιολόγησης ως υποστηρικτικού εργαλείου για την ταξινόμηση εναλλακτικών σε διαφορετικού βαθμού σύνολα προτίμησης, κ.λπ. (Zorounidis and Doumpos, 2002).

Πιο σύγχρονες αναφορές σχετικά με την πολυκριτηριακή αξιολόγηση, προσεγγίζουν το ζήτημα δίνοντας όλο και μεγαλύτερη έμφαση στον συνδυασμό της αξιολόγησης με τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών και την Τεχνητή Νοημοσύνη.

Ο Malczewski μελετά το 1999 τον ρόλο της πολυκριτηριακής αξιολόγησης στο πλαίσιο λήψης αποφάσεων που αφορούν σε χωρικά προβλήματα όπου, η αναζήτηση της βέλτιστης εναλλακτικής είναι μία διαδικασία σύνθετη, εκτός των άλλων, και λόγω της μεικτής φύσης των κριτηρίων (ποιοτικά και ποσοτικά) που υπεισέρχεται στα προβλήματα σχεδιασμού του χώρου (Malczewski, 1999).

Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών παρέχουν τεχνικές και διαδικασίες μέσω των οποίων είναι δυνατή η διαχείριση προβλημάτων που ενσωματώνουν τη χωρική διάσταση (αποθήκευση και ενημέρωση χωρικής πληροφορίας, ανάλυση χωρικής πληροφορίας, επεξεργασία και αναπαράσταση χωρικής πληροφορίας) και η λύση των οποίων αναζητείται μέσα στο πλαίσιο της διαδικασίας λήψης αποφάσεων.

Η πολυκριτηριακή αξιολόγηση, από την άλλη πλευρά, παρέχει τεχνικές και διαδικασίες που στηρίζουν τη διαδικασία δόμησης των εκάστοτε προβλημάτων καθώς και τον σχεδιασμό, την αξιολόγηση και την απόδοση προτεραιοτήτων σε εναλλακτικές επιλογές (Malczewski, 2006). Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών παρέχουν τη δυνατότητα χαρτογράφησης και ανάλυσης χωρικών προβλημάτων η επίλυση των οποίων προσεγγίζεται μέσα από τη διαδικασία λήψης αποφάσεων, συνεισφέροντας στην οπτική ανάλυση και ερμηνεία τους (Chen, 2014).

Παράλληλα, η οπτική αναπαράσταση χωρικών προβλημάτων με την υποστήριξη των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών, παρέχει τη δυνατότητα οπτικοποίησης της διαδικασίας πολυκριτηριακής αξιολόγησης κυρίως μέσα από την αναπαράσταση των κριτηρίων τα οποία τις περισσότερες φορές ορίζονται στα πλαίσια συμμετοχικών διαδικασιών και αντανακλούν απόψεις εμπλεκόμενων ομάδων πίεσης (stakeholders) (Joerin et al., 2001). Κάθε κριτήριο για παράδειγμα μπορεί να αναπαρίσταται ως ένα layer (θεματικό επίπεδο) επάνω σε ένα χάρτη (Store and Kangas, 2001).

Οι συνθηέστερες εφαρμογές πολυκριτηριακής αξιολόγησης για τη διαχείριση χωρικών προβλημάτων, σχετίζονται με την αναζήτηση βέλτιστων θέσεων για την ανάπτυξη διαφόρων δραστηριοτήτων. Στο πλαίσιο αυτό, προτάθηκε από τον Mourmouris (2006) μία μεθοδολογική προσέγγιση για την αξιολόγηση εναλλακτικών θέσεων / χώρων διάθεσης απορριμάτων (Mourmouris, 2006). Ορίστηκαν δύο σύνολα κριτηρίων αξιολόγησης προκειμένου, από τη μία πλευρά να αποκλειστούν θέσεις ακατάλληλες για τη συγκεκριμένη χρήση και από την άλλη πλευρά, να βρεθούν οι βέλτιστες θέσεις για τη χωροθέτηση της εν λόγω δραστηριότητας (Mourmouris, 2006).

Όσον αφορά στην τεχνητή νοημοσύνη, ο ρόλος της στη διαδικασία αξιολόγησης εντοπίζεται κατά βάση στην αποτελεσματικότερη διαχείριση του μεγάλου όγκου δεδομένων που απαιτούνται για τη δόμηση και την επίλυση προβλημάτων πολυκριτηριακής αξιολόγησης, στη διαχείριση ποιοτικής πληροφορίας, στη δόμηση αναβαθμισμένων συστημάτων λήψης αποφάσεων καθώς και στην ανάπτυξη αποτελεσματικότερων και βελτιστοποιημένων αλγορίθμων (Doumpos and Grigoroudis, 2013). Η τεχνητή νοημοσύνη συνεισφέρει στη διαχείριση της «λεκτικής ανάλυσης της απόφασης» στη βάση πολυκριτηρίων καθώς επίσης και στη βάση εκφρασμένων απόψεων από ομάδες πίεσης που εμπλέκονται στη διαδικασία λήψης αποφάσεων (Herrera and Herrera-Viedma, 2000). Αξιοποιώντας τις δυνατότητες που προσφέρει, γίνεται μία προσπάθεια γεφύρωσης του ανθρώπινου συλλογισμού με την υπολογιστική λογική ούτως ώστε ο υπολογιστής να σκέφτεται και να συνάγει συμπεράσματα μέσα από την υιοθέτηση μοντέλων που προσομοιώνουν τις λειτουργίες του ανθρώπινου εγκεφάλου (Herrera et al., 2009).

Σε αρκετές περιπτώσεις, η εφαρμογή της ασαφούς λογικής σε προβλήματα πολυκριτηριακής αξιολόγησης εξυπηρετεί την έκφραση των επιδόσεων των

εναλλακτικών ως προς τα κριτήρια αξιολόγησης με τη βοήθεια «ασαφών τιμών» (Mesiar and Vavriková, 2010). Δεδομένου δε ότι η γνώση των ειδικών γύρω από τα κριτήρια και τις αντίστοιχες επιδόσεις των εναλλακτικών εκφράζεται στη βάση «ασαφών τιμών», υφίσταται ανάγκη μοντελοποίησης της ποιοτικής πληροφορίας (Martinez et al., 2006). Ουσιαστικά, η ασαφής λογική προσφέρει τη δυνατότητα αποτελεσματικότερης διαχείρισης ποιοτικών δεδομένων στο πλαίσιο της πολυκριτηριακής αξιολόγησης (Karami and Guo, 2012).

Εκτενέστερη αναφορά σχετικά με τον ρόλο της τεχνητής νοημοσύνης στη διαδικασία αξιολόγησης και τη λήψη αποφάσεων με την υποστήριξη των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών, αναπτύσσεται σε επόμενα κεφάλαια της διατριβής.

3.3. Μέθοδοι Αξιολόγησης

Στην ενότητα αυτή γίνεται μία συνοπτική περιγραφή των κύριων και δημοφιλέστερων μεθόδων αξιολόγησης. Αρχικά, παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά της ανάλυσης κόστους-οφέλους και στη συνέχεια, ακολουθεί η περιγραφή ορισμένων μεθόδων πολυκριτηριακής αξιολόγησης. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην αποσαφήνιση της διαδικασίας της πολυκριτηριακής αξιολόγησης δεδομένου ότι αποτελεί κεντρική έννοια στο πλαίσιο ανάπτυξης του ΣΣΑ FAIDRA. Επιπλέον, παρουσιάζονται τα επιμέρους στάδια μέσα από τα οποία ολοκληρώνεται η πολυκριτηριακή αξιολόγηση.

Οι μέθοδοι πολυκριτηριακής αξιολόγησης αναπτύχθηκαν και συνεχίζουν να εξελίσσονται, προκειμένου να υποστηρίξουν τη διαδικασία λήψης αποφάσεων σε διάφορες εφαρμογές οι οποίες εξυπηρετούν ανάγκες διαφορετικών επιστημονικών πεδίων (Velasquez and Hester, 2013).

Παρά το γεγονός ότι τα πρώτα βήματα ανάπτυξης των μεθόδων πολυκριτηριακής αξιολόγησης είχαν ήδη αρχίσει να γίνονται από τη δεκαετία του 1960, η εξέλιξη της τεχνολογίας και των μαθηματικών μοντέλων επέτρεψε τα τελευταία χρόνια τη βελτιστοποίηση αρκετών μεθόδων αξιολόγησης προκειμένου να εξυπηρετούν μεγαλύτερο φάσμα αναγκών. Έτσι, η πολυκριτηριακή αξιολόγηση συνιστά σήμερα ένα υποστηρικτικό εργαλείο για τη λήψη αποφάσεων σε διάφορους

τομείς καθώς, συστηματοποιεί τη διαδικασία και παρέχει ένα σαφές μεθοδολογικό πλαίσιο που «καθοδηγεί» με σαφήνεια την υλοποίησή της.

Από την άλλη πλευρά, η έρευνα εστιάζει στον περιορισμό της υποκειμενικότητας που χαρακτηρίζει κάθε διαδικασία αξιολόγησης, στην ενσωμάτωση μαθηματικών μοντέλων για τη διαχείριση της ποιοτικής πληροφορίας, στην ενίσχυση της συμμετοχικής διάστασης της αξιολόγησης, στη διαχείριση κρίσεων που διατυπώνονται από ειδικούς καθώς και στην προσομοίωση / μοντελοποίηση του τρόπου υλοποίησης συλλογισμών κατά τη διαδικασία λήψης αποφάσεων από τον ανθρώπινο εγκέφαλο.

3.3.1. Ανάλυση Κόστους-Οφέλους

Η Ανάλυση Κόστους-Οφέλους εφαρμόζεται προκειμένου να διερευνηθεί η οικονομική αποτελεσματικότητα ενός έργου και να εκτιμηθούν τα οικονομικά οφέλη που η περάτωσή του δύναται να επιφέρει. Ουσιαστικά, με την Ανάλυση Κόστους-Οφέλους, επιδιώκεται η εκτίμηση της αποδοτικότητας του εκάστοτε έργου καθώς επίσης και η σύγκριση του αναμενόμενου κόστους-οφέλους, προκειμένου να ληφθεί απόφαση για την υλοποίηση ή μη του προτεινόμενου έργου.

Ο βασικός κανόνας της Ανάλυσης Κόστους-Οφέλους είναι πολύ απλός και συμπυκνώνεται στην έκφραση: Η υλοποίηση της λύσης που εξετάζεται, αποφασίζεται εάν τα οφέλη της ξεπερνούν τα συνεπαγόμενα από την υλοποίησή της κόστη ([Lichfield, 1964](#); [Layard and Glaister, 1994](#); [OECD, 2006](#)). Συνεπώς, η οικονομική αποτίμηση των ωφελειών ενός σχεδιαζόμενου έργου ή προγράμματος και ο υπολογισμός του κόστους του παρέχουν το σύνολο της σχετικής πληροφορίας που απαιτείται, εκφρασμένης σε οικονομικούς όρους, έτσι ώστε τα κέντρα λήψης αποφάσεων να είναι σε θέση να τεκμηριώσουν περαιτέρω τις επιλογές τους ([Mishan and Quah, 2007](#)).

Η εφαρμογή της Ανάλυσης Κόστους-Οφέλους προϋποθέτει τη «μετάφραση» όλων των παραμέτρων που πρέπει να συνεκτιμηθούν σε χρηματικούς όρους, προκειμένου να αξιολογηθεί το εκάστοτε σχεδιαζόμενο έργο ή πρόγραμμα ([De Brucker et al., 2013](#)).

Σε επίπεδο επιχείρησης, οι παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη κατά τη διαδικασία μίας Ανάλυσης Κόστους-Οφέλους αφορούν μόνο ιδιωτικά κόστη και

οφέλη ενώ η διαφορά τους ανάγεται στη βάση των κερδών της επιχείρησης (Brent, 2006).

Σε ένα ευρύτερο επίπεδο εφαρμογής της, η Ανάλυση Κόστους-Οφέλους περιλαμβάνει εκτός των οικονομικών και κοινωνικές ή περιβαλλοντικές παραμέτρους που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τη διαδικασία της αξιολόγησης. Στην περίπτωση αυτή, πέρα από τα ιδιωτικά, λαμβάνονται υπόψη κόστη και οφέλη που αφορούν στο κοινωνικό σύνολο και το επηρεάζουν είτε άμεσα είτε έμμεσα (Brent, 2006).

Η διαδικασία εφαρμογής της Ανάλυσης Κόστους-Οφέλους ολοκληρώνεται μέσα από ορισμένα διακριτά στάδια, η φιλοσοφία των οποίων παραμένει στα βασικά σημεία της η ίδια τόσο στις παλαιότερες όσο και στις πιο σύγχρονες προσεγγίσεις.

Τα στάδια αυτά περιλαμβάνουν (Hanley and Spash, 1993):

- Τον ορισμό και τη σαφή περιγραφή του έργου που πρόκειται να αξιολογηθεί,
- τον προσδιορισμό των επιπτώσεων που πρόκειται να επιφέρει η υλοποίηση του έργου,
- την αναγωγή των επιπτώσεων στη βάση του οικονομικού κόστους και οφέλους,
- την ποσοτικοποίηση των επιπτώσεων,
- τη «μετάφραση» των εκτιμώμενων επιπτώσεων σε χρηματικούς όρους,
- την προεξόφληση του κόστους και του οφέλους, και
- τη διεξαγωγή μίας ανάλυσης ευαισθησίας, προκειμένου να εκτιμηθούν οι συνέπειες που δύνανται να επιφέρουν στην τελική προτεινόμενη λύση πιθανές αλλαγές των παραμέτρων του προβλήματος.

Τα ίδια βήματα, σε μία πιο σύγχρονη προσέγγιση περιγράφονται ως ακολούθως (Australian Government – Civil Aviation Safety Authority, 2015; University of Victoria, 2015):

- Προσδιορισμός των στόχων και του σκοπού που θα εξυπηρετεί το προτεινόμενο σχέδιο / έργο / πρόγραμμα,
- ορισμός «χαρτοφυλακίου» εναλλακτικών επιλογών,
- εκτίμηση του κόστους και του οφέλους (υπολογισμός επιπτώσεων του προτεινόμενου έργου),
- έκφραση του συνόλου των επιπτώσεων με τη βοήθεια χρηματικών όρων,

- υπολογισμός των κριτηρίων (NPV¹, IRR², κ.λπ.) στη βάση των οποίων θα ληφθεί η τελική απόφαση,
- υλοποίηση ανάλυσης ευαισθησίας (εκτίμηση ρίσκου και αβεβαιότητας σε περίπτωση που κάποια παράμετρος διαφοροποιηθεί) και,
- λήψη απόφασης για υλοποίηση ή μη του προτεινόμενου έργου.

Κατά τη διεξαγωγή μίας Ανάλυσης Κόστους-Οφέλους, τα κριτήρια που λαμβάνονται υπόψη είναι οικονομικής φύσεως και η λύση ή οι λύσεις που εξετάζονται, αξιολογούνται στη βάση των κριτηρίων αυτών. Αυτό που ουσιαστικά αποτιμάται από την Ανάλυση Κόστους-Οφέλους, είναι η οικονομική αποδοτικότητα των προτεινόμενων έργων / προγραμμάτων.

Ωστόσο, όταν στη διαδικασία αξιολόγησης κρίνεται σκόπιμο να συμπεριληφθούν πολλαπλά και διαφορετικής φύσεως κριτήρια (οικονομικά, κοινωνικά, περιβαλλοντικά, κ.λπ.) στη βάση των οποίων αξιολογούνται σενάρια ή εναλλακτικές λύσεις, ο τύπος αξιολόγησης που εφαρμόζεται είναι η πολυκριτηριακή αξιολόγηση. Τα πολλαπλά κριτήρια απορρέουν από τους στόχους που τίθενται αρχικά και αντανακλούν πολλαπλές οπτικές (οικονομική, κοινωνική, περιβαλλοντική, κ.λπ.) του προβλήματος που εξετάζεται.

Ειδικότερα στις περιπτώσεις προβλημάτων σχεδιασμού του χώρου και ανάλυσης ζητημάτων που αφορούν σε σύνθετα χωρικά συστήματα, η πολυκριτηριακή αξιολόγηση συνιστά το μεθοδολογικό πλαίσιο που παρέχει τη δυνατότητα πολύπλευρης ανάλυσης και διαχείρισης των εν λόγω προβλημάτων. Παράλληλα και σε αντίθεση με την Ανάλυση Κόστους-Οφέλους, καθίσταται δυνατή η διαχείριση εκτός των ποσοτικών και ποιοτικών δεδομένων.

Στην ενότητα που ακολουθεί, παρουσιάζεται αναλυτικά το πλαίσιο της αξιολόγησης με την υιοθέτηση πολυκριτηρίων καθώς και τα στάδια μέσα από τα οποία ολοκληρώνεται η εν λόγω διαδικασία.

¹ NPV-Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ): Το άθροισμα των παρούσων αξιών των εισερχόμενων και εξερχόμενων ταμειακών ροών κατά τη διάρκεια μίας χρονικής περιόδου. Μετράει το πλεόνασμα ή την έλλειψη ταμειακών ροών, σε όρους παρούσας αξίας, σε σχέση με το κόστος κεφαλαίων που χρησιμοποιήθηκαν για μία επένδυση (online Ευρετήριο Οικονομικών Όρων).

² IRR-Προεξοφλητικό Επιτόκιο: Είναι το επιτόκιο που η Κεντρική Τράπεζα χρεώνει τις τράπεζες για δάνεια. Μία αύξηση του προεξοφλητικού επιτοκίου μειώνει την προσφορά χρήματος. Μία μείωση του προεξοφλητικού επιτοκίου αυξάνει την προσφορά χρήματος (online Ευρετήριο Οικονομικών Όρων).

3.3.2. Πολυκριτηριακή Αξιολόγηση

Η επίλυση προβλημάτων που εντοπίζονται στα σύγχρονα χωρικά συστήματα, συνιστά στην πλειοψηφία των περιπτώσεων μία αρκετά σύνθετη διαδικασία λόγω του αριθμού και της ετερογένειας των παραμέτρων που υπεισέρχονται τόσο κατά την προσπάθεια εντοπισμού των αιτιών που προκαλούν το πρόβλημα και των στοιχείων που το συνθέτουν, όσο και κατά τη διαδικασία αναζήτησης λύσεων. Ως εκ τούτου, γεννώνται ερωτήματα σχετικά με τον τρόπο διαχείρισης του παραπάνω ζητήματος προκειμένου το αποτέλεσμα της διαδικασίας λήψης αποφάσεων για την επίλυση του εκάστοτε προβλήματος να ενσωματώνει μία λύση εφικτή, αποτελεσματική και πλήρως τεκμηριωμένη.

Η διαδικασία λήψης αποφάσεων ενέχει το στοιχείο της αβεβαιότητας και της πολυπλοκότητας σε πολύ υψηλό βαθμό (Montibeller and Franco, 2010), ειδικά στις περιπτώσεις όπου απαιτείται η σύνθεση στρατηγικών επιλογών και η χάραξη πολιτικής που αφορά σε μακροπρόθεσμο χρονικό ορίζοντα. Η δόμηση εναλλακτικών λύσεων ή σεναρίων συνιστά εν προκειμένω ένα ιδιαίτερα αποτελεσματικό εργαλείο διαχείρισης της αβεβαιότητας, ενισχύοντας παράλληλα τη δημιουργική διάσταση της διαδικασίας αναζήτησης και συγκρότησης εναλλακτικών στρατηγικών επιλογών (Montibeller and Franco, 2010). Στο πλαίσιο αυτό, η πολυκριτηριακή αξιολόγηση αποτελεί ένα εργαλείο εκτίμησης των επιπτώσεων των προτεινόμενων εναλλακτικών λύσεων / σεναρίων στη βάση ενός αριθμού κριτηρίων αξιολόγησης. Στόχος είναι είτε ο εντοπισμός της καλύτερης ή των καλύτερων εναλλακτικών, είτε η ιεράρχηση των εναλλακτικών, είτε η ταξινόμησή τους σε προκαθορισμένα σύνολα προτίμησης, είτε τέλος ο προσδιορισμός των βασικών χαρακτηριστικών τους και η σαφέστερη περιγραφή τους στη βάση των χαρακτηριστικών αυτών (Zopounidis and Doumpos, 2002).

Τα βασικά πλεονεκτήματα της πολυκριτηριακής αξιολόγησης εντοπίζονται (Voogd, 1982):

- Στις δυνατότητες που το τεχνικό της πλαίσιο παρέχει για μεγαλύτερη εμβάθυνση στο εκάστοτε υπό μελέτη πρόβλημα και τις παραμέτρους του,
- στη δυνατότητα ενσωμάτωσης διαφορετικών απόψεων από συμμετέχοντες ειδικούς («άνοιγμα» της διαδικασίας),

- στη σταδιακή μείωση του αρχικού όγκου πληροφορίας (επεξεργασία και ανατροφοδότηση των επιμέρους σταδίων προς την κατεύθυνση της τελικής επιλογής) και,
- στη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων.

Επιπλέον, επειδή η πολυκριτηριακή αξιολόγηση μπορεί να αποτελέσει στις περισσότερες των περιπτώσεων μία διαδικασία συμμετοχική, παρέχεται η δυνατότητα σε κάθε συντελεστή που συμμετέχει, να προτείνει τα κριτήρια εκείνα που ο ίδιος θεωρεί σημαντικά και να τα θέσει στην κρίση των υπολοίπων συμμετεχόντων. Με τον τρόπο αυτό ενσωματώνονται στη διαδικασία αξιολόγησης οι διαφορετικές οπτικές και τα διαφορετικά συστήματα αξιών των συμμετεχόντων ενώ η διαδικασία στο σύνολό της αντικειμενικοποιείται (Roy, 2005). Παράλληλα, λαμβάνονται ταυτόχρονα υπόψη κριτήρια, οι επιπτώσεις των οποίων μετρώνται σε διαφορετικές μεταξύ τους κλίμακες μέτρησης (ποιοτικές και ποσοτικές), σε αντίθεση με την περίπτωση της μονο-κριτηριακής λήψης αποφάσεων όπου οι επιπτώσεις των κριτηρίων εκφράζονται σε μία ενιαία / κοινή κλίμακα μέτρησης (Roy, 2005). Παρέχεται έτσι η δυνατότητα συμπερίληψης στη διαδικασία αξιολόγησης ενός μεγαλύτερου αριθμού παραμέτρων στη βάση των οποίων θα πρέπει να αξιολογηθούν οι προτεινόμενες εναλλακτικές (Roy, 2005).

Συνεπώς, η πολυκριτηριακή αξιολόγηση συνιστά ένα αποτελεσματικό μοντέλο διαχείρισης σύγχρονων χωρικών προβλημάτων που αφορούν σε σύνθετα και δυναμικά χωρικά συστήματα.

Ορισμένοι βασικοί λόγοι εφαρμογής της πολυκριτηριακής αξιολόγησης στη διαδικασία αναζήτησης λύσεων και λήψης αποφάσεων είναι οι ακόλουθοι (Nijkamp et al., 1990):

- Η συμπερίληψη μη μετρήσιμων, με όρους Ανάλυσης Κόστους-Οφέλους, επιπτώσεων (πολυδιάστατη φύση των δεδομένων που εμπλέκονται στα προβλήματα του σχεδιασμού),
- η ανάγκη διαχείρισης πιθανών «συγκρούσεων» μεταξύ των εμπλεκόμενων στη διαδικασία λήψης αποφάσεων και επηρεαζόμενων από αυτή μερών,
- η τάση για συστηματικοποίηση της διαδικασίας λήψης αποφάσεων, και
- η αναζήτηση ευρύτερα αποδεκτών λύσεων σε προβλήματα σχεδιασμού του χώρου.

Στη διάθεση των επιστημόνων και των ειδικών που καλούνται να διαχειριστούν προβλήματα η επίλυση των οποίων ανάγεται στη δόμηση και εκτίμηση των επιπτώσεων ενός συνόλου εναλλακτικών λύσεων, υπάρχει ένα πλήθος μεθόδων πολυκριτηριακής αξιολόγησης που υποστηρίζουν τη διαδικασία δόμησης του προβλήματος και αναζήτησης λύσης.

Ανάλογα με τη φύση του εκάστοτε προβλήματος, τη φύση των δεδομένων και τον βαθμό αβεβαιότητας που ενέχει το υπό μελέτη πρόβλημα (San Cristóbal, 2012), επιλέγεται η μέθοδος εκείνη η οποία προσαρμόζεται καλύτερα στις ανάγκες του συγκεκριμένου προβλήματος, παρέχοντας το μεθοδολογικό πλαίσιο που υποστηρίζει ανά περίπτωση τη διαδικασία λήψης αποφάσεων.

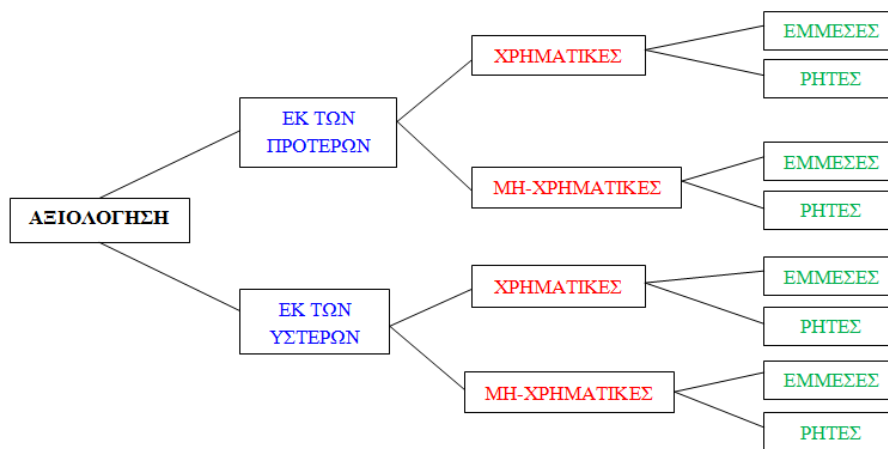
Παράλληλα, η επιλογή της πλέον κατάλληλης μεθόδου πολυκριτηριακής αξιολόγησης καθορίζεται από τον στόχο που αρχικά τίθεται, το αποτέλεσμα στο οποίο πρόκειται να καταλήξει η αξιολόγηση, τη συμμετοχή ή όχι ειδικών ή stakeholders στη διαδικασία καθώς και από τον τρόπο που το κάθε μοντέλο πολυκριτηριακής αξιολόγησης διαχειρίζεται τα δεδομένα με στόχο την εξεύρεση της πλέον αποτελεσματικής λύσης.

Μία γενική κατηγοριοποίηση των μεθόδων αξιολόγησης που προτάθηκε από τους Nijkamp et al. το 1990, τις διακρίνει ως εξής (Σχήμα 3-4) (Nijkamp et al., 1990):

- Αναφορικά με τη *χρονική στιγμή* που υλοποιείται η αξιολόγηση, σε «*εκ των προτέρων*» (*ex ante*) μεθόδους οι οποίες εστιάζουν στην εκτίμηση επιπτώσεων από πολιτικές και σχέδια που πρόκειται να υλοποιηθούν και σε «*εκ των υστέρων*» (*ex post*) μεθόδους οι οποίες εστιάζουν στην εκτίμηση επιπτώσεων πολιτικών ή σχεδίων ήδη υλοποιημένων.
- Αναφορικά με τις *μονάδες μέτρησης* που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση επιπτώσεων εναλλακτικών, διακρίνονται σε «*χρηματικές*» μεθόδους αξιολόγησης οι οποίες μετρούν τις επιπτώσεις αποκλειστικά σε χρηματικούς όρους και σε «*μη χρηματικές*» μεθόδους οι οποίες αξιοποιούν ένα ευρύτερο φάσμα κλιμάκων μέτρησης.
- Αναφορικά με το *μοντέλο αξιολόγησης* που υιοθετείται ανά περίπτωση, διακρίνονται σε «*έμμεσες*» μεθόδους αξιολόγησης, οι οποίες εστιάζουν στην αναζήτηση λύσης που θα ικανοποιεί τους εμπλεκόμενους, και σε

«ρητές» μεθόδους αξιολόγησης, οι οποίες εστιάζουν στη ρητή συστηματική ανάλυση των δεδομένων που εμπλέκονται στη διαδικασία.

Οι ίδιοι ερευνητές πρότειναν και μία δεύτερη κατηγοριοποίηση των μεθόδων αξιολόγησης με κριτήριο τον *αριθμό των εναλλακτικών*. Στην περίπτωση αυτή, οι μέθοδοι αξιολόγησης ταξινομούνται σε *Διακριτές Μεθόδους Πολυκριτηριακής Αξιολόγησης* και σε *Μεθόδους Πολυκριτηριακής Αξιολόγησης Πολλαπλών Στόχων* (Nijkamp et al., 1990). Η διαφορά των δύο κατηγοριών εντοπίζεται στο γεγονός ότι, στην πρώτη περίπτωση τίθεται προς αξιολόγηση ένας πεπερασμένος και εξ αρχής ορισμένος αριθμός εναλλακτικών λύσεων ενώ στη δεύτερη περίπτωση, ο αριθμός των εναλλακτικών δεν είναι εξ αρχής καθορισμένος και δεν μπορεί να θεωρηθεί πεπερασμένος. Η Πολυκριτηριακή Αξιολόγηση Πολλαπλών στόχων υλοποιείται με την υποστήριξη ενός μοντέλου που επεξεργάζεται ορισμένες μεταβλητές στη βάση περιορισμών και στόχων που τίθενται αρχικά, με τελικό στόχο τη μεγιστοποίηση ή ελαχιστοποίηση μίας αντικειμενικής συνάρτησης (π.χ. πολύστοχος προγραμματισμός).



Σχήμα 3-4: Γενική διάκριση μεθόδων αξιολόγησης
Πηγή: Nijkamp et al., 1990

Ανάλογα με το είδος της πληροφορίας που διαχειρίζονται, οι μέθοδοι πολυκριτηριακής αξιολόγησης διακρίνονται περαιτέρω σε ποσοτικές (διαχείριση μόνο ποσοτικής πληροφορίας), ποιοτικές (διαχείριση μόνο ποιοτικής πληροφορίας) ή μεικτές (ταυτόχρονη διαχείριση ποσοτικής και ποιοτικής πληροφορίας) (Nijkamp et al., 1990). Στη βάση του ίδιου κριτηρίου (τύπος πληροφορίας) διακρίνονται επίσης σε ντετερμινιστικές, σε μεθόδους που αξιοποιούν στοχαστικά μοντέλα, σε μεθόδους

που αξιοποιούν τα πλεονεκτήματα της ασαφούς λογικής και σε μεθόδους πολυκριτηριακής αξιολόγησης που συνιστούν συνδυασμό των παραπάνω (Triantaphyllou et al., 1998; Triantaphyllou, 2000).

Σύμφωνα με μία άλλη προτεινόμενη ταξινόμηση, οι μέθοδοι πολυκριτηριακής αξιολόγησης ομαδοποιούνται στις *στοιχειώδεις μεθόδους* (μέθοδος σταθμικής άθροισης, λεξικογραφική μέθοδος, κ.α.), στις *μεθόδους σύνθεσης των κριτηρίων σε ένα κριτήριο* (TOPSIS, MAVT, AHP, κ.α.), στις *μεθόδους υπεροχής* (ELECTRE, PROMETHEE, κ.α.) και στις *μεικτές μεθόδους* (QUALIFLEX, Fuzzy methods, κ.α.) (Guitouni and Martel, 1997; Bartolini et al., 2005).

Οι Carlsson και Fullér ταξινομούν τις μεθόδους αξιολόγησης σε τέσσερις ευρείες και διακριτές «οικογένειες», τις *μεθόδους υπεροχής* ως προς τον βαθμό σπουδαιότητας της κάθε εναλλακτικής, τις μεθόδους που βασίζονται στη θεωρία της αξίας και της χρησιμότητας, τις *μεθόδους πολύστοχου προγραμματισμού* και τις *συμμετοχικές μεθόδους* που αξιοποιούν τη θεωρία της ομαδικής απόφασης (Carlsson and Fullér, 1996; Zavadskas and Turskis, 2011).

Μία τελευταία ταξινόμηση των μεθόδων πολυκριτηριακής αξιολόγησης που προτείνεται, τις κατηγοροποιεί σε τρεις ευρύτερες ομάδες οι οποίες είναι: οι μέθοδοι που βασίζονται στη *θεωρία πολλαπλών χαρακτηριστικών / ιδιοτήτων* (multiple attribute theory), οι *μέθοδοι υπεροχής* και οι *μέθοδοι αλληλεπίδρασης* (Zardari et al., 2015). Οι παραπάνω κατηγορίες μεθόδων αντιστοιχούν σε τρεις προσεγγίσεις όπως τις όρισε ο Roy το 1996 ως ακολούθως: *προσέγγιση σύνθεσης κριτηρίων σε ένα μοναδικό κριτήριο* (unique synthesis criterion approach), *προσέγγιση υπεροχής* και *διαδραστική προσέγγιση κρίσεων* που διατυπώνονται από τους συμμετέχοντες (interactive local judgment approach) (Roy, 1996; Schramm and Morais, 2012; Zardari et al., 2015).

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ανάλογα με τη μελέτη περίπτωσης, επιλέγεται εκείνη η μέθοδος πολυκριτηριακής αξιολόγησης που προσαρμόζεται καλύτερα στις ανάγκες του εκάστοτε προβλήματος. Ωστόσο, παρά το γεγονός ότι τα μοντέλα πολυκριτηριακής ανάλυσης που ενσωματώνουν οι διάφορες μέθοδοι διαφοροποιούνται σημαντικά, τόσο ως προς τον τρόπο επεξεργασίας των δεδομένων όσο και ως προς τον τύπο του τελικού αποτελέσματος που προκύπτει, τα βασικά βήματα εφαρμογής της πολυκριτηριακής ανάλυσης παραμένουν σε κάθε περίπτωση τα ίδια. Στην ενότητα που ακολουθεί, περιγράφονται αναλυτικά τα επιμέρους στάδια μέσα από τα οποία ολοκληρώνεται μία διαδικασία πολυκριτηριακής αξιολόγησης

κατευθύνοντας τα κέντρα λήψης αποφάσεων στην επιλογή της κατά το δυνατό βέλτιστης εναλλακτικής λύσης.

3.3.3. Διαδικασία Πολυκριτηριακής Αξιολόγησης

Το παρόν εδάφιο αφορά στην παρουσίαση των επιμέρους σταδίων της διαδικασίας πολυκριτηριακής αξιολόγησης και στην περιγραφή καθενός από αυτά, σύμφωνα με τα όσα προκύπτουν από τη μελέτη της σχετικής με το αντικείμενο βιβλιογραφίας.

Η διαδικασία της πολυκριτηριακής αξιολόγησης ολοκληρώνεται μέσα από την εφαρμογή μίας σειράς διακριτών βημάτων τα οποία είναι κατά βάση τα ίδια για όλες τις μεθόδους πολυκριτηριακής ανάλυσης ενώ, εφαρμόζονται κατά κανόνα με την ίδια αλληλουχία. Ο στόχος είναι η αναζήτηση μίας λύσης που ανταποκρίνεται όσο το δυνατόν καλύτερα στις απαιτήσεις του προβλήματος που κάθε φορά εξετάζεται.

Τα στάδια εφαρμογής μίας διαδικασίας πολυκριτηριακής αξιολόγησης είναι κατά κανόνα τα ακόλουθα (Voogd, 1982; Nijkamp et al., 1990; Bartolini et al., 2005; Hajkowicz, 2008; Zavadskas and Turskis, 2011):

- *Ορισμός του πλαισίου απόφασης.* Καθορισμός του προβλήματος, των στόχων, των παραμέτρων και μεταβλητών του υπό μελέτη συστήματος, καθώς και των βασικών παικτών (key players / stakeholders) που με τον ένα ή τον άλλο τρόπο δύνανται να εμπλακούν στη διαδικασία λήψης αποφάσεων και να επηρεάσουν το αποτέλεσμα της αξιολόγησης.
- *Ορισμός εναλλακτικών λύσεων / σεναρίων.* Καθορισμός πιθανών, επιθυμητών, ορθολογικών και ρεαλιστικών εναλλακτικών επιλογών. Οι εναλλακτικές αντικατοπτρίζουν διαφορετικούς τρόπους προσέγγισης και επίλυσης του υπό μελέτη προβλήματος.
- *Ορισμός κριτηρίων* στη βάση των οποίων πρόκειται να αξιολογηθούν οι εναλλακτικές. Τα κριτήρια αντανakλούν τις οπτικές των στόχων που έχουν αρχικά τεθεί, απορρέουν από τους στόχους και τους υποστόχους, εκφράζουν διαφορετικούς τρόπους που οι εναλλακτικές ικανοποιούν τους στόχους και διαφορετικά συστήματα αξιών των ειδικών, των κέντρων λήψης αποφάσεων και των stakeholders που συμμετέχουν στη διαδικασία αξιολόγησης. Εάν τα κριτήρια ενσωματώνουν διαφορετικό

βαθμό σημαντικότητας, τότε αποδίδονται σε αυτά προτεραιότητες (ποιοτική ιεράρχηση των κριτηρίων) ή βάρη (ποσοτική ιεράρχηση των κριτηρίων).

- *Ανάλυση επιπτώσεων των εναλλακτικών* ως προς τα κριτήρια αξιολόγησης. Ορισμός δηλαδή της επίδοσης (score) κάθε εναλλακτικής ως προς κάθε κριτήριο και δόμηση του πίνακα επιπτώσεων. Στην περίπτωση που οι επιδόσεις μετρώνται σε διαφορετικές κλίμακες μέτρησης, ακολουθεί η διαδικασία κανονικοποίησής τους προκειμένου να αναχθούν σε μία ενιαία κλίμακα μέτρησης.
- *Έλεγχος της ορθότητας, ανάλυση και ερμηνεία του τελικού αποτελέσματος.* Ο πιο δημοφιλής έλεγχος που εφαρμόζεται σε ένα πλήθος εφαρμογών πολυκριτηριακής αξιολόγησης, είναι η διεξαγωγή της Ανάλυσης Ευαισθησίας προκειμένου να διαπιστωθεί ο βαθμός στον οποίο δύναται μία πιθανή αλλαγή στα δεδομένα του προβλήματος – πρόσθεση ή αφαίρεση ενός κριτηρίου ή μίας εναλλακτικής, μεταβολή μίας ή περισσότερων επιδόσεων, κ.λπ. – να επηρεάσει το τελικό αποτέλεσμα.
- *Εξαγωγή συμπερασμάτων.* Σχολιασμός και συνολική εκτίμηση των αποτελεσμάτων της πολυκριτηριακής αξιολόγησης και λήψη της τελικής απόφασης / επιλογής.

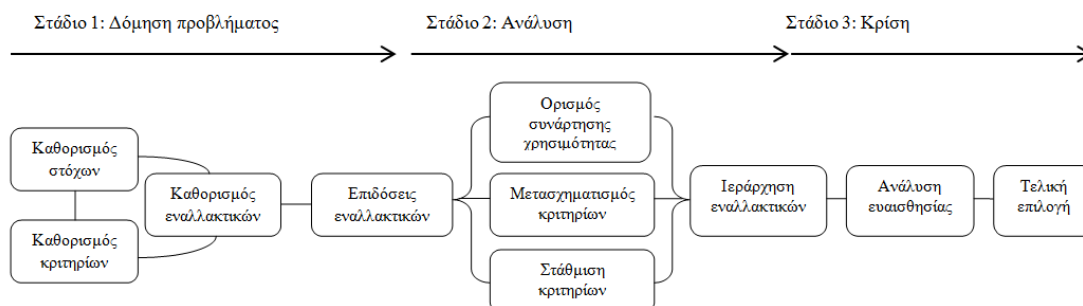
Οι Zavadskas και Turskis προσθέτουν ως ξεχωριστό βήμα της παραπάνω διαδικασίας, την επιλογή της μεθόδου πολυκριτηριακής αξιολόγησης που προσαρμόζεται καλύτερα ανά περίπτωση (Hajkowicz, 2008; Zavadskas and Turskis, 2011).

Στο σχήμα που παρουσιάζεται στη συνέχεια (Σχήμα 3-5), τα βήματα της διαδικασίας που παρουσιάστηκαν παραπάνω εντάσσονται σε τρεις ευρύτερες κατηγορίες σταδίων εξέλιξης της διαδικασίας πολυκριτηριακής αξιολόγησης που περιλαμβάνουν (Hajkowicz, 2008):

- *το στάδιο της δόμησης* του προβλήματος (ορισμός στόχων, εναλλακτικών, κριτηρίων και επιδόσεων των εναλλακτικών),
- *το στάδιο της ανάλυσης* (ορισμός «συνάρτησης χρησιμότητας», κανονικοποίηση, απόδοση βαρών στα κριτήρια, εξαγωγή τελικών

επιδόσεων και ιεράρχηση των εναλλακτικών, ανάλυση ευαισθησίας),
και

- το στάδιο της κρίσης (τελική επιλογή).



Σχήμα 3-5: Η διαδικασία της πολυκριτηριακής ανάλυσης
Πηγή: Hajkowicz, 2008 (προσαρμοσμένο από Hajkowicz, 2003)

Το στάδιο ορισμού του προβλήματος είναι καθοριστικής σημασίας (Belton and Stewart, 2010) για την περαιτέρω ορθή εξέλιξη της διαδικασίας αξιολόγησης καθώς, περιλαμβάνει τον ορισμό των βασικών «συστατικών» και των δεδομένων που πρόκειται να αξιοποιηθούν από τον αλγόριθμο εφαρμογής της αντίστοιχης μεθόδου αξιολόγησης, προκειμένου να ολοκληρωθεί η διαδικασία και να εξαχθεί το τελικό αποτέλεσμα.

Οι εναλλακτικές που προτείνονται, θα πρέπει να ενσωματώνουν όλες τις διαστάσεις του προβλήματος που εξετάζεται, να πληρούν τις προϋποθέσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω (πιθανές να συμβούν, εύλογες, κ.λπ.) και να είναι συνεκτικές.

Τα κριτήρια αξιολόγησης αντανακλούν τις διαφορετικές οπτικές των στόχων, ορίζονται στη βάση αυτών και συνιστούν τα συστατικά εκείνα μέρη της διαδικασίας με τη βοήθεια των οποίων εκτιμάται η αποδοτικότητα των εναλλακτικών ως προς τους στόχους που πρέπει να επιτευχθούν. Τα «κριτήρια απόφασης», όπως τα χαρακτηρίζει ο Zeleny, είναι κανόνες, μέτρα και πρότυπα που καθοδηγούν τη διαδικασία λήψης αποφάσεων (Zeleny, 1977; Zeleny 1982). Μέσω των κριτηρίων, αξιολογούνται οι διάφορες διαστάσεις των εναλλακτικών και απαντώνται ερωτήματα που αφορούν στη χρησιμότητα των εναλλακτικών, στη δυνατότητα υλοποίησής τους, στον βαθμό στον οποίο είναι ρεαλιστικές, στο κατά πόσο ικανοποιούν τις ελάχιστες δυνατές προϋποθέσεις που τίθενται μέσω των κριτηρίων, κ.λπ. (Voogd, 1982). Τα κριτήρια είτε θεωρούνται ισοβαρή, ίσης δηλαδή σημαντικότητας, είτε ανισοβαρή,

οπότε και αποδίδονται σε αυτά βάρη (ποσοτική διαβάθμιση) ή προτεραιότητες (ποιοτική διαβάθμιση) που αντικατοπτρίζουν τη σημαντικότητά τους.

Τα βάρη αντανακλούν συνήθως κρίσεις των policy makers ενώ υπάρχουν διάφορες μέθοδοι απόδοσης βαρών όπως ο *συμψηφισμός*, η *μέθοδος αποτίμησης αξίας*, η *μέθοδος ιεράρχησης* και η *μέθοδος συμπερασματικών παρατηρήσεων* (Nijkamp et al., 1990). Η σύγκριση των κριτηρίων ανά ζεύγη καθώς και η απόδοση βαρών στα κριτήρια, έτσι ώστε το συνολικό τους άθροισμα να είναι 1, 10 ή 100, είναι δύο από τους πλέον δημοφιλείς τρόπους απόδοσης βαρών σε κριτήρια αξιολόγησης.

Οι επιπτώσεις των εναλλακτικών ως προς τα κριτήρια αξιολόγησης μετρώνται με τη βοήθεια είτε ποιοτικών (ονομαστική, τακτική ή ιεραρχική, δυαδική) είτε ποσοτικών [κλίμακα διαστημάτων (interval scale), αναλογική] κλιμάκων (Voogd, 1982). Στην περίπτωση που οι επιπτώσεις μετρώνται σε διαφορετικές μεταξύ τους κλίμακες μέτρησης, απαιτείται κανονικοποίηση των τιμών προκειμένου αυτές να καταστούν συγκρίσιμες μέσω της αναγωγής τους σε μία κοινή κλίμακα μέτρησης (Voogd, 1982). Προφανώς, μία εναλλακτική προτιμάται όταν η αναμενόμενη «χρησιμότητά» της είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τις υπόλοιπες εναλλακτικές με τις οποίες συγκρίνεται στη βάση κοινών κριτηρίων αξιολόγησης (Roy, 1985; Nijkamp and Vindigni, 1998).

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται συνοπτικά μερικές από τις βασικότερες και πιο δημοφιλείς μεθόδους πολυκριτηριακής αξιολόγησης, τα βασικά χαρακτηριστικά τους και τα βήματα μέσα από τα οποία ολοκληρώνεται η διαδικασία εκτίμησης και επιλογής εναλλακτικών λύσεων ανά περίπτωση.

3.3.4. Βασικές Μέθοδοι Πολυκριτηριακής Αξιολόγησης

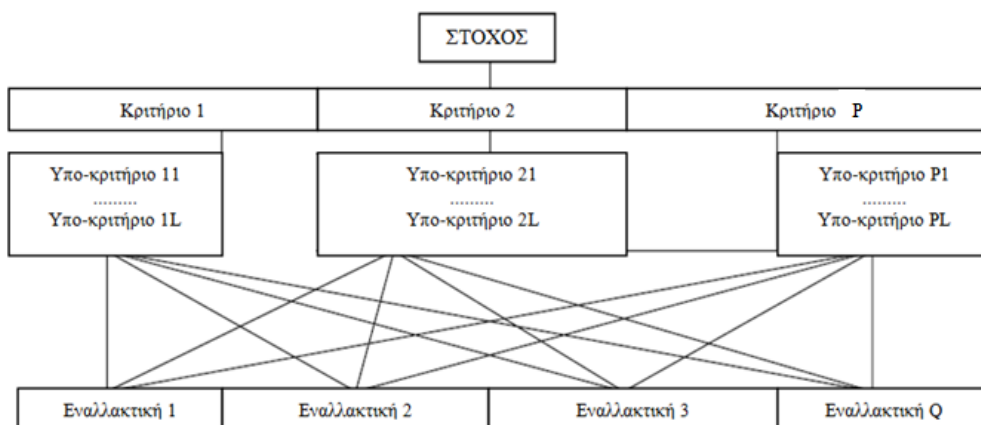
Το εκάστοτε υπό μελέτη πρόβλημα, η φύση των δεδομένων που εμπλέκονται σε μία διαδικασία λήψης αποφάσεων και πολυκριτηριακής αξιολόγησης και ο τύπος του τελικού αποτελέσματος στο οποίο οδηγεί κάθε φορά η διαδικασία, καθορίζουν το μοντέλο και τη μέθοδο αξιολόγησης που θα εφαρμοστεί. Όπως έχει ήδη αναφερθεί σε προηγούμενη ενότητα, υπάρχει ένα πλήθος μεθόδων πολυκριτηριακής αξιολόγησης κάθε μία από τις οποίες προσαρμόζεται καλύτερα στο πρόβλημα που εξετάζεται. Αρκετοί ερευνητές εντάσσουν την επιλογή του καταλληλότερου μοντέλου αξιολόγησης ως ένα ξεχωριστό βήμα της όλης διαδικασίας καθώς, πρόκειται για μία καθοριστική παράμετρο που επηρεάζει τόσο τη διαδικασία

επίλυσης του προβλήματος όσο και την εγκυρότητα της λύσης που πρόκειται να προκύψει. Ορισμένες από τις πιο συχνά εφαρμοζόμενες μεθόδους πολυκριτηριακής αξιολόγησης είναι οι ακόλουθες:

Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία [*Analytic Hierarchy Process (AHP)*]

Η Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία αναπτύχθηκε από τον Saaty κατά τη δεκαετία του 1970. Συνιστά μία μέθοδο πολυκριτηριακής ανάλυσης που υποστηρίζει τη διαδικασία λήψης αποφάσεων, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις πολύπλοκων προβλημάτων, βασικά στοιχεία των οποίων συνιστούν τα πολλαπλά, αντικρουόμενα συνήθως μεταξύ τους και υποκειμενικής φύσεως κριτήρια αξιολόγησης (Ishizaka and Labib, 2011). Είναι μία «θεωρία μέτρησης» που δομείται στη βάση των «ανά ζεύγη συγκρίσεων» και στηρίζεται σε διατυπωμένες κρίσεις ειδικών για τον προσδιορισμό προτεραιοτήτων / βαρών των στοιχείων που συμμετέχουν στη διαδικασία της αξιολόγησης (Saaty, 1994; Saaty, 2008a). Οι συγκρίσεις ανά ζεύγη υλοποιούνται αξιοποιώντας «απόλυτες κρίσεις» ειδικών οι οποίες αφορούν στον βαθμό που ένα χαρακτηριστικό «κυριαρχεί» έναντι κάποιου άλλου (Saaty, 2008a).

Συνοπτικά, η διαδικασία ολοκληρώνεται μέσα από έξι επιμέρους στάδια τα οποία περιλαμβάνουν: *τη δόμηση του προβλήματος* ως μία ιεραρχία (Σχήμα 3-6) ή ως ένα σύστημα «βρόχων αλληλοεξάρτησης» (dependence loops), *τη διατύπωση κρίσεων* ειδικών μέσα από τις ανά ζεύγη συγκρίσεις που υλοποιούνται στο πλαίσιο της διαδικασίας, *την αναπαράσταση των διατυπωμένων κρίσεων* με τη βοήθεια αριθμών που μεταφέρουν ένα συγκεκριμένο νόημα (meaningful numbers), *τον καθορισμό των προτεραιοτήτων / βαρών των στοιχείων* της ιεραρχίας, *τη σύνθεση των επιμέρους αποτελεσμάτων* για την εξαγωγή του τελικού αποτελέσματος και την υλοποίηση μίας *Ανάλυσης Ευαισθησίας* προκειμένου να διαπιστωθεί η αλλαγή που δύναται να επέλθει στο τελικό αποτέλεσμα σε περίπτωση μεταβολής των κρίσεων που διατυπώθηκαν σε προγενέστερο στάδιο (Saaty, 1994).



Σχήμα 3-6: Μοντέλο Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας
 Πηγή: Bhushan and Rai, 2004

Πιο συγκεκριμένα, ο αλγόριθμος εφαρμογής της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα (Saaty, 1994):

- *Δόμηση της ιεραρχίας:* Η διαδικασία ξεκινά με την «ανάλυση» του προβλήματος που εξετάζεται σε επιμέρους τμήματα. Στο πλαίσιο δόμησης της ιεραρχίας, δημιουργούνται επιμέρους επίπεδα που περιλαμβάνουν τα στοιχεία που εμπλέκονται στη διαδικασία της αξιολόγησης. Στο ανώτερο επίπεδο της ιεραρχίας, βρίσκεται ο στόχος στη βάση του οποίου υλοποιούνται οι συγκρίσεις των στοιχείων σε κάθε επόμενο επίπεδο της ιεραρχίας. Στα επόμενα επίπεδα κατανέμονται κατά σειρά τα κριτήρια αξιολόγησης, τα υπο-κριτήρια και οι εναλλακτικές. Τα υπο-κριτήρια συνεισφέρουν στην πλήρη εκτίμηση του κάθε κριτηρίου και ο ρόλος τους είναι επεξηγηματικός.
- *Ανά ζεύγη συγκρίσεις – Απόδοση προτεραιοτήτων / βαρών:* Ακολουθεί το στάδιο των ανά ζεύγη συγκρίσεων των στοιχείων κάθε επιπέδου ως προς τα στοιχεία του αμέσως ανώτερου επιπέδου. Τα κριτήρια αξιολόγησης συγκρίνονται ανά δύο στη βάση του στόχου και εξάγονται οι προτεραιότητες / βάρη καθενός από αυτά καθώς επίσης και ο βαθμός ασυνέπειας των κρίσεων που διατυπώνονται αναφορικά με τη σημαντικότητα κάθε κριτηρίου ως προς τα υπόλοιπα. Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται και για τα στοιχεία που ανήκουν στα χαμηλότερα επίπεδα της ιεραρχίας (υπο-κριτήρια και εναλλακτικές). Ανατίθενται δηλαδή οι προτεραιότητες / βάρη των στοιχείων του επιπέδου ως προς τα στοιχεία – κόμβους του αμέσως υψηλότερου επιπέδου της ιεραρχίας.

Το βάρος που θα ανατεθεί για παράδειγμα σε ένα υπο-κριτήριο έχει άμεση σχέση με το κριτήριο και το βάρος του κριτηρίου που είναι ο «γονεϊκός κόμβος» (parent node) αυτού του υπο-κριτηρίου, ενώ στην περίπτωση των εναλλακτικών, τα βάρη που τους αποδίδονται έχουν άμεση σχέση με τα υπο-κριτήρια που βρίσκονται στο αμέσως ανώτερο από αυτές επίπεδο της ιεραρχίας. Στο πλαίσιο των συγκρίσεων, υιοθετείται μία ποιοτική κλίμακα (κλίμακα Saaty), οι αριθμοί της οποίας αναπαριστούν λεκτικούς όρους και αντανακλούν τη σημαντικότητα ενός στοιχείου έναντι κάποιου άλλου. Η κλίμακα Saaty κυμαίνεται από το 1 έως το 9 και η λεκτική ερμηνεία των αριθμών διαμορφώνεται ως εξής: 1: ίση σημαντικότητα (equal importance), 3: μέτρια / ελαφρά πιο σημαντικό (moderately more), 5: ισχυρά πιο σημαντικό (strongly more), 7: πολύ ισχυρά πιο σημαντικό (very strongly more), 9: εξαιρετικά πιο σημαντικό (extremely more). Οι ενδιάμεσες τιμές (2, 4, 6 και 8) χρησιμοποιούνται όταν η κρίση που διατυπώνεται σχετικά με τη σημαντικότητα ενός κριτηρίου έναντι κάποιου άλλου είναι «συμβιβαστική» μεταξύ δύο βασικών τιμών (π.χ. μεταξύ του 1 και του 3, όπου ανατίθεται η τιμή 2 η οποία σημαίνει «ίση προς μέτρια» σημαντικότητα). Οι συγκρίσεις υλοποιούνται στη βάση της υπάρχουσας γνώσης και εμπειρίας, ενώ λαμβάνεται υπόψη η συνεισφορά των δεδομένων του κάθε επιπέδου στον «γονεϊκό κόμβο» της ιεραρχίας.

- *Σύνθεση και απόδοση προτεραιοτήτων στις εναλλακτικές.* Στο στάδιο αυτό υλοποιείται η σύνθεση των προτεραιοτήτων / βαρών που αποδόθηκαν στα στοιχεία κάθε επιπέδου κατά το προηγούμενο στάδιο, από τα κατώτερα προς τα ανώτερα επίπεδα της ιεραρχίας, προκειμένου να βρεθεί η συνολική προτεραιότητα της κάθε εναλλακτικής.

Η Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία έχει υιοθετηθεί για την επίλυση πολλών και διαφορετικής φύσεως προβλημάτων που αφορούν σε τομείς όπως ο τραπεζικός, ο φαρμακευτικός, τα βιομηχανικά συστήματα, η αξιολόγηση λογισμικού, ο στρατηγικός σχεδιασμός κ.λπ. (Ishizaka and Labib, 2011). Οι τρεις βασικές λειτουργίες της [δόμηση ιεραρχίας, υλοποίηση μετρήσεων σε μία αναλογική κλίμακα (ratio scale) και η σύνθεση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τις συγκρίσεις που υλοποιούνται στα επιμέρους επίπεδα της ιεραρχίας] την καθιστούν ως μέθοδο

κατάλληλη για τη μελέτη πλήθους εφαρμογών. Επιπλέον, προσεγγίζει σε ικανοποιητικό βαθμό καταστάσεις και προβλήματα της καθημερινότητας (Forman and Gass, 2001).

Αναλυτική Δικτυακή Διαδικασία [Analytic Network Process (ANP)]

Η Αναλυτική Δικτυακή Διαδικασία (Analytic Network Process) αναπτύχθηκε από τον Saaty και είναι μία γενίκευση της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας. Στην περίπτωση αυτή, το πρόβλημα δομείται ως δίκτυο χωρίς την ανάγκη να προσδιοριστεί κάποιου είδους ιεραρχία (Saaty, 1999) ενώ, οι προτεραιότητες βαρών και εναλλακτικών ορίζονται και πάλι στη βάση ανά ζεύγη συγκρίσεων που στηρίζονται στη διατύπωση κρίσεων των ειδικών που συμμετέχουν στη διαδικασία αξιολόγησης (Saaty, 2008b). Κυρίαρχη έννοια στη βάση της οποίας γίνονται οι συγκρίσεις στην περίπτωση αυτή είναι η έννοια της επίδρασης (influence) (Saaty, 1999). Η Αναλυτική Δικτυακή Διαδικασία απαιτεί α) τον ορισμό μίας «ιεραρχίας ελέγχου» ή ενός «δικτύου ελέγχου» το οποίο αποτελείται από κριτήρια και υπο-κριτήρια που ελέγχουν τις αλληλεπιδράσεις που αναπτύσσονται μεταξύ των στοιχείων του καθώς και β) τον ορισμό ενός «δικτύου επιδράσεων» (network of influences) μεταξύ ομάδων και στοιχείων που περιλαμβάνονται στις παραπάνω ομάδες (clusters) (Saaty, 1999). Η εφαρμογή της συνίσταται ουσιαστικά στη δόμηση ενός υπερ-πίνακα (supermatrix) επίδρασης για κάθε κριτήριο ελέγχου, ο οποίος λαμβάνει το βάρος του αντίστοιχου κριτηρίου, και στη σύνθεση του συνόλου των κριτηρίων ελέγχου για την εξαγωγή του τελικού αποτελέσματος (Saaty, 1999).

Τα βασικά στάδια μέσα από τα οποία ολοκληρώνεται η Αναλυτική Δικτυακή Διαδικασία είναι τα ακόλουθα (Saaty, 1999; Saaty, 2008b):

- *Περιγραφή του προβλήματος απόφασης*: ορισμός στόχων, κριτηρίων, υπο-κριτηρίων, συντελεστών (actors) και των πιθανών αποτελεσμάτων της απόφασης που πρόκειται να ληφθεί.
- *Ορισμός των «ιεραρχιών ελέγχου» (control hierarchies)* συμπεριλαμβανομένων των κριτηρίων για τη σύγκριση των ομάδων του συστήματος και των υπο-κριτηρίων για τη σύγκριση των στοιχείων του συστήματος. Ορίζονται συνολικά τέσσερις ιεραρχίες, μία για τα οφέλη, μία για τα κόστη, μία για τις ευκαιρίες και μία για τα ρίσκα / κινδύνους.

- Καθορισμός των ομάδων / clusters του συστήματος και των στοιχείων που κάθε ομάδα περιλαμβάνει για κάθε κριτήριο ή υπο-κριτήριο ελέγχου.
- Προσδιορισμός της προσέγγισης που πρόκειται να υιοθετηθεί κατά την ανάλυση της επίδρασης μίας ομάδας / cluster σε ένα άλλο ή ενός στοιχείου σε κάποιο άλλο στη βάση ενός κριτηρίου.
- Δόμηση ενός υπερ-πίνακα για κάθε κριτήριο ελέγχου όπου υλοποιούνται οι ανά ζεύγη συγκρίσεις μεταξύ των ομάδων / clusters.
- Υλοποίηση ανά ζεύγη συγκρίσεων μεταξύ των στοιχείων των ομάδων / clusters: Συγκρίσεις μεταξύ των στοιχείων της ίδιας ομάδας και μεταξύ των στοιχείων διαφορετικών ομάδων. Προσδιορισμός των εσωτερικών και εξωτερικών επιδράσεων αντίστοιχα στη βάση πάντα ενός κριτηρίου.
- Υλοποίηση ανά ζεύγη συγκρίσεων μεταξύ των ομάδων, προσδιορισμός βαρών και δόμηση της στήλης βαρών του στοχαστικού υπερ-πίνακα.
- Κανονικοποίηση τιμών για κάθε ομάδα.
- Υπολογισμός του λόγου $(BO)/(CR)$ [(Benefits-Opportunities)/(Costs-Risks)] για κάθε εναλλακτική και επιλογή της πλέον κατάλληλης εναλλακτικής.
- Υλοποίηση Ανάλυσης Ευαισθησίας.

Στην ANP υφίσταται αλληλεπίδραση και εξάρτηση μεταξύ των στοιχείων του υψηλότερου επιπέδου με αυτά των χαμηλότερων επιπέδων και η σχέση αυτή είναι αμφίδρομη (από επάνω προς τα κάτω και από κάτω προς τα επάνω) (Saaty, 2008b).

✚ Πολυκριτηριακή Θεωρία Χρησιμότητας – Πολυκριτηριακή Θεωρία Αξίας [Multi Attribute Utility Theory (MAUT) – Multi Attribute Value Theory (MAVT)]

Η Πολυκριτηριακή Θεωρία Χρησιμότητας προτάθηκε από τους Keeney και Raiffa και συνιστά μία μέθοδο πολυκριτηριακής ανάλυσης, κατάλληλη για τη δόμηση μοντέλων προτίμησης που διαχειρίζονται συμψηφισμούς αξιών μεταξύ πολλαπλών στόχων και περιπτώσεις προβλημάτων πολυκριτηριακής αξιολόγησης που εμπεριέχουν υψηλό βαθμό πολυπλοκότητας και αβεβαιότητας (Keeney, 1977). Είναι μία μέθοδος ανάλυσης αποφάσεων στη βάση πολλαπλών και ανταγωνιστικών

μεταξύ τους στόχων (Keeney and Raiffa, 1993) που εστιάζει στην αξιοποίηση μίας συνάρτησης, της *συνάρτησης χρησιμότητας*, οι τιμές της οποίας εξαρτώνται από τις επιμέρους τιμές των επιδόσεων των εναλλακτικών ως προς τα κριτήρια αξιολόγησης (Keeney and Raiffa, 1993; Wallenius et al., 2008). Στην περίπτωση αυτή, το κέντρο λήψης αποφάσεων μπορεί να προσδιορίσει τη χρησιμότητα κάθε εναλλακτικής στη βάση ενός αριθμού χαρακτηριστικών καθώς επίσης και να αποδώσει βάρη στα χαρακτηριστικά αυτά ενώ, η συνολική χρησιμότητα προκύπτει από την άθροιση των επιμέρους χρησιμοτήτων στη βάση ενός κανόνα (Von Winterfeldt and Fischer, 1973). Η Πολυκριτηριακή Θεωρία Χρησιμότητας αξιοποιεί τη συνάρτηση χρησιμότητας μέσω της οποίας εκφράζονται οι προτιμήσεις του κέντρου λήψης αποφάσεων. Στην αθροιστική της εκδοχή, η συνάρτηση χρησιμότητας αναπαρίσταται ως ακολούθως (Von Winterfeldt and Fischer, 1973):

$$F(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n f_i(x_i)$$

Η συνολική χρησιμότητα ισούται με το άθροισμα των επιμέρους χρησιμοτήτων των τιμών των κριτηρίων αξιολόγησης. Το x_i υποδηλώνει την κατάσταση του αποτελέσματος $X = (x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n)$ στο i -οστό χαρακτηριστικό / κριτήριο, η f_i είναι η μερική συνάρτηση χρησιμότητας για το i -οστό χαρακτηριστικό / κριτήριο και η F είναι η συνολική συνάρτηση χρησιμότητας.

Ανάλογα με την περίπτωση που κάθε φορά εξετάζεται και τις παραμέτρους που συνυπολογίζονται, το μοντέλο της πολυκριτηριακής συνάρτησης χρησιμότητας μεταβάλλεται. Ενδεικτικά εδώ, παρουσιάζεται το μοντέλο της *Πολυκριτηριακής Θεωρίας Αναμενόμενης Χρησιμότητας* (Multi Attribute Expected Utility Theory) το οποίο προσαρμόζεται καλύτερα στις περιπτώσεις λήψης αποφάσεων σε κατάσταση κινδύνου (under risk). Στο πλαίσιο αυτής της προσέγγισης, η *συνάρτηση αναμενόμενης χρησιμότητας* συνεισφέρει στη λήψη της απόφασης που εμπεριέχει το χαμηλότερο βαθμό ρίσκου (riskless preference order) (Von Winterfeldt and Fischer, 1973) και το μοντέλο που την υλοποιεί στην αθροιστική της εκδοχή είναι το ακόλουθο:

$$U(x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_m) = \sum_{j=1}^m p_j \sum_{i=1}^n u_i(x_{ij})$$

όπου $X = (x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_m)$ είναι μία ριψοκίνδυνη εναλλακτική για την οποία το αποτέλεσμα x_j λαμβάνεται εάν συμβεί το γεγονός E_j , το p_j είναι η πιθανότητα να

συμβεί το γεγονός E_j , το x_{ij} είναι η κατάσταση του i -οστού χαρακτηριστικού / κριτηρίου του αποτελέσματος x_j , η u_i είναι η συνάρτηση χρησιμότητας για το i -οστό χαρακτηριστικό / κριτήριο και η U είναι η αναμενόμενη χρησιμότητα της ριψοκίνδυνης εναλλακτικής X .

Στην πιο απλή της μορφή, η *Πολυκριτηριακή Θεωρία Χρησιμότητας* (MAUT) σχετίζεται στενά με την *Πολυκριτηριακή Θεωρία Αξίας* (Multi Attribute Value Theory – MAVT) η οποία εφαρμόζεται σε περιπτώσεις προβλημάτων αξιολόγησης ενός πεπερασμένου και διακριτού συνόλου εναλλακτικών επιλογών στη βάση ενός αριθμού κριτηρίων αξιολόγησης που αντανακλούν πολλαπλούς αντικρουόμενους στόχους (Van Herwijnen, 2010). Η *Πολυκριτηριακή Θεωρία Αξίας* επιτρέπει την αντιστάθμιση της κακής επίδοσης μίας εναλλακτικής ως προς ένα ή περισσότερα κριτήρια με μία καλή επίδοσή της σε ένα άλλο ή σε περισσότερα κριτήρια (Van Herwijnen, 2010). Στόχος είναι η δόμηση μίας σειράς προτίμησης των εναλλακτικών αξιοποιώντας μία *συνάρτηση αξίας* U με τη βοήθεια της οποίας εκφράζονται οι προτιμήσεις των κέντρων λήψης αποφάσεων ως προς τις εναλλακτικές ενώ, μέσω της συνάρτησης U , οι επιμέρους αξίες των εναλλακτικών ως προς κάθε χαρακτηριστικό συντίθενται σε μία τελική τιμή (single value) στη βάση της οποίας επιλέγεται η βέλτιστη εναλλακτική (Van Herwijnen, 2010).

Τα στάδια εφαρμογής της μεθόδου περιλαμβάνουν τα κλασικά βήματα μίας διαδικασίας πολυκριτηριακής αξιολόγησης, τον προσδιορισμό δηλαδή των εναλλακτικών λύσεων και των κριτηρίων αξιολόγησης, τον ορισμό των επιδόσεων των εναλλακτικών ως προς κάθε κριτήριο και την ιεράρχηση των εναλλακτικών στη βάση της τιμής της συνάρτησης αξίας όπως προκύπτει για κάθε μία από αυτές.

Το τελευταίο βήμα της μεθόδου είναι αυτό που τη διαφοροποιεί από τις υπόλοιπες μεθόδους πολυκριτηριακής αξιολόγησης καθώς, στην περίπτωση της *Πολυκριτηριακής Θεωρίας Αξίας* υπεισέρχεται η έννοια της *συνάρτησης αξίας* μέσω της οποίας μοντελοποιούνται οι προτιμήσεις των κέντρων λήψης αποφάσεων. Η συνάρτηση αθροίζει για κάθε εναλλακτική $a_j (j = 1 \dots M)$ τις τιμές αυτής της εναλλακτικής ως προς τα κριτήρια $c_i (i = 1 \dots N)$. Η καλύτερη εναλλακτική είναι αυτή για την οποία η τιμή της συνάρτησης αξίας μεγιστοποιείται (Van Herwijnen, 2010):

$$U(c_1(a), c_2(a), \dots, c_n(a)) = \max_{j=1 \dots M} U(c_1(a_j), c_2(a_j), \dots, c_n(a_j))$$

Όπως και στην Πολυκριτηριακή Θεωρία Χρησιμότητας, η πιο απλή εκδοχή της συνάρτησης αξίας στην περίπτωση της Πολυκριτηριακής Θεωρίας Αξίας είναι η αθροιστική όπου, η συνολική αξία μίας εναλλακτικής προκύπτει ως άθροισμα των επιμέρους αξιών των εναλλακτικών ως προς κάθε κριτήριο.

Στην αθροιστική της εκδοχή, η συνάρτηση έχει ως εξής (Keeney and Raiffa, 1976; Simpson, 1994):

$$V(A) = V(a_1, a_2, \dots, a_j) = v_1(a_1) + v_2(a_2) + \dots + v_j(a_j)$$

όπου, οι v_1 , v_2 και v_j είναι οι επιμέρους συναρτήσεις αξίας (συνιστώσες της $V(A)$). Εκτός από την προσθετική συνάρτηση αξίας, υπάρχουν τα πολλαπλασιαστικά μοντέλα καθώς επίσης και μοντέλα που συνδυάζουν το προσθετικό με το πολλαπλασιαστικό (Simpson, 1994).

Δύο δημοφιλείς μέθοδοι πολυκριτηριακής αξιολόγησης που αξιοποιούν το μοντέλο της πολυκριτηριακής θεωρίας αξίας, είναι η Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία η οποία παρουσιάστηκε σε προηγούμενη ενότητα και η Μέθοδος της Σταθμικής Άθροισης τα βασικά χαρακτηριστικά της οποίας παρουσιάζονται στο εδάφιο που ακολουθεί.

Μέθοδος Σταθμικής Άθροισης (Weighted Summation)

Η Μέθοδος της Σταθμικής Άθροισης αξιοποιεί τις επιδόσεις των εναλλακτικών ως προς ένα σύνολο κριτηρίων αξιολόγησης σε συνδυασμό με τα βάρη των κριτηρίων, προκειμένου να προσδιοριστεί η βέλτιστη εναλλακτική που ανταποκρίνεται καλύτερα στις ανάγκες του εκάστοτε προβλήματος.

Έτσι, στην περίπτωση που τίθενται προς αξιολόγηση M εναλλακτικές στη βάση N κριτηρίων, η καλύτερη εναλλακτική είναι αυτή που έχει τη μέγιστη επίδοση ως προς το σύνολο των κριτηρίων αξιολόγησης (Fishburn, 1967; Triantaphyllou et al., 1998):

$$A_{WSM} = \max_i \sum_{j=1}^N a_{ij} w_j$$

όπου: a_{ij} είναι η επίδοση της εναλλακτικής i ως προς το κριτήριο j και w_j είναι το βάρος του κριτηρίου j .

Η συνολική επίδοση κάθε εναλλακτικής υπολογίζεται με τη βοήθεια ενός προσθετικού μοντέλου όπου αθροίζονται τα επιμέρους γινόμενα των επιδόσεων των εναλλακτικών ως προς κάθε κριτήριο επί το βάρος που αντιστοιχεί στο κριτήριο αυτό.

Το μοντέλο που υλοποιεί τη Μέθοδο της Σταθμικής Άθροισης είναι πολύ απλό ενώ παράλληλα, αξιολογείται ευρέως σε περιπτώσεις προβλημάτων πολυκριτηριακής αξιολόγησης. Η γενική συνάρτηση που το υλοποιεί είναι η ακόλουθη (Bouyssou et al., 2000):

$$f(a) = k_1g_1(a) + k_2g_2(a) + \dots + k_n g_n(a)$$

όπου: k_n τα βάρη των κριτηρίων και $g_n(a)$ οι επιδόσεις των εναλλακτικών.

Η Μέθοδος της Σταθμικής Άθροισης διαχειρίζεται ποσοτικά δεδομένα, επομένως στην περίπτωση που στη διαδικασία της αξιολόγησης πρέπει να ληφθούν υπόψη ποιοτικά δεδομένα, αυτά ποσοτικοποιούνται προκειμένου να καταστούν διαχειρίσιμα από τον αλγόριθμο υλοποίησης της μεθόδου. Τέλος, στην περίπτωση που οι επιδόσεις των εναλλακτικών ως προς τα κριτήρια μετρώνται σε διαφορετικές μεταξύ τους κλίμακες μέτρησης, απαιτείται κανονικοποίηση των τιμών προκειμένου να είναι μεταξύ τους συγκρίσιμες.

✚ Μέθοδος Σταθμικού Γινομένου (*Weighted Product Model*)

Η Μέθοδος του Σταθμικού Γινομένου έχει πολλές ομοιότητες με αυτήν της Σταθμικής Άθροισης. Η διαφορά μεταξύ των δύο μεθόδων εντοπίζεται στο γεγονός ότι η Μέθοδος του Σταθμικού Γινομένου υλοποιείται από το πολλαπλασιαστικό μοντέλο (Triantaphyllou et al., 1998; San Cristóbal, 2012). Στην περίπτωση αυτή, οι εναλλακτικές συγκρίνονται ανά δύο στη βάση του παρακάτω τύπου (Miller and Starr, 1969; Triantaphyllou et al., 1998; San Cristóbal, 2012):

$$R(A_K/A_L) = \prod_{j=1}^N (a_{Kj}/a_{Lj})^{w_j}$$

όπου: N είναι ο αριθμός των κριτηρίων αξιολόγησης, a_{ij} είναι οι επιδόσεις των εναλλακτικών ως προς τα κριτήρια και w_j είναι τα βάρη των κριτηρίων. Στην περίπτωση αυτή, οι εναλλακτικές συγκρίνονται μεταξύ τους ανά δύο ως προς το σύνολο των κριτηρίων αξιολόγησης. Προφανώς, εάν ο λόγος $R(A_K/A_L)$ είναι μεγαλύτερος του 1, τότε η εναλλακτική που βρίσκεται στον αριθμητή είναι πιο σημαντική από αυτή που βρίσκεται στον παρονομαστή, ενώ εάν ο λόγος είναι μικρότερος του 1 ισχύει το αντίστροφο.

Η διαδικασία των ανά ζεύγη συγκρίσεων καταλήγει σε μία ιεράρχηση των προτεινόμενων εναλλακτικών από την πιο σημαντική έως τη λιγότερο σημαντική. Βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου συνιστά το γεγονός ότι αντί για απόλυτες τιμές χρησιμοποιεί σχετικές τιμές και ως εκ τούτου οι όποιες μονάδες μέτρησης επιπτώσεων απλοποιούνται, γι' αυτό και είναι γνωστή ως '*dimensionless analysis*' (Triantaphyllou et al., 1998).

Μέθοδος ELECTRE (*EL*imination *Et* *Choix Traduisant la RE*alité)

Η μέθοδος ELECTRE ανήκει στην κατηγορία των μεθόδων υπεροχής. Βασική έννοια που υπεισέρχεται στη διαδικασία της αξιολόγησης στην περίπτωση αυτή, είναι η αναζήτηση σχέσεων υπεροχής μεταξύ των εναλλακτικών λύσεων στη βάση ανά ζεύγη συγκρίσεων ως προς κάθε κριτήριο αξιολόγησης (Roy, 1991; Triantaphyllou et al., 1998; Kahraman, 2008). Σύμφωνα με τη λογική της υπεροχής, μία εναλλακτική A_i υπερέχει έναντι μίας άλλης εναλλακτικής A_j όταν έχει υψηλότερη επίδοση ως προς ένα ή περισσότερα κριτήρια ενώ παράλληλα, οι δύο εναλλακτικές έχουν ίσες επιδόσεις στα κριτήρια που απομένουν.

Θεμελιωτής της μεθόδου υπήρξε ο Bernard Roy γύρω στα μέσα της δεκαετίας του 1960 και έως σήμερα έχει δημιουργηθεί μία οικογένεια μεθόδων ELECTRE που περιλαμβάνουν τις μεθόδους αξιολόγησης ELECTRE I, ELECTRE II, ELECTRE III, ELECTRE IV, ELECTRE IS και ELECTRE TRI οι οποίες εφαρμόζονται σε περιπτώσεις προβλημάτων αξιολόγησης οικονομικής φύσεως, σε αξιολογήσεις που έχουν να κάνουν με τον χωρικό σχεδιασμό κ.λπ. Παρά τις διαφοροποιήσεις που

υφίστανται μεταξύ των διαφορετικών εκδοχών της μεθόδου ELECTRE, ο αλγόριθμος υλοποίησής της είναι σε γενικές γραμμές ο ίδιος.

Τα στάδια εφαρμογής της μεθόδου ELECTRE είναι συνοπτικά, τα ακόλουθα (Roy, 1991; Triantaphyllou et al., 1998; Figueira et al., 2009):

- Ορισμός ενός πεπερασμένου αριθμού εναλλακτικών επιλογών (εναλλακτικές λύσεις / σενάρια).
- Ορισμός ενός συνόλου κριτηρίων αξιολόγησης στη βάση των οποίων εκτιμώνται οι επιπτώσεις των εναλλακτικών ως προς τους στόχους που έχουν τεθεί και απόδοση βαρών στα κριτήρια. Στην περίπτωση της ELECTRE, τα βάρη κατανέμονται στα κριτήρια με τρόπο ώστε το συνολικό τους άθροισμα να είναι ίσο με 1. Έτσι στην περίπτωση που ο αριθμός των κριτηρίων είναι N ισχύει η σχέση:

$$\sum_{i=1}^N w_i = 1$$

- Ορισμός των επιδόσεων των εναλλακτικών ως προς τα κριτήρια αξιολόγησης και δόμηση του πίνακα επιπτώσεων ή διαφορετικά του πίνακα απόφασης.
- Κανονικοποίηση (*standardization*) των τιμών του πίνακα επιπτώσεων ούτως ώστε αυτές να αναφέρονται σε κοινή κλίμακα μέτρησης για να είναι συγκρίσιμες μεταξύ τους και δόμηση του κανονικοποιημένου πίνακα επιπτώσεων ή κανονικοποιημένου πίνακα απόφασης (*Normalized Decision Matrix*).
- Πολλαπλασιασμός του κανονικοποιημένου πίνακα επιπτώσεων με τα βάρη των κριτηρίων αξιολόγησης και υπολογισμός των σταθμισμένων επιδόσεων των εναλλακτικών. Ο νέος πίνακας Y προκύπτει από τη σχέση $Y = XW$ όπου X είναι ο πίνακας που περιλαμβάνει τα κανονικοποιημένα scores των εναλλακτικών και W είναι ο πίνακας βαρών.
- Ορισμός των συνόλων συμφωνίας (*concordance set*) και ασυμφωνίας (*discordance set*). Στο στάδιο αυτό, οι εναλλακτικές συγκρίνονται μεταξύ τους ανά δύο και ορίζονται: α) το σύνολο συμφωνίας που

περιλαμβάνει τα κριτήρια για τα οποία η εναλλακτική A_k προτιμάται από την εναλλακτική A_l και β) το σύνολο ασυμφωνίας που περιλαμβάνει τα κριτήρια για τα οποία η εναλλακτική A_l προτιμάται από την A_k . Τα δύο παραπάνω σύνολα είναι μεταξύ τους συμπληρωματικά. Εάν C_{kl} είναι το σύνολο συμφωνίας, D_{kl} το σύνολο ασυμφωνίας, y_{kj} η επίδοση της εναλλακτικής A_k ως προς το κριτήριο j και y_{lj} η επίδοση της εναλλακτικής A_l ως προς το κριτήριο j , τότε για τα σύνολα συμφωνίας και ασυμφωνίας ισχύουν τα εξής:

$$C_{kl} = \{j, \text{τέτοιο ώστε: } y_{kj} \geq y_{lj}\}, \forall j = 1, 2, 3, \dots, N$$

$$D_{kl} = \{j, \text{τέτοιο ώστε: } y_{kj} < y_{lj}\}, \forall j = 1, 2, 3, \dots, N$$

- Δόμηση του πίνακα συμφωνίας (*concordance matrix*) και του πίνακα ασυμφωνίας (*discordance matrix*). Οι τιμές του πίνακα συμφωνίας υπολογίζονται με τη βοήθεια του δείκτη συμφωνίας c_{kl} ο οποίος ισούται με το άθροισμα των βαρών των κριτηρίων που περιλαμβάνονται στο σύνολο συμφωνίας. Ορίζεται από τη σχέση:

$$c_{kl} = \sum_{j \in c_{kl}} w_j$$

και λαμβάνει τιμές στο διάστημα $[0,1]$, $0 \leq c_{kl} \leq 1$. Ο δείκτης αυτός υποδεικνύει τον βαθμό σημαντικότητας της εναλλακτικής A_k σε σχέση με την εναλλακτική A_l . Ο πίνακας που προκύπτει (για M εναλλακτικές) είναι της μορφής:

$$C = \begin{bmatrix} - & c_{12} \cdots & c_{1M} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{M1} & c_{M2} \cdots & - \end{bmatrix}$$

Όμοια ορίζεται και ο πίνακας ασυμφωνίας οι τιμές του οποίου υπολογίζονται με τη βοήθεια του αντίστοιχου δείκτη ασυμφωνίας d_{kl} ο οποίος ορίζεται από τη σχέση:

$$d_{kl} = \frac{\max_{j \in D_{kl}} |y_{kj} - y_{lj}|}{\max_j |y_{kj} - y_{lj}|}$$

Ο παραπάνω δείκτης υποδεικνύει τον βαθμό στον οποίο η εναλλακτική A_k είναι χειρότερη από την εναλλακτική A_l . Ο αντίστοιχος πίνακας που προκύπτει (για M εναλλακτικές) είναι ο ακόλουθος:

$$D = \begin{bmatrix} - & d_{12} \cdots & d_{1M} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{M1} & d_{M2} \cdots & - \end{bmatrix}$$

- Δόμηση των «επικρατέστερων» πινάκων συμφωνίας και ασυμφωνίας. Στο στάδιο αυτό, ορίζεται ένα κατώφλι \underline{c} το οποίο συγκρίνεται με τις τιμές των πινάκων συμφωνίας και ασυμφωνίας. Η ολοκλήρωση των επιμέρους συγκρίσεων των τιμών του πίνακα συμφωνίας με το κατώφλι καταλήγει στη δόμηση του «επικρατέστερου» πίνακα F , τα στοιχεία (f_{kl}) του οποίου ορίζονται στη βάση των παρακάτω σχέσεων:

$$f_{kl} = 1, \text{ εάν } c_{kl} \geq \underline{c}$$

$$f_{kl} = 0, \text{ εάν } c_{kl} < \underline{c}$$

Η σύγκριση αντίστοιχα του κατωφλίου με τα στοιχεία του πίνακα ασυμφωνίας καταλήγει στη δόμηση του «επικρατέστερου» πίνακα G τα στοιχεία (g_{kl}) του οποίου ορίζονται στη βάση των παρακάτω σχέσεων:

$$g_{kl} = 1, \text{ εάν } d_{kl} \geq \underline{c}$$

$$g_{kl} = 0, \text{ εάν } d_{kl} < \underline{c}$$

- Ορισμός του συγκεντρωτικού πίνακα κυριαρχίας E (aggregate dominance matrix) τα στοιχεία του οποίου ορίζονται από τη σχέση:

$$e_{kl} = f_{kl} \times g_{kl}$$

- Μείωση του αριθμού των εναλλακτικών εξαιρώντας τις λιγότερο προτιμητέες. Εάν $e_{kl} = 1$ η εναλλακτική A_k υπερέχει της εναλλακτικής A_l και ως προς τα κριτήρια συμφωνίας και ως προς τα κριτήρια ασυμφωνίας. Η καλύτερη εναλλακτική είναι αυτή που κυριαρχεί σε όλες τις υπόλοιπες.

🚩 Μέθοδος TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*)

Η μέθοδος TOPSIS προτάθηκε από τους Hwang και Yoon το 1981 και συνιστά μία παραλλαγή της μεθόδου ELECTRE καθώς η διαδικασία αναζήτησης της βέλτιστης εναλλακτικής στην περίπτωση αυτή έχει αρκετά κοινά σημεία με τη μέθοδο ELECTRE. Το βασικό σημείο διαφοροποίησης των δύο μεθόδων εντοπίζεται στο γεγονός ότι στην περίπτωση της TOPSIS, η καλύτερη εναλλακτική είναι εκείνη που απέχει γεωμετρικά λιγότερο από μία ιδανική βέλτιστη λύση ενώ ταυτόχρονα απέχει περισσότερο από τη λύση που ορίζεται ως η χειρότερη εναλλακτική (Hwang and Yoon, 1981; Triantaphyllou et al., 1998). Οι αποστάσεις των εναλλακτικών λύσεων από την καλύτερη εναλλακτική ορίζονται στη βάση της Ευκλείδειας απόστασης και η ιεράρχησή τους προκύπτει από τη σύγκριση των αντίστοιχων αποστάσεων των εναλλακτικών από την καλύτερη εναλλακτική (Triantaphyllou et al., 1998).

Συνοπτικά, τα στάδια εφαρμογής της μεθόδου TOPSIS είναι τα ακόλουθα (Triantaphyllou et al., 1998):

- Ορισμός εναλλακτικών λύσεων.
- Ορισμός κριτηρίων αξιολόγησης.
- Δόμηση του πίνακα επιπτώσεων ή πίνακα απόφασης με τις επιδόσεις των εναλλακτικών x_{ij} ως προς τα κριτήρια αξιολόγησης.
- Δόμηση του κανονικοποιημένου πίνακα απόφασης, όπως και στην περίπτωση της μεθόδου ELECTRE, στον οποίο περιλαμβάνονται οι κανονικοποιημένες τιμές r_{ij} των επιδόσεων των εναλλακτικών προκειμένου να είναι μεταξύ τους συγκρίσιμες.
- Δόμηση του σταθμισμένου κανονικοποιημένου πίνακα απόφασης V ο οποίος προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό του κανονικοποιημένου

πίνακα απόφασης με τα βάρη των κριτηρίων αξιολόγησης. Οι τιμές v_{ij} του πίνακα αυτού είναι τα γινόμενα των βαρών επί τις κανονικοποιημένες τιμές του κανονικοποιημένου πίνακα απόφασης, $v_{ij} = w_j \Gamma_{ij}$.

- Ορισμός της *ιδανικής (καλύτερης) (ideal) A^** και της *χειρότερης (negative-ideal) A^-* εναλλακτικής λύσης ως εξής:

$$A^* = \{(\max v_{ij} | j \in J), (\min v_{ij} | j \in J') | i = 1, 2, 3, \dots, M\}$$

$$= \{v_{1*}, v_{2*}, \dots, v_{N*}\}$$

$$A^- = \{(\min v_{ij} | j \in J), (\max v_{ij} | j \in J') | i = 1, 2, 3, \dots, M\}$$

$$= \{v_{1-}, v_{2-}, \dots, v_{N-}\}$$

όπου

$$J = \{j = 1, 2, 3, \dots, N | j \text{ τα benefit κριτήρια}\}$$

$$J' = \{j = 1, 2, 3, \dots, N | j \text{ τα cost κριτήρια}\}$$

Προφανώς, η καλύτερη εναλλακτική είναι αυτή με τις μεγαλύτερες επιδόσεις στα κριτήρια οφέλους (benefit) και τις μικρότερες επιδόσεις στα κριτήρια κόστους (cost).

- Υπολογισμός του *μέτρου διαχωρισμού*. Στο στάδιο αυτό, υλοποιούνται οι υπολογισμοί της N-διάστατης Ευκλείδειας απόστασης προκειμένου να προσδιοριστούν οι αποστάσεις των εναλλακτικών από την καλύτερη και τη χειρότερη εναλλακτική λύση. Η απόσταση από την καλύτερη εναλλακτική υπολογίζεται από τη σχέση:

$$S_{i*} = \left(\sum (v_{ij} - v_{i*})^2 \right)^{1/2}, i = 1, 2, 3, \dots, M$$

ενώ η απόσταση από τη χειρότερη εναλλακτική υπολογίζεται από τη σχέση:

$$S_{i-} = \left(\sum (v_{ij} - v_{i-})^2 \right)^{1/2}, i = 1, 2, 3, \dots, M$$

- Υπολογισμός της *σχετικής εγγύτητας* των εναλλακτικών από την καλύτερη εναλλακτική. Η σχετική εγγύτητα υπολογίζεται από τη σχέση:

$$C_{i^*} = S_{i^-} / (S_{i^*} - S_{i^-}), 0 \leq C_{i^*} \leq 1, i = 1, 2, 3, \dots, M$$

και ισχύει: $C_{i^*} = 1$, εάν $A_i = A^*$ και $C_{i^-} = 0$, εάν $A_i = A^-$

- *Ιεράρχηση των εναλλακτικών* σε σειρά προτίμησης από την καλύτερη στη χειρότερη εναλλακτική και επιλογή της βέλτιστης εναλλακτικής ανάλογα με την τιμή της σχετικής της εγγύτητας C_{i^*} από την καλύτερη εναλλακτική.

🚧 Μέθοδος PROMETHEE (*Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluation*)

Η PROMETHEE ανήκει στην κατηγορία των μεθόδων υπεροχής και προτάθηκε ως μέθοδος πολυκριτηριακής αξιολόγησης τη δεκαετία του 1980 από τον Jean-Pierre Brans. Η βασική της αρχή στηρίζεται στην ανά ζεύγη σύγκριση των εναλλακτικών λύσεων στη βάση των διαφορών των επιδόσεών τους ως προς κάθε κριτήριο αξιολόγησης, στη σύγκριση της διαφοράς αυτής με δύο κατώφλια (κατώφλι προτίμησης και κατώφλι αδιαφορίας) και στη σύνθεση μίας συνάρτησης προτίμησης ως προς το σύνολο των κριτηρίων αξιολόγησης.

Πιο συγκεκριμένα, η μέθοδος PROMETHEE αξιοποιεί τρεις βασικές αρχές (Brans and Vincke, 1985):

- Την *επέκταση της έννοιας των κριτηρίων* μέσα από την αξιοποίηση των σχέσεων προτίμησης και αδιαφορίας όπως αυτές προκύπτουν από τις επιδόσεις των εναλλακτικών ως προς τα κριτήρια αξιολόγησης.
- Την *εκτιμώμενη σχέση υπεροχής (valued outranking relation)* μίας εναλλακτικής έναντι μίας άλλης.
- Την *αξιοποίηση της σχέσης υπεροχής (exploitation of the outranking relation)* προκειμένου είτε α) οι εναλλακτικές να ιεραρχηθούν είτε β) να επιλεγεί το σύνολο των καλύτερων εναλλακτικών.

Η πρώτη αρχή (επέκταση της έννοιας των κριτηρίων) βασίζεται στη σύνθεση μίας *συνάρτησης προτίμησης* μέσω της οποίας δίνεται η προτίμηση μίας εναλλακτικής a έναντι μίας άλλης εναλλακτικής b οι τιμές τις οποίας ορίζονται στο κλειστό διάστημα $[0,1]$ (Brans and Vincke, 1985). Όσο οι τιμές της συνάρτησης πλησιάζουν το 0 τόσο μεγαλύτερη είναι η αδιαφορία, ενώ όσο οι τιμές πλησιάζουν το 1 τόσο μεγαλύτερη είναι η προτίμηση (Brans and Vincke, 1985). Η *συνάρτηση προτίμησης* έχει την ακόλουθη μορφή (Brans and Vincke, 1985):

$$P(a, b) = \begin{cases} 0 & \text{εάν } f(a) \leq f(b), \\ p[f(a), f(b)] & \text{εάν } f(a) > f(b) \end{cases}$$

όπου a και b οι εναλλακτικές και $f(a)$, $f(b)$ οι επιδόσεις των εναλλακτικών ως προς ένα κριτήριο αξιολόγησης. Η δεύτερη αρχή (*εκτιμώμενη σχέση υπεροχής*) βασίζεται στον ορισμό ενός *δείκτη προτίμησης* της εναλλακτικής a έναντι της εναλλακτικής b για το σύνολο των κριτηρίων αξιολόγησης. Ο δείκτης αυτός δίνει ένα μέτρο προτίμησης μίας εναλλακτικής έναντι μίας άλλης ως προς το σύνολο των κριτηρίων αξιολόγησης: όσο η τιμή του πλησιάζει το 1 τόσο μεγαλύτερη είναι η προτίμηση μίας εναλλακτικής έναντι αυτής με την οποία συγκρίνεται (Brans and Vincke, 1985). Ο δείκτης προτίμησης έχει την ακόλουθη μορφή:

$$\pi(a, b) = \frac{1}{k} \sum_{h=1}^k P_h(a, b)$$

όπου h είναι τα κριτήρια αξιολόγησης για κάθε ένα από τα οποία έχει οριστεί σε προηγούμενο στάδιο μία συνάρτηση προτίμησης μεταξύ των εναλλακτικών. Στην περίπτωση που στα κριτήρια αξιολόγησης έχουν αποδοθεί βάρη, χρησιμοποιείται ο *σταθμικός δείκτης προτίμησης* (Brans and Vincke, 1985). Αφού υπολογιστούν όλοι οι δείκτες προτίμησης, ορίζεται το γράφημα υπεροχής οι κόμβοι του οποίου αναπαριστούν τις εναλλακτικές ενώ οι ακμές του, τη σχέση υπεροχής που υφίσταται μεταξύ των εναλλακτικών που συνδέουν. Κάθε ακμή λαμβάνει την τιμή του αντίστοιχου δείκτη προτίμησης. Η τρίτη αρχή (*αξιοποίηση σχέσης υπεροχής*) αξιοποιεί το γράφημα υπεροχής προκειμένου είτε a) να ιεραρχηθούν οι εναλλακτικές

από την καλύτερη στη χειρότερη είτε β) να επιλεγεί το σύνολο των καλύτερων εναλλακτικών λύσεων (Brans and Vincke, 1985).

Η μέθοδος PROMETHEE περιλαμβάνει μία οικογένεια έξι μεθόδων PROMETHEE οι οποίες διαφοροποιούνται μεταξύ τους στα σημεία και κάθε μία από αυτές συνιστά εξέλιξη της προγενέστερης. Οι έξι μέθοδοι PROMETHEE είναι η PROMETHEE I (partial ranking), η PROMETHEE II (complete ranking), η PROMETHEE III (ranking based on intervals), η PROMETHEE IV (continuous case), η PROMETHEE V (MCDA including segmentation constraints) και η PROMETHEE VI (representation of the human brain) (Brans and Mareschal, 2005).

Μέθοδος REGIME

Η REGIME είναι μία μέθοδος πολυκριτηριακής αξιολόγησης η οποία ανήκει στην οικογένεια των μεθόδων υπεροχής και αναπτύχθηκε από τους Hinloopen, Nijkamp και Rietveld. Είναι απλή στην εφαρμογή της, εύκολα προγραμματιζόμενη σε H/Y ενώ, το αποτέλεσμα που δίνει στον χρήστη είναι μία κυρίαρχη βέλτιστη εναλλακτική λύση (Hinloopen and Nijkamp, 1986). Βασικό χαρακτηριστικό της είναι η δυνατότητα ταυτόχρονης διαχείρισης ποιοτικών και ποσοτικών δεδομένων· γι' αυτό αρκετοί την κατατάσσουν στην κατηγορία των ποιοτικών μεθόδων αξιολόγησης (De Montis et al., 2004). Η εφαρμογή της μεθόδου προϋποθέτει τον ορισμό εναλλακτικών λύσεων, τον ορισμό κριτηρίων αξιολόγησης, τη δόμηση του πίνακα επιπτώσεων ο οποίος περιλαμβάνει τις επιπτώσεις των εναλλακτικών ως προς τα κριτήρια αξιολόγησης καθώς και την απόδοση βαρών στα κριτήρια τα οποία αντανακλούν τη σημαντικότητα καθενός από αυτά (Hinloopen and Nijkamp, 1986). Η σύγκριση των εναλλακτικών βασίζεται στις μεταξύ τους συγκρίσεις ανά δύο, για κάθε κριτήριο ξεχωριστά (Hinloopen and Nijkamp, 1986). Συνοπτικά, τα βήματα εφαρμογής της μεθόδου REGIME είναι τα ακόλουθα (Hinloopen and Nijkamp, 1986; Hinloopen and Nijkamp, 1990; De Montis et al., 2004):

- Ορισμός εναλλακτικών λύσεων.
- Ορισμός κριτηρίων αξιολόγησης.
- Ορισμός επιδόσεων e_{ij} των εναλλακτικών n ως προς τα κριτήρια αξιολόγησης m και δόμηση του πίνακα επιπτώσεων:

$$E = \begin{bmatrix} e_{11} & \cdots & e_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ e_{n1} & \cdots & e_{nm} \end{bmatrix}$$

Ο πίνακας επιπτώσεων στην περίπτωση της REGIME μπορεί να περιλαμβάνει είτε ποιοτική είτε ποσοτική πληροφορία.

- Ορισμός *βαρών κριτηρίων αξιολόγησης*. Στο στάδιο αυτό αποδίδονται προτεραιότητες (ποιοτική διάκριση σημαντικότητας κριτηρίων) στα κριτήρια αξιολόγησης οι οποίες αναπαρίστανται με τη βοήθεια ενός διανύσματος βαρών:

$$w: w = (w_1, w_2, \dots, w_j)^T$$

- *Σύγκριση των επιδόσεων των εναλλακτικών ανά δύο*. Στην περίπτωση που οι επιδόσεις εκφράζονται με τη βοήθεια ποσοτικών όρων υπολογίζεται η μεταξύ τους διαφορά για κάθε κριτήριο αξιολόγησης ξεχωριστά. Έτσι, η διαφορά αυτή για δύο εναλλακτικές i και i' ως προς ένα κριτήριο j με επιδόσεις e_{ij} και $e_{i'j}$ αντίστοιχα θα είναι ίση με:

$$s_{ii'j} = e_{ij} - e_{i'j}$$

Προφανώς, στην περίπτωση που οι επιδόσεις των εναλλακτικών εκφράζονται με τη βοήθεια ποιοτικών όρων, η εύρεση της παραπάνω διαφοράς δεν έχει κανένα νόημα. Στην περίπτωση αυτή, η επικράτηση μίας εναλλακτικής έναντι μίας άλλης ορίζεται με τη βοήθεια ενός σημείου $\theta_{ii'j}$ το οποίο υποδηλώνει την επικράτηση ή μη της εναλλακτικής. Έτσι, εάν το σημείο $\theta_{ii'j}$ λαμβάνει την τιμή ‘+’ τότε η εναλλακτική i επικρατεί της εναλλακτικής i' ως προς το κριτήριο j . Στην αντίθετη περίπτωση, το σημείο $\theta_{ii'j}$ λαμβάνει την τιμή ‘-’.

- *Σύνθεση του διανύσματος regime*. Η ολοκλήρωση των ανά ζεύγη συγκρίσεων των εναλλακτικών ακολουθείται από τη σύνθεση του διανύσματος regime οι τιμές του οποίου μπορεί να είναι: είτε ‘+’ όταν μία εναλλακτική είναι καλύτερη από μία άλλη, είτε ‘-’ όταν μία εναλλακτική είναι χειρότερη από μία άλλη, είτε ‘0’ στην περίπτωση που

οι εναλλακτικές θεωρηθούν ισοδύναμες. Το διάνυσμα αυτό για J κριτήρια είναι της μορφής:

$$r_{ii'} = [\sigma_{ii'}1 \ \sigma_{ii'}2 \ \sigma_{ii'}3 \ \dots \ \sigma_{ii'}J]$$

- Δόμηση του πίνακα *regime*. Η ολοκλήρωση του συνόλου των ανά ζεύγη συγκρίσεων μεταξύ των εναλλακτικών (υλοποίηση συγκρίσεων για όλους τους πιθανούς συνδυασμούς των εναλλακτικών ανά δύο) καταλήγει στη δόμηση του πίνακα *regime* ο οποίος είναι της μορφής:

$$R = [r_{12}r_{13} \dots r_{1I} \dots r_{21}r_{23} \dots r_{2I} \dots r_{I1}r_{I2} \dots r_{I(I-1)}]$$

όπου κάθε σειρά του αντιστοιχεί στις ανά δύο συγκρίσεις των εναλλακτικών για κάθε κριτήριο, ένα κριτήριο δηλαδή για κάθε σειρά ανά ζεύγη συγκρίσεων.

- Ορισμός ποσοτικού στοχαστικού διανύσματος βαρών (*cardinal stochastic weight vector*). Στο στάδιο αυτό, προκειμένου οι προτεραιότητες που έχουν αποδοθεί στα κριτήρια αξιολόγησης και είναι ποιοτικά μεγέθη να καταστούν μαθηματικά διαχειρίσιμες, εισάγεται η έννοια του ποσοτικού στοχαστικού διανύσματος βαρών το οποίο ορίζεται ως ένα διάνυσμα υποκείμενο του διανύσματος βαρών όπως αυτό ορίστηκε ποιοτικά σε προηγούμενο στάδιο της διαδικασίας. Το νέο διάνυσμα βαρών είναι το ακόλουθο:

$$w^* = (w_1^*, w_2^*, \dots, w_j^*)^T$$

όπου: $0 \leq w_j^* \leq 1$ και $w_j \geq w_{j'} \rightarrow w_j^* \geq w_{j'}^*$ καθώς το ποσοτικό αυτό διάνυσμα είναι σε συνέπεια (in consistency) και ενσωματώνει την ποιοτική πληροφορία του αρχικού διανύσματος βαρών.

- Υπολογισμός των σχέσεων επικράτησης μεταξύ των εναλλακτικών. Στο στάδιο αυτό, ορίζονται εκ νέου οι σχέσεις επικράτησης μεταξύ των εναλλακτικών, συνυπολογίζοντας αυτή τη φορά και τα βάρη των κριτηρίων. Οι νέοι υπολογισμοί γίνονται με τη βοήθεια της σχέσης:

$$v_{ii'} = \sum_i \sigma_{u'j} w_j^*$$

εάν $v_{ii'} > 0$ τότε η εναλλακτική i επικρατεί της εναλλακτικής i'

- Υπολογισμός της πιθανότητας επικράτησης μίας εναλλακτικής έναντι μίας άλλης και ιεράρχηση των εναλλακτικών. Στο στάδιο αυτό, που είναι και το τελευταίο για την ολοκλήρωση της μεθόδου REGIME, υπολογίζεται για κάθε εναλλακτική η πιθανότητα επικράτησής της έναντι των υπολοίπων εναλλακτικών καθώς η πληροφορία σχετικά με το βάρος w_j^* είναι άγνωστη. Η πιθανότητα αυτή υπολογίζεται από τη σχέση:

$$p_{ii'} = \text{prob}(n_{ii'} > 0)$$

και στη συνέχεια ακολουθεί ο υπολογισμός της αθροιστικής πιθανότητας (aggregate probability measure):

$$p_i = \frac{1}{I-1} \sum_{i' \neq i} p_{ii'}$$

Η πιθανότητα p_i εκφράζει τη μέση πιθανότητα η εναλλακτική i να επικρατεί των υπολοίπων εναλλακτικών. Οι εναλλακτικές ιεραρχούνται με βάση αυτήν την πιθανότητα με φθίνουσα σειρά κατάταξης από την επικρατέστερη στη λιγότερο επικρατέστερη εναλλακτική.

✚ Μέθοδος NAIADÉ (*Novel Approach to Imprecise Assessment and Decision Environments*)

Η μέθοδος NAIADÉ αναπτύχθηκε το 1995 από τον Munda και συνδυάζει δύο διαφορετικούς τύπους αξιολόγησης, την *πολυκριτηριακή αξιολόγηση* όπου μία σειρά εναλλακτικών λύσεων αξιολογείται στη βάση ενός αριθμού κριτηρίων και την *ανάλυση αμεροληψίας* (equity analysis) μέσα από την οποία, διάφορες ομάδες

ενδιαφέροντος διατυπώνουν κρίσεις ως προς τις εναλλακτικές λύσεις / σενάρια που κάθε φορά προτείνονται για την επίλυση του εκάστοτε προβλήματος (Menegolo and Guimarães Pereira, 1996; Munda, 2006). Όσον αφορά στην πολυκριτηριακή αξιολόγηση, οι επιδόσεις των εναλλακτικών ως προς τα κριτήρια αξιολόγησης είναι δυνατόν να εκφραστούν είτε μέσω *διακριτών* (crisp), στοχαστικών ή *ασαφών* αριθμών είτε με τη βοήθεια *λεκτικών όρων* (Menegolo and Guimarães Pereira, 1996). Η ανάλυση αμεροληψίας από την άλλη πλευρά, αφορά στη διατύπωση κρίσεων ομάδων ενδιαφέροντος οι οποίες εκφράζονται αποκλειστικά με τη βοήθεια *λεκτικών όρων* (Menegolo and Guimarães Pereira, 1996).

Ουσιαστικά, η εφαρμογή της μεθόδου NAIADÉ προϋποθέτει τη συμπλήρωση δύο επιμέρους πινάκων, του *πίνακα επιπτώσεων*, ο οποίος περιλαμβάνει τις επιπτώσεις των εναλλακτικών ως προς τα κριτήρια αξιολόγησης και χρησιμοποιείται στο στάδιο της πολυκριτηριακής αξιολόγησης και του *πίνακα αμεροληψίας* (equity matrix), ο οποίος περιλαμβάνει τις διατυπωμένες κρίσεις των ομάδων ενδιαφέροντος ως προς τα εναλλακτικά σενάρια και χρησιμοποιείται στο στάδιο της ανάλυσης αμεροληψίας (Menegolo and Guimarães Pereira, 1996).

Ο πίνακας επιπτώσεων είναι δυνατό να περιλαμβάνει και να διαχειρίζεται ταυτόχρονα τόσο ποιοτική όσο και ποσοτική πληροφορία (De Montis et al., 2004). Τα βασικά στάδια της διαδικασίας εφαρμογής της μεθόδου NAIADÉ αφορούν ουσιαστικά στη σύγκριση των εναλλακτικών λύσεων / σεναρίων ανά δύο, στην άθροιση των κριτηρίων αξιολόγησης και στην αξιολόγηση των εναλλακτικών λύσεων / σεναρίων (Munda et al., 1994; Munda, 1995; Menegolo and Guimarães Pereira, 1996; De Montis et al., 2004).

Αναλυτικότερα, η διαδικασία πολυκριτηριακής αξιολόγησης με την εφαρμογή της μεθόδου NAIADÉ ολοκληρώνεται μέσα από τα παρακάτω διακριτά βήματα (Menegolo and Guimarães Pereira, 1996; De Montis et al., 2004):

- Ορισμός *εναλλακτικών λύσεων / σεναρίων*.
- Ορισμός *κριτηρίων αξιολόγησης*.
- Δόμηση του *πίνακα επιπτώσεων* τα στοιχεία του οποίου είναι είτε ποσοτικά είτε ποιοτικά.
- *Σύγκριση των εναλλακτικών ανά δύο*. Στην περίπτωση της μεθόδου NAIADÉ, εάν οι επιδόσεις των εναλλακτικών εκφράζονται με *διακριτούς* (crisp) αριθμούς, για τη σύγκριση δύο εναλλακτικών

χρησιμοποιείται η διαφορά των επιδόσεών τους. Εάν οι επιδόσεις των εναλλακτικών εκφράζονται μέσω *ασαφών αριθμών* ή με τη βοήθεια *λεκτικών όρων*, για τη σύγκρισή τους χρησιμοποιείται η σημασιολογική απόσταση (semantic distance). Έτσι, εάν υποθέσουμε ότι τα S_1 και S_2 είναι δύο ασαφή σύνολα και μ_1 και μ_2 είναι οι αντίστοιχες συναρτήσεις συμμετοχής τους, ορίζονται οι ακόλουθες συναρτήσεις:

$$f(x) = k_1\mu_1(x)$$

$$g(y) = k_2\mu_2(y)$$

οι οποίες προκύπτουν από την ανα-κλιμάκωση (rescaling) των συνιστωσών μ_1 και μ_2 κατά k_1 και k_2 έτσι ώστε να ισχύει:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx = \int_{-\infty}^{+\infty} g(y) dy = 1$$

Η σχέση μέσω της οποίας ορίζεται η *σημασιολογική απόσταση* είναι η ακόλουθη:

$$S_d(f(x), g(y)) = \int_x \int_y |x - y| f(x) g(y) dx dy$$

Η έννοια της σημασιολογικής απόστασης επεκτείνεται και στην περίπτωση που οι επιδόσεις των εναλλακτικών εκφράζονται με τη βοήθεια στοχαστικών μέτρων, θεωρώντας στην περίπτωση αυτή τις συναρτήσεις $f(x)$ και $g(y)$ ως δύο συναρτήσεις πυκνότητας-πιθανότητας, η απόσταση μεταξύ των οποίων πρέπει να υπολογιστεί.

Η σύγκριση των εναλλακτικών ανά ζεύγη στηρίζεται σε έξι «σχέσεις προτίμησης» βάσει των οποίων μία εναλλακτική μπορεί να είναι α) πολύ καλύτερη (\gg), β) καλύτερη ($>$), γ) κατά προσέγγιση ίση (\cong), δ) ίση ($=$), ε) χειρότερη ($<$) ή στ) πολύ χειρότερη (\ll) από μία άλλη εναλλακτική.

Οι παραπάνω σχέσεις προτίμησης ορίζονται με τη βοήθεια έξι αντίστοιχων συναρτήσεων (για κάθε κριτήριο ξεχωριστά και στη βάση

της απόστασης των δύο εναλλακτικών ως προς το κριτήριο αυτό) οι οποίες με τη σειρά τους εκφράζουν ένα «δείκτη αξιοπιστίας» συμπερασματικών εκφράσεων του τύπου «η εναλλακτική a είναι πολύ καλύτερη, καλύτερη, κατά προσέγγιση ίση, ίση, χειρότερη ή πολύ χειρότερη από την εναλλακτική b», οι οποίες συνάγονται κατά τη διαδικασία σύγκρισης των εναλλακτικών ανά δύο.

Ο δείκτης αυτός λαμβάνει τιμές στο κλειστό διάστημα [0,1] όπου η τιμή 0 σημαίνει μηδενική αξιοπιστία ενώ η τιμή 1 σημαίνει ότι το συμπέρασμα που διατυπώνεται είναι εξαιρετικά αξιόπιστο. Το στάδιο αυτό ολοκληρώνεται με τον ορισμό των σχέσεων προτίμησης που προκύπτουν από τη σύγκριση των εναλλακτικών ανά ζεύγη για κάθε κριτήριο αξιολόγησης.

- *Άθροιση των κριτηρίων.* Στο στάδιο αυτό, αθροίζονται οι επιμέρους αξιολογήσεις κάθε εναλλακτικής, ορίζεται ο δείκτης έντασης προτίμησης μίας εναλλακτικής έναντι μίας άλλης για το σύνολο των κριτηρίων αξιολόγησης και προσδιορίζονται οι ασαφείς σχέσεις προτίμησης των εναλλακτικών ως προς το σύνολο των κριτηρίων αξιολόγησης.

Η σχέση που δίνει τον δείκτη έντασης προτίμησης είναι η ακόλουθη:

$$\mu_*(i, i') = f(\mu_*(i, i')_j)$$

όπου i και i' δύο εναλλακτικές, j ένα κριτήριο αξιολόγησης και $\mu_*(i, i')$ η συνολική εκτίμηση μίας ασαφούς σχέσης προτίμησης για ένα ζεύγος εναλλακτικών ως προς το σύνολο των κριτηρίων αξιολόγησης.

- *Ιεράρχηση των εναλλακτικών.* Η τελική ιεράρχηση των εναλλακτικών στην περίπτωση της NAIADe προκύπτει από την τομή δύο επιμέρους ιεραρχήσεων, της Φ^+ όπου οι εναλλακτικές ιεραρχούνται στη βάση των σχέσεων προτίμησης «πολύ καλύτερη» και «καλύτερη» κατά φθίνουσα σειρά από την καλύτερη στη χειρότερη εναλλακτική, και της Φ^- όπου οι εναλλακτικές ιεραρχούνται στη βάση των σχέσεων προτίμησης «χειρότερη» και «πολύ χειρότερη» κατά αύξουσα σειρά από τη χειρότερη στην καλύτερη εναλλακτική.

Παράλληλα με τα αποτελέσματα της πολυκριτηριακής αξιολόγησης, τα κέντρα λήψης αποφάσεων λαμβάνουν και τα αποτελέσματα της ανάλυσης αμεροληψίας τα οποία αποτυπώνουν τις απόψεις των ομάδων ενδιαφέροντος ως προς τις εναλλακτικές λύσεις. Υποδεικνύουν τον τρόπο με τον οποίο κάθε ομάδα ιεραρχεί, ανάλογα με τις προτιμήσεις και τους στόχους της, τις εναλλακτικές λύσεις.

Ανάλογα με τον βαθμό ομοιότητας των κρίσεων των ομάδων ενδιαφέροντος ως προς τις προτεινόμενες εναλλακτικές, συνάγονται συμπεράσματα σχετικά με τις πιθανές συμμαχίες ή συγκρούσεις που δύνανται να προκύψουν μεταξύ ομάδων με όμοια ή αντικρουόμενα συμφέροντα αντίστοιχα.

Βασική κατηγορία μεθόδων αξιολόγησης είναι επίσης και οι λεγόμενες *Προγραμματιστικές Μέθοδοι*. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν: η Μέθοδος Πολύστοχου Προγραμματισμού ή Προγραμματισμού Πολλαπλών Στόχων [Multi-Objective-Programming (MOP)], η Μέθοδος Προγραμματισμού Στόχων (Goal Programming) και οι διάφορες παραλλαγές τους (Γραμμικός Πολύστοχος Προγραμματισμός, κ.λπ.).

Η βασική διαφορά των Προγραμματιστικών Μεθόδων σε σχέση με τις μεθόδους που παρουσιάστηκαν παραπάνω έγκειται στο γεγονός ότι οι εν λόγω μέθοδοι δεν ιεραρχούν ούτε ταξινομούν ένα προκαθορισμένο σύνολο εναλλακτικών λύσεων (De Montis et al., 2004). Οι εναλλακτικές δημιουργούνται καθώς η διαδικασία της αξιολόγησης βρίσκεται σε εξέλιξη στη βάση ενός μαθηματικού μοντέλου (De Montis et al., 2004).

Οι βασικές αρχές που διέπουν τη μέθοδο *Πολύστοχου Προγραμματισμού* αφορούν α) στον εντοπισμό «αποτελεσματικών κατά Παρέτο» (Pareto efficient) και μη κυριαρχούμενων εναλλακτικών λύσεων (Zhang and Zuo, 2013) και β) στον εντοπισμό των προτιμητέων εναλλακτικών σε συνεργασία με τα κέντρα λήψης αποφάσεων (De Montis et al., 2004). Σύμφωνα με τις αρχές του μοντέλου που υιοθετείται, οι εναλλακτικές λύσεις αναζητώνται μέσα σε ένα πλαίσιο όπου επιδιώκεται η ταυτόχρονη μεγιστοποίηση / ελαχιστοποίηση στόχων στη βάση ορισμένων περιορισμών ενώ, η λύση που επιλέγεται ως η επικρατέστερη είναι αυτή που επιλέγεται από τα κέντρα λήψης αποφάσεων ανάμεσα σε ένα σύνολο αποδεκτών και λογικών εναλλακτικών λύσεων (De Montis et al., 2004). Στην περίπτωση του *Προγραμματισμού Στόχων* δεν επιδιώκεται η μεγιστοποίηση πολλαπλών στόχων αλλά η εύρεση συγκεκριμένων τιμών στόχων (Caramia and Dell' Olmo, 2008).

Στη διεθνή βιβλιογραφία συναντάται επίσης η μέθοδος MACBETH (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique) η οποία χρησιμοποιεί ποιοτικές κρίσεις που αφορούν «διαφορές εκτίμησης» προκειμένου τα κέντρα λήψης αποφάσεων να διευκολυνθούν κατά τη διαδικασία ποσοτικοποίησης της σχετικής ελκυστικότητας των εναλλακτικών επιλογών ενώ, ο αλγόριθμός της βασίζεται στο προσθετικό μοντέλο εκτίμησης (additive value model) (Bana e Costa and Vansnick, 1999).

Επίσης:

- Η οικογένεια των μεθόδων *UTA* (*UTA**, *UTA II*, *UTADIS*) συνιστούν μία σειρά μεθόδων αξιολόγησης που υιοθετούν προσεγγίσεις *Διαχωρισμού – Συγκέντρωσης* (*Disaggregation – Aggregation Approaches*). Στηρίζονται στη λογική της Μεθόδου Πολυκριτηριακής Θεωρίας Χρησιμότητας και αξιοποιούν τεχνικές γραμμικού προγραμματισμού για τη σύνθεση συναρτήσεων χρησιμότητας οι οποίες είναι κατά το δυνατόν πιο συνεπείς με τις προτιμήσεις των κέντρων λήψης αποφάσεων (Siskos et al., 2016).
- Η μέθοδος του *Lichfield* ανήκει στην κατηγορία των μεθόδων κόστους-οφέλους και αξιοποιεί την έννοια των σχέσεων κυριαρχίας μίας εναλλακτικής έναντι μίας άλλης.
- Η μέθοδος *PRAGMA* ομοιάζει με τη *REGIME*, αλλά μπορεί να εφαρμοστεί μόνο στην περίπτωση όπου τα κριτήρια αξιολόγησης είναι ποσοτικά ενώ, ο στόχος είναι ο ορισμός ενός πίνακα κατάταξης προτιμήσεων πολυκριτηρίων.

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι περισσότερες από τις μεθόδους πολυκριτηριακής αξιολόγησης που παρουσιάστηκαν παραπάνω, αναπτύχθηκαν και εξελίχθηκαν από τη «Γαλλική» και την «Αμερικανική» Σχολή. Κύριος εκπρόσωπος της Γαλλικής Σχολής είναι ο Roy, θεμελιωτής της μεθόδου *ELECTRE* (Lootsma, 1990). Η Γαλλική Σχολή ανέπτυξε επίσης τη μέθοδο *PROMETHEE* κ.ά. Από την άλλη πλευρά, θεμελιωτές της Αμερικανικής Σχολής είναι οι Keeney και Raiffa που εισήγαγαν την Πολυκριτηριακή Θεωρία Χρησιμότητας επάνω στην οποία στηρίχθηκε η Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία (Lootsma, 1990). Η διαφορά φιλοσοφίας των δύο σχολών έγκειται στο ότι, η Γαλλική Σχολή δίνει έμφαση στη μοντελοποίηση των υποκειμενικών κρίσεων των ειδικών αξιοποιώντας την έννοια

των *δυναδικών σχέσεων υπεροχής* (binary outranking relations) μέσω της υλοποίησης ανά ζεύγη συγκρίσεων μεταξύ των εναλλακτικών (Lootsma, 1990). Η Αμερικανική Σχολή από την άλλη πλευρά, αξιοποιεί συναρτήσεις μερικής αξίας / εκτίμησης (partial value functions) οι οποίες συνθέτουν μία συνολική συνάρτηση χρησιμότητας για κάθε εναλλακτική (Lootsma, 1990).

Στο σημείο αυτό ολοκληρώνεται το παρόν κεφάλαιο, στόχος του οποίου ήταν η παρουσίαση της διαδικασίας πολυκριτηριακής αξιολόγησης στο πλαίσιο της διαδικασίας λήψης αποφάσεων καθώς επίσης και η περιγραφή ορισμένων βασικών και δημοφιλών μεθόδων αξιολόγησης.

Το κεφάλαιο που ακολουθεί εστιάζει στην τεχνητή νοημοσύνη, στη συνεισφορά της στα προβλήματα αξιολόγησης και στις βελτιστοποιήσεις που δύνανται να υλοποιηθούν, αξιοποιώντας ή ενσωματώνοντας μεθόδους και τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης στη διαδικασία λήψης αποφάσεων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΤΕΧΝΗΤΗ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

Το κεφάλαιο αυτό αφορά στη συνοπτική περιγραφή εννοιών που σχετίζονται με τον τομέα της τεχνητής νοημοσύνης, δεδομένου του ρόλου τον οποίο πρόκειται να διαδραματίσει στη σχεδίαση του συστήματος FAIDRA. Στο πλαίσιο αυτό, ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη σχέση της τεχνητής νοημοσύνης με την αξιολόγηση και στη διαχείριση ποιοτικής πληροφορίας που εμπλέκεται σε μία διαδικασία πολυκριτηριακής αξιολόγησης. Στο πρώτο μέρος δίνεται μια συνοπτική περιγραφή των εννοιών που σχετίζονται με τον τομέα της τεχνητής νοημοσύνης ενώ στη συνέχεια, το ενδιαφέρον εστιάζεται στη διερεύνηση των δυνατοτήτων αξιοποίησης της τεχνητής νοημοσύνης κατά τη διεξαγωγή μίας διαδικασίας πολυκριτηριακής αξιολόγησης. Παρουσιάζεται το εννοιολογικό πλαίσιο που αφορά στον τομέα της τεχνητής νοημοσύνης και περιγράφονται οι βασικές τεχνικές του soft computing με έμφαση στην ασαφή λογική η οποία, αξιοποιείται ως τεχνική στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής. Έμφαση δίνεται στις βασικές αρχές της θεωρίας της ασαφούς λογικής και των ασαφών συνόλων καθώς και στο μαθηματικό τους υπόβαθρο. Στη συνέχεια, περιγράφεται ο ρόλος της τεχνητής νοημοσύνης στη διαδικασία αξιολόγησης. Τέλος, παρουσιάζονται ορισμένες ενδεικτικές περιπτώσεις εφαρμογής τεχνητής νοημοσύνης σε προβλήματα πολυκριτηριακής αξιολόγησης.

4.1. Τεχνητή Νοημοσύνη – Εννοιολογικό Πλαίσιο

Η τεχνητή νοημοσύνη συνιστά έναν τομέα της επιστήμης των υπολογιστών που έχει ως βασικό του αντικείμενο την ανάπτυξη «έξυπνων» υπολογιστικών προγραμμάτων και τη δημιουργία «έξυπνων μηχανών» (McCarthy, 2007). Εστιάζει συνεπώς στη διερεύνηση μεθόδων και τεχνικών με την υποστήριξη των οποίων οι υπολογιστές δύνανται να αποκτήσουν την ικανότητα να σκέπτονται ή να «δρουν έξυπνα», κατανοώντας τον τρόπο που σκέπτονται ή δρουν αντίστοιχα οι ευφυείς οντότητες (Russell and Norvig, 1995). Στο πλαίσιο αυτό, επιδιώκεται η δόμηση υπολογιστικών μοντέλων με στόχο την επίλυση προβλημάτων ανάλογου βαθμού πολυπλοκότητας με αυτά που αντιλαμβάνεται, επεξεργάζεται και έχει τη δυνατότητα να επιλύει ο ανθρώπινος εγκέφαλος (McDermott, 2007).

Ο τομέας της τεχνητής νοημοσύνης άρχισε να αναπτύσσεται περί το 1950 εστιάζοντας στην κατασκευή μηχανών που προσομοιώνουν σε αρκετά μεγάλο βαθμό τη συμπεριφορά του ανθρώπινου εγκεφάλου (Turing, 1948). Με την ευρεία έννοια, η τεχνητή νοημοσύνη σχετίζεται με την προσθήκη ευφυούς συμπεριφοράς σε τεχνουργήματα (artifacts) μέσα από τη μελέτη της αντίληψης, του «συλλογισμού» (reasoning), της επικοινωνίας και της δράσης σε πολύπλοκα περιβάλλοντα (Nilsson, 1998). Ως εκ τούτου, το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στη διερεύνηση πέντε βασικών στοιχείων ευφυΐας: τη μάθηση, τον συλλογισμό, την επίλυση προβλημάτων, την αντίληψη, και την κατανόηση της γλώσσας (Copeland, 2000).

Ως επιστημονικός τομέας η τεχνητή νοημοσύνη συνδυάζει στοιχεία από την επιστήμη των μαθηματικών, της ψυχολογίας, της επιστήμης των υπολογιστών, της γλωσσολογίας και της φιλοσοφίας, για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που διαχειρίζεται και την επίτευξη των στόχων που θέτει (Nilsson, 1998). Μέσα από την υιοθέτηση της διεπιστημονικής αυτής προσέγγισης, επιχειρείται να καταστεί κατανοητή η «ευφυΐα», διαδικασία η οποία περιλαμβάνει την κατανόηση (Nilsson, 1998):

- του τρόπου με τον οποίο αποκτάται, αναπαρίσταται και αποθηκεύεται η γνώση,
- του τρόπου με τον οποίο δημιουργείται και εξελίσσεται η ευφυής συμπεριφορά,
- του τρόπου με τον οποίο αναπτύσσονται και χρησιμοποιούνται τα κίνητρα, τα συναισθήματα και οι προτεραιότητες,
- του τρόπου με τον οποίο τα αισθητηριακά σήματα μετασχηματίζονται σε σύμβολα, και
- του τρόπου με τον οποίο τα σύμβολα γίνονται διαχειρίσιμα και χρησιμοποιούνται για να εκτελεστούν λογικές διαδικασίες, να υλοποιηθούν λογικές σκέψεις για το παρελθόν, και να πραγματοποιηθούν σχέδια για το μέλλον.

Τα βασικά ερευνητικά πεδία του τομέα της τεχνητής νοημοσύνης αφορούν στην επεξεργασία της φυσικής γλώσσας, στην αναπαράσταση γνώσης, στην αυτοματοποιημένη συλλογιστική, στη μηχανική μάθηση, στη μηχανική όραση και στη ρομποτική (Russell and Norvig, 1995). Στο επίκεντρο βρίσκονται πάντα δύο θεμελιώδεις για τον τομέα παράμετροι, η «ευφυΐα» και το «τεχνούργημα» το οποίο

είναι συνήθως ο υπολογιστής, μηχάνημα ευρέως αποδεκτό ως το καταλληλότερο τεχνούργημα που δύναται να επιδείξει ευφυΐα (Russell and Norvig, 1995).

Ανάλογα με την περίπτωση, κάποιες προσεγγίσεις εστιάζουν περισσότερο στη διαδικασία σκέψης και τη συλλογιστική και κάποιες άλλες δίνουν έμφαση στις διαδικασίες που καθορίζουν τη συμπεριφορά (Russell and Norvig, 1995). Ο βαθμός εκπλήρωσης των στόχων που τίθενται μετράται, είτε σε όρους «ανθρώπινης επίδοσης», συγκρίνοντας τις επιδόσεις του ευφυούς τεχνουργήματος με τις αντίστοιχες επιδόσεις της ανθρώπινης νοημοσύνης, είτε στη βάση της ιδεατής αρχής της «ευφυΐας» η οποία είναι αυτή του ορθολογισμού (ένα σύστημα είναι ορθολογικό όταν πράττει το λογικά ορθό) (Russell and Norvig, 1995).

Στη βάση του ορθολογισμού, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 4-1) οκτώ διαφορετικοί ορισμοί για την τεχνητή νοημοσύνη, ομαδοποιημένοι ανάλογα με την προσέγγιση και τον τρόπο μέτρησης της επιτυχίας των στόχων που τίθενται.

Πίνακας 4-1: Ορισμοί της τεχνητής νοημοσύνης οργανωμένοι σε τέσσερις κατηγορίες

Συστήματα που σκέπτονται σαν τον άνθρωπο	Συστήματα που σκέπτονται ορθολογικά
<p>«Η συναρπαστική νέα προσπάθεια για να κάνουμε τους υπολογιστές να σκέπτονται...μηχανές με νόηση, με την πλήρη και κυριολεκτική έννοια» (Haugeland, 1985).</p> <p>«Η αυτοματοποίηση των δραστηριοτήτων που συσχετίζουμε με την ανθρώπινη σκέψη, όπως η λήψη αποφάσεων, η επίλυση προβλημάτων, η μάθηση...» (Bellman, 1978).</p>	<p>«Η μελέτη των νοητικών ικανοτήτων με τη χρήση υπολογιστικών μοντέλων» (Charniak and McDermott, 1985).</p> <p>«Η μελέτη των υπολογιστικών εργασιών που μας δίνουν τη δυνατότητα να αντιλαμβανόμαστε, να συλλογίζομαστε και να ενεργούμε» (Winston, 1992).</p>
Συστήματα που ενεργούν σαν τον άνθρωπο	Συστήματα που ενεργούν ορθολογικά
<p>«Η τέχνη της δημιουργίας μηχανών που πραγματοποιούν λειτουργίες οι οποίες απαιτούν νοημοσύνη όταν υλοποιούνται από ανθρώπους» (Kurzweil, 1990).</p> <p>«Η μελέτη του πώς μπορούμε να κάνουμε τους υπολογιστές να κάνουν πράγματα στα οποία, προς το παρόν, οι άνθρωποι είναι καλύτεροι» (Rich and Knight, 1991).</p>	<p>«Ένα πεδίο έρευνας που επιχειρεί να καταστήσει κατανοητή στις υπολογιστικές διαδικασίες την ευφυή συμπεριφορά έτσι ώστε οι υπολογιστές να τη μιμηθούν» (Schalkoff, 1990).</p> <p>«Η τεχνητή νοημοσύνη ασχολείται με την ευφυή συμπεριφορά των τεχνουργημάτων» (Luger and Stubblefield, 1993).</p>

Πηγή: Russell and Norvig, 1995 (σελ. 5)

Οι ορισμοί που παρουσιάζονται στην πρώτη σειρά του πίνακα, δομήθηκαν στη βάση της προσέγγισης που εστιάζει στη *διαδικασία σκέψης* και τη *συλλογιστική*. Οι ορισμοί που βρίσκονται στη δεύτερη σειρά του πίνακα, δομήθηκαν στη βάση της προσέγγισης που εστιάζει στη *συμπεριφορά*. Στα αριστερά, βρίσκονται οι ορισμοί *μέτρησης της επιτυχίας στη βάση των ανθρώπινων επιδόσεων* ενώ στα δεξιά, οι ορισμοί *μέτρησης της επιτυχίας στη βάση του ορθολογισμού*.

Ο Alan Turing όρισε την εκδήλωση της ευφυούς συμπεριφοράς ως την ικανότητα επίτευξης ανθρώπινων επιδόσεων από την πλευρά του τεχνουργήματος, στο σύνολο των «γνωσιακών καθηκόντων» (cognitive tasks) που του ανατίθενται να επιτελέσει· επιδόσεις οι οποίες κρίνονται επαρκείς όταν ο ερωτών λαμβάνει απαντήσεις στα ερωτήματα που θέτει, τέτοιες ώστε να μην μπορεί να καταλάβει κανείς εάν οι απαντήσεις αυτές προέρχονται από υπολογιστή ή από ανθρώπινο ον (Turing test – imitation game) (Turing, 1950; Russell and Norvig, 1995).

Προφανώς, η επιτυχία του συγκεκριμένου test προϋποθέτει την ικανότητα επεξεργασίας της φυσικής γλώσσας, τη δυνατότητα αναπαράστασης γνώσης με στόχο την αποθήκευση της πληροφορίας που παρέχεται στο τεχνούργημα είτε πριν είτε κατά τη διάρκεια της «συνέντευξης», την ικανότητα διεκπεραίωσης αυτόματων συλλογισμών έτσι ώστε η αποθηκευμένη πληροφορία να μπορεί να αξιοποιηθεί προκειμένου να δοθούν απαντήσεις στα ερωτήματα που τίθενται και να εξαχθούν νέα συμπεράσματα, την ικανότητα «μηχανικής μάθησης» (machine learning) για προσαρμογή σε νέα δεδομένα, καθώς και την ικανότητα για εντοπισμό και συμπερασματική εξαγωγή προτύπων (detect and extrapolate patterns) (Russell and Norvig, 1995).

Συνεπώς, η τεχνητή νοημοσύνη επικεντρώνει το ενδιαφέρον της στη δημιουργία ευφύων τεχνουργημάτων (Ginsberg, 1993) και στην ανάπτυξη μηχανών που θα έχουν τη δυνατότητα εκδήλωσης τεχνητής ευφυούς συμπεριφοράς και υλοποίησης «νοητικών λειτουργιών» όπως η αντίληψη, η μνήμη, το συναίσθημα, η κρίση, ο συλλογισμός, η απόδειξη, η κατανόηση, η επικοινωνία, η σκέψη και η μάθηση (Li and Du, 2007), η ικανότητα αναγνώρισης προτύπων στη βάση των δεδομένων εισόδου (McCarthy, 2008) κ.λπ.

Κάποιες από τις επιμέρους επιστημονικές περιοχές που εντάσσονται στο ευρύτερο πεδίο της τεχνητής νοημοσύνης είναι ενδεικτικά οι ακόλουθες (Konar, 2000; Luger, 2005):

- Τα *Συστήματα Μάθησης*: Τομέας που εστιάζει στη δημιουργία συστημάτων μάθησης και ως εκ τούτου στη μελέτη των διαδικασιών μάθησης. Για τον σκοπό αυτό, αξιοποιούνται μέθοδοι όπως η παραμετρική μάθηση, η επαγωγική μάθηση, η μάθηση που αποκτάται στη βάση αναλογιών κ.λπ.
- Ο *Αυτόματος Συλλογισμός και η Απόδειξη Θεωρημάτων (Automated Reasoning and Theorem Proving)*: Τομέας που εστιάζει στην αυτόματη απόδειξη μαθηματικών θεωρημάτων. Ο συγκεκριμένος τομέας έθεσε τις βάσεις για την τυποποίηση των αλγορίθμων αναζήτησης και την ανάπτυξη «τυπικών γλωσσών αναπαράστασης» (formal representation languages) όπως ο «κατηγορηματικός λογισμός» (predicate calculus) και η γλώσσα λογικού προγραμματισμού PROLOG.
- Η *Κατανόηση της Φυσικής Γλώσσας και η Σημασιολογία (Natural Language Understanding and Semantics)*: Τομέας που εστιάζει στη δημιουργία λογισμικού που αφορά στην κατανόηση και στην παραγωγή της ανθρώπινης γλώσσας όχι μόνο στο επίπεδο της απλής ανάλυσης των λέξεων μίας πρότασης αλλά, στο επίπεδο της πλήρους κατανόησης του νοήματος στη βάση της ορολογίας, των ιδιωτισμών κ.λπ. που αφορούν στο εκάστοτε πεδίο (επιστήμη, αθλητισμός κ.λπ.). Έμφαση δίνεται επίσης στην έμμεση εξαγωγή του συνολικού νοήματος μίας πρότασης στην περίπτωση που κάποιες λέξεις παραλείπονται ή εννοούνται.
- Η *Αναπαράσταση Γνώσης και η Συλλογιστική*: Τομέας που εστιάζει στις διαδικασίες επίτευξης ενός στόχου που έχει εξ αρχής οριστεί στη βάση μίας ή περισσότερων αρχικών καταστάσεων. Οι τεχνικές αναπαράστασης γνώσης που αξιοποιούνται για τον σκοπό αυτό είναι οι κανόνες παραγωγής, τα «σημασιολογικά δίκτυα» (semantic nets), τα πλαίσια κ.λπ.
- Ο *Σχεδιασμός και η Ρομποτική*: Τομέας που εστιάζει στον προσδιορισμό της μεθοδολογίας (βημάτων) μέσω της οποίας καθίσταται δυνατή η επίτευξη ενός στόχου στη βάση αρχικών δεδομένων καταστάσεων.
- Η *Απόκτηση Γνώσης*: Τομέας που εστιάζει τόσο στη δημιουργία νέας γνώσης αξιοποιώντας μία ήδη υπάρχουσα βάση γνώσης, όσο και στη

- δημιουργία δυναμικών δομών δεδομένων που αφορούν στην ήδη υπάρχουσα γνώση, αλλά και στην πρόσληψη και απόκτηση (learning) γνώσης από το περιβάλλον και την περαιτέρω επεξεργασία της γνώσης.
- Η *Ευφυής Αναζήτηση*: Τομέας που εστιάζει στο ζήτημα της σειράς επισκευσιμότητας των στοιχείων που βρίσκονται στον χώρο αναζήτησης η οποία εξαρτάται άμεσα από τα εκάστοτε σύνολα δεδομένων.
 - Ο *Λογικός Προγραμματισμός*: Τομέας που εστιάζει στην ανάπτυξη λογικών προγραμμάτων αξιοποιώντας και εξελίσσοντας κατά βάση τη γλώσσα PROLOG.
 - Το *Soft Computing*: Τομέας που εστιάζει στην ανάπτυξη υπολογιστικών μοντέλων εφοδιασμένων με την ικανότητα διαχείρισης (συλλογισμός και μάθηση) της αβεβαιότητας και της μη-ακριβούς πληροφορίας – με μαθηματικούς όρους – με τρόπο παρόμοιο με αυτόν που διαχειρίζεται τα συγκεκριμένα ζητήματα ο ανθρώπινος εγκέφαλος. Το soft computing αξιοποιεί εργαλεία και τεχνικές όπως η ασαφής λογική, τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα, οι γενετικοί αλγόριθμοι κ.λπ. Η ασαφής λογική στηρίζεται στη θεωρία των ασαφών συνόλων για τη μοντελοποίηση των ανθρώπινων συλλογισμών σε σχέση με προβλήματα του πραγματικού κόσμου. Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα προσομοιώνουν τα βιολογικά νευρωνικά δίκτυα και τις διαδικασίες που αυτά επιτελούν για τη λήψη πληροφορίας από το περιβάλλον και την επεξεργασία της ενώ, αξιοποιούνται κυρίως από τον τομέα της μηχανικής μάθησης (machine learning). Οι γενετικοί αλγόριθμοι ανήκουν στην κατηγορία των στοχαστικών αλγορίθμων που προσομοιώνουν τη φυσική διαδικασία της βιολογικής εξέλιξης στη βάση της θεωρίας του Δαρβίνου και τη βασική αρχή σύμφωνα με την οποία «ο πιο ικανός επιβιώνει» (διαδικασία φυσικής επιλογής). Αξιοποιούνται κυρίως από τους τομείς της ευφυούς αναζήτησης, της μηχανικής μάθησης και της βελτιστοποίησης. Στην περίπτωση αυτή, ο κύκλος της εξέλιξης αποτελείται από τρία βασικά βήματα: τη δημιουργία πληθυσμού (καταστάσεις ενός προβλήματος που αναπαρίστανται ως χρωμοσώματα), τη γενετική εξέλιξη αξιοποιώντας τελεστές

«διασταύρωσης» και «μετάλλαξης» και την επιλογή των καλύτερων υποψήφιων καταστάσεων από τον πληθυσμό που έχει δημιουργηθεί.

- Η *Διαχείριση της Ανακρίβειας και της Αβεβαιότητας (Management of Imprecision and Uncertainty)*: Τομέας που εστιάζει στη διαχείριση διαφόρων τύπων ατελειών (various forms of incompleteness) που εντοπίζονται είτε σε δεδομένα είτε σε βάσεις γνώσης στα διάφορα τυπικά προβλήματα τεχνητής νοημοσύνης όπως ο «συλλογισμός» και ο «σχεδιασμός». Στην πρώτη περίπτωση – ατέλειες στα δεδομένα – το πρόβλημα εντοπίζεται στην έλλειψη ακρίβειας είτε σε επίπεδο έλλειψης κατάλληλων δεδομένων είτε σε επίπεδο αυθεντικότητας των πηγών προέλευσης των δεδομένων. Στη δεύτερη περίπτωση – ατέλειες στη γνώση – το πρόβλημα εντοπίζεται στην αβεβαιότητα, δηλαδή στην έλλειψη βεβαιότητας αναφορικά με τα «τμήματα» γνώσης που είναι διαθέσιμα. Στις τεχνικές που αξιοποιεί ο συγκεκριμένος τομέας για την επίλυση των προβλημάτων που διαχειρίζεται, συμπεριλαμβάνονται τα στοχαστικά μοντέλα, η ασαφής λογική κ.ά.

Στην παρούσα διατριβή, δίνεται έμφαση στην αξιοποίηση της ασαφούς λογικής και των δυνατοτήτων που η συγκεκριμένη τεχνική soft computing εξασφαλίζει προς την κατεύθυνση της βελτιστοποίησης της διαδικασίας πολυκριτηριακής αξιολόγησης. Πιο συγκεκριμένα, αξιοποιούνται τα πλεονεκτήματα που προσφέρει για τη μοντελοποίηση, κατανόηση και διαχείριση λεκτικών εκφράσεων που διατυπώνονται από ειδικούς, τη διαχείριση της αβεβαιότητας και της ασάφειας που υπεισέρχεται στον σχεδιασμό πολύπλοκων και δυναμικών συστημάτων, τη λήψη αποφάσεων και την εξεύρεση λύσεων σε προβλήματα όπου τα δεδομένα είναι μη-ακριβή καθώς και τη διαχείριση ποιοτικής πληροφορίας βασισμένης στη φυσική γλώσσα.

4.2. Soft Computing

Όπως ήδη αναφέρθηκε, ο τομέας του Soft Computing εστιάζει στη διαχείριση προβλημάτων και την αναζήτηση λύσεων στη βάση της αβεβαιότητας, της ασάφειας και της «μερικής αλήθειας» (Zadeh, 1994a; Mitra et al., 2002) που αρκετές φορές χαρακτηρίζουν τα δεδομένα ή την πληροφορία που διατίθενται για την επίλυση ενός προβλήματος.

Οι διάφορες μέθοδοι και τεχνικές που αξιοποιεί ο τομέας του Soft Computing, υποστηρίζουν διαδικασίες αναζήτησης προσεγγιστικών και «εύρωστων» λύσεων σε περιπτώσεις προβλημάτων που αφορούν κυρίως σε μη γραμμικά δυναμικά συστήματα τα οποία χαρακτηρίζονται από υψηλό βαθμό πολυπλοκότητας. Συνιστά τη βάση για την ανάπτυξη τεχνικών μηχανικής μάθησης όπως τα νευρωνικά δίκτυα, η «πιθανοτική συλλογιστική» (probabilistic reasoning) ή «πιθανοτική υπολογιστική» (probabilistic computing), η «εξελικτική υπολογιστική» και η λογική της ασάφειας οι οποίες, δεν είναι μεταξύ τους ανταγωνιστικές αλλά σε αρκετές περιπτώσεις αξιοποιούνται συνδυαστικά (Zadeh, 1994a; Zadeh, 1998).

Στο πλαίσιο αυτό, οι παραπάνω τεχνικές εστιάζουν στην αναζήτηση μοντέλων προσομοίωσης του τρόπου συλλογιστικής του ανθρώπινου εγκεφάλου που τις περισσότερες φορές είναι μάλλον προσεγγιστικός και όχι ακριβής, παρουσιάζοντας ως εκ τούτου μία ανοχή όσον αφορά την έλλειψη ακρίβειας και την αβεβαιότητα (Zadeh, 1994a).

Σε γενικές γραμμές, το Soft Computing υποστηρίζει διαδικασίες μάθησης αξιοποιώντας πειραματικά δεδομένα και διαδικασίες μεταφοράς της ανθρώπινης γνώσης σε αναλυτικά μαθηματικά μοντέλα (Kecman, 2001). Επιπλέον, εστιάζει στη δόμηση μεθόδων ορισμού και επίλυσης προβλημάτων οι οποίες ενσωματώνουν ευφυή συμπεριφορά (εμπειρική μάθηση, γενίκευση κανόνων, αναγνώριση προτύπων, λήψη αποφάσεων) ενώ, υλοποιεί τις διαδικασίες αυτές μέσα από την αναζήτηση ad hoc, προσεγγιστικών, μη γενικών και μη ακριβών, σύμφωνα με τα αξιώματα της δίτιμης λογικής, λύσεων (Kecman, 2001). Στη βάση αυτής της προσέγγισης, δομούνται αντίστοιχα μοντέλα, αλγόριθμοι και ευφυή συστήματα που ικανοποιούν τις προϋποθέσεις που περιγράφηκαν παραπάνω (Kecman, 2001).

Συνήθεις περιπτώσεις αξιοποίησης τεχνικών Soft Computing συνιστούν τα NP-complete προβλήματα που δεν είναι δυνατόν να επιλυθούν σε πολυωνυμικό χρόνο ενώ παράλληλα, δεν υπάρχει κάποιος ντετερμινιστικός αλγόριθμος που να μπορεί να εφαρμοστεί για την επίλυσή τους. Soft Computing τεχνικές αξιοποιούνται από τον τομέα της εξόρυξης δεδομένων για τη μοντελοποίηση της ασάφειας και της ποιοτικής γνώσης, τη διαχείριση της αβεβαιότητας και την υποστήριξη διαδικασιών επεξεργασίας και διαχείρισης λεκτικών εννοιών (ασαφή σύνολα), για την υποστήριξη διαδικασιών μάθησης και γενίκευσης της γνώσης (νευρωνικά δίκτυα), καθώς και για την επιλογή προτύπων από ένα σύνολο δεδομένων στη βάση κριτηρίων προτίμησης (γενετικοί αλγόριθμοι) (Mitra et al., 2002) κ.λπ. Επίσης, χρησιμοποιούνται στον

χρηματοοικονομικό τομέα για τη μοντελοποίηση μη γραμμικών σχέσεων με στόχο την πρόβλεψη τιμών μετοχών μέσα από την υιοθέτηση νευρωνικών και νευροασαφών τεχνικών (Atsalakis and Valavanis, 2009). Η προσέγγιση του Soft Computing έχει αξιοποιηθεί και σε περιπτώσεις αναζήτησης προσεγγιστικών λύσεων στο «πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή» μέσα από την εφαρμογή της τεχνικής των γενετικών αλγορίθμων (Chatterjee et al., 1996; Liao et al., 2012).

4.2.1. Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (Artificial Neural Networks)

Ο τομέας της ανάπτυξης τεχνητών νευρωνικών δικτύων θέτει ως στόχο τη μοντελοποίηση των διαδικασιών επεξεργασίας της πληροφορίας με τρόπο παρόμοιο με αυτόν που τα βιολογικά νευρωνικά δίκτυα επεξεργάζονται την πληροφορία που λαμβάνουν από το περιβάλλον (Fukuda and Shibata, 1992; Rojas, 1996).

Στις πρώτες προσπάθειες μοντελοποίησης των βιολογικών νευρωνικών δικτύων, συγκαταλέγεται η πρόταση των McCulloch και Pitts η οποία δημοσιεύθηκε το 1943 στο περιοδικό 'Bulletin of Mathematical Biophysics' όπου περιγράφεται η διαδικασία μοντελοποίησης των δραστηριοτήτων που υλοποιούν οι βιολογικοί νευρώνες για την επεξεργασία της γνώσης που λαμβάνουν, μέσα από την παρουσίαση των μαθηματικών θεωρημάτων στη βάση των οποίων δομήθηκε το προτεινόμενο μοντέλο.

Βασική αρχή επάνω στην οποία στηρίχθηκε η θεωρία για τη σύνθεση του μοντέλου των McCulloch και Pitts συνιστά ο ισχυρισμός ότι τα νευρωνικά συμβάντα, οι μεταξύ τους σχέσεις και η συμπεριφορά κάθε δικτύου μπορεί να μελετηθούν υπό το πρίσμα του προτασιακού λογισμού (propositional logic) (McCulloch and Pitts, 1943). Ο McCulloch υποστήριξε ότι το ανθρώπινο νευρωνικό σύστημα και ο τύπος των υπολογισμών που πραγματοποιεί, δύνανται να αποτελέσουν τη βάση για τον σχεδιασμό ενός ρομπότ που θα μπορεί να εκτελεί πολύπλοκους υπολογισμούς καθώς αυτό αποτελεί πρότυπο αποτελεσματικής οργάνωσης ενός πολύπλοκου ευφυούς συστήματος (Kilmer et al., 1969).

Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα παρέχουν δυνατότητες παράλληλης επεξεργασίας της γνώσης, δυνατότητες μάθησης, μη γραμμικής απεικόνισης και γενίκευσης ενώ, αξιοποιούνται από τους τομείς της αναγνώρισης προτύπων, της επεξεργασίας πληροφορίας, της σχεδίασης κ.λπ. (Fukuda and Shibata, 1992; Basheer and Hajmeer, 2000). Γενικότερα, τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα βρίσκουν ευρεία

εφαρμογή σε περιπτώσεις πολύπλοκων προβλημάτων του πραγματικού κόσμου (Basheer and Hajmeer, 2000). Αποτελούν δομές οι οποίες συνίστανται από στοιχεία επεξεργασίας της πληροφορίας– τους λεγόμενους τεχνητούς νευρώνες ή κόμβους – οι οποίοι είναι αλληλοσυνδεδεμένοι και αλληλεπιδρούν μεταξύ τους κατά τα πρότυπα των βιολογικών νευρωνικών δικτύων, αξιοποιώντας την ικανότητα που διαθέτουν για διεκπεραίωση μαζικών παράλληλων υπολογισμών με στόχο αφενός την επεξεργασία δεδομένων και αφετέρου την αναπαράσταση γνώσης (Hecht-Nielsen, 1990; Schalkoff, 1997; Basheer and Hajmeer, 2000).

Η προτίμηση των τεχνητών νευρωνικών δικτύων ως ιδανικών μοντέλων επίλυσης προβλημάτων στους τομείς που αξιοποιούνται, έγκειται στις αξιοσημείωτες δυνατότητες που παρέχουν για επεξεργασία της πληροφορίας με τρόπο παρόμοιο με αυτόν των βιολογικών δικτύων νευρώνων.

Πιο συγκεκριμένα, διαθέτουν χαρακτηριστικά όπως (Jain et al., 1996; Basheer and Hajmeer, 2000):

- η διαχείριση και μοντελοποίηση της μη-γραμμικότητας,
- η δυνατότητα για παράλληλους υπολογισμούς / παράλληλη λειτουργία νευρώνων,
- η δυνατότητα μάθησης,
- η δυνατότητα διαχείρισης μη-ακριβούς και ασαφούς πληροφορίας, και
- η δυνατότητα γενίκευσης.

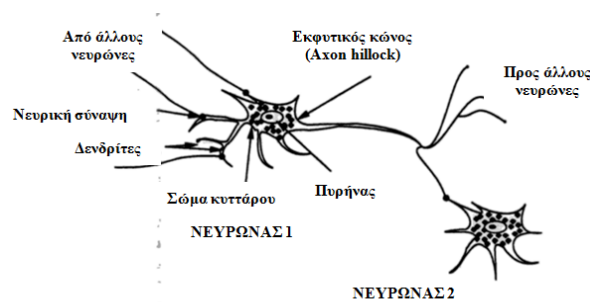
Παράλληλα, επιτρέπουν την καλύτερη προσαρμογή του μοντέλου στα δεδομένα, την ακριβή πρόβλεψη παρά την παρουσία θορύβου λόγω σφαλμάτων μέτρησης και επισφαλών δεδομένων, την ενημέρωση της εσωτερικής δομής του συστήματος λόγω της ικανότητας μάθησης και προσαρμογής σε νέα δεδομένα κ.λπ. (Jain et al., 1996; Basheer and Hajmeer, 2000).

Η δομή των τεχνητών νευρωνικών δικτύων προσομοιάζει σε αυτή των βιολογικών νευρωνικών δικτύων καθώς τα βιολογικά νευρωνικά δίκτυα συνιστούν το πρότυπο σχεδίασης και λειτουργίας των τεχνητών. Ωστόσο, υπάρχουν σημαντικές αποκλίσεις, αφενός ως προς τον αριθμό των νευρώνων (στον ανθρώπινο εγκέφαλο υπάρχουν δισεκατομμύρια νευρώνες και συνδέσεις ενώ στα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα φτάνουν τις μερικές εκατοντάδες – το πολύ χιλιάδες) και αφετέρου ως προς τον τρόπο λειτουργίας τους και επεξεργασίας της πληροφορίας και των ερεθισμάτων

που λαμβάνουν από το περιβάλλον (ασύγχρονος ρυθμός λειτουργίας) (Yegnanarayana, 2006).

Η θεμελιώδης μονάδα ενός βιολογικού νευρωνικού δικτύου (Σχήμα 4-1) είναι ο νευρώνας ή νευρικό κύτταρο στο σώμα του οποίου συνδέονται: οι δενδρίτες (νευρικές ίνες) που λαμβάνουν σήματα από άλλους νευρώνες και ο άξονας που διακλαδίζεται σε επιμέρους νήματα (strands) τα οποία με τη σειρά τους συνδέονται με διάφορους άλλους νευρώνες μέσω των συνάψεων (Yegnanarayana, 2006). Οι συνάψεις καθιστούν δυνατή την επικοινωνία μεταξύ των νευρώνων μεταφέροντας σήματα από τον ένα νευρώνα στον άλλο, οι δενδρίτες λειτουργούν ως δέκτες σημάτων από άλλους νευρώνες ενώ, ο άξονας μεταφέρει το αποτέλεσμα της νευρωνικής δραστηριότητας – επεξεργασία πληροφορίας – σε άλλα νευρωνικά κύτταρα (Yegnanarayana, 2006).

Η μεταφορά πληροφορίας από το ένα νευρωνικό κύτταρο στο άλλο επιτυγχάνεται υπό την προϋπόθεση της πυροδότησης του κυττάρου-δέκτη του σήματος η οποία, λαμβάνει χώρα στην περίπτωση αύξησης του ηλεκτρικού δυναμικού του κυττάρου-δέκτη με βάση ένα κατώφλι (threshold) (Yegnanarayana, 2006). Εάν το δυναμικό ενέργειας δεν ξεπεράσει το κατώφλι, το κύτταρο-δέκτης δεν ενεργοποιείται.

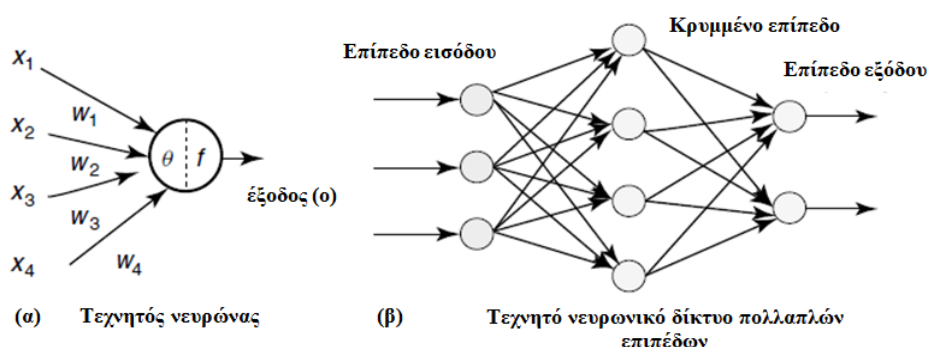


Σχήμα 4-1: Σχηματική αναπαράσταση ενός βιολογικού νευρώνα
Πηγή: Yegnanarayana, 2006

Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα αποτελούν μία προσπάθεια αναπαράστασης και μοντελοποίησης των βιολογικών νευρωνικών δικτύων, απέχοντας όμως αρκετά από τη δυνατότητα πλήρους προσομοίωσης των λειτουργιών και διαδικασιών που υλοποιεί ένα βιολογικό δίκτυο νευρώνων και δει το ανθρώπινο νευρωνικό σύστημα. Ένα τεχνητό νευρωνικό δίκτυο είναι μία απλοποιημένη αναπαράσταση ενός βιολογικού και αποτελείται από μονάδες επεξεργασίας οι οποίες αντιστοιχούν στους

νευρώνες και αλληλοσυνδέονται μεταξύ τους (Abraham, 2005; Yegnanarayana, 2006).

Ένα τεχνητό νευρωνικό δίκτυο (Σχήμα 4-2) αποτελείται κατά βάση από τρία είδη επιπέδων νευρώνων: το *επίπεδο εισόδου*, το *κρυμμένο επίπεδο* (hidden layer) και το *επίπεδο εξόδου* (Abraham, 2005). Η διαδρομή που ακολουθεί το προς επεξεργασία σήμα είναι από αριστερά (input layer) προς τα δεξιά (output layer) στην περίπτωση των feed-forward δικτύων αλλά υπάρχουν δυνατότητες και για εναλλακτικές διαδρομές του σήματος ανάλογα με την αρχιτεκτονική του εκάστοτε νευρωνικού δικτύου (Abraham, 2005).



Σχήμα 4-2: Σχηματική αναπαράσταση ενός α) τεχνητού νευρώνα και β) τεχνητού νευρωνικού δικτύου πολλαπλών επιπέδων
 Πηγή: Abraham, 2005

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι νευρωνικών δικτύων, ανάλογα με τη δομή τους, : α) τα *αυτόματα συσχετιζόμενα / αυτο-συσχετιζόμενα* (auto associative) δίκτυα ή *αναδραστικά δίκτυα* (feedback networks) η δομή των οποίων είναι επαναλαμβανόμενη και β) τα *συσχετιζόμενα δίκτυα* ή *feed forward networks* η δομή των οποίων είναι μη επαναλαμβανόμενη (Sharma et al., 2012). Η μεταξύ τους διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι στην πρώτη περίπτωση το σήμα «ταξιδεύει» και προς τις δύο κατευθύνσεις του δικτύου ενώ, στη δεύτερη περίπτωση το σήμα «ταξιδεύει» προς μία κατεύθυνση (από αριστερα προς τα δεξιά) (Sharma et al., 2012).

Το πρώτο επίπεδο νευρώνων (input layer) είναι αυτό που λαμβάνει τα δεδομένα που εισάγονται για επεξεργασία στο νευρωνικό δίκτυο (x_j) (διάνυσμα δεδομένων εισόδου)· η αποτελεσματικότητα των συνάψεων που εξυπηρετούν την επικοινωνία μεταξύ των νευρώνων στα διάφορα επίπεδα αναπαρίσταται ως βάρος

(w_j) (διάνυσμα βαρών) της κάθε σύναψης και το αποτέλεσμα που δίνει το επίπεδο εξόδου (output layer) προκύπτει από τη σχέση (Fyfe, 2005):

$$y = f\left(\sum_i w_i x_i\right) = f(wx) = f(w^T \chi)$$

Στην περίπτωση που το βάρος μεταξύ δύο νευρώνων είναι θετικό, ο νευρώνας-δέκτης διεγείρεται και λαμβάνει μία είσοδο ενώ στην περίπτωση που το βάρος είναι αρνητικό δεν υπάρχει διέγερση του νευρώνα-δέκτη (Fyfe, 2005).

Συμπερασματικά, οι είσοδοι εισέρχονται στο νευρωνικό δίκτυο και πολλαπλασιάζονται με τα αντίστοιχα βάρη έως ότου η διέγερση των νευρώνων να φτάσει στο επίπεδο εξόδου (Fyfe, 2005). Το μεσαίο επίπεδο νευρώνων (κρυμμένο επίπεδο) είναι αόρατο από το εξωτερικό περιβάλλον του δικτύου και η διέγερσή τους δεν μπορεί να επηρεαστεί άμεσα (Fyfe, 2005).

Η τεχνική των νευρωνικών δικτύων αξιοποιείται σε εφαρμογές εξόρυξης δεδομένων ως ένα μη παραμετρικό και εύρωστο εργαλείο μάθησης και γενίκευσης (Mitra et al., 2002), σε εφαρμογές ταξινόμησης για την υποστήριξη διαδικασιών μάθησης και αναγνώρισης προτύπων (Du, 2010), κ.λπ.

4.2.2. Εξελικτικοί Αλγόριθμοι (Evolutionary Algorithms)

Οι *εξελικτικοί αλγόριθμοι* ορίζονται ως ένα είδος υπολογιστικών προγραμμάτων που χρησιμοποιούνται για την επίλυση σύνθετων και πολύπλοκων προβλημάτων στη βάση της Δαρβίνιας θεωρίας για την εξέλιξη των ειδών (Jones, 1998). Ουσιαστικά, επιτελείται μία προσπάθεια μίμησης των φυσικών διαδικασιών εξέλιξης, μάθησης και προσαρμογής στο φυσικό περιβάλλον όπου επιβιώνει ο ικανότερος, ο έχων τη μεγαλύτερη δυνατότητα προσαρμογής και υγιέστερος (Yu and Gen, 2010).

Ο τομέας των εξελικτικών αλγορίθμων χρησιμοποιεί εργαλεία και μεθόδους από τα πεδία της τεχνητής νοημοσύνης, της επιχειρησιακής έρευνας, της επιστήμης του electrical engineering κ.ά. (Σχήμα 4-3) καθώς, οι συγκεκριμένοι αλγόριθμοι εφαρμόζονται κατά κόρον σε περιπτώσεις προβλημάτων βελτιστοποίησης και μηχανικής μάθησης (Yu and Gen, 2010).



Σχήμα 4-3: Η σχέση μεταξύ επιχειρησιακής έρευνας, τεχνητής νοημοσύνης, εξελικτικών αλγορίθμων και άλλων επιμέρους επιστημονικών πεδίων
 Πηγή: Yu and Gen, 2010

Οι εξελικτικοί αλγόριθμοι ενσωματώνουν ικανότητες βελτιστοποίησης και μάθησης μέσα από την ικανότητά τους να εξελίσσονται (εξελικτική προσαρμογή). Τα βασικά τους χαρακτηριστικά είναι τα ακόλουθα (Yu and Gen, 2010):

- Είναι *population-based*, διατηρούν δηλαδή ένα σύνολο λύσεων (χώρος λύσεων) το οποίο καλείται «πληθυσμός» με στόχο τη βελτιστοποίηση ή την περαιτέρω εμβάθυνση σε ένα πρόβλημα. Ο πληθυσμός συνιστά βασική αρχή της εξελικτικής διαδικασίας.
- Είναι *fitness-oriented*. Κάθε λύση ενός πληθυσμού είναι ιδιαίτερη και αναπαρίσταται τόσο από τα γονιδιά της που καλούνται «γενετικός κώδικας» όσο και από την αποτίμηση της επίδοσής της που καλείται «αξία προσαρμογής» (fitness value). Οι λύσεις που προτιμώνται από τους εξελικτικούς αλγορίθμους είναι οι ικανότερες και «υγιέστερες».
- Είναι *variation-driven*. Η κάθε επιμέρους λύση που ανήκει στον πληθυσμό υφίσταται μία σειρά από διαδικασίες μετάλλαξης, αντίστοιχες με αυτές των γονιδιακών μεταλλάξεων, διαδικασία θεμελιακή κατά την αναζήτηση στον χώρο των λύσεων.

Οι βασικές αρχές στις οποίες στηρίζεται η διαδικασία αναζήτησης λύσεων μέσα από την εφαρμογή εξελικτικών αλγορίθμων είναι οι αρχές της «επιλογής» και της «μετάλλαξης», οι οποίες και συνιστούν τη βάση επάνω στην οποία αναπτύσσεται ο πληθυσμός (χώρος) των πιθανών λύσεων (Ahn, 2006).

Οι βασικοί τελεστές που χρησιμοποιούνται είναι ο *τελεστής ανασυνδυασμού / διασταύρωσης* (recombination / crossover) *γονιδίων* και ο *τελεστής μετάλλαξης* (Ahn, 2006). Οι τελεστές ανασυνδυασμού επιτρέπουν τη διεξαγωγή αναζήτησης, συνδυάζοντας μεταξύ τους τις καλύτερες μερικές λύσεις ενώ οι τελεστές μετάλλαξης σχετίζονται κυρίως με την ενίσχυση της ποικιλίας του πληθυσμού. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι υποψηφίες λύσεις κωδικοποιούνται υπο μορφή συμβολοσειρών που αποκαλούνται *χρωμοσώματα* τα οποία με τη σειρά τους αποτελούνται από *γονίδια* αναπαριστώμενα ως δυαδικά ψηφία (0 ή 1) καθένα από τα οποία καταλαμβάνει συγκεκριμένη θέση στη συμβολοσειρά. Οι λειτουργίες διασταύρωσης, μετάλλαξης και επιλογής λύσεων συνεπάγονται αλλαγές στα δυαδικά ψηφία των παραπάνω συμβολοσειρών οι οποίες υλοποιούνται μέσω συνδυασμών συμβολοσειρών, αντικατάσταση ενός δυαδικού ψηφίου της συμβολοσειράς με ένα άλλο κ.λπ.

Συνοπτικά, οι εξελικτικοί αλγόριθμοι εφαρμόζονται σε περιπτώσεις μοντελοποίησης και αναζήτησης λύσεων σε σύνθετα προβλήματα προκειμένου να αναζητηθεί η λύση εκείνη που προσεγγίζει τη βέλτιστη. Αρχικά, υφίσταται ένας πολύ μεγάλος χώρος αναζήτησης πιθανών λύσεων του προβλήματος (σύνολο υποψηφίων λύσεων) οι οποίες αξιοποιούνται για την αναπαραγωγή διαδοχικών γενεών λύσεων μέσα από τις διαδικασίες της *διασταύρωσης*, της *μετάλλαξης* και της *επιλογής* (Πατρούμπας, 2002). Στη βάση των παραπάνω διαδικασιών, επιδιώκεται ο συνδυασμός πιθανών λύσεων του χώρου αναζήτησης ώστε να προκύψουν νέες, πιο βελτιωμένες λύσεις ενώ από κάθε γενιά που προκύπτει επιλέγονται τα καταλληλότερα μέλη για τη δημιουργία της επόμενης γενιάς, αφού πρώτα αξιολογηθούν βάσει μίας *συνάρτησης προσαρμογής* (Πατρούμπας, 2002). Οι *απόγονοι* που κάθε φορά προκύπτουν πλησιάζουν όλο και περισσότερο τη βέλτιστη λύση ενώ η διαδικασία αναζήτησης λύσης ολοκληρώνεται όταν βρεθεί η λύση εκείνη που προσεγγίζει περισσότερο τη βέλτιστη.

Στην κατηγορία των εξελικτικών αλγορίθμων εντάσσονται διάφορα είδη αλγορίθμων όπως οι γενετικοί αλγόριθμοι, ο γενετικός και εξελικτικός προγραμματισμός κ.ά.

4.2.3. Ασαφής λογική (Fuzzy Logic)

Αρχής γενομένης από τους αρχαίους Έλληνες φιλοσόφους και μαθηματικούς (Αριστοτέλης, Πυθαγόρας κ.ά), τέθηκαν τα θεμέλια επάνω στα οποία δομήθηκε η

θεωρία των επιστημών και δει των θετικών επιστημών στον δυτικό κόσμο, με τον Αριστοτέλη να διατυπώνει στα κείμενά του τις αρχές τις δίτιμης λογικής, του «υπάρχειν» και του «μη υπάρχειν». Η βασική αρχή της δίτιμης αριστοτέλειας λογικής αποκλείει την «τρίτη λύση» και ως εκ τούτου, μία λογική πρόταση μπορεί να είναι είτε αληθής είτε ψευδής, ένα στοιχείο μπορεί είτε να ανήκει σε ένα σύνολο είτε να μην ανήκει σε αυτό κ.ο.κ. Το αληθές ή «υπάρχειν» και το ψευδές ή «μη υπάρχειν» αναπαρίστανται από το 1 και το 0 αντίστοιχα, συμβολισμοί με τη βοήθεια των οποίων τα αξιώματα της «ύπαρξης» και της «μη ύπαρξης» κωδικοποιούνται και δύνανται να αξιοποιηθούν από τις επιστήμες των μαθηματικών και της πληροφορικής για την υλοποίηση πολυάριθμων, τεχνολογικών στη συντριπτική τους πλειοψηφία, εφαρμογών.

Ωστόσο, όπως κάθε προσπάθεια μοντελοποίησης φαινομένων του πραγματικού κόσμου δεν περιγράφει επακριβώς το φαινόμενο που αναπαριστά, αλλά δομείται αφαιρετικά διατηρώντας τα ουσιώδη κατά τον εκάστοτε μελετητή χαρακτηριστικά του φαινομένου, έτσι και η δίτιμη λογική προσεγγίζει με αρκετά ακριβή και αυστηρά όρια, συστήματα εξαιρετικά σύνθετα και δυναμικά, χαρακτηριζόμενα από πολύπλοκες σχέσεις αλληλεπίδρασης μεταξύ των στοιχείων τους. Κατά συνέπεια, η δίτιμη λογική δεν μπορεί να περιγράψει επακριβώς τον φυσικό κόσμο αφού δύναται να τον προσεγγίσει μόνο ως ένα βαθμό. Το γεγονός αυτό διατυπώνεται υπό μορφή λογικών παραδόξων μέσα από τα οποία καταδεικνύεται η «αδυναμία» ακριβούς, πιστής και πλήρους περιγραφής του φυσικού κόσμου από τα αξιώματα της δίτιμης λογικής.

Ένα από τα πρώτα λογικά παράδοξα διατυπώθηκε από τον Κρητικό Επιμενίδη ο οποίος ισχυρίστηκε ότι «οι Κρητικοί λένε πάντα ψέματα». Σύμφωνα με τους κανόνες της συλλογιστικής, τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την παραπάνω διατύπωση του Επιμενίδη έχουν ως εξής:

«Οι Κρητικοί λένε πάντα ψέματα»

«Ο Επιμενίδης είναι Κρητικός»

«Επομένως, ο Επιμενίδης λέει ψέματα όταν ισχυρίζεται ότι οι Κρητικοί ψεύδονται»

«Επομένως, οι Κρητικοί λένε την αλήθεια»

«Επομένως, εφόσον ο Επιμενίδης είναι Κρητικός λέει την αλήθεια»

«Επομένως, οι Κρητικοί είναι ψεύτες κ.ο.κ.»

Το παραπάνω παράδοξο συνιστά μία αντίφαση της δίτιμης λογικής καθώς δεν οδηγεί ουσιαστικά σε κανένα συμπέρασμα για το εάν τελικά οι Κρητικοί είναι ψεύτες ή όχι.

Την ίδια περίπου εποχή με τον Επιμενίδη, διάφορα παράδοξα διατυπώθηκαν από τον Ζήνωνα τον Ελεάτη όπως αυτό της «Διχοτομίας» σύμφωνα με το οποίο:

«Ένας δρομέας προκειμένου να διανύσει μία απόσταση πρέπει πρώτα να διανύσει το μισό της. Για να φτάσει όμως στο μισό της αρχικής διαδρομής θα πρέπει να διανύσει τη μισή απόσταση της αρχικής μισής διαδρομής κ.ο.κ. Όσο ο χώρος μπορεί και διχοτομείται σε όλο και περισσότερα (μικρότερα) μέρη, οι επιμέρους διαδρομές προστίθενται μεταξύ τους και καταλήγουν να είναι άπειρες σε αριθμό. Κανείς όμως δεν μπορεί να τρέξει άπειρο αριθμό διαδρομών και επομένως ο δρομέας δε θα φτάσει ποτέ στο σημείο προορισμού του».

Το παράδοξο αυτό καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η κίνηση είναι αδύνατη καθώς ό,τι κινείται, πριν φτάσει στον τελικό προορισμό του, πρέπει να φτάσει στη μέση της απόστασης που έχει να διανύσει.

Αρκετά αργότερα, ο Βρετανός μαθηματικός και φιλόσοφος Bertrand Russell, διατύπωσε μεταξύ άλλων τους ισχυρισμούς που φαίνονται στο επόμενο πλαίσιο καθώς και το γνωστό «Παράδοξο του κουρέα» σύμφωνα με το οποίο ο κουρέας ισχυρίζεται ότι «ξυρίζει όλους αυτούς που δεν ξυρίζονται μόνοι τους» αφήνοντας εύλογα να προκύψει το ερώτημα «Ποιός ξυρίζει τον κουρέα;». Σύμφωνα με τους παρακάτω ισχυρισμούς και το παράδοξο με τον κουρέα, ο Russell αφήνει ανοιχτό το ζήτημα των αντιφάσεων της δίτιμης λογικής αλλά και «...των λογικών αδυναμιών της για την έκφραση της ασάφειας της φυσικής γλώσσας και της ανθρώπινης νοημοσύνης» (Θεοδώρου, 2012: σελ.20).

«Οτιδήποτε είναι ασαφές σε ένα βαθμό που δεν αντιλαμβανόμαστε έως ότου προσπαθήσουμε να το ορίσουμε με ακρίβεια» (Everything is vague to a degree you do not realize till you have tried to make it precise).

«Η παραδοσιακή λογική, στο σύνολό της, υποθέτει τακτικά ότι χρησιμοποιούνται ακριβή σύμβολα / δόγματα. Επομένως αυτά δεν είναι κατάλληλα για την περιγραφή του γνωστού φυσικού κόσμου αλλά για μία άλλη φανταστική πραγματικότητα» (All traditional logic habitually assumes that precise symbols are being employed. It is therefore not applicable to this terrestrial life but only to an imagined celestial existence).

Παράλληλα ο Russell, χρησιμοποιώντας ένα παράδειγμα από τη θεωρία συνόλων, διατύπωσε άλλη μία «αντινομία» της κλασικής δίτιμης λογικής η οποία εκφράζεται μέσα από το παρακάτω παράδοξο:

«Ένα σύνολο δεν μπορεί να περιλαμβάνει ως στοιχείο τον εαυτό του» ή «Δεν μπορεί να υπάρχει το σύνολο όλων των συνόλων».

Αν υποθέσουμε ότι υπάρχει το σύνολο όλων των συνόλων Ω και περιλαμβάνει ως στοιχείο τον εαυτό του $\Omega \in \Omega$, τότε ισχύουν τα εξής:

Το Ω μπορεί να χωριστεί σε δύο υποσύνολα τέτοια ώστε:

$$\Omega_1 = \{A \in \Omega \mid A \in A\} \text{ και } \Omega_2 = \{A \in \Omega \mid A \notin A\}$$

Η αντίφαση είναι η ακόλουθη: $\Omega_1 \in \Omega_1 \leftrightarrow \Omega_1 \notin \Omega_1$

Ο προβληματισμός επί των αντιφάσεων και των αντινομιών που προκύπτουν κατά την προσπάθεια προσέγγισης διαφόρων ζητημάτων στη βάση των αξιωμάτων της κλασικής δίτιμης λογικής εκφράστηκε μέσα από την ανάγκη ανάπτυξης και υιοθέτησης μίας πλειότιμης λογικής, όπως στην περίπτωση της «Αρχής της Απροσδιοριστίας» του Heisenberg και της «Θεωρίας της Σχετικότητας» του Einstein. Ο Einstein μάλιστα θέλοντας να εκφράσει τη δυσκολία μοντελοποίησης και αναπαράστασης του φυσικού κόσμου και των φαινομένων του στη βάση των αρχών της δίτιμης λογικής, διατύπωσε τον παρακάτω ισχυρισμό:

«Όσο περισσότερο οι νόμοι των μαθηματικών ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα δεν είναι σαφείς· και όσο πιο σαφείς είναι τόσο λιγότερο ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα» (So far as laws of mathematics refer to reality, they are not certain. And so far as they are certain, they do not refer to reality).

Τέλος, ο Kurt Gödel, θεμελιωτής του θεωρήματος της «μη-πληρότητας», υποστήριξε ότι «Οι φυσικοί νόμοι, στο επίπεδο των αισθητών συνεπειών τους, έχουν ένα πεπερασμένο όριο ακρίβειας».

Είναι συνεπώς ξεκάθαρο ότι η ανάγκη γενέσεως πλειότιμων λογικών προέκυψε από την «αδυναμία» της δίτιμης λογικής να προσεγγίσει σε μεγαλύτερο βαθμό πολύπλοκα φυσικά συστήματα καθώς, η απόλυτη βεβαιότητα που ενσωματώνει, έρχεται σε αντίθεση με τις φυσικές ατέλειες, γεγονός το οποίο γεννά αντιφάσεις και αντινομίες όπως αυτές που περιγράφηκαν παραπάνω.

Ο προβληματισμός αυτός οδήγησε, εκτός των άλλων, στη θεμελίωση της λογικής της ασάφειας η οποία αξιοποιεί την έννοια των «ασαφών συνόλων» και της «διαβάθμισης», προκειμένου να καταστεί δυνατή και διαχειρίσιμη η αναπαράσταση της αβεβαιότητας, η μοντελοποίηση των γνωσιακών καταστάσεων της ανθρώπινης σκέψης και συλλογιστικής, και η προσέγγιση σε μεγαλύτερο βαθμό των φυσικών φαινομένων και των λειτουργιών του φυσικού κόσμου.

Θεμελιωτής της θεωρίας της ασαφούς λογικής είναι ο Lotfi Zadeh ο οποίος, παρουσίασε τους βασικούς ορισμούς και τα αξιώματα της θεωρίας των ασαφών συνόλων στο άρθρο 'Fuzzy Sets' που δημοσιεύθηκε στο περιοδικό 'Information and Control' το 1965. Σύμφωνα με τον Zadeh, η ασαφής λογική δεν είναι στη φύση της ασαφής αλλά, είναι μία «ακριβής λογική» της «ανακρίβειας» και της «προσεγγιστικής συλλογιστικής» (Zadeh, 1975a; Zadeh, 1979; Zadeh, 2008).

Ένα ασαφές σύνολο ορίζεται ως μία τάξη στοιχείων τα οποία ενσωματώνουν ένα συνεχές βαθμών συμμετοχής και χαρακτηρίζεται από μία συνάρτηση συμμετοχής, μέσω της οποίας αποδίδεται σε κάθε στοιχείο του ασαφούς συνόλου ένας βαθμός συμμετοχής σε αυτό, οριζόμενος στο κλειστό διάστημα $[0,1]$ (Zadeh, 1965). Πιο συγκεκριμένα, ένα ασαφές σύνολο A ορίζεται ως ένα υποσύνολο του συνόλου αναφοράς X που χαρακτηρίζεται από μία συνάρτηση συμμετοχής $f_A(x)$ (χαρακτηριστική συνάρτηση) η οποία αντιστοιχίζει έναν πραγματικό αριθμό οριζόμενο στο κλειστό διάστημα $[0,1]$ σε κάθε σημείο του X με την τιμή $f_A(x)$ στο x

η οποία με τη σειρά της αναπαριστά τον βαθμό συμμετοχής $\mu_A(x)$ του x στο A (Zadeh, 1965; Dubois and Prade, 1980). Το ασαφές σύνολο συνιστά ένα εργαλείο για την μοντελοποίηση συνόλων τα όρια των οποίων είναι ασαφώς καθορισμένα και ευέλικτα (Dubois and Prade, 1998). Όσο πιο κοντά στη μονάδα βρίσκεται η τιμή της $f_A(x)$ τόσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός συμμετοχής του στοιχείου x στο σύνολο A (Zadeh, 1965; Dubois and Prade, 1980). Ένα ασαφές σύνολο A αναπαρίσταται ως εξής:

$$A = \{(x, \mu_A(x)), x \in X\}$$

Οι σχέσεις που υφίστανται μεταξύ των ασαφών συνόλων και των στοιχείων που ανήκουν σε αυτά, συνιστούν ουσιαστικά επεκτάσεις των σχέσεων που ισχύουν για τα κλασικά σύνολα.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι βασικές σχέσεις που έχουν οριστεί για τα ασαφή σύνολα (Zadeh, 1965):

(1) Ένα ασαφές σύνολο είναι κενό αν και μόνο αν η συνάρτηση συμμετοχής του λαμβάνει τιμή 0 στο X .

(2) Δύο ασαφή σύνολα A και B είναι μεταξύ τους ίσα, $A = B$, αν και μόνο αν:

$$f_A(x) = f_B(x) \quad \forall x \in X$$

(3) Το συμπλήρωμα ενός ασαφούς συνόλου A συμβολίζεται με A' και ορίζεται από τη σχέση:

$$f_{A'} = 1 - f_A$$

(4) Ένα ασαφές σύνολο A περιέχεται σε ένα ασαφές σύνολο B (το ασαφές σύνολο A είναι υποσύνολο του ασαφούς συνόλου B) αν και μόνο αν $f_A \leq f_B$:

$$A \subset B \Leftrightarrow f_A \leq f_B$$

(5) Η ένωση δύο ασαφών συνόλων A και B με αντίστοιχες συναρτήσεις συμμετοχής $f_A(x)$ και $f_B(x)$ ορίζεται ως το ασαφές σύνολο $C = A \cup B$ με συνάρτηση συμμετοχής:

$$f_C(x) = \text{Max}[f_A(x), f_B(x)], \quad x \in X$$

(6) Η τομή δύο ασαφών συνόλων A και B με αντίστοιχες συναρτήσεις συμμετοχής $f_A(x)$ και $f_B(x)$ ορίζεται ως το ασαφές σύνολο $C = A \cap B$ με συνάρτηση συμμετοχής:

$$f_C(x) = \text{Min}[f_A(x), f_B(x)], \quad x \in X$$

Στη βάση των παραπάνω σχέσεων, ορίζεται ένα σύνολο ιδιοτήτων των ασαφών συνόλων, «επεκτάσεις» των ιδιοτήτων που ισχύουν για τα κλασικά σύνολα. Μερικές από αυτές τις ιδιότητες είναι οι ακόλουθες (Zadeh, 1965):

(1) Αντιμεταθετική (Commutative Law):

$$A \cup B = B \cup A \text{ και } A \cap B = B \cap A$$

(2) Προσεταιριστική (Associative Law):

$$(A \cup B) \cup C = A \cup (B \cup C) \text{ και } (A \cap B) \cap C = A \cap (B \cap C)$$

(3) Επιμεριστική (Distributive Law):

$$C \cup (A \cap B) = (C \cup A) \cap (C \cup B) \text{ και } C \cap (A \cup B) = (C \cap A) \cup (C \cap B)$$

(4) Νόμοι του De Morgan (De Morgan's Laws) :

$$(A \cup B)' = A' \cap B' \text{ και } (A \cap B)' = A' \cup B'$$

Εκτός από τις σχέσεις και τις ιδιότητες που παρουσιάστηκαν παραπάνω, τα ασαφή σύνολα συνδυάζονται και συσχετίζονται μεταξύ τους μέσω των σχέσεων που ορίζονται στο πλαίσιο της άλγεβρας των ασαφών συνόλων, οι βασικότερες εκ των οποίων είναι οι ακόλουθες (Zadeh, 1965):

(1) *Αλγεβρικό Γινόμενο* (Algebraic Product):

$$f_{AB} = f_A f_B$$

(2) *Αλγεβρικό Άθροισμα* (Algebraic Sum):

$$f_{A+B} = f_A + f_B \text{ όπου } f_A + f_B \leq 1$$

(3) *Απόλυτη Διαφορά* (Absolute Difference):

$$f_{|A-B|} = |f_A - f_B|$$

(4) *Γραμμικός Συνδυασμός* (Convex Combination / Linear Combination):

$$f_{(A,B;\lambda)}(x) = f_\lambda(x)f_A(x) + [1 - f_\lambda(x)]f_B(x)$$

Κάποια από τα βασικά χαρακτηριστικά των ασαφών συνόλων είναι (Dubois and Prade, 1980):

(1) Το *Στήριγμα* ή *Πεδίο Ορισμού*:

$$\text{supp}A = \{x \in X, \mu_A(x) > 0\}$$

(2) Το *Ύψος* του:

$$\text{hgt}(A) = \sup_{x \in X} \mu_A(x)$$

αν και μόνο αν $\exists x \in X: \mu_A(x) = 1$ τότε το αντίστοιχο ασαφές σύνολο ονομάζεται κανονικό (normal) και ισχύει γι' αυτό $hgt(A) = 1$.

(3) Τα Σημεία Διασταύρωσης (Crossover Points):

$$x \in X: \mu_A(x) = 0,5$$

(4) Η Πληθικότητα ή Πληθάριθμος (Cardinality):

$$|A| = \sum_{x \in X} \mu_A(x)$$

(5) Η α -Διατομή (α -Cut):

$$A_\alpha = \{x \in X, \mu_A(x) \geq \alpha\}$$

Η θεωρία της ασαφούς λογικής στηρίζεται στη μαθηματική θεωρία των ασαφών συνόλων και στις εφαρμογές της αξιοποιούνται κατά κόρον οι αρχές της άλγεβρας και της γεωμετρίας των ασαφών συνόλων, τα αξιώματα της ασαφούς αριθμητικής, οι αρχές της ασαφούς γραμμικής άλγεβρας κ.λπ. Ενδεικτικά αναφέρεται εδώ η θεμελιώδης Αρχή της Επέκτασης (Extended Principle), η οποία αφορά στην επέκταση των κλασικών και μη ασαφών αρχών των μαθηματικών έτσι ώστε αυτές να είναι εφαρμόσιμες και διαχειρίσιμες στα πλαίσια της ασαφούς λογικής και των «ασαφών ποσοτήτων» (Dubois and Prade, 1980). Μαθηματικά εκφράζεται ως εξής (Zadeh, 1975a; Dubois and Prade, 1980):

Έστω X το καρτεσιανό γινόμενο των συνόλων – συμπάντων (universes) $X = X_1 \times \dots \times X_r$ και A_1, \dots, A_r , r ασαφή σύνολα που ορίζονται στα X_1, \dots, X_r αντίστοιχα. Το καρτεσιανό γινόμενο αυτών των ασαφών συνόλων ορίζεται ως ακολούθως:

$$A_1 \times \dots \times A_r = \int_{X_1 \times \dots \times X_r} \min(\mu_{A_1}(x_1), \dots, \mu_{A_r}(x_r)) / (x_1, \dots, x_r)$$

Έστω ακολούθως ότι η συνάρτηση f είναι μία απεικόνιση από το χώρο $X_1 \times \dots \times X_r$ σε ένα άλλο σύνολο – σύμπαν Y τέτοιο ώστε $y = f(x_1, \dots, x_r)$. Η Αρχή της Επέκτασης επιτρέπει την εξαγωγή από r ασαφή σύνολα A_i ενός ασαφούς συνόλου B στο Y μέσω της f , τέτοιου ώστε:

$$\mu_B(y) = \sup_{x_1, \dots, x_r} \min(\mu_{A_1}(x_1), \dots, \mu_{A_r}(x_r))$$

$$y = f(x_1, \dots, x_r)$$

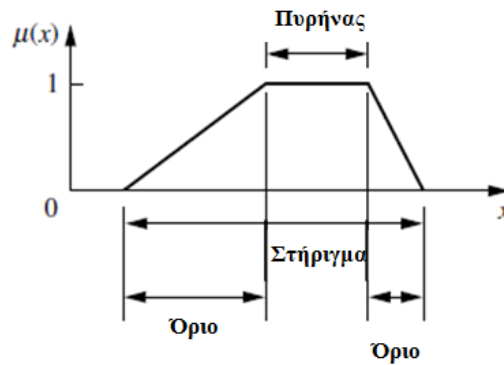
$$\mu_B(y) = 0 \text{ εάν } f^{-1}(y) = \emptyset$$

όπου $f^{-1}(y)$ είναι η αντίστροφη απεικόνιση του y , $\mu_B(y)$, είναι η μεγαλύτερη τιμή συμμετοχής από τις $\mu_{A_1 \times \dots \times A_r}(x_1, \dots, x_r)$ του y .

Μέσω της Αρχής της Επέκτασης καθίσταται δυνατή η διενέργεια αριθμητικών πράξεων μεταξύ ασαφών αριθμών (πρόσθεση, πολλαπλασιασμός, αφαίρεση και διαίρεση) καθώς επίσης και η διενέργεια των πράξεων της ένωσης, της τομής και της άρνησης μεταξύ ασαφών συνόλων (Yager, 1986).

Τα ασαφή σύνολα αναπαρίστανται γραφικά με τη βοήθεια των συναρτήσεων συμμετοχής μέσω των οποίων σε κάθε στοιχείο x ενός ασαφούς συνόλου αποδίδεται ένας βαθμός συμμετοχής του στοιχείου x σε αυτό. Ανάλογα με το πρόβλημα, τη φύση των δεδομένων του, τον τρόπο που αντιλαμβάνεται και ερμηνεύει το πρόβλημα και τα χαρακτηριστικά του ο εκάστοτε ειδικός που καλείται να ορίσει τις συναρτήσεις συμμετοχής, επιλέγεται ο τύπος της συνάρτησης εκείνης που θεωρείται η πλέον κατάλληλη για το συγκεκριμένο πρόβλημα. Η διαδικασία ορισμού μίας συνάρτησης συμμετοχής υποστηρίζεται από μία σειρά μεθόδων και η επιλογή της μεθόδου καθορίζεται από τη φύση του προβλήματος που κάθε φορά εξετάζεται (Sivanandam et al., 2007).

Παρά το γεγονός ότι υπάρχουν διάφοροι τύποι συναρτήσεων συμμετοχής, στο σύνολό τους οι συναρτήσεις συμμετοχής περιγράφονται από τρία βασικά χαρακτηριστικά τα οποία είναι (Ross, 2004; Sivanandam et al., 2007) (Σχήμα 4-4):



Σχήμα 4-4: Βασικά χαρακτηριστικά συναρτήσεων συμμετοχής
 Πηγή: Ross, 2004

(1) Ο *Πυρήνας* (Core), είναι το τμήμα της συνάρτησης για το οποίο ισχύει:

$$\mu_A(x) = 1$$

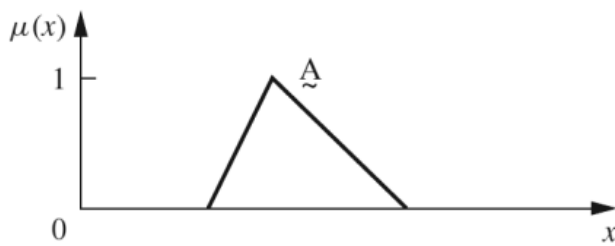
(2) Το *Στήριγμα* ή *Πεδίο Ορισμού* (Support), είναι το τμήμα της συνάρτησης για το οποίο ισχύει:

$$\mu_A(x) > 0$$

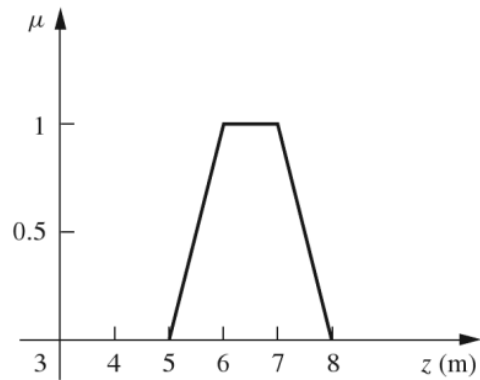
(3) Το *Όριο* (Boundary), είναι το τμήμα της συνάρτησης για το οποίο ισχύει:

$$0 < \mu_A(x) < 1$$

Οι συναρτήσεις συμμετοχής μπορεί να είναι συμμετρικές ή μη-συμμετρικές, κανονικές ή μη-κανονικές (subnormal), κυρτές (convex) ή μη κυρτές (Sivanandam et al., 2007), ενώ με βάση το σχήμα τους, ανάλογα με την εφαρμογή, μπορεί να είναι τριγωνικές, τραπεζοειδείς (Σχήμα 4-5(α) και Σχήμα 4-5(β)), καμπανοειδείς, Gauss, κ.λπ. (Klir and Folger, 1988). Κάθε συνάρτηση συμμετοχής αναπαριστά ένα ασαφές σύνολο το οποίο είναι και το πεδίο ορισμού της. Η επιλογή της συνάρτησης συμμετοχής που ανταποκρίνεται καλύτερα στις ανάγκες της εκάστοτε εφαρμογής, είναι κρίσιμης σημασίας για την αρτιότητα και την εγκυρότητα του τελικού αποτελέσματος αλλά και για τη διαδικασία επεξεργασίας των δεδομένων του προβλήματος.



Σχήμα 4-5(α): Τριγωνοειδής συνάρτηση συμμετοχής
 Πηγή: Ross, 2010



Σχήμα 4-5(β): Τραπεζοειδής συνάρτηση συμμετοχής
 Πηγή: Ross, 2010

Δεν υπάρχει γενικός κανόνας και σαφώς διατυπωμένα κριτήρια που να καθορίζουν την επιλογή της βέλτιστης συνάρτησης συμμετοχής για το σύνολο των περιπτώσεων που αξιοποιείται η ασαφής λογική. Η επιλογή της συνάρτησης συμμετοχής εξαρτάται κάθε φορά από το πρόβλημα που μοντελοποιείται, τις παραμέτρους που υπεισέρχονται στη διαδικασία, το είδος της εφαρμογής που εξετάζεται, τη διαθέσιμη πληροφορία και την εμπειρία του ειδικού που καλείται να ορίσει τις συναρτήσεις. Ωστόσο, υπάρχουν κάποιες βασικές μέθοδοι που υποστηρίζουν τη διαδικασία ορισμού συναρτήσεων συμμετοχής και οι οποίες είναι οι ακόλουθες (Ross, 2004; Sivanandam et al., 2007):

- Διαισθητική Μέθοδος
- Συμπερασματική Μέθοδος
- Ιεραρχική Μέθοδος
- Γωνιακά Ασαφή Σύνολα
- Νευρωνικά Δίκτυα
- Γενετικοί Αλγόριθμοι
- Επαγωγικός Συλλογισμός

Τα βασικά χαρακτηριστικά κάθε μίας από τις παραπάνω μεθόδους παρουσιάζονται συνοπτικά σε επόμενο κεφάλαιο, στο πλαίσιο της περιγραφής των διαδικασιών σχεδιασμού και δόμησης ενός ασαφούς συστήματος.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να επισημανθεί η θεμελιώδης, για τη θεωρία των ασαφών συνόλων και της ασαφούς λογικής, έννοια της *λεκτικής μεταβλητής* (linguistic variable). Η λεκτική μεταβλητή συνιστά έναν τύπο μεταβλητής που λαμβάνει ως τιμές λέξεις ή προτάσεις διατυπωμένες σε φυσική ή τεχνητή γλώσσα και

όχι αριθμούς (Zadeh, 1975b). Μία λεκτική μεταβλητή ορίζεται στη βάση πέντε χαρακτηριστικών που την περιγράφουν και τα οποία είναι: το όνομά της, το σύνολο των όρων (εκφράσεων) (term set) που συνιστά ουσιαστικά το πεδίο τιμών της λεκτικής μεταβλητής, το σύνολο-σύμπαν (universe of discourse), ο συντακτικός κανόνας που «παράγει» τις εκφράσεις που περιλαμβάνει ένα σύνολο όρων (εκφράσεων) και ο σημασιολογικός κανόνας (semantic rule) που συσχετίζει κάθε λεκτική τιμή (linguistic value) με το αντίστοιχο νόημά της (Zadeh, 1975b). Οι λεκτικές μεταβλητές αναπαριστούν ουσιαστικά ποιοτικές αναπαραστάσεις ενός συνόλου λεκτικών τιμών και συνιστούν σημείο αναφοράς για το πεδίο της προσεγγιστικής συλλογιστικής (Xu, 2004). Οι λεκτικές τιμές αναπαρίστανται από ασαφείς αριθμούς οι οποίοι με τη σειρά τους αντανakλούν υποκειμενικές κρίσεις (Tai and Chen, 2009). Γραφικά, αναπαρίστανται μέσω αντίστοιχων συναρτήσεων συμμετοχής. Οι λεκτικές μεταβλητές, η μαθηματική αναπαράστασή τους και η συνακόλουθη υλοποίηση μαθηματικών πράξεων και υπολογισμών με αυτές είναι ένα από τα πιο βασικά πεδία εφαρμογής της ασαφούς λογικής και της θεωρίας των ασαφών συνόλων.

Τα ασαφή σύνολα αξιοποιούνται σε περιπτώσεις μοντελοποίησης συστημάτων που δεν είναι δυνατόν να οριστούν πλήρως και επακριβώς καθώς, παρέχουν τη δυνατότητα ενσωμάτωσης ανακριβειών και διαχείρισης της υποκειμενικότητας, χαρακτηριστικά σύμφυτα με τον τρόπο λειτουργίας της ανθρώπινης σκέψης και τον τρόπο ερμηνείας των διαφόρων νοημάτων ενώ, βρίσκουν ευρεία εφαρμογή σε τομείς όπως η μηχανική, οι επιχειρήσεις, η ιατρική, οι φυσικές επιστήμες κ.λπ. (Guiffida and Nagi, 1998).

Παράλληλα, καθιστούν δυνατή την αλληλεπίδραση με συστήματα λήψης αποφάσεων μέσω της χρήσης λεκτικών μεταβλητών οι οποίες αναπαριστούν ποιοτική πληροφορία και ως εκ τούτου, καθιστούν διαχειρίσιμες και επεξεργάσιμες εκφρασμένες απόψεις ειδικών (Moayer and Bahri, 2009; Shang and Hossen, 2013). Επίσης, χρησιμοποιούνται κατά κόρον σε περιπτώσεις αναπαράστασης προβλημάτων όπου η διαθέσιμη πληροφορία ή τα δεδομένα κρίνονται ανεπαρκή ή ασαφή και γεννάται η ανάγκη για μοντελοποίηση διαδικασιών εξαγωγής συμπερασμάτων αξιοποιώντας προσεγγιστικές μεθόδους (Shang and Hossen, 2013).

Ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα αποτελεί ο τομέας της εξόρυξης δεδομένων όπου τα ασαφή σύνολα αξιοποιούνται προκειμένου να καταστεί δυνατή η κατανόηση

προτύπων, η διαχείριση «ατελών» δεδομένων που περιέχουν θόρυβο, η αναζήτηση προσεγγιστικών λύσεων κ.λπ. (Mitra et al., 2002).

Ένα άλλο παράδειγμα που σχετίζεται με τη δυνατότητα των ασαφών συνόλων για τη διαχείριση και επεξεργασία λεκτικής πληροφορίας, συνιστούν τα ευφυή συστήματα, η λειτουργία των οποίων στηρίζεται σε μία βάση κανόνων που ενσωματώνει τη γνώση των ειδικών υπό μορφή λογικών κανόνων στη βάση των οποίων εξάγονται συμπεράσματα (Harris, 2001).

Η ασαφής λογική μπορεί να θεωρηθεί ως μία προσπάθεια τυποποίησης / μηχανοποίησης (formalization / mechanization) δύο σημαντικών ανθρώπινων ικανοτήτων, της ικανότητας αλληλεπίδρασης, συλλογισμού και λήψης λογικών αποφάσεων σε περιβάλλον αβεβαιότητας, ασάφειας και ελλιπούς πληροφορίας καθώς και της ικανότητας υλοποίησης φυσικών και νοητικών δραστηριοτήτων χωρίς τη διενέργεια μετρήσεων και υπολογισμών (Zadeh, 2008). Αφορά στο σύνολο των μεθόδων και τεχνικών αναπαράστασης και διαχείρισης της γνώσης στη βάση ενδιάμεσων τιμών αλήθειας αξιοποιώντας: τη θεωρία των ασαφών συνόλων, τη μαθηματική θεωρία που αφορά στις ασαφείς σχέσεις και στις δυνατότητες των συστημάτων συμπερασμού για εξαγωγή συμπερασμάτων στη βάση κάποιων δεδομένων εισόδου και τους λογικούς κανόνες που συσχετίζουν μεταξύ τους αυτά τα δεδομένα (Belohlavek and Klir, 2011).

Η γέννηση και εξέλιξη της ασαφούς λογικής έχει ως βασικό σημείο αναφοράς της, την ανάγκη διαχείρισης ασαφών και αόριστων εννοιών μέσα από τη δημιουργία συστημάτων λήψης αποφάσεων, τα οποία χρησιμοποιούν κανόνες της κοινής λογικής προκειμένου να επεξεργαστούν τις έννοιες αυτές και να εξάγουν συμπεράσματα (Kosko and Isaka, 1993). Συνιστά συνεπώς μία λύση για την επαρκέστερη μοντελοποίηση πραγματικών καταστάσεων, οι οποίες στις περισσότερες περιπτώσεις δεν μπορεί να περιγραφούν επακριβώς με βάση τις αρχές του ντετερμινισμού (Zimmermann, 2001).

Τέλος, το βασικό σημείο διαφοράς της ασαφούς λογικής με τη θεωρία πιθανοτήτων έγκειται στο γεγονός ότι οι πιθανότητες «μετρούν» το πόσο πιθανό είναι να συμβεί ή να μη συμβεί κάτι ενώ η ασάφεια «μετρά» τον βαθμό στον οποίο κάτι συμβαίνει ή διαφορετικά, περιγράφει ασάφεια ενός γεγονότος (Kosko, 1990).

Στο σημείο αυτό ολοκληρώνεται η αναφορά στις βασικές αρχές της θεωρίας της ασαφούς λογικής και των ασαφών συνόλων. Σε επόμενο κεφάλαιο της διατριβής,

η συζήτηση επανέρχεται, επικεντρώνοντας στα ασαφή συστήματα και την περιγραφή των διαδικασιών σχεδιασμού τους στη βάση των αξιωμάτων της ασαφούς λογικής.

4.3. Ο Ρόλος της Τεχνητής Νοημοσύνης στη Διαδικασία Αξιολόγησης

Η πολυκριτηριακή αξιολόγηση συνιστά ένα εργαλείο υποστήριξης της διαδικασίας λήψης αποφάσεων και προϋποθέτει την ύπαρξη ενός μεθοδολογικού πλαισίου και την εφαρμογή μίας ακολουθίας βημάτων που οδηγούν στο τελικό αποτέλεσμα, αφού προηγηθεί η συνεκτίμηση μίας σειράς δεδομένων και παραμέτρων που εμπλέκονται στο εκάστοτε πρόβλημα που εξετάζεται. Αποτελεί συνεπώς μία λογική διαδικασία η οποία απαρτίζεται από τη σαφή διατύπωση του υφιστάμενου προβλήματος, τον καθορισμό των στόχων, την αναζήτηση εναλλακτικών λύσεων, τον ορισμό κριτηρίων αξιολόγησης, την εκτίμηση των επιπτώσεων των προτεινόμενων εναλλακτικών και τέλος την επιλογή της βέλτιστης λύσης ή των βέλτιστων λύσεων που ανταποκρίνονται όσο το δυνατό καλύτερα στις απαιτήσεις του προβλήματος που εξετάζεται. Παράλληλα, πρόκειται για μία σύνθετη διαδικασία η οποία, ενσωματώνει ένα μεγάλο βαθμό υποκειμενικότητας καθώς οι κρίσεις που διατυπώνουν τα κέντρα λήψης αποφάσεων αντανακλούν σε αρκετές περιπτώσεις προσωπικές απόψεις και προσωπικά συστήματα αξιών. Τη διαδικασία καθιστούν ακόμη πιο πολύπλοκη παράγοντες όπως η διαθεσιμότητα μεγάλου όγκου δεδομένων και πληροφορίας, ο καθορισμός μεταβλητών και παραμέτρων που δύνανται να επηρεάσουν την απόφαση, οι πολύπλοκες σχέσεις αλληλεπίδρασης μεταξύ των στοιχείων του εσωτερικού και του εξωτερικού περιβάλλοντος καθώς επίσης και η δυναμική φύση των σύγχρονων χωρικών, κοινωνικο-οικονομικών συστημάτων η οποία δυσχεραίνει την πρόβλεψη των εξελίξεων, ιδιαιτέρως σε περιπτώσεις προβλημάτων με μεσο-μακροπρόθεσμο χρονικό ορίζοντα.

Ως εκ τούτου, η έρευνα εστιάζει στη βελτιστοποίηση της διαδικασίας μέσα από την αναζήτηση μεθόδων και τεχνικών που θα στοχεύουν:

- στον περιορισμό της υποκειμενικότητας,
- στη συμμετοχή ειδικών και τη διατύπωση κατα το δυνατόν αντικειμενικών και έγκυρων κρίσεων,

- στη συνεκτίμηση τόσο της ποσοτικής όσο και της ποιοτικής πληροφορίας που διατίθεται,
- στη διαχείριση της ποιοτικής και ασαφούς πληροφορίας στη βάση κατάλληλων μαθηματικών μοντέλων, και
- στην ανάπτυξη νέων προσεγγίσεων και προοπτικών διερεύνησης των μελλοντικών εξελίξεων.

Οι απαιτήσεις αυτές γεννώνται κυρίως από την ανάγκη για βελτιστοποίηση της διαδικασίας πολυκριτηριακής αξιολόγησης, την εξαγωγή εγκυρότερων αποτελεσμάτων και τη λήψη επαρκώς τεκμηριωμένων αποφάσεων. Στο επίπεδο διαχείρισης των ζητημάτων που τέθηκαν παραπάνω (διαχείριση ποιοτικής και ασαφούς πληροφορίας, διαχείριση μεγάλου όγκου δεδομένων, μοντελοποίηση εκφρασμένων απόψεων των ειδικών κ.λπ.), η τεχνητή νοημοσύνη παρέχει το πλαίσιο για την ενίσχυση και τον εμπλουτισμό της διαδικασίας πολυκριτηριακής αξιολόγησης προς την επιθυμητή κατεύθυνση. Σε επίπεδο εννοιολογικό, η πολυκριτηριακή αξιολόγηση παρουσιάζει κοινά σημεία με την τεχνητή νοημοσύνη, γεγονός που καταδεικνύει τη δυνατότητα «συνεργασίας» των δύο τομέων ([Sassi et al., 2015](#)).

Τόσο στην πιο πρόσφατη όσο και σε παλαιότερη βιβλιογραφία, έχει δημοσιευθεί πλήθος εφαρμογών στις οποίες επιχειρείται η εισαγωγή τεχνικών τεχνητής νοημοσύνης με στόχο τη βελτιστοποίηση των αποτελεσμάτων που δίνει η διαδικασία της πολυκριτηριακής αξιολόγησης. Οι δυνατότητες που προσφέρει ο τομέας της τεχνητής νοημοσύνης για διαχείριση μεγάλου όγκου δεδομένων και «παραγωγή» γνώσης, σε συνδυασμό με τα πλεονεκτήματα της πολυκριτηριακής αξιολόγησης για τη διαχείριση αντικρουόμενων, μη συγκρισιμων / δυσανάλογων (non commensurable) και μετρήσιμων κριτηρίων, είτε σε ποιοτικές είτε σε ποσοτικές κλίμακες, διαμορφώνουν ένα αποτελεσματικότερο πλαίσιο διαχείρισης σύνθετων προβλημάτων λήψης αποφάσεων ([Sassi et al., 2015](#)). Ως εκ τούτου, μέθοδοι πολυκριτηριακής αξιολόγησης έχουν αξιοποιηθεί με στόχο τον εμπλουτισμό τεχνικών που αναπτύσσονται από τον τομέα της τεχνητής νοημοσύνης ενώ, τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης αξιοποιούνται στο πλαίσιο της διαδικασίας πολυκριτηριακής αξιολόγησης με στόχο τη βελτιστοποίησή της ([Sassi et al., 2015](#)) κυρίως στο επίπεδο της διαχείρισης ασαφούς εκτίμησης επιπτώσεων των εναλλακτικών ([Shuang et al., 2014](#)). Βασικό σημείο επαφής συνιστά η μοντελοποίηση της γνωσιακής διαδικασίας (cognitive process) και της συλλογιστικής, που αποτελεί σύμφυτο χαρακτηριστικό

της διαδικασίας λήψης αποφάσεων αλλά και βασικό πεδίο έρευνας και ανάπτυξης εφαρμογών από τον τομέα της τεχνητής νοημοσύνης (Sassi et al., 2015).

Ιδιαίτερα στο επίπεδο λήψης στρατηγικών αποφάσεων, οι οποίες εκ φύσεως ενσωματώνουν έναν υψηλό βαθμό αβεβαιότητας και πολυπλοκότητας (μακροχρόνιες επιπτώσεις των αποφάσεων που πρόκειται να ληφθούν, πρόβλεψη της εξέλιξης παραμέτρων του εξωτερικού περιβάλλοντος) (Montibeller and Franco, 2010), η τεχνητή νοημοσύνη επιτρέπει τη διαχείριση μη ακριβών δεδομένων εισόδου (ασάφεια) μέσα από τον ορισμό κανόνων που καθιστούν δυνατή την επεξεργασία των εν λόγω δεδομένων και τη διαχείριση της πολυπλοκότητας (Velasquez and Hester, 2013). Παρέχει επίσης το πλαίσιο για τη μοντελοποίηση των απόψεων των κέντρων λήψης αποφάσεων, τη διαχείριση μεγάλου όγκου διαισθητικής και αναλυτικής πληροφορίας, τη μοντελοποίηση των υποκειμενικών κρίσεων και των λεκτικών εκφράσεων των κέντρων λήψης αποφάσεων και γενικότερα τη μοντελοποίηση μίας εγγενώς υποκειμενικής διαδικασίας κυρίως σε επίπεδο υποκειμενικών εκτιμήσεων επιπτώσεων και συνεπειών (Tavana and Sodenkamp, 2010). Επιπλέον, οι λεκτικές μεταβλητές αντανακλούν με μεγαλύτερη ακρίβεια τις απόψεις των ειδικών (Shameli-Sendi et al., 2012).

Ειδικότερα, οι ασαφείς αριθμοί έχουν αξιοποιηθεί σε περιπτώσεις προβλημάτων λήψης αποφάσεων όπου η διαθέσιμη πληροφορία είναι υποκειμενική και μη ακριβής (Zimmerman, 1996) καθώς, στην πλειοψηφία των εφαρμογών εμπλέκονται ρεαλιστικά δεδομένα μη ακριβή και ασαφή (Triantaphyllou and Lin, 1996) και απαιτείται η μαθηματική αναπαράσταση (μοντελοποίηση) ασαφών εννοιών που ενσωματώνουν κάποιο βαθμό αοριστίας όπως οι λεκτικές μεταβλητές (Öztürk et al., 2005). Είναι συνεπώς επιθυμητή η ανάπτυξη μεθόδων λήψης αποφάσεων που αξιοποιούν τη θεωρία της ασαφούς λογικής και των ασαφών συνόλων, με στόχο την ποσοτικοποίηση και επεξεργασία λεκτικών εκφράσεων όπως οι επιπτώσεις των εναλλακτικών ως προς τα κριτήρια αξιολόγησης ή η σημαντικότητα των κριτηρίων (Triantaphyllou and Lin, 1996; Abdullah, 2013).

Οι κλασικές μέθοδοι πολυκριτηριακής αξιολόγησης παρουσιάζουν μία δυσκολία στη διαχείριση μη ακριβούς, αόριστης και μη πλήρους πληροφορίας (Abdullah, 2013). Πρόκειται για πληροφορία που είναι ποιοτική και που μπορεί να γίνει διαχειρίσιμη μέσα από την υιοθέτηση μεθόδων και τεχνικών που παρέχουν δυνατότητες μοντελοποίησης και επεξεργασίας λεκτικών δεδομένων και εκφράσεων (Herrera and Herrera-Viedma, 2000). Οι συγκεκριμένες προσεγγίσεις εφαρμόζονται

ευρέως σε περιπτώσεις προβλημάτων όπου απαιτείται μοντελοποίηση της φυσικής γλώσσας καθώς, παρέχεται η δυνατότητα αναπαράστασης ποιοτικών δεδομένων μέσω λεκτικών μεταβλητών και λεκτικών τιμών εκφρασμένων είτε σε φυσική είτε σε τεχνητή γλώσσα (Herrera and Herrera-Viedma, 2000).

Η ολοκλήρωση της ασαφούς λογικής με την πολυκριτηριακή αξιολόγηση είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μίας νέας κατηγορίας μεθόδων οι οποίες είναι γνωστές ως «ασαφείς μέθοδοι πολυκριτηριακής αξιολόγησης» (Fuzzy MCDM methods). Οι ασαφείς μέθοδοι πολυκριτηριακής αξιολόγησης θεμελιώθηκαν κατ' αντιστοιχία με τις κλασικές μεθόδους υπό την έννοια ότι οι ασαφείς τεχνικές αξιοποιήθηκαν με στόχο τη βελτιστοποίηση των κλασικών μεθόδων (Carlsson and Fullér, 1996). Η πρώτη υπο-κατηγορία των μεθόδων αυτών περιλαμβάνει μία σειρά από ασαφείς ιεραρχικές μεθόδους πολυκριτηριακής αξιολόγησης στις οποίες, προκειμένου για την ιεράρχηση των εναλλακτικών, αξιοποιούνται οι έννοιες του «άριστου βαθμού», της απόστασης Hamming (Hamming distance), της «συνάρτησης σύγκρισης», του ασαφούς μέσου και πλάτους (fuzzy mean and spread), της αναλογίας σε σχέση με την ιδανική λύση κ.λπ. (Carlsson and Fullér, 1996; Abdullah, 2013). Η δεύτερη υπο-κατηγορία αφορά σε μεθόδους που αξιοποιούν βάρη για την εκτίμηση της σχετικής σημαντικότητας πολλαπλών χαρακτηριστικών και εναλλακτικών όπως οι ασαφείς μέθοδοι σταθμισμένου αθροίσματος, η ασαφής αναλυτική ιεραρχική διαδικασία, οι ασαφείς μέθοδοι μεγίστου-ελαχίστου, κ.λπ. (Carlsson and Fullér, 1996; Abdullah, 2013). Τέλος, η τρίτη υπο-κατηγορία περιλαμβάνει μεθόδους ασαφούς μαθηματικού προγραμματισμού όπως ο πιθανοτικός γραμμικός προγραμματισμός με χρήση του «ασαφούς μεγίστου» (possibilistic linear programming using fuzzy max), ο πιθανοτικός (possibilistic) προγραμματισμός με χρήση σχέσεων ασαφούς προτίμησης, κ.λπ. (Carlsson and Fullér, 1996; Abdullah, 2013).

Ασαφείς μέθοδοι πολυκριτηριακής αξιολόγησης έχουν αξιοποιηθεί από τον τομέα της ασφάλειας συστημάτων IT, της ασφάλειας διαχείρισης πληροφοριακών συστημάτων (information security management systems) (Shameli-Sendi et al., 2012), σε εφαρμογές βιοτεχνολογίας (Abdullah, 2013) κ.λπ.

4.4. Περιπτώσεις Εφαρμογής Τεχνητής Νοημοσύνης σε Μεθόδους Πολυκριτηριακής Αξιολόγησης

Στο εδάφιο αυτό, παρουσιάζονται ορισμένες περιπτώσεις εφαρμογής τεχνικών τεχνητής νοημοσύνης σε μεθόδους πολυκριτηριακής αξιολόγησης. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στα σημεία της πολυκριτηριακής αξιολόγησης που δύνανται να βελτιστοποιηθούν, αξιοποιώντας τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η τεχνητή νοημοσύνη κυρίως σε επίπεδο αναπαράστασης και μοντελοποίησης ποιοτικής, ασαφούς ή μη ακριβούς με τη μαθηματική έννοια, πληροφορίας. Περιγράφονται τα σημεία διαφοροποίησης της νέας προσέγγισης σε σχέση με την κλασική σε επίπεδο μοντέλου, ενώ παράλληλα επιχειρείται και μία συνοπτική παρουσίαση «μελετών περίπτωσης» οι οποίες ολοκληρώθηκαν μέσα από την υιοθέτηση και εφαρμογή βελτιστοποιημένων μεθόδων πολυκριτηριακής αξιολόγησης.

Τα σημεία βελτιστοποίησης των μεθόδων πολυκριτηριακής αξιολόγησης εντοπίζονται συνήθως στο στάδιο απόδοσης βαρών στα κριτήρια αξιολόγησης ή στο στάδιο ορισμού των επιδόσεων των εναλλακτικών ως προς τα κριτήρια όπου, σε αντίθεση με τις κλασικές μεθόδους τα βάρη ή / και οι επιδόσεις ορίζονται μέσω λεκτικών και όχι αριθμητικών τιμών. Αξιοποιείται δηλαδή πληροφορία ποιοτική, η οποία μοντελοποιείται στη βάση των αρχών και των αξιωμάτων των τεχνικών τεχνητής νοημοσύνης που υιοθετούνται ανά περίπτωση.

Ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα αξιοποίησης της θεωρίας των ασαφών συνόλων για τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας πολυκριτηριακής αξιολόγησης συνιστά η ασαφής μέθοδος πολυκριτηριακής αξιολόγησης TOPSIS. Η «ασαφής μέθοδος TOPSIS» έχει εφαρμοστεί σε περιπτώσεις αξιολόγησης εναλλακτικών για τη λήψη αποφάσεων σε περιπτώσεις όπως το «πρόβλημα επιλογής προμηθευτή» (Chen et al., 2006) και το πρόβλημα «σχεδιασμού της διάταξης παραγωγής σε εργοστάσια» (Yang and Hung, 2007).

Δεδομένης της αδυναμίας της δίτιμης λογικής για ακριβή μοντελοποίηση πραγματικών καταστάσεων και της ανάγκης για συνυπολογισμό κρίσεων, αόριστα διατυπωμένων μέσω λεκτικών εκφράσεων, οι επιδόσεις των εναλλακτικών καθώς και τα βάρη των κριτηρίων ορίζονται στην περίπτωση της ασαφούς μεθόδου TOPSIS με τη χρήση λεκτικών μεταβλητών και τιμών (Chen et al., 2006).

Έτσι, το πλαίσιο εφαρμογής της ασαφούς μεθόδου TOPSIS στην περίπτωση του «προβλήματος επιλογής προμηθευτή» δομήθηκε ως εξής (Chen et al., 2006):

- *Στάδιο 1:* Απόδοση βαρών στα κριτήρια αξιολόγησης από τρία κέντρα λήψης αποφάσεων με χρήση λεκτικών μεταβλητών και των αντίστοιχων τιμών τους, οι οποίες αναπαρίστανται μέσω τραπεζοειδών και τριγωνικών συναρτήσεων συμμετοχής.
- *Στάδιο 2:* Ορισμός επιδόσεων των εναλλακτικών ως προς τα κριτήρια αξιολόγησης από τα τρία κέντρα λήψης αποφάσεων με χρήση λεκτικών μεταβλητών και των αντίστοιχων τιμών τους οι οποίες, και σε αυτή την περίπτωση, αναπαρίστανται μέσω τραπεζοειδών και τριγωνικών συναρτήσεων συμμετοχής.
- *Στάδιο 3:* Δόμηση του ασαφούς πίνακα απόφασης.
- *Στάδιο 4:* Δόμηση του «κανονικοποιημένου ασαφούς πίνακα απόφασης».
- *Στάδιο 5:* Δόμηση του «σταθμικού κανονικοποιημένου ασαφούς πίνακα απόφασης» (weighted normalized fuzzy-decision matrix).
- *Στάδιο 6:* Προσδιορισμός της «θετικής ιδεατής ασαφούς λύσης» (καλύτερης λύσης) (fuzzy positive ideal solution) και της «αρνητικής ιδεατής ασαφούς λύσης» (χειρότερης λύσης) (fuzzy negative ideal solution).
- *Στάδιο 7:* Υπολογισμός της απόστασης κάθε εναλλακτικής από την καλύτερη και τη χειρότερη λύση για κάθε κριτήριο ξεχωριστά.
- *Στάδιο 8:* Υπολογισμός της απόστασης κάθε εναλλακτικής από την καλύτερη και τη χειρότερη λύση για το σύνολο των κριτηρίων.
- *Στάδιο 9:* Υπολογισμός του «συντελεστή εγγύτητας» για κάθε εναλλακτική.
- *Στάδιο 10:* Ιεράρχηση των εναλλακτικών στη βάση του συντελεστή εγγύτητας.

Ο αλγόριθμος που εφαρμόζεται για την ολοκλήρωση της διαδικασίας πολυκριτηριακής αξιολόγησης, περιλαμβάνει τα στάδια της κλασικής μεθόδου TOPSIS με τη διαφορά ότι οι υπολογισμοί υλοποιούνται μεταξύ ασαφών αριθμών στο πλαίσιο της ασαφούς αριθμητικής και γεωμετρίας.

Στο ίδιο πλαίσιο εφαρμόστηκε τόσο η *κλασική* (στην περίπτωση χρήσης ακριβών αριθμητικών τιμών για την εκτίμηση των επιδόσεων των εναλλακτικών) όσο και η *ασαφής μέθοδος TOPSIS* (στην περίπτωση μη ακριβών και αόριστων τιμών για την εκτίμηση των επιδόσεων των εναλλακτικών), για τον σχεδιασμό της διάταξης παραγωγής εργοστασίου (Yang and Hung, 2007). Τα στάδια ολοκλήρωσης της διαδικασίας είναι τα ίδια με αυτά της προηγούμενης μελέτης περίπτωσης.

Στη βάση της *ασαφούς μεθόδου TOPSIS* οι Santos και Camargo (2010) πρότειναν επιπλέον τη δόμηση ενός «συστήματος ασαφών κανόνων» με στόχο την περαιτέρω υποστήριξη της διαδικασίας αξιολόγησης αξιοποιώντας κανόνες ασαφούς συμπερασμού (Santos and Camargo, 2010). Στο μοντέλο που προτείνουν οι συγκεκριμένοι ερευνητές, η εμπειρική γνώση των ειδικών αναπαρίσταται με τη βοήθεια ασαφών κανόνων και δομείται μία βάση γνώσης για την εξαγωγή συμπερασμάτων, σύμφωνα με τα δεδομένα εισόδου και το αποτέλεσμα που προκύπτει από τους μεταξύ τους συνδυασμούς (Santos and Camargo, 2010).

Στη βάση της ίδιας λογικής, εφαρμόστηκε και η ασαφής μέθοδος ELECTRE από τους Zandi και Roghanian το 2013 (ELECTRE I για την περίπτωση που παρουσιάζεται). Και σε αυτήν την περίπτωση, για την αναπαράσταση των βαρών των κριτηρίων αξιολόγησης και των επιδόσεων των εναλλακτικών ως προς τα κριτήρια, χρησιμοποιήθηκαν αντί για αριθμούς λεκτικές εκφράσεις οι οποίες με τη σειρά τους μοντελοποιήθηκαν μέσω ασαφών τραπεζοειδών αριθμών και συναρτήσεων (Zandi and Roghanian, 2013). Τα βάρη των κριτηρίων και οι επιδόσεις των εναλλακτικών εκτιμήθηκαν από ειδικούς, οι οποίοι διατύπωσαν τις κρίσεις τους χρησιμοποιώντας λεκτικές εκφράσεις. Στη συνέχεια, υπολογίστηκε για κάθε κριτήριο μία μέση τιμή για το βάρος του και για κάθε εναλλακτική μία μέση τιμή της επίδοσής της όπως αυτά εκτιμήθηκαν από τους ειδικούς (Zandi and Roghanian, 2013), δομήθηκαν ο «κανονικοποιημένος» και ο «σταθμικός κανονικοποιημένος» πίνακας απόφασης, ορίστηκαν τα κριτήρια κόστους-οφέλους όπου για τη μεν πρώτη περίπτωση είναι επιθυμητή η ελαχιστοποίηση των επιδόσεων των εναλλακτικών ενώ για τη δεύτερη η μεγιστοποίησή τους, ορίστηκαν τα σύνολα συμφωνίας και ασυμφωνίας, υπολογίστηκαν οι πίνακες συμφωνίας και ασυμφωνίας και σε συνδυασμό με τη μέθοδο VIKOR, ολοκληρώθηκε η διαδικασία της αξιολόγησης και ιεραρχήθηκαν οι εναλλακτικές (Zandi and Roghanian, 2013). Η προσέγγιση εφαρμόστηκε για την επιλογή θέσης χωροθέτησης εργοστασίου όπου ελήφθησαν υπόψη τρεις υποψήφιες θέσεις και έξι κριτήρια αξιολόγησης ενώ στη διαδικασία, συμμετείχαν τρία κέντρα

λήψης αποφάσεων (Zandi and Roghanian, 2013). Σημειώνεται ότι η πολυκριτηριακή αξιολόγηση VIKOR ανήκει στην κατηγορία των μεθόδων πολυκριτηριακής αξιολόγησης όπου αναζητάται η καταλληλότερη εναλλακτική λύση στη βάση μιας ιδεατής βέλτιστης εναλλακτικής (Opricovic and Tzeng, 2004).

Η ίδια προσέγγιση, ασαφής ELECTRE, χωρίς όμως να συνδυάζει στοιχεία της μεθόδου VIKOR εφαρμόστηκε για την αξιολόγηση και επιλογή projects σε επίπεδο επιχείρησης στη βάση τεσσάρων κριτηρίων αξιολόγησης και με τη συμμετοχή τεσσάρων κέντρων λήψης αποφάσεων (Daneshvar Rouyendegh and Erol, 2012).

Η «ασαφής ELECTRE» και η σύγκρισή της με την «κλασική ELECTRE» προτάθηκε και από τον Sevklı για την επιλογή προμηθευτών επιχείρησης, στη βάση των αρχών της πολυκριτηριακής αξιολόγησης και των δυνατοτήτων που η ασαφής λογική παρέχει για διαχείριση λεκτικών όρων, εκφρασμένων από τους συμμετέχοντες στη διαδικασία λήψης αποφάσεων (Sevklı, 2010).

Και στην περίπτωση της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας, έχει προταθεί από διάφορους ερευνητές η εισαγωγή ασαφών προσεγγίσεων στη βάση των οποίων αναπτύχθηκε η «Ασαφής Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία» (van Laarhoven and Pedrycz, 1983; Buckley, 1985; Stam et al., 1996; Chang, 1996; Jansen et al., 2001; Kahraman et al., 2004; Hsiao and Chou, 2006; etc.) με στόχο τη βελτίωση της κλασικής (crisp) μεθόδου (Demirel et al., 2008). Αντί της κλίμακας Saaty (κλίμακα 1-9) και για την καλύτερη διαχείριση προβλημάτων χαρακτηριζόμενων από υψηλό βαθμό ασάφειας, προτάθηκε η έκφραση των προτιμήσεων των ειδικών, κατά τη διεξαγωγή των ανά ζεύγη συγκρίσεων, μέσω λεκτικών εκφράσεων και όχι μέσω των διακριτών (crisp) αριθμών της κλίμακας Saaty (Javanbarg et al., 2012). Έτσι, η σχετική σημαντικότητα των στοιχείων της ιεραρχίας εκφράζεται στην περίπτωση αυτή μέσω ασαφών αριθμών και τριγωνικών συναρτήσεων συμμετοχής (Javanbarg et al., 2012).

Τα βήματα εφαρμογής της Ασαφούς Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας είναι τα ίδια με αυτά της κλασικής AHP με τη διαφορά ότι για τη διεξαγωγή των ανά ζεύγη συγκρίσεων, χρησιμοποιούνται ασαφείς αριθμοί και όχι διακριτές τιμές. Ορίζεται καταρχάς η ιεραρχία (στόχος, κριτήρια, υπο-κριτήρια, εναλλακτικές), υλοποιούνται οι «ασαφείς ανά ζεύγη συγκρίσεις» μεταξύ των στοιχείων της ιεραρχίας, ακολουθεί ο έλεγχος συνέπειας στους «ασαφείς πίνακες σύγκρισης» και ο ορισμός προτεραιοτήτων· η διαδικασία ολοκληρώνεται με την άθροιση των προτεραιοτήτων και την ιεράρχηση των εναλλακτικών (Javanbarg et al., 2012).

Ανάλογα με την εκάστοτε προσέγγιση, έχουν αναπτυχθεί διαφοροποιημένες μορφές της *Ασαφούς Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας* ενώ παράλληλα, αναζητώνται τρόποι περαιτέρω βελτιστοποίησης και εξέλιξης των νέων ασαφών προσεγγίσεων. Η ασαφής Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία έχει εφαρμοστεί για την επιλογή προμηθευτών εργοστασίου (Ayhan, 2013), για την αξιολόγηση ενεργειακών πόρων (Meixner, 2009), για τη λήψη αποφάσεων σε προβλήματα χωρικού σχεδιασμού (π.χ. επιλογή περιοχής χωροθέτησης) σε συνδυασμό με τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (Vahidnia et al., 2008), κ.λπ.

Παρόμοιες «επεμβάσεις» με εισαγωγή προσεγγίσεων της ασαφούς λογικής που στόχο έχουν τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας πολυκριτηριακής αξιολόγησης, έχουν εφαρμοστεί και στην περίπτωση των μεθόδων «*Σταθμικής Άθροισης*» και «*Σταθμικού Γινομένου*» (Triantaphyllou and Lin, 1996). Στις δύο παραπάνω περιπτώσεις, τόσο οι επιδόσεις των εναλλακτικών ως προς τα κριτήρια αξιολόγησης όσο και τα βάρη των κριτηρίων εκφράζονται μέσω ασαφών αριθμών ενώ, η περαιτέρω επεξεργασία των δεδομένων αυτών και οι υπολογισμοί που υλοποιούνται στο πλαίσιο αναζήτησης της βέλτιστης εναλλακτικής γίνονται σύμφωνα με τις αρχές της ασαφούς αριθμητικής και της ασαφούς γεωμετρίας στη βάση της αρχής της επέκτασης (Triantaphyllou and Lin, 1996).

Εκτός από την ασαφή λογική και τη θεωρία των ασαφών συνόλων, τεχνικές όπως τα *νευρωνικά δίκτυα* και οι *γενετικοί αλγόριθμοι* έχουν αξιοποιηθεί για την υποστήριξη της διαδικασίας πολυκριτηριακής αξιολόγησης σε διάφορα επίπεδα. Με βασικό ζητούμενο την ταξινόμηση «μη κυρίαρχων» (non dominated) εναλλακτικών στρατηγικών σχεδιασμού για τη βιώσιμη άρδευση, αξιοποιήθηκε ένα νευρωνικό δίκτυο προκειμένου, πριν τη διεξαγωγή της πολυκριτηριακής αξιολόγησης, να ταξινομηθούν οι προτεινόμενες στρατηγικές σε επιμέρους σύνολα (Raju et al., 2006). Στη βάση αυτής της ταξινόμησης, ακολούθησε στη συνέχεια η εφαρμογή της διαδικασίας πολυκριτηριακής αξιολόγησης για την ιεράρχηση των εναλλακτικών στρατηγικών σχεδιασμού (Raju et al., 2006).

Νευρωνικά δίκτυα έχουν επίσης αξιοποιηθεί και για την περίπτωση προσεγγιστικής εκτίμησης προτιμήσεων των κέντρων λήψης αποφάσεων ως προς τις προτεινόμενες εναλλακτικές στο πλαίσιο της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας, όπου οι εκτιμήσεις των κέντρων λήψης αποφάσεων διατυπώνονται με τρόπο ασαφή (Stam et al., 1996).

Μοντελοποίηση των κρίσεων των κέντρων λήψης αποφάσεων μέσω νευρωνικών δικτύων έχει επίσης προταθεί από τους Wang και Archer (1994), οι οποίοι χρησιμοποίησαν τον ‘back-propagation’ αλγόριθμο μάθησης για την εκπαίδευση νευρωνικού δικτύου στη βάση διατυπωμένων κρίσεων κέντρων λήψης αποφάσεων (Wang and Archer, 1994). Στα πλαίσια του προτεινόμενου μοντέλου, παρέχεται η δυνατότητα άθροισης και γενίκευσης της διατυπωμένης γνώσης (Wang and Archer, 1994).

Όσον αφορά την περίπτωση των γενετικών αλγορίθμων, έχουν αξιοποιηθεί από τους Yu et al. στο πλαίσιο της βελτιστοποίησης της διαδικασίας πολυκριτηριακής αξιολόγησης για τη διαχείριση μη γραμμικού προγραμματισμού ακεραίων (nonlinear integer programming). Η εν λόγω μελέτη περίπτωσης αφορούσε στην επιλογή ενός υποσυνόλου portfolio projects από ένα ευρύτερο σύνολο εναλλακτικών projects, στη βάση κριτηρίων αξιολόγησης (Yu et al., 2012).

Γενετικός αλγόριθμος έχει επίσης αξιοποιηθεί από τους Vianna et al. σε συνδυασμό με τη Μέθοδο Σταθμικής Άθροισης. Στόχος ήταν η αξιολόγηση των καλύτερων λύσεων που προέκυψαν από την εφαρμογή γενετικού αλγορίθμου σε μελέτη περίπτωσης για τη βελτίωση της παραγωγικής διαδικασίας μίας βιομηχανικής μονάδας παραγωγής ενδυμάτων στη Βραζιλία, προκειμένου αυτή να γίνει περισσότερο ανταγωνιστική (Vianna et al., 2013).

Είναι προφανές ότι η μελέτη της σχετικής βιβλιογραφίας έχει να καταδείξει ένα πλήθος εφαρμογών που αναπτύσσονται σε διαφορετικά μεταξύ τους επιστημονικά πεδία και αξιοποιούν τα πλεονεκτήματα τεχνικών τεχνητής νοημοσύνης προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η διαδικασία της πολυκριτηριακής αξιολόγησης και να οδηγήσει στη λήψη περισσότερο τεκμηριωμένων, έγκυρων και ρεαλιστικών αποφάσεων. Τα βασικά πλεονεκτήματα που οι διάφορες τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης παρέχουν στη διαδικασία πολυκριτηριακής αξιολόγησης συνίστανται: στη διαχείριση μεγάλου όγκου ασαφούς, μη πλήρους, μη ακριβούς και εκφρασμένης σε φυσική γλώσσα πληροφορίας, στις δυνατότητες που παρέχει για μοντελοποίηση και αναπαράσταση ποιοτικής φύσης δεδομένων και πληροφορίας, στις δυνατότητες μοντελοποίησης και επεξεργασίας λεκτικών εκφράσεων, στην παροχή μέσων και τεχνικών αναγνώρισης προτύπων, στη δυνατότητα ενσωμάτωσης, οργάνωσης και διαχείρισης της γνώσης καθώς και στις δυνατότητες παραγωγής νέας γνώσης και εξαγωγής συμπερασμάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΣΤΟΝ ΧΩΡΙΚΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

Το κεφάλαιο αυτό αφορά στη συνοπτική περιγραφή των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ) ως εργαλείου λήψης αποφάσεων για τον χωρικό σχεδιασμό. Έχει ως στόχο την παρουσίαση των διαδικασιών οπτικοποίησης της χωρικής πληροφορίας και του θεωρητικού πλαισίου υλοποίησης της πολυκριτηριακής αξιολόγησης σε περιβάλλον ΣΓΠ, που είναι το δεύτερο ζήτημα στο οποίο εστιάζει η παρούσα διατριβή. Έμφαση δίνεται στις δυνατότητες που τα ΣΓΠ παρέχουν για την υλοποίηση διαδικασιών διαχείρισης, επεξεργασίας και οπτικοποίησης της χωρικής πληροφορίας. Παράλληλα, περιγράφεται ο ρόλος και η λειτουργία της πολυκριτηριακής αξιολόγησης ως μεθοδολογίας που βρίσκεται πλέον ενσωματωμένη στα ΣΓΠ και αξιοποιείται κυρίως στο πλαίσιο διερεύνησης της καταλληλότητας υποψήφιων θέσεων για τη χωροθέτηση δραστηριοτήτων. Τόσο η μέθοδος της σταθμικής άθροισης όσο και η αξιολόγηση που αξιοποιεί τη λογική της ασάφειας έχουν ενσωματωθεί στα σύγχρονα ΣΓΠ και εφαρμόζονται ευρέως για την υλοποίηση διαδικασιών χωρικής ανάλυσης προκειμένου, στη βάση ενός αριθμού κριτηρίων αξιολόγησης, να εντοπιστεί η βέλτιστη εναλλακτική θέση χωροθέτησης. Αρχικά, γίνεται μία εισαγωγή που αφορά στη μοντελοποίηση του γεωγραφικού χώρου και των χωρικών οντοτήτων· στη συνέχεια παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά και η δομή ενός ΣΓΠ ενώ παράλληλα, περιγράφεται η συνεισφορά των ΣΓΠ στη διαχείριση προβλημάτων σχεδιασμού του χώρου καθώς και ο ρόλος της πολυκριτηριακής αξιολόγησης για τη λήψη αποφάσεων στο πλαίσιο ενός ΣΓΠ.

5.1. Ανάπτυξη και Εξέλιξη των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών

Η ανάπτυξη και η εξέλιξη των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών στηρίχθηκε επάνω στις θεμελιώδεις έννοιες της *οπτικοποίησης, επεξεργασίας, ανάλυσης και ερμηνείας* των χωρικών δεδομένων και της χωρικής πληροφορίας. Στόχος είναι η υποστήριξη της διαδικασίας λήψης «χωρικών» αποφάσεων μέσα από την κατανόηση χωρικών προτύπων, τη διερεύνηση σχέσεων και αλληλεπιδράσεων

που αναπτύσσονται στον χώρο καθώς και την εξαγωγή νέας πληροφορίας. Παράλληλα, ο αυξανόμενος όγκος των διαθέσιμων χωρικών δεδομένων και οι νέες ανάγκες που προκύπτουν αναφορικά με τη διαχείρισή τους, δημιουργούν το υπόβαθρο για την περαιτέρω αναβάθμιση και ανάπτυξη των ΣΓΠ ούτως ώστε να ανταποκρίνονται στις αυξανόμενες απαιτήσεις των χρηστών και των προβλημάτων που αναφέρονται διαχρονικά. Εκτός από τις επιστήμες που σχετίζονται άμεσα με τη γεωγραφία και τον χωρικό σχεδιασμό, τα ΣΓΠ αξιοποιούνται από μία πληθώρα επιστημονικών πεδίων όπως η διαχείριση περιβάλλοντος, η επιστήμη των οικονομικών, η στατιστική, η υδρολογία, κ.λπ. Η κατανομή-μελέτη-κατανόηση των γεωγραφικών φαινομένων, ο σχεδιασμός μελλοντικών σεναρίων και η τεκμηρίωση συμπερασμάτων που ενσωματώνουν είτε άμεσα είτε έμμεσα τη χωρική διάσταση, συνιστούν μερικούς από τους βασικούς λόγους της ευρείας διάδοσης των ΣΓΠ για τη διαχείριση σύγχρονων χωρικών προβλημάτων.

Τα ΣΓΠ αποτελούν ένα ολοκληρωμένο Σύστημα Στήριξης Αποφάσεων και ανάλυσης του χώρου και των δραστηριοτήτων που αναπτύσσονται σε αυτόν. Κύριο πλεονέκτημά τους είναι η δυνατότητα σύνδεσης χωρικής και περιγραφικής πληροφορίας, δηλαδή, η δυνατότητα ενσωμάτωσης διαφόρων μη χωρικών χαρακτηριστικών που συνδέονται με τις χωρικές οντότητες. Η ανάπτυξή τους συμβαδίζει με την ανάπτυξη της επιστήμης των Γεωγραφικών Πληροφοριών και τη συνακόλουθη ανάγκη για την ολοκληρωμένη διαχείριση της γεωγραφικής πληροφορίας, στα πλαίσια των διαδικασιών χωρικής ανάλυσης και λήψης αποφάσεων που σχετίζονται άμεσα ή έμμεσα με τον χώρο.

Η Επιστήμη των Γεωγραφικών Πληροφοριών [Geographic Information Science (GIScience)] εστιάζει στη μελέτη της φύσης της γεωγραφικής πληροφορίας και των γεωγραφικών φαινομένων ενώ παράλληλα, συνιστά το θεωρητικό υπόβαθρο για τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών και τις σχετικές με τη διαχείριση γεωγραφικής πληροφορίας τεχνολογίες (Goodchild, 1992a; Goodchild, 2004; Malczewski and Rinner, 2015).

Ένα Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών ορίζεται ως ένα σύστημα που εξυπηρετεί διαδικασίες όπως η συλλογή, η αποθήκευση, η διαχείριση, η ανάλυση και η αναπαράσταση γεωγραφικών δεδομένων με στόχο την παραγωγή πληροφορίας και τη συνακόλουθη υποστήριξη της διαδικασίας λήψης αποφάσεων (Malczewski and Rinner, 2015). Έμφαση δίνεται στη διεξαγωγή και διεκπεραίωση διαδικασιών χωρικής ανάλυσης (Maguire, 1991) καθώς αυτή ακριβώς η δυνατότητα αποτελεί σε

πολλές περιπτώσεις το σημείο κλειδί προκειμένου, αφενός να οριστεί τι ακριβώς είναι ένα Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών και αφετέρου ένα Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών να διακρίνεται από συστήματα που η βασική τους λειτουργία συνίσταται στην απλή παραγωγή χαρτών (Goodchild, 1988). Η χωρική ανάλυση αφορά σε ένα σύνολο αναλυτικών μεθόδων, η εφαρμογή των οποίων προϋποθέτει την πρόσβαση τόσο σε μη χωρικά όσο και σε χωρικά χαρακτηριστικά των δεδομένων που πρόκειται να τεθούν υπό επεξεργασία (Goodchild, 1988).

Το παρόν κεφάλαιο εστιάζει στην περιγραφή των βασικών χαρακτηριστικών των ΣΓΠ, στη συνοπτική παρουσίαση της δομής και της λειτουργίας ενός ΣΓΠ καθώς και στην περιγραφή των μοντέλων που χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση, οπτικοποίηση και επεξεργασία των χωρικών οντοτήτων και των χωρικών σχέσεων. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη σύνδεση των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών με τον χωρικό σχεδιασμό και την αξιολόγηση που συνιστούν τα βασικά αντικείμενα μελέτης της παρούσας διατριβής.

5.2. Γεωγραφικός Χώρος: Μοντελοποίηση και Αναπαράσταση – Εννοιολογικό Πλαίσιο

Ο ορισμός του γεωγραφικού χώρου, των χωρικών οντοτήτων και των μεταξύ τους σχέσεων αλληλεπίδρασης (χωρικών και μη) συνιστούν θεμελιώδη αντικείμενα έρευνας των επιστημών που είτε άμεσα είτε έμμεσα σχετίζονται με τον χώρο και τη μελέτη των γεωγραφικών και φυσικών φαινομένων. Η αποσαφήνιση χωρικών εννοιών και σχέσεων καθώς και η συνακόλουθη δόμηση ενός σχετικού, συνεκτικού εννοιολογικού πλαισίου αποτελεί βασική προϋπόθεση για τη μοντελοποίηση, την αναπαράσταση, την επεξεργασία και γενικότερα τη διαχείριση των χωρικών δεδομένων και της χωρικής πληροφορίας. Παράλληλα, συνιστά καθοριστικό παράγοντα που επηρεάζει αφενός τη διαλειτουργικότητα μεταξύ των διαφορετικών συστημάτων διαχείρισης της γεωγραφικής πληροφορίας (διαλειτουργικότητα σε τεχνικό επίπεδο) και αφετέρου την «επικοινωνία» των γεωγραφικών εννοιών μεταξύ των επιστημονικών πεδίων που διαχειρίζονται χωρικά δεδομένα και χωρική πληροφορία (διαλειτουργικότητα σε σημασιολογικό επίπεδο – semantics).

Ο ορισμός του γεωγραφικού χώρου είναι μία δύσκολη και περίπλοκη διαδικασία καθώς παρουσιάζει πολλές και σημαντικές διαφοροποιήσεις, αποτελείται

από πολυάριθμα στοιχεία και πολύπλοκες σχέσεις αλληλεπίδρασης ενώ παράλληλα, σχετίζεται άμεσα με τον τρόπο που γίνεται αντιληπτός από τις ανθρώπινες αισθήσεις. Συνεπώς, οι διαδικασίες ορισμού, αναπαράστασης και μοντελοποίησής του απαιτούν την υλοποίηση αφαιρετικών διαδικασιών και απλούστευσης της γεωγραφικής πραγματικότητας ούτως ώστε να καταστεί δυνατή η περαιτέρω μελέτη και έρευνα των γεωγραφικών φαινομένων.

Ο γεωγραφικός χώρος είναι πολύπλοκος· ωστόσο, για την αναπαράστασή του υιοθετούνται απλοί κανόνες που επιτρέπουν τη διενέργεια επιστημονικής έρευνας εστιάζοντας στην περιγραφή, στην αναπαράσταση, στην ανάλυση, στην οπτικοποίηση και στην προσομοίωση της φυσικής γήινης επιφάνειας (Goodchild et al., 2007).

Η έννοια *γεωγραφική πραγματικότητα* είναι γενικότερη και αφορά σε εμπειρικά επαληθεύσιμα γεγονότα που λαμβάνουν χώρα στον πραγματικό / αντιληπτό κόσμο (Goodchild, 1992b). Η έννοια *χώρος* ή *γεωγραφικός χώρος* είναι λιγότερο αφηρημένη καθώς εκτός των άλλων, ενσωματώνει την ύπαρξη της διάστασης και της γεωμετρίας που αξιολογούνται για την οριοθέτησή του, τη μαθηματική του αναπαράσταση και τη μοντελοποίησή του.

Τα βασικά επιστημονικά πεδία που διαχρονικά ασχολούνται με τον γεωγραφικό χώρο, τον ορισμό και τις ιδιότητές του είναι τα μαθηματικά (γεωμετρία, τοπολογία, τριγωνομετρία), η φυσική (κλασική μηχανική, θεωρία της σχετικότητας), η φιλοσοφία (επιστημολογία) και η γεωγραφία (φυσική γεωγραφία, ανθρωπογεωγραφία) όπου, ανάλογα με τους στόχους και τα ερευνητικά ενδιαφέροντα, αναπτύσσουν αντίστοιχες οπτικές γωνίες υπό τις οποίες εξετάζουν τον γεωγραφικό χώρο και τα φυσικά φαινόμενα (Couclelis, 1998).

Σε κάθε περίπτωση, ο ορισμός του γεωγραφικού χώρου καθιστά απαραίτητη τη μελέτη των χωρικών οντοτήτων, των χωρικών σχέσεων, των γεωγραφικών φαινομένων αλλά και του τρόπου με τον οποίο οι άνθρωποι αντιλαμβάνονται τον χώρο. Παράλληλα, μεταξύ των διαφόρων προσεγγίσεων περί γεωγραφικού χώρου υφίστανται επικαλύψεις, ανατροφοδότηση μεταξύ των προσεγγίσεων αυτών (εμπειρικών, τυπικών – formal, κοινωνικών, κ.λπ) καθώς και ενσωμάτωση μοντέλων και εννοιών στο πλαίσιο της διεπιστημονικής προοπτικής για την περαιτέρω ανάπτυξη και εξέλιξη των ΣΓΠ.

Οι χωρικές οντότητες συνοδεύονται από μία χωρική αναφορά και χαρακτηρίζονται από ορισμένες ιδιότητες ή περιγραφικά χαρακτηριστικά όπως το

σχήμα, το μέγεθος, η θέση, ο προσανατολισμός, κ.λπ. Παράλληλα, χαρακτηρίζονται από τις μεταξύ τους σχέσεις, χωρικές και μη. Οι σχέσεις αυτές ορίζονται με τη βοήθεια των γεωμετρικών τους ιδιοτήτων (Egenhofer and Franzosa, 1991) ενώ, σημαντικό ρόλο για την περιγραφή τους παίζει η τοπολογία και οι αντίστοιχες τοπολογικές σχέσεις που χαρακτηρίζουν τις χωρικές οντότητες. Οι τοπολογικές σχέσεις είναι ιδιαίτερα σημαντικές καθώς παραμένουν σταθερές και αμετάβλητες σε περιπτώσεις που λαμβάνουν χώρα διαφόρων τύπων μετασχηματισμοί όπως: περιστροφή (rotation), αλλαγή κλίμακας και μικρές γεωμετρικές διορθώσεις (rubber-sheeting) (Clementini and Di Felice, 1997) όπως η σμίκρυνση, η διόρθωση προσανατολισμού γραμμών, κ.λπ. Ο ορισμός των μοντέλων αναπαράστασης των τοπολογικών σχέσεων βασίζεται αφενός στη δυνατότητα αξιοποίησής τους από τα υπολογιστικά συστήματα και αφετέρου στον τρόπο που ο γεωγραφικός χώρος γίνεται αντιληπτός από τον ανθρώπινο νου (Clementini and Di Felice, 1997).

Η συστηματική έρευνα και μελέτη του γεωγραφικού χώρου και των γεωγραφικών φαινομένων είχε ως αποτέλεσμα τη δόμηση ενός εννοιολογικού πλαισίου στη βάση του οποίου δομούνται τα διάφορα χωρικά μοντέλα που καθιστούν δυνατή την αναπαράστασή του. Τα μοντέλα αυτά και οι αντίστοιχοι τύποι δεδομένων αξιοποιούνται για τη δημιουργία χωρικών δεδομένων και πληροφορίας, διαχειρίσιμων από τα υπολογιστικά συστήματα με στόχο την αποθήκευση, την ενημέρωση, την επεξεργασία και την οπτικοποίησή τους.

Τα χωρικά ή γεωχωρικά ή γεωγραφικά δεδομένα, όπως συναντώνται στη βιβλιογραφία, αποτελούν μία ιδιαίτερη κατηγορία δεδομένων. Συνιστούν τη βάση παραγωγής χωρικής πληροφορίας και μελέτης του χώρου και των γεωγραφικών φαινομένων. Τα χωρικά δεδομένα σχετίζονται με μία θέση στον χώρο (Malczewski, 1999), ενώ η γεωγραφική πληροφορία από την άλλη πλευρά αποτελεί ένα σύνολο δεδομένων τα οποία έχουν χωρική αναφορά (georeferenced data) και ύστερα από επεξεργασία έχουν μετασχηματιστεί και έχουν λάβει μορφή που έχει κάποιο νόημα και κάποια αξία (perceived value) για τα κεντρα λήψης αποφάσεων (Malczewski, 1999).

Σύμφωνα με τον Goodchild, η γεωγραφική πληροφορία είναι ένα σύνολο γεγονότων τα οποία αντιστοιχίζουν ορισμένες ιδιότητες σε κάποια τοποθεσία επάνω ή πολύ κοντά στη φυσική γήινη επιφάνεια και η οποία μπορεί να συνοδεύεται επιπρόσθετα από μία χρονική αναφορά (Goodchild, 2010).

Τα χωρικά δεδομένα και η χωρική πληροφορία αφορούν σε χωρικές έννοιες και χωρικές σχέσεις όπως η τοποθεσία, η απόσταση, το σχήμα, η κλίμακα, η εγγύτητα κ.λπ. οι οποίες προσδιορίζουν τις χωρικές οντότητες και τις μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις. Η αναπαράσταση της γεωγραφικής γνώσης, των γεωγραφικών εννοιών και των συλλογισμών συνιστά αναπόσπαστο κλάδο του επιστημονικού τομέα της *σημασιολογίας* (semantics) βασικό αντικείμενο του οποίου είναι ο ορισμός εννοιών και σχέσεων κυρίως μέσα από τη δόμηση εννοιολογικών ιεραρχιών και οντολογιών.

Η δόμηση *οντολογίας* είναι μια θεμελιώδης διαδικασία που παρέχει τη δυνατότητα εμβάθυνσης και κατανόησης του γεωγραφικού χώρου μέσα από τη συστηματική μελέτη των γεωγραφικών εννοιών και των χωρικών σχέσεων. Ουσιαστικά, μία χωρική ή γεωγραφική οντολογία δομείται προκειμένου να οριστούν έννοιες που αφορούν σε χωρικές οντότητες και χωρικές σχέσεις που περιγράφουν τον χώρο (Bateman and Farrar, 2004). Στόχος της διαδικασίας αυτής είναι η αποσαφήνιση χωρικών εννοιών και σχέσεων (τοπολογικών, γεωμετρικών ή πιο γενικά χωρικών) στο πλαίσιο αφενός της συστηματικής κατανόησης του γεωγραφικού χώρου και αφετέρου της δόμησης μοντέλων που καθιστούν δυνατή τη διαχείριση και ανάλυση χωρικών δεδομένων και πληροφοριών από τα υπολογιστικά συστήματα. Συνεπώς οι οντολογίες αναφέρονται στη χρήση ενός συγκεκριμένου λεξιλογίου με τη βοήθεια του οποίου περιγράφουν οντότητες, κατηγορίες, ιδιότητες και λειτουργίες που σχετίζονται με μία συγκεκριμένη άποψη για τον κόσμο (Fonseca et al., 2002). Συνιστούν έναν τομέα αιχμής και μία από τις πλέον σύγχρονες προσεγγίσεις που αξιοποιούνται για την κατανόηση και συστηματική μελέτη χωρικών εννοιών και σχέσεων.

5.2.1. Χωρικά Μοντέλα και Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών

Όπως ήδη αναφέρθηκε, η δόμηση ενός εννοιολογικού πλαισίου μέσα από το οποίο αποσαφηνίζονται και προσδιορίζονται επακριβώς χωρικές έννοιες που εκπροσωπούν στοιχεία και σχέσεις που συνθέτουν τον γεωγραφικό χώρο συνιστά μία πρωταρχική και θεμελιώδη διαδικασία έτσι ώστε να καταστεί δυνατή η μοντελοποίηση, αναπαράσταση και διαχείριση χωρικών εννοιών, οντοτήτων και σχέσεων.

Η μοντελοποίηση είναι καταρχάς μία διαδικασία που υποστηρίζει την επικοινωνία μεταξύ των επιστημόνων που ασχολούνται με τον χώρο, την εμβάθυνση και την κατανόηση του γεωγραφικού χώρου και των γεωγραφικών φαινομένων (Wegener, 2000). Ένα μοντέλο είναι μία απλουστευμένη αναπαράσταση ενός αντικειμένου έρευνας με στόχο την περιγραφή, τον σχεδιασμό, την πρόβλεψη και την ερμηνεία ώστε να γίνει κατανοητό το εκάστοτε αντικείμενο έρευνας (Wegener, 2000).

Τα χωρικά μοντέλα διαφοροποιούνται ανάλογα με τις διάφορες επιστημονικές προσεγγίσεις, τα αντικείμενα μελέτης και τις αντίστοιχες ανάγκες που εξυπηρετεί κάθε ένα από αυτά. Ως εκ τούτου, υπάρχουν χωρικά μοντέλα που υιοθετούν οι περιβαλλοντικές επιστήμες (μετεωρολογικά μοντέλα, μοντέλα διασποράς αέρα, μοντέλα βροχοπτώσεων, κ.ά.), χωρικά μοντέλα που αξιοποιούνται από τις κοινωνικές επιστήμες (μοντέλα περιφερειακής οικονομικής ανάπτυξης, μοντέλα μελέτης μεταναστευτικών ροών, κ.ά) (Wegener, 2000), χωρικά μοντέλα που υιοθετούνται από τις επιστήμες των μηχανικών, κ.λπ.

Στο πλαίσιο των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών, δύο είναι τα βασικά χωρικά μοντέλα που αξιοποιούνται για την περιγραφή των δύο αντίστοιχων βασικών προσεγγίσεων που περιγράφουν τον χώρο: το *μοντέλο πεδίου* (οπτική πεδίου) που αναπαριστά τον γεωγραφικό χώρο ως μία συνεχή κατανομή ποικίλων γεωγραφικών μεταβλητών και το *μοντέλο οντοτήτων ή μοντέλο αντικειμένων* (οπτική αντικειμένου) που αναπαριστά τον γεωγραφικό χώρο μέσω των οντοτήτων που τον αποτελούν (Brown et al., 2005).

Πιο αναλυτικά, το *μοντέλο πεδίου* αξιοποιείται για την αναπαράσταση συνεχών φαινομένων που λαμβάνουν χώρα εντός του γεωγραφικού χώρου όπως για παράδειγμα η θερμοκρασία και η ατμοσφαιρική πίεση. Βασικό χαρακτηριστικό του μοντέλου πεδίου συνιστά το γεγονός ότι τα όρια και οι διαστάσεις των φαινομένων που μοντελοποιούνται δεν είναι απολύτως διακριτά και σαφώς προσδιορισμένα. Το μοντέλο πεδίου υλοποιείται στον υπολογιστή μέσω της ψηφιδωτής δομής δεδομένων (raster data structure) όπου με τη βοήθεια ενός κανάβου, ο χώρος διακρίνεται σε επιμέρους τμήματα, τα φατνία. Κάθε φατνίο λαμβάνει μία τιμή η οποία με τη σειρά της προκύπτει ως ο μέσος όρος των τιμών των σημείων που περιλαμβάνονται στο συγκεκριμένο φατνίο καθώς οι τιμές του πεδίου είναι χωρικά αυτοσυσχετιζόμενες. Το μοντέλο πεδίου αναπαριστά τη μεταβολή διαφόρων μεταβλητών (από σημείο σε σημείο) στη γήινη επιφάνεια ενώ, κάθε μεταβλητή λαμβάνει μία και μοναδική τιμή

σε κάθε τοποθεσία (Goodchild, 2005). Διαφορετικά, είναι ένα σύνολο μίας ή περισσότερων μεταβλητών που σχετίζονται με κάθε τοποθεσία στον χώρο μέσω μίας συνάρτησης (Longley et al., 2005).

Σύμφωνα με τον Worboys, ο ορισμός του μοντέλου πεδίου στο πλαίσιο μίας χωρικής εφαρμογής απαιτεί τον ορισμό τριών στοιχείων: του *χωρικού πλαισίου*, των *συναρτήσεων πεδίου* και ενός συνόλου *σχετικών λειτουργιών πεδίου* (Worboys, 1995). Το *χωρικό πλαίσιο* είναι ο κানাβος που βρίσκεται επάνω στον χώρο και στον οποίο βασίζεται το σύνολο των μετρήσεων ενώ οι *συναρτήσεις πεδίου* αντιστοιχίζουν το χωρικό πλαίσιο σε ένα σύνολο χαρακτηριστικών του πεδίου (Shekhar and Chawla, 2003). Οι *χωρικές λειτουργίες* διακρίνονται αντίστοιχα στις *τοπικές / σημειακές λειτουργίες* που αφορούν τιμές σε ένα συγκεκριμένο σημείο, στις *εστιακές λειτουργίες* που αφορούν σε τιμές που υφίστανται στη γειτονιά ενός σημείου και στις *λειτουργίες ζώνης* που αφορούν σε τιμές άθροισης συναρτήσεων ή συνάρτησης ολοκληρώματος για μία ζώνη (πολύγωνο) (Shekhar and Chawla, 2003).

Το μοντέλο οντοτήτων ή αντικειμένων αξιοποιείται για την περιγραφή διακριτών και αναγνωρίσιμων οντοτήτων (Shekhar and Chawla, 2003) οι οποίες βρίσκονται σε μία συγκεκριμένη θέση στον χώρο και χαρακτηρίζονται από ιδιότητες όπως οι διαστάσεις, το σχήμα, τα περιγραφικά τους χαρακτηριστικά αλλά και από τις σχέσεις που αναπτύσσουν με τις υπόλοιπες χωρικές οντότητες (τοπολογικές σχέσεις, σχέσεις εγγύτητας και απόστασης, κ.λπ.). Το μοντέλο οντοτήτων υλοποιείται στον υπολογιστή μέσω της *διανυσματικής δομής δεδομένων* με τη βοήθεια της οποίας τα αντικείμενα / οντότητες αναπαρίστανται ως σημεία, γραμμές, πολύγωνα ή ως σύνθετες γεωμετρικές οντότητες που προκύπτουν ως συνδυασμός απλών γεωμετριών. Στην περίπτωση αυτή ο χώρος γίνεται αντιληπτός ως ένας «κενός χώρος» στον οποίο βρίσκονται διασκορπισμένα, διακριτά και μετρήσιμα αντικείμενα (Goodchild et al., 2007). Τα χαρακτηριστικά των χωρικών αντικειμένων ταξινομούνται σε δύο διακριτές κατηγορίες, τα *χωρικά* και τα *μη χωρικά* χαρακτηριστικά (Shekhar and Chawla, 2003). Το μοντέλο οντοτήτων είναι καταλληλότερο για την αναπαράσταση βιολογικών οργανισμών, ανθρωπογενών κατασκευών όπως για παράδειγμα τα κτίρια και οι πυροσβεστικοί κρουνοί, κ.ά. (Goodchild, 2005).

Μία διαφορετική διάκριση των χωρικών μοντέλων είναι αυτή που τα ταξινομεί σε *δυναμικά* και *στατικά* χωρικά μοντέλα. Τα στατικά μοντέλα δεν ενσωματώνουν τη διάσταση του χρόνου και ως εκ τούτου τόσο τα δεδομένα εισόδου όσο και τα

δεδομένα εξόδου αναφέρονται στο ίδιο χρονικό σημείο (Goodchild, 2005). Τα δυναμικά μοντέλα (π.χ. χωροχρονικά μοντέλα) ενσωματώνουν τη χρονική διάσταση με την έννοια ότι τα δεδομένα εξόδου αναφέρονται σε ένα μετέπειτα χρονικό σημείο σε σχέση με τα δεδομένα εισόδου (βήμα χρονικής απόστασης) (Goodchild, 2005).

Κλείνοντας την παρούσα ενότητα θα πρέπει να αναφερθεί ότι τα χωρικά μοντέλα συνιστούν βασική προϋπόθεση για τη διεξαγωγή διαδικασιών χωρικής ανάλυσης. Η χωρική ανάλυση υλοποιείται επάνω στα χωρικά μοντέλα στα οποία εφαρμόζεται το σύνολο των μετρήσεων και των πάσης φύσεως υπολογισμών για την εξαγωγή συμπερασμάτων και τη λήψη αποφάσεων υποστηριζόμενων από τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών. Παράλληλα, η χωρική ανάλυση συνιστά βασικό πεδίο θεωρητικής και εφαρμοσμένης έρευνας τόσο της γεωγραφίας όσο και της περιφερειακής επιστήμης οι οποίες, εκτός των άλλων, εστιάζουν στη μελέτη των ιδιοτήτων χωρικών οντοτήτων και φαινομένων καθώς και στη διαφοροποίηση των ιδιοτήτων αυτών ανάλογα με τη γεωγραφική τους τοποθεσία (Goodchild, 1987; Miller and Wentz, 2003).

5.2.2. Δομή των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών

Το ζήτημα της διαχείρισης δεδομένων (ιδιαίτερα της διαχείρισης μεγάλου όγκου δεδομένων), τόσο σε ευρύτερο πλαίσιο όσο και στο πλαίσιο της διαχείρισης χωρικών δεδομένων, συνιστά τα τελευταία χρόνια ερευνητικό πεδίο αιχμής για την Επιστήμη της Πληροφορικής και την Επιστήμη της Γεωγραφικής Πληροφορίας και των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών. Στόχος της διαχείρισης χωρικών δεδομένων είναι η εξαγωγή νέας γνώσης και χωρικής πληροφορίας καθώς και η υποστήριξη της διαδικασίας λήψης αποφάσεων που είτε έμμεσα είτε άμεσα σχετίζονται με τον χώρο.

Ένα ΣΓΠ είναι ένα πληροφοριακό σύστημα σχεδιασμένο με τρόπο που να υποστηρίζει διαδικασίες συλλογής, αποθήκευσης, οπτικοποίησης, επικοινωνίας, μετασχηματισμού, ανάλυσης και αρχειοθέτησης χωρικών δεδομένων και γεωαναφερμένης πληροφορίας (Goodchild et al., 1999). Εξυπηρετεί διαδικασίες συντήρησης, ενημέρωσης και ανάκτησης δεδομένων. Επιπλέον, επιτρέπει τη διαχείριση διαφορετικών τύπων χωρικών δεδομένων τα οποία συλλέγονται με διαφορετικούς τρόπους και διαφοροποιούνται ως προς τη φύση τους αλλά και τις ανάγκες που εξυπηρετούν. Στις βασικές κατηγορίες χωρικών δεδομένων

περιλαμβάνονται τα τηλεπισκοπικά δεδομένα, τα φωτογραμμετρικά δεδομένα, τα χαρτογραφικά και τα γεωδαιτικά δεδομένα.

Αρχικά, τα ΣΓΠ εμφανίστηκαν ως ένα λογισμικό (GISystem) το οποίο σχεδιάστηκε για να εξυπηρετεί σκοπούς αναπαράστασης της γεωγραφικής πληροφορίας ενώ στη συνέχεια, εξελίχθηκε σε ένα αυτοτελές επιστημονικό πεδίο (GIScience) η έρευνα του οποίου εστίαζε στην περαιτέρω εξέλιξη και ανάπτυξη των ΣΓΠ αξιοποιώντας τα αξιώματα της άλγεβρας χαρτών (map algebra) και τις δυνατότητες μοντελοποίησης χωρικών λειτουργιών (Shekhar and Chawla, 2003). Τα τελευταία χρόνια, τα ΣΓΠ αποτελούν ολοκληρωμένα συστήματα παροχής γεωγραφικών υπηρεσιών (GIServices), ευρύτατα διαδεδομένα στον παγκόσμιο ιστό και την κινητή τηλεφωνία (Shekhar and Chawla, 2003).

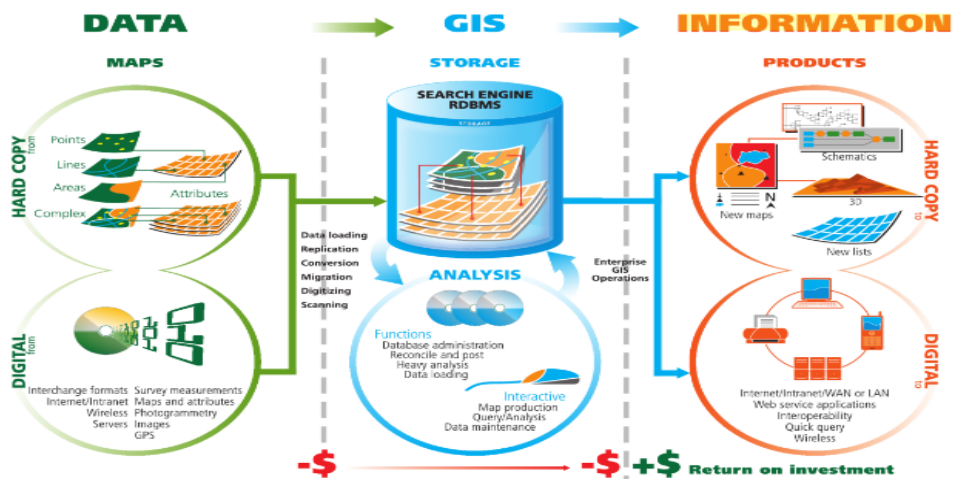
Όπως είναι αναμενόμενο, οι ιδιαίτερες ανάγκες που εξυπηρετεί ένα ΣΓΠ δημιουργούν αντίστοιχες ανάγκες σε επίπεδο σχεδιασμού, τεχνικού πλαισίου και αρχιτεκτονικής του συστήματος. Στη διαδικασία σχεδιασμού της αρχιτεκτονικής ενός ΣΓΠ εμπλέκεται ένα σύνολο παραμέτρων όπως: οι ανάγκες των χρηστών, οι εφαρμογές που πρόκειται να υλοποιεί το σύστημα, οι απαιτήσεις σε hardware καθώς και οι διάφορες πηγές δεδομένων (Peters, 2009). Στόχος είναι η δόμηση ενός λειτουργικού ΣΓΠ το οποίο μέσα από την εφαρμογή διαδικασιών χωρικής ανάλυσης θα παρέχει τη δυνατότητα μετατροπής των δεδομένων σε χρήσιμη πληροφορία (Tomlinson, 2007).

Βασικό στοιχείο της αρχιτεκτονικής ενός ΣΓΠ είναι η αποθήκευση των χωρικών δεδομένων και της περιγραφικής (μη χωρικής) πληροφορίας (attribute information) που τα συνοδεύει σε μία γεωβάση, η οποία υποστηρίζει την υλοποίηση αναλυτικών διαδικασιών και την παραγωγή νέας πληροφορίας (Tomlinson, 2007). Πιο αναλυτικά, στα επιμέρους στοιχεία που συνθέτουν το μοντέλο στο οποίο βασίζεται η αρχιτεκτονική ενός ΣΓΠ (Σχήμα 5-1) περιλαμβάνονται (Tomlinson, 2007):

- Τα *χωρικά δεδομένα*. Πρόκειται για δεδομένα ακατέργαστα τα οποία έχουν κάποια χωρική αναφορά. Οι χωρικές τους ιδιότητες αναπαρίστανται με τη βοήθεια απλών (σημεία, γραμμές, πολύγωνα) ή σύνθετων γεωμετριών ενώ, οι μη χωρικές τους ιδιότητες αποθηκεύονται σε έναν πίνακα και αποτελούν τα λεγόμενα χαρακτηριστικά (attributes) των χωρικών δεδομένων. Τα χωρικά δεδομένα μπορεί να περιλαμβάνουν ψηφοποιημένους χάρτες, πινακοποιημένα δεδομένα που

έχουν επίσης ψηφιοποιηθεί, κ.ά. Αποθηκεύονται στη γεωβάση ενός ΣΓΠ αφού πρώτα οργανωθεί και κωδικοποιηθεί ανάλογα, τόσο η χωρική όσο και η περιγραφική πληροφορία.

- Η *γεωβάση* – *GIS database*. Η γεωβάση συνιστά στοιχείο του αποθηκευτικού μέρους του ΣΓΠ το οποίο περιλαμβάνει το σύνολο των συναρτήσεων ανάλυσης και δημιουργίας χαρτών. Στη γεωβάση, με τη βοήθεια των αντίστοιχων συναρτήσεων, υλοποιείται το σύνολο των υπολογισμών που είναι απαραίτητοι για την επεξεργασία των χωρικών δεδομένων και την παραγωγή της νέας πληροφορίας. Διατυπώνονται χωρικά ερωτήματα και πραγματοποιούνται διαδικασίες αναζήτησης, σύγκρισης, ανάλυσης και μέτρησης.
- Η *παραγόμενη πληροφορία*. Είναι το τρίτο στοιχείο ενός ΣΓΠ και περιλαμβάνει το σύνολο των προϊόντων που προκύπτουν από τις διαδικασίες επεξεργασίας των χωρικών δεδομένων. Η επεξεργασία και ανάλυση των χωρικών δεδομένων έχει ως αποτέλεσμα τη μετατροπή τους σε πληροφορία χρήσιμη και υποστηρικτική στη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Τα τελικά προϊόντα μπορεί να είναι διαφόρων τύπων όπως χάρτες, λίστες, πίνακες, διαγράμματα, τρισδιάστατες αναπαραστάσεις, απαντήσεις σε ερωτήματα που διατυπώνονται στη γεωβάση, κ.λπ.



Σχήμα 5-1: Μέρη ενός Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών
 Πηγή: Tomlinson, 2007

Σε ένα πιο γενικευμένο επίπεδο, εκτός του αυστηρού τεχνικού πλαισίου, τα στοιχεία που αποτελούν ένα ΣΓΠ είναι πέντε και διακρίνονται ως εξής:

- *Υλικό (Hardware)*. Η υποδομή επάνω στην οποία τρέχουν τα αντίστοιχα προγράμματα (οθόνη, μνήμη, ψηφιοποιητής, κ.λπ.).
- *Λογισμικό (Software)*. Το σύνολο των προγραμμάτων τα οποία επιτρέπουν την υλοποίηση διαδικασιών αποθήκευσης, ανάλυσης, οπτικοποίησης και επεξεργασίας των χωρικών δεδομένων με τη βοήθεια των συναρτήσεων και των λοιπών εργαλείων / εφαρμογών που περιλαμβάνονται σε ένα ΣΓΠ (βάση δεδομένων, Graphical User Interface, κ.λπ.).
- *Δεδομένα*. Το σύνολο των δεδομένων που διαχειρίζεται ένα ΣΓΠ (χωρικά δεδομένα, περιγραφικά χαρακτηριστικά, πίνακες, ψηφιοποιημένοι χάρτες, κ.λπ.).
- *Ανθρώπινοι πόροι*. Οι χρήστες οι οποίοι αξιοποιούν το ΣΓΠ για τη διεκπεραίωση εργασιών, λιγότερο ή περισσότερο εξειδικευμένοι, καθώς και οι ειδικοί που σχεδιάζουν, αναπτύσσουν, συντηρούν και εξελίσσουν τα ΣΓΠ.
- *Μέθοδοι*. Το επιστημονικό υπόβαθρο επάνω στο οποίο στηρίζεται ο σχεδιασμός και η λειτουργία ενός ΣΓΠ (μοντέλα, τεχνικές, πρακτικές χρήσης ΣΓΠ, κ.λπ.).

Όπως αναφέρθηκε στην αρχή της παρούσας ενότητας, θεμελιώδες αντικείμενο έρευνας της σύγχρονης επιστήμης των υπολογιστών συνιστά η διαχείριση δεδομένων και ιδιαίτερα η διαχείριση μεγάλου όγκου δεδομένων. Ο τομέας των βάσεων δεδομένων είναι ο κατεξοχήν τομέας που ασχολείται τόσο σε ερευνητικό όσο και σε εφαρμοσμένο επίπεδο με το θέμα της διαχείρισης πάσης φύσεως δεδομένων. Ένα Σύστημα Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων (ΣΔΒΔ) είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να παρέχει τη δυνατότητα αποθήκευσης και διαχείρισης (συντήρηση, αξιοποίηση, ενημέρωση) μεγάλου όγκου δεδομένων, εκτέλεσης ερωτημάτων και γενικότερα εκτέλεσης διαφόρων τύπων διαδικασιών σε ένα σύνολο αντικειμένων.

Η ιδιαίτερη φύση και τα χαρακτηριστικά των χωρικών δεδομένων δημιούργησαν την ανάγκη αναζήτησης νέων τρόπων διαχείρισης της χωρικής πληροφορίας και επέκτασης των λειτουργιών των κλασικών ΣΔΒΔ ούτως ώστε να καταστεί δυνατή η επεξεργασία των εν λόγω δεδομένων. Έτσι, δημιουργήθηκαν τα Συστήματα Διαχείρισης Χωρικών Βάσεων Δεδομένων τα οποία παρέχουν ([Shekhar and Chawla, 2003](#)):

- Δυνατότητες αποθήκευσης και διαχείρισης χωρικών δεδομένων και πληροφορίας ενσωματώνοντας ειδικούς τύπους για τη μοντελοποίησή τους,
- ειδικές δομές δεικτοδότησης (indexing) χωρικών δεδομένων (ευρετήρια),
- χωρικούς τελεστές και συναρτήσεις που εξυπηρετούν διαδικασίες ανάκτησης χωρικής πληροφορίας και διατύπωσης χωρικών ερωτημάτων αξιοποιώντας γνώση που προέρχεται από τα μαθηματικά, τη θεωρία συνόλων, κ.λπ.

Μία Χωρική Βάση Δεδομένων βρίσκεται στην «καρδιά» ενός ΣΓΠ επιτρέποντας τη διαχείριση των χωρικών δεδομένων και τη διενέργεια πολυάριθμων διαδικασιών επεξεργασίας τους για την παραγωγή πληροφορίας. Οποιαδήποτε διαδικασία τεχνικής επεξεργασίας χωρικών δεδομένων προϋποθέτει τη μοντελοποίηση και την αναπαράστασή τους σε μία Χωρική Βάση Δεδομένων.

Κλείνοντας την παρούσα ενότητα, επισημαίνονται οι βασικοί τρόποι αναπαράστασης των δύο κύριων μοντέλων του γεωγραφικού χώρου (μοντέλο πεδίου και μοντέλο οντοτήτων) σε μία βάση δεδομένων. Στην περίπτωση του μοντέλου πεδίου προτείνονται έξι μέθοδοι αναπαράστασης ([Goodchild, 2003](#)):

- Πεπερασμένος αριθμός σημείων κανονικά κατανομημένων στον χώρο (Finite number of regularly spaced points).
- Πεπερασμένος αριθμός σημείων ακανόνιστα κατανομημένων στον χώρο (Finite number of irregularly spaced points).
- Διαίρεση του πεδίου σε έναν πεπερασμένο αριθμό ορθογωνικών περιοχών (Area partitioned into a finite number of rectangular regions).
- Διαίρεση του χώρου σε έναν πεπερασμένο αριθμό ακανόνιστων πολυγώνων (Area partitioned into a finite number of irregular polygonal regions).
- Διαίρεση του χώρου σε έναν πεπερασμένο αριθμό ακανόνιστων τριγωνικών περιοχών (Area partitioned into a finite number of irregular triangular regions).
- Πεπερασμένος αριθμός ισούψων καμπυλών.

Στην περίπτωση του μοντέλου οντοτήτων, ο γεωγραφικός χώρος θεωρείται κενός εκτός από τα σημεία που υφίστανται γεωγραφικές οντότητες αναπαριστώμενες

από σημεία, γραμμές, πολύγωνα, σύνθετες γεωμετρικές οντότητες κ.λπ. (Goodchild, 2003).

5.3. Οπτικοποίηση και Χωρικός Σχεδιασμός

Η δόμηση μοντέλων και η αναπαράσταση του χώρου και των γεωγραφικών φαινομένων, εκτός των άλλων στόχων, εξυπηρετούν καταρχάς (ιδιαίτερα στην περίπτωση των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών) την ανάγκη οπτικοποίησης της γεωγραφικής πραγματικότητας προκειμένου αυτή να γίνει περισσότερο αντιληπτή και κατανοητή.

Στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής, το ενδιαφέρον εστιάζεται στην αξιοποίηση της οπτικοποίησης για την αναπαράσταση και διαχείριση χωρικών δεδομένων και πληροφορίας σε περιβάλλον ΣΓΠ με στόχο την υποστήριξη της διαδικασίας λήψης αποφάσεων. Ως εκ τούτου, η προσέγγιση είναι καθαρά τεχνική και προσανατολισμένη στη σύνδεση της οπτικοποίησης με τον χωρικό σχεδιασμό και την αξιοποίηση των δυνατοτήτων της στα πλαίσια μελέτης και σχεδιασμού διαφόρων τύπων χωρικών δομών.

Η οπτικοποίηση είναι μία διαδικασία μέσα από την οποία επιτυγχάνεται η δημιουργία διαφόρων τύπων εικόνας η οποία με τη σειρά της συμβάλλει στην ενεργοποίηση της οπτικής αντίληψης και στην ενίσχυση της διαισθητικής προσέγγισης του εκάστοτε ερευνητικού αντικειμένου. Ένας γενικός ορισμός για την οπτικοποίηση είναι δύσκολο να δοθεί καθώς, η έννοια της οπτικοποίησης αξιοποιείται από διάφορους εκπροσώπους επιστημονικών και επαγγελματικών πεδίων με λιγότερο ή περισσότερο διαφοροποιημένα αντικείμενα. Ο στόχος βέβαια παραμένει κοινός και είναι αυτός της αναπαράστασης της πληροφορίας.

Η αναπαράσταση της πληροφορίας μπορεί προφανώς να γίνει αξιοποιώντας διαφόρων ειδών τεχνικές και μέσα περιλαμβάνοντας τόσο την απλή σχεδίαση σε χαρτί ή οποιοδήποτε είδους έντυπο μέσο όσο και τη σχεδίαση με τη χρήση γραφικού περιβάλλοντος σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Παράλληλα, οι στόχοι της οπτικοποίησης και της αναπαράστασης πληροφορίας ποικίλουν ανάλογα με την περίπτωση όπως: η καλλιτεχνική έκφραση, η οπτική μετάδοση πληροφορίας προκειμένου να γίνει περισσότερο κατανοητή, η οπτικοποίηση δεδομένων και

πληροφορίας με στόχο την περαιτέρω επεξεργασία τους καθώς και η ανάπτυξη διαδραστικών εφαρμογών μέσα από τη χρήση εικόνας.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, η διατύπωση ενός ενιαίου ορισμού για την οπτικοποίηση είναι μάλλον αδύνατη καθώς ως έννοια χρησιμοποιείται από διαφορετικά επιστημονικά αντικείμενα και επομένως, οι διαδικασίες οπτικοποίησης υλοποιούνται με την εφαρμογή διαφορετικών μεθόδων και με διαφορετικό προσανατολισμό και στόχο ανά περίπτωση.

Κάποιοι περισσότερο γενικευμένοι αλλά με τεχνικό προσανατολισμό ορισμοί είναι οι ακόλουθοι:

- Η οπτικοποίηση είναι ένα εργαλείο που εξυπηρετεί την κατανόηση δεδομένων τα οποία αποκτήθηκαν είτε μέσα από διαδικασίες προσομοίωσης είτε με τη διενέργεια φυσικής μέτρησης, αξιοποιώντας τη χρήση της τεχνολογίας εικόνας στον υπολογιστή (computer imaging technology) (Haber and McNabb, 1990).
- Η οπτικοποίηση της πληροφορίας είναι η επικοινωνία / μετάδοση αφηρημένων δεδομένων μέσα από τη χρήση διαδραστικών οπτικών διεπαφών (Keim et al., 2006).
- Η οπτικοποίηση της πληροφορίας αξιοποιεί γραφικά υπολογιστών και μέσα από τη διαδραστικότητα υποστηρίζει τη διαδικασία επίλυσης προβλημάτων (Purchase et al., 2008).
- Η οπτικοποίηση είναι ένας τρόπος μέσα από τον οποίο γίνονται ορατά πρότυπα και σχέσεις μεταξύ των δεδομένων (Manovich, 2010).

Στο πλαίσιο της επιστήμης των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών, η οπτικοποίηση αφορά στην αναπαράσταση χωρικών δεδομένων και πληροφορίας με απώτερο στόχο την επεξεργασία τους, τη διεξαγωγή διαδικασιών χωρικής ανάλυσης και τη χαρτογραφική παραγωγή.

Σύμφωνα με την ESRI, η οπτικοποίηση ορίζεται ως η αναπαράσταση δεδομένων σε ένα εποπτικό μέσο ή μορφή (viewable medium or format) (ESRI, 2016). Σε ένα Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών η οπτικοποίηση αξιοποιείται με στόχο την οργάνωση χωρικών δεδομένων και αντίστοιχης πληροφορίας σε επίπεδα τα οποία μπορούν να αναλυθούν (χωρική ανάλυση) ή να αποδοθούν υπό μορφή χάρτη, τρισδιάστατων απεικονίσεων, διαγραμμάτων, πινάκων, κ.λπ. (ESRI, 2016).

Οι Buttenfield και Mackaness (1991) ορίζουν την οπτικοποίηση ως ένα σημαντικό στοιχείο για την κατανόηση, ανάλυση ή ερμηνεία της κατανομής

διαφόρων φαινομένων στην επιφάνεια της γης, ενώ ο βαθμός σημαντικότητάς της αυξάνεται με τη συσσώρευση χωρικών δεδομένων και τη διαρκώς αυξανόμενη ανάγκη για διαχείριση των δεδομένων αυτών (Buttenfield and Mackaness, 1991). Διαδικασίες όπως η μοντελοποίηση χωρικών δεδομένων, η ανάλυση τάσεων και προτύπων, η εξαγωγή συμπερασμάτων και η υποστήριξη της διαδικασίας λήψης αποφάσεων αξιοποιούν τα πλεονεκτήματα της οπτικοποίησης με στόχο την παραγωγή νέας πληροφορίας (Buttenfield and Mackaness, 1991).

Κατά τους MacEachren et al., (1992) η οπτικοποίηση συνδέεται άμεσα με τις διαδικασίες ανάλυσης και επεξεργασίας των δεδομένων οι οποίες ολοκληρώνονται μέσα από το στάδιο της «οπτικής κρίσης» (visual thinking), το οποίο περιλαμβάνει διαδικασίες εξερεύνησης και επιβεβαίωσης των γεωγραφικών δεδομένων που έχει στη διάθεσή του οπτικοποιημένα ο χρήστης και το στάδιο της «οπτικής επικοινωνίας» (visual communication), το οποίο περιλαμβάνει διαδικασίες σύνθεσης και παρουσίασης της εξαγόμενης γεωγραφικής πληροφορίας (MacEachren et al, 1992).

Τα τελευταία χρόνια, μεταξύ των επιστημόνων που ασχολούνται με τις γεω-επιστήμες χρησιμοποιείται συχνά ο όρος *γεω-οπτικοποίηση* ο οποίος παραπέμπει άμεσα σε ένα σύνολο εφαρμοζόμενων μεθόδων, τεχνικών και πρακτικών με στόχο την οπτικοποίηση δεδομένων, πληροφορίας και φαινομένων που σχετίζονται με τη φυσική γήινη επιφάνεια και το γεωγραφικό χώρο. Η γεω-οπτικοποίηση σχετίζεται άμεσα με την αξιοποίηση γραφικών για ανάλυση δεδομένων η τοποθεσία (θέση στον χώρο) των οποίων χρησιμοποιείται ως ένα απαραίτητο και αναγκαίο μέρος της ανάλυσης (Unwin, 2008). Με πολύ απλό τρόπο ο Unwin ορίζει τη γεω-οπτικοποίηση ως την τομή της χαρτογραφίας με την «επιστημονική οπτικοποίηση» μέσω γραφικών υπολογιστή (Unwin, 2008).

Σύμφωνα με τους Jobst et al., (2010) η γεω-οπτικοποίηση είναι ουσιαστικά μία σύντηξη της γεωγραφικής οπτικοποίησης η οποία αφορά σε ένα σύνολο εργαλείων και τεχνικών που υποστηρίζουν διαδικασίες γεω-χωρικής επικοινωνίας και ανάλυσης πληροφορίας μέσα από τη χρήση διαδραστικών χαρτών (Jobst et al., 2010).

Περισσότεροι ορισμοί της γεω-οπτικοποίησης παρουσιάζονται παρακάτω:

- Η γεω-οπτικοποίηση είναι η οπτικοποίηση πραγματικής ή προσομοιωμένης δισδιάστατης ή τρισδιάστατης γεωγραφικής πληροφορίας, στο πλαίσιο της οποίας αξιοποιείται η εμπειρία του

χρήστη ενώ παράλληλα παρέχεται η δυνατότητα διάδρασης με αυτόν (Diehl and Delrieux, 2012).

- Η γεω-οπτικοποίηση είναι η γραφική αναπαράσταση γεωγραφικής πληροφορίας ή «στατιστικών περιλήψεων» που αφορούν σε ιδιότητες και σχέσεις στον χώρο ή / και στον χρόνο (Yuan, 2009).
- Η γεω-οπτικοποίηση είναι ένα επιστημονικό πεδίο που έχει ως αντικείμενο την οπτική διερεύνηση, την ανάλυση, τη σύνθεση και την αναπαράσταση δεδομένων που περιέχουν γεωγραφική πληροφορία συνδυάζοντας προσεγγίσεις από επιστημονικά πεδία όπως η επιστήμη της γεωγραφικής πληροφορίας (GIScience), η χαρτογραφία και η ανάλυση εικόνας (Dykes et al., 2005).

Βάσει των παραπάνω ορισμών και σύμφωνα με τον Nöllenburg (2007) είναι σαφές ότι στους στόχους της γεω-οπτικοποίησης περιλαμβάνονται η διερεύνηση, η ανάλυση, η σύνθεση και η παρουσίαση δεδομένων και πληροφορίας που έχουν κάποια χωρική αναφορά (Nöllenburg, 2007). Οι στόχοι αυτοί ορίζονται στη βάση των δυνατοτήτων που προσφέρει η γεω-οπτικοποίηση για την ανακάλυψη γνώσης που δεν είναι γνωστή προηγουμένως και τη δόμηση νέας γνώσης, τη δυνατότητα αλληλεπίδρασης του χρήστη με τη διεπαφή της οπτικοποίησης, η οποία μπορεί να είναι είτε παθητική είτε ενεργητική και το εύρος αξιοποίησης της οπτικοποιημένης πληροφορίας που μπορεί να κυμαίνεται από ένα μόνο ιδιωτικό χρήστη μέχρι ένα μεγάλο, δημόσιο κοινό / ακροατήριο (Nöllenburg, 2007).

Μία πρώτη, βασική ομαδοποίηση της γεω-οπτικοποίησης και των μεθόδων βάσει των οποίων υλοποιείται η όλη διαδικασία, τη διακρίνει σε *στατική* και *δυναμική* ανάλογα με το εάν ενσωματώνει τη διάσταση του χρόνου ή όχι (Fabrikant and Goldsberry, 2005). Η *στατική γεω-οπτικοποίηση* δεν ενσωματώνει τη χρονική διάσταση και αξιοποιείται για την αναπαράσταση του τρισδιάστατου γεωγραφικού χώρου και των αντίστοιχων δυναμικών γεωγραφικών φαινομένων, προβεβλημένων στις δύο διαστάσεις, σε στατικούς χάρτες, διαγράμματα, κ.λπ. (Fabrikant, 2005). Από την άλλη πλευρά, η *δυναμική γεω-οπτικοποίηση* ενσωματώνει τη διάσταση του χρόνου παρέχοντας τη δυνατότητα δυναμικής αναπαράστασης γεωγραφικών φαινομένων και διαδικασιών με τη βοήθεια γραφικών υπολογιστή, δισδιάστατων και τρισδιάστατων animations, διαδραστικών χαρτών, προσομοιώσεων (Fabrikant, 2005), ρεαλιστικών αναπαραστάσεων, εικονικής πραγματικότητας, κ.λπ.

Οι διαδικασίες της οπτικοποίησης και της γεω-οπτικοποίησης, ιδιαίτερος δε η διαδικασία της χαρτογραφικής παραγωγής, γίνονται στη βάση ορισμένων κανόνων οι οποίοι αφορούν στην επιλογή του περιεχομένου του εκάστοτε χάρτη, στον τρόπο παρουσιάσής του ανάλογα με την κλίμακα, στο συμβολισμό (χρώμα, σχήμα, μέγεθος συμβόλων), στην ονοματολογία και μία πληθώρα άλλων ζητημάτων που σχετίζονται με την ποιότητα των δεδομένων, την αναπαράσταση και την ορθή απόδοσή τους στο εκάστοτε μέσο οπτικοποίησης.

Το 1967, ο Bertin διατύπωσε μία τυπολογία για τον σχεδιασμό χαρτών ορίζοντας μία σειρά θεμελιωδών *γραφικών στατικών μεταβλητών* στις οποίες περιλαμβάνονται η τοποθεσία, το μέγεθος, η πυκνότητα ή / και το μέγεθος των στοιχείων υφής (texture elements), η απόχρωση, ο χρωματικός κορεσμός, η αξία του χρώματος (color value), ο προσανατολισμός, και το σχήμα, μεταβλητές οι οποίες παίζουν επίσης τον ρόλο του «μέσου επικοινωνίας» των δεδομένων στον αναγνώστη του χάρτη (Nöllenburg, 2007). Οι μεταβλητές αυτές ορίστηκαν για την περιγραφή και την οπτικοποίηση της πληροφορίας στους έντυπους χάρτες (γι' αυτό και ο χαρακτηρισμός τους ως στατικές μεταβλητές).

Σήμερα, με την εξέλιξη της τεχνολογίας των γραφικών, οι αρχικές μεταβλητές εμπλουτίστηκαν και προστέθηκαν σε αυτές καινούριες γραφικές μεταβλητές που εξυπηρετούν ανάγκες γεω-οπτικοποίησης (Nöllenburg, 2007). Οι μεταβλητές αυτές χαρακτηρίζονται και ως δυναμικές και περιλαμβάνουν τη χρονική θέση, τη διάρκεια, τη σειρά – χρονική ακολουθία των γεγονότων, τον ρυθμό μεταβολής, τη συχνότητα και το συγχρονισμό (Nöllenburg, 2007).

Το γεγονός ότι η γεω-οπτικοποίηση δεν εστιάζει απλώς στην οπτικοποίηση της πληροφορίας αλλά στην οπτικοποίηση της γεω-χωρικής πληροφορίας, καθιστά απαραίτητη την εφαρμογή ειδικών μεθόδων και τεχνικών μέσα από τις οποίες λαμβάνει χώρα και ολοκληρώνεται μία διαδικασία γεω-οπτικοποίησης. Διαφοροποιούνται μεταξύ τους ως προς τον στόχο που κάθε μία από αυτές εξυπηρετεί, τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται καθώς και τα δεδομένα που απαιτούνται ανά περίπτωση.

Κατά τους Keim et al., (2005) κάποιες βασικές τεχνικές οπτικοποίησης / γεω-οπτικοποίησης πληροφορίας είναι οι ακόλουθες (Keim et al., 2005):

- *Δισδιάστατη οπτικοποίηση*: Πρόκειται για την οπτικοποίηση δεδομένων που ορίζονται από δύο διαστάσεις ή προβάλλονται στις δύο διαστάσεις και αναπαρίστανται στον Ευκλείδιο χώρο (Euclidian plane). Η

οπτικοποίηση των δεδομένων υλοποιείται στη βάση γεωμετρικών εννοιών και σχέσεων όπως η απόσταση ή οι αποστάσεις σε συνδυασμό με τις γωνίες που ορίζουν τη θέση σημείων στο επίπεδο αναφοράς όπου προβάλλεται ένα τρισδιάστατο αντικείμενο. Στην περίπτωση των χωρικών δεδομένων, η διαδικασία οπτικοποίησής τους στο δισδιάστατο επίπεδο βασίζεται τόσο στις συντεταγμένες τους όσο και στις σχέσεις τους με τα υπόλοιπα αντικείμενα του χώρου.

- *Τρισδιάστατη οπτικοποίηση*: Πρόκειται για την οπτικοποίηση δεδομένων που ορίζονται από τρεις διαστάσεις. Η διαδικασία οπτικοποίησης είναι όμοια με αυτή της δισδιάστατης οπτικοποίησης με τη διαφορά ότι στην περίπτωση αυτή αναπαρίσταται και η τρίτη διάσταση, το ύψος ή το βάθος για παράδειγμα στην περίπτωση των χωρικών δεδομένων. Η τρισδιάστατη οπτικοποίηση προσεγγίζει σε μεγαλύτερο βαθμό τον γεωγραφικό χώρο καθώς οι τρισδιάστατες απεικονίσεις ομοιάζουν περισσότερο με την ανθρώπινη οπτική αντίληψη του περιβάλλοντος χώρου.
- *Γεωμετρικά μετασχηματισμένη απεικόνιση (Geometrically transformed display)*: Στην περίπτωση εφαρμογής αυτής της τεχνικής, ο στόχος είναι η εύρεση μετασχηματισμών πολυ-διάστατων συνόλων δεδομένων τα οποία παρουσιάζουν κάποιο ενδιαφέρον. Η συγκεκριμένη κατηγορία μεθόδων οπτικοποίησης υιοθετεί τεχνικές από τον τομέα της στατιστικής, της γεωμετρίας για την αναπαράσταση κ-διάστατων χώρων στο δισδιάστατο επίπεδο, κ.λπ.
- *Εικονική αναπαράσταση*. Στην περίπτωση αυτή, η οπτικοποίηση βασίζεται στην αναπαράσταση των περιγραφικών χαρακτηριστικών των δεδομένων.
- *Πυκνή αναπαράσταση με εικονοστοιχεία (Dense pixel displays)*: Η τεχνική αυτή αντιστοιχίζει την τιμή μίας διάστασης (dimension value) σε ένα εικονοστοιχείο συγκεκριμένου χρώματος και στη συνέχεια ομαδοποιεί τα εικονοστοιχεία που αντιστοιχούν σε κάθε διάσταση σε γειτονικές περιοχές. Οι πυκνές απεικονίσεις εικονοστοιχείων που δημιουργούνται, διαιρούν την οθόνη σε πολλαπλά υπο-παράθυρα (multiple subwindows) έτσι ώστε για σύνολα δεδομένων m-

διαστάσεων, η οθόνη να διαιρείται αντίστοιχα σε m υπο-παράθυρα (ένα υπο-παράθυρο για κάθε διάσταση).

- *Συσσωρευμένη / Σωρευτική απεικόνιση (Stacked display)*: Η τεχνική αυτή αξιοποιείται για την αναπαράσταση δεδομένων ιεραρχικά διαμορφωμένων. Στην περίπτωση πολυ-διάστατων δεδομένων, οι διαστάσεις των δεδομένων χρησιμοποιούνται για τον διαχωρισμό των δεδομένων και τη δόμηση της αντίστοιχης ιεραρχίας.

Στις τεχνικές οπτικοποίησης δεδομένων περιλαμβάνονται επίσης οι διάφορες μορφές γραφικών αναπαραστάσεων, τα γραφήματα, τα ραβδωτά διαγράμματα (bar charts), κ.λπ.

Όσον αφορά αποκλειστικά στο ζήτημα της γεω-οπτικοποίησης, ο Nöllenburg ορίζει μία σειρά μεθόδων γεω-οπτικοποίησης οι οποίες είναι (Nöllenburg, 2007):

- *Δισδιάστατη γεω-οπτικοποίηση*: Συνιστά την πιο κοινή μέθοδο οπτικοποίησης γεω-χωρικών δεδομένων και συχνά αναφέρεται και ως δισδιάστατη χαρτογραφική οπτικοποίηση. Πρόκειται ουσιαστικά για ένα χάρτη στον οποίο απεικονίζεται η περιοχή ενδιαφέροντος ενώ τα στοιχεία που την αποτελούν, χωροθετούνται με βάση τις συντεταγμένες τους. Εκτός από τις συντεταγμένες, η απόδοση χαρακτηριστικών (ιδιαίτερα σε περιπτώσεις χαρακτηριστικών κοινωνικής, πολιτικής ή οικονομικής φύσεως) σε ένα χάρτη μπορεί να στηρίζεται σε στατιστικά στοιχεία και η οπτικοποίησή τους να γίνεται σύμφωνα με τα εν λόγω στοιχεία – χάρτης με στατιστικά στοιχεία. Επίσης, η απόδοση των διαφόρων χαρακτηριστικών μπορεί να βασίζεται σε στοιχεία που είναι κατηγοριοποιημένα και ταξινομημένα σε επιμέρους κατηγορίες οι οποίες με τη σειρά τους, είναι δυνατόν να απεικονίζονται με διαφορετικές χρωματικές αποχρώσεις όπως για παράδειγμα στην περίπτωση των χωροπληθικών χαρτών.
- *Τρισδιάστατη γεω-οπτικοποίηση*: Η δυνατότητα τρισδιάστατης γεω-οπτικοποίησης πρόεκυψε με την εξέλιξη της τεχνολογίας γραφικών με τη βοήθεια της οποίας παράγονται οι ρεαλιστικές εικόνες και τα διάφορα εικονικά περιβάλλοντα. Αξιοποιώντας τα πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης τεχνολογίας, εκτός από τις απλές τρισδιάστατες απεικονίσεις είναι δυνατή η δημιουργία CAVEs (Cave Automatic Virtual Environments) και Power Walls που καθιστούν δυνατή τη

στερεοσκοπική αντίληψη. Η συγκεκριμένη μέθοδος γεω-οπτικοποίησης είναι προσαρμοσμένη στην τρισδιάστατη αντίληψη που έχει ο άνθρωπος για τον χώρο και η τρίτη διάσταση μπορεί να είναι το ύψος, ο χρόνος (χωρο-χρονική οπτικοποίηση), κ.λπ.

- *Εργαλεία οπτικής εξόρυξης δεδομένων (visual data mining tools)*: Η μέθοδος αυτή είναι επίσης γνωστή στη στατιστική και ως διερευνητική ανάλυση δεδομένων. Στοχεύει στην οπτική ανάλυση των δεδομένων και στον εμπλουτισμό της ήδη υπάρχουσας γνώσης μέσα από την παραγωγή νέας. Επιτρέπει την απεικόνιση δεδομένων πολλών μεταβλητών (χωρικά και μη-χωρικά χαρακτηριστικά) με τρόπο τέτοιο ώστε ο αναγνώστης της εικόνας να μπορεί να αντιλαμβάνεται σχέσεις και πρότυπα. Διακρίνονται σε γεωμετρικές οπτικοποιήσεις, οπτικοποιήσεις αναγλύφου, οπτικοποιήσεις με βάση τα εικονοστοιχεία, οπτικοποιήσεις με γράφους, κ.λπ.
- *Animation*: Είναι μία δυναμική μέθοδος γεω-οπτικοποίησης που ενσωματώνει την παράμετρο του χρόνου προκειμένου να προστεθεί άλλη μία οπτική διάσταση στην απεικόνιση / αναπαράσταση. Στην περίπτωση αυτή, γίνεται ορατή η διαχρονική αλλαγή των διαφόρων αναπαριστώμενων χαρακτηριστικών.
- *Χωρο-χρονική οπτικοποίηση*: Είναι μία μέθοδος γεω-οπτικοποίησης η οποία υποστηρίζει διαδικασίες διαχρονικής μελέτης και εξέλιξης διαφόρων φαινομένων όπως οι πληθυσμιακές μεταβολές, η κλιματική αλλαγή, κ.λπ. Με τον τρόπο αυτό οπτικοποιούνται διαχρονικές αλλαγές χωρικών ιδιοτήτων, θεματικών ιδιοτήτων, κ.λπ. Ο εκάστοτε χάρτης αναφέρεται σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα το οποίο μπορεί να αποτυπώνεται υπό μορφή κειμένου ή με διαφορετικές χρωματικές αποχρώσεις. Στην περίπτωση τρισδιάστατης χωρο-χρονικής οπτικοποίησης οι δύο διαστάσεις απεικονίζουν τον γεωγραφικό χώρο και η τρίτη τον χρόνο.
- *Διαδραστικές οπτικοποιήσεις*: Το βασικό χαρακτηριστικό των μεθόδων αυτών είναι η δυνατότητα αλληλεπίδρασης με το προϊόν της αναπαράστασης. Η αλληλεπίδραση συνιστά ένα θεμελιώδες συστατικό μίας διαδικασίας οπτικοποίησης η οποία στοχεύει στην οπτική διερεύνηση. Καθιστά δυνατή την επικοινωνία με τον χρήστη

παρέχοντάς του τη δυνατότητα μεγαλύτερης κατανόησης του περιεχομένου, ενώ παράλληλα μπορεί να υπογραμμίζει οτιδήποτε ανταποκρίνεται στα ενδιαφέροντά του, να εστιάζει, να μετασχηματίζει δεδομένα, να επιλέγει τι είδους δεδομένα επιθυμεί να προβάλλονται κάθε φορά, να προβάλλει ταυτόχρονα διαφόρων ειδών δεδομένα, κ.λπ.

Η διαδικασία της γεω-οπτικοποίησης υποστηρίζεται από μία σειρά εργαλείων τα οποία επιτρέπουν την προβολή και απόδοση της χωρικής πληροφορίας, την επεξεργασία και τη διαχείρισή της. Σε αυτά συγκαταλέγονται το ArcMap (εμπορικό λογισμικό), το XGobi (ελεύθερο λογισμικό αντίστοιχο του ArcView), το Common GIS (εμπορικό λογισμικό), κ.ά. (Nöllenburg, 2007).

Όσον αφορά στον χωρικό σχεδιασμό, αυτός σχετίζεται με ένα ευρύ φάσμα συστηματικών δράσεων που σχεδιάζονται και εκπονούνται με στόχο την υλοποίηση και επίτευξη «χωρικών στόχων» στο μέλλον (De Wit et al., 2009).

Η διαδικασία λήψης αποφάσεων στο πλαίσιο του στρατηγικού σχεδιασμού με στόχο τη χάραξη πολιτικής είναι μία αναδραστική διαδικασία που περιλαμβάνει μία σειρά από επιμέρους στάδια μέσα από τα οποία υλοποιείται και ολοκληρώνεται. Τα στάδια αυτά περιλαμβάνουν τον καθορισμό των στόχων και των υποστόχων που αφορούν στην εξέλιξη της περιοχής μελέτης, την περιγραφή της υφιστάμενης κατάστασης και την προβολή της στο μέλλον, τη δόμηση σεναρίων μελλοντικής ανάπτυξης της υπό μελέτη περιοχής, την αξιολόγηση των σεναρίων, τη διατύπωση μέτρων πολιτικής καθώς και το στάδιο της εφαρμογής. Στο πλαίσιο αυτό, η γεω-οπτικοποίηση συνιστά ένα υποστηρικτικό εργαλείο της διαδικασίας σχεδιασμού.

Τόσο οι στόχοι, η υπάρχουσα κατάσταση και η προβολή της όσο και τα σενάρια, η αξιολόγηση και τα μέτρα πολιτικής μπορεί να οπτικοποιηθούν και να παρουσιαστούν σε απλές εικόνες, χάρτες, διαγράμματα, πίνακες, κ.λπ. ούτως ώστε να γίνουν περισσότερο κατανοητά και εύληπτα. Τα εποπτικά μέσα διευκολύνουν τη διεξαγωγή συζητήσεων και τη διαχείριση αντικρουόμενων απόψεων μεταξύ των συμμετεχόντων στη σχεδιαστική διαδικασία, καθιστώντας περισσότερο ορατά τα προβλήματα που υπάρχουν αλλά και τις ενδεχόμενες λύσεις που είτε έχουν ήδη προταθεί και τίθενται προς συζήτηση είτε σχεδιάζονται σε πραγματικό χρόνο. Με τον τρόπο αυτό, η οπτικοποίηση αξιοποιείται ως ένα εργαλείο τα πλεονεκτήματα του οποίου υποστηρίζουν τη διαδικασία λήψης αποφάσεων που σχετίζονται με τον χώρο και τη διαχείρισή του.

Σήμερα, η εξέλιξη της τεχνολογίας παρέχει τη δυνατότητα υπολογιστικής υποστήριξης της διαδικασίας λήψης αποφάσεων που σχετίζονται με τον χώρο. Αυτό συνεπάγεται την υποστήριξη των εμπλεκόμενων σε μία διαδικασία σχεδιασμού σε επίπεδο: χάραξης αναπτυξιακής πολιτικής, αξιολόγησης και επιλογής κατάλληλων πολιτικών / σχεδίων / προγραμμάτων και ανάπτυξης σεναρίων / παρεμβάσεων, αναζήτησης λύσεων σε προβλήματα με γεωγραφική ή χωρική αναφορά (Andrienko et al., 2007).

Οι Andrienko et al. (2007) πρότειναν το όνομα *Γεω-οπτική Ανάλυση για τη Διαδικασία Στήριξης Χωρικών Αποφάσεων* προκειμένου να ορίσουν το διεπιστημονικό πεδίο, αντικείμενο του οποίου είναι η ανάπτυξη υπολογιστικών μεθόδων, τεχνικών και εργαλείων με στόχο την επίλυση προβλημάτων που σχετίζονται με τον χώρο, μέσα από την ενίσχυση των ανθρώπινων ικανοτήτων για τη διεκπεραίωση διαδικασιών ανάλυσης, διορατικότητας (envision), συλλογιστικής (reason) και επισταμένης μελέτης (Andrienko et al., 2007).

Η σύνθετη και πολύπλοκη φύση των σύγχρονων ΣΓΠ, οι πολλαπλοί συντελεστές, τα κριτήρια και η γνώση συνιστούν τα τρία βασικά χαρακτηριστικά στη βάση των οποίων διαφοροποιείται το πεδίο της Γεω-οπτικής Ανάλυσης για την Υποστήριξη της Διαδικασίας Λήψης Χωρικών Αποφάσεων από το γενικότερο πεδίο της Οπτικής Ανάλυσης (Andrienko et al., 2007).

Ειδικότερα στην περίπτωση του συμμετοχικού σχεδιασμού, η γεω-οπτικοποίηση συνεισφέρει στην ενίσχυση της αντιληπτικής ικανότητας των πολιτών, στην κατανόηση από μέρους τους των χωρικών διαδικασιών και των αλλαγών που επιτελούνται με την πάροδο του χρόνου και στην κατανόηση των προτάσεων σχεδιασμού, παρακινώντας ταυτόχρονα διαδικασίες επικοινωνίας και ενδυναμώνοντας το ενδιαφέρον των πολιτών για τον σχεδιασμό (Warren-Kretzschmar and Tiedtke, 2005).

Οι συμμετοχικές διαδικασίες ενισχύονται επιπλέον από τεχνολογίες διαχείρισης της γεω-πληροφορίας οι οποίες ενσωματώνουν εργαλεία υποστήριξης συμμετοχικών, bottom-up διαδικασιών (McCall and Dunn, 2012). Αντιπροσωπευτικά παραδείγματα τεχνολογιών αυτού του τύπου είναι τα *Συμμετοχικά Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών* (PGIS) και τα *Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών για τη Συμμετοχή του Κοινού* (PPGIS) τα οποία αναπτύχθηκαν στη βάση των συμβατικών Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών και λοιπών χαρτογραφικών εργαλείων (McCall and Dunn, 2012).

Οι τεχνολογίες αυτές έδωσαν τη δυνατότητα ανάπτυξης εφαρμογών που επιτρέπουν τη διενέργεια συζητήσεων που άπτονται ζητημάτων του χωρικού σχεδιασμού επάνω σε χάρτες και λοιπό οπτικοποιημένο υλικό, τη διατύπωση σχολίων και προτάσεων επί των θεμάτων που συζητώνται, την επί τόπου σχεδίαση σκίτσων και συμβόλων επί του εκάστοτε υποβάθρου, κ.λπ.

Η δυνατότητα ανάπτυξης τέτοιου τύπου εφαρμογών ενισχύθηκε προφανώς από την ανάπτυξη των διαδικτυακών Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (web-GIS) και της χαρτογραφίας στο διαδίκτυο (web-mapping). Σημαντικά είναι τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν οι συγκεκριμένες εφαρμογές επιτρέποντας την ευρύτερη και ασύγχρονη συμμετοχή του κοινού, την ευρεία διάχυση των αποτελεσμάτων του σχεδιασμού και γενικότερα το «άνοιγμα» του συνόλου της σχεδιαστικής διαδικασίας.

5.4. Γεω-οπτικοποίηση, Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών και Αξιολόγηση

Η παρούσα ενότητα εστιάζει στην παρουσίαση του ζητήματος της πολυκριτηριακής αξιολόγησης σε συνδυασμό με τη γεω-οπτικοποίηση και τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών. Ο συγκερασμός των επιμέρους αυτών επιστημονικών πεδίων ορίζει μία νέα αφετηρία για το ευρύτερο πεδίο του τομέα λήψης αποφάσεων και των συστημάτων που υποστηρίζουν τη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Ουσιαστικά πρόκειται για ένα πεδίο έρευνας, βασικό αντικείμενο του οποίου είναι η οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων της διαδικασίας πολυκριτηριακής αξιολόγησης αλλά και η διενέργεια των επιμέρους σταδίων μέσα από τα οποία λαμβάνει χώρα η πολυκριτηριακή αξιολόγηση σε περιβάλλον ΣΓΠ.

Σε ένα πρώτο επίπεδο, η υλοποίηση πολυκριτηριακής αξιολόγησης η οποία εντάσσεται σε ένα περιβάλλον ΣΓΠ ορίζεται ως μία διαδικασία μετασχηματισμού και συνδυασμού γεωγραφικών δεδομένων και εκτιμήσεων με στόχο την εξασφάλιση εμπλουτισμένης και ολοκληρωμένης πληροφορίας η οποία είναι δυνατό να υποστηρίξει σε μεγαλύτερο βαθμό τη διαδικασία λήψης αποφάσεων (Malczewski, 2006).

Παράλληλα, η ενσωμάτωση της πολυκριτηριακής αξιολόγησης σε περιβάλλον ΣΓΠ και η ολοκλήρωσή τους σε ένα ενιαίο εργαλείο μπορεί να υποστηρίξει

συμμετοχικές διαδικασίες καθώς με αυτόν τον τρόπο ενισχύεται αφενός η συμμετοχική προσέγγιση για τη λήψη αποφάσεων και την εξεύρεση λύσεων σε προβλήματα χωρικού σχεδιασμού και αφετέρου, η καλύτερη οργάνωση μίας συνεργαζόμενης ομάδας σε επικοινωνιακό επίπεδο (Malczewski, 2006). Επιπρόσθετα, η πολυκριτηριακή αξιολόγηση παρέχει το πλαίσιο διαχείρισης συγκρούσεων όσον αφορά στον ορισμό των στοιχείων που συνθέτουν ένα πρόβλημα απόφασης, στη δυνατότητα οργάνωσης αυτών των στοιχείων σε μία ιεραρχικού τύπου δομή, στην κατανόηση των σχέσεων αλληλεπίδρασης μεταξύ των στοιχείων αυτών και στην ενίσχυση της επικοινωνίας μεταξύ των συμμετεχόντων σε μία διαδικασία λήψης απόφασης (Malczewski, 2006).

Ιδανικά, ένα πλήρως ολοκληρωμένο Σύστημα Πολυκριτηριακής Αξιολόγησης-ΣΓΠ (MCDA-GIS system) συνδυάζει τις δυνατότητες που προσφέρουν οι διαδικασίες πολυκριτηριακής ανάλυσης με εκείνες της χωρικής ανάλυσης, επιτρέποντας στο χρήστη την ταυτόχρονη πρόσβαση σε αυτές οποιαδήποτε χρονική στιγμή κατά τη διάρκεια διερεύνησης και ανάλυσης των πιθανών λύσεων ενός προβλήματος.

Παράλληλα, ο χρήστης αλληλεπιδρά με το σύστημα έχοντας τη δυνατότητα να βλέπει απευθείας στον χάρτη διαφορετικά χωρικά δεδομένα ή / και τα διαφορετικά αποτελέσματα που προκύπτουν, αλλάζοντας τις παραμέτρους ή τις τιμές των παραμέτρων του προβλήματος που κάθε φορά μελετά και οι οποίες προφανώς ορίζονται στη βάση των μεθόδων που εφαρμόζονται κατά περίπτωση.

Η διαδικασία πολυκριτηριακής αξιολόγησης σε περιβάλλον ΣΓΠ μετατρέπει τα γεωγραφικά δεδομένα ή τους χάρτες που συνιστούν τα δεδομένα εισόδου στο σύστημα καθώς και τις προτιμήσεις των κέντρων λήψης αποφάσεων, σε ένα «χάρτη αποφάσεων» στον οποίο αναπαρίσταται το τελικό αποτέλεσμα της διαδικασίας (Malczewski and Rinner, 2015). Παράλληλα, σε εννοιολογικό επίπεδο, μέσα από μία τέτοιου είδους διαδικασία ολοκληρώνονται και συνεκτιμώνται παράγοντες οι οποίοι σχετίζονται με τις τρεις θεμελιώδεις διαστάσεις επάνω στις οποίες βασίζεται το πλαίσιο της διαδικασίας λήψης αποφάσεων, την κοινωνία, την οικονομία και το περιβάλλον (Greene et al., 2010).

Η διαδικασία λήψης χωρικών αποφάσεων εστιάζει στην επίλυση προβλημάτων με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, ακριβώς λόγω της ανάλυσης χωρικών δεδομένων και χωρικής πληροφορίας καθώς και παραμέτρων που σχετίζονται με τη χωρική διαφοροποίηση των μεταβλητών που εμπλέκονται στο εκάστοτε πρόβλημα.

Μία εναλλακτική λύση που προτείνεται για τη λήψη μίας απόφασης σχετιζόμενης με τον γεωγραφικό χώρο δομείται στη βάση δύο στοιχειωδών ερωτημάτων: α) Τι πρέπει να υλοποιηθεί; - Δράση και β) Πού πρέπει να υλοποιηθεί; – Γεωγραφική θέση (Malczewski, 1999; Chakhar and Mousseau, 2008; Malczewski and Rinner, 2015). Το πρώτο ερώτημα αφορά στο σύνολο των διαδικασιών λήψης αποφάσεων, χωρικών και μη χωρικών. Το δεύτερο ερώτημα, αφορά στις περιπτώσεις λήψης χωρικών αποφάσεων και συνιστά την αφετηρία διερεύνησης κάποιων ζητημάτων που διαφοροποιούν τη διαδικασία λήψης χωρικών αποφάσεων από το σύνολο των διαδικασιών λήψης αποφάσεων.

Προφανώς, διαφοροποιείται και η διαδικασία της πολυκριτηριακής αξιολόγησης. Τα βασικά στοιχεία διαφοροποίησης εντοπίζονται καταρχάς στη χωρική διάσταση των εναλλακτικών λύσεων (πού θα χωροθετηθεί μία δραστηριότητα, ποιά είναι η πιο κατάλληλη θέση για την ανάπτυξη μίας δραστηριότητας ή την υλοποίηση ενός έργου, κ.λπ.), η χωρική διαφοροποίηση των επιδόσεων των εναλλακτικών ως προς τα κριτήρια αξιολόγησης καθώς και η χωρική διαφοροποίηση των βαρών των κριτηρίων αξιολόγησης. Το γεγονός αυτό οφείλεται στις διαφορετικές ιδιότητες και στα διαφορετικά χαρακτηριστικά που παρουσιάζει κάθε σημείο στον χώρο με αποτέλεσμα κριτήρια όπως για παράδειγμα το μορφωτικό ή το οικονομικό επίπεδο των κατοίκων να έχουν σημαντικές διαφορές στη βαρύτητα, ενώ οι επιδόσεις των εναλλακτικών ως προς τα κριτήρια αυτά να παρουσιάζουν επίσης σημαντικές διαφοροποιήσεις ακόμη και στην περίπτωση που η περιοχή μελέτης είναι μία μικρή πόλη. Συνεπώς, οι διαδικασίες κανονικοποίησης και απόδοσης βαρών επηρεάζονται από παραμέτρους «χωρικής ομοιογένειας» και «χωρικής ετερογένειας» με αποτέλεσμα οι διάφορες μέθοδοι και σχέσεις που υλοποιούν τις εν λόγω διαδικασίες να προσαρμόζονται ανάλογα (Malczewski and Rinner, 2015).

Η θεωρητική και εφαρμοσμένη έρευνα που διεξάγεται επάνω στο ζήτημα της ενσωμάτωσης και προσαρμογής της πολυκριτηριακής αξιολόγησης σε περιβάλλον ΣΓΠ εστιάζει σε ένα σχετικά μικρό αριθμό πολυκριτηριακών μεθόδων στις οποίες περιλαμβάνονται η μέθοδος σταθμισμένου γραμμικού συνδυασμού – μέθοδος σταθμικής άθροισης, οι μέθοδοι ιδανικού σημείου, οι μέθοδοι αναλυτικής ιεραρχίας και αναλυτικής δικτυακής ιεραρχίας και οι ιεραρχικές μέθοδοι (Malczewski and Rinner, 2015).

Το μοντέλο που υλοποιεί τη μέθοδο σταθμισμένου γραμμικού συνδυασμού αφορά στην εξαγωγή μίας συνολικής τιμής της εναλλακτικής i σε μία θέση s_i η οποία ορίζεται από τις συντεταγμένες της (x_i, y_i) (Malczewski and Rinner, 2015). Στην περίπτωση του προσαρμοσμένου στην εγγύτητα (proximity adjusted) μοντέλου σταθμισμένου γραμμικού συνδυασμού, η επιλογή μίας συγκεκριμένης εναλλακτικής εξαρτάται από τη σχετική βαρύτητα των αντίστοιχων κριτηρίων αξιολόγησης και από τη θέση της εναλλακτικής σε σχέση με τις υπόλοιπες εναλλακτικές [ή / και σε σχέση με κάποια θέση αναφοράς] – χωρική ετερογένεια προτιμήσεων η οποία διαμορφώνεται στη βάση προσαρμοσμένων στην εγγύτητα βαρών κριτηρίων (proximity-adjusted criterion weights) (Ligmann-Zielinska and Jankowski, 2012; Malczewski and Rinner, 2015).

Τα Πολυκριτηριακά Συστήματα Στήριξης Χωρικών Αποφάσεων (Multi-Criteria Spatial Decision Support Systems) υλοποιούν πολυκριτηριακές και χωρικές αναλύσεις και αποτελούν μία ειδική κατηγορία Συστημάτων Λήψης Απόφασης, καθώς εστιάζουν στη διαχείριση προβλημάτων που έχουν κάποια χωρική αναφορά (Malczewski, 1999).

Βασικό χαρακτηριστικό των εν λόγω συστημάτων είναι η αλληλεπίδραση του χρήστη με ένα υπολογιστικό σύστημα το οποίο περιλαμβάνει ένα σύνολο εργαλείων που εξυπηρετούν διαδικασίες χωρικής ανάλυσης και μοντελοποίησης χωρικών προβλημάτων λήψης αποφάσεων (Malczewski, 1999). Στο πλαίσιο ενός ΣΓΠ, τα εργαλεία της πολυκριτηριακής λήψης αποφάσεων αξιοποιούνται για την υποστήριξη της διαδικασίας λήψης αποφάσεων σε ζητήματα που αφορούν στο περιβάλλον, τον αστικό και περιφερειακό σχεδιασμό, τη διαχείριση αποβλήτων, κ.λπ.

Στις περισσότερες περιπτώσεις το πλαίσιο για τη σύνδεση της πολυκριτηριακής αξιολόγησης με τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών είναι κάπως αόριστο. Ωστόσο, υπάρχουν κάποια ολοκληρωμένα και γενικής χρήσης λογισμικά που συνδυάζουν τις δυνατότητες της πολυκριτηριακής ανάλυσης με αυτές των ΣΓΠ για την υποστήριξη της διαδικασίας λήψης χωρικών αποφάσεων (π.χ. Idrisi's Multicriteria Evaluation Module, ArcGIS Overlay Toolset) τα οποία διαχειρίζονται επίπεδα δεδομένων (raster data layers) και αξιοποιούν πράξεις της άλγεβρας χαρτών με στόχο τον συνδυασμό τιμών κελιών σε ένα ενιαίο score για την αξιολόγηση κάθε υποψήφιας τοποθεσίας (raster cell) (Rinner and Voss, 2013).

Ένα άλλο αντιπροσωπευτικό εργαλείο της συγκεκριμένης κατηγορίας είναι το MCDA4ArcMap το οποίο είναι ένα εργαλείο ανοικτού κώδικα που εξυπηρετεί

σκοπούς γεω-οπτικοποίησης διανυσματικών δεδομένων στο περιβάλλον του ArcMap (Rinner and Voss, 2013). Στις αναλυτικές του λειτουργίες περιλαμβάνονται τρεις μέθοδοι πολυκριτηριακής αξιολόγησης, η μέθοδος σταθμισμένου γραμμικού συνδυασμού (βαρύνουσα άθροιση), η ιεραρχική μέθοδος σταθμισμένου μέσου όρου (ordered weighted averaging) και η διαφοροποιημένη μέθοδος σταθμισμένου γραμμικού συνδυασμού που αποτελεί μία διαφοροποιημένη εκδοχή για την αξιολόγηση σε τοπικό επίπεδο (local variant of WLC) (Rinner and Voss, 2013).

Όπως και στην περίπτωση του χωρικού-συμμετοχικού σχεδιασμού, η αξιοποίηση των δυνατοτήτων που προσφέρει το διαδίκτυο δύναται να συνεισφέρει στην υποστήριξη online συμμετοχικών διαδικασιών κατά τη διάρκεια μίας διαδικασίας χωρικής πολυκριτηριακής αξιολόγησης (Boroushaki and Malczewski, 2010). Οι συμμετέχοντες (κέντρα λήψης αποφάσεων) μπορούν να συνεισφέρουν ενεργά στη διαδικασία της αξιολόγησης μέσα από τη χρήση εφαρμογών web-GIS οι οποίες ενσωματώνουν μεθόδους πολυκριτηριακής αξιολόγησης. Με τον τρόπο αυτό μπορούν να εκφράσουν τις προτιμήσεις τους σχετικά με τη χωροθέτηση ενός έργου ή μίας δραστηριότητας σε εναλλακτικές θέσεις οι οποίες παρουσιάζονται σε κάποιο υπόβαθρο, αξιολογώντας τις στη βάση ενός αριθμού κριτηρίων αξιολόγησης μέσα από τη χρήση εφαρμογών τύπου PPGIS που εστιάζουν στη διαδικασία της αξιολόγησης.

Αντιπροσωπευτικά παραδείγματα τέτοιου τύπου εφαρμογών συνιστούν περιπτώσεις που αφορούν στη χωροθέτηση δραστηριοτήτων, στον καθορισμό χρήσεων γης, στη διευθέτηση συγκρούσεων που προκύπτουν στην περίπτωση αντικρουόμενων χρήσεων που «διεκδικούν» το ίδιο τμήμα του γεωγραφικού χώρου, κ.λπ.

Κλείνοντας, αναφέρονται δύο παραδείγματα εφαρμογής GIS-based πολυκριτηριακής αξιολόγησης που αφορούν σε δύο διαφορετικές περιπτώσεις διαχείρισης γης. Προφανώς, στη βιβλιογραφία υπάρχουν πολλές αντίστοιχες μελέτες περίπτωσης μέσα από τις οποίες καθίσταται σαφές το ενδιαφέρον που υπάρχει προς τη συγκεκριμένη κατεύθυνση. Επίσης, διαφαίνονται οι θετικές προοπτικές για την περαιτέρω εξέλιξη της διαδικασίας λήψης χωρικών αποφάσεων μέσα από την αξιοποίηση των πλεονεκτημάτων που προσφέρει ο συνδυασμός των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών από τη μία πλευρά και της Πολυκριτηριακής Αξιολόγησης από την άλλη.

Στο πλαίσιο της μελέτης για τη διαχείριση γης που προορίζεται για διάθεση απορριμάτων, οι De Feo και De Gisi (2014) χρησιμοποίησαν ένα ΣΓΠ για τη διενέργεια ενός αρχικού screening με στόχο τον αποκλεισμό περιοχών ακατάλληλων για τη διάθεση απορριμάτων και τη δημιουργία ενός χάρτη χρήσεων γης για την οπτικοποίηση πιθανών θέσεων χωροθέτησης (De Feo and De Gisi, 2014). Στη συνέχεια, προχώρησαν στην επιλογή των πλέον κατάλληλων περιοχών εφαρμόζοντας πολυκριτηριακή αξιολόγηση (De Feo and De Gisi, 2014).

Ένα άλλο παράδειγμα είναι αυτό της εφαρμογής GIS-based πολυκριτηριακής αξιολόγησης για την υποστήριξη της διαδικασίας επιλογής περιοχών κατάλληλων για οικιστική ανάπτυξη. Στην περίπτωση αυτή, για την επιλογή των βέλτιστων θέσεων εφαρμόστηκαν η αναλυτική ιεραρχική διαδικασία και η ιεραρχική μέθοδος σταθμισμένου μέσου όρου σε περιβάλλον GIS προκειμένου να υποστηριχθεί η διαδικασία λήψης απόφασης (Meng et al., 2011).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ LIPSOR

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται σε θεωρητικό επίπεδο το σύστημα LIPSOR και τα επιμέρους υπο-μοντέλα του, τα οποία υποστηρίζουν διαδικασίες δόμησης σεναρίων μελλοντικής ανάπτυξης μέσα από τη συστηματική διερεύνηση του υπό μελέτη προβλήματος και των χαρακτηριστικών του (μεταβλητές και παράμετροι του προβλήματος, στόχοι, μελλοντικές τάσεις). Η παρουσίαση του εν λόγω συστήματος κρίνεται σκόπιμη καθώς η παρούσα διατριβή εστιάζει στη βελτιστοποίηση ενός από τα πέντε υπο-μοντέλα του, το Multipol, αξιοποιώντας τη λογική της ασάφειας. Το Multipol συνιστά το τελευταίο στάδιο εφαρμογής του συστήματος LIPSOR υποστηρίζοντας διαδικασίες πολυκριτηριακής αξιολόγησης και λήψης αποφάσεων. Στο παρόν κεφάλαιο, δίνεται μία συνοπτική παρουσίαση των επιμέρους υπο-μοντέλων του LIPSOR προκειμένου να καταστεί σαφές το πλαίσιο μέσα στο οποίο εντάσσεται η πολυκριτηριακή αξιολόγηση που υλοποιείται με το Multipol. Περιγράφονται οι διαδικασίες που κάθε ένα από αυτά υλοποιεί, οι στόχοι που τίθενται ανά περίπτωση, ενώ παράλληλα, αναζητώνται σημεία που παρουσιάζουν ερευνητικό ενδιαφέρον και υπάρχει δυνατότητα προσέγγισής τους μέσω μίας διαφοροποιημένης οπτικής.

6.1. LIPSOR – Μέθοδοι και Εργαλεία Στήριξης Αποφάσεων

Το σύστημα LIPSOR αφορά στη δόμηση σεναρίων στα πλαίσια του στρατηγικού σχεδιασμού και αποτελείται από πέντε επιμέρους υπο-μοντέλα, το Micmac, το Mactor, το Smic Prob-Expert, το Morphol και το Multipol. Κάθε υπο-μοντέλο υλοποιείται από το αντίστοιχο ομώνυμο software, με τη βοήθεια του οποίου εφαρμόζεται πρακτικά σε υπολογιστικό περιβάλλον. Για τον λόγο αυτό, αρκετά συχνά, το κάθε υπο-μοντέλο συναντάται στη βιβλιογραφία και ως software που υλοποιεί ορισμένες διαδικασίες για την επίτευξη συγκεκριμένων κάθε φορά στόχων.

Το σύστημα LIPSOR παρέχει στον σχεδιαστή ένα σύνολο εργαλείων για τη δόμηση σεναρίων μελλοντικής ανάπτυξης στα πλαίσια της στρατηγικής «προοπτικής διερεύνησης» (strategic foresight), τα οποία παρέχουν δυνατότητες (Godet et al., 2008):

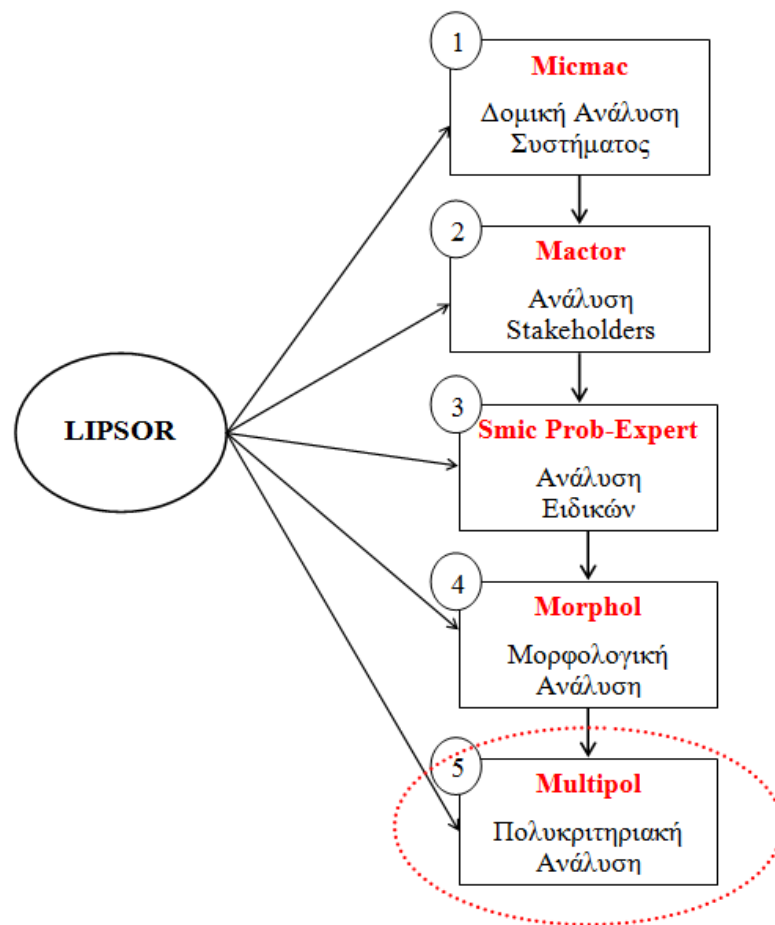
- Δομικής ανάλυσης (*structural analysis*) του υπό μελέτη συστήματος, στη βάση της οποίας τίθενται τα βασικά ερωτήματα που αφορούν στο μέλλον.
- Ανάλυσης των *stakeholders* (*stakeholder analysis*) που δραστηριοποιούνται στο υπό μελέτη σύστημα, της επιρροής τους, του βαθμού που κάθε ένας από αυτούς μπορεί να επηρεάσει τη μελλοντική εξέλιξη του συστήματος, των μεταξύ τους σχέσεων αλληλεπίδρασης καθώς και των στόχων καθενός από αυτούς.
- Μορφολογικής ανάλυσης μέσα από την οποία εξετάζεται το σύνολο των δυνατών μελλοντικών καταστάσεων διαφόρων παραμέτρων του υπό μελέτη συστήματος ενώ παράλληλα, υποστηρίζεται η διαδικασία δόμησης σεναρίων.
- Ανάλυσης των ειδικών (*expert analysis*) η οποία περιλαμβάνει την ανάθεση πιθανοτήτων σε πιθανές μελλοντικές καταστάσεις / εικόνες του υπό μελέτη συστήματος και τη μείωση της αβεβαιότητας.
- Πολυκριτηριακής ανάλυσης για τον ορισμό και την αξιολόγηση στρατηγικών επιλογών και κατευθύνσεων.

Πρόκειται για μία ολοκληρωμένη προσέγγιση δόμησης και αξιολόγησης σεναρίων η οποία ενσωματώνει τις μεταβλητές-κλειδιά που πρόκειται να διαδραματίσουν καθοριστικό ρόλο στη μελλοντική εξέλιξη του εκάστοτε συστήματος. Παράλληλα, λαμβάνει υπόψη τις προτιμήσεις, την επιρροή και τους στόχους των *stakeholders*, οι οποίοι διαθέτουν τα μέσα ώστε να παρέμβουν στον καθορισμό ή / και στην υλοποίηση μελλοντικών αποφάσεων.

Η συμμετοχική διάσταση συνιστά αναπόσπαστο «συστατικό» του συστήματος LIPSOR καθώς, ενσωματώνεται σε κάθε υπο-μοντέλο του ως ένα εργαλείο υποστήριξης της διαδικασίας λήψης αποφάσεων. Η συμμετοχή των ειδικών συμβάλλει στην αποσαφήνιση του γνωστικού πλαισίου εντός του οποίου αναλύεται το εκάστοτε σύστημα και λαμβάνονται οι αντίστοιχες αποφάσεις. Συνεισφέρει στη βαθύτερη κατανόηση των χαρακτηριστικών του συστήματος, των σχέσεων αλληλεπίδρασης που αναπτύσσονται μεταξύ των στοιχείων του, του πλαισίου δράσης των *stakeholders* καθώς και των τάσεων της μελλοντικής του εξέλιξης.

Η διαδοχική εφαρμογή των πέντε υπο-μοντέλων του LIPSOR έχει ως τελικό αποτέλεσμα τη δόμηση ολοκληρωμένων «πακέτων» χάραξης πολιτικής, αποτελούμενων από ένα σύνολο δράσεων και πολιτικών μέσω των οποίων

καθίσταται σαφής η «διαδρομή» υλοποίησης ενός αριθμού σεναρίων. Η εν λόγω διαδικασία ολοκληρώνεται με τη διεξαγωγή δύο επιμέρους αξιολογήσεων όπου μία σειρά δράσεων αξιολογείται ως προς έναν αριθμό πολιτικών ενώ, οι πολιτικές αξιολογούνται στη συνέχεια ως προς έναν αριθμό σεναρίων. Το γεγονός αυτό συνιστά βασικό σημείο διαφοροποίησης του LIPSOR από άλλα συστήματα λήψης αποφάσεων καθώς, στόχος της διαδικασίας δεν είναι η «πρόκριση» ενός σεναρίου ή μίας εναλλακτικής λύσης έναντι των υπολοίπων αλλά, η δόμηση ολοκληρωμένων μελλοντικών στρατηγικών κατευθύνσεων ανάπτυξης του εκάστοτε συστήματος.



Σχήμα 6-1: Το μοντέλο LIPSOR

Το στάδιο πολυκριτηριακής αξιολόγησης του LIPSOR συνιστά ένα από τα σημεία στα οποία εστιάζει η παρούσα διατριβή. Πρόκειται για το μοντέλο πολυκριτηριακής αξιολόγησης Multipol (Σχήμα 6-1) το οποίο υποστηρίζει την αξιολόγηση δράσεων (μέτρων πολιτικής) και πολιτικών στη βάση ενός αριθμού κριτηρίων αξιολόγησης. Τα κύρια σημεία προβληματισμού εντοπίζονται: στη

διαχείριση κρίσεων και εξαγωγής συμπερασμάτων διατυπωμένων από ειδικούς, στη μοντελοποίηση της εν λόγω ποιοτικής πληροφορίας και στον περαιτέρω περιορισμό της αβεβαιότητας.

Το LIPSOR συνιστά ένα ολοκληρωμένο σύστημα στήριξης αποφάσεων και μία σύγχρονη μέθοδο προσέγγισης ζητημάτων σχεδιασμού με μεσο/μακρο-πρόθεσμο χρονικό ορίζοντα. Τα βασικά πλεονεκτήματά του εντοπίζονται στις δυνατότητες που προσφέρει για: τον περιορισμό της αβεβαιότητας που υπεισέρχεται σε προβλήματα σχεδιασμού με μεγάλο χρονικό ορίζοντα, τον περιορισμό της υποκειμενικότητας η οποία συνιστά εγγενές χαρακτηριστικό της διαδικασίας σχεδιασμού, την εμβάθυνση στις παραμέτρους και τις μεταβλητές που συνθέτουν τα σύγχρονα συστήματα (χωρικά και μη), τη διεξοδική μελέτη των πολύπλοκων σχέσεων αλληλεπίδρασης μεταξύ των στοιχείων των συστημάτων και τη δυνατότητα διερεύνησης και διαχείρισης εξωγενών παραγόντων που δύνανται να επηρεάσουν τη μελλοντική εξέλιξη του εκάστοτε υπό μελέτη συστήματος.

Το σύστημα LIPSOR αποτελείται από πέντε επιμέρους υπο-μοντέλα (modules) τα οποία υποστηρίζουν τη διαδικασία δόμησης σεναρίων και χάραξης πολιτικής μέσα από:

- τη συστηματική εμβάθυνση και διερεύνηση των στοιχείων και των παραμέτρων του προβλήματος που κάθε φορά εξετάζεται,
- την ανάλυση και επεξεργασία της διαθέσιμης πληροφορίας,
- τη συμμετοχική προσέγγιση,
- τη σύνθεση δεδομένων και πληροφορίας,
- την ανάλυση των στόχων και των συμφερόντων των stakeholders που δραστηριοποιούνται στην περιοχή μελέτης,
- τη μελέτη των σχέσεων αλληλεπίδρασης μεταξύ των stakeholders,
- την ανάλυση του συστήματος στη βάση κρίσεων που διατυπώνονται από τους εκάστοτε ειδικούς, και
- την πολυκριτηριακή αξιολόγηση σεναρίων, μέτρων και πολιτικών για τη σύνθεση στρατηγικών κατευθύνσεων μελλοντικής ανάπτυξης και εξέλιξης.

Τα σενάρια που σχεδιάζονται στη βάση της συγκεκριμένης προσέγγισης, θα πρέπει να ανταποκρίνονται στις ανάγκες του προβλήματος που εξετάζεται και να ενσωματώνουν τους στόχους που έχουν τεθεί, να έχουν εσωτερική συνέπεια, να είναι εύλογα (πιθανά να συμβούν) και να δομούνται στο πλαίσιο συμμετοχικών

διαδικασιών προκειμένου να διασφαλίζεται η ευρεία συναίνεση αλλά και η διαφάνεια της όλης διαδικασίας.

Τα πέντε υπο-μοντέλα του LIPSOR ενσωματώνουν στο σύνολό τους τα παραπάνω χαρακτηριστικά, συνιστούν μία ολοκληρωμένη προσέγγιση για τη χάραξη πολιτικής ενώ, κάθε ένα από αυτά μπορεί να χρησιμοποιηθεί ανεξάρτητα από τα υπόλοιπα, ανάλογα με την περίπτωση που κάθε φορά εξετάζεται και τις υφιστάμενες ανάγκες που καθιστούν απαραίτητη την εφαρμογή τους. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται αναλυτικά το κάθε υπο-μοντέλο και τα χαρακτηριστικά του.

6.1.1. Το Μοντέλο (Module) Micmac – Δομική Ανάλυση Συστήματος

Το μοντέλο Micmac (**M**atrice d' **I**mpacts **C**roisés **M**ultiplication **A**ppliqué á un **C**lassement) εστιάζει στη δομική ανάλυση ενός συστήματος δηλαδή, στη διερεύνηση και «αποκωδικοποίηση» των στοιχείων (μεταβλητών) που συνθέτουν το εκάστοτε υπό μελέτη σύστημα, στην καταγραφή τους, στη μελέτη των σχέσεων αλληλεπίδρασης (άμεσων, έμμεσων και εν δυνάμει) μεταξύ των μεταβλητών του και στην ιεράρχησή τους ανάλογα με τη σημαντικότητά τους. Στόχος της διαδικασίας είναι ο εντοπισμός των κυρίαρχων μεταβλητών ήτοι, των μεταβλητών εκείνων που δύνανται να επηρεάσουν σε μεγαλύτερο βαθμό και να καθορίσουν τη μελλοντική εξέλιξη του υπό μελέτη συστήματος. Σημαντικό πλεονέκτημα της διαδικασίας αποτελεί το γεγονός ότι στο πλαίσιο της δομικής ανάλυσης, διερευνώνται μεταβλητές και αλληλεπιδράσεις που αφορούν τόσο στο εσωτερικό όσο και στο εξωτερικό περιβάλλον του συστήματος που εξετάζεται. Οι μεταβλητές που αφορούν στο εσωτερικό περιβάλλον είναι αυτές που χαρακτηρίζουν το υπό μελέτη σύστημα ενώ, οι μεταβλητές που αφορούν στο εξωτερικό περιβάλλον είναι αυτές που διαμορφώνουν την εικόνα του γενικότερου συστήματος εντός του οποίου ορίζεται το υπό μελέτη σύστημα (Godet, 1994).

Το μοντέλο (module) Micmac συνιστά το πρώτο στάδιο της διαδικασίας σχεδιασμού σεναρίων και στρατηγικών κατευθύνσεων του συστήματος LIPSOR κατά το οποίο, οι συμμετέχοντες στη διαδικασία δομικής ανάλυσης εμβαθύνουν στην περιοχή μελέτης και τα χαρακτηριστικά της και διερευνούν μεταβλητές «κλειδιά» για τη μελλοντική της εξέλιξη. Ουσιαστικά, ορίζονται οι «κύριες» μεταβλητές, αυτές δηλαδή που δύνανται να καθορίσουν το μέλλον της περιοχής μελέτης, κατασκευάζεται ο πίνακας δομικής ανάλυσης (structural table) στον οποίο

περιγράφονται οι σχέσεις άμεσης επιρροής μεταξύ των μεταβλητών και στη συνέχεια, ακολουθεί η επεξεργασία των δεδομένων αυτών με στόχο την ιεράρχηση των μεταβλητών ανάλογα με τη σημαντικότητά τους και τον προσδιορισμό των κυρίαρχων μεταβλητών του συστήματος. Σύμφωνα με τους Godet και Roubelat (1996), τα βασικά στάδια μέσα από τα οποία ολοκληρώνεται η εφαρμογή του μοντέλου Micmac είναι η δημιουργία λίστας στην οποία περιλαμβάνονται οι «κύριες» μεταβλητές του συστήματος, ο προσδιορισμός των σχέσεων αλληλεπίδρασης που υφίστανται μεταξύ των μεταβλητών αυτών και ο προσδιορισμός των κυρίαρχων μεταβλητών του συστήματος, δηλαδή των μεταβλητών που πρόκειται να επηρεάσουν σε μεγαλύτερο βαθμό τη μελλοντική του εξέλιξη (Godet and Roubelat, 1996). Τα τρία αυτά στάδια συνιστούν τα θεμέλια της λογικής επάνω στην οποία στηρίχθηκε ο σχεδιασμός του Micmac. Το Micmac αποτελεί μία δομημένη διαδικασία ταυτοποίησης μεταβλητών που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τον σχεδιασμό σεναρίων μελλοντικής ανάπτυξης στη βάση εκφρασμένων κρίσεων ειδικών, οι οποίοι συμμετέχουν στη διαδικασία και ορίζουν τις υφιστάμενες ή εν δυνάμει συστηματικές αλληλεπιδράσεις (Veltmeyer and Sahin, 2014). Το βασικό πλεονέκτημα του μοντέλου Micmac εντοπίζεται ακριβώς στη δυνατότητα που παρέχει για διερεύνηση και ταυτοποίηση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των μεταβλητών του συστήματος, η οποία εν τέλει καταλήγει στη δόμηση μίας ολοκληρωμένης αναπαράστασης του υπό μελέτη συστήματος, στη βάση των μεταβλητών του και των σχέσεων αλληλεπίδρασης που αναπτύσσονται μεταξύ τους (Veltmeyer and Sahin, 2014).

Όπως ήδη αναφέρθηκε, το μοντέλο Micmac εστιάζει στη δομική ανάλυση συστημάτων ενώ, το αντίστοιχο λογισμικό καθιστά δυνατή την πρακτική εφαρμογή του καθώς πρόκειται για μία πολυσύνθετη διαδικασία η ολοκλήρωση της οποίας είναι δυνατή μόνο μέσα από την υποστήριξη και υλοποίηση ανάλογων υπολογιστικών αλγορίθμων. Η δομική ανάλυση αποτελεί ένα ισχυρό και άρτια σχεδιασμένο εργαλείο ανταλλαγής γνώσης και μεταφοράς εμπειριών (Omran et al., 2014). Οι βασικοί της στόχοι είναι δύο και είναι μεταξύ τους, συμπληρωματικοί (Godet, 1994). Ο πρώτος συνίσταται στην εξαντλητική και εκτενή απεικόνιση του υπό μελέτη συστήματος· ο δεύτερος συνίσταται στη μείωση της συστηματικής πολυπλοκότητας μέσα από τον εντοπισμό των κύριων μεταβλητών του συστήματος (Godet, 1994). Θεμελιώδες γνώρισμά της είναι η συσσώρευση γνώσης προερχόμενης από ειδικούς (Elmsalmi and Hachicha, 2013). Για τον λόγο αυτό είναι ιδιαίτερος

κατάλληλη για τη μελέτη σύνθετων συστημάτων τα στοιχεία των οποίων συνδέονται μεταξύ τους με πολύπλοκες σχέσεις αλληλεπίδρασης (Elmsalmi and Hachicha, 2013). Επιπλέον, εκτός από τη μελέτη των άμεσων σχέσεων αλληλεπίδρασης, η δομική ανάλυση παρέχει τη δυνατότητα διερεύνησης των έμμεσων σχέσεων αλληλεπίδρασης μεταξύ των στοιχείων ενός συστήματος, των σχέσεων δηλαδή εκείνων που δημιουργούνται από τη διαμεσολάβηση μίας τρίτης μεταβλητής.

Ιδιαίτερα στις περιπτώσεις σχεδιασμού πολύπλοκων συστημάτων, η μελέτη και αναπαράσταση των άμεσων και έμμεσων σχέσεων αλληλεπίδρασης μεταξύ των μεταβλητών είναι πολύ πιο σημαντική από τη διερεύνηση των χαρακτηριστικών κάθε μεταβλητής μεμονωμένα (Elmsalmi and Hachicha, 2013). Το μοντέλο Micmac ενσωματώνει τη δυνατότητα αυτή καθώς ο αλγόριθμός του υλοποιεί, μέσα από έναν πολύ μεγάλο αριθμό υπολογισμών, εξαντλητική διερεύνηση για τον εντοπισμό και την καταγραφή του συνόλου των έμμεσων σχέσεων αλληλεπίδρασης μεταξύ των μεταβλητών ανά δύο (Serdar Asan and Asan, 2007).

Παράλληλα, η δομική ανάλυση συνιστά μία διαδικασία συμμετοχική καθώς, υλοποιείται και ολοκληρώνεται στη βάση διαλόγου και ανταλλαγής απόψεων μεταξύ συμμετεχόντων – ειδικών σε μία προσπάθεια συστηματικής εμβάθυνσης στο σύστημα και μείωσης της εγγενούς υποκειμενικότητας. Στις παραγράφους που ακολουθούν, περιγράφονται τα στάδια εφαρμογής του μοντέλου Micmac, τα αποτελέσματα που προκύπτουν μετά το πέρας της εφαρμογής του καθώς και ο υποστηρικτικός του ρόλος στη διαδικασία δόμησης σεναρίων και λήψης απόφασης.

Το πρώτο στάδιο εφαρμογής του Micmac αφορά στη διεξοδική μελέτη και εμβάθυνση του υπό μελέτη συστήματος και των χαρακτηριστικών που συνθέτουν την ολοκληρωμένη εικόνα του. Η διαδικασία αυτή έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μίας λίστας στην οποία περιλαμβάνονται οι «μεταβλητές-κλειδιά» (key variables), οι μεταβλητές δηλαδή εκείνες οι οποίες πρόκειται να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στη μελλοντική εξέλιξη του συστήματος. Για κάθε μεταβλητή δίνεται ο σαφής ορισμός της προκειμένου, αφενός να διευκολυνθεί η επικοινωνία (κοινή γλώσσα) μεταξύ των συμμετεχόντων (ειδικοί, κέντρα λήψης αποφάσεων, κ.λπ.) και αφετέρου, να περιοριστούν ενδεχόμενες εμπλοκές και πιθανές αστοχίες κατά τη διαδικασία εκτίμησης των σχέσεων αλληλεπίδρασης μεταξύ των μεταβλητών.

Στη συνέχεια, οι μεταβλητές καταχωρούνται στις σειρές και στις στήλες ενός τετραγωνικού πίνακα διαστάσεων $n \times n$, όπου n ο συνολικός αριθμός των

«μεταβλητών-κλειδιά» που εντοπίστηκαν κατά το προηγούμενο στάδιο. Ο πίνακας αυτός (Πίνακας 6-1), είναι ο «Πίνακας Δομικής Ανάλυσης» ή «Πίνακας Άμεσων Επιδράσεων» (Matrix of Direct Influences – MDI) στον οποίο περιγράφονται οι σχέσεις άμεσης αλληλεπίδρασης μεταξύ των μεταβλητών. Επομένως, το δεύτερο στάδιο εφαρμογής του μοντέλου Micmac εστιάζει στον ορισμό των άμεσων σχέσεων αλληλεπίδρασης μεταξύ των μεταβλητών ανά δύο. Σε ένα πρώτο επίπεδο, διερευνάται η ύπαρξη ή η μη-ύπαρξη άμεσης σχέσης αλληλεπίδρασης μεταξύ των μεταβλητών ανά δύο και σε ένα δεύτερο επίπεδο, προσδιορίζεται ο βαθμός επιρροής ή διαφορετικά έντασης της αλληλεπίδρασης μεταξύ των μεταβλητών. Εάν δεν υφίσταται άμεση σχέση αλληλεπίδρασης μεταξύ των μεταβλητών, η τιμή που λαμβάνει το αντίστοιχο κελί του πίνακα δομικής ανάλυσης είναι το «0», σε διαφορετική περίπτωση οι τιμές διαφοροποιούνται ανάλογα με τον υφιστάμενο βαθμό αλληλεπίδρασης. Έτσι, η τιμή «1» σημαίνει χαμηλό βαθμό αλληλεπίδρασης, η τιμή «2» μέτριο βαθμό, η τιμή «3» υψηλό βαθμό και τέλος η τιμή «P» εν δυνάμει αλληλεπίδραση, αλληλεπίδραση δηλαδή που δεν υφίσταται προς το παρόν αλλά είναι πιθανό να υπάρξει στο μέλλον.

Πίνακας 6-1: Πίνακας δομικής ανάλυσης

α/α	V1	V2	V3	...	...	Vn
α/α						
V1	0	1	0	...	...	3
V2	2	0	P	...	...	0
V3	0	0	0	...	...	2
...	...	...	...	0	...	...
...	...	...	...	...	0	...
Vn	3	0	0	0	1	0

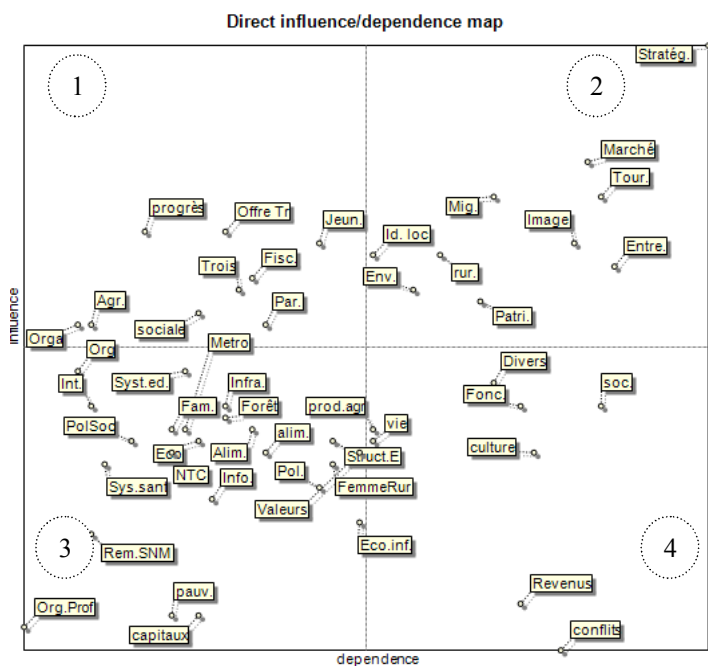
Με τον τρόπο αυτό συμπληρώνεται ο πίνακας δομικής ανάλυσης, η κύρια διαγώνιος του οποίου περιλαμβάνει πάντα μηδενικές τιμές καθώς, όπως είναι προφανές, μία μεταβλητή δεν έχει κάποια άμεση σχέση επιρροής-εξάρτησης με τον εαυτό της. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειωθεί ότι με μη μηδενικές τιμές συμπληρώνεται συνήθως το 15%-25% του πίνακα δομικής ανάλυσης καθώς, ποσοστά άνω του 30% υποδηλώνουν υψηλή πιθανότητα, έμμεσες σχέσεις αλληλεπίδρασης να έχουν θεωρηθεί ως άμεσες, γεγονός που οδηγεί σε ασυνέπειες

και αστοχίες (Godet, 1994). Επιπρόσθετα, ο πίνακας δομικής ανάλυσης και η περιγραφή των σχέσεων μεταξύ των μεταβλητών αντικατοπτρίζει τη βάση της λογικής επάνω στην οποία θεμελιώνεται η συστημική προσέγγιση και σύμφωνα με την οποία, μία μεταβλητή υφίσταται μόνο μέσα από τη σχέση της με άλλες μεταβλητές (Godet et al., 2004).

Οι «μεταβλητές-κλειδιά», ο ορισμός κάθε μίας από αυτές και ο πίνακας δομικής ανάλυσης εισάγονται ως δεδομένα στο λογισμικό Micmac για περαιτέρω επεξεργασία. Ο πρώτος υπολογισμός είναι αυτός από τον οποίο προκύπτει ο «Πίνακας των Εν Δυνάμει Άμεσων Επιδράσεων» (Matrix of Potential Direct Influences – MPDI) όπου περιγράφονται εν δυνάμει άμεσες σχέσεις αλληλεπίδρασης μεταξύ των μεταβλητών, οι οποίες δεν υφίστανται προς το παρόν αλλά δύνανται να αναπτυχθούν στο μέλλον. Στη συνέχεια, υπολογίζονται οι σχέσεις άμεσης επιρροής και άμεσης εξάρτησης από τον «Πίνακα Άμεσων Επιδράσεων» (MDI).

Η συνολική επίδραση μίας μεταβλητής στις υπόλοιπες μεταβλητές του συστήματος προκύπτει από το άθροισμα της σειράς που αντιστοιχεί στη συγκεκριμένη μεταβλητή ενώ, η επιρροή που υφίσταται προκύπτει από το άθροισμα της αντίστοιχης στήλης. Το αποτέλεσμα της διαδικασίας αυτής είναι η άμεση ταξινόμηση των μεταβλητών, ανάλογα με το βαθμό επίδρασης και το βαθμό εξάρτησης που αντιστοιχεί σε κάθε μία από αυτές.

Επιπλέον, οι μεταβλητές ανάλογα με την επίδραση που ασκούν αλλά και την επιρροή που δέχονται, ταξινομούνται σε ένα *Διάγραμμα / Χάρτη Άμεσων Αλληλεπιδράσεων (Direct Map)* ο οποίος δομείται στη βάση δύο αξόνων (αξονας X: Εξάρτηση, αξονας Y: Επίδραση) και αποτελείται από τέσσερα τεταρτημόρια (Σχήμα 6-2). Στο τεταρτημόριο 1 (επάνω και αριστερά), βρίσκονται οι μεταβλητές που ασκούν τη μεγαλύτερη επίδραση στις υπόλοιπες και υφίστανται το μικρότερο βαθμό επιρροής, οι λεγόμενες «σημαντικές μεταβλητές». Στο τεταρτημόριο 2 (επάνω και δεξιά), βρίσκονται οι μεταβλητές που ασκούν υψηλό βαθμό επίδρασης στις υπόλοιπες αλλά ταυτόχρονα υφίστανται και υψηλό βαθμό επιρροής. Πρόκειται για τις «εφεδρικές» μεταβλητές (relay variables) οι οποίες είναι εκ φύσεως «ασταθείς» ενώ κάθε δραστηριότητα στην οποία εμπλέκονται, έχει επίπτωση στις υπόλοιπες μεταβλητές του συστήματος. Στο τεταρτημόριο 3 (κάτω και αριστερά), βρίσκονται οι μεταβλητές που ασκούν μικρή επίδραση στις υπόλοιπες ενώ παράλληλα υφίστανται μικρό βαθμό επιρροής.

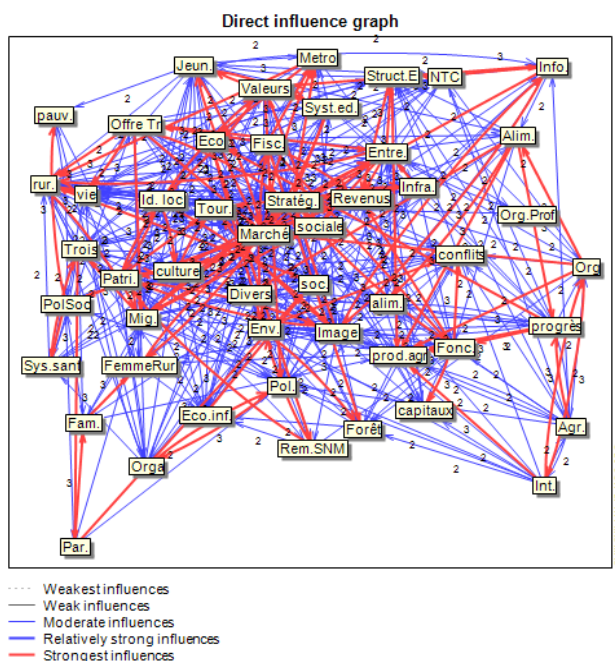


Σχήμα 6-2: Χάρτης άμεσων επιδράσεων-εξαρτήσεων
 Πηγή: Software Micmac (example case study) – Επεξεργασία μελετητή

Η ομάδα αυτών των μεταβλητών δεν πρόκειται να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στη μελλοντική εξέλιξη του συστήματος και ως εκ τούτου, οι συγκεκριμένες μεταβλητές χαρακτηρίζονται ως «εξαιρούμενες μεταβλητές» (excluded variables) καθώς, δεν είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη κατά τη διαδικασία σχεδιασμού σεναρίων. Στο τεταρτημόριο 4 (κάτω και δεξιά), βρίσκονται οι μεταβλητές που ασκούν χαμηλό βαθμό επίδρασης στις υπόλοιπες ενώ υφίστανται τον υψηλότερο βαθμό επιρροής από τις μεταβλητές των τεταρτημορίων 1 και 2.

Οι άμεσες σχέσεις αλληλεπίδρασης οπτικοποιούνται επίσης με τη βοήθεια ενός γράφου, του γράφου άμεσων επιδράσεων (direct graph) (Diaz, 2012) (Σχήμα 6-3). Οι κόμβοι του γράφου αναπαριστούν τις μεταβλητές του συστήματος ενώ οι ακμές του, τις σχέσεις αλληλεπίδρασης που υφίστανται μεταξύ τους. Οι ακμές του γράφου αναπαρίστανται με τη βοήθεια ενός τόξου με αφετηρία τη μεταβλητή που επηρεάζει και πέρας τη μεταβλητή που επηρεάζεται. Ανάλογα με το βαθμό έντασης της υφιστάμενης επίδρασης, το τόξο λαμβάνει το αντίστοιχο κάθε φορά χρώμα (κόκκινο για την ισχυρή επίδραση, μπλε για τη σχετικά ισχυρή επίδραση, κ.λπ.).

Σε επόμενο στάδιο ο Πίνακας Άμεσων Επιδράσεων (MDI) υψώνεται στο τετράγωνο και πολλαπλασιάζεται με τον εαυτό του (Linss and Fried, 2009).



Σχήμα 6-3: Γράφος άμεσων επιδράσεων-εξαρτήσεων
 Πηγή: Software Micmac (example case study) – Επεξεργασία μελετητή

Στόχος της διαδικασίας αυτής είναι η εξαγωγή του «Πίνακα Έμμεσων Επιδράσεων» (Matrix of Indirect Influences – MII) από τον οποίο υπολογίζονται οι έμμεσες επιρροές και οι έμμεσες εξαρτήσεις (Linss and Fried, 2009) που υφίστανται μεταξύ των μεταβλητών. Βάσει της ίδιας λογικής με την περίπτωση υπολογισμού των άμεσων αλληλεπιδράσεων, υπολογίζονται οι έμμεσες επιρροές και οι έμμεσες εξαρτήσεις αθροίζοντας αντίστοιχα τις σειρές και τις στήλες του Πίνακα Έμμεσων Επιδράσεων. Οι πολλαπλασιασμοί επαναλαμβάνονται μέχρις ότου η ιεράρχηση των μεταβλητών, ανάλογα με τη σημαντικότητά τους, αρχίσει να επαναλαμβάνεται (να είναι δηλαδή η ίδια) και επιτευχθεί ένα επίπεδο σταθερότητας το οποίο εξασφαλίζει ένα βαθμό συνέπειας των αποτελεσμάτων. Όμοια με την περίπτωση της άμεσης ταξινόμησης, προκύπτει μία νέα ταξινόμηση των μεταβλητών ανάλογα με τον βαθμό της έμμεσης επίδρασης που κάθε μία από αυτές ασκεί στις υπόλοιπες μεταβλητές του συστήματος και τον βαθμό της έμμεσης εξάρτησής της από αυτές. Τα αποτελέσματα της διαδικασίας αναπαρίστανται στο *Διάγραμμα / Χάρτη Έμμεσων Αλληλεπιδράσεων* και στον αντίστοιχο *γράφο*, όπως ακριβώς και στην περίπτωση των άμεσων αλληλεπιδράσεων.

Η εφαρμογή του μοντέλου Micmac ολοκληρώνεται με την υλοποίηση δύο επιπλέον ταξινομήσεων, της *εν δυνάμει άμεσης ταξινόμησης* όπου οι μεταβλητές ιεραρχούνται στη βάση των εν δυνάμει άμεσων σχέσεων εξάρτησης-επιρροής που

πιθανόν να αναπτυχθούν μεταξύ τους στο μέλλον, και της *εν δυνάμει έμμεσης ταξινόμησης* όπου οι μεταβλητές ιεραρχούνται στη βάση των *εν δυνάμει έμμεσων σχέσεων εξάρτησης-επιρροής*. Συνολικά, προκύπτουν τέσσερις ταξινομήσεις (άμεση, έμμεση, *εν δυνάμει άμεση* και *εν δυνάμει έμμεση*) οι οποίες συγκρίνονται μεταξύ τους προκειμένου να προσδιοριστούν *εν τέλει* οι κυρίαρχες μεταβλητές του συστήματος. Η σύγκριση των ιεραρχιών που προκύπτουν από τις επιμέρους ταξινομήσεις, έχει ως στόχο την διερεύνηση στοιχείων τα οποία λόγω των άμεσων αλλά και των έμμεσων επιδράσεων που ασκούν παίζουν ένα σημαντικό ρόλο στη μελλοντική εξέλιξη του υπό μελέτη συστήματος (Arcade et al., 1999).

Η παρούσα ενότητα κλείνει με μία αναφορά σε μία εναλλακτική προσέγγιση του μοντέλου Micmac την οποία πρότειναν, εφάρμοσαν και δημοσίευσαν οι Villacorta et al. το 2012. Η συγκεκριμένη προσέγγιση αξιοποιεί τη λογική της ασάφειας και προτείνει την αντικατάσταση των αριθμητικών τιμών που εισάγονται στα κελιά του πίνακα δομικής ανάλυσης με λεκτικούς όρους (linguistic terms) (Villacorta et al., 2012). Οι ειδικοί χρησιμοποιούν λεκτικούς όρους για την εκτίμηση και την απόδοση των σχέσεων αλληλεπίδρασης (σχέσεις επιρροής-εξάρτησης) μεταξύ των μεταβλητών του υπό μελέτη συστήματος ενώ, οι υπολογισμοί που υλοποιούνται για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων της διαδικασίας δομικής ανάλυσης αξιοποιούν τα μαθηματικά εργαλεία της θεωρίας της ασαφούς λογικής. Οι λεκτικοί όροι μοντελοποιούνται με τη βοήθεια ασαφών αριθμών και το «λεκτικό υπολογιστικό μοντέλο» που υιοθετείται, βασίζεται στην αναπαράσταση των κρίσεων των ειδικών με συναρτήσεις συμμετοχής (Villacorta et al., 2012). Επομένως, στο νέο προτεινόμενο μοντέλο, οι σχέσεις αλληλεπίδρασης μεταξύ των μεταβλητών εκτιμώνται και αποδίδονται με τη βοήθεια λεκτικών όρων όπως: καμία επίδραση (no influence), ασθενής επίδραση (weak influence), ισχυρή επίδραση (strong influence), πολύ ισχυρή επίδραση (very strong influence). Στους υπολογισμούς που υλοποιούνται στη συνέχεια, περιλαμβάνονται η πρόσθεση μεταξύ ασαφών αριθμών και των αντίστοιχων συναρτήσεων συμμετοχής, ο πολλαπλασιασμός μεταξύ ασαφών αριθμών και των αντίστοιχων συναρτήσεων συμμετοχής και η απόσταση μεταξύ ασαφών αριθμών και των αντίστοιχων συναρτήσεων συμμετοχής (Villacorta et al., 2012).

Βασικό πλεονέκτημα του μοντέλου Micmac συνιστά το γεγονός ότι μέσα από τη διενέργεια συμμετοχικών διαδικασιών και με βάση τον πίνακα δομικής ανάλυσης, επιτυγχάνεται σε πολύ μεγάλο βαθμό η εμβάθυνση στο υπό μελέτη σύστημα ενώ

προωθείται η δημιουργία ευρύτερων συνεργασιών, η ανάπτυξη ιδεών και η επίτευξη συναινέσεων. Ωστόσο, η υποκειμενικότητα που υπεισέρχεται τόσο κατά τη διαδικασία καθορισμού των μεταβλητών όσο και κατά τη διαδικασία συμπλήρωσης του πίνακα δομικής ανάλυσης, παραμένει ένα σημείο στο οποίο το συγκεκριμένο εργαλείο μειονεκτεί, καθώς τα αποτελέσματα που προκύπτουν αντανακλούν τον τρόπο με τον οποίο η συγκεκριμένη ομάδα ερμηνεύει την πραγματικότητα και αναζητά λύσεις. Η συμμετοχή ειδικών, stakeholders, συμβούλων, κ.λπ. στη διαδικασία περιορίζει σε κάποιο βαθμό την υποκειμενική σκοπιά της σχεδιαστικής ομάδας αλλά δεν την εξαλείφει ολοκληρωτικά. Εν τούτοις, η υποκειμενικότητα και η ασάφεια περιορίζεται ακόμη περισσότερο στην περίπτωση προσέγγισης της μεθόδου με την αξιοποίηση της ασαφούς λογικής καθώς, προσαρμόζεται καλύτερα στον τρόπο που σκέπτεται, διατυπώνει εκτιμήσεις και εκφράζεται ο άνθρωπος.

6.1.2. Το Μοντέλο (Module) Mactor – Στρατηγικές Επιλογές και Παίγνια Συντελεστών

Το μοντέλο Mactor (**Matrix of Alliances and Conflicts: Tactics, Objectives and Recommendations**) εστιάζει στον εντοπισμό των κύριων συντελεστών που δραστηριοποιούνται στο υπό μελέτη σύστημα και δύνανται να επηρεάσουν τη μελλοντική του εξέλιξη, μέσα από τη συστηματική μελέτη και διερεύνηση της δυναμικής τους, των δραστηριοτήτων τους, των στόχων τους καθώς και των μέσων που διαθέτουν για την υλοποίησή τους. Επιπλέον, ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στον προσδιορισμό των σχέσεων αλληλεπίδρασης που αναπτύσσονται μεταξύ τους, των υφιστάμενων σχέσεων ισχύος, των θέσεων που λαμβάνουν απέναντι στους στόχους που έχουν τεθεί για τη μελλοντική ανάπτυξη του συστήματος καθώς και των πιθανών συγκλίσεων ή αποκλίσεων των συντελεστών από αυτούς.

Απώτερος στόχος της διαδικασίας είναι ο εντοπισμός των κυρίαρχων συντελεστών δηλαδή, των συντελεστών εκείνων οι οποίοι μπορεί να επηρεάσουν σε καθοριστικό βαθμό τις μελλοντικές εξελίξεις. Ουσιαστικά το Mactor είναι ένα ισχυρό εργαλείο ανάλυσης των παιγνίων που λαμβάνουν χώρα μεταξύ των συντελεστών, εκτίμησης της ισορροπίας δυνάμεων που υφίστανται μεταξύ τους και μελέτης πιθανών συγκλίσεων και αποκλίσεων που δύνανται να αναπτυχθούν στη βάση ενός αριθμού στόχων και στοιχημάτων (stakes) (Godet et al., 2004).

Το Mactor, είναι το δεύτερο υπο-μοντέλο που ενσωματώνει το σύστημα LIPSOR και συνδέεται άμεσα με το Micmac καθώς οι συντελεστές που αναζητώνται στο στάδιο αυτό «ελέγχουν», είτε άμεσα είτε έμμεσα, τις κυρίαρχες μεταβλητές που εντοπίστηκαν στο στάδιο της δομικής ανάλυσης (Godet, 1994). Επιπρόσθετα, η μελέτη των συντελεστών και των χαρακτηριστικών τους παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στη διαδικασία δόμησης σεναρίων καθώς, η παράλειψη ή η μη προσεκτική μελέτη των δραστηριοτήτων τους μπορεί να οδηγήσει στη δόμηση σεναρίων περιορισμένης καταλληλότητας και συνοχής (Godet, 1994). Ως εκ τούτου, ιδιαίτερη σημασία δίνεται στη διερεύνηση των στρατηγικών των συντελεστών και των μεταξύ τους παιγνίων, γεγονός που καθιστά το μοντέλο Mactor ένα εργαλείο ανάλυσης των συντελεστών, των ενεργειών και των στόχων τους. Η διαδικασία αυτή ολοκληρώνεται ουσιαστικά μέσα από έξι επιμέρους στάδια τα οποία είναι τα εξής (Godet, 1994; Arcade et al., 1999; Godet et al., 2008):

- Δόμηση του «πίνακα στρατηγικών των συντελεστών» (actors' strategy table). Καταγραφή των σχεδίων, των κινήτρων, των περιορισμών και των μέσων που διαθέτουν για την επίτευξη των στόχων τους.
- Προσδιορισμός ζητημάτων στρατηγικής και στόχων.
- Διερεύνηση πιθανών «συγκλίσεων» ή «αποκλίσεων» των συντελεστών ως προς τους στόχους που έχουν τεθεί για την ανάπτυξη του υπό μελέτη συστήματος και ως προς τους στόχους που αποτελούν προτεραιότητα για κάθε έναν από αυτούς.
- Ιεράρχηση της σημαντικότητας των στόχων για κάθε συντελεστή ξεχωριστά και εκτίμηση πιθανών τακτικών που είναι δυνατόν να εφαρμόσουν προς την κατεύθυνση υλοποίησης ή μη υλοποίησής τους, εκτίμηση πιθανών συμμαχιών ή συγκρούσεων που δύνανται να δημιουργηθούν μεταξύ τους.
- Αξιολόγηση των «σχέσεων ισχύος» των συντελεστών και διατύπωση υποδείξεων για κάθε έναν από αυτούς στη βάση των στόχων προτεραιότητας και των διαθέσιμων πόρων τους.
- Διατύπωση «ερωτημάτων-κλειδιά» για το μέλλον.

Στο πλαίσιο αυτό, διερευνάται επίσης η τακτική που ο κάθε συντελεστής υιοθετεί προκειμένου να προασπίσει τα συμφέροντά του και να πετύχει τους στόχους του ενώ παράλληλα, επηρεάζει και επηρεάζεται από τους υπόλοιπους συντελεστές του συστήματος (Elmsalmi and Hachicha, 2014). Πρόκειται δηλαδή για μία συνολική

και λεπτομερή ανάλυση των ενεργειών των συντελεστών, των σχεδίων τους αλλά και της ισορροπίας δυνάμεων που διαμορφώνεται μεταξύ τους ανάλογα με τους περιορισμούς και τα μέσα που διαθέτουν για δράση (Arcade et al., 1999). Στη βάση της ανάλυσης αυτής, τίθενται τα βασικά ερωτήματα για το μέλλον και στηρίζεται ο σχεδιασμός της στρατηγικής που πρόκειται να εφαρμοστεί για τη μελλοντική ανάπτυξη του εκάστοτε συστήματος (Arcade et al., 1999).

Πιο αναλυτικά, το πρώτο στάδιο εφαρμογής του μοντέλου αφορά στην καταγραφή των συντελεστών που δραστηριοποιούνται στην περιοχή μελέτης και «ελέγχουν» τις κυρίαρχες μεταβλητές, όπως αυτές προέκυψαν από το στάδιο της δομικής ανάλυσης. Παράλληλα, συγκεντρώνεται πληροφορία σχετικά με τους στόχους του κάθε συντελεστή, τα μέσα που οι συντελεστές αυτοί διαθέτουν για την υλοποίησή τους, τα κίνητρά τους, τις προτιμήσεις τους, τους υφιστάμενους περιορισμούς καθώς και την εξέλιξη διαφόρων προγραμμάτων στα οποία οι συντελεστές συμμετέχουν.

Στη βάση αυτής της πληροφορίας, δομείται ο πίνακας στρατηγικής των συντελεστών ή «Πίνακας Άμεσων Επιδράσεων» (Matrix of Direct Influences – MDI) (Πίνακας 6-2). Πρόκειται για έναν τετραγωνικό πίνακα, διαστάσεων $m \times m$ (όπου m ο αριθμός των συντελεστών), με τη βοήθεια του οποίου διερευνώνται οι άμεσες σχέσεις αλληλεπίδρασης που αναπτύσσονται μεταξύ τους. Οι συντελεστές βρίσκονται κατανομημένοι στις σειρές και στις στήλες του πίνακα ενώ, οι τιμές στα κελιά του πίνακα περιγράφουν τις υφιστάμενες σχέσεις αλληλεπίδρασης των συντελεστών ανά δύο, στη βάση του πιθανού «ρίσκου» που οι ενέργειες ενός συντελεστή μπορεί να επιφέρουν σε κάποιον άλλο συντελεστή του συστήματος.

Πίνακας 6-2: Πίνακας Άμεσων Επιδράσεων των συντελεστών (Matrix of Direct Influences – MDI)

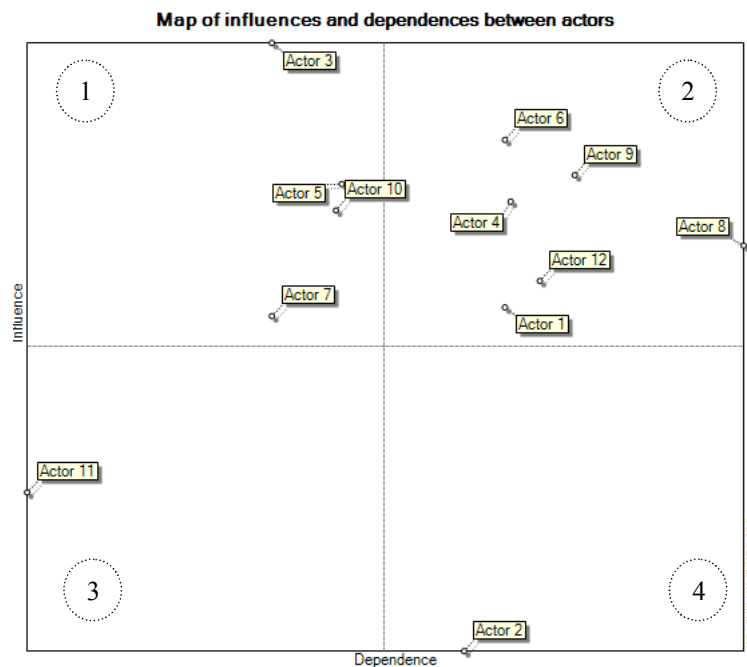
	Actor 1	Actor 2	Actor 3	Actor 4	Actor 5	Actor 6	Actor 7	Actor 8
Actor 1	0	2	3	2	2	1	1	4
Actor 2	2	0	0	2	2	0	3	4
Actor 3	3	2	0	2	2	2	2	4
Actor 4	2	2	0	0	2	4	3	4
Actor 5	3	1	2	3	0	3	3	3
Actor 6	2	2	0	4	2	0	3	3
Actor 7	0	2	2	3	2	3	0	0
Actor 8	2	2	2	1	2	2	1	0

Πηγή: Software Mactor (example case study) – Επεξεργασία μελετητή

Οι τιμές που περιλαμβάνονται στον παραπάνω πίνακα κυμαίνονται από το 0 έως το 4 (ακέραιες τιμές) και η ερμηνεία τους είναι η ακόλουθη:

- 0: Όταν η επίδραση ενός συντελεστή i στο συντελεστή j είναι μηδενική.
- 1: Όταν ένας συντελεστής i επηρεάζει ή θέτει σε κίνδυνο τις λειτουργικές διαδικασίες (operating procedures) ενός άλλου συντελεστή j .
- 2: Όταν ένας συντελεστής i επηρεάζει ή θέτει σε κίνδυνο τα εν εξελίξει σχέδια ενός άλλου συντελεστή j .
- 3: Όταν ένας συντελεστής i επηρεάζει ή θέτει σε κίνδυνο το έργο / την αποστολή ενός άλλου συντελεστή j .
- 4: Όταν ένας συντελεστής i επηρεάζει την ύπαρξη ενός άλλου συντελεστή j .

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την επεξεργασία του Πίνακα Άμεσων Επιδράσεων, εμφανίζονται οπτικοποιημένα σε ένα *Διάγραμμα / Χάρτη Άμεσων Επιδράσεων και Εξαρτήσεων* (Σχήμα 6-4) όπου οι συντελεστές, ανάλογα με τη επίδραση που ασκούν και την επιρροή που υφίστανται, παρουσιάζονται κατανομημένοι σε τέσσερα τεταρτημόρια οριζόμενα από δύο άξονες, τον άξονα X: Εξάρτηση και τον άξονα Y: Επίδραση.



Σχήμα 6-4: Χάρτης άμεσων επιδράσεων-εξαρτήσεων των συντελεστών
 Πηγή: Software Mactor (example case study) – Επεξεργασία μελετητή

Σε αντιστοιχία με το ανάλογο Διάγραμμα / Χάρτη του Micas που αφορά στην κατανομή των μεταβλητών, στο τεταρτημόριο 1 (επάνω και αριστερά), βρίσκονται οι κυρίαρχοι συντελεστές, δηλαδή οι συντελεστές εκείνοι που ασκούν μεγαλύτερη επίδραση στους υπόλοιπους συντελεστές και υφίστανται το μικρότερο βαθμό επιρροής από αυτούς. Στο τεταρτημόριο 2 (επάνω και δεξιά), βρίσκονται οι συντελεστές «επικοινωνίας» οι οποίοι ασκούν μεν μεγάλη επίδραση στους υπόλοιπους συντελεστές αλλά υφίστανται εξίσου μεγάλη επιρροή από αυτούς. Στο τεταρτημόριο 3 (κάτω και αριστερά), βρίσκονται οι «ανεξάρτητοι» συντελεστές οι οποίοι, λόγω του μικρού βαθμού επίδρασης που ασκούν και του μικρού βαθμού επιρροής που υφίστανται δε δύνανται να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στη μελλοντική εξέλιξη του υπό μελέτη συστήματος. Τέλος, στο τεταρτημόριο 4 (κάτω και δεξιά), βρίσκονται οι εξαρτημένοι συντελεστές, οι συντελεστές δηλαδή που ασκούν πολύ μικρή επίδραση στους υπόλοιπους αλλά υφίστανται υψηλό βαθμό επιρροής από αυτούς.

Το δεύτερο στάδιο εφαρμογής του μοντέλου Mactor εστιάζει στη διερεύνηση και καταγραφή των στρατηγικών στόχων των συντελεστών. Μελετώνται αναλυτικά και λεπτομερώς οι στόχοι καθενός από αυτούς ενώ ταυτόχρονα και στη βάση των στόχων αυτών, αναζητώνται πιθανά σημεία σύγκλισης / συμφωνίας ή απόκλισης / διαφωνίας των συντελεστών τα οποία με τη σειρά τους, είναι δυνατόν να οδηγήσουν στη δημιουργία συμμαχιών για την επίτευξη κοινών στόχων ή συγκρούσεων όταν οι στόχοι είναι αντικρουόμενοι.

Το τρίτο στάδιο του μοντέλου αφορά στη συστηματική μελέτη της θέσης που οι συντελεστές λαμβάνουν ως προς τους στόχους που έχουν τεθεί για την ανάπτυξη του υπό μελέτη συστήματος, καθώς και της πιθανής σύγκλισης ή απόκλισής τους από αυτούς. Στο πλαίσιο αυτό, δομείται ο Πίνακας Συντελεστών-Στόχων (*IMatrix of Actors vs. Objectives – IMAO*) (Πίνακας 6-3) στον οποίο καταγράφεται η στάση κάθε συντελεστή ως προς τους στόχους. Πρόκειται για έναν πίνακα διαστάσεων $m \times n$ όπου m οι συντελεστές και n οι στόχοι που βρίσκονται αντίστοιχα στις σειρές και τις στήλες του Πίνακα Συντελεστών-Στόχων.

Οι τιμές του Πίνακα Συντελεστών-Στόχων κυμαίνονται από -1 έως 1 (ακέραιες τιμές) και η ερμηνεία τους είναι η ακόλουθη:

- + 1: Στην περίπτωση σύγκλισης του συντελεστή με τον στόχο – Προθυμία του συντελεστή να εργαστεί προς την κατεύθυνση υλοποίησης του στόχου.

- - 1: Στην περίπτωση απόκλισης του συντελεστή από τον στόχο - Απροθυμία του συντελεστή να εργαστεί προς την κατεύθυνση υλοποίησης του στόχου.
- 0: Στην ουδέτερη περίπτωση.

Πίνακας 6-3: Πίνακας Συντελεστών-Στόχων (*IMatrix of Actors vs. Objectives – IMAO*)

		Object 1	Object 2	Object 3	Object 4	Object 5
▶	Actor 1	1	1	-1	1	1
	Actor 2	1	1	-1	1	1
	Actor 3	1	1	-1	1	1
	Actor 4	1	1	1	1	1
	Actor 5	1	1	1	1	1
	Actor 6	1	1	1	0	1
	Actor 7	0	1	1	0	1
	Actor 8	1	1	1	0	1

Πηγή: *Software Mactor (example case study) – Επεξεργασία μελετητή*

Η ολοκλήρωση της παραπάνω διαδικασίας ακολουθείται από τη διερεύνηση της πιθανότητας δημιουργίας πιθανών συμμαχιών ή συγκρούσεων και το μοντέλο προσδιορίζει τον αριθμό των στόχων με την υλοποίηση των οποίων οι συντελεστές είτε συμφωνούν είτε διαφωνούν (Godet, 1994). Δημιουργείται έτσι μία πρώτη εικόνα για τις υφιστάμενες ή εν δυνάμει συμμαχίες ή συγκρούσεις, μελετώντας αποκλειστικά και μόνο τη στάση των συντελεστών απέναντι στους στόχους (Godet, 1994).

Στο τέταρτο στάδιο και στη βάση μίας πιο ρεαλιστικής προσέγγισης, το Mactor συσχετίζει την πιθανότητα δημιουργίας συμμαχιών ή συγκρούσεων μεταξύ των συντελεστών με την ιεράρχηση των στόχων από κάθε συντελεστή, η οποία προφανώς διαφέρει για κάθε έναν από αυτούς (Godet, 1994). Έτσι, οι στόχοι ιεραρχούνται για κάθε συντελεστή, διαδικασία μέσα από την οποία το μοντέλο ενσωματώνει την ένταση με την οποία κάθε συντελεστής τοποθετείται απέναντι στους επιμέρους στόχους.

Το αποτέλεσμα της προσέγγισης αυτής αποτυπώνεται σε έναν δεύτερο Πίνακα Συντελεστών-Στόχων (*2Matrix of Actors vs. Objectives – 2MAO*) (Πίνακας 6-4) διαστάσεων $m \times n$, όπου m οι συντελεστές και n οι στόχοι. Οι τιμές του πίνακα αυτού κυμαίνονται από -4 έως +4 (ακέραιες τιμές) και υποδεικνύουν το επίπεδο στο οποίο ο κάθε συντελεστής είναι διατεθειμένος να εργαστεί προς την κατεύθυνση υλοποίησης ή μη του κάθε στόχου.

Πίνακας 6-4: Πίνακας Συντελεστών-Στόχων (2Matrix of Actors vs. Objectives – 2MAO) – Ενσωμάτωση ιεράρχησης των στόχων από κάθε συντελεστή

		Object 1	Object 2	Object 3	Object 4	Object 5
▶	Actor 1	4	2	-3	2	2
	Actor 2	3	4	-2	4	2
	Actor 3	4	4	-3	4	3
	Actor 4	4	3	4	3	4
	Actor 5	2	2	2	2	2
	Actor 6	1	2	4	0	4
	Actor 7	0	1	3	0	2

Πηγή: Software Mactor (example case study) – Επεξεργασία μελετητή

Η ερμηνεία των τιμών του πίνακα Συντελεστών-Στόχων στην περίπτωση αυτή διαμορφώνεται ως εξής:

- 0: Στην ουδέτερη περίπτωση.
- +1 / -1: Όταν ο στόχος είναι «ζωτικός» για τις λειτουργικές διαδικασίες (operating procedures) του συντελεστή / Όταν ο στόχος θέτει σε κίνδυνο τις λειτουργικές διαδικασίες του συντελεστή.
- +2 / -2: Όταν ο στόχος είναι ζωτικός για την επίτευξη των εν εξελίξει σχεδίων (προγραμμάτων) του συντελεστή / Όταν ο στόχος θέτει σε κίνδυνο την επίτευξη των εν εξελίξει σχεδίων (προγραμμάτων) του συντελεστή.
- +3 / -3: Όταν η υλοποίηση του στόχου είναι απαραίτητη για την εκπλήρωση του έργου ενός συντελεστή / Όταν η υλοποίηση του στόχου θέτει σε κίνδυνο την εκπλήρωση του έργου του συντελεστή.
- +4 / -4: Όταν η υλοποίηση του στόχου είναι απαραίτητη για την ύπαρξη του συντελεστή / Όταν η υλοποίηση του στόχου θέτει σε κίνδυνο την ύπαρξη του συντελεστή.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι πίνακες με τη βοήθεια των οποίων διερευνώνται οι σχέσεις αλληλεπίδρασης μεταξύ των συντελεστών και η στάση τους απέναντι στους στόχους που έχουν τεθεί για την ανάπτυξη του υπό μελέτη συστήματος, συμπληρώνονται στο πλαίσιο συμμετοχικών διαδικασιών από ομάδα συμμετεχόντων η οποία μπορεί να συγκροτείται από ειδικούς, stakeholders, συμβούλους, κ.λπ.

Το πέμπτο στάδιο εφαρμογής του Mactor εστιάζει ξανά στη μελέτη της στάσης που οι συντελεστές υιοθετούν απέναντι στους στόχους ενσωματώνοντας αυτή τη φορά μία πρόσθετη παράμετρο, την ισορροπία δυνάμεων, όπως αυτή διαμορφώνεται μεταξύ των συντελεστών. Στο στάδιο αυτό, δίνεται έμφαση στη διερεύνηση των άμεσων και έμμεσων «σχέσεων δύναμης» και στα μέσα που οι συντελεστές διαθέτουν προκειμένου, είτε να προωθήσουν είτε να εμποδίσουν την υλοποίηση ενός ή περισσότερων στόχων (Godet, 1994). Η μελέτη της ισορροπίας δυνάμεων έχει ως αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη εμβάθυνση σε ζητήματα που αφορούν στις σχέσεις μεταξύ των συντελεστών και τον εμπλουτισμό της γνώσης που αποκτάται, σχετικά με τις πιθανές συμμαχίες ή συγκρούσεις που δύνανται να δημιουργηθούν ως προς την επίτευξη ενός ή περισσότερων στόχων (Ferrand and McCarthy, 2009).

Η πληροφορία που εξάγεται, συμπυκνώνεται σε έναν τρίτο Πίνακα Συντελεστών-Στόχων (3Matrix of Actors vs. Objectives – 3MAO) (Πίνακας 6-5), οι τιμές του οποίου υποδεικνύουν το βαθμό κινητικότητας των συντελεστών ως προς την υλοποίηση ή μη των στόχων. Όσο υψηλότερες είναι οι θετικές τιμές, τόσο μεγαλύτερη είναι η κινητικότητα του συντελεστή προς την κατεύθυνση υλοποίησης του εκάστοτε στόχου ενώ αντίθετα, όσο μικρότερες είναι οι αρνητικές τιμές τόσο μεγαλύτερη είναι η αντίθεση του συντελεστή ως προς την υλοποίηση του αντίστοιχου στόχου.

Πίνακας 6-5: Πίνακας Συντελεστών-Στόχων (3Matrix of Actors vs. Objectives – 3MAO) – Ενσωμάτωση ισορροπίας δυνάμεων μεταξύ των συντελεστών

		Object 1	Object 2	Object 3	Object 4	Object 5
▶	Actor 1	3,6	1,8	-2,7	1,8	1,8
	Actor 2	1,8	2,4	-1,2	2,4	1,2
	Actor 3	5,4	5,4	-4,0	5,4	4,0
	Actor 4	4,0	3,0	4,0	3,0	4,0
	Actor 5	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
	Actor 6	1,1	2,1	4,3	0,0	4,3
	Actor 7	0,0	1,0	3,1	0,0	2,1

Πηγή: Software Mactor (example case study) – Επεξεργασία μελετητή

Η ισορροπία δυνάμεων είναι μία παράμετρος που υπολογίζεται στη βάση των δυνατοτήτων και των μέσων που ο κάθε συντελεστής έχει στη διάθεσή του για δράση. Μέσα από την ανάλυση της ισορροπίας δυνάμεων «αποκαλύπτονται» τα δυνατά σημεία και οι αδυναμίες κάθε συντελεστή, ο βαθμός που κάθε ένας από

αυτούς μπορεί να επηρεάσει τους υπόλοιπους καθώς και ο βαθμός στον οποίο οι συντελεστές δύνανται να επηρεάσουν τη μελλοντική εξέλιξη του υπό μελέτη συστήματος.

Η εφαρμογή του μοντέλου Mactor ολοκληρώνεται με τη διατύπωση κρίσιμων ζητημάτων και στρατηγικών που αφορούν στη μελλοντική εξέλιξη του συστήματος στη βάση των σχέσεων αλληλεπίδρασης μεταξύ των συντελεστών, της στάσης καθενός από αυτούς απέναντι στους στόχους που έχουν τεθεί και στην πιθανότητα δημιουργίας εν δυνάμει συμμαχιών ή συγκρούσεων ως προς την υλοποίηση των στόχων. Η διαδικασία αυτή συνιστά το έκτο και τελευταίο στάδιο εφαρμογής του Mactor.

6.1.3. Το Μοντέλο (Module) Smic Prob-Expert – Κρίσεις Ειδικών

Το μοντέλο Smic Prob-Expert (Cross-Impact Matrices and Systems) αφορά στη σύνθεση μελλοντικών εικόνων που δύναται να εμφανίσει κάποιο υπό μελέτη σύστημα. Εστιάζει στη δόμηση υποθέσεων και στην αναζήτηση πιθανών συνδυασμών τους – κάθε ένας από τους οποίους αποτελεί και μία εν δυνάμει μελλοντική εναλλακτική εικόνα του συστήματος – καθώς και στη διερεύνηση των πιθανοτήτων μία υπόθεση να λάβει χώρα στο μέλλον. Το τελικό αποτέλεσμα αφορά στη σύνθεση εν δυνάμει μελλοντικών εικόνων (συνδυασμός επιμέρους υποθέσεων) του συστήματος, κάθε μία από τις οποίες συνοδεύεται από μία πιθανότητα που υποδεικνύει το ενδεχόμενο η εκάστοτε εικόνα να υλοποιηθεί ή όχι.

Η φιλοσοφία του στηρίζεται θεωρητικά στο γεγονός ότι όπως το παρελθόν μπορεί να περιγραφεί μέσα από μία σειρά γεγονότων που έχουν ήδη γίνει, το μέλλον μπορεί και αυτό να περιγραφεί μέσα από μία σειρά υποθέσεων οι οποίες είναι πιθανό να συμβούν και αντανακλούν τάσεις εξέλιξης (Godet, 1994).

Πρόκειται για μία συμμετοχική διαδικασία η ολοκλήρωση της οποίας στηρίζεται σε απόψεις που εκφράζονται από ειδικούς και αφορούν αφενός στη σύνθεση υποθέσεων και αφετέρου στην πιθανότητα υλοποίησης κάθε διατυπωμένης υπόθεσης. Οι συμμετέχοντες ειδικοί μπορεί να εκπροσωπούν διαφορετικούς τομείς, γεγονός που εξασφαλίζει την ολοκλήρωση και τον συνδυασμό διαφορετικών οπτικών (Schöfer et al., 2015). Στο πλαίσιο αυτό, αξιολογούνται και τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις διαδικασίες δομικής ανάλυσης και ανάλυσης των συντελεστών

(Godet, 1994), έτσι ώστε η μελέτη του συστήματος να είναι πιο ολοκληρωμένη, συμπαγής και συνεκτική.

Το Smic Prob-Expert είναι το τρίτο στάδιο εφαρμογής του συστήματος LIPSOR και υλοποιεί ουσιαστικά μία ανάλυση αλληλοσυσχέτισης μέσα από τον προσδιορισμό απλών (simple) και υπό συνθήκη (conditional) πιθανοτήτων εμφάνισης ορισμένων υποθέσεων (Bishop and Hines, 2012) και των συνδυασμών τους. Παράλληλα, εμβαθύνει στις σχέσεις αλληλεπίδρασης μεταξύ των γεγονότων που περιγράφονται στις διατυπωμένες υποθέσεις, επιχειρώντας με τον τρόπο αυτό να περιορίσει την ενυπάρχουσα αβεβαιότητα.

Ο ρόλος των συμμετεχόντων-ειδικών στη διαδικασία έγκειται στη διατύπωση κρίσεων (υπό μορφή πιθανότητας) σχετικά με την πιθανή μελλοντική εμφάνιση ή μη των υποθέσεων μέσω ερωτηματολογίων (Godet, 1994; Godet, 2007). Απώτερος στόχος είναι ο προσδιορισμός πιθανών συνδυασμών των υποθέσεων οι οποίοι συνιστούν ολοκληρωμένες εικόνες μελλοντικής ανάπτυξης του υπό μελέτη συστήματος καθώς και τη βάση δόμησης σεναρίων. Η διαδικασία ολοκληρώνεται μέσα από δύο επιμέρους στάδια τα οποία περιλαμβάνουν: τον ορισμό των υποθέσεων, τον προσδιορισμό της απλής πιθανότητας εμφάνισης κάθε υπόθεσης, τον προσδιορισμό της υπό συνθήκη πιθανότητας πραγματοποίησης μίας υπόθεσης όταν μία άλλη υπόθεση έχει ή δεν έχει πραγματοποιηθεί και τη συνάθροιση και συνόρθωση των διατυπωμένων κρίσεων των ειδικών. Επιπλέον, διερευνώνται πιθανοί συνδυασμοί που δύνανται να προκύψουν από την ταυτόχρονη υλοποίηση ορισμένων υποθέσεων, οι οποίοι εν τέλει συνιστούν ολοκληρωμένες μελλοντικές εικόνες ανάπτυξης του συστήματος ενώ παράλληλα, αποτελούν τη βάση δόμησης σεναρίων μελλοντικής ανάπτυξης σε επόμενο στάδιο εφαρμογής του συστήματος LIPSOR.

Πιο αναλυτικά, το πρώτο στάδιο εφαρμογής του Smic Prob-Expert περιλαμβάνει τον ορισμό των υποθέσεων και την επιλογή της ομάδας των ειδικών που πρόκειται να συμμετάσχουν στη διαδικασία ανάθεσης πιθανοτήτων. Συνήθως, διατυπώνονται ορισμένες βασικές υποθέσεις και ένας αριθμός βοηθητικών. Κατά τη διαδικασία διατύπωσης των υποθέσεων, λαμβάνονται υπόψη τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή του Micmac και αφορούν στις μεταβλητές οι οποίες δύνανται με τον ένα ή τον άλλο τρόπο να επηρεάσουν τη μελλοντική εξέλιξη του υπό μελέτη συστήματος ενώ, ενσωματώνονται και στις υποθέσεις που διατυπώνονται στο

στάδιο αυτό. Μέσω ερωτηματολογίων, οι ειδικοί καλούνται να εκφράσουν τις απόψεις τους ως προς τα ακόλουθα ζητήματα (Godet, 1994):

- Ορισμός ενός αριθμού υποθέσεων H_n (συνήθως διατυπώνονται πέντε με έξι βασικές υποθέσεις).
- Ορισμός απλής πιθανότητας P_i υλοποίησης κάθε υπόθεσης μέσα σε συγκεκριμένο χρονικό ορίζοντα (εύρος τιμών 0 έως 1) (Πίνακας 6-6).
- Ορισμός υπό συνθήκη πιθανότητας $P_{(i/j)}$ υλοποίησης μίας υπόθεσης i όταν έχει υλοποιηθεί μία άλλη υπόθεση j (εύρος τιμών 0 έως 1) (Πίνακας 6-7).
- Ορισμός υπό συνθήκη πιθανότητας $P_{(i/nonj)}$ υλοποίησης μίας υπόθεσης i όταν δεν έχει υλοποιηθεί μία άλλη υπόθεση j (εύρος τιμών 0 έως 1) (Πίνακας 6-8).

Πίνακας 6-6: Πίνακας ανάθεσης απλών πιθανοτήτων στις υποθέσεις που έχουν διατυπωθεί

	Hypothesis	1 - Probabilities
▶	1 - H1	0,7
	2 - H2	0,8
	3 - H3	0,7
	4 - H4	1
	5 - H5	0,7

Πηγή: Software Smic Prob-Expert (example case study) – Επεξεργασία μελετητή

Πίνακας 6-7: Πίνακας ανάθεσης υπό συνθήκη πιθανοτήτων στις υποθέσεις που έχουν διατυπωθεί – Πιθανότητα υλοποίησης μίας υπόθεσης i όταν έχει υλοποιηθεί μία άλλη υπόθεση j

	Hypothesis	1 - H1	2 - H2	3 - H3	4 - H4	5 - H5
▶	1 - H1	0,7	0,9	0,9	0,5	0,9
	2 - H2	0,5	0,8	0	0,5	0,7
	3 - H3	0,8	0	0,7	0,5	0,9
	4 - H4	1	1	1	1	1
	5 - H5	0,9	0,7	0,9	0,5	0,7

Πηγή: Software Smic Prob-Expert (example case study) – Επεξεργασία μελετητή

Πίνακας 6-8: Πίνακας ανάθεσης υπό συνθήκη πιθανοτήτων στις υποθέσεις που έχουν διατυπωθεί – Πιθανότητα υλοποίησης μίας υπόθεσης i όταν δεν έχει υλοποιηθεί μία άλλη υπόθεση j

	Hypothesis	1 - H1	2 - H2	3 - H3	4 - H4	5 - H5
▶	1 - H1	0	0,1	0,6	0,5	0,2
	2 - H2	0,1	0	1	0,5	0,1
	3 - H3	0,2	1	0	0,5	0,2
	4 - H4	0	0	0,2	0	0
	5 - H5	0,2	0,1	0,2	0,5	0

Πηγή: Software Smic Prob-Expert (example case study) – Επεξεργασία μελετητή

Το δεύτερο στάδιο εφαρμογής του μοντέλου εστιάζει στην επεξεργασία των παραπάνω δεδομένων τα οποία εισάγονται ως δεδομένα εισόδου στο ομώνυμο λογισμικό Smic Prob-Expert. Στο στάδιο αυτό συνεκτιμώνται, συναθροίζονται και συνορθώνονται οι κρίσεις που έχουν εκφράσει μέσω ερωτηματολογίων οι ειδικοί στη βάση των αξιωμάτων της θεωρίας πιθανοτήτων, με στόχο τη διασφάλιση της εσωτερικής συνέπειας.

Σε αυτό το πλαίσιο, υλοποιούνται οι διαδικασίες συνδυασμού των υποθέσεων (2^n συνδυασμοί για n αριθμό υποθέσεων) προκειμένου από αυτούς να προκύψουν οι πιθανές μελλοντικές εικόνες του υπό μελέτη συστήματος. Επιπλέον, μέσα από τη στατιστική επεξεργασία των δεδομένων και στη βάση των πιθανοτήτων που έχουν αποδώσει οι ειδικοί στις αρχικές υποθέσεις, προσδιορίζεται μία μέση πιθανότητα υλοποίησης κάθε συνδυασμού υποθέσεων ο οποίος συνιστά μία μελλοντική εικόνα του υπό μελέτη συστήματος ή ένα σενάριο (Schöfer et al., 2015).

Στη βάση της μέσης πιθανότητας, τα σενάρια ιεραρχούνται (Πίνακας 6-9). Προφανώς, το σενάριο με τη μεγαλύτερη μέση πιθανότητα είναι περισσότερο πιθανό να πραγματοποιηθεί στο μέλλον.

Τέλος, υλοποιείται μία ανάλυση ευαισθησίας προκειμένου να εξεταστεί η επίπτωση που δύναται να επιφέρει μία μεταβολή σε μία υπόθεση στις υπόλοιπες υποθέσεις του συστήματος αλλά και στις εικόνες / σενάρια που προκύπτουν. Η μεταβολή αυτή μετράται με τη βοήθεια του συντελεστή ελαστικότητας, ο οποίος συνιστά ένα δείκτη μέτρησης της μεταβολής που προκαλείται σε μία ποσότητα λόγω μεταβολής μίας άλλης ποσότητας. Η πληροφορία αυτή βρίσκεται συγκεντρωμένη σε έναν τετραγωνικό πίνακα (elasticity matrix) στις σειρές και τις στήλες του οποίου βρίσκονται οι υποθέσεις. Το άθροισμα των απόλυτων τιμών κάθε σειράς δίνει τις σχετικές μεταβολές που πρόκειται να επιφέρει στις υπόλοιπες υποθέσεις μία

μεταβολή της πιθανότητας P_i της υπόθεσης H_i . Με τον τρόπο αυτό προσδιορίζεται η κυριαρχία μίας υπόθεσης στο σύνολο των υπολοίπων.

Πίνακας 6-9: Πίνακας μέσων πιθανοτήτων των σεναρίων

	Scenarios	1 - Χρυσαίδα
►	01 - 111111	0,105
	02 - 111110	0,236
	03 - 111101	0
	04 - 111100	0
	05 - 111011	0
	06 - 111010	0
	07 - 111001	0
	08 - 111000	0
	09 - 110111	0,098
	10 - 110110	0,018
	11 - 110101	0,003
	12 - 110100	0,008
	13 - 110011	0
	14 - 110010	0
	15 - 110001	0
	16 - 110000	0,023
	17 - 101111	0,132

Πηγή: Software Smic Prob-Expert (example case study) – Επεξεργασία μελετητή

Συνοψίζοντας, το μοντέλο Smic Prob-Expert παρέχει τη δυνατότητα διερεύνησης των αλληλεπιδράσεων που υφίστανται μεταξύ ενός αριθμού υποθέσεων που έχουν αρχικά διατυπωθεί και των πιθανοτήτων αυτές οι υποθέσεις να συμβούν, εμπλέκοντας μία ομάδα ειδικών στη διαδικασία ορισμού τους. Παράλληλα, μέσα από μία απλή διαδικασία στατιστικής επεξεργασίας και ανάλυσης των δεδομένων, «αποκαλύπτονται» τα πιο εύλογα και πιθανά να συμβούν σενάρια, προσδιορίζοντας μία μέση τιμή πιθανότητας για κάθε ένα από αυτά. Επιπλέον, ανάλογα με την κρίση που κάθε ειδικός διατυπώνει και στη βάση των πιθανοτήτων που αποδίδονται στις υποθέσεις, προκύπτουν οι αντίστοιχες ιεραρχήσεις των εικόνων / σεναρίων για κάθε ειδικό.

6.1.4. Το Μοντέλο (Module) Morphol – Μορφολογική Ανάλυση

Το μοντέλο Morphol (**M**orphological Analysis) συνιστά το τέταρτο στάδιο εφαρμογής του συστήματος LIPSOR κατά το οποίο ολοκληρώνεται η διαδικασία δόμησης σεναρίων. Στο στάδιο αυτό, αξιοποιούνται τα αποτελέσματα που

προέκυψαν από τις διαδικασίες δομικής ανάλυσης, ανάλυσης συντελεστών και σύνθεσης μελλοντικών εικόνων στη βάση διατυπωμένων υποθέσεων, με στόχο τη δόμηση ενός αριθμού σεναρίων κάθε ένα από τα οποία συνοδεύεται από μία μέση τιμή πιθανότητας υλοποίησής του στο μέλλον.

Σύμφωνα με τους Godet et al. (2004), ένα σενάριο ορίζεται ως η περιγραφή μίας μελλοντικής εικόνας καθώς και των δράσεων ή των γεγονότων που πρόκειται να οδηγήσουν το σύστημα από την παρούσα κατάσταση στη μελλοντική αυτή εικόνα (Godet et al., 2004). Η προσέγγιση που εφαρμόζεται για τη δόμηση σεναρίων στην περίπτωση αυτή, είναι η προσέγγιση backcasting βάσει της οποίας, με αφετηρία το μέλλον δομούνται ολοκληρωμένες επιθυμητές μελλοντικές εικόνες του εκάστοτε υπό μελέτη συστήματος. Η διαδικασία δόμησης σεναρίων στηρίζεται στην εμβάθυνση στα χαρακτηριστικά του συστήματος, στη διερεύνηση των τάσεων εξέλιξης του συστήματος στο μέλλον, στη μελέτη των συντελεστών που δραστηριοποιούνται στο σύστημα, στην αναζήτηση των παραγόντων εκείνων που δύνανται να επηρεάσουν τη μελλοντική του εξέλιξη καθώς και στη διερεύνηση πιθανών μελλοντικών καταστάσεων που μπορεί να λάβουν χώρα στο υπό μελέτη σύστημα (Godet, 1994).

Η εφαρμογή του μοντέλου Morphol για τη δόμηση σεναρίων μελλοντικής ανάπτυξης, αξιοποιεί την προσέγγιση της μορφολογικής ανάλυσης συστήματος βάσει της οποίας, το εκάστοτε υπό μελέτη σύστημα διαιρείται σε επιμέρους υπο-συστήματα ή συνιστώσες τα οποία θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν ανεξάρτητα μεταξύ τους ενώ ταυτόχρονα, η σύνθεσή τους θα πρέπει να συνιστά μία ολοκληρωμένη εικόνα του συστήματος (Godet, 1994; Godet, 2007).

Το αποτέλεσμα της διαδικασίας αυτής είναι η δημιουργία του «μορφολογικού χώρου» ο οποίος ορίζει ένα εύρος πιθανών σεναρίων με αρκετά μεγάλη ακρίβεια καθώς, κάθε σενάριο συνίσταται σε ένα «μονοπάτι» μέσω του οποίου οι συνιστώσες του μορφολογικού χώρου συνδυάζονται μεταξύ τους και συναποτελούν μία ολοκληρωμένη μελλοντική εικόνα του υπό μελέτη συστήματος (Godet, 1994; Godet, 2007). Ουσιαστικά, η μορφολογική ανάλυση στοχεύει στην πλήρη και συστηματική διερεύνηση πιθανών μελλοντικών σεναρίων ενός συστήματος, εξετάζοντας το σύνολο των δυνατών συνδυασμών μεταξύ των διαφόρων υπο-συστημάτων του συστήματος.

Η εφαρμογή του μοντέλου Morphol ολοκληρώνεται μέσα από δύο επιμέρους στάδια. Το πρώτο στάδιο αφορά στη λεπτομερή ανάλυση του συστήματος και στη διαίρεσή του σε επιμέρους υπο-συστήματα. Καθοριστικής σημασίας για τη

διαδικασία αυτή είναι η μελέτη των αποτελεσμάτων που προέκυψαν κατά το στάδιο της δομικής ανάλυσης του συστήματος καθώς, η ανάλυση των μεταβλητών και των μεταξύ τους σχέσεων αλληλεπίδρασης «καθοδηγεί» κατά κάποιο τρόπο τη διάκριση των επιμέρους υπο-συστημάτων και συνιστωσών του συστήματος. Ο ορισμός των υπο-συστημάτων ακολουθείται από τη διερεύνηση της πιθανής μελλοντικής εξέλιξης καθενός από αυτά, της εικόνας που δύνανται να εμφανίσουν τα υπο-συστήματα στο μέλλον καθώς και των πιθανών συνδυασμών τους. Το σύνολο των συνδυασμών αυτών συνιστά το μορφολογικό χώρο (Σχήμα 6-5).

		Συνδεόμενα Σενάρια			
Πεδία	Μεταβλητές	Υποθέσεις			
		H1	H2	H3	H4
Χαρακτηριστικά Συστήματος	Ποιότητα Υποδομής	Χαμηλή ποιότητα (15%)	Ικανοποιητική ποιότητα (70%)	Υψηλή ποιότητα (15%)	Άλλο (0%)
	Χωρητικότητα Υποδομής	Χαμηλή χωρητικότητα (20%)	Ικανοποιητική χωρητικότητα (80%)	Άλλο (0%)	
	Διαλειτουργικότητα	Χαμηλή διαλειτουργικότητα (15%)	Ικανοποιητική διαλειτουργικότητα (70%)	Υψηλή διαλειτουργικότητα (15%)	Άλλο (0%)
Εξωτερικό περιβάλλον	Διασύνδεση TEN-T	Χαμηλή διασύνδεση TEN-T (15%)	Ικανοποιητική διασύνδεση TEN-T (70%)	Υψηλή διασύνδεση TEN-T (15%)	Άλλο (0%)
	Κόστος παρεμβάσεων (επενδύσεις)	Χαμηλό κόστος παρεμβάσεων (0%)	Ικανοποιητικό κόστος παρεμβάσεων (100%)	Άλλο (0%)	
Κοινωνικά Χαρακτηριστικά	Ασφάλεια	Χαμηλό επίπεδο ασφάλειας (15%)	Ικανοποιητικό επίπεδο ασφάλειας (70%)	Υψηλό επίπεδο ασφάλειας (15%)	Άλλο (0%)
Οικονομία Συστήματος	Ευσυνωρευμένο χρέος	Χαμηλό επίπεδο χρέους (20%)	Ικανοποιητικό επίπεδο χρέους (60%)	Υψηλό επίπεδο χρέους (20%)	Άλλο (0%)

Σχήμα 6-5: Μορφολογικός χώρος

Πηγή: *Software Morphol (example case study) – Επεξεργασία μελετητή*

Στο παραπάνω σχήμα, παρουσιάζονται τα επιμέρους πεδία (domains) με τις κύριες μεταβλητές οι οποίες συνιστούν βασικά χαρακτηριστικά του κάθε υπο-συστήματος ενώ παράλληλα, ανήκουν στο σύνολο των κυρίαρχων μεταβλητών του συστήματος σύμφωνα με τα αποτελέσματα της δομικής ανάλυσης (Micmac). Επιπλέον, παρουσιάζονται ορισμένες υποθέσεις οι οποίες αντανακλούν την πιθανή μελλοντική εξέλιξη των μεταβλητών, συνοδευόμενες από την πιθανότητα που κάθε μία από αυτές έχει να συμβεί στο μέλλον. Οι υποθέσεις μαζί με τις αντίστοιχες πιθανότητες δομούνται στη βάση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την ‘cross impact analysis’ που υλοποιήθηκε κατά το στάδιο εφαρμογής του Smic Prob-Expert. Στο πλαίσιο της μορφολογικής ανάλυσης, οι υποθέσεις συνδυάζονται μεταξύ τους

και το σύνολο των δυνατών συνδυασμών που προκύπτει, αποτελεί το σύνολο των δυνατών σεναρίων μελλοντικής ανάπτυξης του υπό μελέτη συστήματος (Godet, 2007). Ένας ενδεικτικός συνδυασμός υποθέσεων ο οποίος συνιστά ένα ολοκληρωμένο σενάριο παρουσιάζεται στο Σχήμα 6-6.

Παράμ.	Κωδικός	Πίνακας Σεναρίων					
		Q	V	H1	H2	H3	H4
1	: 2222222 Ke	Q1	V1	Χαμηλή ποιότητα (15%)	Ικανοποιητική ποιότητα (70%)	Υψηλή ποιότητα (15%)	Άλλο (0%)
2	: 2222221 Ke Pr		V2	Χαμηλή γωρητικότητα (20%)	Υψηλή γωρητικότητα (80%)	Άλλο (0%)	Άλλο (0%)
3	: 222223 Ke Pr		V3	Χαμηλή διαλειτουργικότητα (15%)	Ικανοποιητική διαλειτουργικότητα (70%)	Υψηλή διαλειτουργικότητα (15%)	Άλλο (0%)
4	: 2122222	Q2	V4	Χαμηλή διασύνδεση TENT-I (15%)	Ικανοποιητική διασύνδεση TENT-I (70%)	Υψηλή διασύνδεση TENT-I (15%)	Άλλο (0%)
5	: 2222232 Ke		V5	Χαμηλό κόστος παρεμβάσεων (0%)	Ικανοποιητικό κόστος παρεμβάσεων (100%)	Άλλο (0%)	Άλλο (0%)
6	: 2212222 Ke	Q3	V6	Χαμηλό επίπεδο ασφάλειας (15%)	Ικανοποιητικό επίπεδο ασφάλειας (70%)	Υψηλό επίπεδο ασφάλειας (15%)	Άλλο (0%)
7	: 2222212 Ke		V7	Χαμηλό επίπεδο χρέους (20%)	Ικανοποιητικό επίπεδο χρέους (60%)	Υψηλό επίπεδο χρέους (20%)	Άλλο (0%)
8	: 2232222	Q4					
9	: 2223222 Pr						
10	: 1222222						
11	: 2221222						
12	: 2122221 Pr						
13	: 2122223						
14	: 2222211 Pr						
15	: 2222231 Pr						
16	: 2222213 Pr						
17	: 2222233 Pr						
18	: 2223221 Pr						
19	: 2223223 Pr						
20	: 1222221						
21	: 1222223						
22	: 2212221						
23	: 2212223						
24	: 2221221						

Σχήμα 6-6: Συνδυασμός υποθέσεων για τη δόμηση σεναρίων – Ενδεικτικά αποτελέσματα για το σενάριο 4 (κωδικός: 2122222)

Πηγή: Software Morphol (example case study) – Επεξεργασία μελετητή

Το δεύτερο στάδιο εφαρμογής του μοντέλου Morphol εστιάζει στη μείωση της υφιστάμενης ασάφειας μέσα από τον περιορισμό του μορφολογικού χώρου και τον αποκλεισμό ορισμένων σεναρίων, η υλοποίηση των οποίων δεν είναι εφικτή. Στο πλαίσιο αυτό τίθενται κάποια κριτήρια στη βάση των οποίων ορισμένοι συνδυασμοί υποθέσεων αποκλείονται, ενώ κάποιοι άλλοι προωθούνται για περαιτέρω επεξεργασία.

Πιο αναλυτικά, ο τελικός αριθμός των σεναρίων είναι συνήθως εξαιρετικά μεγάλος και η τελική επιλογή στηρίζεται στη μέση τιμή πιθανότητας (P/mean) υλοποίησης που αντιστοιχεί στο κάθε σενάριο (Σχήμα 6-7) αλλά και στην ίδια τη φύση των σεναρίων. Η σχεδιαστική ομάδα που συμμετέχει στη διαδικασία της μορφολογικής ανάλυσης, μπορεί να επιλέξει για περαιτέρω αξιολόγηση: είτε μία ομάδα σεναρίων με παρόμοια χαρακτηριστικά, είτε μία ομάδα ακραίων σεναρίων, είτε μία ομάδα αντιφατικών μεταξύ τους σεναρίων.

Θα πρέπει εντούτοις να επισημανθεί ότι ένα αρχικό «φιλτράρισμα» των σεναρίων υλοποιείται από το ίδιο το μοντέλο (software Morphol) κατά την επεξεργασία των δεδομένων με βάση: την πιθανότητα υλοποίησης, τη συνοχή και

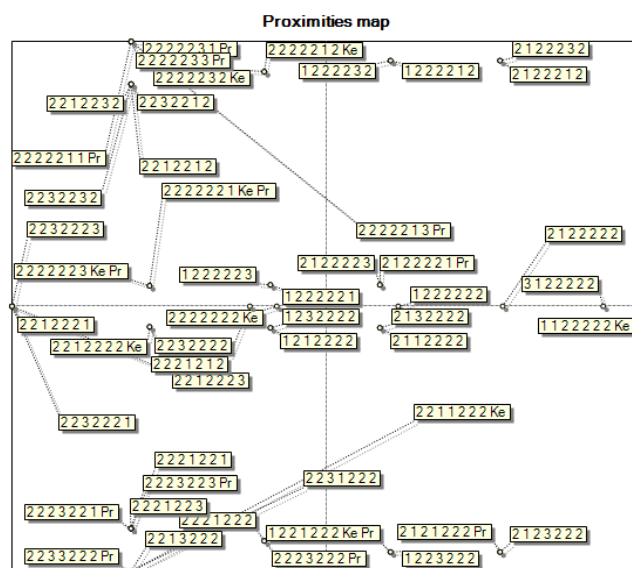
την εσωτερική συνέπεια του κάθε σεναρίου. Έτσι, ορισμένα από αυτά αποκλείονται εξ αρχής. Ταυτόχρονα, δημιουργούνται επιμέρους ομάδες σεναρίων οι οποίες αποτελούνται από σενάρια τα οποία χαρακτηρίζονται ως «διατηρούμενα» ('kept') σενάρια ή ως «διατηρούμενα-προτιμητέα» ('kept' – 'preferred') σενάρια, τα οποία έχουν μία αρκετά συνεκτική δομή ενώ συγκεντρώνουν μία υψηλή μέση τιμή πιθανότητας που αφορά στην πιθανή μελλοντική υλοποίησή τους.

N°	Scenario	P / Mean
1	2 2 2 2 2 2 2 Ke	1062,13
2	2 2 2 2 2 2 1 Ke Pr	354,04
3	2 2 2 2 2 2 3 Ke Pr	354,04
4	2 2 2 2 2 3 2 Ke	227,6
5	2 2 1 2 2 2 2 Ke	227,6
6	2 2 2 2 2 1 2 Ke	227,6
7	1 1 2 2 2 2 2 Ke	56,9
8	2 2 1 1 2 2 2 Ke	48,77
9	1 2 2 1 2 2 2 Ke Pr	48,77

Σχήμα 6-7: Ταξινόμηση σεναρίων

Πηγή: Software Morphol (example case study) – Επεξεργασία μελετητή

Επίσης, το Morphol παρέχει τη δυνατότητα διερεύνησης της εγγύτητας μεταξύ των σεναρίων με αποτέλεσμα οι συμμετέχοντες να αποκτούν μία εποπτική εικόνα σχετικά με την ομοιότητα ορισμένων σεναρίων ή αντίστοιχα σχετικά με τις αντιθέσεις που υφίστανται μεταξύ τους και τα διαφοροποιούν (Σχήμα 6-8).



Σχήμα 6-8: Χάρτης εγγύτητας σεναρίων

Πηγή: Software Morphol (example case study) – Επεξεργασία μελετητή

Συνοψίζοντας, το μοντέλο Morphol αξιοποιώντας τη backcasting προσέγγιση, οδηγεί στη διερεύνηση πιθανών μελλοντικών σεναρίων εξέλιξης του υπό μελέτη συστήματος μέσα από τον συνδυασμό μίας σειράς εικόνων που δύνανται να εμφανίσουν μελλοντικά τα επιμέρους υπο-συστήματά του. Παράλληλα, υποστηρίζει την επιλογή των πλέον κατάλληλων ανά περίπτωση σεναρίων. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται κατά τη διαδικασία ορισμού των επιμέρους υπο-συστημάτων και των αντίστοιχων μεταβλητών καθώς, πιθανή λανθασμένη ή ελλιπής επιλογή τους θα έχει άμεσο αντίκτυπο στην ποιότητα των παραγόμενων σεναρίων.

6.1.5. Το Μοντέλο (Module) Multipol – Πολυκριτηριακή Αξιολόγηση

Το μοντέλο Multipol (**M**ulticriteria and **P**olicies) αποτελεί το τελευταίο στάδιο εφαρμογής του συστήματος LIPSOR κατά το οποίο λαμβάνει χώρα η διαδικασία πολυκριτηριακής αξιολόγησης δράσεων, πολιτικών και σεναρίων με στόχο τη δόμηση ολοκληρωμένων πακέτων πολιτικής και στρατηγικών κατευθύνσεων για τη μελλοντική ανάπτυξη του εκάστοτε συστήματος. Τα σενάρια προς αξιολόγηση είναι ένα υποσύνολο σεναρίων, όπως αυτά προέκυψαν και επιλέχθηκαν κατά το στάδιο της μορφολογικής ανάλυσης ενώ, οι δράσεις και οι πολιτικές συνιστούν νέες παραμέτρους που εμπλέκονται στη διαδικασία της πολυκριτηριακής αξιολόγησης υποδεικνύοντας τον τρόπο υλοποίησης των σεναρίων καθώς και τα απαραίτητα μέσα που πρέπει να αξιοποιηθούν προκειμένου το σύστημα να μεταβεί από την παρούσα στην επιθυμητή μελλοντική κατάσταση. Το Multipol συνιστά ένα μοντέλο πολυκριτηριακής αξιολόγησης η οποία λαμβάνει χώρα μέσα από τη διεξαγωγή συμμετοχικών διαδικασιών και υποστηρίζει τη διαδικασία λήψης αποφάσεων.

Τα στάδια μέσα από τα οποία ολοκληρώνεται η εφαρμογή του περιλαμβάνουν τον ορισμό δράσεων, πολιτικών, σεναρίων καθώς και των κριτηρίων στη βάση των οποίων τα στοιχεία αυτά πρόκειται να αξιολογηθούν. Το τελικό αποτέλεσμα του Multipol αφορά σε δύο επιμέρους αξιολογήσεις, στην αξιολόγηση Δράσεων-Πολιτικών και στην αξιολόγηση Πολιτικών-Σεναρίων. Στη βάση των δύο αυτών αξιολογήσεων, δομούνται ολοκληρωμένα πακέτα πολιτικής μέσω των οποίων ορίζονται οι στρατηγικές κατευθύνσεις ανάπτυξης του υπό μελέτη συστήματος. Το αντίστοιχο, ομώνυμο λογισμικό που χρησιμοποιείται είναι απλό στην εφαρμογή του, συμβάλλει στον περιορισμό της αβεβαιότητας μέσω της χρήσης πολλαπλών

κριτηρίων αξιολόγησης και υποδεικνύει εφικτούς τρόπους μελλοντικής εξέλιξης του εκάστοτε συστήματος.

Δεδομένης της έμφασης της παρούσας διατριβής στη διερεύνηση του Multipol και των σημείων που παρουσιάζουν ιδιαίτερο ερευνητικό ενδιαφέρον με στόχο τη βελτιστοποίησή του, το μοντέλο παρουσιάζεται εκτενώς και αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο της διατριβής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ MULTIPOL – ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΣΗΜΕΙΩΝ ΜΕ ΙΔΙΑΙΤΕΡΟ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝ

Το κεφάλαιο αυτό εστιάζει στο στάδιο της αξιολόγησης του συστήματος LIPSOR το οποίο υλοποιείται με την υποστήριξη του μοντέλου (module) Multipol (**M**ulticriteria and **P**olicies), καθώς και στη διερεύνηση των σημείων που παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον από ερευνητικής πλευράς και στα οποία εστιάζουν οι καινοτόμες παρεμβάσεις που υλοποιούνται στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής. Το Multipol συνιστά ένα εργαλείο πολυκριτηριακής αξιολόγησης και αποτελεί κεντρικό σημείο ενδιαφέροντος δεδομένου ότι αποτελεί τη βάση για τον σχεδιασμό του ΣΣΑ FAIDRA. Στη συνέχεια περιγράφεται η δομή του μοντέλου, η λογική στη βάση της οποίας στηρίζεται η συστηματική μελέτη των στοιχείων που επεξεργάζεται, ο αλγόριθμος εφαρμογής του μέσω του ομώνυμου λογισμικού Multipol και τα αποτελέσματα που προκύπτουν. Επιπλέον, ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη μελέτη των σημείων που παρουσιάζουν περαιτέρω δυνατότητες βελτίωσης αναφορικά με τον τρόπο μοντελοποίησης και επεξεργασίας των δεδομένων.

Το Multipol συνιστά ένα μοντέλο πολυκριτηριακής αξιολόγησης το οποίο εμπλέκει μία σειρά δράσεων, πολιτικών και σεναρίων με στόχο τη δόμηση ολοκληρωμένων στρατηγικών κατευθύνσεων για τη μελλοντική ανάπτυξη του εκάστοτε συστήματος. Η εφαρμογή του ολοκληρώνεται μέσα από τη διενέργεια δύο επιμέρους διαδικασιών πολυκριτηριακής αξιολόγησης: της αξιολόγησης δράσεων ως προς έναν αριθμό πολιτικών και της αξιολόγησης πολιτικών ως προς έναν αριθμό σεναρίων. Με την υλοποίηση των δύο αυτών αξιολογήσεων διερευνάται η συμβατότητα των επιμέρους δράσεων ως προς τις πολιτικές και η συμβατότητα των επιμέρους πολιτικών ως προς τα σενάρια. Με τον τρόπο αυτό, εξετάζονται εναλλακτικές «διαδρομές μετάβασης» του συστήματος από το παρόν στο μέλλον, οι πολιτικές μέσω των οποίων καθίσταται δυνατή η εφαρμογή κάθε σεναρίου και οι δράσεις μέσω των οποίων δύναται να εφαρμοστεί η κάθε πολιτική. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το Multipol δεν ιεραρχεί τα σενάρια προκειμένου να προκύψει το βέλτιστο για την ανάπτυξη του υπό μελέτη συστήματος. Τα αποτελέσματά του συνίστανται στη δόμηση ολοκληρωμένων «πακέτων» χάραξης πολιτικής τα οποία συνδυάζουν δράσεις, πολιτικές και σενάρια.

Η εφαρμογή του Multipol βρίσκεται σε άμεση συσχέτιση με το στάδιο της *μορφολογικής ανάλυσης* (μοντέλο Morphol) και το στάδιο της *cross impact ανάλυσης* (μοντέλο Smic Prob-Expert) μέσω των οποίων δομούνται εναλλακτικά μελλοντικά σενάρια. Στο πλαίσιο αυτό, τα σενάρια που επεξεργάζεται το Multipol είναι συνήθως ένα υποσύνολο των σεναρίων που προκύπτουν μετά την ολοκλήρωση της *μορφολογικής ανάλυσης* και της *cross impact ανάλυσης*. Το υποσύνολο αυτό επιλέγεται είτε σύμφωνα με την πιθανότητα υλοποίησης του κάθε σεναρίου, είτε στη βάση συγκεκριμένων χαρακτηριστικών που συγκεντρώνει το κάθε σενάριο. Είναι δυνατό να επιλεγούν σενάρια με παραπλήσια χαρακτηριστικά, σενάρια αντιφατικά μεταξύ τους ή σενάρια που αποτυπώνουν «ακραίες» πιθανές μελλοντικές καταστάσεις.

Επιπλέον, το Multipol ενσωματώνει τη συμμετοχική διάσταση καθώς οι επιμέρους αξιολογήσεις των δεδομένων που εμπλέκονται στη διαδικασία, στηρίζονται σε εκφρασμένες απόψεις ειδικών. Ο ορισμός των κριτηρίων αξιολόγησης και της βαρύτητάς τους, ο ορισμός των επιπτώσεων των στοιχείων (δράσεις, πολιτικές, σενάρια) που αξιολογούνται ως προς τα κριτήρια καθώς και η επιλογή του καταλληλότερου πακέτου πολιτικής είναι διαδικασίες που εξελίσσονται και ολοκληρώνονται μέσα από την εφαρμογή συμμετοχικών διαδικασιών. Στο πλαίσιο αυτό, επιχειρείται μεγαλύτερη εμβάθυνση στη διαδικασία χάραξης στρατηγικών κατευθύνσεων, ενσωμάτωση και αξιοποίηση της γνώσης των ειδικών στη διαδικασία της πολυκριτηριακής αξιολόγησης, επίτευξη ευρύτερης συναίνεσης ως προς τις διαθέσιμες μελλοντικές επιλογές και αντίστοιχη άμβλυνση πιθανών αντικρουόμενων απόψεων.

7.1. Το Μοντέλο Πολυκριτηριακής Αξιολόγησης Multipol

Σε αυτή την ενότητα, παρουσιάζονται οι γενικές αρχές επάνω στις οποίες στηρίζεται η λογική του μοντέλου Multipol, το πλαίσιο εντός του οποίου δομούνται οι πολιτικές και οι δράσεις (στρατηγικές επιλογές) οι οποίες αξιολογούνται με βάση έναν αριθμό εναλλακτικών σεναρίων, καθώς και ο αλγόριθμος υλοποίησης της πολυκριτηριακής αξιολόγησης. Περιγράφονται τα δεδομένα εισόδου, η διαδικασία επεξεργασίας τους (καθεαυτή διαδικασία της πολυκριτηριακής αξιολόγησης) καθώς και τα αποτελέσματα που προκύπτουν μετά την ολοκλήρωση της αξιολόγησης.

Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην παρουσίαση των διαδικασιών μέσα από τις οποίες ολοκληρώνονται τα επιμέρους στάδια της πολυκριτηριακής αξιολόγησης, προκειμένου να γίνει κατανοητός ο τρόπος λειτουργίας του Multipol. Επιπλέον, διερευνώνται δυνατότητες περαιτέρω βελτίωσης του μοντέλου σε επίπεδο μοντελοποίησης και διαχείρισης των δεδομένων που επεξεργάζεται.

Το Multipol είναι ένα μοντέλο πολυκριτηριακής αξιολόγησης που λειτουργεί υποστηρικτικά στη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Όπως ήδη αναφέρθηκε, αφορά στην αξιολόγηση δράσεων, πολιτικών και σεναρίων, η οποία στηρίζεται στην εξαγωγή σταθμισμένων μέσων όρων.

Ο στόχος κάθε απόφασης που λαμβάνεται επί ενός συνόλου δράσεων μπορεί να αφορά (Godet, 2007):

- Στην επιλογή της καλύτερης ή των καλύτερων δράσεων.
- Στη επιλογή ενός υποσυνόλου δράσεων.
- Στον καθορισμό μίας κατάταξης των δράσεων.

Το Multipol ανταποκρίνεται και στις τρεις παραπάνω προβληματικές καθώς, επιτρέπει τη συγκριτική εκτίμηση των δράσεων λαμβάνοντας υπόψη τα διαφορετικά πλαίσια που υπεισέρχονται κατά τη διαδικασία σχεδιασμού του εκάστοτε υπό μελέτη συστήματος, δηλαδή των πολιτικών και των σεναρίων (Godet, 2007). Παράλληλα, ενσωματώνει διαδικασίες καταγραφής πιθανών δράσεων, ανάλυσης επιπτώσεων και επεξεργασίας ενός συνόλου κριτηρίων αξιολόγησης, αξιολόγησης δράσεων, ορισμού πολιτικών και ταξινόμησης των δράσεων (Godet, 2007; Godet et al., 2004). Επίσης, παρέχει στον σχεδιαστή τη δυνατότητα εξαγωγής συμπερασμάτων σχετικά με την κατανομή των πολιτικών ως προς τα σεναρία μελλοντικής ανάπτυξης που κάθε φορά εμπλέκονται στη διαδικασία της αξιολόγησης.

Η συμβολή των ειδικών κατά τη διαδικασία της αξιολόγησης είναι απαραίτητη, καθώς ο σχεδιασμός της μελλοντικής εικόνας του εκάστοτε συστήματος προϋποθέτει τη σε βάθος διερεύνηση: των στοιχείων που το συνθέτουν, των σχέσεων αλληλεπίδρασης και των συσχετισμών που αναπτύσσονται μεταξύ των στοιχείων αυτών, των συντελεστών που δραστηριοποιούνται στο σύστημα και γενικότερα όλων εκείνων των παραγόντων που δύνανται να επηρεάσουν τη μελλοντική του εξέλιξη. Η συμβολή των ειδικών εξασφαλίζει σε ικανοποιητικό βαθμό τον περιορισμό της υποκειμενικότητας, συνεισφέρει στην απόκτηση υψηλής ποιότητας γνώσης, στην τεκμηρίωση και στον σαφή προσδιορισμό των δεδομένων που εισάγονται για επεξεργασία στο Multipol, ενώ δημιουργεί ένα ισχυρό πλαίσιο εντός του οποίου

λαμβάνει χώρα η διαδικασία της πολυκριτηριακής αξιολόγησης. Τέλος, εξομαλύνονται πιθανές συγκρούσεις που μπορεί να υφίστανται μεταξύ ειδικών με διαφορετικό επιστημονικό υπόβαθρο ή διαφορετικό σύστημα αξιών, γεφυρώνονται πιθανές διαφωνίες και υιοθετούνται συμβιβαστικές προσεγγίσεις μέσω των οποίων επιτυγχάνεται ο μέγιστος δυνατός βαθμός συμφωνίας μεταξύ των μελών της σχεδιαστικής ομάδας.

Τα δεδομένα εισόδου στο Multipol, συνιστούν ουσιαστικά τα στοιχεία στη βάση των οποίων δομείται το πρόβλημα και διεξάγεται η διαδικασία της πολυκριτηριακής αξιολόγησης. Τα εν λόγω δεδομένα είναι τα ακόλουθα:

- Τα κριτήρια αξιολόγησης με τα βάρη τους,
- οι δράσεις ή «στρατηγικές επιλογές» (Godet 2007),
- οι πολιτικές με τα βάρη τους,
- τα σενάρια με τα βάρη τους,
- ο πίνακας επιπτώσεων δράσεων-κριτηρίων,
- ο πίνακας απόδοσης βαρών στα κριτήρια αξιολόγησης ανάλογα με το πλαίσιο της εκάστοτε πολιτικής, και
- ο πίνακας απόδοσης βαρών στα κριτήρια αξιολόγησης ανάλογα με το πλαίσιο του εκάστοτε σεναρίου.

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας αξιολόγησης, είναι:

- Η αξιολόγηση των δράσεων ως προς τις πολιτικές.
- Η αξιολόγηση των πολιτικών ως προς τα σενάρια.

Η πρώτη αξιολόγηση καταλήγει στην «ιεράρχηση των δράσεων ως προς τις πολιτικές», αποτέλεσμα του συνδυασμού των δεδομένων και των εκτιμήσεων που περιλαμβάνουν οι πίνακες «Δράσεων-Κριτηρίων» και «Πολιτικών-Κριτηρίων». Πρόκειται για μία κατανομή των δράσεων ως προς τις πολιτικές, ανάλογα με το ποιά δράση «ταιριάζει» περισσότερο στην κάθε πολιτική. Η δεύτερη αξιολόγηση καταλήγει στην ιεράρχηση των πολιτικών ως προς τα σενάρια, αποτέλεσμα του συνδυασμού των δεδομένων και των εκτιμήσεων που περιλαμβάνουν οι πίνακες «Πολιτικών-Κριτηρίων» και «Σεναρίων-Κριτηρίων». Στην περίπτωση αυτή, γίνεται μία κατανομή των πολιτικών ως προς τα σενάρια, ανάλογα με το ποιά πολιτική «ταιριάζει» περισσότερο σε κάθε σενάριο.

Το τελικό αποτέλεσμα του Multipol συνίσταται στη δημιουργία ολοκληρωμένων «πακέτων» χάραξης πολιτικής μέσα από τα οποία διαφαίνονται

στρατηγικές κατευθύνσεις μελλοντικής ανάπτυξης. Παρέχει δηλαδή εναλλακτικές επιλογές για την υλοποίηση των προτεινόμενων σεναρίων – υιοθέτηση αντίστοιχων πολιτικών – και εναλλακτικές επιλογές για την υλοποίηση των πολιτικών – υιοθέτηση αντίστοιχων δράσεων.

7.1.1. Σύνθεση «Στρατηγικών Επιλογών» - Δράσεων

Το μοντέλο Multipol εστιάζει καταρχάς στον προσδιορισμό και στην αξιολόγηση «στρατηγικών επιλογών» οι οποίες αφορούν σε συσχετισμούς και δραστηριότητες που αναπτύσσονται μέσα σε ένα σύστημα.

Ο στόχος της δόμησης και της αξιολόγησης «στρατηγικών επιλογών» αντικατοπτρίζει μία διάσταση της διαδικασίας σχεδιασμού της μελλοντικής εικόνας του συστήματος. Η εικόνα αυτή προκύπτει ως το αποτέλεσμα της σύνθεσης των επιμέρους αλληλεπιδράσεων και των συσχετισμών που αναπτύσσονται μεταξύ των στοιχείων του συστήματος, αλλά και ενός δυναμικού πλέγματος δραστηριοτήτων που αναπτύσσονται στο εσωτερικό του περιβάλλον. Στην παρούσα ενότητα, παρουσιάζεται το πλαίσιο δόμησης των στρατηγικών επιλογών οι οποίες και αξιολογούνται σε επόμενο στάδιο της διαδικασίας.

Οι στρατηγικές επιλογές που δομούνται στο στάδιο αυτό, πρέπει να ενσωματώνουν ορισμένα χαρακτηριστικά τα οποία τις καθιστούν ρεαλιστικές και εφικτές εντός του προκαθορισμένου χρονικού ορίζοντα, υλοποιήσιμες και επιθυμητές (Godet, 2007).

Επιπλέον, θα πρέπει να αποσαφηνίζονται οι συνθήκες υπό τις οποίες αυτές οι στρατηγικές επιλογές ενσωματώνουν τα παραπάνω χαρακτηριστικά ενώ παράλληλα θα πρέπει (Godet, 2007):

- Να μην έρχονται σε αντίθεση με τους στόχους και τους υποστόχους που έχουν αρχικά τεθεί αλλά, να συμβάλουν στην υλοποίησή τους,
- να είναι συνεκτικές, και
- να είναι σχετικές με το περιβάλλον του συστήματος που κάθε φορά εξετάζεται καθώς και με τους μακροπρόθεσμους στόχους και τα μελλοντικά σχέδια που υφίστανται για το υπό μελέτη σύστημα.

Το πλαίσιο μέσα στο οποίο υλοποιείται κάθε φορά η διαδικασία σύνθεσης των στρατηγικών επιλογών, ενσωματώνει τα αποτελέσματα της διάγνωσης του

περιβάλλοντος του συστήματος (στάδιο που προηγείται της σύνθεσης των στρατηγικών επιλογών) και αφορά (Godet, 2007):

- Στον εντοπισμό των «δυνατών» και «αδύναμων» σημείων του «εσωτερικού περιβάλλοντος» του συστήματος (πλεονεκτήματα και αδυναμίες),
- στον εντοπισμό των «απειλών» και των «ευκαιριών» που προέρχονται από το «εξωτερικό περιβάλλον» (l'environnement stratégique) του συστήματος,
- στον προσδιορισμό των συντελεστών που δραστηριοποιούνται εντός του υπό μελέτη συστήματος και δύνανται να επηρεάσουν τη μελλοντική του εξέλιξη, και
- στον προσδιορισμό των βασικών παραγόντων που δύνανται να αποτελέσουν «παράγοντες-κλειδιά» για την επιτυχή έκβαση των δραστηριοτήτων που αναπτύσσονται εντός του συστήματος που κάθε φορά εξετάζεται.

Τα παραπάνω στοιχεία συνιστούν τη βάση επάνω στην οποία δομούνται οι στρατηγικές επιλογές οι οποίες ουσιαστικά, αποτελούν εναλλακτικές δράσεις στο πλαίσιο της διερεύνησης πιθανών εναλλακτικών μελλοντικών κατευθύνσεων του εκάστοτε συστήματος.

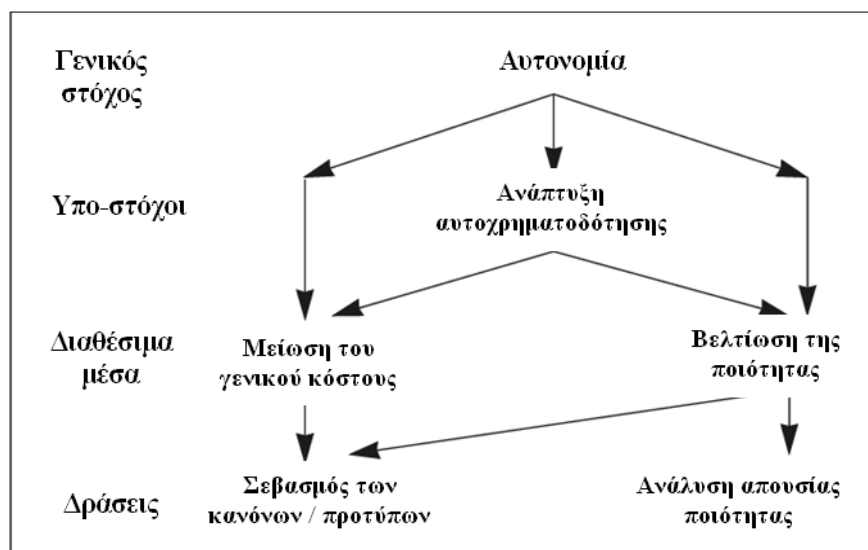
Κατά τη διαδικασία αξιολόγησης των εναλλακτικών στρατηγικών επιλογών θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη (Godet, 2007):

- Οι παράμετροι του εξωτερικού περιβάλλοντος και η μελλοντική του εξέλιξη υπό το πρίσμα των τεχνολογικών, περιβαλλοντικών, οικονομικών και λοιπών εξελίξεων και μεταβολών,
- τα πλεονεκτήματα και οι αδυναμίες του συστήματος καθώς και οι εν δυνάμει συνέργειες που δύνανται να δημιουργηθούν,
- η ευελιξία του συστήματος ως προς τη δυνατότητα διαχείρισης της αβεβαιότητας, η οποία συνιστά εγγενές χαρακτηριστικό της διαδικασίας πρόβλεψης του μέλλοντος ή σύνθεσης του επιθυμητού μέλλοντος,
- η εξισορρόπηση των στόχων που έχουν τεθεί έτσι ώστε αυτοί να μην είναι μεταξύ τους αντικρουόμενοι, και
- ο συμβιβασμός (εξισορρόπηση) μεταξύ των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων του συστήματος, παρόντων και μελλοντικών, βέβαιων ή / και πιθανών.

Οι στρατηγικές επιλογές ή διαφορετικά «δράσεις» υφίστανται σε σχέση με κάποια σενάρια. Παράλληλα, συσχετίζονται με τους στόχους και τους υπο-στόχους που έχουν τεθεί για τη μελλοντική ανάπτυξη του εκάστοτε συστήματος, καθώς επίσης και με τα διαθέσιμα μέσα, η αξιοποίηση των οποίων καθιστά τους στόχους υλοποιήσιμους.

Η συσχέτιση αυτή αναπαρίσταται με τη βοήθεια των «δέντρων σχετικότητας», όπου στο ανώτερο επίπεδο βρίσκεται ο γενικός στόχος που έχει τεθεί, στο αμέσως επόμενο (δεύτερο) επίπεδο οι υπο-στόχοι που λειτουργούν επεξηγηματικά ως προς τον κύριο στόχο και τον αποσαφηνίζουν, στο τρίτο επίπεδο βρίσκονται τα διαθέσιμα μέσα και στο τέταρτο επίπεδο οι δράσεις (Godet, 2007).

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα δόμησης ενός δέντρου σχετικότητας παρουσιάζεται στο Σχήμα 7-1 για την περίπτωση στρατηγικού σχεδιασμού σε επίπεδο επιχείρησης.



Σχήμα 7-1: «Δέντρο Σχετικότητας» – Στρατηγικός Σχεδιασμός στην Περίπτωση μίας Επιχείρησης
Πηγή: Godet, 2007

Τα βασικά χαρακτηριστικά των δέντρων σχετικότητας συνοψίζονται στα εξής (Godet, 2007):

- Δεν υπάρχει σύνδεση μεταξύ των κόμβων που βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο.
- Δεν υπάρχει άμεση σύνδεση μεταξύ κόμβων που ανήκουν σε δύο μη διαδοχικά επίπεδα.

- Πρέπει να υπάρχει εξισορρόπηση μεταξύ των επιπέδων από πάνω προς τα κάτω, προκειμένου να επιτυγχάνεται η σταθερότητα της δομής που προκύπτει.

Η συνεισφορά των προτεινόμενων δράσεων στην υλοποίηση του γενικού στόχου που βρίσκεται στο ανώτερο επίπεδο, προκύπτει ως αποτέλεσμα επιμέρους αξιολογήσεων που υλοποιούνται στα ενδιάμεσα επίπεδα του δέντρου, με κατεύθυνση από κάτω προς τα πάνω. Πιο συγκεκριμένα, οι δράσεις αξιολογούνται αρχικά ως προς τα μέσα που βρίσκονται στο αμέσως υψηλότερο επίπεδο και τα οποία λειτουργούν στην περίπτωση αυτή ως κριτήρια αξιολόγησης στη βάση των οποίων εκτιμώνται οι επιδόσεις των δράσεων. Έτσι προκύπτει ένας πρώτος πίνακας επιπτώσεων, διαστάσεων $m \times n$ (m οι δράσεις και n τα μέσα – κριτήρια), ο οποίος περιλαμβάνει τις επιδόσεις των δράσεων ως προς τα μέσα – κριτήρια.

Στη συνέχεια, αξιολογούνται τα μέσα ως προς τους υπο-στόχους που βρίσκονται στο αμέσως υψηλότερο επίπεδο από αυτά και λειτουργούν στην περίπτωση αυτής της αξιολόγησης, ως κριτήρια αξιολόγησης στη βάση των οποίων εκτιμώνται οι επιδόσεις των μέσων. Από τη διαδικασία αυτή προκύπτει ένας δεύτερος πίνακας επιπτώσεων, διαστάσεων $n \times p$ (n τα μέσα και p οι υπο-στόχοι – κριτήρια), ο οποίος περιλαμβάνει τις επιδόσεις των μέσων ως προς τους υπο-στόχους.

Τέλος, αξιολογούνται με τη σειρά τους και οι υπο-στόχοι ως προς τον γενικό στόχο ο οποίος λειτουργεί ως το μοναδικό κριτήριο αξιολόγησης της τρίτης αυτής διαδικασίας αξιολόγησης. Στην περίπτωση αυτή, προκύπτει ένας τρίτος πίνακας επιπτώσεων, διαστάσεων $p \times 1$ (p οι υπο-στόχοι και 1 ο στόχος – κριτήριο), ο οποίος είναι ουσιαστικά ένα διάνυσμα στήλης και περιλαμβάνει τις επιδόσεις των υπο-στόχων ως προς τον γενικό στόχο (Godet, 2007).

Η συνεισφορά των δράσεων στην υλοποίηση του γενικού στόχου της αξιολόγησης προκύπτει από τον διαδοχικό πολλαπλασιασμό των παραπάνω πινάκων:

$$A_{(m \times n)} \times B_{(n \times p)} \times C_{(p \times 1)} = P_{(m \times 1)}$$

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα κριτήρια αξιολόγησης σταθμίζονται στη βάση μίας κανονικής κλίμακας έτσι ώστε το άθροισμα των βαρών που αποδίδονται σε αυτά να είναι πάντα ίσο με 1.

Ο τελικός στόχος των παραπάνω υπολογισμών είναι η εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την ποσοτική συμβολή του επιπέδου των δράσεων στην υλοποίηση του αρχικού στόχου, ενώ παράλληλα, επιτρέπεται η εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τις πιθανές κατευθύνσεις μέσω των οποίων δύναται να επιτευχθεί ο στόχος υπό τις καλύτερες κάθε φορά συνθήκες (Godet, 2007).

Τα δέντρα σχετικότητας διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο κατά τη διαδικασία δόμησης του προβλήματος καθώς παρέχουν τη δυνατότητα στην ομάδα που τα συνθέτει, να αποσαφηνίσει τους στόχους και τους υπο-στόχους, τα διαθέσιμα μέσα που θα αξιοποιηθούν προς την κατεύθυνση της υλοποίησής τους καθώς και των δράσεων μέσω των οποίων το σύστημα θα οδηγηθεί προς την επιθυμητή μελλοντική κατάσταση.

Πρόκειται για μία διαδικασία συμμετοχική, όπου η ομάδα των ειδικών συλλέγει, αναλύει και επεξεργάζεται δεδομένα, με τελικό στόχο τη σύνθεση του δέντρου σχετικότητας, το οποίο εν τέλει ορίζει το πλαίσιο χάραξης πολιτικής μέσα από την παραπάνω διαδικασία συν-διαμόρφωσης στόχων και δράσεων.

Κλείνοντας την παρούσα ενότητα, θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι στρατηγικές επιλογές που δομούνται, θα πρέπει να καθιστούν το σύστημα ευέλικτο προκειμένου αυτό να προσαρμόζεται σχετικά εύκολα σε πιθανές αλλαγές του δυναμικού περιβάλλοντος εντός του οποίου εξελίσσεται, υπό το πρίσμα των στόχων που έχουν τεθεί.

7.1.2. Αλγόριθμος Εφαρμογής του Μοντέλου Multipol

Στο εδάφιο αυτό, παρουσιάζεται η διαδικασία εφαρμογής του μοντέλου Multipol μέσα από την αναλυτική περιγραφή των δεδομένων που εισάγονται προς επεξεργασία στο αντίστοιχο λογισμικό (software) και των διαδικασιών υλοποίησης των δύο επιμέρους αξιολογήσεων. Παράλληλα, περιγράφονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν καθώς και η ερμηνεία τους προκειμένου αυτά να καταστούν αξιοποιήσιμα από τα κέντρα λήψης αποφάσεων.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, το Multipol παρέχει δυνατότητες:

- Αξιολόγησης δράσεων / στρατηγικών επιλογών στη βάση ενός αριθμού κριτηρίων.

- Στάθμισης των κριτηρίων αξιολόγησης, ανάλογα με την πολιτική που υιοθετείται, για τον προσδιορισμό της στρατηγικής κατεύθυνσης μέσω της οποίας το σύστημα θα μεταβεί από το παρόν στο μέλλον.
- Στάθμισης των κριτηρίων αξιολόγησης ανάλογα με το σενάριο που κάθε φορά προτείνεται για τη μελλοντική ανάπτυξη του υπό μελέτη συστήματος.
- Ταξινόμησης των δράσεων ως προς τις πολιτικές και εξαγωγή «πακέτων» πολιτικής συνοδευόμενων από τις δράσεις που θα τις καταστήσουν υλοποιήσιμες.
- Ταξινόμησης των πολιτικών ως προς τα σενάρια έτσι ώστε να αποσαφηνιστεί «ποιά πολιτική» καθιστά περισσότερο εφικτή την υλοποίηση κάθε προτεινόμενου σεναρίου.

Δεδομένα εισόδου (Input data)

Η διεξαγωγή της διαδικασίας πολυκριτηριακής αξιολόγησης προϋποθέτει τον ορισμό μίας σειράς δεδομένων εισόδου, τα οποία αφορούν στον ορισμό των κριτηρίων αξιολόγησης και των βαρών τους, στον ορισμό των δράσεων / στρατηγικών επιλογών, στον ορισμό των πολιτικών και των βαρών τους, στον ορισμό των σεναρίων και των βαρών τους, στον ορισμό του πίνακα επιπτώσεων των δράσεων ως προς τα κριτήρια αξιολόγησης, στον ορισμό του πίνακα απόδοσης βαρών στα κριτήρια σε σχέση με τις πολιτικές και στον ορισμό του πίνακα απόδοσης βαρών στα κριτήρια σε σχέση με τα σενάρια.

Ο στόχος είναι να αποσαφηνιστεί ο ρόλος που διαδραματίζουν τα παραπάνω δεδομένα στη διαδικασία αξιολόγησης και να καταστεί κατανοητή η λειτουργία τους στο πλαίσιο χάραξης πολιτικής.

- **Κριτήρια Αξιολόγησης:** Τα κριτήρια αξιολόγησης συνιστούν θεμελιώδες συστατικό κάθε διαδικασίας αξιολόγησης και εκφράζουν τις διαφορετικές διαστάσεις του στόχου που έχει αρχικά τεθεί για την ανάπτυξη του υπό μελέτη συστήματος. Απορρέουν από τους επιμέρους υπο-στόχους, λειτουργούν επεξηγηματικά ως προς τον κύριο στόχο και αντανακλούν τις διαφορετικές οπτικές υπό τις οποίες εξετάζονται οι επιμέρους παράμετροι που συνθέτουν το πλαίσιο της αξιολόγησης. Ορίζονται μέσα από μία συμμετοχική

διαδικασία ενώ παράλληλα, για κάθε ένα από αυτά, ορίζεται ένα βάρος που αντανakλά τη συνολική σημαντικότητα του κριτηρίου στο πλαίσιο του προβλήματος που κάθε φορά εξετάζεται.

- **Δράσεις:** Η δεύτερη κατηγορία δεδομένων εισόδου στο Multipol περιλαμβάνει τις δράσεις. Οι «δράσεις» συνιστούν μέτρα πολιτικής, μέσα από τα οποία θα καταστεί δυνατή η υλοποίηση των πολιτικών που προτείνονται. Το στάδιο ορισμού των δράσεων βρίσκεται σε άμεση αλληλεπίδραση με το στάδιο ορισμού των πολιτικών και συνιστά μία διαδικασία συμμετοχική. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στις δράσεις δεν αντιστοιχούν βάρη και επομένως αυτές δε διαφοροποιούνται ως προς την παράμετρο «σημαντικότητα».
- **Πολιτικές:** Οι πολιτικές εκφράζουν εναλλακτικές στρατηγικές κατευθύνσεις για την επίτευξη των στόχων που έχουν τεθεί και την υλοποίηση των προτεινόμενων σεναρίων. Ορίζουν ένα πλαίσιο μέσα στο οποίο εντάσσονται οι δράσεις που «ταιριάζουν» περισσότερο ή λιγότερο σε κάθε μία από τις προτεινόμενες πολιτικές. Σε κάθε πολιτική αποδίδεται ένα βάρος, το οποίο αντανakλά τη συνολική σημαντικότητα που αυτή ενσωματώνει στο πλαίσιο του προβλήματος που εξετάζεται. Ο ορισμός των πολιτικών και των βαρών τους ολοκληρώνεται με την υποστήριξη μίας συμμετοχικής διαδικασίας. Μία πολιτική προσομοιάζει με ένα «παιχνίδι βαρών» όπου, ένα συνολικό βάρος κατανέμεται στα κριτήρια τα οποία λαμβάνουν διαφορετική βαρύτητα στο πλαίσιο κάθε πολιτικής (Godet, 2007; Godet et al., 2004).
- **Σενάρια:** Τα σενάρια ενσωματώνουν το περιεχόμενο των στόχων και των υπο-στόχων και αποτελούν διαφορετικές εναλλακτικές λύσεις για τη μελλοντική ανάπτυξη του συστήματος. Εισάγονται ως δεδομένα εισόδου στο Multipol μαζί με το βάρος που αντιστοιχεί σε κάθε ένα από αυτά. Τα βάρη αντανakλούν τη συνολική σημαντικότητα που κάθε σενάριο ενσωματώνει στο πλαίσιο του προβλήματος που εξετάζεται.
- **Πίνακας «Δράσεων-Κριτηρίων»:** Ο πίνακας «Δράσεων-Κριτηρίων» είναι ουσιαστικά ένας πίνακας επιπτώσεων όπου, το σύνολο των δράσεων αξιολογείται στη βάση των κριτηρίων αξιολόγησης. Κάθε δράση αξιολογείται ως προς κάθε κριτήριο μέσω μίας απλής κλίμακας εκτίμησης που στην προκειμένη περίπτωση κυμαίνεται από το 0 έως το 20 (Godet, 2007). Η αξιολόγηση των δράσεων ως προς τα κριτήρια προκύπτει ως αποτέλεσμα διατυπωμένων κρίσεων ειδικών (συμμετοχική προσέγγιση) σχετικά με την

απόδοση κάθε δράσης ως προς κάθε κριτήριο (Godet, 2007). Ουσιαστικά, μετράται η απόδοση της κάθε δράσης ως προς κάθε κριτήριο, πόσο δηλαδή η δράση ικανοποιεί τη διάσταση εκείνη του στόχου που εκφράζεται μέσα από το συγκεκριμένο κριτήριο. Όσο χαμηλότερα στην κλίμακα «κινείται» η επίδοση (score) που αποδίδεται σε μία δράση, τόσο «χειρότερη» είναι η δράση ως προς το συγκεκριμένο κριτήριο αξιολόγησης ενώ, όσο ψηλότερα «κινείται» η επίδοση στην κλίμακα τόσο «καλύτερη» είναι η δράση ως προς το συγκεκριμένο κριτήριο.

- **Πίνακας «Πολιτικών-Κριτηρίων»:** Ο πίνακας «Πολιτικών-Κριτηρίων» είναι ένας πίνακας απόδοσης βαρών στα κριτήρια αξιολόγησης ως προς τις πολιτικές που έχουν οριστεί σε προηγούμενο στάδιο της διαδικασίας. Δίνεται ένα αρχικό άθροισμα βαρών (100), το οποίο οι ειδικοί κατανέμουν στα κριτήρια αξιολόγησης (Godet, 2007). Ανάλογα με την πολιτική που κάθε φορά εξετάζεται (ως μία πιθανή στρατηγική κατεύθυνση στη βάση της οποίας θα κινηθεί το υπό μελέτη σύστημα στο μέλλον), διαφοροποιείται το βάρος που αποδίδεται στα κριτήρια αξιολόγησης. Βάσει αυτής της λογικής, σε ένα κριτήριο που ενσωματώνει την περιβαλλοντική διάσταση του στόχου θα αποδοθεί μεγαλύτερο βάρος στην περίπτωση μίας πολιτικής που δίνει έμφαση στην προστασία του περιβάλλοντος.
- **Πίνακας «Σεναρίων-Κριτηρίων»:** Ο πίνακας «Σεναρίων-Κριτηρίων» είναι επίσης ένας πίνακας απόδοσης βαρών στα κριτήρια αξιολόγησης ως προς τα σενάρια που προτείνονται για τη μελλοντική ανάπτυξη του συστήματος (Godet, 2007). Όπως και στην περίπτωση του πίνακα «Πολιτικών-Κριτηρίων», δίνεται ένα αρχικό άθροισμα βαρών (100) το οποίο οι ειδικοί κατανέμουν στα κριτήρια αξιολόγησης. Ανάλογα με το σενάριο που κάθε φορά εξετάζεται, διαφοροποιείται το βάρος που αποδίδεται στα κριτήρια αξιολόγησης.

Αλγόριθμος Πολυκριτηριακής Αξιολόγησης

Σε αυτήν την ενότητα, περιγράφονται οι διαδικασίες επεξεργασίας των δεδομένων εισόδου που αφορούν στην καθεαυτή διαδικασία της πολυκριτηριακής αξιολόγησης. Ο τελικός στόχος είναι η εξαγωγή δύο επιμέρους αξιολογήσεων, της αξιολόγησης των δράσεων ως προς τις πολιτικές και της αξιολόγησης των πολιτικών

ως προς τα σενάρια. Μέσα από τις δύο αυτές αξιολογήσεις προκύπτουν τελικά δύο επιμέρους κατανομές, η «κατανομή των δράσεων ως προς τις πολιτικές» και η «κατανομή των πολιτικών ως προς τα σενάρια». Πιο συγκεκριμένα, η διαδικασία της πολυκριτηριακής αξιολόγησης έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία «πακέτων» χάραξης πολιτικής τα οποία περιλαμβάνουν αφενός τις δράσεις μέσω των οποίων μπορεί να εφαρμοστεί αποτελεσματικότερα μία πολιτική και αφετέρου τις πολιτικές μέσω των οποίων δύνανται να υλοποιηθούν αποτελεσματικότερα τα προτεινόμενα σενάρια.

Η εξαγωγή των αποτελεσμάτων της πολυκριτηριακής αξιολόγησης προκύπτει από μία διαδικασία πολλαπλασιασμού των πινάκων που εισάγονται στο λογισμικό (πίνακας επιπτώσεων των δράσεων ως προς τα κριτήρια και πίνακες απόδοσης βαρών στα κριτήρια ως προς τις πολιτικές και ως προς τα σενάρια). Η μαθηματική διαδικασία επάνω στην οποία δομείται ο αλγόριθμος ξεκινά με τον πολλαπλασιασμό των πινάκων «Δράσεις-Κριτήρια» – «Πολιτικές-Κριτήρια» στη βάση του κοινού τους στοιχείου που είναι τα κριτήρια αξιολόγησης.

Σύμφωνα με τη Γραμμική Αλγεβρα και τη θεωρία Πινάκων, «ο πολλαπλασιασμός δύο πινάκων είναι δυνατός μόνο όταν το πλήθος των στηλών του πρώτου πίνακα είναι ίσο με το πλήθος των γραμμών του δεύτερου πίνακα». Στην προκειμένη περίπτωση, ο πίνακας «Δράσεων-Κριτηρίων», έστω $A_{(m \times n)}$, πολλαπλασιάζεται με τον πίνακα «Πολιτικών-Κριτηρίων», έστω $B_{(p \times n)}$, και πιο συγκεκριμένα με τον ανάστροφό του $B_{(n \times p)}$ έτσι ώστε μαθηματικά η διαδικασία του πολλαπλασιασμού μεταξύ των δύο πινάκων να είναι ορθή.

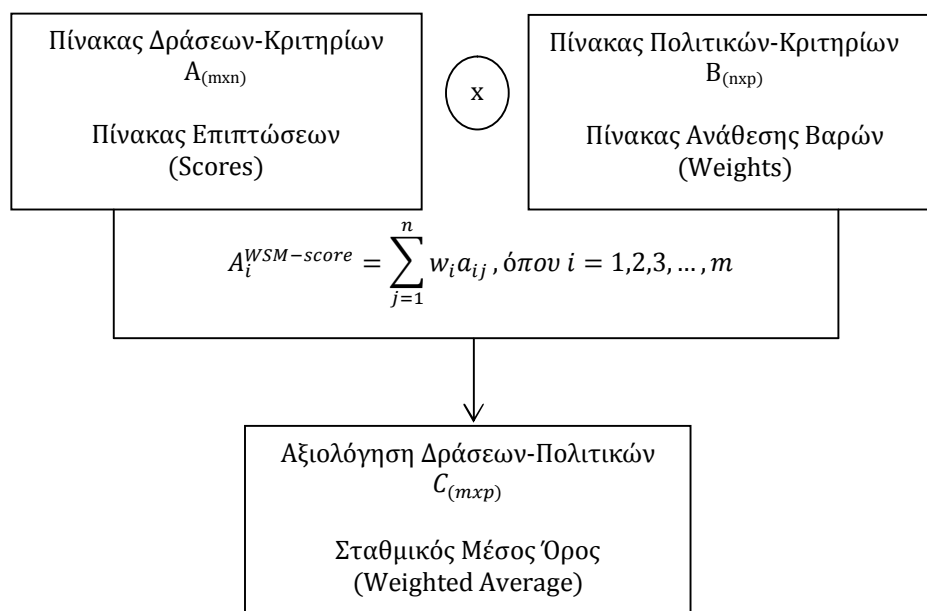
Πιο συγκεκριμένα ισχύει:

$$A_{(m \times n)} \times B_{(n \times p)} = C_{(m \times p)}$$

* Όπου: $B_{(n \times p)} = B_{(p \times n)}^T$

Όπως προκύπτει από την παραπάνω σχέση, από τον πολλαπλασιασμό των δύο πινάκων προκύπτει ένας πίνακας C, διαστάσεων $m \times p$ όπου m οι δράσεις και p οι πολιτικές. Ο πίνακας αυτός περιλαμβάνει τα αποτελέσματα της αξιολόγησης των δράσεων ως προς τις πολιτικές τα οποία σχολιάζονται αναλυτικότερα στην επόμενη ενότητα. Τα μεγέθη που πολλαπλασιάζονται (τιμές που περιλαμβάνονται στους δύο

παραπάνω πίνακες), αφορούν σε επιδόσεις δράσεων ως προς τα κριτήρια (πίνακας «Δράσεων-Κριτηρίων») επί τα βάρη που αποδίδονται στα κριτήρια αξιολόγησης ανάλογα με τις πολιτικές (πίνακας «Πολιτικών-Κριτηρίων») (Σχήμα 7-2).



Σχήμα 7-2: Αξιολόγηση Δράσεων-Πολιτικών

Από τη διαδικασία αυτή, προκύπτει η επίδοση κάθε δράσης ως προς κάθε πολιτική, ανηγμένη στην κλίμακα 0-20, ως σταθμικός μέσος όρος. Για κάθε δράση προκύπτουν τόσοι σταθμικοί μέσοι όροι όσος και ο αριθμός των πολιτικών, δηλαδή ένας σταθμικός μέσος όρος για κάθε πολιτική. Κάθε σταθμικός μέσος όρος αντανακλά την επίδοση της κάθε δράσης ως προς την αντίστοιχη πολιτική.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειωθεί ότι η μέθοδος πολυκριτηριακής αξιολόγησης που ενσωματώνει το Multipol είναι η μέθοδος της σταθμικής άθροισης (weighted summation) που μαθηματικά ορίζεται ως εξής:

$$A_i^{WASM-score} = \sum_{j=1}^n w_j a_{ij}, \text{ όπου } i = 1, 2, 3, \dots, m$$

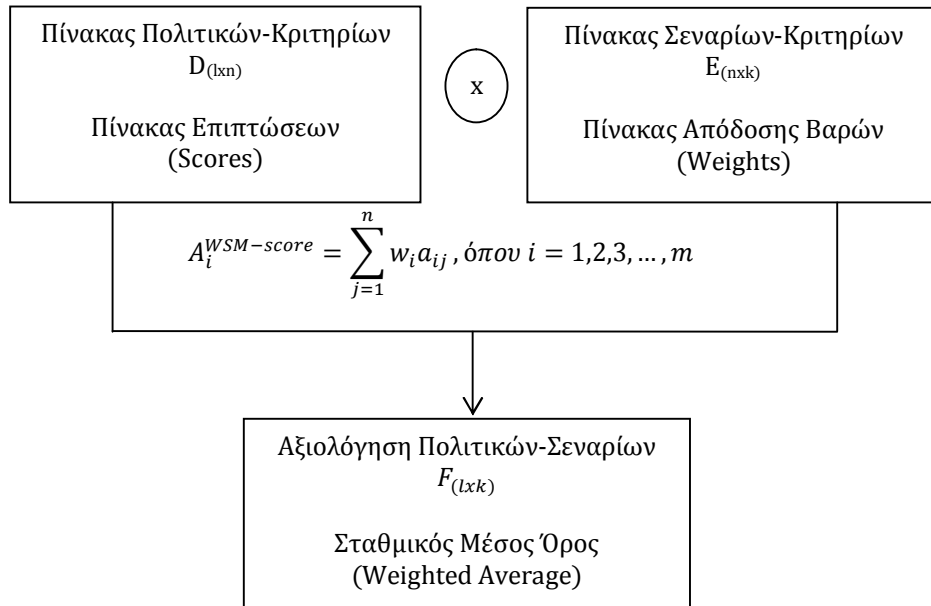
Ο αλγόριθμος συνεχίζει με τον πολλαπλασιασμό των πινάκων «Πολιτικές-Κριτήρια» και «Σενάρια-Κριτήρια» στη βάση του κοινού τους στοιχείου που είναι τα κριτήρια αξιολόγησης. Στην περίπτωση αυτή, ο πίνακας «Πολιτικές-Κριτήρια», έστω

$D_{(l \times n)}$, πολλαπλασιάζεται με τον ανάστροφο του πίνακα «Σενάρια-Κριτήρια», έστω $E_{(n \times k)}$ και ο ανάστροφος $E_{(n \times k)}$. Πιο συγκεκριμένα ισχύει:

$$D_{(l \times n)} \times E_{(n \times k)} = F_{(l \times k)}$$

*Όπου $E_{(n \times k)} = E_{(k \times n)}^T$

Όπως προκύπτει από την παραπάνω σχέση, από τον πολλαπλασιασμό των πινάκων D και E προκύπτει ένας πίνακας F, διαστάσεων $l \times k$, όπου l οι πολιτικές και k τα σενάρια. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στην περίπτωση της δεύτερης αυτής αξιολόγησης, οι πολιτικές θεωρούνται ως οι «δράσεις» και τα σενάρια ως οι «πολιτικές» της πρώτης αξιολόγησης (Godet, 2007). Ο πίνακας F περιλαμβάνει τα αποτελέσματα της αξιολόγησης των πολιτικών ως προς τα σενάρια (Σχήμα 7-3). Από τη διαδικασία αυτή προκύπτει η επίδοση κάθε πολιτικής ως προς κάθε σενάριο, ως σταθμικός μέσος όρος. Για κάθε πολιτική προκύπτουν τόσοι σταθμικοί μέσοι όροι όσος και ο αριθμός των σεναρίων. Κάθε σταθμικός μέσος όρος αντανακλά την επίδοση κάθε πολιτικής ως προς το αντίστοιχο σενάριο.



Σχήμα 7-3: Αξιολόγηση Πολιτικών-Σεναρίων

Ουσιαστικά το μοντέλο Multipol, αξιοποιώντας την έννοια του σταθμικού μέσου όρου, οδηγεί σε μία προσαρμογή του απλού μέσου όρου, ανάλογα με τα βάρη που λαμβάνουν κάθε φορά τα κριτήρια αξιολόγησης.

Θα πρέπει να τονιστεί ότι τα βάρη που αποδίδονται αρχικά στα κριτήρια αξιολόγησης, τις πολιτικές και τα σενάρια (και όχι αυτά που περιλαμβάνονται στους πίνακες απόδοσης βαρών) δε λαμβάνονται υπόψη στους υπολογισμούς που περιγράφηκαν παραπάνω και συνιστούν ένα συμπληρωματικό στοιχείο που λειτουργεί υποστηρικτικά στην όλη διαδικασία της αξιολόγησης. Τα βάρη αυτά υποδηλώνουν τη σημαντικότητα που ενσωματώνουν τα κριτήρια αξιολόγησης, οι πολιτικές και τα σενάρια ως προς το σύνολο του προβλήματος που εξετάζεται. Έτσι, η σχεδιαστική ομάδα συνεκτιμά τα αποτελέσματα που δίνει το λογισμικό με τα βάρη που έχουν αρχικά τεθεί στα κριτήρια, τις πολιτικές και τα σενάρια προκειμένου να ληφθεί η τελική απόφαση σχετικά με το ποιο σενάριο θα επιλεγεί τελικά για τη μελλοντική ανάπτυξη του συστήματος, μέσω ποιιάς πολιτικής θα καταστεί υλοποιήσιμο και μέσω ποιών δράσεων θα εφαρμοστεί η συγκεκριμένη πολιτική.

Συνοψίζοντας, οι υπολογισμοί που πραγματοποιεί ο αλγόριθμος του Multipol χρησιμοποιώντας τα δεδομένα των τριών πινάκων που ο χρήστης εισάγει στο λογισμικό (πίνακας «Δράσεων-Κριτηρίων», πίνακας «Πολιτικών-Κριτηρίων» και πίνακας «Σεναρίων-Κριτηρίων») αφορούν σε εξαγωγή σταθμικών μέσων όρων, απλών μέσων όρων, τυπικών αποκλίσεων, ιδιοτιμών και αδρανειών, προκειμένου να αξιολογηθούν οι δράσεις ως προς τις πολιτικές και οι πολιτικές ως προς τα σενάρια στη βάση των κριτηρίων αξιολόγησης. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τους υπολογισμούς αυτούς, παρουσιάζονται αναλυτικά στο εδάφιο που ακολουθεί όπου και ολοκληρώνεται η περιγραφή του μοντέλου πολυκριτηριακής αξιολόγησης Multipol.

Αποτελέσματα (Output Data)

Στην παρούσα ενότητα, παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα που προκύπτουν μετά την ολοκλήρωση της πολυκριτηριακής αξιολόγησης Multipol. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα αποτελέσματα της διαδικασίας συνίστανται στη διεξαγωγή δύο επιμέρους αξιολογήσεων: α) της *αξιολόγησης των δράσεων ως προς τις πολιτικές* και β) της *αξιολόγησης των πολιτικών ως προς τα σενάρια* που προτείνονται για την ανάπτυξη του εκάστοτε υπό μελέτη συστήματος. Οι δύο αξιολογήσεις προκύπτουν ως αποτέλεσμα του συνδυασμού ανά δύο των πινάκων που ο χρήστης εισάγει στο λογισμικό και αφορούν: στην επίδοση των δράσεων ως προς

τα κριτήρια αξιολόγησης και στην ανάθεση βαρών στα κριτήρια αξιολόγησης ανάλογα με πλαίσιο των πολιτικών και των σεναρίων αντίστοιχα.

– *Αξιολόγηση δράσεων ως προς τις πολιτικές*

Η αξιολόγηση των δράσεων ως προς τις πολιτικές είναι η πρώτη αξιολόγηση που υλοποιείται με το μοντέλο Multipol και προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό των πινάκων «Δράσεις-Κριτήρια» και «Πολιτικές-Κριτήρια», στη βάση του κοινού τους στοιχείου που είναι τα κριτήρια αξιολόγησης. Η αξιολόγηση αυτή συνιστά ουσιαστικά μία ταξινόμηση των δράσεων ως προς τις πολιτικές, ανάλογα με το πόσο η κάθε δράση «ταιριάζει» στην κάθε πολιτική. Από την αξιολόγηση, προκύπτουν τελικά «πακέτα» Δράσεων-Πολιτικών τα οποία υποδεικνύουν στον σχεδιαστή τις δράσεις εκείνες που καθιστούν με τον πιο αποτελεσματικό τρόπο εφικτή την υλοποίηση κάθε πολιτικής. Επομένως, ανάλογα με την πολιτική που υιοθετείται επιλέγονται κατά περίπτωση και οι αντίστοιχες δράσεις.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται καταρχάς στον πίνακα «Δράσεων-Πολιτικών» (Πίνακας 7-1) ο οποίος περιλαμβάνει:

- Την επίδοση κάθε δράσης ως προς κάθε πολιτική ανηγμένη στην κλίμακα 0-20. Η επίδοση των δράσεων προκύπτει ως αποτέλεσμα του πολλαπλασιασμού των πινάκων «Δράσεις-Κριτήρια» και «Πολιτικές-Κριτήρια» και συνιστά ένα σταθμικό μέσο όρο. Έτσι, για κάθε πολιτική, δίνεται μία ταξινόμηση (ιεράρχηση) των δράσεων – «Κάθετη» ανάγνωση των στηλών του πίνακα.
- Την επίδοση κάθε δράσης ως προς το σύνολο των πολιτικών που προκύπτει ουσιαστικά ως ο μέσος όρος των επιμέρους επιδόσεων της δράσης ως προς κάθε πολιτική. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η δράση που συγκεντρώνει την υψηλότερη συνολική επίδοση, δεν είναι απαραίτητα η δράση εκείνη που εμφανίζει και τις υψηλότερες επιμέρους επιδόσεις (υψηλότερα scores σε κάθε πολιτική).
- Την τυπική απόκλιση κάθε δράσης η οποία σχετίζεται με τη διακύμανση των επιμέρους επιδόσεών της ως προς κάθε πολιτική (Godet, 2007). Όσο αυξάνει η διαφορά των επιδόσεων της ίδιας δράσης ως προς κάθε πολιτική τόσο αυξάνει η τυπική απόκλιση της δράσης αυτής. Σημαντική μεταβολή της επίδοσης μίας δράσης ως προς κάποια

πολιτική σε σχέση με την επίδοση της ίδιας δράσης ως προς μία άλλη πολιτική, σημαίνει αύξηση της τιμής της τυπικής απόκλισης.

- Την ιεράρχηση των δράσεων με βάση τον μέσο όρο που αφορά στην επίδοσή τους ως προς το σύνολο των πολιτικών.

Πίνακας 7-1: Πίνακας Αξιολόγησης «Δράσεων-Πολιτικών»

	Actions/Policies	1 : P1	2 : P2	3 : P3	4 : Moy.	5 : Ec. Ty	6 : Number
▶	1 : A1	16,5	18,7	15,4	16,9	1,4	4
	2 : A2	14,5	16,2	13,8	14,8	1	2
	3 : A3	11,1	9,6	15,2	12	2,3	1
	4 : A4	16,1	13,6	17,2	15,6	1,5	3

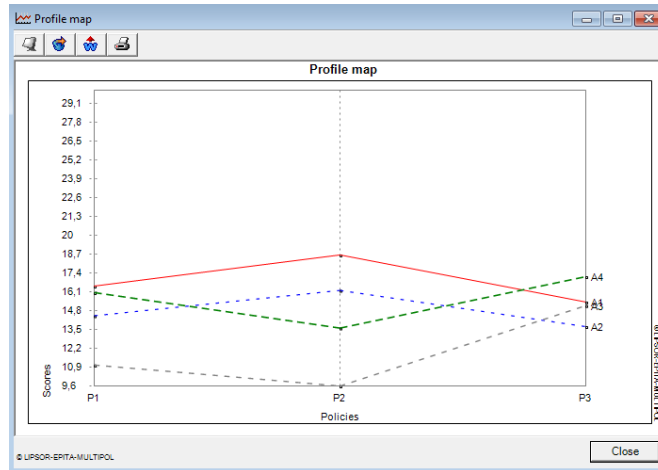
Πηγή: *Software Multipol (example case study) – Επεξεργασία μελετητή*

Προφανώς, σε περίπτωση που αλλάξουν τα βάρη των κριτηρίων στον πίνακα «Πολιτικών-Κριτηρίων», αλλάζει και η ταξινόμηση των δράσεων ως προς τις πολιτικές (Godet, 2007).

Τα συμπεράσματα που ο σχεδιαστής μπορεί να εξάγει από τη μελέτη του πίνακα αυτού συνοψίζονται στα εξής:

- Ποιά δράση «ταιριάζει» περισσότερο σε κάθε πολιτική με βάση την επίδοσή της.
- Ποιά δράση προσαρμόζεται με ικανοποιητικό βαθμό στο σύνολο των πολιτικών.
- Ποιά δράση παρουσιάζει τις μεγαλύτερες αποκλίσεις μεταξύ των επιδόσεων που λαμβάνει ως προς την κάθε πολιτική.

Τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα παρουσιάζονται οπτικοποιημένα σε έναν *Χάρτη-Προφίλ* (Σχήμα 7-4) όπου απεικονίζεται γραφικά η επίδοση της κάθε δράσης ως προς κάθε πολιτική. Στους κάθετους άξονες μετράται η επίδοση κάθε δράσης ως προς κάθε πολιτική ανηγμένη στην κλίμακα 0-20.



Σχήμα 7-4: Χάρτης-Προφίλ (Profile Map) των Δράσεων ως προς τις Πολιτικές
 Πηγή: Software Multipol (example case study) – Επεξεργασία μελετητή

Οι θέσεις που λαμβάνουν στον χώρο οι δράσεις ως προς το μέσο όρο που αποδίδεται σε κάθε μία από αυτές για το σύνολο των πολιτικών και την τυπική απόκλισή τους, φαίνονται σε έναν δεύτερο τύπο χάρτη – Χάρτης Ταξινόμησης της Εναισθησίας Δράσεων (Classification Sensitivity Map) – που εξάγει το λογισμικό (Σχήμα 7-5).



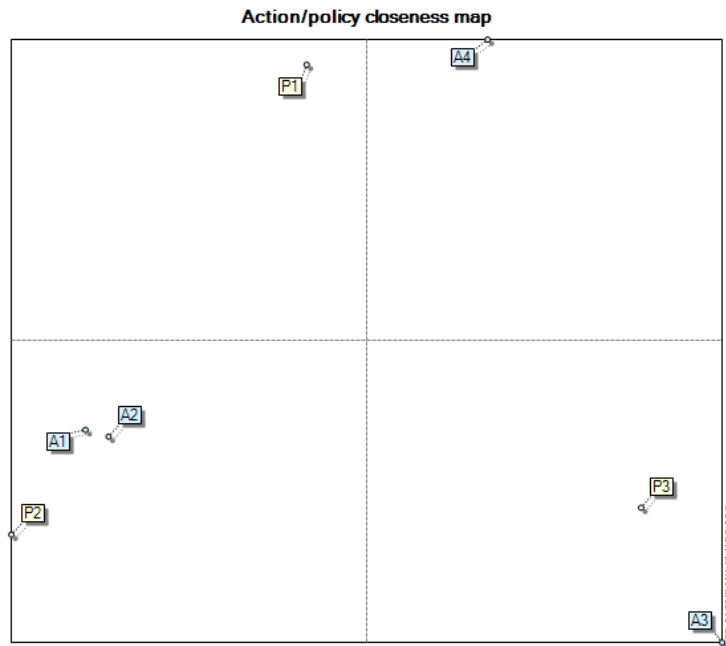
Σχήμα 7-5: Χάρτης Ταξινόμησης Εναισθησίας των Δράσεων (Classification Sensitivity Map)
 Πηγή: Software Multipol (example case study) – Επεξεργασία μελετητή

Στον κάθετο άξονα του χάρτη, μετράται ο μέσος όρος κάθε δράσης ενώ στον οριζόντιο άξονα η τυπική της απόκλιση. Ο χάρτης διαιρείται σε τέσσερα τεταρτημόρια εντός των οποίων κατανέμονται οι δράσεις. Στο τεταρτημόριο 1

(επάνω και αριστερά), βρίσκονται οι δράσεις με υψηλό μέσο όρο και χαμηλή τυπική απόκλιση, δράσεις δηλαδή που «ταιριάζουν» πολύ καλά με το σύνολο ή την πλειοψηφία των πολιτικών και οι επιδόσεις τους ως προς τις πολιτικές δεν εμφανίζουν υψηλές μεταξύ τους διακυμάνσεις. Στο τεταρτημόριο 4 (κάτω και δεξιά), βρίσκονται οι δράσεις με χαμηλό μέσο όρο και υψηλή τυπική απόκλιση, δράσεις δηλαδή που δεν «προσαρμόζονται» καλά στο σύνολο ή στην πλειοψηφία των πολιτικών ενώ οι επιδόσεις τους ως προς τις πολιτικές αυτές εμφανίζουν αρκετά υψηλές διακυμάνσεις μεταξύ τους. Στο τεταρτημόριο 3 (κάτω και αριστερά), βρίσκονται οι δράσεις με χαμηλό μέσο όρο και χαμηλή τυπική απόκλιση ενώ στο τεταρτημόριο 2 (επάνω και δεξιά), βρίσκονται οι δράσεις με υψηλό μέσο όρο αλλά και υψηλή τυπική απόκλιση.

Οι δράσεις με υψηλό μέσο όρο «ταιριάζουν» με την πλειοψηφία των πολιτικών ενώ αυτές με χαμηλό μέσο όρο «ταιριάζουν» με μικρότερο αριθμό πολιτικών, χωρίς όμως αυτό να σημαίνει ότι για κάποια πολιτική δεν μπορεί να είναι καλύτερες σε σχέση με άλλες δράσεις που έχουν υψηλότερο γενικό μέσο όρο. Όσον αφορά στην τυπική απόκλιση, οι δράσεις με υψηλή τυπική απόκλιση είναι αυτές που οι επιδόσεις τους εμφανίζουν μεγάλη διακύμανση ως προς τις πολιτικές ενώ αυτές που εμφανίζουν μικρή τυπική απόκλιση είναι οι δράσεις, που οι επιδόσεις τους εμφανίζουν μικρή διακύμανση ως προς τις πολιτικές και είναι επομένως περισσότερο συνεκτικές.

Τέλος, το λογισμικό εξάγει και ένα δεύτερο τύπο χάρτη, τον *Χάρτη Εγγύτητας Δράσεων-Πολιτικών (Action / Policy Closeness Map)* όπου οι δράσεις εμφανίζονται κατανομημένες στον χώρο μαζί με τις πολιτικές (Σχήμα 7-6). Όσο πιο κοντά βρίσκεται μία δράση σε μία πολιτική, τόσο περισσότερο η δράση αυτή «ταιριάζει» στη συγκεκριμένη πολιτική. Ο χάρτης αυτός λειτουργεί υποστηρικτικά στη διαδικασία κατανομής των δράσεων ως προς τις επιμέρους πολιτικές.



Σχήμα 7-6: Χάρτης Εγγύτητας «Δράσεων-Πολιτικών» (Action/Policy Closeness Map)
 Πηγή: Software Multipol (example case study) – Επεξεργασία μελετητή

Μαζί με τον χάρτη, δίνονται και τα αποτελέσματα που αφορούν στις «ιδιοτιμές και την «αδράνεια» (Πίνακας 7-2) τα οποία σχετίζονται με τη συνοχή και τη «συνέπεια» της διαδικασίας της αξιολόγησης των δράσεων ως προς τις πολιτικές.

Πίνακας 7-2: Πίνακας Ιδιοτιμών και Αδράνειας (Αξιολόγηση Δράσεων – Πολιτικών)

	-	1 : VP	2 : Inertie	3 : Sum
▶ 1 : VP 1		0	95,3	95,3
2 : VP 2		0	4,7	100
3 : VP 3		0	0	100

Πηγή: Software Multipol (example case study) – Επεξεργασία μελετητή

Στο σημείο αυτό ολοκληρώνεται η παρουσίαση των αποτελεσμάτων της αξιολόγησης των δράσεων ως προς τις πολιτικές. Στη συνέχεια, περιγράφονται τα αποτελέσματα της δεύτερης αξιολόγησης, της αξιολόγησης των πολιτικών ως προς τα σενάρια. Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης αυτής είναι αντίστοιχα με αυτά της πρώτης αξιολόγησης, καθώς το λογισμικό διαχειρίζεται τις πολιτικές ως δράσεις και τα σενάρια ως πολιτικές (Godet, 2007).

– *Αξιολόγηση πολιτικών ως προς τα σενάρια*

Η δεύτερη αξιολόγηση που δίνει ως αποτέλεσμα το Multipol είναι η *Αξιολόγηση Πολιτικών-Σεναρίων*. Στο στάδιο αυτό, οι πολιτικές κατανέμονται ως προς τα προτεινόμενα σενάρια όπως κατανέμονται στην περίπτωση της πρώτης αξιολόγησης οι δράσεις ως προς τις πολιτικές. Κατ' αναλογία με την πρώτη αξιολόγηση, οι πολιτικές αντιστοιχούν στις δράσεις και ταξινομούνται στην περίπτωση αυτή ως προς τα σενάρια (Godet, 2007). Έτσι, όπως οι δράσεις «ταιριάζουν» περισσότερο ή λιγότερο με την εκάστοτε προτεινόμενη πολιτική, οι πολιτικές με τη σειρά τους «ταιριάζουν» περισσότερο ή λιγότερο με κάθε σενάριο που προτείνεται για τη μελλοντική ανάπτυξη του εκάστοτε υπό μελέτη συστήματος.

Η αξιολόγηση των πολιτικών ως προς τα σενάρια είναι η δεύτερη αξιολόγηση που υλοποιείται με το μοντέλο Multipol και προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό των πινάκων «Πολιτικές-Κριτήρια» και «Σενάρια-Κριτήρια» στη βάση του κοινού τους στοιχείου που είναι τα κριτήρια αξιολόγησης. Το αποτέλεσμα της αξιολόγησης αυτής συνίσταται στην εξαγωγή «πακέτων» Πολιτικών-Σεναρίων που δείχνουν στον σχεδιαστή τις πολιτικές εκείνες που δύνανται να συμβάλουν με τον πιο αποτελεσματικό τρόπο στην υλοποίηση κάθε σεναρίου. Επομένως, ανάλογα με το σενάριο που επιλέγεται ανά περίπτωση υιοθετείται και η αντίστοιχη πολιτική.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται καταρχάς στον «Πίνακα Πολιτικών-Σεναρίων» (Πίνακας 7-3) ο οποίος περιλαμβάνει:

- Την επίδοση κάθε πολιτικής ως προς κάθε σενάριο ανηγμένη στην κλίμακα 0-100. Η επίδοση των πολιτικών προκύπτει ως αποτέλεσμα του πολλαπλασιασμού των πινάκων «Πολιτικές-Κριτήρια» και «Σενάρια-Κριτήρια» και συνιστά ένα σταθμικό μέσο όρο. Έτσι, για κάθε σενάριο, δίνεται μία ταξινόμηση (ιεράρχηση) των πολιτικών – «Κάθετη» ανάγνωση των στηλών του πίνακα.
- Την επίδοση κάθε πολιτικής ως προς το σύνολο των σεναρίων που προκύπτει ουσιαστικά ως ο μέσος όρος των επιμέρους επιδόσεων της πολιτικής ως προς κάθε σενάριο. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η πολιτική που συγκεντρώνει την υψηλότερη συνολική επίδοση (score), δεν είναι απαραίτητα η πολιτική εκείνη που εμφανίζει και τις υψηλότερες επιμέρους επιδόσεις (scores).

- Την τυπική απόκλιση κάθε πολιτικής η οποία σχετίζεται με τη διακύμανση των επιμέρους επιδόσεων της ως προς κάθε σενάριο (Godet, 2007). Όσο αυξάνει η διαφορά των επιδόσεων της ίδιας πολιτικής ως προς κάθε σενάριο τόσο αυξάνει η τυπική απόκλιση της πολιτικής αυτής. Σημαντική μεταβολή της επίδοσης μίας πολιτικής ως προς κάποιο σενάριο σε σχέση με την επίδοση της πολιτικής ως προς ένα άλλο σενάριο, συνεπάγεται αύξηση της τιμής της τυπικής απόκλισης.
- Την ιεράρχηση των πολιτικών με βάση τον μέσο όρο που αφορά στην επίδοσή τους ως προς το σύνολο των σεναρίων.

Πίνακας 7-3: Πίνακας Αξιολόγησης «Πολιτικών-Σεναρίων»

	Policies/Scenarios	1: S1	2: S2	3: S3	4: Moy.	5: Ec. Ty	6: Number
▶	1: P1	18,9	25,5	20	21,2	3	2
	2: P2	27,2	24	20	25,3	2,4	3
	3: P3	19,5	13,5	20	17,6	2,9	1

Πηγή: Software Multipol (example case study) – Επεξεργασία μελετητή

Προφανώς, σε περίπτωση που αλλάξουν τα βάρη των κριτηρίων στον πίνακα «Σεναρίων-Κριτηρίων», αλλάζει και η ταξινόμηση (ιεράρχηση) των πολιτικών ως προς τα σενάρια (Godet, 2007).

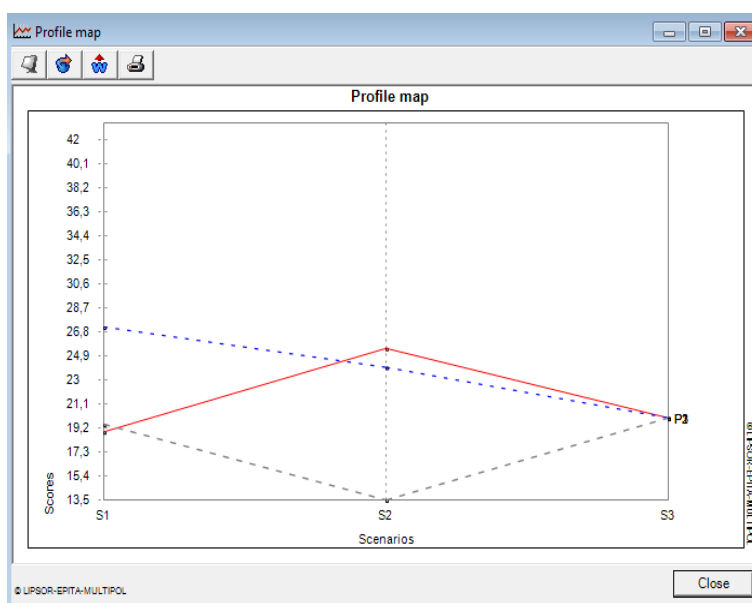
Τα συμπεράσματα που ο σχεδιαστής μπορεί να εξάγει από τη μελέτη του πίνακα αυτού συνοψίζονται στα εξής:

- Ποιά πολιτική «ταιριάζει» περισσότερο σε κάθε σενάριο με βάση την επίδοσή της.
- Ποιά πολιτική προσαρμόζεται με ικανοποιητικό βαθμό στο σύνολο των σεναρίων.
- Ποιά πολιτική παρουσιάζει τις μεγαλύτερες αποκλίσεις μεταξύ των επιδόσεων που λαμβάνει ως προς το κάθε σενάριο.

Όπως και στην περίπτωση της πρώτης αξιολόγησης, τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα παρουσιάζονται οπτικοποιημένα σε έναν *Χάρτη-Προφίλ Πολιτικών-Σεναρίων* (Σχήμα 7-7), όπου απεικονίζεται γραφικά η επίδοση της κάθε πολιτικής ως προς το κάθε σενάριο, σε έναν *Χάρτη Ταξινόμησης Ευαισθησίας Πολιτικών* (Classification Sensitivity Map) (Σχήμα 7-8) και σε έναν *Χάρτη Εγγύτητας*

Πολιτικών-Σεναρίων (*Policy / Scenario Closeness Map*) (Σχήμα 7-9). Η ερμηνεία των τριών παραπάνω χαρτών είναι ανάλογη με αυτήν των αντίστοιχων χαρτών της αξιολόγησης «Δράσεων-Πολιτικών». Για τον λόγο αυτό, η περιγραφή των αποτελεσμάτων στην περίπτωση της δεύτερης αυτής αξιολόγησης είναι συνοπτική.

Στον Χάρτη-Προφίλ των πολιτικών ως προς τα σενάρια, παρουσιάζεται γραφικά η επίδοση κάθε πολιτικής ως προς κάθε σενάριο, η οποία μετράται στους κάθετους άξονες.

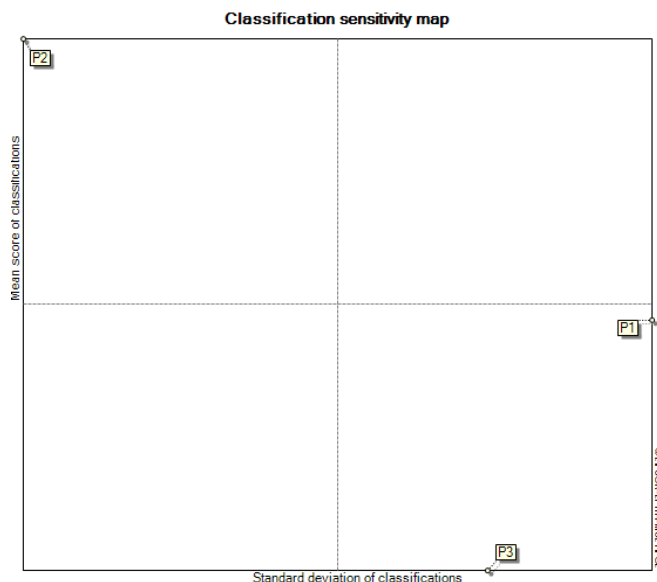


Σχήμα 7-7: Χάρτης-Προφίλ (*Profile Map*) των Πολιτικών ως προς τα Σενάρια
Πηγή: *Software Multipol (example case study)* – Επεξεργασία μελετητή

Ακολουθεί ο Χάρτης Ταξινόμησης Ευαισθησίας Πολιτικών στον οποίο παρουσιάζονται οι θέσεις των πολιτικών στον χώρο, ανάλογα με τον γενικό μέσο όρο που προκύπτει για κάθε μία από αυτές ως προς τα σενάρια και την τυπική τους απόκλιση. Ο χάρτης διαιρείται σε τέσσερα τεταρτημόρια. Στο τεταρτημόριο 1 (επάνω και αριστερά) βρίσκονται οι πολιτικές με τους υψηλότερους μέσους όρους και τις χαμηλότερες τυπικές αποκλίσεις ενώ στο τεταρτημόριο 4 (κάτω και δεξιά) βρίσκονται οι πολιτικές με τους χαμηλότερους μέσους όρους και τις υψηλότερες τυπικές αποκλίσεις. Υψηλός μέσος όρος σημαίνει καλύτερη επίδοση μίας πολιτικής ως προς το σύνολο των σεναρίων ενώ, υψηλή τυπική απόκλιση σημαίνει μεγάλη διακύμανση των επιμέρους επιδόσεων τις ίδιας πολιτικής ως προς τα σενάρια.

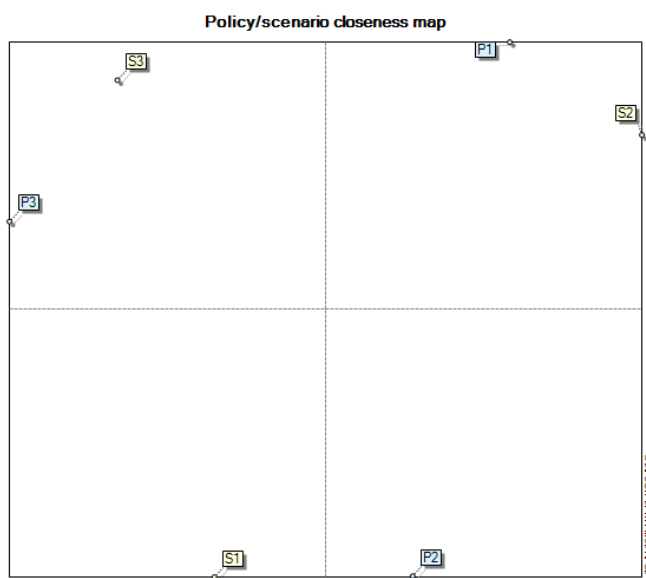
Τέλος, ο Χάρτης Εγγύτητας Πολιτικών-Σεναρίων περιλαμβάνει τις θέσεις των πολιτικών στον χώρο σε συνδυασμό με τις θέσεις των σεναρίων και δείχνει στον

σχεδιαστή τους συνδυασμούς που προκύπτουν μεταξύ των πολιτικών και των σεναρίων, ποιά πολιτική δηλαδή θα συμβάλει πιο αποτελεσματικά στην υλοποίηση κάθε ενός από τα προτεινόμενα σενάρια.



Σχήμα 7-8: Χάρτης Ευαισθησίας / Ταξινόμησης των Πολιτικών (Classification Sensitivity Map)

Πηγή: Software Multipol (example case study) – Επεξεργασία μελετητή



Σχήμα 7-9: Χάρτης Εγγύτητας Πολιτικών-Σεναρίων (Policy/Scenario Closeness Map)

Πηγή: Software Multipol (example case study) – Επεξεργασία μελετητή

Μαζί με τον χάρτη, δίνονται και τα αποτελέσματα που αφορούν στις «ιδιοτιμές» και την «αδράνεια» (Πίνακας 7-4) τα οποία σχετίζονται με τη συνοχή και τη «συνέπεια» της διαδικασίας της αξιολόγησης των πολιτικών ως προς τα σενάρια.

Πίνακας 7-4: Πίνακας Ιδιοτιμών και Αδρανειών (Αξιολόγηση Πολιτικών – Σεναρίων)

	-	1 : VP	2 : Inertie	3 : Sum
▶	1 : VP 1	0	66,5	66,5
	2 : VP 2	0	33,5	100
	3 : VP 3	0	0	100
	4 : VP 4	0	0	100
	5 : VP 5	0	0	100
	6 : VP 6	0	0	100

Πηγή: *Software Multipol (example case study) – Επεξεργασία μελετητή*

Ολοκληρώνοντας την παρούσα ενότητα, επισημαίνονται κάποια σημεία του μοντέλου Multipol τα οποία παρουσιάζουν ορισμένες ιδιαιτερότητες είτε ως προς τον τύπο των δεδομένων που επεξεργάζεται, είτε ως προς την προσέγγιση και τον τρόπο διαχείρισης των εν λόγω δεδομένων, είτε ως προς την ερμηνεία των αποτελεσμάτων που προκύπτουν.

Ξεκινώντας από το πρώτο στάδιο, το οποίο αφορά στον ορισμό των δεδομένων εισόδου, θα πρέπει να επισημανθεί ότι φαινομενικά δημιουργείται μία σύγχυση σχετικά με την απόδοση βαρών στα κριτήρια, τις πολιτικές και τα σενάρια. Πιο αναλυτικά, ο ορισμός των κριτηρίων, των πολιτικών και των σεναρίων συνοδεύεται από μία διαδικασία απόδοσης βαρών σε ένα πλαίσιο ορισμού της σημαντικότητάς τους. Στο στάδιο αυτό, η απόδοση βαρών στα κριτήρια δε γίνεται στη βάση μίας συγκεκριμένης κλίμακας απόδοσης βαρών. Η σχεδιαστική ομάδα ορίζει αυθαίρετα μία κλίμακα στη βάση της οποίας ιεραρχεί τα κριτήρια ανάλογα με τον βαθμό σημαντικότητας που κάθε ένα από αυτά ενσωματώνει.

Παράλληλα, στους πίνακες «Πολιτικές-Κριτήρια» και «Σενάρια-Κριτήρια» αποδίδονται εκ νέου βάρη στα κριτήρια αξιολόγησης, ανάλογα με το περιεχόμενο κάθε πολιτικής και κάθε σεναρίου, στη βάση μίας κλίμακας απόδοσης βαρών η οποία ορίζεται από το ίδιο το Multipol. Έτσι, για κάθε πολιτική και για κάθε σενάριο, αποδίδονται βάρη στα κριτήρια αξιολόγησης τα οποία αθροίζουν συνολικά 100. Επομένως, ένα συνολικό άθροισμα βαρών που ισούται με 100 μοιράζεται στα κριτήρια αξιολόγησης.

Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για κάθε μία από τις πολιτικές που έχουν οριστεί και για κάθε σενάριο αντίστοιχα. Όπως κατέστη σαφές στις παραγράφους που προηγήθηκαν, τα βάρη που λαμβάνονται υπόψιν κατά τη διαδικασία επεξεργασίας των δεδομένων είναι αυτά που περιλαμβάνονται στους πίνακες

«Πολιτικές-Κριτήρια» και «Σενάρια-Κριτήρια» ενώ τα βάρη που ορίζονται αρχικά, δεν αξιοποιούνται για τη διενέργεια υπολογισμών. Ως εκ τούτου, εύλογα προκύπτει το ερώτημα του τι ακριβώς εξυπηρετεί την όλη διαδικασία, αυτή η αρχική απόδοση βαρών στα κριτήρια, τις πολιτικές και τα σενάρια.

Η απάντηση είναι ότι τα βάρη αυτά αποδίδονται στα κριτήρια, τις πολιτικές και τα σενάρια προκειμένου να οριστεί η σημαντικότητα κάθε στοιχείου μέσα στο γενικό πλαίσιο της αξιολόγησης και της διαδικασίας λήψης αποφάσεων. Έτσι, τα κέντρα λήψης αποφάσεων έχουν μία συνολική εικόνα σχετικά με τη βαρύτητα κάθε πολιτικής, κάθε σεναρίου και κάθε κριτηρίου που έχει οριστεί, στοιχείο το οποίο μετά το πέρας της αξιολόγησης λειτουργεί υποστηρικτικά στη διαδικασία λήψης της τελικής απόφασης. Τα βάρη αυτά είναι απόλυτα και αντανακλούν μεμονωμένα τη βαρύτητα κάθε διακριτού στοιχείου χωρίς να το συσχετίζουν με κάποιο άλλο. Αντιθέτως, στην περίπτωση δόμησης των πινάκων βαρών – «Πολιτικές-Κριτήρια» και «Σενάρια-Κριτήρια» – τα βάρη που αποδίδονται στα κριτήρια είναι σχετικά καθώς, συσχετίζουν τη σημαντικότητα κάθε κριτηρίου με το περιεχόμενο κάθε πολιτικής ή κάθε σεναρίου αντίστοιχα. Έτσι, το βάρος που αντιστοιχεί σε κάθε κριτήριο είναι ανάλογο με την οπτική στην οποία δίνει έμφαση η αντίστοιχη πολιτική ή το αντίστοιχο σενάριο.

Σημαντική επίσης επισήμανση συνιστά η λογική επάνω στην οποία στηρίζεται η διενέργεια της δεύτερης αξιολόγησης, της αξιολόγησης των πολιτικών σε σχέση με τα σενάρια. Το ερώτημα που προκύπτει εδώ αφορά στον τύπο των αποτελεσμάτων που προκύπτουν καθώς, ενώ πολλαπλασιάζονται δύο πίνακες απόδοσης βαρών, τελικά προκύπτουν επιδόσεις των πολιτικών ως προς τα σενάρια. Σύμφωνα με τον Godet, στην περίπτωση αυτή ο πίνακας «Πολιτικές-Κριτήρια» θεωρείται ως ένας πίνακας επιδόσεων των πολιτικών ως προς τα κριτήρια, κατ' αναλογία με τον πίνακα «Δράσεις-Κριτήρια», ο οποίος πολλαπλασιάζεται με τον πίνακα «Σενάρια-Κριτήρια» (πίνακας βαρών), δίνει ως αποτέλεσμα τις επιδόσεις των πολιτικών ως προς τα σενάρια στη βάση της μεθόδου της σταθμικής άθροισης (Godet, 2007).

Η επιλογή πολιτικής εκτός από την επίδοσή της βασίζεται επίσης και στις πιθανότητες υλοποίησης των σεναρίων. Υπενθυμίζεται ότι οι πιθανότητες αυτές έχουν υπολογιστεί σε προηγούμενα στάδια εφαρμογής του συστήματος LIPSOR (Smic Prob-Expert και Morphol) ενώ σε αρκετές περιπτώσεις, αναπαριστούν τα βάρη που αποδίδονται αρχικά στα σενάρια και αντανακλούν τη σημαντικότητά τους. Παράλληλα, οι πολιτικές αποτελούν εναλλακτικά πλαίσια αξιολόγησης των δράσεων

και σύμφωνα με τα βάρη που αρχικά τους αποδίδονται, υπάρχει δυνατότητα ιεράρχησής τους ενώ το προφίλ της ταξινόμησης (ιεράρχησης) των δράσεων ως προς τις πολιτικές παραμένει ανεξάρτητο από την πιθανή στάθμιση των εν λόγω πολιτικών (Godet, 2007).

Τέλος, όπως και στην περίπτωση της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας, ο υπολογισμός των «ιδιοτιμών» και της «αδράνειας» συνδέεται με την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τον βαθμό συνέπειας-ασυνέπειας των αποτελεσμάτων και τη συνολική σταθερότητα των αποτελεσμάτων που προκύπτουν. Επομένως, υπάρχει δυνατότητα στατιστικού ελέγχου των αποτελεσμάτων, ο οποίος μπορεί να καταδείξει ενδεχόμενη ανάγκη για αναθεώρηση των παραμέτρων που λαμβάνονται υπόψη κατά τη διαδικασία της αξιολόγησης.

7.2. Σημεία του Μοντέλου Multipol με Ιδιαίτερο Ερευνητικό Ενδιαφέρον

Ένα από τα βασικότερα χαρακτηριστικά του μοντέλου πολυκριτηριακής αξιολόγησης Multipol, αποτελεί το γεγονός ότι δομείται στη βάση της λογικής της «συμμετοχικής αξιολόγησης» καθώς, τόσο ο ορισμός των δεδομένων όσο και η λήψη της τελικής απόφασης στηρίζονται σε εκφρασμένες απόψεις και κρίσεις ειδικών. Ο προσδιορισμός των επιδόσεων (scores) και των βαρών είναι διαδικασίες συλλογικές, που απαιτούν την υιοθέτηση μίας διεπιστημονικής προσέγγισης δεδομένου ότι οι παράμετροι που υπεισέρχονται στη διαδικασία της αξιολόγησης, αντανακλούν διαφορετικές διαστάσεις του εκάστοτε υπό μελέτη συστήματος.

Επομένως, ένα πρώτο ζήτημα που τίθεται, αφορά στη μοντελοποίηση και την αναπαράσταση των διατυπωμένων από τους ειδικούς κρίσεων. Συνήθως οι εν λόγω κρίσεις διατυπώνονται με τρόπο ποιοτικό και ως εκ τούτου, τόσο η μοντελοποίηση των ποιοτικών δεδομένων που συλλέγονται όσο και η ποσοτικοποίησή τους, προκειμένου να καταστούν διαχειρίσιμα από τα αντίστοιχα λογισμικά που τα επεξεργάζονται, είναι ζητήματα εξέχουσας σημασίας που οριοθετούν και καθορίζουν τη διαδικασία της πολυκριτηριακής αξιολόγησης. Ουσιαστικά, η αξιολόγηση στην περίπτωση αυτή στηρίζεται στην εκτίμηση και ερμηνεία δεδομένων και πληροφορίας όπως αυτή γίνεται αντιληπτή και εκφράζεται από τον ανθρώπινο εγκέφαλο,

στηρίζεται δηλαδή σε απόψεις οι οποίες αντιπροσωπεύουν την ανθρώπινη αντίληψη και λογική.

Ένα δεύτερο ζήτημα που τίθεται, αφορά στη διαχείριση της αβεβαιότητας και της «ελλιπούς πληροφορίας». Υφιστάμενα κενά γνώσης, αδυναμία πρόσβασης στο σύνολο της απαιτούμενης πληροφορίας καθώς και η εγγενής αδυναμία έκφρασης μίας άποψης με 100% σιγουριά ως προς την ορθότητά της, είναι παράμετροι που απαιτούν διαχείριση και μοντελοποίηση στο πλαίσιο της εξέλιξης μίας διαδικασίας πολυκριτηριακής αξιολόγησης για την εξασφάλιση της συνέπειας των αποτελεσμάτων αλλά και της συνοχής της όλης διαδικασίας. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι βασικές πηγές αβεβαιότητας για τη διαδικασία της αξιολόγησης συνιστούν οι επιδόσεις των εναλλακτικών και τα βάρη που αποδίδονται στα κριτήρια αξιολόγησης.

Ένα τρίτο, ιδιαίτερης σημασίας ζήτημα συνδέεται με την υποκειμενικότητα που συνοδεύει τη διαδικασία διατύπωσης κρίσεων. Η υποκειμενικότητα συνιστά εκ των πραγμάτων ένα εγγενές χαρακτηριστικό της διαδικασίας αξιολόγησης αλλά και του σχεδιασμού του χώρου σε ένα ευρύτερο πλαίσιο. Οι κρίσεις που διατυπώνονται από τους συμμετέχοντες ειδικούς, συνοδεύονται είτε σε μεγαλύτερο είτε σε μικρότερο βαθμό από την προσωπική οπτική του καθενός, αντικατοπτρίζοντας ταυτόχρονα την προσωπική διαίσθηση, την ορθολογιστική συλλογιστική και τη λογική στη βάση της οποίας δομούνται οι κρίσεις και τα συμπεράσματα του κάθε ειδικού.

Καθίσταται συνεπώς σαφής η ανάγκη για τη διαχείριση ποιοτικής φύσεως δεδομένων τα οποία εμπεριέχουν το χαρακτηριστικό της αοριστίας, είναι δύσκολο να προσαρμοστούν στα αυστηρά όρια της δίτιμης (crisp) λογικής εκφραζόμενα ως απόλυτες αριθμητικές τιμές, η ερμηνεία τους ενσωματώνει πολλαπλές διαστάσεις ενώ σε αρκετές περιπτώσεις, εκφράζονται μέσα από την υιοθέτηση λεκτικών όρων.

Το μοντέλο Multipol αξιοποιεί αριθμητικές τιμές μέσω των οποίων, αναπαρίστανται οι κρίσεις των ειδικών που αφορούν στις επιδόσεις των δράσεων και των πολιτικών ως προς τα κριτήρια αξιολόγησης καθώς και στα βάρη που αποδίδονται από τους ειδικούς στα κριτήρια. Χρησιμοποιούνται συνεπώς τα αξιώματα της δίτιμης λογικής προκειμένου το Multipol να μοντελοποιήσει ποιοτικής φύσεως δεδομένα σχετιζόμενα με διατυπωμένες κρίσεις και απόψεις. Το γεγονός αυτό συνιστά μία αφετηρία για περαιτέρω μελέτη που εστιάζει, στην αναζήτηση ενός νέου τρόπου μοντελοποίησης και αναπαράστασης των παραπάνω δεδομένων ο

οποίος θα προσαρμόζεται σε μεγαλύτερο βαθμό στην ανθρώπινη έκφραση και στον τρόπο που δομείται η ανθρώπινη συλλογιστική. Πιο αναλυτικά, θα ήταν εύλογη η αναζήτηση ενός εναλλακτικού μοντέλου που να εστιάζει:

- Στη διαχείριση πληροφορίας προερχόμενης από ειδικούς η οποία χαρακτηρίζεται από μία εγγενή αοριστία και ασάφεια,
- στη διαχείριση δεδομένων που ενσωματώνουν κάποιο βαθμό υποκειμενικότητας,
- στη διαχείριση απόψεων των ειδικών που δε διατυπώνονται με τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια,
- στη διαχείριση πιθανής έλλειψης ομοφωνίας μεταξύ των συμμετεχόντων ειδικών,
- στη διαχείριση της αβεβαιότητας που περιλαμβάνει η έκφραση σε φυσική γλώσσα,
- στην αναπαράσταση της εν λόγω αβεβαιότητας, και
- στη μοντελοποίηση της ανθρώπινης συλλογιστικής.

Παράλληλα, σημαντικά ζητήματα περαιτέρω εμβάθυνσης στο επίπεδο της αξιολόγησης και της λήψης αποφάσεων αποτελούν: η πολλαπλότητα των κριτηρίων αξιολόγησης, οι αντικρουόμενοι στόχοι που εμπλέκονται στη διαδικασία, οι πολλαπλοί συμμετέχοντες (stakeholders), η πολυπλοκότητα των προβλημάτων πολυκριτηριακής αξιολόγησης, ο υψηλός βαθμός αβεβαιότητας, τα διαφορετικής φύσεως δεδομένα καθώς και τα διαφορετικά ενδιαφέροντα των εμπλεκόμενων stakeholders.

Σημαντικά οφέλη στο επίπεδο αυτό έχει να επιδείξει το soft computing, ως ένα σύνολο τεχνικών που στοχεύουν στη μείωση των επιπτώσεων που η ασάφεια, η αοριστία, η υποκειμενικότητα και η αβεβαιότητα επιφέρουν στη διαδικασία επίλυσης ανάλογου τύπου προβλημάτων. Το soft computing, όπως έχει αναφερθεί σε προγενέστερο κεφάλαιο, παρέχει ένα διαχειριστικό πλαίσιο για τη δόμηση μεθοδολογιών επίλυσης προβλημάτων τα οποία εμπλέκουν ζητήματα αναπαράστασης, μοντελοποίησης και διαχείρισης ποιοτικής πληροφορίας είτε εναλλακτικά, θέτουν ζητήματα ταυτόχρονης διαχείρισης ποιοτικής και ποσοτικής πληροφορίας.

Το soft computing, ως προσέγγιση, εξασφαλίζει την παροχή περισσότερο κατανοητών και εύρωστων μοντέλων τα οποία αποτελούν αντιπροσωπευτικότερες

αναπαραστάσεις των παραμέτρων που εμπλέκονται στο εκάστοτε πρόβλημα και των σχέσεων αλληλεπίδρασης που υφίστανται μεταξύ των εν λόγω παραμέτρων.

Στην περίπτωση που εξετάζεται στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής, οι τεχνικές του soft computing δύνανται να συνεισφέρουν: στο επίπεδο της διαχείρισης αόριστης και ασαφούς πληροφορίας, στη διαχείριση λεκτικών όρων με τη βοήθεια των οποίων σε αρκετές περιπτώσεις διατυπώνονται οι απόψεις των ειδικών, στην ενίσχυση της ερμηνείας της πληροφορίας που απαιτεί η διενέργεια μίας διαδικασίας πολυκριτηριακής αξιολόγησης, στη διαχείριση ποιοτικής πληροφορίας προερχόμενης από τους ειδικούς, στη διαχείριση της υποκειμενικής φύσης της πληροφορίας και τέλος στη δυνατότητα εκπόνησης υπολογισμών μεταξύ ποιοτικών τιμών.

Η διατύπωση κρίσεων σχετικά με τις επιδόσεις και τα βάρη που αποδίδονται με τη βοήθεια λεκτικών όρων, η σύνθεση κανόνων στο πλαίσιο ενός μηχανισμού εκτέλεσης συλλογισμών και εξαγωγής συμπερασμάτων μέσω των οποίων συσχετίζονται οι επιδόσεις και τα βάρη και, η συνεπαγόμενη μαθηματικοποίηση των διαδικασιών αυτών συνιστούν μία εναλλακτική προοπτική αξιοποίησης του μοντέλου Multipol. Η προοπτική αυτή δίνει έμφαση στην αποσύνδεση του μοντέλου από τα αυστηρά αξιώματα της δίτιμης λογικής προτείνοντας έναν διαφορετικό τρόπο μοντελοποίησης, ο οποίος προσαρμόζεται καλύτερα στην ποιοτική φύση των δεδομένων και της πληροφορίας που προέρχεται από την ανθρώπινη συλλογιστική.

Σύμφωνα με τα όσα διατυπώθηκαν παραπάνω, στο κεφάλαιο που ακολουθεί προτείνεται ένα μοντέλο διαφοροποιημένο από το αρχικό το οποίο, στη βάση των αξιωμάτων του soft computing, αξιοποιεί μία διαφορετική προσέγγιση στηριζόμενη στη λογική της ασάφειας. Η επιλογή αυτής της προσέγγισης και των αντίστοιχων τεχνικών βασίστηκε στα χαρακτηριστικά του μοντέλου Multipol που αναλύθηκαν παραπάνω. Χαρακτηριστικά με ιδιαίτερο ερευνητικό ενδιαφέρον και με προοπτικές για περαιτέρω εξέλιξη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ MULTIPOL ΚΑΙ FAIDRA – Η ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΤΗΣ ΑΣΑΦΟΥΣ ΛΟΓΙΚΗΣ ΣΤΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

Το κεφάλαιο αυτό εστιάζει στην παρουσίαση του ΣΣΑ FAIDRA το οποίο αποτελείται από δύο επιμέρους ασαφή συστήματα, το FAIDRA I (σύστημα ασαφούς συμπερασμού) και το FAIDRA II (λεκτικό υπολογιστικό μοντέλο). Τα συστήματα FAIDRA I και FAIDRA II συνιστούν δύο διαφοροποιημένες εκδοχές της πολυκριτηριακής αξιολόγησης Multipol, στηριζόμενες στην αξιοποίηση των εργαλείων που προσφέρει η ασαφής λογική. Πρόκειται για την εισαγωγή μίας νέας προσέγγισης στη διαδικασία αξιολόγησης που υλοποιεί το μοντέλο Mutlipol, με στόχο τη διαχείριση των επιμέρους ζητημάτων που εντοπίστηκαν (είδος δεδομένων, επεξεργασία δεδομένων) και περιγράφηκαν λεπτομερώς στο κεφάλαιο που προηγήθηκε. Πιο αναλυτικά, το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στη διαχείριση της αοριστίας και της ασάφειας που εμπεριέχεται στα δεδομένα και την πληροφορία που αξιοποιείται κατά τη διαδικασία της αξιολόγησης, στη διαχείριση των περιορισμών που θέτουν τα αυστηρά όρια μεταξύ των διακριτών τιμών της δίτιμης λογικής καθώς και στη διαχείριση κρίσεων που διατυπώνονται ως αποτέλεσμα της συλλογιστικής διαδικασίας, όπως αυτή υλοποιείται από τον ανθρώπινο εγκέφαλο. Έτσι, διερευνάται η δυνατότητα υιοθέτησης ενός νέου μοντέλου αξιολόγησης, το οποίο θα προσεγγίζει σε μεγαλύτερο βαθμό τον τρόπο σκέψης, συλλογιστικής και έκφρασης του ανθρώπινου εγκεφάλου και θα παρέχει έναν εναλλακτικό τρόπο αναπαράστασης της διαδικασίας διατύπωσης κρίσεων, εκτίμησης επιπτώσεων και απόδοσης βαρών.

Έμφαση προς την κατεύθυνση αυτή δίνεται στην αξιοποίηση του soft computing και των αντίστοιχων μεθόδων και τεχνικών, μέσα από τις οποίες καθίσταται δυνατή η καθιέρωση ενός περισσότερο κατανοητού και ισχυρού πλαισίου μελέτης μίας σειράς φαινομένων η μοντελοποίησή των οποίων, στη βάση των αξιωμάτων της δίτιμης λογικής, συνεπάγεται αφενός την ανάγκη διακριτοποίησής τους και αφετέρου υψηλό υπολογιστικό κόστος. Ως εκ τούτου, αναζητώνται τρόποι μοντελοποίησης και αναπαράστασης της συλλογιστικής διαδικασίας οι οποίοι είναι μάλλον προσεγγιστικοί παρά ακριβείς.

Η προσέγγιση του soft computing παρέχει μία σειρά μεθοδολογιών που εστιάζουν στην αξιοποίηση της έννοιας της ανοχής ως προς την ανακρίβεια και την

αβεβαιότητα, με στόχο την εύρεση «ευέλκτων», εύρωστων και χαμηλού υπολογιστικού κόστους λύσεων, χρησιμοποιώντας ως πρότυπο μοντελοποίησης τον ανθρώπινο εγκέφαλο (Zadeh, 1994b).

Στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής, υιοθετήθηκαν οι αρχές και τα αξιώματα της ασαφούς λογικής προκειμένου να δομηθούν δύο εναλλακτικά μοντέλα, το FAIDRA I (σύστημα ασαφούς συμπερασμού) και το FAIDRA II (λεκτικό υπολογιστικό μοντέλο), για την υλοποίηση της διαδικασίας πολυκριτηρικής αξιολόγησης στη βάση της λογικής λειτουργίας του μοντέλου Multipol. Τα βασικά πλεονεκτήματα που προσφέρει η ασαφής λογική εντοπίζονται: στις δυνατότητες που παρέχει για τη διαχείριση λεκτικών όρων, στις δυνατότητες υλοποίησης μαθηματικών υπολογισμών μεταξύ των λεκτικών όρων καθώς και στις δυνατότητες διαχείρισης της ασάφειας που οι εν λόγω λεκτικοί όροι ενσωματώνουν. Έτσι, η ασαφής λογική δημιουργεί ένα πλαίσιο διαχείρισης της αβεβαιότητας και των κρίσεων που διατυπώνουν οι ειδικοί στην εκτίμηση των επιδόσεων και την απόδοση βαρών.

Συνοψίζοντας, τα σημεία που διερευνήθηκαν στο Multipol και παρουσιάζουν ενδιαφέρον στο επίπεδο αξιοποίησης της ασαφούς λογικής για τη δόμηση ενός εναλλακτικού μοντέλου πολυκριτηριακής αξιολόγησης, είναι τα ακόλουθα:

- Διαχείριση πληροφορίας προερχόμενης από ειδικούς η οποία από τη φύση της ενσωματώνει κάποιο βαθμό αοριστίας.
- Διαχείριση πιθανής ανακρίβειας που εμπεριέχεται στις κρίσεις που διατυπώνονται από τους ειδικούς.
- Διαχείριση της υποκειμενικής φύσης των δεδομένων και της πληροφορίας που εμπλέκονται σε μία διαδικασία αξιολόγησης.
- Διαχείριση αντιθέσεων / αποκλίσεων μεταξύ των κρίσεων των ειδικών για την επίτευξη μεγαλύτερου βαθμού συναίνεσης.
- Μοντελοποίηση της εγγενούς αβεβαιότητας της φυσικής γλώσσας.
- Διαχείριση της ενυπάρχουσας αβεβαιότητας που υπεισέρχεται σε περιπτώσεις προβλημάτων λήψης αποφάσεων και πολυκριτηριακής αξιολόγησης.
- Μοντελοποίηση της ανθρώπινης συλλογιστικής και των γνωσιακών καταστάσεων του ανθρώπινου εγκεφάλου.
- Διαχείριση λεκτικών εκφράσεων.
- Ενίσχυση της κατανόησης και της ερμηνείας των λεκτικών εκφράσεων.

- Διαχείριση ποιοτικής φύσεως πληροφορίας που προέρχεται από τους ειδικούς (π.χ. expert panels).
- Δυνατότητα εκπόνησης υπολογισμών μεταξύ ποιοτικών τιμών / λεκτικών εκφράσεων.

Στο πλαίσιο αυτό, η αξιοποίηση της ασαφούς λογικής μειώνει τις επιπτώσεις που οι αντίστοιχες προσεγγίσεις της δίτιμης λογικής συνεπάγονται, κατά τη διαδικασία αναζήτησης λύσεων σε προβλήματα όπου εμπλέκεται ποιοτικής φύσεως πληροφορία. Το βασικότερο πλεονέκτημα αυτής της προσέγγισης συνίσταται στις δυνατότητες που προσφέρει για τη μοντελοποίηση ποιοτικής πληροφορίας, διευκολύνοντας με αυτόν τον τρόπο διαδικασίες ανάλυσης προβλημάτων και λήψης αποφάσεων καθώς, είναι πιο εύκολο για τους ειδικούς που συμμετέχουν στις εν λόγω διαδικασίες να διατυπώσουν εκτιμήσεις χρησιμοποιώντας λεκτικούς όρους και ποιοτική πληροφορία.

Στις ενότητες που ακολουθούν, παρουσιάζεται η νέα προσέγγιση υλοποίησης της πολυκριτηριακής αξιολόγησης Multipol αξιοποιώντας τη λογική της ασάφειας και οι διαδικασίες δόμησης των νέων μοντέλων. Προτείνονται δύο εναλλακτικοί τρόποι υλοποίησης της αξιολόγησης όπου, ο μεν πρώτος εστιάζει στη δόμηση ενός έμπειρου ασαφούς συστήματος το οποίο μετατρέπει αυτόματα τα διακριτά (crisp) δεδομένα σε ασαφή (FAIDRA I), ο δε δεύτερος επικεντρώνει στην επεξεργασία λεκτικών όρων με τη βοήθεια των οποίων εκφράζονται οι εκτιμήσεις των ειδικών συμμετεχόντων στη διαδικασία αξιολόγησης ως προς τις επιδόσεις και τα βάρη των κριτηρίων αξιολόγησης (FAIDRA II). Στην πρώτη περίπτωση (FAIDRA I) σχεδιάζεται ένα σύστημα ασαφούς συμπερασμού, το οποίο στη βάση ενός αριθμού ασαφών κανόνων, υποστηρίζει τη διαδικασία λήψης αποφάσεων αξιοποιώντας προτασιακούς συλλογισμούς. Στη δεύτερη περίπτωση (FAIDRA II), οι συμμετέχοντες ειδικοί δεν εκφράζουν τις εκτιμήσεις τους μέσω αριθμητικών δεδομένων τα οποία ασαφοποιούνται στη συνέχεια αλλά, χρησιμοποιούν λεκτικούς όρους η επεξεργασία των οποίων γίνεται αξιοποιώντας τα αξιώματα της ασαφούς λογικής και τις δυνατότητες υλοποίησης υπολογισμών με την βοήθεια λεκτικών όρων.

8.1. Δόμηση Συστήματος Ασαφούς Συμπερασμού FAIDRA I

Η παρούσα ενότητα εστιάζει στην περιγραφή των διαδικασιών δόμησης του συστήματος ασαφούς συμπερασμού FAIDRA I, το οποίο σχεδιάστηκε στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής. Πιο αναλυτικά, παρουσιάζονται δύο επιμέρους υπο-συστήματα ασαφούς συμπερασμού, το υπο-σύστημα FAIDRA Ia: Action-Policy Evaluation (Αξιολόγηση Δράσεων-Πολιτικών) και το υπο-σύστημα FAIDRA Ib: Policy-Scenario Evaluation (Αξιολόγηση Πολιτικών-Σεναρίων), ο σχεδιασμός των οποίων στηρίχθηκε στη λογική του αλγόριθμου υλοποίησης του μοντέλου πολυκριτηριακής αξιολόγησης Multipol.

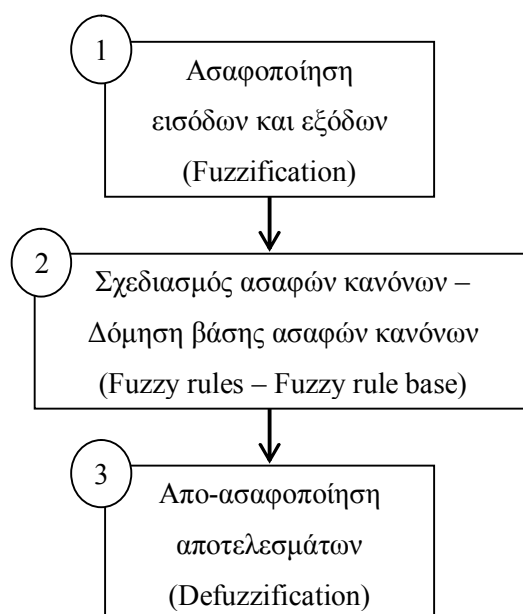
Τα αποτελέσματα των δύο επιμέρους αξιολογήσεων, και στην περίπτωση αυτή, προκύπτουν ως ένας συνδυασμός των επιδόσεων των δράσεων ως προς τα κριτήρια αξιολόγησης και των βαρών των κριτηρίων ως προς το περιεχόμενο των πολιτικών (πρώτη αξιολόγηση: Αξιολόγηση Δράσεων-Πολιτικών) αλλά και, ως ένας συνδυασμός των επιδόσεων των πολιτικών ως προς τα κριτήρια αξιολόγησης και των βαρών των κριτηρίων ως προς το περιεχόμενο των σεναρίων (δεύτερη αξιολόγηση: Αξιολόγηση Πολιτικών-Σεναρίων).

Ο σχεδιασμός του συστήματος FAIDRA I υλοποιήθηκε σε περιβάλλον Matlab με την αξιοποίηση της εργαλειοθήκης Fuzzy Logic Toolbox η οποία παρέχει στον χρήστη τη δυνατότητα δόμησης συστημάτων ασαφούς συμπερασμού σε Γραφικό Περιβάλλον Χρήστη (Graphical User interface – GUI).

Τα βασικά στάδια μέσα από τα οποία ολοκληρώθηκε ο σχεδιασμός του συστήματος ασαφούς συμπερασμού FAIDRA I είναι τρία και αφορούν κατά σειρά υλοποίησης (Σχήμα 8-1): την ασαφοποίηση (fuzzification) των εισόδων και των εξόδων, τον σχεδιασμό των ασαφών κανόνων (fuzzy rules) και τη δόμηση της βάσης ασαφών κανόνων (fuzzy rule base), καθώς και την απο-ασαφοποίηση (defuzzification) των αποτελεσμάτων που προκύπτουν.

Η διαδικασία δόμησης του ασαφούς συστήματος ολοκληρώνεται με τη συνολική θεώρηση και αξιολόγηση του νέου μοντέλου πολυκριτηριακής αξιολόγησης ενώ, διατυπώνονται συμπεράσματα σχετικά με τη συνεισφορά της ασαφούς λογικής στη διαδικασία της αξιολόγησης και στα συγκριτικά πλεονεκτήματα που η νέα προσέγγιση προσφέρει.

Οι ενότητες που ακολουθούν, εστιάζουν στην περιγραφή και στην τεκμηρίωση των διαδικασιών ασαφοποίησης των εισόδων και των εξόδων του ασαφούς συστήματος FAIDRA I, στην παρουσίαση της βάσης των ασαφών κανόνων και της λογικής στη βάση της οποίας δομήθηκαν οι ασαφείς κανόνες, στην περιγραφή του σταδίου της απο-ασαφοποίησης και στην τεκμηρίωση της επιλογής της καταλληλότερης για την περίπτωση του προβλήματος που εξετάζεται μεθόδου απο-ασαφοποίησης. Επίσης, δίνεται έμφαση στη συνολική θεώρηση της διαδικασίας μετάβασης από τα διακριτά μεγέθη (crisp) στα ασαφή μεγέθη (fuzzy), καθώς και στην περιγραφή των πλεονεκτημάτων που η νέα προσέγγιση έχει σε σχέση με την κλασική στο πλαίσιο της διαδικασίας πολυκριτηριακής αξιολόγησης.

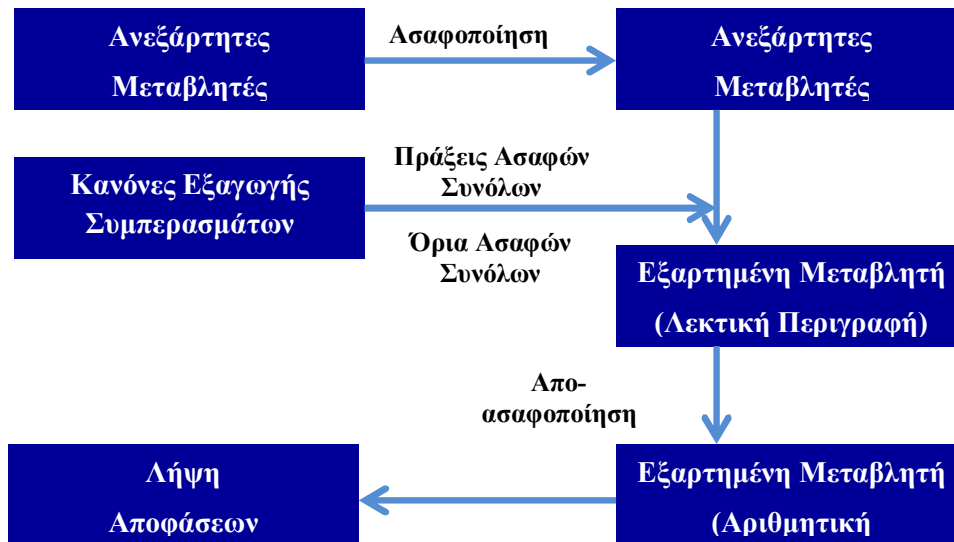


Σχήμα 8-1: Βασικά στάδια δόμησης συστήματος ασαφούς συμπερασμού

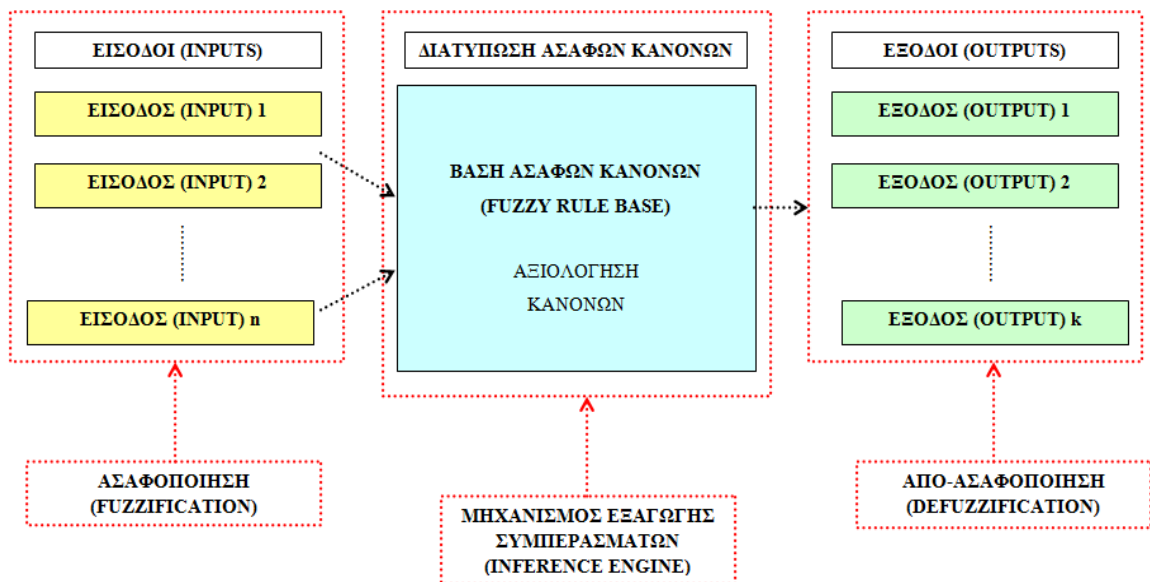
8.1.1. Στάδια Δόμησης Συστήματος Ασαφούς Συμπερασμού FAIDRA I

Η θεωρία των ασαφών συνόλων καθιστά δυνατή τη διαχείριση της ασάφειας μέσα από την παροχή μεθόδων και τεχνικών που επιτρέπουν την ποσοτικοποίησή της (Sivanandam et al., 2007). Ένα σύστημα ασαφούς συμπερασμού, όπως ήδη αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, επιτρέπει τη μετατροπή διακριτών τιμών σε ασαφείς οι οποίες, με την υποστήριξη των αξιωμάτων της ασαφούς λογικής, αξιοποιούνται για την εξαγωγή λογικών συμπερασμάτων μέσω της υλοποίησης συλλογισμών ενώ, το αποτέλεσμα της διαδικασίας αυτής μπορεί να εκφραστεί εκ νέου με τη βοήθεια διακριτών τιμών (Σχήμα 8-2).

Η διαδικασία δόμησης ενός συστήματος ασαφούς συμπερασμού λαμβάνει χώρα μέσα από την ολοκλήρωση τριών επιμέρους σταδίων (Σχήμα 8-3): της ασαφοποίησης, του ορισμού των ασαφών κανόνων στη βάση των οποίων εξάγονται τα συμπεράσματα και της απο-ασαφοποίησης.



*Σχήμα 8-2: Λειτουργία συστήματος ασαφούς συμπερασμού – Βάση σχεδίασης συστήματος ασαφούς συμπερασμού FAIDRA I
Πηγή: Shang and Hossen, 2013*



Σχήμα 8-3: Δομή συστήματος ασαφούς συμπερασμού – Βάση σχεδίασης συστήματος ασαφούς συμπερασμού FAIDRA I

Ασαφοποίηση

Η έννοια της ασαφοποίησης εισάγεται για πρώτη φορά το 1965 από τον Lotfi Zadeh, θεμελιωτή της ασαφούς λογικής, στην εργασία 'Fuzzy Sets' που δημοσιεύτηκε στο περιοδικό 'Information and Control'. Στην εργασία αυτή, δίνεται ο ορισμός του ασαφούς συνόλου ως *ένα σύνολο που περιλαμβάνει στοιχεία τα οποία δεν είναι απαραίτητο να ανήκουν ή να μην ανήκουν εξ ολοκλήρου σε αυτό, αλλά που μπορεί να ανήκουν σε αυτό μερικώς, γεγονός που εκφράζεται μέσω του «βαθμού συμμετοχής» (grade of membership) ενός στοιχείου στο αντίστοιχο ασαφές σύνολο (Zadeh, 1965).*

Η διαδικασία ασαφοποίησης αφορά στην αντικατάσταση ενός κλασικού διακριτού συνόλου τιμών (crisp set) από ένα ασαφές σύνολο, η διακριτή τιμή «5» για παράδειγμα, ασαφοποιείται όταν μετατρέπεται στην ασαφή τιμή «περίπου 5» (Zadeh, 1998). Έτσι, οι διακριτές τιμές μετατρέπονται σε ασαφείς μέσα από τον ορισμό των αντίστοιχων «συναρτήσεων συμμετοχής» (membership functions) (Sivanandam et al., 2007) οι οποίες αντιστοιχίζουν διακριτές τιμές σε ασαφή σύνολα, αποδίδοντας σε κάθε διακριτή τιμή ένα βαθμό συμμετοχής στα σύνολα αυτά (Klir and Yuan, 1995).

Το πρώτο στάδιο της διαδικασίας δόμησης ενός συστήματος ασαφούς συμπερασμού είναι αυτό της ασαφοποίησης, δηλαδή της μετατροπής διακριτών τιμών σε ασαφείς μέσα από την κατανομή τους σε αντίστοιχα ασαφή σύνολα τα οποία με τη σειρά τους αναπαρίστανται με τη βοήθεια των συναρτήσεων συμμετοχής.

Πιο αναλυτικά, η διαδικασία ασαφοποίησης των εισόδων και των εξόδων ενός συστήματος ασαφούς συμπερασμού περιλαμβάνει:

- Τον ορισμό των διαστημάτων των διακριτών τιμών στα οποία ορίζονται οι είσοδοι και οι έξοδοι (σύνολα αναφοράς),
- τον ορισμό των ασαφών συνόλων που αναπαριστούν τις λεκτικές τιμές των λεκτικών μεταβλητών (linguistic variables),
- την «κατανομή» των διακριτών τιμών, που εισάγονται για ασαφοποίηση στο σύστημα, στα επιμέρους ασαφή σύνολα – διαδικασία ασαφούς διαμέρισης (fuzzy partition), και
- τον ορισμό των συναρτήσεων συμμετοχής (membership functions) που αναπαριστούν τα ασαφή σύνολα, αποδίδοντας σε κάθε διακριτή τιμή

έναν αντίστοιχο βαθμό συμμετοχής της διακριτής τιμής στα σύνολα αυτά.

Συνοπτικά, η διαδικασία ασαφοποίησης αφορά στο λεκτικό διαμερισμό των εισόδων και των εξόδων ενός ασαφούς συστήματος, δηλαδή στην αναπαράσταση των εισόδων και των εξόδων με λεκτικούς όρους, στον ορισμό των ασαφών συνόλων και στον ορισμό του βαθμού συμμετοχής κάθε διακριτής εισόδου σε κάθε ασαφές σύνολο με τη βοήθεια των συναρτήσεων συμμετοχής.

Η έννοια της λεκτικής μεταβλητής συνιστά θεμελιώδες συστατικό της ασαφούς λογικής και εκφράζει ό,τι και η αριθμητική μεταβλητή στην περίπτωση της δίτιμης λογικής. *«Η σημαντικότητα των λεκτικών μεταβλητών έγκειται στο γεγονός ότι παρέχουν τη δυνατότητα βαθμιαίων μεταβάσεων μεταξύ διαφορετικών ασαφών καταστάσεων, μέσω των οριακών επικαλύψεων μεταξύ γειτονικών ασαφών συνόλων καθώς, έχουν τη φυσική ικανότητα να εκφράζουν και να αποδίδουν καλύτερα την αβεβαιότητα ή την υποκειμενικότητα, συγκριτικά με τις κλασικές μεταβλητές»* (Θεοδώρου, 2012).

Κάθε λεκτική μεταβλητή αντιστοιχεί σε ένα ασαφές σύνολο και ως εκ τούτου αναπαρίσταται από την αντίστοιχη συνάρτηση συμμετοχής. Η *συνάρτηση συμμετοχής* είναι μία ειδική κατηγορία συνάρτησης και αντιστοιχίζει σε κάθε διακριτή τιμή ένα βαθμό συμμετοχής στο ασαφές σύνολο που αναπαριστά. Σε κάθε περίπτωση ασαφοποίησης, η επιλογή της πλέον κατάλληλης συνάρτησης συμμετοχής είναι ένα θέμα που εμπεριέχει το στοιχείο της υποκειμενικότητας και σε πολύ μεγάλο βαθμό ο ορισμός της εξαρτάται άμεσα από το πρόβλημα που κάθε φορά μοντελοποιείται (Kecman, 2001).

Ο σχεδιασμός των πλέον κατάλληλων συναρτήσεων συμμετοχής για την αναπαράσταση ασαφών εννοιών και των αντίστοιχων ασαφών συνόλων αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την ορθότητα και εγκυρότητα των αποτελεσμάτων ενός συστήματος ασαφούς συμπερασμού (Θεοδώρου, 2012). Στο σημείο αυτό θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι το ζήτημα της επιλογής και της δόμησης των περισσότερο κατάλληλων συναρτήσεων συμμετοχής, ανάλογα με τις ανάγκες της εκάστοτε εφαρμογής, συνιστά θεμελιώδες ερευνητικό ζήτημα καθώς, παρά το γεγονός ότι έχει μελετηθεί αρκετά (Θεοδώρου, 2012), δεν υφίσταται προς το παρόν κάποιο ενιαίο πλαίσιο που να καθορίζει τον τύπο της πλέον κατάλληλης συνάρτησης συμμετοχής που θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ανά περίπτωση.

Κατά τη διαδικασία μετατροπής των διακριτών τιμών σε ασαφείς, αξιοποιείται σε πολύ μεγάλο βαθμό η αποκτηθείσα εμπειρία από τη δόμηση ασαφών συστημάτων για την επίλυση παρόμοιων προβλημάτων. Παράλληλα, η συμβολή των ειδικών είναι ουσιαστική καθώς, η ενσωμάτωση της γνώσης και της εμπειρίας τους μέσα από τη διατύπωση κρίσεων είναι καθοριστικής σημασίας για την επιτυχή ολοκλήρωση της μοντελοποίησης και την εξαγωγή ορθών αποτελεσμάτων του εκάστοτε ασαφούς συστήματος που σχεδιάζεται.

Οι σχεδιαστές ασαφών συστημάτων έχουν στη διάθεσή τους μία σειρά από μεθόδους ασαφοποίησης οι οποίες εφαρμόζονται κατά περίπτωση ανάλογα με την κρίση τους, τη φύση του προβλήματος που εξετάζεται και την εφαρμογή που σχεδιάζεται για την επίλυσή του. Η συνηθέστερη μέθοδος ασαφοποίησης είναι η μέθοδος της διαίσθησης, όπου οι συναρτήσεις συμμετοχής ορίζονται στη βάση της εμπειρίας που ο σχεδιαστής των συναρτήσεων έχει αποκομίσει από τη διαχείριση παρόμοιου τύπου προβλημάτων.

Με βάση τα αποτελέσματα της βιβλιογραφικής έρευνας σχετικά με το θέμα της ασαφοποίησης διακριτών τιμών, παρουσιάζονται στη συνέχεια οι κυριότερες μέθοδοι ασαφοποίησης καθώς και τα βασικά τους χαρακτηριστικά (Ross, 2004; Sivanandam et al., 2007):

- *Διαισθητική Μέθοδος (Intuition)*: Η μέθοδος αυτή βασίζεται κυρίως στον βαθμό κατανόησης του προβλήματος που εξετάζεται και στη λογική με την οποία ο ειδικός που καλείται να ορίσει τις συναρτήσεις συμμετοχής, προσεγγίζει το πρόβλημα. Στην περίπτωση αυτή, απαιτείται βαθιά γνώση του προβλήματος και των διαστάσεών του ενώ, σημαντικό είναι και το ζήτημα της επιλογής του αριθμού των συναρτήσεων (καμπυλών) καθώς και των επικαλύψεων που θα υπάρχουν μεταξύ τους. Συνεπώς, η διαισθητική μέθοδος «δίνει» προτεραιότητα στην ικανότητα του ανθρώπου να κατανοεί το πρόβλημα που διαχειρίζεται, στην «έμφυτη νοημοσύνη» του, την οποία και θα πρέπει να ενσωματώσει στο υπό σχεδίαση ασαφές σύστημα, στην αντίληψή του καθώς και στην καλή γνώση του περιεχομένου, του νοήματος και της σημασιολογικής διάστασης του θέματος που κάθε φορά εξετάζεται.
- *Συμπερασματική Μέθοδος (Inference)*: Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην ύπαρξη αποθέματος γνώσης σχετικής με το πρόβλημα που εξετάζεται

και στην αξιοποίησή της για την εξαγωγή συμπερασμάτων και τον σχεδιασμό των συναρτήσεων συμμετοχής. Στην περίπτωση αυτή, η μορφή των συναρτήσεων συμμετοχής, τα ασαφή σύνολα που ορίζονται και οι βαθμοί συμμετοχής που αποδίδονται στις διακριτές τιμές απορρέουν από την υπάρχουσα γνώση και εμπειρία, η οποία υποστηρίζει την εξαγωγή συμπερασμάτων που αξιοποιούνται κατά τη διαδικασία της ασαφοποίησης.

- *Μέθοδος Ιεράρχησης (Rank Ordering)*: Η μέθοδος αυτή αξιοποιεί την έννοια της «σφυγμομέτρησης» προκειμένου να αποδοθούν, στις διακριτές τιμές, τιμές συμμετοχής (membership values) μέσα από μία διαδικασία ιεράρχησης. Συνεπώς, κατά τη διαδικασία της ασαφοποίησης, υπεισέρχεται η έννοια της προτίμησης η οποία εκφράζεται μέσα από τη διενέργεια «συγκρίσεων ανά ζεύγη» ώστε τελικά να προκύψει η ιεράρχηση της συμμετοχής. Υπό αυτή τη λογική, δομείται ένας πίνακας οι σειρές και οι στήλες του οποίου περιλαμβάνουν τις διακριτές τιμές που πρόκειται να ασαφοποιηθούν. Στο πλαίσιο αυτό, συγκεντρώνεται μία ομάδα ειδικών καθένας από τους οποίους καλείται να εκφράσει την προτίμησή του ως προς τις διακριτές τιμές και τον βαθμό συμμετοχής τους σε κάποιο ασαφές σύνολο. Η τιμή που θα συγκεντρώσει τον μεγαλύτερο αριθμό προτιμήσεων, είναι αυτή που ανήκει στο ασαφές σύνολο με τον μεγαλύτερο βαθμό συμμετοχής. Η διαδικασία διατύπωσης προτιμήσεων καταλήγει στον ορισμό των αντίστοιχων συναρτήσεων συμμετοχής. Οι ανά ζεύγη συγκρίσεις ορίζουν ουσιαστικά την κατάταξη της συμμετοχής κάθε διακριτής τιμής σε κάθε ασαφές σύνολο.
- *Γωνιακά Ασαφή Σύνολα (Angular Fuzzy Sets)*: Τα «γωνιακά» ασαφή σύνολα διαφέρουν από τα «κανονικά» / συνήθη ασαφή σύνολα (standard fuzzy sets) ως προς τον τρόπο ορισμού των συντεταγμένων τους καθώς, τα σύνολα αυτά ορίζονται στο σύνολο αναφοράς (universe of discourse) των γωνιών και η μορφή τους επαναλαμβάνεται ανά 2π κύκλους. Οι λεκτικές τιμές ορίζονται έτσι ώστε να μεταβάλλονται ανάλογα με τη γωνία θ που ορίζεται στον τριγωνομετρικό κύκλο και οι τιμές συμμετοχής τους ορίζονται στο $\mu(\theta)$. Το $\mu(\theta)$ ορίζεται από τη σχέση:

$$\mu_t(\theta) = t \tan(\theta)$$

όπου t , είναι η οριζόντια προβολή του ακτινικού διανύσματος (radial vector) και δίνεται ως το συνημίτονο της γωνίας θ ($\cos\theta$) δηλαδή: $t = \cos\theta$.

- *Νευρωνικά Δίκτυα (Neural Networks)*: Η μέθοδος αυτή αξιοποιείται για την προσομοίωση του τρόπου με τον οποίο λειτουργεί το δίκτυο νευρώνων στον ανθρώπινο εγκέφαλο κατά τη διαδικασία απόκτησης και διαχείρισης γνώσης. Στην περίπτωση αυτή, τα δεδομένα εισόδου στο νευρωνικό δίκτυο αξιοποιούνται για την εκπαίδευση του δικτύου, και για τον έλεγχο των αποτελεσμάτων που δίνει τελικά το δίκτυο. Αφού δημιουργηθεί το νευρωνικό δίκτυο, γίνεται η εκπαίδευση των αντίστοιχων τιμών συμμετοχής (membership values) σε διαφορετικές κλάσεις (σύνολα) προκειμένου να προσομοιωθεί η σχέση μεταξύ των συντεταγμένων (coordinate locations) και των τιμών συμμετοχής τους. Η διαδικασία εκπαίδευσης συνιστά μία επαναληπτική διαδικασία η οποία συνεχίζεται μέχρις ότου το νευρωνικό δίκτυο να μπορεί να προσομοιώσει ολόκληρο το σύνολο των τιμών εισόδου και εξόδου. Αφού το δίκτυο εκπαιδευτεί, η απόδοσή του μπορεί να ελεγχθεί με τη βοήθεια των δεδομένων ελέγχου (testing data) έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια για τον ορισμό συναρτήσεων συμμετοχής για οποιαδήποτε δεδομένα εισόδου στις διαφορετικές περιοχές που ορίζονται. Το αποτέλεσμα που προκύπτει από την εκπαίδευση του δικτύου συγκρίνεται με μία πραγματική τιμή (actual value) από το σύνολο των δεδομένων που χρησιμοποιούνται για έλεγχο. Στην ουσία, συγκρίνεται το $f(x)_{output}$ με το $f(x)_{actual}$ και υπολογίζεται η μεταξύ τους απόκλιση E (error measure) από τη σχέση:

$$E = f(x)_{actual} - f(x)_{output}$$

Στη συνέχεια η απόκλιση που έχει υπολογιστεί, κατανέμεται με εφαρμογή της τεχνικής back-propagation στα «κρυμμένα» επίπεδα

(hidden layers) του νευρωνικού δικτύου. Αφού το νευρωνικό δίκτυο εκπαιδευτεί, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό συναρτήσεων συμμετοχής.

- *Γενετικοί Αλγόριθμοι*: Η μέθοδος των γενετικών αλγορίθμων αξιολογεί την έννοια της εξέλιξης όπως διατυπώνεται στη θεωρία του Δαρβίνου. Στην περίπτωση αυτή, η διαδικασία ορισμού συναρτήσεων συμμετοχής περιλαμβάνει τον ορισμό κάποιων υποθετικών συναρτήσεων συμμετοχής, την κωδικοποίησή τους ως bit strings, την αλυσιδωτή σύνδεση αυτών των bit strings, την αξιολόγηση της καταλληλότητας κάθε συνόλου συναρτήσεων συμμετοχής μέσω της «συνάρτησης καταλληλότητας» (fitness function) και τον ορισμό των συναρτήσεων συμμετοχής ως παραμέτρων που ορίζουν τη «χαρτογράφηση» της λειτουργίας του υπό σχεδίαση συστήματος (functional mapping of the system). Η διαδικασία στηρίζεται ουσιαστικά, στον αρχικό ορισμό διαφορετικών πιθανών λύσεων για το υπό μελέτη πρόβλημα, στον έλεγχο των λύσεων αυτών ως προς την απόδοσή τους και στην επιλογή ενός συνόλου επικρατέστερων λύσεων (ύστερα από την αξιολόγησή τους). Στη συνέχεια, οι λύσεις αυτές «περνούν» από τις διαδικασίες της αναπαραγωγής (reproduction), της διασταύρωσης (crossover) και της μετάλλαξης (mutation) προκειμένου να δημιουργηθεί μία νέα γενιά πιθανών λύσεων, η απόδοση των οποίων αναμένεται να είναι καλύτερη σε σχέση με τις προηγούμενες. Αυτή η διαδικασία δημιουργίας νέων γενεών λύσεων συνεχίζεται έως ότου οι δύο τελευταίες γενεές να συγκλίνουν. Η αναζήτηση λύσης γίνεται μεταξύ ενός μεγάλου εύρους πιθανών λύσεων και οι γενετικοί αλγόριθμοι «προσπαθούν» να κάνουν μία έξυπνη αναζήτηση για μία λύση από ένα σχεδόν άπειρο αριθμό πιθανών λύσεων.
- *Επαγωγικός Συλλογισμός (Inductive Reasoning)*: Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται για τον ορισμό συναρτήσεων συμμετοχής μέσα από την εξαγωγή συμπερασμάτων από το ειδικό στο γενικό, αξιοποιώντας την αρχή της ελαχιστοποίησης της εντροπίας. Η εφαρμογή της μεθόδου προϋποθέτει την ύπαρξη μίας βάσης δεδομένων μέσα από την οποία καθίσταται δυνατή η περιγραφή των σχέσεων εισόδου-εξόδου. Είναι περισσότερο κατάλληλη στην περίπτωση «σύνθετων συστημάτων»

όπου τα δεδομένα είναι άφθονα και στατικά. Στις περιπτώσεις που τα δεδομένα είναι δυναμικά, η μέθοδος δε συνίσταται γιατί οι συναρτήσεις συμμετοχής θα μεταβάλλονται διαρκώς. Σκοπός της μεθόδου είναι η εξαγωγή ενός κανόνα που θα είναι αντικειμενικά έγκυρος και θα έχει καθολική εφαρμογή. Η εντροπία δίνει την αναμενόμενη αξία της πληροφορίας. Προκειμένου το σύνολο των δεδομένων να επιμεριστεί και αυτά να κατανεμηθούν σε αντίστοιχες συναρτήσεις συμμετοχής, προηγείται μία διαδικασία ορισμού «ασαφών κατώφλιων» μεταξύ των κλάσεων (κατηγοριών) των δεδομένων. Έτσι, είναι δυνατόν να οριστεί ένα κατώφλι με μία μέθοδο ελαχιστοποίησης της εντροπίας και να ξεκινήσει η διαδικασία της κατάτμησης, αρχικά σε δύο κλάσεις. Διαιρώντας τις δύο αυτές κλάσεις ακόμη μία φορά προκύπτουν τρεις διαφορετικές κλάσεις. Μία επαναλαμβανόμενη κατάτμηση με υπολογισμό των «τιμών κατώφλι» επιτρέπει τη διαίρεση του συνόλου των δεδομένων σε έναν αριθμό κλάσεων ή ασαφών συνόλων, ανάλογα με το σχήμα που χρησιμοποιείται για την περιγραφή της συμμετοχής σε κάθε σύνολο.

Εξίσου σημαντικός και καθοριστικός με την επιλογή των κατάλληλων συναρτήσεων συμμετοχής είναι και ο παράγοντας του βαθμού επικάλυψης των εν λόγω συναρτήσεων. Τα γειτονικά ασαφή σύνολα επικαλύπτονται μεταξύ τους εντός ενός ορισμένου διαστήματος, οι τιμές του οποίου ανήκουν ταυτόχρονα και στα δύο γειτονικά ασαφή σύνολα με διαφορετικό ή και με τον ίδιο βαθμό συμμετοχής (σημεία τομής συναρτήσεων συμμετοχής).

Το ποσοστό επικάλυψης μεταξύ των ασαφών συνόλων είναι ένα βασικό στάδιο της διαδικασίας σχεδιασμού ενός ασαφούς συστήματος (Ghanea-Hercock, 2003) από το οποίο επηρεάζονται σημαντικά τα αποτελέσματα που τελικά θα δώσει το σύστημα. Αν και το ζήτημα της επικάλυψης μεταξύ των ασαφών συνόλων έχει απασχολήσει σε πολύ μεγάλο βαθμό τους επιστήμονες που δραστηριοποιούνται στην περιοχή των ασαφών συστημάτων, ένας γενικός κανόνας που να ορίζει το βέλτιστο ποσοστό επικάλυψης μεταξύ δύο ασαφών συνόλων δεν υπάρχει και η επικάλυψη εξαρτάται συνήθως από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της εκάστοτε εφαρμογής (Θεοδώρου, 2012), από τον τύπο του προβλήματος που μοντελοποιείται, την έννοια που μοντελοποιείται, τον τύπο της συνάρτησης συμμετοχής που αναπαριστά τα ασαφή σύνολα και τον βαθμό αβεβαιότητας που ενσωματώνει κάθε ασαφές σύνολο.

Σημαντικό ρόλο παίζει και η συμμετρικότητα μεταξύ των συναρτήσεων συμμετοχής (Driankov et al., 1996) την οποία καθορίζει σε μεγάλο βαθμό και ο μεταξύ τους βαθμός επικάλυψης. Έτσι, η επικάλυψη μεταξύ δύο γειτονικών ασαφών συνόλων είναι ένα ζήτημα «ανοιχτό» σε πειραματισμό (Dadios, 2003) και ως εκ τούτου καθορίζεται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τον σχεδιαστή του εκάστοτε ασαφούς συστήματος.

Εάν η περιοχή επικάλυψης είναι πολύ μεγάλη, τότε υπάρχει μικρή διάκριση μεταξύ των ασαφών συνόλων που επικαλύπτονται ενώ εάν είναι πολύ μικρή το σύστημα προσεγγίζει τη δίτιμη λογική και η επίδοσή του είναι ανεπαρκής (Welstead, 1994). Διαφορετικά, όσο μεγαλύτερη είναι η επικάλυψη μεταξύ δύο ασαφών συνόλων, τόσο περισσότερο συγχέεται η διάκριση τους ενώ, όσο ο βαθμός επικάλυψης μειώνεται, τόσο περισσότερο τα σύνολα αυτά προσεγγίζουν τα κλασικά σύνολα, αφού τελικά προκύπτουν υπερβολικά «απότομα» μεταξύ τους σύνορα (Θεοδώρου, 2012). Συνήθως, η επικάλυψη που υφίσταται μεταξύ γειτονικών ασαφών συνόλων είναι περίπου ίση με 25% (Kosko, 1992) ή κυμαίνεται εντός ενός διαστήματος 25%-50% (Schwarze, 1996; Rodriguez et. al, 2008) ή φτάνει έως το 50% (Chen et al., 2010).

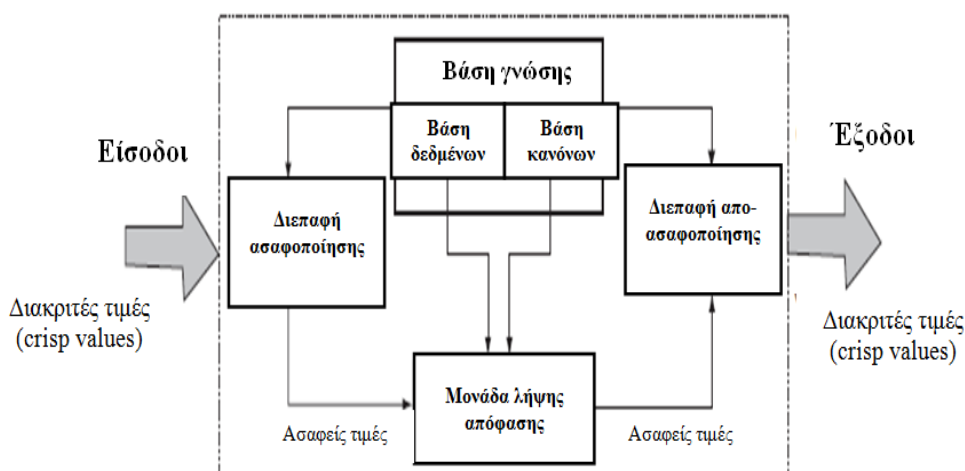
Ορισμός ασαφών κανόνων – Βάση ασαφών κανόνων

Το σύνολο των ασαφών κανόνων και ο μηχανισμός εξαγωγής συμπερασμάτων συνιστούν τον πυρήνα ενός συστήματος ασαφούς συμπερασμού, τη βάση επάνω στην οποία λαμβάνονται οι αποφάσεις καθώς, οι κανόνες σύμφωνα με τους οποίους δομούνται τα συμπεράσματα αποτελούν τη βάση γνώσης που υποστηρίζει τη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Οι ασαφείς μεταβλητές και οι ασαφείς κανόνες διαδραματίζουν έναν εξαιρετικά κρίσιμο ρόλο στην κατανόηση και τον σχεδιασμό των ασαφών συστημάτων καθώς μέσα από τη διαδικασία της ασαφούς τμηματοποίησης (fuzzy granulation) της πληροφορίας παρέχεται η δυνατότητα συμπίεσής της (information compression) (Zadeh, 2008). Σύμφωνα με τους Dubois και Prade, οι ασαφείς κανόνες συνιστούν ένα εργαλείο-κλειδί για τη διατύπωση γνώσης στα πλαίσια της ασαφούς λογικής (Dubois and Prade, 1996).

Ένα ασαφές σύστημα (Σχήμα 8-4) αντιστοιχίζει ένα σύνολο εισόδων σε ένα αντίστοιχο σύνολο εξόδων αφού πρώτα οι είσοδοι και οι έξοδοι ασαφοποιηθούν και αφού ολοκληρωθεί η επεξεργασία τους στη βάση των όσων ορίζουν οι ασαφείς

κανόνες. Οι έξοδοι που προκύπτουν, ανάλογα με την περίπτωση, είτε αναπαρίστανται ως ασαφή σύνολα είτε απο-ασαφοποιούνται και αναπαρίστανται εκ νέου με τη βοήθεια διακριτών τιμών.

Ένα ασαφές σύστημα, στο σύνολό του, είναι ένας «μη-γραμμικός μετασχηματισμός F , που αντιστοιχίζει ένα σύνολο λεκτικών εισόδων X (πεδίο ορισμού), σε ένα σύνολο λεκτικών εξόδων Y (πεδίο τιμών) $F: X \rightarrow Y$ ή πιο απλά, είναι ένα σύνολο αποτελούμενο από 'IF-THEN' ασαφείς κανόνες που αντιστοιχίζουν λέξεις-εισόδους, σε λέξεις-εξόδους» (Θεοδώρου, 2012).



Σχήμα 8-4: Σύστημα Ασαφούς Συμπερασμού
Πηγή: Sivanandam et al., 2007

Έτσι, ένας ασαφής IF-THEN κανόνας λειτουργεί ως μία ειδική συνάρτηση η οποία αποδίδεται μέσω μιας γλωσσικής έκφρασης του τύπου:

IF <fuzzy πρόταση> THEN <fuzzy πρόταση>

όπου <fuzzy πρόταση> και για τις εισόδους αλλά και για τις εξόδους του συστήματος είναι δηλώσεις του τύπου <x είναι A>, όπου A είναι ένα ασαφές σύνολο (Θεοδώρου, 2012).

Μία γλωσσική έκφραση μπορεί επίσης να είναι «μία σύνθεση ενιαίων δηλώσεων όπως < x_1 είναι A_1 AND x_2 είναι A_2 OR x_3 είναι A_3 >, όπου οι σύνδεσμοι AND και OR εκφράζουν την ασαφή τομή και την ασαφή ένωση αντίστοιχα» (Θεοδώρου, 2012). Υπό αυτή τη λογική, οι ασαφείς κανόνες συνιστούν τη βάση για την εξαγωγή του ασαφούς αποτελέσματος.

Οι κανόνες που συντίθενται στα πλαίσια δόμησης ενός συστήματος ασαφούς συμπερασμού, αποτελούνται από λεκτικές μεταβλητές οι οποίες αναπαριστούν τόσο τις υποθέσεις που διατυπώνονται στο πρώτο μέρος του κάθε κανόνα (IF μέρος του κανόνα) όσο και τα συμπεράσματα που διατυπώνονται στο δεύτερο μέρος του κανόνα (THEN μέρος του κανόνα) όταν οι υποθέσεις ικανοποιούνται (Sivanandam et al., 2007).

Η διαδικασία δόμησης κανόνων είναι στενά συνυφασμένη με τον τύπο και τη φύση του προβλήματος που κάθε φορά εξετάζεται αλλά και με τις αντίστοιχες συνθήκες που θα πρέπει να ικανοποιούνται. Συνεπώς, δεν υπάρχει ένα μοναδικό είδος κανόνων ενώ η ερμηνεία τους είναι αυτή που υπαγορεύει τον τρόπο που οι κανόνες συνδυάζονται μεταξύ τους (Dubois and Prade, 1996).

Ωστόσο, υπάρχουν τρεις γενικοί τύποι κανόνων στη βάση των οποίων γίνεται η σύνθεση των λεκτικών μεταβλητών, που αποτελούν ουσιαστικά τη βάση δόμησης των ασαφών κανόνων. Οι τρεις αυτοί γενικοί τύποι είναι οι ακόλουθοι (Sivanandam et al., 2007):

- *Δηλώσεις εκχώρησης (assignment statements)*: Αφορά στην εκχώρηση ασαφών τιμών στις αντίστοιχες ασαφείς μεταβλητές, διαδικασία η οποία υλοποιείται μέσω του τελεστή εκχώρησης (assignment operator) '='. Οι δηλώσεις εκχώρησης συνιστούν απαραίτητα στοιχεία για τον σχηματισμό των ασαφών κανόνων και προφανώς η τιμή που κάθε φορά αποδίδεται στην αντίστοιχη μεταβλητή μπορεί να είναι ένας λεκτικός όρος.
- *Υποθετικές δηλώσεις (conditional statements)*: Αφορά στην εισαγωγή ορισμένων συγκεκριμένων υποθέσεων. Στην περίπτωση που οι υποθέσεις ικανοποιούνται, διατυπώνονται οι επακόλουθες δηλώσεις οι οποίες αναφέρονται και ως περιορισμοί. Οι δηλώσεις αυτές αναφέρονται και ως ασαφείς υποθετικές δηλώσεις (fuzzy conditional statements) και η γενική διατύπωσή τους είναι της μορφής: IF **condition** C THEN **restriction** F.
- *Απεριόριστές δηλώσεις (unconditional statements)*: Σε αυτόν τον τύπο δηλώσεων δεν υπάρχει κάποια συγκεκριμένη υπόθεση που θα πρέπει να ικανοποιείται. Ο έλεγχος μπορεί να μεταφέρεται χωρίς κάποιες «κατάλληλες» συνθήκες. Οι δηλώσεις αυτού του τύπου στην ασαφή τους μορφή διατυπώνονται ως ακολούθως:

R¹: Output is B¹ AND R²: Output is B² AND

όπου τα B¹ και B² είναι ασαφή συμπεράσματα (consequents)

Οι υποθέσεις και οι περιορισμοί συνδέονται μεταξύ τους με τα συνδετικά (connectors) *AND*, *OR*, *ELSE* και *THEN*. Με τον τρόπο αυτό, τίθενται οι υποθέσεις και οι περιορισμοί που αφορούν σε κάθε κανόνα. Παράλληλα, οι κανόνες είναι το «εργαλείο» μέσω του οποίου οι περιορισμοί που διατυπώνονται στις υποθέσεις, αντανakλώνται στα ανάλογα συμπεράσματα που εξάγονται (Zadeh, 1996). Οι ασαφείς κανόνες είναι στην ουσία μία διαδικασία υπολογισμών μεταξύ λέξεων. Σύμφωνα με τον Zadeh (1996), το βασικό πρόβλημα που αφορά στους λεκτικούς υπολογισμούς διατυπώνεται ως εξής (Zadeh, 1996):

Ως δεδομένο, τίθεται ένα σύνολο προτάσεων εκφρασμένων σε φυσική γλώσσα το οποίο αποτελεί το αρχικό σύνολο δεδομένων (Initial Data Set-IDS). Ο στόχος είναι η εξαγωγή, στη βάση αυτού του αρχικού συνόλου δεδομένων, μίας απάντησης σε ένα ερώτημα που τίθεται επίσης σε φυσική γλώσσα και η οποία αντίστοιχα αποτελεί το τελικό σύνολο δεδομένων (Terminal Data Set-TDS). Επομένως, το πρόβλημα αφορά στην εξαγωγή ενός τελικού συνόλου δεδομένων από ένα αρχικό σύνολο δεδομένων, λειτουργία η οποία αναπαρίσταται από μία συνάρτηση f της μορφής:

$$f: U \rightarrow V, \quad X \in U \text{ και } Y \in V$$

Η συνάρτηση αυτή περιγράφεται με τη βοήθεια λέξεων μέσω των αντίστοιχων ασαφών IF-THEN κανόνων και των αντίστοιχων διαζεύξεων (disjunctions) και καρτεσιανών γινομένων (Cartesian products) μεταξύ των λεκτικών τιμών, που περιλαμβάνονται στις υποθέσεις και τα συμπεράσματα των ασαφών κανόνων.

Δύο σημαντικά ζητήματα που υπεισέρχονται κατά τη διαδικασία δόμησης ενός συστήματος ασαφούς συμπερασμού είναι ο αριθμός των κανόνων και το πόσο σύνθετοι είναι οι κανόνες αυτοί. Αρκετές φορές, όταν οι κανόνες είναι πολλοί ή / και σύνθετοι (compound rule structure), για την καλύτερη διαχείρισή τους υπάρχει η δυνατότητα «απο-σύνθεσής» τους (decomposition) σε έναν αριθμό απλών κανόνων. Για την απο-σύνθεση των κανόνων υπάρχει μία σειρά μεθόδων κάθε μία από τις

οποίες εφαρμόζεται ανά περίπτωση. Ενδεικτικά αναφέρονται εδώ οι ακόλουθες (Sivanandam et al., 2007):

- *Πολλαπλές συνδεδεμένες υποθέσεις (multiple conjunction antecedents)*: Η μέθοδος αυτή αξιοποιεί τη λογική πράξη της τομής (intersection operation) καθώς χρησιμοποιεί το λεκτικό συνδετικό 'AND'. Στην περίπτωση αυτή, ο κανόνας μπορεί να είναι της μορφής: IF x is P^f THEN y is Q^f, όπου $P^f = P^1 \text{ AND } P^2 \dots \text{AND } P^n$.
- *Πολλαπλά διαζευκτικά συμπεράσματα (multiple disjunctive antecedents)*: Η μέθοδος αυτή αξιοποιεί τη λογική πράξη της ένωσης (union operation) καθώς χρησιμοποιεί το λεκτικό συνδετικό 'OR'. Στην περίπτωση αυτή, ο κανόνας μπορεί να είναι της μορφής: IF x is P^f THEN y is Q^f, όπου $P^f = P^1 \text{ OR } P^2 \dots \text{OR } P^n$.
- *Υποθετικές δηλώσεις που δομούνται με τη χρήση του 'ELSE' (conditional statements with 'ELSE')*: Στην περίπτωση αυτή, η απο-σύνθεση των κανόνων της μορφής: IF P¹ THEN (Q¹ ELSE Q²) μπορεί να είναι του τύπου: IF P¹ THEN Q¹ OR IF NOT P¹ THEN Q².
- *Ενθετοι IF-THEN κανόνες (nested IF-THEN rules)*: Στην περίπτωση αυτή οι κανόνες της μορφής IF P¹ THEN (IF P² THEN (Q²)) μπορεί να απο-συνθεθούν ως εξής: IF P¹ AND P² THEN Q¹.

Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας απο-σύνθεσης, οι απλοί κανόνες μπορεί στη συνέχεια να περιοριστούν σε έναν αριθμό σχέσεων.

Η διαδικασία εξαγωγής συμπερασμάτων προϋποθέτει την ενεργοποίηση ενός τουλάχιστον κανόνα του ασαφούς συστήματος. Συνήθως ενεργοποιούνται περισσότεροι του ενός κανόνες ενώ, κάθε κανόνας καταλήγει σε κάποιο συγκεκριμένο συμπέρασμα. Στην περίπτωση ενεργοποίησης περισσότερων του ενός κανόνων, η εξαγωγή ενός συνολικού συμπεράσματος προϋποθέτει τον συνυπολογισμό όλων των επιμέρους συμπερασμάτων των κανόνων που έχουν ενεργοποιηθεί. Η διαδικασία αυτή είναι γνωστή ως συσσώρευση (aggregation) των κανόνων και οι βασικές μέθοδοι που εφαρμόζονται για την υλοποίησή της είναι (Sivanandam et al., 2007):

- *Συνδετικό σύστημα κανόνων (conjunctive system of rules)*: Η εξαγωγή του τελικού συμπεράσματος είναι αποτέλεσμα της πράξης της ασαφούς

τομής (fuzzy intersection) στο σύνολο των επιμέρους συμπερασμάτων, η οποία λαμβάνει χώρα με την εφαρμογή του τελεστή 'AND'.

- *Διαζευτικό σύστημα κανόνων (disjunctive system of rules)*: Η εξαγωγή του τελικού συμπεράσματος είναι αποτέλεσμα της πράξης της ασαφούς ένωσης στο σύνολο των επιμέρους συμπερασμάτων, η οποία λαμβάνει χώρα με την εφαρμογή του τελεστή 'OR'.

Σε γενικές γραμμές, ένα σύνολο ασαφών κανόνων χαρακτηρίζεται από την *πληρότητα* (completeness) όπου κάθε συνδυασμός εισόδων αντιστοιχεί σε κάποια έξοδο, τη *συνέπεια* (consistency) όπου δύο κανόνες με τις ίδιες υποθέσεις αντιστοιχούν στα ίδια κοινά συμπεράσματα, τη *συνέχεια* (continuity) και την *αλληλεπίδραση* (interaction) (Sivanandam et al., 2007).

Απο-ασαφοποίηση

Η απο-ασαφοποίηση έπεται της επεξεργασίας των ασαφών κανόνων και της διαδικασίας εξαγωγής ασαφών συμπερασμάτων, και αφορά στη μετατροπή των ασαφών τιμών στις αντίστοιχες διακριτές τιμές. Είναι ουσιαστικά η αντίστροφη διαδικασία της ασαφοποίησης και το τρίτο και τελευταίο στάδιο δόμησης ενός συστήματος ασαφούς συμπερασμού.

Η υλοποίηση της διαδικασίας της απο-ασαφοποίησης υποστηρίζεται από μία σειρά μεθόδων με τη βοήθεια των οποίων, το ασαφές συμπέρασμα εκφράζεται εν τέλει μέσω μίας διακριτής τιμής. Διαφορετικά, η απο-ασαφοποίηση αντιστοιχεί ουσιαστικά ένα ασαφές σύνολο σε μία αντιπροσωπευτική αριθμητική τιμή. Η επιλογή της πλέον κατάλληλης μεθόδου απο-ασαφοποίησης ανά περίπτωση εξαρτάται από τον τύπο του προβλήματος που εξετάζεται και τον τύπο των αντίστοιχων αποτελεσμάτων που προκύπτουν. Ενδεικτικά, οι βασικότερες μέθοδοι απο-ασαφοποίησης τις οποίες υλοποιεί και το Matlab είναι οι ακόλουθες (Sivanandam et al., 2007; Ross, 2010; Θεοδώρου, 2012):

- Η μέθοδος του *κέντρου βάρους (centroid)*: Η μέθοδος του κέντρου βάρους είναι η συνηθέστερη μέθοδος απο-ασαφοποίησης που χρησιμοποιείται από τις εφαρμογές και υπολογίζει το κέντρο της περιοχής του ασαφούς συνόλου που αναπαριστά το εξαγόμενο

αποτέλεσμα ή διαφορετικά, το κέντρο βάρους του ασαφούς συνόλου. Υλοποιείται από τη σχέση:

$$z^* = \frac{\int \mu_{\underline{C}}(z) * z dz}{\int \mu_{\underline{C}}(z) dz}$$

όπου \underline{C} το ασαφές σύνολο που αναπαριστά το εξαγόμενο αποτέλεσμα, Z το πεδίο ορισμού της αντίστοιχης συνάρτησης συμμετοχής και $z \in Z$.

- Η μέθοδος της *διχοτόμου (bisector)*: Η μέθοδος αυτή τμηματοποιεί την περιοχή που ορίζεται από το ασαφές σύνολο που αναπαριστά την έξοδο σε δύο υπο-περιοχές ίσου εμβαδού. Σε κάποιες περιπτώσεις, το αποτέλεσμα αυτής της μεθόδου συμπίπτει με αυτό που προκύπτει από την εφαρμογή της μεθόδου του κέντρου βάρους.
- Η μέθοδος του *μέγιστου βαθμού συμμετοχής (Largest of Maximum-LOM or Max-membership principle)*: Στην περίπτωση αυτή, η τιμή που επιλέγεται ως αποτέλεσμα της διαδικασίας απο-ασαφοποίησης είναι η τιμή με το μεγαλύτερο βαθμό συμμετοχής στο ασαφές σύνολο που αναπαριστά την έξοδο.

$$\mu_{\underline{C}}(z^*) \geq \mu_{\underline{C}}(z) \text{ για κάθε } z \in Z$$

- Η μέθοδος της *μεσαίας τιμής των μεγίστων (Middle of Maximum-MOM or Mean max membership)*: Η μέθοδος αυτή επιλέγει ως αποτέλεσμα της διαδικασίας απο-ασαφοποίησης μία μέση τιμή των μεγίστων όταν, λόγω της μορφής της συνάρτησης συμμετοχής υπάρχουν περισσότερα του ενός μέγιστα. Ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα για την περίπτωση αυτή είναι οι τραπεζοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής όπου ο κόρος τους δεν είναι ένα μοναδικό σημείο αλλά μία περιοχή / ένα διάστημα ενός συνόλου σημείων. Έτσι η απο-ασαφοποιημένη τιμή υπολογίζεται από τη σχέση:

$$z^* = \frac{a + b}{2}$$

- Η μέθοδος του *ελάχιστου βαθμού συμμετοχής (Smallest of Maximum-SOM or First of maxima)*: Στην περίπτωση αυτή υπολογίζεται ως αποτέλεσμα η μικρότερη τιμή από αυτές που αντιστοιχούν στον μέγιστο βαθμό συμμετοχής των εξαγόμενων ασαφών συνόλων. Για τον σκοπό αυτό, η συγκεκριμένη μέθοδος απο-ασαφοποίησης χρησιμοποιεί το συνολικό αποτέλεσμα ή την ένωση του συνόλου των ξεχωριστών

ασαφών συνόλων που προκύπτουν ως εξαγόμενα μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας επεξεργασίας των ασαφών κανόνων.

Στις πλέον διαδεδομένες μεθόδους απο-ασαφοποίησης περιλαμβάνονται επίσης (Sivanandam et al., 2007; Ross, 2010): η μέθοδος του *σταθμισμένου μέσου όρου* (weighted average method) η οποία συνιστά μία από τις δημοφιλέστερες και υπολογιστικά αποτελεσματικότερες μεθόδους απο-ασαφοποίησης, η μέθοδος του *κέντρου των αθροισμάτων* η οποία συνιστά μία από τις ταχύτερες μεθόδους απο-ασαφοποίησης και η μέθοδος του *κέντρου της μεγαλύτερης περιοχής*, η εφαρμογή της οποίας προϋποθέτει την ύπαρξη τουλάχιστον δύο κυρτών υπο-περιοχών στο ασαφές σύνολο που αναπαριστά το εξαγόμενο αποτέλεσμα.

8.1.2. Δόμηση Ασαφούς Υπο-συστήματος FAIDRA Ia: Action-Policy Evaluation – Αξιολόγηση Δράσεων-Πολιτικών

Στην παρούσα ενότητα, παρουσιάζονται οι δύο εναλλακτικές προσεγγίσεις του συστήματος ασαφούς συμπερασμού και λήψης αποφάσεων FAIDRA I – FAIDRA Ia: Action-Policy Evaluation που δομήθηκαν με στόχο την υλοποίηση της πολυκριτηριακής αξιολόγησης των δράσεων ως προς τις πολιτικές, υπό τη λογική που η εν λόγω διαδικασία υλοποιείται στο πλαίσιο του μοντέλου MultiPol.

Οι δύο προσεγγίσεις, διαφέρουν ως προς τον τύπο των συναρτήσεων που επιλέχθηκαν κατά το στάδιο της ασαφοποίησης για την αναπαράσταση των εισόδων και της εξόδου καθώς, στην πρώτη περίπτωση τα ασαφή σύνολα αναπαρίστανται με τη βοήθεια τραπεζοειδών συναρτήσεων συμμετοχής ενώ στη δεύτερη περίπτωση μέσω τριγωνοειδών συναρτήσεων συμμετοχής. Ουσιαστικά, πρόκειται για δύο διακριτές προσεγγίσεις ως προς τη μοντελοποίηση των λεκτικών τιμών οι οποίες στη μεν πρώτη περίπτωση (τραπεζοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής), εκφράζουν τη συγκέντρωση τιμών γύρω από ένα διάστημα ενώ στη δεύτερη περίπτωση (τριγωνοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής), εκφράζουν τη συγκέντρωση τιμών γύρω από μία «κεντρική» τιμή (σημείο).

Η δόμηση των δύο εναλλακτικών προσεγγίσεων κρίθηκε σκόπιμη προκειμένου να ακολουθήσει μία συγκριτική ανάλυση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν ανά περίπτωση, να εντοπιστούν τα σημεία διαφοροποίησης των αποτελεσμάτων και να διερευνηθούν πιθανά πλεονεκτήματα / μειονεκτήματα της μίας προσέγγισης έναντι

της άλλης στο πλαίσιο κάθε μελέτης περίπτωσης που εξετάστηκε στην παρούσα διατριβή.

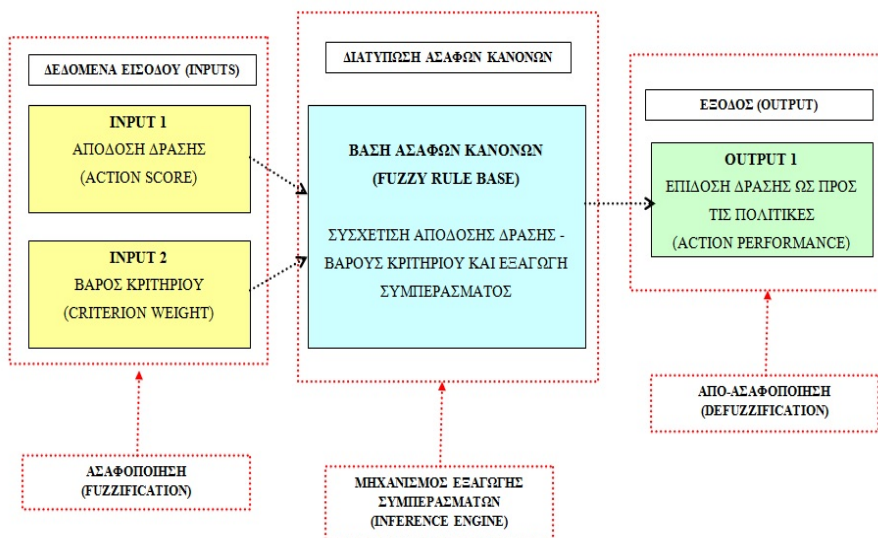
Στις παραγράφους που ακολουθούν περιγράφονται αναλυτικά οι διαδικασίες ασαφοποίησης – δόμησης ασαφών κανόνων – απο-ασαφοποίησης και τεκμηριώνονται οι επιλογές που έγιναν σε κάθε στάδιο υλοποίησης του συστήματος ασαφούς συμπερασμού FAIDRA Ia. Το σύστημα περιλαμβάνει δύο εισόδους και μία έξοδο, λειτουργεί στη βάση 25 ασαφών ισοβαρών κανόνων οι οποίοι ενεργοποιούνται κατά περίπτωση, και αξιολογεί μέσω των εν λόγω κανόνων ασαφούς συμπερασμού, έναν αριθμό δράσεων ως προς έναν αριθμό πολιτικών στη βάση ενός αριθμού κριτηρίων αξιολόγησης.

Η δόμηση του συστήματος υλοποιήθηκε σε περιβάλλον Matlab με την υποστήριξη της εργαλειοθήκης Fuzzy Logic Toolbox.

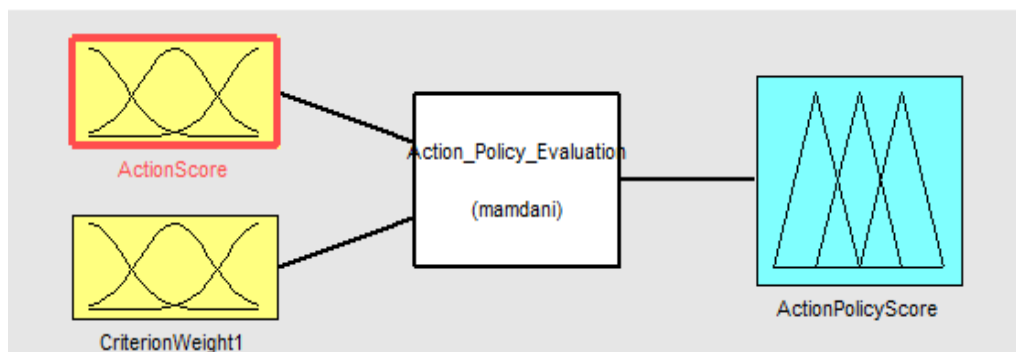
Ασαφοποίηση εισόδων και εξόδων με χρήση τραπεζοειδών συναρτήσεων συμμετοχής – Ασαφές υπο-σύστημα FAIDRA Ia: Action-Policy Evaluation

Όπως έχει ήδη αναφερθεί σε προηγούμενη ενότητα του παρόντος κεφαλαίου, η ασαφοποίηση συνιστά μία διαδικασία μετατροπής διακριτών τιμών σε ασαφείς τιμές μέσα από τον ορισμό ασαφών συνόλων και των αντίστοιχων συναρτήσεων συμμετοχής. Κάθε διακριτή τιμή που εισάγεται σε ένα ασαφές σύστημα, ασαφοποιείται, και αποδίδεται σε αυτήν ένας βαθμός συμμετοχής στα ασαφή σύνολα που έχουν οριστεί. Τα ασαφή σύνολα αναπαριστούν τις τιμές που λαμβάνει η αντίστοιχη λεκτική μεταβλητή, το σύνολο αναφοράς της οποίας περιλαμβάνει το σύνολο των διακριτών τιμών που εισάγονται για επεξεργασία στο ασαφές σύστημα.

Η παρούσα ενότητα εστιάζει στην περιγραφή της διαδικασίας ασαφοποίησης των εισόδων και των εξόδων του ασαφούς υπο-συστήματος FAIDRA Ia: Action-Policy Evaluation (Αξιολόγηση Δράσεων-Πολιτικών) (Σχήμα 8-5 και Σχήμα 8-6) όπως αυτό δομήθηκε στη βάση τραπεζοειδών συναρτήσεων συμμετοχής.



Σχήμα 8-5: Δομή ασαφούς υπο-συστήματος συμπερασμού FAIDRA Ia: Action-Policy Evaluation



Σχήμα 8-6: Δομή ασαφούς υπο-συστήματος συμπερασμού FAIDRA Ia: Action-Policy Evaluation στο Matlab

Το υπο-σύστημα FAIDRA Ia: Action-Policy Evaluation περιλαμβάνει δύο εισόδους:

- Την επίδοση των δράσεων ως προς τα κριτήρια αξιολόγησης: **Action Score**.
- Το βάρος των κριτηρίων αξιολόγησης ως προς το περιεχόμενο κάθε πολιτικής: **Criterion Weight 1**.

και μία έξοδο:

- Την επίδοση των δράσεων ως προς τις πολιτικές: **Action Policy Score**.

Για την ασαφοποίηση των εισόδων και της εξόδου, εφαρμόστηκε η μέθοδος της διαίσθησης (method of intuition) η οποία στηρίζεται στη σε βάθος κατανόηση του προβλήματος από την πλευρά του σχεδιαστή του ασαφούς συστήματος, στην κατανόηση των παραμέτρων που συνθέτουν το πρόβλημα και στην εμπειρία του σχεδιαστή, προερχόμενη από τη διαχείριση και τη μοντελοποίηση παρόμοιας φύσης

προβλημάτων. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η εμπειρία του σχεδιαστή ενισχύει τη γνώση του και την αντίληψή του ως προς το περιεχόμενο του εκάστοτε προβλήματος. Οι περισσότερες και δημοφιλέστερες μέθοδοι ασαφοποίησης (νευρωνικά δίκτυα, γενετικοί αλγόριθμοι κ.λπ.) προϋποθέτουν τη διαθεσιμότητα προϋπάρχουσας γνώσης που αφορά σε συγκεκριμένα προβλήματα, η οποία αξιοποιείται με τέτοιο τρόπο ώστε να αποτελεί τη βάση για την εξαγωγή συμπερασμάτων κατά τη διαδικασία επίλυσης παρόμοιου τύπου προβλημάτων.

Στην περίπτωση του προβλήματος που εξετάζεται, η υιοθέτηση μίας μεθόδου η οποία απαιτεί την ύπαρξη αποθέματος γνώσης για την εκπαίδευση δεδομένων (νευρωνικά δίκτυα) ή για την αναζήτηση βέλτιστων λύσεων (γενετικοί αλγόριθμοι) δεν ήταν δυνατή καθώς, το Multipol δεν περιορίζεται στην επίλυση ενός συγκεκριμένου τύπου προβλημάτων. Αντιθέτως, εφαρμόζεται σε περιπτώσεις πολυκριτηριακής αξιολόγησης με στόχο τη δόμηση πακέτων χάραξης πολιτικής για την επίλυση προβλημάτων που αναφέρονται σε ένα ευρύ φάσμα επιμέρους τομέων (μεταφορές, πολεοδομικός και χωροταξικός σχεδιασμός, ενέργεια, οικονομία κ.λπ.). Έτσι, η πιο κατάλληλη μέθοδος για την ασαφοποίηση των εισόδων και των εξόδων είναι η *μέθοδος της διαίσθησης* καθώς, υπάρχει αντίστοιχη εμπειρία από εφαρμογές του Multipol σε διαφορετικής φύσεως προβλήματα.

Επιπλέον, στα πλαίσια μελέτης ενός αριθμού διαφορετικών μελετών περίπτωσης εντοπίστηκαν, κατά την προσπάθεια ερμηνείας των αποτελεσμάτων, τα σημεία εκείνα που θα μπορούσαν να βελτιωθούν μέσα από την υιοθέτηση μίας διαφορετικής προσέγγισης που θα αξιοποιεί τη λογική της ασάφειας.

Η διαδικασία ασαφοποίησης των εισόδων και των εξόδων του ασαφούς συστήματος ολοκληρώθηκε μέσα από:

- τον ορισμό των διαστημάτων των διακριτών τιμών στα οποία ορίζονται οι εισοδοί και η έξοδος (σύνολα αναφοράς),
- τον ορισμό των ασαφών συνόλων που αναπαριστούν τις τιμές των λεκτικών μεταβλητών,
- την «κατανομή» των διακριτών τιμών που εισάγονται για ασαφοποίηση στο σύστημα στα επιμέρους ασαφή σύνολα (fuzzy partition), και
- τον ορισμό των συναρτήσεων συμμετοχής που αναπαριστούν τα ασαφή σύνολα.

Ασαφοποίηση εισόδου ‘Action Score’ – Τραπεζοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής

Η πρώτη είσοδος στο ασαφές υπο-σύστημα FAIDRA Ia: Action-Policy Evaluation είναι η λεκτική μεταβλητή *Action Score* (επίδοση Δράσης) και αναπαριστά την επίδοση των δράσεων ως προς τα κριτήρια αξιολόγησης. Το εύρος των διακριτών τιμών της μεταβλητής (σύνολο αναφοράς) ορίζεται στο κλειστό διάστημα $[0,20]$ όπου, η τιμή 0 αναπαριστά τη χαμηλότερη επίδοση μίας δράσης ως προς ένα κριτήριο αξιολόγησης ενώ η τιμή 20 αναπαριστά την υψηλότερη επίδοση μίας δράσης ως προς ένα κριτήριο αξιολόγησης. Στη συνέχεια, ορίστηκαν οι τιμές της λεκτικής μεταβλητής *Action Score* και τα ασαφή σύνολα που τις αναπαριστούν. Με βάση την εμπειρία που έχει αποκτηθεί από μελέτες περίπτωσης όπου έχει εφαρμοστεί η μέθοδος πολυκριτηριακής αξιολόγησης Multipol, ορίστηκαν πέντε ασαφή σύνολα μέσω των οποίων η επίδοση κάθε δράσης ως προς κάθε κριτήριο αξιολόγησης είναι δυνατό να διατυπωθεί με τη βοήθεια λεκτικών όρων.

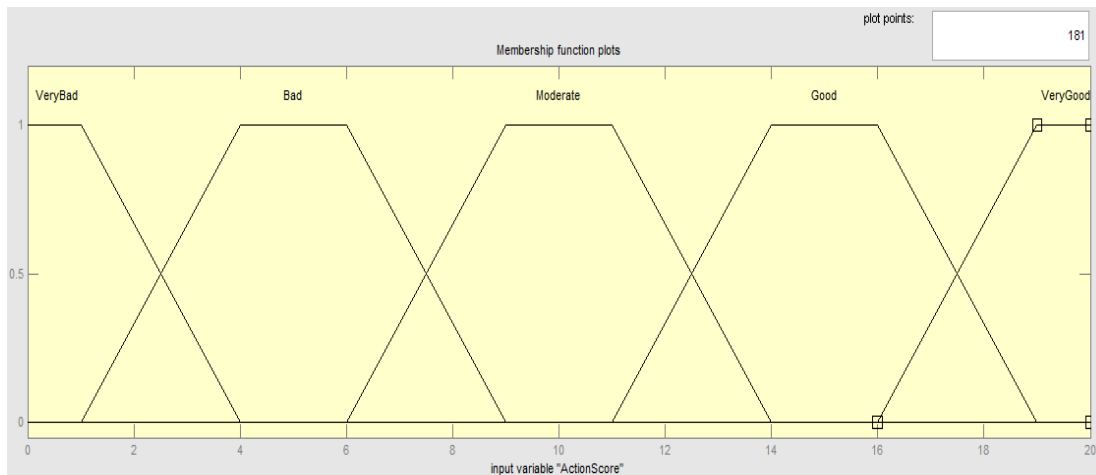
Τα ασαφή σύνολα που αναπαριστούν τις λεκτικές τιμές που λαμβάνει η λεκτική μεταβλητή *Action Score* είναι τα ακόλουθα:

- Very Bad (Πολύ Κακή Επίδοση)
- Bad (Κακή Επίδοση)
- Moderate (Μέτρια Επίδοση)
- Good (Καλή Επίδοση)
- Very Good (Πολύ Καλή Επίδοση)

Οι τιμές του συνόλου αναφοράς που ορίζεται στο κλειστό διάστημα $[0,20]$ έχουν διαμεριστεί στα πέντε ασαφή σύνολα, η κάθε μία με τον ανάλογο βαθμό συμμετοχής. Τα ασαφή σύνολα αναπαριστούν τραπεζοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής, πέντε στο σύνολό τους, τα όρια των οποίων (lower limit a, lower support limit b, upper support limit c, upper limit d) ορίστηκαν ως ακολούθως:

- Ασαφές σύνολο ‘Very Bad’: $[0 \ 0 \ 1 \ 4]$
- Ασαφές σύνολο ‘Bad’: $[1 \ 4 \ 6 \ 9]$
- Ασαφές σύνολο ‘Moderate’: $[6 \ 9 \ 11 \ 14]$
- Ασαφές σύνολο ‘Good’: $[11 \ 14 \ 16 \ 19]$
- Ασαφές σύνολο ‘Very Good’: $[16 \ 19 \ 20 \ 20]$

Τα πέντε ασαφή σύνολα παρουσιάζονται στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 8-7), αναπαριστώμενα από τις αντίστοιχες συναρτήσεις συμμετοχής.



Σχήμα 8-7: Ασαφοποίηση Εισόδου Action Score – Τραπεζοειδείς Συναρτήσεις Συμμετοχής

Συνοπτικά, η ασαφοποίηση της εισόδου *Action Score* αφορά στην έκφραση της επίδοσης μίας δράσης ως προς τα κριτήρια αξιολόγησης στο διάστημα $[0,20]$ μέσω μίας ασαφούς μεταβλητής, της ομώνυμης μεταβλητής *Action Score* όπου, οι διαφορετικές τιμές της εκφράζουν διαφορετικές «καταστάσεις» της επίδοσης, καταστάσεις οι οποίες αναπαρίστανται από πέντε ασαφή σύνολα A_i ως προς το σύνολο αναφοράς $[0,20]$ και εκφράζουν ασαφείς γλωσσικές έννοιες.

$$\{A_i, i = 1, \dots, 5\} = \{\text{Very Bad, Bad, Moderate, Good, Very Good}\}$$

Τα πέντε σύνολα ορίζονται από συναρτήσεις συμμετοχής της μορφής:

$$A_i: [0,20] = X \subseteq R \rightarrow [0,1]$$

Ασαφοποίηση εισόδου ‘Criterion Weight 1’ – Τραπεζοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής

Η δεύτερη είσοδος που ασαφοποιήθηκε, είναι η λεκτική μεταβλητή *Criterion Weight 1* (Βάρος κριτηρίου), η οποία εκφράζει το βάρος που λαμβάνει κάθε κριτήριο αξιολόγησης ως προς το διαφορετικό περιεχόμενο κάθε πολιτικής. Ένα κριτήριο, για παράδειγμα, που αφορά στην προστασία του περιβάλλοντος λαμβάνει μεγαλύτερη βαρύτητα στο πλαίσιο μίας πολιτικής που δίνει έμφαση στην περιβαλλοντική διάσταση και μικρότερη βαρύτητα στο πλαίσιο μίας πολιτικής που δίνει έμφαση στην οικονομική διάσταση.

Στην περίπτωση της δεύτερης εισόδου του ασαφούς υπο-συστήματος FAIDRA Ia: Action-Policy Evaluation, το σύνολο αναφοράς της μεταβλητής Criterion Weight 1 ορίζεται στο κλειστό διάστημα [0,100] όπου, η τιμή 0 αναπαριστά τη χαμηλότερη τιμή βαρύτητας ενώ η τιμή 100 αναπαριστά την υψηλότερη τιμή βαρύτητας που μπορεί να λάβει ένα κριτήριο αξιολόγησης. Στο σημείο αυτό, θα πρέπει να αναφερθεί ότι στο Multipol τα βάρη διαμοιράζονται στα κριτήρια αξιολόγησης ούτως ώστε για κάθε πολιτική το άθροισμά τους να είναι ίσο με 100. Με την ίδια λογική αξιοποιούνται και από το ασαφές σύστημα που σχεδιάστηκε.

Όμοια με την περίπτωση ασαφοποίησης της πρώτης εισόδου (Action Score), έτσι και στην περίπτωση ασαφοποίησης της εισόδου Criterion Weight 1 ορίστηκαν οι τιμές της λεκτικής μεταβλητής καθώς και τα ασαφή σύνολα που τις αναπαριστούν. Τα ασαφή σύνολα είναι πέντε στο σύνολό τους, αναπαρίστανται μέσω τραπεζοειδών συναρτήσεων συμμετοχής και εκφράζουν τον βαθμό σημαντικότητας κάθε κριτηρίου αξιολόγησης.

Τα ασαφή σύνολα που αναπαριστούν τη βαρύτητα που έχει ανατεθεί σε κάθε κριτήριο αξιολόγησης είναι τα ακόλουθα:

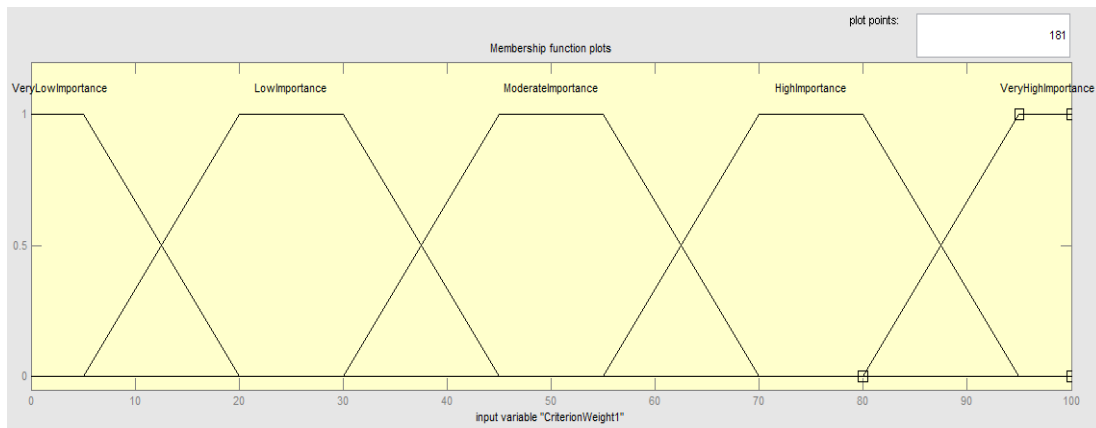
- Very Low Importance (Πολύ Χαμηλή Βαρύτητα)
- Low Importance (Χαμηλή Βαρύτητα)
- Moderate Importance (Μέτρια Βαρύτητα)
- High Importance (Υψηλή Βαρύτητα)
- Very High Importance (Πολύ Υψηλή Βαρύτητα)

Κατά τη διαδικασία της ασαφούς διαμέρισης, οι τιμές του συνόλου αναφοράς (κλειστό διάστημα [0,100]) διαμοιράστηκαν στα πέντε ασαφή σύνολα, η κάθε μία με τον ανάλογο βαθμό συμμετοχής.

Τα όρια των ασαφών συνόλων στην περίπτωση αυτή (lower limit a, lower support limit b, upper support limit c, upper limit d) ορίστηκαν ως ακολούθως:

- Ασαφές σύνολο ‘Very Low Importance’: [0 0 5 20]
- Ασαφές σύνολο ‘Low Importance’: [5 20 30 45]
- Ασαφές σύνολο ‘Moderate Importance’: [30 45 55 70]
- Ασαφές σύνολο ‘High Importance’: [55 70 80 95]
- Ασαφές σύνολο ‘Very High Importance’: [80 95 100 100]

Τα ασαφή σύνολα παρουσιάζονται στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 8-8), αναπαριστώμενα από τις αντίστοιχες συναρτήσεις συμμετοχής.



Σχήμα 8-8: Ασαφοποίηση Εισόδου Criterion Weight 1 – Τραπεζοειδείς Συναρτήσεις Συμμετοχής

Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα, το ασαφές σύνολο ‘Very Low Importance’ αναπαρίσταται από την αντίστοιχη R-Trapezoidal function, τα ασαφή σύνολα ‘Low Importance’, ‘Moderate Importance’ και ‘High importance’ αναπαρίστανται από τις αντίστοιχες Trapezoidal functions ενώ το ασαφές σύνολο ‘Very High Importance’ αναπαρίσταται από την αντίστοιχη L-Trapezoidal function. Κάθε συνάρτηση αντιστοιχίζει σε κάθε διακριτή τιμή ένα βαθμό συμμετοχής στο αντίστοιχο ασαφές σύνολο που αναπαριστά.

Κατ’ αντιστοιχία με την περίπτωση ασαφοποίησης της μεταβλητής Action Score, η ασαφής μεταβλητή Criterion Weight 1 εκφράζει τη βαρύτητα των κριτηρίων αξιολόγησης οριζόμενη στο διάστημα [0,100] όπου οι διαφορετικές τιμές που λαμβάνει, εκφράζουν διαφορετικές «καταστάσεις» της σημαντικότητας των κριτηρίων οι οποίες με τη σειρά τους αναπαρίστανται από πέντε ασαφή σύνολα B_i ως προς το σύνολο αναφοράς [0,100] και εκφράζουν ασαφείς γλωσσικές έννοιες.

$$\{B_i, i = 1, \dots, 5\} = \{\text{Very Low Importance, Low Importance, Moderate Importance, High Importance, Very High Importance}\}$$

Τα πέντε σύνολα ορίζονται από συναρτήσεις συμμετοχής της μορφής:

$$B_i: [0,100] = X \subseteq R \rightarrow [0,1]$$

Ασαφοποίηση εξόδου ‘Action Policy Score’ – Τραπεζοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής

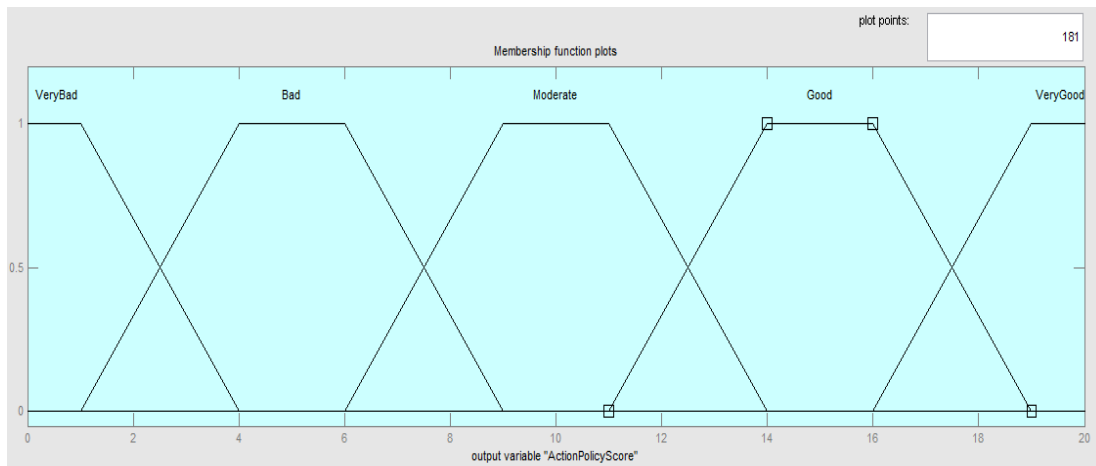
Η έξοδος του ασαφούς υπο-συστήματος FAIDRA Ia: Action-Policy Evaluation είναι η επίδοση των δράσεων ως προς τις πολιτικές *Action Policy Score*. Προκύπτει ως ένας συνδυασμός της επίδοσης που κάθε δράση έχει ως προς τα κριτήρια αξιολόγησης, και του βάρους που κάθε κριτήριο αξιολόγησης λαμβάνει ως προς το περιεχόμενο της κάθε πολιτικής.

Ο αλγόριθμος που υλοποιεί το Multipol ακολουθεί τη λογική της μεθόδου πολυκριτηριακής αξιολόγησης Weighted Summation (Σταθμική Άθροιση) και τα αποτελέσματα της αξιολόγησης προκύπτουν από τα επιμέρους γινόμενα των επιδόσεων των δράσεων ως προς τα κριτήρια αξιολόγησης επί τα βάρη των κριτηρίων ως προς την κάθε πολιτική (score x weight) (Βλ. Κεφάλαιο 7). Στο ασαφές σύστημα που σχεδιάστηκε, οι επιδόσεις των δράσεων ως προς τα κριτήρια και τα αντίστοιχα βάρη των κριτηρίων (είσοδοι του συστήματος) καθώς και η επίδοση των δράσεων ως προς τις πολιτικές (έξοδος του συστήματος) συνδυάζονται μέσω των ασαφών κανόνων στη βάση των οποίων υπολογίζεται το αποτέλεσμα που δίνει το σύστημα.

Για την ασαφοποίηση της εξόδου του ασαφούς συστήματος, εφαρμόστηκαν οι ίδιες διαδικασίες που εφαρμόστηκαν και στις περιπτώσεις ασαφοποίησης των εισόδων. Πιο συγκεκριμένα, το σύνολο αναφοράς της εξόδου είναι το ίδιο με αυτό της πρώτης εισόδου του συστήματος και ορίζεται στο κλειστό διάστημα [0,20] με την τιμή 0 να αναπαριστά τη χαμηλότερη επίδοση μίας δράσης ως προς μία πολιτική και την τιμή 20 να αναπαριστά την υψηλότερη επίδοση μίας δράσης ως προς μία πολιτική.

Η διαδικασία της ασαφούς διαμέρισης ολοκληρώθηκε με τον ορισμό πέντε ασαφών συνόλων στα οποία κατανέμονται οι διακριτές τιμές που λαμβάνει η μεταβλητή Action Policy Score και τα οποία έχουν οριστεί ως ακολούθως:

- Ασαφές σύνολο ‘Very Bad’: [0 0 1 4]
- Ασαφές σύνολο ‘Bad’: [1 4 6 9]
- Ασαφές σύνολο ‘Moderate’: [6 9 11 14]
- Ασαφές σύνολο ‘Good’: [11 14 16 19]
- Ασαφές σύνολο ‘Very Good’: [16 19 20 20]



Σχήμα 8-9: Ασαφοποίηση Εξόδου Action Policy Score – Τραπεζοειδείς Συναρτήσεις Συμμετοχής

Όπως φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα (Σχήμα 8-9) τα ασαφή σύνολα, και σε αυτήν την περίπτωση, αναπαρίστανται μέσω τραπεζοειδών συναρτήσεων συμμετοχής (R-Trapezoidal function για το ασαφές σύνολο ‘Very Bad’, Trapezoidal functions για τα ασαφή σύνολα ‘Bad’, ‘Moderate’ και ‘Good’ και L-Trapezoidal function για το ασαφές σύνολο ‘Very Good’).

Κατ’ αντιστοιχία με τις εισόδους, η ασαφής μεταβλητή Action Policy Score αναπαριστά την επίδοση των δράσεων ως προς τις πολιτικές οριζόμενη στο διάστημα [0,20] όπου, οι διαφορετικές τιμές που λαμβάνει εκφράζουν διαφορετικές «καταστάσεις» επίδοσης οι οποίες με τη σειρά τους αναπαρίστανται από πέντε ασαφή σύνολα C_i ως προς το σύνολο αναφοράς [0,20] και εκφράζουν ασαφείς γλωσσικές έννοιες.

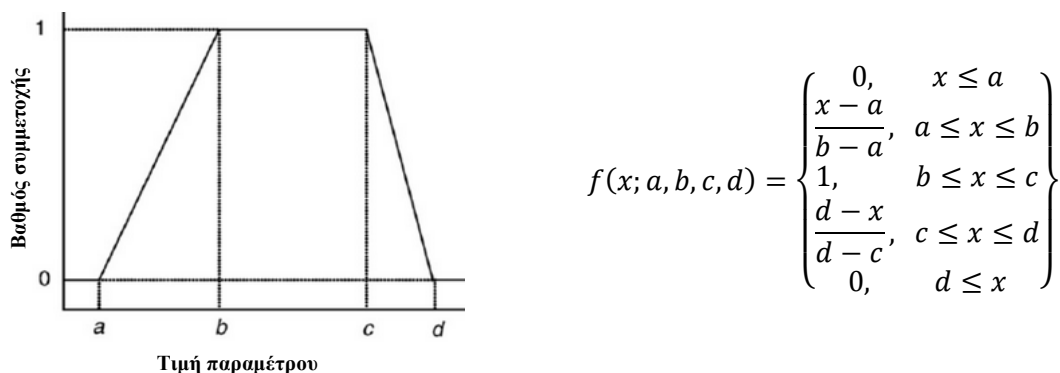
$$\{C_i, i = 1, \dots, 5\} = \{\text{Very Bad, Bad, Moderate, Good, Very Good}\}$$

Τα πέντε σύνολα ορίζονται από συναρτήσεις συμμετοχής της μορφής:

$$C_i: [0,20] = X \subseteq R \rightarrow [0,1]$$

Για την ασαφοποίηση των εισόδων και της εξόδου του ασαφούς υποσυστήματος FAIDRA Ia: Action-Policy Evaluation, χρησιμοποιήθηκαν συναρτήσεις συμμετοχής τραπεζοειδούς μορφής οι οποίες ορίζονται στη βάση τεσσάρων παραμέτρων (a,b,c,d) (Σχήμα 8-10). Η τραπεζοειδής συνάρτηση επιτρέπει τη μοντελοποίηση ασαφών διαστημάτων και εκφράσεων του τύπου «περίπου μεταξύ

των τιμών x και y ». Πιο συγκεκριμένα, παρέχει τη δυνατότητα γραφικής αναπαράστασης διαστημάτων με τη βοήθεια τραπεζίων επικεντρωμένων γύρω από κάποιες αντιπροσωπευτικές τιμές: περίπου από x μέχρι y (ασαφές διάστημα).



Σχήμα 8-10: Τραπεζοειδής συνάρτηση συμμετοχής

Στην περίπτωση του συγκεκριμένου προβλήματος που εξετάζεται, μοντελοποιούνται λεκτικές εκφράσεις του τύπου «η επίδοση της δράσης A_i είναι πολύ καλή, καλή, μέτρια κ.λπ. περίπου από την τιμή x_i έως την τιμή x_j ». Συνεπώς, η επιλογή της τραπεζοειδούς συνάρτησης συμμετοχής κρίνεται επαρκής και ως η πλέον κατάλληλη για τη μοντελοποίηση.

Τα γειτονικά ασαφή σύνολα επικαλύπτονται εντός ενός ορισμένου διαστήματος οι τιμές του οποίου ανήκουν ταυτόχρονα και στα δύο ασαφή σύνολα με διαφορετικό ή και με τον ίδιο βαθμό συμμετοχής (σημεία τομής συναρτήσεων συμμετοχής). Με βάση την εμπειρία που έχει αποκτηθεί από εφαρμογές του Multipol σε επιμέρους μελέτες περίπτωσης πολυκριτηριακής αξιολόγησης, η επικάλυψη μεταξύ των ασαφών συνόλων καθορίστηκε να είναι περίπου ίση με 30% μεταξύ των δύο ακραίων ασαφών συνόλων (very bad και very good αντίστοιχα) και των γειτονικών τους και 30% μεταξύ των μεσαίων ασαφών συνόλων και των γειτονικών τους (15% επικάλυψη από τα αριστερά και 15% επικάλυψη από τα δεξιά αντίστοιχα).

Ο αριθμός των ασαφών συνόλων (πέντε στο σύνολό τους), η κατανομή των διακριτών τιμών (crisp values) στα σύνολα αυτά, το σημείο τομής τους (σημείο μέγιστης ασάφειας) καθώς και ο καθορισμός των ορίων των τραπεζοειδών συναρτήσεων συμμετοχής που αναπαριστούν τα ασαφή σύνολα επηρέασαν σε σημαντικό βαθμό το ποσοστό επικάλυψης μεταξύ των γειτονικών ασαφών συνόλων.

Ασαφοποίηση εισόδων και εξόδων με χρήση τριγωνοειδών συναρτήσεων συμμετοχής – Ασαφές υπο-σύστημα FAIDRA Ia: Action-Policy Evaluation

Στην ενότητα αυτή, παρουσιάζεται μία εναλλακτική προσέγγιση για τη δόμηση του υπο-συστήματος ασαφούς συμπερασμού FAIDRA Ia: Action-Policy Evaluation για την πολυκριτηριακή αξιολόγηση Δράσεων-Πολιτικών. Η δεύτερη αυτή προσέγγιση διαφοροποιείται από την πρώτη στο στάδιο της ασαφοποίησης των εισόδων και της εξόδου καθώς, οι συναρτήσεις συμμετοχής που χρησιμοποιήθηκαν για την αναπαράσταση των αντίστοιχων ασαφών συνόλων, είναι τριγωνικής μορφής.

Σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ των δύο προσεγγίσεων συνιστά επίσης ο βαθμός επικάλυψης μεταξύ των γειτονικών συναρτήσεων / ασαφών συνόλων, ο οποίος προφανώς διαφοροποιεί και τον βαθμό συμμετοχής κάθε διακριτής τιμής στα ασαφή σύνολα που έχουν οριστεί. Ο λόγος για τον οποίο δοκιμάστηκε αυτή η εναλλακτική προσέγγιση είναι η δυνατότητα που προσφέρεται για μία συγκριτική ανάλυση των αποτελεσμάτων σε σχέση με την πρώτη προσέγγιση καθώς, η παρούσα είναι η πρώτη προσπάθεια διερεύνησης των πλεονεκτημάτων που μπορεί να επιφέρει στο Multipol η εισαγωγή μίας προσέγγισης που αξιοποιεί τη λογική της ασάφειας.

Οι τριγωνοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής χρησιμοποιούνται για τη μοντελοποίηση ασαφών τιμών και εκφράσεων του τύπου «περίπου x » οι οποίες συγκεντρώνονται γύρω από μία κεντρική αντιπροσωπευτική τιμή. Έτσι, στην περίπτωση αυτή μοντελοποιούνται επιδόσεις δράσεων και βάρη κριτηρίων εκφρασμένα αντίστοιχα ως εξής: «Η δράση A_i είναι καλή, μέτρια, κακή, κ.λπ. περίπου στην τιμή x_i » και «Το κριτήριο C_i είναι σημαντικό, πολύ σημαντικό, κ.λπ. περίπου στην τιμή y_i ».

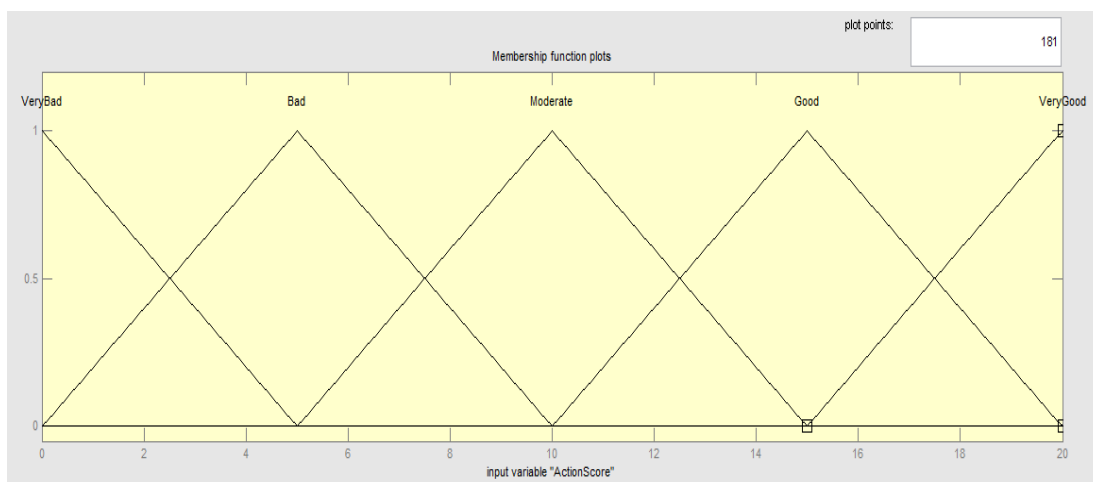
Τα βήματα που ακολουθήθηκαν για τη διαδικασία της ασαφοποίησης είναι τα ίδια με αυτά που εφαρμόστηκαν και στην πρώτη περίπτωση και περιλαμβάνουν: τον ορισμό των συνόλων αναφοράς, τον ορισμό των ασαφών συνόλων που αναπαριστούν τις λεκτικές τιμές που λαμβάνουν οι αντίστοιχες λεκτικές μεταβλητές, την κατανομή των διακριτών τιμών στα επιμέρους ασαφή σύνολα και τον ορισμό των συναρτήσεων συμμετοχής. Οι λεκτικές μεταβλητές και σε αυτήν την περίπτωση είναι η Action Score (είσοδος), η Criterion Weight1 (είσοδος) και η Action Policy Score (έξοδος).

Ασαφοποίηση εισόδου ‘Action Score’ – Τριγωνοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής

Η πρώτη είσοδος που ασαφοποιήθηκε είναι η μεταβλητή *Action Score* (επίδοση Δράσης). Το σύνολο αναφοράς της είναι το $[0,20]$ ενώ, ορίστηκαν πέντε συνολικά ασαφή σύνολα που αφορούν στην επίδοση των δράσεων ως προς τα κριτήρια αξιολόγησης και αντιστοιχούν στις λεκτικές τιμές με τη βοήθεια των οποίων εκφράζονται οι εν λόγω επιδόσεις. Ακολούθησε η διαδικασία της ασαφούς διαμέρισης η οποία ολοκληρώθηκε με την κατανομή των διακριτών τιμών στα επιμέρους ασαφή σύνολα.

Τα σύνολα που ορίστηκαν και αναπαρίστανται από τις αντίστοιχες τριγωνικές συναρτήσεις συμμετοχής (Σχήμα 8-11) είναι τα ακόλουθα:

- Ασαφές σύνολο ‘Very Bad’: $[0 \ 0 \ 5]$
- Ασαφές σύνολο ‘Bad’: $[0 \ 5 \ 10]$
- Ασαφές σύνολο ‘Moderate’: $[5 \ 10 \ 15]$
- Ασαφές σύνολο ‘Good’: $[10 \ 15 \ 20]$
- Ασαφές σύνολο ‘Very Good’: $[15 \ 20 \ 20]$



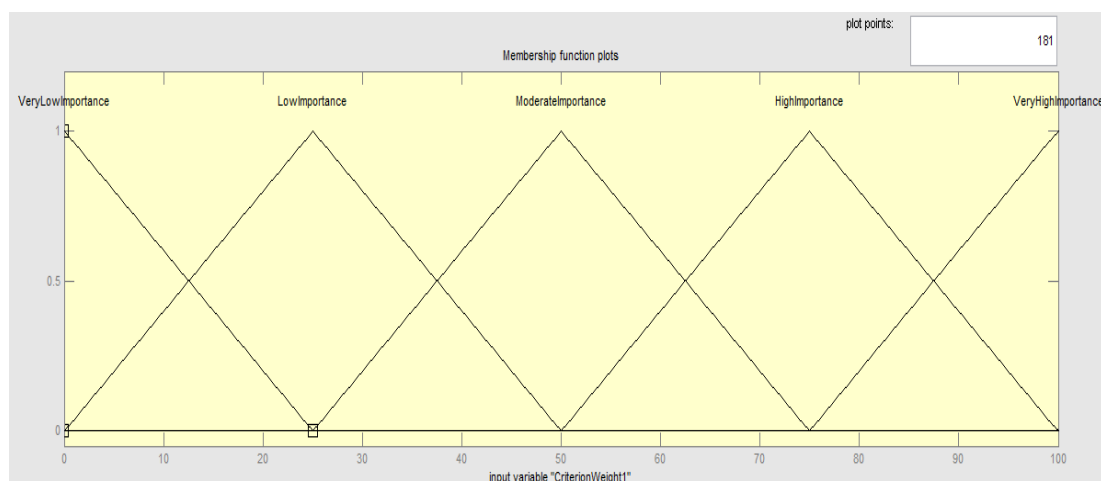
Σχήμα 8-11: Ασαφοποίηση Εισόδου *Action Score* – Τριγωνοειδείς Συναρτήσεις Συμμετοχής

Ο βαθμός επικάλυψης μεταξύ των γειτονικών ασαφών συνόλων στην περίπτωση αυτή είναι 50% μεταξύ των ακραίων ασαφών συνόλων (Very Bad και Very Good) και των γειτονικών τους και 50% (25% επικάλυψη από αριστερά και 25% επικάλυψη από δεξιά) μεταξύ των μεσαίων ασαφών συνόλων.

Ασαφοποίηση εισόδου ‘Criterion Weight 1’ – Τριγωνοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής

Η δεύτερη είσοδος που ασαφοποιήθηκε είναι η μεταβλητή *Criterion Weight 1* (Βάρος κριτηρίου) με σύνολο αναφοράς [0,100]. Οι διακριτές τιμές κατανέμονται και πάλι σε πέντε ασαφή σύνολα τα οποία μοντελοποιούν τη βαρύτητα των κριτηρίων αξιολόγησης και αναπαρίστανται από τις αντίστοιχες τριγωνοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής. Τα ασαφή σύνολα που ορίστηκαν στην περίπτωση αυτή είναι τα ακόλουθα (Σχήμα 8-12):

- Ασαφές σύνολο ‘Very Low importance’: [0 0 25]
- Ασαφές σύνολο ‘Low Importance’: [0 25 50]
- Ασαφές σύνολο ‘Moderate Importance’: [25 50 75]
- Ασαφές σύνολο ‘High Importance’: [50 75 100]
- Ασαφές σύνολο ‘Very High Importance’: [75 100 100]



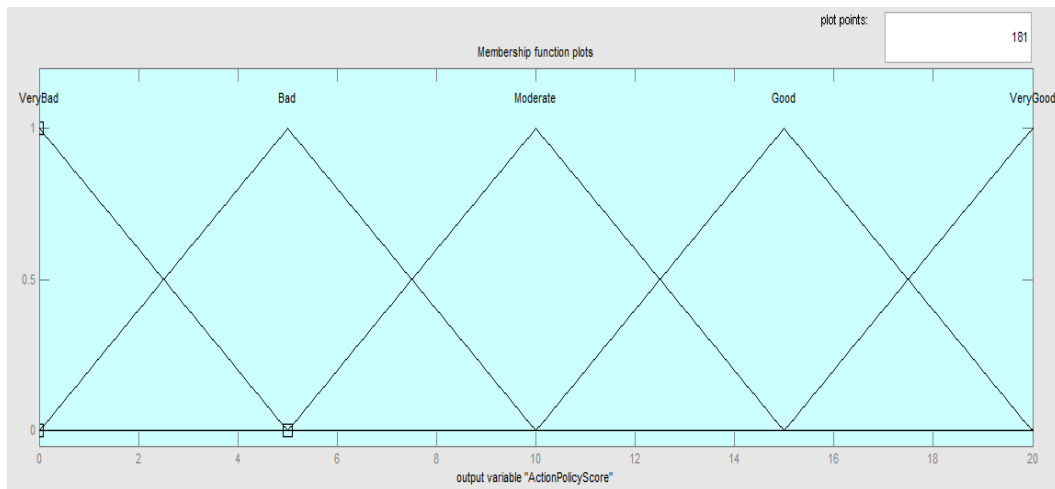
Σχήμα 8-12: Ασαφοποίηση Εισόδου *Criterion Weight 1* – Τριγωνοειδείς Συναρτήσεις Συμμετοχής

Τα ασαφή σύνολα έχουν τον ίδιο βαθμό επικάλυψης μεταξύ τους όπως και στην περίπτωση της μεταβλητής Action Score.

Ασαφοποίηση εξόδου ‘Action Policy Score’ – Τριγωνοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής

Τέλος, ασαφοποιήθηκε η μεταβλητή Action Policy Score που είναι η έξοδος του υπο-συστήματος FAIDRA Ia: Action-Policy Evaluation και αναπαριστά τις επιδόσεις των δράσεων ως προς τις πολιτικές. Το σύνολο αναφοράς της μεταβλητής Action Policy Score είναι το [0,20] και οι τιμές που λαμβάνει αναπαρίστανται από

πέντε ασαφή σύνολα και τις αντίστοιχες τριγωνοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής. Τα πέντε ασαφή σύνολα παρουσιάζονται στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 8-13):



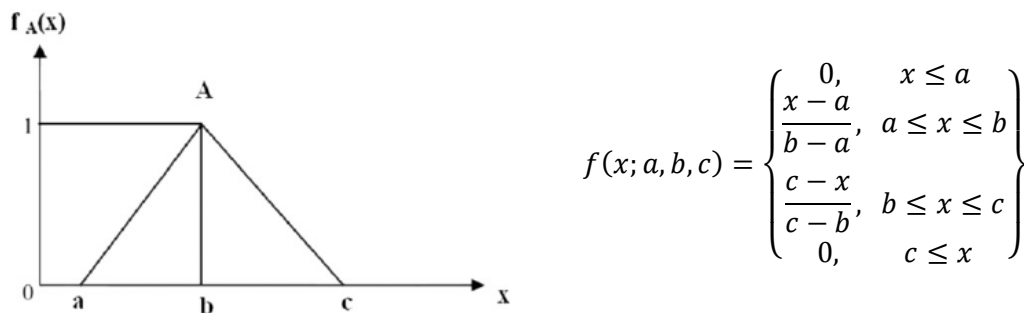
Σχήμα 8-13: Ασαφοποίηση Εξόδου Action Policy Score – Τριγωνοειδείς Συναρτήσεις Συμμετοχής

Τα ασαφή σύνολα ορίστηκαν ως εξής:

- Ασαφές σύνολο ‘Very Bad’: [0 0 5]
- Ασαφές σύνολο ‘Bad’: [0 5 10]
- Ασαφές σύνολο ‘Moderate’: [5 10 15]
- Ασαφές σύνολο ‘Good’: [10 15 20]
- Ασαφές σύνολο ‘Very Good’: [15 20 20]

Στη δεύτερη αυτή περίπτωση ασαφοποίησης χρησιμοποιήθηκαν τριγωνοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής, προκειμένου να μελετηθεί η διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων του ασαφούς συστήματος σε σχέση με την περίπτωση που για την ασαφοποίηση χρησιμοποιούνται συναρτήσεις τραπεζοειδούς μορφής. Ουσιαστικά πρόκειται για έναν εναλλακτικό τρόπο μοντελοποίησης των ασαφών μεταβλητών και των ασαφών τιμών που αυτές λαμβάνουν καθώς, στην πρώτη περίπτωση μοντελοποιούνται διαστήματα και τιμές επικεντρωμένες γύρω από αυτά ενώ στη δεύτερη περίπτωση, μοντελοποιούνται σημεία και τιμές επικεντρωμένες γύρω από τα εν λόγω σημεία.

Οι τριγωνοειδείς συναρτήσεις ορίζονται στη βάση τριών παραμέτρων (a,b,c), όπου b είναι η κεντρική τιμή η οποία, στην περίπτωση κανονικών ασαφών συνόλων (normal fuzzy sets), λαμβάνει την τιμή 1, τον μέγιστο δηλαδή βαθμό συμμετοχής στο αντίστοιχο ασαφές σύνολο. Η τριγωνοειδής συνάρτηση συμμετοχής ορίζεται ως ακολούθως (Σχήμα 8-14):



Σχήμα 8-14: Τριγωνοειδής συνάρτηση συμμετοχής

Οι τριγωνοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση εκφράσεων του τύπου «περίπου x» όπου x η κεντρική αντιπροσωπευτική τιμή η οποία είναι ταυτόχρονα και το ύψος του ασαφούς συνόλου, η μέγιστη δηλαδή τιμή της συνάρτησης.

🚧 Δόμηση βάσης ασαφών κανόνων του ασαφούς υπο-συστήματος FAIDRA Ia: Action-Policy Evaluation

Το δεύτερο στάδιο δόμησης ενός συστήματος ασαφούς συμπερασμού περιλαμβάνει τον σχεδιασμό του μηχανισμού εξαγωγής συμπερασμάτων, μέσα από τη δόμηση ασαφών κανόνων στη βάση των οποίων υπολογίζεται το τελικό αποτέλεσμα. Οι κανόνες συνιστούν το εργαλείο συσχέτισης των εισόδων με τις εξόδους του συστήματος, το εργαλείο μέσω του οποίου οι εισοδοί συνδέονται με τις εξόδους προκειμένου να εξαχθούν επιμέρους συμπεράσματα. Τα επιμέρους συμπεράσματα προκύπτουν με την ενεργοποίηση των αντίστοιχων κανόνων. Το τελικό συμπέρασμα συνιστά μία σύνθεση των εν λόγω συμπερασμάτων η οποία προϋποθέτει τη συνάθροιση των επιμέρους κανόνων. Ανάλογα με τη μέθοδο συνάθροισης που εφαρμόζεται κατά περίπτωση, τα επιμέρους συμπεράσματα μετέχουν άλλοτε σε μεγαλύτερο και άλλοτε σε μικρότερο βαθμό στη διαμόρφωση του τελικού αποτελέσματος.

Στην περίπτωση του ασαφούς υπο-συστήματος FAIDRA Ia: Action-Policy Evaluation ορίστηκαν 25 συνολικά ασαφείς κανόνες, οι οποίοι συσχετίζουν δύο εισόδους και μία έξοδο. Οι δύο εισοδοί είναι οι επιδόσεις των δράσεων ως προς τα κριτήρια αξιολόγησης και τα βάρη των κριτηρίων αξιολόγησης ως προς το

περιεχόμενο κάθε πολιτικής. Η έξοδος είναι οι επιδόσεις των δράσεων ως προς τις πολιτικές. Πιο αναλυτικά, οι επιδόσεις των δράσεων ως προς τα κριτήρια και τα βάρη των κριτηρίων συνιστούν το υποθετικό IF μέρος του κάθε κανόνα ενώ, οι επιδόσεις των δράσεων ως προς τις πολιτικές συνιστούν το συμπερασματικό THEN μέρος του κάθε κανόνα. Οι επιδόσεις των δράσεων ως προς τις πολιτικές προκύπτουν από τον συνδυασμό των επιδόσεων των δράσεων ως προς τα κριτήρια με τα βάρη των κριτηρίων.

Η διαδικασία ορισμού των κανόνων βασίστηκε στους πιθανούς συνδυασμούς των ασαφών τιμών που λαμβάνουν οι είσοδοι και η έξοδος του συστήματος. Συνεπώς, οι πέντε ασαφείς τιμές που λαμβάνει η μεταβλητή Action Score συνδυάζονται με τις πέντε ασαφείς τιμές που λαμβάνει η μεταβλητή Criterion Weight 1 και σε κάθε συνδυασμό, αντιστοιχεί μία ασαφής τιμή που λαμβάνει η μεταβλητή Action Policy Score.

Οι κανόνες ορίστηκαν στη βάση της εμπειρίας που έχει αποκτηθεί από εφαρμογές του Multipol σε διάφορους επιμέρους τομείς αλλά και στη λογική λειτουργίας της πολυκριτηριακής αξιολόγησης, όταν σε αυτή εμπλέκεται ένας αριθμός εναλλακτικών επιλογών οι οποίες αξιολογούνται στη βάση πολλαπλών και ανισοβαρών μεταξύ τους κριτηρίων. Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι, οι εκτιμήσεις στη βάση των οποίων αποδίδονται οι επιδόσεις των δράσεων ως προς τα κριτήρια και τα βάρη των κριτηρίων στηρίζονται σε διατυπωμένες κρίσεις ειδικών στα πλαίσια της συμμετοχικότητας και της διεπιστημονικής προσέγγισης που συνιστούν θεμελιώδεις αρχές λειτουργίας και εφαρμογής της Multipol. Αυτός άλλωστε είναι και ένας από τους σημαντικότερους λόγους για τους οποίους κρίθηκε σκόπιμη η αξιοποίηση της ασαφούς λογικής και η δόμηση ενός εναλλακτικού μοντέλου πολυκριτηριακής αξιολόγησης (FAIDRA I).

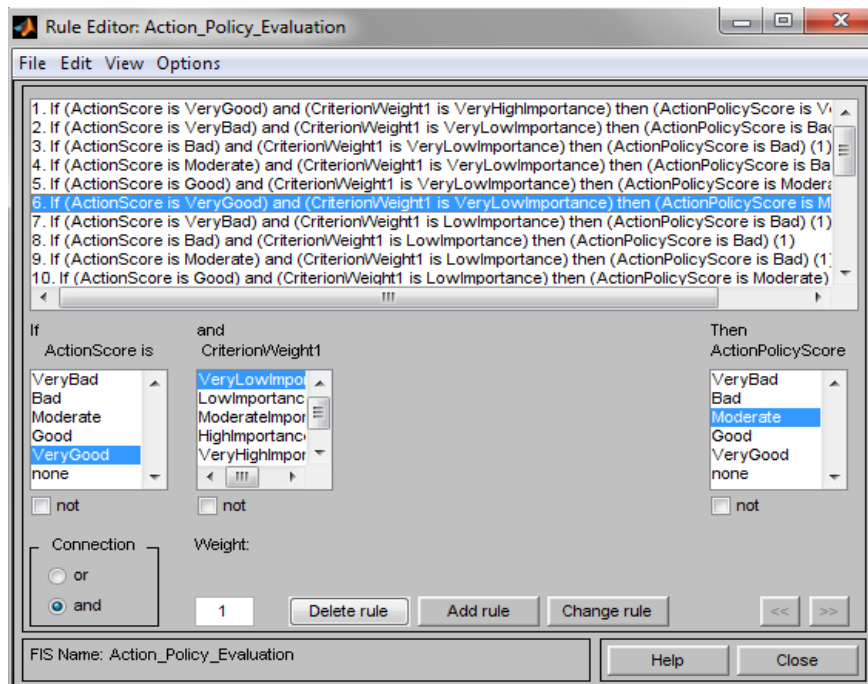
Οι 25 κανόνες που δομήθηκαν παρουσιάζονται συνοπτικά στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 8-1). Πρόκειται για έναν πίνακα διαστάσεων 5 x 5, οι στήλες του οποίου περιλαμβάνουν τις ασαφείς τιμές που αναπαριστούν τις επιδόσεις των δράσεων ενώ οι σειρές του, τις ασαφείς τιμές που αναπαριστούν τα βάρη των κριτηρίων. Οι εν λόγω ασαφείς τιμές συνδυάζονται ανά σειρά και στήλη και από τον συνδυασμό τους, προκύπτουν οι τιμές που περιλαμβάνονται στα κελιά του πίνακα και αναπαριστούν την εκάστοτε ασαφή τιμή που λαμβάνει η έξοδος.

Πίνακας 8-1: Βάση δόμησης ασαφών κανόνων

Action Score Criterion Weight 1	Very Bad	Bad	Moderate	Good	Very Good
Very Low Importance	Bad	Bad	Bad	Moderate	Moderate
Low Importance	Bad	Bad	Bad	Moderate	Good
Moderate Importance	Bad	Bad	Moderate	Good	Good
High Importance	Very Bad	Bad	Moderate	Good	Good
Very High Importance	Very Bad	Very Bad	Moderate	Good	Very Good

Οι εισοδοί συνδέονται μεταξύ τους με το συνδυαστικό AND το οποίο αντιστοιχεί στην *ασαφή τομή* και τον τελεστή *min*. Ο λόγος για τον οποίο επιλέχθηκε το συγκεκριμένο συνδυαστικό συνίσταται στο γεγονός ότι, το τελικό συμπέρασμα ικανοποιείται μόνο όταν ικανοποιούνται και οι δύο υποθέσεις που διατυπώνονται στο υποθετικό (IF) μέρος του κανόνα και αφορούν στις εισόδους του συστήματος.

Οι ασαφείς κανόνες είναι ίδιοι και στις δύο εναλλακτικές προσεγγίσεις που προτείνονται στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής για τη μοντελοποίηση των εισόδων και της εξόδου του συστήματος. Επομένως και στην περίπτωση αναπαράστασης των ασαφών τιμών με την αξιοποίηση τραπεζοειδών συναρτήσεων συμμετοχής και στην περίπτωση αξιοποίησης τριγωνοειδών συναρτήσεων συμμετοχής, η βάση των ασαφών κανόνων και ο μηχανισμός εξαγωγής συμπερασμάτων είναι ο ίδιος. Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι οι ασαφείς κανόνες είναι μεταξύ τους ισοβαρείς. Στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 8-15), παρουσιάζεται η βάση των ασαφών κανόνων όπως αυτή υλοποιήθηκε για το σύστημα FAIDRA I με την υποστήριξη της εργαλειοθήκης Fuzzy Logic Toolbox του Matlab.

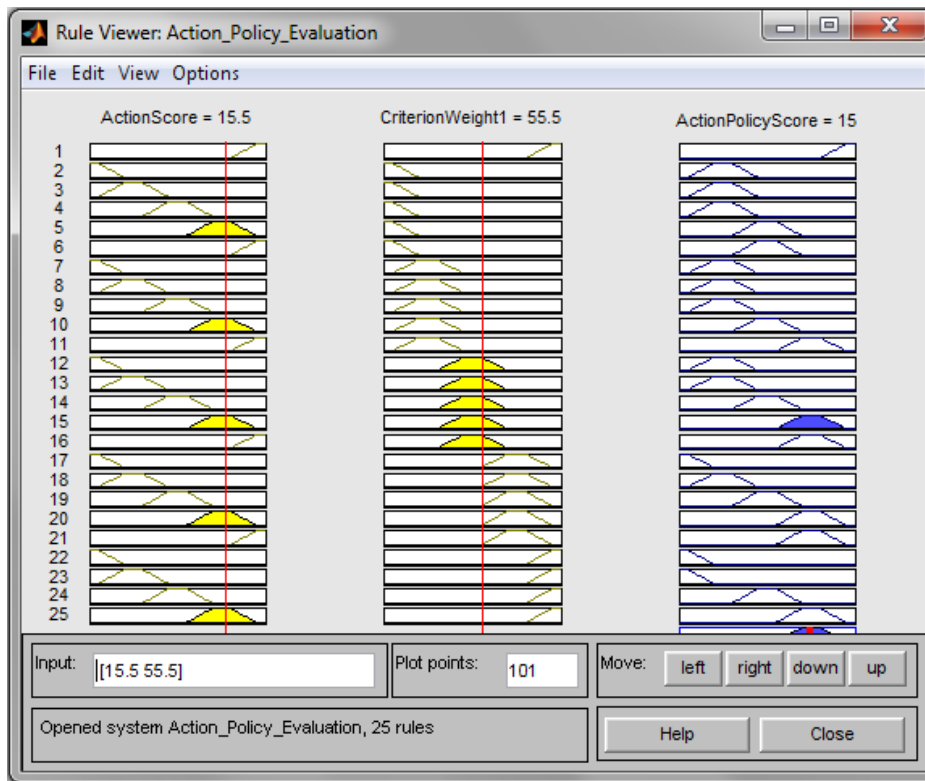


Σχήμα 8-15: Η βάση των ασαφών κανόνων στο Fuzzy Logic Toolbox του Matlab

Οι κανόνες που διατυπώθηκαν και συγκροτούν στο σύνολό τους τη βάση των ασαφών κανόνων και τον μηχανισμό εξαγωγής συμπερασμάτων είναι της μορφής:

IF Action Score is A_i and Criterion Weight is B_i THEN Action Policy Score is C_i

όπου A_i , B_i , C_i είναι τα ασαφή σύνολα που αναπαριστούν τις επιδόσεις των δράσεων ως προς τα κριτήρια αξιολόγησης, τα βάρη των κριτηρίων και τις επιδόσεις των δράσεων ως προς τις πολιτικές αντίστοιχα. Η λειτουργία των κανόνων στο Matlab φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 8-16) όπου μετά την εισαγωγή και την ασαφοποίηση των εισόδων του συστήματος, ενεργοποιούνται οι αντίστοιχοι κανόνες και προκύπτει το εκάστοτε ασαφές και απο-ασαφοποιημένο αποτέλεσμα / έξοδος.



Σχήμα 8-16: Η λειτουργία των ασαφών κανόνων στο Matlab

Κλείνοντας την ενότητα αυτή, κρίνεται σκόπιμη η αναφορά στην επιλογή ορισμένων παραμέτρων που σχετίζονται με τις μεθόδους στη βάση των οποίων εφαρμόζονται οι λογικοί τελεστές AND και OR που ορίζουν την τομή και την ένωση αντίστοιχα των ασαφών συνόλων καθώς επίσης, και στις μεθόδους που εφαρμόστηκαν για την εξαγωγή επαγωγικών συμπερασμάτων (implication) και τη συσσώρευση (aggregation) των κανόνων. Προφανώς, η χρήση των τελεστών συνδέεται άμεσα με το πλήθος των εισόδων σε ένα ασαφές σύστημα. Όταν οι εισοδοί είναι περισσότερες από μία, συνδέονται μεταξύ τους μέσω των τελεστών οι οποίοι επιπρόσθετα καθορίζουν το αποτέλεσμα που εξάγεται από τον κάθε κανόνα.

Αναφορικά με τους τελεστές AND και OR, το Matlab διαθέτει υλοποιημένες δύο μεθόδους για κάθε τελεστή ενώ, ανάλογα με τις ανάγκες της κάθε εφαρμογής, ο σχεδιαστής του εκάστοτε ασαφούς συστήματος έχει τη δυνατότητα να υλοποιήσει τη μέθοδο της επιλογής του.

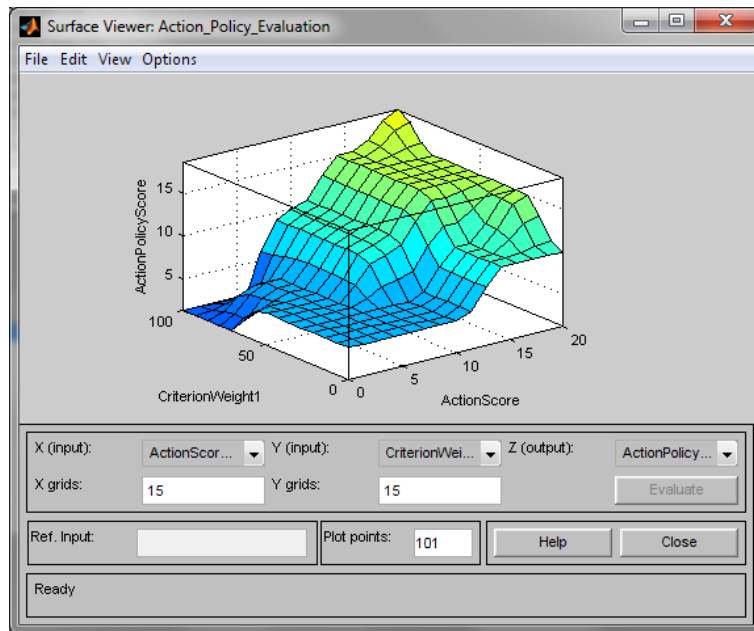
Για το ασαφές σύστημα FAIDRA Ia: Action-Policy Evaluation που δομήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής, η μέθοδος που επιλέχθηκε για τον τελεστή AND είναι η prod (product) καθώς, σε αντίθεση με τη μέθοδο των ελαχίστων (min), τα γινόμενα αντιδρούν στις μεταβολές των βαθμών συμμετοχής των εισόδων, γεγονός που δεν ισχύει για τα ελάχιστα. Έτσι, οι εισοδοί στους κανόνες συνδέονται

με τον τελεστή AND ο οποίος στη συνέχεια χρησιμοποιείται για την επεξεργασία των βαθμών συμμετοχής των εισόδων και για την εξαγωγή των αντίστοιχων συμπερασμάτων βάσει της μεθόδου των γινομένων.

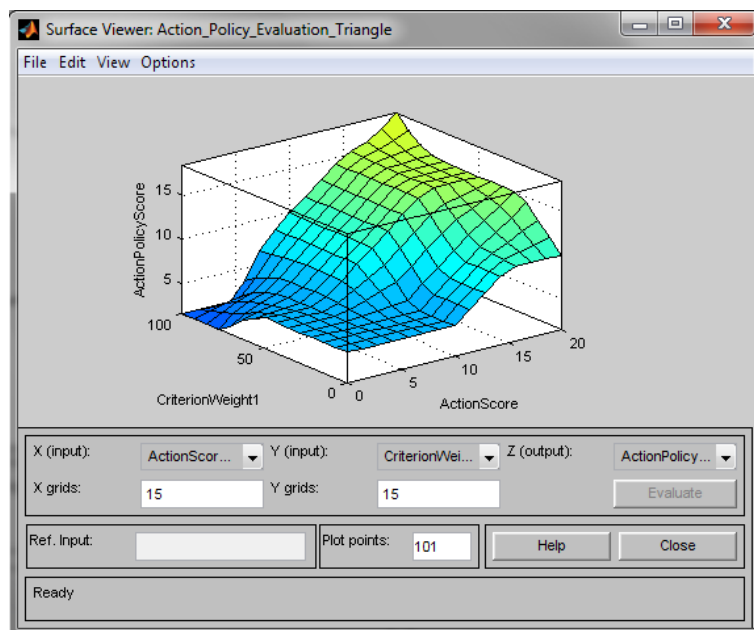
Η μέθοδος των γινομένων επιλέχθηκε επίσης και στο πεδίο 'implication' που αφορά στις διαδικασίες εξαγωγής των επαγωγικών συμπερασμάτων καθώς, για την εξαγωγή του αποτελέσματος (output fuzzy set) διαχειρίζεται κλιμακωτά (scales) τα δεδομένα σε αντίθεση με τη μέθοδο των ελαχίστων η οποία «περικόπτει» (truncates) το ασαφές σύνολο που προκύπτει ως έξοδος του ασαφούς συστήματος.

Τέλος, η μέθοδος που επιλέχθηκε για τη συσσώρευση των κανόνων είναι η *sum* η οποία αθροίζει τα επιμέρους ασαφή σύνολα που προκύπτουν από την εφαρμογή των κανόνων που υλοποιούνται ανά περίπτωση. Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι οι ασαφείς κανόνες των ασαφών συστημάτων δεν περιλαμβάνουν τον τελεστή OR καθώς οι εισοδοί, στο σύνολο των κανόνων, συνδέονται με το AND. Ο τελεστής AND επιλέχθηκε κατά τη διαδικασία δόμησης των κανόνων διότι προκειμένου να εκπληρωθεί η απόδοση ενός κανόνα και ο ίδιος να «συμμετέχει» στην περαιτέρω επίλυση, θα πρέπει να «συμμετέχουν» (σε ορισμένο βαθμό αλήθειας) όλα τα τμήματα των υποθέσεων που συνδέονται μεταξύ τους με τον τελεστή AND. Θα πρέπει ωστόσο να σημειωθεί ότι η συμμετοχή περισσότερων της μίας παραμέτρων στην υπόθεση ενός κανόνα, αυξάνει τον βαθμό αβεβαιότητάς του καθώς οι επιμέρους αβεβαιότητες επηρεάζουν αθροιστικά ή / και πολλαπλασιαστικά την τελική τιμή.

Το ασαφές υπο-σύστημα FAIDRA Ia: Action-Policy Evaluation αναπαρίσταται επίσης με τη βοήθεια μίας τρισδιάστατης επιφάνειας / καμπύλης (Σχήμα 8-17 για την περίπτωση των τραπεζοειδών συναρτήσεων και Σχήμα 8-18 για την περίπτωση των τριγωνοειδών συναρτήσεων) η οποία σε κάθε ζεύγος τιμών των εισόδων αντιστοιχίζει μία τιμή της εξόδου.



Σχήμα 8-17: Γραφική αναπαράσταση του ασαφούς υπο-συστήματος FAIDRA Ia: Action-Policy Evaluation – Τραπεζοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής



Σχήμα 8-18: Γραφική αναπαράσταση του ασαφούς υπο-συστήματος FAIDRA Ia: Action-Policy Evaluation – Τριγωνοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής

🚧 Απο-ασαφοποίηση των εξόδων του ασαφούς υπο-συστήματος FAIDRA Ia: Action-Policy Evaluation

Τα αποτελέσματα που εξάγονται από την επεξεργασία των εισόδων του ασαφούς συστήματος, είναι ασαφή σύνολα τα οποία στη συνέχεια απο-ασαφοποιούνται προκειμένου να προκύψουν διακριτές τιμές. Οι διακριτές τιμές

συγκρίνονται με τις αντίστοιχες τιμές που προκύπτουν από την πολυκριτηριακή αξιολόγηση με το μοντέλο Multipol, όπως αυτή εφαρμόζεται έξω από το πλαίσιο της ασαφούς λογικής. Η μέθοδος απο-ασαφοποίησης που επιλέχθηκε για τη μετατροπή των ασαφών τιμών σε διακριτές, είναι αυτή του *κέντρου βάρους* (centroid). Η μέθοδος του κέντρου βάρους υπολογίζει το κέντρο της περιοχής η οποία ορίζεται από την καμπύλη που αναπαριστά το τελικό ασαφές σύνολο που προκύπτει μετά τη διαδικασία άθροισης / συσσώρευσης των κανόνων. Η συγκεκριμένη μέθοδος επιλέχθηκε διότι η εφαρμογή της δίνει ως αποτέλεσμα μέσες τιμές ή ακριβέστερα σταθμισμένες μέσες τιμές (Θεοδώρου, 2012). Έτσι, η κάθε διακριτή έξοδος που προκύπτει μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας απο-ασαφοποίησης, αναπαριστά διαισθητικά τον γεωμετρικό μέσο της περιοχής που ορίζεται από την αντίστοιχη καμπύλη που περιλαμβάνει το τελικό ασαφές σύνολο (Θεοδώρου, 2012). Επιπρόσθετα, οι σταθμισμένες τιμές ανταποκρίνονται και στη λογική λειτουργίας της μεθόδου πολυκριτηριακής αξιολόγησης Multipol καθώς τα αποτελέσματα που δίνει συνίστανται σε σταθμικούς μέσους όρους (λογική λειτουργίας της μεθόδου weighted summation).

8.1.3. Δόμηση Ασαφούς Υπο-συστήματος FAIDRA Ib: Policy-Scenario Evaluation – Αξιολόγηση Πολιτικών-Σεναρίων

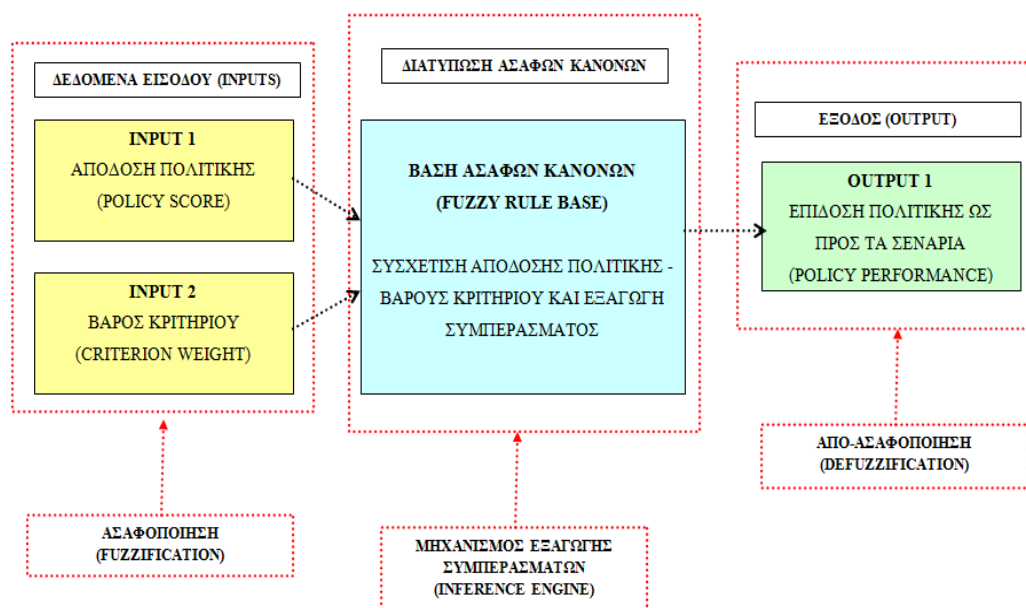
Η παρούσα ενότητα εστιάζει στην παρουσίαση των διαδικασιών δόμησης του ασαφούς υπο-συστήματος FAIDRA Ib: Policy-Scenario Evaluation το οποίο σχεδιάστηκε για την αξιολόγηση των πολιτικών ως προς τα σενάρια. Στην περίπτωση αυτή, διερευνάται η δυνατότητα υλοποίησης των προτεινόμενων σεναρίων μέσα από την εφαρμογή των πλέον κατάλληλων για κάθε ένα από αυτά πολιτικών. Κατά συνέπεια, το τελικό αποτέλεσμα συνίσταται στη δημιουργία «πακέτων» πολιτικών-σεναρίων με τη βοήθεια των οποίων ο σχεδιαστής σχηματίζει μία πλήρη εικόνα αναφορικά με τη δυνατότητα υλοποίησης κάθε σεναρίου μέσα από την εφαρμογή της πολιτικής που «ταιριάζει» περισσότερο με το συγκεκριμένο σενάριο.

Δεδομένου ότι οι διαδικασίες δόμησης των ασαφούς υπο-συστήματος FAIDRA Ib: Policy-Scenario Evaluation είναι πανομοιότυπες με αυτές που εφαρμόστηκαν στην περίπτωση σχεδιασμού του υπο-συστήματος FAIDRA Ia: Action-Policy Evaluation για την αξιολόγηση των δράσεων ως προς τις πολιτικές, στην παρούσα ενότητα και για την αποφυγή επαναλήψεων δεν περιγράφονται αναλυτικά οι

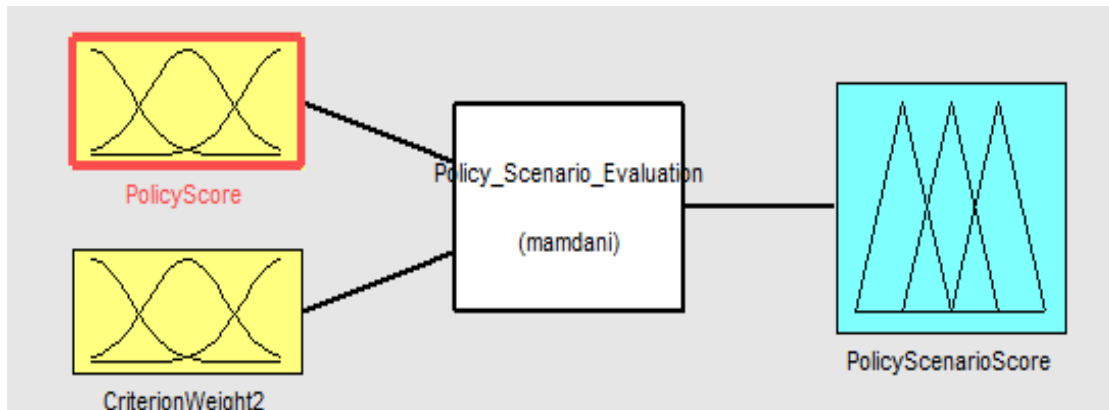
διαδικασίες ασαφοποίησης, δόμησης της βάσης των ασαφών κανόνων και απο-ασαφοποίησης. Παρουσιάζεται το ασαφές υπο-σύστημα FAIDRA Ib: Policy-Scenario Evaluation (Σχήματα 8-19 και 8-20) όπως αυτό υλοποιήθηκε με τη βοήθεια της εργαλειοθήκης Fuzzy Logic Toolbox του Matlab και ακολουθεί ο ανάλογος σχολιασμός.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι και σε αυτήν την περίπτωση αξιολόγησης, υιοθετήθηκαν δύο διαφορετικές προσεγγίσεις για την ασαφοποίηση των εισόδων και της εξόδου του ασαφούς υπο-συστήματος. Οι δύο προσεγγίσεις διαφοροποιούνται ως προς τον τύπο των συναρτήσεων συμμετοχής που χρησιμοποιήθηκαν στο στάδιο της ασαφοποίησης ανά περίπτωση. Στην πρώτη περίπτωση και για την αναπαράσταση των εισόδων και της εξόδου με ασαφή σύνολα, χρησιμοποιήθηκαν τραπεζοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής για τη μοντελοποίηση ενός εύρους τιμών συγκεντρωμένων γύρω από ένα διάστημα ενώ, στη δεύτερη περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν τριγωνοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής για τη μοντελοποίηση τιμών γύρω από ένα σημείο.

Συνοπτικά, η αξιολόγηση πολιτικών-σεναρίων περιλαμβάνει: την αξιολόγηση των πολιτικών ως προς έναν αριθμό κριτηρίων αξιολόγησης, την απόδοση βαρών στα κριτήρια ανάλογα με το περιεχόμενο κάθε σεναρίου και την εξαγωγή του τελικού αποτελέσματος, το οποίο συνίσταται στην επίδοση κάθε πολιτικής ως προς κάθε σενάριο.



Σχήμα 8-19: Δομή ασαφούς υπο-συστήματος συμπερασμού FAIDRA Ib: Policy-Scenario Evaluation



Σχήμα 8-20: Δομή ασαφούς υπο-συστήματος συμπερασμού FAIDRA Ib: Policy-Scenario Evaluation στο Matlab

✚ Ασαφοποίηση εισόδων και εξόδων με χρήση τραπεζοειδών συναρτήσεων συμμετοχής – Ασαφές υπο-σύστημα FAIDRA Ib: Policy-Scenario Evaluation

Το ασαφές υπο-σύστημα που σχεδιάστηκε για την πολυκριτηριακή αξιολόγηση των πολιτικών ως προς τα σενάρια περιλαμβάνει δύο εισόδους:

- την επίδοση των πολιτικών ως προς τα κριτήρια αξιολόγησης: **Policy Score**
- το βάρος των κριτηρίων αξιολόγησης ως προς το περιεχόμενο κάθε σεναρίου: **Criterion Weight 2**

και μία έξοδο:

- την επίδοση των πολιτικών ως προς τα σενάρια: **Policy Scenario Score**

Όπως και στην περίπτωση του ασαφούς υπο-συστήματος FAIDRA Ia: Action-Policy Evaluation, για την ασαφοποίηση των εισόδων και της εξόδου του υπο-συστήματος FAIDRA Ib: Policy-Scenario Evaluation εφαρμόστηκε η μέθοδος της *διαίσθησης* και ως εκ τούτου, αξιοποιήθηκε η υπάρχουσα γνώση και η εμπειρία που έχει αποκτηθεί από την εφαρμογή του μοντέλου Multipol για τη διαχείριση προβλημάτων πολυκριτηριακής αξιολόγησης. Τα στάδια μέσα από τα οποία ολοκληρώθηκε η διαδικασία της ασαφοποίησης περιλαμβάνουν: τον ορισμό των συνόλων αναφοράς, τον ορισμό των ασαφών συνόλων και των συναρτήσεων που τα αναπαριστούν και την ασαφή διαμέριση όπου, οι διακριτές τιμές που αναπαριστούν τις επιδόσεις και τα βάρη και εισάγονται ως είσοδοι στο σύστημα, κατανέμονται στα επιμέρους ασαφή σύνολα που έχουν οριστεί.

Ασαφοποίηση εισόδου ‘Policy Score’ – Τραπεζοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής

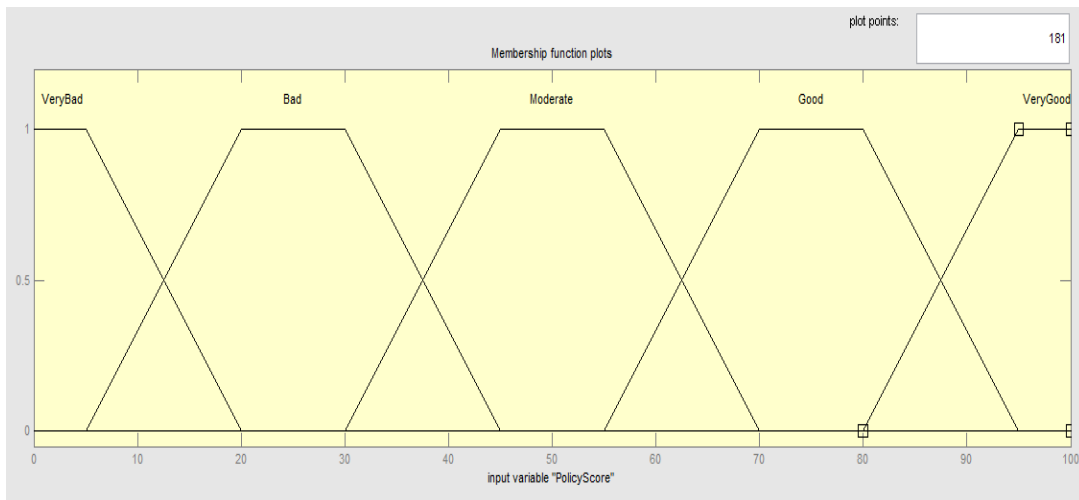
Η πρώτη είσοδος στο ασαφές υπο-σύστημα FAIDRA Ib: Policy-Scenario Evaluation είναι η λεκτική μεταβλητή *Policy Score* (επίδοση Πολιτικής) και αναπαριστά την επίδοση των πολιτικών ως προς τα κριτήρια αξιολόγησης. Το σύνολο αναφοράς της μεταβλητής ορίζεται στο κλειστό διάστημα [0,100] όπου η τιμή 0 αναπαριστά τη χαμηλότερη επίδοση μίας πολιτικής ως προς ένα κριτήριο αξιολόγησης ενώ, η τιμή 100 αναπαριστά την υψηλότερη επίδοση μίας πολιτικής ως προς ένα κριτήριο αξιολόγησης. Στη συνέχεια, ορίστηκαν οι λεκτικές τιμές της μεταβλητής *Policy Score* (επίδοση Πολιτικής) και τα ασαφή σύνολα που τις αναπαριστούν ως ακολούθως:

- Very Bad (Πολύ Κακή Επίδοση)
- Bad (Κακή Επίδοση)
- Moderate (Μέτρια Επίδοση)
- Good (Καλή Επίδοση)
- Very Good (Πολύ Καλή Επίδοση)

Οι τιμές του συνόλου αναφοράς διαμερίστηκαν στα πέντε ασαφή σύνολα, η κάθε μία με τον αντίστοιχο βαθμό συμμετοχής. Τα ασαφή σύνολα αναπαριστούν τραπεζοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής τα όρια των οποίων ορίστηκαν ως ακολούθως:

- Ασαφές σύνολο ‘Very Bad’: [0 0 5 20]
- Ασαφές σύνολο ‘Bad’: [5 20 30 45]
- Ασαφές σύνολο ‘Moderate’: [30 45 55 70]
- Ασαφές σύνολο ‘Good’: [55 70 80 95]
- Ασαφές σύνολο ‘Very Good’: [80 95 100 100]

Τα πέντε ασαφή σύνολα παρουσιάζονται στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 8-21), αναπαριστώμενα από τις αντίστοιχες συναρτήσεις συμμετοχής.



Σχήμα 8-21: Ασαφοποίηση Εισόδου Policy Score – Τραπεζοειδείς Συναρτήσεις Συμμετοχής

Η ασαφοποίηση της εισόδου Policy Score αφορά στην έκφραση της επίδοσης μίας πολιτικής ως προς τα κριτήρια αξιολόγησης στο διάστημα $[0,100]$ μέσω μίας ασαφούς μεταβλητής, της μεταβλητής Policy Score όπου, οι διαφορετικές τιμές της εκφράζουν διαφορετικές «καταστάσεις» της επίδοσης, καταστάσεις οι οποίες αναπαρίστανται από πέντε ασαφή σύνολα A_i ως προς το σύνολο αναφοράς $[0,100]$ και εκφράζουν ασαφείς γλωσσικές έννοιες.

$$\{A_i, i = 1, \dots, 5\} = \{\text{Very Bad, Bad, Moderate, Good, Very Good}\}$$

Τα πέντε σύνολα ορίζονται από συναρτήσεις συμμετοχής της μορφής:

$$A_i: [0,100] = X \subseteq R \rightarrow [0,1]$$

Ασαφοποίηση εισόδου ‘Criterion Weight 2’ – Τραπεζοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής

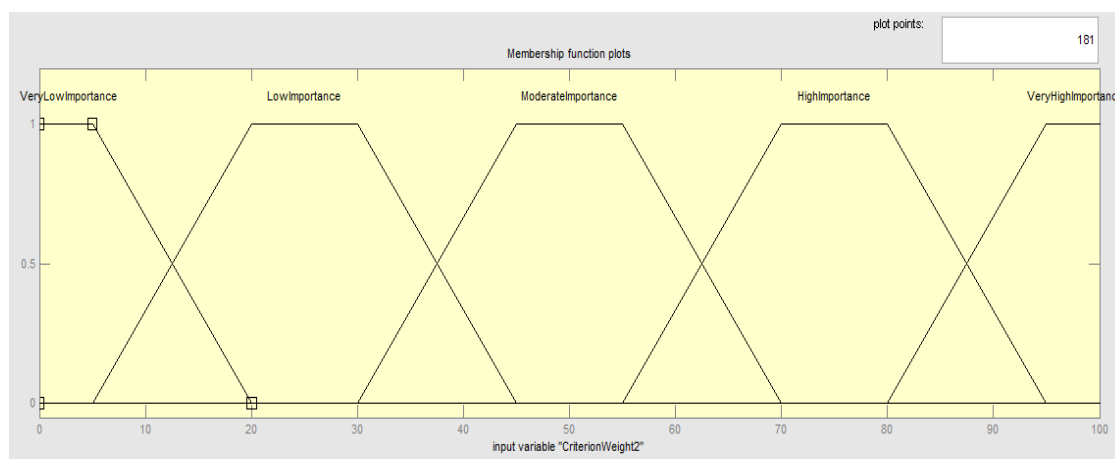
Η δεύτερη είσοδος που ασαφοποιήθηκε, είναι η λεκτική μεταβλητή *Criterion Weight 2* (Βάρος κριτηρίου), η οποία εκφράζει το βάρος που λαμβάνει κάθε κριτήριο αξιολόγησης ως προς το διαφορετικό περιεχόμενο κάθε σεναρίου. Το σύνολο αναφοράς είναι και σε αυτήν την περίπτωση το $[0,100]$ όπου η τιμή 0 αναπαριστά τη χαμηλότερη τιμή βαρύτητας ενώ, η τιμή 100 την υψηλότερη τιμή βαρύτητας που μπορεί να λάβει ένα κριτήριο αξιολόγησης. Ορίστηκαν οι τιμές της λεκτικής μεταβλητής καθώς και τα ασαφή σύνολα που τις αναπαριστούν.

Τα ασαφή σύνολα είναι πέντε στο σύνολό τους, αναπαρίστανται μέσω τραπεζοειδών συναρτήσεων συμμετοχής και εκφράζουν τον βαθμό σημαντικότητας κάθε κριτηρίου αξιολόγησης. Τα ασαφή σύνολα που αναπαριστούν τη βαρύτητα κάθε κριτηρίου, είναι τα ακόλουθα:

- Very Low Importance (Πολύ Χαμηλή Βαρύτητα)
- Low Importance (Χαμηλή Βαρύτητα)
- Moderate Importance (Μέτρια Βαρύτητα)
- High Importance (Υψηλή Βαρύτητα)
- Very High Importance (Πολύ Υψηλή Βαρύτητα)

Κατά τη διαδικασία της ασαφούς διαμέρισης, οι τιμές του συνόλου αναφοράς (κλειστό διάστημα $[0,100]$) διαμοιράστηκαν στα πέντε ασαφή σύνολα, η κάθε μία με τον ανάλογο βαθμό συμμετοχής. Τα όρια των ασαφών συνόλων (Σχήμα 8-22) στην περίπτωση αυτή ορίστηκαν ως ακολούθως:

- Ασαφές σύνολο ‘Very Low Importance’: $[0 \ 0 \ 5 \ 20]$
- Ασαφές σύνολο ‘Low Importance’: $[5 \ 20 \ 30 \ 45]$
- Ασαφές σύνολο ‘Moderate Importance’: $[30 \ 45 \ 55 \ 70]$
- Ασαφές σύνολο ‘High Importance’: $[55 \ 70 \ 80 \ 95]$
- Ασαφές σύνολο ‘Very High Importance’: $[80 \ 95 \ 100 \ 100]$



Σχήμα 8-22: Ασαφοποίηση Εισόδου *Criterion Weight 2* – Τραπεζοειδείς Συναρτήσεις Συμμετοχής

Η ασαφής μεταβλητή *Criterion Weight 2* εκφράζει τη βαρύτητα των κριτηρίων αξιολόγησης οριζόμενη στο διάστημα $[0,100]$ όπου, οι διαφορετικές τιμές που λαμβάνει εκφράζουν διαφορετικές «καταστάσεις» της σημαντικότητας των

κριτηρίων, οι οποίες με τη σειρά τους αναπαρίστανται από πέντε ασαφή σύνολα B_i ως προς το σύνολο αναφοράς $[0,100]$ και εκφράζουν ασαφείς γλωσσικές έννοιες.

$$\{B_i, i = 1, \dots, 5\} = \{\text{Very Low Importance, Low Importance, Moderate Importance, High Importance, Very High Importance}\}$$

Τα πέντε σύνολα ορίζονται από συναρτήσεις συμμετοχής της μορφής:

$$B_i: [0,100] = X \subseteq R \rightarrow [0,1]$$

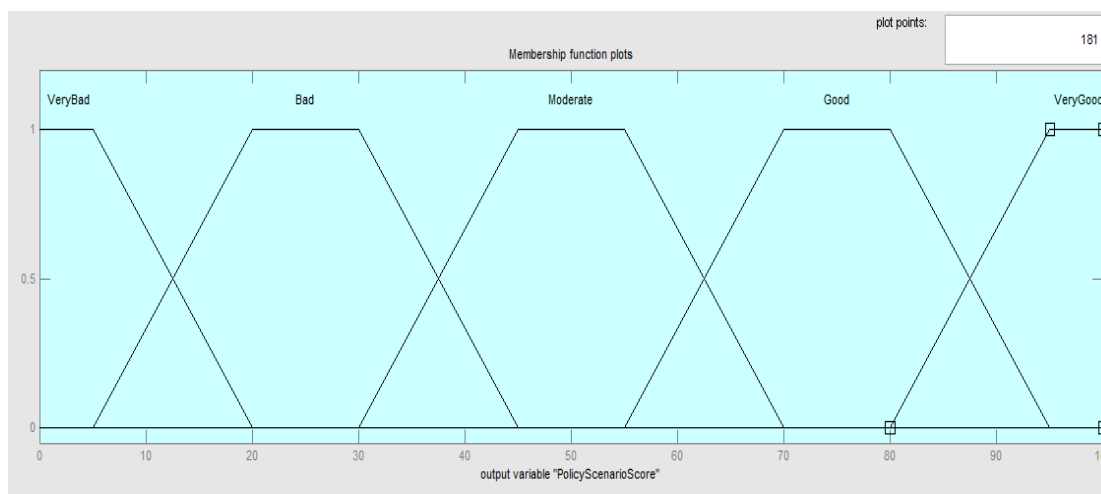
Ασαφοποίηση εξόδου ‘Policy Scenario Score’ – Τραπεζοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής

Η έξοδος του ασαφούς υπο-συστήματος FAIDRA Ib: Policy-Scenario Evaluation είναι η επίδοση των πολιτικών ως προς τα σενάρια *Policy Scenario Score*, και προκύπτει ως ένας συνδυασμός της επίδοσης κάθε πολιτικής ως προς τα κριτήρια αξιολόγησης και του βάρους που κάθε κριτήριο αξιολόγησης λαμβάνει ως προς το περιεχόμενο κάθε σεναρίου. Ως εκ τούτου στο ασαφές υπο-σύστημα, οι επιδόσεις των πολιτικών ως προς τα κριτήρια και τα αντίστοιχα βάρη των κριτηρίων (είσοδοι του συστήματος) καθώς και η επίδοση των πολιτικών ως προς τα σενάρια (έξοδος του συστήματος) συνδυάζονται μέσω των ασαφών κανόνων στη βάση των οποίων υπολογίζεται το αποτέλεσμα που δίνει το σύστημα.

Για την ασαφοποίηση της εξόδου του ασαφούς υπο-συστήματος, εφαρμόστηκαν οι ίδιες διαδικασίες που εφαρμόστηκαν και στις περιπτώσεις ασαφοποίησης των εισόδων. Το σύνολο αναφοράς της εξόδου ορίζεται στο κλειστό διάστημα $[0,100]$ με την τιμή 0 να αναπαριστά τη χαμηλότερη επίδοση μίας πολιτικής ως προς ένα σενάριο και την τιμή 100 να αναπαριστά την υψηλότερη επίδοση μίας πολιτικής ως προς ένα σενάριο. Η διαδικασία της ασαφούς διαμέρισης ολοκληρώθηκε με τον ορισμό πέντε ασαφών συνόλων (Σχήμα 8-23) στα οποία κατανέμονται οι διακριτές τιμές που λαμβάνει η μεταβλητή *Policy Scenario Score* και τα οποία έχουν οριστεί ως εξής:

- Ασαφές σύνολο ‘Very Bad’: $[0 \ 0 \ 5 \ 20]$
- Ασαφές σύνολο ‘Bad’: $[5 \ 20 \ 30 \ 45]$
- Ασαφές σύνολο ‘Moderate’: $[30 \ 45 \ 55 \ 70]$

- Ασαφές σύνολο 'Good': [55 70 80 95]
- Ασαφές σύνολο 'Very Good': [80 95 100 100]



Σχήμα 8-23: Ασαφοποίηση Εξόδου Policy Scenario Score – Τραπεζοειδείς Συναρτήσεις Συμμετοχής

Κατ’ αντιστοιχία με τις εισόδους, η ασαφής μεταβλητή Policy Scenario Score αναπαριστά την επίδοση των πολιτικών ως προς τα σενάρια οριζόμενη στο διάστημα [0,100] όπου, οι διαφορετικές τιμές που λαμβάνει εκφράζουν διαφορετικές «καταστάσεις» επίδοσης, οι οποίες με τη σειρά τους αναπαρίστανται από πέντε ασαφή σύνολα C_i ως προς το σύνολο αναφοράς [0,100] και εκφράζουν ασαφείς γλωσσικές έννοιες.

$$\{C_i, i = 1, \dots, 5\} = \{\text{Very Bad, Bad, Moderate, Good, Very Good}\}$$

Τα πέντε σύνολα ορίζονται από συναρτήσεις συμμετοχής της μορφής:

$$C_i: [0,100] = X \subseteq R \rightarrow [0,1]$$

🚧 Ασαφοποίηση εισόδων και εξόδων με χρήση τριγωνοειδών συναρτήσεων συμμετοχής – Ασαφές υπο-σύστημα FAIDRA Ib: Policy-Scenario Evaluation

Στην ενότητα αυτή, παρουσιάζεται η δεύτερη εναλλακτική προσέγγιση για τη δόμηση του υπο-συστήματος ασαφούς συμπερασμού FAIDRA Ib: Policy-Scenario Evaluation για την πολυκριτηριακή αξιολόγηση πολιτικών-σεναρίων. Όπως και στην

περίπτωση του υπο-συστήματος FAIDRA Ia: Action-Policy Evaluation, η δεύτερη αυτή προσέγγιση διαφοροποιείται από την πρώτη στο στάδιο της ασαφοποίησης καθώς οι συναρτήσεις συμμετοχής που χρησιμοποιήθηκαν για την αναπαράσταση των ασαφών συνόλων, είναι τριγωνικής μορφής, γεγονός που συνεπάγεται διαφοροποιήσεις στον βαθμό επικάλυψης των ασαφών συνόλων καθώς και των βαθμών συμμετοχής των διακριτών τιμών στα σύνολα αυτά.

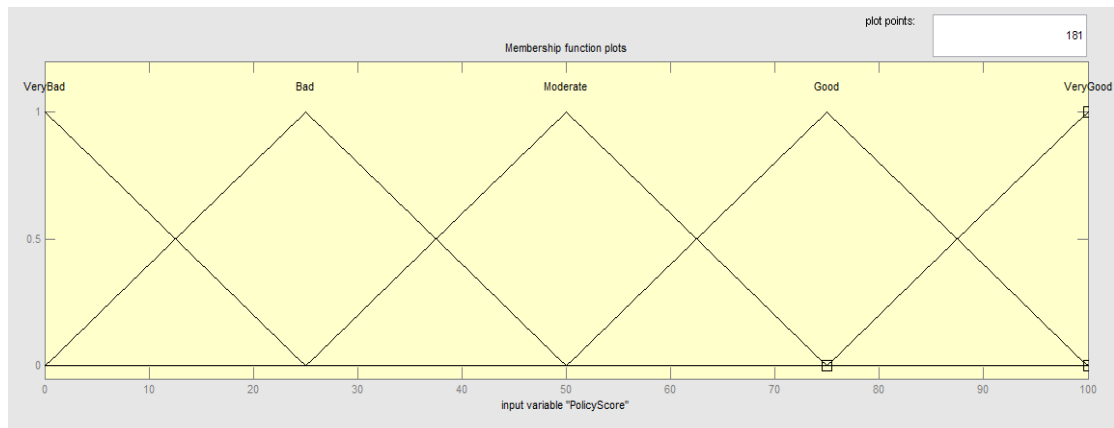
Τα στάδια δόμησης του ασαφούς συστήματος είναι πανομοιότυπα με τα αντίστοιχα στάδια των συστημάτων που περιγράφηκαν στις προηγούμενες ενότητες, ενώ υπενθυμίζεται ότι οι τριγωνοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής μοντελοποιούν τιμές συγκεντρωμένες γύρω από μία κεντρική αντιπροσωπευτική τιμή και εκφράσεις του τύπου: «Η πολιτική P_i είναι καλή, μέτρια, κακή, κ.λπ. περίπου στην τιμή x_i » και «Το κριτήριο C_i είναι σημαντικό, πολύ σημαντικό, κ.λπ. περίπου στην τιμή y_i ».

Ασαφοποίηση εισόδου ‘Policy Score’ – Τριγωνοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής

Η πρώτη είσοδος που ασαφοποιήθηκε είναι η μεταβλητή *Policy Score* (επίδοση Πολιτικής). Το σύνολο αναφοράς της είναι το $[0,100]$ ενώ, ορίστηκαν πέντε συνολικά ασαφή σύνολα που αφορούν στην επίδοση των πολιτικών ως προς τα κριτήρια αξιολόγησης και αντιστοιχούν στις λεκτικές τιμές με τη βοήθεια των οποίων εκφράζονται οι εν λόγω επιδόσεις. Ακολούθησε η διαδικασία της ασαφούς διαμέρισης, η οποία ολοκληρώθηκε με την κατανομή των διακριτών τιμών στα επιμέρους ασαφή σύνολα.

Τα σύνολα που ορίστηκαν και αναπαρίστανται από τις αντίστοιχες τριγωνοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής (Σχήμα 8-24) είναι τα ακόλουθα:

- Ασαφές σύνολο ‘Very Bad’: $[0 \ 0 \ 25]$
- Ασαφές σύνολο ‘Bad’: $[0 \ 25 \ 50]$
- Ασαφές σύνολο ‘Moderate’: $[25 \ 50 \ 75]$
- Ασαφές σύνολο ‘Good’: $[50 \ 75 \ 100]$
- Ασαφές σύνολο ‘Very Good’: $[75 \ 100 \ 100]$

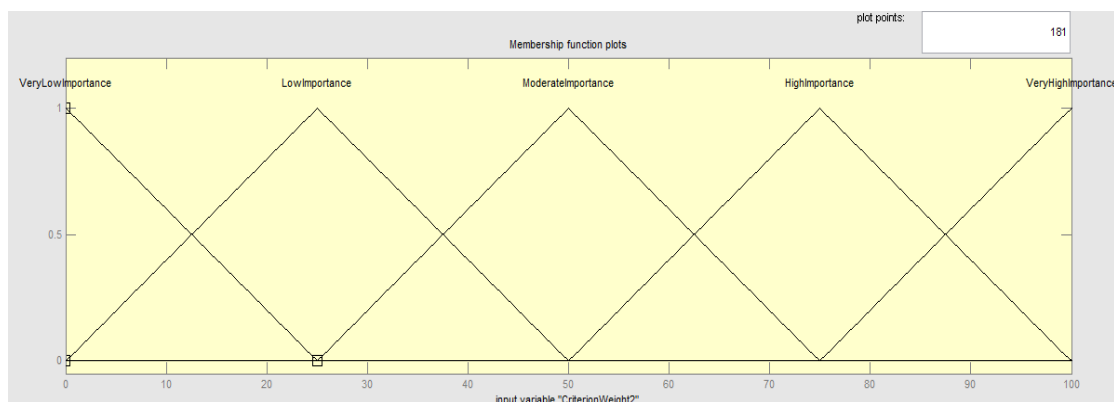


Σχήμα 8-24: Ασαφοποίηση Εισόδου Policy Score – Τριγωνοειδείς Συναρτήσεις Συμμετοχής

Ασαφοποίηση εισόδου ‘Criterion Weight 2’ – Τριγωνοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής

Η δεύτερη είσοδος του υπο-συστήματος είναι η μεταβλητή *Criterion Weight 2* (Βάρος κριτηρίου) με σύνολο αναφοράς [0,100]. Οι διακριτές τιμές κατανέμονται και πάλι σε πέντε ασαφή σύνολα, τα οποία μοντελοποιούν τη βαρύτητα των κριτηρίων αξιολόγησης και αναπαρίστανται από τις αντίστοιχες τριγωνοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής. Τα ασαφή σύνολα που ορίστηκαν στην περίπτωση αυτή είναι τα ακόλουθα (Σχήμα 8-25):

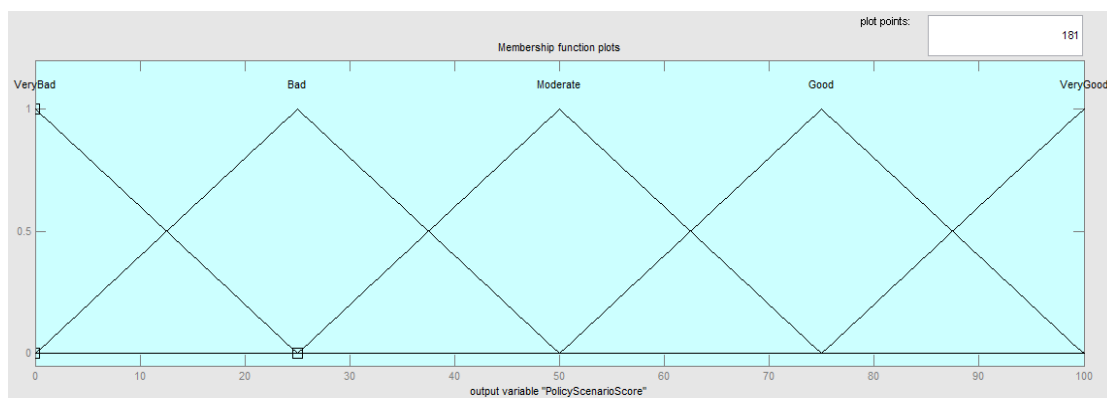
- Ασαφές σύνολο ‘Very Low Importance’: [0 0 25]
- Ασαφές σύνολο ‘Low Importance’: [0 25 50]
- Ασαφές σύνολο ‘Moderate Importance’: [25 50 75]
- Ασαφές σύνολο ‘High Importance’: [50 75 100]
- Ασαφές σύνολο ‘Very High Importance’: [75 100 100]



Σχήμα 8-25: Ασαφοποίηση Εισόδου Criterion Weight 2 – Τριγωνοειδείς Συναρτήσεις Συμμετοχής

Ασαφοποίηση εξόδου ‘Policy Scenario Score’ – Τριγωνοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής

Τέλος, ασαφοποιήθηκε η μεταβλητή Policy Scenario Score που είναι η έξοδος του συστήματος και αναπαριστά τις επιδόσεις των πολιτικών ως προς τα σενάρια. Το σύνολο αναφοράς της μεταβλητής Policy Scenario Score είναι το [0,100] και οι τιμές που λαμβάνει, αναπαρίστανται από πέντε ασαφή σύνολα και τις αντίστοιχες τριγωνοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής. Τα πέντε ασαφή σύνολα παρουσιάζονται στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 8-26):



Σχήμα 8-26: Ασαφοποίηση Εξόδου Policy Scenario Score – Τριγωνοειδείς Συναρτήσεις Συμμετοχής

Τα ασαφή σύνολα ορίστηκαν ως εξής:

- Ασαφές σύνολο ‘Very Bad’: [0 0 25]
- Ασαφές σύνολο ‘Bad’: [0 25 50]
- Ασαφές σύνολο ‘Moderate’: [25 50 75]
- Ασαφές σύνολο ‘Good’: [50 75 100]
- Ασαφές σύνολο ‘Very Good’: [75 100 100]

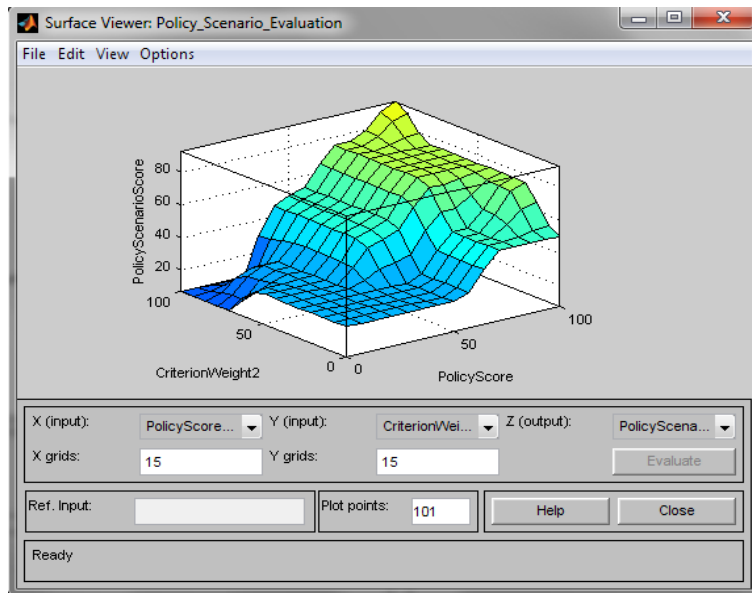
Δόμηση βάσης ασαφών κανόνων και απο-ασαφοποίηση των εξόδων του ασαφούς υπο-συστήματος FAIDRA Ib: Policy-Scenario Evaluation

Ο σχεδιασμός του ασαφούς υπο-συστήματος FAIDRA Ib: Policy-Scenario Evaluation ολοκληρώθηκε με τη δόμηση της βάσης των ασαφών κανόνων και την απο-ασαφοποίηση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τη διαδικασία επεξεργασίας των κανόνων. Η βάση των ασαφών κανόνων περιλαμβάνει τους ίδιους κανόνες με αυτούς που ορίστηκαν στην περίπτωση του συστήματος FAIDRA Ia:

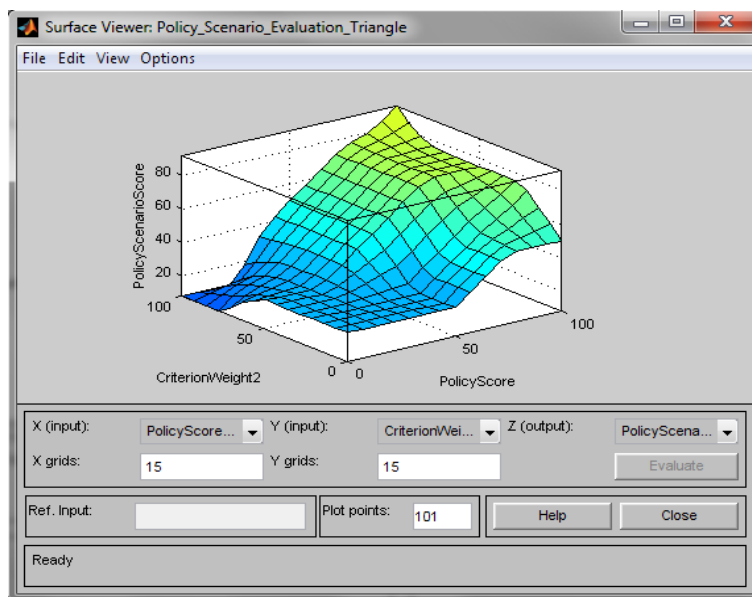
Action-Policy Evaluation και περιγράφονται στον Πίνακα 8-1 της ενότητας 8.1.2. Για τον λόγο αυτό δεν κρίνεται σκόπιμο να παρουσιαστούν εκ νέου στην παρούσα ενότητα. Η μέθοδος απο-ασαφοποίησης που επιλέχθηκε είναι η *μέθοδος του κέντρου βάρους* (centroid) ενώ, οι μέθοδοι επεξεργασίας του τελεστή AND και οι μέθοδοι που ορίστηκαν για την εξαγωγή των επαγωγικών συμπερασμάτων και τη συσσώρευση των κανόνων (prod, prod και sum αντίστοιχα) είναι οι ίδιες με αυτές που ορίστηκαν και στην περίπτωση του ασαφούς υπο-συστήματος που σχεδιάστηκε για την αξιολόγηση των δράσεων ως προς τις πολιτικές.

Η τριαδιάστατη απεικόνιση του ασαφούς υπο-συστήματος FAIDRA Ib: Policy-Scenario Evaluation παρουσιάζεται στο Σχήμα 8-27 για την περίπτωση που για τη μοντελοποίηση αξιοποιήθηκαν τραπεζοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής, και στο Σχήμα 8-28 για την περίπτωση που για τη μοντελοποίηση αξιοποιήθηκαν τριγωνοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής.

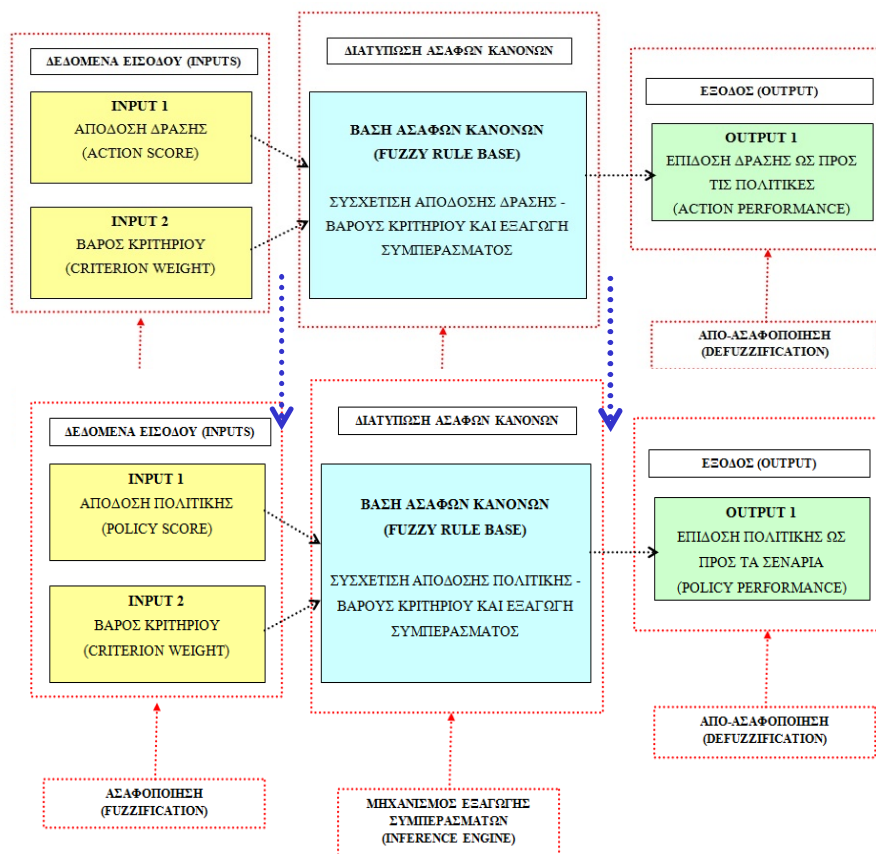
Συμπερασματικά, στην ενότητα αυτή παρουσιάστηκε το σύστημα ασαφούς συμπερασμού FAIDRA I (Σχήμα 8-29) και τα δύο υπο-συστήματα FAIDRA Ia: Action-Policy Evaluation και FAIDRA Ib: Policy-Scenario Evaluation τα οποία σχεδιάστηκαν για τη υλοποίηση δύο επιμέρους πολυκριτηριακών αξιολογήσεων, της αξιολόγησης Δράσεων-Πολιτικών και της αξιολόγησης Πολιτικών-Σεναρίων. Στην ενότητα που ακολουθεί, παρουσιάζεται το λεκτικό υπολογιστικό μοντέλο FAIDRA II το οποίο συνιστά έναν εναλλακτικό τρόπο υλοποίησης της πολυκριτηριακής αξιολόγησης με αξιοποίηση της ασαφούς λογικής, χωρίς όμως τη δόμηση συστήματος ασαφούς συμπερασμού και τη χρήση ασαφών κανόνων.



Σχήμα 8-27: Γραφική αναπαράσταση του ασαφούς υπο-συστήματος FAIDRA Ib: Policy-Scenario Evaluation – Τραπεζοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής



Σχήμα 8-28: Γραφική αναπαράσταση του ασαφούς υπο-συστήματος FAIDRA Ib: Policy-Scenario Evaluation – Τριγωνοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής



Σχήμα 8-29: Σύστημα ασαφούς συμπερασμού FAIDRA I

8.2. Δόμηση Λεκτικού Υπολογιστικού Μοντέλου FAIDRA II

Στις ενότητες που προηγήθηκαν, παρουσιάστηκε το σύστημα ασαφούς συμπερασμού-ΣΣΑ FAIDRA I που σχεδιάστηκε για την πολυκριτηριακή αξιολόγηση Δράσεων-Πολιτικών (υπο-σύστημα FAIDRA Ia: Action-Policy Evaluation) και την πολυκριτηριακή αξιολόγηση Πολιτικών-Σεναρίων (υπο-σύστημα FAIDRA Ib: Policy-Scenario Evaluation), στη βάση του μοντέλου Multipol για τη χάραξη μελλοντικών στρατηγικών κατευθύνσεων.

Η δόμηση των επιμέρους ασαφών υπο-συστημάτων ολοκληρώθηκε με την αξιοποίηση της εργαλειοθήκης Fuzzy Logic Toolbox του Matlab. Στο πλαίσιο της νέας αυτής προσέγγισης, οι διακριτές τιμές που αναπαριστούν διατυπωμένες κρίσεις ειδικών (επιδόσεις δράσεων, επιδόσεις πολιτικών και βάρη κριτηρίων αξιολόγησης), ασαφοποιούνται προκειμένου να ακολουθήσει στη συνέχεια η επεξεργασία τους με τη βοήθεια ασαφών κανόνων στη βάση των οποίων προκύπτουν τα αποτελέσματα

των επιμέρους αξιολογήσεων. Συνεπώς, παρά την υιοθέτηση μίας νέας προσέγγισης που αξιοποιεί τη λογική της ασάφειας, οι ειδικοί διατυπώνουν τις κρίσεις τους χρησιμοποιώντας διακριτές αριθμητικές τιμές οι οποίες ασαφοποιούνται στη συνέχεια από το αντίστοιχο ασαφές υπο-σύστημα.

Σε μία προσπάθεια περαιτέρω απλοποίησης της διαδικασίας αξιολόγησης και εστιάζοντας στον τρόπο που οι ειδικοί εκφράζουν τις εκτιμήσεις τους, προτείνεται στην παρούσα ενότητα η αξιοποίηση λεκτικών εκφράσεων μέσω των οποίων διατυπώνονται οι κρίσεις των ειδικών σχετικά με τις επιδόσεις των δράσεων, τις επιδόσεις των πολιτικών και τα βάρη των κριτηρίων αξιολόγησης. Πιο συγκεκριμένα, οι ειδικοί συμπληρώνουν τους πίνακες επιπτώσεων και τους πίνακες βαρών χρησιμοποιώντας λεκτικούς όρους (ποιοτικές τιμές), οι οποίοι αναπαριστούν μία ποιοτική κλίμακα μέτρησης και ιεράρχησης των επιδόσεων δράσεων και πολιτικών καθώς και της σημαντικότητας των κριτηρίων που αποτυπώνεται με την απόδοση των αντίστοιχων βαρών. Έτσι, αντί να διατυπώνουν εκτιμήσεις χρησιμοποιώντας αριθμητικές κλίμακες το εύρος των οποίων είναι αρκετά μεγάλο και συχνά δημιουργεί ερωτήματα ως προς την ανάθεση της πλέον κατάλληλης τιμής, οι ειδικοί αξιολογούν και αποδίδουν βάρη με τη βοήθεια μίας ποιοτικής κλίμακας. Η εν λόγω κλίμακα αφενός έχει λιγότερες και περισσότερο διακριτές μεταξύ τους τιμές και αφετέρου, επειδή οι τιμές της αναπαρίστανται μέσω λεκτικών όρων, προσεγγίζουν περισσότερο τον τρόπο που οι ειδικοί σκέπτονται και εκφράζονται χρησιμοποιώντας λέξεις.

Η πολυκριτηριακή αξιολόγηση συνιστά εκ των πραγμάτων μία διαδικασία που ενσωματώνει σε μεγάλο βαθμό το στοιχείο της υποκειμενικότητας, της ασαφούς διατύπωσης και της αβεβαιότητας. Ειδικότερα στην περίπτωση του Multipol, οι επιδόσεις δράσεων και πολιτικών ως προς τα κριτήρια αξιολόγησης καθώς και τα βάρη των κριτηρίων αποτελούν βασικές πηγές αβεβαιότητας, η οποία ως ένα βαθμό περιορίζεται με τη συμμετοχή ειδικών και την παροχή από μέρους τους εξειδικευμένης γνώσης. Ωστόσο η υποκειμενικότητα παραμένει, ενώ υπεισέρχεται στη διαδικασία της αξιολόγησης το ζήτημα της διαχείρισης της συλλογιστικής των ειδικών μέσω της οποίας εξάγονται τα συμπεράσματά τους καθώς, και της διαχείρισης των λεκτικών εκφράσεων που χρησιμοποιούν για τη διατύπωση των εν λόγω συμπερασμάτων.

Στην περίπτωση του μοντέλου Multipol, τα συμπεράσματα αυτά πρέπει να «κωδικοποιηθούν» και να διατυπωθούν μέσω αριθμητικών τιμών. Στην περίπτωση

του προτεινόμενου μοντέλου (FAIDRA II) που ενσωματώνει λεκτικές εκφράσεις, οι ειδικοί έχουν τη δυνατότητα να διατυπώσουν τις εκτιμήσεις τους χρησιμοποιώντας λεκτικές τιμές, οι οποίες αποτελούν μία ιεραρχική κλίμακα (ordinal scale) μέτρησης επιδόσεων και βαρών. Οι τιμές της κλίμακας αυτής ορίζουν μία κατάταξη του μετρούμενου χαρακτηριστικού από μία ελάχιστη σε μία μέγιστη τιμή. Συνεπώς, οι επιδόσεις και τα βάρη συνιστούν λεκτικές μεταβλητές οι διαφορετικές τιμές των οποίων εκφράζονται μέσω λεκτικών όρων. Δομούνται συνολικά τέσσερις πίνακες:

- ο πίνακας επιπτώσεων Δράσεων-Κριτηρίων,
- ο πίνακας βαρών Κριτηρίων-Πολιτικών,
- ο πίνακας επιπτώσεων Πολιτικών-Κριτηρίων, και
- ο πίνακας βαρών Κριτηρίων-Σεναρίων.

Οι τιμές που εισέρχονται στα κελιά των παραπάνω πινάκων είναι λεκτικές. Για τις επιδόσεις (scores) είναι οι ακόλουθες πέντε, από τη χειρότερη στην καλύτερη:

- Very Bad
- Bad
- Moderate
- Good
- Very Good

Για τα βάρη (weights), οι αντίστοιχες τιμές είναι επίσης πέντε και από τη χειρότερη στην καλύτερη, διαμορφώνονται ως εξής:

- Very Low Importance
- Low Importance
- Moderate Importance
- High Importance
- Very High Importance

Ο συνδυασμός των παραπάνω πινάκων ανά δύο, μέσα από την εφαρμογή ανάλογων μαθηματικών διαδικασιών, οδηγεί στην εξαγωγή των αποτελεσμάτων κάθε αξιολόγησης τα οποία περιλαμβάνουν τις επιδόσεις των δράσεων ως προς τις πολιτικές και τις επιδόσεις των πολιτικών ως προς τα σενάρια. Πιο αναλυτικά, οι υπολογισμοί που υλοποιούνται μεταξύ των πινάκων «Δράσεις-Κριτήρια» και «Κριτήρια-Πολιτικές», δίνουν ως αποτέλεσμα την επίδοση κάθε δράσης ως προς κάθε πολιτική. Αντίστοιχα, οι υπολογισμοί που υλοποιούνται μεταξύ των πινάκων «Πολιτικές-Κριτήρια» και «Κριτήρια-Σενάρια», δίνουν ως αποτέλεσμα την επίδοση κάθε πολιτικής ως προς κάθε σενάριο.

Οι λεκτικοί όροι που χρησιμοποιούν οι ειδικοί για την εκτίμηση επιδόσεων και την απόδοση βαρών αναπαρίστανται από ασαφείς αριθμούς, προκειμένου να υλοποιηθούν στη συνέχεια οι απαιτούμενοι μαθηματικοί υπολογισμοί για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν, αναπαρίστανται από τους αντίστοιχους ασαφείς αριθμούς και αντιστοιχούν στις τελικές επιδόσεις.

Συνοπτικά, τα στάδια υλοποίησης του εναλλακτικού αυτού «λεκτικού υπολογιστικού μοντέλου» περιλαμβάνουν:

- Τον ορισμό των λεκτικών μεταβλητών.
- Τον ορισμό ενός συνόλου λεκτικών τιμών για την εκτίμηση επιδόσεων και την απόδοση βαρών στα κριτήρια / Ποιοτικές κλίμακες μέτρησης επιδόσεων δράσεων και πολιτικών και σημαντικότητας κριτηρίων αξιολόγησης.
- Τον ορισμό των συναρτήσεων συμμετοχής που αναπαριστούν τους εν λόγω λεκτικούς όρους.
- Τη δόμηση των πινάκων επιπτώσεων και των πινάκων βαρών.
- Την υλοποίηση των απαιτούμενων υπολογισμών.
- Την εξαγωγή των αποτελεσμάτων.

Με την εφαρμογή της προσέγγισης αυτής, οι κλασικοί πίνακες επιπτώσεων και βαρών του Multipol αντικαθίστανται από τους αντίστοιχους ασαφείς πίνακες επιπτώσεων και βαρών, πίνακες δηλαδή όπου το κάθε κελί περιλαμβάνει μία λεκτική τιμή και τον αντίστοιχο ασαφή αριθμό που την αναπαριστά. Οι υπολογισμοί παραμένουν ουσιαστικά οι ίδιοι με αυτούς που υλοποιούνται στην περίπτωση του κλασικού μοντέλου Multipol με τη διαφορά ότι, οι πίνακες επιδόσεων και βαρών αντί για διακριτές περιλαμβάνουν ασαφείς τιμές. Συνεπώς και κατ' αντιστοιχία με την περίπτωση του κλασικού μοντέλου, στην περίπτωση του ασαφούς μοντέλου οι υπολογισμοί για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων γίνονται μεταξύ ασαφών αριθμών και των αντίστοιχων συναρτήσεων συμμετοχής ενώ, τα επιμέρους γινόμενα και αθροίσματα που προκύπτουν κατά τη διάρκεια των υπολογισμών είναι ασαφή γινόμενα και ασαφή αθροίσματα που υλοποιούνται στη βάση «της Αρχής της Επέκτασης» (Extension Principle) καθώς, οι υπολογισμοί αφορούν σε πολλαπλασιασμούς μεταξύ ασαφών πινάκων.

Η δυνατότητα υλοποίησης μαθηματικών πράξεων και υπολογισμών μεταξύ λεκτικών όρων αποτελεί ένα από τα θεμελιώδη χαρακτηριστικά της ασαφούς λογικής. Η ασαφής λογική παρέχει το μεθοδολογικό πλαίσιο που επιτρέπει την

υλοποίηση υπολογισμών μεταξύ λέξεων, όταν η διαθέσιμη πληροφορία είναι ασαφής και ανακριβής και αναπαρίσταται με τη βοήθεια λεκτικών όρων και όχι μέσω διακριτών αριθμητικών τιμών (Zadeh, 1996).

Οι λεκτικοί όροι αναπαρίστανται με τη σειρά τους μέσω ασαφών αριθμών, αριθμών δηλαδή που εκφράζουν και μοντελοποιούν καλύτερα την αβεβαιότητα επιτρέποντας έτσι τη δόμηση του ανάλογου μαθηματικού μοντέλου που αντιστοιχεί σε κάθε λεκτική μεταβλητή ενώ, λογίζεται ως μία συνάρτηση με πεδίο ορισμού ένα συγκεκριμένο σύνολο (Gao and Zhang, 2009). Παράλληλα, ορίζονται και οι πράξεις μεταξύ των ασαφών αριθμών κατ' αντιστοιχία με τις πράξεις μεταξύ διακριτών αριθμών στη βάση της «Αρχής της Επέκτασης» η οποία παρουσιάστηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Στην περίπτωση του μοντέλου που σχεδιάστηκε για τις δύο προσεγγίσεις αξιολόγησης του Multipol, οι βασικές πράξεις που απαιτούνται για τον υπολογισμό των αποτελεσμάτων είναι αυτές του ασαφούς πολλαπλασιασμού και της ασαφούς πρόσθεσης μεταξύ ασαφών αριθμών / συνόλων. Ανάλογα με τον τύπο του εκάστοτε ασαφούς αριθμού (τριγωνοειδής ή τραπεζοειδής), υλοποιούνται οι αντίστοιχοι υπολογισμοί και προκύπτουν τα αποτελέσματα κάθε αξιολόγησης. Οι μαθηματικές σχέσεις που ορίζουν την πρόσθεση και τον πολλαπλασιασμό μεταξύ ασαφών αριθμών, ανάγονται ουσιαστικά σε πράξεις μεταξύ διαστημάτων. Για ασαφείς αριθμούς που ορίζονται στο $[0, +\infty]$, η πρόσθεση και ο πολλαπλασιασμός για τραπεζοειδείς και τριγωνικούς ασαφείς αριθμούς (που αναπαρίστανται από τις αντίστοιχες τραπεζοειδείς και τριγωνοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής) ορίζονται ως ακολούθως:

Έστω δύο τραπεζοειδείς ασαφείς αριθμοί οριζόμενοι στο διάστημα $[0, +\infty]$, οι οποίοι ορίζουν δύο κανονικά και κυρτά ασαφή σύνολα:

$$A_1 = (a_1, b_1, c_1, d_1)$$

$$A_2 = (a_2, b_2, c_2, d_2)$$

Η πρόσθεση μεταξύ των δύο ασαφών τραπεζοειδών αριθμών ορίζεται ως εξής:

$$A_1 (+) A_2 = (a_1+a_2, b_1+b_2, c_1+c_2, d_1+d_2)$$

Ο πολλαπλασιασμός μεταξύ των δύο ασαφών τραπεζοειδών αριθμών ορίζεται ως εξής:

$$A_1 (x) A_2 = (a_1 \times a_2, b_1 \times b_2, c_1 \times c_2, d_1 \times d_2)$$

Ομοίως για δύο τριγωνικούς ασαφείς αριθμούς που ορίζονται στο διάστημα $[0, +\infty]$, οι οποίοι ορίζουν δύο κανονικά και κυρτά ασαφή σύνολα:

$$A_1 = (a_1, b_1, c_1)$$

$$A_2 = (a_2, b_2, c_2)$$

Η πρόσθεση μεταξύ των δύο τριγωνικών ασαφών αριθμών ορίζεται ως εξής:

$$A_1 (+) A_2 = (a_1+a_2, b_1+b_2, c_1+c_2)$$

Ο πολλαπλασιασμός μεταξύ των δύο τριγωνικών ασαφών αριθμών ορίζεται ως εξής:

$$A_1 (x) A_2 = (a_1 \times a_2, b_1 \times b_2, c_1 \times c_2)$$

Στις παραγράφους που ακολουθούν, παρουσιάζονται οι δύο επιμέρους αξιολογήσεις, «Δράσεων-Πολιτικών» και «Πολιτικών-Σεναρίων», υπό το πρίσμα μίας νέας προσέγγισης που αξιοποιεί λεκτικούς όρους για τη δόμηση των πινάκων επιπτώσεων και των πινάκων βαρών ενώ στη συνέχεια και στη βάση των αξιωμάτων της ασαφούς αριθμητικής, υλοποιεί τη διαδικασία της πολυκριτηριακής αξιολόγησης στη βάση του «ασαφούς μοντέλου της σταθμικής άθροισης» (fuzzy weighted summation). Η νέα προτεινόμενη προσέγγιση, FAIDRA II, παρουσιάζεται για κάθε μία από τις επιμέρους αξιολογήσεις αναλυτικά στα αντίστοιχα εδάφια.

8.2.1. Πολυκριτηριακή Αξιολόγηση Δράσεων-Πολιτικών – FAIDRA II

Η πολυκριτηριακή αξιολόγηση Δράσεων-Πολιτικών είναι μία διαδικασία που αφορά καταρχάς, στον ορισμό του πίνακα επιπτώσεων Δράσεων-Κριτηρίων ο οποίος περιλαμβάνει τις επιδόσεις των δράσεων ως προς τα κριτήρια αξιολόγησης. Επιπλέον, ορίζεται ο πίνακας βαρών Κριτηρίων-Πολιτικών ο οποίος περιλαμβάνει τα βάρη των κριτηρίων αξιολόγησης ως προς το περιεχόμενο κάθε πολιτικής.

Στη συνέχεια, οι δύο παραπάνω πίνακες πολλαπλασιάζονται μεταξύ τους και προκύπτει ένας νέος πίνακας, ο πίνακας *Δράσεων-Πολιτικών*, ο οποίος περιλαμβάνει τις επιδόσεις κάθε δράσης ως προς κάθε πολιτική. Οι κλίμακες μέτρησης των επιδόσεων και των βαρών είναι ποιοτικές και όπως ήδη αναφέρθηκε, οι επιδόσεις και τα βάρη εκφράζονται με τη βοήθεια λεκτικών όρων οι οποίοι με τη σειρά τους ορίζουν δύο ιεραρχικές κλίμακες (ordinal scales). Η νέα αυτή προτεινόμενη προσέγγιση, για τη μοντελοποίηση των λεκτικών όρων και τη μαθηματική τους αναπαράσταση, αξιοποιεί στοιχεία από το στάδιο της ασαφοποίησης των επιδόσεων και των βαρών που υλοποιήθηκε κατά τον σχεδιασμό του συστήματος ασαφούς συμπερασμού FAIDRA I.

Πιο αναλυτικά, σε πρώτη φάση ορίστηκε το σύνολο των λεκτικών τιμών που ορίζουν τις κλίμακες μέτρησης επιδόσεων και βαρών. Για την περίπτωση των επιδόσεων των δράσεων ως προς τα κριτήρια αξιολόγησης, η αντίστοιχη κλίμακα περιλαμβάνει πέντε τιμές: Very Bad, Bad, Moderate, Good, Very Good. Όταν η επίδοση μίας δράσης ως προς ένα κριτήριο είναι μηδενική, το αντίστοιχο κελί του πίνακα *Δράσεων-Κριτηρίων* λαμβάνει την τιμή 'Indifferent' η οποία ισοδυναμεί με ένα κενό κελί και δε λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς.

Για την περίπτωση των βαρών των κριτηρίων, η αντίστοιχη κλίμακα περιλαμβάνει επίσης πέντε τιμές οι οποίες είναι: Very Low Importance, Low Importance, Moderate Importance, High Importance, Very High Importance. Όταν η τιμή του βάρους ενός κριτηρίου είναι μηδενική, το αντίστοιχο κελί του πίνακα *Κριτηρίων-Πολιτικών* λαμβάνει την τιμή 'Indifferent' η οποία, όπως και στον πίνακα *Δράσεων-Κριτηρίων*, ισοδυναμεί με ένα κενό κελί και δε λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς.

Στη συνέχεια, ορίστηκαν οι ασαφείς αριθμοί και οι συναρτήσεις συμμετοχής που αναπαριστούν κάθε μία από τις παραπάνω τιμές. Έτσι, όσον αφορά στις επιδόσεις των δράσεων ως προς τα κριτήρια οι λεκτικές τιμές αναπαρίστανται εναλλακτικά από τραπεζοειδείς και τριγωνοειδείς ασαφείς αριθμούς και τις αντίστοιχες συναρτήσεις που τους ορίζουν. Ανάλογη μοντελοποίηση έγινε και για την περίπτωση των βαρών των κριτηρίων αξιολόγησης ως προς το περιεχόμενο κάθε πολιτικής.

Στην περίπτωση αναπαράστασης των λεκτικών όρων που ορίζουν τις επιδόσεις των δράσεων ως προς τα κριτήρια μέσω τραπεζοειδών συναρτήσεων συμμετοχής, οι ασαφείς αριθμοί που αντιστοιχούν σε κάθε λεκτικό όρο είναι οι ακόλουθοι:

- Very Bad: [0 0 1 4]
- Bad: [1 4 6 9]
- Moderate: [6 9 11 14]
- Good: [11 14 16 19]
- Very Good: [16 19 20 20]

Ενώ για την περίπτωση αναπαράστασης των λεκτικών όρων μέσω τριγωνοειδών συναρτήσεων συμμετοχής, οι ασαφείς αριθμοί διαμορφώνονται ως εξής:

- Very Bad: [0 0 5]
- Bad: [0 5 10]
- Moderate: [5 10 15]
- Good: [10 15 20]
- Very Good: [15 20 20]

Αντίστοιχα για τα βάρη των κριτηρίων, οι ασαφείς αριθμοί που αναπαριστούν τους λεκτικούς όρους μέσω τραπεζοειδών συναρτήσεων συμμετοχής ορίζονται ως ακολούθως:

- Very Low Importance: [0 0 5 20]
- Low Importance: [5 20 30 45]
- Moderate Importance: [30 45 55 70]
- High Importance: [55 70 80 95]
- Very High Importance: [80 95 100 100]

Ενώ στην περίπτωση αναπαράστασης των λεκτικών όρων μέσω τριγωνοειδών συναρτήσεων συμμετοχής, οι ασαφείς αριθμοί ορίζονται ως εξής:

- Very Low Importance: [0 0 25]
- Low Importance: [0 25 50]
- Moderate Importance: [25 50 75]
- High Importance: [50 75 100]
- Very High Importance: [75 100 100]

Στη συνέχεια, συμπληρώνονται οι πίνακες επιπτώσεων και βαρών με τις ανάλογες τιμές που αντιπροσωπεύουν την επίδοση κάθε δράσης ως προς κάθε κριτήριο και το βάρος κάθε κριτηρίου ως προς το περιεχόμενο κάθε πολιτικής. Οι εν λόγω πίνακες περιλαμβάνουν λεκτικούς όρους και έχουν την ακόλουθη μορφή:

Πίνακας 8-2: Πίνακας επιπτώσεων Δράσεων-Κριτηρίων

Κριτήρια Δράσεις	K₁	K₂	K₃	....	K_n
A₁	Good	Very Bad	Moderate	....	Bad
A₂	Bad	Moderate	Good	....	Good
A₃	Very Good	Good	Bad	....	Bad
....
A_i	Good	Good	Bad	....	Very Bad

Πίνακας 8-3: Πίνακας βαρών Κριτηρίων-Πολιτικών

Κριτήρια Πολιτικές	K₁	K₂	K₃	....	K_n
P₁	High Importance	Very Low Importance	Moderate Importance	....	Low Importance
P₂	Low Importance	Moderate Importance	High Importance	....	High Importance
....
P_j	Very High Importance	High Importance	Low Importance	....	Low Importance

Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία συμπλήρωσης των παραπάνω πινάκων, ακολουθεί η διεξαγωγή των υπολογισμών προκειμένου να υπολογιστεί το τελικό αποτέλεσμα, η αξιολόγηση δηλαδή των δράσεων ως προς τις πολιτικές. Οι δύο παραπάνω πίνακες πολλαπλασιάζονται μεταξύ τους στη βάση των αξιωμάτων της ασαφούς αριθμητικής και τα όσα ορίζονται για τον ασαφή πολλαπλασιασμό και την ασαφή άθροιση ενώ, η σύγκριση μεταξύ των δράσεων ανάγεται σε σύγκριση απο-ασαφοποιημένων τιμών. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή της προσέγγισης αυτής, παρουσιάζονται αναλυτικά στο κεφάλαιο που ακολουθεί και αφορά στις μελέτες περίπτωσης στις οποίες και εφαρμόστηκαν οι προτεινόμενες προσεγγίσεις.

8.2.2. Πολυκριτηριακή Αξιολόγηση Πολιτικών-Σεναρίων – FAIDRA II

Ανάλογη μοντελοποίηση με αυτήν που υλοποιήθηκε για την πολυκριτηριακή αξιολόγηση Δράσεων-Πολιτικών, εφαρμόστηκε και στην περίπτωση της πολυκριτηριακής αξιολόγησης Πολιτικών-Σεναρίων. Η *αξιολόγηση Πολιτικών-Σεναρίων* αφορά στην αξιολόγηση ενός αριθμού πολιτικών ως προς έναν αριθμό σεναρίων, προκειμένου να διερευνηθεί ο βαθμός στον οποίο κάθε πολιτική «ταιριάζει» με τα σενάρια. Στόχος της διαδικασίας αυτής είναι ο προσδιορισμός της

πλέον κατάλληλης πολιτικής μέσω της οποίας είναι δυνατή η υλοποίηση κάθε σεναρίου. Η ολοκλήρωση της διαδικασίας αξιολόγησης Πολιτικών-Σεναρίων προϋποθέτει τη συμπλήρωση δύο επιμέρους πινάκων, του πίνακα επιπτώσεων Πολιτικών-Κριτηρίων και του πίνακα βαρών Κριτηρίων-Σεναρίων. Όμοια με την περίπτωση της αξιολόγησης Δράσεων-Πολιτικών, ορίστηκαν εκ νέου οι ποιοτικές κλίμακες μέτρησης των επιπτώσεων των πολιτικών ως προς τα κριτήρια και των βαρών των κριτηρίων ως προς το περιεχόμενο κάθε σεναρίου. Οι ποιοτικές κλίμακες ορίζονται και πάλι στη βάση λεκτικών όρων, μέσω των οποίων οι ειδικοί συμμετέχοντες στη διαδικασία αξιολόγησης διατυπώνουν τις εκτιμήσεις τους.

Έτσι, στην περίπτωση μοντελοποίησης των επιδόσεων των πολιτικών ως προς τα κριτήρια μέσω τραπεζοειδών συναρτήσεων συμμετοχής, οι λεκτικοί όροι και οι ασαφείς αριθμοί που αντιστοιχούν σε κάθε λεκτικό όρο διαμορφώνονται ως εξής:

- Very Bad: [0 0 5 20]
- Bad: [5 20 30 45]
- Moderate: [30 45 55 70]
- Good: [55 70 80 95]
- Very Good: [80 95 100 100]

Αντίστοιχα, στην περίπτωση μοντελοποίησης των επιδόσεων των πολιτικών μέσω τριγωνοειδών συναρτήσεων συμμετοχής, οι λεκτικοί όροι και οι ασαφείς αριθμοί ορίζονται ως εξής:

- Very Bad: [0 0 25]
- Bad: [0 25 50]
- Moderate: [25 50 75]
- Good: [50 75 100]
- Very Good: [75 100 100]

Με ανάλογο τρόπο ορίζονται τα βάρη των κριτηρίων αξιολόγησης ως προς το περιεχόμενο κάθε σεναρίου. Έτσι, στην περίπτωση μοντελοποίησης των βαρών μέσω τραπεζοειδών ασαφών αριθμών, οι λεκτικοί όροι και οι ασαφείς αριθμοί διαμορφώνονται ως εξής:

- Very Low Importance: [0 0 5 20]
- Low Importance: [5 20 30 45]
- Moderate importance: [30 45 55 70]
- High Importance: [55 70 80 95]
- Very High Importance: [80 95 100 100]

Αντίστοιχα, για την περίπτωση μοντελοποίησης των βαρών μέσω τριγωνοειδών συναρτήσεων συμμετοχής, οι λεκτικοί όροι και οι αντίστοιχοι ασαφείς αριθμοί ορίζονται ως εξής:

- Very Low Importance: [0 0 25]
- Low Importance: [0 25 50]
- Moderate Importance: [25 50 75]
- High Importance: [50 75 100]
- Very High Importance: [75 100 100]

Στην περίπτωση που είτε οι επιδόσεις των πολιτικών ως προς τα κριτήρια είτε τα βάρη των κριτηρίων είναι μηδενικά, οι λεκτικοί όροι στα κελιά των πινάκων Πολιτικές-Κριτήρια και Κριτήρια-Σενάρια λαμβάνουν την τιμή 'Indifferent' η οποία ορίζει ένα κενό κελί και δε λαμβάνεται υπόψη στους περαιτέρω υπολογισμούς.

Οι πίνακες επιπτώσεων (Πίνακας 8-4) και βαρών (Πίνακας 8-5) που ορίζονται για τη διεξαγωγή της πολυκριτηριακής αξιολόγησης Πολιτικών-Σεναρίων, έχουν πανομοιότυπη μορφή με τους αντίστοιχους πίνακες επιπτώσεων και βαρών που ορίστηκαν για την αξιολόγηση Δράσεων-Πολιτικών.

Πίνακας 8-4: Πίνακας επιπτώσεων Πολιτικών-Κριτηρίων

Κριτήρια Πολιτικές	K₁	K₂	K₃	....	K_n
P₁	Good	Very Bad	Moderate	....	Bad
P₂	Bad	Moderate	Good	....	Good
P₃	Very Good	Good	Bad	....	Bad
....
P_i	Good	Good	Bad	....	Very Bad

Πίνακας 8-5: Πίνακας βαρών Κριτηρίων-Σεναρίων

Κριτήρια Σενάρια	K₁	K₂	K₃	....	K_n
S₁	High Importance	Very Low Importance	Moderate Importance	....	Low Importance
S₂	Low Importance	Moderate Importance	High Importance	....	High Importance
....
S_k	Very High Importance	High Importance	Low Importance	....	Low Importance

Στη συνέχεια υλοποιούνται οι απαραίτητοι υπολογισμοί, πολλαπλασιασμός πινάκων Πολιτικών-Κριτηρίων και Κριτηρίων-Σεναρίων, για την ολοκλήρωση της

πολυκριτηριακής αξιολόγησης Πολιτικών-Σεναρίων και την εξαγωγή των ασαφών αριθμών που αντιστοιχούν στην επίδοση κάθε πολιτικής ως προς κάθε σενάριο. Η σύγκριση μεταξύ των πολιτικών ανάγεται σε σύγκριση απο-ασαφοποιημένων τιμών.

8.3. Συμπεράσματα – Πλεονεκτήματα των Προτεινόμενων Προσεγγίσεων

Κλείνοντας το παρόν κεφάλαιο, κρίνεται σκόπιμη η παρουσίαση ορισμένων βασικών συμπερασμάτων σε συνάρτηση με τον αρχικό προβληματισμό και τα ερευνητικά ερωτήματα που τέθηκαν σχετικά με την αξιοποίηση μεθόδων και τεχνικών της ασαφούς λογικής στη συγκεκριμένη περίπτωση αξιολόγησης.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, κάθε διαδικασία αξιολόγησης εμπεριέχει σε υψηλό βαθμό το στοιχείο της υποκειμενικότητας και της ασάφειας τόσο ως προς τη διαθέσιμη πληροφορία όσο και ως προς τις κρίσεις που διατυπώνονται σχετικά με τον προσδιορισμό επιδόσεων και την απόδοση βαρών. Ένα πρώτο βήμα περιορισμού της υποκειμενικότητας και διερεύνησης των πολλαπλών διαστάσεων ενός προβλήματος λήψης αποφάσεων είναι η εμπλοκή ανάλογων πολλαπλών κριτηρίων στη διαδικασία, έτσι ώστε οι επιπτώσεις των εκάστοτε εναλλακτικών να διερευνηθούν ως προς ένα σύνολο οπτικών. Σε ένα δεύτερο επίπεδο, η υποκειμενικότητα περιορίζεται ακόμη περισσότερο με τη συμμετοχή ειδικών οι οποίοι διατυπώνουν πιο στοχευμένες και εμπεριστατωμένες κρίσεις, ως αποτέλεσμα της ειδικής γνώσης που κατέχουν.

Ωστόσο η ασάφεια ως προς την πληροφορία που απαιτείται παραμένει, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις προβλημάτων λήψης αποφάσεων όπου η φύση των δεδομένων και της πληροφορίας είναι ποιοτική και πρέπει με κάποιο τρόπο να γίνει διαχειρίσιμη μέσα από τη μαθηματικοποίησή της.

Επιπλέον, οι κρίσεις που διατυπώνουν σε φυσική γλώσσα οι ειδικοί πρέπει να «κωδικοποιηθούν» και να μεταφραστούν σε διακριτές αριθμητικές τιμές, γεγονός που τις περισσότερες φορές έχει ως αποτέλεσμα να χάνεται κάποιο μέρος της πληροφορίας. Ένα μοντέλο που προσεγγίζει σε μεγαλύτερο βαθμό τη φυσική έκφραση και την ανθρώπινη συλλογιστική, ενσωματώνει εκ των πραγμάτων ένα μεγαλύτερο ποσοστό πληροφορίας.

Παράλληλα, τα αυστηρά όρια μεταξύ των διακριτών αριθμητικών τιμών δεν επιτρέπουν βαθμιαίες μεταβάσεις από μία κατάσταση σε μία άλλη με αποτέλεσμα, στις περιπτώσεις προβλημάτων που απαιτούν τη μοντελοποίηση βαθμιαίων μεταβάσεων (όπως αυτή της πολυκριτηριακής αξιολόγησης) να «χάνεται» και πάλι σημαντική πληροφορία.

Ένα προσφιλέσ παράδειγμα συνιστά η περίπτωση αξιολόγησης των δράσεων ως προς τα κριτήρια αξιολόγησης στην περίπτωση του μοντέλου Multipol. Κατά τη διαδικασία ορισμού των επιδόσεων των δράσεων ως προς τα κριτήρια (κλίμακα 0-20) μοιραία τίθενται ερωτήματα όπως: «Γιατί 10 και όχι 11 ή 9;», «Μία δράση που έχει επίδοση 10 είναι μέτρια ενώ μία δράση που έχει επίδοση 11 είναι καλή;», «Τι συμβαίνει στην περίπτωση που η επίδοση μίας δράσης είναι «μέτρια προς καλή», «περίπου καλή αλλά όχι 100% καλή;», κ.λπ.. Σε περιπτώσεις όπως αυτές, οι ειδικοί δυσκολεύονται να καταλήξουν σε μία τελική τιμή ενώ συχνά η τιμή που ανατίθεται τελικά, συνοδεύεται από αρκετές αμφιβολίες σχετικά με το εάν αποτυπώνει ακριβώς ή περίπου τη γνώμη του ειδικού σχετικά με τις αντίστοιχες επιδόσεις. Το πρόβλημα γίνεται ακόμη μεγαλύτερο όταν η πληροφορία εκτός από ασαφής ή εκφρασμένη σε φυσική γλώσσα είναι ελλιπής και επομένως, η σύγκριση με παρεμφερείς καταστάσεις ή η προσεγγιστική συλλογιστική πρέπει να καλύψουν αυτό το κενό.

Κρίσιμο ζήτημα στη διαδικασία αξιολόγησης Multipol συνιστά επίσης η ενσωμάτωση πληροφορίας που εκφράζεται όπως γίνεται αντιληπτή από τον ανθρώπινο εγκέφαλο καθώς, η ανθρώπινη αντίληψη μοντελοποιείται πιο εύκολα και με μεγαλύτερη ακρίβεια αξιοποιώντας ποιοτική ή λεκτική πληροφορία η οποία μαθηματικοποιείται στη συνέχεια. Τα αυστηρά όρια αποτελούν ένα θεμελιώδες και σύμφυτο χαρακτηριστικό των ποσοτικών μοντέλων, όχι όμως της ανθρώπινης αντίληψης, της ανθρώπινης διαίσθησης, της ανθρώπινης λογικής και της ανθρώπινης έκφρασης.

Συνοψίζοντας, ο βασικός προβληματισμός που αναπτύχθηκε γύρω από τη λειτουργία του μοντέλου, τον τρόπο επεξεργασίας των δεδομένων και εξαγωγής των αποτελεσμάτων αλλά κυρίως, γύρω από τη φύση των δεδομένων και της πληροφορίας που διαχειρίζεται το Multipol, εστιάζει στα ακόλουθα σημεία:

- Διαχείριση ποιοτικών δεδομένων και ποιοτικής πληροφορίας προερχόμενης από ειδικούς, η οποία εμπεριέχει από τη φύση της ένα βαθμό ασάφειας και αοριστίας.

- Διαχείριση υποκειμενικής φύσεως δεδομένων (επιδόσεις, βάρη κριτηρίων αξιολόγησης) τα οποία απαιτούνται για τη διεξαγωγή μίας διαδικασίας πολυκριτηριακής αξιολόγησης.
- Διαχείριση πιθανής ανακρίβειας που περιλαμβάνουν οι διατυπωμένες κρίσεις των ειδικών.
- Διαχείριση πιθανών διαφωνιών μεταξύ των συμμετεχόντων ειδικών – Επίτευξη ευρύτερων συναινέσεων.
- Μαθηματική αναπαράσταση της αβεβαιότητας που συνιστά έμφυτο χαρακτηριστικό της φυσικής γλώσσας.
- Μαθηματικοποίηση ποιοτικών δεδομένων και ποιοτικής πληροφορίας.
- Μοντελοποίηση γνωσιακών καταστάσεων του ανθρώπινου εγκεφάλου.

Στη βάση των παραπάνω παρατηρήσεων, διερευνήθηκε η πιθανή αξιοποίηση της λογικής της ασάφειας προκειμένου να προταθεί μία εναλλακτική προσέγγιση για την υλοποίηση της διαδικασίας πολυκριτηριακής αξιολόγησης στη βάση της λογικής του Multipol.

Ο λόγος που προτάθηκε η συγκεκριμένη εναλλακτική επιλογή, συστήματα FAIDRA I και FAIDRA II, έγκειται στις δυνατότητες που προσφέρει η ασαφής λογική για τη διαχείριση και επεξεργασία ποιοτικών δεδομένων μέσω αντίστοιχων μαθηματικών διαδικασιών και των αξιωμάτων της ασαφούς αριθμητικής. Πιο συγκεκριμένα, η ασαφής λογική παρέχει εκείνο το μεθοδολογικό πλαίσιο που επιτρέπει: α) τη διαχείριση λεκτικών εκφράσεων που διατυπώνουν οι ειδικοί, β) τη διαχείριση της ασάφειας, της αβεβαιότητας και της ελλιπούς ακρίβειας που ενσωματώνουν τα δεδομένα και η πληροφορία που εμπλέκονται στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων και στα προβλήματα πολυκριτηριακής αξιολόγησης, γ) την αναπαράσταση άοριστων εννοιών με μαθηματικούς όρους, δ) τη μοντελοποίηση της αβεβαιότητας που ενσωματώνει η φυσική γλώσσα, ε) τη μοντελοποίηση της ανθρώπινης συλλογιστικής και αντίληψης, στ) τη διενέργεια μαθηματικών υπολογισμών μεταξύ ποιοτικών τιμών / λεκτικών όρων – διαδικασία μέσα από την οποία ενισχύεται η ερμηνευσιμότητα των λεκτικών όρων, ζ) τη μαθηματική αναπαράσταση λεκτικών εννοιών μέσω ασαφών αριθμών και των αντίστοιχων ασαφών συνόλων και συναρτήσεων συμμετοχής.

Ειδικότερα όσον αφορά τον τομέα των συστημάτων λήψης αποφάσεων, η υιοθέτηση μεθόδων και τεχνικών της ασαφούς λογικής αποτελεί αρκετά συνήθη τακτική. Ο βασικός λόγος εντοπίζεται στο γεγονός ότι στις διαδικασίες λήψης

αποφάσεων, αφενός εμπλέκεται ποιοτική πληροφορία που είναι εκ φύσεως ασαφής και αφετέρου, συμμετέχει ένα πλήθος ειδικών οι οποίοι διατυπώνουν κρίσεις που διαμορφώνουν το πλαίσιο λήψης της τελικής απόφασης.

Η αξιοποίηση της ασαφούς λογικής είναι ιδιαίτερα προσφιλής σε περιπτώσεις λήψης αποφάσεων σε πολύπλοκα συστήματα καθώς είναι πιο εύελικτη από τη δίτιμη λογική, είναι εύκολα αντιληπτή και ενσωματώνει το σύνολο των χαρακτηριστικών μίας διαισθητικής προσέγγισης.

Τα πλεονεκτήματα αυτά έγιναν αντιληπτά με αρκετά μεγάλη σαφήνεια κατά τον σχεδιασμό των νέων μοντέλων που υλοποιούν την αξιολόγηση Multipol στη βάση των αρχών της ασαφούς λογικής. Επιπρόσθετα, σημαντικά χαρακτηριστικά που αξιοποιήθηκαν στην περίπτωση των νέων μοντέλων είναι η «ανοχή» της ασαφούς λογικής σε μη ακριβή δεδομένα, η δυνατότητα δόμησης ενός συστήματος συμπερασμού που αντιστοιχίζει εισόδους σε εξόδους, καθώς και η δυνατότητα διαχείρισης λεκτικών εκφράσεων μέσω των οποίων οι ειδικοί διατυπώνουν τις κρίσεις τους.

Τόσο το θεωρητικό υπόβαθρο επάνω στο οποίο δομείται η ασαφής λογική όσο και η φύση της πληροφορίας που μοντελοποιεί, εστιάζουν στη διαχείριση ποιοτικών περιγραφών που χρησιμοποιούνται στην καθημερινή γλώσσα. Ως εκ τούτου, τα νέα προτεινόμενα μοντέλα FAIDRA I και FAIDRA II παρέχουν στον χρήστη:

- Τη δυνατότητα διαχείρισης των κρίσεων των ειδικών διατυπωμένων σε φυσική γλώσσα.
- Τη δυνατότητα διαχείρισης ασαφούς πληροφορίας (επιδόσεις, βάρη) που υπεισέρχεται σε περιπτώσεις προβλημάτων πολυκριτηριακής αξιολόγησης.
- Τη διαχείριση ποιοτικής φύσεως πληροφορίας που προέρχεται από τους ειδικούς (opinion pools, expert panels, etc.).
- Τη διαχείριση υποκειμενικών κρίσεων και διατυπώσεων.
- Τη διαχείριση συγκρούσεων και την επίτευξη ευρύτερων συναινέσεων.
- Τη μαθηματική αναπαράσταση και μοντελοποίηση των ποιοτικών δεδομένων που εμπλέκονται στη διαδικασία.
- Τη διενέργεια μαθηματικών υπολογισμών μεταξύ των λεκτικών όρων που οι ειδικοί διατυπώνουν.

Τέλος, είναι πιο εύκολο για τους ειδικούς να χρησιμοποιούν λεκτικούς όρους προκειμένου να εκφράσουν τις εκτιμήσεις τους κατά τη διαδικασία της αξιολόγησης καθώς, διατυπώνουν τα συμπεράσματά τους απευθείας σε φυσική γλώσσα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ MULTIPOL, FAIDRA I ΚΑΙ FAIDRA II – ΜΕΛΕΤΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ

Το κεφάλαιο αυτό εστιάζει στην εφαρμογή των μοντέλων πολυκριτηριακής αξιολόγησης FAIDRA I και FAIDRA II σε δύο επιμέρους μελέτες περίπτωσης. Η πρώτη μελέτη περίπτωσης αφορά στην αξιολόγηση σεναρίων στον τομέα των σιδηροδρομικών μεταφορών, για την ανάπτυξη του ελληνικού σιδηροδρομικού συστήματος. Η δεύτερη μελέτη περίπτωσης αφορά στην αξιολόγηση σεναρίων για την ανάπτυξη του αγροτικού τομέα, σε επίπεδο νομού. Για κάθε μελέτη περίπτωσης, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή της πολυκριτηριακής αξιολόγησης με το μοντέλο Multipol. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την πολυκριτηριακή αξιολόγηση που υλοποιήθηκε στο σύστημα ασαφούς συμπερασμού FAIDRA I (και για τις δύο μελέτες περίπτωσης) και στο λεκτικό υπολογιστικό μοντέλο FAIDRA II (περίπτωση σιδηροδρομικών μεταφορών). Τέλος ακολουθεί η συγκριτική ανάλυση των αποτελεσμάτων που δίνουν τα επιμέρους μοντέλα και διατυπώνονται συμπεράσματα αναφορικά με τις αποκλίσεις και τις ομοιότητες που παρατηρούνται.

9.1. Εφαρμογή των Μοντέλων Multipol και FAIDRA στον Τομέα των Σιδηροδρομικών Μεταφορών

Στην παρούσα ενότητα, παρουσιάζεται η πρώτη μελέτη περίπτωσης η οποία αφορά στον τομέα των σιδηροδρομικών μεταφορών. Το πρόβλημα που τίθεται, συνίσταται στον σχεδιασμό εναλλακτικών σεναρίων για τη μελλοντική ανάπτυξη του ελληνικού σιδηροδρομικού συστήματος και στη διερεύνηση υλοποίησής τους, μέσα από την εφαρμογή κατάλληλων πολιτικών και δράσεων (μέτρων πολιτικής).

Στο πλαίσιο αυτό, η δόμηση πακέτων πολιτικής και η χάραξη στρατηγικών μελλοντικών κατευθύνσεων υλοποιήθηκε με την υποστήριξη του μοντέλου Multipol όπου, μία σειρά προτεινόμενων δράσεων (μέτρων πολιτικής) αξιολογήθηκε και ταξινομήθηκε ως προς έναν αριθμό προτεινόμενων πολιτικών ενώ αντίστοιχα, οι πολιτικές αξιολογήθηκαν και ταξινομήθηκαν ως προς έναν αριθμό προτεινόμενων σεναρίων. Έτσι, σε κάθε πολιτική αντιστοιχεί ένα σύνολο δράσεων που είναι οι πλέον κατάλληλες για την εφαρμογή της και σε κάθε σενάριο, αντιστοιχεί ένα

σύνολο πολιτικών που καθιστούν σε μεγαλύτερο βαθμό εφικτή την υλοποίησή του. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα του Multipol συνίστανται στη δόμηση «διαδρομών» μέσα από τις οποίες το εκάστοτε υπό μελέτη σύστημα δύναται να μεταβεί από το παρόν στο μέλλον. Η τελική επιλογή της πλέον κατάλληλης «διαδρομής» (δράσεις-πολιτικές-σενάρια) λαμβάνεται από τούς σχεδιαστές που μελετούν τα αποτελέσματα και διατυπώνουν ανάλογες εκτιμήσεις.

Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στο κεφάλαιο αυτό, προέκυψαν τόσο από την εφαρμογή του μοντέλου Multipol (crisp προσέγγιση) όσο και από την εφαρμογή των μοντέλων FAIDRA I και FAIDRA II. Σε κάθε περίπτωση υλοποιούνται δύο επιμέρους αξιολογήσεις: η *Αξιολόγηση Δράσεων-Πολιτικών*, όπου διερευνώνται οι επιδόσεις των δράσεων ως προς τις πολιτικές και η *Αξιολόγηση Πολιτικών-Σεναρίων*, όπου διερευνώνται οι επιδόσεις των πολιτικών ως προς τα σενάρια. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν ανά περίπτωση, συγκρίνονται μεταξύ τους και εξάγονται τα ανάλογα συμπεράσματα.

Πιο αναλυτικά, στις ενότητες που ακολουθούν παρουσιάζεται: α) η εφαρμογή του μοντέλου Multipol για την αξιολόγηση δράσεων και πολιτικών που αφορούν στην υλοποίηση εναλλακτικών σεναρίων για την ανάπτυξη του ελληνικού σιδηροδρομικού συστήματος, β) η εφαρμογή των προτεινόμενων μοντέλων FAIDRA I και FAIDRA II που αξιοποιούν τη λογική της ασάφειας για την υλοποίηση πολυκριτηριακής αξιολόγησης για την ίδια μελέτη περίπτωσης, γ) ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων που προκύπτουν ανά περίπτωση και τέλος, δ) η συγκριτική ανάλυση των αποτελεσμάτων και τα συμπεράσματα που προκύπτουν.

9.1.1. Εναλλακτικά Σενάρια Ανάπτυξης των Ελληνικών Σιδηροδρόμων – Πλαίσιο Εφαρμογής Πολυκριτηριακής Αξιολόγησης

Ο σιδηρόδρομος συνιστά ένα μέσο μεταφοράς φιλικό προς το περιβάλλον, που προσφέρει δυνατότητες υψηλής ποιότητας μετακινήσεων τόσο εντός όσο και εκτός του αστικού περιβάλλοντος. Επιπλέον, η εξέλιξη της τεχνολογίας στον τομέα των σιδηροδρομικών μεταφορών έχει ως αποτέλεσμα την παροχή υψηλού επιπέδου υπηρεσιών, την αποδοτική μεταφορά επιβατών και εμπορευμάτων για μεγάλες αποστάσεις και τη δυνατότητα ανάπτυξης υψηλών ταχυτήτων για μετακινήσεις στο σιδηροδρομικό δίκτυο.

Η ανάπτυξη των σιδηροδρομικών μεταφορών και η ευρεία χρήση του σιδηροδρόμου απο το επιβατικό κοινό αποτελούν βασικές προτεραιότητες που έχει θέσει η Ευρωπαϊκή Ένωση στον τομέα των μεταφορών. Κύριος στόχος είναι η δόμηση ενός ενιαίου ολοκληρωμένου Ευρωπαϊκού δικτύου σιδηροδρομικών μεταφορών, το οποίο θα χαρακτηρίζεται από τη συμβατότητα μεταξύ των σιδηροδρομικών συστημάτων κάθε χώρας, τη διαλειτουργικότητα, την ολοκλήρωση με άλλα μέσα μεταφοράς και το υψηλό επίπεδο αποδοτικότητας και ασφάλειας (European Commission, 2008).

Επιπλέον, ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην κατάργηση κωλυμάτων τεχνικών, διαχειριστικών / διοικητικών και νομικών που εμποδίζουν την «είσοδο» σε εθνικές σιδηροδρομικές αγορές και την ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας, στην αξιοποίηση του σιδηροδρόμου ως μέσου εξυπηρέτησης εμπορευματικών μεταφορών, στην αύξηση της αποδοτικότητάς του και στην προώθησή του ως μέσου που δύναται να συμβάλει στην επίτευξη των στόχων που έχει θέσει η Ευρωπαϊκή Ένωση για τη μείωση των εκπομπών (European Commission – White paper, 2011).

Από την άλλη πλευρά, η ελληνική νομοθεσία που αφορά στον τομέα των μεταφορών, έχει ενσωματώσει αντίστοιχες ευρωπαϊκές οδηγίες και τους στόχους που περιλαμβάνονται σε αυτές, ρυθμίζοντας ζητήματα όπως η ασφάλεια των σιδηροδρομικών μεταφορών, η πιστοποίηση των μηχανοδηγών, η διαλειτουργικότητα οι εκπομπές αερίων, κ.λπ.

Στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής και στη βάση προγενέστερης μελέτης / εφαρμογής για την ανάπτυξη των ελληνικών σιδηροδρόμων (Παπαδοπούλου, 2008), το πρόβλημα της ανάπτυξης του ελληνικού σιδηροδρομικού συστήματος μεταφορών διερευνήθηκε στη βάση του συστήματος LIPSOR.

Αρχικά, έγινε μία ολοκληρωμένη εκτίμηση της υφιστάμενης κατάστασης όπως αυτή διαμορφώνεται στον τομέα των σιδηροδρομικών μεταφορών στην Ελλάδα και στη συνέχεια, αναζητήθηκαν οι μεταβλητές-κλειδιά που δύναται να διαδραματίσουν καθοριστικό ρόλο στη μελλοντική εξέλιξη του τομέα (μοντέλο Micmac).

Σε ένα δεύτερο επίπεδο, εντοπίστηκαν οι συντελεστές (actors) που εμπλέκονται στον τομέα των σιδηροδρομικών μεταφορών, οι στόχοι τους, τα συμφέροντά τους και ο βαθμός στον οποίο κάθε ένας από αυτούς μπορεί να επηρεάσει το μέλλον του τομέα (μοντέλο Mactor).

Σε τρίτο επίπεδο, ορίστηκε ένα σύνολο πιθανών μελλοντικών εικόνων του συστήματος και προσδιορίστηκαν οι πιθανότητες υλοποίησής τους μέσα από

συνδυασμούς υποθέσεων στη βάση διατυπωμένων κρίσεων από ειδικούς (μοντέλο Smic Prob-Expert).

Στη συνέχεια, οι επιμέρους μελλοντικές εικόνες αξιοποιήθηκαν για τη δόμηση σεναρίων μελλοντικής ανάπτυξης του τομέα και εκτιμήθηκαν οι πιθανότητες υλοποίησης καθενός από αυτά (μοντέλο Morphol).

Τέλος, ορίστηκαν ολοκληρωμένα πακέτα πολιτικής και στρατηγικών κατευθύνσεων για τη μελλοντική ανάπτυξη των ελληνικών σιδηροδρόμων (δράσεις-πολιτικές-σενάρια), τα οποία συνιστούν ολοκληρωμένες εναλλακτικές διαδρομές μετάβασης του συστήματος από το παρόν στο μέλλον (μοντέλο Multipol).

Στο σημείο αυτό και προκειμένου να καταστεί σαφές το πλαίσιο υλοποίησης της πολυκριτηριακής αξιολόγησης Multipol, κρίνεται σκόπιμη η συνοπτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την ολοκλήρωση κάθε επιμέρους σταδίου εφαρμογής του συστήματος LIPSOR καθώς, τα αποτελέσματα κάθε σταδίου που προηγείται ενσωματώνονται στο στάδιο που έπεται.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το πρώτο στάδιο εφαρμογής του συστήματος LIPSOR είναι το μοντέλο Micmac στη βάση του οποίου ορίζονται οι κυρίαρχες μεταβλητές. Για τη συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης που εξετάζεται, προέκυψαν συνολικά δώδεκα κυρίαρχες μεταβλητές οι οποίες είναι (Παπαδοπούλου, 2008):

- Η ποιότητα της σιδηροδρομικής υποδομής,
- η χωρητικότητα της σιδηροδρομικής υποδομής,
- η διαχείριση του σιδηροδρομικού συστήματος με σύγχρονα μέσα πληροφορικής,
- η διαχείριση του συσσωρευμένου χρέους του ΟΣΕ,
- οι Ευρωπαϊκές πολιτικές για τις μεταφορές,
- οι διεθνείς διασυνδέσεις,
- το ευρωπαϊκό κεκτημένο για τις μεταφορές,
- οι διασυνδέσεις TEN-T (Trans-European Network – Transport),
- οι απαιτούμενες επενδύσεις (κόστος παρεμβάσεων),
- η οικονομική ανάπτυξη της χώρας,
- η διαθεσιμότητα ιδίων πόρων για την υλοποίηση έργων υποδομής μεταφορών, και
- η διαλειτουργικότητα.

Στη συνέχεια και σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα του Micmac, ορίστηκαν στο πλαίσιο εφαρμογής του μοντέλου Mactor, οι κύριοι συντελεστές του τομέα

(αυτοί που σχετίζονται άμεσα ή έμμεσα με τις κυρίαρχες μεταβλητές) και διερευνήθηκαν: η στάση τους απέναντι στους στόχους που έχουν τεθεί για την ανάπτυξη των σιδηροδρόμων, τα συμφέροντα και οι δυνάμεις που διαθέτουν για δράση καθώς και οι μεταξύ τους σχέσεις αλληλεπίδρασης. Η διαδικασία κατέληξε στον ορισμό των κυρίαρχων συντελεστών του συστήματος οι οποίοι είναι (Παπαδοπούλου, 2008):

- Η κεντρική κυβέρνηση,
- οι συντελεστές που σχετίζονται με τον τομέα της ενέργειας,
- η Ευρωπαϊκή Ένωση,
- οι συντελεστές που εκπροσωπούν βιομηχανικές περιοχές,
- οι διαμεταφορείς,
- η διοίκηση του ΟΣΕ (κάτοχος σιδηροδρομικής υποδομής), και
- οι συντελεστές που εκπροσωπούν θαλάσσιες μεταφορές.

Στο επόμενο στάδιο και αφού συνεκτιμήθηκαν τα αποτελέσματα του Mismac και του Mactor, ορίστηκαν πιθανές μελλοντικές εικόνες του υπό μελέτη συστήματος και στη βάση ενός αριθμού υποθέσεων και των αντίστοιχων διατυπωμένων κρίσεων των ειδικών, ορίστηκαν με την υποστήριξη του μοντέλου Smic Prob-Expert οι πιθανότητες εμφάνισής τους στο μέλλον. Οι εικόνες (images) με τις υψηλότερες πιθανότητες είναι οι ακόλουθες (Παπαδοπούλου, 2008):

- *Εικόνα-I*: Η ποιότητα και η χωρητικότητα της σιδηροδρομικής υποδομής, οι διασυνδέσεις του ελληνικού σιδηροδρόμου με το δίκτυο TEN-T, η διαλειτουργικότητα του ελληνικού σιδηροδρομικού δικτύου, η διαθεσιμότητα των επενδύσεων και οι πόροι που διαθέτει ο ΟΣΕ για την εξυγίανση του δικτύου βρίσκονται στα ίδια επίπεδα με τα σημερινά και στο σύστημα δεν υφίσταται κανενός είδους μεταβολή (πιθανότητα: 0,308).
- *Εικόνα-II*: Η ποιότητα και η χωρητικότητα της σιδηροδρομικής υποδομής έχουν βελτιωθεί, η διασύνδεση με το δίκτυο TEN-T βρίσκεται σε ικανοποιητικά επίπεδα, διατίθενται επενδύσεις για την αναβάθμιση του τομέα των σιδηροδρομικών μεταφορών, ικανοποιούνται οι βασικές προδιαγραφές διαλειτουργικότητας αλλά το συσσωρευμένο χρέος του ΟΣΕ παραμένει σε υψηλά επίπεδα (πιθανότητα: 0,236).

- *Εικόνα-III*: Η ποιότητα της σιδηροδρομικής υποδομής έχει βελτιωθεί αλλά η χωρητικότητα του δικτύου απαιτεί περαιτέρω αναβάθμιση. Η διασύνδεση με το δίκτυο TEN-T βρίσκεται σε ικανοποιητικά επίπεδα και διατίθενται επενδύσεις για την αναβάθμιση των σιδηροδρομικών μεταφορών. Παράλληλα, ικανοποιούνται οι προδιαγραφές διαλειτουργικότητας ενώ το χρέος του ΟΣΕ μειώνεται σταθερά (πιθανότητα: 0,132).

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή του Smic Prob-Expert, αξιοποιήθηκαν στη συνέχεια για τη δόμηση σεναρίων μελλοντικής ανάπτυξης του ελληνικού σιδηροδρομικού συστήματος μεταφορών. Τα σενάρια δομήθηκαν με την υποστήριξη του μοντέλου Morphol, το οποίο επεξεργάζεται έναν αριθμό μελλοντικών εικόνων των επιμέρους υπο-συστημάτων του υπό μελέτη συστήματος, σε συνδυασμό με τις πιθανότητες εμφάνισής τους.

Στη συνέχεια, διερευνήθηκε το σύνολο των συνδυασμών των εν λόγω εικόνων, *κάθε ένας από τους οποίους αποτελεί ένα αυτοτελές σενάριο*. Τα τελικά αποτελέσματα περιλαμβάνουν έναν αρκετά μεγάλο αριθμό προτεινόμενων σεναρίων και τις πιθανότητες υλοποίησής τους στο μέλλον.

Οι εικόνες που εισήχθησαν για επεξεργασία στο μοντέλο Morphol, αφορούν στα κάτωθι υπο-συστήματα ([Παπαδοπούλου, 2008](#)):

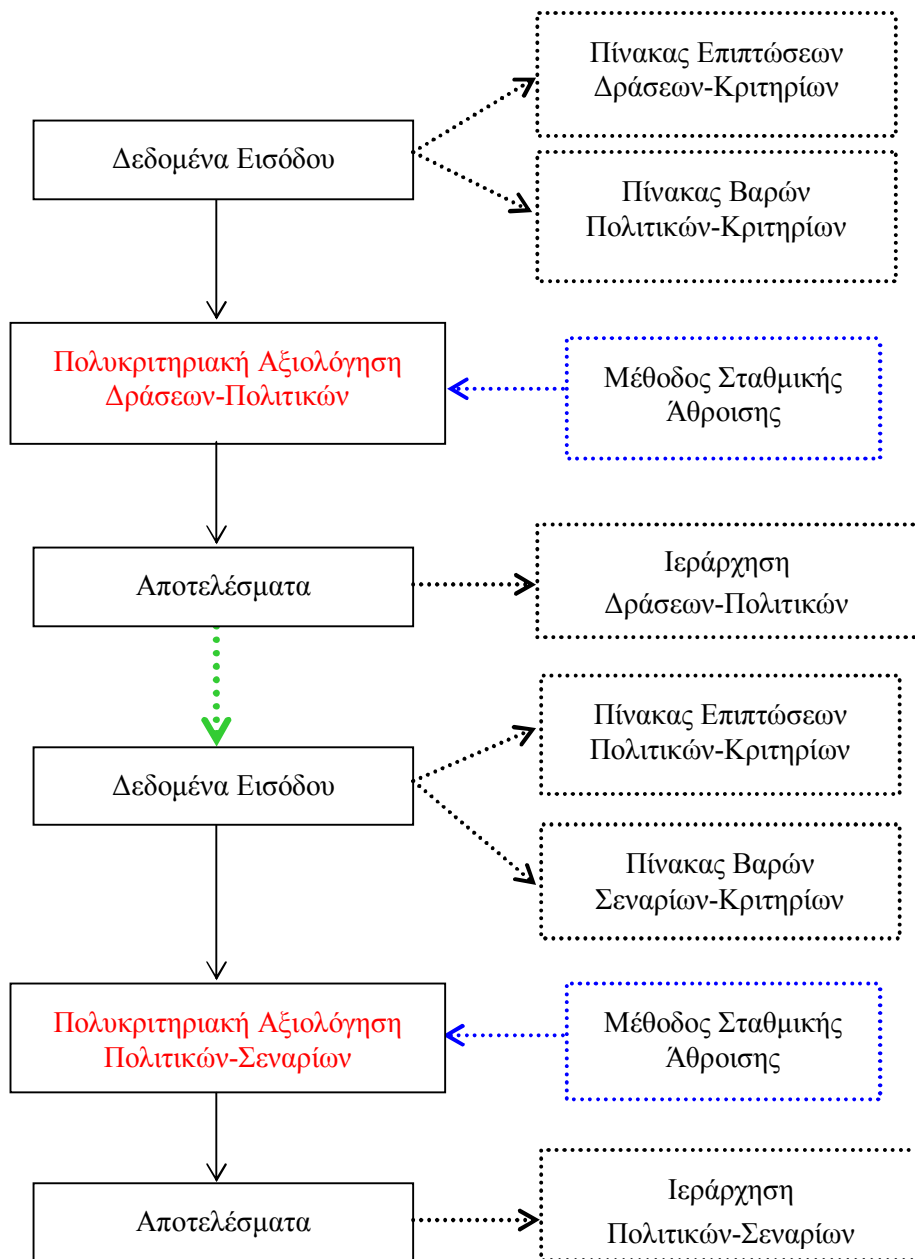
- Ποιότητα υποδομής,
- χωρητικότητα υποδομής,
- διασυνδέσεις με το δίκτυο TEN-T,
- διαλειτουργικότητα,
- ασφάλεια,
- κόστος παρεμβάσεων – διαθεσιμότητα επενδύσεων, και
- εξυγίανση χρέους του ΟΣΕ.

Στη συνέχεια, ορίστηκαν υποθέσεις σχετικές με τη μελλοντική εξέλιξη των παραπάνω υπο-συστημάτων (περισσότερες της μίας για κάθε υπο-σύστημα), οι οποίες αφορούν στην ποιότητα και στην αναβάθμιση των επιμέρους υπο-συστημάτων καθώς και στον βαθμό στον οποίο η μελλοντική εικόνα που είναι δυνατόν να παρουσιάσουν είναι ή όχι ικανοποιητική. Η επεξεργασία των δεδομένων, οδήγησε στη σύνθεση εναλλακτικών μελλοντικών σεναρίων και στον υπολογισμό των πιθανοτήτων υλοποίησής τους στο μέλλον.

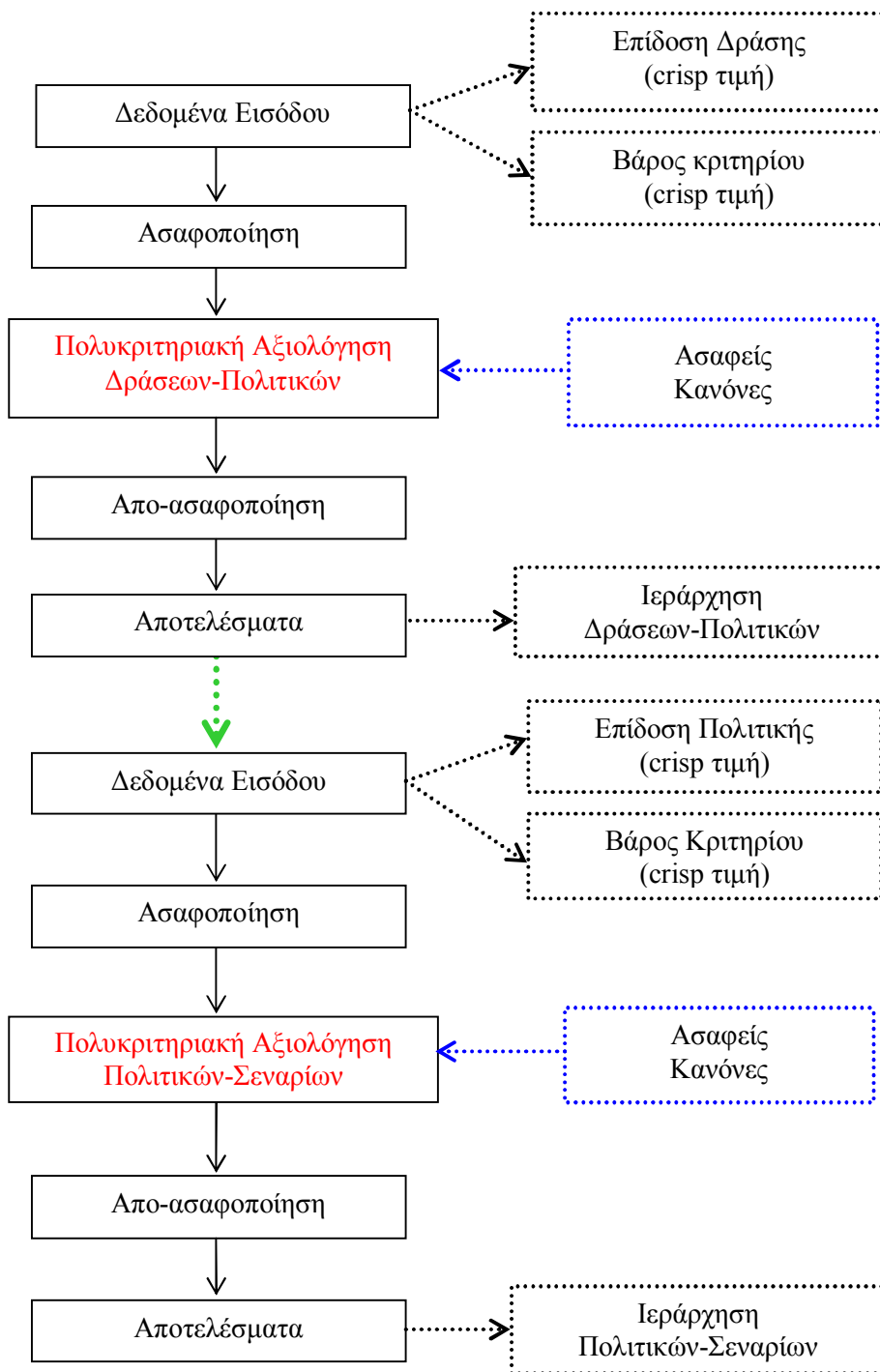
Η επιλογή του πλέον κατάλληλου σεναρίου ανά περίπτωση προϋποθέτει την εφαρμογή πολυκριτηριακής αξιολόγησης προκειμένου να διερευνηθεί, υπό το πρίσμα ενός αριθμού κριτηρίων αξιολόγησης, ο βαθμός στον οποίο κάθε ένα από αυτά ικανοποιεί τους στόχους που έχουν αρχικά τεθεί σχετικά με τη μελλοντική ανάπτυξη του συστήματος.

Δεδομένης της έμφασης της διατριβής στο μοντέλο πολυκριτηριακής αξιολόγησης Multipol και στη δόμηση του εναλλακτικού μοντέλου FAIDRA, παρουσιάζονται στη συνέχεια αναλυτικά τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή τους για τη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου πλαισίου μελλοντικής ανάπτυξης των ελληνικών σιδηροδρόμων.

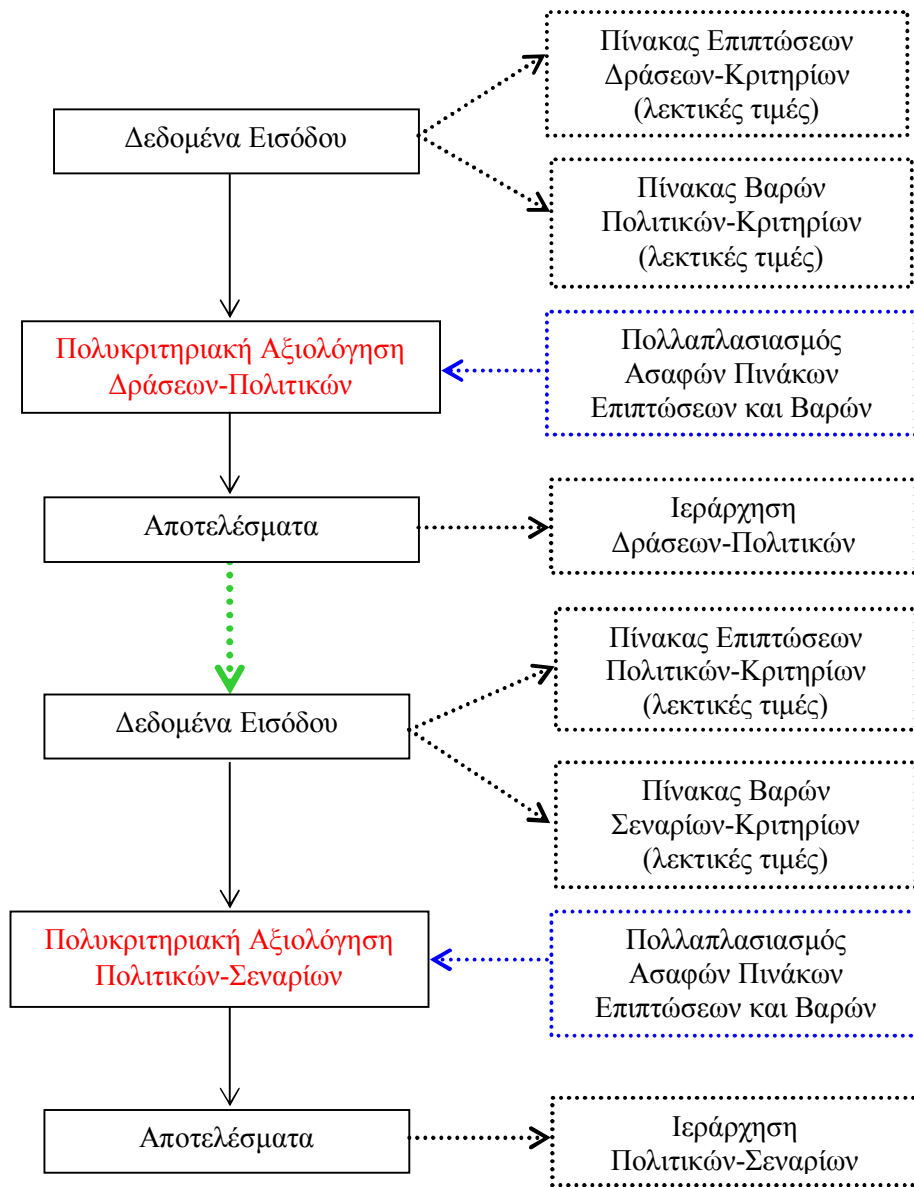
Τα σενάρια που επιλέχθηκαν για περαιτέρω διερεύνηση είναι τρία και σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Morphol συγκεντρώνουν υψηλή πιθανότητα υλοποίησής τους στο μέλλον. Η πρώτη σειρά αποτελεσμάτων αφορά σε αυτά που προέκυψαν από την εφαρμογή του μοντέλου Multipol (Σχήμα 9-1). Η δεύτερη σειρά αποτελεσμάτων αφορά σε αυτά που προέκυψαν από την εφαρμογή του προτεινόμενου μοντέλου FAIDRA (Σχήματα 9-2 και 9-3) που αξιοποιεί τη λογική της ασάφειας. Προφανώς, τα δεδομένα εισόδου είναι τα ίδια και για τα δύο εναλλακτικά μοντέλα πολυκριτηριακής αξιολόγησης.



Σχήμα 9-1: Πολυκριτηριακή αξιολόγηση Multipol



Σχήμα 9-2: Πολυκριτηριακή αξιολόγηση FAIDRA I



Σχήμα 9-3: Πολυκριτηριακή αξιολόγηση FAIDRA II

9.1.2. Εναλλακτικά Σενάρια Ανάπτυξης των Ελληνικών Σιδηροδρόμων - Πολυκριτηριακή Αξιολόγηση Δράσεων-Πολιτικών – Σύγκριση δίτιμης (crisp) και ασαφούς (fuzzy) προσέγγισης

Στο πλαίσιο εφαρμογής του πολυκριτηριακού μοντέλου Multipol, υλοποιήθηκαν δύο επιμέρους αξιολογήσεις: η Αξιολόγηση Δράσεων-Πολιτικών, όπου διερευνάται η δυνατότητα υλοποίησης κάθε πολιτικής για την ανάπτυξη του σιδηροδρόμου μέσα από την εφαρμογή μίας σειράς δράσεων (μέτρων πολιτικής) και η Αξιολόγηση Πολιτικών-Σεναρίων, όπου διερευνάται η δυνατότητα υλοποίησης κάθε σεναρίου μέσα από την εφαρμογή της πλέον κατάλληλης για κάθε ένα από αυτά πολιτικής.

Η παρούσα ενότητα εστιάζει στην παρουσίαση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την πολυκριτηριακή αξιολόγηση Δράσεων-Πολιτικών με εφαρμογή του μοντέλου Multipol, του συστήματος ασαφούς συμπερασμού FAIDRA I και του λεκτικού υπολογιστικού μοντέλου FAIDRA II.

Τα δεδομένα εισόδου στο μοντέλο Multipol για την υλοποίηση της αξιολόγησης Δράσεων-Πολιτικών συνίστανται στα ακόλουθα:

Κριτήρια αξιολόγησης:

a/a	Short Label	Long Label
1	K1	Αναβάθμιση Σιδηροδρομικής Υποδομής
2	K2	Διεθνείς διασυνδέσεις
3	K3	Σύνδεση με οικονομικά κέντρα (Hubs)
4	K4	Βελτίωση προσφερόμενων υπηρεσιών – Αύξηση ανταγωνιστικότητας
5	K5	Αύξηση ελκυστικότητας του σιδηροδρόμου

Δράσεις:

a/a	Short Label	Long Label
1	A1	Επενδύσεις
2	A2	Έμφαση στη διαχείριση του σιδηροδρομικού συστήματος
3	A3	Προώθηση διεθνών συνεργασιών
4	A4	Συντονισμός με άλλα μέσα μεταφοράς

Πολιτικές:

a/a	Short Label	Long Label
1	P1	Έμφαση στην οικονομική ανάπτυξη – Εξυγίανση χρέους του ΟΣΕ
2	P2	Έμφαση στην αναβάθμιση της σιδηροδρομικής υποδομής – Αναβάθμιση των προσφερόμενων υπηρεσιών

3	P3	Έμφαση στην εξωστρέφεια του σιδηροδρομικού συστήματος (δίκτυο TEN-T, διεθνείς συνεργασίες)
---	----	--

🚩 Πίνακας Επιπτώσεων Δράσεων-Κριτηρίων:

Κριτήρια Δράσεις	K1	K2	K3	K4	K5
A1	20	12	15	20	15
A2	15	10	15	20	10
A3	5	20	19	10	5
A4	10	20	19	15	15

🚩 Πίνακας Βαρών Πολιτικών-Κριτηρίων:

Κριτήρια Πολιτικές	K1	K2	K3	K4	K5	Sum
P1	5	15	15	35	30	100
P2	45	10	10	35	0	100
P3	15	35	30	15	5	100

Η πολυκριτηριακή αξιολόγηση των δράσεων ως προς τις πολιτικές υλοποιείται με τον πολλαπλασιασμό των πινάκων Δράσεις-Κριτήρια και Πολιτικές-Κριτήρια στη βάση του κοινού τους στοιχείου που είναι τα κριτήρια αξιολόγησης, με εφαρμογή της μεθόδου της σταθμικής άθροισης. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν, αφορούν σε επιδόσεις δράσεων ως προς κάθε πολιτική προκειμένου για κάθε πολιτική να εντοπιστεί το σύνολο των δράσεων που καθιστούν εφικτή την υλοποίησή της (Πίνακας 9-1).

Πίνακας 9-1: Ανάπτυξη σιδηροδρομικών μεταφορών - Αξιολόγηση δράσεων-πολιτικών (Multipol)

Actions / Policies	P1	P2	P3	Moy.	Ec. Ty	Number
1 : A1	16,5	18,7	15,4	16,9	1,4	4
2 : A2	14,5	16,2	13,8	14,8	1	2
3 : A3	11,1	9,6	15,2	12	2,3	1
4 : A4	16,1	13,6	17,2	15,6	1,5	3

Εκτός από την επίδοση κάθε δράσης ως προς κάθε πολιτική, υπολογίζεται επίσης ο μέσος όρος των επιδόσεων κάθε δράσης (συνολική επίδοση δράσης ως προς το σύνολο των πολιτικών) και η τυπική απόκλιση, η οποία δείχνει το εύρος της διακύμανσης των επιδόσεων της ίδιας δράσης ως προς τις διαφορετικές πολιτικές.

Η τελευταία στήλη του πίνακα (Number) περιλαμβάνει την ιεράρχηση των δράσεων κατά φθίνουσα σειρά, ανάλογα με τον μέσο όρο κάθε μίας, από την καλύτερη (μεγαλύτερος αριθμός) στη χειρότερη, για το σύνολο των πολιτικών. Σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα, οι δράσεις ανά πολιτική ταξινομούνται ως ακολούθως (Πίνακας 9-2):

Πίνακας 9-2: Ανάπτυξη σιδηροδρομικών μεταφορών - Ιεράρχηση δράσεων ως προς κάθε πολιτική (Multipol)

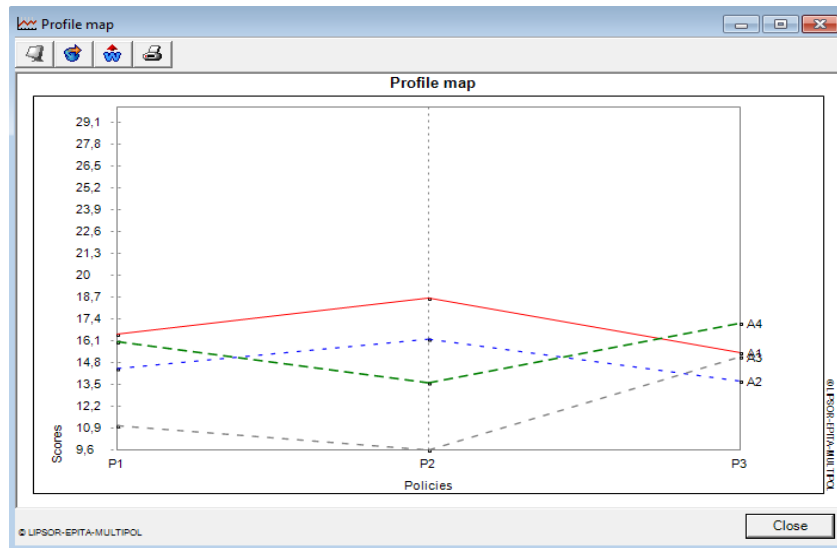
Πολιτική	Ιεράρχηση δράσεων
P1: Έμφαση στην οικονομική ανάπτυξη- Εξυγίανση χρέους του ΟΣΕ	<ul style="list-style-type: none"> - A1: Επενδύσεις (16,5) - A4: Συντονισμός με άλλα μέσα μεταφοράς - A2: Έμφαση στη διαχείριση του σιδηροδρομικού συστήματος - A3: Προώθηση διεθνών συνεργασιών
P2: Έμφαση στην αναβάθμιση της σιδηροδρομικής υποδομής – Αναβάθμιση των προσφερόμενων υπηρεσιών	<ul style="list-style-type: none"> - A1: Επενδύσεις (18,7) - A2: Έμφαση στη διαχείριση του σιδηροδρομικού συστήματος - A4: Συντονισμός με άλλα μέσα μεταφοράς - A3: Προώθηση διεθνών συνεργασιών
P3: Έμφαση στην εξωστρέφεια του σιδηροδρομικού συστήματος (δίκτυο TEN-T, διεθνείς συνεργασίες)	<ul style="list-style-type: none"> - A4: Συντονισμός με άλλα μέσα μεταφοράς (17,2) - A1: Επενδύσεις - A3: Προώθηση διεθνών συνεργασιών - A2: Έμφαση στη διαχείριση του σιδηροδρομικού συστήματος

Παράλληλα, για το σύνολο των πολιτικών, οι δράσεις ταξινομούνται κατά φθίνουσα σειρά ανάλογα με τον μέσο όρο και την τυπική απόκλιση κάθε μίας ως εξής:

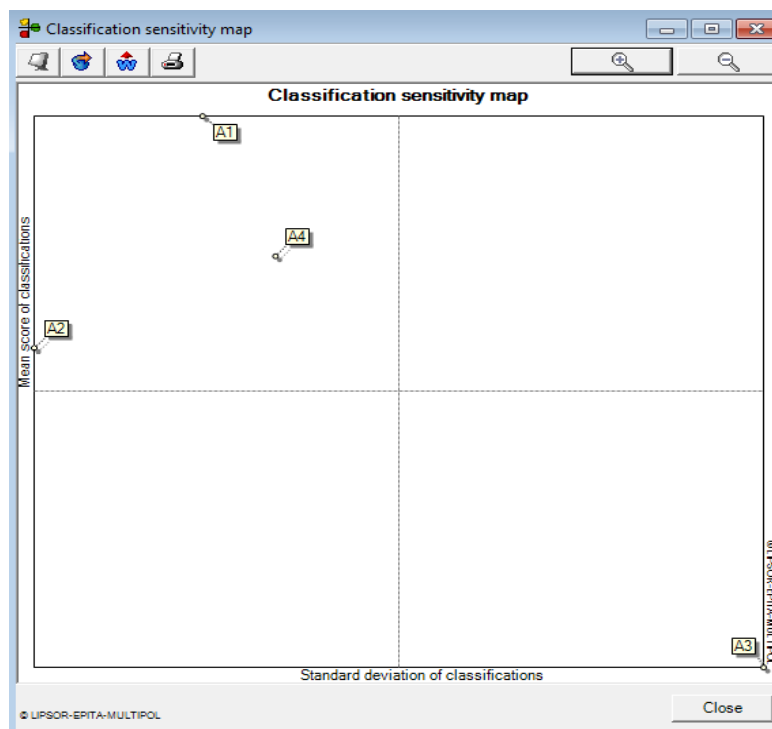
- A1: Επενδύσεις (Μέσος Όρος: 16,9 – Τυπική Απόκλιση: 1,4)
- A4: Συντονισμός με άλλα μέσα μεταφοράς (Μέσος Όρος: 15,6 – Τυπική Απόκλιση: 1,5)
- A2: Έμφαση στη διαχείριση του σιδηροδρομικού συστήματος (Μέσος Όρος: 14,8 – Τυπική Απόκλιση: 1,0)
- A3: Προώθηση διεθνών συνεργασιών (Μέσος Όρος: 12,0 – Τυπική Απόκλιση: 2,3)

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται οπτικοποιημένα σε έναν *Χάρτη Προφίλ* (Profile Map) *Δράσεων-Πολιτικών* (Σχήμα 9-4), όπου παρουσιάζονται οι επιδόσεις

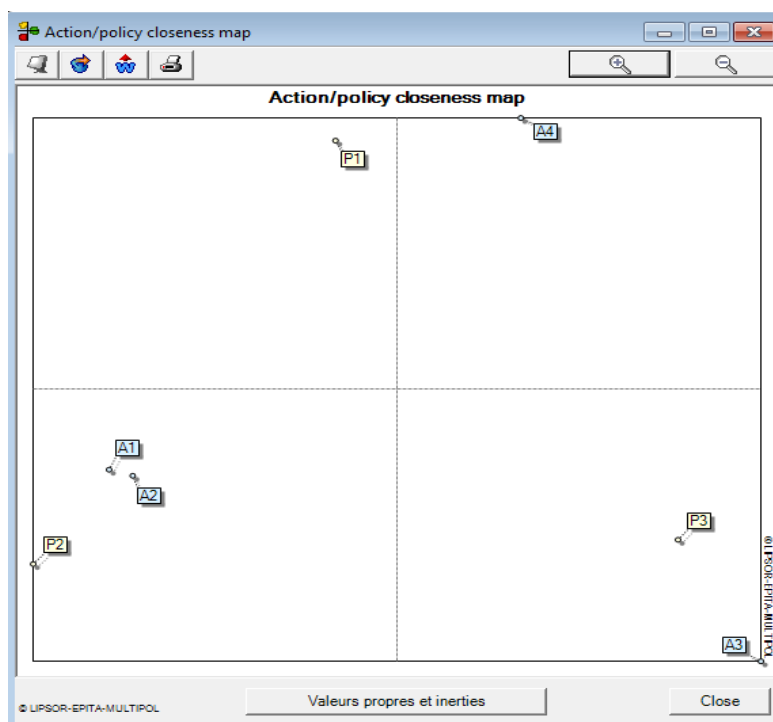
των δράσεων ως προς τις πολιτικές, σε έναν *Χάρτη Ευαισθησίας Δράσεων* (Classification Sensitivity Map) (Σχήμα 9-5), όπου οι δράσεις ταξινομούνται στον χώρο ανάλογα με τον μέσο όρο και την τυπική τους απόκλιση και σε έναν *Χάρτη Εγγύτητας Δράσεων-Πολιτικών* (Action / Policy Closeness Map) (Σχήμα 9-6), όπου οι δράσεις ταξινομούνται στον χώρο ως προς τις πολιτικές ανάλογα με τον βαθμό στον οποίο ταιριάζουν μεταξύ τους.



Σχήμα 9-4: Ανάπτυξη σιδηροδρομικών μεταφορών - Χάρτης Προφίλ Δράσεων-Πολιτικών



Σχήμα 9-5: Ανάπτυξη σιδηροδρομικών μεταφορών - Χάρτης Ευαισθησίας Δράσεων



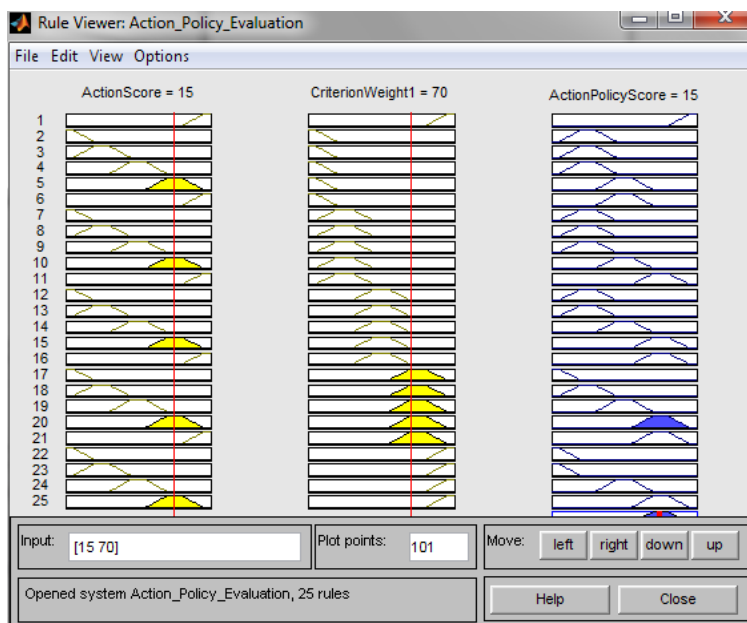
Σχήμα 9-6: Ανάπτυξη σιδηροδρομικών μεταφορών - Χάρτης Εγγύτητας Δράσεων-Πολιτικών

Ο Χάρτης Εγγύτητας Δράσεων-Πολιτικών υποδεικνύει επιμέρους ομάδες δράσεων - πολιτικών. Όσο πιο κοντά βρίσκεται μία δράση σε μία πολιτική, τόσο περισσότερο «ταιριάζει» σε αυτήν και επομένως, η υλοποίηση της πολιτικής είναι εφικτή μέσα από την υιοθέτηση και εφαρμογή της / των αντίστοιχης / ων δράσης / εων. Έτσι, για τη μελέτη περίπτωσης που εξετάζεται και σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Χάρτη Εγγύτητας Δράσεων-Πολιτικών, οι δράσεις και οι πολιτικές ομαδοποιούνται ως εξής (Πίνακας 9-3):

Πίνακας 9-3: Ανάπτυξη σιδηροδρομικών μεταφορών - Ομαδοποίηση δράσεων ως προς κάθε πολιτική

Πολιτική	Ομαδοποίηση δράσεων
P1: Έμφαση στην οικονομική ανάπτυξη– Εξυγίανση χρέους του ΟΣΕ	A4: Συντονισμός με άλλα μέσα μεταφοράς
P2: Έμφαση στην αναβάθμιση της σιδηροδρομικής υποδομής – Αναβάθμιση των προσφερόμενων υπηρεσιών	A1: Επενδύσεις A2: Έμφαση στη διαχείριση του σιδηροδρομικού συστήματος
P3: Έμφαση στην εξωστρέφεια του σιδηροδρομικού συστήματος (δίκτυο TEN-T, διεθνείς συνεργασίες)	A3: Προώθηση διεθνών συνεργασιών

Αντίστοιχα αποτελέσματα προέκυψαν και από την υλοποίηση της διαδικασίας Αξιολόγησης Δράσεων-Πολιτικών με την υποστήριξη του ασαφούς υπο-συστήματος FAIDRA Ia: Action-Policy Evaluation. Τα δεδομένα εισόδου στο ασαφές υπο-σύστημα είναι τα ίδια με αυτά που χρησιμοποιήθηκαν και στην περίπτωση του μοντέλου Multipol, επιδόσεις δράσεων ως προς τα κριτήρια αξιολόγησης και βάρη κριτηρίων. Κάθε φορά που ένα ζεύγος επίδοσης-βάρους εισάγεται στο υπο-σύστημα ασαφούς συμπερασμού, οι διακριτές (crisp) τιμές ασαφοποιούνται και ενεργοποιούνται οι αντίστοιχοι ασαφείς κανόνες. Ακολουθεί η διαδικασία της συνάθροισης των κανόνων και προκύπτει η επίδοση κάθε δράσης ως προς κάθε πολιτική, η οποία αναπαρίσταται από ένα ασαφές σύνολο (ασαφές αποτέλεσμα). Στη συνέχεια, το ασαφές αποτέλεσμα απο-ασαφοποιείται και προκύπτει μία νέα διακριτή τιμή για κάθε επίδοση. Αν για παράδειγμα οι διακριτές τιμές για την επίδοση μίας δράσης και το βάρος ενός κριτηρίου είναι 15 και 70 αντίστοιχα, ενεργοποιούνται οι ασαφείς κανόνες που αντιστοιχούν στα ασαφή σύνολα στα οποία οι εν λόγω τιμές ανήκουν με ορισμένο βαθμό συμμετοχής. Ακολουθούν οι διαδικασίες της συνάθροισης των κανόνων και της απο-ασαφοποίησης και προκύπτει η τελική επίδοση της δράσης ως προς την πολιτική που εξετάζεται για το συγκεκριμένο κριτήριο (Σχήμα 9-7).



Σχήμα 9-7: Ανάπτυξη σιδηροδρομικών μεταφορών - Επεξεργασία διακριτών (crisp) τιμών επιδόσεων δράσεων και βαρών κριτηρίων στο υπο-σύστημα ασαφούς συμπερασμού FAIDRA Ia: Action-Policy Evaluation – Ενδεικτικό αποτέλεσμα

Για κάθε ζεύγος τιμών επίδοσης-βάρους προέκυψε μία τελική απο-ασαφοποιημένη τιμή επίδοσης δράσης ως προς κάθε πολιτική για κάθε κριτήριο αξιολόγησης. Στη συνέχεια υπολογίστηκαν η επίδοση κάθε δράσης ως προς κάθε πολιτική για το σύνολο των κριτηρίων αξιολόγησης, οι μέσοι όροι που αντιστοιχούν στη συνολική επίδοση κάθε δράσης και οι τυπικές αποκλίσεις (Πίνακας 9-4 και Πίνακας 9-5) .

Πίνακας 9-4: Ανάπτυξη σιδηροδρομικών μεταφορών - Αξιολόγηση δράσεων-πολιτικών (Υπο-σύστημα ασαφούς συμπερασμού FAIDRA Ia: Action-Policy Evaluation – Τραπεζοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής)

Actions / Policies	P1	P2	P3	Moy.	Ec. Ty	Number
1 : A1	10,33	11,33	10,99	10,88	0,415	3
2 : A2	9	10	8,99	9,33	0,474	2
3 : A3	8,65	8,01	10	8,89	0,828	1
4 : A4	10,66	11,02	11	10,89	0,165	4

Πίνακας 9-5: Ανάπτυξη σιδηροδρομικών μεταφορών - Αξιολόγηση δράσεων-πολιτικών (Υπο-σύστημα ασαφούς συμπερασμού FAIDRA Ia: Action-Policy Evaluation – Τριγωνοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής)

Actions / Policies	P1	P2	P3	Moy.	Ec. Ty	Number
1 : A1	10,8	11,4	11,2	11,13	0,249	4
2 : A2	9,2	9,8	9,2	9,4	0,283	2
3 : A3	8,48	8,12	8,84	8,48	0,294	1
4 : A4	10,68	10,92	10,84	10,81	0,1	3

Στους παραπάνω πίνακες, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την πολυκριτηριακή αξιολόγηση δράσεων-πολιτικών στο ασαφές υπο-σύστημα FAIDRA Ia: Action-Policy Evaluation. Στο σημείο αυτό, θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα εν λόγω αποτελέσματα αφορούν στις δύο διαφορετικές προσεγγίσεις που υιοθετήθηκαν κατά τον σχεδιασμό του υπο-συστήματος, και διαφοροποιούνται μεταξύ τους ως προς το είδος των συναρτήσεων συμμετοχής που χρησιμοποιούνται στο στάδιο της ασαφοποίησης. Υπενθυμίζεται ότι η πρώτη προσέγγιση αφορά στη χρήση τραπεζοειδών συναρτήσεων συμμετοχής ενώ η δεύτερη, στη χρήση τριγωνοειδών συναρτήσεων συμμετοχής.

Αναφορικά με τα αποτελέσματα του υπο-συστήματος FAIDRA Ia: Action Policy Evaluation με χρήση τραπεζοειδών συναρτήσεων συμμετοχής (Πίνακας 9-4), η καλύτερη δράση ως προς το σύνολο των πολιτικών είναι η δράση A4 (Συντονισμός

με άλλα μέσα μεταφοράς) η οποία συγκεντρώνει τον υψηλότερο μέσο όρο (10,89) και τη μικρότερη τυπική απόκλιση (0,165).

Το αποτέλεσμα αυτό έρχεται σε αντίθεση με το αποτέλεσμα που έδωσε η πολυκριτηριακή αξιολόγηση στην περίπτωση του μοντέλου Multipol σύμφωνα με το οποίο, η καλύτερη δράση είναι η δράση A1 (Επενδύσεις). Παρά τη διαφοροποίηση, τα αποτελέσματα είναι αρκετά «κοντά» μεταξύ τους και δεν υπάρχουν σοβαρές αποκλίσεις.

Αρκετά σημαντική διαφοροποίηση παρατηρείται στις τυπικές αποκλίσεις των δράσεων. Το γεγονός αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι, οι τιμές των επιδόσεων κάθε δράσης ως προς το σύνολο των πολιτικών παρουσιάζουν μεγαλύτερη διακύμανση στην περίπτωση του μοντέλου Multipol σε σχέση με τη διακύμανση που παρατηρείται στην περίπτωση του υπο-συστήματος ασαφούς συμπερασμού FAIDRA Ia: Action-Policy Evaluation.

Αντίστοιχα, στην περίπτωση της δεύτερης προσέγγισης που χρησιμοποιούνται τριγωνοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής, η καλύτερη δράση είναι η δράση A1 (Επενδύσεις), η οποία συγκεντρώνει μεν τον υψηλότερο μέσο όρο (11,13) αλλά αντιστοιχεί σε αυτήν η δεύτερη μικρότερη τυπική απόκλιση (0,249), όπως ακριβώς και στην περίπτωση του Multipol. Και σε αυτήν την περίπτωση, οι τυπικές αποκλίσεις που προκύπτουν είναι μικρότερες σε σχέση με αυτές που έδωσε το Multipol, γεγονός που σημαίνει μικρότερη διακύμανση τιμών της ίδιας δράσης ως προς το σύνολο των πολιτικών.

Αναλυτικότερα, μικρή διακύμανση των τιμών των δράσεων ως προς τις πολιτικές σημαίνει ότι ναι μεν υπάρχει μία δράση η οποία «ταιριάζει» περισσότερο σε κάθε πολιτική, χωρίς όμως οι υπόλοιπες δράσεις να είναι ακατάλληλες για την εν λόγω πολιτική και να αποκλείονται. Επομένως οι δράσεις, στο σύνολό τους, «ταιριάζουν» με τις πολιτικές ως προς τις οποίες αξιολογούνται (είτε σε μικρότερο είτε σε μεγαλύτερο βαθμό) και δεν υπάρχει κάποια δράση η οποία να παρουσιάζει σημαντική απόκλιση ως προς μία ή περισσότερες πολιτικές.

Το γεγονός αυτό καθιστά τη σχεδιαστική διαδικασία περισσότερο ευέλικτη καθώς, δεδομένης της πολυπλοκότητας των σύγχρονων δυναμικών χωρικών συστημάτων και του μέσο-μακροπρόθεσμου χρονικού ορίζοντα που συνήθως αναφέρονται τα προβλήματα χωρικού σχεδιασμού, μειώνεται το ρίσκο πιθανής αποτυχίας του σχεδιαστικού αποτελέσματος.

Συνεπώς, σε περίπτωση που η επιλεγείσα για την εφαρμογή μίας πολιτικής δράση δεν αποφέρει το αναμενόμενο αποτέλεσμα, υπάρχει δυνατότητα υιοθέτησης μίας άλλης δράσης χωρίς να παραστεί ανάγκη αλλαγής πολιτικής, γεγονός που θα σήμαινε την αλλαγή της σχεδιαστικής βάσης και θα είχε προφανώς επίπτωση στην υλοποίηση του σεναρίου που έχει επιλεγεί (αξιολόγηση πολιτικών-σεναρίων).

Επομένως, τα ασαφή συστήματα, αξιοποιώντας την ευελιξία της λογικής της ασάφειας, καταδεικνύουν τη δυνατότητα μίας περισσότερο ευέλικτης διαχείρισης μίας πιθανής αποτυχίας που θα παρουσιαστεί στην πορεία υλοποίησης της εκάστοτε επιλεγείσας πολιτικής. Αντίθετα, η δίτιμη (crisp) προσέγγιση δημιουργεί περισσότερο «απότομα / διακριτά» όρια μεταξύ των αποτελεσμάτων και παρά το γεγονός ότι γίνεται μία καλύτερη διάκριση της αντιστοιχίας δράσεις-πολιτικές, ο σχεδιαστής αγνοεί τη δυνατότητα υιοθέτησης μίας άλλης δράσης σε περίπτωση που υπάρξει κώλυμα σε πρακτικό επίπεδο, ή διστάζει λόγω των διαφαινόμενων αποκλίσεων. Προφανώς, αποτυχία εφαρμογής μίας πολιτικής, επιφέρει αποτυχία υλοποίησης του σεναρίου που έχει επιλεγεί καθώς η υλοποίησή του εξαρτάται άμεσα από την εν λόγω πολιτική ενώ, υφίσταται ανάγκη για συνολική αναθεώρηση του «πακέτου» δράσεις-πολιτικές-σενάρια.

Μία επίσης σημαντική παρατήρηση σχετίζεται με τη συνέπεια του μέσου όρου και της τυπικής απόκλισης που αντιστοιχεί σε κάθε μέσο όρο. Ειδικότερα, στην περίπτωση της προσέγγισης που χρησιμοποιεί τραπεζοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής, οι τυπικές αποκλίσεις βρίσκονται σε απόλυτη συνέπεια με τους μέσους όρους των δράσεων και ως εκ τούτου οι δράσεις που είναι καλύτερες ως προς τον μέσο όρο συνοδεύονται από αντίστοιχες χαμηλές τυπικές αποκλίσεις. Το ίδιο συμβαίνει (σε μικρότερο βαθμό) στην περίπτωση της προσέγγισης που χρησιμοποιεί τριγωνοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής. Με εξαίρεση τη δράση που εμφανίζεται με τον υψηλότερο μέσο όρο αλλά με τη δεύτερη μικρότερη τυπική απόκλιση, για τις υπόλοιπες δράσεις υπάρχει συνέπεια μέσου όρου και τυπικής απόκλισης.

Δεν παρατηρείται η ίδια συνέπεια μέσου όρου και τυπικής απόκλισης στην περίπτωση του μοντέλου Multipol καθώς, παρατηρείται το φαινόμενο δράσεις με αρκετά υψηλούς μέσους όρους να έχουν αυξημένες τυπικές αποκλίσεις ή τυπικές αποκλίσεις μεγαλύτερες από δράσεις που εμφανίζουν χαμηλότερους μέσους όρους, γεγονός που οφείλεται και πάλι στα άκαμπτα όρια της δίτιμης λογικής.

Επιπλέον, παρατηρείται μικρότερη διαφοροποίηση μεταξύ της προσέγγισης που χρησιμοποιεί τριγωνοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής και του Multipol σε σχέση

με την αντίστοιχη διαφοροποίηση που παρατηρείται μεταξύ της προσέγγισης που χρησιμοποιεί τραπεζοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής και του Multipol. Το γεγονός αυτό μπορεί να οδηγεί στο συμπέρασμα ότι στην περίπτωση του μοντέλου Multipol, οι τριγωνοειδείς συναρτήσεις «πλησιάζουν» περισσότερο το κλασικό μοντέλο και επομένως την προσέγγιση της δίτιμης λογικής. Αντίθετα, οι τραπεζοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής προσεγγίζουν σε μεγαλύτερο βαθμό τη λογική λειτουργίας της ασάφειας και επομένως, μία ασαφοποίηση βασισμένη σε διαστήματα τιμών είναι περισσότερο αποτελεσματική σε σχέση με μία ασαφοποίηση βασισμένη σε τιμές συγκεντρωμένες γύρω από ένα σημείο.

Τέλος, η διαφοροποίηση που παρουσιάζουν μεταξύ τους οι δύο ασαφείς προσεγγίσεις είναι λογική, καταδεικνύοντας την ιδιαίτερη σημασία που έχει η επιλογή της πλέον κατάλληλης ανά περίπτωση συνάρτησης συμμετοχής. Είναι απολύτως αναμενόμενο, διαφορετικές συναρτήσεις συμμετοχής να συνεπάγονται διαφοροποιημένα αποτελέσματα και γι' αυτόν ακριβώς τον λόγο, ο σχεδιασμός ενός συστήματος ασαφούς συμπερασμού απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή τόσο κατά το στάδιο της ασαφοποίησης όσο και κατά το στάδιο ορισμού των ασαφών κανόνων.

Στη συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης που εξετάζεται, δόθηκε έμφαση στην αντιστοιχία των λεκτικών όρων που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση επιδόσεων και βαρών με τα ασαφή σύνολα που τους αναπαριστούν, στο επίπεδο της συγκέντρωσης τιμών γύρω από μία κεντρική τιμή (τριγωνοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής) ή ένα εύρος τιμών (τραπεζοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής) στις οποίες αντιστοιχεί ο μέγιστος βαθμός συμμετοχής (1). Στη μεν περίπτωση των τραπεζοειδών συναρτήσεων συμμετοχής, οι τιμές ανά ασαφές σύνολο συγκεντρώνονται γύρω από ένα διάστημα τιμών με βαθμό συμμετοχής 1 ενώ, στην περίπτωση των τριγωνοειδών συναρτήσεων συμμετοχής οι τιμές ανά ασαφές σύνολο συγκεντρώνονται γύρω από μία κεντρική τιμή η οποία ανήκει στο σύνολο με βαθμό συμμετοχής 1.

Δεδομένου του μεγάλου εύρους των διαστημάτων στα οποία ορίζονται οι διακριτές τιμές που αναπαριστούν επιδόσεις και βάρη και οι οποίες εισάγονται στα ασαφή συστήματα ως δεδομένα εισόδου, η ασαφής διαμέριση με χρήση τραπεζοειδών συναρτήσεων συμμετοχής «επιτρέπει» την ομαδοποίηση τιμών οι οποίες ανήκουν με βαθμό συμμετοχής 1 σε κάθε ασαφές σύνολο. Ωστόσο, η διαφοροποίηση που προκύπτει ανά περίπτωση και η εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τη βέλτιστη προσέγγιση ασαφοποίησης, διερευνήθηκε μέσα από τη συγκριτική ανάλυση των αποτελεσμάτων που δίνει η κάθε προσέγγιση

χρησιμοποιώντας τους ίδιους ασαφείς κανόνες αλλά διαφορετικές συναρτήσεις συμμετοχής.

Όσον αφορά στην ιεράρχηση των δράσεων ανά πολιτική, τα αποτελέσματα που προέκυψαν τόσο από την εφαρμογή του μοντέλου Multipol όσο και από το υποσύστημα ασαφούς συμπερασμού FAIDRA Ia: Action-Policy Evaluation, παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 9-6).

Πίνακας 9-6: Ανάπτυξη σιδηροδρομικών μεταφορών - Ιεράρχηση δράσεων ως προς κάθε πολιτική – Συγκριτική ανάλυση αποτελεσμάτων

Πολιτική	Ιεράρχηση δράσεων (Τραπεζοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής)	Ιεράρχηση δράσεων (Τριγωνοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής)	Ιεράρχηση δράσεων (Multipol)
P1: Έμφαση στην οικονομική ανάπτυξη– Εξυγίανση χρέους του ΟΣΕ	<ul style="list-style-type: none"> – A4: Συντονισμός με άλλα μέσα μεταφοράς (10,66) – A1: Επενδύσεις – A2: Έμφαση στη διαχείριση του σιδηροδρομικού συστήματος – A3: Προώθηση διεθνών συνεργασιών 	<ul style="list-style-type: none"> – A1: Επενδύσεις (10,8) – A4: Συντονισμός με άλλα μέσα μεταφοράς – A2: Έμφαση στη διαχείριση του σιδηροδρομικού συστήματος – A3: Προώθηση διεθνών συνεργασιών 	<ul style="list-style-type: none"> – A1: Επενδύσεις (16,5) – A4: Συντονισμός με άλλα μέσα μεταφοράς – A2: Έμφαση στη διαχείριση του σιδηροδρομικού συστήματος – A3: Προώθηση διεθνών συνεργασιών
P2: Έμφαση στην αναβάθμιση της σιδηροδρομικής υποδομής – Αναβάθμιση των προσφερόμενων υπηρεσιών	<ul style="list-style-type: none"> – A1: Επενδύσεις (11,33) – A4: Συντονισμός με άλλα μέσα μεταφοράς – A2: Έμφαση στη διαχείριση του σιδηροδρομικού συστήματος – A3: Προώθηση διεθνών συνεργασιών 	<ul style="list-style-type: none"> – A1: Επενδύσεις (11,4) – A4: Συντονισμός με άλλα μέσα μεταφοράς – A2: Έμφαση στη διαχείριση του σιδηροδρομικού συστήματος – A3: Προώθηση διεθνών συνεργασιών 	<ul style="list-style-type: none"> – A1: Επενδύσεις (18,7) – A2: Έμφαση στη διαχείριση του σιδηροδρομικού συστήματος – A4: Συντονισμός με άλλα μέσα μεταφοράς – A3: Προώθηση διεθνών συνεργασιών
P3: Έμφαση στην εξωστρέφεια του σιδηροδρομικού συστήματος (δίκτυο TEN-T, διεθνείς συνεργασίες)	<ul style="list-style-type: none"> – A4: Συντονισμός με άλλα μέσα μεταφοράς (11) – A1: Επενδύσεις – A3: Προώθηση διεθνών συνεργασιών – A2: Έμφαση στη διαχείριση του σιδηροδρομικού συστήματος 	<ul style="list-style-type: none"> – A1: Επενδύσεις (11,2) – A4: Συντονισμός με άλλα μέσα μεταφοράς – A2: Έμφαση στη διαχείριση του σιδηροδρομικού συστήματος – A3: Προώθηση διεθνών συνεργασιών 	<ul style="list-style-type: none"> – A4: Συντονισμός με άλλα μέσα μεταφοράς (17,2) – A1: Επενδύσεις – A3: Προώθηση διεθνών συνεργασιών – A2: Έμφαση στη διαχείριση του σιδηροδρομικού συστήματος

Αναφορικά με την πολιτική P1, η ιεράρχηση των δράσεων είναι ίδια για τις περιπτώσεις αξιολόγησης με το μοντέλο Multipol και την προσέγγιση που χρησιμοποιεί τριγωνοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής ενώ, διαφοροποιείται στην περίπτωση των τραπεζοειδών συναρτήσεων συμμετοχής. Όσον αφορά στην πολιτική P2, η ιεράρχηση των δράσεων είναι ίδια για τις δύο προσεγγίσεις του ασαφούς υποσυστήματος FAIDRA Ia: Action-Policy Evaluation αλλά διαφοροποιείται αρκετά στην περίπτωση του Multipol. Τέλος, στην περίπτωση της πολιτικής P3, η ιεράρχηση των δράσεων είναι ίδια για την περίπτωση του μοντέλου Multipol και της προσέγγισης που χρησιμοποιεί τραπεζοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής ενώ τα αποτελέσματα διαφοροποιούνται στην περίπτωση της προσέγγισης που χρησιμοποιεί τριγωνοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής.

Η γενική ιεράρχηση των δράσεων στη βάση του μέσου όρου και της τυπικής απόκλισης κάθε μίας από αυτές παρουσιάζεται στον Πίνακα 9-7.

Πίνακας 9-7: Ανάπτυξη σιδηροδρομικών μεταφορών - Γενική ιεράρχηση δράσεων βάσει του μέσου όρου και της τυπικής απόκλισης για το σύνολο των πολιτικών

Γενική ιεράρχηση δράσεων (Τραπεζοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής)	Γενική ιεράρχηση δράσεων (Τριγωνοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής)	Γενική ιεράρχηση δράσεων (Multipol)
<ul style="list-style-type: none"> - A4: Συντονισμός με άλλα μέσα μεταφοράς (10,89) - A1: Επενδύσεις - A2: Έμφαση στη διαχείριση του σιδηροδρομικού συστήματος - A3: Προώθηση διεθνών συνεργασιών 	<ul style="list-style-type: none"> - A1: Επενδύσεις (11,13) - A4: Συντονισμός με άλλα μέσα μεταφοράς - A2: Έμφαση στη διαχείριση του σιδηροδρομικού συστήματος - A3: Προώθηση διεθνών συνεργασιών 	<ul style="list-style-type: none"> - A1: Επενδύσεις (16,9) - A4: Συντονισμός με άλλα μέσα μεταφοράς - A2: Έμφαση στη διαχείριση του σιδηροδρομικού συστήματος - A3: Προώθηση διεθνών συνεργασιών

Η γενική ιεράρχηση των δράσεων είναι περίπου ίδια και για τα τρία μοντέλα. Η προσέγγιση που χρησιμοποιεί τραπεζοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής διαφοροποιεί τα αποτελέσματα ως προς τη δράση που προκρίνει ως καλύτερη και τη δράση που δίνει ως δεύτερη στη σειρά κατάταξης. Ωστόσο, τα αποτελέσματα είναι αρκετά όμοια μεταξύ τους και δεν παρουσιάζουν σοβαρές αποκλίσεις, γεγονός που επιβεβαιώνει την αξιοπιστία και την εγκυρότητα των νέων προτεινόμενων προσεγγίσεων του υποσυστήματος FAIDRA Ia: Action-Policy Evaluation.

Η πολυκριτηριακή αξιολόγηση δράσεων-πολιτικών υλοποιήθηκε στη συνέχεια με εφαρμογή του λεκτικού υπολογιστικού μοντέλου FAIDRA II, το οποίο αξιοποιεί τη λογική της ασάφειας με ένα διαφορετικό τρόπο σε σχέση με το ασαφές υποσύστημα FAIDRA Ia: Action-Policy Evaluation. Στην περίπτωση του μοντέλου FAIDRA II δεν σχεδιάστηκε κάποιο σύστημα ασαφούς συμπερασμού. Αντίθετα, οι πίνακες επιπτώσεων και βαρών συμπληρώνονται απευθείας με λεκτικούς όρους οι οποίοι ποσοτικοποιούνται στη συνέχεια, προκειμένου να υλοποιηθούν οι απαραίτητοι υπολογισμοί και να ολοκληρωθεί η διαδικασία της αξιολόγησης. Δεδομένης της λεπτομερούς περιγραφής της λογικής λειτουργίας του μοντέλου FAIDRA II (σε θεωρητικό επίπεδο) στο κεφάλαιο 8, στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή του στην περίπτωση του τομέα των σιδηροδρομικών μεταφορών.

Αρχικά, συμπληρώθηκαν οι πίνακες επιπτώσεων (Πίνακας 9-8) και βαρών (Πίνακας 9-9) με τις λεκτικές τιμές που αναπαριστούν αντίστοιχα επιδόσεις δράσεων ως προς τα κριτήρια αξιολόγησης και βάρη κριτηρίων ως προς το περιεχόμενο κάθε πολιτικής.

Πίνακας 9-8: Πίνακας επιπτώσεων Δράσεων-Κριτηρίων – Μοντέλο FAIDRA II

Κριτήρια Δράσεις	K1	K2	K3	K4	K5
A1	Very Good	Moderate	Good	Very Good	Moderate
A2	Good	Moderate	Good	Very Good	Good
A3	Moderate	Very Good	Very Good	Moderate	Bad
A4	Moderate	Very Good	Very Good	Good	Good

Πίνακας 9-9: Πίνακας βαρών Πολιτικών-Κριτηρίων – Μοντέλο FAIDRA II

Πολιτικές Κριτήρια	P1	P2	P3
K1	Moderate Importance	Very High Importance	High Importance
K2	Moderate Importance	High Importance	Very High Importance
K3	High Importance	High Importance	Very High Importance
K4	Very High Importance	Very High Importance	High Importance
K5	High Importance	High Importance	High Importance

Η κλίμακα μέτρησης των επιδόσεων των δράσεων ως προς τα κριτήρια αξιολόγησης είναι μία ποιοτική κλίμακα οι τιμές της οποίας είναι πέντε και κυμαίνονται από την τιμή ‘Very Good’ (Καλύτερη επίδοση) μέχρι την τιμή ‘Very Bad’ (Χειρότερη επίδοση). Αντίστοιχα, η κλίμακα μέτρησης της σημαντικότητας των

κριτηρίων είναι επίσης μία ποιοτική κλίμακα οι τιμές της οποίας είναι πέντε και κυμαίνονται από την τιμή ‘Very High Importance’ (Μέγιστη βαρύτητα) μέχρι την τιμή ‘Very Low Importance’ (Ελάχιστη βαρύτητα).

Οι πίνακες αυτοί πολλαπλασιάστηκαν μεταξύ τους, αφού πρώτα οι λεκτικές τιμές «μεταφράστηκαν» στους αντίστοιχους τραπεζοειδείς και τριγωνοειδείς ασαφείς αριθμούς (ασαφή σύνολα) που τις αναπαριστούν. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι ασαφείς αριθμοί και τα ασαφή σύνολα που αναπαριστούν τους λεκτικούς όρους, είναι οι ίδιοι με αυτούς που ορίστηκαν για τα αντίστοιχα ασαφή σύνολα και τις λεκτικές μεταβλητές στην περίπτωση του υπο-συστήματος ασαφούς συμπερασμού FAIDRA Ia: Action-Policy Evaluation. Έτσι, για την περίπτωση των τραπεζοειδών ασαφών αριθμών, οι ασαφείς αριθμοί που αναπαριστούν τις επιδόσεις των δράσεων ανά λεκτικό όρο είναι οι εξής:

- Very Bad: (0 0 1 4)
- Bad: (1 4 6 9)
- Moderate: (6 9 11 14)
- Good: (11 14 16 19)
- Very Good: (16 19 20 20)

Αντίστοιχα, οι τραπεζοειδείς ασαφείς αριθμοί που αναπαριστούν τη σημαντικότητα (βάρη) των κριτηρίων ανά λεκτικό όρο είναι οι ακόλουθοι:

- Very Low Importance: (0 0 5 20)
- Low Importance: (5 20 30 45)
- Moderate Importance: (30 45 55 70)
- High Importance: (55 70 80 95)
- Very High Importance: (80 95 100 100)

Ομοίως, για την περίπτωση των τριγωνοειδών ασαφών αριθμών, οι ασαφείς αριθμοί που αναπαριστούν τις επιδόσεις των δράσεων ανά λεκτικό όρο είναι οι εξής:

- Very Bad: (0 0 5)
- Bad: (0 5 10)
- Moderate: (5 10 15)
- Good: (10 15 20)
- Very Good: (15 20 20)

Αντίστοιχα, οι τριγωνοειδείς ασαφείς αριθμοί που αναπαριστούν τα βάρη των κριτηρίων ανά λεκτικό όρο είναι οι ακόλουθοι:

- Very Low Importance: (0 0 25)

- Low Importance: (0 25 50)
- Moderate Importance: (25 50 75)
- High Importance: (50 75 100)
- Very High Importance: (75 100 100)

Ο πολλαπλασιασμός των πινάκων επιπτώσεων και βαρών έγινε στη βάση των όσων ορίζει η ασαφής αριθμητική για τον ασαφή πολλαπλασιασμό και την ασαφή πρόσθεση. Το αποτέλεσμα συνίσταται σε ένα νέο πίνακα, τον πίνακα επιδόσεων Δράσεων-Πολιτικών (Πίνακας 9-10), ο οποίος περιλαμβάνει τις επιδόσεις των δράσεων ως προς τις πολιτικές εκφρασμένες μέσω ασαφών τραπεζοειδών αριθμών. Με την ίδια λογική που χρησιμοποιείται στην περίπτωση των δίτιμων προσεγγίσεων, οι δράσεις ιεραρχούνται ως προς τις πολιτικές ανάλογα με τον βαθμό στον οποίο κάθε μία από αυτές «ταιριάζει» στην αντίστοιχη πολιτική.

Πίνακας 9-10: Πίνακας επιδόσεων Δράσεων-Πολιτικών – Μοντέλο FAIDRA II – Τραπεζοειδείς ασαφείς αριθμοί

	P1	P2	P3
A1	(28,75 46,75 58,65 75,15)	(38,25 58,5 70,4 84,65)	(34,5 54,75 67,8 84,3)
A2	(30 48 60,45 79,2)	(37 57,25 70,4 88,4)	(34,5 54,75 68,6 88,1)
A3	(20,75 37,25 48,85 65,35)	(27,75 46,5 58,8 74,55)	(32,75 51,5 62,4 75,15)
A4	(30,25 49 61,85 79,85)	(37,25 58,25 71,8 89,05)	(41 62 74,4 89,4)

Προκειμένου οι τιμές του παραπάνω πίνακα να συγκριθούν μεταξύ τους και να προκύψουν οι επιμέρους ιεραρχήσεις των δράσεων ως προς τις πολιτικές, υπάρχει μία σειρά μεθόδων σύγκρισης και ιεράρχησης ασαφών αριθμών ανάμεσα στις οποίες η πιθανοτική προσέγγιση (probabilistic approach), η απο-ασαφοποίηση (defuzzification), η προσέγγιση του κεντροειδούς (centroid-point approach), κ.λπ. (Basiura et al., 2015). Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης επιλέχθηκε, για τη σύγκριση των ασαφών αριθμών, η μέθοδος της απο-ασαφοποίησης ούτως ώστε τα αποτελέσματα που προκύπτουν από το μοντέλο FAIDRA II να είναι συγκρίσιμα με τα απο-ασαφοποιημένα αποτελέσματα του μοντέλου FAIDRA Ia: Action-Policy Evaluation και τα διακριτά (crisp) αποτελέσματα του μοντέλου Multipol. Οι απο-ασαφοποιημένες τιμές που αντιστοιχούν στις επιδόσεις των δράσεων ως προς τις πολιτικές για την περίπτωση του μοντέλου FAIDRA II παρουσιάζονται στον Πίνακα 9-11.

Πίνακας 9-11: Πίνακας επιδόσεων Δράσεων-Πολιτικών – Μοντέλο FAIDRA II – Τραπεζοειδείς ασαφείς αριθμοί – Απο-ασαφοποιημένες τιμές

Actions / Policies	P1	P2	P3	Moy.	Ec. Ty	Number
1 : A1	52,25	62,65	60,15	58,35	4,43	3
2 : A2	54,45	51,38	61,45	55,76	4,21	2
3 : A3	43,05	51,75	55,15	49,98	5,10	1
4 : A4	55,20	63,90	66,40	61,83	4,80	4

Ομοίως, τα αντίστοιχα αποτελέσματα που προέκυψαν στην περίπτωση που για την αναπαράσταση των λεκτικών όρων χρησιμοποιήθηκαν τριγωνοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής παρουσιάζονται στους Πίνακες 9-12 και 9-13.

Πίνακας 9-12: Πίνακας επιδόσεων Δράσεων-Πολιτικών – Μοντέλο FAIDRA II – Τριγωνοειδείς ασαφείς αριθμοί

	P1	P2	P3
A1	(23,75 53,75 81,25)	(32,5 66,25 90)	(28,75 62,5 90)
A2	(25 55 86,25)	(31,25 65 95)	(28,75 62,5 95)
A3	(16,25 43,75 71,25)	(22,5 53,75 80)	(27,5 58,75 80)
A4	(25 56,25 86,25)	(31,25 66,25 95)	(35 70 95)

Πίνακας 9-13: Πίνακας επιδόσεων Δράσεων-Πολιτικών – Μοντέλο FAIDRA II – Τριγωνοειδείς ασαφείς αριθμοί – Απο-ασαφοποιημένες τιμές

Actions / Policies	P1	P2	P3	Moy.	Ec. Ty	Number
1 : A1	52,92	62,92	60,42	58,75	4,25	2
2 : A2	55,42	63,75	60,08	59,75	3,41	3
3 : A3	43,75	52,08	55,42	50,42	4,91	1
4 : A4	55,83	64,17	66,67	62,22	4,63	4

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την αξιολόγηση Δράσεων-Πολιτικών με την εφαρμογή του λεκτικού υπολογιστικού μοντέλου FAIDRA II, «υποδεικνύουν» ως καλύτερη, βάσει του γενικού μέσου όρου, τη δράση A4 (Συντονισμός με άλλα μέσα μεταφοράς) και στην περίπτωση των τραπεζοειδών και στην περίπτωση των τριγωνοειδών ασαφών αριθμών.

Πιο αναλυτικά, η κατανομή των δράσεων ανά πολιτική παρουσιάζεται στον Πίνακα 9-14.

Πίνακας 9-14: Ιεράρχηση δράσεων ανά πολιτική – Μοντέλο FAIDRA II

Πολιτική	Ιεράρχηση δράσεων (Τραπεζοειδείς ασαφείς αριθμοί)	Ιεράρχηση δράσεων (Τριγωνοειδείς ασαφείς αριθμοί)
P1: Έμφαση στην οικονομική ανάπτυξη– Εξυγίανση χρέους του ΟΣΕ	<ul style="list-style-type: none"> – A4: Συντονισμός με άλλα μέσα μεταφοράς (55,83) – A1: Επενδύσεις – A2: Έμφαση στη διαχείριση του σιδηροδρομικού συστήματος – A3: Προώθηση διεθνών συνεργασιών 	<ul style="list-style-type: none"> – A4: Συντονισμός με άλλα μέσα μεταφοράς (55,83) – A2: Έμφαση στη διαχείριση του σιδηροδρομικού συστήματος – A1: Επενδύσεις – A3: Προώθηση διεθνών συνεργασιών
P2: Έμφαση στην αναβάθμιση της σιδηροδρομικής υποδομής – Αναβάθμιση των προσφερόμενων υπηρεσιών	<ul style="list-style-type: none"> – A4: Συντονισμός με άλλα μέσα μεταφοράς (63,90) – A1: Επενδύσεις – A3: Προώθηση διεθνών συνεργασιών – A2: Έμφαση στη διαχείριση του σιδηροδρομικού συστήματος 	<ul style="list-style-type: none"> – A4: Συντονισμός με άλλα μέσα μεταφοράς (64,17) – A2: Έμφαση στη διαχείριση του σιδηροδρομικού συστήματος – A1: Επενδύσεις – A3: Προώθηση διεθνών συνεργασιών
P3: Έμφαση στην εξωστρέφεια του σιδηροδρομικού συστήματος (δίκτυο TEN-T, διεθνείς συνεργασίες)	<ul style="list-style-type: none"> – A4: Συντονισμός με άλλα μέσα μεταφοράς (66,40) – A2: Έμφαση στη διαχείριση του σιδηροδρομικού συστήματος – A1: Επενδύσεις – A3: Προώθηση διεθνών συνεργασιών 	<ul style="list-style-type: none"> – A4: Συντονισμός με άλλα μέσα μεταφοράς (66,67) – A1: Επενδύσεις – A2: Έμφαση στη διαχείριση του σιδηροδρομικού συστήματος – A3: Προώθηση διεθνών συνεργασιών

Η επικράτηση της δράσης A4, ως καταλληλότερης δράσης για το σύνολο των πολιτικών, είναι προφανής και στην περίπτωση που για την ποσοτικοποίηση των λεκτικών όρων χρησιμοποιούνται τραπεζοειδείς ασαφείς αριθμοί και στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται τριγωνοειδείς ασαφείς αριθμοί. Η A4 είναι η δράση που συγκεντρώνει την υψηλότερη επίδοση για κάθε πολιτική. Ωστόσο, μία συγκριτική ανάλυση των αποτελεσμάτων δείχνει ότι αυτά διαφοροποιούνται ανά προσέγγιση. Για την πολιτική P1 η διαφοροποίηση είναι μικρή καθώς, και οι δύο προσεγγίσεις δίνουν ως καλύτερη τη δράση A4 και ως χειρότερη τη δράση A3, με σημείο διαφοράς τις πολιτικές A1 και A2 οι επιδόσεις των οποίων όμως δε διαφέρουν σημαντικά ανά προσέγγιση. Όμοια, για την πολιτική P2, οι δύο προσεγγίσεις

προκρίνουν ως καλύτερη τη δράση A4. Η κατάταξη όμως των δράσεων που ακολουθούν την πρώτη θέση διαφέρουν μεταξύ των δύο προσεγγίσεων. Τέλος, για την πολιτική P3, προκύπτει και για τις δύο περιπτώσεις των ασαφών αριθμών ως η βέλτιστη για την υλοποίησή της η δράση A4 και ως χειρότερη η δράση A3. Οι δράσεις A2 και A1 «καταλαμβάνουν» τις μεσαίες θέσεις των δύο ταξινομήσεων χωρίς όμως σημαντικές αποκλίσεις μεταξύ των επιδόσεών τους ανά προσέγγιση.

Η γενική ιεράρχηση των δράσεων, και για τις δύο προσεγγίσεις, στη βάση του γενικού μέσου όρου που αντιστοιχεί σε κάθε μία από αυτές παρουσιάζεται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 9-15: Γενική ιεράρχηση δράσεων – Μοντέλο FAIDRA II

Γενική ιεράρχηση δράσεων (Τραπεζοειδείς ασαφείς αριθμοί)	Γενική ιεράρχηση δράσεων (Τριγωνοειδείς ασαφείς αριθμοί)
<ul style="list-style-type: none"> - A4: Συντονισμός με άλλα μέσα μεταφοράς (61,83) - A1: Επενδύσεις - A2: Έμφαση στη διαχείριση του σιδηροδρομικού συστήματος - A3: Προώθηση διεθνών συνεργασιών 	<ul style="list-style-type: none"> - A4: Συντονισμός με άλλα μέσα μεταφοράς (62,22) - A2: Έμφαση στη διαχείριση του σιδηροδρομικού συστήματος - A1: Επενδύσεις - A3: Προώθηση διεθνών συνεργασιών

Ο υψηλότερος μέσος όρος αντιστοιχεί στη δράση A4, γεγονός το οποίο σημαίνει ότι η συγκεκριμένη δράση ταιριάζει με το σύνολο των πολιτικών παρά το γεγονός ότι έχει αρκετά υψηλή τυπική απόκλιση. Η χειρότερη δράση είναι η A3 ενώ τις μεσαίες θέσεις της κατάταξης και για τις δύο προσεγγίσεις καταλαμβάνουν οι δράσεις A1 και A2. Ως προς τους μέσους όρους, οι δύο προσεγγίσεις δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφοροποιήσεις καθώς οι γενικοί μέσοι όροι των δράσεων δε διαφέρουν μεταξύ τους σημαντικά ανά προσέγγιση. Όσον αφορά στις τυπικές αποκλίσεις, αυτές είναι στο σύνολό τους μικρότερες για την περίπτωση που το FAIDRA II χρησιμοποιεί τριγωνοειδείς ασαφείς αριθμούς. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι η διακύμανση των επιδόσεων της ίδιας δράσης για το σύνολο των πολιτικών είναι μικρή και επομένως η δράση «ταιριάζει» με το σύνολο των πολιτικών. Ωστόσο, οι διαφορές των τυπικών αποκλίσεων ανά ζεύγος δράσεων μεταξύ των δύο προσεγγίσεων είναι πολύ μικρές. Η μεγαλύτερη διαφορά μεταξύ των τιμών των τυπικών αποκλίσεων εντοπίζεται για την δράση A2, η τυπική απόκλιση της οποίας στην περίπτωση των τραπεζοειδών ασαφών αριθμών είναι ίση με 4,21 ενώ στην περίπτωση των τριγωνοειδών ασαφών αριθμών ίση με 3,41. Ως εκ τούτου,

στην περίπτωση της προσέγγισης που χρησιμοποιεί τραπεζοειδείς ασαφείς αριθμούς, τα όρια μεταξύ των επιδόσεων της ανά πολιτική είναι περισσότερο «απότομα».

Συνολικά και σε σχέση με τα αποτελέσματα του Multipol και του ασαφούς υπο-συστήματος FAIDRA Ia για την αξιολόγηση Δράσεων-Πολιτικών, τα αποτελέσματα που έδωσε το FAIDRA II δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφοροποιήσεις. Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 9-16.

Πίνακας 9-16: Γενική ιεράρχηση δράσεων – Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

Multipol	FAIDRA Ia (Τραπεζοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής)	FAIDRA Ia (Τριγωνοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής)	FAIDRA II (Τραπεζοειδείς ασαφείς αριθμοί)	FAIDRA II (Τριγωνοειδείς ασαφείς αριθμοί)
A1	A4	A1	A4	A4
A4	A1	A4	A1	A2
A2	A2	A2	A2	A1
A3	A3	A3	A3	A3

Όπως είναι προφανές, ανά μοντέλο, η πρώτη θέση εναλλάσσεται μεταξύ των δράσεων A1 και A4. Η δράση A2 καταλαμβάνει στην πλειοψηφία των ταξινομήσεων (πλην μίας) την τρίτη θέση ενώ, η δράση A3 «υποδεικνύεται» από το σύνολο των μοντέλων ως η δράση με τη χαμηλότερη επίδοση. Το γεγονός ότι τα αποτελέσματα είναι αρκετά «κοντά» μεταξύ τους επιβεβαιώνουν την εγκυρότητα των νέων προτεινόμενων προσεγγίσεων που αξιοποιούν την ασαφή λογική. Παράλληλα, καθίσταται σαφές ότι το εκάστοτε ασαφές μοντέλο είναι αρκετά «ευαίσθητο» ως προς τον τύπο της συνάρτησης συμμετοχής ή των ασαφών αριθμών (ασαφών συνόλων) που χρησιμοποιούνται ανά περίπτωση καθώς, επηρεάζουν τα τελικά αποτελέσματα.

Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί ότι παρά το γεγονός ότι η συγκριτική ανάλυση των μοντέλων πολυκριτηριακής αξιολόγησης γίνεται στη βάση διακριτών τιμών, η σύγκριση των αποτελεσμάτων του ασαφούς υπο-συστήματος FAIDRA Ia και του λεκτικού υπολογιστικού μοντέλου FAIDRA II παρουσιάζει μία ιδιαιτερότητα. Η ιδιαιτερότητα αυτή έγκειται στο γεγονός ότι το ασαφές υπο-σύστημα FAIDRA Ia επεξεργάζεται διακριτές τιμές τις οποίες ασαφοποιεί στη συνέχεια. Αντίθετα, το FAIDRA II λαμβάνει ως δεδομένα εισόδου λεκτικές τιμές οι οποίες αντιστοιχούν σε ασαφείς αριθμούς τους οποίους και επεξεργάζεται προκειμένου να υπολογίσει τις επιδόσεις των δράσεων ως προς τις πολιτικές. Το FAIDRA II έχει περισσότερο

«εύκαμπτα» όρια καθώς ο αξιολογητής που καλείται να δώσει την εκτίμησή του, την εκφράζει μέσω λεκτικών όρων οι οποίοι βέβαια συμπεριλαμβάνουν τις αριθμητικές τιμές που στις άλλες δύο περιπτώσεις (MultiPol και FAIDRA Ia) ο αξιολογητής χρησιμοποιεί απευθείας για να εκφράσει την εκτίμησή του. Ως εκ τούτου, οι αριθμητικές τιμές στο FAIDRA II, περιλαμβάνονται μεν στους λεκτικούς όρους αλλά δε συμμετέχουν απαραίτητα στα ασαφή σύνολα στα οποία ανήκουν με βαθμό συμμετοχής 1. Έτσι, όταν η τιμή μίας επίδοσης είναι ίση με ‘Good’ περιλαμβάνει και τη διακριτή τιμή 14 και τη διακριτή τιμή 15 και τη διακριτή τιμή 16 και ενδεχομένως και άλλες τιμές, οι οποίες όμως συμμετέχουν στο ασαφές σύνολο που αναπαριστά την επίδοση ‘Good’ με διαφορετικό βαθμό συμμετοχής ενώ, συμμετέχουν όλες στη διαμόρφωση του τελικού αποτελέσματος.

9.1.3. Εναλλακτικά Σενάρια Ανάπτυξης των Ελληνικών Σιδηροδρόμων - Πολυκριτηριακή Αξιολόγηση Πολιτικών-Σεναρίων – Σύγκριση δίτιμης (crisp) και ασαφούς (fuzzy) προσέγγισης

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν ανά μοντέλο για την περίπτωση της *πολυκριτηριακής αξιολόγησης Πολιτικών-Σεναρίων*. Οι διαδικασίες είναι κατ’ αντιστοιχία οι ίδιες με αυτές που εφαρμόστηκαν στην περίπτωση της αξιολόγησης των δράσεων ως προς τις πολιτικές. Αρχικά, η διαδικασία της πολυκριτηριακής αξιολόγησης υλοποιήθηκε με την υποστήριξη του μοντέλου MultiPol και στη συνέχεια ακολούθησε η υλοποίησή της με τη βοήθεια του ασαφούς υπο-συστήματος FAIDRA Ib: Policy-Scenario Evaluation (τραπεζοειδείς και τριγωνοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής) και του λεκτικού υπολογιστικού μοντέλου FAIDRA II.

Η πολυκριτηριακή αξιολόγηση πολιτικών-σεναρίων συνιστά μία διαδικασία κατά την οποία διερευνάται η αντιστοιχία πολιτικών-σεναρίων, δηλαδή ο βαθμός στον οποίο κάθε πολιτική «ταιριάζει» σε κάθε ένα από τα προτεινόμενα σενάρια. Η υλοποίηση κάθε σεναρίου είναι δυνατή μέσα από την εφαρμογή της αντίστοιχης πολιτικής, η οποία ικανοποιεί συγκεκριμένες προϋποθέσεις και «δείχνει» τον τρόπο μετάβασης από το παρόν (υφιστάμενη κατάσταση) στο μέλλον (επιθυμητή εικόνα-σενάριο). Τα δεδομένα που απαιτούνται για την ολοκλήρωση της διαδικασίας της πολυκριτηριακής αξιολόγησης πολιτικών-σεναρίων είναι τα κριτήρια αξιολόγησης, οι πολιτικές, τα σενάρια, ο πίνακας επιπτώσεων πολιτικών-κριτηρίων και ο πίνακας

βαρών σεναρίων-κριτηρίων. Οι πολιτικές είναι τρεις και είναι οι ίδιες με αυτές της πολυκριτηριακής αξιολόγησης Δράσεων-Πολιτικών, τα σενάρια είναι επίσης τρία και επιλέχθηκαν από έναν αριθμό σεναρίων που προέκυψαν από το Morphol ενώ, τα κριτήρια αξιολόγησης είναι πέντε και είναι επίσης τα ίδια με αυτά της προηγούμενης αξιολόγησης.

✚ Κριτήρια αξιολόγησης:

a/a	Short Label	Long Label
1	K1	Αναβάθμιση Σιδηροδρομικής Υποδομής
2	K2	Διεθνείς διασυνδέσεις
3	K3	Σύνδεση με οικονομικά κέντρα (hubs)
4	K4	Βελτίωση προσφερόμενων υπηρεσιών – Αύξηση ανταγωνιστικότητας
5	K5	Αύξηση ελκυστικότητας του σιδηροδρόμου

✚ Πολιτικές:


a/a	Short Label	Long Label
1	P1	Έμφαση στην οικονομική ανάπτυξη – Εξυγίανση χρέους του ΟΣΕ
2	P2	Έμφαση στην αναβάθμιση της σιδηροδρομικής υποδομής – Αναβάθμιση των προσφερόμενων υπηρεσιών
3	P3	Έμφαση στην εξωστρέφεια του σιδηροδρομικού συστήματος (δίκτυο TEN-T, διεθνείς συνεργασίες)

✚ Σενάρια:

a/a	Short Label	Long Label
1	S1	Ποιότητα σιδηροδρομικής υποδομής: Βελτιωμένη – Χωρητικότητα σιδηροδρομικού δικτύου: Βελτιωμένη – Διαλειτουργικότητα δικτύου: Βελτιωμένη – Επενδύσεις: Σε ικανοποιητικό επίπεδο – Διασύνδεση με το δίκτυο TEN-T: Βελτιωμένη – Ασφάλεια δικτύου: Βελτιωμένη – Συσσωρευμένο χρέος ΟΣΕ: Μειωμένο
2	S2	Ποιότητα σιδηροδρομικής υποδομής: Βελτιωμένη – Χωρητικότητα σιδηροδρομικού δικτύου: Βελτιωμένη – Διαλειτουργικότητα δικτύου: Προβληματική – Επενδύσεις: Σε ικανοποιητικό επίπεδο – Διασύνδεση με το δίκτυο TEN-T: Μέτρια – Ασφάλεια δικτύου: Βελτιωμένη – Συσσωρευμένο χρέος ΟΣΕ: Μειωμένο
3	S3	Ποιότητα σιδηροδρομικής υποδομής: Βελτιωμένη – Χωρητικότητα σιδηροδρομικού δικτύου: Βελτιωμένη – Διαλειτουργικότητα δικτύου: Βελτιωμένη – Επενδύσεις: Μέτριο επίπεδο – Διασύνδεση με το δίκτυο TEN-T: Βελτιωμένη – Ασφάλεια δικτύου: Βελτιωμένη – Συσσωρευμένο χρέος ΟΣΕ: Προβληματικό

 Πίνακας Επιπτώσεων Πολιτικών-Κριτηρίων:

Κριτήρια Πολιτικές	K1	K2	K3	K4	K5	Sum
P1	5	15	15	35	30	100
P2	45	10	10	35	0	100
P3	15	35	30	15	5	100

 Πίνακας Βαρών Σεναρίων-Κριτηρίων:

Κριτήρια Σενάρια	K1	K2	K3	K4	K5	Sum
S1	32	20	10	28	10	100
S2	20	0	10	40	30	100
S3	20	20	20	20	20	100

Η πολυκριτηριακή αξιολόγηση των πολιτικών ως προς τα σενάρια υλοποιείται με τον πολλαπλασιασμό των πινάκων Πολιτικές-Κριτήρια και Σενάρια-Κριτήρια στη βάση του κοινού τους στοιχείου που είναι τα κριτήρια αξιολόγησης, με εφαρμογή της μεθόδου της σταθμικής άθροισης. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν, αφορούν σε επιδόσεις πολιτικών ως προς κάθε σενάριο προκειμένου, για κάθε σενάριο να εντοπιστεί η πολιτική εκείνη που καθιστά περισσότερο εφικτή την υλοποίησή του (Πίνακας 9-17).

Πίνακας 9-17: Ανάπτυξη σιδηροδρομικών μεταφορών - Αξιολόγηση Πολιτικών-Σεναρίων (Multipol)

Policies / Scenarios	S1	S2	S3	Moy.	Ec. Ty	Number
1 : P1	18,9	25,5	20	21,2	3	2
2 : P2	27,2	24	20	25,3	2,4	3
3 : P3	19,5	13,5	20	17,6	2,9	1

Ο παραπάνω πίνακας περιλαμβάνει τις επιδόσεις κάθε πολιτικής ως προς κάθε σενάριο, τη συνολική επίδοση κάθε πολιτικής για το σύνολο των σεναρίων η οποία προκύπτει ως μέσος όρος των επιμέρους επιδόσεων, την τυπική απόκλιση που αντιστοιχεί σε κάθε πολιτική καθώς και την κατάταξη των πολιτικών (στήλη Number) στη βάση του μέσου όρου κατά φθίνουσα σειρά (η καλύτερη πολιτική είναι αυτή στην οποία αντιστοιχεί ο μεγαλύτερος αριθμός). Όσον αφορά στην ιεράρχηση των πολιτικών ως προς κάθε σενάριο από την καλύτερη στη χειρότερη, η συνολική εικόνα που δίνουν τα αποτελέσματα διαμορφώνεται ως εξής (Πίνακας 9-18):

Πίνακας 9-18: Ανάπτυξη σιδηροδρομικών μεταφορών - Ιεράρχηση πολιτικών ως προς κάθε σενάριο (Multitipol)

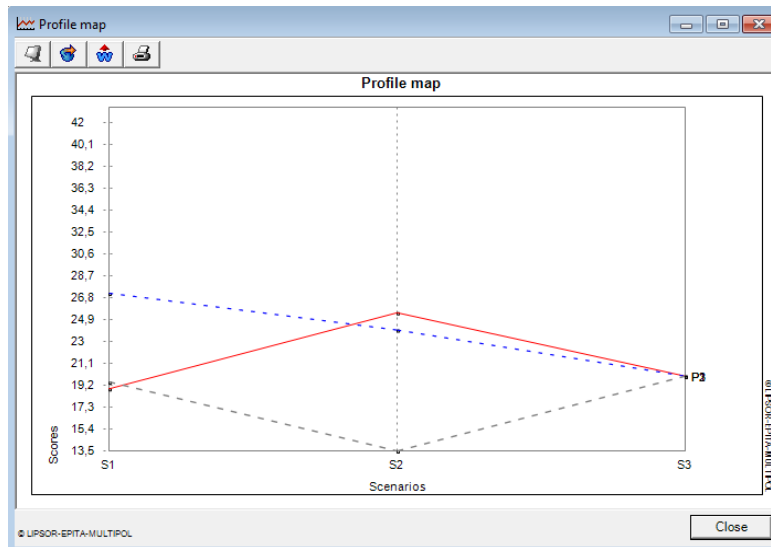
Σενάριο	Ιεράρχηση πολιτικών
S1: Ποιότητα σιδηροδρομικής υποδομής: Βελτιωμένη – Χωρητικότητα σιδηροδρομικού δικτύου: Βελτιωμένη – Διαλειτουργικότητα δικτύου: Βελτιωμένη – Επενδύσεις: Σε ικανοποιητικό επίπεδο – Διασύνδεση με το δίκτυο TEN-T: Βελτιωμένη – Ασφάλεια δικτύου: Βελτιωμένη – Συσσωρευμένο χρέος ΟΣΕ: Μειωμένο	– P2: Έμφαση στην αναβάθμιση της σιδηροδρομικής υποδομής – Αναβάθμιση των προσφερόμενων υπηρεσιών (27,2) – P3: Έμφαση στην εξωστρέφεια του σιδηροδρομικού συστήματος (δίκτυο TEN-T, διεθνείς συνεργασίες) – P1: Έμφαση στην οικονομική ανάπτυξη – Εξυγίανση χρέους του ΟΣΕ
S2: Ποιότητα σιδηροδρομικής υποδομής: Βελτιωμένη – Χωρητικότητα σιδηροδρομικού δικτύου: Βελτιωμένη – Διαλειτουργικότητα δικτύου: Προβληματική – Επενδύσεις: Σε ικανοποιητικό επίπεδο – Διασύνδεση με το δίκτυο TEN-T: Μέτρια – Ασφάλεια δικτύου: Βελτιωμένη – Συσσωρευμένο χρέος ΟΣΕ: Μειωμένο	– P1: Έμφαση στην οικονομική ανάπτυξη – Εξυγίανση χρέους του ΟΣΕ (25,5) – P2: Έμφαση στην αναβάθμιση της σιδηροδρομικής υποδομής – Αναβάθμιση των προσφερόμενων υπηρεσιών – P3: Έμφαση στην εξωστρέφεια του σιδηροδρομικού συστήματος (δίκτυο TEN-T, διεθνείς συνεργασίες)
S3: Ποιότητα σιδηροδρομικής υποδομής: Βελτιωμένη – Χωρητικότητα σιδηροδρομικού δικτύου: Βελτιωμένη – Διαλειτουργικότητα δικτύου: Βελτιωμένη – Επενδύσεις: Μέτριο επίπεδο – Διασύνδεση με το δίκτυο TEN-T: Βελτιωμένη – Ασφάλεια δικτύου: Βελτιωμένη – Συσσωρευμένο χρέος ΟΣΕ: Προβληματικό	– P1: Έμφαση στην οικονομική ανάπτυξη – Εξυγίανση χρέους του ΟΣΕ (20) – P2: Έμφαση στην αναβάθμιση της σιδηροδρομικής υποδομής – Αναβάθμιση των προσφερόμενων υπηρεσιών (20) – P3: Έμφαση στην εξωστρέφεια του σιδηροδρομικού συστήματος (δίκτυο TEN-T, διεθνείς συνεργασίες) (20)

Αντίστοιχα, η γενική ιεράρχηση των πολιτικών ως προς το σύνολο των σεναρίων διαμορφώνεται ως εξής:

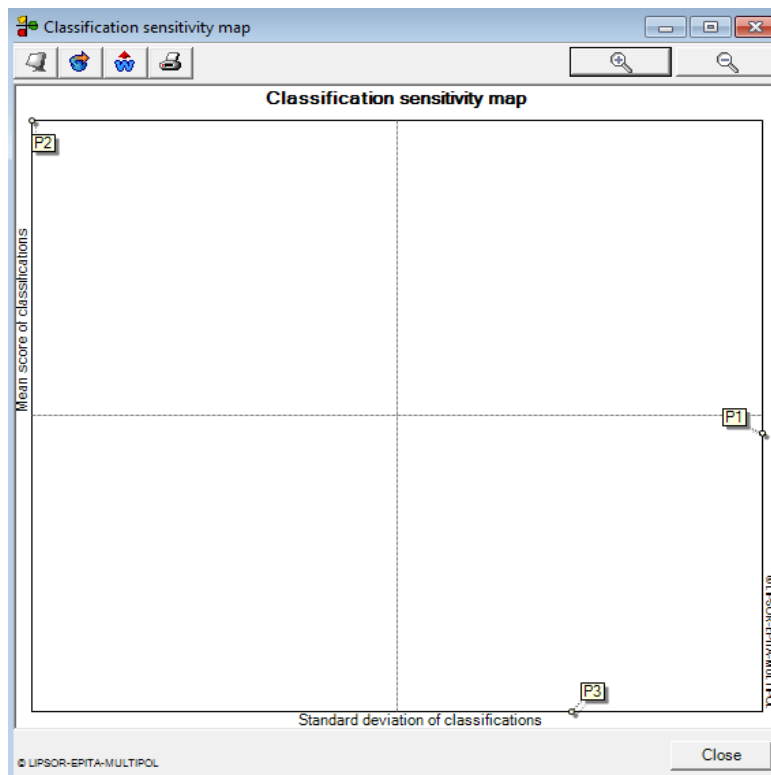
- Πολιτική P2: Έμφαση στην αναβάθμιση της σιδηροδρομικής υποδομής – Αναβάθμιση των προσφερόμενων υπηρεσιών (Μέσος όρος: 25,3 – Τυπική απόκλιση: 2,4).
- Πολιτική P1: Έμφαση στην οικονομική ανάπτυξη – Εξυγίανση χρέους του ΟΣΕ (Μέσος όρος: 21,2 – Τυπική απόκλιση: 3).
- Πολιτική P3: Έμφαση στην εξωστρέφεια του σιδηροδρομικού συστήματος (Μέσος όρος: 17,6 – Τυπική απόκλιση: 2,9).

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται επίσης οπτικοποιημένα σε έναν *Χάρτη Προφίλ (Profile Map) Πολιτικών-Σεναρίων* (Σχήμα 9-8), όπου παρουσιάζονται οι επιδόσεις των πολιτικών ως προς τα σενάρια, σε έναν *Χάρτη Ευαισθησίας Πολιτικών*

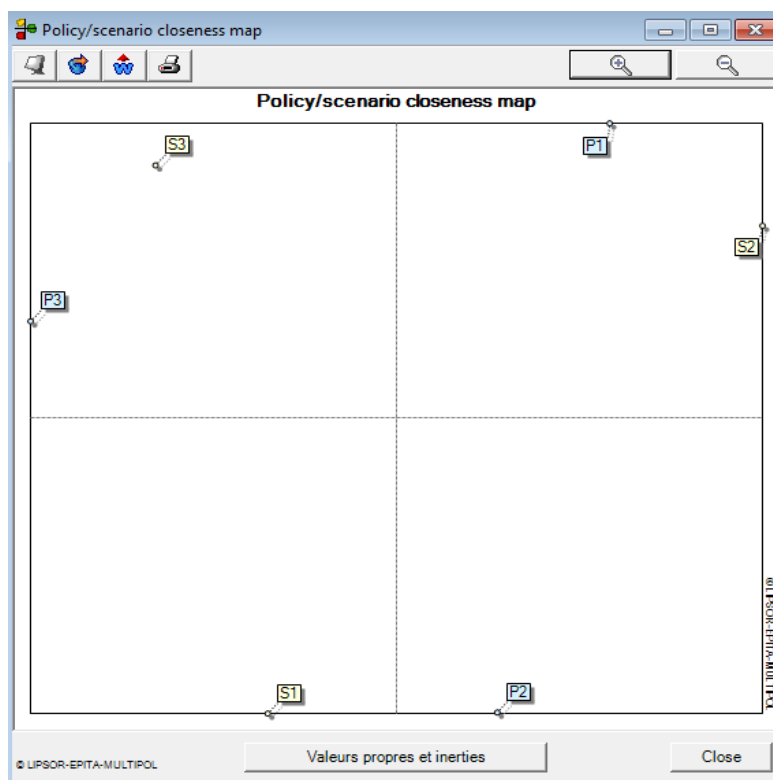
(Classification Sensitivity Map) (Σχήμα 9-9), όπου οι πολιτικές ταξινομούνται στον χώρο ανάλογα με τον μέσο όρο και την τυπική τους απόκλιση και σε έναν Χάρτη Εγγύτητας Πολιτικών-Σεναρίων (Policy / Scenario Closeness Map) (Σχήμα 9-10), όπου οι πολιτικές ταξινομούνται στον χώρο ως προς τα σενάρια ανάλογα με τον βαθμό στον οποίο ταιριάζουν μεταξύ τους.



Σχήμα 9-8: Ανάπτυξη σιδηροδρομικών μεταφορών - Χάρτης Προφίλ Πολιτικών-Σεναρίων



Σχήμα 9-9: Ανάπτυξη σιδηροδρομικών μεταφορών - Χάρτης Ευαισθησίας Πολιτικών



Σχήμα 9-10: Ανάπτυξη σιδηροδρομικών μεταφορών - Χάρτης Εγγύτητας Πολιτικών-Σεναρίων

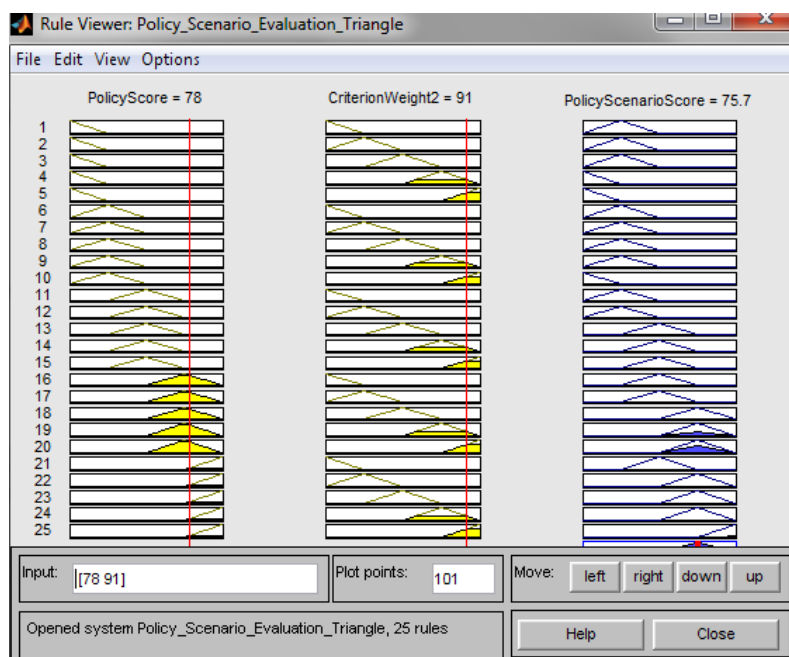
Σύμφωνα με τον Χάρτη Εγγύτητας Πολιτικών-Σεναρίων, είναι σαφής η ομαδοποίηση των πολιτικών ως προς τα σενάρια καθώς φαίνεται ξεκάθαρα ποιά πολιτική ταιριάζει περισσότερο σε κάθε σενάριο και επομένως, καθιστά περισσότερο εφικτή την υλοποίησή του. Έτσι, για τη μελέτη περίπτωσης που εξετάζεται, οι πολιτικές και τα σενάρια ομαδοποιούνται ως εξής (Πίνακας 9-19):

Πίνακας 9-19: Ανάπτυξη σιδηροδρομικών μεταφορών - Ομαδοποίηση πολιτικών ως προς κάθε σενάριο

Σενάριο	Ομαδοποίηση πολιτικών
<p>S1: Ποιότητα σιδηροδρομικής υποδομής: Βελτιωμένη – Χωρητικότητα σιδηροδρομικού δικτύου: Βελτιωμένη – Διαλειτουργικότητα δικτύου: Βελτιωμένη – Επενδύσεις: Σε ικανοποιητικό επίπεδο – Διασύνδεση με το δίκτυο TEN-T: Βελτιωμένη – Ασφάλεια δικτύου: Βελτιωμένη – Συσσωρευμένο χρέος ΟΣΕ: Μειωμένο</p>	<p>P2: Έμφαση στην αναβάθμιση της σιδηροδρομικής υποδομής – Αναβάθμιση των προσφερόμενων υπηρεσιών</p>
<p>S2: Ποιότητα σιδηροδρομικής υποδομής: Βελτιωμένη – Χωρητικότητα σιδηροδρομικού δικτύου: Βελτιωμένη – Διαλειτουργικότητα δικτύου: Προβληματική – Επενδύσεις: Σε ικανοποιητικό επίπεδο – Διασύνδεση με το δίκτυο TEN-T: Μέτρια – Ασφάλεια δικτύου: Βελτιωμένη – Συσσωρευμένο χρέος ΟΣΕ: Μειωμένο</p>	<p>P1: Έμφαση στην οικονομική ανάπτυξη – Εξυγίανση χρέους του ΟΣΕ</p>
<p>S3: Ποιότητα σιδηροδρομικής υποδομής: Βελτιωμένη – Χωρητικότητα σιδηροδρομικού δικτύου: Βελτιωμένη – Διαλειτουργικότητα δικτύου: Βελτιωμένη – Επενδύσεις: Μέτριο επίπεδο – Διασύνδεση με το δίκτυο TEN-T: Βελτιωμένη – Ασφάλεια δικτύου: Βελτιωμένη – Συσσωρευμένο χρέος ΟΣΕ: Προβληματικό</p>	<p>P3: Έμφαση στην εξωστρέφεια του σιδηροδρομικού συστήματος (δίκτυο TEN-T, διεθνείς συνεργασίες)</p>

Ανάλογα αποτελέσματα προέκυψαν και από την υλοποίηση της πολυκριτηριακής αξιολόγησης πολιτικών-σεναρίων με την υποστήριξη του ασαφούς υπο-συστήματος FAIDRA Ib: Policy-Scenario Evaluation. Όπως και στην περίπτωση της αξιολόγησης Δράσεων-Πολιτικών, η επίδοση μίας πολιτικής ως προς ένα κριτήριο και το βάρος του κριτηρίου εισάγονται στο ασαφές υπο-σύστημα ως δεδομένα εισόδου, ασαφοποιούνται και αφού ολοκληρωθεί η επεξεργασία τους στη βάση των ασαφών κανόνων, προκύπτει η τελική επίδοση της πολιτικής ως προς κάθε σενάριο για το συγκεκριμένο κριτήριο αξιολόγησης ως ασαφής και ως απο-ασαφοποιημένη διακριτή (crisp) τιμή (Σχήμα 9-11).

Στη συνέχεια, υπολογίστηκαν οι επιδόσεις των πολιτικών ως προς κάθε σενάριο για το σύνολο των κριτηρίων αξιολόγησης, οι συνολικές επιδόσεις των πολιτικών ως μέσοι όροι των επιμέρους επιδόσεών τους και οι τυπικές αποκλίσεις που αντιστοιχούν σε κάθε μέσο όρο.



Σχήμα 9-11: Ανάπτυξη σιδηροδρομικών μεταφορών - Επεξεργασία διακριτών (crisp) τιμών επιδόσεων πολιτικών και βαρών κριτηρίων στο υπο-σύστημα ασαφούς συμπερασμού FAIDRA Ib: Policy-Scenario Evaluation – Ενδεικτικό αποτέλεσμα

Οι επιμέρους και οι συνολικές επιδόσεις των πολιτικών ως προς τα σενάρια παρουσιάζονται αναλυτικά στους Πίνακες 9-20 και 9-21.

Πίνακας 9-20: Ανάπτυξη σιδηροδρομικών μεταφορών - Αξιολόγηση Πολιτικών-Σεναρίων (Υπο-σύστημα Ασαφούς Συμπερασμού FAIDRA Ib: Policy-Scenario Evaluation – Τραπεζοειδείς Συναρτήσεις Συμμετοχής)

Policies / Scenarios	S1	S2	S3	Moy.	Ec. Ty	Number
1 : P1	25	26,12	25	25,37	0,528	2
2 : P2	25,66	26,12	25	25,59	0,46	3
3 : P3	25	25	25	25	0	1

Πίνακας 9-21: Ανάπτυξη σιδηροδρομικών μεταφορών - Αξιολόγηση Πολιτικών-Σεναρίων (Υπο-σύστημα Ασαφούς Συμπερασμού FAIDRA Ib: Policy-Scenario Evaluation – Τριγωνοειδείς Συναρτήσεις Συμμετοχής)

Policies / Scenarios	S1	S2	S3	Moy.	Ec. Ty	Number
1 : P1	25,24	26,4	25	25,55	0,611	2
2 : P2	26,36	26,2	25	25,85	0,607	3
3 : P3	25	25	25	25	0	1

Οι παρατηρήσεις που προκύπτουν από μία πρώτη συνολική θεώρηση και συγκριτική ανάλυση των αποτελεσμάτων ανά μοντέλο, είναι αντίστοιχες με αυτές που αναπτύχθηκαν στην περίπτωση της αξιολόγησης Δράσεων-Πολιτικών. Παρά το

γεγονός ότι οι επιδόσεις των πολιτικών ανά σενάριο δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφοροποιήσεις μεταξύ τους, η πολιτική P2 είναι αυτή που προκρίνεται και από τα τρία μοντέλα, οι τυπικές αποκλίσεις που προκύπτουν στην περίπτωση του υποσυστήματος ασαφούς συμπερασμού FAIDRA Ib: Policy-Scenario Evaluation, είναι σημαντικά μικρότερες από αυτές που προκύπτουν στην περίπτωση του μοντέλου Multipol. Το γεγονός αυτό σημαίνει μικρότερη διακύμανση των τιμών της ίδιας πολιτικής για το σύνολο των σεναρίων και επομένως, μεγαλύτερη ευελιξία σε περίπτωση πιθανής μελλοντικής αποτυχίας της σχεδιαστικής διαδικασίας. Έτσι, εάν παρουσιαστεί κάποιο κώλυμα κατά τη διαδικασία εφαρμογής μίας συγκεκριμένης πολιτικής η οποία έχει επιλεγεί για την υλοποίηση ενός συγκεκριμένου σεναρίου, δεν παρίσταται ανάγκη για συνολική αναθεώρηση των σχεδιαστικών επιλογών εφόσον πολιτικές και σενάρια βρίσκονται, στο σύνολό τους, αρκετά κοντά μεταξύ τους. Η παρατήρηση αυτή έχει διττή σημασία ανάλογα με τον τρόπο ανάγνωσης του πίνακα επιδόσεων Πολιτικών-Σεναρίων. Η οριζόντια ανάγνωση του πίνακα δείχνει ότι η διαφοροποίηση των επιδόσεων της ίδιας πολιτικής ως προς το σύνολο των σεναρίων είναι μικρή και επομένως, υπάρχει μεγάλη ευελιξία ως προς τα περιθώρια επιλογής της πολιτικής που πρόκειται να εφαρμοστεί για την υλοποίηση του σεναρίου που επιλέγεται ανά περίπτωση. Από την άλλη πλευρά, η κάθετη ανάγνωση του πίνακα δείχνει ότι οι επιδόσεις των διαφορετικών πολιτικών δε διαφοροποιούνται σημαντικά για το ίδιο σενάριο και επομένως, πιθανή αποτυχία εφαρμογής μίας πολιτικής, αφήνει αρκετά περιθώρια υιοθέτησης μίας εναλλακτικής πολιτικής για την επιτυχή υλοποίηση του σεναρίου που έχει επιλεγεί. Όπως ήδη αναφέρθηκε στην περίπτωση της αξιολόγησης Δράσεων-Πολιτικών, η ευελιξία αυτή τονίζεται ιδιαίτερα στην περίπτωση αξιολόγησης με το σύστημα ασαφούς συμπερασμού FAIDRA I που αξιοποιεί τη λογική της ασάφειας ενώ, δεν είναι τόσο διακριτή στην περίπτωση του μοντέλου Multipol, λόγω των άκαμπτων ορίων που δημιουργεί η δίτιμη (crisp) λογική μεταξύ των τιμών των επιδόσεων των πολιτικών τόσο ανά σενάριο όσο και για το σύνολο των σεναρίων.

Αναφορικά με την ιεράρχηση των πολιτικών ανά σενάριο και ανά μοντέλο πολυκριτηριακής αξιολόγησης, τα αποτελέσματα που προέκυψαν, παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 9-22: Ανάπτυξη σιδηροδρομικών μεταφορών - Ιεράρχηση πολιτικών ως προς κάθε σενάριο – Συγκριτική ανάλυση αποτελεσμάτων

Σενάριο	Ιεράρχηση πολιτικών (Τραπεζοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής)	Ιεράρχηση πολιτικών (Τριγωνοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής)	Ιεράρχηση πολιτικών (Multipol)
<p>S1: Ποιότητα σιδηροδρομικής υποδομής: Βελτιωμένη – Χωρητικότητα σιδηροδρομικού δικτύου: Βελτιωμένη – Διαλειτουργικότητα δικτύου: Βελτιωμένη – Επενδύσεις: Σε ικανοποιητικό επίπεδο – Διασύνδεση με το δίκτυο TEN-T: Βελτιωμένη – Ασφάλεια δικτύου: Βελτιωμένη – Συσσωρευμένο χρέος ΟΣΕ: Μειωμένο</p>	<p>– P2: Έμφαση στην αναβάθμιση της σιδηροδρομικής υποδομής- Αναβάθμιση των προσφερόμενων υπηρεσιών (25,66) – P1: Έμφαση στην οικονομική ανάπτυξη – Εξυγίανση χρέους του ΟΣΕ και P3: Έμφαση στην εξωστρέφεια του σιδηροδρομικού συστήματος (δίκτυο TEN-T, διεθνείς συνεργασίες)</p>	<p>– P2: Έμφαση στην αναβάθμιση της σιδηροδρομικής υποδομής- Αναβάθμιση των προσφερόμενων υπηρεσιών (26,36) – P1: Έμφαση στην οικονομική ανάπτυξη – Εξυγίανση χρέους του ΟΣΕ – P3: Έμφαση στην εξωστρέφεια του σιδηροδρομικού συστήματος (δίκτυο TEN-T, διεθνείς συνεργασίες)</p>	<p>– P2: Έμφαση στην αναβάθμιση της σιδηροδρομικής υποδομής- Αναβάθμιση των προσφερόμενων υπηρεσιών (27,2) – P3: Έμφαση στην εξωστρέφεια του σιδηροδρομικού συστήματος (δίκτυο TEN-T, διεθνείς συνεργασίες) – P1: Έμφαση στην οικονομική ανάπτυξη – Εξυγίανση χρέους του ΟΣΕ</p>
<p>S2: Ποιότητα σιδηροδρομικής υποδομής: Βελτιωμένη – Χωρητικότητα σιδηροδρομικού δικτύου: Βελτιωμένη – Διαλειτουργικότητα δικτύου: Προβληματική – Επενδύσεις: Σε ικανοποιητικό επίπεδο – Διασύνδεση με το δίκτυο TEN-T: Μέτρια – Ασφάλεια δικτύου: Βελτιωμένη – Συσσωρευμένο χρέος ΟΣΕ: Μειωμένο</p>	<p>– P1: Έμφαση στην οικονομική ανάπτυξη – Εξυγίανση χρέους του ΟΣΕ (26,12) και P2: Έμφαση στην αναβάθμιση της σιδηροδρομικής υποδομής- Αναβάθμιση των προσφερόμενων υπηρεσιών (26,12) – P3: Έμφαση στην εξωστρέφεια του σιδηροδρομικού συστήματος (δίκτυο TEN-T, διεθνείς συνεργασίες)</p>	<p>– P1: Έμφαση στην οικονομική ανάπτυξη – Εξυγίανση χρέους του ΟΣΕ (26,4) – P2: Έμφαση στην αναβάθμιση της σιδηροδρομικής υποδομής- Αναβάθμιση των προσφερόμενων υπηρεσιών – P3: Έμφαση στην εξωστρέφεια του σιδηροδρομικού συστήματος (δίκτυο TEN-T, διεθνείς συνεργασίες)</p>	<p>– P1: Έμφαση στην οικονομική ανάπτυξη – Εξυγίανση χρέους του ΟΣΕ (25,5) – P2: Έμφαση στην αναβάθμιση της σιδηροδρομικής υποδομής- Αναβάθμιση των προσφερόμενων υπηρεσιών – P3: Έμφαση στην εξωστρέφεια του σιδηροδρομικού συστήματος (δίκτυο TEN-T, διεθνείς συνεργασίες)</p>
S3:	Όλες οι πολιτικές	Όλες οι πολιτικές	Όλες οι πολιτικές

Ποιότητα σιδηροδρομικής υποδομής: Βελτιωμένη – Χωρητικότητα σιδηροδρομικού δικτύου: Βελτιωμένη – Διαλειτουργικότητα δικτύου: Βελτιωμένη – Επενδύσεις: Μέτριο επίπεδο – Διασύνδεση με το δίκτυο TEN-T: Βελτιωμένη – Ασφάλεια δικτύου: Βελτιωμένη – Συσσωρευμένο χρέος ΟΣΕ: Προβληματικό	έχουν την ίδια επίδοση	έχουν την ίδια επίδοση	έχουν την ίδια επίδοση
---	------------------------	------------------------	------------------------

Η ιεράρχηση των πολιτικών ανά σενάριο παρουσιάζει διαφοροποιήσεις ανάλογα με το μοντέλο πολυκριτηριακής αξιολόγησης που χρησιμοποιείται, εκτός από την περίπτωση του τρίτου σεναρίου (σενάριο S3) για το οποίο οι επιδόσεις των πολιτικών είναι οι ίδιες και για τα τρία μοντέλα. Όσον αφορά στο σενάριο S1, και τα τρία μοντέλα προκρίνουν ως καλύτερη για την υλοποίησή του την πολιτική P2. Ακολουθούν οι πολιτικές P1 και P3 οι οποίες, στην περίπτωση της προσέγγισης που χρησιμοποιεί τραπεζοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής, ισοψηφούν στη δεύτερη θέση ενώ, στην περίπτωση της προσέγγισης που χρησιμοποιεί τριγωνοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής καταλαμβάνουν τη δεύτερη και την τρίτη θέση αντίστοιχα. Στην περίπτωση του μοντέλου Multipol, καταλαμβάνουν αντίστοιχα την τρίτη και τη δεύτερη θέση. Για το σενάριο S2 και για την προσέγγιση που χρησιμοποιεί τραπεζοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής, οι πολιτικές P1 και P2 ισοψηφούν στην πρώτη θέση ενώ η πολιτική P3 έπεται. Για την προσέγγιση που χρησιμοποιεί τριγωνοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής, η πολιτική P1 προηγείται και έπονται κατά σειρά προτεραιότητας οι πολιτικές P2 και P3 ενώ τέλος, για το Multipol μεγαλύτερη επίδοση εμφανίζει η πολιτική P1 και έπονται οι πολιτικές P2 και P3 καταλαμβάνοντας τη δεύτερη και την τρίτη θέση αντίστοιχα.

Όπως και στην περίπτωση της αξιολόγησης των δράσεων ως προς τις πολιτικές, τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την προσέγγιση που χρησιμοποιεί τριγωνοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής πλησιάζουν περισσότερο αυτά του Multipol

ενώ, τα αποτελέσματα που δίνει η προσέγγιση που χρησιμοποιεί τραπεζοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής διαφοροποιούνται, όχι όμως σε σημαντικό βαθμό. Το γεγονός αυτό είναι αναμενόμενο λόγω του διαφορετικού τύπου συναρτήσεων συμμετοχής που χρησιμοποιούν οι δύο προσεγγίσεις στο στάδιο της ασαφοποίησης.

Τέλος, η γενική ιεράρχηση των πολιτικών ως προς τα σενάρια όπως αυτή διαμορφώνεται στη βάση του μέσου όρου και της τυπικής απόκλισης κάθε πολιτικής παρουσιάζεται στον Πίνακα 9-23:

Πίνακας 9-23: Ανάπτυξη σιδηροδρομικών μεταφορών - Γενική ιεράρχηση πολιτικών βάσει του μέσου όρου και της τυπικής απόκλισης για το σύνολο των σεναρίων

Γενική ιεράρχηση πολιτικών (Τραπεζοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής)	Γενική ιεράρχηση πολιτικών (Τριγωνοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής)	Γενική ιεράρχηση πολιτικών (Multipol)
<ul style="list-style-type: none"> - P2: Έμφαση στην αναβάθμιση της σιδηροδρομικής υποδομής – Αναβάθμιση των προσφερόμενων υπηρεσιών (25,59) - P1: Έμφαση στην οικονομική ανάπτυξη – Εξυγίανση χρέους του ΟΣΕ - P3: Έμφαση στην εξωστρέφεια του σιδηροδρομικού συστήματος (δίκτυο TEN-T, διεθνείς συνεργασίες) 	<ul style="list-style-type: none"> - P2: Έμφαση στην αναβάθμιση της σιδηροδρομικής υποδομής – Αναβάθμιση των προσφερόμενων υπηρεσιών (25,85) - P1: Έμφαση στην οικονομική ανάπτυξη – Εξυγίανση χρέους του ΟΣΕ - P3: Έμφαση στην εξωστρέφεια του σιδηροδρομικού συστήματος (δίκτυο TEN-T, διεθνείς συνεργασίες) 	<ul style="list-style-type: none"> - P2: Έμφαση στην αναβάθμιση της σιδηροδρομικής υποδομής – Αναβάθμιση των προσφερόμενων υπηρεσιών (25,3) - P1: Έμφαση στην οικονομική ανάπτυξη – Εξυγίανση χρέους του ΟΣΕ - P3: Έμφαση στην εξωστρέφεια του σιδηροδρομικού συστήματος (δίκτυο TEN-T, διεθνείς συνεργασίες)

Στο σύνολό τους, οι πολιτικές ακολουθούν την ίδια σειρά κατάταξης και για τα δύο μοντέλα (Multipol και FAIDRA Ib) που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση της διαδικασίας της πολυκριτηριακής αξιολόγησης. Ως καλύτερη πολιτική, προκρίνεται η πολιτική P2 που συγκεντρώνει το μεγαλύτερο μέσο όρο και α) τη μικρότερη τυπική απόκλιση όσον αφορά στο Multipol β) τη δεύτερη μικρότερη τυπική απόκλιση όσον αφορά στο υπο-σύστημα ασαφούς συμπερασμού FAIDRA Ib: Policy-Scenario Evaluation. Μία τελευταία παρατήρηση σχετίζεται με τις τυπικές αποκλίσεις, οι οποίες στην περίπτωση της προσέγγισης που χρησιμοποιεί τραπεζοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής είναι μικρότερες από τις αντίστοιχες τυπικές αποκλίσεις που δίνει η προσέγγιση που χρησιμοποιεί τριγωνοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι όταν για την ασαφοποίηση

χρησιμοποιούνται τριγωνοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής, τα όρια μεταξύ των επιδόσεων των πολιτικών ανά σενάριο είναι περισσότερο «άκαμπτα» μεταξύ τους. Επομένως, η προσέγγιση που χρησιμοποιεί τριγωνοειδείς συναρτήσεις, πλησιάζει περισσότερο το μοντέλο Multipol σε σχέση με την αντίστοιχη ασαφή προσέγγιση που χρησιμοποιεί τραπεζοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής.

Όμοια με την περίπτωση της αξιολόγησης Δράσεων-Πολιτικών, υλοποιήθηκε στη συνέχεια η πολυκριτηριακή αξιολόγηση Πολιτικών-Σεναρίων με εφαρμογή του λεκτικού υπολογιστικού μοντέλου FAIDRA II. Επιδόσεις πολιτικών και βάρη σεναρίων εκφράζονται μέσω λεκτικών όρων οι οποίοι αντιστοιχούν σε ασαφείς αριθμούς και ασαφή σύνολα. Υπό αυτή τη λογική, ορίστηκαν ο πίνακας επιπτώσεων Πολιτικών-Κριτηρίων (Πίνακας 9-24) και ο πίνακας βαρών Σεναρίων-Κριτηρίων (Πίνακας 9-25). Στη συνέχεια, μέσω του πολλαπλασιασμού των εν λόγω πινάκων, υλοποιήθηκε η καθεαυτή διαδικασία της πολυκριτηριακής αξιολόγησης Πολιτικών-Σεναρίων και προέκυψαν η ιεράρχηση των πολιτικών ανά σενάριο (ως προς το σύνολο των κριτηρίων αξιολόγησης) και η γενική ιεράρχηση των πολιτικών για το σύνολο των σεναρίων.

Πίνακας 9-24: Πίνακας επιπτώσεων Πολιτικών-Κριτηρίων – Μοντέλο FAIDRA II

Κριτήρια Πολιτικές	K1	K2	K3	K4	K5
P1	Moderate	Moderate	Good	Very Good	Good
P2	Very Good	Good	Good	Very Good	Good
P3	Good	Very Good	Very Good	Good	Good

Πίνακας 9-25: Πίνακας βαρών Σεναρίων-Κριτηρίων – Μοντέλο FAIDRA II

Σενάρια Κριτήρια	S1	S2	S3
K1	Very High Importance	Very High Importance	Very High Importance
K2	Very High Importance	Low Importance	High Importance
K3	Moderate Importance	High Importance	High Importance
K4	High Importance	Moderate Importance	Moderate Importance
K5	Very High Importance	Low Importance	Moderate Importance

Η κλίμακες μέτρησης των επιδόσεων των πολιτικών και των βαρών των κριτηρίων είναι ποιοτικές κλίμακες. Κάθε μία περιλαμβάνει πέντε τιμές, οι οποίες για την περίπτωση των επιδόσεων των πολιτικών κυμαίνονται από την τιμή ‘Very Good’ (Καλύτερη επίδοση) μέχρι την τιμή ‘Very Bad’ (Χειρότερη επίδοση) ενώ για τα βάρη των κριτηρίων κυμαίνονται από την τιμή ‘Very High Importance’ (Μέγιστη

βαρύτητα) μέχρι την τιμή 'Very Low Importance' (Ελάχιστη βαρύτητα). Οι λεκτικές τιμές «μεταφράζονται» στους αντίστοιχους τραπεζοειδείς και τριγωνοειδείς αριθμούς (ασαφή σύνολα) που τις αναπαριστούν και οι πίνακες επιπτώσεων και βαρών πολλαπλασιάζονται μεταξύ τους, δίνοντας ως αποτέλεσμα τον πίνακα Πολιτικών-Σεναρίων όπου βρίσκονται συγκεντρωμένες οι επιδόσεις των πολιτικών ως προς τα σενάρια. Οι ασαφείς αριθμοί και τα ασαφή σύνολα που αναπαριστούν τους λεκτικούς όρους, είναι οι ίδιοι με αυτούς που ορίστηκαν για τα αντίστοιχα ασαφή σύνολα και τις λεκτικές μεταβλητές στην περίπτωση του υπο-συστήματος ασαφούς συμπερασμού FAIDRA Ib: Policy-Scenario Evaluation. Για την περίπτωση των τραπεζοειδών ασαφών αριθμών, οι ασαφείς αριθμοί που αναπαριστούν τις επιδόσεις των πολιτικών ανά λεκτικό όρο είναι οι εξής:

- Very Bad: (0 0 5 20)
- Bad: (5 20 30 45)
- Moderate: (30 45 55 70)
- Good: (55 70 80 95)
- Very Good: (80 95 100 100)

Αντίστοιχα, οι τραπεζοειδείς ασαφείς αριθμοί που αναπαριστούν τη σημαντικότητα (βάρη) των κριτηρίων ανά λεκτικό όρο είναι οι ακόλουθοι:

- Very Low Importance: (0 0 5 20)
- Low Importance: (5 20 30 45)
- Moderate Importance: (30 45 55 70)
- High Importance: (55 70 80 95)
- Very High Importance: (80 95 100 100)

Ομοίως, για την περίπτωση των τριγωνοειδών ασαφών αριθμών, οι ασαφείς αριθμοί που αναπαριστούν τις επιδόσεις των πολιτικών ανά λεκτικό όρο είναι οι εξής:

- Very Bad: (0 0 25)
- Bad: (0 25 50)
- Moderate: (25 50 75)
- Good: (50 75 100)
- Very Good: (75 100 100)

Αντίστοιχα, οι τριγωνοειδείς ασαφείς αριθμοί που αναπαριστούν τα βάρη των κριτηρίων ανά λεκτικό όρο είναι οι ακόλουθοι:

- Very Low Importance: (0 0 25)
- Low Importance: (0 25 50)

- Moderate Importance: (25 50 75)
- High Importance: (50 75 100)
- Very High Importance: (75 100 100)

Ο πολλαπλασιασμός των πινάκων επιπτώσεων και βαρών έγινε στη βάση των όσων ορίζει η ασαφής αριθμητική για τον ασαφή πολλαπλασιασμό και την ασαφή πρόσθεση. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρουσιάζονται στον Πίνακα 9-26, ο οποίος περιλαμβάνει τις επιδόσεις των πολιτικών ως προς τα σενάρια εκφρασμένες μέσω ασαφών τραπεζοειδών αριθμών. Οι πολιτικές ιεραρχούνται ως προς τα σενάρια ανάλογα με τον βαθμό στον οποίο κάθε μία από αυτές «ταιριάζει» στο αντίστοιχο σενάριο.

Πίνακας 9-26: Πίνακας επιδόσεων Πολιτικών-Σεναρίων – Μοντέλο FAIDRA II – Τραπεζοειδείς ασαφείς αριθμοί

	S1	S2	S3
P1	(152,5 183,5 314 391,5)	(68,75 140 194,5 280,75)	(111,25 197,5 262 363,25)
P2	(212,5 321,25 384 451,5)	(110 192,5 247 322)	(165 262,5 327 417)
P3	(206,25 315 379 450,25)	(91,25 173,75 233 319,25)	(165 262,5 328 413)

Προκειμένου οι τιμές του παραπάνω πίνακα να συγκριθούν μεταξύ τους και να προκύψουν οι επιμέρους ιεραρχήσεις των πολιτικών ως προς τα σενάρια ακολούθησε, όπως και στην περίπτωση της αξιολόγησης Δράσεων-Πολιτικών με το σύστημα FAIDRA II, η απο-ασαφοποίηση των ασαφών τιμών. Οι απο-ασαφοποιημένες τιμές που αντιστοιχούν στις επιδόσεις των πολιτικών ως προς τα σενάρια για την περίπτωση των τραπεζοειδών ασαφών αριθμών παρουσιάζονται στον Πίνακα 9-27.

Πίνακας 9-27: Πίνακας επιδόσεων Πολιτικών-Σεναρίων – Μοντέλο FAIDRA II – Τραπεζοειδείς ασαφείς αριθμοί – Απο-ασαφοποιημένες τιμές

Policies / Scenarios	S1	S2	S3	Moy.	Ec. Ty	Number
1 : P1	261,51	171,74	234,24	222,50	37,58	1
2 : P2	340,30	217,51	292,50	283,44	50,54	3
3 : P3	335,80	204,50	291,52	277,27	54,54	2

Ομοίως, τα αντίστοιχα αποτελέσματα που προέκυψαν στην περίπτωση που για την αναπαράσταση των λεκτικών όρων χρησιμοποιήθηκαν τριγωνοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής παρουσιάζονται στους Πίνακες 9-28 και 9-29.

Πίνακας 9-28: Πίνακας επιδόσεων Πολιτικών-Σεναρίων – Μοντέλο FAIDRA II – Τριγωνοειδείς ασαφείς αριθμοί

	S1	S2	S3
P1	(125 287,5 425)	(50 168,75 312,5)	(87,5 231,25 400)
P2	(181,25 362,5 475)	(87,5 225 350)	(137,5 300 450)
P3	(175 356,25 475)	(68,75 206,25 350)	(137,5 300 450)

Πίνακας 9-29: Πίνακας επιδόσεων Πολιτικών-Σεναρίων – Μοντέλο FAIDRA II – Τριγωνοειδείς ασαφείς αριθμοί – Απο-ασαφοποιημένες τιμές

Policies / Scenarios	S1	S2	S3	Μoy.	Ec. Ty	Number
1 : P1	279,17	177,08	239,58	231,94	42,03	1
2 : P2	339,58	220,83	295,83	285,41	49,04	3
3 : P3	335,42	208,33	295,83	279,86	53,10	2

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την αξιολόγηση Πολιτικών-Σεναρίων, «υποδεικνύουν» ως καλύτερη, βάσει του γενικού μέσου όρου, την πολιτική P2 (Έμφαση στην αναβάθμιση της σιδηροδρομικής υποδομής – Αναβάθμιση των προσφερόμενων υπηρεσιών) και για τις δύο προσεγγίσεις – τραπεζοειδείς και τριγωνοειδείς ασαφείς αριθμοί. Η κατανομή των πολιτικών ανά σενάριο παρουσιάζεται στον Πίνακα 9-30.

Πίνακας 9-30: Ιεράρχηση πολιτικών ανά σενάριο – Μοντέλο FAIDRA II

Σενάριο	Ιεράρχηση πολιτικών (Τραπεζοειδείς ασαφείς αριθμοί)	Ιεράρχηση πολιτικών (Τριγωνοειδείς ασαφείς αριθμοί)
S1: Ποιότητα σιδηροδρομικής υποδομής: Βελτιωμένη – Χωρητικότητα σιδηροδρομικού δικτύου: Βελτιωμένη – Διαλειτουργικότητα δικτύου: Βελτιωμένη – Επενδύσεις: Σε ικανοποιητικό επίπεδο – Διασύνδεση με το δίκτυο TEN-T: Βελτιωμένη – Ασφάλεια δικτύου: Βελτιωμένη – Συσσωρευμένο χρέος ΟΣΕ: Μειωμένο	– P2: Έμφαση στην αναβάθμιση της σιδηροδρομικής υποδομής – Αναβάθμιση των προσφερόμενων υπηρεσιών (283,44) – P3: Έμφαση στην εξωστρέφεια του σιδηροδρομικού συστήματος (δίκτυο TEN-T, διεθνείς συνεργασίες) – P1: Έμφαση στην οικονομική ανάπτυξη – Εξυγίανση χρέους του ΟΣΕ	– P2: Έμφαση στην αναβάθμιση της σιδηροδρομικής υποδομής – Αναβάθμιση των προσφερόμενων υπηρεσιών (339,58) – P3: Έμφαση στην εξωστρέφεια του σιδηροδρομικού συστήματος (δίκτυο TEN-T, διεθνείς συνεργασίες) – P1: Έμφαση στην οικονομική ανάπτυξη – Εξυγίανση χρέους του ΟΣΕ

<p>S2: Ποιότητα σιδηροδρομικής υποδομής: Βελτιωμένη – Χωρητικότητα σιδηροδρομικού δικτύου: Βελτιωμένη – Διαλειτουργικότητα δικτύου: Προβληματική – Επενδύσεις: Σε ικανοποιητικό επίπεδο – Διασύνδεση με το δίκτυο TEN-T: Μέτρια – Ασφάλεια δικτύου: Βελτιωμένη – Συσσωρευμένο χρέος ΟΣΕ: Μειωμένο</p>	<ul style="list-style-type: none"> – P2: Έμφαση στην αναβάθμιση της σιδηροδρομικής υποδομής – Αναβάθμιση των προσφερόμενων υπηρεσιών (217,51) – P3: Έμφαση στην εξωστρέφεια του σιδηροδρομικού συστήματος (δίκτυο TEN-T, διεθνείς συνεργασίες) – P1: Έμφαση στην οικονομική ανάπτυξη – Εξυγίανση χρέους του ΟΣΕ 	<ul style="list-style-type: none"> – P2: Έμφαση στην αναβάθμιση της σιδηροδρομικής υποδομής – Αναβάθμιση των προσφερόμενων υπηρεσιών (220,83) – P3: Έμφαση στην εξωστρέφεια του σιδηροδρομικού συστήματος (δίκτυο TEN-T, διεθνείς συνεργασίες) – P1: Έμφαση στην οικονομική ανάπτυξη – Εξυγίανση χρέους του ΟΣΕ
<p>S3: Ποιότητα σιδηροδρομικής υποδομής: Βελτιωμένη – Χωρητικότητα σιδηροδρομικού δικτύου: Βελτιωμένη – Διαλειτουργικότητα δικτύου: Βελτιωμένη – Επενδύσεις: Μέτριο επίπεδο – Διασύνδεση με το δίκτυο TEN-T: Βελτιωμένη – Ασφάλεια δικτύου: Βελτιωμένη – Συσσωρευμένο χρέος ΟΣΕ: Προβληματικό</p>	<ul style="list-style-type: none"> – P2: Έμφαση στην αναβάθμιση της σιδηροδρομικής υποδομής – Αναβάθμιση των προσφερόμενων υπηρεσιών (292,50) – P3: Έμφαση στην εξωστρέφεια του σιδηροδρομικού συστήματος (δίκτυο TEN-T, διεθνείς συνεργασίες) – P1: Έμφαση στην οικονομική ανάπτυξη – Εξυγίανση χρέους του ΟΣΕ 	<ul style="list-style-type: none"> – P2: Έμφαση στην αναβάθμιση της σιδηροδρομικής υποδομής – Αναβάθμιση των προσφερόμενων υπηρεσιών (295,83) – P3: Έμφαση στην εξωστρέφεια του σιδηροδρομικού συστήματος (δίκτυο TEN-T, διεθνείς συνεργασίες) (295,83) – P1: Έμφαση στην οικονομική ανάπτυξη – Εξυγίανση χρέους του ΟΣΕ

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα και των δύο προσεγγίσεων (τραπεζοειδείς και τριγωνοειδείς ασαφείς αριθμοί), η πολιτική P2 είναι αυτή που επικρατεί ως προς την καταλληλότητά της για την υλοποίηση και των τριών προτεινόμενων σεναρίων. Παράλληλα, παρατηρείται ότι για κάθε σενάριο οι πολιτικές ιεραρχούνται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο με κάποιες μικρο-διαφορές ως προς την επίδοση που κάθε μία από αυτές λαμβάνει για το αντίστοιχο σενάριο. Μόνη εξαίρεση αποτελεί η ιεράρχηση των πολιτικών ως προς το σενάριο S3 για την περίπτωση των ασαφών τριγωνοειδών αριθμών. Στην ιεράρχηση αυτή, οι πολιτικές P2 και P3 ισοβαθούν στην πρώτη θέση. Συγκριτικά με τις ταξινομήσεις των πολιτικών ως προς τα σενάρια, όπως αυτές προέκυψαν από την πολυκριτηριακή αξιολόγηση Multipol και την αξιολόγηση με το

υπο-σύστημα ασαφούς συμπερασμού FAIDRA Ib: Policy-Scenario Evaluation, οι ταξινομήσεις των πολιτικών από τη εφαρμογή του FAIDRA II δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφοροποιήσεις ως προς την πολιτική που προκρίνουν ως καλύτερη για την υλοποίηση του κάθε σεναρίου. Η πολιτική P2 βρίσκεται στην πρώτη θέση στις περισσότερες επιμέρους ιεραρχήσεις ανά σενάριο, για το σύνολο των μοντέλων που εφαρμόστηκαν για την υλοποίηση της πολυκριτηριακής αξιολόγησης. Σε ορισμένες ιεραρχήσεις βρίσκεται στη δεύτερη θέση χωρίς όμως μεγάλη διαφορά επίδοσης από αυτήν που καταλαμβάνει την πρώτη θέση. Το FAIDRA II διαφοροποιείται από τα άλλα δύο μοντέλα ως προς την πολιτική που κατατάσσει στην τελευταία θέση των επιμέρους ιεραρχήσεων. Κατά το FAIDRA II η χειρότερη πολιτική, για όλες τις ιεραρχήσεις, είναι η P1. Τα άλλα δύο μοντέλα δίνουν ως χειρότερη πολιτική για την πλειοψηφία των ιεραρχήσεων την πολιτική P3. Οι διαφοροποιήσεις αυτές είναι λογικές δεδομένης της απευθείας χρήσης λεκτικών όρων για την έκφραση εκτιμήσεων στην περίπτωση του μοντέλου FAIDRA II.

Η γενική ιεράρχηση των πολιτικών, και για τις δύο προσεγγίσεις στη βάση του γενικού μέσου όρου που αντιστοιχεί σε κάθε μία από αυτές, παρουσιάζεται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 9-31: Γενική ιεράρχηση πολιτικών – Μοντέλο FAIDRA II

Γενική ιεράρχηση πολιτικών (Τραπεζοειδείς ασαφείς αριθμοί)	Γενική ιεράρχηση πολιτικών (Τριγωνοειδείς ασαφείς αριθμοί)
<ul style="list-style-type: none"> – P2: Έμφαση στην αναβάθμιση της σιδηροδρομικής υποδομής – Αναβάθμιση των προσφερόμενων υπηρεσιών (283,44) – P3: Έμφαση στην εξωστρέφεια του σιδηροδρομικού συστήματος (δίκτυο TEN-T, διεθνείς συνεργασίες) – P1: Έμφαση στην οικονομική ανάπτυξη – Εξυγίανση χρέους του ΟΣΕ 	<ul style="list-style-type: none"> – P2: Έμφαση στην αναβάθμιση της σιδηροδρομικής υποδομής – Αναβάθμιση των προσφερόμενων υπηρεσιών (285,41) – P3: Έμφαση στην εξωστρέφεια του σιδηροδρομικού συστήματος (δίκτυο TEN-T, διεθνείς συνεργασίες) – P1: Έμφαση στην οικονομική ανάπτυξη – Εξυγίανση χρέους του ΟΣΕ

Όπως ήταν αναμενόμενο, ο υψηλότερος γενικός μέσος όρος αντιστοιχεί στην πολιτική P2, γεγονός το οποίο σημαίνει ότι η συγκεκριμένη πολιτική ταιριάζει με το σύνολο των σεναρίων παρά το γεγονός ότι έχει τη δεύτερη υψηλότερη τυπική απόκλιση και για τις δύο προσεγγίσεις. Η χειρότερη πολιτική είναι η P1 (Έμφαση στην οικονομική ανάπτυξη – Εξυγίανση χρέους του ΟΣΕ) ενώ στη μεσαία θέση βρίσκεται η πολιτική P3 (Έμφαση στην εξωστρέφεια του σιδηροδρομικού

συστήματος – δίκτυο TEN-T, διεθνείς συνεργασίες). Ως προς τους μέσους όρους, οι δύο προσεγγίσεις δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφοροποιήσεις. Το ίδιο ισχύει και για τις τυπικές αποκλίσεις, οι οποίες βρίσκονται πολύ «κοντά» μεταξύ τους. Συνεπώς και με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις δύο προσεγγίσεις, δε φαίνεται κάποια προσέγγιση να είναι περισσότερο κατάλληλη από την άλλη για την υλοποίηση της αξιολόγησης Πολιτικών-Σεναρίων καθώς και οι δύο δίνουν σχεδόν πανομοιότυπα αποτελέσματα. Επομένως, τόσο οι τριγωνοειδείς όσο και οι τραπεζοειδείς αριθμοί είναι κατάλληλοι για την υλοποίηση αυτής της αξιολόγησης. Πιθανώς αυτό να συμβαίνει γιατί το πρόβλημα είναι αρκετά απλό, υπό την έννοια ότι δεν εμπλέκεται στους υπολογισμούς αρκετά μεγάλος αριθμός δεδομένων εισόδου.

Συνολικά και σε σχέση με τα αποτελέσματα του Multipol και του ασαφούς υπο-συστήματος FAIDRA Ib: Policy-Scenario Evaluation, τα αποτελέσματα που έδωσε το FAIDRA II δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφοροποιήσεις. Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 9-32.

Πίνακας 9-32: Γενική ιεράρχηση πολιτικών – Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

Multipol	FAIDRA Ia (Τραπεζοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής)	FAIDRA Ia (Τριγωνοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής)	FAIDRA II (Τραπεζοειδείς ασαφείς αριθμοί)	FAIDRA II (Τριγωνοειδείς ασαφείς αριθμοί)
P2	P2	P2	P2	P2
P1	P1	P1	P3	P3
P3	P3	P3	P1	P1

Σε αντίθεση με την περίπτωση της αξιολόγησης Δράσεων-Πολιτικών, η πρώτη θέση είναι σταθερή (πολιτική P2) για το σύνολο των μοντέλων που εφαρμόστηκαν για την πολυκριτηριακή αξιολόγηση Πολιτικών-Σεναρίων. Οι άλλες δύο θέσεις εναλλάσσονται. Για το Multipol και το FAIDRA I, η πολιτική P1 καταλαμβάνει τη δεύτερη θέση και η πολιτική P3 την τρίτη. Αντίθετα, για το μοντέλο FAIDRA II, η πολιτική P1 είναι η χειρότερη καταλαμβάνοντας την τελευταία θέση ενώ, η πολιτική P3 βρίσκεται στη δεύτερη θέση. Τα αποτελέσματα βρίσκονται και πάλι αρκετά «κοντά» μεταξύ τους, γεγονός που επιβεβαιώνει την εγκυρότητα των νέων προτεινόμενων προσεγγίσεων που αξιοποιούν τη λογική της ασάφειας.

Ωστόσο, όπως ήδη αναφέρθηκε, η σύγκριση των αποτελεσμάτων του ασαφούς υπο-συστήματος FAIDRA Ib και του λεκτικού υπολογιστικού μοντέλου FAIDRA II ενσωματώνει την ιδιαιτερότητα του διαφορετικού τύπου δεδομένων που κάθε

σύστημα λαμβάνει ως δεδομένα εισόδου. Το FAIDRA II αξιοποιεί λεκτικούς όρους ενώ το FAIDRA Ib διακριτές τιμές οι οποίες ασαφοποιούνται στη συνέχεια. Στο γεγονός αυτό οφείλονται αρκετές, μικρές μεν υφιστάμενες δε, διαφοροποιήσεις μεταξύ των επιμέρους αποτελεσμάτων.

9.2. Εφαρμογή των Μοντέλων Multipol και FAIDRA I για την Ανάπτυξη του Αγροτικού Τομέα στο Πλαίσιο του Ευρωπαϊκού Προγράμματος AG2020

Στην ενότητα αυτή, παρουσιάζεται η δεύτερη μελέτη περίπτωσης για την οποία υλοποιήθηκε η πολυκριτηριακή αξιολόγηση με την υποστήριξη του μοντέλου Multipol και του συστήματος ασαφούς συμπερασμού FAIDRA I. Αυτή η μελέτη περίπτωσης αφορά στον αγροτικό τομέα και πιο συγκεκριμένα, στη δόμηση και αξιολόγηση δράσεων, σεναρίων και πολιτικών για τη μελλοντική του ανάπτυξη στα πλαίσια των στόχων που έχει θέσει η Ευρωπαϊκή Ένωση για το 2020.

Τα δεδομένα της πολυκριτηριακής αξιολόγησης και η υλοποίησή της στο μοντέλο Multipol συνιστούν αποτελέσματα της ελληνικής μελέτης περίπτωσης που υλοποιήθηκε για το πρόγραμμα “AG2020: Foresight Analysis for World Agricultural Markets (2020) and Europe”, στο οποίο συμμετείχε ως partner η επιστημονική ομάδα της Μονάδας Χωρικού Σχεδιασμού και Περιφερειακής Ανάπτυξης του Ε.Μ.Π στο πλαίσιο του 6^{ου} Προγράμματος Πλαισίου (FP6) της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την έρευνα και την καινοτομία.

Πιο συγκεκριμένα, η μελέτη περίπτωσης αφορά στον σχεδιασμό σεναρίων, για την ανάπτυξη του αγροτικού τομέα στην περιοχή του Ηρακλείου Κρήτης, προσαρμοσμένων στους στόχους και στις στρατηγικές κατευθύνσεις που έχει θέσει η Ευρωπαϊκή Ένωση για το 2020. Όπως και στην προηγούμενη μελέτη περίπτωσης, η διαχείριση του προβλήματος έγινε με την υιοθέτηση του συστήματος LIPSOR όπου η πολυκριτηριακή αξιολόγηση Multipol συνιστά το τελευταίο στάδιο εφαρμογής της.

Προηγούνται τα στάδια διερεύνησης των κυρίαρχων μεταβλητών του υπό μελέτη συστήματος (μοντέλο Micmac), εντοπισμού των κυρίαρχων συντελεστών (actors) και μελέτης των πιθανών συγκλίσεων-αποκλίσεων που δύνανται να δημιουργηθούν μεταξύ τους (μοντέλο Mactor), σύνθεσης μελλοντικών εικόνων του συστήματος και εκτίμησης, από ειδικούς, των πιθανοτήτων εμφάνισής τους στο

μέλλον (μοντέλο Smic Prob-Expert) και δόμησης εναλλακτικών σεναρίων μελλοντικής ανάπτυξης του αγροτικού τομέα (μοντέλο Morphol).

Συνοπτικά, περιγράφονται στη συνέχεια τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή κάθε επιμέρους μοντέλου του συστήματος LIPSOR, προκειμένου να αποσαφηνιστεί το ευρύτερο πλαίσιο υλοποίησης της πολυκριτηριακής αξιολόγησης και να παρουσιαστούν μερικά από τα κυριότερα χαρακτηριστικά του υπό μελέτη συστήματος.

Ξεκινώντας από την εφαρμογή του μοντέλου Micmac, μεταξύ των κυρίαρχων μεταβλητών που προέκυψαν από την εφαρμογή της, συγκαταλέγονται και οι ακόλουθες (Stratigea et al., 2008):

- Αγροτικός πληθυσμός,
- μορφωτικό επίπεδο,
- ζήτηση ποιοτικών αγροτικών προϊόντων (προϊόντα με ονομασία προέλευσης),
- τεχνολογία,
- έρευνα και ανάπτυξη, και
- δίκτυα τηλεπικοινωνιών.

Στη συνέχεια, εφαρμόστηκε το μοντέλο Mactor προκειμένου να προσδιοριστούν οι κυρίαρχοι συντελεστές που δραστηριοποιούνται στο υπό μελέτη σύστημα ανάλογα με τις σχέσεις αλληλεπίδρασης που υφίστανται μεταξύ τους, τους μελλοντικούς τους στόχους, τη στάση τους απέναντι στους στόχους που έχουν τεθεί για την ανάπτυξη του αγροτικού τομέα και τις δυνάμεις που διαθέτουν για δράση. Οι κυρίαρχοι συντελεστές που προέκυψαν από την εφαρμογή του μοντέλου, είναι οι ακόλουθοι (Stratigea et al., 2008):

- Κοινωνικές οργανώσεις,
- επιστημονικά σωματεία,
- εμπορικά επιμελητήρια,
- εταιρείες θαλάσσιων μεταφορών,
- αγρότες, και
- εκπρόσωποι τομέα μεταποίησης.

Ακολουθώντας, το μοντέλο Smic Prob-Expert, στη βάση κρίσεων ειδικών και εκτιμήσεων απλών και υπό συνθήκη πιθανοτήτων, έδωσε ως μελλοντικές εικόνες με μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης στο μέλλον τις παρακάτω (Stratigea et al., 2008):

- Καμία από τις αρχικές υποθέσεις που τέθηκαν δεν έχει πραγματοποιηθεί, και το σύστημα παρουσιάζει στο μέλλον την ίδια εικόνα με την εικόνα που παρουσιάζει στο παρόν (πιθανότητα: 0,156).
- Το σύνολο των αρχικών υποθέσεων έχει πραγματοποιηθεί και σύμφωνα με αυτές, η εικόνα που παρουσιάζει το υπό μελέτη σύστημα στο μέλλον συγκεντρώνει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά (πιθανότητα: 0,095):
 - ✓ Οι πολιτικές της Ευρωπαϊκής Ένωσης ευνοούν και ενισχύουν τις προοπτικές ανάπτυξης των αγροτικών περιοχών (H1).
 - ✓ Ο αγροτικός τομέας αξιοποιεί προς όφελός του τις νέες τεχνολογίες, προκειμένου να ενισχυθεί η παραγωγικότητα και η ανταγωνιστικότητά του (H2).
 - ✓ Στην περιοχή μελέτης αναπτύσσονται δραστηριότητες οικότουρισμού (H3).
 - ✓ Ο τομέας των τροφίμων αναπτύσσεται με ταχείς ρυθμούς (H4).
 - ✓ Ο αγροτικός τομέας αξιοποιεί τις Τεχνολογίες Πληροφόρησης και Επικοινωνίας (ΤΠΕ) για τη δικτύωση των επιχειρήσεων, την προώθηση των αγροτικών προϊόντων και τη διάχυση γνώσης και πληροφορίας (H5).
 - ✓ Ο αγροτικός τομέας συμβάλλει στην παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ (ενεργειακές καλλιέργειες, αγροτική βιομάζα) (H6).
- Από το σύνολο των αρχικών υποθέσεων, έχουν πραγματοποιηθεί μόνο δύο και η εικόνα του συστήματος διαμορφώνεται ως εξής (πιθανότητα: 0,088):
 - ✓ Οι πολιτικές της Ευρωπαϊκής Ένωσης ευνοούν και ενισχύουν τις προοπτικές ανάπτυξης των αγροτικών περιοχών (H1).
 - ✓ Στην περιοχή μελέτης αναπτύσσονται δραστηριότητες οικότουρισμού (H3).
 - ✓ Τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του συστήματος παρουσιάζουν την ίδια εικόνα με τη σημερινή.

Τέλος, η εφαρμογή του μοντέλου Morphol που ακολουθεί το Smic Prob-Expert, ολοκληρώθηκε με τη δόμηση εναλλακτικών σεναρίων μελλοντικής ανάπτυξης του αγροτικού τομέα, στη βάση υπο-συστημάτων και των εικόνων που δύνανται να εν λόγω υπο-συστήματα να εμφανίσουν μελλοντικά. Οι συνδυασμοί των εικόνων των επιμέρους υπο-συστημάτων είχαν ως αποτέλεσμα την εξαγωγή ενός

μεγάλου αριθμού σεναρίων, συνοδευόμενα από τις πιθανότητες υλοποίησής τους στο μέλλον, εκ των οποίων ορισμένα επιλέχθηκαν για περαιτέρω επεξεργασία στο μοντέλο Multipol.

Τα επιμέρους υπο-συστήματα που ορίστηκαν στην περίπτωση αυτή είναι (Stratigea et al., 2008):

- Η περιφερειακή ανάπτυξη,
- η τεχνολογία,
- οι Τεχνολογίες Πληροφόρησης και Επικοινωνίας (ΤΠΕ),
- ο τομέας της ενέργειας, και
- η αγροτική ανάπτυξη.

Στη συνέχεια, ακολούθησε η εφαρμογή του μοντέλου Multipol για την πολυκριτηριακή αξιολόγηση δράσεων, πολιτικών και σεναρίων με στόχο τη δόμηση ολοκληρωμένων πακέτων στρατηγικών κατευθύνσεων για τη μελλοντική ανάπτυξη του αγροτικού τομέα και της ευρύτερης περιοχής μελέτης. Όπως και στην περίπτωση των εναλλακτικών σεναρίων για την ανάπτυξη των ελληνικών σιδηροδρόμων, παρουσιάζονται στη συνέχεια τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τη δεύτερη αυτή μελέτη περίπτωσης από την υλοποίηση της πολυκριτηριακής αξιολόγησης στο Multipol, στο ασαφές υπο-σύστημα FAIDRA Ia: Action-Policy Evaluation και στο ασαφές υπο-σύστημα FAIDRA Ib: Policy-Scenario Evaluation.

9.2.1. Αξιολόγηση Δράσεων-Πολιτικών στο AG2020

Για την αξιολόγηση των δράσεων ως προς τις πολιτικές, χρησιμοποιήθηκαν εννέα συνολικά κριτήρια αξιολόγησης (βλ.πίνακα που ακολουθεί) τα οποία αντανακλούν τις διαφορετικές οπτικές του κύριου στόχου που τίθεται αρχικά. Ο στόχος αφορά στην ανάπτυξη του αγροτικού τομέα στην περιοχή του Ηρακλείου της Κρήτης, στα πλαίσια της ευρύτερης μελλοντικής ανάπτυξης της εν λόγω περιοχής. Επίσης, ορίστηκαν δεκατρείς δράσεις και τέσσερις πολιτικές (βλ.πίνακα που ακολουθεί). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι σε αντίθεση με την πρώτη μελέτη περίπτωσης, στη μελέτη περίπτωσης που παρουσιάζεται εδώ, οι πολλαπλές δράσεις ομαδοποιούνται ανά πολιτική και εκφράζουν ένα μεγαλύτερο επίπεδο λεπτομέρειας. Παράλληλα, δομήθηκαν οι πίνακες επιπτώσεων Δράσεων-Κριτηρίων και βαρών Πολιτικών-Κριτηρίων, οι οποίοι περιλαμβάνουν τις επιδόσεις των δράσεων ως προς

κάθε κριτήριο αξιολόγησης και τα βάρη των κριτηρίων ως προς το περιεχόμενο κάθε πολιτικής.

Δράσεις, πολιτικές, κριτήρια αξιολόγησης και πίνακες επιπτώσεων και βαρών συνιστούν τα δεδομένα εισόδου στο μοντέλο Multirol για την υλοποίηση της πολυκριτηριακής αξιολόγησης και παρουσιάζονται αναλυτικά στους πίνακες που ακολουθούν (Stratigea et al., 2008):

Κριτήρια αξιολόγησης:

α/α	Short Label	Long Label
1	K1	Χρήση φυτοφαρμάκων – Μόλυνση υδατικών πόρων
2	K2	Βιοποικιλότητα / Ποιότητα τοπίου
3	K3	Προσβασιμότητα
4	K4	Πολυλειτουργικός ρόλος του αγροτικού τομέα
5	K5	Ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας
6	K6	Κοινωνική ενσωμάτωση
7	K7	Παραγωγή ενέργειας (ΑΠΕ) από τον αγροτικό τομέα
8	K8	Ανάπτυξη βιολογικής κτηνοτροφίας
9	K9	Πιστοποίηση ποιότητας προϊόντων από την εμπορική ετικέτα

Δράσεις:

α/α	Short Label	Long Label
1	A1	Υιοθέτηση καινοτομίας στο επίπεδο των παραγόμενων προϊόντων
2	A2	Υιοθέτηση καινοτομίας στο επίπεδο των εφαρμοζόμενων καλλιεργητικών πρακτικών
3	A3	Αναδιάρθρωση της δομής της αγροτικής γης
4	A4	Αναβάθμιση υποδομών που εξυπηρετούν τον αγροτικό τομέα (υποδομές άρδευσης, δίκτυο πρόσβασης στις καλλιέργειες, κ.λπ.)
5	A5	Έμφαση στην παραγωγή ποιοτικών αγροτικών προϊόντων
6	A6	e-Learning-Διάχυση πληροφορίας-Αναβάθμιση της υπάρχουσας γνώσης και των δεξιοτήτων
7	A7	Προώθηση αγροτικών προϊόντων
8	A8	Δικτύωση αγροτικών επιχειρήσεων και δημιουργία ευρύτερων επιχειρηματικών αλυσίδων
9	A9	Ανάπτυξη αγροτουρισμού
10	A10	Ανάπτυξη αγροτικών δραστηριοτήτων για την παραγωγή ενέργειας (ενεργειακές καλλιέργειες)
11	A11	Αξιοποίηση βιομάζας αγροτικού τομέα για την παραγωγή ενέργειας
12	A12	Καθορισμός χρήσεων γης – Προστασία αγροτικής γης από άλλες ανταγωνιστικές δραστηριότητες
13	A13	Υιοθέτηση νέων τεχνολογιών από τον αγροτικό τομέα

 Πολιτικές:

a/a	Short Label	Long Label
1	P1	R&D – Υιοθέτηση καινοτομίας σε επίπεδο παραγόμενων προϊόντων και καλλιεργητικών πρακτικών
2	P2	Αναδιάρθρωση του αγροτικού τομέα
3	P3	Αξιοποίηση ΤΠΕ – Αύξηση αποδοτικότητας αγροτικού τομέα
4	P4	Ενίσχυση πολυλειτουργικότητας της αγροτικής γης

 Πίνακας Επιπτώσεων Δράσεων-Κριτηρίων:

Κριτήρια / Δράσεις	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
A1	5	5	0	0	15	0	15	10	8
A2	17	5	0	5	20	5	15	15	10
A3	10	5	10	5	18	8	10	10	0
A4	0	10	15	10	15	10	10	10	0
A5	18	15	0	8	18	10	5	20	15
A6	12	8	0	18	18	5	15	15	5
A7	5	5	0	5	15	3	0	15	10
A8	0	0	20	5	20	0	15	10	10
A9	15	15	12	10	15	20	10	10	10
A10	15	18	0	18	18	0	20	0	0
A11	0	5	0	20	18	5	20	10	0
A12	5	20	15	0	10	5	15	10	0
A13	15	5	15	5	20	0	15	18	15

 Πίνακας Βαρών Πολιτικών-Κριτηρίων:

Κριτήρια / Πολιτικές	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	Sum
P1	18	5	0	5	22	7	18	15	10	100
P2	10	8	9	5	12	15	15	16	10	100
P3	7	7	20	13	15	5	10	13	10	100
P4	12	8	12	20	8	15	8	7	10	100

Στη βάση του κοινού τους στοιχείου, που είναι τα κριτήρια αξιολόγησης, οι πίνακες επιπτώσεων Δράσεων-Κριτηρίων και βαρών Πολιτικών-Κριτηρίων πολλαπλασιάζονται μεταξύ τους προκειμένου να υπολογιστούν οι επιδόσεις των δράσεων ως προς τις πολιτικές.

Τα αποτελέσματα που έδωσε το Multipol για την αξιολόγηση Δράσεων-Πολιτικών παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 9-33):

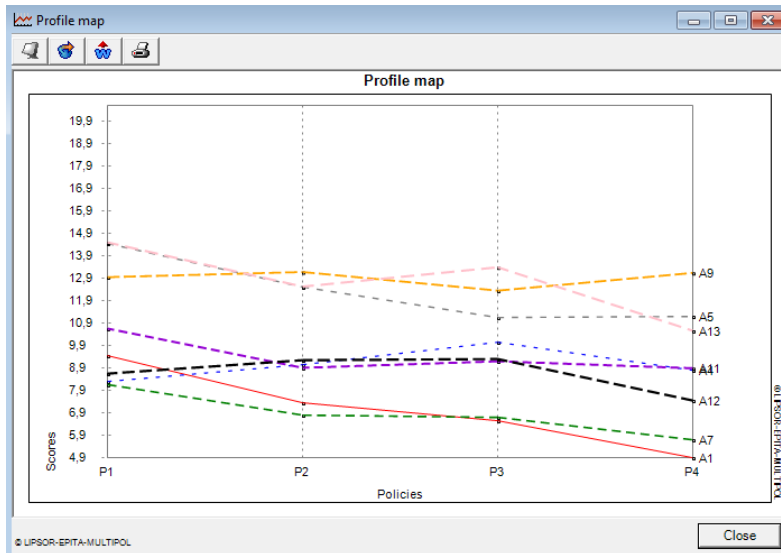
Πίνακας 9-33: AG2020 - Αξιολόγηση Δράσεων-Πολιτικών (Multipol)

Actions / Policies	P1	P2	P3	P4	Moy.	Ec. Ty	Number
1 : A1	9,4	7,3	6,6	4,9	7	1,6	2
2 : A2	14,3	11,1	9,9	9	11	2	9
3 : A3	10,1	9	9,1	7,9	9,1	0,8	4
4 : A4	8,3	9,1	10,1	8,8	9,1	0,7	5
5 : A5	14,4	12,5	11,1	11,2	12,2	1,4	11
6 : A6	13,2	10,8	10,6	10,6	11,3	1,1	10
7 : A7	8,2	6,8	6,7	5,7	6,8	0,9	1
8 : A8	9,9	9,3	11,4	7,9	9,8	1,3	7
9 : A9	12,9	13,2	12,4	13,1	12,9	0,3	13
10 : A10	12,1	9	9,4	9,9	10,1	1,2	8
11 : A11	10,7	8,9	9,2	8,9	9,4	0,7	6
12 : A12	8,6	9,2	9,3	7,4	8,7	0,8	3
13 : A13	14,5	12,5	13,4	10,6	12,8	1,5	12

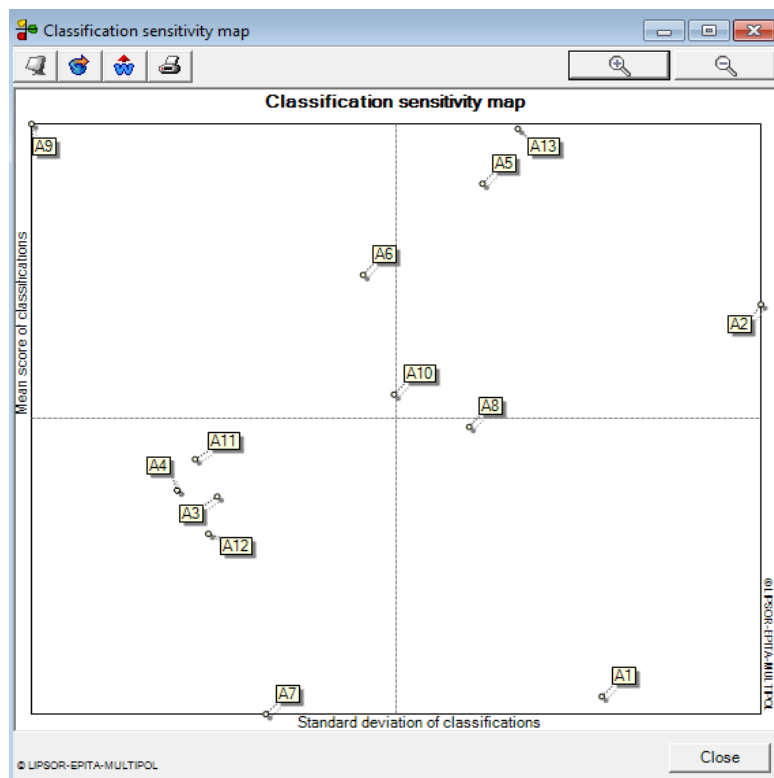
Όπως προκύπτει, σύμφωνα με τους μέσους όρους και τις τυπικές αποκλίσεις των δράσεων, η καλύτερη δράση για το σύνολο των πολιτικών είναι η δράση A9 (Ανάπτυξη αγροτουρισμού). Η δράση αυτή έχει τον μεγαλύτερο μέσο όρο (12,9) και τη μικρότερη τυπική απόκλιση (0,3). Αντίστοιχα και ανά πολιτική, για την πολιτική P1 (R&D – Υιοθέτηση καινοτομίας σε επίπεδο παραγόμενων προϊόντων και καλλιεργητικών πρακτικών) καλύτερη δράση είναι η A13 (Υιοθέτηση νέων τεχνολογιών από τον αγροτικό τομέα), για την πολιτική P2 (Αναδιάρθρωση αγροτικού τομέα) καλύτερη δράση είναι η A9 (Ανάπτυξη αγροτουρισμού), για την πολιτική P3 (Αξιοποίηση ΤΠΕ – Αύξηση αποδοτικότητας αγροτικού τομέα) καλύτερη δράση είναι η A13 (Υιοθέτηση νέων τεχνολογιών από τον αγροτικό τομέα) και τέλος, για την πολιτική P4 (Ενίσχυση πολυλειτουργικότητας της αγροτικής γης) καλύτερη δράση είναι η A9 (Ανάπτυξη αγροτουρισμού). Για τις δύο από τις τέσσερις πολιτικές (P2 και P4), η καλύτερη δράση είναι η A9 (η δράση με τον υψηλότερο μέσο όρο και τη μικρότερη τυπική απόκλιση για το σύνολο των πολιτικών) ενώ, για τις υπόλοιπες δύο πολιτικές (P1 και P3) η καλύτερη δράση είναι η A13, η δράση με τον δεύτερο υψηλότερο μέσο όρο που έχει όμως, συγκριτικά με τις υπόλοιπες, αρκετά υψηλή τυπική απόκλιση.

Τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα παρουσιάζονται οπτικοποιημένα σε έναν *Χάρτη Προφίλ (Profile Map) Δράσεων-Πολιτικών* (Σχήμα 9-12), σε έναν *Χάρτη Ταξινόμησης Ευαισθησίας (Classification Sensitivity Map) Δράσεων* (Σχήμα 9-13), όπου οι δράσεις βρίσκονται καταναμημένες στον χώρο ανάλογα με τους μέσους

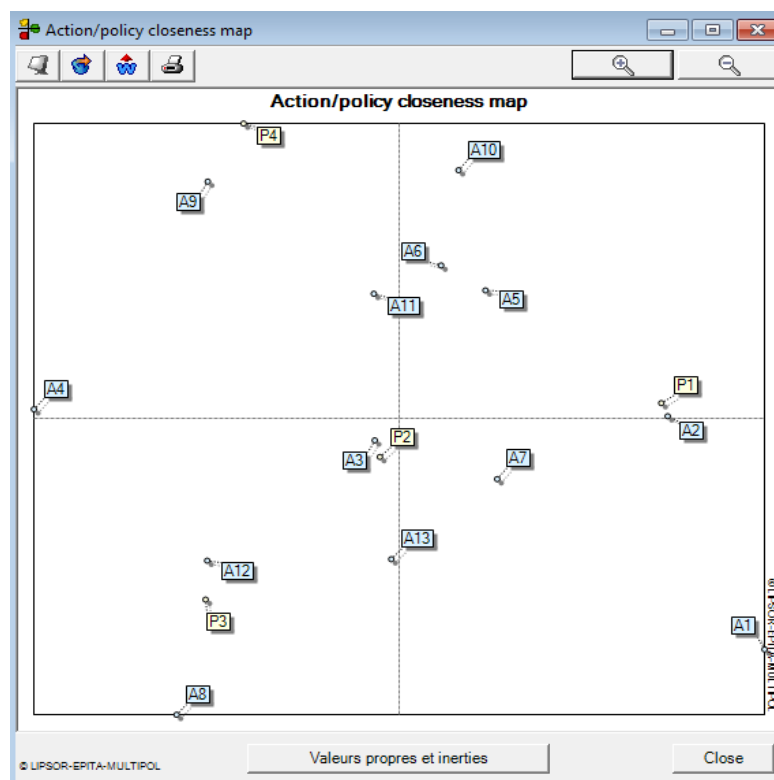
όρους και τις τυπικές τους αποκλίσεις και σε έναν *Χάρτη Εγγύτητας Δράσεων-Πολιτικών* (Action / Policy Closeness Map) (Σχήμα 9-14), όπου δράσεις και πολιτικές βρίσκονται κατανεμημένες στον χώρο ανάλογα με το πόσο «ταιριάζουν» μεταξύ τους. Όσο πιο κοντά βρίσκεται μία δράση σε μία πολιτική, τόσο περισσότερο «ταιριάζει» η συγκεκριμένη δράση στην αντίστοιχη πολιτική.



Σχήμα 9-12: AG2020 - Χάρτης Προφίλ Δράσεων-Πολιτικών



Σχήμα 9-13: AG2020 - Χάρτης Ευαισθησίας Δράσεων



Σχήμα 9-14: AG2020 - Χάρτης Εγγύτητας Δράσεων-Πολιτικών

Σύμφωνα με τον Χάρτη Εγγύτητας Δράσεων-Πολιτικών, οι δράσεις ομαδοποιούνται ως προς τις πολιτικές ανάλογα με τη μεταξύ τους απόσταση (Πίνακας 9-34). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι εκτός από τις δράσεις που «ταιριάζουν» ξεκάθαρα σε μία πολιτική, υπάρχουν δράσεις που ταιριάζουν στον ίδιο περίπου βαθμό σε περισσότερες της μίας πολιτικές, δράσεις για παράδειγμα που βρίσκονται στο μέσον της απόστασης μεταξύ δύο πολιτικών όπως οι δράσεις A5 και A6 στην περίπτωση των πολιτικών P1 και P4.

Αυτό το φαινόμενο ήταν λιγότερο εμφανές στην πρώτη μελέτη περίπτωσης καθώς ο αριθμός των δράσεων ήταν σαφώς μικρότερος, γεγονός που επέτρεψε τη δημιουργία μίας περισσότερο ξεκάθαρης εικόνας σχετικά με το ποιά δράση «ταιριάζει» περισσότερο σε κάποια πολιτική.

Πίνακας 9-34: AG2020 - Ομαδοποίηση δράσεων-πολιτικών

Πολιτική	Ομαδοποίηση δράσεων
P1: R&D – Υιοθέτηση καινοτομίας σε επίπεδο παραγόμενων προϊόντων και καλλιεργητικών πρακτικών	A1: Υιοθέτηση καινοτομίας στο επίπεδο των παραγόμενων προϊόντων. A2: Υιοθέτηση καινοτομίας στο επίπεδο των εφαρμοζόμενων καλλιεργητικών πρακτικών. A5: Έμφαση στην παραγωγή ποιοτικών

	<p>αγροτικών προϊόντων</p> <p>A6: e-Learning-Διάχυση πληροφορίας-Αναβάθμιση της υπάρχουσας γνώσης και των δεξιοτήτων</p> <p>A7: Προώθηση αγροτικών προϊόντων</p> <p>A13: Υιοθέτηση νέων τεχνολογιών από τον αγροτικό τομέα</p>
<p>P2: Αναδιάρθρωση του αγροτικού τομέα</p>	<p>A3: Αναδιάρθρωση της δομής της αγροτικής γης</p> <p>A4: Αναβάθμιση υποδομών που εξυπηρετούν τον αγροτικό τομέα (υποδομές άρδευσης, δίκτυο πρόσβασης στις καλλιέργειες, κ.λπ.)</p> <p>A5: Έμφαση στην παραγωγή ποιοτικών αγροτικών προϊόντων</p> <p>A6: e-Learning-Διάχυση πληροφορίας-Αναβάθμιση της υπάρχουσας γνώσης και των δεξιοτήτων</p> <p>A7: Προώθηση αγροτικών προϊόντων</p> <p>A11: Αξιοποίηση βιομάζας αγροτικού τομέα για την παραγωγή ενέργειας</p> <p>A13: Υιοθέτηση νέων τεχνολογιών από τον αγροτικό τομέα</p>
<p>P3: Αξιοποίηση ΤΠΕ – Αύξηση αποδοτικότητας αγροτικού τομέα</p>	<p>A3: Αναδιάρθρωση της δομής της αγροτικής γης</p> <p>A4: Αναβάθμιση υποδομών που εξυπηρετούν τον αγροτικό τομέα (υποδομές άρδευσης, δίκτυο πρόσβασης στις καλλιέργειες, κ.λπ.)</p> <p>A8: Δικτύωση αγροτικών επιχειρήσεων και δημιουργία ευρύτερων επιχειρηματικών αλυσίδων</p> <p>A12: Καθορισμός χρήσεων γης – Προστασία αγροτικής γης από άλλες ανταγωνιστικές δραστηριότητες</p> <p>A13: Υιοθέτηση νέων τεχνολογιών από τον αγροτικό τομέα</p>
<p>P4: Ενίσχυση πολυλειτουργικότητας της αγροτικής γης</p>	<p>A5: Έμφαση στην παραγωγή ποιοτικών αγροτικών προϊόντων</p> <p>A6: e-Learning-Διάχυση πληροφορίας-Αναβάθμιση της υπάρχουσας γνώσης και των δεξιοτήτων</p> <p>A9: Ανάπτυξη αγροτουρισμού</p> <p>A10: Ανάπτυξη αγροτικών δραστηριοτήτων για την παραγωγή ενέργειας (ενεργειακές καλλιέργειες)</p> <p>A11: Αξιοποίηση βιομάζας αγροτικού τομέα για την παραγωγή ενέργειας</p>

Η γενική ταξινόμηση / ιεράρχηση των δράσεων ως προς τους μέσους όρους και τις τυπικές τους αποκλίσεις διαμορφώνεται ως εξής:

- A9: Ανάπτυξη αγροτουρισμού.

- A13: Υιοθέτηση νέων τεχνολογιών από τον αγροτικό τομέα.
- A5: Έμφαση στην παραγωγή ποιοτικών αγροτικών προϊόντων.
- A6: e-Learning / Διάχυση πληροφορίας / Αναβάθμιση της υπάρχουσας γνώσης και των δεξιοτήτων.
- A2: Υιοθέτηση καινοτομίας στο επίπεδο των εφαρμοζόμενων καλλιεργητικών πρακτικών.
- A10: Ανάπτυξη αγροτικών δραστηριοτήτων για την παραγωγή ενέργειας (ενεργειακές καλλιέργειες).
- A8: Δικτύωση αγροτικών επιχειρήσεων και δημιουργία ευρύτερων επιχειρηματικών αλυσίδων.
- A11: Αξιοποίηση βιομάζας αγροτικού τομέα για την παραγωγή ενέργειας.
- A4: Αναβάθμιση υποδομών που εξυπηρετούν τον αγροτικό τομέα (υποδομές άρδευσης, δίκτυο πρόσβασης στις καλλιέργειες κ.λπ.).
- A3: Αναδιάρθρωση της δομής της αγροτικής γης.
- A12: Καθορισμός χρήσεων γης / Προστασία αγροτικής γης από άλλες ανταγωνιστικές δραστηριότητες.
- A1: Υιοθέτηση καινοτομίας στο επίπεδο των παραγόμενων προϊόντων.
- A7: Προώθηση αγροτικών προϊόντων.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της αξιολόγησης Δράσεων-Πολιτικών όπως αυτά προέκυψαν από το υπο-σύστημα FAIDRA Ia: Action-Policy Evaluation. Τα δεδομένα εισόδου στο υπο-σύστημα ασαφούς συμπερασμού είναι η επίπτωση μίας δράσης ως προς ένα κριτήριο αξιολόγησης και το βάρος του αντίστοιχου κριτηρίου.

Η επεξεργασία των δεδομένων δίνει ως αποτέλεσμα την επίδοση κάθε δράσης ως προς κάθε πολιτική ανά κριτήριο αξιολόγησης. Ακολούθως υπολογίστηκαν η επίδοση κάθε δράσης ως προς κάθε πολιτική για το σύνολο των κριτηρίων αξιολόγησης, η συνολική επίδοση κάθε δράσης για το σύνολο των πολιτικών ως γενικός μέσος όρος και οι τυπικές αποκλίσεις που αντιστοιχούν στους γενικούς μέσους όρους των δράσεων.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται συνολικά, και για τις δύο προσεγγίσεις του υπο-συστήματος ασαφούς συμπερασμού FAIDRA Ia: Action-Policy Evaluation (τραπεζοειδείς και τριγωνοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής), στους δύο πίνακες που ακολουθούν.

Πίνακας 9-35: AG2020 - Αξιολόγηση Δράσεων-Πολιτικών (Υπο-σύστημα Ασαφούς Συμπερασμού FAIDRA Ia: Action-Policy Evaluation – Τραπεζοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής)

Actions / Policies	P1	P2	P3	P4	Moy.	Ec. Ty	Number
1 : A1	6,11	6,11	6,11	6,11	6,11	0	4
2 : A2	7,93	7,54	7,61	7,42	7,66	0,192	9
3 : A3	5,92	5,73	5,8	5,63	5,77	0,106	3
4 : A4	6,11	6,11	6,11	6,11	6,11	0	4
5 : A5	8,83	8,49	8,37	8,11	8,45	0,259	11
6 : A6	7,77	7,59	7,85	7,85	7,77	0,106	10
7 : A7	6,11	6,11	6,11	6,11	6,11	0	4
8 : A8	7,22	7,07	7,59	7,03	7,23	0,221	6
9 : A9	7,49	7,77	7,41	7,77	7,61	0,162	8
10 : A10	8,62	8,4	8,46	8,41	8,47	0,088	12
11 : A11	7,51	7,21	7,4	7,41	7,38	0,109	7
12 : A12	6,67	6,78	6,74	6,78	6,74	0,045	5
13 : A13	9,13	8,86	8,9	8,49	8,85	0,229	13

Πίνακας 9-36: AG2020 - Αξιολόγηση Δράσεων-Πολιτικών (Υπο-σύστημα Ασαφούς Συμπερασμού FAIDRA Ia: Action-Policy Evaluation – Τριγωνοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής)

Actions / Policies	P1	P2	P3	P4	Moy.	Ec. Ty	Number
1 : A1	6,11	6,11	6,11	6,11	6,11	0	4
2 : A2	7,87	7,58	7,62	7,51	7,65	0,136	8
3 : A3	5,84	5,71	5,76	5,67	5,75	0,064	3
4 : A4	6,11	6,11	6,11	6,11	6,11	0	4
5 : A5	8,64	8,42	8,36	8,2	8,41	0,158	11
6 : A6	7,8	7,67	7,82	7,82	7,78	0,063	10
7 : A7	6,11	6,11	6,11	6,11	6,11	0	4
8 : A8	7,16	7,13	7,44	7,11	7,21	0,134	6
9 : A9	7,6	7,78	7,56	7,78	7,68	0,101	9
10 : A10	8,6	8,44	8,47	8,44	8,49	0,066	12
11 : A11	7,47	7,27	7,38	7,4	7,38	0,072	7
12 : A12	6,78	6,84	6,82	6,84	6,82	0,024	5
13 : A13	9,02	8,81	8,84	8,6	8,82	0,149	13

Μία πρώτη γενική παρατήρηση σχετίζεται με τις τυπικές αποκλίσεις, οι οποίες είναι όπως και στην πρώτη μελέτη περίπτωσης αρκετά μικρότερες σε σχέση με αυτές που δίνει το μοντέλο Multipol, ιδιαίτως αυτές που προκύπτουν για την προσέγγιση που χρησιμοποιεί τριγωνοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής. Έτσι, τα αποτελέσματα που δίνει το ασαφές υπο-σύστημα FAIDRA Ia: Action-Policy Evaluation φαίνεται να έχουν μεγαλύτερη συνέπεια. Στην περίπτωση του Multipol, παρά το γεγονός ότι η

δράση A9 έχει τον υψηλότερο μέσο όρο στο σύνολο αλλά και την υψηλότερη επίδοση για δύο από τις τέσσερις πολιτικές, στον Χάρτη Εγγύτητας Δράσεων-Πολιτικών βρίσκεται κοντά μόνο στην πολιτική P4. Στην περίπτωση του υποσυστήματος ασαφούς συμπερασμού FAIDRA Ia, η δράση A9 ανήκει μεν στο σύνολο των καλύτερων πολιτικών, έχει όμως αρκετά υψηλή τυπική απόκλιση. Από την άλλη πλευρά, η δράση A13 είναι ξεκάθαρα η καλύτερη δράση και για τις δύο προσεγγίσεις, παρουσιάζοντας και τον υψηλότερο μέσο όρο αλλά και τις μεγαλύτερες επιδόσεις ανά πολιτική.

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τη συγκριτική ανάλυση των αποτελεσμάτων, είναι παρόμοια με αυτά της πρώτης μελέτης περίπτωσης. Αφορούν στην ευελιξία των διαθέσιμων για τη σχεδιαστική ομάδα επιλογών, τόσο κατά τη διαδικασία σύνθεσης των πακέτων πολιτικής για τη μελλοντική ανάπτυξη του υπό μελέτη συστήματος όσο και κατά τη διαδικασία υλοποίησης των εκάστοτε σχεδιαστικών επιλογών.

Επιπρόσθετα, για τη μελέτη περίπτωσης που εξετάζεται εδώ, η ασαφής λογική συνιστά μία καλύτερη επιλογή καθώς:

- Το σύστημα είναι περισσότερο πολύπλοκο,
- είναι απαραίτητη η συμμετοχή μεγαλύτερου αριθμού ειδικών,
- υπάρχει σαφώς μεγαλύτερος αριθμός δράσεων και κριτηρίων αξιολόγησης που καθιστά τη διαδικασία της αξιολόγησης περισσότερο σύνθετη,
- είναι μεγαλύτερη η πιθανότητα να ληφθεί μία λανθασμένη απόφαση η οποία μπορεί να αποτύχει μελλοντικά.

Τα αυστηρά όρια της δίτιμης (crisp) λογικής ενισχύουν την πιθανότητα αποκλεισμού ορισμένων δράσεων οι οποίες δεν είναι τελικά, σύμφωνα με τα όσα προκύπτουν από το υπο-σύστημα ασαφούς συμπερασμού FAIDRA Ia, «κακές» σχεδιαστικές επιλογές ή ακατάλληλες για την υλοποίηση πολιτικών.

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται η γενική ιεράρχηση των δράσεων ανά μοντέλο (Πίνακας 9-37).

Πίνακας 9-37: AG2020 - Γενική ιεράρχηση δράσεων βάσει του μέσου όρου και της τυπικής απόκλισης για το σύνολο των πολιτικών

Γενική ιεράρχηση δράσεων (Τραπεζοειδείς Συναρτήσεις Συμμετοχής)	Γενική ιεράρχηση δράσεων (Τριγωνοειδείς Συναρτήσεις Συμμετοχής)	Γενική ιεράρχηση δράσεων (Multipol)
<ul style="list-style-type: none"> - A13: Υιοθέτηση νέων τεχνολογιών από τον αγροτικό τομέα (8,85) - A10: Ανάπτυξη αγροτικών δραστηριοτήτων για την παραγωγή ενέργειας (ενεργειακές καλλιέργειες) - A5: Έμφαση στην παραγωγή ποιοτικών αγροτικών προϊόντων - A6: e-Learning-Διάχυση πληροφορίας-Αναβάθμιση της υπάρχουσας γνώσης και των δεξιοτήτων - A2: Υιοθέτηση καινοτομίας στο επίπεδο των εφαρμοζόμενων καλλιεργητικών πρακτικών - A9: Ανάπτυξη αγροτουρισμού - A11: Αξιοποίηση βιομάζας αγροτικού τομέα για την παραγωγή ενέργειας - A8: Δικτύωση αγροτικών επιχειρήσεων και δημιουργία ευρύτερων επιχειρηματικών αλυσίδων - A12: Καθορισμός χρήσεων γης – Προστασία αγροτικής γης από άλλες ανταγωνιστικές δραστηριότητες - A1: Υιοθέτηση καινοτομίας στο επίπεδο των παραγόμενων προϊόντων, A4: Αναβάθμιση υποδομών που εξυπηρετούν τον αγροτικό τομέα (υποδομές άρδευσης, δίκτυο πρόσβασης στις καλλιέργειες, κ.λπ.) και 	<ul style="list-style-type: none"> - A13: Υιοθέτηση νέων τεχνολογιών από τον αγροτικό τομέα (8,82) - A10: Ανάπτυξη αγροτικών δραστηριοτήτων για την παραγωγή ενέργειας (ενεργειακές καλλιέργειες) - A5: Έμφαση στην παραγωγή ποιοτικών αγροτικών προϊόντων - A6: e-Learning-Διάχυση πληροφορίας-Αναβάθμιση της υπάρχουσας γνώσης και των δεξιοτήτων - A9: Ανάπτυξη αγροτουρισμού - A2: Υιοθέτηση καινοτομίας στο επίπεδο των εφαρμοζόμενων καλλιεργητικών πρακτικών - A11: Αξιοποίηση βιομάζας αγροτικού τομέα για την παραγωγή ενέργειας - A8: Δικτύωση αγροτικών επιχειρήσεων και δημιουργία ευρύτερων επιχειρηματικών αλυσίδων - A12: Καθορισμός χρήσεων γης – Προστασία αγροτικής γης από άλλες ανταγωνιστικές δραστηριότητες - A1: Υιοθέτηση καινοτομίας στο επίπεδο των παραγόμενων προϊόντων, A4: Αναβάθμιση υποδομών που εξυπηρετούν τον αγροτικό τομέα (υποδομές άρδευσης, δίκτυο πρόσβασης στις καλλιέργειες, κ.λπ.) και A7: Προώθηση αγροτικών προϊόντων - A3: Αναδιάρθρωση της δομής της αγροτικής γης 	<ul style="list-style-type: none"> - A9: Ανάπτυξη αγροτουρισμού (12,9) - A13: Υιοθέτηση νέων τεχνολογιών από τον αγροτικό τομέα - A5: Έμφαση στην παραγωγή ποιοτικών αγροτικών προϊόντων - A6: e-Learning-Διάχυση πληροφορίας-Αναβάθμιση της υπάρχουσας γνώσης και των δεξιοτήτων - A2: Υιοθέτηση καινοτομίας στο επίπεδο των εφαρμοζόμενων καλλιεργητικών πρακτικών - A10: Ανάπτυξη αγροτικών δραστηριοτήτων για την παραγωγή ενέργειας (ενεργειακές καλλιέργειες) - A8: Δικτύωση αγροτικών επιχειρήσεων και δημιουργία ευρύτερων επιχειρηματικών αλυσίδων - A11: Αξιοποίηση βιομάζας αγροτικού τομέα για την παραγωγή ενέργειας - A4: Αναβάθμιση υποδομών που εξυπηρετούν τον αγροτικό τομέα (υποδομές άρδευσης, δίκτυο πρόσβασης στις καλλιέργειες, κ.λπ.) - A3: Αναδιάρθρωση της δομής της αγροτικής γης - A12: Καθορισμός χρήσεων γης – Προστασία αγροτικής γης από άλλες ανταγωνιστικές δραστηριότητες - A1: Υιοθέτηση καινοτομίας στο επίπεδο των παραγόμενων προϊόντων - A7: Προώθηση αγροτικών

A7: Προώθηση αγροτικών προϊόντων – A3: Αναδιάρθρωση της δομής της αγροτικής γης		προϊόντων
--	--	-----------

Οι ταξινομήσεις που προκύπτουν ως αποτέλεσμα των δύο προσεγγίσεων του υπο-συστήματος ασαφούς συμπερασμού FAIDRA Ia: Action-Policy Evaluation, είναι σχεδόν πανομοιότυπες με εξαίρεση δύο δράσεις (A2 και A9) οι οποίες ιεραρχούνται ανά περίπτωση με μία θέση διαφορά. Ωστόσο, οι δύο αυτές ταξινομήσεις διαφοροποιούνται από αυτήν που προκύπτει από το Multipol καθώς αρκετές από τις δράσεις ιεραρχούνται διαφορετικά.

Σημαντική παρατήρηση συνιστά το γεγονός ότι η δράση A9 που στην περίπτωση του μοντέλου Multipol είναι η καλύτερη, στις ταξινομήσεις / ιεραρχήσεις που αφορούν στο υπο-σύστημα ασαφούς συμπερασμού FAIDRA Ia: Action-Policy Evaluation, βρίσκεται εκτός της πρώτης τριάδας των καλύτερων δράσεων. Η διαφοροποίηση των τριών ιεραρχήσεων σε αυτήν τη μελέτη περίπτωσης είναι μεγαλύτερη σε σχέση με την πρώτη μελέτη περίπτωσης καθώς, τα δεδομένα είναι σαφώς περισσότερα ενώ το πρόβλημα αρκετά πιο σύνθετο. Εν τέλει, η συνολική εικόνα δείχνει ότι παρά τις επιμέρους διαφοροποιήσεις τα αποτελέσματα δε διαφέρουν πολύ μεταξύ τους, γεγονός που επιβεβαιώνει την ορθότητα της νέας προσέγγισης που αξιοποιεί τη λογική της ασάφειας.

9.2.2. Αξιολόγηση Πολιτικών-Σεναρίων στο AG2020

Η παρούσα ενότητα αφορά στην παρουσίαση των αποτελεσμάτων της αξιολόγησης Πολιτικών-Σεναρίων που υλοποιήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος AG2020 με εφαρμογή του μοντέλου Multipol και του υπο-συστήματος ασαφούς συμπερασμού FAIDRA Ib: Policy-Scenario Evaluation.

Αναφορικά με τα δεδομένα εισόδου, τα κριτήρια αξιολόγησης και οι πολιτικές είναι τα ίδια / οι ίδιες με αυτά/ές της αξιολόγησης Δράσεων-Πολιτικών ενώ τα σενάρια ως προς τα οποία αξιολογούνται οι πολιτικές είναι συνολικά τρία. Κριτήρια αξιολόγησης, πολιτικές, σενάρια και πίνακες επιπτώσεων Πολιτικών-Κριτηρίων και βαρών Σεναρίων-Κριτηρίων παρουσιάζονται στους πίνακες που ακολουθούν ([Stratigea et al., 2008](#)):

Κριτήρια αξιολόγησης:

a/a	Short Label	Long Label
1	K1	Χρήση φυτοφαρμάκων – Μόλυνση υδατικών πόρων
2	K2	Βιοποικιλότητα / Ποιότητα τοπίου
3	K3	Προσβασιμότητα
4	K4	Πολυλειτουργικός ρόλος του αγροτικού τομέα
5	K5	Ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας
6	K6	Κοινωνική ενσωμάτωση
7	K7	Παραγωγή ενέργειας (ΑΠΕ) από τον αγροτικό τομέα
8	K8	Ανάπτυξη βιολογικής κτηνοτροφίας
9	K9	Πιστοποίηση ποιότητας προϊόντων από την εμπορική ετικέτα

Πολιτικές:

a/a	Short Label	Long Label
1	P1	R&D – Υιοθέτηση καινοτομίας σε επίπεδο παραγόμενων προϊόντων και καλλιεργητικών πρακτικών
2	P2	Αναδιάρθρωση του αγροτικού τομέα
3	P3	Αξιοποίηση ΤΠΕ – Αύξηση αποδοτικότητας αγροτικού τομέα
4	P4	Ενίσχυση πολυλειτουργικότητας της αγροτικής γης

Σενάρια:

a/a	Short Label	Long Label
1	S1	Έμφαση στην οικονομική ανάπτυξη – Αύξηση της αποδοτικότητας του αγροτικού τομέα
2	S2	Έμφαση στην προστασία του περιβάλλοντος – Ήπιο πρότυπο αγροτικής ανάπτυξης
3	S3	Σενάριο βάσης

Πίνακας Επιπτώσεων Πολιτικών-Κριτηρίων:

Κριτήρια / Πολιτικές	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	Sum
P1	18	5	0	5	22	7	18	15	10	100
P2	10	8	9	5	12	15	15	16	10	100
P3	7	7	20	13	15	5	10	13	10	100
P4	12	8	12	20	8	15	8	7	10	100

Πίνακας Βαρών Σεναρίων-Κριτηρίων:

Σενάρια / Κριτήρια	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	Sum
S1	15	5	5	4	22	6	18	15	10	100
S2	11	14	10	15	12	12	9	12	5	100
S3	8	8	11	8	10	14	12	17	12	100

Η επεξεργασία των παραπάνω δεδομένων από το μοντέλο Multipol έδωσε τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 9-38).

Πίνακας 9-38: AG2020 - Αξιολόγηση Πολιτικών-Σεναρίων (Multipol)

Policies / Scenarios	S1	S2	S3	Moy.	Ec. Ty	Number
1 : P1	14,9	10,8	11,3	12,5	2	4
2 : P2	12,2	10,9	11,9	11,5	0,6	3
3 : P3	11,3	11,1	11,2	11,2	0,1	2
4 : P4	9,8	11,5	10,8	10,7	0,8	1

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Πίνακα 9-38, η καλύτερη πολιτική για το σύνολο των σεναρίων είναι η πολιτική P1 (R&D – Υιοθέτηση καινοτομίας σε επίπεδο παραγόμενων προϊόντων και καλλιεργητικών πρακτικών) με μέσο όρο 12,5. Παρά το γεγονός όμως ότι η συγκεκριμένη πολιτική συγκεντρώνει τον υψηλότερο μέσο όρο, έχει αντίστοιχα και τη μεγαλύτερη τυπική απόκλιση σε σχέση με τις υπόλοιπες.

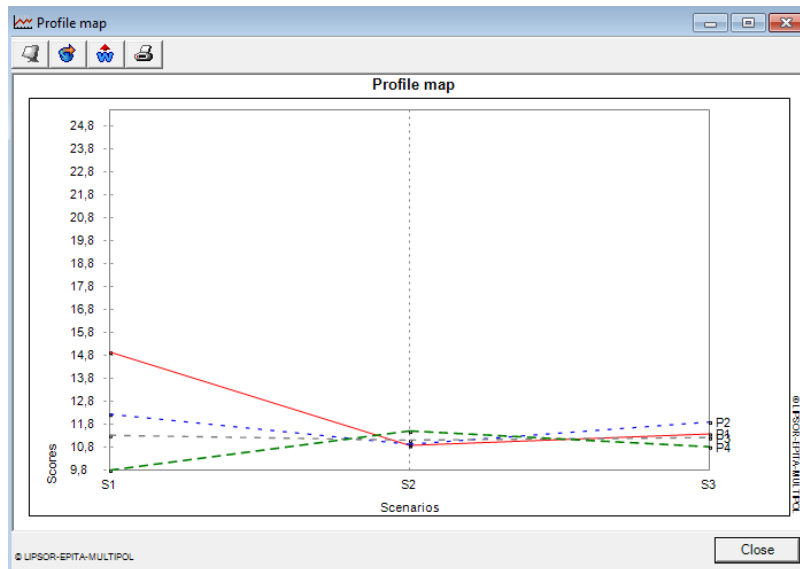
Για το σενάριο S1 (Εμφαση στην οικονομική ανάπτυξη – Αύξηση της αποδοτικότητας του αγροτικού τομέα) καλύτερη πολιτική είναι η P1 (R&D – Υιοθέτηση καινοτομίας σε επίπεδο παραγόμενων προϊόντων και καλλιεργητικών πρακτικών), για το σενάριο S2 (Εμφαση στην προστασία του περιβάλλοντος – Ήπιο πρότυπο αγροτικής ανάπτυξης) καλύτερη πολιτική είναι η P4 (Ενίσχυση της πολυλειτουργικότητας της αγροτικής γης) ενώ για το σενάριο S3 (Σενάριο βάσης) καλύτερη πολιτική είναι η P2 (Αναδιάρθρωση του αγροτικού τομέα). Όσον αφορά στην πολιτική P3 (Αξιοποίηση ΤΠΕ – Αύξηση αποδοτικότητας αγροτικού τομέα), παρά το γεγονός ότι δεν προκρίνεται για κανένα από τα σεναρία, παρουσιάζει τη μικρότερη, συγκριτικά με τις υπόλοιπες, τυπική απόκλιση και «ταιριάζει» στον ίδιο σχεδόν βαθμό με όλα τα σεναρία.

Η γενική ιεράρχηση των πολιτικών στη βάση του μέσου όρου και της τυπικής απόκλισης κάθε μίας από αυτές διαμορφώνεται ως εξής:

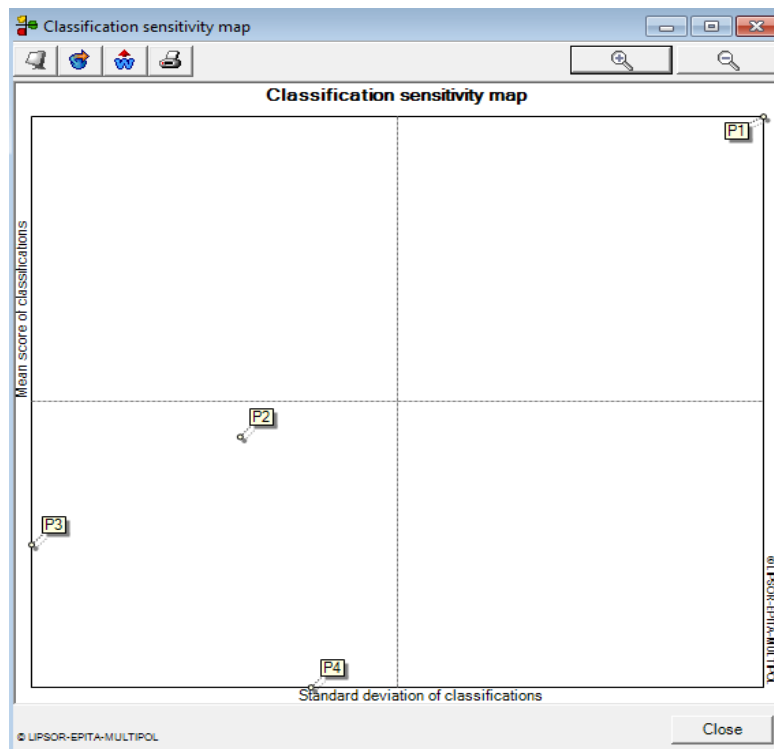
- P1: R&D – Υιοθέτηση καινοτομίας σε επίπεδο παραγόμενων προϊόντων και καλλιεργητικών πρακτικών.
- P2: Αναδιάρθρωση του αγροτικού τομέα.
- P3: Αξιοποίηση ΤΠΕ – Αύξηση αποδοτικότητας αγροτικού τομέα.
- P4: Ενίσχυση της πολυλειτουργικότητας της αγροτικής γης.

Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης Πολιτικών-Σεναρίων παρουσιάζονται οπτικοποιημένα σε έναν *Χάρτη Προφίλ (Profile Map) Πολιτικών-Σεναρίων* (Σχήμα 9-15), σε έναν *Χάρτη Ταξινόμησης Ευαισθησίας Πολιτικών (Classification Sensitivity Map)* (Σχήμα 9-16), όπου οι πολιτικές βρίσκονται κατανεμημένες στον χώρο

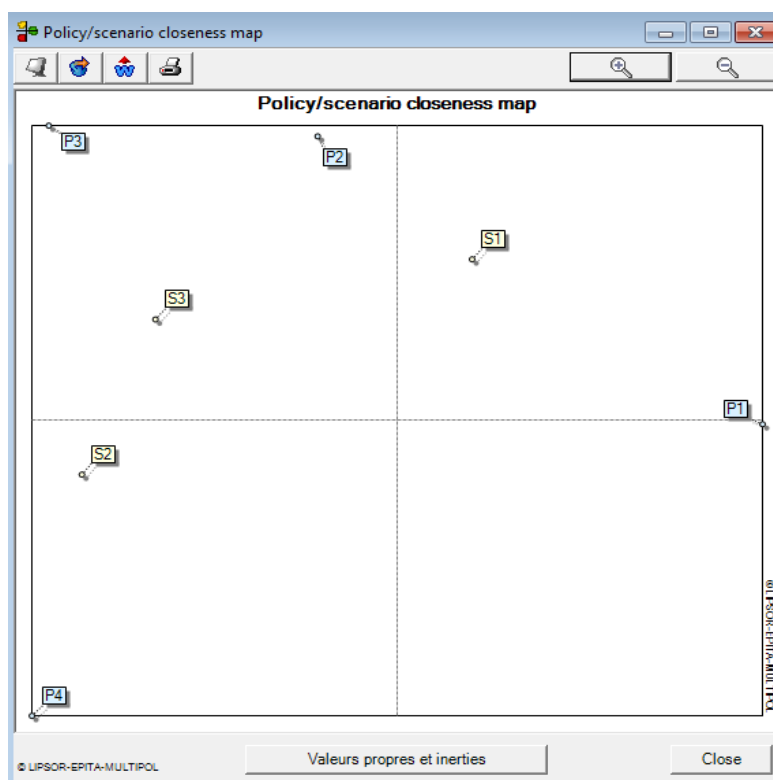
ανάλογα με τον μέσο όρο και την τυπική απόκλιση που αντιστοιχεί σε κάθε μία από αυτές και σε έναν *Χάρτη Εγγύτητας Πολιτικών-Σεναρίων (Policy / Scenario Closeness Map)* (Σχήμα 9-17), όπου πολιτικές και σενάρια βρίσκονται κατανεμημένα στον χώρο ανάλογα με το πόσο «ταιριάζει» κάθε πολιτική σε κάθε σενάριο. Όσο πιο κοντά βρίσκεται μία πολιτική σε ένα σενάριο, τόσο περισσότερο η συγκεκριμένη πολιτική «ταιριάζει» στο εν λόγω σενάριο.



Σχήμα 9-15: AG2020 - Χάρτης Προφίλ Πολιτικών-Σεναρίων



Σχήμα 9-16: AG2020 - Χάρτης Ευαισθησίας Πολιτικών



Σχήμα 9-17: AG2020 - Χάρτης Εγγύτητας Πολιτικών-Σεναρίων

Βάσει του Χάρτη Εγγύτητας Πολιτικών-Σεναρίων, η ομαδοποίηση των πολιτικών ανά σενάριο διαμορφώνεται ως εξής (Πίνακας 9-39):

Πίνακας 9-39: AG2020 - Ομαδοποίηση πολιτικών ως προς κάθε σενάριο

Σενάριο	Ομαδοποίηση πολιτικών
S1: Έμφαση στην οικονομική ανάπτυξη – Αύξηση της αποδοτικότητας του αγροτικού τομέα	P1: R&D – Υιοθέτηση καινοτομίας σε επίπεδο παραγόμενων προϊόντων και καλλιεργητικών πρακτικών P2: Αναδιάρθρωση του αγροτικού τομέα
S2: Έμφαση στην προστασία του περιβάλλοντος – Ήπιο πρότυπο αγροτικής ανάπτυξης	P4: Ενίσχυση πολυλειτουργικότητας της αγροτικής γης
S3: Σενάριο βάσης	P2: Αναδιάρθρωση του αγροτικού τομέα P3: Αξιοποίηση ΤΠΕ – Αύξηση αποδοτικότητας αγροτικού τομέα

Σε δύο από τα τρία σενάρια αντιστοιχούν δύο πολιτικές, γεγονός που σημαίνει ότι η σχεδιαστική ομάδα μπορεί να επιλέξει είτε μία από αυτές είτε και τις δύο προκειμένου να υλοποιηθεί το σενάριο που επιλέγεται ανά περίπτωση.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την πολυκριτηριακή αξιολόγηση Πολιτικών-Σεναρίων στο υπο-σύστημα ασαφούς συμπερασμού FAIDRA Ib: Policy-Scenario Evaluation. Στον Πίνακα 9-40 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσέγγισης που χρησιμοποιεί τραπεζοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής ενώ στον Πίνακα 9-41, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσέγγισης που χρησιμοποιεί τριγωνοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής.

***Πίνακας 9-40:** AG2020 - Αξιολόγηση Πολιτικών-Σεναρίων (Υπο-σύστημα Ασαφούς Συμπερασμού FAIDRA Ib: Policy-Scenario Evaluation – Τραπεζοειδείς Συναρτήσεις Συμμετοχής)*

Policies / Scenarios	S1	S2	S3	Moy.	Ec. Ty	Number
1 : P1	25	25	25	25	0	4
2 : P2	25	25	25	25	0	4
3 : P3	25	25	25	25	0	4
4: P4	25	25	25	25	0	4

***Πίνακας 9-41:** AG2020 - Αξιολόγηση Πολιτικών-Σεναρίων (Υπο-σύστημα Ασαφούς Συμπερασμού FAIDRA Ib: Policy-Scenario Evaluation – Τριγωνοειδείς Συναρτήσεις Συμμετοχής)*

Policies / Scenarios	S1	S2	S3	Moy.	Ec. Ty	Number
1 : P1	25	25	25	25	0	4
2 : P2	25	25	25	25	0	4
3 : P3	25	25	25	25	0	4
4: P4	25	25	25	25	0	4

Όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα, οι δύο προσεγγίσεις δίνουν ακριβώς τα ίδια αποτελέσματα, τόσο όσον αφορά την επίδοση κάθε πολιτικής ως προς κάθε σενάριο ξεχωριστά, όσο και τους μέσους όρους και τις τυπικές τους αποκλίσεις.

Πίνακας 9-42: AG2020 - Γενική ιεράρχηση πολιτικών βάσει του μέσου όρου και της τυπικής απόκλισης για το σύνολο των σεναρίων

Γενική ιεράρχηση πολιτικών (Τραπεζοειδείς Συναρτήσεις Συμμετοχής)	Γενική ιεράρχηση πολιτικών (Τριγωνοειδείς Συναρτήσεις Συμμετοχής)	Γενική ιεράρχηση πολιτικών (Multipol)
Όλες οι πολιτικές έχουν την ίδια επίδοση	Όλες οι πολιτικές έχουν την ίδια επίδοση	<ul style="list-style-type: none"> – P1: R&D – Υιοθέτηση καινοτομίας σε επίπεδο παραγόμενων προϊόντων και καλλιεργητικών πρακτικών (12,5) – P2: Αναδιάρθρωση του αγροτικού τομέα – P3: Αξιοποίηση ΤΠΕ – Αύξηση αποδοτικότητας αγροτικού τομέα – P4: Ενίσχυση πολυλειτουργικότητας της αγροτικής γης

Στον παραπάνω πίνακα, παρουσιάζεται η ιεράρχηση των πολιτικών ως προς τα σεναρία όπως προκύπτει και από τα τρία μοντέλα πολυκριτηριακής αξιολόγησης. Με μία πρώτη ματιά, συνάγεται το συμπέρασμα ότι οι ταξινομήσεις των πολιτικών ως προς τα σεναρία για την περίπτωση του ασαφούς υπο-συστήματος FAIDRA Ib παρουσιάζουν σημαντική διαφοροποίηση σε σχέση με την ιεράρχηση που προκύπτει από το Multipol. Ωστόσο, μία πιο αναλυτική θεώρηση των αποτελεσμάτων δείχνει ότι τα αποτελέσματα δε διαφέρουν σε τόσο σημαντικό βαθμό μεταξύ τους καθώς οι μέσοι όροι των πολιτικών για την περίπτωση του μοντέλου Multipol βρίσκονται πολύ κοντά μεταξύ τους (12,5 – 11,5 – 11,2 – 10,7 για τις πολιτικές P1, P2, P3 και P4 αντίστοιχα).

Επιπλέον, με βάση τα συμπεράσματα που προέκυψαν και για τις άλλες αξιολογήσεις αναφορικά με την τυπική απόκλιση, οι μηδενικές τυπικές αποκλίσεις που προκύπτουν για τα αποτελέσματα του ασαφούς υπο-συστήματος είναι αναμενόμενες καθώς το Multipol δίνει επίσης πολύ μικρές τυπικές αποκλίσεις. Συνεπώς, και σε αυτήν την περίπτωση πολυκριτηριακής αξιολόγησης, τα αποτελέσματα του Multipol και του ασαφούς υπο-συστήματος δε διαφοροποιούνται σε πολύ μεγάλο βαθμό, γεγονός που επικυρώνει την αξιοπιστία των νέων προσεγγίσεων που αξιοποιούν τη λογική της ασάφειας.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΘΕΣΕΩΝ
ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΩΝ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ
ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ**

Το κεφάλαιο αυτό εστιάζει στο ζήτημα της εφαρμογής μεθόδων πολυκριτηριακής αξιολόγησης στο περιβάλλον ενός Συστημάτος Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ). Δεδομένης της έμφασης της παρούσας διατριβής στην πολυκριτηριακή αξιολόγηση και στην υλοποίησή της μέσω διακριτών και ασαφών προσεγγίσεων, ο στόχος του κεφαλαίου είναι η μελέτη του πλαισίου υλοποίησης της πολυκριτηριακής αξιολόγησης με εφαρμογή ασαφών και διακριτών προσεγγίσεων σε περιβάλλον ΣΓΠ. Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών παρέχουν τη δυνατότητα οπτικοποίησης των αποτελεσμάτων της αξιολόγησης και ανάλυσης χωρικών προβλημάτων, με έμφαση στη χωρική διαφοροποίηση της βαρύτητας των κριτηρίων αξιολόγησης και των επιδόσεων των υποψήφιων εναλλακτικών λύσεων. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται μία μελέτη περίπτωσης μέσα από την οποία διερευνάται η επιλογή βέλτιστης θέσης χωροθέτησης ενός τουριστικού κέντρου που εξυπηρετεί ανάγκες αγροτουρισμού και ορεινού τουρισμού στην περιοχή Καστελλίου του νομού Ηρακλείου Κρήτης. Υλοποιείται η διαδικασία της πολυκριτηριακής αξιολόγησης με εφαρμογή τριών διαφορετικών μεθόδων αξιολόγησης (Σταθμική Υπέρθηση, Σταθμική Άθροιση και Ασαφής Υπέρθηση) και αναλύονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν στη βάση των χαρακτηριστικών της κάθε μεθόδου.

Η εφαρμογή της πολυκριτηριακής αξιολόγησης, ως εργαλείου υποστήριξης της διαδικασίας λήψης αποφάσεων στο πλαίσιο χωρικών προβλημάτων, αποτελεί σε συνδυασμό με τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών ένα επιστημονικό πεδίο αιχμής. Αφορά στην αναζήτηση και στην εκίμηση εναλλακτικών λύσεων προβλημάτων που έχουν κάποια χωρική αναφορά. Οι συνήθεις εφαρμογές της σχετίζονται με την καταλληλότητα υποψήφιων θέσεων για τη χωροθέτηση δραστηριοτήτων, στη βάση της χωρικής διαφοροποίησης των κριτηρίων αξιολόγησης αλλά και της χωρικής ετερογένειας των επιπτώσεων των υποψήφιων εναλλακτικών λύσεων. Προφανώς, οι προτεινόμενες εναλλακτικές λύσεις και τα κριτήρια αξιολόγησης έχουν κάποια χωρική αναφορά και ορίζονται στη βάση χωρικών χαρακτηριστικών και σχέσεων όπως η κλίση, η απόσταση, η εγγύτητα, κ.λπ.

Δεδομένου ότι το θεωρητικό υπόβαθρο της χωρικής πολυκριτηριακής ανάλυσης (spatial MCDA) έχει αναπτυχθεί εκτενώς σε προηγούμενο κεφάλαιο, δεν γίνεται περαιτέρω αναφορά στο θεωρητικό πλαίσιο υλοποίησης της διαδικασίας. Στο παρόν κεφάλαιο, δίνεται έμφαση στην παρουσίαση του τεχνικού πλαισίου εντός του οποίου εφαρμόζεται μία διαδικασία χωρικής πολυκριτηριακής αξιολόγησης, μέσα από την παρουσίαση μίας μελέτης περίπτωσης για την αναζήτηση βέλτιστης θέσης χωροθέτησης δραστηριοτήτων στη βάση θεματικών επιπέδων-κριτηρίων. Στο σημείο αυτό υπενθυμίζεται ότι τα βασικά στοιχεία διαφοροποίησης της χωρικής πολυκριτηριακής αξιολόγησης από τις απλές περιπτώσεις προβλημάτων πολυκριτηριακής αξιολόγησης συνίστανται: στη χωρική διάσταση των εναλλακτικών λύσεων που αξιολογούνται, στη χωρική διαφοροποίηση των επιδόσεων των εναλλακτικών και στη χωρική διαφοροποίηση των βαρών των κριτηρίων αξιολόγησης (Malczewski and Rinner, 2015). Οι εν λόγω διαφοροποιήσεις ορίζονται στη βάση των διαφορετικών ιδιοτήτων και χαρακτηριστικών που περιγράφουν τις διάφορες θέσεις στον χώρο (Malczewski and Rinner, 2015). Παράλληλα, μία εναλλακτική λύση ή σενάριο που ενσωματώνει τη χωρική διάσταση περιλαμβάνει δύο θεμελιώδεις παραμέτρους: τη σχεδιαζόμενη δράση / παρέμβαση (τι πρόκειται να γίνει) και τη θέση στον χώρο (πού πρόκειται να λάβει χώρα η εν λόγω παρέμβαση) (Malczewski, 1999; Chakhar and Mousseau 2008; Malczewski and Rinner, 2015).

Η ανάγκη για τη συνδυαστική αξιοποίηση της πολυκριτηριακής αξιολόγησης με τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών έχει ήδη εκφραστεί από τη δεκαετία του 1980. Έκτοτε, ο συγκεκριμένος τομέας έχει εξελιχθεί με ταχύτατους ρυθμούς, ενώ πλέον υπάρχουν ολοκληρωμένα πακέτα ΣΓΠ τα οποία ενσωματώνουν μεθόδους πολυκριτηριακής ανάλυσης και επιτρέπουν τη διεξαγωγή διαδικασιών χωρικής πολυκριτηριακής ανάλυσης. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η εφαρμογή της χωρικής πολυκριτηριακής αξιολόγησης συνίσταται ουσιαστικά σε μία διαδικασία χαρτογραφικής υπέρθεσης (overlay) όπου ένα σύνολο θεματικών επιπέδων (layers), που αναπαριστούν τα κριτήρια αξιολόγησης, συνδυάζονται μεταξύ τους και δίνουν ως τελικό αποτέλεσμα έναν χάρτη στον οποίο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της αξιολόγησης. Για τον λόγο αυτό αναφέρεται συνήθως ως *Ανάλυση Υπέρθεσης* (Overlay Analysis).

Η μελέτη περίπτωσης που παρουσιάζεται στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής υλοποιήθηκε σε περιβάλλον ArcGIS, αξιοποιώντας τις δυνατότητες που προσφέρουν τα εργαλεία *Weighted Overlay*, *Weighted Sum* και *Fuzzy Overlay* της εργαλειοθήκης

Overlay του Spatial Analyst Toolbox. Στόχος της πολυκριτηριακής αξιολόγησης είναι η αναζήτηση της βέλτιστης θέσης για τη χωροθέτηση μίας τουριστικής μονάδας που εξυπηρετεί ανάγκες αγροτουρισμού και ορειβατικού τουρισμού στην περιοχή Καστελλίου του νομού Ηρακλείου Κρήτης. Για τον λόγο αυτό, ορίστηκαν τα επιμέρους θεματικά επίπεδα-κριτήρια στη βάση των οποίων αναζητώνται οι πλέον κατάλληλες θέσεις, οι περιορισμοί που πρέπει να τηρούν καθώς και τα βάρη των θεματικών επιπέδων-κριτηρίων.

Στις ενότητες που ακολουθούν, παρουσιάζονται αναλυτικά οι διαδικασίες δόμησης του προβλήματος, οι διαδικασίες εφαρμογής των τριών επιμέρους αξιολογήσεων, τα αποτελέσματα που προέκυψαν καθώς και μία συγκριτική ανάλυση των εν λόγω αποτελεσμάτων.

10.1. Δόμηση Προβλήματος Χωρικής Πολυκριτηριακής Αξιολόγησης

Η διαδικασία δόμησης ενός προβλήματος χωρικής πολυκριτηριακής αξιολόγησης είναι περίπου η ίδια με αυτή των απλών προβλημάτων πολυκριτηριακής αξιολόγησης. Παρουσιάζει ωστόσο ορισμένες διαφοροποιήσεις, λόγω της χωρικής διάστασης που ενσωματώνουν τα χωρικά προβλήματα. Αφορά σε ένα σύνολο μεθόδων πολυκριτηριακής αξιολόγησης και εφαρμόζεται σε περιπτώσεις: αναζήτησης βέλτιστων θέσεων για τη χωροθέτηση δραστηριοτήτων (optimal site selection) ή δόμησης μοντέλων καταλληλότητας (suitability modeling) ([ESRI, ArcGIS for Desktop](#)). Ολοκληρώνεται μέσα από την εφαρμογή μίας σειράς σταδίων στα οποία περιλαμβάνονται: ο ορισμός του προβλήματος, ο ορισμός των κριτηρίων αξιολόγησης, ο ορισμός των βαρών των κριτηρίων, η επιλογή της μεθόδου πολυκριτηριακής αξιολόγησης και η τελική εκτίμηση των αποτελεσμάτων.

Πιο αναλυτικά, τα επιμέρους στάδια της χωρικής πολυκριτηριακής αξιολόγησης είναι τα ακόλουθα ([ESRI, ArcGIS for Desktop](#)) (Σχήμα 10-1):

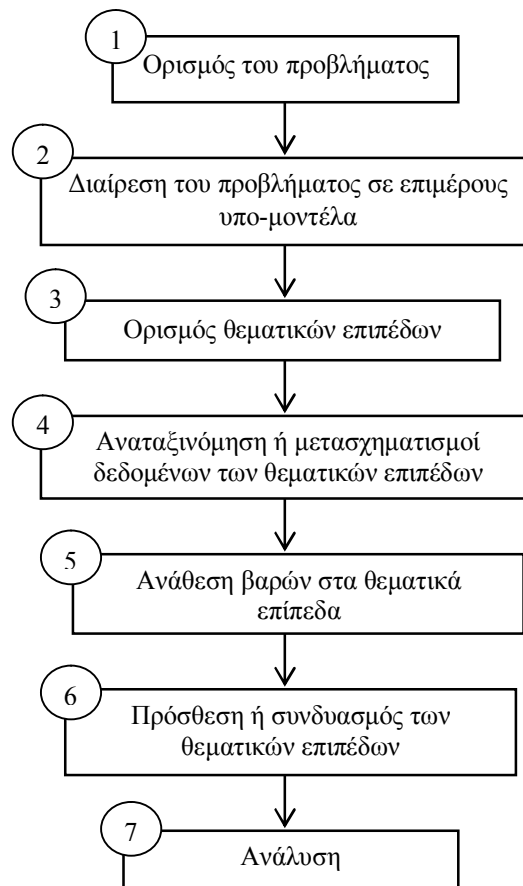
- *Ορισμός προβλήματος (Define the problem)*: Το στάδιο αυτό αφορά στον σαφή καθορισμό του στόχου της αξιολόγησης στη βάση του οποίου υλοποιούνται όλα τα επόμενα στάδια της διαδικασίας. Καθορίζονται οι παράμετροι του προβλήματος, οι προϋποθέσεις που θα

πρέπει να πληροί η προτεινόμενη λύση και οριοθετείται η περιοχή μελέτης.

- *Διαίρεση του προβλήματος σε επιμέρους υπο-μοντέλα (Break the problem into sub-models)*: Στο στάδιο αυτό, το πρόβλημα «επιμερίζεται» σε επιμέρους υπο-μοντέλα προκειμένου να μειωθεί ο βαθμός πολυπλοκότητας που χαρακτηρίζει τη διαδικασία επίλυσής του. Ορίζονται τα απαιτούμενα δεδομένα, η πληροφορία που είναι απαραίτητη για τη διεξαγωγή της χωρικής ανάλυσης και οι προϋποθέσεις που θα πρέπει να πληρούν τα δεδομένα για την περαιτέρω επεξεργασία τους.
- *Ορισμός θεματικών επιπέδων (Determine significant layers)*: Στη συνέχεια ορίζονται τα θεματικά επίπεδα που πρόκειται να συμμετάσχουν στη διαδικασία της χωρικής πολυκριτηριακής ανάλυσης. Τα θεματικά επίπεδα αναπαριστούν τα κριτήρια αξιολόγησης και αντιπροσωπεύουν χωρικές οντότητες και ιδιότητες με κάποια χωρική αναφορά (κλίσεις εδάφους, αποστάσεις, προσανατολισμούς, κ.λπ.). Κάθε θεματικό επίπεδο αντιστοιχεί σε ένα υπο-μοντέλο και συνεισφέρει στην υλοποίηση του στόχου.
- *Αναταξινόμηση ή μετασχηματισμοί δεδομένων των θεματικών επιπέδων (Reclassify or transform the data within a layer)*: Στο στάδιο αυτό, γίνεται η «προετοιμασία» των πρωτογενών δεδομένων προκειμένου να λάβουν την κατάλληλη μορφή που απαιτείται για την επεξεργασία τους στο πλαίσιο υλοποίησης της πολυκριτηριακής ανάλυσης (κοινή κλίμακα μέτρησης, κοινό σύστημα αναφοράς, κοινό μέγεθος ψηφίδας, κ.λπ.).
- *Απόδοση βαρών στα θεματικά επίπεδα (Weight the input layers)*: Σε κάθε θεματικό επίπεδο-κριτήριο αποδίδεται μία τιμή βαρύτητας η οποία υποδεικνύει τη σημαντικότητά του. Τα θεματικά επίπεδα διαφοροποιούνται μεταξύ τους ως προς τη βαρύτητα που ενσωματώνουν στην κατεύθυνση υλοποίησης του στόχου που έχει τεθεί. Ως εκ τούτου, ένα θεματικό επίπεδο μπορεί να συνεισφέρει περισσότερο στην υλοποίηση του στόχου σε σχέση με κάποιο άλλο. Το γεγονός αυτό υποδηλώνεται μέσα από την απόδοση βαρών στα

κριτήρια που τα διαφοροποιούν ως προς την παράμετρο «σημαντικότητα».

- *Πρόσθεση ή συνδυασμός των θεματικών επιπέδων (Add or combine the layers)*: Στο στάδιο αυτό υλοποιείται η καθεαυτή διαδικασία της αξιολόγησης η εφαρμογή της οποίας καταλήγει στην αλληλεπίθεση των θεματικών επιπέδων. Τα θεματικά επίπεδα-κριτήρια συνδυάζονται μεταξύ τους και προκύπτει ένας τελικός χάρτης που περιλαμβάνει τις υπονήφιες θέσεις χωροθέτησης μαζί με τον βαθμό που κάθε μία από αυτές ικανοποιεί τον αρχικό στόχο.
- *Ανάλυση (Analyze)*: Είναι το τελικό στάδιο της διαδικασίας και αφορά στη συνολική θεώρηση των αποτελεσμάτων και στη λήψη της τελικής απόφασης. Αφού γίνει μία συνολική εκτίμηση των προτεινόμενων θέσεων χωροθέτησης, επιλέγεται η πλέον κατάλληλη και ολοκληρώνεται η διαδικασία.



Σχήμα 10-1: Στάδια υλοποίησης της χωρικής πολυκριτηριακής ανάλυσης / Ανάλυσης υπέρθεσης

10.2. Μέθοδοι Χωρικής Πολυκριτηριακής Αξιολόγησης – Ανάλυση Υπέρθεσης

Τα τελευταία χρόνια, όλο και περισσότερα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών ενσωματώνουν μεθόδους πολυκριτηριακής αξιολόγησης προκειμένου να καταστήσουν δυνατή την υλοποίηση διαδικασιών *ανάλυσης υπέρθεσης* (overlay analysis). Στόχος είναι η οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων της πολυκριτηριακής αξιολόγησης και της χωρικής διάστασης φαινομένων και διαδικασιών. Τα τελικά αποτελέσματα παρουσιάζονται συγκεντρωμένα σε έναν χάρτη, ο οποίος προκύπτει από τον συνδυασμό πολλαπλών (σταθμισμένων) θεματικών επιπέδων που συμμετέχουν στη διαδικασία της αξιολόγησης και αναπαριστούν τα διάφορα κριτήρια.

Στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής και για την αξιολόγηση υποψήφιων θέσεων χωροθέτησης μίας τουριστικής μονάδας, χρησιμοποιήθηκε το ΣΓΠ ArcGIS της ESRI και η εργαλειοθήκη Overlay του Spatial Analyst Toolbox. Η συγκεκριμένη εργαλειοθήκη υποστηρίζει την υλοποίηση *ανάλυσης υπέρθεσης*, ενσωματώνοντας μία σειρά μεθόδων πολυκριτηριακής αξιολόγησης. Οι εν λόγω μέθοδοι είναι τρεις στο σύνολό τους, η *Σταθμική Υπέρθεση* (*Weighted Overlay*), η *Σταθμική Άθροιση* (*Weighted Sum*) και η *Ασαφής Υπέρθεση* (*Fuzzy Overlay*). Κάθε μέθοδος ενσωματώνει χαρακτηριστικά που τη διαφοροποιούν από τις υπόλοιπες και διαμορφώνουν το πλαίσιο εφαρμογής της στο εκάστοτε πρόβλημα πολυκριτηριακής αξιολόγησης.

Στις ενότητες που ακολουθούν, παρουσιάζονται συνοπτικά οι παραπάνω μέθοδοι αξιολόγησης, τα βασικά τους χαρακτηριστικά, τα στάδια εφαρμογής τους και τα αποτελέσματα που προκύπτουν ανά περίπτωση.

10.2.1. Σταθμική Υπέρθεση (Weighted Overlay)

Πρόκειται για μία μέθοδο χωρικής πολυκριτηριακής αξιολόγησης η εφαρμογή της οποίας στηρίζεται στην απόδοση αναταξινομημένων τιμών / επιδόσεων (reclassified values) σε κάθε κατηγορία δεδομένων ή σύνολα τιμών που εκπροσωπούν διαφορετικές κατηγορίες δεδομένων στο ίδιο θεματικό επίπεδο (raster αρχείο). Παράλληλα, σε κάθε θεματικό επίπεδο-κριτήριο που συμμετέχει στη

διαδικασία της αξιολόγησης, αποδίδεται μία ποσοστιαία τιμή η οποία εκφράζει το συνολικό βάρος / επιρροή (influence) κάθε θεματικού επιπέδου στη διαδικασία της αξιολόγησης. Οι αναταξινομημένες τιμές (scores) που αποδίδονται στις κατηγορίες δεδομένων που περιλαμβάνει κάθε ψηφιδωτό αρχείο σε συνδυασμό με το συνολικό βάρος κάθε ψηφιδωτού αρχείου, δίνουν την τελική ιεράρχηση των υποψήφιας θέσεων ως προς την καταλληλότητά τους για τη χωροθέτηση της εκάστοτε δραστηριότητας.

Πιο αναλυτικά, η διαδικασία ξεκινά με τον σαφή ορισμό του προβλήματος, τη διαίρεσή του σε επιμέρους υπο-μοντέλα και τον καθορισμό των απαραίτητων θεματικών επιπέδων-κριτηρίων ([ESRI, ArcGIS for Desktop](#)). Στη συνέχεια, ακολουθεί η διαδικασία της αναταξινόμησης (reclassify) των τιμών των ψηφιδωτών επιπέδων (raster αρχεία) στη βάση μίας κοινής κλίμακας αξιολόγησης η οποία εκφράζει την καταλληλότητα, την προτίμηση ή το ρίσκο για κάθε υποψήφια θέση ([ESRI, ArcGIS for Desktop](#)). Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για κάθε θεματικό επίπεδο που συμμετέχει στη διαδικασία της αξιολόγησης. Πρόκειται ουσιαστικά για την απόδοση τιμών που αφορούν σε επιδόσεις κάθε υποψήφιας θέσης που περιλαμβάνεται σε κάθε θεματικό επίπεδο.

Η επίδοση ορίζεται ως προς το θεματικό επίπεδο-κριτήριο. Εάν για παράδειγμα το θεματικό επίπεδο αφορά σε κλίσεις εδάφους και αναζητώνται κατάλληλες θέσεις για την κατασκευή ενός εμπορικού κέντρου, χαμηλές τιμές κλίσεων λαμβάνουν υψηλότερες επιδόσεις και είναι περισσότερο προτιμητέες σε σχέση με αντίστοιχες υψηλές κλίσεις. Επισημαίνεται ότι στην περίπτωση αυτή το κριτήριο είναι η κλίση (θεματικό επίπεδο κλίσεων), οι εναλλακτικές είναι οι διαφορετικές κλίσεις που περιλαμβάνονται σε αυτό το θεματικό επίπεδο και οι αναταξινομημένες τιμές που αποδίδονται με βάση την κλίμακα αξιολόγησης, είναι οι επιδόσεις που αντιστοιχούν σε κάθε κατηγορία κλίσεων.

Το επόμενο στάδιο αφορά στον ορισμό της συνολικής βαρύτητας / επιρροής κάθε θεματικού επιπέδου. Η βαρύτητα αυτή εκφράζεται ως ποσοστό και το άθροισμα των επιμέρους ποσοστών που αντιστοιχούν σε κάθε θεματικό επίπεδο είναι ίσο με 100%. Έτσι κάθε θεματικό επίπεδο-κριτήριο λαμβάνει ένα αντίστοιχο βάρος. Το βάρος κάθε θεματικού επιπέδου πολλαπλασιάζεται με τις αναταξινομημένες τιμές / επιδόσεις που έχουν αποδοθεί σε κάθε κατηγορία δεδομένων που περιλαμβάνει το ψηφιδωτό αρχείο ([ESRI, ArcGIS for Desktop](#)). Τέλος, οι τιμές που προκύπτουν από τον πολλαπλασιασμό των επιμέρους επιδόσεων και βαρών προστίθενται και

προκύπτει το τελικό θεματικό επίπεδο το οποίο περιλαμβάνει τα αποτελέσματα της αξιολόγησης (ESRI, ArcGIS for Desktop).

Οι υποψήφιος θέσεις χωροθέτησης αναπαρίστανται με διαφορετικό χρώμα ανάλογα με την καταλληλότητά τους για χωροθέτηση της εκάστοτε δραστηριότητας ενώ, συνοδεύονται και από μία τιμή μέσω της οποίας η καταλληλότητα για χωροθέτηση εκφράζεται και αριθμητικά. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή, τόσο πιο κατάλληλη είναι η υποψήφια θέση.

Συνοψίζοντας, τα βήματα που απαιτούνται για την υλοποίηση χωρικής πολυκριτηριακής αξιολόγησης με τη μέθοδο της Σταθμικής Υπέρθεσης, περιλαμβάνουν (ESRI, ArcGIS for Desktop):

- Τον ορισμό μίας κλίμακας αξιολόγησης στη βάση της οποίας ανατίθενται οι επιδόσεις των υποψήφιων εναλλακτικών θέσεων κάθε θεματικού επιπέδου. Οι τιμές αυτής της κλίμακας αναπαριστούν ένα εύρος καταλληλότητας. Όσο μεγαλύτερες είναι τόσο αυξάνει ο βαθμός καταλληλότητας.
- Την απόδοση τιμών / επιδόσεων (*scale values*) στις επιμέρους κατηγορίες κάθε θεματικού επιπέδου ανάλογα με τον βαθμό προτίμησής τους για την επίλυση του εκάστοτε προβλήματος.
- Την απόδοση βαρών στα θεματικά επίπεδα προκειμένου αυτά να διαφοροποιηθούν μεταξύ τους ως προς την παράμετρο «σημαντικότητα».
- Την εφαρμογή του αλγόριθμου της Σταθμικής Υπέρθεσης για τον υπολογισμό των αποτελεσμάτων, διαδικασία η οποία περιλαμβάνει τον πολλαπλασιασμό βαρών-αναταξινομημένων τιμών και την άθροιση των επιμέρους γινομένων.

Το τελικό αποτέλεσμα της διαδικασίας συνίσταται σε έναν χάρτη, ο οποίος περιλαμβάνει τις υποψήφιες εναλλακτικές θέσεις χωροθέτησης μαζί με το αντίστοιχο επίπεδο καταλληλότητας κάθε μίας από αυτές. Τα κέντρα λήψης αποφάσεων που συμμετέχουν στη διαδικασία της αξιολόγησης, συνεκτιμούν τα αποτελέσματα και λαμβάνουν την τελική απόφαση επιλέγοντας την πλέον κατάλληλη εναλλακτική θέση.

10.2.2. Σταθμική Άθροιση (Weighted Sum)

Η μέθοδος της Σταθμικής Άθροισης (Weighted Sum) είναι μία εναλλακτική μέθοδος χωρικής πολυκριτηριακής αξιολόγησης την οποία ενσωματώνει το ArcGIS και εμφανίζει αρκετά κοινά σημεία με τη μέθοδο της Σταθμικής Υπέρθεσης (Weighted Overlay). Ωστόσο, η λειτουργία της στηρίζεται στο σταθμικό προσθετικό μοντέλο υλοποιώντας ουσιαστικά μία αθροιστική ανάλυση υπέρθεσης (additive overlay analysis).

Βασική διαφορά της σε σχέση με τη μέθοδο της Σταθμικής Υπέρθεσης συνιστά το γεγονός ότι οι τιμές των ψηφιδωτών αρχείων που συμμετέχουν στην αξιολόγηση δεν αναταξινομούνται κατά τη διεξαγωγή της διαδικασίας της αξιολόγησης (ESRI, ArcGIS for Desktop). Συνιστά προϋπόθεση για την υλοποίηση της διαδικασίας, η πρωθύστερη αναταξινόμηση των τιμών των κατηγοριών δεδομένων που περιλαμβάνονται στα θεματικά επίπεδα. Η απόδοση βαρών στα θεματικά επίπεδα-κριτήρια γίνεται όπως και στην περίπτωση της σταθμικής υπέρθεσης κατά τη διεξαγωγή της διαδικασίας της αξιολόγησης. Αφού οριστούν τα βάρη για κάθε θεματικό επίπεδο-κριτήριο, πολλαπλασιάζονται με τις ήδη αναταξινομημένες τιμές και τα επιμέρους γινόμενα προστίθενται προκειμένου να προκύψει το τελικό αποτέλεσμα (ESRI, ArcGIS for Desktop).

Οι καταλληλότερες περιοχές χωροθέτησης είναι αυτές που συγκεντρώνουν τις υψηλότερες επιδόσεις βάσει των αποτελεσμάτων της αξιολόγησης. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ακριβώς επειδή δε γίνεται αναταξινόμηση (κανονικοποίηση) τιμών και δεν αποδίδονται αριθμητικές τιμές σε κάποια κλίμακα αξιολόγησης, η Σταθμική Άθροιση διαχειρίζεται μόνο ποσοτικά και όχι ποιοτικά δεδομένα. Γι' αυτόν ακριβώς τον λόγο, στις διάφορες κατηγορίες δεδομένων που περιλαμβάνονται στα επιμέρους θεματικά επίπεδα, έχουν ήδη αποδοθεί αριθμητικές τιμές οι οποίες και εκφράζουν την προτίμηση κάποιας κατηγορίας ως προς μία άλλη στο πλαίσιο του προβλήματος που κάθε φορά εξετάζεται.

Το μοντέλο της Σταθμικής Άθροισης προτιμάται σε περιπτώσεις όπου αναζητείται ένα μικρό υποσύνολο βέλτιστων λύσεων (πλέον κατάλληλες θέσεις για τη χωροθέτηση δραστηριοτήτων) ή ένας συγκεκριμένος και συνήθως μικρός αριθμός κατάλληλων θέσεων χωροθέτησης. Επίσης, αξιοποιείται σε περιπτώσεις όπου το αποτέλεσμα της αξιολόγησης πρέπει να είναι ένα «συνεχές» (floating-point) ψηφιδωτό αρχείο, σε περιπτώσεις όπου χρησιμοποιούνται δεκαδικές τιμές για την

απόδοση βαρών στα θεματικά επίπεδα καθώς και στην περίπτωση που είναι επιθυμητή η διατήρηση της αρχική ανάλυσης (resolution) του μοντέλου ([ESRI, ArcGIS for Desktop](#)).

Οι τιμές των ψηφιδωτών αρχείων που πρόκειται να συμμετάσχουν στη διαδικασία της αξιολόγησης, ταξινομούνται σε επιμέρους κατηγορίες. Κάθε κατηγορία λαμβάνει μία αριθμητική τιμή που εκφράζει την προτίμηση / επίδοση της συγκεκριμένης κατηγορίας έναντι των υπολοίπων, ως προς το κριτήριο που αναπαριστά το θεματικό επίπεδο στο οποίο περιλαμβάνεται. Το θεματικό επίπεδο λαμβάνει στη συνέχεια μία τιμή βαρύτητας. Βάρη και επιδόσεις πολλαπλασιάζονται μεταξύ τους και η μέθοδος αθροίζει τα νέα θεματικά επίπεδα που προκύπτουν. Το νέο θεματικό επίπεδο που προκύπτει από την άθροιση, συνιστά το τελικό αποτέλεσμα της αξιολόγησης.

Συνοπτικά, τα επιμέρους στάδια μέσα από τα οποία ολοκληρώνεται η διαδικασία της Σταθμικής Άθροισης είναι τα ακόλουθα ([ESRI, ArcGIS for Desktop](#)):

- Εισαγωγή των ψηφιδωτών αρχείων στον πίνακα αξιολόγησης.
- *Επιλογή του πεδίου* του πίνακα το οποίο περιλαμβάνει τις αναταξινομημένες τιμές (επιδόσεις / προτιμήσεις).
- *Απόδοση βαρών* σε κάθε θεματικό επίπεδο-κριτήριο.
- Εφαρμογή του μοντέλου της *Σταθμικής Άθροισης* και εξαγωγή των αποτελεσμάτων.

Όπως και στην περίπτωση της Σταθμικής Υπέρθεσης (Weighted Overlay), έχουν προηγηθεί τα στάδια ορισμού του προβλήματος, διαίρεσής του σε επιμέρους υπο-μοντέλα και επιλογής των θεματικών επιπέδων-κριτηρίων που πρόκειται να συμμετάσχουν στην αξιολόγηση. Επιπρόσθετα, έχει ολοκληρωθεί και το στάδιο αναταξινόμησης των τιμών των ψηφιδωτών αρχείων.

10.2.3. Ασαφής Υπέρθεση (Fuzzy Overlay)

Η Ασαφής Υπέρθεση είναι η τρίτη μέθοδος πολυκριτηριακής αξιολόγησης την οποία ενσωματώνει το ArcGIS. Αξιοποιεί την ασαφή λογική ως μαθηματικό εργαλείο για την υλοποίηση της διαδικασίας της αξιολόγησης και ανήκει στην κατηγορία των ασαφών μεθόδων αξιολόγησης.

Στην περίπτωση αυτή, υιοθετείται μία διαφορετική προσέγγιση η οποία στηρίζεται στη θεωρία συνόλων και στον βαθμό συμμετοχής των τιμών των

ψηφιδωτών δεδομένων σε αυτά. Έτσι, στην Ασαφή Υπέρθηση, κάθε σύνολο αντιπροσωπεύει μία κατηγορία (κλάση) δεδομένων (ESRI, ArcGIS for Desktop).

Τα βήματα μέσα από τα οποία ολοκληρώνεται η διαδικασία της Ασαφούς Υπέρθησης είναι περίπου ίδια με τα αντίστοιχα της Σταθμικής Υπέρθησης και της Σταθμικής Άθροισης. Η σημαντική της διαφοροποίηση εντοπίζεται στα στάδια αναταξινόμησης των τιμών των ψηφιδωτών αρχείων, και στο μοντέλο που εφαρμόζεται για τη διεξαγωγή της πολυκριτηριακής αξιολόγησης και τον συνδυασμό των θεματικών επιπέδων-κριτηρίων μεταξύ τους (ESRI, ArcGIS for Desktop).

Η αναταξινόμηση των τιμών των επιμέρους θεματικών επιπέδων στο πλαίσιο της Ασαφούς Υπέρθησης, συνίσταται στον ορισμό της δυνατότητας που κάθε τιμή έχει να ανήκει σε μία κλάση δεδομένων (ασαφές σύνολο). Η «τιμή δυνατότητας» αναπαριστά ουσιαστικά τον βαθμό συμμετοχής κάθε τιμής σε κάθε κλάση δεδομένων. Προφανώς ο βαθμός συμμετοχής ορίζεται στο διάστημα $[0,1]$ όπου το 0 αναπαριστά μηδενική συμμετοχή μίας τιμής σε κάποιο ασαφές σύνολο ενώ το 1, απόλυτη συμμετοχή μίας τιμής σε μία κλάση δεδομένων. Ενδιάμεσες τιμές συνεπάγονται ενδιάμεσο βαθμό συμμετοχής των τιμών στα ασαφή σύνολα.

Η εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου πολυκριτηριακής αξιολόγησης δεν απαιτεί την απόδοση βαρών στα θεματικά επίπεδα-κριτήρια καθώς, οι αναταξινομημένες τιμές υποδεικνύουν τον βαθμό καταλληλότητας για κάθε τιμή των θεματικών επιπέδων, ο οποίος ορίζεται συναρτησιακά. Το τελικό αποτέλεσμα προκύπτει από τον συνδυασμό των βαθμών συμμετοχής που έχουν οριστεί για το σύνολο των τιμών των θεματικών επιπέδων (ESRI, ArcGIS for Desktop). Όσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός συμμετοχής μίας τιμής σε κάποια προτιμητέα για τον στόχο της αξιολόγησης κλάση δεδομένων, τόσο πιο κατάλληλη είναι η θέση που εκπροσωπεί η συγκεκριμένη τιμή.

Όπως και στις περιπτώσεις της Σταθμικής Υπέρθησης και της Σταθμικής Άθροισης, η Ασαφής Υπέρθηση εφαρμόζεται για την επίλυση χωρικών προβλημάτων όπου αναζητείται η βέλτιστη θέση (η πλέον κατάλληλη θέση) για τη χωροθέτηση δραστηριοτήτων. Αξιοποιεί τη λογική της ασάφειας και ως εκ τούτου, δίνει έμφαση στη διαχείριση πιθανών ανακριβειών που εντοπίζονται στα χωρικά δεδομένα που συμμετέχουν στη διαδικασία της αξιολόγησης. Οι βασικές πηγές ανακρίβειας αφορούν στον ορισμό των επιμέρους κλάσεων (π.χ. κατηγορίες κλίσεων εδάφους) καθώς και στη διαδικασία «κατανομής» των κελιών των ψηφιδωτών αρχείων στις κλάσεις αυτές (ESRI, ArcGIS for Desktop). Προφανώς, η κατανομή των τιμών στις

επιμέρους κλάσεις παίζει σημαντικό ρόλο στη διαδικασία λήψης αποφάσεων και καθορίζει το αποτέλεσμα της αξιολόγησης. Η αξιοποίηση της ασαφούς λογικής εστιάζει κυρίως στη μοντελοποίηση των ασαφειών που εντοπίζονται μεταξύ των ορίων των επιμέρους κλάσεων τα οποία, στην πλειοψηφία των χωρικών προβλημάτων, δεν είναι απολύτως διακριτά. Η ασαφής λογική ορίζει τη δυνατότητα που έχει μία τιμή να ανήκει σε μία κλάση και τον βαθμό στον οποίο η συγκεκριμένη τιμή ανήκει στην αντίστοιχη κλάση. Για παράδειγμα, στην περίπτωση που αναζητάται η καταλληλότερη τιμή κλίσης για τη χωροθέτηση ενός οικήματος κάθε τιμή κλίσης που περιλαμβάνεται στο θεματικό επίπεδο των κλίσεων (ψηφιακό μοντέλο εδάφους, ισοϋψείς καμπύλες) λαμβάνει μία τιμή στο διάστημα [0,1]. Όσο πιο κοντά στο 1 βρίσκεται η συγκεκριμένη τιμή, τόσο πιο κατάλληλη είναι η υποψήφια θέση για τη χωροθέτηση του οικήματος.

Οι τιμές αυτές αναπαριστούν βαθμούς συμμετοχής σε αντίστοιχα σύνολα (κατηγορίες) κλίσεων και η απόδοση των βαθμών συμμετοχής ολοκληρώνεται μέσα από τη διαδικασία της ασαφοποίησης. Κάθε θεματικό επίπεδο-κριτήριο που συμμετέχει στη διαδικασία της αξιολόγησης ασαφοποιείται ([ESRI, ArcGIS for Desktop](#)). Η διαδικασία της ασαφοποίησης υλοποιείται με την υποστήριξη του αντίστοιχου εργαλείου – ‘Fuzzy Membership Tool’ – που διαθέτει το ArcGIS για την ασαφοποίηση των κριτηρίων. Στη συνέχεια, τα θεματικά επίπεδα-κριτήρια συνδυάζονται μεταξύ τους – Fuzzy Overlay – υλοποιείται η καθεαυτή διαδικασία της αξιολόγησης και προκύπτει το τελικό αποτέλεσμα. Η διαδικασία της ασαφοποίησης αντιστοιχεί στη διαδικασία αναταξινόμησης των τιμών των θεματικών επιπέδων, όπως αυτή υλοποιείται στο πλαίσιο της Σταθμικής Υπέρθεσης και της Σταθμικής Άθροισης. Η διαδικασία της ασαφούς ανάλυσης από την άλλη πλευρά αντιστοιχεί στη διαδικασία πρόσθεσης / συνδυασμού των θεματικών επιπέδων-κριτηρίων.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στα αντίστοιχα κεφάλαια όπου αναπτύχθηκε το θεωρητικό πλαίσιο της λογικής της ασάφειας, η ασαφής λογική προσεγγίζει περισσότερο τον τρόπο με τον οποίο σκέπτεται και αναπτύσσει συλλογισμούς ο ανθρώπινος εγκέφαλος. Έτσι, η Ασαφής Υπέρθεση ως διαδικασία ομοιάζει περισσότερο με τον τρόπο που ταξινομεί στον χώρο τα διάφορα φαινόμενα η ανθρώπινη συλλογιστική, μοντελοποιεί πιθανές ανακρίβειες και διαχειρίζεται την ενυπάρχουσα αβεβαιότητα μεταξύ οριακών τιμών σε κλάσεις αντικειμένων.

Τέτοιες κλάσεις αντικειμένων στην περίπτωση της χωρικής πολυκριτηριακής αξιολόγησης είναι οι διάφορες κατηγορίες χρήσεων γης, οι διάφοροι τύποι εδαφών,

οι διάφορες κατηγορίες του οδικού δικτύου κ.λπ. Οι εν λόγω κατηγορίες περιλαμβάνονται στα θεματικά επίπεδα-κριτήρια και κάθε τιμή (ψηφίδα) ταξινομείται σε κάθε κατηγορία στη βάση ενός βαθμού συμμετοχής.

Δεδομένης της εκτενούς ανάλυσης που έχει προηγηθεί αναφορικά με την ταξινόμηση τιμών σε σύνολα (κατηγορίες) δεδομένων σύμφωνα με τα αξιώματα της λογικής της ασάφειας, τα συγκεκριμένα ζητήματα δε θα αναπτυχθούν περαιτέρω στην παρούσα ενότητα.

Συνοπτικά, τα στάδια υλοποίησης μίας διαδικασίας πολυκριτηριακής αξιολόγησης με εφαρμογή της μεθόδου της Ασαφούς Υπέρθεσης τα οποία έπονται του ορισμού του προβλήματος, της διαίρεσής του σε επιμέρους υπο-μοντέλα και του ορισμού των θεματικών επιπέδων-κριτηρίων, είναι τα ακόλουθα ([ESRI, ArcGIS for Desktop](#)):

- *Ασαφοποίηση* κάθε θεματικού επιπέδου-κριτηρίου. Στο στάδιο αυτό και για κάθε θεματικό επίπεδο-κριτήριο, ορίζεται μία συνάρτηση συμμετοχής η οποία αναπαριστά τον βαθμό που κάθε τιμή κάθε ψηφιδωτού αρχείου «συμμετέχει» στην πιο κατάλληλη ανά περίπτωση κατηγορία δεδομένων. Η διαδικασία της ασαφοποίησης αντιστοιχεί στη διαδικασία αναταξινόμησης των τιμών για τις περιπτώσεις της Σταθμικής Υπέρθεσης και της Σταθμικής Άθροισης. Μετατρέπει τις αρχικές τιμές των ψηφιδωτών αρχείων σε τιμές δυνατότητας οι αρχικές τιμές να ανήκουν ή όχι σε επιμέρους σύνολα (κατηγορίες) δεδομένων. Ανάλογα με το πρόβλημα που εξετάζεται και τη φύση των θεματικών επιπέδων-κριτηρίων, επιλέγεται η αντίστοιχη συνάρτηση συμμετοχής η οποία εκφράζει τον βαθμό στον οποίο κάθε τιμή του θεματικού επιπέδου ικανοποιεί το κριτήριο. Ο χρήστης έχει στη διάθεσή του επτά συναρτήσεις συμμετοχής προκειμένου να επιλέξει την πλέον κατάλληλη για τη μοντελοποίηση των δεδομένων του.
- *Συνδυασμός* των επιμέρους ασαφοποιημένων θεματικών επιπέδων-κριτηρίων στη βάση ασαφών τελεστών. Στο στάδιο αυτό, γίνεται ο συνδυασμός των θεματικών επιπέδων-κριτηρίων που έχουν ασαφοποιηθεί προκειμένου να υπολογιστεί το τελικό αποτέλεσμα της αξιολόγησης. Οι ασαφοποιημένες τιμές συνυπολογίζονται στη βάση ασαφών τελεστών και εφαρμόζονται οι ανάλογες ασαφείς τεχνικές (fuzzy overlay techniques), στη βάση των οποίων υπολογίζεται το νέο

θεματικό επίπεδο που περιλαμβάνει τις υποψήφιες θέσεις χωροθέτησης ταξινομημένες ανάλογα με τον βαθμό καταλληλότητάς τους.

Στην περίπτωση εφαρμογής δυαδικών μεθόδων Ανάλυσης Υπέρθεσης, κάθε τιμή αξιολογείται για κάθε κριτήριο ανάλογα με το εάν ανήκει σε μία συγκεκριμένη κλάση δεδομένων ή όχι. Στην περίπτωση εφαρμογής ασαφών μεθόδων, κάθε τιμή αξιολογείται ανάλογα με τον βαθμό συμμετοχής της σε μία κλάση δεδομένων. Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί ότι για την εφαρμογή της Ασαφούς Υπέρθεσης, η απόδοση βαρών σε κάθε θεματικό επίπεδο-κριτήριο δεν έχει νόημα καθώς ο βαθμός συμμετοχής μίας τιμής σε κάποια κλάση δε μεταβάλλεται ([ESRI, ArcGIS for Desktop](#)).

10.3. Χωρική Πολυκριτηριακή Αξιολόγηση – Μελέτη Περίπτωσης

Στην παρούσα ενότητα, παρουσιάζεται μία μελέτη περίπτωσης που αφορά στη χωρική πολυκριτηριακή αξιολόγηση υποψήφιων θέσεων χωροθέτησης μίας τουριστικής μονάδας για την εξυπηρέτηση αναγκών αγροτουρισμού και ορεινού τουρισμού. Σαν περιοχή μελέτης ορίστηκε το Καστέλλι του νομού Ηρακλείου Κρήτης. Η συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης εντάσσεται στο πλαίσιο υλοποίησης του σεναρίου που αξιολογήθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο με τα μοντέλα MultiPol και FAIDRA I, και δίνει έμφαση στην υιοθέτηση ενός ήπιου προτύπου ανάπτυξης της περιοχής μελέτης. Η πολυκριτηριακή αξιολόγηση υλοποιήθηκε με την υποστήριξη του Spatial Analyst Toolbox του ArcMap, το οποίο ενσωματώνει επιμέρους εργαλεία χωρικής πολυκριτηριακής αξιολόγησης.

Όπως γίνεται σε κάθε περίπτωση εφαρμογής Ανάλυσης Υπέρθεσης, πρώτα ορίστηκε σαφώς το προς επίλυση πρόβλημα, το οποίο αφορά στην αναζήτηση της πλέον κατάλληλης θέσης για τη χωροθέτηση μιας τουριστικής μονάδας που πρόκειται να εξυπηρετεί ανάγκες αγροτουρισμού και ορεινού τουρισμού.

Στη συνέχεια, ακολούθησε η διαίρεση του προβλήματος σε επιμέρους υπομοντέλα, στάδιο κατά το οποίο καθορίστηκαν οι παράμετροι που συνθέτουν το πρόβλημα και τα κριτήρια στη βάση των οποίων πρόκειται να αξιολογηθούν οι υποψήφιες θέσεις χωροθέτησης. Οι παράμετροι και τα κριτήρια για τη μελέτη περίπτωσης που εξετάζεται, καθορίστηκαν ως εξής:

- Καταλληλότητα *εδαφών*. Η θέση στην οποία πρόκειται να χωροθετηθεί η τουριστική μονάδα, πρέπει να έχει την κατάλληλη κλίση ούτως ώστε να εξασφαλίζεται η σταθερότητα του εδάφους. Παράλληλα, η προς ανάπτυξη τουριστική μονάδα δε θα πρέπει να βρίσκεται σε αρκετά μεγάλο υψόμετρο.
- Καταλληλότητα *χρήσεων γης*. Οι καταλληλότερες θέσεις για τη χωροθέτηση της τουριστικής μονάδας είναι αυτές που αντιστοιχούν σε επιτρεπόμενες χρήσεις γης.
- Βιώσιμη διαχείριση *υδατικών πόρων*. Η τουριστική μονάδα θα πρέπει να βρίσκεται σε κάποια συγκεκριμένη απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής μελέτης ούτως ώστε να μην προκύψουν ζητήματα ρύπανσης των υδατικών πόρων.
- *Οικιστικό δίκτυο*. Η τουριστική μονάδα θα πρέπει να βρίσκεται σε κοντινή απόσταση από τους οικισμούς της περιοχής προκειμένου να εξυπηρετούνται οι ανάγκες των επισκεπτών.
- *Συγκοινωνιακό δίκτυο*. Η τουριστική μονάδα θα πρέπει να βρίσκεται σε κοντινή απόσταση από το οδικό δίκτυο της περιοχής για να εξυπηρετούνται οι ανάγκες μεταφοράς και μετακίνησης των επισκεπτών.

Στο επόμενο στάδιο, ορίστηκαν τα θεματικά επίπεδα-κριτήρια. Τα θεματικά επίπεδα είναι πέντε στο σύνολό τους και περιλαμβάνουν:

- Ένα *ψηφιακό μοντέλο εδάφους* το οποίο αναπαριστά τα υψόμετρα (κλίσεις) της περιοχής μελέτης (raster data).
- Τις κατηγορίες *χρήσεων γης* όπως έχουν καταγραφεί από το Corine Land Cover (raster data).
- Το *υδρογραφικό δίκτυο* της περιοχής (vector data – polyline).
- Τους *οικισμούς* (vector data – points).
- Το κύριο *οδικό δίκτυο* (vector data – polyline).

Στη συνέχεια, ακολούθησε η προ-επεξεργασία των δεδομένων μέσα από την εφαρμογή μίας σειράς μετασχηματισμών, προκειμένου αυτά να πληρούν τις απαραίτητες προϋποθέσεις για την υλοποίηση της πολυκριτηριακής αξιολόγησης.

Δεδομένου ότι τα θεματικά επίπεδα δεν είχαν κοινό Σύστημα Αναφοράς (ΣΑ) ενώ για κάποια από αυτά δεν είχε οριστεί Σύστημα Αναφοράς, το πρώτο στάδιο προ-επεξεργασίας τους αφορούσε στον ορισμό ενός κοινού ΣΑ για το σύνολο των

δεδομένων. Ο ορισμός ΣΑ έγινε με την υποστήριξη της εργαλειοθήκης Data Management Tools → Projections and Transformations. Για τα μεν διανυσματικά (vector) δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν τα εργαλεία ‘Define Projection’ (για όσα θεματικά επίπεδα δεν είχαν κάποιο ορισμένο ΣΑ) και ‘Project’ (για τη μετατροπή από ένα ορισμένο ΣΑ σε κάποιο άλλο) ενώ για τα ψηφιδωτά (raster) δεδομένα, το εργαλείο ‘Project Raster’. Το ΣΑ που ορίστηκε για το σύνολο των θεματικών επιπέδων είναι το ΕΓΣΑ 87.

Η διαδικασία προ-επεξεργασίας των δεδομένων συνεχίστηκε με τη μετατροπή των διανυσματικών θεματικών επιπέδων σε ψηφιδωτά. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε η εργαλειοθήκη Conversion Tools → To Raster. Για τη μετατροπή των γραμμικών οντοτήτων χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο ‘Polyline to Raster’ ενώ για τη μετατροπή των σημειακών οντοτήτων το εργαλείο ‘Point to Raster’. Ως θεματικό επίπεδο αναφοράς για το μέγεθος της ψηφίδας (cell size) των νέων ψηφιδωτών δεδομένων, χρησιμοποιήθηκε το ψηφιακό μοντέλο εδάφους. Το μέγεθος της ψηφίδας τροποποιήθηκε και στην περίπτωση του θεματικού επιπέδου των χρήσεων γης προκειμένου να είναι ίδιο με το αντίστοιχο μέγεθος ψηφίδας του ψηφιακού μοντέλου εδάφους. Για την τροποποίηση του μεγέθους της ψηφίδας χρησιμοποιήθηκε η εργαλειοθήκη Data Management Tools → Raster → Raster Processing και το εργαλείο ‘Resample’ το οποίο καθιστά δυνατή τη μετατροπή της ανάλυσης των ψηφιδωτών αρχείων.

Στο επόμενο στάδιο, καθορίστηκαν τα όρια κάθε ψηφιδωτού αρχείου βάσει των ορίων του ψηφιακού μοντέλου εδάφους τα οποία συνιστούν και τα όρια της περιοχής μελέτης. Η διαδικασία αυτή υλοποιήθηκε με την υποστήριξη της εργαλειοθήκης Spatial Analyst Tools → Extraction και του εργαλείου ‘Extract by Mask’ το οποίο «κόβει» ένα ψηφιδωτό αρχείο στα όρια ενός δεύτερου ψηφιδωτού αρχείου (mask).

Η διαδικασία προ-επεξεργασίας των δεδομένων ολοκληρώθηκε με τη μετατροπή των «συνεχών» (floating-point) ψηφιδωτών θεματικών επιπέδων σε ακέραια (integer) θεματικά επίπεδα έτσι ώστε να είναι δυνατό, σε επόμενο στάδιο, να οριστούν κατηγορίες δεδομένων σε κάθε θεματικό επίπεδο βάσει των περιεχομένων του Πίνακα Περιγραφικών Χαρακτηριστικών (Attribute Table). Η μετατροπή από floating-point σε integer ψηφιδωτά αρχεία γίνεται με την υποστήριξη της εργαλειοθήκης Spatial Analyst Tool → Math και του εργαλείου ‘Int’. Παράλληλα, για τα θεματικά επίπεδα των οικισμών, του οδικού δικτύου και του υδρογραφικού

δικτύου, υπολογίστηκαν Ευκλείδειες Αποστάσεις για κάθε ψηφίδα (cell) που αναπαριστά κάποια από αυτές τις οντότητες. Οι Ευκλείδειες Αποστάσεις υπολογίστηκαν με την υποστήριξη της εργαλειοθήκης Spatial Analyst Tool → Distance και του εργαλείου 'Euclidean Distance'.

Στο σημείο αυτό ολοκληρώθηκε η προ-επεξεργασία των θεματικών επιπέδων-κριτηρίων και ακολούθησε η υλοποίηση της πολυκριτηριακής αξιολόγησης. Εφαρμόστηκαν και οι τρεις μέθοδοι χωρικής πολυκριτηριακής αξιολόγησης που ενσωματώνει το Arcmap και τα αποτελέσματα που προέκυψαν ανά περίπτωση, παρουσιάζονται στις ενότητες που ακολουθούν.

10.3.1. Πολυκριτηριακή Αξιολόγηση Υποψήφιων Θέσεων Χωροθέτησης Τουριστικής Μονάδας – Μέθοδος Σταθμικής Υπέρθεσης (Weighted Overlay)

Η πρώτη περίπτωση πολυκριτηριακής αξιολόγησης που υλοποιήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής, ολοκληρώθηκε με την εφαρμογή της μεθόδου Σταθμικής Υπέρθεσης (Weighted Overlay). Η μέθοδος της Σταθμικής Υπέρθεσης δίνει ως αποτέλεσμα τις υποψήφιες θέσεις χωροθέτησης, συνοδευόμενες από μία επίδοση (score) η οποία υποδεικνύει τον βαθμό καταλληλότητας κάθε θέσης για τη χωροθέτηση των αντίστοιχων δραστηριοτήτων.

Η διαδικασία ξεκίνησε με την αναταξινόμηση των τιμών των θεματικών επιπέδων προκειμένου να οριστούν νέες κλάσεις (κατηγορίες) δεδομένων στις οποίες ταξινομήθηκαν οι διάφορες τιμές των επιμέρους θεματικών επιπέδων. Η διαδικασία αναταξινόμησης υλοποιήθηκε με την υποστήριξη της εργαλειοθήκης Spatial Analyst Tools → Reclass και του εργαλείου 'Reclassify'. Επιλέχθηκε το πεδίο του Πίνακα Περιγραφικών Χαρακτηριστικών που περιλαμβάνει τις τιμές (values) που επρόκειτο να αναταξινομηθούν και δημιουργήθηκαν νέες κλάσεις σε κάθε μία από τις οποίες αποδόθηκε μία τιμή.

Πιο αναλυτικά, για το θεματικό επίπεδο «κλίσεις» (ψηφιακό μοντέλο εδάφους), δημιουργήθηκαν έξι νέες κλάσεις οι οποίες είναι οι εξής:

- Value 1: Κλάση η οποία περιλαμβάνει τιμές υψομέτρων 169m-300m.
- Value 2: Κλάση η οποία περιλαμβάνει τιμές υψομέτρων 300m-500m.
- Value 3: Κλάση η οποία περιλαμβάνει τιμές υψομέτρων 500m-800m.
- Value 4: Κλάση η οποία περιλαμβάνει τιμές υψομέτρων 800m-1100m.
- Value 5: Κλάση η οποία περιλαμβάνει τιμές υψομέτρων 1100m-1300m.

- Value 6: Κλάση η οποία περιλαμβάνει τιμές υψομέτρων 1300m-1592m.

Για το θεματικό επίπεδο «οικισμοί», δημιουργήθηκαν επίσης έξι κλάσεις που αναπαριστούν κατηγορίες αποστάσεων από τους οικισμούς. Οι κλάσεις αυτές είναι:

- Value 1: Κλάση η οποία περιλαμβάνει τιμές αποστάσεων 0m-1.000m.
- Value 2: Κλάση η οποία περιλαμβάνει τιμές αποστάσεων 1.000m-2.000m.
- Value 3: Κλάση η οποία περιλαμβάνει τιμές αποστάσεων 2.000m-3.000m.
- Value 4: Κλάση η οποία περιλαμβάνει τιμές αποστάσεων 3.000m-4.000m.
- Value 5: Κλάση η οποία περιλαμβάνει τιμές αποστάσεων 4.000m-5.000m.
- Value 6: Κλάση η οποία περιλαμβάνει τιμές αποστάσεων 5.000m-6.926m.

Για το θεματικό επίπεδο «οδικό δίκτυο», δημιουργήθηκαν πέντε κλάσεις που αναπαριστούν κατηγορίες αποστάσεων από το κύριο οδικό δίκτυο της περιοχής. Οι κατηγορίες αυτές είναι:

- Value 1: Κλάση η οποία περιλαμβάνει τιμές αποστάσεων 0m-2.000m.
- Value 2: Κλάση η οποία περιλαμβάνει τιμές αποστάσεων 2.000m-4.000m.
- Value 3: Κλάση η οποία περιλαμβάνει τιμές αποστάσεων 4.000m-6.000m.
- Value 4: Κλάση η οποία περιλαμβάνει τιμές αποστάσεων 6.000m-8.000m.
- Value 5: Κλάση η οποία περιλαμβάνει τιμές αποστάσεων 8.000m-9.058m.

Για το θεματικό επίπεδο «υδρογραφικό δίκτυο», δημιουργήθηκαν επίσης πέντε κλάσεις που αναπαριστούν κατηγορίες αποστάσεων από το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής. Οι κατηγορίες αυτές είναι οι ακόλουθες:

- Value 1: Κλάση η οποία περιλαμβάνει τιμές αποστάσεων 0m-3.000m.
- Value 2: Κλάση η οποία περιλαμβάνει τιμές αποστάσεων 3.000m-6.000m.
- Value 3: Κλάση η οποία περιλαμβάνει τιμές αποστάσεων 6.000m-9.000m.

- Value 4: Κλάση η οποία περιλαμβάνει τιμές αποστάσεων 9.000m-12.000m.
- Value 5: Κλάση η οποία περιλαμβάνει τιμές αποστάσεων 12.000m-14.387m.

Τέλος, για το θεματικό επίπεδο των χρήσεων γης δεν έγινε κάποια αναταξινόμηση των τιμών καθώς οι διάφορες κατηγορίες χρήσεων γης ήταν ήδη ταξινομημένες σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση του Corine.

Στη συνέχεια, υλοποιήθηκε η καθεαυτή διαδικασία της πολυκριτηριακής αξιολόγησης με την υποστήριξη της εργαλειοθήκης Spatial Analyst Tools → Overlay και του εργαλείου ‘Weighted Overlay’. Ορίστηκε η κλίμακα αξιολόγησης (evaluation scale) στη βάση της οποίας αποδόθηκαν οι επιπτώσεις των υποψήφιων θέσεων χωροθέτησης για κάθε θεματικό επίπεδο-κριτήριο και στη συνέχεια, αποδόθηκε μία τιμή βαρύτητας (influence) σε κάθε θεματικό επίπεδο ξεχωριστά, η οποία αναπαριστά τη συνολική σημαντικότητα κάθε θεματικού επιπέδου-κριτηρίου. Η κλίμακα μέτρησης των επιπτώσεων των εναλλακτικών θέσεων χωροθέτησης λαμβάνει τιμές από 1 έως 5 όπου, η τιμή 1 σημαίνει ότι μία υποψήφια θέση δεν ικανοποιεί πλήρως το αντίστοιχο κριτήριο ενώ η τιμή 5 σημαίνει ότι η υποψήφια θέση ικανοποιεί πλήρως το αντίστοιχο κριτήριο. Εάν ο χρήστης επιθυμεί να εξαιρέσει πλήρως από την αξιολόγηση κάποια θέση, μπορεί να της αποδώσει την τιμή ‘Restricted’.

Για τη μελέτη περίπτωσης που εξετάζεται, οι επιδόσεις για κάθε κατηγορία δεδομένων και ανά θεματικό επίπεδο-κριτήριο ορίστηκαν ως ακολούθως (Πίνακες 10 – 10-5):

Πίνακας 10-1: Επιδόσεις υποψήφιων θέσεων χωροθέτησης ως προς το θεματικό επίπεδο-κριτήριο «χρήσεις γης»

Θεματικό Επίπεδο – Κριτήριο	Κατηγορίες χρήσεων γης	Επίδοση ανά κατηγορία χρήσεων γης (scale value)
Χρήσεις γης – Corine Land Cover (καταλληλότητα χρήσεων γης)	Ασυνεχής αστική δόμηση	5
	Αεροδρόμια	Restricted
	Εξόρυξη ορυκτών	Restricted
	Αμπελώνες	Restricted
	Ελαιώνες	Restricted
	Σύνθετες καλλιέργειες	Restricted
	Γη που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης	4
	Δάσος κωνοφόρων	1

	Λιβάδια	3
	Σκληροφυλλική βλάστηση	3
	Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις	3
	Εκτάσεις με αραιή βλάστηση	3

Πίνακας 10-2: Επιδόσεις υποψήφιων θέσεων χωροθέτησης ως προς το θεματικό επίπεδο-κριτήριο «κλίσεις»

Θεματικό Επίπεδο – Κριτήριο	Κατηγορίες υψομέτρων	Επίδοση ανά κατηγορία υψομέτρων
Υψόμετρα – Κλίσεις (καταλληλότητα εδαφών)	Value 1: 169m-300m	5
	Value 2: 300m-500m	5
	Value 3: 500m-800m	4
	Value 4: 800m-1100m	1
	Value 5: 1100m-1300m	1
	Value 6: 1300m-1592m	1

Πίνακας 10-3: Επιδόσεις υποψήφιων θέσεων χωροθέτησης ως προς το θεματικό επίπεδο-κριτήριο «οικισμοί»

Θεματικό Επίπεδο – Κριτήριο	Κατηγορίες αποστάσεων	Επίδοση ανά κατηγορία αποστάσεων
Οικισμοί (απόσταση από οικισμούς)	Value 1: 0m-1.000m	5
	Value 2: 1.000m-2.000m	5
	Value 3: 2.000m-3.000m	4
	Value 4: 3.000m-4.000m	3
	Value 5: 4.000m-5.000m	2
	Value 6: 5.000m-6.926m	1

Πίνακας 10-4: Επιδόσεις υποψήφιων θέσεων χωροθέτησης ως προς το θεματικό επίπεδο-κριτήριο «οδικό δίκτυο»

Θεματικό Επίπεδο – Κριτήριο	Κατηγορίες αποστάσεων	Επίδοση ανά κατηγορία αποστάσεων
Οδικό δίκτυο (απόσταση από το κύριο οδικό δίκτυο)	Value 1: 0m-2.000m	5
	Value 2: 2.000m-4.000m	5
	Value 3: 4.000m-6.000m	3
	Value 4: 6.000m-8.000m	2
	Value 5: 8.000m-9.058m	1

Πίνακας 10-5: Επιδόσεις υποψήφιων θέσεων χωροθέτησης ως προς το θεματικό επίπεδο-κριτήριο «υδρογραφικό δίκτυο»

Θεματικό Επίπεδο – Κριτήριο	Κατηγορίες αποστάσεων	Επίδοση ανά κατηγορία αποστάσεων
Υδρογραφικό δίκτυο (απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο)	Value 1: 0m-3.000m	Restricted
	Value 2: 3.000m-6.000m	Restricted
	Value 3: 6.000m-9.000m	4
	Value 4: 9.000m-12.000m	4
	Value 5: 12.000m-14.387m	4

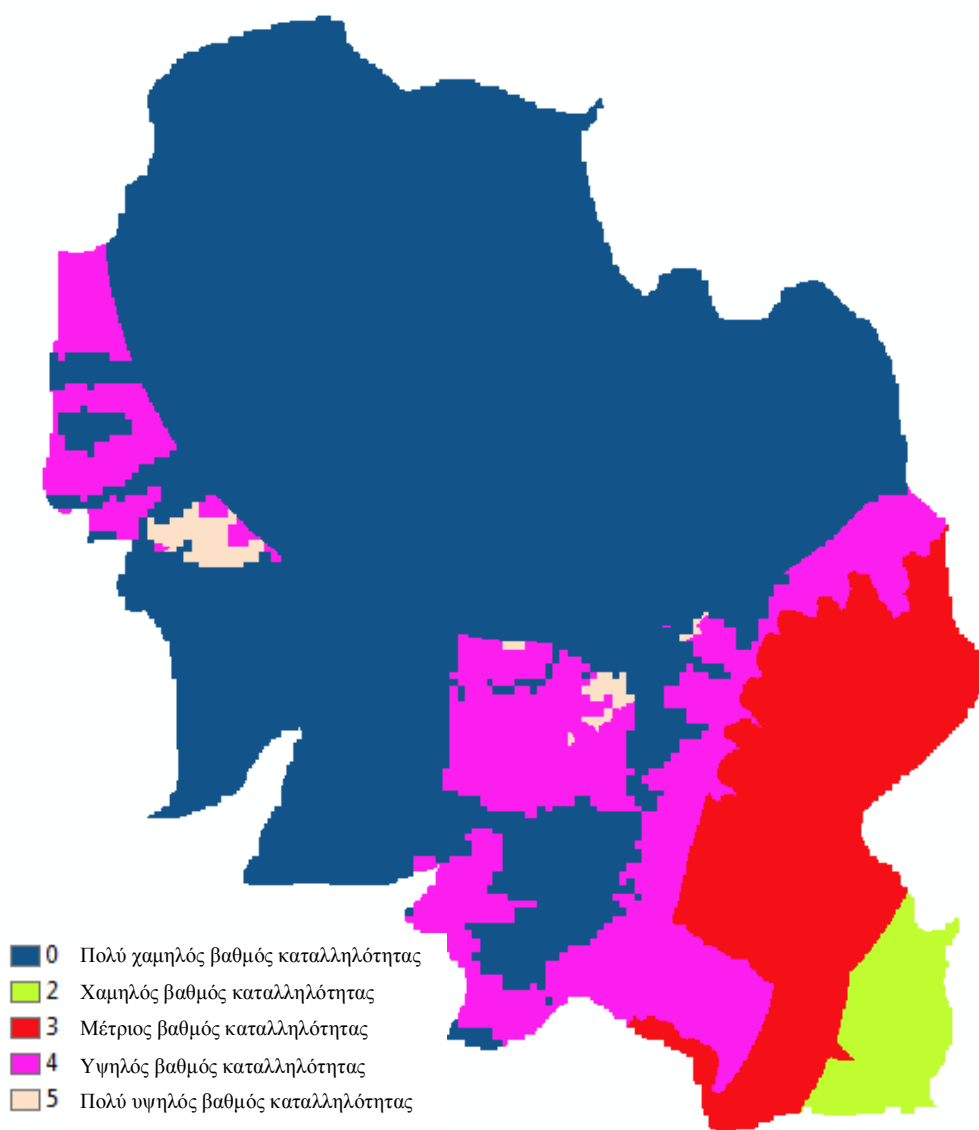
Στη συνέχεια, ορίστηκαν τα βάρη / επιδράσεις (influence) των θεματικών επιπέδων-κριτηρίων. Για τη συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης που εξετάζεται, τα θεματικά επίπεδα θεωρήθηκαν ισοβαρή και δεδομένου ότι η συνολική επίδραση αθροίζει στο 100%, το βάρος κάθε θεματικού επιπέδου-κριτηρίου ορίστηκε στις 20 ποσοστιαίες μονάδες. Το τελευταίο βήμα για την ολοκλήρωση της πολυκριτηριακής αξιολόγησης είναι η κανονικοποίηση (rescale) των τιμών των θεματικών επιπέδων καθώς, στη διαδικασία αξιολόγησης «εμπλέκονται» τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά δεδομένα. Ο πίνακας εισαγωγής των επιδόσεων (πίνακας επιπτώσεων) για κάθε κατηγορία δεδομένων που περιλαμβάνει κάθε θεματικό επίπεδο και των αντίστοιχων βαρών των θεματικών επιπέδων-κριτηρίων έχει την ακόλουθη μορφή (Πίνακας 10-6):

Πίνακας 10-6: Πίνακας επιπτώσεων των τιμών των θεματικών επιπέδων και βαρών των θεματικών επιπέδων-κριτηρίων – Σταθμική Υπέρθωση

Raster	% Influence	Field	Scale Value
corine_res	20	LABEL3	
		Discontinuous urb	3
		Airports	Restricted
		Mineral extraction	Restricted
		Vineyards	Restricted
		Olive groves	Restricted
		Complex cultivatio	Restricted
		Land principally oc	3
		Coniferous forest	1
		Natural grassland	2
		Sclerophyllous veg	2
		Transitional woodl	2
		Sparsely vegetate	2
		NODATA	NODATA
dtm_rec	20	VALUE	
hydro_rec	20	VALUE	
oikismoi_rec	20	VALUE	
roads_rec	20	VALUE	

Το τελικό αποτέλεσμα που προκύπτει μετά την υλοποίηση της πολυκριτηριακής αξιολόγησης με εφαρμογή της μεθόδου Σταθμικής Υπέρθωσης, παρουσιάζεται στον Χάρτη 10-1. Οι υπονήφειες θέσεις για τη χωροθέτηση της τουριστικής μονάδας έχουν ταξινομηθεί σε πέντε συνολικά κατηγορίες, βάσει της καταλληλότητάς τους για τη χωροθέτηση της εν λόγω υποδομής. Σημειώνεται ότι η καταλληλότητα κάθε υπονήφιας θέσης ορίζεται μέσω των κριτηρίων και των επιδόσεων των θέσεων ως προς τα κριτήρια αυτά. Ο χάρτης στον οποίο αναπαρίσταται το τελικό αποτέλεσμα της πολυκριτηριακής αξιολόγησης προκύπτει από τον συνδυασμό και τον συνυπολογισμό του συνόλου των θεματικών επιπέδων-

κριτηρίων που συμμετείχαν στη διαδικασία της αξιολόγησης και καθόρισαν, στη βάση επιδόσεων και βαρών, την τελική καταλληλότητα κάθε υποψήφιας θέσης.

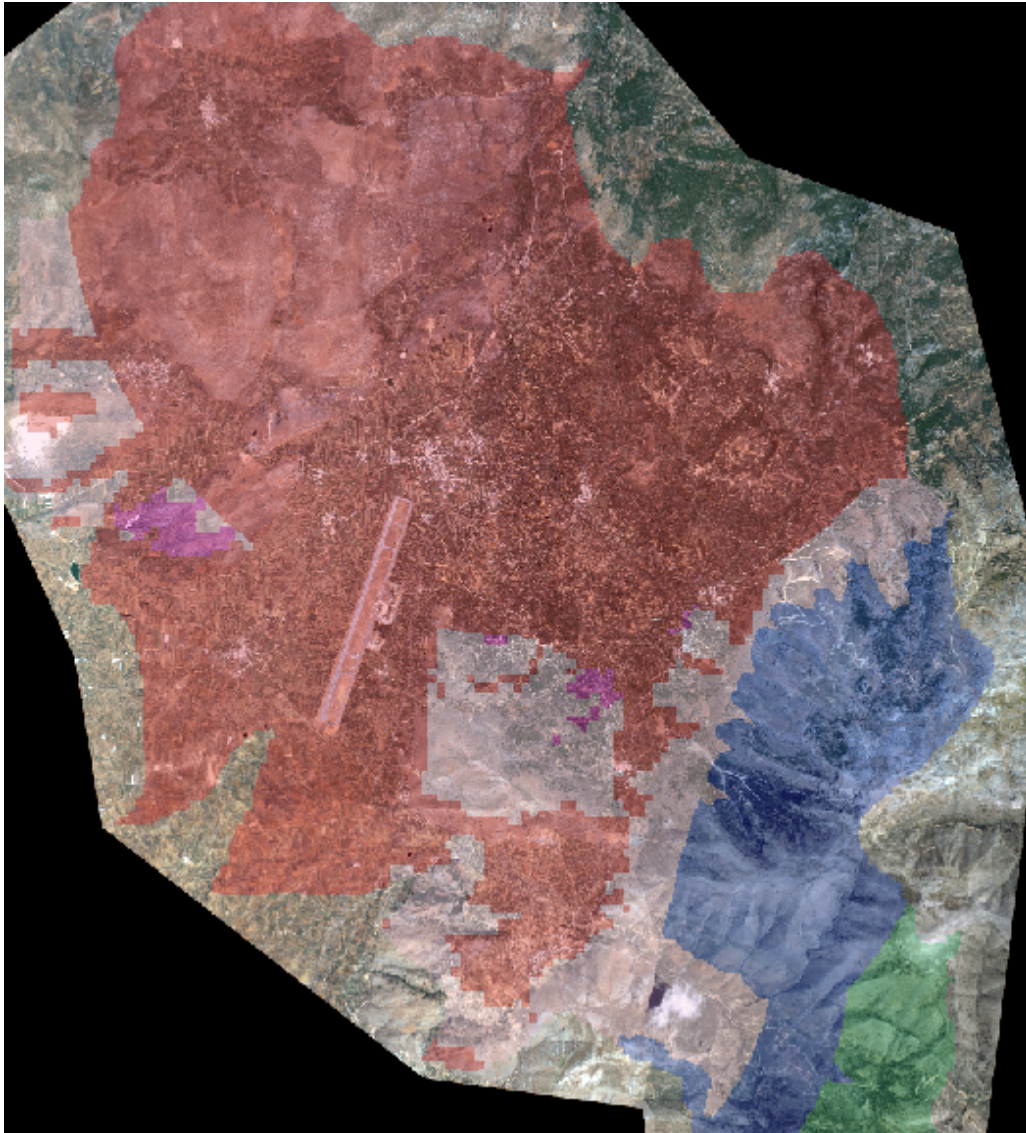


Χάρτης 10-1: Ταξινόμηση καταλληλότητας θέσεων χωροθέτησης με εφαρμογή της μεθόδου της Σταθμικής Υπέρθεσης

Κάθε κατηγορία διακρίνεται από τις υπόλοιπες βάσει χρώματος και μίας τελικής επίδοσης, η οποία ορίζει τον βαθμό καταλληλότητας των θέσεων της συγκεκριμένης κατηγορίας για τη χωροθέτηση της τουριστικής μονάδας. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της τελικής επίδοσης μίας κατηγορίας, τόσο πιο κατάλληλες είναι οι θέσεις της συγκεκριμένης κατηγορίας για τη χωροθέτηση της τουριστικής μονάδας. Έτσι, οι θέσεις που ανήκουν στην κατηγορία που αναπαρίσταται με το σκούρο μπλε χρώμα, λαμβάνουν τιμή επίδοσης 0 και επομένως είναι οι πλέον

ακατάλληλες θέσεις για τη χωροθέτηση της τουριστικής μονάδας. Ακολουθούν οι θέσεις που ανήκουν στην κατηγορία που αναπαρίσταται με το πράσινο χρώμα και λαμβάνουν τιμή επίδοσης 1. Όπως είναι προφανές, οι θέσεις που ανήκουν στην κατηγορία αυτή δεν ικανοποιούν αρκετά από τα κριτήρια αξιολόγησης και άρα έχουν χαμηλό βαθμό καταλληλότητας. Οι πιο κατάλληλες περιοχές για τη χωροθέτηση της τουριστικής μονάδας φαίνεται πως ανήκουν στην κατηγορία που αναπαρίσταται με μπλε χρώμα και λαμβάνει τιμή επίδοσης ίση με 5. Είναι η υψηλότερη τιμή επίδοσης και υποδεικνύει έναν υψηλό βαθμό καταλληλότητας των υποψήφιων θέσεων χωροθέτησης. Οι θέσεις που ανήκουν στη συγκεκριμένη κατηγορία, ικανοποιούν το σύνολο των κριτηρίων αξιολόγησης και μάλιστα με αρκετά υψηλές επιμέρους επιδόσεις ανά κριτήριο.

Η παρούσα ενότητα κλείνει με την παρουσίαση των υποψήφιων θέσεων χωροθέτησης επάνω σε μία δορυφορική εικόνα της περιοχής μελέτης. Για λόγους ευκρίνειας, οι πλέον κατάλληλες θέσεις για τη χωροθέτηση της τουριστικής μονάδας αναπαρίστανται με χρώμα ροζ.



Εικόνα 10-1: Ταξινόμηση καταλληλότητας θέσεων χωροθέτησης με εφαρμογή της μεθόδου της Σταθμικής Υπέρθεσης

10.3.2. Πολυκριτηριακή Αξιολόγηση Υποψήφιων Θέσεων Χωροθέτησης Τουριστικής Μονάδας – Μέθοδος Σταθμικής Άθροισης (Weighted Sum)

Στην ενότητα αυτή, παρουσιάζεται η διαδικασία υλοποίησης πολυκριτηριακής αξιολόγησης με εφαρμογή της μεθόδου της Σταθμικής Άθροισης για την αξιολόγηση υποψήφιων θέσεων χωροθέτησης τουριστικής μονάδας. Δεδομένου ότι απώτερος στόχος είναι η σύγκριση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από την εφαρμογή κάθε μεθόδου πολυκριτηριακής αξιολόγησης, τα θεματικά επίπεδα-κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση, είναι τα ίδια με αυτά που χρησιμοποιήθηκαν και στην περίπτωση εφαρμογής της μεθόδου Σταθμικής Υπέρθεσης. Το πρόβλημα

που τίθεται είναι ακριβώς το ίδιο και ο στόχος είναι η αναζήτηση των πλέον κατάλληλων θέσεων για τη χωροθέτηση τουριστικής μονάδας που θα εξυπηρετεί ανάγκες αγροτουρισμού και ορεινού τουρισμού.

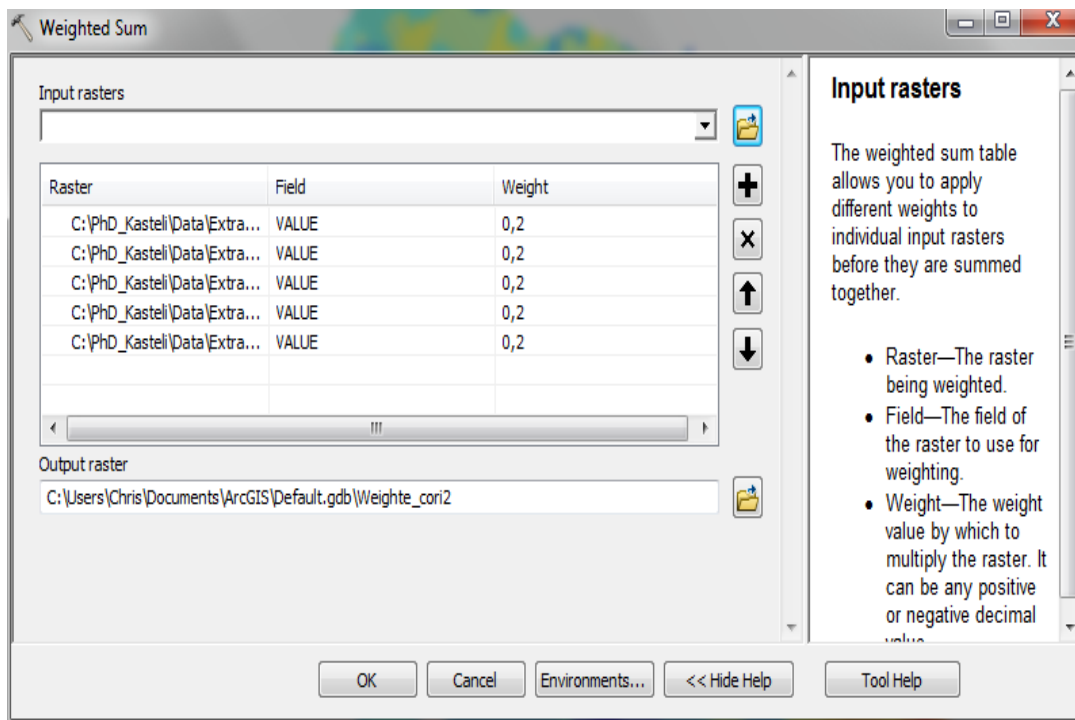
Υπενθυμίζεται ότι τα θεματικά επίπεδα-κριτήρια στη βάση των οποίων υλοποιήθηκε η διαδικασία της αξιολόγησης είναι:

- Οι *χρήσεις γης* και η καταλληλότητά τους για τη χωροθέτηση της τουριστικής μονάδας (Corine Land Cover),
- οι *κλίσεις* του εδάφους – υψόμετρα,
- το *υδρογραφικό δίκτυο* της περιοχής μελέτης και οι αποστάσεις από αυτό,
- το *κύριο οδικό δίκτυο* της περιοχής και οι αποστάσεις από αυτό, και
- οι *οικισμοί* της περιοχής και οι αποστάσεις από αυτούς.

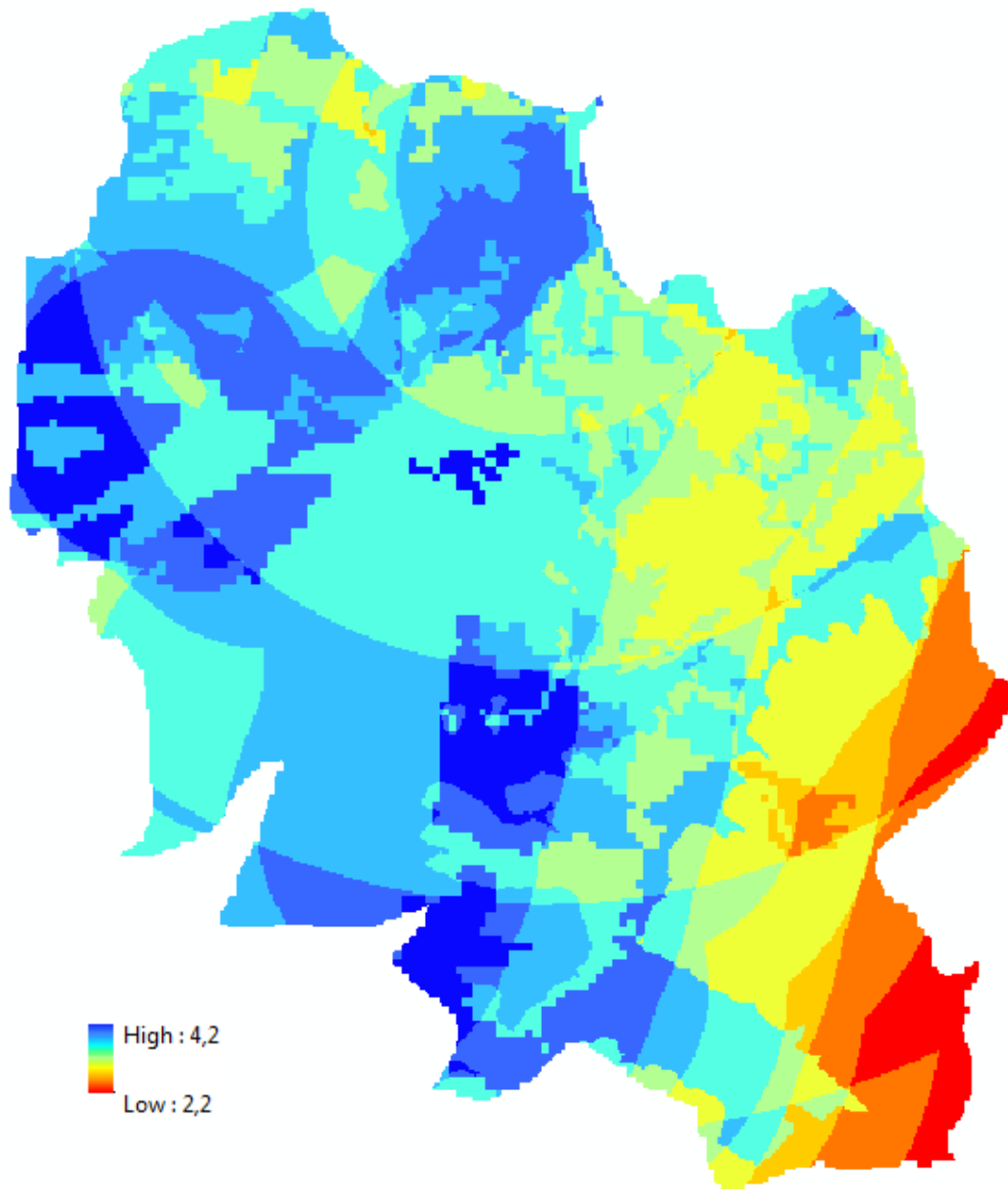
Σε αντίθεση με την περίπτωση εφαρμογής της μεθόδου Σταθμικής Υπέρθησης, η μέθοδος της Σταθμικής Άθροισης προϋποθέτει την αναταξινόμηση των τιμών των θεματικών επιπέδων πριν ξεκινήσει η διαδικασία εφαρμογής της. Ο λόγος είναι ότι διαχειρίζεται αποκλειστικά ποσοτικά δεδομένα τα οποία πολλαπλασιάζονται στη συνέχεια με τα βάρη που αποδίδονται σε κάθε θεματικό επίπεδο-κριτήριο. Ως εκ τούτου, έγινε καταρχάς η ανάλογη προετοιμασία των δεδομένων με την υποστήριξη του εργαλείου 'Reclassify'. Η διαδικασία αναταξινόμησης των τιμών συνίσταται ουσιαστικά στην απόδοση τιμών σε κάθε κατηγορία δεδομένων κάθε θεματικού επιπέδου, οι οποίες έχουν κάποια ποσοτική σημασία. Οι νέες αυτές τιμές αντανακλούν επίπεδο (βαθμό) καταλληλότητας κάθε κλάσης δεδομένων ως προς το θεματικό επίπεδο-κριτήριο που ανήκει η κάθε κλάση. Αντιστοιχούν δηλαδή σε επιδόσεις ως προς τα θεματικά επίπεδα-κριτήρια.

Αφού ολοκληρώθηκε η διαδικασία της αναταξινόμησης, τα νέα θεματικά επίπεδα με τις αναταξινομημένες τιμές προστέθηκαν στον πίνακα αξιολόγησης της Σταθμικής Άθροισης (Πίνακας 10-7) προκειμένου να τους αποδοθούν αντίστοιχα βάρη. Σημειώνεται ότι το πεδίο 'Field' το οποίο λαμβάνει την τιμή 'Value' για κάθε θεματικό επίπεδο, περιλαμβάνει τις αναταξινομημένες τιμές – επιδόσεις των διαφόρων κλάσεων των θεματικών επιπέδων. Για να είναι συγκρίσιμα τα αποτελέσματα με αυτά της Σταθμικής Υπέρθησης, τα θεματικά επίπεδα-κριτήρια είναι και σε αυτήν την περίπτωση ισοβαρή. Δεδομένου ότι σύμφωνα με τους κανόνες απόδοσης βαρών της Σταθμικής Άθροισης τα βάρη θα πρέπει να αθροίζονται 1, σε κάθε θεματικό επίπεδο-κριτήριο αποδόθηκε βάρος ίσο με 0,2.

Πίνακας 10-7: Πίνακας αξιολόγησης της Σταθμικής Άθροισης



Τα αποτελέσματα που προέκυψαν μετά την εφαρμογή της μεθόδου της Σταθμικής Άθροισης παρουσιάζονται στον Χάρτη 10-2. Οι πλέον κατάλληλες θέσεις χωροθέτησης είναι αυτές που αναπαρίστανται με τις μπλε αποχρώσεις. Όσο πιο έντονη είναι η απόχρωση του μπλε, τόσο πιο κατάλληλη είναι η αντίστοιχη θέση για τη χωροθέτηση της τουριστικής μονάδας. Οι κίτρινες και κόκκινες αποχρώσεις αναπαριστούν θέσεις οι οποίες παρουσιάζουν χαμηλότερο βαθμό καταλληλότητας. Παράλληλα, δίνεται και μία διαβάθμιση τιμών της καταλληλότητας των υποψηφίων θέσεων. Οι θέσεις με τον μεγαλύτερο βαθμό καταλληλότητας λαμβάνουν την τιμή 4,2 ενώ οι θέσεις με τον μικρότερο βαθμό καταλληλότητας λαμβάνουν την τιμή 2,2.



Χάρτης 10-2: Ταξινόμηση καταλληλότητας θέσεων χωροθέτησης με εφαρμογή της μεθόδου της Σταθμικής Άθροισης

Σε αντίθεση με τη μέθοδο της Σταθμικής Υπέρθεσης καμία θέση δε λαμβάνει μηδενικό βαθμό καταλληλότητας, γεγονός το οποίο σημαίνει ότι στην περίπτωση της Σταθμικής Άθροισης δεν υπάρχει θέση που να μην ικανοποιεί κανένα κριτήριο αξιολόγησης. Όσο περισσότερα κριτήρια ικανοποιούνται, τόσο καταλληλότερες είναι οι αντίστοιχες θέσεις για τη χωροθέτηση της τουριστικής μονάδας. Επίσης, μία πρώτη εκτίμηση των αποτελεσμάτων δείχνει ότι οι δύο μέθοδοι (Σταθμική Υπέρθεση και Σταθμική Άθροιση) «προτείνουν» κάποιες κοινές θέσεις χωροθέτησης ως τις

πλέον κατάλληλες. Παρ'όλ'αυτά, η μέθοδος της Σταθμικής Άθροισης δίνει στον σχεδιαστή περισσότερες επιλογές.

Η ενότητα κλείνει με την παρουσίαση των υποψήφιων θέσεων και του επιπέδου καταλληλότητάς τους για τη χωροθέτηση της τουριστικής μονάδας στη δορυφορική εικόνα της περιοχής.



Εικόνα 10-2: Ταξινόμηση καταλληλότητας θέσεων χωροθέτησης με εφαρμογή της μεθόδου της Σταθμικής Άθροισης

Για λόγους καλύτερης ευκρίνειας στη δορυφορική εικόνα, οι χρωματικοί τόνοι του θεματικού επιπέδου που αναπαριστά το αποτέλεσμα της αξιολόγησης ορίζονται

στην κλίμακα του γκρι. Όσο περισσότερο οι χρωματικοί τόνοι πλησιάζουν το λευκό, τόσο πιο κατάλληλη είναι η αντίστοιχη θέση για τη χωροθέτηση της τουριστικής μονάδας.

10.3.3. Πολυκριτηριακή Αξιολόγηση Υποψήφιων Θέσεων Χωροθέτησης Τουριστικής Μονάδας – Μέθοδος Ασαφούς Υπέρθεσης (Fuzzy Overlay)

Η τρίτη και τελευταία μέθοδος πολυκριτηριακής αξιολόγησης που εφαρμόστηκε για την αξιολόγηση των υποψήφιων θέσεων χωροθέτησης της τουριστικής μονάδας, είναι αυτή της Ασαφούς Υπέρθεσης. Όπως έχει ήδη αναφερθεί σε προηγούμενη ενότητα, η μέθοδος της Ασαφούς Υπέρθεσης αξιοποιεί τη θεωρία και τα εργαλεία της ασαφούς λογικής. Ως εκ τούτου συνιστά μία διαφοροποιημένη μέθοδο πολυκριτηριακής αξιολόγησης, βασισμένη στη θεωρία των ασαφών συνόλων.

Στην περίπτωση της Ασαφούς Υπέρθεσης, η καταλληλότητα των υποψήφιων θέσεων χωροθέτησης εκφράζεται με τη βοήθεια μίας συνάρτησης συμμετοχής η οποία αντιστοιχίζει τις διάφορες τιμές των θεματικών επιπέδων σε ένα βαθμό συμμετοχής τους στο σύνολο «κατάλληλη θέση για χωροθέτηση». Όσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός συμμετοχής της υποψήφιας θέσης στο σύνολο, τόσο πιο κατάλληλη είναι η εν λόγω θέση για τη χωροθέτηση της εκάστοτε δραστηριότητας. Τα επιμέρους ασαφή σύνολα ορίζονται στη βάση των κριτηρίων αξιολόγησης και κάθε θεματικό επίπεδο-κριτήριο αντιστοιχεί σε ένα ασαφές σύνολο. Έτσι, για την περίπτωση της καταλληλότητας των κλίσεων του εδάφους, όσο μία θέση πλησιάζει τις επιθυμητές κλίσεις τόσο αυξάνει ο βαθμός συμμετοχής της στο ασαφές σύνολο των επιθυμητών κλίσεων.

Πρώτο βήμα για την εφαρμογή της μεθόδου της Ασαφούς Υπέρθεσης είναι η διαδικασία ασαφοποίησης των τιμών των θεματικών επιπέδων-κριτηρίων μέσω του ορισμού των αντίστοιχων συναρτήσεων συμμετοχής. Η διαδικασία ασαφοποίησης υλοποιείται με την υποστήριξη του εργαλείου ‘Fuzzy Membership’ της εργαλειοθήκης Spatial Analyst Tools → Overlay του ArcMap. Για τη μελέτη περίπτωσης που εξετάζεται, οι συναρτήσεις συμμετοχής που ορίστηκαν για κάθε θεματικό επίπεδο-κριτήριο είναι οι ακόλουθες:

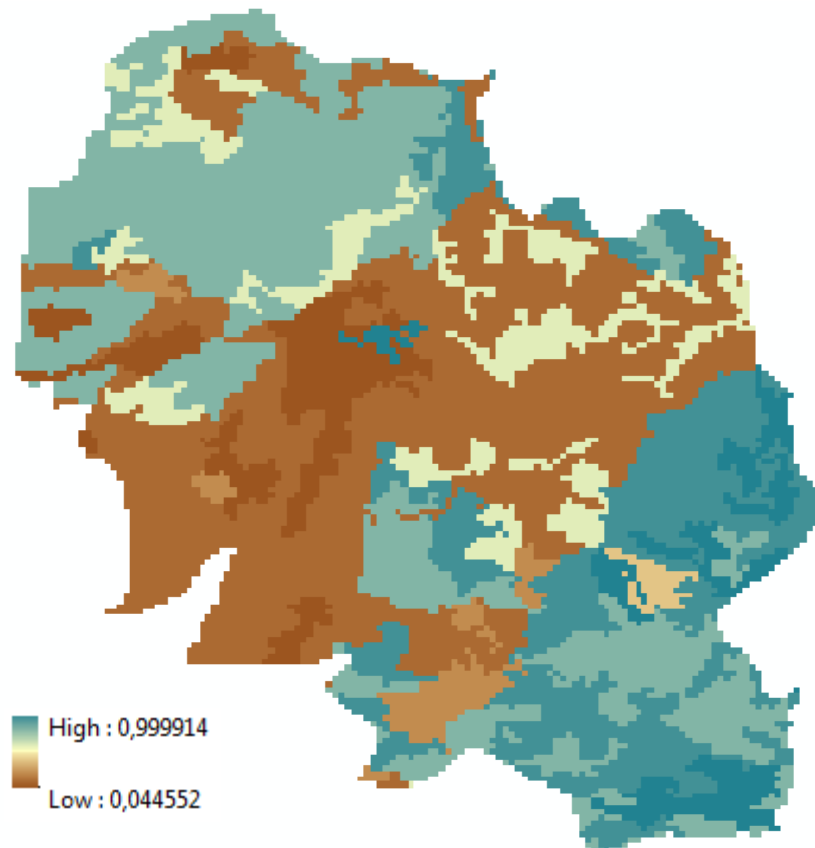
- Θεματικό επίπεδο *Κλίσεις εδάφους (Ψηφιακό μοντέλο)*: Η συνάρτηση συμμετοχής που χρησιμοποιήθηκε για την ασαφοποίηση των τιμών του ψηφιακού μοντέλου εδάφους είναι η ‘Fuzzy Small’. Σύμφωνα με τον

ορισμό της συνάρτησης αυτής, όσο μικρότερες είναι οι τιμές του θεματικού επιπέδου, τόσο καταλληλότερες είναι οι αντίστοιχες θέσεις για τη χωροθέτηση της τουριστικής μονάδας. Διαφορετικά, όσο μικρότερες είναι οι τιμές, τόσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός συμμετοχής τους στο σύνολο «επιθυμητές / κατάλληλες κλίσεις εδάφους».

- Θεματικό επίπεδο *Υδρογραφικό δίκτυο*: Η συνάρτηση συμμετοχής που χρησιμοποιήθηκε για την ασαφοποίηση των τιμών του θεματικού επιπέδου που αναπαριστά το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής μελέτης, είναι η ‘Fuzzy Large’. Σύμφωνα με τον ορισμό της συνάρτησης αυτής, όσο μεγαλύτερες είναι οι τιμές του θεματικού επιπέδου, τόσο καταλληλότερες είναι οι αντίστοιχες θέσεις για τη χωροθέτηση της τουριστικής μονάδας. Διαφορετικά, όσο μεγαλύτερες είναι οι τιμές, τόσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός συμμετοχής τους στο σύνολο «απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο».
- Θεματικό επίπεδο *Οικισμοί*: Η συνάρτηση συμμετοχής που χρησιμοποιήθηκε για την ασαφοποίηση των τιμών του θεματικού επιπέδου που αναπαριστά τους οικισμούς, είναι η ‘Fuzzy Small’. Όσο μικρότερες είναι οι τιμές του θεματικού επιπέδου, τόσο καταλληλότερες είναι οι αντίστοιχες θέσεις για τη χωροθέτηση της τουριστικής μονάδας. Διαφορετικά, όσο μικρότερες είναι οι τιμές, τόσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός συμμετοχής τους στο σύνολο «απόσταση από οικισμούς».
- Θεματικό επίπεδο *Οδικό δίκτυο*: Η συνάρτηση συμμετοχής που χρησιμοποιήθηκε για την ασαφοποίηση των τιμών του θεματικού επιπέδου που αναπαριστά το οδικό δίκτυο, είναι η ‘Fuzzy Small’. Όσο μικρότερες είναι οι τιμές του θεματικού επιπέδου, τόσο καταλληλότερες είναι οι αντίστοιχες θέσεις για τη χωροθέτηση της τουριστικής μονάδας. Διαφορετικά, όσο μικρότερες είναι οι τιμές, τόσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός συμμετοχής τους στο σύνολο «απόσταση από το οδικό δίκτυο».
- Θεματικό επίπεδο *Χρήσεις γης*: Για την περίπτωση του θεματικού επιπέδου που αναπαριστά τις χρήσεις γης, πριν την ασαφοποίηση, έγινε μία αναταξινόμηση των τιμών του καθώς, οι διάφορες χρήσεις γης δηλώνονται με όρους ποιοτικούς. Για τις δώδεκα συνολικά χρήσεις γης, αποδόθηκαν δώδεκα ποσοτικές τιμές οι οποίες στη συνέχεια ασαφοποιήθηκαν με τη βοήθεια της συνάρτησης ‘Fuzzy Small’. Όσο

μικρότερες είναι οι τιμές, τόσο καταλληλότερες είναι οι αντίστοιχες θέσεις για τη χωροθέτηση της τουριστικής μονάδας. Διαφορετικά, όσο μικρότερες είναι οι τιμές, τόσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός συμμετοχής τους στο σύνολο «κατάλληλες χρήσεις γης».

Προκειμένου να γίνει περισσότερο κατανοητή η διαδικασία της ασαφοποίησης των χωρικών δεδομένων, παρουσιάζεται ενδεικτικά το ασαφοποιημένο θεματικό επίπεδο *χρήσεις γης* (Χάρτης 10-3):



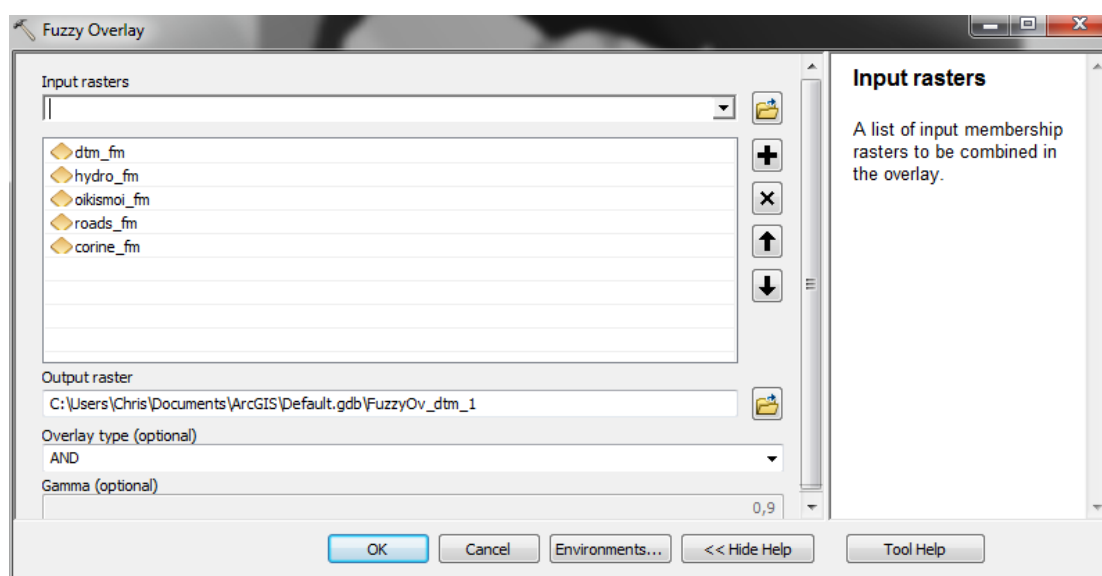
Χάρτης 10-3: Ασαφοποίηση θεματικού επιπέδου-κριτηρίου «Χρήσεις γης»

Στον παραπάνω χάρτη, όπως φαίνεται στο υπόμνημα, οι έντονα γαλάζιες αποχρώσεις υποδεικνύουν θέσεις με υψηλό βαθμό συμμετοχής στο σύνολο «κατάλληλες χρήσεις για χωροθέτηση» ενώ, οι έντονα καφέ αποχρώσεις υποδεικνύουν θέσεις με χαμηλό βαθμό συμμετοχής. Στις ενδιάμεσες θέσεις αντιστοιχούν ενδιάμεσοι βαθμοί συμμετοχής.

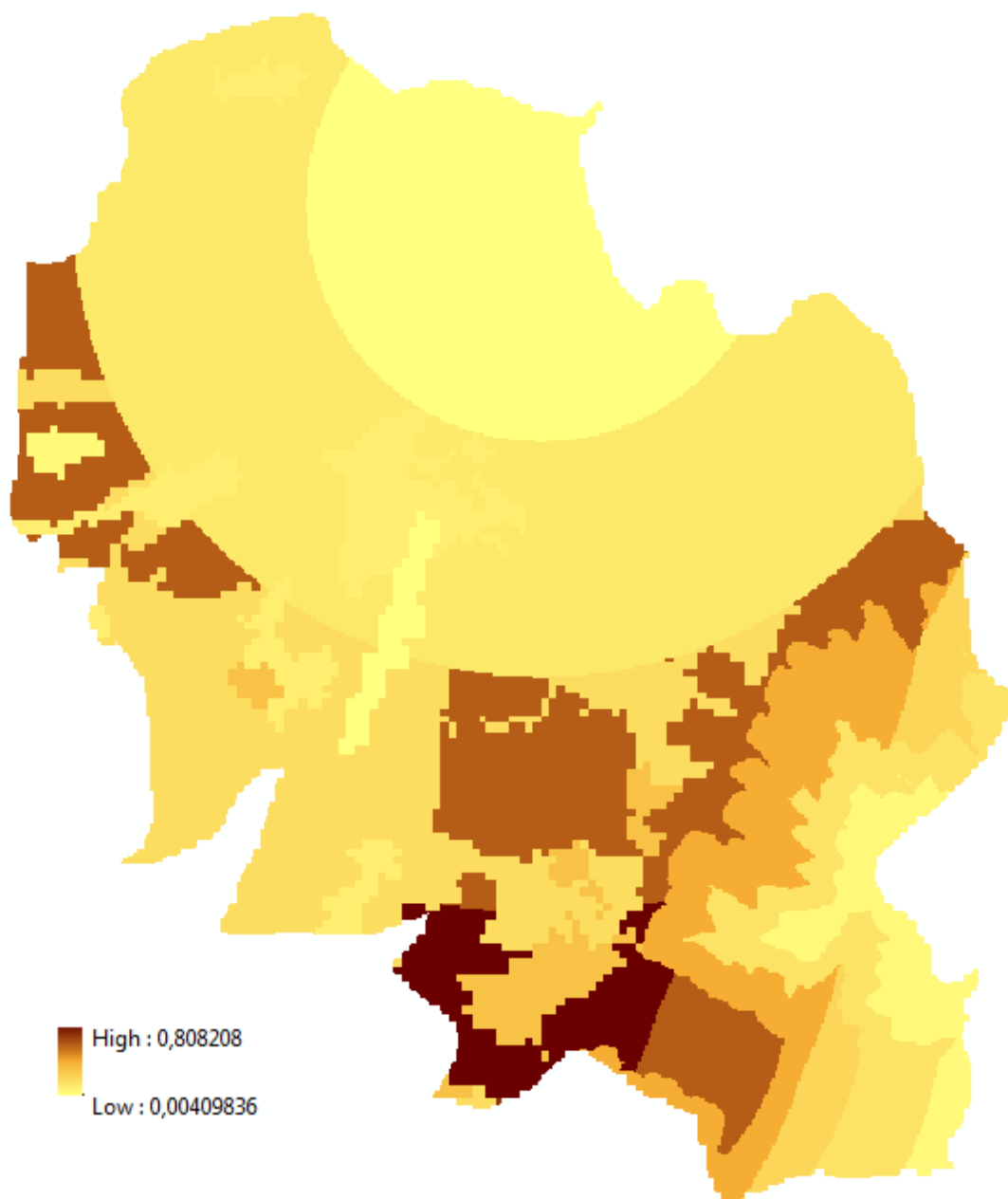
Μετά την ολοκλήρωση της ασαφοποίησης των θεματικών επιπέδων, ακολούθησε η διεξαγωγή της πολυκριτηριακής αξιολόγησης με εφαρμογή της μεθόδου *Ασαφούς Υπέρθεσης* – εργαλείο 'Fuzzy Overlay'. Στο στάδιο αυτό, τα ασαφοποιημένα θεματικά επίπεδα-κριτήρια συνδυάζονται μεταξύ τους προκειμένου

να δημιουργηθεί το τελικό θεματικό επίπεδο που αναπαριστά το τελικό αποτέλεσμα της αξιολόγησης. Για τη διεξαγωγή της αξιολόγησης, ο χρήστης εισάγει το σύνολο των ασαφοποιημένων θεματικών επιπέδων που πρόκειται να λάβουν μέρος στην αξιολόγηση καθώς και τον τελεστή στη βάση του οποίου θα γίνει ο συνδυασμός τους (Πίνακας 10-8). Για την περίπτωση που εξετάζεται, χρησιμοποιήθηκε ο τελεστής 'AND' καθώς αναζητώνται οι θέσεις που ικανοποιούν ταυτόχρονα το σύνολο των κριτηρίων, έστω και με μικρό βαθμό συμμετοχής.

Πίνακας 10-8: Πίνακας δεδομένων Ασαφούς Υπέρθεσης



Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή της Ασαφούς Υπέρθεσης παρουσιάζονται στον Χάρτη 10-4. Είναι αρκετά πιο «ξεκάθαρα» σε σχέση με τα αντίστοιχα αποτελέσματα της Σταθμικής Υπέρθεσης και της Σταθμικής Άθροισης καθώς, η διαβάθμιση από την «πλήρη καταλληλότητα» στη «μηδενική καταλληλότητα» αναπαρίσταται βαθμιαία και όχι με απότομα όρια. Έτσι, θέσεις που δεν «εντοπίστηκαν» στις προηγούμενες περιπτώσεις αξιολόγησης, εμφανίζονται στην προκειμένη περίπτωση ως κατάλληλες για τη χωροθέτηση της τουριστικής μονάδας. Όσο πιο έντονη είναι η απόχρωση του καφέ, τόσο πιο κατάλληλη είναι η υποψήφια θέση για τη χωροθέτηση της τουριστικής μονάδας και τόσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός συμμετοχής της στο σύνολο «κατάλληλη θέση χωροθέτησης». Οι τιμές στο υπόμνημα του χάρτη αντιστοιχούν σε βαθμούς συμμετοχής των αντίστοιχων υποψήφιων θέσεων χωροθέτησης.



Χάρτης 10-4: Ταξινόμηση καταλληλότητας θέσεων χωροθέτησης με εφαρμογή της μεθόδου της Ασαφούς Υπέρθεσης

Η παρούσα ενότητα κλείνει με την παρουσίαση των αποτελεσμάτων της Ασαφούς Υπέρθεσης στη δορυφορική εικόνα της περιοχής μελέτης. Για λόγους καλύτερης ευκρίνειας, τα αποτελέσματα της αξιολόγησης παρουσιάζονται με τόνους του γκρι. Η συγκριτική ανάλυση των επιμέρους αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τις τρεις αξιολογήσεις παρουσιάζεται στην ενότητα που ακολουθεί.



Εικόνα 10-3: Ταξινόμηση καταλληλότητας θέσεων χωροθέτησης με εφαρμογή της μεθόδου της Ασαφούς Υπέρθεσης

10.4. Συγκριτική Ανάλυση Αποτελεσμάτων Χωρικής Πολυκριτηριακής Αξιολόγησης

Το κεφάλαιο κλείνει με τη συγκριτική ανάλυση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την εφαρμογή των τριών μεθόδων πολυκριτηριακής αξιολόγησης. Οι μέθοδοι πολυκριτηριακής αξιολόγησης εφαρμόστηκαν σε περιβάλλον ArcGIS και είναι ενσωματωμένες στο ArcMap. Πρόκειται για τη μέθοδο της Σταθμικής Υπέρθεσης (Weighted Overlay), τη μέθοδο της Σταθμικής Άθροισης (Weighted Sum) και τη μέθοδο της Ασαφούς Υπέρθεσης (Fuzzy Overlay). Οι δύο πρώτες

μέθοδοι βασίζονται στα αξιώματα της δίτιμης λογικής (crisp logic) ενώ η τρίτη αξιοποιεί τη λογική της ασάφειας (fuzzy logic). Οι μέθοδοι Σταθμικής Υπέρθεσης και Σταθμικής Άθροισης παρουσιάζουν αρκετά κοινά σημεία καθώς, περιλαμβάνουν την απόδοση βαρών στα κριτήρια αξιολόγησης και την αναταξινόμηση των τιμών των θεματικών επιπέδων-κριτηρίων, η οποία παραπέμπει σε ανάθεση επιδόσεων στις υποψήφιες θέσεις χωροθέτησης. Η μέθοδος της Ασαφούς Υπέρθεσης διαφοροποιείται καθώς, η διαδικασία της αξιολόγησης στηρίζεται στην ασαφοποίηση των τιμών των θεματικών επιπέδων-κριτηρίων μέσω της οποίας, εκφράζονται ανά θεματικό επίπεδο οι προτιμήσεις των υποψήφιων θέσεων χωροθέτησης ανάλογα με τον βαθμό καταλληλότητάς τους.

Πιο αναλυτικά, η μέθοδος της Σταθμικής Υπέρθεσης ολοκληρώνεται μέσα από:

- Την απόδοση *τιμών* σε κάθε κλάση δεδομένων κάθε θεματικού επιπέδου, οι οποίες υποδηλώνουν «προτίμηση» ως προς τις θέσεις που ανήκουν στη συγκεκριμένη κλάση. Έτσι, για κάθε κλάση δεδομένων ορίζεται μία επίδοση, η οποία αντανακλά την προτίμηση των υποψήφιων θέσεων της κλάσης αυτής στο πλαίσιο του προβλήματος που εξετάζεται ανά περίπτωση. Η τιμή της επίδοσης αποδίδεται ως προς το κριτήριο που εκπροσωπεί το εκάστοτε θεματικό επίπεδο που περιλαμβάνει τη συγκεκριμένη κλάση.
- Την απόδοση *βαρών* στα θεματικά επίπεδα-κριτήρια. Σε κάθε θεματικό επίπεδο-κριτήριο αποδίδεται ένα βάρος το οποίο υποδεικνύει τη σημαντικότητα του συγκεκριμένου κριτηρίου σε σχέση με τα υπόλοιπα κριτήρια που συμμετέχουν στην αξιολόγηση. Τα επιμέρους βάρη αθροίζουν στο 100% και η σχεδιαστική ομάδα τα κατανείμει στα κριτήρια ανάλογα με τη σημαντικότητα που κάθε ένα από αυτά έχει στο πλαίσιο του προβλήματος που κάθε φορά εξετάζεται.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η μέθοδος της Σταθμικής Υπέρθεσης διαχειρίζεται τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά δεδομένα καθώς, αφού αποδοθούν βάρη και επιδόσεις, υλοποιεί και μία διαδικασία κανονικοποίησης (rescaling) των τιμών.

Η μέθοδος της Σταθμικής Άθροισης διαχειρίζεται αποκλειστικά και μόνο ποσοτικά δεδομένα. Για τον λόγο αυτό, πριν τη διεξαγωγή της καθεαυτής διαδικασίας της αξιολόγησης και για κάθε θεματικό επίπεδο, γίνεται μία αναταξινόμηση των τιμών των θεματικών επιπέδων (τιμές στον Πίνακα

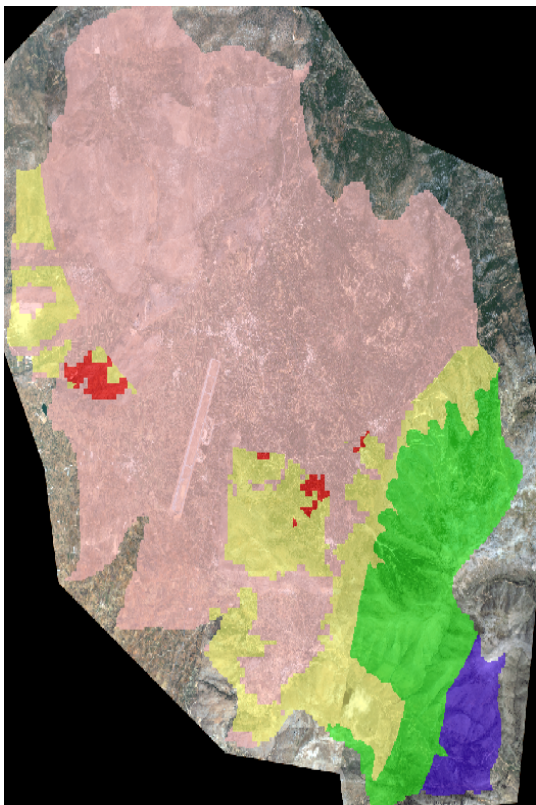
Περιγραφικών Χαρακτηριστικών που χρησιμοποιούνται στην αξιολόγηση). Οι νέες αναταξινομημένες τιμές έχουν κάποια ποσοτική σημασία και εκφράζουν προτίμηση κλάσεων δεδομένων ανά θεματικό επίπεδο ως προς το συγκεκριμένο θεματικό επίπεδο-κριτήριο. Στη συνέχεια, όπως και στην περίπτωση της Σταθμικής Υπέρθεσης, αποδίδονται σε κάθε θεματικό επίπεδο-κριτήριο βάρη, τα οποία αντανακλούν τη σημαντικότητα κάθε θεματικού επιπέδου στο πλαίσιο της εκάστοτε πολυκριτηριακής αξιολόγησης. Επισημαίνεται ότι τα βάρη εκφράζονται είτε μέσω ακεραίων είτε μέσω δεκαδικών αριθμών και συνήθως το σύνολό τους αθροίζει στο 1.

Η μέθοδος της Ασαφούς Υπέρθεσης προϋποθέτει καταρχάς την ασαφοποίηση των δεδομένων που πρόκειται να συμμετάσχουν στη διαδικασία της αξιολόγησης. Σε κάθε θεματικό επίπεδο-κριτήριο αποδίδεται μία συνάρτηση συμμετοχής, μέσω της οποίας εκφράζεται η βαθμιαία μεταβολή της προτίμησης των υπονήφιων θέσεων του συγκεκριμένου θεματικού επιπέδου-κριτηρίου ως προς αυτό το θεματικό επίπεδο-κριτήριο. Ανάλογα με τη φύση του κριτηρίου, επιλέγεται η αντίστοιχη συνάρτηση συμμετοχής. Όταν για παράδειγμα η προτίμηση θέσεων ως προς ένα κριτήριο αυξάνεται με την αντίστοιχη μείωση των τιμών (cell values) που αντιστοιχούν στις θέσεις αυτές, τότε επιλέγεται μία φθίνουσα συνάρτηση συμμετοχής. Όσο μικρότερες είναι οι τιμές ενός θεματικού επιπέδου, τόσο πιο προτιμητέες είναι οι αντίστοιχες θέσεις ως προς το συγκεκριμένο θεματικό επίπεδο-κριτήριο και τόσο μεγαλύτερος ο βαθμός συμμετοχής τους στο σύνολο που ορίζει την καταλληλότητα της θέσης ως προς το συγκεκριμένο θεματικό επίπεδο-κριτήριο. Για κάθε θεματικό επίπεδο-κριτήριο ορίζεται μία συνάρτηση συμμετοχής και ολοκληρώνεται η διαδικασία της ασαφοποίησης. Στη συνέχεια, το σύνολο των θεματικών επιπέδων-κριτηρίων συνδυάζονται μεταξύ τους μέσω των αντίστοιχων συναρτήσεων συμμετοχής και βάσει του ασαφούς τελεστή που επιλέγεται ανά περίπτωση. Σημειώνεται ότι η Ασαφής Υπέρθεση δεν περιλαμβάνει τη δημιουργία βάσης γνώσης και τον ορισμό ασαφών κανόνων. Μετά την ασαφοποίηση και τον ορισμό του αντίστοιχου ασαφούς τελεστή, τα θεματικά επίπεδα-κριτήρια συνδυάζονται μεταξύ τους και γίνεται απευθείας απο-ασαφοποίηση του αποτελέσματος.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν μετά την ολοκλήρωση των τριών αξιολογήσεων που υλοποιήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής, παρουσιάζονται συνολικά στις τρεις δορυφορικές εικόνες που ακολουθούν. Στην Εικόνα 10-4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την υλοποίηση της Σταθμικής Υπέρθεσης. Οι πλέον κατάλληλες θέσεις για τη χωροθέτηση της

τουριστικής μονάδας αναπαρίστανται με κόκκινο χρώμα και ακολουθούν κατά φθίνουσα σειρά: οι θέσεις που αναπαρίστανται με κίτρινο χρώμα, οι θέσεις που αναπαρίστανται με πράσινο χρώμα, οι θέσεις που αναπαρίστανται με μωβ χρώμα και οι θέσεις που αναπαρίστανται με ροζ χρώμα. Η κατάταξη των θέσεων βασίζεται στον αριθμό και το επίπεδο που οι υποψήφιοι θέσεις ικανοποιούν τα κριτήρια αξιολόγησης. Παράλληλα, η καταλληλότητα ορίζεται και μέσω μίας κλίμακας που κυμαίνεται από το 0 μέχρι το 5. Ο αριθμός 0 σημαίνει απολύτως ακατάλληλες περιοχές ενώ το 5, απολύτως κατάλληλες.

Στην Εικόνα 10-5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που έδωσε η Σταθμική Άθροιση. Όσο πιο έντονη είναι η απόχρωση του κόκκινου τόσο πιο κατάλληλη είναι η περιοχή για τη χωροθέτηση της τουριστικής μονάδας. Παρατηρώντας τη δορυφορική εικόνα, είναι εμφανές ότι τα αποτελέσματα διαφοροποιούνται σε σχέση με αυτά της Σταθμικής Υπέρθησης αλλά όχι σε μεγάλο βαθμό. Οι κύριες διαφορές εντοπίζονται στο γεγονός ότι η Σταθμική Άθροιση υποδεικνύει ως «πολύ κατάλληλες θέσεις», θέσεις οι οποίες βάσει της ιεράρχησης της Σταθμικής Υπέρθησης έρχονται δεύτερες. Παρ'όλ'αυτά, στην πλειοψηφία τους οι πλέον κατάλληλες θέσεις χωροθέτησης της Σταθμικής Άθροισης είναι γειτονικές με τις αντίστοιχες της Σταθμικής Υπέρθησης. Ορισμένες «βέλτιστες θέσεις» συμπίπτουν για τις δύο αξιολογήσεις. Ωστόσο, σημαντικές διαφοροποιήσεις εντοπίζονται στις κατηγορίες «λιγότερο κατάλληλες» ή «ακατάλληλες» θέσεις για τη χωροθέτηση της τουριστικής μονάδας. Η μέθοδος της Σταθμικής Άθροισης υποδεικνύει ως «μέτριας και χαμηλής καταλληλότητας» κάποιες θέσεις που η Σταθμική Υπέρθηση έχει αποκλείσει (περιοχές με ροζ απόχρωση). Μάλιστα μία μικρή περιοχή που έχει αποκλειστεί από τη Σταθμική Υπέρθηση εμφανίζεται με αρκετά υψηλό βαθμό καταλληλότητας στη Σταθμική Άθροιση.



Εικόνα 10-4: Αποτελέσματα Σταθμικής Υπέρθεσης

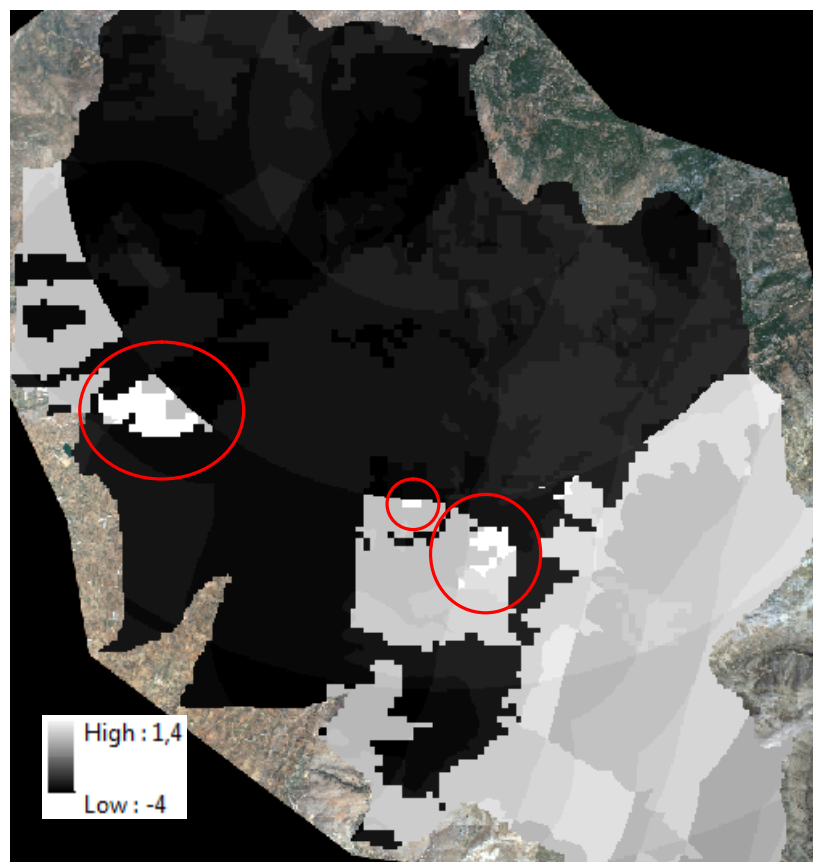


Εικόνα 10-5: Αποτελέσματα Σταθμικής Αθροίσης



Εικόνα 10-6: Αποτελέσματα Ασαφούς Υπέρθεσης

Οι διαφοροποιήσεις αυτές οφείλονται στον τρόπο που τα δύο μοντέλα διαχειρίζονται τα δεδομένα. Η κανονικοποίηση που υλοποιείται στην περίπτωση της Σταθμικής Υπέρθεσης, οδηγεί σε ένα μεγαλύτερο επίπεδο γενίκευσης το οποίο δεν υφίσταται στην περίπτωση της Σταθμικής Άθροισης, η οποία δίνει στον σχεδιαστή περισσότερες επιλογές. Εάν ο σχεδιαστής επιθυμεί να λάβει την τελική του απόφαση συνδυάζοντας τα αποτελέσματα των δύο αξιολογήσεων, χρησιμοποιώντας το εργαλείο 'Minus' της εργαλειοθήκης 3D Analyst Tools → Raster Math έχει τη δυνατότητα να αφαιρέσει το ένα θεματικό επίπεδο από το άλλο και να λάβει ένα συνδυαστικό αποτέλεσμα (Χάρτης 10-5).



Χάρτης 10-5: Πλέον κατάλληλες περιοχές χωροθέτησης σύμφωνα με το συνδυαστικό αποτέλεσμα της Σταθμικής Υπέρθεσης και της Σταθμικής Άθροισης

Τέλος, όσον αφορά στα αποτελέσματα της Ασαφούς Υπέρθεσης, μοιάζουν αρκετά με τα αποτελέσματα των δύο προηγούμενων αξιολογήσεων καθώς οι βέλτιστες θέσεις χωροθέτησης που έχουν προκύψει μέχρι στιγμής, εμφανίζονται με υψηλό βαθμό συμμετοχής στο σύνολο «κατάλληλες θέσεις για τη χωροθέτηση της τουριστικής μονάδας». Ωστόσο, η Ασαφής Υπέρθεση υποδεικνύει ως πλέον

κατάλληλες και ένα σύνολο θέσεων στη νοτιοανατολική πλευρά της περιοχής μελέτης, θέσεις με τον μέγιστο βαθμό συμμετοχής. Οι εν λόγω θέσεις έρχονται δεύτερες στην αντίστοιχη ιεραρχία της Ασαφούς Υπέρθεσης ενώ εμφανίζονται με πολύ υψηλό βαθμό καταλληλότητας και στην περίπτωση της Σταθμικής Άθροισης. Οι πλέον κατάλληλες θέσεις της Σταθμικής Υπέρθεσης και της Σταθμικής Άθροισης εμφανίζονται και σε αυτήν την περίπτωση με υψηλό βαθμό συμμετοχής ως προς την καταλληλότητα.

Σε μία προσπάθεια συνολικής εκτίμησης των αποτελεσμάτων, είναι εμφανές ότι η μέθοδος της Ασαφούς Υπέρθεσης δίνει πιο «εύκαμπτα» αποτελέσματα, ήπια μετάβαση μεταξύ των επιμέρους κατηγοριών καταλληλότητας, σε σχέση με τις άλλες δύο μεθόδους όπου τα όρια μεταξύ των κατηγοριών καταλληλότητας είναι περισσότερο «απότομα» μεταξύ τους. Έτσι, δημιουργείται μία πιο ξεκάθαρη εικόνα στον σχεδιαστή σχετικά με τις περιοχές που μπορεί να χωροθετήσει την τουριστική υποδομή. Το αποτέλεσμα είναι πιο «ξεκάθαρο» σε σχέση με αυτό της Σταθμικής Άθροισης ενώ μοιάζει περισσότερο με αυτό της Σταθμικής Υπέρθεσης. Επιπλέον, η Ασαφής Υπέρθεση ως μέθοδος είναι ίσως περισσότερο κατάλληλη για τη διαχείριση χωρικών δεδομένων καθώς, τα όρια μεταξύ των διαφόρων κατηγοριών που εμπλέκονται στη διαδικασία αξιολόγησης (π.χ. κατηγορίες χρήσεων γης, κλίσεις εδάφους) είναι περισσότερο ασαφή παρά απόλυτα διακριτά μεταξύ τους. Η Ασαφής Υπέρθεση «επιτρέπει» τη βαθμιαία μετάβαση από τη μη καταλληλότητα στην απόλυτη καταλληλότητα, έχοντας έτσι ως αποτέλεσμα να μη «χάνονται» λιγότερο πιθανές περιοχές χωροθέτησης. Αντίθετα, οι άλλες δύο μέθοδοι θέτουν «απότομα» όρια μεταξύ της μη καταλληλότητας και της απόλυτης καταλληλότητας, γεγονός που συνεπάγεται ένα ρίσκο για τον αποκλεισμό περιοχών που πληρούν τις βασικές προϋποθέσεις. Είναι συνεπώς πιο ευέλικτη, δίνει περισσότερο ρεαλιστικά αποτελέσματα και προσεγγίζει σε μεγαλύτερο βαθμό τον τρόπο εξαγωγής συμπερασμάτων και λήψης αποφάσεων του ανθρώπινου εγκεφάλου. Ως εκ τούτου, «διευκολύνει» τη διαδικασία λήψης αποφάσεων σχετικά με τη χωροθέτηση δραστηριοτήτων παρέχοντας ένα πλαίσιο ομαλής διαβάθμισης της καταλληλότητας των υποψήφιων περιοχών χωροθέτησης και, συμβάλλοντας ταυτόχρονα στη «διατήρηση περισσότερης πληροφορίας», σχετικά με τα δεδομένα εισόδου, η οποία συνυπολογίζεται κατά την επεξεργασία τους και συν-διαμορφώνει το τελικό αποτέλεσμα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Η παρούσα διατριβή εστιάζει στη μελέτη των Συστημάτων Στήριξης Αποφάσεων, με ιδιαίτερη έμφαση στο στάδιο της αξιολόγησης η οποία αποτελεί ένα εργαλείο που συστηματοποιεί τη διαδικασία λήψης αποφάσεων και λειτουργεί υποστηρικτικά ως προς την εκτίμηση επιπτώσεων εναλλακτικών λύσεων. Βασικό αντικείμενο της διατριβής συνιστά η διαχείριση των δεδομένων και της πληροφορίας που εμπλέκονται σε μία διαδικασία πολυκριτηριακής αξιολόγησης, οι διαδικασίες επεξεργασίας τους και τα αποτελέσματα που προκύπτουν.

Κύριο σημείο προβληματισμού, αποτελεί το γεγονός ότι σε ένα μεγάλο αριθμό προβλημάτων πολυκριτηριακής αξιολόγησης τα δεδομένα και η πληροφορία είναι ποιοτικής ή και μεικτής φύσεως (ποσοτικά και ποιοτικά). Επομένως, σε περιπτώσεις μεθόδων πολυκριτηριακής αξιολόγησης που επεξεργάζονται αποκλειστικά ποσοτικά δεδομένα, παρίσταται η ανάγκη για την ποσοτικοποίησή τους. Η διαδικασία της ποσοτικοποίησης ποιοτικών δεδομένων έχει αρκετές φορές ως αποτέλεσμα την «αφαίρεση» τμημάτων πληροφορίας η οποία δε δύναται να ποσοτικοποιηθεί και ως εκ τούτου, δε λαμβάνεται υπόψη κατά τη διαδικασία της αξιολόγησης. Επιπλέον, τα δεδομένα είναι σε αρκετές περιπτώσεις ασαφή, ελλιπή και ενσωματώνουν ορισμένο βαθμό αβεβαιότητας ο οποίος πρέπει να γίνει διαχειρίσιμος προκειμένου να προκύψουν έγκυρα και όσο το δυνατόν ποιοτικότερα αποτελέσματα. Σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει τη διαδικασία αξιολόγησης, είναι επίσης η συμμετοχή ειδικών οι οποίοι καλούνται να διατυπώσουν εκτιμήσεις ως προς τις επιδόσεις των εναλλακτικών λύσεων και τη σημαντικότητα των κριτηρίων στη βάση των οποίων αξιολογούνται οι εν λόγω εναλλακτικές. Η «εμπλοκή» του ανθρώπινου παράγοντα στη διαδικασία θέτει πρόσθετα ζητήματα προβληματισμού τα οποία σχετίζονται με τη διατύπωση κρίσεων των ειδικών που εκφράζονται συνήθως λεκτικά, με τη διαδικασία υλοποίησης συλλογισμών και εξαγωγής συμπερασμάτων από τον ανθρώπινο εγκέφαλο, καθώς και με τον μη ακριβή (με μαθηματικούς όρους) τρόπο διατύπωσης εκτιμήσεων και συμπερασμάτων. Παράλληλα, καθίσταται ανάγκη μοντελοποίησης και περιορισμού της υποκειμενικότητας η οποία συνιστά εγγενές χαρακτηριστικό της πολυκριτηριακής αξιολόγησης.

Σε ένα δεύτερο επίπεδο και δεδομένου ότι η διατριβή εστιάζει κυρίως στην επίλυση προβλημάτων που ενσωματώνουν τη χωρική διάσταση, διερευνήθηκε το

πλαίσιο υλοποίησης της διαδικασίας πολυκριτηριακής αξιολόγησης σε περιβάλλον ΣΓΠ. Ο προβληματισμός, και σε αυτήν την περίπτωση, εστιάζεται στη διαχείριση ποιοτικής (περιγραφικής) πληροφορίας η οποία «συνοδεύει» τα χωρικά δεδομένα που αναλύει και επεξεργάζεται ένα ΣΓΠ. Η έμφαση δόθηκε στη διερεύνηση του ζητήματος των ασαφών ορίων που δημιουργούνται μεταξύ χωρικών δεδομένων τα οποία ανήκουν σε διαφορετικές κατηγορίες.

Στη βάση των παραπάνω σημείων προβληματισμού, διερευνήθηκε η σχετική βιβλιογραφία που αφορά στα Συστήματα Στήριξης Αποφάσεων, στις μεθόδους πολυκριτηριακής αξιολόγησης, στις ιδιαιτερότητες που η αξιολόγηση παρουσιάζει σε περιπτώσεις διαχείρισης χωρικών προβλημάτων σε περιβάλλον ΣΓΠ, καθώς και στο πλαίσιο που παρέχει η τεχνητή νοημοσύνη και η ασαφής λογική για τη μοντελοποίηση και διαχείριση των ζητημάτων που παρουσιάστηκαν παραπάνω.

Στηριζόμενη στη μελέτη της αντίστοιχης βιβλιογραφίας, η διατριβή προσεγγίζει τα παραπάνω θέματα αξιοποιώντας τα πλεονεκτήματα και τα εργαλεία που παρέχει η ασαφής λογική, με στόχο την ενσωμάτωσή τους σε δύο νέα προτεινόμενα μοντέλα πολυκριτηριακής αξιολόγησης (FAIDRA I και FAIDRA II). Παράλληλα, διερευνώνται ζητήματα που σχετίζονται με την εφαρμογή διακριτών και ασαφών μεθόδων χωρικής πολυκριτηριακής αξιολόγησης σε περιβάλλον ΣΓΠ, μέσα από τη συνεκτίμηση και τη συγκριτική ανάλυση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν ανά περίπτωση.

Η διατριβή χωρίζεται θεωρητικά σε τρία μέρη. Το πρώτο μέρος αφορά στη μελέτη και την ανασκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας. Στο δεύτερο μέρος, περιγράφονται οι καινοτομίες που αναπτύχθηκαν ενώ στο τρίτο μέρος, παρουσιάζονται οι μελέτες περίπτωσης όπου εφαρμόστηκαν τα νέα προτεινόμενα μοντέλα. Τα βασικά σημεία εστίασης περιλαμβάνουν:

- Τη διεξοδική μελέτη του τρόπου λειτουργίας του μοντέλου πολυκριτηριακής αξιολόγησης Multipol.
- Τη διερεύνηση των σημείων του Multipol που παρουσιάζουν ιδιαίτερο ερευνητικό ενδιαφέρον.
- Την ανάπτυξη, στη βάση της λογικής λειτουργίας του Multipol, του συστήματος ασφούς συμπερασμού FAIDRA I.
- Την ανάπτυξη, στη βάση της λογικής λειτουργίας του Multipol, του λεκτικού υπολογιστικού μοντέλου FAIDRA II.

- Την εφαρμογή των μοντέλων FAIDRA I και FAIDRA II σε δύο επιμέρους μελέτες περίπτωσης και τη συγκριτική ανάλυση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν.
- Τη συγκριτική ανάλυση των αποτελεσμάτων κλασικών και ασαφών μεθόδων πολυκριτηριακής αξιολόγησης σε περιβάλλον ΣΓΠ, μέσα από την υλοποίηση μίας αντίστοιχης μελέτης περίπτωσης.

11.1. Συμπεράσματα

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την ολοκλήρωση της διατριβής, βρίσκονται σε άμεση συνάρτηση με τα αποτελέσματα της εφαρμογής των μοντέλων που αναπτύχθηκαν στις επιμέρους μελέτες περίπτωσης και ομαδοποιούνται ανά μοντέλο.

Αναφορικά με το μοντέλο FAIDRA I, είναι ένα σύστημα ασαφούς συμπερασμού το οποίο υλοποιεί διαδικασίες ασαφοποίησης διακριτών (crisp) τιμών, επεξεργασίας των ασαφοποιημένων τιμών στη βάση ενός συνόλου ασαφών κανόνων, εξαγωγής ασαφών συμπερασμάτων και απο-ασαφοποίησης. Είναι ένα μοντέλο που σχεδιάστηκε στη βάση της λογικής λειτουργίας του μοντέλου Multipol, με στόχο την υλοποίηση διαδικασιών πολυκριτηριακής αξιολόγησης Δράσεων-Πολιτικών και Πολιτικών-Σεναρίων, αξιοποιώντας μεθόδους και εργαλεία της ασαφούς λογικής. Τα βασικά συμπεράσματα που προέκυψαν από τη συγκριτική ανάλυση των αποτελεσμάτων των δύο μοντέλων FAIDRA I και Multipol, συνοψίζονται στα εξής:

- Το μοντέλο FAIDRA I, μέσω της ασαφούς διαμέρισης που υλοποιεί κατά τη διαδικασία της ασαφοποίησης, «ελέγχει» σε μεγαλύτερο βαθμό την πιθανότητα μία διακριτή τιμή που έχει αποδοθεί σε μία επίδοση ή σε ένα βάρος κριτηρίου, να ανήκει με διαφορετικό βαθμό συμμετοχής σε δύο οριακές καταστάσεις. Έτσι, «μοιράζει» τη διακριτή τιμή στα ασαφή σύνολα που αναπαριστούν τις δύο αυτές οριακές καταστάσεις. Με τον τρόπο αυτό, λαμβάνει υπόψη την πιθανότητα μία τιμή να ενσωματώνει ταυτόχρονα της έννοιες «μέτρια» και «καλή» ενώ, προσεγγίζει σε μεγαλύτερο βαθμό τον τρόπο με τον οποίο διατυπώνει και εκφράζει συμπεράσματα ο ανθρώπινος εγκέφαλος. Ως εκ τούτου, η λογική λειτουργία του FAIDRA I λαμβάνει υπόψη ότι μία τιμή επίδοσης

μπορεί να σημαίνει ταυτόχρονα «αρκετά μέτρια» και «λίγο καλή». Το γεγονός αυτό λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς που υλοποιεί και έχει ως αποτέλεσμα την εξαγωγή περισσότερο ρεαλιστικών αποτελεσμάτων.

- Η χρήση ασαφών κανόνων παρέχει τη δυνατότητα συνυπολογισμού περισσότερων του ενός ενδεχομένων και της συνεκτίμησης του συνόλου των οριακών καταστάσεων στις οποίες ανήκουν οι ασαφοποιημένες τιμές. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τη χρήση ασαφών κανόνων, ενσωματώνουν την έννοια της βαθμιαίας μετάβασης από μία κατάσταση σε μία άλλη και εμπεριέχουν το σύνολο των πιθανών συνδυασμών μέσω των οποίων συνδέονται μεταξύ τους τα δεδομένα εισόδου στο σύστημα.
- Η απο-ασαφοποίηση επιστρέφει στον χρήστη μία διακριτή τιμή η οποία, από τη μία πλευρά είναι πιο «κατανοητή» γι' αυτόν και από την άλλη, ενσωματώνει το σύνολο της πληροφορίας που το σύστημα χρησιμοποίησε στα προηγούμενα στάδια για την εξαγωγή του τελικού συμπεράσματος.
- Το FAIDRA I καθιστά δυνατή τη μοντελοποίηση της βαθμιαίας μετάβασης από μία κατάσταση σε μία άλλη. Έτσι, μεταξύ των αποτελεσμάτων που προκύπτουν δεν υφίστανται «απότομα» όρια όπως στην περίπτωση της δίτιμης λογικής ενώ, περιορίζονται πιθανές ανακρίβειες.
- Το FAIDRA I περιορίζει επίσης την υποκειμενικότητα με την οποία εκφράζονται οι εκτιμήσεις που αφορούν σε επιδόσεις και βάρη καθώς, «μοιράζει» την εκτίμηση που έχει διατυπωθεί σε γειτονικές οριακές καταστάσεις στις οποίες μπορεί να ανήκει, αντιστοιχώντας σε αυτήν τον ανάλογο βαθμό συμμετοχής.
- Μέσω της ασαφοποίησης και της χρήσης των ασαφών κανόνων, το σύστημα ασαφούς συμπερασμού «προστατεύει» τον χρήστη από την «απώλεια» τμημάτων πληροφορίας η οποία δε θα μπορούσε να μοντελοποιηθεί με τους όρους της δίτιμης λογικής.
- Το FAIDRA I παρέχει τη δυνατότητα μαθηματικοποίησης των γνωσιακών καταστάσεων του ανθρώπινου εγκεφάλου και της

αβεβαιότητας που συνιστά εγγενές χαρακτηριστικό της φυσικής γλώσσας.

Τέλος, τα αποτελέσματα του FAIDRA I, λόγω της αξιοποίησης της ασαφούς λογικής από το μοντέλο, καθιστούν τη διαδικασία λήψης της τελικής απόφασης περισσότερο ευέλικτη καθώς, δείχνουν ότι το περιθώριο σφάλματος δεν είναι τόσο μεγάλο όσο αυτό που δίνει η αντίστοιχη δίτιμη προσέγγιση. Έτσι, πιθανή περίπτωση αποτυχίας του σχεδιαστικού αποτελέσματος μπορεί να γίνει πιο εύκολα διαχειρίσιμη καθώς το ασαφές μοντέλο καθιστά σαφή τη δυνατότητα εναλλακτικών επιλογών. Σημαντική είναι και η παρατήρηση ότι τα αποτελέσματα του FAIDRA I δεν αποκλίνουν σε πολύ μεγάλο βαθμό από τα αντίστοιχα του Multipol, γεγονός που επιβεβαιώνει την εγκυρότητα της νέας προτεινόμενης προσέγγισης.

Αναφορικά με το μοντέλο FAIDRA II, είναι ένα λεκτικό υπολογιστικό μοντέλο το οποίο επιτρέπει τη χρήση λεκτικών όρων για τη διατύπωση εκτιμήσεων σχετικά με επιδόσεις εναλλακτικών και βάρη κριτηρίων. Παράλληλα, αξιοποιεί τις δυνατότητες που παρέχει η ασαφής αριθμητική για την υλοποίηση πολυκριτηριακής αξιολόγησης μέσα από τη διενέργεια υπολογισμών μεταξύ λέξεων. Τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή του, συνοψίζονται στα ακόλουθα:

- Το FAIDRA II δίνει τη δυνατότητα χρήσης λεκτικών όρων για την εκτίμηση επιδόσεων και βαρών, μέσα από την αξιοποίηση μίας ποιοτικής κλίμακας μέτρησής τους. Οι τιμές της κλίμακας είναι σαφώς μικρότερες σε αριθμό σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές της ποσοτικής κλίμακας που χρησιμοποιεί το Multipol. Έτσι, υπάρχει ένα σαφέστερο πλαίσιο διάκρισης μεταξύ των διαφορετικών τιμών των κλιμάκων, οι οποίες επιπλέον είναι πιο «κοντά» στον τρόπο που οι ειδικοί σκέπτονται και εκφράζουν τις εκτιμήσεις τους.
- Οι ειδικοί συμμετέχοντες σε μία διαδικασία αξιολόγησης διατυπώνουν τις εκτιμήσεις τους απευθείας με χρήση λεκτικών όρων. Το γεγονός αυτό καθιστά πιο εύκολη γι' αυτούς τη διαδικασία αξιολόγησης καθώς, δε χρειάζεται να «μεταφράσουν» και να αντιστοιχίσουν τις κρίσεις τους σε «αυστηρές» αριθμητικές τιμές, οι οποίες αρκετές φορές περιπλέκουν τη διαδικασία λόγω των «απότομων» ορίων που υπάρχουν μεταξύ τους.
- Το FAIDRA II προσεγγίζει σε μεγαλύτερο βαθμό τον τρόπο συλλογιστικής του ανθρώπινου εγκεφάλου και επιτρέπει τη διατύπωση συμπερασμάτων απευθείας σε φυσική γλώσσα.

- Το FAIDRA II επιτρέπει τη μοντελοποίηση / μαθηματικοποίηση ποιοτικής πληροφορίας μέσα από τη χρήση ασαφών αριθμών και ασαφών συνόλων που τους αναπαριστούν.
- Χρησιμοποιώντας λεκτικούς όρους που επιτρέπουν τη βαθμιαία μετάβαση μεταξύ οριακών καταστάσεων, περιορίζει την υποκειμενικότητα της διαδικασίας αξιολόγησης ενώ διαχειρίζεται πιο αποτελεσματικά πιθανές ανακρίβειες.
- Παρέχει τη δυνατότητα αναπαράστασης αόριστων εννοιών εκφρασμένων σε φυσική γλώσσα, με μαθηματικούς όρους.
- Παρέχει τη δυνατότητα υλοποίησης μαθηματικών υπολογισμών μεταξύ λεκτικών όρων και την εξαγωγή απο-ασαφοποιημένων αποτελεσμάτων που είναι πιο «κατανοητά» στον χρήστη. Επιπλέον, οι απο-ασαφοποιημένες τιμές όπως και στην περίπτωση του μοντέλου FAIDRA I, ενσωματώνουν το σύνολο της απαιτούμενης για την εξαγωγή ρεαλιστικών αποτελεσμάτων πληροφορίας περιορίζοντας ταυτόχρονα πιθανές «απώλειες» πληροφορίας.

Τέλος, όμοια με το μοντέλο FAIDRA I, το FAIDRA II παρέχει στη σχεδιαστική ομάδα μεγαλύτερη ευελιξία κινήσεων σε περίπτωση αποτυχίας του σχεδιαστικού αποτελέσματος ενώ, οι μικρές αποκλίσεις των αποτελεσμάτων του συγκριτικά με τα αντίστοιχα του Multipol επικυρώνουν την εγκυρότητα του νέου προτεινόμενου μοντέλου.

Όσον αφορά στην υλοποίηση χωρικής πολυκριτηριακής αξιολόγησης με εφαρμογή κλασικών και ασαφών μεθόδων αξιολόγησης, τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη συγκριτική τους ανάλυση, συνίστανται στα εξής:

- Η ασαφής πολυκριτηριακή αξιολόγηση ενσωματώνει την έννοια της «βαθμιαίας μετάβασης» μέσα από την αξιοποίηση συναρτήσεων συμμετοχής για την εκτίμηση επιδόσεων θέσεων στον χώρο ως προς κάποια θεματικά επίπεδα- κριτήρια. Με τον τρόπο αυτό, δημιουργεί μία «συνέχεια» στον χώρο (βαθμιαία μετάβαση από τη «μη καταλληλότητα» στη «βέλτιστη καταλληλότητα») που έχει ως αποτέλεσμα τον μη αποκλεισμό θέσεων, οι οποίες αποκλείονται στην περίπτωση των δίτιμων προσεγγίσεων λόγω των «αυστηρών» ορίων που αυτές θέτουν.

- Η ασαφής πολυκριτηριακή αξιολόγηση δίνει πιο «ήπια» αποτελέσματα καθώς, η εφαρμογή της έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία περισσότερο «εύκαμπτων» ορίων μεταξύ των επιμέρους κατηγοριών καταλληλότητας υποψήφιων θέσεων χωροθέτησης.
- Οι διακριτές μέθοδοι χωρικής πολυκριτηριακής αξιολόγησης δίνουν ένα μικρότερο φάσμα πιθανών θέσεων χωροθέτησης λόγω των απότομων ορίων που δημιουργούν. Αντίθετα, η ασαφής χωρική πολυκριτηριακή αξιολόγηση «αποκαλύπτει» πιθανές θέσεις χωροθέτησης που δεν φαίνονται στην περίπτωση των δίτιμων προσεγγίσεων.
- Η ασαφής πολυκριτηριακή αξιολόγηση είναι πιο κατάλληλη στην περίπτωση ανάλυσης χωρικών δεδομένων καθώς, τα όρια μεταξύ των διαφορετικών κατηγοριών χωρικών δεδομένων είναι σε αρκετές περιπτώσεις δισδιάκριτα και ασαφή.
- Η ασαφής χωρική πολυκριτηριακή αξιολόγηση δίνει περισσότερο ρεαλιστικά αποτελέσματα, πλησιάζει σε μεγαλύτερο βαθμό τον τρόπο διατύπωσης συμπερασμάτων από τον ανθρώπινο εγκέφαλο και καθιστά τη διαδικασία λήψης αποφάσεων περισσότερο ευέλικτη.

11.2. Ερευνητικές Προοπτικές

Τόσο η μελέτη της βιβλιογραφίας όσο και η ανάπτυξη και εφαρμογή των προτεινόμενων καινοτομιών, έχει να καταδείξει θέματα τα οποία χρήζουν περαιτέρω μελέτης και έρευνας. Η διερεύνηση των εν λόγω ζητημάτων θα μπορούσε να συνεισφέρει σημαντικά στον εμπλουτισμό των προτεινόμενων μοντέλων αλλά και στην εξαγωγή περισσότερο ρεαλιστικών, έγκυρων και αντικειμενικών αποτελεσμάτων.

Σε ένα πρώτο επίπεδο, εξαιρετικής σημασίας είναι το ζήτημα της επιλογής του πλέον κατάλληλου τύπου συνάρτησης συμμετοχής, η οποία μοντελοποιεί στον βέλτιστο βαθμό το πρόβλημα που εξετάζεται. Η δοκιμή πολλαπλών και διαφορετικού τύπου συναρτήσεων και η συγκριτική ανάλυση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν ανά περίπτωση, θα μπορούσε πιθανώς να οδηγήσει σε χρήσιμα συμπεράσματα.

Η διαδικασία της ασαφούς διαμέρισης και ο βαθμός επικάλυψης των γειτονικών ασαφών συνόλων συνιστούν επίσης έναν καθοριστικό παράγοντα κατά τη

διαδικασία σχεδιασμού ενός ασαφούς συστήματος. Και σε αυτήν την περίπτωση, γενικοί κανόνες δεν υπάρχουν. Όμως το θέμα του ποσοστού επικάλυψης, είναι αυτό που καθορίζει εν τέλει την αναγκαιότητα σχεδιασμού ενός ασαφούς συστήματος. Όταν οι επικαλύψεις είναι μικρές, ένα ασαφές σύστημα πλησιάζει σε πολύ μεγάλο βαθμό ένα σύστημα η λειτουργία του οποίου βασίζεται στα αξιώματα της δίτιμης λογικής. Όταν οι επικαλύψεις είναι πολύ μεγάλες, δεν υπάρχει σαφής διάκριση μεταξύ των ασαφών συνόλων. Το ερώτημα: «Ποιός είναι ο βέλτιστος βαθμός επικάλυψης μεταξύ δύο ασαφών συνόλων;» είναι κεντρικό ζήτημα έρευνας και ιδιαίτερα δύσκολο να επιλυθεί καθώς, αφενός υπάρχουν διαφοροποιήσεις ανάλογα με το πρόβλημα που κάθε φορά εξετάζεται και αφετέρου, παράμετροι όπως η συμμετρικότητα των συναρτήσεων συμμετοχής, το είδος των συναρτήσεων συμμετοχής, το διάστημα των τιμών στο οποίο υλοποιείται η ασαφής διαμέριση, ο αριθμός των συναρτήσεων συμμετοχής, κ.ά. επηρεάζουν τον βαθμό επικάλυψης των ασαφών συνόλων.

Επίσης, ζητήματα όπως η επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου ασαφοποίησης, η επιλογή μεθόδου άθροισης των ασαφών κανόνων και η βέλτιστη ανά περίπτωση μέθοδος απο-ασαφοποίησης συγκαταλέγονται στα θέματα που ερευνώνται συστηματικά, με στόχο τη σχεδίαση περισσότερο αποτελεσματικών ασαφών συστημάτων.

Σε ένα δεύτερο επίπεδο, και με αφετηρία τη συνολική θεώρηση των μοντέλων που σχεδιάστηκαν και των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την εφαρμογή τους, σημαντικά θέματα για περαιτέρω διερεύνηση είναι τα ακόλουθα:

- Ο ορισμός των συναρτήσεων συμμετοχής από τους ειδικούς συμμετέχοντες σε μία διαδικασία αξιολόγησης και η ενσωμάτωσή τους σε ένα ενιαίο σύστημα ασαφούς συμπερασμού, το οποίο θα λαμβάνει υπόψη τις επιμέρους διαφορετικές προσεγγίσεις του κάθε ειδικού.
- Η περαιτέρω ανάπτυξη του μοντέλου FAIDRA II, μέσω του σχεδιασμού μίας διεπαφής χρήστη (Graphical User Interface) όπου το προτεινόμενο μοντέλο θα υλοποιείται στο πλαίσιο ενός ολοκληρωμένου λογισμικού.
- Η σύνδεση του μοντέλου FAIDRA II με ένα Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών, για την περίπτωση χωρικών προβλημάτων, με στόχο τη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου συστήματος χωρικής πολυκριτηριακής αξιολόγησης.

Ξενόγλωσση

- Abdullah, L., (2013), Fuzzy Multi Criteria Decision Making and its Applications: A Brief Review of Category, *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, Vol. 97, pp. 131-136.
- Abraham, A., (2005), Artificial Neural Networks, in P. H. Sydenham and R. Thorn (Eds.): **Handbook of Measuring System Design**, John Wiley and Sons, London, UK, pp. 901–908.
- Ahn, Ch. W., (2006), **Advances in Evolutionary Algorithms: Theory, Design and Practice**, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Andrienko, G., Andrienko, N., Jankowski, P., Keim, D., Kraak, M.-J., MacEachren, A. and Wrobel, S., (2007), Geovisual Analytics for Spatial Decision Support: Setting the Research Agenda, *International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 21, No. 8, pp. 839-857.
- Arcade, J., Godet, M., Meunier, F. and Roubelat, F., (1999), Structural Analysis with the MICMAC Method and Actors’ Strategy with MACTOR Method, *Futures Research Methodology*, American Council for the United Nations University: The Millennium Project, pp. 1-69.
- Atsalakis, G. S. and Valavanis, K. P., (2009), Surveying Stock Market Forecasting Techniques – Part II: Soft Computing Methods, *Expert Systems with Applications*, Vol. 36, No. 3, pp. 5932-5941.
- Ayhan, M. B., (2013), A Fuzzy AHP Approach for Supplier Selection Problem: A Case study in a Gearmotor Company, *International Journal of Managing Value and Supply Chains*, Vol. 4, No. 3, pp. 11-23.
- Bana e Costa, C. A. and Vansnick, J.-C., (1999), The MACBETH Approach: Basic Ideas, Software and an Application, in N. Meskens and M. Roubens (Eds.): **Advances in Decision Analysis**, Kluwer Academic Publishers, pp. 131-157.
- Basiura, B., Duda, J., Gaweł, B., Opila, J., Pelech-Pilichowski, T., Rębiasz, B. and Skalna, I., (2015), Ordering of Fuzzy Numbers, in I. Skalna et al. (Eds.): **Advances in Fuzzy Decision Making**, Springer, Swizerland, pp. 27-47.

- Bartolini, F., Gallerani, V., Samoggia, A. and Viaggi, D., (2005), Methodology for Multicriteria Analysis of Agri-Environmental Schemes, Deliverable N.11, Document Number: ITAES WP10 P6 D1, EU Project SSPE-CT-2003-502070 on 'Integrated Tools to Design and Implement Agro Environmental Schemes'.
- Basheer, I. A. and Hajmeer, M., (2000), Artificial Neural Networks: Fundamentals, Computing, Design and Application, *Journal of Microbiological Methods*, Vol. 43, No. 1, pp. 3-31.
- Bateman, J. and Farrar, S., (2004), Towards a Generic Foundation for Spatial Ontology, in A.C. Varzi and L. Vieu (Eds.): **Formal Ontology in Information Systems**, Proceedings of the Third International Conference (FOIS 2004), IOS Press, Amsterdam, Netherlands, 237-248.
- Batty, M., (2003), Planning Support Systems: Technologies that are Driving Planning, in S. Geertman and J. Stillwell (Eds.): **Planning Support Systems in Practice**, Springer, pp. v-viii.
- Bellman, R. E., (1978), **An Introduction to Artificial Intelligence: Can Computers Think?**, Boyd & Fraser Publishing Company, San Francisco, USA.
- Belohlavek, R. and Klir, G. J., (2011), **Concepts and Fuzzy Logic**, The MIT Press, Massachusetts, USA.
- Belton, V. and Stewart, T., (2010), Problem Structuring and MCDA, in M. Ehrgott, J. R. Figueira and S. Greco (Eds.): **Trends in Multiple Criteria Decision Analysis**, Springer, New York, pp. 1-36.
- Beynon, M., Rasmeyan, S. and Russ, S., (2002), A New Paradigm for Computer-Based Decision Support, *Decision Support Systems*, Vol. 33, No. 2, pp. 127-142.
- Bhushan, N. and Rai, K., (2004), **Strategic Decision Making: Applying the Analytic Hierarchy Process**, Springer-Verlag, London, UK.
- Bishop, P. C. and Hines, A., (2012), **Teaching about the Future**, Palgrave Macmillan, UK.
- Bonczek, R. H., Holseapple, C. W., and Whinston, A. B., (1981), **Foundations of Decision Support Systems**, NY: Academic Press, New York, USA.
- Borouhaki, S. and Malczewski, J., (2010), ParticipatoryGIS: A Web-based Collaborative GIS and Multicriteria Decision Analysis, *Journal of the Urban and Regional Information Systems Association*, Vol. 22, No. 1, pp. 23-32.

- Bouyssou, D., Marchant, T., Pirlot, M., Perny, P., Tsoukiàs, A. and Vincke P., (2000), **Evaluation and Decision Models: A Critical Perspective**, Kluwer Academic Publishers, Massachusetts, USA.
- Brans, J. P. and Mareschal, B., (2005), Promethee Methods, in J. R. Figueira, S. Greco and M. Ehrgott (Eds.): **Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys**, Springer Science + Business Media Inc., New York, USA, pp. 163-195.
- Brans, J. P. and Vincke, Ph., (1985), A Preference Ranking Organisation Method (The PROMETHEE Method for Multiple Criteria Decision-Making), *Management Science*, Vol. 31, No. 6, pp. 647-656.
- Brent, R. J., (2006), **Applied Cost-Benefit Analysis**, Second Edition, Edward Elgar Publishing Inc., Massachusetts, USA.
- Brown, D. G., Riolo, R., Robinson, D. T., North, M. and Rand, W., (2005), Spatial Process and Data Models: Toward Integration of Agent-Based Models and GIS, *Journal of Geographical Systems*, Vol. 7, No. 1, pp. 25-47.
- Buckley, J.J., (1985), Fuzzy Hierarchical Analysis, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 17, No. 3, pp. 233–247.
- Butenfield, B. P. and Mackaness, W. A., (1991), Visualization, in D. J. Maguire, M. F. Goodchild and D. W. Rhind (Eds.): **Geographical Information Systems: Principles and Applications**, Longman, London, UK, 427-443.
- Capozzoli, A., Corno, F., Corrado, V., and Gorrino, A., (2015), The Overall Architecture of a Decision Support System for Public Buildings, *Energy Procedia*, Vol. 78, pp. 2196-2201.
- Caramia, M. and Dell'Olmo P., (2008), **Multi-Objective Management in Freight Logistics: Increasing Capacity, Service Level and Safety with Optimization Algorithms**, Springer, London, UK.
- Carlsson, C. and Fullér, R., (1996), Fuzzy Multiple Criteria Decision Making: Recent Developments, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 78, No. 2, pp. 139-153.
- Chakhar, S. and Mousseau, V., (2008), GIS-based Multicriteria Spatial Modeling Generic Framework, *International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 22, No. 11-12, pp. 1159-1196.
- Chang, D.Y., (1996), Applications of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP, *European Journal of Operational Research*, Vol. 95, No. 3, pp. 649–655.

- Charniak, E. and McDermott, D., (1985), **Introduction to Artificial Intelligence**, Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, USA.
- Chatterjee, S., Carrera, S. and Lynch, L. A., (1996), Genetic Algorithms and Traveling Salesman Problems, *European Journal of Operational Research*, Vol. 93, No. 3, pp. 490-510.
- Chen, C.-T., Lin, C.-T. and Huang, S.-F., (2006), A Fuzzy Approach for Supplier Evaluation and Selection in Supply Chain Management, *International Journal of Production Economics*, Vol. 102, No. 2, pp. 289-301.
- Chen, G., Xiong, Y. and Wei Q., (2010), A Fuzzy Extension to Compact and Accurate Classification, in C. Cornelis, G. Deschrijver, M. Nachtegael, S. Schockaert and Y. Shi, (Eds.): **35 Years of Fuzzy Set Theory**, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, pp. 171-193.
- Chen, J., (2014), GIS-based Multi-criteria Analysis for Land Use Suitability Assessment in City of Regina, *Environmental Systems Research*, Vol. 3, No. 13, pp. 1-10.
- Clementini, E. and Di Felice, P., (1997), Approximate Topological Relations, *International Journal of Approximate Reasoning*, Vol. 16, No. 2, pp. 173-204.
- Copeland, B. J., (2000), What is Artificial Intelligence?, online article in: 'AlanTuring.net: Reference Articles on Turing' http://www.alanturing.net/turing_archive/pages/reference%20articles/what%20is%20ai.html (accessed: 25/11/2015).
- Couclelis, H., (1998), Space, Time, Geography, in P. A. Longley, M. F. Goodchild, D. J. Maguire and D. W. Rhind (Eds.): **Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications**, Wiley, New York, USA, pp. 29-38.
- Courtney, J. F., (2001), Decision Making and Knowledge Management in Inquiring Organization: Toward a New Decision-Making Paradigm for DSS, *Decision Support Systems*, Vol. 31, No. 1, pp. 17-38.
- Dadios, E. P., (2003), Intelligent Controllers for Flexible Pole Cart Balancing Problem, in C. T. Leondes (Eds.): **Intelligent Systems: Technology and Applications**, Volume VI: Control and Electric Power Systems, CRC Press, USA, pp. 286-334.

- Daneshvar Rouyendegh, B. and Erol, S., (2012), Selecting the Best Project Using the Fuzzy ELECTRE Method, *Mathematical Problems in Engineering*, Vol. 2012, pp. 1-12.
- De Brucker, K., Macharis, C. and Verbeke, A., (2013), Multi-criteria Analysis and the Resolution of Sustainable Development Dilemmas: A Stakeholder Management Approach, *European Journal of Operational Research*, Vol. 224, Issue 1, pp. 122-131.
- De Feo, G. and De Gisi, S., (2014), Using MCDA and GIS for Hazardous Waste Landfill Siting Considering Land Scarcity for Waste Disposal, *Waste Management*, Vol. 34, No. 11, pp. 2225-2238.
- De Montis, A., De Toro, P., Droste, B., Omann, I. and Stagl, S., (2004), Assessing the Quality of Different MCDA Methods, in M. Getzner, C. L. Spash and S. Stagl (Eds.): **Alternatives for Environmental Valuation**, Routledge, London, UK, pp. 99-133.
- De Wit, A., Van den Brink, A., Bregt, K. and Van de Velde, R., (2009), Spatial Planning and Geo-ICT: How Spatial Planners Invented GIS and Are Still Learning How to Use It, in H. J. Scholten, R. Van De Velde and N. Van Manen (Eds.): **Geospatial Technology and the Role of Location on Science**, Springer, pp. 163-185.
- Demirel, T., Demirel, N. Ç. and Kahraman, C., (2008), Fuzzy Analytic Hierarchy Process and its Application, in C. Kahraman (Ed.): **Fuzzy Multi-Criteria Decision-Making: Theory and Applications with Recent Developments**, Springer Science + Business Media, LLC, New York, USA, pp. 53-83.
- Densham, P. J., (1991), Spatial Decision Support Systems, in D. J. Maguire, M. F. Goodchild and D. W. Rhind (Eds.): **Geographical Information Systems: Principles and Applications**, John Wiley and Sons, New York, USA, pp. 403-412.
- Diaz, R., (2012), Indirect Influences, *Advanced Studies in Contemporary Mathematics*, Vol. 23, pp. 29-41.
- Diehl, A. and Delrieux, C., (2012), Applications of Serious Games in Geovisualization, in M. M. Cruz-Cunha (Ed.): **Handbook of Research on Serious Games as Educational, Business and Research Tools**, IGI Global Publisher, pp. 25-46.

- Doumpos, M. and Grigoroudis, E., (2013), **Multicriteria Decision Aid and Artificial Intelligence: Links, Theory and Applications**, Wiley-Blackwell, Hoboken, NJ.
- Driankov, D., Hellendoorn H., and Reinfrank M., (1996), **An Introduction to Fuzzy Control**, Springer-Verlag, Berlin.
- Du, K.-L., (2010), Clustering: A Neural Network Approach, *Neural Networks*, Vol. 23, No. 1, pp. 89-107.
- Dubois, D., (2011), The Role of Fuzzy Sets in Decision Sciences: Old Techniques and New Directions, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 184, No. 1, pp. 3-28.
- Dubois, D. and Prade, H., (1980), **Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications**, Academic Press, Inc., London, UK.
- Dubois, D. and Prade, H., (1996), What are Fuzzy Rules and how to Use Them, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 84, No. 2, pp. 169-185.
- Dubois, D. and Prade, H., (1998), An Introduction to Fuzzy Systems, *Clinica Chimica Acta*, Vol. 270, No. 1, pp. 3-29.
- Dykes, J., MacEachren, A. M. and Kraak, M.-J., (2005), Advancing Geovisualization, in J. Dykes, A. M. MacEachren and M.-J. Kraak (Eds.): **Exploring Geovisualization**, International Cartographic Association, Elsevier, pp. 693-703.
- Egenhofer, M. J. and Franzosa, R. D., (1991), Point-Set Topological Spatial Relations, *International Journal of Geographical Information Systems*, Vol. 5, No. 2, pp. 161-174.
- Elmsalmi, M. and Hachicha, W., (2013), Risks Prioritization in Global Supply Networks Using MICMAC Method: A Case Study, in IEEE: **International Conference on Advanced Logistics and Transport (ICALT)**, pp. 394-399.
- Elmsalmi, M. and Hachicha, W., (2014), Risk Mitigation Strategies According to the Supply Actors' Objectives through MACTOR Method, in IEEE: **International Conference on Advanced Logistics and Transport (ICALT)**, pp. 362-367.
- European Commission, (2008), *Modern Rail Modern Europe: Towards an Integrated European Railway Area*, Directorate General for Energy and Transport, Belgium.

- European Commission, (2011), White Paper: Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a Competitive and Resource Efficient Transport System, Brussels.
- Fabrikant, S. I., (2005), Towards an Understanding of Geovisualization with Dynamic Displays: Issues and Prospects, Proceedings of the American Association for Artificial Intelligence (AAAI): Spring Symposium Series: Reasoning with Mental and External Diagrams: Computational Modeling and Spatial Assistance, Stanford University, March 21-23.
- Fabrikant, S. I. and Goldsberry, K., (2005), Thematic Relevance and Perceptual Salience of Dynamic Geovisualization Displays, in Proceedings of 22nd ICA/ACI International Cartographic Conference, Coruna, Spain, July 9-16.
- Fang, C. and Marle, F., (2012), A Simulation-Based Risk Network Model for Decision Support in Project Risk Management, *Decision Support Systems*, Vol. 52, No. 3, pp. 635-644.
- Ferrand, A. and McCarthy, S., (2009), **Marketing the Sports Organization: Building Networks and Relationships**, Routledge – Taylor & Francis, New York, USA.
- Figueira, J. R., Greco, S. and Roy, B., (2009), ELECTRE Methods with Interaction between Criteria: An Extension of the Concordance Index, *European Journal of Operational Research*, Vol. 199, No. 2, pp. 478-495.
- Fishburn, P. C., (1967), Additive Utilities with Incomplete Product Set: Applications to Priorities and Assignments, *Operations Research*, Vol. 15, No. 3, pp. 537-542.
- Fonseca, F., Egenhofer, M., Davis, C. and Câmara, G., (2002), Semantic Granularity in Ontology-Driven Geographic Information Systems, *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence – Special Issue on Spatial and Temporal Granularity*, Vol. 36, No. 1-2, pp. 121-151.
- Forman, E. H. and Gass, I. S., (2001), The Analytical Hierarchy Process – An Exposition, *Operations Research*, Vol. 49, No. 4, pp.469–486.
- Fukuda, T. and Shibata, T., (1992), Theory and Applications of Neural Networks for Industrial Control Systems, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 39, No. 6, pp. 472-489.
- Fyfe, C., (2005), Artificial Neural Networks, *Stud Fuzz*, Vol. 173, pp. 57-79.

- Gao, S. and Zhang, Z., (2009), Multiplication Operation on Fuzzy Numbers, *Journal of Software*, Vol. 4, No. 4, pp. 331-338.
- Geertman, S. and Stillwell, J., (2004), Planning Support Systems: An Inventory of Current Practice, *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol. 28, No. 4, pp. 291-310.
- Ghanea-Hercock, R., (2003), **Applied Evolutionary Algorithms in Java**, Springer-Verlag, New York.
- Ginsberg, M., (1993), **Essentials of Artificial Intelligence**, Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, California, USA.
- Giupponi, C., (2007), Decision Support Systems for Implementing the European Water Framework Directive: The MULIONO Approach, *Environmental Modeling & Software*, Vol. 22, No. 2, pp. 248-258.
- Godet, M., (1994), **From Anticipation to Action – A Handbook of Strategic Prospective**, UNESCO Publishing, Paris, France.
- Godet, M., (2007), **Manuel de Prospective Stratégique**, Tome 2 – L’Art et la Méthode, 3^e édition, Dunod, Paris.
- Godet, M., Durance, P. and Gerber, A., (2008), Strategic Foresight – La Prospective: Use and Misuse of Scenario Building, Research working paper (#10), Cahiers du Lipsor – Lipsor working paper, The entrepreneurs’ circle of the future, Laboratoire d’ Investigation en Prospective Stratégie et Organisation (LIPSOR), Paris, France.
- Godet, M., Monti, R., Meunier, F. and Roubelat, F., (2004), Scenarios and Strategies – A Toolbox for Scenario Planning, Lipsor Working Paper – Special Issue (3rd Issue), Cahiers du Lipsor, Laboratoire d’ Investigation en Prospective Stratégie et Organisation (LIPSOR), Paris, France.
- Godet, M. and Roubelat, F., (1996), Creating the Future: The Use and Misuse of Scenarios, *Long Range Planning*, Vol. 29, No. 2, pp. 164-171.
- Goodchild, M. F., (1987), A Spatial Analytical Perspective on Geographical Information Systems, *International Journal of Geographical Information Systems*, Vol. 1, No. 4, pp. 327-334.
- Goodchild, M. F., (1988), Towards an Enumeration and Classification of GIS Functions, in R. T. Aangeenbrug and Y. M. Schiffman (Eds.): **International Geographic Information Systems Symposium: The Research Agenda**, AAG Falls Church, Virginia, USA, pp. 67-77.

- Goodchild, M. F., (1992a), Geographical Information Science, *International Journal of Geographical Information Systems*, Vol. 6, No. 1, pp. 31-45.
- Goodchild, M. F., (1992b), Geographical Data Modeling, *Computers & Geosciences*, Vol. 18, No. 4, pp. 401-408.
- Goodchild, M. F., (2003), The Nature and Value of Geographic Information, in M. Duckham, M. F. Goodchild and M. F. Worboys (Eds.): **Foundations of Geographic Information Science**, London, UK, 1-15.
- Goodchild, M. F., (2004), GIScience, Geography, Form, and Process, *Annals of the Association of American Geographers*, Vol. 94, No. 4, pp. 709-714.
- Goodchild, M. F., (2005), GIS and Modeling Overview, in D. J. Maguire, M. Batty and M. F. Goodchild (Eds.): **GIS, Spatial Analysis and Modeling**, ESRI Press, Redlands, California, USA, pp. 1-17.
- Goodchild, M. F., (2010), Twenty Years of Progress: GIScience in 2010, *Journal of Spatial Information Science*, Vol. 1, No. 1, pp. 3-20.
- Goodchild, M. F., Longley, P. A., Maguire, D. J. and Rhine, D. W., (1999), **Geographical Information Systems**, Volume I: Principles and Technical Issues, John Wiley and Sons, New York, USA.
- Goodchild, M. F., Yuan, M. and Cova, T. J., (2007), Towards a General Theory of Geographic Representation in GIS, *International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 21, No. 3, pp. 239-260.
- Gorry, G. A. and Scott Morton, M. S., (1971), A Framework for Management Information Systems, *Sloan Management Review*, Vol. 13, No. 1, pp. 49-61.
- Greene, R., Luther, J. E., Devillers, R. and Eddy. B., (2010), An Approach to GIS-based Multiple Criteria Decision Analysis that Integrates Exploration and Evaluation Phases: Case Study in a Forest-dominated Landscape, *Forest Ecology and Management*, Vol. 260, No. 12, pp. 2102-2114.
- Guiffrida, A. L. and Nagi, R., (1998), Fuzzy Set Theory Applications in Production Management Research: A Literature Survey, *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 9, No. 1, pp. 39-56.
- Guimarães Pereira, A., and Corral Quintana, S., (2002), From Technocratic to Participatory Decision Support Systems: Responding to the New Governance Initiatives, *Journal of Geographic Information and Decision Analysis*, Vol. 6, No. 2, pp. 95-107.

- Guitouni, A. and Martel, J. M., (1997), Tentative Guidelines to Help Choosing an Appropriate MCDA Method, *European Journal of Operational Research*, Vol. 109, pp. 501-521.
- Haber, R. B. and McNabb, D. A., (1990), Visualization Idioms: A Conceptual Model for Scientific Visualization Systems, in G. M. Nielson and B. D. Shriver (Eds.): **Visualization in Scientific Computing**, IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, CA, USA, pp. 74-93.
- Hajkowicz, S., (2008), Rethinking the Economist's Evaluation Toolkit in Light of Sustainable Policy, *Sustainability: Science, Practice, & Policy*, Vol. 4, No. 1, pp. 17-24.
- Hanley, N. and Spash, C. L., (1993), **Cost-Benefit Analysis and the Environment**, Edward Elgar, Cheltenham, UK.
- Harris, J., (2001), **An Introduction to Fuzzy Logic Applications**, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands.
- Haugeland, J., (1985), **Artificial Intelligence: The Very Idea**, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, USA.
- Haughton, G., Allmendinger, P., Counsell, D. and Vigar, G., (2010), **The New Spatial Planning: Territorial Management with Soft Spaces and Fuzzy Boundaries**, Routledge – Taylor & Francis Group, UK.
- Hecht-Nielsen, R., (1990), **Neurocomputing**, Addison-Wesley, Reading, MA.
- Herrera, F., Alonso, S., Chiclana, F. and Herrera-Viedma, E., (2009), Computing with Words in Decision Making: Foundations, Trends and Prospects, *Fuzzy Optimization and Decision Making*, Vol. 8, No. 4, pp. 337-364.
- Herrera, F. and Herrera-Viedma, E., (2000), Linguistic Decision Analysis: Steps for Solving Decision Problems under Linguistic Information, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 115, No. 1, pp. 67-82.
- Hinloopen, E. and Nijkamp, P., (1986), Qualitative Multiple Criteria Choice Analysis – The Dominant REGIME Method, Paper Presented at the Conference on Conflict Management, Amsterdam.
- Hinloopen, E. and Nijkamp, P., (1990), Qualitative Multiple Criteria Choice Analysis, *Quality and Quantity*, Vol. 24, pp. 37-56.
- Holseapple, C. W., (2008), DSS Architecture and Types, in F. Burstein and C. W. Holseapple (Eds.): **Handbook on Decision Support Systems I**, Springer, Berlin-Heidelberg, pp. 163-189.

- Hsiao, S.W., and Chou, J.R., (2006), A Gestalt-Like Perceptual Measure for Home Page Design Using a Fuzzy Entropy Approach, *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 64, No. 2, pp. 137–156.
- Hwang, C.-L. and Yoon, K., (1981), **Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications, A State-of-the-Art Survey**, Springer-Verlag, New York, USA.
- Ishizaka, A. and Labib, A., (2011), Review of the Main Developments in the Analytic Hierarchy Process, *Expert Systems with Applications*, Vol. 38, No. 11, pp.14336-14345.
- Jain, A. K., Mao, J. and Mohiuddin, K. M., (1996), Artificial Neural Networks: A Tutorial, **IEEE Computer Society**, Vol. 29, No. 3, pp. 31-44.
- Jankowski, P., (2009), Towards Participatory Geographic Information Systems for Community-based Environmental Decision Making, *Journal of Environmental Management*, Vol. 90, No. 6, pp. 1966-1971.
- Jansen, D.R., Weert, A., Beulens, A.J.M., and Huirne, R.B.M., (2001), Simulation Model of Multi-Component Distribution in the Catering Supply Chain, *European Journal of Operational Research*, Vol. 133, No. 1, pp. 210–224.
- Javanbarg, M. B., Scawthorn, C., Kiyono, J. and Shahbodaghkhan, B., (2012), Fuzzy AHP-based Multicriteria Decision Making Systems Using Particle Swarm Optimization, *Expert Systems with Applications*, Vol. 39, No. 1, pp. 960-966.
- Jobst, M., Döllner, J. and Lubanski, O., (2010), Communicating Geoinformation Effectively with Virtual 3D City Models, in C. N. Silva (Ed.): **Handbook of Research on E-Planning: ICTs for Urban Development and Monitoring**, IGI Global Publisher, pp. 120-142.
- Joerin, F., Thériault, M. and Musy, A., (2001), Using GIS and Outranking Multicriteria Analysis for Land-use Suitability Assessment, *International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 15, No. 2, pp. 153-174.
- Jones, G., (1998), Genetic and Evolutionary Algorithms, in P. Schleyer et al. (Eds.): **Encyclopedia of Computational Chemistry**, John Wiley & Sons Ltd, pp. 1127-1136.
- Kahraman, C., (2008), Multi-Criteria Decision Making Methods and Fuzzy Sets, in C. Kahraman (Ed.): **Fuzzy Multi-Criteria Decision-Making: Theory and Applications with Recent Developments**, Springer Science + Business Media, LLC, New York, USA, pp. 1-18.

- Kahraman, C., Cebeci, U., and Ruan, D., (2004), Multi-Attribute Comparison of Catering Service Companies Using Fuzzy AHP: The case of Turkey, *International Journal of Production Economics*, Vol. 87, No. 2, pp. 171–184.
- Karami, A. and Guo, Z., (2012), A Fuzzy Logic Multi-Criteria Decision Framework for Selecting IT Service Providers, Proceedings of the 45th Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICCS-45), pp. 1118-1127.
- Kecman, V., (2001), **Learning and Soft Computing: Support Vector Machines, Neural Networks, and Fuzzy Logic Models**, The MIT Press, Massachusetts, USA.
- Keen, P. G. W., (1980a), Decision Support Systems: A Research Perspective, in G. Fick and R. H. Sprague (Eds.): **Decision Support Systems: Issues and Challenges**, Pergamon Press, U.K, pp. 23-37.
- Keen, P. G. W., (1980b), Adaptive Design for Decision Support Systems, *Database*, Vol. 12, No. 1 & 2, pp. 15-25.
- Keen, P. G. W., (1987), Decision Support Systems: The Next Decade, *Decision Support Systems*, Vol. 3, No. 3, pp. 253-265.
- Keeney, R. L., (1977), The Art of Assessing Multiattribute Utility Functions, *Organizational Behavior and Human Performance*, Vol. 19, No. 2, pp. 267-310.
- Keeney, R. L., (1982), Decision Analysis: An Overview, *Operations Research*, Vol. 30, No. 5, pp. 803-838.
- Keeney, R. L. and Raiffa, H., (1976), **Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs**, John Wiley, New York, USA.
- Keeney, R. L. and Raiffa, H., (1993), **Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs**, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Keim, D. A., Mansmann, F., Schneidewind, J. and Ziegler, H., (2006), Challenges in Visual Data Analysis, in Proceedings of Information Visualization (IV 2006), IEEE.
- Keim, D. A., Panse, C. and Sips, M., (2005), Information Visualization: Scope, Techniques and Opportunities for Geovisualization, in J. Dykes, A. M. MacEachren and M.-J. Kraak (Eds.): **Exploring Geovisualization**, International Cartographic Association, Elsevier, pp. 1-17.

- Kilmer, W. L., McCulloch, W. S. and Blum, J., (1969), A Model of the Vertebrate Central Command System, *International Journal of Man-Machine Studies*, Vol. 1, No. 3, pp. 279-309.
- Klir, G. J. and Folger, T. A., (1988), **Fuzzy Sets, Uncertainty and Information**, Prentice Hall, New Jersey, USA.
- Klir, G. J. and Yuan, B., (1995), **Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications**, Prentice Hall, New Jersey.
- Konar, A., (2000), **Artificial Intelligence and Soft Computing: Behavioral and Cognitive Modeling of the Human Brain**, CRC Press, Boca Raton, USA.
- Kosko, B., (1990), Fuzziness vs. Probability, *International Journal of General Systems*, Vol. 17, No. 2-3, pp. 211-240.
- Kosko, B., (1992), **Neural Networks and Fuzzy Systems: A Dynamical Systems Approach to Machine Intelligence**, Prentice Hall, USA.
- Kosko, B. and Isaka, S., (1993), Fuzzy Logic, *Scientific American*, Vol. 296, No. 1, pp. 76-81.
- Kurzweil, R., (1990), **The Age of Intelligent Machines**, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, USA.
- Layard, R. and Glaister, S., (1994), **Cost-Benefit Analysis**, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Li, D. and Du, Y., (2007), **Artificial Intelligence with Uncertainty**, Chapman & Hall / CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, USA.
- Liao, Y.-F., Yau, D.-H. and Chen, C.-L., (2012), Evolutionary Algorithm to Traveling Salesman Problems, *Computers & Mathematics with Applications*, Vol. 64, No. 5, pp. 788-797.
- Lichfield, N., (1960), Cost-Benefit Analysis in City Planning, *Journal of the American Institute of Planners*, Vol. 26, No. 4, pp. 273-279.
- Lichfield, N., (1964), Cost-Benefit Analysis in Plan Evaluation, *Town Planning Review*, Vol. 35, No. 2, pp. 159-169.
- Ligmann-Zielinska, A. and Jankowski, P., (2012), Impact of Proximity-Adjusted Preferences on Rank-Order Stability in Geographical Multicriteria Decision Analysis, *Journal of Geographical Systems*, Vol. 14, No. 2, pp. 167-187.
- Linss, V. and Fried, A., (2009), Advanced impact Analysis: The ADVUAN Method – An Enhanced Approach for the Analysis of impact Strengths with the Consideration of Indirect Relations, Papers and Preprints of the Department of

- Innovation Research and Sustainable Resource Management, Technical Report (No. 1/2009), Chemnitz University of Technology, Chemnitz, Germany.
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J. and Rhind, D. W., (2005), **Geographic Information Systems and Science**, Second Edition, Wiley, New York, USA.
- Lootsma, F.A., (1990), The French and the American School in Multi-Criteria Decision Analysis, *RAIRO. Recherche Operationnelle*, Vol. 24, No. 3, pp. 263-285.
- Lu, J., Jain, L. C. and Zhang, G., (2012), Risk Management in Decision Making, in J. Lu, L. C. Jain and G. Zhang (Eds.): **Handbook on Decision Making: Vol. 2: Risk Management in Decision Making**, Springer-Verlag, Berlin – Heidelberg, pp. 3-7.
- Luger, G. F., (2005), **Artificial Intelligence: Structures and Strategies for Complex Problem Solving** (fifth edition), Harlow, UK.
- Luger, G. F. and Stubblefield, W. A., (1993), **Artificial Intelligence: Structures and Strategies for Complex Problem Solving** (second edition), Benjamin/Cummings, Redwood City, California, USA.
- Maguire, D. J., (1991), An Overview and Definition of GIS, in D. J. Maguire, M. F. Goodchild and D. W. Rhind (Eds.): **Geographical Information Systems – Volume 1: Principles**, Longman Scientific & Technical co-published with John Wiley & Sons, New York, USA, pp. 9-20.
- Malczewski, J., (1999), **GIS and Multicriteria Decision Analysis**, John Wiley & Sons, Inc., USA.
- Malczewski, J., (2006), GIS-based Multicriteria Decision Analysis: A Survey of the Literature, *International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 20, No. 7, pp. 703-726.
- Malczewski, J. and Rinner, C., (2015), **Multicriteria Decision Analysis in Geographic Information Science**, Springer, New York, USA.
- Manovich, L., (2010), What is Visualization?, *Poetess Archive Journal*:
<http://athanasius.stanford.edu/Readings/Manovich.pdf>
 (accessed: 08/08/2016).
- Martinez, L., Liu, J. and Yang, J.-B., (2006), A Fuzzy Model for Design Evaluation Based on Multiple Criteria Analysis in Engineering Systems, *International*

- Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, Vol. 14, No. 3, pp. 317-336.
- Martinez, L., Ruan, D. and Herrera, F., (2010), Computing with Words in Decision Support Systems: An Overview on Models and Applications, *International Journal of Computational Intelligence Systems*, Vol. 3, No. 4, pp. 382-395.
- McCall, M. and Dunn, C. E., (2012), Geo-information Tools for Participatory Spatial Planning: Fulfilling the Criteria for ‘Good’ Governance?, *Geoforum*, Vol. 43, No. 1, pp. 81-94.
- McCarthy, J., (2007), What is artificial intelligence?, Technical report, Computer Science Department, Stanford University, California, USA.
- McCarthy, J., (2008), The Well-Designed Child, *Artificial Intelligence*, Vol. 172, No. 18, pp. 2003-2014.
- McCulloch, W. S. and Pitts, W., (1943), A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity, *Bulletin of Mathematical Biophysics*, Vol. 5, pp. 115-133.
- McDermott, D., (2007), Artificial Intelligence and Consciousness, in P. Zelazo, M. Moscovitch, and E. Thompson (Eds.): **Cambridge Handbook of Consciousness**, Cambridge University Press, USA, pp. 1-44.
- Meixner, O., (2009), Fuzzy AHP Group Decision Analysis and Its Application for the Evaluation of Energy Sources, Proceedings of the 10th International Symposium on the Analytic Hierarchy / Network Process Multi-Criteria Decision Making, Pittsburgh, Pennsylvania, USA.
- Menegolo, L. and Guimarães Pereira, A., (1996), NAIADE Manual, Joint Research Centre – EC, Institute for System, Informatics and safety, Ispra (VA), Italy.
- Meng, Y. Malczewski, J. and Boroushaki, L., (2011), A GIS-Based Multicriteria Decision Analysis Approach for Mapping Accessibility Patterns of Housing Development Sites: A case Study in Canmore, Alberta, *Journal of Geographic Information System*, Vol. 3, No. 1, pp. 50-61.
- Menzel, S., Nordström, E.-M., Buchecker, M., Marques, A., Saarikoski, H. and Kangas, A., (2012), Decision Support Systems in Forest Management: Requirements from a Participatory Planning Perspective, *European Journal of Forest Research*, Vol. 131, No. 5, pp. 1367-1379.
- Mesiar, R. and Vavříková, L., (2010), Fuzzy Sets and Fuzzy Logic-Based Methods in Multicriteria Decision Analysis, in M. Ehrgott, J. R. Figueira and S. Greco (Eds.): **Trends in Multiple Criteria Decision Analysis**, Springer, New York.

- Miller, D. W. and Starr, M. K., (1969), **Executive Decisions and Operations Research**, Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, NJ, USA.
- Miller, H. J. and Wentz, E. A., (2003), Representation and Spatial Analysis in Geographic Information Systems, *Annals of the Association of American Geographers*, Vol. 93, No. 3, pp. 574-594.
- Mintzberg, H., Raisinghani, D. and Théorêt, A., (1976), The Structure of ‘Unstructured’ Decision Process, *Administrative Science Quarterly*, Vol. 21, No. 2, pp. 246-275.
- Mishan, E. J. and Quah, E., (2007), **Cost-Benefit Analysis**, Fifth Edition, Routledge – Taylor & Francis Group, New York.
- Mitra, S., Pal, S. K. and Mitra, P., (2002), Data Mining in Soft Computing Framework: A Survey, *IEEE Transactions on Neural Networks*, Vol. 13, No. 1, pp. 3-14.
- Moayer, S. and Bahri, P. A., (2009), Hybrid Intelligent Scenario Generator for Business Strategic Planning by Using ANFIS, *Expert Systems with Applications*, Vol. 36, No. 4, pp. 7729-7737.
- Montibeller, G. and Franco, A., (2010), Multi-Criteria Decision Analysis for Strategic Decision Making, in C. Zopounidis and P.M. Pardalos (Eds.): **Handbook of Multicriteria Analysis**, Vol. 103 of Applied Optimization, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2010, pp. 25-48.
- Mourmouris, J., (2006), MCDM for Location and Evaluation of Waste Disposal Facilities in Metropolitan Areas: The Case of East Attica, *International Journal of Environmental Technology and Management*, Vol. 6, No. 1-2, pp. 180-192.
- Munda, G., (1995), **Multiple Criteria Evaluation in a Fuzzy Environment – Theory and Applications in Ecological Economics**, Physica Verlag, Heidelberg, Germany.
- Munda, G., (2006), A NAIAD E Based Approach for Sustainability Benchmarking, *International Journal of Environmental Technology and Management*, Vol. 6, No.1/2, pp. 65-78.
- Munda, G., Nijkamp, P. and Rietveld, P., (1994), Fuzzy Multigroup Conflict Resolution for Environmental Management, in J. Weiss (Ed.): **The Economics of Project Appraisal and the Environment**, Edward Elgar.

- Nijkamp, P., Rietveld, P. and Voogd, H. (1990), **Multicriteria Evaluation in Physical Planning**, Elsevier, Amsterdam, Netherlands.
- Nijkamp, P. and Vindigni, G., (1998), Integrated Multicriteria Analysis for Sustainable Agricultural Policy Evaluation, *Rivista di Economia Agraria*, Vol. 53, pp. 9-40.
- Nilsson, N. J., (1998), **Artificial Intelligence: A New Synthesis**, Morgan Kaufmann Publishers, Inc., San Francisco, California, USA.
- Nöllenburg, M., (2007), Geographic Visualization, in A. Kerren, A. Ebert and J. Meyer (Eds.): **Human-Centered Visualization Environments**, Springer Berlin Heidelberg, Germany, pp. 257-294.
- Omran, A., Khorish, M. and Saleh, M., (2014), Structural Analysis with Knowledge-based MICMAC Approach, *International Journal of Computer Applications*, Vol. 86, No. 5, pp. 39-43.
- Opricovic, S. and Tzeng, G.-H., (2004), Compromise Solution by MCDM Methods: A Comparative Analysis of VIKOR and TOPSIS, *European Journal of Operational Research*, Vol. 156, No. 2, pp. 445-455.
- Öztürk, M., Tsoukias, A. and Vincke, P., (2005), Preference Modelling, in J. Figueira, S. Greco and M. Ehrgott (Eds.): **Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys**, Springer Science + Business Media, Inc., New York, USA.
- Papadopoulou, C.-A. and Giaoutzi, M., (2014), Crowdsourcing as a Tool for Knowledge Acquisition in Spatial Planning, *Future Internet/ Special Issue: NeoGeography and WikiPlanning 2014*, Vol. 6, No. 1, pp. 109-125.
- Peters, D., (2009), **System Design Strategies**, 26th Edition, ESRI Technical Reference Document, ESRI Press, Redlands, California, USA.
- Power, D. J., (2002), **Decision Support Systems: Concepts and Resources for Managers**, Quorum Books, USA.
- Purchase, H. C., Andrienko, N., Jankun-Kelly, T. J. and Ward, M., (2008), Theoretical Foundations of Information Visualization, in A. Kerren, J. T. Stasko, J. Fekete and C. North (Eds.): **Information Visualization: Human-Centered Issues and Perspectives**, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, pp. 46-64.

- Raju, K. S., Kumar, D. N. and Duckstein, L., (2006), Artificial Neural Networks and Multicriterion Analysis for Sustainable Irrigation Planning, *Computers & Operations Research*, Vol. 33, No. 4, pp. 1138-1153.
- Rich, E. and Knight, K., (1991), **Artificial Intelligence** (second edition), McGraw-Hill, New York, USA.
- Rinner, C. and Voss, S., (2013), MCDA4ArcMap – An Open-Source Multicriteria Decision Analysis and Geovisualization Tool for ArcGIS 10, Feature Article, Cartouche, Newsletter of the Canadian Cartographic Association, Number 86, Winter / Spring 2013, pp. 12-13.
- Rodriguez, Y., Falcon, R., Varela, A. and Garcia M. M., (2008), Learning Membership Functions for an Associative Fuzzy Neural Network, in R. Bello, R. Falcon, W. Pedrycz, and J. Kacprzyk (Eds.): **Granular Computing: At the Junction of Rough Sets and Fuzzy Sets**, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, pp. 151-161.
- Rojas, R., (1996), **Neural Networks: A systematic introduction**, Spinger-Verlag, Berlin – Heidelberg, Germany.
- Ross, T. J., (2004), **Fuzzy Logic with Engineering Applications** (second edition), Wiley, New York, USA.
- Ross, T. J., (2010), **Fuzzy Logic with Engineering Applications** (third edition), Wiley – John Wiley and Sons Ltd., West Sussex, UK.
- Roy, B., (1985), **Méthodologie Multicritère d'Aide à la Décision**, Economica, Paris, France.
- Roy, B., (1991), The Outranking Approach and the Foundations of the ELECTRE Methods, *Theory and Decisions*, Vol. 31, No. 1, pp. 49-73.
- Roy, B., (1996), **Multicriteria Methodology for Decision Aiding**, Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- Roy, B., (2005), An Overview of MCDA Techniques Today – Paradigms and Challenges, in J. Figueira, S. Greco and M. Ehrgott (Eds.): **Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys**, Springer Science + Business Media Inc., New York, USA, pp. 3-24.
- Russell, S. J. and Norvig, P., (1995), **Artificial Intelligence: A Modern Approach**, Prentice-Hall, New Jersey, USA.
- Saaty, T. L., (1994), **Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process**, RWS Publications, Pittsburgh, U.S.A.

- Saaty, T. L., (1999), Fundamentals of the Analytic Network Process, Paper presented at the International Symposium on the Analytic Hierarchy Process, 12-14 August, Kobe, Japan.
- Saaty, T. L., (2008a), Decision Making with the Analytic Hierarchy Process, *International Journal of Services Sciences*, Vol. 1, No. 1, pp.83-98.
- Saaty, T.L., (2008b), The Analytic Network Process, *Iranian Journal of Operations Research*, Vol. 1, No. 1, pp.1-27.
- San Cristóbal, J. R., (2012), **Multi Criteria Analysis in the Renewable Energy Industry**, Springer-Verlag, London.
- Santos, F. J. J. and Camargo, H. A., (2010), Fuzzy Systems for Multicriteria Decision Making, *CLEI Electronic Journal*, Vol. 13, No. 3 (paper 4).
- Sassi, D. B., Frini, A., Abdessalem Karaa, W. B. and Kraiem, N., (2015), Multi-Criteria Decision Aid and Artificial Intelligence for Competitive Intelligence, in M. Ali, Y. S. Kwon, C. H. Lee, J. Kim and Y. Kim (Eds.): **Current Approaches in Applied Artificial Intelligence**, Proceedings of 28th International Conference on Industrial, Engineering and Other Applications of Applied Intelligent Systems, IEA/AIE 2015, Seoul, South Korea, June 10-12, Springer International Publishing, Switzerland, pp. 171-178.
- Schalkoff, R. J., (1990), **Artificial Intelligence: An Engineering Approach**, McGraw-Hill, New York, USA.
- Schalkoff, R. J., (1997), **Artificial Neural Networks**, McGraw-Hill, New York, USA.
- Schöfer, M., Fayemi, P.-E., Bersano, G. and Calvez, J.-M., (2015), Methodological Support for Prospective Studies in New Concept Development, *Procedia Engineering*, Vol. 131, pp. 1041-1049.
- Schramm, F. and Morais, D. C., (2012), Decision Support Model for Selecting and Evaluating Suppliers in the Construction Industry, *Pesquisa Operacional*, Vol. 32, No.3, pp. 643-662.
- Schwarze, S., (1996), **Configuration of Multiple-Variant Products**, ETH, Zurich.
- Serdar Asan, S. and Asan, U., (2007), Qualitative Cross-Impact Analysis with Time Consideration, *Technological Forecasting & Social Change*, Vol. 74, No. 5, pp. 627-644.

- Sevкли, M., (2010), An Application of the Fuzzy ELECTRE Method for Supplier Selection, *International Journal of Production Research*, Vol. 48, No. 12, pp. 3393-3405.
- Shameli-Sendi, A., Shajari, M., Hassanabadi, M., Jabbarifar, M. and Dagenais, M., (2012), Fuzzy Multicriteria Decision-Making for Information Security Risk Assessment, *The Open Cybernetics & Systemics Journal*, Vol. 6, pp. 26-37.
- Shang, K. and Hossen, Z., (2013), Applying Fuzzy Logic to Risk Assessment and Decision-Making, Casualty Actuarial Society, Canadian Institute of Actuaries, Society of Actuaries.
- Sharma, V., Rai, S. and Dev, A., (2012), A Comprehensive Study of Artificial Neural Networks, *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, Vol. 2, No. 10, pp. 278-284.
- Shekhar, S. and Chawla, S., (2003), **Spatial Databases: A Tour**, Prentice Hall – Pearson Education, New Jersey, USA.
- Shuang, Q., Ma, Y., Shuang, K. and Lv, X., (2014), Multiple Criteria Decision Analysis Based on Variable Fuzzy Data Envelopment Analysis, in S. K. Chen and Y. H. Chang (Eds.): 2014 International Conference on Artificial Intelligence and Software Engineering (AISE2014), DEStech Publications Inc., Pennsylvania, USA.
- Simon, H. A., (1960), **The New Science of Management Decision**, US: Harper & Brothers, New York, USA.
- Simpson, L., (1994), MAVT and Outranking: A Comparison of Two Multi-Criteria Decision Analytic Methods, Research Report Series – Report 94.3, School of Computer Studies, University of Leeds, UK.
- Siskos, Y and Grigoroudis, E., (2002), Measuring Customer Satisfaction for Various Services Using Multicriteria Analysis, in: Bouyssou et al. (Eds.): **Aiding Decisions with Multiple Criteria**, Springer Science + Business Media Inc., New York, USA, pp. 457-482.
- Siskos, Y., Grigoroudis, E. and Matsatsinis, N. F., (2016), UTA Methods, in S. Greco, M. Ehrgott and J. R. Figueira (Eds.): **Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys** (Second Edition), Springer Science + Business Media Inc., New York, USA, pp. 297-334.

- Siskos, Y., Matsatsinis, N. F. and Baourakis, G., (2001), Multicriteria Analysis in Agricultural Marketing: The Case of French Olive Oil market, *European Journal of Operational Research*, Vol. 130, No. 2, pp. 315-331.
- Sivanandam, S. N., Sumathi, S. and Deepa, S. N., (2007), **Introduction to Fuzzy Logic Using MATLAB**, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Germany.
- Spronk, J., Steuer, R. E. and Zopounidis, C., (2005), Multicriteria Decision Aid / Analysis in Finance, in J. R. Figueira, S. Greco and M. Ehrgott (Eds.): **Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys**, Springer Science + Business Media Inc., New York, USA, pp. 799-848.
- Stam, A., Sun, M. and Haines, M., (1996), Artificial Neural Network Representations for Hierarchical Preference Structures, *Computers & Operations Research*, Vol. 23, No. 12, pp. 1191-1201.
- Store, R. and Kangas, J., (2001), Integrating Spatial Multi-Criteria Evaluation and Expert Knowledge for GIS-based Habitat Suitability Modeling, *Landscape and Urban Planning*, Vol. 55, No. 2, pp. 79-93.
- Stratigea, A., Giaoutzi, M. and Papadopoulou, C.-A., (2008), A Methodological Framework for Foresight Analysis in AG2020: The Case of Herakleion-Crete Region, Working Paper, Unit of Spatial Planning and Regional Development, Dept. of Geography and Regional Planning, School of Rural and Surveying Engineering, National Technical University of Athens.
- Stratigea, A. and Papadopoulou, C.-A., (2013a), Foresight Analysis at the Regional Level – A Participatory Methodological Framework, *Journal of Management and Strategy*, Vol. 4, No. 2, pp. 1-16.
- Stratigea, A. and Papadopoulou, C.-A., (2013b), Multicriteria Evaluation in Spatial Planning: A Participatory Methodological Approach, *Territorio Italia. Land Administration, Cadastre, Real Estate*, Vol. 1, No. 2, pp. 85-97 (English version), pp. 87-99 (Italian version: Valutazione Multicriteriale nella Pianificazione Territoriale: Un Approccio Metodologico Partecipato).
- Sugumaran, R. and DeGroot, J., (2011), **Spatial Decision Support Systems: Principles and Practices**, CRC Press – Taylor & Francis Group, New York, USA.
- Tavana, M. and Sodenkamp, M. A., (2010), A Fuzzy Multi-Criteria Decision Analysis Model for Advanced Technology Assessment at Kennedy Space Center, *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 61, No. 10, pp. 1459-1470.

- Tai, W.-S and Chen, C.-T., (2009), A New Evaluation Model for Intellectual Capital Based on Computing with Linguistic Variable, *Expert Systems with Applications*, Vol. 36, No. 2, pp. 3483-3488.
- Tomlinson, R., (2007), **Thinking about GIS: Geographic Information System Planning for Managers**, Third Edition, ESRI Press, Redlands, California, USA.
- Triantaphyllou, E., (2000), **Multi-Criteria Decision Making Methods: A Comparative Study**, Springer Science + Business Media, Dordrecht, Netherlands.
- Triantaphyllou, E. and Lin, C.-T., (1996), Development and Evaluation of Five Fuzzy Multiattribute Decision-Making Methods, *International Journal of Approximate Reasoning*, Vol. 14, No. 4, pp. 281-310.
- Triantaphyllou, E., Shu, B., Nieto Sanchez, S. and Ray, T., (1998), Multi-Criteria Decision Making: An Operations Research Approach, *Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering*, Vol. 15, pp. 175-186.
- Turban, E., (1990), **Decision Support and Expert Systems: Management Support Systems**, Macmillan, New York, USA.
- Turing, A. M., (1948), Intelligent Machinery, A Heretical Theory, in S. Shieber (Ed.): **The Turing Test: Verbal behavior as the hallmark of intelligence**, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, USA.
- Turing, A. M., (1950), Computing Machinery and Intelligence, *Mind*, Vol. 59, pp. 433-460.
- Unwin, D. J., (2008), Encounters with (Geo) Visualization, in M. Dodge, M. McDerby and M. Turner (Eds.): **Geographic Visualization: Concepts, Tools and Applications**, John Wiley & Sons Ltd, West Sussex, UK.
- Uricchio, V. F., Giordano, R. and Lopez, N., (2004), A Fuzzy Knowledge-Based Decision Support System for Groundwater Pollution Risk Evaluation, *Journal of Environmental Management*, Vol. 73, No. 3, pp. 189-197.
- Vahidnia, M. H., Alesheikh, A., Alimohammadi, A. and Bassiri, A., (2008), Fuzzy Analytical Hierarchy Process in GIS Application, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 37, No. B2, pp. 593-596.

- Valverde, R., (2011), A Risk Management Decision Support System for the Real Estate Industry, *International Journal of Information and Communication Technology Research*, Vol. 1, No. 3, pp. 139-147.
- Van Herwijnen, M., (2010), Multi-Attribute Value Theory (Online Handbook), http://www.ivm.vu.nl/en/Images/MCA1_tcm234-161527.pdf.
- Van Laarhoven, P.J.M., and Pedrycz, W., (1983), A Fuzzy Extension of Saaty's Priority Theory, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 11, No. 3, pp. 229–241.
- Velasquez, M. and Hester, P. T., (2013), An Analysis of Multi-Criteria Decision Making, *International Journal of Operations Research*, Vol. 10, No. 2, pp. 56-66.
- Veltmeyer, J. and Sahin, O., (2014), Modeling Climate Change Adaptation Using Cross-Impact Analysis: An Approach for Integrating Qualitative and Quantitative Data, in D. P. Ames, N. W. T. Quinn and A. E. Rizzoli (Eds.): **Proceedings of the 7th International Congress on Environmental Modeling and Software (iEMSs)**, Vol. 3, pp. 1945-1952.
- Vianna, D. S., Pulini, I. C. and Martins, C. B., (2013), Using Multiobjective Genetic Algorithm and Multicriteria Analysis for the Production Scheduling of a Brazilian Garment Company, in J. Del Ser (Ed.): **Recent Advances on Meta-Heuristics and their Application to Real Scenarios**, INTECH, pp. 1-24.
- Villacorta, P. J., Masegosa, A. D., Castellanos, D. and Lamata, M. T., (2012), A Linguistic Approach to Structural Analysis in Prospective Studies, in S. Greco et al. (Eds.): **Advances on Computational Intelligence – 14th International Conference on Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems**, Springer Berlin Heidelberg, pp. 150-159.
- Von Winterfeldt, D. and Fischer, G. W., (1973), Multi-Attribute Utility Theory: Models and Assessment Procedures, in D. Wendt and Ch. Vlek (Eds.): **Utility, Probability, and Human Decision Making**, Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland, pp. 47-85.
- Voogd, H., (1982), **Multicriteria Evaluation for Urban and Regional Planning**, Pion, London.
- Wallenius, J., Dyer, J. S., Fishburn, P. C., Steuer, R. E., Zionts, S. and Deb, K., (2008), Multiple Criteria Decision Making, Multiattribute Utility Theory: Recent Accomplishments and What Lies Ahead, *Management Science*, Vol. 54, No. 7, pp. 1336-1349.

- Wang, S. and Archer, N. P., (1994), A Neural Network Technique in Modeling Multiple Criteria Multiple Person Decision Making, *Computers & Operations Research*, Vol. 21, No. 2, pp. 127-142.
- Warren-Kretzschmar, B. and Tiedtke, S., (2005), What Role Does Visualization Play in Communication with Citizens? A Field Study from the Interactive Landscape Plan, in E. Buhmann et al. (Eds.): **Trends in Real-Time Landscape Visualization and Participation, Proceedings at Anhalt University of Applied Sciences 2005**, Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg, Germany, pp. 156-167.
- Wegener, M., (2000), Spatial Models and GIS, in A. S. Fotheringham and M. Wegener (Eds.): **Spatial Models and GIS, New Potentials and New Models**, Taylor & Francis, London, UK.
- Welstead, S. T., (1994), **Neural Network and Fuzzy Logic Applications in C/C++**, Wiley, New York.
- Winston, P. H., (1992), **Artificial Intelligence** (third edition), Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, USA.
- Worboys, M., (1995), **GIS: A Computing Perspective**, Taylor and Francis, USA.
- Xu, Z., (2004), Uncertain Linguistic Aggregation Operators Based Approach to Multiple Attribute Group Decision Making Under Uncertain Linguistic Environment, *Information Sciences*, Vol. 168, No. 1-4, pp. 171-184.
- Yager, R. R., (1986), A Characterization of the Extension Principle, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 18, No. 3, pp. 205-217.
- Yang, T. and Hung, C.-C., (2007), Multiple-attribute Decision Making Methods for Plant Layout Design Problem, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 23, No. 1, pp. 126-137.
- Yegnanarayana, B., (2006), **Artificial Neural Networks**, Prentice Hall of India, New Delhi, India.
- Yu, L., Wang, S., Wen, F. and Lai, K. K., (2012), Genetic Algorithm-based Multi-criteria Project Portfolio Selection, *Annals of Operations Research*, Vol. 197, No. 1, pp. 71-86.
- Yu, X. and Gen, M., (2010), **Introduction to Evolutionary Algorithms**, Springer-Verlag, London, UK.

- Yuan, M., (2009), Challenges and Critical Issues for Temporal GIS Research and Technologies, in H. A. Karimi (Ed.): **Handbook of Research on Geoinformatics**, IGI Global Publisher, pp. 144-153.
- Zadeh, L. A., (1965), Fuzzy Sets, *Information and Control*, Vol. 8, pp. 338-353.
- Zadeh, L. A., (1975a), Fuzzy Logic and Approximate Reasoning, *Synthese*, Vol. 30, No. 3, pp. 407-428.
- Zadeh, L. A., (1975b), The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning I, *Information Sciences*, Vol. 8, No. 3, pp. 199-249.
- Zadeh, L. A., (1979), A Theory of Approximate Reasoning, in J. Hayes, D. Michie, L. I. Mikulich (Eds.): **Machine Intelligence**, Vol. 9, Halstead Press, New York, pp. 149-194.
- Zadeh, L. A., (1983), The Role of Fuzzy Logic in the Management of Uncertainty in Expert Systems, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 11, No. 1-3, pp. 199-227.
- Zadeh, L. A., (1992), Knowledge Representation in Fuzzy Logic, in R. R. Yager and L. A. Zadeh (Eds.): **An Introduction to Fuzzy Logic Applications in Intelligent Systems**, Springer Science and Business Media, New York, USA, pp. 1-25.
- Zadeh, L. A., (1994a), Fuzzy Logic, Neural Networks, and Soft Computing, *Communications of the ACM*, Vol. 37, No. 3, pp. 77-84.
- Zadeh, L. A., (1994b), Soft Computing and Fuzzy Logic, *IEEE Software*, Vol. 11, No. 6, pp. 48-56.
- Zadeh, L. A., (1996), Fuzzy Logic = Computing with Words, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, Vol. 4, No. 2, pp. 103-111.
- Zadeh, L. A., (1998), Some Reflections on Soft Computing, Granular Computing and their Roles in the Conception, Design and Utilization of Information/Intelligent Systems, *Soft Computing*, Vol. 2, No. 1, pp. 23-25.
- Zadeh, L. A., (2008), Is There a Need for Fuzzy Logic?, *Information Sciences: An International Journal*, Vol. 178, N0. 13, pp. 2751-2779.
- Zandi, A. and Roghanian, E., (2013), Extension of Fuzzy ELECTRE Based on VIKOR Method, *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 63, No. 2, pp. 258-263.
- Zapatero, E. G., (1996), A Quality Assessment Instrument for Multi-Criteria Decision Support Software, *Benchmarking for Quality Management & Technology*, Vol. 4, No. 4, pp. 17-27.

- Zardari, N. H., Ahmed, K., Shirazi, S. M. and Yusop, Z. B., (2015), **Weighting Methods and their Effects on Multi-Criteria Decision Making Model Outcomes in Water Resources Management**, Springer.
- Zavadskas, E. K. and Turskis, Z., (2011), Multiple Criteria Decision Making (MCDM) Methods in Economics: An Overview, *Technological and Economic Development of Economy*, Vol. 17, No. 2, pp. 397-427.
- Zeleny, M., (1977), Multidimensional Measure of Risk: The Prospect Ranking Vector, in S. Zionts (Ed.): **Multicriteria Problem Solving**, Springer, Heidelberg, pp. 529-548.
- Zeleny, M., (1982), **Multiple Criteria Decision Making**, McGraw-Hill, USA.
- Zeleny, M., (2008), The KM-MCDM Interface in Decision Design: Tradeoffs-Free Conflict Dissolution, *International Journal of Applied Decision Sciences*, Vol. 1, No. 1, pp. 3-23.
- Zhang, G. and Zuo, H., (2013), Pareto Optimal Solution Analysis of Convex Multi-Objective Programming Problem, *Journal of Networks*, Vol. 8, No. 2, pp. 437-444.
- Zimmerman, H. Z., (1996), **Fuzzy Set Theory and Its Applications**, Kluwer Academic Publishers, Boston, USA.
- Zimmermann, H.-J., (2001), **Fuzzy Set Theory and Its Applications** (fourth edition), Springer Science + Business Media, New York, USA.
- Zorounidis, C. and Doumpos, M. (2002), Multicriteria Classification and Sorting Methods: A Literature Review, *European Journal of Operational Research*, Vol.138, No. 2, pp. 229-246.

Ελληνική

- Θεοδώρου, Γ. Α., (2012), **Εισαγωγή στην Ασαφή Λογική (Fuzzy Logic): Βασικές Αρχές της Ασαφούς Λογικής με Εφαρμογές στην Τεχνολογία**, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
- Παπαδοπούλου, Χ.-Α., (2008), **Εναλλακτικά Σενάρια Ανάπτυξης των Ελληνικών Σιδηροδρόμων**, Διπλωματική Εργασία, Τομέας Γεωγραφίας και Περιφερειακού Σχεδιασμού, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών Ε.Μ.Π., Αθήνα.

Πατρούμπας, Κ., (2002), Γενετικοί Αλγόριθμοι και Γενετικός Προγραμματισμός: Εφαρμογές στη Γεωπληροφορική, Εργασία στα πλαίσια του μαθήματος ‘Ερευνητικά Θέματα στη Γεωπληροφορική’ του Δ.Π.Μ.Σ. ‘Γεωπληροφορική’, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών Ε.Μ.Π., Αθήνα.

Διαδικτυακές Πηγές

ESRI – Environmental Systems Research Institute:

<http://support.esri.com/other-resources/gis-dictionary/term/visualization>
(accessed: 09/08/2016).

ESRI online manual, ArcGIS for Desktop:

<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools>
(accessed: 04/2017)

Ιστοσελίδα της American Evaluation Association:

<http://www.eval.org/p/bl/et/blogid=2&blogaid=4>
(accessed: 30/09/2015)

Ιστοσελίδα της Norwegian Agency for Development Cooperation:

<http://www.norad.no/en/front/>
(accessed: 30/09/2015)

Ιστοσελίδα της Βιβλιοθήκης της London School of Economics – Ηλεκτρονικό Σύγγραμμα: Multi-criteria Analysis: A Manual

http://eprints.lse.ac.uk/12761/1/Multi-criteria_Analysis.pdf

Ιστοσελίδα του Πανεπιστημίου της Βικτώρια (University of Victoria):

<http://web.uvic.ca/~pkennedy/Courses/516/text.pdf>
(accessed: 14/10/2015)

Ιστοσελίδα της Αυστραλιανής Κυβέρνησης – Αρχή Προστασίας Πολιτικής Αεροπορίας (Australian Government – Civil Aviation Safety Authority):

https://www.casa.gov.au/sites/g/files/net351/f/_assets/main/manuals/regulate/acm/257r005.pdf

(accessed: 14/10/2015)

Ιστοσελίδα του Οργανισμού για την Οικονομική Συνεργασία και Ανάπτυξη
(Organisation for Economic Co-operation and Development):

<http://www.oecd.org/environment/tools-evaluation/36190261.pdf>

(accessed: 14/10/2015)