



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ Μ/Υ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ «ΕΞΥΠΝΩΝ» ΠΟΛΕΩΝ:
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ**

ΣΑΒΒΑ ΒΑΣΙΛΙΚΗ

ΧΡΥΣΟΣΤΟΜΟΣ ΔΟΥΚΑΣ
ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2019



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ Μ/Υ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ «ΕΞΥΠΝΩΝ» ΠΟΛΕΩΝ:
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ**

ΣΑΒΒΑ ΒΑΣΙΛΙΚΗ

Επιβλέπων: ΧΡΥΣΟΣΤΟΜΟΣ ΔΟΥΚΑΣ
ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 14^η Φεβρουαρίου 2019.

.....
Ιωάννης Ψαρράς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Δημήτριος Ασκούνης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Χρυσόστομος Δούκας
Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2019

.....

Βασιλική Σάββα

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Βασιλική Σ. Σάββα, 2019

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Στην οικογένειά μου

Περίληψη

Η παγκοσμιοποίηση, τα μέτρα απελευθέρωσης του εμπορίου και οι ραγδαίες τεχνολογικές εξελίξεις που επιφέρουν αλλαγές στις σχέσεις παραγωγής, διανομής και κατανάλωσης, έχουν πολύ σημαντικές επιπτώσεις στην ανάπτυξη των πόλεων. Ελάχιστα τοπικά χαρακτηριστικά έχουν πλέον σημασία για την παγκόσμια αγορά, η οποία επιβάλλει τον ανταγωνισμό σε όλα τα σημεία, μετατρέποντας κάθε πόλη σε δυνητικό ανταγωνιστή που οφείλει να βελτιώσει το προφίλ και τη θέση της. Τις τελευταίες δεκαετίες η αιφόρος ανάπτυξη αποτέλεσε ένα βασικό πρόσταγμα στον σχεδιασμό κυβερνητικής πολιτικής. Συγκεκριμένα, αποτέλεσε ένα εργαλείο που προσπάθησε να συνδέσει οικολογικά και κοινωνικοοικονομικά προβλήματα και να συμφιλιώσει την αναπτυξιακή στρατηγική με την περιβαλλοντική προστασία, ως πρακτικές που υπό προϋποθέσεις μπορούσαν να λειτουργήσουν συμπληρωματικά. Ταυτόχρονα, η συνεχής αύξηση του πληθυσμού στα αστικά κέντρα συνεπάγεται σειρά κοινωνικοπολιτικών, οικονομικών, τεχνολογικών και περιβαλλοντικών προκλήσεων. Για να αντιμετωπιστούν οι σύγχρονες προκλήσεις των αστικών κέντρων, η μετάβαση από τις «παραδοσιακές» πόλεις στις «έξυπνες» καθίσταται περισσότερο από ποτέ αναγκαία. Μία υψηλή θέση στην κατάταξη με τις πιο «έξυπνες» πόλεις συμβάλλει στη βελτίωση της διεθνούς εικόνας κάθε πόλης και ως εκ τούτου μπορεί να διαδραματίσει κρίσιμο ρόλο στη στρατηγική της.

Η αξιολόγηση των Έξυπνων Πόλεων προς την κατεύθυνση του βιώσιμου σχεδιασμού αποτελεί ένα περίπλοκο πρόβλημα απόφασης. Σκοπός, λοιπόν, της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι η ανάπτυξη και η εφαρμογή κατάλληλης μεθοδολογίας για την υποστήριξη αποφάσεων όσον αφορά την αξιολόγηση των «έξυπνων» πόλεων. Η προτεινόμενη μεθοδολογία στηρίζεται στη χρήση της πολυκριτήριας ανάλυσης, η φιλοσοφία και οι μέθοδοι της οποίας θα επεξηγηθούν πλήρως στην παρούσα εργασία. Ειδικότερα, έγινε χρήση των μεθόδων ELECTRE I με κατώφλι βέτο, PROMETHEE, TOPSIS και του μοντέλου Διπλής Αναπαράστασης (2-Tuple) μέσω του εργαλείου OMIMS (Online Multidisciplinary Information Management Software, Papastamatiou et al. 2014). Η μεθοδολογία εφαρμόστηκε για την κατάταξη πέντε πόλεων, προτείνοντας περαιτέρω πιθανές μελλοντικές επεκτάσεις για τη χρήση της στον ευρύτερο τομέα των Έξυπνων Πόλεων.

Λέξεις Κλειδιά:

«Έξυπνες» Πόλεις, Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων, Θεωρία Σχέσεων Υπεροχής, Γλωσσικές Μεταβλητές, Αξιολόγηση Έξυπνων Πόλεων, Πολυκριτήρια Ανάλυση

Abstract

Globalization, with trade liberalization measures and fast technological changes altering the relations of production, distribution and consumption, has very substantial effects on city development. Only a few out of many location-based characteristics gain importance for the global marketplace enforcing competition across cities, thus positioning every city as a potential competitor. Over the last few decades, sustainable growth has been a key driver for governmental policy planning. In particular, it has served as a tool that attempted to link ecological and socio-economic problems and align the development strategy and the environmental protection as practices that could function complementing each other. At the same time, the continuous population growth in urban centers entails a series of socio-political, economic, technological and environmental challenges. In order to meet the modern challenges of urban centers, the transition from "traditional" cities to "smart" becomes ever more pivotal. A top-rank in a highly reputed "smart" city ranking helps improve the international image of a city and can therefore play a key role in its strategy.

Smart Cities' assessment of sustainable planning is a complex decision problem. The aim of this diploma thesis is therefore to develop and implement an appropriate methodology to support decisions on the assessment of "smart" cities. The proposed methodology is based on the use of multi-criteria analysis, the whole rationale and methods of which will be explained thoroughly and in detail in the present paper. In particular, we used the multi-criteria methods ELECTRE I with veto threshold, PROMETHEE, TOPSIS and the 2-Tuple representation model through the OMIMS (Online Multidisciplinary Information Management Software, Papastamatiou et al) tool. The methodology was used to rank five cities, suggesting in addition to that possible future extensions for its use in the greater Smart Cities sector.

Keywords:

"Smart" Cities, Decision Support Systems, Outranking Relations Theory, Linguistic Variables, Assessment of Smart Cities, Multi-Criteria Analysis

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στον τομέα Ηλεκτρικών Βιομηχανικών Διατάξεων και Συστημάτων Αποφάσεων της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Ε.Μ.Π., στα πλαίσια των ερευνητικών δραστηριοτήτων του Εργαστηρίου Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης.

Με την ευκαιρία που μου δίνεται μέσω αυτής της διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Επίκ. Καθηγητή του Ε.Μ.Π. κ. Χάρη Δούκα για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε για την ανάληψη της συγκεκριμένης διπλωματικής και την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα. Η ευστοχία των υποδείξεων και των συμβουλών του υπήρξε καταλυτικής σημασίας για την επιτυχή ολοκλήρωση της εργασίας.

Ευχαριστώ, ακόμη, θερμά τους καθηγητές κ. Ι. Ψαρρά και Δ. Ασκούνη για την τιμή που μου έκαναν να συμμετάσχουν στην επιτροπή εξέτασης της εργασίας μου, αλλά και για την απρόσκοπτη υποστήριξη και καθοδήγηση που μου παρείχαν όλα αυτά τα χρόνια.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου για όλη την αγάπη, την υποστήριξη και την υπομονή που μου έδειξαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου, καθώς και όλους εκείνους που συνέβαλαν με τον τρόπο τους στην επιτυχή ολοκλήρωση της προσπάθειάς μου.

Βασιλική Σ. Σάββα,

Αθήνα, 15^η Φεβρουαρίου 2019

Πίνακας Περιεχομένων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 «Έξυπνες» πόλεις.....	3
1.1.1 Ορολογία «Έξυπνης Πόλης»	4
1.1.2 Χαρακτηριστικά «έξυπνων» πόλεων	5
1.2 Αντικείμενο Διπλωματικής.....	9
1.3 Φάσεις Υλοποίησης.....	10
1.4 Οργάνωση Τόμου	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ «ΕΞΥΠΝΗΣ» ΠΟΛΗΣ ΑΝΑ ΤΟΜΕΙΣ	13
2.1 Γενικές Εφαρμογές	15
2.2 Οικονομία	21
2.3 Περιβάλλον.....	22
2.4 Διακυβέρνηση	23
2.5 Διαβίωση	24
2.6 Μετακίνηση	25
2.7 Εκπαίδευση - Πολιτισμός	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ	
ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ.....	27
3.1 Βασικές Αρχές Υποστήριξης Αποφάσεων	29
3.2 Μεθοδολογία Πολυκριτήριας Ανάλυσης	31
3.2.1 Στάδιο I: Αντικείμενο της απόφασης.....	32
3.2.2 Στάδιο II: Συνεπής οικογένεια κριτηρίων.....	33
3.2.3 Στάδιο III: Μοντέλο ολικής προτίμησης	35
3.2.4 Στάδιο IV: Υποστήριξη της απόφασης.....	36
3.3 Κύρια θεωρητικά ρεύματα και ταξινόμησή τους	36
3.4 Συνοπτική Περιγραφή «Παραδοσιακών» Μεθοδολογιών	39
3.4.1 Η μέθοδος του σταθμισμένου μέσου όρου (Weighted Sum Method - WSM).....	39
3.4.2 Η σταθμισμένη μέθοδος προϊόντος (Weighted Product Method - WPM).....	39
3.4.3 Η αναλυτική ιεραρχική διαδικασία (Analytical Hierarchy Process - AHP)	40
3.4.4 PROMETHEE	42

3.4.5	ELECTRE.....	44
3.4.6	TOPSIS.....	45
3.4.7	Η θεωρία χρησιμότητας πολλαπλών ιδιοτήτων (Multi-Attribute Utility Theory - MAUT)	46
3.5	Διαχείριση Ετερογενών Δεδομένων	47
3.5.1	Ανάγκη για χρήση γλωσσικών μεταβλητών	47
3.5.2	Βασικές Αρχές Γλωσσικής Ανάλυσης.....	48
3.5.3	Προσέγγιση Προέκτασης.....	55
3.5.4	Συμβολική Προσέγγιση	57
3.5.5	Προσέγγιση Διπλής Αναπαράστασης.....	61
3.5.6	Χρήση Μοντέλου Διπλής Αναπαράστασης στη Συμβολική Προσέγγιση	64
3.6	Το λογισμικό OMIMS.....	66
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ		
	«ΕΞΥΠΝΩΝ» ΠΟΛΕΩΝ.....	69
4.1	Προσδιορισμός του Προβλήματος Απόφασης.....	71
4.1.1	Εναλλακτικές.....	72
4.1.2	Κριτήρια	72
4.1.2.1	Κριτήριο 1: Μετακίνηση.....	72
4.1.2.2	Κριτήριο 2: Βιωσιμότητα.....	73
4.1.2.3	Κριτήριο 3: Διακυβέρνηση	73
4.1.2.4	Κριτήριο 4: Καινοτόμα Οικονομία	74
4.1.2.5	Κριτήριο 5: Ψηφιοποίηση	75
4.1.2.6	Κριτήριο 6: Βιοτικό Επίπεδο	75
4.1.2.7	Κριτήριο 7: Αντίληψη Εμπειρογνομώνων	75
4.1.3	Αρχικός Πίνακας Απόδοσης Εναλλακτικών.....	76
4.1.4	Βάρη Κριτηρίων - Εντροπία.....	76
4.2	ELECTRE I με κατώφλι Βέτο	78
4.3	PROMETHEE.....	81
4.4	TOPSIS.....	87
4.5	Μέθοδος Διπλής Αναπαράστασης (“2-tuple”) - OMIMS.....	90
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ.....		
		99

5.1	Σύνοψη & Συμπεράσματα	101
5.2	Μελλοντικές Προεκτάσεις	103
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	105

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1.1: Χαρακτηριστικά «έξυπνων» πόλεων (Giffinger et al., 2007)	7
Πίνακας 4.1: Το Πρόβλημα Απόφασης.....	71
Πίνακας 4.2: Παράγοντες Κριτηρίου 1 - Μετακίνησης.....	72
Πίνακας 4.3: Παράγοντες Κριτηρίου 2 - Βιωσιμότητας.....	73
Πίνακας 4.4: Παράγοντες Κριτηρίου 3 - Διακυβέρνησης	73
Πίνακας 4.5: Παράγοντες Κριτηρίου 4 - Καινοτόμου Οικονομίας	74
Πίνακας 4.6: Παράγοντες Κριτηρίου 5 - Ψηφιοποίησης.....	75
Πίνακας 4.7: Παράγοντες Κριτηρίου 6 - Βιοτικού Επιπέδου	75
Πίνακας 4.8: Παράγοντες Κριτηρίου 7 - Αντίληψης Εμπειρογνομώνων	75
Πίνακας 4.9: Αρχικός Πίνακας Απόδοσης Εναλλακτικών	76
Πίνακας 4.10: Βάρη Κριτηρίων.....	78
Πίνακας 4.11: Πίνακας Απόδοσης Εναλλακτικών - ELECTRE I με κατώφλι βέτο	78
Πίνακας 4.12: Πίνακας Συμφωνίας	79
Πίνακας 4.13: Πίνακας Ασυμφωνίας	80
Πίνακας 4.14: Τελικός Πίνακας	80
Πίνακας 4.15: Πίνακας Απόδοσης Εναλλακτικών - PROMETHEE	84
Πίνακας 4.16: Πίνακας προτίμησης κριτηρίου 1 - Μετακίνησης.....	84
Πίνακας 4.17: Πίνακας προτίμησης κριτηρίου 2 - Βιωσιμότητας.....	84
Πίνακας 4.18: Πίνακας προτίμησης κριτηρίου 3 - Διακυβέρνησης	85
Πίνακας 4.19: Πίνακας προτίμησης κριτηρίου 4 - Καινοτόμου οικονομίας	85
Πίνακας 4.20: Πίνακας προτίμησης κριτηρίου 5 - Ψηφιοποίησης	85
Πίνακας 4.21: Πίνακας προτίμησης κριτηρίου 6 - Βιοτικού επιπέδου.....	85
Πίνακας 4.22: Πίνακας προτίμησης κριτηρίου 7 - Αντίληψης εμπειρογνομώνων.....	85
Πίνακας 4.23: Πίνακας Ροών	86
Πίνακας 4.24: Πίνακας Απόδοσης Εναλλακτικών - TOPSIS.....	87
Πίνακας 4.25: Κανονικοποιημένος Πίνακας Απόδοσης.....	87
Πίνακας 4.26: Σταθμισμένος Κανονικοποιημένος Πίνακας Απόδοσης	88
Πίνακας 4.27: Ιδεατή και Αρνητικά Ιδεατή επίλυση.....	89

Πίνακας 4.28: L2-Απόσταση της εναλλακτικής i από Ιδεατή επίλυση	89
Πίνακας 4.29: L2-Απόσταση της εναλλακτικής i από Αρνητικά Ιδεατή επίλυση.....	89
Πίνακας 4.30: Πίνακας Σχετικής Κοντινότητας.....	90
Πίνακας 4.31: Πίνακας Απόδοσης Εναλλακτικών - OMIMS	90
Πίνακας 4.32: 2-tuples εναλλακτικής A - Κοπεγχάγη.....	93
Πίνακας 4.33: 2-tuples εναλλακτικής B - Ρώμη.....	94
Πίνακας 4.34: 2-tuples εναλλακτικής C - Βαρκελώνη	95
Πίνακας 4.35: 2-tuples εναλλακτικής D - Νέα Υόρκη	96
Πίνακας 4.36: 2-tuples εναλλακτικής E - Αθήνα	97
Πίνακας 4.37: Τελική Κατάταξη (2-Tuples) Εναλλακτικών	98

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 3.1: Διαδικασία Υποστήριξης Αποφάσεων	29
Σχήμα 3.2: Διαδικασία Υποστήριξης Αποφάσεων Πολλαπλών Κριτηρίων	30
Σχήμα 3.3: Το μεθοδολογικό πλαίσιο της πολυκριτήριας ανάλυσης αποφάσεων	31
Σχήμα 3.4: Κατηγορίες διακριτών προβλημάτων	33
Σχήμα 3.5: Διαδικασία κατασκευής μιας συνεπούς οικογένειας κριτηρίων	35
Σχήμα 3.6: Η συμβολή των θεωρητικών ρευμάτων της πολυκριτήριας ανάλυσης στην επίλυση συνεχών και διακριτών προβλημάτων λήψης αποφάσεων	38
Σχήμα 3.7: Σύνολο Εννέα (9) Όρων με τη Σημασιολογία τους	52
Σχήμα 3.8: Παραλλαγές Αναπαράστασης	52
Σχήμα 3.9: (α) Συμμετρικά Κατανεμημένο Σύνολο 7 Όρων	54
Σχήμα 3.10: Διαδικασία Προσέγγισης Προέκτασης	56
Σχήμα 3.11: Διαδικασία Συμβολικής Προσέγγισης	57
Σχήμα 3.12: Ασαφείς Γλωσσικοί Ποσοτικοποιητές	60
Σχήμα 3.13: Διάγραμμα ροής λειτουργίας λογισμικού OMIMS (Papastamatiou et al., 2014α)	67
Σχήμα 4.1: Διάγραμμα Υπεροχής - ELECTRE I με κατώφλι βέτο	81
Σχήμα 4.2: Τύποι γενικευμένου κριτηρίου PROMETHEE [67]	83

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 2.1: Εφαρμογές «έξυπνης» πόλης στον τομέα της Οικονομίας	21
Εικόνα 2.2: Εφαρμογές «έξυπνης» πόλης στον τομέα του Περιβάλλοντος	22
Εικόνα 2.3 □ Εφαρμογές «έξυπνης» πόλης στον τομέα της Διακυβέρνησης	23
Εικόνα 2.4: Εφαρμογές «έξυπνης» πόλης στον τομέα της Διαβίωσης.....	24
Εικόνα 2.5: Εφαρμογές «έξυπνης» πόλης στον τομέα της Μετακίνησης	25
Εικόνα 2.6: Εφαρμογές «έξυπνης» πόλης στον τομέα της Εκπαίδευσης και του Πολιτισμού.....	26
Εικόνα 4.1: Εισαγωγή κριτηρίων & εναλλακτικών στο λογισμικό OMIMS.....	91
Εικόνα 4.2: Εισαγωγή αποδόσεων εναλλακτικών σε κάθε κριτήριο στο λογισμικό OMIMS.....	92
Εικόνα 4.3: 2-tuples εναλλακτικής Α - Κοπεγχάγη.....	93
Εικόνα 4.4: 2-tuples εναλλακτικής Β - Ρώμη.....	94
Εικόνα 4.5: 2-tuples εναλλακτικής C - Βαρκελώνη	95
Εικόνα 4.6: 2-tuples εναλλακτικής D - Νέα Υόρκη	96
Εικόνα 4.7: 2-tuples εναλλακτικής E - Αθήνα	97
Εικόνα 4.8: Αξιολόγηση εναλλακτικών σύμφωνα με 2-tuples - OMIMS	98

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 «Εξυπνες» πόλεις

Μια «έξυπνη» πόλη χρησιμοποιεί ψηφιακές τεχνολογίες ή τεχνολογίες πληροφορικής και επικοινωνιών («Information and Communication Technologies») για τη βελτίωση της ποιότητας και των επιδόσεων των αστικών υπηρεσιών, τη μείωση του κόστους και της κατανάλωσης των πόρων, και για την πιο αποτελεσματική και δραστήρια εμπλοκή της ίδιας με τους πολίτες της.

Σημαντικές τεχνολογικές, οικονομικές και περιβαλλοντικές αλλαγές, όπως η αλλαγή του κλίματος, η οικονομική αναδιάρθρωση, η κίνηση προς το ηλεκτρονικό λιανικό εμπόριο και η ψυχαγωγία, η γήρανση του πληθυσμού, και οι πιέσεις στα δημόσια οικονομικά, έχουν προκαλέσει το ενδιαφέρον για τις «έξυπνες» πόλεις. Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) έχει αφιερώσει σταθερή προσπάθεια για την χάραξη μιας στρατηγικής για την επίτευξη μιας «έξυπνης» αστικής ανάπτυξης για τις μητροπολιτικές πόλεις-περιφέρειές της. Έχει αναπτύξει μια σειρά από προγράμματα στο πλαίσιο της «Ψηφιακής ατζέντας της Ευρώπης». Το 2010, εστίασε την προσοχή της στην ενίσχυση της καινοτομίας και των επενδύσεων στον τομέα των υπηρεσιών με σκοπό τη βελτίωση των δημόσιων υπηρεσιών και της ποιότητας ζωής. Εκτιμάται ότι η παγκόσμια αγορά «έξυπνων» αστικών υπηρεσιών θα είναι 400 δισεκατομμύρια δολάρια ετησίως μέχρι το 2020. Παραδείγματα τεχνολογιών «έξυπνων» πόλεων και προγράμματα έχουν εφαρμοστεί σε Σαουθάμπτον, Άμστερνταμ, Βαρκελώνη και Στοκχόλμη [1].

Οι «έξυπνες» πόλεις αποτελούν τμήμα του ευρύτερου σχεδίου των δυτικών κοινωνιών για μετάβαση στην κοινωνία και οικονομία της γνώσης. Περιγράφουν περιβάλλοντα που βελτιώνουν τις ανθρώπινες ικανότητες δημιουργικότητας, μάθησης και καινοτομίας. Δημιουργούνται από την συνένωση τοπικών συστημάτων καινοτομίας που λειτουργούν μέσα στις πόλεις (τεχνολογικές συνοικίες, τεχνολογικά πάρκα, πόλοι καινοτομίας, «clusters») με ψηφιακά δίκτυα και εφαρμογές της κοινωνίας της πληροφορίας. Η αξία τους βρίσκεται στη δυνατότητα να συγκεντρώνουν και να συνδυάζουν τρεις μορφές ευφυΐας: ανθρώπινη του πληθυσμού, των πόλεων, συλλογική των θεσμών καινοτομίας, και τεχνητή των ψηφιακών δικτύων και εφαρμογών.

Δύο επιστημονικά παραδείγματα («cyber cities» vs. «ευφυείς» κοινότητες) ανταγωνίζονται στη δημιουργία «έξυπνων» πόλεων. Οι κυβερνοπόλεις («cyber cities») αντιμετωπίζουν τις «έξυπνες» πόλεις ως πρόβλημα ψηφιακής δικτύωσης, αισθητήρων, «intelligent agents», και αυτοματοποίησης της συλλογής και επεξεργασίας της πληροφορίας. Οι θεωρίες για τις «ευφυείς» κοινότητες κατανοούν τις «έξυπνες» πόλεις ως αποτέλεσμα συνδυασμού ανθρώπινων ικανοτήτων, θεσμών μάθησης, και ψηφιακής τεχνολογίας, που οδηγεί σε νέες

λειτουργίες των πόλεων όπως στρατηγική ευφυΐα, μεταφορά τεχνολογίας, καινοτομία μέσω συνεργασίας, και ψηφιακή παροχή υπηρεσιών [2].

1.1.1 Ορολογία «Έξυπνης Πόλης»

Η έννοια της «έξυπνης» πόλης είναι διαφορετική για κάθε άνθρωπο και ο ορισμός της ποικίλει από πόλη σε πόλη, ή από χώρα σε χώρα, ανάλογα με τον ρυθμό ανάπτυξης, την τάση για αλλαγή και τη δυνατότητα για εξέλιξη, τους πόρους και την κουλτούρα του κάθε λαού. Σαφής και κοινά αποδεκτός ορισμός για την έννοια της «έξυπνης» πόλης δεν έχει διατυπωθεί ακόμα. Η «έξυπνη» πόλη αλλιώς γίνεται αντιληπτή στην Ευρώπη, αλλιώς στην Ασία και αλλιώς στην Αμερική ή την Αυστραλία.

Μια Έξυπνη Πόλη είναι η πόλη στην οποία τα παραδοσιακά δίκτυα και οι υπηρεσίες γίνονται πιο αποδοτικά με τη χρήση ψηφιακών και τηλεπικοινωνιακών τεχνολογιών (EP, 2014), προς όφελος των πολιτών και των επιχειρήσεων. Προς αυτή την κατεύθυνση, η Ευρωπαϊκή Ένωση τα τελευταία χρόνια έχει αρχίσει να επενδύει σε έρευνα και καινοτομία στον τομέα των Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) (Information & Communication Technologies – ICT), αναπτύσσοντας πολιτικές προκειμένου να βελτιώσει την ποιότητα ζωής των πολιτών και να κάνει τις πόλεις της ενεργειακά αποδοτικές στα πλαίσια των στόχων 20-20-20 που έχει θέσει (EC, 2016).

Η έννοια της Έξυπνης Πόλης δεν περιλαμβάνει μόνο τεχνολογίες επικοινωνιών και πληροφορικής αλλά περιλαμβάνει επίσης αξιοποίηση εναλλακτικών πηγών ενέργειας και πολιτικές για τον περιορισμό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (EC, 2013a).

Έξυπνη Πόλη σημαίνει πιο «έξυπνα» δίκτυα αστικών συγκοινωνιών, αναβαθμισμένες υποδομές δικτύων ύδρευσης και αποχέτευσης, ενεργειακά αποδοτικά δίκτυα φωτισμού καθώς επίσης και πιο αποδοτικούς τρόπους φωτισμού και θέρμανσης των κτιρίων. Μεταξύ αυτών, μια Έξυπνη Πόλη πρέπει να χαρακτηρίζεται από πιο διαδραστική διαχείριση της πόλης από τις τοπικές αρχές, εξασφαλίζοντας ασφάλεια και άνεση για τους πολίτες (EC, 2016).

Μία Έξυπνη Πόλη είναι μια σύνθεση από υποδομές επικοινωνιών, υποδομές εναλλακτικών πηγών ενέργειας, κοινωνικές υποδομές, τεχνολογίες και υπηρεσίες για εύκολη πρόσβαση στη γνώση. Η έννοια της «έξυπνης» πόλης συνδέεται άμεσα με την «έξυπνη» ανάπτυξη, η οποία σαν έννοια αναφέρεται στη μετάβαση εκείνη που απαιτείται για να επιτευχθεί μεγαλύτερη αποδοτικότητα συντονίζοντας όλες τις οντότητες που συμμετέχουν στην έξυπνη πόλη για αυτόν τον σκοπό (Batty et al., 2012).

Αξίζει να σημειωθεί πως σαφής διαχωρισμός πρέπει να γίνει ανάμεσα στην έννοια της Ψηφιακής Πόλης και αυτής της Έξυπνης Πόλης. Οι ψηφιακές πόλεις είναι εκείνες που εστιάζουν σε υποδομές επικοινωνιών και πληροφορικής έχοντας ως κύριο σκοπό την ψηφιακή εποχή, ενώ οι Έξυπνες Πόλεις είναι αυτές που εστιάζουν στον τρόπο με τον οποίο αυτές οι υποδομές χρησιμοποιούνται για να βελτιώσουν την κοινωνία και την ποιότητα ζωής των πολιτών (Batty et al., 2012).

Μια πόλη για να χαρακτηριστεί ως «έξυπνη» δεν αρκεί να είναι «έξυπνη» μόνο με την οικονομία της και την ενεργειακή της απόδοση, αλλά ως βασική προϋπόθεση, οι τοπικές αρχές και οι κυβερνήσεις θα πρέπει να σέβονται και να αντιλαμβάνονται τις κοινωνικές συνθήκες που επικρατούν στα αστικά κέντρα, προσαρμόζοντας την εξέλιξη της τεχνολογίας στις ανάγκες των κατοίκων τους, διευκολύνοντας την καθημερινότητά τους. Οι συνθήκες αυτές και οι ανάγκες των πολιτών είναι οι κύριες αιτίες που κατευθύνουν τον τρόπο με τον οποίο οι μεγάλες εταιρείες τεχνολογιών επικοινωνιών και πληροφορικής (όπως IBM, CISCO, Microsoft, Oracle, SAP) προσεγγίζουν την αγορά και αναπτύσσουν τα προϊόντα και τις λύσεις τους (IBM, 2009) [3].

1.1.2 Χαρακτηριστικά «έξυπνων» πόλεων

Είναι γνωστό πως οι «έξυπνες» πόλεις (ή αλλιώς κοινότητες, συγκροτήματα επιχειρήσεων, αστικές πολεοδομίες ή περιοχές) χρησιμοποιούν τεχνολογίες πληροφορικής έτσι ώστε:

1. Να εξασφαλισθεί πιο αποδοτική χρήση των φυσικών υποδομών (δρόμων, δομικού περιβάλλοντος και άλλων υλικών περιουσιακών στοιχείων) μέσω της τεχνητής νοημοσύνης και της ανάλυσης δεδομένων, η οποία θα υποστηρίξει μια ισχυρή και υγιή οικονομική, κοινωνική, πολιτιστική ανάπτυξη.
2. Να συνεργαστεί αποτελεσματικά με τους πολίτες της στην τοπική διακυβέρνηση και να λαμβάνει αποφάσεις με τη χρήση των ανοικτών καινοτομικών διαδικασιών και της ηλεκτρονικής συμμετοχής, βελτιώνοντας τη συλλογική νοημοσύνη των θεσμών της πόλης, μέσω της Ηλεκτρονικής Διακυβέρνησης, με έμφαση στη συμμετοχή των πολιτών και το συνεργατικό σχεδιασμό.
3. Να μάθει, να προσαρμοστεί και να καινοτομεί και ως εκ τούτου να ανταποκριθεί πιο αποτελεσματικά και έγκαιρα στις μεταβαλλόμενες συνθήκες με τη βελτίωση της «νοημοσύνης» της πόλης.

Οι «έξυπνες» πόλεις έχουν εξελιχθεί σε μία ισχυρή ενοποίηση όλων των διαστάσεων της ανθρώπινης νοημοσύνης, της συλλογικής νοημοσύνης, καθώς επίσης και της τεχνητής

νοημοσύνης μέσα σε αυτές. Η «νοημοσύνη» των πόλεων έγκειται στον ολοένα και πιο αποτελεσματικό συνδυασμό των ψηφιακών τηλεπικοινωνιακών δικτύων (νεύρα), της πανταχού ενσωματωμένης ευφυΐας (εγκέφαλοι), των αισθητήρων και των ετικετών (αισθητήρια όργανα), και του λογισμικού (γνώση και γνωστικές ικανότητες).

Δέκα βασικοί τομείς δραστηριότητας μίας «έξυπνης» πόλης είναι οι εξής [4]:

1. **Ενέργεια** (σύστημα ενεργειακής διαχείρισης για δημόσια κτίρια και υποδομές, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας κατά την παραγωγή (ηλιακή, αιολική, κύματα), αυτόβιώσιμα ενεργειακά συστήματα για δημόσιες υποδομές, «έξυπνα» ενεργειακά δίκτυα)
2. **Περιβάλλον**
3. **Υγεία** (τηλεδιάγνωση, τηλεπαρακολούθηση ασθενών, «έξυπνες» κάρτες υγείας, ηλεκτρονικό κλείσιμο ραντεβού, εκπαιδευτικό υλικό για πρώτες βοήθειες / διάσωση)
4. **Μεταφορές** (διαχείριση μαζικής μεταφοράς-σχεδιασμός, διαχείριση σε πραγματικό χρόνο, πληροφορίες πολιτών για λεωφορεία, τρένα, δρόμους, κίνηση, ηλεκτρονική έκδοση εισιτηρίων, αυτόματη κράτηση parking, ηλεκτρονικά οχήματα και δημόσια ποδήλατα)
5. **Υποδομές τεχνολογιών πληροφορικής και επικοινωνιών** (συστήματα και εφαρμογές πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών, υποδομές ασύρματου δικτύου (Wi-Fi) για τους πολίτες, σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) , δίκτυα οπτικών ινών, δημοτική ιστοσελίδα / δικτυακή πύλη
6. **Τουρισμός / Πολιτισμός / Εκπαίδευση** (Τουριστική εφαρμογή για επισκέπτες (στην τοπική γλώσσα και στα Αγγλικά), εφαρμογές που προσφέρουν υπηρεσίες σε τουρίστες (κρατήσεις, παράπονα, πληρωμές, ανταμοιβές), δημόσιες βιβλιοθήκες, μουσεία και άλλοι πολιτιστικοί χώροι απευθείας στο Διαδίκτυο, οργάνωση εκδρομών και λοιπών πολιτιστικών δραστηριοτήτων)
7. **Διαχείριση λυμάτων και υδάτινων πόρων** (συλλογή πολλών ειδών, επεξεργασία, συνολική διαχείριση)
8. **Συμμετοχή πολιτών στη διακυβέρνηση** (ηλεκτρονικό φόρουμ / διάλογος για κάθε σημαντική απόφαση, ηλεκτρονική ψήφος – e-voting, σύστημα διακυβέρνησης, παράπονα και ιδέες για το ηλεκτρονικό σύστημα διαχείρισης μέσω εφαρμογής για κινητά

9. Ανάπτυξη και εργασία

10. Ασφάλεια

Τα βασικά χαρακτηριστικά των σύγχρονων Έξυπνων Πόλεων μπορούν να συνοψιστούν στον Πίνακα 1.1, παράλληλα φαίνονται οι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη για την αξιολόγηση του βαθμού στον οποίο μια πόλη μπορεί να χαρακτηριστεί «έξυπνη» (Pellicer et al., 2013).

Επομένως η έννοια της «έξυπνης» πόλης συνδυάζει την τεχνολογία με την κοινωνία και το κράτος, με σκοπό να δημιουργήσει αστικά κέντρα που θα χαρακτηρίζονται από: έξυπνη οικονομία, έξυπνους πολίτες, έξυπνη διακυβέρνηση, έξυπνες μετακινήσεις, έξυπνο περιβάλλον και έξυπνη διαβίωση (IEEE, 2016), (Giffinger et al., 2007). Η στρατηγική και οι στόχοι για την εποχή των «έξυπνων» πόλεων βασίζεται σε τρεις πυλώνες:

- βιωσιμότητα,
- απόδοση,
- υψηλή ποιότητα ζωής.

Οι κυβερνήσεις και οι τοπικές αρχές, θα πρέπει να επενδύσουν σε νέες υποδομές και να εφαρμόσουν τις σωστές πολιτικές ώστε να διασφαλίσουν επαρκή δίκτυα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, και σύγχρονες συγκοινωνίες φιλικές προς το περιβάλλον, εκσυγχρονισμένα δίκτυα ύδρευσης και αποδοτική διαχείριση λυμάτων, σε συνδυασμό με τις νέες τεχνολογίες επικοινωνιών και πληροφορικής και τις «πράσινες» τεχνολογίες που είναι φιλικές προς το περιβάλλον. Παράλληλα, θα πρέπει να αναβαθμίσουν την ποιότητα διαβίωσης, δημιουργώντας αίσθημα ασφάλειας και άνεσης στους κατοίκους των αστικών κέντρων, εκσυγχρονίζοντας και ψηφιοποιώντας τις δημόσιες υπηρεσίες (ηλεκτρονική διακυβέρνηση), καθώς επίσης διευκολύνοντας την πρόσβαση στην υγεία και την εκπαίδευση.

Πίνακας 1.1: Χαρακτηριστικά «έξυπνων» πόλεων (Giffinger et al., 2007)

ΤΟΜΕΑΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ
Έξυπνη οικονομία (ανταγωνιστικότητα)	Καινοτομία και επιχειρηματικότητα Εικόνα οικονομίας & εμπορικά σήματα Παραγωγικότητα Ευελιξία αγοράς εργασίας Διεθνής ενσωμάτωση και δυνατότητα μετατροπής

Έξυπνοι πολίτες <i>(διαδραστική κοινωνία)</i>	Επίπεδο εξειδίκευσης και δια βίου εκπαίδευση Πολυπολιτισμικότητα Ευελιξία και δημιουργικότητα Διευρυμένοι ορίζοντες σκέψης Συμμετοχή στη δημόσια ζωή
Έξυπνη διακυβέρνηση <i>(συμμετοχή των πολιτών)</i>	Συμμετοχή στη διαδικασία λήψης αποφάσεων Δημόσιες και κοινωνικές υπηρεσίες Διακυβέρνηση με διαφάνεια Πολιτικές στρατηγικές & προοπτικές
Έξυπνες μετακινήσεις <i>(Συγκοινωνίες και ΤΠΕ)</i>	Τοπική προσβασιμότητα Διεθνής και εθνική προσβασιμότητα Διαθεσιμότητα υποδομών ΤΠΕ Βιώσιμα, καινοτόμα και ασφαλή συστήματα μεταφορών
Έξυπνο περιβάλλον <i>(Ενέργεια και εναλλακτικές πηγές)</i>	Φυσικοί πόροι Ρύπανση και Προστασία του περιβάλλοντος Βιώσιμη διαχείριση πόρων Ενεργειακή απόδοση και πράσινη ενέργεια
Έξυπνη διαβίωση <i>(ποιότητα ζωής)</i>	Πολιτιστικές εγκαταστάσεις Τομέας υγείας Ατομική ασφάλεια και κοινωνική συνοχή Ποιότητα στέγασης Εγκαταστάσεις εκπαίδευσης Τουρισμός

1.2 *Αντικείμενο Διπλωματικής*

Παρά τις προσπάθειες που γίνονται για την υποστήριξη των τοπικών αρχών για την ανάπτυξη των Έξυπνων Πόλεων, διαφαίνεται η ανάγκη για περισσότερη και αποτελεσματικότερη υποστήριξη και καθοδήγηση προκειμένου οι πόλεις να κινηθούν προς την κατεύθυνση της βιώσιμης ανάπτυξης και να γίνουν πραγματικά «έξυπνες».

Μέσα από την ουσιαστική υποστήριξή τους, θα μπορέσουν να κινηθούν δυναμικά και αποτελεσματικά προς την κατεύθυνση της αειφόρου ανάπτυξης και τη δημιουργία των Έξυπνων Πόλεων. Προς αυτή την κατεύθυνση, σημαντικό ρόλο έχει η ανάπτυξη ενός Ολοκληρωμένου Μεθοδολογικού Πλαισίου που θα παρέχει υποστήριξη στους τοπικούς φορείς για τη διαδικασία λήψης αποφάσεων.

Ειδικότερα, απαιτείται η χρήση των Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων (ΣΥΑ) που επιτρέπουν τη διαφάνεια και την αυτοματοποίηση των διαδικασιών με τη χρήση Τεχνολογιών Πληροφοριών και Επικοινωνιών (ΤΠΕ). Με αυτόν τον τρόπο, η ανάπτυξη ενός Ολοκληρωμένου Μεθοδολογικού Πλαισίου θα μπορούσε να συμβάλει στην υποστήριξη των τοπικών αρχών και κυβερνήσεων με στόχο την αξιολόγηση και τη μετάβαση προς τις Έξυπνες Πόλεις.

Η υποστήριξη των τοπικών αρχών για την αξιολόγηση των Έξυπνων Πόλεων προς την κατεύθυνση του βιώσιμου σχεδιασμού αποτελεί ένα περίπλοκο πρόβλημα απόφασης. Σκοπός, λοιπόν, της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι η ανάπτυξη και η εφαρμογή κατάλληλων μεθοδολογιών για την υποστήριξη αποφάσεων όσον αφορά την αξιολόγηση των «έξυπνων» πόλεων. Αρχικά πραγματοποιείται μία έρευνα σχετικά με τις ήδη υπάρχουσες εφαρμογές που συνεισφέρουν σε κάθε τομέα ξεχωριστά ώστε να θεωρηθεί μία πόλη «έξυπνη», ακολουθεί μία μελέτη των μεθόδων πολυκριτηριακής ανάλυσης, διαμορφώνεται το πρόβλημα απόφασης και εφαρμόζονται οι κατάλληλες μέθοδοι για την εξαγωγή συμπερασμάτων.

1.3 Φάσεις Υλοποίησης

Η εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε μεταξύ Οκτωβρίου 2018 και Φεβρουαρίου 2019 και η πορεία αυτής ακολούθησε τις εξής φάσεις:

- Φάση 1η - Βιβλιογραφική αναζήτηση και εκτενής αναζήτηση στο Διαδίκτυο για στοιχεία ενδεικτικά της παρούσας κατάστασης όσον αφορά την αξιολόγηση των «έξυπνων» πόλεων.
- Φάση 2η - Αξιολόγηση των συγκεντρωμένων στοιχείων και παρουσίαση των υπάρχουσών εφαρμογών: Σε αυτή την φάση παρουσιάζονται οι μεθοδολογικές προσεγγίσεις και τα εργαλεία που αναπτύχθηκαν, στις μελέτες που προέκυψαν από την προηγούμενη φάση της αναζήτησης.
- Φάση 3η - Βιβλιογραφική αναζήτηση των μεθόδων πολυκριτήριας ανάλυσης, με σκοπό την επιλογή και χρήση των κατάλληλων για το πρόβλημα της παρούσας εργασίας.
- Φάση 4η - Εφαρμογή μεθόδων πολυκριτήριας ανάλυσης που επιλέχθηκαν στη Φάση 3 για την αξιολόγηση «έξυπνων» πόλεων.
- Φάση 5η - Εξαγωγή συμπερασμάτων και προοπτικών: Σε αυτή τη φάση εξήχθησαν γενικά συμπεράσματα και έγινε αναφορά και στις προοπτικές που ανοίγει η παρούσα εργασία.

1.4 Οργάνωση Τόμου

Αρχικά παρατίθεται μια περίληψη της διπλωματικής εργασίας, τόσο στα Ελληνικά όσο και στα Αγγλικά, στην οποία παρουσιάζονται συνοπτικά τα κύρια σημεία της. Στη συνέχεια ακολουθεί ένας σύντομος πρόλογος και οι πίνακες περιεχομένων, πινάκων, εικόνων και σχημάτων. Τέλος, ακολουθεί το κύριο μέρος της διπλωματικής εργασίας, που αποτελείται από πέντε κεφάλαια:

- **1ο Κεφάλαιο – Εισαγωγή:**

Πρόκειται για το παρόν κεφάλαιο στο οποίο γίνεται μια ευρεία περίληψη της εργασίας που περιλαμβάνει το αντικείμενο και το σκοπό της καθώς επίσης και τις φάσεις υλοποίησης.

- **2ο Κεφάλαιο – Εφαρμογές «Εξυπνης» Πόλης ανά Τομείς:**

Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζονται εφαρμογές «έξυπνων» πόλεων ανά τομέα σε παγκόσμιο επίπεδο, πολλές από τις οποίες επηρέασαν και την παρούσα, όσον αφορά τον καθορισμό των κριτηρίων του προβλήματος απόφασης.

- **3ο Κεφάλαιο – Μεθοδολογικά Πλαίσια:**

Εδώ παρουσιάζονται οι βασικές αρχές και μεθοδολογίες πολυκριτηριακής ανάλυσης, δίνοντας έμφαση σε εκείνες που μπορούν να αξιοποιηθούν στην αξιολόγηση των «έξυπνων» πόλεων.

- **4ο Κεφάλαιο – Πολυκριτήριες Μέθοδοι Αξιολόγησης «Εξυπνων» Πόλεων:**

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση των μεθόδων πολυκριτηριακής ανάλυσης που εφαρμόστηκαν, και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα κάθε μεθόδου.

- **5ο Κεφάλαιο – Επίλογος:**

Το κεφάλαιο αυτό αποτελεί τον επίλογο της διπλωματικής εργασίας, όπου παρατίθενται τα κυριότερα συμπεράσματα που εξήχθησαν και παρουσιάζονται οι προοπτικές για την αξιολόγηση των «έξυπνων» πόλεων.

- **Βιβλιογραφία:**

Εδώ παρουσιάζεται η βιβλιογραφία και οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν για τη συγγραφή της παρούσας εργασίας.

Κεφάλαιο 2: Εφαρμογές «Εξυπνης» Πόλης ανά Τομείς

Στο παρόν κεφάλαιο αναλύονται οι κυριότερες εφαρμογές «έξυπνων» πόλεων παγκοσμίως.

2.1 Γενικές Εφαρμογές

Μια Έξυπνη Πόλη βασίζεται, μεταξύ άλλων, σε «έξυπνες» τεχνολογίες πληροφορικής που εφαρμόζονται σε κρίσιμες υποδομές και σε υπηρεσίες. Η «έξυπνη» υπολογιστική αναφέρεται στη νέα γενιά ολοκλήρωσης υλικού (hardware), λογισμικού (software) και τεχνολογιών δικτύων που παρέχεται από τις τεχνολογίες πληροφορικής και επικοινωνιών (ΤΠΕ). Με αυτές τις τεχνολογίες γίνεται εκτενής ανάλυση που συμβάλλει στις αποφάσεις των ανθρώπων για εναλλακτικές λύσεις και δράσεις προκειμένου αυτοί να βελτιστοποιήσουν τις επιχειρηματικές τους διαδικασίες (Chourabi et al., 2012).

Οι ΤΠΕ είναι βασικοί συντελεστές για την ανάπτυξη των Έξυπνων Πόλεων. Η ενσωμάτωση των ΤΠΕ στα υπό ανάπτυξη έργα μπορεί να αλλάξει το αστικό περιβάλλον και να προσφέρει σημαντικές ευκαιρίες, μπορεί να ενισχύσει τη διαχείριση των πόλεων και τη λειτουργικότητά τους (Chourabi et al., 2012). Μια πόλη για να χαρακτηριστεί «έξυπνη», θα πρέπει να είναι και περιβαλλοντικά «έξυπνη». Βασικό της χαρακτηριστικό θα πρέπει να είναι η ενεργειακή απόδοση και η υιοθέτηση νέων τεχνολογιών και υποδομών που θα ενισχύουν το περιβαλλοντικό της αποτύπωμα. Αφενός οι νέες ΤΠΕ θα κάνουν τις πόλεις περισσότερο διαδραστικές και «έξυπνες», και αφετέρου, οι πόλεις θα γίνουν περισσότερο φιλικές προς το περιβάλλον. Οι νέες τεχνολογίες αναμένεται να μειώσουν τις εκπομπές ρύπων, θα εξοικονομήσουν ενέργεια και θα κάνουν τη σύγχρονη πόλη ενεργειακά και περιβαλλοντικά «έξυπνη», δίνοντας άλλη διάσταση στην έννοια της «έξυπνης» πόλης. Οι αρχές οφείλουν να αξιοποιήσουν αποδοτικά τις νέες ΤΠΕ και να τις ενσωματώσουν με τον σωστό τρόπο στις σύγχρονες μεγαλουπόλεις. Παγκοσμίως έχουν ολοκληρωθεί αρκετά έργα, και άλλα βρίσκονται σε εξέλιξη, τα οποία έχουν ως γνώμονα την παγκόσμια πρωτοβουλία για πραγματικά Έξυπνες Πόλεις. Αυτά τα έργα περιλαμβάνουν μέτρα όπως:

- Ευρυζωνική και συλλογική συνδεσιμότητα
- Αισθητήρες για καταγραφή περιβαλλοντικών δεδομένων για ανάλυση στοιχείων όπως η κίνηση των πεζών και των οχημάτων, η ζήτηση ενέργειας
- Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ για μείωση των εκπομπών ρύπων
- Συστήματα συμπαραγωγής ενέργειας για παροχή ηλεκτρισμού και θερμότητας
- Αποδοτικά συστήματα φωτισμού και συστήματα τηλεδιαχείρισης φωτισμού πόλεων

- Έξυπνα ηλεκτρικά δίκτυα
- Πράσινα κτίρια και βιώσιμες αστικές υποδομές, θα μειώσουν την ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων
- «Έξυπνα» κτίρια με κεντρικά συστήματα διαχείρισης για έλεγχο της θερμοκρασίας, της φωτεινότητας και άλλων παραμέτρων του κτιρίου
- Σταθμοί φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων
- Κατασκευή ποδηλατοδρόμων, ως εναλλακτικός τρόπος μετακίνησης για μείωση των εκπομπών από τις μεταφορές
- Συστήματα διαχείρισης υδάτινων πόρων και του συστήματος ύδρευσης για αποφυγή σπατάλης του νερού
- Συστήματα μετακινήσεων και «έξυπνη» κινητικότητα
- Πολιτικές ανακύκλωσης.

Οι τεχνολογίες που σχετίζονται με τη μετάβαση των αστικών κέντρων στην εποχή των «έξυπνων» πόλεων ποικίλουν και περιλαμβάνουν τεχνολογίες που έχουν ήδη αναπτυχθεί και είναι διαθέσιμες καθώς επίσης και τεχνολογίες που είναι υπό ανάπτυξη και αναμένεται να χρησιμοποιηθούν στο μέλλον (IEEE, 2016). Αυτές οι τεχνολογίες σχετίζονται κυρίως με τον τομέα της ενέργειας και του περιβάλλοντος, μιας και γίνεται λόγος για ενεργειακά αποδοτικές «έξυπνες» πόλεις (Mancarella, 2012).

Επίσης, οι ΤΠΕ παίζουν σημαντικό ρόλο για την εύκολη εφαρμογή και αξιοποίηση των νέων ενεργειακών τεχνολογιών (Papastamatiou et al. 2016, 2017; Marinakis et al., 2017), καθώς και στην αποδοτική λειτουργία υφιστάμενων συμβατικών τεχνολογιών.

Μερικές από τις τεχνολογίες που σχετίζονται άμεσα με τις «έξυπνες» πόλεις παρουσιάζονται επιγραμματικά ως ακολούθως:

- «Έξυπνα» συστήματα διαχείρισης φωτισμού,
- Φωτισμός με νέες τεχνολογίες LED (διόδων εκπομπής φωτός), «Έξυπνος» έλεγχος κτιρίων,
- Συστήματα διαχείρισης υδάτινων πόρων,
- Συστήματα διαχείρισης ενέργειας κτιρίων,

- Αποκρινόμενη ζήτηση (Demand response),
- Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, κυψέλες καυσίμων, βιοκαύσιμα),
- Φυσικό αέριο για ηλεκτρισμό και θέρμανση,
- Αισθητήρες ενσωματωμένοι στις συγκοινωνίες,
- Συστήματα διαχείρισης μεταφορών και συγκοινωνιών,
- Συστήματα διαχείρισης αστικής κινητικότητας,
- Συστήματα διαχείρισης λυμάτων,
- Ηλεκτρικά οχήματα και σταθμοί φόρτισης/ εκφόρτισης αυτών,
- Συστήματα αποθήκευσης ενέργειας (Μπαταρίες),
- Συστήματα διαχείρισης μπαταριών,
- Τηλεπικοινωνίες με μεγάλη ταχύτητα ανταλλαγής δεδομένων,
- Προχωρημένα πληροφοριακά συστήματα,
- Ενοποίηση ετερογενών συστημάτων και διαλειτουργικότητα,
- Διαχείριση και ανάλυση μεγάλου όγκου δεδομένων (Big data analytics),
- Συστήματα διαχείρισης και ανάλυσης ετερογενών δεδομένων,
- Διαδραστικές εφαρμογές για tablets και κινητά.

Δύο μεγάλες πρωτοβουλίες δημιουργίας «έξυπνων» πόλεων είναι σε εξέλιξη, υποστηριζόμενες από τα κινήματα «Smart Communities» και «Intelligent Communities». Το «World Foundation for Smart Communities» ξεκίνησε το 1997 και αποτέλεσε την πρώτη συστηματική προσπάθεια σύνδεσης των πόλεων με τις τεχνολογίες επικοινωνίας και πληροφορίας. «Μια «έξυπνη» κοινότητα είναι η κοινότητα που κάνει μια συνειδητή προσπάθεια να χρησιμοποιήσει τεχνολογίες πληροφορικής ώστε να μετασχηματίσει τη ζωή και εργασία στη περιοχή της με σημαντικό και ουσιαστικό τρόπο» [5]. Τα δομικά στοιχεία μιας «Smart Community» είναι τέσσερα:

1. Ομάδα διοίκησης / χρήστες, που περιλαμβάνει τον συντονιστή, τους managers, και τους χρήστες. Οι ρόλοι τους διαφέρουν, όπως επίσης τα καθήκοντά και τα κίνητρά τους για την υλοποίηση της «έξυπνης» κοινότητας.
2. Τεχνική δικτυακή υποδομή: Το δίκτυο περιλαμβάνει τα στοιχεία που κάνουν την επικοινωνία εφικτή, τις οπτικές ίνες, τις ασύρματες υποδομές, τις συνδέσεις, τα σημεία εισόδου, τις πλατφόρμες για τις εφαρμογές.
3. Θεσμοί διαχείρισης, με τους κανονισμούς λειτουργίας της κοινότητας, τους στόχους που κινητοποιούν τα άτομα, τη ρύθμιση των προβλημάτων, τη συμφωνία στη διαχείριση της υποδομής.
4. Εφαρμογές: Είναι ο πυρήνας της «έξυπνης» πόλης που διευκολύνει / υποστηρίζει τις λειτουργίες της πόλης, τη διακυβέρνησή της, την επιχειρηματικότητα, την τηλεεργασία, την εκπαίδευση από απόσταση, και άλλες ψηφιακές υπηρεσίες.

Τα «Smart Communities» είναι τυπικές κυβερνοπόλεις («cyber cities»). Δημιουργούν ένα ψηφιακό χώρο, πάνω σε μια δικτυακή υποδομή, που προσφέρει υπηρεσίες διακυβέρνησης στον πληθυσμό της πόλης. Η έμφαση βρίσκεται στην ψηφιακή τεχνολογία και στον τρόπο που συνδέεται με τον φυσικό χώρο της πόλης. Περιγράφοντας τις σχέσεις ανάμεσα σε πόλεις και κυβερνοπόλεις, ο Pierre Levy [6] οριοθετεί τέσσερις αρχές που διέπουν το νέο σύστημα διαδραστικής επικοινωνίας:

1. Αναλογία στη μοντελοποίηση της κυβερνοπόλης, που οφείλει να απορρίψει την εύκολη αντιγραφή του φυσικού χώρου προς όφελος μιας αποτελεσματικής οργάνωσης του ψηφιακού χώρου.
2. Υποκατάσταση λειτουργιών της πόλης, καθώς στις ψηφιακές πόλεις δεν απαιτείται η φυσική παρουσία των ανθρώπων.
3. Ενσωμάτωση των νέων δικτύων μέσα σε παλιές υποδομές (σιδηροδρόμους, οδικές αρτηρίες, ενεργειακά και τηλεφωνικά δίκτυα).
4. Άρθρωση πόλης και κυβερνοπόλης, καθώς οι διεργασίες μέσα στους δύο χώρους διαφέρουν ριζικά. «Ο πυρήνας του κυβερνοχώρου δεν είναι η κατανάλωση πληροφορίας και διαδραστικών υπηρεσιών, αλλά η συμμετοχή στις κοινωνικές διεργασίες της συλλογικής ευφυΐας».

Παράλληλη, αλλά και σημαντικά διαφορετική, είναι η πρωτοβουλία των «Intelligent Communities». Υποστηρίζεται από το «Intelligent Community Forum» («ICF») που βραβεύει

κάθε χρόνο τις καλύτερες εφαρμογές «Ευφυών» Πόλεων από όλο τον κόσμο [7]. Παράλληλα έχει συμβάλει στη διαμόρφωση ενός συστήματος μέτρησης που επιτρέπει την ποσοτική αξιολόγηση του «βαθμού ευφυΐας» μιας πόλης. Η πιο σημαντική συμβολή του «ICF» βρίσκεται στη διασύνδεση της έννοιας της «ευφυούς» κοινότητας αφενός με την κοινωνία της πληροφορίας και αφετέρου με την οικονομία της γνώσης και της καινοτομίας. Για την επιλογή των καλύτερων περιπτώσεων χρησιμοποιεί πέντε κριτήρια αξιολόγησης: (1) επίπεδο ευρυζωνικών δικτύων, (2) εργασίας που βασίζεται στη γνώση, (3) ικανότητας καινοτομίας, (4) ψηφιακής σύγκλιση, και (5) προβολή και προώθηση της πόλης. Τα πέντε κριτήρια κατανέμονται σε δύο κατηγορίες: δύο στο πεδίο της ευρυζωνικότητας, και τρία στο πεδίο της καινοτομίας και κοινωνίας της γνώσης. Με τα κριτήρια αυτά γίνεται σαφές ότι η δημιουργία μιας «ευφυούς» κοινότητας δεν είναι μόνο θέμα ψηφιακής τεχνολογίας, αλλά ενός συνθετότερου συστήματος γνώσεων και καινοτομίας. Εδώ βρίσκεται και η βασική διαφορά με τα «cyber cities». Στην περίοδο 2000-2006 βραβεύθηκαν 23 πόλεις ως «Intelligent Communities»: ένδεκα στην Ασία (Bario, Singapore, Bangalore, Seoul, Taipei, Victoria, Yokosuka, Mitaka, Tianjin, Gangnam District Seoul, Ichikawa), εννέα στην Αμερική (LaGrange, Nevada, New York, Calgary, Florida high tech corridor, Spokane, Pirai, Toronto, Cleveland, Waterloo) και τρεις στην Ευρώπη (Ennis, Sundeland, Issy-les-Moulineux) [2].

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ήδη διαθέτει περίπου 200 εκατ. ευρώ για τις «Εξυπνες» Πόλεις και Κοινότητες από τον προϋπολογισμό (2014-2015) του προγράμματος έρευνας και καινοτομίας «Ορίζοντας 2020», προκειμένου να επιταχυνθεί η πρόοδος και να υπάρξουν περισσότερες λύσεις μέσω ΣΔΙΤ στους τομείς της ενέργειας, των μεταφορών και των τεχνολογιών πληροφορικής και επικοινωνιών. Επίσης, ήδη «τρέχουν» προσκλήσεις για το ευρωπαϊκό πρόγραμμα για την ανταγωνιστικότητα των μικρομεσαίων επιχειρήσεων («COSME»), το οποίο επιδοτεί δράσεις ύψους 1,5 εκατ. για τη βελτίωση, την ενίσχυση και τη βιωσιμότητα των μικρομεσαίων επιχειρήσεων, και ειδικότερα, την ενσωμάτωση επιχειρήσεων του πολιτιστικού τουρισμού στις περιφερειακές αναπτυξιακές στρατηγικές. Γνωστό στη χώρα μας είναι και το περιβαλλοντικό πρόγραμμα «LIFE+», με στόχο την προώθηση αλλαγών στο σχεδιασμό και την υλοποίηση περιβαλλοντικών πολιτικών, παρέχοντας και διαδίδοντας λύσεις και βέλτιστες πρακτικές, αλλά και προωθώντας καινοτόμες τεχνολογίες όσον αφορά το περιβάλλον και τη διαχείριση των επιπτώσεων από την κλιματική αλλαγή. Μέσω των ανωτέρω ενωτικών προγραμμάτων, δίνεται η δυνατότητα σε δήμους και περιφέρειες να έρχονται σε επαφή με εκπροσώπους του επιχειρηματικού κόσμου προκειμένου να επεξεργαστούν από κοινού, να σχεδιάσουν και να αναπτύξουν «Εξυπνες» Πόλεις, ενώ παράλληλα απελευθερώνουν και αξιοποιούν αποδοτικά πόρους για τις κοινωνικές και αναπτυξιακές προτεραιότητές τους.

Η άνοδος των νέων τεχνολογιών του Διαδικτύου προωθώντας διαδικτυακές υπηρεσίες, το Διαδίκτυο των πραγμάτων («Internet of Things»), τις διεπαφές των χρηστών στον πραγματικό κόσμο, τη χρήση των «έξυπνων» τηλεφώνων και «ευφυών» μετρητών, τα δίκτυα αισθητήρων και «RFID», καθώς και πιο ακριβή επικοινωνία βασισμένη στο Σημασιολογικό Ιστό, ανοίγει νέους τρόπους συλλογικής δράσης και συνεργατικής επίλυσης προβλημάτων.

Οι συνδεδεμένες πλατφόρμες συνεργατικής διαχείρισης δεδομένων μέσω αισθητήρων είναι διαδικτυακές υπηρεσίες βάσεων δεδομένων που επιτρέπουν στους ιδιοκτήτες του αισθητήρα να εγγραφούν και να συνδέσουν τις συσκευές τους για να αποθηκεύσουν τα δεδομένα τους σε μια βάση δεδομένων στο Διαδίκτυο, καθώς και στους προγραμματιστές να συνδεθούν στη βάση δεδομένων και να οικοδομήσουν τις δικές τους εφαρμογές που βασίζονται σε αυτά τα δεδομένα.

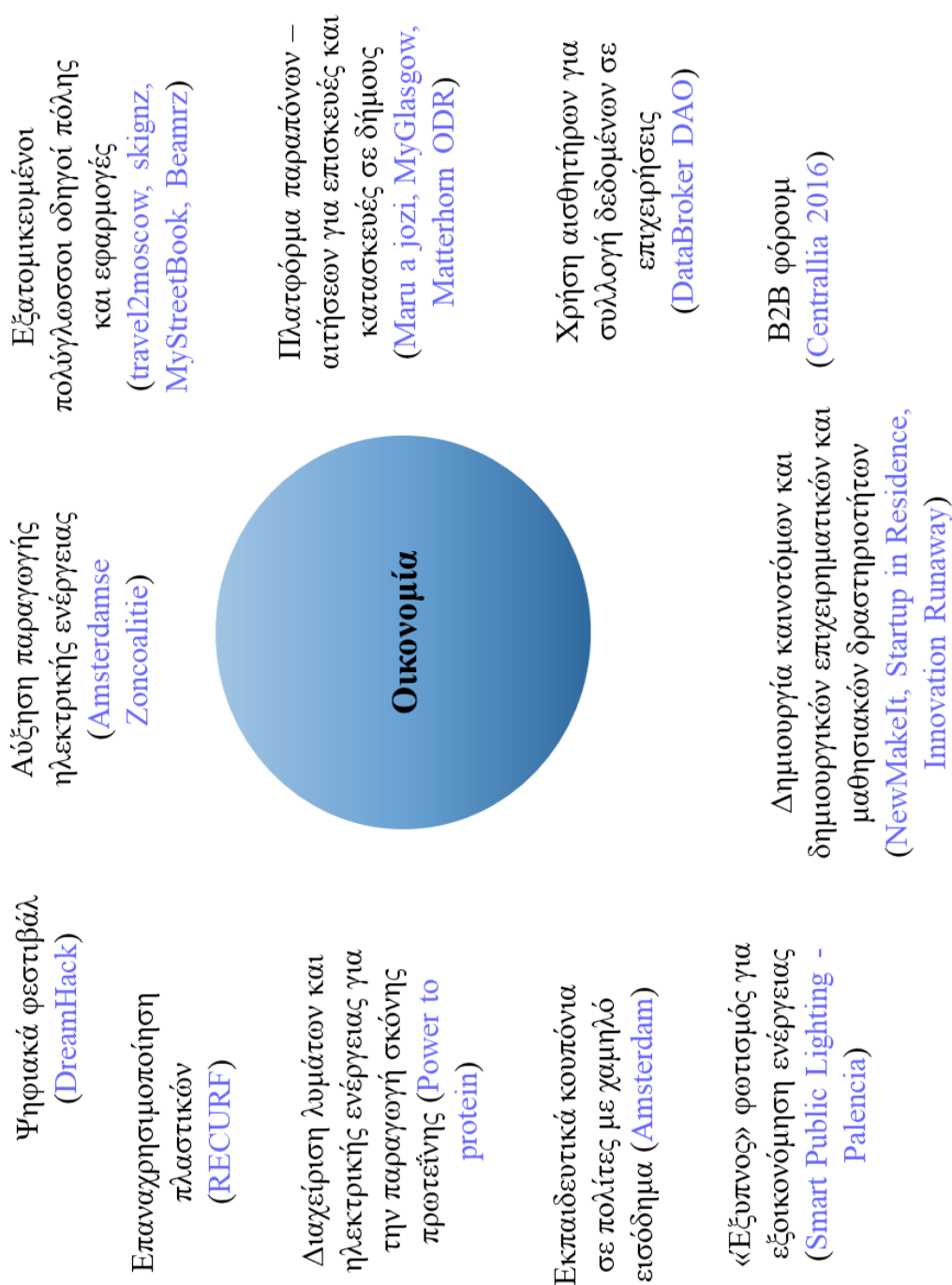
Η πόλη της Σανταντέρ στη βόρεια Ισπανία έχει 20.000 αισθητήρες που συνδέουν τα κτίρια, τις υποδομές, τις μεταφορές, τα δίκτυα και τις επιχειρήσεις κοινής ωφελείας, προσφέρει ένα φυσικό χώρο για πειραματισμό και για την επικύρωση των λειτουργιών του Διαδικτύου των πραγμάτων, όπως η αλληλεπίδραση και η διαχείριση των πρωτοκόλλων, των τεχνολογιών της συσκευής, καθώς και υπηρεσίες υποστήριξης, όπως η ανακάλυψη, η διαχείριση της ταυτότητας και η ασφάλεια. Στην Σανταντέρ, οι αισθητήρες παρακολουθούν τα επίπεδα της ρύπανσης, του θορύβου, της κυκλοφορίας και της στάθμευσης.

Οι ηλεκτρονικές κάρτες (γνωστές και ως «έξυπνες» κάρτες) είναι μια άλλη κοινή πλατφόρμα στα πλαίσια της «έξυπνης» πόλης. Αυτές οι κάρτες έχουν ένα μοναδικό κρυπτογραφημένο αναγνωριστικό που επιτρέπει στον ιδιοκτήτη να συνδεθεί σε μια σειρά κυβερνητικών παρεχόμενων υπηρεσιών («e-services») χωρίς τη δημιουργία πολλαπλών λογαριασμών. Το μοναδικό αναγνωριστικό επιτρέπει στις κυβερνήσεις να συγκεντρώνουν δεδομένα σχετικά με τους πολίτες και τις προτιμήσεις τους για τη βελτίωση της παροχής των υπηρεσιών και να καθορίζουν τα κοινά συμφέροντα των ομάδων. Αυτή η τεχνολογία έχει εφαρμοστεί στο Σαουθάμπτον [1].

Στις παρακάτω ενότητες παρατίθενται σε εικόνες παραδείγματα δράσεων ανά τομέα «έξυπνων» πόλεων παγκοσμίως [8].

2.2 Οικονομία

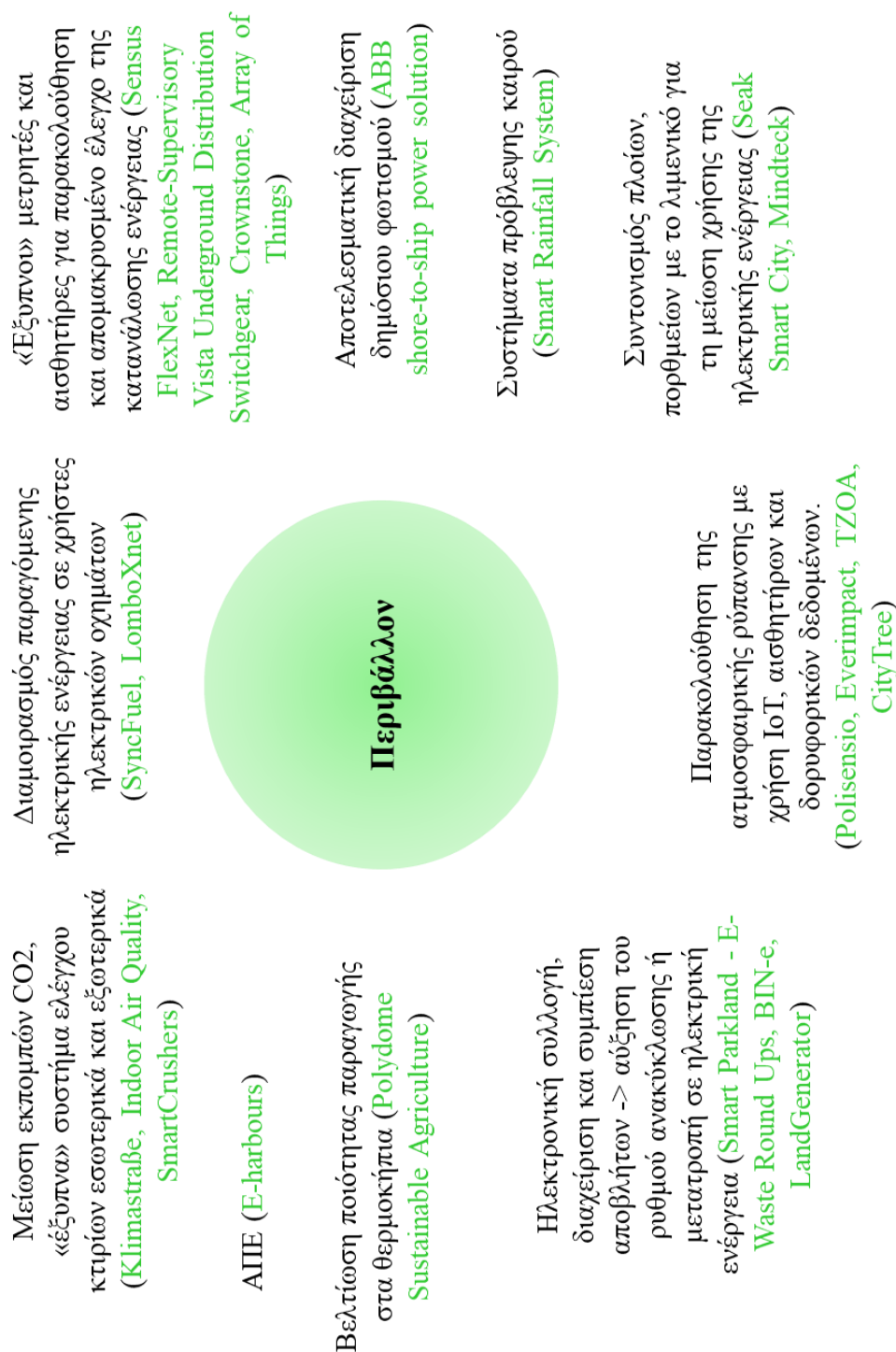
Η «έξυπνη» οικονομία περιλαμβάνει εφαρμογές που ενισχύουν την οικονομική ανταγωνιστικότητα, την καινοτομία, την επιχειρηματικότητα, τα εμπορικά σήματα, την παραγωγικότητα, την ευελιξία της αγοράς εργασίας, καθώς και την ένταξη στην παγκόσμια αγορά.



Εικόνα 2.1: Εφαρμογές «έξυπνης» πόλης στον τομέα της Οικονομίας

2.3 Περιβάλλον

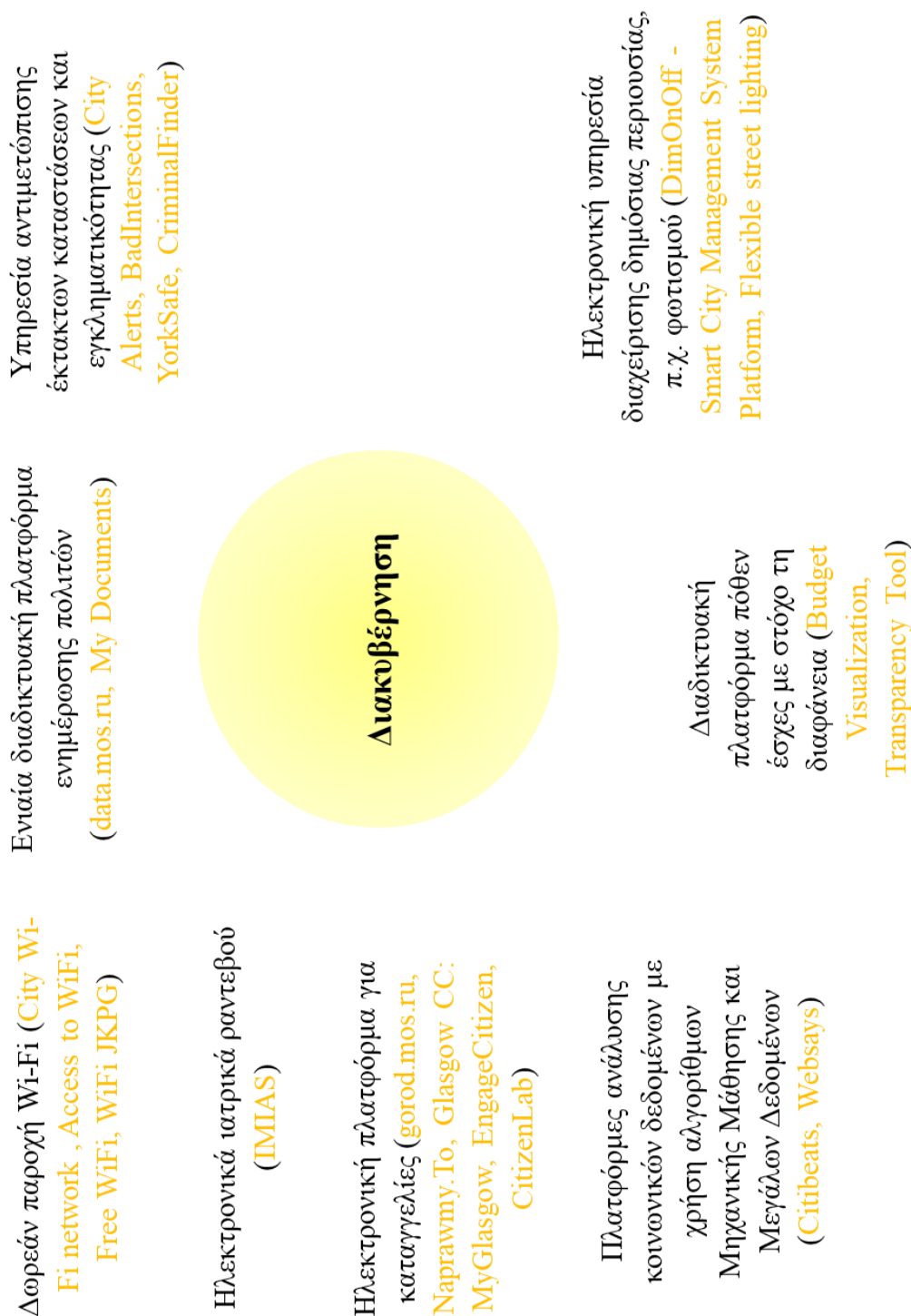
Το «έξυπνο» περιβάλλον περιγράφεται από τις ελκυστικές φυσικές συνθήκες (κλίμα, «πράσινοι» χώροι), τη μείωση της ρύπανσης, τη διαχείριση των πόρων και επίσης από ενέργειες με σκοπό την προστασία του περιβάλλοντος.



Εικόνα 2.2: Εφαρμογές «έξυπνης» πόλης στον τομέα του Περιβάλλοντος

2.4 Διακυβέρνηση

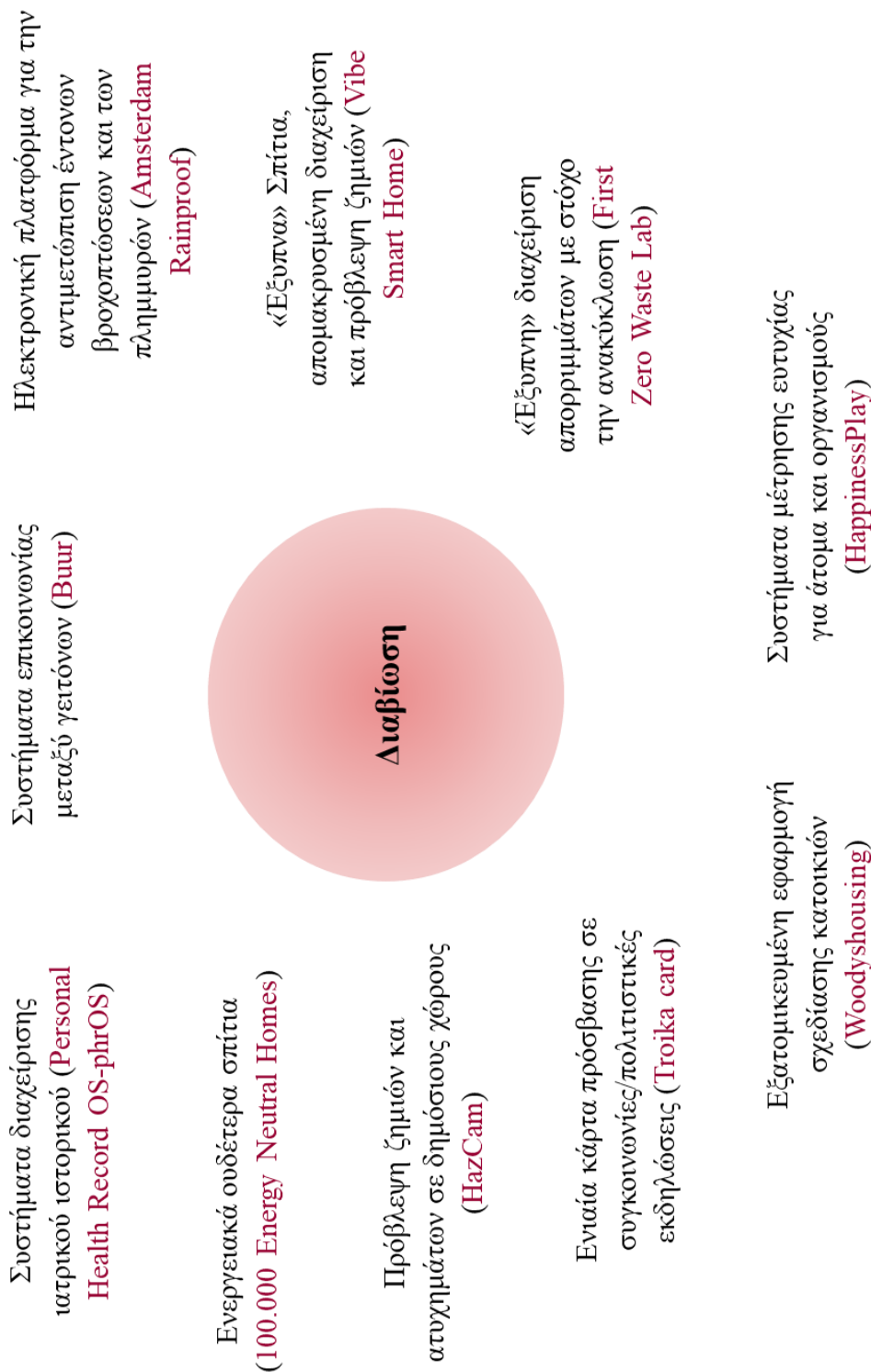
Η «έξυπνη» διακυβέρνηση χαρακτηρίζεται από τη συμμετοχή των πολιτών, την ποιότητα των δημόσιων υπηρεσιών, και τις διοικητικές λειτουργίες.



Εικόνα 2.3: Εφαρμογές «έξυπνης» πόλης στον τομέα της Διακυβέρνησης

2.5 Διαβίωση

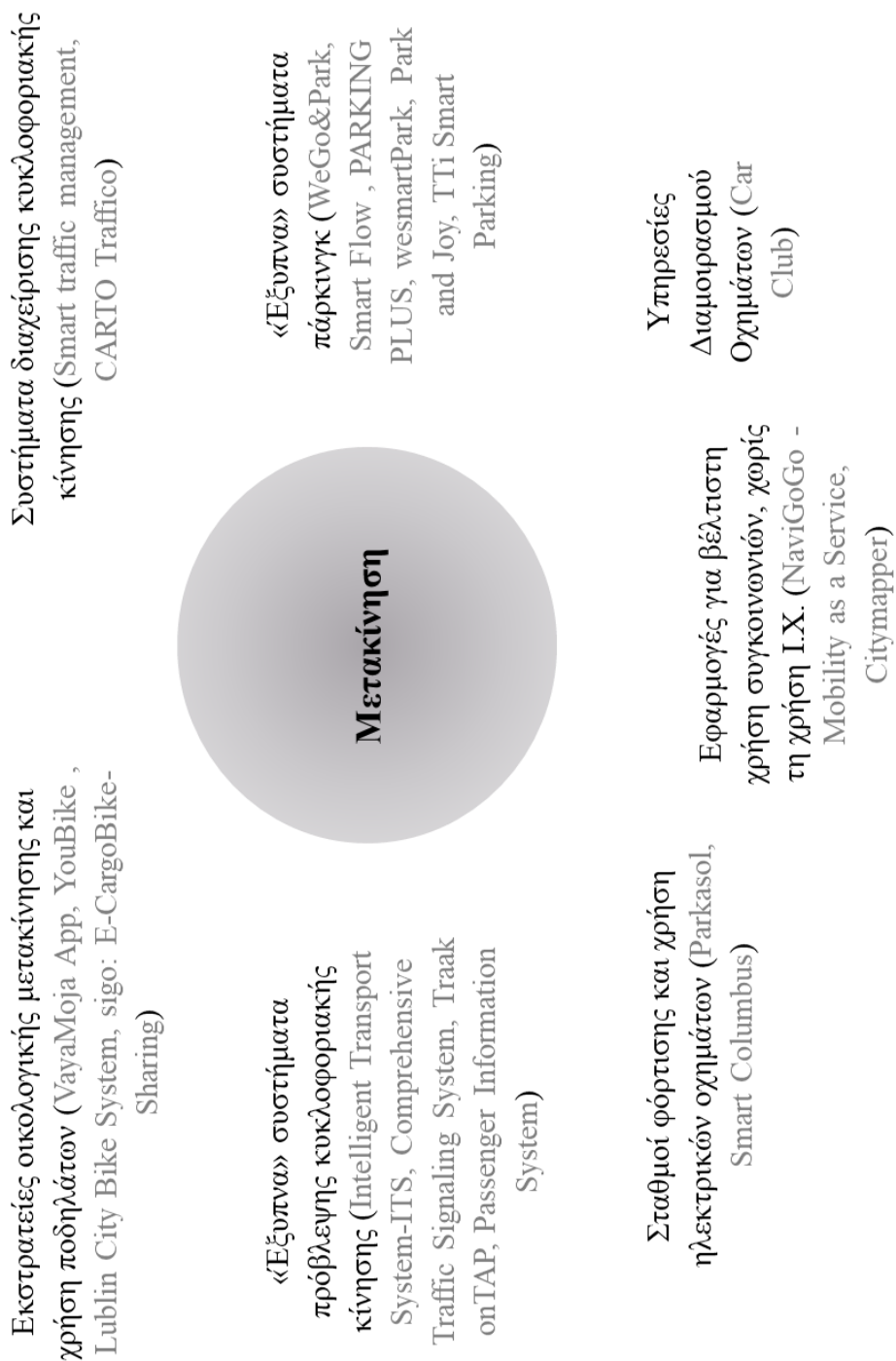
Το “Smart Living” περιλαμβάνει διάφορες πτυχές της ποιότητας ζωής, όπως η κουλτούρα, η υγεία, η ασφάλεια, η στέγαση και ο τουρισμός.



Εικόνα 2.4: Εφαρμογές «έξυπνης» πόλης στον τομέα της Διαβίωσης

2.6 Μετακίνηση

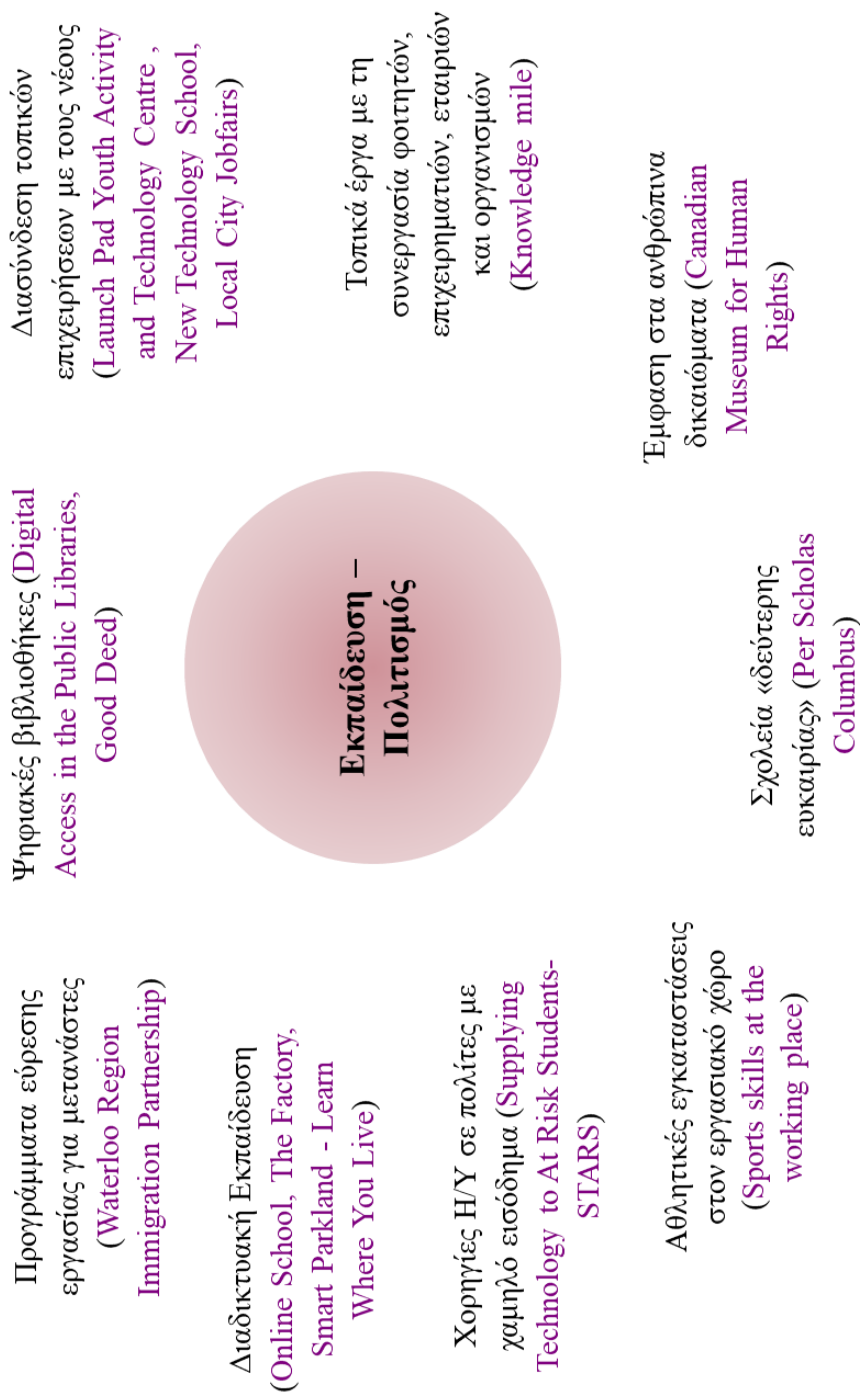
Η τοπική και διεθνής προσβασιμότητα αποτελούν σημαντικές πτυχές της έξυπνης μετακίνησης, μαζί με την ενσωμάτωση των τεχνολογιών πληροφορικής και επικοινωνιών σε σύγχρονα και βιώσιμα συστήματα μεταφορών.



Εικόνα 2.5: Εφαρμογές «έξυπνης» πόλης στον τομέα της Μετακίνησης

2.7 Εκπαίδευση - Πολιτισμός

Οι «έξυπνοι» άνθρωποι δεν περιγράφονται μόνο από το επίπεδο των προσόντων ή της εκπαίδευσής τους, αλλά και από την ποιότητα των κοινωνικών τους αλληλεπιδράσεων όσον αφορά την ένταξη στην κοινωνία και τη δημόσια ζωή.



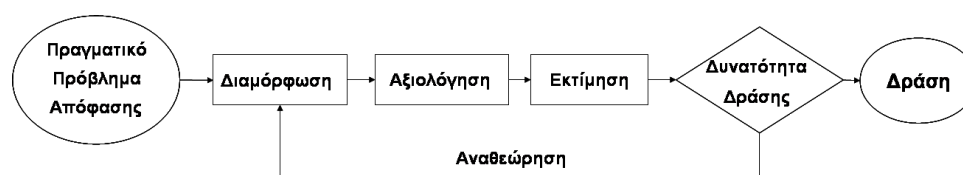
Εικόνα 2.6: Εφαρμογές «έξυπνης» πόλης στον τομέα της Εκπαίδευσης και του Πολιτισμού

Κεφάλαιο 3: Μεθοδολογικά Πλαίσια Υποστήριξης Αποφάσεων

Στο παρόν κεφάλαιο, θα γίνει εισαγωγή στην έννοια της πολυκριτήριας ανάλυσης αποφάσεων, στον ρόλο και τη σημασία της στην διαδικασία υποστήριξης αποφάσεων και θα αναλυθούν οι αρχές που την διέπουν και ο τρόπος με τον οποίο λειτουργεί.

3.1 Βασικές Αρχές Υποστήριξης Αποφάσεων

Η υποστήριξη αποφάσεων είναι μία επαναλαμβανόμενη διαδικασία όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 3.1. Σε κάθε επανάληψη, το μοντέλο λήψης αποφάσεων αναθεωρείται ως προς την καταλληλότητα και την πληρότητά του, έως ότου καμία άλλη βελτίωση στο μοντέλο δεν είναι αναγκαία προτού ληφθεί μία σαφής πορεία δράσης.



Σχήμα 3.1: Διαδικασία Υποστήριξης Αποφάσεων

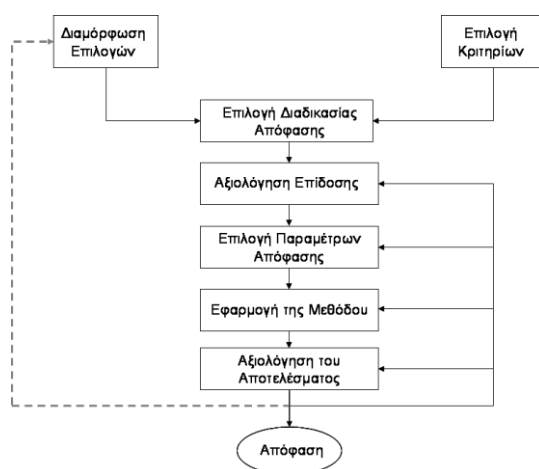
Πηγή: Huang et al., (1995) [9]

Λαμβάνοντας υπόψη το πλήθος των στόχων που απαιτούνται για την υποστήριξη αποφάσεων ενεργειακού σχεδιασμού, απαραίτητη προϋπόθεση είναι η χρήση τέτοιων εργαλείων που περιγράφουν και αξιολογούν ένα πρόβλημα σε όλες τις διαστάσεις του, διατυπώνουν και εξετάζουν τις διαφορετικές πτυχές του προβλήματος και αξιολογούν τη σημασία και τη σχετικότητα αυτών των πτυχών για τη λήψη αποφάσεων [10]. Τα μεθοδολογικά πλαίσια που βασίζονται στην Πολυκριτηριακές Μέθοδο Υποστήριξης Αποφάσεων - ΠΜΥΑ (Multiple Criteria Decision Making), συμπεριλαμβάνουν διάφορα κριτήρια στη διαδικασία υποστήριξης αποφάσεων ενεργειακής πολιτικής και κατά συνέπεια, προσφέρουν μια εναλλακτική λύση στις υποθέσεις που κρύβονται κάτω από τις συμβατικές μεθόδους οικονομικής ανάλυσης [11], [12]. Οι μέθοδοι ΠΜΥΑ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να φιλτράρουν εναλλακτικές λύσεις και να προσδιορίσουν ιδανικά ένα σύνολο βέλτιστων λύσεων, έτσι ώστε καμία άλλη εφικτή επιλογή να μην υπάρχει που να είναι εξίσου καλή στο σύνολο των στόχων που έχουν τεθεί. Κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας, οι εκτιμήσεις που γίνονται για την αποτίμηση μιας πολιτικής μπορούν να συμπεριλάβουν κοινωνικές, περιβαλλοντικές και οικονομικές ιδιότητες. Επομένως, οι μέθοδοι ΠΜΥΑ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να προσδιορίσουν τις ανταλλαγές, τα οφέλη και τις λύσεις συμβιβασμού στα σύνθετα προβλήματα πολιτικής και σχεδιασμού [16][13].

Οι ΠΜΥΑ μπορούν να ποικίλουν από απλές προσεγγίσεις που χρειάζονται πολύ λίγες πληροφορίες σε αρκετά περίπλοκες μεθόδους βασισμένες σε μαθηματικές τεχνικές προγραμματισμού, που χρειάζονται εκτενείς πληροφορίες για κάθε ιδιότητα και τις προτιμήσεις των υπεύθυνων για τη λήψη αποφάσεων. Εντούτοις, τα προβλήματα πολλαπλών κριτηρίων έχουν ένα σύνολο κοινών χαρακτηριστικών [14], [15] που περιλαμβάνει:

- Πεπερασμένους αριθμούς εναλλακτικών λύσεων, οι οποίοι μπορούν να επεξεργαστούν, να δοθούν προτεραιότητες, να επιλεγούν, ή/ και να ταξινομηθούν.
- Αριθμούς ιδιοτήτων που εξαρτώνται από τη φύση του προβλήματος.
- Σύνολα μονάδων συγκεκριμένων για τη μέτρηση κάθε ιδιότητας.
- Δυνατότητα για το χαρακτηρισμό ανάλογης σπουδαιότητας κάθε ιδιότητας, μέσω μιας κλίμακας.
- Ένα σχήμα μητρώων, όπου οι στήλες δείχνουν τις ιδιότητες στο συγκεκριμένο πρόβλημα και οι σειρές τις ανταγωνιστικές εναλλακτικές λύσεις.

Ουσιαστικά, ένας αποφασίζων πρέπει να επιλέξει μεταξύ ποσοτικά προσδιορισμών ή μη-ποσοτικά προσδιορισμών πολλαπλών κριτηρίων. Οι στόχοι είναι συνήθως συγκρουόμενοι και επομένως, η λύση εξαρτάται ιδιαίτερα από τις προτιμήσεις του αποφασίζοντα και πρέπει να είναι ένας συμβιβασμός. Στις περισσότερες περιπτώσεις, διαφορετικές ομάδες αποφασιζόντων εμπλέκονται στη διαδικασία. Κάθε ομάδα φέρνει διαφορετικά κριτήρια και απόψεις, τα οποία πρέπει να επιλυθούν μέσα σε ένα πλαίσιο κατανόησης και αμοιβαίου συμβιβασμού. Η διαδικασία πολυκριτηριακής υποστήριξης αποφάσεων απεικονίζεται στο Σχήμα 3.2.



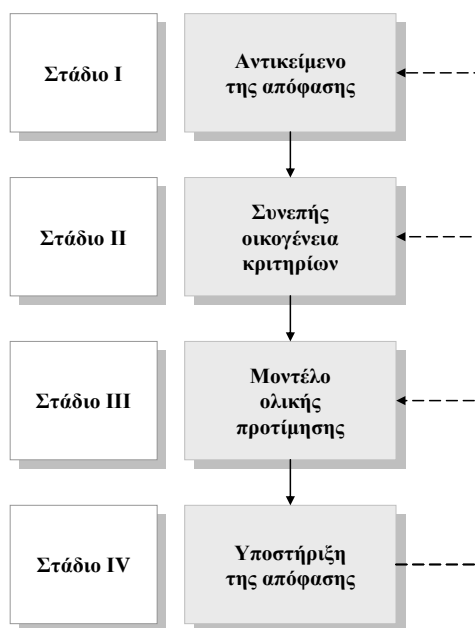
Σχήμα 3.2: Διαδικασία Υποστήριξης Αποφάσεων Πολλαπλών Κριτηρίων

3.2 Μεθοδολογία Πολυκριτήριας Ανάλυσης

Κύριο αντικείμενο της πολυκριτήριας ανάλυσης αποφάσεων και κοινό στοιχείο όλων των μεθοδολογικών προσεγγίσεων του χώρου αυτού είναι η ανάπτυξη και χρήση υποδειγμάτων σύνθεσης όλων των βασικών παραμέτρων ενός προβλήματος, έτσι ώστε να υποστηριχθεί ο αποφασίζων στη λήψη ορθολογικών αποφάσεων στη βάση του συστήματος αξιών και προτιμήσεων που τον διέπει. Η επίτευξη του στόχου αυτού είναι προφανώς μια ιδιαίτερα περίπλοκη διαδικασία, η οποία δεν οδηγεί σε βέλτιστες λύσεις και αποφάσεις, αλλά σε ικανοποιητικές λύσεις οι οποίες ανταποκρίνονται στη γενικότερη πολιτική που ακολουθεί ο αποφασίζων.

Ο Roy (1985), εκ των θεμελιωτών της σύγχρονης θεωρίας της πολυκριτήριας ανάλυσης, παρουσίασε ένα γενικό μεθοδολογικό πλαίσιο αντιμετώπισης πολυδιάστατων προβλημάτων λήψης αποφάσεων. Το πλαίσιο αυτό (Σχήμα 3.3) ουσιαστικά αποτελεί τη ραχοκοκαλιά κάθε πολυκριτήριας προσέγγισης και χαρακτηρίζει απόλυτα τη φιλοσοφία όλων των μεθοδολογιών του χώρου.

Όπως φαίνεται από το παρακάτω σχήμα, η διαδικασία ανάλυσης των προβλημάτων λήψης αποφάσεων στα πλαίσια της πολυκριτήριας προσέγγισης περιλαμβάνει τέσσερα στάδια, μεταξύ των οποίων είναι δυνατόν να αναπτύσσονται αναδράσεις.



Σχήμα 3.3: Το μεθοδολογικό πλαίσιο της πολυκριτήριας ανάλυσης αποφάσεων

3.2.1 Στάδιο I: Αντικείμενο της απόφασης

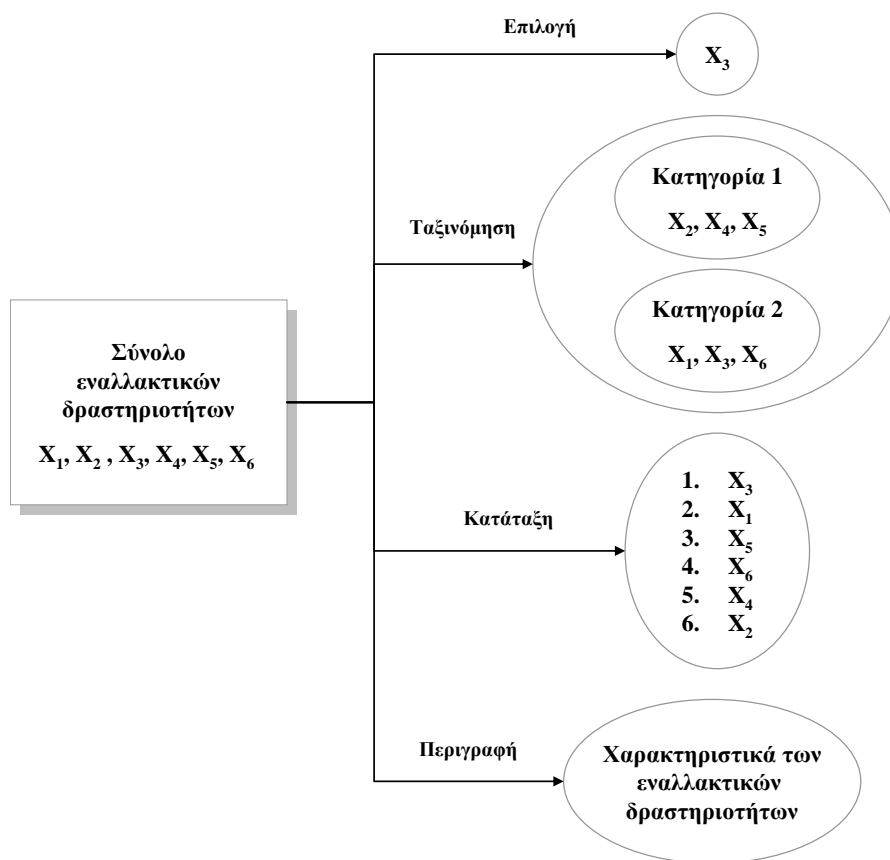
Το πρώτο στάδιο του μεθοδολογικού πλαισίου της πολυκριτήριας ανάλυσης αποφάσεων αφορά στον καθορισμό του συνόλου A των εναλλακτικών δραστηριοτήτων ή δράσεων (alternatives or actions) του προβλήματος. Ως εναλλακτική δραστηριότητα ορίζεται κάθε πιθανή επιλογή (απόφαση) η οποία αποτελεί λύση του εξεταζόμενου προβλήματος και πρέπει να αξιολογηθεί ως προς την καταλληλότητά της.

Το σύνολο A των εναλλακτικών δραστηριοτήτων δύναται να είναι συνεχές (continuous set) ή διακριτό (discrete set). Ένα συνεχές σύνολο λύσεων προσδιορίζεται από τους περιορισμούς του προβλήματος, οι οποίοι μπορεί να τεθούν, είτε από τον ίδιο τον αποφασίζοντα, είτε από το περιβάλλον εντός του οποίου λαμβάνεται η απόφαση. Στην περίπτωση αυτή, το σύνολο των λύσεων ορίζεται έμμεσα ως υπέρ-πολύεδρο του πραγματικού χώρου, τόσων διαστάσεων, όσες και οι μεταβλητές απόφασης. Αντίθετα, στην περίπτωση ενός διακριτού συνόλου εναλλακτικών δραστηριοτήτων, είναι εφικτή η εξαντλητική (πλήρης) καταγραφή των στοιχείων του. Θεωρείται δηλαδή ότι υπάρχει ένα σαφές σύνολο λύσεων, οι οποίες αφού καταγραφούν, μπορούν να αναλυθούν ώστε να ληφθεί η κατάλληλη απόφαση.

Μετά τον προσδιορισμό του συνόλου A των εναλλακτικών δραστηριοτήτων, καθορίζεται η προβληματική της απόφασης (decision problematic), δηλαδή ο τρόπος με τον οποίο θα πρέπει να εξεταστούν οι εναλλακτικές δραστηριότητες, ώστε το αποτέλεσμα της ανάλυσης να απαντά με σαφήνεια στο εξεταζόμενο πρόβλημα. Ο Roy (1985) θεώρησε τις ακόλουθες τέσσερις κατηγορίες διακριτών προβλημάτων (Σχήμα 3.4):

- i.* **Προβληματική τύπου α :** Η προβληματική τύπου α αναφέρεται στην **επιλογή** (choice) μιας ή περισσότερων εναλλακτικών οι οποίες θεωρούνται ως οι πλέον κατάλληλες.
- ii.* **Προβληματική τύπου β :** Η προβληματική τύπου β αναφέρεται στην **ταξινόμηση** (classification or sorting) των εναλλακτικών δραστηριοτήτων σε προκαθορισμένες κατηγορίες
- iii.* **Προβληματική τύπου γ :** Η προβληματική τύπου γ αναφέρεται στην **κατάταξη** (ranking) των εναλλακτικών δραστηριοτήτων από τις καλύτερες προς τις χειρότερες.
- iv.* **Προβληματική τύπου δ :** Η προβληματική τύπου δ αναφέρεται στην **περιγραφή** (description) των εναλλακτικών δραστηριοτήτων βάσει των επιδόσεών τους στα επιμέρους κριτήρια αξιολόγησης.

Η επιλογή της κατάλληλης προβληματικής, σχετίζεται αποκλειστικά και μόνο με το πρόβλημα που εξετάζεται. Σε αρκετές περιπτώσεις, για την καλύτερη αντιμετώπιση ενός προβλήματος, είναι πιθανόν να απαιτείται ο συνδυασμός δυο διαφορετικών προβληματικών.



Σχήμα 3.4: Κατηγορίες διακριτών προβλημάτων

Πηγή: Δούμπος (2000)

3.2.2 Στάδιο II: Συνεπής οικογένεια κριτηρίων

Στο δεύτερο στάδιο της διαδικασίας εντοπίζονται όλοι οι παράγοντες οι οποίοι επιδρούν στο αποτέλεσμα της ανάλυσης των εναλλακτικών δραστηριοτήτων του συνόλου A . Στα πλαίσια της πολυκριτήριας ανάλυσης αποφάσεων, κάθε παράγοντας που επιδρά στη λήψη μιας απόφασης θεωρείται ότι έχει τη μορφή ενός κριτηρίου. Ως κριτήριο ορίζεται μια μονότονη συνάρτηση g δηλωτική των προτιμήσεων του αποφασίζοντος, τέτοια ώστε για οποιεσδήποτε δύο εναλλακτικές δραστηριότητες x και x' να ισχύουν:

$$g(x) > g(x') \Leftrightarrow x \succ x'$$

$$g(x) > g(x') \Leftrightarrow x \approx x'$$

όπου \succ και \approx είναι οι σχέσεις προτίμησης και αδιαφορίας, οριζόμενες έτσι ώστε:

$$x \succ x' \Leftrightarrow \text{η εναλλακτική } x \text{ προτιμάται από την εναλλακτική } x'$$

$$x \approx x' \Leftrightarrow \text{υπάρχει αδιαφορία μεταξύ των εναλλακτικών } x \text{ και } x'$$

Κάθε δράση από το σύνολο A εκπέμπει ένα **νέφος στοιχειωδών επιπτώσεων** (Roy, 1985). Ως **στοιχειώδης επίπτωση** μιας δράσης ονομάζεται κάθε ιδιότητα ή χαρακτηριστικό που σχετίζεται με τη δράση αυτή και πληροί τις εξής δυο ιδιότητες: α) είναι επαρκώς καθορισμένη ως προς το περιεχόμενό της ώστε οι διάφοροι εμπλεκόμενοι να αντιλαμβάνονται τη σημασία της, και β) επιτρέπει την περιγραφή κάποιου συγκεκριμένου αποτελέσματος το οποίο έπεται της επιλογής της δράσης αυτής (Σίσκος, 2008). Ο ρόλος του αναλυτή συνίσταται στη διασάφηση των επιπτώσεων των διαφόρων δράσεων του συνόλου A και στη συνέχεια, στην επινόηση και προτυποποίηση των κριτηρίων στη βάση των οποίων θα ληφθεί η απόφαση. Αποτέλεσμα της διαδικασίας αυτής είναι η κατασκευή ενός συστήματος κριτηρίων το οποίο ονομάζεται **συνεπής οικογένεια κριτηρίων** (consistent family of criteria).

Ένα σύνολο κριτηρίων $g = (g_1, g_2, \dots, g_n)$ θεωρείται ότι διαμορφώνει μια συνεπή οικογένεια κριτηρίων, εάν και μόνο εάν ικανοποιεί τις ακόλουθες ιδιότητες:

i. **Μονοτονία** (monotonicity)

Ένα σύνολο κριτηρίων θεωρείται ότι διαθέτει την ιδιότητα της μονοτονίας εάν και μόνο εάν για δυο οποιοσδήποτε εναλλακτικές x και x' τέτοιες ώστε $g_i(x) > g_i(x')$ για κάποιο κριτήριο i και $g_j(x) = g_j(x')$ για κάθε άλλο κριτήριο $j \neq i$, συμπεραίνεται ότι $x \succ x'$.

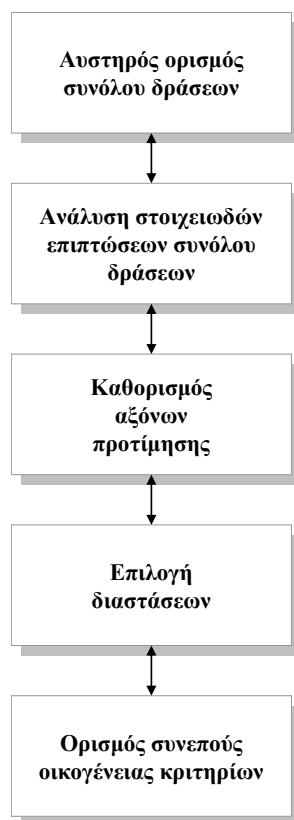
ii. **Επάρκεια** (exhaustivity)

Ένα σύνολο κριτηρίων θεωρείται ότι διαθέτει την ιδιότητα της επάρκειας εάν και μόνο εάν για δυο οποιοσδήποτε εναλλακτικές x και x' τέτοιες ώστε $g_i(x) = g_i(x')$ για κάθε κριτήριο i , συμπεραίνεται ότι $x \approx x'$.

iii. **Μη πλεονασμός** (non-redundancy)

Ένα σύνολο κριτηρίων θεωρείται ότι διαθέτει την ιδιότητα του μη πλεονασμού εάν και μόνο εάν η διαγραφή ενός οποιουδήποτε κριτηρίου, οδηγεί σε παραβίαση των ιδιοτήτων της μονοτονίας ή της επάρκειας.

Ειδικά για το στάδιο κατασκευής της συνεπούς οικογένειας κριτηρίων, ο Roy (1985) προτείνει τη μεθοδολογική προσέγγιση που παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.5. Με βάση τον Σίσκο (2008), ως άξονας προτίμησης ορίζεται το σύνολο των στοιχειωδών επιπτώσεων που αναφέρονται στον ίδιο στόχο ή στην ίδια οπτική γωνία μέσω των οποίων θα αξιολογηθούν και θα συγκριθούν οι εξεταζόμενες δράσεις. Εξάλλου, ως διάσταση (dimension) ορίζεται μια στοιχειώδης επίπτωση, τέτοια ώστε το σύνολο των καταστάσεων που περιλαμβάνει να εκφράζει την κλίμακα προτίμησης (preference scale) του αποφασίζοντος.



Σχήμα 3.5: Διαδικασία κατασκευής μιας συνεπούς οικογένειας κριτηρίων

Πηγή: Roy (1985)

3.2.3 Στάδιο III: Μοντέλο ολικής προτίμησης

Μετά την ολοκλήρωση των δύο προηγούμενων σταδίων της ανάλυσης (αντικείμενο του προβλήματος, διαμόρφωση συνεπούς οικογένειας κριτηρίων), το επόμενο στάδιο αφορά την κατασκευή και χρήση ενός **μοντέλου ολικής προτίμησης** (global evaluation model). Ως

μοντέλο ολικής προτίμησης θεωρείται η σύνθεση όλων των κριτηρίων έτσι ώστε να επιτευχθεί ο στόχος της ανάλυσης ανάλογα με την προβληματική που έχει καθοριστεί. Το μοντέλο ολικής προτίμησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βάση για: α) τον προσδιορισμό μιας συνολικής αξιολόγησης κάθε εναλλακτικής, β) την πραγματοποίηση διμερών συγκρίσεων μεταξύ των εναλλακτικών, και γ) τη διερεύνηση του συνόλου των εναλλακτικών λύσεων, όταν αυτό είναι συνεχές.

Η ανάπτυξη του μοντέλου ολικής προτίμησης μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο τρόπους:

- i. Αλληλεπιδραστικά μέσω της συνεργασίας του αναλυτή με τον αποφασίζοντα. Στην προσέγγιση αυτή ο αποφασίζων καθορίζει ένα σύνολο παραμέτρων σχετικών με την πολιτική λήψης των αποφάσεων που ακολουθεί (για παράδειγμα, τα βάρη των κριτηρίων).
- ii. Αναλύοντας τις αποφάσεις που λαμβάνει ο αποφασίζων έτσι ώστε να αναπτυχθεί το κατάλληλο μοντέλο ολικής προτίμησης που είναι συμβατό με την πολιτική λήψης των αποφάσεων που ακολουθεί ο αποφασίζων. Η προσέγγιση αυτή έχει αρκετές ομοιότητες με τη μεθοδολογία της παλινδρόμησης η οποία είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη στο χώρο της στατιστικής.

3.2.4 Στάδιο IV: Υποστήριξη της απόφασης

Στο τέταρτο στάδιο της διαδικασίας λαμβάνουν χώρα όλες εκείνες οι δραστηριότητες οι οποίες θα βοηθήσουν τον αποφασίζοντα να κατανοήσει τα αποτελέσματα του υποδείγματος σύνθεσης των κριτηρίων που επελέγη κατά το προηγούμενο στάδιο, καθώς και τη διαδικασία με την οποία εξήχθησαν τα αποτελέσματα αυτά. Στο στάδιο αυτό ο ρόλος του αναλυτή είναι ιδιαίτερα καθοριστικός, καθώς, μεταξύ άλλων, καλείται να εντοπίσει και να οργανώσει τα στοιχεία των απαντήσεων σε συγκεκριμένα ερωτήματα τα οποία ενδέχεται να θέσουν οι διάφοροι εμπλεκόμενοι στη διαδικασία της απόφασης [17].

3.3 Κύρια θεωρητικά ρεύματα και ταξινόμησή τους

Ο χώρος της πολυκριτήριας ανάλυσης είναι ιδιαίτερα ευρύς ως προς τη φύση των μεθοδολογικών προσεγγίσεων που έχουν αναπτυχθεί εντός αυτού για την αντιμετώπιση προβλημάτων λήψης αποφάσεων. Μεταξύ των προσεγγίσεων αυτών εντοπίζονται σημαντικές διαφοροποιήσεις τόσο στη μορφή των υποδειγμάτων που αναπτύσσονται, όσο και στη διαδικασία που χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη των υποδειγμάτων. Με βάση το στοιχείο

αυτό, ερευνητές του χώρου της πολυκριτήριας ανάλυσης έχουν προτείνει διάφορες ομαδοποιήσεις των μεθοδολογικών προσεγγίσεων της πολυκριτήριας ανάλυσης.

Κινούμενος προς την κατεύθυνση αυτή ο Roy (1985) πρότεινε μια ομαδοποίηση σε τρεις βασικές κατηγορίες, λαμβάνοντας ουσιαστικά υπόψη τη μορφή των υποδειγμάτων που αναπτύσσονται:

- i.* Προσεγγίσεις μοναδικής σύνθεσης των κριτηρίων αγνοώντας κάθε ασυγκριτότητα μεταξύ των εναλλακτικών δραστηριοτήτων (unique synthesis criterion).
- ii.* Προσεγγίσεις βασιζόμενες στις σχέσεις υπεροχής λαμβάνοντας υπόψη την πιθανή ασυγκριτότητα μεταξύ των εναλλακτικών δραστηριοτήτων (outranking synthesis approach).
- iii.* Αλληλεπιδραστικές προσεγγίσεις (interactive local judgment approach).

Ο Σίσκος (2008), ταξινομεί σε πρώτο χρόνο τα μοντέλα σύνθεσης κριτηρίων σε δυο βασικές ομάδες:

- i.* **Αντισταθμιστικά μοντέλα** (compensatory models)

Μοντέλα στα οποία η υποβάθμιση ενός κριτηρίου είναι δυνατόν να αποζημιωθεί από τη βελτίωση της τιμής ενός άλλου κριτηρίου.

- ii.* **Μη αντισταθμιστικά μοντέλα** (non compensatory models)

Μοντέλα στα οποία η αντιστάθμιση ενός κριτηρίου ένα άλλο, δεν είναι επιτρεπτή.

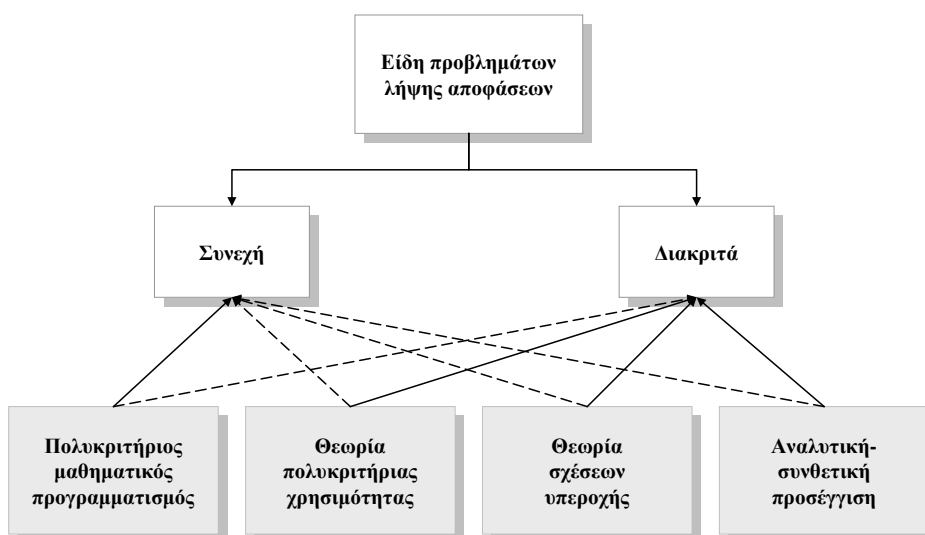
Περαιτέρω, ο ίδιος, σε ένα πιο ειδικό επίπεδο και στη φιλοσοφία του Roy (1985), διακρίνει τις εξής κατηγορίες πολυκριτήριων μεθόδων:

- i.* **Συναρτησιακές μέθοδοι:** Η σύνθεση των κριτηρίων επιτυγχάνεται μέσω μιας ή περισσότερων συναρτήσεων αξίας χρησιμότητας.
- ii.* **Σχεσιακές μέθοδοι:** Η σύνθεση των κριτηρίων επιτυγχάνεται μέσω μιας ή περισσότερων σχέσεων υπεροχής.
- iii.* **Αναλυτικές μέθοδοι:** Το μοντέλο σύνθεσης των κριτηρίων συμπεραίνεται έμμεσα από δεδομένα ολικής προτίμησης του αποφασίζοντος.

Οι Pardalos et al. (1995) πρότειναν μια εναλλακτική ομαδοποίηση των πολυκριτήριων προσεγγίσεων, η οποία παράλληλα με τη μορφή των υποδειγμάτων που αναπτύσσονται, λαμβάνει υπόψη και τον τρόπο με τον οποίο πραγματοποιείται η ανάπτυξή τους. Η ομαδοποίηση αυτή, περιλαμβάνει τις ακόλουθες τέσσερις κατηγορίες προσεγγίσεων.

- i. **Πολυκριτήριος μαθηματικός προγραμματισμός** (multiobjective mathematical programming).
- ii. **Πολυκριτήρια θεωρία χρησιμότητας** (multiattribute utility theory).
- iii. **Θεωρία των σχέσεων υπεροχής** (outranking relations).
- iv. **Αναλυτική-συνθετική προσέγγιση** (preference disaggregation approach).

Όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.6, μεταξύ των τεσσάρων αυτών βασικών προσεγγίσεων της πολυκριτήριας ανάλυσης αποφάσεων, οι τρεις τελευταίες, δηλαδή η πολυκριτήρια θεωρία χρησιμότητας, η θεωρία των σχέσεων υπεροχής και η αναλυτική-συνθετική προσέγγιση, προσανατολίζονται προς την αντιμετώπιση διακριτών προβλημάτων λήψης αποφάσεων. Απώτερος στόχος τους, είναι η σύνθεση όλων των κριτηρίων με σκοπό την αξιολόγηση ενός πεπερασμένου συνόλου εναλλακτικών δραστηριοτήτων σύμφωνα με τις προβληματικές της επιλογής, κατάταξης ή ταξινόμησης. Αντίθετα ο πολυκριτήριος μαθηματικός προγραμματισμός αποτελεί μια γενίκευση της γνωστής θεωρίας του μαθηματικού προγραμματισμού σε περιπτώσεις όπου πρέπει να βελτιστοποιηθούν πολλαπλές αντικειμενικές συναρτήσεις.



Σχήμα 3.6: Η συμβολή των θεωρητικών ρευμάτων της πολυκριτήριας ανάλυσης στην επίλυση συνεχών και διακριτών προβλημάτων λήψης αποφάσεων

Πηγή: Δούμπος (2000)

Το υπόδειγμα αυτό χρησιμοποιούμενο σε συνδυασμό με τεχνικές πολυκριτήριου μαθηματικού προγραμματισμού μπορεί να οδηγήσει στην επίλυση συνεχών προβλημάτων. Αντίστοιχα, και ο πολυκριτήριος μαθηματικός προγραμματισμός μπορεί να συμβάλλει στην αντιμετώπιση διακριτών προβλημάτων [17].

3.4 Συνοπτική Περιγραφή «Παραδοσιακών» Μεθοδολογιών

Στις παραγράφους που ακολουθούν γίνεται μία συνοπτική ανασκόπηση μερικών από τις πολυκριτηριακές μεθόδους που έχουν εκτεταμένη χρήση.

3.4.1 Η μέθοδος του σταθμισμένου μέσου όρου (Weighted Sum Method - WSM)

Η μέθοδος του σταθμισμένου μέσου όρου (Weighted Sum Method - WSM) είναι η συνηθέστερη χρησιμοποιημένη προσέγγιση στα μονοδιάστατα προβλήματα. Εάν υπάρχουν M εναλλακτικές λύσεις και N κριτήρια, καλύτερη εναλλακτική λύση είναι αυτή που ικανοποιεί την ακόλουθη έκφραση:

$$A_{wsm}^* = \text{Max} \sum_i^j a_{ij} w_j \quad , \text{ για } i = 1, 2, 3, \dots, M \text{ , όπου:}$$

- A_{wsm}^* είναι το αποτέλεσμα “WSM” της καλύτερης εναλλακτικής λύσης,
- N είναι ο αριθμός των κριτηρίων απόφασης,
- a_{ij} είναι η πραγματική αξία της εναλλακτικής λύσης i^{th} στο κριτήριο j^{th} ,
- w_j είναι το βάρος σπουδαιότητας του κριτηρίου j^{th} .

Η συνολική αξία της κάθε εναλλακτικής λύσης είναι ίση με το άθροισμα όλων των όρων. Δυσκολία παρουσιάζεται σε αυτή τη μέθοδο όταν αναφέρεται σε πολυδιάστατα προβλήματα λήψης απόφασης. Στο συνδυασμό διαφορετικών διαστάσεων, και συνεπώς διαφορετικών μονάδων, η προσθετική ιδιότητα της παραπάνω χρήσης παραβιάζεται [18].

3.4.2 Η σταθμισμένη μέθοδος προϊόντος (Weighted Product Method - WPM)

Η σταθμισμένη μέθοδος προϊόντος (Weighted Product Method - WPM) μοιάζει πολύ με την WSM. Η βασική διαφορά της είναι ότι αντί για πρόσθεση στη μέθοδο αυτή έχουμε

πολλαπλασιασμό. Κάθε εναλλακτική λύση συγκρίνεται με άλλες, με τον πολλαπλασιασμό διάφορων αναλογιών, μια για κάθε κριτήριο. Κάθε αναλογία αυξάνεται στη δύναμη ισοδύναμη με το σχετικό βάρος του αντίστοιχου κριτηρίου. Γενικά, προκειμένου να συγκριθούν οι εναλλακτικές λύσεις A_k και A_l , η ακόλουθη έκφραση χρησιμοποιείται:

$$R(A_k / A_l) = \sum_{j=1}^N (a_{kj} / a_{lj})^{w_j}, \text{ όπου:}$$

- N είναι ο αριθμός κριτηρίων,
- a_{ij} είναι η πραγματική αξία της i^{th} εναλλακτικής σε σχέση με το κριτήριο j^{th} ,
- w_j είναι το βάρος σπουδαιότητας του κριτηρίου j^{th} .

Εάν το $R(A_k / A_l)$ είναι μεγαλύτερο από το ένα, κατόπιν η εναλλακτική A_k είναι πιο επιθυμητή από την εναλλακτική A_l (στην περίπτωση μεγιστοποίησης). Η καλύτερη εναλλακτική λύση είναι αυτή που είναι καλύτερη ή τουλάχιστον ίση από όλες τις άλλες εναλλακτικές [19].

3.4.3 Η αναλυτική ιεραρχική διαδικασία (Analytical Hierarchy Process - AHP)

Η αναλυτική ιεραρχική διαδικασία (Analytical Hierarchy Process - AHP) αναπτύχθηκε από τον Saaty [20], [21]. Η ουσία της διαδικασίας είναι η αποδόμηση του περίπλοκου προβλήματος σε μια ιεραρχία με το στόχο (αντικειμενικό) στην κορυφή της ιεραρχίας, κριτήρια και υπο-κριτήρια σε επίπεδα και υποεπίπεδα της ιεραρχίας και εναλλακτικές λύσεις απόφασης στο κατώτατο σημείο της ιεραρχίας. Τα στοιχεία σε δεδομένο επίπεδο ιεραρχίας συγκρίνονται ανά ζευγάρια για να αξιολογηθεί η σχετική τους προτίμηση, όσον αφορά σε κάθε ένα από τα στοιχεία στο επόμενο πιο υψηλό επίπεδο.

Οι λεκτικοί όροι της θεμελιώδους κλίμακας του Saaty «1-9» χρησιμοποιούνται για να αξιολογήσουν το πόσο έντονη είναι η προτίμηση μεταξύ δύο στοιχείων.

Η αξία «1» δείχνει την ίση σημασία, «3» συγκρατημένα περισσότερη, «5» έντονα περισσότερη, «7» πολύ έντονα και «9» δείχνει εξαιρετικά μεγαλύτερη σημασία. Οι τιμές «2», «4», «6» και «8» είναι για να δείξουν τις τιμές συμβιβασμού σπουδαιότητας. Η παραπάνω κλίμακα και η χρήση των λεκτικών συγκρίσεων χρησιμοποιούνται για τη στάθμιση των ποσοτικά προσδιορισμών και μη-ποσοτικά προσδιορισμών στοιχείων. Η μέθοδος υπολογίζει

και αθροίζει τα υποδιανύσματα μέχρι να προσδιοριστεί το σύνθετο τελικό διάνυσμα των συντελεστών βάρους για τις εναλλακτικές λύσεις. Το τελικό διάνυσμα των συντελεστών βάρους απεικονίζει την ανάλογη σημασία (αξία) κάθε εναλλακτικής λύσης όσον αφορά στο στόχο που δηλώνεται στην κορυφή της ιεραρχίας. Ένας αποφασίζων μπορεί να χρησιμοποιήσει αυτό το διάνυσμα ανάλογα με τις ιδιαίτερες ανάγκες και τις προτιμήσεις του. Για τις συγκρίσεις ανά ζεύγη που εκτελούνται σε δεδομένο επίπεδο, μια μήτρα A δημιουργείται με την τοποθέτηση του αποτελέσματος των συγκρίσεων ανά ζεύγη του στοιχείου i με το στοιχείο j στη θέση a_{ij} όπως κατωτέρω.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1j} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2j} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{i1} & a_{i2} & \dots & a_{ij} & \dots & a_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nj} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

Μετά τη λήψη του διανύσματος βάρους, αυτό πολλαπλασιάζεται με το συντελεστή βάρους του στοιχείου σε πιο υψηλό επίπεδο. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται προς τα πάνω για κάθε επίπεδο, έως ότου επιτυγχάνεται η κορυφή της ιεραρχίας. Η εναλλακτική λύση με την υψηλότερη αξία συντελεστή βάρους πρέπει να ληφθεί ως καλύτερη εναλλακτική λύση.

Συνοπτικά, η διαδικασία που ακολουθεί η μέθοδος αποτελείται από 4 βήματα:

1. Ιεράρχηση των επιπτώσεων της απόφασης, όπως περιγράφεται πιο πάνω.
2. Ξεκινώντας από τη ρίζα του δένδρου, γίνεται για κάθε στοιχείο συγκριτική αξιολόγηση ανά ζεύγη των στοιχείων στα οποία αναλύεται. Για κάθε ζεύγος ο αποφασίζων εκτιμά υποκειμενικά τη σπουδαιότητα του άλλου. Αυτό γίνεται με ανά ζεύγη συγκρίσεις της μορφής «πόσο πιο σημαντικό είναι το στοιχείο 1 από το στοιχείο 2, όταν συγκρίνεται με βάση το πιο πάνω στοιχείο;». Για τη σύγκριση προτείνεται από τον Solnes [18] μια πενταβάθμια κλίμακα. Η βαθμολογία αυτή συγκεντρώνεται σε δισδιάστατους πίνακες (pairwise comparison matrices).
3. Για κάθε ένα από τα στοιχεία του τελευταίου επιπέδου, αυτά δηλαδή που δεν μπορούν να αναλυθούν περισσότερο, αξιολογούνται, ανά ζεύγη, οι δυνατές επιλογές του προβλήματος με τη βοήθεια της προαναφερθείσας ποιοτικής κλίμακας.
4. Οι παραπάνω πληροφορίες (σχετική βαρύτητα των κριτηρίων μεταξύ τους, συγκριτική επίδοση των επιλογών σε κάθε κριτήριο) εκφρασμένες σε διανύσματα

προτεραιοτήτων συντίθενται σε ένα τελικό διάνυσμα προτεραιοτήτων που προσδιορίζει τη διάταξη των επιλογών του προβλήματος.

Τέλος, ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της “AHP” είναι ο υπολογισμός του δείκτη ασυνέπειας, που είναι πολύ σημαντικός για τον αποφασίζοντα για να διασφαλίσει ότι οι κρίσεις του ήταν συνεπείς και ότι η τελική απόφαση λαμβάνεται καλά. Ο δείκτης ασυνέπειας πρέπει να είναι χαμηλότερος από 0.10. Αν και μια υψηλότερη αξία του δείκτη ασυνέπειας απαιτεί την επαναξιολόγηση των ανά ζεύγη συγκρίσεων, οι αποφάσεις που λήφθηκαν σε ορισμένες περιπτώσεις θα μπορούσαν επίσης να ληφθούν ως καλύτερη εναλλακτική λύση.

3.4.4 PROMETHEE

Η PROMETHEE χρησιμοποιεί τη σχέση επικράτησης για να ιεραρχήσει τις εναλλακτικές λύσεις, συνδυάζοντας ευκολία στη χρήση και μειωμένη πολυπλοκότητα. Εκτελεί μια σύγκριση ανά ζεύγη των εναλλακτικών λύσεων προκειμένου αυτές να ταξινομηθούν όσον αφορά σε διάφορα κριτήρια. Ο Brans et al [22] έχει προτείνει έξι γενικευμένες συναρτήσεις κριτηρίων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Η μέθοδος που χρησιμοποιεί μία συνάρτηση προτίμησης $P_j(a, b)$ είναι μια συνάρτηση της διαφοράς d_j μεταξύ δύο εναλλακτικών λύσεων για οποιοδήποτε κριτήριο j , δηλαδή $d_j = f(a, j) - f(b, j)$, όπου το $f(a, j)$ και το $f(b, j)$ είναι τιμές δύο εναλλακτικών λύσεων a και b για το κριτήριο j . Τα κατώφλια αδιαφορίας και προτίμησης q και p καθορίζονται επίσης ανάλογα με τον τύπο της συνάρτησης κριτηρίου που θα επιλεγεί. Συγκεκριμένα:

- Δύο εναλλακτικές λύσεις είναι αδιάφορες για το κριτήριο j εφ' όσον το d_j δεν υπερβαίνει το κατώφλι αδιαφορίας q .
- Εάν το d_j γίνεται μεγαλύτερο από το p , υπάρχει μια αυστηρή προτίμηση.

Ο δείκτης προτίμησης πολλαπλών κριτηρίων, $\pi(a, b)$ που είναι ένας σταθμισμένος μέσος όρος των συναρτήσεων προτίμησης $P_j(a, b)$ για όλα τα κριτήρια ορίζεται ως:

$$\pi(a, b) = \frac{\sum_{j=1}^J (w_j P_j(a, b))}{\sum_{j=1}^J w_j}$$

- Το άθροισμα των $\pi(a, i)$ δείχνει την προτίμηση της ενέργειας a σε σχέση με όλες τις άλλες εναλλακτικές, αποδίδεται ως «εξερχόμενη ροή» $\phi^+(a)$ και δείχνει πόσο «καλύτερη» είναι η εναλλακτική a . Η εναλλακτική με την υψηλότερη εξερχόμενη ροή είναι η καλύτερη.

$$\phi^+(a) = \sum_A \pi(a, b)$$

- Το άθροισμα των καταλόγων $\pi(i, a)$ παρουσιάζει την προτίμηση όλων των άλλων εναλλακτικών συγκρινόμενες με την a , αποδίδεται ως «εισερχόμενη ροή» $\phi^-(a)$ και δείχνει πόσο «χειρότερη» είναι η εναλλακτική a . Η ενέργεια με την χαμηλότερη εισερχόμενη ροή είναι η χειρότερη.

$$\phi^-(a) = \sum_A \pi(b, a)$$

Και γενικά : $\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a)$, όπου:

- w_j είναι το βάρος που ορίζεται στο κριτήριο j ,
- $\phi^+(a)$ είναι ο δείκτης επικράτησης του a στο σύνολο των εναλλακτικών A ,
- $\phi^-(a)$ είναι ο αντίθετος δείκτης,
- $\phi(a)$ είναι η καθαρή ιεράρχηση του a στο σύνολο των εναλλακτικών λύσεων A .

Η τιμή που έχει το μέγιστο $\phi(a)$ θεωρείται ως η καλύτερη.

Τέλος, σύμφωνα με την μέθοδο PROMETHEE I, η ενέργεια a είναι ανώτερη από την ενέργεια, β , εάν $\phi^+(a) \geq \phi^+(\beta)$ και $\phi^-(a) \geq \phi^-(\beta)$. Η ισοτιμία της ϕ^+ και ϕ^- δείχνει την αδιαφορία ανάμεσα στις δυο συγκρινόμενες επιλογές.

Στην περίπτωση που οι εξερχόμενες ροές δείχνουν ότι η a είναι καλύτερη της β , ενώ οι εισερχόμενες ροές δείχνουν το αντίθετο, οι δυο ενέργειες θεωρούνται ασύγκριτες. Οι ενέργειες a και β είναι ασύγκριτες εάν:

- $\phi^+(a) > \phi^+(\beta)$ και $\phi^-(a) > \phi^-(\beta)$ ή

- $\phi^+(a) < \phi^+(\beta)$ και $\phi^-(a) < \phi^-(\beta)$

3.4.5 ELECTRE

Η ELECTRE είναι σε θέση να χειρίζεται διακριτά κριτήρια τόσο ποσοτικής όσο και ποιοτικής φύσης και να παρέχει πλήρη διάταξη των εναλλακτικών λύσεων. Το πρόβλημα διατυπώνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να επιλέγονται οι εναλλακτικές λύσεις που προτιμώνται από τα περισσότερα κριτήρια και δεν προκαλούν ένα μη-αποδεκτό επίπεδο δυσαρέσκειας σε κανένα από αυτά. Οι δείκτες συμφωνίας, ασυμφωνίας και οι τιμές των κατωφλίων χρησιμοποιούνται σε αυτήν την τεχνική. Με βάση αυτούς τους δείκτες, γραφικές παραστάσεις για τις ισχυρές και αδύνατες σχέσεις αναπτύσσονται. Αυτές οι γραφικές παραστάσεις χρησιμοποιούνται σε μια επαναληπτική διαδικασία για να προκύψει η ταξινόμηση των εναλλακτικών λύσεων [23]. Αυτοί οι δείκτες συμφωνίας και ασυμφωνίας καθορίζονται στο φάσμα από (0-1), παρέχουν μια κρίση για το βαθμό αξιοπιστίας κάθε σχέσης επικράτησης και αντιπροσωπεύουν μια δοκιμή για να ελεγχθεί η απόδοση κάθε εναλλακτικής λύσης. Ο δείκτης της συνολικής συμφωνίας C_{ik} αντιπροσωπεύει το ποσό στοιχείων για να υποστηριχθεί η συμφωνία μεταξύ όλων των κριτηρίων, κάτω από την υπόθεση ότι το A_i επικρατεί του A_k . Στην πραγματικότητα, ο πίνακας συμφωνίας είναι το κλάσμα των βαρών για τα οποία η λύση A_i είναι τόσο καλή όσο η A_k προς το άθροισμα των βαρών. Καθορίζεται ως εξής:

$$C_{jk} = \frac{\sum_{j=1}^m W_j c_j(A_i A_k)}{\sum_{j=1}^m W_j}$$

όπου W_j είναι το βάρος που συνδέεται με τα κριτήρια j^{th} . Τέλος, η μέθοδος ELECTRE παράγει ένα σύστημα των δυαδικών επικρατήσεων μεταξύ των εναλλακτικών λύσεων. Επειδή το σύστημα δεν είναι απαραίτητως πλήρες, η μέθοδος ELECTRE είναι μερικές φορές ανίκανη να προσδιορίσει μια προτεινόμενη εναλλακτική λύση. Παράγει μόνο έναν πυρήνα των κύριων εναλλακτικών λύσεων. Μέσω αυτής της μεθόδου μπορεί να δημιουργηθεί μια σαφέστερη άποψη των εναλλακτικών λύσεων με την εξάλειψη των λιγότερων ευνοϊκών, ενώ είναι ιδιαίτερα κατάλληλη σε προβλήματα με σχετικά μικρό αριθμό κριτηρίων για ένα μεγάλο αριθμό εναλλακτικών λύσεων [24].

Ο στόχος της ELECTRE I είναι να βοηθήσει στον προσδιορισμό της προτιμώμενης εναλλακτικής. Αυτό επιτυγχάνεται καθορίζοντας ένα σύνολο εναλλακτικών, το οποίο αναφέρεται ως πυρήνας, έτσι ώστε:

- Για κάθε εναλλακτική η οποία δεν βρίσκεται στον πυρήνα, υπάρχει τουλάχιστον μια εναλλακτική στον πυρήνα η οποία επικρατεί αυτής.
- Όλες οι εναλλακτικές στον πυρήνα είναι ασύγκριτες.

Τέλος, όπως όλες οι μεταγενέστερες μορφές της ELECTRE I, η ELECTRE III στηρίζεται στην ELECTRE I και είναι βασισμένη στις ίδιες θεμελιώδεις αρχές αλλά διαφέρει τόσο στη λειτουργία όσο και στον τύπο του προβλήματος που πρέπει να επιλυθεί. Ενσωματώνει, όπως όλες οι μορφές της ELECTRE την ασαφή φύση της υποστήριξης αποφάσεων, χρησιμοποιώντας κατάφλια αδιαφορίας και προτίμησης. Η ELECTRE III χρησιμοποιείται για τη διάταξη των πιθανών λύσεων όταν μπορεί να καθορισθεί ποσοτικά η σχετική βαρύτητα του κάθε κριτηρίου.

3.4.6 TOPSIS

Η μέθοδος TOPSIS αναπτύχθηκε από τους Huang και Yoon [25] ως μία εναλλακτική λύση της μεθόδου ELECTRE. Η βασική έννοια αυτής της μεθόδου είναι ότι η επιλεγμένη εναλλακτική λύση πρέπει να έχει την πιο μικρή απόσταση από την αρνητική ιδανική λύση με τη γεωμετρική έννοια. Η μέθοδος υποθέτει ότι κάθε ιδιότητα αναπαρίσταται από μια μονότονα αυξανόμενη ή μειούμενη συνάρτηση. Αυτό καθιστά εύκολο τον εντοπισμό της ιδανικής και της αρνητικά ιδανικής λύσης. Κατά συνέπεια, η διάταξη προτίμησης των εναλλακτικών λύσεων παράγεται μέσω της σύγκρισης των ευκλείδειων αποστάσεων ανάμεσα στην εναλλακτική και στην ιδανική και αρνητικά ιδανική λύση. Συγκεκριμένα, μια μήτρα απόφασης M εναλλακτικών και N κριτηρίων διαμορφώνεται αρχικά.

Συγκεκριμένα, υπολογίζεται η απόσταση κάθε εναλλακτικής από την ιδανική λύση S_i^+ και από την αρνητικά ιδανική λύση S_i^- .

Ακολουθεί ο υπολογισμός της σχετικής κοντινότητας στην ιδανική λύση και η τελική ταξινόμηση της σειράς προτίμησης. Η σχετική κοντινότητα C_i στην ιδανική επίλυση μπορεί να εκφραστεί ως

$$C_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}$$

όπου C_i κυμαίνεται μεταξύ του 0 και του 1. Όσο τείνει το C_i προς το 1, τόσο μεγαλύτερος ο βαθμός προτεραιότητας της i^{th} εναλλακτικής. Η καλύτερη εναλλακτική λύση είναι αυτή που

έχει την πιο κοντινή απόσταση στην ιδανική λύση και τη μεγαλύτερη απόσταση στην αρνητικά ιδανική λύση.

Ο προγραμματισμός συμβιβασμού (Compromise Programming - CP) καθορίζει την καλύτερη λύση ως αυτήν στο σύνολο των εξεταζόμενων λύσεων της οποίας το σημείο έχει τη λιγότερη απόσταση από το ιδανικό σημείο [26]. Ο στόχος είναι να ληφθεί μια λύση που είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στην ιδανική. Το μέτρο απόστασης που χρησιμοποιείται στη “CP” είναι η οικογένεια των L_p δεικτών και δίνεται ως ακολούθως:

$$L_p(a) = \sum_{j=1}^j w_j^p |f_j^* - f(a)| / |M_j - m_j|, \text{ όπου:}$$

- $L_p(a)$ είναι ο L_p δείκτης για την εναλλακτική a ,
- $f(a)$ είναι η αξία του κριτηρίου j στο σύνολο A ,
- M_j είναι η μέγιστη (ιδανική) τιμή του κριτηρίου j στο σύνολο A ,
- m_j είναι το ελάχιστη (αντι-ιδανική) τιμή του κριτηρίου j στο σύνολο A ,
- f_j^* είναι η ιδανική αξία του κριτηρίου j ,
- w_j είναι το βάρος του κριτηρίου j ,
- p είναι η παράμετρος που απεικονίζει τη διάθεση του αποφασίζοντα όσον αφορά στο συμβιβασμό μεταξύ των αποκλίσεων.

Για $p = 1$, όλες οι αποκλίσεις από το f_j^* λαμβάνονται υπόψη ευθέως ανάλογα με το μέγεθός τους, που σημαίνουν ότι υπάρχει πλήρης (σταθμισμένος) συμβιβασμός μεταξύ των αποκλίσεων.

3.4.7 Η θεωρία χρησιμότητας πολλαπλών ιδιοτήτων (Multi-Attribute Utility Theory - MAUT)

Η θεωρία χρησιμότητας πολλαπλών ιδιοτήτων (Multi-Attribute Utility Theory - MAUT) λαμβάνει υπόψη τις προτιμήσεις του αποφασίζοντα μέσω της χρήσης της συνάρτησης

χρησιμότητας, που καθορίζεται μέσα από ένα σύνολο ιδιοτήτων. Η τιμή της συνάρτησης χρησιμότητας μπορεί να καθορισθεί από τον προσδιορισμό των επιμέρους ιδιοτήτων.

Εδώ το j είναι η ιδιότητα, το k είναι γενική σταθερά (μεγαλύτερη ή ίση με -1), το k_j είναι η κλιμακωτή σταθερά για τις ιδιότητες j , $u(\cdot)$ είναι η συνολική συνάρτηση χρησιμότητας και $u_j(\cdot)$ είναι η συνάρτηση χρησιμότητας για κάθε ιδιότητα j [27].

$$1 + ku(x_1, x_2, \dots, x_n) = \prod_{j=1}^n (1 + k k_j u_j(x_j))$$

Συχνά χρησιμοποιείται το αθροιστικό μοντέλο:

$$U = a_1 U_1(g_1) + a_2 U_2(g_2) + \dots + a_n U_n(g_n)$$

όπου ο συντελεστής a_i αντιστοιχεί στο ειδικό βάρος του κριτηρίου i και $\sum a_i = 1$.

Για να ισχύει το αθροιστικό μοντέλο πρέπει να ισχύει ο όρος της αντιστοιχίας του ανταγωνισμού (corresponding trade-off condition) δηλαδή, ότι το ποσοστό ανταγωνισμού μεταξύ δύο κριτηρίων g_i, g_z δεν εξαρτάται από το επίπεδο των τιμών [27].

Επιπλέον, στην περίπτωση τριών ή περισσότερων κριτηρίων, επιβάλλεται η ανά ζεύγη ανεξαρτησία (mutual preferential independence). Δύο κριτήρια g_1, g_2 είναι ανεξάρτητα από το g_3 όταν η προτίμηση ανάμεσα στα δύο αυτά κριτήρια δεν εξαρτάται από την τιμή του g_3 . Αν για όλα τα ζεύγη των κριτηρίων ισχύει η ανεξαρτησία, τότε ικανοποιείται ο όρος της ανά ζεύγη ανεξαρτησίας.

Σε περίπτωση που δεν ισχύει η πιο πάνω συνθήκη, το αθροιστικό μοντέλο δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί αλλά χρησιμοποιούνται άλλα μοντέλα για τη συνάρτηση τιμών, όπως το πολλαπλασιαστικό.

3.5 Διαχείριση Ετερογενών Δεδομένων

3.5.1 Ανάγκη για χρήση γλωσσικών μεταβλητών

Η ενεργειακή αξιολόγηση των Έξυπνων Πόλεων και των υποδομών τους (δημόσια κτίρια, αστικός φωτισμός, διαχείριση ενέργειας κ.ά.), καθώς και τα σχέδια δράσης με στόχο την ενεργειακή απόδοση, είναι προβλήματα που λαμβάνουν υπόψη πολλαπλά κριτήρια και

εναλλακτικές. Η εξοικονόμηση ενέργειας δεν είναι το μόνο κριτήριο, αλλά τίθενται και άλλα κριτήρια, όπως η αειφορία, η βιωσιμότητα των επενδύσεων, η βελτίωση της ποιότητας ζωής των πολιτών, η λειτουργικότητα των χώρων των κτιρίων κ.ά. Τα κριτήρια δεν αξιολογούνται πάντα με αριθμητικές τιμές αλλά είναι δυνατόν να αξιολογούνται με διαστήματα τιμών ή γλωσσικούς όρους.

Γίνεται σαφές ότι οι γλωσσικές πληροφορίες εισάγουν ένα ευέλικτο πλαίσιο εργασίας που επιτρέπουν την αναπαράσταση των πληροφοριών με άμεσο και επαρκή τρόπο όταν δεν μπορούν να καθοριστούν ακριβώς οι ποσοτικές πληροφορίες. Με αυτόν τον τρόπο, εξαφανίζεται η επιβάρυνση της ποσοτικοποίησης μιας ποιοτικής έννοιας.

Αυτό το χαρακτηριστικό είναι ιδιαίτερα σημαντικό τόσο για τη φύση των κριτηρίων, όσο και για τα αποτελέσματα. Ειδικότερα, τα αποτελέσματα πρέπει να είναι κατανοητά και άμεσα αντιληπτά στις τοπικές αρχές της πόλης. Για παράδειγμα, δεν μπορεί να παρουσιάζεται στις τοπικές αρχές ως αποτέλεσμα μια αριθμητική τιμή για την απόδοση της πόλης σε έναν τομέα. Είναι πιο εύκολο για τον διαχειριστή της πόλης να έχει ως αποτέλεσμα ότι η πόλη αποδίδει σε έναν τομέα «Καλώς» ή «Πολύ κακώς», από το να έχει σαν αποτέλεσμα μια αριθμητική τιμή.

Για την υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων στο επίπεδο της πόλης, η χρήση μη-ομογενών πληροφοριών εξαιτίας της φύσης των εναλλακτικών είναι αναγκαία. Ορισμένα κριτήρια του προβλήματος είναι αδύνατο να περιγραφούν με αριθμητικές τιμές.

Γι' αυτούς τους λόγους, κρίνεται απαραίτητη η χρήση των γλωσσικών μεταβλητών και η διαχείριση των ετερογενών πληροφοριών (Papastamatiou et al., 2014a, 2014b, 2016, 2017; Marinakis et al., 2017).

3.5.2 Βασικές Αρχές Γλωσσικής Ανάλυσης

Η ανάλυση αποφάσεων με χρήση γλωσσικών μεταβλητών βασίζεται στη χρήση της γλωσσικής προσέγγισης και χρησιμοποιείται για τη λύση προβλημάτων λήψης απόφασης με τη χρήση γλωσσικών πληροφοριών. Η εφαρμογή τους είναι πολύ αποδοτική στην ανάπτυξη της θεωρίας και των μεθόδων υποστήριξης αποφάσεων επειδή εισάγει ένα περισσότερο ευέλικτο πλαίσιο εργασίας το οποίο επιτρέπει την αναπαράσταση των πληροφοριών με έναν πιο άμεσο και επαρκή τρόπο όταν δε μπορούν να καθοριστούν ακριβώς οι ποσοτικές πληροφορίες. Με αυτόν τον τρόπο, εξαφανίζεται η επιβάρυνση της ποσοτικοποίησης μιας ποιοτικής έννοιας.

Στη βιβλιογραφία μπορούν να βρεθούν πολλές εφαρμογές αναλύσεων αποφάσεων με χρήση γλωσσικών μεταβλητών για τη λύση πραγματικών περιπτώσεων, όπως ομαδική λήψη αποφάσεων [28], [29], πολυκριτηριακή λήψη αποφάσεων [30]-[32], σύνολο ενεργειών πώλησης [33], ανάπτυξη λογισμικού [34], εκπαίδευση [35], υποκειμενική αποτίμηση της αξίας ενός αυτοκινήτου [36], επιλογή υλικών [37] και διοίκηση προσωπικού [38].

Συνήθως, σ' όλες τις πραγματικές διαδικασίες λήψης απόφασης υπάρχουν διάφοροι ειδικοί ή αποφασίζοντες οι οποίοι καλούνται να εκφράσουν τις τιμές απόδοσης μιας ομάδας από εναλλακτικές με σκοπό να επιλεγεί η καλύτερη, σε ένα πολυκριτηριακό περιβάλλον λήψης απόφασης [39], [40]. Γενικά, το σχέδιο λύσεων ενός ΠΜΥΑ προβλήματος αποτελείται κυρίως από δύο φάσεις [41], [42]:

1. Μια φάση άθροισης των τιμών απόδοσης όσον αφορά σ' όλα τα κριτήρια ώστε να προκύψει μια συνολική τιμή απόδοσης για τις εναλλακτικές και έπειτα,
2. Μια φάση επεξεργασίας της συνολικής τιμής απόδοσης ώστε να προκύψει η επιλογή μεταξύ των εναλλακτικών.

Στην ανάλυση αποφάσεων με χρήση γλωσσικών μεταβλητών, το σχέδιο λύσης πρέπει να οριστεί από τα ακόλουθα τρία βήματα:

1. Επιλογή ενός συνόλου γλωσσικών όρων και η εννοιολογία τους: Αφορά στον καθορισμό των όρων της γλωσσικής έκφρασης για τις γλωσσικές τιμές απόδοσης των εναλλακτικών που αντιστοιχούν στα διαφορετικά κριτήρια. Για να γίνει αυτό, πρέπει να επιλεγθεί ο αριθμός των βαθμίδων του συνόλου των γλωσσικών όρων, οι ετικέτες και η σημασιολογία τους.
2. Επιλογή του αθροιστικού τελεστή της γλωσσικής πληροφορίας: Αφορά στον καθορισμό του κατάλληλου αθροιστικού τελεστή της γλωσσικής πληροφορίας, ώστε να συνδυαστούν και να αθροιστούν οι παρεχόμενες γλωσσικές τιμές απόδοσης.
3. Επιλογή των καλύτερων εναλλακτικών: Αφορά στην επιλογή των καλύτερων εναλλακτικών βάσει των παρεχόμενων γλωσσικών τιμών απόδοσης. Διεξάγεται σε δυο φάσεις:
 - i. Αθροιστική φάση της γλωσσικής πληροφορίας: Αφορά στην αποκόμιση της συνολικής γλωσσικής τιμής απόδοσης για τις εναλλακτικές, αθροίζοντας τις παρεχόμενες γλωσσικές τιμές απόδοσης βάσει όλων των κριτηρίων μέσω του επιλεγμένου αθροιστικού τελεστή της γλωσσικής πληροφορίας.

- ii. Φάση επεξεργασίας: Αφορά στον καθορισμό της κατάταξης των εναλλακτικών ανάλογα με τη συνολική γλωσσική τιμή απόδοσης, ώστε να επιλεγθούν οι καλύτερες.

Η επιλογή του συνόλου των γλωσσικών όρων είναι ο πρώτος στόχος που πρέπει να επιτευχθεί σε μια γλωσσική προσέγγιση και περιλαμβάνει τον καθορισμό της γλωσσικής μεταβλητής [43] ή της γλωσσικής έκφρασης με σκοπό την παροχή των γλωσσικών τιμών απόδοσης.

Ορισμός 1 (Zadeh [44]): Η γλωσσική μεταβλητή χαρακτηρίζεται από πέντε μέρη (L, H, U, G, M) όπου το L είναι η μεταβλητή, το H δηλώνει το σύνολο όρων της L π.χ. το σύνολο των ονομάτων των γλωσσικών τιμών του L, με κάθε του τιμή να είναι μια ασαφής μεταβλητή που δηλώνεται γενικά ως X και έχει ένα εύρος τιμών μέσα σε ένα σύμπαν της ομιλίας U. Το G είναι ένας συντακτικός κανόνας για τη δημιουργία των ονομάτων των τιμών του L και το M είναι ένας σημασιολογικός κανόνας που σχετίζει το νόημά τους με κάθε L.

Ο κύριος στόχος του καθορισμού των γλωσσικών περιγραφητών μιας γλωσσικής μεταβλητής είναι η παροχή στο χρήστη λίγων λέξεων, μέσω των οποίων μπορεί με φυσικό τρόπο να εκφράσει τις πληροφορίες του. Για να επιτευχθεί αυτός ο σκοπός, ένα σημαντικό στοιχείο είναι οι βαθμίδες αβεβαιότητας, δηλαδή τα επίπεδα της διάκρισης μεταξύ των διαφορετικών αριθμήσεων της αβεβαιότητας.

Ο αριθμός στοιχείων του συνόλου των όρων πρέπει να είναι αρκετά μικρός ώστε να μην έχει ακρίβεια που δεν χρειάζεται και πρέπει να είναι αρκετά «πλούσιος», ώστε να επιτρέπει τη διαφοροποίηση των αποτιμήσεων σε έναν περιορισμένο αριθμό βαθμίδων.

Τυπικές τιμές του αριθμού στοιχείων που χρησιμοποιούνται είναι περιττές, όπως 7 ή 9 με ανώτατο όριο το 11 ή το 13, όπου ο μεσαίος όρος υποδηλώνει μια αποτίμηση του «περίπου 0,5», με τους υπόλοιπους όρους να είναι τοποθετημένοι συμμετρικά γύρω από αυτόν [45]. Αυτές οι τυπικές τιμές του αριθμού στοιχείων φαίνεται να ταιριάζει με την παρατήρηση του Miller [46], σχετικά με το γεγονός ότι οι άνθρωποι μπορούν να θυμούνται περίπου επτά αντικείμενα.

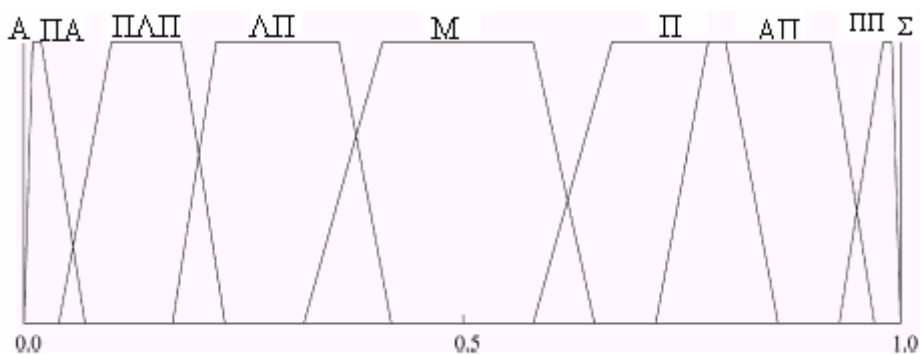
Όσον αφορά στον καθορισμό της σημασίας του συνόλου των γλωσσικών όρων, στη βιβλιογραφία, μπορούν κυρίως να βρεθούν τρεις τρόποι [47]:

- Σημασία βασισμένη σε συναρτήσεις συσχέτισης και σε ένα σημασιολογικό κανόνα.
- Σημασία βασισμένη σε μια ταξινομημένη δομή ενός συνόλου γλωσσικών όρων.

- Συνδυαστική σημασία.

Συγκεκριμένα, η πρώτη προσέγγιση θεωρεί ότι το νόημα κάθε γλωσσικού όρου δίνεται μέσω ενός ασαφούς υποσυνόλου ορισμένου στο διάστημα “0 – 1”, το οποίο συνήθως περιγράφεται από συναρτήσεις συσχέτισης [48]. Ένας υπολογιστικά αποτελεσματικός τρόπος για το χαρακτηρισμό ενός ασαφούς αριθμού είναι η χρησιμοποίηση αναπαράστασης βασισμένης σε παραμέτρους της αντίστοιχης συνάρτησης συσχέτισης [49]. Επειδή οι γλωσσικές αποτιμήσεις είναι προσεγγιστικές, αρκετοί αναλυτές θεωρούν ότι οι γραμμικές τραπεζοειδείς συναρτήσεις συσχέτισης είναι αρκετά καλές για να «αιχμαλωτίσουν» την αοριστία αυτών των γλωσσικών αποτιμήσεων [50]-[52]. Αυτή η αναπαράσταση επιτυγχάνεται με τέσσερις παραμέτρους (a_i, b_i, d_i, c_i) . Οι δύο πρώτες παράμετροι δείχνουν το διάστημα μέσα στο οποίο η τιμή συσχέτισης είναι 1, η τρίτη και η τέταρτη παράμετρος δείχνουν το αριστερό και το δεξί εύρος. Παράδειγμα σημασιολογίας για σύνολο εννέα όρων είναι το ακόλουθο, όπως απεικονίζεται στο ακόλουθο Σχήμα 3.7 [45]:

- $\Sigma = \text{Σίγουρο} = (1, 1, 0, 0)$
- $\text{ΠΠ} = \text{Πολύ Πιθανό} = (0.98, 0.99, 0.05, 0.01)$
- $\text{ΑΠ} = \text{Αρκετά πιθανό} = (0.78, 0.92, 0.06, 0.05)$
- $\text{Π} = \text{Πιθανό} = (0.63, 0.80, 0.05, 0.06)$
- $\text{Μ} = \text{Μπορεί} = (0.41, 0.58, 0.09, 0.07)$
- $\text{ΛΠ} = \text{Λίγο Πιθανό} = (0.22, 0.36, 0.05, 0.06)$
- $\text{ΠΛΠ} = \text{Πολύ λίγο πιθανό} = (0.1, 0.18, 0.06, 0.05)$
- $\text{ΠΑ} = \text{Πολύ Απίθανο} = (0.01, 0.02, 0.01, 0.05)$
- $\text{Α} = \text{Αδύνατο} = (0, 0, 0, 0)$



Σχήμα 3.7: Σύνολο Εννέα (9) Όρων με τη Σημασιολογία τους

Πηγή: Herrera F, Herrera-Viedma E, Verdegay JL. (1998) [53]

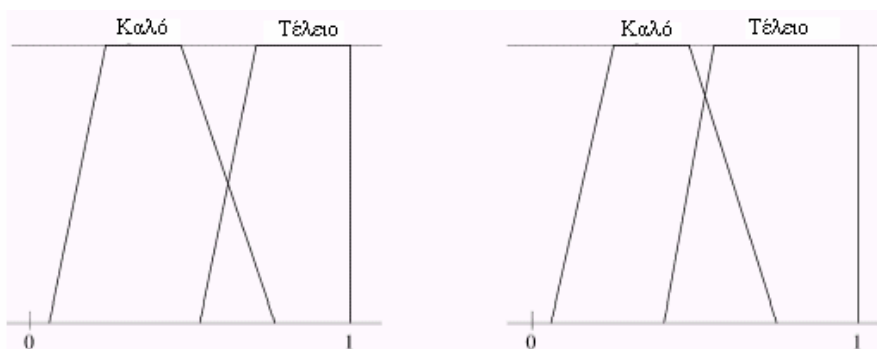
Μια ειδική περίπτωση αυτής της αναπαράστασης είναι η γλωσσική εκτίμηση, όπου οι συναρτήσεις συσχέτισης είναι τριγωνικές, δηλαδή $b = d$, οπότε η αναπαράσταση της συνάρτησης συσχέτισης γίνεται με μια τριπλή απεικόνιση (3-tuple), την (a, b, c) .

Ωστόσο, αυτή η προσέγγιση παρουσιάζει δύο προβλήματα:

- Στις αναπαραστάσεις των αρχικών ασαφών συνόλων, το πρόβλημα είναι πώς θα καθοριστούν οι παράμετροι ανάλογα με τις προτιμήσεις του αποφασίζοντα.

Μοιάζει αρκετά δύσκολο όλοι οι αποφασίζοντες να συμφωνήσουν στις ίδιες συναρτήσεις συσχέτισης που αντιστοιχούν στους αρχικούς γλωσσικούς όρους και επιπρόσθετα δεν υπάρχει κάποια τυποποιημένη κατανομή που να πρέπει να χρησιμοποιείται υποχρεωτικά. Για παράδειγμα, στο ακόλουθο Σχήμα 3.8 παρουσιάζονται δυο κοντινές παραλλαγές της ίδιας εκτίμησης [40].

- Επιπρόσθετα, δεν είναι πάντα δυνατό για το χρήστη να καθορίσει ένα ασαφές σύνολο για κάθε αρχικό γλωσσικό όρο, διότι απαιτείται αρκετή ακρίβεια που ο χρήστης δε μπορεί πάντα να παρέχει.



Σχήμα 3.8: Παραλλαγές Αναπαράστασης

Πηγή: Herrera F, Herrera-Viedma E, Verdegay JL. (1998) [53]

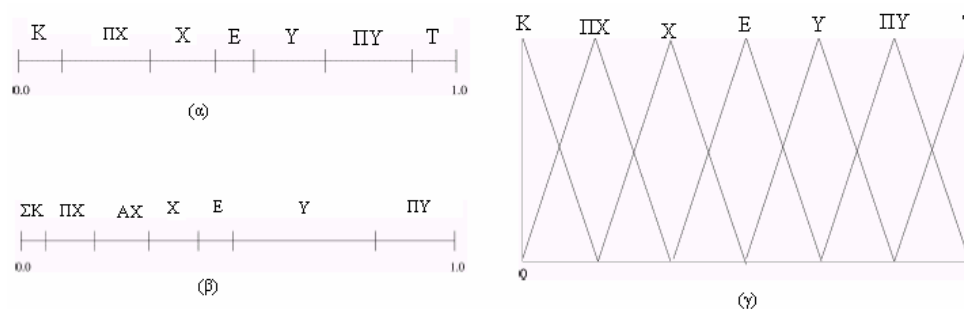
Μια εναλλακτική δυνατότητα, που δεν χρησιμοποιεί ασαφή σύνολα, εισάγει τη σημασιολογία μέσα από τη δομή του συνόλου των γλωσσικών όρων.

Ειδικότερα, αυτό συμβαίνει όταν οι αποφασίζοντες παρέχουν τις αξιολογήσεις τους με τη χρησιμοποίηση ενός διατεταγμένου συνόλου γλωσσικών όρων. Κάτω από αυτήν τη σημασιολογική προσέγγιση, ανάλογα με τη διανομή των γλωσσικών όρων σε μια κλίμακα “0 – 1”, υπάρχουν δύο πιθανότητες για τον καθορισμό της σημασιολογίας του συνόλου των γλωσσικών όρων [[28], [29], [31]:

- *Συμμετρικά διανεμημένοι όροι:* Υποθέτει διατεταγμένα γλωσσικά σύνολα όρων, τα οποία διανέμονται σε μια κλίμακα με περιττό αριθμό στοιχείων και το μεσαίο όρο να [44] αντιπροσωπεύει μια αξιολόγηση «περίπου 0,5» και με το υπόλοιπο των όρων να τοποθετούνται συμμετρικά γύρω από αυτόν. Κατόπιν, η σημασιολογία του συνόλου γλωσσικών όρων διαμορφώνεται από τη διατεταγμένη δομή του συνόλου όρων θεωρώντας ότι κάθε γλωσσικός όρος για το ζευγάρι (s_i, s_{T-i}) είναι εξίσου πληροφοριακός [54]. Αυτή η πρόταση μπορεί να καθοριστεί ρητά με την ανάθεση ενός υποτομέα της περιοχής αναφοράς $[0, 1]$ σε κάθε γλωσσικό όρο (βλέπε Σχήμα 3.9α).
- *Μη-συμμετρικά διανεμημένοι όροι:* Υποθέτει ότι μια υποπεριοχή της περιοχής αναφοράς μπορεί να περιέχει περισσότερες πληροφορίες από το υπόλοιπο της περιοχής [54]. Σε αυτήν την περίπτωση, η πυκνότητα των γλωσσικών όρων σε εκείνη την υποπεριοχή θα ήταν μεγαλύτερη από την πυκνότητα στο υπόλοιπο της περιοχής αναφοράς, δηλαδή το διατεταγμένο σύνολο γλωσσικών όρων δεν θα διανεμόταν συμμετρικά. Τέτοια περίπτωση μπορεί να υπάρξει όταν για παράδειγμα υποτεθεί ότι απαιτείται ένα σύστημα ελέγχου θερμοκρασίας με μια πολύ ακριβή συμπεριφορά όταν η θερμοκρασία είναι «χαμηλή». Επομένως, το γλωσσικό σύνολο όρου θα είχε μια διανομή πέρα από την περιοχή αναφοράς παρόμοια με αυτήν στο Σχήμα 3.9β, (στο Σχήμα 3.9β, το ΣΚ = Σχεδόν Καθόλου και ΑΧ = Αρκετά χαμηλό).

Για αυτές τις περιπτώσεις, σε μια μέθοδο προτάθηκε ότι επηρεάζεται η σημασία (οι υποπεριοχές) με τη χρησιμοποίηση μιας λειτουργίας “negation” που καθορίζεται από μέρη του συνόλου γλωσσικών όρων [54]. Αυτή η μέθοδος είναι σε θέση να αποδώσει μια σημασία για το σύνολο γλωσσικών όρων εάν ο χρήστης παρέχει τις τιμές της αντίθετης λειτουργίας για κάθε γλωσσικό όρο. Παραδείγματος χάριν, για το σύνολο γλωσσικών όρων στο σχήμα 3.9β, η ακόλουθη λειτουργία άρνησης μπορεί να καθοριστεί [54]:

- $Neg(\Sigma K) = Neg(\Pi X) = \{\Pi Y\}$
- $Neg(A X) = Neg(X) = \{Y\}$
- $Neg(E) = \{E\}$
- $Neg(Y) = \{A X, X\}$
- $Neg(\Pi Y) = \{\Sigma K, \Pi X\}$



Σχήμα 3.9: (α) Συμμετρικά Κατανεμημένο Σύνολο 7 Όρων

(β) Μη Συμμετρικά Κατανεμημένο Σύνολο 7 Όρων

(γ) Ενιαία Κατανεμημένο Σύνολο 7 Όρων

Πηγή: Herrera F, Herrera-Viedma E, Verdegay JL. (1998) [54]

Στο παραπάνω πλαίσιο, μια δυνατότητα για τη μείωση της πολυπλοκότητας καθορισμού των γλωσσικών όρων είναι η άμεση παροχή του συνόλου των όρων θεωρώντας όλους τους όρους ως πρωταρχικούς και κατανεμημένους σε μια κλίμακα στην οποία καθορίζεται η συνολική διάταξη [54][55]. Για παράδειγμα ένα σύνολο S από επτά όρους είναι το ακόλουθο:

$S = \{ s_0 = \text{καθόλου}, s_1 = \text{πολύ λίγο}, s_2 = \text{λίγο}, s_3 = \text{ενδιάμεσο}, s_4 = \text{υψηλό}, s_5 = \text{πολύ υψηλό}, s_6 = \text{τέλειο} \}$, όπου $s_a < s_b$ αν $a < b$.

Σε τέτοιες περιπτώσεις απαιτείται από το σύνολο γλωσσικών όρων να ικανοποιεί τα παρακάτω επιπρόσθετα χαρακτηριστικά:

- Να υπάρχει ένας αρνητικός τελεστής π.χ. $neg(s_i) = s_j$.
- $j = T - i$ ($T + 1$ είναι ο αριθμός των στοιχείων).

- Τελεστής μεγιστοποίησης: $\max(s_i, s_j) = s_i$ αν $s_i \geq s_j$.
- Τελεστής ελαχιστοποίησης: $\min(s_i, s_j) = s_i$ αν $s_i \leq s_j$.

Το επόμενο βήμα της ανάλυση αποφάσεων με γλωσσικούς όρους είναι η επιλογή του αθροιστικού τελεστή της γλωσσικής πληροφορίας.

Εδώ, εμφανίζεται ένας σημαντικός περιορισμός των σχετιζόμενων προσεγγίσεων εξαιτίας του γεγονότος ότι οι υπολογιστικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται στην εξειδικευμένη βιβλιογραφία παρουσιάζουν ένα σύνηθες μειονέκτημα, την «απώλεια δεδομένων», η οποία ουσιαστικά περιλαμβάνει την έλλειψη ακρίβειας στα τελικά αποτελέσματα. Αυτές οι υπολογιστικές τεχνικές είναι οι ακόλουθες [56], [57]:

- *Προσέγγιση Προέκτασης*: Γίνονται πράξεις με ασαφείς αριθμούς που υποστηρίζουν τη σημασιολογία των γλωσσολογικών όρων.
- *Συμβολική Προσέγγιση*: Γίνονται υπολογισμοί με τις ετικέτες των γλωσσικών όρων.

Προσέγγιση Διπλής Αναπαράστασης: Αφορά σε προσέγγιση που σαν στόχο έχει να ξεπερνά αυτόν τον περιορισμό της έλλειψης ακρίβειας, μέσα από την αντιπροσώπευση της γλωσσολογικής πληροφορίας με ένα ζεύγος τιμών, συντεθειμένο από ένα γλωσσικό όρο και έναν αριθμό. Το κύριο πλεονέκτημα αυτής της αντιπροσώπευσης είναι ότι είναι συνεχής στο πεδίο της και ως εκ τούτου μπορεί να εκφράσει οποιαδήποτε μετρήσιμη πληροφορία μέσα στο σύμπαν της ομιλίας. Μέσω αυτού του αντιπροσωπευτικού προτύπου, παρουσιάζονται υπολογιστικές τεχνικές που δεν έχουν απώλεια δεδομένων.

Στις επόμενες παραγράφους θα αναλυθούν οι γλωσσικές αθροιστικές μέθοδοι, με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους και θα παρουσιαστούν διαφορετικά είδη από γλωσσικούς αθροιστικούς τελεστές.

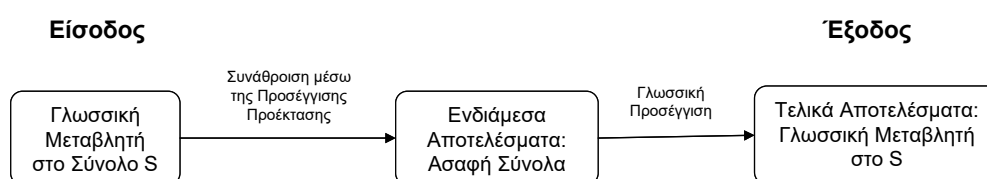
3.5.3 Προσέγγιση Προέκτασης

Η προσέγγιση της προέκτασης έχει εισαχθεί για να μετατρέπει αριθμητικές τιμές σε ασαφή σύνολα. Όμως, είναι γνωστό ότι χρησιμοποιώντας εκτεταμένες αλγεβρικές πράξεις για να χειριστεί κανείς τα ασαφή σύνολα, η ασάφεια των αποτελεσμάτων αυξάνεται βήμα με το βήμα και το σχήμα της συνάρτησης συσχέτισης δεν μένει σταθερό όταν οι γλωσσικές μεταβλητές είναι αλληλεπιδρούσες. Έτσι, τα τελικά αποτελέσματα αυτών των μεθόδων είναι ασαφή σύνολα τα οποία δεν αντιστοιχούν σε καμία ετικέτα στο αρχικό σύνολο γλωσσικών

όρων. Ουσιαστικά δηλαδή η αρχή της προέκτασης με ασαφή σύνολα έχει σαν αποτέλεσμα ασαφή σύνολα, τα οποία είναι δύσκολο να γίνουν κατανοητά από τον αποφασίζοντα.

Αν, τελικά, επιθυμείται να υπάρχει μια ετικέτα, απαιτείται μια γλωσσική προσέγγιση. Η γλωσσική προσέγγιση έγκειται στο να βρεθεί μια ετικέτα της οποίας το νόημα είναι το ίδιο με το πιο κοντινό νόημα του ασαφούς συνόλου χωρίς ετικέτα, το οποίο δημιουργείται από το μοντέλο γλωσσικού υπολογισμού. Δεν υπάρχει γενική μέθοδος για τον συσχετισμό μιας ετικέτας με ένα ασαφές σύνολο.

Μια γλωσσική συνάθροιση βασισμένη στην αρχή της προέκτασης ενεργεί σύμφωνα με το σχέδιο που παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.10.



Σχήμα 3.10: Διαδικασία Προσέγγισης Προέκτασης

Πηγή: Herrera F, Martinez L. (1999) [58]

Ουσιαστικά, ένας γλωσσολογικός τελεστής βασισμένος στην αρχή της προέκτασης ορίζεται ως εξής [59], [60]:

$$S^n \xrightarrow{\bar{F}} F(R) \xrightarrow{app_1(\cdot)} S, \text{ όπου:}$$

- S είναι το αρχικό σύνολο γλωσσικών όρων.
- S^n συμβολίζει το n Καρτεσιανό γινόμενο του S .
- \bar{F} είναι ένας τελεστής συνάθροισης που βασίζεται στην αρχή της προέκτασης.
- $F(R)$ είναι το σύνολο των ασαφών συνόλων επάνω από το σύνολο των πραγματικών αριθμών R .
- $app_1(\cdot)$ είναι η συνάρτηση γλωσσολογικής προσέγγισης που επιστρέφει μία ετικέτα στο σύνολο γλωσσολογικών όρων S , του οποίου η σημασία είναι η κοντινότερη στον παραγόμενο ασαφή αριθμό χωρίς ετικέτα.

3.5.4 Συμβολική Προσέγγιση

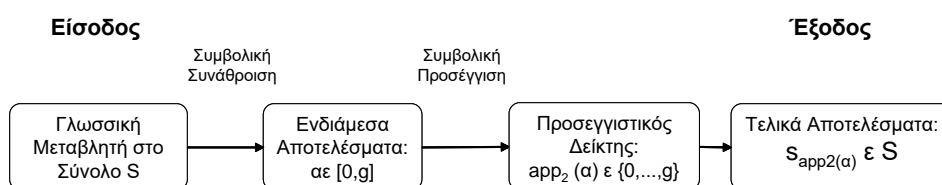
Μία δεύτερη προσέγγιση που χρησιμοποιείται για να λειτουργήσει με γλωσσικές πληροφορίες είναι η συμβολική, η οποία δρα μέσω άμεσου υπολογισμού στις ετικέτες, λαμβάνοντας υπόψη το νόημα και τα χαρακτηριστικά τέτοιων γλωσσικών μεταβλητών. Υποθέτει ότι το σύνολο γλωσσικών όρων είναι μια διατεταγμένη δομή ενιαία κατανεμημένη σε μια κλίμακα $S = \{s_0, \dots, s_g\}$ όπου $s_i < s_j$ εάν $i < j$.

Τα ενδιάμεσα αποτελέσματα είναι αριθμητικές τιμές, $a \in [0, g]$, τα οποία πρέπει να προσεγγιστούν σε κάθε βήμα της διαδικασίας μέσω της προσεγγιστικής συνάρτησης $app_2 : [0, g] \rightarrow \{0, \dots, g\}$, που παράγει μία αριθμητική τιμή, τέτοια που να υποδηλώνει το δείκτη του σχετικού γλωσσολογικού όρου $s_{app_2(a)} \in S$. Τυπικά, μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$S^n \xrightarrow{C} [0, g] \xrightarrow{app_2(\cdot)} \{0, \dots, g\} \rightarrow S, \text{ όπου:}$$

- C είναι ο τελεστής συμβολικής γλωσσολογικής προσέγγισης,
- $app_2(\cdot)$ είναι η συνάρτηση γλωσσικής προσέγγισης που χρησιμοποιείται για να προκύψει ένας δείκτης $\{0, \dots, g\}$ σχετιζόμενος με έναν όρο στο $S = \{s_0, \dots, s_g\}$ από μία τιμή στο $[0, g]$.

Μια γλωσσική συνάθροιση βασισμένη στη συμβολική προσέγγιση ενεργεί σύμφωνα με το σχέδιο που παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.11.



Σχήμα 3.11: Διαδικασία Συμβολικής Προσέγγισης

Πηγή: Herrera F, Martinez L. (1999) [58]

Αυτές οι μέθοδοι φαίνονται αρκετά φυσικές όταν χρησιμοποιείται η γλωσσική προσέγγιση, επειδή οι γλωσσικές αποτιμήσεις είναι απλά προσεγγίσεις οι οποίες δίνονται όταν είναι αδύνατο ή μη απαραίτητο να εξαχθούν πιο ακριβείς τιμές. Έτσι, σ' αυτή την περίπτωση, δεν είναι απαραίτητη η χρήση των συναρτήσεων συσχέτισης. Επιπλέον, από την άποψη του υπολογισμού είναι σχετικά απλές και γρήγορες. Στη διεθνή βιβλιογραφία μπορούν να

βρεθούν διάφορα είδη τελεστών συνάθροισης γλωσσικής πληροφορίας, όπως τελεστές μη σταθμισμένης και σταθμισμένης γλωσσικής πληροφορίας [61].

Στην πρώτη κατηγορία ανήκει ο τελεστής LOWA - Linguistic Ordered Weighted Average, [61], που συναθροίζει γλωσσικές πληροφορίες με βάση μία δέσμη κριτηρίων ίδιας βαρύτητας και ορίζεται ως ακολούθως:

Έστω ότι $A = \{\alpha_1, \dots, \alpha_m\}$ είναι ένα σύνολο από ετικέτες που πρέπει να αθροιστούν. Τότε ο τελεστής LOWA, Φ , ορίζεται ως εξής:

$$\Phi(\alpha_1, \dots, \alpha_m) = W \cdot B^T = \beta^m \{w_k, b_k, k = 1, \dots, m\} = w_1 \cdot b_1 + (1 - w_1) \cdot \beta^{m-1} \{\beta_h, b_h, h = 2, \dots, m\},$$

όπου $W = [w_1, \dots, w_m]$ είναι το διάνυσμα βαρών τέτοιο ώστε:

- $w_i \in [0,1]$
- $\sum_i w_i = 1$
- $\beta_h = \frac{w_h}{\sum_{k=2}^m w_k}, h = 2, \dots, m$

και $B = \{b_1, \dots, b_m\}$ είναι ένα διάνυσμα σχετισμένο με το A κατά τέτοιο τρόπο ώστε

$$B = \sigma(A) = \{\alpha_{\sigma(1)}, \dots, \alpha_{\sigma(m)}\}, \text{ όπου:}$$

- $\alpha_{\sigma(j)} \leq \alpha_{\sigma(i)}$ για κάθε $i \leq j$ και το σ είναι μια αντιμετάθεση για το σύνολο των ετικετών A .
- β^m είναι ο κυρτός τελεστής συνδυασμού των m ετικετών.

Αν $m = 2$, τότε ορίζεται ως εξής:

$$\beta^2 \{w_i, b_i, i = 1, 2\} = w_1 \cdot s_j + (1 - w_1) \cdot s_i = s_k, s_j, s_i \in S(j \geq i), \text{ έτσι ώστε}$$

$$k = \min\{T, i + \text{round}(w_i \cdot (j - i))\}, \text{ όπου:}$$

- *round* είναι η συνηθισμένη λειτουργία στρογγυλοποίησης.

- $b_1 = s_j, b_2 = s_i.$

Αν $w_j = 1$ και $w_i = 0$ με $j \neq i$ για κάθε i τότε ο κυρτός συνδυασμός ορίζεται ως:

$$\beta^m \{ w_i, b_i, i = 1, \dots, m \} = b_j$$

Ο υπολογισμός τώρα του διανύσματος βαρών του τελεστή LOWA, W , είναι ένα βασικό πρόβλημα που πρέπει να λυθεί. Μια πιθανή λύση είναι ότι τα βάρη αντιπροσωπεύουν την έννοια της ασαφούς πλειοψηφίας στη συνάθροιση του τελεστή LOWA χρησιμοποιώντας ένα ασαφή γλωσσικό ποσοτικοποιητή. Ο Yager πρότεινε ένα διαφανή τρόπο να υπολογιστούν τα βάρη με τη βοήθεια ενός ασαφούς γλωσσικού ποσοτικοποιητή, ο οποίος, στην περίπτωση του μη-φθίνοντα αναλογικού ασαφούς γλωσσικού ποσοτικοποιητή Q , δίνεται από αυτήν την έκφραση [62]:

$$w_i = Q(i/n) - Q((i-1)/n), \quad i = 1, \dots, n, \quad \text{και}$$

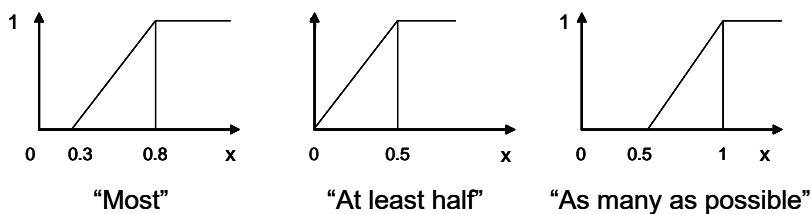
$$Q_{(r)} = \begin{cases} 0, & \alpha v \quad r < a, \\ (r-a)/(b-a), & \alpha v \quad a \leq r \leq b, \text{ με τα } a, b, r \in [0,1]. \\ 1, & \alpha v \quad r > b. \end{cases}$$

Μερικά παραδείγματα των μη-φθίνοντων αναλογικών ασαφών γλωσσικών ποσοτικοποιητών, τα οποία θα χρησιμοποιηθούν και στην εφαρμογή, είναι τα ακόλουθα:

- “*Most*” (0.3, 0.8): Δίνει περισσότερη βαρύτητα στις ενδιάμεσες αποδόσεις,
- “*At least half*” (0, 0.5): Δίνει περισσότερη βαρύτητα στις υψηλές αποδόσεις,
- “*As many as possible*” (0.5, 1): Δίνει περισσότερη βαρύτητα στις χαμηλές αποδόσεις,

όπου ο πρώτος αριθμός μέσα σε κάθε παρένθεση συμβολίζει το κάτω όριο (a) και ο δεύτερος αριθμός το πάνω όριο (b).

Όταν ένας ασαφής γλωσσικός ποσοτικοποιητής, Q , χρησιμοποιείται για να υπολογίσει τα βάρη του τελεστή LOWA, Φ , τότε συμβολίζεται με Φ_Q .



Σχήμα 3.12: Ασαφείς Γλωσσικοί Ποσοτικοποιητές

Πηγή: Herrera F, Herrera-Viedma E, Verdegay JL. (1998) [53]

Υπάρχουν όμως και τελεστές γλωσσικής συνάθροισης για κριτήρια διαφορετικής σημαντικότητας, LWA – Linguistic Weighted Average.

Ακολουθώντας τις μελέτες του Cholewa [63] και το μοντέλο συνάθροισης του Montero [64], για τη συνάθροιση σταθμισμένης πληροφορίας πρέπει να ορίζονται δύο τελεστές, οι ακόλουθοι:

- Ο τελεστής συνάθροισης των βαρών της πληροφορίας και
- Ο τελεστής συνάθροισης της σταθμισμένης πληροφορίας (πληροφορία συνδυασμένη με βάρη).

Η πρώτη πτυχή συνίσταται στην απόκτηση ενός συλλογικού βαθμού σπουδαιότητας από μεμονωμένους βαθμούς σπουδαιότητας, ο οποίος χαρακτηρίζει το τελικό αποτέλεσμα του τελεστή συνάθροισης.

Από την άλλη μεριά, η συνάθροιση σταθμισμένης πληροφορίας εμπλέκει το μετασχηματισμό της σταθμισμένης πληροφορίας με βάση τα βάρη. Η μορφή του μετασχηματισμού εξαρτάται από τον τύπο της συνάθροισης της σταθμισμένης πληροφορίας που επιτελείται. Οι γενικές ιδιότητες που οποιαδήποτε συνάρτηση μετασχηματισμού σπουδαιότητας g που πρέπει να ικανοποιεί για οποιονδήποτε τύπο τελεστή συνάθροισης είναι οι ακόλουθες [61]:

1. αν $a > b$ τότε $g(w, a) \geq g(w, b)$,
2. η $g(w, a)$ είναι μονότονη στο w ,
3. $g(0, a) = ID$ και
4. $g(1, a) = a$,

με τα:

- $a, b \in [0,1]$ να εκφράζουν την ικανοποίηση προς το κριτήριο,
- $w \in [0,1]$, το βάρος που σχετίζεται με το κριτήριο, και
- “*ID*”, ένα στοιχείο ταυτότητας, που είναι τέτοιο ώστε εάν το προσθέσουμε στις συναθροίσεις δεν αλλάζει την τιμή συνάθροισης.

Σε αυτό το πλαίσιο, παραδείγματα συναρτήσεων σύζευξης των βαρών με τις αποδόσεις είναι οι ακόλουθες [120]:

- *Kleene - Dienes* 's: $LI_1^{\rightarrow} = \text{Max}(Neg_{(w),a})$

- *Godels*: $LI_2^{\rightarrow}(w,a) = \begin{cases} s_T, w \leq a \\ a, \text{διαφορετικά} \end{cases}$

- *Fodor* 's: $LI_3^{\rightarrow}(w,a) = \begin{cases} s_T, w \leq a \\ \text{Max}(Neg_{(w),a}), \text{διαφορετικά} \end{cases}$

- *Lukasiewicz* 's: $LI_3^{\rightarrow}(w,a) = \begin{cases} s_T, w \leq a \\ \text{Neg}(w-a), \text{διαφορετικά} \end{cases}$

, όπου $w - a = s_h \in S$, με $w = s_1$, $a = s_t$ και $1 = t + h$.

3.5.5 Προσέγγιση Διπλής Αναπαράστασης

Η γλωσσική ανάλυση σήμερα εστιάζεται στην ανάπτυξη συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων που να είναι ικανά να διαχειριστούν γλωσσολογική πληροφορία μέσα σε πολυκριτηριακά προβλήματα, επιτυγχάνοντας ταυτόχρονα την αποφυγή οποιασδήποτε απώλειας πληροφορίας. Αυτός είναι και ο στόχος του νέου μοντέλου διπλής αναπαράστασης της γλωσσολογικής πληροφορίας των Herrera et al. [57], [58].

Πιο συγκεκριμένα:

- Έστω $S = \{s_0, \dots, s_g\}$ ένα σύνολο γλωσσικών στοιχείων. Εάν μια συμβολική μέθοδος, η οποία αθροίζει γλωσσικές πληροφορίες λάβει μια τιμή $\beta \in [0, g]$, αλλά ισχύει $\beta \notin \{0, \dots, g\}$, τότε χρησιμοποιείται μια προσεγγιστική συνάρτηση $app_2(\cdot)$ για να εκφράσει το αποτέλεσμα της άθροισης στο σύνολο S .

- Έστω β το αποτέλεσμα της άθροισης ενός συνόλου γλωσσικών όρων που έχουν εκφραστεί σε μια γλωσσική κλίμακα S , για παράδειγμα, έστω β το αποτέλεσμα μιας συμβολικής άθροισης, όπου $\beta \in [0, g]$, και $g+1$ το πλήθος των στοιχείων του S .
- Αν $i = \text{round}(\beta)$ και $a = \beta - i$ δύο τιμές έτσι, ώστε $i \in [0, g]$ και $a \in [-0.5, 0.5)$, τότε η a καλείται συμβολική μετάφραση.

Η συμβολική μετάφραση ενός γλωσσικού όρου, s_i , είναι δηλαδή μια αριθμητική τιμή στο διάστημα $[-0.5, 0.5)$, η οποία υποδηλώνει τη “διαφοροποίηση της πληροφορίας” ανάμεσα στη μετρούμενη τιμή $\beta \in [0, g]$ που λαμβάνεται κατόπιν μιας συμβολικής συνάθροισης, και της πλησιέστερης τιμής στο $\{0, \dots, g\}$ που δηλώνει το περιεχόμενο του πλησιέστερου γλωσσικού όρου στο S ($i = \text{round}(\beta)$).

Από την άποψη αυτήν, αναπτύχθηκε ένα μοντέλο γλωσσικής απεικόνισης, το οποίο απεικονίζει τη γλωσσική πληροφορία μέσω δύο στοιχείων, των (s_i, a_i) , με $s_i \in S$ και $a_i \in [-0.5, 0.5)$, τέτοια ώστε:

- Το s_i αντιπροσωπεύει τη γλωσσική προέλευση της πληροφορίας.
- Το a_i αποτελεί μια αριθμητική τιμή, η οποία εκφράζει την απόδοση της μετάφρασης από το αρχικό αποτέλεσμα β στο πλησιέστερο όρο i στο σύνολο γλωσσικών στοιχείων (s_i) , δηλαδή τη συμβολική μετάφραση.

Το παραπάνω μοντέλο ορίζει ένα σύνολο συναρτήσεων μετάφρασης ανάμεσα σε γλωσσικούς όρους και στη διπλή αναπαράσταση, και ανάμεσα σε αριθμητικές τιμές και στη διπλή αναπαράσταση. Αν $S = \{s_0, \dots, s_g\}$ είναι ένα σύνολο γλωσσικών όρων και $\beta \in [0, g]$ μια τιμή που αντιπροσωπεύει το αποτέλεσμα μιας συμβολικής συνάθροισης, τότε η διπλή αναπαράσταση που εκφράζει την ισοδύναμη με το β πληροφορία λαμβάνεται από την ακόλουθη συνάρτηση:

- $\Delta(\beta) = (s_i, a)$, με $\begin{cases} s_i \\ a = \beta - i \end{cases}$, $i = \text{round}(\beta)$, $a_i \in [-0.5, 0.5)$, όπου $\text{round}(\cdot)$ η συνήθης συνάρτηση στρογγυλοποίησης, το περιεχόμενο του s_i είναι το πλησιέστερο στο “ β ” και το “ a ” είναι η τιμή της συμβολικής μετάφρασης.

- Υπάρχει πάντοτε μια συνάρτηση Δ^{-1} τέτοια, ώστε από 2-tuple να επιστρέφει την αντίστοιχη αριθμητική της αξία $\beta \in [0, g] \subset \mathfrak{R}$. Υπό αυτό το πρίσμα, ορίζεται η ακόλουθη συνάρτηση:
 - $\Delta^{-1}: S \times [-.5, .5] \rightarrow [0, g]$
 - $\Delta^{-1}(s_i, \alpha) = i + \alpha = \beta$.

Επιπλέον, η αντιστροφή της διπλής αναπαράστασης μπορεί να οριστεί σαν $n(s_i, a) = \Delta[g - \Delta^{-1}(s_i, a)]$ $n(s_i, a) = \Delta[g - \Delta^{-1}(s_i, a)]$, όπου $g + 1$ $g + 1$ είναι το πλήθος της διατεταγμένης γλωσσικής κλίμακας $S = \{s_0, s_1, \dots, s_g\}$.

Επιπρόσθετα, η σύγκριση δύο γλωσσικών πληροφοριών που απεικονίζονται με τη διπλή αναπαράσταση γίνεται λαμβάνοντας υπόψη τη διάταξη των γλωσσικών μεταβλητών. Έστω (s_k, a_1) (s_k, a_1) και (s_l, a_2) δύο αναπαραστάσεις γλωσσικής πληροφορίας. Η σύγκριση τότε γίνεται ως ακολούθως:

- Αν $k < l$ $k < l$ τότε $(s_k, a_1) < (s_l, a_2)$.
- Αν $k = l$ τότε, τρεις διαφορετικές περιπτώσεις ισχύουν:
 1. Αν $a_1 = a_2$ τότε $(s_k, a_1) = (s_l, a_2)$ που σημαίνει ότι αναπαριστούν την ίδια πληροφορία.
 2. Αν $a_1 < a_2$ τότε $(s_k, a_1) < (s_l, a_2)$.
 3. Αν $a_1 > a_2$ τότε $(s_k, a_1) > (s_l, a_2)$.

Ένα παράδειγμα της διπλής αναπαράστασης είναι αν υποθέσουμε τη γλωσσική κλίμακα $S = \{s_0, s_l, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6\}$ $S = \{s_0, s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6\}$ και το γλωσσικό αθροιστικού τελεστή, με αποτέλεσμα την τιμή $\beta = 2.8$ $\beta = 2.8$. Τότε, η διπλή απεικόνιση της πληροφορίας $\beta = 2.8$ είναι η $\Delta(2.8) = (s_3, -0.2)$.

Με βάση την αρχή ότι η συνάθροιση γλωσσικών πληροφοριών πρέπει να έχει σαν αποτέλεσμα την επίτευξη μίας τιμής που αθροίζει τις προηγούμενες, έτσι και στη διπλή απεικόνιση η συνάθροιση μίας ομάδας διπλών αναπαραστάσεων πρέπει να είναι πάλι μια διπλή αναπαράσταση. Κάθε αριθμητικός αθροιστικός τελεστής μπορεί να επεκταθεί ώστε να συνδυάζει διπλές αναπαραστάσεις και να καταλήγει σε ένα αποτέλεσμα διπλής αναπαράστασης, με τη βοήθεια και των συναρτήσεων Δ και Δ^{-1} , όπως προσδιορίστηκαν παραπάνω. Σε αυτό το πλαίσιο, οι τελεστές του αριθμητικού μέσου και του σταθμισμένου μέσου όρου, με βάση τη διπλή αναπαράσταση μπορούν να οριστούν ως εξής:

- Έστω $x = \{(x_1, a_1), (x_2, a_2), \dots, (x_n, a_n)\}$ $x = \{(x_1, a_1), (x_2, a_2), \dots, (x_n, a_n)\}$ ένα σύνολο διπλών αναπαραστάσεων. Ο αριθμητικός μέσος διπλής αναπαράστασης ορίζεται ως:

$$M((x_1, a_1), (x_2, a_2), \dots, (x_n, a_n)) = \Delta\left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta^{-1}(x_i, a_i)\right] = \Delta\left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \beta_i\right]$$

και επιτρέπει να γίνονται υπολογισμοί χωρίς να χάνεται πληροφορία.

- Έστω $x = \{(x_1, a_1), (x_2, a_2), \dots, (x_n, a_n)\}$ ένα σύνολο από διπλές αναπαραστάσεις και $W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ $W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ με $w_i \geq 0$ να είναι τα σχετιζόμενα βάρη τους. Ο διπλής αναπαράστασης σταθμισμένος μέσος όρος είναι:

$$M((x_1, a_1), (x_2, a_2), \dots, (x_n, a_n)) = \Delta\left[\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta^{-1}(x_i, a_i)) \cdot w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}\right] = \Delta\left[\frac{\sum_{i=1}^n \beta_i \cdot w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}\right].$$

3.5.6 Χρήση Μοντέλου Διπλής Αναπαράστασης στη Συμβολική Προσέγγιση

Η πρωτότυπη μεθοδολογία που παρουσιάζεται από τους Doukas et al στηρίζεται στον τελεστή LOWA, με την αναπαράσταση των γλωσσικών μεταβλητών να γίνεται με βάση την διπλή αναπαράσταση, για να αποφευχθεί η χρήση του τελεστή στρογγυλοποίησης που οδηγεί σε απώλεια πληροφορίας. Σκοπός της χρήσης της μεθόδου είναι η αναγνώριση εκείνων των προτάσεων που εξυπηρετούν σε μεγαλύτερο βαθμό τα χαρακτηριστικά των εμπλεκόμενων.

Ο «2-tuple LOWA» μπορεί να οριστεί ως ακολούθως:

Έστω $A = \{(r_1, a_1), \dots, (r_m, a_m)\}$ ένα σύνολο γλωσσικών αναπαραστάσεων, τέτοιο ώστε $(r_i, a_i) \in S \times [-0.5, 0.5]$. Το διάνυσμα άθροισης για τη διπλή αναπαράσταση, γίνεται ως εξής:

$$EC^m \{w_i, (r_{\sigma(j)}, a_{\sigma(j)}), j = 1, \dots, m\} = \Delta(w_1 \cdot \Delta^{-1}(r_{\sigma(1)}, a_{\sigma(1)}) + (1 - w_1) \Delta^{-1}(EC^{m-1} \{\eta_h, (r_{\sigma(h)}, a_{\sigma(h)}), h = 2, \dots, m\}))$$

Με το $\eta_h = w_h / \sum_2^m w_k$, $h = 2, \dots, m$, και $W = [w_1, \dots, w_m]$ να είναι το διάνυσμα βαρών σε σχέση με το A , τέτοιο ώστε:

- $w_i \in [0, 1]$
- $\sum w_i = 1$
- $B = \{(r_{\sigma(1)}, a_{\sigma(1)}), \dots, (r_{\sigma(m)}, a_{\sigma(m)})\}$, είναι ένα διατεταγμένο σύνολο του A , τέτοιο ώστε $(r_{\sigma(j)}, a_{\sigma(j)}) \leq (r_{\sigma(i)}, a_{\sigma(i)})$, $\forall i \leq j$.

Με βάση τα παραπάνω, οι υπολογισμοί γίνονται ως ακολούθως:

$$EC^m \{w_i, (r_{\sigma(j)}, a_{\sigma(j)}), j = 1, \dots, m\} = \Delta\left(\sum_{i=1}^m w_i \Delta^{-1}(r_{\sigma(i)}, a_{\sigma(i)})\right) = \Delta\left(\sum_{i=1}^m w_i \beta_{\sigma(i)}\right),$$

$$\text{όπου } \beta_{\sigma(i)} = \Delta^{-1}(r_{\sigma(i)}, a_{\sigma(i)})$$

Αν $m = 2$, τότε ορίζεται ως εξής:

$$EC^2 \{w_i, (r_{\sigma(i)}, a_{\sigma(i)}), i = 1, 2\} = \Delta(w_1 \cdot \Delta^{-1}(r_{\sigma(1)}, a_{\sigma(1)}) + (1 - w_1) \Delta^{-1}(r_{\sigma(2)}, a_{\sigma(2)})) = (r_f, a_f),$$

$$\text{τέτοιο ώστε } (r_f, a_f) = \Delta(\beta_{\sigma(j)} + w_1(\beta_{\sigma(i)} - \beta_{\sigma(j)}))$$

Αν $w_j = 1$ και $w_i = 0$ με $j \neq i \quad \forall i$, τότε το διάνυσμα άθροισης ορίζεται ως εξής:

$$EC^m \{w_i, (r_{\sigma(i)}, a_{\sigma(i)}), i = 1, \dots, m\} = (r_{\sigma(j)}, a_{\sigma(j)}).$$

Με αυτό τον τρόπο, οι προσεγγιστικοί υπολογισμοί ελαχιστοποιούνται. Σε αυτό το πλαίσιο, ο τελεστής LOWA διπλής αναπαράστασης ορίζεται ως ακολούθως:

Έστω $A = \{(r_1, a_1), \dots, (r_m, a_m)\}$ ένα σύνολο διπλών αναπαραστάσεων που πρέπει να συναθροιστούν, τότε ο αντίστοιχος τελεστής του LOWA, Φ^e , ορίζεται ως ακολούθως:

$$\Phi^e[(r_1, a_1), (r_m, a_m)] = W \cdot B^T = EC^m \{w_i, (r_{\sigma(i)}, a_{\sigma(i)}), i = 1, \dots, m\}$$

Συνοπτικά, η προσέγγιση της διπλής αναπαράστασης μπορεί να έχει πραγματικά σημαντική συνεισφορά στην υποστήριξη αποφάσεων αξιολόγησης «έξυπνων» πόλεων στο σύγχρονο περιβάλλον λειτουργίας του ενεργειακού τομέα, καθώς:

- Δίνει τη δυνατότητα να εκφράζονται τα βάρη των κριτηρίων και οι αποδόσεις των εναλλακτικών σε διακριτή κλίμακα.
- Δίνει τη δυνατότητα να γίνονται πράξεις με ασαφείς αριθμούς, αίροντας έτσι τους περιορισμούς της διακριτής κλίμακας.
- Μέσω αυτής της αναπαράστασης είναι εφικτή η μετάβαση από τη διακριτή κλίμακα στη συνεχή και ξανά στη διακριτή.
- Δεν υπάρχει το εγγενές πρόβλημα των γλωσσικών προσεγγίσεων (με βάση την αρχή της προέκτασης είτε της συμβολικής προσέγγισης) της απώλειας πληροφορίας και της χαμηλής «διακριτότητας» των εναλλακτικών μεταξύ τους.

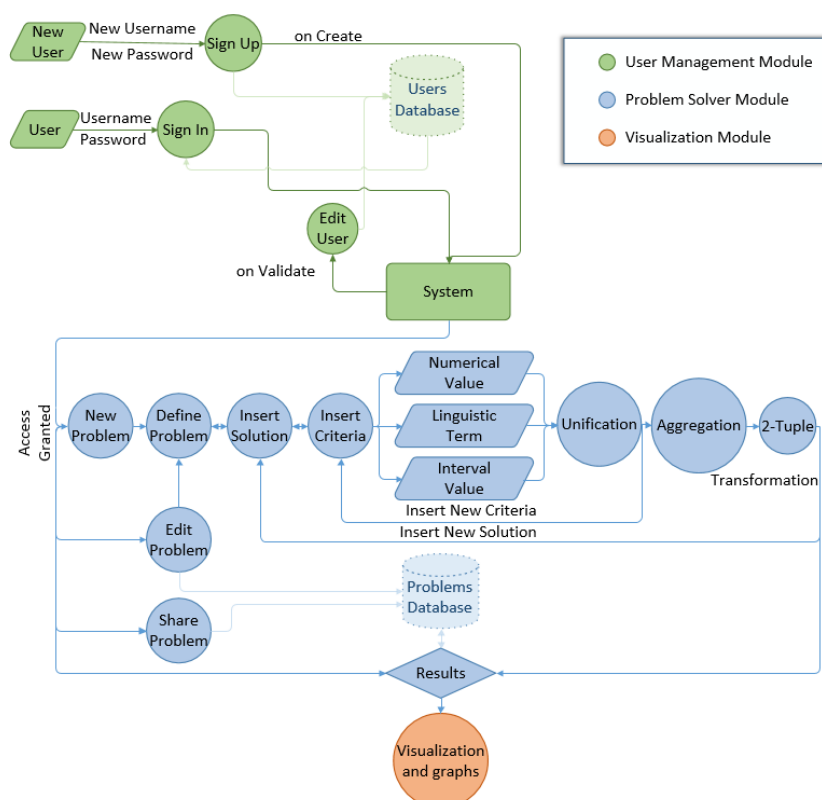
3.6 Το λογισμικό *OMIMS*

Σήμερα, οι αναλυτές των συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων (Decision Support Systems - DSS) χρησιμοποιούν σε ολοένα και συχνότερη βάση, μη ομοιογενείς μεταβλητές για την επίλυση προβλημάτων λήψης αποφάσεων. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για τις κυβερνήσεις όσον αφορά την ενεργειακή πολιτική. Είναι πράγματι ζωτικής σημασίας για τις τοπικές αρχές να γνωρίζουν πόσο βέλτιστη είναι η χρήση της ενέργειάς τους, συλλέγοντας και αναλύοντας πολυδιάστατα σύνολα δεδομένων. Στο πλαίσιο αυτό και για τις ανάγκες ενός Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων που αφορά τις «έξυπνες» πόλεις, αναπτύχθηκε αυτό το διαδικτυακό εργαλείο. Το OMIMS (Online Multidisciplinary Information Management Software), είναι ένα διαδικτυακό εργαλείο λογισμικού που είναι σε θέση να αξιολογήσει μη ομοιογενείς μεταβλητές σε μία «έξυπνη» πόλη.

Το OMIMS βασίζεται στο μοντέλο αναπαράστασης 2-tuple του F. Herrera, συνδυάζοντας επιπλέον πολλαπλά οπτικά και συνεργατικά εργαλεία. Ειδικότερα, το λογισμικό αναπτύσσεται χρησιμοποιώντας διάφορα εργαλεία ανοικτού κώδικα και περιέχει ένα σύνολο από δυναμικές ιστοσελίδες, φόρμες, μηχανισμούς απεικόνισης και βάση δεδομένων MySQL.

Οι ιστοσελίδες κατασκευάστηκαν με χρήση των γλωσσών PHP και JavaScript προσφέροντας στο χρήστη έναν ευέλικτο, αξιόπιστο και διαφανή τρόπο εκτίμησης της ενεργειακής απόδοσης μιας πόλης. Η δομή του λογισμικού αποτελείται από τρία βασικά στοιχεία και μια τελική αναφορά (Σχ. 3.13). Αυτές οι τρεις ενότητες παρουσιάζονται παρακάτω:

1. Η ενότητα διαχείρισης χρήστη είναι υπεύθυνη για την εγγραφή λογαριασμού και τον έλεγχο ταυτότητας χρήστη. Η μονάδα διαχείρισης προβλημάτων χρησιμοποιείται για την αποθήκευση, φόρτωση, επεξεργασία και κοινή χρήση των διαφόρων προβλημάτων.
2. Μια μονάδα επίλυσης προβλημάτων ενοποιεί και συγκεντρώνει τα αποτελέσματα και δημιουργεί τα 2-tuples για κάθε λύση του προβλήματος.
3. Η ενότητα οπτικοποίησης παρέχει γραφικές πληροφορίες σχετικά με τις διάφορες λύσεις και τη σύγκρισή τους. Οι διαφορετικές λειτουργικές μονάδες αλληλεπιδρούν με το διακομιστή βάσης δεδομένων MySQL για να αποθηκεύουν πληροφορίες σχετικά με τους χρήστες και τα προβλήματα μοντελοποίησης [66].



Σχήμα 3.13: Διάγραμμα ροής λειτουργίας λογισμικού OMIMS (Papastamatiou et al., 2014a)

Οι αλγόριθμοι του εργαλείου διαχειρίζονται τα μη-ομογενή δεδομένα χρησιμοποιώντας τις τρεις φάσεις της μεθοδολογίας του Herrera et al. (2005):

- *Ομογενοποίηση των πληροφοριών (Unification of the information)*: Η φάση αυτή ενοποιεί τις ετερογενείς πληροφορίες (αριθμητικές τιμές, διαστήματα τιμών και γλωσσικούς όρους) σε ένα Σύνολο Βασικών Γλωσσικών Όρων (BLTS – Basic Linguistic Term Set).
- *Συνάθροιση των τιμών προτίμησης (Aggregation of the preferred values)*: Είναι η φάση υπολογισμού και της συνάθροισης των τιμών προτίμησης.
- *Μετασχηματισμός των αποτελεσμάτων στο μοντέλο διπλής αναπαράστασης της γλωσσολογικής πληροφορίας «2-Tuple»*: Είναι η διεργασία που χρησιμοποιείται για να εκφράσει τα αποτελέσματα με το μοντέλο διπλής αναπαράστασης «2-tuple».

Στο επόμενο κεφάλαιο, για την αξιολόγηση των «έξυπνων» πόλεων, θα χρησιμοποιήσουμε τόσο τις 3 δημοφιλείς μεθόδους ELECTRE I με κατώφλι Veto, PROMETHEE και TOPSIS, όσο και το διαδικτυακό εργαλείο OMIMS, το οποίο βασίζεται στο πολυκριτηριακό μοντέλο διπλής αναπαράστασης (“2-tuple”).

***Κεφάλαιο 4: Πολυκριτήριες
Μέθοδοι Αξιολόγησης «Έξυπνων»
Πόλεων***

Στο τέταρτο κεφάλαιο της εργασίας θα παρουσιαστεί η εφαρμογή των πολυκριτήριων μεθόδων που αναλύθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο την αξιολόγηση πέντε «έξυπνων» πόλεων.

4.1 Προσδιορισμός του Προβλήματος Απόφασης

Στον παρακάτω πίνακα συγκεντρώνονται τα βασικά στοιχεία του προβλήματος απόφασης, ενώ στη συνέχεια του υποκεφαλαίου προσδιορίζονται οι εναλλακτικές και τα κριτήρια του προβλήματος, πριν μεταβούμε στην επίλυσή του.

Πίνακας 4.1: Το Πρόβλημα Απόφασης

Θέμα	Κατάταξη Έξυπνων Πόλεων
Σκοπός	Ανάδειξη των πόλεων που προπορεύονται στον τομέα της «έξυπνης» ανάπτυξης και ανάλυση αυτών με σκοπό την ανάπτυξη στρατηγικής για τη βελτίωση άλλων πόλεων.
Προβληματική	Τύπου γ: Κατάταξη
Προκλήσεις	Δεν υπάρχει σαφής ορισμός για την "έξυπνη" πόλη. Για να βελτιώσουμε μια πόλη, το πρώτο βήμα είναι να καθορίσουμε το μοντέλο που θα ακολουθηθεί και τις περιοχές στις οποίες η πόλη θα πρέπει να βελτιωθεί.
Αποφασίζων	Κυβέρνηση (αρμόδια υπουργεία)
Αναλυτές	Σύμβουλοι μηχανικοί
Ενδιαφερόμενα μέρη	Φοιτητική Κοινότητα, Κυβέρνηση, Πολιτεία
Υποστήριξη Αποφάσεων	Χρήση πολυκριτήριων μεθόδων υποστήριξης αποφάσεων από τους αναλυτές - συμβούλους μηχανικούς
Πολυκριτήριες Μέθοδοι	ELECTRE I με κατώφλι Veto (βλ. Κεφάλαιο 3.4.5) PROMETHEE (βλ. Κεφάλαιο 3.4.4) TOPSIS (βλ. Κεφάλαιο 3.4.6)

Διπλής Αναπαράστασης (2-Tuple) με χρήση του εργαλείου OMIMS (βλ. Κεφάλαιο 3.5.6, 3.6)

* Η ELECTRE I με κατώφλι Veto δεν υποστηρίζει κατάταξη, αλλά μπορούμε να εξάγουμε τις πόλεις που βρίσκονται υψηλά στην κατάταξη.

4.1.1 Εναλλακτικές

Για το σκοπό της παρούσας εργασίας, αποφασίσαμε να επιλέξουμε τις πέντε πόλεις (Ευρωπαϊκές και μη), για τις οποίες διαθέταμε στοιχεία που προσδιόριζαν την απόδοσή τους. Οι πόλεις αυτές, που αποτελούν τις εναλλακτικές του προβλήματος απόφασης είναι οι: Κοπεγχάγη, Ρώμη, Βαρκελώνη, Νέα Υόρκη και Αθήνα.

4.1.2 Κριτήρια

Για την επιλογή των κριτηρίων στηριχθήκαμε στο Easy Park's 2017 Smart Cities Index [65], όπου είχαν διεξαχθεί συγκεκριμένες μετρήσεις με σκοπό τον υπολογισμό της απόδοσης κάθε πόλης σε συγκεκριμένους τομείς όπως αναλύεται παρακάτω.

4.1.2.1 Κριτήριο 1: Μετακίνηση

Πίνακας 4.2: Παράγοντες Κριτηρίου 1 - Μετακίνησης

Εξυπνη Σταύθμευση	<ul style="list-style-type: none">Ποσοστό του πληθυσμού της πόλης που κατέχει αυτοκίνητο. Πηγές: τοπικές αναφορές απογραφών, Eurostat NUTS 2Αριθμός χώρων στάθμευσης στο κέντρο της πόλης ανά κlm².Χρήση εφαρμογών στάθμευσης για Smartphones. Πηγές: Τοπικές αναφορές, Διαδικτυακές βάσεις δεδομένων
Υπηρεσίες Διαμοιρασμού Αυτοκινήτων	<ul style="list-style-type: none">Εκτίμηση του αριθμού των διαμοιραζόμενων αυτοκινήτων σε σχέση με τον πληθυσμό της πόλης. Πηγές: τοπικές αναφορές, επίσημες ιστοσελίδες των car2Go, GoGet, Zipcar, DriveNow, Communauto, Car4away, Autonapül, LetsGo, GreenMobility, Autolib', GoCar, Enjoy, XXIImo, Bluemove, Sunfleet, Mobility

	<i>Carsharing και Flinkster</i>
	<ul style="list-style-type: none"> Πληθυσμιακά στοιχεία. Πηγή: <i>Google</i>
Κίνηση	<ul style="list-style-type: none"> Επίπεδα κυκλοφορικής συμφόρησης. Πηγές: <i>TomTom Traffic index, INRIX traffic scorecard (adjusted to TomTom), Google traffic (adjusted to TomTom)</i>
MMM	<ul style="list-style-type: none"> Ικανοποίηση για τα Μέσα Μαζικής Μεταφοράς. Πηγές: <i>τοπικές αναφορές, European Commission</i>

4.1.2.2 Κριτήριο 2: Βιωσιμότητα

Πίνακας 4.3: Παράγοντες Κριτηρίου 2 - Βιωσιμότητας

Καθαρή Ενέργεια	<ul style="list-style-type: none"> Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ. Πηγή: <i>Διεθνείς ενεργειακές στατιστικές αναφορές</i>
Έξυπνα Κτίρια	<ul style="list-style-type: none"> Ερευνητικά κέντρα - Επένδυση στην Έρευνα και Ανάπτυξη (ποσοστό ΑΕΠ). Πηγή: <i>Global Innovation Index 2017 (report)</i> Ενεργειακή αποδοτικότητα κτιρίων: ΑΕΠ ανά μονάδα ενεργειακής χρήσης. Πηγή: <i>Global Innovation Index 2017 (report)</i>
Διαχείριση Λυμάτων	<ul style="list-style-type: none"> Ποσοστό υγειονομικής διαχείρισης λυμάτων. Πηγές: <i>Τοπικές αναφορές, ΟΗΕ</i>
Προστασία του περιβάλλοντος	<ul style="list-style-type: none"> Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου (κατά κεφαλήν). Πηγή: <i>ΟΗΕ</i> Εκπομπές CO₂ (κατά κεφαλήν). Πηγή: <i>ΟΗΕ</i> Πληθυσμιακά στοιχεία. Πηγή: <i>Google</i>

4.1.2.3 Κριτήριο 3: Διακυβέρνηση

Πίνακας 4.4: Παράγοντες Κριτηρίου 3 - Διακυβέρνησης

Συμμετοχή πολιτών	<ul style="list-style-type: none"> Ποσοστό εκλογικής προσέλευσης. Πηγή: <i>International Institute for Democracy and Electoral Assistance</i>. Όπου δεν υπήρχε κοινοβούλιο, χρησιμοποιήθηκε το ποσοστό συμμετοχής στις
--------------------------	---

τοπικές εκλογές.

**Ψηφιακή
διακυβέρνηση**

- Ψηφιακή Υποδομή. *Πηγή: Digital City Index (με την υποστήριξη της Ευρωπαϊκής Επιτροπής)*
- Ποσοστό πληθυσμού που επισκέπτεται και χρησιμοποιεί τοπικές κυβερνητικές ιστοσελίδες.

**Πολοδομικός
σχεδιασμός**

- Ποσοστό «πράσινων» δημόσιων χώρων στην πόλη. *Πηγές: Τοπικά αρχεία και δορυφορικά δεδομένα (Google)*

Εκπαίδευση

- Προσωπικοί υπολογιστές ανά χιλιάδα πληθυσμού. *Πηγές: Τοπικές αναφορές, Διαδικτυακές βάσεις δεδομένων*
- Δείκτης ανάπτυξης Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών. *Πηγή: Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών*
- Αριθμός πανεπιστημίων στη λίστα με τα κορυφαία πανεπιστήμια, σε επίπεδο χώρας. *Πηγή: Παγκόσμια κατάταξη πανεπιστημίων 2016*
- Αριθμός πανεπιστημίων στην πρώτη δεκάδα της κατάταξης, σε επίπεδο πόλης. *Πηγή: Παγκόσμια κατάταξη πανεπιστημίων 2016*
- Αριθμός σπουδαστών στα 3 κορυφαία πανεπιστήμια, σε επίπεδο πόλης. *Πηγή: Παγκόσμια κατάταξη πανεπιστημίων 2016*
- Πληθυσμιακά δεδομένα πόλης, χώρας. *Πηγή: Google*

4.1.2.4 Κριτήριο 4: Καινοτόμα Οικονομία

Πίνακας 4.5: Παράγοντες Κριτηρίου 4 - Καινοτόμου Οικονομίας

**Επιχειρηματικό
Περιβάλλον**

- *Πηγή: Global Innovation Index*
- Αριθμός startup επιχειρήσεων. *Πηγή: Angel.co*
- Πληθυσμιακά δεδομένα. *Πηγή: Google*

4.1.2.5 Κριτήριο 5: Ψηφιοποίηση

Πίνακας 4.6: Παράγοντες Κριτηρίου 5 - Ψηφιοποίησης

4G LTE	<ul style="list-style-type: none"> Mbs, Speed Test Global Index (mobile). <i>Πηγή: Online Speed Test</i>
Ταχύτητα Διαδικτύου	<ul style="list-style-type: none"> Download Mbs, Speed Test Global Index (fixed broadband). <i>Πηγή: Online Speed Test Global Index</i> Download Mbs. <i>Πηγή: Ookla</i> Download Mbs. <i>Πηγή: Digital City Index</i>
Wi-Fi Hotspots	<ul style="list-style-type: none"> Δωρεάν Wi-Fi hotspots (εκτίμηση). <i>Πηγές: Διαδικτυακές Wi-Fi βάσεις δεδομένων, Google</i>
Διείσδυση Έξυπνων Κινητών	<ul style="list-style-type: none"> Χρήση «έξυπνων» κινητών (στη χώρα). <i>Πηγές: Τοπικές αναφορές, Διαδικτυακές βάσεις δεδομένων</i>

4.1.2.6 Κριτήριο 6: Βιοτικό Επίπεδο

Πίνακας 4.7: Παράγοντες Κριτηρίου 6 - Βιοτικού Επιπέδου

Βιοτικό επίπεδο	<ul style="list-style-type: none"> Μέσος όρος κατανάλωσης σε fast food, εστιατόρια, ένδυση, ενοίκιο, μεταφορές. <i>Πηγή: Expanistan</i> Μέσο καθαρό εισόδημα. <i>Πηγή: Average salary survey data</i> Προσαρμοσμένο στο κατά κεφαλήν ΑΕΠ. <i>Πηγή: World Bank Data</i>
------------------------	---

4.1.2.7 Κριτήριο 7: Αντίληψη Εμπειρογνομώνων

Πίνακας 4.8: Παράγοντες Κριτηρίου 7 - Αντίληψης Εμπειρογνομώνων

Πώς η πόλη γίνεται «εξυπνότερη»	<ul style="list-style-type: none"> 20.000 δημοσιογράφοι, έμπειροι όσον αφορά τον τεχνολογικό και πολεοδομικό σχεδιασμό, αξιολόγησαν μέσω ειδικού ερωτηματολογίου τη «νοημοσύνη» κάθε πόλης. <i>Πηγή: ερωτηματολόγια (μόνο στις πρώτες 100 πόλεις στην κατάταξη)</i>
--	--

4.1.3 Αρχικός Πίνακας Απόδοσης Εναλλακτικών

Αφού ορίσαμε τα κριτήρια και τις εναλλακτικές, είμαστε σε θέση να φτιάξουμε τον αρχικό πίνακα απόδοσης των εναλλακτικών. Κάθε παράγοντας, όπως ορίστηκε στο παραπάνω κεφάλαιο με τα κριτήρια, βαθμολογήθηκε στην κλίμακα 1-10, με στόχο κάθε κριτηρίου τη μεγιστοποίηση. Σε αυτή τη φάση, θα πρέπει να σημειωθεί ότι όλα τα δεδομένα (scores) προέρχονται από το Easy Park's 2017 Smart Cities Index [65] και έγινε χρήση του Μ.Ο. της απόδοσης των παραγόντων ανά κριτήριο.

Πίνακας 4.9: Αρχικός Πίνακας Απόδοσης Εναλλακτικών

	<i>Cr1</i>	<i>Cr2</i>	<i>Cr3</i>	<i>Cr4</i>	<i>Cr5</i>	<i>Cr6</i>	<i>Cr7</i>
	<i>Μετακίνηση</i>	<i>Βιωσιμότητα</i>	<i>Διακυβέρνηση</i>	<i>Καινοτόμα Οικονομία</i>	<i>Ψηφιοποίηση</i>	<i>Βιοτικό Επίπεδο</i>	<i>Αντίληψη Εμπειρογνομόνων</i>
<i>A – Κοπεγχάγη</i>	8.358	8.025	7.713	9.130	7.538	8.700	9.120
<i>B – Ρώμη</i>	4.623	6.928	5.353	2.470	4.355	3.420	6.000
<i>C – Βαρκελώνη</i>	6.060	5.945	5.028	5.850	6.928	3.940	8.100
<i>D – Νέα Υόρκη</i>	6.063	4.818	5.630	9.310	8.663	7.790	8.000
<i>E – Αθήνα</i>	3.490	4.033	3.615	1.950	4.355	3.510	4.500

4.1.4 Βάρη Κριτηρίων - Εντροπία

Υπάρχουν πολλές και διαφορετικές μέθοδοι προσδιορισμού των βαρών των κριτηρίων, κάποιες πιο απλές και άλλες πιο σύνθετες. Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου εξαρτάται από το ύφος της διαδικασίας απόφασης και τις προτιμήσεις του αναλυτή. Δεδομένου ότι οι αποδόσεις των εναλλακτικών ήταν ήδη στη διάθεσή μας, θεωρήσαμε ότι ο βέλτιστος τρόπος υπολογισμού των βαρών των κριτηρίων είναι η μέθοδος της εντροπίας.

Σε κάθε πρόβλημα υποστήριξης αποφάσεων, η σημαντικότητα ενός κριτηρίου είναι συνάρτηση: α) των προτιμήσεων του αποφασίζοντα, και β) της πληροφορίας που το συγκεκριμένο κριτήριο παρέχει στην αξιολόγηση. Για παράδειγμα, ένα κριτήριο που ο αποφασίζων θεωρεί σημαντικό, μπορεί να μην είναι χρήσιμο σε μια συγκεκριμένη αξιολόγηση, εάν όλες οι εναλλακτικές έχουν περίπου ταυτόσημες επιδόσεις σε αυτό.

Αντίθετα, ένα κριτήριο που ο αποφασίζοντας θεωρεί λιγότερο σημαντικό, μπορεί να είναι ιδιαίτερα ουσιαστικό για την αξιολόγηση, εάν οι διάφορες εναλλακτικές παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές, ως προς τις επιδόσεις τους στο κριτήριο αυτό.

Το πιο διαδεδομένο μέτρο πληροφορίας είναι η εντροπία. Θεωρώντας μια διακριτή μεταβλητή X οι τιμές της οποίας ανήκουν στο σύνολο $\{x_1, x_2, \dots, x_m\}$, η εντροπία ορίζεται ως εξής:

$$H(x) = -K \sum_{i=1}^m p(x_i) \ln p(x_i)$$

όπου $K > 0$ είναι μια σταθερά που προσδιορίζει την κλίμακα της μέτρησης και $p(x_i) = \Pr(X = x_i)$ είναι η πιθανότητα η τυχαία μεταβλητή X να πάρει την τιμή x_i (στην περίπτωση όπου $p(x_i) = 0$, θεωρείται ότι $p(x_i) \ln(p(x_i)) = 0$). Όσο μεγαλύτερη είναι η εντροπία, τόσο θεωρείται ότι αυξάνει η αβεβαιότητα/τυχειότητα για την τυχαία μεταβλητή X .

Το μέτρο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τη μέτρηση της πληροφορίας που παρέχει κάθε κριτήριο σε μια διαδικασία αξιολόγησης ενός συνόλου εναλλακτικών. Έστω, λοιπόν, ένα σύνολο m εναλλακτικών δραστηριοτήτων, οι επιδόσεις των οποίων σε κάποιο κριτήριο x_j είναι $x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj}$, με $0 \leq x_{ij} \leq 1$. Συμβολίζοντας ως D_j το άθροισμα των επιδόσεων ($D_j = \sum_{i=1}^m x_{ij}$), η εντροπία του κριτηρίου x_j είναι (Zeleny, 1982):

$$H(x_j) = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m \frac{x_{ij}}{D_j} \ln \frac{x_{ij}}{D_j}$$

Όσο μεγαλύτερη είναι η εντροπία του κριτηρίου x_j , τόσο μικρότερη πληροφορία παρέχει στην περιγραφή και αξιολόγηση των εναλλακτικών. Η μέγιστη τιμή της εντροπίας εμφανίζεται εάν όλες οι εναλλακτικές έχουν την ίδια επίδοση ($x_{1j} = x_{2j} = \dots = x_{mj}$), οπότε $H(x_j) = 1$. Με βάση αυτό το μέτρο εντροπίας, η σημαντικότητα ενός κριτηρίου x_j ανάλογα με την πληροφορία που παρέχει μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$$\tilde{\lambda}_j = \frac{1}{n - H} [1 - H(x_j)]$$

όπου $H = \sum_{j=1}^n H(x_j)$ είναι η συνολική εντροπία των κριτηρίων.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα αποτελέσματα της παραπάνω μεθόδου για το δικό μας παράδειγμα, με την τελευταία γραμμή να δηλώνει τα βάρη των κριτηρίων μας.

Πίνακας 4.10: Βάρη Κριτηρίων

	1	2	3	4	5	6	7
	Μετακίνηση	Βιωσιμότητα	Διακυβέρνηση	Καινοτόμα Οικονομία	Ψηφιοποίηση	Βιοτικό Επίπεδο	Αντίληψη Εμπειρογνομόνων
A – Κοπεγχάγη	8.358	8.025	7.713	9.130	7.538	8.700	9.120
B – Ρώμη	4.623	6.928	5.353	2.470	4.355	3.420	6.000
C – Βαρκελώνη	6.060	5.945	5.028	5.850	6.928	3.940	8.100
D – Νέα Υόρκη	6.063	4.818	5.630	9.310	8.663	7.790	8.000
E – Αθήνα	3.490	4.033	3.615	1.950	4.355	3.510	4.500
Άθροισμα	28.593	29.748	27.338	28.710	31.838	27.360	35.720
H(x)	0.974574869	0.981906419	0.982114245	0.899304171	0.976329303	0.9471931	0.982209591
	0.099	0.071	0.070	0.393	0.092	0.206	0.069

Τα βάρη αυτά θα χρησιμοποιηθούν στις μεθόδους ELECTRE I με κατώφλι Veto, PROMETHEE και TOPSIS των Κεφαλαίων 4.2-4.4. Στη μέθοδο του λογισμικού OMIMS, που εξετάζεται τελευταία, τα βάρη θεωρούνται ισοδύναμα και αντιπροσωπεύουν την έννοια της ασαφούς πληροφορίας.

4.2 ELECTRE I με κατώφλι Βέτο

Ξεκινάμε με τον πίνακα απόδοσης των εναλλακτικών σε κάθε κριτήριο, και για τα κριτήρια με τα μεγαλύτερα βάρη (σημαντικότητα), όπως αυτά υπολογίστηκαν στην προηγούμενη ενότητα, ορίζουμε κατώφλι βέτο, το οποίο έχει ως στόχο τον έλεγχο των μεγάλων διαφορών μεταξύ των αποδόσεων των εναλλακτικών. Το κατώφλι βέτο συνιστά την ελάχιστη ανεκτή διαφορά για την υπεροχή της πρώτης εναλλακτικής.

Πίνακας 4.11: Πίνακας Απόδοσης Εναλλακτικών - ELECTRE I με κατώφλι βέτο

	Cr1	Cr2	Cr3	Cr4	Cr5	Cr6	Cr7
	Μετακίνηση	Βιωσιμότητα	Διακυβέρνηση	Καινοτόμα Οικονομία	Ψηφιοποίηση	Βιοτικό Επίπεδο	Αντίληψη Εμπειρογνομόνων
A – Κοπεγχάγη	8.358	8.025	7.713	9.130	7.538	8.700	9.120
B – Ρώμη	4.623	6.928	5.353	2.470	4.355	3.420	6.000
C – Βαρκελώνη	6.060	5.945	5.028	5.850	6.928	3.940	8.100
D – Νέα Υόρκη	6.063	4.818	5.630	9.310	8.663	7.790	8.000
E – Αθήνα	3.490	4.033	3.615	1.950	4.355	3.510	4.500
Βάρη (εντροπία)	0.099	0.071	0.070	0.393	0.092	0.206	0.069
Veto				0.5		0.5	

Στις μεθόδους ELECTRE η σχέση υπεροχής ορίζεται ως εξής:

$x_i S x_j \Leftrightarrow (x_i, x_j)$ ικανοποιεί τις συνθήκες συμφωνίας και διαφωνίας (ασυμφωνίας)

Πρέπει, συνεπώς, για κάθε δυνατό συνδυασμό ζευγών δράσεων (i, j) , να εφαρμόζουμε έλεγχο συμφωνίας και έλεγχο ασυμφωνίας για να καταλήξουμε σε ένα συμπέρασμα για τις ισχύουσες σχέσεις υπεροχής.

Για τον έλεγχο συμφωνίας, ορίζεται ένας δείκτης συμφωνίας, ο οποίος εκφράζεται από τη συνάρτηση:

$$C(x_i, x_j) = \sum_{\substack{\forall x_k \in F \\ x_{ik} - x_{jk} \geq 0}} w_k$$

Στη θέση (i, j) του πίνακα συμφωνίας υπολογίζουμε, λοιπόν, το άθροισμα των βαρών των κριτηρίων k , για τα οποία η απόδοση της εναλλακτικής i στο κριτήριο k (x_{ik}) είναι μεγαλύτερη ή ίση της απόδοσης της εναλλακτικής j στο κριτήριο k (x_{jk}). Με λίγα λόγια, όταν η εναλλακτική i , προτιμάται ή είναι αδιάφορη της j .

Πίνακας 4.12: Πίνακας Συμφωνίας

Πίνακας Συμφωνίας					
	A	B	C	D	E
A	1	1.000	1.000	0.515	1.000
B	0.000	1	0.140	0.071	0.794
C	0.000	0.860	1	0.140	1.000
D	0.485	0.929	0.860	1	1.000
E	0.000	0.298	0.000	0.000	1

Για τον έλεγχο ασυμφωνίας, χρησιμοποιούμε τον εξής τύπο:

$$D_k(x_i, x_j) = \begin{cases} 0 & \text{εάν } x_{jk} - x_{ik} < v_k \\ 1 & \text{εάν } x_{jk} - x_{ik} \geq v_k \end{cases}$$

όπου v_k είναι το κατώφλι βέτο του κριτηρίου k . Το κατώφλι βέτο ενός κριτηρίου χρησιμεύει στην περίπτωση που μια διαφορά τιμών υπέρ της δράσης j υπερβεί αυτό το κατώφλι. Τότε, το κριτήριο αυτό θέτει βέτο στην υπεροχή της i έναντι στην j και παύει να ισχύει.

Πίνακας 4.13: Πίνακας Ασυμφωνίας

Πίνακας Ασυμφωνίας					
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>
<i>A</i>	0	0	0	1	0
<i>B</i>	1	0	1	1	1
<i>C</i>	1	1	0	1	0
<i>D</i>	1	1	1	0	0
<i>E</i>	1	1	1	1	0

Το τελικό μητρώο υπεροχής συμπληρώνεται παρακάτω με τη βοήθεια των παραπάνω πινάκων συμφωνίας και ασυμφωνίας σύμφωνα με την εξής σχέση (όπου $s = 1$, αφού στο παράδειγμά μας είχαμε τέτοιες τιμές στον πίνακα συμφωνίας):

$$x_i S x_j \Leftrightarrow C(x_i, x_j) \geq s \wedge D_k(x_i, x_j) = 0, \forall k$$

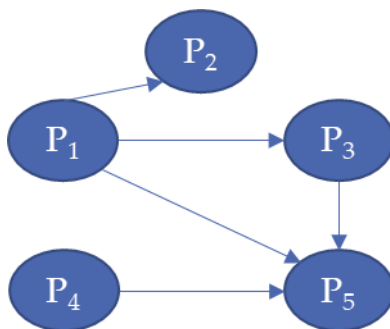
Πίνακας 4.14: Τελικός Πίνακας

Τελικός Πίνακας					
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>
<i>A</i>	-	1	1	0	1
<i>B</i>	0	-	0	0	0
<i>C</i>	0	0	-	0	1
<i>D</i>	0	0	0	-	1
<i>E</i>	0	0	0	0	-

Από το μητρώο υπεροχής, συμπεραίνουμε ότι όπου υπάρχει μονάδα, η εναλλακτική που αντιστοιχεί στη γραμμή του στοιχείου, υπερέχει της εναλλακτικής που αντιστοιχεί στη στήλη.

$$o_{ij} = 1 \Leftrightarrow x_i S x_j$$

Συνεπώς ισχύουν οι σχέσεις υπεροχής: $P_1 S P_2$ και $P_1 S P_3$, κι έτσι κατασκευάζεται ο πυρήνας των λύσεων: $\Pi = \{P_1, P_4\}$.



Σχήμα 4.1: Διάγραμμα Υπεροχής - ELECTRE I με κατώφλι βέτο

Με βάση το παραπάνω διάγραμμα, ως πλέον κατάλληλη επιλογή θα μπορούσε να θεωρηθεί η εναλλακτική P_1 (Κοπεγχάγη), η οποία ανήκει στον πυρήνα, υπερέρχει 3 εναλλακτικών, ενώ δεν υπολείπεται καμίας άλλης. Εναλλακτικά θα μπορούσε να επιλεγθεί η P_4 (Νέα Υόρκη), η οποία υπερέρχει της P_5 (Αθήνας) και επίσης δεν υπολείπεται καμίας άλλης εναλλακτικής.

4.3 PROMETHEE

Η μέθοδος PROMETHEE ορίζει αντίστοιχα τις συναρτήσεις ολικής και μερικής υπεροχής τις ως εξής:

$$\pi(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) = \sum_{k=1}^n w_k p_k(x_{ik}, x_{jk})$$

$$p_k(x_{ik}, x_{jk}) = \begin{cases} 0 & \text{εάν } x_{ik} < x_{jk} \\ h_k(x_{ik} - x_{jk}) & \text{εάν } x_{ik} \geq x_{jk} \end{cases}$$

Ορίζει επίσης έξι τύπους γενικευμένου κριτηρίου που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των ανά κριτήριο προτιμήσεων:

1. **Σύνηθες κριτήριο** (usual criterion): Στην περίπτωση αυτή θεωρείται ότι υπάρχει αδιαφορία μεταξύ δύο εναλλακτικών x_i και x_j στο κριτήριο x_k εάν και μόνο εάν $x_i = x_j$. Διαφορετικά, εάν, $x_i > x_j$, τότε θεωρείται ότι υπάρχει σαφής προτίμηση της x_i έναντι της x_j . Η συνάρτηση h_k , στην περίπτωση αυτή ορίζεται σύμφωνα με τον τύπο:

$$h_k(x_{ik} - x_{jk}) = \begin{cases} 0 & \text{εάν } x_{ik} = x_{jk} \\ 1 & \text{εάν } x_{ik} > x_{jk} \end{cases}$$

2. **Σχεδόν κριτήριο** (quasi criterion): Σύμφωνα με το γενικευμένο αυτό κριτήριο, θεωρείται ότι υπάρχει αδιαφορία μεταξύ δύο εναλλακτικών x_i και x_j στο κριτήριο x_k , όταν η διαφορά $x_{ik} - x_{jk}$ δεν υπερβαίνει ένα κατώφλι αδιαφορίας q_k . Διαφορετικά υπάρχει σαφής προτίμηση. Η συνάρτηση h_k , στην περίπτωση αυτή ορίζεται σύμφωνα με τον τύπο:

$$h_k(x_{ik} - x_{jk}) = \begin{cases} 0 & \text{εάν } x_{ik} = x_{jk} \\ 1 & \text{εάν } x_{ik} > x_{jk} \end{cases}$$

3. **Κριτήριο γραμμικής προτίμησης** (criterion with linear preference): Στην περίπτωση αυτή θεωρείται ότι εφόσον η διαφορά $x_{ik} - x_{jk}$ δεν υπερβαίνει ένα κατώφλι προτίμησης p_k , τότε ο βαθμός προτίμησης για την εναλλακτική x_i αυξάνει γραμμικά συναρτήσει της διαφοράς $x_{ik} - x_{jk}$. Όταν η διαφορά υπερβεί το κατώφλι προτίμησης p_k , τότε υπάρχει σαφής προτίμηση. Η συνάρτηση h_k , στην περίπτωση αυτή ορίζεται σύμφωνα με τον τύπο:

$$h_k(x_{ik} - x_{jk}) = \begin{cases} \frac{x_{ik} - x_{jk}}{p_k} & \text{εάν } x_{ik} - x_{jk} \leq p_k \\ 1 & \text{εάν } x_{ik} - x_{jk} > p_k \end{cases}$$

4. **Κριτήριο επιπέδου** (level criterion): Στο γενικευμένο αυτό κριτήριο χρησιμοποιείται τόσο το κατώφλι αδιαφορίας, όσο και το κατώφλι προτίμησης. Εάν $q_k < x_{ik} - x_{jk} \leq p_k$, τότε υπάρχει ελαφρά προτίμηση για την εναλλακτική x_i . Στις υπόλοιπες περιπτώσεις ισχύουν οι παρατηρήσεις που έγιναν στα προηγούμενα δύο γενικευμένα κριτήρια. Δηλαδή:

$$h_k(x_{ik} - x_{jk}) = \begin{cases} 0 & \text{εάν } x_{ik} - x_{jk} \leq q_k \\ 0.5 & \text{εάν } x_{ik} - x_{jk} \in (q_k, p_k] \\ 1 & \text{εάν } x_{ik} - x_{jk} > p_k \end{cases}$$

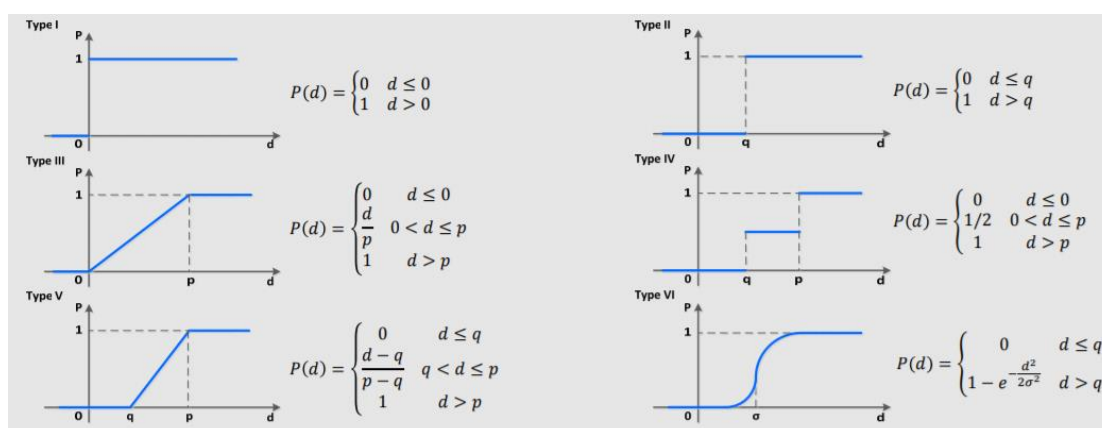
5. **Κριτήριο γραμμικής προτίμησης και περιοχής αδιαφορίας** (criterion with linear preference and indifference area): Στην περίπτωση αυτή θεωρείται ότι ο βαθμός προτίμησης αυξάνει γραμμικά από το μηδέν στο ένα, όταν η διαφορά $x_{ik} - x_{jk}$ βρίσκεται μεταξύ του ορίου αδιαφορίας και του ορίου προτίμησης:

$$h_k(x_{ik} - x_{jk}) = \begin{cases} 0 & \text{εάν } x_{ik} - x_{jk} \leq q_k \\ \frac{x_{ik} - x_{jk} - q_k}{p_k - q_k} & \text{εάν } x_{ik} - x_{jk} \in (q_k, p_k] \\ 1 & \text{εάν } x_{ik} - x_{jk} > p_k \end{cases}$$

6. **Κριτήριο του Gauss** (Gaussian criterion): Στην τελευταία αυτή περίπτωση, ο βαθμός προτίμησης περιγράφεται από μια συνεχή συνάρτηση της ακόλουθης μορφής (ως σ συμβολίζεται η παράμετρος που καθορίζει το σημείο αλλαγής στην καμπή της συνάρτησης):

$$h_k(x_{ik} - x_{jk}) = 1 - \exp \left[- \frac{(x_{ik} - x_{jk})^2}{2\sigma^2} \right]$$

Οι παραπάνω τύποι κριτηρίων συγκεντρώνονται στο επόμενο σχήμα, όπου d , όπως έχει αναφερθεί στο κεφάλαιο 3.4.4, είναι μια συνάρτηση της διαφοράς $x_{ik} - x_{jk}$ μεταξύ δύο εναλλακτικών λύσεων για οποιοδήποτε κριτήριο k :



Σχήμα 4.2: Τύποι γενικευμένου κριτηρίου PROMETHEE [67]

Αρχίζουμε εκ νέου από τον πίνακα απόδοσης των εναλλακτικών, ορίζοντας κατώφλια αδιαφορίας και προτίμησης στα κριτήρια με τη μεγαλύτερη σημαντικότητα. Ουσιαστικά:

- q_j (Κατώφλι αδιαφορίας): Η μεγαλύτερη τιμή της διαφοράς $x_{ik} - x_{jk}$ για την οποία οι εναλλακτικές λύσεις είναι μεταξύ τους αδιάφορες για το κριτήριο k .
- p_j (Κατώφλι προτίμησης): Η μικρότερη τιμή της της διαφοράς $x_{ik} - x_{jk}$ στο κριτήριο k πάνω από την οποία υπάρχει σαφής προτίμηση.

Πίνακας 4.15: Πίνακας Απόδοσης Εναλλακτικών - PROMETHEE

	Cr1	Cr2	Cr3	Cr4	Cr5	Cr6	Cr7
	Μετακίνηση	Βιωσιμότητα	Διακοβέρνηση	Καινοτόμα Οικονομία	Ψηφιοποίηση	Βιοτικό Επίπεδο	Αντίληψη Εμπειρογνομόνων
A – Κοπεγχάγη	8.358	8.025	7.713	9.130	7.538	8.700	9.120
B – Ρόμη	4.623	6.928	5.353	2.470	4.355	3.420	6.000
C – Βαρκελώνη	6.060	5.945	5.028	5.850	6.928	3.940	8.100
D – Νέα Υόρκη	6.063	4.818	5.630	9.310	8.663	7.790	8.000
E – Αθήνα	3.490	4.033	3.615	1.950	4.355	3.510	4.500
Βάρη (εντροπία)	0.099	0.071	0.070	0.393	0.092	0.206	0.069
Τύπος κριτηρίου	3	3	1	5	3	5	1
Κατώφλι αδιαφορίας q	0	0	N/A	0.5	0	0.2	N/A
Κατώφλι προτίμησης p	1	1	N/A	1.5	1	0.5	N/A

Επιλέγουμε να χρησιμοποιήσουμε τον γενικευμένο τύπο γραμμικής προτίμησης και περιοχής αδιαφορίας για τα κριτήρια 4 και 6, τον τύπο γραμμικής προτίμησης για τα κριτήρια 1, 2 και 5, ενώ για τα κριτήρια 3 και 7, τον σύνηθες κριτήριο.

Έτσι, με βάση τους τύπους κάθε κριτηρίου προκύπτουν οι επόμενοι πίνακες προτίμησης για κάθε κριτήριο.

Πίνακας 4.16: Πίνακας προτίμησης κριτηρίου 1 - Μετακίνησης

Κριτήριο 1	A	B	C	D	E
A	0	1	1	1	1
B	0	0	0	0	1
C	0	1	0	0	1
D	0	1	0.002	0	1
E	0	0	0	0	0

Πίνακας 4.17: Πίνακας προτίμησης κριτηρίου 2 - Βιωσιμότητας

Κριτήριο 2	A	B	C	D	E
A	0	1	1	1	1
B	0	0	0.983	1	1
C	0	0	0	1	1
D	0	0	0	0	0.785
E	0	0	0	0	0

Πίνακας 4.18: Πίνακας προτίμησης κριτηρίου 3 - Διακυβέρνησης

Κριτήριο 3	A	B	C	D	E
A	0	1	1	1	1
B	0	0	1	0	1
C	0	0	0	0	1
D	0	1	1	0	1
E	0	0	0	0	0

Πίνακας 4.19: Πίνακας προτίμησης κριτηρίου 4 - Καινοτόμου οικονομίας

Κριτήριο 4	A	B	C	D	E
A	0	1	1	0	1
B	0	0	0	0	0.020
C	0	1	0	0	1
D	0	1	1	0	1
E	0	0	0	0	0

Πίνακας 4.20: Πίνακας προτίμησης κριτηρίου 5 - Ψηφιοποίησης

Κριτήριο 5	A	B	C	D	E
A	0	1	0.610	0	1
B	0	0	0	0	0
C	0	1	0	0	1
D	1	1	1	0	1
E	0	0	0	0	0

Πίνακας 4.21: Πίνακας προτίμησης κριτηρίου 6 - Βιοτικού επιπέδου

Κριτήριο 6	A	B	C	D	E
A	0	1	1	1	1
B	0	0	0	0	0
C	0	1	0	0	0.767
D	0	1	1	0	1
E	0	0	0	0	0

Πίνακας 4.22: Πίνακας προτίμησης κριτηρίου 7 - Αντίληψης εμπειρογνομόνων

Κριτήριο 7	A	B	C	D	E
A	0	1	1	1	1
B	0	0	0	0	1
C	0	1	0	1	1
D	0	1	0	0	1
E	0	0	0	0	0

Για την εκμετάλλευση της σχέσης υπεροχής που αναπτύσσεται υπολογίζονται τα ακόλουθα μεγέθη για κάθε εναλλακτική x_i :

$$1. \text{ Ροή εισόδου (entering flow): } \varphi^-(x_i) = \frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m \pi(x_j, x_i)$$

$$2. \text{ Ροή εξόδου (leaving flow): } \varphi^+(x_i) = \frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m \pi(x_i, x_j)$$

$$3. \text{ Καθαρή ροή (net flow): } \Phi(x_i) = \varphi^+(x_i) - \varphi^-(x_i),$$

όπου m το πλήθος των εναλλακτικών υπό αξιολόγηση. Η ροή εξόδου $\varphi^+(x_i)$ δείχνει την υπεροχή της εναλλακτικής x_i έναντι των υπολοίπων εναλλακτικών, ενώ η ροή εισόδου $\varphi^-(x_i)$ αναπαριστά την υπεροχή όλων των υπολοίπων εναλλακτικών έναντι της x_i .

Πίνακας 4.23: Πίνακας Ροών

$\Pi(i, j)$	A	B	C	D	E	Άθροισμα	Φ^+
A	0.000	1.000	0.964	0.515	1.000	3.479	0.870
B	0.000	0.000	0.139	0.071	0.317	0.526	0.132
C	0.000	0.860	0.000	0.140	0.952	1.952	0.488
D	0.092	0.929	0.761	0.000	0.985	2.768	0.692
E	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Άθροισμα	0.092	2.789	1.864	0.725	3.254		
Φ^-	0.023	0.697	0.466	0.181	0.813		
Φ	0.847	-0.566	0.022	0.511	-0.813		

Η τελική κατάταξη προσδιορίζεται με τις ακόλουθες σχέσεις:

$$x_i \succ x_j \Leftrightarrow \Phi(x_i) > \Phi(x_j)$$

$$x_i \sim x_j \Leftrightarrow \Phi(x_i) = \Phi(x_j),$$

οπότε στην περίπτωσή μας είναι η εξής: $A \rightarrow D \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow E$, δηλαδή:

Κοπεγχάγη \rightarrow Νέα Υόρκη \rightarrow Βαρκελώνη \rightarrow Ρώμη \rightarrow Αθήνα.

4.4 TOPSIS

Και σε αυτή τη μέθοδο, ξεκινάμε από τον πίνακα απόδοσης και προβαίνουμε στην κανονικοποίησή του με βάση την παρακάτω σχέση:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}},$$

όπου x_{ij} είναι τα στοιχεία του αρχικού πίνακα απόδοσης, ενώ το στοιχείο r_{ij} αντιπροσωπεύει την κανονικοποιημένη απόδοση της εναλλακτικής A_i σε σχέση με το κριτήριο X_j .

Πίνακας 4.24: Πίνακας Απόδοσης Εναλλακτικών - TOPSIS

	<i>Cr1</i>	<i>Cr2</i>	<i>Cr3</i>	<i>Cr4</i>	<i>Cr5</i>	<i>Cr6</i>	<i>Cr7</i>
	<i>Μετακίνηση</i>	<i>Βιωσιμότητα</i>	<i>Διακυβέρνηση</i>	<i>Καινοτόμα Οικονομία</i>	<i>Ψηφιοποίηση</i>	<i>Βιοτικό Επίπεδο</i>	<i>Αντίληψη Εμπειρογνομόνων</i>
<i>A – Κοπεγχάγη</i>	8.358	8.025	7.713	9.130	7.538	8.700	9.120
<i>B – Ρώμη</i>	4.623	6.928	5.353	2.470	4.355	3.420	6.000
<i>C – Βαρκελώνη</i>	6.060	5.945	5.028	5.850	6.928	3.940	8.100
<i>D – Νέα Υόρκη</i>	6.063	4.818	5.630	9.310	8.663	7.790	8.000
<i>E – Αθήνα</i>	3.490	4.033	3.615	1.950	4.355	3.510	4.500

Πίνακας 4.25: Κανονικοποιημένος Πίνακας Απόδοσης

Κανονικοποιημένος Πίνακας Απόδοσης							
	<i>Cr1</i>	<i>Cr2</i>	<i>Cr3</i>	<i>Cr4</i>	<i>Cr5</i>	<i>Cr6</i>	<i>Cr7</i>
r_{ij}	<i>Μετακίνηση</i>	<i>Βιωσιμότητα</i>	<i>Διακυβέρνηση</i>	<i>Καινοτόμα Οικονομία</i>	<i>Ψηφιοποίηση</i>	<i>Βιοτικό Επίπεδο</i>	<i>Αντίληψη Εμπειρογνομόνων</i>
<i>A – Κοπεγχάγη</i>	0.047	0.043	0.049	0.043	0.035	0.049	0.034
<i>B – Ρώμη</i>	0.026	0.037	0.034	0.012	0.020	0.019	0.022
<i>C – Βαρκελώνη</i>	0.034	0.032	0.032	0.027	0.032	0.022	0.030
<i>D – Νέα Υόρκη</i>	0.034	0.026	0.036	0.043	0.040	0.044	0.030
<i>E – Αθήνα</i>	0.020	0.022	0.023	0.009	0.020	0.020	0.017
Βάρη (εντροπία)	0.099	0.071	0.070	0.393	0.092	0.206	0.069

Χρησιμοποιώντας τα βάρη που υπολογίσαμε με τη μέθοδο της εντροπίας, δημιουργούμε τον σταθμισμένο κανονικοποιημένο πίνακα απόδοσης, ο οποίος προκύπτει απλά μετά από τον πολλαπλασιασμό του κανονικοποιημένου πίνακα απόδοσης με τα σχετικά βάρη:

Πίνακας 4.26: Σταθμισμένος Κανονικοποιημένος Πίνακας Απόδοσης

Σταθμισμένος Κανονικοποιημένος Πίνακας Απόδοσης							
	<i>Cr1</i>	<i>Cr2</i>	<i>Cr3</i>	<i>Cr4</i>	<i>Cr5</i>	<i>Cr6</i>	<i>Cr7</i>
u_{ij}	<i>Μετακίνηση</i>	<i>Βιωσιμότητα</i>	<i>Διακυβέρνηση</i>	<i>Καινοτόμα Οικονομία</i>	<i>Ψηφιοποίηση</i>	<i>Βιοτικό Επίπεδο</i>	<i>Αντίληψη Εμπειρογνομόνων</i>
<i>A – Κοπεγχάγη</i>	0.005	0.003	0.003	0.017	0.003	0.010	0.002
<i>B – Ρώμη</i>	0.003	0.003	0.002	0.005	0.002	0.004	0.002
<i>C – Βαρκελώνη</i>	0.003	0.002	0.002	0.011	0.003	0.005	0.002
<i>D – Νέα Υόρκη</i>	0.003	0.002	0.002	0.017	0.004	0.009	0.002
<i>E – Αθήνα</i>	0.002	0.002	0.002	0.004	0.002	0.004	0.001

Οι ιδανικές τιμές U^+ και οι αρνητικά ιδανικές τιμές U^- γενικά προκύπτουν ως εξής:

$$U^+ = \{(\max u_{ij} | j \in J) \text{ ή } (\min u_{ij} | j \in J'), i = 1, 2, \dots, m\} = (u_1^+, u_2^+, \dots, u_n^+)$$

$$U^- = \{(\min u_{ij} | j \in J) \text{ ή } (\max u_{ij} | j \in J'), i = 1, 2, \dots, m\} = (u_1^-, u_2^-, \dots, u_n^-), \text{ όπου}$$

$$J = \{j = 1, 2, \dots, n | u_{ij}, \text{ μια μεγαλύτερη απόδοση είναι επιθυμητή}\}$$

$$J' = \{j = 1, 2, \dots, n | u_{ij}, \text{ μια μικρότερη απόδοση είναι επιθυμητή}\}$$

Στη δική μας περίπτωση, αφού όλα τα κριτήρια είναι προς μεγιστοποίηση, έχουμε:

$$U^+ = (\max u_{ij} | j \in J), i = 1, 2, \dots, m\} = (u_1^+, u_2^+, \dots, u_n^+) \text{ και}$$

$$U^- = (\min u_{ij} | j \in J), i = 1, 2, \dots, m\} = (u_1^-, u_2^-, \dots, u_n^-)$$

Οπότε προκύπτει ο παρακάτω πίνακας με τις αντίστοιχες αποστάσεις:

Πίνακας 4.27: Ιδεατή και Αρνητικά Ιδεατή επίλυση

Σταθμισμένος Κανονικοποιημένος Πίνακας Απόδοσης							
	Cr1	Cr2	Cr3	Cr4	Cr5	Cr6	Cr7
u_{ij}	Μετακίνηση	Βιωσιμότητα	Διακυβέρνηση	Καινοτόμα Οικονομία	Ψηφιοποίηση	Βιοτικό Επίπεδο	Αντίληψη Εμπειρογνομόνων
A – Κοπεγχάγη	0.005	0.003	0.003	0.017	0.003	0.010	0.002
B – Ρώμη	0.003	0.003	0.002	0.005	0.002	0.004	0.002
C – Βαρκελώνη	0.003	0.002	0.002	0.011	0.003	0.005	0.002
D – Νέα Υόρκη	0.003	0.002	0.002	0.017	0.004	0.009	0.002
E – Αθήνα	0.002	0.002	0.002	0.004	0.002	0.004	0.001
U_j^+	0.005	0.003	0.003	0.017	0.004	0.010	0.002
U_j^-	0.002	0.002	0.002	0.004	0.002	0.004	0.001

Η απόσταση κάθε εναλλακτικής από την ιδεατή επίλυση δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (u_{ij} - u_j^+)^2},$$

ενώ η απόσταση κάθε εναλλακτικής από την αρνητικά ιδεατή επίλυση είναι:

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (u_{ij} - u_j^-)^2}$$

Έτσι προκύπτουν αντίστοιχα οι επόμενοι δύο πίνακες.

Πίνακας 4.28: L2-Απόσταση της εναλλακτικής i από Ιδεατή επίλυση

L2-Απόσταση από Ιδεατή Επίλυση								
$(u_{ij} - U_j^+)^2$	Μετακίνηση	Βιωσιμότητα	Διακυβέρνηση	Καινοτόμα Οικονομία	Ψηφιοποίηση	Βιοτικό Επίπεδο	Αντίληψη Εμπειρογνομόνων	S_i^+
A – Κοπεγχάγη	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000109	0.00000228	0.00000000	0.00000000	0.001
B – Ρώμη	0.00004386	0.00000171	0.00001084	0.000157374	0.000003335	0.000038222	0.00000648	0.014
C – Βαρκελώνη	0.00001660	0.00000615	0.00001403	0.000040269	0.00000541	0.000031065	0.00000069	0.009
D – Νέα Υόρκη	0.00001656	0.00001462	0.00000844	0.000000000	0.000000000	0.00001135	0.00000083	0.002
E – Αθήνα	0.00007449	0.00002266	0.00003266	0.000182212	0.000003335	0.000036931	0.00001420	0.015

Πίνακας 4.29: L2-Απόσταση της εναλλακτικής i από Αρνητικά Ιδεατή επίλυση

L2-Απόσταση από Αρνητικά Ιδεατή Επίλυση								
$(u_{ij} - U_j^-)^2$	Μετακίνηση	Βιωσιμότητα	Διακυβέρνηση	Καινοτόμα Οικονομία	Ψηφιοποίηση	Βιοτικό Επίπεδο	Αντίληψη Εμπειρογνομόνων	S_i^-
A – Κοπεγχάγη	0.00007449	0.00002266	0.00003266	0.000173409	0.00001821	0.000038222	0.00001420	0.015
B – Ρώμη	0.00000403	0.00001191	0.00000587	0.00000910	0.000000000	0.000000000	0.00000150	0.002
C – Βαρκελώνη	0.00002077	0.00000520	0.00000388	0.000051162	0.00001190	0.000000371	0.00000862	0.008
D – Νέα Υόρκη	0.00002081	0.00000088	0.00000790	0.000182212	0.000003335	0.000026183	0.00000815	0.015
E – Αθήνα	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.000000000	0.000000000	0.000000011	0.000000000	0.000

Η σχετική κοντινότητα C_i στην ιδανική επίλυση μπορεί να εκφραστεί ως

$$C_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}$$

όπου C_i κυμαίνεται μεταξύ του 0 και του 1. Όσο τείνει το C_i προς το 1, τόσο μεγαλύτερος ο βαθμός προτεραιότητας της εναλλακτικής i . Η καλύτερη εναλλακτική λύση είναι αυτή που έχει την πιο κοντινή απόσταση στην ιδανική λύση και τη μεγαλύτερη απόσταση στην αρνητικά ιδανική λύση.

Πίνακας 4.30: Πίνακας Σχετικής Κοντινότητας

Κοντινότητα	
	C_i
<i>A – Κοπεγχάγη</i>	0.962993383
<i>B – Ρώμη</i>	0.11163981
<i>C – Βαρκελώνη</i>	0.463780411
<i>D – Νέα Υόρκη</i>	0.865764392
<i>E – Αθήνα</i>	0.006800507

Συνεπώς, πρώτη στην κατάταξη έρχεται η Κοπεγχάγη και ακολουθούν με τη σειρά η Νέα Υόρκη, η Βαρκελώνη η Ρώμη και η Αθήνα.

4.5 Μέθοδος Διπλής Αναπαράστασης (“2-tuple”) - OMIMS

Πίνακας 4.31: Πίνακας Απόδοσης Εναλλακτικών - OMIMS

	<i>Cr1</i>	<i>Cr2</i>	<i>Cr3</i>	<i>Cr4</i>	<i>Cr5</i>	<i>Cr6</i>	<i>Cr7</i>
	<i>Μετακίνηση</i>	<i>Βιωσιμότητα</i>	<i>Διακυβέρνηση</i>	<i>Κανοντόμα Οικονομία</i>	<i>Ψηφιοποίηση</i>	<i>Βιοτικό Επίπεδο</i>	<i>Αντίληψη Εμπειρογνομόνων</i>
<i>A – Κοπεγχάγη</i>	8.358	8.025	7.713	9.130	7.538	8.700	9.120
<i>B – Ρώμη</i>	4.623	6.928	5.353	2.470	4.355	3.420	6.000
<i>C – Βαρκελώνη</i>	6.060	5.945	5.028	5.850	6.928	3.940	8.100
<i>D – Νέα Υόρκη</i>	6.063	4.818	5.630	9.310	8.663	7.790	8.000
<i>E – Αθήνα</i>	3.490	4.033	3.615	1.950	4.355	3.510	4.500
Βάρη	0.143	0.143	0.143	0.143	0.143	0.143	0.143

Αρχικά εισάγουμε τα δεδομένα του προβλήματος στο εργαλείο, όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες. Για κλίμακα αξιολόγησης, επιλέγουμε την 5-βάθμια (VL, L, M, H, VH).

Επειδή τα δεδομένα που διαθέταμε ήταν σε αριθμητική τιμή, επιλέξαμε τον τύπο “Numerical” για την εισαγωγή των αποδόσεων. Ωστόσο, υποστηρίζονται 3 τύποι από το σύστημα: Αριθμητικές τιμές, γλωσσικές μεταβλητές και διαστήματα τιμών, αφού όπως αναφέραμε στο Κεφάλαιο 3.6, το εργαλείο υποστηρίζει την ομογενοποίηση των ετερογενών δεδομένων βασισόμενο στην μεθοδολογία του Herrera et al. (2005).

Καθώς οι αριθμητικές τιμές στο εργαλείο μπορούσαν να λάβουν οποιαδήποτε τιμή στην περιοχή [0, 1] μετατρέψαμε την κλίμακα 1-10 του παραπάνω πίνακα σε κλίμακα 0-1, διαιρώντας κάθε απόδοση δια 10.

Step 1 - Describe your problem

To begin with, please give a name for your problem:

Εξυπνες πόλεις

Decision Variables

Please give the linguistic scale (BLTS) in which you want this problem to be solved:

For example: give "VL,L,M,H,VH" for a scale with 5 possible values from VL (Very Low) to VH (Very High)

VL,L,M,H,VH

Now, specify all the decision variables of your problem. Each variable can have a name and a type (Numerical, Linguistic or Range).

C1 name: Μετακίνηση Type: Numerical ▾
C2 name: Βιωσιμότητα Type: Numerical ▾
C3 name: Διακυβέρνηση Type: Numerical ▾
C4 name: Καινοτόμα Οικονομία Type: Numerical ▾
C5 name: Ψηφιοποίηση Type: Numerical ▾
C6 name: Βιοτικό Επίπεδο Type: Numerical ▾
C7 name: Αντίληψη Εμπειρογνομώνι Type: Numerical ▾

+

Solutions

Also, please specify all the possible solutions to your problem.

A1 name: Κοπεγχάγη
A2 name: Ρώμη
A3 name: Βαρκελώνη
A4 name: Νέα Υόρκη
A5 name: Αθήνα

+

Next

© 2014 | Ilias Papastamatiou

Εικόνα 4.1: Εισαγωγή κριτηρίων & εναλλακτικών στο λογισμικό OMIMS

Step 2 - Give values

Please give values for all the variables in the different problems. Make sure you follow these rules:

- Numerical values must be normalized (have a value between 0 and 1).
- Linguistic values should be terms from the linguistic set you have specified.
- Interval values should have the format $a-b$, where a and b are two normalized numbers.

Values for Κοπεγχάγη

Μετακίνηση	0.8358
Βιωσιμότητα	0.8025
Διακυβέρνηση	0.7713
Καινοτόμα Οικονομία	0.9130
Ψηφιοποίηση	0.7538
Βιοτικό Επίπεδο	0.87
Αντίληψη Εμπειρογνομώνων	0.912

Values for Ρώμη

Μετακίνηση	0.4623
Βιωσιμότητα	0.6928
Διακυβέρνηση	0.5353
Καινοτόμα Οικονομία	0.247
Ψηφιοποίηση	0.4355
Βιοτικό Επίπεδο	0.342
Αντίληψη Εμπειρογνομώνων	0.6

Values for Βαρκελώνη

Μετακίνηση	0.606
Βιωσιμότητα	0.5945
Διακυβέρνηση	0.5028
Καινοτόμα Οικονομία	0.585
Ψηφιοποίηση	0.6928
Βιοτικό Επίπεδο	0.394
Αντίληψη Εμπειρογνομώνων	0.81

Values for Νέα Υόρκη

Μετακίνηση	0.6063
Βιωσιμότητα	0.4818
Διακυβέρνηση	0.563
Καινοτόμα Οικονομία	0.931
Ψηφιοποίηση	0.8663
Βιοτικό Επίπεδο	0.779
Αντίληψη Εμπειρογνομώνων	0.8

Values for Αθήνα

Μετακίνηση	0.349
Βιωσιμότητα	0.4033
Διακυβέρνηση	0.3615
Καινοτόμα Οικονομία	0.195
Ψηφιοποίηση	0.4355
Βιοτικό Επίπεδο	0.351
Αντίληψη Εμπειρογνομώνων	0.45

Previous

Next

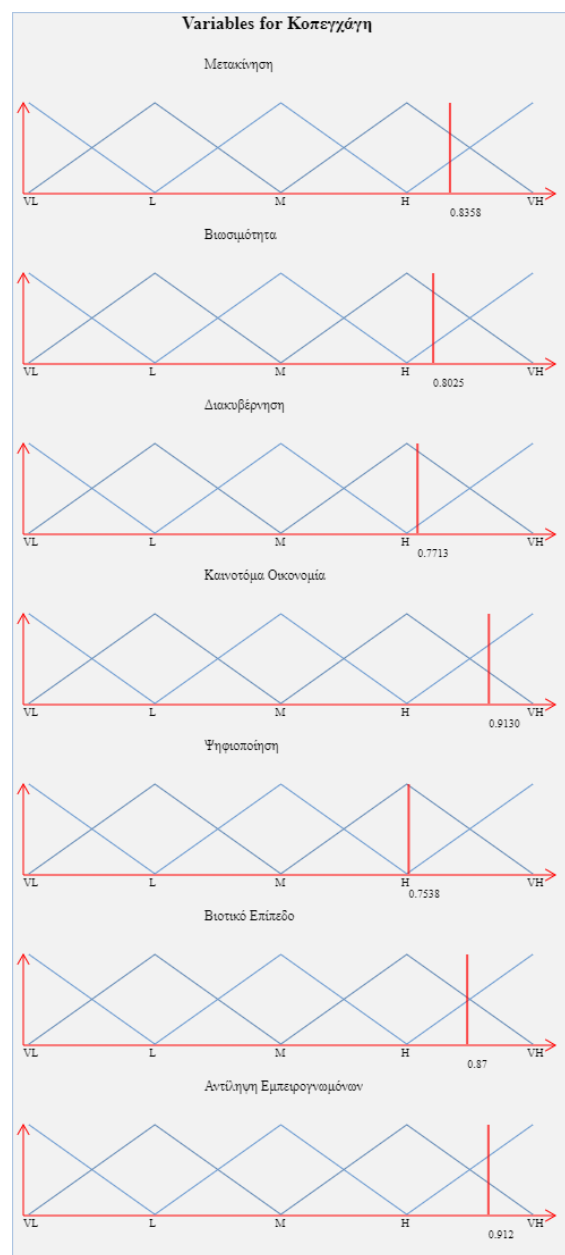
© 2014 | Ilias Papastamatiou

Εικόνα 4.2: Εισαγωγή αποδόσεων εναλλακτικών σε κάθε κριτήριο στο λογισμικό OMIMS

Στις εικόνες που ακολουθούν φαίνονται γραφικά οι αποδόσεις κάθε εναλλακτικής σε κάθε κριτήριο με χρήση διπλής αναπαράστασης (2-tuples), αφού έχει υλοποιηθεί επιτυχώς η εφαρμογή των βημάτων της μεθοδολογίας του Herrera et.al.

Πίνακας 4.32: 2-tuples εναλλακτικής Α - Κοπεγχάγη

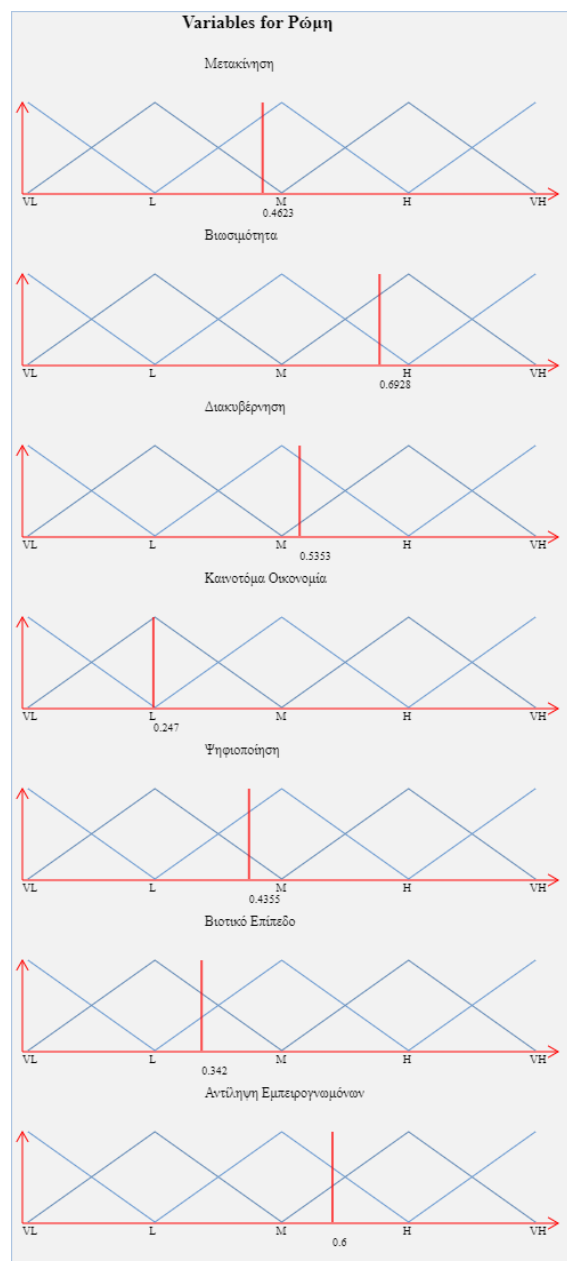
Μετακίνηση	0	0	0	0.66	0.34
Βιωσιμότητα	0	0	0	0.79	0.21
Διακυβέρνηση	0	0	0	0.91	0.09
Καινοτόμα Οικονομία	0	0	0	0.35	0.65
Ψηφιοποίηση	0	0	0	0.98	0.02
Βιοτικό Επίπεδο	0	0	0	0.52	0.48
Αντίληψη Εμπειρογνομόνων	0	0	0	0.35	0.65
Aggregate	0	0	0	0.65	0.35



Εικόνα 4.3: 2-tuples εναλλακτικής Α - Κοπεγχάγη

Πίνακας 4.33: 2-tuples εναλλακτικής Β - Ρώμη

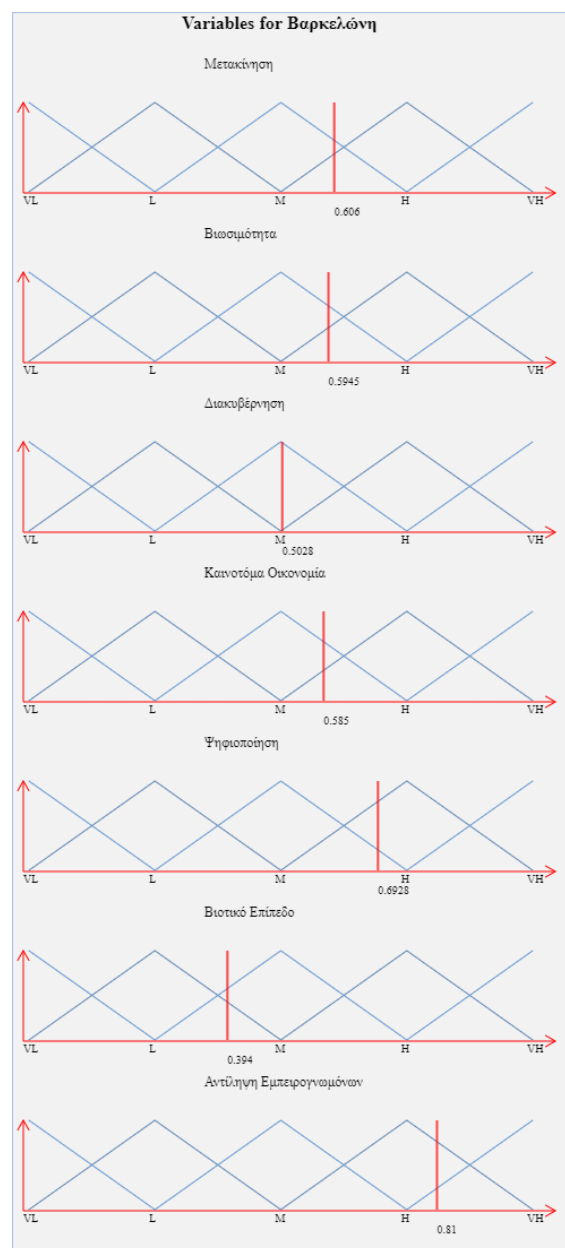
Μετακίνηση	0	0.15	0.85	0	0
Βιωσιμότητα	0	0	0.23	0.77	0
Διακυβέρνηση	0	0	0.86	0.14	0
Καινοτόμα Οικονομία	0.01	0.99	0	0	0
Ψηφιοποίηση	0	0.26	0.74	0	0
Βιοτικό Επίπεδο	0	0.63	0.37	0	0
Αντίληψη Εμπειρογνομόνων	0	0	0.6	0.4	0
Aggregate	0	0.29	0.52	0.19	0



Εικόνα 4.4: 2-tuples εναλλακτικής Β - Ρώμη

Πίνακας 4.34: 2-tuples εναλλακτικής C - Βαρκελώνη

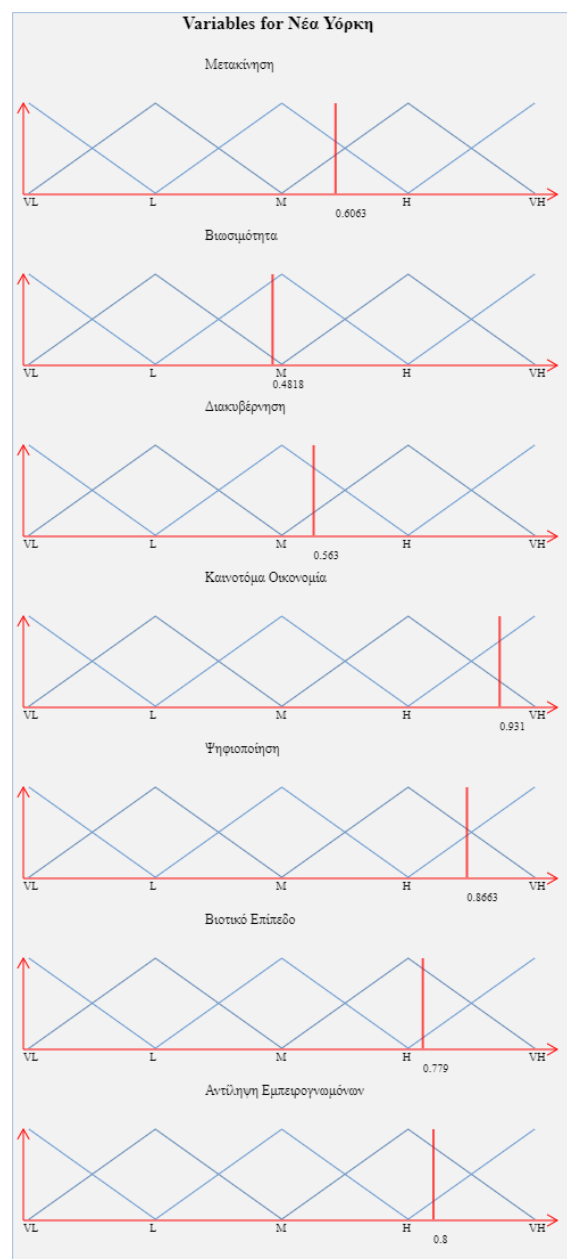
Μετακίνηση	0	0	0.58	0.42	0
Βιωσιμότητα	0	0	0.62	0.38	0
Διακυβέρνηση	0	0	0.99	0.01	0
Καινοτόμα Οικονομία	0	0	0.66	0.34	0
Ψηφιοποίηση	0	0	0.23	0.77	0
Βιοτικό Επίπεδο	0	0.42	0.58	0	0
Αντίληψη Εμπειρογνομώνων	0	0	0	0.76	0.24
Aggregate	0	0.06	0.52	0.38	0.03



Εικόνα 4.5: 2-tuples εναλλακτικής C - Βαρκελώνη

Πίνακας 4.35: 2-tuples εναλλακτικής D - Νέα Υόρκη

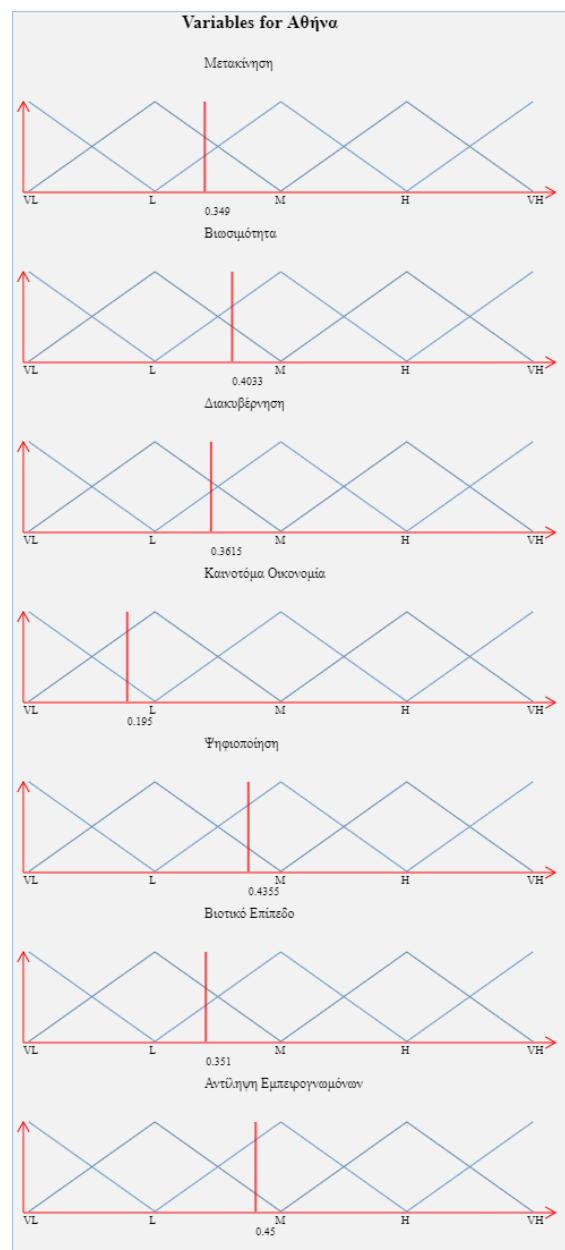
Μετακίνηση	0	0	0.57	0.43	0
Βιωσιμότητα	0	0.07	0.93	0	0
Διακυβέρνηση	0	0	0.75	0.25	0
Καινοτόμα Οικονομία	0	0	0	0.28	0.72
Ψηφιοποίηση	0	0	0	0.53	0.47
Βιοτικό Επίπεδο	0	0	0	0.88	0.12
Αντίληψη Εμπειρογνομόνων	0	0	0	0.8	0.2
Aggregate	0	0.01	0.32	0.45	0.22



Εικόνα 4.6: 2-tuples εναλλακτικής D - Νέα Υόρκη

Πίνακας 4.36: 2-tuples εναλλακτικής Ε - Αθήνα

Μετακίνηση	0	0.6	0.4	0	0
Βιωσιμότητα	0	0.39	0.61	0	0
Διακυβέρνηση	0	0.55	0.45	0	0
Καινοτόμα Οικονομία	0.22	0.78	0	0	0
Ψηφιοποίηση	0	0.26	0.74	0	0
Βιοτικό Επίπεδο	0	0.6	0.4	0	0
Αντίληψη Εμπειρογνομόνων	0	0.2	0.8	0	0
Aggregate	0.03	0.48	0.49	0	0

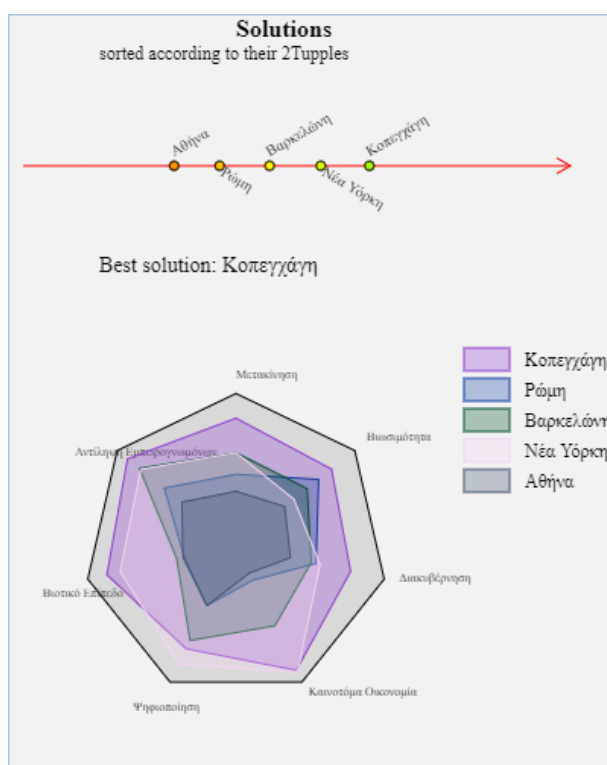


Εικόνα 4.7: 2-tuples εναλλακτικής Ε - Αθήνα

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η τελική κατάταξη των πέντε εναλλακτικών του προβλήματός μας, όπως εξήχθη από το λογισμικό OMIMS, ενώ στο γράφημα παρακάτω, οι τιμές των 2-tuples του μοντέλου της διπλής αναπαράστασης, απεικονίζονται με μια πρωτότυπη μέθοδο ως πολύγωνα, όπου κάθε μία από τις άκρες των πολυγώνων αντιπροσωπεύει την τιμή της συγκεκριμένης μεταβλητής στην λύση. Το συνολικό εμβαδόν του πολυγώνου είναι ανάλογο προς την τιμή αυτή. Μπορούμε εύκολα να διακρίνουμε την καλύτερη λύση (Κοπεγχάγη), ο τρόπος όμως με τον οποίο σχεδιάζονται τα πολύγωνα μας βοηθά να διακρίνουμε εύκολα σε ποιο κριτήριο οι λύσεις αποδίδουν καλύτερα. Για παράδειγμα, παρατηρούμε ότι η Νέα Υόρκη αποδίδει καλύτερα από οποιαδήποτε εναλλακτική στον τομέα της ψηφιοποίησης, όπως η Ρώμη των υπολοίπων τριών (εκτός της Κοπεγχάγης) στον τομέα της βιωσιμότητας.

Πίνακας 4.37: Τελική Κατάταξη (2-Tuples) Εναλλακτικών

Κοπεγχάγη	H	0.35	3.35
Νέα Υόρκη	H	-0.12	2.88
Βαρκελώνη	M	0.38	2.38
Ρώμη	M	-0.1	1.9
Αθήνα	L	0.46	1.46



Εικόνα 4.8: Αξιολόγηση εναλλακτικών σύμφωνα με 2-tuples - OMIMS

Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα και Προοπτικές

Το κεφάλαιο θα αποτελέσει μια σύνοψη της συνολικής εργασίας, όπου θα παρουσιαστούν τα συμπεράσματα στα οποία αυτή κατέληξε, οι μελλοντικές προκλήσεις και οι πιθανές προεκτάσεις που προέκυψαν κατά το στάδιο ανάπτυξής της.

5.1 Σύνοψη & Συμπεράσματα

Βασιζόμενοι στα παραπάνω αποτελέσματα, μπορούμε να καταλήξουμε στην ασφαλή διαπίστωση ότι η πρώτη στην κατάταξη «έξυπνη» πόλη είναι η Κοπεγχάγη, ενώ ακολουθούν με τη σειρά η Νέα Υόρκη, η Βαρκελώνη, η Ρώμη και τέλος η Αθήνα. Όλες οι πολυκριτήριες μέθοδοι που εφαρμόστηκαν κατέληξαν στο ίδιο αποτέλεσμα. Παρόλα αυτά πρέπει να επισημανθεί ότι στηριχτήκαμε στα δεδομένα του Easy Park's 2017 Smart Cities Index και στην υπόθεση ότι αυτά συγκεντρώθηκαν με έναν διαφανή τρόπο, ο οποίος επιτρέπει την εξέταση της κατάταξης των πόλεων από διάφορες οπτικές γωνίες.

Η μελέτη αυτή επικεντρώθηκε σε πέντε πόλεις εξετάζοντας ένα ευρύ φάσμα παραγόντων και δεικτών που είναι εγγενείς στην έννοια των «έξυπνων πόλεων». Το ποια επικρατεί εξαρτάται από το στόχο του εκτιμητή των πληροφοριών και των αναγκών του. Με άλλα λόγια, η συνεκτίμηση διαφόρων χαρακτηριστικών, παραγόντων και δεικτών με μη σταθμισμένο τρόπο υποδηλώνει ότι η ανάπτυξη των πόλεων είναι μια πολύπλοκη διαδικασία σε διαφορετικές διαστάσεις και η αντίληψή της και η αξιολόγησή της, τελικά, εξαρτάται από τους ίδιους τους αποφασίζοντες – από τις προτιμήσεις και τους μεμονωμένους στόχους τους.

Ακόμη, από την επισκόπηση των σχετιζόμενων μεθοδολογιών και εφαρμογών προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Υπάρχουν περιορισμένες ερευνητικές προσπάθειες σε επιμέρους τεχνολογίες Υποστήριξης Αποφάσεων και στη διαδικασία ενσωμάτωσής τους σε ένα ενιαίο πλαίσιο σε ότι αφορά την βελτίωση των πόλεων και την μετάβαση τους σε «έξυπνες».
- Δεν υπάρχει ένα ολιστικό πλαίσιο αξιολόγησης των Έξυπνων Πόλεων στους διάφορους τομείς της και ως εκ τούτου δεν παρέχεται μια ολοκληρωμένη μεθοδολογία για τη λήψη αποφάσεων. Επίσης, δεν υπάρχει μεθοδολογία και εργαλεία για την σύγκριση της απόδοσης της πόλης στους διάφορους τομείς της πριν και μετά την εφαρμογή των δράσεων βελτίωσης.
- Οι πόλεις δεν αξιοποιούν στον βαθμό που θα έπρεπε τα Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων και τις Τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνιών για την

αναβάθμιση των περιοχών τους και τη βελτίωση της ποιότητας της ζωής των πολιτών.

- Η πλειοψηφία των αναπτυγμένων μεθοδολογιών και των εργαλείων Τεχνολογίας Πληροφορικής και Επικοινωνιών δεν λαμβάνουν υπόψιν τους τη συνεισφορά και την άποψη των χρηστών για τη διαμόρφωση των δράσεων.
- Η εφαρμογή των πολυκριτηριακών συστημάτων φαίνεται να είναι εξαιρετικά περιορισμένη στις εφαρμογές των Έξυπνων Πόλεων και αφορούν μόνο επιμέρους χαρακτηριστικά. Για παράδειγμα, η εφαρμογή της γλωσσικής ανάλυσης εάν και είναι πολύ αποδοτική στην ανάπτυξη μεθόδων και συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων, δεν χρησιμοποιείται επαρκώς μέχρι σήμερα στις εφαρμογές των «έξυπνων» πόλεων. Όπως αναλύθηκε στην παρούσα εργασία, η προσέγγιση της διπλής αναπαράστασης μπορεί να έχει πραγματικά σημαντική συνεισφορά στην υποστήριξη αποφάσεων για τις Έξυπνες Πόλεις.

Μετά από την έρευνα των μεθοδολογιών που έχουν αναπτυχθεί αλλά και από τη γενικότερη μελέτη του τομέα είμαστε σε θέση να συμπεράνουμε πως η δημιουργία μιας «έξυπνης» πόλης είναι θέμα ανθρώπινων ικανοτήτων, θεσμών και ψηφιακών υπηρεσιών στο πεδίο της μάθησης, της γνώσης, και της καινοτομίας. Εντέλει η «ευφυΐα» μιας πόλης βρίσκεται στην ολοκλήρωση τριών επιπέδων: των ικανοτήτων του πληθυσμού, των θεσμών συνεργασίας, και των ψηφιακών υπηρεσιών διαχείρισης γνώσεων και καινοτομίας. Εδώ τοποθετούνται και οι προκλήσεις σχεδιασμού «έξυπνων» πόλεων: στις μεθόδους και τεχνικές διασύνδεσης της ανθρώπινης, συλλογικής, και τεχνητής ευφυΐας που διαθέτει μια κοινότητα, με στόχο τη δημιουργικότητα και την καινοτομία.

Για να αντιμετωπιστούν οι σύγχρονες προκλήσεις των αστικών κέντρων, η μετάβαση από τις «παραδοσιακές» πόλεις στις «έξυπνες» καθίσταται περισσότερο από ποτέ αναγκαία. Σε ένα διαρκώς μεταβαλλόμενο πολιτικοοικονομικό περιβάλλον, οι δυνατότητες που προσφέρει η εφαρμογή εξελισσόμενων τεχνολογικών εφαρμογών δύνανται να συμβάλλουν καθοριστικά στην αναβάθμιση της διαχειριστικής ικανότητας και αποτελεσματικότητας της πολιτείας και των τοπικών και περιφερειακών αρχών σε ό,τι αφορά στον εκσυγχρονισμό και την αειφορία των πόλεων.

Σε ό,τι αφορά την Ελλάδα, είναι ανάγκη να διαμορφωθεί, κατόπιν ανοικτής διαβούλευσης με όλους τους εμπλεκόμενους φορείς: δήμοι, περιφέρειες, ακαδημαϊκή και ερευνητική κοινότητα, ιδιωτικός τομέας, μια εθνική στρατηγική βασισμένη σε μια ολιστική προσέγγιση που θα υλοποιηθεί μέσω ενός οδικού χάρτη μετάβασης. Τα οφέλη για τη χώρα και τους

πολίτες θα είναι πολλαπλά καθώς, εκτός από τη βελτίωση της ποιότητας ζωής των πολιτών (καθαρότερο περιβάλλον και καλύτερες υπηρεσίες) και τη συμβολή στην επίτευξη των εθνικών στόχων για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, θα δημιουργηθούν οι προϋποθέσεις για τόνωση των δημοσίων εσόδων, αύξησης της απασχόλησης, προσέλκυσης επενδυτικών κεφαλαίων καθώς και ενίσχυσης της έρευνας, της ανταγωνιστικότητας και της καινοτομίας.

5.2 Μελλοντικές Προεκτάσεις

Η παρούσα εργασία επεδίωξε να καταπιαστεί με ένα θέμα το οποίο απασχολεί και αναμένεται να απασχολήσει περισσότερο τις κυβερνήσεις τα επόμενα χρόνια, καθώς όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η μετάβαση στις Έξυπνες Πόλεις για την αντιμετώπιση των σημερινών προκλήσεων, είναι πλέον επιτακτική ανάγκη. Η συγκεκριμένη εργασία, με τα αποτελέσματα που παρήγαγε και με τις μεθόδους που ανέδειξε, επιχειρεί να αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο στα χέρια των αναλυτών αναφορικά με τα επόμενά τους βήματα στην υποστήριξη αποφάσεων στον τομέα των «έξυπνων» πόλεων. Εν τούτοις, προκύπτουν ορισμένα πεδία που χρήζουν περαιτέρω μελέτης, καθώς και νέες προοπτικές για μελέτες και έρευνα σε αυτή την κατεύθυνση, τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω:

- Αρχικά, θα ήταν χρήσιμο να εφαρμόζονταν οι προτεινόμενες μέθοδοι πολυκριτήριας ανάλυσης σε μεγαλύτερο αριθμό εναλλακτικών – πόλεων. Με αυτό τον τρόπο, θα μπορούσαν να παραχθούν τελείως διαφορετικά και χρήσιμα συμπεράσματα. Για παράδειγμα, αν είχαμε δύο πόλεις που είχαν πολύ κοντινές τελικές αποδόσεις, θα ήταν ενδιαφέρον να επικεντρωθούμε στα κριτήρια που υπερείχε ή υπολείπαν η καθεμία της άλλης, ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα και πιθανές προτάσεις που θα βελτίωναν την ανταγωνιστικότητά της.
- Περαιτέρω αξιοποίηση του μοντέλου που κατασκευάστηκε θα μπορούσε να γίνει από κάποιον άλλο χρήστη, που θα απέδιδε κάποιο άλλο αποτέλεσμα εφόσον έκρινε ότι κάποιο από τα κριτήρια θα άξιζε κάποιο διαφορετικό συντελεστή βαρύτητας.
- Ένα άλλο κρίσιμο ζήτημα στην πολυκριτηριακή προσέγγιση που θα μπορούσε να εξεταστεί είναι η ανάλυση ευαισθησίας, δηλαδή ο προσδιορισμός του βαθμού στον οποίο η τελική κατάταξη των εναλλακτικών λύσεων εξαρτάται και είναι ευαίσθητη σε σχέση με τα εκτιμώμενα βάρη.
- Θα μπορούσε, ωστόσο, και με τις ήδη υπάρχουσες εναλλακτικές, να γίνει χρήση της μεθόδου ELECTRE TRI. Η μέθοδος αυτή έχει το προνόμιο να εκτιμά κάθε επιλογή

με ένα απόλυτο τρόπο παρά με ένα σχετικό τρόπο με τις άλλες προτεινόμενες εναλλακτικές. Κάτι τέτοιο, μάλιστα, θα ήταν ιδιαίτερα εύχρηστο και στην περίπτωση αξιολόγησης μεγάλου αριθμού εναλλακτικών, καθώς η συγκεκριμένη μέθοδος δεν περιλαμβάνει συγκρίσεις κατά ζεύγη και έτσι αποφεύγεται η υπέρμετρη αύξηση του όγκου των υπολογισμών. Παράλληλα, η μέθοδος ELECTRE TRI αποτελεί μια χρήσιμη διαδικασία «ξεσκαρταρίσματος», για έναν αποφασίζοντα που θέλει να γνωρίζει ποιες εναλλακτικές να κρατήσει και ποιες να απορρίψει [68].

- Τέλος, για να υλοποιηθούν από κάποιο αναλυτή τα μοντέλα που εξετάσαμε, χρειάζεται χρόνος και πραγματοποίηση μεγάλου όγκου υπολογισμών. Θα ήταν χρήσιμη, λοιπόν, η ανάπτυξη ενός διαδικτυακού εργαλείου – εφαρμογής, η οποία στο backend θα υλοποιούσε κάθε μοντέλο σύμφωνα με τις απαιτήσεις του χρήστη, ενώ το μόνο που θα χρειαζόταν από τον ίδιο θα ήταν η συμπλήρωση των αποδόσεων των εναλλακτικών στα ζητούμενα κριτήρια και των τιμών σε όσους δείκτες ήταν απαραίτητοι, μέσω μίας φιλικής προς εκείνον διεπαφής.

Πέρα από τα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, μελλοντική πρόκληση αποτελεί η ανάπτυξη σύγχρονων συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων που θα έχουν τη δυνατότητα να αξιοποιούν μεγάλο πλήθος δεδομένων των πόλεων (αισθητήρες, καταγραφείς και επιμέρους συστήματα). Με τον τρόπο αυτό θα παρέχουν μια πλήρη εικόνα των χαρακτηριστικών και της απόδοσης αυτών σε πραγματικό χρόνο, αλλά και θα κατευθύνουν τους αντίστοιχους διαχειριστές της Έξυπνης Πόλης στην ανάπτυξη βραχυπρόθεσμων και μακροπρόθεσμων σχεδίων δράσης. Η ευφυία και η καινοτομία των παραπάνω συστημάτων έγκειται στη συλλογή πολυδιάστατων δεδομένων, ακόμα και μέσω της κοινωνικής δικτύωσης, στην οργάνωση των δεδομένων αυτών μέσω της χρήσης σημασιολογικών τεχνολογιών (“semantic technologies”) για να δημιουργούν τάσεις, πρότυπα κλπ., και στην ενσωμάτωση ευφυών κανόνων για την πρόταση σχεδίων βελτιστοποίησης. Στο πλαίσιο αυτό, ολοκληρωμένες πλατφόρμες μπορούν να αναπτυχθούν, χρησιμοποιώντας τις δυνατότητες του διαδικτύου, που να βασίζονται σε αυτές τις τρεις συνιστώσες.

Η ανάπτυξη της εργασίας έγινε σε εργαστηριακό επίπεδο, όμως η απόλυτα πετυχημένη εφαρμογή της σε προσομοίωση πραγματικών συνθηκών, με τη βοήθεια σύγχρονων συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων, εκφράζουν τα γερά θεμέλια που έχουν μπει για την περαιτέρω ανάπτυξή της και την χρήση της στον ευρύτερο τομέα των «έξυπνων» πόλεων, ώστε κάποια στιγμή να μπορέσει να ανταποκριθεί στις παγκόσμιες προκλήσεις - σήμερα και αύριο.

Βιβλιογραφία

- [1] Wikipedia, the free encyclopedia, Smart city, September 2015 - https://en.wikipedia.org/wiki/Smart_city.
- [2] Κομνηνός Ν., Έξυπνες Πόλεις: Συστήματα Καινοτομίας και Τεχνολογίες Πληροφορίας στην Ανάπτυξη των Πόλεων, Περιοδικό Αρχιτέκτονες, Τεύχος 60, σελ. 72-75, 2006.
- [3] Ηλίας Μ. Παπασταματίου, Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων Διαχείρισης και Εξοικονόμησης Ενέργειας σε κτίρια «Εξυπνων Πόλεων» με χρήση καινοτόμων διαδικτυακών εργαλείων, Μάρτιος 2018.
- [4] Smart cities - Έξυπνες πόλεις, August 2015 - https://eclass.icsd.aegean.gr/modules/document/file.php/ICSD250/Σημειώσεις%20-%20Διαλέξεις/05_eGTA_SmartCities.pdf.
- [5] Smart Communities, August 2015 - <http://www.smartcommunities.org>
- [6] Lévy, Pierre, Cyberculture, Univ. of Minnesota Press, 2001.
- [7] Intelligent Community Forum, 2015 - <http://www.intelligentcommunity.org/>
- [8] BEE SMART CITY Indicators, February 2019 - <https://www.beesmart.city/>
- [9] Huang JP, Pho KL, Ang BW. (1995), “Decision analysis in energy and environmental modelling”, Energy-The International Journal, 20(9), 843-855.
- [10] Carlsson C, Kochetkov Y. (1983), “Theory and Practice of Multiple Criteria Decision Making”, North-Holland Publishing, New York.
- [11] Hafkamp W, Nijkamp P. (1986), “Integrated economic-environmental energy policy and conflict analysis”, Journal of Policy Modeling, 8(4): 551-576.
- [12] van den Bergh JCJM, Ferrer-i-Carbonell A, Munda G. (2000), “Alternative models of individual behavior and implications for environmental policy”, Ecological Economics 32(1), 43-61.
- [13] Ehtamo H, Kettunen E, Hamalainen RP. (2001), “Searching for joint gains in multi-party negotiations”, European Journal of Operational Research, 130(1): 54-69.
- [14] Keeney RL, Wood E. (1977), “An illustrative example of the use of multiattribute utility theory for water resources planning”, Water Resources Research, 13(4): 705-712.
- [15] Cohon JL. (1978), “Multiobjective Programming and Planning”, Academic Press, New York.

- [16] Climaco J. (1997), “Multicriteria analysis”, New York: Springer-Verlag.
- [17] Χάρης Δούκας, Παναγιώτης Ξυδόνας, Ιωάννης Ψαρράς, Πολυκριτηριακά συστήματα υποστήριξης αποφάσεων, Μάρτιος 2015.
- [18] Solnes J. (2003), “Environmental quality indexing of large industrial development alternatives using AHP”, *Environmental Impact Assessment Review*, 23(3): 283-303.
- [19] Chang YH, Yeh CH. (2001), “Evaluating airline competitiveness using multi-attribute decision making”, *Omega*, 29(5): 405-415.
- [20] Saaty TL. (1980), “The analytic hierarchy process”, New York: McGraw-Hill.
- [21] Saaty TL. (1992), “Decision making for leaders”, Pittsburgh: RWS Publications.
- [22] Brans JP, Vincke Ph, Mareschal B. (1986), “How to select and how to rank projects: the PROMETHEE method”, *European Journal of Operations Research*, 24: 228-238.
- [23] Roy B. (1985), “Metodologie multicritere d’aide la decision”, Collection Gestion, Paris: Economica.
- [24] Goicoechea A, Hansen D, Duckstein L. (1982), “Introduction to multi objective analysis with engineering and business application”. Wiley: New York.
- [25] Huang CL, Yoon K. (1981), “Multi attribute decision making: methods and applications”, New York: Springer-Verlag.
- [26] Zeleny M. (1982), “Multiple criteria decision making”, New York: McGraw-Hill.
- [27] Keeny RL, Raiffa H. (1976), “Decisions with multiple objectives: Preferences and value tradeoffs”, New York: Wiley.
- [28] [87] Bordogna G, Fedrizzi M, Passi G. (1997), “A linguistic modelling of consensus in group decision making based on OWA operators”, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 27: 126-132.
- [29] Herrera F, Herrera-Viedma E, Verdegay JL. (1995), “A. sequential selection process in group decision making with linguistic assessment”, *Information Science*, 85: 223-239.
- [30] Buckley, JJ. (1984), “The multiple judge, multiple criteria ranking problem: a fuzzy set approach”, *Fuzzy Sets and Systems*, 13: 23 -37.
- [31] Chang P, Chen Y. (1994), “A fuzzy multicriteria decision making method

- for technology transfer strategy selection in biotechnology”, *Fuzzy Sets and Systems* 63: 131-139.
- [32] Yager RR. (1993), “Non-numeric multi-criteria multi-person decision making”, *Group Decision Negotiation*, 2: 81-93.
- [33] Yager RR, Goldstein LS, Mendels E. (1994), “FUZMAR: an approach to aggregating market research data based on fuzzy reasoning”, *Fuzzy Sets and Systems*, 68: 1-11.
- [34] Lee HM. (1996), “Group decision making using fuzzy sets theory for evaluating the rate of aggregative risk in software development”, *Fuzzy Sets and Systems*, 80: 261-271.
- [35] Law CK. (1996), “Using fuzzy numbers in educational grading system”, *Fuzzy Sets and Systems*, 83: 311-323.
- [36] Levrat L, Voisin A, Bombardier S, Bremont J. (1997), “Subjective evaluation of car seat comfort with fuzzy set techniques”, *Internat. J. Intell. Systems*, 12: 891-913.
- [37] Chen SM. (1997), “A new method for tool steel materials selection under fuzzy environment”, *Fuzzy Sets and Systems*, 92: 265 - 274.
- [38] Herrera F, Lopez E, Mendaña C, Rodriguez MA. (2001), “A linguistic decision model for personnel management solved with a linguistic biojective genetic algorithm”, *Fuzzy Sets and Systems*, 118(1): 47 - 64.
- [39] Chiclana F, Herrera F, Herrera-Viedma E. (1998), “Integrating three representation models in fuzzy multipurpose decision making based on fuzzy preference relations”, *Fuzzy Sets and Systems* 97: 33-48.
- [40] Herrera F, Herrera-Viedma E, Martinez L. (2000), “A fusion approach for managing multi-granularity linguistic term sets in decision making”, *Fuzzy Sets and Systems*, 114: 43-58.
- [41] Kacprzyk J, Fedrizzi M. (1990), “Multiperson Decision Making Models Using Fuzzy Sets and Possibility Theory”, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- [42] Roubens M. (1997), “Fuzzy sets and decision analysis”, *Fuzzy Sets and Systems*, 90: 199-206.
- [43] Zadeh LA. (1975) “The concept of a linguistic variable and its applications to approximate reasoning - Part I”, *Information Science* 8: 199-249.
- [44] Zadeh LA. (1975) “The concept of a linguistic variable and its applications to approximate reasoning - Part II”, *Information Science* 8: 301-357.
- [45] Bonissone PP, Decker KS. (1986), “Selecting uncertainty calculi and

- granularity: an experiment in trading of precision and complexity, in: L.H. Kanal, J.F. Lemmer (Eds.), *Uncertainty in Artificial Intelligence*, North-Holland, Amsterdam, pp. 217- 247.
- [46] Miller GA. (1956), “The magical number seven or minus two: some limits on our capacity of processing information”, *Psychological Review*, 63: 81-97.
- [47] Herrera F, Herrera-Viedma E, Verdegay JL. (1996), “A model of consensus in group decision making under linguistic assessments”, *Fuzzy Sets and Systems*, 79: 73-87.
- [48] Bordogna G, Passi G. (1993), “A fuzzy linguistic approach generalizing boolean information retrieval: a model and its evaluation”, *J. Amer. Soc. Inform. Sci.* 44: 70 -82.
- [49] Bonissone PP. (1982), “A fuzzy sets based linguistic approach: theory and applications”, in: M.M. Gupta, E. Sanchez (Eds.), *Approximate Reasoning in Decision Analysis*, North-Holland, Amsterdam, pp. 329-339.
- [50] Delgado M, Verdegay JL, Vila MA. (1992), “Linguistic decision making models”, *International Journal of Intelligent Systems*, 7: 479 - 492.
- [51] Tong M, Bonissone PP. (1980), “A linguistic approach to decision making with fuzzy sets”, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 10: 716-723.
- [52] Tong M, Bonissone PP. (1984), “Linguistic solutions to fuzzy decision problems”, *Stud. Management Sci.* 20: 323-334.
- [53] Herrera F, Herrera-Viedma E, Verdegay JL. (1998), “Choice processes for non-homogeneous group decision making in linguistic setting”, *Fuzzy Sets and Systems*, 94(3): 287-308.
- [54] Delgado M, Herrera F, Herrera-Viedma E, Martinez L. (1998), “Combining linguistic and numerical information in group decision making”, *Information Science*, 7: 177-194.
- [55] Yager RR. (1995), “An approach to ordinal decision making”, *International Journal of Approximate Reasoning*, 12: 237-261.
- [56] Delgado M, Verdegay JL, Vila MA. (1993), “On aggregation operations of linguistic labels”, *International Journal of Intelligent Systems*, 8: 351-370.
- [57] Herrera F, Martinez L. (2000), “A 2-tuple fuzzy linguistic representation model for computing with words”, *IEEE Trans Fuzzy Syst*, 8(6):746-752.
- [58] Herrera F, Martinez L. (1999), “A 2-Tuple Fuzzy Linguistic Representation Model for Computing with Words”, Department of Computer Science and

Artificial Intelligence, Technical Report #DESCAI-990102.

- [59] Degani R, Bortolan G. (1988), “The problem of linguistic approximation in clinical decision making”, *Int J Approx Reason*, 2: 143-162.
- [60] Bonissone PP, Decker KS. “Selecting uncertainty calculi and granularity: An experiment in trading - off precision and complexity”, In *Uncertainty in Artificial Intelligence*, Kanal LH, Lemmer JF., Eds. Amsterdam, The Netherlands: North - Holland, 1986, pp.217-247.
- [61] Herrera F, Herrera-Viedma E. (2000), “Linguistic decision analysis: steps for solving decision problems under linguistic information”, *Fuzzy Sets and Systems* 115: 67-82.
- [62] Yager RR. (1988), “On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decision making”, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 18: 183-190.
- [63] Cholewa W. (1985), ”Aggregation of fuzzy opinions: An axiomatic approach”, *Fuzzy Sets and Systems*, 17: 249-259.
- [64] Montero J. (1988), “Aggregation of fuzzy opinions in a non-homogeneous group”, *Fuzzy Sets and Systems*, 25: 15-20.
- [65] Easy Park’s 2017 Smart Cities Index, October 2018 - <https://easyparkgroup.com/smart-cities-index/>
- [66] OMIMS (Online Multidisciplinary Information Management Software), February 2019 - <http://omims.ipapastamatiou.gr/>
- [67] Α.Π. Βαβάτσικος, Συστήματα Στήριξης Αποφάσεων, Φεβρουάριος 2019 - <https://eclass.duth.gr/modules/document/file.php/TME253/04%20PROMETHEE.pdf>
- [68] Ματσατσίνης Νικόλαος, Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων, 2010.