



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

«Αναλυτική περιγραφή της χρησιμότητας των υπολογιστικών εργαλείων FLINTSTONES και AFRYCA στα προβλήματα Πολυκριτήριας Ανάλυσης και επίτευξης ομοφωνίας»

ΜΑΡΙΑ Χ. ΚΑΡΑΛΙΟΛΙΔΟΥ

Μηχανικός Περιβάλλοντος (Δ.Π.Θ.), MSc (Ε.Μ.Π.)

A.M.: 03202930

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:

ΧΑΡΗΣ ΔΟΥΚΑΣ

Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Ιούνιος 2020

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε υπό την επίβλεψη του κ. Δούκα Χάρη, Αναπληρωτή Καθηγητή ΕΜΠ, τον οποίο θα ήθελα να ευχαριστήσω για την εμπιστοσύνη και την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Αρσενόπουλο Απόστολο για την πολύτιμη βοήθεια και την άψογη συνεργασία καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

Τέλος, ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στη φίλη μου και συνάδερφο Ζέρβα Ευθυμία, που στάθηκε η αφορμή να ξεκινήσω το συγκεκριμένο μεταπτυχιακό πρόγραμμα, για τη συνεχή υποστήριξη και τη συνεργασία μας κατά την παρακολούθηση του μεταπτυχιακού.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να αναδειχθεί η λειτουργικότητα και η χρησιμότητα δύο συστημάτων υποστήριξης λήψης αποφάσεων, των λογισμικών FLINTSTONES και AFRYCA, κατά την επίλυση προβλημάτων πολυκριτήριας συλλογικής λήψης αποφάσεων και επίτευξης ομοφωνίας, ιδιαίτερα σε προβλήματα με γλωσσικές μεταβλητές.

Προς αυτή την κατεύθυνση, αρχικά παρουσιάζονται τα βασικά λειτουργικά χαρακτηριστικά των δύο εργαλείων και περιγράφονται αναλυτικά οι μέθοδοι ανάλυσης αποφάσεων και τα μοντέλα ομοφωνίας που περιλαμβάνουν. Το λογισμικό FLINTSTONES βασίζεται στο γλωσσικό μοντέλο διπλής αναπαράστασης και σε διάφορες επεκτάσεις του, για την επίλυση προβλημάτων λήψης αποφάσεων που ορίζονται σε γλωσσικά και περίπλοκα περιβάλλοντα. Το λογισμικό AFRYCA αναπτύχθηκε με στόχο την υποστήριξη και καθοδήγηση των διαδικασιών επίτευξης ομοφωνίας σε προβλήματα συλλογικής λήψης αποφάσεων, χρησιμοποιώντας διάφορα μοντέλα ομοφωνίας που απαντώνται στην βιβλιογραφία.

Στη συνέχεια, τα δύο εργαλεία χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση των κινδύνων που προκύπτουν κατά τη μετάβαση του τομέα χάλυβα της Αυστρίας σε τεχνολογίες χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Είκοσι πέντε πιθανοί κίνδυνοι αξιολογήθηκαν από δέκα εμπλεκόμενους φορείς, βάσει τεσσάρων κριτηρίων. Με τη βοήθεια του FLINTSTONES προέκυψε η κατάταξη των κινδύνων από τον σημαντικότερο προς τον λιγότερο σημαντικό. Σημαντικότεροι κίνδυνοι αναδείχθηκαν η αβεβαιότητα για την εξέλιξη των τιμών του CO₂, η έλλειψη πολιτικής βούλησης και λήψης πρωτοβουλιών για την υλοποίηση δράσεων μετάβασης προς τεχνολογίες χαμηλών εκπομπών άνθρακα, καθώς και κίνδυνοι που συνδέονται με τις χρηματοπιστωτικές αγορές και το δυσμενές οικονομικό περιβάλλον. Με την εφαρμογή του AFRYCA προσδιορίστηκε αρκετά υψηλό επίπεδο ομοφωνίας μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων ως προς την σπουδαιότητα των κινδύνων. Μέσω των διαδικασιών επίτευξης ομοφωνίας του AFRYCA εντοπίστηκαν δύο εμπλεκόμενοι φορείς που παρουσίαζαν τις μεγαλύτερες αποκλίσεις από τη συλλογική άποψη και προσδιορίστηκαν οι μεταβολές των αρχικών αξιολογήσεων που απαιτούνται για τη βελτίωση του επιπέδου ομοφωνίας, χωρίς να μεταβάλλεται σημαντικά η κατάταξη των κινδύνων.

Λέξεις -Κλειδιά: Πολυκριτήρια Ανάλυση Αποφάσεων, Γλωσσικές Μεταβλητές, Συλλογική Λήψη Αποφάσεων, Ομοφωνία, FLINTSTONES, AFRYCA, Χαμηλές εκπομπές άνθρακα, Κίνδυνοι, Αυστρία.

ABSTRACT

The aim of the thesis entitled *“Detailed description of FLINTSTONES and AFRYCA computational tools and their usefulness in Multiple-criteria Decision Analysis and consensus reaching processes”* is to show the performance, usefulness and effectiveness of FLINTSTONES and AFRYCA software tools, in the resolution of multi-criteria group decision making problems, especially in problems involving linguistic information.

Firstly, the main features and the structure of FLINTSTONES and AFRYCA are presented and the theoretical aspects of these tools are described in detail. FLINTSTONES is a software tool proposed to solve linguistic decision-making problems based on the 2-tuple linguistic model and its extensions, dealing with linguistic and complex frameworks. AFRYCA is a software framework that provides support and guidelines for conducting consensus reaching processes in the resolution of group decision making problems, using different consensus models proposed by a variety of authors in specialized literature.

A case study solved by FLINTSTONES and AFRYCA is then illustrated to show the performance and utility of these tools and, more specifically, they are used to evaluate risks associated with a low-carbon transition of the Austrian steel sector. Ten stakeholders evaluated twenty-five alternative risks against four evaluation criteria. The stakeholders’ assessments were used in FLINTSTONES in order to reach a ranking from the most to the least significant risk. Uncertainty over the development of CO₂ prices, inadequate political leadership and risks related to the adverse economic environment and financial markets appeared to be the most critical risks. According to the results obtained from AFRYCA simulations, there was a high level of agreement among stakeholders, regarding the initial risk assessments. Consensus reaching processes indicated that only two of the stakeholders showed significant variations compared to the collective opinion and modifying their initial assessments could increase the consensus level, without considerably changing the final ranking of the risks.

Keywords: Multiple Criteria Decision Analysis, Linguistic Variables, Group Decision Making, Consensus, FLINTSTONES, AFRYCA, Low-carbon transition, Risks, Austria.

Πίνακας περιεχομένων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	III
ABSTRACT	IV
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	1
1.2 ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΛΗΨΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ	1
1.2.1 Λήψη Αποφάσεων.....	1
1.2.2 Πολυκριτήρια Ανάλυση Αποφάσεων	2
1.2.3 Γλωσσικές Μεταβλητές – Computing With Words	6
1.3 ΣΥΛΛΟΓΙΚΗ ΛΗΨΗ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΟΜΟΦΩΝΙΑ	7
1.3.1 Συλλογική Λήψη Αποφάσεων	7
1.3.2 Διαδικασίες Επίτευξης Ομοφωνίας	8
1.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΛΗΨΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: FLINTSTONES ΚΑΙ AFRYCA.....	17
2.1 FLINTSTONES.....	17
2.1.1 Περιγραφή.....	17
2.1.2 Χρήση του FLINTSTONES.....	18
2.1.2.1 Framework.....	18
2.1.2.2 Framework Structuring.....	19
2.1.2.3 Gathering.....	20
2.1.2.4 Rating.....	21
2.1.3 Μέθοδοι Υποστήριξης Λήψης Αποφάσεων στο FLINTSTONES.....	24
2.1.3.1 Μοντέλο διπλής αναπαράστασης (2-tuple Linguistic Model)	24
2.1.3.2 Μέθοδοι για προβλήματα πολλαπλών στοιχείων	27
2.1.3.3 Μέθοδος για Ανομοιογενή Πλαίσια (Heterogeneous framework).....	35
2.1.3.4 Μέθοδος για Μη- ισορροπημένα Γλωσσικά Πλαίσια (Unbalanced Linguistic Framework)	38
2.1.3.5 Μέθοδοι για Διστακτικές Ασαφείς Γλωσσικές Πληροφορίες (Hesitant Fuzzy Linguistic Information).....	40
2.1.3.6 Γλωσσική Μέθοδος TOPSIS (Linguistic Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution)	44
2.2 AFRYCA.....	46

2.2.1 Περιγραφή.....	46
2.2.2 Χρήση του AFRYCA.....	49
2.2.2.1 GDMP (Group Decision Making Problem).....	49
2.2.2.2 Consensus Models.....	49
2.2.2.3 Simulations.....	50
2.2.2.4 Ανάλυση Αποτελεσμάτων.....	51
2.2.2.5 ASE.....	52
2.2.3 Μοντέλα ομοφωνίας στο AFRYCA.....	53
2.2.3.1 Μοντέλα ομοφωνίας με ανατροφοδότηση.....	53
2.2.3.2 Μοντέλα ομοφωνίας χωρίς ανατροφοδότηση.....	79
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ FLINTSTONES ΚΑΙ AFRYCA ΠΡΟΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΜΙΑΣ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ ΣΕ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΧΑΜΗΛΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΝΘΡΑΚΑ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ ΤΗΣ ΑΥΣΤΡΙΑΣ.....	89
3.1 ΓΕΝΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ.....	89
3.2 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ.....	93
3.3 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΜΕΣΩ ΤΟΥ FLINTSTONES.....	95
3.4 ΕΞΕΤΑΣΗ ΟΜΟΦΩΝΙΑΣ ΜΕΣΩ ΤΟΥ AFRYCA.....	98
3.4.1 Εφαρμογή της Μεθόδου επίτευξης ομοφωνίας 1.....	99
3.4.2 Εφαρμογή της Μεθόδου επίτευξης ομοφωνίας 5.....	104
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	109
ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	115

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1.1: Τύποι Προβληματικής και Μέθοδοι Πολυκριτήριας Ανάλυσης Αποφάσεων [6]	5
Πίνακας 1.2: Λογισμικό Πολυκριτήριας Ανάλυσης Αποφάσεων [6]	11
Πίνακας 1.3: Μέθοδοι ανάλυσης αποφάσεων στο FLINTSTONES.....	12
Πίνακας 1.4: Μοντέλα ομοφωνίας στο AFRYCA	14
Πίνακας 2.1: Γλωσσικές Ιεραρχίες	31
Πίνακας 2.2: Εκτεταμένες Γλωσσικές Ιεραρχίες με 3, 5, 7 και 49 ετικέτες.....	34
Πίνακας 3.1: Κίνδυνοι (εναλλακτικές) της απανθρακοποίησης του τομέα σιδήρου και χάλυβα της Αυστρίας.....	93
Πίνακας 3.2: Κριτήρια Αξιολόγησης και αντίστοιχα βάρη.....	94
Πίνακας 3.3: Τελική κατάταξη των κινδύνων.....	95
Πίνακας 3.4: Σημαντικότεροι και λιγότερο σημαντικοί κίνδυνοι ανά κατηγορία	97
Πίνακας 3.5: Αρχική και τελική κατάταξη των κινδύνων βάσει του μοντέλου ομοφωνίας “F.Zou et al. (2015)”	101
Πίνακας 3.6: Επίδραση των παραμέτρων λ και α στα αποτελέσματα του μοντέλου ομοφωνίας “F.Zou et al. (2015)”	103
Πίνακας 3.7: Αρχική και τελική κατάταξη των κινδύνων βάσει του μοντέλου ομοφωνίας “TRANSrisk”	105
Πίνακας 3.8: Επίδραση των παραμέτρων ϵ και α στα αποτελέσματα του μοντέλου ομοφωνίας “TRANSrisk”	107

Ευρετήριο Γραφημάτων

Γράφημα 3.1: Κριτήρια Αξιολόγησης και αντίστοιχα βάρη	94
Γράφημα 3.2: Σπουδαιότητα των κινδύνων βάσει της τελικής κατάταξης	96
Γράφημα 3.3: Σπουδαιότητα των κινδύνων βάσει της κατάταξής τους, μετά την εφαρμογή του μοντέλου ομοφωνίας “F.Zou et al. (2015)”	102
Γράφημα 3.4: Σπουδαιότητα των κινδύνων βάσει της κατάταξής τους, μετά την εφαρμογή του μοντέλου ομοφωνίας “TRANSrisk”	106

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1.1: Μεθοδολογικό πλαίσιο της πολυκριτήριας ανάλυσης αποφάσεων [5].....	4
Εικόνα 1.2: Κατηγορίες μέτρων ομοφωνίας [12].....	10
Εικόνα 2.1: Γενικό σχήμα ανάλυσης αποφάσεων	17
Εικόνα 2.2: Ανάλυση αποφάσεων με γλωσσικές πληροφορίες	17
Εικόνα 2.3: Αρχιτεκτονική του FLINTSTONES.....	18
Εικόνα 2.4: Framework του FLINTSTONES	19
Εικόνα 2.5: Framework Structuring του FLINTSTONES	20
Εικόνα 2.6: Καρτέλα <i>Gathering</i> του FLINTSTONES.....	21
Εικόνα 2.7: Καρτέλα <i>Rating</i> του FLINTSTONES	22
Εικόνα 2.8: Καρτέλα <i>Unification</i> του FLINTSTONES	23
Εικόνα 2.9: Καρτέλα <i>Aggregation</i> του FLINTSTONES.....	24
Εικόνα 2.10: Υπολογιστικές Διαδικασίες σε μη-ισορροπημένα γλωσσικά πλαίσια [42]	39
Εικόνα 2.11: Ορισμός των στοιχείων του context-free grammar GH.....	41
Εικόνα 2.12: Γενικό σχήμα Διαδικασίας Επίτευξης Ομοφωνίας	47
Εικόνα 2.13: Τεχνολογία του AFRYCA	48
Εικόνα 2.14: Καρτέλα GDMP του AFRYCA – Καθορισμός του προβλήματος	49
Εικόνα 2.15: Καρτέλα Consensus Models του AFRYCA – Επιλογή Μοντέλου Ομοφωνίας	50
Εικόνα 2.16: Καρτέλα <i>Simulations</i> του AFRYCA – Εμφάνιση Αποτελεσμάτων	51
Εικόνα 2.17: Καρτέλα <i>Ανάλυσης Αποτελεσμάτων</i> του AFRYCA – Εμφάνιση Ενδιάμεσων Αποτελεσμάτων.....	52
Εικόνα 2.18: Καρτέλα ASE του AFRYCA.....	52
Εικόνα 2.19: Εφαρμογή του αλγόριθμου <i>Fuzzy C-Means</i> (FCM) στις ασαφείς σχέσεις προτίμησης... ..	68
Εικόνα 2.20: Διαδικασία επικαιροποίησης της βαρύτητας μη συνεργατικών clusters	70
Εικόνα 2.21: Γραφική παράσταση για τον υπολογισμό της συνοχής ενός υποσυνόλου [29]	74
Εικόνα 2.22: Συνάρτηση συμμετοχής για το μέγεθος του υποσυνόλου [29].....	76
Εικόνα 3.1: Αποτύπωση αποτελεσμάτων του μοντέλου ομοφωνίας “F.Zou et al. (2015)” ($h_{\max}=15$)	100
Εικόνα 3.2: Αποτύπωση αποτελεσμάτων του μοντέλου ομοφωνίας “F.Zou et al. (2015)” ($h_{\max}=8$) .	100
Εικόνα 3.3: Αποτύπωση αποτελεσμάτων του μοντέλου ομοφωνίας “TRANSrisk”	104

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η αναλυτική παρουσίαση δύο συστημάτων υποστήριξης λήψης αποφάσεων, των λογισμικών FLINTSTONES (*Fuzzy LINGuisTic DeciSion TOols eNhacemEnt Suite*) και AFRYCA (*A FRamework for the analysis of Consensus Approaches*) και η εφαρμογή αυτών για την αξιολόγηση των κινδύνων που προκύπτουν κατά τη μετάβαση του τομέα χάλυβα της Αυστρίας σε τεχνολογίες χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Στόχος είναι να αναδειχθεί η λειτουργικότητα και η χρησιμότητα των δύο εργαλείων κατά την επίλυση προβλημάτων πολυκριτήριας συλλογικής λήψης αποφάσεων και επίτευξης ομοφωνίας, ιδιαίτερα σε προβλήματα που περιλαμβάνουν γλωσσικές μεταβλητές.

Η διάρθρωση της εργασίας έχει ως εξής:

- Στο παρόν Κεφάλαιο παρουσιάζονται ορισμένες εισαγωγικές έννοιες που σχετίζονται με τις διαδικασίες λήψης αποφάσεων, την πολυκριτήρια ανάλυση αποφάσεων και τη χρήση γλωσσικών μεταβλητών σε αυτή την ανάλυση, καθώς και με τις διαδικασίες επίτευξης ομοφωνίας σε περιπτώσεις συλλογικής λήψης αποφάσεων.
- Στο Κεφάλαιο 2 αρχικά παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά του λογισμικού FLINTSTONES και ακολουθεί η αναλυτική παρουσίαση του θεωρητικού υποβάθρου όλων των μεθόδων ανάλυσης αποφάσεων που αυτό περιλαμβάνει. Το δεύτερο μέρος του Κεφαλαίου 2 περιλαμβάνει την παρουσίαση των κύριων χαρακτηριστικών του λογισμικού AFRYCA και την θεωρητική ανάλυση όλων των μοντέλων ομοφωνίας που ενσωματώνονται σε αυτό.
- Το Κεφάλαιο 3 περιλαμβάνει την εφαρμογή των λογισμικών FLINTSTONES και AFRYCA για την αξιολόγηση των κινδύνων απανθρακοποίησης του τομέα του χάλυβα της Αυστρίας, παρουσιάζοντας αρχικά το γενικό πλαίσιο μέσα στο οποίο προκύπτουν οι συγκεκριμένοι κίνδυνοι.
- Τέλος, στο Κεφάλαιο 4 διατυπώνονται τα βασικά συμπεράσματα που προκύπτουν από την παρούσα εργασία και ορισμένες προοπτικές / προτάσεις βελτίωσής της.

1.2 ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΛΗΨΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

1.2.1 Λήψη Αποφάσεων

Ως *Λήψη Απόφασης* μπορεί να οριστεί η επιλογή μεταξύ δύο ή περισσότερων εναλλακτικών επιλογών, η οποία πραγματοποιείται σύμφωνα με ορισμένους περιορισμούς και συνεκτιμώντας διάφορους παράγοντες, με στόχο την επίλυση ενός συγκεκριμένου προβλήματος. Οι αποφάσεις λαμβάνονται συνήθως κάτω από συνθήκες βεβαιότητας, αβεβαιότητας ή κινδύνου. Ο χαρακτηρισμός των συνθηκών είναι κυρίως συνάρτηση των διαθέσιμων πληροφοριών σχετικά με τα αποτελέσματα κάθε εναλλακτικής λύσης. Έτσι, όταν πρόκειται να γίνει επιλογή μεταξύ εναλλακτικών λύσεων, των οποίων τα αποτελέσματα είναι βέβαια (δηλαδή γνωστά εκ των προτέρων), τότε πρόκειται για αποφάσεις που λαμβάνονται κάτω από συνθήκες βεβαιότητας. Αντίθετα, όταν τα αποτελέσματα των

εναλλακτικών λύσεων είναι πιθανά, δηλαδή θα προκύψουν ή δε θα προκύψουν με κάποια πιθανότητα, τότε η απόφαση λαμβάνεται κάτω από συνθήκες κινδύνου. Τέλος, στις περιπτώσεις όπου τα αποτελέσματα των εναλλακτικών λύσεων είναι εντελώς αβέβια, δηλαδή δεν είναι γνωστά ή δεν είναι δυνατόν να υπολογιστεί κάποια πιθανότητα σχετικά με την επίτευξή τους, τότε η απόφαση λαμβάνεται υπό συνθήκες πλήρους αβεβαιότητας.

Η πολυπλοκότητα που ενσωματώνεται σε κάθε πρόβλημα απόφασης, συνδέεται με τρεις θεμελιώδεις παραμέτρους: α) την παράμετρο της αβεβαιότητας (*uncertainty*), β) την ύπαρξη πολλαπλών κριτηρίων (*multiple criteria*), και γ) τις προτιμήσεις (*preferences*) του αποφασίζοντος. Μια επιπλέον, ιδιαίτερα κρίσιμη, παράμετρος η οποία συμβάλλει στην αύξηση της πολυπλοκότητας κάθε απόφασης, είναι η ύπαρξη πολλαπλών εμπλεκόμενων φορέων, εξαιτίας των αλληλεπιδράσεων που παράγονται μεταξύ τους σε επίπεδο στόχων και επιδιώξεων.

Η έννοια του εμπλεκόμενου φορέα αναφέρεται σε εκείνο το άτομο ή συλλογικό όργανο το οποίο, άμεσα ή έμμεσα, επηρεάζει τη διαδικασία της απόφασης, μέσω του συστήματος προτιμήσεων που υιοθετεί. Η επίδραση του εμπλεκόμενου φορέα στη διαδικασία της απόφασης μπορεί να είναι είτε πρώτου βαθμού, ως αποτέλεσμα των ενεργειών του, είτε δεύτερου βαθμού, ως αποτέλεσμα της πίεσης που ενδεχομένως να ασκεί σε άλλους εμπλεκόμενους φορείς [1].

Η λήψη αποφάσεων, επομένως, είναι αποτέλεσμα σύνθετων διαδικασιών, που έχουν σαν στόχο αρχικά να μελετήσουν και να αναλύσουν διεξοδικά τις επιπτώσεις όλων των εναλλακτικών αποφάσεων και στη συνέχεια να προχωρήσουν σε μια προσπάθεια σύνθεσης και σύγκλισης των απαιτήσεων όλων των εμπλεκόμενων στη διαδικασία απόφασης μερών, ώστε να καταλήξουν τελικά στην εύρεση της πλέον κοινά αποδεκτής λύσης.

Σύμφωνα με τον Σίσκο [2], η διαδικασία της απόφασης (*decision process*) συνιστά το αποτέλεσμα της σύγκλισης μιας μεθοδευμένης ακολουθίας ενεργειών. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αυτής, διαδραματίζονται διάφορα γεγονότα, όπως η συλλογή πληροφοριών σχετικών με το πρόβλημα της απόφασης, η ανταλλαγή απόψεων μεταξύ των εμπλεκόμενων μερών, η σύγκρουση συμφερόντων ή ακόμη και ο κατακερματισμός του όλου προβλήματος σε επιμέρους προβλήματα και η μερική επίλυση του κάθε ενός από αυτά σε διαφορετικές στιγμές μέσα στον χρόνο.

1.2.2 Πολυκριτήρια Ανάλυση Αποφάσεων

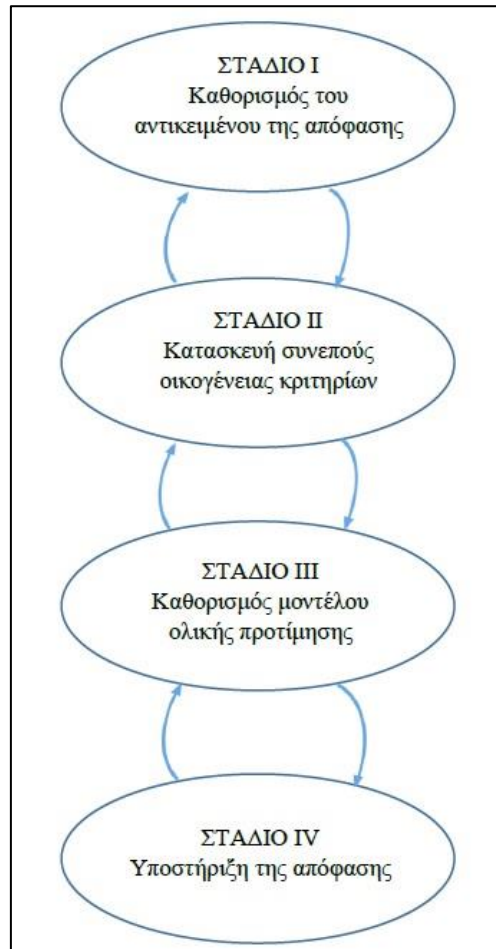
Η Πολυκριτήρια Ανάλυση Αποφάσεων (*Multiple criteria decision analysis – MCDA*) αποτελεί έναν εξελιγμένο χώρο της Επιχειρησιακής Έρευνας, ο οποίος τις τελευταίες δεκαετίες έχει γνωρίσει ιδιαίτερη άνθηση τόσο σε θεωρητικό όσο και σε πρακτικό επίπεδο. Βασικό ρόλο στην ανάπτυξη και διάδοση της πολυκριτήριας ανάλυσης αποτέλεσε η απλή διαπίστωση ότι η επίλυση πολύπλοκων και ιδιαίτερα σημαντικών προβλημάτων λήψης αποφάσεων δεν είναι δυνατό να πραγματοποιείται μέσω μιας μονόπλευρης και μονοδιάστατης ανάλυσης [3].

Η πολυκριτήρια ανάλυση αποφάσεων είναι, υπό μία στενή έννοια, ένα σύνολο εργαλείων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διαδικασίες λήψης αποφάσεων όπου εμφανίζεται ένα φάσμα διαφορετικών και αντικρουόμενων συμφερόντων. Υπό μία ευρύτερη έννοια, η πολυκριτήρια ανάλυση αποτελεί περισσότερο μια προσέγγιση, με σκοπό να υποστηρίξει διαδικασίες σχεδιασμού και λήψης αποφάσεων παρέχοντας ένα πλαίσιο για τη συλλογή, αποθήκευση και επεξεργασία όλων

των σχετικών πληροφοριών. Από αυτή την άποψη, η πολυκριτήρια ανάλυση δεν είναι απλώς μια τεχνική, αλλά ένας τρόπος αντίληψης και καθορισμού της δομής ενός προβλήματος. Σε αυτή την έννοια έχουν προστεθεί και άλλες πτυχές, ορίζοντας την πολυκριτήρια ανάλυση ως «ομπρέλα» κάτω από την οποία περιλαμβάνονται διάφορες τυπικές προσεγγίσεις που χρησιμοποιούνται από ομάδες ή μεμονωμένα άτομα για τη διερεύνηση αποφάσεων που τους αφορούν, λαμβάνοντας υπόψη πολλαπλά κριτήρια.

Τα μεθοδολογικά πλαίσια που βασίζονται στην πολυκριτήρια ανάλυση αποφάσεων συμπεριλαμβάνουν διάφορα κριτήρια στη διαδικασία υποστήριξης αποφάσεων και, κατά συνέπεια, προσφέρουν μια εναλλακτική λύση στις υποθέσεις που κρύβονται κάτω από τις συμβατικές μεθόδους ανάλυσης. Οι μέθοδοι πολυκριτήριας ανάλυσης 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 πολυκριτήριας ανάλυσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να προσδιορίσουν τις ανταλλαγές, τα οφέλη και τις λύσεις συμβιβασμού στα σύνθετα προβλήματα πολιτικής και σχεδιασμού. Οι μέθοδοι πολυκριτήριας ανάλυσης μπορούν να ποικίλουν από απλές προσεγγίσεις που χρειάζονται πολύ λίγες πληροφορίες έως αρκετά περίπλοκες μεθόδους βασισμένες σε μαθηματικές τεχνικές προγραμματισμού, που χρειάζονται εκτενείς πληροφορίες για κάθε ιδιότητα και για τις προτιμήσεις των υπευθύνων για τη λήψη αποφάσεων [4].

Ο Berbard Roy, ένας εκ των θεμελιωτών της σύγχρονης θεωρίας της πολυκριτήριας ανάλυσης, παρουσίασε ένα γενικό μεθοδολογικό πλαίσιο αντιμετώπισης πολυδιάστατων προβλημάτων λήψης αποφάσεων [5]. Το πλαίσιο αυτό, που παρουσιάζεται στην Εικόνα 1.1, ουσιαστικά αποτελεί τη ραχοκοκαλιά κάθε πολυκριτήριας προσέγγισης και χαρακτηρίζει απόλυτα τη φιλοσοφία όλων των μεθοδολογιών του χώρου. Όπως φαίνεται στην εικόνα, η διαδικασία ανάλυσης των προβλημάτων λήψης αποφάσεων στα πλαίσια της πολυκριτήριας προσέγγισης περιλαμβάνει τέσσερα στάδια, μεταξύ των οποίων είναι δυνατόν να αναπτύσσονται αναδράσεις, σε περίπτωση που υπάρχει έλλειψη πληροφόρησης ή σφάλματα τα οποία είναι δυνατόν να διορθωθούν ανατρέχοντας σε προηγούμενα στάδια.



Εικόνα 1.1: Μεθοδολογικό πλαίσιο της πολυκριτήριας ανάλυσης αποφάσεων [5]

Στο πρώτο στάδιο της παραπάνω διαδικασίας, μετά τον προσδιορισμό του συνόλου των εναλλακτικών δραστηριοτήτων, καθορίζεται η *προβληματική της απόφασης*, δηλαδή ο τρόπος με τον οποίο θα πρέπει να εξεταστούν οι εναλλακτικές, ώστε το αποτέλεσμα της ανάλυσης να απαντά με σαφήνεια στο εξεταζόμενο πρόβλημα. Σύμφωνα με τον Roy [5], διακρίνονται τέσσερις κατηγορίες προβληματικής της απόφασης:

- **Προβληματική τύπου α:** Αναφέρεται στην επιλογή (*choice*) μιας ή περισσότερων εναλλακτικών οι οποίες θεωρούνται ως οι πλέον κατάλληλες.
- **Προβληματική τύπου β:** Αναφέρεται στην ταξινόμηση (*classification, sorting*) των εναλλακτικών δραστηριοτήτων σε προκαθορισμένες κατηγορίες.
- **Προβληματική τύπου γ:** Αναφέρεται στην κατάταξη (*ranking*) των εναλλακτικών δραστηριοτήτων από τις καλύτερες προς τις χειρότερες.
- **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. Στον Πίνακα 1.1 παρουσιάζονται οι

πιο διαδεδομένες μέθοδοι πολυκριτήριας ανάλυσης αποφάσεων, ανάλογα με την προβληματική που εμπεριέχουν.

Πίνακας 1.1: Τύποι Προβληματικής και Μέθοδοι Πολυκριτήριας Ανάλυσης Αποφάσεων [6]

Τύπος Προβληματικής	Μέθοδος
Επιλογή	AHP, ANP, MAUT/UTA, MACBETH, PROMETHEE, ELECTRE I, TOPSIS, Goal Programming, DEA
Κατάταξη	AHP, ANP, MAUT/UTA, MACBETH, PROMETHEE, ELECTRE III, TOPSIS, DEA
Ταξινόμηση	AHPSort, UTADIS, FlowSort, ELECTRE-Tri
Περιγραφή	GAIA, FS-Gaia

Όπως προαναφέρθηκε, ένα ευρύ φάσμα μεθοδολογικών προσεγγίσεων έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο της πολυκριτήριας ανάλυσης και έχουν προταθεί διάφορες ομαδοποιήσεις αυτών. Οι Pardalos et al [7] πρότειναν μια 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*). Αποτελεί μια γενίκευση της γνωστής θεωρίας του μαθηματικού προγραμματισμού σε περιπτώσεις όπου πρέπει να βελτιστοποιηθούν πολλαπλές αντικειμενικές συναρτήσεις.
- II. **Πολυκριτήρια θεωρία χρησιμότητας** (*multiattribute utility theory*). Πρόκειται για την «Αμερικάνικη Σχολή» στην πολυκριτήρια ανάλυση, που στοχεύει ακριβώς στην κατασκευή ενός συστήματος αξίας το οποίο προκύπτει από τη σύνθεση των προτιμήσεων/ αξιών των ληπτών αποφάσεων σε ό,τι αφορά στα κριτήρια.
- III. **Θεωρία των σχέσεων υπεροχής** (*outranking relations*). Πρόκειται για τη «Γαλλική ή Ευρωπαϊκή Σχολή» στην πολυκριτήρια ανάλυση και στοχεύει στην αντιμετώπιση του προβλήματος της μη-συγκρισιμότητας μεταξύ των εναλλακτικών. Οι μέθοδοι ELECTRE και PROMETHEE είναι οι δημοφιλέστερες τεχνικές αυτής της κατηγορίας.
- IV. **Αναλυτική-συνθετική προσέγγιση** (*preference disaggregation approach*). Προσανατολίζεται στην ανάπτυξη ενός γενικού μεθοδολογικού πλαισίου, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση αποφάσεων που λαμβάνει ο αποφασίζων, ώστε να καθοριστεί το κατάλληλο υπόδειγμα σύνθεσης των κριτηρίων, το οποίο ανταποκρίνεται στο σύστημα αξιών και προτιμήσεων του αποφασίζοντα. Πρόκειται ουσιαστικά για την ακριβώς αντίθετη διαδικασία από αυτή στη Θεωρία Χρησιμότητας.

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.

1.2.3 Γλωσσικές Μεταβλητές – Computing With Words

Πολύ συχνά στα πολυκριτηριακά προβλήματα λήψης αποφάσεων υπεισέρχονται αβεβαιότητες που σχετίζονται με τους εξής κυρίως παράγοντες [4]:

- *Μη ποσοτικοποιημένη πληροφορία.* Η φύση των παραμέτρων του πολυκριτήριου προβλήματος (κριτήρια, βάρη) μπορεί να μην είναι ποσοτική, με αποτέλεσμα τα μεγέθη αυτά να μην είναι δυνατό να μετρηθούν με μια ποσοτική κλίμακα. Τέτοιες παράμετροι ποιοτικές.
- *Ελλιπής γνώση σχετικά με τις παραμέτρους του προβλήματος.* Οι αποφασίζοντες μπορεί να μην γνωρίζουν όλες τις λεπτομέρειες για κάποιες ή για το σύνολο των παραμέτρων του προβλήματος (ελλιπής γνώση για τις επιδόσεις στα κριτήρια, τα βάρη, τα κατώφλια), γεγονός που δεν τους επιτρέπει τον προσδιορισμό αριθμητικών τιμών για τις παραμέτρους αυτές.
- *Αδυναμία απόκτησης ακριβούς μέτρησης για κάποιες παραμέτρους.* Ανακρίβεια δημιουργείται όταν δεν είναι εφικτή ή είναι πολύ δύσκολη ή δαπανηρή η μέτρηση των επακριβών αριθμητικών τιμών για κάποιες παραμέτρους του προβλήματος.

Η αντιμετώπιση τέτοιων αβεβαιοτήτων καθιστά επιτακτική την ανάγκη ανάπτυξης ευέλικτων συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων. Όταν ένα πρόβλημα λήψης αποφάσεων ορίζεται υπό συνθήκες αβεβαιότητας, οι εμπλεκόμενοι φορείς θεωρούν εύκολο ή είναι πιο εξοικειωμένοι με το να εκφράζουν τις γνώσεις και τις αξιολογήσεις τους χρησιμοποιώντας γλωσσικούς όρους. Η ασαφής λογική και η ασαφής γλωσσική προσέγγιση μπορούν να παρέχουν εργαλεία για την προσομοίωση και τη διαχείριση τέτοιων περιπτώσεων αβεβαιότητας, μέσω της χρήσης γλωσσικών μεταβλητών (*linguistic variables*), δίνοντας αξιόπιστα αποτελέσματα.

Η χρήση γλωσσικών πληροφοριών στην ανάλυση αποφάσεων συνεπάγεται την ανάγκη ανάπτυξης λειτουργιών με γλωσσικές μεταβλητές. Η γλωσσική υπολογιστική προσέγγιση (*Computing With Words*) αποτελεί μια μεθοδολογία βασισμένη σε μια διαδικασία εξομοίωσης των διαδικασιών με τις οποίες ο άνθρωπος εκφράζει και χρησιμοποιεί τις γνώσεις του. Σε αυτό το μεθοδολογικό πλαίσιο, αντικείμενο των υπολογισμών αποτελούν οι λέξεις ή οι φράσεις μιας φυσικής γλώσσας, έτσι ώστε τα αποτελέσματα που θα προκύψουν να αποτυπώνονται με την ίδια γλωσσική μορφή έκφρασης. Έτσι, η γλωσσική προσέγγιση περιλαμβάνει μεταξύ άλλων μία φάση «μετάφρασης» της αρχικής γλωσσικής πληροφορίας ώστε να είναι δυνατή η επεξεργασία της και, στο τέλος της διαδικασίας, μία φάση επανα-μετάφρασης των αποτελεσμάτων σε γλωσσικούς όρους.

Η έννοια των γλωσσικών μεταβλητών και οι σχετικές υπολογιστικές προσεγγίσεις παρουσιάστηκαν από τον Zadeh το 1975 [8]. Από τότε, ο τρόπος αυτός αναπαράστασης της πληροφορίας έχει γίνει αρκετά δημοφιλής και χρησιμοποιείται ευρέως στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων, ιδιαίτερα όταν τα προβλήματα ορίζονται σε περιβάλλον ασάφειας και αβεβαιότητας. Η εφαρμογή αυτών των προσεγγίσεων είναι πολύ αποδοτική στην ανάπτυξη της θεωρίας και των μεθόδων υποστήριξης αποφάσεων, διότι εισάγει ένα πιο ευέλικτο πλαίσιο εργασίας που επιτρέπει την αναπαράσταση των

πληροφοριών με άμεσο και επαρκή τρόπο, όταν δεν είναι εφικτός ο ακριβής ορισμός ποσοτικών πληροφοριών. Με τον τρόπο αυτό, εξαλείφεται και η επιβάρυνση της ποσοτικοποίησης μιας ποιοτικής έννοιας.

Η ανάλυση αποφάσεων με τη χρήση γλωσσικών μεταβλητών περιλαμβάνει τα ακόλουθα βασικά βήματα [4]:

- 1) *Επιλογή ενός συνόλου γλωσσικών όρων και της εννοιολογίας τους:* Αφορά στον καθορισμό των όρων της γλωσσικής έκφρασης για τις γλωσσικές τιμές απόδοσης των εναλλακτικών που αντιστοιχούν στα διάφορα κριτήρια του προβλήματος. 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 των εναλλακτικών.
- 3) *Προσδιορισμός των καλύτερων εναλλακτικών:* Αφορά στον προσδιορισμό των καλύτερων εναλλακτικών, βάσει των παρεχόμενων γλωσσικών τιμών απόδοσης. Διεξάγεται σε δύο φάσεις:
 - i. *Αθροιστική φάση της γλωσσικής πληροφορίας:* Περιλαμβάνει τον υπολογισμό της συνολικής γλωσσικής τιμής απόδοσης για τις εναλλακτικές, αθροίζοντας τις παρεχόμενες γλωσσικές τιμές απόδοσης βάσει όλων των κριτηρίων, μέσω του επιλεγμένου αθροιστικού τελεστή.
 - ii. *Φάση Επεξεργασίας:* Περιλαμβάνει τον προσδιορισμό της κατάταξης των εναλλακτικών βάσει της συνολικής γλωσσικής τιμής απόδοσης, ώστε να εντοπιστούν οι καλύτερες.

1.3 ΣΥΛΛΟΓΙΚΗ ΛΗΨΗ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΟΜΟΦΩΝΙΑ

1.3.1 Συλλογική Λήψη Αποφάσεων

Η συλλογική λήψη απόφασης (*Group Decision Making – GDM*) είναι μια διαδικασία εύρεσης κοινής λύσης σε ένα πρόβλημα λήψης απόφασης, το οποίο περιλαμβάνει ένα σύνολο εναλλακτικών ή πιθανών λύσεων, με τη συμμετοχή πολλών εμπλεκόμενων φορέων. Τα αποτελέσματα λήψης αποφάσεων από πολλούς εμπλεκόμενους φορείς με διαφορετικές εμπειρίες και γνωστικό υπόβαθρο, συνήθως θεωρούνται καλύτερα συγκριτικά με τα αποτελέσματα αποφάσεων που λαμβάνονται από ένα μόνο άτομο [9].

Ένα πρόβλημα συλλογικής λήψης απόφασης μπορεί, τυπικά, να οριστεί ως μία κατάσταση λήψης απόφασης, η οποία περιλαμβάνει:

- Ένα σύνολο από m εμπλεκόμενους φορείς $E = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$, ο καθένας εκ των οποίων έχει τις δικές του γνώσεις, στάσεις και απόψεις
- Ένα πρόβλημα λήψης απόφασης με n εναλλακτικές ή πιθανές λύσεις, οι οποίες συμβολίζονται με $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$
- Την προσπάθεια των εμπλεκόμενων φορέων να βρουν μία κοινή λύση.

Στην τυπική προσέγγιση ενός προβλήματος συλλογικής λήψης απόφασης, κάθε εμπλεκόμενος του συνόλου E εκφράζει τις προτιμήσεις τους για τις εναλλακτικές του συνόλου X , μέσω μιας δομής προτίμησης. Η κατάσταση των εναλλακτικών βάσει προτίμησης (*preference ordering*), οι τιμές / συναρτήσεις αξίας (*utility values/ utility function*) και οι σχέσεις προτίμησης (*preference relation*) είναι ορισμένες από τις πιο διαδεδομένες μορφές αναπαράστασης των προτιμήσεων.

Ορισμένα προβλήματα συλλογικής λήψης αποφάσεων χαρακτηρίζονται, επιπλέον, από την ύπαρξη πολλών κριτηρίων $C = \{c_1, c, \dots, c_q\}$ και οι εμπλεκόμενοι πρέπει να αξιολογήσουν τις εναλλακτικές βασιζόμενοι σε κάθε ένα από τα κριτήρια αυτά. Αυτές οι περιπτώσεις αποτελούν προβλήματα πολυκριτήριας συλλογικής λήψης απόφασης (*Multi-Criteria Group Decision Making – MCGDM*).

Τα προβλήματα συλλογικής λήψης αποφάσεων συνήθως ορίζονται σε περιβάλλον αβεβαιότητας, όπου οι πληροφορίες που σχετίζονται με το πρόβλημα είναι ασαφείς και ανακριβείς. Ορισμένες μορφές έκφρασης των πληροφοριών, που χρησιμοποιούνται συχνά από τους εμπλεκόμενους για να εκφράσουν τις προτιμήσεις τους σε καταστάσεις αβεβαιότητας, είναι οι αριθμητικές τιμές, οι γλωσσικές πληροφορίες και τα διαστήματα τιμών.

Σχετικά με την επίλυση των προβλημάτων συλλογικής λήψης αποφάσεων, υπάρχουν δύο διαδεδομένες προσεγγίσεις: η άμεση και η έμμεση. Στην πρώτη η λύση προκύπτει με άμεσο τρόπο, με βάση τις επιμέρους προτιμήσεις των εμπλεκόμενων και όχι με την εκ των προτέρων απόκτηση μιας συνολικής άποψης. Στη δεύτερη προσέγγιση αρχικά υπολογίζεται η συλλογική προτίμηση, η οποία χρησιμοποιείται στη συνέχεια για τον προσδιορισμό της λύσης του προβλήματος. Η κλασσική διαδικασία προσδιορισμού της εναλλακτικής (ή των εναλλακτικών) που αποτελεί τη λύση ενός προβλήματος συλλογικής λήψης αποφάσεων περιλαμβάνει δύο φάσεις: α) τη φάση συνάθροισης, κατά την οποία συνδυάζονται οι προτιμήσεις των εμπλεκόμενων με τη χρήση τελεστών συνάθροισης και β) τη φάση επεξεργασίας, κατά την οποία προκύπτει η εναλλακτική ή ένα υποσύνολο εναλλακτικών ως λύση του προβλήματος, με τη χρήση κάποιου κριτηρίου επιλογής.

1.3.2 Διαδικασίες Επίτευξης Ομοφωνίας

Η επίλυση ενός προβλήματος λήψης συλλογικής απόφασης μέσω των δύο βασικών φάσεων που περιγράφονται παραπάνω, δηλαδή τη συνάθροιση των επιμέρους προτιμήσεων και την επεξεργασία για τον προσδιορισμό της βέλτιστης εναλλακτικής, δεν εγγυάται την αποδοχή της λύσης από όλους τους εμπλεκόμενους φορείς, καθώς ορισμένοι από αυτούς μπορεί να θεωρούν ότι οι δικές τους απόψεις δεν έχουν ληφθεί υπόψη με τον κατάλληλο τρόπο. Στην πραγματικότητα, σε πολλά προβλήματα συλλογικής λήψης αποφάσεων, ο υψηλός βαθμός αποδοχής της λύσης από το σύνολο των εμπλεκόμενων φορέων είναι ιδιαίτερα σημαντικός. Για το λόγο αυτό, μία επιπλέον φάση προστίθεται στο γενικό σχήμα επίλυσης προβλημάτων συλλογικής λήψης αποφάσεων, η οποία ονομάζεται φάση «ομοφωνίας» (*consensus*) ή διαδικασία επίτευξης ομοφωνίας (*Consensus Reaching Process - CRP*).

Η έννοια της ομοφωνίας έχει δεχθεί διάφορες ερμηνείες, που εκτείνονται από την πλήρη συμφωνία, η οποία συνήθως είναι δύσκολο να επιτευχθεί στην πράξη, έως πιο ευέλικτες ερμηνείες. Οι Saint et al [10] ορίζουν την ομοφωνία ως μία «κατάσταση αμοιβαίας συμφωνίας μεταξύ των μελών μιας ομάδας, όπου όλες οι εύλογες ανησυχίες των μελών έχουν αντιμετωπιστεί για την ικανοποίηση του συνόλου». Οι Kasprzyk et al [11] παρουσίασαν την έννοια της «ήπιας ομοφωνίας» (*soft consensus*),

βασιζόμενοι στην ιδέα της ασαφούς πλειοψηφίας, σύμφωνα με την οποία ομοφωνία υπάρχει όταν οι περισσότεροι από τους σημαντικούς εμπλεκόμενους φορείς συμφωνούν για το σύνολο σχεδόν των σχετικών επιλογών. Στις ευέλικτες ερμηνείες της ομοφωνίας γίνεται η υπόθεση ότι η ομοφωνία μπορεί να μετρηθεί ως διαφορετικά επίπεδα μερικής συμφωνίας, τα οποία εκφράζουν το πόσο μακριά βρίσκονται οι απόψεις των εμπλεκόμενων από την πλήρη συμφωνία. Έτσι, ένα σημαντικό αντικείμενο έρευνας στον τομέα της ομοφωνίας στη συλλογική λήψη αποφάσεων είναι ο καθορισμός κατάλληλων μέτρων ομοφωνίας, τα οποία υπολογίζουν το τρέχον επίπεδο της συμφωνίας σε μια ομάδα, βάσει των επιμέρους προτιμήσεων των μελών της [12].

Η διαδικασία επίτευξης ομοφωνίας είναι μία δυναμική και επαναληπτική διαδικασία συζήτησης και μεταβολής των αρχικών προτιμήσεων των εμπλεκόμενων φορέων, με στόχο την επίτευξη ενός υψηλού επιπέδου συλλογικής συμφωνίας. Η διαδικασία αυτή συνήθως συντονίζεται από ένα άτομο, τον συντονιστή (moderator), ο οποίος έχει την ευθύνη επίβλεψης και καθοδήγησης της συζήτησης μεταξύ των εμπλεκόμενων.

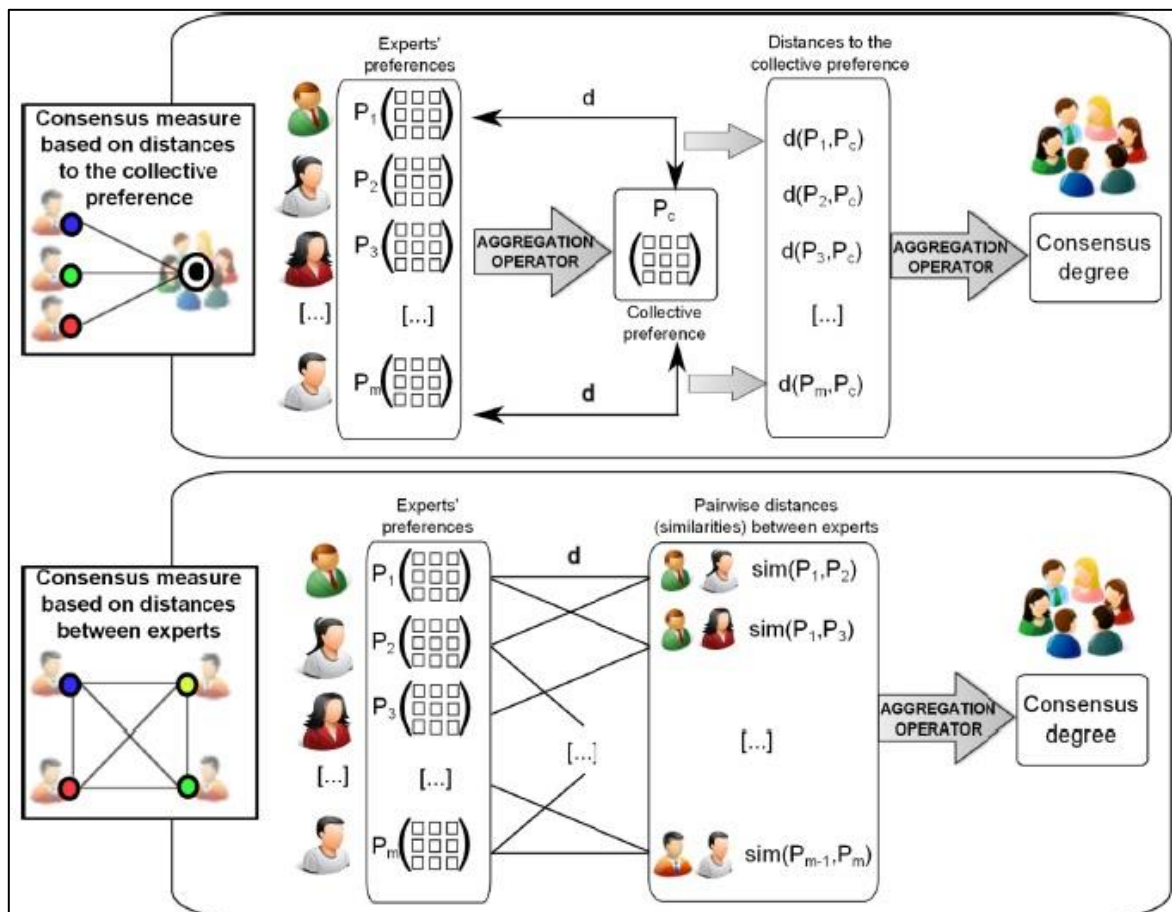
Ένας μεγάλος αριθμός μοντέλων ομοφωνίας έχουν παρουσιαστεί από διάφορους ερευνητές τις τελευταίες δεκαετίες, για την υποστήριξη των διαδικασιών επίτευξης ομοφωνίας σε προβλήματα συλλογικής λήψης αποφάσεων. Η πλειοψηφία των μοντέλων αυτών ακολουθούν το γενικό σχήμα της διαδικασίας επίτευξης ομοφωνίας, του οποίου τα βασικά βήματα είναι τα εξής:

- 1) *Συγκέντρωση προτιμήσεων.* Σε αυτή τη φάση συλλέγονται οι παρεχόμενες προτιμήσεις κάθε εμπλεκόμενου φορέα.
- 2) *Μέτρηση ομοφωνίας.* Ο συντονιστής χρησιμοποιεί τις επιμέρους προτιμήσεις των εμπλεκόμενων για να υπολογίσει το τρέχον επίπεδο συμφωνίας της ομάδας, μέσω μέτρων ομοφωνίας. Ανάλογα με το είδος των υπολογιστικών διαδικασιών και των μεθόδων ενοποίησης των πληροφοριών που εφαρμόζονται, τα υφιστάμενα μέτρα ομοφωνίας ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες [12]:
 - Μέτρα ομοφωνίας που βασίζονται στις αποστάσεις από τη συλλογική προτίμηση: Σε αυτή την περίπτωση, αρχικά υπολογίζεται μία συλλογική προτίμηση μέσω της συνάθροισης όλων των επιμέρους προτιμήσεων των εμπλεκόμενων και, στη συνέχεια, οι βαθμοί ομοφωνίας προκύπτουν από τον υπολογισμό των αποστάσεων των επιμέρους προτιμήσεων κάθε εμπλεκόμενου από τη συλλογική προτίμηση.
 - Μέτρα ομοφωνίας που βασίζονται στις αποστάσεις μεταξύ των εμπλεκόμενων: σε αυτή την περίπτωση, αρχικά υπολογίζονται οι τιμές ομοιότητας ανάμεσα σε κάθε ζεύγος εμπλεκόμενων της ομάδας, με βάση δείκτες ομοιότητας/ απόστασης, και στη συνέχεια οι βαθμοί ομοφωνίας προκύπτουν από τη συνάθροιση αυτών των τιμών ομοιότητας.
- 3) *Έλεγχος ομοφωνίας.* Ο βαθμός ομοφωνίας που προκύπτει από το προηγούμενο βήμα συγκρίνεται με ένα κατώφλι, το οποίο εκφράζει την ελάχιστη τιμή αποδεκτής συμφωνίας. Αν ο βαθμός ομοφωνίας είναι μεγαλύτερος από το κατώφλι αυτό, τότε η επιθυμητή ομοφωνία έχει επιτευχθεί και η ομάδα προχωρά στη φάση προσδιορισμού της λύσης του προβλήματος. Διαφορετικά, πρέπει να λάβει χώρα ένας ακόμη κύκλος συζήτησης. Με στόχο την αποφυγή μιας διαδικασίας χωρίς τέλος, με άπειρο δηλαδή αριθμό επαναλήψεων, ορίζεται ένα ακόμη κατώφλι: ο μέγιστος αριθμός των επιτρεπόμενων κύκλων συζήτησης.

4) *Εξέλιξη ομοφωνίας*. Για την αύξηση του επιπέδου συμφωνίας κατά τη διάρκεια των κύκλων συζήτησης, πρέπει να ακολουθηθεί μία διαδικασία, η οποία χωρίζεται σε δύο κατηγορίες:

- Διαδικασία που περιλαμβάνει έναν μηχανισμό *ανατροφοδότησης (feedback)*, όπου ο συντονιστής εντοπίζει τις αξιολογήσεις/ προτιμήσεις που βρίσκονται πιο μακριά από την ομοφωνία και παρέχει συστάσεις/ συμβουλές στους αντίστοιχους εμπλεκόμενους, ώστε να μεταβάλουν τις αξιολογήσεις τους προς την κατεύθυνση αύξησης του βαθμού ομοφωνίας στους επόμενους κύκλους συζήτησης. Κάθε εμπλεκόμενος είναι υπεύθυνος για τη μεταβολή των αξιολογήσεών του, έτσι ώστε να πλησιάσουν τη συλλογική προτίμηση.
- Διαδικασία χωρίς μηχανισμό ανατροφοδότησης, όπου οι αξιολογήσεις των εμπλεκόμενων επικαιροποιούνται αυτόματα με τη χρήση διαφόρων μεθόδων, για την αύξηση της ομοφωνίας στην ομάδα.

Στην Εικόνα 1.2 που ακολουθεί, παρουσιάζεται ένα γενικό σχήμα των υπολογισμών που υλοποιούνται στις δύο κατηγορίες μέτρησης ομοφωνίας που περιγράφονται στο δεύτερο βήμα παραπάνω.



Εικόνα 1.2: Κατηγορίες μέτρων ομοφωνίας [12]

1.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΛΗΨΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Η πολυπλοκότητα και η δυσκολία των προβλημάτων πολυκριτήριας ανάλυσης και συλλογικής λήψης αποφάσεων, αλλά και των διαδικασιών επίτευξης ομοφωνίας στα προβλήματα αυτά, σε συνδυασμό με τη σπουδαιότητα των αποφάσεων για την επαγγελματική, κοινωνική ή και προσωπική ζωή του ανθρώπου, έχουν οδηγήσει στην εμφάνιση ολοένα και αυξανόμενου ενδιαφέροντος για την ανάπτυξη και εφαρμογή συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων. Η πολυκριτήρια ανάλυση εφαρμόζεται πλέον ευρέως και αναπτύσσεται συνεχώς, θεωρητικά και πρακτικά, σε όλο και περισσότερες επιστήμες και τομείς. Σημαντικό ρόλο σε αυτή τη διάδοση έπαιξε και η τεχνολογική ανάπτυξη των τελευταίων δεκαετιών, που παρείχε ταχύτερα, αποδοτικότερα και πιο αξιόπιστα υπολογιστικά εργαλεία για την εφαρμογή των μεθοδολογικών εξελίξεων της πολυκριτήριας ανάλυσης.

Η πρόοδος των τελευταίων δεκαετιών στα μαθηματικά και την επιστήμη των υπολογιστών κατέστησε δυνατή τη χρήση των συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων σε πολλά και διαφορετικά πεδία εφαρμογής. Αρχικά αφορούσαν ακαδημαϊκά θέματα και ερευνητικές εφαρμογές, όμως αργότερα, λόγω μεγαλύτερης ευκολίας στη χρήση τους, άρχισαν να βρίσκουν πληθώρα άλλων εφαρμογών. Κυριότερες από αυτές είναι οι οικονομικές επιστήμες, η διοίκηση επιχειρήσεων και οργανισμών, οι τηλεπικοινωνίες, η διαχείριση αγροτικών εκτάσεων, η διαχείριση συστημάτων παραγωγής, η μηχανική περιβάλλοντος, η διαχείριση ενέργειας, η ιατρική, η χημεία [13]. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν εφαρμογές συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων με χρήση πολυκριτήριας ανάλυσης πάνω σε χρηματοοικονομικά προβλήματα [14], [15], σε προβλήματα πολεοδομικού σχεδιασμού [16], σε σχέδια μάρκετινγκ [17] και στην αντιμετώπιση προβλημάτων στρατηγικού σχεδιασμού [18]. Επίσης, σημαντικά βήματα στον χώρο αποτελούν τα συστήματα υποστήριξης λήψης συλλογικών αποφάσεων [19], [20], καθώς και η ανάπτυξη ευφύων συστημάτων υποστήριξης λήψης αποφάσεων, τα οποία συνδυάζουν μεθόδους πολυκριτήριας ανάλυσης με τεχνικές από το χώρο της τεχνητής νοημοσύνης [21], [22]. Πλέον, τα σύγχρονα συστήματα υποστήριξης λήψης αποφάσεων χαρακτηρίζονται από ευελιξία και αυξημένη ευφυΐα και συνήθως αξιοποιούν και την κρίση των υπευθύνων λήψης αποφάσεων.

Πολλοί ερευνητές, λοιπόν, αλλά και εμπορικές εταιρείες, έχουν αναπτύξει διάφορες εφαρμογές και είδη λογισμικού κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, για την υποστήριξη των χρηστών στον καθορισμό και την επίλυση προβλημάτων λήψης αποφάσεων. Στον Πίνακα 1.2 παρουσιάζονται, ενδεικτικά, ορισμένα από τα εργαλεία αυτά με τις μεθόδους πολυκριτήριας ανάλυσης αποφάσεων που χρησιμοποιούν [6].

Πίνακας 1.2: Λογισμικό Πολυκριτήριας Ανάλυσης Αποφάσεων [6]

Κατηγορία Προβληματικής	Μέθοδοι	Λογισμικό
Κατάταξη, Περιγραφή, Επιλογή	PROMETHEE – GAIA	Decision Lab, D-Sight, Smart Picker Pro, Visual Promethee
Κατάταξη, Επιλογή	PROMETHEE	DECERNS
	ELECTRE	Electre IS, Electre III-IV
	UTA	Right Choice, UTA+, DECERNS

Κατηγορία Προβληματικής	Μέθοδοι	Λογισμικό
	AHP	MakeltRational, ExpertChoice, Decision Lens, HIPRE 3+, RightChoiceDSS, Criterium, EasyMind, Questfox, ChoiceResults, 123AHP, DECERNS
	ANP	Super Decisions, Decision Lens
	MACBETH	M-MACBETH
	TOPSIS	DECERNS
	DEA	Win4DEAP, Efficiency Measurement System, DEA Solver Online, DEAFrontier, DEA-Solver PRO, Frontier Analyst
Ταξινόμηση, Περιγραφή	FlowSort - FS-GAIA	Smart Picker Pro
Ταξινόμηση	ELECTRE-Tri	Electre Tri, IRIS

Όσον αφορά την υποστήριξη λήψης αποφάσεων σε προβλήματα με γλωσσικές μεταβλητές, αν και υπάρχουν διαθέσιμα διάφορα υπολογιστικά μοντέλα και εργαλεία λογισμικού (π.χ. *Decider*, *jFuzzyLogic*), ελάχιστα είναι εκείνα που εφαρμόζουν τις διαδικασίες της γλωσσικής υπολογιστικής προσέγγισης (*Computing With Words*) για την επίλυση γλωσσικών προβλημάτων λήψης αποφάσεων και δίνουν αποτελέσματα εύκολα κατανοητά από τους χρήστες. Με στόχο την κάλυψη αυτού του κενού, αναπτύχθηκε το λογισμικό FLINTSTONES (*Fuzzy LINGuistic DeciSion TOols eNhacemEnt Suite*), το οποίο βασίζεται στο γλωσσικό μοντέλο διπλής αναπαράστασης και σε διάφορες επεκτάσεις του για την επίλυση προβλημάτων λήψης αποφάσεων που ορίζονται σε γλωσσικά και περίπλοκα περιβάλλοντα, και παρέχει γλωσσικά αποτελέσματα, σε μορφή που εύκολα αντιλαμβάνονται και ερμηνεύουν οι χρήστες [23]. Επιπλέον, τα αποτελέσματα του FLINTSTONES μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δεδομένα εισόδου σε ένα άλλο λογισμικό, το AFRYCA (*A FFramework for the analYsis of Consensus Approaches*), το οποίο χρησιμοποιείται για την υποστήριξη και καθοδήγηση των διαδικασιών επίτευξης ομοφωνίας σε προβλήματα συλλογικής λήψης αποφάσεων, ενσωματώνοντας διάφορα μοντέλα ομοφωνίας που απαντώνται στη βιβλιογραφία. Τα δύο αυτά εργαλεία και οι σχετικές μέθοδοι που αυτά ενσωματώνουν, περιγράφονται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 2 που ακολουθεί. Στον Πίνακα 1.3 παρουσιάζονται συνοπτικά οι μέθοδοι ανάλυσης αποφάσεων που περιλαμβάνονται στο FLINTSTONES και στον Πίνακα 1.4 τα διάφορα μοντέλα ομοφωνίας του AFRYCA.

Πίνακας 1.3: Μέθοδοι ανάλυσης αποφάσεων στο FLINTSTONES

Μέθοδος Ανάλυσης Αποφάσεων	Βασικά Στοιχεία
2-tuple linguistic computational model	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Γλωσσικό μοντέλο διπλής αναπαράστασης ▪ Μετατροπή γλωσσικών αξιολογήσεων των εναλλακτικών σε όρους διπλής αναπαράστασης (ζεύγος τιμών -ένας γλωσσικός όρος και μία αριθμητική τιμή) ▪ Συνάθροιση για τον υπολογισμό συλλογικής τιμής απόδοσης κάθε εναλλακτικής ▪ Σύγκριση συλλογικών τιμών απόδοσης και κατάταξη των εναλλακτικών ▪ Ακρίβεια, απλότητα, ευκολία στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων

Μέθοδος Ανάλυσης Αποφάσεων	Βασικά Στοιχεία
Fusion approach for managing multi-granular linguistic information	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Μέθοδος ενοποίησης γλωσσικών πληροφοριών πολλαπλών στοιχείων ▪ Διαχείριση συνόλων γλωσσικών όρων με διαφορετικές γλωσσικές κλίμακες ▪ Ενοποίηση των γλωσσικών κλιμάκων σε ένα βασικό σύνολο ▪ Κατάλληλη για προβλήματα με πολλαπλές πηγές πληροφοριών
Linguistic Hierarchies	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Μέθοδος Γλωσσικών Ιεραρχιών ▪ Δημιουργία ενός συνόλου επιπέδων, με το καθένα να αντιστοιχεί σε ένα σύνολο γλωσσικών όρων με διαφορετικό πλήθος στοιχείων ▪ Ομογενοποίηση των πληροφοριών μεταξύ διαδοχικών επιπέδων ▪ Κατάλληλη για προβλήματα με γλωσσικές πληροφορίες εκφρασμένες σε διαφορετικές κλίμακες
Extended Linguistic Hierarchies	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Επέκταση της μεθόδου των Γλωσσικών Ιεραρχιών ▪ Ομογενοποίηση των πληροφοριών ανάμεσα σε οποιαδήποτε επίπεδα της ιεραρχίας ▪ Κατάλληλη για προβλήματα με γλωσσικές πληροφορίες εκφρασμένες σε διαφορετικές κλίμακες, χωρίς περιορισμό στο πλήθος των όρων κάθε κλίμακας
Fusion approach for managing heterogeneous information	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Μέθοδος διαχείρισης ανομοιογενών πληροφοριών ▪ Ομογενοποίηση των πληροφοριών με τη χρήση ασαφών συνόλων ▪ Κατάλληλη για προβλήματα όπου κάθε εμπλεκόμενος εκφράζει τις εκτιμήσεις του με διαφορετικούς τρόπους (αριθμητικές τιμές, γλωσσικές τιμές ή διαστήματα τιμών)
Methodology to deal with unbalanced linguistic term sets	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Μέθοδος διαχείρισης μη ισορροπημένων γλωσσικών πλαισίων ▪ Βασισμένη στις γλωσσικές ιεραρχίες και το μοντέλο διπλής αναπαράστασης ▪ Κατάλληλη για προβλήματα με τις αξιολογήσεις των εναλλακτικών να εκφράζονται μέσω συνόλων γλωσσικών όρων, στα οποία οι όροι δεν είναι ούτε ομοιόμορφοι ούτε συμμετρικά κατανεμημένοι
Hesitant Fuzzy Linguistic Term Set (HFLTS)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Μέθοδος Διστακτικών Ασαφών Γλωσσικών Συνόλων ▪ Δημιουργία υποσυνόλων με διαδοχικούς γλωσσικούς όρους του αρχικού γλωσσικού συνόλου ▪ Αντιμετώπιση περιπτώσεων όπου οι εμπλεκόμενοι διστάζουν μεταξύ δύο όρων να διατυπώσουν με σαφήνεια τις προτιμήσεις τους ▪ Κατάλληλη μόνο για προβλήματα με έναν εμπλεκόμενο και αξιολογήσεις εκφρασμένες στην ίδια κλίμακα
Hesitant fuzzy linguistic information 2-tuple	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Μέθοδος Διστακτικών Ασαφών Γλωσσικών Συνόλων με συνδυασμό του μοντέλου διπλής αναπαράστασης ▪ Επέκταση της προηγούμενης μεθόδου, με μετασχηματισμό των αποτελεσμάτων σε γλωσσικές εκφράσεις ώστε να είναι εύκολα αντιληπτά από το χρήστη ▪ Εφαρμογή και σε προβλήματα με περισσότερους εμπλεκόμενους και αξιολογήσεις εκφρασμένες με γλωσσικούς όρους ή συγκριτικές γλωσσικές εκφράσεις
Linguistic Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Γλωσσική μέθοδος TOPSIS ▪ Μετατροπή των γλωσσικών αξιολογήσεων των εναλλακτικών και των βαρών των κριτηρίων σε όρους διπλής αναπαράστασης ▪ Υπολογισμός αποδόσεων κάθε εναλλακτικής ▪ Προσδιορισμός της ιδανικής εναλλακτικής λύσης και της αρνητικά ιδανικής λύσης και της απόκλισης κάθε εναλλακτικής από αυτές, βάσει της οποίας γίνεται η κατάταξη των εναλλακτικών ▪ Ευρεία εφαρμογή σε προβλήματα με γλωσσικές πληροφορίες, ακόμη και με διαφορετικές γλωσσικές κλίμακες ▪ Αδυναμία εφαρμογής σε προβλήματα με μη-ισορροπημένα γλωσσικά σύνολα

Πίνακας 1.4: Μοντέλα ομοφωνίας στο AFRYCA

Μοντέλο Ομοφωνίας	Βασικά Στοιχεία
A. Με Ανατροφοδότηση	
A1. E. Herrera – Viedma et al (2002) [24]	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Μοντέλο ομοφωνίας για προβλήματα με πολλούς εμπλεκόμενους φορείς και διαφορετικές εκφράσεις προτίμησης ▪ Ομογενοποίηση των προτιμήσεων με τη μετατροπή τους σε ασαφείς σχέσεις προτίμησης ▪ Υπολογισμός μέτρου ομοφωνίας και μέτρου εγγύτητας μέσω της σύγκρισης των επιμέρους προτιμήσεων κάθε εμπλεκόμενου με τη συλλογική προτίμηση ▪ Υπολογισμός ομοφωνίας σε κάθε κύκλο συζήτησης μέσω της σύγκρισης των εναλλακτικών μεταξύ τους
A2. F. Chiclana et al (2008) [25]	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Μοντέλο ομοφωνίας για προβλήματα με ασαφείς σχέσεις προτίμησης ▪ Εφαρμογή ενός συστήματος ελέγχου της συνέπειας (consistency) των αρχικών προτιμήσεων των εμπλεκόμενων ▪ Προσδιορισμός μέτρου ομοφωνίας μέσω υπολογισμού του βαθμού ομοιότητας σε ζεύγη εμπλεκόμενων
A3. F. Quesada et al (2015) [26]	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Μοντέλο ομοφωνίας για προβλήματα μεγάλης κλίμακας (μεγάλος αριθμός εμπλεκόμενων) ▪ Εφαρμογή μιας μεθοδολογία στάθμισης των εμπλεκόμενων ▪ Χρήση uninorm τελεστών συνάθροισης για την απόδοση βαρών στους εμπλεκόμενους, βάσει της συνολικής συμπεριφοράς τους κατά τη διάρκεια της διαδικασίας επίτευξης ομοφωνίας, αλλά και βάσει της εξέλιξης αυτής της συμπεριφοράς
A4. I. Palomares et al (2014) [27]	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Μοντέλο ομοφωνίας για προβλήματα όπου οι προτιμήσεις των εμπλεκόμενων εκφράζονται με γλωσσικούς όρους, συμμετρικά διανεμημένους γύρω από το μεσαίο όρο μιας κλίμακας με περιττό αριθμό στοιχείων ▪ Διαδικασίες υπολογιστικής με γλωσσικούς όρους και θεωρία ασαφών συνόλων ▪ Απόδοση βαρών στους εμπλεκόμενους βάσει της συμπεριφοράς τους μόνο στον τρέχοντα κύκλο συζήτησης της διαδικασίας ομοφωνίας
A5. I. Palomares et al (2014)- Clustering [28]	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Μοντέλο ομοφωνίας για προβλήματα μεγάλης κλίμακας (μεγάλος αριθμός εμπλεκόμενων) ▪ Εφαρμογή ενός μηχανισμού ασαφούς ταξινόμησης (fuzzy clustering) για τον προσδιορισμό και τη διαχείριση μη συνεργατικών συμπεριφορών κατά τη διαδικασία επίτευξης ομοφωνίας
A6. J. Kacprzyk et al (2010) [11]	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Μοντέλο ομοφωνίας βασισμένο στην έννοια της «ήπιας» ομοφωνίας (soft consensus), σε προβλήματα με ασαφείς σχέσεις προτίμησης ▪ Υπολογισμός βαθμών ομοφωνίας σε διάφορα επίπεδα, με χρήση του τελεστή συνάθροισης Ordered Weighted Aggregation (OWA) ▪ Μηχανισμός ανατροφοδότησης με εντοπισμό των ζευγών εναλλακτικών με τη χαμηλότερη ομοφωνία και παροχή συστάσεων στους αντίστοιχους εμπλεκόμενους φορείς

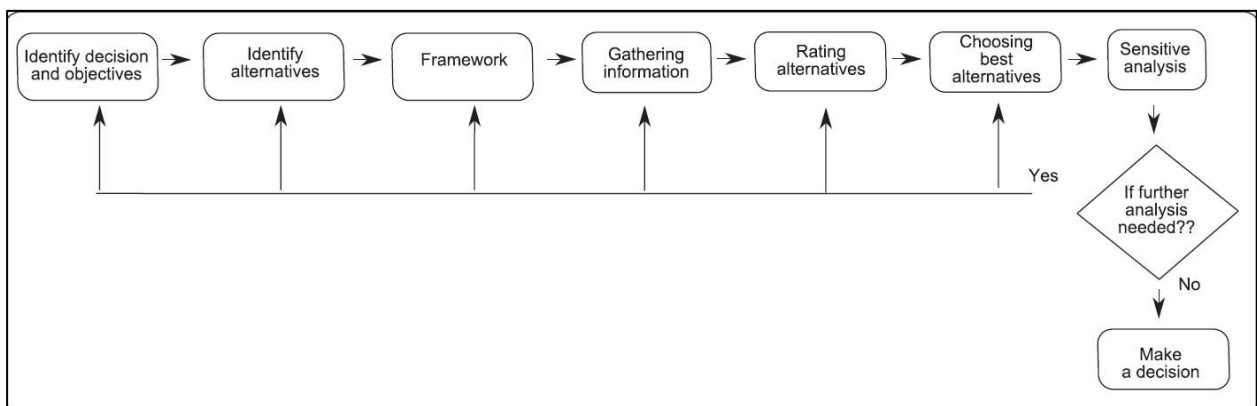
Μοντέλο Ομοφωνίας	Βασικά Στοιχεία
A7. R. Rodriguez et al (2018) [29]	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Μοντέλο ομοφωνίας για προβλήματα μεγάλης κλίμακας (μεγάλος αριθμός εμπλεκόμενων) ▪ Ταξινόμηση των εμπλεκόμενων (clustering) για την απόδοση βαρύτητας στις υποομάδες αυτών ▪ Χρήση διστακτικών σαφών συνόλων για τη μοντελοποίηση των προτιμήσεων με τη μικρότερη δυνατή απώλεια πληροφορίας ▪ Μηχανισμός ανατροφοδότησης για την παροχή συμβουλών, βασισμένος στην υπάρχουσα ομοφωνία, με στόχο τον περιορισμό του χρόνου της διαδικασίας επίτευξης ομοφωνίας
B. Χωρίς Ανατροφοδότηση	
B1. Zou et al (2015) [30]	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Μοντέλο ομοφωνίας για πολυκριτηριακά προβλήματα με γλωσσικές μεταβλητές, όπου οι αξιολογήσεις έχουν τη μορφή γλωσσικών 2-tuple ▪ Εφαρμογή αλγορίθμου για τον εντοπισμό και τη μετατροπή των μη αποδεκτών προτιμήσεων σε αποδεκτές
B2. Zhang et al (2011) [31]	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Μοντέλο ομοφωνίας για προβλήματα με ασαφείς σχέσεις προτίμησης ▪ Χρήση μοντέλων γραμμικού προγραμματισμού για την επίλυση θεμάτων που σχετίζονται με τη συνέπεια των ασαφών σχέσεων προτίμησης, τη συνολική ομοφωνία και τη διαχείριση ασαφών σχέσεων που δεν είναι πλήρεις
B3. Zhang et al (2011) – Minimum cost [32]	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Μοντέλο ομοφωνίας ελαχίστου κόστους ▪ Χρήση γραμμικού προγραμματισμού και διαφόρων τελεστών συνάθροισης
B4. Labella et al (2018) [9]	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Μοντέλο ομοφωνίας ελαχίστου κόστους για προβλήματα με ασαφείς σχέσεις προτίμησης ▪ Βασισμένο στις αποστάσεις μεταξύ των αρχικών προτιμήσεων των εμπλεκόμενων και της συλλογικής προτίμησης και στο βαθμό ομοφωνίας ▪ Παροχή βέλτιστης λύσης ομοφωνίας με το ελάχιστο κόστος, χωρίς αυτή η λύση να εξαρτάται από την εξέλιξη της άποψης των εμπλεκόμενων.
B5. TRANSrisk	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Μοντέλο ομοφωνίας ελαχίστου κόστους ▪ Βασισμένο στο Μοντέλο B4, με τη διαφορά ότι οι αρχικές προτιμήσεις των εμπλεκόμενων εκφράζονται με τη μορφή γλωσσικών διπλών αναπαραστάσεων (2-tuples)
B6. Xu et al (2013) [33]	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Μοντέλο ομοφωνίας για προβλήματα με ασαφείς σχέσεις προτίμησης ▪ Βασισμένο στις αποστάσεις μεταξύ των αρχικών προτιμήσεων ▪ Απόδοση βαρών στις ασαφείς σχέσεις προτίμησης ▪ Αυτόματος υπολογισμός βαρών, μέσω ενός μοντέλου ελαχιστοποίησης των αποστάσεων.
B7. Wu et al (2012) [34]	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Μοντέλο ομοφωνίας για προβλήματα με ασαφείς σχέσεις προτίμησης και εμπλεκόμενους με διαφορετική βαρύτητα ο καθένας ▪ Υπολογισμός ομοφωνίας για κάθε εμπλεκόμενο ξεχωριστά, βάσει της απόστασης ανάμεσα στις προτιμήσεις του και στη συλλογική προτίμηση ▪ Εφαρμογή μηχανισμού εντοπισμού των εμπλεκόμενων με χαμηλό δείκτη ομοφωνίας και επικαιροποίηση των αντίστοιχων προτιμήσεων με τη χρήση ενός συντελεστή επικαιροποίησης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: FLINTSTONES ΚΑΙ AFRYCA

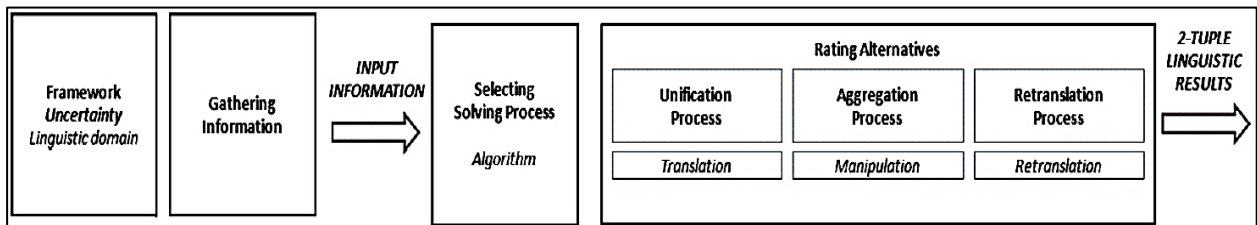
2.1 FLINTSTONES

2.1.1 Περιγραφή

Το FLINTSTONES (*Fuzzy LINGuistic DeciSion TOols eNhacemEnt Suite*) είναι ένα λογισμικό που αναπτύχθηκε με σκοπό την επίλυση προβλημάτων λήψης αποφάσεων με γλωσσικούς όρους και βασίζεται στο γλωσσικό μοντέλο διπλής αναπαράστασης (2-tuple) και τις επεκτάσεις του. Παρέχει γλωσσικά αποτελέσματα, εύκολα κατανοητά από τον χρήστη, ακολουθώντας το γενικό σχήμα ανάλυσης αποφάσεων, προσαρμοσμένο στη διαχείριση γλωσσικών πληροφοριών, όπως παρουσιάζεται στις παρακάτω Εικόνες.



Εικόνα 2.1: Γενικό σχήμα ανάλυσης αποφάσεων



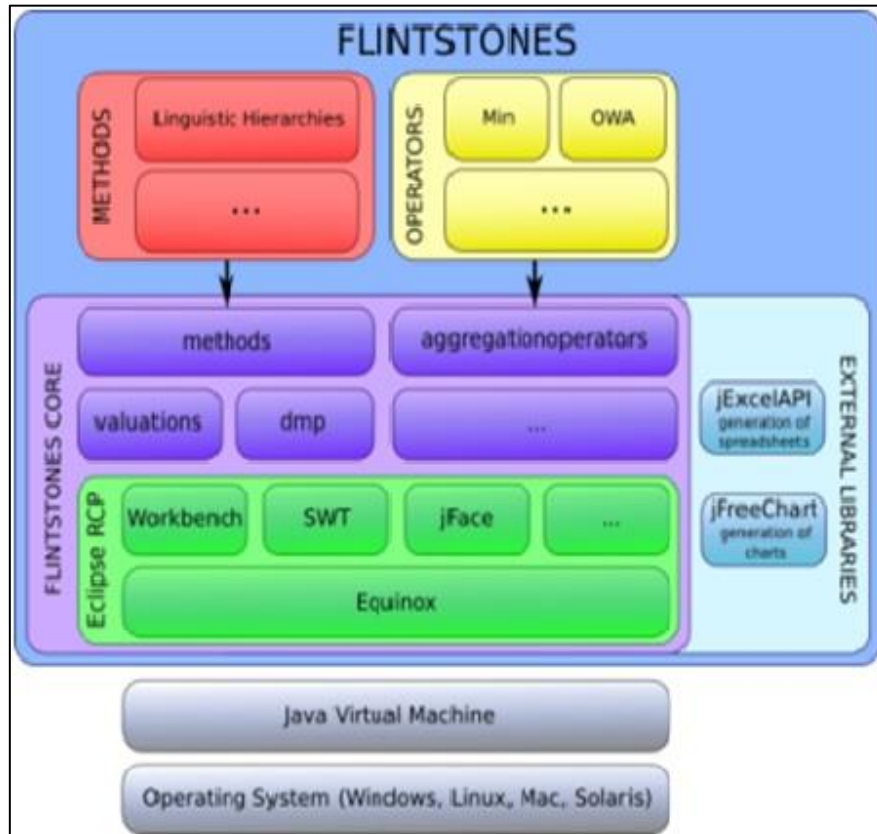
Εικόνα 2.2: Ανάλυση αποφάσεων με γλωσσικές πληροφορίες

Το FLINTSTONES αναπτύχθηκε ως μία εφαρμογή Eclipse Rich Client Platform (Eclipse RCP). Μία εφαρμογή Eclipse RCP αποτελείται από διάφορες ενότητες (Eclipse components), που ονομάζονται και plug-ins. Το FLINTSTONES περιλαμβάνει περισσότερες από 15 ενότητες, που μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερις βασικές κατηγορίες:

- Βιβλιοθήκες (*Libraries*): Παρέχουν τις δομές και τις διαδικασίες για την υποστήριξη της ανάλυσης ενός προβλήματος λήψης αποφάσεων. Περιλαμβάνουν στοιχεία, όπως: εμπλεκόμενοι φορείς, εναλλακτικές, κριτήρια, αξιολογήσεις και τομείς έκφρασης.
- Γραφική Διεπαφή Χρήστη (*Graphical User Interface -GUI*): Επιτρέπει την αλληλεπίδραση του χρήστη με το λογισμικό.

- Μέθοδοι (*Methods*): Αναπτύσσουν το γλωσσικό μοντέλο 2-tuple και τις επεκτάσεις του για την επίλυση προβλημάτων λήψης αποφάσεων με γλωσσικές και περίπλοκες πληροφορίες.
- Τελεστές (*Operators*): Περιλαμβάνουν το σύνολο των τελεστών συνάθροισης, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη συνάθροιση των πληροφοριών του προβλήματος.

Η αρχιτεκτονική του FLINTSTONES παρουσιάζεται στην Εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 2.3: Αρχιτεκτονική του FLINTSTONES

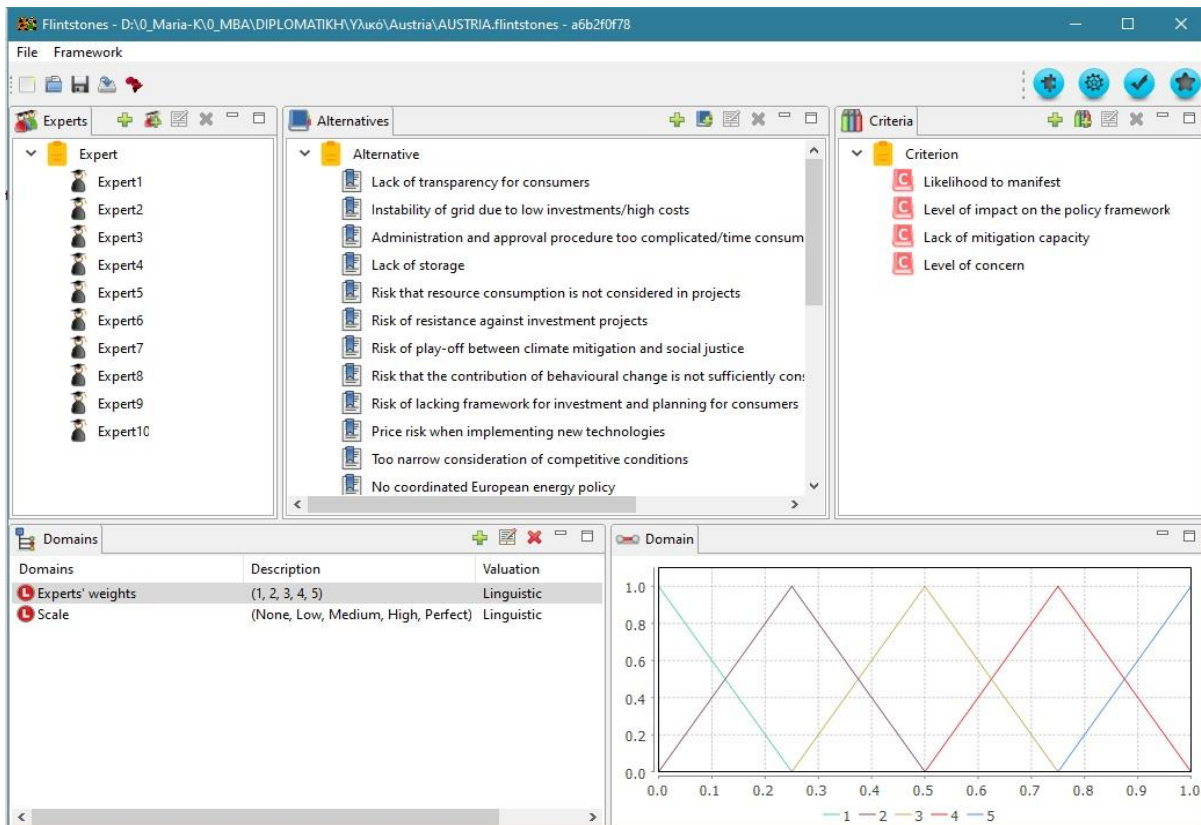
2.1.2 Χρήση του FLINTSTONES

Το περιβάλλον εργασίας του FLINTSTONES, με το οποίο έρχεται σε επαφή ο χρήστης, αποτελείται από τέσσερις βασικές καρτέλες: *Framework*, *Framework Structuring*, *Gathering* και *Rating*.

2.1.2.1 Framework

Αποτελεί την πρώτη καρτέλα, στην οποία γίνεται η εισαγωγή των δεδομένων και ο καθορισμός του προβλήματος λήψης αποφάσεων, όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.4. Εδώ ορίζεται το σύνολο των εναλλακτικών (*Alternatives*), το σύνολο των κριτηρίων (*Criterion*) βάσει των οποίων θα αξιολογηθούν οι εναλλακτικές και το σύνολο των εμπλεκόμενων φορέων (*Experts*) που θα αξιολογήσουν τις εναλλακτικές. Για κάθε Expert δίνεται η δυνατότητα συμπλήρωσης λεπτομερών στοιχείων, όπως στοιχεία επικοινωνίας, επάγγελμα κλπ. Επίσης, στην περιοχή *Domains* αυτής της καρτέλας ορίζονται οι μορφές έκφρασης (γλωσσικές, αριθμητικές ή διαστήματα τιμών), οι κλίμακες δηλαδή, που θα

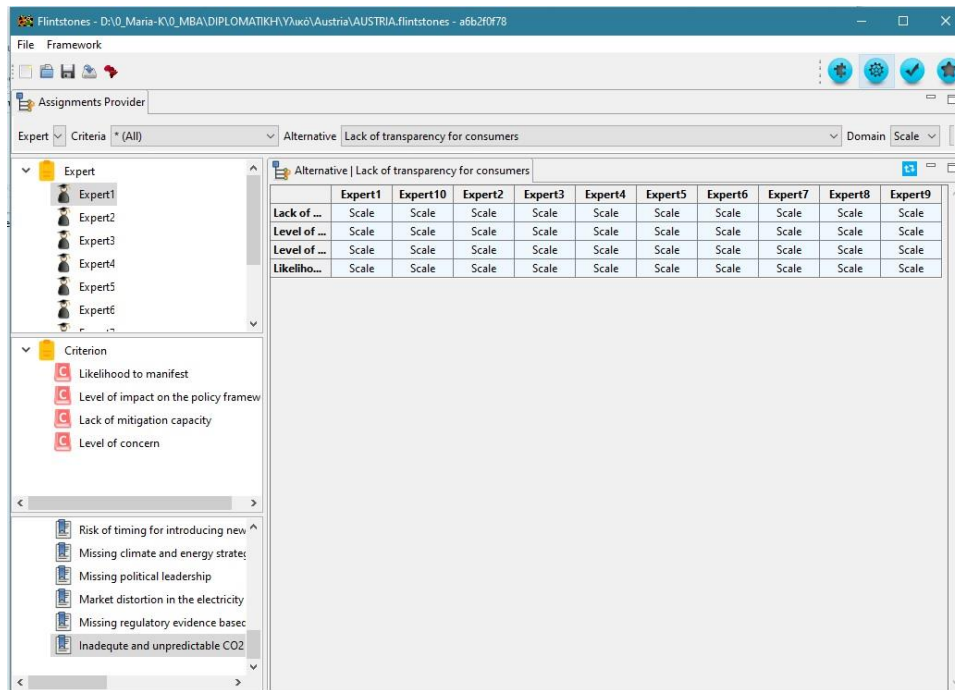
χρησιμοποιηθούν στην αξιολόγηση. Για κάθε μία από αυτές, μετά τη δημιουργία της από τον χρήστη, εμφανίζεται η αντίστοιχη οπτική αναπαράσταση.



Εικόνα 2.4: Framework του FLINTSTONES

2.1.2.2 Framework Structuring

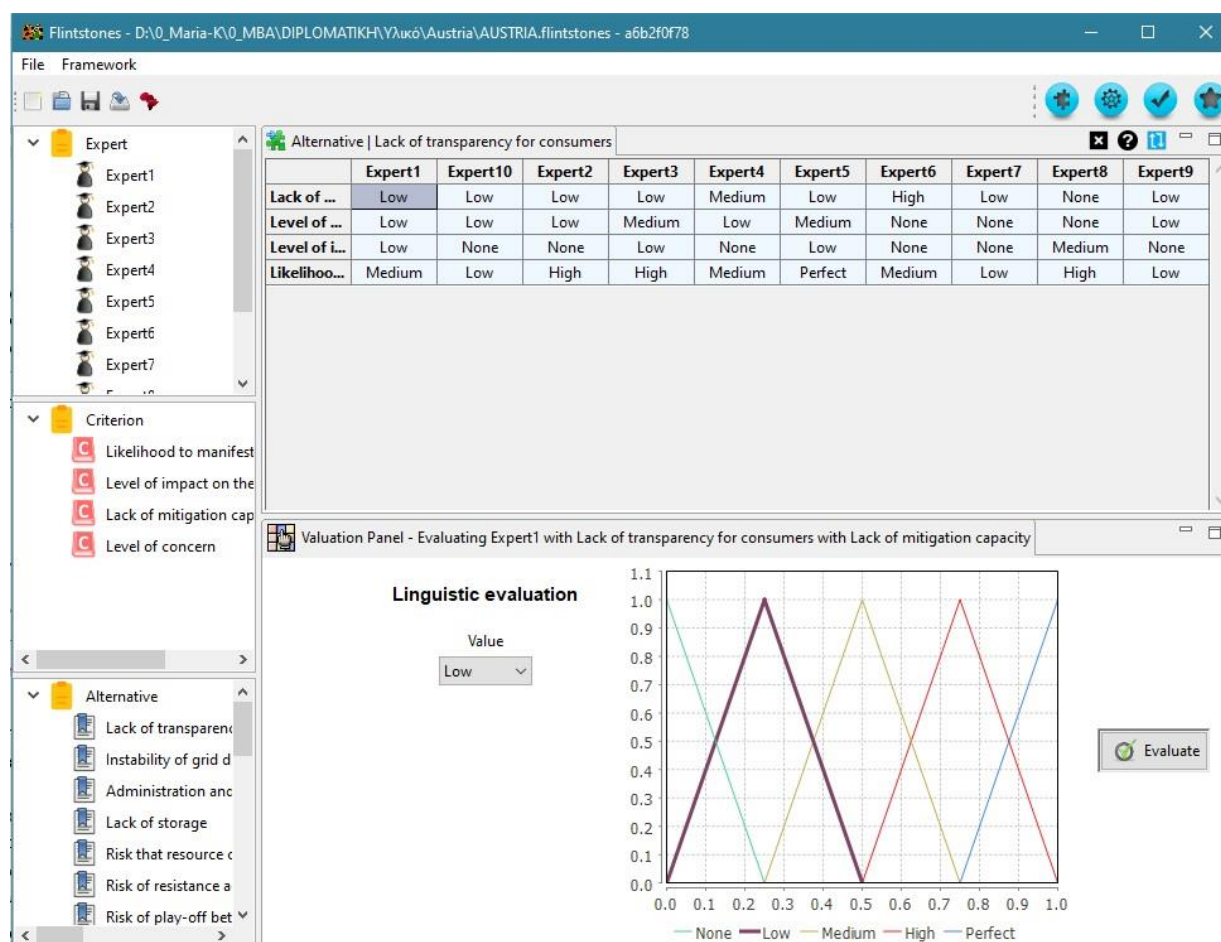
Στη δεύτερη καρτέλα (Εικόνα 2.5), ο χρήστης δημιουργεί μια σύνδεση μεταξύ των κλιμάκων έκφρασης που έχει αποτυπώσει στο προηγούμενο βήμα και των κριτηρίων του προβλήματος, επιτρέποντας στον κάθε Expert να αξιολογήσει καθεμία από τις εναλλακτικές του προβλήματος ως προς το εκάστοτε κριτήριο αποκλειστικά βάσει της κλίμακας που έχει δηλωθεί για τον σκοπό αυτό.



Εικόνα 2.5: Framework Structuring του FLINTSTONES

2.1.2.3 Gathering

Στην τρίτη καρτέλα ο χρήστης εισάγει τις τιμές που αντιστοιχούν στην αξιολόγηση / προτίμηση κάθε Expert για κάθε εναλλακτική βάσει του εκάστοτε κριτηρίου. Το πρόγραμμα για κάθε τιμή παρέχει στο χρήστη ένα μενού επιλογών, ανάλογα με την κλίμακα με την οποία έχει συνδεθεί προηγουμένως η συγκεκριμένη αξιολόγηση. Από τη στιγμή που θα οριστεί η κάθε τιμή προτίμησης, εμφανίζεται στο κάτω μέρος της καρτέλας και η οπτική αναπαράσταση αυτής.



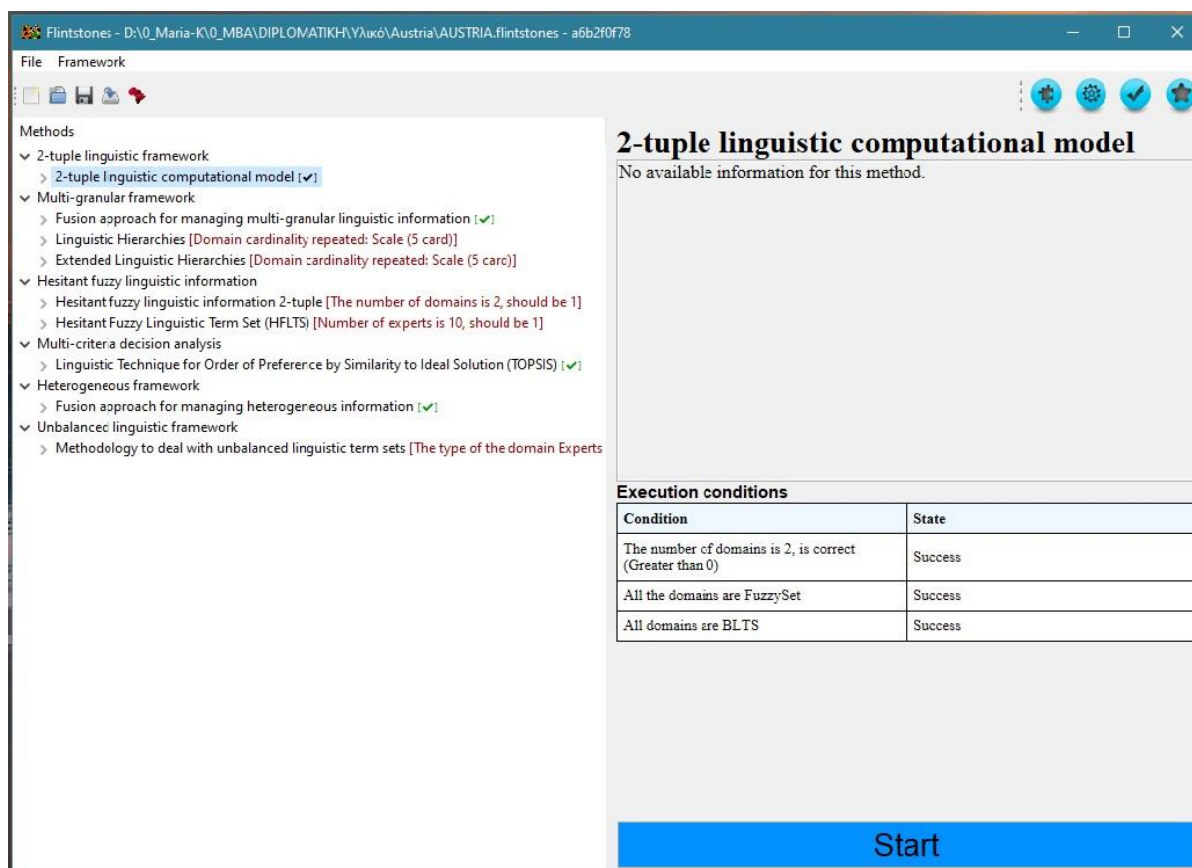
Εικόνα 2.6: Καρτέλα Gathering του FLINTSTONES

2.1.2.4 Rating

Στην τέταρτη καρτέλα ο χρήστης επιλέγει τη μέθοδο που θα ακολουθηθεί για τη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Για κάθε μέθοδο, στο δεξί τμήμα του παραθύρου, παρέχονται κάποιες βασικές πληροφορίες καθώς και το αν ικανοποιούνται οι απαραίτητες συνθήκες για την εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου στο συγκεκριμένο πρόβλημα. Οι μέθοδοι που είναι κατάλληλες για κάθε περίπτωση, εμφανίζονται στην οθόνη με ένα πράσινο διακριτικό σύμβολο, ενώ δίπλα σε εκείνες που δεν μπορούν να εφαρμοστούν εμφανίζεται ο λόγος για τον οποίο είναι ακατάλληλες. Οι διαθέσιμες μέθοδοι είναι οι εξής:

- 2-tuple linguistic computational model
- Fusion approach for managing multi-granular linguistic information
- Linguistic Hierarchies
- Extended Linguistic Hierarchies
- Hesitant fuzzy linguistic information 2-tuple
- Hesitant Fuzzy Linguistic Term Set (HFLTS)
- Fusion approach for managing heterogeneous information
- Methodology to deal with unbalanced linguistic term sets

- Linguistic Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)



Εικόνα 2.7: Καρτέλα Rating του FLINTSTONES

Αναλυτική παρουσίαση των παραπάνω μεθόδων πραγματοποιείται στην Ενότητα 2.1.2 που ακολουθεί.

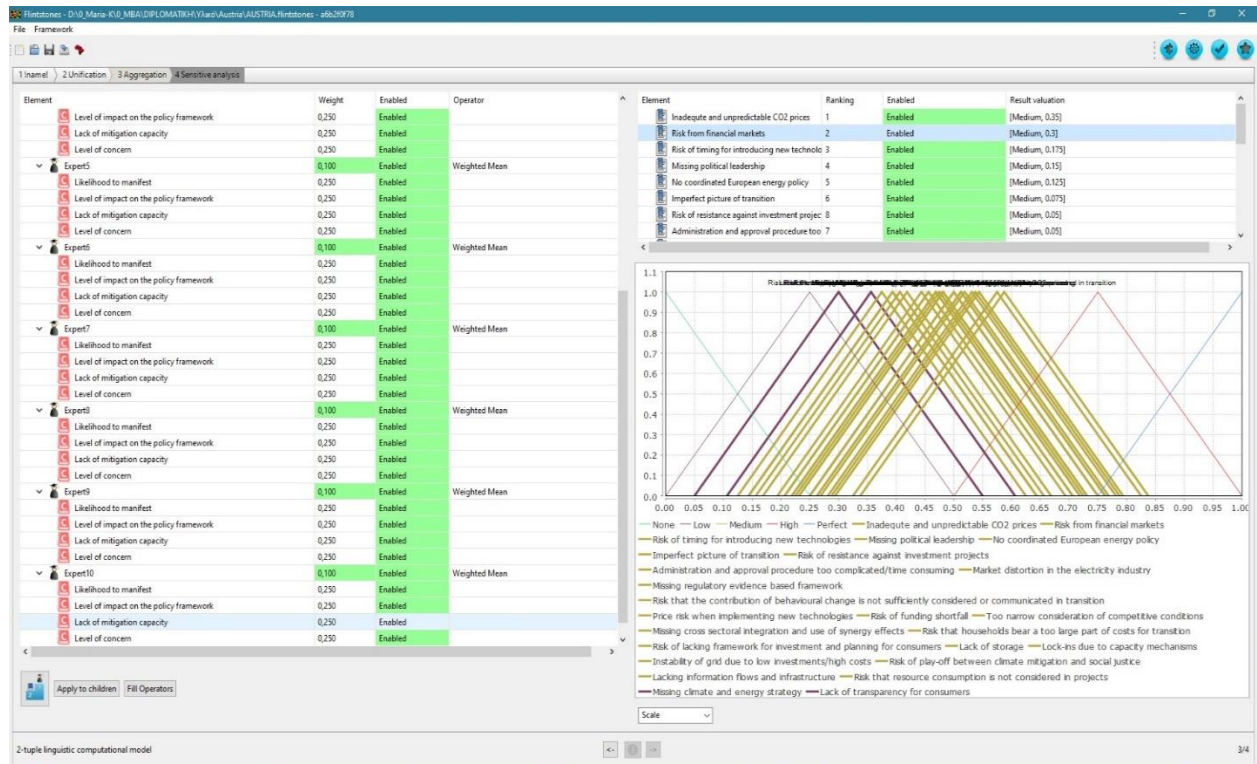
Μετά την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου, η επόμενη οθόνη που εμφανίζει το πρόγραμμα αποτελείται από τρεις επιμέρους καρτέλες:

1. *name*: Εδώ επιλέγεται η κλίμακα βάσει της οποίας θα ομογενοποιηθούν όλες οι αξιολογήσεις. Εμφανίζονται όλες οι δομές έκφρασης που έχουν οριστεί στην αρχική καρτέλα (στην περιοχή Domains). Στην περίπτωση που έχει οριστεί μόνο μία κλίμακα, δεν απαιτείται να γίνει κάποια επιπλέον ενέργεια από τον χρήστη.
2. *Unification*: Σε αυτή την καρτέλα εμφανίζονται σε μορφή Πίνακα, όλες οι αξιολογήσεις όλων των Experts και για όλες τις εναλλακτικές, ομογενοποιημένες βάσει της κλίμακας που έχει επιλεγεί στην προηγούμενη καρτέλα.

Unified	Expert	Alternative	Criterion	Source domain	Evaluation
(None, 0,0)	Expert1	Administration and approval procedure too complicated/time consuming	Lack of mitigation capacity	Scale	None
(Medium, 0,0)	Expert1	Administration and approval procedure too complicated/time consuming	Level of concern	Scale	Medium
(Medium, 0,0)	Expert1	Administration and approval procedure too complicated/time consuming	Level of impact on the policy framework	Scale	Medium
(High, 0,0)	Expert1	Administration and approval procedure too complicated/time consuming	Likelihood to manifest	Scale	High
(Medium, 0,0)	Expert1	Imperfect picture of transition	Lack of mitigation capacity	Scale	Medium
(Medium, 0,0)	Expert1	Imperfect picture of transition	Level of concern	Scale	Medium
(High, 0,0)	Expert1	Imperfect picture of transition	Level of impact on the policy framework	Scale	High
(Perfect, 0,0)	Expert1	Imperfect picture of transition	Likelihood to manifest	Scale	Perfect
(Low, 0,0)	Expert1	Inadequate and unpredictable CO2 prices	Lack of mitigation capacity	Scale	Low
(High, 0,0)	Expert1	Inadequate and unpredictable CO2 prices	Level of concern	Scale	High
(High, 0,0)	Expert1	Inadequate and unpredictable CO2 prices	Level of impact on the policy framework	Scale	High
(Perfect, 0,0)	Expert1	Inadequate and unpredictable CO2 prices	Likelihood to manifest	Scale	Perfect
(Low, 0,0)	Expert1	Instability of grid due to low investments/high costs	Lack of mitigation capacity	Scale	Low
(Medium, 0,0)	Expert1	Instability of grid due to low investments/high costs	Level of concern	Scale	Medium
(High, 0,0)	Expert1	Instability of grid due to low investments/high costs	Level of impact on the policy framework	Scale	High
(Perfect, 0,0)	Expert1	Instability of grid due to low investments/high costs	Likelihood to manifest	Scale	Perfect
(Medium, 0,0)	Expert1	Lack of storage	Lack of mitigation capacity	Scale	Medium
(Medium, 0,0)	Expert1	Lack of storage	Level of concern	Scale	Medium

Εικόνα 2.8: Καρτέλα *Unification* του FLINTSTONES

3. *Aggregation*: Στην καρτέλα αυτή γίνεται η συνάθροιση όλων των ομογενοποιημένων πληροφοριών, ώστε να αποκτηθεί μία συλλογική αξιολόγηση για κάθε εναλλακτική. Ο χρήστης εισάγει τις τιμές βαρύτητας των κριτηρίων όπως αυτές διαμορφώνονται για κάθε Expert και επιλέγει έναν από τους διαθέσιμους τελεστές συνάθροισης. Αφού γίνει αυτό, εμφανίζονται σε μορφή Πίνακα, στο δεξί τμήμα του παραθύρου, τα αποτελέσματα, η κατάταξη δηλαδή των εναλλακτικών με την τελική αξιολόγηση της καθεμίας. Επίσης, εμφανίζεται οπτική αναπαράσταση των αποτελεσμάτων.



Εικόνα 2.9: Καρτέλα Aggregation του FLINTSTONES

2.1.3 Μέθοδοι Υποστήριξης Λήψης Αποφάσεων στο FLINTSTONES

2.1.3.1 Μοντέλο διπλής αναπαράστασης (2-tuple Linguistic Model)

Το γλωσσικό μοντέλο διπλής αναπαράστασης (2-tuple linguistic model) παρέχει ακρίβεια, απλότητα και ευκολία στην ερμηνεία (interpretability) κατά τους υπολογισμούς με ένα σύνολο γλωσσικών όρων, όταν το σύνολο αυτό περιλαμβάνει έναν περιττό αριθμό όρων με τριγωνικές συναρτήσεις συσχέτισης, συμμετρικά και ομοιόμορφα κατανεμημένους σε μια διακριτή και διατεταγμένη κλίμακα.

Το γλωσσικό μοντέλο διπλής αναπαράστασης αναπαριστά τη γλωσσική πληροφορία με ένα ζεύγος τιμών (s, α) , όπου το s είναι ένας γλωσσικός όρος και το α μια αριθμητική τιμή στο διάστημα $[-0.5, 0.5]$, η οποία εκφράζει την απόδοση της συμβολικής μετάφρασης. Επομένως, το α δηλώνει τη διαφορά της πληροφορίας ανάμεσα σε μια αριθμητική τιμή στο διάστημα $[0, g]$ του πλήθους των στοιχείων του γλωσσικού συνόλου, και στην πλησιέστερη τιμή στο $\{0, \dots, g\}$ που δηλώνει το δείκτη του πλησιέστερου γλωσσικού όρου στο σύνολο των γλωσσικών στοιχείων.

Το μοντέλο διπλής αναπαράστασης προτάθηκε από τους Herrera et al. [35] και περιγράφεται συνοπτικά παρακάτω.

Έστω $S = \{s_0, \dots, s_g\}$ ένα σύνολο γλωσσικών στοιχείων. Εάν μία συμβολική μέθοδος άθροισης γλωσσικών πληροφοριών λάβει μία τιμή $\beta \in [0, g]$ και $\beta \notin \{0, \dots, g\}$, τότε χρησιμοποιείται μια προσεγγιστική συνάρτηση $app_2(\cdot)$ για να εκφράσει το δείκτη του αποτελέσματος 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 μεθόδου άθροισης, όπου $\beta \in [0, g]$ και $g + 1$ το πλήθος των στοιχείων του S . Αν $i = \text{round}(\beta)$ και $a = \beta - i$ είναι δύο τιμές έτσι ώστε $i \in [0, g]$ και $a \in [-0.5, 0.5)$, τότε η a καλείται *συμβολική μετάφραση*.

Γενικά, η συμβολική μετάφραση ενός γλωσσικού όρου, s_i , είναι μια αριθμητική τιμή στο διάστημα $[-0.5, 0.5)$, η οποία υποδηλώνει τη «διαφοροποίηση της πληροφορίας» ανάμεσα σε μια αριθμητική τιμή $\beta \in [0, g]$ που προκύπτει από μια συμβολική συνάθροιση, και στην πλησιέστερη τιμή στο $\{0, \dots, g\}$ που δηλώνει το δείκτη του πλησιέστερου γλωσσικού όρου στο S ($i = \text{round}(\beta)$).

Από αυτή την άποψη, αναπτύχθηκε ένα μοντέλο γλωσσικής αναπαράστασης, το οποίο απεικονίζει τη γλωσσική πληροφορία μέσω δύο στοιχείων (*διπλή αναπαράσταση – 2-tuple*), 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 στον πλησιέστερο όρο i στο γλωσσικό σύνολο (s_i), δηλαδή τη συμβολική μετάφραση.

Το συγκεκριμένο μοντέλο ορίζει ένα σύνολο συναρτήσεων μετασχηματισμού ανάμεσα στους γλωσσικούς όρους και στη *διπλή αναπαράσταση (2-tuples)* και ανάμεσα στις αριθμητικές τιμές και στη διπλή αναπαράσταση.

Αν $S = \{s_0, \dots, s_g\}$ είναι ένα σύνολο γλωσσικών όρων και $\beta \in [0, g]$ μία 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:

$$\Delta: [0, g] \rightarrow S \times [-0.5, 0.5)$$
$$\Delta(\beta) = (s_i, a), \text{ με } \begin{cases} s_i & i = \text{round}(\beta) \\ a = \beta - i, & a \in [-0.5, 0.5) \end{cases}$$

όπου $\text{round}(\cdot)$ η συνήθης συνάρτηση στρογγυλοποίησης, το s_i έχει ως δείκτη τον πλησιέστερο όρο στο « β » και το « a » είναι η τιμή της συμβολικής μετάφρασης.

Επίσης, υπάρχει πάντα μία συνάρτηση Δ^{-1} τέτοια ώστε από μια 2-tuple να επιστρέφει την αντίστοιχη αριθμητική της τιμή $\beta \in [0, g] \subset \mathfrak{R}$. Υπό αυτό το πρίσμα, ορίζεται η ακόλουθη συνάρτηση:

$$\Delta^{-1}: S \times [-0.5, 0.5) \rightarrow [0, g]$$
$$\Delta^{-1}(s_i, a) = i + a = \beta$$

Σύγκριση των 2-tuples: Η σύγκριση γλωσσικών πληροφοριών που απεικονίζονται με τη διπλή αναπαράσταση γίνεται λαμβάνοντας υπόψη την τυπική λεξικογραφική διάταξη των γλωσσικών μεταβλητών. Έστω (s_k, a_1) και (s_1, a_2) δύο αναπαραστάσεις γλωσσικής πληροφορίας. Η σύγκριση γίνεται ως εξής:

- Αν $k < 1$ τότε $(s_k, a_1) < (s_1, a_2)$
- Αν $k = 1$, διακρίνονται τρεις περιπτώσεις:
 1. Αν $a_1 = a_2$, τότε $(s_k, a_1) = (s_1, a_2)$, δηλαδή αναπαριστούν την ίδια πληροφορία
 2. Αν $a_1 < a_2$, τότε $(s_k, a_1) < (s_1, a_2)$

3. Αν $a_1 > a_2$, τότε $(s_k, a_1) > (s_1, a_2)$.

Αντιστροφή των 2-tuples: Η αντιστροφή της διπλής αναπαράστασης μπορεί να οριστεί ως

$$Neg(s_i, a) = \Delta[g - \Delta^{-1}(s_i, a)]$$

όπου $g + 1$ το πλήθος των στοιχείων της διατεταγμένης γλωσσικής κλίμακας $S = \{s_0, \dots, s_g\}$.

Συνάθροιση των 2-tuples: Το αποτέλεσμα της συνάθροισης μιας ομάδας διπλών αναπαραστάσεων πρέπει να είναι μια επίσης διπλή αναπαράσταση. Οι συναρτήσεις Δ και Δ^{-1} όπως ορίζονται παραπάνω, μετατρέπουν αριθμητικές τιμές σε διπλές αναπαραστάσεις και το αντίστροφο, χωρίς απώλεια πληροφορίας. Επομένως, κάθε αριθμητικός αθροιστικός τελεστής μπορεί εύκολα να επεκταθεί ώστε να συνδυάζει γλωσσικές διπλές αναπαραστάσεις και να καταλήγει σε ένα αποτέλεσμα διπλής αναπαράστασης.

Αριθμητικός Μέσος: Αν $x = \{(r_1, a_1), \dots, (r_n, a_n)\}$ ένα σύνολο διπλών αναπαραστάσεων, ο αριθμητικός μέσος \bar{x}^e αυτών υπολογίζεται ως εξής:

$$\bar{x}^e = \Delta \left[\sum_{i=1}^n \frac{1}{n} \Delta^{-1}(r_i, a_i) \right] = \Delta \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \beta_i \right)$$

Ο αριθμητικός μέσος των 2-tuples επιτρέπει τον υπολογισμό του μέσου όρου ενός συνόλου γλωσσικών πληροφοριών, χωρίς οποιαδήποτε απώλεια πληροφορίας.

Σταθμισμένος Μέσος Όρος: Στον σταθμισμένο μέσο όρο, οι διάφορες τιμές x_i μιας μεταβλητής x χαρακτηρίζονται από διαφορετική βαρύτητα, δηλαδή κάθε τιμή x_i έχει το αντίστοιχο βάρος της w_i . Αντίστοιχα ορίζεται ο σταθμισμένος μέσος όρος των γλωσσικών 2-tuples. Αν $x = \{(r_1, a_1), \dots, (r_n, a_n)\}$ ένα σύνολο διπλών αναπαραστάσεων και $W = \{w_1, \dots, w_n\}$ τα σχετιζόμενα βάρη τους, ο σταθμισμένος μέσος όρος των 2-tuples είναι:

$$\bar{x}^e = \Delta \left[\frac{\sum_{i=1}^n \Delta^{-1}(r_i, a_i) \cdot w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \right] = \Delta \left(\frac{\sum_{i=1}^n \beta_i \cdot w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \right)$$

Διατεταγμένος Σταθμισμένος Τελεστής Συνάθροισης: Ο Yager [36] πρότεινε έναν σταθμισμένο τελεστή συνάθροισης (Ordered Weighted Aggregation – OWA), στον οποίο τα βάρη δεν σχετίζονται με μια προκαθορισμένη τιμή της μεταβλητής, αλλά με τη συγκεκριμένη θέση αυτής σε ένα διατεταγμένο σύνολο όρων. Αν $A = \{(r_1, a_1), \dots, (r_n, a_n)\}$ ένα σύνολο διπλών αναπαραστάσεων και $W = \{w_1, \dots, w_n\}$ είναι το σχετιζόμενο διάνυσμα βαρών, τέτοιο ώστε 1) $w_i \in [0,1]$ και 2) $\sum w_i = 1$, ο τελεστής OWA, F^e , για τις γλωσσικές διπλές αναπαραστάσεις ορίζεται ως εξής:

$$F^e((r_1, a_1), \dots, (r_n, a_n)) = \Delta \left(\sum_{j=1}^n w_j \cdot \beta_j^* \right)$$

όπου β_j^* είναι η j-οστή υψηλότερη τιμή των β_i .

Σε ένα πρόβλημα λήψης αποφάσεων όπου εφαρμόζεται το γλωσσικό μοντέλο διπλής αναπαράστασης, οι αρχικές αξιολογήσεις των εναλλακτικών από κάθε εμπλεκόμενο φορέα μετατρέπονται σε 2-tuples και στη συνέχεια αθροίζονται χρησιμοποιώντας έναν από τους τελεστές συνάθροισης. Προκύπτει έτσι η συλλογική τιμή απόδοσης κάθε εναλλακτικής και προσδιορίζεται η εναλλακτική (ή οι εναλλακτικές) λύση με την υψηλότερη συλλογική απόδοση

2.1.3.2 Μέθοδοι για προβλήματα πολλαπλών στοιχείων

Οι συγκεκριμένες μέθοδοι αφορούν προβλήματα λήψης αποφάσεων με πολλούς εμπλεκόμενους φορείς ή πολλά κριτήρια, στα οποία οι γλωσσικές πληροφορίες εκφράζονται με πολλαπλά σύνολα γλωσσικών όρων, που το καθένα περιλαμβάνει διαφορετικό πλήθος στοιχείων. Επομένως, οι εκτιμήσεις και οι υπολογισμοί των προβλημάτων απεικονίζονται σε διάφορες γλωσσικές κλίμακες. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τρεις μεθοδολογίες που βασίζονται στο μοντέλο διπλής αναπαράστασης και χρησιμοποιούνται σε προβλήματα με διαφορετικές γλωσσικές κλίμακες.

2.1.3.2.1 Μέθοδος ενοποίησης γλωσσικών πληροφοριών πολλαπλών στοιχείων (*Fusion of multi-granularity linguistic information*)

Οι Herrera et al. [37] πρότειναν μία μέθοδο για τη διαχείριση συνόλων γλωσσικών όρων με διαφορετικές γλωσσικές κλίμακες, οι οποίες εμφανίζονται σε προβλήματα λήψης αποφάσεων με πολλαπλές πηγές πληροφοριών. Οι πηγές πληροφοριών μπορεί να είναι οι «εμπλεκόμενοι φορείς» (experts), τα «κριτήρια» ή οι «στόχοι», χωρίς όμως να γίνεται διάκριση μεταξύ αυτών. Πρόκειται, δηλαδή, για προβλήματα λήψης αποφάσεων όπου μια ομάδα από εναλλακτικές πρέπει να αναλυθούν για να επιλεγεί η καλύτερη, βάσει διαφορετικών πηγών πληροφοριών, οι οποίες εμφανίζονται σαν σύνολα γλωσσικών όρων με διαφορετικό πλήθος στοιχείων ή/και διαφορετική σημασιολογία το καθένα, ανάλογα με το βαθμό αβεβαιότητας κάθε πηγής.

Η μέθοδος που προτάθηκε για τη διαδικασία λήψης αποφάσεων αποτελείται από δύο στάδια: 1) *Ενοποίηση της γλωσσικής πληροφορίας* και 2) *Επιλογή της καλύτερης εναλλακτικής / εναλλακτικών*.

Το πρόβλημα λήψης απόφασης ορίζεται ως ακολούθως: Έστω $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ ($n \geq 2$) ένα πεπερασμένο σύνολο εναλλακτικών που πρέπει να αξιολογηθούν βάσει ενός συνόλου πηγών πληροφορίας $P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ ($m \geq 2$). Κάθε πηγή p_j παρέχει μια γλωσσική τιμή απόδοσης p^{ij} για κάθε εναλλακτική x_i . Δεδομένου ότι πρόκειται για πρόβλημα λήψης απόφασης με ανομοιογενή γλωσσικά σύνολα, θεωρείται ότι κάθε p_j μπορεί να χρησιμοποιεί διαφορετικό γλωσσικό σύνολο S_j για να εκφράσει τις τιμές απόδοσης των εναλλακτικών. Τα γλωσσικά σύνολα $\{S_j, \forall j\}$ μπορεί να χαρακτηρίζονται από διαφορετικό πλήθος όρων ή/και διαφορετική σημασιολογία. Επομένως, για κάθε p_j , το προφίλ απόδοσης των εναλλακτικών ορίζεται σαν ένα γλωσσικό ασαφές υποσύνολο απόδοσης στο X και εκτιμάται γλωσσικά στο S_j :

$$p_j \rightarrow (p^{1j}, \dots, p^{nj}) \quad p^{ij} \in S_j \quad S_j = \{s_0^j, \dots, s_{k_j}^j\} \quad j \in \{1, \dots, m\}$$

όπου $k_j + 1$ είναι το πλήθος των όρων του S_j . Σε αυτό το πλαίσιο, ο στόχος της διαδικασίας λήψης απόφασης είναι ο προσδιορισμός των εναλλακτικών που κρίνονται ως καλύτερες, σύμφωνα με τις εκτιμήσεις που παρέχονται από της πηγές πληροφοριών.

Πριν την περαιτέρω ανάλυση της διαδικασίας, πρέπει να σημειωθεί ότι:

- Γίνεται η υπόθεση ότι η αναπαράσταση των προφίλ απόδοσης των εναλλακτικών βασίζεται σε γλωσσικά ασαφή υποσύνολα απόδοσης, αλλά αν κάποιες πηγές χρησιμοποιούν γλωσσικές σχέσεις προτίμησης, τότε από αυτές μπορούν εύκολα να προκύψουν τα αντίστοιχα γλωσσικά ασαφή υποσύνολα απόδοσης, εφαρμόζοντας κάποιες από τις συναρτήσεις γλωσσικής απόδοσης που προτείνονται στη βιβλιογραφία, και ούτω καθεξής χρησιμοποιώντας μια άλλη δομή γλωσσικών προτιμήσεων.

- Γίνεται η υπόθεση ότι όλες οι πηγές πληροφορίας αξιολογούν τις εναλλακτικές στην ίδια κλίμακα (συγκεκριμένα στο διάστημα $[0,1]$), δηλαδή με σύνολα όρων που καλύπτουν το ίδιο εύρος αυτής της κλίμακας και η μόνη διαφορά είναι το πλήθος των όρων κάθε συνόλου.

1. Ενοποίηση της γλωσσικής πληροφορίας.

Ένα συλλογικό γλωσσικό προφίλ απόδοσης των εναλλακτικών προκύπτει από την ενοποίηση των επιμέρους γλωσσικών τιμών απόδοσης που προέρχονται από διαφορετικές πηγές. Η διαδικασία ενοποίησης υλοποιείται σε δύο φάσεις: α) Ομογενοποίηση της πληροφορίας και β) Εκτίμηση των συλλογικών τιμών απόδοσης.

α) *Ομογενοποίηση της πληροφορίας.* Οι τιμές απόδοσης που εκφράζονται με διαφορετικά σύνολα γλωσσικών όρων, μετατρέπονται σε ένα συγκεκριμένο γλωσσικό πλαίσιο, το βασικό σύνολο γλωσσικών όρων (*basic linguistic term set – BLTS*), το οποίο επιλέγεται έτσι ώστε να μην επιβάλλεται ανώφελη ακρίβεια στις αρχικές εκτιμήσεις και ταυτόχρονα να επιτρέπεται η απαιτούμενη διαφοροποίηση μεταξύ των αρχικών τιμών απόδοσης. Κάθε γλωσσική τιμή απόδοσης εκφράζεται σαν ένα ασαφές σύνολο στο BLTS, δηλαδή η σημασιολογία που σχετίζεται με τις μεταβλητές των αρχικών γλωσσικών συνόλων λαμβάνεται μέσω ασαφών συνόλων που ορίζονται στο BLTS.

Οι ανομοιογενείς πληροφορίες για να μπορούν λοιπόν, να επεξεργαστούν, πρέπει να ομογενοποιηθούν. Δηλαδή, οι γλωσσικές πληροφορίες που παρέχονται από όλες τις πηγές πρέπει να μετατραπούν (μέσω μιας συνάρτησης μετατροπής) σε ένα ενοποιημένο γλωσσικό σύνολο, το BLTS, που συμβολίζεται με S_T .

Πριν τον ορισμό της συνάρτησης μετατροπής στο BLTS (S_T), πρέπει να αποφασιστεί ο τρόπος με τον οποίο θα επιλεγεί το S_T . Το S_T πρέπει να είναι ένα σύνολο γλωσσικών όρων που επιτρέπει τη διατήρηση του βαθμού αβεβαιότητας που σχετίζεται με κάθε σκοπό, καθώς και τη διατήρηση της ικανότητας διαφοροποίησης των αρχικών τιμών απόδοσης. Έτσι, επιλέγεται ένα BLTS με το μεγαλύτερο εύρος τιμών σε σχέση με το πλήθος των όρων των αρχικών συνόλων. Εξετάζονται δύο πιθανότητες:

- Να υπάρχει μόνο ένα σύνολο όρων, το οποίο έχει το μεγαλύτερο πλήθος, οπότε επιλέγεται αυτό ως S_T .
- Να υπάρχουν δύο ή περισσότερα γλωσσικά σύνολα με το μεγαλύτερο πλήθος όρων, οπότε το S_T επιλέγεται ανάλογα με τη σημασιολογία αυτών των γλωσσικών συνόλων, διακρίνοντας δύο περιπτώσεις:
 - Αν όλα τα γλωσσικά σύνολα όρων έχουν την ίδια σημασιολογία, τότε επιλέγεται οποιοδήποτε από αυτά ως S_T .
 - Αν υπάρχουν ορισμένα γλωσσικά σύνολα με διαφορετική σημασιολογία, τότε το S_T είναι ένα βασικό σύνολο γλωσσικών όρων με το πλήθος των όρων του να είναι μεγαλύτερο από αυτό που μπορούν συνήθως να διακρίνουν οι άνθρωποι (συνήθως 11 ή 13).

Στη συνέχεια ορίζεται μία συνάρτηση μετατροπής, η οποία αναπαριστά κάθε γλωσσική τιμή απόδοσης ως ένα ασαφές σύνολο στο S_T , ως εξής: Έστω $A = \{l_0, \dots, l_p\}$ και $S_T = \{c_0, \dots, c_g\}$ δύο γλωσσικά σύνολα τέτοια ώστε $g \geq p$. Τότε, η γλωσσική συνάρτηση μετατροπής, τ_{AS_T} , ορίζεται ως:

$$\tau_{AS_T}: A \rightarrow F(S_T)$$

$$\tau_{AS_T}(l_i) = \{(c_k, a_k^i) / k \in \{0, \dots, g\}\}, \quad \forall l_i \in A$$

$$a_k^i = \max_y \min\{\mu_{l_i}(y), \mu_{c_k}(y)\}$$

όπου $F(S_T)$ είναι το σύνολο των ασαφών συνόλων στο S_T και $\mu_{l_i}(y), \mu_{c_k}(y)$ είναι οι συναρτήσεις συμμετοχής των ασαφών συνόλων που σχετίζονται με τους όρους l_i και c_k αντίστοιχα. Έτσι, το αποτέλεσμα της τ_{AS_T} για κάθε γλωσσικό όρο στο A είναι ένα ασαφές σύνολο που ορίζεται στο BLTS, S_T .

Χρησιμοποιώντας τις συναρτήσεις μετατροπής $\{\tau_{S_j S_T}, \forall j\}$, η διαδικασία μετατροπής περιλαμβάνει τη μετατροπή στο S_T όλων των γλωσσικών τιμών απόδοσης που παρέχονται από τις διάφορες πηγές $\{p^{1j}, \dots, p^{nj}\}$, $p_j (p^{ij} \in S_j)$. Στη συνέχεια γίνεται η αναπαράσταση κάθε γλωσσικής τιμής απόδοσης p^{ij} ως ένα ασαφές σύνολο που ορίζεται στο $S_T = \{c_0, \dots, c_g\}$ και χαρακτηρίζεται από την ακόλουθη έκφραση:

$$\tau_{S_j S_T}(p^{ij}) = \{(c_0, a_0^{ij}), \dots, (c_g, a_g^{ij})\}.$$

Αν η $\tau_{S_j S_T}(p^{ij})$ συμβολιστεί με r^{ij} , κάθε ασαφές σύνολο των τιμών απόδοσης μπορεί να εκφραστεί μέσω των αντίστοιχων βαθμών συμμετοχής, δηλαδή $r^{ij} = (a_0^{ij}, \dots, a_g^{ij})$.

β) *Εκτίμηση των συλλογικών τιμών απόδοσης.* Για κάθε εναλλακτική, μια συλλογική τιμή απόδοσης προκύπτει μέσω της συνάθροισης των παραπάνω ασαφών συνόλων στο BLTS, που αντιπροσωπεύουν τις επιμέρους τιμές απόδοσης κάθε εναλλακτικής από κάθε πηγή πληροφορίας. Έτσι, κάθε συλλογική τιμή απόδοσης είναι ένα νέο ασαφές σύνολο στο συγκεκριμένο γλωσσικό σύνολο, το BLTS.

Όπως περιγράφεται παραπάνω, η επιμέρους τιμή προτίμησης μιας εναλλακτικής x_i που παρέχεται από μια πηγή πληροφορίας p_j ορίζεται με το ασαφές σύνολο απόδοσης r^{ij} στο S_T . Η συλλογική αξία προτίμησης μιας εναλλακτικής x_i βάσει των εκτιμήσεων όλων πηγών $\{r^{ij}, \forall j\}$ προκύπτει μέσω της συνάθροισης αυτών των ασαφών συνόλων. Η συλλογική τιμή προτίμησης, που συμβολίζεται με r^i , είναι ένα νέο ασαφές σύνολο στο S_T , δηλαδή $r^i = (a_0^i, \dots, a_g^i)$, το οποίο χαρακτηρίζεται από την ακόλουθη συνάρτηση συμμετοχής:

$$a_k^i = f(a_k^{i1}, \dots, a_k^{im})$$

όπου f είναι ένας τελεστής συνάθροισης.

Με τον τρόπο αυτό, το αποτέλεσμα αυτού του βήματος στη διαδικασία λήψης απόφασης είναι ένα σύνολο συλλογικών τιμών απόδοσης, που περιλαμβάνει τη συλλογική τιμή απόδοσης κάθε εναλλακτικής βάσει των προτιμήσεων όλων των πηγών για τη συγκεκριμένη εναλλακτική, δηλαδή το σύνολο $\{r^1, \dots, r^n\}$.

2. Επιλογή της καλύτερης εναλλακτικής / εναλλακτικών

Ο στόχος της διαδικασίας λήψης απόφασης είναι ο προσδιορισμός της καλύτερης εναλλακτικής ή των καλύτερων εναλλακτικών, σύμφωνα με τις τιμές απόδοσης από όλες τις πηγές πληροφορίας. Στην περίπτωση που αναλύεται, οι τιμές απόδοσης των εναλλακτικών είναι ασαφή σύνολα στο BLTS, τα r^i , και σε αυτό το πλαίσιο πρέπει να καθοριστεί μία μέθοδος επιλογής. Για το σκοπό αυτό, μεταβάλλεται η αναπαράσταση των συλλογικών εκτιμήσεων που βασίζονται στα ασαφή σύνολα στο S_T , σε μια αναπαράσταση που βασίζεται σε μια ασαφή συνάρτηση προτίμησης. Η συνάρτηση προτίμησης επιλέγεται διότι περιλαμβάνει μεγάλη ποσότητα πληροφορίας για την επιλογή των εναλλακτικών. Στη

συνέχεια, εφαρμόζεται μία μέθοδος κατάταξης των ζευγών των ασαφών συνόλων, στο πλαίσιο της Θεωρίας των Πιθανοτήτων. Πιο συγκεκριμένα, εφαρμόζεται ο βαθμός της πιθανότητας κυριαρχίας σε ασαφείς αριθμούς στα ασαφή σύνολα (r^i) του BLTS. Η μέθοδος προσδιορισμού της βέλτιστης εναλλακτικής λύσης, αποτελείται από δύο βήματα:

- i) Προσδιορισμός της ασαφούς σχέσης προτίμησης. Αν u και v είναι δύο ασαφείς αριθμοί, η πιθανότητα υπεροχής του u έναντι του v είναι:

$$P(u \geq v) = \max_z \min_{y \leq z} \{\mu_u(z), \mu_v(y)\}$$

Αν $x_i, x_j \in X (i \neq j)$ είναι δύο εναλλακτικές και $r^i, r^j \in F(S_T)$ τα αντίστοιχα ασαφή σύνολα συλλογικής απόδοσης κάθε εναλλακτικής, τότε η πιθανότητα υπεροχής της x_i σε σχέση με την x_j , που συμβολίζεται με b_{ij} , προκύπτει από την ακόλουθη σχέση:

$$b_{ij} = \max_{c_l} \min_{c_h \leq c_l} \{\mu_{r^i}(c_l), \mu_{r^j}(c_h)\}, \quad c_l, c_h \in S_T$$

όπου $\mu_{r^i}(c_l) = \alpha_l^i$ και $\mu_{r^j}(c_h) = \alpha_h^j$.

Με την εφαρμογή αυτού του ορισμού σε όλα τα πιθανά ζεύγη εναλλακτικών ($i \neq j$), προκύπτει μία ασαφής σχέση προτίμησης $B = [b_{ij}]$.

- ii) Εφαρμογή ενός βαθμού προτίμησης στην παραπάνω σχέση, ώστε να γίνει κατάταξη των εναλλακτικών και να επιλεγθούν οι καλύτερες (ή η καλύτερη). Η διαδικασία λήψης απόφασης καταλήγει στη λύση, με την εφαρμογή ενός βαθμού προτίμησης ή μιας συνάρτησης στην ασαφή σχέση προτίμησης B . Χρησιμοποιώντας μια από τις συναρτήσεις προτίμησης που απαντώνται στη βιβλιογραφία, μπορεί να γίνει η κατάταξη των εναλλακτικών και να επιλεγθούν αυτές με τον υψηλότερο βαθμό προτίμησης.

2.1.3.2.2 Γλωσσικές Ιεραρχίες (Linguistic Hierarchies)

Οι Herrera & Martinez [38] παρουσίασαν ένα είδος γλωσσικών πλαισίων πολλαπλών στοιχείων, τα *γλωσσικά ιεραρχικά σύνολα*, τέτοια ώστε όταν αξιολογούνται γλωσσικές πληροφορίες εκφρασμένες σε διαφορετικές κλίμακες, να μπορούν οι πληροφορίες αυτές να ενοποιηθούν στα ανωτέρω σύνολα χωρίς απώλεια δεδομένων.

Η *γλωσσική ιεραρχία* είναι ένα σύνολο επιπέδων, όπου κάθε επίπεδο αποτελεί ένα σύνολο γλωσσικών όρων με διαφορετικό πλήθος στοιχείων από τα υπόλοιπα επίπεδα της ιεραρχίας. Κάθε επίπεδο της γλωσσικής ιεραρχίας συμβολίζεται με $l(t, n(t))$, όπου t ένας αριθμός που δείχνει το επίπεδο της ιεραρχίας και $n(t)$ το πλήθος των στοιχείων του γλωσσικού συνόλου που αντιστοιχεί στο επίπεδο t .

Στη συγκεκριμένη μέθοδο, θεωρείται ότι οι γλωσσικοί όροι χαρακτηρίζονται από τριγωνικές συναρτήσεις συσχέτισης και είναι συμμετρικά και ομοιόμορφα διατεταγμένοι στο $[0,1]$. Επιπλέον, τα σύνολα γλωσσικών όρων έχουν περιττό αριθμό στοιχείων, με το μεσαίο όρο να αντιπροσωπεύει την τιμή αδιαφορίας.

Τα επίπεδα μιας γλωσσικής ιεραρχίας ταξινομούνται σύμφωνα με το πλήθος των στοιχείων τους, δηλαδή για δύο διαδοχικά επίπεδα t και $t + 1$ ισχύει $n(t + 1) > n(t)$. Έτσι, ορίζεται η γλωσσική ιεραρχία LH , ως η ένωση όλων των επιπέδων t :

$$LH = \bigcup_t l(t, n(t))$$

Για την κατασκευή μιας γλωσσικής ιεραρχίας, θεωρείται αρχικά ότι S ένα σύνολο γλωσσικών όρων του U στο επίπεδο t , δηλαδή $S = \{s_0, \dots, s_{n(t)-1}\}$, όπου s_k ($k = 0, \dots, n(t) - 1$) ένας γλωσσικός όρος του S . Στη συνέχεια ο ορισμός του S επεκτείνεται σε μια ομάδα συνόλων γλωσσικών όρων, $S^{n(t)}$, με κάθε σύνολο γλωσσικών όρων να ανήκει στο επίπεδο t της ιεραρχίας και να έχει πλήθος στοιχείων $n(t)$:

$$S^{n(t)} = \{s_0^{n(t)}, \dots, s_{n(t)-1}^{n(t)}\}$$

Οι βασικοί κανόνες της γλωσσικής ιεραρχίας είναι οι εξής:

- i) Να διατηρούνται όλα τα προηγούμενα τυπικά σημεία των συναρτήσεων συσχέτισης κάθε γλωσσικού όρου, από ένα επίπεδο στο επόμενο.
- ii) Να γίνονται ομαλές μεταβάσεις μεταξύ διαδοχικών επιπέδων. Ο στόχος είναι να δημιουργηθεί ένα νέο σύνολο γλωσσικών όρων, το $S^{n(t+1)}$. Ένας νέος γλωσσικός όρος προστίθεται ανάμεσα σε κάθε ζεύγος όρων που ανήκει στο γλωσσικό σύνολο του προηγούμενου επιπέδου t . Για να γίνει αυτό, μειώνεται το εύρος των γλωσσικών ετικετών κάθε όρου του ζεύγους, ώστε να δημιουργηθεί θέση για τον νέο όρο που τοποθετείται στη μέση του διαστήματος αυτών.

Οι συγκεκριμένοι κανόνες επιφέρουν κάποιους περιορισμούς αναφορικά με τα σύνολα γλωσσικών όρων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μια γλωσσική ιεραρχία, διότι το σύνολο γλωσσικών όρων του επιπέδου $t + 1$ προκύπτει από το προηγούμενό του ως εξής:

$$L(t, n(t)) \rightarrow L(t + 1, 2 \cdot n(t) - 1)$$

Έτσι, προκύπτει το πλήθος των στοιχείων κάθε συνόλου γλωσσικών όρων μιας γλωσσικής κυριαρχίας, σύμφωνα με τους βασικούς κανόνες, που φαίνεται και στον παρακάτω Πίνακα.

Πίνακας 2.1: Γλωσσικές Ιεραρχίες

	$l(t, n(t))$	$l(t, n(t))$
Επίπεδο 1	$l(1,3)$	$l(1,7)$
Επίπεδο 2	$l(2,5)$	$l(2,13)$
Επίπεδο 3	$l(3,9)$	

Για την αποφυγή απώλειας δεδομένων κατά τη διαδικασία ομογενοποίησης, που αποτελεί το κύριο πρόβλημα κατά τη συνάθροιση γλωσσικών πληροφοριών πολλαπλών στοιχείων, τα σύνολα των Γλωσσικών Ιεραρχιών χρησιμοποιούνται σαν γλωσσικά σύνολα πολλαπλών στοιχείων και επιπλέον, απαιτούνται συναρτήσεις μετασχηματισμού μεταξύ των γλωσσικών όρων των Γλωσσικών Ιεραρχιών, οι οποίες να εκτελούν τις διαδικασίες μετατροπής χωρίς απώλεια δεδομένων. Για την κατανόηση των συναρτήσεων αυτών, αρχικά ορίζονται οι μετατροπές μεταξύ των διαδοχικών επιπέδων και στη συνέχεια οι συναρτήσεις μετατροπής γενικεύονται και εφαρμόζονται ανάμεσα σε οποιαδήποτε επίπεδα της ιεραρχίας. Οι συγκεκριμένες συναρτήσεις βασίζονται στο μοντέλο διπλής αναπαράστασης.

Έστω $LH = \bigcup_t l(t, n(t))$ μια γλωσσική ιεραρχία, της οποίας τα σύνολα γλωσσικών όρων συμβολίζονται με $S^{n(t)} = \{s_0^{n(t)}, \dots, s_{n(t)-1}^{n(t)}\}$. Με βάση το μοντέλο διπλής αναπαράστασης, η

συνάρτηση μετατροπής μιας γλωσσικής ετικέτας του επιπέδου t στην αντίστοιχη ετικέτα του επιπέδου $t + 1$, που ικανοποιεί και τους βασικούς κανόνες της γλωσσικής ιεραρχίας, ορίζεται ως εξής:

$$TF_{t+1}^t: l(t, n(t)) \rightarrow l(t + 1, n(t + 1))$$

$$TF_{t+1}^t(s_i^{n(t)}, a^{n(t)}) = \Delta \left(\frac{\Delta^{-1}(s_i^{n(t)}, a^{n(t)}) \cdot (n(t + 1) - 1)}{n(t) - 1} \right)$$

Αντίστοιχα, ορίζεται η συνάρτηση μετατροπής μιας γλωσσικής ετικέτας του επιπέδου t στην αντίστοιχη ετικέτα του επιπέδου $t - 1$:

$$TF_{t-1}^t: l(t, n(t)) \rightarrow l(t - 1, n(t - 1))$$

$$TF_{t-1}^t(s_i^{n(t)}, a^{n(t)}) = \Delta \left(\frac{\Delta^{-1}(s_i^{n(t)}, a^{n(t)}) \cdot (n(t - 1) - 1)}{n(t) - 1} \right)$$

Οι παραπάνω ορισμοί μπορούν να γενικευτούν, ώστε οι συναρτήσεις μετατροπής να μετατρέπουν τους γλωσσικούς όρους ανάμεσα σε οποιαδήποτε επίπεδα της γλωσσικής ιεραρχίας. Η γενίκευση αυτή μπορεί να γίνει μέσω της ακόλουθης επαναληπτικής συνάρτησης μετατροπής μιας γλωσσικής ετικέτας του επιπέδου t στην αντίστοιχη ετικέτα του επιπέδου $t' = t + a$, με $a \in \mathbb{Z}$:

$$TF_{t'}^t: l(t, n(t)) \rightarrow l(t', n(t'))$$

Αν $|a| > 1$, τότε:

$$TF_{t'}^t(s_i^{n(t)}, a^{n(t)}) = TF_{t'}^{t+[(t-t')/(|t-t')]} \cdot \left(TF_{t+[(t-t')/(|t-t')]}^t(s_i^{n(t)}, a^{n(t)}) \right)$$

Αν $|a| = 1$, τότε:

$$TF_{t'}^t(s_i^{n(t)}, a^{n(t)}) = \left(TF_{t+[(t-t')/(t-t')]}^t(s_i^{n(t)}, a^{n(t)}) \right)$$

Η ανωτέρω συνάρτηση μπορεί να οριστεί και με μη επαναληπτικό χαρακτήρα, ως εξής:

$$TF_{t'}^t: l(t, n(t)) \rightarrow l(t', n(t'))$$

$$TF_{t'}^t(s_i^{n(t)}, a^{n(t)}) = \Delta \left(\frac{\Delta^{-1}(s_i^{n(t)}, a^{n(t)}) \cdot (n(t') - 1)}{n(t) - 1} \right)$$

Αποδεικνύεται ότι για τη συνάρτηση μετατροπής των γλωσσικών όρων στα διάφορα επίπεδα της γλωσσικής ιεραρχίας ισχύει:

$$TF_{t'}^{t'} \left(TF_{t'}^t(s_i^{n(t)}, a^{n(t)}) \right) = (s_i^{n(t)}, a^{n(t)})$$

Μετά τη δημιουργία της γλωσσικής ιεραρχίας, τη φάση δηλαδή της ομογενοποίησης των δεδομένων ενός προβλήματος λήψης αποφάσεων, η προτεινόμενη μέθοδος περιλαμβάνει την υπολογιστική φάση. Εξαιτίας του γεγονότος ότι το μοντέλο αναπαράστασης που χρησιμοποιείται στη γλωσσική ιεραρχία και τα αποτελέσματα των διαδικασιών ομογενοποίησης είναι γλωσσικές διπλές αναπαραστάσεις, το υπολογιστικό μοντέλο που χρησιμοποιείται σε αυτή τη φάση είναι το μοντέλο διπλής αναπαράστασης που αναλύεται παραπάνω. Επειδή όπως αποδεικνύεται η συνάρτηση μετασχηματισμού των γλωσσικών όρων μεταξύ των διαφόρων επιπέδων της γλωσσικής ιεραρχίας είναι μία συνάρτηση ένα-προς-ένα, οι μετατροπές μεταξύ των επιπέδων γίνονται χωρίς απώλεια

δεδομένων. Τα τελικά αποτελέσματα κάθε υπολογιστικής διαδικασίας μπορούν να εκφραστούν σε οποιοδήποτε σύνολο γλωσσικών όρων της γλωσσικής ιεραρχίας, μέσω μιας διαδικασίας επαναμετασχηματισμού τους με τη συνάρτηση $TF_{t'}^t$.

2.1.3.2.3 Εκτεταμένες Γλωσσικές Ιεραρχίες (Extended Linguistic Hierarchies-ELH)

Οι Espinilla et al. [39] παρουσίασαν μία επέκταση της μεθόδου των γλωσσικών ιεραρχιών, με στόχο να παρέχουν μία μέθοδο διαχείρισης προβλημάτων λήψης αποφάσεων με πολλούς εμπλεκόμενους φορείς και διαφορετικές γλωσσικές κλίμακες, που να χαρακτηρίζεται από ακρίβεια και ευκολία στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Οι *Εκτεταμένες Γλωσσικές Ιεραρχίες* (Extended Linguistic Hierarchies - ELH) είναι μία προσέγγιση που βασίζεται στις Γλωσσικές Ιεραρχίες και στο μοντέλο διπλής αναπαράστασης και περιλαμβάνει έναν νέο τρόπο δημιουργίας της γλωσσικής ιεραρχίας και μια νέα διαδικασία ομογενοποίησης των δεδομένων που χαρακτηρίζει το υπολογιστικό μοντέλο.

Έστω $S^{n(t)} = \{s_0^{n(t)}, \dots, s_{n(t)-1}^{n(t)}\}$ είναι ένα διατεταγμένο σύνολο γλωσσικών όρων στη γλωσσική ιεραρχία μιας γλωσσικής μεταβλητής. Το σύνολο των προηγούμενων τυπικών σημείων του επιπέδου t ορίζεται ως $FP_t = \{fp_t^0, \dots, fp_t^i, \dots, fp_t^{2 \cdot \delta_t}\}$, με $fp_t^i = \frac{i}{2 \cdot \delta_t} \in [0,1]$ και $\delta_t = n(t) - 1 \in \mathbb{N}$.

Όπως αναλύεται παραπάνω, ο δεύτερος βασικός κανόνας των γλωσσικών ιεραρχιών παρέχει έναν απλό τρόπο διατήρησης των τυπικών αυτών σημείων από το ένα επίπεδο της ιεραρχίας στο άλλο, ορίζοντας το πλήθος των όρων μεταξύ δύο επιπέδων ως $n(t+1) = 2 \cdot n(t) - 1$. Έτσι είναι εφικτή η μετατροπή των πληροφοριών μεταξύ δύο επιπέδων χωρίς απώλεια δεδομένων, με περιορισμό όμως των γλωσσικών κλιμάκων που μπορούν να συμπεριληφθούν στη γλωσσική ιεραρχία.

Με στόχο να μπορεί να αντιμετωπιστεί οποιαδήποτε κλίμακα στο γλωσσικό πλαίσιο πολλαπλών στοιχείων, η παρούσα προσέγγιση της ELH βασίζεται σε δύο νέους βασικούς κανόνες για τη δημιουργία της ιεραρχίας και τη διατήρηση των τυπικών σημείων από ένα επίπεδο t στο επόμενο $t+1$. Οι κανόνες αυτοί είναι οι εξής:

- i) Για τη δημιουργία μιας ELH, αρχικά αυτή θα πρέπει να περιλαμβάνει έναν πεπερασμένο αριθμό επιπέδων, $l(t, n(t))$ με $t = 1, \dots, m$, τα οποία καθορίζουν το γλωσσικό πλαίσιο, F_{MS} , που είναι απαραίτητο ώστε οι εμπλεκόμενοι φορείς να μπορούν να εκφράσουν τη γνώση τους. Δεν είναι απαραίτητη η διατήρηση των τυπικών σημείων μεταξύ των επιπέδων αυτών.
- ii) Για τη δημιουργία μιας ELH, πρέπει να προστεθεί ένα νέο επίπεδο $l(t^*, n(t^*))$ με $t^* = m+1$, ώστε με αυτό να διατηρούνται όλα τα τυπικά σημεία όλων των προηγούμενων επιπέδων $l(t, n(t))$ με $t = 1, \dots, m$.

Επομένως, για τη δημιουργία μιας ELH, αρχικά m γλωσσικές κλίμακες δίνονται στους εμπλεκόμενους φορείς για να αποτυπώσουν τις απόψεις/πληροφορίες τους. Το σύνολο όρων $l(t^*, n(t^*))$ με $t^* = m+1$ προστίθεται στη συνέχεια, με τον εξής τρόπο:

Έστω $\{S^{n(1)}, \dots, S^{n(m)}\}$ είναι το σύνολο m συνόλων γλωσσικών όρων, όπου το πλήθος των στοιχείων $n(t)$ με $t = 1, \dots, m$, είναι ένας περιττός αριθμός. Ένα νέο σύνολο όρων $S^{n(t^*)}$ με $t^* = m+1$, το οποίο διατηρεί όλα τα προηγούμενα τυπικά σημεία των m συνόλων όρων, μπορεί να έχει το ακόλουθο πλήθος στοιχείων:

$$n(t^*) = \left(\prod_{t=1}^{t=m} \delta_t \right) + 1$$

με $\delta_t = n(t) - 1 \in \mathbb{N}$.

Μία Εκτεταμένη Γλωσσική Ιεραρχία είναι, επομένως, η ένωση των m επιπέδων, που απαιτούνται για την αποτύπωση των πληροφοριών των εμπλεκόμενων φορέων, και του νέου επιπέδου $l(t^*, n(t^*))$ που διατηρεί όλα τα προηγούμενα τυπικά σημεία ώστε να παρέχει ακρίβεια στις διαδικασίες μοντελοποίησης, δηλαδή:

$$ELH = \bigcup_{t=1}^{t=m+1} (l(t, n(t)))$$

Ο παρακάτω Πίνακας αποτυπώνει το πλήθος των στοιχείων που απαιτείται στο επίπεδο t^* βάσει των m προηγούμενων επιπέδων που περιλαμβάνονται στο γλωσσικό πλαίσιο. Το τελευταίο επίπεδο t^* περιλαμβάνει όλα τα προηγούμενα τυπικά σημεία των συναρτήσεων συσχέτισης κάθε συνόλου γλωσσικών όρων των προηγούμενων επιπέδων $t = 1, \dots, m$.

Πίνακας 2.2: Εκτεταμένες Γλωσσικές Ιεραρχίες με 3, 5, 7 και 49 ετικέτες

Εκτεταμένη Γλωσσική Ιεραρχία	δ_t	Αριθμός τυπικών σημείων (FP)
$l(t, n(t))$	$n(t) - 1$	$(2 \cdot \delta_t) + 1$
$l(1,3)$	2	5
$l(2,5)$	4	9
$l(3,7)$	6	13
$l(4,49)$	48	97

Επειδή το πλήθος των όρων του επιπέδου t^* που καθορίζεται με την παραπάνω διαδικασία μπορεί να προκύψει αρκετά υψηλό, καθιστώντας αρκετά περίπλοκο το υπολογιστικό μοντέλο, προτείνεται και ένας εναλλακτικός τρόπος δημιουργίας μιας ELH, ο οποίος ελαχιστοποιεί το πλήθος των όρων του t^* , διατηρώντας όμως όλα τα τυπικά σημεία των προηγούμενων επιπέδων. Αυτό γίνεται χρησιμοποιώντας το ελάχιστο κοινό πολλαπλάσιο (least common multiple - LCM). Δηλαδή, το πλήθος των όρων του επιπέδου t^* μπορεί να υπολογιστεί ως:

$$n(t^*) = (LCM(\delta_1, \dots, \delta_m)) + 1, \quad t = 1, \dots, m$$

Φάση ομογενοποίησης: Οι γλωσσικές πληροφορίες για να χρησιμοποιηθούν σε μια ELH πρέπει αρχικά να ομογενοποιηθούν. Η ομογενοποίηση βασίζεται στις συναρτήσεις μετασχηματισμού $TF_{t'}^t$, που ορίζονται στις Γλωσσικές Ιεραρχίες παραπάνω, όπου t και t' μπορεί να είναι οποιοδήποτε ζεύγος συνόλων γλωσσικών όρων στη Γλωσσική Ιεραρχία. Όμως, στην ELH αυτές οι συναρτήσεις δεν εγγυώνται ακρίβεια κατά το μετασχηματισμό ανάμεσα σε δύο οποιαδήποτε σύνολα όρων, επειδή δεν διατηρούν τα προηγούμενα τυπικά σημεία. Για το λόγο αυτό, στην ELH η ομογενοποίηση των πληροφοριών γίνεται στο επίπεδο t^* χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση μετασχηματισμού $TF_{t^*}^t$, όπου t οποιοδήποτε επίπεδο στο $\{1, \dots, m\}$ και $t^* = m + 1$.

Χρησιμοποιώντας αυτή τη διαδικασία, αναπτύσσεται μια νέα συνάρτηση μετασχηματισμού ανάμεσα σε οποιοδήποτε ζεύγος συνόλων γλωσσικών όρων, t και t' στην ELH, χωρίς απώλεια πληροφορίας. Η διαδικασία μετασχηματισμού πραγματοποιείται σε δύο βήματα: Αρχικά μετατρέπει τους γλωσσικούς όρους οποιοδήποτε επιπέδου $l(t, n(t))$ της ιεραρχίας, στο επίπεδο $l(t^*, n(t^*))$, μέσω της συνάρτησης $TF_{t^*}^t$. Στη συνέχεια, μετατρέπει τους γλωσσικούς όρους του επιπέδου $l(t^*, n(t^*))$ σε

οποιοδήποτε επίπεδο $l(t', n(t'))$, μέσω της συνάρτησης $TF_{t'}^{t*}$ χωρίς απώλεια πληροφορίας. Επομένως, η νέα εκτεταμένη συνάρτηση μετασχηματισμού ορίζεται ως:

$$ETF_{t'}^t: l(t, n(t)) \rightarrow l(t', n(t'))$$

$$ETF_{t'}^t = TF_{t'}^{t*} \circ TF_{t'}^t$$

Η εκτεταμένη συνάρτηση μετασχηματισμού μεταξύ των γλωσσικών όρων στα διάφορα επίπεδα της ELH, είναι μία συνάρτηση ένα προς ένα, δηλαδή:

$$ETF_{t'}^{t'} \left(ETF_{t'}^t \left(s_i^{n(t)}, a_i^{n(t)} \right) \right) = \left(s_i^{n(t)}, a_i^{n(t)} \right)$$

Φάση Επεξεργασίας: Το υπολογιστικό μοντέλο που χρησιμοποιείται στις ELH είναι το μοντέλο διπλής αναπαράστασης, αφού και οι αρχικές πληροφορίες ομογενοποιούνται με τη βοήθεια της διπλής αναπαράστασης. Παρόλο που τα αποτελέσματα εκφράζονται μέσω γλωσσικών διπλών αναπαραστάσεων σε ένα ενοποιημένο σύνολο $S^{n(t')}$, το συγκεκριμένο μοντέλο δίνει τη δυνατότητα τα αποτελέσματα να αποτυπωθούν και σε οποιαδήποτε άλλη κλίμακα του γλωσσικού πλαισίου F_{MS} , χωρίς απώλεια πληροφορίας, μέσω της συνάρτησης μετασχηματισμού $ETF_{t'}^{t'}$.

2.1.3.3 Μέθοδος για Ανομοιογενή Πλαίσια (Heterogeneous framework)

Η συγκεκριμένη μέθοδος σχετίζεται με προβλήματα λήψης αποφάσεων, όπου κάθε εμπλεκόμενος φορέας μπορεί να εκφράζει τις εκτιμήσεις του με διαφορετικούς τρόπους, ανάλογα με τις γνώσεις του, την εμπειρία του ή τη φύση των κριτηρίων βάσει των οποίων αξιολογούνται οι εναλλακτικές λύσεις. Επομένως, οι αξιολογήσεις εκφράζονται με μη ομοιογενείς πληροφορίες, όπως αριθμητικές τιμές, γλωσσικές τιμές ή διαστήματα τιμών.

Οι Herrera et al. [40] παρουσίασαν μία μέθοδο για τη διαχείριση ανομοιογενούς πληροφορίας, βασισμένη στο μοντέλο διπλής αναπαράστασης (2-tuple). Πρόκειται για μία μέθοδο που εφαρμόζεται στη φάση της συνάθροισης ανομοιογενών πληροφοριών στα προβλήματα λήψης συλλογικών αποφάσεων. Η προτεινόμενη διαδικασία υλοποιείται σε τρία βασικά βήματα: 1) την ομογενοποίηση των πληροφοριών, 2) τη συνάθροιση των επιμέρους τιμών προτίμησης και 3) τη μετατροπή σε γλωσσικούς όρους 2-tuple.

1. Ομογενοποίηση των πληροφοριών

Οι μη ομοιογενείς πληροφορίες ενοποιούνται σε ένα συγκεκριμένο γλωσσικό πλαίσιο, το *βασικό σύνολο γλωσσικών όρων* (Basic Linguistic Term Set – BLTS), που συμβολίζεται με S_T . Κάθε αριθμητική, γλωσσική και αποτιμώμενη σε διάστημα προτίμησης εκφράζεται στο BLTS μέσω ενός ασαφούς συνόλου, το $F(S_T)$. Η διαδικασία αυτή υλοποιείται με την ακόλουθη σειρά:

- i) Μετατροπή των αριθμητικών τιμών του διαστήματος $[0,1]$ στο $F(S_T)$
- ii) Μετατροπή των γλωσσικών όρων στο $F(S_T)$
- iii) Μετατροπή των διαστημάτων τιμών στο $F(S_T)$.

Πριν τη μετατροπή των αρχικών πληροφοριών σε ασαφή σύνολα στο BLTS, πρέπει να γίνει η επιλογή του BLTS. Για την επιλογή αυτή, εξετάζεται το σύνολο γλωσσικών όρων S του πλαισίου που ορίζει το πρόβλημα λήψης συλλογικών αποφάσεων. Αν το S είναι ένα ασαφές υποσύνολο και οι συναρτήσεις

συμμετοχής των όρων του είναι τριγωνικές, δηλαδή $s_i = (a_i, b_i, c_i)$, τότε επιλέγεται το S ως BLTS, δεδομένου ότι αυτές οι συνθήκες είναι ικανές και αναγκαίες για τη μετατροπή μεταξύ τιμών στο $[0,1]$ και όρους 2-tuple, χωρίς απώλεια πληροφορίας. Σε διαφορετική περίπτωση πρέπει να επιλεγεί ως BLTS ένα σύνολο όρων που ικανοποιεί τις παραπάνω συνθήκες και με το πλήθος των όρων του να είναι μεγαλύτερο από αυτό που μπορούν συνήθως να διακρίνουν οι άνθρωποι (συνήθως 11 ή 13).

Στη συνέχεια πρέπει να οριστούν οι συναρτήσεις μετατροπής που απαιτούνται για την ομογενοποίηση των πληροφοριών. Η διαδικασία της ομογενοποίησης περιλαμβάνει τη σύγκριση ασαφών συνόλων, συνήθως με τη χρήση ενός μέτρου σύγκρισης. Το μέτρο σύγκρισης εδώ επιλέγεται να βασίζεται σε μια συνάρτηση πιθανότητας $S(A, B) = \max_x \min(\mu_A(x), \mu_B(x))$, όπου μ_A και μ_B είναι οι συναρτήσεις συμμετοχής των ασαφών συνόλων A και B αντίστοιχα.

- i) *Μετατροπή των αριθμητικών τιμών του διαστήματος $[0,1]$ στο $F(S_T)$.* Έστω $F(S_T)$ είναι το σύνολο των ασαφών συνόλων $S_T = \{s_0, \dots, s_g\}$ και $\vartheta \in [0,1]$ μια αριθμητική τιμή που πρέπει να μετατραπεί σε ένα ασαφές σύνολο στο $F(S_T)$, υπολογίζοντας τη σχέση συμμετοχής του ϑ στον ασαφή αριθμό που σχετίζεται με τους γλωσσικούς όρους στο S_T . Η συνάρτηση τ_{NS_T} μετατρέπει μια αριθμητική τιμή σε ασαφές σύνολο του S_T :

$$\tau_{NS_T}: [0,1] \rightarrow F(S_T),$$

$$\tau_{NS_T}(\vartheta) = \{(s_0, \gamma_0), \dots, (s_g, \gamma_g)\}, \quad s_i \in S_T \text{ και } \gamma_i \in [0,1],$$

$$\gamma_i = \mu_{s_i}(\vartheta) = \begin{cases} 0 & \text{αν } \vartheta \notin \text{support}(\mu_{s_i}(x)) \\ \frac{\vartheta - a_i}{b_i - a_i} & \text{αν } a_i \leq \vartheta \leq b_i \\ 1 & \text{αν } b_i \leq \vartheta \leq d_i \\ \frac{c_i - \vartheta}{c_i - d_i} & \text{αν } d_i \leq \vartheta \leq c_i \end{cases}$$

Σημειώνεται ότι οι συναρτήσεις συμμετοχής $\mu_{s_i}(\cdot)$ για τις γλωσσικές ετικέτες $s_i \in S_T$ θεωρείται ότι αντιπροσωπεύονται από μια παραμετρική συνάρτηση (a_i, b_i, c_i, d_i) . Μια ειδική περίπτωση αυτών είναι οι γλωσσικές προτιμήσεις των οποίων οι συναρτήσεις είναι τριγωνικές, δηλαδή $b_i = d_i$.

- ii) *Μετατροπή γλωσσικών όρων από το S στο $F(S_T)$.* Έστω $S = \{l_0, \dots, l_p\}$ και $S_T = \{s_0, \dots, s_g\}$ δύο γλωσσικά σύνολα τέτοια ώστε $g \geq p$. Τότε η γλωσσική συνάρτηση μετατροπής τ_{SS_T} ορίζεται ως εξής:

$$\tau_{SS_T}: S \rightarrow F(S_T),$$

$$\tau_{SS_T}(l_i) = \{(s_k, \gamma_k^i) \mid k \in \{0, \dots, g\}\} \quad \forall l_i \in S,$$

$$\gamma_k^i = \max_y \min\{\mu_{l_i}(y), \mu_{s_k}(y)\},$$

όπου $F(S_T)$ είναι το σύνολο των ασαφών συνόλων που ορίζονται στο S_T και $\mu_{l_i}(\cdot)$ και $\mu_{s_k}(\cdot)$ οι συναρτήσεις συμμετοχής των ασαφών συνόλων που σχετίζονται με τους όρους l_i και s_k αντίστοιχα.

Με τον τρόπο αυτό, το αποτέλεσμα της τ_{SS_T} για κάθε γλωσσικό όρο του S είναι ένα ασαφές σύνολο που ορίζεται στο BLTS, το S_T .

iii) Μετατροπή των διαστημάτων τιμών στο $F(S_T)$. Έστω $I = [\underline{l}, \bar{l}]$ είναι ένα διάστημα τιμών στο $[0,1]$. Για να διενεργηθεί η μετατροπή γίνεται η υπόθεση ότι η αναπαράσταση των διαστημάτων προκύπτει από τη συνάρτηση συμμετοχής των ασαφών συνόλων, ως εξής:

$$\mu_I(\vartheta) = \begin{cases} 0 & \text{αν } \vartheta < \underline{l}, \\ 1 & \text{αν } \underline{l} \leq \vartheta \leq \bar{l}, \\ 0 & \text{αν } \bar{l} < \vartheta, \end{cases}$$

όπου ϑ είναι μία τιμή στο $[0,1]$.

Έστω $S_T = \{s_0, \dots, s_g\}$ είναι το BLTS. Τότε η συνάρτηση τ_{IS_T} μετατρέπει ένα διάστημα I του $[0,1]$ σε ασαφές σύνολο του S_T .

$$\tau_{IS_T}: I \rightarrow F(S_T),$$

$$\tau_{IS_T}(I) = \{(s_k, \gamma_k^I) \text{ με } k \in \{0, \dots, g\}\},$$

$$\gamma_k^I = \max_y \min\{\mu_I(y), \mu_{s_k}(y)\},$$

όπου $F(S_T)$ είναι το σύνολο των ασαφών συνόλων που ορίζονται στο S_T και $\mu_I(\cdot)$ και $\mu_{s_k}(\cdot)$ οι συναρτήσεις συμμετοχής που σχετίζονται με τους όρους I και s_k αντίστοιχα.

2. Συνάθροιση των επιμέρους τιμών προτίμησης

Χρησιμοποιώντας τις παραπάνω συναρτήσεις μετατροπής, οι αρχικές πληροφορίες εκφράζονται πλέον ως ασαφή σύνολα στο BLTS, $S_T = \{s_0, \dots, s_g\}$, δηλαδή τα δεδομένα εισόδου είναι ομοιογενή (πληροφορίες ίδιας φύσης). Στη συνέχεια χρησιμοποιείται μια συνάρτηση συνάθροισης για τον συνδυασμό των ασαφών συνόλων στο BLTS, ώστε να προκύψει μια συλλογική αξία προτίμησης για κάθε ζεύγος εναλλακτικών, που θα είναι ένα ασαφές σύνολο στο BLTS.

Οι σχέσεις προτίμησης εκφράζονται ως ασαφή σύνολα στο BLTS με τον ακόλουθο τρόπο:

$$P_{ek} = \begin{pmatrix} p_{11}^k = \{(s_0, \gamma_{k_0}^{11}), \dots, (s_g, \gamma_{k_g}^{11})\} & \dots & p_{1n}^k = \{(s_0, \gamma_{k_0}^{1n}), \dots, (s_g, \gamma_{k_g}^{1n})\} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{n1}^k = \{(s_0, \gamma_{k_0}^{n1}), \dots, (s_g, \gamma_{k_g}^{n1})\} & \dots & p_{nn}^k = \{(s_0, \gamma_{k_0}^{nn}), \dots, (s_g, \gamma_{k_g}^{nn})\} \end{pmatrix}$$

όπου p_{ij}^k είναι ο βαθμός προτίμησης της εναλλακτικής x_i έναντι της εναλλακτικής x_j που δίνεται από τον εμπλεκόμενο φορέα e_k .

Κάθε ασαφές σύνολο p_{ij}^k συμβολίζεται με $r_{ij}^k = (\gamma_{k_0}^{ij}, \dots, \gamma_{k_g}^{ij})$, με τις τιμές του r_{ij}^k να αποτελούν τους αντίστοιχους βαθμούς συμμετοχής. Στη συνέχεια, κάθε τιμή προτίμησης της συλλογικής συνάρτησης προτίμησης προκύπτει από τη συνάθροιση των ασαφών συνόλων που προέρχονται από κάθε εμπλεκόμενο φορέα $\{r_{ij}^k, \forall e_k\}$. Αυτή η συλλογική αξία προτίμησης, που συμβολίζεται με r_{ij} , είναι ένα νέο ασαφές σύνολο στο S_T , δηλαδή $r^{ij} = (\gamma_0^{ij}, \dots, \gamma_g^{ij})$, το οποίο χαρακτηρίζεται από τη συνάρτηση συμμετοχής $\gamma_v^{ij} = f(\gamma_{1v}^{ij}, \dots, \gamma_{kv}^{ij})$, όπου f είναι ένας τελεστής συνάθροισης και k ο αριθμός των εμπλεκόμενων φορέων.

3. Μετατροπή σε γλωσσικούς όρους 2-tuple

Σε αυτή τη φάση, τα ασαφή σύνολα του BLTS μετατρέπονται σε γλωσσικά 2-tuples για να διευκολυνθεί η διαδικασία κατάταξης των εναλλακτικών. Χρησιμοποιείται μία συνάρτηση χ που

μετατρέπει ένα ασαφές σύνολο σε αριθμητική τιμή στο διάστημα του βαθμού ανάλυσης του S_T , $[0, g]$:

$$\chi: F(S_T) \rightarrow [0, g],$$

$$\chi(F(S_T)) = \chi(\{(s_j, \gamma_j), j = 0, \dots, g\}) = \frac{\sum_{j=0}^g j \cdot \gamma_j}{\sum_{j=0}^g \gamma_j} = \beta,$$

όπου το ασαφές σύνολο $F(S_T)$ μπορεί να προκύψει από τις συναρτήσεις μετατροπής τ_{NS_T} , τ_{SS_T} ή τ_{IS_T} .

Με τον τρόπο αυτό, εφαρμόζοντας τη συνάρτηση Δ (του μοντέλου διπλής αναπαράστασης) στο β , προκύπτει μια σχέση συλλογικής προτίμησης, της οποίας οι τιμές εκφράζονται με γλωσσικά 2-tuples:

$$\Delta(\chi(\tau(\vartheta))) = \Delta(\beta) = (s, a).$$

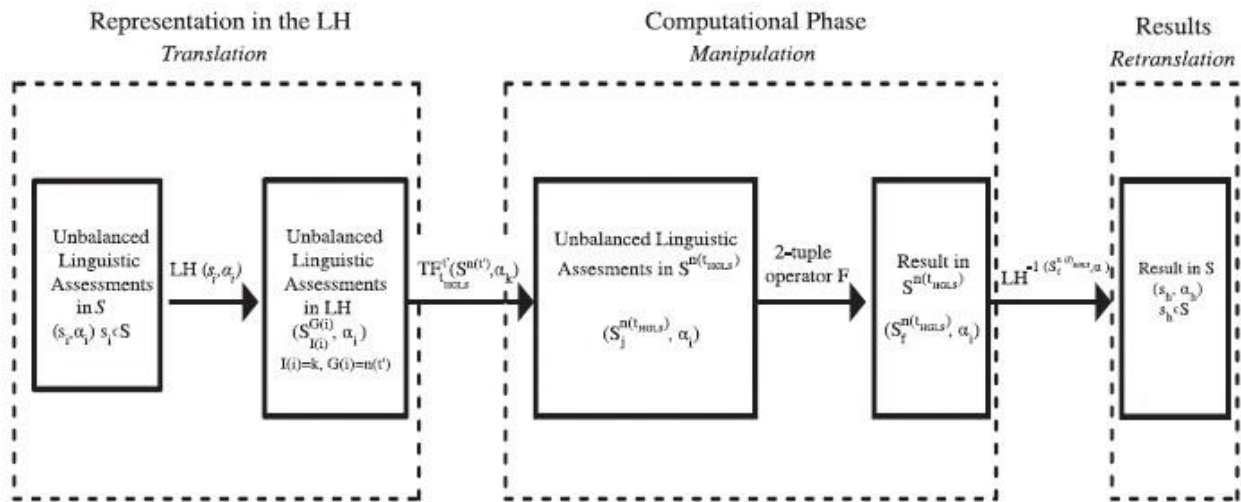
2.1.3.4 Μέθοδος για Μη-ισορροπημένα Γλωσσικά Πλαίσια (Unbalanced Linguistic Framework)

Τα περισσότερα προβλήματα που αφορούν τη μοντελοποίηση πληροφοριών με γλωσσικές αξιολογήσεις χρησιμοποιούν γλωσσικές μεταβλητές σε σύνολα γλωσσικών όρων, των οποίων οι όροι είναι ομοιόμορφα και συμμετρικά κατανεμημένοι. Όμως, είναι επίσης συχνά τα προβλήματα στα οποία οι αξιολογήσεις αποτυπώνονται καλύτερα μέσω συνόλων γλωσσικών όρων, όπου οι όροι δεν είναι ούτε ομοιόμορφοι ούτε συμμετρικά κατανεμημένοι, πρόκειται δηλαδή για μη ισορροπημένα γλωσσικά σύνολα. Σε κάποιες περιπτώσεις οι μη ισορροπημένες γλωσσικές πληροφορίες εμφανίζονται είτε εξαιτίας της φύσης των γλωσσικών μεταβλητών του προβλήματός, είτε σε προβλήματα που σχετίζονται με κλίμακες, στις οποίες οι προτιμήσεις απαιτείται να εκφραστούν με μεγαλύτερη ακρίβεια σε μία υποπεριοχή της κλίμακας και μικρότερη στο υπόλοιπο.

Οι Herrera et al. [41] παρουσίασαν μια μεθοδολογία βασισμένη στις γλωσσικές ιεραρχίες για τη διαχείριση των μη ισορροπημένων γλωσσικών πλαισίων.

Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάστηκε μια μεθοδολογία βασισμένη στη διπλή αναπαράσταση, η οποία παρέχει έναν αλγόριθμο για την αναπαράσταση των γλωσσικών όρων και ένα υπολογιστικό μοντέλο για τη διενέργεια των διαδικασιών υπολογιστικής με γλωσσικούς όρους, βασισμένο στο μοντέλο διπλής αναπαράστασης. Ο αλγόριθμος αναπαράστασης παρέχει τη σημασιολογία $LH(S)$ για ένα μη ισορροπημένο σύνολο όρων, το S , χρησιμοποιώντας τριγωνικές συναρτήσεις συμμετοχής που υπολογίζονται από μια Γλωσσική Ιεραρχία LH . Επιπλέον, ο αλγόριθμος παρέχει μια συνάρτηση Boolean, $Brid(S)$, η οποία χρησιμοποιείται στις διαδικασίες υπολογιστικής με γλωσσικούς όρους.

Το υπολογιστικό μοντέλο για μη ισορροπημένες γλωσσικές πληροφορίες πραγματοποιεί με ακρίβεια τις διαδικασίες υπολογισμού με τους γλωσσικούς όρους, ακολουθώντας το σχήμα που παρουσιάζεται στην παρακάτω Εικόνα και με βάση το γλωσσικό μοντέλο 2-tuple και τη χρήση γλωσσικών ιεραρχιών.



Εικόνα 2.10: Υπολογιστικές Διαδικασίες σε μη-ισορροπημένα γλωσσικά πλαίσια [42]

- *Αναπαράσταση στην γλωσσική ιεραρχία:* Ο αλγόριθμος αναπαράστασης χρησιμοποιεί μια γλωσσική ιεραρχία LH για τη μοντελοποίηση των μη ισορροπημένων όρων. Επομένως, το πρώτο βήμα της συνολικής διαδικασίας είναι η μετατροπή των όρων αυτών στους αντίστοιχους όρους στην LH , $s_k^{n(t)} \in LH = \cup_t l(t, n(t))$, χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση μετατροπής \mathcal{LH} , η οποία συνδέει με κάθε μη ισορροπημένο γλωσσικό όρο 2-tuple $(s_i, a) \in \bar{S}$ τον αντίστοιχο γλωσσικό όρο 2-tuple στο $LH(\bar{S})$, $(s_k^{n(t)}, a), s_k^{n(t)} \in LH(S)$:

$\mathcal{LH}: \bar{S} \rightarrow LH(\bar{S})$, έτσι ώστε

$$\forall (s_i, \alpha_i) \in \bar{S} \Rightarrow \mathcal{LH}(s_i, \alpha_i) = (S_{I(i)}^{G(i)}, \alpha_i)$$

όπου $I(i) = k$ η συνάρτηση που δίνει το δείκτη της ετικέτας που αντιπροσωπεύει τη σημασιολογία της στο LH και $G(i) = n(t)$ η συνάρτηση που προσδιορίζει το πλήθος των όρων του επιπέδου στο οποίο κάθε ετικέτα αντιπροσωπεύεται.

Στη συνέχεια οι γλωσσικοί όροι των διαφόρων επιπέδων της γλωσσικής ιεραρχίας LH ομογενοποιούνται στο επίπεδο t_{HGLS} , χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση μετατροπής $TF_{t_{HGLS}}^{t'}$, που ορίζεται για τις γλωσσικές ιεραρχίες, όπως περιγράφεται στην ανωτέρω αντίστοιχη ενότητα.

- *Υπολογιστική Φάση:* Υλοποιούνται όλες οι διαδικασίες υπολογισμών με γλωσσικούς όρους, χρησιμοποιώντας το υπολογιστικό μοντέλο που χρησιμοποιείται στις Γλωσσικές Ιεραρχίες. Εφαρμόζεται δηλαδή το υπολογιστικό μοντέλο γλωσσικών διπλών αναπαραστάσεων και προκύπτουν τα αποτελέσματα με τη μορφή γλωσσικών 2-tuples στο $S^{n(t_{HGLS})}$.
- *Αποτελέσματα:* Χρησιμοποιείται μία διαδικασία επαναμετασχηματισμού, ώστε τα αποτελέσματα να εκφραστούν στο αρχικό μη ισορροπημένο σύνολο γλωσσικών όρων S μέσω γλωσσικών 2-tuples και τη συνάρτηση \mathcal{LH}^{-1} , η οποία συνδέει κάθε γλωσσικό 2-tuple όρο στο $LH(\bar{S})$, με τον αντίστοιχο γλωσσικό 2-tuple στο αρχικό μη ισορροπημένο \bar{S} :

$$\mathcal{LH}^{-1}: LH(\bar{S}) \rightarrow \bar{S}$$

Η συνάρτηση \mathcal{LH}^{-1} ορίζεται κατά περίπτωση, ανάλογα με την ικανοποίηση κάποιων συνθηκών για τα $LH(S)$ και τη συνάρτηση $Brid(S)$.

2.1.3.5 Μέθοδοι για Διστακτικές Ασαφείς Γλωσσικές Πληροφορίες (Hesitant Fuzzy Linguistic Information)

2.1.3.5.1 Διστακτικά Ασαφή Γλωσσικά Σύνολα (Hesitant Fuzzy Linguistic Term Set)

Σε πολλές περιπτώσεις, οι εμπλεκόμενοι φορείς σε προβλήματα λήψης αποφάσεων που ορίζονται υπό αβεβαιότητα δεν μπορούν εύκολα να αποδώσουν με έναν και μόνο γλωσσικό όρο την προτίμησή τους ή τη γνώση τους, είτε γιατί είναι πιθανό να σκέφτονται πολλούς όρους ταυτόχρονα είτε γιατί αναζητούν έναν πιο σύνθετο γλωσσικό όρο, ο οποίος δεν περιλαμβάνεται στο διαθέσιμο γλωσσικό σύνολο όρων. Για τη διαχείριση τέτοιων περιπτώσεων, οι Rodriguez et al [43] παρουσίασαν τα Διστακτικά Ασαφή Γλωσσικά Σύνολα (Hesitant Fuzzy Linguistic Term Set - HFLTS), λαμβάνοντας υπόψη την ιδέα των Διστακτικών Ασαφών Συνόλων (Hesitant Fuzzy Sets), η οποία αναπτύχθηκε για τη διαχείριση διαφόρων πιθανών μεταβλητών κατά τον καθορισμό της συνάρτησης συμμετοχής ενός μέλους σε ένα ποσοτικό πλαίσιο. Έτσι, η έννοια των HFLTS προτάθηκε με βάση την ασαφή γλωσσική προσέγγιση και με στόχο τη βελτίωση της ευελιξίας στην απόκτηση γλωσσικών πληροφοριών, στις περιπτώσεις που οι εμπλεκόμενοι φορείς διστάζουν μεταξύ διαφόρων γλωσσικών όρων να διατυπώσουν τις αξιολογήσεις ή προτιμήσεις τους.

Ορισμός: Αν S είναι ένα σύνολο γλωσσικών όρων $S = \{s_0, \dots, s_g\}$, ένα HFLTS (H_S) ορίζεται ως ένα διατεταγμένο πεπερασμένο υποσύνολο διαδοχικών γλωσσικών όρων του S :

$$H_S = \{s_i, s_{i+1}, \dots, s_j\}, \text{ τέτοιο ώστε } s_k \in S, k \in \{i, \dots, j\}$$

Για τη διευκόλυνση των υπολογισμών με τα HFLTS, προτείνεται η ιδέα της περιβάλλουσας ενός HFLTS, $env(H_S)$, ένα γλωσσικό διάστημα του οποίου τα όρια λαμβάνονται από το άνω και κάτω άκρο του, δηλαδή:

$$env(H_S) = [H_{S-}, H_{S+}], \quad H_{S-} \leq H_{S+}$$

όπου το άνω όριο ορίζεται ως $H_{S+} = \max\{s_k\}$ και το κάτω όριο ως $H_{S-} = \min\{s_k\}, \forall s_k \in H_S, k \in \{i, \dots, j\}$.

Παρόλο που η ιδέα του HFLTS μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας από τους εμπλεκόμενους φορείς για να παρέχουν πολλαπλούς γλωσσικούς όρους, τέτοιου είδους στοιχεία δεν είναι όμοια με τις εκφράσεις που χρησιμοποιούνται από τον άνθρωπο σε πραγματικά προβλήματα. Για το λόγο αυτό οι Rodriguez et al [43] πρότειναν τη χρήση γραμματικής χωρίς συμφραζόμενα (context-free grammar) για να παράγουν γλωσσικές εκφράσεις παρόμοιες με τις εκφράσεις του ανθρώπου, οι οποίες εύκολα αναπαρίστανται από το HFLTS. Μία γραμματική χωρίς συμφραζόμενα, G_H παράγει γλωσσικές εκφράσεις όμοιες με αυτές που χρησιμοποιούνται από τους εμπλεκόμενους φορείς σε προβλήματα λήψης αποφάσεων. Αν $S = \{s_0, \dots, s_g\}$ είναι ένα σύνολο γλωσσικών όρων και $G_H = (V_N, V_T, I, P)$ μία context-free grammar, τα στοιχεία της G_H μπορούν να οριστούν με τον τρόπο που παρουσιάζεται στην παρακάτω Εικόνα.

$$\begin{aligned}
 V_N &= \{ \langle \text{primary term} \rangle, \langle \text{composite term} \rangle, \langle \text{unary relation} \rangle, \\
 &\langle \text{binary relation} \rangle, \langle \text{conjunction} \rangle \}, \\
 V_T &= \{ \text{at most, at least, between, and, } s_0, \dots, s_g \}, \\
 I &\in V_N, \\
 P &= \{ I ::= \langle \text{primary term} \rangle | \langle \text{composite term} \rangle \\
 &\langle \text{composite term} \rangle ::= \langle \text{unary relation} \rangle \langle \text{primary term} \rangle | \\
 &\langle \text{binary relation} \rangle \langle \text{primary term} \rangle \langle \text{conjunction} \rangle \langle \text{primary term} \rangle | \\
 &\langle \text{primary term} \rangle ::= s_0 | s_1 | \dots | s_g \\
 &\langle \text{unary relation} \rangle ::= \text{at most} | \text{at least} | \text{greater than} | \\
 &\text{lower than} \\
 &\langle \text{binary relation} \rangle ::= \text{between} \\
 &\langle \text{conjunction} \rangle ::= \text{and} \}.
 \end{aligned}$$

Εικόνα 2.11: Ορισμός των στοιχείων του context-free grammar G_H

Επειδή οι εκφράσεις της G_H δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν απευθείας στη διενέργεια των υπολογιστικών διαδικασιών, χρησιμοποιείται μία συνάρτηση μετατροπής, η E_{G_H} , που μετατρέπει τις συγκριτικές γλωσσικές εκφράσεις στο HFLTS.

Έστω E_{G_H} είναι η συνάρτηση που μετατρέπει τις γλωσσικές εκφράσεις ll που παράγονται από την G_H στο HFLTS, H_S , όπου S το σύνολο γλωσσικών όρων που χρησιμοποιείται από την G_H και S_{ll} το σύνολο όρων έκφρασης που παράγεται από την G_H . Η μετατροπή μέσω της συνάρτησης E_{G_H} γίνεται ως εξής:

$$E_{G_H}: S_{ll} \rightarrow H_S,$$

$$E_{G_H}(s_i) = \{s_i | s_i \in S\},$$

$$E_{G_H}(\text{at most } s_i) = \{s_j | s_j \leq s_i \text{ and } s_j \in S\},$$

$$E_{G_H}(\text{lower than } s_i) = \{s_j | s_j < s_i \text{ and } s_j \in S\},$$

$$E_{G_H}(\text{greater than } s_i) = \{s_j | s_j > s_i \text{ and } s_j \in S\},$$

$$E_{G_H}(\text{at least } s_i) = \{s_j | s_j \geq s_i \text{ and } s_j \in S\},$$

$$E_{G_H}(\text{between } s_i \text{ and } s_j) = \{s_k | s_i \leq s_k \leq s_j \text{ and } s_k \in S\}.$$

Παρόλο που η ιδέα των HFLTS είναι σχετικά πρόσφατη, έχει ήδη εφαρμοστεί για την επίλυση αρκετών προβλημάτων λήψης αποφάσεων, χρησιμοποιώντας διάφορα μοντέλα και διάφορους τελεστές συνάθροισης που ορίστηκαν για το σκοπό αυτό. Οι τελεστές συνάθροισης για HFLTS που χρησιμοποιούνται στο Flintstones για την επίλυση πολυκριτηριακών προβλημάτων λήψης απόφασης, είναι οι εξής:

- *Min_upper operator*: Συνδυάζει τα HFLTS και δίνει το χειρότερο από τους μέγιστους γλωσσικούς όρους
- *Max_lower operator*: Αποδίδει τον καλύτερο από τους ελάχιστους γλωσσικούς όρους
- *Hesitant Linguistic Weighted Averaging (HLWA) operator*: Γενικεύει τον ορισμό του σταθμισμένου γλωσσικού μέσου όρου για τη συνάθροιση των HFLTS, χρησιμοποιώντας τον κυρτό συνδυασμό.
- *Hesitant Linguistic Ordered Weighted Averaging (HLOWA) operator*: Επεκτείνει τον ορισμό του τελεστή Linguistic Order Weighting Averaging (LOWA) στα HFLTS, χρησιμοποιώντας επίσης κυρτό συνδυασμό.

Οι ανωτέρω τελεστές ορίζονται αναλυτικά από τους Rodriguez et al [43].

Για να επιλυθεί ένα πρόβλημα λήψης απόφασης με τη συγκεκριμένη μέθοδο στο Flintstones, πρέπει να υπάρχει μόνο ένας εμπλεκόμενος φορέας και όλες οι αξιολογήσεις των εναλλακτικών να εκφράζονται στον ίδιο τομέα (Domain) [44]. Αν ικανοποιείται αυτή η συνθήκη, μπορεί να εφαρμοστεί η μέθοδος των HFLTS, λαμβάνοντας ως δεδομένα εισόδου τις αξιολογήσεις κάθε εναλλακτικής με βάση κάθε ένα από τα κριτήρια και εφαρμόζοντας τους τελεστές συνάθροισης για τον υπολογισμό της συνολικής τιμής απόδοσης κάθε εναλλακτικής.

2.1.3.5.2 Γλωσσικό Μοντέλο 2-tuple για Διστακτικές Ασαφείς Γλωσσικές Πληροφορίες

Η μέθοδος επίλυσης προβλημάτων λήψης αποφάσεων που βασίζεται στα HFLTS και αναλύεται παραπάνω δεν περιλαμβάνει τη διαδικασία επαναμετασχηματισμού των αποτελεσμάτων, που είναι απαραίτητη για την απόκτηση γλωσσικών αποτελεσμάτων σε μορφή εύκολα αντιληπτή από τους εμπλεκόμενους φορείς. Για το λόγο αυτό οι Rodriguez et al [45] παρουσίασαν μια επέκταση της συγκεκριμένης μεθόδου, ένα νέο μοντέλο πολυκριτήριας λήψης αποφάσεων, στο οποίο οι εμπλεκόμενοι φορείς μπορούν να εκφράζουν τις αξιολογήσεις τους χρησιμοποιώντας είτε απλούς γλωσσικούς όρους είτε συγκριτικές γλωσσικές εκφράσεις που βασίζονται σε μια context-free grammar και στα . Διστακτικά Ασαφή Γλωσσικά Σύνολα (HFLTS). Το μοντέλο αυτό περιλαμβάνει μια διαδικασία επαναμετασχηματισμού χρησιμοποιώντας το γλωσσικό μοντέλο διπλής αναπαράστασης (2-tuple) για να δώσει ενδιάμεσα και τελικά αποτελέσματα που είναι εύκολα κατανοητά από τους χρήστες.

Για την περιγραφή του προτεινόμενου μοντέλου, ορίζεται αρχικά το πρόβλημα λήψης απόφασης. Έστω $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ ένα πεπερασμένο σύνολο εναλλακτικών και κάθε εναλλακτική ορίζεται από ένα πεπερασμένο σύνολο κριτηρίων $C = \{c_1, \dots, c_m\}$. Η αξιολόγηση γίνεται είτε με τη χρήση συγκριτικών γλωσσικών εκφράσεων $ll_{ij} \in S$ έτσι ώστε $i \in \{1, \dots, n\}, j \in \{1, \dots, m\}$, είτε με απλούς γλωσσικούς όρους $s_k \in S = \{s_0, \dots, s_g\}$. Οι βασικές φάσεις του γλωσσικού μοντέλου 2-tuple που περιλαμβάνει και διστακτικές γλωσσικές πληροφορίες, είναι οι εξής:

- *Ορισμός δομής και σημασιολογίας.* Σε αυτή τη φάση επιλέγεται το κατάλληλο σύνολο γλωσσικών όρων $S = \{s_0, \dots, s_g\}$, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί από τους εμπλεκόμενους φορείς για την αξιολόγηση. Για να γίνει αυτό, πρέπει να εκτιμηθούν οι βαθμίδες αβεβαιότητας, να καθοριστεί η δομή του συνόλου γλωσσικών όρων S και να οριστεί η σημασιολογία του.
- *Ορισμός της context-free grammar.* Ορίζεται μία context-free grammar, G_H , που παράγει συγκριτικές γλωσσικές εκφράσεις $ll_{ij} \in S$. Ο ορισμός της G_H εξαρτάται από τη φύση του προβλήματος που εξετάζεται και επομένως, είναι σημαντικό να ορίζονται καταλλήλως και τα στοιχεία της $G_H = (V_N, V_T, I, P)$. Η G_H , που ορίστηκε στο πλαίσιο της προηγούμενης μεθοδολογίας παραπάνω, θεωρείται ότι είναι κατάλληλη για προβλήματα λήψης αποφάσεων με γλωσσικούς όρους.
- *Διαδικασία συγκέντρωσης της πληροφορίας.* Οι εμπλεκόμενοι φορείς παρέχουν τις αξιολογήσεις τους βάσει ενός συνόλου κριτηρίων $C = \{c_1, \dots, c_m\}$ για κάθε εναλλακτική $X = \{x_1, \dots, x_n\}$. Κάθε αξιολόγηση v_{ij} αντιπροσωπεύει την αξιολόγηση της εναλλακτικής x_i βάσει του κριτηρίου c_j και εκφράζεται είτε με έναν απλό γλωσσικό όρο είτε με συγκριτικές γλωσσικές εκφράσεις.

➤ *Ομογενοποίηση της πληροφορίας σε 2-tuples.* Όπως προαναφέρεται, οι αξιολογήσεις μπορεί να είναι είτε απλοί γλωσσικοί όροι είτε συγκριτικές γλωσσικές εκφράσεις. Προκειμένου να προχωρήσει η διαδικασία των υπολογισμών, είναι αναγκαίο όλες οι αξιολογήσεις να εκφραστούν σε μια ενιαία μορφή. Στο συγκεκριμένο μοντέλο, όλες οι αξιολογήσεις ομογενοποιούνται σε γλωσσικούς όρους 2-tuples. Η συγκεκριμένη φάση χωρίζεται σε τρία βήματα:

i) *Μετατροπή σε HFLTS.* Οι αξιολογήσεις μετατρέπονται σε ένα HFLTS, το H_S , μέσω της συνάρτησης μετατροπής $E_{G_H}(\cdot)$ που ορίζεται παραπάνω:

$$E_{G_H}(v_{ij}) = H_S(v_{ij})$$

ii) *Υπολογισμός της ασαφούς περιβάλλουσας.* Για κάθε HFLTS υπολογίζεται η ασαφής αναπαράστασή του μέσω της συνάρτησης $env_F(\cdot)$:

$$env_F(H_S(v_{ij})) = \tilde{v}_{ij}$$

όπου \tilde{v}_{ij} μία τραπεζοειδής συνάρτηση συμμετοχής.

iii) *Προσδιορισμός των γλωσσικών όρων 2-tuple.* Η τραπεζοειδής συνάρτηση συμμετοχής μετατρέπεται σε ένα γλωσσικό όρο 2-tuple, μέσω της συνάρτησης $\chi(\cdot)$, η οποία αρχικά υπολογίζει ένα ασαφές σύνολο του S στην ασαφή περιβάλλουσα και στη συνέχεια προσδιορίζει τον κεντρικό του όρο, ώστε να προκύψει ένας γλωσσικός όρος 2-tuple στο S . Η συνάρτηση αυτή ορίζεται ως εξής: Αν $F(S)$ ένα ασαφές σύνολο στο S , η συνάρτηση $\chi: F(S) \rightarrow \bar{S}$ δίνεται από τη σχέση

$$\chi(F(S)) = \Delta \left(\frac{\sum_{j=0}^g j\gamma_j}{\sum_{j=0}^g \gamma_j} \right) = \Delta(\beta) = (s_i, a)$$

➤ *Επιλογή ενός αθροιστικού τελεστή για τη γλωσσική πληροφορία.* Λαμβάνοντας υπόψη ότι οι αξιολογήσεις εκφράζονται πλέον με γλωσσικούς όρους 2-tuple και οι υπολογισμοί για την εξαγωγή των ενδιάμεσων και τελικών αποτελεσμάτων γίνονται βάσει του γλωσσικού μοντέλου διπλής αναπαράστασης, επιλέγεται ένας τελεστής συνάθροισης φ που βασίζεται στη διπλή αναπαράσταση, ώστε να αθροιστούν οι αξιολογήσεις όλων των κριτηρίων για κάθε εναλλακτική.

➤ *Προσδιορισμός της καλύτερης εναλλακτικής.* Η διαδικασία προσδιορισμού της βέλτιστης εναλλακτικής ή ομάδας εναλλακτικών, αποτελείται από δύο βήματα:

i) *Συνάθροιση της γλωσσικής πληροφορίας.* Οι αξιολογήσεις σε γλωσσικούς όρους 2-tuple συναθροίζονται, χρησιμοποιώντας τον τελεστή συνάθροισης που επιλέγεται στο προηγούμενο βήμα, ώστε να προκύψει μια συλλογική τιμή απόδοσης για κάθε εναλλακτική:

$$(s_r, a)_i = \Delta \left(\varphi(\Delta^{-1}(s_r, a)_{ij}) \right) \quad \forall j \in \{1, \dots, m\}$$

ii) *Επεξεργασία.* Εξαιτίας του ότι οι συλλογικές τιμές απόδοσης των εναλλακτικών εκφράζονται με γλωσσικούς όρους 2-tuple, για να γίνει η κατάταξη των εναλλακτικών χρησιμοποιείται ο τελεστής σύγκρισης για τους γλωσσικούς όρους 2-tuple (όπως αναλύεται στην αντίστοιχη παράγραφο παραπάνω). Τελικά επιλέγεται ως λύση του προβλήματος η εναλλακτική (ή οι εναλλακτικές) που εμφανίζει τη μέγιστη συλλογική απόδοση:

$$X_{sol} = \left\{ x_i \in X \mid i = \max_j \{ (s_r, a)_j \} \right\}$$

Σημειώνεται ότι για να επιλυθεί ένα πρόβλημα λήψης απόφασης με τη συγκεκριμένη μέθοδο στο Flintstones, πρέπει όλες οι αξιολογήσεις των εναλλακτικών να εκφράζονται στην ίδια κλίμακα έκφρασης προτιμήσεων (domain).

2.1.3.6 Γλωσσική Μέθοδος TOPSIS (Linguistic Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution)

Η πολυκριτήρια μέθοδος υποστήριξης λήψης αποφάσεων TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) αναπτύχθηκε από τους Hwang & Yoon [46] και αποτελεί μία τεχνική για την αξιολόγηση των εναλλακτικών και τον προσδιορισμό της βέλτιστης εναλλακτικής. Η μέθοδος μελετά συγχρόνως την απόσταση κάθε εναλλακτικής από την ιδανική λύση και την αρνητικά ιδανική λύση και επιλέγει ως καλύτερη εναλλακτική αυτή που βρίσκεται πιο κοντά στην ιδανική λύση και συγχρόνως πιο μακριά από την αρνητικά ιδανική λύση.

Η Γλωσσική μέθοδος TOPSIS αποτελεί μία επέκταση της TOPSIS, η οποία χρησιμοποιεί γλωσσικές μεταβλητές βασισμένες στο μοντέλο διπλής αναπαράστασης [47]. Για την περιγραφή της γλωσσικής TOPSIS ορίζεται μια ομάδα n εναλλακτικών $A = \{A_1, \dots, A_n\}$ και μια ομάδα k κριτηρίων $C = \{C_1, \dots, C_k\}$. Οι αξιολογήσεις των εναλλακτικών βάσει των κριτηρίων, καθώς και τα βάρη των κριτηρίων μπορούν να εκφραστούν μέσω μιας γλωσσικής κλίμακας $S = \{s_0, \dots, s_g\}$. Κάθε γλωσσικός όρος της κλίμακας συσχετίζεται με λέξεις στη φυσική γλώσσα, που υπαγορεύει τη σημασιολογία του γλωσσικού όρου. Με βάση την ασαφή γλωσσική αναπαράσταση 2-tuple, γίνονται οι ακόλουθες παρατηρήσεις:

- Η απόδοση κάθε εναλλακτικής απόφασης A_i σε κάθε κριτήριο C_j μπορεί να παραστεί ως $z_{ij} \rightarrow (r_{ij}, a_{ij}) \forall j$. Επομένως, το $\Delta^{-1}(r_{ij}, a_{ij}) = \beta_{ij} \in [0, g]$ εκφράζει την ισοδύναμη αριθμητική πληροφορία.
 - Κάθε βάρος του κριτηρίου C_j μπορεί να παραστεί ως $w_j \rightarrow (\rho_j, \delta_j) \forall j = 1, \dots, k$. Επομένως, το $\Delta^{-1}(\rho_j, \delta_j) = \lambda_j \in [0, g]$ εκφράζει την ισοδύναμη αριθμητική πληροφορία.
- όπου $r_{ij}, \rho_j \in \{s_0, \dots, s_g\}$ και $a_{ij}, \delta_j \in \{-0.5, 0.5\}$.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, ο πίνακας αποδόσεων για τις εναλλακτικές $A = \{A_1, \dots, A_n\}$ στα κριτήρια $C = \{C_1, \dots, C_k\}$ της μεθόδου TOPSIS απεικονίζεται ως εξής:

$$D = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} & \dots & z_{1k} \\ z_{21} & z_{22} & \dots & z_{2k} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ z_{n1} & z_{n2} & \dots & z_{nk} \end{bmatrix} \Rightarrow D' = \begin{bmatrix} (s_{\beta_{11}}, 0) & (s_{\beta_{12}}, 0) & \dots & (s_{\beta_{1k}}, 0) \\ (s_{\beta_{21}}, 0) & (s_{\beta_{22}}, 0) & \dots & (s_{\beta_{2k}}, 0) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ (s_{\beta_{n1}}, 0) & (s_{\beta_{n2}}, 0) & \dots & (s_{\beta_{nk}}, 0) \end{bmatrix} \xRightarrow{\Delta^{-1}}$$

$$\xRightarrow{\Delta^{-1}} D'' = \begin{bmatrix} \beta_{11} & \beta_{12} & \dots & \beta_{1k} \\ \beta_{21} & \beta_{22} & \dots & \beta_{2k} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \beta_{n1} & \beta_{n2} & \dots & \beta_{nk} \end{bmatrix},$$

όπου $z_{ij} \in S, \forall i = 1, \dots, n, \forall j = 1, \dots, k$.

$$W = [w_1, w_2, \dots, w_k] \Rightarrow W' = [(s_{\lambda_1}, 0), (s_{\lambda_2}, 0), \dots, (s_{\lambda_k}, 0)] \xRightarrow{\Delta^{-1}} W'' = [\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k].$$

Η ενσωμάτωση των συντελεστών βαρύτητας στην D'' καταλήγει στον πίνακα αποφάσεων X :

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1k} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2k} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nk} \end{bmatrix}$$

όπου $x_{ij} = \frac{\lambda_j \beta_{ij}}{\sum_{j=1}^k \lambda_j} \in [0, g], \forall i = 1, \dots, n, \forall j = 1, \dots, k$, έτσι ώστε:

$$\sum_{j=1}^k \frac{\lambda_j}{\sum_{j=1}^k \lambda_j} = 1.$$

Η ιδανική εναλλακτική a^+ ορίζεται ως ακολούθως:

$$a^+ = (\max_i x_{i1}, \max_i x_{i2}, \dots, \max_i x_{ij}, \dots, \max_i x_{ik}) = (x_1^+, x_2^+, \dots, x_j^+, \dots, x_k^+) \text{ και}$$

η αρνητική εναλλακτική a^- ορίζεται ως:

$$a^- = (\min_i x_{i1}, \min_i x_{i2}, \dots, \min_i x_{ij}, \dots, \min_i x_{ik}) = (x_1^-, x_2^-, \dots, x_j^-, \dots, x_k^-)$$

όπου $a^+, a^- \in [0, g]$.

Η απόκλιση της εναλλακτικής $A_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{ik})$ από την ιδανική λύση a^+ είναι:

$$S_i^+ = \frac{1}{\sqrt{k \cdot g^2}} \cdot \sqrt{\sum_{j=1}^k (x_{ij} - x_j^+)^2} \in [0, 1]$$

ενώ η απόκλιση από την αρνητικά ιδανική a^- είναι:

$$S_i^- = \frac{1}{\sqrt{k \cdot g^2}} \cdot \sqrt{\sum_{j=1}^k (x_{ij} - x_j^-)^2} \in [0, 1]$$

Έτσι, ο δείκτης που καθορίζει την σχετική εγγύτητα της εναλλακτικής A_i στην ιδανική επίλυση είναι:

$$C_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-} \in [0, 1], \quad i = 1, \dots, n.$$

Οι τελικές αποδόσεις των εναλλακτικών μπορούν να είναι σε μορφή διπλής αναπαράστασης, κάνοντας τις απαραίτητες τροποποιήσεις στις αποκλίσεις από την ιδανική και την αρνητικά ιδανική λύση. Πιο συγκεκριμένα, όπως παρουσιάζεται από τους Doukas et al. [48], η παραλλαγή αυτή της TOPSIS έχει ως ακολούθως:

Η απόκλιση της εναλλακτικής $A_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{ik})$ από την ιδανική εναλλακτική a^+ είναι:

$$S_i^+ = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{j=1}^k (x_{ij} - x_j^+)^2} \in [0, g] \quad \text{και} \quad \Delta(S_i^+) = (s_r, a_1), \quad r \in \{0, 1, \dots, g\}, a_1 \in [-0.5, 0.5]$$

Ενώ η απόκλιση της εναλλακτικής A_i από την αρνητικά ιδανική εναλλακτική a^- είναι:

$$S_i^- = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{j=1}^k (x_{ij} - x_j^-)^2} \in [0, g] \quad \text{και} \quad \Delta(S_i^-) = (s_t, a_2), \quad t \in \{0, 1, \dots, g\}, a_2 \in [-0.5, 0.5]$$

Ο σχετικός συντελεστής εγγύτητας της εναλλακτικής A_i στην ιδανική επίλυση μπορεί να εκφραστεί μέσω της διπλής αναπαράστασης ως εξής:

$$CC(A_i) = \Delta \left(p\Delta^{-1}(s_t, a_2) + (1 - p)\Delta^{-1}(\text{Neg}(s_r, a_1)) \right) = \Delta(pS_i^- + (1 - p)(g - S_i^+)) = (s_q, a_q),$$

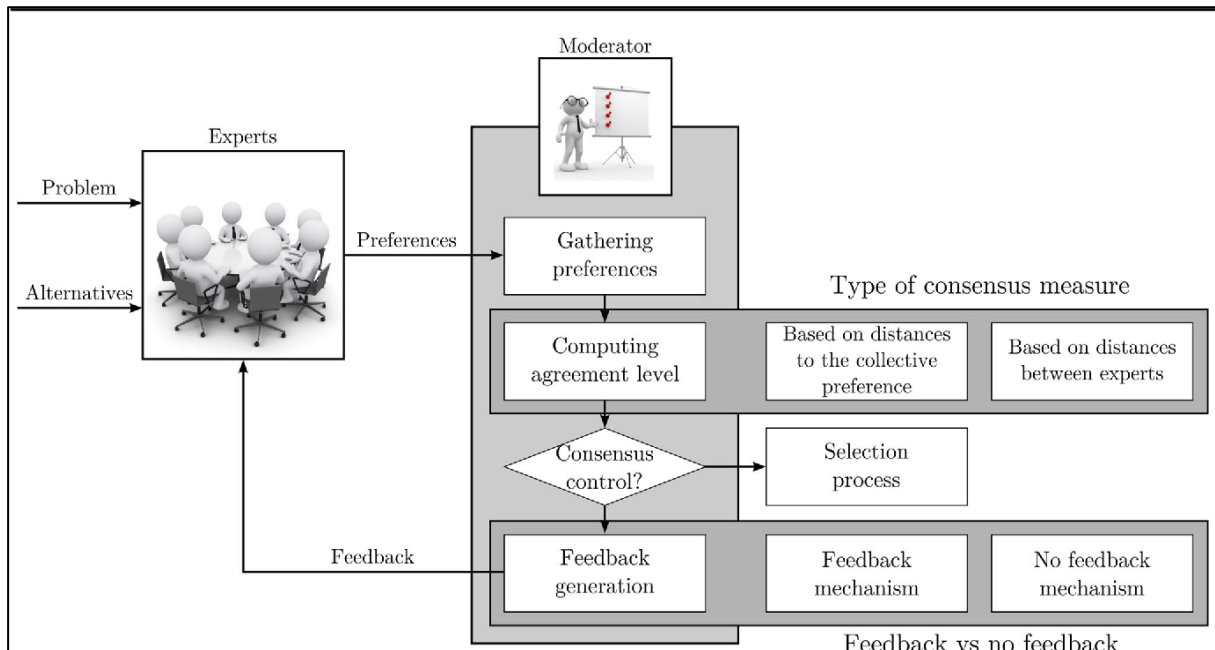
με $p \in [0, 1]$

Ο συντελεστής p εκφράζει το βαθμό στον οποίο ο υπεύθυνος για τη λήψη απόφασης πιστεύει ότι η απόσταση από την αρνητικά ιδανική εναλλακτική πρέπει να ληφθεί υπόψη στον υπολογισμό του σχετικού συντελεστή εγγύτητας. Η σύγκριση των σχετικών συντελεστών εγγύτητας των εναλλακτικών διεξάγεται μέσω της μεθόδου σύγκρισης των διπλών αναπαράστασεων.

2.2 AFRYCA

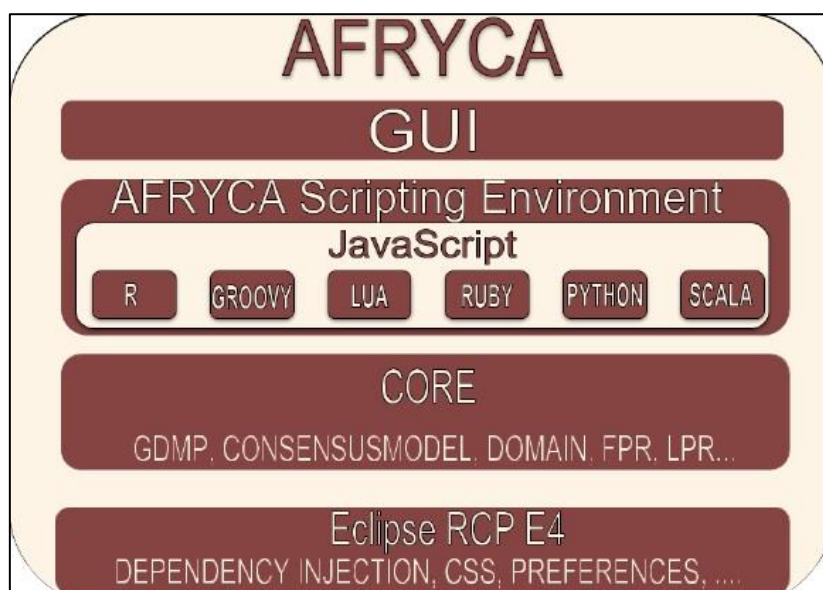
2.2.1 Περιγραφή

Το λογισμικό AFRYCA (*A Framework for the analysis of Consensus Approaches*) αναπτύχθηκε για την εκτίμηση του επιπέδου ομοφωνίας μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων σε προβλήματα πολυκριτήριας συλλογικής λήψης αποφάσεων, με τη χρήση διαφόρων μοντέλων ομοφωνίας που προτείνονται στη βιβλιογραφία. Ο κύριος στόχος των μοντέλων ομοφωνίας είναι να παρέχουν υποστήριξη και καθοδήγηση κατά τις διαδικασίες επίτευξης ομοφωνίας (*Consensus Reaching Processes – CRPs*) σε προβλήματα συλλογικής λήψης αποφάσεων, σύμφωνα με το γενικό σχήμα που παρουσιάζεται στην παρακάτω Εικόνα. Το λογισμικό περιλαμβάνει μια σειρά από μοντέλα ομοφωνίας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους χρήστες, αλλά η ευέλικτη και επεκτάσιμη αρχιτεκτονική του επιτρέπει και την ενσωμάτωση νέων μοντέλων.



Εικόνα 2.12: Γενικό σχήμα Διαδικασίας Επίτευξης Ομοφωνίας

Το AFRYCA αναπτύχθηκε σε γλώσσα Java, ως μία εφαρμογή Eclipse Rich Client Platform (Eclipse RCP), μία πλατφόρμα που επιτρέπει την κατασκευή και ανάπτυξη client desktop εφαρμογών πλούσιας λειτουργικότητας. Βασικό πλεονέκτημα της RCP είναι η καταλληλότητα για την ανάπτυξη λογισμικού που βασίζεται σε υψηλού επιπέδου ενότητες, οι οποίες μπορούν εύκολα να συντηρηθούν και να επεκταθούν εξαιτίας της υψηλής συνοχής που εμφανίζουν μεταξύ τους. Η τεχνολογία του AFRYCA παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.13. Στις πιο πρόσφατες εκδόσεις του AFRYCA έχει ενσωματωθεί μία επέκταση, που ονομάζεται ASE (AFRYCA Scripting Environment) και επιτρέπει την αλληλεπίδραση με τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων, τις διάφορες λειτουργίες και τις επιλογές της εφαρμογής. Ορισμένες από τις δυνατότητες που προσφέρει στον χρήστη είναι η μελέτη της εξέλιξης μιας διαδικασίας επίτευξης ομοφωνίας, η ανάλυση του τρόπου που μία παράμετρος μπορεί να επηρεάσει τα αποτελέσματα, καθώς και ο έλεγχος της απόδοσης διαφόρων μοντέλων στην επίλυση του ίδιου προβλήματος. Στόχος αυτής της επέκτασης είναι η απλοποίηση της επαναχρησιμοποίησης υφιστάμενου κώδικα και για το λόγο αυτό περιλαμβάνει διάφορες γλώσσες προγραμματισμού: JavaScript, Groovy, Ruby, Python, Scala, Lua and R.



Εικόνα 2.13: Τεχνολογία του AFRYCA

Το AFRYCA χρησιμοποιεί περισσότερες από 40 ενότητες οι οποίες ομαδοποιούνται σε μεγαλύτερες κατηγορίες, οι σημαντικότερες εκ των οποίων είναι οι εξής [9]:

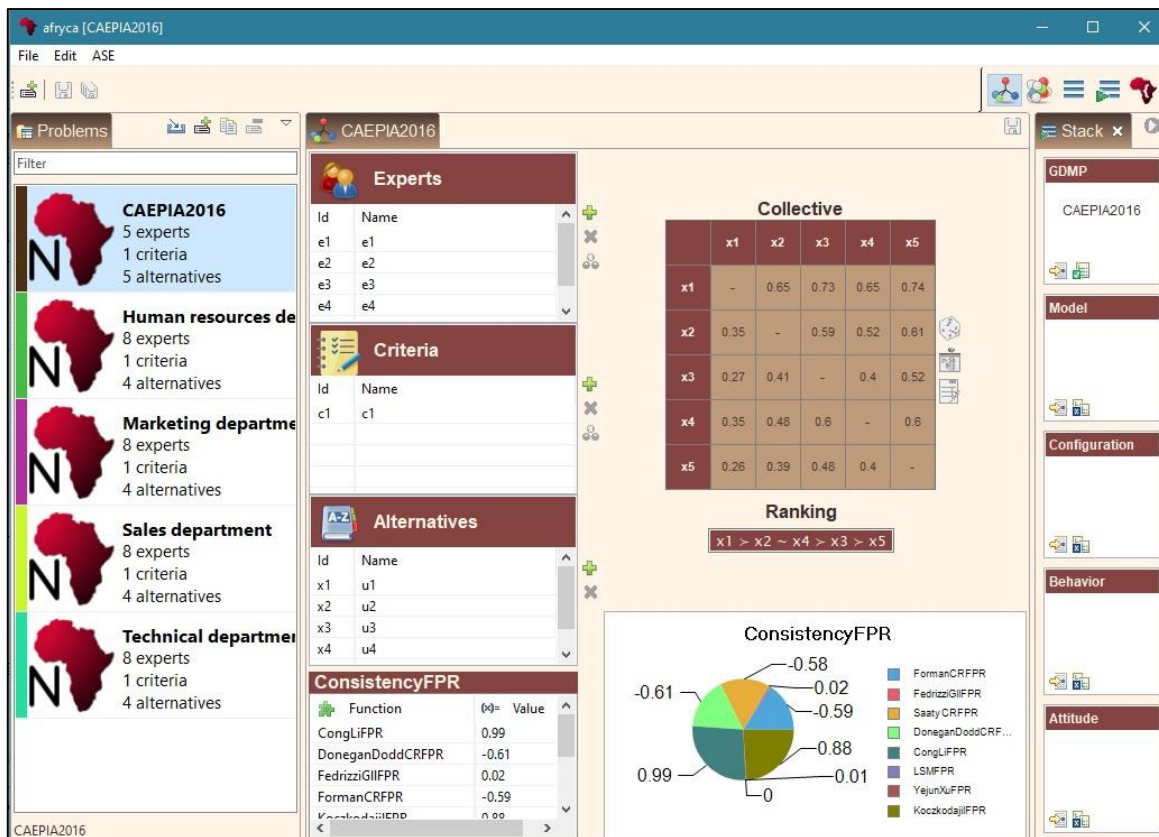
- Γραφική Διεπαφή Χρήστη (*Graphical User Interface - GUI*): Ενότητες που επιτρέπουν την αλληλεπίδραση των χρηστών με το λογισμικό
- Στατιστικά πακέτα (*Statistical environments*): Τα στατιστικά πακέτα που περιλαμβάνονται στο AFRYCA, μεταξύ των οποίων και η γλώσσα R, επιτρέπουν την πολυδιάστατη κλιμακοποίηση των προτιμήσεων και την προσομοίωση των συμπεριφορών των εμπλεκόμενων φορέων μέσω κατανομών πιθανοτήτων.
- Παράμετροι / Δείκτες (*Metrics*): Στοιχεία που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση της απόδοσης των διαφόρων μοντέλων και της διαδικασίας επίτευξης ομοφωνίας.
- Πρότυπα συμπεριφοράς (*Behavior Patterns*): Ενότητες που προσομοιώνουν τη συμπεριφορά των εμπλεκόμενων αναφορικά με τις συστάσεις / συμβουλές που λαμβάνουν και αξιοποιούνται στα μοντέλα ομοφωνίας με μηχανισμό ανατροφοδότησης. Περιλαμβάνονται δύο πρότυπα συμπεριφοράς: α) το *standard behavior pattern*, το οποίο προσομοιώνει τη συμπεριφορά των εμπλεκόμενων που δέχονται ή αρνούνται τις συστάσεις και β) το *standard with adverse behavior pattern*, το οποίο προσομοιώνει τη συμπεριφορά των εμπλεκόμενων που δέχονται, αρνούνται ή αμύνονται έναντι των συστάσεων που λαμβάνουν.
- Μοντέλα (*Models*): Περιλαμβάνουν διάφορα μοντέλα ομοφωνίας που προτείνονται στη βιβλιογραφία. Κάθε ενότητα αντιστοιχεί σε ένα μοντέλο και περιλαμβάνει τις φάσεις και τις παραμέτρους που εμπλέκονται στο μοντέλο. Αναλυτική παρουσίαση των μοντέλων ομοφωνίας του AFRYCA παρουσιάζεται σε επόμενη ενότητα.
- Πυρήνας (*Core*): Ενότητες που περιλαμβάνουν τα βασικά στοιχεία και λειτουργίες του AFRYCA, όπως η γεννήτρια προτιμήσεων, ο μηχανισμός ομοφωνίας κ.α.).

2.2.2 Χρήση του AFRYCA

Το περιβάλλον εργασίας του AFRYCA, με το οποίο έρχεται σε επαφή ο χρήστης, αποτελείται από πέντε βασικές καρτέλες: *GDMP*, *Consensus Models*, *Simulations*, *Ανάλυση Αποτελεσμάτων* και *ASE*.

2.2.2.1 GDMP (Group Decision Making Problem)

Είναι η αρχική οθόνη που εμφανίζεται όταν ο χρήστης ανοίξει την εφαρμογή. Εδώ δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να ορίσει το πρόβλημα συλλογικής λήψης αποφάσεων που θα αναλυθεί, επιλέγοντας ένα από τα ήδη υπάρχοντα προβλήματα που εμφανίζονται στο αριστερό τμήμα της οθόνης ή δημιουργώντας ένα νέο πρόβλημα, με την εισαγωγή εναλλακτικών, κριτηρίων, εμπλεκόμενων φορέων και αξιολογήσεων. Μετά τον καθορισμό του προβλήματος, τα στοιχεία του εμφανίζονται στην οθόνη σε μορφή Πίνακα και Γραφικής Παράστασης.

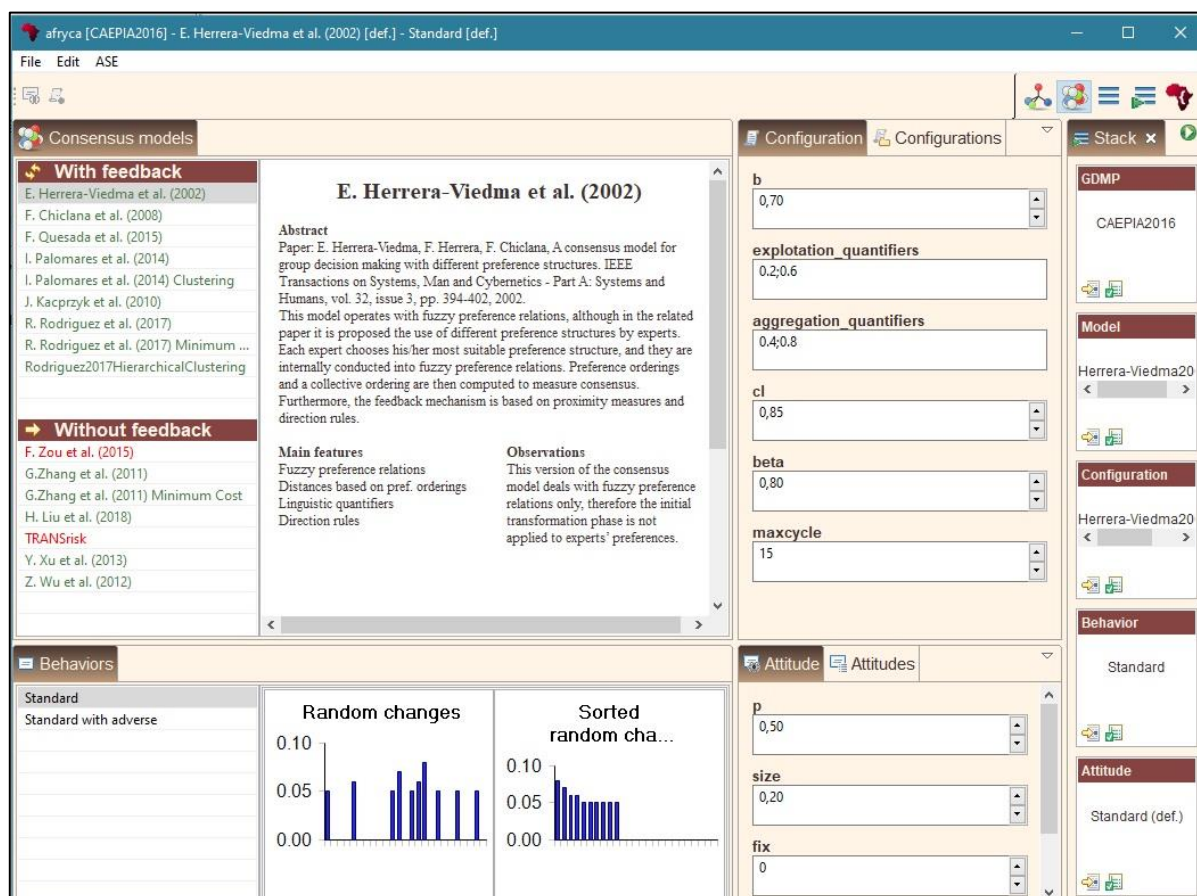


Εικόνα 2.14: Καρτέλα GDMP του AFRYCA – Καθορισμός του προβλήματος

2.2.2.2 Consensus Models

Η επόμενη καρτέλα περιλαμβάνει τα μοντέλα ομοφωνίας που ενσωματώνονται στην εφαρμογή και μπορεί να επιλέξει ο χρήστης για την ανάλυσή του. Τα διαθέσιμα μοντέλα, που εμφανίζονται στην αριστερή πλευρά της οθόνης, χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: *Μοντέλα με Ανατροφοδότηση (feedback)* και *Μοντέλα χωρίς Ανατροφοδότηση*. Με πράσινο χρώμα εμφανίζονται εκείνα τα οποία μπορούν να εφαρμοστούν στο συγκεκριμένο πρόβλημα που αναλύεται και με κόκκινο τα υπόλοιπα. Αφού ο χρήστης επιλέξει ένα μοντέλο ομοφωνίας, στο κέντρο της οθόνης εμφανίζονται οι βασικές πληροφορίες για αυτό και στη δεξιά πλευρά οι παράμετροι που περιλαμβάνει, για τις οποίες ο χρήστης πρέπει να εισάγει τις αντίστοιχες τιμές. Επίσης, στα μοντέλα με ανατροφοδότηση ο χρήστης

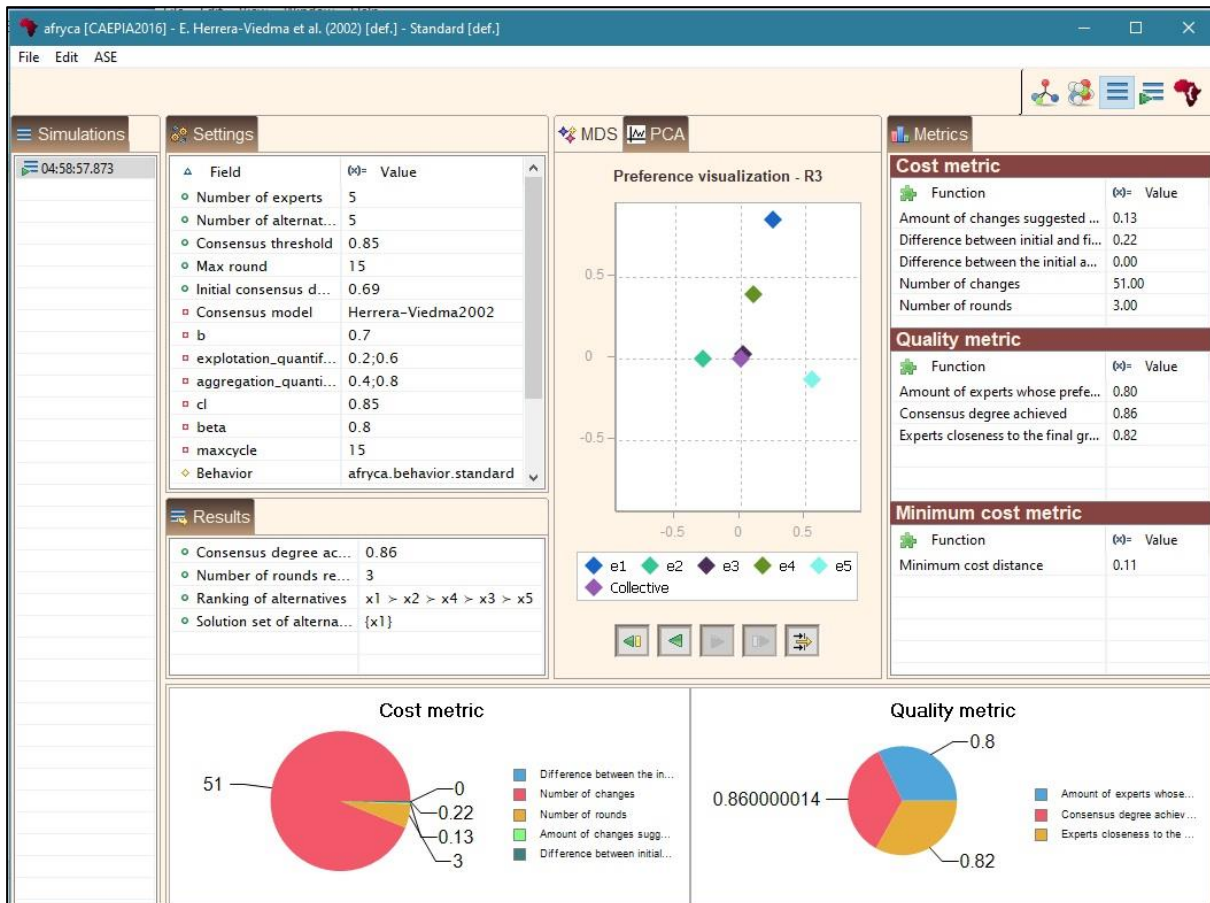
επιλέγει το πρότυπο συμπεριφοράς που θα χρησιμοποιηθεί και καθορίζει τις τιμές των αντίστοιχων παραμέτρων.



Εικόνα 2.15: Καρτέλα Consensus Models του AFRYCA – Επιλογή Μοντέλου Ομοφωνίας

2.2.2.3 Simulations

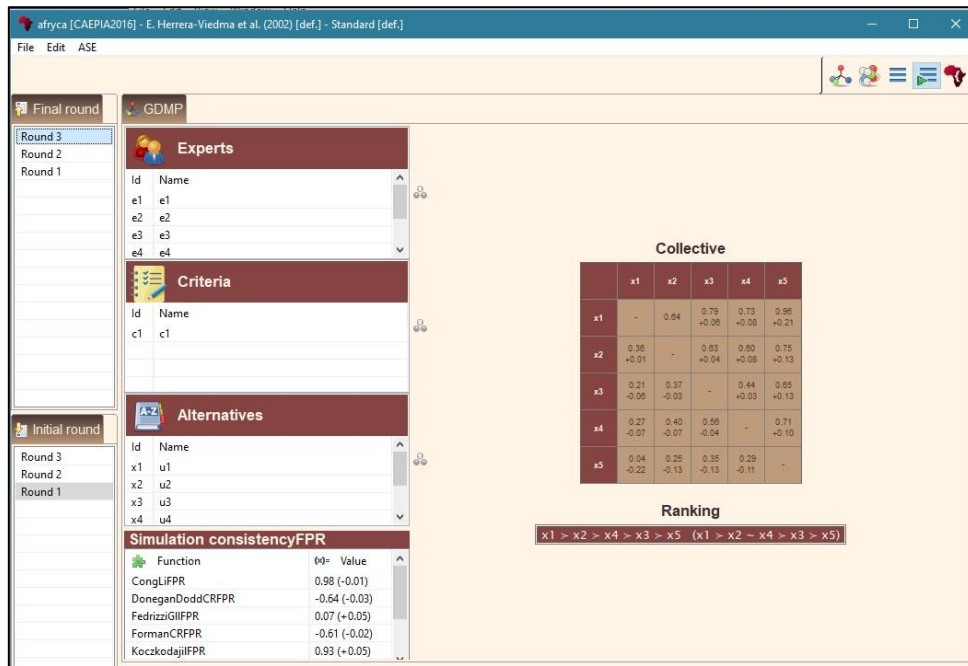
Μετά την επιλογή του μοντέλου ομοφωνίας, τον καθορισμό των τιμών των παραμέτρων του και την εκτέλεση της προσομοίωσης, στην καρτέλα αυτή εμφανίζονται τα αποτελέσματα της διαδικασίας επίτευξης ομοφωνίας. Σε ένα πλαίσιο εμφανίζεται μία σύνοψη όλων των στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν στην προσομοίωση (όπως μοντέλο ομοφωνίας, τιμές παραμέτρων, αρχικό επίπεδο ομοφωνίας, αριθμός εναλλακτικών, κριτηρίων και εμπλεκόμενων φορέων) και σε άλλο πλαίσιο τα τελικά αποτελέσματα, δηλαδή ο βαθμός ομοφωνίας που επιτυγχάνεται, ο αριθμός των απαιτούμενων επαναλήψεων της διαδικασίας, η τελική κατάταξη των εναλλακτικών. Επίσης, εμφανίζονται τα αποτελέσματα σε γραφικές παραστάσεις, όχι μόνο τα τελικά αλλά και τα ενδιάμεσα αποτελέσματα κάθε κύκλου (επανάληψης). Στο πλαίσιο *Metrics* παρουσιάζονται οι τιμές κάποιων επιμέρους στοιχείων της διαδικασίας, όπως ο αριθμός των αλλαγών που απαιτήθηκαν, οι διαφορές αρχικών και τελικών αξιολογήσεων ο αριθμός των εμπλεκόμενων που άλλαξαν τις αξιολογήσεις τους κ.α.



Εικόνα 2.16: Καρτέλα Simulations του AFRYCA – Εμφάνιση Αποτελεσμάτων

2.2.2.4 Ανάλυση Αποτελεσμάτων

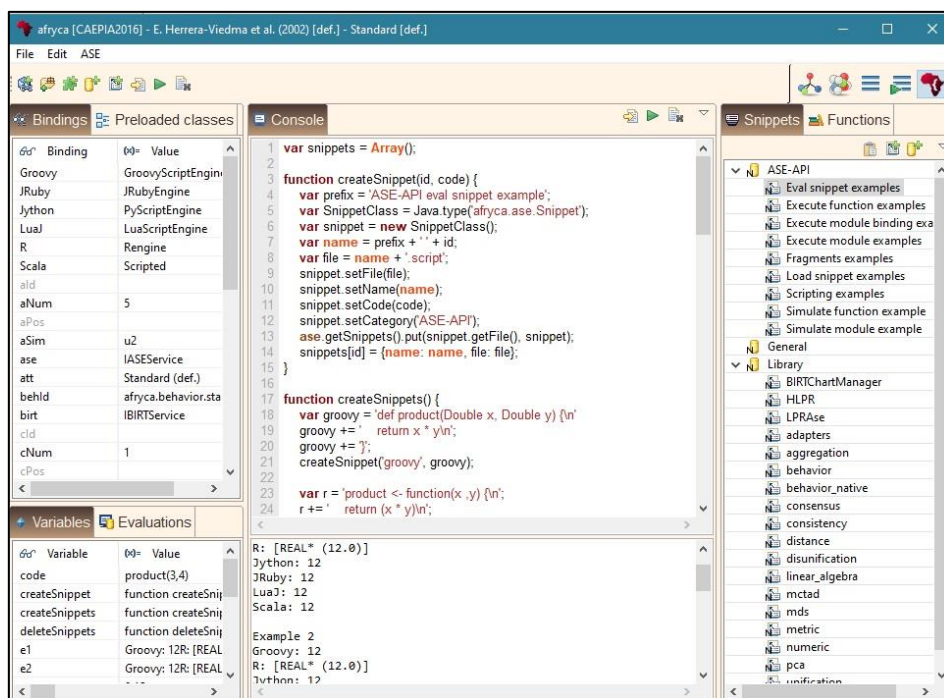
Σε αυτή την καρτέλα παρουσιάζονται τα αρχικά στοιχεία του προβλήματος και η εξέλιξη αυτών κατά τη διαδικασία επίτευξης ομοφωνίας. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να προβάλει για κάθε κύκλο της διαδικασίας τις συλλογικές τιμές προτίμησης των εναλλακτικών, αλλά και τις επιμέρους τιμές κάθε εμπλεκόμενου, καθώς και την κατάταξη των εναλλακτικών στο συγκεκριμένο κύκλο.



Εικόνα 2.17: Καρτέλα Ανάλυσης Αποτελεσμάτων του AFRYCA – Εμφάνιση Ενδιάμεσων Αποτελεσμάτων

2.2.2.5 ASE

Η τελευταία καρτέλα της εφαρμογής αφορά το AFRYCA Scripting Environment, που όπως προαναφέρθηκε, επιτρέπει την άμεση αλληλεπίδραση του χρήστη με την εφαρμογή, μέσω της σχετικής κονσόλας που εμφανίζεται εδώ. Ο χρήστης μπορεί να προβάλει λεπτομέρειες για κάθε ενότητα, μεταβλητή, συνάρτηση, διαδικασία και αξιολόγηση που υλοποιήθηκε ή περιλαμβάνεται ήδη στο πρόγραμμα, να επεξεργαστεί ή να διαγράψει στοιχεία και αποτελέσματα, μέσω διαφόρων γλωσσών προγραμματισμού.



Εικόνα 2.18: Καρτέλα ASE του AFRYCA

2.2.3 Μοντέλα ομοφωνίας στο AFRYCA

2.2.3.1 Μοντέλα ομοφωνίας με ανατροφοδότηση

2.2.3.1.1 Μέθοδος επίτευξης ομοφωνίας 1

Η μέθοδος που αναλύεται στη συνέχεια παρουσιάστηκε από τους Herrera – Viedma et al [24] και αποτελεί ένα μοντέλο ομοφωνίας για λήψη αποφάσεων με πολλούς εμπλεκόμενους φορείς και διαφορετικές εκφράσεις προτίμησης.

Έστω $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ ένα πεπερασμένο σύνολο εναλλακτικών, οι οποίες πρέπει να καταταχθούν από την καλύτερη στη χειρότερη, χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες που δίνει ένα σύνολο εμπλεκόμενων φορέων / ειδικών $E = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$. Καθώς κάθε εμπλεκόμενος φορέας, $e_k \in E$, έχει ξεχωριστές ιδέες, αντιλήψεις, κίνητρα και προσωπικότητα, είναι λογικό ότι διαφορετικοί εμπλεκόμενοι φορείς θα εκφράζουν τις προτιμήσεις τους με διαφορετικούς τρόπους. Αυτό οδηγεί στην υπόθεση ότι οι προτιμήσεις των εμπλεκόμενων φορέων για το σύνολο των εναλλακτικών X , μπορούν να αποτυπωθούν με έναν από τους ακόλουθους τρόπους:

- *Κατάταξη των εναλλακτικών βάσει προτίμησης:* Κάθε εμπλεκόμενος φορέας e_k εκφράζει τις προτιμήσεις του για το σύνολο X , ως μια ατομική κατάταξη προτίμησης $O^k = \{o^k(1), \dots, o^k(n)\}$, όπου $o^k(\cdot)$ είναι μια συνάρτηση αναδιάταξης στο σύνολο των δεικτών $\{1, \dots, n\}$. Έτσι προκύπτει ένα διατεταγμένο διάνυσμα των εναλλακτικών, από την καλύτερη στη χειρότερη.
- *Ασαφής σχέση προτίμησης:* Οι προτιμήσεις κάθε εμπλεκόμενου φορέα για το σύνολο X εκφράζονται μέσω μιας ασαφούς σχέσης προτίμησης $P^k \subset X \times X$, με συνάρτηση συμμετοχής $\mu_{P^k}: X \times X \rightarrow [0,1]$, όπου $\mu_{P^k}(x_i, x_j) = p_{ij}^k$ συμβολίζει το βαθμό προτίμησης μιας εναλλακτικής x_i έναντι της x_j : $p_{ij}^k = 1/2$ δηλώνει αδιαφορία μεταξύ των x_i και x_j , $p_{ij}^k = 1$ δηλώνει ότι η x_i προτιμάται ομόφωνα έναντι της x_j και $p_{ij}^k > 1/2$ δηλώνει ότι η x_i προτιμάται έναντι της x_j . Θεωρείται ότι ισχύει $p_{ij}^k + p_{ji}^k = 1$ και $p_{ii}^k = 1/2$.
- *Σχέση πολλαπλασιαστικής προτίμησης:* Οι προτιμήσεις των εμπλεκόμενων για το σύνολο X περιγράφονται με μια θετική σχέση προτίμησης $A^k \subset X \times X$, $A^k = (a_{ij}^k)$, όπου το a_{ij}^k δηλώνει μια αναλογία της έντασης προτίμησης της εναλλακτικής x_i προς αυτή της x_j , δηλαδή σημαίνει ότι η x_i είναι a_{ij}^k φορές καλύτερη της x_j . Ο Saaty [49] προτείνει τη μέτρηση του λόγου a_{ij}^k χρησιμοποιώντας μια κλίμακα και, συγκεκριμένα, την κλίμακα 1 έως 9: $a_{ij}^k = 1$ δηλώνει αδιαφορία μεταξύ των x_i και x_j , $a_{ij}^k = 9$ δηλώνει ότι η x_i προτιμάται ομόφωνα έναντι της x_j και $a_{ij}^k \in \{2,3, \dots, 8\}$ εκφράζει τις ενδιάμεσες εκτιμήσεις. Θεωρείται ότι ισχύει $a_{ij}^k \cdot a_{ji}^k = 1 \forall i, j$.
- *Συνάρτηση Αξίας:* Κάθε εμπλεκόμενος e_k εκφράζει τις προτιμήσεις του για το σύνολο X μέσα από ένα σύνολο n τιμών προτίμησης/αξίας $U^k = \{u_i^k, i = 1, \dots, n\}$, $u_i^k \in [0,1]$, όπου το u_i^k αντιπροσωπεύει την αξία που δίνεται στην εναλλακτική x_i από τον εμπλεκόμενο e_k .

Σε αυτό το πλαίσιο, η διαδικασία επίλυσης ενός προβλήματος λήψης αποφάσεων με πολλούς εμπλεκόμενους φορείς συνίσταται στην εύρεση ενός συνόλου εναλλακτικών λύσεων $X_{sol} \subset X$, βάσει των προτιμήσεων που παρέχουν οι εμπλεκόμενοι. Το πρώτο βήμα είναι η ομογενοποίηση των

προτιμήσεων, αφού οι εμπλεκόμενοι εκφράζουν τις προτιμήσεις τους με διαφορετικούς τρόπους. Για το σκοπό αυτό, μια ασαφής σχέση προτίμησης λαμβάνεται ως βάση για την ομογενοποίηση της πληροφορίας.

Για την ομογενοποίηση των προτιμήσεων είναι απαραίτητες κάποιες συναρτήσεις μετασχηματισμού, οι οποίες συνδέουν τις διαφορετικές εκφράσεις προτίμησης που παρουσιάστηκαν παραπάνω, με ασαφείς σχέσεις προτίμησης. Οι συναρτήσεις που χρησιμοποιούνται είναι οι εξής:

- Για τη μετατροπή της κατάταξης των εναλλακτικών βάσει προτίμησης, O^k , σε ασαφή σχέση προτίμησης:

$$p_{ij}^k = f(o_i^k, o_j^k) = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{o_j^k - o_i^k}{n-1} \right)$$

- Για τη μετατροπή τιμών προτίμησης/αξίας, U^k , σε ασαφή σχέση προτίμησης:

$$p_{ij}^k = f(u_i^k, u_j^k) = \frac{(u_i^k)^2}{(u_i^k)^2 + (u_j^k)^2}$$

- Για τη μετατροπή της σχέσης πολλαπλασιαστικής προτίμησης, A^k , σε ασαφή σχέση προτίμησης:

$$p_{ij}^k = f(a_{ij}^k) = \frac{1}{2} (1 + \log_9 a_{ij}^k)$$

Με την ομογενοποίηση των προτιμήσεων προκύπτει ένα σύνολο m ξεχωριστών ασαφών σχέσεων προτίμησης και στη συνέχεια εφαρμόζεται μια διαδικασία επιλογής ώστε να προκύψει το σύνολο των εναλλακτικών λύσεων, η οποία αποτελείται από δύο βήματα, τη συνάθροιση και την επεξεργασία.

Με τη συνάθροιση προσδιορίζεται μια συλλογική σχέση προτίμησης $P^c = (p_{ij}^c)$, η οποία προκύπτει μέσω της συνάθροισης όλων των επιμέρους ασαφών σχέσεων προτίμησης $\{P^1, P^2, \dots, P^m\}$ και αντιπροσωπεύει τη συνολική προτίμηση ανάμεσα σε κάθε διατεταγμένο ζεύγος εναλλακτικών, βάσει των απόψεων της πλειοψηφίας των εμπλεκόμενων. Η συνάθροιση πραγματοποιείται μέσω ενός τελεστή OWA (Ordered Weighted Average operator), φ_Q :

$$p_{ij}^c = \varphi_Q(p_{ij}^1, \dots, p_{ij}^m) = \sum_{k=1}^n w_k \cdot p_{ij}^k$$

όπου Q είναι ένας ασαφής γλωσσικός ποσοτικοποιητής που εκφράζει την ιδέα της ασαφούς πλειοψηφίας και χρησιμοποιείται για το υπολογισμό του διανύσματος βαρών του φ_Q , δηλαδή $W = (w_1, \dots, w_n)$, τέτοιο ώστε $w_k \in [0,1]$ και $\sum_{k=1}^n w_k = 1$, σύμφωνα με τη σχέση $w_k = Q(k/n) - Q((k-1)/n)$, $k = 1, \dots, n$.

Μετά τη φάση της συνάθροισης, ακολουθεί η μετατροπή της συνολικής πληροφορίας για τις εναλλακτικές σε μια συνολική κατάταξη αυτών, από την οποία προκύπτει το σύνολο των εναλλακτικών λύσεων. Η κατάταξη προκύπτει με την εφαρμογή δύο βαθμών επιλογής των εναλλακτικών στη συνολική ασαφή σχέση προτίμησης:

- *Quantifier Guided Dominance Degree (QGDD)*: Για κάθε εναλλακτική x_i υπολογίζεται ο βαθμός $QGDD_i$ που χρησιμοποιείται για να ποσοτικοποιήσει την υπεροχή της εναλλακτικής x_i έναντι όλων των υπολοίπων εναλλακτικών, ως εξής:

$$QGDD_i = \varphi_Q(p_{ij}^c, j = 1, \dots, n)$$

- *Quantifier Guided Nondominance Degree (QGNDD)*: Για κάθε εναλλακτική x_i υπολογίζεται επίσης ο βαθμός $QGNDD_i$, που εκφράζει το βαθμό στον οποίο η εναλλακτική δεν υστερεί των υπολοίπων εναλλακτικών, ως εξής:

$$QGNDD_i = \varphi_Q(1 - p_{ji}^s, j = 1, \dots, n)$$

όπου $p_{ji}^s = \max\{p_{ji}^c - p_{ij}^c, 0\}$ αντιπροσωπεύει το βαθμό στον οποίο η x_j υπερέρχει αυστηρά της x_i .

Η λύση X_{sol} προκύπτει τελικά από την εφαρμογή των συγκεκριμένων βαθμών επιλογής και την επιλογή των εναλλακτικών που εμφανίζουν τις υψηλότερες τιμές αυτών.

Στο μοντέλο ομοφωνίας που εφαρμόζεται στη συνέχεια γίνεται η υπόθεση ότι η ομοφωνία είναι μια μετρήσιμη παράμετρος, της οποίας η υψηλότερη τιμή αντιστοιχεί σε πλήρη ομοφωνία και η χαμηλότερη τιμή σε πλήρη διαφωνία των εμπλεκόμενων φορέων. Αρχικά, οι εμπλεκόμενοι έχουν διαφορετικές απόψεις και, επομένως, η επίτευξη συμφωνίας είναι μια επαναληπτική διαδικασία. Σε κάθε κύκλο υπολογισμού προσδιορίζονται δύο παράμετροι: ένα *μέτρο ομοφωνίας* που οδηγεί τη διαδικασία και ένα *μέτρο εγγύτητας* που υποστηρίζει τη φάση ομαδικής συζήτησης. Για κάθε επιμέρους λύση, ορίζεται από την αρχή το απαιτούμενο επίπεδο ομοφωνίας, στο οποίο πρέπει να φτάσει το μέτρο ομοφωνίας προκειμένου να ολοκληρωθεί η διαδικασία λήψης αποφάσεων και να προσδιοριστεί η λύση.

Το μοντέλο ομοφωνίας λαμβάνει υπόψη τη διαδικασία επιλογής που περιγράφεται παραπάνω και βασίζεται στη σύγκριση των επιμέρους λύσεων με τη συλλογική λύση. Η σύγκριση δεν γίνεται μεταξύ των βαθμών επιλογής των εναλλακτικών, αλλά μεταξύ των πραγματικών θέσεων των εναλλακτικών μέσα σε κάθε επιμέρους λύση.

Κάθε παράμετρος ομοφωνίας απαιτεί τη χρήση μιας συνάρτησης ανομοιομορφίας $d(V^i, V^c)$, ώστε να προκύψει το επίπεδο συμφωνίας ανάμεσα στην επιμέρους λύση του εμπλεκόμενου e_i , $V^i = (V_1^i, \dots, V_n^i)$, όπου V_j^i η θέση της εναλλακτικής x_j για τον i εμπλεκόμενο, και στη συλλογική λύση $V^c = (V_1^c, \dots, V_n^c)$, όπου V_j^c η θέση της εναλλακτικής x_j σε αυτή τη συλλογική λύση. Οι δείκτες ομοφωνίας προσδιορίζονται συγκρίνοντας τις θέσεις των εναλλακτικών σε δύο διανύσματα προτίμησης, ως εξής:

- 1) Επειδή υπάρχουν διαφορετικές εκφράσεις προτίμησης στο πρόβλημα, χρησιμοποιείται η παραπάνω διαδικασία επιλογής για να προκύψει ένα συνολικό διατεταγμένο διάνυσμα των εναλλακτικών (η «προσωρινή» συλλογική λύση) V^c .
- 2) Υπολογίζεται το διάνυσμα των εναλλακτικών για κάθε εμπλεκόμενο (επιμέρους λύση) $\{V^i, i = 1, \dots, m\}$. Όλες οι εκφράσεις προτίμησης μετατρέπονται σε μια ασαφή σχέση προτίμησης και ακολουθούν οι ενέργειες που περιγράφονται παραπάνω.
- 3) Υπολογίζεται η εγγύτητα κάθε εμπλεκόμενου για κάθε εναλλακτική, που συμβολίζεται με $p_i(x_j)$, συγκρίνοντας τη θέση της συγκεκριμένης εναλλακτικής στην επιμέρους λύση του συγκεκριμένου εμπλεκόμενου και στη συλλογική λύση. Αυτό επιτυγχάνεται με την ακόλουθη συνάρτηση:

$$p_i(x_j) = p(V^i, V^c)(x_j) = \left(\frac{|V_j^c - V_j^i|}{n - 1} \right)^b \in [0,1], \quad b \geq 0$$

- 4) Υπολογίζεται ο βαθμός ομοφωνίας όλων των εμπλεκόμενων σε κάθε εναλλακτική χρησιμοποιώντας τη σχέση:

$$C(x_j) = 1 - \sum_{i=1}^m \frac{p_i(x_j)}{m}$$

- 5) Το μέτρο ομοφωνίας στο σύνολο των εναλλακτικών, C_X , υπολογίζεται με τη συνάθροιση των $C(x_j)$ χρησιμοποιώντας τον κατάλληλο τελεστή συνάθροισης (S-OWA OR-LIKE) και τελικά προκύπτει η σχέση:

$$C_X = (1 - \beta) \sum_{t=1}^{\nu} \frac{C(x_t)}{\nu} + \beta \cdot \sum_{s=1}^{\gamma} \frac{C(x_t)}{\gamma}$$

όπου γ το πλήθος των όρων του συνόλου X_{sol} , ν το πλήθος των όρων του συνόλου $X - X_{sol}$ και $\beta \in [0,1]$ μία παράμετρος υπολογισμού που καθορίζεται πριν τη εφαρμογή του τελεστή συνάθροισης και χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της επιρροής των βαθμών ομοφωνίας των εναλλακτικών λύσεων στο μέτρο ομοφωνίας του συνόλου των εναλλακτικών.

- 6) Το μέτρο εγγύτητας της επιμέρους λύσης του i εμπλεκόμενου στην συλλογική προσωρινή λύση, που συμβολίζεται με P_X^i , υπολογίζεται με τη συνάθροιση των $p_i(x_j)$, με τρόπο παρόμοιο που υπολογίζεται και το μέτρο ομοφωνίας, δηλαδή:

$$P_X^i = (1 - \beta) \sum_{t=1}^{\nu} \frac{1 - p_i(x_t)}{\nu} + \beta \cdot \sum_{s=1}^{\gamma} \frac{1 - p_i(x_s)}{\gamma}$$

Όταν το μέτρο ομοφωνίας C_X δεν φτάνει στο επιθυμητό επίπεδο ομοφωνίας που καθορίζεται στην αρχή της διαδικασίας, οι απόψεις των εμπλεκόμενων πρέπει να τροποποιηθούν. Τα μέτρα εγγύτητας $(p_i(x_j), P_X^i)$ χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία ενός μηχανισμού ανατροφοδότησης, έτσι ώστε οι εμπλεκόμενοι να μπορούν να αλλάξουν τις απόψεις τους με στόχο να πλησιάσουν περισσότερο μεταξύ τους. Ο μηχανισμός ανατροφοδότησης εφαρμόζεται όσο το επίπεδο ομοφωνίας δεν είναι ικανοποιητικό και σταματά όταν η ομοφωνία φτάσει στο επιθυμητό επίπεδο. Η ανατροφοδότηση υλοποιείται με τον ακόλουθο τρόπο:

- 1) Κάθε εμπλεκόμενος φορέας e_i κατατάσσεται από τον πρώτο στον τελευταίο, συνδέοντας τον κάθε έναν με το αντίστοιχο συνολικό μέτρο εγγύτητας P_X^i . Σε κάθε εμπλεκόμενο αποδίδεται η θέση του και η εγγύτητά του σε κάθε εναλλακτική.
- 2) Αν η θέση του εμπλεκόμενου στην κατάταξη είναι υψηλή (πρώτος, δεύτερος, κλπ), τότε ο συγκεκριμένος δεν αλλάζει σε μεγάλο βαθμό την άποψή του, όταν όμως είναι χαμηλή (τελευταίος) πρέπει να μεταβάλλει σημαντικά την άποψή του. Δηλαδή, αρχικά αλλάζουν τις απόψεις τους οι εμπλεκόμενοι των οποίων οι επιμέρους λύσεις βρίσκονται πιο μακριά από τη συλλογική προσωρινή λύση. Σε αυτό το σημείο καθορίζεται ένα κατώφλι για να υπολογιστεί ο αριθμός των εμπλεκόμενων που πρέπει να αλλάξουν την άποψή τους, δηλαδή απαιτείται ένας κανόνας του τύπου «Αν $P_X^i < p, p \in [0,1]$ τότε άλλαξε την άποψή σου».
- 3) Οι απόψεις θα μεταβάλλονται με τη χρήση των παρακάτω κανόνων:
 - Ι. Αν $V_j^c - V_j^i < 0$, τότε να αυξηθούν οι εκτιμήσεις που σχετίζονται με την εναλλακτική x_j

- II. Αν $V_j^c - V_j^i = 0$, τότε να μη μεταβληθούν οι εκτιμήσεις που σχετίζονται με την εναλλακτική x_j
- III. Αν $V_j^c - V_j^i > 0$, τότε να μειωθούν οι εκτιμήσεις που σχετίζονται με την εναλλακτική x_j .

Προφανώς, η διαδικασία επίτευξης ομοφωνίας εξαρτάται τόσο από το πλήθος των εμπλεκόμενων φορέων όσο και από το πλήθος των εναλλακτικών. Σημειώνεται ότι η μεταβολή των απόψεων μπορεί να μεταβάλλει την προσωρινή συλλογική λύση, ειδικά όταν οι απόψεις των εμπλεκόμενων διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό μεταξύ τους, δηλαδή στα πρώτα στάδια της διαδικασίας. Στην πραγματικότητα, όταν οι απόψεις είναι παρόμοιες, δηλαδή το μέτρο ομοφωνίας πλησιάζει το απαιτούμενο επίπεδο ομοφωνίας, οι αλλαγές των απόψεων δεν επηρεάζουν την προσωρινή λύση, παρά μόνο το μέτρο ομοφωνίας.

2.2.3.1.2 Μέθοδος επίτευξης ομοφωνίας 2

Οι Chiclana et al [25] παρουσίασαν ένα μοντέλο ομοφωνίας για προβλήματα συλλογικής λήψης αποφάσεων που περιλαμβάνουν ασαφείς σχέσεις προτίμησης, το οποίο ενσωματώνει και ένα σύστημα ελέγχου της συνέπειας (consistency) των αρχικών προτιμήσεων των εμπλεκόμενων φορέων. Το μοντέλο αποτελείται από δύο βασικές διεργασίες: 1) Διεργασία Ελέγχου Συνέπειας και 2) Προσαρμοστική Διεργασία Επίτευξης Ομοφωνίας.

Έλεγχος συνέπειας

Στόχος της συγκεκριμένης διεργασίας είναι να μετρηθεί το επίπεδο συνέπειας κάθε επιμέρους σχέσης προτίμησης, έτσι ώστε να εντοπιστούν οι εμπλεκόμενοι φορείς, οι εναλλακτικές και οι τιμές προτίμησης που εμφανίζουν τη μεγαλύτερη ασυνέπεια στο πρόβλημα, αλλά και να προταθούν νέες «συνεπείς» τιμές προτίμησης. Ο έλεγχος συνέπειας λαμβάνει χώρα μόνο στον πρώτο κύκλο της συνολικής διαδικασίας επίτευξης ομοφωνίας, καθώς όταν όλες οι επιμέρους σχέσεις προτίμησης αποκτήσουν βαθμό συνέπειας μεγαλύτερο από ένα προκαθορισμένο κατώφλι, τότε και η μέση σταθμισμένη συλλογική σχέση προτίμησης θα έχει βαθμό συνέπειας μεγαλύτερο από το κατώφλι αυτό.

Πρώτο βήμα, λοιπόν, της διαδικασίας είναι ο υπολογισμός των βαθμών συνέπειας, από τη στιγμή που οι εμπλεκόμενοι φορείς θα εκφράσουν τις προτιμήσεις τους για ένα σύνολο εναλλακτικών. Έστω $P = (p_{ij})$ μια ασαφής σχέση προτίμησης. Κάνοντας χρήση της προσθετικής μεταβατικής ιδιότητας $(p_{ij} - 0.5) + (p_{jk} - 0.5) = (p_{ik} - 0.5) \forall i, j, k \in \{1, \dots, n\}$ και της $(p_{ij} + p_{ji} = 1, \forall i, j)$, προκύπτει η παρακάτω σχέση:

$$p_{ik} = p_{ij} + p_{jk} - 0.5 \quad \forall i, j, k \in \{1, \dots, n\}$$

Η ασαφής σχέση προτίμησης P θα θεωρείται «προσθετική συνεπής» όταν για κάθε τρεις εναλλακτικές του προβλήματος $x_i, x_j, x_k \in X$, οι αντίστοιχοι βαθμοί προτίμησης p_{ij}, p_{jk}, p_{ik} ικανοποιούν την παραπάνω σχέση. Η σχέση αυτή μπορεί να εφαρμοστεί στη συνέχεια για τον υπολογισμό μιας εκτιμώμενης τιμής ενός βαθμού προτίμησης, χρησιμοποιώντας άλλους βαθμούς προτίμησης. Δηλαδή, με τη χρήση μιας ενδιάμεσης εναλλακτικής x_j , προκύπτει η παρακάτω εκτίμηση της τιμής του p_{ik} ($i \neq k$):

$$ep_{ik}^j = p_{ij} + p_{jk} - 0.5$$

Η συνολική εκτιμώμενη τιμή ep_{ik} του p_{ik} υπολογίζεται ως ο μέσος όρος όλων των πιθανών τιμών του ep_{ik}^j , δηλαδή:

$$ep_{ik} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i, k}}^n \frac{ep_{ik}^j}{n-2}$$

Η τιμή $|ep_{ik} - p_{ik}|$ μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν ένα μέτρο του σφάλματος μεταξύ μιας πραγματικής τιμής προτίμησης και της αντίστοιχης εκτιμώμενης τιμής της.

Από τις παραπάνω σχέσεις παρατηρείται ότι η μέγιστη τιμή οποιουδήποτε εκτιμώμενου βαθμού προτίμησης ep_{ik}^j είναι 1.5 και η ελάχιστη -1.5. Προκειμένου να κανονικοποιηθούν οι κλίμακες έκφρασης του προβλήματος λήψης αποφάσεων, η τελική εκτιμώμενη τιμή του p_{ik} ($i \neq k$), που συμβολίζεται με cp_{ik} , ορίζεται ως ο διάμεσος των τιμών 0, 1 και ep_{ik} :

$$cp_{ik} = med\{0, 1, ep_{ik}\}$$

Το σφάλμα στο διάστημα $[0, 1]$ ανάμεσα σε μια τιμή προτίμησης p_{ik} και στην τελική εκτιμώμενη τιμή της cp_{ik} είναι:

$$\varepsilon p_{ik} = |cp_{ik} - p_{ik}|$$

και επιπλέον ισχύει $\varepsilon p_{ik} = \varepsilon p_{ki}$, αφού η αντιστρεψιμότητα της $P = (p_{ij})$ μεταφέρεται και στις τελικές εκτιμώμενες τιμές της $CP = (cp_{ij})$. Αν $\varepsilon p_{ik} = 0$, θεωρείται ότι υπάρχει απόλυτη συνέπεια μεταξύ του p_{ik} (ή του p_{ki}) και των υπόλοιπων πληροφοριών (προτιμήσεων) της P . Όσο υψηλότερη είναι η τιμή του εp_{ik} τόσο μικραίνει και η συνέπεια του p_{ik} (ή του p_{ki}) σε σχέση με την υπόλοιπη πληροφορία της P . Έτσι, υπολογίζεται η συνέπεια σε τρία ξεχωριστά επίπεδα μιας ασαφούς σχέσης προτίμησης P :

- **Επίπεδο 1:** Βαθμός συνέπειας ενός ζεύγους εναλλακτικών (x_i, x_k) :

$$cd_{ik} = 1 - \varepsilon p_{ik}$$

- **Επίπεδο 2:** Βαθμός συνέπειας μίας εναλλακτικής x_i :

$$cd_i = \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n \frac{cd_{ik}}{n-1}$$

Όταν $cd_i = 1$, όλες οι τιμές προτίμησης που περιλαμβάνουν την εναλλακτική x_i θεωρούνται πλήρως συνεπείς.

- **Επίπεδο 3:** Βαθμός συνέπειας της ασαφούς σχέσης προτίμησης P :

$$cd = \sum_{i=1}^n \frac{cd_i}{n}$$

Όταν $cd = 1$, τότε η ασαφής σχέση προτίμησης P θεωρείται πλήρως συνεπής.

Με τον τρόπο αυτό υπολογίζονται οι βαθμοί συνέπειας όλων των εμπλεκόμενων φορέων, $cd^i \forall i$, οι οποίοι συγκρίνονται με μια τιμή – κατώφλι του βαθμού συνέπειας (β), η οποία καθορίζεται στην αρχή της διαδικασίας. Αν όλοι οι εμπλεκόμενοι είναι συνεπείς, δηλαδή $cd^i \geq \beta \forall i$, τότε μπορεί να ξεκινήσει η διαδικασία επίτευξης ομοφωνίας. Διαφορετικά, εφαρμόζεται ένα συμβουλευτικό σύστημα, ώστε να προσδιοριστούν οι εμπλεκόμενοι, οι εναλλακτικές και οι τιμές προτίμησης που δεν

είναι συνεπείς και στη συνέχεια, να δοθούν εναλλακτικές συνεπείς τιμές για κάθε μία από τις μη συνεπείς προτιμήσεις. Αυτό υλοποιείται με τρία βήματα:

- 1) Προσδιορισμός των εμπλεκόμενων φορέων (l) οι οποίοι έχουν συνολικό βαθμό συνέπειας $cd^l < \beta$.
- 2) Για κάθε έναν από αυτούς τους εμπλεκόμενους, προσδιορισμός των εναλλακτικών (i) με βαθμό συνέπειας $cd_i^l < \beta$.
- 3) Για κάθε μία από αυτές τις εναλλακτικές, προσδιορισμός των τιμών προτίμησης με βαθμό συνέπειας $cd_{ij}^l < \beta$.

Έτσι, το σύνολο των τιμών προτίμησης που πρέπει να μεταβληθούν με στόχο να αυξηθεί η συνέπεια, είναι:

$$\{(l, i, j) | \max\{cd^l, cd_i^l, cd_{ij}^l\} < \beta\}$$

Όταν $cd_{ij}^l < \beta$, η τιμή p_{ij}^l θα πρέπει να μεταβληθεί σε μία τιμή πλησιέστερη στην εκτιμώμενη τιμή της cp_{ij}^l και αυτό θα φέρει και την αρχική επιμέρους σχέση προτίμησης (P^l) πιο κοντά στην εκτιμώμενη (CP^l), αυξάνοντας έτσι τη συνολική συνέπεια. Επομένως, η p_{ij}^l θα πρέπει να μεταβληθεί σε:

$$p_{ij}^{-l} = p_{ij}^l + \text{sign}(cp_{ij}^l - p_{ij}^l) \cdot (\beta - cd_{ij}^l)$$

όπου η συνάρτηση $\text{sign}(X)$ επιστρέφει το πρόσημο του X . Τέλος, για να διατηρηθεί η αντιστρεψιμότητα, θα πρέπει και η p_{ji}^l να μεταβληθεί αντίστοιχα στην $p_{ji}^{-l} = 1 - p_{ij}^{-l}$.

Επίτευξη Ομοφωνίας

Κατά την έναρξη ενός κύκλου συζήτησης, υπολογίζεται το επίπεδο συμφωνίας ανάμεσα στους εμπλεκόμενους φορείς. Η σχέση $s(p_{ij}^r, p_{ij}^t) = 1 - |p_{ij}^r - p_{ij}^t|$ χρησιμοποιείται για να μετρηθεί η ομοιότητα των τιμών προτίμησης δύο εμπλεκόμενων, e_r και e_t , για ένα ζεύγος εναλλακτικών x_i και x_j και ισχύει $s(p_{ij}^r, p_{ij}^t) = s(p_{ji}^r, p_{ji}^t)$.

Αρχικά υπολογίζονται οι βαθμοί ομοφωνίας ως εξής:

- 1) Για κάθε ζεύγος εμπλεκόμενων φορέων e_r και e_t ($r < t$), υπολογίζεται μια μήτρα ομοιότητας $SM^{rt} = (sm_{ij}^{rt})$, όπου $sm_{ij}^{rt} = s(p_{ij}^r, p_{ij}^t)$, $i, j = 1, \dots, n \wedge i \neq j$.
- 2) Η μήτρα ομοφωνίας $CM = (cm_{ij})$ προκύπτει συναθροίζοντας όλες τις μήτρες ομοιότητας:

$$cm_{ij} = \phi(sm_{ij}^{rt}); r, t = 1, \dots, m; i, j = 1, \dots, n \wedge r < t$$

Ως τελεστής συνάθροισης ϕ χρησιμοποιείται εδώ ο αριθμητικός μέσος όρος, παρόλο που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί οποιοσδήποτε άλλος τελεστής συνάθροισης διατηρεί την ιδιότητα $cm_{ij} = cm_{ji} (\forall i, j)$.

- 3) Οι βαθμοί ομοφωνίας ορίζονται σε κάθε ένα από τα ακόλουθα επίπεδα:

- *Επίπεδο 1:* Ομοφωνία σε ζεύγη εναλλακτικών, cp_{ij} . Εκφράζει τη συμφωνία όλων των εμπλεκόμενων στο ζεύγος εναλλακτικών (x_i, x_j) : $cp_{ij} = cm_{ij}$.
- *Επίπεδο 2:* Ομοφωνία σε εναλλακτικές, ca_i . Εκφράζει τη συμφωνία όλων των εμπλεκόμενων στην εναλλακτική x_i και ορίζεται ως ο μέσος όρος των βαθμών ομοφωνίας όλων των ζευγών εναλλακτικών που περιλαμβάνουν την x_i :

$$ca_i = \sum_{i=1}^n \frac{cp_{ij}}{n}$$

- *Επίπεδο 3:* Ομοφωνία στη σχέση προτίμησης, cr . Εκφράζει τη συνολική συμφωνία μεταξύ όλων των εμπλεκόμενων και ορίζεται ως ο μέσος όρος των βαθμών ομοφωνίας όλων των εναλλακτικών, δηλαδή είναι ο μέσος όρος όλων των βαθμών ομοφωνίας στα ζεύγη εναλλακτικών:

$$cr = \sum_{i=1}^n \frac{ca_i}{n}$$

Επίσης, υπολογίζονται τα *μέτρα εγγύτητας*, ώστε να εντοπιστούν οι εμπλεκόμενοι φορείς των οποίων οι προτιμήσεις απέχουν περισσότερο από το σύνολο. Το πρώτο βήμα είναι ο υπολογισμός της συλλογικής ασαφούς σχέσης προτίμησης:

$$P^c = (p_{ij}^c); p_{ij}^c = \psi(p_{ij}^1, \dots, p_{ij}^m)$$

Ως τελεστής συνάθροισης ψ χρησιμοποιείται και εδώ ο αριθμητικός μέσος όρος. Για κάθε εμπλεκόμενο e_t προκύπτει μία μήτρα εγγύτητας, $PM^t = (pm_{ij}^t)$, όπου $pm_{ij}^t = s(p_{ij}^t, p_{ij}^c)$.

Το μέτρο εγγύτητας ορίζεται σε κάθε ένα από τα ακόλουθα επίπεδα:

- *Επίπεδο 1:* Εγγύτητα σε ζεύγη εναλλακτικών, pp_{ij}^t . Εκφράζει την εγγύτητα ανάμεσα στην τιμή προτίμησης ενός εμπλεκόμενου και στην αντίστοιχη συλλογική τιμή προτίμησης για ένα ζεύγος εναλλακτικών (x_i, x_j) : $pp_{ij}^t = pm_{ij}^t$.
- *Επίπεδο 2:* Εγγύτητα σε εναλλακτικές, pa_i^t . Εκφράζει την εγγύτητα ανάμεσα στις τιμές προτίμησης ενός εμπλεκόμενου για την εναλλακτική x_i έναντι των υπολοίπων εναλλακτικών και στις αντίστοιχες συλλογικές τιμές προτίμησης:

$$pa_i^t = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \frac{pp_{ij}^t}{n-1}$$

- *Επίπεδο 3:* Εγγύτητα στη σχέση προτίμησης, pr^t . Εκφράζει τη συνολική εγγύτητα μεταξύ ενός εμπλεκόμενου φορέα και των υπολοίπων της ομάδας:

$$pr^t = \sum_{i=1}^n \frac{pa_i^t}{n}$$

Στο σημείο αυτό γίνεται η υπόθεση ότι η ομάδα των εμπλεκόμενων φορέων, πριν εκφράσουν τις προτιμήσεις τους, έχουν συμφωνήσει σε ένα κατώφλι ομοφωνίας $\gamma \in [0,1]$, τέτοιο ώστε όταν $cr \geq \gamma$ η διαδικασία επίτευξης ομοφωνίας ολοκληρώνεται και ξεκινά η εφαρμογή της διαδικασίας επιλογής για την εύρεση της λύσης. Διαφορετικά, η διαδικασία επίτευξης ομοφωνίας συνεχίζεται και ξεκινά ένας νέος κύκλος συζητήσεων, ώστε οι εμπλεκόμενοι να μεταβάλουν τις προτιμήσεις τους με στόχο να αυξηθεί το συνολικό επίπεδο ομοφωνίας. Η τιμή του γ εξαρτάται από τη φύση και τις συνθήκες του εκάστοτε προβλήματος.

Ο εντοπισμός των προτιμήσεων που πρέπει να μεταβληθούν γίνεται με τρεις διαφορετικούς κανόνες, οι οποίοι βασίζονται στο χαρακτηρισμό της πραγματικής συνολικής ομοφωνίας cr ως «χαμηλή», «μέτρια» ή «υψηλή». Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται δύο νέες παράμετροι $\theta_1 < \theta_2 < \gamma$ και

εφαρμόζεται ένας συγκεκριμένος αλγόριθμος στην αρχή κάθε κύκλου συζήτησης, με τον οποίο υλοποιούνται τα ακόλουθα:

- *Προσδιορισμός προτιμήσεων με χαμηλή ομοφωνία.* Εντοπίζονται τα ζεύγη εναλλακτικών (x_i, x_j) με βαθμό ομοφωνίας χαμηλότερο της συνολικής ομοφωνίας, δηλαδή $P = \{(i, j) | cp_{ij} < cr\}$ και προτείνει όλοι οι εμπλεκόμενοι να αλλάξουν τις προτιμήσεις τους στα συγκεκριμένα ζεύγη εναλλακτικών. Επομένως, το σύνολο των προτιμήσεων που κάθε εμπλεκόμενος e_t πρέπει να μεταβάλλει είναι:

$$PREFECH_L^t = \{(i, j) | (i, j) \in P\}$$

- *Προσδιορισμός προτιμήσεων με μέτρια ομοφωνία.* Αρχικά εντοπίζονται οι εναλλακτικές με βαθμό ομοφωνίας χαμηλότερο από τη συνολική ομοφωνία, δηλαδή $X_{ch} = \{i | ca_i < cr\}$, και για κάθε μία από αυτές τις εναλλακτικές εντοπίζονται οι τιμές προτίμησης με βαθμό ομοφωνίας επίσης χαμηλότερο από τη συνολική ομοφωνία, δηλαδή: $P = \{(i, j), (j, i) | i \in X_{ch} \wedge cp_{ij} = cp_{ji} < cr\}$. Επομένως, το σύνολο των προτιμήσεων που κάθε εμπλεκόμενος e_t πρέπει να μεταβάλλει είναι:

$$PREFECH_M^t = \{(i, j) | (i, j) \in P \wedge pa_i^t < \sum_r \frac{pa_i^r}{m}\}$$

- *Προσδιορισμός προτιμήσεων με υψηλή ομοφωνία.* Εντοπίζονται οι εναλλακτικές και οι αντίστοιχες τιμές προτίμησης τους με βαθμούς ομοφωνίας χαμηλότερους από τη συνολική ομοφωνία. Εδώ, το σύνολο των προτιμήσεων που κάθε εμπλεκόμενος e_t πρέπει να μεταβάλλει είναι:

$$PREFECH_H^t = \{(i, j) | (i, j) \in P \wedge pa_i^t < \sum_r \frac{pa_i^r}{m} \wedge pp_{ij}^t < \sum_r \frac{pp_{ij}^r}{m}\}$$

Αφού εντοπιστούν οι προτιμήσεις που πρέπει να μεταβληθούν, το μοντέλο προτείνει στους εμπλεκόμενους την κατεύθυνση των αλλαγών, μέσω απλών «συμβουλευτικών κανόνων», οι οποίοι είναι οι εξής:

- DR.1. Αν $p_{ij}^t - p_{ij}^c < 0$, ο εμπλεκόμενος e_t πρέπει να αυξήσει την τιμή p_{ij}^t και να μειώσει ισόποσα την p_{ji}^t .
- DR.2. Αν $p_{ij}^t - p_{ij}^c > 0$, ο εμπλεκόμενος e_t πρέπει να μειώσει την τιμή p_{ij}^t και να αυξήσει ισόποσα την p_{ji}^t .
- DR.3. Αν $p_{ij}^t - p_{ij}^c = 0$, δεν απαιτείται αλλαγή στις προτιμήσεις p_{ij}^t και p_{ji}^t από τον εμπλεκόμενο e_t .

2.2.3.1.3 Μέθοδος επίτευξης ομοφωνίας 3

Οι Quesada et al [26] παρουσίασαν μία μεθοδολογία στάθμισης των εμπλεκόμενων φορέων κατά τις διαδικασίες επίτευξης ομοφωνίας σε προβλήματα λήψης συλλογικών αποφάσεων μεγάλης κλίμακας, κάνοντας χρήση κάποιων τελεστών συνάθροισης (*uninorm* τελεστές). Οι συγκεκριμένοι τελεστές χρησιμοποιούνται για την απόδοση βαρών στους εμπλεκόμενους φορείς, βάσει της συνολικής συμπεριφοράς τους κατά τη διάρκεια της διαδικασίας επίτευξης ομοφωνίας, αλλά και βάσει της εξέλιξης αυτής της συμπεριφοράς.

Ένας τελεστής uninorm U , όπως ορίζεται από τους Yager et al [50], αποτελεί μια απεικόνιση $U: [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$, με τις εξής ιδιότητες για όλα τα $a, b, c, d \in [0,1]$:

- i) $U(a, b) = U(b, a)$
- ii) $U(a, b) \geq U(c, d)$ αν $a \geq c$ και $b \geq d$
- iii) $U(a, U(b, c)) = U(U(a, b), c)$
- iv) Ουδέτερο στοιχείο: $\exists g \in [0,1]: U(a, g) = a$

Η μεθοδολογία που προτείνεται αποτελείται από δύο φάσεις: τη *μέτρηση της συνεργασίας* και τον *προσδιορισμό των βαρών* των εμπλεκόμενων φορέων.

Αρχικά, αξιολογείται η συμπεριφορά κάθε εμπλεκόμενου $e_i \in E$ στον τρέχοντα κύκλο συζήτησης $t \in \mathbb{N}$, με τον υπολογισμό του *συντελεστή συνεργασίας* (*cooperation coefficient*), ο οποίος βασίζεται στον αριθμό των συμβουλών που έλαβε ένας εμπλεκόμενος για να μεταβάλλει τις αξιολογήσεις του και στον αριθμό των αξιολογήσεων που τελικά άλλαξε βάσει των συγκεκριμένων συμβουλών. Ο συντελεστής συνεργασίας ορίζεται ως εξής: Έστω $\#ADV_i^t$ είναι ο συνολικός αριθμός των προτιμήσεων / αξιολογήσεων p_i^{lk} , για τις οποίες ο εμπλεκόμενος e_i έλαβε συμβουλές να μεταβάλλει και $\#ACP_i^t$ ο αριθμός των αξιολογήσεων που τελικά δέχθηκε να μεταβάλλει σύμφωνα με την ανατροφοδότηση στον κύκλο συζητήσεων t . Ο συντελεστής συνεργασίας του e_i στον κύκλο t ($CC_i^t \in [0,1]$) δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$CC_i^t = \begin{cases} 1 & \text{αν } \#ADV_i^t = 0 \\ \eta \frac{\#ACP_i^t}{\#ADV_i^t} + (1 - \eta) \left(1 - \frac{\#ADV_i^t - \#ACP_i^t}{n(n-1)} \right) & \text{αν } \#ADV_i^t \neq 0 \end{cases}$$

όπου $n(n-1)$ είναι ο αριθμός των αξιολογήσεων στο σύνολο P_i . Η παράμετρος $\eta \in [0,1]$ χρησιμοποιείται για τον έλεγχο των «ποινών» που επιβάλλονται στο CC_i^t βάσει διαφόρων κριτηρίων. Στη φάση αυτή χρησιμοποιείται μία ακόμη παράμετρος, το κατώφλι αποδοχής $\varepsilon \geq 0$, για να προσδιοριστεί αν ο βαθμός των αλλαγών που πραγματοποίησε ένας εμπλεκόμενος στις αξιολογήσεις του είναι αρκετός ή όχι ώστε να θεωρηθεί ότι ο συγκεκριμένος έχει εφαρμόσει τις συμβουλές που δέχθηκε.

Στη συνέχεια υπολογίζεται ο *βαθμός συνεργασίας* (*cooperation degree*) κάθε εμπλεκόμενου φορέα στον τρέχοντα κύκλο συζήτησης της διαδικασίας ομοφωνίας, που εκφράζει το βαθμό στον οποίο η τιμή του συντελεστή CC_i^t ικανοποιεί την έννοια της συνεργασίας που καθορίστηκε στο συγκεκριμένο πρόβλημα συλλογικής λήψης αποφάσεων. Έστω ότι ο όρος «συνεργατικός» είναι ένας γλωσσικός όρος, του οποίου η σημασιολογία δίνεται από ένα ασαφές σύνολο $COOP$ στο $[0,1]$, με την ακόλουθη συνάρτηση συμμετοχής:

$$\mu_{COOP}(y) = \begin{cases} 0 & \text{αν } y < a \\ \frac{y-a}{\beta-a} & \text{αν } a \leq y < \beta \\ 1 & \text{αν } y \geq \beta \end{cases}$$

όπου $a, \beta, y \in [0,1], a < \beta$. Ο βαθμός συνεργασίας του e_i στον κύκλο t , που συμβολίζεται με CD_i^t , αντιστοιχεί στο βαθμό συμμετοχής του CC_i^t στο ασαφές σύνολο $COOP$, δηλαδή:

$$CD_i^t = \mu_{COOP}(CC_i^t) \in [0,1]$$

Η ασαφής συνάρτηση συμμετοχής καθορίζει το πόσο περιοριστική είναι η έννοια του όρου «συνεργατικός»: όσο υψηλότερες είναι οι τιμές των α, β τόσο πιο περιοριστική η έννοια, έτσι ώστε μόνο στις υψηλότερες τιμές του CC_i^t αποδίδεται ο μέγιστος βαθμός συνεργασίας.

Μετά τον υπολογισμό των συντελεστών και των βαθμών συνεργασίας, ακολουθεί η απόδοση βαρύτητας σε κάθε εμπλεκόμενο φορέα, που αντικατοπτρίζει τόσο την τρέχουσα συμπεριφορά του όσο και την προηγούμενη προσαρμοσμένη συμπεριφορά από την έναρξη της διαδικασίας ομοφωνίας. Η συνάρτηση $w(i, t)$ αποδίδει το βάρος του εμπλεκόμενου φορέα e_i στον κύκλο t , που συμβολίζεται με $w_i^t \in [0,1]$ και υπολογίζεται ως εξής:

$$w_i^t = w(i, t) = \begin{cases} g & \text{αν } t = 1 \\ U(CD_i^t, w_i^{t-1}) & \text{αν } t > 1 \end{cases}$$

όπου U ένας uninorm τελεστής και $g \in [0,1]$ το ουδέτερο στοιχείο του, βάσει του οποίου μια τιμή εισόδου μεγαλύτερη του g αντιμετωπίζεται ως καλή συμπεριφορά στη συνάθροιση και αντίστροφα. Κατά την έναρξη της διαδικασίας επίτευξης ομοφωνίας ($t = 1$), σε όλους τους εμπλεκόμενους αποδίδεται το ίδιο βάρος, $w_i^1 = g, \forall i$, καθώς δεν υπάρχουν ακόμη διαθέσιμες πληροφορίες για τη συμπεριφορά τους. Για να μπορεί κάθε εμπλεκόμενος να ανακτήσει τη βαρύτητα των απόψεών του κατά τη διάρκεια της διαδικασίας επίτευξης ομοφωνίας, τα βάρη w_i^t κανονικοποιούνται ως εξής:

$$\hat{w}_i^t = \frac{w_i^t}{\sum_{i=1}^m w_i^t}$$

όπου $\hat{w}_i^t \in [0,1]$ και $\sum_i \hat{w}_i^t = 1$. Μετά την κανονικοποίηση, τα βάρη λαμβάνονται υπόψη στον τρέχοντα κύκλο συζήτησης κατά τον υπολογισμό της συλλογικής προτίμησης P_c με τη συνάθροιση των προτιμήσεων όλων των εμπλεκόμενων φορέων, καθώς και στον υπολογισμό των βαθμών ομοφωνίας, σύμφωνα με το μοντέλο ομοφωνίας που ακολουθεί.

Παρόλο που το μοντέλο ομοφωνίας που περιγράφεται στη συνέχεια εστιάζει στη χρήση ασαφών σχέσεων προτίμησης από όλους τους εμπλεκόμενους φορείς, η παραπάνω μεθοδολογία απόδοσης βαρών στους εμπλεκόμενους μπορεί να εφαρμοστεί σε διάφορα μοντέλα ομοφωνίας με μηχανισμό ανατροφοδότησης, ανεξάρτητα από τη μορφή έκφρασης των προτιμήσεων και τις κλίμακες που χρησιμοποιούνται.

Το μοντέλο ομοφωνίας αποτελείται από τέσσερις βασικές φάσεις, οι οποίες εφαρμόζονται διαδοχικά, μία φορά σε κάθε κύκλο συζήτησης t , μέχρι να επιτευχθεί η επιθυμητή ομοφωνία.

1. Συλλογή των προτιμήσεων

Κάθε εμπλεκόμενος παρέχει τις προτιμήσεις του για τις εναλλακτικές X , χρησιμοποιώντας μια αναστροφή ασαφή σχέση προτίμησης $P_i^t = (p_i^{lkt})_{n \times n}$, τέτοια ώστε αν $p_i^{lkt} = x \in [0,1]$, τότε $p_i^{klt} = 1 - x$. Οι προτιμήσεις εδώ συμβολίζονται με P_i^t για να υπάρχει ένδειξη του κύκλου t στον οποίο χρησιμοποιούνται.

2. Υπολογισμός του βαθμού ομοφωνίας

Για κάθε ζεύγος εμπλεκόμενων e_i, e_j ($i < j$) υπολογίζεται μία μήτρα ομοιότητας $SM_{ij}^t = (sm_{ij}^{lkt})_{n \times n}$, όπου $sm_{ij}^{lkt} \in [0,1]$ είναι ο βαθμός ομοιότητας μεταξύ των εκτιμήσεων των e_i, e_j για ένα ζεύγος εναλλακτικών (x_l, x_k) στον κύκλο t , που υπολογίζεται ως εξής: $sm_{ij}^{lkt} = 1 - |p_i^{lkt} - p_j^{lkt}|$.

Στη συνέχεια υπολογίζεται μια μήτρα ομοφωνίας $CM^t = (cm^{lkt})_{n \times n}$ χρησιμοποιώντας έναν τελεστή συνάθροισης σταθμισμένου μέσου όρου. Κάθε στοιχείο $cm^{lkt} \in [0,1], l \neq k$, υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$cm^{lkt} = \frac{\sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=i+1}^m w_{ij}^t sm_{ij}^{lkt}}{\sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=i+1}^m w_{ij}^t}$$

όπου $w_{ij}^t \in [0,1]$ το βάρος που αποδίδεται σε ένα ζεύγος εμπλεκόμενων (e_i, e_j) και προκύπτει από τα επιμέρους βάρη w_i^t και w_j^t : $w_{ij}^t = U_r(w_i^t, w_j^t)$, όπου U_r ένας τελεστής unipnorm (cross ratio unipnorm operator). Τα βάρη χρησιμοποιούνται στη μήτρα ομοφωνίας με στόχο να δοθεί μεγαλύτερη βαρύτητα στους βαθμούς ομοιότητας που συνδέονται με ζεύγη εμπλεκόμενων που παρουσιάζουν υψηλότερους βαθμούς συνεργασίας.

Οι βαθμοί ομοφωνίας υπολογίζονται στη συνέχεια σε τρία επίπεδα:

- Σε ζεύγη εναλλακτικών (cp^{lkt}): Προκύπτει από τη μήτρα ομοφωνίας ως $cp^{lkt} = cm^{lkt}, l, k \in \{1, \dots, n\}, l \neq k$.
- Στις εναλλακτικές (ca^{lt}): Οι βαθμοί ομοφωνίας σε κάθε εναλλακτική $x_l \in X$ υπολογίζονται ως εξής:

$$ca^{lt} = \frac{\sum_{k=1, k \neq l}^n cp^{lkt}}{n-1}$$

- Στη σχέση προτίμησης (cr^t):

$$cr^t = \frac{\sum_{l=1}^n ca^{lt}}{n}$$

3. Έλεγχος ομοφωνίας

Ο βαθμός ομοφωνίας cr^t ελέγχεται για το αν έχει φτάσει στο επιθυμητό επίπεδο. Αν είναι ικανοποιητικός, η ομάδα των εμπλεκόμενων φορέων προχωρά στη διαδικασία προσδιορισμού της βέλτιστης εναλλακτικής. Διαφορετικά, πρέπει να πραγματοποιηθεί άλλος ένας κύκλος συζήτησης. Στη φάση αυτή χρησιμοποιούνται δύο παράμετροι, οι οποίοι καθορίζονται στην αρχή της διαδικασίας από την ομάδα:

- Ένα κατώφλι ομοφωνίας $\mu \in [0,1]$, η τιμή του οποίου υποδεικνύει το ελάχιστο επίπεδο συμφωνίας που απαιτείται μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων.
- Ένας μέγιστος αριθμός επιτρεπόμενων κύκλων συζήτησης, $Maxround \in \mathbb{N}$. Αν ο αριθμός των κύκλων που πραγματοποιήθηκαν υπερβεί αυτή την τιμή, η διαδικασία τερματίζεται χωρίς να έχει επιτευχθεί ομοφωνία. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να εφαρμοστεί από την ομάδα μια διαφορετική στρατηγική λήψης απόφασης.

4. Παροχή συμβουλών

Αν $cr^t < \mu$, λαμβάνει χώρα αυτή η φάση, στην οποία εντοπίζονται οι αξιολογήσεις των εμπλεκόμενων που έχουν μεγαλύτερη απόσταση από την ομοφωνία και οι εμπλεκόμενοι λαμβάνουν ένα σύνολο συστάσεων για μεταβολή αυτών των αξιολογήσεων, με στόχο να αυξηθεί η ομοφωνία στους επόμενους κύκλους.

Αρχικά υπολογίζεται η συλλογική προτίμηση P_c^t :

$$P_c^t = \sum_{i=1}^m \widehat{w}_i^t p_i^{lkt}$$

όπου $\widehat{w}_i^t \in [0,1]$ το κανονικοποιημένο βάρος του εμπλεκόμενου e_i βάσει της συμπεριφοράς του.

Ακολουθεί ο υπολογισμός μιας μήτρας εγγύτητας $PP_i^t = (pp_i^{lkt})_{n \times n}$ μεταξύ της σχέσης προτίμησης κάθε εμπλεκόμενου και της συλλογικής προτίμησης P_c^t . Οι τιμές εγγύτητας pp_i^{lkt} χρησιμοποιούνται για να προσδιορίσουν τις προτιμήσεις που βρίσκονται σε μεγαλύτερη απόσταση από τη συλλογική άποψη και υπολογίζονται από τη σχέση $pp_i^{lkt} = 1 - |p_i^{lkt} - p_c^{lkt}|$.

Στη συνέχεια εντοπίζονται τα ζεύγη εναλλακτικών (x_l, x_k) των οποίων οι βαθμοί ομοφωνίας ca^{lt} και cp^{lkt} δεν είναι ικανοποιητικοί:

$$CC^t = \{(x_l, x_k) | ca^{lt} < cr^t \wedge cp^{lkt} < cr^t\}$$

Ακολουθεί ο προσδιορισμός των εμπλεκόμενων που πρέπει να μεταβάλουν τις εκτιμήσεις τους για κάθε ένα από τα παραπάνω ζεύγη εναλλακτικών, λαμβάνοντας υπόψη τους βαθμούς εγγύτητας στην P_c^t . Αυτό επιτυγχάνεται με τον υπολογισμό μιας μέσης εγγύτητας \overline{pp}^{lkt} :

$$\overline{pp}^{lkt} = \frac{\sum_{i=1}^p pp_i^{lkt}}{m}$$

Οι εμπλεκόμενοι φορείς e_i για τους οποίους $pp_i^{lkt} < \overline{pp}^{lkt}$, θα πρέπει να μεταβάλουν τις αξιολογήσεις τους για το ζεύγος $(x_l, x_k) \in CC$.

Οι μεταβολές των απόψεων των εμπλεκόμενων γίνονται προς την κατεύθυνση που υποδεικνύεται από μια ομάδα κανόνων, με στόχο να αυξηθεί το επίπεδο ομοφωνίας. Οι κανόνες αυτοί, που παρουσιάζονται παρακάτω, χρησιμοποιούν το κατώφλι αποδοχής $\varepsilon \geq 0$, το οποίο μπορεί να λάβει μια θετική τιμή κοντά στο μηδέν και δημιουργεί ένα περιθώριο αποδοχής όταν οι τιμές p_i^{lkt} και p_c^{lkt} είναι αρκετά κοντά.

DIR.1: Αν $(p_i^{lkt} - p_c^{lkt}) < -\varepsilon$, ο εμπλεκόμενος e_i πρέπει να αυξήσει την εκτίμησή του για το ζεύγος εναλλακτικών (x_l, x_k) .

DIR.2: Αν $(p_i^{lkt} - p_c^{lkt}) > \varepsilon$, ο εμπλεκόμενος e_i πρέπει να μειώσει την εκτίμησή του για το ζεύγος εναλλακτικών (x_l, x_k) .

DIR.3: Αν $-\varepsilon \leq (p_i^{lkt} - p_c^{lkt}) \leq \varepsilon$, ο εμπλεκόμενος e_i δεν χρειάζεται να μεταβάλει την εκτίμησή του για το ζεύγος εναλλακτικών (x_l, x_k) .

Σημειώνεται ότι η χρήση του ε στο συγκεκριμένο μοντέλο έχει διπλή σημασία: i) ως ένα κατώφλι αποδοχής για τον προσδιορισμό των αξιολογήσεων που πρέπει να μεταβληθούν και ii) στον υπολογισμό του $\#ACP_i^t$ για να προσδιοριστεί αν οι αλλαγές που εφαρμόστηκαν από τον εμπλεκόμενο είναι αρκετά σημαντικές ώστε να θεωρηθούν αποδεκτές.

2.2.3.1.4 Μέθοδος επίτευξης ομοφωνίας 4

Το μοντέλο ομοφωνίας που αναλύεται στη συνέχεια, παρουσιάστηκε από τους Palomares et al [27] και αποτελεί μια πιο απλή εκδοχή της Μεθόδου 3 που περιγράφεται παραπάνω. Η διαφορά έγκειται κυρίως στον τρόπο υπολογισμού των βαρών των εμπλεκόμενων φορέων, που στη συγκεκριμένη

περίπτωση υπολογίζονται λαμβάνοντας υπόψη τη συμπεριφορά των εμπλεκόμενων μόνο στον τρέχοντα κύκλο συζήτησης της διαδικασίας ομοφωνίας, και όχι τη συνολική συμπεριφορά τους από την έναρξη της διαδικασίας. Επιπλέον, στο μοντέλο αυτό οι προτιμήσεις των εμπλεκόμενων εκφράζονται με γλωσσικούς όρους, οι οποίοι βρίσκονται συμμετρικά διανεμημένοι γύρω από το μεσαίο όρο μιας κλίμακας με περιττό αριθμό στοιχείων. Έτσι, ο μηχανισμός που προτείνεται περιλαμβάνει και διαδικασίες υπολογιστικής με γλωσσικούς όρους και βασίζεται στη θεωρία ασαφών συνόλων.

Αναλυτικότερα, στο συγκεκριμένο μοντέλο ο συντελεστής συνεργασίας ορίζεται ως εξής: Έστω $\#ADV_i^t$ είναι ο συνολικός αριθμός των προτιμήσεων / αξιολογήσεων p_i^{lk} , για τις οποίες ο εμπλεκόμενος e_i έλαβε συμβουλές να μεταβάλει πριν την έναρξη του κύκλου t και $\#ACP_i^t$ ο αριθμός των αξιολογήσεων που τελικά δέχθηκε να μεταβάλλει σύμφωνα με την ανατροφοδότηση. Ο συντελεστής συνεργασίας του e_i στον κύκλο t ($CC_i^t \in [0,1]$) δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$CC_i^t = \begin{cases} 1 & \text{αν } \#ADV_i^t = 0 \\ \frac{\#ACP_i^t}{\#ADV_i^t} & \text{αν } \#ADV_i^t \neq 0 \end{cases}$$

Η τιμή του συντελεστή συνεργασίας απεικονίζει το βαθμό στον οποίο ένας εμπλεκόμενος φορέας μεταβάλλει τις απόψεις τους, ώστε να πλησιάσουν περισσότερο στην ομοφωνία.

Στη συνέχεια, υπολογίζονται τα βάρη των εμπλεκόμενων, με βάση το συντελεστή συνεργασίας του καθενός. Έστω ότι ο όρος «συνεργατικός» είναι ένας γλωσσικός όρος, του οποίου η σημασιολογία δίνεται από ένα ασαφές σύνολο $COOP$ στο $[0,1]$, με την ακόλουθη συνάρτηση συμμετοχής:

$$\mu_{COOP}(y) = \begin{cases} 0 & \text{αν } y < a \\ \frac{y-a}{\beta-a} & \text{αν } a \leq y < \beta \\ 1 & \text{αν } y \geq \beta \end{cases}$$

όπου $a, \beta, y \in [0,1], a < \beta$. Το βάρος του εμπλεκόμενου e_i στον κύκλο t , που συμβολίζεται με w_i^t , αντιστοιχεί στο βαθμό συμμετοχής του CC_i^t στο ασαφές σύνολο $COOP$, δηλαδή:

$$w_i^t = \mu_{COOP}(CC_i^t)$$

Στο σημείο αυτό γίνεται η υπόθεση ότι όταν η διαδικασία ομοφωνίας βρίσκεται σε προχωρημένο στάδιο, το γεγονός της μη-συνεργασίας ενός εμπλεκόμενου μπορεί να επιφέρει μεγαλύτερη «ποινή» από ότι στους πρώτους κύκλους της διαδικασίας, υιοθετώντας με αυτό τον τρόπο μια πιο ανεκτική στάση απέναντι στη συμπεριφορά των εμπλεκόμενων κατά την έναρξη της διαδικασίας επίτευξης ομοφωνίας. Για το λόγο αυτό προτείνεται η ελαστική χρήση των συναρτήσεων συμμετοχής κατά τον ορισμό του όρου «συνεργατικός» σε κάθε κύκλο συζήτησης, αυξάνοντας τις τιμές των a, β σταδιακά, έτσι ώστε το ασαφές σύνολο να γίνεται στενότερο όσο προχωρά η διαδικασία επίτευξης ομοφωνίας.

Τα βάρη των εμπλεκόμενων φορέων w_i^t σε κάθε κύκλο συζήτησης κανονικοποιούνται, ώστε να μπορούν να ληφθούν υπόψη στον υπολογισμό της συλλογικής προτίμησης στον συγκεκριμένο κύκλο. Η κανονικοποίηση γίνεται με την ακόλουθη σχέση:

$$\hat{w}_i^t = \frac{w_i^t}{\sum_{i=1}^m w_i^t}$$

όπου $\hat{w}_i^t \in [0,1]$ και $\sum_i \hat{w}_i^t = 1$.

Οι υπόλοιπες φάσεις του μοντέλου ομοφωνίας είναι παρόμοιες με αυτές που περιγράφονται στη Μέθοδο 3 ανωτέρω, στην οποία ενσωματώνονται οι υπολογισμοί για τη διαχείριση συμπεριφοράς που παρουσιάζονται εδώ. Επίσης, κατά τη φάση υπολογισμού του συνολικού βαθμού ομοφωνίας σε κάθε κύκλο (cr^t) χρησιμοποιούνται οι διαδικασίες υπολογιστικής με γλωσσικούς όρους και τελεστές συνάθροισης κατάλληλοι για γλωσσικές μεταβλητές, αφού στη συγκεκριμένη περίπτωση οι προτιμήσεις για τις εναλλακτικές εκφράζονται με γλωσσικές σχέσεις προτίμησης.

2.2.3.1.5 Μέθοδος επίτευξης ομοφωνίας 5

Οι Palomares et al [28] παρουσίασαν ένα μοντέλο ομοφωνίας κατάλληλο για τη διαχείριση μεγάλου αριθμού εμπλεκόμενων φορέων σε ένα πρόβλημα λήψης αποφάσεων, στο οποίο ενσωματώνεται ένας μηχανισμός ασαφούς ταξινόμησης (fuzzy clustering) για τον προσδιορισμό και τη διαχείριση μη συνεργατικών συμπεριφορών κατά τη διαδικασία επίτευξης ομοφωνίας. Το *Clustering* αποτελεί μια διαδεδομένη τεχνική, που ανήκει στην κατηγορία των *unsupervised* μεθόδων μηχανικής μάθησης (*unsupervised machine learning techniques*) και στοχεύει στην ανάλυση και ερμηνεία δεδομένων. Το πρόβλημα του *Clustering* έγκειται στην ταξινόμηση ενός συνόλου δεδομένων σε έναν αριθμό ομάδων (clusters), χρησιμοποιώντας ένα μέτρο ομοιότητας, έτσι ώστε τα δεδομένα που ανήκουν στην ίδια ομάδα να εμφανίζουν μεγαλύτερη ομοιότητα μεταξύ τους από ότι με οποιαδήποτε άλλα δεδομένα που ανήκουν σε διαφορετικές ομάδες. Κάθε ομάδα χαρακτηρίζεται από ένα κέντρο, το οποίο αντιπροσωπεύει όλα τα στοιχεία που ανήκουν σε αυτή.

Το μοντέλο ομοφωνίας που παρουσιάζεται εδώ είναι όμοιο με τη Μέθοδο επίτευξης ομοφωνίας 3 που περιγράφεται παραπάνω, περιλαμβάνει δηλαδή τις ίδιες τέσσερις βασικές φάσεις σε κάθε κύκλο συζήτησης: 1. Συλλογή των προτιμήσεων, 2. Υπολογισμός βαθμού ομοφωνίας, 3. Έλεγχος ομοφωνίας και 4. Παροχή συμβουλών, με τους υπολογισμούς σε κάθε στάδιο να γίνονται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο. Η διαφορά βρίσκεται στη χρήση ενός αλγόριθμου fuzzy clustering για τον προσδιορισμό των μη συνεργατικών συμπεριφορών και στον τρόπο υπολογισμού των βαρών των εμπλεκόμενων φορέων. Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος εφαρμόζεται παράλληλα με τη φάση 4 (Παροχή συμβουλών) του μοντέλου ομοφωνίας.

Αναλυτικότερα, ο μηχανισμός προσδιορισμού των μη συνεργατικών συμπεριφορών εφαρμόζεται μία φορά σε κάθε κύκλο συζήτησης, μετά τον υπολογισμό της συλλογικής προτίμησης P_c^t κατά τη φάση παροχής συμβουλών. Έστω $t \in \{1, \dots, Maxround - 1\}$ είναι ο τρέχων κύκλος και $P_i^t, i = 1, \dots, m$ οι τιμές προτίμησης των εμπλεκόμενων φορέων στον κύκλο αυτό. Επίσης, έστω $C_h^t, h = 1, \dots, N$ είναι τα κέντρα των clusters που δημιουργούνται σε αυτόν τον κύκλο. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για την ταξινόμηση των εμπλεκόμενων φορέων σε ομάδες/clusters βάσει των ασαφών σχέσεων προτίμησης P_i είναι ο αλγόριθμος ασαφούς ταξινόμησης *Fuzzy C-Means (FCM)*, όπως παρουσιάζεται στην παρακάτω Εικόνα.

Algorithm 1 Fuzzy C-Means (FCM) Algorithm applied to experts' fuzzy preference relations

1. Set the number of cluster centres N , ($N \geq 2$), and degree of fuzziness b .
2. Initialize N clusters C_h , $h \in \{1, \dots, N\}$, by means of a cluster initialization technique.
3. **while** the stopping condition is not reached. **do**
4. Compute membership degrees of each preference relation P_i to each cluster centre C_h , $\mu_{C_h}(P_i) \in [0, 1]$, as follows:

$$\mu_{C_h}(P_i) = \frac{(1/d(P_i, C_h))^{1/(b-1)}}{\sum_{u=1}^N (1/d(P_i, C_u))^{1/(b-1)}}$$

5. Update cluster centres C_h :

$$C_h = \frac{\sum_{i=1}^m \mu_{C_h}(P_i) P_i}{\sum_{i=1}^m \mu_{C_h}(P_i)}$$

6. **end while**.

Εικόνα 2.19: Εφαρμογή του αλγόριθμου Fuzzy C-Means (FCM) στις ασαφείς σχέσεις προτίμησης

Η εφαρμογή του αλγόριθμου ξεκινά δίνοντας μία τιμή στην παράμετρο b , συνήθως $b \approx 2$ και ακολουθεί η αρχικοποίηση των clusters, δηλαδή ο ορισμός ενός κέντρου C_h^t για κάθε cluster. Η αρχικοποίηση γίνεται ως εξής:

- i) Το πρώτο cluster αρχικοποιείται ορίζοντας ως κέντρο του, C_1^t , τη συλλογική προτίμηση P_c^t του τρέχοντα κύκλου.
- ii) Το δεύτερο cluster αρχικοποιείται ορίζοντας ως κέντρο του, C_2^t , την τιμή προτίμησης P_i^t που έχει τη μεγαλύτερη απόσταση από τη συλλογική προτίμηση P_c^t .
- iii) Για C_h^t ($h \geq 3$), υπολογίζεται η ελάχιστη απόσταση ανάμεσα σε κάθε μία από τις εναπομείνουσες προτιμήσεις P_i^t και στα τρέχοντα κέντρα των clusters που έχουν ήδη αρχικοποιηθεί. Μεταξύ αυτών, επιλέγεται ως C_h^t η προτίμηση που εμφανίζει τη μέγιστη τιμή της ελάχιστης απόστασης, δηλαδή $\max_i (\min_{u < h} d(P_i^t, C_u^t))$.
- iv) Επαναλαμβάνεται το τρίτο βήμα, μέχρι να αρχικοποιηθούν όλα τα N clusters.

Στη συνέχεια τα κέντρα των clusters C_h^t ($h \geq 2$) καθώς και οι βαθμοί συμμετοχής $\mu_{C_h^t}(P_i^t)$ επικαιροποιούνται με μια επαναληπτική διαδικασία, όπως παρουσιάζεται στον αλγόριθμο της παραπάνω Εικόνας. Σημειώνεται ότι το C_1^t δεν μεταβάλλεται, ώστε η συλλογική προτίμηση P_c^t να παραμείνει το κέντρο ενός cluster.

Για τον υπολογισμό των αποστάσεων μεταξύ των σχέσεων προτίμησης των εμπλεκόμενων και των κέντρων των clusters, χρησιμοποιείται ένα κανονικοποιημένο μέτρο απόστασης, βασισμένο στην απόσταση Minkowski:

$$d(P_i^t, C_h^t) = p \sqrt[p]{\sum_{l,k,l \neq k} (p_i^{lkt} - c_h^{lkt})^p}$$

όπου $p > 0$ και $l, k \in \{1, \dots, n\}$.

Η διαδικασία επικαιροποίησης τερματίζεται όταν όλα τα clusters έχουν σταθεροποιηθεί. Αυτό συμβαίνει όταν η απόκλιση των βαθμών συμμετοχής μεταξύ δύο διαδοχικών επαναλήψεων πλησιάζει το μηδέν, δηλαδή όταν ισχύει:

$$\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{h=1}^N \left| \mu_{C_h^t}^y(P_i^t) - \mu_{C_h^{t-1}}^{y-1}(P_i^t) \right|}{m \cdot N} \leq \epsilon$$

όπου $y \in \mathbb{N}$ η τρέχουσα επανάληψη του αλγόριθμου και ϵ είναι ένα κατώφλι (κοντά στο μηδέν) που χρησιμοποιείται σαν συνθήκη τερματισμού.

Αφού εφαρμοστεί ο παραπάνω αλγόριθμος, γίνεται ο εντοπισμός των μη συνεργατικών συμπεριφορών, τόσο στο επίπεδο των υπο-ομάδων (clusters), αλλά και σε επιμέρους εμπλεκόμενους. Ο εντοπισμός των ομάδων με μη συνεργατική συμπεριφορά σε κάθε κύκλο t βασίζεται στους ακόλουθους τρεις κανόνες:

- R1. Υπάρχει ένα cluster με «όμοια» σύνθεση με το C_h^t στον κύκλο $t - 1$. Ορίζεται ένα κατώφλι ομοιότητας $\kappa \in [0,1]$, έτσι ώστε όταν το μέτρο ομοιότητας δύο clusters ξεπεράσει την τιμή αυτή, τα clusters θεωρούνται όμοια.
- R2. Η απόσταση μεταξύ των C_h^t και P_c^t αυξάνεται. Ορίζεται ένα κατώφλι $\nu \in [0,1]$, έτσι ώστε μία απόσταση μικρότερη του ν σημαίνει ότι τα κέντρα των clusters βρίσκονται αρκετά κοντά και δεν απαιτείται η συνέχιση της διαδικασίας.
- R3. Η συμμετοχή των εμπλεκόμενων στο C_h^t αυξάνεται ή η συμμετοχή των εμπλεκόμενων στο P_c^t μειώνεται.

Όταν και οι τρεις από τους κανόνες αυτούς ικανοποιούνται από ένα cluster C_h^t , αυτό θεωρείται ένα cluster με μη συνεργατική συμπεριφορά από τους εμπλεκόμενους που συμμετέχουν σε αυτό, των οποίων οι προτιμήσεις πρέπει να μεταβληθούν με στόχο να αυξηθεί το επίπεδο ομοφωνίας. Σημειώνεται ότι αυτός ο μηχανισμός εντοπισμού εφαρμόζεται πρώτη φορά στον δεύτερο κύκλο συζήτησης.

Ο εντοπισμός των επιμέρους, ατομικών μη συνεργατικών συμπεριφορών, που ονομάζονται *outliers* και σχετίζονται με μια σχέση προτίμησης P_i^t , γίνεται με την εφαρμογή δύο διαφορετικών κανόνων:

- R1. Η P_i δεν εμφανίζει υψηλό βαθμό συμμετοχής σε κανένα cluster. Ορίζεται ένα κατώφλι συμμετοχής $\delta \in [0,1]$, τέτοιο ώστε όταν $\mu_{C_h^t}^t(P_i^t) < \delta, \forall h \in \{1, \dots, N\}$, θεωρείται ότι η P_i^t δεν εμφανίζει υψηλό βαθμό συμμετοχής σε κανένα cluster.
- R2. Υψηλή/αυξανόμενη απόσταση από την P_c . Η απόσταση από τη συλλογική τιμή προτίμησης P_c^t αυξάνεται ή είναι υψηλότερη από τη μέση απόσταση μεταξύ των προτιμήσεων όλων των εμπλεκόμενων και της P_c^t .

Ο συγκεκριμένος μηχανισμός εντοπισμού των *outliers* εφαρμόζεται στα τελικά στάδια της διαδικασίας επίτευξης ομοφωνίας, δηλαδή όταν έχουν προχωρήσει οι κύκλοι συζητήσεων και ο βαθμός ομοφωνίας cr πλησιάζει το κατώφλι μ . Μπορεί επίσης να οριστεί ένα επιπλέον κατώφλι ομοφωνίας $\gamma < \mu, \gamma \in [0,1]$, το οποίο καθορίζει πότε θα ενεργοποιηθεί ο μηχανισμός εντοπισμού των *outliers*.

Αφού εντοπιστούν οι μη συνεργατικές συμπεριφορές, ακολουθεί μια μέθοδος για τη διαχείριση των εμπλεκόμενων που εμφανίζουν αυτές τις συμπεριφορές. Η μέθοδος συνίσταται στη μείωση της

βαρύτητας των αντίστοιχων προτιμήσεων. Όπως προαναφέρθηκε στην περιγραφή του μοντέλου ομοφωνίας, σε κάθε εμπλεκόμενο $e_i \in E$ αποδίδεται ένα βάρος $w_i \in [0,1]$. Στη αρχή της διαδικασίας επίτευξης ομοφωνίας, όλοι οι εμπλεκόμενοι έχουν το μέγιστο βάρος, δηλαδή $w_i = 1 \forall i$, το οποίο επικαιροποιείται στη συνέχεια, ανάλογα με τη συμπεριφορά που εμφανίζεται.

Αν ένα cluster C_h^t περιλαμβάνει μη συνεργατικές συμπεριφορές στον κύκλο $t \geq 2$, σε κάθε σχέση προτίμησης των εμπλεκόμενων $P_i^t \in C_h^t$ εφαρμόζεται η διαδικασία που παρουσιάζεται στον αλγόριθμο της παρακάτω εικόνας, ώστε να επικαιροποιηθούν τα αντίστοιχα βάρη w_i .

Algorithm 2 Procedure to update weights in a detected non cooperating subgroup, C_h^t

1. **for** each expert preference relation $P_i^t, i \in \{1, \dots, m\}$
do
2. **if** C_h^t is the cluster to which P_i^t belongs the most, i.e. $\mu_{C_h^t}(P_i^t) = \max_u \mu_{C_u^t}(P_i^t), u \in \{1, \dots, N\}$. **then**
3. Compute $w_{i_{new}}$ upon current weight w_i , as follows:
$$w_{i_{new}} = w_i \left(1 - \frac{d(P_i^t, C_1^t)}{\max_j d(P_j^t, C_1^t)} \right)$$
4. Assign $w_i \leftarrow w_{i_{new}}$.
5. **end if**
6. **end for**

Εικόνα 2.20: Διαδικασία επικαιροποίησης της βαρύτητας μη συνεργατικών clusters

Η διαδικασία επικαιροποίησης των ατομικών μη συνεργατικών συμπεριφορών (των outliers) αποτελείται από την εφαρμογή των βημάτων 3 και 4 του παραπάνω αλγόριθμου για την αντίστοιχη προτίμηση P_i^t . Με την εξίσωση υπολογισμού του νέου βάρους $w_{i_{new}}$ για τον εμπλεκόμενο e_i διασφαλίζεται ότι η νέα αυτή τιμή οριοθετείται στο διάστημα $[0, w_i] \subseteq [0,1]$ και $w_{i_{new}} < w_i$.

Η μείωση της βαρύτητας των εμπλεκόμενων στο κύκλο t επηρεάζει, όπως προκύπτει από το μοντέλο ομοφωνίας (βλ. Μέθοδο επίτευξης ομοφωνίας 3), δύο βήματα στον κύκλο $t + 1$: Τον υπολογισμό της μήτρας ομοφωνίας CM και τον υπολογισμό της συλλογικής προτίμησης P_c . Κατά τον υπολογισμό της μήτρας CM από τη συνάθροιση των τιμών ομοιότητας sm_{ij}^{lk} κάθε ζεύγους εμπλεκόμενων, είναι απαραίτητος ο συνδυασμός των βαρών w_i και w_j ώστε να προκύψει το βάρος w_{ij} . Εδώ γίνεται η υπόθεση ότι όταν έστω και ένας από τους εμπλεκόμενους του ζεύγους (e_i, e_j) έχει υποστεί μείωση της βαρύτητάς του, τότε το βάρος w_{ij} πρέπει επίσης να μειωθεί και, για το λόγο αυτό, προτείνεται $w_{ij} = \min(w_i, w_j)$.

2.2.3.1.6 Μέθοδος επίτευξης ομοφωνίας 6

Το μοντέλο ομοφωνίας που περιγράφεται στη συνέχεια παρουσιάστηκε από τους Kasprzyk et al [11] και βασίζεται στην έννοια της «ήπιας» ομοφωνίας (*soft consensus*), σε προβλήματα με ασαφείς σχέσεις προτίμησης. Οι βαθμοί ομοφωνίας υπολογίζονται σε διάφορα επίπεδα, χρησιμοποιώντας τον τελεστή OWA, και ο μηχανισμός ανατροφοδότησης εντοπίζει τα ζεύγη εναλλακτικών με τη χαμηλότερη ομοφωνία και παρέχει συστάσεις στους αντίστοιχους εμπλεκόμενους φορείς.

Αναλυτικότερα, έστω ένα σύνολο n εναλλακτικών $O = \{o_1, \dots, o_n\}$ και ένα σύνολο m εμπλεκόμενων $E = \{e_1, \dots, e_m\}$. Κάθε εμπλεκόμενος e_k παρέχει την ατομική του ασαφή σχέση προτίμησης P_k , που δίνεται από την αντίστοιχη συνάρτηση συμμετοχής $\mu_{P_k}: O \times O \rightarrow [0,1]$, η οποία μπορεί να απεικονιστεί με μια μήτρα $[r_{ij}^k]$ τέτοια ώστε $r_{ij}^k = \mu_{P_k}(o_i, o_j): i, j = 1, \dots, n; k = 1, \dots, m; r_{ij}^k + r_{ji}^k = 1$.

Ο βαθμός ομοφωνίας εξάγεται σε τρία στάδια. Αρχικά, για κάθε ζεύγος εμπλεκόμενων υπολογίζεται ένας βαθμός συμφωνίας ως προς τις προτιμήσεις τους μεταξύ όλων των ζευγών εναλλακτικών. Στη συνέχεια, οι βαθμοί αυτοί συναθροίζονται για να προκύψει ένας βαθμός συμφωνίας κάθε ζεύγους εμπλεκόμενων ως προς τις προτιμήσεις τους μεταξύ των $Q1$ (ένας ασαφής γλωσσικός ποσοτικοποιητής, π.χ. *most, almost all, much more than 50%*) ζευγών εναλλακτικών και τελικά, με τη συνάθροιση και αυτών των βαθμών προκύπτει ένας βαθμός συμφωνίας των $Q2$ (ένας άλλος ασαφής γλωσσικός ποσοτικοποιητής) ζευγών εμπλεκόμενων ως προς τις προτιμήσεις τους μεταξύ των $Q1$ ζευγών εναλλακτικών. Ο τελευταίος βαθμός αποτελεί και το βαθμό ομοφωνίας.

Ο βαθμός (πλήρους) συμφωνίας μεταξύ των εμπλεκόμενων e_{k1} και e_{k2} ως προς τις προτιμήσεις τους για τις εναλλακτικές o_i και o_j υπολογίζεται ως εξής:

$$v_{ij}(k1, k2) = \begin{cases} 1 & \text{αν } r_{ij}^{k1} = r_{ij}^{k2} \\ 0 & \text{διαφορετικά} \end{cases}$$

όπου $k1 = 1, \dots, m-1; k2 = k1 + 1, \dots, m; i = 1, \dots, n-1; j = i + 1, \dots, n$.

Ο βαθμός συμφωνίας μεταξύ των εμπλεκόμενων $k1$ και $k2$ ως προς τις προτιμήσεις τους για όλα τα ζεύγη εναλλακτικών είναι:

$$v(k1, k2) = \frac{2}{n(n-1)} \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n v_{ij}(k1, k2)$$

Ο βαθμός συμφωνίας μεταξύ των εμπλεκόμενων $k1$ και $k2$ ως προς τις προτιμήσεις τους για τα $Q1$ ζεύγη εναλλακτικών είναι:

$$v_{Q1}(k1, k2) = OWA_{Q1}(\{v_{ij}(k1, k2)\}_{1 \leq i < j \leq n})$$

όπου $OWA_{Q1}(\cdot)$ είναι η συνάθροιση των $v_{ij}(k1, k2)$ ως προς τα $Q1$, μέσω του τελεστή OWA διάστασης $\frac{n(n-1)}{2}$.

Στη συνέχεια, ο βαθμός συμφωνίας όλων των ζευγών εμπλεκόμενων ως προς τις προτιμήσεις τους για τα $Q1$ ζεύγη εναλλακτικών είναι:

$$v_{Q1} = \frac{2}{m(m-1)} \sum_{k1=1}^{m-1} \sum_{k2=k1+1}^m (v_{Q1}(k1, k2))$$

Τελικά, ο βαθμός συμφωνίας των $Q2$ ζευγών εναλλακτικών ως προς τις προτιμήσεις τους για τα $Q1$ ζεύγη εναλλακτικών, που ονομάζεται *βαθμός $Q1/Q2$ ομοφωνίας*, δίνεται από τη σχέση:

$$con(Q1, Q2) = OWA_{Q2}(\{v_{Q1}(k1, k2)\}_{1 \leq k1 < k2 \leq m})$$

όπου $OWA_{Q2}(\cdot)$ ορίζεται όμοια με το $OWA_{Q1}(\cdot)$.

Επειδή η πλήρης συμφωνία μπορεί να θεωρείται υπερβολικά αυστηρή, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο βαθμός *επαρκούς συμφωνίας* (τουλάχιστον έως ένα βαθμό $a \in [0,1]$) των εμπλεκόμενων e_{k1} και e_{k2}

ως προς τις προτιμήσεις τους για τις εναλλακτικές o_i και o_j , καθώς και ο βαθμός ισχυρής συμφωνίας των εμπλεκόμενων k_1 και k_2 ως προς τις προτιμήσεις τους για τις εναλλακτικές s_i και s_j . Με αυτό τον τρόπο προκύπτουν οι βαθμοί $a/Q_1/Q_2$ ομοφωνίας και $s/Q_1/Q_2$ ομοφωνίας, αντίστοιχα.

Μετά τον υπολογισμό της ομοφωνίας και σε περίπτωση που αυτή δεν έχει φτάσει στο επιθυμητό επίπεδο, χρησιμοποιείται ένα μηχανισμός ανατροφοδότησης που προτείνεται από τους Kasprzyk et al [51]. Ο συγκεκριμένος μηχανισμός ελέγχει, σε κάθε κύκλο συζήτησης, τις επιμέρους σχέσεις προτίμησης και τα σχετικά επιχειρήματα που υποβάλλουν οι εμπλεκόμενοι στον τρέχοντα κύκλο. Εάν εντοπιστεί μεγάλη απόκλιση στις προτιμήσεις που αφορούν ένα συγκεκριμένο ζεύγος εναλλακτικών, τότε το σύστημα προχωρά σε περαιτέρω ανάλυση των σχετικών επιχειρημάτων των εμπλεκόμενων. Για την παροχή συμβουλών και συστάσεων στους εμπλεκόμενους σχετικά με το ζεύγος εναλλακτικών, χρησιμοποιούνται ορισμένοι κανόνες. Ένας από αυτούς, αυτός που εφαρμόζεται και στο AFRYCA, είναι ο κανόνας της *έλλειψης επιχειρημάτων*. Σύμφωνα με τον κανόνα αυτό, αν ένας εμπλεκόμενος εκφράζει ισχυρή προτίμηση για μία από τις εναλλακτικές του ζεύγους, χωρίς να έχει υποβάλει σχετικά επιχειρήματα, τότε του γίνεται η σύσταση να το κάνει. Με τον τρόπο αυτό, είναι πιθανό να μεταβληθεί η αντίστοιχη προτίμηση και να αυξηθεί ο βαθμός ομοφωνίας. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρι να επιτευχθεί ένας ικανοποιητικός βαθμός ομοφωνίας ή μέχρι ο αριθμός των κύκλων συζήτησης να φτάσει στο μέγιστο (που καθορίζεται κατά την έναρξη εφαρμογής του μοντέλου).

2.2.3.1.7 Μέθοδος επίτευξης ομοφωνίας 7

Το μοντέλο ομοφωνίας που ακολουθεί αναπτύχθηκε κυρίως για τη διαχείριση προβλημάτων συλλογικής λήψης αποφάσεων μεγάλης κλίμακας. Παρουσιάστηκε από τους Rodriguez et al [29] και βασίζεται σε μια διαδικασία ταξινόμησης των εμπλεκόμενων (clustering) για την απόδοση βαρύτητας στις υποομάδες αυτών, καθώς και στη χρήση διστακτικών σαφών συνόλων για τη μοντελοποίηση των προτιμήσεων με τη μικρότερη δυνατή απώλεια πληροφορίας. Επίσης, περιλαμβάνει ένα μηχανισμό ανατροφοδότησης για την παροχή συμβουλών, που βασίζεται στην υπάρχουσα ομοφωνία και στοχεύει στον περιορισμό του χρόνου της διαδικασίας επίτευξης ομοφωνίας.

Σε ένα πρόβλημα συλλογικής λήψης αποφάσεων μεγάλης κλίμακας, τα βασικά στοιχεία είναι δύο: ένα σύνολο εναλλακτικών $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ και ένας πολύ μεγάλος αριθμός εμπλεκόμενων φορέων $E = \{e_1, \dots, e_m\}$, με $m \gg n$. Το συγκεκριμένο μοντέλο εισάγει δύο νέες φάσεις στο γενικό σχήμα της διαδικασίας επίτευξης ομοφωνίας: τη διαχείριση των υποομάδων των εμπλεκόμενων και έναν μηχανισμό ανατροφοδότησης που προσαρμόζεται στο τρέχον επίπεδο ομοφωνίας μεταξύ των εμπλεκόμενων.

Διαχείριση υποομάδων

Για τον εντοπισμό των ομάδων εμπλεκόμενων με παρόμοιες απόψεις, χρησιμοποιείται ένας προσαρμοσμένος αλγόριθμος Fuzzy C-Means που αποδίδει σε κάθε στοιχείο του κάθε cluster έναν βαθμό συμμετοχής, σύμφωνα με την απόσταση του στοιχείου από το κέντρο του cluster. Όσο πιο κοντά βρίσκεται ένα στοιχείο στο κέντρο, τόσο υψηλότερος είναι ο βαθμός συμμετοχής του. Τα κέντρα των clusters και οι βαθμοί συμμετοχής επικαιροποιούνται μέσα από μια επαναληπτική διαδικασία, μέχρι να βρεθεί η βέλτιστη λύση.

Ο αρχικός αριθμός των clusters στη συγκεκριμένη περίπτωση λαμβάνεται ίσος με τον αριθμό των εναλλακτικών, δηλαδή $C = \{C^1, \dots, C^n\}$, ώστε να εντοπιστούν αρχικά ομάδες εμπλεκόμενων που στηρίζουν την κάθε εναλλακτική. Κάθε cluster αντιπροσωπεύεται από ένα κέντρο $c^l, l \in \{1, \dots, n\}$, το οποίο αποτελείται από μια ασαφή σχέση προτίμησης που ιδανικά εκφράζει την προτίμησης της αντίστοιχης εναλλακτικής έναντι όλων των υπολοίπων. Δηλαδή για την εναλλακτική x_k , το κέντρο c^k περιλαμβάνει τις προτιμήσεις $c^{kj} = 1, c^{jk} = 0 (j \in \{1, \dots, n\})$ και οι υπόλοιπες τιμές είναι 0.5, το οποίο εκφράζει αδιαφορία. Τα κέντρα των clusters υπολογίζονται σε κάθε κύκλο συζήτησης t και ο βαθμός συμμετοχής της ασαφούς σχέσης προτίμησης P^r κάθε εμπλεκόμενου e_r σε κάθε κέντρο $c^{l,t}$, που συμβολίζεται με $\mu_{c^{l,t}}(P^r) \in [0,1]$, υπολογίζεται ως εξής:

$$\mu_{c^{l,t}}(P^r) = \frac{(1/d(P^r, c^{l,t}))^{1/(b-1)}}{\sum_{u=1}^n (1/d(P^r, c^{u,t}))^{1/(b-1)}}$$

όπου $d(P^r, c^{l,t})$ είναι η απόσταση Minkowski, t ο τρέχων κύκλος συζήτησης και η παράμετρος b εκφράζει το βαθμό ασάφειας των clusters. Μία συνήθης τιμή είναι $b = 2$. Η απόσταση Minkowski ορίζεται από τη σχέση:

$$d(P^r, c^{l,t}) = \left(\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n |p_{ij}^r - c_{ij}^{l,t}|^\lambda \right)^{1/\lambda}$$

με $\lambda > 0$. Στο συγκεκριμένο μοντέλο λαμβάνεται $\lambda=2$ και προκύπτει η Ευκλείδεια απόσταση.

Η σχέση προτίμησης P^r του εμπλεκόμενου e_r αποδίδεται στο cluster για το οποίο ο βαθμός συμμετοχής είναι ο μέγιστος, δηλαδή $C^{l,t}(P^r) = \operatorname{argmax}_l \mu_{c^{l,t}}(P^r)$.

Τα νέα κέντρα υπολογίζονται σύμφωνα με τις σχέσεις προτίμησης των εμπλεκόμενων που περιλαμβάνονται σε κάθε cluster:

$$c_{ij}^{l,t+1} = \frac{1}{|C^{l,t}|} \sum_{P^r \in C^{l,t}} p_{ij}^r, i, j \in \{1, \dots, n\}$$

όπου $|C^{l,t}|$ είναι ο αριθμός των σχέσεων προτίμησης που ανήκουν στο cluster C^l κατά τον κύκλο t .

Ο αλγόριθμος σταματάει όταν όλα τα clusters σταθεροποιηθούν. Αυτό συμβαίνει όταν η απόκλιση των βαθμών συμμετοχής μεταξύ δύο διαδοχικών κύκλων πλησιάζει στο μηδέν, δηλαδή όταν:

$$\frac{\sum_{r=1}^m \sum_{l=1}^n |\mu_{c^{l,t}}(P^r) - \mu_{c^{l,t-1}}(P^r)|}{m \cdot n} \leq \epsilon$$

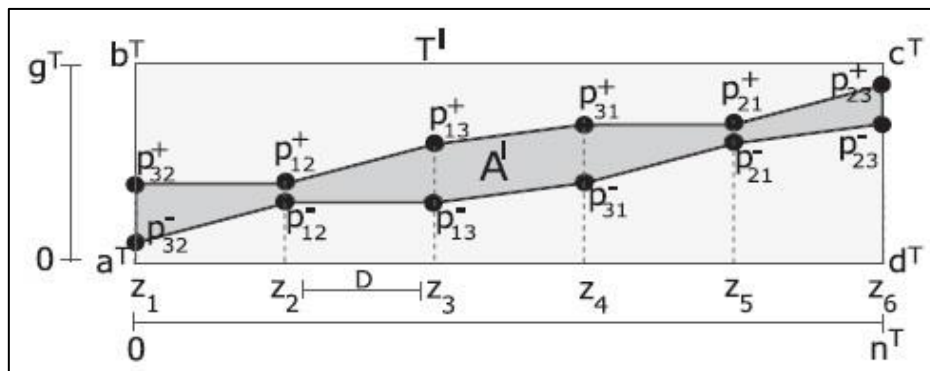
όπου ϵ μία τιμή- κατώφλι που πρέπει να πλησιάζει στο μηδέν. Το αποτέλεσμα της διαδικασίας είναι τα clusters C^l που περιλαμβάνουν μια υποομάδα εμπλεκόμενων, G^l , με παρόμοιες απόψεις.

Η ταξινόμηση των εμπλεκόμενων βάσει της ομοιότητας στις προτιμήσεις τους έχει ως στόχο την αντιμετώπιση των προβλημάτων που εμφανίζονται εξαιτίας της μεγάλης κλίμακας, δηλαδή του μεγάλου αριθμού εμπλεκόμενων. Όμως, στο σημείο αυτό είναι απαραίτητη και η προσομοίωση των προτιμήσεων των υποομάδων, με τέτοιο τρόπο ώστε να μην υπάρχει απώλεια πληροφορίας. Για το λόγο αυτό, στο συγκεκριμένο μοντέλο λαμβάνεται υπόψη το γεγονός ότι παρόλο που οι προτιμήσεις των εμπλεκόμενων σε μια υποομάδα είναι παρόμοιες, εμφανίζεται και ένα είδος διστακτικότητας σχετικά με αυτές τις προτιμήσεις.

Έτσι, έστω $G^l = \{e_1^l, \dots, e_k^l\}$ είναι το υποσύνολο των εμπλεκόμενων που ανήκουν στο cluster G^l , των οποίων οι σχέσεις προτίμησης είναι $P^{lk} = (p_{ij}^{lk})_{n \times n}$. Από αυτές τις σχέσεις προτίμησης δημιουργείται μια διστακτική ασαφής σχέση προτίμησης (Hesitant Fuzzy Preference Relation – HFPR) $HP^l = (h_{ij}^l)_{n \times n}$, $l \in (1, \dots, n)$, η οποία συγχωνεύει όλες τις προτιμήσεις των εμπλεκόμενων στο G^l , έτσι ώστε $h_{ij}^l = \{p_{ij}^{lk} | k = 1, \dots, |G^l|\}$. Όπου $|G^l|$ είναι το πλήθος των όρων του G^l και θα αποτελέσει τον αριθμό των προτιμήσεων στο Διστακτικό Ασαφές Στοιχείο (HFE), $\#h_{ij}^l$, που αντιπροσωπεύει την προτίμηση του υποσυνόλου για το ζεύγος εναλλακτικών (x_i, x_j) , η οποία προέρχεται από όλους τους εμπλεκόμενους στο G^l . Με τον τρόπο αυτό, ο μεγάλος αριθμός των εμπλεκόμενων $E = \{e_1, \dots, e_m\}$ και οι αντίστοιχες σχέσεις προτίμησης P^r , αντικαθίστανται από έναν μικρότερο αριθμό υποσυνόλων G^l και τις αντίστοιχες διστακτικές ασαφείς σχέσεις προτίμησης HP^l , τα οποία αποτελούν δεδομένα εισόδου στο μοντέλο επίτευξης ομοφωνίας.

Για τον υπολογισμό της βαρύτητας των υποσυνόλων εμπλεκόμενων, λαμβάνονται υπόψη δύο στοιχεία: το μέγεθος του υποσυνόλου, δηλαδή ο αριθμός των εμπλεκόμενων που συμμετέχουν σε αυτό, και η συνοχή, δηλαδή το επίπεδο σύμπτωσης μεταξύ των προτιμήσεων στο υποσύνολο. Έτσι, όσο μεγαλύτερο το υποσύνολο τόσο μεγαλύτερη και η βαρύτητά του και όσο μεγαλύτερη συνοχή υπάρχει στο υποσύνολο, τόσο αυξάνεται η βαρύτητά του.

Η συνοχή των προτιμήσεων των εμπλεκόμενων $HP^l = (h_{ij}^l)_{n \times n}$ ενός υποσυνόλου G^l παρουσιάζεται γεωμετρικά, για λόγους σαφήνειας. Αρχικά, υπολογίζεται η περιοχή που οριοθετείται από τις μέγιστες και ελάχιστες εκτιμήσεις h_{ij}^l για ένα σύνολο εναλλακτικών X . Για παράδειγμα, έστω $G^l = \{e_1, e_2\}$ είναι ένα υποσύνολο εμπλεκόμενων, $X = \{x_1, x_2, x_3\}$ ένα σύνολο εναλλακτικών και HP^l η διστακτική ασαφής σχέση προτίμησης που αντιπροσωπεύει τις προτιμήσεις του υποσυνόλου G^l . Οι βαθμοί προτίμησης h_{ij}^l που προκύπτουν από τους εμπλεκόμενους για το ζεύγος εναλλακτικών (x_i, x_j) παρουσιάζονται στην παρακάτω Εικόνα.



Εικόνα 2.21: Γραφική παράσταση για τον υπολογισμό της συνοχής ενός υποσυνόλου [29]

Ο οριζόντιος άξονας στην παραπάνω εικόνα αντιπροσωπεύει ένα διακριτό σύνολο Z , που δημιουργείται από όλα τα ζεύγη εναλλακτικών του X , όπου κάθε ζεύγος $z_t = (x_i, x_j)$, $i, j \in \{1,2,3\}$, $i \neq j$ τοποθετείται σε ίσες αποστάσεις στον άξονα. Για κάθε ζεύγος προσδιορίζεται η μέγιστη p_{ij}^+ και η ελάχιστη p_{ij}^- προτίμηση. Σημειώνεται ότι στη συγκεκριμένη περίπτωση, τα ζεύγη εναλλακτικών τοποθετούνται στον οριζόντιο άξονα με τέτοιο τρόπο ώστε οι ελάχιστες προτιμήσεις να εμφανίζονται με αύξουσα σειρά. Η συνοχή του G^l σχετίζεται με την γκρι περιοχή A της εικόνας (όσο μεγαλύτερη η A τόσο μικρότερη η συνοχή) και υπολογίζεται ως εξής:

Έστω T^l η συνολική επιφάνεια που ορίζεται από τα σημεία a^T, b^T, c^T, d^T , δηλαδή $T^l = g^T \times n^T$, όπου g^T το ύψος του ορθογωνίου και $n^T = (n^2 - n) - 1$ αντιστοιχεί στον αριθμό των ζευγών εναλλακτικών. Έστω, επίσης, $U_{i,j \in n, i \neq j} \{(i, j)\}$ είναι τα n^T ζεύγη εναλλακτικών, που προκύπτουν από το σύνολο $X = \{x_1, \dots, x_n\}$. Οι αξιολογήσεις p_{ij}^+ και p_{ij}^- για κάθε p_{ij} , λαμβάνοντας υπόψη όλες τις προτιμήσεις στο G^l , προκύπτουν από τις παρακάτω σχέσεις:

$$p_{ij}^- = \min\{p_{ij}^1, p_{ij}^2, \dots, p_{ij}^s\}, \quad \forall (i, j) \in I$$

$$p_{ij}^+ = \max\{p_{ij}^1, p_{ij}^2, \dots, p_{ij}^s\}, \quad \forall (i, j) \in I$$

ενώ το πρώτο και το τελευταίο ζεύγος εναλλακτικών στον οριζόντιο άξονα, από τις σχέσεις:

$$p_{ab}^- = \min_{i,j \in I} \{p_{ij}^-\}, \quad (a, b) \in I$$

$$p_{cd}^+ = \max_{i,j \in I} \{p_{ij}^-\}, \quad (c, d) \in I$$

Στη συνέχεια, ορίζεται μια συνάρτηση f που επιστρέφει τους δείκτες ενός ζεύγους εναλλακτικών, ως εξής:

$$f: \{z_1, z_2, \dots, z_{n(n-1)}\} \rightarrow I$$

όπου $f(z_1) = (a, b) \in I$, έτσι ώστε $p_{ab}^- = \min_{i,j \in I} \{p_{ij}^-\}$,

$f(z_t) = (e, f) \in I$ όπου $p_{ef}^- = \min_{i,j \in I / \{f(z_1), f(z_2), \dots, f(z_{t-1})\}} \{p_{ij}^-\}$,

$f(z_{n(n-1)}) = (e, f) \in I$ όπου $p_{ef}^- = \min_{i,j \in I / \{f(z_1), f(z_2), \dots, f(z_{n(n-1)-1})\}} \{p_{ij}^-\} = \max_{i,j \in I} \{p_{ij}^-\}$,

επομένως $f(z_{n(n-1)}) = (c, d) \in I$. Η επιφάνεια A^l μεταξύ της μέγιστης και της ελάχιστης προτίμησης υπολογίζεται από τη σχέση:

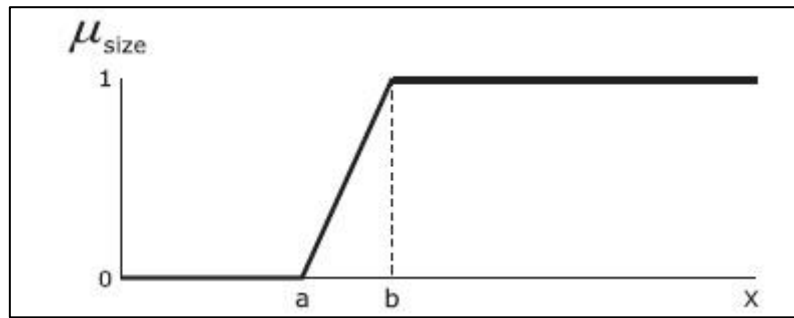
$$A^l = \left[\sum_{i,j \in I} (p_{ij}^+ - p_{ij}^-) - \frac{(p_{ab}^+ - p_{ab}^-) + (p_{cd}^+ - p_{cd}^-)}{2} \right] \cdot D$$

όπου D είναι η απόσταση μεταξύ των z_i και z_{i+1} .

Τελικά, η συνοχή του υποσυνόλου G^l των εμπλεκόμενων προκύπτει από τη σχέση:

$$cohesion(G^l) = 1 - \frac{A^l}{T^l}$$

Αναφορικά με το μέγεθος του υποσυνόλου G^l , η τιμή του προκύπτει απευθείας από τη διαδικασία προσδιορισμού των υποσυνόλων, αλλά η αναπαράστασή του πρέπει να προσαρμοστεί στον αριθμό των εμπλεκόμενων φορέων του προβλήματος. Για το λόγο αυτό, προτείνεται μια διαδικασία προσαρμογής που βασίζεται στην υπολογιστική με γλωσσικούς όρους, στην οποία το μέγεθος μοντελοποιείται με μία ασαφή συνάρτηση συμμετοχής μ_{size} , όπως παρουσιάζεται στην παρακάτω Εικόνα, τέτοια ώστε ο βαθμός συμμετοχής αντικατοπτρίζει την επιρροή του υποσυνόλου στο σύνολο των εμπλεκόμενων του προβλήματος.



Εικόνα 2.22: Συνάρτηση συμμετοχής για το μέγεθος του υποσυνόλου [29]

Τα σημεία a, b της παραπάνω συνάρτησης συμμετοχής εξαρτώνται από τον αριθμό των εναλλακτικών και των εμπλεκόμενων φορέων στο πρόβλημα συλλογικής λήψης αποφάσεων, όπου ο υψηλότερος βαθμός συμμετοχής αντιστοιχεί σε τιμές μεγαλύτερες του b και ο χαμηλότερος βαθμός συμμετοχής σε τιμές μικρότερες του a .

Στην επόμενη φάση, για τον υπολογισμό της βαρύτητας των υποσυνόλων, οι τιμές του μεγέθους και της συνοχής κάθε υποσυνόλου συναθροίζονται. Ορίζεται μία συνάρτηση για τη συνάθροιση και των δύο αυτών τιμών. Έστω $Y_{G^l} = \{y_1, y_2\}$ είναι οι τιμές που προκύπτουν για τη συνοχή και το μέγεθος του υποσυνόλου G^l αντίστοιχα, $y_1, y_2 \in [0,1]$, οι οποίες συναθροίζονται ως εξής:

$$\varphi(Y_{G^l}) = (1 + y_2)^{y_1\beta}$$

όπου $\beta > 0$ μία παράμετρος που αυξάνει/μειώνει την επιρροή της συνοχής στον υπολογισμό της βαρύτητας του υποσυνόλου. Οι τιμές $\varphi(Y_{G^l})$ αντιπροσωπεύουν τη συνάφεια του υποσυνόλου G^l . Οι τιμές αυτές τελικά κανονικοποιούνται και προκύπτει το βάρος του υποσυνόλου:

$$w_l = \frac{\varphi(Y_{G^l})}{\sum_{z=1}^n \varphi(Y_{G^z})}, \forall l \in \{1, \dots, n\}$$

Υπολογισμός βαθμού ομοφωνίας

Για κάθε ζεύγος υποσυνόλων G^l και G^k υπολογίζεται η μήτρα ομοιότητας $SM^{lk} = (sm_{ij}^{lk})_{n \times n}$, με $sm_{ij}^{lk} \in [0,1]$ η ομοιότητα μεταξύ των h_{ij}^l και h_{ij}^k :

$$sm_{ij}^{lk} = 1 - d(h_{ij}^l, h_{ij}^k)$$

όπου d η Ευκλείδεια απόσταση μεταξύ των HFEs.

Οι μήτρες ομοιότητας συναθροίζονται για να προκύψει μια μήτρα ομοφωνίας $CM = (cm_{ij})_{n \times n}$, χρησιμοποιώντας τον αριθμητικό μέσο όρο:

$$cm_{ij} = \frac{\sum_{u=1}^{l-1} \sum_{k=u+1}^l sm_{ij}^{lk}}{l(l-1)/2}$$

όπου $l(l-1)/2$ είναι ο αριθμός των συγκρίσεων στα ζεύγη των υποσυνόλων.

Ο βαθμός ομοφωνίας υπολογίζεται σε δύο διαφορετικά επίπεδα:

- Σε επίπεδο εναλλακτικών (ca_i): Ο βαθμός ομοφωνίας κάθε εναλλακτικής $x_i \in X$ δίνεται από τη σχέση:

$$ca_i = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1, i \neq j}^n cm_{ij}$$

- Σε επίπεδο σχέσης προτίμησης (cr): Ο βαθμός ομοφωνίας ανάμεσα σε όλους τους εμπλεκόμενους φορείς που συμμετέχουν σε ένα πρόβλημα υπολογίζεται ως:

$$cr = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n ca_i$$

Μηχανισμός ανατροφοδότησης

Όταν ο βαθμός ομοφωνίας σε ένα κύκλο συζήτησης δεν είναι αρκετά υψηλός, δηλαδή $cr < \vartheta$, όπου $\vartheta \in [0,1]$ το κατώφλι ομοφωνίας, τότε απαιτείται ένας επιπλέον κύκλος για να αυξηθεί η ομοφωνία μεταξύ των εμπλεκόμενων. Εξαιτίας του ότι στόχος του συγκεκριμένου μοντέλου είναι και η μείωση του κόστους (σε χρόνο), προτείνεται μια προσαρμοστική διαδικασία για την παροχή συμβουλών, που βασίζεται στο επίπεδο ομοφωνίας που έχει ήδη επιτευχθεί. Οι συμβουλές απευθύνονται είτε στο σύνολο της ομάδας είτε σε επιμέρους εμπλεκόμενους. Η ανατροφοδότηση βασίζεται στο κατώφλι ομοφωνίας ϑ που ορίζεται για την επίτευξη ομοφωνίας, και σε μία παράμετρο $\delta < \vartheta$, $\delta \in [0,1]$, που χρησιμοποιείται για να καθορίσει το επίπεδο ομοφωνίας (υψηλό ή χαμηλό), βάσει του οποίου εφαρμόζονται οι ανάλογοι κανόνες για την παροχή συμβουλών.

Αρχικά υπολογίζεται μια συλλογική μήτρα που αντιπροσωπεύει τη συλλογική άποψη όλων των εμπλεκόμενων φορέων, μέσω της συνάθροισης των κανονικοποιημένων HFPRs $\{\overline{HP}^1, \dots, \overline{HP}^n\}$. Για τη συνάθροιση χρησιμοποιείται ο τελεστής *Hesitant Fuzzy Weighted Average*. Έστω $\overline{HP}^l = (\overline{h}_{ij}^l)_{n \times n}$, ($l = 1, \dots, n$) είναι οι κανονικοποιημένες HFPRs των n υποσυνόλων G^l και $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ το διάνυσμα των βαρών τους. Η συλλογική HFPR $HP^C = (h_{ij}^C)_{n \times n}$ υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$h_{ij}^C = \oplus_{l=1}^n (w_l \overline{h}_{ij}^l) = \bigcup_{\overline{v}_{ij}^{l,s} \in \overline{h}_{ij}^l} \left\{ \sum_{l=1}^n w_l \overline{v}_{ij}^{l,s} \right\}, \quad \forall i, j \in \{1, \dots, n\}$$

όπου HP^C μια κανονικοποιημένη HFPR.

Η εγγύτητα ανάμεσα σε κάθε υποσύνολο, που αντιπροσωπεύεται από μια κανονικοποιημένη HFPR $\{\overline{HP}^1, \dots, \overline{HP}^n\}$, και στη συλλογική μήτρα HP^C υπολογίζεται χρησιμοποιώντας το παρακάτω μέτρο ομοιότητας:

$$pr^l = sim(HP^C, \overline{HP}^l) = 1 - d_{hme}(HP^C, \overline{HP}^l)$$

Οι τιμές εγγύτητας pr^l χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των υποσυνόλων που βρίσκονται πιο μακριά από τη συλλογική άποψη.

Ανάλογα με το επίπεδο ομοφωνίας σε κάθε κύκλο συζήτησης, η διαδικασία ανατροφοδότησης απευθύνεται είτε στο σύνολο μιας ομάδας είτε σε επιμέρους εμπλεκόμενους.

- i) *Χαμηλό επίπεδο ομοφωνίας – Ομαδική διαδικασία ανατροφοδότησης.* Αν $cr < \delta$, το επίπεδο ομοφωνίας είναι αρκετά «χαμηλό» και απαιτούνται πολλές αλλαγές, με συνέπεια όλοι οι εμπλεκόμενοι των υποσυνόλων που βρίσκονται πιο μακριά από τη συλλογική άποψη να λάβουν συστάσεις για μεταβολή των προτιμήσεών τους ως προς τα ζεύγη εναλλακτικών στα οποία υπάρχει διαφωνία. Για τον εντοπισμό των υποσυνόλων αυτών η τιμή εγγύτητας pr^l κάθε

υποσυνόλου συγκρίνεται με τη μέση τιμή εγγύτητας $\bar{pr} = \frac{1}{n} \sum_{l=1}^n pr^l$. Για να εντοπιστούν τα ζεύγη εναλλακτικών που πρέπει να μεταβληθούν, η τιμή εγγύτητας κάθε ζεύγους εναλλακτικών pr_{ij}^l συγκρίνεται με τη μέση εγγύτητα για μία από εναλλακτικές \bar{pr}_i , η οποία υπολογίζεται ως εξής:

$$\bar{pr}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n pr_{ij}^l$$

όπου $pr_{ij}^l = 1 - d(h_{ij}^c, h_{ij}^l)$, $h_{ij}^c \in HPC$, $h_{ij}^l \in \overline{HP}^l$.

1. Αν $pr^l \leq \bar{pr}$, επιλέγεται το υποσύνολο G^l
2. Αν $ca_i \leq \vartheta$, επιλέγεται η εναλλακτική x_i και πρέπει να ελεγχθεί αν $pr_{ij}^l \leq \bar{pr}_i$, οπότε επιλέγεται και το ζεύγος εναλλακτικών (x_i, x_j) .

Οι κανόνες που εφαρμόζονται σε αυτές τις περιπτώσεις για να υποδείξουν τη σωστή κατεύθυνση των μεταβολών είναι οι εξής:

- R1. Αν $score(h_{ij}^l) < score(h_{ij}^c)$, όλοι οι εμπλεκόμενοι του υποσυνόλου G^l πρέπει να αυξήσουν τους βαθμούς προτίμησής τους για το ζεύγος εναλλακτικών (x_i, x_j)
- R2. Αν $score(h_{ij}^l) > score(h_{ij}^c)$, όλοι οι εμπλεκόμενοι του υποσυνόλου G^l πρέπει να μειώσουν τους βαθμούς προτίμησής τους για το ζεύγος εναλλακτικών (x_i, x_j)

όπου η συνάρτηση $score$ για ένα HFE, h , δίνεται από τη σχέση

$$score(h) = \frac{\sum_{s=1}^{\#h} \gamma^s \tau(s)}{\sum_{s=1}^{\#h} \tau(s)}$$

με $\gamma^s \in h$ το μικρότερο στοιχείο του h και $\{\tau(s)\}_{s=1}^{\#h}$ μια θετική, μονότονη και αύξουσα ακολουθία του δείκτη s .

ii) Υψηλό επίπεδο ομοφωνίας – Ατομική διαδικασία ανατροφοδότησης. Αν $\delta < cr < \vartheta$, το επίπεδο ομοφωνίας είναι «υψηλό», αλλά όχι ικανοποιητικό. Έτσι απαιτούνται και πάλι αλλαγές, όχι όμως σε μεγάλο βαθμό. Σε αυτή την περίπτωση εντοπίζονται οι εμπλεκόμενοι που οι απόψεις τους διαφέρουν περισσότερο από τη συλλογική προτίμηση, ώστε να λάβουν συμβουλές για μεταβολή των απόψεών τους. Επομένως, πρέπει να εντοπιστεί το υποσύνολο G^l , το ζεύγος εναλλακτικών (x_i, x_j) και οι εμπλεκόμενοι e_r που χρειάζεται να μεταβάλουν τις προτιμήσεις τους που βρίσκονται σε διαφωνία.

1. Αν $pr^l \leq \bar{pr}$, επιλέγεται το υποσύνολο G^l
2. Αν $ca_i \leq \vartheta$, επιλέγεται η εναλλακτική x_i και πρέπει να ελεγχθεί αν $pr_{ij}^l \leq \bar{pr}_i$, οπότε επιλέγεται και το ζεύγος εναλλακτικών (x_i, x_j)
3. Αν $(1 - d(h_{ij}^c, p_{ij}^{lr})) \leq \bar{pr}_i$, ο εμπλεκόμενος e_r επιλέγεται για να αλλάξει τις προτιμήσεις του.

Οι κανόνες που εφαρμόζονται σε αυτές τις περιπτώσεις για να υποδείξουν τη σωστή κατεύθυνση των μεταβολών είναι οι εξής:

- R1. Αν $(p_{ij}^{lr}) < score(h_{ij}^c)$, ο εμπλεκόμενος $e_r \in G^l$ πρέπει να αυξήσει το βαθμό προτίμησής του για το ζεύγος εναλλακτικών (x_i, x_j)

R2. $\text{Av}(p_{ij}^{lr}) > \text{score}(h_{ij}^c)$, ο εμπλεκόμενος $e_r \in G^l$ πρέπει να μειώσει το βαθμό προτίμησής του για το ζεύγος εναλλακτικών (x_i, x_j)

R2. $\text{Av}(p_{ij}^{lr}) = \text{score}(h_{ij}^c)$, δεν απαιτούνται μεταβολές.

Μετά από αυτή τη διαδικασία, το μοντέλο επιστρέφει στη φάση διαχείρισης των υποομάδων.

2.2.3.2 Μοντέλα ομοφωνίας χωρίς ανατροφοδότηση

2.2.3.2.1 Μέθοδος επίτευξης ομοφωνίας 1

Οι Zou et al [30] παρουσίασαν ένα μοντέλο ομοφωνίας για πολυκριτηριακά προβλήματα συλλογικής λήψης αποφάσεων με γλωσσικές μεταβλητές, όπου οι αξιολογήσεις των εμπλεκόμενων φορέων έχουν τη μορφή γλωσσικών 2-tuples.

Γίνεται η υπόθεση ότι το πρόβλημα περιλαμβάνει n εναλλακτικές και m κριτήρια, που αξιολογούνται από p εμπλεκόμενους φορείς, δηλαδή $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, $C = \{C_1, C_2, \dots, C_m\}$ και $E = \{e_1, e_2, \dots, e_p\}$. Έτσι η αξιολόγηση κάθε εμπλεκόμενου για μία εναλλακτική είναι ένα διάνυσμα m διάστασης και η ανάλυση των βαθμών ομοιότητας ανάμεσα στα p διανύσματα μπορεί να μετατραπεί σε ανάλυση των βαθμών ομοιότητας ανάμεσα στις p τιμές προτίμησης μιας εναλλακτικής βάσει κάθε κριτηρίου. Κατά τη διαδικασία επίτευξης ομοφωνίας, αρχικά υπολογίζονται οι αποστάσεις μεταξύ των αξιολογήσεων των p εμπλεκόμενων και στη συνέχεια, εξετάζεται αν οι αποστάσεις αυτές ικανοποιούν μια συνθήκη που ορίζεται με βάση ένα προκαθορισμένο κατώφλι. Αν κάποιες από τις αποστάσεις δεν ικανοποιούν τη συνθήκη, τότε οι αντίστοιχοι εμπλεκόμενοι πρέπει να μεταβάλλουν τις απόψεις τους βάσει ενός αλγορίθμου, μέχρι η απόσταση ανάμεσα σε κάθε ζεύγος εμπλεκόμενων να γίνει αποδεκτή.

Έστω $S = \{s_0, \dots, s_g\}$ ένα πεπερασμένο και διατεταγμένο σύνολο γλωσσικών όρων, με περιττό πλήθος όρων και (s_i, a_i) και (s_j, a_j) δύο τιμές αξιολογήσεων με τη μορφή γλωσσικών 2-tuples. Η απόσταση μεταξύ αυτών ορίζεται ως εξής:

$$d((s_i, a_i), (s_j, a_j)) = |\Delta^{-1}((s_i, a_i)) - \Delta^{-1}((s_j, a_j))|/g$$

Ο βαθμός ομοιότητας ανάμεσα στις (s_i, a_i) και (s_j, a_j) δίνεται, αντίστοιχα, από τη σχέση:

$$\theta((s_i, a_i), (s_j, a_j)) = 1 - d((s_i, a_i), (s_j, a_j)) = 1 - |\Delta^{-1}(s_i, a_i) - \Delta^{-1}(s_j, a_j)|/g$$

Έστω τώρα ότι $((s_{i1}^q, a_{i1}^q), (s_{i2}^q, a_{i2}^q), \dots, (s_{im}^q, a_{im}^q))$ και $((s_{i1}^k, a_{i1}^k), (s_{i2}^k, a_{i2}^k), \dots, (s_{im}^k, a_{im}^k))$ είναι οι αξιολογήσεις που δίνονται από τους εμπλεκόμενους e_q, e_k αντίστοιχα, για την εναλλακτική A_i . Με δεδομένη μία τιμή – κατώφλι α ($0 < \alpha < 1$), η χαρακτηριστική συνάρτηση μεταξύ των (s_{ij}^q, a_{ij}^q) και (s_{ij}^k, a_{ij}^k) μπορεί να οριστεί ως εξής:

$$\lambda((s_{ij}^q, a_{ij}^q), (s_{ij}^k, a_{ij}^k)) = \begin{cases} 0, & \text{αν } \theta((s_{ij}^q, a_{ij}^q), (s_{ij}^k, a_{ij}^k)) \geq \alpha \\ 1, & \text{διαφορετικά} \end{cases}$$

και όταν $\lambda((s_{ij}^q, a_{ij}^q), (s_{ij}^k, a_{ij}^k)) = 0$, θεωρείται ότι ο βαθμός ομοιότητας των (s_{ij}^q, a_{ij}^q) και (s_{ij}^k, a_{ij}^k) έχει φτάσει στο κατώφλι α . Χρησιμοποιώντας, λοιπόν το κατώφλι α μπορεί να ελεγχθεί η

συμβατότητα δύο αξιολογήσεων με τη μορφή γλωσσικών 2-tuples, που δίνονται από δύο εμπλεκόμενους για την ίδια εναλλακτική και το ίδιο κριτήριο.

Έστω (s_{ij}^k, a_{ij}^k) είναι η αξιολόγηση του εμπλεκόμενου $e_k (\forall k)$ για την i εναλλακτική βάσει του j κριτηρίου και $\beta_{ij}^q = \sum_{k=1}^p \lambda \left((s_{ij}^q, a_{ij}^q), (s_{ij}^k, a_{ij}^k) \right)$, δηλαδή β_{ij}^q είναι ο αριθμός των βαθμών ομοιότητας μεταξύ των αξιολογήσεων των εμπλεκόμενων e_q και e_k ($k \neq q$) που ικανοποιούν το κατώφλι α . Το β_{ij}^q καλείται δείκτης ομοφωνίας της εναλλακτικής x_i ως προς το κριτήριο C_j που δίνεται από τον εμπλεκόμενο e_q . Με δεδομένο ένα κατώφλι ζ , αν ο δείκτης ομοφωνίας ικανοποιεί τη σχέση $\beta_{ij}^q \leq \zeta$, τότε η γλωσσική 2-tuple αξιολόγηση (s_{ij}^q, a_{ij}^q) θεωρείται ότι έχει αποδεκτή ομοφωνία. Με αυτή την έννοια, ο δείκτης ομοφωνίας μπορεί με κάποιο τρόπο να θεωρηθεί ως η εγγύτητα ανάμεσα σε έναν εμπλεκόμενο και τους υπόλοιπους. Προφανώς, αν $\beta_{ij}^q = 0$, τότε οι βαθμοί ομοιότητας μεταξύ του q εμπλεκόμενου και των υπολοίπων είναι όλοι μεγαλύτεροι ή ίσοι του α . Επίσης, όσο μικρότερη η τιμή του β_{ij}^q , τόσο περισσότεροι είναι οι βαθμοί ομοιότητας μεταξύ του e_q και των υπολοίπων που φτάνουν το κατώφλι α .

Για την περιγραφή της επαναληπτικής διαδικασίας αύξησης της ομοφωνίας, θεωρείται ότι $(\bar{s}_{ij}, \bar{a}_{ij})$ είναι ο αριθμητικός μέσος όρος των $\{(s_{ij}^q, a_{ij}^q) | q = 1, 2, \dots, p\}$, δηλαδή:

$$(\bar{s}_{ij}, \bar{a}_{ij}) = \Delta \left(\frac{1}{p} \sum_{q=1}^p \Delta^{-1}(s_{ij}^q, a_{ij}^q) \right)$$

Γίνεται η υπόθεση ότι η αξιολόγηση $(s_{ij,h}^t, a_{ij,h}^t)$ έχει το μέγιστο δείκτη ομοφωνίας $\beta_{ij,h}^t$ κατά την h επανάληψη της διαδικασίας. Το κύριο βήμα της μεθόδου βελτίωσης της ομοφωνίας είναι η απόκτηση μιας νέας αξιολόγησης $(s_{ij,h+1}^t, a_{ij,h+1}^t)$ σύμφωνα με την $(s_{ij,h}^t, a_{ij,h}^t)$ για την εναλλακτική x_i ως προς το κριτήριο C_j που δίνεται από τον εμπλεκόμενο e_t .

Αρχικά προσδιορίζονται οι εμπλεκόμενοι που πρέπει να μεταβάλλουν τις απόψεις τους. Υπολογίζονται οι αποστάσεις $d \left((s_{ij,h}^q, a_{ij,h}^q), (s_{ij,h}^k, a_{ij,h}^k) \right)$, $k \neq q$ και στη συνέχεια οι δείκτες $\beta_{ij,h}^q, \forall q$. Αν $\beta_{ij,h}^q \leq \zeta$ για όλα τα q , τότε όλες οι γλωσσικές 2-tuple αξιολογήσεις εμφανίζουν αποδεκτή ομοφωνία. Διαφορετικά, πρέπει να εντοπιστεί η αξιολόγηση $(s_{ij,h}^t, a_{ij,h}^t)$ με το μέγιστο δείκτη ομοφωνίας $\beta_{ij,h}^t$ και να εφαρμοστούν τα ακόλουθα βήματα για τη μεταβολή της $(s_{ij,h}^t, a_{ij,h}^t)$:

- 1) Υπολογίζεται ο αριθμητικός μέσος όρος $(\bar{s}_{ij,h}, \bar{a}_{ij,h})$, με $\alpha_{ij,h}^k = \Delta^{-1}(s_{ij,h}^k, a_{ij,h}^k)$ και $\bar{\alpha}_{ij,h} = \Delta^{-1}(\bar{s}_{ij,h}, \bar{a}_{ij,h})$
- 2) Εφαρμόζεται η ακόλουθη στρατηγική για τη μεταβολή της $(s_{ij,h}^k, a_{ij,h}^k)$:

$$(s_{ij,h+1}^k, a_{ij,h+1}^k) = \begin{cases} \Delta \left((\alpha_{ij,h}^k)^\lambda (\bar{\alpha}_{ij,h})^{1-\lambda} \right), & k = t \\ (s_{ij,h}^k, a_{ij,h}^k), & k \neq t \end{cases}$$

όπου $0 < \lambda < 1$, μία παράμετρος που καθορίζει την έκταση της μεταβολής της αρχικής αξιολόγησης σε κάθε επανάληψη (όσο μεγαλύτερη η τιμή του λ τόσο περισσότερη πληροφορία διατηρείται).

Στη συγκεκριμένη διαδικασία αύξησης της ομοφωνίας, ο αριθμητικός μέσος όρος $(\bar{s}_{ij,h}, \bar{a}_{ij,h})$ των αξιολογήσεων για την i εναλλακτική βάσει του j κριτηρίου που δίνονται από το σύνολο των εμπλεκόμενων, θεωρείται το σημείο αναφοράς κατά την h επανάληψη. Επίσης, αποδεικνύεται ότι οι

χαμηλότερες ή οι υψηλότερες αξιολογήσεις αντιστοιχούν στον μέγιστο δείκτη ομοφωνίας κατά την h επανάληψη.

Έστω ότι ο q εμπλεκόμενος πρέπει να μεταβάλει την άποψή του κατά την επανάληψη $h + 1$ και $(s_{ij,h+1}^q, a_{ij,h+1}^q)$ είναι η αξιολόγηση που προκύπτει από την παραπάνω διαδικασία βελτίωσης της ομοφωνίας για τον εμπλεκόμενο e_q . Αν $\zeta = \frac{p-1}{2}$ (το p είναι περιττός αριθμός), τότε αποδεικνύεται ότι:

$$\beta_{ij,h+1}^q \leq \beta_{ij,h}^q$$

Σύμφωνα με την τελευταία πρόταση, σε κάθε επανάληψη ο εμπλεκόμενος που μεταβάλει την γλωσσική 2-tuple αξιολόγησή του επιτυγχάνει καλύτερο δείκτη ομοφωνίας. Γενικά, οι συνολικοί δείκτες ομοφωνίας των εμπλεκόμενων που δεν μεταβάλουν τις αξιολογήσεις τους σε μία επανάληψη, δεν θα υπερβαίνουν το μέγιστο δείκτη ομοφωνίας της προηγούμενης επανάληψης.

2.2.3.2.2 Μέθοδος επίτευξης ομοφωνίας 2

Οι Zhang et al [31] παρουσίασαν μία μέθοδο επίτευξης ομοφωνίας σε προβλήματα συλλογικής λήψης αποφάσεων με ασαφείς σχέσεις προτίμησης, η οποία περιλαμβάνει μοντέλα γραμμικού προγραμματισμού για την επίλυση θεμάτων που σχετίζονται με τη συνέπεια των ασαφών σχέσεων προτίμησης, τη συνολική ομοφωνία και τη διαχείριση ασαφών σχέσεων που δεν είναι πλήρεις.

Αρχικά υπολογίζεται το επιμέρους επίπεδο συνέπειας κάθε εμπλεκόμενου. Έστω $X = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ ένα πεπερασμένο σύνολο εναλλακτικών. Όταν ένας εμπλεκόμενος στη διαδικασία λήψης αποφάσεων συγκρίνει κατά ζεύγη τις εναλλακτικές χρησιμοποιώντας τιμές στο διάστημα $[0,1]$, μπορεί να δημιουργήσει μία ασαφή σχέση προτίμησης $F = (f_{ij})_{n \times n}$, με $f_{ij} + f_{ji} = 1$ και $0 \leq f_{ij} \leq 1$, για να αποτυπώσει τις απόψεις του για το σύνολο X . Το επιμέρους επίπεδο συνέπειας (*individual consistency level, CL*) μιας ασαφούς σχέσης προτίμησης F δίνεται από τη σχέση:

$$CL(F) = 1 - \frac{2}{3n(n-1)(n-2)} \sum_{i,k=1, i \neq k}^n \sum_{j=1, j \neq i,k}^n |f_{ij} + f_{jk} - f_{ik} - 0.5|$$

Αν $CL(F) = 1$, τότε η σχέση προτίμησης F είναι συνεπής, διαφορετικά όσο υψηλότερη η τιμή του $CL(F)$ τόσο υψηλότερη και η συνέπεια της F . Μπορεί να οριστεί ένα κατώφλι συνέπειας (\overline{CL}), τέτοιο ώστε αν $CL(F) \geq \overline{CL}$ η F θεωρείται ότι έχει αποδεκτή συνέπεια.

Ο υπολογισμός του επιπέδου ομοφωνίας μεταξύ όλων των εμπλεκόμενων γίνεται υπολογίζοντας τις αποστάσεις ανάμεσα στις προτιμήσεις τους. Έστω $D = \{d_1, d_2, \dots, d_m\}$ το σύνολο των εμπλεκόμενων και $\{F^{(1)}, F^{(2)}, \dots, F^{(m)}\}$ οι ασαφείς σχέσεις προτίμησης που παρέχονται από τους m εμπλεκόμενους d_k ($k = 1, 2, \dots, m$), όπου $F^{(k)} = (f_{ij}^{(k)})_{n \times n}$, ($k = 1, 2, \dots, m; i, j = 1, 2, \dots, n$). Ο υπολογισμός της απόστασης μεταξύ των προτιμήσεων γίνεται χρησιμοποιώντας τη σχέση $s(f_{ij}^{(r)}, f_{ij}^{(t)}) = 1 - |f_{ij}^{(r)} - f_{ij}^{(t)}|$, με την οποία υπολογίζεται η ομοιότητα των προτιμήσεων δύο εμπλεκόμενων, d_r και d_t , για ένα ζεύγος εναλλακτικών A_i και A_j . Ο υπολογισμός της συνολικής ομοφωνίας γίνεται με τα ακόλουθα βήματα:

- Για κάθε ζεύγος εμπλεκόμενων r και t ($r \leq t$), υπολογίζεται μια μήτρα ομοιότητας $SM^{rt} = (sm_{ij}^{rt})$, με $sm_{ij}^{rt} = s(f_{ij}^{(r)}, f_{ij}^{(t)}) = 1 - |f_{ij}^{(r)} - f_{ij}^{(t)}|, i, j = 1, 2, \dots, n$.

- Η μήτρα ομοφωνίας $CM = (cm_{ij})$ προκύπτει με τη συνάθροιση όλων των μητρών ομοιότητας, χρησιμοποιώντας τον αριθμητικό μέσο όρο:

$$cm_{ij} = \frac{2}{m(m-1)} \sum_{t \geq r}^m \sum_{r=1}^m sm_{ij}^{rt}$$

Προφανώς, $cm_{ij} = cm_{ji} (\forall i, j)$

- Το συνολικό επίπεδο ομοφωνίας (consensus consistency level, CCL) μεταξύ των $\{F^{(1)}, F^{(2)}, \dots, F^{(m)}\}$ ορίζεται ως εξής:

$$CCL\{F^{(1)}, F^{(2)}, \dots, F^{(m)}\} = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n cm_{ij}$$

Αν $CCL\{F^{(1)}, F^{(2)}, \dots, F^{(m)}\} = 1$, τότε υπάρχει πλήρης ομοφωνία μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων, διαφορετικά, όσο υψηλότερη η τιμή του CCL τόσο υψηλότερο και το επίπεδο ομοφωνίας. Μπορεί να οριστεί ένα κατώφλι ομοφωνίας (\overline{CCL}), τέτοιο ώστε αν $CCL\{F^{(1)}, F^{(2)}, \dots, F^{(m)}\} \geq \overline{CCL}$ θεωρείται ότι μεταξύ των προτιμήσεων $\{F^{(1)}, F^{(2)}, \dots, F^{(m)}\}$ υπάρχει αποδεκτή ομοφωνία.

Μετά τους παραπάνω υπολογισμούς, οι δείκτες CL και CCL χρησιμοποιούνται σε μοντέλα γραμμικού προγραμματισμού, μαζί με ένα μέτρο της απόστασης μεταξύ δύο ασαφών σχέσεων προτίμησης, που ορίζεται ως εξής: Έστω $E = (e_{ij})_{n \times n}$ και $F = (f_{ij})_{n \times n}$ είναι δύο ασαφείς σχέσεις προτίμησης. Η απόσταση Manhattan μεταξύ των E και F δίνεται από τη σχέση:

$$d(E, F) = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |e_{ij} - f_{ij}|$$

Το παραπάνω μέτρο απόστασης χρησιμοποιείται στο μοντέλο γραμμικού προγραμματισμού για την ελαχιστοποίηση της απόστασης ανάμεσα στην ασαφή σχέση προτίμησης κάθε εμπλεκόμενου και στην αντίστοιχη σχέση προτίμησης αποδεκτής συνέπειας ($CL(F) \geq \overline{CL}$), καθώς και για την ελαχιστοποίηση της απόστασης ανάμεσα στην ασαφή σχέση προτίμησης κάθε εμπλεκόμενου και στη συλλογική σχέση προτίμησης.

Επιπλέον, αν κάποια στοιχεία της $F = (f_{ij})_{n \times n}$ δεν είναι διαθέσιμα (δηλαδή αν κάποιος εμπλεκόμενος δεν είναι δυνατό να συγκρίνει ένα ζεύγος εναλλακτικών), το μοντέλο γραμμικού προγραμματισμού υπολογίζει τις τιμές που λείπουν με στόχο τη μεγιστοποίηση του επιμέρους επιπέδου συνέπειας CL κάθε εμπλεκόμενου.

2.2.3.2.3 Μέθοδος επίτευξης ομοφωνίας 3

Η μέθοδος που περιγράφεται στη συνέχεια παρουσιάστηκε από τους Zhang et al [32] και περιλαμβάνει την ανάλυση μοντέλων ομοφωνίας ελαχίστου κόστους, χρησιμοποιώντας τον γραμμικό προγραμματισμό και διάφορους τελεστές συνάθροισης.

Αρχικά προσδιορίζονται οι έννοιες του *επιπέδου ομοφωνίας* και του *κόστους ομοφωνίας*, που χρησιμοποιούνται στα μοντέλα ομοφωνίας ελαχίστου κόστους. Έστω $E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ ένα σύνολο από n εμπλεκόμενους φορείς σε ένα πρόβλημα συλλογικής λήψης αποφάσεων και $o_i \in R$ η αρχική άποψη του i εμπλεκόμενου. Επιπλέον, η αρχική συλλογική άποψη συμβολίζεται με o . Μέσω του

μέτρου απόστασης $|o_i - o|, i = 1, 2, \dots, n$, μπορεί να εκφραστεί το επίπεδο ομοφωνίας του i εμπλεκόμενου. Όταν $|o_i - o| \leq \varepsilon$ για όλα τα $i = 1, 2, \dots, n$, τότε θεωρείται ότι οι απόψεις των εμπλεκόμενων έχουν φτάσει σε αποδεκτό επίπεδο ομοφωνίας, διαφορετικά οι αρχικές απόψεις θα πρέπει να προσαρμοστούν ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή ομοφωνία. Το ε συμβολίζει ένα προκαθορισμένο κατώφλι ομοφωνίας.

Στη συνέχεια, συμβολίζεται με $\bar{o}_i \in R$ η προσαρμοσμένη άποψη του i εμπλεκόμενου και με \bar{o} η προσαρμοσμένη συλλογική άποψη. Αν c_i είναι το κόστος μεταβολής της άποψης του i εμπλεκόμενου κατά 1 μονάδα, τότε το γραμμικό κόστος ομοφωνίας για τη μεταβολή της άποψης i εμπλεκόμενου από το o_i στο \bar{o}_i , ορίζεται ως εξής:

$$f_i(o_i, \bar{o}_i) = c_i |\bar{o}_i - o_i|$$

Το βασικό στοιχείο για την επίτευξη ομοφωνίας μεταξύ των $o_i (i = 1, 2, \dots, n)$ είναι να βρεθούν οι επιμέρους προσαρμοσμένες απόψεις $\bar{o}_i (i = 1, 2, \dots, n)$ με αποδεκτό επίπεδο ομοφωνίας και στόχο την ελαχιστοποίηση του κόστους ομοφωνίας, δηλαδή:

$$\min \sum_{i=1}^n c_i |\bar{o}_i - o_i|$$

και ταυτόχρονα:

$$\max_i |\bar{o}_i - \bar{o}| \leq \varepsilon$$

δηλαδή: $|\bar{o}_i - \bar{o}| \leq \varepsilon, i = 1, 2, \dots, n$.

Επιπλέον, θεωρείται ότι η προσαρμοσμένη συλλογική άποψη \bar{o} προκύπτει από τη συνάθροιση των επιμέρους προσαρμοσμένων απόψεων $\bar{o}_i (i = 1, 2, \dots, n)$, δηλαδή:

$$\bar{o} = F(\bar{o}_1, \bar{o}_2, \dots, \bar{o}_n)$$

Με τον τρόπο αυτό, το μοντέλο ομοφωνίας ελαχίστου κόστους διαμορφώνεται ως εξής:

$$\begin{cases} \min_{\bar{o}_i} \sum_{i=1}^n c_i |\bar{o}_i - o_i| \\ \text{s. t. } \bar{o} = F(\bar{o}_1, \bar{o}_2, \dots, \bar{o}_n) \\ |\bar{o}_i - \bar{o}| \leq \varepsilon, i = 1, 2, \dots, n \end{cases}$$

Η βέλτιστη λύση στο παραπάνω πρόβλημα συμβολίζεται με $\{\bar{o}_1^*, \bar{o}_2^*, \dots, \bar{o}_n^*, \bar{o}^*\}$, όπου $\bar{o}_i^* (i = 1, 2, \dots, n)$ είναι οι επιμέρους προσαρμοσμένες απόψεις και \bar{o}^* η προσαρμοσμένη συλλογική άποψη.

Με το παραπάνω μοντέλο μπορεί να επιτευχθεί ομοφωνία από τον πρώτο κύκλο συζητήσεων, αν υπάρχει βέλτιστη λύση σε αυτό και αν όλοι οι εμπλεκόμενοι μεταβάλουν τις απόψεις τους σύμφωνα με τις συστάσεις.

Το προτεινόμενο μοντέλο ομοφωνίας ελαχίστου κόστους μπορεί να μετατραπεί σε μοντέλο γραμμικού προγραμματισμού, χρησιμοποιώντας ως τελεστή συνάθροισης F τον σταθμισμένο μέσο όρο ή τον τελεστή OWA και τους κατάλληλους μετασχηματισμούς των μεταβλητών απόφασης.

2.2.3.2.4 Μέθοδος επίτευξης ομοφωνίας 4

Ένα ακόμη μοντέλο ομοφωνίας ελαχίστου κόστους προτείνεται από τους Labella et al [52], το οποίο βασίζεται στις αποστάσεις μεταξύ των προτιμήσεων των εμπλεκόμενων φορέων και της συλλογικής

προτίμησης, καθώς και στο βαθμό ομοφωνίας. Το μοντέλο δίνει μία βέλτιστη λύση ομοφωνίας με το ελάχιστο κόστος, χωρίς αυτή η λύση να εξαρτάται από την εξέλιξη της άποψης των εμπλεκόμενων φορέων.

Έστω $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ ($n \geq 2$) ένα πεπερασμένο σύνολο εναλλακτικών, $E = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$ ($m \geq 2$) ένα σύνολο από εμπλεκόμενους φορείς σε ένα πρόβλημα συλλογικής λήψης αποφάσεων και $W = \{w_1, w_2, \dots, w_m\}$ τα αντίστοιχα βάρη των εμπλεκόμενων, με $\sum_{k=1}^m w_k = 1$. Κάθε εμπλεκόμενος e_k εκφράζει τις προτιμήσεις του για τις εναλλακτικές με μια ασαφή σχέση προτίμησης $P^k = (p_{ij}^k)_{n \times n}$. Υποθέτουμε ότι για να προκύψει μία λύση αποδεκτή από όλους τους εμπλεκόμενους, η P^k πρέπει να μεταβληθεί σε $\bar{P}^k = (\bar{p}_{ij}^k)_{n \times n}$, $k = 1, \dots, m$, και η συλλογική σχέση προτίμησης που προκύπτει από τις \bar{P}^k είναι $\bar{P} = (\bar{p}_{ij})_{n \times n}$. Επίσης, το κόστος για τη μεταβολή της άποψης κάθε εμπλεκόμενου κατά μία μονάδα συμβολίζεται με $\{c_1, c_2, \dots, c_m\}$.

Ανάλογα με το μέτρο ομοφωνίας που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του επιπέδου ομοφωνίας, δημιουργούνται τα μοντέλα ομοφωνίας ελαχίστου κόστους που περιγράφονται στη συνέχεια. Πριν την εφαρμογή των μοντέλων πρέπει να καθοριστούν οι εξής παράμετροι: ένα κατώφλι ομοφωνίας $a \in [0,1]$ και $\gamma = 1 - a$, και μία τιμή $\varepsilon \in [0,1]$ που αντιπροσωπεύει τη μέγιστη αποδεκτή απόσταση μεταξύ της άποψης κάθε εμπλεκόμενου και της συλλογικής άποψης.

- Αν χρησιμοποιηθεί το μέτρο ομοφωνίας που βασίζεται στην απόσταση ανάμεσα στην προτίμηση κάθε εμπλεκόμενου και στη συλλογική προτίμηση, δημιουργείται το εξής μοντέλο:

$$\min \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n c_k |p_{ij}^k - \bar{p}_{ij}^k|$$

$$s. t. \begin{cases} \bar{p}_{ij} = \sum_{k=1}^m w_k \bar{p}_{ij}^k \\ |\bar{p}_{ij}^k - \bar{p}_{ij}| \leq \varepsilon, k = 1, \dots, m; i = 1, \dots, n-1; j = i+1, \dots, n \\ \frac{2}{n(n-1)} \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n w_k |\bar{p}_{ij}^k - \bar{p}_{ij}| \leq \gamma \end{cases}$$

- Αν χρησιμοποιηθεί το μέτρο ομοφωνίας που βασίζεται στην απόσταση μεταξύ των προτιμήσεων των εμπλεκόμενων, δημιουργείται το εξής μοντέλο:

$$\min \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n c_k |p_{ij}^k - \bar{p}_{ij}^k|$$

$$s. t. \begin{cases} \bar{p}_{ij} = \sum_{k=1}^m w_k \bar{p}_{ij}^k \\ |\bar{p}_{ij}^k - \bar{p}_{ij}^l| \leq \varepsilon, k = 1, \dots, m; i = 1, \dots, n-1; j = i+1, \dots, n \\ \frac{2}{n(n-1)} \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \sum_{k=1}^{m-1} \sum_{l=k+1}^m \frac{w_k + w_l}{m-1} |\bar{p}_{ij}^k - \bar{p}_{ij}^l| \leq \gamma \end{cases}$$

Το αποτέλεσμα της επίλυσης των παραπάνω μοντέλων είναι το ελάχιστο κόστος που απαιτείται για τη μεταβολή των αρχικών προτιμήσεων των εμπλεκόμενων ώστε να επιτευχθεί ένα αποδεκτό επίπεδο

ομοφωνίας, καθώς και οι τροποποιημένες προτιμήσεις κάθε εμπλεκόμενου που αντιστοιχούν στο κόστος αυτό.

2.2.3.2.5 Μέθοδος επίτευξης ομοφωνίας 5

Ένα ακόμη μοντέλο ομοφωνίας που χρησιμοποιείται στο AFRYCA (*TRANSrisk*) βασίζεται στη Μέθοδο επίτευξης ομοφωνίας 4 που αναλύεται παραπάνω, με τη μόνη διαφορά ότι οι αρχικές προτιμήσεις των εμπλεκόμενων εκφράζονται με τη μορφή γλωσσικών διπλών αναπαραστάσεων (2-tuples).

2.2.3.2.6 Μέθοδος επίτευξης ομοφωνίας 6

Οι Xu et al [33] παρουσίασαν ένα μοντέλο ομοφωνίας βασισμένο στις αποστάσεις των προτιμήσεων, με εφαρμογή σε προβλήματα συλλογικής λήψης αποφάσεων με ασαφείς σχέσεις προτίμησης, στο οποίο τα βάρη των προτιμήσεων υπολογίζονται αυτόματα.

Έστω $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ ($n \geq 2$) ένα πεπερασμένο σύνολο εναλλακτικών και $E = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$ ($m \geq 2$) ένα σύνολο από εμπλεκόμενους φορείς σε ένα πρόβλημα συλλογικής λήψης αποφάσεων. Κάθε εμπλεκόμενος e_k συγκρίνει τα ζεύγη εναλλακτικών του X και παρέχει το βαθμό προτίμησης $p_{ij,k}$ για την εναλλακτική x_i έναντι της x_j , με $0 \leq p_{ij,k} \leq 1, i, j = 1, 2, \dots, n$. Το σύνολο των τιμών προτίμησης του e_k συμβολίζονται με $P_k = (p_{ij,k})_{n \times n}$. Επίσης, $w = (w_1, w_2, \dots, w_m)^T$ το διάνυσμα βαρών των προτιμήσεων P_k ($k = 1, 2, \dots, m$), με $w_k \geq 0, \sum_{k=1}^m w_k = 1$. Για τον υπολογισμό της συλλογικής προτίμησης, $P = (p_{ij})_{n \times n}$, χρησιμοποιείται ο σταθμισμένος αριθμητικός μέσος όρος:

$$p_{ij} = \sum_{k=1}^m w_k p_{ij,k}, i, j = 1, 2, \dots, n$$

Για την επίτευξη της μέγιστης ομοφωνίας, οι σταθμισμένες ασαφείς σχέσεις προτίμησης πρέπει να έχουν τη μικρότερη δυνατή απόσταση μεταξύ τους. Με βάση αυτή την ιδέα, στο συγκεκριμένο μοντέλο ομοφωνίας προτείνεται η ελαχιστοποίηση του αθροίσματος των τετραγώνων των αποστάσεων μεταξύ των προτιμήσεων των εμπλεκόμενων. Για κάθε ζεύγος επιμέρους προτιμήσεων (P_k, P_l) , το τετράγωνο της μεταξύ τους απόστασης ορίζεται ως εξής:

$$d^2(w_k P_k, w_l P_l) = \left(\sqrt{(w_k P_k - w_l P_l)^2} \right)^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (w_k p_{ij,k} - w_l p_{ij,l})^2$$

Βάσει αυτού του ορισμού, δημιουργείται το ακόλουθο μοντέλο βελτιστοποίησης για την ελαχιστοποίηση του αθροίσματος των τετραγώνων των αποστάσεων ανάμεσα σε όλα τα ζεύγη των σταθμισμένων ασαφών σχέσεων προτίμησης:

$$\begin{cases} \min J_1 = \sum_{k=1}^m \sum_{l=1, l \neq k}^m \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (w_k p_{ij,k} - w_l p_{ij,l})^2 \\ \text{s. t. } \sum_{l=1}^m w_l = 1 \\ w_l \geq 0, l = 1, 2, \dots, m \end{cases}$$

το οποίο μπορεί να μετασχηματιστεί ως εξής:

$$\begin{cases} \min J_1 = w^T G w \\ \text{s. t. } e^T w = 1 \\ w \geq 0 \end{cases}$$

όπου $w = (w_1, w_2, \dots, w_m)^T$, $e = (1, 1, \dots, 1)^T$ και

$$G = (g_{kl})_{m \times m} = 2 \begin{bmatrix} (m-1) \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p_{ij,1}^2 \right) & - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p_{ij,1} p_{ij,2} & \cdots & - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p_{ij,1} p_{ij,m} \\ - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p_{ij,2} p_{ij,1} & (m-1) \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p_{ij,2}^2 \right) & \cdots & - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p_{ij,2} p_{ij,m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p_{ij,m} p_{ij,1} & - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p_{ij,m} p_{ij,2} & \cdots & (m-1) \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p_{ij,m}^2 \right) \end{bmatrix}$$

Με δεδομένες τις αρχικές σχέσεις προτίμησης $P_k = (p_{ij,k})_{n \times n}$, το μέγιστο αριθμό επαναλήψεων t^* , ένα κατώφλι a_1 για το δείκτη της επιμέρους ομοφωνίας και ένα κατώφλι λ_1 για το δείκτη συλλογικής ομοφωνίας, ο αλγόριθμος που ακολουθείται για την επίτευξη ομοφωνίας αποτελείται από τα παρακάτω βήματα, για κάθε κύκλο συζήτησης t :

- i) Εφαρμογή του παραπάνω μοντέλου ελαχιστοποίησης των αποστάσεων για τον προσδιορισμό του βέλτιστου διανύσματος βαρών $w^{(t)} = (w_1^{(t)}, w_2^{(t)}, \dots, w_m^{(t)})^T$ για τις προτιμήσεις $P_k^{(t)} = (p_{ij,k}^{(t)})_{n \times n}$.
- ii) Υπολογισμός της συλλογικής σχέσης προτίμησης $P^{(t)} = (p_{ij}^{(t)})_{n \times n}$ χρησιμοποιώντας τον σταθμισμένο αριθμητικό μέσο όρο.
- iii) Υπολογισμός του δείκτη επιμέρους ομοφωνίας από τη σχέση:

$$ICI(P_k^{(t)}) = d(P_k^{(t)}, P^{(t)}) = \frac{2}{n(n-1)} \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \left| p_{ij,k}^{(t)} - \sum_{l=1}^m w_l^{(t)} p_{ij,l}^{(t)} \right|$$

και του δείκτη συνολικής ομοφωνίας από τη σχέση:

$$GCI^{(t)} = \sum_{k=1}^m w_k^{(t)} d(P_k^{(t)}, P^{(t)})$$

Αν $GCI^{(t)} \leq \lambda_1$ και $ICI(P_k^{(t)}) \leq a_1$ για όλα τα $k = 1, 2, \dots, m$ ή αν $t = t^*$ η διαδικασία τερματίζεται με επίτευξη ομοφωνίας. Διαφορετικά, εντοπίζεται η $P_k^{(t)}$ για την οποία $ICI(P_k^{(t)}) > \lambda_1$ και η διαδικασία συνεχίζει στο επόμενο βήμα.

- iv) Εντοπισμός των στοιχείων $d_{i_\tau j_\tau, k}^{(t)} = \max_{ij} |p_{ij,k}^{(t)} - p_{ij}^{(t)}|$, ώστε $ICI(P_k^{(t)}) > \lambda_1$. και μεταβολή της αντίστοιχης προτίμησης του εμπλεκόμενου e_k , ως εξής: $P_k^{(t+1)} = (p_{ij,k}^{(t+1)})_{n \times n}$, όπου

$$p_{ij,k}^{(t+1)} = \begin{cases} p_{ij}^{(t)}, & \text{αν } i = i_\tau, j = j_\tau \\ p_{ij,k}^{(t)}, & \text{διαφορετικά} \end{cases}$$

v) Επανάληψη της διαδικασίας με $t = t + 1$.

Το αποτέλεσμα της εφαρμογής του παραπάνω αλγόριθμου είναι οι τροποποιημένες σχέσεις προτίμησης που ικανοποιούν τα κριτήρια των δεικτών ομοφωνίας $GCI \leq \lambda_1$ και $ICI \leq a_1$.

2.2.3.2.7 Μέθοδος επίτευξης ομοφωνίας 7

Οι Wu et al [34] παρουσίασαν ένα μοντέλο ομοφωνίας για την υποστήριξη της συλλογικής λήψης αποφάσεων, βασισμένο σε ανάστροφες σχέσεις προτίμησης.

Έστω $N = \{1, 2, \dots, n\}$, $M = \{1, 2, \dots, m\}$ και $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ ένα πεπερασμένο σύνολο εναλλακτικών. Για κάθε εμπλεκόμενο φορέα, η ανάστροφη σχέση προτίμησης για το σύνολο των εναλλακτικών X αντιπροσωπεύεται από μία μήτρα $P = (p_{ij})_{n \times n} \subset X \times X$, με $p_{ij} \in [0, 1]$ και ισχύει $p_{ij} + p_{ji} = 1, \forall i, j \in N$. Η συλλογική σχέση προτίμησης υπολογίζεται ως εξής: Αν $\{B_1, B_2, \dots, B_m\}$ είναι ένα σύνολο m σχέσεων προτίμησης, τότε η συλλογική σχέση προτίμησης εκφράζεται ως:

$$B = (b_{ij})_{n \times n} = \lambda_1 B_1 + \lambda_2 B_2 + \dots + \lambda_m B_m$$

όπου $b_{ij} = \sum_{k=1}^m \lambda_k b_{ij}^{(k)}$ και $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m)^T$, ($\lambda_k > 0, k \in M, \sum_{k=1}^m \lambda_k = 1$) το διάνυσμα βαρών των m εμπλεκόμενων φορέων. Αυτό σημαίνει ότι η συλλογική προτίμηση της εναλλακτικής x_i έναντι της x_j μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας τον σταθμισμένο μέσο όρο, όπως στην παραπάνω έκφραση.

Για κάθε σχέση προτίμησης $P = (p_{ij})_{n \times n}$ μπορεί να δημιουργηθεί η αντίστοιχη μήτρα $G = (g_{ij})_{n \times n}$, όπου:

$$g_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (p_{ik} + p_{kj}) - 0.5$$

Εάν $g_{ij} \in [0, 1]$, η μήτρα G θεωρείται μια συνεπής σχέση προτίμησης που αντιστοιχεί στην P . Με δεδομένο ένα κατώφλι a , η P θα θεωρείται ότι έχει αποδεκτή συνέπεια αν ο δείκτης συνέπειας ικανοποιεί την παρακάτω σχέση:

$$CI(P) = d(P, G) \leq a$$

όπου $d(P, G)$ είναι ο βαθμός απόκλισης μεταξύ των P και G που ορίζεται ως:

$$d(P, G) = \frac{1}{n(n-1)/2} \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n |p_{ij} - g_{ij}|$$

Όταν σε έναν κύκλο συζήτησης k η σχέση προτίμησης $P^{(k)}$ δεν έχει αποδεκτή συνέπεια, πρέπει να επιστραφεί στον αντίστοιχο εμπλεκόμενο, ώστε να αναθεωρήσει και να δώσει μία νέα σχέση. Στο συγκεκριμένο μοντέλο, περιλαμβάνεται ένας αλγόριθμος για την μεταβολή της P ώστε να ικανοποιεί την απαίτηση συνέπειας, σύμφωνα με τον οποίο η νέα σχέση προτίμησης προκύπτει από τη σχέση:

$$P^{(k+1)} = \beta^{k+1} P^{(k)} + (1 - \beta^{k+1}) G$$

όπου $\beta \in [0, 1]$ μία παράμετρος που καθορίζει την έκταση της μεταβολής της αρχικής σχέσης προτίμησης σε κάθε κύκλο συζήτησης (όσο μεγαλύτερη η τιμή του β τόσο περισσότερη πληροφορία διατηρείται).

Σε συλλογικό επίπεδο τώρα, έστω $\{B_1, B_2, \dots, B_m\}$ είναι οι m ανάστροφες σχέσεις προτίμησης που παρέχονται από τους m εμπλεκόμενους και B η συλλογική σχέση προτίμησης, όπως ορίστηκε παραπάνω. Ο συλλογικός δείκτης ομοφωνίας για τη σχέση B_l ορίζεται από τη σχέση:

$$GCI(B_l) = d(B_l, B) = \frac{1}{n(n-1)/2} \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n |b_{ij}^{(l)} - b_{ij}|$$

Αν $GCI(B_l) = 0$, τότε ο l εμπλεκόμενος βρίσκεται σε πλήρη ομοφωνία με τη συλλογική προτίμηση. Διαφορετικά, όσο μικρότερη η τιμή του $GCI(B_l)$ τόσο πιο κοντά είναι ο εμπλεκόμενος στη συλλογική άποψη. Αν για κάθε l ισχύει $GCI(B_l) \leq \overline{GCI}$ (όπου \overline{GCI} ένα προκαθορισμένο κατώφλι που εκφράζει το βαθμό απόκλισης μεταξύ της επιμέρους σχέσης προτίμησης και της συλλογικής προτίμησης), τότε θεωρείται ότι έχει επιτευχθεί ένα αποδεκτό επίπεδο ομοφωνίας ανάμεσα σε όλους τους εμπλεκόμενους φορείς. Αν δεν συμβαίνει αυτό, ξεκινά μια επαναληπτική διαδικασία για την επίτευξη του επιθυμητού επιπέδου ομοφωνίας, όπως περιγράφεται στη συνέχεια.

Γίνεται η υπόθεση ότι σε έναν κύκλο συζήτησης h η σχέση προτίμησης B_τ εμφανίζει τον υψηλότερο δείκτη GCI . Το βασικό βήμα είναι να δημιουργηθεί μία νέα σχέση \overline{B}_τ σύμφωνα με τη B_τ , ακολουθώντας την παρακάτω σχέση:

$$\overline{b}_{ij}^{(\tau)} = \gamma b_{ij}^{(\tau)} + (1 - \gamma)b_{ij}, \quad 0 < \gamma < 1$$

Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρι όλες οι σχέσεις προτίμησης να φτάσουν στο προκαθορισμένο αποδεκτό επίπεδο ομοφωνίας ή μέχρι $h \geq h_{max}$, όπου h_{max} ο μέγιστος επιτρεπόμενος αριθμός των κύκλων συζήτησης. Σημειώνεται ότι μετά την εφαρμογή αυτής της διαδικασίας και την επίτευξη ομοφωνίας, οι τροποποιημένες σχέσεις προτίμησης συνεχίζουν να εμφανίζουν αποδεκτό δείκτη συνέπειας (CI).

Αφού επιτευχθεί το επιθυμητό επίπεδο ομοφωνίας μεταξύ όλων των εμπλεκόμενων φορέων, μπορεί να ληφθεί μια συλλογική σχέση προτίμησης που αντιπροσωπεύει της κεντρικές απόψεις του συνόλου. Στη συνέχεια, εφαρμόζεται μια διαδικασία επιλογής ώστε να προκύψει το σύνολο των εναλλακτικών που αποτελούν τη λύση στο πρόβλημα. Βασικό ζήτημα σε αυτή τη φάση είναι ο καθορισμός της σχετικής βαρύτητας κάθε εναλλακτικής, κατά τη χρήση της συλλογικής σχέσης προτίμησης. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται στο συγκεκριμένο μοντέλο για το σκοπό αυτό, έχει ως εξής: Έστω P είναι μία ανάστροφη σχέση προτίμησης και $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$, είναι το αντίστοιχο διάνυσμα προτεραιότητας (priority vector), το οποίο υπολογίζεται με την ακόλουθη σχέση:

$$w_i = \frac{2}{n} \sum_{j=1}^n p_{ij}$$

Η βέλτιστη εναλλακτική ή η σειρά κατάταξης των εναλλακτικών που προκύπτουν από τη φάση αυτή, αποτελούν την τελική λύση ομοφωνίας στο πρόβλημα συλλογικής λήψης αποφάσεων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ FLINTSTONES ΚΑΙ AFRYCA ΠΡΟΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΜΙΑΣ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ ΣΕ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΧΑΜΗΛΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΝΘΡΑΚΑ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ ΤΗΣ ΑΥΣΤΡΙΑΣ

3.1 ΓΕΝΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Οι στόχοι απανθρακοποίησης της Ευρωπαϊκής Ένωσης για το 2050 απαιτούν υψηλότερες μειώσεις των εκπομπών μετά το 2030 από αυτές των προηγούμενων ετών. Η απανθρακοποίηση συνήθως συνδέεται με ενεργειακά μέτρα, όπως βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, εξηλεκτρισμό της ζήτησης, παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και καύσιμα μηδενικού άνθρακα, έτσι ώστε να επιτευχθεί ένα μηδενικό ισοζύγιο εκπομπών CO₂. Τέτοιου είδους μέτρα, ενώ θα μπορούσαν να οδηγήσουν τον τομέα των μεταφορών και τον κτιριακό τομέα σε ένα δρόμο συμβατό με το μακροχρόνιο στόχο της Συμφωνίας του Παρισιού (2°C όριο αύξησης της θερμοκρασίας), αυτό είναι πιο δύσκολο για τη βιομηχανία και, ειδικότερα, για τον τομέα παραγωγής χάλυβα. Σύμφωνα με τη Διεθνή Υπηρεσία Ενέργειας (International Energy Agency – IEA), μέχρι το 2050 οι άμεσες εκπομπές από τη βιομηχανία πρέπει να είναι 24% χαμηλότερες από αυτές του 2007. Παράλληλα, η ζήτηση των προϊόντων μεταποίησης αναμένεται να είναι τουλάχιστον διπλάσια. Με δεδομένη αυτή τη μεγάλη απόκλιση ανάμεσα στην αυξανόμενη ζήτηση και την απαίτηση για μείωση των εκπομπών άνθρακα στη βιομηχανία, είναι απαραίτητη η υιοθέτηση τεχνολογιών χαμηλών εκπομπών άνθρακα σε όλους τους ενεργοβόρους τομείς.

Η βιομηχανική παραγωγή συνήθως είναι στενά συνδεδεμένη με άλλους τομείς της εγχώριας και διεθνούς οικονομίας και αυτό συνεπάγεται ότι η απανθρακοποίηση της βιομηχανίας ενέχει πολλούς πιθανούς κινδύνους και έμμεσες συνέπειες. Στο παρόν Κεφάλαιο επιχειρείται η αξιολόγηση των κινδύνων που προκύπτουν από την εφαρμογή κλιματικά ουδέτερων τεχνολογιών στην παραγωγή χάλυβα στην Αυστρία, καθώς και από την αλληλένδετη μετάβαση του τομέα της παραγωγής ενέργειας. Για το λόγο αυτό, οι πιο σημαντικές ομάδες ενδιαφερομένων που συμμετέχουν σε αυτή την αξιολόγηση προέρχονται από τη βιομηχανία (σιδήρου και χάλυβα, τσιμέντου, πετροχημικών και καινοτόμων τεχνολογιών για ανανεώσιμη ενέργεια), τις επιχειρήσεις παροχής ενέργειας, το Εμπορικό Επιμελητήριο (ως μέλος της «κοινωνικής εταιρικής σχέσης», η οποία αποτελεί τμήμα του Αυστριακού πολιτικού συστήματος που βασίζεται στη συναίνεση), τα Υπουργεία Περιβάλλοντος και Οικονομικών, πολιτικά κόμματα και ΜΚΟ.

Το πεδίο εφαρμογής τεχνολογιών χαμηλών εκπομπών άνθρακα, καθώς και οι προηγούμενες προσπάθειες που έχουν γίνει, διαφέρουν από χώρα σε χώρα και από τομέα σε τομέα. Σύμφωνα με εκτιμήσεις της IEA για τις ενεργοβόρες βιομηχανίες, η εφαρμογή της βέλτιστης διαθέσιμης τεχνολογίας στην παραγωγή σιδήρου και χάλυβα θα είχε ως αποτέλεσμα έως και 70% εξοικονόμηση ενέργειας στο βιομηχανικό τομέα παγκοσμίως, ενώ μόλις στο 30% θα μπορούσαν να συνεισφέρουν οι βιομηχανίες τσιμέντου, πολτού και χαρτιού και αλουμινίου.

Όσον αφορά στην εθνική απογραφή των αερίων του θερμοκηπίου (GHG) της Αυστρίας, η παραγωγή σιδήρου και χάλυβα χαρακτηρίζεται από υψηλές εκπομπές, που ανέρχονται στο 15,5% περίπου των συνολικών εκπομπών GHG της χώρας. Η μετάβαση σε χαμηλές εκπομπές άνθρακα απαιτεί φιλόδοξες

λύσεις ενεργειακής απόδοσης και αποδοτικών υλικών. Επίσης, απαιτεί ριζικές μεταβολές και καινοτομίες στις τεχνολογίες μεταποίησης και τις πρώτες ύλες, με την προώθηση των ΑΠΕ και των ενεργειακών υποδομών, καθώς και την αναθεώρηση του ρόλου της συνεργασίας και της ανταγωνιστικότητας στη βιομηχανική αλυσίδα αξίας. Η πολιτική ενεργειακής απόδοσης, καθώς και αυτή της βιομηχανίας, της έρευνας, της καινοτομίας, του εμπορίου, η ενεργειακή και κλιματική πολιτική, πρέπει να ευθυγραμμιστούν για την επίτευξη μηδενικών εκπομπών στον τομέα της βιομηχανίας. Ως αποτέλεσμα, στα επόμενα 30 χρόνια οι τεχνολογίες υφικακίνου που χρησιμοποιούνται στον τομέα του χάλυβα χρειάζεται να αντικατασταθούν με εξελιγμένες τεχνολογίες, όπως η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας μηδενικού άνθρακα, ο εξηλεκτρισμός της υπολειπόμενης ζήτησης και τα καύσιμα μηδενικού άνθρακα.

Η παραγωγή χάλυβα θα μπορούσε να λαμβάνει χώρα στην Αυστρία στις ίδιες ποσότητες με σήμερα, αλλά με τεχνολογίες που βασίζονται στο υδρογόνο, μέσω ηλεκτρόλυσης. Αυτό θα έδινε τη δυνατότητα σχεδόν πλήρους εξάλειψης των εκπομπών CO₂, εφόσον χρησιμοποιούνταν ηλεκτρική ενέργεια μηδενικού άνθρακα. Επιπλέον, η ηλεκτρόλυση παράγει O₂ ως παραπροϊόν, η πώληση του οποίου μπορεί να αποφέρει οικονομικά κέρδη. Αποτελεί μία τεχνολογία υψηλού κινδύνου – υψηλής απόδοσης, πολλά υποσχόμενη μακροπρόθεσμα, αλλά προς το παρόν διαθέσιμη στην ΕΕ μόνο σε εργαστηριακή κλίμακα. Οι κίνδυνοι οφείλονται κυρίως στο υψηλό κόστος των ηλεκτρολυτών, τις διακυμάνσεις στην παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας που εμποδίζει την ευρεία και αποκλειστική χρήση της ηλεκτρόλυσης, καθώς και στην έλλειψη εμπειρίας για την ομαλή λειτουργία της. Οι μεγάλες ποσότητες ηλεκτρισμού που θα χρειαζόταν η Αυστρία μεσοπρόθεσμα, αν η παραγωγή βασιζόταν στο υδρογόνο, δεν μπορεί να καλυφθεί από τους εγχώριους πόρους. Η Νοτιοανατολική Ευρώπη, με το υψηλό δυναμικό της σε ΑΠΕ, θα μπορούσε να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια προς εξαγωγή. Στην επέκταση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, οι ΜΚΟ διαδραματίζουν (και θα συνεχίσουν) έναν σημαντικό ρόλο. Παρόλο που έχει ανακοινωθεί μια στρατηγική της ΕΕ για μια Ενεργειακή Ένωση¹, ελάχιστες δεσμευτικές απαιτήσεις για δράση απορρέουν από αυτή. Η μετάβαση προς μια οικονομία χαμηλών εκπομπών άνθρακα, ή μια 'διαχείριση του άνθρακα', στην Αυστρία κατά το 2050, απαιτεί ένα στοχευμένο θεσμικό πλαίσιο.

Η βασισμένη στο υδρογόνο παραγωγή χάλυβα αποτελεί σήμερα ένα δύσκολο και σημαντικό στόχο για τους παραγωγούς που αποσκοπούν στην απανθρακοποίηση. Αυτό διότι, μετά τον τομέα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, οι βιομηχανίες σιδήρου και χάλυβα παράγουν τις μεγαλύτερες ποσότητες GHG, με τις τιμεντοβιομηχανίες να ακολουθούν. Η ερευνητική συνεργασία για την παραγωγή και αποθήκευση υδρογόνου ανάμεσα στους βασικότερους παραγωγούς χάλυβα της Αυστρίας, την μεγαλύτερη εταιρεία παροχής ηλεκτρικής ενέργειας και τη ρυθμιστική αρχή που εξασφαλίζει την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, λειτουργεί επιτυχώς, καθιστώντας την παραγωγή χάλυβα με αέριο (μεθάνιο) μια μεταβατική τεχνολογία.

Η μετάβαση σε στρατηγικές κυκλικής οικονομίας θα μπορούσε να μειώσει τη ζήτηση χάλυβα, και έτσι να περιορίσει περαιτέρω τις εκπομπές CO₂. Η μετάβαση αυτή περιλαμβάνει την εφαρμογή μέτρων για την αύξηση της αποδοτικότητας των υλικών, όπως ο σχεδιασμός προϊόντων μικρότερου όγκου, η αύξηση της διάρκειας ζωής τους και οι βελτιωμένες διεργασίες μεταποίησης. Επιπλέον, ο σχεδιασμός κυκλικών προϊόντων που επιτρέπουν την επαναχρησιμοποίηση του χάλυβα χωρίς τήξη και η

¹ COM/2015/080 final

αντικατάσταση του χάλυβα με προϊόντα χαμηλότερης έντασης εκπομπών, όπως το αλουμίνιο στα αυτοκίνητα, μπορούν επίσης να συνεισφέρουν στην επίτευξη του στόχου μείωσης των εκπομπών.

Η κυβέρνηση της Αυστρίας έχει εφαρμόσει διάφορες πολιτικές αναφορικά με το στόχο μείωσης των εκπομπών GHG, παρόλο που η χώρα δεν αναμένεται να επιτύχει τους στόχους της για το 2020 με τα υπάρχοντα μέτρα. Όμως, η κλιματική αλλαγή αποτελεί ένα σημαντικό ζήτημα στο πολιτικό σκηνικό της Αυστρίας. Έμφαση δίνεται στη χρήση ΑΠΕ, καθώς η κυβέρνηση προσφέρει πολλαπλά εργαλεία για τη στήριξη της ενίσχυσης των ΑΠΕ. Παρόλα αυτά, όταν πρόκειται για το βιομηχανικό τομέα, η πλειοψηφία των πολιτικών κομμάτων διστάζουν να θίξουν και να προωθήσουν τα θέματα κλιματικής αλλαγής, καθώς η απειλή της από-βιομηχανοποίησης υπάρχει έντονη στην Αυστρία, όπως και ο βραχυπρόθεσμος προγραμματισμός που καθοδηγείται από δημοσιονομικά εμπόδια. Αυτός ο φόβος έχει ως αποτέλεσμα τη στασιμότητα και την έλλειψη ενημέρωσης σχετικά με τις απαιτούμενες μεταρρυθμίσεις. Η εισαγωγή νέων τεχνολογιών φιλικών προς το κλίμα, όπως τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, απαιτεί σημαντικές μεταρρυθμίσεις στη νομοθεσία χωροταξικού σχεδιασμού, οι οποίες δεν έχουν δρομολογηθεί για το άμεσο μέλλον, καθώς υπάρχει μεγάλη πολιτική αντίσταση απέναντι στην αλλαγή.

Η προσπάθεια για ταχεία και σοβαρή μετάβαση σε ένα οικονομικό σύστημα με ουδέτερο ισοζύγιο άνθρακα απαιτεί μια στενά συντονισμένη προσέγγιση μεταξύ διαφόρων τομέων, με νέες μορφές θεσμικής συνεργασίας σε μια πολιτική για το κλίμα χωρίς αποκλεισμούς. Οι μεμονωμένες στρατηγικές μετριασμού της κλιματικής αλλαγής σε διάφορους οικονομικούς τομείς δεν επαρκούν. Άλλα είδη μετασχηματισμών πρέπει επίσης να ληφθούν υπόψη, όπως ο μετασχηματισμός του ενεργειακού συστήματος, διότι η αποκεντρωμένη παραγωγή, η αποθήκευση και τα συστήματα ελέγχου των διακυμάνσεων της παραγωγής από ΑΠΕ, καθώς και το διεθνές εμπόριο, αποκτούν συνεχώς μεγαλύτερη σημασία.

Κατά τη διαδικασία ανάπτυξης των μεταβατικών οδών, διάφοροι κίνδυνοι και αβεβαιότητες έχουν εντοπιστεί από τους ενδιαφερόμενους φορείς. Οι κίνδυνοι αυτοί έχουν ταξινομηθεί σε έξι κατηγορίες για περαιτέρω επεξεργασία: Ενεργειακή Υποδομή, Πολιτικό και Θεσμικό Πλαίσιο, Περιβάλλον, Καταναλωτές/Αποδοχή, Οικονομία, Καινοτομία και Επιλογή Τεχνολογίας.

Η μεταβολή της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας από την κυμαινόμενη παραγωγή από ΑΠΕ, οι δυσκολίες για το δίκτυο διανομής (σταθερότητα) και το ζήτημα της ευελιξίας του ενεργειακού συστήματος εγείρουν πολλές συζητήσεις στην κατηγορία της **Ενεργειακής Υποδομής (Energy Infrastructure)**. Οι καλά σχεδιασμένες ενεργειακές υποδομές, κεντρικές ή αποκεντρωμένες, αποτελούν προϋπόθεση για την ενεργειακή μετάβαση και, για το λόγο αυτό, περιλαμβάνουν πολλούς κινδύνους εφαρμογής.

Ένα ολοκληρωμένο και εποικοδομητικό πλαίσιο κλιματικής πολιτικής συμβάλλει σε μεγάλο βαθμό στο μετριασμό της κλιματικής αλλαγής. Όμως, μέχρι στιγμής δεν έχει αναπτυχθεί ολοκληρωμένη εθνική στρατηγική για την ενέργεια και το κλίμα, με ευρεία πολιτική στήριξη και σαφή μέσα υλοποίησης, και έτσι προέκυψε η κατηγορία **Πολιτικό και Θεσμικό Πλαίσιο (Political and Institutional Framework)**. Επιπλέον, η εθνική μετάβαση εξαρτάται από τη μελλοντική διεθνή συνεργασία και τις εξελίξεις, οι οποίες είναι αβέβαιες και φέρουν κινδύνους.

Οι κίνδυνοι αποτελέσματος (*consequential risks*) εμφανίζονται κυρίως στην κατηγορία **Περιβάλλον (Environment)**. Εξαιτίας των διακυμάνσεων που παρουσιάζονται στην παραγωγή ανανεώσιμης

ενέργειας, η αποθήκευση καθίσταται σημαντικός παράγοντας. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη ζήτηση πόρων και, αναπόφευκτα, σε περιβαλλοντικές συνέπειες κατά την εξαγωγή ή τη διάθεση (π.χ. για το λίθιο που χρησιμοποιείται στις μπαταρίες για την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας).

Η κατηγορία **Καταναλωτές/Αποδοχή (Consumers / Acceptance)** περιλαμβάνει κυρίως κινδύνους εφαρμογής. Η ισχυρή και μαζική εμπλοκή της κοινωνίας των πολιτών στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων μπορεί να επιταχύνει τα απαραίτητα μέτρα. Οι σχετικές ελλείψεις γνώσης πρέπει να αντιμετωπιστούν γιατί επίσης καθυστερούν την περαιτέρω δράση, όμως δεν αποτελούν τον πιο σημαντικό παράγοντα. Το φαινόμενο NIMBY (*'Not-In-My-Back-Yard'* – *'όχι στην αυλή μου'*) για παράδειγμα, αναφέρεται στον κίνδυνο των πολιτών που αντιτίθενται στα έργα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Στην Αυστρία, για παράδειγμα, δεν υπάρχει μεγάλη δυνατότητα κατασκευής μεγάλων υδροηλεκτρικών μονάδων και, ταυτόχρονα, η αύξηση του αριθμού των μικρών υδροηλεκτρικών έργων θα μπορούσε να προκαλέσει αντιδράσεις των οργανισμών προστασίας της φύσης κατά των έργων αυτών. Η παράβλεψη θεμάτων κοινωνικής ισότητας και ο ρόλος της αλλαγής συμπεριφοράς κατά τις διαδικασίες μετάβασης αποτελούν κυρίως κινδύνους αποτελέσματος που πρέπει να ληφθούν υπόψη.

Η κατηγορία **Οικονομία (Financial)** περιλαμβάνει βασικά κινδύνους αποτελέσματος, αλλά και την έλλειψη ασφάλειας σχεδιασμού για τους επενδυτές ως επικρατέστερο κίνδυνο εφαρμογής. Η μετάβαση της Ευρωπαϊκής βιομηχανίας σιδήρου και χάλυβα σε νέες τεχνολογίες θα επηρεαστεί είτε από αυξημένες τιμές αυτών των τεχνολογιών ή από φθηνές εισαγωγές αερίου, καθιστώντας λιγότερο ανταγωνιστική τη μετάβαση από τις παραδοσιακές τεχνολογίες υψικαμίνου στις τωρινές ακριβότερες τεχνολογίες (βασισμένες στο υδρογόνο). Οι προσεγγίσεις για την αντιμετώπιση αυτών των εμποδίων περιλαμβάνουν μια ολοκληρωμένη διοικητική μεταρρύθμιση που θα στοχεύει στις συγκεκριμένες προκλήσεις, ή την τιμολόγηση των προϊόντων και των υπηρεσιών ανάλογα με τις επιπτώσεις τους στο κλίμα. Σε αυτό το πλαίσιο, οι βασικοί παράγοντες περιλαμβάνουν την κατάργηση χρηματοδοτήσεων και επιδοτήσεων επιβλαβών για το περιβάλλον δράσεων, όπως η εξερεύνηση νέων αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων. Ένας σημαντικός δείκτης για το σχεδιασμό νέων έργων μετριασμού της κλιματικής αλλαγής είναι η καθιέρωση της τιμής του CO₂, η οποία σήμερα είναι αβέβαιη.

Οι κίνδυνοι στην κατηγορία **Καινοτομία και Επιλογή Τεχνολογίας (Innovation and Technology Choice)** λαμβάνουν υπόψη το γεγονός ότι οι επενδύσεις σε υποδομές με μεγάλο κύκλο ζωής περιορίζουν το βαθμό ελευθερίας στη μετάβαση προς τη βιωσιμότητα, αν οι εκπομπές GHG και η προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή δεν συνυπολογιστούν. Αν όλα τα έργα περιείχαν την έννοια της *'ανθεκτικότητας στο κλίμα'*, η οποία περιλαμβάνει ολοκληρωμένες στρατηγικές μετριασμού και κατάλληλης προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή, αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει στην αποφυγή των λεγόμενων *'επιπτώσεων εγκλωβισμού'* (*lock-in effects*), που δημιουργούν μακροχρόνιες εμμονές σε παραδοσιακές μεθόδους υψηλών εκπομπών. Η εμμονή σε παραδοσιακές τεχνολογίες και οι επιπτώσεις εγκλωβισμού αποτελούν κινδύνους αποτελέσματος κατά την πορεία της μετάβασης, ενώ το χρονοδιάγραμμα θεωρείται κίνδυνος εφαρμογής, καθώς είναι αρκετά δύσκολο να προβλεφθεί ο σωστός χρόνος εγκατάστασης τεχνολογιών βασισμένων στο υδρογόνο, όταν δηλαδή θα είναι ανταγωνιστικές έναντι άλλων τεχνολογιών.

3.2 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

Λαμβάνοντας υπόψη το παραπάνω πλαίσιο και τους πολλαπλούς κινδύνους εφαρμογής και αποτελέσματος που σχετίζονται με τη μετάβαση της Αυστρίας σε μια κοινωνία με χαμηλές εκπομπές άνθρακα, ειδικότερα όσον αφορά στον τομέα σιδήρου και χάλυβα, οι ενδιαφερόμενοι φορείς κατέληξαν στην εξέταση είκοσι πέντε κινδύνων, οι οποίοι ταξινομούνται σε πέντε κατηγορίες, όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.1. Η ταξινόμηση των κινδύνων είναι θεματική και περιλαμβάνει τις ακόλουθες κατηγορίες: ενεργειακές υποδομές, πολιτικό/ θεσμικό πλαίσιο, περιβάλλον/ αποδοχή, οικονομία και καινοτομία – τεχνολογία. Αυτό σημαίνει ότι στην προτεινόμενη ταξινόμηση δεν γίνεται διάκριση μεταξύ των κινδύνων εφαρμογής και αποτελέσματος, καθώς κάθε κατηγορία μπορεί να περιλαμβάνει και τα δύο είδη κινδύνων, αλλά και κινδύνους που μπορεί να θεωρούνται ταυτόχρονα κίνδυνοι εφαρμογής και αποτελέσματος.

Πίνακας 3.1: Κίνδυνοι (εναλλακτικές) της απανθρακοποίησης του τομέα σιδήρου και χάλυβα της Αυστρίας

Κατηγορία	Εναλλακτικές (Κίνδυνοι)
Ενεργειακές Υποδομές	EA1. Έλλειψη διαφάνειας για τους καταναλωτές
	EA2. Αστάθεια του δικτύου λόγω χαμηλών επενδύσεων
	EA3. Πολύ περίπλοκη διαδικασία διαχείρισης και έγκρισης
	EA4. Έλλειψη μέσων αποθήκευσης
Πολιτικό/ Θεσμικό Πλαίσιο	PA1. Απουσία κλιματικής και ενεργειακής στρατηγικής
	PA2. Απουσία πολιτικής ηγεσίας
	PA3. Στρέβλωση της αγοράς στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας
	PA4. Έλλειψη κανονιστικού πλαισίου βάσει τεκμηρίων
	PA5. Ανεπαρκείς και απρόβλεπτες τιμές CO ₂
Περιβάλλον/ Αποδοχή	AA1. Η κατανάλωση πόρων δεν συυπολογίζεται στα έργα
	AA2. Αντίδραση κατά των επενδύσεων
	AA3. Αντιπαλότητα μεταξύ μετριασμού της κλιματικής αλλαγής και κοινωνικής δικαιοσύνης
	AA4. Η αλλαγή συμπεριφοράς δεν λαμβάνεται κατάλληλα υπόψη στη μετάβαση
	AA5. Έλλειψη πλαισίου για τις επενδύσεις και σχεδιασμού για τους καταναλωτές
Οικονομία	FA1. Οικονομικοί κίνδυνοι κατά την εφαρμογή νέων τεχνολογιών
	FA2. Ανεπαρκής εξέταση των συνθηκών ανταγωνισμού
	FA3. Μη συντονισμένη Ευρωπαϊκή πολιτική
	FA4. Κίνδυνοι από τις χρηματοπιστωτικές αγορές
	FA5. Τα νοικοκυριά επιβαρύνονται με ένα μεγάλο ποσοστό του κόστους μετάβασης
Καινοτομία και Τεχνολογία	IA1. Εγκλωβισμοί λόγω μηχανισμών δυναμικότητας
	IA2. Έλλειψη διατομεακού συντονισμού και χρήσης των αποτελεσμάτων συνέργειας
	IA3. Έλλειψη υποδομών Τεχνολογίας Πληροφοριών (έξυπνες λύσεις)
	IA4. Έλλειψη χρηματοδότησης
	IA5. Ατελής εικόνα της μετάβασης
	IA6. Χρονοδιάγραμμα για την εισαγωγή νέων τεχνολογιών

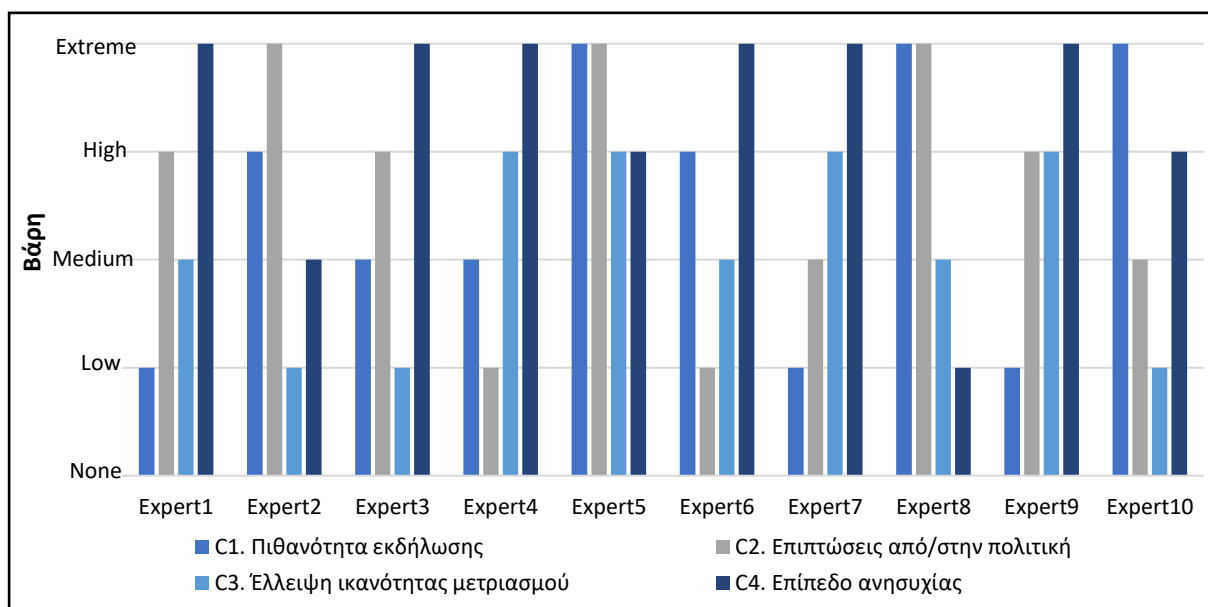
Οι παραπάνω κίνδυνοι αξιολογούνται ως προς τα εξής: την πιθανότητα να εκδηλωθούν, το επίπεδο των ορατών επιπτώσεων που μπορεί να έχουν στο περιβάλλον και τα ανθρώπινα συστήματα ή τη δριμύτητα των επιπτώσεων που μπορεί να εμφανίσουν στο πλαίσιο της πολιτικής για το μετριασμό της κλιματικής αλλαγής, την ικανότητα της κοινωνίας ή/και του κράτους να μετριάσει τους κινδύνους αυτούς, καθώς και το επίπεδο ανησυχίας των ενδιαφερόμενων φορέων σχετικά με αυτούς. Τελικά,

δέκα ενδιαφερόμενοι φορείς (experts) συμμετείχαν στην αξιολόγηση, ως εμπλεκόμενοι φορείς στη διαδικασία λήψης αποφάσεων, με ίσα βάρη μεταξύ τους.

Για την αξιολόγηση των κινδύνων / εναλλακτικών βάσει των τεσσάρων κριτηρίων αξιολόγησης, καθώς και για την απόδοση βαρών στα κριτήρια, χρησιμοποιήθηκε μία γλωσσική κλίμακα πέντε όρων: {None, Low, Medium, High, Extreme}. Με δεδομένο ότι στη συγκεκριμένη διαδικασία ως ‘καλύτερος’ κίνδυνος θεωρείται ο λιγότερο σημαντικός και ως ‘χειρότερος’ ο πιο σημαντικός, καθώς και ότι όλα τα κριτήρια έχουν αρνητικό αντίκτυπο στους κινδύνους, θεωρείται ότι το πρόβλημα περιλαμβάνει ‘κριτήρια κόστους’. Τα βάρη που συνδέονται με τα τέσσερα κριτήρια αξιολόγησης, όπως καθορίστηκαν από τους εμπλεκόμενους φορείς, παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.2 και στο Γράφημα 3.1.

Πίνακας 3.2: Κριτήρια Αξιολόγησης και αντίστοιχα βάρη

	C1. Πιθανότητα εκδήλωσης	C2. Επιπτώσεις από/στην πολιτική	C3. Έλλειψη ικανότητας μετριάσμού	C4. Επίπεδο ανησυχίας
Expert1	Low	High	Medium	Extreme
Expert2	High	Extreme	Low	Medium
Expert3	Medium	High	Low	Extreme
Expert4	Medium	Low	High	Extreme
Expert5	Extreme	Extreme	High	High
Expert6	High	Low	Medium	Extreme
Expert7	Low	Medium	High	Extreme
Expert8	Extreme	Extreme	Medium	Low
Expert9	Low	High	High	Extreme
Expert10	Extreme	Medium	Low	High



Γράφημα 3.1: Κριτήρια Αξιολόγησης και αντίστοιχα βάρη

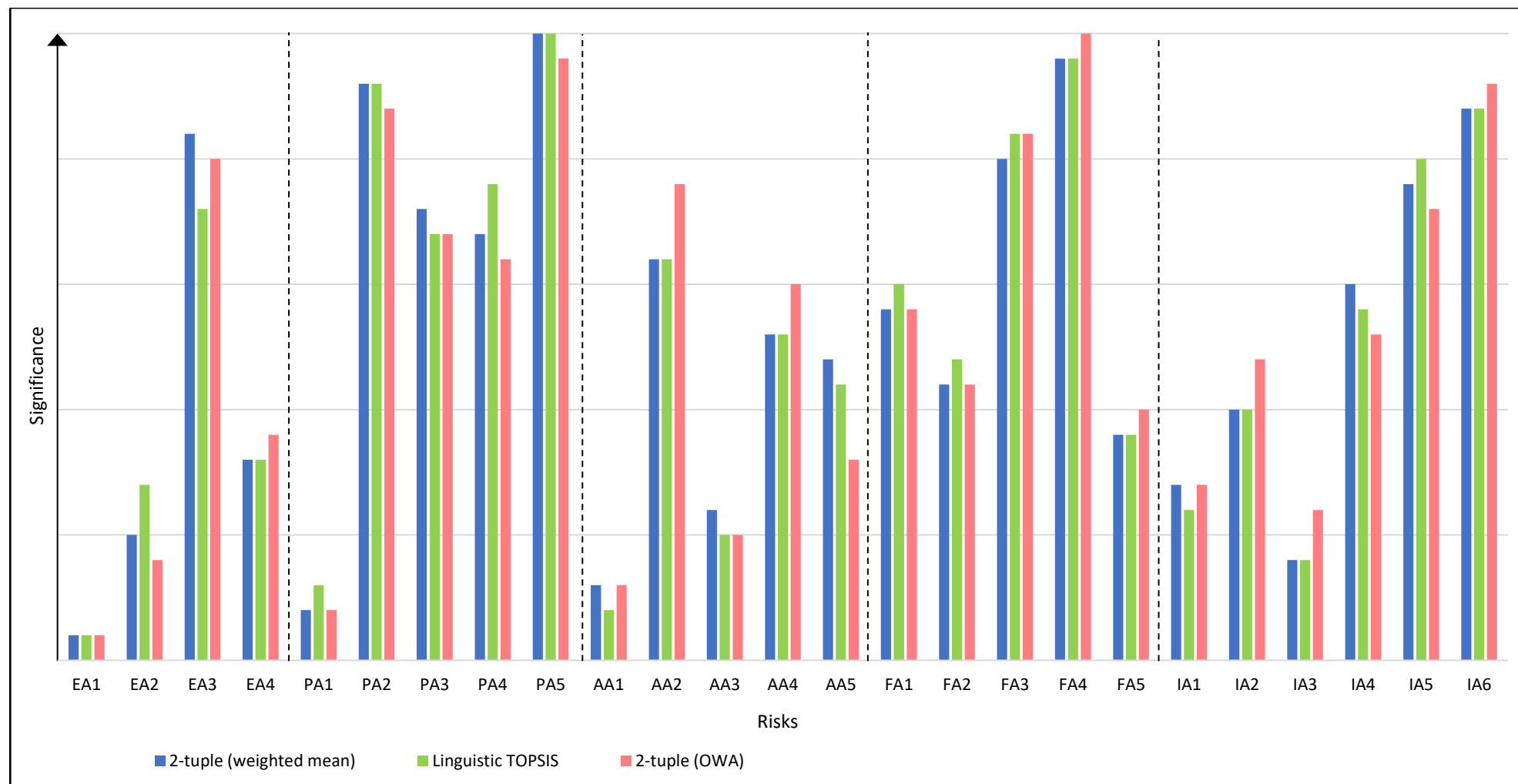
3.3 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΜΕΣΩ ΤΟΥ FLINTSTONES

Κάθε ένας από τους 10 εμπλεκόμενους φορείς (experts) αξιολόγησε κάθε έναν από τους κινδύνους βάσει των τεσσάρων κριτηρίων. Δηλαδή, κάθε εμπλεκόμενος παρείχε για κάθε εναλλακτική 4 γλωσσικές τιμές αξιολόγησης και, συνολικά, $4 \times 25 = 100$ τιμές αξιολόγησης. Οι τιμές αυτές χρησιμοποιούνται ως δεδομένα εισόδου στο Flintstones, με στόχο μια κατάταξη των κινδύνων από τον σημαντικότερο προς τον λιγότερο σημαντικό, βάσει των απόψεων όλων των εμπλεκόμενων.

Μετά τον καθορισμό του προβλήματος στο Flintstones, είναι απαραίτητη η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου πολυκριτήριας ανάλυσης, που θα εφαρμοστεί ώστε να προκύψει η τελική κατάταξη. Δεδομένου ότι το πρόβλημα περιλαμβάνει 10 experts, 4 κριτήρια και όλες οι αξιολογήσεις εκφράζονται σε μία ενιαία γλωσσική κλίμακα, δύο από τις διαθέσιμες μεθόδους του Flintstones έχουν εφαρμογή στη συγκεκριμένη περίπτωση: το γλωσσικό μοντέλο διπλής αναπαράστασης (*2-tuple Linguistic Model*) και η γλωσσική μέθοδος TOPSIS. Για λόγους σύγκρισης των αποτελεσμάτων και για να εντοπιστούν τυχόν μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ των δύο μεθόδων, χρησιμοποιήθηκαν και οι δύο ξεχωριστά για την ανάλυση του προβλήματος. Επιπλέον, επειδή μετά την επιλογή του μοντέλου διπλής αναπαράστασης ο χρήστης πρέπει να καθορίσει τον τελεστή συνάθροισης που θα χρησιμοποιηθεί στη διαδικασία, εδώ επιλέχθηκε η μέθοδος να εφαρμοστεί δύο φορές ξεχωριστά: μία χρησιμοποιώντας τον σταθμισμένο μέσο όρο (weighted mean) για τη συνάθροιση και μία με τη χρήση του τελεστή OWA. Η κατάταξη των κινδύνων από τον σημαντικότερο προς τον λιγότερο σημαντικό, όπως προέκυψε για κάθε μία από τις μεθόδους, παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.3, ενώ στο Γράφημα 3.2 αποτυπώνεται η σπουδαιότητα κάθε κινδύνου, βάσει της θέσης του στην τελική κατάταξη.

Πίνακας 3.3: Τελική κατάταξη των κινδύνων

Κατάταξη	Μέθοδος		
	2-tuple Linguistic Model (Weighted Mean)	2-tuple Linguistic Model (OWA)	Linguistic TOPSIS
1	PA5	FA4	PA5
2	FA4	PA5	FA4
3	PA2	IA6	PA2
4	IA6	PA2	IA6
5	EA3	FA3	FA3
6	FA3	EA3	IA5
7	IA5	AA2	PA4
8	PA3	IA5	EA3
9	PA4	PA3	PA3
10	AA2	PA4	AA2
11	IA4	AA4	FA1
12	FA1	FA1	IA4
13	AA4	IA4	AA4
14	AA5	IA2	FA2
15	FA2	FA2	AA5
16	IA2	FA5	IA2
17	FA5	EA4	FA5
18	EA4	AA5	EA4
19	IA1	IA1	EA2
20	AA3	IA3	IA1
21	EA2	AA3	AA3
22	IA3	EA2	IA3
23	AA1	AA1	PA1
24	PA1	PA1	AA1
25	EA1	EA1	EA1



Γράφημα 3.2: Σπουδαιότητα των κινδύνων βάσει της τελικής κατάταξης

Όπως παρατηρείται στον Πίνακα 3.3 και το Γράφημα 3.2, τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις τρεις αναλύσεις που έγιναν με τη χρήση του Flintstones, δεν εμφανίζουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Η κατάταξη των κινδύνων με τη χρήση της γλωσσικής μεθόδου TOPSIS είναι σχεδόν όμοια με αυτή που προέκυψε από την εφαρμογή του γλωσσικού μοντέλου διπλής αναπαράστασης με χρήση του σταθμισμένου μέσου όρου ως τελεστή συνάθροισης των αξιολογήσεων. Ελάχιστα διαφέρουν τα αποτελέσματα της εφαρμογής του γλωσσικού μοντέλου διπλής αναπαράστασης με τη χρήση του τελεστή OWA.

Στις υψηλότερες θέσεις της κατάταξης, όπως δείχνουν τα αποτελέσματα και των τριών μεθόδων, βρίσκονται δύο από τους κινδύνους που σχετίζονται με το πολιτικό και θεσμικό πλαίσιο της Αυστρίας, ένας από τον τομέα της οικονομίας και ένας που σχετίζεται με την καινοτομία και τη χρήση νέων τεχνολογιών. Στον Πίνακα 3.4 που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι σημαντικότεροι και οι λιγότερο σημαντικοί κίνδυνοι κάθε κατηγορίας. Σημειώνεται ότι και οι τρεις μέθοδοι παρείχαν τα ίδια αποτελέσματα όσον αφορά στον σημαντικότερο και τον λιγότερο σημαντικό κίνδυνο κάθε μίας από τις πέντε κατηγορίες, στις οποίες έχουν ταξινομηθεί οι 25 κίνδυνοι μετάβασης του τομέα σιδήρου και χάλυβα της Αυστρίας σε τεχνολογίες χαμηλών εκπομπών.

Πίνακας 3.4: Σημαντικότεροι και λιγότερο σημαντικοί κίνδυνοι ανά κατηγορία

Κατηγορία	Σημαντικότερος Κίνδυνος	Λιγότερο σημαντικός Κίνδυνος
Ενεργειακές Υποδομές	EA3. Πολύ περίπλοκη διαδικασία διαχείρισης και έγκρισης	EA1. Έλλειψη διαφάνειας για τους καταναλωτές
Πολιτικό/ Θεσμικό Πλαίσιο	PA5. Ανεπαρκείς και απρόβλεπτες τιμές CO ₂	PA1. Απουσία κλιματικής και ενεργειακής στρατηγικής
Περιβάλλον/ Αποδοχή	AA2. Αντίδραση κατά των επενδύσεων	AA1. Η κατανάλωση πόρων δεν συυπολογίζεται στα έργα
Οικονομία	FA4. Κίνδυνοι από τις χρηματοπιστωτικές αγορές	FA5. Τα νοικοκυριά επιβαρύνονται με ένα μεγάλο ποσοστό του κόστους μετάβασης
Καινοτομία και Τεχνολογία	IA6. Χρονοδιάγραμμα για την εισαγωγή νέων τεχνολογιών	IA3. Έλλειψη υποδομών Τεχνολογίας Πληροφοριών (έξυπνες λύσεις)

Στην κατηγορία των ενεργειακών υποδομών οι εμπλεκόμενοι θεωρούν ως σημαντικότερο κίνδυνο τις γραφειοκρατικές και περίπλοκες διαδικασίες διαχείρισης, έγκρισης και αδειοδότησης, οι οποίες μπορεί να οδηγήσουν σε μεγάλες χρονικές καθυστερήσεις. Αντίθετα, μικρότερης σημασίας κίνδυνος θεωρείται η έλλειψη διαφάνειας προς τους καταναλωτές, όσον αφορά στον σχεδιασμό, για παράδειγμα, του μελλοντικού συστήματος παροχής ενέργειας και κάλυψης των ενεργειακών αναγκών.

Στην κατηγορία του Πολιτικού / Θεσμικού Πλαισίου, η αβεβαιότητα για την εξέλιξη των τιμών του CO₂ αναδεικνύεται με διαφορά ο σημαντικότερος κίνδυνος. Η τιμή του CO₂ είναι προς το παρόν αβέβαιη, ιδιαίτερα για τα επιμέρους κράτη – μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, καθώς ο σχεδιασμός του Συστήματος Εμπορίας Εκπομπών γίνεται σε επίπεδο ΕΕ. Αν δεν υπάρχει διεθνής συνεργασία και συντονισμός για αυτό το ζήτημα, είναι πιθανόν η προσοχή να στραφεί σε χώρες με λιγότερο αυστηρή κλιματική πολιτική. Σημαντικός κίνδυνος σε αυτή την κατηγορία φαίνεται να είναι και η έλλειψη πολιτικής βούλησης και λήψης πρωτοβουλιών από την πολιτική ηγεσία, για την υλοποίηση δράσεων μετάβασης προς τεχνολογίες χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Λιγότερο σημαντικός κίνδυνος θεωρείται η απουσία κλιματικής και ενεργειακής στρατηγικής στην Αυστρία, με σαφή ορόσημα και στόχους. Το

ενδιαφέρον εστιάζεται στο γεγονός ότι μέχρι σήμερα δεν έχει αναπτυχθεί μία ολοκληρωμένη στρατηγική, αλλά οι εμπλεκόμενοι θεωρούν ότι αυτός ο κίνδυνος μπορεί εύκολα να μετριαστεί στο άμεσο μέλλον, καθώς δεν επηρεάζεται από εξωγενείς παράγοντες.

Στην κατηγορία Περιβάλλον / Αποδοχή, η βασική ανησυχία εντοπίζεται γύρω από τις αντιδράσεις που μπορεί να εμφανιστούν κατά των μεγάλων επενδυτικών έργων και την κατασκευή νέων εναέριων γραμμών υψηλής τάσης. Τέτοιες αντιδράσεις θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε σημαντικές καθυστερήσεις τα έργα μετάβασης ή ακόμα και σε αυξημένα κόστη σε περιπτώσεις, για παράδειγμα, που θα προκύψει ανάγκη κατασκευής υπογείων γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Αντίθετα, η πιθανότητα κατά τον σχεδιασμό των έργων να μην συνυπολογίζεται η κατανάλωση φυσικών πόρων και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις, εμφανίζεται ως η λιγότερο σημαντική απειλή αυτής της κατηγορίας.

Στον τομέα της Οικονομίας, σημαντικότερος φαίνεται να είναι ο κίνδυνος από τις χρηματοπιστωτικές αγορές, που συνδέεται με το δυσμενές οικονομικό περιβάλλον και την ισχυρή άσκηση πιέσεων που δυσχεραίνουν τη διαφάνεια. Εδώ περιλαμβάνονται οι παραπλανητικοί κανονισμοί της αγοράς και ο ανεπαρκής σχεδιασμός της, οι υπέρμετρες νομοθετικές ρυθμίσεις και οι επιδοτήσεις της εκμετάλλευσης ορυκτών καυσίμων. Ο λιγότερο σοβαρός κίνδυνος του τομέα της οικονομίας σχετίζεται με την άνιση κατανομή του κόστους μετάβασης σε χαμηλές εκπομπές άνθρακα και, ειδικότερα, την πιθανότητα ένα δυσανάλογο ποσοστό του κόστους αυτού να επιβαρύνει τα νοικοκυριά.

Τέλος, όσον αφορά στον τομέα της Καινοτομίας και Τεχνολογίας, μεγαλύτερη ανησυχία στους εμπλεκόμενους προκαλεί το χρονοδιάγραμμα χρηματοδότησης νέων επενδύσεων και εισαγωγής νέων τεχνολογιών, καθώς είναι αρκετά δύσκολο να προβλεφθεί η κατάλληλη χρονική στιγμή υλοποίησης αυτών, ώστε να είναι ανταγωνιστικές και αποδοτικές. Από την άλλη πλευρά, ο λιγότερο σημαντικός κίνδυνος της κατηγορίας αυτής σχετίζεται με την έλλειψη υποδομών στον τομέα της Πληροφορικής ('έξυπνες' λύσεις).

3.4 ΕΞΕΤΑΣΗ ΟΜΟΦΩΝΙΑΣ ΜΕΣΩ ΤΟΥ AFRYCA

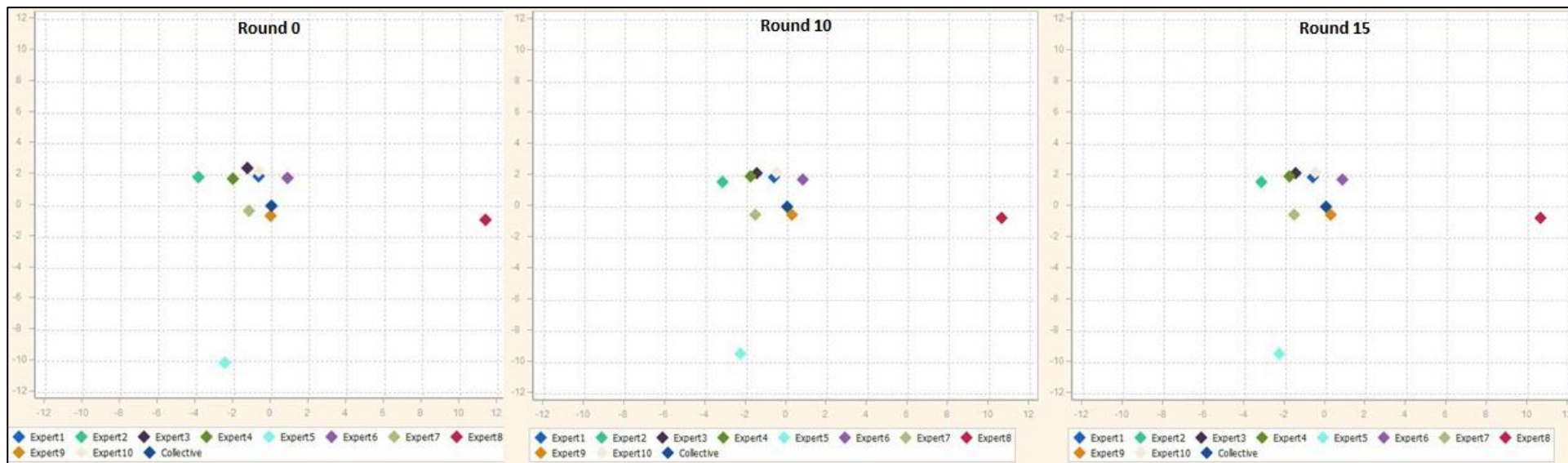
Στη συνέχεια της ανάλυσης τα αποτελέσματα του Flintstones, δηλαδή οι αξιολογήσεις και η τελική κατάταξη των 25 κινδύνων μετάβασης του τομέα σιδήρου και χάλυβα της Αυστρίας σε τεχνολογίες χαμηλών εκπομπών άνθρακα, εισάγονται στο AFRYCA, ώστε να προσδιοριστεί το επίπεδο ομοφωνίας μεταξύ των 10 εμπλεκόμενων φορέων, καθώς και η δυνατότητα αύξησης της ομοφωνίας. Στο συγκεκριμένο πρόβλημα οι αξιολογήσεις των κινδύνων από τους εμπλεκόμενους εκφράζονται σε γλωσσικούς όρους 2-tuples (όπως προέκυψαν από το Flintstones) και, επιπλέον, δεν υπάρχει η δυνατότητα αλληλεπίδρασης με τους εμπλεκόμενους ώστε να μεταβάλλουν τις απόψεις τους σε περίπτωση που προκύψει χαμηλό επίπεδο ομοφωνίας. Με δεδομένες αυτές τις συνθήκες, για τη διαδικασία προσδιορισμού της ομοφωνίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν δύο από τα διαθέσιμα μοντέλα ομοφωνίας του AFRYCA που περιγράφονται στο Κεφάλαιο 2: η Μέθοδος επίτευξης ομοφωνίας 1 (*F. Zou et al, 2015*) και η Μέθοδος επίτευξης ομοφωνίας 5 (*TRANSrisk*), από την ομάδα των μοντέλων χωρίς ανατροφοδότηση (*without feedback*).

3.4.1 Εφαρμογή της Μεθόδου επίτευξης ομοφωνίας 1

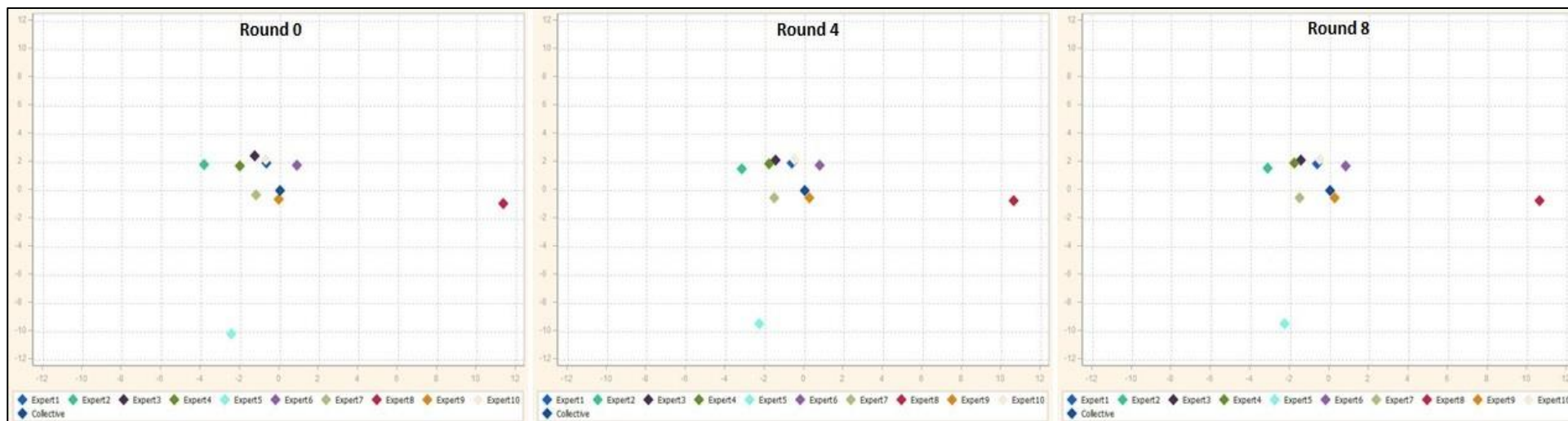
Με την επιλογή του μοντέλου ομοφωνίας “F.Zou et al. (2015)” στο AFRYCA, ο χρήστης πρέπει να καθορίσει τις τιμές των εξής παραμέτρων:

- “*lambda*” (λ): μία παράμετρος που καθορίζει την έκταση της μεταβολής της αρχικής αξιολόγησης σε κάθε επανάληψη, με $0 < \lambda < 1$.
- “*alpha*” (α): ένα κατώφλι με το οποίο συγκρίνεται ο βαθμός ομοιότητας δύο τιμών αξιολογήσεων, με $0 < \alpha < 1$. Χρησιμοποιώντας το κατώφλι α ελέγχεται η συμβατότητα δύο αξιολογήσεων με τη μορφή γλωσσικών 2-tuples, που δίνονται από δύο εμπλεκόμενους για την ίδια εναλλακτική και το ίδιο κριτήριο. Αν ο βαθμός ομοιότητας είναι μεγαλύτερος ή ίσος του α , θεωρείται αποδεκτός.
- “*zeta*” (ζ): ένα κατώφλι με το οποίο συγκρίνεται ο δείκτης ομοφωνίας, που στο συγκεκριμένο μοντέλο έχει την έννοια της εγγύτητας (απόστασης) ανάμεσα σε έναν εμπλεκόμενο και τους υπόλοιπους. Αν για έναν εμπλεκόμενο φορέα ο δείκτης ομοφωνίας είναι μικρότερος ή ίσος του ζ , θεωρείται ότι υπάρχει αποδεκτή ομοφωνία ανάμεσα σε αυτόν και τους υπόλοιπους εμπλεκόμενους, ως προς την αξιολόγηση μιας εναλλακτικής βάσει ενός κριτηρίου (δηλαδή όσο μικρότερη η τιμή του δείκτη ομοφωνίας ενός εμπλεκόμενου, τόσο περισσότεροι οι βαθμοί ομοιότητας μεταξύ αυτού και των υπολοίπων που φτάνουν στο κατώφλι α). Το ζ είναι ένας ακέραιος αριθμός και συνήθως λαμβάνεται $\zeta = \frac{p-1}{2}$ (όπου p ο αριθμός των εμπλεκόμενων φορέων).
- “*h_max*” : Ο μέγιστος επιτρεπόμενος αριθμός των επαναλήψεων κατά τη διαδικασία αύξησης της ομοφωνίας.

Η έννοια των παραπάνω παραμέτρων του μοντέλου περιγράφεται αναλυτικότερα στην αντίστοιχη ενότητα του Κεφαλαίου 2. Για το πρόβλημα που εξετάζεται εδώ, η προσομοίωση εκτελέστηκε αρχικά για τις εξής τιμές: $\lambda = 0.8$, $\zeta = 4$, $\alpha = 0.85$, $h_{max} = 15$. Τα αποτελέσματα αυτής της προσομοίωσης, όσον αφορά στο επίπεδο ομοφωνίας μεταξύ των 10 εμπλεκόμενων φορέων (Experts), παρουσιάζονται στην Εικόνα 3.1, όπου το σχήμα “Round 0” αναφέρεται στο αρχικό επίπεδο ομοφωνίας, το σχήμα “Round 10” στη 10^η επανάληψη της διαδικασίας αύξησης ομοφωνίας και το σχήμα “Round 15” στην 15^η και τελευταία επανάληψη. Όπως παρατηρείται στη συγκεκριμένη Εικόνα, το αρχικό επίπεδο ομοφωνίας δεν μεταβάλλεται σημαντικά κατά την εξέλιξη της διαδικασίας. Τόσο κατά την έναρξη όσο και στο τέλος, η απόσταση των αξιολογήσεων των εμπλεκόμενων φορέων από τη συλλογική αξιολόγηση των κινδύνων είναι μικρή (υπάρχει δηλαδή αρκετά υψηλό επίπεδο ομοφωνίας), με εξαίρεση τον Expert 5 και τον Expert 8, που φαίνεται να παρουσιάζουν την μεγαλύτερη απόκλιση από τη συλλογική άποψη. Επιπλέον, παρατηρείται ότι η μεταβολή από τον 10^ο κύκλο έως τον 15^ο κύκλο είναι μηδενική, γεγονός που σημαίνει ότι οι 15 επαναλήψεις στο συγκεκριμένο πρόβλημα είναι υπεραρκετές και το αποδεκτό επίπεδο ομοφωνίας μπορεί να επιτευχθεί με λιγότερες επαναλήψεις. Για να εντοπιστεί ο κύκλος της διαδικασίας πέρα από τον οποίο καμία σημαντική μεταβολή δεν εμφανίζεται στις αξιολογήσεις, το μοντέλο εφαρμόστηκε στη συνέχεια για διάφορες τιμές του h_{max} . Με τον τρόπο αυτό, προέκυψε ότι μέχρι και την 7^η επανάληψη οι αξιολογήσεις μεταβάλλονται (έστω και ελάχιστα) με στόχο την αύξηση του επιπέδου ομοφωνίας. Από εκεί και μετά ($h_{max} \geq 8$), καμία σημαντική μεταβολή δεν εμφανίζεται και οι αποστάσεις των επιμέρους αξιολογήσεων των εμπλεκόμενων από τη συλλογική αξιολόγηση παραμένουν ίδιες.



Εικόνα 3.1: Αποτύπωση αποτελεσμάτων του μοντέλου ομοφωνίας “F.Zou et al. (2015)” ($h_{max}=15$)

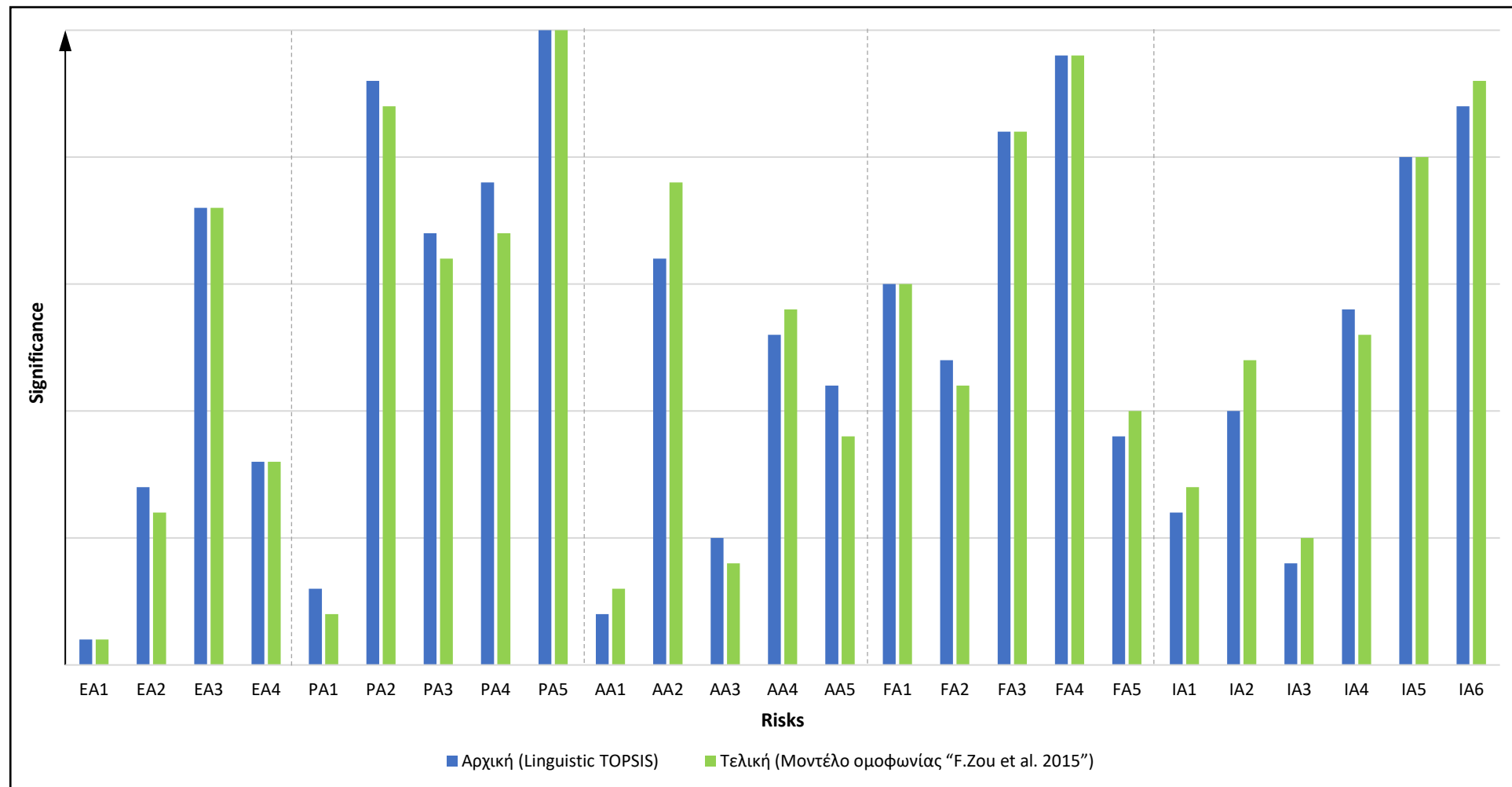


Εικόνα 3.2: Αποτύπωση αποτελεσμάτων του μοντέλου ομοφωνίας “F.Zou et al. (2015)” ($h_{max}=8$)

Κατά την εφαρμογή του μοντέλου ομοφωνίας “F.Zou et al. (2015)” στο AFRYCA, εκτός από τη σχηματική αναπαράσταση των αποτελεσμάτων, μπορούν να ληφθούν και επιπλέον στοιχεία για τη διαδικασία, μεταξύ των οποίων η τελική κατάταξη των κινδύνων βάσει των τελικών αξιολογήσεων κάθε εμπλεκόμενου, ο αριθμός των μεταβολών που απαιτήθηκαν ώστε να επιτευχθεί ένα αποδεκτό επίπεδο ομοφωνίας, η διαφορά μεταξύ αρχικής και τελικής συλλογικής αξιολόγησης. Στον Πίνακα 3.5 παρουσιάζεται η τελική κατάταξη των κινδύνων (από τον σημαντικότερο προς τον λιγότερο σημαντικό) όπως προέκυψε από την αρχική εφαρμογή του μοντέλου “F.Zou et al. (2015)”, μετά δηλαδή από τις 15 επαναλήψεις της διαδικασίας αύξησης της ομοφωνίας. Στον ίδιο Πίνακα, για λόγους σύγκρισης, παρατίθεται και η αρχική κατάταξη των κινδύνων που προέρχεται από την εφαρμογή του Flintstones και, ειδικότερα, από την εφαρμογή της γλωσσικής μεθόδου TOPSIS. Στο Γράφημα 3.3 αποτυπώνεται η σπουδαιότητα κάθε κινδύνου, βάσει της θέσης του στην αρχική και την τελική κατάταξη. Όπως παρατηρείται, οι θέσεις των κινδύνων στη σειρά σπουδαιότητας δεν μεταβάλλονται σημαντικά, με τον σημαντικότερο και τον λιγότερο σημαντικό κίνδυνο να παραμένουν οι ίδιοι.

Πίνακας 3.5: Αρχική και τελική κατάταξη των κινδύνων βάσει του μοντέλου ομοφωνίας “F.Zou et al. (2015)”

Κατάταξη	Αρχική (<i>Linguistic TOPSIS</i>)	Τελική (<i>Μοντέλο ομοφωνίας “F.Zou et al.(2015)”</i>)
1	PA5	PA5
2	FA4	FA4
3	PA2	IA6
4	IA6	PA2
5	FA3	FA3
6	IA5	IA5
7	PA4	AA2
8	EA3	EA3
9	PA3	PA4
10	AA2	PA3
11	FA1	FA1
12	IA4	AA4
13	AA4	IA4
14	FA2	IA2
15	AA5	FA2
16	IA2	FA5
17	FA5	AA5
18	EA4	EA4
19	EA2	IA1
20	IA1	EA2
21	AA3	IA3
22	IA3	AA3
23	PA1	AA1
24	AA1	PA1
25	EA1	EA1



Γράφημα 3.3: Σπουδαιότητα των κινδύνων βάσει της κατάταξής τους, μετά την εφαρμογή του μοντέλου ομοφωνίας "F.Zou et al. (2015)"

Προκειμένου να εξεταστεί η ευαισθησία των αποτελεσμάτων στις τιμές των παραμέτρων του μοντέλου που εισάγονται από τον χρήστη, το μοντέλο εφαρμόστηκε για διάφορες τιμές αυτών και έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων. Πιο συγκεκριμένα, αρχικά εξετάστηκε η επίδραση της παραμέτρου "*lambda*" (λ), εφαρμόζοντας το μοντέλο για τιμές $0.5 \leq \lambda \leq 0.9$ (διατηρώντας τις τιμές των υπολοίπων παραμέτρων ίσες με αυτές της πρώτης εφαρμογής, δηλαδή $\zeta = 4, \alpha = 0.85, h_{max} = 15$). Παρατηρήθηκε ότι η μεταβολή του λ δεν επηρεάζει καθόλου το τελικό επίπεδο ομοφωνίας μεταξύ των εμπλεκόμενων, ούτε την τελική κατάταξη των κινδύνων. Τα στοιχεία που επηρεάζονται είναι κάποια επιμέρους αποτελέσματα που δίνει το μοντέλο, όπως ο αριθμός των μεταβολών των αξιολογήσεων που απαιτήθηκαν για την επίτευξη ομοφωνίας καθώς και η διαφορά μεταξύ αρχικών και τελικών αξιολογήσεων. Όπως είναι λογικό, όσο μικρότερη η τιμή του λ , τόσο μικρότερος ο αριθμός των μεταβολών που πραγματοποιούνται, αφού η συγκεκριμένη παράμετρος καθορίζει την έκταση της μεταβολής των αρχικών αξιολογήσεων.

Η εφαρμογή του μοντέλου για διάφορες τιμές της παραμέτρου "*zita*" (ζ) και ειδικότερα για $2 \leq \zeta \leq 6$, έδειξε ότι η μεταβολή της συγκεκριμένης παραμέτρου δεν επηρεάζει καθόλου τα αποτελέσματα. Το γεγονός αυτό μπορεί να θεωρηθεί λογικό, αν ληφθεί υπόψη ότι το αρχικό επίπεδο ομοφωνίας του συγκεκριμένου προβλήματος (Round 0) είναι ήδη αρκετά υψηλό και ο δείκτης ομοφωνίας των εμπλεκόμενων προκύπτει από την αρχή μικρότερος από το κατώφλι ζ .

Τέλος, από την εφαρμογή του μοντέλου για διάφορες τιμές της παραμέτρου "*alpha*" (α) και συγκεκριμένα για τιμές $0.7 \leq \alpha \leq 0.95$, προέκυψε το συμπέρασμα ότι ούτε το κατώφλι α επηρεάζει στο συγκεκριμένο πρόβλημα το τελικό επίπεδο ομοφωνίας μεταξύ των εμπλεκόμενων και την τελική κατάταξη των κινδύνων. Τα στοιχεία που επηρεάζονται και σε αυτή την περίπτωση είναι ο αριθμός των μεταβολών των αξιολογήσεων που απαιτήθηκαν για την επίτευξη ομοφωνίας καθώς και η διαφορά μεταξύ αρχικών και τελικών αξιολογήσεων. Δεδομένου ότι η παράμετρος α καθορίζει την αποδεκτή ομοιότητα μεταξύ των αξιολογήσεων των εμπλεκόμενων, όσο μικρότερη είναι η τιμή της συγκεκριμένης παραμέτρου, τόσο λιγότερες οι μεταβολές των αξιολογήσεων και τόσο μικρότερη η διαφορά μεταξύ αρχικών και τελικών αξιολογήσεων.

Οι παραπάνω παρατηρήσεις αποτυπώνονται στον Πίνακα 3.6, για ενδεικτικές τιμές των παραμέτρων λ και α του μοντέλου ομοφωνίας.

Πίνακας 3.6: Επίδραση των παραμέτρων λ και α στα αποτελέσματα του μοντέλου ομοφωνίας "F.Zou et al. (2015)"

Αποτελέσματα Μεθόδου επίτευξης ομοφωνίας 1 "F.Zou et al. (2015)"	Αρχική προσομοίωση ($\lambda=0.8, \zeta=4, \alpha=0.85, h_{max}=15$)	$\zeta=4, \alpha=0.85, h_{max}=15$		$\lambda=0.8, \zeta=4, h_{max}=15$	
		$\lambda=0.5$	$\lambda=0.9$	$\alpha=0.7$	$\alpha=0.95$
Τελική Κατάταξη Κινδύνων	βλ. Πίνακα 3.5	Πιν. 3.5	Πιν. 3.5	Πιν. 3.5	Πιν. 3.5
Τελικό επίπεδο ομοφωνίας	9	9	9	9	9
Αριθμός μεταβολών των αξιολογήσεων	206	123	344	8	422

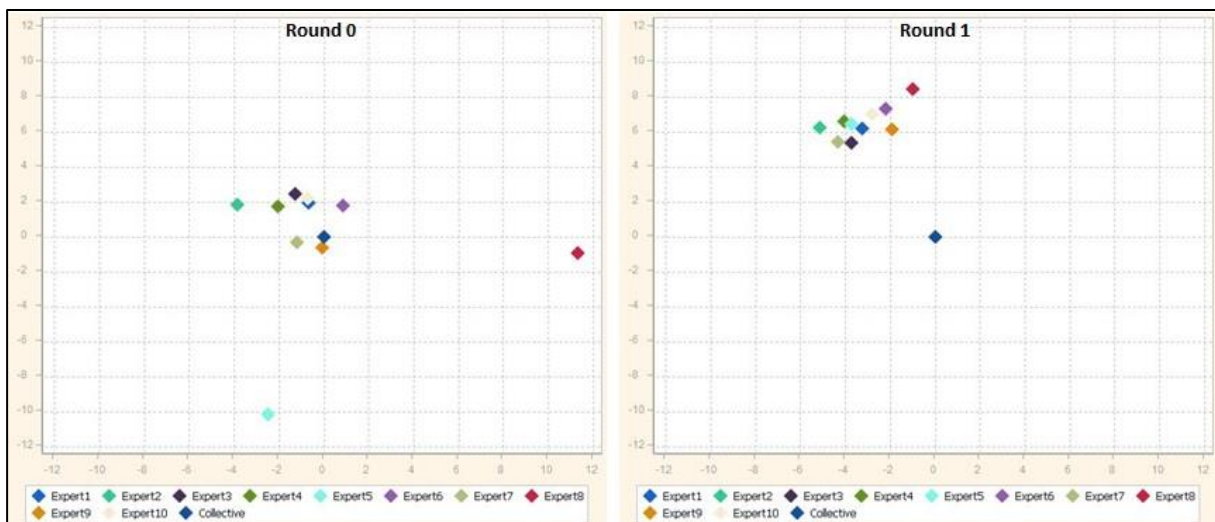
3.4.2 Εφαρμογή της Μεθόδου επίτευξης ομοφωνίας 5

Με την επιλογή του μοντέλου ομοφωνίας “TRANSrisk” στο AFRYCA, ο χρήστης πρέπει να καθορίσει τις τιμές των εξής παραμέτρων:

- "epsilon" (ε): ένα κατώφλι που αντιπροσωπεύει τη μέγιστη αποδεκτή απόσταση μεταξύ της άποψης κάθε εμπλεκόμενου και της συλλογικής άποψης, με $\varepsilon \in [0,1]$.
- "alpha" (α): ένα κατώφλι ομοφωνίας που εκφράζει το ελάχιστο αποδεκτό επίπεδο ομοφωνίας μεταξύ των εμπλεκόμενων, με $\alpha \in [0,1]$.
- "cost": το κόστος για τη μεταβολή της άποψης κάθε εμπλεκόμενου κατά μία μονάδα. Το πλήθος των τιμών που εισάγονται είναι ίσο με το πλήθος των εμπλεκόμενων φορέων.
- "weights": τα βάρη των εμπλεκόμενων φορέων. Εισάγεται μία τιμή για κάθε εμπλεκόμενο και το άθροισμα όλων πρέπει να ισούται με 1.

Η έννοια των παραπάνω παραμέτρων του μοντέλου περιγράφεται αναλυτικότερα στην αντίστοιχη ενότητα του Κεφαλαίου 2. Για το πρόβλημα που εξετάζεται εδώ, η προσομοίωση εκτελέστηκε αρχικά για τις εξής τιμές: $\varepsilon = 0.1$, $\alpha = 0.85$. Επίσης, το κόστος μεταβολής της άποψης κάθε εμπλεκόμενου θεωρήθηκε ίσο με 1 (το ίδιο και για τους 10 εμπλεκόμενους) και σε όλους τους εμπλεκόμενους αποδόθηκε το ίδιο βάρος, ίσο με 0.1, καθώς δεν υπήρχε διαφορετική πληροφόρηση. Τα αποτελέσματα αυτής της προσομοίωσης, όσον αφορά στο επίπεδο ομοφωνίας μεταξύ των 10 εμπλεκόμενων φορέων (Experts), παρουσιάζονται στην Εικόνα 3.3, όπου το σχήμα “Round 0” αναφέρεται στο αρχικό επίπεδο ομοφωνίας και το σχήμα “Round 1” στο επίπεδο ομοφωνίας που επιτυγχάνεται μετά την εφαρμογή του μοντέλου.

Δεδομένου ότι το συγκεκριμένο μοντέλο ομοφωνίας είναι ένα μοντέλο ελαχιστοποίησης του κόστους, που βασίζεται στον γραμμικό προγραμματισμό, εδώ δεν λαμβάνουν χώρα επαναλήψεις (κύκλοι) της διαδικασίας για την αύξηση της ομοφωνίας, απλά προκύπτει μία βέλτιστη λύση ομοφωνίας.



Εικόνα 3.3: Αποτύπωση αποτελεσμάτων του μοντέλου ομοφωνίας “TRANSrisk”

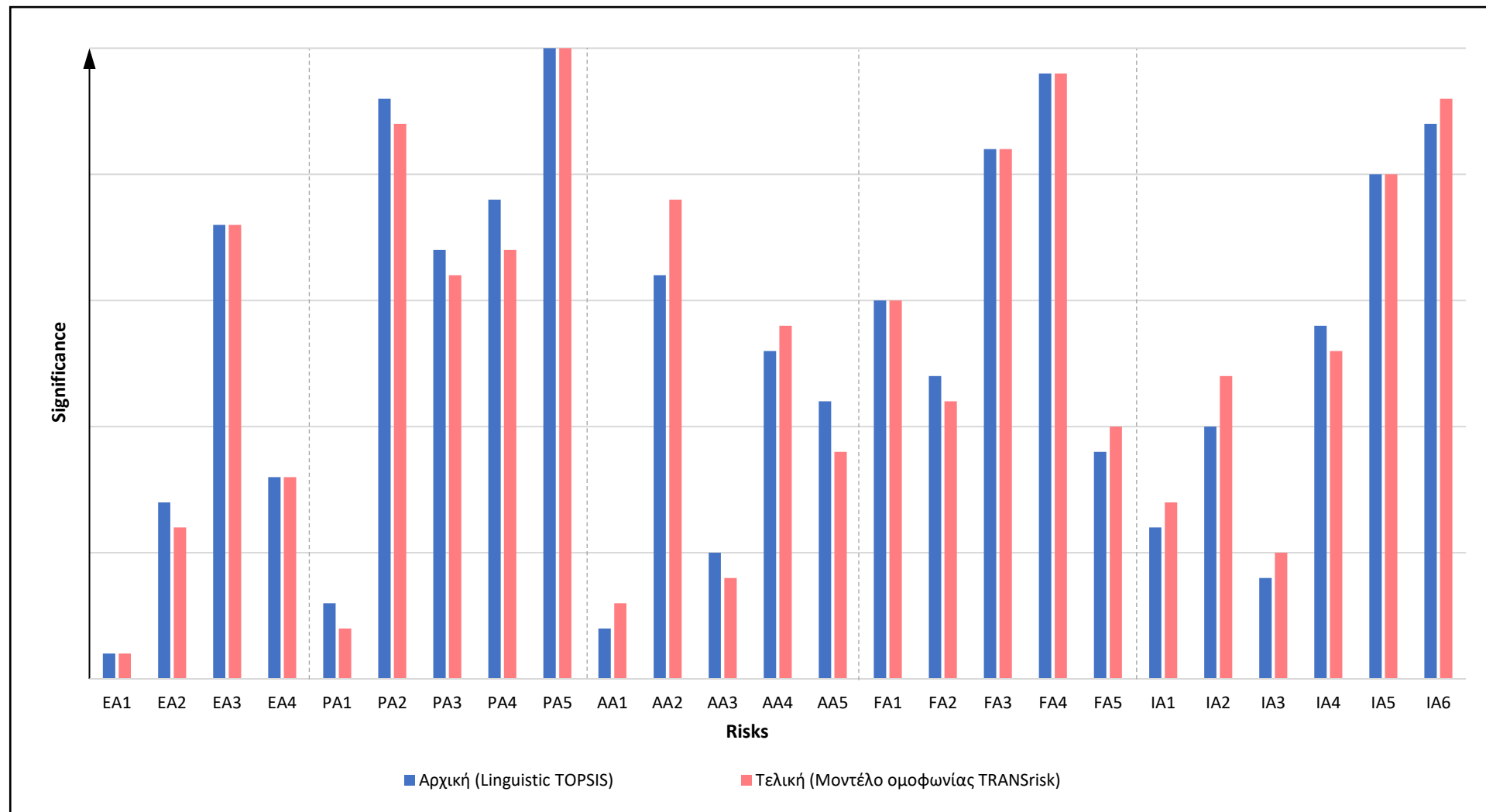
Ο αρχικός βαθμός ομοφωνίας μεταξύ των εμπλεκόμενων, βάσει των αρχικών αξιολογήσεων των κινδύνων, υπολογίστηκε από το μοντέλο ίσος με 0.77. Όπως φαίνεται και στην παραπάνω Εικόνα, το αρχικό επίπεδο ομοφωνίας (Round 0) είναι αρκετά υψηλό και οι αποστάσεις μεταξύ των αρχικών

αξιολογήσεων των εμπλεκόμενων είναι σχετικά μικρές, με εξαίρεση τον Expert 5 και τον Expert 8, οι οποίοι παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες αποκλίσεις από τη συλλογική άποψη και από τους υπόλοιπους εμπλεκόμενους. Μετά την εφαρμογή του μοντέλου ελαχίστου κόστους, με τις τιμές των παραμέτρων που αναφέρονται παραπάνω, ο βαθμός ομοφωνίας ανέρχεται σε 0.92 και οι αξιολογήσεις όλων των εμπλεκόμενων βρίσκονται πλέον σε μικρή απόσταση μεταξύ τους (*Round 1* στην Εικόνα 3.3).

Όπως και στην περίπτωση της Μεθόδου επίτευξης ομοφωνίας 1, κατά την εφαρμογή της μεθόδου “TRANSrisk” στο AFRYCA, εκτός από τη σχηματική αναπαράσταση των αποτελεσμάτων, μπορούν να ληφθούν και επιπλέον στοιχεία για τη διαδικασία, όπως η τελική κατάταξη των κινδύνων βάσει των τελικών αξιολογήσεων κάθε εμπλεκόμενου, ο αριθμός των μεταβολών που απαιτήθηκαν ώστε να επιτευχθεί ένα αποδεκτό επίπεδο ομοφωνίας, η διαφορά μεταξύ αρχικής και τελικής συλλογικής αξιολόγησης. Στον Πίνακα 3.7 παρουσιάζεται η τελική κατάταξη των κινδύνων (από τον σημαντικότερο προς τον λιγότερο σημαντικό) όπως προέκυψε από την αρχική εφαρμογή του μοντέλου “TRANSrisk”. Στον ίδιο Πίνακα, για λόγους σύγκρισης, παρατίθεται και η αρχική κατάταξη των κινδύνων που προέρχεται από την εφαρμογή του Flintstones, και ειδικότερα από τη γλωσσική μέθοδο TOPSIS. Στο Γράφημα 3.4 αποτυπώνεται η σπουδαιότητα κάθε κινδύνου, βάσει της θέσης του στην αρχική και την τελική κατάταξη. Όπως παρατηρείται, οι θέσεις των κινδύνων στη σειρά σπουδαιότητας δεν μεταβάλλονται σημαντικά, με τον σημαντικότερο και τον λιγότερο σημαντικό κίνδυνο να παραμένουν οι ίδιοι. Επιπλέον, συγκρίνοντας τον Πίνακα 3.7 με τον Πίνακα 3.5, παρατηρείται ότι από τα δύο μοντέλα ομοφωνίας προκύπτει ακριβώς η ίδια τελική κατάταξη των κινδύνων.

Πίνακας 3.7: Αρχική και τελική κατάταξη των κινδύνων βάσει του μοντέλου ομοφωνίας “TRANSrisk”

Κατάταξη	Αρχική (<i>Linguistic TOPSIS</i>)	Τελική (<i>Μοντέλο ομοφωνίας “TRANSrisk”</i>)
1	PA5	PA5
2	FA4	FA4
3	PA2	IA6
4	IA6	PA2
5	FA3	FA3
6	IA5	IA5
7	PA4	AA2
8	EA3	EA3
9	PA3	PA4
10	AA2	PA3
11	FA1	FA1
12	IA4	AA4
13	AA4	IA4
14	FA2	IA2
15	AA5	FA2
16	IA2	FA5
17	FA5	AA5
18	EA4	EA4
19	EA2	IA1
20	IA1	EA2
21	AA3	IA3
22	IA3	AA3
23	PA1	AA1
24	AA1	PA1
25	EA1	EA1



Γράφημα 3.4: Σπουδαιότητα των κινδύνων βάσει της κατάταξής τους, μετά την εφαρμογή του μοντέλου ομοφωνίας “TRANsrisk”

Προκειμένου να εξεταστεί η ευαισθησία των αποτελεσμάτων στις τιμές των παραμέτρων του μοντέλου που εισάγονται από τον χρήστη, το μοντέλο εφαρμόστηκε για διάφορες τιμές αυτών και έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων. Πιο συγκεκριμένα, αρχικά εξετάστηκε η επίδραση της παραμέτρου "epsilon" (ϵ), εφαρμόζοντας το μοντέλο για τιμές $0.05 \leq \epsilon \leq 0.3$ (διατηρώντας την τιμή της παραμέτρου α σταθερή ($\alpha = 0.85$)). Παρατηρήθηκε ότι η μεταβολή του ϵ δεν επηρεάζει την τελική κατάταξη των κινδύνων. Αντίθετα, επηρεάζεται ο τελικός βαθμός ομοφωνίας που επιτυγχάνεται, καθώς και κάποια επιμέρους αποτελέσματα που δίνει το μοντέλο, όπως ο αριθμός των μεταβολών των αξιολογήσεων που απαιτήθηκαν για την επίτευξη ομοφωνίας και το ποσοστό των εμπλεκόμενων των οποίων οι αξιολογήσεις ταυτίζονται με την τελική λύση. Δεδομένου ότι η συγκεκριμένη παράμετρος καθορίζει τη μέγιστη αποδεκτή απόσταση μεταξύ της άποψης κάθε εμπλεκόμενου και της συλλογικής άποψης, όσο μικρότερη είναι η τιμή της, τόσο υψηλότερος είναι ο βαθμός ομοφωνίας που επιτυγχάνεται, αυξάνοντας όμως παράλληλα και τον αριθμό των μεταβολών που πραγματοποιούνται στις αρχικές αξιολογήσεις. Επιπλέον, με τη μείωση της τιμής του ϵ αυξάνεται και το ποσοστό των εμπλεκόμενων, των οποίων οι αξιολογήσεις ταυτίζονται με την τελική λύση. Για τιμές $\epsilon > 0.2$, παρατηρήθηκε ότι ο βαθμός ομοφωνίας που επιτυγχάνεται είναι μικρότερος από το κατώφλι $\alpha = 0.85$.

Τέλος, από την εφαρμογή του μοντέλου για διάφορες τιμές της παραμέτρου "alpha" (α) και συγκεκριμένα για τιμές $0.8 \leq \alpha \leq 0.95$, προέκυψε το συμπέρασμα ότι ούτε το κατώφλι α επηρεάζει στο συγκεκριμένο πρόβλημα την τελική κατάταξη των κινδύνων. Τα στοιχεία που επηρεάζονται και σε αυτή την περίπτωση είναι ο αριθμός των μεταβολών των αξιολογήσεων που απαιτήθηκαν για την επίτευξη αποδεκτού βαθμού ομοφωνίας και το ποσοστό των εμπλεκόμενων των οποίων οι αξιολογήσεις ταυτίζονται με την τελική λύση. Όπως αναφέρεται παραπάνω, από την αρχική εφαρμογή του μοντέλου με $\alpha = 0.85$, προέκυψε βαθμός ομοφωνίας ίσος με 0.92. Επομένως, για τιμές $\alpha < 0.92$, ο τελικός βαθμός ομοφωνίας δεν επηρεάζεται.

Οι παραπάνω παρατηρήσεις αποτυπώνονται στον Πίνακα 3.8, για ενδεικτικές τιμές των παραμέτρων ϵ και α του μοντέλου ομοφωνίας.

Πίνακας 3.8: Επίδραση των παραμέτρων ϵ και α στα αποτελέσματα του μοντέλου ομοφωνίας "TRANSrisk"

Αποτελέσματα Μεθόδου επίτευξης ομοφωνίας 5 "TRANSrisk"	Αρχική προσομοίωση ($\epsilon=0.1, \alpha=0.85$)	$\alpha=0.85$			$\epsilon=0.1$		
		$\epsilon=0.05$	$\epsilon=0.2$	$\epsilon=0.25$	$\alpha=0.8$	$\alpha=0.9$	$\alpha=0.95$
Τελική Κατάταξη Κινδύνων	βλ. Πίνακα 3.7	Πιν. 3.7	Πιν. 3.7	Πιν. 3.7	Πιν. 3.7	Πιν. 3.7	Πιν. 3.7
Τελικός βαθμός ομοφωνίας	0.92	0.95	0.86	0.83	0.92	0.92	0.93
Ποσοστό των Experts των οποίων η αξιολόγηση ταυτίζεται με την τελική λύση	0.60	0.80	0.40	0.30	0.40	0.60	0.90
Αριθμός μεταβολών των αξιολογήσεων	758	833	587	573	768	764	790

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η πολυκριτήρια ανάλυση αποφάσεων αναπτύσσεται συνεχώς και εφαρμόζεται ευρέως σε διάφορους τομείς και δραστηριότητες. Βασικό ρόλο στην ανάπτυξη και διάδοσή της έπαιξε η σπουδαιότητα των αποφάσεων για την επαγγελματική, κοινωνική ή και προσωπική ζωή του ανθρώπου, αλλά και η απλή διαπίστωση ότι η επίλυση πολύπλοκων και ιδιαίτερα σημαντικών προβλημάτων λήψης αποφάσεων δεν είναι δυνατό να πραγματοποιείται μέσω μιας μονόπλευρης και μονοδιάστατης ανάλυσης.

Κατά τις τελευταίες δεκαετίες έχουν προταθεί διάφορες ερευνητικές προσεγγίσεις και τεχνικές για τη διαδικασία υποστήριξης λήψης αποφάσεων, με τις διαφοροποιήσεις μεταξύ τους να προκύπτουν κυρίως από τους εναλλακτικούς τρόπους σύνθεσης των κριτηρίων λήψης της απόφασης. Η επιλογή της καταλληλότερης τεχνικής ή μεθόδου εξαρτάται τόσο από τη φύση και τις ιδιαιτερότητες του εκάστοτε προβλήματος, όσο και από το συγκεκριμένο περιβάλλον της λήψης της απόφασης, ενώ σημαντικό ρόλο παίζουν και παράγοντες όπως η ευκολία χειρισμού της κάθε προσέγγισης, ο όγκος και το είδος των πληροφοριών που απαιτούνται.

Η λήψη αποφάσεων είναι μια διαδικασία που μπορεί να γίνει αρκετά σύνθετη, ιδιαίτερα όταν πρόκειται για συλλογική λήψη αποφάσεων, όταν δηλαδή περιλαμβάνει πολλούς εμπλεκόμενους φορείς με διαφορετικές εμπειρίες και γνωστικό υπόβαθρο ή και αντικρουόμενα συμφέροντα. Συχνά, σε αυτές τις περιπτώσεις, το πρόβλημα λήψης απόφασης ορίζεται σε περιβάλλον αβεβαιότητας, όπου τα σχετικά δεδομένα και οι πληροφορίες είναι μη ποσοτικοποιημένες, ασαφείς και ανακριβείς. Η ασαφής λογική και η ασαφής γλωσσική προσέγγιση μπορούν να παρέχουν εργαλεία για την προσομοίωση και τη διαχείριση τέτοιων περιπτώσεων αβεβαιότητας, μέσω της χρήσης γλωσσικών μεταβλητών στην ανάλυση αποφάσεων. Επιπλέον, ένα ακόμη στοιχείο που είναι απαραίτητο να εξετάζεται στα προβλήματα συλλογικής λήψης αποφάσεων είναι η ομοφωνία μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων, ώστε να εξασφαλίζεται ένας υψηλός βαθμός αποδοχής της λύσης από το σύνολο ή την πλειοψηφία αυτών. Για την υποστήριξη των διαδικασιών επίτευξης ομοφωνίας σε προβλήματα συλλογικής λήψης αποφάσεων, ένας μεγάλος αριθμός μοντέλων ομοφωνίας έχουν παρουσιαστεί από διάφορους ερευνητές τις τελευταίες δεκαετίες.

Από τις παραπάνω διαπιστώσεις γίνεται αντιληπτό το πόσο σημαντική είναι η ανάπτυξη και εφαρμογή υπολογιστικών εργαλείων και συστημάτων υποστήριξης λήψης αποφάσεων. Η πρόοδος της πληροφορικής καθιστά πλέον δυνατή τη δημιουργία και χρήση ολοκληρωμένων πληροφοριακών συστημάτων για τον καθορισμό και την επίλυση προβλημάτων λήψης αποφάσεων. Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε να παρουσιαστούν δύο εργαλεία, το FLINTSTONES και το AFRYCA, τα οποία προσφέρουν τη δυνατότητα διαχείρισης προβλημάτων λήψης αποφάσεων με γλωσσικές μεταβλητές.

Το λογισμικό FLINTSTONES βασίζεται στο γλωσσικό μοντέλο διπλής αναπαράστασης και σε διάφορες επεκτάσεις του, για την επίλυση προβλημάτων λήψης αποφάσεων που ορίζονται σε γλωσσικά και περίπλοκα περιβάλλοντα. Σημαντικό πλεονέκτημα του FLINTSTONES είναι ο αριθμός των μεθόδων ανάλυσης αποφάσεων που περιλαμβάνει, παρέχοντας τη δυνατότητα στον χρήστη να επιλέξει την κατάλληλη, ανάλογα με τη φύση του προβλήματός του. Η βασικότερη μέθοδος είναι το γλωσσικό μοντέλο διπλής αναπαράστασης (*2-tuple linguistic computational model*) που εφαρμόζεται σε προβλήματα όπου οι αξιολογήσεις των εναλλακτικών εκφράζονται με γλωσσικούς όρους, συμμετρικά και ομοιόμορφα κατανεμημένους σε μια διακριτή και διατεταγμένη κλίμακα. Οι υπόλοιπες μέθοδοι,

που ουσιαστικά αποτελούν επεκτάσεις του μοντέλου διπλής αναπαράστασης, μπορούν να εφαρμοστούν σε περιπτώσεις όπου οι αξιολογήσεις αποτυπώνονται σε διαφορετικές γλωσσικές κλίμακες ή μέσω συνόλων γλωσσικών όρων, όπου οι όροι δεν είναι ούτε ομοιόμορφοι ούτε συμμετρικά κατανομημένοι, σε προβλήματα με πολλαπλές πηγές πληροφοριών, με ανομοιογενείς πληροφορίες, με διστακτικά ασαφή γλωσσικά σύνολα.

Το λογισμικό AFRYCA αναπτύχθηκε με στόχο την υποστήριξη και καθοδήγηση των διαδικασιών επίτευξης ομοφωνίας σε προβλήματα συλλογικής λήψης αποφάσεων, χρησιμοποιώντας διάφορα μοντέλα ομοφωνίας που απαντώνται στην βιβλιογραφία. Η ευέλικτη και επεκτάσιμη αρχιτεκτονική του AFRYCA επιτρέπει εκτός από την εφαρμογή των μοντέλων ομοφωνίας που ήδη περιλαμβάνονται σε αυτό, την ενσωμάτωση και χρήση νέων μοντέλων. Πλεονέκτημα του AFRYCA αποτελεί το γεγονός ότι καθιστά σχετικά απλή την ανάλυση ενός προβλήματος συλλογικής λήψης αποφάσεων με τη χρήση των μοντέλων ομοφωνίας που είναι κατάλληλα για τον τύπο του συγκεκριμένου προβλήματος (για παράδειγμα προβλήματα με ασαφείς σχέσεις προτίμησης, με γλωσσικές μεταβλητές, με ανομοιογενείς εκφράσεις των προτιμήσεων, με μεγάλο αριθμό εμπλεκόμενων φορέων). Ο χρήστης μπορεί εύκολα να χρησιμοποιήσει περισσότερα του ενός μοντέλα, να συγκρίνει τα αποτελέσματα και την αποδοτικότητα του καθενός και να επιλέξει τελικά το καταλληλότερο για την περίπτωση που αντιμετωπίζει. Επιπλέον, παρέχεται η δυνατότητα διερεύνησης του βαθμού στον οποίο οι τιμές των διαφόρων παραμέτρων κάθε μοντέλου ομοφωνίας επηρεάζουν τα αποτελέσματά του, αφού οι τιμές αυτές καθορίζονται από το χρήστη. Παρόλο που μια ομάδα λήψης απόφασης μπορεί να προτιμά τη διεξαγωγή μιας διαφορετικής, πραγματικής διαδικασίας επίτευξης ομοφωνίας από την προσομοίωση μέσω ενός λογισμικού, το AFRYCA μπορεί να αποτελέσει και σε αυτή την περίπτωση ένα χρήσιμο εργαλείο, δίνοντας μια αρχική εικόνα για τα επίπεδα ομοφωνίας μέσα στην ομάδα, εντοπίζοντας τυχόν προβληματικές συμπεριφορές των εμπλεκόμενων και υποδεικνύοντας τις κατευθύνσεις που πρέπει να ακολουθηθούν για την αύξηση της ομοφωνίας κατά τη λήψη των αποφάσεων.

Για την παρουσίαση της χρησιμότητας και της λειτουργικότητας του FLINTSTONES και του AFRYCA με πραγματικά δεδομένα, τα δύο λογισμικά χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση των κινδύνων που προκύπτουν κατά τη μετάβαση του τομέα χάλυβα της Αυστρίας σε τεχνολογίες χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Οι εμπλεκόμενοι φορείς κατέληξαν στην εξέταση είκοσι πέντε κινδύνων, οι οποίοι ταξινομήθηκαν σε πέντε κατηγορίες: Ενεργειακές Υποδομές, Πολιτικό και Θεσμικό Πλαίσιο, Περιβάλλον και Αποδοχή, Οικονομία, Καινοτομία και Τεχνολογία. Οι κίνδυνοι αυτοί αξιολογήθηκαν από δέκα Experts βάσει τεσσάρων κριτηρίων: την πιθανότητα να εκδηλωθούν, το επίπεδο των ορατών επιπτώσεων που μπορεί να έχουν στο περιβάλλον και τα ανθρώπινα συστήματα ή τη δριμύτητα των επιπτώσεων που μπορεί να εμφανίσουν στο πλαίσιο της πολιτικής για το μετριασμό της κλιματικής αλλαγής, την ικανότητα της κοινωνίας ή/και του κράτους να μετριάσει τους κινδύνους αυτούς, καθώς και το επίπεδο ανησυχίας των ενδιαφερόμενων φορέων σχετικά με αυτούς.

Με τη βοήθεια του FLINTSTONES προέκυψε η κατάταξη των κινδύνων, από τον σημαντικότερο προς τον λιγότερο σημαντικό. Από τις διαθέσιμες μεθόδους ανάλυσης του FLINTSTONES, δύο είχαν εφαρμογή στο συγκεκριμένο πρόβλημα, το γλωσσικό μοντέλο διπλής αναπαράστασης (2-tuple Linguistic Model) και η γλωσσική μέθοδος TOPSIS, δεδομένου ότι όλες οι αξιολογήσεις αποτυπώνονταν σε μία ενιαία γλωσσική κλίμακα. Χρησιμοποιήθηκαν και οι δύο μέθοδοι ξεχωριστά και επιπλέον, το γλωσσικό μοντέλο 2-tuple εφαρμόστηκε δύο φορές, χρησιμοποιώντας διαφορετικό τελεστή συνάθροισης κάθε φορά. Από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων των τριών εφαρμογών

προέκυψε ότι οι διαφορές μεταξύ τους δεν είναι σημαντικές. Ειδικότερα, η κατάταξη των κινδύνων με τη χρήση της γλωσσικής μεθόδου TOPSIS ήταν σχεδόν όμοια με αυτή που προέκυψε από την εφαρμογή του γλωσσικού μοντέλου 2-tuple με χρήση του σταθμισμένου μέσου όρου ως τελεστή συνάθροισης των αξιολογήσεων. Ελάχιστα διέφεραν τα αποτελέσματα της εφαρμογής του γλωσσικού μοντέλου 2-tuple με τη χρήση του τελεστή OWA.

Όσον αφορά τη σπουδαιότητα των κινδύνων, στις υψηλότερες θέσεις της κατάταξης, βάσει των αποτελεσμάτων και των τριών αναλύσεων, βρίσκονται δύο από τους κινδύνους που σχετίζονται με το πολιτικό και θεσμικό πλαίσιο της Αυστρίας, ένας από τον τομέα της οικονομίας και ένας που σχετίζεται με την καινοτομία και τη χρήση νέων τεχνολογιών. Πιο συγκεκριμένα:

- Στην κατηγορία του Πολιτικού / Θεσμικού Πλαισίου, η αβεβαιότητα για την εξέλιξη των τιμών του CO₂ αποτελεί με διαφορά τον σημαντικότερο κίνδυνο. Σημαντικός κίνδυνος σε αυτή την κατηγορία φαίνεται να είναι και η έλλειψη πολιτικής βούλησης και λήψης πρωτοβουλιών από την πολιτική ηγεσία, για την υλοποίηση δράσεων μετάβασης προς τεχνολογίες χαμηλών εκπομπών άνθρακα.
- Στον τομέα της Οικονομίας, σημαντικότερος αναδεικνύεται ο κίνδυνος από τις χρηματοπιστωτικές αγορές, που συνδέεται με το δυσμενές οικονομικό περιβάλλον και την ισχυρή άσκηση πιέσεων που δυσχεραίνουν τη διαφάνεια. Εδώ περιλαμβάνονται οι παραπλανητικοί κανονισμοί της αγοράς και ο ανεπαρκής σχεδιασμός της, οι υπέρμετρες νομοθετικές ρυθμίσεις και οι επιδοτήσεις της εκμετάλλευσης ορυκτών καυσίμων.
- Στον τομέα της Καινοτομίας και Τεχνολογίας, μεγαλύτερη ανησυχία στους εμπλεκόμενους προκαλεί το χρονοδιάγραμμα χρηματοδότησης νέων επενδύσεων και εισαγωγής νέων τεχνολογιών, καθώς είναι αρκετά δύσκολο να προβλεφθεί η κατάλληλη χρονική στιγμή υλοποίησης αυτών, ώστε να είναι ανταγωνιστικές και αποδοτικές.

Οι αξιολογήσεις των κινδύνων, εκφρασμένες σε γλωσσικούς όρους 2-tuples, όπως προέκυψαν από το FLINTSTONES, εισήχθησαν στη συνέχεια στο AFRYCA, ώστε να προσδιοριστεί το επίπεδο ομοφωνίας μεταξύ των 10 εμπλεκόμενων φορέων, καθώς και η δυνατότητα αύξησης της ομοφωνίας. Από τα διαθέσιμα μοντέλα ομοφωνίας του AFRYCA, δεδομένης της φύσης του συγκεκριμένου προβλήματος, δύο ήταν δυνατό να εφαρμοστούν: η Μέθοδος επίτευξης ομοφωνίας 1 (*F. Zou et al, 2015*) και η Μέθοδος επίτευξης ομοφωνίας 5 (*TRANSrisk*), από την ομάδα των μοντέλων χωρίς ανατροφοδότηση. Τα βασικά συμπεράσματα από την εφαρμογή των δύο μοντέλων ομοφωνίας συνοψίζονται στα εξής:

- Το αρχικό επίπεδο ομοφωνίας μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων είναι αρκετά υψηλό, όπως έδειξαν και τα δύο μοντέλα, και οι αποστάσεις μεταξύ των αρχικών αξιολογήσεων των εμπλεκόμενων είναι σχετικά μικρές, με εξαίρεση τον Expert 5 και τον Expert 8, οι οποίοι παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες αποκλίσεις από τη συλλογική άποψη και από τους υπόλοιπους εμπλεκόμενους.
- Η τελική κατάταξη των κινδύνων, όπως προέκυψε τόσο από την εφαρμογή της Μεθόδου επίτευξης ομοφωνίας 1 όσο και από τη Μέθοδο επίτευξης ομοφωνίας 5, δεν παρουσιάζει μεγάλες διαφορές από την αρχική κατάταξη που προέρχεται από την εφαρμογή του FLINTSTONES. Δηλαδή και στις δύο περιπτώσεις, η διαδικασία αύξησης της ομοφωνίας δεν επηρέασε σε μεγάλο βαθμό τη θέση των κινδύνων στη σειρά σπουδαιότητας, με τον σημαντικότερο και τον λιγότερο σημαντικό κίνδυνο να παραμένουν οι ίδιοι.

- Σχετικά με την εφαρμογή της Μεθόδου επίτευξης ομοφωνίας 1, παρατηρήθηκε ότι το αρχικό επίπεδο ομοφωνίας δεν μεταβλήθηκε σημαντικά κατά την εξέλιξη της διαδικασίας αύξησης ομοφωνίας και οι αποστάσεις των επιμέρους αξιολογήσεων των εμπλεκόμενων από τη συλλογική άποψη παρέμεναν σχεδόν ίδιες, ακόμη και μετά από πολλές επαναλήψεις της διαδικασίας. Παρόλα αυτά, με το συγκεκριμένο μοντέλο επιτεύχθηκε το αποδεκτό επίπεδο ομοφωνίας, όπως είχε καθοριστεί μέσω της τιμής που δόθηκε στο αντίστοιχο κατώφλι.
- Κατά την εφαρμογή της Μεθόδου επίτευξης ομοφωνίας 5, ο αρχικός βαθμός ομοφωνίας αυξήθηκε σημαντικά και οι αποστάσεις μεταξύ των αξιολογήσεων όλων των εμπλεκόμενων μειώθηκαν. Στο τέλος της διαδικασίας, ακόμη και οι αξιολογήσεις των δύο Experts που αρχικά εμφάνιζαν τις μεγαλύτερες αποκλίσεις, πλησίασαν τις αξιολογήσεις των υπολοίπων.
- Η Μέθοδος επίτευξης ομοφωνίας 5, που αποτελεί ένα μοντέλο ελαχιστοποίησης του κόστους, φάνηκε να λειτουργεί αποδοτικότερα στο συγκεκριμένο πρόβλημα σε σύγκριση με τη Μέθοδο επίτευξης ομοφωνίας 1. Χωρίς να λαμβάνουν χώρα επαναλήψεις (κύκλοι) της διαδικασίας αύξησης ομοφωνίας αφού είναι ένα μοντέλο γραμμικού προγραμματισμού, επιτυγχάνει μεγάλη αύξηση του βαθμού ομοφωνίας, σε αντίθεση με τη Μέθοδο 1, με την οποία παρόλο που η ομοφωνία φτάνει σε ένα αποδεκτό βαθμό, δεν αυξάνεται σημαντικά σε σχέση με το αρχικό επίπεδο. Το μοναδικό μειονέκτημα που παρατηρήθηκε στα αποτελέσματα της Μεθόδου 5 είναι ο μεγάλος αριθμός των μεταβολών των αρχικών αξιολογήσεων που υλοποιήθηκαν, ώστε να επιτευχθεί η αύξηση της ομοφωνίας (αρκετά περισσότερες μεταβολές σε σύγκριση με τη Μέθοδο 1).
- Το γεγονός ότι η Μέθοδος επίτευξης ομοφωνίας 5 εμφανίζεται πιο κατάλληλη από τη Μέθοδο 1 για το συγκεκριμένο πρόβλημα αξιολόγησης κινδύνων, ίσως οφείλεται στο μικρό αριθμό των εμπλεκόμενων, αν ληφθεί υπόψη ότι η Μέθοδος 1 έχει σχεδιαστεί και θεωρείται αποδοτικότερη για προβλήματα πολυκριτήριας ανάλυσης μεγάλης κλίμακας, τα οποία δηλαδή περιλαμβάνουν πολλούς εμπλεκόμενους φορείς.

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθούν και ορισμένες προτάσεις και προοπτικές βελτίωσης της παρούσας εργασίας, που αποτελεί μια προσπάθεια παρουσίασης δύο συστημάτων υποστήριξης λήψης αποφάσεων και της χρησιμότητας και λειτουργικότητάς τους, μέσω της εφαρμογής τους σε μία μελέτη περίπτωσης. Οι προτάσεις αυτές παρατίθενται παρακάτω:

- Αρχικά, για την παρουσίαση στην πράξη όλων των μεθόδων πολυκριτήριας ανάλυσης του FLINTSTONES και όλων των μοντέλων ομοφωνίας του AFRYCA, θα μπορούσαν να αναζητηθούν και να αναλυθούν επιπλέον πραγματικά προβλήματα λήψης αποφάσεων, με δεδομένα που να καθιστούν δυνατή την εφαρμογή των μεθόδων και των μοντέλων που δεν ήταν εφικτό να εφαρμοστούν στο πρόβλημα που εξετάστηκε στην παρούσα εργασία. Ενδιαφέρον θα παρουσίαζε επίσης η ανάλυση προβλημάτων συλλογικής λήψης αποφάσεων, όπου θα υπήρχε η δυνατότητα αλληλεπίδρασης με τους εμπλεκόμενους φορείς, ώστε να τους παρέχονται συμβουλές για μεταβολή των απόψεών τους, σε περιπτώσεις που τα μοντέλα ομοφωνίας του AFRYCA έδειχναν χαμηλό επίπεδο ομοφωνίας και προβληματικές συμπεριφορές.
- Όσον αφορά στα λειτουργικά χαρακτηριστικά των δύο λογισμικών, σημαντική θα ήταν η εισαγωγή και ο υπολογισμός κάποιων παραμέτρων, που θα αποτελούν ένα μέτρο της αποδοτικότητας και αποτελεσματικότητας κάθε μεθόδου και κάθε μοντέλου. Οι παράμετροι

αυτές θα πρέπει να είναι κοινές σε όλες τις μεθόδους, έτσι ώστε όταν διάφορες μέθοδοι χρησιμοποιούνται σε ένα πρόβλημα, να μπορεί εύκολα ο χρήστης να συγκρίνει και να αποφασίσει ποια είναι η καταλληλότερη για το πρόβλημα που εξετάζει.

- Τέλος, για τη μελέτη περίπτωσης που αναλύθηκε, την αξιολόγηση δηλαδή των κινδύνων που προκύπτουν κατά τη μετάβαση του τομέα χάλυβα της Αυστρίας σε τεχνολογίες χαμηλών εκπομπών άνθρακα, θα μπορούσε να αναζητηθεί η άποψη περισσότερων Experts, με διαφορετικό επαγγελματικό και γνωστικό υπόβαθρο. Μέσα από τη διαδικασία αυτή είναι πιθανόν να εμφανιζόταν και επιπλέον κίνδυνοι, πέρα από τους 25 που αξιολογήθηκαν. Επίσης, ενδιαφέρον θα παρουσίαζε και η εξέταση της επίδρασης που έχει στα αποτελέσματα η βαρύτητα που αποδίδεται σε κάθε Expert. Κάτι τέτοιο δεν εξετάστηκε στην περίπτωση μας, αφού θεωρήθηκε ότι όλοι οι Experts έχουν την ίδια βαρύτητα.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] «B. Roy (1996). “Multicriteria methodology for decision aiding”. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht».
- [2] «Ι. Σίσκος (2008). “Μοντέλα Αποφάσεων”. Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών, Αθήνα».
- [3] «Χ. Δούκας, Π. Ξυδώνας, Ι. Ψαρράς (2015). “Πολυκριτηριακά συστήματα υποστήριξης αποφάσεων – Σημειώσεις μαθήματος”. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα».
- [4] «Χ. Δούκας, Ι. Ψαρράς (2014). “Μοντέλα Αποφάσεων Πολιτικής σε Ενεργειακά και Περιβαλλοντικά Συστήματα”. Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα».
- [5] «B. Roy (1985). “Méthodologie multicritère d'aide à la decision”. Paris: Economica».
- [6] «A. Ishizaka, P. Nemery (2013). “Multi-criteria decision analysis: methods and software”. Chichester: John Wiley & Sons, 296 p.».
- [7] «P.M. Pardalos, Y. Siskos, C. Zopounidis (1995). “Advances in multicriteria analysis”. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht».
- [8] «L. Zadeh (1975). “The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning”. Part I: Information Sciences, vol. 8 (3), pp. 199-249».
- [9] «A. Labella, Y. Liu, R.M. Rodriguez, L. Martinez (2018). “Analyzing the performance of classical consensus models in largescale group decision making: A comparative study”. Applied Soft Computing, vol. 67, pp. 677-660».
- [10] «S. Saint, J.R. Lawson (1994). “Rules for Reaching Consensus. A Modern Approach to Decision Making”. Jossey-Bass».
- [11] «J. Kacprzyk, S. Zadrozny (2010). “Supporting Consensus Reaching Processes under Fuzzy Preferences and a Fuzzy Majority via Linguistic Summaries”. Studies in Fuzziness and Soft Computing, vol 257, pp. 261-279 Springer, Berlin, Heidelberg».
- [12] «Ι. Palomares, F.J. Estrella, L. Martinez, F. Herrera (2014). “Consensus under a fuzzy context: Taxonomy, analysis framework AFRYCA and experimental case of study”. Information Fusion, vol. 20, pp. 252-271».

- [13] «N. Σκόνδρας (2015). “Λήψη αποφάσεων στη Διαχείριση Υδατικών Πόρων: Ανάπτυξη σύνθετου δείκτη αξιολόγησης των κοινωνικών–περιβαλλοντικών συστημάτων ως προς τις συνθήκες αντοχής και τρωτότητας στην έλλειψη ύδατος και την υδατοπόνηση”. Διδ. Διατριβή, Γ.Π.Α.».
- [14] «Y. Siskos, C. Zopounidis, A. Poliezos. (1994). “An integrated DSS for financing firms by industrial development bank in Greece”. *Decision Support Systems*, vol. 112 (2), pp. 151-168».
- [15] «C. Zopounidis, N.F. Matsatsanis, M. Doumpos. (1996). “Developing a multicriteria knowledge – based decision system for the assessment of corporate performance and viability: The FINEVA system”. *Fuzzy Economic Review*, vol.1 (2), pp. 35-53».
- [16] «L. Anselin, E.G. Arias (1983). “A multi-criteria framework as a decision support system for urban growth management applications: Central city redevelopment”. *European Journal of Operational Research*, vol. 13 (3), pp. 300-309».
- [17] «Y. Siskos, N.F. Matsatsinis (1993). “A DSS for market analysis and product design”. *Journal of Decision Systems*, vol. 2 (1), pp. 35-60».
- [18] «G. Chandrasekaran, R. Ramesh (1987). “Microcomputer based multiple criteria decision support system for strategic planning”. *Information & Management*, vol. 12(4), pp. 163-172».
- [19] «G. Colson, B. Mareschal (1994). “JUDGES: A descriptive group decision support system for the ranking of items”. *Decision support systems*, vol. 12, pp. 391-404».
- [20] «S. Zadrozny, J. Kacprzyk (2003). “An Internet-based Group Decision and Consensus Reaching Support System”. In: *Applied Decision Support with Soft Computing. Studies in Fuzziness and Soft Computing*, vol 124, pp. 263-276».
- [21] «S. Srinivasan, B. Ruparel (1990). “CGX: An expert support system for credit granting”. *European Journal of Operational Research*, vol. 45, pp. 293-308».
- [22] «S. Vranes, M. Stanojevic, V. Stevanovic, M. Lucin (1996). “INVEX: Investment Advisory Expert System”. *Expert Systems*, vol. 13 (2), pp. 105-119».
- [23] «F.J. Estrella, M. Espinilla, F. Herrera, L. Martínez (2014). “FLINTSTONES: A fuzzy linguistic decision tools enhancement suite based on the 2-tuple linguistic model and extensions”. *Information Sciences*, vol. 280, pp. 152–170».
- [24] «E. Herrera-Viedma, F. Herrera, F. Chiclana (2002). “Consensus Model for Multiperson Decision Making With Different Preference Structures”. *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics - Part A Systems and Humans*, vol. 32 (3), pp.394-402».

- [25] «F. Chiclana, F. Mata, L. Martinez, E. Herrera-Viedma, S. Alonso (2008). "Integration of a Consistency Control Module within a Consensus Model". International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems, Vol. 16, suppl.1, pp. 35-53».
- [26] «F.J. Quesada, I. Palomares, L. Martínez (2015). "Managing experts behaviors in large-scale consensus reaching process with uninorm aggregation operators". Applied Soft Computing, vol. 35, pp. 873-887».
- [27] «I. Palomares, F.J. Quesada, L. Martinez (2014). "An Approach based on Computing with Words to Manage Experts Behavior in Consensus Reaching Processes with Large Groups". 2014 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE), pp.476-483».
- [28] «I. Palomares, L. Martinez, F. Herrera (2014). "A Consensus Model to Detect and Manage Noncooperative Behaviors in Large-Scale Group Decision Making". IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol. 22 (3), pp.516-530».
- [29] «R.M. Rodriguez, A. Labella, G.D. Tré, L. Martinez (2018). "A large scale consensus reaching process managing group hesitation". Knowledge-Based Systems, vol. 159, pp. 86–97».
- [30] «F. Zou, L. Yi, Z. Pei, J. Liu (2015). "A consensus model for multiple criteria group decision making under linguistic environment". 2015 IEEE International Conference on CIT/IUCC/DASC/PICOM, pp.1354-1359».
- [31] «G. Zhang, Y. Dong, Y. Xu (2012). "Linear optimization modeling of consistency issues in group decision making based on fuzzy preference relations". Expert Systems with Applications, vol.39, pp. 2415–2420».
- [32] «G. Zhang, Y. Dong, Y. Xu, H. Li (2011). "Minimum-Cost Consensus Models Under Aggregation Operators". IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – Part A: Systems and Humans, vol. 41 (6), pp. 1253-1261».
- [33] «Y. Xu, K.W. Li, H. Wang (2013). "Distance-based consensus models for fuzzy and multiplicative preference relations". Information Sciences, vol. 253, pp. 56–73».
- [34] «Z. Wu, J. Xu (2012). "A concise consensus support model for group decision making with reciprocal preference relations based on deviation measures". Fuzzy Sets and Systems, vol. 206, pp.58-73».
- [35] «F. Herrera, L. Martínez (2000). "A 2-tuple Fuzzy Linguistic Representation Model for Computing with Words". IEEE Transactions on Fuzzy Systems, vol. 8, issue 6, pp. 746-752».
- [36] «R.R. Yager (1988). "On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decision making," IEEE Trans. Syst., Man, Cybern., no. 18, pp. 183–190».

- [37] «F. Herrera, E. Herrera-Viedma, L. Martínez (2000). “A Fusion Approach for Managing Multi-Granularity Linguistic Term Sets in Decision Making”. *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 114, issue 1, pp. 43-58».
- [38] «F. Herrera, L. Martinez (2001). “A model based on linguistic 2-tuples for dealing with multigranularity hierarchical linguistic contexts in Multiexpert Decision-Making”. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. Part B: Cybernetics*, vol. 31, i».
- [39] «M. Espinilla, J. Liu, L. Martínez (2011). “An Extended Hierarchical Linguistic Model for Decision-Making Problems”. *Computational Intelligence*, vol. 27, issue 3, pp. 489-512».
- [40] «F. Herrera, L. Martínez, P.J. Sánchez (2005). “Managing non-homogeneous information in group decision making. *European Journal of Operational Research*”, vol. 166, issue 1, pp. 115-132».
- [41] «F. Herrera, E. Herrera-Viedma, L. Martínez (2008). “A Fuzzy Linguistic Methodology To Deal With Unbalanced Linguistic Term Sets”. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 16, issue 2, pp. 354-370».
- [42] «L. Martínez, F. Herrera (2012). “An overview on the 2-tuple linguistic model for Computing with Words in Decision Making: Extensions, applications and challenges”. *Information Sciences*, vol. 207, issue 1, pp. 1-18».
- [43] «R.M. Rodríguez, L. Martinez, F. Herrera (2012). “Hesitant fuzzy linguistic term sets for decision making”. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 20(1):109–119».
- [44] «F.J. Estrella, R.M. Rodríguez, M. Espinilla, L. Martínez (2014). “On the Use of Hesitant Fuzzy Linguistic Term Set in FLINTSTONES”. *2014 International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE 2014)*, 784-791, July 6-11».
- [45] «R.M. Rodríguez, L. Martinez, F. Herrera (2015). “A linguistic 2-tuple multicriteria decision making model dealing with hesitant linguistic information”. *Proceedings of the 2015 IEEE International Conference on Fuzzy Systems, Istanbul, Turkey*, pp 1-7».
- [46] «C.L. Hwang, K. Yoon (1981). "Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications". New York: Springer-Verlag».
- [47] «H. Doukas, J. Psarras (2009). “A linguistic Decision Support Model towards the Promotion of Renewable Energy”. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning and Policy Journal*, 4, pp.166-178».
- [48] «H. Doukas, C. Karakosta, J. Psarras (2010). “Computing with Words to Assess the Sustainability of Renewable Energy Options”. *Expert Systems with Applications*, 37 (7), pp. 5491–5497».
- [49] «Th.L. Saaty (1980). “The Analytic Hierarchy Process”. McGraw-Hill, New York».

- [50] «R. Yager, A. Rybalov (1996). “Uninorm aggregation operators”. Fuzzy Sets and Systems, vol. 80, pp. 111–120».
- [51] «J. Kacprzyk, S. Zadrozny (2010). “Soft Computing and Web Intelligence for Supporting Consensus Reaching”. Soft Computing, vol.14, pp.833-846».
- [52] «A. Labella, H. Liu, R.M. Rodriguez, L. Martinez (2020). “A Cost Consensus Metric for Consensus Reaching Processes based on a comprehensive minimum cost model”. European Journal of Operational Research, vol. 281, pp. 316–331».