



Πολυτεχνείο Κρήτης

Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης

**Ανάπτυξη ενός πολυκριτήριου
ευφυούς συστήματος αποφάσεων για
υποστήριξη της λήψης ομαδικών
αποφάσεων μεγάλης κλίμακας σε
καταστάσεις έκτακτης ανάγκης.**

Διπλωματική Εργασία

Φραγκόπουλος Δημήτριος

Επιβλέπων

Ματσατσίνης Νικόλαος, Καθηγητής

Χανιά, Αύγουστος 2024

Ευχαριστίες

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου Νικόλαο Ματσατσίνη, για την αμέριστη εμπιστοσύνη που μου έδειξε όλο το χρονικό διάστημα της διπλωματικής, και την άψογη συνεργασία μας που διήρκησε περίπου δυόμισι χρόνια (χωρίς το στρατιωτικό). Θέλω να τον ευχαριστήσω θερμά για την υπομονή του και τη διάθεση να μοιραστεί τις γνώσεις και τις εμπειρίες του.

Ακόμη θα ήθελα να ευχαριστήσω τη διδακτορικό Καλαφάτη Φωτεινή, που με υποστήριξε έμπρακτα σε όλα τα μικρά και μεγάλα θέματα που προέκυψαν στη διπλωματική και όχι μόνο. Δε δίστασε να με συμβουλέψει σαν κοντινό φίλο και να μου δώσει ένα ακόμη παράθυρο στον ακαδημαϊκό κόσμο.

Ευχαριστώ το πολυτεχνείο Κρήτης και τους καθηγητές του που ο καθένας με τον τρόπο του προσέφερε στο να καταλάβω τι σημαίνει μηχανικός.

Ευχαριστώ όλους τους φοιτητές του συλλόγου BEST Chania του πολυτεχνείου Κρήτης για τις αξέχαστες φοιτητικές στιγμές και εμπειρίες, μαθαίνοντας και ανακαλύπτοντας μαζί τον εθελοντισμό, την προσφορά και όχι μόνο. Ευχαριστώ τον Αλέξανδρο, τον Αντώνη, τον Θησέα και τον Παναγιώτη που εξελιχθήκαμε μαζί. Ευχαριστώ τον Αττίλα, όλους του παλαιότερους, και όλους τους νεότερους που με βοήθησαν να βρω την ταυτότητά μου σε αυτό το ταξίδι.

Ευχαριστώ τον Αλέξανδρο, την Άννα, και τη Μαρινίκη που περάσαμε μαζί τις ομορφότερες και δυσκολότερες στιγμές από το 4^ο έτος και εντός της πανδημίας. Χωρίς αυτούς δε θα ήμουν ίδιος. Ευχαριστώ τον Αλέξανδρο, τον Ιωάννη και τον Χρίστο που είμασταν συνοδοιπόροι στη σχολή από το πρώτο έτος, και μοιραστήκαμε αυτές τις εμπειρίες και αναμνήσεις εντός και εκτός της σχολής. Ακόμη ευχαριστώ τον Σταύρο, την Κάλια και τον Αντρέα για όσα έχουμε μοιραστεί στα Χανιά. Ευχαριστώ όλους τους φίλους μου που ήταν δίπλα μου κατά τη διάρκεια αυτών των χρόνων και ο καθένας έδωσε τη δική του νότα σε αυτό το ταξίδι, κάνοντάς με καλύτερο.

Τέλος, ένα τεράστιο ευχαριστώ στην οικογένειά μου, και ιδιαίτερα στον πατέρα μου και στη μητέρα μου, Μιχάλη Φραγκόπουλο και Βασιλική Αγόρατζη, που μου έδωσαν την ελευθερία και δυνατότητα να ζήσω αυτά τα χρόνια όπως δεν μπορούσα ποτέ να ονειρευτώ. Με υποστήριξαν και ήταν δίπλα μου μέχρι τέλους, και είναι αδύνατο να τους ανταποδώσω τις θυσίες που έχουν κάνει για εμένα.

Περίληψη

Η διαδικασία λήψης αποφάσεων που ακολουθείται σε επίπεδο ομάδων, σε εταιρείες και οργανισμούς, έχει κινήσει το ενδιαφέρον από πολλούς τομείς, μεταξύ αυτών της επιχειρησιακής έρευνας και των ευφύων συστημάτων.

Η παρούσα διπλωματική επικεντρώνεται στην υποστήριξη της λήψης ομαδικών αποφάσεων, όπου το μέγεθος της ομάδας και κατά συνέπεια τα διαφορετικά είδη αποφασιζόντων μέσα σε αυτήν, κάνουν τη σύγκλιση σε μία κοινώς αποδεκτή απόφαση δύσκολη.

Σύμφωνα με τα παραπάνω επιλέχθηκε η προσέγγιση του προβλήματος με μεθόδους πολυκριτήριας ανάλυσης αποφάσεων (MCDA) και συγκεκριμένα θα γίνει χρήση μεθόδων από τις οικογένειες UTA και TOPSIS. Επίσης, θα γίνει εφαρμογή τεχνικών εξόρυξης στις αναλύσεις τόσο μεγάλου όγκου δεδομένων από το διαδίκτυο όσο και για τη δημιουργία ομάδων/συστάδων.

Η υλοποίηση του κώδικα θα γίνει με τη γλώσσα προγραμματισμού Python. Επιπλέον, θα αναπτυχθεί γραφικό περιβάλλον διεπαφής προκειμένου να είναι δυνατή η χρήση του για εκπαιδευτικούς και πειραματικούς σκοπούς.

Απώτερος σκοπός είναι το σύστημα να αυξάνει την πληροφόρηση των αποφασιζόντων σχετικά με τις προτιμήσεις του καθενός και με τη δυνατότητα ανάδρασης, να οδηγεί στη σύνθεση μίας κοινώς αποδεκτής βέλτιστης λύσης, η οποία ταυτόχρονα θα μεγιστοποιεί την ικανοποίηση των αποφασιζόντων.

Πίνακας Περιεχομένων

Ευχαριστίες.....	3
Περίληψη.....	4
Πίνακας Περιεχομένων	5
Κεφάλαιο 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
1.1. Σκοπός της εργασίας.....	10
Κεφάλαιο 2 ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ.....	11
2.1. Καταστάσεις έκτακτης ανάγκης	11
2.2. Συστήματα υποστήριξης αποφάσεων	12
2.3. Εφαρμογές των ΣΥΑ	15
2.4. Συστήματα υποστήριξης ομαδικών αποφάσεων (ΣΥΟΑ)	16
2.5. Ορισμός του προβλήματος	17
Κεφάλαιο 3 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	21
3.1. Επιχειρησιακή ερευνά	21
3.2. Προσεγγίσεις ομαδικών αποφάσεων	21
3.3. Γραμμικός Προγραμματισμός.....	25
3.4. Πολυκριτήρια ανάλυση-λήψη αποφάσεων (MCDA, MCDM).....	26
3.4.1. Μοντελοποίηση πολυκριτηρίου προβλήματος.....	26
3.4.1.1. Αντικείμενο της απόφασης	27
3.4.1.2. Συνεπής οικογένεια κριτηρίων.....	28
3.4.1.3. Μοντέλο ολικής προτίμησης.....	29
3.4.1.4. Υποστήριξη της απόφασης.....	29
3.5. Πολυκριτήρια χρησιμότητα (MAUT) και μέθοδοι UTA	29
3.6. Αλγόριθμος UTASTAR.....	30
3.6.1. Δεδομένα εισόδου στην UTASTAR	31
3.6.1.1. Ο πολυκριτήριος πίνακας.....	31
3.6.1.2. Η προδιάταξη εναλλακτικών	32
3.6.2. Ορισμός της συνάρτησης χρησιμότητας	32
3.6.3. Σχηματισμός του γραμμικού προβλήματος	34
3.6.4. Μεταβελτιστοποίηση.....	36
3.6.5. Σχηματισμός των ολικών χρησιμοτήτων	36

3.6.6.	Τα αποτελέσματα της UTASTAR	37
3.7.	Διαχωρισμός δεδομένων	38
3.7.1.	Ομαδοποίηση	38
3.7.2.	Συσταδοποίηση (Clustering)	38
3.7.3.	Αλγόριθμος k-means.....	39
3.7.4.	Αλγόριθμος K-Medoids	40
3.7.5.	Επιλογή αριθμού συστάδων	42
3.7.5.1.	Δείκτες μεγέθους αποστάσεων.....	43
3.7.5.2.	Δείκτης Silhouette	43
3.7.5.3.	Δείκτης Calinski–Harabasz	44
3.8.	Αλγόριθμος Group TOPSIS	44
3.9.	Αλγόριθμος Negotiable Alternatives Identifier (NAI)	47
Κεφάλαιο 4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ		49
4.1.	Καθορισμός του πολυκριτήριου προβλήματος.....	54
4.2.	Πυρήνας συστήματος γενικής μεθοδολογίας	56
4.2.1.	Διασύνδεση διαγράμματος ροής γενικής μεθοδολογίας	57
4.3.	Πυρήνας συστήματος προτεινόμενης μεθοδολογίας	58
4.3.1.	Αλγόριθμοι προτεινόμενης μεθοδολογίας.....	58
4.3.2.	Αλγόριθμος ανάλυσης προτίμησης (UTASTAR).....	61
4.3.2.1.	Επιλογές εξαγωγής δεδομένων από την UTASTAR.....	61
4.3.3.	Επεξεργασία δεδομένων αποφασιζόντων	62
4.3.3.1.	Μέθοδος σύνθεσης προτίμησης αποφασίζοντα (TOPSIS)	63
4.3.4.	Φιλτράρισμα των αποφασιζόντων	63
4.3.5.	Άμεσος έλεγχος συμφωνίας συνόλου	64
4.3.5.1.	Αλγόριθμος σύνθεσης ομαδικής προτίμησης (Group TOPSIS).....	64
4.3.5.2.	Αλγόριθμος διαπραγμάτευσης (N.A.I.)	65
4.3.5.3.	Ταξινόμηση εναλλακτικών σε βαθμίδες συμφωνίας	66
4.3.6.	Συσταδοποίηση (k-medoids)	67
4.3.6.1.	Γενική μεθοδολογία	67
4.3.6.2.	Προτεινόμενη μεθοδολογία.....	68
4.3.6.3.	Επιλογή βέλτιστου αριθμού k-συστάδων	70
4.3.7.	Εκλογή εκπροσώπων ομάδων	70
4.3.7.1.	Γενική μεθοδολογία	70
4.3.7.2.	Προτεινόμενη μεθοδολογία.....	71

4.4.	Ανάδραση αποφασιζόντων	73
4.4.1.	Επιλογές συνόλων αποφασιζόντων ανάδρασης	73
Κεφάλαιο 5 ΕΦΑΡΜΟΓΗ.....		75
5.1.	Αρχεία του συστήματος	76
5.1.1.	Επαλήθευση λειτουργίας αλγορίθμων.....	77
5.1.1.1.	OliveOil.xlsx	77
5.1.1.2.	Mobile_137.xlsx.....	78
5.1.1.3.	Group TOPSIS.xlsx.....	78
5.1.1.4.	Παραγωγή τυχαίων δεδομένων συσταδοποίησης	78
5.1.2.	Διαμόρφωση αρχείου .xlsx	79
5.2.	Παρουσίαση του συστήματος μέσω μίας εφαρμογής	81
5.2.1.	Πλοήγηση και εισαγωγή δεδομένων.....	81
5.2.2.	Καρτέλες συστήματος.....	85
5.2.3.	Διαδικασία επανεκτέλεσης.....	97
5.3.	Αποτελέσματα συστήματος	99
5.3.1.	Αποτελέσματα σετ δεδομένων “OliveOil.xlsx”	99
5.3.2.	Αποτελέσματα σετ δεδομένων “Mobile_137.xlsx”	102
Κεφάλαιο 6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....		109
Κεφάλαιο 7 Βιβλιογραφία		111

Κεφάλαιο 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η λήψη αποφάσεων είναι μία διαδικασία αναπόσπαστα συνδεδεμένη με τον ανθρώπινο τρόπο σκέψης, η οποία συμβαίνει τόσο σε συνειδητό επίπεδο όσο και στο υποσυνείδητο. Σε κάθε δίλημμα απόφασης, ο αποφασίζοντας κατέχει ένα επίπεδο κατανόησης, το οποίο εξαρτάται από την προσπάθεια που καταβάλει και τα μέσα που διαθέτει εντός χρονικών πλαισίων. Η κατανόηση των δεδομένων του προβλήματος οδηγεί στη σύνθεση πληροφοριών. Οι πληροφορίες αυτές φιλτράρονται μέσω προηγούμενων εμπειριών και γνώσεων για να δημιουργήσουν νέες γνώσεις πάνω στο αντικείμενο της απόφασης, που εκφράζονται με τον σχηματισμό στρατηγικής και προτιμήσεων. Η συστηματική προσέγγιση προβλημάτων απόφασης, έχει αποδείξει πως μπορεί να βοηθήσει στη λήψη πιο πληροφορημένων και συνειδητών αποφάσεων, ή ακόμη και να φέρει στο φως ασυνείδητους παράγοντες που επηρεάζουν τη διαδικασία λήψης αποφάσεων αλλά και των προτιμήσεων των αποφασιζόντων.

Στην προσπάθεια μελέτης, τυποποίησης και ελέγχου της διαδικασία λήψης αποφάσεων, έχουν συμβάλει τα πληροφοριακά συστήματα. Από τα μέσα του 20 αιώνα μέχρι και το τέλος του, η συνεχόμενη πρόοδος των πληροφοριακών συστημάτων οδήγησε στα πρώτα ευφυή συστήματα. Από τις αρχές του 21 αιώνα, συστήματα σχεδιασμού απαιτήσεων υλικού (material requirements planning MRP), συστήματα ενδοεπιχειρησιακού σχεδιασμού (enterprise resource planning, ERP), συστήματα διαχείριση πελατειακών σχέσεων (Customer relationship management CRM) και άλλα εξειδικευμένα πληροφοριακά συστήματα, έχουν εδραιωθεί σε μεγάλες εταιρίες και κερδίζουν έδαφος και σε μικρομεσαίες. Σχεδόν όλες οι μικρές καθημερινές αποφάσεις στη λειτουργία των εταιριών έχουν τυποποιηθεί και λαμβάνουν χώρα με ευκολία και ταχύτητα μέσω αυτών των συστημάτων.

Η ψηφιοποίηση του τρόπου λειτουργίας των εταιριών επιτρέπει τη δημιουργία και την εύκολη πρόσβαση σε μεγάλους όγκους δεδομένων. Ακόμη οργανισμοί τυποποίησης υποστηρίζουν αυτή την προσπάθεια ψηφιοποίησης για την παροχή καλύτερων υπηρεσιών, με στόχο την εξάπλωση δοκιμασμένων πρακτικών και γνώσης που έχει κατοχυρωθεί στην αγορά. Ένας από αυτούς είναι ο ISO μέσω του προτύπου ISO20000 παροχής και διαχείρισης υπηρεσιών και υπηρεσιών πληροφορικής (Information technology — Service management). Η ψηφιακή διαχείριση κάθε τομέα της εταιρείας οδηγεί σε λιγότερο χρονοβόρες διαδικασίες και πιο αποτελεσματική λήψη αποφάσεων βασισμένη σε δεδομένα και μόνο εκεί που είναι αναγκαία. Τα συστήματα αυτά αποτελούν τα θεμέλια πάνω στα οποία υπάρχει πλέον η δυνατότητα να χτιστούν πιο ανεπτυγμένα ευφυή συστήματα για την υποστήριξη της λήψης στρατηγικών αποφάσεων σε υψηλότερο επίπεδο.

Θα μπορούσε να χαρακτηρίσει κανείς το σήμερα ως την εποχή της πληροφορίας, λόγω του τεράστιου όγκου δεδομένων που είναι προσβάσιμο από όλο και μεγαλύτερο κοινό μέσω του διαδικτύου. Η πρόοδος της τεχνίτης νοημοσύνης, και ειδικότερα της μηχανικής μάθησης, ανοίγει νέες δυνατότητες και τεχνικές για την ανάλυση μεγάλου όγκου δεδομένων. Πλέον υπάρχει η δυνατότητα εύρεσης περίπλοκων συσχετίσεων και μοτίβων που εμφανίζονται μόνο στα “μεγάλα δεδομένα” (big data), για την εξόρυξη

πληροφοριών. Η σύνθεση όλο και περισσότερων πληροφοριών σε γνώση (Knowledge based systems, expert systems) από πολλά διαφορετικά πεδία, είναι η βάση για τη λήψη πληροφορημένων αποφάσεων (Data-driven decision-making), μέχρι και τα ανώτερα επίπεδα στρατηγικών αποφάσεων.

Οι στρατηγικές αυτές αποφάσεις τις περισσότερες φορές δεν έχουν μοναδικό στόχο τη βελτιστοποίηση μιας παραμέτρου, όπως τη μεγιστοποίηση κέρδος ή την ελαχιστοποίηση του κόστους, αλλά ένα σύνολο παραγόντων που αφορούν την ικανοποίηση των πελατών και τα κριτήρια EESG (Employee, Environment, Social and Governance). Τα κριτήρια EESG συμπεριλαμβάνουν περιβαλλοντικούς στόχους, κοινωνικές πολιτικές και οικονομία, ασφάλεια και εργονομία στην εργασία, διαφάνεια και καταπολέμηση της διαφθοράς, κ.α. Πολλοί από αυτούς τους στόχους έχουν κοινό παρανομαστή τον ανθρώπινο παράγοντα και επομένως πολλές διαφορετικές απόψεις και προτιμήσεις. Ακόμη, ειδικοί (experts) σε κάθε τομέα κατέχουν γνώσεις και εμπειρία που αποτελούν το κλειδί για την επίλυση πολυσύνθετων ομαδικών προβλημάτων. Επιπλέον, η ευθύνη της λήψης μιας απόφασης μπορεί να βαρύνει ένα σύνολο ατόμων που δεν αποτελούν ομάδα, έχοντας διαφορετικά συμφέροντα. Με βάση τα παραπάνω δημιουργήθηκε η ανάγκη για την υποστήριξη της λήψης ομαδικών αποφάσεων.

Ο πιο συνηθισμένος τρόπος λήψης ομαδικών αποφάσεων γίνεται μέσω φυσικής επικοινωνίας μεταξύ των μελών της ομάδας. Η επικοινωνία αυτή αποσκοπεί έμμεσα ή άμεσα να εξυπηρετήσει δύο βασικές διαδικασίες της λήψης αποφάσεων, τον καθορισμό του προβλήματος, που μεταξύ άλλων περιέχει την αναγνώριση/δημιουργία των εναλλακτικών λύσεων, και έπειτα την αξιολόγηση αυτών των εναλλακτικών. Αυτή η διαδικασία δεν κλιμακώνεται ομαλά όταν η πολυπλοκότητα του προβλήματος αυξάνεται. Παράδειγμα είναι το φαινόμενο της παράλυσης των πολλών επιλογών, της παράλυσης από υπερανάλυση (paralysis by analysis) και άλλων φαινομένων, όταν τα κριτήρια και οι εναλλακτικές αυξάνονται. Επίσης, όταν χρειάζεται να ληφθεί μία απόφαση σε περιορισμένο χρόνο, το να εκφραστούν όλοι οι προβληματισμοί και ανησυχίες των αποφασιζόντων μέσω διαλόγου είναι αδύνατον. Για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων χρησιμοποιούνται διαδικασίες ανάλυσης αποφάσεων (δέντρα αποφάσεων, SWOT ανάλυση, περιγραφική στατιστική και ανάλυση δεδομένων), τεχνικές αντιμετώπισης δομημένων προβλημάτων από προηγούμενη εμπειρία (Knowledge Management, knowledge transfer) αλλά και ολοκληρωμένα συστήματα υποστήριξης ομαδικών αποφάσεων (ΣΥΟΑ).

Το σημαντικότερο πρόβλημα κλίμακας των ομαδικών αποφάσεων προκύπτει από την αύξηση του αριθμού των αποφασιζόντων. Ο μειωμένος χρόνος που αντιστοιχεί στον καθένα για να εκφράσει την άποψή του, μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένο ενδιαφέρον-αδιαφορία και στην αποποίηση των ευθυνών λόγω του μικρού μέρους της που θεωρητικά του αναλογεί. Ακόμη εάν ο συντονισμός της ροής του διαλόγου δεν είναι αποτελεσματικός, μπορεί να χαθεί χρόνος και ενδιαφέρον από τους αποφασίζοντες. Περαιτέρω, φαινόμενα όπως η αγελαία σκέψη (Group Think), ο φόβος της έκφρασης, και η ύπαρξη φαινομένων μεροληψίας ή εξωτερικών συμφερόντων (Lobbying), μπορεί να οδηγήσουν σε αποφάσεις με φαινομενικά ισχυρή πλειοψηφία που δεν εξυπηρετούν την αποστολή, της αξίες και τους στόχους για τους οποίους η ομάδα σχηματίστηκε. Το πρόβλημα του πλήθους των αποφασιζόντων αντιμετωπίζεται με πολλές διαφορετικές

προσεγγίσεις, με τις πιο γνωστές να είναι οι διαδικασίες ψηφοφορίας και η εκλογή εκπροσώπων. Τα συστήματα υποστήριξης ομαδικών αποφάσεων (ΣΥΟΑ), μεταξύ άλλων αποσκοπούν στο να μειώσουν τον χρόνο που απαιτείται για να εκφραστούν οι προτιμήσεις όλων των αποφασιζόντων. Αυτή η άμεση και απρόσκοπτη ανταλλαγή πληροφοριών και γνώσης αποσκοπεί στην εύρεση κοινού εδάφους στις προτιμήσεις ή στην κατεύθυνση του διαλόγου στα σημεία που έχουν μεγαλύτερη σημασία.

1.1. Σκοπός της εργασίας

Η δημιουργία ενός ευφυούς συστήματος υποστήριξης της λήψης ομαδικών αποφάσεων μεγάλης κλίμακας σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης για την αξιολόγηση εναλλακτικών, αποτελεί μία πρόκληση για την αντιμετώπιση του περιορισμού της κλίμακας των ομάδων αλλά και του περιορισμού της ανταλλαγής πληροφοριών και γνώσης μεταξύ των αποφασιζόντων για τις προτιμήσεις τους. Η γενική μεθοδολογία που προτείνεται έχει σκοπό να καλύψει ένα μεγάλο εύρος προβλημάτων ομαδικών αποφάσεων μεγάλης κλίμακας, όπου με την κατάλληλη επιλογή αλγορίθμων και ρυθμίσεων να υποστηρίζει την ποιοτική λήψη αποφάσεων. Η προτεινόμενη μεθοδολογία εφαρμόζει αλγορίθμους και μεθόδους κατάλληλους για τη λήψη ομαδικών αποφάσεων μεγάλης κλίμακας σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, όπου ο χρόνος είναι περιορισμένος και το πρόβλημα πρωτοφανές. Η ανάπτυξη του συστήματος έχει σκοπό τη διάδοση παρόμοιων εργαλείων στο διαδίκτυο και τη χρήση του από ομάδες για την υποστήριξη αποφάσεων αλλά και για ερευνητικούς σκοπούς. Το σύστημα αναπτύχθηκε με χρήση της γλώσσας προγραμματισμού “python 3.11” που είναι από τις πιο ευρέως διαδεδομένες γλώσσες για ανάλυση δεδομένων, λόγω της ευκολίας της στο συντακτικό και της πληθώρας βιβλιοθηκών για αυτό τον σκοπό. Η διαδικτυακή εφαρμογή αναπτύχθηκε με κύριο σκοπό την επίδειξη του συστήματος μέσα από ένα φιλικό γραφικό περιβάλλον και την προσβασιμότητά του διαδικτυακά. Η πλατφόρμα ανάπτυξης της διαδικτυακής εφαρμογής είναι το “Streamlit”, το οποίο είναι βιβλιοθήκη της python που δεν απαιτεί τη δημιουργία server, γνώσεις html και css, πράγμα το οποίο κάνει εύκολη τη γρήγορη ανάπτυξη μικρών διαδικτυακών εφαρμογών χωρίς ιδιαίτερες γνώσεις στην ανάπτυξη ιστοσελίδων. Για τους παραπάνω λόγους, ο κώδικας κάθε αλγορίθμου αναπτύχθηκε με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να μπορεί να εκτελεστεί ξεχωριστά. Επίσης, το γραφικό περιβάλλον δίνει τη δυνατότητα εκτέλεσης των αλγορίθμων ξεχωριστά με τη δική του μικρό-εφαρμογή, με μοναδική είσοδο ένα κατάλληλα διαμορφωμένο αρχείο υπολογιστικών φύλλων. Με αυτό τον τρόπο, το σύστημα θα ήταν κατάλληλο να χρησιμοποιηθεί και για εκπαιδευτικούς σκοπούς.

Κεφάλαιο 2 ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

2.1. Καταστάσεις έκτακτης ανάγκης

Η αντιμετώπιση καταστροφών, ο περιορισμός των ζημιών και η διαχείριση του ρίσκου είναι καταστάσεις που ακολουθούν στενά την εξέλιξη του ανθρώπινου πολιτισμού μέχρι και σήμερα. Οι αποφάσεις που λαμβάνονται για την αντιμετώπιση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης χωρίζονται σε τρία διαφορετικά χρονικά στάδια, πριν, κατά τη διάρκεια, και μετά το γεγονός. Όσον αφορά το στάδιο της προετοιμασίας και πρόληψη ενός τέτοιου γεγονότος, γενικός στόχος είναι η ελαχιστοποίηση του ρίσκου. Όσο μεγαλύτερη μελέτη γίνει για την πρόβλεψη, πρόληψη και προετοιμασία αντιμετώπισης του γεγονότος, τόσο πιο πολλές εναλλακτικές δράσεις θα είναι διαθέσιμες όταν θα συμβεί. Θεωρητικά στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, πριν το γεγονός υπάρχει πολύ περισσότερος χρόνος προετοιμασίας, ενώ κατά τη διάρκεια ελάχιστος. Βασικοί πυλώνες προετοιμασίας, για τον καθορισμό του πραγματικού σχεδίου αντιμετώπισης, είναι:

- Ορισμός κάθε πιθανού σεναρίου κατάστασης έκτακτης ανάγκης.
- Ο υπολογισμός των απαραίτητων πόρων, την επάρκεια του προσωπικού και του διαθέσιμου εξοπλισμού, καθώς και τρόπο κατανομής του σε απομακρυσμένες περιοχές.
- Η ετοιμότητα των φορέων αντιμετώπισης, που περιλαμβάνει τη γνώση χρήσης του εξοπλισμού και την εμπειρία από ασκήσεις προσομοίωσης σε κάθε σενάριο.
- Η έρευνα για νέες τεχνολογίες και νέες τεχνικές αντιμετώπισης
- Η ξεκάθαρη ιεραρχία και κατανομή της ευθύνης, καθώς και πλάνο αυτόματης πρώτης δράσης για κάθε σενάριο.

Κάθε κατάσταση έκτακτης ανάγκης είναι διαφορετική. Μπορεί να υπάρχει ιστορικό παρόμοιων γεγονότων και αρκετή εμπειρία από την αντιμετώπισή τους, όμως αυτό δε σημαίνει πως από μόνη της είναι αρκετή για να καλύψει κάθε περίπτωση. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, όσο μεγαλύτερη προετοιμασία έχει γίνει πριν το γεγονός, τόσες περισσότερες εναλλακτικές δράσεις θα έχουν διαθέσιμες στα χέρια τους οι αποφασίζοντες. Ο υπεύθυνος φορέας είναι αυτός που θα ορίσει την κατάσταση έκτακτης ανάγκης και τους αποφασίζοντες, και οι αποφασίζοντες αυτοί που είναι υπεύθυνη για τη λύση που θα προτείνουν. Για να φτάσουν στο σημείο να προτείνουν λύση που μπορεί να εφαρμοστεί, όπως αναλύεται στην παράγραφο 2.4, θα πρέπει να περάσουν από τα παρακάτω στάδια:

- Καθορισμός του προβλήματος
- Αξιολόγηση των διαθέσιμων εναλλακτικών
- Καθορισμός σχεδίου εφαρμογής, πολιτικής και ευθύνης.

Η διαχείριση των επιπτώσεων μίας κατάστασης έκτακτης ανάγκης μπορεί να διαρκέσει πολλά χρόνια στο μέλλον, εάν δεν είναι πλήρως επιτυχής η αντιμετώπιση της. Θεωρητικά οι επιπτώσεις έχουν αντιμετωπιστεί πλήρως εάν ο κόσμος, μετά από ένα χρονικό διάστημα, είναι σχεδόν ταυτόσημος με το σενάριο του να μη συνέβαινε ποτέ το γεγονός. Όσο μικρότερο είναι αυτό το χρονικό διάστημα, τόσο μικρότερη και η

αλυσίδα των επιπλοκών που ακολουθούν, ενώ διαφορετικά το γεγονός μπορεί να έχει πιθανόν και μόνιμες επιπτώσεις. Ένα τέτοιο γεγονός μπορεί να προκαλέσει μία δεύτερη κατάσταση έκτακτης ανάγκης διαφορετικής φύσεως, αμέσως μετά από αυτή. Τέτοια παραδείγματα είναι οι πυρκαγιές και έπειτα πλημμύρες, οι πόλεμοι και έπειτα προσφυγική κρίση, ένα πετρελαϊκό ατύχημα και έπειτα η οικολογική καταστροφή σε παραθαλάσσια οικοσυστήματα, η οικονομική κρίση και έπειτα η ανεργία, μία πανδημία και έπειτα η κρίση παραπληροφόρησης και εμπιστοσύνης στους θεσμούς. Συνήθως, εάν πρόκυψη δεύτερη κρίση και δε θεωρηθεί και αυτή ως κατάσταση έκτακτης ανάγκης, οι τρόποι αντιμετώπισης είναι χρονικά καθυστερημένοι και πιθανόν μη επαρκείς. Ειδικότερα όσο πιο πρωτοφανείς είναι οι συνθήκες, τόσο μεγαλύτερη η έλλειψη συμφωνίας μεταξύ φορέων για το ποιος έχει την ευθύνη. Αυτό το περιβάλλον δυσχεραίνει τη συνεργασία, τον σχεδιασμό οποιουδήποτε πλάνου και τον συντονισμό των ενεργειών αντιμετώπισης.

Αυτήν την προσπάθεια λήψης αποφάσεων σε όλα τα επίπεδα, από το στρατηγικό/πολιτικό μέχρι τον συντονισμό όλων των ομάδων δράσης, προσπαθούν να υποστηρίξουν πολλά διαφορετικά πληροφοριακά συστήματα. Τα συστήματα τα οποία αποβλέπουν στην υποστήριξη λήψης αποφάσεων, αναλύονται παρακάτω και χρησιμοποιούνται είτε μεμονωμένα από έναν αποφασίζοντα, είτε από ομάδα αποφασιζόντων. Οι καταστάσεις έκτακτης ανάγκης είναι από τους βασικούς τομείς εφαρμογής και έρευνας τέτοιων συστημάτων, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια ενός τέτοιου γεγονότος. Η δυσκολία έγκειται στην επιλογή μίας βέλτιστης εναλλακτικής δράσης όσο πιο γρήγορα είναι εφικτό, η οποία να αξιοποιεί τους διαθέσιμους πόρους και όση προετοιμασία έχει γίνει, και να την εφαρμόζει σωστά στη συγκεκριμένη περίπτωση. Η έλλειψη πληροφορίας είναι επίσης ένα συχνό φαινόμενο, πράγμα που γίνεται προσπάθεια να αντιμετωπιστεί με την εμπλοκή πολλών αποφασιζόντων από διαφορετικούς τομείς. Ακόμη, η προσπάθεια αυτή ενισχύεται με την άντληση και επεξεργασία κάθε σχετικής διαθέσιμης πηγής δεδομένων, για την εξόρυξη πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο, και έτσι τη συμπλήρωση των κενών στην πληροφόρηση των αποφασιζόντων. Υπάρχει η ανάγκη για λογικές και πληροφορημένες αποφάσεις, που δε θα βασίζονται μόνο στο εμπειρικό ένστικτο μικρού αριθμού αποφασιζόντων, αλλά όσο περισσότερων ειδικών γίνεται, με τη βοήθεια και ισχύ δοκιμασμένων μαθηματικών μοντέλων για την ανάλυση και σύνθεση των προτιμήσεών τους. Τα πληροφοριακά συστήματα υποστήριξης ομαδικών αποφάσεων μεγάλης κλίμακας, καλούνται να γεφυρώσουν το χάσμα μεταξύ ενστίκτου και πληροφορημένων αποφάσεων, κάτι που τις τελευταίες δεκαετίες είναι τεχνολογικά εφικτό.

2.2. Συστήματα υποστήριξης αποφάσεων

Τα πληροφοριακά συστήματα υποστήριξης αποφάσεων (ΣΥΑ) είναι ένα σύνολο γενικό σύνολο συστημάτων με πολλές κατηγορίες. Ο βασικός σκοπός τους είναι η αύξηση της αποτελεσματικότητας της διαδικασίας λήψης απόφασης, δηλαδή στοχεύουν πρωτίστως στην ποιότητα του αποτελέσματος. Για να το πετύχουν αυτό εκμεταλλεύονται τις δυνατότητες ταχείας επεξεργασίας δεδομένων του υπολογιστή σε συνδυασμό με πολλαπλά μοντέλα λήψης αποφάσεων, για να επεκτείνουν τις

δυνατότητες και το γνωστικό πεδίο των αποφασίζοντων. Στο βιβλίο του Ματσατσίνη (Ματσατσίνη, 2023, παρ. 6.1) αναφέρονται πολύ ορισμοί που έχουν δοθεί για τα ΣΥΑ, και αξίζει να σημειωθεί πως η αντίληψη των ειδικών για αυτά τα συστήματα εξελίσσεται μέχρι και σήμερα.

Τα επιχειρησιακά συστήματα, όπως συστήματα ERP και τα υποσυστήματά τους, αποβλέπουν στην αποδοτικότητα της επιχείρησης/οργανισμού, δηλαδή στοχεύουν πρωτίστως στη δυνατότητα και την ταχύτητα εκτέλεσης διαφόρων εργασιών. Τα συστήματα ΣΥΑ έχουν αναπτυχθεί για να δουλεύουν παράλληλα με τέτοιου είδους συστήματα, αντλώντας πολλές φορές δεδομένα από αυτά. Εκεί που τα ΣΥΑ διαφέρουν, είναι πως δε στοχεύουν στο να δώσουν απευθείας μία λύση, αλλά στο να οδηγήσουν τους αποφασίζοντες να ανακαλύψουν/δημιουργήσουν μία ποιοτική λύση όσο πιο γρήγορα είναι εφικτό. Επομένως, τα ΣΥΑ δε λαμβάνουν την τελική απόφαση αλλά υποστηρίζουν τη διαδικασία λήψης της απόφασης και πολλές φορές χρειάζονται κάποιον διαχειριστή/συντονιστή για να διευθύνει/συντονίζει τις διαδικασίες.

Ένα ολοκληρωμένο ΣΥΑ υποστηρίζει τη διαδικασία λήψης της απόφασης στα 4 στάδια της (νοητική – σχεδίαση – επιλογή – ολοκλήρωση) (Sprague, 1980), όπου στα πρώτα δύο γίνεται ο ορισμός του προβλήματος, των εναλλακτικών και των κριτηρίων, ενώ στα δύο τελευταία γίνεται η αξιολόγηση, λαμβάνεται η απόφαση, γίνεται αρχειοθέτηση και ορίζεται ο τρόπος εφαρμογής. Κάθε σύστημα ΣΥΑ μπορεί να δίνει έμφαση σε διαφορετικό σημείο των παραπάνω σταδίων της διαδικασίας λήψης αποφάσεων. Εάν τα προβλήματα που αντιμετωπίζει ένα ΣΥΑ είναι αδόμητα, τότε δίνεται έμφαση στα πρώτα στάδια, εάν το πρόβλημα είναι ημιδομημένο δίνεται έμφαση στην ολοκλήρωση της σχεδίασης και στα επόμενα στάδια.

Όλα τα ΣΥΑ αποτελούνται από τρία βασικά μέρη (Ματσατσίνη, 2023, παρ. 6.4):

- Υποσύστημα διαχείρισης δεδομένων: Αποτελείται από τη βάση δεδομένων της εταιρείας, άλλων εγγράφων αλλά και πληροφοριών που παρέχονται και ανανεώνονται από τους χρήστες, καθώς και από πηγές του διαδικτύου.
- Υποσύστημα διαχείρισης μοντέλων: Η μαθηματική μοντελοποίηση του προβλήματος και όλες οι τεχνικές που μπορούν να εφαρμοστούν για την εύρεση βέλτιστων λύσεων
- Υποσύστημα υποβοήθησης χρήστη: Ο τρόπος αλληλεπίδρασης του/ων αποφασίζοντα/ων με το σύστημα, μέσω του γραφικού περιβάλλοντος διεπαφής. Περιέχει τρόπους οπτικοποίησης δεδομένων, μεθόδους εξαγωγής προτίμησης και σύστημα προτάσεων, καθώς και ρυθμίσεις για τη λειτουργία των μοντέλων και εξερεύνησης των αποτελεσμάτων προς βαθύτερη κατανόηση.

Ακόμη τα ΣΥΑ χωρίζονται σε ομαδικά (ΣΥΟΑ) και ατομικά. Η βασική διαφορά των ΣΥΟΑ είναι πως επεκτείνουν τις δυνατότητές τους με διαφορετικά υποσυστήματα που επιτρέπουν την επικοινωνία και διαπραγμάτευση των αποφασίζοντων πέρα από τα πλαίσια της ομιλίας, για την ανταλλαγή πληροφοριών και γνώσης. Λόγω αυτού τα ΣΥΟΑ έχουν τη δυνατότητα να επιλύσουν μεγαλύτερο εύρος προβλημάτων, καθώς περισσότεροι αποφασίζοντες διαθέτουν συσσωρευτικά μεγαλύτερη γνώση και εμπειρία. Βέβαια, προκειμένου αυτές οι ιδιότητες να αντικατοπτριστούν και τη συμπεριφορά του συνόλου, είναι απαραίτητο η γνώση και εμπειρία κάθε

αποφασίζοντα να εκφραστεί και να κατανοηθεί και από τους υπόλοιπους. Το αντίτιμο είναι πως υπάρχει και η πιθανότητα οι απόψεις των αποφασιζόντων να αποκλίνουν, όπου σε αυτήν την περίπτωση το σύστημα προσπαθεί να αναγνωρίσει ή να συνθέσει μία εναλλακτική όπου να υπάρχει συμβιβασμός μεταξύ των αντικρουόμενων υποομάδων.

Τα ΣΥΑ συχνά εμπεριέχουν συστήματα βασισμένα στη γνώση (knowledge-based system (KBS)) στη βάση δεδομένων τους, ή έμπειρα συστήματα (Expert systems) για την προσομοίωση της διαδικασίας λήψης αποφάσεων των ειδικών. Και τα δύο συστήματα έχουν ως στόχο την αποθήκευση της γνώσης, και γι' αυτό πολλές φορές οι ονομασίες τους σχεδόν θεωρούνται συνώνυμες. Η διαφορά είναι ότι στα KBS η γνώση αποθηκεύεται αυτούσια και είναι εύκολα κατανοητή από άλλους χρήστες. Στα έμπειρα συστήματα από την άλλη, η γνώση αποθηκεύεται εσωτερικά σε παραμέτρους του μοντέλου, πράγμα που κάνει δύσκολη την άμεση πρόσβαση αυτής της γνώσης από άλλους χρήστες/αποφασίζοντες, που δεν έχουν το κατάλληλο θεωρητικό υπόβαθρο για να κατανοήσουν το τελικό μοντέλο.

Όπως και η επιχειρησιακή έρευνα, τα ΣΥΑ εφαρμόζουν αρχές από πολλούς διαφορετικούς τομείς των επιστημών της πληροφορικής, των μαθηματικών, της μηχανικής και των οικονομικών, όπως:

- Ανάλυση δεδομένων και πρόβλεψη
- Πληροφοριακά συστήματα
- Επιστήμη ηλεκτρονικών υπολογιστών
- Τεχνητή νοημοσύνη και μηχανική μάθηση
- Οργάνωση και διοίκηση
- Θεωρία γραφημάτων
- Γραμμικός, μη γραμμικός, και ακέραιος προγραμματισμός
- Δυναμικός προγραμματισμός
- Στοχαστικές διαδικασίες, συστήματα εξυπηρέτησης και προσομοίωση

Για τον λόγο ότι όλοι αυτοί οι τομείς συμβάλουν στη λήψη αποφάσεων είναι δύσκολο να οριστεί ακριβώς πότε έκαναν την εμφάνιση τους τα πρώτα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων. Οι περισσότεροι ειδικοί συμφωνούν πως οι βασικές αρχές τους τέθηκαν στα τέλη της δεκαετίας του 1950 με αρχές της δεκαετίας του 1960, ενώ αναγνωρίστηκε σαν ξεχωριστός κλάδος έρευνας στα μέσα της δεκαετίας του 1970. Από τα μέσα της δεκαετίας του 1980 οι πρώτες μεγάλες εταιρείες άρχισαν να τα υιοθετούν, με παράδειγμα την Texas Instruments με ένα σύστημα διαχείρισης των πυλών αεροδρομίων, που εφαρμόστηκε σε αεροδρόμιο της των ΗΠΑ με αποτέλεσμα σημαντική μείωση των καθυστερήσεων. Από τις αρχές του 1990 τα ΣΥΑ άρχισαν να επωφελούνται από την ανάπτυξη των συστημάτων OLAP (On Line Analytical Processing) και από τις μεγάλες αποθήκες δεδομένων (data warehouses), όπου η διασύνδεση των ΣΥΑ με αυτά έδωσε τη δυνατότητα ανάπτυξης συστημάτων που είχαν άμεσα διαθέσιμη πληροφορία και γνώση από κάθε τμήμα του οργανισμού που τα υιοθετεί. Πλέον η εφαρμογή των ΣΥΑ δεν ήταν μία ξεχωριστή απομονωμένη διαδικασία, αλλά αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινής διαχείρισης των εταιριών. Σήμερα πολλά συστήματα ΣΥΑ έχουν επεκταθεί στο διαδίκτυο επιτρέποντας την άμεση επικοινωνία

και πρόσβαση σε ομαδικά ΣΥΑ και την παράλληλη εξ αποστάσεως συνεργασία στα ΣΥΟΑ.

2.3. Εφαρμογές των ΣΥΑ

Υπάρχει πληθώρα εφαρμογών των ΣΥΑ όπως φαίνεται από τη βιβλιογραφία, όμως η μεγάλη πλειοψηφία αυτών των προγραμμάτων είτε κοστίζουν ενώ παρέχουν μία δοκιμαστική ή περιορισμένη έκδοση, είτε δεν είναι προσβάσιμα προϊόντα από χρήστες. Κάποια γενικά συστήματα δημιουργίας ΣΥΑ που δεν απαιτούν ιδιαίτερες γνώσης προγραμματισμού και είναι διαθέσιμα έστω και σε δωρεάν δοκιμαστική ή περιορισμένη έκδοση, είναι:

- *Analytica (Analytica / Decision Analysis & Multi-Criteria, 2024)*: Πρόκειται για μία πλατφόρμα μοντελοποίησης προβλημάτων, η οποία βασίζεται στη δημιουργία διαγραμμάτων ροής για τον προγραμματισμό και την αλληλεπίδραση με τον χρήστη.
- *Stella (iThink) (isee systems, 2024)*: Γραφική γλώσσα προγραμματισμού υψηλού επιπέδου, που επιτρέπει τη μοντελοποίηση συστημάτων μέσω διαγραμμάτων, παρόμοια με το *Analytica*.
- Πρωτότυπα υπολογιστικά φύλλα: Οποιαδήποτε εφαρμογή υπολογιστικών φύλλων μπορεί να αποτελέσει μία βάση για την ανάπτυξη και χρήση ενός ΣΥΑ. Για τη χρήση εξειδικευμένων επιλυτών (solvers), μπορεί να γίνει χρήση επεκτάσεων ή η χρήση μικρών αρχείων κώδικα συνδεδεμένων με το υπολογιστικό φύλλο.
- Συνδυασμός πολλών διαφορετικών προγραμμάτων και επιλυτών (solvers), όπως το δωρεάν πρόγραμμα ανοιχτού κώδικα *weka* (Eibe Frank, Mark A. Hall, and Ian H. Witten, χ.χ.; *Weka 3 - Data Mining with Open Source Machine Learning Software in Java, 2024*), για την προσομοίωση των λειτουργιών ενός ΣΥΑ σε ένα συγκεκριμένο πρόβλημα.

Όλες οι παραπάνω εφαρμογές απαιτούν από τον σχεδιαστή του ΣΥΑ να έχει μία βασική γνώση αυτών των συστημάτων/προγραμμάτων και εννοείται των αλγορίθμων που επιθυμεί να χρησιμοποιήσει στη μοντελοποίησή του. Σε περίπτωση ανάπτυξης ενός ΣΥΑ μέσω μίας γλώσσας προγραμματισμού, αυτές οι εφαρμογές μπορούν να ενσωματωθούν κατάλληλα ως υποσυστήματα. Η ενσωμάτωση αφορά συγκεκριμένα μέρη από αυτές, με τη χρήση ενός API (Application Programming Interface) ή με απευθείας χρήση μέρους του κώδικα, ανάλογα πάντα με την άδεια χρήσης ανοιχτού κώδικα της εφαρμογής. Πολλές φορές ο σχεδιαστής ενός τέτοιου ΣΥΑ είναι και ο χρήστης, ενώ διαφορετικά οι χρήστες πιθανόν να χρειαστούν την καθοδήγησή του, για τον τρόπο χρήσης του συστήματος και την ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

Ένα επίπεδο ευελιξίας χαμηλότερα υπάρχουν εξειδικευμένα ΣΥΑ ανά τομέα. Μερικά παραδείγματα είναι:

- Ιατρική (διάγνωση με έμπειρα συστήματα, στρατηγικής διαχείρισης)
- Γεωργία (Επιλογή καλλιέργειας, εξοπλισμού και διαχείριση κόστους)
- Μάρκετινγκ (Συστήματα συστάσεων, ανάλυση κύκλου ζωής προϊόντος)

Ακόμη χαμηλότερα είναι ΣΥΑ προσανατολισμένα σε μία συγκεκριμένη οικογένεια προβλημάτων ή για μόνο για συγκεκριμένα προβλήματα. Σε αυτήν την περίπτωση υπάρχει η πιθανότητα ανάπτυξης νέων συστημάτων από την αρχή ή ανάπτυξη υποσυστημάτων για την επέκταση των δυνατοτήτων ενός ήδη υπάρχοντος γενικότερου συστήματος.

2.4. Συστήματα υποστήριξης ομαδικών αποφάσεων (ΣΥΟΑ)

Τα συστήματα υποστήριξης ομαδικών αποφάσεων (ΣΥΟΑ) αποτελούν μία υποκατηγορία των συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων. Βασική διαφορά τους από τα ατομικά ΣΥΑ είναι πως απευθύνονται σε πολυπλοκότερα προβλήματα όπου ένας μόνο αποφασίζοντας πιθανόν να μην είναι σε θέση να τα αντιμετωπίσει. Ακόμη μία βασική διαφορά των ατομικών ΣΥΑ είναι πως μπορούν να είναι πιο εξειδικευμένα στο να επιλύσουν ένα συγκεκριμένο πρόβλημα, ενώ τα ΣΥΟΑ έχουν πιο γενική εφαρμογή, στοχεύοντας στη συνεργασία και τη διευκόλυνση των διαδικασιών της σύσκεψης των αποφασιζόντων. Για τον λόγο αυτό τα ομαδικά ΣΥΑ δίνουν τη δυνατότητα να αντιμετωπιστεί σχεδόν κάθε πρόβλημα απόφασης με την αξιοποίηση της γνώσης πολλών αποφασιζόντων, ενώ τα ατομικά ΣΥΑ περιορίζονται στις γνώσεις ενός μόνο αποφασίζοντα.

Ένα ΣΥΟΑ αποτελείται από όλα τα μέρη ενός ΣΥΑ, δηλαδή υποσύστημα υποβοήθησης για κάθε αποφασίζοντα, υποσύστημα διαχείρισης δεδομένων, και υποσύστημα διαχείρισης μοντέλων. Περαιτέρω, διαθέτουν κάποια ακόμη υποσυστήματα για να υποστηρίξουν τις ομαδικές λειτουργίες, όπως το δίκτυο επικοινωνίας των υπολογιστών μεταξύ τους και το λογισμικό που επιτρέπει κάθε μορφής επικοινωνία και αλληλεπίδραση μεταξύ τους. Η αλληλεπίδραση αυτή, πέρα από την προβολή των αποτελεσμάτων από τα μοντέλα του συστήματος, μπορεί να περιέχει:

- Την ανταλλαγή προσωπικών και ομαδικών μηνυμάτων
- Τη συλλογή σχολίων πάνω στα αποτελέσματα
- Ζωντανή τηλεδιάσκεψη
- Σύστημα ψηφοφορίας για την πραγματοποίηση αλλαγών στις ρυθμίσεις των μοντέλων.
- Σύστημα αντιδράσεων, παρόμοιο με των social media.

Όπως και τα ΣΥΑ, τα ΣΥΟΑ δίνουν έμφαση και στα τέσσερα (4) στάδια υποστήριξης της λήψης αποφάσεων. Πριν την έναρξη της όλης διαδικασίας, θα πρέπει να αποφασιστεί η ροή των διαδικασιών που θα ακολουθηθεί για την υποστήριξη της ομάδας των αποφασιζόντων έτσι ώστε να φτάσουν στην τελική απόφαση. Οι διαδικασίες αυτές σε γενικές γραμμές ακολουθούν την παρακάτω ροή:

1. Εξαγωγή πληροφοριών και γνώσης από τους αποφασίζοντες για τον καθορισμό του προβλήματος. Εξόρυξη δεδομένων από διαθέσιμες πηγές και επεξεργασία των δεδομένων για την υποστήριξη των αποφασιζόντων στη διαδικασία καθορισμού του προβλήματος. Ορίζονται εναλλακτικές, κριτήρια, στρατηγικές,

στόχοι, συναρτήσεις κέρδους / κόστους, και οι μέθοδοι που θα εφαρμοστούν για την αξιολόγηση των εναλλακτικών.

2. Εξαγωγή προτίμησης από τους αποφασίζοντες μέσω ερωτηματολογίων. Αυτή η διαδικασία μπορεί να επαναληφθεί πολλές φορές εάν τα δεδομένα του προβλήματος είναι μεταβαλλόμενα ή γίνεται αξιολόγηση σε πολλαπλά στάδια με ανάδραση των αποφασιζόντων.
3. Αξιολόγηση των εναλλακτικών μέσω της ανάλυσης των προτιμήσεων των αποφασιζόντων και των διάφορων μοντέλων και αλγορίθμων που εφαρμόζονται σε σειρά, παράλληλα ή επαναληπτικά από το σύστημα.
4. Λήψη της τελικής απόφασης, ορισμός πλάνου εφαρμογής και πολιτικής, ορισμός των υπεύθυνων για την απόφαση αυτή, και του υπεύθυνου για την υλοποίηση της.

Βασικό είναι να οριστεί από τους αποφασίζοντες, εάν θα υπάρχει δυνατότητα πραγματοποίησης αλλαγών στον καθορισμό του προβλήματος (βήμα 1) και εάν θα υπάρχει δυνατότητα ανάδρασης και τροποποίησης των προτιμήσεων (βήμα 2), αφού παρθούν τα πρώτα αποτελέσματα του συστήματος (βήμα 3).

2.5. Ορισμός του προβλήματος

Πολλά ΣΥΟΑ στοχεύουν στον καθορισμό του προβλήματος και τον σχεδιασμό των εναλλακτικών μέσω της συνεργασίας των αποφασιζόντων. Υπάρχει όμως και η πιθανότητα οι εναλλακτικές να είναι ήδη καθορισμένες και να μην υπάρχει περιθώριο τροποποίησής τους από τους αποφασίζοντες. Σε κάθε περίπτωση, έπειτα από τον καθορισμό των εναλλακτικών ακολουθεί η αξιολόγηση τους από ομάδα αποφασιζόντων. Η προβληματική τις περισσότερες φορές έγκειται στην επιλογή μίας βέλτιστης εναλλακτικής για τη λήψη της τελικής απόφασης. Σε αυτήν την περίπτωση, υπάρχει συνεργασία και διαπραγμάτευση των αποφασιζόντων για την επιλογή κοινών αποδεκτών εναλλακτικών από τις ήδη υπάρχουσες. Η συνεργασία/διαπραγμάτευση μπορεί να περιλαμβάνει πολλούς διαφορετικούς τρόπους και μέσα για την ανταλλαγή πληροφορίας και γνώσης μεταξύ των αποφασιζόντων, με σκοπό την επιρροή και αναθεώρηση μέρους των προτιμήσεών τους. Πολλές μεθοδολογίες που εφαρμόζουν τα ΣΥΟΑ βασίζονται στην πολυκριτήρια ανάλυση. Σε αυτές τις περιπτώσεις τα ΣΥΟΑ δεν επιλέγουν απαραίτητα την πιο “δημοφιλή” εναλλακτική, αυτή δηλαδή με τη μεγαλύτερη βαθμολογία σε κάποιο μέθοδο κατάταξης εναλλακτικών ή ψηφοφορίας, αλλά αυτήν που μεγιστοποιεί κάποιον σύνθετο δείκτη ικανοποίησης. Αυτός ο δείκτης πρέπει να προκύπτει από τη σύνθεση της ικανοποίησης κάθε αποφασίζοντα πάνω στις εναλλακτικές. Η ικανοποίηση των αποφασιζόντων είναι μία έννοια που προσεγγίζεται με πολλές διαφορετικές μεθόδους/αλγόριθμους, όπως αλγόριθμοι διαπραγμάτευσης και προτιμητέα σύνολα εναλλακτικών (Yen & Bui, 1999), δείκτες ικανοποίησης με κατώφλια συμφωνίας (Siskos κ.ά., 1998) καθώς και συνδυασμός πολλών διαφορετικών ανεξάρτητων μεθόδων. Όταν υπάρχει διαφωνία μεταξύ αποφασιζόντων ή ομάδων αποφασιζόντων, συνήθως η εναλλακτική που μεγιστοποιεί την ικανοποίηση είναι μία εναλλακτική συμβιβασμού των διάφορων πλευρών.

Υπάρχουν διάφορες προσεγγίσεις για την επιλογή μίας συμβιβαστικής εναλλακτικής. Ένας τρόπος είναι η δημιουργία ενός δείκτη ικανοποίησης ή “δικαιοσύνης” (Matsatsinis κ.ά., 2005) (Liu κ.ά., 2018) ο οποίος υπολογίζεται ξεχωριστά από τη βαθμολογία κατάταξης κάθε εναλλακτικής. Σε αυτήν την περίπτωση η τελική απόφαση προκύπτει συνδυάζοντας αυτούς τους δύο δείκτες, χρησιμοποιώντας της απόστασης από την ιδανικά καλύτερη και ιδανικά χειρότερη λύση, με παρόμοια λογική που χρησιμοποιείται από τη μέθοδο TOPSIS.

Ένας άλλος τρόπος είναι χρήση πρακτόρων που αντιπροσωπεύουν τους αποφασίζοντες εντός του συστήματος (Shi κ.ά., 2004). Σε μία εφαρμογή των πρακτόρων για διαπραγμάτευση (Ito & Shintani, 1998) γίνεται σύνθεση ομάδων συμφωνίας χρησιμοποιώντας διμερείς προτάσεις συμφωνίας από τον ένα πράκτορα στον άλλο. Η διαδικασία τερματίζεται όταν συγχωνευτούν όσο το δυνατόν περισσότερες ομάδες, εάν όχι όλες.

Ένας ακόμη τρόπος είναι μέσω της αναλυτικής-συνθετικής προσέγγισης. Στο σύστημα MEDIATOR (Jarke κ.ά., 1987), χρησιμοποιείται το σύστημα PREFCALC, που βασίζεται στη μέθοδο UTA για την εξαγωγή μοντέλου χρησιμότητας για κάθε αποφασίζοντα. Έπειτα ακολουθεί μία διαδικασία διαπραγμάτευσης όπου με βάση είτε αξιωματικά κριτήρια, είτε κριτήρια παραχώρησης, είτε με κάποιον τρόπο σύνθεσης των κατατάξεων χρησιμότητας, προτείνεται μία εναλλακτική. Εάν δεν είναι αποδεκτή, τότε είτε προτείνεται διαφορετική εναλλακτική με κάποιο άλλο κριτήριο, είτε γίνεται αναθεώρηση ή προσθήκη νέων κριτηρίων στο μοντέλο χρησιμότητας από τους αποφασίζοντες. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να βρεθεί αποδεκτή εναλλακτική.

Ένα βήμα παραπέρα για την αναλυτική-συνθετική προσέγγιση, είναι η κατάλληλη τροποποίηση του γραμμικού προβλήματος των μεθόδων προσθετικής χρησιμότητας της οικογένειας UTA (Siskos κ.ά., 2016), για την υποστήριξη πολλών αποφασιζόντων. Με αυτόν τον τρόπο υπάρχει η δυνατότητα σύνθεσης ενός ομαδικού μοντέλου, το οποίο να είναι όσο πιο συμβατό γίνεται με τις προτιμήσεις των αποφασιζόντων. Η εναλλακτική που επιλέγεται είναι αυτή που προτείνει το ομαδικό μοντέλο. Αυτή την προσέγγιση έχουν οι (Delias κ.ά., 2013), όπου γίνεται η κατασκευή ενός κοινού μοντέλου για όλους τους αποφασίζοντες μέσω ενός τροποποιημένου γραμμικού προβλήματος της UTA, όπου λαμβάνει υπόψιν σαν περιορισμούς δυαδικές σχέσεις έντασης υπεροχής μεταξύ των εναλλακτικών που δηλώνουν οι αποφασίζοντες. Υπολογίζεται επίσης και ο δείκτης ASI ως δείκτης αξιοπιστίας του μοντέλου, και εφόσον έχει ικανοποιητική τιμή, ως τελικό αποτέλεσμα λαμβάνεται η πρόταση του. Εάν η τιμή του δεν είναι ικανοποιητική τότε γίνονται περαιτέρω ερωτήσεις στους αποφασίζοντες για την εξαγωγή περισσότερης πληροφορίας για τις προτιμήσεις τους, που οδηγεί σε περαιτέρω περιορισμό των λύσεων του γραμμικού προβλήματος. Στην περίπτωση τέτοιων ομαδικών μοντέλων μπορεί να παρατηρηθεί απόκλιση των απόψεων των αποφασιζόντων, με αποτέλεσμα ο δείκτης ASI να μειώνεται αντί να αυξάνεται μετά από κάθε κύκλο ερωτήσεων, που σε αυτήν την περίπτωση σημαίνει πως η αξιοπιστία του μοντέλου δεν επαρκεί. Σε παρόμοια λογική αλλά σε ατομικό επίπεδο για κάθε αποφασίζοντα, οι (Matsatsinis κ.ά., 2018) πρότειναν μία διαδικασία ερωτήσεων

βασισμένη στη διαδικασία μεταβελτιστοποίησης των μεθόδων UTA, για την πιο αξιόπιστη εξαγωγή του μοντέλου λήψης αποφάσεων με τη χρήση του δείκτη ASI.

Έρευνες συγκεκριμένα στον τομέα της λήψης αποφάσεων για ομάδες αποφασίζοντων μεγάλης κλίμακας, συνδυάζουν πληθώρα τεχνικών για τη σύνθεση μίας συμβατής μεθοδολογίας, όπου οι καταστάσεις έκτακτης ανάγκης είναι μία από τις πιο συνηθισμένες περιοχές εφαρμογής (García-Zamora κ.ά., 2022; Tang & Liao, 2021). Οι Xu, Yin και Chen (X. Xu κ.ά., 2019) εφαρμόζουν τεχνικές εξόρυξης δεδομένων από το διαδίκτυο σε πραγματικό χρόνο, για να προτείνουν στους αποφασίζοντες ένα σύνολο κριτηρίων με ξεχωριστές βαρύτητες. Έπειτα εφαρμόζουν ένα μοντέλο μέτρησης της εντροπίας για τον υπολογισμό του ρίσκου πάνω στις προτιμήσεις των αποφασίζοντων. Έπειτα γίνεται συσταδοποίηση των αποφασίζοντων με βάση το ρίσκο, με αποτέλεσμα οι ομάδες να έχουν μεγαλύτερο συντελεστή βαρύτητας στην απόφαση εάν έχουν μικρό ρίσκο. Τέλος, γίνεται σύνθεση της συνολικής προτίμησης με τον ασαφής λογικής σταθμισμένο αριθμητικό μέσο.

Μία άλλη έρευνα από τους Wu και Liao (Wu & Liao, 2024) χρησιμοποιεί αλυσίδα δράσεων (alternative chain) που αναλύονται σε πολλαπλά στάδια/φάσεις. Η κάθε δράση αποτελείται από τον συνδυασμό εναλλακτικών, συγκεκριμένα μία από κάθε φάση. Κάθε φάση περιέχει ένα σύνολο διαθέσιμων εναλλακτικών επιλογών σύμφωνα και με τις επιλογές των προηγούμενων φάσεων. Επίσης, οι αποφασίζοντες που συμμετέχουν στην κάθε φάση είναι διαφορετική και θεωρείται πως επηρεάζονται από τους αποφασίζοντες των προηγούμενων φάσεων και επηρεάζουν τους αποφασίζοντες των επόμενων. Χρησιμοποιώντας έναν δείκτη ακτίνας επιρροής, οι αποφασίζοντες λαμβάνουν διαφορετική βαρύτητα. Έπειτα χρησιμοποιείται η μέθοδος IF-DEMATEL για την εύρεση της βαρύτητας των κριτηρίων σε κάθε φάση. Τέλος, γίνεται εύρεση της βέλτιστης δράσης, λύνοντας ένα πρόγραμμα γραμμικού προγραμματισμού για την επιλογή του βέλτιστου συνδυασμού εναλλακτικών κάθε φάσης.

Ακόμη, οι Xu, Wen και Zhang (Y. Xu κ.ά., 2018) χρησιμοποίησαν δίκτυα SOM (self-organizing maps) για την ομαδοποίηση των αποφασίζοντων. Με βάση αυτό φιλτράρουν τους αποφασίζοντες που ανήκουν στις μικρότερες ομάδες. Έπειτα συνθέτουν την ομαδική προτίμηση κάθε ομάδας με τη χρήση μίας επαναληπτικής διαδικασίας σύγκλισης της προτίμησης. Σε κάθε επανάληψη, υπολογίζεται η βαρύτητα κάθε αποφασίζοντα και γίνεται τροποποίηση της προτίμησης του, μέχρι να ικανοποιείται ένας δείκτης συμφωνίας. Η συνολική προτίμηση κάθε ομάδας αντιμετωπίζεται σαν να είναι ένας νέος αποφασίζοντας. Έτσι στις προτιμήσεις κάθε ομάδας εφαρμόζεται και πάλι ο ίδιος αλγόριθμος σύγκλισης της προτίμησης, για τη σύνθεση της συνολικής προτίμησης.

Από τα παραπάνω φαίνεται να υπάρχει η ανάγκη για παραπάνω από δύο ξεχωριστές μεθοδολογίες σύνθεσης της τελικής προτίμησης και η ενοποίησή τους. Με αυτόν τον τρόπο δίνεται η ευκαιρία για τη δημιουργία πολλαπλών δεικτών αξιολόγησης του αποτελέσματος. Πολλές μεθοδολογίες τείνουν να συμπεριλαμβάνουν κάποιου είδους ομαδοποίηση των αποφασίζοντων, το οποίο βοηθάει στην ανάλυση των προτιμήσεων ή στη δημιουργία βαρών για τους αποφασίζοντες. Ακόμη σε περίπτωση που δεν υπάρχει ομόφωνο αποτέλεσμα, η ανάπτυξη μίας αποτελεσματικής και αξιόπιστης

διαδικασίας διαπραγμάτευσης όπου θα μπορεί να επιτευχθεί σύγκλιση των απόψεων προς μία εναλλακτική αποτελεί πρόκληση. Η διαδικασία αυτή εν δυνάμει περιλαμβάνει πολλαπλούς κύκλους ερωτήσεων, που στοχεύουν στην εξασφάλιση ενός βαθμού ικανοποίησης των αποφασιζόντων πάνω σε μία συμβιβαστική εναλλακτική. Τέλος, σε περίπτωση απόκλισης μερίδας των αποφασιζόντων, να υπάρχει δυνατότητα εντοπισμού της διαφωνίας των ομάδων, και να υπάρχει πάντα η δυνατότητα πρότασης μίας συνολική συμβιβαστικής εναλλακτικής, όσο και των επιμέρους καλύτερων εναλλακτικών των ομάδων. Η συνολική πρόταση και οι προτάσεις των ομάδων είναι σημαντικό να παρατίθενται συγκριτικά η μία με την άλλη και να είναι όσο πιο φανερός γίνεται ο τρόπος λήψης αποφάσεων της κάθε ομάδας, οι προτιμήσεις και τα κίνητρά της.

Κεφάλαιο 3 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

3.1. Επιχειρησιακή ερευνά

Η Επιχειρησιακή ερευνά έκανε την εμφάνιση της από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα, ενώ διαδόθηκε σε πολλές βιομηχανίες μετά το τέλος του 2^{ου} παγκοσμίου πολέμου. Το αντικείμενό της πραγματεύεται την εφαρμογή επιστημονικών προσεγγίσεων σε πραγματικά προβλήματα για την υποστήριξη των διαδικασιών λήψης αποφάσεων. Εφαρμόζοντας τεχνικές και γνώσεις από διαφορετικές επιστήμες (μαθηματικός προγραμματισμός, θεωρία γραφημάτων, στοχαστικά συστήματα, ασαφή λογική κ.α.), γίνεται αναπαράσταση του προβλήματος με μαθηματικά μοντέλα και έπειτα ακολουθεί ή μελέτη των χαρακτηριστικών του. Στόχος είναι η εύρεση ικανοποιητικών τιμών για μία οι περισσότερες παραμέτρους του μοντέλου, που ονομάζεται βέλτιστη λύση. Η βέλτιστη λύση που θα βρεθεί μπορεί να μην είναι η πραγματικά καλύτερη λύση, αλλά μία τοπικά βέλτιστη λύση σε ένα πεδίο με τεράστιο ή και άπειρο αριθμό εφικτών λύσεων. Η αναζήτηση καλύτερων τεχνικών για την εύρεση νέων βέλτιστων λύσεων με καλύτερα χαρακτηριστικά, όπως η ευστάθεια σε μικρές αλλαγές, καθώς και η μείωση του χρόνου για την εύρεσή τους ονομάζεται βελτιστοποίηση. Η βελτιστοποίηση είναι και αυτή εξίσου σημαντική διαδικασία με την εύρεση της βέλτιστης λύσης, καθώς το αποτέλεσμα είναι η σύγκριση των διαφορετικών βέλτιστων λύσεων και η εξαγωγή συμπερασμάτων από τα χαρακτηριστικά τους.

3.2. Προσεγγίσεις ομαδικών αποφάσεων

Στην επιστήμη λήψης αποφάσεων τα προβλήματα μπορούν να χωριστούν σε ομαδικά και ατομικά. Στα ομαδικά προβλήματα απόφασης, μπορεί να υπάρχουν παραπάνω από ένα σύνολο διαφορετικών εμπλεκόμενων ομάδων εκτός των αποφασιζόντων. Ως αποφασίζοντες (decision makers) ορίζονται όσοι έχουν την ευθύνη της τελικής απόφασης. Ως ειδικοί (experts) ορίζονται το σύνολο των συμμετεχόντων οι οποίοι κατέχουν τις απαραίτητες γνώσεις για την αντιμετώπιση του προβλήματος. Πολλές φορές οι ρόλοι των αποφασιζόντων και των ειδικών συμπίπτουν, όμως κάτι τέτοιο δεν είναι απαραίτητο. Υπάρχει και η περίπτωση του ενός αποφασίζοντα, με μία ομάδα ειδικών οι οποίοι του παρέχουν τη γνώση τους, στη μορφή εναλλακτικών επιλογών και ανάλυση αυτών, για τη λήψη της τελικής απόφασης. Ένας ακόμη ρόλος στις ομαδικές αποφάσεις είναι αυτός του συντονιστή (facilitator), ο οποίος είναι υπεύθυνος για την ομαλή έκβαση των φάσεων και των διαδικασιών για τη λήψη της απόφασης. Ο συντονιστής προσπαθεί να συντονίσει τη συζήτηση μεταξύ των αποφασιζόντων ή των ειδικών, ή και των δύο, προκειμένου να μην ξεφεύγει από θέμα σε θέμα και να οδηγείται πάντα στην εξαγωγή συμπερασμάτων χρήσιμων για την υποστήριξη της απόφασης. Τέλος, ο ρόλος του διαχειριστή του συστήματος (Moderator / chauffeur), ο οποίος είναι υπεύθυνος για την εύρυθμη λειτουργία και διαχείριση των τεχνικών

υποδομών που χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια των διαδικασιών λήψης της απόφασης. Ο ρόλος του facilitator και του moderator μπορεί να συμπίπτουν, ενώ και οι δύο ρόλοι δεν επιτρέπεται να εκφέρουν προσωπική άποψη κατά τη διάρκεια λήψης της απόφασης ή να κατευθύνουν την απόφαση προς την προσωπική τους προτίμηση.

Πέρα από τους ρόλους όλων των ομάδων και εμπλεκομένων σε μία ομαδική απόφαση, υπάρχει διαφοροποίηση των ομάδων βάση του βαθμού και της συχνότητας της επικοινωνίας των μελών της. Ξεκινώντας από την περίπτωση της ανύπαρκτης επικοινωνίας, υπάρχει μία ομάδα ειδικών, στην οποία εφαρμόζονται τεχνικές εξαγωγής προτίμησης, μέσω ερωτήσεων ειδικά σχεδιασμένου ερωτηματολογίου. Τα δεδομένα αυτά επεξεργάζονται με διάφορους τρόπους, ακόμη και για την εκπαίδευση ενός έμπειρου συστήματος, και έπειτα γίνεται σύνθεση αυτών προκειμένου ένας ή μία ομάδα αποφασίζοντων να πάρουν την τελική απόφαση. Σε περίπτωση ομάδας αποφασίζοντων, που έχουν και την ιδιότητα των ειδικών, και καλούνται να αξιολογήσουν ένα σύνολο προκαθορισμένων εναλλακτικών σε ένα δομημένο πρόβλημα, οι επικοινωνία είναι απαραίτητη αλλά περιορίζεται στα πλαίσια ανταλλαγής απόψεων για την υποστήριξη των προτιμήσεών τους και την ανταλλαγή γνώσης. Στην περίπτωση ομάδων εργασίας σε οργανισμούς ή νεοσύστατων ομάδων εκκίνησης νέων έργων (project), τότε οι επικοινωνία είναι συστηματική, και δεν περιορίζεται μόνο στην αξιολόγηση εναλλακτικών αλλά και ένα βήμα πίσω στην αναγνώριση, δημιουργία/σύνθεση και καθορισμό τους. Σε αυτές τις περιπτώσεις συνήθως απαιτείται ομαδική εργασία, κατά τη διάρκεια της οποίας λαμβάνονται συνεχώς μικρές αποφάσεις που συντελούν στον καθορισμό εναλλακτικών πλάνων προς αξιολόγηση. Τα αποτελέσματα της συνεργασίας μπορεί να είναι διαγράμματα ροής, χάρτες γνώσεις, SWOT ανάλυση, ανάλυση ενδιαφερόμενων πλευρών (stakeholder analysis), διαγράμματα Gantt και πολλές άλλες μέθοδοι που μπορεί να συνδυάζονται μεταξύ τους, αλλά και με μεθόδους αξιολόγησης εναλλακτικών όπως η προσέγγιση της πολυκριτήριας ανάλυσης (Marttunen κ.ά., 2017).

Σε συνάρτηση με όλα τα παραπάνω, οι μέθοδοι και οι διαδικασίες για την υποστήριξη ομαδικών αποφάσεων είναι περισσότερο προσανατολισμένες στο περιεχόμενο της απόφασης, είτε στις διαδικασίες για τη λήψη της απόφασης.

Με βάση τα παραπάνω στις ομαδικές αποφάσεις υπάρχουν πολλές διαφορετικές προσεγγίσεις οι οποίες παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω:

- Η θεωρία της κοινωνικής επιλογής, από την οποία προκύπτουν πολλοί μέθοδοι ψηφοφορίας που προσπαθούν να ικανοποιήσουν μία σειρά από κανόνες-κριτήρια αξιοπιστίας.
- Συνεργασία ομάδων και εξόρυξη γνώσης από ειδικούς. Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν τα ευφυή ΣΥΟΑ, όπου προσπαθούν να καθορίσουν προβλήματα και να βρουν κοινώς αποδεκτές λύσεις σε αυτά. Μερικές κατηγορίες προβλημάτων που ανήκουν σε αυτά είναι:
 - Μέθοδοι αναζήτησης συναίνεσης-ομοφωνίας
 - Μέθοδοι διαπραγμάτευσης
 - Μέθοδος Delphi
 - Διαγράμματα ροής αποφάσεων
 - Χάρτες γνώσης

- Dotmocracy

- Η θεωρία παιγνίων, προσπαθεί να μελετήσει προβλήματα που συμμετέχουν διαφορετικοί αποφασίζοντες με αντικρουόμενα συμφέροντα. Σε αυτές τις περιπτώσεις αναλύονται όλα τα πιθανά σενάρια ανάλογα με της διαθέσιμες επιλογές των αποφασιζόντων και υπολογίζεται το κέρδος ή το κόστος αντίστοιχα του καθενός ξεχωριστά. Στόχος τέτοιων ομάδων με αντικρουόμενα συμφέροντα είναι να βρεθεί ένα σημείο ισορροπίας το οποίο θα είναι το δικαιότερο για όλους. Αυτό σημαίνει πως δε θα υπάρχουν νικητές και χαμένοι αποφασίζοντες αλλά οι βαθμοί της συνάρτησης κέρδους / κόστους θα είναι όσο το δυνατόν πιο ομοιόμορφα διαμοιρασμένοι.

Τα συστήματα-μέθοδοι ψηφοφορίας αν και είναι ο πιο άμεσος και απλός τρόπος εύρεσης της πιο προτιμώμενης εναλλακτικής, διαφορετικοί μέθοδοι ψηφοφορίας μπορεί σε πολλές περιπτώσεις να βγάλουν διαφορετικά αποτελέσματα. Στην αναζήτηση του ιδανικού συστήματος ψηφοφορίας, έχει αποδειχθεί πως δεν μπορούν να πληρούνται ταυτόχρονα ένα σύνολο λογικών κριτηρίων (Arrow's impossibility theorem), εάν υπάρχουν τρεις εναλλακτικές και άνω. Τα πιο βασικά κριτήρια είναι:

- Ανεξαρτησία ασυσχέτιστων εναλλακτικών (independence of irrelevant alternatives)
- Ομοφωνία υπεροχής (Condorcet method, unanimity)
- Ύπαρξη νικητή
- Μη δικτατορία

Τα πιο συνηθισμένα συστήματα ψηφοφορίας και τεχνικών σύνθεσης των προτιμήσεων από κατατάξεις που χρησιμοποιούνται είναι:

- Πλειοψηφία (50%+1): Η εναλλακτική με το μεγαλύτερο πλήθος ψηφοφόρων συγκριτικά με όλες τις άλλες μαζί
- Πλειονότητα: Η εναλλακτική με το μεγαλύτερο πλήθος ψηφοφόρων συγκριτικά με κάθε άλλη ξεχωριστά
- Condorcet method: Η εναλλακτική που υπερέχει όλων των υπολοίπων σε σύγκριση ζευγαριού στην πλειοψηφία των κατατάξεων των ψηφοφόρων.
- Σύνθεση θέσεων κατάταξης: Σύνθεση των θέσεων της κατάταξης των εναλλακτικών κάθε ψηφοφόρου με κάποιον μαθηματικό τύπο, προκειμένου να προκύψει μία συνολικά κατάταξη βαθμολογίας των εναλλακτικών (π.χ. Borda count, Highest averages method, Downdall system).
- Ψηφοφορία με διαφορετικά βάρη: Πρόκειται για μεθόδους ψηφοφορίας όπου δε δίνεται η ίδια βαρύτητα σε κάθε ψηφοφόρο, αλλά ο καθένας έχει ένα συγκεκριμένο “βάρος” που αντιστοιχεί στην ψήφο του. Αυτό επιτρέπει την ανάδειξη καλύτερης εναλλακτικής από μία μειοψηφία με τα μεγαλύτερα βάρη. Στην πιο ακραία περίπτωση της μεθόδου της δικτατορίας ένας μόνο αποφασίζοντας με το μεγαλύτερο βάρος καθορίζει το αποτέλεσμα.

Στις μεθόδους αναζήτησης συναίνεσης-ομοφωνίας γίνεται αναζήτηση ενός συνόλου αποδεκτών εναλλακτικών από όλους τους αποφασίζοντες, έτσι ώστε να μην υπάρχουν “νικητές” και “χαμένοι”. Ακόμη αυτό μπορεί να σημαίνει πως η προτεινόμενη βέλτιστη εναλλακτική από την πλειοψηφία, είναι αποδεκτή ως συμβιβαστική εναλλακτική από τη μειοψηφία. Παραδείγματα τέτοιων μεθόδων είναι αλγόριθμοι διαπραγμάτευσης όπως ο NAI (Negotiable Alternatives Identifier)(Yen & Bui, 1999)

Οι μέθοδοι Delphi βασίζονται στη λογική ότι η γνώμη της ομάδας μπορεί να συγκλίνει προς το σωστό αποτέλεσμα εάν οι αποφασίζοντες με μικρές αλλαγές ραφινάρουν τις απόψεις τους σταδιακά. Σε αυτήν την περίπτωση οι αποφασίζοντες δεν ερωτώνται για τις προτιμήσεις τους μία φορά αλλά πολλές φορές που διαχωρίζονται σε στάδια. Σε κάθε στάδιο γίνεται μία συνολική απογραφή των απόψεων και γίνεται επεξεργασία αυτών για τον σχηματισμό μίας συνολικής αναφοράς. Θεωρητικά οι πληροφορίες που μοιράζονται μέσω αυτής της αναφοράς είναι το κίνητρο των αποφασιζόντων να διαμορφώσουν πιο ολοκληρωμένη άποψη και εκφράζοντάς τη να βοηθήσουν προς τη σύγκλιση των προτιμήσεων.

Μία ακόμη διαδικασία λήψης αποφάσεων είναι η μέθοδος Dotmocracy. Η μέθοδος βασίζεται στον καταιγισμό ιδεών (brainstorming) όπου η σύνθεση των εναλλακτικών και η ψήφισή τους γίνεται ταυτόχρονα με διαδραστικό τρόπο. Αυτό συνήθως γίνεται με σελίδες προτάσεων-ιδεών και πλήθος μονάδων ψήφου (dots) σε κάθε αποφασίζον. Παράλληλα γίνεται διαχωρισμός και σύνθεση των ιδεών σε συστάδες, από τις οποίες τελικά προκύπτουν οι κοινώς αποδεκτές εναλλακτικές

Για την ανάλυση περίπλοκων και εξελισσόμενων προβλημάτων απόφασης από ομάδες εργασίας, μία διαδοσόμενη προσέγγιση είναι η κατασκευή διαγραμμάτων απόφασης για τον καθορισμό του προβλήματος. Τα διαγράμματα απόφασης βασίζονται στην εμπειρία των αποφασιζόντων έτσι ώστε συνεργατικά να σχεδιάσουν ένα δυναμικό διάγραμμα ροής με διαφορετικές συνέπειες για κάθε περίπτωση απόφασης σε κάθε στάδιο του. Οι αποφασίζοντες καλούνται να συμφωνήσουν το ρίσκο της απόφασης και το πιθανό κέρδος από αυτήν σε κάθε στάδιο του διαγράμματος ροής. Έπειτα καλούνται να συμφωνήσουν ποια είναι η καλύτερη πορεία αποφάσεων για το συγκεκριμένο διάγραμμα, καθώς κάθε διαδρομή του διαγράμματος αποφάσεων αντιπροσωπεύει μία στρατηγική. Αυτή η τεχνική βοηθάει στην αποδόμηση του προβλήματος σε μικρότερα πιο διαχειρίσιμα. Επίσης, βοηθά στο να εκφραστούν στρατηγικές ως εναλλακτικές. Ακόμη σε περίπτωση αλλαγής των δεδομένων του προβλήματος, ανάλογα το σημείο στο οποίο βρίσκεται το πρόβλημα πάνω στο διάγραμμα απόφασης, δίνεται η δυνατότητα να χαραχθεί εκ νέου πορεία σύμφωνα με την αρχική στρατηγική / στόχους.

Για την αντιμετώπιση ολοένα απαιτητικότερων προβλημάτων ομαδικών αποφάσεων, έχουν αναπτυχθεί ΣΥΟΑ τα οποία υποστηρίζουν και καταγράφουν όλες τις φάσεις λήψης μίας ομαδικής απόφασης που αναφέρθηκαν στην παράγραφο 2.2. Αυτά τα συστήματα μπορούν θεωρητικά να εφαρμόσουν μεθοδολογίες από οποιοσδήποτε παραπάνω προσεγγίσεις, και να τις συνδυάσουν σε σειρά, παράλληλα ή επαναληπτικά, δίνοντας μεγάλη ευελιξία στη διαδικασία της υποστήριξης της λήψης οποιουδήποτε ομαδικού προβλήματος απόφασης.

3.3. Γραμμικός Προγραμματισμός

Ο γραμμικός προγραμματισμός (Σίσκος Ιωάννης, 1998) είναι ένα από τα θεμελιώδη κομμάτια της επιχειρησιακής έρευνας, και ασχολείται τόσο με τη μαθηματική μοντελοποίηση προβλημάτων, όσο και με την εύρεση βέλτιστων λύσεων από αυτά. Οποιοδήποτε πρόβλημα έχει να κάνει με κάποιας μορφής κατανομής πόρων (υλικά, χρόνος, χρήματα) κάτω από κάποιους περιορισμούς, είναι υποψήφιο προς μοντελοποίηση κατά αυτόν τον τρόπο. Πιο αναλυτικά, ένα γραμμικό πρόβλημα αποτελείται από:

- Αντικειμενική συνάρτηση
- Περιορισμούς
- Μεταβλητές απόφασης
- Εφικτές, μη εφικτές και βέλτιστες λύσεις

Η βέλτιστη λύση είναι οι τιμές ενός συνόλου μεταβλητών απόφασης που ελαχιστοποιούν ή μεγιστοποιούν (βελτιστοποιούν) μία παράμετρο του μαθηματικού μοντέλου. Η γραμμική εξίσωση της παραμέτρου προς βελτιστοποίηση εκφρασμένη από τις μεταβλητές απόφασης ονομάζεται αντικειμενική συνάρτηση. Το μαθηματικό μοντέλο του γραμμικού προβλήματος αποτελείται από την αντικειμενική συνάρτηση και τους περιορισμούς των μεταβλητών απόφασης, και υπάρχει ειδικός τρόπος παρουσίασής του που ονομάζεται κανονική μορφή. Το μοντέλο αποτελείται μόνο από γραμμικές σχέσεις, δηλαδή κάθε σχέση εκφράζεται μόνο ως ένα σταθμισμένο άθροισμα των μεταβλητών απόφασης με τους συντελεστές τους. Για τους περιορισμούς, αυτό το σταθμισμένο άθροισμα βρίσκεται από την αριστερή πλευρά μίας εξίσωσης ή ανίσωσης, και από τη δεξιά πλευρά υπάρχει μόνο μία σταθερά. Για την αντικειμενική συνάρτηση γίνεται μεγιστοποίηση ή ελαχιστοποίηση αυτού του σταθμισμένου αθροίσματος, χωρίς να παραβιάζεται κανένας περιορισμός. Από πλευράς γραμμικής άλγεβρα όλοι οι περιορισμοί εκφράζονται από τον πίνακα "A" που περιέχει όλους τους συντελεστές των μεταβλητών απόφασης και το διάνυσμα "b" που αποτελείται από όλες τις σταθερές στα δεξιά μέλη των περιορισμών. Μαθηματικά αποδεικνύεται πως η τομή "n" αριθμού γραμμικών ανισώσεων ορίζει ένα χωρίο το οποίο εάν υπάρχει και είναι φραγμένο, είναι πάντα κυρτό. Για κάθε κυρτό χωρίο ισχύει ότι εάν δύο οποιαδήποτε σημεία του χώρου ανήκουν σε αυτό, τότε του ανήκουν και όλα τα ενδιάμεσα σημεία του ευθύγραμμου τμήματος που ορίζουν. Επομένως, το σύνολο των εφικτών λύσεων ενός γραμμικού προβλήματος ανήκουν σε ένα κυρτό πολυδιάστατο πολύεδρο. Οι κορυφές αυτού του πολυέδρου ονομάζονται βασικές εφικτές λύσεις. Κάθε βασική εφικτή λύση μπορεί να αποτελέσει μία βέλτιστη λύση, ανάλογα με την αντικειμενική συνάρτηση του γραμμικού προβλήματος. Η βέλτιστη λύση, εάν υπάρχουν εφικτές λύσεις και το πολύεδρο είναι φραγμένο, μπορεί να είναι:

- Μία κορυφή στον χώρο, από το σύνολο των βασικών εφικτών λύσεων
- Ένα ευθύγραμμο τμήμα μεταξύ δύο βασικών εφικτών λύσεων, δηλαδή άπειρες λύσεις
- Με την ίδια λογική για "n" διαστάσεις: ένα επίπεδο, ή χωρίο ή πολυδιάστατο χωρίο μεταξύ βασικών εφικτών λύσεων, που ορίζεται από μία γραμμική σχέση (άπειρες λύσεις).

3.4. Πολυκριτήρια ανάλυση-λήψη αποφάσεων (MCDA, MCDM)

Μία μεγάλη κατηγορία προβλημάτων της επιστήμης λήψης αποφάσεων, απαιτεί να ληφθούν υπόψη παραπάνω από ένα κριτήρια, προκειμένου να αντιμετωπιστούν πληθώρα πολυδιάστατων προβλημάτων. Τα προβλήματα αυτά είναι πολλές φορές ημιδομημένα ή αδόμητα. Για τον λόγο αυτό τα κριτήρια που επιλέγονται έχουν τον ρόλο να περιγράψουν και να διαφοροποιήσουν τις εναλλακτικές του προβλήματος στα σημεία που έχουν τη μεγαλύτερη σημασία. Ακόμη, θεωρείται για τον αποφασίζοντα του προβλήματος, πως είτε δεν έχει πλήρως προκαθορισμένες προτιμήσεις για τις εναλλακτικές του προβλήματος ή πως δυσκολεύεται να τις εκφράσει πλήρως για όλες τις εναλλακτικές. Με βάση τα παραπάνω, ο αποφασίζοντας χρειάζεται υποστήριξη στη διαδικασία λήψης της απόφασης, με τη χρήση διαφόρων μοντέλων και αλγορίθμων. Αυτή η προσέγγιση ονομάζεται πολυκριτήριας ανάλυση αποφάσεων (Ματσατσίνης, 2023; Σίσκος Γιάννης, 2008; Greco κ.ά., 2016) και σχεδόν πάντα τα κριτήρια είναι αντικρουόμενα. Από τη στιγμή που υπάρχουν παραπάνω από ένα κριτήρια αξιολόγησης σημαίνει πως υπάρχουν και πολλαπλές λύσης βασισμένες σε διαφορετικές προτιμήσεις. Από το σύνολο των εφικτών λύσεων προκύπτει ένα υποσύνολο μη-κυριαρχημένων εναλλακτικών, το οποίο αποκλείει τις εναλλακτικές που έχουν χειρότερη βαθμολογία σε όλα τα κριτήρια από μία οποιαδήποτε άλλη εντός του συνόλου.

Οι βασικές ιδέες της πολυκριτήριας ανάλυσης αν και προϋπήρχαν, για πρώτη φορά θεμελιώθηκαν αξιωματικά από τους von Neumann–Morgenstern (VNM)(Von Neumann, J., O. Morgenstern, 1944) με τη θεωρία χρησιμότητας.

Τα προβλήματα της πολυκριτήριας ανάλυσης χωρίζονται σε δύο διαδοχικές φάσεις ή σε δύο κατηγορίες:

1. Σχεδίασης/καθορισμού πολυκριτήριου προβλήματος: Πρόκειται για την επιλογή των εναλλακτικών, των κριτηρίων αλλά και του τύπου προβληματικής του πολυκριτήριου προβλήματος. Σε αυτήν τη φάση το πρόβλημα από αδόμητο ή ημιδομημένο γίνεται δομημένο.
2. Αξιολόγησης εναλλακτικών πολυκριτήριου προβλήματος: Πρόκειται για την επίλυση του δομημένου πολυκριτήριου προβλήματος σύμφωνα με τον τύπο προβληματικής που επιλέχθηκε. Απαραίτητο είναι να έχει προηγηθεί η φάση σχεδίασης/καθορισμού του πολυκριτήριου προβλήματος.

3.4.1. Μοντελοποίηση πολυκριτήριου προβλήματος

Πολλές φορές αυτά τα προβλήματα είναι αδόμητα ή ημιδομημένα και έχουν πολλές διαφορετικές προσεγγίσεις. Η σχεδίαση / μοντελοποίηση πολυκριτήριου προβλήματος μπορεί να γίνει από αυτόν που θέτει τον αρχικό προβληματισμό ή εάν είναι ομαδική λήψη απόφασης από διαδικασίες που θα ορίσει η ομάδα. Οι διαδικασίες καθορισμού του πολυκριτήριου προβλήματος μπορεί να προέρχονται από διαφορετικές προσεγγίσεις της λήψης ομαδικών αποφάσεων που αναφέρθηκαν στην παράγραφο 3.2. Σε κάθε περίπτωση η διαδικασία μοντελοποίησης και επίλυσης του πολυκριτήριου

προβλήματος, όπως αναφέρθηκε από τον Roy (1976, 1985, 1991) και έπειτα από τους Σίσκος (2008) και Ματσατσίνης (2023), χωρίζεται σε τέσσερα στάδια που αναλύονται παρακάτω:

- Αντικείμενο της απόφασης
- Συνεπής οικογένεια κριτηρίων
- Μοντέλο ολικής προτίμησης
- Υποστήριξη της απόφασης

Ο αναλυτής του προβλήματος είναι σίγουρο πως θα χρειαστεί να ορίσει διαδικασίες σε όλα τα στάδια και ειδικά στα αρχικά. Η σειρά των σταδίων είναι διαδοχική όμως υπάρχει δυνατότητα επιστροφής σε προηγούμενα στάδια για την πραγματοποίηση αλλαγών. Η δυνατότητα τροποποίησης είναι διαφορετική για κάθε πολυκριτήριο πρόβλημα, λόγω περιοριστικών παραγόντων του περιβάλλοντος, και ο/οι αποφασίζοντας/ες θα πρέπει να γνωρίζουν τον βαθμό ελευθερίας που έχουν σε αλλαγές, ειδικά στα δύο πρώτα στάδια καθορισμού του προβλήματος.

3.4.1.1. Αντικείμενο της απόφασης

Πρόκειται για τον καθορισμό των εναλλακτικών επιλογών, του τύπου της προβληματικής, και του αποφασίζοντα ή των αποφασιζόντων που καλούνται να λάβουν την απόφαση.

Ο καθορισμός των εναλλακτικών μπορεί να είναι μία περίπλοκη διαδικασία σχεδίασης στρατηγικών επιλογών δράσης. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολλές τεχνικές για την υποστήριξη αυτής της διαδικασίας όπως brainstorming, δέντρα γνώσης, SWOT ανάλυση, και συνδυασμός αυτών. Το σύνολο των εναλλακτικών που υιοθετείται μπορεί να έχει τις παρακάτω ιδιότητες:

- Σταθερό (stable): Οι εναλλακτικές είναι ίδιες σε πλήθος και δεν τροποποιούνται
- Αξιολογικό (evaluative): Το πλήθος των εναλλακτικών μπορεί να αλλάξει και εναλλακτικές να τροποποιηθούν.
- Ολοκληρωμένο (globalized): Κάθε επιλογή εναλλακτικής αποκλείει όλες τις υπόλοιπες.
- Αποσπασματικό (fragmented): Η ανάλυση δεδομένων έγινε για υποσύνολο των εναλλακτικών

Στην πολυκριτήρια ανάλυση, σύμφωνα με τον Roy (1976, 1985, 1991) υπάρχουν τέσσερις βασικοί τύποι προβληματικής:

- Προβληματική τύπου “α”: Εύρεση μίας βέλτιστης λύσης ή ενός συνόλου βέλτιστων λύσεων.
- Προβληματική τύπου “β”: Ταξινόμηση εναλλακτικών σε προαποφασισμένες καταταγμένες ομάδες.
- Προβληματική τύπου “γ”: Κατάταξη των εναλλακτικών από την καλύτερη στη χειρότερη.
- Προβληματική τύπου “δ”: Περιγραφή των προτιμήσεων πάνω στα κριτήρια.

Η επιλογή μίας προβληματικής δεν αποκλείει μία άλλη, καθώς μία μέθοδος μπορεί να δίνει λύση με συνδυασμό προβληματικών. Ένα παράδειγμα συνδυασμού προβληματικών είναι η διαχείριση της περίπτωσης μεγάλου πλήθους εναλλακτικών. Ένα τέτοιο πρόβλημα προβληματικής τύπου «α» μπορεί να αναλυθεί σε δύο στάδια. Αρχικά να επιλυθεί σαν προβληματική τύπου «β» για τη μείωση των υποψήφιων εναλλακτικών επιλογών, χωρίζοντας τις εναλλακτικές σε δύο κατηγορίες:

- Κυριαρχημένες εναλλακτικές: Οι εναλλακτικές που είναι σαφώς χειρότερες σε σύγκριση με μία άλλη εναλλακτική σε κάθε κριτήριο.
- Μη κυριαρχημένες εναλλακτικές: Οι εναλλακτικές για τις οποίες η διαφορά στα κριτήριά τους είναι ίση σε αξία και δεν είναι υπαρχεί καμία σαφώς καλύτερη εναλλακτική από αυτές.

Έπειτα επιλύεται ως προβληματική τύπου «α» για τις μη κυριαρχημένες εναλλακτικές

3.4.1.2. Συνεπής οικογένεια κριτηρίων

Σε αυτό το στάδιο καθορίζονται τα κριτήρια με βάση τα οποία θα αναλυθούν οι εναλλακτικές επιλογές. Είναι μία πρόκληση για τον αποφασίζοντα αλλά και για κάποιον που προσπαθεί να αντλήσει τη συγκεκριμένη πληροφορία από αυτόν. Η δυσκολία έγκειται στο να αποτυπωθούν όλα τα κριτήρια που έχει στο νου του, αλλά και στο τι ακριβώς θα δηλώνουν αυτά τα κριτήρια και τι είδους τιμές θα παίρνουν. Η εύρεση των κριτηρίων του αποφασίζοντα μπορεί να θεωρηθεί ένα ξεχωριστό πρόβλημα. Υπάρχουν μέθοδοι που ορίζουν υπό-κριτήρια στα κριτήρια, που σημαίνει πως η εύρεση των τιμών ενός κριτηρίου από τα υπό-κριτήρια του μπορεί να οριστεί ως πολυκριτήριο πρόβλημα. Στην περίπτωση ομαδικών πολυκριτηρίων προβλημάτων, χρειάζεται να συμφωνηθούν κοινά κριτήρια μεταξύ όλων των αποφασιζόντων.

Τα κριτήρια επιλέγονται/διαμορφώνονται εξερευνώντας αρχικά το σύνολο/νέφος των χαρακτηριστικών/επιπτώσεων επιλογής κάθε εναλλακτικής. Έπειτα γίνεται αυστηρός ορισμός τους μέσω μίας πραγματικής μονότονης συνάρτησης και κατηγοριοποιούνται σύμφωνα με το είδος των τιμών τους ως:

- Κριτήρια ποσοτικά - μετρικά: Οι τιμές τους είναι μέτρου/αναλογίας και μπορεί να οριστεί διαφορά μεταξύ των τιμών.
- Κριτήρια ποιοτικά - διάταξης: Δεν μπορεί να οριστεί απόσταση μεταξύ των τιμών παρά μόνο σχέσεις υπεροχής.

Ως συνεπής οικογένεια κριτηρίων ορίζεται ένα σύστημα κριτηρίων που πληρεί τις παρακάτω προϋποθέσεις:

- Συνέπεια ή μονοτονία: Μονοτονία στην προτίμηση, είτε είναι αύξουσα είτε φθίνουσα.
- Επάρκεια: Δεν υπάρχουν κριτήρια που επηρεάζουν την προτίμηση που δεν έχουν συμπεριληφθεί. Εάν δύο εναλλακτικές παρουσιάζουν αδιαφορία σε όλα τα κριτήρια, δε θα πρέπει να προτιμάται καμία υπέρ της άλλης.
- Μη πλεονασμός: Κάθε κριτήριο πρέπει να επηρεάζει με κάποιον τρόπο την προτίμηση. Εάν διαγραφή θα πρέπει να υπάρχει ζεύγος δράσεων (ακόμη και φανταστικό) για το οποίο η προτίμηση θα αλλάξει.

3.4.1.3. Μοντέλο ολικής προτίμησης

Ορίζεται μία μεθοδολογία που ακολουθεί μία σειρά από αλγορίθμους και μεθόδους για τη σύνθεση των κριτηρίων με κατάλληλο τρόπο έτσι ώστε να μπορεί να επιλυθεί ο εκάστοτε τύπος προβληματικής με έναν ή παραπάνω τρόπους. Η επίλυση της προβληματικής βασίζεται στη σύγκριση εναλλακτικών με χρήση του μοντέλου ολικής προτίμησης που προκύπτει από την εφαρμογή της μεθοδολογίας.

3.4.1.4. Υποστήριξη της απόφασης

Σε αυτό το στάδιο μελετάται από τους αποφασίζοντες η συμπεριφορά του μοντέλου για διαφορετικές ρυθμίσεις ή δεδομένα. Εφόσον αποκτήσουν ισχυρά επιχειρήματα για να αποδείξουν την αξιοπιστία του μοντέλου για το συγκεκριμένο πολυκριτήριο πρόβλημα, λαμβάνουν την τελική απόφαση και καλούνται να την υποστηρίξουν. Διαφορετικά γίνεται επιστροφή σε ένα από τα προηγούμενα βήματα για την πραγματοποίηση αλλαγών.

Η λογική προσέγγιση της πολυκριτήριας ανάλυσης είναι αρκετά παλιά και σχετικά έμφυτη στον ανθρώπινο τρόπο σκέψης. Παρόλα αυτά έχει οδηγήσει πολλές φορές σε αμφιβολίες, καθώς διαφορετικές πολυκριτήριες μέθοδοι αξιολόγησης οδηγούν σε διαφορετικά αποτελέσματα για τα ίδια δεδομένα. Αυτό σημαίνει πως χρειάζεται εμπειρία, για να μπορεί κανείς να ξεχωρίσει ποια είναι η κατάλληλη πολυκριτήρια μέθοδος, σύμφωνα με το πρόβλημα που αντιμετωπίζει. Αυτό μπορεί να συμβαίνει και λόγω της σχεδίασης/καθορισμού της συνεπούς οικογένειας κριτηρίων, η οποία μπορεί να οδηγήσει λόγω έλλειψης πληροφορίας σε ασταθή ή λάθος συμπεράσματα. Έλλειψη πληροφορίας προκύπτει ακόμη και όταν υπάρχουν πολλά κριτήρια σε σχέση με τις εναλλακτικές, και παραβιάζεται ο κανόνας του μη πλεονασμού. Αυτό σημαίνει πως η προτίμηση μίας εναλλακτικής έναντι μίας άλλης πιθανόν δεν εντοπίζεται λόγω ενός κριτηρίου αλλά πολλών. Επομένως, υπάρχουν πολλοί συνδυασμοί τιμών των κριτηρίων που μπορεί να έχουν το ίδιο αποτέλεσμα προτίμησης και άρα δεν είναι εφικτός ο προσδιορισμός της βαρύτητας του καθενός κριτηρίου. Το γεγονός αυτό οδηγεί σε αστάθεια του μοντέλου περιγραφής των κριτηρίων που προκύπτει.

3.5. Πολυκριτήρια χρησιμότητα (MAUT) και μέθοδοι UTA

Το θεώρημα των von Neumann–Morgenstern (VNM)(Von Neumann, J., O. Morgenstern, 1944) για τη θεωρία χρησιμότητας άνοιξε τον δρόμο για την ανάπτυξη της θεωρίας της πολυκριτήριας χρησιμότητας (multi-attribute utility (MAUT)) από τον Maurice Allais. Η VNM υποστηρίζει πως όταν οι αποφασίζοντες αντιμετωπίζουν ένα πρόβλημα ρίσκου με πολλές επιλογές (εναλλακτικές), προσπαθούν να μεγιστοποιήσουν μία συνάρτηση αξίας (χρησιμότητας) που απευθύνεται στο παρόν και στο μέλλον. Η MAUT υποστηρίζει πως υπάρχει μία τέτοια συνάρτηση χρησιμότητας για κάθε κριτήριο, που οι τιμές τις ονομάζονται μερικές χρησιμότητα. Αυτή η συνάρτηση μετατρέπει τις τιμές των κριτηρίων, όπου προφανώς αντιστοιχούν σε διαφορετικούς τύπους τιμών, σε μία κοινή

κλίμακα μερικής χρησιμότητας που εκφράζει την προτίμηση του αποφασίζοντα. Το δεύτερο και εξίσου σημαντικό σημείο τη θεωρίας MAUT, είναι πως εάν δύο κριτήρια είναι ανεξάρτητα, θα πρέπει η χρησιμότητα των δύο να προκύπτει από το άθροισμα των μερικών χρησιμοτήτων τους.

Με βάση τα παραπάνω αναπτύχθηκαν οι μέθοδοι UTA (UTilités Additives), όπου θεωρώντας όλα τα κριτήρια ανεξάρτητα μεταξύ του, εφαρμόζουν την αναλυτική συνθετική προσέγγιση. Αυτό σημαίνει πως αναλύοντας τις προτιμήσεις των αποφασιζόντων, προσπαθούν να προσεγγίσουν τη συνάρτηση χρησιμότητας κάθε κριτήριο, και έπειτα να συνθέσουν τις συναρτήσεις αυτές για να πετύχουν τον τελικό τους στόχο. Ο στόχος μπορεί να είναι η εκ νέου, πιστή με τις προτιμήσεις, κατάταξη λόγου-αναλογίας των εναλλακτικών (UTA, UTASTAR), η κατηγοριοποίηση των εναλλακτικών σε προκαθορισμένες προ-διατεταγμένες τάξης (UTADIS), κ.α. στη μέθοδο UTA, η συνάρτηση χρησιμότητας κάθε κριτηρίου προσεγγίζεται με την εύρεση διακριτών τιμών μερικής χρησιμότητας, και έπειτα κάθε εναλλακτική λαμβάνει τη μερική χρησιμότητα που της αντιστοιχεί σε κάθε κριτήριο. Η σύνθεση της χρησιμότητας κάθε εναλλακτικής προκύπτει από το άθροισμα των μερικών χρησιμοτήτων της. Η εύρεση της συνάρτησης χρησιμότητας γίνεται με μεθοδολογία μοντελοποίησης σε πρόβλημα γραμμικού προγραμματισμού. Κάθε μέθοδος UTA μπορεί να έχει διαφορετική μοντελοποίηση του γραμμικού προβλήματος που επιλύει. Από τα αποτελέσματα των μεταβλητών απόφασης του γραμμικού προβλήματος προκύπτουν οι μερικές χρησιμότητες. Τις περισσότερες φορές, εφαρμόζεται μία διαδικασία μεταβελτιστοποίησης της λύσης, η οποία αναζητά διαφορετικές τιμές για τις μερικές χρησιμότητες, κοντά στη βέλτιστη τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης του πρώτου γραμμικού. Αυτή η ανάλυση ευαισθησίας της λύσης, δίνει σημαντικές πληροφορίες για την εγκυρότητα του μοντέλου χρησιμότητας του αποφασίζοντα.

3.6. Αλγόριθμος UTASTAR

Ο Αλγόριθμος UTASTAR είναι μία πολυκριτήρια μέθοδος που ανήκει στην οικογένεια μεθόδων προσθετικής χρησιμότητας UTA (UTilités Additives)(Siskos κ.ά., 2016) και είναι μία βελτιωμένη έκδοση της μεθόδου UTA. Υιοθετεί τη λογική της αναλυτικής - συνθετικής προσέγγισης για την περιγραφή της προτίμησης των εναλλακτικών μέσω ανεξάρτητων μονότονων κριτηρίων. Ανήκει στην προβληματική τύπου “δ”, καθώς τα αποτελέσματα είναι συναρτήσεις χρησιμότητας που περιγράφουν κάθε κριτήριο, αλλά και στην προβληματική τύπου “γ”, καθώς στο τέλος δημιουργεί μία νέα διάταξη αξίας/χρησιμότητας των εναλλακτικών. Έπειτα η σύνθεση της ολικής χρησιμότητας των εναλλακτικών, γίνεται από τις τιμές που τους αντιστοιχούν στις συναρτήσεις χρησιμότητας των κριτηρίων. Από μία άλλη οπτική, η μέθοδος προσπαθεί να προσεγγίσει το μοντέλο λήψης αποφάσεων του αποφασίζοντα για το συγκεκριμένο πρόβλημα εναλλακτικών.

Η μέθοδος UTASTAR αποτελείται από τέσσερα βήματα:

1. Ορισμός πεδίου ορισμού συνάρτησης χρησιμότητας των κριτηρίων και διαχωρισμός του πεδίου ορισμού σε διαστήματα.
2. Σχηματισμός του γραμμικού προβλήματος
3. Επίλυση του γραμμικού προβλήματος
4. Μεταβελτιστοποίηση αποτελεσμάτων του πρώτου γραμμικού
5. Σχηματισμός των ολικών χρησιμοτήτων

3.6.1. Δεδομένα εισόδου στην UTASTAR

Πιο αναλυτικά, τα δεδομένα εισόδου για τον αλγόριθμο UTASTAR είναι δύο:

- Ο πολυκριτήριος πίνακας
- Η κατάταξη, ή αλλιώς προδιάταξη, των εναλλακτικών.

Ο αλγόριθμος επίσης ρυθμίζεται στη λειτουργία του από 3 παραμέτρους ακόμη:

- Τον αριθμό διαστημάτων " v_i " που χωρίζεται κάθε κριτήριο " i " ή το σύνολο των διακριτών τιμών του " a_i "
- " δ ": η ελάχιστη διαφορά της χρησιμότητας εναλλακτικών για υπεροχή
- "**epsilon**": το ποσό χαλάρωσης της βέλτιστης λύσης του γραμμικού προβλήματος για την πραγματοποίηση μεταβελτιστοποίησης.

3.6.1.1. Ο πολυκριτήριος πίνακας

Ο πολυκριτήριος πίνακας έχει ως γραμμές τις εναλλακτικές, ως στήλες τα κριτήρια και στα κελιά του τις εκτιμήσεις των τιμών των εναλλακτικών σε κάθε κριτήριο. Ο τύπος/είδος κάθε κριτηρίου, δηλαδή η κλίμακα των τιμών σε κάθε στήλη του πολυκριτηρίου πίνακα, μπορεί να είναι **λόγου-αναλογίας, διαστήματος** ή ακόμη και **διάταξης (κατάταξης)**. Στην περίπτωση όπου δοθούν δεδομένα διάταξης με λεκτικό τρόπο, τότε αυτά μετατρέπονται σε δεδομένα διάταξης. Ακόμη για το ίδιο σύνολο εναλλακτικών, οι τιμές ενός κριτηρίου μπορεί να είναι:

- **Αντικειμενικές**, δηλαδή ένα σαφώς ορισμένο και μετρήσιμο χαρακτηριστικό των εναλλακτικών (π.χ. η τιμή ενός προϊόντος)
- **Υποκειμενικές**, όπου κάθε αποφασίζοντας μπορεί να ορίσει διαφορετικές τιμές βάση της προτίμησής του (π.χ. προτίμηση σε μάρκα, εντύπωση σε μία συνέντευξη).

Ένα βασικό χαρακτηριστικό του πολυκριτηρίου πίνακα για την UTASTAR, είναι ο λόγος μεταξύ του πλήθους των κριτηρίων και του πλήθους των εναλλακτικών. Εάν οι εναλλακτικές είναι λιγότερες από τα κριτήρια υπάρχει έλλειψη πληροφορίας, καθώς επίσης όσες περισσότερες εναλλακτικές υπάρχουν σε σχέση με τα κριτήρια, τόσο πιο ακριβές θα είναι το μοντέλο που θα παράγει η UTASTAR για τον αποφασίζοντα. Βέβαια, αυτό προϋποθέτει πως και ο αποφασίζοντας είναι ικανός να διακρίνει και να αποτυπώσει σωστά την προτίμησή του μέσω της προδιάταξης πολλών εναλλακτικών επιλογών, στα χρονικά πλαίσια που του δίνονται.

3.6.1.2. Η προδιάταξη εναλλακτικών

Η κατάταξη των εναλλακτικών από τους αποφασίζοντες ονομάζεται και προδιάταξη, καθώς είναι προαπαιτούμενη για την εκτέλεση του αλγορίθμου. Ο τύπος τιμών της προδιάταξης είναι **σε κλίμακα διάταξης**, που σημαίνει πως δεν υπάρχει δυνατότητα να οριστεί κανένα μέτρο απόστασης μεταξύ των εναλλακτικών, παρά μόνο ότι ισχύουν οι ακόλουθες σχέσεις προτίμησης:

- Μία εναλλακτική υπερέχει μίας άλλης.
- Ότι δύο ή περισσότερες εναλλακτικές είναι ισοδύναμες, δηλαδή υπάρχει αδιαφορία από πλευράς αποφασίζοντα για το ποια από αυτές θα επιλέξει.

Για να εφαρμοστεί ο αλγόριθμος προφανώς θα πρέπει να υπάρχει τουλάχιστον μία σχέση υπεροχής μεταξύ των εναλλακτικών.

Αυτό σημαίνει πως υπάρχουν “Q” τάξης (κατηγορίες) ισοδύναμων εναλλακτικών, όπου:

$$1 < Q \leq n, \quad Q \subset \mathbb{N} \quad (3-1)$$

με “n” το πλήθος των εναλλακτικών.

Για Q = 2: Ένα σύνολο ισοδύναμων εναλλακτικών υπερέχει των υπολοίπων ισοδύναμων εναλλακτικών.

...

Για Q = k: Υπάρχουν k υποσύνολα ισοδύναμων εναλλακτικών σε διάταξη μεταξύ τους

...

Για Q = n-1: Υπάρχουν μόνο 2 ισοδύναμες εναλλακτικές

Για Q = n: Δεν υπάρχουν ισοδύναμες εναλλακτικές, κάθε μία ορίζει μόνη της μία τάξη.

3.6.2. Ορισμός της συνάρτησης χρησιμότητας

Η ανάλυση/αποσύνθεση (disaggregation) των προτιμήσεων οδηγεί στην εύρεση ενδοκριτηριακών επιπέδων/στάθμεων, οι τιμές των οποίων ορίζουν συνεχείς τμηματικές μονότονες συναρτήσεις χρησιμότητας για κάθε κριτήριο. Εάν ο τύπος των τιμών g_i ενός κριτηρίου “i” είναι συνεχείς, τότε χωρίζεται σε “ v_i ” διαστήματα από τη χειρότερη τιμή “ g_{i*} ” μέχρι την καλύτερη g_i^* , όπου:

$$v_i = a_i - 1 \quad (3-2)$$

Με “ a_i ” ορίζεται ο αριθμός των επιπέδων/στάθμεων κάθε κριτηρίου, συμπεριλαμβανομένων της καλύτερης και της χειρότερης τιμής που λαμβάνει.

Το εύρος των διαστημάτων (απόσταση) μεταξύ διαδοχικών επιπέδων κάθε κριτηρίου, είναι:

$$d = \frac{g_i^* - g_{i*}}{v_i} \quad (3-3)$$

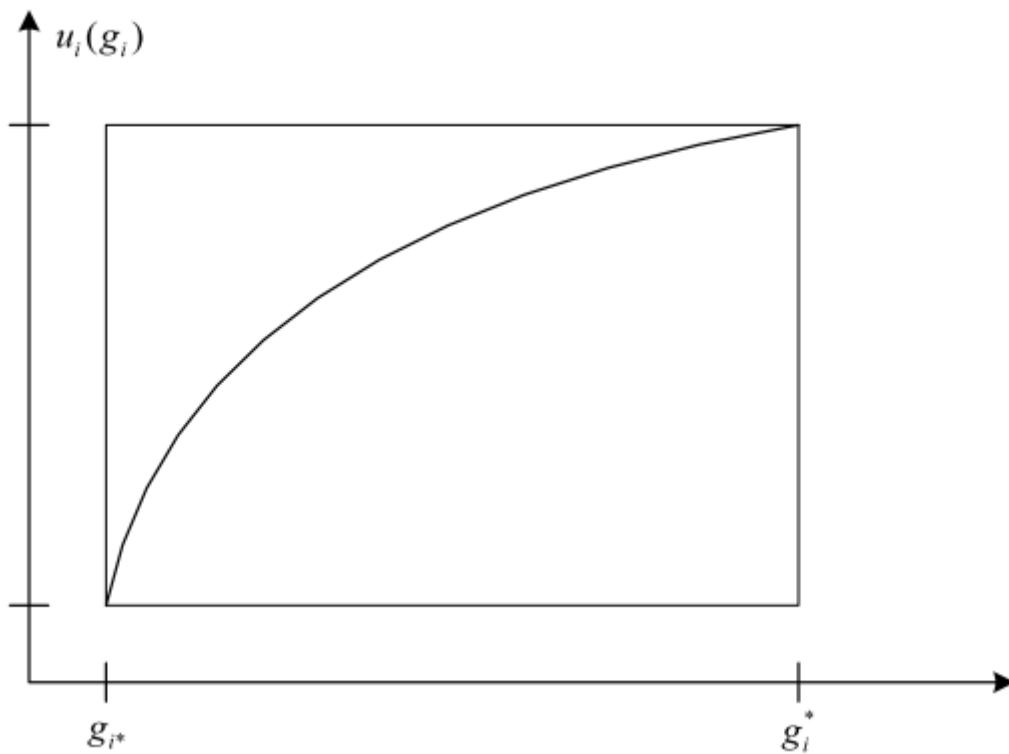
Επομένως, για κάθε κριτήριο “i” οι τιμές κάθε επιπέδου/στάθμης “j” προκύπτουν από τον τύπο:

$$g_i^j = g_{i*} + jd, \quad \forall j = 1, 2, \dots, a_i \quad (3-4)$$

Σε κάθε τιμή της κλίμακας g_i αντιστοιχεί και μία τιμή χρησιμότητας, μέσω μίας συνάρτησης χρησιμότητας για κάθε κριτήριο (Εικόνα 3-1), η οποία είναι γνησίως αύξουσα. Οι τιμές αυτές ονομάζονται **μερική χρησιμότητα “ $u_i(g_i(a))$ ”** της εναλλακτικής “a” στο κριτήριο “i” και είναι πάντα θετικές. Η χειρότερη τιμή ενός κριτηρίου έχει πάντα μερική χρησιμότητα μηδέν. Εάν μία εναλλακτική σε ένα κριτήριο λαμβάνει τιμή μεταξύ του διαστήματος δύο επιπέδων, τότε η τιμή της μερικής χρησιμότητας είναι η γραμμική παρεμβολή των μερικών χρησιμοτήτων των δύο επιπέδων.

$$g1 = g_i^j, \quad g2 = g_i^{j+1}$$

$$u_i(g_i(a)) = u_i(g1) + \frac{g_i(a) - g1}{g2 - g1} (u_i(g2) - u_i(g1)) \quad (3-5)$$



Εικόνα 3-1: Κανονικοποιημένη μερική συνάρτηση χρησιμότητας του κριτηρίου “i”, από (Siskos κ.ά., 2016)

Στην UTASTAR η χρησιμότητα κάθε εναλλακτικής (ολικές χρησιμότητες, ολικές αξίες), προκύπτει από το άθροισμα των τιμών που λαμβάνει από τις συναρτήσεις χρησιμότητας των κριτηρίων. Προκειμένου να γίνει η μοντελοποίηση του γραμμικού προβλήματος, προστίθενται σε αυτήν ένα σφάλμα υποεκτίμησης και ένα σφάλμα υπερεκτίμησης της χρησιμότητας κάθε εναλλακτικής, έτσι ώστε:

$$u'(g(a)) = \sum_{i=1}^n u_i(g_i(a)) - \sigma^+(\alpha) + \sigma^-(\alpha), \quad \forall \alpha \in A \quad (3-6)$$

Όπου “A” το σύνολο των εναλλακτικών και “n” το πλήθος των κριτηρίων

Τα **σφάλματα υπερεκτίμησης (σ+)** και **υποεκτίμησης (σ-)** ανά εναλλακτική προκύπτουν από την επίλυση του γραμμικού προβλήματος. Η βαθμολογία διάταξης/κατάταξης που προκύπτει από το άθροισμα των σφαλμάτων με τη χρησιμότητα, συμφωνεί πάντα με την προδιάταξη του αποφασίζοντα. Ακόμη η διαφορά των ολικών χρησιμοτήτων μαζί με τα σφάλματα δύο εναλλακτικών, που υπερέχει η μία της άλλης, είναι πάντα μεγαλύτερη ή ίση με την ποσότητα “δ”. Η **ολική χρησιμότητα** κάθε εναλλακτικής σχηματίζει μία βαθμολογία κατάταξης, για την οποία τα παραπάνω ισχύουν μόνο εάν τα σφάλματα ισούνται με μηδέν.

3.6.3. Σχηματισμός του γραμμικού προβλήματος

Οι διακριτές τιμές (στάθμες/επίπεδα) της συνάρτησης χρησιμότητας, υπολογίζονται από τη λύση ενός γραμμικού προβλήματος που ελαχιστοποιεί τα σφάλμα υπερεκτίμησης και υποεκτίμησης της χρησιμότητας των εναλλακτικών.

$$\min F = \sum_{\alpha \in A} (\sigma^+(\alpha) + \sigma^-(\alpha)) \quad (3-7)$$

Ορίζεται ένα νέο μέγεθος, τα **ενδοκριτηριακά διεπιπεδικά διαστήματα wij**, που ορίζονται ως:

$$w_i^j = u_i(g_i^{j+1}) - u_i(g_i^j) \quad (3-8)$$

Όπου:

- $i = 1, 2, \dots, n$ και n το πλήθος των κριτηρίων
- $j = 1, 2, \dots, a_i - 1$ και a_i το πλήθος των διακριτών τιμών για το “i” κριτήριο

Από τα παραπάνω ισχύει ότι:

- Για $j = 0$:

$$u_i(g_i^1) = 0$$

- Για $j = 2, 3, \dots, a_i$:

$$u_i(g_i^j) = \sum_{t=1}^{j-1} w_i^t, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad j = 2, 3, \dots, a_i \quad (3-9)$$

Υπάρχουν 4 είδη περιορισμών σε αυτό το γραμμικό πρόβλημα:

- Περιορισμοί υπεροχής/προτίμησης
- Περιορισμοί ισοδυναμίας
- Περιορισμός αθροίσματος ενδοκριτηριακών διεπιπεδικών διαστημάτων
- Περιορισμοί θετικότητας

Περιορισμοί υπεροχής: Μία τάξη ισοδύναμων εναλλακτικών υπερτερεί της αμέσως κατώτερης τάξης ισοδύναμων εναλλακτικών, σύμφωνα με την προδιάταξη του αποφασίζοντα. Η ελάχιστη ποσότητα διαφοράς των χρησιμοτήτων, για να υπερτερεί μία εναλλακτική έναντι μιας άλλης, ορίζεται από το μέγεθος “δ”.

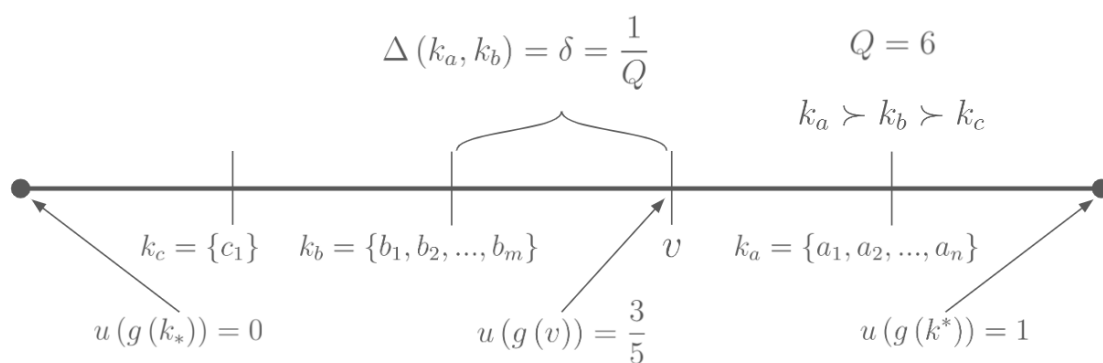
$$\delta \leq \Delta(a_k, a_{k+1}) = u(g(a_k)) - \sigma^+(a_k) + \sigma^-(a_k) - u(g(a_{k+1})) + \sigma^+(a_{k+1}) - \sigma^-(a_{k+1}) \quad (3-10)$$

Όπου “ a_k ” όλες οι ισοδύναμες εναλλακτικές της τάξης “ k ” και “ $k+1$ ” η αμέσως επόμενη χαμηλότερη τάξη υπεροχής.

Ακόμη:

$$\delta \in \left[\frac{1}{10Q}, \frac{1}{Q} \right] \quad (3-11)$$

Όπου για $\delta = \frac{1}{Q}$ η μέγιστη τιμή για την οποία το σφάλμα μπορεί να είναι μηδενικό με $u(g(a^*)) = 1$ και $u(g(a_*)) = 0$ και όλες τις υπόλοιπες μη ισοδύναμες εναλλακτικές ομοιόμορφα κατανεμημένες με απόσταση δ .



Εικόνα 3-2: Παράδειγμα κατάταξης 6 τάξεων υπεροχής εναλλακτικών “ k_n ” στην κλίμακα χρησιμότητας στην περίπτωση του μέγιστου επιτρεπόμενου “δ”

Περιορισμοί ισοδυναμίας: Κάθε εναλλακτική μιας τάξης $k \in Q$ πρέπει να έχει ίση χρησιμότητα:

$$u(g(a)) - u(g(b)) = 0, \quad \forall a, b \in k, \quad \forall k \in Q \quad (3-12)$$

Περιορισμός αθροίσματος ενδοκριτηριακών διεπιπεδικών διαστημάτων: Το άθροισμα όλων των διεπιπεδικών διαστημάτων πρέπει να ισούται με τη μονάδα:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{a_i-1} w_i^j = 1 \quad (3-13)$$

Περιορισμοί θετικότητας:

$$w_i^j \geq 0, \sigma^+(\alpha) \geq 0, \sigma^-(\alpha) \geq 0, \quad \forall i, j, a, \quad a \in A \quad (3-14)$$

Όλες οι μερικές χρησιμότητες εκφράζονται με την μορφή του αθροίσματος ενδοκριτηριακών διεπιπεδιακών διαστημάτων στο γραμμικό πρόβλημα. Τα διεπιπεδιακά διαστήματα είναι οι μεταβλητές απόφασης του γραμμικού προβλήματος μαζί με τα σφάλματα υποεκτίμησης και υπερεκτίμησης κάθε εναλλακτικής.

3.6.4. Μεταβελτιστοποίηση

Μετά την εκτέλεση του γραμμικού προβλήματος γίνεται μεταβελτιστοποίηση της βέλτιστης λύσης, λύνοντας δύο γραμμικά πρόβλημα για τη μεγιστοποίηση και την ελαχιστοποίηση των μέγιστων μερικών χρησιμοτήτων κάθε κριτηρίου. Οι περιορισμοί των γραμμικών προβλημάτων της μεταβελτιστοποίησης είναι ίδιοι μεταξύ τους ενώ αυτό που αλλάζει είναι μόνο η αντικειμενική συνάρτηση. Η διαφορά με τους περιορισμούς του αρχικού γραμμικού προβλήματος είναι ότι προστίθεται ένας νέος περιορισμός, που επιτρέπει μία πολύ μικρή απόκλιση του αθροίσματος των σφαλμάτων από την αρχική βέλτιστη λύση. Αυτή η μικρή απόκλιση είναι το “epsilon”, όπου:

$$F = F^* + \text{epsilon}$$

$$\text{epsilon} = \left\{ \begin{array}{l} c \\ kF^* \approx 0,0001 \end{array} \right. \quad (3-15)$$

Όπου “k” μία μικρή αναλογία του F^* και “c” σταθερά.

Όλες οι βέλτιστες λύσεις της μεταβελτιστοποίησης σχηματίζουν ένα πολύεδρο, το οποίο είναι υποσύνολο του κυρτού χωρίου των εφικτών λύσεων του αρχικού γραμμικού προβλήματος. Επομένως, οποιοδήποτε σημείο εντός του πολύεδρου είναι εφικτή λύση του αρχικού γραμμικού προβλήματος. Η UTASTAR επιλέγει το κέντρο του πολύεδρου ως το τελικό αποτέλεσμα της μεταβελτιστοποίησης.

3.6.5. Σχηματισμός των ολικών χρησιμοτήτων

Τα αποτελέσματα των γραμμικών προβλημάτων της μεταβελτιστοποίησης είναι “p” διανύσματα που το καθένα περιέχει τα ενδοκριτηριακά διεπιπεδιακά διαστήματα και τα σφάλματα υπερεκτίμησης και υποεκτίμησης. Από τον μέσο όρο ανά στοιχείο των “p” διανυσμάτων προκύπτει η λύση, η οποία είναι το κέντρο του πολυέδρου της

μεταβελτιστοποίησης. Από τα ενδοκριτηριακά διεπιπεδιακά διαστήματα προκύπτουν οι μερικές χρησιμότητες, και από τις μερικές χρησιμότητες οι ολικές χρησιμότητες, όπως ορίζονται παραπάνω. Επίσης, προκύπτει το συνολικό σφάλμα κάθε εναλλακτικής από το άθροισμα του σφάλματος υπερεκτίμησης και υποεκτίμησης, το οποίο μπορεί να είναι θετικό ή αρνητικό.

3.6.6. Τα αποτελέσματα της UTASTAR

Τελικό αποτέλεσμα της UTASTAR θεωρείται η ολική χρησιμότητα των εναλλακτικών από τη διαδικασία της μεταβελτιστοποίησης, χωρίς τα σφάλματα. Η χρησιμότητα των εναλλακτικών σχηματίζει μία βαθμολογία κατάταξης, που μπορεί να μη συμφωνεί με την προδιάταξη των αποφασιζόντων, λόγω μη μηδενικών σφαλμάτων υπερεκτίμησης και υποεκτίμησης. Για την αξιολόγηση της νέας κατάταξης με την προδιάταξη των αποφασιζόντων μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάποιος συντελεστής συσχέτισης διάταξης/κατάταξης, όπως ο δείκτης Kendall's-tau. Σε μεγαλύτερη ανάλυση εξίσου σημαντικές είναι οι μερικές χρησιμότητες και τα ενδοκριτηριακά διεπιπεδιακά διαστήματα, καθώς εμπεριέχουν την πληροφορία της συνάρτησης χρησιμότητας κάθε κριτηρίου.

Το σφάλμα είναι και αυτό σημαντικός δείκτης της αποτελεσματικότητας της UTASTAR. Μεγάλες τιμές σφάλματος μπορεί να σημαίνουν ότι:

- Το “δ” είναι μεγάλο
- Υπάρχουν παραπάνω κριτήρια για τον αποφασίζοντα τα οποία δεν έχουν συμπεριληφθεί στη συνεπή οικογένεια κριτηρίων.
- Ο αποφασίζοντας δεν εξέφρασε σωστά τις προτιμήσεις του στην προδιάταξη των εναλλακτικών.
- Η συνεπής οικογένεια κριτηρίων του αποφασίζοντα χρειάζεται να επανεξεταστεί. Η UTASTAR δεν μπορεί να διαχειριστεί μη μονότονα κριτήρια. Ακόμη εάν υπάρχει πλεονασμός κριτηρίων το μοντέλο που παράγεται για τον αποφασίζοντα δεν είναι ακριβές.

Αυτά μπορούν να αντιμετωπιστούν με καλύτερη επιλογή συνεπούς οικογένειας κριτηρίων, με διάσπαση-διαίρεση ή συγχώνευση κριτηρίων. Εάν από την άλλη προκύψουν πάρα πολλά κριτήρια σε σχέση με τις εναλλακτικές μπορεί να προκύψει έλλειψη πληροφορίας

Επίσης, μία μικρότερη τιμή για το “δ” θα μικρύνει τα σφάλματα. Βέβαια, όσο μεγαλύτερη η τιμή του “δ” τόσο μεγαλύτερη και η απόσταση των εναλλακτικών, πράγμα που είναι εξίσου επιθυμητό. Μία μικρή τιμή για το “δ” μπορεί να μην αποτυπώσει σωστά το μοντέλο λήψης αποφάσεων του αποφασίζοντα.

Τα δεδομένα της μεταβελτιστοποίησης εμπεριέχουν την πληροφορία για την ακρίβεια του μοντέλου και εάν υπάρχει έλλειψη πληροφορίας. Ο Δείκτης ASI (Matsatsinis κ.ά., 2018) αξιοποιεί αυτά τα δεδομένα προκειμένου να αξιολογήσει την ποιότητα του μοντέλου της UTASTAR. Το πολύεδρο με κορυφές τις λύσεις της μεταβελτιστοποίησης θα πρέπει να είναι όσο μικρότερο γίνεται.

3.7. Διαχωρισμός δεδομένων

3.7.1. Ομαδοποίηση

Τα προβλήματα διαχωρισμού των δεδομένων ανήκουν σε 2 μεγάλες κατηγορίες προβλημάτων, την κατηγοριοποίηση/ταξινόμηση (classification) και την ομαδοποίηση/συσταδοποίηση (clustering) (Ματσατσίνης, 2021, Κεφάλαια 10–11). Στην κατηγοριοποίηση, ο αριθμός και τα χαρακτηριστικά των ομάδων που θα προκύψουν είναι γνωστά πριν την έναρξη της διαδικασίας και στόχος είναι η ταξινόμηση των δεδομένων στις σωστές ομάδες. Η πιο απλή περίπτωση κατηγοριοποίησης γίνεται με βάση κάποιο ήδη γνωστό χαρακτηριστικό ή κριτήριο των δεδομένων. Σε αυτήν την περίπτωση ο αριθμός των ομάδων είναι προαποφασισμένος από το σύνολο των δυνατών τιμών του χαρακτηριστικού ή του κριτηρίου. Στην περίπτωση που η κατηγοριοποίηση δεν προκύπτει άμεσα από τα ήδη υπάρχον χαρακτηριστικά των δεδομένων ή δεν ορίζονται οι ομάδες από τον αλγόριθμο, ορίζεται ένα σύστημα αξιολόγησης του αποτελέσματος της κατηγοριοποίησης πριν την εφαρμογή αλγορίθμου. Συνήθως υπάρχει ένα δείγμα δεδομένων που έχει ταξινομηθεί σωστά στις επιθυμητές ομάδες, το οποίο επιτρέπει τον ορισμό μίας λειτουργίας αξιολόγησης για την εκπαίδευση του αλγορίθμου. Ο αλγόριθμος κατηγοριοποίησης θα έχει ως αποτέλεσμα έναν ταξινομητή (Classifier), ο οποίος έπειτα θα έχει τη δυνατότητα να ταξινομήσει στις ομάδες νέα δεδομένα με ένα συγκεκριμένο ποσοστό επιτυχίας. Τα νέα αυτά δεδομένα θα πρέπει να έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά με τα δεδομένα ελέγχου πάνω στα οποία εφαρμόστηκε ο αλγόριθμος. Ο ταξινομητής αυτός μπορεί να είναι από μία απλή μαθηματική εξίσωση μέχρι ένα περίπλοκο σύστημα μηχανικής μάθησης. Στην περίπτωση όπου ο αλγόριθμος εφαρμόζει τεχνικές μηχανικής μάθησης, η διαδικασία εφαρμογής του αλγορίθμου σε γνωστά ταξινομημένα δεδομένα ονομάζεται επιβλεπόμενη μηχανική μάθηση (supervised machine learning). Στην περίπτωση που οι τελικές ομάδες δεν είναι γνωστές ή δεν υπάρχουν ταξινομημένα δεδομένα για τη διαδικασία ελέγχου, τότε το πρόβλημα διαχωρισμού των δεδομένων αντιμετωπίζεται με αλγορίθμους μη-επιβλεπόμενης μηχανικής μάθησης (unsupervised learning), στους οποίους ανήκουν και οι αλγόριθμοι συσταδοποίησης.

3.7.2. Συσταδοποίηση (Clustering)

Για την επίλυση προβλημάτων συσταδοποίησης χρησιμοποιούνται αλγόριθμοι μη επιβλεπόμενης μάθησης (unsupervised learning) ακριβώς επειδή δεν υπάρχουν δεδομένα για την επαλήθευση του αποτελέσματος “εξωτερικά” του αλγορίθμου. Παρόλα αυτά υπάρχουν εσωτερικά μέτρα-δείκτες ποιότητας για την αξιολόγηση των συστάδων που προέκυψαν, (δείκτες silhouette, elbow κ.α.), δίνοντας χρήσιμες πληροφορίες για την προσέγγιση του πόσο διαχωρίσιμα και ομαλά ταξινομημένα είναι τα δεδομένα.

Πολλές φορές ένα πρόβλημα διαχωρισμού ενός μεγάλου συνόλου δεδομένων σε υποσύνολα χωρίζεται σε δύο φάσεις. Σε πρώτη φάση ορίζεται ως πρόβλημα συσταδοποίησης σε ένα υποσύνολο-δείγμα των δεδομένων, και αφού καθοριστεί το πλήθος και ο τύπος των ομάδων μετατρέπεται σε πρόβλημα κατηγοριοποίησης. Αυτό συμβαίνει καθώς η εφαρμογή αλγορίθμων clustering σε μεγάλους όγκους δεδομένων είναι απαιτητική σε υπολογιστικούς πόρους, ενώ τα αποτελέσματα συσταδοποίησης για εφαρμογή σε αντιπροσωπευτικό τυχαίο δείγμα των δεδομένων είναι σε μεγάλο ποσοστό το ίδιο. Επομένως, υπάρχει ένα όριο μεγέθους του δείγματος συσταδοποίησης, όπου εάν ξεπεραστεί δεν υπάρχει σημαντικό όφελος για να αντισταθμίσει το κόστος συσταδοποίησης. Ο αλγόριθμος συσταδοποίησης δημιουργεί τον ταξινομητή κοντινότερου κεντροειδούς (nearest centroid classifier), για την κατηγοριοποίηση των δεδομένων με μικρότερο υπολογιστικό κόστος.

3.7.3. Αλγόριθμος *k-means*

Ο *k-means* είναι ένα αλγόριθμος συσταδοποίησης που χωρίζει τα δεδομένα σε συστάδες βάση "*k*" κέντρων, ένα για κάθε συστάδα. Ο αλγόριθμος διαχειρίζεται τα δεδομένα ως σημεία σε ευκλείδειο πολυδιάστατο χώρο. Κάθε σημείο των δεδομένων ταξινομείται στη συστάδα που έχει το μικρότερο τετράγωνο της ευκλείδειας απόστασης από αυτό. Το πρώτο βήμα του αλγορίθμου είναι η επιλογή των αρχικών κέντρων. Η επιλογή μπορεί να γίνει είτε τυχαία, είτε με κάποιον σύντομο "άπληστο" (greedy) αλγόριθμο. Έπειτα ο αλγόριθμος *k-means* είναι επαναληπτικός με δύο (2) βήματα:

1. Ταξινόμηση όλων των δεδομένων στη συστάδα όπου το κέντρο της έχει τη μικρότερη απόσταση
2. Ανανέωση του κέντρου κάθε συστάδας με τον μέσο όρο των σημείων της συστάδας.

Το νέο σημείο κέντρου συστάδας, επειδή είναι ο μέσος όρος, πιθανότατα δεν αντιστοιχεί σε πραγματικό σημείο των δεδομένων. Αξίζει να σημειωθεί πως ο μέσος όρος ενός συνόλου σημείων ελαχιστοποιεί το άθροισμα του τετραγώνου των ευκλείδειων αποστάσεων και όχι το άθροισμα των ευκλείδειων αποστάσεων, το οποίο ελαχιστοποιεί ο γεωμετρικός διάμεσος (geometric median).

Ο αλγόριθμος τερματίζει όταν ισχύει μία από τις παρακάτω περιπτώσεις:

- δεν πραγματοποιούνται αλλαγές στα κέντρα των συστάδων
- όταν επαναλαμβάνονται οι ίδιες αλλαγές μεταξύ σημείων και συστάδων,
- όταν ξεπεραστεί ο μέγιστος αριθμός επαναλήψεων που δίνονται ως όριο
- όταν η μετατόπιση του κέντρου είναι μικρότερη από την ανοχή που δίνεται ως όριο.

3.7.4. Αλγόριθμος K-Medoids

Ο K-Medoids ανήκει στην κατηγορία αλγορίθμων συσταδοποίησης βασισμένες σε κεντροειδή (Centroid-based clustering). Είναι ένας αλγόριθμος που ορίζει μία τεχνική συσταδοποίησης που μπορεί να υλοποιηθεί με πολλές διαφορετικές εκδοχές του αλγορίθμου, όπως η fastPAM, CLARA και CLARANS (Schubert & Rousseeuw, 2021). Ο αλγόριθμος διαχειρίζεται τα δεδομένα ως σημεία σε έναν πολυδιάστατο χώρο. Οι διαφορές του με τον K-means, είναι ότι ο K-Medoids επιλέγει τα κεντροειδή των συστάδων να είναι πραγματικά σημεία των δεδομένων και όχι ο μέσος όρος, που μπορεί να μη συμπίπτει με κανένα από αυτά. Αυτή η διαφορά επιτρέπει τον ορισμό οποιασδήποτε συνάρτησης μέτρησης αποστάσεων μεταξύ των σημείων. Όπως προαναφέρθηκε σε αντίθεση με την κατηγοριοποίηση, δεν είναι γνωστό το πλήθος και το είδος των ομάδων, έτσι και οι 2 αλγόριθμοι χρειάζονται το πλήθος των συστάδων που θα διαχωριστούν τα δεδομένα πριν την εκτέλεση τους. Η απάντηση στο ερώτημα πιο είναι το ιδανικό πλήθος των συστάδων που μπορούν να διαχωριστούν τα δεδομένα προέρχεται από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων από διαφορετικές εκτελέσεις των αλγορίθμων για διαφορετικό πλήθος συστάδων.

Ο k-medoids είναι επίσης επαναληπτικός αλγόριθμος, εκτός του πρώτου βήματος επιλογής των αρχικών κεντροειδών, δηλαδή των σημείων που ορίζουν το κέντρο των συστάδων. Η επιλογή τους μπορεί να γίνει όπως και στον k-means, είτε τυχαία, είτε με “άπληστο” (greedy) αλγόριθμο, είτε απευθείας ως δεδομένο εισόδου. Μετά την επιλογή των αρχικών κεντροειδών, υπολογίζεται η απόσταση των σημείων από όλα τα κεντροειδή και ταξινομούνται στη συστάδα του κεντροειδούς με τη μικρότερη απόσταση. Έπειτα υπολογίζεται το κόστος της ταξινόμησης στις συγκεκριμένες συστάδες, με κάποιον δείκτη σύνθεσης όλων των αποστάσεων των σημείων κάθε συστάδας από τα αντίστοιχα κεντροειδή. Από εδώ και πέρα αυτή η συνάρτηση σύνθεσης του κόστους για οποιαδήποτε κεντροειδή θα αναφέρεται ως κόστος ταξινόμησης. Έπειτα από τον υπολογισμό του κόστους ταξινόμησης για τα αρχικά κεντροειδή ακολουθούν τα επαναληπτικά βήματα του αλγορίθμου για την εύρεση κεντροειδών που το ελαχιστοποιούν. Ο αλγόριθμος τερματίζει όταν δεν μπορούν να βρεθούν κεντροειδή που να ελαχιστοποιούν το κόστος ταξινόμησης, ή έχει ξεπεραστεί το όριο επαναλήψεων που δόθηκε ως είσοδος.

Η γενικότερη θεωρητική μορφή του αλγορίθμου K-medoids είναι:

1. Ορισμός των αρχικών κεντροειδών
2. Ταξινόμηση των σημείων στις συστάδες των αρχικών κεντροειδών
3. Ορισμός του τωρινού κόστους ταξινόμησης από τα αρχικά κεντροειδή
4. Δημιουργία πιθανών συνδυασμών νέων κεντροειδών
5. Επαναληπτικά για κάθε πιθανό συνδυασμό νέων κεντροειδών
 - 5.1. Τα σημεία ταξινομούνται προσωρινά σε νέες συστάδες
 - 5.2. Υπολογίζεται το κόστος ταξινόμησης των νέων κεντροειδών
 - 5.3. Εάν το νέο κόστος ταξινόμησης είναι μικρότερο από το τωρινό κόστος
 - 5.3.1. Αποθήκευση του συνδυασμού κεντροειδών και του κόστους ταξινόμησης
 - 5.3.2. Εάν δεν είναι επιθυμητό να ελεγχθούν όλοι οι συνδυασμοί πιθανών κεντροειδών, τερματισμός της επανάληψης.

6. Εάν αποθηκεύτηκε έστω και ένας συνδυασμός κεντροειδών με μικρότερο κόστος:
 - 6.1. Επιλογή του αποθηκευμένου συνδυασμού κεντροειδών με το μικρότερο κόστος για μόνιμη αλλαγή των συστάδων και ανανέωση του τωρινού κόστους ταξινόμησης.
 - 6.2. Εάν δεν έχει ξεπεραστεί το όριο επαναλήψεων, συνέχεια από το βήμα 4.
7. Τερματισμός του αλγορίθμου

Το βήμα τέσσερα (4) της παραπάνω διαδικασίας είναι και το πιο σημαντικό, καθώς ο τρόπος επιλογής των νέων συνδυασμών κεντροειδών επηρεάζει σημαντικά την ταχύτητα και την ποιότητα του αποτελέσματος του αλγορίθμου. Η ταχύτητα επηρεάζεται καθώς ο χρόνος υπολογισμού του κόστους ταξινόμησης πολλαπλασιάζεται με το πλήθος. Επομένως, είναι απαραίτητο το πλήθος των συνδυασμών που δοκιμάζονται να είναι όσο το δυνατόν μικρότερο, μέχρι να βρεθεί έστω ο πρώτος συνδυασμός κερκοειδών με μικρότερο κόστος ταξινόμησης. Από την άλλη όσο μικρότερο είναι το πλήθος των συνδυασμών που δοκιμάζονται, η πιθανότητα να μη βρεθεί μικρότερο κόστος ταξινόμησης αυξάνεται, με αποτέλεσμα η ποιότητα της συσταδοποίησης να είναι χαμηλή. Ακόμη για “k” συστάδες και “m” πιθανά νέα κερκοειδή ανά συστάδα, το πλήθος των πιθανών συνδυασμών κεντροειδών είναι “ k^m ”. Επομένως, είναι αδύνατον να ελεγχθούν όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί κεντροειδών. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα υπάρχουν 3 πιθανές λύσεις:

- Αλλαγή του κεντροειδούς μόνο μίας συστάδας σε κάθε συνδυασμό κεντροειδών. Διαφορετικά είναι δυνατόν να δίνεται ένα ανώτερο όριο ελέγχου συνδυασμών ανά επανάληψη και η νωρίτερη έξοδος από την επανάληψη ελέγχου όλων των συνδυασμών
- Αλλαγή του τρόπου επιλογής των υποψήφιων νέων κεντροειδών κάθε συστάδας. Δηλαδή αντί για τυχαία επιλογή όλων των σημείων της συστάδας, δημιουργία κατάταξης των πιο πιθανόν σημείων αντικατάστασης του κεντροειδούς. Αυτό μπορεί να γίνει είτε με προσέγγιση του ελάχιστου σημείου της συνάρτησης κόστους εντός της συστάδας ή με τη δημιουργία κάποιου άλλου μέτρου που να λαμβάνει υπόψιν το κόστος ενός συνόλου κοντινότερων σημείων μεγαλύτερο ή μικρότερο από το πλήθος των σημείων της συστάδας.
- Βελτιστοποίηση του χρόνου υπολογισμού της συνάρτησης κόστους μειώνοντας υπολογισμούς αποστάσεων που επαναλαμβάνονται. Επίσης, είναι δυνατόν να υπολογίζεται μόνο το κόστος των αλλαγών των συστάδων που αλλάζουν κατά τον υπολογισμό της συνάρτησης κόστους ταξινόμησης.

Τα βήματα του αλγορίθμου εφαρμόζοντας και τις τρεις παραπάνω λύσεις είναι:

1. Ορισμός των αρχικών κεντροειδών
2. Ταξινόμηση των σημείων στις συστάδες των αρχικών κεντροειδών
3. Ορισμός του τωρινού κόστους ταξινόμησης από τα αρχικά κεντροειδή
4. Επαναληπτικά για κάθε συστάδα
 - 4.1. Κατάταξη όλων σημείων και επιλογή των πρώτων “n” για τη δημιουργία “n” συνδυασμών κεντροειδών.
 - 4.2. Για κάθε συνδυασμό κεντροειδών:
 - 4.2.1. Τα σημεία ταξινομούνται προσωρινά σε νέες συστάδες

- 4.2.2. Υπολογίζεται το κόστος ταξινόμησης των νέων κερκοειδών, υπολογίζοντας μόνο το κόστος της νέας συστάδας και των σημείων που προστέθηκαν ή αφαιρέθηκαν από αυτήν
- 4.2.3. Εάν το νέο κόστος ταξινόμησης είναι μικρότερο από το τωρινό κόστος
 - 4.2.3.1. Η αλλαγή των συστάδων γίνεται μόνιμη και το τωρινό κόστος ταξινόμησης ανανεώνεται.
 - 4.2.3.2. Εάν το όριο επαναλήψεων δεν έχει ξεπεραστεί, συνέχεια από το βήμα 4.
- 5. Τερματισμός του αλγορίθμου.

Το αποτέλεσμα του K-Medoids είναι οι συστάδα όπου ανήκει κάθε σημείο, σε μορφή διανύσματος σημείου-κεντροειδούς που συνήθως ονομάζεται "ταμπέλες" (labels).

3.7.5. Επιλογή αριθμού συστάδων

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, είναι σημαντικό να βρεθεί ο αριθμός των συστάδων όπου τα δεδομένα διαχωρίζονται "καλύτερα". Οι αλγόριθμοι που δέχονται τον αριθμό των συστάδων ως δεδομένο εισόδου, δεν έχουν τη δυνατότητα να ανακαλύψουν εάν το αποτέλεσμα είναι το βέλτιστο για των αριθμό συστάδων που τους δόθηκε. Για να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει να προκύψουν παραπάνω από μία εκτελέσεις για διαφορετικό αριθμό συστάδων προκειμένου να υπάρχει η δυνατότητα σύγκρισης των αποτελεσμάτων. Η σύγκριση γίνεται με εσωτερικούς δείκτες ποιότητας συσταδοποίησης, για διαφορετικές παραμέτρους εκτέλεσης του αλγορίθμου. Εκτός από την επιλογή διαφορετικού αριθμού συστάδων, άλλοι παράμετροί που επηρεάζουν την ποιότητα της συσταδοποίησης είναι ο ορισμός διαφορετικών μέτρων μέτρησης απόστασης για τον K-Medoids ή η επιλογή διαφορετικών κεντροειδών εκκίνησης κ.α.. Πρόκειται για μία επαναληπτική διαδικασία διερεύνησης των επιλογών παραμετροποίησης που υπάρχουν συγκρίνοντας κάθε διαφορετική εκτέλεση. Επίσης, δεν υπάρχει ένας μοναδικός δείκτης ποιότητας της συσταδοποίησης ο οποίος να δίνει συστηματικά ξεκάθαρα αποτελέσματα σε όλες τις περιπτώσεις. Επομένως, πολλές φορές χρησιμοποιούνται πολλοί δείκτες σε συνδυασμό για να προκύψει μία πιο ξεκάθαρη εικόνα του αποτελέσματος.

Ένα μειονέκτημα των αλγορίθμων αυτού του είδους είναι πως για διαφορετική επιλογή σημείων εκκίνησης, το αποτέλεσμα μπορεί να διαφέρει. Είναι σημαντικό να επιλέγονται σημεία εκκίνησης σχετικά απομακρυσμένα μεταξύ τους, έτσι ώστε να αποφεύγονται τοπικά βέλτιστες λύσεις ή μεγαλύτερος χρόνος εκτέλεσης.

Το αποτέλεσμα εξαρτάται και από το εκάστοτε πρόβλημα, καθώς ο αλγόριθμος μπορεί να μην είναι κατάλληλος για τα δεδομένα του προβλήματος. Όταν δεν μπορεί να προβλεφθεί σχετικά εύκολα ένας αριθμός συστάδων με ικανοποιητικούς δείκτες ποιότητας συσταδοποίησης, τότε ίσως είναι καλύτερα να χρησιμοποιηθεί κάποιος αλγόριθμος ιεραρχικής συσταδοποίησης.

3.7.5.1. Δείκτες μεγέθους αποστάσεων

Υπάρχουν πολλοί δείκτες μέτρησης της ποιότητας της συσταδοποίησης, οι οποίοι μοιράζονται κοινά χαρακτηριστικά στους υπολογισμούς τους. Οι δείκτες "αδράνεια" (Inertia) και "παραμόρφωση" (distortion) συνθέτουν ένα συνολικό μέγεθος που εκπροσωπεί το μέγεθος των αποστάσεων των σημείων από τα κεντροειδή. Έπειτα αυτά τα μεγέθη χρησιμοποιούνται με διαφορετικές τεχνικές όπως η μέθοδος του αγκώνα "Elbow method". Πιο συγκεκριμένα:

- Η "αδράνεια" (Inertia) είναι το άθροισμα του τετραγώνου των ελαχίστων αποστάσεων μεταξύ σημείων και κεντροειδών.
- Η "παραμόρφωση" (distortion) κάθε συστάδας είναι ο μέσος όρος των τετραγώνων της απόστασης κάθε σημείου από το κέντρο της. Η συνολική παραμόρφωση προκύπτει από τον σταθμισμένο μέσο όρο του μέσου όρου των συστάδων με βάση το ποσοστό των σημείων που ανήκουν στην κάθε συστάδα.

Η αδράνεια και η παραμόρφωση είναι βασικοί δείκτες ποιότητας του αποτελέσματος της συσταδοποίησης σε συνδυασμό με το πλήθος των συστάδων και το πλήθος των σημείων ανά συστάδα. Συνήθως όσα περισσότερα τα σημεία τόσο μεγαλύτερη και η αδράνεια, άρα όσο περισσότερες είναι οι συστάδες τόσο μικρότερη η αδράνεια. Το επιθυμητό αποτέλεσμα είναι το μικρότερο πλήθος συστάδων ούτως ώστε η αύξηση των συστάδων να μην έχει σημαντικό αντίκτυπο στην αδράνεια. Επομένως, μία καλή τιμή αυτών των δεικτών δεν ορίζεται κατά απόλυτη τιμή, αλλά προκύπτει συγκριτικά με τον αριθμό των συστάδων. Πιο συγκεκριμένα οι τιμές των δεικτών σε συνάρτηση με των αριθμό των συστάδων συνήθως προσεγγίζουν μία κυρτή φθίνουσα συνάρτηση με τα κοίλα κάτω, όπου η βέλτιστη τιμή συστάδων θεωρείται αυτή με τον μεγαλύτερο ρυθμό μεταβολής. Αυτή η τεχνική ονομάζεται ανεπίσημα και κανόνας του αγκώνα "Elbow method" λόγω του σχήματος της γραφικής παράστασής της.

3.7.5.2. Δείκτης Silhouette

Ο δείκτης Silhouette υπολογίζεται για κάθε σημείο της συσταδοποίησης ξεχωριστά, ενώ ο συνολικός δείκτης Silhouette είναι ο μέσος όρος αυτών. Για κάθε σημείο υπολογίζεται ο μέσος όρος της απόστασης του από όλα τα σημεία της ομάδας που ανήκει "a(i)" (3-16). Έπειτα υπολογίζεται ο μέσος όρος της απόστασης από όλα τα υπόλοιπα σημεία των υπολοίπων συστάδων χωριστά. Η συστάδα με τον μικρότερο μέσο όρο θεωρείται ως η κοντινότερη συστάδα "b(i)" (3-17). Η τελική βαθμολογία "s(i)" (3-18) υπολογίζεται ως ο λόγος της διαφοράς των δύο αυτών αποστάσεων προς τη μεγαλύτερη απόσταση. Ο δείκτης παίρνει τιμές από το -1 μέχρι το 1.

$$a(i) = \frac{1}{|C_l| - 1} \sum_{j \in C_l, j \neq i} d(i, j), \forall i \in C_l \quad (3-16)$$

Όπου $|C_l|$ το πλήθος των σημείων της συστάδας που ανήκει το "i" σημείο:

$$b(i) = \min_{j \neq l} \frac{1}{|C_j|} \sum_{j \in C_j} d(i, j), \forall i \in C_l \quad (3-17)$$

Όπου $|C_j|$ το πλήθος των σημείων των συστάδων που δεν ανήκει το “i” σημείο:

$$s(i) = \begin{cases} \frac{b(i) - a(i)}{\max\{a(i), b(i)\}}, & |C_I| > 1 \\ 0, & |C_I| = 1 \end{cases} = \begin{cases} 1 - \frac{a(i)}{b(i)}, & a(i) < b(i) \\ 0, & a(i) = b(i) \\ \frac{b(i)}{a(i)} - 1, & a(i) > b(i) \end{cases} \quad (3-18)$$

3.7.5.3. Δείκτης Calinski–Harabasz

Ο δείκτης “Calinski–Harabasz” (Caliński & JA, 1974) ή αλλιώς κριτήριο λόγου διασποράς Variance Ratio Criterion (VRC), είναι ακόμη ένας δείκτης εσωτερικής αξιολόγησης της συσταδοποίησης. Σκοπός του είναι να συγκρίνει το μέγεθος των εσωτερικών αποστάσεων του cluster (WCSS, Within Cluster Sum of Squares) σε σχέση με την απόσταση των κεντροειδών από το συνολικό κέντρο των δεδομένων (BCSS, Between Cluster Sum of Squares). Στην περίπτωση ευκλείδειας απόστασης “d” προκύπτει:

$$BCSS = \sum_{i=1}^k n_i d(c_i, c)^2 \quad (3-19)$$

Όπου “i” ο δείκτης της συστάδας, “ n_i ” το πλήθος των σημείων της συστάδας, “k” το πλήθος των συστάδων, c_i το κέντρο των συστάδων και c το συνολικό κέντρο των δεδομένων. Για την ευκλείδεια απόσταση το “c” είναι ο μέσος όρος των δεδομένων.

$$WCSS = \sum_{i=1}^k \sum_{x \in C_i} d(x, c_i)^2 \quad (3-20)$$

$$CH = \frac{BCSS}{k-1} \frac{n-k}{WCSS} \quad (3-21)$$

Όπου “n” το πλήθος όλων των σημείων και “k” το πλήθος των συστάδων

3.8. Αλγόριθμος Group TOPSIS

Η TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) (Hwang & Yoon, 1981) (Hwang κ.ά., 1993) είναι μία πολυκριτήρια μέθοδος που εφαρμόζεται για την αναλογική κατάταξη των εναλλακτικών με τη χρήση βαρών για τα κριτήρια. Η μέθοδος αυτή κάνει την υπόθεση πως τα κριτήρια είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους και πως είναι γνησίως μονότονα. Η λογική της βασίζεται στο ότι μία εναλλακτική είναι πιο

επιθυμητή όταν έχει όσο μεγαλύτερη απόσταση γίνεται από τη θεωρητικά χειρότερη εναλλακτική και όσο μικρότερη απόσταση γίνεται από τη θεωρητικά καλύτερη εναλλακτική. Η θεωρητικά χειρότερη και θεωρητικά καλύτερη εναλλακτική είναι αποτέλεσμα των ακραίων τιμών κάθε κριτηρίου του πολυκριτήριου πίνακα. Αφού υπολογιστεί η απόσταση κάθε εναλλακτικής από αυτές τις δύο με βάση τα βάρη των κριτηρίων, γίνεται σύνθεση του τελικού αποτελέσματος με έναν δείκτη που λαμβάνει τιμές από το μηδέν έως τη μονάδα. Η Group TOPSIS σύμφωνα με τους (Shih κ.ά., 2007), υπολογίζει τη μέθοδο TOPSIS για κάθε αποφασίζοντα ξεχωριστά, και συνθέτει μία ομαδική απόσταση των εναλλακτικών από τον σταθμισμένο μέσο των αποστάσεων από την ιδανικά χειρότερη και την ιδανικά καλύτερη λύση. Έπειτα με τον ίδιο τρόπο συνθέτει το αποτέλεσμα με έναν δείκτη από το 0 έως το 1.

Πιο αναλυτικά τα βήματα της Group TOPSIS είναι:

1. Εφαρμογή της μεθόδου TOPSIS για κάθε αποφασίζοντα με διαφορετικά βάρη κριτηρίων και διαφορετικές τιμές υποκειμενικών κριτηρίων. Τα βήματα της TOPSIS είναι:
 - 1.1. Δημιουργία του πολυκριτήριου πίνακα
 - 1.1.1. Αντικατάσταση των κατηγορικών δεδομένων με υποκειμενικά ποσοτικά, σύμφωνα με την προτίμηση του αποφασίζοντα.
 - 1.1.2. Συμπλήρωση ποσοτικών τιμών σε όλα τα υποκειμενικά κριτήρια από τον αποφασίζοντα
 - 1.2. Κανονικοποίηση κάθε κριτηρίου **(3-22)** στο διάστημα [0, 1].
 - 1.3. Εύρεση της θεωρητικά χειρότερης ($V(k)+$) και θεωρητικά καλύτερης εναλλακτικής ($V(k)-$) από τη μεγαλύτερη και μικρότερη τιμή κάθε κριτηρίου του κανονικοποιημένου πολυκριτήριου πίνακα σύμφωνα με τη μονοτονία του κάθε κριτηρίου.
 - 1.4. Υπολογισμός της απόστασης κάθε εναλλακτικής από τη θεωρητικά χειρότερη και θεωρητικά καλύτερη εναλλακτική με βάση τα βάρη **(3-23)**. Με αυτόν τον τρόπο προκύπτουν τα διανύσματα S_i^{k+} και S_i^{k-}
 - 1.5. Δημιουργία τελικού δείκτη κάθε αποφασίζοντα από τα 2 διανύσματα αποστάσεων **(3-25)**(προαιρετικό).
2. Εύρεση του μέσου όρου μεταξύ των αποφασιζόντων για τα διανύσματα απόστασης από τη θεωρητικά χειρότερη \bar{S}_i^+ και θεωρητικά καλύτερη εναλλακτική \bar{S}_i^- **(3-24)**.
3. Δημιουργία τελικού δείκτη από τα 2 διανύσματα αποστάσεων **(3-25)**.

Η διαδικασία της κανονικοποίησης κάθε κριτηρίου μπορεί να γίνει με πολλούς διαφορετικούς τρόπους. Ο πιο συνηθισμένος είναι με χρήση νόρμας:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt[p]{\sum_{j=1}^n (x_{ij})^p}} \quad (3-22)$$

Όπου “p” η τάξη της νόρμας κανονικοποίησης, “i” ο δείκτης του κριτηρίου, και “j” ο δείκτης των εναλλακτικών. Οι πιο συνηθισμένες τιμές της νόρμας είναι για $p = 1, 2, \inf$.

Η απόσταση από την ιδανικά καλύτερη ή ιδανικά χειρότερη λύση υπολογίζεται με τον τύπο του Minkowski's L_p (p-νόρμα με βάρη), ο οποίος είναι:

$$S_i^{ideal} = \sqrt[p]{\sum_{j=1}^n w_j (r_{ij} - v_j^{ideal})^p} \quad (3-23)$$

Όπου w_j το βάρος του κριτηρίου, και ο δείκτης “ideal” συμβολίζει την ιδανικά καλύτερη και χειρότερη εναλλακτική.

Η παραπάνω διαδικασία συμβαίνει για όλους τους αποφασίζοντες. Επομένως, προκύπτουν τα διανύσματα S_i^{k+} και S_i^{k-} . Για τη σύνθεση της ομαδικής απόστασης από την ιδανικά καλύτερη ή χειρότερη εναλλακτική χρησιμοποιείται σταθμισμένος αριθμητικός μέσος ή ο γεωμετρικός σταθμισμένος μέσος.

$$\begin{aligned} \overline{S_i^{ideal}} &= \sum_{k=1}^K w_k S_i^{k(ideal)} \\ &\quad \text{ή} \\ \overline{S_i^{ideal}} &= \prod_{k=1}^K (S_i^{k(ideal)})^{w_k} \end{aligned} \quad (3-24)$$

Όπου:

$$\sum_{k=1}^K w_k = 1$$

Όπου w_k η βαρύτητα κάθε αποφασίζοντα “k”, και “K” το σύνολο των αποφασιζόντων, εάν όλοι οι αποφασίζοντες έχουν ίση βαρύτητα τότε $w = w_k = \frac{1}{K}$.

Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τρόποι για τη σύνθεση της τελικής ομαδικής κατάταξης από τα διανύσματα $\overline{S_i^+}$, $\overline{S_i^-}$. Αυτός που προτείνεται από την TOPSIS, είναι:

$$C_i^* = \frac{\overline{S_i^-}}{\overline{S_i^+} + \overline{S_i^-}} \quad (3-25)$$

Με αυτόν τον τρόπο σύνθεσης προκύπτουν και οι ατομικές τελικές κατάταξης των αποφασιζόντων.

3.9. Αλγόριθμος Negotiable Alternatives Identifier (NAI)

Ο αλγόριθμος NAI (Negotiable Alternatives Identifier) αναπτύχθηκε από τους (Yen & Bui, 1999), με σκοπό την αναζήτηση συνόλων αποδεκτών εναλλακτικών συμβιβασμού για κάθε αποφασίζοντα, και την προοπτική εύρεσης κοινών εναλλακτικών στην τομή αυτών των συνόλων (Ματσατσίνης, 2023, παρ. 5.4). Η είσοδος του αλγορίθμου για κάθε αποφασίζοντα είναι μία κατάταξη λόγου-αναλογίας. Ο αλγόριθμος χωρίζει τις εναλλακτικές σε τρία (3) σύνολα προτίμησης, έτσι ώστε οι εναλλακτικές που ανήκουν στο ίδιο σύνολο να θεωρούνται σχεδόν ισοδύναμες. Με αυτόν τον τρόπο εναλλακτικές του ενός συνόλου μπορούν να αντικαταστήσουν η μία την άλλη και έτσι να διευκολύνεται η διαδικασία της διαπραγμάτευσης. Τα 3 σύνολα για τον κάθε αποφασίζοντα είναι:

- **Σύνολο διαστολής:** Είναι όσες εναλλακτικές ο αποφασίζοντας θεωρεί αποδεκτές και μπορεί να διαπραγματευτεί για αυτές.
- **Σύνολο συστολής:** Αποτελείται από τις πλέον προτιμώμενες εναλλακτικές του αποφασίζοντα και είναι γνήσιο υποσύνολο του συνόλου διαστολής.
- **Απορριπτέο σύνολο:** είναι οι εναλλακτικές που ο αποφασίζοντας δεν επιθυμεί να διαπραγματευτεί. Αυτές είναι όσες εναλλακτικές δεν ανήκουν στο σύνολο διαστολής.

Αναλυτικά τα βήματα του αλγορίθμου για κάθε αποφασίζοντα “i” (ο δείκτης “i” παραλείπεται) είναι:

1. Κανονικοποίηση κατάταξης έτσι ώστε να αθροίζει στη μονάδα “ r_j ”, (εξίσωση (3-22) για $p = 1$).
2. Ταξινόμηση των “ r_j ” από τη μεγαλύτερη τιμή στη μικρότερη
3. Δημιουργία αθροιστικής κατάταξης “ R_j ”.

$$R_j = \sum_{j=1}^n r_j \quad (3-26)$$

4. **Διαδικασία διαστολής:** δημιουργία δείκτη “ Sl_j ” για κάθε υποσύνολο “j” καλύτερων εναλλακτικών (3-27).
 1. Υπολογισμός του δείκτη “ $M_{j,k}$ ” που είναι το άθροισμά του λόγου όλων των “k” καλύτερων αθροιστικών χρησιμότητων με τις υπόλοιπες, διαιρεμένες με το πλήθος τους.
 2. Υπολογισμός μέσου όρου των “ $M_{j,k}$ ” ως προς τα ζευγάρια “k”.
 3. Διαίρεση του μέσου όρου “ M_j ” με το πλήθος του υποσυνόλου “j”
5. Επιλογή της μικρότερης τιμής του δείκτη “ Sl_j ” ως το πρώτο σημείο διαχωρισμού των εναλλακτικών στα σύνολα διαστολής και μη διαπραγματεύσιμων εναλλακτικών.
6. Κανονικοποίηση ξανά της κατάταξης εναλλακτικών του συνόλου διαστολής έτσι ώστε να αθροίζει στη μονάδα.

7. **Διαδικασία συστολής:** Δημιουργία του δείκτη “C_j” για κάθε υποσύνολο διαπραγματεύσιμων “j” χειρότερων εναλλακτικών **(3-28)**.

1. Υπολογισμός του μέσου όρου της κανονικοποιημένης κατάταξης των εναλλακτικών από την “j+1” μέχρι και την “p” χειρότερη εναλλακτική αποκοπής του συνόλου διαστολής.
2. Υπολογισμός του κλάσματος της τιμής κατάταξης της “j” εναλλακτικής προς τον μέσο όρο των υπολοίπων χειρότερων εναλλακτικών

Η **διαδικασία διαστολής** για κάθε αποφασίζοντα περιγράφεται από τους τύπους:

$$\begin{aligned}
 SI_j &= \frac{1}{j} M_j, \\
 M_j &= \frac{1}{j-1} \sum_{k=1}^{j-1} M_j^k, \\
 M_j^k &= \frac{\frac{R_k}{k}}{\frac{R_j - R_k}{j - k}}
 \end{aligned} \tag{3-27}$$

Όπου “j” το πλήθος των υποψήφιων εναλλακτικών για το σύνολο διαστολής, και “k” το σημείο διαχωρισμού των υποψήφιων εναλλακτικών για τη δημιουργία του λόγου σύγκρισης M_j^k .

Η **διαδικασία συστολής** για κάθε αποφασίζοντα περιγράφεται από τον τύπο:

$$\begin{aligned}
 \bar{r}_j &= \frac{1}{p-j} \sum_{k=j+1}^p r_k, \quad j = 1, 2, \dots, p-1 \\
 C_j &= \frac{r_j}{\bar{r}_j}
 \end{aligned} \tag{3-28}$$

Όπου “p” το πλήθος των σημείων του συνόλου διαστολής, και “j” ο δείκτης των εναλλακτικών από την καλύτερη στη χειρότερη.

Το τελευταίο στάδιο του αλγορίθμου ΝΑΙ ονομάζεται διατομή, και αφορά πλέον τη σύνθεση των αποτελεσμάτων για όλους τους αποφασίζοντες. Πιο συγκεκριμένα, από τα δύο σύνολα συστολής και διαστολής του κάθε αποφασίζοντα αναζητούνται κοινές εναλλακτικές. Αρχικά γίνεται αναζήτηση στα σύνολα συστολής και εάν δεν βρεθεί κοινή εναλλακτική γίνεται αναζήτηση στα σύνολα διαστολής. Ο αλγόριθμος δεν εγγυάται πως θα προκύψει κοινή εναλλακτική, συμβατή με όλους τους αποφασίζοντες. Για κάθε εναλλακτική αντιστοιχεί ένα ποσοστό των αποφασιζόντων για τους οποίους αυτή ανήκει στο σύνολο συστολής, στο σύνολο διαστολής και στο απορριπτέο σύνολο.

Κεφάλαιο 4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Το πρόβλημα που καλείται να επιλύσει η συγκεκριμένη διπλωματική, είναι η υποστήριξη της λήψης αποφάσεων, για ομάδες μεγάλης κλίμακας, σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Με βάση όλα τα χαρακτηριστικά αυτών των προβλημάτων (Κεφάλαιο 2), αναπτύχθηκε και προτείνεται μία μεθοδολογία, η οποία για να εφαρμοστεί είναι απαραίτητη η ανάπτυξη ενός πληροφοριακού συστήματος.

Συνοψίζοντας από το κεφάλαιο της υφιστάμενης κατάστασης, πρόκειται για αδόμητα ή ημιδομημένα προβλήματα, όπου υπάρχει λιγοστός χρόνος για τη σύνθεση και αξιολόγηση των εναλλακτικών επιλογών. Όπως αναφέρθηκε (παράγραφος 2.1), όσο καλύτερη προετοιμασία των σεναρίων έχει γίνει πριν επέλθει η κατάσταση έκτακτης ανάγκης, τόσο πιο πολλές και αποτελεσματικότερες επιλογές θα συνθέσουν τις εναλλακτικές στον καθορισμό/μοντελοποίηση του πολυκριτήριου προβλήματος. Επίσης, κάθε πρόβλημα τέτοιου είδους έχει ξεχωριστά χαρακτηριστικά, κάνοντας την εξειδίκευση ενός τέτοιου συστήματος δύσκολη. Ακόμη, όσο μεγαλύτερη η κλίμακα της ομάδας, τόσο περισσότερα τα προβλήματα επικοινωνίας που αντιμετωπίζει. Σύμφωνα με την παράγραφο 3.2, η προσέγγιση της διαδικασίας από τη μεθοδολογία θα πρέπει να εφαρμόζει διάφορες τεχνικές αναζήτησης συμφωνίας μεταξύ των εναλλακτικών. Επιπροσθέτως, τα δεδομένα του προβλήματος μπορεί να είναι μεταβαλλόμενα, επομένως σε περίπτωση όπου αποτύχει η εφαρμογή της εναλλακτικής που επιλέχθηκε, το σύστημα θα πρέπει να είναι σε θέση να προτείνει άμεσα την αμέσως επόμενη βέλτιστη εναλλακτική, εισάγοντας όσον το δυνατόν λιγότερα νέα δεδομένα.

Με βάση τα παραπάνω, η μεθοδολογία που προτείνεται χωρίζεται σε τρία στάδια, τον καθορισμό του πολυκριτήριου προβλήματος (παράγραφος 4.1), τη μεθοδολογία αξιολόγησης των εναλλακτικών (πυρήνας συστήματος) (παράγραφοι 4.2 και 4.3), και την ανάδραση των αποφασιζόντων (παράγραφος 4.4). Το στάδιο της μεθοδολογίας που δίνεται μεγαλύτερη έμφαση είναι αυτό της αξιολόγησης των εναλλακτικών και αναφέρεται ως πυρήνας του συστήματος. Ο πυρήνας λοιπόν είναι το βασικό μέρος της μεθοδολογίας, που εφαρμόζει μία σειρά διαδικασιών, μεθόδων και αλγορίθμων, που συνδυαστικά αξιολογούν τις εναλλακτικές. Το τελικό αποτέλεσμα του πυρήνα από την αξιολόγηση των εναλλακτικών, είναι η πρόταση μίας εναλλακτικής από αυτές ως βέλτιστη, για τη λήψη της τελικής απόφασης από τους αποφασίζοντες. Εάν η πρόταση του πυρήνα συστήματος δεν είναι ικανοποιητική, ακολουθεί νέος κύκλος ανάδρασης των αποφασιζόντων και επανεκτέλεση του πυρήνα. Με αυτόν τον τρόπο, η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι τη λήψη της τελικής απόφασης.

Ο πυρήνας του συστήματος αρχικά αναλύει τις προτιμήσεις των αποφασιζόντων και βάση αυτών τους χωρίζει σε ομάδες / συστάδες προτιμήσεων, το πλήθος των οποίων είναι μεταβλητό. Έπειτα για κάθε ομάδα / συστάδα αποφασιζόντων συνθέτει μία ομαδική προτίμηση, βάση της οποίας γίνεται εκλογή μεταβλητού αριθμού εκπροσώπων με αναλογική βαρύτητα. Η σύνθεση της συνολικής προτίμησης για την αξιολόγηση των εναλλακτικών προκύπτει με δύο τρόπους, από την απευθείας σύνθεση ομαδικής προτίμησης, και από τη σύνθεση της ομαδικής προτίμησης της ομάδας των

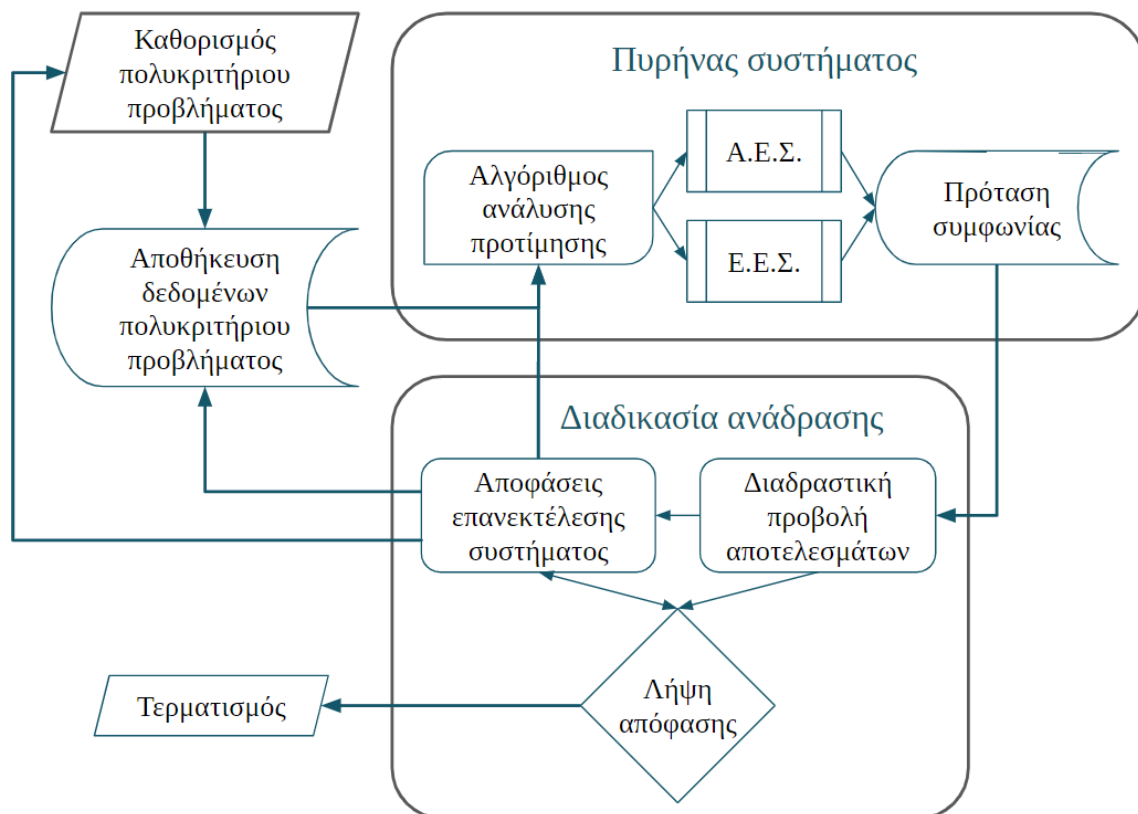
εκπροσώπων, συνυπολογίζοντας τη βαρύτητά τους. Τα αποτελέσματα των δύο αυτών μεθοδολογιών αντιπαραβάλλονται.

Η εκλογή μεταβαλλόμενου αριθμού εκπροσώπων για κάθε ομάδα προτιμήσεων, κάνει τη μεθοδολογία κατάλληλη για εφαρμογή σε ομάδες μεγάλης κλίμακας, από είκοσι αποφασίζοντες και άνω (≥ 20).

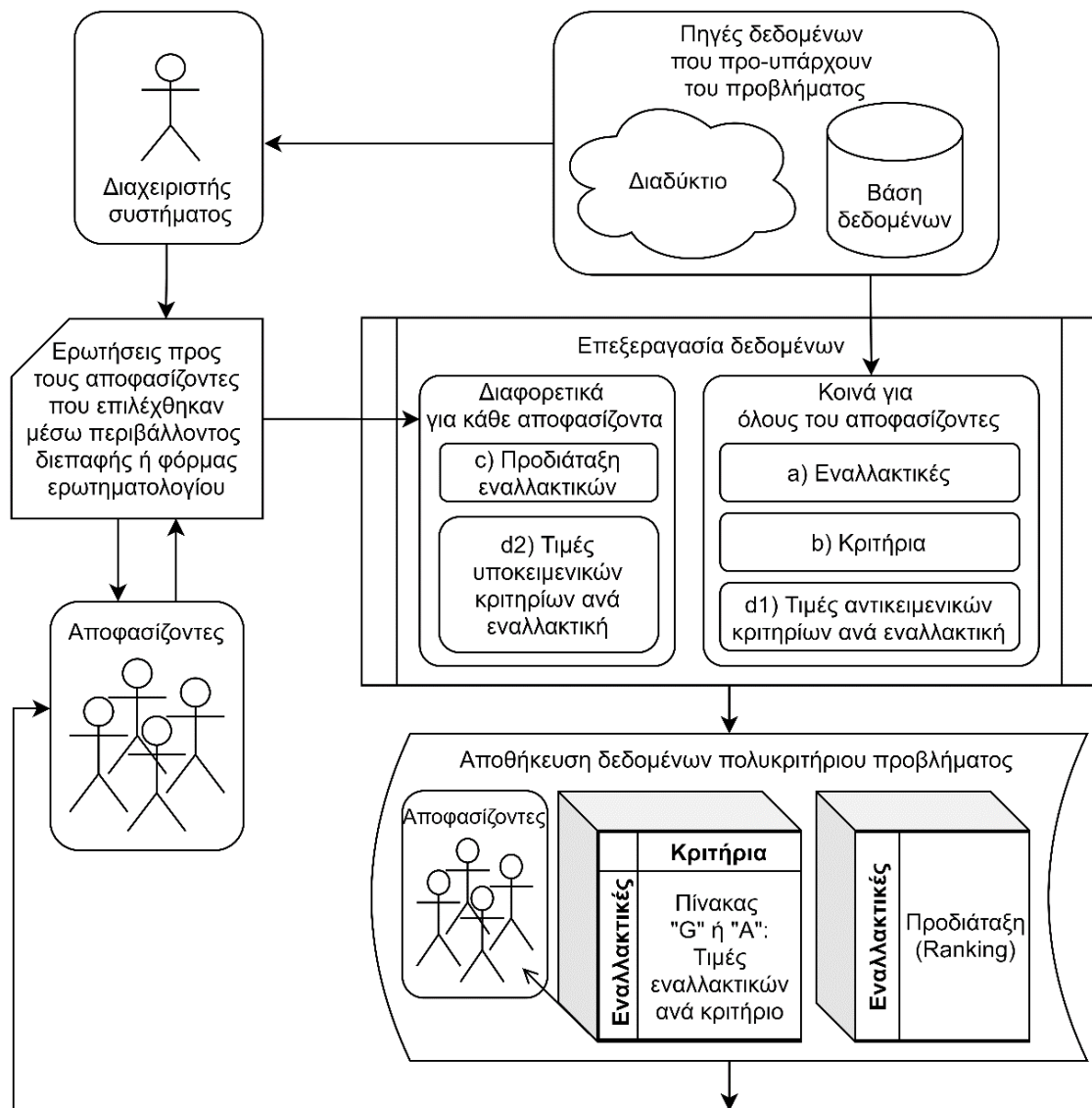
Με κάθε ανάδραση, το σύστημα που εφαρμόζει τη μεθοδολογία, προσαρμόζεται στα νέα δεδομένα του προβλήματος, καθώς επίσης ανανεώνει τις προτιμήσεις των αποφασιζόντων που απομένουν. Στην περίπτωση εκλογής εκπροσώπων, ο αριθμός των αποφασιζόντων μειώνεται, και ως εκ τούτου και τα απαιτούμενα δεδομένα ανανέωσης των προτιμήσεων κατά τη διαδικασία της ανάδρασης. Με τον τρόπο αυτό η συγκεκριμένη διάσταση του προβλήματος συρρικνώνεται, επιταχύνοντας τις διαδικασίες σύγκλισης των προτιμήσεων. Ακόμη, η εκλογή εκπροσώπων συνεισφέρει στο φιλτράρισμα αποφασιζόντων που οι προτιμήσεις τους δεν κατατάσσονται ξεκάθαρα σε μία ομάδα. Ο χρόνος σύγκλισης των προτιμήσεων και η ποιότητα της απόφασης είναι αντικρουόμενοι παράμετροι σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Μέσω της προβολής πολλών διαφορετικών αποτελεσμάτων, που αναλύουν τις προτιμήσεις των αποφασιζόντων ξεχωριστά αλλά και ομαδικά, ορίζοντας πολλά διαφορετικά σύνολα/ομάδες, επιτυγχάνει την ανταλλαγή πληροφοριών και γνώσης για τις προτιμήσεις. Με αυτόν τον τρόπο ο διάλογος μπορεί να στραφεί στα σημεία όπου έχουν τη μεγαλύτερη σημασία. Αυτή η επαναληπτική διαδικασία ανάδρασης, στοχεύει στην ευελιξία και προσαρμοστικότητα της προτεινόμενης μεθοδολογίας σε μεταβαλλόμενα δεδομένα, και τη διασφάλιση της ποιότητας του αποτελέσματος κάτω από τους χρονικούς περιορισμούς των καταστάσεων έκτακτης ανάγκης.

Σε αυτό το κεφάλαιο, αναλύονται τα τρία στάδια της προτεινόμενης μεθοδολογίας και η σύνδεσή τους. Ειδικότερα, όσον αφορά τον πυρήνα, παρουσιάζεται πρώτα μία γενικότερη μεθοδολογία χωρίς την χρήση συγκεκριμένων αλγορίθμων, και έπειτα παρουσιάζεται η προτεινόμενη μεθοδολογία. Στην γενική μεθοδολογία, παρουσιάζεται ο σκοπός χρήσης του κάθε αλγορίθμου, τι είδους προβληματική επιλύει και ποιες θα είναι οι πιθανές εισοδοί και έξοδοι. Με αυτόν τον τρόπο αποτελεί έναν οδηγό για κάποιον ο οποίος θέλει να εφαρμόσει διαφορετικούς αλγορίθμους για να προσεγγίσει την αξιολόγηση των εναλλακτικών.

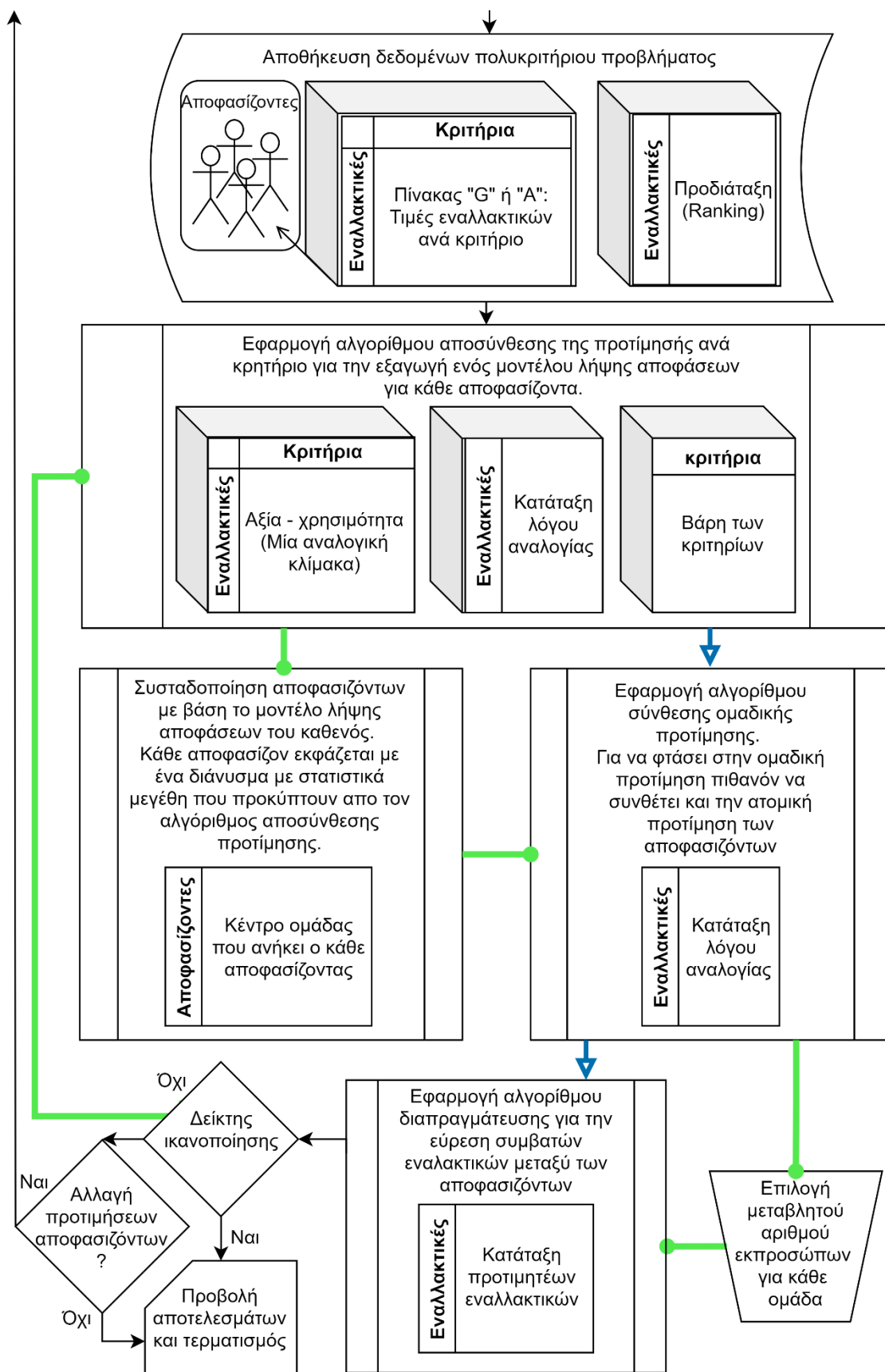
Στην προτεινόμενη μεθοδολογία του πυρήνα, επιλέγονται κατάλληλοι αλγόριθμοι/μέθοδοι που να έχουν όλα τα χαρακτηριστικά που αναφέρονται σε κάθε κομμάτι της γενικής μεθοδολογίας. Έπειτα, ορίζονται τα δεδομένα εισόδου και εξόδου κάθε αλγορίθμου/μεθόδου, και ο ορίζεται ο τρόπος σύνδεσής του με τους υπόλοιπους αλγορίθμους/μεθόδους. Επίσης, ορίζονται απαραίτητες διαδικασίες/μέθοδοι του πυρήνα που εκτελούνται στο ενδιάμεσο μεταξύ των βασικών αλγορίθμων. Όλοι οι βασικοί αλγόριθμοι έχουν αναλυθεί στο κεφάλαιο θεωρητικού υποβάθρου (Κεφάλαιο 3). Σε περίπτωση που μία μέθοδος δεν έχει αναφερθεί εκεί τότε αναλύεται ως κομμάτι της προτεινόμενης μεθοδολογίας.



Εικόνα 4-1: Απλοποιημένο διάγραμμα ροής γενικής μεθοδολογίας.



Εικόνα 4-2: Διάγραμμα ροής προτεινόμενης μεθοδολογίας για τον καθορισμό του πολυκριτήριου προβλήματος (μέρος 1). Οι διαδικασίες επεξεργασίας των δεδομένων του διαγράμματος πραγματοποιούνται από τον συντονιστή του συστήματος.



Εικόνα 4-3: Διάγραμμα ροής γενικής μεθοδολογίας. Η πολυκριτήρια ανάλυση της προτίμησης ακολουθείται από τη σύνθεση ομαδικών προτιμήσεων για διαφορετικά σύνολα/ομάδες αποφασιζόντων (μέρος 2).

4.1. Καθορισμός του πολυκριτηρίου προβλήματος

Το πρόβλημα για το οποίο προτείνεται η συγκεκριμένη μεθοδολογία είναι η υποστήριξη της λήψης μίας ομαδικής απόφασης μεγάλης κλίμακας, σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Η μεθοδολογία που προτείνεται χρησιμοποιεί τεχνικές της πολυκριτηρίας λήψης αποφάσεων, καθώς οι εναλλακτικές εκτιμώνται με ένα σύνολο κριτηρίων. Τα κριτήρια μπορεί να είναι είτε αντικειμενικά, δηλαδή ίδιες τιμές για όλους τους αποφασίζοντες ανά εναλλακτική, είτε υποκειμενικά, με διαφορετικές τιμές για κάθε αποφασίζοντα. Το γενικό διάγραμμα ροής για τον καθορισμό του πολυκριτηρίου προβλήματος φαίνεται παρακάτω (Εικόνα 4-2).

Το πρόβλημα αρχικά τίθεται από κάποιον φορέα, ο οποίος μπορεί να είναι είτε δημόσιος είτε ιδιωτικός. Αυτός ο φορέας αναθέτει το αδόμητο/ημιδομημένο πρόβλημα στους αποφασίζοντες, παρέχοντας το ΣΥΟΑ και έναν συντονιστή που κατέχει τις γνώσεις για τη λειτουργία του.

Αρχικά ορίζεται ο ρόλος του συντονιστή του συστήματος. Όπως αναφέρεται στην παράγραφο 3.2, για λόγους απλοποίησης ο συντονιστής στην προτεινόμενη μεθοδολογία έχει τρεις ρόλους:

- Του συντονιστή (facilitator), για την αποτελεσματική διεξαγωγή της ροής των διαδικασιών και των συζητήσεων εντός των χρονικών πλαισίων.
- Του αναλυτή για την επεξήγηση της μεθοδολογίας, των ρυθμίσεων και των γραφημάτων του συστήματος,
- του διαχειριστή (moderator) για την τεχνική διαχείριση και τον έλεγχο του συστήματος.

Σε καμία περίπτωση ο συντονιστής δεν μπορεί να παρέμβει για να επηρεάσει το αποτέλεσμα της διαδικασίας λήψης της απόφασης, παρά μόνο να δίνει διευκρινίσεις εκεί όπου οι αποφασίζοντες θα του το ζητήσουν.

Ακόμη, οι αποφασίζοντες δεν έχουν μόνο τον ρόλο του ειδικού, αλλά θεωρείται πως είναι και οι τελικοί αποφασίζοντες. Αυτό σημαίνει πως η εναλλακτική που θα προτείνουν ως λύση στο πρόβλημα, θεωρείται και η τελική απόφαση η οποία θα εκτελεστεί από τον φορέα.

Η ελάχιστη πληροφορία που θα πρέπει να ορίσει ο φορέας για το πρόβλημα, με βάση την εμπειρία του και την πληροφορία που είναι διαθέσιμη σε αυτόν από διάφορες πηγές, είναι τα παρακάτω:

- Ορισμός της κατάστασης έκτακτης ανάγκης για εφαρμογή της προβληματικής τύπου «α» ή «γ».
- Εύρεση και καθορισμός κατάλληλων αποφασιζόντων $D = \{d_1, d_2, d_3, \dots, d_m\}$ που σχετίζονται με το πρόβλημα, για την αξιολόγηση των εναλλακτικών που θα προκύψουν, όπου $M \geq 20$ για να θεωρείται η ομάδα μεγάλη (large group decision making). Ο καθορισμός ενός υποσυνόλου κατάλληλων αποφασιζόντων από ένα μεγάλο σύνολο υποψήφιων αποφασιζόντων, μπορεί επίσης να μοντελοποιηθεί ως ξεχωριστό πολυκριτήριο πρόβλημα προβληματικής τύπου «β».

Όσον αφορά το σύνολο των εναλλακτικών επιλογών $A = \{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n\}$, εάν δεν τις έχει καθορίσει πλήρως ο φορέας τότε χρειάζεται να δώσει κάποιες κατευθυντήριες γραμμές και ένα γενικό πλαίσιο για αυτές. Σε αυτήν την περίπτωση οι αποφασίζοντες είναι υπεύθυνοι για την εύρεση / δημιουργία τους και τελικά τον πλήρη καθορισμό τους. Αυτή η διαδικασία μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορες μεθοδολογίες δόμησης προβλημάτων (problem structuring approaches) (Marttunen κ.ά., 2017).

Σε δεύτερη φάση οι αποφασίζοντες είναι υπεύθυνοι να καθορίσουν τη συνεπή οικογένεια κριτηρίων $C = \{c_1, c_2, c_3, \dots, c_p\}$. Ο φορέας μπορεί να ξεκινήσει τη διαδικασία καθορισμού των κριτηρίων προτείνοντας ένα σύνολο αντικειμενικών και υποκειμενικών κριτηρίων. Αυτό το σύνολο μπορεί να προκύψει αναλύοντας το σύνολο των συνεπειών ή χαρακτηριστικών των πιθανών εναλλακτικών. Αυτή η ανάλυση γίνεται εμπειρικά από τις πηγές πληροφοριών που έχει στη διάθεσή του, είτε ακόμη από τεχνικές ανάλυσης δεδομένων από το διαδίκτυο, όπως η ανάλυση κειμένου από μέσα κοινωνικής δικτύωσης σε πραγματικό χρόνο (Χ. Χυ κ.ά., 2019). Έπειτα οι αποφασίζοντες καλούνται να αποδεχτούν και να συμφωνήσουν στη συνεπή οικογένεια κριτηρίων ως υποσύνολο των προτεινόμενων κριτηρίων. Σε περίπτωση όπου δεν προταθούν κριτήρια από τον φορέα, τότε αυτά καθορίζονται από τους αποφασίζοντες με μεθόδους δόμησης προβλημάτων (problem structuring approaches) (Marttunen κ.ά., 2017) όπως αναφέρθηκε παραπάνω και για τις εναλλακτικές.

Η τρίτη φάση αποτελεί τη διαμόρφωση του πολυκριτήριου πίνακα $G_{ij}^k \forall k \in D, i \in A, j \in C$ με τα παρακάτω βήματα (Ματσατσίνης, 2023, Κεφάλαιο 4.1-4.3; Σίσκος Γιάννης, 2008, Κεφάλαιο 3):

- Εξαγωγή τιμών προτίμησης από τους αποφασίζοντες για τα υποκειμενικά κριτήρια. Η βαθμολογία αυτή μπορεί να είναι τύπου λόγου αναλογίας, διαφοράς ή διάταξης.
- Εύρεση τιμών στα αντικειμενικά κριτήρια, είτε από πηγές του διαδικτύου, είτε από κάποια βάση δεδομένων.
- Καταχώρηση της προτίμησης των αποφασιζόντων μέσω μίας προδιάταξης των εναλλακτικών επιλογών. Με τον αριθμό "1" δηλώνεται η πλέον προτιμητέα εναλλακτική και ακολουθούν με "2", "3"... "n" οι υπόλοιπες σε ένα διάνυσμα $r_i^k \forall k \in D, i \in A$. Ακόμη η περίπτωση αδιαφορίας προτίμησης μεταξύ δύο εναλλακτικών, δηλώνεται στην προδιάταξη με ισοβαθμία. (π.χ. $\alpha_1 \rightarrow 3, \alpha_2 \rightarrow 1, \alpha_3 \rightarrow 4, \alpha_4 \rightarrow 2, \alpha_5 \rightarrow 2 \Rightarrow \alpha_2 > \alpha_4 = \alpha_5 > \alpha_1 > \alpha_3 \Rightarrow r_i = [3, 1, 4, 2, 2]$).

Με τις τρεις παραπάνω φάσεις ολοκληρώνεται η μεθοδολογία καθορισμού του πολυκριτήριου προβλήματος. Συμπεραίνεται, πως η μεθοδολογία αυτή είναι αρκετά γενική, έτσι ώστε να περικλείει την πολυκριτήρια μοντελοποίηση κάθε είδους προβλήματος έκτακτης ανάγκης. Για την εξειδίκευση της μεθοδολογίας σε μία συγκεκριμένη κατάσταση έκτακτης ανάγκης, χρειάζεται ανάλυση κάθε σταδίου της σε πολλά μικρότερα προβλήματα, στα οποία μπορεί να δοθεί μεγάλη έμφαση και προσοχή, αφιερώνοντας πολύ χρόνο μελέτης και έρευνας. Ο κάθε αναλυτής από πλευράς ενός φορέα, είναι ελεύθερος να προσεγγίσει όπως επιθυμεί τον καθορισμό του πολυκριτήριου προβλήματος εντός των ορίων της παραπάνω μεθοδολογίας. Στα πλαίσια της προετοιμασίας για μία συγκεκριμένη κατάσταση έκτακτης ανάγκης, ο

αναλυτής μπορεί να αναπτύξει περαιτέρω την μεθοδολογία αυτή, ορίζοντας εξειδικευμένους τρόπους συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων, για την υποστήριξη των αποφασιζόντων. Στις περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης, ο καθορισμός του πολυκριτήριου προβλήματος αποτελεί βασικό υποσύστημα ενός ολοκληρωμένου ΣΥΟΑ για τη διασφάλιση της ποιότητας των εναλλακτικών και των κριτηρίων σε συνθήκες πίεσης χρόνου.

4.2. Πυρήνας συστήματος γενικής μεθοδολογίας

Ο πυρήνας του συστήματος εφαρμόζει την προτεινόμενη μεθοδολογία μετά το τέλος του καθορισμού του προβλήματος μέχρι πριν την έναρξη της διαδικασίας της ανάδρασης. Αποτελείται από διάφορες μεθόδους, εκ των οποίων ξεχωρίζουν τέσσερις βασικοί αλγόριθμοι. Σύμφωνα με το δεύτερο μέρος τους διαγράμματος ροής (**Εικόνα 4-3**), αυτοί έχουν την παρακάτω λειτουργία:

- Αλγόριθμος ανάλυσης της προτίμησης και δημιουργίας μοντέλου λήψης αποφάσεων του κάθε αποφασίζοντα
- Συσταδοποίηση με βάση το μοντέλο λήψης αποφάσεων των αποφασιζόντων. Οι αποφασίζοντες κάθε ομάδας παρουσιάζουν κοινά χαρακτηριστικά στις προτιμήσεις τους.
- Αλγόριθμος σύνθεσης ομαδικής προτίμησης ή ομαδικής κατάταξης εναλλακτικών, για διαφορετικά σύνολα αποφασιζόντων.
- Αλγόριθμος διαπραγμάτευσης για την εύρεση κοινώς αποδεκτών εναλλακτικών μεταξύ συνόλων των αποφασιζόντων

Για τους περισσότερους ομαδικούς αλγόριθμους, ισχύει ότι εκτελούν κάποια προεπεξεργασία/ανάλυση των δεδομένων στο επίπεδο κάθε αποφασίζοντα ξεχωριστά, και έπειτα πραγματοποιούν σύνθεση (aggregation) αυτών των δεδομένων στο επίπεδο ενός συνόλου αποφασιζόντων. Αυτά τα σύνολα είναι:

- Το σύνολο όλων των αποφασιζόντων
- Το σύνολο των αποφασιζόντων που παραμένουν μετά από διαδικασία φιλτραρίσματος.
- Υποσύνολα (συστάδες) ή ομάδες αποφασιζόντων που προκύπτουν από τον αλγόριθμο συσταδοποίησης
- Σε σύνολα που αποτελούνται από όλους τους εκπροσώπους των αποφασιζόντων κάθε ομάδας.

Στη γενική μεθοδολογία, για τη σύνθεση της προτίμησης και έλεγχο συμφωνίας του συνόλου των αποφασιζόντων προτείνονται δύο μεθοδολογίες. Η πρώτη μεθοδολογία είναι ο άμεσος έλεγχος συμφωνίας συνόλων αποφασιζόντων (**Α.Ε.Σ.**) (παράγραφος 4.3.5), και αποτελείται από τρεις φάσεις:

1. Εκτέλεση αλγορίθμου σύνθεσης της προτίμησης
2. Εκτέλεση αλγορίθμου διαπραγμάτευσης.
3. Ταξινόμηση εναλλακτικών σε κατηγορίες συμφωνίας.

Η δεύτερη μεθοδολογία είναι ο εκπροσωπούμενος έλεγχος συμφωνίας συνόλων αποφασιζόντων (Ε.Ε.Σ.), και χωρίζεται σε τέσσερις φάσεις:

1. Εκτέλεση συσταδοποίησης για τον διαχωρισμό σε ομάδες προτίμησης
2. Εφαρμογή της μεθοδολογίας άμεσου ελέγχου συμφωνίας (Α.Ε.Σ.) σε κάθε ομάδα ξεχωριστά.
3. Εκλογή μεταβλητού αριθμού εκπροσώπων διαφορετικής βαρύτητας από κάθε ομάδα.
4. Εφαρμογή της μεθοδολογίας άμεσου ελέγχου συμφωνίας (Α.Ε.Σ.) για το σύνολο των εκπροσώπων συνυπολογίζοντας τη βαρύτητά τους.

Ακόμη η μεθοδολογία αποτελείται από τη διαδικασία εκλογής των εκπροσώπων μέσω του συνδυασμού αποτελεσμάτων από τους αλγόριθμους που προηγούνται αυτού. Οι εκπρόσωποι έχουν συγκεκριμένη βαρύτητα ανάλογη με το πλήθος των αποφασιζόντων που εκπροσωπούν ανά ομάδα. Η διαδικασία αυτή αναλύεται στη συνέχεια (παράγραφος 4.3.7).

Τέλος, μπορεί να προστεθεί διαδικασία για το φιλτράρισμα των αποφασιζόντων πριν την εκτέλεση της συσταδοποίησης (παράγραφος 4.3.4). Αυτή γίνεται και πάλι με βάση δεικτών που προκύπτουν από τους υπόλοιπους τρεις βασικούς αλγόριθμους εκτός του αλγορίθμου συσταδοποίησης.

4.2.1. Διασύνδεση διαγράμματος ροής γενικής μεθοδολογίας

Ορίζονται τρεις κατηγορίες από βέλη, όπως φαίνονται και στο διάγραμμα ροής (Εικόνα 4-3):

- B1: Λεπτά βέλη χωρίς χρώμα
- B2: Βέλη χρώματος μπλε με ενδιάμεσο κενό
- B3: Βέλη με κυκλικούς πράσινους συνδέσμους

Η ροή του 2^{ου} μέρους του διαγράμματος ροής ακολουθεί αρχικά τα βέλη B1 και B2. Ο πρώτος αλγόριθμος που εκτελείται είναι αυτός της ανάλυσης της προτίμησης. Σε δεύτερο βήμα εκτελείται ο αλγόριθμος σύνθεσης της προτίμησης και ο αλγόριθμος διαπραγμάτευσης παράλληλα για όλους του αποφασίζοντες. Έπειτα προαιρετικά μπορεί να πραγματοποιηθεί φιλτράρισμα των αποφασιζόντων που έχουν ακραίες τιμές στα αποτελέσματα των τριών αυτών αλγορίθμων ή σε συγκρίσιμα μεγέθη μεταξύ τους. Σε αυτό το σημείο έχει δημιουργηθεί η πρώτη πρόταση του συστήματος για κοινώς αποδεκτή λύση και ελέγχεται μέσω ενός δείκτης ικανοποίησης.

Η εκτέλεση του συστήματος συνεχίζεται με τον αλγόριθμο συσταδοποίησης και το διάγραμμα ροής πλέον ακολουθεί τα βέλη B1 και B3. Γίνεται επιλογή του βέλτιστου αριθμού συστάδων, και εφαρμόζονται ξανά ο αλγόριθμος σύνθεσης προτίμησης και ο αλγόριθμος διαπραγμάτευσης για κάθε ομάδα/συστάδα. Έπειτα οι αποφασίζοντες αξιολογούνται στο κατά πόσο όμοια είναι η δική τους προτίμηση με τη συνολική προτίμηση της ομάδας. Η αξιολόγηση αυτή τους κατατάσσει με μία βαθμολογία εκπροσώπησης και επιλέγονται ως εκπρόσωποι μεταβλητός αριθμός από αυτούς για κάθε ομάδα. Σε κάθε εκπρόσωπο αντιστοιχίζεται μία βαρύτητα, η οποία είναι ανάλογη

της βαθμολογίας εκπροσώπησής του, του μεγέθους της ομάδας του και του πλήθους των υπολοίπων εκπροσώπων από την ίδια ομάδα. Στο σύνολο των εκπροσώπων με διαφορετική βαρύτητα εκτελείται ο αλγόριθμος διαπραγμάτευσης για την εύρεση των κοινώς αποδεκτών εναλλακτικών για το μεγαλύτερο σύνολο των αποφασίζοντων. Υπολογίζεται ξανά ο δείκτης ικανοποίησης και συγκρίνεται με αυτόν που υπολογίστηκε πριν τον διαχωρισμό των ομάδων.

Εάν κανένας δείκτης ικανοποίησης δε φτάνει το επιθυμητό όριο, τότε είτε επαναλαμβάνεται η διαδικασία με άλλες ρυθμίσεις συσταδοποίησης, είτε επιλέγεται διαφορετικός αριθμός συστάδων, είτε τροποποιούνται άλλες ρυθμίσεις στους υπόλοιπους αλγόριθμους. Κάθε φορά που υπολογίζεται ο δείκτης ικανοποίησης τα αποτελέσματα προβάλλονται στους αποφασίζοντες. Ένας κύκλος λειτουργίας του πυρήνα συστήματος ολοκληρώνεται όταν αποφασιστεί να ακολουθηθεί η διαδικασία της ανάδρασης ή να γίνει τερματισμός του συστήματος. Ο αριθμός των κύκλων ανάδρασης και επανεκτέλεσης του πυρήνα λαμβάνεται από τους αποφασίζοντες, είτε πριν την εκτέλεση του συστήματος, είτε κατά τη διάρκεια.

4.3. Πυρήνας συστήματος προτεινόμενης μεθοδολογίας

Σε αυτήν την παράγραφο θα αναλυθεί κάθε στάδιο της γενικής μεθοδολογίας και πως αυτή μπορεί να υλοποιηθεί με τους αλγόριθμους της προτεινόμενης μεθοδολογίας. Επίσης, αναλύεται κάθε σύνδεσμος/τόξο/βέλος του διαγράμματος, το οποίο περιγράφει το πέρασμα από τη μία διαδικασία/μέθοδο/αλγόριθμο σε μία άλλη. Η ανάλυση περιλαμβάνει και τα δεδομένα που μπορούν να εξαχθούν από την προηγούμενη διαδικασία και τα δεδομένα που απαιτεί η επόμενη διαδικασία. Το διάγραμμα ροής της προτεινόμενης μεθοδολογίας παρουσιάζεται στην **Εικόνα 4-4**.

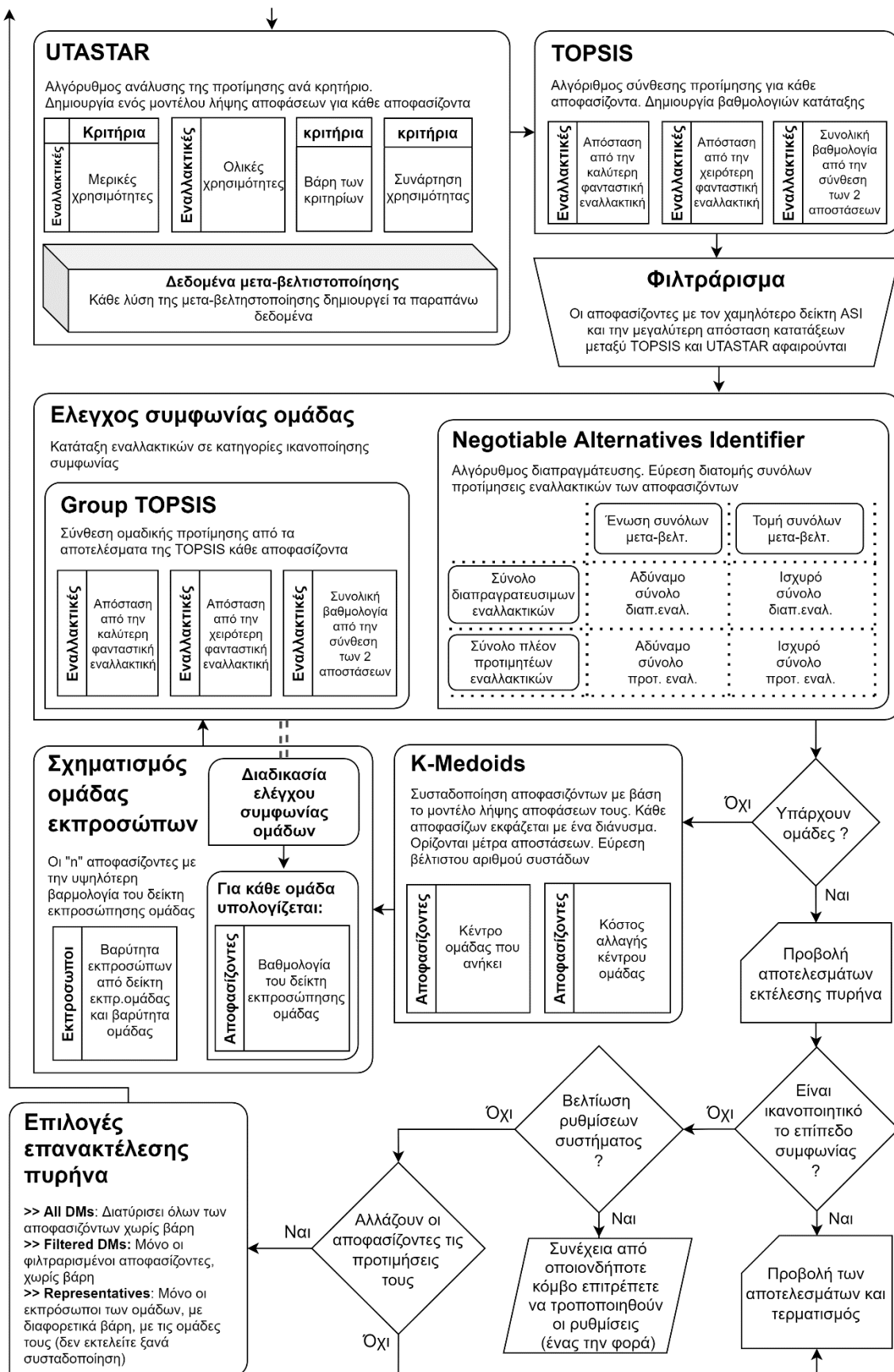
4.3.1. Αλγόριθμοι προτεινόμενης μεθοδολογίας

Οι αλγόριθμοι – μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε στάδιο της γενικής μεθοδολογίας για τον ορισμό της προτεινόμενης μεθοδολογίας είναι:

- Ανάλυση της προτίμησης:
 - UTASTAR
- Σύνθεση της προτίμησης αποφασίζοντα:
 - UTASTAR
 - TOPSIS
- Φιλτράρισμα των αποφασιζόντων:
 - Δείκτης ASI
 - Δείκτης απόστασης βαθμολογίας εναλλακτικών μεταξύ UTASTAR και TOPSIS
- Σύνθεση ομαδικής προτίμησης:
 - Group TOPSIS
- Αλγόριθμος διαπραγμάτευσης:

- Negotiable Alternatives Identifier (N.A.I.)
- Ταξινόμηση εναλλακτικών σε κατηγορίες συμφωνίας
 - Συνδυασμός αποτελεσμάτων του NAI και της Group TOPSIS (αναλύεται στην παράγραφο 4.3.5.3)
- Συσταδοποίηση αποφασιζόντων:
 - k-medoids
 - k-means
- Εκλογή των εκπροσώπων:
 - Σύστημα βαθμολόγησης με χρήση δεικτών από τους παραπάνω αλγορίθμους (αναλύεται στην παράγραφο 4.3.7.2).
- Έλεγχος συμφωνίας συνόλων αποφασιζόντων:
 - Άμεσος έλεγχος συμφωνίας συνόλων αποφασιζόντων (Α.Ε.Σ.) (παράγραφος 4.3.5)
 - Εκπροσωπούμενος έλεγχος συμφωνίας συνόλων αποφασιζόντων (Ε.Ε.Σ.)

Ακόμη όπου αναφέρεται ο υπολογισμός της απόστασης διανυσμάτων χωρίς να ορίζεται, εννοείται πως χρησιμοποιείται η ευκλείδεια απόσταση.



Εικόνα 4-4: Διάγραμμα ροής πυρήνα συστήματος προτεινόμενης μεθοδολογίας, το οποίο υλοποιήθηκε στην ανάπτυξη της εφαρμογής

4.3.2. Αλγόριθμος ανάλυσης προτίμησης (UTASTAR)

Σκοπός του αλγορίθμου ανάλυσης της προτίμησης των αποφασιζόντων είναι η ανάλυση των δεδομένων για την εξαγωγή χρήσιμης πληροφορίας για τα κριτήρια. Εφαρμόζεται ξεχωριστά για κάθε αποφασίζοντα, και τα κύρια δεδομένα εισόδου είναι ο πολυκριτήριο πίνακας και το διάνυσμα προδιάταξης. Τα αποτελέσματα του αλγορίθμου είναι μία συνάρτηση χρησιμότητας για κάθε κριτήριο, από την οποία προκύπτει και η βαρύτητα του κάθε κριτηρίου. Ακόμη υπολογίζεται η συνολική χρησιμότητα κάθε εναλλακτικής, με χρήση μίας συνάρτησης σύνθεσης των μερικών χρησιμοτήτων κριτηρίου – εναλλακτικής, που αντιστοιχούν στις τιμές που λαμβάνει κάθε εναλλακτική από τις συναρτήσεις χρησιμότητας των κριτηρίων. Αυτά είναι τα κύρια χαρακτηριστικά που πρέπει να πληρεί ο αλγόριθμος ανάλυσης της προτίμησης της γενικής μεθοδολογίας. Υπάρχει πληθώρα αλγορίθμων και μεθοδολογιών που μπορούν να πληρούν αυτά τα χαρακτηριστικά, στη συγκεκριμένη προτεινόμενη μεθοδολογία επιλέχθηκε ο αλγόριθμος της UTASTAR.

Η UTASTAR εκτελείται για κάθε αποφασίζοντα ξεχωριστά, παίρνοντας ως δεδομένο εισόδου τον πολυκριτήριο πίνακα G_{ij} και το διάνυσμα προδιάταξης r_i . Ένα επιπλέον χαρακτηριστικό της είναι η διαδικασία της μεταβελτιστοποίησης της λύσης (παράγραφος 3.6.4). Από αυτήν τη διαδικασία προκύπτουν $t = 2p$ κοντινές λύσεις στη βέλτιστη λύση, όπου “p” το πλήθος των κριτηρίων. Από αυτά τα “t” εναλλακτικά αποτελέσματα για κάθε αποφασίζοντα, μπορεί να γίνει σύνθεση (aggregation) του τελικού βέλτιστου μοντέλου λήψης αποφάσεων του αποφασίζοντα αλλά και έλεγχος της αξιοπιστίας του. Τα δεδομένα μεταβελτιστοποίησης περιέχουν πληροφορίες για τη σταθερότητα που μοντέλου του αποφασίζοντα, το μέγεθος της ασάφειας στο μοντέλο λήψης αποφάσεων του, με βάση το πόσο διαφέρουν αυτές οι λύσεις μεταξύ τους. Με τη χρήση κατάλληλων δεικτών, όπως ο δείκτης ASI, αυτά τα δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το φιλτράρισμα των αποφασιζόντων.

Επομένως, για κάθε λύση μεταβελτιστοποίησης $M = \{\mu_1, \mu_2, \mu_3, \dots, \mu_t\}$ και συνολικά για τη βέλτιστη λύση κάθε αποφασίζοντα προκύπτουν:

- Συναρτήσεις χρησιμότητας για κάθε κριτήριο που μεταφράζονται σε διανύσματα διακριτών τιμών λόγου αναλογίας
- Διάνυσμα λόγου αναλογίας των βαρών των κριτηρίων $W_{kj} \forall k \in D, j \in C$
- Διάνυσμα λόγου αναλογίας της συνολικής χρησιμότητας των εναλλακτικών $u_k(g(\alpha)) \forall \alpha \in A, k \in D$.

4.3.2.1. Επιλογές εξαγωγής δεδομένων από την UTASTAR

Το μοντέλο προτίμησης της UTASTAR έχει ως βάση τα ενδοκριτηριακά διεπιπεδιακά διαστήματα, από κάθε διαφορετική λύση των γραμμικών προβλημάτων της μεταβελτιστοποίησης. Από την επεξεργασία και σύνθεση αυτών των δεδομένων προκύπτουν οι επιλογές εξαγωγής, κάνοντας δύο βασικές επιλογές. Η πρώτη επιλογή είναι εάν θα γίνει σύνθεση των ενδοκριτηριακών διεπιπεδιακών διαστημάτων της μεταβελτιστοποίησης σε ένα μοναδικό διάνυσμα ενδοκριτηριακών διεπιπεδιακών διαστημάτων, ή εάν θα εξαχθούν όλα τα διανύσματα της μεταβελτιστοποίησης. Η δεύτερη επιλογή είναι το μέτρο σύνθεσης της προτίμησης από διάνυσμα

ενδοκριτηριακών διεπιπεδικών διαστημάτων. Παρακάτω αναλύονται οι επιλογές μέτρων σύνθεσης προτίμησης ως δεδομένα εξαγωγής, από το μοντέλο της UTASTAR για κάθε αποφασίζοντα:

- Διάνυσμα στάθμης - κριτηρίου (ανά κριτήριο 'i' και ανά στάθμης 'j'):
 - Τα ενδοκριτηριακά διεπιπεδικά διαστήματα w_{ij}
 - Οι μερικές χρησιμότητες u_{ij}
- Διάνυσμα χρησιμότητας - εναλλακτικής ($\forall \alpha \in A, i \in C$)
 - Οι μερικές χρησιμότητες κάθε εναλλακτικής ανά κριτήριο που σχηματίζουν έναν πίνακα $u_i(g_i(\alpha))$.
- Διάνυσμα βαρύτητας κριτηρίων ($W_i \ \forall i \in C$)
 - Μέγιστη στάθμη μερικής χρησιμότητας ' u_i^* ' (άθροισμα ενδοκριτηριακών διεπιπεδικών διαστημάτων)
 - Μέσος όρος μερικών χρησιμοτήτων κάθε εναλλακτικής
 - Μέγιστη τιμή μερικών χρησιμοτήτων κάθε εναλλακτικής
 - Η επιφάνεια κάτω από το γράφημα των ευθύγραμμων τμημάτων που ενώνουν τις στάθμες των μερικών χρησιμοτήτων
 - Η επιφάνεια κάτω από το γράφημα του πολυωνύμου παρεμβολής που ενώνει τις στάθμες των μερικών χρησιμοτήτων
- Διάνυσμα χρησιμοτήτων ($\forall \alpha \in A$)
 - Χρησιμότητες εναλλακτικών $u_k(g(\alpha))$
 - Χρησιμότητες εναλλακτικών με το συνολικό σφάλμα $u_k(g(\alpha)) - \sigma_k^+(\alpha) + \sigma_k^-(\alpha)$

Για τον αλγόριθμο συσταδοποίησης k-medoids, η προεπιλογή για τα δεδομένα εισόδου είναι ο πίνακας με όλα τα διανύσματα των ολικών χρησιμοτήτων της μεταβελτιστοποίησης για κάθε αποφασίζοντα $u_k^\mu(g(\alpha)) \ \forall \alpha \in A, k \in D, \mu \in M$.

Η προεπιλογή για τη βαρύτητα των κριτηρίων που λαμβάνει η μέθοδος TOPSIS ως είσοδο, είναι το διάνυσμα μέγιστης στάθμη μερικής χρησιμότητας ' u_i^* '. Η TOPSIS εκτελείται ξεχωριστά για κάθε διάνυσμα βαρύτητας κριτηρίων της μεταβελτιστοποίησης $W_{ki}^\mu \ \forall k \in D, i \in C, \mu \in M$ και για τη βέλτιστη λύση της UTASTAR για κάθε αποφασίζοντα ξεχωριστά. $W_{ki} \ \forall k \in D, i \in C$

Ο αλγόριθμος NAI λαμβάνει ως προεπιλεγμένη είσοδο από την UTASTAR τον πίνακα που έχει για γραμμές του τα διανύσματα των χρησιμοτήτων των εναλλακτικών για κάθε λύση της μεταβελτιστοποίησης κάθε αποφασίζοντα $u_k^\mu(g(\alpha)) \ \forall \alpha \in A, k \in D, \mu \in M$.

4.3.3. Επεξεργασία δεδομένων αποφασιζόντων

Όσον αφορά τη γενική μεθοδολογία, σε αυτό το στάδιο εκτελείται επεξεργασία δεδομένων ή εκτέλεση αλγορίθμων που αφορούν το κάθε αποφασίζοντα ξεχωριστά. Αυτό λαμβάνει χώρα αμέσως μετά τον αλγόριθμο ανάλυσης προτίμησης (UTASTAR) και πριν το φιλτράρισμα των αποφασιζόντων. Στην προτεινόμενη μεθοδολογία εκτελείται η μέθοδος TOPSIS καθώς και οι διαδικασίες διαστολής και συστολής του αλγορίθμου NAI.

Όσον αφορά των αλγόριθμο NAI, εκτελούνται όλα τα βήματα του αλγορίθμου εκτός της διαδικασίας της διατομής. Σαν δεδομένα εισόδου ο αλγόριθμος λαμβάνει ένας πίνακα με γραμμές τα διανύσματα χρησιμότητας εναλλακτικών κάθε αποφασίζοντα και τα αποτελέσματα είναι ένας διαχωρισμός των εναλλακτικών στα τρία σύνολα προτίμησης (παράγραφος 3.9) για κάθε διάνυσμα. Μία ακόμη επιλογή είναι η εκτέλεση του αλγορίθμου NAI από τη βαθμολογία των εναλλακτικών της μεθόδου TOPSIS, που αντιστοιχεί σε κάθε ξεχωριστή είσοδο διανύσματος βαρύτητας. Επίσης, η διαδικασία της διατομής για τη σύνθεση των ποσοστών συμφωνίας κάθε συνόλου εναλλακτικών, μπορεί να εκτελεστεί για όσα διαφορετικά σύνολα αποφασιζόντων οριστούν στη συνέχεια.

4.3.3.1. Μέθοδος σύνθεσης προτίμησης αποφασίζοντα (TOPSIS)

Η είσοδος της TOPSIS για κάθε αποφασίζοντα “ k ”, είναι ο πολυκριτήριος πίνακας G_{ij}^k και το διάνυσμα βαρύτητας των κριτηρίων W_i^k που προκύπτει από την UTASTAR όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Η TOPSIS μπορεί να εκτελεστεί για κάθε διάνυσμα βαρών που προκύπτει από την μεταβελτιστοποίηση για κάθε αποφασίζοντα. Τα αποτελέσματα της TOPSIS θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια από τον αλγόριθμο Group TOPSIS (παράγραφος 3.8) για όσα διαφορετικά σύνολα αποφασιζόντων οριστούν.

Εκτός όμως από την εκτέλεση της Group TOPSIS, υπάρχουν επιπλέον οφέλη από τον εκ νέου υπολογισμό του διανύσματος χρησιμότητας. Το πρώτο όφελος προκύπτει από τον έλεγχο σταθερότητας των αποτελεσμάτων για κάθε αποφασίζοντα, υπολογίζοντας την απόσταση των διανυσμάτων διάταξης από τις μεθόδους TOPSIS και UTASTAR. Ακόμη, ο έλεγχος μπορεί να πραγματοποιήσει και δοκιμές διαφορετικών διανυσμάτων βαρών ως είσοδο στην TOPSIS. Η πληροφορία της σταθερότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για το φιλτράρισμα των αποφασιζόντων είτε για την εκλογή εκπροσώπων.

Το δεύτερο όφελος είναι η επιλογή του βέλτιστου διανύσματος βαρών. Με την χρήση αλγορίθμου βελτιστοποίησης, γίνεται αναζήτηση των βαρών που ελαχιστοποιούν την απόσταση μεταξύ των διανυσμάτων του αλγορίθμου ανάλυσης και του αλγορίθμου σύνθεσης. Τα βέλτιστα βάρη μεταξύ των δύο αλγορίθμων μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως διανύσματα εισόδου στη συσταδοποίηση.

4.3.4. Φιλτράρισμα των αποφασιζόντων

Όσον αφορά τη γενική μεθοδολογία, είναι ένα προαιρετικό βήμα με στόχο το φιλτράρισμα των αποφασιζόντων που έχουν ακραίες τιμές σε μεγέθη που περιγράφουν το μοντέλο αποφάσεων τους.

Στην προκειμένη μεθοδολογία προτείνεται από προεπιλογή φιλτράρισμα ακραίων τιμών των αποφασιζόντων με βάση δύο δείκτες:

- Τον δείκτη ASI της UTASTAR. Το φιλτράρισμα γίνεται με τη χρήση της κανονικής κατανομής για τιμές που απέχουν από προεπιλογή απόσταση 1,645 φορές την τυπική απόκλιση (θεωρητικά 95% των αποφασιζόντων) από τον μέσο όρο και είναι μικρότερες από αυτόν. Αυτό ισχύει μόνο για τις τιμές μικρότερες του 0.8, η οποία θεωρείται αρκετά ικανοποιητική.
- Την ευκλείδεια απόσταση μεταξύ του διανύσματος των ολικών χρησιμοτήτων της UTASTAR και του διανύσματος βαθμολογίας των εναλλακτικών της TOPSIS. Το φιλτράρισμα γίνεται με τη χρήση της κανονικής κατανομής για τιμές που απέχουν από προεπιλογή απόσταση 1,96 φορές την τυπική απόκλιση (θεωρητικά 97,5% των αποφασιζόντων) από τον μέσο όρο και είναι μικρότερες από αυτόν.

4.3.5. Άμεσος έλεγχος συμφωνίας συνόλου

Πρόκειται για την πρώτη και πιο άμεση σύνθεση την προτίμησης για τον έλεγχο ύπαρξης συμφωνίας. Στη γενική μεθοδολογία χρησιμοποιούνται δεδομένα από τον αλγόριθμο σύνθεσης της προτίμησης και τον αλγόριθμο διαπραγμάτευσης για την κατάταξη των εναλλακτικών σε επίπεδα ικανοποίησης ή αλλιώς κατηγορίες συμφωνίας. Αυτή η μεθοδολογία χρησιμοποιείται για τη σύνθεση της προτίμησης του συνόλου των αποφασιζόντων αμέσως μετά το φιλτράρισμα των αποφασιζόντων, για την εύρεση μίας πρώτης πρότασης για τη λήψη απόφασης. Ακόμη χρησιμοποιείται σε κάθε ομάδα που σχηματίζεται και στο σύνολο των εκπροσώπων.

Στην προτεινόμενη μεθοδολογία γίνεται εφαρμογή της Group TOPSIS και της διαδικασίας της διατομής του αλγορίθμου NAI, και έπειτα γίνεται κατάταξη των εναλλακτικών σε κατηγορίες συμφωνίας. Υπενθυμίζεται ότι η TOPSIS και το μεγαλύτερο μέρος του NAI έχουν ήδη εκτελεστεί για κάθε αποφασίζοντα στα προηγούμενα βήματα (παράγραφος 4.3.3). Αυτή η μεθοδολογία εφαρμόζεται στο σύνολο των φιλτραρισμένων αποφασιζόντων, στις ομάδες της συσταδοποίησης και στο σύνολο των εκπροσώπων.

4.3.5.1. Αλγόριθμος σύνθεσης ομαδικής προτίμησης (Group TOPSIS)

Χρησιμοποιείται για τη σύνθεση της προτίμησης των αποφασιζόντων από τα δεδομένα του αλγορίθμου ανάλυσης της προτίμησης, και με βάση αυτά τα δεδομένα τη σύνθεση μίας συνολικής ομαδικής προτίμησης. Ο αλγόριθμος εφαρμόζεται για κάθε ομάδα της συσταδοποίησης ξεχωριστά καθώς και στο σύνολο όλων των αποφασιζόντων. Τα δεδομένα εισόδου του αλγορίθμου είναι ο πολυκριτήριος πίνακας και δεδομένα από το μοντέλο λήψης αποφάσεων κάθε αποφασίζοντα, όπως οι βαρύτητες των κριτηρίων. Το αποτέλεσμα είναι ένα διάνυσμα χρησιμότητας / βαθμολογίας των εναλλακτικών για κάθε αποφασίζοντα και ένα συνολικό διάνυσμα χρησιμότητας / βαθμολογίας των εναλλακτικών για την ομάδα.

Στην προτεινόμενη μεθοδολογία χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος Group TOPSIS για τη σύνθεση της ομαδικής προτίμησης (παράγραφος 3.8). Ως είσοδο λαμβάνει τα αποτελέσματα της TOPSIS, η οποία έχει εκτελεστεί ήδη για κάθε αποφασίζοντα

ξεχωριστά, τις ταμπέλες που ορίζουν το σύνολο των αποφασιζόντων, και την βαρύτητά τους. Το αποτέλεσμα της ομαδικής προτίμησης που προκύπτει, είναι το ομαδικό διάνυσμα διάταξης λόγου-αναλογίας των εναλλακτικών. Αυτό χρησιμοποιείται από την διαδικασία ταξινόμησης των εναλλακτικών σε κατηγορίες συμφωνίας, και από την διαδικασία εκλογής εκπροσώπων.

4.3.5.2. Αλγόριθμος διαπραγμάτευσης (N.A.I.)

Ο αλγόριθμος διαπραγμάτευσης χρησιμοποιείται κάθε φορά παράλληλα με το αλγόριθμο σύνθεσης της προτίμησης, για την επιβεβαίωση της συνοχής των αποτελεσμάτων των ομάδων. Ακόμη χρησιμοποιείται όταν δεν υπάρχει συνολική συνοχή, για την εύρεση κοινώς αποδεκτών εναλλακτικών μεταξύ των εκπροσώπων των ομάδων. Σαν είσοδο δέχεται ένα διάνυσμα λόγου-αναλογίας της χρησιμότητας των εναλλακτικών για κάθε αποφασίζοντα. Έπειτα κατηγοριοποιεί τις εναλλακτικές σε τουλάχιστον δύο σύνολα προτίμησης για κάθε αποφασίζοντα, τις μη διαπραγματεύσιμες και τις διαπραγματεύσιμες εναλλακτικές. Εάν υπάρχει έστω και μία κοινή εναλλακτική μεταξύ όλων των συνόλων διαπραγματεύσιμων εναλλακτικών, τότε υπάρχει κοινώς αποδεκτή λύση.

Στην προτεινόμενη μεθοδολογία χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος διαπραγμάτευσης Negotiable Alternatives Identifier (N.A.I.) (παράγραφος 3.9). Ο N.A.I. με τις διαδικασίες διαστολής και συστολής χωρίζει τις εναλλακτικές σε τρία σύνολα προτίμησης για κάθε αποφασίζοντα. Αυτές οι δύο διαδικασίες έχουν εκτελεστεί ήδη για κάθε αποφασίζοντα. Ως είσοδο ακόμη λαμβάνεται ακόμη τις ταμπέλες που ορίζουν το σύνολο των αποφασιζόντων, και την βαρύτητά τους. Έπειτα, με την διαδικασία της διατομής, γίνεται αναζήτηση του ποσοστού συμφωνίας κάθε εναλλακτικής, για τα σύνολα διαστολής και συστολής. Στην περίπτωση ύπαρξης δεδομένων μεταβελτιστοποίησης, τότε για κάθε αποφασίζοντα υπάρχουν σαν είσοδος πολλαπλά διανύσματα διάταξης. Σε αυτήν την περίπτωση εφαρμόζεται η διαδικασία διαστολής και συστολής για κάθε διάνυσμα, και έπειτα πραγματοποιείται σύνθεση για κάθε αποφασίζοντα και είδος συνόλου, με την μαθηματική πράξη της τομής και της ένωσης συνόλων. Το αποτέλεσμα είναι τέσσερα ξεχωριστά είδη συνόλων για κάθε αποφασίζοντα, στα οποία αναζητείται το ποσοστό συμφωνίας για κάθε εναλλακτική. Τα ήδη των συνόλων φαίνονται στην **Εικόνα 4-5**, και σύμφωνα με την “ισχύ” τους είναι:

- Ένωση συνόλων διαστολής αποφασίζοντα (weak expansion sets)
- Τομή συνόλων διαστολής αποφασίζοντα (strong expansion sets)
- Ένωση συνόλων συστολής αποφασίζοντα (weak contraction sets)
- Τομή συνόλων συστολής αποφασίζοντα (strong contraction sets)

Ακόμη μπορεί να γίνει σύνθεση νέου είδους συνόλου, ορίζοντας ένα όριο συμμετοχής στα σύνολα διαστολής ή συστολής. Το τελικό σύνολο διαστολής ή συστολής, μπορεί να οριστεί είτε ως ένα από τα τέσσερα είδη συνόλων, ή θέτοντας νέο όριο συμμετοχής, ή εφαρμόζοντας την διαδικασία διατομής και αναζήτησης ποσοστού συμφωνίας απευθείας σε όλα τα διανύσματα της μετα-βελτιστοποίησης.

Από τα παραπάνω σύνολα, το τελικό αποτέλεσμα είναι ο υπολογισμός του ποσοστού συμφωνίας για κάθε είδος συνόλων. Εάν η βαρύτητα των αποφασιζόντων δεν είναι ίση,

τότε το ποσοστό συμφωνίας κάθε εναλλακτικής προκύπτει από το άθροισμα των βαρών που αντιστοιχούν στο κάθε σύνολο που αυτή συμμετέχει. Τα ποσοστά συμφωνίας χρησιμοποιούνται από την διαδικασία ταξινόμησης των εναλλακτικών σε κατηγορίες συμφωνίας.

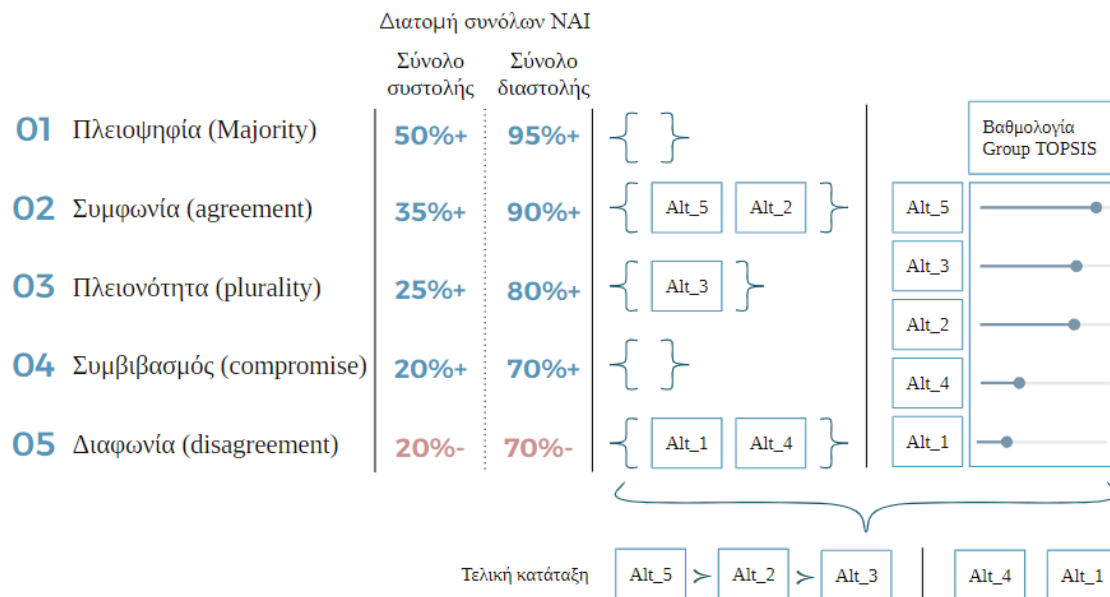
	Ένωση συνόλων μετα-βελτιστοποίησης	Τομή συνόλων μετα-βελτιστοποίησης
Σύνολο διαστολής (διαπραγματεύσιμες εναλλακτικές)	Αδύναμο σύνολο διαστολής	Ισχυρό σύνολο διαστολής.
Σύνολο συστολής (πλέον προτιμητέες εναλλακτικές)	Αδύναμο σύνολο συστολής	Ισχυρό σύνολο συστολής

Εικόνα 4-5: Τα τέσσερα σύνολα που προκύπτουν από τον NAI για κάθε αποφασίζοντα, σε περίπτωση εισόδου δεδομένων μεταβελτιστοποίησης

4.3.5.3. Ταξινόμηση εναλλακτικών σε βαθμίδες συμφωνίας

Εξετάζεται το επίπεδο συμφωνίας των αποφασιζόντων/εκπροσώπων σε κάθε εναλλακτική. Οι εναλλακτικές κατατάσσονται σε πέντε (5) βαθμίδες/κατηγορίες συμφωνίας, χρησιμοποιώντας τα ποσοστά συμφωνίας του αλγόριθμο NAI. Η διάταξη εντός κάθε κλάσης συμφωνίας προκύπτει από ένα διάνυσμα χρησιμότητας/βαθμολογίας των εναλλακτικών. Από προεπιλογή επιλέγεται η βαθμολογία της Group TOPSIS. Όπως φαίνεται και στο παράδειγμα στην **Εικόνα 4-6**, οι κλάσεις συμφωνίας είναι:

1. **Πλειοψηφία (Majority):**
 - a. Σύνολο συστολής: μεγάλο ποσοστό συμφωνίας (50%+)
 - b. Σύνολο διαστολής: πλήρης ομοφωνία (95%+).
2. **Συμφωνία (agreement):**
 - a. Σύνολο συστολής: σημαντικό ποσοστό συμφωνίας (35%+)
 - b. Σύνολο διαστολής: μεγάλο ποσοστό συμφωνίας (90%+)
3. **Πλειονότητα (plurality):**
 - a. Σύνολο συστολής: ικανοποιητικό ποσοστό συμφωνίας (25%+)
 - b. Σύνολο διαστολής: μεγάλο ποσοστό συμφωνίας (80%+)
4. **Συμβιβασμός (compromise):**
 - a. Σύνολο συστολής: Τουλάχιστον ποσοστό συμφωνίας (20%)
 - b. Σύνολο διαστολής: Τουλάχιστον ποσοστό συμφωνίας (70%)
5. **Διαφωνία (disagreement):**
 - a. Σύνολο συστολής: κάτω του ορίου (20%).
 - b. Σύνολο διαστολής: κάτω του ορίου (70%).



Εικόνα 4-6: Παράδειγμα τελικής κατάταξης προτεινόμενων εναλλακτικών συμφωνίας.

Τέλος, τα αποτελέσματα μπορούν να επαληθευθούν δοκιμάζοντας διαφορετικές εισόδους στην παραπάνω μεθοδολογία. Πιο συγκεκριμένα, μπορεί γίνει εκτέλεση του αλγορίθμου NAI με δεδομένα εισόδου τα αποτελέσματα της TOPSIS για κάθε αποφασίζοντα. Ακόμη η ομαδική βαθμολογία κατάταξη των εναλλακτικών μπορεί να προκύψει ως αυτή του αποφασίζοντα που έχει τη μικρότερη ανομοιογένεια με τους υπόλοιπους. Αυτή υπολογίζεται ως το μικρότερο κόστος αντικατάστασης του κέντρου συστάδας, όπως συμβαίνει στον αλγόριθμο K-medoids, για την εύρεση του συνολικού κεντροειδούς των δεδομένων.

4.3.6. Συσταδοποίηση (*k-medoids*)

4.3.6.1. Γενική μεθοδολογία

Η εφαρμογή του αλγορίθμου συσταδοποίησης προτείνεται να γίνει μετά τη σύνθεση της προτίμησης όλων των αποφασίζοντων. Παρόλα αυτά είναι μία διαδικασία που μπορεί να εκτελεστεί αμέσως μετά τον αλγόριθμο ανάλυσης της προτίμησης για τη δημιουργία των ομάδων / συστάδων. Τα δεδομένα εισόδου είναι ένα σύνολο διανυσμάτων, τα οποία αντιστοιχούν στους αποφασίζοντες. Το περιεχόμενο τους μπορεί να εκφράζει οποιοδήποτε μέτρο από την ανάλυση των προτιμήσεων ανά κριτήριο ή τη χρησιμότητα των εναλλακτικών. Αυτά τα διανύσματα θεωρούνται από τον αλγόριθμο συσταδοποίησης ως σημεία σε έναν πολυδιάστατο χώρο με ορισμένη συνάρτηση μέτρησης των μεταξύ τους αποστάσεων. Ακόμη, εάν αντιστοιχούν πολλαπλά διανύσματα ανά αποφασίζοντα, όπως π.χ. από τα δεδομένα της μεταβελτιστοποίησης, κάθε ένα διάνυσμα θεωρείται ανεξάρτητο. Σε αυτήν την περίπτωση, προκύπτουν ομάδες με ποσοστό συμμετοχής από κάθε αποφασίζοντα, καθώς υπάρχει η πιθανότητα διανύσματα που αντιστοιχούν στον ίδιο αποφασίζοντα να ταξινομηθούν σε διαφορετικές συστάδες. Ο βέλτιστος αριθμός συστάδων

καθορίζεται με τη χρήση πολλαπλών μέτρων αξιολόγησης της συσταδοποίησης, δοκιμάζοντας πολλαπλές επαναλήψεις με διαφορετικό αριθμό συστάδων.

4.3.6.2. Προτεινόμενη μεθοδολογία

Ο αλγόριθμος συσταδοποίησης που επιλέχθηκε είναι ο k-medoids, καθώς δίνει τη δυνατότητα ορισμού διαφορετικών συναρτήσεων απόστασης. Ακόμη εκτελείται και ο k-means για αντιπαράθεση των αποτελεσμάτων σε σχέση με τη χρήση της ευκλείδειας απόστασης. Ενώ το προεπιλεγμένο μέτρο απόστασης είναι η ευκλείδεια απόσταση, προτείνεται η δοκιμή και διαφορετικών μέτρων απόστασης. Για δύο διανύσματα “v” και “u”, τα μέτρα απόστασης είναι:

- p-νόρμα διαφοράς διανυσμάτων (Minkowski distance),
 - για p=2 είναι η ευκλείδεια απόσταση
 - για p=1 είναι η απόσταση Manhattan ή αλλιώς cityblock

$$\|u_i - v_i\|_p = \left(\sum_i |u_i - v_i|^p \right)^{\frac{1}{p}} \quad (4-1)$$

- p-νόρμα διαφοράς διανυσμάτων υψωμένη στην “p” δύναμη (χωρίς τη ρίζα), για p=2 είναι το τετράγωνο της ευκλείδειας απόστασης:

$$\|u_i - v_i\| = \sum_i |u_i - v_i|^p \quad (4-2)$$

- Bray-Curtis:

$$\frac{\sum_i |u_i - v_i|}{\sum_i |u_i + v_i|} \quad (4-3)$$

- Canberra:

$$\sum_i \frac{|u_i - v_i|}{|u_i| + |v_i|} \quad (4-4)$$

- Chebyshev (νόρμα απείρου):

$$\max_i |u_i - v_i| \quad (4-5)$$

- Correlation:

$$1 - \frac{u' \cdot v'}{\|u'\|_2 \|v'\|_2} \quad (4-6)$$

$$u' = u - \bar{u}$$

$$v' = v - \bar{v}$$

- Cosine

$$1 - \frac{u \cdot v}{\|u'\| \|v'\|} \quad (4-7)$$

- Jensen-Shannon distance (square root of Jensen-Shannon divergence):

$$\sqrt{\frac{D(u \| m) + D(v \| m)}{2}}$$

$$D(p \| q) = \sum_i p_i \log \left(\frac{q_i}{p_i} \right) \quad (4-8)$$

$$m = \frac{u + v}{2}$$

- Εάν τα δεδομένα εισόδου δεν είναι διανύσματα, αλλά πίνακες χρησιμότητας ανά εναλλακτική-κριτήριο:
 - p-νόρμα γραμμών (για κάθε κριτήριο "j") και έπειτα p-νόρμα στηλών (για κάθε εναλλακτική i) της διαφοράς των πινάκων.

Πριν την εκτέλεση των αλγορίθμων συσταδοποίησης, προτείνεται ο υπολογισμός του πίνακα όλων των αποστάσεων μεταξύ των διανυσμάτων εισόδου. Αυτός ο πίνακας είναι συμμετρικός και έχει μέγεθος πλευράς το πλήθος των διανυσμάτων. Αντί των διανυσμάτων μπορεί να γίνει εισαγωγή αυτού του πίνακα ως είσοδος της συσταδοποίησης. Διαφορετικά, μέρος αυτού του πίνακα υπολογίζεται εσωτερικά από τον k-medoids.

Σαν προεπιλεγμένη είσοδο, οι k-medoids και k-means δέχονται τη χρησιμότητα των εναλλακτικών από τα δεδομένα μεταβελτιστοποίησης κάθε αποφασίζοντα $u_k^\mu(g(\alpha)) \forall \alpha \in A, k \in D, \mu \in M$.

Τα αποτελέσματα της συσταδοποίησης είναι:

- Τα κέντρα των ομάδων, που μπορεί να είναι είτε φανταστικά σημεία είτε ένα μέλος της ομάδας
- Το διάνυσμα ετικετών (labels), που δείχνει κάθε διάνυσμα εισόδου σε ποια ομάδα ανήκει.
- Το διάνυσμα απόστασης κάθε σημείου από το κέντρο της συστάδας
- Το διάνυσμα κόστους κάθε σημείου εάν αντικαταστήσει το κέντρο της ομάδας

Ο k-medoids διαχειρίζεται κάθε διάνυσμα της μεταβελτιστοποίησης ως ξεχωριστό σημείο στον πολυδιάστατο χώρο, με αποτέλεσμα κάποιοι αποφασίζοντες να ανήκουν

σε παραπάνω από μία συστάδες. Το ποσοστό συμμετοχής ενός αποφασίζοντα σε μία ομάδα/συστάδα είναι το ποσοστό των σημείων της μεταβελτιστοποίησης του αποφασίζοντα που ταξινομήθηκαν σε αυτή.

Για τον καθορισμό του βέλτιστου αριθμού συστάδων σύμφωνα με την παράγραφο 3.7.5, ορίζεται παρακάτω η προτεινόμενη μεθοδολογία.

4.3.6.3. Επιλογή βέλτιστου αριθμού k-συστάδων

Ο αλγόριθμος συσταδοποίησης εκτελείται από προεπιλογή για αριθμό συστάδων από δύο (2) μέχρι και είκοσι (20). Ο προεπιλεγμένος βέλτιστος αριθμός συστάδων προκύπτει από τέσσερις δείκτες της συσταδοποίησης, τον δείκτη Inertia, distortion, Silhouette και Calinski-Harabasz index. Όπως περιγράφεται στην παράγραφο 3.7.5, ο αριθμός των συστάδων επιλέγεται με τα παρακάτω βήματα:

1. Για κάθε δείκτη δημιουργούνται πολλαπλές συναρτήσεις παρεμβολής και με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων επιλέγεται αυτή με τη μικρότερη συνολική απόσταση.
2. Οι δείκτες που έχουν φθίνουσα καλύτερη τιμή αναστρέφονται (Inertia, Distortion).
3. Γίνεται κανονικοποίηση των αποστάσεων από τη συνάρτηση παρεμβολής με την τυπική κατανομή.
4. Με τη μέθοδο του σταθμισμένου μέσου προκύπτει η συνολική βαθμολογία της συσταδοποίησης για κάθε αριθμό συστάδων, και επιλέγεται αυτή με τη μεγαλύτερη.

4.3.7. Εκλογή εκπροσώπων ομάδων

4.3.7.1. Γενική μεθοδολογία

Για κάθε ομάδα προτείνονται τρία κριτήρια εκπροσώπησης, με τα οποία επιλέγονται μεταβλητός αριθμός εκπροσώπων για κάθε ομάδα:

- Το κριτήριο μεγαλύτερου ποσοστού συμμετοχής της ομάδας σε περίπτωση που υπάρχουν δεδομένα μεταβελτιστοποίησης στις ομάδες
- Το κριτήριο απόστασης από την ομαδική χρησιμότητας εναλλακτικών
- Το κριτήριο κόστους αντικατάστασης του κέντρου συσταδοποίησης.

Έπειτα το σύνολο των εκπροσώπων μπορεί να προκύψει με τρεις (3) διαφορετικούς τρόπους:

- Σχηματίζεται μία συνολική βαθμολογία για όλους τους αποφασίζοντες ανά ομάδα και επιλέγονται ως εκπρόσωποι όσοι έχουν βαθμολογία μεγαλύτερη από ένα προκαθορισμένο ή ρυθμιζόμενο κατώφλι.
- Επιλέγονται οι πρώτοι “n” εκπρόσωποι όπου το άθροισμα τη βαθμολογίας τους είναι ανάλογο με το μέγεθος της ομάδας τους.
- Επιλέγονται τα πρώτα “n” σε πλήθος σημεία της ομάδας, ανάλογα με το μέγεθός της, που αντιστοιχούν στους “k” εκπροσώπους με τη μεγαλύτερη βαθμολογία.

Όσον αφορά τη βαρύτητα, ισχύει ότι κάθε ομάδα έχει βαρύτητα ίση με το ποσοστό των σημείων που κατατάχθηκαν σε αυτή κατά τη συσταδοποίηση. Επομένως, ανάλογα με τον αριθμό εκπροσώπων που τελικά εκλέγονται ανά ομάδα, αυτή η βαρύτητα μοιράζεται ισάξια σε αυτούς. Επίσης, εάν υπάρχει κάποια εσωτερική βαθμολογία των εκπροσώπων ανά ομάδα μπορεί και αυτή να συμψηφιστεί στη βαρύτητα και έπειτα το συνολικό διάνυσμα βαρύτητας όλων των εκπροσώπων που προκύπτει να κανονικοποιηθεί. Σκοπός είναι το άθροισμα των βαρών όλων των εκπροσώπων να αθροίζει πάντα στη μονάδα.

4.3.7.2. Προτεινόμενη μεθοδολογία

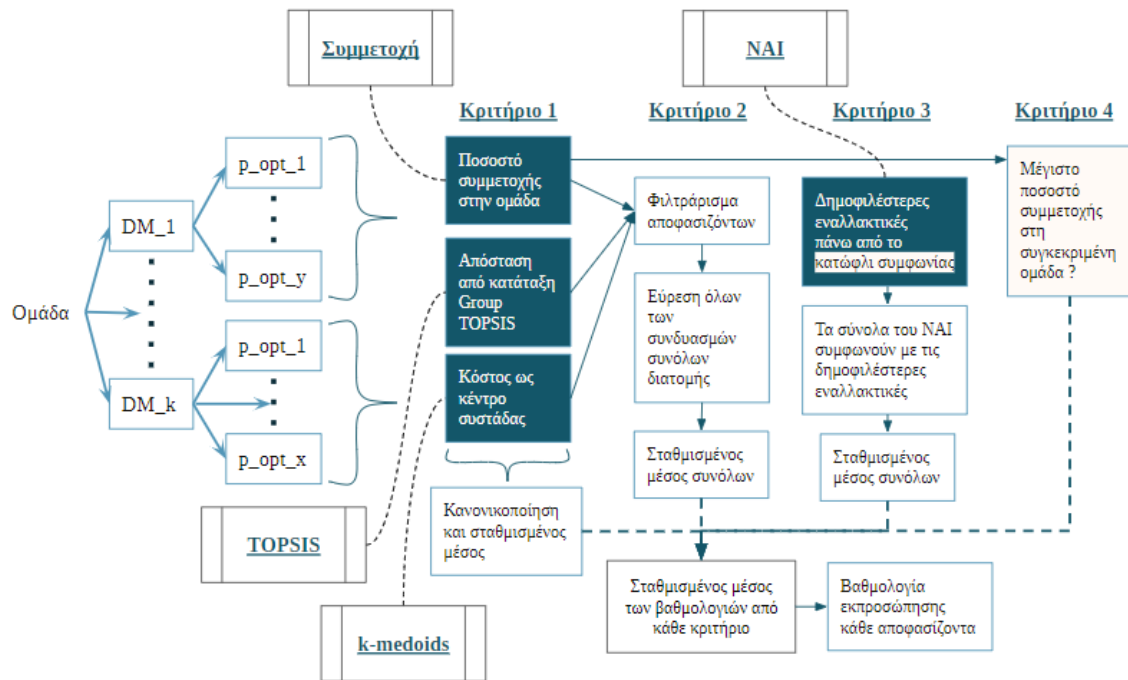
Σε κάθε συστάδα/ομάδα πραγματοποιείται η διαδικασία της διατομής του αλγορίθμου διαπραγμάτευσης (N.A.I.). Υπενθυμίζεται ότι αυτή η διαδικασία κάνει αναζήτηση του ποσοστού συμφωνίας για κάθε εναλλακτική από τα σύνολα διαστολής και συστολής κάθε αποφασίζοντα. Ακόμη σε κάθε ομάδα εκτελείται η Group TOPSIS για τη σύνθεση της ομαδικής βαθμολογίας κατάταξης των εναλλακτικών.

Εάν το ποσοστό συμφωνίας του αλγορίθμου ΝΑΙ που βρέθηκε ξεπερνάει τις προκαθορισμένες τιμές συμφωνίας που ορίζονται στο σύστημα, τότε θεωρείται πως υπάρχει συμφωνία στη συστάδα, και άρα μπορεί να θεωρηθεί ως ομάδα. Σε διαφορετική περίπτωση, οι εκπρόσωποι της συγκεκριμένης ομάδας θα έχουν μικρότερη βαθμολογία εκπροσώπησης, και ως αποτέλεσμα μικρότερη βαρύτητα συγκριτικά με άλλους εκπροσώπους, όπως θα φανεί στη συνέχεια (κατηγορία βαθμολογίας iii).

Στη διαδικασία εκλογής εκπροσώπων χρησιμοποιείται μία μέθοδος βαθμολογίας η οποία ενσωματώνει δείκτες αλλά και κριτήρια δύο τιμών, δηλαδή κριτήρια που είτε πληρούνται είτε όχι. Για κάθε κατηγορία βαθμολογίας αντιστοιχούν βάρη, και κάθε κατηγορία χωρίζεται σε υποκατηγορίες που και αυτές έχουν αντίστοιχα βάρη. Όλα τα βάρη είναι διαμορφωμένα με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε η μέγιστη βαθμολογία ενός αποφασίζοντα ως εκπρόσωπος να είναι 1 και η ελάχιστη πολύ κοντά στο 0. Η διαδικασία σύνθεσης της βαθμολογίας φαίνεται στην **Εικόνα 4-7**. Οι εκπρόσωποι όλων των ομάδων καθορίζονται από ένα ενιαίο κατώφλι ελάχιστης βαθμολογίας εκπροσώπου, οι οποία έχει ως προεπιλογή την τιμή 0,7. Οι κατηγορίες/κριτήρια βαθμολογίας είναι:

- i) Δείκτες βαθμολογίας λόγου αναλογίας:
 - 1) Απόσταση της βαθμολογίας της TOPSIS κάθε αποφασίζοντα από τη συνολική βαθμολογία της Group TOPSIS
 - 2) Ο μέσος όρος του κόστους αντικατάστασης του κέντρου της συστάδας με τα διανύσματα συσταδοποίησης κάθε αποφασίζοντα.
 - 3) Το ποσοστό συμμετοχής κάθε αποφασίζοντα στην ομάδα
- ii) Τομή των συνόλων φιλτραρισμένων δεικτών. Το φιλτράρισμα γίνεται με την κανονική κατανομή, για τις μεγαλύτερες τιμές του δείκτη 1 και 2 και τις μικρότερες του δείκτη 3. Τα σύνολα είναι η τομή των αποφασιζόντων των φιλτραρισμένων δεικτών 1, 1-2, και 1-2-3.

- iii) Σύνολα συμφωνίας αποφασιζόντων, για τις εναλλακτικές συμφωνίας της ομάδας, από τον αλγόριθμο NAI. Τα σύνολα είναι όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί των τριών παρακάτω χαρακτηριστικών:
- 1) Είναι σύνολο συστολή ή διαστολής
 - 2) Είναι τομή ή ένωση των συνόλων της μεταβελτιστοποίησης (weak or strong)
 - 3) Είναι τομή ή ένωση του συνόλου των αποφασιζόντων από τις εναλλακτικές συμφωνίας της ομάδας
- iv) Κριτήριο δύο τιμών, εάν ο αποφασίζοντας έχει το μεγαλύτερο ποσοστό συμμετοχής του στη συγκεκριμένη ομάδα



Εικόνα 4-7: Διαδικασία εκλογής εκπροσώπων από τη σύνθεση των δεδομένων της μεταβελτιστοποίησης για κάθε αποφασίζοντα που ανήκει στην ομάδα.

Μετά την εκλογή των εκπροσώπων τους αντιστοιχίζεται μία βαρύτητα. Ο τρόπος υπολογισμού της έχει ως εξής:

1. Υπολογισμός της βαρύτητας κάθε ομάδας ως το ποσοστό των διανυσμάτων που κατατάχθηκαν σε αυτή κατά τη συσταδοποίηση.
2. Υπολογισμός ισότιμης βαρύτητας εκπροσώπων, διαιρώντας τη βαρύτητα της ομάδας με το πλήθος των εκπροσώπων της.
3. Πολλαπλασιασμός της ισότιμης βαρύτητας εκπροσώπου ομάδας με τη βαθμολογία εκπροσώπησης κάθε εκπροσώπου της κάθε ομάδας.
4. Κανονικοποίηση του διανύσματος βαρύτητας όλων των εκπροσώπων στη μονάδα

Οι εκπρόσωποι πλέον αποτελούν μία νέα ομάδα, όπου εφαρμόζεται ο άμεσος έλεγχος συμφωνίας ομάδας (Α.Ε.Σ.), συνυπολογίζοντας την βαρύτητα των εκπροσώπων, όπως εφαρμόζεται και στις συστάδες/ομάδες του προέκυψαν από τον k-medoids.

4.4. Ανάδραση αποφασίζοντων

Μετά το τέλος κάθε κύκλου λειτουργίας του πυρήνα συστήματος υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ των αποφασίζοντων και των αποτελεσμάτων που προβάλλει το σύστημα. Οι αποφασίζοντες έχουν τη δυνατότητα να συζητήσουν, είτε να σχολιάσουν τα αποτελέσματα του, είτε να πειραματιστούν και να προτείνουν νέες ρυθμίσεις για τους αλγορίθμους. Αυτού του είδους η ανάδραση στοχεύει άμεσα στη βαθύτερη κατανόηση των προτιμήσεων, σε ατομικό επίπεδο αλλά και συλλογικό, με απώτερο σκοπό τη σύγκλιση των απόψεων σε μία κοινώς αποδεκτή εναλλακτική λύση.

Η αξιολόγηση των εναλλακτικών, και η πρόταση της πιο κοινώς αποδεκτής εναλλακτικής γίνεται από το σύστημα, όμως η λήψη της τελικής απόφασης δε λαμβάνεται αυτοματοποιημένα από το σύστημα. Αυτή η απόφαση λαμβάνει χώρα είτε δια ζώσης, είτε απομακρυσμένα με κάποιο σύστημα τηλεδιάσκεψης. Η τελική απόφαση πάντα πρέπει να επαφίεται στην ανθρώπινη κρίση.

Εάν οι αποφασίζοντες ζητήσουν υποστήριξη από τον συντονιστή, τότε η παρέμβαση του περιορίζεται μόνο σε επεξηγήσεις ή προτάσεις προς αυτούς. Οι προτάσεις αυτές μπορούν να αφορούν μόνο τρεις (3) τομείς:

- Να προτείνει αλλαγές ρυθμίσεων μόνο εάν αντιληφθεί πως επιδρούν ισχυρά υπέρ ή κατά μερίδας αποφασίζοντων.
- Να προτείνει πόσες φορές χρειάζεται να πραγματοποιηθεί ανάδραση σύμφωνα με την εμπειρία τους, κατά τη διάρκεια όλης της διαδικασίας, εάν δεν έχει προαποφασιστεί.
- Να προτείνει/διατυπώνει ερωτήσεις κατά τη διαδικασία της ανάδρασης.

Οι αποφασίζοντες είναι υπεύθυνοι για την τελική λήψη της απόφασης και τον αριθμό των αναδράσεων που θα χρειαστούν. Ακόμη είναι υπεύθυνοι για οποιαδήποτε αλλαγή ρυθμίσεων πραγματοποιηθεί στο σύστημα που διαφέρει από τις προεπιλεγμένες, ιδιαίτερα όσον αφορά την επιλογή αριθμού ομάδων ή την υιοθέτηση προτάσεων του συντονιστή. Σκοπός τους συστήματος είναι να παρέχει διαφάνεια για τον τρόπο λήψης της τελικής απόφασης, και από πλευράς των προτιμήσεων αλλά και από πλευράς ρυθμίσεων του συστήματος.

4.4.1. Επιλογές συνόλων αποφασίζοντων ανάδρασης

Κατά την επανεκτέλεση του πυρήνα συστήματος μέσω της διαδικασίας της ανάδρασης, ακολουθείται μία από τις παρακάτω τρεις επιλογές, που αφορά το σύνολο των αποφασίζοντων που θα συμμετέχουν σε αυτήν:

- Διατήρηση του αριθμού αποφασίζοντων με ίσα βάρη και επανεκτέλεση της συσταδοποίησης.
- Εκτέλεση με το υποσύνολο των φιλτραρισμένων αποφασίζοντων και ίσα βάρη για τον καθένα. Ακόμη γίνεται επανεκτέλεση της συσταδοποίησης.
- Εκτέλεση με τους εκπροσώπους των ομάδων και βάρη ανάλογα με τη βαθμολογία τους ως εκπρόσωποι των ομάδων από τη συσταδοποίηση. Δε

γίνεται εκτέλεση της συσταδοποίησης, οι ομάδες παραμένουν ως έχουν και δεν επιτρέπεται να γίνει περαιτέρω φιλτράρισμα των αποφασιζόντων.

Η απόφαση του συνόλου των αποφασιζόντων που θα παραμείνουν στον επόμενο κύκλο ανάδρασης του συστήματος, είναι προτιμότερο να έχει παρθεί πριν την εκτέλεση του συστήματος, για να μην υπάρξει προκατάληψη υπέρ ή κατά αποφασιζόντων που υποστηρίζουν μία εναλλακτική. Σε διαφορετική περίπτωση χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή από τους αποφασίζοντες στις ρυθμίσεις του συστήματος που αφορούν το φιλτράρισμα των αποφασιζόντων, το πλήθος των ομάδων, και το πλήθος των εκπροσώπων. Όσο λιγότεροι οι εκπρόσωποι τόσο μεγαλύτερο το ρίσκο μη εκπροσώπησης μερίδας των αποφασιζόντων. Ακόμη σε περίπτωση που παρατηρηθεί ότι οι εκπρόσωποι αλλάζουν δραστικά τις προτιμήσεις τους, υπάρχει πιθανότητα να μην εκπροσωπούν πλέον την ομάδα τους και να χρειαστεί να γίνει οπισθοδρόμηση στην προηγούμενη εκτέλεση του συστήματος. Για τον λόγο αυτό προτείνεται ο έλεγχος μετατόπισης της προτίμησης από τον δεύτερο κύκλο εκτέλεσης του πυρήνα συστήματος και έπειτα.

Κατά τη διάρκεια της ανάδρασης οι εναπομείναντες αποφασίζοντες καλούνται να επανεξετάσουν τις προτιμήσεις τους. Ακόμη, η επανεξέταση των προτιμήσεων μπορεί να γίνεται διαδοχικά μόνο σε μερίδες αποφασιζόντων, με προτεραιότητα σε όσους φαίνεται από το σύστημα ότι:

- Έχουν τη μεγαλύτερη απόκλιση στις προτιμήσεις τους, με βάση την απόστασή τους από τα κέντρα των ομάδων και τις ομαδικές προτιμήσεις
- Έχουν τις πιο ακραίες τιμές σε δείκτες του συστήματος.

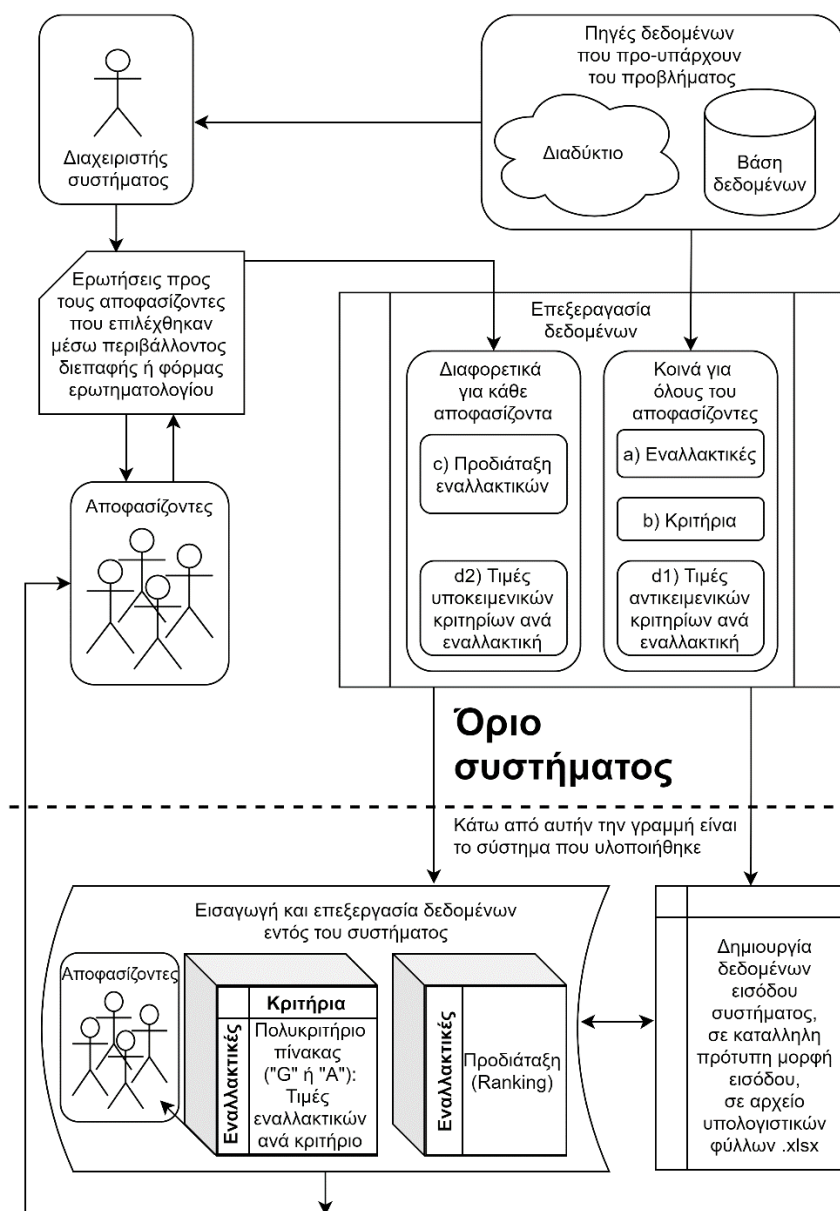
Μία ακόμη πιθανή προσέγγιση στην εξαγωγή περαιτέρω πληροφορίας για τις προτιμήσεις όλων των αποφασιζόντων είναι η δημιουργία ερωτήσεων κατάταξης φανταστικών εναλλακτικών από τον συντονιστή (Matsatsinis κ.ά., 2018). Οι ερωτήσεις αυτές αποσκοπούν στη δημιουργία ενός πιο ακριβούς μοντέλου της προτίμησής τους με τον αλγόριθμο UTASTAR. Εάν αποφασιστεί μία τέτοια προσέγγιση από τους αποφασίζοντες, θα πρέπει όλοι να απαντήσουν τις ίδιες ερωτήσεις. Σε κάθε περίπτωση τα δεδομένα εισόδου για την επανεκτέλεση του συστήματος τροποποιούνται, και οι αλλαγές αυτές αποθηκεύονται.

Το πλήθος των κύκλων ανάδρασης και επανεκτέλεσης του πυρήνα, εάν δεν έχουν προαποφασιστεί, μπορούν να επαναληφθούν για όσες φορές χρειαστεί μέχρι ένα από τα δύο σενάρια να ισχύουν:

- Να αποφασιστεί από τους αποφασίζοντες πως η εναλλακτική που επιλέχθηκε είναι ικανοποιητική.
- Το πλήθος των αποφασιζόντων έχει μειωθεί κάτω ενός ελάχιστου ορίου που έχει συμφωνηθεί, και οι προτιμήσεις τους δεν αλλάζουν. Οι προτιμήσεις μπορεί να μην αλλάζουν είτε επειδή οι αποφασίζοντες έχουν καταλήξει στις τελικές τους προτιμήσεις και δεν τις επανεξετάζουν, είτε επειδή οι ερωτήσεις της ανάδρασης δεν μπορούν να εξάγουν περαιτέρω πληροφορία για τις προτιμήσεις. Αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχει περιθώριο βελτίωσης του μοντέλου λήψης αποφάσεων της UTASTAR κάθε αποφασίζοντα. Αυτό γίνεται αντιληπτό συγκρίνοντας τα αποτελέσματα κάθε κύκλου εκτέλεσης του πυρήνα, τα οποία είναι όλα αποθηκευμένα και διαθέσιμα εντός του συστήματος.

Κεφάλαιο 5 ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Όπως αναλύθηκε στο κεφάλαιο της μεθοδολογίας, αυτή χωρίζεται σε 3 στάδια, τον καθορισμό του προβλήματος, την εκτέλεση του πυρήνα συστήματος, και την ανάδραση των αποφασίζοντων. Από αυτά τα τρία στάδια, αυτό που αναπτύχθηκε στην παρούσα διπλωματική είναι ο πυρήνας του συστήματος, συνοδευόμενος από ένα διαδικτυακό περιβάλλον διεπαφής. Το περιβάλλον διεπαφής υποστηρίζει την επεξεργασία των ρυθμίσεων κάθε αλγορίθμου, την προβολή των αποτελεσμάτων κάθε αλγορίθμου με πολλαπλά γραφήματα, και προσφέρει τη δυνατότητα βασικής ανάδρασης για την επανεκτέλεση του πυρήνα. Το διάγραμμα ροής του συστήματος, το οποίο εφαρμόζει την προτεινόμενη μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, φαίνεται στις εικόνες (Εικόνα 5-1, Εικόνα 4-4).



Εικόνα 5-1: Διάγραμμα ροής μεθοδολογίας καθορισμού του προβλήματος. Με τη διακεκομμένη γραμμή φαίνεται το όριο του συστήματος που αναπτύχθηκε.

5.1. Αρχεία του συστήματος

Το σύστημα αναπτύχθηκε εξ ολοκλήρου με τη γλώσσα προγραμματισμού python 3 (version 3.11) και τις παρακάτω κύριες βιβλιοθήκες:

- `numpy`: Μαθηματικοί υπολογισμοί και δομές δεδομένων πινάκων και διανυσμάτων
- `pandas`: Δομές δεδομένων πινάκων, διανυσμάτων και δεικτών με πολλές δυνατότητες επεξεργασίας των δεδομένων
- `SciPy`: Μαθηματικοί υπολογισμοί
- `scikit-learn`: Μηχανική μάθηση
- `streamlit`: Δημιουργία διαδικτυακών εφαρμογών
- `plotly`: Δημιουργία διαδραστικών γραφημάτων
- `openpyxl`: Ανάγνωση, δημιουργία και επεξεργασία αρχείων excel
- `kmedoids`: Ο αλγόριθμος k-medoids (Schubert & Lenssen, 2022)

Για το σύστημα που αναπτύχθηκε γράφτηκαν περισσότερες από δέκα χιλιάδες γραμμές κώδικα μεταξύ πολλαπλών αρχείων. Από αυτά τα αρχεία, τα έξι μπορούν να εκτελεστούν και ξεχωριστά καθώς αποτελούν βασικά αυτοτελή κομμάτια της προτεινόμενης μεθοδολογίας:

- `run_GDS_System.py`: Το αρχείο που περιέχει συναρτήσεις σύνδεσης και εκτέλεσης όλων των αλγορίθμων του συστήματος, καθώς και συναρτήσεις ρύθμισης αλλαγών.
- `UTASTAR_method.py`: Το αρχείο που περιέχει τον αλγόριθμο UTASTAR
- `UTASTAR_for_Group_of_DMs.py`: Το αρχείο που περιέχει τις λειτουργίες φόρτωσης των δεδομένων όλων των αποφασιζόντων από ειδικά διαμορφωμένο αρχείο excel, την εκτέλεση του αλγορίθμου UTASTAR για κάθε αποφασίζοντα, καθώς και την εξαγωγή και δημιουργία ομαδικών συγκεντρωτικών δεδομένων.
- `K_medoids_PAM.py`: Περιέχει δύο αλγόριθμους συσταδοποίησης k-medoids, ο ένας έχει αναπτυχθεί, ενώ ο άλλος είναι ο αλγόριθμος FasterPAM (προεπιλογή συστήματος) που ανήκει στη βιβλιοθήκη της python «kmedoids». Ακόμη περιέχει τον αλγόριθμο k-means της βιβλιοθήκης scikit-learn, όλους τους δείκτες αξιολόγησης της συσταδοποίησης και τη διαδικασία της μεθοδολογίας για την επιλογή του βέλτιστου αριθμού συστάδων.
- `Group_TOPSIS.py`: Περιέχει τον αλγόριθμο TOPSIS και Group_TOPSIS
- `NAI_negotiation.py`: Περιέχει τον αλγόριθμο Negotiable Alternatives Identifier

Για τη λειτουργία όλων των αρχείων του συστήματος είναι απαραίτητα τα 2 παρακάτω αρχεία:

- `Global_system_functions.py`: το γενικό αρχείο συναρτήσεων κάθε είδους.
- `Read_Excel.py`: συναρτήσεις για τη διευκόλυνση εξαγωγής δεδομένων από αρχεία υπολογιστικών φύλλων (.xlsx κ.α.)

Για τη λειτουργία των αρχείων που περιέχουν τη μέθοδο UTASTAR είναι απαραίτητο το αρχείο `ASI_Evaluation.py`, που υπολογίζει των δείκτη ASI για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της UTASTAR.

Για τη λειτουργία του συστήματος είναι απαραίτητο το αρχείο `DM_groups.py` που περιέχει τις λειτουργίες διαχωρισμού των δεδομένων και των αντικειμένων σε ομάδες σύμφωνα με τις ταμπέλες ομάδας σημείων. Ακόμη περιέχει συναρτήσεις αξιολόγησης της συνοχής των ομάδων και την εκλογή εκπροσώπων και βαρών.

Το γραφικό περιβάλλον αναπτύχθηκε αποκλειστικά με τη βιβλιοθήκη Streamlit. Για την εκτέλεση του διαδικτυακού γραφικού περιβάλλοντος τοπικά, χρειάζεται μόνο η εκτέλεση εντολής τερματικού, που για διευκόλυνση αποθηκεύεται στο αρχείο `streamlit_run_powershell_command.ps1`. Για τη δημιουργία του γραφικού περιβάλλοντος είναι απαραίτητα όλα τα αρχεία εντός του φακέλου "pages". Τα αρχεία των ανεξάρτητων εφαρμογών για την εκτέλεση ενός αλγορίθμου ή του συστήματος, είναι τα παρακάτω:

- `_1_Group_DSS_app.py`
- `_2_UTASTAR_app.py`
- `_3_UTASTAR_Group_app.py`
- `_4_PAM_K_Medoids_app.py`
- `_5_Group_TOPSIS_app.py`
- `_6_Negotiable_Alt_Identifier_app.py`

Ακόμη για τη λειτουργία του γραφικού περιβάλλοντος είναι απαραίτητα τα αρχεία:

- `Home_Page.py`: Περιέχει την πρώτη σελίδα καλωσορίσματος στο γραφικό περιβάλλον.
- `Global_streamlit_functions.py`: Περιέχει γενικές συναρτήσεις λειτουργιών σχετικές με τη βιβλιοθήκη Streamlit.

5.1.1. Επαλήθευση λειτουργίας αλγορίθμων

Η δοκιμή της λειτουργίας των αρχείων του συστήματος και των αλγορίθμων του ξεχωριστά, έγιναν μέσω σετ δεδομένων που προϋπήρχαν της δημιουργίας του συστήματος, ή με παραγωγή τυχαίων δεδομένων. Τα σετ δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για τη δοκιμή των αρχείων είναι:

5.1.1.1. *OliveOil.xlsx*

Περιέχει τα δεδομένα ενός πολυκριτήριου ομαδικού προβλήματος μεγάλης κλίμακας όπως ορίστηκε στην παράγραφο 0, με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Αποφασίζοντες (204):
 - Διανύσματα κατάταξης εναλλακτικών
 - Βαθμολογίες υποκειμενικών κριτηρίων
- Εναλλακτικές (6):
 - { CARAPELLI, LERIDA, KOLYMVARI, HEDIARD, JARRE d'OR, PUGET }

- Υποκειμενικά κριτήρια (6):
 - { Influence, Colour, Odour, Taste, Packaging }
- Αντικειμενικά κριτήρια: {Price}

5.1.1.2. *Mobile_137.xlsx*

Περιέχει τα δεδομένα ενός πολυκριτηρίου ομαδικού προβλήματος μεγάλης κλίμακας όπως ορίστηκε στην παράγραφο 0, με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Αποφασίζοντες (137):
 - διανύσματα κατάταξης εναλλακτικών
 - Βαθμολογίες υποκειμενικών κριτηρίων
- Εναλλακτικές (6):
 - { Apple_iPhone_12_Pro, Samsung_Galaxy_A71, OnePlus_Nord, Samsung_Galaxy_A51, Xiaomi_Poco_X3, Xiaomi_Redmi_Note_9, Apple_iPhone_12_Mini, Samsung_Galaxy_S20_Plus }
- Υποκειμενικά κριτήρια (6):
 - { RAM, ROM, Screen, Camera, Battery, Operating_System, Name, Emfanisi, Poiotita, Price }

5.1.1.3. *Group TOPSIS.xlsx*

Περιέχει τα δεδομένα του πολυκριτηρίου ομαδικού προβλήματος που χρησιμοποιούνται στη δημοσίευση της μεθόδου Group TOPSIS (Shih κ.ά., 2007). Το πρόβλημα αυτό είχε ως προβληματική την κατάταξη δεκαεπτά (17) υποψηφίων.

- Αποφασίζοντες (4):
 - Διάνυσμα βαρύτητας κριτηρίων
 - Βαθμολογίες υποκειμενικών κριτηρίων
- Εναλλακτικές (17):
 - Ονόματα υποψηφίων
- Υποκειμενικά κριτήρια (6):
 - { Panel interview, 1-on-1 interview }
- Αντικειμενικά κριτήρια:
 - { Language test, Professional test, Safety rule test, Professional skills, Computer skills }

5.1.1.4. *Παραγωγή τυχαίων δεδομένων συσταδοποίησης*

Τα τυχαία δεδομένα παράχθηκαν μέσω της βιβλιοθήκης scikit-learn που περιέχει τη συνάρτηση “sklearn.datasets.make_blobs” (*Make_blobs*, 2024). Αυτή η συνάρτηση παράγει “k” συστάδες τυχαίων δεδομένων γύρω από “k” τυχαία κέντρα σε πολυδιάστατο χώρο “n” διαστάσεων (features). Αυτό που υλοποιήθηκε είναι μία συνάρτηση που καλεί τη συνάρτηση “make_blobs” τέσσερις φορές για την αύξηση της “τυχειότητας”. Κάθε κλήση της συνάρτησης γίνεται με διαφορετικούς παραμέτρους που επιλέχθηκαν πειραματικά. Τα δεδομένα που παράγονται έχουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Πλήθος διανυσμάτων για συσταδοποίηση: 1500

- Πλήθος των τιμών (χαρακτηριστικά/features) κάθε διανύσματος: 5
- Πλήθος τυχαίων κέντρων συστάδων: 29

Παρακάτω παρουσιάζεται συνοπτικά η διαδικασία επαλήθευση λειτουργίας των βασικών αλγορίθμων:

- UTASTAR (UTASTAR_method.py, _3_UTASTAR_Group_app.py): Επαληθεύτηκε από τα δεδομένα του βιβλίου του Ματσατσίνη (Ματσατσίνης, 2023, παρ. 4.5.6.2), από τα δεδομένα του OliveOil.xlsx και Mobile_137 και τη χρήση του δείκτη Kendall's tau, καθώς και αντιπαράθεση των αποτελεσμάτων με το σύστημα MARKEK (MARKEK - Login, 2024).
- Group TOPSIS (Group_TOPSIS.py): Επαληθεύτηκε εκτελώντας τον αλγόριθμο με τα δεδομένα του αρχείου Group TOPSIS.xlsx και σύγκριση των αποτελεσμάτων της δημοσίευσης (Shih κ.ά., 2007).
- N.A.I (NAI_negotiation.py): Επαλήθευση μέσω του παραδείγματος του βιβλίου του Ματσατσίνη (2023, παρ. 5.4)
- K-medoids (K_medoids_PAM.py): Επαλήθευση ποιότητας συσταδοποίησης συγκρίνοντας τους δείκτες συσταδοποίησης, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του αλγορίθμου k-medoids που αναπτύχθηκε με αυτόν της βιβλιοθήκης «kmedoids». Τα δεδομένα εισόδου είναι διαφορετικά για κάθε δοκιμή και η διαδικασία παραγωγής τους περιγράφηκε παραπάνω. Ο αλγόριθμος k-medoids που αναπτύχθηκε, παρόλο που λειτουργεί, έχει μικρότερη βαθμολογία σε όλους τους δείκτες συσταδοποίησης και χρειάζεται σημαντικά μεγαλύτερο χρόνο εκτέλεσης. Για τον λόγο αυτό το σύστημα χρησιμοποιεί ως προεπιλογή τον αλγόριθμο της βιβλιοθήκης. Το πλεονέκτημα του αλγορίθμου που αναπτύχθηκε είναι οι περισσότερες ρυθμίσεις για την πειραματική αναζήτηση κέντρων συστάδων.

Όλες οι υπόλοιπες διαδικασίες του συστήματος επιβεβαιώθηκαν μέσω δοκιμών κατά την ανάπτυξη του κώδικα του συστήματος. Τα αποτελέσματα προβάλλονταν είτε στην κονσόλα (terminal) του υπολογιστή, είτε μέσω του γραφικού περιβάλλοντος διεπαφής της βιβλιοθήκης streamlit, που ανοίγει τοπικά σε έναν περιηγητή διαδικτύου (browser) του υπολογιστή.

5.1.2. Διαμόρφωση αρχείου .xlsx

Η εισαγωγή των δεδομένων του ομαδικού πολυκριτήριου προβλήματος μεγάλης κλίμακας, που περιέχουν και την αξιολόγηση των εναλλακτικών από τους αποφασίζοντες, εισάγονται μέσω ενός αρχείου υπολογιστικών φύλλων της μορφής “όνομα_αρχείου.xlsx”. Στην παραπάνω παράγραφο παρουσιάστηκαν συνοπτικά δύο τέτοια αρχεία με ονόματα «OliveOil.xlsx» και «Mobile_137.xlsx». Το πρότυπο (template) που είναι απαραίτητο να ακολουθούν τα αρχεία εισόδου στο σύστημα, περιέχει 4 καρτέλες με ακριβώς τα παρακάτω ονόματα και δομή:

- **Options:** Περιέχει επιλογές και πληροφορίες για την εκτέλεση της UTASTAR (Εικόνα 5-2)
- **Criteria:** Περιέχει όλες τις πληροφορίες για τα κριτήρια του προβλήματος (Εικόνα 5-3)

- **AlternativesNames:** Περιέχει τα ονόματα των εναλλακτικών (Εικόνα 5-4)
- **Answers:** Περιέχει αξιολογήσεις των αποφασιζόντων στα υποκειμενικά κριτήρια κάθε εναλλακτικής, καθώς και τις κατατάξεις των εναλλακτικών (Εικόνα 5-5).

	A	B	C	D	E
1	Decision Makers	204			
2	Criteria	6		Post-Optimization 0 for False, 1 for True	
3	Alternatives	6			
4	Epsilon	0,0001			
5	Delta	0,1665			
6	Post-Optimization	1			
7					
8					
<div> Options Criteria AlternativesNames Answers </div>					
Ετοιμο Προσβασιμότητα: Έτοιμο					

Εικόνα 5-2: Η καρτέλα «Options» του πρότυπου υπολογιστικού φύλλου. Παράδειγμα από το αρχείο «OliveOil.xlsx»

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Criteria	Mon/ty	Type	Worst	Best	Divisions					
2	Influence	1	0	1	4	4		Mon/ty: "-1" for Decreasing, "1" for Increasing Type: 0 for Qualitative, 1 for Quantitative			
3	Colour	1	0	1	3	3					
4	Odour	1	0	1	3	3					
5	Taste	1	0	1	3	3					
6	Packaging	1	0	1	4	4					
7	Price	-1	1	65	18	5					
8											
<div> Options Criteria AlternativesNames Answers </div>											

Εικόνα 5-3: Η καρτέλα «Criteria» του πρότυπου υπολογιστικού φύλλου. Παράδειγμα από το αρχείο «OliveOil.xlsx»

	A	B	C	D	E
1	CARAPELLI				
2	LERIDA				
3	KOLYMVARI				
4	HEDIARD				
5	JARRE d'OR				
6	PUGET				
7					
8					
<div> Options Criteria AlternativesNames </div>					

Εικόνα 5-4: Η καρτέλα «AlternativesNames» πρότυπου υπολογιστικού φύλλου. Παράδειγμα από το αρχείο «OliveOil.xlsx». Η σειρά των ονομάτων των εναλλακτικών είναι συνδεδεμένη με τη σειρά των στηλών στην καρτέλα «Answers»

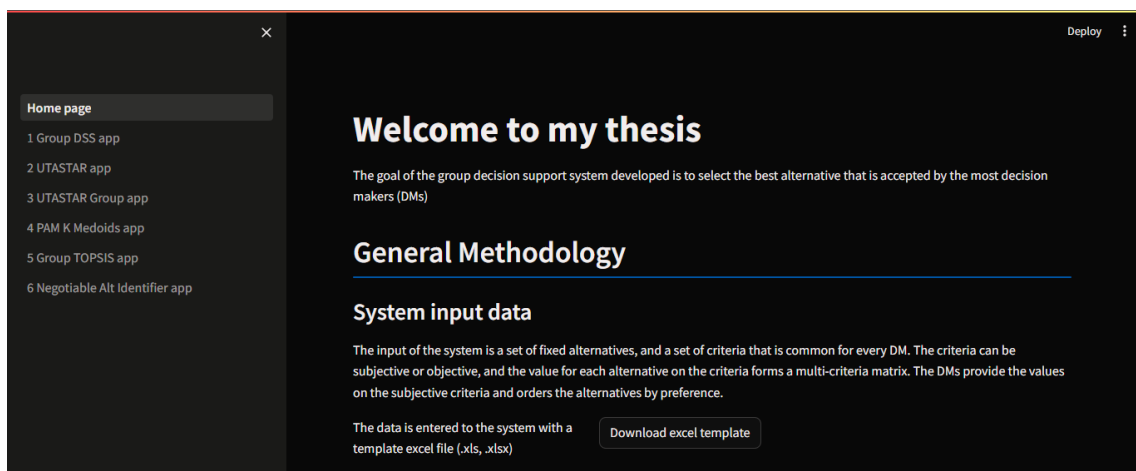
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1	Consumer,	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
2	1	3	2	1	1	3	31	3	2	2	3	1	65	1	2	1	1	3	20	3	2	3	2	2	48	3	2	3	3	2	37	3	1	2	2	3	18	4	5	6	3	2	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
3	2	4	1	1	2	3	31	3	1	3	3	3	65	4	1	1	2	1	20	4	2	3	3	4	48	3	3	2	2	37	3	3	2	3	2	18	4	3	6	2	5	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
4	3	3	2	3	3	4	31	3	1	2	1	1	65	3	2	2	2	2	20	4	3	3	3	3	48	3	2	1	2	37	3	2	2	2	2	18	2	6	4	5	3	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
5	4	3	2	2	1	4	31	3	2	2	2	1	65	3	2	2	2	2	20	3	2	3	3	2	48	3	2	3	3	37	3	2	2	2	3	18	2	6	3	5	4	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
6	5	3	1	2	2	3	31	2	1	2	2	2	65	4	2	1	3	2	20	2	1	1	1	2	48	2	2	2	3	2	37	4	3	3	1	2	18	3	5	2	6	4	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
7	6	3	2	2	3	1	31	1	1	2	2	1	65	2	1	2	2	3	20	4	2	2	2	2	48	3	2	2	3	4	37	4	2	3	3	4	18	3	6	4	5	2	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
8	7	3	1	1	1	2	31	3	2	2	3	4	65	3	1	3	2	1	20	3	1	1	3	3	48	1	3	2	3	3	37	3	3	3	3	3	18	3	5	4	2	6	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
9	8	3	1	1	2	4	31	3	2	2	2	2	65	4	1	1	2	1	20	3	1	2	2	4	48	1	3	2	2	1	37	3	3	3	2	2	18	2	5	6	3	4	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
10	9	1	3	2	2	4	31	3	2	2	2	1	65	3	1	2	2	3	20	2	2	3	3	4	48	3	2	2	1	2	37	3	2	3	2	2	18	2	5	3	4	6	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
11	10	3	2	2	2	3	31	1	2	1	2	1	65	3	2	1	1	4	20	3	2	2	3	3	48	3	2	2	2	2	37	3	2	2	2	2	18	2	6	5	4	3	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
12	11	2	1	1	1	2	31	2	2	2	3	4	65	2	2	1	1	2	20	2	3	3	3	2	48	2	1	1	1	2	37	3	3	3	2	2	18	5	3	4	1	6	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
13	12	2	3	1	2	3	31	2	3	1	1	2	65	2	2	1	3	2	20	4	2	3	3	3	48	3	1	3	2	3	37	3	3	2	2	2	18	4	6	3	1	5	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
14	13	3	2	1	2	3	31	3	2	2	3	2	65	4	2	2	2	2	20	3	2	3	3	4	48	2	2	2	2	3	37	2	2	2	2	2	18	2	3	5	1	4	6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
15	14	3	1	1	1	1	31	3	3	2	3	2	65	4	2	2	1	3	20	4	3	3	3	3	48	2	1	1	1	1	37	3	2	2	2	2	18	6	4	3	1	5	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
16	15	2	1	1	2	2	31	2	2	2	2	2	65	2	2	1	2	3	20	4	2	2	2	2	48	4	2	2	2	2	27	2	2	2	2	2	18	2	6	1	2	4	5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
<		Options				Criteria				Alternative Names								Answers		(+)		:		<																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					

Εικόνα 5-5: Η καρτέλα «Answers πρότυπου υπολογιστικού φύλλου. Παράδειγμα από το αρχείο «OliveOil.xlsx». Σε κάθε γραμμή είναι η αξιολόγηση ενός αποφασίζοντα. Ανάλογα με το πλήθος των κριτηρίων (6), ανά τόσες διπλανές στήλες αντιστοιχούν στην αξιολόγηση μίας εναλλακτικής (B-G, H-M,...,AF-AK). Οι τελευταίες στήλες (γαλάζιες, AL-AQ) είναι η κατάταξη των εναλλακτικών.

5.2. Παρουσίαση του συστήματος μέσω μίας εφαρμογής

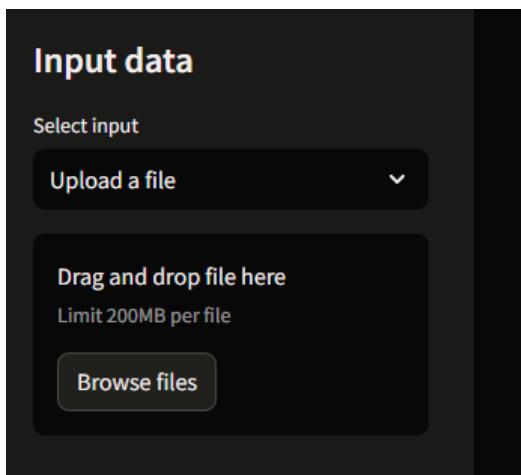
5.2.1. Πλοήγηση και εισαγωγή δεδομένων

Η πρώτη σελίδα του γραφικού περιβάλλοντος που έρχεται σε επαφή ο χρήστης είναι αυτή του καλωσορίσματος, η οποία περιέχει πληροφορίες για τη χρήση του συστήματος, τη μεθοδολογία και τα δεδομένα εισόδου. Στην αριστερή πλευρά του γραφικού περιβάλλοντος υπάρχει πλαϊνή υποκρυπτόμενη μπάρα η οποία χωρίζεται σε δύο μέρη. Το πάνω μέρος είναι σταθερό και προβάλλει τις διαφορετικές ανεξάρτητες εφαρμογές που υπάρχουν εντός του συστήματος, ενώ ακριβώς από κάτω υπάρχουν μενού επιλογών και ρυθμίσεις περιήγησης που αλλάζουν δυναμικά, ανάλογα την επιλεγμένη σελίδα.

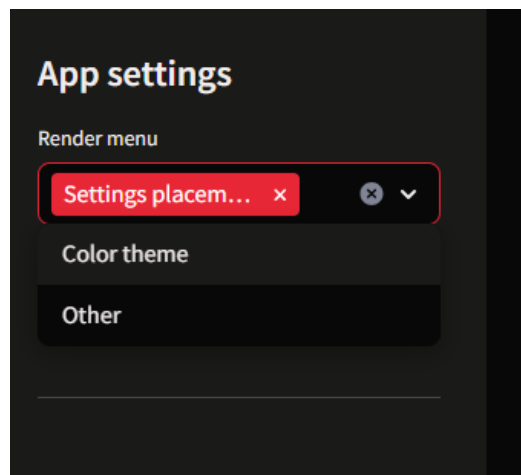


Εικόνα 5-6: Αρχική σελίδα εφαρμογής

Για την εκτέλεση του συστήματος που προτείνεται στη μεθοδολογία, ο χρήστης χρειάζεται να επιλέξει την εφαρμογή με όνομα «Group DSS app». Αμέσως θα εμφανιστούν στην πλαϊνή μπάρα γενικές ρυθμίσεις «App settings» (Εικόνα 5-8) καθώς και το πλαίσιο φόρτωσης αρχείου δεδομένων «Input data» (Εικόνα 5-7).



Εικόνα 5-7: Πλαίσιο εισαγωγής δεδομένων για την εκτέλεση του συστήματος



Εικόνα 5-8: Γενικές ρυθμίσεις εφαρμογής

Με την επιλογή του αρχείου δεδομένων από τον χρήστη, εμφανίζονται τα δεδομένα που εκχωρήθηκαν σε δύο πλαίσια ρυθμίσεων, το πλαίσιο επεξεργασίας των δεδομένων (Εικόνα 5-9), και το πλαίσιο ρυθμίσεων του αλγορίθμου UTASTAR (Εικόνα 5-10). Εάν ο χρήστης δε θέλει να αλλάξει τις προεπιλεγμένες ρυθμίσεις ή να τροποποιήσει τα δεδομένα εισόδου, αρκεί να πατήσει το κουμπί που αναγράφει «Submit» για να ξεκινήσει η εκτέλεση του συστήματος. Όλες οι ρυθμίσεις των αλγορίθμων του συστήματος που θα εμφανιστούν από εδώ και πέρα στο γραφικό περιβάλλον δεν απαιτούν καμία απολύτως ενέργεια από τον χρήστη καθώς λαμβάνουν προεπιλεγμένες τιμές, οι οποίες μπορούν να αλλάξουν εφόσον το επιθυμεί. Η αλλαγή των προεπιλεγμένων ρυθμίσεων που αφορούν οποιονδήποτε αλγόριθμο του συστήματος επηρεάζουν όλα τα επόμενα στάδια της μεθοδολογίας. Αυτό σημαίνει πως κάθε αλλαγή στο γραφικό περιβάλλον ανανεώνει όλα τα επόμενα αποτελέσματα των αλγορίθμων της μεθοδολογίας αυτόματα. Η μόνη περίπτωση να μη συμβαίνει αυτό, είναι εάν υπάρχει ρύθμιση τύπου «checkbox» που να δίνει την επιλογή να μη συμβεί ανανέωση των επόμενων βημάτων αυτόματα. Σε αυτήν την περίπτωση εμφανίζεται πλαίσιο με οδηγίες για τον τρόπο οριστικοποίησης των αλλαγών.

Edit input data

Edit DM data

Add criteria

Add alternative

File name

DM_input_data_template_0_{24/30}

Download excel

Select DM to see multi-criteria table and ranking

DM_1

	Influence	Colour	Odour	Taste	Packaging	Price	Rankin
CARAPELLI	3.000	2.000	1.000	1.000	3.000	31.000	4.00
LERIDA	3.000	2.000	2.000	3.000	1.000	65.000	5.00
KOLYMVARI	1.000	2.000	1.000	1.000	3.000	20.000	6.00
HEDIARD	3.000	2.000	3.000	2.000	2.000	48.000	3.00
JARRE d'OR	3.000	2.000	3.000	3.000	2.000	37.000	2.00
PUGET	3.000	1.000	2.000	2.000	3.000	18.000	1.00

	Influence	Colour	Odour	Taste	Packaging	Price	Ranking
Best values	4	3	3	3	4	18	1
Worst values	1	1	1	1	1	65	6

Apply changes to DM_1

Εικόνα 5-9: Πλαίσιο επεξεργασίας δεδομένων πολυκριτήριου προβλήματος.

UTASTAR input settings

Total number of decision makers

204

Select randomly n number of remaining dms

Number of Decision Makers

204

Input data name:

OliveOil.xlsx_0

Number of Alternatives

6

Delta between alternatives

0.02

0.17

Epsilon of post-optimality (10^{-3})

0.10

0.01

1.00

Criteria to keep

Influence ×

Colour ×

Odour ×

Taste ×

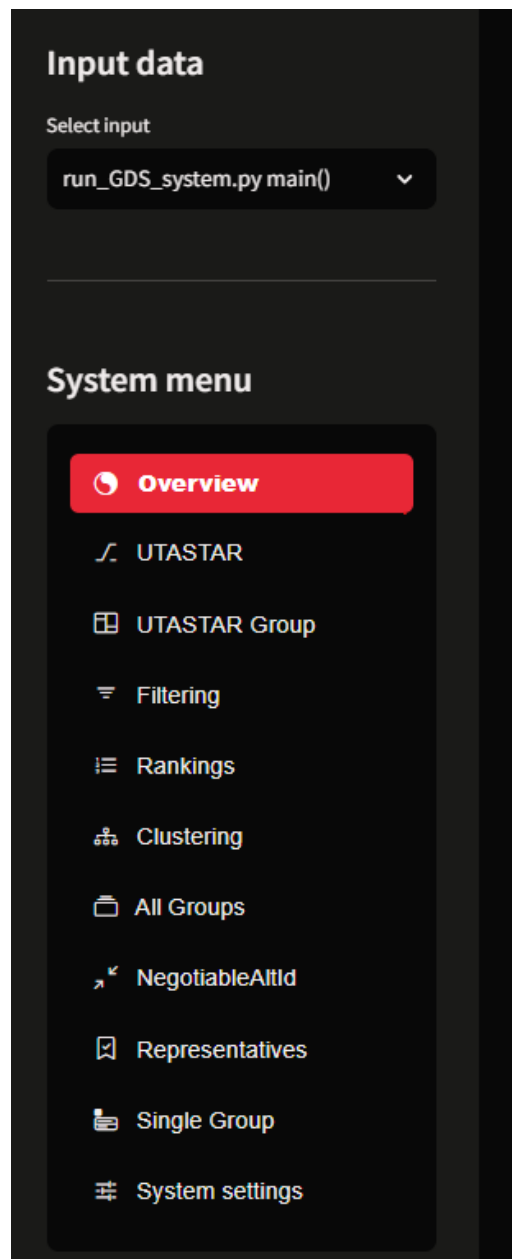
Packaging ×

Price ×

Submit

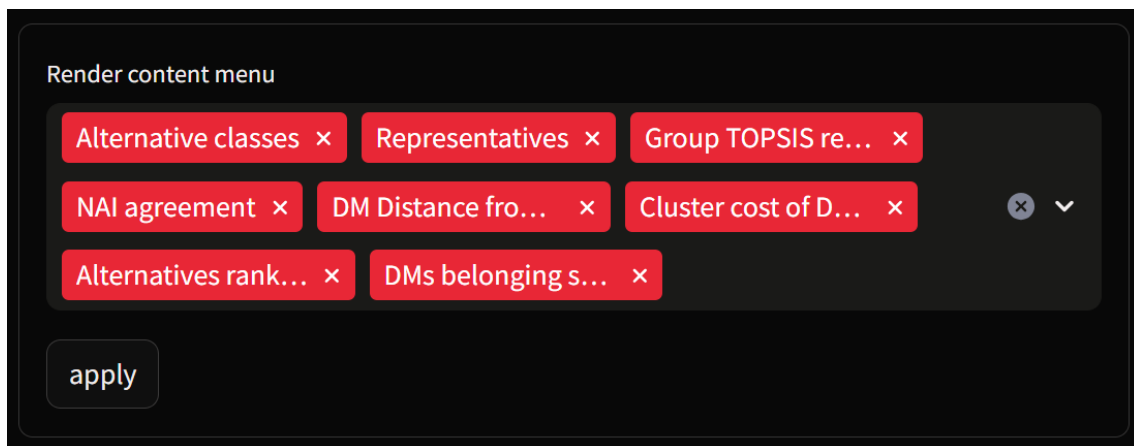
Εικόνα 5-10: Πλαίσιο ρυθμίσεων αλγορίθμου UTASTAR.

Με την ολοκλήρωση της εκτέλεσης του συστήματος εμφανίζεται το μενού καρτελών (σελίδων) του συστήματος στην πλαϊνή μπάρα, κάτω από το πεδίο επιλογή δεδομένων εισόδου (Εικόνα 5-11).



Εικόνα 5-11: Μενού καρτελών (σελίδων) συστήματος στην πλαϊνή μπάρα.

Ορισμένες καρτέλες εμπεριέχουν υπό-καρτέλες, από τις οποίες μπορεί να επιλεγθεί ποιες θα εμφανίζονται ταυτόχρονα και ποιες όχι. Οι αλλαγές στην εμφάνιση των υπό-καρτελών πραγματοποιούνται όταν πατηθεί το κουμπί «apply». Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα φαίνεται παρακάτω (**Εικόνα 5-12**).



Εικόνα 5-12: Μενού φόρμας πολλαπλής επιλογής εμφάνισης υπο-καρτελών. Παράδειγμα από την καρτέλα «Single Group».

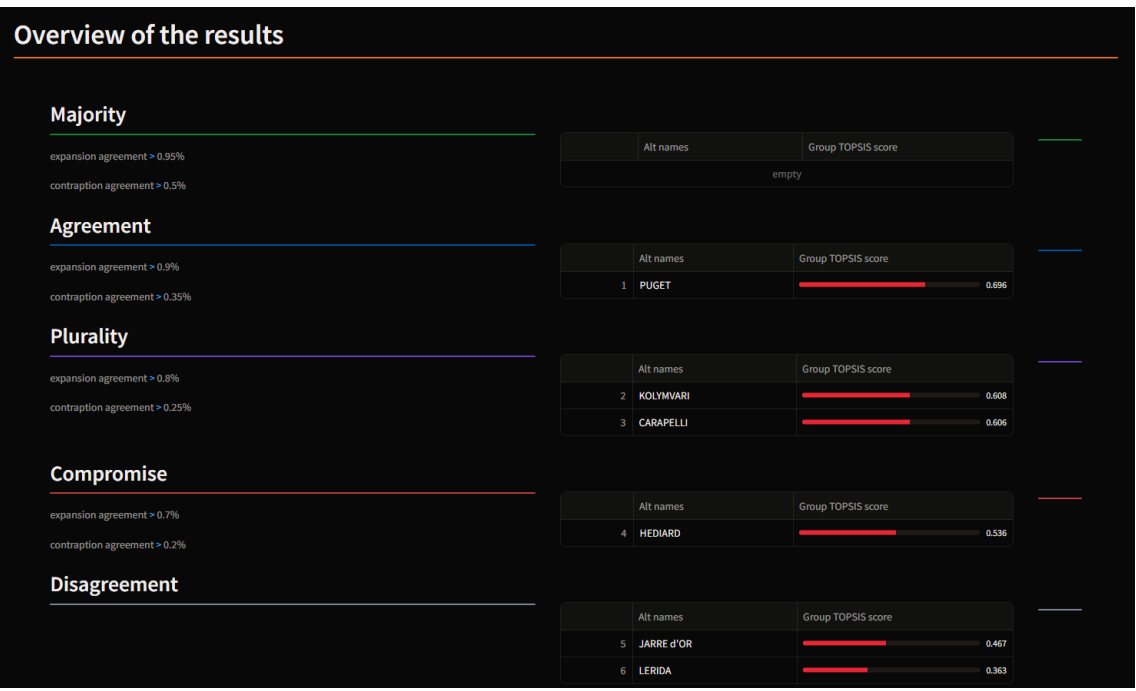
Οι ρυθμίσεις των αλγορίθμων μπορούν να βρεθούν στην αντίστοιχη καρτέλα ή συγκεντρωτικά στην καρτέλα των ρυθμίσεων (System settings).

5.2.2. Καρτέλες συστήματος

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω (Εικόνα 5-11), υπάρχουν 12 καρτέλες με τα αποτελέσματα του συστήματος και μία για τις ρυθμίσεις που αφορούν αποκλειστικά το σύστημα. Οι καρτέλες παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω μία προς μία. Αναφορικά η καρτέλες είναι:

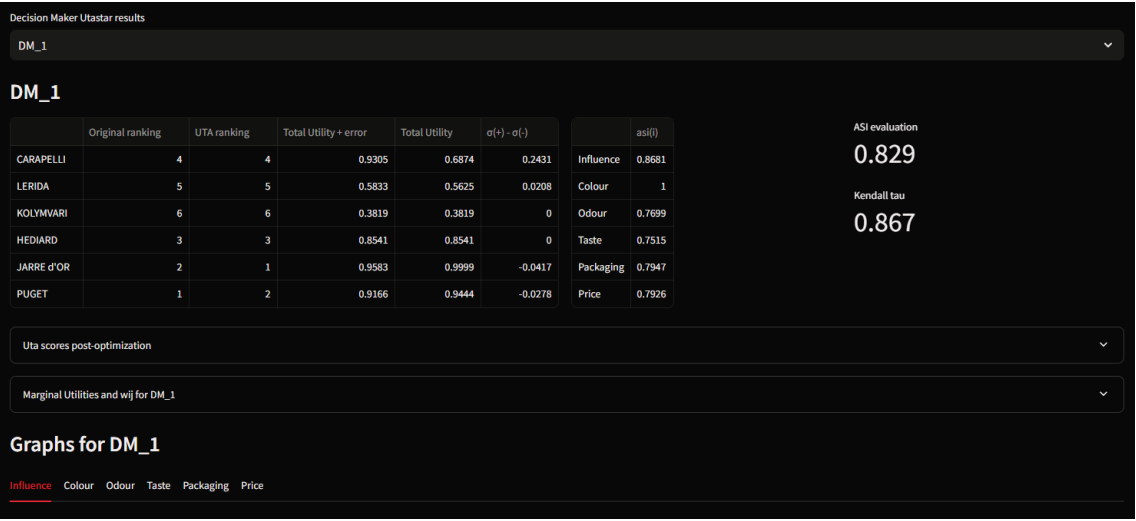
- Overview: Σύνοψη αποτελεσμάτων (Εικόνα 5-13)
- UTASTAR: Ο αλγόριθμος UTASTAR (Εικόνα 5-14)
- UTASTAR Group: Μέσοι όροι UTASTAR (Εικόνα 5-15)
- Filtering: Φιλτράρισμα αποφασιζόντων (Εικόνα 5-16)
- Ranking: Κατηγορικές κατατάξεις εναλλακτικών (Εικόνα 5-17)
- Clustering: Συσταδοποίηση (Εικόνα 5-18, Εικόνα 5-19, Εικόνα 5-20, Εικόνα 5-21, Εικόνα 5-22)
- All Groups: Συνολικά αποτελέσματα ομάδων (Εικόνα 5-23)
- NegotiableAltId: Αλγόριθμος NAI (Εικόνα 5-24, Εικόνα 5-25)
- Representatives: Εκλογή εκπροσώπων (Εικόνα 5-26, Εικόνα 5-27)
- Single Group: Αποτελέσματα ανά ομάδα ή σύνολα (Εικόνα 5-28)
- System settings: Ρυθμίσεις αλγορίθμων συστήματος

Η καρτέλα overview (Εικόνα 5-13) περιέχει το τελικό αποτέλεσμα του συστήματος, ταξινομώντας τις εναλλακτικές σε κλάσεις συμφωνίας, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ομάδας των εκπροσώπων.



Εικόνα 5-13: Σύνοψη των αποτελεσμάτων σε κλάσεις συμφωνίας.

Η καρτέλα UTASTAR περιέχει τα αποτελέσματα του αλγορίθμου UTASTAR κάθε αποφασίζοντα (Εικόνα 5-14).



Εικόνα 5-14: Καρτέλα της UTASTAR για κάθε αποφασίζοντα.

Η καρτέλα UTASTAR Group περιέχει τους μέσους όρους των αποτελεσμάτων της UTASTAR όλων των αποφασιζόντων (Εικόνα 5-15).



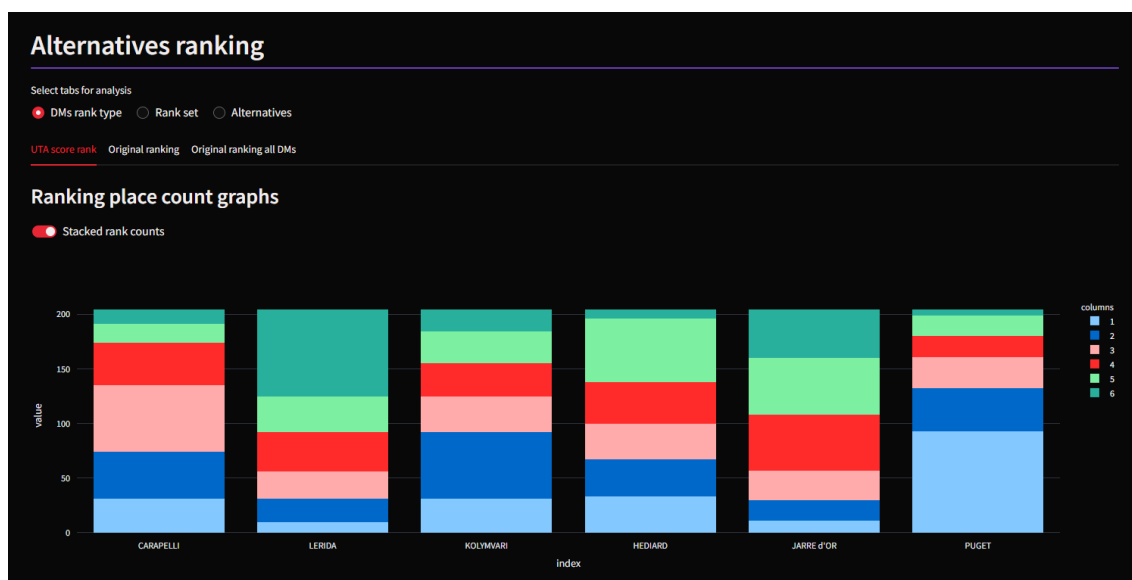
Εικόνα 5-15: Καρτέλα των μέσων τιμών των αποτελεσμάτων της UTASTAR όλων των αποφασιζόντων.

Η καρτέλα Filtering περιέχει τις ρυθμίσεις για το φιλτράρισμα των ακραίων τιμών δύο δεικτών, του δείκτη ASI της UTASTAR και την απόσταση των κατατάξεων της UTASTAR και της TOPSIS κάθε αποφασίζοντα. Επίσης, περιέχει γραφήματα για τον δείκτη Kendall's Tau και του συνολικού σφάλματος της UTASTAR.

Εικόνα 5-16: Καρτέλα φιλτραρίσματος αποφασιζόντων με ακραίες τιμές.

Η καρτέλα «Rankings» περιέχει την ανάλυση όλων των αρχικών προδιατάξεων των αποφασιζόντων σε σύγκριση με τη διάταξη που προκύπτει από τη μέθοδο UTASTAR και

τους εναπομείναντες αποφασίζοντας σε κάθε κύκλο ανάδρασης του συστήματος. Ακόμη, υπολογίζεται εάν υπάρχει επικρατούσα εναλλακτική με τη μέθοδο Condorcet και με τη μέθοδο Borda count.



Εικόνα 5-17: Η καρτέλα των κατηγορικών κατατάξεων των εναλλακτικών. Στο γράφημα φαίνεται το πλήθος των φορών που οι εναλλακτικές έλαβαν κάθε πιθανή θέση κατάταξης.

Η καρτέλα «Clustering» περιέχει τις ρυθμίσεις και τα αποτελέσματα των αλγορίθμων συσταδοποίησης του k-medoids και του k-means. Κάθε εκτέλεση συσταδοποίησης με διαφορετικές ρυθμίσεις και δεδομένα εισόδου, αποθηκεύεται από το σύστημα (για τους όλους τους αριθμούς συστάδων, με προεπιλογή $k=\{2, 3, \dots, 20\}$). Όλα τα αποτελέσματα της καρτέλας ανταποκρίνονται στην έκδοση της συσταδοποίησης που έχει επιλεγεί από το γραφικό πλαίσιο πολλαπλής επιλογής στην κορυφή της σελίδας (Εικόνα 5-18).

Η καρτέλα περιέχει τις παρακάτω βασικές υπό-καρτέλες:

- **Fitting curve graphs:** Οι γραφικές παραστάσεις του κάθε δείκτη ξεχωριστά για κάθε «k», η συνάρτηση παρεμβολής της (Εικόνα 5-19) και η κανονικοποιημένη διαφορά της από αυτήν (Εικόνα 5-20).
- **K-Medoids metrics:** Οι κανονικοποιημένες γραφικές παραστάσεις όλων των δεικτών και οι τιμές τους για κάθε «k» για τον k-medoids (Εικόνα 5-21).
- **K-Means metrics:** Οι κανονικοποιημένες γραφικές παραστάσεις όλων των δεικτών και οι τιμές τους για κάθε «k» για τον k-means.
- **Specific k-clusters results:** Αναλυτικά αποτελέσματα της συσταδοποίησης για συγκεκριμένο αριθμό συστάδων (Εικόνα 5-22)

Select K-Medoids settings version

Faster_Pam

Select K-Means settings version

K-Means

Clustering settings

Custom K-Medoids settings

Add a name for this clustering

v1.1

Input data for clustering

final_score

Select distance function

euclidean

Select min and max number of n_clusters

2

20

30

Run clustering with post-opt dm data

p-norm for the difference of 2 vector

min (-inf)

max (inf norm)

Groups Set up

Submit

Render content menu

3d plots x Specific k-cluste... x

apply

	Cl(3)	Cl(13)	Cl(11)	Cl(10)	Cl(19)	Cl(5)	Cl(17)	Cl(16)	Cl(18)	Cl(6)	Cl(9)	Cl(15)	Cl(2)	Cl(7)	Cl(8)	Cl(20)	Cl(14)
K-medoids	1.5225	0.8781	0.7152	0.7088	0.6784	0.4418	0.433	0.3026	0.24	0.1685	-0.0953	-0.2217	-0.4252	-0.4502	-0.6342	-0.646	-0.8762

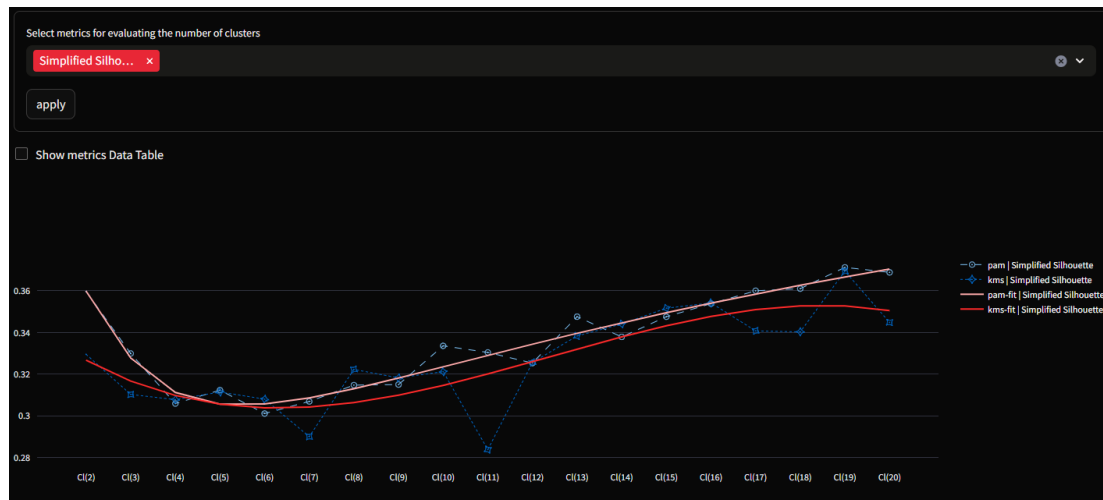
	Cl(8)	Cl(9)	Cl(5)	Cl(19)	Cl(6)	Cl(15)	Cl(13)	Cl(16)	Cl(14)	Cl(4)	Cl(2)	Cl(12)	Cl(10)	Cl(18)	Cl(17)	Cl(20)	Cl(3)
K-means	1.1113	1.0851	0.9707	0.6073	0.5854	0.5227	0.4274	0.3649	0.3366	0.3342	0.1574	-0.0121	-0.3857	-0.5121	-0.5664	-0.6668	-1.0373

Εικόνα 5-18: Επιλογή έκδοσης συσταδοποίησης, ρυθμίσεις νέας έκδοσης συσταδοποίησης και συνολική βαθμολογία κάθε αριθμού συστάδων

Οι ρυθμίσεις του αλγορίθμου k-medoids (**Εικόνα 5-18**, Clustering settings) είναι:

- Ονομασία έκδοσης για την αποθήκευση
- Εύρος του αριθμού συστάδων “k”
- Το είδος των διανυσμάτων της UTASTAR για εισαγωγή στη συσταδοποίηση (παράγραφος 4.3.2.1)
- Επιλογή του μέτρου απόστασης δύο διανυσμάτων (παράγραφος 4.3.6.2)
- Διακόπτης για τη χρήση όλων των διανυσμάτων της μεταβελτιστοποίησης ή μόνο ενός διανύσματος για κάθε αποφασίζοντα.
- Ο βαθμός “p” της νόρμας που θα χρησιμοποιηθεί εάν επιλεγθεί μέτρο απόστασης με χρήση νόρμας.

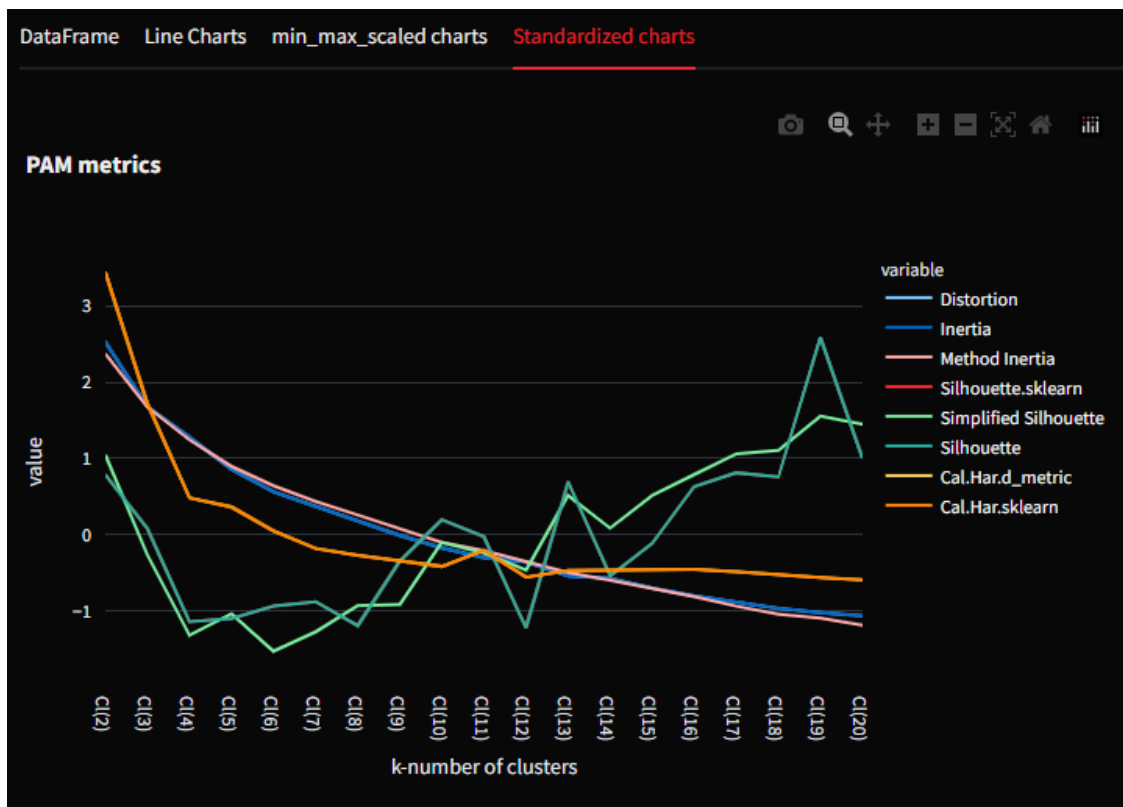
Οι ρυθμίσεις του k-medoids που αναπτύχθηκε, βρίσκονται στο πλαίσιο (tab) της φόρμας ρυθμίσεων με όνομα «Custom K-Medoids settings, όπου υπάρχει διακόπτης για την επιλογή αυτού αντί του προεπιλεγμένου αλγορίθμου FasterPam. Οι υπόλοιπες ρυθμίσεις αφορούν τους τρόπους δοκιμής νέων συνδυασμών σημείων ως κεντροειδή των συστάδων.



Εικόνα 5-19: Επιλογή δεικτών για γραφική παράσταση των τιμών τους και της συνάρτησης παρεμβολής τους για κάθε αριθμό συστάδων.



Εικόνα 5-20: Η κανονικοποιημένη διαφορά των φθινόντων δεικτών (αριστερά) και αυξόντων (δεξιά) δεικτών από τη συνάρτηση παρεμβολής για κάθε αριθμό συστάδων

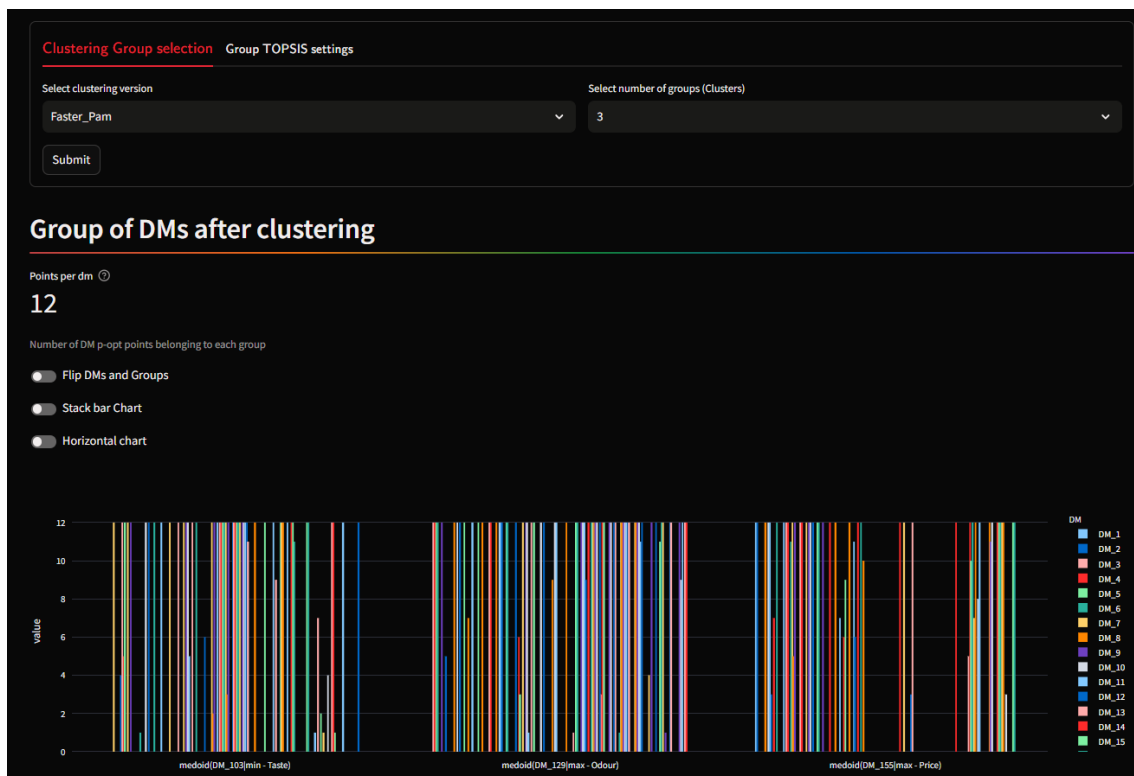


Εικόνα 5-21: Οι δείκτες συσταδοποίησης για τον k-medoids, κανονικοποιημένοι με την κανονική κατανομή.



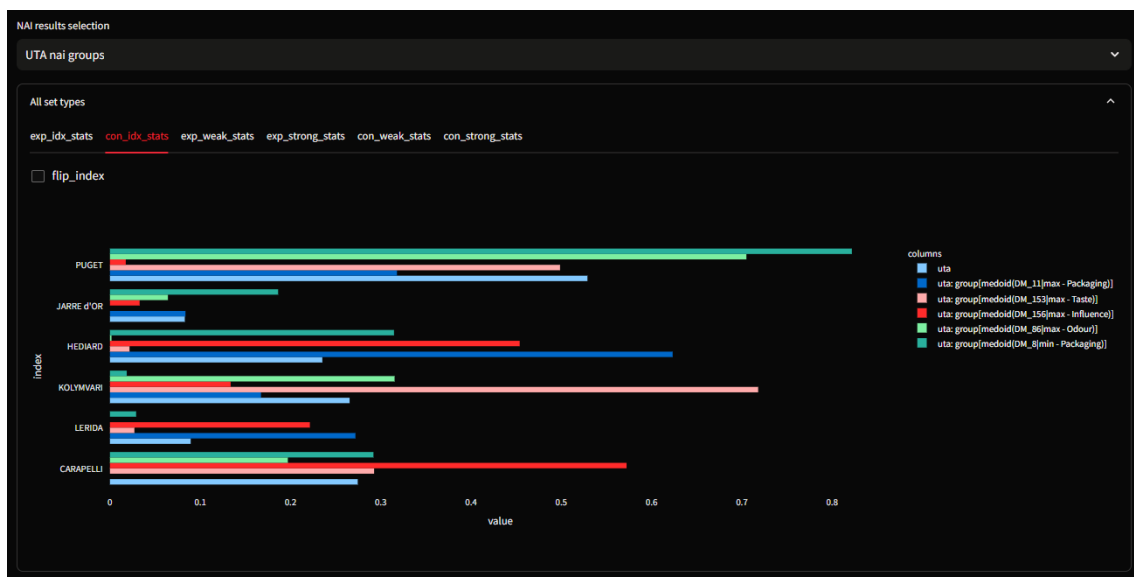
Εικόνα 5-22: Αναλυτικά αποτελέσματα συσταδοποίησης για ορισμένο αριθμό συστάδων. Στο πάνω μέρος φαίνεται ο δείκτης Silhouette για όλα τα σημεία ανά συστάδα (χρώμα)

Η καρτέλα «All Groups» περιέχει τις ρυθμίσεις των ομάδων και συγκεντρωτικά αποτελέσματα των ομάδων. Οι ρυθμίσεις αφορούν την αλλαγή του προεπιλεγμένου αποτελέσματος βέλτιστης συσταδοποίησης ανά έκδοση αλγορίθμου συσταδοποίησης και αριθμό συστάδων. Επίσης, εδώ υπάρχουν και οι ρυθμίσεις του αλγορίθμου Group TOPSIS. (Εικόνα 5-23)

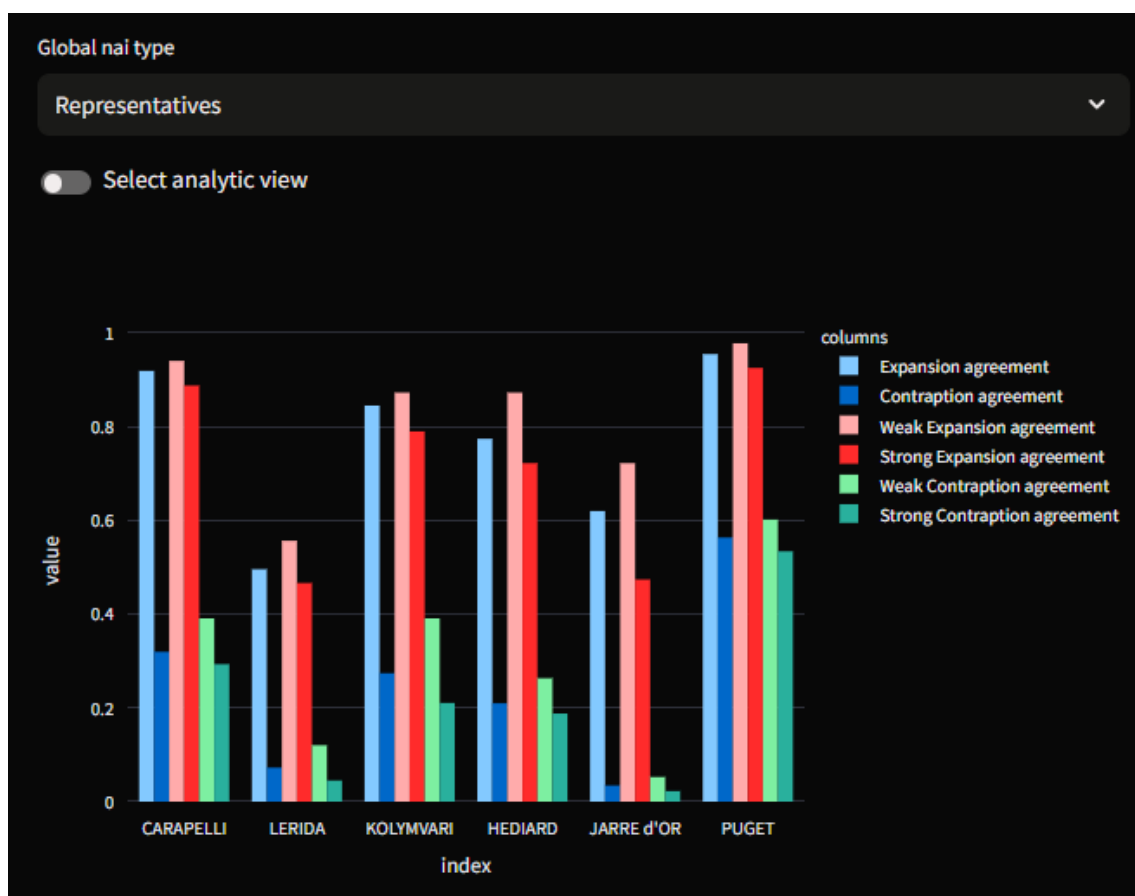


Εικόνα 5-23: Καρτέλα «All Groups». Πάνω φαίνονται οι ρυθμίσεις επιλογής συσταδοποίησης. Στο γράφημα φαίνεται το πλήθος των σημείων της μεταβελτιστοποίησης ανά αποφασίζοντα που έχουν ταξινομηθεί σε κάθε συστάδα.

Η καρτέλα «NegotiableAltId» περιέχει τα αποτελέσματα του αλγορίθμου «Negotiable Alternatives Identifier» για το σύνολο των αποφασιζόντων αλλά και για τις ομάδες. Ακόμη περιέχει στατιστικά για το πλήθος των εναλλακτικών ανά τύπο συνόλου (παράγραφος 4.3.5.2, Εικόνα 4-5).



Εικόνα 5-24: Το ποσοστό των αποφασιζόντων (άξονας “x”) για τους οποίους η κάθε εναλλακτική (άξονας “y”) περιέχεται σε κάθε σύνολο προτίμησης (καρτέλες), για όλες τις ομάδες και συνολικά (χρώμα).



Εικόνα 5-25: Το ποσοστό των αποφασιζόντων (άξονας “y”) που συμφωνούν ανά εναλλακτική (άξονας “x”) και σύνολο προτίμησης (χρώμα), για κάθε σύνολο αποφασιζόντων ξεχωριστά (πλαίσιο λίστας επιλογών).

Η καρτέλα «Representatives» περιέχει όλες τις ρυθμίσεις για την εκλογή των εκπροσώπων (**Εικόνα 5-26**) και το τελικό αποτέλεσμα των βαρών όλων των εκπροσώπων (**Εικόνα 5-27**).

Set up agreement percent of dms

Weak expansion set 0.80 Strong expansion set 0.78 Weak Contraption set 0.40 Strong Contraption set 0.30

0.00 1.00 0.00 1.00 0.00 1.00 0.00 1.00

☐ Create new representatives group

Search for agreement alternatives

Representatives settings Category weights Metrics weights Filter weights Nai sets weights Metrics Filtering

All DMs of each group are ranked with a total weighted score from 0 to 1.

Minimum threshold for representatives score 0.78

0.00 1.00

Each groups representatives are the DMs with a total score above the threshold
-> More info inside each tab

Submit

Change group representatives manually

Reset table medoid(DM_11|max - Packaging)

DM	Representatives	Edit score	score	metric_score	m_ft_inter	agr_sets	max_poi
DM_179	<input checked="" type="checkbox"/>	0.912	0.913	0.751	1.000	0.900	
DM_34	<input checked="" type="checkbox"/>	0.900	0.901	0.803	1.000	0.800	

Εικόνα 5-26: Οι ρυθμίσεις όλων των κριτηρίων, των υπό-κριτηρίων και των βαρών τους, για την εκλογή των εκπροσώπων ανά ομάδα

DM	Representatives	Edit score	score	metric_score	m_ft_inter	agr_sets	max_points
DM_179	<input checked="" type="checkbox"/>	0.912	0.913	0.751	1.000	0.900	1.000
DM_34	<input checked="" type="checkbox"/>	0.900	0.901	0.803	1.000	0.800	1.000
DM_21	<input checked="" type="checkbox"/>	0.899	0.900	0.799	1.000	0.800	1.000
DM_170	<input checked="" type="checkbox"/>	0.893	0.893	0.773	1.000	0.800	1.000
DM_18	<input checked="" type="checkbox"/>	0.885	0.886	0.744	1.000	0.800	1.000
DM_204	<input checked="" type="checkbox"/>	0.877	0.877	0.709	1.000	0.800	1.000
DM_76	<input checked="" type="checkbox"/>	0.862	0.863	0.651	1.000	0.800	1.000
DM_36	<input checked="" type="checkbox"/>	0.860	0.861	0.644	1.000	0.800	1.000
DM_44	<input checked="" type="checkbox"/>	0.858	0.859	0.634	1.000	0.800	1.000
DM_63	<input checked="" type="checkbox"/>	0.846	0.846	0.685	1.000	0.700	1.000
DM_168	<input checked="" type="checkbox"/>	0.797	0.797	0.690	1.000	0.500	1.000
DM_14	<input type="checkbox"/>	0.680	0.681	0.923	0.000	0.800	1.000
DM_11	<input type="checkbox"/>	0.670	0.671	0.883	0.000	0.600	1.000

Εικόνα 5-27: Πίνακας σύνθεσης της βαθμολογίας κάθε αποφασίζοντα που ανήκει στην ίδια ομάδα ως εκπρόσωπός της.

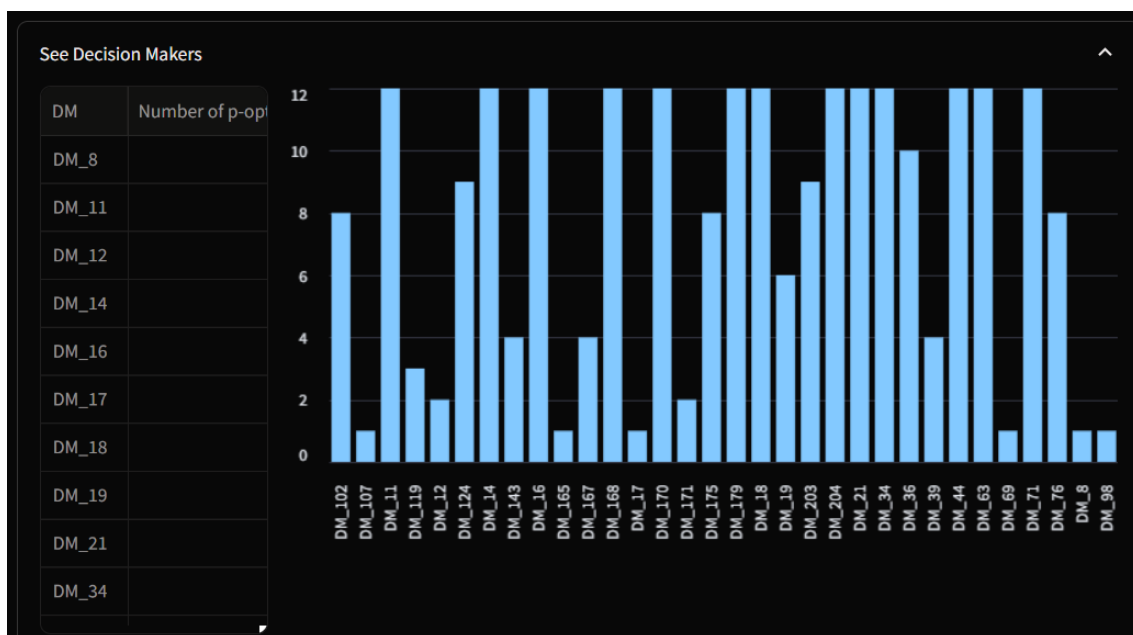
Η καρτέλα «Single Group» συγκεντρώνει τα αποτελέσματα κάθε ομάδας αποφασιζόντων ξεχωριστά, συμπεριλαμβανομένης και της ομάδας όλων των φιλτραρισμένων αποφασιζόντων, και της ομάδας των εκπροσώπων. Ακόμη, υπάρχει η

δυνατότητα παράλληλης προβολής των αποτελεσμάτων χωρίζοντας την οθόνη σε δύο (2) ή τρεις (3) στήλες. Οι υπο-καρτέλες κάθε στήλης είναι:

- **Alternative classes:** Η κατάταξη των εναλλακτικών σε κλάσης συμφωνίας (Όμοια με την Εικόνα 5-13)
- **Representatives:** Οι εκπρόσωποι κάθε ομάδας (Όμοια με την Εικόνα 5-27)
- **Group TOPSIS results:** Τα αποτελέσματα της Group TOPSIS (Εικόνα 5-28)
- **NAI agreement:** Αλλαγή των κατωφλίων συμφωνίας των ομάδων ξεχωριστά για τη βαθμολογία των εκπροσώπων.
- **DM Distance from Group TOPSIS:** Σύνθεση της απόστασης κάθε αποφασίζοντα από την Group TOPSIS.
- **Cluster cost of DM as center:** Το κόστος αντικατάστασης του κέντρου της συστάδας
- **Alternatives ranking stats:** Οι κατηγορικές κατατάξεις των εναλλακτικών (όμοια με Εικόνα 5-17)
- **DMs belonging share in group:** Πλήθος σημείων κάθε αποφασίζοντα που ανήκουν στην ομάδα (Εικόνα 5-29).



Εικόνα 5-28: Τα αποτελέσματα της Group TOPSIS



Εικόνα 5-29: Πλήθος σημείων κάθε αποφασίζοντα που ανήκουν στην ίδια ομάδα

Η καρτέλα «System settings» περιέχει όλες τις ρυθμίσεις του συστήματος συγκεντρωμένες σε ένα μέρος.

5.2.3. Διαδικασία επανεκτέλεσης

Μετά την πρώτη επιτυχή εκτέλεση του πυρήνα συστήματος, δίνεται η δυνατότητα επανεκτέλεσης του μετά τη διαδικασία της ανάδρασης. Ο συντονιστής καταχωρεί στο σύστημα με πιο σύνολο αποφασιζόντων θα πραγματοποιηθεί η επανεκτέλεση (Εικόνα 5-30). Σε αυτή τη φάση θεωρείται πως ο συντονιστής έχει ήδη προβάλλει τα αποτελέσματα στους αποφασίζοντες και έχει αντλήσει νέα δεδομένα προτίμησής από αυτούς. Ο συντονιστής έχει την επιλογή να εισάγει τα νέα δεδομένα στο πλαίσιο τροποποίησης και προσθήκης δεδομένων πολυκριτήριου προβλήματος (Εικόνα 5-9) και να τα εξάγει έπειτα σε αρχείο υπολογιστικών φύλλων '.xlsx' εάν το επιθυμεί. Διαφορετικά μπορεί να αποθηκεύσει τα νέα δεδομένα απευθείας σε ένα αρχείο υπολογιστικών φύλλων μορφής '.xlsx' κατάλληλης μορφής για είσοδο στο σύστημα. Σε αυτήν την περίπτωση θα πρέπει να επιλέξει την εισαγωγή νέου αρχείου στο πεδίο «Input data» (Εικόνα 5-7)

Δίνοντας ένα νέο όνομα στην εκτέλεση πυρήνα στο πλαίσιο «input data name» και πατώντας το κουμπί «submit» στο πλαίσιο ρυθμίσεων της UTASTAR (Εικόνα 5-10, Εικόνα 5-30), πραγματοποιείται η επανεκτέλεση στο σύστημα. Μετά από λίγη αναμονή εμφανίζεται στο πλαίσιο της πλαϊνής μπάρας «Input data» το όνομα της επανεκτέλεσης του πυρήνα (Εικόνα 5-31). Οι καρτέλες συστήματος πλέον ανταποκρίνονται στα αποτελέσματα της επανεκτέλεσης συστήματος. Εάν ζητηθεί από τον συντονιστή να οπισθοδρομήσει σε οποιαδήποτε προηγούμενη εκτέλεση του συστήματος, αρκεί να την επιλέξει από το πλαίσιο «Input data» (Εικόνα 5-31). Με αυτόν τον τρόπο επαναφέρονται προηγούμενα αποτελέσματα του συστήματος, είτε για προβολή και

σύγκριση μεταξύ τους, είτε για οπισθοδρόμηση με επανάληψη ανάδρασης και επανεκτέλεσης του πυρήνα συστήματος από οποιοδήποτε σημείο.

Settings

UTASTAR input settings

Total number of decision makers
204

Sets of decision makers
Olive Oil data: Representatives
Olive Oil data: All DMs
Olive Oil data: Representatives
Olive Oil data: Filtered DMs

Number of Alternatives
6

Delta between alternatives
0.02 0.17
0.17

Epsilon of post-optimality (10^{-3})
0.01 1.00
0.10

Criteria to keep
Influence × Colour × Odour ×
Taste × Packaging × Price ×

Submit

Εικόνα 5-30: Πλαίσιο επιλογής του συνόλου των αποφασιζόντων για επανεκτέλεση του πυρήνα στις ρυθμίσεις της UTASTAR

Input data

Select input
Olive Oil data Representatives v1
Random cluster data demo
Upload a file
Olive Oil data
Olive Oil data Representatives v1

Εικόνα 5-31: Πλαίσιο πλαϊνής μπάρας για την επιλογή δεδομένων και έκδοσης εκτέλεσης συστήματος

5.3. Αποτελέσματα συστήματος

Η δοκιμή του συστήματος έγινε με τη χρήση δύο διαφορετικών σετ δεδομένων (παράγραφος 5.1.1), του σετ επιλογής ελαιόλαδου “OliveOil.xlsx” και του σετ επιλογής έξυπνου κινητού τηλεφώνου (smartphone) “Mobile_137.xlsx”. Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται είναι:

- Η τελική πρόταση του συστήματος,
- Οι ρυθμίσεις συσταδοποίησης και ο επιλεγμένος αριθμός δημιουργίας ομάδων
- Το σύνολο των αποφασιζόντων που απορρίφθηκαν από τη διαδικασία του φιλτραρίσματος
- Το σύνολο των εκπροσώπων.

5.3.1. Αποτελέσματα σετ δεδομένων “OliveOil.xlsx”

Η τελική πρόταση συμφωνίας του συστήματος, με χρήση της μεθοδολογίας εκπροσωπούμενου ελέγχου συμφωνίας, σύμφωνα με τις κλάσεις συμφωνίας, είναι:

- **Πλειοψηφία (Majority):** PUGET
- **Συμφωνία (agreement):** PUGET
- **Πλειονότητα (plurality):** PUGET > CARAPELLI
- **Συμβιβασμός (compromise):** PUGET > KOLYMVARI > CARAPELLI
- **Διαφωνία (disagreement):** HEDIARD, JARRE d’OR, LERIDA

Η διάταξη της αυτόματης πρότασης συμφωνίας του συστήματος είναι η παρακάτω:
PUGET > CARAPELLI > KOLYMVARI.







Επομένως, οι αποφασίζοντες καλούνται να αποφασίσουν εάν θα δεχτούν της πρόταση συμφωνίας για την εναλλακτική PUGET. Σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης, εάν τα δεδομένα του προβλήματος μεταβληθούν και αυτή η εναλλακτική δεν μπορεί να υλοποιηθεί, τότε προτείνεται να εξεταστεί αυτόματα η αμέσως επόμενη. Εάν κριθεί από τους αποφασίζοντες-εκπροσώπους πως έχουν μεταβληθεί οι προτιμήσεις τους, τότε απαιτείται επανεκτέλεση του συστήματος.

Αξίζει να σημειωθεί πως με την αντιπαράθεση των αποτελεσμάτων (**Εικόνα 5-32-Εικόνα 5-33**), για τις δύο μεθοδολογίες ελέγχου συμφωνίας (σύγκριση από Ε.Ε.Σ σε Α.Ε.Σ) παρατηρούνται οι εξής μεταβολές των εναλλακτικών στις κλάσεις συμφωνίας:




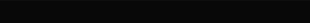

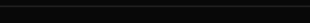
- Το PUGET υποβαθμίζεται κατά μία κλάση
- Το COLIMVARI αναβαθμίζεται κατά μία κλάση
- Το HEDIARD ενώ δεν αποτελεί προεπιλεγμένη πρόταση του συστήματος, θεωρείται πως ανήκει στην κλάση συμβιβασμού.

Η διάταξη της πρότασης συμφωνίας του συστήματος σύμφωνα με την Α.Ε.Σ είναι:
PUGET > KOLYMVARI > CARAPELLI > HEDIARD

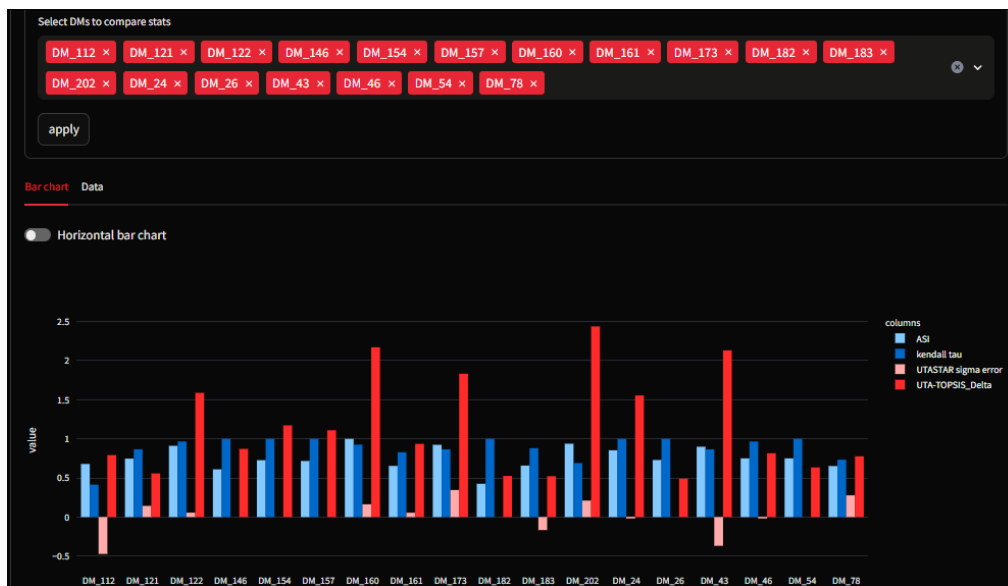
Σύμφωνα με τα παραπάνω, φαίνεται πως για το συγκεκριμένο σετ δεδομένων, οι προτιμήσεις του συνόλου των εκπροσώπων είναι πιο ευνοϊκές για τις προτιμότερες εναλλακτικές ως προς την κλάση, και μη ευνοϊκές για όσες είναι κοντά στο όριο του συμβιβασμού-αποκλεισμού. Η βαθμολογία της μεθόδου Group TOPSIS δε φαίνεται να ακολουθεί το ίδιο μοτίβο.

	Alt names	Group TOPSIS score	Alt class
1	PUGET	 0.710	Majority
2	CARAPELLI	 0.592	Plurality
3	KOLYMVARI	 0.604	Compromise
4	HEDIARD	 0.524	Disagreement
5	JARRE d'OR	 0.474	Disagreement
6	LERIDA	 0.359	Disagreement

Εικόνα 5-32: Πρόταση συμφωνίας συστήματος με χρήση της μεθοδολογίας εκπροσωπούμενου ελέγχου συμφωνίας. (επιλογή ελαιόλαδου).

	Alt names	Group TOPSIS score	Alt class
1	PUGET	 0.681	Agreement
2	KOLYMVARI	 0.596	Plurality
3	CARAPELLI	 0.593	Plurality
4	HEDIARD	 0.529	Compromise
5	JARRE d'OR	 0.466	Disagreement
6	LERIDA	 0.373	Disagreement

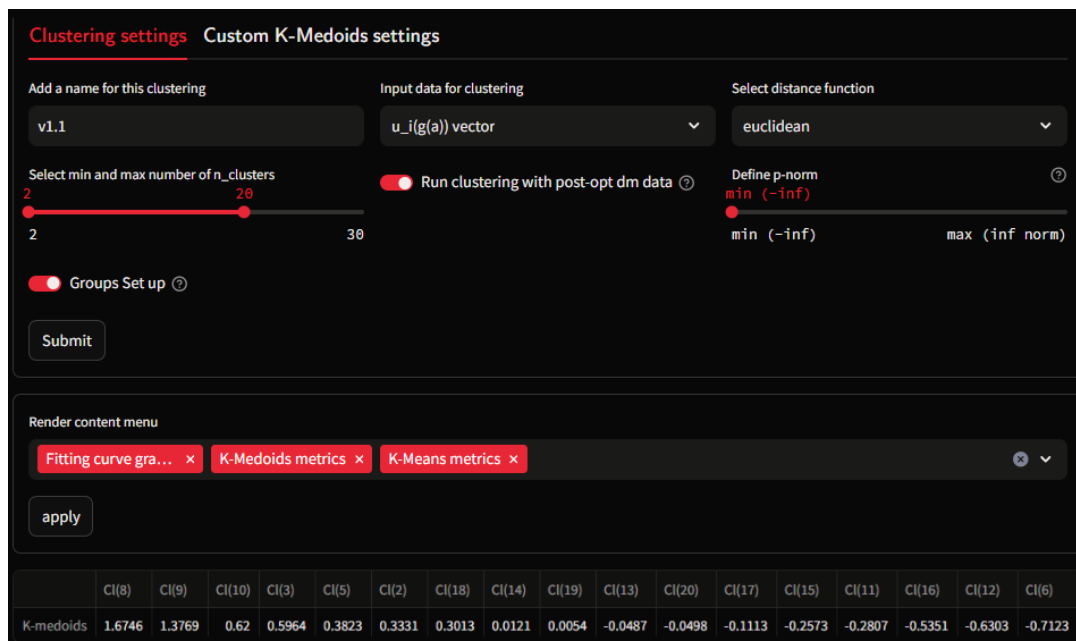
Εικόνα 5-33: Πρόταση συμφωνίας συστήματος με χρήση της μεθοδολογίας άμεσου ελέγχου συμφωνίας στο σύνολο των φιλτραρισμένων αποφασιζόντων. (επιλογή ελαιόλαδου).



Εικόνα 5-34: Προβολή ακραίων τιμών των αποφασιζόντων που απορρίφθηκαν από την διαδικασία φιλτραρίσματος. (επιλογή ελαιόλαδου).

Οι αποφασίζοντες που φιλτραρίστηκαν λόγω ακραίων τιμών (18 στο πλήθος)(**Εικόνα 5-34**), είναι αυτοί με τον δείκτη:

{24, 26, 43, 46, 54, 78, 112, 121, 122, 146, 154, 157, 160, 161, 173, 182, 183, 202}



Εικόνα 5-35: Ρυθμίσεις συσταδοποίησης αλγορίθμου FasterPam και βαθμολογία πλήθους συστάδων, με αυτοματοποιημένη επιλογή δημιουργίας οκτώ (8) ομάδων. (επιλογή ελαιόλαδου).

Στη συσταδοποίηση χρησιμοποιήθηκε ως δεδομένο εισόδου τα διανύσματα της μεταβελτιστοποίησης των μερικών χρησιμοτήτων των εναλλακτικών, του συνόλου των φιλτραρισμένων αποφασιζόντων. Ως μέτρο απόστασης χρησιμοποιήθηκε η ευκλείδεια απόσταση και οι δοκιμές αριθμού συστάδων εκτελέστηκαν για $k=\{2, 3, \dots, 20\}$.

Οι εκπρόσωποι (135 στο πλήθος)(**Εικόνα 5-45**), είναι αυτοί με τον δείκτη:

{1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 14, 16, 18, 19, 20, 22, 23, 25, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 34, 35, 36, 39, 40, 41, 44, 45, 47, 48, 50, 52, 55, 56, 57, 60, 61, 62, 64, 65, 67, 68, 69, 72, 73, 75, 79, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 88, 89, 90, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 101, 102, 104, 105, 106, 107, 109, 110, 111, 113, 114, 115, 117, 118, 119, 120, 123, 126, 127, 128, 129, 131, 132, 134, 137, 138, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 147, 148, 149, 150, 152, 153, 155, 159, 162, 165, 166, 167, 168, 170, 171, 172, 174, 177, 179, 181, 185, 186, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 197, 198, 199, 200, 201, 203, 204}

	medoid(DM_110)(max - Influence)	medoid(DM_153)(min - Influence)	medoid(DM_169)(max - Price)	medoid(DM_177)(max - Influence)	medoid(DM_48)(max - Colour)	medoid(DM_90)(min - Price)	medoid(DM_98)
DM_98	52.1%	None	None	None	None	44.7%	
DM_74	51.4%	None	None	None	None	None	
DM_21	49.6%	None	None	None	None	None	
DM_76	48.7%	39.6%	None	None	51.2%	None	
DM_39	48.6%	50.9%	50.0%	None	None	None	
DM_58	48.2%	None	None	49.5%	None	None	
DM_40	47.8%	None	None	85.4%	54.5%	None	
DM_52	46.4%	None	None	85.2%	None	None	
DM_38	46.3%	None	None	None	None	None	
DM_85	42.1%	None	None	None	None	55.8%	
DM_1	34.4%	89.9%	None	29.0%	41.8%	None	
DM_16	33.1%	None	None	None	None	None	
DM_199	33.1%	None	78.2%	None	None	None	
DM_73	32.6%	None	87.4%	None	39.0%	None	
DM_158	31.8%	58.4%	None	None	None	None	
DM_17	30.9%	None	None	None	60.2%	None	
DM_42	30.1%	None	None	None	47.7%	51.5%	
DM_50	27.5%	36.7%	None	30.3%	None	77.2%	
DM_117	27.1%	None	None	None	None	None	
DM_8	23.6%	None	None	32.2%	None	75.1%	
DM_185	22.2%	None	72.3%	None	None	None	
DM_77	14.9%	48.3%	51.6%	14.3%	None	None	
DM_142	None	97.7%	None	None	None	None	
DM_41	None	97.3%	None	None	None	None	

Εικόνα 5-36: Δείγμα από τον πίνακα εκλεγμένων εκπροσώπων (γραμμές: εκπρόσωποι, στήλες: ομάδες). Με κίτρινο χρώμα διαχωρίζει βαθμολογίες πάνω από το κατώτερο όριο εκπροσώπησης. (επιλογή ελαιόλαδου).

5.3.2. Αποτελέσματα σετ δεδομένων "Mobile_137.xlsx"

Η τελική πρόταση συμφωνίας του συστήματος, με χρήση της μεθοδολογίας εκπροσωπούμενου ελέγχου συμφωνίας (Ε.Ε.Σ.), σύμφωνα με τις κλάσεις συμφωνίας, είναι:

- **Πλειοψηφία (Majority):** -
- **Συμφωνία (agreement):** -
- **Πλειονότητα (plurality):** OnePlus_Nord > Xiaomi_Poco_X3 > Samsung_Galaxy_A71 > Apple_iPhone_12_Pro > Apple_iPhone_12_Mini, > Samsung_Galaxy_S20_Plus
- **Συμβιβασμός (compromise):** OnePlus_Nord > Xiaomi_Poco_X3 > Samsung_Galaxy_A71 > Apple_iPhone_12_Pro > Apple_iPhone_12_Mini, > Samsung_Galaxy_S20_Plus
- **Διαφωνία (disagreement):** Samsung_Galaxy_A51, Xiaomi_Redmi_Note_9

Η διάταξη της αυτόματης πρότασης συμφωνίας του συστήματος είναι η παρακάτω:









OnePlus_Nord > Xiaomi_Poco_X3 > Samsung_Galaxy_A71 > Apple_iPhone_12_Pro
> Apple_iPhone_12_Mini, > Samsung_Galaxy_S20_Plus.

Αντιπαραβάλλοντας τα παραπάνω αποτελέσματα με τα αποτελέσματα του άμεσου ελέγχου συμφωνίας (Α.Ε.Σ.) του συνόλου των φιλτραρισμένων εκπροσώπων, φαίνεται πως υπάρχουν σημαντικές διαφορές:





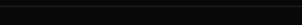



- **Πλειοψηφία (Majority):** -
- **Συμφωνία (agreement):** -
- **Πλειονότητα (plurality):** Xiaomi_Poco_X3 > Samsung_Galaxy_A71 > Apple_iPhone_12_Pro
- **Συμβιβασμός (compromise):** OnePlus_Nord > Xiaomi_Redmi_Note_9 > Xiaomi_Poco_X3 > Samsung_Galaxy_A71 > Apple_iPhone_12_Pro > Samsung_Galaxy_S20_Plus.
- **Διαφωνία (disagreement):** Samsung_Galaxy_A51, Apple_iPhone_12_Mini ,

Η διάταξη της πρότασης συμφωνίας του συστήματος σύμφωνα με την Α.Ε.Σ είναι:

Xiaomi_Poco_X3 > Samsung_Galaxy_A71 > Apple_iPhone_12_Pro > OnePlus_Nord
> Xiaomi_Redmi_Note_9 > Samsung_Galaxy_S20_Plus.

	Alt names	Group TOPSIS score	Alt class
1	OnePlus_Nord	 0.720	Plurality
2	Xiaomi_Poco_X3	 0.624	Plurality
3	Samsung_Galaxy_A71	 0.618	Plurality
4	Apple_iPhone_12_Pro	 0.610	Plurality
5	Apple_iPhone_12_Mini	 0.584	Plurality
6	Samsung_Galaxy_S20_Plus	 0.554	Plurality
7	Samsung_Galaxy_A51	 0.661	Disagreement
8	Xiaomi_Redmi_Note_9	 0.634	Disagreement

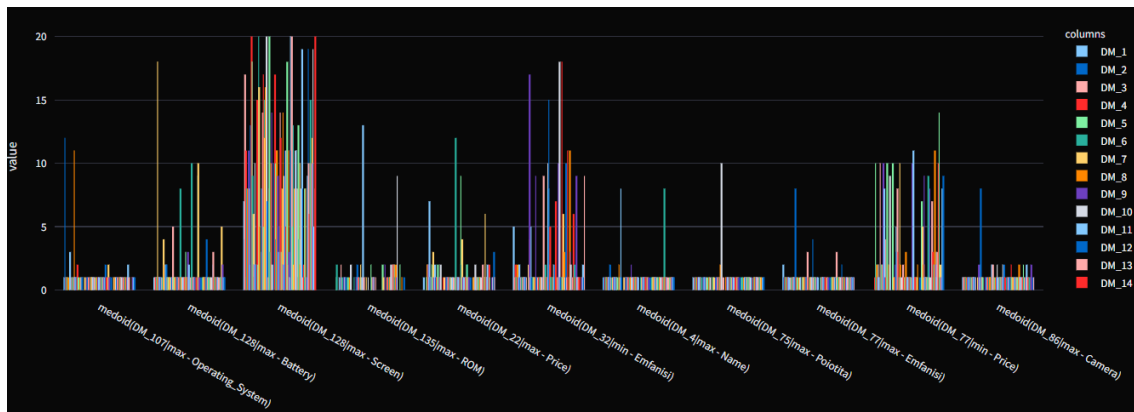
Εικόνα 5-37: Πρόταση συμφωνίας συστήματος με χρήση της μεθοδολογίας εκπροσωπούμενου ελέγχου συμφωνίας. (επιλογή έξυπνου κινητού τηλεφώνου).

	Alt names	Group TOPSIS score	Alt class
1	Xiaomi_Poco_X3	 0.680	Plurality
2	Samsung_Galaxy_A71	 0.656	Plurality
3	Apple_iPhone_12_Pro	 0.641	Plurality
4	OnePlus_Nord	 0.714	Compromise
5	Xiaomi_Redmi_Note_9	 0.681	Compromise
6	Samsung_Galaxy_S20_Plus	 0.602	Compromise
7	Samsung_Galaxy_A51	 0.658	Disagreement
8	Apple_iPhone_12_Mini	 0.600	Disagreement

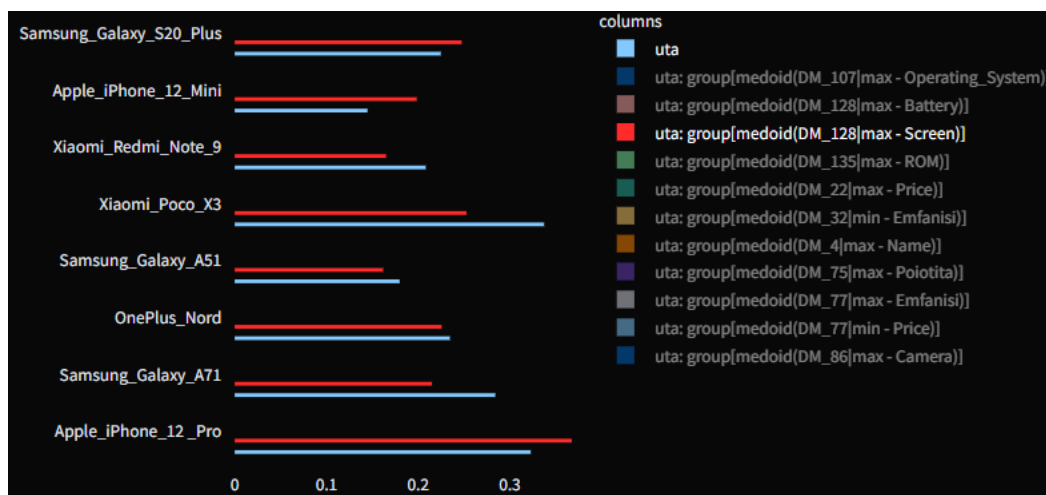
Εικόνα 5-38: Πρόταση συμφωνίας συστήματος με χρήση της μεθοδολογίας άμεσου ελέγχου συμφωνίας στο σύνολο των φιλτραρισμένων αποφασιζόντων. (επιλογή έξυπνου κινητού τηλεφώνου).

Για τον λόγο ότι δεν υπάρχει κάποια ξεκάθαρα προτιμητέα εναλλακτική, και η τελικές κατατάξεις διαφέρουν σε σημαντικό βαθμό, είναι απαραίτητο να γίνει μία διερεύνηση στα υπόλοιπα αποτελέσματα του συστήματος. Στην καρτέλα “All Groups” διαπιστώνεται πως η κατανομή στις ομάδες των δεδομένων τις μεταβελτιστοποίησης των αποφασιζόντων είναι αρκετά ανόμοια (**Εικόνα 5.39**). Αυτό συμβαίνει καθώς παρατηρείται το φαινόμενο, όπου οι λύσεις της μεταβελτιστοποίησης με κοινή αντικειμενική συνάρτηση, έχουν μικρότερη απόσταση μεταξύ τους. Για τον λόγο αυτό, πολλές ομάδες περιέχουν ένα μόνο σημείο μεταβελτιστοποίησης από κάθε αποφασίζοντα. Όμως, η βαθμολογία εκπροσώπησης επηρεάζεται σημαντικά από το ποσοστό των σημείων συμμετοχής του αποφασίζοντα στην ομάδα. Η συνέπεια αυτού είναι ότι, πολλές ομάδες αποφασιζόντων, εκλέγουν λίγους ή και καθόλου εκπροσώπους. Αντιθέτως, η πλειοψηφία των σημείων συγκεντρώνεται σε μία ομάδα, η οποία εκλέγει τους περισσότερους εκπροσώπους. Εάν υπάρχει συμφωνία στις προτιμήσεις των αποφασιζόντων αυτής της ομάδας, τότε αυτή έχει πολύ μεγάλη επιρροή στο τελικό αποτέλεσμα.

Αυτή η συμπεριφορά του συστήματος, από μόνη της μπορεί να είναι επιθυμητή, εάν οδηγεί σε κάποιο πιο ισχυρό αποτέλεσμα συμφωνίας. Στην προκειμένη περίπτωση δε θεωρείται επιθυμητή, καθώς η ισχυρότερη ομάδα δεν έχει υψηλό επίπεδο συμφωνίας με βάση τον αλγόριθμο N.A.I. (**Εικόνα 5-40**). Εάν σε ένα σενάριο έκτακτης ανάγκης θεωρηθεί από τους αποφασίζοντες πως επίσης δεν είναι επιθυμητή, τότε η πιο δραστική και απλή ρύθμιση του συστήματος είναι η αλλαγή του αριθμού συστάδων σε λιγότερες. Στην προκειμένη περίπτωση, επιλέγεται ο σχηματισμός τριών ομάδων (**Εικόνα 5-42**), η αλλαγή των ρυθμίσεων της συσταδοποίησης (**Εικόνα 5-41**) και η χαλάρωση των κανόνων βαθμολογίας εκπροσώπησης των αποφασιζόντων.



Εικόνα 5-39: Η κατανομή των σημείων της μεταβελτιστοποίησης των αποφασιζόντων στις προεπιλεγμένες ομάδες. (επιλογή έξυπνου κινητού τηλεφώνου)



Εικόνα 5-40: Ποσοστά συμφωνίας από τα σύνολα συστολής του αλγορίθμου N.A.I., για την ομάδα με την μεγαλύτερη επιρροή στο τελικό αποτέλεσμα. (επιλογή έξυπνου κινητού τηλεφώνου)

Clustering settings Custom K-Medoids settings

Add a name for this clustering: v1.1

Input data for clustering: u_i(g(a)) vector

Select distance function: cosine

Select min and max number of n_clusters: 3 (min) to 28 (max) / 2 to 30

☒ Run clustering with post-opt dm data

Define p-norm: min (-inf) to max (inf norm)

☒ Groups Set up

Submit

Render content menu: Fitting curve gra... x K-Medoids metrics x K-Means metrics x

apply

	Cl(10)	Cl(11)	Cl(3)	Cl(12)	Cl(2)	Cl(20)	Cl(19)	Cl(17)	Cl(9)	Cl(13)	Cl(6)	Cl(18)	Cl(8)	Cl(15)	Cl(16)
K-medoids	2.0326	0.9781	0.9649	0.4251	0.3871	0.3786	0.0988	-0.0359	-0.1133	-0.1681	-0.1775	-0.3252	-0.3814	-0.403	-0.446

Εικόνα 5-41: Τροποποίηση αριθμήσεων συσταδοποίησης. . (επιλογή έξυπνου κινητού τηλεφώνου)

Clustering Group selection Group TOPSIS settings

Select clustering version: Faster_Pam (v1.1)

Select number of groups (Clusters): 3

Submit

Εικόνα 5-42: Επιλογή έκδοσης συσταδοποίησης και αριθμού ομάδων. (επιλογή έξυπνου κινητού τηλεφώνου)

Με τις παραπάνω αλλαγές ρυθμίσεων, προκύπτει η παρακάτω τελική πρόταση συμφωνίας του συστήματος από το σύνολο των εκπροσώπων:

- **Πλειοψηφία (Majority):** -
- **Συμφωνία (agreement):** Xiaomi_Poco_X3
- **Πλειονότητα (plurality):** OnePlus_Nord > Xiaomi_Poco_X3
- **Συμβιβασμός (compromise):** OnePlus_Nord > Xiaomi_Poco_X3 > Xiaomi_Redmi_Note_9 > Samsung_Galaxy_A51 > Samsung_Galaxy_A71 > Apple_iPhone_12_Pro > Samsung_Galaxy_S20_Plus
- **Διαφωνία (disagreement):** Apple_iPhone_12_Mini

Η διάταξη της πρότασης συμφωνίας του συστήματος που προκύπτει είναι:

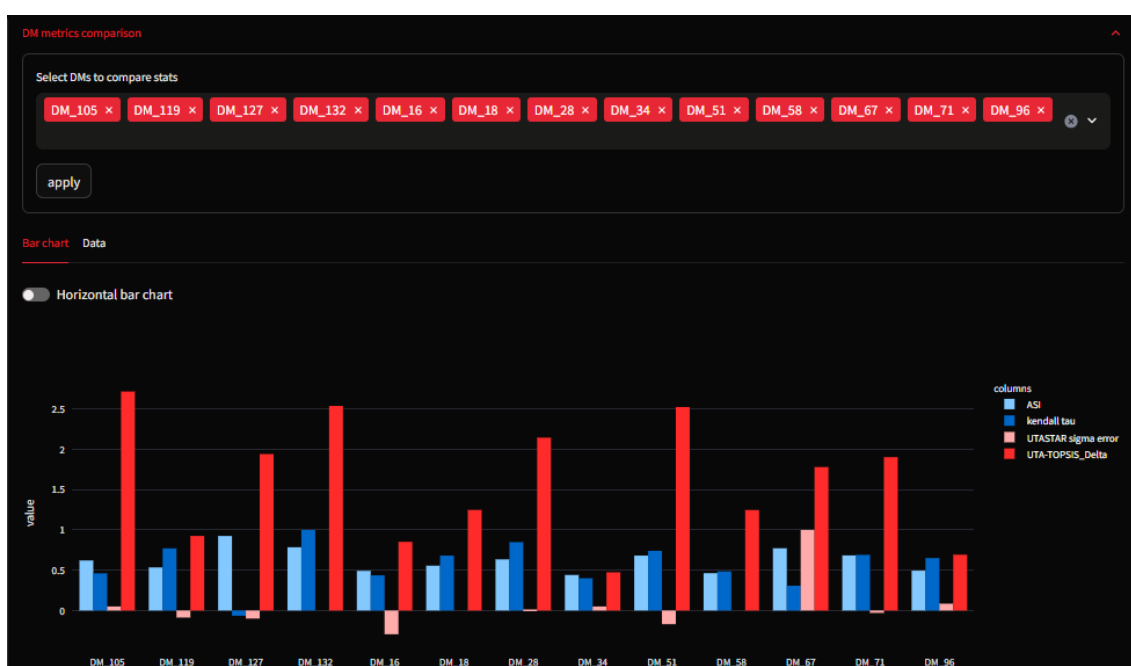
Xiaomi_Poco_X3 > OnePlus_Nord > Xiaomi_Redmi_Note_9 > Samsung_Galaxy_A51
> Samsung_Galaxy_A71 > Apple_iPhone_12_Pro > Samsung_Galaxy_S20_Plus

	Alt names	Group TOPSIS score	Alt class
1	Xiaomi_Poco_X3	<div><div></div></div> 0.704	Agreement
2	OnePlus_Nord	<div><div></div></div> 0.728	Plurality
3	Xiaomi_Redmi_Note_9	<div><div></div></div> 0.702	Compromise
4	Samsung_Galaxy_A51	<div><div></div></div> 0.684	Compromise
5	Samsung_Galaxy_A71	<div><div></div></div> 0.664	Compromise
6	Apple_iPhone_12_Pro	<div><div></div></div> 0.631	Compromise
7	Samsung_Galaxy_S20_Plus	<div><div></div></div> 0.608	Compromise
8	Apple_iPhone_12_Mini	<div><div></div></div> 0.607	Disagreement

Εικόνα 5-43: Πρόταση συστήματος μετά της τροποποίηση των ρυθμίσεων. (επιλογή έξυπνου κινητού τηλεφώνου)

Τα σύνολα των αποφασιζόντων μετά την τροποποίηση των ρυθμίσεων του συστήματος φαίνονται στις παρακάτω εικόνες (**Εικόνα 5-44**). Οι εκπρόσωποι (73 στο πλήθος), είναι αυτοί με τον δείκτη:

{1, 3, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 14, 15, 19, 20, 23, 24, 25, 26, 27, 29, 30, 31, 32, 33, 37, 39, 44, 48, 49, 60, 61, 63, 64, 65, 66, 68, 69, 70, 74, 75, 76, 79, 80, 82, 83, 84, 86, 87, 88, 89, 90, 94, 97, 99, 100, 101, 104, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 116, 118, 120, 121, 122, 124, 126, 128, 130, 131, 134, 135}



Εικόνα 5-44: Προβολή ακραίων τιμών των αποφασιζόντων που απορρίφθηκαν από τη διαδικασία φιλτραρίσματος. (επιλογή έξυπνου κινητού τηλεφώνου)

↑	Sum	↑	medoid(DM_107 max - RAM)	medoid(DM_25 min - RAM)	medoid(DM_88 min - RAM)
DM_112	1.4892	DM_112	24.5%	76.9%	47.6%
DM_113	1.9149	DM_113	78.5%	36.2%	76.7%
DM_114	1.7357	DM_114	44.9%	69.7%	58.9%
DM_115	1.597	DM_115	51.7%	58.8%	49.2%
DM_116	1.7063	DM_116	33.0%	89.9%	47.7%
DM_117	1.5363	DM_117	57.0%	64.7%	31.9%
DM_118	1.6722	DM_118	84.6%	41.5%	41.2%
DM_12	1.7299	DM_12	41.9%	88.1%	43.0%
DM_120	1.625	DM_120	42.7%	31.7%	88.1%
DM_121	1.4791	DM_121	23.0%	85.0%	39.8%

Εικόνα 5-45: Δείγμα από τον πίνακα εκλεγμένων εκπροσώπων (γραμμές: εκπρόσωποι, στήλες: ομάδες). Με κίτρινο χρώμα διαχωρίζει βαθμολογίες πάνω από το κατώτερο όριο εκπροσώπησης. (επιλογή έξυπνου κινητού τηλεφώνου).

Κεφάλαιο 6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στην παρούσα διπλωματική αναπτύχθηκε ένα ευφύες σύστημα υποστήριξης της λήψης ομαδικών αποφάσεων μεγάλης κλίμακας, το οποίο μπορεί να εφαρμοστεί σε κάθε δομημένο πολυκριτήριο πρόβλημα καθώς και σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε, χρησιμοποιεί τεχνικές ανάλυσης της προτίμησης των αποφασίζόντων, βάση των οποίων τους συσταδοποιεί και σχηματίζει ομάδες προτιμήσεων. Έπειτα συνθέτει τις ομαδικές προτιμήσεις και βρίσκει κοινώς αποδεκτές εναλλακτικές με χρήση αλγορίθμου διαπραγμάτευσης. Τέλος, εκλέγει εκπροσώπους για την εύρεση κοινώς αποδεκτών εναλλακτικών στο σύνολο των αποφασίζόντων, κατατάσσοντας κάθε μία σε προκαθορισμένες κλάσεις/κατηγορίες συμφωνίας.

Το γραφικό περιβάλλον της βιβλιοθήκης «streamlit» στο οποίο αναπτύχθηκε η εφαρμογή είναι φιλικό προς τον χρήστη και επιτρέπει τη δημοσίευση της εφαρμογής στο διαδίκτυο με αρκετούς διαφορετικούς τρόπους εάν και εφόσον είναι επιθυμητό στο μέλλον. Το σύστημα έχει δοκιμαστεί με δύο διαφορετικά σετ δεδομένων πολυκριτηρίων προβλημάτων και τα αποτελέσματα με τις προεπιλεγμένες ρυθμίσεις συστήματος είναι ικανοποιητικά. Η μεθοδολογία υποστηρίζει την εξόρυξη μεγάλου όγκου δεδομένων από το διαδίκτυο, και το σύστημα που αναπτύχθηκε μπορεί να διαχειριστεί μεγάλα σετ δεδομένων, εφόσον ο διαχειριστής έχει τη δυνατότητα να τα δημιουργήσει.

Ένας περιορισμός του συστήματος τη στιγμή σύνταξης της διπλωματικής, είναι πως δεν επιτρέπει την ταυτόχρονη απομακρυσμένη σύνδεση στην ίδια εκτέλεση του συστήματος. Προκειμένου οι αποφασίζοντες να μπορούν να δουν τα αποτελέσματα του συστήματος εξ' αποστάσεως, θα πρέπει να εκτελέσουν ανεξάρτητα το σύστημα με τις ίδιες ρυθμίσεις όπως ο συντονιστής. Ακόμη τα αποτελέσματα της συσταδοποίησης δεν είναι πάντα ίδια, επομένως πιθανόν να χρειαστεί να γίνει ανταλλαγή και άλλων αρχείων από τον συντονιστή προς τους αποφασίζοντες, προκειμένου να διασφαλιστεί ότι όλες οι καρτέλες της εφαρμογής έχουν ακριβώς τα ίδια αποτελέσματα. Η λειτουργία της ταυτόχρονης σύνδεσης θα μπορούσε να προστεθεί σε μελλοντική αναβάθμιση του συστήματος, εφόσον δημοσιευθεί στο διαδίκτυο ή εγκατασταθεί σε κάποιο τοπικό δίκτυο.

Όσον αφορά τη μεθοδολογία, σημαντικό είναι να δοκιμαστεί με περισσότερα και μεγαλύτερα πολυκριτήρια προβλήματα προκειμένου να βρεθούν παραδείγματα περιπτώσεων όπου η εκλογή εκπροσώπων μπορεί να έχει αρνητικό αντίκτυπο σε ορισμένες εναλλακτικές. Ακόμη χρειάζεται να μελετηθεί η περίπτωση που μία ομάδα δεν μπορεί να εκλέξει εκπροσώπους ή υπάρχει δυσανάλογο πλήθος εκπροσώπων ανά ομάδα. Επιπλέον, μία μελλοντική αναβάθμιση του συστήματος θα ήταν η εκτέλεση συσταδοποίησης με βάρη, μετά την εκλογή εκπροσώπων, για προβλήματα με ακόμη μεγαλύτερο αριθμό εκπροσώπων (>200) και πολλές ομάδες. Τέλος, σε περίπτωση χρήσης διαφορετικών αλγορίθμων ακολουθώντας τη γενική μεθοδολογία, χρειάζεται να μελετηθούν νέα κριτήρια για την εκλογή εκπροσώπων.

Επίσης, πολλά προβλήματα όπως αναφέρθηκε στην υφιστάμενη κατάσταση μπορεί να έχουν πολλαπλά στάδια εκτέλεσης. Σε αυτήν την περίπτωση μία πρόταση εξέλιξης του συστήματος είναι η εκτέλεση του για κάθε στάδιο ξεχωριστά, και η εύρεση της βέλτιστης διαδοχής εναλλακτικών, συνδυάζοντας τα δεδομένα από όλες τις εκτελέσεις με ένα μοντέλο βελτιστοποίησης.

Ένα ακόμη σύνηθες φαινόμενο είναι η έλλειψη πληροφορίας για τις προτιμήσεις των αποφασιζόντων, το οποίο προσεγγίζεται με χρήση ασαφούς λογικής και στοχαστικών μεθόδων. Η stochastic UTASTAR θα μπορούσε να εφαρμοστεί για την ανάλυση των προτιμήσεων, καθώς και άλλες παραλλαγές των αλγορίθμων όπως “Fuzzy C-means” και Fuzzy TOPSIS. Παρόμοια θα πρέπει να προσαρμοστούν και όλα τα υπόλοιπα μέρη της προτεινόμενης μεθοδολογίας.

Όσον αφορά τη συσταδοποίηση η δημιουργία ενός αλγορίθμου k-medoids από την αρχή αποδείχθηκε αρκετά χρονοβόρα και ένα πρόβλημα το οποίο από μόνο του είναι ένα μεγάλο κεφάλαιο έρευνας. Ένα ακόμη αντικείμενο μελέτης θα ήταν η προσθήκη νέων δεικτών συσταδοποίησης, όπως το Gap Statistic (Tibshirani κ.ά., 2001), αλλά και τρόπους διμερούς σύγκρισης συσταδοποιήσεων με διαφορετικό αριθμό συστάδων. Ακόμη η μελέτη ενός εξειδικευμένου μέτρου απόστασης για τα δεδομένα κάθε προβλήματος, είναι ένα ξεχωριστό και ενδιαφέρον αντικείμενο έρευνας.

Τέλος, η αυτοματοποίηση της δημιουργίας σετ δεδομένων για μεγάλα πολυκριτήρια προβλήματα μέσω της εξόρυξης δεδομένων από το διαδίκτυο, είναι ένα μεγάλο κεφάλαιο έρευνας. Το πρόβλημα είναι πως υπάρχουν λιγοστά τέτοια σετ δεδομένων πολυκριτήριων προβλημάτων στο διαδίκτυο, πέρα από κάποιες ιστοσελίδες που παρέχουν σύγκριση προϊόντων αναγράφοντας τα χαρακτηριστικά τους, όπου και πάλι ορισμένα σύνθετα ή ποιοτικά κριτήρια πιθανόν να λείπουν. Αυτό κάνει την αξιολόγηση των πολυκριτήριων συστημάτων δυσκολότερη, καθώς μπορεί να χρειαστεί να σχηματιστούν τυχαία ή τεχνητά δεδομένα για αυτόν τον σκοπό.

Κεφάλαιο 7 Βιβλιογραφία

- Ματσατσίνης, Ν. (2021). *Επιχειρηματική Ευφυΐα, Αναλυτική και Ανάλυση Μεγάλων Δεδομένων για Λήψη Αποφάσεων* (1η). Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών | NewTech-Pub. <https://newtech-pub.com/βιβλία/πληροφορική/αλγόριθμοι-δομές-δεδομένων/επιχειρηματική-ευφυΐα-αναλυτική-και/>
- Ματσατσίνης, Ν. (2023). *Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων – 2η Έκδοση*. Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών | NewTech-Pub. <https://www.books2u.gr/Product/323987/Page/50077/el/Sustimata-Ypostirixis-Apofaseon—2i-Ekdosi/>
- Σίσκος Γιάννης. (2008). *Μοντέλα Αποφάσεων*. Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών | NewTech-Pub. <https://newtech-pub.com/βιβλία/μαθηματικά-φυσικές-επιστήμες/επιχειρησιακή-έρευνα/μοντέλα-αποφάσεων/>
- Σίσκος Ιωάννης. (1998). *Γραμμικός Προγραμματισμός* (2η). Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών - NewTech Pub. <https://newtech-pub.com/βιβλία/μαθηματικά-φυσικές-επιστήμες/επιχειρησιακή-έρευνα/γραμμικός-προγραμματισμός/>
- Analytica | Decision analysis & multi-criteria*. (2024). Analytica - Visionary Modeling. <https://analytica.com/decision-analysis-multi-criteria/>
- Caliński, T., & JA, H. (1974). A Dendrite Method for Cluster Analysis. *Communications in Statistics - Theory and Methods*, 3, 1–27. <https://doi.org/10.1080/03610927408827101>
- Delias, P., Manitsa, P., Grigoroudis, E., Matsatsinis, N., & Karasavvoglou, A. (2013). Robustness-oriented Group Decision Support. A Case from Ecology Economics. *Procedia Technology*, 8, 285–291. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2013.11.038>

- Eibe Frank, Mark A. Hall, and Ian H. Witten. (χ.χ.). *The WEKA Workbench. Online Appendix for 'Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques'*.
- García-Zamora, D., Labella, Á., Ding, W., Rodríguez, R. M., & Martínez, L. (2022). Large-Scale Group Decision Making: A Systematic Review and a Critical Analysis. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 9(6), 949–966. IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica. <https://doi.org/10.1109/JAS.2022.105617>
- Greco, S., Ehrgott, M., & Figueira, J. (2016). *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3094-4>
- Hwang, C.-L., Lai, Y.-J., & Liu, T.-Y. (1993). A new approach for multiple objective decision making. *Computers & Operations Research*, 20(8), 889–899. [https://doi.org/10.1016/0305-0548\(93\)90109-V](https://doi.org/10.1016/0305-0548(93)90109-V)
- Hwang, C.-L., & Yoon, K. (1981). Methods for Multiple Attribute Decision Making. Στο C.-L. Hwang & K. Yoon (Επιμ.), *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications A State-of-the-Art Survey* (σσ. 58–191). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9_3
- Isee systems. (2024). <https://iseesystems.com/>
- Ito, T., & Shintani, T. (1998). *Persuasion among Agents: An Approach to Implementing a Group Decision Support System Based on Multi-Agent Negotiation*.
- Jarke, M., Jelassi, M. T., & Shakun, M. F. (1987). Mediator: Towards a negotiation support system. *European Journal of Operational Research*, 31(3), 314–334. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(87\)90041-5](https://doi.org/10.1016/0377-2217(87)90041-5)
- Liu, Y., Fan, Z.-P., You, T.-H., & Zhang, W.-Y. (2018). Large group decision-making (LGDM) with the participators from multiple subgroups of stakeholders: A method considering both the collective evaluation and the fairness of the alternative.

- Computers & Industrial Engineering*, 122, 262–272.
<https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.06.008>
- Make_blobs*. (2024). Scikit-Learn. https://scikit-learn/stable/modules/generated/sklearn.datasets.make_blobs.html
- MARKEX* - *Login*. (2024).
<https://markex.pythonanywhere.com/account/login/?next=/markex/consumeranalysis>
- Marttunen, M., Lienert, J., & Belton, V. (2017). Structuring problems for Multi-Criteria Decision Analysis in practice: A literature review of method combinations. *European Journal of Operational Research*, 263(1), 1–17.
<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.04.041>
- Matsatsinis, N. F., Grigoroudis, E., & Samaras, A. (2005). Aggregation and Disaggregation of Preferences for Collective Decision-Making. *Group Decision and Negotiation*, 14(3), 217–232. <https://doi.org/10.1007/s10726-005-7443-x>
- Matsatsinis, N. F., Grigoroudis, E., & Siskos, E. (2018). Disaggregation Approach to Value Elicitation. Στο L. C. Dias, A. Morton, & J. Quigley (Επιμ.), *Elicitation* (τ. 261, σσ. 313–348). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-65052-4_13
- Roy, B. (1976). From Optimisation to Multicriteria Decision Aid: Three Main Operational Attitudes. Στο H. Thiriez & S. Zionts (Επιμ.), *Multiple Criteria Decision Making* (σσ. 1–34). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-87563-2_1
- Roy, B. (1985). *Méthodologie multicritère d'aide à la décision*. Economica.
- Roy, B. (1991). The outranking approach and the foundations of electre methods. *Theory and Decision*, 31(1), 49–73. <https://doi.org/10.1007/BF00134132>

- Schubert, E., & Lenssen, L. (2022). Fast k-medoids Clustering in Rust and Python. *Journal of Open Source Software*, 7(75), 4183. <https://doi.org/10.21105/joss.04183>
- Schubert, E., & Rousseeuw, P. J. (2021). Fast and eager k -medoids clustering: $O(k)$ runtime improvement of the PAM, CLARA, and CLARANS algorithms. *Information Systems*, 101, 101804. <https://doi.org/10.1016/j.is.2021.101804>
- Shi, W.-R., Jiang, D.-P., Chen, J., & Liang, Y.-L. (2004). Group decision support system: Workflow and models in GDSS based on coordination MAS. *Proceedings of 2004 International Conference on Machine Learning and Cybernetics (IEEE Cat. No.04EX826)*, 1, 228–232 τ.1. <https://doi.org/10.1109/ICMLC.2004.1380662>
- Shih, H.-S., Shyur, H.-J., & Lee, E. S. (2007). An extension of TOPSIS for group decision making. *Mathematical and Computer Modelling*, 45(7–8), 801–813. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2006.03.023>
- Siskos, Y., Grigoroudis, E., & Matsatsinis, N. F. (2016). UTA Methods. Στο S. Greco, M. Ehrgott, & J. R. Figueira (Επιμ.), *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys* (σσ. 315–362). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3094-4_9
- Siskos, Y., Grigoroudis, E., Zopounidis, C., & Saurais, O. (1998). Measuring Customer Satisfaction Using a Collective Preference Disaggregation Model. *Journal of Global Optimization*, 12(2), 175–195. <https://doi.org/10.1023/A:1008262411587>
- Sprague, R. H. (1980). A Framework for the Development of Decision Support Systems. *MIS Quarterly*, 4(4), 1–26. <https://doi.org/10.2307/248957>
- Tang, M., & Liao, H. (2021). From conventional group decision making to large-scale group decision making: What are the challenges and how to meet them in big

- data era? A state-of-the-art survey. *Omega*, 100, 102141.
<https://doi.org/10.1016/j.omega.2019.102141>
- Tibshirani, R., Walther, G., & Hastie, T. (2001). Estimating the number of clusters in a data set via the gap statistic. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology)*, 63(2), 411–423. <https://doi.org/10.1111/1467-9868.00293>
- Von Neumann, J., O. Morgenstern. (1944). *Theory of Games and Economic Behavior*. Princeton University Press.
- Weka 3—Data Mining with Open Source Machine Learning Software in Java. (2024).
<https://ml.cms.waikato.ac.nz/weka/index.html>
- Wu, X., & Liao, H. (2024). A multi-stage multi-criterion group decision-making method for emergency management based on alternative chain and trust radius of experts. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 101, 104253.
<https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2024.104253>
- Xu, X., Yin, X., & Chen, X. (2019). A large-group emergency risk decision method based on data mining of public attribute preferences. *Knowledge-Based Systems*, 163, 495–509. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2018.09.010>
- Xu, Y., Wen, X., & Zhang, W. (2018). A two-stage consensus method for large-scale multi-attribute group decision making with an application to earthquake shelter selection. *Computers & Industrial Engineering*, 116, 113–129.
<https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.11.025>
- Yen, J., & Bui, T. X. (1999). The negotiable alternatives identifier for group negotiation support. *Appl. Math. Comput.*