



Σχολή Θετικών Επιστημών & Τεχνολογίας
Μεταπτυχιακή Εξειδίκευση στα Πληροφοριακά Συστήματα
(MSc)

Διπλωματική Εργασία

Σχεδίαση και υλοποίηση συστήματος υποστήριξης ομαδικών
αποφάσεων και ομαδικών συστάσεων πολλαπλών κριτηρίων ως
εφαρμογή διαδικτύου.

Χρήστος Ευσταθίου

Επιβλέπων καθηγητής: Γεώργιος Ρηγόπουλος

Αθήνα, Ιούνιος 2026

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του/της φοιτητή/φοιτήτριας («συγγραφέας/δημιουργός») που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.



Σχεδίαση και υλοποίηση συστήματος υποστήριξης ομαδικών αποφάσεων και ομαδικών συστάσεων πολλαπλών κριτηρίων ως εφαρμογή διαδικτύου.

Χρήστος Ευσταθίου

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπων Καθηγητής:

Γεώργιος Ρηγόπουλος

Μέλος ΣΕΠ

Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο

Συν-Επιβλέπων Καθηγητής:

Ευστράτιος Γεωργόπουλος

Μέλος ΣΕΠ

Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο

Αθήνα, Ιούνιος 2026

Στην οικογένειά μου, για τη στήριξη και την υπομονή τους.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο τη σχεδίαση και την υλοποίηση ενός παραμετρικού συστήματος υποστήριξης ομαδικών αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων. Η ανάγκη για ένα τέτοιο σύστημα προκύπτει σε περιπτώσεις όπου η τελική απόφαση δεν λαμβάνεται από ένα μόνο άτομο, αλλά από ομάδα συμμετεχόντων με διαφορετικές προτιμήσεις, εμπειρίες και τρόπους αξιολόγησης. Στόχος της εργασίας είναι η ανάπτυξη μιας λειτουργικής εφαρμογής, η οποία επιτρέπει στον χρήστη να ορίζει δυναμικά τους συμμετέχοντες, τα κριτήρια και τις εναλλακτικές λύσεις και να εφαρμόζει διαφορετικές μεθόδους αξιολόγησης και κατάταξης στο ίδιο περιβάλλον.

Η εργασία στηρίζεται θεωρητικά στα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων, στην ομαδική λήψη αποφάσεων, στην πολυκριτηριακή ανάλυση και στη θεωρία κοινωνικής επιλογής. Το σύστημα περιλαμβάνει τις μεθόδους Weighted Sum Model, TOPSIS και Analytic Hierarchy Process, καθώς και τον κανόνα Borda Count. Η εφαρμογή υλοποιήθηκε σε Python και Streamlit, ώστε ο χρήστης να μπορεί να εισάγει εύκολα δεδομένα, να προσαρμόζει το πρόβλημα και να βλέπει καθαρά τα αποτελέσματα. Εκτός από την τελική κατάταξη των εναλλακτικών, εμφανίζεται και η προτεινόμενη επιλογή της ομάδας, μαζί με σύντομη επεξήγηση και, όταν υπάρχουν τα απαραίτητα αριθμητικά δεδομένα, δείκτη συναίνεσης.

Η λειτουργία του συστήματος παρουσιάζεται μέσα από ενδεικτική μελέτη περίπτωσης επιλογής ναυπηγείου για τον δεξαμενισμό δεξαμενόπλοιου. Στο συγκεκριμένο σενάριο φαίνεται πώς το σύστημα οργανώνει τα δεδομένα ενός προβλήματος ομαδικής απόφασης, εφαρμόζει διαφορετικές μεθόδους και παρουσιάζει την τελική επιλογή με κατανοητό τρόπο. Παράλληλα, η σύγκριση των αποτελεσμάτων δείχνει ότι η μέθοδος που εφαρμόζεται μπορεί να επηρεάσει την τελική κατάταξη, γεγονός που κάνει χρήσιμη την εξέταση περισσότερων προσεγγίσεων στο ίδιο πλαίσιο. Η βασική συμβολή της εργασίας είναι ότι οι παραπάνω λειτουργίες συνδυάζονται σε ένα κοινό παραμετρικό περιβάλλον, το οποίο υποστηρίζει τη διαδικασία της ομαδικής λήψης απόφασης, βοηθά στην κατανόηση του τρόπου με τον οποίο προκύπτει η τελική επιλογή και μπορεί να επεκταθεί σε πιο σύνθετα προβλήματα.

Λέξεις-κλειδιά: ομαδική λήψη αποφάσεων, πολυκριτηριακή ανάλυση, συστήματα υποστήριξης αποφάσεων, Group MCDM, Borda Count, δείκτης συναίνεσης

Design and Implementation of a Multi-Criteria Group Decision Support and Group Recommendation System as a Web Application

Christos Efstathiou

Abstract

This diploma thesis focuses on the design and implementation of a parametric system for supporting group multi-criteria decision-making. The need for such a system arises in cases where the final decision is not made by a single individual, but by a group of participants with different preferences, experiences and ways of evaluating alternatives. The aim of the thesis is to develop a functional application that allows the user to dynamically define the participants, criteria and alternative options, and to apply different evaluation and ranking methods within the same environment.

The thesis is theoretically based on decision support systems, group decision-making, multi-criteria analysis and social choice theory. The system includes the Weighted Sum Model, TOPSIS and Analytic Hierarchy Process methods, as well as the Borda Count rule. The application was implemented in Python and Streamlit, allowing the user to enter data easily, adjust the problem parameters and view the results clearly. In addition to the final ranking of the alternatives, the system displays the group's recommended choice, together with a short explanation and, when the necessary numerical data are available, a consensus indicator.

The operation of the system is presented through an indicative case study concerning the selection of a shipyard for the dry-docking of a tanker. In this scenario, it is shown how the system organizes the data of a group decision problem, applies different methods and presents the final choice in an understandable way. The comparison of the results also shows that the applied method can affect the final ranking, making it useful to examine more than one approach within the same framework. The main contribution of the thesis is that these functions are combined in a common parametric environment, which supports the group

decision-making process, helps users understand how the final choice is formed and can be extended to more complex problems.

Keywords: group decision-making, multi-criteria decision analysis, decision support systems, Group MCDM, Borda Count, consensus index

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	v
Abstract	vi
Περιεχόμενα	viii
Κατάλογος Εικόνων / Σχημάτων	xi
Κατάλογος Πινάκων	xii
Συντομογραφίες & Ακρωνύμια.....	xiii
1. Εισαγωγή.....	1
1.1 Το πρόβλημα της ομαδικής λήψης αποφάσεων	1
1.2 Αντικείμενο και σκοπός της εργασίας	2
1.3 Στόχοι της εργασίας	2
1.4 Συνεισφορά της εργασίας.....	3
1.5 Συνοπτική αποτίμηση των αποτελεσμάτων της εργασίας	4
1.6 Δομή της εργασίας	5
2. Θεωρητικό Πλαίσιο και Βιβλιογραφική Επισκόπηση	7
2.1 Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων (DSS).....	7
2.2 Ομαδική Λήψη Αποφάσεων (Group Decision Making – GDM).....	8
2.3 Πολυκριτηριακή Λήψη Αποφάσεων (MCDM)	9
2.4 Ομαδική Πολυκριτηριακή Λήψη Αποφάσεων (Group MCDM).....	10
2.5 Μέθοδοι Σύνθεσης Προτιμήσεων (Aggregation Methods)	11
2.6 Θεωρία Κοινωνικής Επιλογής (Social Choice Theory).....	12
2.7 Επιλεγμένες Μέθοδοι Πολυκριτηριακής Ανάλυσης.....	13
2.7.1 Μέθοδος Weighted Sum Model (WSM).....	14
2.7.2 Μέθοδος TOPSIS.....	16
2.7.3 Μέθοδος Analytic Hierarchy Process (AHP).....	17
2.8 Διαδικτυακά Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων	18
2.9 Ομαδική σύσταση και συναίνεση ως επίπεδα ερμηνείας του αποτελέσματος	20
2.10 Σύνοψη Κεφαλαίου	21
3. Σχεδίαση και Αρχιτεκτονική του Συστήματος.....	22
3.1 Σκοπός και γενική φιλοσοφία του συστήματος	22
3.2 Παραμετρικός ορισμός του προβλήματος απόφασης	23
3.3 Γενική ροή λειτουργίας του συστήματος.....	24
3.4 Λειτουργική αρχιτεκτονική του συστήματος.....	25
3.5 Σχεδίαση διεπαφής χρήστη και λογική επιλογής μεθόδων	27
3.6 Μηχανισμοί εισαγωγής δεδομένων.....	28
3.7 Υποσύστημα σύνθεσης αξιολογήσεων και υπολογισμού βαρών κριτηρίων	30
3.8 Υποσύστημα εξαγωγής αποτελεσμάτων	31
3.9 Μηχανισμοί ελέγχου εγκυρότητας και συνέπειας	32
3.10 Παρουσίαση και ερμηνεία αποτελεσμάτων	33
3.11 Σύνοψη Κεφαλαίου	34
4. Μεθοδολογική και Μαθηματική Θεμελίωση του Μοντέλου.....	35
4.1 Αναπαράσταση του προβλήματος και γενική μεθοδολογική διάρθρωση.....	35
4.2 Σύνθεση ατομικών αξιολογήσεων και κρίσεων	37
4.2.1 Αριθμητικός μέσος όρος (Arithmetic Mean)	37

4.2.2 Σταθμισμένος μέσος όρος (Weighted Mean).....	38
4.2.3 Σύνθεση συγκρίσεων στην ομαδική AHP.....	38
4.3 Υπολογισμός βαρών κριτηρίων	39
4.3.1 Άμεση εισαγωγή βαρών	39
4.3.2 Υπολογισμός βαρών με τη μέθοδο AHP	40
4.3.3 Έλεγχος συνέπειας	41
4.4 Μέθοδοι κατάταξης εναλλακτικών λύσεων.....	42
4.4.1 Μέθοδος Weighted Sum Model (WSM).....	42
4.4.2 Μέθοδος TOPSIS.....	43
4.4.3 Μέθοδος Analytic Hierarchy Process (AHP).....	45
4.5 Κανόνας κοινωνικής επιλογής Borda Count.....	47
4.6 Παραγωγή κύριας ομαδικής σύστασης και υπολογισμός του δείκτη συναίνεσης....	48
4.6.1 Κύρια ομαδική σύσταση	48
4.6.2 Δείκτης συναίνεσης.....	48
4.6.3 Επεξήγηση της σύστασης.....	49
4.7 Σύνθεση των διαδικασιών του μοντέλου	50
4.8 Παραδοχές και περιορισμοί του μοντέλου.....	50
4.8.1 Παραδοχή πληρότητας δεδομένων	50
4.8.2 Παραδοχή ανεξαρτησίας κριτηρίων.....	51
4.8.3 Περιορισμοί της AHP	51
4.8.4 Θεωρητικοί περιορισμοί κοινωνικής επιλογής	51
4.8.5 Περιορισμοί του επιπέδου ομαδικής σύστασης.....	51
4.8.6 Περιορισμοί του υπολογισμού του δείκτη συναίνεσης.....	51
4.9 Σύνοψη Κεφαλαίου	52
5. Ανάπτυξη της Εφαρμογής.....	53
5.1 Τεχνολογίες ανάπτυξης	53
5.2 Τεχνική οργάνωση της εφαρμογής	54
5.3 Δομή του λογισμικού	54
5.4 Βασικές λειτουργίες της εφαρμογής	56
5.4.1 Σύνθεση αξιολογήσεων.....	56
5.4.2 Υπολογισμός βαρών κριτηρίων	57
5.4.3 Κατάταξη εναλλακτικών στην εφαρμογή	59
5.4.4 Κανόνας κοινωνικής επιλογής Borda Count.....	59
5.4.5 Παραγωγή κύριας ομαδικής σύστασης και υπολογισμός δείκτη συναίνεσης ...	60
5.4.6 Σύνδεση μοντέλου και εφαρμογής.....	61
5.5 Τεχνική υλοποίηση της διεπαφής χρήστη.....	62
5.6 Ενδεικτικά παραδείγματα λειτουργίας της εφαρμογής.....	63
5.6.1 Παράδειγμα εφαρμογής με το Weighted Sum Model.....	63
5.6.2 Παράδειγμα εφαρμογής με τη μέθοδο TOPSIS.....	65
5.6.3 Παράδειγμα εφαρμογής με τη μέθοδο AHP	66
5.6.4 Παράδειγμα εφαρμογής με τον κανόνα Borda Count.....	66
5.6.5 Παρατηρήσεις από τη λειτουργία της εφαρμογής	68
5.7 Σύνοψη Κεφαλαίου	68
6. Μελέτη Περίπτωσης: Επιλογή Ναυπηγείου για Δεξαμενισμό Δεξαμενόπλοιου.....	70
6.1 Περιγραφή του προβλήματος.....	70
6.2 Ορισμός συμμετεχόντων, κριτηρίων και εναλλακτικών.....	71

6.2.1 Συμμετέχοντες στη διαδικασία απόφασης	71
6.2.2 Εναλλακτικά ναυπηγεία	72
6.2.3 Κριτήρια αξιολόγησης	73
6.3 Παραμετροποίηση του συστήματος.....	74
6.4 Δεδομένα εισόδου της μελέτης περίπτωσης	76
6.4.1 Βάρη κριτηρίων για WSM και TOPSIS.....	76
6.4.2 Αξιολογήσεις συμμετεχόντων.....	77
6.4.3 Είσοδοι AHP	79
6.4.4 Άμεσες κατατάξεις για Borda Count.....	80
6.5 Αποτελέσματα ανά μέθοδο	81
6.5.1 Αποτελέσματα Weighted Sum Model.....	81
6.5.2 Αποτελέσματα TOPSIS.....	82
6.5.3 Αποτελέσματα AHP	84
6.5.4 Αποτελέσματα Borda Count	86
6.6 Σύγκριση και ερμηνεία αποτελεσμάτων	87
6.7 Συμπεράσματα μελέτης περίπτωσης.....	89
7. Συμπεράσματα και Προοπτικές Επέκτασης.....	90
7.1 Συμπεράσματα	90
7.2 Περιορισμοί της εργασίας	91
7.3 Δυνατότητες μελλοντικής επέκτασης	93
Βιβλιογραφία.....	95
Παράρτημα Α: Ενδεικτικά αποσπάσματα κώδικα της εφαρμογής.....	99
A.1 Σύνθεση αξιολογήσεων συμμετεχόντων.....	99
A.2 Υπολογισμός βαρών και λόγου συνέπειας AHP.....	99
A.3 Μέθοδοι κατάταξης εναλλακτικών	101
A.4 Κανόνας κοινωνικής επιλογής Borda Count.....	103
A.5 Παραγωγή κύριας ομαδικής σύστασης	103
A.6 Υπολογισμός δείκτη συναίνεσης.....	104
Παράρτημα Β: Αναλυτικά αποτελέσματα της μελέτης περίπτωσης στην εφαρμογή.....	105
B.1 Αποτελέσματα WSM.....	105
B.2 Αποτελέσματα TOPSIS	107
B.3 Αποτελέσματα AHP Ranking.....	109
B.4 Αποτελέσματα Borda Count.....	120

Κατάλογος Εικόνων / Σχημάτων

Σχήμα 3-1 Δεδομένα εισόδου και αποτελέσματα του συστήματος	23
Σχήμα 3-2 UML διάγραμμα δραστηριοτήτων της ροής ανάλυσης του συστήματος	25
Σχήμα 3-3 Οργάνωση της εφαρμογής σε βασικά επίπεδα	26
Σχήμα 3-4 Επιλογή μεθόδου και δεδομένα που ζητά η εφαρμογή	29
Εικόνα 5-1 Ενδεικτική εισαγωγή αξιολογήσεων συμμετεχόντων στην εφαρμογή	57
Εικόνα 5-2 Ενδεικτική εισαγωγή ζευγαρωτών συγκρίσεων και εμφάνιση λόγου συνέπειας στη ροή AHP	58
Εικόνα 5-3 Ενδεικτική παρουσίαση τελικής κατάταξης εναλλακτικών λύσεων στην εφαρμογή	59
Εικόνα 5-4 Παρουσίαση κύριας ομαδικής σύστασης και δείκτη συναίνεσης στην εφαρμογή	61
Εικόνα 5-5 Ενδεικτική επιλογή τύπου ανάλυσης και μεθόδου στην εφαρμογή	62
Εικόνα 5-6 Ενδεικτική εισαγωγή αξιολογήσεων και βαρών στη ροή WSM	64
Εικόνα 5-7 Ενδεικτική παρουσίαση αποτελεσμάτων στη ροή Borda Count	67
Εικόνα 6-1 Παραμετροποίηση του προβλήματος στην εφαρμογή	75
Εικόνα 6-2 Επιλογή τύπου κριτηρίων στην TOPSIS	75
Εικόνα 6-3 Εισαγωγή αξιολογήσεων συμμετεχόντων στην εφαρμογή	79
Εικόνα 6-4 Ενδεικτική εισαγωγή ζευγαρωτών συγκρίσεων στη ροή AHP	79
Εικόνα 6-5 Εισαγωγή άμεσων κατατάξεων στη ροή Borda Count	80
Εικόνα 6-6 Αποτελέσματα WSM στην εφαρμογή	82
Εικόνα 6-7 Αποτίμηση βαθμού συναίνεσης στη μέθοδο WSM	82
Εικόνα 6-8 Αποτελέσματα TOPSIS στην εφαρμογή	83
Εικόνα 6-9 Αποτελέσματα AHP Ranking στην εφαρμογή	85
Εικόνα 6-10 Αποτελέσματα Borda Count στην εφαρμογή	87

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2-1 Συγκριτική αποτύπωση των επιλεγμένων πολυκριτηριακών μεθόδων.....	14
Πίνακας 6-1 Συμμετέχοντες στη διαδικασία απόφασης	72
Πίνακας 6-2 Εναλλακτικά ναυπηγεία	73
Πίνακας 6-3 Κριτήρια αξιολόγησης ναυπηγείων.....	74
Πίνακας 6-4 Βάρη κριτηρίων για WSM και TOPSIS.....	76
Πίνακας 6-5 Αξιολογήσεις DM1 — Τεχνικός Διευθυντής.....	77
Πίνακας 6-6 Αξιολογήσεις DM2 — Αρχιμηχανικός	77
Πίνακας 6-7 Αξιολογήσεις DM3 — Διευθυντής Ναυτιλιακών Επιχειρήσεων	77
Πίνακας 6-8 Αξιολογήσεις DM4 — Διευθυντής Προμηθειών.....	78
Πίνακας 6-9 Αξιολογήσεις DM5 — Διευθυντής Ναυλώσεων	78
Πίνακας 6-10 Άμεσες κατατάξεις για Borda Count.....	80
Πίνακας 6-11 Αποτελέσματα WSM	81
Πίνακας 6-12 Αποτελέσματα TOPSIS.....	82
Πίνακας 6-13 Βάρη κριτηρίων από AHP.....	84
Πίνακας 6-14 Αποτελέσματα AHP Ranking	84
Πίνακας 6-15 Αποτελέσματα Borda Count	86
Πίνακας 6-16 Συγκριτική κατάταξη μεθόδων	87

Συντομογραφίες & Ακρωνύμια

AHP	Analytic Hierarchy Process - Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία
CI	Consistency Index - Δείκτης Συνέπειας
CR	Consistency Ratio - Λόγος Συνέπειας
DM	Decision Maker - Συμμετέχων / αποφασίζων στη διαδικασία
DSS	Decision Support System - Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων
GDSS	Group Decision Support System - Σύστημα Υποστήριξης Ομαδικών Αποφάσεων
GDM	Group Decision Making - Ομαδική Λήψη Αποφάσεων
MCDA	Multi-Criteria Decision Analysis - Πολυκριτηριακή Ανάλυση Αποφάσεων
MCDM	Multi-Criteria Decision Making - Πολυκριτηριακή Λήψη Αποφάσεων
OWA	Ordered Weighted Averaging - Διατεταγμένη Σταθμισμένη Συνάθροιση
RI	Random Index - Τυχαίος Δείκτης Συνέπειας
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution - Τεχνική κατάταξης βάσει ομοιότητας προς την ιδανική λύση
UML	Unified Modeling Language - Ενοποιημένη Γλώσσα Μοντελοποίησης
WSM	Weighted Sum Model - Μοντέλο Σταθμισμένου Αθροίσματος

1. Εισαγωγή

Η λήψη αποφάσεων αποτελεί κρίσιμη διαδικασία σε οργανισμούς, επιχειρήσεις και γενικότερα σε κάθε περιβάλλον όπου απαιτείται επιλογή μεταξύ εναλλακτικών λύσεων. Σε πολλές περιπτώσεις, οι αποφάσεις δεν λαμβάνονται από ένα μόνο άτομο, αλλά από ομάδες συμμετεχόντων, οι οποίοι διαθέτουν διαφορετικές προτιμήσεις, εμπειρίες και οπτικές γωνίες. Η σύνθεση των διαφορετικών αυτών απόψεων σε μία κοινή και τεκμηριωμένη επιλογή αποτελεί ένα ιδιαίτερα απαιτητικό πρόβλημα, το οποίο καθίσταται ακόμη πιο σύνθετο όταν οι αποφάσεις βασίζονται σε πολλαπλά κριτήρια αξιολόγησης (Tindale & Winget, 2019; de Almeida & Morais, 2018).

Η πολυπλοκότητα της ομαδικής λήψης αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων δημιουργεί την ανάγκη για ανάπτυξη συστημάτων που μπορούν να υποστηρίξουν τη διαδικασία οργάνωσης, επεξεργασίας και σύνθεσης των διαθέσιμων πληροφοριών. Τα συστήματα αυτά συμβάλλουν στη διαφάνεια της διαδικασίας, στη συστηματική αξιολόγηση των εναλλακτικών λύσεων και στη βελτίωση της ποιότητας των συλλογικών αποφάσεων, ιδιαίτερα όταν απαιτείται διαχείριση πολλών χρηστών, προτιμήσεων και εναλλακτικών σε οργανωμένο υπολογιστικό περιβάλλον (DeSanctis & Gallupe, 1987; Conceição et al., 2021).

1.1 Το πρόβλημα της ομαδικής λήψης αποφάσεων

Η ομαδική λήψη αποφάσεων χαρακτηρίζεται από την ανάγκη συνδυασμού διαφορετικών ατομικών προτιμήσεων σε ένα ενιαίο αποτέλεσμα, το οποίο να μπορεί να θεωρηθεί αποδεκτό από την ομάδα. Η δυσκολία αυτή εντείνεται σε προβλήματα όπου οι εναλλακτικές λύσεις αξιολογούνται με βάση πολλαπλά κριτήρια, καθώς κάθε συμμετέχων ενδέχεται να αποδίδει διαφορετική σημασία στα κριτήρια αυτά (Tindale & Winget, 2019; de Almeida & Morais, 2018).

Ως εκ τούτου, απαιτούνται κατάλληλες μέθοδοι σύνθεσης αξιολογήσεων, στάθμισης κριτηρίων και κατάταξης εναλλακτικών λύσεων, καθώς και ένα υπολογιστικό περιβάλλον που να επιτρέπει την αποτελεσματική εφαρμογή τους. Η ανάγκη αυτή καθιστά τα συστήματα υποστήριξης ομαδικών αποφάσεων ιδιαίτερα σημαντικά, ιδίως σε περιβάλλοντα όπου η πολυπλοκότητα του προβλήματος και η ποικιλία των προτιμήσεων

δυσχεραίνουν τη λήψη τεκμηριωμένης συλλογικής απόφασης (de Almeida & Morais, 2018; Wan Mohd & Abdullah, 2017).

1.2 Αντικείμενο και σκοπός της εργασίας

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η σχεδίαση και υλοποίηση ενός παραμετρικού συστήματος υποστήριξης ομαδικών αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων, το οποίο αναπτύσσεται ως διαδραστική εφαρμογή με διεπαφή ιστού και εκτελείται σε τοπικό περιβάλλον. Το σύστημα επιτρέπει τον δυναμικό ορισμό του πλήθους των συμμετεχόντων, των κριτηρίων και των εναλλακτικών λύσεων, καθώς και την εφαρμογή διαφορετικών μεθόδων σύνθεσης και κατάταξης. Επιπλέον, η εφαρμογή δεν περιορίζεται στην παραγωγή συλλογικής κατάταξης, αλλά παρουσιάζει το αποτέλεσμα και ως κύρια ομαδική σύσταση, συνοδευόμενη από επεξήγηση της προτεινόμενης επιλογής και, όπου είναι διαθέσιμες ατομικές αριθμητικές τελικές βαθμολογίες ανά εναλλακτική, από δείκτη συναίνεσης (Tindale & Winget, 2019; Dara et al., 2020; Trattner et al., 2018).

Σκοπός της εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός λειτουργικού πρωτοτύπου που ενσωματώνει μεθόδους σύνθεσης προτιμήσεων, υπολογισμού βαρών κριτηρίων, κατάταξης εναλλακτικών λύσεων και κοινωνικής επιλογής, επιτρέποντας την εφαρμογή διαφορετικών προσεγγίσεων στο ίδιο πρόβλημα απόφασης. Παράλληλα, επιδιώκεται η ανάδειξη της επίδρασης της μεθοδολογικής επιλογής στο τελικό συλλογικό αποτέλεσμα και στην προτεινόμενη επιλογή που παρουσιάζεται στην ομάδα.

Για την αξιολόγηση της λειτουργικότητας του συστήματος χρησιμοποιείται ενδεικτικό σενάριο εφαρμογής που αφορά την επιλογή ναυπηγείου για δεξαμενισμό δεξαμενόπλοιου από ναυτιλιακή εταιρεία, μέσω του οποίου εξετάζονται τόσο η συλλογική κατάταξη των εναλλακτικών όσο και η παραγόμενη κύρια ομαδική σύσταση.

1.3 Στόχοι της εργασίας

Οι στόχοι της παρούσας διπλωματικής εργασίας οργανώνονται σε δύο βασικές κατευθύνσεις. Η πρώτη αφορά τη θεωρητική και μεθοδολογική θεμελίωση του προβλήματος της ομαδικής πολυκριτηριακής λήψης αποφάσεων. Η δεύτερη αφορά τον

σχεδιασμό και την υλοποίηση της εφαρμογής, ώστε το προτεινόμενο μοντέλο να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα λειτουργικό υπολογιστικό περιβάλλον.

Σε θεωρητικό και μεθοδολογικό επίπεδο, οι στόχοι της εργασίας είναι:

- η μελέτη της βιβλιογραφίας σχετικά με την ομαδική λήψη αποφάσεων, την πολυκριτηριακή ανάλυση και τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων,
- η ανάλυση βασικών μεθόδων σύνθεσης προτιμήσεων, κατάταξης εναλλακτικών λύσεων και κοινωνικής επιλογής,
- η ανάπτυξη ενός παραμετρικού μοντέλου ομαδικής λήψης αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων.

Σε τεχνικό και υλοποιητικό επίπεδο, οι στόχοι είναι:

- η υλοποίηση του μοντέλου σε περιβάλλον Python και Streamlit,
- η δυνατότητα δυναμικού ορισμού συμμετεχόντων, κριτηρίων και εναλλακτικών λύσεων,
- η υποστήριξη πολλαπλών μεθόδων αξιολόγησης και κατάταξης,
- η εφαρμογή διαφορετικών μεθόδων στο ίδιο πλαίσιο ανάλυσης,
- η παρουσίαση και σύγκριση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν,
- η ενσωμάτωση κύριας ομαδικής σύστασης και δείκτη συναίνεσης όπου υπάρχουν τα κατάλληλα δεδομένα,
- η εφαρμογή του συστήματος σε ενδεικτικό σενάριο επιλογής ναυπηγείου για δεξαμενισμό δεξαμενόπλοιου.

1.4 Συνεισφορά της εργασίας

Η κύρια συνεισφορά της παρούσας εργασίας δεν έγκειται στην πρόταση νέας θεωρητικής μεθόδου λήψης αποφάσεων, αλλά στην ενοποίηση και υλοποίηση διαφορετικών μεθοδολογικών προσεγγίσεων μέσα σε ένα κοινό, παραμετρικό και λειτουργικό σύστημα υποστήριξης ομαδικών αποφάσεων. Το σύστημα επιτρέπει την εφαρμογή και σύγκριση πολλαπλών μεθόδων μέσα στο ίδιο υπολογιστικό περιβάλλον, χωρίς να απαιτείται τροποποίηση του βασικού κώδικα της εφαρμογής.

Ειδικότερα, η εργασία συνεισφέρει στα ακόλουθα. Πρώτον, αναπτύσσεται λειτουργικό πρωτότυπο που υποστηρίζει μεθόδους πολυκριτηριακής ανάλυσης, όπως το Weighted Sum Model, η TOPSIS και η AHP, καθώς και κανόνα κοινωνικής επιλογής, όπως ο Borda Count. Δεύτερον, το σύστημα επιτρέπει δυναμική παραμετροποίηση του προβλήματος από τον χρήστη, μέσω ορισμού του πλήθους συμμετεχόντων, κριτηρίων και εναλλακτικών λύσεων, χωρίς ανάγκη αλλαγής του προγράμματος. Τρίτον, το αποτέλεσμα δεν παρουσιάζεται μόνο ως συλλογική κατάταξη, αλλά και ως κύρια ομαδική σύσταση με συνοδευτική επεξήγηση και, όπου είναι εφικτό, με δείκτη συναίνεσης.

Επιπλέον, η εργασία αναδεικνύει ότι το ίδιο πρόβλημα απόφασης μπορεί να οδηγήσει σε διαφορετικά αποτελέσματα ανάλογα με τη μέθοδο που εφαρμόζεται. Με τον τρόπο αυτό, η συμβολή της είναι ταυτόχρονα υλοποιητική, συγκριτική και εκπαιδευτική, καθώς το προτεινόμενο σύστημα λειτουργεί τόσο ως εργαλείο ανάλυσης όσο και ως πλαίσιο κατανόησης της επίδρασης της μεθοδολογικής επιλογής στη συλλογική λήψη αποφάσεων.

1.5 Συνοπτική αποτίμηση των αποτελεσμάτων της εργασίας

Με βάση τους στόχους που τέθηκαν, η εργασία κατέληξε στην ανάπτυξη ενός λειτουργικού πρωτοτύπου συστήματος υποστήριξης ομαδικών αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων. Σε θεωρητικό και μεθοδολογικό επίπεδο, το μοντέλο συνδύασε διαφορετικές προσεγγίσεις σύνθεσης αξιολογήσεων, υπολογισμού βαρών, κατάταξης εναλλακτικών λύσεων και κοινωνικής επιλογής. Σε τεχνικό επίπεδο, οι διαδικασίες αυτές ενσωματώθηκαν σε εφαρμογή Python και Streamlit, η οποία επιτρέπει τον παραμετρικό ορισμό του προβλήματος, την επιλογή μεθόδου και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων σε ενιαίο περιβάλλον.

Η μελέτη περίπτωσης έδειξε ότι το σύστημα μπορεί να οργανώσει ένα πρόβλημα ομαδικής απόφασης, να εφαρμόσει περισσότερες από μία μεθοδολογικές προσεγγίσεις και να παρουσιάσει την τελική επιλογή με τρόπο που υποστηρίζει την ερμηνεία του αποτελέσματος. Παράλληλα, η σύγκριση των μεθόδων ανέδειξε ότι η επιλογή της μεθόδου μπορεί να επηρεάσει την τελική κατάταξη, στοιχείο που επιβεβαιώνει τη χρησιμότητα της συγκριτικής ανάλυσης μέσα στο ίδιο παραμετρικό πλαίσιο.

1.6 Δομή της εργασίας

Η εργασία οργανώνεται σε επτά κεφάλαια.

Στο **Κεφάλαιο 1** παρουσιάζονται το αντικείμενο, ο σκοπός, οι στόχοι, η συνεισφορά και η συνοπτική αποτίμηση των αποτελεσμάτων της εργασίας, καθώς και η συνολική διάρθρωσή της.

Στο **Κεφάλαιο 2** αναπτύσσεται το θεωρητικό πλαίσιο και η βιβλιογραφική επισκόπηση της εργασίας. Παρουσιάζονται οι βασικές έννοιες των συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων, της ομαδικής λήψης αποφάσεων, της πολυκριτηριακής ανάλυσης, της ομαδικής πολυκριτηριακής λήψης αποφάσεων, των μεθόδων σύνθεσης προτιμήσεων και της θεωρίας κοινωνικής επιλογής. Παράλληλα, παρουσιάζονται οι επιλεγμένες μέθοδοι πολυκριτηριακής ανάλυσης που αξιοποιούνται στην εργασία, καθώς και η έννοια της ομαδικής σύστασης και της συναίνεσης ως συμπληρωματικών επιπέδων ερμηνείας του αποτελέσματος.

Στο **Κεφάλαιο 3** παρουσιάζονται η σχεδίαση και η αρχιτεκτονική του προτεινόμενου συστήματος. Ειδικότερα, αναλύονται η γενική φιλοσοφία του συστήματος, ο παραμετρικός ορισμός του προβλήματος απόφασης, η αρχιτεκτονική λογισμικού, η λογική της διεπαφής χρήστη, οι μηχανισμοί εισαγωγής δεδομένων, τα υποσυστήματα σύνθεσης, κατάταξης και ελέγχου εγκυρότητας, καθώς και ο τρόπος παρουσίασης και ερμηνείας των αποτελεσμάτων.

Στο **Κεφάλαιο 4** παρουσιάζεται η μεθοδολογική και μαθηματική θεμελίωση του μοντέλου που χρησιμοποιείται στο προτεινόμενο σύστημα. Αναλύονται η αναπαράσταση του προβλήματος, οι διαδικασίες σύνθεσης ατομικών αξιολογήσεων και κρίσεων, ο υπολογισμός των βαρών των κριτηρίων, οι μέθοδοι κατάταξης των εναλλακτικών λύσεων, ο κανόνας κοινωνικής επιλογής Borda Count, καθώς και ο τρόπος με τον οποίο το συλλογικό αποτέλεσμα μετατρέπεται σε κύρια ομαδική σύσταση και συνοδεύεται από δείκτη συναίνεσης. Τέλος, παρουσιάζονται οι βασικές παραδοχές και οι περιορισμοί του μοντέλου.

Στο **Κεφάλαιο 5** παρουσιάζεται η ανάπτυξη του συστήματος σε περιβάλλον Python και Streamlit. Περιγράφονται οι τεχνολογίες ανάπτυξης, η τεχνική οργάνωση της εφαρμογής, η δομή του λογισμικού, οι βασικές λειτουργίες της εφαρμογής, η διεπαφή χρήστη και ενδεικτικά παραδείγματα λειτουργίας.

Στο **Κεφάλαιο 6** εξετάζεται η λειτουργία του συστήματος μέσα από μελέτη περίπτωσης επιλογής ναυπηγείου για δεξαμενισμό δεξαμενόπλοιου. Παρουσιάζονται ο ορισμός του προβλήματος, τα δεδομένα του σεναρίου, η εφαρμογή των επιλεγμένων μεθόδων και η ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

Στο **Κεφάλαιο 7** παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της εργασίας, οι βασικοί περιορισμοί της και οι δυνατότητες μελλοντικής επέκτασης και βελτίωσης του προτεινόμενου συστήματος.

2. Θεωρητικό Πλαίσιο και Βιβλιογραφική Επισκόπηση

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο που στηρίζει την ανάπτυξη του προτεινόμενου συστήματος υποστήριξης ομαδικών αποφάσεων. Αρχικά εξετάζονται οι βασικές έννοιες των συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων, της ομαδικής λήψης αποφάσεων και της πολυκριτηριακής ανάλυσης. Στη συνέχεια, αναλύονται οι μέθοδοι σύνθεσης προτιμήσεων και οι αρχές της θεωρίας κοινωνικής επιλογής, οι οποίες είναι κρίσιμες για τη μετάβαση από τις ατομικές κρίσεις σε συλλογικά αποτελέσματα. Τέλος, παρουσιάζονται οι βασικές μέθοδοι που αξιοποιούνται στο προτεινόμενο σύστημα και γίνεται σύνδεση του θεωρητικού πλαισίου με τα σύγχρονα υπολογιστικά περιβάλλοντα υποστήριξης ομαδικών αποφάσεων.

2.1 Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων (DSS)

Τα Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων (Decision Support Systems – DSS) αποτελούν πληροφοριακά συστήματα που έχουν σχεδιαστεί για να ενισχύουν τη διαδικασία λήψης αποφάσεων σε περιβάλλοντα όπου επικρατούν η πολυπλοκότητα, η αβεβαιότητα και η ανάγκη αξιολόγησης πολλαπλών εναλλακτικών λύσεων. Τα DSS δεν αντικαθιστούν τον ανθρώπινο παράγοντα, αλλά λειτουργούν ως εργαλεία ενίσχυσης της κρίσης των αποφασισζόντων, παρέχοντας δυνατότητες ανάλυσης δεδομένων, μοντελοποίησης και αξιολόγησης εναλλακτικών επιλογών (DeSanctis & Gallupe, 1987; Conceição et al., 2021).

Η ανάπτυξή τους συνδέεται με την ανάγκη αντιμετώπισης ημιδομημένων και μη δομημένων προβλημάτων, στα οποία δεν υπάρχει μία αυστηρά προκαθορισμένη διαδικασία επίλυσης. Σε τέτοιες περιπτώσεις, τα DSS συνδυάζουν δεδομένα, μοντέλα και κατάλληλες διεπαφές χρήστη, επιτρέποντας την εξερεύνηση διαφορετικών σεναρίων και τη σύγκριση πιθανών επιλογών.

Ιδιαίτερη κατηγορία των DSS αποτελούν τα Συστήματα Υποστήριξης Ομαδικών Αποφάσεων (Group Decision Support Systems – GDSS), τα οποία επεκτείνουν τη λογική των DSS σε περιβάλλοντα όπου συμμετέχουν πολλοί αποφασίζοντες. Τα συστήματα αυτά υποστηρίζουν τη συλλογή, οργάνωση και σύνθεση των απόψεων των συμμετεχόντων, συμβάλλοντας στη διαμόρφωση συλλογικών αποφάσεων με μεγαλύτερη διαφάνεια και αποδοχή (DeSanctis & Gallupe, 1987).

Η μετάβαση από τα παραδοσιακά DSS στα GDSS αντανακλά τη σταδιακή μετατόπιση του ενδιαφέροντος από την ατομική στη συλλογική λήψη αποφάσεων, ιδιαίτερα σε περιβάλλοντα όπου η συνεργασία και η σύνθεση διαφορετικών προτιμήσεων αποτελούν κρίσιμο στοιχείο της διαδικασίας.

2.2 Ομαδική Λήψη Αποφάσεων (Group Decision Making – GDM)

Η ομαδική λήψη αποφάσεων (Group Decision Making – GDM) αφορά τη διαδικασία κατά την οποία ένα σύνολο ατόμων συμμετέχει ενεργά στη διαμόρφωση μιας κοινής απόφασης. Σε αντίθεση με την ατομική λήψη αποφάσεων, η GDM χαρακτηρίζεται από την ανάγκη ενσωμάτωσης διαφορετικών απόψεων, εμπειριών και συστημάτων αξιών, γεγονός που καθιστά τη διαδικασία πιο σύνθετη αλλά ταυτόχρονα και πιο πλούσια σε πληροφορία (Tindale & Winget, 2019).

Η συμμετοχή πολλών αποφασιζόντων προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως η αξιοποίηση πολλαπλών οπτικών γωνιών, η βελτίωση της ποιότητας της πληροφορίας και η ενίσχυση της αποδοχής της τελικής απόφασης από τα μέλη της ομάδας. Ωστόσο, συνοδεύεται και από δυσκολίες, όπως οι συγκρούσεις προτιμήσεων, η ύπαρξη αντικρουόμενων στόχων και η δυσκολία επίτευξης συναίνεσης (Tindale & Winget, 2019).

Κεντρικό ζήτημα στην GDM αποτελεί η σύνθεση των ατομικών προτιμήσεων σε ένα συλλογικό αποτέλεσμα. Η διαδικασία αυτή δεν είναι μονοσήμαντη, καθώς διαφορετικές μέθοδοι σύνθεσης μπορούν να οδηγήσουν σε διαφορετικά αποτελέσματα. Η θεωρία κοινωνικής επιλογής έχει αναδείξει ότι η επιλογή του κανόνα συλλογικής απόφασης επηρεάζει ουσιαστικά το τελικό αποτέλεσμα και ότι διαφορετικές διαδικασίες μπορούν να παράγουν διαφορετικές συλλογικές κατατάξεις για το ίδιο σύνολο προτιμήσεων (Laughlin, 2011; Tindale & Winget, 2019).

Για την αντιμετώπιση των παραπάνω δυσκολιών έχουν αναπτυχθεί ποικίλα μοντέλα και προσεγγίσεις GDM. Ορισμένα βασίζονται σε διαδικασίες διαπραγμάτευσης και συναίνεσης, ενώ άλλα στηρίζονται σε μαθηματικά και υπολογιστικά μοντέλα που επιτρέπουν τη συστηματική επεξεργασία των αξιολογήσεων των συμμετεχόντων. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, η ομαδική λήψη αποφάσεων προσεγγίζεται κυρίως ως πρόβλημα σύνθεσης ατομικών αξιολογήσεων και προτιμήσεων σε ένα συλλογικό αποτέλεσμα.

2.3 Πολυκριτηριακή Λήψη Αποφάσεων (MCDM)

Η πολυκριτηριακή λήψη αποφάσεων (Multi-Criteria Decision Making – MCDM) αποτελεί βασικό πεδίο της επιστήμης των αποφάσεων και αφορά την αξιολόγηση και επιλογή μεταξύ εναλλακτικών λύσεων με βάση περισσότερα του ενός κριτήρια. Σε αντίθεση με τα προβλήματα μονοκριτηριακής βελτιστοποίησης, στα οποία η απόφαση βασίζεται σε μία μόνο μεταβλητή, τα προβλήματα MCDM απαιτούν την ταυτόχρονη εξέταση πολλαπλών και συχνά αντικρουόμενων κριτηρίων, όπως το κόστος, η ποιότητα, ο χρόνος και η αποδοτικότητα (de Almeida & Morais, 2018).

Η ύπαρξη πολλαπλών κριτηρίων καθιστά τη διαδικασία λήψης αποφάσεων πιο σύνθετη, καθώς δεν είναι πάντοτε προφανές πώς πρέπει να συνδυαστούν οι επιμέρους αξιολογήσεις. Για τον λόγο αυτό, η MCDM εισάγει την έννοια της στάθμισης των κριτηρίων, μέσω της οποίας αποδίδεται διαφορετική σημασία σε κάθε κριτήριο ανάλογα με τις προτεραιότητες του αποφασίζοντος. Η διαδικασία αυτή είναι κρίσιμη, καθώς μικρές αλλαγές στα βάρη μπορούν να επηρεάσουν ουσιαστικά την τελική κατάταξη των εναλλακτικών λύσεων.

Οι μέθοδοι MCDM μπορούν να ταξινομηθούν σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τη φιλοσοφία τους. Οι προσθετικές μέθοδοι βασίζονται στον υπολογισμό συνολικής τιμής για κάθε εναλλακτική μέσω γραμμικού συνδυασμού των επιμέρους αξιολογήσεων με τα αντίστοιχα βάρη, ενώ άλλες προσεγγίσεις βασίζονται στη σύνθεση προτιμήσεων, σε συγκριτικές διαδικασίες ή σε πιο σύνθετους τελεστές συνάθροισης. Παράλληλα, υπάρχουν μέθοδοι που βασίζονται στην απόσταση από ιδανικές λύσεις, όπως η TOPSIS, οι οποίες αξιολογούν τις εναλλακτικές με βάση την εγγύτητά τους σε μια θεωρητικά βέλτιστη λύση (Wan Mohd & Abdullah, 2017; Shih et al., 2007).

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό της MCDM είναι η δυνατότητα δομημένης μοντελοποίησης των προβλημάτων απόφασης, μέσω σαφούς ορισμού των εναλλακτικών λύσεων, των κριτηρίων και των μεταξύ τους σχέσεων. Η τυποποίηση αυτή επιτρέπει την εφαρμογή υπολογιστικών μεθόδων και τη συστηματική ανάλυση των αποτελεσμάτων, καθιστώντας την MCDM ιδιαίτερα χρήσιμη σε πραγματικά προβλήματα λήψης αποφάσεων.

2.4 Ομαδική Πολυκριτηριακή Λήψη Αποφάσεων (Group MCDM)

Η ομαδική πολυκριτηριακή λήψη αποφάσεων (Group Multi-Criteria Decision Making – Group MCDM) προκύπτει από τον συνδυασμό της ομαδικής λήψης αποφάσεων και της πολυκριτηριακής ανάλυσης. Στα προβλήματα αυτά, πολλοί αποφασίζοντες καλούνται να αξιολογήσουν ένα σύνολο εναλλακτικών λύσεων με βάση πολλαπλά κριτήρια, τα οποία συχνά είναι αντικρουόμενα. Η πολυπλοκότητα της διαδικασίας αυξάνεται σημαντικά, καθώς απαιτείται τόσο η διαχείριση πολλαπλών κριτηρίων όσο και η σύνθεση διαφορετικών προτιμήσεων μεταξύ των συμμετεχόντων (de Almeida & Morais, 2018; Tindale & Winget, 2019).

Σε ένα τυπικό πρόβλημα Group MCDM, κάθε συμμετέχων παρέχει αξιολογήσεις για τις εναλλακτικές λύσεις ως προς τα κριτήρια και, σε ορισμένες περιπτώσεις, εκφράζει και τη σχετική σημασία που αποδίδει στα κριτήρια αυτά. Οι αξιολογήσεις αυτές ενδέχεται να διαφέρουν ουσιαστικά μεταξύ των συμμετεχόντων, γεγονός που καθιστά αναγκαία την ύπαρξη κατάλληλων μηχανισμών σύνθεσης που να οδηγούν σε ένα συλλογικό αποτέλεσμα.

Στη βιβλιογραφία διακρίνονται δύο βασικές προσεγγίσεις ως προς το σημείο στο οποίο πραγματοποιείται η σύνθεση: η σύνθεση σε επίπεδο προτιμήσεων ή αξιολογήσεων (aggregation of preferences) και η σύνθεση σε επίπεδο αποτελεσμάτων ή κατατάξεων (aggregation of rankings). Στην πρώτη περίπτωση, οι ατομικές αξιολογήσεις ή κρίσεις συνδυάζονται πριν από την εφαρμογή της μεθόδου λήψης απόφασης, ενώ στη δεύτερη περίπτωση κάθε συμμετέχων παράγει μία επιμέρους κατάταξη και οι επιμέρους κατατάξεις συνδυάζονται σε ένα τελικό συλλογικό αποτέλεσμα (de Almeida & Morais, 2018; Forman & Peniwati, 1998; Morais & de Almeida, 2012).

Επιπλέον, στα προβλήματα Group MCDM συχνά τίθεται και το ζήτημα της στάθμισης των συμμετεχόντων, δηλαδή κατά πόσο όλοι οι χρήστες έχουν ίση βαρύτητα ή αν ορισμένοι διαθέτουν αυξημένη επιρροή λόγω εμπειρίας, ρόλου ή εξειδίκευσης. Η δυνατότητα αυτή αυξάνει τον ρεαλισμό του μοντέλου, αλλά ταυτόχρονα εισάγει πρόσθετη υπολογιστική και μεθοδολογική πολυπλοκότητα (Amenta et al., 2021).

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, η Group MCDM αποτελεί τον βασικό πυρήνα του προτεινόμενου συστήματος, καθώς το σύστημα επιτρέπει τον ορισμό πολλαπλών χρηστών, κριτηρίων και εναλλακτικών λύσεων, τη συλλογή αξιολογήσεων και τη σύνθεσή τους σε ένα ενιαίο αποτέλεσμα.

2.5 Μέθοδοι Σύνθεσης Προτιμήσεων (Aggregation Methods)

Η σύνθεση προτιμήσεων αποτελεί κρίσιμο στάδιο στην ομαδική πολυκριτηριακή λήψη αποφάσεων, καθώς αφορά τον τρόπο με τον οποίο οι ατομικές αξιολογήσεις ή κατατάξεις των συμμετεχόντων μετατρέπονται σε ένα συλλογικό αποτέλεσμα. Η επιλογή της μεθόδου σύνθεσης επηρεάζει άμεσα την τελική κατάταξη των εναλλακτικών λύσεων και, κατά συνέπεια, την ίδια τη συλλογική απόφαση (Grabisch et al., 2011; Wan Mohd & Abdullah, 2017).

Σε περιβάλλοντα Group MCDM, οι μέθοδοι σύνθεσης μπορούν να εφαρμοστούν είτε σε επίπεδο αριθμητικών αξιολογήσεων είτε σε επίπεδο κατατάξεων. Στην πρώτη περίπτωση, οι ατομικές αξιολογήσεις συνδυάζονται πριν από την εφαρμογή της μεθόδου λήψης απόφασης, ενώ στη δεύτερη περίπτωση κάθε συμμετέχων παράγει μια επιμέρους κατάταξη και οι επιμέρους κατατάξεις συνδυάζονται αργότερα σε συλλογικό αποτέλεσμα.

Οι απλούστερες μέθοδοι σύνθεσης βασίζονται σε στατιστικά μέτρα, όπως ο αριθμητικός μέσος όρος και ο σταθμισμένος μέσος όρος. Οι μέθοδοι αυτές χρησιμοποιούνται ευρέως λόγω της απλότητας και της ευκολίας εφαρμογής τους. Ωστόσο, όταν υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ των συμμετεχόντων, ενδέχεται να μην αποτυπώνουν πλήρως τη δομή ή την ένταση των διαφορών των προτιμήσεων. Για τον λόγο αυτό, έχουν προταθεί πιο σύνθετες προσεγγίσεις, όπως οι τελεστές Ordered Weighted Averaging (OWA) και άλλες συναρτήσεις σύνθεσης, οι οποίες παρέχουν μεγαλύτερη ευελιξία στη διαχείριση ετερογένειας και αβεβαιότητας (Grabisch et al., 2011; Wan Mohd & Abdullah, 2017).

Ένα ακόμη σημαντικό ζήτημα είναι η στάθμιση των συμμετεχόντων κατά τη διαδικασία σύνθεσης. Σε ορισμένες εφαρμογές όλοι οι χρήστες θεωρούνται ισοδύναμοι, ενώ σε άλλες περιπτώσεις μπορεί να αποδίδονται διαφορετικά βάρη ανάλογα με τον ρόλο, την εμπειρία ή τη θέση τους στη διαδικασία λήψης απόφασης. Η επιλογή αυτή επηρεάζει ουσιαστικά τον τρόπο με τον οποίο διαμορφώνεται το συλλογικό αποτέλεσμα και αποτελεί κρίσιμο ζήτημα ιδιαίτερα στις ομαδικές εκδοχές της AHP και γενικότερα στις μεθόδους σύνθεσης (Forman & Peniwati, 1998; Amenta et al., 2021).

Στο προτεινόμενο σύστημα, η σύνθεση προτιμήσεων υλοποιείται κυρίως σε επίπεδο αξιολογήσεων μέσω αριθμητικού ή σταθμισμένου μέσου όρου, ενώ στην ομαδική AHP

χρησιμοποιείται γεωμετρικός μέσος (Forman & Peniwati, 1998; Saaty, 2008; Dong et al., 2010).

2.6 Θεωρία Κοινωνικής Επιλογής (Social Choice Theory)

Η θεωρία κοινωνικής επιλογής αποτελεί έναν από τους βασικούς θεωρητικούς πυλώνες της ομαδικής λήψης αποφάσεων, καθώς εξετάζει τον τρόπο με τον οποίο οι ατομικές προτιμήσεις μπορούν να μετατραπούν σε μία συλλογική απόφαση. Το πεδίο αυτό συνδυάζει έννοιες από τα μαθηματικά, την οικονομική θεωρία και τη μελέτη των συλλογικών διαδικασιών απόφασης, με στόχο την ανάλυση των ιδιοτήτων και των περιορισμών των μηχανισμών συλλογικής επιλογής (Laughlin, 2011).

Σε ένα τυπικό πρόβλημα κοινωνικής επιλογής, κάθε άτομο εκφράζει τις προτιμήσεις του ως προς ένα σύνολο εναλλακτικών λύσεων, συνήθως με τη μορφή κατάταξης. Το ζητούμενο είναι ο ορισμός ενός κανόνα που να μετατρέπει το σύνολο των ατομικών διατάξεων σε μία συλλογική κατάταξη ή επιλογή. Οι κανόνες αυτοί περιλαμβάνουν μεθόδους όπως η μέθοδος Borda, η πλειοψηφική ψηφοφορία και άλλες διαδικασίες βασισμένες στη σύγκριση εναλλακτικών λύσεων (de Borda, 1781; Laughlin, 2011).

Η θεωρία κοινωνικής επιλογής παρέχει επίσης το θεωρητικό πλαίσιο για την κατανόηση φαινομένων όπως οι κύκλοι προτιμήσεων, οι ασυνέπειες στις συλλογικές αποφάσεις και οι περιορισμοί που εμφανίζονται κατά τη μετάβαση από ατομικές σε συλλογικές προτιμήσεις, ακόμη και όταν οι ατομικές προτιμήσεις είναι εσωτερικά συνεπείς (Arrow, 1950; Feldman & Serrano, 2006; Laughlin, 2011).

Μεταξύ των γνωστών κανόνων κοινωνικής επιλογής, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει ο κανόνας Borda Count, ο οποίος μετατρέπει τις θέσεις μιας κατάταξης σε βαθμολογίες και επιτρέπει τη σύνθεση πολλαπλών ατομικών διατάξεων σε ένα συλλογικό αποτέλεσμα (de Borda, 1781; Laughlin, 2011). Η μέθοδος αυτή επιλέγεται στην παρούσα εργασία ως αντιπροσωπευτικός και υπολογιστικά απλός κανόνας κοινωνικής επιλογής, κατάλληλος για ενσωμάτωση στο προτεινόμενο σύστημα.

2.7 Επιλεγμένες Μέθοδοι Πολυκριτηριακής Ανάλυσης

Η πολυκριτηριακή ανάλυση περιλαμβάνει ευρύ σύνολο μεθόδων που διαφοροποιούνται ως προς τη θεωρητική τους βάση, τα δεδομένα που απαιτούν και τον τρόπο με τον οποίο παράγουν το τελικό αποτέλεσμα. Ορισμένες μέθοδοι βασίζονται σε άμεσο συνδυασμό επιδόσεων και βαρών, άλλες στηρίζονται στην απόσταση από ιδανικές λύσεις, ενώ άλλες αξιοποιούν ιεραρχική δόμηση του προβλήματος και ζευγαρωτές συγκρίσεις (de Almeida & Morais, 2018; Wan Mohd & Abdullah, 2017).

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, από το ευρύτερο φάσμα των μεθόδων MCDA επιλέγονται προσεγγίσεις που είναι κατάλληλες για ενσωμάτωση σε παραμετρικό σύστημα υποστήριξης ομαδικών αποφάσεων. Τα βασικά κριτήρια επιλογής τους είναι η ευρεία χρήση τους στη βιβλιογραφία, η διαφάνεια των υπολογισμών τους, η ερμηνευσιμότητα των αποτελεσμάτων και η καταλληλότητά τους για εφαρμογή σε υπολογιστικό περιβάλλον υποστήριξης αποφάσεων (Conceição et al., 2021; Wan Mohd & Abdullah, 2017).

Συγκεκριμένα, το προτεινόμενο σύστημα αξιοποιεί το Weighted Sum Model (WSM), τη μέθοδο TOPSIS και τη μέθοδο Analytic Hierarchy Process (AHP). Οι μέθοδοι αυτές αντιπροσωπεύουν διαφορετικές λογικές προσέγγισης του ίδιου προβλήματος: το WSM βασίζεται στη σταθμισμένη άθροιση επιδόσεων, η TOPSIS στην απόσταση από ιδανικές και αντι-ιδανικές λύσεις, ενώ η AHP στη δομημένη σύγκριση στοιχείων μέσω ιεραρχικής αναπαράστασης και ζευγαρωτών συγκρίσεων (Saaty, 2008; Shih et al., 2007; de Almeida & Morais, 2018). Οι βασικές διαφοροποιήσεις τους αποτυπώνονται συνοπτικά στον Πίνακα 2-1.

Μέθοδος	Βασική είσοδος	Βασική λογική υπολογισμού	Έξοδος	Ρόλος στο σύστημα
WSM	Αξιολογήσεις εναλλακτικών ανά κριτήριο και βάρη κριτηρίων.	Υπολογισμός σταθμισμένου αθροίσματος για κάθε εναλλακτική.	Συλλογική βαθμολογία και κατάταξη.	Παρέχει απλή και άμεσα ερμηνεύσιμη πολυκριτηριακή αξιολόγηση.

TOPSIS	Αξιολογήσεις, βάρη κριτηρίων και τύπος κριτηρίων benefit/cost.	Υπολογισμός απόστασης από την ιδανική και την αντι-ιδανική λύση.	Συντελεστής εγγύτητας και κατάταξη.	Επιτρέπει αξιολόγηση με βάση τη σχετική εγγύτητα προς την καλύτερη θεωρητική λύση.
AHP	Πίνακες ζευγαρωτών συγκρίσεων για κριτήρια και εναλλακτικές.	Υπολογισμός προτεραιοτήτων μέσω ζευγαρωτών συγκρίσεων και έλεγχος συνέπειας.	Βάρη, τοπικές προτεραιότητες και τελική κατάταξη.	Υποστηρίζει δομημένη αξιολόγηση μέσω συγκρίσεων ανά ζεύγη.

Πίνακας 2-1 Συγκριτική αποτύπωση των επιλεγμένων πολυκριτηριακών μεθόδων

Η συνύπαρξη των μεθόδων αυτών στο ίδιο σύστημα επιτρέπει όχι μόνο την εφαρμογή διαφορετικών μεθοδολογικών προσεγγίσεων, αλλά και τη συγκριτική μελέτη της επίδρασής τους στο τελικό συλλογικό αποτέλεσμα. Με τον τρόπο αυτό, καθίσταται δυνατή η διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο η επιλογή της μεθόδου μπορεί να επηρεάσει τόσο τη συλλογική κατάταξη των εναλλακτικών λύσεων όσο και την προτεινόμενη επιλογή που παρουσιάζεται στην ομάδα.

Στις επόμενες ενότητες παρουσιάζονται συνοπτικά οι βασικές αρχές των μεθόδων αυτών, οι οποίες αποτελούν τη μεθοδολογική βάση του προτεινόμενου συστήματος.

2.7.1 Μέθοδος Weighted Sum Model (WSM)

Η μέθοδος Weighted Sum Model (WSM) αποτελεί μία από τις απλούστερες και περισσότερο διαδεδομένες μεθόδους πολυκριτηριακής ανάλυσης. Βασίζεται στην αρχή ότι η συνολική αξία μιας εναλλακτικής λύσης μπορεί να εκφραστεί μέσω του σταθμισμένου αθροίσματος των επιμέρους επιδόσεών της ως προς τα εξεταζόμενα κριτήρια, λαμβάνοντας

υπόψη και τη σχετική σημασία κάθε κριτηρίου μέσω κατάλληλων βαρών (de Almeida & Morais, 2018; Ciardiello & Genovese, 2023; Taherdoost, 2023).

Στο πλαίσιο της μεθόδου, κάθε εναλλακτική αξιολογείται ως προς ένα σύνολο κριτηρίων και σε κάθε κριτήριο αποδίδεται βάρος που εκφράζει τη συμβολή του στο τελικό αποτέλεσμα. Η συνολική βαθμολογία κάθε εναλλακτικής προκύπτει από τον γραμμικό συνδυασμό των επιμέρους αξιολογήσεων και των αντίστοιχων βαρών, γεγονός που καθιστά τη μέθοδο ιδιαίτερα κατανοητή και άμεσα εφαρμόσιμη σε προβλήματα όπου οι αξιολογήσεις μπορούν να αποτυπωθούν αριθμητικά (Wan Mohd & Abdullah, 2017; Ciardiello & Genovese, 2023).

Βασικό πλεονέκτημα του WSM είναι η υπολογιστική του απλότητα και η ευκολία ερμηνείας των αποτελεσμάτων. Η μέθοδος επιτρέπει τη σαφή σύνδεση ανάμεσα στις επιμέρους επιδόσεις των εναλλακτικών και στην τελική τους κατάταξη, ενώ παράλληλα είναι κατάλληλη για ενσωμάτωση σε υπολογιστικά περιβάλλοντα υποστήριξης αποφάσεων, ιδίως όταν επιδιώκεται διαφάνεια στην παρουσίαση των υπολογισμών και των τελικών αποτελεσμάτων.

Παράλληλα, η εφαρμογή της μεθόδου προϋποθέτει ότι οι αξιολογήσεις των εναλλακτικών βρίσκονται σε κοινή ή συγκρίσιμη κλίμακα και ότι όλα τα κριτήρια ακολουθούν κοινή κατεύθυνση προτίμησης. Ειδικότερα, όταν σε ένα πρόβλημα υπάρχουν κριτήρια τύπου cost, δηλαδή κριτήρια στα οποία μικρότερη τιμή σημαίνει καλύτερη επίδοση, οι αντίστοιχες τιμές πρέπει να μετασχηματίζονται κατάλληλα πριν από την εφαρμογή της μεθόδου, ώστε να εκφράζονται σε μορφή συμβατή με τη λογική του WSM, όπου μεγαλύτερη τιμή αντιστοιχεί σε ευνοϊκότερη αξιολόγηση (de Almeida & Morais, 2018).

Επομένως, παρότι το WSM είναι ιδιαίτερα απλό και πρακτικά εφαρμόσιμο ως μέθοδος, η ορθή εφαρμογή του εξαρτάται από τον κατάλληλο ορισμό των βαρών, από τη συγκρισιμότητα των κλιμάκων και από τη σωστή προεπεξεργασία των δεδομένων εισόδου. Οι προϋποθέσεις αυτές είναι κρίσιμες, καθώς επηρεάζουν άμεσα τη νοηματική εγκυρότητα της τελικής κατάταξης των εναλλακτικών λύσεων (de Almeida & Morais, 2018; Wan Mohd & Abdullah, 2017).

Στην παρούσα εργασία, το WSM επιλέγεται ως μία από τις βασικές μεθόδους του προτεινόμενου συστήματος, επειδή συνδυάζει απλότητα, διαφάνεια και πρακτική καταλληλότητα για παραμετρικό περιβάλλον ομαδικής λήψης αποφάσεων. Στην υλοποίηση

του συστήματος, η μέθοδος εφαρμόζεται υπό την προϋπόθεση ότι όλες οι άμεσες αξιολογήσεις έχουν ήδη εκφραστεί σε κοινή αριθμητική κλίμακα με ενιαία κατεύθυνση προτίμησης, ώστε το σταθμισμένο άθροισμα να οδηγεί σε συνεπή και ερμηνεύσιμα αποτελέσματα.

2.7.2 Μέθοδος TOPSIS

Η μέθοδος TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) αποτελεί μία από τις πλέον γνωστές τεχνικές πολυκριτηριακής ανάλυσης και βασίζεται στην έννοια της ιδανικής και της αντι-ιδανικής λύσης. Η βασική της αρχή είναι ότι η καλύτερη εναλλακτική είναι εκείνη που βρίσκεται όσο το δυνατόν πιο κοντά στην ιδανική λύση και ταυτόχρονα όσο το δυνατόν πιο μακριά από την αντι-ιδανική λύση (Shih et al., 2007).

Η εφαρμογή της μεθόδου περιλαμβάνει διαδοχικά στάδια: την κατασκευή του πίνακα απόφασης, την κανονικοποίηση των επιδόσεων των εναλλακτικών, τη στάθμιση των κανονικοποιημένων τιμών με βάση τα βάρη των κριτηρίων και, στη συνέχεια, τον προσδιορισμό της ιδανικής και της αντι-ιδανικής λύσης. Για κάθε εναλλακτική υπολογίζεται η απόστασή της από τις δύο αυτές αναφορές, και από τις αποστάσεις αυτές προκύπτει συντελεστής εγγύτητας προς την ιδανική λύση, βάσει του οποίου πραγματοποιείται η τελική κατάταξη (Shih et al., 2007).

Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα της TOPSIS είναι ότι προσφέρει σαφή ερμηνεία του αποτελέσματος μέσω της έννοιας της απόστασης και υποστηρίζει την ταυτόχρονη διαχείριση κριτηρίων τύπου benefit και cost. Η δυνατότητα αυτή την καθιστά ιδιαίτερα κατάλληλη για προβλήματα στα οποία διαφορετικά κριτήρια έχουν διαφορετική κατεύθυνση προτίμησης, όπως για παράδειγμα περιπτώσεις όπου η ποιότητα πρέπει να μεγιστοποιείται ενώ το κόστος να ελαχιστοποιείται.

Παράλληλα, η μέθοδος είναι κατάλληλη για ενσωμάτωση σε υπολογιστικά συστήματα υποστήριξης αποφάσεων και χαρακτηρίζεται από σαφή και διαδοχική υπολογιστική διαδικασία. Ωστόσο, τα αποτελέσματά της επηρεάζονται από τον τρόπο κανονικοποίησης των δεδομένων και από την επιλογή των βαρών των κριτηρίων. Για τον λόγο αυτό, απαιτείται προσοχή τόσο στη διαμόρφωση του πίνακα αξιολόγησης όσο και στην ερμηνεία της τελικής κατάταξης, ιδίως όταν οι διαφορές μεταξύ των εναλλακτικών είναι μικρές (Shih et al., 2007).

Στο πλαίσιο της ομαδικής λήψης αποφάσεων, η TOPSIS μπορεί να εφαρμοστεί σε συλλογικό πίνακα αξιολόγησης που προκύπτει από τη σύνθεση των ατομικών αξιολογήσεων των συμμετεχόντων. Με τον τρόπο αυτό, η μέθοδος εντάσσεται αποτελεσματικά σε παραμετρικά συστήματα ομαδικής πολυκριτηριακής ανάλυσης, όπου είναι αναγκαία η συστηματική επεξεργασία των ομαδικών δεδομένων και η παραγωγή συλλογικής κατάταξης με σαφή ερμηνεία (Shih et al., 2007; de Almeida & Morais, 2018).

Στην παρούσα εργασία, η TOPSIS επιλέγεται ως μία από τις βασικές μεθόδους του προτεινόμενου συστήματος, επειδή συνδυάζει σχετική υπολογιστική απλότητα, θεωρητική σαφήνεια και δυνατότητα διαχείρισης διαφορετικών τύπων κριτηρίων. Παράλληλα, η ενσωμάτωσή της στο ίδιο σύστημα με το WSM και την AHP επιτρέπει τη σύγκριση διαφορετικών προσεγγίσεων ως προς το τελικό συλλογικό αποτέλεσμα και την προτεινόμενη επιλογή που παρουσιάζεται στην ομάδα.

2.7.3 Μέθοδος Analytic Hierarchy Process (AHP)

Η μέθοδος Analytic Hierarchy Process (AHP) αποτελεί μία από τις πιο γνωστές και ευρέως χρησιμοποιούμενες τεχνικές πολυκριτηριακής ανάλυσης. Αναπτύχθηκε από τον Saaty και βασίζεται στη διάσπαση ενός σύνθετου προβλήματος απόφασης σε ιεραρχική δομή, η οποία περιλαμβάνει τον στόχο της απόφασης, τα κριτήρια και τις εναλλακτικές λύσεις (Saaty, 2008).

Βασικό στοιχείο της AHP είναι η χρήση ζευγαρωτών συγκρίσεων για την εκτίμηση της σχετικής σημασίας των κριτηρίων, καθώς και της προτίμησης μεταξύ των εναλλακτικών λύσεων ως προς κάθε κριτήριο. Οι συγκρίσεις αυτές πραγματοποιούνται με βάση την κλίμακα του Saaty, η οποία επιτρέπει την ποσοτική αποτύπωση του βαθμού προτίμησης μεταξύ δύο στοιχείων. Από τους πίνακες συγκρίσεων προκύπτουν τα τοπικά βάρη ή οι τοπικές προτεραιότητες, οι οποίες στη συνέχεια συντίθενται ώστε να εξαχθεί η συνολική κατάταξη των εναλλακτικών λύσεων.

Η μέθοδος παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα, καθώς επιτρέπει τον συνδυασμό ποιοτικών και ποσοτικών κρίσεων, παρέχει δομημένο τρόπο αναπαράστασης του προβλήματος και καθιστά πιο κατανοητή τη διαδικασία προσδιορισμού των βαρών και των προτεραιοτήτων. Επιπλέον, ιδιαίτερο πλεονέκτημα της AHP είναι η δυνατότητα ελέγχου της συνέπειας των συγκρίσεων. Δηλαδή το κατά πόσο οι κρίσεις του χρήστη ακολουθούν

μια λογική συνοχή. Για παράδειγμα, αν ένα κριτήριο θεωρείται σημαντικότερο από ένα δεύτερο και το δεύτερο σημαντικότερο από ένα τρίτο, τότε αναμένεται και το πρώτο να υπερέχει του τρίτου. Ο λόγος συνέπειας (Consistency Ratio – CR) βοηθά στον εντοπισμό πιθανών αντιφάσεων αυτού του τύπου και ενισχύει την αξιοπιστία των παραγόμενων προτεραιοτήτων (Saaty, 2008; Aguarón et al., 2019; Françoze et al., 2023).

Σε ομαδικό πλαίσιο, η AHP μπορεί να εφαρμοστεί μέσω διαφορετικών προσεγγίσεων σύνθεσης, όπως η σύνθεση ατομικών κρίσεων και η σύνθεση ατομικών προτεραιοτήτων. Η σχετική βιβλιογραφία δείχνει ότι ο τρόπος με τον οποίο συνδυάζονται οι επιμέρους κρίσεις των συμμετεχόντων μπορεί να επηρεάσει το τελικό αποτέλεσμα, γεγονός που καθιστά τη μέθοδο ιδιαίτερα σημαντική για προβλήματα ομαδικής λήψης αποφάσεων (Forman & Peniwati, 1998; Dong et al., 2010; Amenta et al., 2021).

Παρά τα πλεονεκτήματά της, η AHP παρουσιάζει και περιορισμούς. Ο αριθμός των απαιτούμενων συγκρίσεων αυξάνεται σημαντικά όταν μεγαλώνει η διάσταση του προβλήματος, γεγονός που μπορεί να αυξήσει το γνωστικό φορτίο των χρηστών και να οδηγήσει σε ασυνεπείς κρίσεις. Για τον λόγο αυτό, η εφαρμογή της μεθόδου απαιτεί προσεκτική οργάνωση της διαδικασίας και κατάλληλους μηχανισμούς ελέγχου της εγκυρότητας των εισαγόμενων δεδομένων (Saaty, 2008; Aguarón et al., 2019).

Στην παρούσα εργασία, η AHP αξιοποιείται με δύο τρόπους. Πρώτον, χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των βαρών των κριτηρίων, τα οποία στη συνέχεια μπορούν να αξιοποιηθούν από άλλες μεθόδους, όπως το WSM και η TOPSIS. Επίσης, ενσωματώνεται και ως αυτόνομη μέθοδος πλήρους κατάταξης εναλλακτικών λύσεων, επιτρέποντας τη συγκριτική μελέτη της επίδρασής της στο τελικό συλλογικό αποτέλεσμα.

2.8 Διαδικτυακά Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων

Η πρόοδος των τεχνολογιών πληροφορικής και των διαδικτυακών εφαρμογών έχει οδηγήσει στην εξέλιξη των παραδοσιακών DSS σε πιο διαδραστικά και ευέλικτα συστήματα, ικανά να υποστηρίξουν ομαδικές διαδικασίες λήψης αποφάσεων. Τα σύγχρονα GDSS ενσωματώνουν μηχανισμούς συλλογής, οργάνωσης και επεξεργασίας των προτιμήσεων πολλών χρηστών, διευκολύνοντας την παραγωγή συλλογικών αποτελεσμάτων σε πραγματικό χρόνο ή σε διαφορετικές χρονικές στιγμές (DeSanctis & Gallupe, 1987; Conceição et al., 2021; López et al., 2017).

Η βιβλιογραφία για τα σύγχρονα web-based GDSS δείχνει ότι η ευκολία χρήσης, η παραμετροποίηση και η δυνατότητα ενσωμάτωσης διαφορετικών μεθόδων ανάλυσης αποτελούν βασικές απαιτήσεις για την πρακτική αξιοποίηση τέτοιων συστημάτων σε οργανωτικά και εφαρμοσμένα περιβάλλοντα (van Hillegersberg & Koenen, 2016; Francozo et al., 2023; López et al., 2017).

Η μετάβαση προς αρχιτεκτονικές διαδικτυακών εφαρμογών επέτρεψε τη δημιουργία συστημάτων στα οποία οι χρήστες μπορούν να αλληλεπιδρούν μέσω διαδραστικών διεπαφών, να εισάγουν δεδομένα, να διαμορφώνουν παραμέτρους και να λαμβάνουν αποτελέσματα με άμεσο και κατανοητό τρόπο. Τα διαδικτυακά DSS διευκολύνουν τη χρήση των συστημάτων από διαφορετικούς χρήστες και σε διαφορετικά πλαίσια εφαρμογής, χωρίς να απαιτούν ιδιαίτερη τεχνική εξειδίκευση (Conceição et al., 2021).

Ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά των σύγχρονων web-based GDSS είναι η δυνατότητα παραμετροποίησης του προβλήματος απόφασης, δηλαδή ο δυναμικός καθορισμός του αριθμού των συμμετεχόντων, των κριτηρίων και των εναλλακτικών λύσεων. Η δυνατότητα αυτή επιτρέπει την ανάπτυξη γενικευμένων συστημάτων, τα οποία δεν περιορίζονται σε ένα μόνο πεδίο εφαρμογής αλλά μπορούν να προσαρμοστούν σε διαφορετικά προβλήματα (Conceição et al., 2021).

Σχετικές υλοποιήσεις web-based GDSS δείχνουν επίσης ότι η υποστήριξη της ομαδικής απόφασης δεν περιορίζεται στην παρουσίαση αποτελεσμάτων, αλλά περιλαμβάνει την ανάλυση απαιτήσεων, τον σχεδιασμό λειτουργικής δομής, την ανάπτυξη αλγορίθμου αξιολόγησης και κατάταξης, καθώς και τη δημιουργία διεπαφής χρήστη και βάσης δεδομένων. Η διαδικτυακή διάσταση του GDSS συνδέεται έτσι άμεσα με ζητήματα σχεδίασης και ανάπτυξης λογισμικού, κάτι που είναι ιδιαίτερα σημαντικό και για την παρούσα εργασία (Basheleishvili & Bardavelidze, 2021; Huang et al., 2025).

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, το προτεινόμενο σύστημα υλοποιείται σε Python και Streamlit ως διαδραστική εφαρμογή. Η επιλογή αυτή συνδέεται με τη λογική των σύγχρονων web-based GDSS, καθώς ο χρήστης μπορεί να ορίζει δυναμικά τα δεδομένα του προβλήματος, να επιλέγει διαφορετικές μεθόδους ανάλυσης και να βλέπει άμεσα τα αποτελέσματα. Το Streamlit επιλέχθηκε επειδή επιτρέπει να ενταχθούν στην ίδια ροή η εισαγωγή των δεδομένων, οι υπολογισμοί και η παρουσίαση της τελικής κατάταξης. Έτσι,

η εφαρμογή υποστηρίζει συνολικά τη διαδικασία ομαδικής πολυκριτηριακής απόφασης, από τον ορισμό του προβλήματος έως την παρουσίαση της προτεινόμενης επιλογής.

2.9 Ομαδική σύσταση και συναίνεση ως επίπεδα ερμηνείας του αποτελέσματος

Παρότι η παρούσα εργασία εντάσσεται πρωτίστως στο πεδίο των συστημάτων υποστήριξης ομαδικών αποφάσεων και της ομαδικής πολυκριτηριακής λήψης αποφάσεων, το προτεινόμενο σύστημα δεν περιορίζεται στην παραγωγή συλλογικής κατάταξης των εναλλακτικών λύσεων. Αντίθετα, επεκτείνει την παρουσίαση του αποτελέσματος με δύο συμπληρωματικά επίπεδα: την κύρια ομαδική σύσταση και, στις κατάλληλες ροές, τον δείκτη συναίνεσης (Tindale & Winget, 2019; Dara et al., 2020).

Η επιλογή αυτή συνδέεται λειτουργικά με τη βιβλιογραφία των group recommender systems, στην οποία η παρουσίαση προτεινόμενης επιλογής προς την ομάδα, η σύνθεση ομαδικών προτιμήσεων και η επεξήγηση του αποτελέσματος αποτελούν βασικές λειτουργίες (Castro et al., 2015; Felfernig et al., 2018; Dara et al., 2020).

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, η σύσταση δεν παράγεται από αυτόνομη μηχανή συστάσεων γενικής χρήσης, αλλά προκύπτει από τις μεθόδους ομαδικής λήψης αποφάσεων και παρουσιάζεται λειτουργικά ως η προτεινόμενη επιλογή της ομάδας.

Αντίστοιχα, η συναίνεση δεν αντιμετωπίζεται ως πλήρης επαναληπτική διαδικασία διαπραγμάτευσης ή αναθεώρησης προτιμήσεων, αλλά ως συμπληρωματική ποσοτική ένδειξη του βαθμού συμφωνίας των μελών της ομάδας ως προς τις εξεταζόμενες εναλλακτικές λύσεις, προσέγγιση συμβατή με τη σχετική βιβλιογραφία για consensus measures και group recommendation (Chiclana et al., 2015; Tran et al., 2024; Trattner et al., 2018). Με τον τρόπο αυτό, η κύρια ομαδική σύσταση και ο δείκτης συναίνεσης λειτουργούν ως επίπεδα ερμηνείας και αξιοποίησης του συλλογικού αποτελέσματος, χωρίς να μεταβάλλεται ο βασικός χαρακτήρας του συστήματος ως συστήματος υποστήριξης ομαδικών αποφάσεων.

2.10 Σύνοψη Κεφαλαίου

Η ανάλυση του παρόντος κεφαλαίου ανέδειξε ότι η υποστήριξη ομαδικών αποφάσεων πολλών κριτηρίων προϋποθέτει τον συνδυασμό εννοιών από διαφορετικά αλλά αλληλένδετα πεδία, όπως τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων, η ομαδική λήψη αποφάσεων, η πολυκριτηριακή ανάλυση και η θεωρία κοινωνικής επιλογής. Από τη βιβλιογραφική επισκόπηση προκύπτει ότι η μετάβαση από τις ατομικές κρίσεις σε συλλογικά αποτελέσματα δεν είναι ουδέτερη διαδικασία, αλλά εξαρτάται ουσιαστικά από τη μέθοδο σύνθεσης και τον τρόπο μοντελοποίησης του προβλήματος.

Παράλληλα, αναδείχθηκε η σημασία μεθόδων όπως το Weighted Sum Model, η TOPSIS, η AHP και ο κανόνας Borda Count, οι οποίες προσφέρουν διαφορετικές οπτικές στη διαδικασία λήψης απόφασης και αποτελούν τη μεθοδολογική βάση του προτεινόμενου συστήματος. Επιπλέον, φάνηκε ότι η κύρια ομαδική σύσταση και, όπου αυτό είναι εφικτό, ο δείκτης συναίνεσης μπορούν να ενταχθούν ως συμπληρωματικά επίπεδα παρουσίασης και ερμηνείας του συλλογικού αποτελέσματος, χωρίς να μεταβάλλεται ο βασικός χαρακτήρας του συστήματος ως συστήματος υποστήριξης ομαδικών αποφάσεων.

Το θεωρητικό αυτό πλαίσιο καθιστά δυνατή τη μετάβαση στο επόμενο κεφάλαιο, όπου παρουσιάζονται η σχεδίαση και η αρχιτεκτονική της εφαρμογής μέσω της οποίας οι παραπάνω έννοιες μετατρέπονται σε λειτουργικό υπολογιστικό περιβάλλον.

3. Σχεδίαση και Αρχιτεκτονική του Συστήματος

Στο κεφάλαιο αυτό εξετάζεται πώς το θεωρητικό πλαίσιο της εργασίας μετατρέπεται σε λειτουργική εφαρμογή. Στόχος δεν είναι να παρουσιαστεί μόνο η γενική αρχιτεκτονική, αλλά να φανεί καθαρά με ποιον τρόπο οργανώθηκαν η ροή της ανάλυσης, η διεπαφή, τα υποσυστήματα και οι βασικοί μηχανισμοί διαχείρισης δεδομένων και αποτελεσμάτων. Η προσέγγιση αυτή είναι συμβατή με τη λογική των συστημάτων υποστήριξης ομαδικών αποφάσεων (GDSS) και των προσεγγίσεων της ομαδικής πολυκριτηριακής λήψης αποφάσεων (Group MCDM), όπου κρίσιμο ρόλο παίζουν ο παραμετρικός ορισμός του προβλήματος, η σύνθεση προτιμήσεων και η καθοδηγούμενη αλληλεπίδραση με τον χρήστη (de Almeida & Morais, 2018; Conceição et al., 2021).

3.1 Σκοπός και γενική φιλοσοφία του συστήματος

Η εφαρμογή σχεδιάστηκε ως παραμετρικό περιβάλλον υποστήριξης ομαδικών αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων, ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διαφορετικά προβλήματα χωρίς αλλαγές στον βασικό κώδικα. Η βασική σχεδιαστική επιλογή ήταν να διαχωριστούν όσο γίνεται πιο καθαρά ο ορισμός του προβλήματος, η επιλογή της μεθόδου, η επεξεργασία των δεδομένων και η παρουσίαση των αποτελεσμάτων.

Δεν πρόκειται για υλοποίηση μίας μόνο μεθόδου, αλλά για ενιαίο πλαίσιο μέσα στο οποίο συνυπάρχουν διαφορετικές προσεγγίσεις. Συγκεκριμένα, υποστηρίζονται οι μέθοδοι Weighted Sum Model, TOPSIS και AHP, καθώς και ο κανόνας κοινωνικής επιλογής Borda Count.

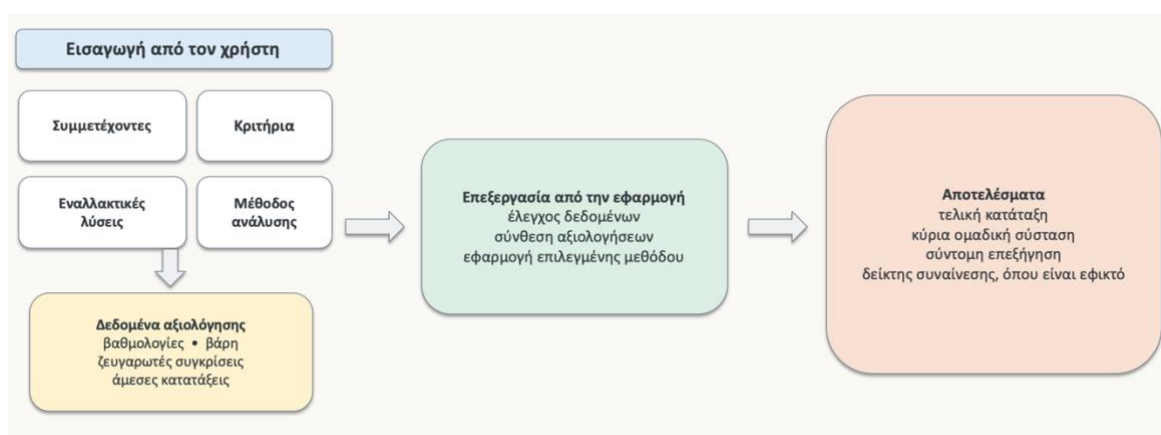
Η γενική λογική του συστήματος στηρίζεται στην ιδέα ότι αρκετά προβλήματα ομαδικής λήψης αποφάσεων μπορούν να περιγραφούν με το ίδιο βασικό σχήμα: συμμετέχοντες, κριτήρια και εναλλακτικές λύσεις. Πάνω σε αυτή τη δομή οργανώνονται η εισαγωγή των αξιολογήσεων, η σύνθεση των ατομικών κρίσεων, ο υπολογισμός των βαρών και η παραγωγή της τελικής κατάταξης. Έτσι, η ροή παραμένει ενιαία ακόμη και όταν αλλάζει η μέθοδος που χρησιμοποιείται. Η επιλογή αυτή συνδέεται άμεσα με τη λογική της ομαδικής πολυκριτηριακής λήψης αποφάσεων (Group MCDM), όπου η δομή του προβλήματος και ο τρόπος σύνθεσης αποτελούν τον πυρήνα της ανάλυσης.

3.2 Παραμετρικός ορισμός του προβλήματος απόφασης

Βασικό χαρακτηριστικό της εφαρμογής είναι ότι το πρόβλημα μπορεί να οριστεί παραμετρικά. Ο χρήστης δηλαδή μπορεί να καθορίζει κάθε φορά πόσοι συμμετέχοντες, πόσα κριτήρια και πόσες εναλλακτικές θα χρησιμοποιηθούν, χωρίς να χρειάζεται να αλλάξει τη δομή του προγράμματος. Έτσι, η ίδια εφαρμογή μπορεί να προσαρμοστεί σε διαφορετικά σενάρια χρήσης.

Ο παραμετρικός χαρακτήρας φαίνεται τόσο στη διεπαφή χρήστη όσο και στις εσωτερικές δομές δεδομένων. Τα πεδία εισόδου και οι πίνακες που δημιουργούνται αλλάζουν δυναμικά ανάλογα με τις επιλογές του χρήστη, ενώ και οι διαθέσιμες μέθοδοι προσαρμόζονται ανάλογα με τον τύπο ανάλυσης που έχει επιλεγεί. Στην τρέχουσα έκδοση, για λόγους ευκολίας χρήσης και ελέγχου της πολυπλοκότητας, ο αριθμός συμμετεχόντων, κριτηρίων και εναλλακτικών περιορίζεται έως 10 ανά κατηγορία.

Η σύνδεση ανάμεσα στον ορισμό του προβλήματος και στα αποτελέσματα που παράγει η εφαρμογή αποτυπώνεται στο Σχήμα 3-1. Ο χρήστης δεν εισάγει απλώς μεμονωμένες τιμές, αλλά διαμορφώνει ολόκληρο το πλαίσιο της ανάλυσης, δηλαδή τα στοιχεία του προβλήματος, τη μέθοδο που θα εφαρμοστεί και τα αντίστοιχα δεδομένα εισόδου. Από αυτά προκύπτουν στη συνέχεια η τελική κατάταξη, η κύρια ομαδική σύσταση, η επεξήγηση του αποτελέσματος και, όπου είναι διαθέσιμος, ο δείκτης συναίνεσης.



Σχήμα 3-1 Δεδομένα εισόδου και αποτελέσματα του συστήματος

Η παραμετροποίηση δεν αφορά μόνο την αρχική συμπλήρωση των στοιχείων του προβλήματος. Αποτελεί το σημείο εκκίνησης για κάθε επόμενη ενέργεια της εφαρμογής, αφού από αυτήν εξαρτώνται τα πεδία που θα εμφανιστούν, οι έλεγχοι που θα εφαρμοστούν

και η μέθοδος που θα εκτελεστεί. Μετά τον ορισμό αυτό, η ανάλυση μπορεί να οργανωθεί σε συγκεκριμένη σειρά βημάτων, η οποία παρουσιάζεται στην επόμενη ενότητα.

3.3 Γενική ροή λειτουργίας του συστήματος

Η λειτουργία της εφαρμογής ακολουθεί μια συγκεκριμένη ακολουθία βημάτων, από τον ορισμό του προβλήματος έως την παραγωγή των τελικών αποτελεσμάτων. Παρότι κάθε μέθοδος έχει τις δικές της απαιτήσεις, η βασική λογική της ροής παραμένει κοινή.

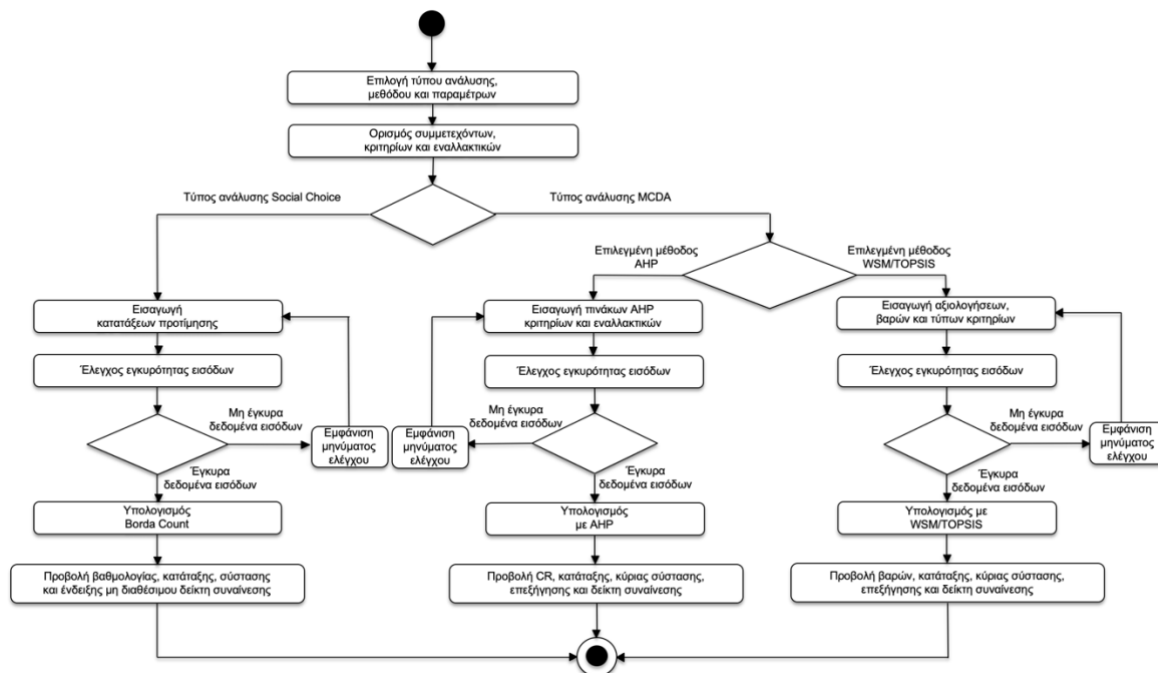
Αρχικά ορίζονται τα βασικά στοιχεία του προβλήματος και επιλέγεται ο τύπος ανάλυσης, δηλαδή πολυκριτηριακή ανάλυση ή κοινωνική επιλογή. Έπειτα ο χρήστης επιλέγει τη μέθοδο που θέλει να εφαρμόσει και συμπληρώνει τα αντίστοιχα δεδομένα.

Στις ροές πολυκριτηριακής ανάλυσης, η διαδικασία περιλαμβάνει την εισαγωγή των αξιολογήσεων, τη σύνθεσή τους σε συλλογική μορφή, τον υπολογισμό ή την εισαγωγή των βαρών των κριτηρίων, την εφαρμογή της επιλεγμένης μεθόδου και τελικά την παραγωγή της κατάταξης των εναλλακτικών λύσεων.

Στη ροή κοινωνικής επιλογής, η διαδικασία είναι απλούστερη. Εκεί συλλέγονται οι κατατάξεις προτίμησης των συμμετεχόντων και πάνω σε αυτές εφαρμόζεται ο επιλεγμένος κανόνας κοινωνικής επιλογής για να εξαχθεί το συλλογικό αποτέλεσμα.

Σε όλες τις ροές ενσωματώνονται έλεγχοι εγκυρότητας, ώστε οι υπολογισμοί να βασίζονται σε συνεπή και αποδεκτά δεδομένα. Στο τέλος, τα αποτελέσματα εμφανίζονται με τρόπο κατανοητό, δηλαδή ως βαθμολογίες, τελική κατάταξη, κύρια ομαδική σύσταση, επεξήγηση της σύστασης και, όπου υπάρχουν ατομικές αριθμητικές τελικές βαθμολογίες, δείκτης συναίνεσης ανά εναλλακτική.

Η παραπάνω διαδικασία αποτυπώνεται σχηματικά στο Σχήμα 3-2 μέσω UML διαγράμματος δραστηριοτήτων. Το διάγραμμα παρουσιάζει τη βασική ροή ανάλυσης της εφαρμογής, από την επιλογή του τύπου ανάλυσης και τον ορισμό του προβλήματος έως την εισαγωγή των κατάλληλων δεδομένων, τον έλεγχο εγκυρότητας, τον υπολογισμό με την επιλεγμένη μέθοδο και την προβολή των αποτελεσμάτων. Παράλληλα, φαίνεται ο διαχωρισμός ανάμεσα στη ροή κοινωνικής επιλογής με Borda Count και στις πολυκριτηριακές ροές AHP, WSM και TOPSIS.



Σχήμα 3-2 UML διάγραμμα δραστηριοτήτων της ροής ανάλυσης του συστήματος

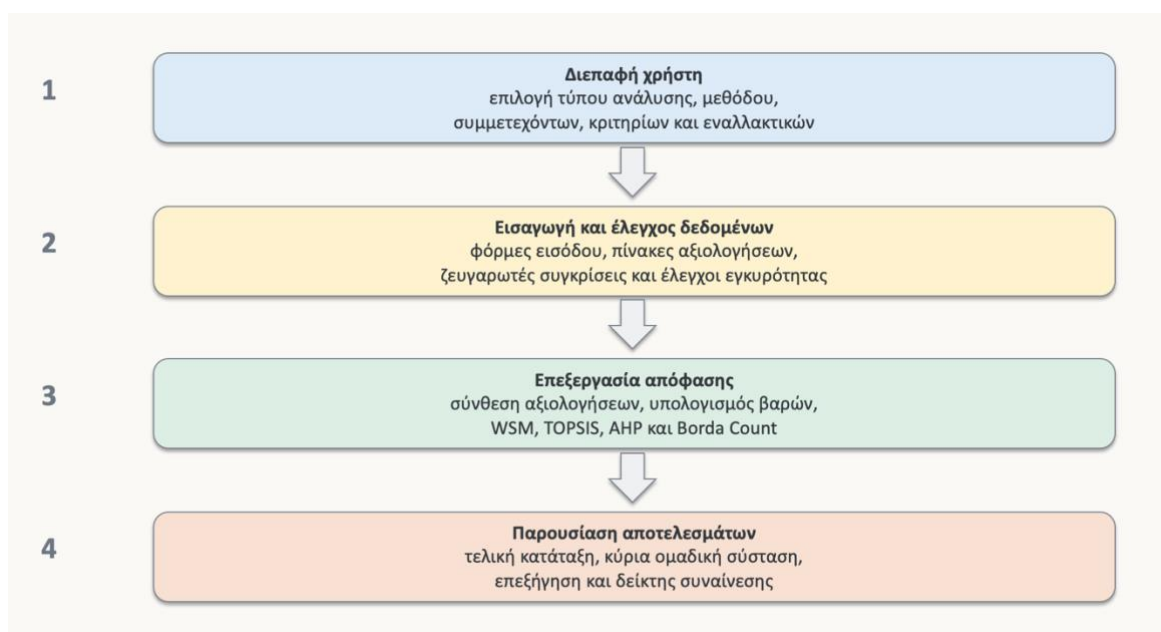
3.4 Λειτουργική αρχιτεκτονική του συστήματος

Η εφαρμογή οργανώνεται σε διακριτά λειτουργικά επίπεδα, ώστε να γίνεται εύκολα κατανοητό πώς τα δεδομένα εισόδου μετατρέπονται σταδιακά σε συλλογικό αποτέλεσμα. Η επιλογή αυτή ακολουθεί τη λογική των συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων και ειδικότερα των συστημάτων ομαδικής λήψης αποφάσεων, όπου είναι σημαντικό να ξεχωρίζουν η εισαγωγή δεδομένων, η επεξεργασία τους και η παρουσίαση της εξόδου (DeSanctis & Gallupe, 1987; Conceição et al., 2021).

Λειτουργικά, η εφαρμογή χωρίζεται σε τέσσερα βασικά μέρη. Πρώτα είναι η αλληλεπίδραση με τον χρήστη, όπου ορίζονται ο τύπος ανάλυσης, οι συμμετέχοντες, τα κριτήρια, οι εναλλακτικές και οι επιμέρους παράμετροι. Δεύτερο είναι το επίπεδο εισαγωγής και οργάνωσης δεδομένων, στο οποίο συγκεντρώνονται οι αξιολογήσεις, οι κατατάξεις ή οι πίνακες συγκρίσεων και μετατρέπονται σε κατάλληλες δομές. Τρίτο είναι το επίπεδο επεξεργασίας, όπου γίνονται η σύνθεση αξιολογήσεων, ο υπολογισμός βαρών, η εφαρμογή των μεθόδων κατάταξης και η κοινωνική επιλογή. Τέταρτο είναι το επίπεδο παρουσίασης, στο οποίο εμφανίζονται η κατάταξη, η κύρια ομαδική σύσταση, η επεξήγηση

και, όπου υπάρχει, ο δείκτης συναίνεσης. Με αυτή την οργάνωση, η λειτουργία της εφαρμογής μπορεί να διαβάζεται ως μια συνεκτική αλυσίδα σταδίων, από τον ορισμό του προβλήματος μέχρι την ερμηνεία του τελικού αποτελέσματος. Έτσι, διαφορετικές μέθοδοι μπορούν να συνυπάρχουν στο ίδιο παραμετρικό περιβάλλον χωρίς να χάνεται η συνοχή της συνολικής ροής.

Η παραπάνω διάκριση βοηθά να φανεί πιο καθαρά ο ρόλος κάθε μέρους της εφαρμογής. Η διεπαφή συγκεντρώνει τις επιλογές του χρήστη, το τμήμα εισαγωγής οργανώνει τα δεδομένα που απαιτούνται για κάθε μέθοδο, το τμήμα επεξεργασίας εφαρμόζει τους αντίστοιχους υπολογισμούς και το τμήμα αποτελεσμάτων παρουσιάζει την κατάταξη και την προτεινόμενη επιλογή. Η οργάνωση αυτή παρουσιάζεται συνοπτικά στο Σχήμα 3-3.



Σχήμα 3-3 Οργάνωση της εφαρμογής σε βασικά επίπεδα

Η οργάνωση σε επίπεδα διευκολύνει τόσο την κατανόηση της λειτουργίας του συστήματος όσο και τη μελλοντική του επέκταση. Για παράδειγμα, μια νέα μέθοδος ανάλυσης μπορεί να προστεθεί στο τμήμα επεξεργασίας, χωρίς να αλλάξει απαραίτητα ο τρόπος με τον οποίο ο χρήστης ορίζει το πρόβλημα ή βλέπει τα τελικά αποτελέσματα.

Η συγκεκριμένη αρχιτεκτονική βοηθά τόσο στη σαφήνεια της ροής όσο και στη συνύπαρξη πολλών μεθοδολογικών προσεγγίσεων μέσα στην ίδια εφαρμογή. Παράλληλα, δημιουργεί

το οργανωτικό υπόβαθρο πάνω στο οποίο στηρίζονται οι επιμέρους λειτουργίες που παρουσιάζονται στα επόμενα κεφάλαια.

3.5 Σχεδίαση διεπαφής χρήστη και λογική επιλογής μεθόδων

Η διεπαφή χρήστη σχεδιάστηκε με έμφαση στην απλότητα, στην ευχρηστία και στην καθοδηγούμενη αλληλεπίδραση. Στόχος ήταν ο χρήστης να μπορεί να οργανώνει το πρόβλημα και να ακολουθεί τη σωστή ροή ανάλυσης χωρίς να απαιτούνται γνώσεις προγραμματισμού ή ιδιαίτερη εξοικείωση με τις μεθόδους λήψης αποφάσεων. Αυτή η επιλογή είναι σύμφωνη με τη λογική των σύγχρονων web-based συστημάτων ομαδικής υποστήριξης αποφάσεων, όπου η καθοδηγούμενη παραμετροποίηση έχει καθοριστική σημασία για την πρακτική χρήση του συστήματος (Conceição et al., 2021; van Hillegersberg & Koenen, 2016).

Κρίσιμο σημείο στη λογική της διεπαφής είναι ο αρχικός καθορισμός του τύπου ανάλυσης. Από αυτή την επιλογή εξαρτάται ποια πεδία θα εμφανιστούν, ποιες παράμετροι θα ζητηθούν και ποια διαδικασία θα ακολουθηθεί στη συνέχεια. Δηλαδή, η διάκριση ανάμεσα σε πολυκριτηριακή ανάλυση και κοινωνική επιλογή καθορίζει από την αρχή τη συνολική πορεία του χρήστη μέσα στην εφαρμογή.

Στις ροές πολυκριτηριακής ανάλυσης, ο χρήστης καλείται να επιλέξει μέθοδο κατάταξης, όπως το Weighted Sum Model, η TOPSIS ή η AHP. Η επιλογή αυτή επηρεάζει όχι μόνο τις απαιτούμενες εισόδους, αλλά και τον τρόπο επεξεργασίας των δεδομένων και το είδος των αποτελεσμάτων που θα παραχθούν. Έτσι, η διεπαφή δεν λειτουργεί απλώς ως φόρμα εισαγωγής, αλλά ως μηχανισμός οργάνωσης διαφορετικών μεθοδολογικών διαδρομών.

Στις ροές WSM και TOPSIS, η διεπαφή ζητά επιπλέον τον τρόπο σύνθεσης των ατομικών πινάκων αξιολόγησης και τον τρόπο υπολογισμού των βαρών των κριτηρίων. Όταν τα βάρη προκύπτουν με AHP, η σύνθεση των επιμέρους κρίσεων δεν δίνεται ως ξεχωριστή επιλογή στον χρήστη, αλλά ενσωματώνεται στη λογική της ίδιας της μεθόδου. Έτσι, αποφεύγονται επιλογές που θα ήταν περιττές ή θεωρητικά ασύμβατες.

Ιδιαίτερη περίπτωση αποτελεί η πλήρης ροή AHP. Εκεί η ανάλυση δεν οργανώνεται γύρω από άμεσες αριθμητικές αξιολογήσεις, αλλά γύρω από πίνακες ζευγαρωτών συγκρίσεων. Αυτό αλλάζει ουσιαστικά τη δομή της εισόδου και τον τρόπο με τον οποίο προχωρά η

επεξεργασία των δεδομένων. Η διεπαφή προσαρμόζεται σε αυτή τη λογική, ώστε να παραμένει συνεπής με τη μεθοδολογία της AHP (Saaty, 2008; Aguarón et al., 2019).

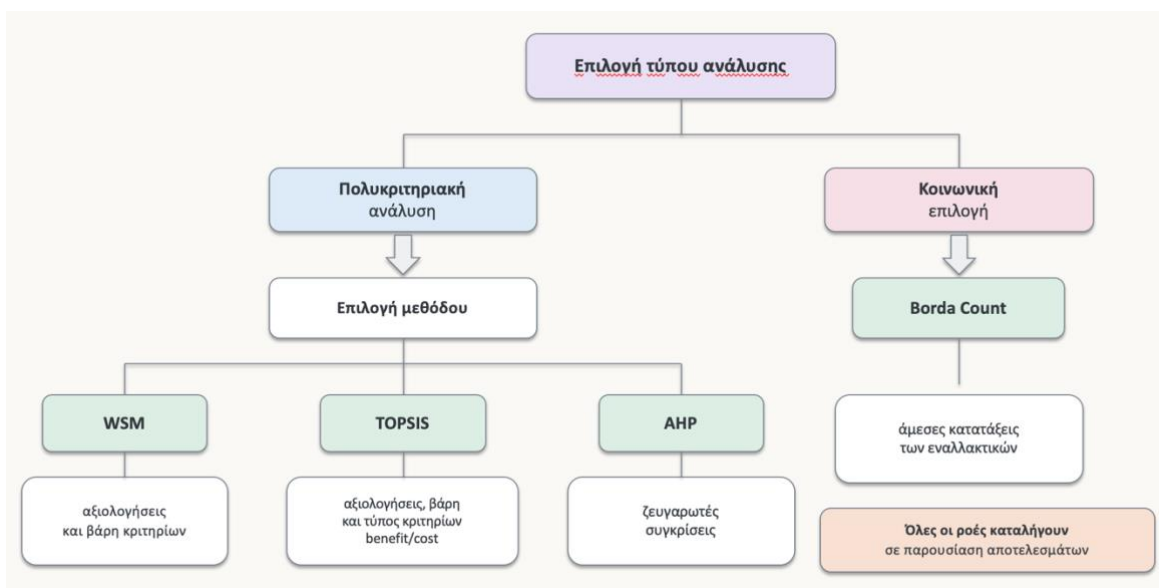
Στη ροή κοινωνικής επιλογής η διαδρομή είναι πιο απλή, γιατί το πρόβλημα δεν αντιμετωπίζεται ως πολυκριτηριακή αξιολόγηση αλλά ως σύνθεση άμεσων κατατάξεων προτίμησης. Για αυτόν τον λόγο, επιλογές που αφορούν κριτήρια, βάρη και τρόπους σύνθεσης αξιολογήσεων δεν ενεργοποιούνται.

Συνολικά, η διεπαφή προσαρμόζεται δυναμικά ώστε να εξασφαλίζεται συμβατότητα μεταξύ των επιλογών, να μειώνεται η πιθανότητα λαθών και να καθοδηγείται ο χρήστης σε μια σωστά δομημένη διαδικασία ανάλυσης. Η τεχνική υλοποίηση αυτών των στοιχείων παρουσιάζεται αναλυτικότερα στο Κεφάλαιο 5.

3.6 Μηχανισμοί εισαγωγής δεδομένων

Η εισαγωγή δεδομένων είναι κρίσιμο μέρος της λειτουργίας της εφαρμογής, γιατί από την ποιότητα και την πληρότητα των εισόδων εξαρτάται άμεσα η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Για αυτό, η εφαρμογή υποστηρίζει διαφορετικούς τρόπους εισαγωγής, ανάλογα με τον τύπο ανάλυσης και τη μεθοδολογική ροή που έχει επιλεγεί.

Η διαφοροποίηση αυτή φαίνεται και στον τρόπο με τον οποίο οργανώνεται η εισαγωγή δεδομένων για κάθε μέθοδο. Οι μέθοδοι WSM και TOPSIS βασίζονται σε αριθμητικές αξιολογήσεις των εναλλακτικών λύσεων ως προς τα κριτήρια και σε βάρη κριτηρίων, με την TOPSIS να απαιτεί επιπλέον τον χαρακτηρισμό κάθε κριτηρίου ως benefit ή cost. Αντίθετα, η AHP στηρίζεται σε πίνακες ζευγαρωτών συγκρίσεων, τόσο για τα κριτήρια όσο και για τις εναλλακτικές λύσεις, ενώ ο Borda Count χρησιμοποιεί άμεσες κατατάξεις προτίμησης των εναλλακτικών από τους συμμετέχοντες. Επομένως, η επιλογή της μεθόδου δεν επηρεάζει μόνο τον τρόπο υπολογισμού του αποτελέσματος, αλλά και τη μορφή των δεδομένων που πρέπει να εισαχθούν στην εφαρμογή. Η σχέση ανάμεσα στην επιλογή της μεθόδου και στα δεδομένα που ζητά η εφαρμογή παρουσιάζεται στην Σχήμα 3-4.



Σχήμα 3-4 Επιλογή μεθόδου και δεδομένα που ζητά η εφαρμογή

Σε πρώτο επίπεδο, ο χρήστης ορίζει τις βασικές παραμέτρους του προβλήματος, δηλαδή τον αριθμό των συμμετεχόντων, των κριτηρίων και των εναλλακτικών. Με βάση αυτές τις επιλογές δημιουργούνται δυναμικά τα αντίστοιχα πεδία και οι εσωτερικές δομές δεδομένων. Έτσι, η εφαρμογή μπορεί να προσαρμόζεται σε διαφορετικά σενάρια χωρίς αλλαγή στον βασικό της κώδικα, κάτι που είναι χαρακτηριστικό των παραμετρικών συστημάτων ομαδικής υποστήριξης αποφάσεων (Conceição et al., 2021; de Almeida & Morais, 2018).

Στις ροές πολυκριτηριακής ανάλυσης, οι αξιολογήσεις των συμμετεχόντων οργανώνονται σε πίνακες, όπου κάθε συμμετέχων βαθμολογεί τις εναλλακτικές ως προς τα κριτήρια. Αυτοί οι πίνακες αποτελούν τη βασική είσοδο για τις μεθόδους που στηρίζονται σε άμεσες αξιολογήσεις και στη συνέχεια συντίθενται σε συλλογική μορφή. Παράλληλα, η εφαρμογή ελέγχει ότι οι τιμές είναι συμβατές με τις απαιτήσεις της επιλεγμένης μεθόδου.

Όταν προβλέπεται διαφοροποιημένη βαρύτητα συμμετεχόντων, η εφαρμογή επιτρέπει και την εισαγωγή βαρών συμμετεχόντων, τα οποία στη συνέχεια κανονικοποιούνται πριν χρησιμοποιηθούν στη σύνθεση. Για τα βάρη των κριτηρίων υποστηρίζονται δύο βασικές επιλογές: άμεση εισαγωγή αριθμητικών τιμών ή υπολογισμός μέσω AHP.

Στις ροές όπου τα βάρη των κριτηρίων προκύπτουν με AHP, η είσοδος αλλάζει ουσιαστικά, επειδή δεν χρησιμοποιούνται απλές αξιολογήσεις αλλά πίνακες ζευγαρωτών συγκρίσεων.

Σε ομαδικό πλαίσιο, κάθε συμμετέχων συμπληρώνει τον δικό του πίνακα συγκρίσεων, και στη συνέχεια το σύστημα συνθέτει τις επιμέρους κρίσεις ώστε να εξαχθούν τα συλλογικά βάρη, σύμφωνα με τη λογική της group AHP (Forman & Peniwati, 1998; Dong et al., 2010; Amenta et al., 2021).

Στην πλήρη ροή AHP, η διαδικασία είναι ακόμη πιο απαιτητική, γιατί εκτός από τις συγκρίσεις για τα κριτήρια, χρειάζονται και συγκρίσεις των εναλλακτικών ως προς κάθε κριτήριο. Επομένως, η εισαγωγή εδώ δεν είναι μια απλή συμπλήρωση πινάκων, αλλά οργανωμένη συλλογή κρίσεων που ακολουθεί τη λογική της ίδιας της μεθόδου.

Στη ροή κοινωνικής επιλογής, η είσοδος αλλάζει ξανά. Οι συμμετέχοντες δεν δίνουν αξιολογήσεις ανά κριτήριο, αλλά πλήρεις κατατάξεις προτίμησης των εναλλακτικών λύσεων. Η εφαρμογή οργανώνει αυτές τις κατατάξεις κατάλληλα, έτσι ώστε να μπορεί να εφαρμοστεί ο κανόνας Borda Count και να προκύψει το συλλογικό αποτέλεσμα.

Συνολικά, οι μηχανισμοί εισαγωγής δεδομένων έχουν σχεδιαστεί ώστε να είναι δυναμικοί, κατανοητοί και συμβατοί με τις απαιτήσεις κάθε ροής ανάλυσης. Για τον λόγο αυτό, δεν αποτελούν απλώς τεχνική προετοιμασία εισόδων, αλλά ουσιαστικό μέρος της αρχιτεκτονικής του συστήματος.

3.7 Υποσύστημα σύνθεσης αξιολογήσεων και υπολογισμού βαρών κριτηρίων

Το υποσύστημα σύνθεσης αξιολογήσεων και υπολογισμού βαρών είναι από τα πιο κρίσιμα τμήματα της εφαρμογής, γιατί σε αυτό γίνεται η μετάβαση από τις ατομικές εισόδους των συμμετεχόντων στις συλλογικές δομές που χρειάζονται για την τελική ανάλυση. Εδώ επεξεργάζονται οι ατομικές αξιολογήσεις ή κρίσεις και καθορίζεται η σχετική σημασία των κριτηρίων που θα χρησιμοποιηθούν στα επόμενα στάδια.

Το πρώτο βασικό σκέλος του υποσυστήματος αφορά τη σύνθεση των ατομικών αξιολογήσεων σε συλλογική μορφή. Στις ροές με άμεσες αριθμητικές αξιολογήσεις, οι επιμέρους πίνακες των συμμετεχόντων μετατρέπονται σε ενιαίο συλλογικό πίνακα, πάνω στον οποίο εφαρμόζονται στη συνέχεια οι μέθοδοι κατάταξης. Ανάλογα με τη ρύθμιση της ανάλυσης, η διαδικασία αυτή μπορεί να θεωρεί τους συμμετέχοντες ισοδύναμους ή να λαμβάνει υπόψη διαφορετική βαρύτητα για τον καθένα .

Στην περίπτωση της AHP, η σύνθεση δεν γίνεται σε επίπεδο άμεσων αξιολογήσεων αλλά σε επίπεδο πινάκων ζευγαρωτών συγκρίσεων. Σε αυτό το στάδιο συγκεντρώνονται οι κρίσεις των συμμετεχόντων για να παραχθούν οι συλλογικές αναπαραστάσεις για τα κριτήρια και όπου χρειάζεται, για τις εναλλακτικές ως προς κάθε κριτήριο. Έτσι, η λειτουργία του υποσυστήματος προσαρμόζεται στη λογική της μεθόδου χωρίς να σπάει η συνοχή της συνολικής εφαρμογής.

Το δεύτερο σκέλος αφορά τον καθορισμό των βαρών των κριτηρίων. Η εφαρμογή υποστηρίζει είτε την άμεση εισαγωγή βαρών είτε τον υπολογισμό τους μέσω AHP, η οποία βασίζεται σε συγκρίσεις ανά ζεύγη. Με αυτόν τον τρόπο, το ίδιο υποσύστημα καλύπτει τόσο απλούστερες όσο και πιο δομημένες μορφές ανάλυσης.

Συνεπώς, το υποσύστημα αυτό λειτουργεί ως γέφυρα ανάμεσα στην εισαγωγή δεδομένων και στην εφαρμογή των μεθόδων κατάταξης ή κοινωνικής επιλογής. Οι ακριβείς μαθηματικές διαδικασίες παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 4, ενώ η τεχνική υλοποίησή τους στο Κεφάλαιο 5.

3.8 Υποσύστημα εξαγωγής αποτελεσμάτων

Το υποσύστημα εξαγωγής αποτελεσμάτων είναι το σημείο στο οποίο καταλήγει όλη η προηγούμενη επεξεργασία. Εδώ συγκλίνουν η συλλογή των εισόδων, η σύνθεση των ατομικών κρίσεων και ο καθορισμός των βαρών, ώστε να προκύψει το τελικό συλλογικό αποτέλεσμα που μπορεί να αξιοποιηθεί από την ομάδα.

Το υποσύστημα αυτό καλύπτει δύο βασικές κατηγορίες εξόδου. Η πρώτη αφορά τις ροές πολυκριτηριακής ανάλυσης, όπου το αποτέλεσμα προκύπτει από την εφαρμογή μεθόδων κατάταξης πάνω σε συλλογικά δεδομένα και βάρη κριτηρίων. Η δεύτερη αφορά τη ροή κοινωνικής επιλογής, όπου το αποτέλεσμα προκύπτει από τη σύνθεση άμεσων κατατάξεων προτίμησης.

Ανεξάρτητα από τη διαδρομή που έχει ακολουθηθεί, η εφαρμογή δεν σταματά σε μια απλή τελική κατάταξη. Το αποτέλεσμα παρουσιάζεται και ως κύρια ομαδική σύσταση, συνοδευόμενο από επεξήγηση της προτεινόμενης επιλογής και, όπου αυτό είναι εφικτό, από δείκτη συναίνεσης που αποτυπώνει τον βαθμό συμφωνίας των μελών της ομάδας. Αυτή η λογική συνδέεται με τη βιβλιογραφία για group recommender systems και consensus

measures, χωρίς να αλλάζει τον βασικό χαρακτήρα της εφαρμογής ως συστήματος υποστήριξης ομαδικών αποφάσεων (Dara et al., 2020; Trattner et al., 2018).

Αυτό είναι σημαντικό, γιατί η εφαρμογή δεν λειτουργεί μόνο ως μηχανισμός παραγωγής αριθμητικών εξόδων, αλλά και ως περιβάλλον που βοηθά τον χρήστη να διαβάσει και να αξιοποιήσει το αποτέλεσμα. Οι επιμέρους μέθοδοι που οδηγούν σε αυτό το αποτέλεσμα αναλύονται στο Κεφάλαιο 4 και η τεχνική υλοποίησή τους παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 5.

3.9 Μηχανισμοί ελέγχου εγκυρότητας και συνέπειας

Η αξιοπιστία της εφαρμογής δεν εξαρτάται μόνο από το αν οι αλγόριθμοι είναι σωστά υλοποιημένοι, αλλά και από το αν τα δεδομένα εισόδου είναι έγκυρα και συνεπή. Για αυτόν τον λόγο έχουν ενσωματωθεί μηχανισμοί ελέγχου σε περισσότερα από ένα επίπεδα. Κάποιοι περιορισμοί επιβάλλονται ήδη από τη διεπαφή, άλλοι έλεγχοι γίνονται πριν από την εκτέλεση της ανάλυσης ενώ άλλοι επαναλαμβάνονται αμέσως πριν ή κατά τη διάρκεια των υπολογισμών.

Ένα πρώτο επίπεδο ελέγχου αφορά τα αριθμητικά βάρη, είτε αυτά σχετίζονται με τους συμμετέχοντες είτε με τα κριτήρια. Η εφαρμογή ελέγχει ότι δεν υπάρχουν αρνητικές τιμές, ότι το άθροισμα δεν είναι μηδενικό όταν απαιτείται κανονικοποίηση και ότι τα τελικά βάρη μπορούν πράγματι να χρησιμοποιηθούν από τη μέθοδο που έχει επιλεγεί. Στην πράξη, αυτό σημαίνει ότι μετά την κανονικοποίηση πρέπει να αθροίζουν σε 1.

Ένα δεύτερο επίπεδο αφορά τους πίνακες AHP. Στην υλοποίηση αυτή ο χρήστης δεν συμπληρώνει ελεύθερα ολόκληρο τον πίνακα, αλλά μόνο τις συγκρίσεις στο άνω τριγωνικό μέρος. Η εφαρμογή συμπληρώνει αυτόματα τη διαγώνιο με μονάδες και το κάτω τριγωνικό μέρος με τις αντίστροφες τιμές. Έτσι, η βασική δομή του πίνακα προστατεύεται ήδη από τον τρόπο εισαγωγής. Παράλληλα, γίνεται και πρόσθετος έλεγχος ώστε να επιβεβαιώνεται ότι ο πίνακας είναι τετραγωνικός, θετικός, αμοιβαίος και κατάλληλος για χρήση από τη μέθοδο. Επιπλέον, υπολογίζεται και ο λόγος συνέπειας (Consistency Ratio – CR), ο οποίος δείχνει κατά πόσο οι συγκρίσεις που δόθηκαν είναι εσωτερικά συνεπείς. Ο λόγος συνέπειας λειτουργεί στην εφαρμογή ως πληροφοριακή και ερμηνευτική ένδειξη για την ποιότητα των συγκρίσεων. Επομένως, εάν το σύστημα εντοπίσει υψηλή τιμή CR, δεν σταματάει αυτόματα την ανάλυση, αλλά την εμφανίζει ως προειδοποίηση προς τον χρήστη ώστε να επανεξετάσει τις κρίσεις του.

Επιπλέον, στις ροές άμεσης πολυκριτηριακής ανάλυσης ελέγχεται η πληρότητα και η εγκυρότητα των πινάκων αξιολόγησης. Πρακτικά, η εφαρμογή ελέγχει αν υπάρχουν κενές ή μη αριθμητικές τιμές και αν οι αξιολογήσεις βρίσκονται στο επιτρεπτό εύρος τιμών. Αν αυτές οι προϋποθέσεις δεν ικανοποιούνται, η ανάλυση δεν προχωρά.

Στη ροή κοινωνικής επιλογής με κανόνα Borda, η ίδια η διεπαφή περιορίζει σε μεγάλο βαθμό τις λανθασμένες εισόδους. Η κατάταξη κάθε συμμετέχοντα χτίζεται βήμα-βήμα και δεν επιτρέπει την επιλογή της ίδιας εναλλακτικής δύο φορές. Παρ' όλα αυτά, γίνεται και πρόσθετος έλεγχος ώστε να επιβεβαιώνεται ότι κάθε κατάταξη περιέχει όλες τις εναλλακτικές ακριβώς μία φορά πριν ξεκινήσει ο υπολογισμός.

Πέρα από τους ελέγχους των ίδιων των εισόδων, υπάρχουν και έλεγχοι που σχετίζονται με τις απαιτήσεις κάθε μεθόδου. Για παράδειγμα, ο γεωμετρικός μέσος απαιτεί θετικές τιμές, στην TOPSIS ελέγχεται η αντιστοίχιση ανάμεσα στα κριτήρια και στους τύπους benefit ή cost, καθώς και η αποφυγή εκφυλισμένων περιπτώσεων στον υπολογισμό του συντελεστή εγγύτητας. Αντίστοιχα, στην AHP ο υπολογισμός του λόγου συνέπειας γίνεται μόνο για διαστάσεις πινάκων που υποστηρίζονται από τις διαθέσιμες τιμές Random Index.

Τέλος, η συμβατότητα μεταξύ των βασικών επιλογών της ανάλυσης εξασφαλίζεται αρχικά από την ίδια τη διεπαφή, η οποία εμφανίζει μόνο τους επιτρεπτούς συνδυασμούς επιλογών. Επιπλέον, εφαρμόζεται και πρόσθετος έλεγχος πριν από την εκτέλεση, ώστε να επιβεβαιώνεται ότι η συνολική ροή που έχει επιλεγεί είναι συνεπής.

Οι παραπάνω μηχανισμοί ενισχύουν ουσιαστικά τη σταθερότητα και την αξιοπιστία της εφαρμογής. Η εγκυρότητα δεν στηρίζεται σε έναν μόνο έλεγχο, αλλά σε συνδυασμό περιορισμών της διεπαφής, προληπτικών ελέγχων, επιβεβαιωτικών ελέγχων και αμυντικών ελέγχων μέσα στον ίδιο τον υπολογιστικό πυρήνα.

3.10 Παρουσίαση και ερμηνεία αποτελεσμάτων

Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να βοηθά όχι μόνο στην εμφάνιση της τελικής κατάταξης, αλλά και στην κατανόηση του πώς προέκυψε. Για αυτόν τον λόγο, η εφαρμογή εμφανίζει τα αποτελέσματα με πίνακες, λίστες και συνοδευτικές ενδείξεις, ώστε ο χρήστης να μπορεί να δει τόσο τις τελικές βαθμολογίες όσο και τη σειρά κατάταξης των εναλλακτικών.

Στις πολυκριτηριακές μεθόδους εμφανίζονται η βαθμολογία κάθε εναλλακτικής, η θέση της στην τελική κατάταξη και, όπου χρειάζεται, πρόσθετα στοιχεία που βοηθούν στην ερμηνεία του αποτελέσματος, όπως τα βάρη των κριτηρίων, ο συντελεστής εγγύτητας στην TOPSIS και ο δείκτης συνέπειας στην AHP. Στη ροή κοινωνικής επιλογής εμφανίζονται οι συνολικές βαθμολογίες που προκύπτουν από τη σύνθεση των ατομικών κατατάξεων και η αντίστοιχη συλλογική κατάταξη.

Η τελική έξοδος οργανώνεται έτσι ώστε ο χρήστης να βλέπει διακριτά τον πίνακα αποτελεσμάτων, την κύρια ομαδική σύσταση, την επεξήγησή της και, όπου αυτό είναι διαθέσιμο, τον δείκτη συναίνεσης. Με αυτόν τον τρόπο, διαχωρίζεται το αναλυτικό αποτέλεσμα της μεθόδου από τη λειτουργική αξιοποίησή του ως προτεινόμενης επιλογής για την ομάδα.

Τέλος, η εφαρμογή υποστηρίζει και την ανίχνευση ισοβαθμιών. Όταν δύο ή περισσότερες εναλλακτικές έχουν την ίδια τελική βαθμολογία, εμφανίζεται σχετική ένδειξη ώστε να μην ερμηνεύεται αυθαίρετα η σειρά εμφάνισης ως αυστηρή διάκριση μεταξύ ισοδύναμων λύσεων. Αυτή η επιλογή ενισχύει τη διαφάνεια και βοηθά σε πιο προσεκτική ανάγνωση του αποτελέσματος.

3.11 Σύνοψη Κεφαλαίου

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάστηκε η σχεδίαση της εφαρμογής ως συστήματος υποστήριξης ομαδικών αποφάσεων με παραμετρική και αρθρωτή οργάνωση. Η διεπαφή, η επεξεργασία δεδομένων, οι έλεγχοι εγκυρότητας και η παρουσίαση των αποτελεσμάτων περιγράφηκαν ως διακριτά αλλά αλληλένδετα μέρη της ίδιας αρχιτεκτονικής.

Φάνηκε επίσης ότι ο παραμετρικός ορισμός του προβλήματος, η δυναμική προσαρμογή της διεπαφής και οι μηχανισμοί ελέγχου συμβάλλουν άμεσα τόσο στην ομαλή χρήση όσο και στην αξιοπιστία του συστήματος. Πάνω σε αυτή τη σχεδιαστική βάση στηρίζεται το επόμενο κεφάλαιο, στο οποίο παρουσιάζεται η μεθοδολογική και μαθηματική θεμελίωση του μοντέλου που χρησιμοποιεί το σύστημα.

4. Μεθοδολογική και Μαθηματική Θεμελίωση του Μοντέλου

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η μεθοδολογική και μαθηματική θεμελίωση του μοντέλου που χρησιμοποιείται στο προτεινόμενο σύστημα. Η ανάλυση ξεκινά από την αναπαράσταση του προβλήματος απόφασης και συνεχίζει με τη σύνθεση των ατομικών αξιολογήσεων, τον υπολογισμό των βαρών των κριτηρίων και την εφαρμογή των επιλεγμένων μεθόδων κατάταξης. Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο το συλλογικό αποτέλεσμα μετατρέπεται σε κύρια ομαδική σύσταση και συνοδεύεται, όπου είναι εφικτό, από δείκτη συναίνεσης. Με αυτόν τον τρόπο αποτυπώνεται η μαθηματική λογική πάνω στην οποία βασίζεται η λειτουργία του συστήματος.

4.1 Αναπαράσταση του προβλήματος και γενική μεθοδολογική διάρθρωση

Το πρόβλημα ομαδικής λήψης αποφάσεων που εξετάζεται στην εργασία αυτή περιγράφεται μέσω τριών βασικών συνόλων: των συμμετεχόντων, των κριτηρίων και των εναλλακτικών λύσεων. Πρόκειται για μια τυπική αναπαράσταση της βιβλιογραφίας Group MCDM, η οποία επιτρέπει το πρόβλημα να αποδοθεί με συστηματικό τρόπο και να καταστεί κατάλληλο για σύνθεση ατομικών κρίσεων σε συλλογικό αποτέλεσμα (de Almeida & Morais, 2018; Wan Mohd & Abdullah, 2017).

Έστω:

$D = \{d_1, d_2, \dots, d_K\}$ το σύνολο των συμμετεχόντων,

$C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$ το σύνολο των κριτηρίων,

$A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ το σύνολο των εναλλακτικών λύσεων.

Στις ροές πολυκριτηριακής ανάλυσης, κάθε συμμετέχων παρέχει αξιολογήσεις των εναλλακτικών λύσεων ως προς τα κριτήρια. Αυτές οι αξιολογήσεις οργανώνονται σε πίνακα αξιολόγησης:

$$X^{(k)} = [x_{ij}^{(k)}], \quad i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m$$

όπου το στοιχείο $x_{ij}^{(k)}$ εκφράζει την αξιολόγηση της εναλλακτικής a_i ως προς το κριτήριο c_j από τον συμμετέχοντα d_k . Οι επιμέρους πίνακες των συμμετεχόντων συνθέτουν μία τρισδιάστατη δομή δεδομένων διαστάσεων $k \times n \times m$, η οποία περιέχει το σύνολο των ατομικών αξιολογήσεων.

Για την εφαρμογή των μεθόδων πολυκριτηριακής ανάλυσης απαιτείται επίσης ο ορισμός διανύσματος βαρών κριτηρίων:

$$w = (w_1, w_2, \dots, w_m), \quad \sum_{j=1}^m w_j = 1$$

Το διάνυσμα αυτό αποτυπώνει τη σχετική σημασία κάθε κριτηρίου στη διαδικασία λήψης απόφασης. Αν οι συμμετέχοντες δεν θεωρούνται ισοδύναμοι, ορίζεται και διάνυσμα βαρών συμμετεχόντων, ώστε να μπορεί να διαφοροποιηθεί η επιρροή τους κατά τη σύνθεση των ατομικών αξιολογήσεων (de Almeida & Morais, 2018; Amenta et al., 2021).

$$u = (u_1, u_2, \dots, u_K), \quad \sum_{k=1}^K u_k = 1$$

Στην κοινωνική επιλογή η αναπαράσταση του προβλήματος αλλάζει, γιατί οι συμμετέχοντες δεν αξιολογούν τις εναλλακτικές ως προς κριτήρια, αλλά δίνουν απευθείας πλήρεις κατατάξεις προτίμησης. Για κάθε συμμετέχοντα d_k , η προτίμηση μπορεί να αποτυπωθεί ως:

$$r^{(k)} = (a_{i_1}, a_{i_2}, \dots, a_{i_n})$$

όπου η σειρά των στοιχείων αντιστοιχεί στη σειρά προτίμησης του συμμετέχοντα. Αυτή η μορφή είναι κατάλληλη για κανόνες κοινωνικής επιλογής, όπως ο Borda Count, όπου το συλλογικό αποτέλεσμα προκύπτει από τη σύνθεση ατομικών κατατάξεων και όχι από αριθμητικές αξιολογήσεις ανά κριτήριο (de Borda, 1781; Laughlin, 2011).

Με βάση την παραπάνω αναπαράσταση, το μοντέλο χωρίζεται σε δύο βασικές μεθοδολογικές κατευθύνσεις. Η πρώτη αφορά τις πολυκριτηριακές ροές, στις οποίες το συλλογικό αποτέλεσμα προκύπτει από σύνθεση ατομικών αξιολογήσεων, υπολογισμός

βαρών κριτηρίων και εφαρμογή μεθόδου κατάταξης. Η δεύτερη αφορά τη ροή κοινωνικής επιλογής, όπου το αποτέλεσμα προκύπτει από τη σύνθεση ατομικών κατατάξεων μέσω κατάλληλου κανόνα συλλογικής απόφασης. Η διάκριση αυτή επιτρέπει στο μοντέλο να υποστηρίζει διαφορετικές θεωρητικές προσεγγίσεις μέσα στο ίδιο γενικό πλαίσιο ανάλυσης (de Almeida & Morais, 2018; Laughlin, 2011).

Η παραπάνω τυπική αναπαράσταση αποτελεί τη βάση πάνω στην οποία οργανώνονται οι διαδικασίες σύνθεσης αξιολογήσεων, υπολογισμού βαρών, κατάταξης και παραγωγής του τελικού συλλογικού αποτελέσματος. Στις επόμενες ενότητες παρουσιάζονται αναλυτικά οι αντίστοιχοι μηχανισμοί.

4.2 Σύνθεση ατομικών αξιολογήσεων και κρίσεων

Η σύνθεση των αξιολογήσεων των συμμετεχόντων είναι κρίσιμο στάδιο της ομαδικής λήψης απόφασης, γιατί σε αυτό το σημείο οι ατομικές κρίσεις μετατρέπονται σε συλλογική αναπαράσταση του προβλήματος. Στη βιβλιογραφία της Group MCDM οι προσεγγίσεις διαφοροποιούνται ανάλογα με το αν η σύνθεση γίνεται σε επίπεδο αξιολογήσεων, βαρών ή κατατάξεων (Wan Mohd & Abdullah, 2017; de Almeida & Morais, 2018).

Έστω ότι για κάθε συμμετέχοντα d_k είναι διαθέσιμος ο πίνακας αξιολόγησης $X^{(k)} = [x_{ij}^{(k)}]$.

Στόχος είναι ο υπολογισμός ενός συλλογικού πίνακα αξιολόγησης $X = [x_{ij}]$.

4.2.1 Αριθμητικός μέσος όρος (Arithmetic Mean)

Όταν όλοι οι συμμετέχοντες θεωρούνται ισότιμοι, η σύνθεση γίνεται με αριθμητικό μέσο όρο (Wan Mohd & Abdullah, 2017; Grabisch et al., 2011):

$$x_{ij} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K x_{ij}^{(k)}$$

Αυτή είναι η απλούστερη μορφή σύνθεσης και χρησιμοποιείται όταν δεν υπάρχει λόγος να δοθεί διαφορετική βαρύτητα στους συμμετέχοντες. Ο αριθμητικός μέσος παραμένει μια συνηθισμένη επιλογή σε περιβάλλοντα συλλογικής αξιολόγησης, κυρίως λόγω της απλότητας και της εύκολης ερμηνείας του.

4.2.2 Σταθμισμένος μέσος όρος (Weighted Mean)

Όταν οι συμμετέχοντες δεν έχουν την ίδια βαρύτητα, χρησιμοποιείται σταθμισμένος μέσος όρος (de Almeida & Morais, 2018; Wan Mohd & Abdullah, 2017; Grabisch et al., 2011):

$$x_{ij} = \sum_{k=1}^K u_k x_{ij}^{(k)}$$

όπου u_k είναι το βάρος του συμμετέχοντα d_k και ισχύει:

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

Η μέθοδος αυτή επιτρέπει να ενσωματωθούν διαφορές εμπειρίας, ρόλου ή εξειδίκευσης των συμμετεχόντων και εφαρμόζεται όταν κρίνεται ότι δεν πρέπει όλοι να επηρεάζουν εξίσου το τελικό αποτέλεσμα.

4.2.3 Σύνθεση συγκρίσεων στην ομαδική AHP

Στην AHP, η σύνθεση δεν γίνεται σε επίπεδο άμεσων αξιολογήσεων αλλά σε επίπεδο πινάκων ζευγαρωτών συγκρίσεων. Για αυτό χρησιμοποιείται ο γεωμετρικός μέσος, ο οποίος είναι κατάλληλος για τη σύνθεση λόγων προτίμησης και διατηρεί τη θεωρητική συνοχή της μεθόδου. Στη βιβλιογραφία της ομαδικής AHP συναντώνται τόσο η απλή όσο και η σταθμισμένη μορφή του, ανάλογα με το αν οι συμμετέχοντες θεωρούνται ισοδύναμοι ή όχι (Saaty, 2008; Forman & Peniwati, 1998; Dong et al., 2010; Aguarón et al., 2019; Amenta et al., 2021; Grabisch et al., 2011).

Έστω ότι $A^{(k)} = [a_{ij}^{(k)}]$ είναι ο πίνακας συγκρίσεων του συμμετέχοντα d_k . Ο συλλογικός πίνακας $A = [a_{ij}]$ προκύπτει ως (Grabisch et al., 2011; Dong et al., 2010):

$$a_{ij} = \left(\prod_{k=1}^K a_{ij}^{(k)} \right)^{1/K}$$

Αν έχουν αποδοθεί διαφορετικά βάρη στους συμμετέχοντες, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σταθμισμένος γεωμετρικός μέσος (Grabisch et al., 2011; Dong et al., 2010; Forman & Peniwati, 1998):

$$a_{ij} = \prod_{k=1}^K (a_{ij}^{(k)})^{w_k}$$

όπου w_k είναι το βάρος του συμμετέχοντα d_k και $\sum_{k=1}^K w_k = 1$.

Στην υλοποίηση της εφαρμογής, ο απλός γεωμετρικός μέσος χρησιμοποιείται στην πλήρη ροή AHP, ενώ στη ροή WSM/TOPSIS με AHP για βάρη μπορεί να χρησιμοποιηθεί σταθμισμένος γεωμετρικός μέσος όταν έχουν δοθεί βάρη συμμετεχόντων.

Στην πλήρη ροή AHP της παρούσας υλοποίησης, οι συμμετέχοντες αντιμετωπίζονται ως ισότιμοι. Για τον λόγο αυτό, οι επιμέρους πίνακες ζευγαρωτών συγκρίσεων συντίθενται με απλό γεωμετρικό μέσο. Η επιλογή αυτή διατηρεί τη διαδικασία απλή, καθώς δεν απαιτείται πρόσθετος καθορισμός της σχετικής επιρροής κάθε συμμετέχοντα στο συλλογικό αποτέλεσμα.

Η χρήση του γεωμετρικού μέσου διατηρεί την ιδιότητα της αμοιβαιότητας:

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$$

Η διατήρηση της ιδιότητας της αμοιβαιότητας είναι βασική προϋπόθεση για την εφαρμογή της AHP (Saaty, 2008; Forman & Peniwati, 1998; Dong et al., 2010; Taherdoost, 2017).

4.3 Υπολογισμός βαρών κριτηρίων

Ο υπολογισμός των βαρών των κριτηρίων είναι βασικό στάδιο της πολυκριτηριακής ανάλυσης, επειδή εκφράζει τη σχετική σημασία κάθε κριτηρίου στη διαδικασία λήψης απόφασης. Στην εργασία αυτή υποστηρίζονται δύο βασικοί τρόποι: άμεση εισαγωγή βαρών και υπολογισμός τους μέσω AHP.

4.3.1 Άμεση εισαγωγή βαρών

Στην πρώτη προσέγγιση, ο χρήστης εισάγει ένα σύνολο μη κανονικοποιημένων βαρών w_j , με $w_j \geq 0$, τα οποία κανονικοποιούνται ώστε να ισχύει:

$$\sum_{j=1}^m w'_j = 1$$

Η κανονικοποίηση πραγματοποιείται ως εξής (Morais & de Almeida, 2012; Shih et al., 2007):

$$w'_j = \frac{w_j}{\sum_{k=1}^m w_k}, \quad j = 1, \dots, m$$

υπό την προϋπόθεση ότι $\sum_{j=1}^m w_k > 0$.

Όπου k είναι ο δείκτης αθροίσματος στον παρονομαστή.

Η μέθοδος αυτή είναι απλή και πρακτική, αλλά προϋποθέτει ότι ο χρήστης μπορεί να αποδώσει άμεσα τη σχετική σημασία των κριτηρίων με αριθμητικές τιμές.

Στην υλοποίηση αυτή, τα άμεσα βάρη δίνονται μέσω της διεπαφής ως μη αρνητικές τιμές στο διάστημα $[0,1]$ και κανονικοποιούνται αυτόματα πριν χρησιμοποιηθούν στους υπολογισμούς.

4.3.2 Υπολογισμός βαρών με τη μέθοδο AHP

Στη δεύτερη προσέγγιση, τα βάρη των κριτηρίων προκύπτουν με τη μέθοδο AHP, η οποία βασίζεται σε πίνακα ζευγαρωτών συγκρίσεων (Saaty, 2008):

$$A = [a_{ij}]$$

όπου κάθε στοιχείο a_{ij} εκφράζει τη σχετική σημασία του κριτηρίου c_i έναντι του c_j , σύμφωνα με τη θεμελιώδη κλίμακα του Saaty.

Ο πίνακας συγκρίσεων ικανοποιεί τις ιδιότητες (Saaty, 2008; Dong et al., 2010; Taherdoost, 2017):

$$a_{ij} > 0, \quad a_{ii} = 1, \quad a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$$

Με βάση τον πίνακα αυτόν, υπολογίζεται το κυρίαρχο ιδιοδιάνυσμα w του πίνακα A , από τη λύση της σχέσης (Saaty, 2008; Dong et al., 2010; Taherdoost, 2017):

$$A_w = \lambda_{max} w$$

όπου λ_{max} είναι η μέγιστη ιδιοτιμή του πίνακα συγκρίσεων.

Στη συνέχεια, το ιδιοδιάνυσμα κανονικοποιείται ώστε να προκύψουν τα τελικά βάρη των κριτηρίων (Morais & de Almeida, 2012; Shih et al., 2007):

$$w'_j = \frac{w_j}{\sum_{k=1}^m w_k}, \quad j = 1, \dots, m$$

και να ισχύει:

$$\sum_{j=1}^m w'_j = 1$$

όπου k είναι ο δείκτης αθροίσματος στον παρονομαστή.

Έτσι προκύπτει το κανονικοποιημένο διάνυσμα βαρών w' , το οποίο εκφράζει τη σχετική σημασία κάθε κριτηρίου στη διαδικασία λήψης απόφασης. Η AHP είναι ιδιαίτερα χρήσιμη όταν η σημασία των κριτηρίων δεν εκφράζεται εύκολα με άμεσες αριθμητικές τιμές, αλλά προκύπτει πιο φυσικά μέσα από συγκρίσεις ανά ζεύγη (Saaty, 2008).

Για να ελεγχθεί η λογική συνοχή των συγκρίσεων, ακολουθεί έλεγχος συνέπειας του πίνακα, ο οποίος παρουσιάζεται στην επόμενη υποενότητα.

Στο εξής, εκτός αν δηλώνεται διαφορετικά, το κανονικοποιημένο διάνυσμα βαρών συμβολίζεται ως w .

4.3.3 Έλεγχος συνέπειας

Για τον υπολογισμό της συνέπειας στο προτεινόμενο μοντέλο, προσδιορίζεται πρώτα η μέγιστη ιδιοτιμή $\lambda_{\max}$ του πίνακα συγκρίσεων και στη συνέχεια υπολογίζεται ο Δείκτης Συνέπειας (Consistency Index - CI) μέσω του τύπου (Saaty, 2008; Taherdoost, 2017; Françoze et al., 2023):

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - m}{m - 1}$$

όπου m είναι το πλήθος των κριτηρίων (η διάσταση του πίνακα).

Στη συνέχεια, προκύπτει ο Λόγος Συνέπειας (Saaty, 2008; Taherdoost, 2017; Françoze et al., 2023):

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

όπου RI είναι ο τυχαίος δείκτης συνέπειας ο οποίος προκύπτει από έτοιμους πίνακες βάσει του πλήθους των κριτηρίων m (Saaty, 2008; Taherdoost, 2017).

Ένας πίνακας συγκρίσεων θεωρείται αρκετά συνεπής όταν $CR \leq 0.10$, δηλαδή όταν η απόκλιση από την απόλυτη συνέπεια παραμένει μέσα σε αποδεκτά όρια (Aguarón et al., 2019; Françoze et al., 2023).

Στην εφαρμογή, ο λόγος συνέπειας υπολογίζεται μόνο για πίνακες διάστασης έως 10, επειδή μόνο για αυτές τις διαστάσεις έχουν ενσωματωθεί διαθέσιμες τιμές Random Index. Ο περιορισμός αυτός τηρείται τόσο από τη διεπαφή, η οποία δεν επιτρέπει περισσότερα από 10 κριτήρια ή εναλλακτικές, όσο και από τον υπολογιστικό πυρήνα. Με αυτόν τον τρόπο διατηρείται η αντιστοιχία ανάμεσα στη μαθηματική διατύπωση του μοντέλου και στην πρακτική υλοποίησή του.

4.4 Μέθοδοι κατάταξης εναλλακτικών λύσεων

Για να παραχθεί το συλλογικό αποτέλεσμα, χρειάζεται να εφαρμοστεί μια κατάλληλη μέθοδος κατάταξης των εναλλακτικών λύσεων. Οι μέθοδοι διαφέρουν, τόσο στη λογική επεξεργασίας των δεδομένων, όσο και στον τρόπο με τον οποίο μετατρέπουν αξιολογήσεις και βάρη σε τελική κατάταξη. Στην εφαρμογή ενσωματώνονται τρεις βασικές προσεγγίσεις: WSM, TOPSIS και AHP.

4.4.1 Μέθοδος Weighted Sum Model (WSM)

Η WSM (Weighted Sum Model) είναι μία από τις πιο απλές και πιο διαδεδομένες μεθόδους πολυκριτηριακής ανάλυσης. Βασίζεται στον γραμμικό συνδυασμό των επιδόσεων των εναλλακτικών με τα βάρη των κριτηρίων και χρησιμοποιείται ευρέως επειδή οι υπολογισμοί του είναι άμεσοι και το αποτέλεσμα διαβάζεται εύκολα (de Almeida & Morais, 2018; Ciardiello & Genovese, 2023; Taherdoost, 2023).

Έστω ότι $X = [x_{ij}]$ είναι ο συλλογικός πίνακας αξιολόγησης και $w = (w_1, w_2, \dots, w_m)$ το διάνυσμα βαρών των κριτηρίων, με:

$$\sum_{j=1}^m w_j = 1$$

Η συνολική βαθμολογία της εναλλακτικής a_i δίνεται από (de Almeida & Morais, 2018; Ciardiello & Genovese, 2023; Taherdoost, 2023):

$$S_i = \sum_{j=1}^m w_j x_{ij}$$

Η τελική κατάταξη προκύπτει από την ταξινόμηση των τιμών S_i κατά φθίνουσα σειρά.

Ο παραπάνω τύπος εφαρμόζεται όταν οι αξιολογήσεις x_{ij} βρίσκονται σε κοινή συγκρίσιμη κλίμακα και έχουν ίδια κατεύθυνση προτίμησης, δηλαδή όταν μεγαλύτερη τιμή σημαίνει καλύτερη επίδοση για όλα τα κριτήρια. Αν υπάρχουν κριτήρια τύπου cost, οι αρχικές τιμές πρέπει πρώτα να μετασχηματιστούν σε ισοδύναμες τιμές τύπου benefit, ώστε να είναι συμβατές με τη λογική του σταθμισμένου αθροίσματος (de Almeida & Morais, 2018).

Στην εφαρμογή αυτή, η μέθοδος χρησιμοποιείται με την παραδοχή ότι οι άμεσες αξιολογήσεις εισάγονται σε κοινή κλίμακα 1-10 και με ενιαία κατεύθυνση προτίμησης. Έτσι, το σταθμισμένο άθροισμα οδηγεί σε συνεπή και ερμηνεύσιμα αποτελέσματα.

Το WSM έχει το πλεονέκτημα της απλότητας, του χαμηλού υπολογιστικού κόστους και της εύκολης ερμηνείας. Από την άλλη πλευρά, η σωστή εφαρμογή του εξαρτάται έντονα από τη συγκρισιμότητα των κλιμάκων, από τη σωστή κατεύθυνση ερμηνείας των κριτηρίων και από την ορθή επιλογή των βαρών, καθώς αυτά επηρεάζουν άμεσα την τελική κατάταξη (de Almeida & Morais, 2018; Wan Mohd & Abdullah, 2017).

4.4.2 Μέθοδος TOPSIS

Η TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) βασίζεται στην ιδέα ότι η καλύτερη εναλλακτική είναι εκείνη που βρίσκεται πιο κοντά στην ιδανική λύση και πιο μακριά από την αντι-ιδανική. Πρόκειται για μία από τις πιο γνωστές μεθόδους πολυκριτηριακής ανάλυσης και χρησιμοποιείται συχνά σε προβλήματα με πολλά και ενδεχομένως αντικρουόμενα κριτήρια (Shih et al., 2007).

Αρχικά δίνεται ο πίνακας αξιολόγησης $X = [x_{ij}]$. Κατόπιν υπολογίζεται ο κανονικοποιημένος πίνακας $R = [r_{ij}]$ ως (Shih et al., 2007):

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

Η κανονικοποίηση αυτή είναι απαραίτητη ώστε να γίνουν συγκρίσιμες επιδόσεις που μπορεί να προέρχονται από διαφορετικές μονάδες μέτρησης (Shih et al., 2007). Στην παρούσα εφαρμογή, παρότι οι άμεσες αξιολογήσεις δίνονται ήδη σε κοινή κλίμακα 1-10, το στάδιο αυτό διατηρείται επειδή αποτελεί τυπικό μέρος της διαδικασίας της TOPSIS πριν από τη στάθμιση και τον υπολογισμό των αποστάσεων από την ιδανική και την αντι-ιδανική λύση.

Ο σταθμισμένος κανονικοποιημένος πίνακας $V = [v_{ij}]$ προκύπτει ως (Shih et al., 2007; Ciardiello & Genovese, 2023):

$$v_{ij} = w_j r_{ij}$$

όπου w_j είναι το κανονικοποιημένο βάρος του κριτηρίου j , όπως αυτό έχει προκύψει από τη διαδικασία της ενότητας 4.3.

Για τον προσδιορισμό της ιδανικής και αντι-ιδανικής λύσης, υπολογίζονται για κάθε κριτήριο c_j ως εξής (Shih et al., 2007; Ciardiello & Genovese, 2023):

- αν είναι **benefit**:

$$v_j^+ = \max_i v_{ij}, \quad v_j^- = \min_i v_{ij}$$

- αν είναι **cost**:

$$v_j^+ = \min_i v_{ij}, \quad v_j^- = \max_i v_{ij}$$

Η διάκριση αυτή επιτρέπει στη μέθοδο να χειρίζεται τόσο επιθυμητά όσο και ανεπιθύμητα κριτήρια, κάτι ιδιαίτερα χρήσιμο σε πιο ρεαλιστικά προβλήματα απόφασης.

Στη συνέχεια για κάθε εναλλακτική υπολογίζονται οι αποστάσεις από την ιδανική και την αντι-ιδανική λύση ως ακολούθως (Shih et al., 2007; Ciardiello & Genovese, 2023):

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_j^+)^2}$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_j^-)^2}$$

Τέλος, ο συντελεστής εγγύτητας της εναλλακτικής a_i δίνεται από τον τύπο:

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

όπου $0 \leq C_i \leq 1$. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή C_i , τόσο προτιμότερη θεωρείται η αντίστοιχη εναλλακτική.

Η TOPSIS έχει το πλεονέκτημα ότι λαμβάνει υπόψη ταυτόχρονα τόσο τη βέλτιστη όσο και τη χειρότερη θεωρητική λύση και μπορεί να χειριστεί κριτήρια benefit και cost. Ωστόσο, τα αποτελέσματά της επηρεάζονται από τον τρόπο κανονικοποίησης και από τα βάρη των κριτηρίων, επομένως χρειάζεται προσεκτική εφαρμογή και προσεκτική ερμηνεία (Shih et al., 2007).

4.4.3 Μέθοδος Analytic Hierarchy Process (AHP)

Η AHP (Analytic Hierarchy Process) μπορεί να χρησιμοποιηθεί όχι μόνο για τον υπολογισμό βαρών κριτηρίων, αλλά και ως πλήρης μέθοδος κατάταξης εναλλακτικών. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στη μετατροπή ποιοτικών κρίσεων σε ποσοτικές προτεραιότητες μέσω ζευγαρωτών συγκρίσεων και αποτελεί μία από τις πιο διαδεδομένες προσεγγίσεις της πολυκριτηριακής ανάλυσης (Saaty, 2008).

Αρχικά, για ένα σύνολο στοιχείων κατασκευάζεται πίνακας ζευγαρωτών συγκρίσεων, όπου το στοιχείο a_{ij} εκφράζει τη σχετική προτίμηση του στοιχείου i έναντι του j (Dong et al., 2010). Για τους πίνακες αυτούς ισχύουν οι ιδιότητες:

$$a_{ii} = 1, \quad a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$$

Η μορφή αυτή χρησιμοποιείται τόσο για τις συγκρίσεις των κριτηρίων όσο και για τις συγκρίσεις των εναλλακτικών λύσεων ως προς κάθε κριτήριο.

Για τον υπολογισμό των τοπικών βαρών, ακολουθείται η εξής διαδικασία. Από κάθε πίνακα συγκρίσεων υπολογίζεται διάνυσμα προτεραιοτήτων w , το οποίο προκύπτει από το κυρίαρχο ιδιοδιάνυσμα του πίνακα, δηλαδή από τη σχέση (Dong et al., 2010; Saaty, 2008; Taherdoost, 2017):

$$Aw = \lambda_{\max} w$$

όπου $\lambda_{\max}$ είναι η μέγιστη ιδιοτιμή του πίνακα συγκρίσεων.

Στη συνέχεια, το διάνυσμα κανονικοποιείται ώστε (Morais & de Almeida, 2012; Shih et al., 2007):

$$w'_i = \frac{w_i}{\sum_{k=1}^n w_k}$$

και

$$\sum_{i=1}^n w'_i = 1$$

Η ίδια διαδικασία εφαρμόζεται τόσο στον πίνακα συγκρίσεων των κριτηρίων όσο και στους πίνακες συγκρίσεων των εναλλακτικών ως προς κάθε κριτήριο, ώστε να προκύψουν τα αντίστοιχα τοπικά βάρη και οι τοπικές προτεραιότητες.

Για τη σύνθεση των τοπικών και συνολικών προτεραιοτήτων, θεωρούμε ότι w είναι το διάνυσμα των βαρών των κριτηρίων και ότι p_{ij} είναι η τοπική προτεραιότητα της εναλλακτικής i ως προς το κριτήριο j . Οι τοπικές προτεραιότητες συγκεντρώνονται σε πίνακα P , όπου κάθε γραμμή αντιστοιχεί σε μία εναλλακτική λύση και κάθε στήλη σε ένα κριτήριο. Οι συνολικές προτεραιότητες των εναλλακτικών προκύπτουν από την σχέση (Saaty, 2008):

$$S = Pw$$

όπου S είναι το διάνυσμα των συνολικών προτεραιοτήτων των εναλλακτικών λύσεων.

Ισοδύναμα, για κάθε εναλλακτική i , η συνολική προτεραιότητά της δίνεται από (Saaty, 2008):

$$s_i = \sum_{j=1}^n p_{ij} w_j$$

Η τελική κατάταξη των εναλλακτικών λύσεων προκύπτει από τις τιμές του διανύσματος s , με προτιμότερη την εναλλακτική που παρουσιάζει τη μεγαλύτερη συνολική προτεραιότητα.

Τέλος, για κάθε πίνακα συγκρίσεων εφαρμόζεται ο έλεγχος συνέπειας μέσω του λόγου συνέπειας CR , όπως παρουσιάστηκε στην ενότητα 4.3.3.

Η AHP επιτρέπει την ενσωμάτωση ποιοτικών κρίσεων, παρέχει έλεγχο συνέπειας και υποστηρίζει ιεραρχική δόμηση του προβλήματος. Ωστόσο, όταν αυξάνονται τα κριτήρια

και οι εναλλακτικές, αυξάνεται και ο αριθμός των απαιτούμενων συγκρίσεων, κάτι που μπορεί να κουράσει τον χρήστη και να οδηγήσει σε ασυνεπείς κρίσεις (Saaty, 2008).

4.5 Κανόνας κοινωνικής επιλογής Borda Count

Ο κανόνας Borda Count είναι μία από τις πιο γνωστές μεθόδους κοινωνικής επιλογής και χρησιμοποιείται για να συντεθούν οι προτιμήσεις πολλών συμμετεχόντων σε μία συλλογική κατάταξη. Σε αντίθεση με τις πολυκριτηριακές μεθόδους, δεν βασίζεται σε αξιολογήσεις ανά κριτήριο αλλά σε άμεσες κατατάξεις προτίμησης των εναλλακτικών λύσεων (de Borda, 1781; Laughlin, 2011).

Κάθε συμμετέχων d_k παρέχει μία πλήρη κατάταξη (de Almeida & Morais, 2018):

$$r^{(k)} = (a_{i_1}, a_{i_2}, \dots, a_{i_n})$$

Για n εναλλακτικές, η πρώτη θέση λαμβάνει $n - 1$ βαθμούς, η δεύτερη $n - 2$, και η τελευταία 0. Η συνολική βαθμολογία της εναλλακτικής a_i δίνεται από (de Almeida & Morais, 2018; Laughlin, 2011):

$$S_i = \sum_{k=1}^K b_i^{(k)}$$

όπου $b_i^{(k)}$ είναι οι βαθμοί που αποδίδει ο συμμετέχων d_k στην εναλλακτική a_i .

Η τελική κατάταξη προκύπτει από την ταξινόμηση των τιμών S_i σε φθίνουσα σειρά.

Ο κανόνας Borda είναι απλός στην εφαρμογή, αξιοποιεί ολόκληρη την κατάταξη προτιμήσεων και οδηγεί σε αποτελέσματα που διαβάζονται εύκολα. Παρ' όλα αυτά, όπως και άλλοι κανόνες κοινωνικής επιλογής, συνοδεύεται από γνωστούς θεωρητικούς περιορισμούς, όπως η πιθανότητα κύκλων προτιμήσεων και γενικότερα οι δυσκολίες που εμφανίζονται όταν ατομικές προτιμήσεις μετατρέπονται σε συλλογικό αποτέλεσμα (Laughlin, 2011).

4.6 Παραγωγή κύριας ομαδικής σύστασης και υπολογισμός του δείκτη συναίνεσης

Στην εργασία αυτή, το συλλογικό αποτέλεσμα δεν παρουσιάζεται μόνο ως τελική κατάταξη των εναλλακτικών λύσεων, αλλά αξιοποιείται και ως κύρια ομαδική σύσταση. Επιπλέον, στις ροές όπου υπάρχουν ατομικές αριθμητικές τελικές βαθμολογίες, συνοδεύεται και από δείκτη συναίνεσης των μελών της ομάδας. Η επιλογή αυτή συνδέεται με τη λογική των group recommender systems, όπου η σύσταση, η επεξήγηση και η υποστήριξη της ομάδας προς τελική επιλογή αποτελούν διακριτές λειτουργίες (Dara et al., 2020; Trattner et al., 2018).

4.6.1 Κύρια ομαδική σύσταση

Μετά την εφαρμογή της επιλεγμένης μεθόδου, η εφαρμογή παράγει συλλογική βαθμολογία και κατάταξη των εναλλακτικών. Η εναλλακτική που καταλαμβάνει την πρώτη θέση παρουσιάζεται ως κύρια ομαδική σύσταση και αν υπάρξει ισοβαθμία στην κορυφή, η σύσταση δίνεται ως σύνολο ισοδύναμων κορυφαίων εναλλακτικών. Επομένως, η σύσταση δεν αποτελεί νέο ανεξάρτητο κανόνα απόφασης, αλλά πρακτική αξιοποίηση του ήδη παραγόμενου συλλογικού αποτελέσματος.

4.6.2 Δείκτης συναίνεσης

Στην εργασία αυτή, η συναίνεση εφαρμόζεται ως ποσοτική εκτίμηση του βαθμού συμφωνίας των μελών της ομάδας ως προς μια εναλλακτική λύση, και όχι ως πλήρης επαναληπτική διαδικασία διαπραγμάτευσης. Η επιλογή αυτή είναι συμβατή τόσο με τη βιβλιογραφία για consensus measures στην ομαδική λήψη αποφάσεων όσο και με τη βιβλιογραφία αξιολόγησης group recommender systems (Chiclana et al., 2015; Parreiras et al., 2010; Tran et al., 2024). Ο δείκτης που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της συναίνεσης είναι ο εξής (Trattner et al., 2018):

$$\text{consensus}(g, t) = 1 - \frac{\sum_{(u_i, u_j) \in g \ (i \neq j)} |r(u_i, t) - r(u_j, t)|}{|g| \times (|g| - 1) / 2 \times r_{\max}}$$

όπου $r(u_i, t)$ και $r(u_j, t)$ είναι οι ατομικές αντίστοιχες τελικές βαθμολογίες των μελών u_i και u_j για την εναλλακτική t , ενώ η απόλυτη διαφορά $|r(u_i, t) - r(u_j, t)|$ εκφράζει τη

μεταξύ τους απόκλιση ως προς τη συγκεκριμένη εναλλακτική. Όπου $r_{\max}$ είναι η μέγιστη δυνατή τιμή της κοινής κλίμακας βαθμολόγησης και $|g|$ το πλήθος των μελών της ομάδας. Τιμές του δείκτη κοντά στο 1 υποδηλώνουν μεγαλύτερη συμφωνία των μελών της ομάδας ως προς την εξεταζόμενη εναλλακτική.

Για να υπολογιστεί ο δείκτης συναίνεσης στην εφαρμογή, οι ατομικές τελικές βαθμολογίες πρέπει πρώτα να είναι συγκρίσιμες μεταξύ τους. Για αυτόν τον λόγο, στη ροή WSM οι βαθμολογίες κάθε συμμετέχοντα κανονικοποιούνται με min-max κανονικοποίηση στο διάστημα $[0,1]$, διότι έχουν προκύψει από σταθμισμένο άθροισμα αξιολογήσεων στην κλίμακα 1–10. Στη TOPSIS δεν χρειάζεται αντίστοιχο βήμα, επειδή οι συντελεστές εγγύτητας βρίσκονται ήδη στο διάστημα $[0,1]$. Στην πλήρη AHP, οι τελικές προτεραιότητες προκύπτουν επίσης από κανονικοποιημένα διανύσματα προτεραιοτήτων. Έτσι, στην εφαρμογή του δείκτη μπορεί να χρησιμοποιηθεί $r_{\max} = 1$.

Στην παρούσα υλοποίηση, ο δείκτης εφαρμόζεται μόνο στις ροές όπου υπάρχουν ατομικές αριθμητικές τελικές βαθμολογίες ανά εναλλακτική. Για τον λόγο αυτό, χρησιμοποιείται στις ροές WSM, TOPSIS και AHP, όπου μπορούν να εξαχθούν ατομικές τελικές βαθμολογίες ή ατομικές τελικές προτεραιότητες. Αντίθετα, στη ροή κοινωνικής επιλογής με κανόνα Borda Count, όπου οι συμμετέχοντες δίνουν κατατάξεις προτίμησης και όχι ατομικές αριθμητικές βαθμολογίες σε κοινή κλίμακα, ο συγκεκριμένος δείκτης συναίνεσης δεν μπορεί να εφαρμοστεί άμεσα. Η αποτίμηση της συναίνεσης στο Borda Count θα απαιτούσε διαφορετική προσέγγιση, βασισμένη στη σύγκριση των κατατάξεων.

4.6.3 Επεξήγηση της σύστασης

Η επεξήγηση της κύριας ομαδικής σύστασης ακολουθεί τη λογική της εκάστοτε μεθόδου. Στην WSM βασίζεται στις συμβολές των κριτηρίων στη συνολική βαθμολογία της προτεινόμενης εναλλακτικής. Στην TOPSIS βασίζεται στις αποστάσεις από την ιδανική και την αντι-ιδανική λύση και στον αντίστοιχο συντελεστή εγγύτητας. Στην AHP βασίζεται στα βάρη των κριτηρίων και στις τοπικές προτεραιότητες των εναλλακτικών. Στον κανόνα Borda βασίζεται στη συνολική βαθμολογία που προκύπτει από τη σύνθεση των ατομικών κατατάξεων και στη θέση της εναλλακτικής στη συλλογική κατάταξη. Έτσι, η εφαρμογή δεν δείχνει μόνο ποια επιλογή προτείνεται, αλλά και γιατί προτείνεται.

4.7 Σύνθεση των διαδικασιών του μοντέλου

Οι προηγούμενες ενότητες παρουσιάζουν τα βασικά μέρη του μοντέλου ξεχωριστά: τη σύνθεση των αξιολογήσεων, τον υπολογισμό των βαρών, τις μεθόδους κατάταξης, τον κανόνα Borda Count, την κύρια ομαδική σύσταση και τον δείκτη συναίνεσης. Στο προτεινόμενο μοντέλο, τα μέρη αυτά δεν χρησιμοποιούνται απομονωμένα, αλλά συνδυάζονται σε μία σειρά επεξεργασίας που ξεκινά από τα δεδομένα των συμμετεχόντων και καταλήγει σε συλλογικό αποτέλεσμα.

Το ιδιαίτερο στοιχείο του μοντέλου βρίσκεται στο ότι οι διαφορετικές αυτές διαδικασίες δεν χρησιμοποιούνται ως ξεχωριστές, ασύνδετες επιλογές. Αντίθετα, εντάσσονται σε ένα κοινό σχήμα, όπου το ίδιο πρόβλημα μπορεί να εξεταστεί είτε με αριθμητικές αξιολογήσεις και βάρη είτε με άμεσες κατατάξεις. Έτσι, το μοντέλο συνδυάζει πολυκριτηριακές μεθόδους και κανόνα κοινωνικής επιλογής, διατηρώντας κοινό τρόπο εξαγωγής του αποτελέσματος: τελική κατάταξη, κύρια ομαδική σύσταση και, όπου είναι δυνατό, δείκτη συναίνεσης. Με αυτή τη σύνθεση, η εργασία δεν περιορίζεται στην εφαρμογή μίας μεθόδου, αλλά δείχνει πώς διαφορετικές μαθηματικές προσεγγίσεις μπορούν να οργανωθούν στο ίδιο πλαίσιο ομαδικής απόφασης.

4.8 Παραδοχές και περιορισμοί του μοντέλου

Κατά την ανάπτυξη του μοντέλου υιοθετούνται ορισμένες παραδοχές και περιορισμοί που είναι απαραίτητοι για τη σωστή ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Οι παράγοντες αυτοί συνδέονται τόσο με τη φύση των δεδομένων εισόδου όσο και με τα θεωρητικά χαρακτηριστικά των μεθόδων που έχουν ενσωματωθεί στο σύστημα.

4.8.1 Παραδοχή πληρότητας δεδομένων

Το μοντέλο θεωρεί ότι οι συμμετέχοντες παρέχουν πλήρεις αξιολογήσεις ή πλήρεις κατατάξεις, δηλαδή χωρίς ελλείψεις. Πρόκειται για συνηθισμένη παραδοχή στις τυπικές διατυπώσεις Group MCDM, παρότι σε πραγματικές συνθήκες μπορεί να υπάρχει αβεβαιότητα ή ελλιπής πληροφορία.

4.8.2 Παραδοχή ανεξαρτησίας κριτηρίων

Μέθοδοι όπως η WSM υποθέτουν ότι τα κριτήρια είναι ανεξάρτητα και μπορούν να συνδυαστούν γραμμικά. Η παραδοχή αυτή διευκολύνει την εφαρμογή της μεθόδου, αλλά δεν ισχύει απαραίτητα σε κάθε πραγματικό πρόβλημα (de Almeida & Morais, 2018).

4.8.3 Περιορισμοί της AHP

Η AHP απαιτεί μεγάλο αριθμό ζευγαρωτών συγκρίσεων. Όσο μεγαλώνει η διάσταση του προβλήματος, τόσο αυξάνεται ο φόρτος για τον χρήστη και τόσο πιο πιθανές γίνονται οι ασυνεπείς κρίσεις.

4.8.4 Θεωρητικοί περιορισμοί κοινωνικής επιλογής

Η κοινωνική επιλογή συνοδεύεται από γνωστούς θεωρητικούς περιορισμούς, επειδή διαφορετικοί κανόνες σύνθεσης μπορεί να οδηγήσουν σε διαφορετικά αποτελέσματα για το ίδιο σύνολο ατομικών προτιμήσεων. Με άλλα λόγια, η μετάβαση από το ατομικό στο συλλογικό αποτέλεσμα δεν είναι ουδέτερη ούτε απαλλαγμένη από δυσκολίες (Arrow, 1950; Laughlin, 2011).

4.8.5 Περιορισμοί του επιπέδου ομαδικής σύστασης

Η λειτουργία ομαδικής σύστασης της εφαρμογής βασίζεται στη χρήση της συλλογικής κατάταξης για την ανάδειξη της κύριας προτεινόμενης επιλογής. Ωστόσο, η εφαρμογή δεν υλοποιεί πλήρη αυτόνομη μηχανή συστάσεων γενικής χρήσης, όπως συμβαίνει σε συστήματα που βασίζονται σε collaborative filtering, μακροχρόνιο profiling ή εκτεταμένη μάθηση προτιμήσεων. Συνεπώς, στην παρούσα εργασία η έννοια της ομαδικής σύστασης έχει λειτουργικό χαρακτήρα και αφορά κυρίως την παρουσίαση του συλλογικού αποτελέσματος προς την ομάδα.

4.8.6 Περιορισμοί του υπολογισμού του δείκτη συναίνεσης

Ο δείκτης συναίνεσης χρησιμοποιείται στην εφαρμογή ως συνοδευτική πληροφορία για την ερμηνεία του συλλογικού αποτελέσματος και όχι ως πλήρης επαναληπτικός μηχανισμός επίτευξης συναίνεσης. Βασίζεται σε ατομικές τελικές βαθμολογίες ανά εναλλακτική που

πρέπει να βρίσκονται σε κοινή συγκρίσιμη κλίμακα. Γι' αυτό, εφαρμόζεται μόνο στις ροές WSM, TOPSIS και πλήρους AHP, ενώ δεν υπολογίζεται στη ροή κοινωνικής επιλογής με κανόνα Borda Count.

4.9 Σύνοψη Κεφαλαίου

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάστηκε η μεθοδολογική και μαθηματική θεμελίωση του προτεινόμενου συστήματος υποστήριξης ομαδικών αποφάσεων. Αναλύθηκαν η αναπαράσταση του προβλήματος, οι τρόποι σύνθεσης ατομικών αξιολογήσεων και κρίσεων, οι διαδικασίες υπολογισμού βαρών, οι μέθοδοι κατάταξης και ο κανόνας κοινωνικής επιλογής Borda Count που υποστηρίζονται από το σύστημα.

Η ανάλυση των επιμέρους σημείων ανέδειξε ότι η μετάβαση από τις ατομικές κρίσεις σε συλλογικά αποτελέσματα εξαρτάται ουσιαστικά από τον τρόπο σύνθεσης, τη μέθοδο υπολογισμού βαρών και τη μέθοδο κατάταξης που εφαρμόζεται. Παράλληλα, παρουσιάστηκε ο τρόπος με τον οποίο οι διαδικασίες αυτές συνδυάζονται στο ίδιο μοντέλο, ώστε διαφορετικές μορφές εισόδου και διαφορετικές μέθοδοι ανάλυσης να οδηγούν σε τελική κατάταξη, κύρια ομαδική σύσταση και, όπου υπάρχουν τα κατάλληλα δεδομένα, δείκτη συναίνεσης. Το κεφάλαιο αυτό αποτελεί τη μεθοδολογική και μαθηματική βάση για το επόμενο κεφάλαιο, στο οποίο παρουσιάζεται η υλοποίηση του συστήματος σε περιβάλλον Python και Streamlit.

5. Ανάπτυξη της Εφαρμογής

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η υλοποίηση του προτεινόμενου συστήματος υποστήριξης ομαδικών αποφάσεων. Η υλοποίηση βασίζεται σε σύγχρονες τεχνολογίες ανάπτυξης λογισμικού και ακολουθεί μία αρθρωτή αρχιτεκτονική, που επιτρέπει τον σαφή διαχωρισμό μεταξύ διεπαφής χρήστη, επεξεργασίας δεδομένων και υπολογιστικών μεθόδων. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στον τρόπο με τον οποίο οι θεωρητικές έννοιες και οι μέθοδοι που παρουσιάστηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια μετασχηματίζονται σε λειτουργική εφαρμογή. Παράλληλα, περιγράφεται ο τρόπος με τον οποίο οι επιλογές του χρήστη επηρεάζουν δυναμικά τη ροή της ανάλυσης, καθώς και η εσωτερική οργάνωση του λογισμικού που επιτρέπει την υποστήριξη πολλαπλών μεθόδων μέσα από ενιαίο περιβάλλον.

5.1 Τεχνολογίες ανάπτυξης

Η ανάπτυξη της εφαρμογής έγινε στη γλώσσα προγραμματισμού Python, η οποία αποτελεί μία από τις πιο διαδεδομένες επιλογές για επιστημονικούς υπολογισμούς, επεξεργασία δεδομένων και γρήγορη ανάπτυξη πρωτοτύπων.

Για τη διεπαφή χρήστη χρησιμοποιήθηκε η βιβλιοθήκη Streamlit, επειδή επιτρέπει τη δημιουργία διαδραστικών εφαρμογών με σχετικά απλό και καθαρό κώδικα. Το Streamlit προσφέρει έτοιμα στοιχεία διεπαφής, όπως πεδία εισαγωγής, επιλογές μενού και δυναμική παρουσίαση αποτελεσμάτων, κάτι που το καθιστά κατάλληλο για ένα πρωτότυπο σύστημα υποστήριξης αποφάσεων.

Για τους μαθηματικούς και αριθμητικούς υπολογισμούς χρησιμοποιούνται οι βιβλιοθήκες NumPy και Pandas. Η NumPy αξιοποιείται κυρίως για πράξεις σε πίνακες και διανύσματα, ενώ η Pandas για την οργάνωση και την παρουσίαση δεδομένων και αποτελεσμάτων σε μορφή πινάκων.

Η εφαρμογή εκτελείται σε τοπικό περιβάλλον και δεν απαιτεί σύνδεση με εξωτερικό διακομιστή ή βάση δεδομένων. Η επιλογή αυτή απλοποιεί την ανάπτυξη και τη χρήση της εφαρμογής, ενώ την καθιστά κατάλληλη για πειραματισμό, εκπαιδευτική αξιοποίηση και ελεγχόμενη αξιολόγηση.

5.2 Τεχνική οργάνωση της εφαρμογής

Η τεχνική οργάνωση της εφαρμογής ακολουθεί τη λειτουργική αρχιτεκτονική που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 3. Πρακτικά, η εφαρμογή οργανώνεται σε αρχεία και φακέλους με διακριτούς ρόλους, ώστε να ξεχωρίζουν ο υπολογιστικός πυρήνας, τα στοιχεία της διεπαφής χρήστη και ο κεντρικός συντονισμός της ροής εκτέλεσης. Αυτή η επιλογή διευκολύνει την κατανόηση, τη συντήρηση και τη μελλοντική επέκταση της εφαρμογής.

Σε τεχνικό επίπεδο, η εφαρμογή οργανώνεται γύρω από ένα κεντρικό σημείο ελέγχου που συντονίζει τη συνολική ροή. Από εκεί διαβάζονται οι επιλογές του χρήστη, ενεργοποιούνται οι κατάλληλες φόρμες εισαγωγής, εκτελούνται οι έλεγχοι εγκυρότητας και καλούνται οι αντίστοιχες υπολογιστικές συναρτήσεις. Έτσι, η τεχνική οργάνωση παραμένει συνεπής με τη γενική λογική του συστήματος, χωρίς να συγχέεται με τη μαθηματική περιγραφή των μεθόδων.

Η διεπαφή χρήστη παραμένει διακριτή από τις αριθμητικές και λογικές διαδικασίες, ενώ ανάμεσά τους παρεμβάλλεται ένα επίπεδο προετοιμασίας δεδομένων πριν από την εκτέλεση των αλγορίθμων. Σε αυτό το σχήμα, η διεπαφή συλλέγει τις επιλογές και τις εισόδους του χρήστη, το επίπεδο διαχείρισης δεδομένων αναλαμβάνει ελέγχους εγκυρότητας, κανονικοποίηση βαρών και δημιουργία των κατάλληλων δομών εισόδου, και ο υπολογιστικός πυρήνας υλοποιεί τις μεθόδους σύνθεσης, κατάταξης, κοινωνικής επιλογής, παραγωγής ομαδικής σύστασης και υπολογισμού δείκτη συναίνεσης.

Έτσι, η εφαρμογή αποκτά τη μορφή αρθρωτού λογισμικού, στο οποίο κάθε μέρος έχει καθαρό ρόλο και σχετική λειτουργική αυτονομία. Αυτό διευκολύνει τόσο τη συντήρηση όσο και την προσθήκη νέων λειτουργιών χωρίς να χρειάζεται να ανασχεδιαστεί ολόκληρο το σύστημα. Παράλληλα, επιτρέπει την αξιόπιστη συνύπαρξη πολλών μεθοδολογικών προσεγγίσεων μέσα στο ίδιο υπολογιστικό περιβάλλον.

5.3 Δομή του λογισμικού

Η τεχνική οργάνωση της εφαρμογής αποτυπώνεται και στη δομή των αρχείων και φακέλων, η οποία ακολουθεί τον διαχωρισμό ανάμεσα στον κεντρικό συντονισμό της ροής, στον υπολογιστικό πυρήνα και στη διεπαφή χρήστη.

Η δομή των αρχείων και φακέλων της εφαρμογής είναι η ακόλουθη:

```
group_decision_support_system
```

```
|
|— app.py
|— README.txt
|— requirements.txt
|
|— core/
|   |— aggregation.py
|   |— weighting.py
|   |— ranking.py
|   |— social_choice.py
|   |— consensus.py
|   |— recommendation.py
|   └─ validation.py
|
└─ ui/
    |— sidebar.py
    |— inputs.py
    └─ results.py
```

Το αρχείο `app.py` αποτελεί το κύριο σημείο εκκίνησης της εφαρμογής και είναι υπεύθυνο για τον συντονισμό της συνολικής ροής εκτέλεσης. Σε αυτό συνδέονται οι επιλογές του χρήστη με τις αντίστοιχες διαδικασίες εισαγωγής δεδομένων, ελέγχου εγκυρότητας, υπολογισμού αποτελεσμάτων και παρουσίασης εξόδου.

Ο φάκελος `core/` περιλαμβάνει τον υπολογιστικό πυρήνα του συστήματος. Το αρχείο `aggregation.py` υλοποιεί τις μεθόδους σύνθεσης των αξιολογήσεων των συμμετεχόντων, το `weighting.py` τον υπολογισμό και την κανονικοποίηση των βαρών, το `ranking.py` τις μεθόδους κατάταξης των εναλλακτικών λύσεων και το `social_choice.py` τον κανόνα Borda Count για τη ροή κοινωνικής επιλογής. Το `consensus.py` αναλαμβάνει τον υπολογισμό του δείκτη συναίνεσης, το `recommendation.py` την παραγωγή της κύριας ομαδικής σύστασης από το συλλογικό αποτέλεσμα, ενώ το `validation.py` συγκεντρώνει τους μηχανισμούς ελέγχου εγκυρότητας των εισόδων.

Ο φάκελος `ui/` περιλαμβάνει τα επιμέρους στοιχεία της διεπαφής χρήστη. Το `sidebar.py` διαχειρίζεται τις βασικές επιλογές παραμετροποίησης της ανάλυσης, το `inputs.py` τα πεδία και τις φόρμες εισαγωγής δεδομένων, και το `results.py` την παρουσίαση των αποτελεσμάτων.

Τα αρχεία `README.txt` και `requirements.txt` λειτουργούν ως συνοδευτικά αρχεία του κώδικα, καθώς παρέχουν σύντομες οδηγίες εκτέλεσης και καταγράφουν τις απαιτούμενες βιβλιοθήκες Python.

Η παραπάνω δομή υποστηρίζει την ανάπτυξη ενός λογισμικού αρθρωτού και επεκτάσιμου, στο οποίο κάθε αρχείο και κάθε φάκελος έχει συγκεκριμένο ρόλο. Με αυτή την οργάνωση γίνεται πιο εύκολη τόσο η κατανόηση της εφαρμογής όσο και η προσθήκη νέων μεθόδων ή η βελτίωση υπαρχουσών λειτουργιών χωρίς να χάνεται η συνοχή του συστήματος.

5.4 Βασικές λειτουργίες της εφαρμογής

Οι μέθοδοι και οι βασικές μαθηματικές σχέσεις που παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 4 ενσωματώνονται στην εφαρμογή μέσα από επιμέρους λειτουργίες, οι οποίες αφορούν τη σύνθεση των αξιολογήσεων, τον υπολογισμό των βαρών, την κατάταξη των εναλλακτικών λύσεων, την εφαρμογή του κανόνα Borda Count και την παραγωγή της κύριας ομαδικής σύστασης. Οι λειτουργίες αυτές συνδέονται με τα δεδομένα που εισάγει ο χρήστης και οδηγούν στην παραγωγή των τελικών αποτελεσμάτων μέσα από το περιβάλλον της εφαρμογής.

5.4.1 Σύνθεση αξιολογήσεων

Στην εφαρμογή, η σύνθεση των αξιολογήσεων αποτελεί το πρώτο βασικό στάδιο της ομαδικής πολυκριτηριακής ανάλυσης. Στις ροές WSM και TOPSIS, κάθε συμμετέχων εισάγει αξιολογήσεις των εναλλακτικών λύσεων ως προς τα επιλεγμένα κριτήρια. Οι αξιολογήσεις αυτές οργανώνονται σε πίνακες κοινής μορφής, ώστε να μπορούν στη συνέχεια να συνδυαστούν σε έναν συλλογικό πίνακα αξιολόγησης.

Η σύνθεση μπορεί να γίνει είτε με αριθμητικό μέσο όρο είτε με σταθμισμένο μέσο όρο. Στην πρώτη περίπτωση, όλοι οι συμμετέχοντες θεωρούνται ισότιμοι και οι αξιολογήσεις τους επηρεάζουν εξίσου το συλλογικό αποτέλεσμα. Στη δεύτερη περίπτωση, η εφαρμογή

λαμβάνει υπόψη τα βάρη συμμετεχόντων που έχουν δοθεί από τον χρήστη, ώστε η συμβολή κάθε μέλους να διαφοροποιείται ανάλογα με τη βαρύτητα που έχει οριστεί.

Η μορφή εισαγωγής αξιολογήσεων σε πολυκριτηριακή ροή παρουσιάζεται ενδεικτικά στην Εικόνα 5-1. Στο σημείο αυτό φαίνεται πώς οι αξιολογήσεις των συμμετεχόντων καταχωρίζονται σε οργανωμένη μορφή, ώστε να χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια από τις υπολογιστικές διαδικασίες της εφαρμογής.

Πίνακες αξιολόγησης ανά συμμετέχοντα

Αξιολογήσεις DM1

≡	≡ C1	≡ C2	≡ C3
A1	None	None	None
A2	None	None	None
A3	None	None	None

Αξιολογήσεις DM2

≡	≡ C1	≡ C2	≡ C3
A1	None	None	None
A2	None	None	None
A3	None	None	None

Αξιολογήσεις DM3

≡	≡ C1	≡ C2	≡ C3
A1	None	None	None
A2	None	None	None
A3	None	None	None

Εικόνα 5-1 Ενδεικτική εισαγωγή αξιολογήσεων συμμετεχόντων στην εφαρμογή

Στην πλήρη ροή AHP, η σύνθεση δεν γίνεται πάνω σε άμεσες αριθμητικές αξιολογήσεις, αλλά πάνω σε πίνακες ζευγαρωτών συγκρίσεων. Η εφαρμογή συγκεντρώνει τις κρίσεις των συμμετεχόντων, τις οργανώνει σε συλλογική μορφή και τις χρησιμοποιεί για τον υπολογισμό των βαρών και των τελικών προτεραιοτήτων.

5.4.2 Υπολογισμός βαρών κριτηρίων

Ο υπολογισμός των βαρών των κριτηρίων γίνεται με δύο βασικούς τρόπους, ώστε η εφαρμογή να καλύπτει τόσο απλούστερες όσο και πιο δομημένες διαδικασίες προσδιορισμού της σχετικής σημασίας των κριτηρίων.

Ο πρώτος τρόπος είναι η άμεση εισαγωγή βαρών από τον χρήστη. Στην περίπτωση αυτή, οι τιμές κανονικοποιούνται αυτόματα πριν χρησιμοποιηθούν στους υπολογισμούς, ώστε το

τελικό διάνυσμα βαρών να μπορεί να εφαρμοστεί σωστά στις μεθόδους κατάταξης. Η επιλογή αυτή είναι πιο απλή και ταιριάζει σε περιπτώσεις όπου ο χρήστης μπορεί να αποδώσει άμεσα σχετικές προτεραιότητες στα κριτήρια.

Ο δεύτερος τρόπος βασίζεται στην AHP. Εδώ ο χρήστης ή οι συμμετέχοντες εισάγουν ζευγαρωτές συγκρίσεις για τα κριτήρια και από αυτές η εφαρμογή υπολογίζει τα αντίστοιχα βάρη. Ταυτόχρονα, υπολογίζεται και εμφανίζεται ο λόγος συνέπειας, ώστε να υπάρχει ένδειξη για το κατά πόσο οι κρίσεις που δόθηκαν είναι εσωτερικά συνεπείς.

Η εισαγωγή ζευγαρωτών συγκρίσεων και η εμφάνιση του λόγου συνέπειας παρουσιάζονται ενδεικτικά στην Εικόνα 5-2. Η λειτουργία αυτή είναι σημαντική, γιατί η εφαρμογή δεν εμφανίζει μόνο τα βάρη που προκύπτουν, αλλά δίνει και πληροφορία για την ποιότητα των συγκρίσεων που χρησιμοποιήθηκαν.

Σύγκριση: γραμμή = A1 | στήλη = A2

Πόσο σημαντικότερο είναι το A1 σε σχέση με το A2;

1/9 — Απόλυτη υπεροχή της στήλης

Σύγκριση: γραμμή = A1 | στήλη = A3

Πόσο σημαντικότερο είναι το A1 σε σχέση με το A3;

1/7 — Πολύ ισχυρή υπεροχή της στήλης

Σύγκριση: γραμμή = A2 | στήλη = A3

Πόσο σημαντικότερο είναι το A2 σε σχέση με το A3;

1/3 — Μέτρια υπεροχή της στήλης

Αμοιβαίος πίνακας AHP που θα χρησιμοποιηθεί στους υπολογισμούς

	A1	A2	A3
A1	1	0.1111	0.1429
A2	9	1	0.3333
A3	7	3	1

Οι πίνακες AHP είναι έγκυροι. Μπορείς να προχωρήσεις στον υπολογισμό.

Υπολογισμός Αποτελεσμάτων

Consistency Ratio (CR)

CR = 0.3756

Οι συγκρίσεις παρουσιάζουν χαμηλή συνέπεια. Προτείνεται αναθεώρηση.

Εικόνα 5-2 Ενδεικτική εισαγωγή ζευγαρωτών συγκρίσεων και εμφάνιση λόγου συνέπειας στη ροή AHP

Στην πλήρη ροή AHP, η ίδια λογική εφαρμόζεται και στις συγκρίσεις των εναλλακτικών λύσεων ως προς κάθε κριτήριο. Για τον λόγο αυτό, η συγκεκριμένη ροή είναι πιο απαιτητική

ως προς την εισαγωγή δεδομένων, αλλά παραμένει ενσωματωμένη στο ίδιο περιβάλλον χρήσης.

5.4.3 Κατάταξη εναλλακτικών στην εφαρμογή

Οι μέθοδοι κατάταξης αποτελούν τον βασικό μηχανισμό μέσω του οποίου η εφαρμογή μετατρέπει τα δεδομένα εισόδου σε συλλογικό αποτέλεσμα. Μετά τη σύνθεση των αξιολογήσεων και τον καθορισμό των βαρών, η εφαρμογή εκτελεί την επιλεγμένη μέθοδο και εμφανίζει τις βαθμολογίες ή τις προτεραιότητες των εναλλακτικών λύσεων σε μορφή τελικής κατάταξης.

Στις ροές WSM, TOPSIS και πλήρους AHP, η εφαρμογή αξιοποιεί τα δεδομένα που έχουν εισαχθεί και εκτελεί τους αντίστοιχους υπολογισμούς κατάταξης, σύμφωνα με τη μέθοδο που έχει επιλεγεί. Το αποτέλεσμα εμφανίζεται σε πίνακα, ώστε να είναι άμεσα ορατή η σειρά των εναλλακτικών λύσεων και η τιμή που αντιστοιχεί σε καθεμία.

Ενδεικτική παρουσίαση της τελικής κατάταξης μέσα στην εφαρμογή φαίνεται στην Εικόνα 5-3. Η εικόνα αυτή δείχνει τη μορφή με την οποία το αποτέλεσμα παρουσιάζεται στον χρήστη, χωρίς να απαιτείται η αναλυτική παρακολούθηση όλων των ενδιάμεσων υπολογιστικών βημάτων.

Αποτελέσματα TOPSIS

	Εναλλακτική	Συντελεστής εγγύτητας	Θέση
0	A3	0.6477	1
1	A2	0.3624	2
2	A1	0.3337	3

Εικόνα 5-3 Ενδεικτική παρουσίαση τελικής κατάταξης εναλλακτικών λύσεων στην εφαρμογή

5.4.4 Κανόνας κοινωνικής επιλογής Borda Count

Εκτός από τις πολυκριτηριακές μεθόδους, η εφαρμογή υλοποιεί και τον κανόνα κοινωνικής επιλογής Borda Count. Η λειτουργία αυτή χρησιμοποιείται στη ροή κοινωνικής επιλογής, όπου οι συμμετέχοντες δεν αξιολογούν εναλλακτικές λύσεις ως προς κριτήρια, αλλά εισάγουν άμεσα πλήρεις κατατάξεις προτίμησης.

Η εφαρμογή μετατρέπει τις θέσεις κάθε κατάταξης σε βαθμολογίες Borda και στη συνέχεια αθροίζει τις επιμέρους βαθμολογίες, ώστε να προκύψει η συλλογική κατάταξη των

εναλλακτικών λύσεων. Η ροή αυτή διαφέρει από τις πολυκριτηριακές, επειδή δεν χρησιμοποιεί βάρη κριτηρίων ή πίνακες αξιολόγησης. Παρ' όλα αυτά, καταλήγει σε αντίστοιχη μορφή εξόδου, δηλαδή σε πίνακα αποτελεσμάτων, τελική κατάταξη και κύρια ομαδική σύσταση.

Στη συγκεκριμένη ροή δεν υπολογίζεται ο ίδιος δείκτης συναίνεσης που χρησιμοποιείται στις πολυκριτηριακές μεθόδους, επειδή η είσοδος βασίζεται σε κατατάξεις και όχι σε ατομικές αριθμητικές τελικές βαθμολογίες κοινής κλίμακας.

5.4.5 Παραγωγή κύριας ομαδικής σύστασης και υπολογισμός δείκτη συναίνεσης

Η εφαρμογή δεν σταματά στην παραγωγή συλλογικής κατάταξης, αλλά μετατρέπει το τελικό αποτέλεσμα και σε κύρια ομαδική σύσταση. Μετά την ολοκλήρωση της ανάλυσης, η πρώτη εναλλακτική της συλλογικής κατάταξης αναδεικνύεται ως προτεινόμενη επιλογή της ομάδας. Σε περίπτωση ισοβαθμίας στην πρώτη θέση, η εφαρμογή εμφανίζει τις ισοδύναμες επιλογές, ώστε να μην ερμηνεύεται αυθαίρετα η σειρά εμφάνισης ως αυστηρή διάκριση μεταξύ ισοδύναμων αποτελεσμάτων.

Η κύρια ομαδική σύσταση συνοδεύεται από σύντομη επεξήγηση, η οποία προσαρμόζεται στη μέθοδο που έχει χρησιμοποιηθεί. Στις ροές WSM και TOPSIS, η επεξήγηση συνδέεται με τις τελικές βαθμολογίες ή τους συντελεστές εγγύτητας. Στην AHP βασίζεται στις τελικές προτεραιότητες, ενώ στον Borda Count βασίζεται στη συνολική βαθμολογία που προκύπτει από τις ατομικές κατατάξεις.

Επιπλέον, στις ροές όπου υπάρχουν ατομικές τελικές βαθμολογίες ή προτεραιότητες σε συγκρίσιμη μορφή, η εφαρμογή υπολογίζει και δείκτη συναίνεσης. Ο δείκτης αυτός λειτουργεί ως πρόσθετη ένδειξη για τον βαθμό συμφωνίας των συμμετεχόντων ως προς τις εναλλακτικές λύσεις. Δεν αντικαθιστά την τελική κατάταξη, αλλά βοηθά στην ερμηνεία του αποτελέσματος από την πλευρά της ομάδας.

Ομαδική Σύσταση

Κύρια ομαδική σύσταση: A3

Επεξήγηση της Σύστασης

Η εναλλακτική A3 προτείνεται επειδή παρουσίασε τον μεγαλύτερο συντελεστή εγγύτητας προς την ιδανική λύση.

Απόσταση από ιδανική λύση: 0.0309

Απόσταση από αντι-ιδανική λύση: 0.0567

Συντελεστής εγγύτητας: 0.6477

Αποτίμηση Βαθμού Συναίνεσης

Τιμές του δείκτη κοντά στο 1 υποδηλώνουν μεγαλύτερη συμφωνία των μελών της ομάδας ως προς την εξεταζόμενη εναλλακτική.

Δείκτης συναίνεσης προτεινόμενης εναλλακτικής: 0.4518

Πιο συναινετική εναλλακτική: A1

Δείκτης συναίνεσης ανά εναλλακτική:

	Εναλλακτική	Δείκτης συναίνεσης
0	A1	0.5734
1	A2	0.5415
2	A3	0.4518

Εικόνα 5-4 Παρουσίαση κύριας ομαδικής σύστασης και δείκτη συναίνεσης στην εφαρμογή

Η παρουσίαση της κύριας ομαδικής σύστασης και του δείκτη συναίνεσης φαίνεται ενδεικτικά στην Εικόνα 5-4. Στο σημείο αυτό η εφαρμογή μετατρέπει την αριθμητική έξοδο της μεθόδου σε πληροφορία που μπορεί να αξιοποιηθεί πιο άμεσα από τον χρήστη.

5.4.6 Σύνδεση μοντέλου και εφαρμογής

Οι επιμέρους μέθοδοι υλοποιήθηκαν έτσι ώστε να παραμένουν συνεπείς με το μαθηματικό μοντέλο που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 4. Η σύνθεση αξιολογήσεων, ο υπολογισμός και η κανονικοποίηση των βαρών, οι μέθοδοι WSM, TOPSIS και πλήρους AHP, καθώς και ο κανόνας Borda Count, ακολουθούν τη λογική των αντίστοιχων διαδικασιών πάνω στις οποίες στηρίζεται το σύστημα.

Παράλληλα, η υλοποίηση διατηρεί τις βασικές παραδοχές του μοντέλου, όπως τη χρήση κοινής κλίμακας στις άμεσες αξιολογήσεις, τη διάκριση benefit/cost στη TOPSIS, τον έλεγχο συνέπειας στην AHP και την εφαρμογή του δείκτη συναίνεσης μόνο όπου υπάρχουν κατάλληλα αριθμητικά δεδομένα.

Με την οργάνωση αυτή, το μαθηματικό μοντέλο δεν παραμένει αποκομμένο από την εφαρμογή, αλλά μετατρέπεται σε συγκεκριμένη λειτουργική ροή. Ο χρήστης ορίζει το πρόβλημα, εισάγει τα αντίστοιχα δεδομένα, επιλέγει τη μέθοδο ανάλυσης και λαμβάνει αποτέλεσμα σε μορφή που μπορεί να διαβαστεί και να αξιοποιηθεί μέσα από την εφαρμογή.

5.5 Τεχνική υλοποίηση της διεπαφής χρήστη

Η διεπαφή χρήστη υλοποιήθηκε με βασικά κριτήρια τη λειτουργικότητα, την απλότητα χρήσης και τη σαφή σύνδεση ανάμεσα στις επιλογές του χρήστη και στις διαθέσιμες ροές ανάλυσης. Οργανώνεται σε δύο κύρια μέρη: τον πλευρικό πίνακα επιλογών και το κεντρικό τμήμα της σελίδας. Στον πρώτο συγκεντρώνονται οι επιλογές παραμετροποίησης, ενώ στο δεύτερο γίνεται η εισαγωγή δεδομένων και η παρουσίαση αποτελεσμάτων.

Η εφαρμογή προσαρμόζει δυναμικά τα εμφανιζόμενα πεδία ανάλογα με τις επιλογές του χρήστη. Έτσι, κάθε ροή εμφανίζει μόνο τα απαραίτητα στοιχεία εισόδου και τα αντίστοιχα αποτελέσματα. Αυτή η επιλογή μειώνει την πολυπλοκότητα της διεπαφής και περιορίζει τις μη συμβατές ή λανθασμένες επιλογές, κάτι που είναι ιδιαίτερα σημαντικό στα web-based GDSS.

Η δυναμική προσαρμογή της διεπαφής φαίνεται ήδη από το αρχικό στάδιο παραμετροποίησης. Όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 5-5, ο χρήστης επιλέγει τον τύπο ανάλυσης και τη μέθοδο που θα εφαρμοστεί. Ανάλογα με αυτές τις επιλογές, η εφαρμογή εμφανίζει τα αντίστοιχα πεδία εισαγωγής και καθοδηγεί τον χρήστη στην κατάλληλη ροή.

The screenshot displays the application's configuration interface. On the left, a sidebar titled 'Ρυθμίσεις Ανάλυσης' (Analysis Settings) contains three sections: 'Τύπος Ανάλυσης' (Analysis Type) with a dropdown set to 'MCDA', 'Μέθοδος Κατάταξης' (Ranking Method) with a dropdown set to 'Weighted Sum Model', and 'Κριτηρίων' (Criteria) with a dropdown set to 'Direct Weights'. The main content area has a title 'Σύστημα Υποστήριξης Ομαδικών Αποφάσεων και Ομαδικών Συστάσεων Πολλαπλών Κριτηρίων' (System for Supporting Group Decisions and Group Recommendations with Multiple Criteria). Below the title is a descriptive paragraph. A section titled 'Ορισμός προβλήματος' (Problem Definition) contains three input fields, each with the value '3' and increment/decrement buttons: 'Αριθμός συμμετεχόντων' (Number of participants), 'Αριθμός κριτηρίων' (Number of criteria), and 'Αριθμός εναλλακτικών λύσεων' (Number of alternative solutions).

Εικόνα 5-5 Ενδεικτική επιλογή τύπου ανάλυσης και μεθόδου στην εφαρμογή

Ιδιαίτερη μέριμνα δόθηκε στην υλοποίηση των πινάκων ζευγαρωτών συγκρίσεων της AHP. Ο χρήστης εισάγει μόνο τις συγκρίσεις του άνω τριγωνικού μέρους και η εφαρμογή κατασκευάζει αυτόματα τον πλήρη αμοιβαίο πίνακα, συμπληρώνοντας τις αντίστροφες

τιμές. Οι διαθέσιμες επιλογές βασίζονται στις κύριες τιμές της κλίμακας Saaty, δηλαδή στις τιμές 1, 3, 5, 7, 9 και στους αντιστρόφους τους. Με αυτόν τον τρόπο, η διαδικασία γίνεται πιο εύχρηστη, μειώνονται τα σφάλματα και διασφαλίζεται η συμβατότητα με τη βασική ιδιότητα αμοιβαιότητας της μεθόδου.

Η διεπαφή δεν χρησιμοποιείται μόνο για τη συλλογή εισόδων, αλλά και για την καθαρή παρουσίαση των τελικών αποτελεσμάτων. Στο τελικό στάδιο εμφανίζονται ο πίνακας αποτελεσμάτων, η τελική κατάταξη, η κύρια ομαδική σύσταση, η αντίστοιχη επεξήγηση και, όπου είναι διαθέσιμος, ο δείκτης συναίνεσης. Έτσι, η λειτουργική λογική του συστήματος γίνεται άμεσα αξιοποιήσιμη από τον χρήστη.

Συνολικά, η διεπαφή υλοποιεί στην πράξη τη λογική της καθοδηγούμενης παραμετροποίησης που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 3 και τη μετατρέπει σε λειτουργικό περιβάλλον μέσα από το οποίο ο χρήστης μπορεί να ορίσει το πρόβλημα, να εκτελέσει την ανάλυση και να διαβάσει το τελικό αποτέλεσμα.

5.6 Ενδεικτικά παραδείγματα λειτουργίας της εφαρμογής

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται ενδεικτικά τεχνικά παραδείγματα λειτουργίας της εφαρμογής, ώστε να φανεί πώς ενεργοποιούνται οι βασικές ροές ανάλυσης μέσα από τη διεπαφή. Η ενότητα δεν αντικαθιστά τη μελέτη περίπτωσης του επόμενου κεφαλαίου, αλλά λειτουργεί ως σύντομη επίδειξη του τρόπου με τον οποίο συμπεριφέρεται τεχνικά η εφαρμογή στις βασικές μεθόδους που υποστηρίζει.

5.6.1 Παράδειγμα εφαρμογής με το Weighted Sum Model

Σε μια τυπική ροή με το Weighted Sum Model, ο χρήστης ορίζει πρώτα τον αριθμό των συμμετεχόντων, των κριτηρίων και των εναλλακτικών λύσεων. Στη συνέχεια εισάγει τις αξιολογήσεις στα αντίστοιχα πεδία και επιλέγει αν η σύνθεση των ατομικών πινάκων θα γίνει με απλό ή σταθμισμένο τρόπο, ανάλογα με το αν όλοι οι συμμετέχοντες θεωρούνται ισοδύναμοι. Για τα βάρη των κριτηρίων, η εφαρμογή επιτρέπει είτε άμεση εισαγωγή είτε υπολογισμό μέσω AHP, ώστε η ίδια ροή να μπορεί να καλύψει τόσο απλές όσο και πιο δομημένες περιπτώσεις ανάλυσης.

Ο τρόπος εισαγωγής δεδομένων στη ροή WSM παρουσιάζεται ενδεικτικά στην Εικόνα 5-6. Στο σημείο αυτό φαίνεται πώς τα βασικά στοιχεία εισόδου, δηλαδή οι εναλλακτικές λύσεις, τα κριτήρια, οι αξιολογήσεις και τα βάρη, συγκεντρώνονται σε μία ενιαία φόρμα εισαγωγής. Η οργάνωση αυτή βοηθά ώστε η ροή της μεθόδου να παραμένει κατανοητή, καθώς ο χρήστης βλέπει άμεσα ποια δεδομένα χρειάζονται πριν ξεκινήσει ο υπολογισμός της συλλογικής βαθμολογίας.

Ρυθμίσεις Ανάλυσης

Τύπος Ανάλυσης

MCDΑ

Μέθοδος Κατάταξης

Weighted Sum Model

Μέθοδος Σύνθεσης Αξιολογήσεων

Arithmetic Mean

Μέθοδος Υπολογισμού Βαρών Κριτηρίων

Direct Weights

Αξιολογήσεις DM1

	C1	C2	C3
A1	7.00	8.00	9.00
A2	9.00	9.00	8.00
A3	7.00	9.00	7.00

Αξιολογήσεις DM2

	C1	C2	C3
A1	8.00	7.00	9.00
A2	8.00	8.00	9.00
A3	8.00	9.00	8.00

Αξιολογήσεις DM3

	C1	C2	C3
A1	7.00	9.00	7.00
A2	7.00	8.00	9.00
A3	8.00	7.00	9.00

Οι πίνακες αξιολόγησης είναι πλήρεις και βρίσκονται στο επιτρεπτό εύρος 1-10.

Άμεση εισαγωγή βαρών κριτηρίων

Βάρος C1	Βάρος C2	Βάρος C3
0.55	0.30	0.15

Εικόνα 5-6 Ενδεικτική εισαγωγή αξιολογήσεων και βαρών στη ροή WSM

Μετά την εισαγωγή των δεδομένων, η εφαρμογή συνθέτει τους ατομικούς πίνακες σε συλλογικό πίνακα και εφαρμόζει την WSM για να υπολογίσει τη συλλογική βαθμολογία κάθε εναλλακτικής. Το αποτέλεσμα εμφανίζεται σε πίνακα και τελική κατάταξη, ενώ η πρώτη εναλλακτική προβάλλεται ως κύρια ομαδική σύσταση. Επειδή στη ροή αυτή

μπορούν να εξαχθούν και ατομικές αριθμητικές τελικές βαθμολογίες, είναι δυνατό να υπολογιστεί και δείκτης συναίνεσης.

Αυτή είναι η πιο απλή και άμεσα κατανοητή πολυκριτηριακή ροή της εφαρμογής, επειδή βασίζεται στη λογική του σταθμισμένου αθροίσματος και επιτρέπει στον χρήστη να δει σχετικά καθαρά πώς συνδέονται οι είσοδοι, τα βάρη και το τελικό αποτέλεσμα.

5.6.2 Παράδειγμα εφαρμογής με τη μέθοδο TOPSIS

Στην περίπτωση της TOPSIS, ο χρήστης ακολουθεί αντίστοιχη αρχική διαδικασία ορισμού συμμετεχόντων, κριτηρίων και εναλλακτικών, αλλά εδώ υπάρχει μία ακόμη σημαντική επιλογή: το κάθε κριτήριο δηλώνεται αν είναι benefit ή cost. Η πληροφορία αυτή επηρεάζει άμεσα τον προσδιορισμό της ιδανικής και της αντι-ιδανικής λύσης και επομένως και τη λογική της τελικής κατάταξης.

Αφού εισαχθούν οι αξιολογήσεις και τα βάρη, η εφαρμογή κατασκευάζει τον συλλογικό πίνακα, τον κανονικοποιεί, εφαρμόζει τη στάθμιση και στη συνέχεια προσδιορίζει τις ιδανικές και αντι-ιδανικές τιμές για κάθε κριτήριο. Από τις αποστάσεις κάθε εναλλακτικής από αυτές τις δύο αναφορές προκύπτει ο συντελεστής εγγύτητας, βάσει του οποίου διαμορφώνεται η τελική κατάταξη.

Από τεχνική άποψη, αυτή η ροή είναι πιο απαιτητική από το WSM, επειδή περιλαμβάνει περισσότερα ενδιάμεσα στάδια και χρειάζεται σαφή δήλωση της κατεύθυνσης προτίμησης των κριτηρίων. Παρ' όλα αυτά, η εμπειρία χρήσης παραμένει ενιαία, καθώς ο χρήστης ακολουθεί την ίδια βασική λογική παραμετροποίησης και εισαγωγής δεδομένων, ενώ η εφαρμογή αναλαμβάνει εσωτερικά τα ειδικότερα βήματα της μεθόδου.

Η τελική έξοδος περιλαμβάνει τις τιμές του συντελεστή εγγύτητας, την κατάταξη των εναλλακτικών και την κύρια ομαδική σύσταση. Επιπλέον, επειδή στη ροή αυτή μπορούν να εξαχθούν ατομικές αριθμητικές τελικές τιμές σε κοινή κλίμακα, μπορεί να υπολογιστεί και δείκτης συναίνεσης, κάτι που βοηθά στην ερμηνεία του αποτελέσματος από την πλευρά της ομάδας.

5.6.3 Παράδειγμα εφαρμογής με τη μέθοδο ΑΗΡ

Στην πλήρη ροή ΑΗΡ, ο χρήστης ορίζει και πάλι συμμετέχοντες, κριτήρια και εναλλακτικές, όμως η λογική της εισόδου αλλάζει σημαντικά. Οι συμμετέχοντες δεν συμπληρώνουν πίνακες επιδόσεων, αλλά πίνακες ζευγαρωτών συγκρίσεων. Κάθε συμμετέχων δίνει συγκρίσεις για τα κριτήρια και στη συνέχεια συγκρίσεις των εναλλακτικών ως προς κάθε κριτήριο. Η μορφή αυτή είναι πιο δομημένη, αλλά και πιο απαιτητική, ειδικά όταν αυξάνεται η διάσταση του προβλήματος.

Η εφαρμογή υποστηρίζει αυτή τη ροή με κατάλληλα διαμορφωμένη διεπαφή, ώστε η συμπλήρωση των πινάκων να παραμένει όσο γίνεται πιο καθοδηγούμενη και λειτουργική. Στη συνέχεια συνθέτει τις επιμέρους κρίσεις, υπολογίζει τα συλλογικά βάρη των κριτηρίων, τις τοπικές προτεραιότητες των εναλλακτικών και τελικά τις συνολικές προτεραιότητες που οδηγούν στην κατάταξη. Παράλληλα, υπολογίζεται και εμφανίζεται ο λόγος συνέπειας, ο οποίος λειτουργεί ως ένδειξη της εσωτερικής συνοχής των συγκρίσεων. Εάν η τιμή του είναι υψηλή, δηλαδή $CR > 0,10$, τότε η εφαρμογή προειδοποιεί τον χρήστη ότι οι κρίσεις χρειάζονται επανεξέταση, χωρίς όμως να διακόπτει αυτόματα τη διαδικασία υπολογισμού.

Όπως και στις άλλες πολυκριτηριακές ροές, η τελική έξοδος περιλαμβάνει κατάταξη, κύρια ομαδική σύσταση και, όπου υπάρχουν ατομικές τελικές προτεραιότητες ανά συμμετέχοντα, δείκτη συναίνεσης. Έτσι, το αποτέλεσμα δεν περιορίζεται σε μία απλή αριθμητική έξοδο, αλλά αποκτά και ερμηνευτικό χαρακτήρα.

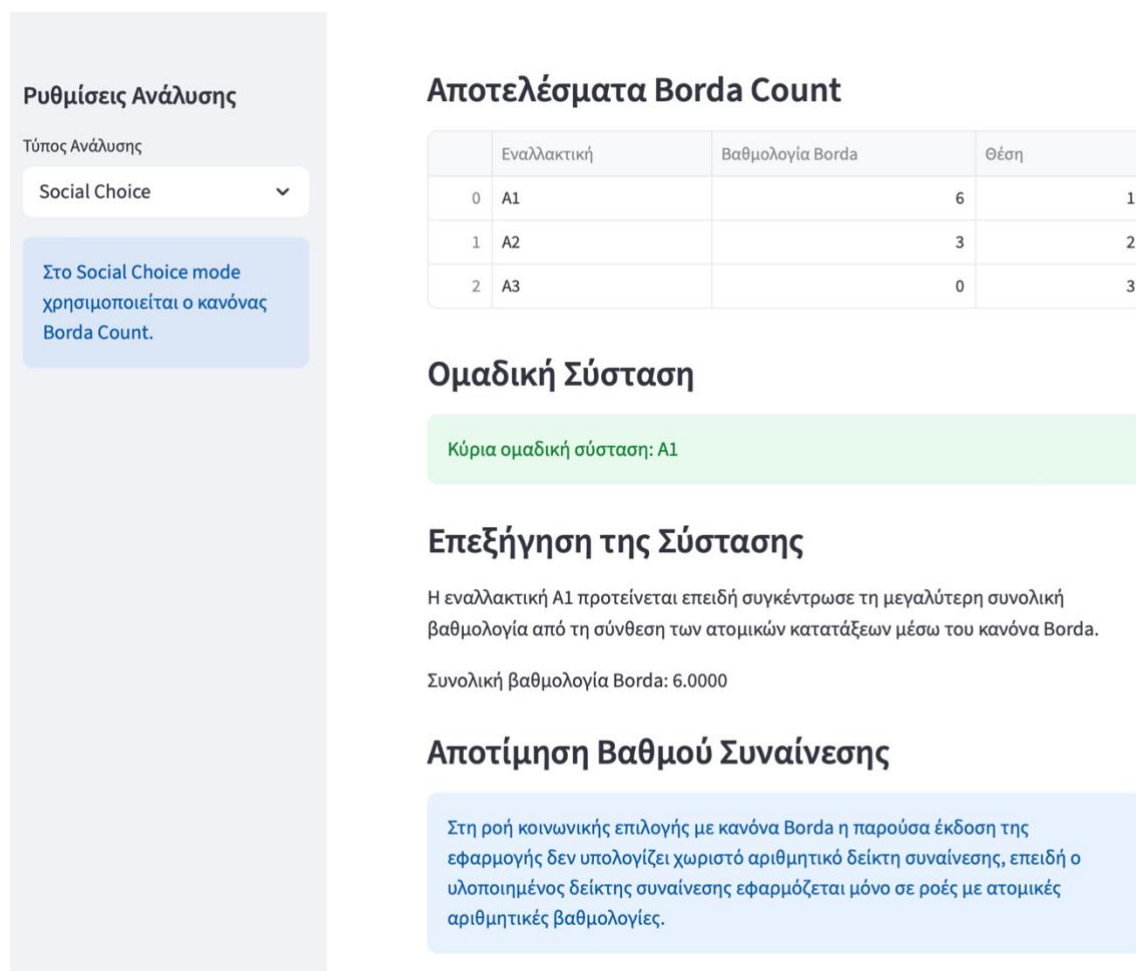
Η ροή αυτή δείχνει ότι η εφαρμογή μπορεί να υποστηρίξει όχι μόνο μεθόδους που βασίζονται σε άμεσες αριθμητικές αξιολογήσεις, αλλά και μεθόδους ιεραρχικής δόμησης και συγκρίσεων ανά ζεύγη. Παρά την αυξημένη πολυπλοκότητά της, η ΑΗΡ ενσωματώνεται στο ίδιο περιβάλλον με συνεπή τρόπο, επιβεβαιώνοντας τον παραμετρικό και πολυμεθοδικό χαρακτήρα της εφαρμογής.

5.6.4 Παράδειγμα εφαρμογής με τον κανόνα Borda Count

Στη ροή κοινωνικής επιλογής με κανόνα Borda Count, η λειτουργία της εφαρμογής είναι πιο απλή ως προς τη δομή των εισόδων, αφού δεν χρειάζονται κριτήρια ούτε αριθμητικές αξιολογήσεις. Κάθε συμμετέχων εισάγει μια πλήρη κατάταξη των εναλλακτικών λύσεων και η εφαρμογή μετατρέπει τις θέσεις αυτών των κατατάξεων σε βαθμολογίες σύμφωνα με τον κανόνα Borda, ώστε να παραχθεί η τελική συλλογική κατάταξη.

Η ροή αυτή διαφέρει μεθοδολογικά από τις πολυκριτηριακές, επειδή δεν βασίζεται σε επιδόσεις ανά κριτήριο ούτε σε βάρη, αλλά στη σύνθεση άμεσων ατομικών κατατάξεων. Παρ' όλα αυτά, ενσωματώνεται στο ίδιο περιβάλλον και ακολουθεί παρόμοια λογική ως προς την παραμετροποίηση, την εκτέλεση και την παρουσίαση του αποτελέσματος. Αυτό δείχνει ότι η εφαρμογή μπορεί να υποστηρίξει τόσο πολυκριτηριακή ανάλυση όσο και κοινωνική επιλογή χωρίς να χρειάζεται ξεχωριστό υπολογιστικό πλαίσιο.

Η τελική έξοδος της ροής περιλαμβάνει τη συλλογική βαθμολογία των εναλλακτικών, την κατάταξη και την κύρια ομαδική σύσταση, όπως παρουσιάζεται ενδεικτικά στην Εικόνα 5-7.



Εικόνα 5-7 Ενδεικτική παρουσίαση αποτελεσμάτων στη ροή Borda Count

Στην παρούσα έκδοση δεν υπολογίζεται χωριστός αριθμητικός δείκτης συναίνεσης σε αυτή τη ροή, επειδή ο υλοποιημένος δείκτης βασίζεται σε ατομικές αριθμητικές τελικές

βαθμολογίες ανά εναλλακτική, οι οποίες εδώ δεν παράγονται με τον ίδιο τρόπο όπως στις πολυκριτηριακές ροές.

5.6.5 Παρατηρήσεις από τη λειτουργία της εφαρμογής

Η δοκιμή διαφορετικών μεθόδων μέσα στο ίδιο λογισμικό περιβάλλον έδειξε ότι κάθε ροή έχει τις δικές της απαιτήσεις ως προς τις εισόδους και τα ενδιάμεσα βήματα, χωρίς όμως να αλλάζει η βασική λογική χρήσης της εφαρμογής. Αυτό είναι σημαντικό, γιατί δείχνει ότι το σύστημα λειτουργεί όντως ως ενιαίο παραμετρικό περιβάλλον και όχι ως απλή συνένωση ανεξάρτητων υλοποιήσεων.

Τα παραδείγματα δείχνουν επίσης ότι η επιλογή της μεθόδου δεν αλλάζει μόνο τον τρόπο υπολογισμού, αλλά και τη μορφή των απαιτούμενων εισόδων, τη δομή της ροής, τα ενδιάμεσα στάδια επεξεργασίας και τελικά τον τρόπο με τον οποίο διαβάζεται το αποτέλεσμα από τον χρήστη. Σχετικά με τις εισόδους, στην πράξη, αυτό που φάνηκε πιο καθαρά είναι ότι η AHP απαιτεί πιο προσεκτική και χρονοβόρα συμπλήρωση από τις υπόλοιπες ροές, παρότι παραμένει ενσωματωμένη στο ίδιο περιβάλλον.

Σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις, η εφαρμογή υποστηρίζει και την ανίχνευση ισοβαθμιών. Όταν δύο ή περισσότερες εναλλακτικές συγκεντρώνουν ίδια τελική βαθμολογία ή προτεραιότητα, εμφανίζεται σχετική ένδειξη ώστε να μην ερμηνεύεται αυθαίρετα η σειρά εμφάνισης ως αυστηρή διάκριση μεταξύ ισοδύναμων λύσεων.

5.7 Σύνοψη Κεφαλαίου

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάστηκε η υλοποίηση της εφαρμογής με χρήση της Python και του Streamlit. Περιγράφηκαν οι τεχνολογίες ανάπτυξης, η τεχνική οργάνωση, η δομή του λογισμικού, οι βασικές μέθοδοι που υλοποιούνται, η διεπαφή χρήστη και ενδεικτικά παραδείγματα λειτουργίας. Μέσα από αυτά έγινε σαφές ότι διαφορετικές μεθοδολογικές προσεγγίσεις μπορούν να ενσωματωθούν στο ίδιο παραμετρικό περιβάλλον χωρίς να χάνεται η συνοχή της εφαρμογής. Ενδεικτικά αποσπάσματα κώδικα από τις κύριες λειτουργίες της εφαρμογής παρατίθενται στο Παράρτημα Α, ενώ ο πλήρης κώδικας παραδίδεται σε συνοδευτικό συμπιεσμένο αρχείο. Το επόμενο κεφάλαιο αξιοποιεί την

εφαρμογή σε συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης, ώστε να φανεί η λειτουργία της σε ένα ολοκληρωμένο σενάριο απόφασης.

6. Μελέτη Περίπτωσης: Επιλογή Ναυπηγείου για Δεξαμενισμό Δεξαμενόπλοιου

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η μελέτη περίπτωσης επιλογής ναυπηγείου για δεξαμενισμό δεξαμενόπλοιου. Το σενάριο είναι υποθετικό και χρησιμοποιείται για να φανεί πώς εφαρμόζεται το προτεινόμενο σύστημα σε μια περίπτωση ομαδικής απόφασης με πολλαπλά κριτήρια. Μέσα από τη μελέτη αυτή παρουσιάζονται η οργάνωση του προβλήματος, η εισαγωγή των δεδομένων και η σύγκριση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τις μεθόδους WSM, TOPSIS, AHP και Borda Count.

6.1 Περιγραφή του προβλήματος

Η επιλογή ναυπηγείου για τον δεξαμενισμό δεξαμενόπλοιου αποτελεί απόφαση με σημαντικές τεχνικές και εμπορικές συνέπειες για μια ναυτιλιακή εταιρεία. Στην πράξη, η απόφαση δεν αφορά μόνο το πού θα εκτελεστούν οι εργασίες, αλλά και το πώς θα οργανωθεί ολόκληρη η περίοδος κατά την οποία το πλοίο θα βρίσκεται εκτός κανονικής λειτουργίας. Μια καθυστέρηση, μια ασάφεια στην προσφορά ή μια αδυναμία σωστού συντονισμού των εργασιών μπορεί να δημιουργήσει πρόσθετο κόστος και να επηρεάσει τον μετέπειτα προγραμματισμό του πλοίου.

Για τον λόγο αυτό, η επιλογή ναυπηγείου δεν μπορεί να αντιμετωπιστεί μόνο ως ζήτημα χαμηλότερου κόστους. Πέρα από την οικονομική πλευρά, χρειάζεται να ληφθούν υπόψη η τεχνική αξιοπιστία του ναυπηγείου, η δυνατότητα τήρησης του χρονοδιαγράμματος, η ασφάλεια των εργασιών, η περιβαλλοντική διαχείριση και η συμβατότητα με το πρόγραμμα του πλοίου. Επιπλέον, κάθε στέλεχος μπορεί να βλέπει την απόφαση από διαφορετική οπτική, ανάλογα με τον ρόλο του μέσα στην εταιρεία. Για παράδειγμα, η τεχνική διεύθυνση μπορεί να εστιάζει περισσότερο στην ποιότητα και στην εμπειρία του ναυπηγείου. Αντίστοιχα, τα στελέχη που σχετίζονται με τις προμήθειες, τη λειτουργία και τις ναυλώσεις εξετάζουν περισσότερο το κόστος, το χρονοδιάγραμμα και το κατά πόσο ο δεξαμενισμός μπορεί να ενταχθεί ομαλά στο πρόγραμμα του πλοίου.

Στην παρούσα μελέτη, η επιλογή ναυπηγείου αποτελεί πρόβλημα ομαδικής απόφασης με πολλαπλά κριτήρια αξιολόγησης. Μια ομάδα στελεχών καλείται να αξιολογήσει εναλλακτικά υποθετικά ναυπηγεία και να καταλήξει σε μια συλλογική απόφαση. Το ίδιο

σενάριο εξετάζεται με περισσότερες από μία μεθόδους, ώστε να φανεί εάν οι διαφορετικές μεθοδολογικές προσεγγίσεις οδηγούν στο ίδιο αποτέλεσμα ή αν αναδεικνύουν διαφορετικές πτυχές της απόφασης.

Τα ναυπηγεία, οι αξιολογήσεις και οι κατατάξεις που χρησιμοποιούνται είναι υποθετικά και δεν προέρχονται από πραγματική διαδικασία επιλογής ή από πραγματικές προσφορές. Επομένως, τα συμπεράσματα της μελέτης περίπτωσης αφορούν την εφαρμογή του συστήματος στο συγκεκριμένο σενάριο και όχι την αξιολόγηση πραγματικών ναυπηγείων.

6.2 Ορισμός συμμετεχόντων, κριτηρίων και εναλλακτικών

6.2.1 Συμμετέχοντες στη διαδικασία απόφασης

Η ομάδα που καλείται να πάρει την απόφαση αποτελείται από πέντε συμμετέχοντες. Στην εφαρμογή οι συμμετέχοντες εμφανίζονται με τους κωδικούς DM1 έως DM5, οι οποίοι χρησιμοποιούνται στη συνέχεια στους πίνακες αξιολογήσεων και στα αποτελέσματα. Για την παρουσίαση της μελέτης περίπτωσης, οι κωδικοί αυτοί αντιστοιχούν σε συγκεκριμένους ρόλους της ναυτιλιακής εταιρείας, όπως φαίνεται στον Πίνακα 6-1.

Κωδικός	Ρόλος συμμετέχοντα	Πεδίο αξιολόγησης
DM1	Τεχνικός Διευθυντής (Technical Manager)	Τεχνική καταλληλότητα, εμπειρία σε δεξαμενόπλοια, ποιότητα εργασιών και συνολική τεχνική αξιοπιστία
DM2	Αρχιμηχανικός (Technical Superintendent)	Πρακτική εκτέλεση εργασιών, καθημερινή επίβλεψη, ετοιμότητα του ναυπηγείου και τήρηση προδιαγραφών
DM3	Διευθυντής Ναυτιλιακών Επιχειρήσεων (Operations Manager)	Χρονοδιάγραμμα, περιορισμός του χρόνου εκτός ναύλωσης, επιχειρησιακή συνέχεια και συμβατότητα με το πρόγραμμα του πλοίου

DM4	Διευθυντής Προμηθειών (Procurement Manager)	Εμπορικοί όροι, κόστος, διαφάνεια προσφοράς και διαθεσιμότητα προμηθειών
DM5	Διευθυντής Ναυλώσεων (Chartering Manager)	Επίδραση της επιλογής στο εμπορικό πρόγραμμα, στη διαθεσιμότητα του πλοίου και στις ναυλωτικές υποχρεώσεις

Πίνακας 6-1 Συμμετέχοντες στη διαδικασία απόφασης

Στην παρούσα μελέτη όλοι οι συμμετέχοντες θεωρούνται ισότιμα μέλη της ομάδας απόφασης. Η διαφοροποίηση των ρόλων τους αποτυπώνεται στις επιμέρους αξιολογήσεις που δίνει κάθε μέλος και όχι σε διαφορετικά βάρη συμμετεχόντων.

6.2.2 Εναλλακτικά ναυπηγεία

Οι εναλλακτικές λύσεις της μελέτης περίπτωσης είναι τέσσερα υποθετικά ναυπηγεία. Όπως και με τους συμμετέχοντες, στην εφαρμογή οι εναλλακτικές λύσεις εμφανίζονται με τους κωδικούς A1 έως A4, όπως αποτυπώνονται στον Πίνακα 6-2. Η χρήση υποθετικών ονομασιών επιτρέπει να δοθεί έμφαση στη διαδικασία αξιολόγησης και στη σύγκριση των μεθόδων, χωρίς να δημιουργούνται αναφορές σε πραγματικές εταιρείες ή εγκαταστάσεις.

Κωδικός	Εναλλακτική λύση	Συνοπτική εικόνα
A1	Ναυπηγείο A	Ναυπηγείο με ανταγωνιστική εμπορική εικόνα, αλλά χαμηλότερη αξιολόγηση σε τεχνικά θέματα και στην αξιοπιστία του χρονοδιαγράμματος
A2	Ναυπηγείο B	Ναυπηγείο με καλή τεχνική επίδοση, αξιόπιστο χρονοδιάγραμμα και υψηλή

		καταλληλότητα για το συγκεκριμένο εύρος εργασιών
A3	Ναυπηγείο C	Ναυπηγείο με ισορροπημένη συνολική εικόνα και καλή λειτουργική και γεωγραφική συμβατότητα
A4	Ναυπηγείο D	Ναυπηγείο με σταθερή συνολική αξιολόγηση και κατάλληλες εγκαταστάσεις, χωρίς όμως να υπερέχει καθαρά στα πιο κρίσιμα κριτήρια

Πίνακας 6-2 Εναλλακτικά ναυπηγεία

6.2.3 Κριτήρια αξιολόγησης

Για την αξιολόγηση των ναυπηγείων χρησιμοποιούνται έξι κριτήρια, όπου αντίστοιχα εμφανίζονται με τους κωδικούς C1 έως C6. Τα κριτήρια έχουν διαμορφωθεί έτσι ώστε να καλύπτουν διαφορετικές διαστάσεις μιας απόφασης δεξαμενισμού, σύμφωνα με τον Πίνακα 6-3. Όλα τα κριτήρια βαθμολογούνται σε κοινή κλίμακα 1–10, όπου μεγαλύτερη τιμή σημαίνει καλύτερη επίδοση.

Κωδικός	Κριτήριο	Περιγραφή αξιολόγησης
C1	Τεχνική ικανότητα και ποιότητα εργασιών	Αξιολογεί την τεχνική επάρκεια του ναυπηγείου, την εμπειρία σε δεξαμενόπλοια, την ποιότητα των εργασιών και την ικανότητα διαχείρισης σύνθετων τεχνικών απαιτήσεων.
C2	Οικονομική αποδοτικότητα και εμπορικοί όροι	Αξιολογεί τη συνολική οικονομική ελκυστικότητα της προσφοράς, τη διαφάνεια κόστους, τους εμπορικούς

		όρους και την προβλεψιμότητα της δαπάνης.
C3	Διαχείριση έργου και αξιοπιστία χρονοδιαγράμματος	Αξιολογεί την ικανότητα τήρησης του χρονοδιαγράμματος, τον συντονισμό των εργασιών, τη μείωση καθυστερήσεων και τον περιορισμό του χρόνου εκτός ναύλωσης.
C4	Καταλληλότητα εγκαταστάσεων και εξοπλισμού	Αξιολογεί την επάρκεια των εγκαταστάσεων και του εξοπλισμού για το συγκεκριμένο δεξαμενόπλοιο και το προβλεπόμενο εύρος εργασιών.
C5	Υγεία, ασφάλεια και περιβαλλοντική διαχείριση	Αξιολογεί την πρακτική ικανότητα του ναυπηγείου να διαχειρίζεται ζητήματα υγείας, ασφάλειας και περιβαλλοντικού κινδύνου κατά την εκτέλεση των εργασιών.
C6	Τοποθεσία, εφοδιαστική υποστήριξη και συμβατότητα με το πρόγραμμα του πλοίου	Αξιολογεί τη γεωγραφική καταλληλότητα, τη διαθεσιμότητα ανταλλακτικών, την εφοδιαστική υποστήριξη και τη συμβατότητα της επιλογής με το πρόγραμμα απασχόλησης του πλοίου.

Πίνακας 6-3 Κριτήρια αξιολόγησης ναυπηγείων

6.3 Παραμετροποίηση του συστήματος

Στη συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης, το σύστημα παραμετροποιήθηκε με πέντε συμμετέχοντες, έξι κριτήρια και τέσσερις εναλλακτικές λύσεις, όπως φαίνεται στην Εικόνα 6-1. Η ίδια παραμετροποίηση χρησιμοποιήθηκε σε όλες τις μεθόδους, ώστε τα αποτελέσματα να είναι συγκρίσιμα.

Εικόνα 6-1 Παραμετροποίηση του προβλήματος στην εφαρμογή

Στις μεθόδους WSM και TOPSIS επιλέχθηκε ως μέθοδος σύνθεσης των αξιολογήσεων ο αριθμητικός μέσος όρος, με άμεση εισαγωγή βαρών κριτηρίων, ώστε η ίδια διαδικασία σύνθεσης να χρησιμοποιηθεί και στις δύο μεθόδους.

Στην TOPSIS όλα τα κριτήρια ορίστηκαν ως κριτήρια οφέλους (benefit). Η επιλογή αυτή είναι σημαντική για τη σωστή ερμηνεία του κριτηρίου C2. Παρότι το C2 σχετίζεται με κόστος, στην παρούσα μελέτη δεν εισάγεται ως πραγματική χρηματική δαπάνη αλλά ως βαθμός οικονομικής αποδοτικότητας. Επομένως, υψηλότερη τιμή σημαίνει καλύτερη εμπορική αξιολόγηση, καλύτερους όρους και μεγαλύτερη διαφάνεια κόστους. Η αντίστοιχη επιλογή των τύπων κριτηρίων στη TOPSIS παρουσιάζεται ενδεικτικά στην Εικόνα 6-2.

Τύπος κριτηριων για TOPSIS

Εικόνα 6-2 Επιλογή τύπου κριτηρίων στην TOPSIS

Στην περίπτωση της AHP Ranking, όπου δεν χρησιμοποιήθηκαν άμεσες αριθμητικές αξιολογήσεις 1–10, η παραμετροποίηση βασίστηκε σε πίνακες ζευγαρωτών συγκρίσεων για τα κριτήρια και για τις εναλλακτικές ως προς κάθε κριτήριο. Η εφαρμογή συνέθεσε τις επιμέρους κρίσεις με γεωμετρικό μέσο και υπολόγισε τις συνολικές προτεραιότητες των εναλλακτικών. Στη ροή AHP της εφαρμογής δεν ορίζονται ξεχωριστά βάρη

συμμετεχόντων. Οι επιμέρους ζευγαρωτές κρίσεις των συμμετεχόντων συντίθενται απευθείας, πριν από τον υπολογισμό των συνολικών προτεραιοτήτων.

Για τον κανόνα Borda Count, ο οποίος ανήκει στις μεθόδους κοινωνικής επιλογής, δεν χρησιμοποιούνται κριτήρια ή βάρη, αλλά μόνο άμεσες κατατάξεις προτίμησης των συμμετεχόντων. Έτσι, τα αποτελέσματα των πολυκριτηριακών μεθόδων μπορούν να συγκριθούν με μια απευθείας συλλογική κατάταξη των εναλλακτικών.

6.4 Δεδομένα εισόδου της μελέτης περίπτωσης

6.4.1 Βάρη κριτηρίων για WSM και TOPSIS

Για τις μεθόδους WSM και TOPSIS χρησιμοποιήθηκαν άμεσα βάρη κριτηρίων, όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 6-4, τα οποία αθροίζουν σε 1 και εκφράζουν τη σχετική σημασία των κριτηρίων στη συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης.

Κριτήριο	Βάρος
C1	0.25
C2	0.15
C3	0.22
C4	0.13
C5	0.17
C6	0.08

Πίνακας 6-4 Βάρη κριτηρίων για WSM και TOPSIS

Η υψηλότερη βαρύτητα δόθηκε στα κριτήρια C1 και C3, καθώς η τεχνική ικανότητα και η αξιοπιστία του χρονοδιαγράμματος θεωρούνται κρίσιμες σε έναν δεξαμενισμό δεξαμενόπλοιου. Ακολουθεί το κριτήριο C5, λόγω της σημασίας της ασφάλειας και της περιβαλλοντικής διαχείρισης. Το κριτήριο C2 έχει επίσης σημαντική βαρύτητα, αλλά δεν υπερισχύει των τεχνικών και χρονικών παραμέτρων, επειδή η χαμηλή τιμή χωρίς τεχνική αξιοπιστία δεν θα αποτελούσε επαρκή βάση επιλογής.

6.4.2 Αξιολογήσεις συμμετεχόντων

Για κάθε συμμετέχοντα διαμορφώθηκαν αξιολογήσεις των εναλλακτικών ναυπηγείων ως προς τα έξι κριτήρια, σε κλίμακα 1–10. Η κλίμακα έχει ενιαία κατεύθυνση προτίμησης, δηλαδή μεγαλύτερη τιμή σημαίνει καλύτερη αξιολόγηση. Οι πίνακες που ακολουθούν αποτελούν τα δεδομένα εισόδου για τις ροές WSM και TOPSIS.

Εναλλακτική	C1	C2	C3	C4	C5	C6
A1	7	9	7	7	8	7
A2	9	7	9	9	9	7
A3	8	8	8	8	8	8
A4	8	7	8	8	9	8

Πίνακας 6-5 Αξιολογήσεις DM1 — Τεχνικός Διευθυντής

Εναλλακτική	C1	C2	C3	C4	C5	C6
A1	7	9	7	7	8	7
A2	9	7	9	9	9	7
A3	8	8	8	8	8	9
A4	8	7	8	8	8	8

Πίνακας 6-6 Αξιολογήσεις DM2 — Αρχιμηχανικός

Εναλλακτική	C1	C2	C3	C4	C5	C6
A1	7	8	7	7	7	8
A2	9	7	9	8	9	8
A3	8	9	9	8	8	9
A4	8	7	8	8	8	9

Πίνακας 6-7 Αξιολογήσεις DM3 — Διευθυντής Ναυτιλιακών Επιχειρήσεων

Εναλλακτική	C1	C2	C3	C4	C5	C6
A1	7	9	7	7	7	8
A2	8	7	8	8	8	7
A3	8	9	8	8	8	9
A4	8	8	8	8	8	8

Πίνακας 6-8 Αξιολογήσεις DM4 — Διευθυντής Προμηθειών

Εναλλακτική	C1	C2	C3	C4	C5	C6
A1	7	8	7	7	7	8
A2	9	7	9	8	9	8
A3	8	9	9	8	8	9
A4	8	7	8	8	8	9

Πίνακας 6-9 Αξιολογήσεις DM5 — Διευθυντής Ναυλώσεων

Οι Πίνακες 6-5 έως 6-9 αποτελούν ένα σταθερό σύνολο αξιολογήσεων το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την εφαρμογή και τη σύγκριση των μεθόδων WSM και TOPSIS, έτσι ώστε τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων να βασίζονται στο ίδιο σύνολο δεδομένων.

Οι αξιολογήσεις είναι υποθετικές και έχουν διαμορφωθεί έτσι ώστε να αποτυπώνουν ρεαλιστικές διαφοροποιήσεις μεταξύ των ρόλων των συμμετεχόντων, χωρίς να αντιστοιχούν σε πραγματικές προσφορές ή πραγματικές επιδόσεις ναυπηγείων.

Η Εικόνα 6-3 παρουσιάζει μέρος της εισαγωγής των αξιολογήσεων στην εφαρμογή.

Πίνακες αξιολόγησης ανά συμμετέχοντα

Αξιολογήσεις DM1

≡	≡ C1	≡ C2	≡ C3	≡ C4	≡ C5	≡ C6
A1	7.00	9.00	7.00	7.00	8.00	7.00
A2	9.00	7.00	9.00	9.00	9.00	7.00
A3	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
A4	8.00	7.00	8.00	8.00	9.00	8.00

Εικόνα 6-3 Εισαγωγή αξιολογήσεων συμμετεχόντων στην εφαρμογή

6.4.3 Είσοδοι AHP

Οι κρίσεις που αντιστοιχούν στους συμμετέχοντες αποτυπώθηκαν με τη μορφή ζευγαρωτών συγκρίσεων για τα κριτήρια και για τις εναλλακτικές ως προς κάθε κριτήριο. Σε κάθε πίνακα ζευγαρωτών συγκρίσεων, οι συγκρίσεις εισάγονταν στο άνω τριγωνικό μέρος, ενώ η διαγώνιος και οι αντίστροφες τιμές στο κάτω τριγωνικό μέρος συμπληρώνονταν αυτόματα από την εφαρμογή. Έτσι μειώνονται τα σφάλματα εισαγωγής και διατηρείται η αμοιβαιότητα των πινάκων AHP.

Λόγω του μεγάλου αριθμού των απαιτούμενων συγκρίσεων, οι πλήρεις πίνακες ζευγαρωτών συγκρίσεων δεν παρατίθενται αναλυτικά στο κυρίως κείμενο. Συγκεκριμένα, για την παρούσα μελέτη απαιτούνται 75 συγκρίσεις κριτηρίων και 180 συγκρίσεις εναλλακτικών, δηλαδή συνολικά 255 ζευγαρωτές συγκρίσεις. Για τον λόγο αυτό, στο κυρίως σώμα παρουσιάζονται μόνο τα στοιχεία που είναι απαραίτητα για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων, δηλαδή τα παραγόμενα βάρη κριτηρίων, ο λόγος συνέπειας και οι τελικές προτεραιότητες των εναλλακτικών. Το στιγμιότυπο στην Εικόνα 6-4 παρουσιάζει ενδεικτικά τον τρόπο εισαγωγής των ζευγαρωτών συγκρίσεων στην εφαρμογή.

Συγκρίσεις κριτηρίων για DM2

Πίνακας AHP κριτηρίων για DM2

Στον AHP συγκρίνουμε πάντα το στοιχείο της γραμμής ως προς το στοιχείο της στήλης. Η κλίμακα που χρησιμοποιείται περιλαμβάνει μόνο τις βασικές τιμές Saaty (1, 3, 5, 7, 9 και τους αντίστροφους τους). Αν επιλέξεις τιμή μεγαλύτερη από 1, σημαίνει ότι η γραμμή υπερέχει της στήλης. Αν επιλέξεις τιμή μικρότερη από 1, σημαίνει ότι η στήλη υπερέχει της γραμμής. Το κάτω τριγωνικό μέρος συμπληρώνεται αυτόματα από το σύστημα ως αντίστροφο.

> Κλίμακα Saaty και ερμηνεία τιμών

Σύγκριση: γραμμή = C1 | στήλη = C2

Πόσο σημαντικότερο είναι το C1 σε σχέση με το C2;

1 — Ίση σημασία

Σύγκριση: γραμμή = C1 | στήλη = C3

Πόσο σημαντικότερο είναι το C1 σε σχέση με το C3;

1 — Ίση σημασία

Σύγκριση: γραμμή = C1 | στήλη = C4

Πόσο σημαντικότερο είναι το C1 σε σχέση με το C4;

3 — Μέτρια υπεροχή της γραμμής

Εικόνα 6-4 Ενδεικτική εισαγωγή ζευγαρωτών συγκρίσεων στη ροή AHP

6.4.4 Άμεσες κατατάξεις για Borda Count

Για τη μέθοδο κοινωνικής επιλογής δεν χρησιμοποιήθηκαν αριθμητικές αξιολογήσεις ανά κριτήριο, αλλά άμεσες κατατάξεις των τεσσάρων εναλλακτικών, οι οποίες αποτελούν ξεχωριστή είσοδο του υποθετικού σεναρίου για τη ροή Borda Count. Οι κατατάξεις αυτές δεν προκύπτουν από τους πίνακες βαθμολογιών των WSM και TOPSIS, αλλά αποτυπώνουν τη συνολική προτίμηση που αντιστοιχεί σε κάθε συμμετέχοντα.

Κωδικός συμμετέχοντα	1η επιλογή	2η επιλογή	3η επιλογή	4η επιλογή
DM1	A2	A3	A4	A1
DM2	A2	A3	A4	A1
DM3	A3	A2	A4	A1
DM4	A3	A1	A4	A2
DM5	A3	A4	A2	A1

Πίνακας 6-10 Άμεσες κατατάξεις για Borda Count

Οι παραπάνω κατατάξεις στον Πίνακα 6-10 δείχνουν ότι το Ναυπηγείο C (A3) εμφανίζεται συχνότερα ως πρώτη επιλογή, ενώ το Ναυπηγείο B (A2) διατηρεί ισχυρή θέση αλλά δεν είναι η πρώτη επιλογή όλων των συμμετεχόντων. Αυτό το στοιχείο είναι σημαντικό για την ερμηνεία της διαφοράς ανάμεσα στα αποτελέσματα των πολυκριτηριακών μεθόδων και του Borda Count.

Η αντίστοιχη μορφή εισαγωγής των άμεσων κατατάξεων στη ροή Borda Count παρουσιάζεται ενδεικτικά στην Εικόνα 6-5.

Κατατάξεις προτιμήσεων συμμετεχόντων

Κατάταξη DM1

DM1 - θέση 1

A2

DM1 - θέση 2

A3

DM1 - θέση 3

A4

DM1 - θέση 4

A1

Εικόνα 6-5 Εισαγωγή άμεσων κατατάξεων στη ροή Borda Count

6.5 Αποτελέσματα ανά μέθοδο

6.5.1 Αποτελέσματα Weighted Sum Model

Στη μέθοδο Weighted Sum Model οι ατομικές αξιολογήσεις συντέθηκαν με αριθμητικό μέσο όρο και στη συνέχεια εφαρμόστηκαν τα βάρη του Πίνακα 6-4. Η τελική βαθμολογία κάθε εναλλακτικής προέκυψε ως σταθμισμένο άθροισμα των συλλογικών αξιολογήσεων ανά κριτήριο, και παρουσιάζεται στον Πίνακα 6-11.

Θέση	Εναλλακτική	Συλλογική βαθμολογία
1	A2	8.366
2	A3	8.242
3	A4	7.946
4	A1	7.356

Πίνακας 6-11 Αποτελέσματα WSM

Η μέθοδος WSM αναδεικνύει ως πρώτη επιλογή το Ναυπηγείο B (A2). Η πρώτη θέση του A2 οφείλεται κυρίως στις υψηλές αξιολογήσεις που συγκεντρώνει στα κριτήρια C1, C3 και C5, τα οποία έχουν και σχετικά υψηλότερα βάρη. Παρότι το Ναυπηγείο C (A3) εμφανίζει καλύτερη εικόνα στα κριτήρια C2 και C6, η υπεροχή του Ναυπηγείου B (A2) στα τεχνικά κριτήρια και στα κριτήρια που σχετίζονται με το χρονοδιάγραμμα οδηγεί σε υψηλότερη συνολική βαθμολογία. Η διαφορά μεταξύ των δύο εναλλακτικών A2 και A3 είναι μικρή, γεγονός που δείχνει ότι και οι δύο επιλογές είναι ανταγωνιστικές, αλλά με διαφορετικά πλεονεκτήματα.

Στα αποτελέσματα εμφανίζεται επίσης ο δείκτης συναίνεσης για την προτεινόμενη εναλλακτική. Για το Ναυπηγείο B (A2) ο δείκτης συναίνεσης είναι 0.7835, ενώ η πιο συναινετική εναλλακτική είναι το Ναυπηγείο A (A1). Αυτό δεν σημαίνει απαραίτητα ότι το A1 είναι προτιμότερο, αλλά ότι οι συμμετέχοντες συμφωνούν περισσότερο μεταξύ τους ως προς τη χαμηλότερη συνολική αξιολόγησή του. Τα στιγμιότυπα στις Εικόνες 6-6 και 6-7 παρουσιάζουν τα παραπάνω αποτελέσματα όπως εμφανίζονται στην εφαρμογή.

Αποτελέσματα Weighted Sum Model

	Εναλλακτική	Συνλογική βαθμολογία	Θέση
0	A2	8.366	1
1	A3	8.242	2
2	A4	7.946	3
3	A1	7.356	4

Ομαδική Σύσταση

Κύρια ομαδική σύσταση: A2

Εικόνα 6-6 Αποτελέσματα WSM στην εφαρμογή

Αποτίμηση Βαθμού Συναίνεσης

Τιμές του δείκτη κοντά στο 1 υποδηλώνουν μεγαλύτερη συμφωνία των μελών της ομάδας ως προς την εξεταζόμενη εναλλακτική.

Δείκτης συναίνεσης προτεινόμενης εναλλακτικής: 0.7835

Πιο συναινετική εναλλακτική: A1

Δείκτης συναίνεσης ανά εναλλακτική:

	Εναλλακτική	Δείκτης συναίνεσης
0	A1	1
1	A2	0.7835
2	A3	0.7185
3	A4	0.842

Εικόνα 6-7 Αποτίμηση βαθμού συναίνεσης στη μέθοδο WSM

6.5.2 Αποτελέσματα TOPSIS

Στη μέθοδο TOPSIS χρησιμοποιήθηκαν τα ίδια δεδομένα εισόδου με τη WSM, δηλαδή οι ίδιοι πίνακες αξιολογήσεων, ο αριθμητικός μέσος όρος για τη σύνθεση των συμμετεχόντων και τα ίδια βάρη κριτηρίων. Όλα τα κριτήρια ορίστηκαν ως κριτήρια οφέλους (benefit), επειδή οι τιμές εκφράζουν βαθμούς αξιολόγησης και όχι πραγματικές μετρήσεις κόστους ή χρόνου.

Θέση	Εναλλακτική	Συντελεστής εγγύτητας
1	A2	0.7141
2	A3	0.6585
3	A4	0.5204
4	A1	0.2654

Πίνακας 6-12 Αποτελέσματα TOPSIS

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 6-12, η TOPSIS καταλήγει στην ίδια τελική κατάταξη με τη WSM. Το Ναυπηγείο Β (A2) παρουσιάζει τον μεγαλύτερο συντελεστή εγγύτητας προς την ιδανική λύση και προτείνεται ως κύρια ομαδική σύσταση. Η απόσταση του A2 από την ιδανική λύση είναι 0.0167, ενώ η απόστασή του από την αντι-ιδανική λύση είναι 0.0418. Η τιμή του συντελεστή εγγύτητας, 0.7141, δείχνει ότι το A2 βρίσκεται πιο κοντά στα επιθυμητά χαρακτηριστικά σε σχέση με τις υπόλοιπες εναλλακτικές.

Ο δείκτης συναίνεσης της προτεινόμενης εναλλακτικής είναι 0.9348, γεγονός που δείχνει ότι το A2 παρουσιάζει και τον υψηλότερο βαθμό συναίνεσης στη ροή TOPSIS. Σε αντίθεση με τη WSM, στη μέθοδο TOPSIS η προτεινόμενη λύση συμπίπτει με την εναλλακτική στην οποία καταγράφεται και ο υψηλότερος βαθμός συμφωνίας μεταξύ των συμμετεχόντων. Η Εικόνα 6-8 παρουσιάζει τα αποτελέσματα όπως εμφανίζονται στην εφαρμογή.

Τύπος κριτηρίων για TOPSIS

Όρισε για κάθε κριτήριο αν είναι τύπου benefit (όσο μεγαλύτερη τιμή τόσο καλύτερα) ή cost (όσο μικρότερη τιμή τόσο καλύτερα).

Τύπος C1	Τύπος C2	Τύπος C3	Τύπος C4	Τύπος C5	Τύπος C6
benefit	benefit	benefit	benefit	benefit	benefit

Οι είσοδοι είναι σωστές. Μπορείς να προχωρήσεις στον υπολογισμό.

Αποτελέσματα TOPSIS

	Εναλλακτική	Συντελεστής εγγύτητας	Θέση
0	A2	0.7141	1
1	A3	0.6585	2
2	A4	0.5204	3
3	A1	0.2654	4

Ομαδική Σύσταση

Κύρια ομαδική σύσταση: A2

Αποτίμηση Βαθμού Συναίνεσης

Τιμές του δείκτη κοντά στο 1 υποδηλώνουν μεγαλύτερη συμφωνία των μελών της ομάδας ως προς την εξεταζόμενη εναλλακτική.

Δείκτης συναίνεσης προτεινόμενης εναλλακτικής: 0.9348

Πιο συναινετική εναλλακτική: A2

Δείκτης συναίνεσης ανά εναλλακτική:

	Εναλλακτική	Δείκτης συναίνεσης
0	A1	0.8734
1	A2	0.9348
2	A3	0.7596
3	A4	0.876

Εικόνα 6-8 Αποτελέσματα TOPSIS στην εφαρμογή

6.5.3 Αποτελέσματα AHP

Στην AHP Ranking, η εφαρμογή επεξεργάστηκε τους πίνακες ζευγαρωτών συγκρίσεων που είχαν διαμορφωθεί προηγουμένως για τη μελέτη περίπτωσης. Από τη διαδικασία αυτή προέκυψαν τα βάρη των κριτηρίων, ο συλλογικός λόγος συνέπειας και οι τελικές προτεραιότητες των εναλλακτικών.

Ο συλλογικός λόγος συνέπειας για τον πίνακα κριτηρίων ήταν $CR = 0.0035$, τιμή που δείχνει ότι οι συγκρίσεις θεωρούνται αποδεκτά συνεπείς. Τα βάρη των κριτηρίων που προέκυψαν από τη διαδικασία AHP παρουσιάζονται στον ακόλουθο Πίνακα 6-13.

Κριτήριο	Βάρος AHP
C1	0.1703
C2	0.1832
C3	0.2196
C4	0.1272
C5	0.1415
C6	0.1581

Πίνακας 6-13 Βάρη κριτηρίων από AHP

Σε σχέση με τα άμεσα βάρη της WSM και της TOPSIS, η AHP δίνει σχετικά μεγαλύτερη σημασία στο C2 και στο C6, ενώ το C3 παραμένει το σημαντικότερο κριτήριο. Η διαφοροποίηση αυτή μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι τα βάρη δεν εισάγονται άμεσα, αλλά προκύπτουν από ζευγαρωτές συγκρίσεις.

Θέση	Εναλλακτική	Συνολική προτεραιότητα
1	A2	0.3222
2	A3	0.3057
3	A4	0.2194
4	A1	0.1527

Πίνακας 6-14 Αποτελέσματα AHP Ranking

Τα αποτελέσματα της μεθόδου απεικονίζονται στον Πίνακα 6-14 όπου η AHP κατατάσσει επίσης πρώτο το Ναυπηγείο B (A2). Η διαφορά από το Ναυπηγείο C (A3) είναι σχετικά μικρή, κάτι που δείχνει ότι και η δεύτερη επιλογή παραμένει ανταγωνιστική. Ωστόσο, το Ναυπηγείο B (A2) συγκεντρώνει την υψηλότερη συνολική προτεραιότητα, κυρίως λόγω της καλής του επίδοσης στα τεχνικά κριτήρια, στα κριτήρια που σχετίζονται με το χρονοδιάγραμμα, καθώς και στα κριτήρια ασφάλειας και περιβαλλοντικής διαχείρισης.

Ο δείκτης συναίνεσης της προτεινόμενης εναλλακτικής είναι 0.8819, ενώ η πιο συναινετική εναλλακτική στη μέθοδο AHP είναι το A4. Όπως και στη WSM, η πιο συναινετική εναλλακτική δεν ταυτίζεται απαραίτητα με την πρώτη εναλλακτική της κατάταξης. Αυτό δείχνει ότι ο δείκτης συναίνεσης δεν λειτουργεί ως κριτήριο τελικής επιλογής, αλλά βοηθά να φανεί σε ποια επιλογή υπάρχει μεγαλύτερη συμφωνία μεταξύ των συμμετεχόντων. Στην Εικόνα 6-9 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα στην εφαρμογή.

Consistency Ratio (CR)

CR = 0.0035

Οι συγκρίσεις θεωρούνται αποδεκτά συνεπείς.

Αποτελέσματα AHP Ranking

	Εναλλακτική	Συνολική προτεραιότητα	Θέση
0	A2	0.3222	1
1	A3	0.3057	2
2	A4	0.2194	3
3	A1	0.1527	4

Ομαδική Σύσταση

Κύρια ομαδική σύσταση: A2

Αποτίμηση Βαθμού Συναίνεσης

Τιμές του δείκτη κοντά στο 1 υποδηλώνουν μεγαλύτερη συμφωνία των μελών της ομάδας ως προς την εξεταζόμενη εναλλακτική.

Δείκτης συναίνεσης προτεινόμενης εναλλακτικής: 0.8819

Πιο συναινετική εναλλακτική: A4

Δείκτης συναίνεσης ανά εναλλακτική:

	Εναλλακτική	Δείκτης συναίνεσης
0	A1	0.942
1	A2	0.8819
2	A3	0.901
3	A4	0.9728

Εικόνα 6-9 Αποτελέσματα AHP Ranking στην εφαρμογή

6.5.4 Αποτελέσματα Borda Count

Για τον κανόνα Borda Count χρησιμοποιήθηκαν οι άμεσες κατατάξεις του Πίνακα 6-10. Για τέσσερις εναλλακτικές, η πρώτη θέση λαμβάνει 3 βαθμούς, η δεύτερη 2, η τρίτη 1 και η τέταρτη 0. Η τελική βαθμολογία κάθε εναλλακτικής προκύπτει από το άθροισμα των βαθμών που συγκεντρώνει από όλους τους συμμετέχοντες, όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 6-15.

Θέση	Εναλλακτική	Βαθμολογία Borda
1	A3	13
2	A2	9
3	A4	6
4	A1	2

Πίνακας 6-15 Αποτελέσματα Borda Count

Σε αντίθεση με τις τρεις πολυκριτηριακές μεθόδους, ο Borda Count αναδεικνύει ως πρώτη επιλογή το Ναυπηγείο C (A3). Το αποτέλεσμα αυτό οφείλεται στο ότι το A3 εμφανίζεται ως πρώτη επιλογή σε τρεις από τις πέντε ατομικές κατατάξεις και διατηρεί γενικά υψηλή θέση στις προτιμήσεις των συμμετεχόντων. Η μέθοδος δεν λαμβάνει υπόψη βάρη κριτηρίων ούτε επιμέρους επιδόσεις, αλλά συνθέτει απευθείας τις συνολικές προτιμήσεις των συμμετεχόντων.

Στον Borda Count η εφαρμογή δεν υπολογίζει ξεχωριστό αριθμητικό δείκτη συναίνεσης, επειδή ο δείκτης συναίνεσης της εφαρμογής υπολογίζεται μόνο όταν υπάρχουν ατομικές αριθμητικές τελικές βαθμολογίες. Η Εικόνα 6-10 παρουσιάζει τα αποτελέσματα όπως εμφανίζονται στην εφαρμογή.

Αποτελέσματα Borda Count

	Εναλλακτική	Βαθμολογία Borda	Θέση
0	A3	13	1
1	A2	9	2
2	A4	6	3
3	A1	2	4

Ομαδική Σύσταση

Κύρια ομαδική σύσταση: A3

Επεξήγηση της Σύστασης

Η εναλλακτική A3 προτείνεται επειδή συγκέντρωσε τη μεγαλύτερη συνολική βαθμολογία από τη σύνθεση των ατομικών κατατάξεων μέσω του κανόνα Borda.

Συνολική βαθμολογία Borda: 13.0000

Αποτίμηση Βαθμού Συναίνεσης

Στη ροή κοινωνικής επιλογής με κανόνα Borda η παρούσα έκδοση της εφαρμογής δεν υπολογίζει χωριστό αριθμητικό δείκτη συναίνεσης, επειδή ο υλοποιημένος δείκτης συναίνεσης εφαρμόζεται μόνο σε ροές με ατομικές αριθμητικές βαθμολογίες.

Εικόνα 6-10 Αποτελέσματα Borda Count στην εφαρμογή

Τα πλήρη αποτελέσματα της εφαρμογής για το σενάριο της μελέτης περίπτωσης, μαζί με την αντίστοιχη παραμετροποίηση και τα δεδομένα εισόδου, παρατίθενται στο Παράρτημα Β.

6.6 Σύγκριση και ερμηνεία αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα, όπως αποτυπώνονται στον Πίνακα 6-16, δείχνουν ότι οι τρεις πολυκριτηριακές μέθοδοι οδηγούν στην ίδια κατάταξη, ενώ ο κανόνας Borda Count διαφοροποιείται ως προς την πρώτη επιλογή.

Μέθοδος	1η θέση	2η θέση	3η θέση	4η θέση	Κύρια ομαδική σύσταση
WSM	A2	A3	A4	A1	A2
TOPSIS	A2	A3	A4	A1	A2
AHP	A2	A3	A4	A1	A2
Borda Count	A3	A2	A4	A1	A3

Πίνακας 6-16 Συγκριτική κατάταξη μεθόδων

Το γεγονός ότι οι WSM, TOPSIS και AHP καταλήγουν στην Α2 δείχνει ότι το Ναυπηγείο Β δεν προκύπτει μόνο μέσω ενός συγκεκριμένου τρόπου υπολογισμού. Η WSM βασίζεται στο σταθμισμένο άθροισμα, η TOPSIS στην απόσταση από την ιδανική και την αντι-ιδανική λύση, ενώ η AHP στηρίζεται στις ζευγαρωτές συγκρίσεις. Παρότι οι μέθοδοι λειτουργούν διαφορετικά, οδηγούν στην ίδια κύρια σύσταση, κάτι που δείχνει ότι το Α2 έχει σταθερά καλή συνολική εικόνα στα βασικά κριτήρια της απόφασης.

Η διαφοροποίηση του Borda Count σε σχέση με τις πολυκριτηριακές μεθόδους μπορεί να εξηγηθεί από τη διαφορετική λογική που ακολουθεί η μέθοδος. Αντί να εξετάζει αναλυτικά τα κριτήρια και τα βάρη, στηρίζεται στις άμεσες συνολικές κατατάξεις των συμμετεχόντων. Έτσι, το Ναυπηγείο C (Α3) αναδεικνύεται πρώτο επειδή εμφανίζεται ως πιο αποδεκτή άμεση επιλογή για περισσότερα μέλη της ομάδας. Αντίθετα, το Ναυπηγείο Β (Α2) προκύπτει ως ισχυρότερη επιλογή όταν η απόφαση αναλύεται με κριτήρια και βάρη.

Από πρακτική άποψη, η σύγκλιση των πολυκριτηριακών μεθόδων υπέρ του Ναυπηγείου Β φαίνεται να συνδέεται κυρίως με την τεχνική ικανότητα, την αξιοπιστία του χρονοδιαγράμματος και τη διαχείριση ασφάλειας και περιβαλλοντικών κινδύνων. Παράλληλα, το Ναυπηγείο C παραμένει σημαντική εναλλακτική, καθώς εμφανίζεται πιο αποδεκτό στις άμεσες κατατάξεις των συμμετεχόντων. Σε μια αντίστοιχη πρακτική εφαρμογή, το Ναυπηγείο C θα μπορούσε επίσης να εξεταστεί ως επιλογή διαπραγμάτευσης, ειδικά αν δοθεί μεγαλύτερη έμφαση σε εμπορικούς ή λειτουργικούς παράγοντες.

Οι δείκτες συναίνεσης λειτουργούν συμπληρωματικά προς την τελική κατάταξη. Στη WSM και στην AHP η πιο συναινετική εναλλακτική δεν ταυτίζεται με την πρώτη επιλογή, ενώ στην TOPSIS η Α2 είναι ταυτόχρονα η προτεινόμενη και η πιο συναινετική εναλλακτική. Αυτό σημαίνει ότι η συναίνεση δεν πρέπει να αντιμετωπίζεται ως ξεχωριστός κανόνας επιλογής, αλλά ως ένδειξη του βαθμού συμφωνίας μεταξύ των συμμετεχόντων.

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων δίνει μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα της απόφασης. Οι μέθοδοι συμφωνούν ως προς τις λιγότερο ισχυρές εναλλακτικές, ενώ η βασική διαφοροποίηση εμφανίζεται ανάμεσα στα δύο επικρατέστερα ναυπηγεία. Έτσι, δεν παρουσιάζεται μόνο η τελική σειρά κατάταξης, αλλά και τα σημεία στα οποία τα αποτελέσματα συγκλίνουν ή διαφοροποιούνται.

6.7 Συμπεράσματα μελέτης περίπτωσης

Μέσα από τη μελέτη περίπτωσης φάνηκε ότι το προτεινόμενο σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα σύνθετο πρόβλημα ομαδικής απόφασης, υποστηρίζοντας με οργανωμένο τρόπο την εισαγωγή δεδομένων, τον υπολογισμό των αποτελεσμάτων και την παρουσίασή τους. Το παράδειγμα επιλογής ναυπηγείου δείχνει επίσης ότι η εφαρμογή μπορεί να συνδυάσει πολυκριτηριακές μεθόδους και κανόνα κοινωνικής επιλογής στο ίδιο περιβάλλον.

Η χρήση περισσότερων από μία μεθόδων αποδείχθηκε χρήσιμη, καθώς επιτρέπει την εξέταση της ίδιας απόφασης μέσα από διαφορετικές οπτικές. Με αυτόν τον τρόπο, η τελική κατάταξη δεν παρουσιάζεται ως ένα απλό αριθμητικό αποτέλεσμα, αλλά συνδέεται με τα δεδομένα, τις προτιμήσεις των συμμετεχόντων και τη μεθοδολογική λογική που χρησιμοποιείται κάθε φορά.

Με βάση τα παραπάνω, η μελέτη περίπτωσης δείχνει ότι η εφαρμογή μπορεί να αξιοποιηθεί ως εργαλείο υποστήριξης ομαδικών αποφάσεων. Η εφαρμογή δεν περιορίζεται στον υπολογισμό μιας τελικής κατάταξης, αλλά βοηθά και στην οργάνωση των δεδομένων, στη σύγκριση των αποτελεσμάτων και στην τεκμηρίωση της τελικής επιλογής.

7. Συμπεράσματα και Προοπτικές Επέκτασης

7.1 Συμπεράσματα

Η εργασία αυτή επικεντρώθηκε στη σχεδίαση και την υλοποίηση ενός παραμετρικού συστήματος υποστήριξης ομαδικών αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων, το οποίο συνδυάζει μεθόδους πολυκριτηριακής ανάλυσης και κανόνα κοινωνικής επιλογής μέσα στο ίδιο υπολογιστικό περιβάλλον. Η ανάγκη για ένα τέτοιο σύστημα προκύπτει από προβλήματα όπου η απόφαση δεν λαμβάνεται από ένα μόνο άτομο, αλλά από ομάδα χρηστών με διαφορετικές προτιμήσεις, εμπειρίες και κριτήρια αξιολόγησης.

Με βάση αυτόν τον στόχο, η εργασία κάλυψε τόσο το θεωρητικό υπόβαθρο όσο και το επίπεδο της υλοποίησης. Μελετήθηκε η σχετική βιβλιογραφία για την ομαδική λήψη αποφάσεων, την πολυκριτηριακή ανάλυση και την κοινωνική επιλογή, διαμορφώθηκε το αντίστοιχο μεθοδολογικό μοντέλο και υλοποιήθηκε λειτουργικό πρωτότυπο σε Python και Streamlit. Η εφαρμογή επιτρέπει τον δυναμικό ορισμό του πλήθους των συμμετεχόντων, των κριτηρίων και των εναλλακτικών, με αυτόματη ονοματοδοσία τους από το σύστημα, και υποστηρίζει διαφορετικές μεθόδους χωρίς να απαιτούνται αλλαγές στον βασικό κώδικα.

Μέσα στο ίδιο σύστημα ενσωματώνονται διαφορετικές προσεγγίσεις, όπως η μέθοδος WSM, η TOPSIS, η AHP και ο κανόνας Borda Count. Η συνύπαρξη αυτών των μεθόδων δεν επιτρέπει μόνο την παραγωγή συλλογικής κατάταξης, αλλά και την άμεση σύγκριση των αποτελεσμάτων τους πάνω στο ίδιο πρόβλημα. Από αυτό προκύπτει καθαρά ότι η τελική συλλογική απόφαση δεν εξαρτάται μόνο από τα δεδομένα εισόδου, αλλά και από τη μεθοδολογική επιλογή που γίνεται.

Η μελέτη περίπτωσης επιβεβαίωσε στην πράξη τη χρησιμότητα της σύγκρισης περισσότερων από μία μεθόδων στο ίδιο πρόβλημα απόφασης. Μέσα από το συγκεκριμένο σενάριο φάνηκε ότι η εφαρμογή δεν λειτουργεί μόνο ως εργαλείο παραγωγής κατάταξης, αλλά και ως μέσο κατανόησης της λογικής που οδηγεί σε κάθε αποτέλεσμα. Η δυνατότητα να εξετάζεται η ίδια απόφαση με διαφορετικές μεθοδολογικές προσεγγίσεις ενισχύει τη διαφάνεια της διαδικασίας και βοηθά την ομάδα να ερμηνεύσει πιο ολοκληρωμένα το συλλογικό αποτέλεσμα.

Η εργασία ανέδειξε επίσης τη σημασία της αρχιτεκτονικής οργάνωσης κατά την ανάπτυξη συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων. Η αρθρωτή δομή της εφαρμογής, ο διαχωρισμός

ανάμεσα στη διεπαφή, στη διαχείριση δεδομένων, στους ελέγχους εγκυρότητας και στον υπολογιστικό πυρήνα, καθώς και η καθοδηγούμενη ροή αλληλεπίδρασης, συνέβαλαν στη δημιουργία ενός συστήματος λειτουργικού, επεκτάσιμου και σχετικά εύκολου στη διαχείριση.

Παράλληλα, η εργασία δεν περιορίζεται στην παραγωγή συλλογικής κατάταξης, αλλά επεκτείνει το αποτέλεσμα και σε επίπεδο κύριας ομαδικής σύστασης. Επιπλέον, στις ροές όπου υπάρχουν ατομικές αριθμητικές τελικές βαθμολογίες, εμφανίζεται και δείκτης συναίνεσης, ο οποίος λειτουργεί ως πρόσθετη ένδειξη για τον βαθμό συμφωνίας των μελών της ομάδας.

Σε σχέση με τη βιβλιογραφία, η εφαρμογή που αναπτύχθηκε καλύπτει βασικά στοιχεία που συνδέονται με τα GDSS και την ομαδική πολυκριτηριακή λήψη αποφάσεων: οργανωμένη καταχώριση προτιμήσεων από περισσότερους συμμετέχοντες, σύνθεση ατομικών κρίσεων, εφαρμογή εναλλακτικών μεθόδων ανάλυσης και παρουσίαση συλλογικού αποτελέσματος (DeSanctis & Gallupe, 1987; de Almeida & Morais, 2018; Conceição et al., 2021). Παράλληλα, η κύρια ομαδική σύσταση, η σύντομη επεξήγηση και ο δείκτης συναίνεσης ενισχύουν την ερμηνεία της τελικής κατάταξης, καθώς ο χρήστης δεν βλέπει μόνο τη σειρά των εναλλακτικών λύσεων, αλλά και την προτεινόμενη επιλογή της ομάδας και τον βαθμό συμφωνίας που τη συνοδεύει, όπου αυτό είναι διαθέσιμο (Dara et al., 2020; Trattner et al., 2018). Στη μελέτη περίπτωσης του ναυπηγείου, τα παραπάνω στοιχεία εφαρμόζονται σε συγκεκριμένο σενάριο ομαδικής απόφασης, όπου το ίδιο πρόβλημα εξετάζεται με WSM, TOPSIS, AHP και Borda Count και τα αποτελέσματα συγκρίνονται μέσα από την έξοδο της εφαρμογής.

Η βασική συνεισφορά της εργασίας βρίσκεται στην ενοποίηση διαφορετικών μεθοδολογικών προσεγγίσεων μέσα σε ένα κοινό, παραμετρικό και λειτουργικό περιβάλλον. Το προτεινόμενο σύστημα συνδυάζει θεωρητική τεκμηρίωση και πρακτική υλοποίηση, ενώ ταυτόχρονα αναδεικνύει με σαφή τρόπο τη σημασία που έχει η μεθοδολογική επιλογή στη διαδικασία της συλλογικής λήψης αποφάσεων.

7.2 Περιορισμοί της εργασίας

Παρά τα θετικά στοιχεία του προτεινόμενου συστήματος, υπάρχουν και ορισμένοι περιορισμοί που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την αξιολόγηση της εργασίας.

Αρχικά, η εργασία αφορά την ανάπτυξη και επίδειξη ενός λειτουργικού πρωτοτύπου και όχι μιας πλήρους παραγωγικής πλατφόρμας. Για αυτόν τον λόγο, η εφαρμογή υλοποιείται ως τοπικό σύστημα σε Python και Streamlit, χωρίς υποστήριξη ταυτόχρονης συνεργασίας πολλών χρηστών σε πραγματικό χρόνο, χωρίς μόνιμη αποθήκευση δεδομένων και χωρίς ιστορικό αποφάσεων.

Επιπλέον, η παρούσα έκδοση βασίζεται σε χειροκίνητη εισαγωγή δεδομένων. Αυτό είναι επαρκές για πειραματισμό και ελεγχόμενη αξιολόγηση, αλλά περιορίζει την ευχρηστία του συστήματος σε προβλήματα μεγαλύτερης κλίμακας ή σε περιβάλλοντα όπου απαιτείται συχνή επανάληψη της ανάλυσης.

Επίσης, η παραμετρικότητα της εφαρμογής λειτουργεί μέσα σε συγκεκριμένα όρια που έχουν τεθεί στη διεπαφή. Ο δυναμικός ορισμός αφορά κυρίως το πλήθος των συμμετεχόντων, των κριτηρίων και των εναλλακτικών και όχι την πλήρως ελεύθερη ονοματοδοσία τους.

Στην πλήρη ροή AHP οι συμμετέχοντες αντιμετωπίζονται ως ισότιμοι. Η εφαρμογή δεν δίνει, στην παρούσα έκδοση, δυνατότητα διαφορετικής βαρύτητας των συμμετεχόντων κατά τη σύνθεση των πινάκων ζευγαρωτών συγκρίσεων.

Ένας ακόμα περιορισμός είναι ότι η εργασία εξετάζει συγκεκριμένο σύνολο μεθόδων. Αν και το σύνολο αυτό επαρκεί για τη δημιουργία ενός συνεκτικού και λειτουργικού πρωτοτύπου, δεν καλύπτει όλο το εύρος των προσεγγίσεων που έχουν αναπτυχθεί στη βιβλιογραφία της πολυκριτηριακής και ομαδικής λήψης αποφάσεων.

Ως προς την παρουσίαση του αποτελέσματος, η εφαρμογή δεν υλοποιεί πλήρες αυτόνομο σύστημα ομαδικών συστάσεων γενικής χρήσης. Αντίθετα, μετατρέπει το συλλογικό αποτέλεσμα της ανάλυσης σε κύρια ομαδική σύσταση. Με ανάλογο τρόπο, η συναίνεση δεν ενσωματώνεται ως πλήρης επαναληπτικός μηχανισμός επίτευξης συναίνεσης, αλλά ως συμπληρωματική πληροφορία για την ερμηνεία του αποτελέσματος.

Τέλος, η αξιολόγηση του συστήματος βασίζεται σε μία ενδεικτική μελέτη περίπτωσης και όχι σε εκτεταμένη πειραματική εφαρμογή σε πολλαπλά και ετερογενή προβλήματα απόφασης. Επομένως, τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι κυρίως ενδεικτικά της λειτουργικότητας και της χρησιμότητας της εφαρμογής και δεν συνιστούν πλήρη εμπειρική αποτίμηση της αποτελεσματικότητάς της σε όλες τις πιθανές κατηγορίες προβλημάτων.

7.3 Δυνατότητες μελλοντικής επέκτασης

Η εργασία αυτή μπορεί να επεκταθεί σε αρκετές κατευθύνσεις, τόσο σε μεθοδολογικό όσο και σε τεχνικό επίπεδο.

Μια βασική κατεύθυνση είναι η ενσωμάτωση μεθόδων που μπορούν να διαχειριστούν αβεβαιότητα, ασάφεια και μη ακριβείς αξιολογήσεις, όπως οι fuzzy μέθοδοι πολυκριτηριακής ανάλυσης. Η προσθήκη τέτοιων προσεγγίσεων θα έκανε το σύστημα πιο κατάλληλο για πραγματικά προβλήματα, όπου οι κρίσεις των συμμετεχόντων δεν αποτυπώνονται πάντα με απόλυτα ακριβείς αριθμητικές τιμές.

Επιπλέον, θα μπορούσε να προστεθεί υποστήριξη για περισσότερες μεθόδους σύνθεσης και κατάταξης, αλλά και για προσεγγίσεις που λαμβάνουν υπόψη αλληλεπιδράσεις μεταξύ κριτηρίων. Μια τέτοια επέκταση θα ενίσχυε τη μεθοδολογική πληρότητα της εφαρμογής και θα επέτρεπε την αντιμετώπιση πιο απαιτητικών προβλημάτων λήψης αποφάσεων.

Στην ίδια λογική, θα μπορούσε να εξεταστεί και η προσθήκη δείκτη συναίνεσης για τη ροή κοινωνικής επιλογής με κανόνα Borda Count. Στην παρούσα υλοποίηση, ο δείκτης συναίνεσης βασίζεται σε ατομικές αριθμητικές τελικές βαθμολογίες, ενώ στη ροή Borda οι συμμετέχοντες δίνουν κατατάξεις προτίμησης. Για τον λόγο αυτό, η συναίνεση στη συγκεκριμένη ροή θα χρειαζόταν διαφορετικό τρόπο υπολογισμού, βασισμένο στη σύγκριση των ατομικών κατατάξεων.

Επίσης, μελλοντικά θα μπορούσε να προστεθεί δυνατότητα διαφορετικής βαρύτητας των συμμετεχόντων και στην πλήρη ροή AHP, μέσω χρήσης σταθμισμένου γεωμετρικού μέσου για τη σύνθεση των πινάκων ζευγαρωτών συγκρίσεων.

Σε επίπεδο λογισμικού, μια διαδικτυακή έκδοση με δυνατότητα ταυτόχρονης συμμετοχής πολλών χρηστών, καθώς και μηχανισμούς αποθήκευσης δεδομένων, διαχείρισης σεναρίων και ιστορικού αποφάσεων, θα αύξανε σημαντικά τη χρησιμότητα της εφαρμογής σε πραγματικά περιβάλλοντα χρήσης.

Μια ακόμη κατεύθυνση που θα είχε πρακτικό ενδιαφέρον είναι να ενισχυθεί η ανάλυση αποτελεσμάτων με εργαλεία οπτικοποίησης, όπως γραφήματα βαθμολογιών, βαρών και δεικτών συναίνεσης, αλλά και με ανάλυση ευαισθησίας, ώστε να εξετάζεται πώς

επηρεάζεται η τελική κατάταξη από μεταβολές στα βάρη, στις αξιολογήσεις ή στις παραμέτρους της ανάλυσης.

Τέλος, θα είχε ιδιαίτερο ενδιαφέρον η αξιολόγηση της εφαρμογής σε περισσότερες μελέτες περίπτωσης από διαφορετικά πεδία, ώστε να εξεταστεί πιο ουσιαστικά η προσαρμοστικότητα της και η χρησιμότητά της σε διαφορετικά είδη συλλογικών προβλημάτων απόφασης.

Βιβλιογραφία

- Aguarón, J., Escobar, M. T., Moreno-Jiménez, J. M., & Turón, A. (2019). AHP-group decision making based on consistency. *Mathematics*, 7(3), Article 242. <https://doi.org/10.3390/math7030242>
- Amenta, P., Lucadamo, A., & Marcarelli, G. (2021). On the choice of weights for aggregating judgments in non-negotiable AHP group decision making. *European Journal of Operational Research*, 288(1), 294–301. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.05.048>
- Arrow, K. J. (1950). A difficulty in the concept of social welfare. *Journal of Political Economy*, 58(4), 328–346. <https://doi.org/10.1086/256963>
- Basheleishvili, I., & Bardavelidze, A. (2021). Design and Development of a Group Decision Support System for the Evaluation and Selection of Research Projects. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 11(6), 7881–7886. <https://doi.org/10.48084/etasr.4557>
- Castro, J., Quesada Real, F. J., Palomares, I., & Martínez, L. (2015). A consensus-driven group recommender system. *International Journal of Intelligent Systems*, 30(8), 887–906. <https://doi.org/10.1002/int.21730>
- Chiclana, F., Tapia García, J. M., del Moral, M. J., & Herrera-Viedma, E. (2015). Analyzing consensus measures in group decision making. *Procedia Computer Science*, 55, 1000–1008. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.103>
- Ciardiello, F., & Genovese, A. (2023). A comparison between TOPSIS and SAW methods. *Annals of Operations Research*, 325, 967–994. <https://doi.org/10.1007/s10479-023-05339-w>
- Conceição, L., Martinho, D., Andrade, R., Carneiro, J., Martins, C., Marreiros, G., & Novais, P. (2021). A web-based group decision support system for multicriteria problems. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 33(2), e5298. <https://doi.org/10.1002/cpe.5298>
- Dara, S., Chowdary, C. R., & Kumar, C. (2020). A survey on group recommender systems. *Journal of Intelligent Information Systems*, 54(2), 271–295. <https://doi.org/10.1007/s10844-018-0542-3>

- de Almeida, A. T., & Morais, D. C. (2018). *Multi-criteria group decision making* [Course materials]. EURO PhD Summer School on MCDA/MCDM, Chania, Greece.
- de Borda, J.-C. (1781). Mémoire sur les élections au scrutin. *Histoire de l'Académie Royale des Sciences, 1781*, 657–665.
- DeSanctis, G., & Gallupe, R. B. (1987). A foundation for the study of group decision support systems. *Management Science*, 33(5), 589–609. <https://doi.org/10.1287/mnsc.33.5.589>
- Dong, Y., Zhang, G., Hong, W.-C., & Xu, Y. (2010). Consensus models for AHP group decision making under row geometric mean prioritization method. *Decision Support Systems*, 49(3), 281–289. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2010.03.003>
- Feldman, A. M., & Serrano, R. (2006). *Welfare economics and social choice theory* (2nd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/0-387-29368-X>
- Felfernig, A., Boratto, L., Stettinger, M., & Tkalčič, M. (Eds.). (2018). *Group recommender systems: An introduction*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-75067-5>
- Forman, E., & Peniwati, K. (1998). Aggregating individual judgments and priorities with the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 108(1), 165–169. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(97\)00244-0](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(97)00244-0)
- Françozo, R. V., Urquiza Junior, L. S. V., Carrapateira, E. S., Pacheco, B. C. S., Oliveira, M. T., Torsoni, G. B., & Yari, J. (2023). A web-based software for group decision with analytic hierarchy process. *MethodsX*, 11, Article 102277. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2023.102277>
- Grabisch, M., Marichal, J.-L., Mesiar, R., & Pap, E. (2011). Aggregation functions: Means. *Information Sciences*, 181(1), 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2010.08.043>
- Huang, H., Burgherr, P., & Macharis, C. (2025). A collaborative group decision-support system: The survey based multi-actor multi-criteria analysis (MAMCA) software. *Journal of the Operational Research Society*, 76(5), 844–865. <https://doi.org/10.1080/01605682.2024.2398114>
- Laughlin, P. R. (2011). Social choice theory, social decision scheme theory, and group decision-making. *Group Processes & Intergroup Relations*, 14(1), 63–79. <https://doi.org/10.1177/1368430210372524>

- López, J. C. L., Carrillo, P. A. Á., Chavira, D. A. G., & Noriega, J. J. S. (2017). A web-based group decision support system for multicriteria ranking problems. *Operational Research*, 17(2), 499–534. <https://doi.org/10.1007/s12351-016-0234-0>
- Morais, D. C., & de Almeida, A. T. (2012). Group decision making on water resources based on analysis of individual rankings. *Omega*, 40(1), 42–52. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2011.03.005>
- Parreiras, R. O., Ekel, P. Y., Martini, J. S. C., & Palhares, R. M. (2010). A flexible consensus scheme for multicriteria group decision making under linguistic assessments. *Information Sciences*, 180(7), 1075–1089. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2009.11.046>
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83–98. <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>
- 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>
- Taherdoost, H. (2017). Decision making using the analytic hierarchy process (AHP); A step by step approach. *International Journal of Academic Research in Management*, 6(1), 27–35.
https://www.researchgate.net/publication/322887394_Decision_Making_Using_the_Analytic_Hierarchy_Process_AHP_A_Step_by_Step_Approach
- Taherdoost, H. (2023). Analysis of Simple Additive Weighting Method (SAW) as a MultiAttribute Decision-Making Technique: A Step-by-Step Guide. *Journal of Management Science & Engineering Research*, 6(1), 21–24. <https://doi.org/10.30564/jmser.v6i1.5400>
- Tindale, R. S., & Winget, J. R. (2019). Group decision-making. In *Oxford Research Encyclopedia of Psychology*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190236557.013.262>
- Tran, T. N. T., Felfernig, A., & Le, V. M. (2024). An overview of consensus models for group decision-making and group recommender systems. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 34, 489–547. <https://doi.org/10.1007/s11257-023-09380-z>

- Trattner, C., Said, A., Boratto, L., & Felfernig, A. (2018). Evaluating group recommender systems. In A. Felfernig, L. Boratto, M. Stettinger, & M. Tkalčič (Eds.), *Group recommender systems: An introduction* (pp. 59–71). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-75067-5_3
- van Hillegersberg, J., & Koenen, S. (2016). Adoption of web-based group decision support systems: Experiences from the field and future developments. *International Journal of Information Systems and Project Management*, 4(1), 49–64. <https://doi.org/10.12821/ijispm040103>
- Wan Mohd, W. R., & Abdullah, L. (2017). Aggregation methods in group decision making: A decade survey. *Informatica*, 41(1), 71–86.

Παράρτημα Α: Ενδεικτικά αποσπάσματα κώδικα της εφαρμογής

Στο παράρτημα αυτό παρουσιάζονται ενδεικτικά αποσπάσματα από τις κύριες λειτουργίες της εφαρμογής. Ο πλήρης κώδικας της εφαρμογής παραδίδεται σε συνοδευτικό συμπιεσμένο αρχείο με τίτλο `group_decision_support_system_code.zip`, μαζί με τα αρχεία `README.txt` και `requirements.txt`.

Α.1 Σύνθεση αξιολογήσεων συμμετεχόντων

```
def arithmetic_mean(ratings_3d: np.ndarray) -> np.ndarray:
    # Η συνάρτηση αυτή δέχεται έναν τρισδιάστατο πίνακα: (συμμετέχοντες,
    # εναλλακτικές, κριτήρια).
    # Επιστρέφει έναν συλλογικό πίνακα όπου κάθε κελί είναι ο απλός μέσος
    # όρος των συμμετεχόντων.
    return np.mean(ratings_3d, axis=0)

def weighted_mean(ratings_3d: np.ndarray, user_weights: np.ndarray) ->
np.ndarray:
    # Μετατρέπουμε τα βάρη των συμμετεχόντων σε αριθμητικό διάνυσμα της
    # NumPy.
    weights = np.array(user_weights, dtype=float)
    # Υπολογίζουμε το άθροισμα των βαρών.
    total = np.sum(weights)
    # Αν το άθροισμα είναι 0, ο σταθμισμένος μέσος δεν ορίζεται σωστά.
    if total == 0:
        raise ValueError("Το άθροισμα των βαρών συμμετεχόντων δεν μπορεί
να είναι 0.")
    # Κανονικοποιούμε τα βάρη ώστε να αθροίζουν σε 1.
    weights = weights / total
    # Προσθέτουμε δύο νέες διαστάσεις ώστε τα βάρη να μπορούν να
    # εφαρμοστούν σε κάθε πίνακα αξιολόγησης.
    weights = weights[:, np.newaxis, np.newaxis]
    # Πολλαπλασιάζουμε κάθε πίνακα συμμετέχοντα με το βάρος του και μετά
    # αθροίζουμε στον άξονα των συμμετεχόντων.
    return np.sum(ratings_3d * weights, axis=0)
```

Α.2 Υπολογισμός βαρών και λόγου συνέπειας ΑΗΡ

```
def normalize_weights(weights):
    # Μετατρέπουμε τα βάρη σε αριθμητικό διάνυσμα.
    w = np.array(weights, dtype=float)
    # Υπολογίζουμε το άθροισμα των βαρών.
    total = np.sum(w)
    # Αν το άθροισμα είναι 0, δεν γίνεται κανονικοποίηση.
    if total == 0:
        raise ValueError("Το άθροισμα των βαρών δεν μπορεί να είναι 0.")
    return w / total

def consistency_ratio(matrix):
    # Μετατρέπουμε τις ζευγαρωτές συγκρίσεις σε αριθμητικό πίνακα για τον
    # υπολογισμό του CR.
    A = np.array(matrix, dtype=float)
    # Παίρνουμε τη διάσταση του πίνακα.
```

```
n = A.shape[0]
# Για πίνακες 1x1 ή 2x2 ο λόγος συνέπειας θεωρείται πρακτικά 0.
if n <= 2:
    return 0.0
# Υπολογίζουμε τις ιδιοτιμές του πίνακα.
eigvals, _ = np.linalg.eig(A)
# Κρατάμε τη μεγαλύτερη πραγματική ιδιοτιμή.
lambda_max = np.max(np.real(eigvals))
# Υπολογίζουμε το Consistency Index.
ci = (lambda_max - n) / (n - 1)
# Ελέγχουμε ότι υπάρχει διαθέσιμη τιμή RI για τη συγκεκριμένη
διάσταση πίνακα.
if n not in RI_VALUES:
    raise ValueError(f"Δεν υπάρχει διαθέσιμη τιμή RI για πίνακα
διάστασης {n}.")
# Παίρνουμε τη σωστή τιμή RI από τον πίνακα.
ri = RI_VALUES[n]
# Αν το RI είναι 0, επιστρέφουμε 0 για να αποφύγουμε διαίρεση με το
μηδέν.
if ri == 0:
    return 0.0
# Υπολογίζουμε τον τελικό λόγο συνέπειας CR.
return ci / ri

def ahp_weights_from_pairwise(matrix):
    # Μετατρέπουμε τις ζευγαρωτές συγκρίσεις σε αριθμητικό πίνακα για
    τους υπολογισμούς AHP.
    A = np.array(matrix, dtype=float)
    # Υπολογίζουμε ιδιοτιμές και ιδιοδιανύσματα.
    eigvals, eigvecs = np.linalg.eig(A)
    # Βρίσκουμε τη θέση της μεγαλύτερης ιδιοτιμής.
    max_index = np.argmax(np.real(eigvals))
    # Παίρνουμε το αντίστοιχο κύριο ιδιοδιάνυσμα.
    principal_eigvec = np.real(eigvecs[:, max_index])
    # Αν όλο το ιδιοδιάνυσμα είναι μη θετικό, αλλάζουμε ομοιόμορφα
    πρόσημο.
    if np.all(principal_eigvec <= 0):
        principal_eigvec = -principal_eigvec
    # Αν μετά την προσαρμογή υπάρχουν ακόμη αρνητικά στοιχεία, σταματάμε
    με σφάλμα.
    if np.any(principal_eigvec < 0):
        raise ValueError(
            "Το κύριο ιδιοδιάνυσμα περιέχει αρνητικά στοιχεία και
            δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως διάνυσμα βαρών."
        )
    # Υπολογίζουμε το άθροισμα του κύριου ιδιοδιανύσματος.
    total = np.sum(principal_eigvec)
    # Αν το άθροισμα είναι 0, δεν μπορούμε να κανονικοποιήσουμε.
    if np.isclose(total, 0.0):
        raise ValueError("Το άθροισμα του κύριου ιδιοδιανύσματος
            είναι 0 και δεν μπορεί να γίνει κανονικοποίηση.")
    # Κανονικοποιούμε το ιδιοδιάνυσμα ώστε να προκύψουν βάρη που
    αθροίζουν σε 1.
    weights = principal_eigvec / total
    # Υπολογίζουμε και τον λόγο συνέπειας του πίνακα.
    cr = consistency_ratio(A)
    # Επιστρέφουμε μαζί τα βάρη και το CR.
    return weights, cr
```

A.3 Μέθοδοι κατάταξης εναλλακτικών

```
def weighted_sum_model(matrix: np.ndarray, criteria_weights:
np.ndarray):
    # Μετατρέπουμε τον πίνακα αξιολόγησης σε αριθμητική μορφή NumPy.
    X = np.array(matrix, dtype=float)
    # Μετατρέπουμε τα βάρη κριτηρίων σε αριθμητικό διάνυσμα.
    w = np.array(criteria_weights, dtype=float)
    # Υπολογίζουμε το άθροισμα των βαρών.
    total = np.sum(w)
    # Αν το άθροισμα είναι 0, δεν μπορούμε να προχωρήσουμε.
    if total == 0:
        raise ValueError("Το άθροισμα των βαρών κριτηρίων δεν μπορεί να
είναι 0.")
    # Κανονικοποιούμε τα βάρη ώστε να αθροίζουν σε 1.
    w = w / total
    # Υπολογίζουμε τη βαθμολογία κάθε εναλλακτικής ως σταθμισμένο
άθροισμα των επιδόσεών της.
    scores = np.dot(X, w)
    # Ταξινομούμε τις εναλλακτικές από τη μεγαλύτερη προς τη μικρότερη
βαθμολογία.
    ranking = np.argsort(scores)[::-1]
    # Επιστρέφουμε τις βαθμολογίες και την κατάταξη.
    return scores, ranking

def topsis(matrix: np.ndarray, criteria_weights: np.ndarray,
criteria_types=None):
    # Μετατρέπουμε τον πίνακα αξιολόγησης σε αριθμητικό πίνακα NumPy.
    X = np.array(matrix, dtype=float)
    # Μετατρέπουμε τα βάρη κριτηρίων σε αριθμητικό διάνυσμα.
    w = np.array(criteria_weights, dtype=float)
    # Παίρνουμε το πλήθος των κριτηρίων από το πλάτος του πίνακα.
    m = X.shape[1]
    # Αν δεν δοθούν τύποι κριτηρίων, θεωρούμε όλα τα κριτήρια benefit.
    if criteria_types is None:
        criteria_types = ["benefit"] * m
    # Ελέγχουμε ότι ο αριθμός των τύπων κριτηρίων ταιριάζει με τον
αριθμό κριτηρίων.
    if len(criteria_types) != m:
        raise ValueError("Το πλήθος των τύπων κριτηρίων πρέπει να είναι
ίσο με το πλήθος των κριτηρίων.")
    # Υπολογίζουμε το άθροισμα των βαρών.
    total = np.sum(w)
    # Αν το άθροισμα είναι 0, η TOPSIS δεν μπορεί να εφαρμοστεί.
    if total == 0:
        raise ValueError("Το άθροισμα των βαρών κριτηρίων δεν μπορεί να
είναι 0.")
    # Κανονικοποιούμε τα βάρη ώστε να αθροίζουν σε 1.
    w = w / total
    # Υπολογίζουμε τους παρονομαστές κανονικοποίησης ανά κριτήριο με
ευκλείδεια κανονικοποίηση.
    denom = np.sqrt((X ** 2).sum(axis=0))
    # Όπου ο παρονομαστής βγει 0, τον αντικαθιστούμε με 1 για να
αποφύγουμε διαίρεση με το 0.
    denom[denom == 0] = 1.0
    # Υπολογίζουμε τον κανονικοποιημένο πίνακα.
    R = X / denom
    # Πολλαπλασιάζουμε κάθε στήλη με το βάρος του αντίστοιχου κριτηρίου.
    V = R * w
```

```
ideal_best = []
ideal_worst = []
# Για κάθε κριτήριο βρίσκουμε την καλύτερη και τη χειρότερη
θεωρητική τιμή.
for j in range(m):
    if criteria_types[j] == "benefit":
        ideal_best.append(np.max(V[:, j]))
        ideal_worst.append(np.min(V[:, j]))
    elif criteria_types[j] == "cost":
        ideal_best.append(np.min(V[:, j]))
        ideal_worst.append(np.max(V[:, j]))
    else:
        raise ValueError(f"Μη έγκυρος τύπος κριτηρίου:
{criteria_types[j]}")
# Μετατρέπουμε τις λίστες σε διανύσματα NumPy.
ideal_best = np.array(ideal_best)
ideal_worst = np.array(ideal_worst)

# Υπολογίζουμε την απόσταση κάθε εναλλακτικής από την ιδανική λύση.
d_pos = np.sqrt(((V - ideal_best) ** 2).sum(axis=1))

# Υπολογίζουμε την απόσταση κάθε εναλλακτικής από την αντι-ιδανική
λύση.
d_neg = np.sqrt(((V - ideal_worst) ** 2).sum(axis=1))

# Υπολογίζουμε τον παρονομαστή του συντελεστή εγγύτητας.
den = d_pos + d_neg

# Αν όλες οι εναλλακτικές έχουν μηδενικό παρονομαστή, τότε η ιδανική
# και η αντι-ιδανική λύση συμπίπτουν. Αυτό σημαίνει ότι η TOPSIS
# δεν μπορεί να διακρίνει τις εναλλακτικές, οπότε τις θεωρούμε
ισοδύναμες.
if np.all(np.isclose(den, 0.0)):
    closeness = np.full(X.shape[0], 0.5, dtype=float)
# Αν εμφανιστεί μεμονωμένος μηδενικός παρονομαστής, κρατάμε αμυντικό
έλεγχο.
elif np.any(np.isclose(den, 0.0)):
    raise ValueError(
        "Μη έγκυρη κατάσταση στην TOPSIS: μηδενικός παρονομαστής
στον συντελεστή εγγύτητας."
    )
# Κανονική περίπτωση TOPSIS.
else:
    closeness = d_neg / den
# Ταξινομούμε από τη μεγαλύτερη προς τη μικρότερη τιμή του
συντελεστή εγγύτητας.
ranking = np.argsort(closeness)[::-1]
# Επιστρέφουμε όλα τα χρήσιμα αποτελέσματα της TOPSIS.
return closeness, ranking, d_pos, d_neg, ideal_best, ideal_worst

def ahp_full_ranking(criteria_pairwise: np.ndarray,
alternative_pairwise_matrices):
    # Από τον πίνακα κριτηρίων υπολογίζουμε τα βάρη κριτηρίων και το
αντίστοιχο CR.
    criteria_weights, criteria_cr =
ahp_weights_from_pairwise(criteria_pairwise)
# Δημιουργούμε λίστες για τις τοπικές προτεραιότητες και τα CR των
πινάκων εναλλακτικών.
local_priorities = []
```

```
alternative_crs = []
# Για κάθε κριτήριο, επεξεργαζόμαστε τον αντίστοιχο πίνακα
# συγκρίσεων εναλλακτικών.
for matrix in alternative_pairwise_matrices:
    local_w, local_cr = ahp_weights_from_pairwise(matrix)
    local_priorities.append(local_w)
    alternative_crs.append(local_cr)
# Μετατρέπουμε τις τοπικές προτεραιότητες σε πίνακα NumPy.
local_priorities = np.array(local_priorities)
# Υπολογίζουμε τις συνολικές προτεραιότητες πολλαπλασιάζοντας τα
# βάρη κριτηρίων με τις τοπικές προτεραιότητες.
global_scores = np.dot(criteria_weights, local_priorities)
# Ταξινομούμε τις εναλλακτικές από τη μεγαλύτερη προς τη μικρότερη
# συνολική προτεραιότητα.
ranking = np.argsort(global_scores)[::-1]
# Επιστρέφουμε όλα τα χρήσιμα αποτελέσματα της πλήρους AHP.
return global_scores, ranking, criteria_cr, alternative_crs,
criteria_weights, local_priorities
```

A.4 Κανόνας κοινωνικής επιλογής Borda Count

```
def borda_count(rankings_matrix):
    # Μετατρέπουμε τον πίνακα κατάταξης σε NumPy array ακεραίων.
    rankings = np.array(rankings_matrix, dtype=int)
    # Παίρνουμε το πλήθος των ψηφοφόρων και των εναλλακτικών.
    _, n_alts = rankings.shape
    # Δημιουργούμε μηδενικό διάνυσμα για να αποθηκεύσουμε τις συνολικές
    # βαθμολογίες Borda.
    scores = np.zeros(n_alts, dtype=float)
    # Για κάθε συμμετέχοντα διαβάζουμε την κατάταξή του.
    for row in rankings:
        # Για κάθε θέση της κατάταξης δίνουμε τους αντίστοιχους βαθμούς
        # Borda.
        for position, alt_index in enumerate(row):
            scores[alt_index] += (n_alts - position - 1)
    # Ταξινομούμε τις εναλλακτικές από τη μεγαλύτερη προς τη μικρότερη
    # συνολική βαθμολογία.
    ranking = np.argsort(scores)[::-1]
    return scores, ranking
```

A.5 Παραγωγή κύριας ομαδικής σύστασης

```
def build_group_recommendation(alternatives, scores, ranking=None,
tol=1e-9):
    # Μετατρέπουμε τις βαθμολογίες σε αριθμητικό διάνυσμα NumPy.
    scores = np.array(scores, dtype=float)
    # Αν δεν έχει δοθεί έτοιμη κατάταξη, τη δημιουργούμε από τις
    # βαθμολογίες.
    if ranking is None:
        ranking = np.argsort(scores)[::-1]
    # Παίρνουμε την καλύτερη βαθμολογία, δηλαδή τη βαθμολογία της πρώτης
    # εναλλακτικής στην κατάταξη.
    best_score = scores[ranking[0]]
    # Βρίσκουμε και κρατάμε τους δείκτες θέσης των εναλλακτικών που
    # έχουν πρακτικά ίδια βαθμολογία με την καλύτερη, με ανοχή tol.
    primary_indices = [idx for idx in ranking if np.isclose(scores[idx],
best_score, atol=tol)]
```

Επιστρέφουμε ένα λεξικό που περιγράφει αν υπάρχει μοναδική σύσταση ή ισοβαθμία στην κορυφή.

```
return {  
    "primary_indices": primary_indices,  
    "primary_alternatives": [alternatives[i] for i in  
primary_indices],  
    "is_tie": len(primary_indices) > 1,}
```

A.6 Υπολογισμός δείκτη συναίνεσης

```
def pairwise_consensus_for_alternative(scores_for_one_alternative:  
np.ndarray, rmax: float = 1.0) -> float:  
    # Μετατρέπουμε τις βαθμολογίες της συγκεκριμένης εναλλακτικής σε  
    αριθμητικό διάνυσμα.  
    x = np.array(scores_for_one_alternative, dtype=float)  
    # Υπολογίζουμε πόσοι συμμετέχοντες υπάρχουν.  
    n_dm = len(x)  
    # Αν υπάρχει μόνο ένας συμμετέχων, θεωρούμε ότι η συναίνεση είναι  
    πλήρης.  
    if n_dm <= 1:  
        return 1.0  
    # Αν η μέγιστη τιμή κλίμακας δεν είναι θετική, ο δείκτης δεν έχει  
    νόημα.  
    if rmax <= 0:  
        raise ValueError("Η μέγιστη τιμή κλίμακας rmax πρέπει να είναι  
    θετική.")  
    # Υπολογίζουμε το πλήθος των ζευγών συμμετεχόντων.  
    pair_count = n_dm * (n_dm - 1) / 2  
    # Ξεκινάμε το άθροισμα αποστάσεων από το 0.  
    distance_sum = 0.0  
    # Για κάθε ζεύγος συμμετεχόντων υπολογίζουμε την απόλυτη διαφορά των  
    βαθμολογιών τους.  
    for i in range(n_dm):  
        for j in range(i + 1, n_dm):  
            distance_sum += abs(x[i] - x[j])  
    # Εφαρμόζουμε τον δείκτη συναίνεσης ως 1 - (συνολική απόσταση /  
    μέγιστη θεωρητική απόσταση).  
    consensus_value = 1.0 - (distance_sum / (pair_count * rmax))  
    # Περιορίζουμε το αποτέλεσμα αριθμητικά στο [0,1].  
    consensus_value = float(np.clip(consensus_value, 0.0, 1.0))  
    # Επιστρέφουμε την τελική τιμή συναίνεσης.  
    return consensus_value  
  
def consensus_per_alternative(individual_scores: np.ndarray, rmax: float  
= 1.0) -> np.ndarray:  
    # Μετατρέπουμε τις ατομικές βαθμολογίες σε δισδιάστατο πίνακα.  
    X = np.array(individual_scores, dtype=float)  
  
    # Παίρνουμε πόσες εναλλακτικές υπάρχουν.  
    n_alts = X.shape[1]  
    values = []  
    # Για κάθε εναλλακτική υπολογίζουμε τον αντίστοιχο δείκτη  
    συναίνεσης.  
    for alt_idx in range(n_alts):  
        alt_scores = X[:, alt_idx]  
        values.append(pairwise_consensus_for_alternative(alt_scores,  
rmax=rmax))  
    # Επιστρέφουμε τις τιμές συναίνεσης ως διάνυσμα.  
    return np.array(values, dtype=float)
```

Παράρτημα Β: Αναλυτικά αποτελέσματα της μελέτης περίπτωσης στην εφαρμογή

Στο παράρτημα αυτό παρουσιάζονται τα πλήρη αποτελέσματα της εφαρμογής για το σενάριο του Κεφαλαίου 6. Η παρουσίαση γίνεται ξεχωριστά για WSM, TOPSIS, AHP Ranking και Borda Count και περιλαμβάνει την παραμετροποίηση, τα δεδομένα εισόδου και τα αποτελέσματα που εμφανίζονται στην εφαρμογή.

B.1 Αποτελέσματα WSM

Ρυθμίσεις Ανάλυσης

Τύπος Ανάλυσης

MCDA

Μέθοδος Κατάταξης

Weighted Sum Model

Μέθοδος Σύνθεσης Αξιολογήσεων

Arithmetic Mean

Μέθοδος Υπολογισμού Βαρών Κριτηρίων

Direct Weights

Σύστημα Υποστήριξης Ομαδικών Αποφάσεων και Ομαδικών Συστάσεων Πολλαπλών Κριτηρίων

Η εφαρμογή υποστηρίζει πολυκριτηριακή ανάλυση αποφάσεων, κανόνες κοινωνικής επιλογής, παρουσίαση κύριας ομαδικής σύστασης και ποσοτική αποτίμηση του βαθμού συναινεσης όπου υπάρχουν ατομικές αριθμητικές βαθμολογίες.

Ορισμός προβλήματος

Αριθμός συμμετεχόντων

5

Αριθμός κριτηρίων

6

Αριθμός εναλλακτικών λύσεων

4

Πίνακες αξιολόγησης ανά συμμετέχοντα

Αξιολογήσεις DM1

$\bar{x}_{ij}$	$\bar{x}_{ij}$ C1	$\bar{x}_{ij}$ C2	$\bar{x}_{ij}$ C3	$\bar{x}_{ij}$ C4	$\bar{x}_{ij}$ C5	$\bar{x}_{ij}$ C6
A1		7.00	9.00	7.00	7.00	8.00
A2		9.00	7.00	9.00	9.00	9.00
A3		8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
A4		8.00	7.00	8.00	8.00	9.00

Αξιολογήσεις DM2

$\bar{x}_{ij}$	$\bar{x}_{ij}$ C1	$\bar{x}_{ij}$ C2	$\bar{x}_{ij}$ C3	$\bar{x}_{ij}$ C4	$\bar{x}_{ij}$ C5	$\bar{x}_{ij}$ C6
A1		7.00	9.00	7.00	7.00	8.00
A2		9.00	7.00	9.00	9.00	9.00
A3		8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
A4		8.00	7.00	8.00	8.00	8.00

Αξιολογήσεις DM3

$\bar{x}_{ij}$	$\bar{x}_{ij}$ C1	$\bar{x}_{ij}$ C2	$\bar{x}_{ij}$ C3	$\bar{x}_{ij}$ C4	$\bar{x}_{ij}$ C5	$\bar{x}_{ij}$ C6
A1		7.00	8.00	7.00	7.00	7.00
A2		9.00	7.00	9.00	8.00	9.00
A3		8.00	9.00	9.00	8.00	8.00
A4		8.00	7.00	8.00	8.00	8.00

Αξιολογήσεις DM4

$\bar{x}_{ij}$	$\bar{x}_{ij}$ C1	$\bar{x}_{ij}$ C2	$\bar{x}_{ij}$ C3	$\bar{x}_{ij}$ C4	$\bar{x}_{ij}$ C5	$\bar{x}_{ij}$ C6
A1		7.00	9.00	7.00	7.00	7.00
A2		8.00	7.00	8.00	8.00	8.00
A3		8.00	9.00	8.00	8.00	8.00
A4		8.00	8.00	8.00	8.00	8.00

Αξιολογήσεις DM5

$\bar{x}_{ij}$	$\bar{x}_{ij}$ C1	$\bar{x}_{ij}$ C2	$\bar{x}_{ij}$ C3	$\bar{x}_{ij}$ C4	$\bar{x}_{ij}$ C5	$\bar{x}_{ij}$ C6
A1		7.00	8.00	7.00	7.00	7.00
A2		9.00	7.00	9.00	8.00	9.00
A3		8.00	9.00	9.00	8.00	8.00
A4		8.00	7.00	8.00	8.00	8.00

Οι πίνακες αξιολόγησης είναι πλήρεις και βρίσκονται στο επιτρεπτό εύρος 1-10.

Άμεση εισαγωγή βαρών κριτηρίων

Βάρος C1	Βάρος C2	Βάρος C3	Βάρος C4	Βάρος C5	Βάρος C6
0.25	0.15	0.22	0.13	0.17	0.08

Τα βάρη κριτηρίων είναι έτοιμα και θα κανονικοποιηθούν αυτόματα στον υπολογισμό.

Οι είσοδοι είναι σωστές. Μπορείτε να προχωρήσετε στον υπολογισμό.

Υπολογισμός Αποτελεσμάτων

Βάρη Κριτηρίων

	Κριτήριο	Βάρος
0	C1	0.25
1	C2	0.15
2	C3	0.22
3	C4	0.13
4	C5	0.17
5	C6	0.08

Αποτελέσματα Weighted Sum Model

	Εναλλακτική	Συλλογική βαθμολογία	Θέση
0	A2	8.366	1
1	A3	8.242	2
2	A4	7.946	3
3	A1	7.356	4

Ομαδική Σύσταση

Κύρια ομαδική σύσταση: A2

Επεξήγηση της Σύστασης

Η εναλλακτική A2 προτείνεται επειδή συγκέντρωσε τη μεγαλύτερη συνολική βαθμολογία στο Weighted Sum Model.

	Κριτήριο	Συλλογική τιμή	Βάρος	Συνεισφορά
0	C1	8.8	0.25	2.2
1	C2	7	0.15	1.05
2	C3	8.8	0.22	1.936
3	C4	8.4	0.13	1.092
4	C5	8.8	0.17	1.496
5	C6	7.4	0.08	0.592

Αποτίμηση Βαθμού Συναίνεσης

Τιμές του δείκτη κοντά στο 1 υποδηλώνουν μεγαλύτερη συμφωνία των μελών της ομάδας ως προς την εξεταζόμενη εναλλακτική.

Δείκτης συναίνεσης προτεινόμενης εναλλακτικής: 0.7835

Πιο συναινετική εναλλακτική: A1

Δείκτης συναίνεσης ανά εναλλακτική:

	Εναλλακτική	Δείκτης συναίνεσης
0	A1	1
1	A2	0.7835
2	A3	0.7185
3	A4	0.842

B.2 Αποτελέσματα TOPSIS

Ρυθμίσεις Ανάλυσης

Τύπος Ανάλυσης
MCDA

Μέθοδος Κατάταξης
TOPSIS

Μέθοδος Σύνθεσης Αξιολογήσεων
Arithmetic Mean

Μέθοδος Υπολογισμού Βαρών Κριτηρίων
Direct Weights

Σύστημα Υποστήριξης Ομαδικών Αποφάσεων και Ομαδικών Συστάσεων Πολλαπλών Κριτηρίων

Η εφαρμογή υποστηρίζει πολυκριτηριακή ανάλυση αποφάσεων, κανόνες κοινωνικής επιλογής, παρουσίαση κύριας ομαδικής σύστασης και ποσοτική αποτίμηση του βαθμού συναινεσης όπου υπάρχουν ατομικές αριθμητικές βαθμολογίες.

Ορισμός προβλήματος

Αριθμός συμμετεχόντων

5

Αριθμός κριτηρίων

6

Αριθμός εναλλακτικών λύσεων

4

Πίνακες αξιολόγησης ανά συμμετέχοντα

Αξιολογήσεις DM1

$\mathbb{P}_j$	$\mathbb{P}_j$ C1	$\mathbb{P}_j$ C2	$\mathbb{P}_j$ C3	$\mathbb{P}_j$ C4	$\mathbb{P}_j$ C5	$\mathbb{P}_j$ C6
A1	7.00	9.00	7.00	7.00	8.00	7.00
A2	9.00	7.00	9.00	9.00	9.00	7.00
A3	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
A4	8.00	7.00	8.00	8.00	9.00	8.00

Αξιολογήσεις DM2

$\mathbb{P}_j$	$\mathbb{P}_j$ C1	$\mathbb{P}_j$ C2	$\mathbb{P}_j$ C3	$\mathbb{P}_j$ C4	$\mathbb{P}_j$ C5	$\mathbb{P}_j$ C6
A1	7.00	9.00	7.00	7.00	8.00	7.00
A2	9.00	7.00	9.00	9.00	9.00	7.00
A3	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	9.00
A4	8.00	7.00	8.00	8.00	8.00	8.00

Αξιολογήσεις DM3

$\mathbb{P}_j$	$\mathbb{P}_j$ C1	$\mathbb{P}_j$ C2	$\mathbb{P}_j$ C3	$\mathbb{P}_j$ C4	$\mathbb{P}_j$ C5	$\mathbb{P}_j$ C6
A1	7.00	8.00	7.00	7.00	7.00	8.00
A2	9.00	7.00	9.00	8.00	9.00	8.00
A3	8.00	9.00	9.00	8.00	8.00	9.00
A4	8.00	7.00	8.00	8.00	8.00	9.00

Αξιολογήσεις DM4

$\mathbb{P}_j$	$\mathbb{P}_j$ C1	$\mathbb{P}_j$ C2	$\mathbb{P}_j$ C3	$\mathbb{P}_j$ C4	$\mathbb{P}_j$ C5	$\mathbb{P}_j$ C6
A1	7.00	9.00	7.00	7.00	7.00	8.00
A2	8.00	7.00	8.00	8.00	8.00	7.00
A3	8.00	9.00	8.00	8.00	8.00	9.00
A4	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00

Αξιολογήσεις DM5

$\mathbb{P}_j$	$\mathbb{P}_j$ C1	$\mathbb{P}_j$ C2	$\mathbb{P}_j$ C3	$\mathbb{P}_j$ C4	$\mathbb{P}_j$ C5	$\mathbb{P}_j$ C6
A1	7.00	8.00	7.00	7.00	7.00	8.00
A2	9.00	7.00	9.00	8.00	9.00	8.00
A3	8.00	9.00	9.00	8.00	8.00	9.00
A4	8.00	7.00	8.00	8.00	8.00	9.00

Οι πίνακες αξιολόγησης είναι πλήρεις και βρίσκονται στο επιτρεπτό εύρος 1-10.

Άμεση εισαγωγή βαρών κριτηρίων

Βάρος C1	Βάρος C2	Βάρος C3	Βάρος C4	Βάρος C5	Βάρος C6
0.25	0.15	0.22	0.13	0.17	0.08

Τα βάρη κριτηρίων είναι έτοιμα και θα κανονικοποιηθούν αυτόματα στον υπολογισμό.

Τύπος κριτηρίων για TOPSIS

Όρισε για κάθε κριτήριο αν είναι τύπου benefit (όσο μεγαλύτερη τιμή τόσο καλύτερα) ή cost (όσο μικρότερη τιμή τόσο καλύτερα).

Τύπος C1	Τύπος C2	Τύπος C3	Τύπος C4	Τύπος C5	Τύπος C6
benefit	benefit	benefit	benefit	benefit	benefit

Οι εισοδοί είναι σωστές. Μπορείς να προχωρήσεις στον υπολογισμό.

Υπολογισμός Αποτελεσμάτων

Βάρη Κριτηρίων

	Κριτήριο	Βάρος
0	C1	0.25
1	C2	0.15
2	C3	0.22
3	C4	0.13
4	C5	0.17
5	C6	0.08

Αποτελέσματα TOPSIS

	Εναλλακτική	Συντελεστής εγγύτητας	Θέση
0	A2	0.7141	1
1	A3	0.6585	2
2	A4	0.5204	3
3	A1	0.2654	4

Ομαδική Σύσταση

Κύρια ομαδική σύσταση: A2

Επεξήγηση της Σύστασης

Η εναλλακτική A2 προτείνεται επειδή παρουσίασε τον μεγαλύτερο συντελεστή εγγύτητας προς την ιδανική λύση.

Απόσταση από ιδανική λύση: 0.0167

Απόσταση από αντι-ιδανική λύση: 0.0418

Συντελεστής εγγύτητας: 0.7141

Αποτίμηση Βαθμού Συναίνεσης

Τιμές του δείκτη κοντά στο 1 υποδηλώνουν μεγαλύτερη συμφωνία των μελών της ομάδας ως προς την εξεταζόμενη εναλλακτική.

Δείκτης συναίνεσης προτεινόμενης εναλλακτικής: 0.9348

Πιο συναινετική εναλλακτική: A2

Δείκτης συναίνεσης ανά εναλλακτική:

	Εναλλακτική	Δείκτης συναίνεσης
0	A1	0.8734
1	A2	0.9348
2	A3	0.7596
3	A4	0.876

B.3 Αποτελέσματα AHP Ranking

Ρυθμίσεις Ανάλυσης

Τύπος Ανάλυσης

MCDAA

Μέθοδος Κατάταξης

AHP Ranking

Στο AHP Ranking δεν απαιτείται ξεχωριστή μέθοδος σύνθεσης αξιολογήσεων ή βάρη συμμετεχόντων, καθώς η σύνθεση των AHP κρίσεων πραγματοποιείται εσωτερικά από το σύστημα.

Σύστημα Υποστήριξης Ομαδικών Αποφάσεων και Ομαδικών Συστάσεων Πολλαπλών Κριτηρίων

Η εφαρμογή υποστηρίζει πολυκριτηριακή ανάλυση αποφάσεων, κανόνες κοινωνικής επιλογής, παρουσίαση κύριας ομαδικής σύστασης και ποσοτική αποτίμηση του βαθμού συναίνεσης όπου υπάρχουν ατομικές αριθμητικές βαθμολογίες.

Ορισμός προβλήματος

Αριθμός συμμετεχόντων

5

Αριθμός κριτηρίων

6

Αριθμός εναλλακτικών λύσεων

4

Στη ροή AHP Ranking κάθε συμμετέχων συμπληρώνει τους δικούς του πίνακες ζευγαρωτών συγκρίσεων. Οι επιμέρους πίνακες συντίθενται με γεωμετρικό μέσο και στη συνέχεια εφαρμόζεται η μέθοδος AHP στο συλλογικό αποτέλεσμα.

Πίνακες AHP κριτηρίων ανά συμμετέχοντα

Συγκρίσεις κριτηρίων για DM1

Πίνακας AHP κριτηρίων για DM1

Στον AHP συγκρίνουμε πάντα το στοιχείο της γραμμής ως προς το στοιχείο της στήλης. Η κλίμακα που χρησιμοποιείται περιλαμβάνει μόνο τις βασικές τιμές Saaty (1, 3, 5, 7, 9 και τους αντιστρόφους τους). Αν επιλέξεις τιμή μεγαλύτερη από 1, σημαίνει ότι η γραμμή υπερέχει της στήλης. Αν επιλέξεις τιμή μικρότερη από 1, σημαίνει ότι η στήλη υπερέχει της γραμμής. Το κάτω τριγωνικό μέρος συμπληρώνεται αυτόματα από το σύστημα ως αντίστροφο.

> Κλίμακα Saaty και ερμηνεία τιμών

Σύγκριση: γραμμή = C1 | στήλη = C2

Πόσο σημαντικότερο είναι το C1 σε σχέση με το C2;

1 — 1ση σημασία

Σύγκριση: γραμμή = C1 | στήλη = C3

Πόσο σημαντικότερο είναι το C1 σε σχέση με το C3;

1 — 1ση σημασία

Σύγκριση: γραμμή = C1 | στήλη = C4

Πόσο σημαντικότερο είναι το C1 σε σχέση με το C4;

3 — Μέτρια υπεροχή της γραμμής

Σύγκριση: γραμμή = C1 | στήλη = C5

Case	1	2	3
C2	1	1	1
C3	1	1	1
C4	0.3333	1	0.3333
C5	1	1	1
C6	0.3333	0.3333	0.3333

Πίνακας ΑΗΡ κριτηρίων για DM2

Στον ΑΠΘ συγκρίνουμε πάντα το στοιχείο της γραμμής ως προς το στοιχείο της στήλης. Η κλίμακα που χρησιμοποιείται περιλαμβάνει μόνο τις βασικές τιμές Saaty (1, 3, 5, 7, 9 και τους αντιστrophούς τους). Αν επιλέξει τιμή μεγαλύτερη από 1, σημαίνει ότι η γραμμή υπερτερεί της στήλης. Αν επιλέξει τιμή μικρότερη από 1, σημαίνει ότι η στήλη υπερτερεί της γραμμής. Το κάτω τριγωνικό μέρος συμπληρώνεται αυτόματα από το σύστημα ως αντιστροφή.

► Κλίμακα Saaty και ερμηνεία τιμών

Πόσο σημαντικότερο είναι το C1 σε σχέση με το C2;	
1 – 1ση σημασία	▼
Σύγκριση: γραμμή = C1 στήλη = C3	
Πόσο σημαντικότερο είναι το C1 σε σχέση με το C3;	
1/3 – Μέτρια υπεροχή της στήλης	▼
Σύγκριση: γραμμή = C1 στήλη = C4	
Πόσο σημαντικότερο είναι το C1 σε σχέση με το C4;	
1 – 1ση σημασία	▼
Σύγκριση: γραμμή = C1 στήλη = C5	
Πόσο σημαντικότερο είναι το C1 σε σχέση με το C5;	
1 – 1ση σημασία	▼
Σύγκριση: γραμμή = C1 στήλη = C6	
Πόσο σημαντικότερο είναι το C1 σε σχέση με το C6;	
1 – 1ση σημασία	▼
Σύγκριση: γραμμή = C2 στήλη = C3	
Πόσο σημαντικότερο είναι το C2 σε σχέση με το C3;	
1/3 – Μέτρια υπεροχή της στήλης	▼
Σύγκριση: γραμμή = C2 στήλη = C4	
Πόσο σημαντικότερο είναι το C2 σε σχέση με το C4;	
1 – 1ση σημασία	▼
Σύγκριση: γραμμή = C2 στήλη = C5	
Πόσο σημαντικότερο είναι το C2 σε σχέση με το C5;	
1 – 1ση σημασία	▼
Σύγκριση: γραμμή = C2 στήλη = C6	
Πόσο σημαντικότερο είναι το C2 σε σχέση με το C6;	
1 – 1ση σημασία	▼
Σύγκριση: γραμμή = C3 στήλη = C4	
Πόσο σημαντικότερο είναι το C3 σε σχέση με το C4;	
3 – Μέτρια υπεροχή της γραμμής	▼
Σύγκριση: γραμμή = C3 στήλη = C5	
Πόσο σημαντικότερο είναι το C3 σε σχέση με το C5;	
3 – Μέτρια υπεροχή της γραμμής	▼
Σύγκριση: γραμμή = C3 στήλη = C6	
Πόσο σημαντικότερο είναι το C3 σε σχέση με το C6;	
1 – 1ση σημασία	▼
Σύγκριση: γραμμή = C4 στήλη = C5	
Πόσο σημαντικότερο είναι το C4 σε σχέση με το C5;	

1 — 1η σημασία
Σύγκριση: γραμμή = C4 | στήλη = C6

Πόσο σημαντικότερο είναι το C4 σε σχέση με το C6;
1 — 1η σημασία

Σύγκριση: γραμμή = C5 | στήλη = C6

Πόσο σημαντικότερο είναι το C5 σε σχέση με το C6;
1 — 1η σημασία

Αμοιβαίος πίνακας AHP που θα χρησιμοποιηθεί στους υπολογισμούς

	C1	C2	C3	C4
C1	1		1	0.3333
C2	1	1		0.3333
C3	3	3	3	1
C4	1	1	1	0.3333
C5	1	1	1	0.3333
C6	1		1	1

Συγκρίσεις κριτηρίων για DM4

Πίνακας AHP κριτηρίων για DM4

Στον AHP συγκρίνουμε πάντα το στοιχείο της γραμμής ως προς το στοιχείο της στήλης. Η κλίμακα που χρησιμοποιείται περιλαμβάνει μόνο τις βασικές τιμές Saaty (1, 3, 5, 7, 9 και τους αντιστρόφους τους). Αν επιλέξεις τιμή μεγαλύτερη από 1, σημαίνει ότι η γραμμή υπερτερεί της στήλης. Αν επιλέξεις τιμή μικρότερη από 1, σημαίνει ότι η στήλη υπερτερεί της γραμμής. Το κάτω τριγωνικό μέρος συμπληρώνεται αυτόματα από το σύστημα ως αντίστροφο.

> Κλίμακα Saaty και ερμηνεία τιμών

Σύγκριση: γραμμή = C1 | στήλη = C2

Πόσο σημαντικότερο είναι το C1 σε σχέση με το C2;

1/3 — Μέτρια υπεροχή της στήλης

Σύγκριση: γραμμή = C1 | στήλη = C3

Πόσο σημαντικότερο είναι το C1 σε σχέση με το C3;

1 — 1η σημασία

Σύγκριση: γραμμή = C1 | στήλη = C4

Πόσο σημαντικότερο είναι το C1 σε σχέση με το C4;

1 — 1η σημασία

Σύγκριση: γραμμή = C1 | στήλη = C5

Πόσο σημαντικότερο είναι το C1 σε σχέση με το C5;

1 — 1η σημασία

Σύγκριση: γραμμή = C1 | στήλη = C6

Πόσο σημαντικότερο είναι το C1 σε σχέση με το C6;

1/3 — Μέτρια υπεροχή της στήλης

Συγκρίσεις κριτηρίων για DM5

Πίνακας AHP κριτηρίων για DM5

Στον AHP συγκρίνουμε πάντα το στοιχείο της γραμμής ως προς το στοιχείο της στήλης. Η κλίμακα που χρησιμοποιείται περιλαμβάνει μόνο τις βασικές τιμές Saaty (1, 3, 5, 7, 9 και τους αντιστρόφους τους). Αν επιλέξεις τιμή μεγαλύτερη από 1, σημαίνει ότι η γραμμή υπερτερεί της στήλης. Αν επιλέξεις τιμή μικρότερη από 1, σημαίνει ότι η στήλη υπερτερεί της γραμμής. Το κάτω τριγωνικό μέρος συμπληρώνεται αυτόματα από το σύστημα ως αντίστροφο.

> Κλίμακα Saaty και ερμηνεία τιμών

Σύγκριση: γραμμή = C1 | στήλη = C2

Πόσο σημαντικότερο είναι το C1 σε σχέση με το C2;

1 — 1η σημασία

Σύγκριση: γραμμή = C1 | στήλη = C3

Πόσο σημαντικότερο είναι το C1 σε σχέση με το C3;

1 — 1η σημασία

Σύγκριση: γραμμή = C1 | στήλη = C4

Πόσο σημαντικότερο είναι το C1 σε σχέση με το C4;

1 — 1η σημασία

Σύγκριση: γραμμή = C1 | στήλη = C5

Πόσο σημαντικότερο είναι το C1 σε σχέση με το C5;

1 — 1η σημασία

Σύγκριση: γραμμή = C1 | στήλη = C6

Πόσο σημαντικότερο είναι το C1 σε σχέση με το C6;

1/3 — Μέτρια υπεροχή της στήλης

Σύγκριση: γραμμή = C2 | στήλη = C3

Πόσο σημαντικότερο είναι το C2 σε σχέση με το C3;

1/3 — Μέτρια υπεροχή της στήλης

Σύγκριση: γραμμή = C2 | στήλη = C4

Πόσο σημαντικότερο είναι το C2 σε σχέση με το C4;

1 — 1η σημασία

Σύγκριση: γραμμή = C2 | στήλη = C5

Πόσο σημαντικότερο είναι το C2 σε σχέση με το C5;

1 — 1η σημασία

Σύγκριση: γραμμή = C2 | στήλη = C6

Πόσο σημαντικότερο είναι το C2 σε σχέση με το C6;

1/3 — Μέτρια υπεροχή της στήλης

Σύγκριση: γραμμή = C3 | στήλη = C4

Πόσο σημαντικότερο είναι το C3 σε σχέση με το C4;

3 — Μέτρια υπεροχή της γραμμής

Σύγκριση: γραμμή = C2 | στήλη = C4

Πόσο σημαντικότερο είναι το C2 σε σχέση με το C4;

3 — Μέτρια υπεροχή της γραμμής

Σύγκριση: γραμμή = C2 | στήλη = C5

Πόσο σημαντικότερο είναι το C2 σε σχέση με το C5;

3 — Μέτρια υπεροχή της γραμμής

Σύγκριση: γραμμή = C2 | στήλη = C6

Πόσο σημαντικότερο είναι το C2 σε σχέση με το C6;

1 — 1η σημασία

Σύγκριση: γραμμή = C3 | στήλη = C4

Πόσο σημαντικότερο είναι το C3 σε σχέση με το C4;

1 — 1η σημασία

Σύγκριση: γραμμή = C3 | στήλη = C5

Πόσο σημαντικότερο είναι το C3 σε σχέση με το C5;

1 — 1η σημασία

Σύγκριση: γραμμή = C3 | στήλη = C6

Πόσο σημαντικότερο είναι το C3 σε σχέση με το C6;

1/3 — Μέτρια υπεροχή της στήλης

Σύγκριση: γραμμή = C4 | στήλη = C5

Πόσο σημαντικότερο είναι το C4 σε σχέση με το C5;

1 — 1η σημασία

Σύγκριση: γραμμή = C4 | στήλη = C6

Πόσο σημαντικότερο είναι το C4 σε σχέση με το C6;

1/3 — Μέτρια υπεροχή της στήλης

Σύγκριση: γραμμή = C5 | στήλη = C6

Πόσο σημαντικότερο είναι το C5 σε σχέση με το C6;

1/3 — Μέτρια υπεροχή της στήλης

Αμοιβαίος πίνακας AHP που θα χρησιμοποιηθεί στους υπολογισμούς

	C1	C2	C3	C4
C1	1		0.3333	1
C2	3	1		3
C3	1		0.3333	1
C4	1		0.3333	1
C5	1		0.3333	1
C6	3		1	3

3 — Μέτρια υπεροχή της γραμμής

Σύγκριση: γραμμή = C3 | στήλη = C5

Πόσο σημαντικότερο είναι το C3 σε σχέση με το C5;

3 — Μέτρια υπεροχή της γραμμής

Σύγκριση: γραμμή = C3 | στήλη = C6

Πόσο σημαντικότερο είναι το C3 σε σχέση με το C6;

1 — 1η σημασία

Σύγκριση: γραμμή = C4 | στήλη = C5

Πόσο σημαντικότερο είναι το C4 σε σχέση με το C5;

1 — 1η σημασία

Σύγκριση: γραμμή = C4 | στήλη = C6

Πόσο σημαντικότερο είναι το C4 σε σχέση με το C6;

1/3 — Μέτρια υπεροχή της στήλης

Σύγκριση: γραμμή = C5 | στήλη = C6

Πόσο σημαντικότερο είναι το C5 σε σχέση με το C6;

1/3 — Μέτρια υπεροχή της στήλης

Αμοιβαίος πίνακας AHP που θα χρησιμοποιηθεί στους υπολογισμούς

	C1	C2	C3	C4
C1	1		1	
C2	1	1		0.3333
C3	1	3	3	1
C4	1		1	0.3333
C5	1		1	0.3333
C6	3		3	1

Πίνακες AHP εναλλακτικών ανά συμμετέχοντα και κριτήριο

Συγκρίσεις εναλλακτικών για DM1

Συγκρίσεις εναλλακτικών ως προς C1 για DM1

Στον AHP συγκρίνουμε πάντα το στοιχείο της γραμμής ως προς το στοιχείο της στήλης. Η κλίμακα που χρησιμοποιείται περιλαμβάνει μόνο τις βασικές τιμές Saaty (1, 3, 5, 7, 9 και τους αντιστρόφους τους). Αν επιλέξεις τιμή μεγαλύτερη από 1, σημαίνει ότι η γραμμή υπερτερεί της στήλης. Αν επιλέξεις τιμή μικρότερη από 1, σημαίνει ότι η στήλη υπερτερεί της γραμμής. Το κάτω τριγωνικό μέρος συμπληρώνεται αυτόματα από το σύστημα ως αντίστροφο.

> Κλίμακα Saaty και ερμηνεία τιμών

Σύγκριση: γραμμή = A1 | στήλη = A2

Πόσο σημαντικότερο είναι το A1 σε σχέση με το A2;

1/5 — Ισχυρή υπεροχή της στήλης

Τάξιση: A1 < A2

Στον ΑΗΡ συγκρίνουμε πάντα το στοιχείο της γραμμής ως προς το στοιχείο της στήλης. Η κλίμακα

Ην ΑΗΡ συγκρίνονται δύο αντοχές της γραμμής ως προς το στοιχείο της στήλης. Η κλίμακα που χρησιμοποιείται περιλαμβάνει μόνο τις βασικές τιμές Saaty (1, 3, 5, 7, 9 και τους αντιστρόφους τους). Αν επιλέξεις τιμή μεγαλύτερη από 1, σημαίνει ότι η γραμμή υπερτερεί της στήλης. Αν επιλέξεις τιμή μικρότερη από 1, σημαίνει ότι η στήλη υπερτερεί της γραμμής. Το κάτω τριγωνικό μέρος συμπληρώνεται αυτόματα από το σύστημα ως αντίστροφο.

Κλίμακα Saaty και ερμηνεία τιμών	
Σύγκριση: γραμμή = Α1 στήλη = Α2	
Πόσο σημαντικότερο είναι το Α1 σε σχέση με το Α2;	
3 — Μέτρια υπεροχή της γραμμής	▼
Σύγκριση: γραμμή = Α1 στήλη = Α3	
Πόσο σημαντικότερο είναι το Α1 σε σχέση με το Α3;	
1/3 — Μέτρια υπεροχή της στήλης	▼
Σύγκριση: γραμμή = Α1 στήλη = Α4	
Πόσο σημαντικότερο είναι το Α1 σε σχέση με το Α4;	
3 — Μέτρια υπεροχή της γραμμής	▼
Σύγκριση: γραμμή = Α2 στήλη = Α3	
Πόσο σημαντικότερο είναι το Α2 σε σχέση με το Α3;	
1/5 — Ισχυρή υπεροχή της στήλης	▼
Σύγκριση: γραμμή = Α2 στήλη = Α4	
Πόσο σημαντικότερο είναι το Α2 σε σχέση με το Α4;	
1 — Ίση σημασία	▼

Κλίμακα Saaty και ερωτήσεις τύπων

Σύγκριση: γραμμή = A1 | στήλη = A2

Πόσο σημαντικότερο είναι το A1 σε σχέση με το A2;

1/5 — λιγότερη υπεροχή της στήλης

Σύγκριση: γραμμή = A1 | στήλη = A3

Πόσο σημαντικότερο είναι το A1 σε σχέση με το A3;

1/5 — λιγότερη υπεροχή της στήλης

Σύγκριση: γραμμή = A1 | στήλη = A4

Πόσο σημαντικότερο είναι το A1 σε σχέση με το A4;

1/3 — Μείονα υπεροχή της στήλης

Σύγκριση: γραμμή = A2 | στήλη = A3

Πόσο σημαντικότερο είναι το A2 σε σχέση με το A3;

1 — ίση σημασία

Σύγκριση: γραμμή = A2 | στήλη = A4

Πόσο σημαντικότερο είναι το A2 σε σχέση με το A4;

3 — Μείονα υπεροχή της γραμμής

Σύγκριση: γραμμή = A3 | στήλη = A4

Πόσο σημαντικότερο είναι το A3 σε σχέση με το A4;

3 — Μείονα υπεροχή της γραμμής

Αμφίβολοι πόντοι: ΑΡΗ που θα χρησιμοποιηθεί στους υπολογισμούς

A1	A2	A3
A1	1	0.2

Πόσο σημαντικότερο είναι το A1 σε σχέση με το A2;

1/3 – Μέτρια υπεροχή της στήλης

Σύγκριση: γραμμή = A2 | στήλη = A3

Πόσο σημαντικότερο είναι το A2 σε σχέση με το A3;

1/3 — Μέτρια υπεροχή της στήλης

Σύγκριση: γραμμή = A2 | στήλη = A4

Πόσο σημαντικότερο είναι το A2 σε σχέση με το A4;

1/3 — Μέτρια υπεροχή της στήλης

Σύγκριση: γραμμή = A3 | στήλη = A4

Πόσο σημαντικότερο είναι το A3 σε σχέση με το A4;

1 — Ίση σημασία

Αμοιβαίος πίνακας AHP που θα χρησιμοποιηθεί στους υπολογισμούς

	A1	A2	A3	A4
A1		1	1	0.3333
A2		1	1	0.3333
A3		3	3	1
A4		3	3	1

Οι πίνακες AHP είναι έγκυροι. Μπορείς να προχωρήσεις στον υπολογισμό.

Υπολογισμός Αποτελεσμάτων

Consistency Ratio (CR)

CR = 0.0035

Οι συγκρίσεις θεωρούνται αποδεκτά συνεπείς.

Αποτελέσματα AHP Ranking

	Εναλλακτική	Συνολική προτεραιότητα	Θέση
0	A2	0.3222	1
1	A3	0.3057	2
2	A4	0.2194	3
3	A1	0.1527	4

Ομαδική Σύσταση

Κύρια ομαδική σύσταση: A2

Επεξήγηση της Σύστασης

Η εναλλακτική A2 προτείνεται επειδή παρουσίασε τη μεγαλύτερη συνολική προτεραιότητα στο συλλογικό AHP.

Συνολική προτεραιότητα: 0.3222

CR συλλογικού πίνακα κριτηρίων: 0.0035

Συμβολή κριτηρίων στη συνολική προτεραιότητα της προτεινόμενης εναλλακτικής:

	Κριτήριο	Βάρος κριτηρίου	Τοπική προτεραιότητα του A2	Συνεισφορά στη συνολική προτεραιότητα
0	C1	0.1703	0.4753	0.0809
1	C2	0.1832	0.0946	0.0173
2	C3	0.2196	0.4285	0.0941
3	C4	0.1272	0.3837	0.0488
4	C5	0.1415	0.4486	0.0635
5	C6	0.1581	0.1104	0.0175

Λόγοι συνέπειας πινάκων εναλλακτικών ανά κριτήριο:

	Κριτήριο	CR πίνακα εναλλακτικών
0	C1	0.0103
1	C2	0.0006
2	C3	0.0077
3	C4	0.0026
4	C5	0.0026
5	C6	0.0019

Αποτίμηση Βαθμού Συναίνεσης

Τιμές του δείκτη κοντά στο 1 υποδηλώνουν μεγαλύτερη συμφωνία των μελών της ομάδας ως προς την εξεταζόμενη εναλλακτική.

Δείκτης συναίνεσης προτεινόμενης εναλλακτικής: 0.8819

Πιο συναινετική εναλλακτική: A4

Δείκτης συναίνεσης ανά εναλλακτική:

	Εναλλακτική	Δείκτης συναίνεσης
0	A1	0.942
1	A2	0.8819
2	A3	0.901
3	A4	0.9728

B.4 Αποτελέσματα Borda Count

Ρυθμίσεις Ανάλυσης

Τύπος Ανάλυσης

Social Choice ▼

Στο Social Choice mode χρησιμοποιείται ο κανόνας Borda Count.

Σύστημα Υποστήριξης Ομαδικών Αποφάσεων και Ομαδικών Συστάσεων Πολλαπλών Κριτηρίων

Η εφαρμογή υποστηρίζει πολυκριτηριακή ανάλυση αποφάσεων, κανόνες κοινωνικής επιλογής, παρουσίαση κύριας ομαδικής σύστασης και ποσοτική αποτίμηση του βαθμού συναίνεσης όπου υπάρχουν ατομικές αριθμητικές βαθμολογίες.

Ορισμός προβλήματος

Αριθμός συμμετεχόντων

5 - +

Αριθμός εναλλακτικών λύσεων

4 - +

Κατατάξεις προτιμήσεων συμμετεχόντων

Κατάταξη DM1

DM1 - θέση 1

A2 ▼

DM1 - θέση 2

A3 ▼

DM1 - θέση 3

A4 ▼

DM1 - θέση 4

A1 ▼

Κατάταξη DM2

DM2 - θέση 1

A2 ▼

DM2 - θέση 2

A3 ▼

DM2 - θέση 3

A4 ▼

DM2 - θέση 4

A1 ▼

Κατάταξη DM3

DM3 - θέση 1

A3 ▼

DM3 - θέση 2

A2 ▼

DM3 - θέση 3

A4 ▼

DM3 - θέση 4

A1 ▼

Κατάταξη DM4

DM4 - θέση 1

A3 ▼

DM4 - θέση 2

A1 ▼

DM4 - θέση 3

A4 ▼

DM4 - θέση 4

A2 ▼

Κατάταξη DM5

DM5 - θέση 1

A3 ▼

DM5 - θέση 2

A4

DMS - θέση 3

A2

DMS - θέση 4

A1

Οι κατατάξεις είναι έγκυρες. Μπορείς να προχωρήσεις στον υπολογισμό.

Υπολογισμός Αποτελεσμάτων

Αποτελέσματα Borda Count

	Εναλλακτική	Βαθμολογία Borda	Θέση
0	A3	13	1
1	A2	9	2
2	A4	6	3
3	A1	2	4

Ομαδική Σύσταση

Κύρια ομαδική σύσταση: A3

Επεξήγηση της Σύστασης

Η εναλλακτική A3 προτείνεται επειδή συγκέντρωσε τη μεγαλύτερη συνολική βαθμολογία από τη σύνθεση των ατομικών κατατάξεων μέσω του κανόνα Borda.

Συνολική βαθμολογία Borda: 13.0000

Αποτίμηση Βαθμού Συναίνεσης

Στη ροή κοινωνικής επιλογής με κανόνα Borda η παρούσα έκδοση της εφαρμογής δεν υπολογίζει χωριστό αριθμητικό δείκτη συναίνεσης, επειδή ο υλοποιημένος δείκτης συναίνεσης εφαρμόζεται μόνο σε ροές με ατομικές αριθμητικές βαθμολογίες.

Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν.1599/1986, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης.