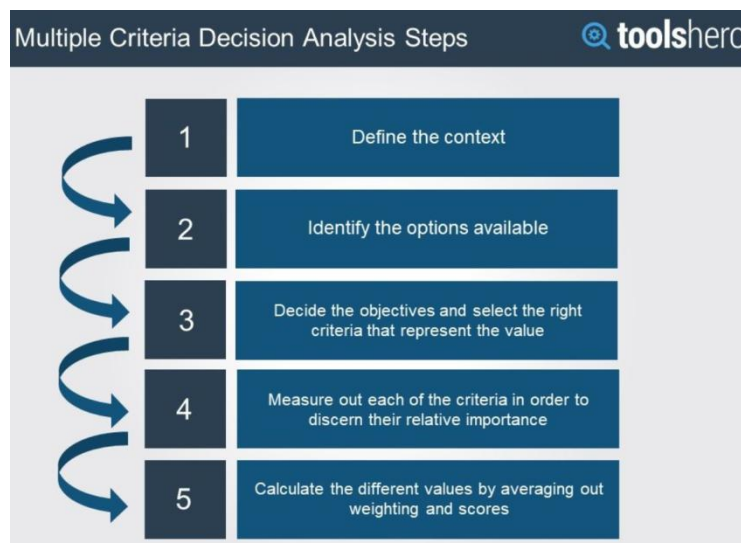


## ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

### ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

### ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

### «ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑ ΛΗΨΗ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΩΝ»



Της φοιτήτριας  
Άγκο Αϊσεγκιούλ  
Αρ. Μητρώου: 134076

Επιβλέπων  
Κώστογλου Βασίλης

Ημερομηνία 15/9/2020

Κωδικός Π.Ε : 20164

Άγκο Αϊσεγκιούλ

Κώστογλου Βασίλης

Ημερομηνία ανάληψης Π.Ε. ...

Ημερομηνία περάτωσης Π.Ε. ...

*Βεβαιώνω ότι είμαι ο συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω καταγράψει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών, εικόνων και κειμένου, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επιπλέον, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά, ειδικά ως διπλωματική εργασία, στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.ΠΑ.Ε.*

*Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία της φοιτήτριας Άγκο Αϊσεγκιούλ που την εκπόνησε/αν. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσης της εργασίας διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο της εργασίας, δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού, ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, πώληση, εμπορική χρήση, διανομή, έκδοση, μεταφόρτωση (downloading), ανάρτηση (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού.*

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η πολυκριτήρια ανάλυση αποτελεί ένα εργαλείο λήψης αποφάσεων που αναπτύχθηκε για να περιορίσει την σύγχυση που προκαλείτε σε περιπτώσεις που εμπλέκονται μεταξύ τους πολλά και διαφορετικής φύσεως κριτήρια που αφορούν συγκεκριμένες επιλογές. Ουσιαστικά με την μέθοδο αυτή επιτυγχάνετε η σύνθεση ενός μεγάλου όγκου πληροφοριών διατηρώντας παράλληλα τους στόχους και τις προτιμήσεις του εκάστοτε λήπτη της απόφασης. Τελικά, αυτό που επιδιώκουμε χρησιμοποιώντας πολυκριτηριακές μεθόδους λήψης αποφάσεων είναι ο πολιτικός συμβιβασμός ανάμεσα σε όλους τους εμπλεκόμενους φορείς , ρυθμίζοντας κατά περίπτωση και ανάλογα με τους στόχους που έχουμε θέσει, το βάρος που φέρει ο καθένας στην τελική λήψη της απόφασης.

Αποφάσισα να ασχοληθώ με αυτό το συγκεκριμένο θέμα λόγο ότι καθημερινά οι άνθρωποι όπως και εγώ ερχόμαστε αντιμέτωποι με διάφορα προβλήματα για τα οποία απαιτείται η λήψη αποφάσεων για οποιοδήποτε πρόβλημα όπως για online αγορές, για αναζήτηση προϊόντων κλπ, έτσι λοιπόν με την μέθοδο MCDA μπορεί να διευκολυνθεί η επίλυση των ποικίλων προβλημάτων και κατ' επέκταση τη λήψη αποφάσεων.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η πολυκριτήρια ανάλυση αποφάσεων έχει εξελιχθεί σε ένα σημαντικό ερευνητικό πεδίο στο χώρο της λήψης αποφάσεων, της διοικητικής αλλά και της επιχειρησιακής έρευνας. Παράλληλα, παρουσιάζονται οι κύριες ερευνητικές κατευθύνσεις που έχουν αναπτυχθεί στα πλαίσια του χώρου αυτού, οι πρόσφατες εφαρμογές σε διάφορα πεδία και τα πολυκριτήρια συστήματα αποφάσεων που έχουν αναπτυχθεί. Στην μελέτη περιπτώσεων που πραγματοποιήθηκαν στην συγκεκριμένη εργασία ανάλυσης των διαφορών μεθόδων πολυκριτήριων αποφάσεων που εφαρμόστηκαν εξήχθησαν ασφαλή συμπεράσματα.

Στην συνέχεια, αναφέρεται το μεθοδολογικό πλαίσιο της μοντελοποίησης προβλημάτων που λαμβάνονται κατά την διάρκεια μελέτης με αντίστοιχα διαγράμματα, με σκοπό την συνεκτική και παρουσίαση ομοιόμορφης κατανόησης του κάθε αναγνώστη στην μελέτη του συγκεκριμένου αντικειμένου. Επίσης, αναφέρονται και άλλες προσεγγίσεις της πολυκριτήριας λήψης αποφάσεων, όπως είναι ο πολυκριτήριος μαθηματικός προγραμματισμός, πολυκριτήρια θεωρία χρησιμότητας, θεωρία των σχέσεων, αναλυτική – συνθετική προσέγγιση και το πρόβλημα της ταξινόμησης

Στην επόμενη ενότητα που ακολουθεί, αναφέρονται τα σύνολα δεδομένων που συλλέχθηκαν με τις έγκυρες πηγές που τα συνόδευαν. Τα συγκεκριμένα δεδομένα συλλέχθηκαν για την εφαρμογή των 3 μεθόδων και είναι οι VIKOR, TOPSIS και PROMETHEE. Για κάθε μια από τις μεθόδους χωρίζονται ξεχωριστά σε δικές τους ενότητες.

Πιο συγκεκριμένα, γίνεται ανάλυση σε κάθε ενότητα ξεχωριστά της κάθε μεθόδου και η ιστορική αναδρομή. Έπειτα, ακολουθεί η θεωρία αναλυτικά με τα βήματα που πρέπει να ακολουθηθούν στην πράξη επίλυσης ενός προβλήματος και τέλος γίνεται εφαρμογή στα δεδομένα που συλλέχθηκαν, τα οποία συνοδεύονται με την κατάλληλη αιτιολόγηση για την εξαγωγή των ασφαλών συμπερασμάτων που γίνονται.

Κλείνοντας, γίνεται μια μικρή αναφορά για την μελλοντική εξέλιξη της πολυκριτήριας λήψης αποφάσεων και την ανάπτυξη περαιτέρω του αντικειμένου σε διαφορετικούς κλάδους του επαγγελματικού προσανατολισμού.

Να τονιστεί και κάτι ακόμη, πως όλη η βιβλιογραφική έρευνα, αλλά και η πρακτική εφαρμογή των μεθόδων που εφαρμόστηκαν, πραγματοποιήθηκαν χάρη στην μελέτη και έρευνα ερευνητικών άρθρων, διαλέξεων και μελέτη επιστημονικών περιοδικών με πλήρη επάρκεια παραδειγμάτων και ανάλυσης αποτελεσμάτων.

# <<Multi-criteria decision making – Analysis and implementation of methodologies>>

<<Ago Aisegioul>>

## ABSTRACT

Multi-criteria decision analysis has evolved into an important research field in the field of decision making, management science and business research. At the same time, the main research directions that have been developed in the field, the recent applications in various fields and the multi-criteria decision systems that have been developed are presented. In the case study carried out in the specific analysis work of the different methods of multi-criteria decisions that were applied, safe conclusions were drawn.

Then, the methodological framework of modeling problems that are taken during a study with corresponding diagrams is mentioned, in order to coherently and present a uniform understanding of each reader in the study of the specific object. Other approaches to multi-criteria decision making are also reported, such as multi-criteria mathematical programming, the problem of classification, and utility theory.

The following section lists the data sets collected with the valid sources that accompanied them. The specific data were collected for the application of the 3 methods, and is VIKOR, TOPSIS and PROMETHEE. For each of the methods are divided separately into their own sections.

More specifically, an analysis is made in each section separately of each method, the historical background. Then, the theory follows in detail with the steps to be followed in the practice of solving a problem and finally it is applied to the collected data, which are accompanied by the appropriate justification to draw the safe conclusions that are made.

In closing, a brief report is made on the future development of multi-criteria decision making and the further development of the subject in different branches of vocational guidance.

To emphasize one more thing, that all the bibliographic research, but also the practical application of the methods applied, were carried out thanks to the study and research of research articles, lectures and study of scientific journals with full sufficiency of examples and analysis of results.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</b> .....	<b>3</b>
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	<b>4</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>5</b>
<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</b> .....	<b>6</b>
<b>Κατάλογος Σχημάτων</b> .....	<b>8</b>
<b>Κατάλογος Διαγραμμάτων</b> .....	<b>8</b>
<b>Κατάλογος Πινάκων</b> .....	<b>8</b>
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>9</b>
<b>Κεφάλαιο 1ο: Πολυκριτήρια Ανάλυση Αποφάσεων</b> .....	<b>10</b>
1.1 Εισαγωγή στην πολυκριτήρια ανάλυση αποφάσεων.....	10
1.2 Σύντομο ιστορικό MCDM.....	10
1.2.1 Πρώιμες ρίζες.....	11
1.2.2 Πιο πρόσφατες εξελίξεις.....	11
1.2.3 Η προέλευση της ομάδας ειδικού ενδιαφέροντος για το MCDM.....	12
1.2.4 Άλλες σημαντικές διεθνείς εξελίξεις.....	13
1.3 Επίλογος.....	14
<b>Κεφάλαιο 2ο: Λήψη Αποφάσεων με Πολλαπλά Κριτήρια</b> .....	<b>15</b>
2.1 Εισαγωγή στην λήψη αποφάσεων με πολλαπλά κριτήρια.....	15
2.2 Ιστορική αναδρομή στον συγκεκριμένο τομέα της πολυκριτήριας ανάλυσης.....	15
2.3 Μεθοδολογικό πλαίσιο μοντελοποίησης προβλημάτων απόφασης με πολλαπλά κριτήρια.....	16
2.3.1 ΣΤΑΔΙΟ I : Αντικείμενο της απόφασης.....	17
2.3.2 ΣΤΑΔΙΟ II: Συνεπής Οικογένεια Κριτηρίων.....	18
2.3.3 ΣΤΑΔΙΟ III: Μοντέλο ολικής προτίμησης.....	20
2.3.4 ΣΤΑΔΙΟ IV: Υποστήριξη της απόφασης.....	20
2.4 Επίλογος.....	21
<b>Κεφάλαιο 3ο: Σημαντικότερες Θεωρητικές Προσεγγίσεις</b> .....	<b>22</b>
3.1 Εισαγωγή στις σημαντικότερες θεωρητικές προσεγγίσεις.....	22
3.1.1 Πολυκριτήριος μαθηματικός προγραμματισμός.....	24
3.1.2 Πολυκριτήρια θεωρία χρησιμότητας.....	26
3.1.3 Θεωρία των σχέσεων υπεροχής.....	27
3.1.4 Αναλυτική – Συνθετική προσέγγιση.....	28
3.2 Επίλογος.....	28
<b>Κεφάλαιο 4ο: Το Πρόβλημα της Ταξινόμησης</b> .....	<b>29</b>

4.1 Εισαγωγή στο πρόβλημα της ταξινόμησης .....	29
4.2 Επίλογος.....	31
<b>Κεφάλαιο 5ο: Αναζήτηση και Επιλογή Πραγματικών Δεδομένων από Αξιόπιστες Πηγές .....</b>	<b>32</b>
5.1 Εισαγωγή στην αναζήτηση και επιλογή πραγματικών δεδομένων .....	32
5.2 Επιλογή πραγματικών δεδομένων από αξιόπιστες πηγές.....	32
5.3 Επίλογος.....	34
<b>Κεφάλαιο 6ο: Μέθοδος VIKOR.....</b>	<b>35</b>
6.1 Εισαγωγή στην θεωρία της μεθόδου VIKOR .....	35
6.2 Χρονολογικά η τεχνική VIKOR.....	35
6.3 Μεθοδολογία VIKOR .....	37
6.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ VIKOR .....	40
6.5 Επίλογος.....	43
<b>Κεφάλαιο 7ο: Μέθοδος TOPSIS .....</b>	<b>44</b>
7.1 Εισαγωγή στην θεωρία της μεθόδου TOPSIS.....	44
7.2 Μεθοδολογία TOPSIS.....	45
7.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ TOPSIS.....	46
7.4 Επίλογος.....	49
<b>Κεφάλαιο 8ο: Μέθοδος PROMETHEE .....</b>	<b>50</b>
8.1 Εισαγωγή στην θεωρία της μεθόδου PROMETHEE .....	50
8.2 Ιστορική αναδρομή της μεθόδου PROMETHEE.....	51
8.3 Προβληματισμός MCDM με χρήση της μεθόδου PROMETHEE .....	51
8.4 Μέθοδοι PROMETHEE .....	52
8.5 Μεθοδολογία PROMETHEE .....	54
8.6 ΕΦΑΡΜΟΓΗ PROMETHEE.....	58
8.7 Επίλογος.....	63
<b>Κεφάλαιο 9ο: Συμπεράσματα.....</b>	<b>64</b>
<b>Κεφάλαιο 10ο: Μελλοντικές Επεκτάσεις .....</b>	<b>66</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>67</b>
<b>Παράρτημα Α.....</b>	<b>75</b>
<b>Παράρτημα Β.....</b>	<b>76</b>
<b>Παράρτημα Γ.....</b>	<b>77</b>

## Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 2.1: Τα βασικά στάδια της διαδικασίας λήψης αποφάσεων στα πλαίσια της πολυκριτήριας λήψης αποφάσεων .....	16
Σχήμα 2.2: Διαδικασία κατασκευής μιας συνεπούς οικογένειας κριτηρίων .....	19
Σχήμα 3.1: Συνεχή και διακριτά προβλήματα λήψης αποφάσεων και η συμβολή των θεωρητικών ρευμάτων της πολυκριτήριας ανάλυσης στην επίλυσή τους .....	23
Σχήμα 4.1: Ερευνητικές προσεγγίσεις του προβλήματος της ταξινόμησης .....	30
Σχήμα 6.1: Diagram Vikor .....	36

## Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 3.1: Total diagram .....	25
------------------------------------	----

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 6.1: Δομή του πίνακα .....	37
Πίνακας 6.2: Αλγόριθμος VIKOR .....	40
Πίνακας 6.3: Καλύτερες και χειρότερες τιμές κριτηρίων .....	41
Πίνακας 6.4: Υπολογισμός ποσότητας S, R, Q και Ταξινόμηση .....	41
Πίνακας 7.1: Αλγόριθμος TOPSIS .....	46
Πίνακας 7.2: Κανονικοποίηση πίνακα .....	47
Πίνακας 7.3: Σταθμισμένη κανονικοποίηση πίνακα .....	47
Πίνακας 7.4: Ιδανική καλύτερη (V+) και ιδανική χειρότερη τιμή (V-) .....	47
Πίνακας 7.5: Υπολογισμός ευκλείδια απόσταση από την ιδανική καλύτερη $S_i^+$ και την ιδανική χειρότερη $S_i^-$ και Υπολογισμός απόδοσης $P_i$ .....	48
Πίνακας 8.1: Αλγόριθμος PROMETHEE .....	58
Πίνακας 8.2: Κλίμακα 5 πόντων για χαρακτηριστικό ή κριτήρια “Ίπποδύναμη” .....	58
Πίνακας 8.3: Μέγιστες και Ελάχιστες τιμές των attributes .....	59
Πίνακας 8.4: Διαφορά Μέγιστης και Ελάχιστης τιμής των attributes .....	59
Πίνακας 8.5: Κανονικοποίηση για κάθε στοιχείο του πίνακα .....	60
Πίνακας 8.6: Διαφορά μεταξύ των αυτοκινήτων .....	60
Πίνακας 8.7: Αφαίρεση αρνητικών τιμών .....	61
Πίνακας 8.8: Πολλαπλασιασμός τιμής με την βαρύτητα του κάθε attribute .....	61
Πίνακας 8.9: Λειτουργία Συγκεντρωτικής Προτίμησης .....	62
Πίνακας 8.10: Υπολογισμός φραγμάτων του μέσου όρου ανά γραμμή και σε στήλη .....	62
Πίνακας 8.11: Καθορισμός ταξινόμησης κατά φθίνουσα σειρά της στήλης "ΑΠΟΣΤΑΣΗ" .....	62

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Πολυκριτήρια Ανάλυση Αποφάσεων (ΠΑΑ) (Multicriteria Decision Making, MCDM) είναι ο κλάδος εκείνος της Επιχειρησιακής Έρευνας (Operational Research) που ασχολείται με την επίλυση προβλημάτων λαμβάνοντας υπόψη περισσότερα του ενός κριτήρια απόφασης. Η διαδικασία λήψης απόφασης είναι η διαδικασία εκείνη που αποβλέπει στην επιλογή μιας λύσης (δράσης) από ένα σύνολο εναλλακτικών επιλογών. Η λήψη απόφασης γίνεται από τον αποφασίζοντα ο οποίος συγκρίνει και αξιολογεί τις εναλλακτικές λύσεις (επιλογές) ώστε να επιλεγθεί τελικά η καταλληλότερη λύση για κάποιο συγκεκριμένο πρόβλημα.

Η εισαγωγή περισσότερων του ενός κριτηρίων στη διαδικασία λήψης απόφασης οδηγεί σε μια πιο ρεαλιστική απεικόνιση των πραγματικών προβλημάτων. Η πολυκριτηριακή θεώρηση προσφέρει μεγαλύτερη ευελιξία και καλύτερη αντιμετώπιση των προβλημάτων διότι εξετάζονται περισσότερες διαστάσεις. Γι' αυτό και η Πολυκριτήρια Ανάλυση Αποφάσεων αποτελεί έναν από τους ταχύτερα αναπτυσσόμενους κλάδους της Επιχειρησιακής Έρευνας.

Στην Πολυκριτήρια Ανάλυση Αποφάσεων η συμμετοχή του αποφασίζοντα στη διαδικασία επίλυσης είναι απαραίτητη ώστε να εκφράσει τις προτιμήσεις του σε σχέση με τις επιδόσεις των εναλλακτικών επιλογών στα εξεταζόμενα κριτήρια και να καταλήξει στην τελική του απόφαση. Αν υπάρχει κάποια εναλλακτική επιλογή που να έχει την καλύτερη επίδοση ως προς όλα τα κριτήρια τότε η λύση του προβλήματος είναι προφανής. Αυτό όμως σπάνια συμβαίνει γιατί τα κριτήρια απόφασης είναι συνήθως αλληλοσυγκρουόμενα εκφράζοντας διαφορετικά χαρακτηριστικά των εναλλακτικών επιλογών.

Αρχικά, θα μελετήσουμε τη σημασία και την ιστορία της πολυκριτήριας ανάλυσης. Στην συνέχεια, αναφέρεται το μεθοδολογικό πλαίσιο της μοντελοποίησης προβλημάτων που λαμβάνονται κατά την διάρκεια μελέτης με αντίστοιχα διαγράμματα, με σκοπό την συνεκτική και παρουσίαση ομοιόμορφης κατανόησης του κάθε αναγνώστη στην μελέτη του συγκεκριμένου αντικειμένου. Επίσης θα γνωρίσουμε τις διάφορες μεθοδολογίες της που έχουν αναπτυχθεί. Οι μεθοδολογίες αυτές χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες ανάλογα με τη μορφή του μοντέλου που χρησιμοποιούν, αλλά και με τη διαδικασία ανάπτυξης του μοντέλου.

Στα επόμενα κεφάλαια παρουσιάζονται αναλυτικά τρεις μέθοδοι, η Vikor, η Topsis και η Promethee. Για κάθε μέθοδο γίνεται μια εισαγωγή, αναφέρεται η ιστορική αναδρομή τους και στη συνέχεια ακολουθεί η μεθοδολογία των μεθόδων και η εφαρμογή τους πάνω στο πρόβλημα μας. Τέλος, εξάγουμε τα συμπεράσματά μας για κάθε μέθοδο.

Κλείνοντας, γίνεται μια μικρή αναφορά για την μελλοντική εξέλιξη της πολυκριτήριας λήψης αποφάσεων.

## Κεφάλαιο 1ο: Πολυκριτήρια Ανάλυση Αποφάσεων

### 1.1 Εισαγωγή στην πολυκριτήρια ανάλυση αποφάσεων

Η πολυκριτήρια ανάλυση αποφάσεων (multicriteria decision aid, MCDA ή multicriteria decision making, MCDM) είναι ένας εξελισσόμενος χώρος της επιχειρησιακής έρευνας, ο οποίος τις τελευταίες τρεις δεκαετίες έχει γνωρίσει ιδιαίτερη άνθηση τόσο σε θεωρητικό όσο και σε πρακτικό επίπεδο.

Βασικό ρόλο στην ανάπτυξη και διάδοση της πολυκριτήριας ανάλυσης αποτέλεσε η απλή διαπίστωση ότι η επίλυση πολύπλοκων και ιδιαίτερα σημαντικών προβλημάτων λήψης αποφάσεων δεν είναι δυνατό να πραγματοποιείται μέσω μιας μονόπλευρης και μονοδιάστατης ανάλυσης. Κατά την προσπάθεια, όμως, εξέτασης όλων των παραμέτρων ενός προβλήματος και των κριτηρίων/παραγόντων που επηρεάζουν τη λήψη της κατάλληλης απόφασης, γεννάται ένα ιδιαίτερα σημαντικό πρόβλημα, το οποίο ορισμένες φορές αποθαρρύνει τους αποφασίζοντες και αναλυτές από την υιοθέτηση αυτής της πιο ρεαλιστικής προσέγγισης. Το πρόβλημα αυτό αναφέρεται στον τρόπο με τον οποίο μπορεί να πραγματοποιηθεί η σύνθεση όλων των παραμέτρων ώστε να επιτευχθεί η λήψη ορθολογικών αποφάσεων. Η αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού αποτελεί το βασικό αντικείμενο της πολυκριτήριας ανάλυσης αποφάσεων. Η κύρια όμως ειδοποιός διαφορά της πολυκριτήριας ανάλυσης από άλλες εναλλακτικές προσεγγίσεις, δεν είναι η απλή σύνθεση όλων των παραμέτρων ενός προβλήματος. Αυτή πραγματοποιείται και μέσω άλλων μεθοδολογικών προσεγγίσεων.

Το βασικό χαρακτηριστικό γνώρισμα της πολυκριτήριας ανάλυσης είναι η πραγματοποίηση της αναγκαίας σύνθεσης υπό το πρίσμα της πολιτικής λήψης των αποφάσεων και του συστήματος προτιμήσεων και αξιών, το οποίο συνειδητά ή ασυνείδητα χρησιμοποιεί ο αποφασίζοντας. Το χαρακτηριστικό αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία στο χώρο της λήψης αποφάσεων. Όπως είναι κατανοητό, το αποτέλεσμα της όποιας ανάλυσης πραγματοποιείται με σκοπό την αντιμετώπιση ενός προβλήματος λήψης αποφάσεων, έχει ως τελικό αποδέκτη τον ίδιο τον αποφασίζοντα.

Συνεπώς, η ανάπτυξη υποδειγμάτων λήψης αποφάσεων μέσω μεθοδολογικών προσεγγίσεων που δεν είναι σε θέση να ενσωματώσουν τον αποφασίζοντα και τις προτιμήσεις του στη διαδικασία ανάπτυξης των υποδειγμάτων αυτών, ουσιαστικά προσδίδουν στον αποφασίζοντα έναν παθητικό ρόλο, ο οποίος περιορίζεται στην παρακολούθηση και εφαρμογή των αποτελεσμάτων μαθηματικών υποδειγμάτων. Υπό το πρίσμα των παρατηρήσεων αυτών, η πολυκριτήρια ανάλυση έχει δώσει ιδιαίτερο ενδιαφέρον στην έρευνα θεμάτων που σχετίζονται με την ανάλυση, μαθηματική μοντελοποίηση και αναπαράσταση των προτιμήσεων που διέπουν την πολιτική λήψης αποφάσεων από τη πλευρά του εκάστοτε αποφασίζοντα. Απώτερος στόχος είναι η παροχή των απαραίτητων πληροφοριών για την υποστήριξη της διαδικασίας λήψης των αποφάσεων, συμβάλλοντας στον εντοπισμό των βασικών χαρακτηριστικών του εξεταζόμενου προβλήματος καθώς και των ιδιαιτεροτήτων των διαθέσιμων εναλλακτικών λύσεων.

### 1.2 Σύντομο ιστορικό MCDM

Μέρος της ιστορίας της λήψης αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων, της Διεθνούς Εταιρείας για τη λήψη αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων και συναφών δραστηριοτήτων από τους καθηγητές, Ralph E. Steuer και Stan Zionts (με ασίστ από τους Murat Köksalan, Kaisa Miettinen και Jyrki Wallenius)[1].

### 1.2.1 Πρώιμες ρίζες

Η παλαιότερη γνωστή αναφορά σχετικά με τη λήψη αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων μπορεί να εντοπιστεί στον Benjamin Franklin (1706 1790), ο οποίος φέρεται να είχε ένα απλό σύστημα χαρτιού για την απόφαση σημαντικών ζητημάτων. Πάρτε ένα φύλλο χαρτιού. Από τη μία πλευρά, γράψτε τα επιχειρήματα υπέρ μιας απόφασης. από την άλλη πλευρά, γράψτε τα επιχειρήματα κατά. Ξετυλίξτε επιχειρήματα σε κάθε πλευρά του χαρτιού που είναι σχετικά ίσης σημασίας. Όταν διαγράφονται όλα τα επιχειρήματα από τη μία πλευρά, η πλευρά που έχει τα υπόλοιπα επιχειρήματα είναι η πλευρά του επιχειρήματος που πρέπει να υποστηριχθεί[2]. Υποτίθεται ότι ο Franklin το χρησιμοποίησε στη λήψη σημαντικών αποφάσεων.

### 1.2.2 Πιο πρόσφατες εξελίξεις

Όταν οι Kuhn και Tucker διατύπωσαν συνθήκες βελτιστοποίησης για μη γραμμικό προγραμματισμό το 1951, εξέτασαν επίσης προβλήματα με πολλαπλούς στόχους.

Το 1955 οι Charnes, Cooper και Ferguson δημοσίευσαν ένα άρθρο που περιείχε την ουσία του προγραμματισμού στόχου, παρόλο που ο προγραμματισμός στόχου ονόματος χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά σε ένα βιβλίο που εκδόθηκε από τους Charnes και Cooper το 1961[3].

Πολλοί ερευνητές διεγείρονται από τη δουλειά των Charnes και Coopers. Ο προγραμματισμός στόχων από τότε έχει γίνει ο βασικός πυρήνας της επιστήμης διαχείρισης και της έρευνας λειτουργίας. Μεταξύ των πρώτων συντελεστών ήταν ο Bruno Contini και ο Stan Zionts (και οι δύο μελετήθηκαν με τον Cooper), οι οποίοι ανέπτυξαν ένα διαπραγματευτικό μοντέλο πολλαπλών κριτηρίων που δημοσιεύθηκε το 1968.

Ενθουσιασμένος από το πρόβλημα των πολυκριτηρίων, ο Zionts συνέχισε το έργο του και συναντήθηκε με τον Jyrki Wallenius στο Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Προηγμένων Μελετών στη Διοίκηση στις Βρυξέλλες το 1973. Συνεργαζόμενοι, βασίστηκαν σε προηγούμενες εργασίες του Zionts (και προγραμματισμός στόχων) για την ανάπτυξη της διαδραστικής μεθόδου Zionts-Wallenius για την επίλυση πολλαπλών αντικειμενικών προβλημάτων γραμμικού προγραμματισμού.

Συνεχίζοντας τη συνεργασία τους, οι Zionts και Wallenius ενώθηκαν από την Pekka Korhonen, μια φίλη και συνάδελφο της Wallenius στα τέλη της δεκαετίας του 1970. Από κοινού, εργάστηκαν σε μεθόδους και συστήματα υποστήριξης αποφάσεων για την επίλυση διαδραστικών πολλαπλών αντικειμενικών μαθηματικών προβλημάτων προγραμματισμού. Πολλοί από τους μαθητές και τους συναδέλφους τους συνέχισαν να κάνουν σημαντική έρευνα και να δημοσιεύουν σχετικά με προβλήματα πολλαπλών κριτηρίων. Σε αυτούς περιλαμβάνονται οι Steven Breslawski, Hae Wang Chung, Dilip Deshpande, Ram Gopal, Tarja Joro, Mark Karwan, Zahid Khairullah, Murat Kksalan, Vahid Lotfi, Srinivas Prasad, R. Ramesh, Jeffrey Teich, Bernardo Villareal, Hannele Wallenius, Jingguo Wang, και Γιονγκ-Σεοκ Γιουν[4].

Όσον αφορά τον προγραμματισμό στόχων, οι James Ignizio, Sang Moon Lee και Carlos Romero έγιναν σημαντικοί συντελεστές.

Προερχόμενος από άλλη κατεύθυνση, ο Ρον Χάουαρντ έγραψε ένα έγγραφο σχετικά με τις διαδοχικές διαδικασίες λήψης αποφάσεων με τον GE Kimball το 1959. Πιστεύουμε ότι χρησιμοποίησε τον όρο «ανάλυση αποφάσεων» για πρώτη φορά στα μέσα της δεκαετίας του 1960. Ένας κύριος συν-

συγγραφέας του Howard είναι ο James E. Matheson. Ο Howard Raiffa συμμετείχε στην ανάλυση αποφάσεων από νωρίς και δημοσίευσε ένα σημαντικό έργο το 1968.

Οι Ralph Keeney και Howard Raiffa δημοσίευσαν ένα σημαντικό έργο το 1976. Αυτό το βιβλίο συνέβαλε στην καθιέρωση της θεωρίας της θεωρίας πολλαπλών χαρακτηριστικών (συμπεριλαμβανομένης της θεωρίας χρησιμότητας) ως πειθαρχίας. Έγινε τυπική αναφορά και κείμενο για πολλές γενιές μελέτης ανάλυσης αποφάσεων και MCDM.

Στην Ευρώπη, ο Bernard Roy και οι συνεργάτες του ανέπτυξαν το ELECTRE, μια οικογένεια μεθόδων ανάλυσης αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων στα μέσα της δεκαετίας του 1960. Η ιδέα είναι να κατασκευαστεί ένα κατευθυνόμενο δίκτυο προτιμήσεων. Χρησιμοποιώντας το δίκτυο, οι μέθοδοι δημιουργούν ένα σύνολο αποφάσεων υψηλότερης κατάταξης ή αποφάσεων που πρέπει να θεωρούνται καλύτερες. Το 1975 η Roy ίδρυσε την Ομάδα Εργασίας EURO "Multiple Criteria Decision Aiding", η οποία πραγματοποιεί δύο συναντήσεις το χρόνο από τότε. Συνεργάτες περιλαμβάνουν τους CA Bana e Costa, Denis Bouyssou, Jean-Pierre Brans, Xavier Gandibleux, Eric Jacquet-Lagrze, Yannis Siskos, Roman Slowinski, Philippe Vincke και Constantin Zopounidis[5].

Ο Daniel Kahneman και ο αείμνηστος Amos Tversky συνέβαλαν σημαντικά στη θεωρία της συμπεριφορικής απόφασης και ο Kahneman κέρδισε το βραβείο Νόμπελ στα Οικονομικά το 2002 για τις συνεισφορές του σε αυτόν τον τομέα. Πιστεύεται ευρέως ότι ο Tversky, αν είχε ζήσει, θα είχε μοιραστεί το βραβείο Νόμπελ.

Ο καθηγητής του Ralph Steuer, John Evans, πρότεινε το θέμα της ανάπτυξης μιας απλής μεθόδου πολλαπλών κριτηρίων για τον υπολογισμό όλων των αποτελεσματικών ακραίων σημείων. Η έμπνευση προήλθε από έργα Karlin, Koopmans και Geoffrion. Ο Steuer ADBASE κωδικός υπολογιστή για τη δημιουργία αποδοτικών σημείων έγινε σημαντικός.

Ο Μιλάνο Ζελένι, φοιτητής του Po-Lung Yu στο Πανεπιστήμιο του Ρότσεστερ, πραγματοποίησε ανεξάρτητα και δημοσίευσε παρόμοιες εργασίες με τους Steuers. Τον Νοέμβριο του 1972, ο Zeleny και ένας συνάδελφός του JL Cochrane, οργάνωσαν ένα διεθνές συνέδριο για το MCDM στην Κολούμπια της Νότιας Καρολίνας. Ο Steuer και άλλοι, συμπεριλαμβανομένου του Jim Dyer, συμμετείχαν στο συνέδριο. Οι εργασίες αυτής της διάσκεψης ήταν ο πρώτος μεγάλος τόμος στο MCDM και εξακολουθεί να αναφέρεται σε μεγάλο βαθμό[6].

### 1.2.3 Η προέλευση της ομάδας ειδικού ενδιαφέροντος για το MCDM

Μετά από συναντήσεις που διοργάνωσαν οι Zionts στο Jouy-en-Josas (1975) και στο Buffalo (1977), ο Gunter Fandel, ο Tomas Gal, ο Jaap Spronk, ο Ralph Steuer, ο Andzej Wierzbicki και ο Stan Zionts, σε μια συνάντηση στο Königswinter της Γερμανίας, το 1979 ίδρυσαν το Ομάδα ειδικού ενδιαφέροντος (SIG) για το MCDM. Ο Zionts έγινε ο πρώτος ηγέτης της ομάδας. Αυτό το συνέδριο θεωρήθηκε το τρίτο συνέδριο της ομάδας, με τον Jouy-en\_Josas, τη Γαλλία και τον Μπάφαλο, στη Νέα Υόρκη το πρώτο και το δεύτερο[7]. Όλες αυτές οι συναντήσεις είχαν κάποια χρηματοδότηση για τους συμμετέχοντες.

Οι διασκέψεις MCDM συνεχίστηκαν, με την τέταρτη διοργάνωση στο Ντέλαγουερ το 1980 από τον J. Morse και την πέμπτη στο Mons, Βέλγιο το 1982 από τον P. Hansen.

Η έκτη συνάντηση διοργανώθηκε από τον Yacov Haimes στο Κλίβελαντ του Οχάιο το 1984.

Οι H. Nakayama και Y. Sawaragi διοργάνωσαν το έβδομο διεθνές συνέδριο στο Κιότο της Ιαπωνίας το 1986. Οι διοργανωτές έφτιαζαν το πανό που χρησιμοποιείται τώρα σε κάθε συνέδριο. Ο AG Lockett και ο G. Islei διοργάνωσαν το όγδοο συνέδριο[8] στο Μάντσεστερ του Ηνωμένου Βασιλείου το 1988.

Το 1990 η Ambrose Goicoechea διοργάνωσε το ένατο Διεθνές συνέδριο στο Fairfax της Βιρτζίνια. Υπήρχαν πολλοί διεθνείς επισκέπτες, ιδίως πολλοί Σοβιετικοί και άλλοι Ανατολικοί Ευρωπαίοι. Ο Έλιοτ Λίμπερμαν έπαιξε σημαντικό ρόλο στην προσέλκυση σοβιετικών και ανατολικών συμμετεχόντων. Χρειάστηκε σημαντική συγκέντρωση κεφαλαίων για να γίνει αυτό δυνατό. Οι κύριοι παίκτες στη συγκέντρωση κεφαλαίων (εκτός από το Goicoechea) ήταν οι Jerry Cohon, Rich Soland και Stan Zionts[9].

Οι Gwo-Hshiong Tzeng και PL Yu διοργάνωσαν το δέκατο συνέδριο, το 1992, στην Ταϊπέι της Ταϊβάν, που χρηματοδοτήθηκε γενναιόδωρα από την κυβέρνηση της Ταϊβάν. Πολλοί συμμετέχοντες από την Ανατολή χρηματοδοτήθηκαν γενναιόδωρα. Ο δισεκατομμυριούχος Ρώσος ολιγάρχης Μπόρις Μπερεζόφσκι (πρώην μέλος της κοινωνίας) προσφέρθηκε υποτροφία για να παρευρεθεί. Αν και δεν παρευρέθηκε, πλήρωσε προσωπικά ένα άλλο αεροπορικό εισιτήριο Ρώσων για να παρευρεθεί.

#### 1.2.4 Άλλες σημαντικές διεθνείς εξελίξεις.

Λόγω της πολυπλοκότητας των προβλημάτων, το MCDM ενσωματώθηκε ως ένα πολλά υποσχόμενο εργαλείο λήψης αποφάσεων. Δύο συνέδρια MCDM πραγματοποιήθηκαν στο IIASA στις αρχές της δεκαετίας του 1980[10].

Ορισμένοι ανατολικοί συμμετέχοντες στις δραστηριότητες του MCDM περιλαμβάνουν τους Yuli Dubov, Valerie Irikov, Ignacy Kaliszewski, Oleg Larichev, Alexander, Vladimir Noghin, Wlodzimierz Ogryczak, Alexey Petrovsky, Vladislav Podinovski, Andrzej Skulimowski, Roman Slowinski και Tadeusz Trzaskalik.

Λόγω των περιορισμένων μετατρέψιμων κεφαλαίων που συνεισέφεραν οι χώρες του ανατολικού μπλοκ για τη χρηματοδότηση της IIASA, υπήρχε σημαντικό ποσό ανατολικών χρηματικών ποσών για διασκέψεις στην ανατολή. Υπήρξαν πολλά συνέδρια στην Ανατολική Ευρώπη, που δεν θεωρούνταν μέρος της κοινωνίας[11].

Άλλα ενεργά άτομα στο MCDM περιλαμβάνουν τους Valerie Belton, Harold Benson, Joao Climaco, Kalyanmoy Deb, Matthias Ehrgott, Simon French, Raimo P. Hmlinen, Kaisa Miettinen, Masatoshi Sakawa, Serpil Sayin, Jaap Spronk και Theodor Stewart. Συγγνώμη για τυχόν παραλείψεις.

Αν και άλλες κοινωνίες έχουν αναπτυχθεί (και έχουμε αναφέρει συγκεκριμένα την Ομάδα Εργασίας Euro παραπάνω), σκοπός μας είναι να εξετάσουμε τη γενική εξέλιξη του τομέα και την ιστορία της Διεθνούς Εταιρείας για τη λήψη αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων.

Δεδομένης της πλούσιας ιστορίας του MCDM, ελπίζουμε ότι το μέλλον του τομέα μας[12] θα συνεχίσει να είναι τόσο παραγωγικό όσο το παρελθόν.

### 1.3 Επίλογος

Συμπερασματικά στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση της πολυκριτήριας ανάλυσης αποφάσεων. Η Πολυκριτήρια Ανάλυση Αποφάσεων είναι ο κλάδος εκείνος της Επιχειρησιακής Έρευνας που ασχολείται με την επίλυση προβλημάτων λαμβάνοντας υπόψη περισσότερα του ενός κριτήρια απόφασης. Η διαδικασία λήψης απόφασης είναι η διαδικασία εκείνη που αποβλέπει στην επιλογή μιας λύσης (δράσης) από ένα σύνολο εναλλακτικών επιλογών. Εν συνέχεια υπάρχει μια σύντομη ιστορική αναδρομή MCDM που αναλύεται σε 3 ενότητες, από την έναρξη της έως και τα τελευταία χρόνια. Με την σειρά: 1) οι πιο πρόσθετες εξελίξεις, 2) η προέλευση της ομάδας ειδικού ενδιαφέροντος για το MCDM και 3) άλλες σημαντικές διεθνείς εξελίξεις. Ωστόσο κανείς πριν ασχοληθεί με μια μελέτη είτε σε εργασιακό είτε σε προσωπικό περιβάλλον, παίζει σημαντικό ρόλο η μελέτη της ιστορίας και της προέλευσης ενός όρου ή μιας τεχνολογίας.

## Κεφάλαιο 2ο: Λήψη Αποφάσεων με Πολλαπλά Κριτήρια

### 2.1 Εισαγωγή στην λήψη αποφάσεων με πολλαπλά κριτήρια

Η ικανότητα του ανθρώπου να παίρνει αποφάσεις είναι ένα χαρακτηριστικό που σαφέστατα τον κάνει να ξεχωρίζει από τα υπόλοιπα πλάσματα του πλανήτη. Όλοι παίρνουμε αποφάσεις και όλες οι ενέργειές μας είναι αποτέλεσμα αυτών. Αν και η λήψη αποφάσεων είναι μια διαδικασία πολυδιάστατης φύσης αφού πάντα πραγματοποιείται ακόμη και ασυνείδητα μια ανάλυση όλων των επιμέρους παραγόντων που σχετίζονται με την απόφαση, δεν αντιμετωπίζονταν πάντα από τους ερευνητές κατά αυτόν τον τρόπο. Είναι μάλιστα χαρακτηριστικό ότι ακόμη και σήμερα η μέθοδος η οποία υποδεικνύεται από διάφορα βιβλία Επιχειρησιακής Έρευνας είναι[13]: πρώτα ορίζεται μια αντικειμενική συνάρτηση η οποία εκφράζει την προτίμηση ή μη του αποφασίζοντα και στη συνέχεια γίνεται η μεγιστοποίηση ή ελαχιστοποίηση της συνάρτησης. Η αδυναμία της μεθόδου αυτής να ανταποκριθεί στην πλειοψηφία των πολυκριτηρίων προβλημάτων λήψης αποφάσεων οδήγησε τους ερευνητές, να δώσουν στη διαδικασία λήψης αποφάσεων μια πιο ρεαλιστική μαθηματική μορφή.

### 2.2 Ιστορική αναδρομή στον συγκεκριμένο τομέα της πολυκριτηρίας ανάλυσης

Από τους πρώτους που έδειξαν ενδιαφέρον και μελέτησαν το πεδίο της πολυκριτηρίας λήψης αποφάσεων ήταν οι Ramon Llull (1232-1316), Nicolaus Cusanus (1401- 1464), Le Chevalier Jean-Charles de Borda (1733-1799), Marie Jean Antoine Nicolas de Caritat (1743-1794), Jeremy Bentham (1748-1832), Francis Ysidro Edgeworth (1845-1926). Μια πρώτη προσπάθεια επιστημονικής αντιμετώπισης του προβλήματος της σύνθεσης πολλαπλών κριτηρίων μπορεί να θεωρηθεί η εργασία του Vilfredo Federico Damaso Pareto (1896)[14], ο οποίος έθεσε τις απαραίτητες αξιωματικές βάσεις, εισάγοντας παράλληλα μια εκ των πλέον βασικών εννοιών της σύγχρονης πολυκριτηρίας ανάλυσης, την έννοια της αποτελεσματικότητας (efficiency).

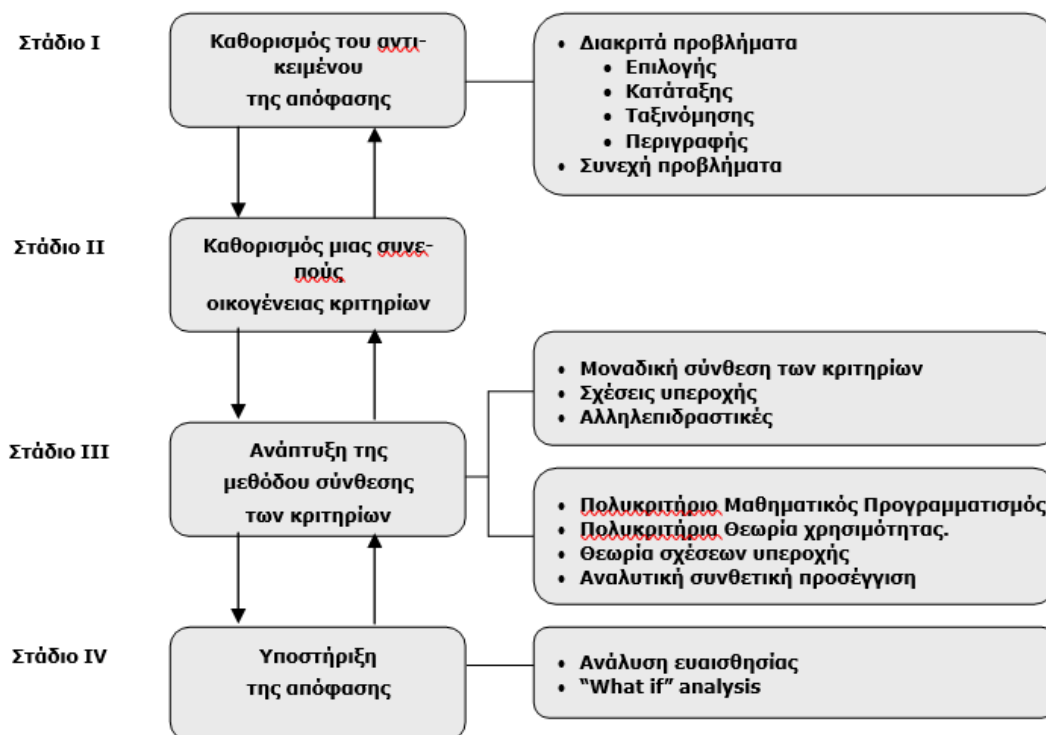
Όλες οι προαναφερθείσες εργασίες, αποτέλεσαν το έναυσμα για τους Charmes και Cooper (1961), για την πραγματοποίηση περαιτέρω έρευνας όσον αφορά τη σύνδεση της θεωρίας του γραμμικού προγραμματισμού και της πολυκριτηρίας ανάλυσης (προγραμματισμός στόχων, αγγλ. goal programming), καθώς και από τον Fishburn (1965) όσον αφορά την επέκταση της θεωρίας χρησιμότητας σε προβλήματα λήψης αποφάσεων υπό καθεστώς πολλαπλών κριτηρίων[15].

Η πολυκριτηρία ανάλυση γνώρισε ακόμη μεγαλύτερη ανάπτυξη μέσα στις επόμενες δεκαετίες, τόσο σε θεωρητικό επίπεδο όσο και σε επίπεδο πρακτικής εφαρμογής για την αντιμετώπιση διάφορων πολύπλοκων πραγματικών προβλημάτων λήψης αποφάσεων. Την ανάπτυξη αυτή βοήθησε και η ταχύτατη τεχνολογική πρόοδος που συντελέστηκε, κυρίως, κατά τις δεκαετίες του '80 και '90, και είχε ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη όλων των απαραίτητων μέσων για την υλοποίηση των μεθοδολογικών εξελίξεων της πολυκριτηρίας ανάλυσης σε ολοκληρωμένα πληροφορικά συστήματα (πολυκριτηρία συστήματα υποστήριξης αποφάσεων), τα οποία παράλληλα συνέβαλλαν και στην προώθηση των πρακτικών εφαρμογών της πολυκριτηρίας ανάλυσης[16].

### 2.3 Μεθοδολογικό πλαίσιο μοντελοποίησης προβλημάτων απόφασης με πολλαπλά κριτήρια.

Ένας από τους θεμελιωτές της σύγχρονης θεωρίας της πολυκριτήριας ανάλυσης, ο Bernard Roy (1985), προκειμένου να οριοθετήσει σε βάθος το σύνολο των δραστηριοτήτων του αναλυτή, παρουσίασε στα μέσα της δεκαετίας του 1970 ένα γενικό μεθοδολογικό πλαίσιο αντιμετώπισης πολυδιάστατων προβλημάτων λήψης αποφάσεων. Το πλαίσιο αντιμετώπισης πολυδιάστατων προβλημάτων λήψης αποφάσεων. Το πλαίσιο αυτό ουσιαστικά αποτελεί τη ραχοκοκαλιά κάθε πολυκριτήριας προσέγγισης, χαρακτηρίζει απόλυτα τη φιλοσοφία όλων των μεθοδολογιών του χώρου, και στα τριάντα και πλέον χρόνια ζωής του, αντιμετώπισε προβλήματα του μάλιστα από τα πιο απλά ως τα πλέον σύνθετα.

Το μοντέλο το Roy όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.1 αποτελείται από τέσσερα διαδοχικά αλλά αλληλεπιδρώντα στάδια, και η υλοποίηση της μεθοδολογίας στα προβλήματα δεν γίνεται απαραίτητα μέσα από μια γραμμική διαδικασία, αφού ο αναλυτής, διατρέχοντας τα στάδια είναι δυνατό να διαπιστώσει έλλειψη πληροφόρησης ή λάθη τα οποία μπορεί να διορθώσει ανατρέχοντας σε προηγούμενα στάδια. Παρακάτω εξετάζονται όλα τα στάδια αναλυτικότερα, το καθένα ξεχωριστά[17].



Σχήμα 2.1: Τα βασικά στάδια της διαδικασίας λήψης αποφάσεων στα πλαίσια της πολυκριτήριας λήψης αποφάσεων

### 2.3.1 ΣΤΑΔΙΟ I : Αντικείμενο της απόφασης

Στο στάδιο αυτό, είναι απαραίτητο να εντοπιστεί και να οριστεί το σύνολο  $\square$  των εφικτών λύσεων και δυνατών δραστηριοτήτων (αγγλ. actions) ή αλλιώς αποφάσεων και παράλληλα να καθοριστεί το αντικείμενο του προβλήματος. Το σύνολο  $A$  μπορεί να είναι συνεχές ή διακριτό. Στην πρώτη περίπτωση, το σύνολο  $A$  των εφικτών λύσεων, ορίζεται έμμεσα από μαθηματικές σχέσεις (γραμμικές ανισοεξισώσεις)[18] που έχουν το ρόλο των περιορισμών, ως υπερπολύεδρο του πραγματικού χώρου  $I$  διαστάσεων (όσες και οι μεταβλητές απόφασης). Αντίθετα στην περίπτωση που το σύνολο  $A$  είναι διακριτό, θεωρείται ότι υπάρχει ένα σαφές σύνολο εναλλακτικών δραστηριοτήτων, οι οποίες αφού καταγραφούν μπορούν να αναλυθούν ώστε να ληφθεί η κατάλληλη απόφαση. Με τον εντοπισμό του συνόλου  $\square$  καθορίζεται και το αντικείμενο της απόφασης, δηλαδή ο τρόπος με τον οποίο θα πρέπει να εξεταστούν οι εναλλακτικές δραστηριότητες ώστε το αποτέλεσμα της ανάλυσης να απαντά με σαφήνεια στο εξεταζόμενο πρόβλημα. Η εξέταση των εναλλακτικών δραστηριοτήτων μπορεί να πραγματοποιηθεί με μια εκ των ακόλουθων τεσσάρων προβληματικών[19] :

- **Προβληματική (επιλογή choice):** Η προβληματική τύπου αναφέρεται στην επιλογή μίας ή περισσότερων εναλλακτικών του συνόλου  $A$  οι οποίες θεωρούνται ως οι πλέον κατάλληλες. Για παράδειγμα, κατά την χωροθέτηση ενός εργοστασίου η προβληματική αφορά την επιλογή της πλέον κατάλληλης τοποθεσίας.
- **Προβληματική  $\beta$  (ταξινόμηση, classification/sorting):** Η προβληματική τύπου  $\beta$  αναφέρεται στην ταξινόμηση των εναλλακτικών δραστηριοτήτων σε προκαθορισμένες ομοιογενείς κατηγορίες. Για παράδειγμα κατά την αξιολόγηση μιας αίτησης αδειας, το αντικείμενο της ανάλυσης αφορά την αξιολόγηση του αιτούντα και την ταξινόμησή του είτε στην κατηγορία των αποδεκτών αιτήσεων είτε στην κατηγορία των απορριπτέων αιτήσεων.
- **Προβληματική (κατάταξη, ranking):** Η προβληματική τύπου αναφέρεται στην κατάταξη των εναλλακτικών δραστηριοτήτων από τις καλύτερες προς τις χειρότερες. Για παράδειγμα στη F1 η σειρά εκκίνησης των μονοθέσιων στον Κυριακάτικο αγώνα καθορίζεται από τα αποτελέσματα των προκριματικών ή αλλιώς των κατατακτῆριων δοκιμών του Σαββάτου. Στην περίπτωση αυτή απαιτείται η κατάταξη των μονοθέσιων βάσει του χρόνου που έχουν επιτύχει στα προκριματικά.
- **Προβληματική  $\delta$  (περιγραφή, description):** Η προβληματική τύπου  $\delta$  αναφέρεται στην περιγραφή των εναλλακτικών δραστηριοτήτων βάσει των επιδόσεών τους στα επιμέρους κριτήρια αξιολόγησης.

Την επιλογή της καταλληλότερης προβληματικής, την καθορίζει η φύση του προβλήματος που εξετάζεται, χωρίς όμως η προβληματική που έχει υιοθετηθεί να παραμένει αναγκαστικά σταθερή σε όλη τη διάρκεια της διαδικασίας απόφασης, αφού μπορεί να μεταβάλλεται ανάλογα με την πολυπλοκότητα του προβλήματος. Αυτό σημαίνει ότι σε ορισμένες περιπτώσεις, πιθανόν να απαιτείται ο συνδυασμός δύο προβληματικών για την καλύτερη αντιμετώπιση του προβλήματος[20]. Για παράδειγμα, στην περίπτωση αξιολόγησης υποψηφίων για μια θέση εργασίας σε μια εταιρία, όπου ο αριθμός των υποψηφίων είναι μεγάλος, αρχικά μπορεί να εφαρμοστεί η προβληματική  $\beta$ , για το χωρισμό των υποψηφίων σε εκείνους που δεν πληρούν και σε εκείνους που πληρούν κάποια ελάχιστα κριτήρια για τους οποίους θα εφαρμοστεί, σε δεύτερη φάση, η προβληματική για την τελική επιλογή[21].

### 2.3.2 ΣΤΑΔΙΟ ΙΙ: Συνεπής Οικογένεια Κριτηρίων

Στο δεύτερο στάδιο της διαδικασίας εντοπίζονται όλοι οι παράγοντες οι οποίοι επιδρούν στο αποτέλεσμα της ανάλυσης των εναλλακτικών δραστηριοτήτων του συνόλου  $A$ . Στα πλαίσια της πολυκριτήριας ανάλυσης αποφάσεων, κάθε παράγοντας που επιδρά στη λήψη μιας απόφασης θεωρείται ότι έχει τη μορφή ενός κριτηρίου. Ως κριτήριο ορίζεται κάθε πραγματική συνάρτηση  $g$  η οποία αποτυπώνει τη συμπεριφορά των εναλλακτικών δραστηριοτήτων σε έναν πραγματικό αριθμό, έτσι ώστε για οποιεσδήποτε δύο εναλλακτικές δραστηριότητες  $x$  και  $y$  να ισχύουν[22]:

$$g(x) > g(y) \square x \square y \text{ (η } x \text{ προτιμάται της } y) \quad (2.1)$$

$$g(x) = g(y) \square x \sim y \text{ (η } x \text{ είναι αδιάφορη της } y) \quad (2.2)$$

Οι δύο αυτές ιδιότητες της έννοιας του κριτηρίου είναι η ειδοποιός διαφορά από την έννοια του χαρακτηριστικού (attribute) που χρησιμοποιείται από άλλες μεθοδολογικές προσεγγίσεις (στατιστική, οικονομετρία, τεχνητή νοημοσύνη). Το χαρακτηριστικό δεν καθορίζει καμία προτιμησιακή συμπεριφορά όπως αυτή αναπαρίσταται μέσω των παραπάνω δύο βασικών σχέσεων[23]. Το γεγονός ότι η αριθμητική περιγραφή μιας εναλλακτικής δραστηριότητας  $x$  σε ένα χαρακτηριστικό είναι μεγαλύτερη σε σχέση με την αντίστοιχη αριθμητική περιγραφή μιας άλλης εναλλακτικής δραστηριότητας  $y$  δεν σημαίνει με κανέναν τρόπο ότι η  $x$  υπερέχει έναντι της  $y$ .

Γενικά το σύνολο των κριτηρίων  $G \square \{g_1, g_2, \dots, g_n\}$  που εντοπίζονται σε αυτό το στάδιο της διαδικασίας ανάλυσης ενός προβλήματος, πρέπει να αποτελεί μια συνεπή οικογένεια κριτηρίων (consistent family of criteria), δηλαδή να διαθέτει τις ακόλουθες βασικές ιδιότητες:

1. Συνέπεια ή μονοτονία (αγγλ. monotonicity / cohesiveness): Ένα σύνολο κριτηρίων θεωρείται ότι διαθέτει την ιδιότητα της μονοτονίας εάν και μόνο εάν για κάθε ζεύγος εναλλακτικών  $x$  και  $y$  για τις οποίες υπάρχει κάποιο κριτήριο  $g_i \square G$  τέτοιο ώστε  $g_i(x) \mathbf{f} g_i(y)$  και  $g_j(x) \square g_j(y)$  για κάθε  $j \neq i$ , συμπεραίνεται ότι  $x \mathbf{f} y$ .

Επάρκεια (αγγλ. exhaustivity): Ένα σύνολο κριτηρίων θεωρείται ότι διαθέτει την ιδιότητα της επάρκειας εάν και μόνο εάν για κάθε ζεύγος εναλλακτικών  $x$  και  $y$  τέτοιες ώστε  $g_i(x) \square g_i(y)$  για κάθε κριτήριο  $g_i \square G$ , συμπεραίνεται ότι  $x \sim y$ .

Μη πλεονασμός (αγγλ. non-redundancy): Ένα σύνολο κριτηρίων θεωρείται ότι διαθέτει την ιδιότητα του μη πλεονασμού εάν και μόνο εάν η διαγραφή ενός οποιουδήποτε κριτηρίου οδηγεί σε παραβίαση των ιδιοτήτων της μονοτονίας ή της επάρκειας.



Σχήμα 2.2: Διαδικασία κατασκευής μιας συνεπούς οικογένειας κριτηρίων

Τέλος, κλείνοντας την περιγραφή του τρίτου σταδίου της διαδικασίας ανάλυσης ενός προβλήματος παρατίθενται οι τέσσερις σημαντικότεροι τύποι κριτηρίων που χρησιμοποιούνται για την υποστήριξη αποφάσεων[24]:

- Κριτήρια ποσοτικά ή μετρικά (αγγλ. measurable ή quantitative criteria): Πρόκειται για κριτήρια των οποίων η κλίμακα προτίμησης είναι μία κλίμακα μέτρου. Ένα μετρικό κριτήριο επιτρέπει τη σύγκριση διαστημάτων στο εσωτερικό της κλίμακας. Βεβαίως, όταν ο αποφασίζων έχει ορίσει κατώφλια αδιαφορίας ή προτίμησης για την κλίμακα τιμών ενός κριτηρίου, το κριτήριο αυτό μπορεί να είναι ένα ημικριτήριο, προκριτήριο ή ψευδοκριτήριο.
- Κριτήρια ποιοτικά ή διάταξης (αγγλ. ordinal criteria): Είναι κριτήρια των οποίων η κλίμακα προτίμησης είναι μία κλίμακα διάταξης. Φυσικά ένα κριτήριο διάταξης ορίζει μόνο μια προδιάταξη (αγγλ. weak order), δηλαδή διάταξη (αγγλ. order) με ισοδυναμίες πάνω στο σύνολο των δράσεων. Σε μερικές όμως περιπτώσεις ένα κριτήριο διάταξης μπορεί να συνοδεύεται από την ύπαρξη κατωφλίων προτίμησης, όπως και στην περίπτωση ενός μετρικού κριτηρίου.
- Κριτήρια ασαφή (fuzzy criteria): Πρόκειται για κριτήρια, στα οποία η αξιολόγηση μιας δράσης είναι ένα διάστημα της κλίμακας του κριτηρίου, όπου έχει οριστεί μια συνάρτησης δυνατότητας (possibility function) που δείχνει πόσο δυνατή είναι μια τιμή του κριτηρίου. Γενικά, μια συνάρτηση δυνατότητας στη θεωρία των ασαφών συνόλων (fuzzy criteria) δεν υπόκειται σε στατιστικούς νόμους.

### 2.3.3 ΣΤΑΔΙΟ ΙΙΙ: Μοντέλο ολικής προτίμησης

Στο τρίτο στάδιο της διαδικασίας ανάλυσης ενός προβλήματος και αφού πλέον έχει καθοριστεί το σύνολο των κριτηρίων, καθορίζεται η μορφή του υποδείγματος σύνθεσης των κριτηρίων βάσει του οποίου θα αντιμετωπιστεί το αντικείμενο του προβλήματος, όπως αυτό καθορίστηκε στο πρώτο στάδιο (επιλογή, κατάταξη, ταξινόμηση, περιγραφή). Συνήθως ένα μοντέλο ολικής προτίμησης αποτελεί τον κανόνα σύνθεσης των κριτηρίων, των μοντέλων μερικής προτίμησης δηλαδή[25]. Οι δράσεις του συνόλου Α συγκρίνονται λοιπόν συνολικά με βάση το μοντέλο αυτό και τον τύπο προβληματικής που έχει οριστεί στο στάδιο Ι. Στο στάδιο ΙΙΙ, ο αναλυτής πρέπει να καθορίσει μια μέθοδο πολυκριτηρίας σύνθεσης η οποία θα επιτρέψει τη σύγκριση των δράσεων του συνόλου Α, λαμβάνοντας υπόψη συνολικά όλες τις τιμές των δράσεων πάνω στα κριτήρια της συνεπούς οικογένειας κριτηρίων[26]. Σε γενικές γραμμές πάντως, τα μοντέλα σύνθεσης πολλαπλών κριτηρίων χωρίζονται σε δύο κατηγορίες :

- Αντισταθμιστικά μοντέλα (compensatory models): Πρόκειται για μοντέλα στα οποία η υποβάθμιση ενός κριτηρίου είναι δυνατό να αποζημιωθεί από την βελτίωση της τιμής ενός άλλου κριτηρίου.
- Μη αντισταθμιστικά μοντέλα (non compensatory models): Πρόκειται για μοντέλα στα οποία η αντιστάθμιση ενός κριτηρίου από ένα άλλο δεν είναι επιτρεπτή.

Οι κυριότερες κατηγορίες πολυκριτηρίων μεθόδων, από θεωρητικής απόψεως είναι τρεις:

- 1) Συναρτησιακές μέθοδοι: Η σύνθεση των κριτηρίων επιτυγχάνεται μέσω μιας ή περισσότερων συναρτήσεων αξίας ή χρησιμότητας.
- 2) Σχεσιακές μέθοδοι: Η σύνθεση των κριτηρίων επιτυγχάνεται μέσω μιας ή περισσότερων σχέσεων υπεροχής.
- 3) Αναλυτικές μέθοδοι: Το μοντέλο σύνθεσης των κριτηρίων συμπεραίνεται έμμεσα από δεδομένα ολικής προτίμησης του αποφασίζοντος.
- 4) Στις παραπάνω κατηγορίες εντάσσονται επίσης και τα μοντέλα αποφάσεων υπό αβεβαιότητα με ένα ή πολλαπλά κριτήρια απόφασης.

### 2.3.4 ΣΤΑΔΙΟ ΙV: Υποστήριξη της απόφασης

Στο στάδιο αυτό της διαδικασίας λαμβάνουν χώρα όλες εκείνες οι δραστηριότητες οι οποίες θα βοηθήσουν τον αποφασίζοντα να κατανοήσει τα αποτελέσματα του υποδείγματος σύνθεσης των κριτηρίων που καθορίστηκε στο τρίτο στάδιο καθώς και τη διαδικασία με την οποία εξάχθηκαν τα αποτελέσματα αυτά[27]. Ο αναλυτής του προβλήματος είναι σε θέση να υλοποιήσει με επιτυχία τα αποτελέσματα της ανάλυσης, να αναζητήσει και να οργανώσει τα στοιχεία απάντησης σε συγκεκριμένα ερωτήματα που θέτουν ή ενδέχεται να θέσουν κάποιοι εμπλεκόμενοι στην διαδικασία της απόφασης και κυρίως ο αποφασίζων.

Οι τεχνικές που συμβάλλουν στην αρτιότερη υποστήριξη ή τεκμηρίωση διαφόρων επιλογών εξαρτώνται κάθε φορά από το μοντέλο ολικής προτίμησης το οποίο έχει επιλεγεί στο στάδιο ΙΙΙ.

## 2.4 Επίλογος

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στην λήψη αποφάσεων με πολλαπλά κριτήρια και υπάρχει μια σύντομη ιστορική αναδρομή της. Στην συνέχεια, αναφέρεται το μεθοδολογικό πλαίσιο της μοντελοποίησης προβλημάτων που λαμβάνονται κατά την διάρκεια μελέτης με αντίστοιχα διαγράμματα, με σκοπό την συνεκτική και παρουσίαση ομοιόμορφης κατανόησης του κάθε αναγνώστη στην μελέτη του συγκεκριμένου αντικειμένου. Επίσης αποτελείται από τέσσερα διαδοχικά αλλά αλληλεπιδρώντα στάδια. Εξετάζονται όλα τα στάδια αναλυτικότερα, το καθένα ξεχωριστά. Τα στάδια με την σειρά είναι αυτά: 1) Αντικείμενο της απόφασης, 2) Συνεπής Οικογένεια Κριτηρίων, 3) Μοντέλο ολικής απόφασης και 4) Υποστήριξη της απόφασης.

## Κεφάλαιο 3ο: Σημαντικότερες Θεωρητικές Προσεγγίσεις

### 3.1 Εισαγωγή στις σημαντικότερες θεωρητικές προσεγγίσεις

Ένα ευρύ φάσμα μεθοδολογικών προσεγγίσεων έχει προταθεί από διάφορους ερευνητές του χώρου της πολυκριτήριας ανάλυσης για την αντιμετώπιση προβλημάτων λήψης αποφάσεων. Αυτές οι θεωρητικές προσεγγίσεις διαφέρουν τόσο στη μορφή των υποδειγμάτων που αναπτύσσουν, όσο και στη διαδικασία που χρησιμοποιούν για την ανάπτυξη των υποδειγμάτων αυτών[28]. Για αυτόν ακριβώς το λόγο έχουν προταθεί διάφορες ομαδοποιήσεις των προσεγγίσεων αυτών. Πιο συγκεκριμένα ο Roy (1985) πρότεινε μια ομαδοποίηση σε τρεις κατηγορίες με βάση τη μορφή των υποδειγμάτων που αναπτύσσονται:

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

Μια εναλλακτική ομαδοποίηση των πολυκριτήριων προσεγγίσεων, προτάθηκε από τους Pardalos et al. (1995)[29]. Η ομαδοποίηση αυτή εκτός από τη μορφή των υποδειγμάτων που αναπτύσσονται, λαμβάνει υπόψη της και τον τρόπο με τον οποίο πραγματοποιείται η ανάπτυξή τους. Αυτή η ομαδοποίηση περιλαμβάνει τις ακόλουθες τέσσερις κατηγορίες:

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

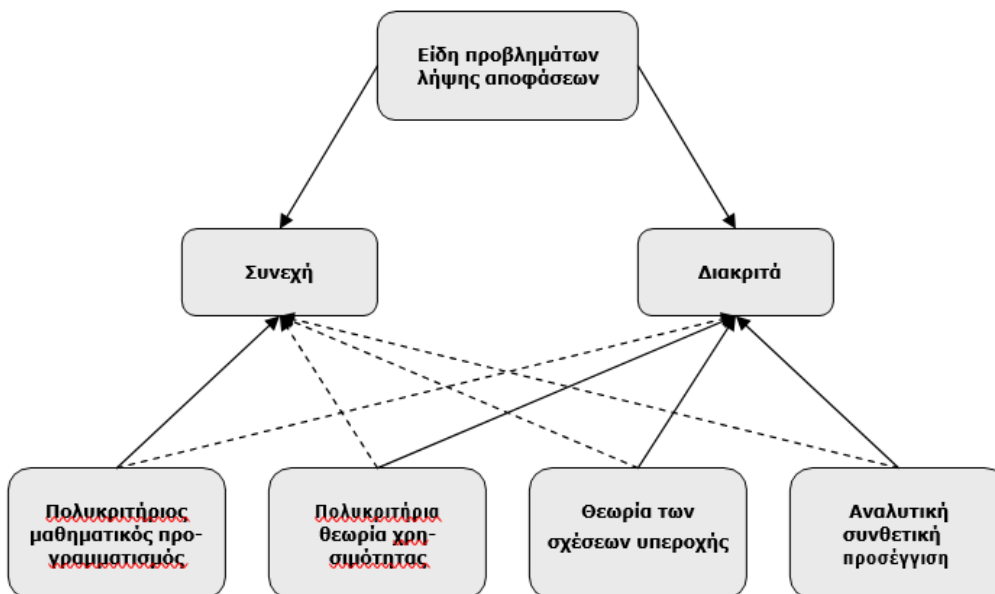
Οι τρεις τελευταίες από τις τέσσερις παραπάνω προσεγγίσεις, δηλαδή η πολυκριτήρια θεωρία χρησιμότητας, η θεωρία των σχέσεων υπεροχής και η αναλυτική συνθετική προσέγγιση, προσανατολίζονται προς την αντιμετώπιση διακριτών προβλημάτων λήψης αποφάσεων. Στόχος τους είναι η σύνθεση όλων των κριτηρίων με σκοπό την αξιολόγηση ενός πεπερασμένου συνόλου εναλλακτικών δραστηριοτήτων σύμφωνα με τις προβληματικές της επιλογής, κατάταξης ή ταξινόμησης[30]. Αντίθετα ο πολυκριτήριο μαθηματικός προγραμματισμός αποτελεί μια γενίκευση της θεωρίας του μαθηματικού προγραμματισμού σε περιπτώσεις όπου πρέπει να βελτιστοποιηθούν πολλαπλές αντικειμενικές συναρτήσεις.

Όπως μπορεί κανείς να διακρίνει και από την εικόνα κάθε θεωρητικό ρεύμα της πολυκριτήριας ανάλυσης δεν περιορίζεται στην αντιμετώπιση μόνο διακριτών ή μόνο συνεχών προβλημάτων λήψης αποφάσεων. Πιο συγκεκριμένα, η πολυκριτήρια θεωρία χρησιμότητας, η θεωρία των σχέσεων υπεροχής και η αναλυτική συνθετική προσέγγιση μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως εργαλεία για

την αντιμετώπιση συνεχών προβλημάτων, συμβάλλοντας στην αποτύπωση του συστήματος αξιών και προτιμήσεων του αποφασίζοντος σε ένα μαθηματικό υπόδειγμα.

Το υπόδειγμα αυτό χρησιμοποιούμενο σε συνδυασμό με τεχνικές πολυκριτήριου μαθηματικού προγραμματισμού μπορεί να οδηγήσει στην επίλυση συνεχών προβλημάτων[31]. Αντίστοιχα και ο πολυκριτήριος μαθηματικός προγραμματισμός μπορεί να συμβάλει στην αντιμετώπιση διακριτών προβλημάτων. Παρακάτω θα αναπτυχθεί μια σύντομη περιγραφή κάθε μιας από τις παραπάνω προσεγγίσεις.

Όπως βέβαια είναι εμφανές από το παρακάτω Σχήμα 3.1 η συμβολή του κάθε θεωρητικού ρεύματος της πολυκριτήριας ανάλυσης δεν περιορίζεται στην αντιμετώπιση μόνο ενός είδους προβλημάτων λήψης αποφάσεων (συνεχή ή διακριτά). Αναλυτικότερα, η πολυκριτήρια θεωρία χρησιμότητας, η θεωρία των σχέσεων υπεροχής και η αναλυτική-συνθετική προσέγγιση μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως εργαλεία για την αντιμετώπιση συνεχών προβλημάτων, συμβάλλοντας στην αποτύπωση του συστήματος αξιών και προτιμήσεων του αποφασίζοντος σε ένα μαθηματικό υπόδειγμα[32]. Το υπόδειγμα αυτό χρησιμοποιούμενο σε συνδυασμό με τεχνικές πολυκριτήριου μαθηματικού προγραμματισμού μπορεί να οδηγήσει στην επίλυση συνεχών προβλημάτων (για παράδειγμα καθορισμός της σύνθεσης ενός χαρτοφυλακίου χρεογράφων το οποίο βελτιστοποιεί τη συνάρτηση χρησιμότητας του επενδυτή). Αντίστοιχα, και ο πολυκριτήριος μαθηματικός προγραμματισμός μπορεί να συμβάλει στην αντιμετώπιση διακριτών προβλημάτων.



Σχήμα 3.1: Συνεχή και διακριτά προβλήματα λήψης αποφάσεων και η συμβολή των θεωρητικών ρευμάτων της πολυκριτήριας ανάλυσης στην επίλυσή τους

### 3.1.1 Πολυκριτήριος μαθηματικός προγραμματισμός

Ο πολυκριτήριος μαθηματικός προγραμματισμός αποτελεί μια επέκταση της γνωστής θεωρίας του μαθηματικού προγραμματισμού, στην περίπτωση όπου υπάρχουν πολλαπλές αντικειμενικές συναρτήσεις προς βελτιστοποίηση[33]. Η γενική μαθηματική διατύπωση ενός προβλήματος πολυκριτήριου μαθηματικού προγραμματισμού έχει την ακόλουθη μορφή:

$$\begin{aligned} & \text{Μεγιστοποίηση } \{ f_1(\mathbf{x}), f_2(\mathbf{x}), \dots, f_n(\mathbf{x}) \} \\ & \text{Υπό περιορισμούς: } \mathbf{x} \in A \end{aligned} \quad (3.1)$$

όπου  $x$  είναι το διάνυσμα των μεταβλητών απόφασης,  $f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)$  είναι οι αντικειμενικές συναρτήσεις του προβλήματος και  $A$  είναι ο χώρος των εφικτών λύσεων το οποίο οριοθετείται από σύνολο περιορισμών.

Η αναζήτηση μιας τέτοιας λύσης περιορίζεται στο σύνολο των αποτελεσματικών λύσεων (efficient set). Κάθε εφικτή λύση ονομάζεται αποτελεσματική εάν και μόνο εάν δεν υπάρχει καμία άλλη λύση που να υπερτερεί έναντι αυτής σε όλους τους προκαθορισμένους στόχους (αντικειμενικές συναρτήσεις)[34]. Κάθε αποτελεσματική λύση λέγεται ότι είναι βέλτιστη κατά Pareto.

Για παράδειγμα στην Εικόνα 6 το σύνολο των αποτελεσματικών λύσεων βρίσκεται μεταξύ της περιοχής  $AE$ . Οποιαδήποτε άλλη λύση του χώρου των εφικτών λύσεων είναι μη αποτελεσματική. Έτσι η λύση  $Z$  είναι μη αποτελεσματική γιατί υπάρχουν οι λύσεις  $\Gamma$  και  $\Delta$  οι οποίες υπερέχουν έναντι της λύσης  $Z$ :

$$f_1(\Gamma) > f_1(Z) \text{ και } f_2(\Gamma) > f_2(Z), f_1(\Delta) > f_1(Z) \text{ και } f_2(\Delta) = f_2(Z). \quad (3.2)$$

Για την αντιμετώπιση προβλημάτων πολυκριτήριου μαθηματικού προγραμματισμού η βελτιστοποίηση ενός απλού γραμμικού συνδυασμού των αντικειμενικών συναρτήσεων δεν είναι επαρκής[35]. Στην περίπτωση όπου ο χώρος των εφικτών λύσεων δεν αποτελεί ένα κυρτό σύνολο, όπως στην περίπτωση του σχήματος που ακολουθεί, τότε η χρησιμοποίηση ενός γραμμικού συνδυασμού της μορφής  $z = w_1 * f_1 + w_2 * f_2$  και έτσι λοιπόν έχουμε ότι οδηγεί, όπως παρουσιάζεται στο παραπάνω σχήμα, μόνο στον εντοπισμό των λύσεων  $B$  και  $\Delta$  αγνοώντας όλες τις άλλες λύσεις που ανήκουν στο σύνολο των αποτελεσματικών λύσεων  $AE$ .

Είναι λοιπόν προφανές ότι η επίλυση προβλημάτων πολυκριτήριου μαθηματικού προγραμματισμού απαιτεί τη χρησιμοποίηση διαδικασιών αναζήτησης λύσεων σε όλο το εύρος του συνόλου των αποτελεσματικών λύσεων. Οι διαδικασίες που έχουν αναπτυχθεί για το σκοπό αυτό λειτουργούν αλληλεπιδραστικά (interactive) και επαναληπτικά (iterative). Σε πρώτη φάση εντοπίζεται μια αρχική αποτελεσματική λύση και παρουσιάζεται στον αποφασίζοντα[36]. Εάν η λύση αυτή κριθεί από τον αποφασίζοντα ικανοποιητική βάσει των προκαθορισμένων στόχων του προβλήματος, τότε η διαδικασία επίλυσης περατώνεται. Στην αντίθετη περίπτωση, ο αποφασίζοντας πρέπει να καθορίσει ορισμένες πληροφορίες σχετικά με τις προτιμήσεις του στους προκαθορισμένους στόχους του προβλήματος. Οι πληροφορίες αυτές μπορούν να αφορούν τον καθορισμό των στόχων που πρέπει να βελτιωθούν και τις αντίστοιχες παραχωρήσεις (trade-offs) που πρέπει να γίνουν στους υπόλοιπους στόχους, τον καθορισμό μιας λύσης «αναφοράς», την αξιολόγηση ορισμένων λύσεων που παράγονται με βάση τις πληροφορίες που καθορίζονται στη διάρκεια της διαδικασίας επίλυσης, κλπ. Τα στοιχεία αυτά καθορίζουν στην ουσία την κατεύθυνση προς την οποία θα πρέπει να κινηθεί η διαδικασία διερεύνησης του αποτελεσματικού συνόλου. Με τον καθορισμό των πληροφοριών αυτών εντοπίζεται



1. Προσδιορίστε τους απαιτούμενους πόρους για να επιτύχετε ένα επιθυμητό σύνολο στόχων.
2. Προσδιορίστε το βαθμό επίτευξης των στόχων με τους διαθέσιμους πόρους.
3. Παροχή της καλύτερης ικανοποιητικής λύσης με ποικίλους πόρους και προτεραιότητες των στόχων.

Ο προγραμματισμός στόχου χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από τους Charnes, Cooper και Ferguson το 1955, αν και το πραγματικό όνομα εμφανίστηκε για πρώτη φορά σε ένα κείμενο του 1961 από τους Charnes και Cooper, Ignizio, Ignizio και Cavalier και Romero που ακολουθεί. Ο Schriederjans δίνει σε μια βιβλιογραφία μεγάλου αριθμού άρθρων πριν από το 1995 σχετικά με τον προγραμματισμό στόχων και οι Jones και Tamiz δίνουν μια σχολιασμένη βιβλιογραφία της περιόδου 1990-2000. Ένα πρόσφατο εγχειρίδιο των Jones και Tamiz, που παρέχει μια ολοκληρωμένη επισκόπηση του state-of-the-art στον προγραμματισμό στόχων[39].

Η πρώτη εφαρμογή της μηχανικής του προγραμματισμού του στόχου, λόγω της Ignizio το 1962, ήταν ο σχεδιασμός και η τοποθέτηση των κεραιών που χρησιμοποιούνται για τη δεύτερη φάση του Κρόνου V. Αυτό χρησιμοποιήθηκε για την εκτόξευση του διαστημικού καψακίου Apollo που προσγειώθηκε τους πρώτους άντρες στο φεγγάρι.

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα του προγραμματισμού στόχων είναι η απλότητα και η ευκολία χρήσης του. Αυτό αντιπροσωπεύει τον μεγάλο αριθμό εφαρμογών προγραμματισμού στόχων σε πολλά και διαφορετικά πεδία. Τα προγράμματα γραμμικού στόχου μπορούν να επιλυθούν χρησιμοποιώντας λογισμικό γραμμικού προγραμματισμού είτε ως ένα γραμμικό πρόγραμμα είτε στην περίπτωση της λεξικογραφικής παραλλαγής, μια σειρά συνδεδεμένων γραμμικών προγραμμάτων[40].

Ο προγραμματισμός στόχου μπορεί επομένως να χειριστεί σχετικά μεγάλο αριθμό μεταβλητών, περιορισμών και στόχων. Μια συζητημένη αδυναμία είναι η ικανότητα του προγραμματισμού στόχων να παράγει λύσεις που δεν είναι αποτελεσματικές από το Pareto . Αυτό παραβιάζει μια θεμελιώδη έννοια της θεωρίας αποφάσεων , ότι κανένας ορθολογικός υπεύθυνος λήψης αποφάσεων δεν θα επιλέξει εν γνώσει του μια λύση που δεν είναι αποτελεσματική από το Pareto. Ωστόσο, είναι διαθέσιμες τεχνικές για τον εντοπισμό τότε συμβαίνει αυτό και την προβολή της λύσης στο αποτελεσματικό διάλυμα Pareto με κατάλληλο τρόπο.

Ο καθορισμός κατάλληλων βαρών στο μοντέλο προγραμματισμού στόχου είναι ένας άλλος τομέας που έχει προκαλέσει συζήτηση, με ορισμένους συγγραφείς να προτείνουν τη χρήση της διαδικασίας αναλυτικής ιεραρχίας ή διαδραστικών μεθόδων για το σκοπό αυτό[41].

### 3.1.2 Πολυκριτήρια θεωρία χρησιμότητας

Η πολυκριτήρια θεωρία χρησιμότητας (multiattribute utility theory) αποτελεί γενίκευση της κλασικής θεωρίας χρησιμότητας. Ήδη από τα πρώτα στάδια ανάπτυξης της πολυκριτήριας ανάλυσης, η πολυκριτήρια θεωρία χρησιμότητας αποτέλεσε (και αποτελεί) έναν από τους ακρογωνιαίους λίθους της θεωρητικής ανάπτυξης και πρακτικής εφαρμογής των αρχών της πολυκριτήριας ανάλυσης. Έμμεσα ή άμεσα και τα υπόλοιπα θεωρητικά ρεύματα της πολυκριτήριας ανάλυσης βασίζονται στις βασικές έννοιες και αρχές της πολυκριτήριας θεωρίας χρησιμότητας[48]. Ο πολυκριτήριος μαθηματικός προγραμματισμός και ο προγραμματισμός στόχων που ήδη παρουσιάστηκαν, ουσιαστικά αποσκοπούν στον εντοπισμό μιας αποτελεσματικής λύσης, η οποία

μεγιστοποιεί τη χρησιμότητα του αποφασίζοντος. Μάλιστα, βασικό σημείο ορισμένων μεθόδων πολυκριτηρίου μαθηματικού προγραμματισμού αποτελεί η σαφής ανάπτυξη της συνάρτησης χρησιμότητας που διέπει την πολιτική που ακολουθεί ο αποφασίζοντας, η οποία στη συνέχεια μεγιστοποιείται στην περιοχή των εφικτών λύσεων ώστε να εντοπιστεί η κατάλληλη αποτελεσματική λύση.

Σκοπός της πολυκριτηρίας θεωρίας χρησιμότητας είναι η μοντελοποίηση και αναπαράσταση του συστήματος αξιών που συνειδητά ή ασυνειδητά ακολουθεί ο αποφασίζοντας, μέσω μιας συνάρτησης αξιών/χρησιμότητας  $U$ . Η συνάρτηση αυτή εκφράζεται βάσει του συνόλου των κριτηρίων αξιολόγησης τα οποία καθορίζουν το αποτέλεσμα της αξιολόγησης:  $U(G) = U(g_1, g_2, \dots, g_N)$  [49]. Γενικά, οι συναρτήσεις χρησιμότητας είναι μη γραμμικές αύξουσες συναρτήσεις οριζόμενες στο πεδίο τιμών των αντίστοιχων κριτηρίων αξιολόγησης, οι οποίες ανταποκρίνονται στις ακόλουθες δύο βασικές ιδιότητες.

$$\begin{aligned} U(G_x) > U(G_y) &\Leftrightarrow x \succ y \\ U(G_x) = U(G_y) &\Leftrightarrow x \sim y \end{aligned} \quad (3.3)$$

Αναλυτική παρουσίαση της πολυκριτηρίας θεωρίας χρησιμότητας, των θεωρητικών αρχών που τη διέπουν, καθώς και των εφαρμογών της, πραγματοποιείται στο βιβλίο των Keeney και Raiffa (1993).

Γενικά, η διαδικασία ανάπτυξης μιας συνάρτησης χρησιμότητας βασίζεται στη συνεργασία ενός ειδικού αναλυτή με τον αποφασίζοντα[50]. Για τον σαφή καθορισμό της συνάρτησης χρησιμότητας θα πρέπει να καθοριστούν το επίπεδο σημαντικότητας των κριτηρίων αξιολόγησης, καθώς και η μορφή των συναρτήσεων μερικών χρησιμότητας.

Όπως προαναφέρθηκε, οι συντελεστές βαρύτητας των κριτηρίων αξιολόγησης έχουν την έννοια των παραχωρήσεων που ο αποφασίζοντας είναι διατεθειμένος να κάνει σε ένα κριτήριο αξιολόγησης προκειμένου να βελτιώσει κάποιο άλλο κριτήριο αξιολόγησης. Για τον καθορισμό των συναρτήσεων μερικών χρησιμότητας, στη διεθνή βιβλιογραφία έχουν παρουσιαστεί διάφορες αλληλεπιδραστικές τεχνικές.

Οι τεχνικές αυτές προσπαθούν με άμεσο τρόπο και βάσει απλών ερωτήσεων να «αποσπάσουν» από τον αποφασίζοντα τις πληροφορίες που απαιτούνται ώστε να καθοριστεί ο τρόπος με τον οποίο αξιολογεί τις εξεταζόμενες εναλλακτικές δραστηριότητες σε κάθε ένα από τα κριτήρια[51]. Η πλέον γνωστή τέτοια τεχνική είναι αυτή του σημείου μέσης αξίας (midpoint value technique, Keeney and Raiffa, 1993).

Παράλληλα, έχουν αναπτυχθεί και διάφορα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων τα οποία υλοποιούν μεθόδους που επιτρέπουν την αλληλεπιδραστική ανάπτυξη και χρησιμοποίηση συναρτήσεων χρησιμότητας, ιδιαίτερα προσθετικής μορφής. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το σύστημα MACBETH (Bana e Costa and Vansnick, 1994)[52].

### 3.1.3 Θεωρία των σχέσεων υπεροχής

Οι σχέσεις υπεροχής σύμφωνα με τις οποίες προκειμένου να ληφθεί η τελική απόφαση δεν είναι πάντα αναγκαία αλλά ούτε και ρεαλιστική η πλήρης διάταξη των εναλλακτικών επιλογών, γεγονός

που προκύπτει από το αξίωμα της ολικής και μεταβατικής συγκρισιμότητας. Η θεωρία αυτή εφαρμόστηκε από τον Roy (1968) με την οικογένεια μεθόδων ELECTRE στην ανάλυση συμπεριφοράς (Roy, 1985, Roy and Bouyssou, 1993). Οι μέθοδοι αυτές βασίζονται στη δυαδική σχέση των προτιμήσεων μέσα από τις ανά ζεύγη συγκρίσεις των εναλλακτικών ενεργειών.

### 3.1.4 Αναλυτική – Συνθετική προσέγγιση

Η αναλυτική-συνθετική προσέγγιση προσανατολίζεται στην ανάπτυξη ενός γενικού μεθοδολογικού πλαισίου, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση των αποφάσεων που λαμβάνει ο αποφασίζοντας έτσι ώστε να καθοριστεί το κατάλληλο υπόδειγμα σύνθεσης των κριτηρίων το οποίο ανταποκρίνεται στο σύστημα αξιών και προτιμήσεων του αποφασίζοντα

## 3.2 Επίλογος

Στο τρίτο κεφάλαιο της πτυχιακής εργασίας, αρχικά γίνεται μια εισαγωγή στις σημαντικότερες θεωρητικές προσεγγίσεις. Στην συνέχεια αναφέρονται διάφορες μεθοδολογίες της που έχουν αναπτυχθεί . Οι μεθοδολογίες αυτές χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες ανάλογα με τη μορφή του μοντέλου που χρησιμοποιούν, αλλά και με τη διαδικασία ανάπτυξης του μοντέλου. Όπως είναι ο πολυκριτήριος μαθηματικός προγραμματισμός, πολυκριτήρια θεωρία χρησιμότητας, θεωρία των σχέσεων και αναλυτική – συνθετική προσέγγιση.

## Κεφάλαιο 4ο: Το Πρόβλημα της Ταξινόμησης

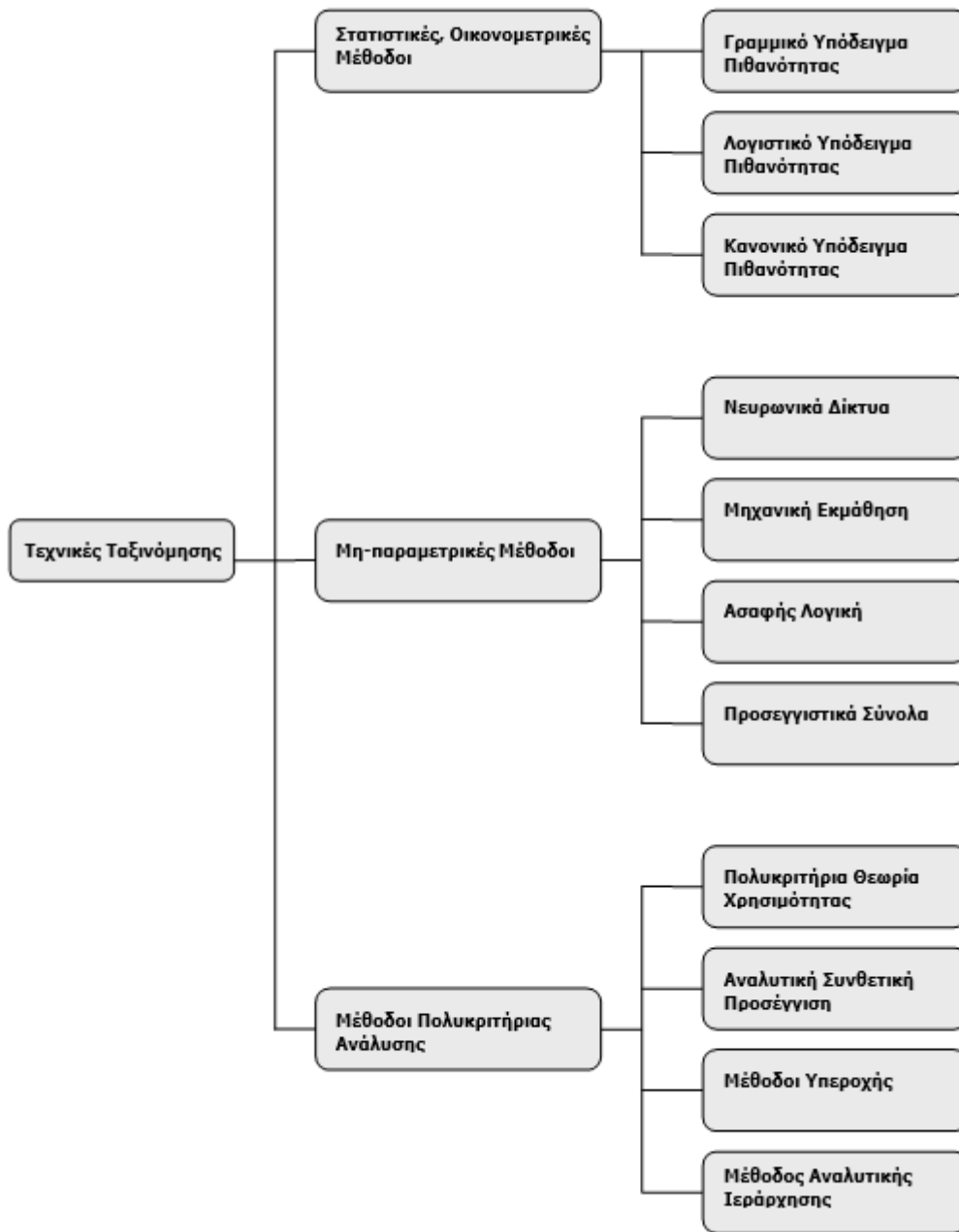
### 4.1 Εισαγωγή στο πρόβλημα της ταξινόμησης

Η Πολυκριτήρια Ανάλυση Αποφάσεων αντιμετωπίζει το πρόβλημα της ταξινόμησης ως ανάθεση των στοιχείων του συνόλου των εναλλακτικών ενεργειών σε κατηγορίες. Η ταξινόμηση αυτή γίνεται με εξέταση της αξίας των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων των εναλλακτικών αυτών μέσω προκαθορισμένων κανόνων. Οι κατηγορίες καθορίζονται από ένα σύνολο στοιχείων αναφοράς ή πρότυπα (ιδεατές εναλλακτικές) και διακρίνονται σε διατεταγμένες ή μη, ανάλογα με την μοντελοποίηση του προβλήματος. Οι διατεταγμένες κατηγορίες χαρακτηρίζονται από μια αλληλουχία στοιχείων, τα οποία θέτουν τα όρια μεταξύ των κατηγοριών. Αυτού του είδους η ταξινόμηση ονομάζεται ονομαστική (αγγλ. nominal). Οι μη-διατεταγμένες κατηγορίες χαρακτηρίζονται από ένα ή περισσότερα στοιχεία αναφοράς (ή πρωτότυπα)[42]. Αντίστοιχα, αυτού του είδους η ταξινόμηση ονομάζεται σχετική (αγγλ. ordinal). Η ειδοποιός διαφορά μεταξύ ονομαστικής και σχετικής ταξινόμησης έγκειται στην ερμηνεία του αποτελέσματος της ταξινόμησης.

Βασικό στοιχείο διαφοροποίησης των αποτελεσμάτων της ανάλυσης είναι η πραγματοποίηση απόλυτων ή σχετικών συγκρίσεων. Στην πρώτη περίπτωση, οι εναλλακτικές συγκρίνονται απευθείας μεταξύ τους, ενώ τα αποτελέσματα είναι της μορφής «η εναλλακτική α είναι καλύτερη της b» χωρίς όμως αυτό να σημαίνει πως η α είναι μια καλή εναλλακτική. Στη δεύτερη περίπτωση, κάθε εναλλακτική εξετάζεται ανεξάρτητα από τις υπόλοιπες, έτσι ώστε η αξία της να καθοριστεί από την σύγκριση με κάποια προκαθορισμένα πρότυπα. Η αξιολόγηση των εναλλακτικών οδηγεί σε κατάταξή τους σε κατηγορίες οι οποίες συνιστούν (ή όχι) αποδεκτές λύσεις[43]. Έτσι, η ταξινόμηση καθορίζεται από τα προδιαγεγραμμένα πρότυπα, και όχι από το σύνολο των διαθέσιμων εναλλακτικών.

Η πολυκριτήρια ανάλυση ασχολείται κυρίως με τη λεγόμενη διατεταγμένη ταξινόμηση, στην οποία η κατάταξη των εναλλακτικών γίνεται σε σχετικές κατηγορίες. Η ταξινόμηση και η διάκριση αφορούν την κατάταξη των εναλλακτικών σε ονομαστικές κατηγορίες. Η κατάταξη σε ονομαστικές κατηγορίες δηλώνει την ομαδοποίηση των εναλλακτικών με βάση μια σειρά κοινών χαρακτηριστικών, αλλά δεν συνεπάγεται ότι οι εναλλακτικές μιας κατηγορίας είναι καλύτερες ή χειρότερες από τις εναλλακτικές των άλλων κατηγοριών[44].

Οι ερευνητικές προσεγγίσεις του προβλήματος της ταξινόμησης διακρίνονται σε τρεις βασικές κατηγορίες σύμφωνα με την διεθνή βιβλιογραφία, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα που ακολουθεί. Η πρώτη κατηγορία στο Σχήμα 4.1 περιλαμβάνει στατιστικές (Fisher, 1936, Smith, 1947) και οικονομετρικές μεθόδους (McFadden and Manski, 1980), οι οποίες θεωρούνται ως οι πλέον κλασσικές προσεγγίσεις των προβλημάτων λήψης απόφασης με πολλαπλά κριτήρια. Πιο συγκεκριμένα, η στατιστική αντιμετωπίζει το πρόβλημα της ταξινόμησης θεωρώντας ότι η κάθε κατηγορία αντιστοιχεί σε ένα «πληθυσμό» (population)[45]. Ως σημαντικότερες προσεγγίσεις του χώρου θεωρούνται οι πολυδιάστατες τεχνικές όπως η γραμμική και η τετραγωνική διακριτική ανάλυση (linear and quadratic discriminant analysis). Από την άλλη μεριά, όσον αφορά το χώρο των οικονομετρικών μεθόδων ταξινόμησης, οι σημαντικότερες προσεγγίσεις βασίζονται στο γραμμικό, το λογιστικό και το κανονικό υπόδειγμα πιθανότητας (linear, logit and probit analysis).



Σχήμα 4.1: Ερευνητικές προσεγγίσεις του προβλήματος της ταξινόμησης

Η δεύτερη κατηγορία αφορά σε μη-παραμετρικές μεθόδους, οι οποίες έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία 15 με 20 χρόνια. Οι προσεγγίσεις αυτές παρέχουν αυξημένη ευελιξία στο χρήστη, καθώς δεν περιορίζονται από τις ανάγκες εντοπισμού και ανάλυσης των στατιστικών ιδιοτήτων των δεδομένων του εκάστοτε προβλήματος[46]. Πιο συγκεκριμένα, το πρόβλημα της ταξινόμησης αντιμετωπίζεται από ερευνητικές περιοχές όπως τα νευρωνικά δίκτυα (neural networks), η μηχανική εκμάθηση (machine learning), η ασαφής λογική (fuzzy logic) και τα προσεγγιστικά σύνολα (rough set theory).

Η τρίτη κατηγορία αφορά στην πολυκριτήρια ανάλυση, σύμφωνα με την οποία υπάρχουν δύο διαφορετικές θεωρήσεις του προβλήματος της ταξινόμησης. Αυτές είναι η άμεση και η έμμεση, οι

οποίες διακρίνονται από τη σημαντικότητα του ρόλου του λήπτη της απόφασης. Στην πρώτη θεώρηση, τα υποδείγματα ταξινόμησης καθορίζονται από τις πληροφορίες που αποσπώνται από τον λήπτη της απόφασης[47]. Αντιπροσωπευτικές τεχνικές που βασίζονται σε τέτοιου τύπου ανάλυση είναι η Πολυκριτήρια Θεωρία Χρησιμότητας και η θεωρία των Σχέσεων Υπεροχής.

## 4.2 Επίλογος

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στο πρόβλημα της ταξινόμησης και στη συνέχεια οι ερευνητικές προσεγγίσεις του προβλήματος της ταξινόμησης διακρίνονται σε τρεις βασικές κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει στατιστικές και οικονομετρικές μεθόδους, οι οποίες θεωρούνται ως οι πλέον κλασσικές προσεγγίσεις των προβλημάτων λήψης απόφασης με πολλαπλά κριτήρια. Η δεύτερη κατηγορία αφορά σε μη-παραμετρικές μεθόδους, οι οποίες έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία 15 με 20 χρόνια. Η τρίτη κατηγορία αφορά στην πολυκριτήρια ανάλυση, σύμφωνα με την οποία υπάρχουν δύο διαφορετικές θεωρήσεις του προβλήματος της ταξινόμησης. Αυτές είναι η άμεση και η έμμεση, οι οποίες διακρίνονται από τη σημαντικότητα του ρόλου του λήπτη της απόφασης.

## Κεφάλαιο 5ο: Αναζήτηση και Επιλογή Πραγματικών Δεδομένων από Αξιόπιστες Πηγές

### 5.1 Εισαγωγή στην αναζήτηση και επιλογή πραγματικών δεδομένων

Μελέτη της συγκεκριμένης εργασίας, όπως έχει γίνει αντιληπτό η μελέτη των πολυκριτήριων λήψης αποφάσεων. Υπάρχουν πολλές μέθοδοι που εφαρμόζονται. Πιο πριν έχουμε αναλύσει προσεγγίσεις που βοηθούν στον περιορισμό των δεδομένων και την καλύτερη ποσοτικοποίηση τους με σκοπό να γίνει πιο εύκολη η διαχείριση των δεδομένων που διαθέτει κανείς.

Ωστόσο, ένα σημαντικό κομμάτι που παίζει ρόλο στην ασφαλή εξαγωγή συμπερασμάτων εκτός των προσεγγίσεων που αναλύσαμε προηγουμένως, καθώς και των μεθόδων που θα αναλύσουμε παρακάτω, πρέπει να έχουμε μια ασφαλή και έγκυρα δεδομένα ως προς χρήση για να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις των εξαχθέντων συμπερασμάτων για την μελέτη περιπτώσεων και επιλογή των κατάλληλων αποφάσεων για τον απαιτούμενο στόχο που πρέπει να διεκπεραιωθεί[53].

Τα δεδομένα που θα χρησιμοποιήσουμε για Vikor προέρχονται από την European Data Portal (Ευρωπαϊκή Πύλη Δεδομένων) (<https://www.europeandataportal.eu/data/datasets/52ea73c0-e4d9-4458-8483-678088c8d6b1?locale=el>), για Topsis προέρχονται από την kaggle (<https://www.kaggle.com/arwinneil/gsmarena-phone-dataset>) και για Promethee προέρχονται από την kaggle (<https://www.kaggle.com/ljanjughazyran/cars-dataset-analysis>).

Για τους σκοπούς της εργασίας επιλέξαμε ένα συγκεκριμένο πλήθος χωρών για να δείξουμε τις μεθόδους που θα αναλυθούν παρακάτω(πχ. TOPSIS κτλ).

Συμπερασματικά, μπορεί να γίνει σαφές ότι οι απαιτήσεις σε μια μελέτη ή εργασία απαιτεί 2 παραμέτρους να ληφθούν υπόψιν για την ασφαλή εξαγωγή συμπερασμάτων. Το ένα είναι η επιλογή των κατάλληλων προσεγγίσεων και το δεύτερο είναι η χρήση των μεθόδων πάνω σε δεδομένα έγκυρα και αξιόπιστες πηγές προέλευσης αυτών.

### 5.2 Επιλογή πραγματικών δεδομένων από αξιόπιστες πηγές

Ένας επόμενος άξονας μελέτης αυτής της εργασίας είναι η συλλογή, μελέτη και εμπειριστατωμένη – αξιόπιστη πηγή δεδομένων. Οι 3 προαναφερθέντες παράμετροι συνιστούν προαπαιτούμενο σε μια μελέτη έρευνας, όπως στην προκειμένη περίπτωση στα πλαίσια μιας τέτοιας εργασίας σε προπτυχιακό επίπεδο.

Πιο ειδικά, στην συγκεκριμένη εργασία, θέλουμε αρχικά να έχουμε ένα ασφαλές και αξιόπιστο σύνολο δεδομένων, ώστε να προχωρήσει η μελέτη και ανάλυση των δεδομένων έπειτα από την εφαρμογή των μεθόδων πάνω στα υπάρχοντα δεδομένα. Για την εφαρμογή των μεθόδων Vikor, Topsis και PROMETHEE επιλέξαμε τα δεδομένα ως εξής:

- Για την μέθοδο Vikor, επιλέξαμε ένα σύνολο δεδομένων από το διαδίκτυο και πιο συγκεκριμένα από την ευρωπαϊκή πύλη δεδομένων, σχετικά με το σύγχρονο πρόβλημα, που δεν είναι άλλο από τον νέο ιό covid-19, που υπάρχει πλέον τεράστια μελέτη σε σύνολα δεδομένων που αφορούν άτομα που έχουν προσβληθεί από τον ιό

<https://www.europeandataportal.eu/data/datasets/52ea73c0-e4d9-4458-8483-678088c8d6b1?locale=el>.

Σχετικά με την Ευρωπαϊκή Πύλη Δεδομένων, πέραν της συγκομιδής μεταδεδομένων, ο στρατηγικός στόχος της Ευρωπαϊκής Πύλης Δεδομένων είναι η βελτίωση της προσβασιμότητας και η ενίσχυση της αξίας των Ανοιχτών δεδομένων[54]:

**Προσβασιμότητα:** Πώς μεταβαίνουμε στην πληροφορία; Πού την αναζητούμε; Πώς την καθιστούμε διαθέσιμη εν πρώτοις; Σε διαδικτυακές διευθύνσεις, σε σύνολα διαδικτυακών διευθύνσεων, σε σύνολα χωρών; Σε ποια γλώσσα;

**Αξία:** Για ποιον σκοπό και με ποιο όφελος για την οικονομία, την κοινωνία και τη δημοκρατία; Σε ποιον μορφότυπο; Ποια είναι η κρίσιμη μάζα;

Η Ευρωπαϊκή Πύλη Δεδομένων απευθύνεται στη συνολική αλυσίδα αξίας των δεδομένων: από τη δημοσίευσή τους μέχρι την περαιτέρω χρήση τους[55].

*Οι ενότητες της Πύλης αφορούν:*

**Αναζήτηση συνόλων δεδομένων:** Δημιουργήθηκαν κατηγορίες διάρθρωσης των μεταδεδομένων που συλλέχθηκαν από τις διάφορες χώρες. Οι εν λόγω κατηγορίες συνάδουν με την αναθεώρηση του προφίλ της εφαρμογής DCAT και αντιστοιχίστηκαν με βάση τον θησαυρό Eurovoc[56].

**Παροχή δεδομένων:** Οι πληροφορίες της ενότητας αυτής βοηθούν να κατανοήσετε τα Ανοιχτά δεδομένα από την οπτική του παρόχου δεδομένων. Δίνονται επίσης οδηγίες σε όσους επιθυμούν να διαθέσουν τα δεδομένα της πύλης τους στην Ευρωπαϊκή Πύλη Δεδομένων.

**Χρήση δεδομένων:** Στην ενότητα αυτή περιγράφονται λεπτομερώς οι τρόποι χρήσης των Ανοιχτών δεδομένων και τα οικονομικά οφέλη που προκύπτουν.

**Επιμόρφωση και Βιβλιοθήκη:** Περιλαμβάνονται ενότητες ηλε-μάθησης (eLearning) σχετικά με τα Ανοιχτά δεδομένα, οδηγοί επιμόρφωσης και επιμορφωτών, καθώς και βάση γνώσεων που περιέχει δημοσιεύσεις σχετικά με τα Ανοιχτά δεδομένα και τα προτεινόμενα προγράμματα[57].

Οι πύλες μπορεί να είναι εθνικές, περιφερειακές, τοπικές ή ειδικές ανά τομέα. Συνδέουμε πύλες στα κράτη μέλη της ΕΕ, τον Ευρωπαϊκό Οικονομικό Χώρο (EOX), την Ευρωπαϊκή Ζώνη Ελεύθερων Συναλλαγών (ΕΖΕΣ), τις χώρες που είναι υποψήφιες για ένταξη στην ΕΕ και τις χώρες που συμμετέχουν στην πολιτική γειτονίας της ΕΕ. Επιπλέον, με τη συλλογή από την Πύλη Ανοιχτών Δεδομένων της Ευρωπαϊκής Ένωσης καλύπτουμε επίσης τα ευρωπαϊκά θεσμικά όργανα, τις υπηρεσίες και τους οργανισμούς καθώς και ορισμένα στοιχεία διασυνοριακού περιεχομένου από έργα που χρηματοδοτούνται από την ΕΕ[58].

Για την άλλη μέθοδο, που κατά σειρά είναι η 2<sup>η</sup> εφαρμογή μεθόδου πολυκριτήριας ανάλυσης είναι η μέθοδος Topsis.

- Για την μέθοδο Topsis, επιλέξαμε ένα σύνολο δεδομένων από το διαδίκτυο και πιο συγκεκριμένα από ερευνητικό άρθρο, όπου γίνεται εφαρμογή ενός dataset και αναλύεται με την προγραμματιστική γλώσσα Python για την ασφαλή εξαγωγή συμπερασμάτων, με βάσει τα χαρακτηριστικά που διακρίνουν το κάθε κινητό. Στην μελέτη περίπτωσης που θα εφαρμόσουμε στα πλαίσια της έρευνας μας, θα είναι η επιλογή κάποιων εξ' αυτών των

χαρακτηριστικών και εξαγωγή συμπερασμάτων, σύμφωνα με την εφαρμογή της μεθόδου Topsis (<https://www.kaggle.com/arwinneil/gsmarena-phone-dataset>).

Για την άλλη μέθοδο, που κατά σειρά είναι η 3<sup>η</sup> εφαρμογή μεθόδου πολυκριτήριας ανάλυσης είναι η μέθοδος PROMETHEE.

- Για την μέθοδο PROMETHEE, επιλέξαμε ένα σύνολο δεδομένων από το διαδίκτυο και πιο συγκεκριμένα από ερευνητικό άρθρο, όπου γίνεται εφαρμογή ενός dataset και αναλύεται με την προγραμματιστική γλώσσα Python για την ασφαλή εξαγωγή συμπερασμάτων, με βάσει τα χαρακτηριστικά που διακρίνουν το κάθε αυτοκίνητο. Στην μελέτη περίπτωσης που θα εφαρμόσουμε στα πλαίσια της έρευνας μας, θα είναι η επιλογή κάποιων εξ' αυτών των χαρακτηριστικών και εξαγωγή συμπερασμάτων, σύμφωνα με την εφαρμογή της μεθόδου PROMETHEE (<https://www.kaggle.com/ljanjughazyan/cars-dataset-analysis>).

### 5.3 Επίλογος

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο αρχικά κάναμε μια αναζήτηση για πραγματικά δεδομένα και έπειτα επιλέξαμε δεδομένα από αξιόπιστες πηγές. Επίσης μελετήσαμε τα δεδομένα για τις 3 μεθόδους πολυκριτήριας ανάλυσης και πιο συγκεκριμένα τις vikor, topsis και promethee. Στη συνέχεια στην μέθοδο Vikor αναλύσαμε τον στρατηγικό στόχο της Ευρωπαϊκής Πύλης Δεδομένων, δηλαδή την βελτίωση της προσβασιμότητας και την ενίσχυση της αξίας των Ανοιχτών δεδομένων, επίσης αναλύσαμε και τις ενότητες της Πύλης.

## Κεφάλαιο 6ο: Μέθοδος VIKOR

### 6.1 Εισαγωγή στην θεωρία της μεθόδου VIKOR

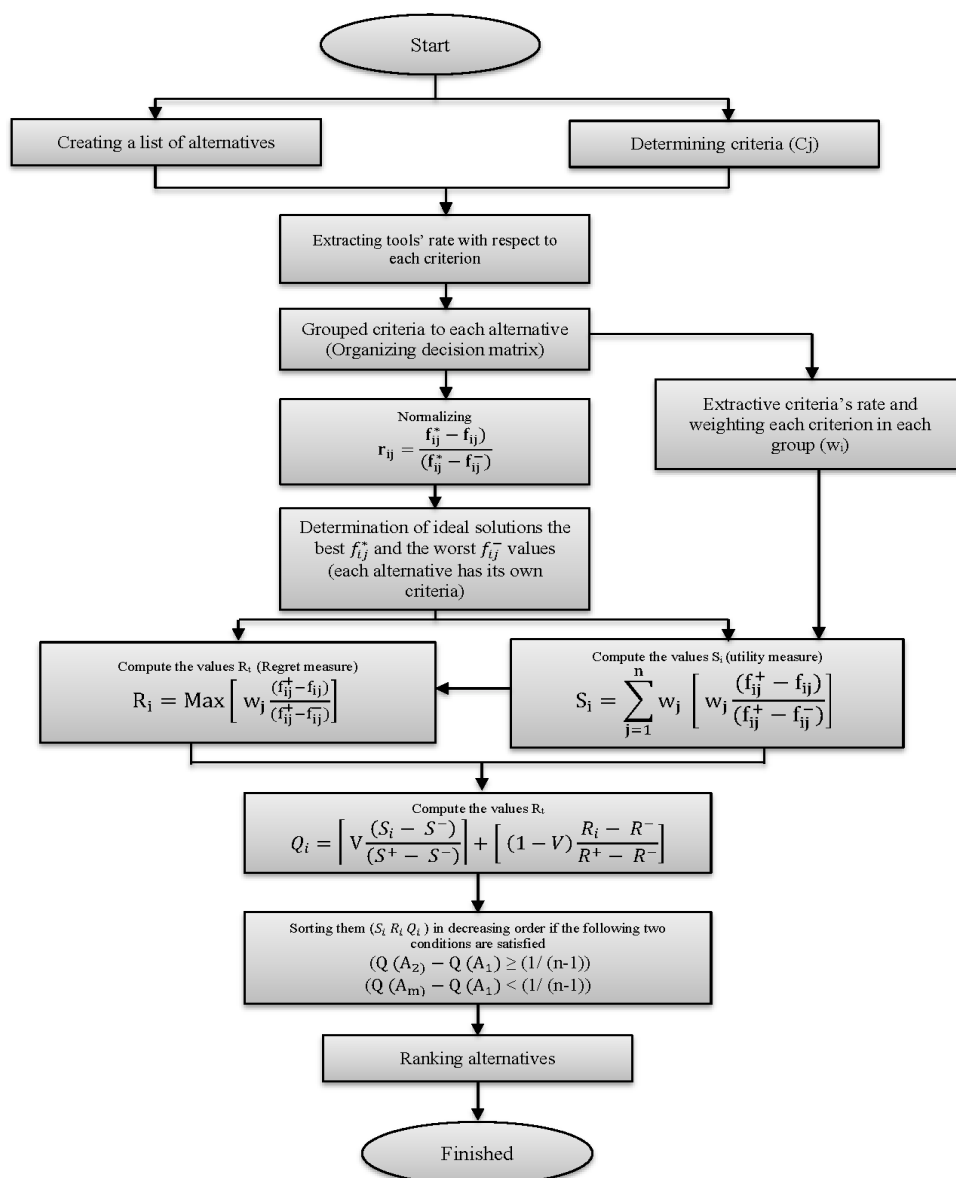
Οι τεχνικές λήψης αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων (MCDM) όπως το VlseKriterijuska Optimizacija I Komoromisno Resenje (VIKOR) χρησιμοποιούνται συνήθως για την αξιολόγηση και τη σύγκριση της βιωσιμότητας διαφόρων ενεργειακών σχεδίων ή τεχνολογιών ανανεώσιμης ενέργειας με στόχο την παρουσίαση υποστηρίξιμων αποφάσεων για την επιλογή των σημαντικών βιώσιμων και κατάλληλων επιλογές. Αρκετές από προηγούμενες μελέτες έχουν χρησιμοποιήσει την τεχνική VIKOR σε τομείς αειφορίας και ανανεώσιμης ενέργειας[59]. Τα πεδία αειφορίας και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας καλύπτουν αρκετούς συγκεκριμένους υποτομείς, συμπεριλαμβανομένης της αξιολόγησης της βιωσιμότητας του κύκλου ζωής, των ενεργειακών πόρων, της περιβαλλοντικής διαχείρισης και της περιβαλλοντικής αξιολόγησης[60]. Ως προϊόν ενός σκόπιμα αόριστου ορισμού, η αειφορία έχει εφαρμοστεί για να σημαίνει τα πάντα, από την προστασία του περιβάλλοντος, την κοινωνική συνοχή, την οικονομική ανάπτυξη, το σχεδιασμό γειτονιάς, την εναλλακτική ενέργεια, το σχεδιασμό πράσινων κτιρίων και πολλά άλλα. Στην συγκεκριμένη εργασία θα μελετήσουμε ένα σύγχρονο πρόβλημα που αποτελεί ένα βασικό στοιχείο στην ανθρώπινη ζωή και δεν είναι άλλο από την υγεία του ανθρώπου.

### 6.2 Χρονολογικά η τεχνική VIKOR

Ο Opricovic, εισήγαγε τη μέθοδο VIKOR ως γνωστή τεχνική MCDM που έδωσε έμφαση στην επιλογή και κατάταξη εναλλακτικών συνόλων αντικρουόμενων κριτηρίων, τα τελευταία χρόνια αυτή η τεχνική εξελίχθηκε περισσότερο από τους μελετητές[61]. Ο Opricovic και ο Tzeng, πρότειναν νέο μοντέλο βασισμένο στη μέθοδο VIKOR και TOPSIS για αποφλοίωση εντός του μοντέλου λήψης αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων με συνδυασμένα ασαφή κριτήρια και σύνολο δεδομένων. Οι Opricovic και Tzeng, πρότειναν και ενσωμάτωσαν την τεχνική VIKOR με τριγωνικούς ασαφείς αριθμούς (TFNs)[62] για ανάλυση των στρατηγικών σχεδιασμού. Opricovic και Tzeng, ανέπτυξαν ασαφή VIKOR με ελλιπείς πληροφορίες για την ανάλυση των στρατηγικών χρήσης γης για τη μείωση του οικονομικού και κοινωνικού κόστους με πιθανούς φυσικούς κινδύνους. Ο Opricovic και ο Tzeng, ανέφεραν ότι, το TOPSIS ορίζει τη λύση με την πιο μακρινή απόσταση από την αρνητική ιδανική λύση και τη μικρότερη απόσταση από την ιδανική λύση, αλλά δεν λαμβάνει υπόψη τη σχετική σημασία αυτών των αποστάσεων. Οι Tzeng et al., χρησιμοποίησαν τεχνικές VIKOR[63], AHP και TOPSIS για τον προσδιορισμό των καλύτερων εναλλακτικών καυσίμων στην τεχνολογική ανάπτυξη των λεωφορείων. Opricovic, εφαρμοσμένη και εκτεταμένη ασαφή τεχνική VIKOR για την επίλυση προβλημάτων σε περιβαλλοντικά ζητήματα. Opricovic και Tzeng, εκτεταμένη τεχνική VIKOR για την επίλυση προβλημάτων MCDM, αποτελέσματα αυτού του εκτεταμένου VIKOR σε σύγκριση με τρεις διαφορετικές τεχνικές MCDM[64], συμπεριλαμβανομένων των PROMETHEE, TOPSIS και ELECTRE. Οι Chen και Wang, παρουσίασαν μια συστηματική και ορθολογική διαδικασία για την ανάπτυξη της βέλτιστης συμβιβαστικής λύσης και εναλλακτικής επιλογής βάσει κριτηρίων χρησιμοποιώντας τη μέθοδο VIKOR και το ασαφές σύνολο. Η εύρεση αυτής της μελέτης πρότεινε νέα λύση για ασαφή προβλήματα MCDM. Ο Opricovic, ανέφερε ότι, η σύγκριση της θεωρίας του παιχνιδιού και του MCDM είναι ένα δύσκολο θέμα, η επιλογή και ο συνδυασμός απόψεων μπορούν να βελτιώσουν νέες προσεγγίσεις για την ανάπτυξη της επίλυσης των συγκρούσεων[65]. Ο Opricovic,

χρησιμοποίησε τη μέθοδο VIKOR και τη θεωρία παιχνιδιών για την επίλυση συγκρούσεων, σε αυτή τη μελέτη, πέντε προσεγγίσεις θεωρούνται βασισμένες στην επίλυση συγκρούσεων. Οι Huang et al., ανέπτυξε ένα μοντέλο VIKOR για MCDM το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό της κατάταξης προτιμήσεων από ένα σύνολο εναλλακτικών παρουσία αντιφατικών κριτηρίων[66]. Οι Moeinzadeh και Hajfathaliha παρουσίασαν ένα μοντέλο αξιολόγησης κινδύνου αλυσίδας εφοδιασμού που βασίζεται σε μεθόδους ANP και VIKOR με ενσωματωμένη θεωρία ασαφών συνόλων όπου η υποκειμενικότητα και η ασάφεια αντιμετωπίστηκαν με γλωσσικούς όρους που παραμετροποιήθηκαν από TFNs. Παρακάτω ακολουθεί μια εικόνα ενδεικτική της εφαρμογή της μεθόδου Vikor, η οποία θα αναλυθεί περαιτέρω σε επόμενες παραγράφους[67].

Ο Wei και ο Zhang, ανέπτυξαν και παρουσίασαν μια πολύπλοκη διστακτική ασαφή λήψη αποφάσεων χρησιμοποιώντας την τιμή Sharpley και την τεχνική VIKOR. Hajiagha et al., παρουσίασε έναν ασαφή πολλαπλό αντικειμενικό γραμμικό προγραμματισμό βασισμένο στη μέθοδο VIKOR για την εξεύρεση ασαφούς αποτελεσματικής λύσης ελαχιστοποιώντας τη συνδυαστική της απόσταση από μια ιδανική λύση και ναδίρ[68].



Σχήμα 6.1: Diagram Vikor

Η μέθοδος VIKOR μας προσφέρει μια κατάταξη (ranking) των εναλλακτικών για δοθέντα κριτήρια. Πολύ συχνά συγκρίνεται με τη γνωστή μέθοδο TOPSIS[69].

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου VIKOR είναι ότι συνιστά μια εύκολα προγραμματιζόμενη υπολογιστική διαδικασία, ενσωματώνει ταυτόχρονα δύο διαφορετικές οπτικές ως προς τα κριτήρια, δηλαδή την μέγιστη χρησιμότητα ως προς όλα τα κριτήρια, καθώς και τον βαθμό δυσαρέσκειας απέναντι σε κάθε κριτήριο ξεχωριστά. Ακόμη, μπορεί να γίνει προσαρμογή σε προβλήματα Λήψης Αποφάσεων υπό Αβεβαιότητα[70], αλλά να επεκταθεί και σε δεδομένα ασαφή (fuzzy) και χωρίς την απαραίτητη πληροφόρηση.

### 6.3 Μεθοδολογία VIKOR

Στα προβλήματα ΠΠΑ (Πολυκριτήρια Ανάλυση Αποφάσεων), συνήθως θεωρούμε:

- 1) Ένα σύνολο εναλλακτικών

$$A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\} \quad (6.1)$$

- 2) Ένα σύνολο κριτηρίων

$$C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\} \quad (6.2)$$

- 3) Τις επιδόσεις – βαθμολογίες των εναλλακτικών σε κάθε κριτήριο

$$F_{ij}, i=1, \dots, m, j=1, \dots, n \quad (6.3)$$

- 4) Τα βάρη των κριτηρίων

$$W = \{w \in \mathbb{R}^n: \sum_{j=1}^n w_j = 1, w_j \geq 0, j = 1, \dots, n\} \quad (6.4)$$

Πίνακας 6.1: Δομή του πίνακα

	W1	W2	...	Wn
	C1	C2	...	Cn
A1	F11	F12	...	F1n
A2	F21	F22	...	F2n
...	...	...	...	...
Am	Fm1	Fm2	...	Fmn

Η δομή του Πίνακας 6.1 που προκύπτει έχει ως εξής, οι γραμμές αποτελούνται από το σύνολο των εναλλακτικών περιπτώσεων, οι στήλες αποτελούνται από τα κριτήρια, τα οποία τα συνοδεύουν τα αντίστοιχα βάρη που ορίζονται και επιπλέον κάθε κελί του πίνακα αναπαριστά τις επιδόσεις των εναλλακτικών σε κάθε κριτήριο.

**ΒΗΜΑ 1:**

1. Σε κάθε κριτήριο, προσδιορίζουμε την καλύτερη και την χειρότερη τιμή,  $f_j^*$  και  $f_j^-$ , αντίστοιχα.

- Αν το κριτήριο εκφράζει κάποιο όφελος (benefit), τότε

$$f_j^* = \max_i f_{ij}$$

$$f_j^- = \min_i f_{ij}$$

- Αν το κριτήριο εκφράζει κάποιο κόστος (cost), τότε

$$f_j^* = \min_i f_{ij}$$

$$f_j^- = \max_i f_{ij}$$

**ΒΗΜΑ 2:**

2. Για κάθε εναλλακτική  $A_i$ , υπολογίζουμε την ποσότητα

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j \left| \frac{f_j^* - f_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \right|, \quad i = 1, \dots, m$$

- Η ποσότητα  $S_i$  σχετίζεται με τη σταθμισμένη  $L^1$ -μετρική και εκφράζει τη σταθμισμένη, κανονικοποιημένη απόσταση από τη θετική ιδεατή λύση, λαμβάνοντας υπόψη όλα τα κριτήρια.
- Προφανώς, επιθυμούμε όσο το δυνατόν μικρότερο  $S$ .
- Αρχή της μέγιστης συνολικής χρησιμότητας (group utility).

**ΒΗΜΑ 3:**

3. Για κάθε εναλλακτική  $A_i$ , υπολογίζουμε επίσης την ποσότητα

$$R_i = \max_j w_j \left| \frac{f_j^* - f_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \right|, \quad i = 1, \dots, m$$

- Η  $R_i$  σχετίζεται με την  $L^\infty$ -μετρική και εκφράζει, για κάθε εναλλακτική, τη μέγιστη δυσαρέσκεια «κατά μήκος» των κριτηρίων.
  - Προφανώς, επιθυμούμε να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη.
  - Αρχή της μεμονωμένης δυσαρέσκειας (individual regret).
- 

**ΒΗΜΑ 4:**

4. Στη VIKOR λαμβάνουμε υπόψη και τις δύο προηγούμενες ποσότητες.

Πράγματι, υπολογίζουμε την ποσότητα

$$Q_i = v \frac{S_i - S^*}{S^- - S^*} + (1 - v) \frac{R_i - R^*}{R^- - R^*}, \quad i = 1, \dots, m$$

όπου

$$\begin{aligned} S^* &= \min_i S_i, & S^- &= \max_i S_i \\ R^* &= \min_i R_i, & R^- &= \max_i R_i \end{aligned}$$

Η σταθερά  $0 \leq v \leq 1$  εκφράζει την οπτική του αποφασίζοντα ως προς τις δύο διαφορετικές μετρικές. Εισάγεται για να σταθμίσει τη στρατηγική της μέγιστης συνολικής χρησιμότητας έναντι της στρατηγικής της μεμονωμένης δυσαρέσκειας (συνήθως  $v=0.5$ ).

5. Στη συνέχεια, δημιουργούμε τρεις λίστες με τις εναλλακτικές, διατεταγμένες ως προς τα  $S, R$  και  $Q$ .

---

**ΒΗΜΑ 5:**

- Ερώτημα: ποια εναλλακτική προτείνει ως λύση η μέθοδος VIKOR;
- Έστω ότι η εναλλακτική  $A'$  έχει την καλύτερη επίδοση ως προς το μέτρο  $Q$  (minimum). Τότε, η  $A'$  προτείνεται ως λύση, εάν ικανοποιούνται οι ακόλουθες συνθήκες:

- Συνθήκη C1 (Συγκριτικό πλεονέκτημα):

$$Q(A'') - Q(A') \geq DQ$$

όπου  $A''$  είναι η αμέσως επόμενη καλύτερη εναλλακτική στην  $Q$ -λίστα και

$$DQ = \frac{1}{m-1}$$

- Συνθήκη C2 (Ευστάθεια): Η εναλλακτική  $A'$  είναι η καλύτερη (minimum) ως προς  $S$  ή/και  $R$ .

**6.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ VIKOR**

Πίνακας 6.2: Αλγόριθμος VIKOR

Βάρος	0,72	0,72	0,75	0,87	0,635	0,76	0,87	0,855	0,705	0,855
ΧΩΡΕΣ \ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ	ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ	ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ	ΕΜΒΟΛΙΟ	ΧΡΗΣΗ ΜΑΣΚΑΣ	ΧΡΗΣΗ ΓΑΝΤΙΩΝ	ΥΔΡΟΕΥΧΛΩΡΟΚΙΝΗ	ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΦΑΡΜΑΚΩΝ	ΑΠΟΣΤΑΣΣΕΙΣ	ΧΡΗΣΗ ΑΝΤΙΣ/ΚΟΥ
A1 (ΕΣΘΟΝΙΑ)	0,62	0,61	0,68	0,65	0,61	0,62	0,65	0,665	0,565	0,61
A2 (ΕΛΛΑΔΑ)	0,605	0,65	0,635	0,65	0,565	0,61	0,565	0,635	0,58	0,61
A3 (ΓΑΛΛΙΑ)	0,8	0,885	0,675	0,855	0,87	0,84	0,75	0,75	0,84	0,75
A4 (ΙΣΠΑΝΙΑ)	0,8	0,5	0,695	0,635	0,665	0,68	0,5	0,665	0,635	0,68
A5 (ΙΤΑΛΙΑ)	0,735	0,69	0,695	0,68	0,65	0,68	0,69	0,72	0,705	0,665

Παραπάνω στον Πίνακα 6.2 φαίνεται η εφαρμογή των δεδομένων με τις εναλλακτικές επιλογές είτε χορήγηση φαρμάκου ή εμβολίου κτλ. Επίσης φαίνονται και τα βάρη των κριτηρίων κατά πόσο ικανοποιητικά είναι και όλα αυτά συνάδουν με βάσει το προαναφερθέν πίνακα.

Παραπάνω βλέπουμε τον Πίνακα 6.2 με τα δεδομένα που συλλέχθηκαν για κάθε χώρα και οι οποίες αναπαρίστανται στις γραμμές του πίνακα και είναι οι χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης και πιο συγκεκριμένα είναι οι ΕΣΘΟΝΙΑ, ΕΛΛΑΔΑ, ΓΑΛΛΙΑ, ΙΣΠΑΝΙΑ, ΙΤΑΛΙΑ. Επίσης τις στήλες του πίνακα που βλέπουμε παραπάνω συμπληρώνουν τα διάφορα κριτήρια που απασχολούν την σύγχρονη κοινωνία με το πρόβλημα του ιού. Επομένως, το κάθε κελί με την αντίστοιχη τιμή του μας δείχνει κατά πόσο μια χώρα έλαβε υπόψιν το συγκεκριμένο κριτήριο[71].

Επιπλέον έχουμε θέσει κάποια βάρη στα κριτήρια. Αυτό έγινε με βάση την κρισιμότητα του κάθε κριτηρίου. Για παράδειγμα, έχουμε το ΕΜΒΟΛΙΟ ως κριτήριο που είναι σημαντικό και αριθμείτε με το αντίστοιχο βάρος που πρέπει να είναι μεγάλο και πιο συγκεκριμένα είναι ίσο με 0.87, λόγω της σημαντικότητας του.

Πίνακας 6.3: Καλύτερες και χειρότερες τιμές κριτηρίων

$f^*$	0,8	0,885	0,695	0,855	0,87	0,84	0,75	0,75	0,84	0,75
$f^-$	0,605	0,5	0,635	0,635	0,565	0,61	0,5	0,635	0,565	0,61

Παραπάνω βλέπουμε έναν πίνακα με συμπληρωμένες τιμές. Οι τιμές που συμπληρώνουν την πρώτη γραμμή του Πίνακα 6.3 είναι τα μέγιστα στοιχεία με βάση τον αρχικό πίνακα, όταν λέμε ότι παίρνουμε το μέγιστο στοιχείο εννοούμε ότι για κάθε κριτήριο παίρνουμε την μεγαλύτερη τιμή. Αντίστοιχα, για την δεύτερη γραμμή του πίνακα παίρνουμε την μικρότερη τιμή και η επιλογή γίνεται με αντίστοιχο τρόπο, όπως περιγράφηκε με τον τρόπο επιλογής του μέγιστου στοιχείου, εδώ αυτό που αλλάζει είναι ότι επιλέγουμε το μικρότερο στοιχείο.

Πίνακας 6.4: Υπολογισμός ποσότητας S, R, Q και Ταξινόμηση

0,66461538	0,514285714	0,1875	0,810681818	0,541311	0,726957	0,348	0,631956522	0,705	0,855
0,72	0,439480519	0,75	0,810681818	0,635	0,76	0,6438	0,855	0,666545455	0,855
0	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0
0	0,72	0	0,87	0,426803	0,528696	0,87	0,631956522	0,525545455	0,4275
0,24	0,364675325	0	0,692045455	0,458033	0,528696	0,2088	0,223043478	0,346090909	0,51910714
<b>S</b>	<b>R</b>	<b>Q</b>	<b>Ταξινόμηση</b>						
5,98530744	0,855	0,90437995	4						
7,13550779	0,855	0,98790323	5						
0,25	0,25	0	1						
5,00050091	0,87	0,84496373	3						
3,58049075	0,692045455	0,59833614	2						
<b>S*</b>	0,25	<b>R*</b>	0,25						
<b>S-</b>	7,135507792	<b>R-</b>	0,87						

Στον παραπάνω πίνακα βλέπουμε 3 πίνακες. Ο πρώτος πίνακας συμπληρώνεται με βάση την φόρμουλα που έχουμε τόσο για την ποσότητα προς υπολογισμό S, R και Q.

Στον επόμενο πίνακα κατά σειρά που ακολουθεί, δηλαδή ο πίνακας 2 του παραπάνω πίνακα πραγματοποιείται σε 3 στήλες. Αρχικά, η πρώτη στήλη(S) συμπληρώνεται με βάση το βήμα 2 που περιγράφηκε παραπάνω στο θεωρητικό σκέλος της μεθόδου με το σκεπτικό ότι για κάθε εναλλακτική, όπου εναλλακτική εννοούμε μια χώρα από τις επιλεχθέντες υπολογίζουμε την ποσότητα, σύμφωνα με

τον τύπο που δίνεται στο βήμα 2, που παρατηρείται κατά την ανάλυση του θεωρητικού σκέλους της μεθόδου αυτής. Επομένως εκφράζει τη σταθμισμένη, κανονικοποιημένη απόσταση από τη θετική ιδεατή λύση, λαμβάνοντας υπόψη όλα τα κριτήρια. Στην δεύτερη στήλη(R) του πίνακα συμπληρώνεται με το ότι για κάθε εναλλακτική(χώρα) υπολογίζουμε την αντίστοιχη ποσότητα που δίνεται από το βήμα 3 με τον τύπο που συνοδεύει αυτό το βήμα και βρίσκουμε την μέγιστη δυσaráσκεια κατά μήκος των κριτηρίων. Προφανώς επιθυμούμε να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη. Και τέλος βλέπουμε την τρίτη στήλη(Q) που σύμφωνα με το βήμα 4 που αναφέρθηκε παραπάνω στο θεωρητικό κομμάτι της μεθόδου χρησιμοποιούμε την φόρμουλα που υπάρχει τόσο στο βήμα 2 όσο και στο 3, επίσης η σταθερά (v) εκφράζει την οπτική του αποφασίζοντα ως προς τις 2 μετρικές. Εισάγεται για να σταθμίσει τη στρατηγική της μέγιστης συνολικής χρησιμότητας έναντι της στρατηγικής της μεμονωμένης δυσaráσκειας(γι' αυτό επιλέγεται συνήθως η τιμή  $v=0.5$ )

Συμπερασματικά, βλέπουμε έπειτα από την εφαρμογή της μεθόδου VIKOR καταλήγουμε σε μια ταξινόμηση, για να πούμε καλύτερα για κάθε εναλλακτική περίπτωση που έχουμε σύμφωνα με την μεθοδολογία και το συμπέρασμα στο οποίο καταλήγουμε μέσω του τελευταίου βήματος (βήμα 5) και σε συνδυασμό με τα παραπάνω στιγμιότυπα από την εφαρμογή της μεθόδου στην πράξη καταλήγουμε ότι η εναλλακτική – κριτήριο που ικανοποιείται είναι αυτό με την χαμηλότερη τιμή με βάσει τις 2 συνθήκες που περιγράφηκαν στο τελευταίο βήμα[72]. Πράγματι, βλέπουμε ότι ικανοποιούνται και 2 συνθήκες, ωστόσο εμείς θέλουμε μια από τις 2. Αν παρατηρήσει κανείς είτε την πρώτη συνθήκη είτε την δεύτερη θα διαπιστώσει ότι ικανοποιούνται και στις περιπτώσεις και βγαίνουν τα ίδια συμπεράσματα. Έτσι λοιπόν καταλήγουμε στην επιλογή όπου είναι η χορήγηση φαρμάκου με βάσει το κριτήριο της τήρησης των νόμων που επιβάλλονται στην κοινότητα, αλλά και σε όλο τον κόσμο.

Συμπερασματικά, όσον αφορά την μέθοδο VIKOR, αλλά και το σκεπτικό το οποίο ακολουθείται βασίζεται στην εύρεση και ταξινόμηση των κριτηρίων που διαθέτει ένας χρήστης. Οι μέθοδοι MCDM[73] αναπτύσσονται για να βοηθήσουν στη λήψη αποφάσεων είτε στην κατάταξη ενός γνωστού συνόλου εναλλακτικών λύσεων για ένα πρόβλημα είτε στην επιλογή μεταξύ αυτού του συνόλου λαμβάνοντας υπόψη τα αντικρουόμενα κριτήρια. Οι προτιμήσεις της λήψης αποφάσεων προκύπτουν είτε πριν είτε κατά την αξιολόγηση των εναλλακτικών και των κριτηρίων. Οι εναλλακτικές συγκρίνονται μεταξύ τους με βάση την απόδοσή τους σε σχέση με κάθε κριτήριο. Παρομοίως, ορισμένες μέθοδοι απαιτούν σύγκριση των κριτηρίων για τον προσδιορισμό της σχετικής σημασίας κάθε κριτηρίου[74]. Οι μέθοδοι MCDM στη συνέχεια θα χρησιμοποιήσουν αυτές τις πληροφορίες για να αντιστοιχίσουν τάξεις στις εναλλακτικές. Η εναλλακτική λύση με την υψηλότερη κατάταξη επιλέγεται ως η καλύτερη συμβιβαστική λύση. Επιπλέον, τα αποτελέσματα αυτής της επισκόπησης διαπίστωσαν ότι η μέθοδος VIKOR αναπτύχθηκε για τη βελτιστοποίηση πολλαπλών κριτηρίων για σύνθετα συστήματα, για να βρει μια συμβιβαστική κατάταξη προτεραιότητας εναλλακτικών σύμφωνα με τα επιλεγμένα κριτήρια[75]. Οι συμβιβαστικές λύσεις για ένα πρόβλημα με αντικρουόμενα κριτήρια μπορούν να βοηθήσουν τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων να εντοπίσουν μια αποδεκτή απάντηση. Η μέθοδος VIKOR επιλύει προβλήματα MCDM με αντικρουόμενα ή μη αναλογικά κριτήρια. Αυτή η μέθοδος προϋποθέτει ότι ο συμβιβασμός είναι αποδεκτός για διένεξη επίλυσης.

## 6.5 Επίλογος

Στο κεφάλαιο αυτό αναφέρονται τα σύνολα δεδομένων που συλλέχθηκαν με την έγκυρη πηγή που τα συνόδευαν. Τα συγκεκριμένα δεδομένα συλλέχθηκαν για την εφαρμογή της μεθόδου VIKOR. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται μια εισαγωγή της μεθόδου και η ιστορική αναδρομή της. Έπειτα, ακολουθεί η θεωρία αναλυτικά με τα βήματα που πρέπει να ακολουθηθούν στην πράξη επίλυσης ενός προβλήματος και τέλος γίνεται εφαρμογή στα δεδομένα που συλλέχθηκαν, τα οποία συνοδεύονται με την κατάλληλη αιτιολόγηση για την εξαγωγή των ασφαλών συμπερασμάτων που γίνονται.

## Κεφάλαιο 7ο: Μέθοδος TOPSIS

### 7.1 Εισαγωγή στην θεωρία της μεθόδου TOPSIS

Η **Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution**-τεχνική για σειρά προτιμήσεων από την ομοιότητα με την ιδανική λύση ( TOPSIS ) είναι μια μέθοδος ανάλυσης αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων, η οποία αναπτύχθηκε αρχικά από τους Ching-Lai Hwang και Yoon το 1981[76] με περαιτέρω εξελίξεις από τον Yoon το 1987, και Hwang, Lai και Liu το 1993. Το TOPSIS βασίζεται στην ιδέα ότι η επιλεγμένη εναλλακτική λύση θα πρέπει να έχει τη μικρότερη γεωμετρική απόσταση από τη θετική ιδανική λύση (PIS) και τη μεγαλύτερη γεωμετρική απόσταση από την αρνητική ιδανική λύση ( NAK)[77].

Η λήψη αποφάσεων είναι ένα σημαντικό μέρος της καθημερινής και επιχειρηματικής ζωής τόσο για άτομα όσο και για οργανισμούς[78]. Αν και οι μέθοδοι λήψης αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων παρέχουν στους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων τα απαραίτητα εργαλεία, έχουν διαφορές ως προς τις παραδοχές και τη θεμελιώδη θεωρία. Ως εκ τούτου[79], η επιλογή της σωστής μεθόδου λήψης αποφάσεων είναι τουλάχιστον εξίσου σημαντική με τη λήψη της απόφασης. Η μέθοδος TOPSIS (Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution), η οποία είναι μία από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες μεθόδους λήψης αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων, έχει κερδίσει την προσοχή των ερευνητών και έτσι έχουν προταθεί διάφορες βελτιωμένες εκδόσεις της μεθόδου[80].

Αυτό το έγγραφο επέκτεινε τη μέθοδο TOPSIS για τη λήψη αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων με το μέτρο αξιοπιστίας σε ασαφές περιβάλλον. Ξεκινώντας από τη συμβιβαστική μέθοδο προγραμματισμού, το TOPSIS βασίζεται σε μια συνάρτηση συνάθροισης που αντιπροσωπεύει "εγγύτητα στο ιδανικό"[81], οι βασικές αρχές της είναι ότι η επιλεγμένη εναλλακτική λύση θα πρέπει να έχει τη μικρότερη απόσταση από τη θετική ιδανική λύση (PIS) και την πιο απομακρυσμένη από την αρνητική ιδανική λύση (NIS)[82]. Στην πραγματικότητα, τα δεδομένα αποφάσεων αντιπροσωπεύονται συνήθως από αόριστες έννοιες, έτσι ώστε η ακριβής τιμή να είναι ανεπαρκής για να διαμορφώσει πραγματικές καταστάσεις λήψης[83] αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο[84]. Για την αντιμετώπιση γλωσσικών ή αβέβαιων χαρακτηριστικών στα δεδομένα αποφάσεων, τα οποία θα πρέπει να επιτρέπεται να θεωρούν ασαφείς αριθμούς, το έγγραφο παρείχε μια λεπτομερή συζήτηση για μια επέκταση της μεθόδου TOPSIS που υιοθετεί τη θεωρία της ασαφούς αβεβαιότητας[85]. Στη μέθοδο fuzzy-TOPSIS που παρουσιάστηκε, οι βαθμολογίες απόδοσης και τα βάρη των κριτηρίων δόθηκαν ως τριγωνικοί ασαφείς αριθμοί. Επιπλέον, το μέτρο των αποστάσεων μεταξύ της ασαφούς θετικής-ιδανικής λύσης (FPIS) και της ασαφούς αρνητικής-ιδανικής λύσης (FNIS) αντικαταστάθηκε από το μέτρο αξιοπιστίας, όπου η απόσταση ήταν ένα ειδικό μέτρο. Τέλος, η προτεινόμενη μέθοδος απεικονίστηκε με ένα αριθμητικό παράδειγμα, δείχνοντας την κεντρική διαδικασία[86].

## 7.2 Μεθοδολογία TOPSIS

### ΒΗΜΑ 1

Παίρνουμε την κάθε τιμή που δίνεται επίσης σε μορφή πίνακα και κάθε μια ξεχωριστά, προσπαθούμε να περιορίσουμε αυτές τις τιμές μεταξύ του εύρους 0 και 1 [87].

$$\bar{X}_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n X_{ij}^2}} \quad (7.1)$$

### ΒΗΜΑ 2

Υπολογισμός σταθμισμένης κανονικοποιημένης μήτρας

$$V_{ij} = \bar{X}_{ij} \times W_j \quad (7.2)$$

### ΒΗΜΑ 3

Υπολογίζουμε την καλύτερη και την χειρότερη τιμή που προκύπτει έπειτα από την εφαρμογή των 2 παραπάνω βημάτων.

**Υπολογίζουμε την ιδανική καλύτερη (V+) και την ιδανική χειρότερη τιμή (V-)**

### ΒΗΜΑ 4

Στο συγκεκριμένο βήμα υπολογίζουμε την ευκλείδεια απόσταση με βάσει τον παρακάτω τύπο. Ο υπολογισμός γίνεται τόσο για την καλύτερη περίπτωση όσο και για την χειρότερη περίπτωση με τον αντίστοιχο τύπο [88].

$$S_i^+ = \left[ \sum_{j=1}^m (V_{ij} - V_j^+)^2 \right]^{0.5}$$

$$S_i^- = \left[ \sum_{j=1}^m (V_{ij} - V_j^-)^2 \right]^{0.5} \quad (7.3)$$

**ΒΗΜΑ 5**

Υπολογισμός απόδοσης της βαθμολογίας με βάσει την χειρότερη περίπτωση προς την καλύτερη περίπτωση συν την χειρότερη περίπτωση[89].

$$P_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-} \quad (7.4)$$

**7.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ TOPSIS**

Τα δεδομένα που έχουμε αρχικά είναι αυτά που απεικονίζονται στον παρακάτω Πίνακας 7.1

Πίνακας 7.1: Αλγόριθμος TOPSIS

	Μη ωφέλιμα	Ωφέλιμα	Ωφέλιμα	Ωφέλιμα
<b>Βάρος</b>	0,35	0,25	0,25	0,15
	<b>Τιμή / κόστος</b>	<b>Χώρος αποθήκευσης</b>	<b>Μέγεθος κάμερας</b>	<b>Ανάλυση</b>
<b>Mobile 1 (Samsung)</b>	250	16	12	5
<b>Mobile 2 (LG)</b>	200	16	8	3
<b>Mobile 3 (Acer Iconia Talk S)</b>	300	32	16	4
<b>Mobile 4 (Acer Liquid Z6)</b>	275	32	8	4
<b>Mobile 5 (Acer Liquid X2)</b>	225	16	16	2

Στο παραπάνω Πίνακας 7.1 έχουμε ένα πλήθος κινητών με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά τους. Πιο συγκεκριμένα έχουμε 5 μάρκες κινητών με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά που τα διακρίνουν και είναι η τιμή, ο αποθηκευτικός χώρος, το μέγεθος κάμερας και η ανάλυση. Επιπλέον ορίζουμε τα βάρη για κάθε χαρακτηριστικό και τα χωρίζουμε σε ωφέλιμα και μη ωφέλιμα[90].

Πίνακας 7.2: Κανονικοποίηση πίνακα

	Τιμή / κόστος	Χώρος αποθήκευσης	Μέγεθος κάμερας	Ανάλυση
<b>Mobile 1</b>	0,442807443	0,301511345	0,428571429	0,597614305
<b>Mobile 2</b>	0,354245954	0,301511345	0,285714286	0,358568583
<b>Mobile 3</b>	0,531368931	0,603022689	0,571428571	0,478091444
<b>Mobile 4</b>	0,487088187	0,603022689	0,285714286	0,478091444
<b>Mobile 5</b>	0,398526698	0,301511345	0,571428571	0,239045722

Στον παραπάνω πίνακα εφαρμόζουμε την κανονικοποίηση, σύμφωνα με την περιγραφή που δόθηκε στο θεωρητικό πλαίσιο της μεθόδου TOPSIS στο βήμα 1. Πράγματι, παρατηρούμε ότι όλες οι τιμές πλέον του πίνακα κυμαίνονται μεταξύ 0 και 1, κάτι που είναι αποτέλεσμα της φόρμουλας της τεχνικής της κανονικοποίησης[91].

Πίνακας 7.3: Σταθμισμένη κανονικοποίηση πίνακα

	Τιμή / κόστος	Χώρος αποθήκευσης	Μέγεθος κάμερας	Ανάλυση
<b>Mobile 1</b>	0,154982605	0,075377836	0,107142857	0,089642146
<b>Mobile 2</b>	0,123986084	0,075377836	0,071428571	0,053785287
<b>Mobile 3</b>	0,185979126	0,150755672	0,142857143	0,071713717
<b>Mobile 4</b>	0,170480865	0,150755672	0,071428571	0,071713717
<b>Mobile 5</b>	0,139484344	0,075377836	0,142857143	0,035856858

Παραπάνω βλέπουμε τον Πίνακα 7.3 που προκύπτει από την εφαρμογή του τύπου που φαίνεται στο βήμα 2 του θεωρητικού πλαισίου που έχουμε παραπάνω αναλύσει. Για παράδειγμα η τιμή 0.1549826 στο κελί που αντιστοιχεί στο πρώτο κινητό (Mobile 1) και το χαρακτηριστικό (Τιμή/κόστος). Η τιμή αυτού του στοιχείου προκύπτει μέσω της κανονικοποιημένης τιμής που προέκυψε από το βήμα 1 και σε συνδυασμό με το βάρος που έχουμε θέσει στο συγκεκριμένο χαρακτηριστικό. Αυτό γίνεται μέσω της πράξης του πολλαπλασιασμού. Αντίστοιχα προκύπτουν και οι υπόλοιπες τιμές του πίνακα[92].

Πίνακας 7.4: Ιδανική καλύτερη (V+) και ιδανική χειρότερη τιμή (V-)

<b>V+</b>	0,123986084	0,150755672	0,142857143	0,089642146
<b>V-</b>	0,185979126	0,075377836	0,071428571	0,035856858

Με βάση το βήμα 3 υπολογίζουμε στον παραπάνω πίνακα την Ιδανική καλύτερη και την Ιδανική χειρότερη τιμή.

Πίνακας 7.5: Υπολογισμός ευκλείδια απόσταση από την ιδανική καλύτερη Si+ και την ιδανική χειρότερη Si- και Υπολογισμός απόδοσης Pi

	Τιμή / κόστος	Χώρος αποθήκευσης	Μέγεθος κάμερας	Ανάλυση	Si+	Si-	Pi	Ταξινόμηση
Mobile 1	0,154982605	0,075377836	0,107142857	0,089642146	0,089	0,072	0,4459	4
Mobile 2	0,123986084	0,075377836	0,071428571	0,053785287	0,11	0,065	0,37	5
Mobile 3	0,185979126	0,150755672	0,142857143	0,071713717	0,065	0,11	0,63	1
Mobile 4	0,170480865	0,150755672	0,071428571	0,071713717	0,087	0,085	0,4936	2
Mobile 5	0,139484344	0,075377836	0,142857143	0,035856858	0,094	0,085	0,4758	3

Στο Πίνακα 7.5 βλέπουμε κάποιες πρόσθετες στήλες. Η πρώτη και η δεύτερη στα βήματα 4 της θεωρητικής ανάπτυξης που πραγματοποιήθηκε σε προηγούμενη υπο-ενότητα. Οι συγκεκριμένες αριθμητικές τιμές βρίσκονται μέσω των αντίστοιχων φόρμουλων που υπάρχουν. Στην τρίτη στήλη κάνουμε εφαρμογή του τελευταίου βήματος δηλαδή το βήμα 5 που έχουμε ότι χρήση του γίνεται για να σταθμίσει τη στρατηγική της μέγιστης συνολικής χρησιμότητας[93].

Τέλος, βλέπουμε και ακόμα μια στήλη που είναι η ταξινόμηση, που γίνεται μέσω της στήλης Pi και ταξινομούμε από το μεγαλύτερο προς το μικρότερο με αύξον αριθμό σειράς. Πράγματι, βλέπουμε ότι το mobile 3 συμφέρει για κάποιον καταναλωτή να το αγοράσει, έπειτα από την εφαρμογή που πραγματοποιήθηκε της μεθόδου TOPSIS[94].

Έτσι λοιπόν γίνεται αντιληπτό ότι η μέθοδος TOPSIS είναι μια μέθοδος αντισταθμιστικής συνάθροισης που συγκρίνει ένα σύνολο εναλλακτικών λύσεων προσδιορίζοντας τα βάρη για κάθε κριτήριο, ομαλοποιώντας τις βαθμολογίες για κάθε κριτήριο και υπολογίζοντας τη γεωμετρική απόσταση μεταξύ κάθε εναλλακτικής και της ιδανικής εναλλακτικής, η οποία είναι η καλύτερη βαθμολογία σε κάθε κριτήριο. Μια υπόθεση του TOPSIS είναι ότι τα κριτήρια αυξάνονται ή μειώνονται μονοτονικά. Η κανονικοποίηση συνήθως απαιτείται, καθώς οι παράμετροι ή τα κριτήρια είναι συχνά ασυνεπείς διαστάσεις σε προβλήματα πολλαπλών κριτηρίων[95]. Οι αντισταθμιστικές μέθοδοι όπως το TOPSIS επιτρέπουν την αντιστάθμιση μεταξύ κριτηρίων, όπου ένα κακό αποτέλεσμα σε ένα κριτήριο μπορεί να αναιρεθεί από ένα καλό αποτέλεσμα σε ένα άλλο κριτήριο. Αυτό παρέχει μια πιο ρεαλιστική μορφή μοντελοποίησης από τις μη αντισταθμιστικές μεθόδους, οι οποίες περιλαμβάνουν ή αποκλείουν εναλλακτικές λύσεις που βασίζονται σε σκληρές περικοπές.

Για το MADM(Introduction to Multiple Attribute Decision), συνήθως απαιτείται πίνακας αποφάσεων πριν από την έναρξη της διαδικασίας. Ο πίνακας αποφάσεων περιέχει ανταγωνιστικές εναλλακτικές σειρές, με τις βαθμολογίες των χαρακτηριστικών τους. Η κανονικοποίηση[96] είναι μια πράξη που κάνει αυτές τις βαθμολογίες να συμμορφώνονται ή να μειώνονται σε ένα πρότυπο ή πρότυπο. Για να συγκρίνετε τις εναλλακτικές λύσεις σε κάθε χαρακτηριστικό, η κανονικοποιημένη διαδικασία γίνεται συνήθως στη στήλη και η κανονικοποιημένη τιμή θα είναι θετική τιμή μεταξύ 0 και 1[97]. Με αυτόν τον τρόπο, τα υπολογιστικά προβλήματα, που προκύπτουν από διαφορετικές μετρήσεις στη μήτρα αποφάσεων, εξαλείφονται (Yoon & Hwang, 1995). Τα χαρακτηριστικά έχουν χωριστεί σε τρεις ομάδες: χαρακτηριστικά ωφέλειας, χαρακτηριστικά κόστους και μη μονοτονικά χαρακτηριστικά (Hwang & Yoon, 1981)[98]. Μερικές κοινές μέθοδοι ομαλοποίησης οργανώνονται στον Πίνακα (Milani, Shanian, Madoliat & Nemes,2005; Hwang & Yoon, 1981; Yoon & Hwang, 1995). Αυτά

ταξινομούνται ως ομαλοποίηση φορέα, γραμμική ομαλοποίηση και ασαφή ομαλοποίηση για να ταιριάζουν σε πραγματικές καταστάσεις υπό διαφορετικές συνθήκες[99].

Καθώς η γνώση διαδραματίζει σημαντικό στρατηγικό ρόλο, πολλές εταιρείες αναμένουν ότι η ΚΜ τους θα αποδίδεται αποτελεσματικά προκειμένου να αξιοποιήσει και να μετατρέψει τη γνώση σε ανταγωνιστικά πλεονεκτήματα. Το πιο σημαντικό, το επιτυχημένο ΚΜ ξεκινά με μια σωστή στρατηγική ΚΜ που παράγεται μέσω μιας ισχυρής μεθόδου αξιολόγησης. Ωστόσο, η επιλογή στρατηγικής ΚΜ είναι ένα είδος προβλήματος MCDM[100], το οποίο απαιτεί να ληφθεί υπόψη ένας μεγάλος αριθμός πολύπλοκων παραγόντων ως πολλαπλά κριτήρια αξιολόγησης[101]. Αν και πολλά αξιόπιστα έργα είναι αφιερωμένα στη μελέτη του τρόπου δημιουργίας μιας στρατηγικής ΚΜ και της επιτυχούς εκτέλεσης του ΚΜ, λίγα από αυτά έχουν παράσχει μεθόδους που μπορούν να αξιολογήσουν συστηματικά και να μοντελοποιήσουν πολύπλοκους παράγοντες της στρατηγικής ΚΜ[102].

Αντιμετωπίζοντας το πρόβλημα MCDM αυτής της επιλογής στρατηγικής ΚΜ, είναι καλύτερο να χρησιμοποιήσετε μεθόδους MCDM για την επίτευξη μιας αποτελεσματικής επίλυσης προβλημάτων. Η μέθοδος εντροπίας είναι χρήσιμη λόγω της υψηλής ικανότητας αυτής της μεθόδου στην εκτίμηση των βαρών. Είναι σημαντικό να γνωρίζετε ότι όταν τα κριτήρια αξιολόγησης κάποιων εναλλακτικών έχουν αλληλεξάρτηση μεταξύ τους, δεν μπορούμε να ορίσουμε το βάρος των κριτηρίων χωρίς καμία προσοχή στα άλλα κριτήρια και τις επιπτώσεις τους το ένα στο άλλο[103]. Επιπλέον, το TOPSIS όχι μόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως τρόπος χειρισμού των εσωτερικών εξαρτήσεων εντός ενός συνόλου κριτηρίων, αλλά μπορεί επίσης να παράγει πολύτιμες πληροφορίες για τη λήψη αποφάσεων. Ως εκ τούτου, αυτό το έγγραφο προτείνει μια λύση βασισμένη σε μια συνδυασμένη προσέγγιση εντροπίας και TOPSIS για να βοηθήσει τις εταιρείες που χρειάζονται να αξιολογήσουν και να επιλέξουν στρατηγικές ΚΜ[104].

## 7.4 Επίλογος

Στο παρόν κεφάλαιο αναφέρονται τα σύνολα δεδομένων που συλλέχθηκαν με την έγκυρη πηγή που τα συνόδευαν. Τα συγκεκριμένα δεδομένα συλλέχθηκαν για την εφαρμογή της μεθόδου TOPSIS. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται μια εισαγωγή της μεθόδου. Έπειτα, ακολουθεί η θεωρία αναλυτικά με τα βήματα που πρέπει να ακολουθηθούν στην πράξη επίλυσης ενός προβλήματος και τέλος γίνεται εφαρμογή στα δεδομένα που συλλέχθηκαν, τα οποία συνοδεύονται με την κατάλληλη αιτιολόγηση για την εξαγωγή των ασφαλών συμπερασμάτων που γίνονται.

## Κεφάλαιο 8ο: Μέθοδος PROMETHEE

### 8.1 Εισαγωγή στην θεωρία της μεθόδου PROMETHEE

Η έλευση της αυξανόμενης εκβιομηχάνισης και της παγκοσμιοποίησης άσκησε πίεση στις ινδικές επιχειρήσεις να αυξήσουν την ενσωμάτωση περιβαλλοντικά συνειδητών πρακτικών κατασκευής στις δραστηριότητές τους[105]. Πολλές μελέτες έχουν διερευνήσει αυτήν τη στρατηγική, αλλά υπάρχουν σημαντικά κενά στην υπάρχουσα βιβλιογραφία, ιδίως σε περιβαλλοντικές πρακτικές που αφορούν την Ινδία. Στο πλαίσιο αυτό, υπάρχει ανάγκη διερεύνησης πρακτικών πράσινης παραγωγής (GMP)[106] σε ένα ινδικό πλαίσιο. Οι βιομηχανίες μπορούν να προσδιορίσουν την καλύτερη πρακτική ΓΤ που πρέπει να υιοθετήσουν προκειμένου να αυξήσουν τις πιθανότητες κέρδους και απόδοσης σε όλα τα συστήματά τους. Αυτή η μελέτη ολοκληρώνεται με τον προσδιορισμό επιτυχώς των βέλτιστων πρακτικών GM για αυτήν τη βιομηχανία περιπτώσεων και παρέχει ορισμένες σημαντικές διαχειριστικές επιπτώσεις[107]. Αυτή η έρευνα διερευνά ορισμένες μελλοντικές τάσεις για να καταστήσει τη μελέτη πιο αξιόπιστη στην αλλαγή σεναρίων πραγματικής ζωής. Η παραπάνω αναφορά γίνεται, προκειμένου να αναδειχθεί η σημαντικότητα της μεθόδου promethee[108].

Η μέθοδος PROMETHE II είναι ιδιαίτερα καλά προσαρμοσμένη περίπτωση, διότι επιτρέπει τη λήψη απόφασης από ασύγκριτα κριτήρια. Έτσι, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν κριτήρια που δεν συγκρίσιμη με τον χαρακτηρισμό μιας απόφασης: για παράδειγμα, κριτήριο και μια απόσταση[109]. Συγκρίνεται με την καθιερωμένη μέθοδος λήψης αποφάσεων του ELECTRE (που βασίζεται επίσης σε συγκέντρωση), η μέθοδος PROMETHE II είναι πιο εύχρηστη και να επιτρέψει να πάρει πιο ισχυρά αποτελέσματα[110].

**PROMETHEE II (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations)** έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία στο λύσει πολλά προβλήματα. Αυτή η μέθοδος βασίζεται σε ένα ζεύγος σύγκρισης ανά ζεύγος πιθανών αποφάσεων σε κάθε κριτήριο. Οι πιθανές αποφάσεις αξιολογούνται σύμφωνα με διαφορετικά κριτήρια, που πρέπει να μεγιστοποιηθούν ή να ελαχιστοποιηθούν[111]. Η χρήση του PROMETHEE II απαιτεί δύο επιπλέον τύπους πληροφορίες για κάθε κριτήριο: βάρος και προτίμηση λειτουργία. Η συνάρτηση προτίμησης χαρακτηρίζει τη διαφορά για a κριτήριο μεταξύ των αξιολογήσεων που λαμβάνονται από δύο πιθανά αποφάσεις σε βαθμό προτίμησης που κυμαίνεται από 0 έως 1. Σε σειρά για να διευκολυνθεί ο ορισμός αυτών των λειτουργιών, έξι βασικές προτιμήσεις λειτουργίες έχουν προταθεί. Η διαδικασία λήψης αποφάσεων από το PROMETHEE II και επιπλέον, η μέθοδος αποτελείται από τέσσερα στάδια που θα αναλυθούν παρακάτω[112,113].

Θεωρείται μια από τις πιο αποδοτικές μεθόδους της κατηγορίας των σχέσεων υπεροχής γιατί μπορεί εύκολα να γίνει αντιληπτή και κατανοητή από την ανθρώπινη λογική αλλά να υπάρξει και η σωστή διαχείριση ποσοτικών και ποιοτικών δεδομένων. Επίσης δίνει την δυνατότητα ύπαρξης σαφής προσδιορισμού των προτιμήσεων μεταξύ πολλαπλών αποφάσεων, όπως και ευέλικτος αλγόριθμος με δυνατότητα εξατομικευμένων βελτιώσεων. Ακόμη δίνει την δυνατότητα διαχείρισης των δεδομένων εισόδου, μη σαφώς ορισμένα αλλά και εφαρμογή σε μεγάλο εύρος τομέων[114,115].

## 8.2 Ιστορική αναδρομή της μεθόδου PROMETHEE

Το PROMETHEE I (μερική κατάταξη) και το PROMETHEE II (ολοκληρωμένη κατάταξη) αναπτύχθηκαν από τον JP Brans και παρουσιάστηκαν για πρώτη φορά το 1982 σε συνέδριο που διοργάνωσαν οι R. Nadeau και M. Landry στο Université Laval, Κεμπέκ, Καναδάς (L'Ingénierie de la Décision[116,117]. Επεξεργασία των οργάνων d'Aide à la Décision). Την ίδια χρονιά, πολλές εφαρμογές που χρησιμοποιούν αυτήν τη μεθοδολογία αντιμετωπίστηκαν ήδη από τον G. Davignon στον τομέα της Health care.

Λίγα χρόνια αργότερα, οι J.P. Brans και B. Mareschal ανέπτυξαν το PROMETHEE III (κατάταξη βάσει διαστημάτων) και PROMETHEE IV (συνεχής περίπτωση)[118]. Οι ίδιοι συγγραφείς πρότειναν το 1988 την οπτική διαδραστική ενότητα GAIA η οποία παρέχει μια θαυμάσια γραφική παράσταση που υποστηρίζει τη μεθοδολογία PROMETHEE[119].

Το 1992 και το 1994, οι J.P. Brans και B. Mareschal πρότειναν επιπλέον δύο ωραίες επεκτάσεις: PROMETHEE V (MCDA συμπεριλαμβανομένων των περιορισμών κατάταξης) και PROMETHEE VI (αναπαράσταση του ανθρώπινου εγκεφάλου)[120].

Ένας μεγάλος αριθμός επιτυχημένων εφαρμογών αντιμετωπίστηκε με τη μεθοδολογία PROMETHEE σε διάφορους τομείς όπως Τραπεζικές εργασίες, Βιομηχανική τοποθεσία, προγραμματισμός ανθρώπινου δυναμικού, Υδατικοί πόροι, Επενδύσεις, Ιατρική, Χημεία, Υγειονομική περίθαλψη, Τουρισμός, Ηθική στην OR, Δυναμική διαχείριση, ... Η επιτυχία της μεθοδολογίας οφείλεται βασικά στις μαθηματικές της ιδιότητες και στην ιδιαίτερη φιλικότητά της στη χρήση[121].

## 8.3 Προβληματισμός MCDM με χρήση της μεθόδου PROMETHEE

Συνήθως αυτό είναι ένα κακό μαθηματικό πρόβλημα, καθώς δεν υπάρχει εναλλακτική βελτιστοποίηση όλων των κριτηρίων ταυτόχρονα. Ωστόσο, τα περισσότερα (σχεδόν όλα) ανθρώπινα προβλήματα έχουν πολυκριτηριακό χαρακτήρα. Σύμφωνα με τις διάφορες ανθρώπινες προσδοκίες μας, δεν έχει νόημα, και συχνά δεν είναι δίκαιο, να επιλέγουμε μια απόφαση βάσει ενός μόνο κριτηρίου αξιολόγησης. Στις περισσότερες περιπτώσεις, τουλάχιστον τεχνολογικά, οικονομικά, περιβαλλοντικά και κοινωνικά κριτήρια πρέπει πάντα να λαμβάνονται υπόψη. Επομένως, τα πολυκριτηριακά προβλήματα είναι εξαιρετικά σημαντικά και ζητούν την κατάλληλη θεραπεία[122].

Ας εξετάσουμε ως παράδειγμα το πρόβλημα ενός ατόμου που αγοράζει αυτοκίνητο. Φυσικά η τιμή είναι σημαντική και πρέπει να ελαχιστοποιηθεί. Ωστόσο, είναι σαφές ότι σε γενικές γραμμές τα άτομα δεν εξετάζουν μόνο την τιμή. Δεν οδηγούν όλοι το φθηνότερο αυτοκίνητο! Οι περισσότεροι άνθρωποι θα ήθελαν να οδηγήσουν ένα πολυτελές ή σπορ αυτοκίνητο στην τιμή ενός οικονομικού αυτοκινήτου[123,124]. Πράγματι, θεωρούν πολλά κριτήρια όπως η τιμή, η φήμη, η άνεση, η ταχύτητα, η αξιοπιστία, η κατανάλωση, ... Καθώς δεν υπάρχει αυτοκίνητο βελτιστοποιώντας ταυτόχρονα όλα τα κριτήρια, θα πρέπει να επιλεγεί συμβιβαστική λύση. Τα περισσότερα προβλήματα λήψης αποφάσεων έχουν τόσο πολύ κριτήρια

Η λύση ενός προβλήματος πολλαπλών κριτηρίων εξαρτάται όχι μόνο από τα βασικά δεδομένα που περιλαμβάνονται στον πίνακα αξιολόγησης αλλά και από τον ίδιο τον υπεύθυνο λήψης αποφάσεων[125]. Όλα τα άτομα δεν αγοράζουν το ίδιο αυτοκίνητο. Δεν υπάρχει απόλυτη καλύτερη λύση! Η καλύτερη συμβιβαστική λύση εξαρτάται επίσης από τις ατομικές προτιμήσεις κάθε

υπευθύνου λήψης αποφάσεων, από τον «εγκέφαλο» κάθε υπευθύνου λήψης αποφάσεων[126,127,128].

#### 8.4 Μέθοδοι PROMETHEE

Οι μέθοδοι που ανήκουν στην οικογένεια PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method of Enrichment Evaluation) άρχισαν να αναπτύσσονται στα μέσα της δεκαετίας του 1980 από τους Brans και Vincke (1985)[129]. Πρόκειται για διαδοχικές μεθόδους οι οποίες στηριζόμενες στις βασικές αρχές της θεωρίας των σχέσεων υπεροχής επιτρέπουν την αποτελεσματική αντιμετώπιση προβλημάτων επιλογής (PROMETHEE I) και κατάταξης (PROMETHEE II)[130]. Η διαδικασία που ακολουθείται για την αντιμετώπιση ενός πολυκριτηριακού προβλήματος μέσω των μεθόδων PROMETHEE I και II θεωρείται αρκετά απλή τόσο στην αντίληψη όσο και στην εφαρμογή, γεγονός που τις καθιστά ιδιαίτερα δημοφιλείς στο χώρο της πολυκριτηριακής ανάλυσης αποφάσεων. Οι δύο αυτές μέθοδοι είναι ίδιες όσον αφορά το στάδιο ανάπτυξης της σχέσης υπεροχής και διαφέρουν μόνο στη φάση της εκμετάλλευσης της σχέσης που αναπτύσσεται[131].

Για κάθε κριτήριο οι μέθοδοι PROMETHEE προϋποθέτουν τον καθορισμό μίας ορισμένης συνάρτησης προτίμησης. Η συνάρτηση αυτή χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί ο βαθμός προτίμησης που σχετίζεται με την καλύτερη εναλλακτική σε κάθε περίπτωση των συγκρίσεων ανά ζεύγος. Οι μέθοδοι PROMETHEE υπολογίζουν θετικές και αρνητικές ροές προτίμησης για κάθε εναλλακτική. Η θετική ροή εκφράζει το κατά πόσο μία εναλλακτική είναι η κυρίαρχη έναντι των άλλων εναλλακτικών, και η αρνητική το κατά πόσο κυριαρχείται από τις υπόλοιπες εναλλακτικές[132]. Η PROMETHEE I βασιζόμενη σε αυτές τις ροές μας οδηγεί σε μία μερική κατάταξη, ενώ η PROMETHEE II μας δίνει μία πλήρη κατάταξη που βασίζεται στην εξισορρόπηση των δύο ροών προτίμησης. Το πρώτο στάδιο της ανάπτυξης της σχέσης υπεροχής ξεκινάει με τον προσδιορισμό του δείκτη προτίμησης (preference index)  $\pi(x_i, x_j)$  για κάθε ζεύγος εναλλακτικών δραστηριοτήτων  $x_i$  και  $x_j$ , που ορίζεται ως[133]:

$$\pi(x_i, x_j) = \sum_{k=1}^n w_k p_k(x_i, x_j) \quad (8.1)$$

Ο μερικός δείκτης προτίμησης  $p_k(x_i, x_j)$  για το κριτήριο  $x_k$  ορίζεται σε συνάρτηση της διαφοράς  $x_{ik} - x_{jk}$  μεταξύ των επιδόσεων των δύο εναλλακτικών στο κριτήριο  $x_k$ [134].

Ειδικότερα:

$$p_k(x_i, x_j) = \begin{cases} 0 & x_{ik} < x_{jk} \\ h_k(x_{ik} - x_{jk}) & x_{ik} \geq x_{jk} \end{cases} \quad (8.2)$$

Υπάρχουν 5 περιπτώσεις γενικευμένων κριτηρίων για τη μορφή της συνάρτησης  $h_k$  (generalised criteria). Συγκεκριμένα[135]:

- I. Το σύνηθες κριτήριο (usual criterion): ο λήπτης αποφάσεων είναι αδιάφορος μεταξύ δύο εναλλακτικών  $x_i$  και  $x_j$  στο κριτήριο  $x_k$  αν και μόνο αν  $x_{ik} = x_{jk}$ . Σε άλλη περίπτωση, αν  $x_{ik} > x_{jk}$ , ο λήπτης αποφάσεων θεωρεί ότι υπάρχει σαφής προτίμηση της  $x_i$  έναντι της  $x_j$ . Οπότε η συνάρτηση  $h_k$  ορίζεται ως:

$$h_k(x_{ik} - x_{jk}) = \begin{cases} 0, & x_{ik} = x_{jk} \\ 1, & x_{ik} > x_{jk} \end{cases} \quad (8.3)$$

- II. Το σχεδόν κριτήριο (quasi criterion): με βάση αυτό το κριτήριο, ο λήπτης αποφάσεων θεωρεί ότι υπάρχει αδιαφορία μεταξύ των δύο εναλλακτικών  $x_i$  και  $x_j$  στο κριτήριο  $x_k$ , όταν η διαφορά  $x_{ik} - x_{jk}$  δεν υπερβαίνει ένα κατώφλι αδιαφορίας  $q_k$ . Διαφορετικά υπάρχει σαφής προτίμηση. Στην περίπτωση αυτού του κριτηρίου θα πρέπει να οριστεί το κατώφλι αδιαφορίας. Τότε, η συνάρτηση  $h_k$  ορίζεται ως [136]:

$$h_k(x_{ik} - x_{jk}) = \begin{cases} 0, & x_{ik} - x_{jk} < q_k \\ 1, & x_{ik} - x_{jk} \geq q_k \end{cases} \quad (8.4)$$

- III. Το κριτήριο γραμμικής προτίμησης (criterion with linear preference) : ο λήπτης αποφάσεων θεωρεί ότι εφόσον η διαφορά  $x_{ik} - x_{jk}$  είναι μικρότερη από ένα κατώφλι προτίμησης  $p_k$ , τότε η προτίμηση του για την  $x_i$  αυξάνει γραμμικά συναρτήσει της διαφοράς  $x_{ik} - x_{jk}$ . Όταν αυτή η διαφορά ξεπερνάει το κατώφλι προτίμησης  $p_k$ , τότε θα έχουμε σαφή προτίμηση. Η συνάρτηση  $h_k$  ορίζεται ως:

$$h_k(x_{ik} - x_{jk}) = \begin{cases} 1, & x_{ik} - x_{jk} \geq p_k \\ \frac{x_{ik} - x_{jk}}{p_k}, & x_{ik} - x_{jk} < p_k \end{cases} \quad (8.5)$$

- IV. Το κριτήριο επιπέδου (level criterion) : στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούμε κατώφλι αδιαφορίας και κατώφλι προτίμησης [137]. Εφόσον η διαφορά  $x_{ik} - x_{jk}$  βρίσκεται μεταξύ του διαστήματος  $[q_k, p_k]$ , τότε υπάρχει μία ελαφριά προτίμηση για την εναλλακτική  $x_i$ . Στις άλλες περιπτώσεις ισχύουν τα ίδια με τα δύο προηγούμενα κριτήρια. Δηλαδή, όταν η διαφορά  $x_{ik} - x_{jk}$  είναι μικρότερη από το κατώφλι αδιαφορίας  $q_k$ , τότε υπάρχει αδιαφορία ανάμεσα στις δύο εναλλακτικές. Όταν η διαφορά  $x_{ik} - x_{jk}$  είναι μεγαλύτερη από το κατώφλι προτίμησης  $p_k$ , τότε η προτίμηση είναι σαφώς για το  $x_i$ . Η συνάρτηση  $h_k$  ορίζεται ως:

$$h_k(x_{ik} - x_{jk}) = \begin{cases} 0 & x_{ik} - x_{jk} < q_k \\ 0,5 & x_{ik} - x_{jk} \in [q_k, p_k] \\ 1 & x_{ik} - x_{jk} > p_k \end{cases} \quad (8.6)$$

- V. Το κριτήριο γραμμικής προτίμησης και περιοχής αδιαφορίας ( criterion with linear preference and indifference area) : ο λήπτης αποφάσεων θεωρεί ότι η προτίμηση του αυξάνεται γραμμικά από την αδιαφορία στη σαφή προτίμηση, όταν η διαφορά  $x_{ik}-x_{jk}$  βρίσκεται ανάμεσα στο όριο αδιαφορίας και το όριο προτίμηση.

$$h_k(x_{ik} - x_{jk}) = \begin{cases} 0 & x_{ik} - x_{jk} < q_k \\ \frac{x_{ik} - x_{jk} - q_k}{p_k - q_k} & x_{ik} - x_{jk} \in [q_k, p_k] \\ 1 & x_{ik} - x_{jk} > p_k \end{cases} \quad (8.7)$$

Στην PROMETHEE II, αντίθετα, υπάρχει μόνο μία κατάταξη για τις εναλλακτικές, η οποία γίνεται βάση τις συνολικές τους ροές και η οποία είναι πλήρης ( δηλαδή δεν λαμβάνουμε υπόψη τη σχέση ασυγκριτικότητας). Αυτή η κατάταξη ορίζεται ως εξής:

$$\begin{aligned} x_i P x_j & \square \varphi(x_i) > \varphi(x_j) \\ x_i I x_j & \square \varphi(x_i) = \varphi(x_j). \end{aligned} \quad (8.8)$$

Οι μέθοδοι PROMETHEE έχουν συμβάλει ουσιαστικά τόσο στη θεωρητική προσέγγιση όσο και στην πρακτική αντιμετώπιση των πολυδιάστατων προβλημάτων που απαντώνται στο χώρο της χρηματοοικονομικής διοίκησης, καθώς η φιλοσοφία τους αποτελεί το επιστημονικό υπόβαθρο πολλών εξελιγμένων συστημάτων υποστήριξης χρηματοοικονομικών αποφάσεων. ( Δούμος 2006, Ζοπουνίδης 2006)

## 8.5 Μεθοδολογία PROMETHEE

Παρακάτω θα δούμε τα βήματα από τα οποία αποτελείται η συγκεκριμένη μεθοδολογία PROMETHEE. Όσο αναφορά για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε είτε το λογισμικό PRMETHEE, όπου πραγματοποιούνται όλα τα βήματα μέσω ειδικού μενού που περιέχει το λογισμικό και με αυτοματοποιημένο τρόπο προκύπτουν τα επιθυμητά αποτελέσματα. Στην μελέτη της εργασίας προσπαθήσαμε να προσεγγίσουμε την συγκεκριμένη μεθοδολογία με έναν διαφορετικό τρόπο. Όταν λέμε διαφορετικό δεν εννοούμε ότι εφαρμόσαμε κάτι διαφορετικό, αλλά επιλέξαμε να κάνουμε αναλυτικά όλα τα βήματα που πραγματοποιούνται κατά την εκτέλεση της

συγκεκριμένης μεθόδου MCDM για την εξαγωγή αποτελεσμάτων. Έτσι, λοιπόν και κάναμε την εφαρμογή της μεθόδου μέσω του υπολογιστικού φύλλου (excel). Στην συγκεκριμένη ενότητα θα δούμε την διαδικασία εκτέλεσης των βημάτων με την σειρά την οποία εκτελούνται σύμφωνα με την μεθόδου PROMETHEE[138].

### **ΒΗΜΑ 1:**

Από το επιλεγμένο dataset και τις αντίστοιχες στήλες (attributes) που απαρτίζεται το δοθέν dataset, πραγματοποιούμε σε όλα τα δεδομένα την ιδιότητα της αριθμητικής εμφάνισης-μετατροπής τους μέσω της ιδιότητας scaling[139].

**Πραγματοποιούμε scaling σε δεδομένα(attributes) που περιέχουν χαρακτήρες**

### **ΒΗΜΑ 2:**

Στην συνέχεια για τον πίνακα που έχουμε των 2 διαστάσεων πραγματοποιούμε έλεγχο εύρεσης μέγιστων και ελάχιστων για κάθε attribute που απαρτίζει τον πίνακα.

**Βρίσκουμε τα μέγιστα και ελάχιστα από κάθε attribute**

### **ΒΗΜΑ 3:**

Στην συνέχεια από τα παραπάνω βήμα εφαρμόζουμε την φόρμουλα διαφοράς για κάθε attribute που έχουμε στον πίνακα.

**Εφαρμόζουμε την συνάρτηση διαφοράς MAX-MIN**

### **ΒΗΜΑ 4:**

Πραγματοποιούμε για τα δεδομένα μας, την ιδιότητα της κανονικοποίησης, προκειμένου όλες οι τιμές του πίνακα να είναι εντός του εύρους 0 έως 1.

Κανονικοποίηση είναι η διαδικασία της επιλογής νέων συνήθως αδιάστατων μεταβλητών και η επαναδιατύπωση του προβλήματος μέσω αυτών των μεταβλητών. Με αυτό τον τρόπο μπορούμε να συγκρίνουμε την τάξη μεγέθους των όρων σε μία εξίσωση για να παραλείψουμε για παράδειγμα μικρούς όρους. Αυτό βοηθάει στην εφαρμογή των μεθόδων διαταραχών. Πιο συγκεκριμένα κάθε μεταβλητή σε ένα πρόβλημα χαρακτηρίζεται από την τάξη μεγέθους της σε σχέση με τον τρόπο μέτρησης της. Για παράδειγμα, αν  $t$  είναι μια μεταβλητή χρόνου, την οποία μετράμε σε δευτερόλεπτα για την περιγραφή ενός φαινομένου, όπως η κίνηση ενός παγετώνα ή η οξείδωση του σιδήρου, το δευτερόλεπτο είναι πολύ μικρή μονάδα μέτρησης ενώ για τη περιγραφή ενός φαινομένου, όπως μια πυρηνική αντίδραση είναι πολύ μεγάλη μονάδα μέτρησης[140]. Γενικά σε κάθε πρόβλημα έχουμε μια εγγενή κλίμακα χρόνου που την ονομάζουμε χαρακτηριστικό χρόνο αναφοράς,  $t_c$ . Η ποσότητα  $t_c$

μπορεί να ορισθεί ως το μικρότερο χρονικό διάστημα που απαιτείται για να παρατηρηθούν αναγνωρίσιμες μεταβολές στα φυσικά μεγέθη του προβλήματος[141,142].

**Εφαρμογή του παρακάτω τύπου**

$$R_{ij} = \frac{[x_{ij} - \min(x_{ij})]}{[\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})]} \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$$

$$R_{ij} = \frac{[\max(x_{ij}) - x_{ij}]}{[\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})]}$$

Beneficial criteria

Non-beneficial criteria

(8.9)

**ΒΗΜΑ 5:**

Στην συνέχεια υπολογίζουμε την διαφορά μεταξύ των διαφόρων στοιχείων που έχουμε με όλα τα υπόλοιπα, χωρίς όμως τον υπολογισμό της διαφοράς του. Για παράδειγμα αν έχουμε 3 στοιχεία με n αριθμό attributes, τότε έχουμε ότι θα πάρουμε το πρώτο στοιχείο και θα υπολογίσουμε την διαφορά του ξεχωριστά μία με το δεύτερο στοιχείο και μετά με το τρίτο στοιχείο. Συνεπώς θα έχουμε υπολογίσει 2 διαφορές. Κ.ο.κ.

Υπολογίζουμε την διαφορά μεταξύ των CARS με εξαίρεση τον ευατό του που δεν υπολογίζουμε

**ΒΗΜΑ 6:**

Οι αρνητικές τιμές που προκύπτουν από το ΒΗΜΑ 5 τότε τις αντίστοιχες τιμές τις θέτουμε ίσες με 0 γιατί δεν μας ενδιαφέρει ο υπολογισμός αρνητικών τιμών[143].

**IF (VALUE < 0) THEN VALUE 0**

**ΒΗΜΑ 7:**

Στην συνέχεια στις αντίστοιχες τιμές πολλαπλασιάζουμε τα βάρη ξεχωριστά του κάθε attribute που απαρτίζει τον πίνακα και στην συνέχεια παίρνουμε για κάθε στοιχείο, δηλαδή για κάθε γραμμή το άθροισμα των τιμών.

Aggregated preference function,  $\pi(a, b)$

$$= \left[ \sum_{j=1}^n w_j P_j(a, b) \right] / \sum_{j=1}^n w_j$$

(8.10)

**ΒΗΜΑ 8:**

Μέσω των παρακάτω τύπων-φόρμουλων υπολογίζουμε τον μέσο όρο των τιμών των διαφορετικών στοιχείων που έχουμε επιλέξει από το dataset[144].

Leaving (positive) flow for  $a$ th alternative,  $\varphi^+$

$$= \frac{1}{m-1} \sum_{b=1}^m \pi(a, b) \quad (a \neq b)$$

Entering (negative) flow for  $a$ th alternative,  $\varphi^-$

$$= \frac{1}{m-1} \sum_{b=1}^m \pi(b, a) \quad (a \neq b)$$

(8.11)

**ΒΗΜΑ 9:**

Με βάσει τις εξαχθέντες τιμές του βήματος 8 παίρνουμε και υπολογίζουμε την διαφορά μεταξύ των τιμών αυτών, έτσι ώστε να δούμε την σειρά σημαντικότητας για κάθε στοιχείο που επιλέξαμε από μια συγκεκριμένη κατηγορία, για παράδειγμα από τα αυτοκίνητα, αν έχουμε επιλέξει 5 στοιχεία τους που τα χαρακτηρίζουν, ποιο θεωρείτε ποιο σημαντικό σε σχέση με τα υπόλοιπα και έτσι προκύπτει μια λογική σειρά.

**Καθορισμός ταξινόμησης κατά φθίνουσα σειρά της στήλης "ΑΠΟΣΤΑΣΗ"**

$\varphi(a) = \varphi^+(a) - \varphi^-(a)$				
--	--	--	--	--

(8.12)

## 8.6 ΕΦΑΡΜΟΓΗ PROMETHEE

Αρχικά, έχουμε τα δεδομένα που συλλέξαμε για την εφαρμογή της μεθόδου PROMETHEE.

Πίνακας 8.1: Αλγόριθμος PROMETHEE

Βάρος	0,35	0,25	0,25	0,15
	Τιμή / Κόστος	Τιμολόγιο	Κύλινδροι	Ιπποδύναμη
CAR 1 (MDX)	250	16	12	Άριστος
CAR 2 (RSX)	200	16	8	Μέση τιμή
CAR 3 (TSX)	300	32	16	Καλός
CAR 4 (NSX)	275	32	8	Κάτω από το μέσο όρο

Τα δεδομένα που επιλέξαμε, όπως προαναφέραμε τα συλλέξαμε από την βάση Kaggle (<https://www.kaggle.com/ljanjughazyay/cars-dataset-analysis>) και απεικονίζονται στον παραπάνω

Πίνακας 8.1 [145].

Πίνακας 8.2: Κλίμακα 5 πόντων για χαρακτηριστικό ή κριτήρια “Ιπποδύναμη”

Κλίμακα 5 πόντων για χαρακτηριστικό ή κριτήρια "Ιπποδύναμη"				
Χαμηλός	1			
Κάτω από το μέσο όρο	2			
Μέση τιμή	3			
Καλός	4			
Άριστος	5			
Βάρος	0,35	0,25	0,25	0,15
	Μη ωφέλιμα κριτήρια	Ωφέλιμα κριτήρια	Ωφέλιμα κριτήρια	Ωφέλιμα κριτήρια
	Τιμή / Κόστος	Τιμολόγιο	Κύλινδροι	Ιπποδύναμη
CAR 1	250	16	12	5
CAR 2	200	16	8	3
CAR 3	300	32	16	4
CAR 4	275	32	8	2

Στον παραπάνω Πίνακας 8.2 βλέπουμε την περίπτωση, όπου χρειάζεται να κάνουμε κλίμακα (scale) σε ένα από τα attribute που έχουμε επιλέξει προκειμένου να έχουμε σε όλα τα χαρακτηριστικά (attributes) αριθμητικές τιμές. Για τον λόγο αυτό θεωρούμε με βάσει τα επίπεδα που έχουμε για το attribute και την αντίστοιχη αριθμητική κλίμακα που αντιστοιχίζεται.

Πίνακας 8.3: Μέγιστες και Ελάχιστες τιμές των attributes

Βάρος	0,35	0,25	0,25	0,15
	Τιμή / Κόστος	Τιμολόγιο	Κύλινδροι	Ιπποδύναμη
CAR 1	250	16	12	5
CAR 2	200	16	8	3
CAR 3	300	32	16	4
CAR 4	275	32	8	2
$\max(X_i), \min(X_i)$	300, 200	32,16	16,8	5,2

Στην συνέχεια εντοπίζουμε τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές των attributes που έχουμε επιλέξει.

Πίνακας 8.4: Διαφορά Μέγιστης και Ελάχιστης τιμής των attributes

Βάρος	0,35	0,25	0,25	0,15
	Τιμή / Κόστος	Τιμολόγιο	Κύλινδροι	Ιπποδύναμη
CAR 1	250	16	12	5
CAR 2	200	16	8	3
CAR 3	300	32	16	4
CAR 4	275	32	8	2
$\max(X_i), \min(X_i)$	300, 200	32,16	16,8	5,2
$\max(X_i) - \min(X_i)$	100	16	8	3

Έπειτα εφαρμόζουμε την φόρμουλα διαφοράς μέγιστης με ελάχιστης τιμής και προκύπτουν οι αντίστοιχες τιμές έπειτα από την εφαρμογή της φόρμουλας όπως φαίνεται στον παραπάνω

Πίνακας 8.4.

Πίνακας 8.5: Κανονικοποίηση για κάθε στοιχείο του πίνακα

Βάρος	0,35	0,25	0,25	0,15
	Τιμή / Κόστος	Τιμολόγιο	Κύλινδροι	Ιπποδύναμη
CAR 1	0,5	0	0,5	1
CAR 2	1	0	0	0,333333333
CAR 3	0	1	1	0,666666667
CAR 4	0,25	1	0	0
max(Xi), min(Xi)	300, 200	32,16	16,8	5,2

$$R_{ij} = \frac{[x_{ij} - \min(x_{ij})]}{[\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})]} \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$$

Beneficial criteria

$$R_{ij} = \frac{[\max(x_{ij}) - x_{ij}]}{[\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})]}$$

Non-beneficial criteria

(8.13)

Στην συνέχεια εφαρμόζουμε την φόρμουλα κανονικοποίησης, όπως αναφέρθηκε στα βήματα της μεθοδολογίας της μεθόδου PROMETHEE, όπως φαίνεται και στην προηγούμενη ενότητα. Αυτή η φόρμουλα εφαρμόζεται για κάθε στοιχείο του παραπάνω πίνακα[146,147].

Στο επόμενο βήμα υπολογίζουμε την διαφορά μεταξύ των αυτοκινήτων που έχουμε χωρίς τον εαυτό του.

Πίνακας 8.6: Διαφορά μεταξύ των αυτοκινήτων

D(C1-C2)	-0,5	0	0,5	0,666666667
D(C1-C3)	0,5	-1	-0,5	0,333333333
D(C1-C4)	0,25	-1	0,5	1
D(C2-C1)	0,5	0	-0,5	-0,666666667
D(C2-C3)	1	-1	-1	-0,333333333
D(C2-C4)	0,75	-1	0	0,333333333
D(C3-C1)	-0,5	1	0,5	-0,333333333
D(C3-C2)	-1	1	1	0,333333333
D(C3-C4)	-0,25	0	1	0,666666667
D(C4-C1)	-0,25	1	-0,5	-1
D(C4-C2)	-0,75	1	0	-0,333333333
D(C4-C3)	0,25	0	-1	-0,666666667

Πίνακας 8.7: Αφαίρεση αρνητικών τιμών

D(C1-C2)	0	0	0,5	0,666666667
D(C1-C3)	0,5	0	0	0,333333333
D(C1-C4)	0,25	0	0,5	1
D(C2-C1)	0,5	0	0	0
D(C2-C3)	1	0	0	0
D(C2-C4)	0,75	0	0	0,333333333
D(C3-C1)	0	1	0,5	0
D(C3-C2)	0	1	1	0,333333333
D(C3-C4)	0	0	1	0,666666667
D(C4-C1)	0	1	0	0
D(C4-C2)	0	1	0	0
D(C4-C3)	0,25	0	0	0

Οι αρνητικές τιμές που παρατηρούνται στο Πίνακα 8.6 τον προηγούμενο, τις αφαιρούμε γιατί δεν έχουν νόημα για την μετέπειτα εφαρμογή της μεθόδου, καθώς δείχνουν την μη σημαντικότητα των συγκεκριμένων τιμών[148,149].

Πίνακας 8.8: Πολλαπλασιασμός τιμής με την βαρύτητα του κάθε attribute

Βάρος	0,35	0,25	0,25	0,15	$\sum_{j=1}^n w_j P_j(a,b)$
	Τιμή / Κόστος	Τιμολόγιο	Κύλινδροι	Ιπποδύναμη	
D(C1-C2)	0	0	0,125	0,1	0,225
D(C1-C3)	0,175	0	0	0,05	0,225
D(C1-C4)	0,0875	0	0,125	0,15	0,3625
D(C2-C1)	0,175	0	0	0	0,175
D(C2-C3)	0,35	0	0	0	0,35
D(C2-C4)	0,2625	0	0	0,05	0,3125
D(C3-C1)	0	0,25	0,125	0	0,375
D(C3-C2)	0	0,25	0,25	0,05	0,55
D(C3-C4)	0	0	0,25	0,1	0,35
D(C4-C1)	0	0,25	0	0	0,25
D(C4-C2)	0	0,25	0	0	0,25
D(C4-C3)	0,0875	0	0	0	0,0875

Στην συνέχεια με βάσει τα εξαχθέντα στοιχεία που έχουμε από πιο πάνω πολλαπλασιάζουμε την κάθε τιμή με την βαρύτητα του κάθε attribute που έχουμε για το dataset. Έπειτα προκύπτουν οι τιμές που βλέπουμε στον παραπάνω. Και αμέσως προσθέτουμε για το κάθε στοιχείο τις τιμές.

Πίνακας 8.9: Λειτουργία Συγκεντρωτικής Προτίμησης

Aggregated Preference Function (Λειτουργία Συγκεντρωτικής Προτίμησης)					
		CAR1	CAR2	CAR3	CAR4
CAR1		-	0,225	0,225	0,3625
CAR2		0,175	-	0,35	0,3125
CAR3		0,375	0,55	-	0,35
CAR4		0,25	0,25	0,0875	-

Έπειτα συλλέγουμε τις τιμές αυτές σε έναν πίνακα, γι' αυτό, παρατηρούμε στην κύρια διαγώνιο κενά στοιχεία λόγω της μη σύγκρισης μεταξύ του εαυτού του και όλα τα υπόλοιπα στοιχεία έχουμε τιμές που εξήχθησαν από τον προηγούμενο πίνακα.

Πίνακας 8.10: Υπολογισμός φραγμάτων του μέσου όρου ανά γραμμή και σε στήλη

Aggregated Preference Function						
		CAR1	CAR2	CAR3	CAR4	$\phi+$ leaving flow
CAR1		-	0,225	0,225	0,3625	0,270833333
CAR2		0,175	-	0,35	0,3125	0,279166667
CAR3		0,375	0,55	-	0,35	0,425
CAR4		0,25	0,25	0,0875	-	0,195833333
$\phi-$ entering flow		0,266666667	0,341666667	0,220833333	0,3416667	

Έτσι παίρνουμε τον παραπάνω Πίνακας 8.10 υπολογίζοντας τα φράγματα του μέσου όρου που δίνονται τόσο ανά γραμμή, αλλά και τόσο σε στήλη. Για παράδειγμα, για ένα αυτοκίνητο βλέπουμε την σημαντικότητα με βάση τα άλλα αυτοκίνητα[150].

Πίνακας 8.11: Καθορισμός ταξινόμησης κατά φθίνουσα σειρά της στήλης "ΑΠΟΣΤΑΣΗ"

	$\phi+$ leaving flow	$\phi-$ entering flow	ΑΠΟΣΤΑΣΗ	Ταξινόμηση
CAR1	0,270833333	0,266666667	0,004166667	2
CAR2	0,279166667	0,341666667	-0,0625	3
CAR3	0,425	0,220833333	0,204166667	1
CAR4	0,195833333	0,341666667	-0,145833333	4

Τελικά, προκύπτει ο πίνακας που φαίνεται παραπάνω, ως εξής:

Η διαφορά των 2 τιμών που έχουμε μας δίνουν το επιθυμητό αποτέλεσμα. Λαμβάνουμε υπόψιν με βάση την φθίνουσα σειρά, δηλαδή από τη μεγαλύτερη προς την μικρότερη τιμή. Αυτό σημαίνει ότι το συγκεκριμένο αυτοκίνητο, στην προκειμένη περίπτωση το CAR3 σε σχέση με τα υπόλοιπα αυτοκίνητα και στα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά (attributes) έχουμε ότι προτιμάται έναντι των υπολοίπων.

## 8.7 Επίλογος

Στο τελευταίο κεφάλαιο αναφέρονται τα σύνολα δεδομένων που συλλέχθηκαν με την έγκυρη πηγή που τα συνόδευαν. Τα συγκεκριμένα δεδομένα συλλέχθηκαν για την εφαρμογή της μεθόδου PROMETHEE. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται μια εισαγωγή της μεθόδου και η ιστορική αναδρομή της. Στη συνέχεια βλέπουμε τον προβληματισμό MCDM με χρήση της μεθόδου PROMETHEE. Έπειτα, ακολουθεί η θεωρία αναλυτικά με τα βήματα που πρέπει να ακολουθηθούν στην πράξη επίλυσης ενός προβλήματος και τέλος γίνεται εφαρμογή στα δεδομένα που συλλέχθηκαν, τα οποία συνοδεύονται με την κατάλληλη αιτιολόγηση για την εξαγωγή των ασφαλών συμπερασμάτων που γίνονται.

## Κεφάλαιο 9ο: Συμπεράσματα

Στόχος της εργασίας είναι να ερευνηθεί πως οι μέθοδοι MCDA μπορούν να εφαρμοστούν κατάλληλα για τα σωστά και ασφαλή συμπεράσματα. Στην έρευνα μας χρησιμοποιήθηκαν 3 δημοφιλείς μέθοδοι πολυκριτήριας ανάλυσης αποφάσεων, στην προσπάθεια μας να βρούμε την κατάταξη τόσο σε επίπεδο χωρών όσο και σε προϊόντα αγορών. Μελετώντας τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν μετά την εφαρμογή των μεθόδων στα δεδομένα που εισήγαμε, παρατηρήσαμε τα εξαχθέντα αποτελέσματα και καταλήξαμε σε συμπεράσματα που εξήχθησαν μέσω των παρατηρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στην αντίστοιχη ενότητα της κάθε μεθόδου.

Το συμπέρασμα που μπορεί να βγει από τη μελέτη που έγινε στην παρούσα διπλωματική είναι ότι ο χώρος των τεχνολογιών της πληροφορικής και των επικοινωνιών είναι ένας ραγδαία αναπτυσσόμενος τομέας κάτι που προκύπτει και από τη βιβλιογραφία. Επίσης μπορούμε να δούμε ότι και σε χώρες όπως η Ελλάδα που δεν βρίσκεται ψηλά στην κατάταξη, τα τελευταία χρόνια η ανάπτυξη αυτών των τεχνολογιών, καθώς και η χρήση τους, κερδίζει καθημερινά έδαφος και είναι αναπόσπαστο κομμάτι της ζωής των πολιτών της εκάστοτε χώρας.

Η μέθοδος VIKOR (S. Opricovic, 1998, S. Opricovic and G. H. Tzeng, Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS, European Journal of Operational Research, 156, 2004, 445-455) εστιάζει στην κατάταξη και την επιλογή από ένα σύνολο διαθέσιμων εναλλακτικών και προσδιορίζει μια λύση συμβιβασμού (compromise solution). Η λύση προσδιορίζεται βάσει της «εγγύτητας» από μια βέλτιστη ιδεατή λύση, χρησιμοποιώντας ως μέτρο αξιολόγησης την LLpp-μετρική με τη μορφή μιας συνάρτησης συνάθροισης. Αξίζει να σημειωθεί ότι, σε πολλές εφαρμογές, η μέθοδος VIKOR συγκρίνεται με τη μέθοδο TOPSIS. Η διαφορά τους εντοπίζεται στο ότι η μέθοδος TOPSIS λαμβάνει υπόψη αμφοότερες τη θετική και την αρνητική ιδεατή λύση, ενώ η μέθοδος VIKOR εστιάζει μόνο στη θετική ιδεατή λύση. Επίσης, η μέθοδος VIKOR, μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω ενός υπολογιστικού φύλλου. Σε αυτή την περίπτωση, όπως και πριν που με δική μας επιλογή επιλέξαμε την πρακτική εφαρμογή και ανάλυση σε βάθος της εξαγωγής αποτελεσμάτων της μεθόδου Promethee, μέσω ενός υπολογιστικού φύλλου. Έτσι, λοιπόν χρησιμοποιώντας πολύπλοκες συναρτήσεις και πολλές μεταβλητές. Η μέθοδος TOPSIS αναπτύχθηκε από τους Huang και Yoon (1981) ως μια εναλλακτική λύση της μεθόδου ELECTRE (βλ. Opricovic and G. H. Tzeng, Extended VIKOR method in comparison with outranking methods, European Journal of Operational Research, 178, 2007, 514-529). Η βασική έννοια αυτής της μεθόδου είναι ότι η επιλεγμένη εναλλακτική λύση πρέπει να έχει την πιο μικρή απόσταση από την αρνητική ιδανική λύση με τη γεωμετρική έννοια. Η μέθοδος υποθέτει ότι κάθε ιδιότητα αναπαρίσταται από μια μονότονα αυξανόμενη ή μειούμενη συνάρτηση. Αυτό καθιστά εύκολο τον εντοπισμό της ιδανικής και της αρνητικής ιδανικής λύσης. Κατά συνέπεια, η διάταξη προτίμησης των εναλλακτικών λύσεων παράγεται μέσω της σύγκρισης των ευκλείδειων αποστάσεων ανάμεσα στην εναλλακτική και στην ιδανική και αρνητική ιδανική λύση. Η άλλη μέθοδος που υλοποιήθηκε ήταν η Topsis. Και αυτή τη μέθοδο χρησιμοποιήθηκε ένα υπολογιστικό φύλλο και οι πράξεις έγιναν μια προς μια, οπότε ο χρόνος που χρειάστηκε και εδώ ήταν αρκετός λόγω της εμβάθυνσης του μαθηματικού υποβάθρου για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων έπειτα από την εφαρμογή των μεθόδων. Επίσης μια άλλη μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε ήταν η Promethee, η οποία μπορεί να υλοποιηθεί με την χρήση του αντίστοιχου λογισμικού που διατίθεται και επιπλέον μπορούμε να χειριστούμε ένα σύνολο δεδομένων με αυτοματοποιημένο τρόπο, χωρίς να χρειαστεί να υπολογίζουμε εμείς από πλευράς μας όλο το μαθηματικό υπόβαθρο. Από την άλλη μπορούμε, όμως να χειριστούμε την μέθοδο Promethee και

μέσω ενός υπολογιστικού φύλλου, για παράδειγμα μέσω EXCEL, ωστόσο απαιτεί αρκετές μαθηματικές πράξεις όπως γίνονται αντιληπτές από την μελέτη περίπτωσης που πραγματοποιήσαμε.

Συνοψίζοντας, οι τρεις μέθοδοι παρουσιάζουν παρόμοια αποτελέσματα, αλλά όχι απόλυτα ίδια, καθώς έχουν διαφορετική άριστη λύση. Η μέθοδος Promethee διαχειρίζεται ποιοτικά και ποσοτικά προβλήματα και δεν μπορεί να εξάγει σωστά αποτελέσματα εάν ο αριθμός των εισροών είναι μεγάλος. Από την άλλη, στη μέθοδο Vikor η καλύτερη εναλλακτική λύση προτιμάται με τη μεγιστοποίηση της ομάδας χρησιμότητας και την ελαχιστοποίηση της ομάδας κατανομής. Τέλος, η μέθοδος Topsis μπορεί να πάρει μεγάλο αριθμό εισροών και βασίζεται στην ανθρώπινη λογική. Μειονέκτημα της μεθόδου είναι η έλλειψη ελέγχου και έτσι πιθανώς να οδηγηθούμε σε ανακριβή αποτελέσματα. Συνεπώς, για να καταλήξουμε για ποια μέθοδος θα προτιμηθεί έναντι άλλων στην λύση ενός προβλήματος, αρκεί να αναγνωρίσουμε τη μορφή του και πόσες διαθέσιμες εναλλακτικές έχουμε.

## Κεφάλαιο 10ο: Μελλοντικές Επεκτάσεις

Τα πρώτα πολυκριτήρια συστήματα υποστήριξης αποφάσεων αναπτύχθηκαν τη δεκαετία του 1970 και αφορούσαν κυρίως την αντιμετώπιση προβλημάτων πολυκριτήριου μαθηματικού προγραμματισμού (Dyer, 1973, Wallenius and Zionts, 1976)[151]. Τα πρώτα αυτά συστήματα είχαν κυρίως ακαδημαϊκό προσανατολισμό, κυρίως λόγω των περιορισμένων δυνατοτήτων που παρείχε η τεχνολογία των Η/Υ την εποχή εκείνη. Σήμερα, μετά από τρεις δεκαετίες ραγδαίων εξελίξεων στο χώρο της πληροφορικής και των Η/Υ, τα πολυκριτήρια συστήματα υποστήριξης αποφάσεων παρέχουν αυξημένες δυνατότητες όσον αφορά τη διαχείριση μεγάλου όγκου δεδομένων, την επικοινωνία με το χρήστη, την πραγματοποίηση αναλύσεων ευαισθησίας και ευστάθειας, την ανάλυση σεναρίων, κλπ.

Τα πολυκριτήρια συστήματα υποστήριξης αποφάσεων που έχουν αναπτυχθεί καλύπτουν όλα τα μεθοδολογικά ρεύματα του χώρου της πολυκριτήριας ανάλυσης[152]:

- Πολυκριτήριος μαθηματικός προγραμματισμός: Συστήματα TOMMIX (Antunes et al., 1992), TRIMAP (Climaco and Antunes, 1989), VIG (Korhonen, 1987), VIDMA (Korhonen, 1988), DIDAS (Lewandowski et al., 1989), AIM (Lofti et al., 1992), ADBASE (Steuer, 1992), STRANGE (Teghem, 1986), ADELAIS (Siskos and Despotis, 1989)[153].
- Πολυκριτήρια θεωρία χρησιμότητας: Συστήματα MACBETH (Bana e Costa and Vansnick, 1994), VISA (Belton et al., 1989), EXPERT CHOICE (Forman and Selly, 2001).
- Θεωρία των σχέσεων υπεροχής: Συστήματα PROMCALC/GAIA (Brans and Mareschal, 1994), ELECCALC (Kiss et al., 1994), PRIAM (Levine and Pomerol, 1986), ELECTRE TRI Assistant (Mousseau et al., 2000).
- Αναλυτική-συνθετική προσέγγιση: Συστήματα PEF CALC (JacquetLagrèze, 1990), MINORA (Siskos et al., 1993), MIIDAS (Siskos et al., 1999), PREFDIS (Zopounidis and Doumpos, 2000)[154].

Ο χώρος της πολυκριτήριας ανάλυσης αποφάσεων έχει πλέον καθιερωθεί ως ένα από τα βασικότερα πεδία στο χώρο της επιχειρησιακής έρευνας. Η ραγδαία εξέλιξη του χώρου αυτού, έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη ενός διαφορετικού μεθοδολογικού πλαισίου ανάλυσης των προβλημάτων λήψης αποφάσεων[155]. Κύρια χαρακτηριστικά του πλαισίου αυτού αποτελούν η αναγνώριση του πολυδιάστατου χαρακτήρα που χαρακτηρίζει τη διαδικασία λήψης της απόφασης και η ενσωμάτωση των προτιμήσεων και της πολιτικής που ακολουθεί ο αποφασίζοντας στη διαδικασία της ανάλυσης.

Σημαντικά μελλοντικά σημεία έρευνας στο χώρο της πολυκριτήριας ανάλυσης αποτελούν:

- Η διερεύνηση των δυνατοτήτων συνδυασμού με άλλα ερευνητικά πεδία (προσεγγιστικά σύνολα, ασαφής λογική, μηχανική μάθηση, νευρωνικά δίκτυα, εξελικτικοί αλγόριθμοι).
- Η ανάπτυξη νέων διαδικασιών προσδιορισμού των παραμέτρων που περιγράφουν το σύστημα προτιμήσεων και αξιών του αποφασίζοντος.
- Η διερεύνηση των αλληλεπιδράσεων, ομοιοτήτων και διαφορών μεταξύ των διαφόρων μεθοδολογικών ρευμάτων της πολυκριτήριας ανάλυσης.

## BIBΛIOΓΡΑΦΙΑ

### Journal Articles

- [1] Priemus, H. How to make housing sustainable? The Dutch experience. *Environ. Plan. B Plan. Des.* **2005**, *32*, 5–19. [CrossRef]
- [2] Mardani, A.; Jusoh, A.; Zavadskas, E.K.; Cavallaro, F.; Khalifah, Z. Sustainable and Renewable Energy: An Overview of the Application of Multiple Criteria Decision Making Techniques and Approaches. *Sustainability* **2015**, *7*, 13947–13984. [CrossRef]
- [3] Vučijak, B.; Kupusović, T.; Midžić-Kurtagić, S.; Čerić, A. Applicability of multicriteria decision aid to sustainable hydropower. *Appl. Energy* **2013**, *101*, 261–267. [CrossRef]
- [4] Quijano, H.R.; Botero, B.S.; Domínguez, B.J. MODERGIS application: Integrated simulation platform to promote and develop renewable sustainable energy plans, Colombian case study. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2012**, *16*, 5176–5187. [CrossRef]
- [5] Tzeng, G.-H.; Tsaor, S.-H.; Laiw, Y.-D.; Opricovic, S. Multicriteria analysis of environmental quality in Taipei: Public preferences and improvement strategies. *J. Environ. Manag.* **2002**, *65*, 109–120. [CrossRef]
- [6] Martin-Utrillas, M.; Juan-Garcia, F.; Canto-Perello, J.; Curiel-Esparza, J. Optimal infrastructure selection to boost regional sustainable economy. *Int. J. Sustain. Dev. World Ecol.* **2015**, *22*, 30–38. [CrossRef]
- [7] Yazdani-Chamzini, A.; Fouladgar, M.M.; Zavadskas, E.K.; Moini, S.H.H. Selecting the optimal renewable energy using multi criteria decision making. *J. Bus. Econ. Manag.* **2013**, *14*, 957–978. [CrossRef]
- [8] Ren, J.; Manzardo, A.; Mazzi, A.; Zuliani, F.; Scipioni, A. Prioritization of bioethanol production pathways in China based on life cycle sustainability assessment and multicriteria decision-making. *Int. J. Life Cycle Assess.* **2015**, *20*, 842–853. [CrossRef]
- [9] Civic, A.; Vucijak, B. Multi-criteria Optimization of Insulation Options for Warmth of Buildings to Increase Energy Efficiency. *Procedia Eng.* **2014**, *69*, 911–920. [CrossRef]
- [10] Kim, Y.; Chung, E.-S. Fuzzy VIKOR approach for assessing the vulnerability of the water supply to climate change and variability in South Korea. *Appl. Math. Model.* **2013**, *37*, 9419–9430. [CrossRef]
- [11] Zavadskas, E.K.; Turskis, Z.; Kildienė, S. State of art surveys of overviews on MCDM/MADM methods. *Technol. Econ. Dev. Econ.* **2014**, *20*, 165–179. [CrossRef]
- [12] Kahraman, C.; Çebi, S. A new multi-attribute decision making method: Hierarchical fuzzy axiomatic design. *Expert Syst. Appl.* **2009**, *36* (Part 1), 4848–4861. [CrossRef]
- [13] Opricovic, S. A compromise solution in water resources planning. *Water Resour. Manag.* **2009**, *23*, 1549–1561. [CrossRef]
- [14] Chang, C.-L. A modified VIKOR method for multiple criteria analysis. *Environ. Monit. Assess.* **2010**, *168*, 339–344. [CrossRef] [PubMed]
- [15] Heydari, M.; Kazem Sayadi, M.; Shahanaghi, K. Extended VIKOR as a new method for solving Multiple Objective Large-Scale Nonlinear Programming problems. *RAIRO Oper. Res.* **2010**, *44*, 139–152. [CrossRef]
- [16] Sanayei, A.; Mousavi, S.F.; Yazdankhah, A. Group decision making process for supplier selection with VIKOR under fuzzy environment. *Expert Syst. Appl.* **2010**, *37*, 24–30. [CrossRef]
- [17] Vahdani, B.; Hadipour, H.; Sadaghiani, J.S.; Amiri, M. Extension of VIKOR method based on interval-valued fuzzy sets. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* **2010**, *47*, 1231–1239. [CrossRef]

- [18] Devi, K. Extension of VIKOR method in intuitionistic fuzzy environment for robot selection. *Expert Syst. Appl.* **2011**, *38*, 14163–14168. [CrossRef]
- [19] Kuo, M.-S.; Liang, G.-S. Combining VIKOR with GRA techniques to evaluate service quality of airports under fuzzy environment. *Expert Syst. Appl.* **2011**, *38*, 1304–1312. [CrossRef]
- [20] Park, J.H.; Cho, H.J.; Kwun, Y.C. Extension of the VIKOR method for group decision making with interval-valued intuitionistic fuzzy information. *Fuzzy Optim. Decis. Mak.* **2011**, *10*, 233–253. [CrossRef]
- [21] Liu, P.; Wang, M. An extended VIKOR method for multiple attribute group decision making based on generalized interval-valued trapezoidal fuzzy numbers. *Sci. Res. Essays.* **2011**, *6*, 766–776.
- [22] Du, Y.; Liu, P. Extended fuzzy VIKOR method with intuitionistic trapezoidal fuzzy numbers. *Inf. Int. Interdiscip. J.* **2011**, *14*, 2575–2583.
- [23] Su, Z.-X. A hybrid fuzzy approach to fuzzy multi-attribute group decision-making. *Int. J. Inf. Technol. Decis. Mak.* **2011**, *10*, 695–711. [CrossRef]
- [24] Liu, P.; Wu, X. A competency evaluation method of human resources managers based on multi-granularity linguistic variables and VIKOR method. *Technol. Econ. Dev. Econ.* **2012**, *18*, 696–710. [CrossRef]
- [25] Liu, H.-C.; Mao, L.-X.; Zhang, Z.-Y.; Li, P. Induced aggregation operators in the VIKOR method and its application in material selection. *Appl. Mat. Model.* **2013**, *37*, 6325–6338. [CrossRef]
- [26] Liao, H.; Xu, Z. A VIKOR-based method for hesitant fuzzy multi-criteria decision making. *Fuzzy Optim. Decis. Mak.* **2013**, *12*, 373–392. [CrossRef]
- [27] Wan, S.-P.; Wang, Q.-Y.; Dong, J.-Y. The extended VIKOR method for multi-attribute group decision making with triangular intuitionistic fuzzy numbers. *Knowl. Based Syst.* **2013**, *52*, 65–77. [CrossRef]
- [28] Zhao, X.; Tang, S.; Yang, S.; Huang, K. Extended VIKOR method based on cross-entropy for interval-valued intuitionistic fuzzy multiple criteria group decision making. *J. Intell. Fuzzy Syst. Appl. Eng. Technol.* **2013**, *25*, 1053–1066.
- [29] Tan, C.; Chen, X. Interval-Valued Intuitionistic Fuzzy Multicriteria Group Decision Making Based on VIKOR and Choquet Integral. *J. Appl. Math.* **2013**, *2013*, Article 656879. [CrossRef]
- [30] Vinodh, S.; Varadharajan, A.R.; Subramanian, A. Application of fuzzy VIKOR for concept selection in an agile environment. *Int. J. Adv. Manufa. Technol.* **2013**, *65*, 825–832. [CrossRef]
- [31] Ju, Y.; Wang, A. Extension of VIKOR method for multi-criteria group decision making problem with linguistic information. *Appl. Math. Model.* **2013**, *37*, 3112–3125. [CrossRef]
- [32] Zhang, N.; Wei, G. Extension of VIKOR method for decision making problem based on hesitant fuzzy set. *Appl. Math. Model.* **2013**, *37*, 4938–4947. [CrossRef]
- [33] Park, J.H.; Cho, H.J.; Kwun, Y.C. Extension of the VIKOR method to dynamic intuitionistic fuzzy multiple attribute decision making. *Comput. Math. Appl.* **2013**, *65*, 731–744. [CrossRef]
- [34] Wei, G.; Zhang, N. A multiple criteria hesitant fuzzy decision making with Shapley value-based VIKOR method. *J. Intell. Fuzzy Syst. Appl. Eng. Technol.* **2014**, *26*, 1065–1075.
- [35] Hajiagha, S.H.R.; Mahdiraji, H.A.; Zavadskas, E.K.; Hashemi, S.S. Fuzzy Multi-Objective Linear Programming Based on Compromise VIKOR Method. *Int. J. Inf. Technol. Decis. Mak.* **2014**, *13*, 679–698. [CrossRef]
- [36] Pai, P.-F.; Chen, C.-T.; Hung, W.-Z. Applying linguistic information and intersection concept to improve effectiveness of multi-criteria decision analysis technology. *Int. J. Inf. Technol. Decis. Mak.* **2014**, *13*, 291–315. [CrossRef]
- [37] Girubha, R.J.; Vinodh, S. Application of fuzzy VIKOR and environmental impact analysis for material

- selection of an automotive component. *Mater. Des.* **2012**, *37*, 478–486. [CrossRef]
- [38] Cavallini, C.; Giorgetti, A.; Citti, P.; Nicolaie, F. Integral aided method for material selection based on quality function deployment and comprehensive VIKOR algorithm. *Mater. Des.* **2013**, *47*, 27–34. [CrossRef]
- [39] Jahan, A.; Edwards, K. VIKOR method for material selection problems with interval numbers and target-based criteria. *Mater. Des.* **2013**, *47*, 759–765. [CrossRef]
- [40] Liu, H.-C.; You, J.-X.; Zhen, L.; Fan, X.-J. A novel hybrid multiple criteria decision making model for material selection with target-based criteria. *Mater. Des.* **2014**, *60*, 380–390. [CrossRef]
- [41] Ray, A. Cutting Fluid Selection for Sustainable Design for Manufacturing: An Integrated Theory. *Procedia Mater. Sci.* **2014**, *6*, 450–459.
- [42] Chauhan, A.; Vaish, R.; Bowen, C. Piezoelectric material selection for ultrasonic transducer and actuator applications. *Proc. Inst. Mech. Eng. L J. Mater. Des. Appl.* **2015**, *229*, 3–12. [CrossRef]
- [43] Vats, G.; Vaish, R. Piezoelectric material selection for transducers under fuzzy environment. *J. Adv. Ceram.* **2013**, *2*, 141–148. [CrossRef]
- [44] Rezaie, K.; Ramiyani, S.S.; Nazari-Shirkouhi, S.; Badizadeh, A. Evaluating performance of Iranian cement firms using an integrated fuzzy AHP–VIKOR method. *Appl. Math. Model.* **2014**, *38*, 5033–5046. [CrossRef]
- [45] Wu, H.-Y.; Lin, Y.-K.; Chang, C.-H. Performance evaluation of extension education centers in universities based on the balanced scorecard. *Evaluation Program Plan.* **2011**, *34*, 37–50. [CrossRef] [PubMed]
- [46] Wu, H.-Y.; Tzeng, G.-H.; Chen, Y.-H. A fuzzy MCDM approach for evaluating banking performance based on Balanced Scorecard. *Expert Syst. Appl.* **2009**, *36*, 10135–10147. [CrossRef]
- [47] Chen, J.-K.; Chen, I.-S. Aviatric innovation system construction using a hybrid fuzzy MCDM model. *Expert Syst. Appl.* **2010**, *37*, 8387–8394. [CrossRef]
- [48] Zolfani, S.H.; Ghadikolaei, A.S. Performance evaluation of private universities based on balanced scorecard: Empirical study based on Iran. *J. Bus. Econ. Manag.* **2013**, *14*, 696–714. [CrossRef]
- [49] Hsu, L.-C. A hybrid multiple criteria decision-making model for investment decision making. *J. Bus. Econ. Manag.* **2014**, *15*, 509–529. [CrossRef]
- [50] Hsu, L.-C. Using a decision-making process to evaluate efficiency and operating performance for listed semiconductor companies. *Technol. Econ. Dev. Econ.* **2015**, *21*, 301–331. [CrossRef]
- [51] Tsai, P.-H.; Chang, S.-C. Comparing the Apple iPad and non-Apple camp tablet PCs: A multicriteria decision analysis. *Technol. Econ. Dev. Econ.* **2013**, *19*, 256–284. [CrossRef]
- [52] Wu, H.-Y.; Chen, J.-K.; Chen, I.-S.; Zhuo, H.-H. Ranking universities based on performance evaluation by a hybrid MCDM model. *Measurement* **2012**, *45*, 856–880. [CrossRef]
- [53] Kuo, M.-S.; Liang, G.-S. A soft computing method of performance evaluation with MCDM based on interval-valued fuzzy numbers. *Appl. Soft Comput.* **2012**, *12*, 476–485. [CrossRef]
- [54] Chou, Y.-C.; Yen, H.-Y.; Sun, C.-C. An integrate method for performance of women in science and technology based on entropy measure for objective weighting. *Qual. Quant.* **2014**, *48*, 157–172. [CrossRef]
- [55] Ranjan, R.; Chatterjee, P.; Chakraborty, S. Evaluating performance of engineering departments in an Indian University using DEMATEL and compromise ranking methods. *Opsearch* **2015**, *52*, 307–328. [CrossRef]
- [56] Dincer, H.; Hacıoglu, U. Performance evaluation with fuzzy VIKOR and AHP method based on customer satisfaction in Turkish banking sector. *Kybernetes* **2013**, *42*, 1072–1085. [CrossRef]

- [57] Lee, Z.-Y.; Pai, C.-C. Applying Improved DEA and VIKOR Methods to Evaluate the Operation Performance for World's Major TFT–LCD Manufacturers. *Asia-Pac. J. Oper. Res.* **2015**, *32*, Article 1550020. [CrossRef]
- [58] Liu, H.-C.; Wu, J.; Li, P. Assessment of health-care waste disposal methods using a VIKOR-based fuzzy multi-criteria decision making method. *Waste Manag.* **2013**, *33*, 2744–2751. [CrossRef] [PubMed]
- [59] Chang, T.-H. Fuzzy VIKOR method: A case study of the hospital service evaluation in Taiwan. *Inf. Sci.* **2014**, *271*, 196–212. [CrossRef]
- [60] Lu, M.-T.; Lin, S.-W.; Tzeng, G.-H. Improving RFID adoption in Taiwan's healthcare industry based on a DEMATEL technique with a hybrid MCDM model. *Decis. Support Syst.* **2013**, *56*, 259–269. [CrossRef]
- [61] Liu, H.-C.; You, J.-X.; Lu, C.; Chen, Y.-Z. Evaluating health-care waste treatment technologies using a hybrid multi-criteria decision making model. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2015**, *41*, 932–942. [CrossRef]
- [62] Zeng, Q.-L.; Li, D.-D.; Yang, Y.-B. VIKOR method with enhanced accuracy for multiple criteria decision making in healthcare management. *J. Med. Syst.* **2013**, *37*, 1–9. [CrossRef] [PubMed]
- [63] Mohanty, P.P.; Mahapatra, S. A Compromise Solution by VIKOR Method for Ergonomically Designed Product with Optimal Set of Design Characteristics. *Procedia Mater. Sci.* **2014**, *6*, 633–640. [CrossRef]
- [64] Ashtiani, M.; Azgomi, M.A. Trust modeling based on a combination of fuzzy analytic hierarchy process and fuzzy VIKOR. *Soft Comput.* **2014**. [CrossRef]
- [65] Mehbodniya, A.; Kaleem, F.; Yen, K.K.; Adachi, F. A fuzzy extension of VIKOR for target network selection in heterogeneous wireless environments. *Phys. Commun.* **2013**, *7*, 145–155. [CrossRef]
- [66] Lee, W.-S. Merger and acquisition evaluation and decision making model. *Serv. Ind. J.* **2013**, *33*, 1473–1494. [CrossRef]
- [67] Arunachalam, A.P.S.; Idapalapati, S.; Subbiah, S. Multi-criteria decision making techniques for compliant polishing tool selection. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* **2015**, *79*, 519–530. [CrossRef]
- [68] Martin-Utrillas, M.; Reyes-Medina, M.; Curiel-Esparza, J.; Canto-Perello, J. Hybrid method for selection of the optimal process of leachate treatment in waste treatment and valorization plants or landfills. *Clean Technol. Environ. Policy* **2015**, *17*, 873–885. [CrossRef]
- [69] Mousavi, S.M.; Jolai, F.; Tavakkoli-Moghaddam, R. A fuzzy stochastic multi-attribute group decision-making approach for selection problems. *Group Decis. Negot.* **2013**, *22*, 207–233. [CrossRef]
- [70] Chitsaz, N.; Banihabib, M.E. Comparison of Different Multi Criteria Decision-Making Models in Prioritizing Flood Management Alternatives. *Water Resour. Manag.* **2015**, *29*, 2503–2525. [CrossRef]
- [71] Milosevic, I.; Naunovic, Z. The application of a multi-parameter analysis in choosing the location of a new solid waste landfill in Serbia. *Waste Manag. Res.* **2013**, *31*, 1019–1027. [CrossRef] [PubMed]
- [72] Pourebrahim, S.; Hadipour, M.; Mokhtar, M.B.; Taghavi, S. Application of VIKOR and fuzzy AHP for conservation priority assessment in coastal areas: Case of Khuzestan district, Iran. *Ocean Coast. Manag.* **2014**, *98*, 20–26. [CrossRef]
- [73] Churchman, C.W.; Ackoff, R.L. An approximate measure of value. *J. Oper. Res. Soc. Am.* **1954**, *2*, 172–187. [Google Scholar] [CrossRef]
- [74] Saaty, T.L. Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process. *Manag. Sci.* **1986**, *32*, 841–855. [Google Scholar] [CrossRef]
- [75] Opricovic, S.; Tzeng, G.H. Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *Eur. J. Oper. Res.* **2004**, *156*, 445–455. [Google Scholar] [CrossRef]

- [76] Hwang, C.L.; Yoon, K. Multiple Attribute Decision-Making Methods and Applications; Springer: Berlin, Germany, 1981. [[Google Scholar](#)]
- [77] Brans, J.P.; Vincke, P.; Mareschal, B. How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method. *Eur. J. Oper. Res.* **1986**, *24*, 228–238. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
- [78] Benayoun, R.; Roy, B.; Sussman, B. ELECTRE: Une Méthode pour Guider le Choix en Presence de Points de vue Multiples; Note de travail, 49; SEMA-METRA International, Direction Scientifique: Paris, France, 1966. [[Google Scholar](#)]
- [79] Julong, D. Introduction to grey system theory. *J. Grey Syst.* **1989**, *1*, 1–24. [[Google Scholar](#)]
- [80] Bellman, R.E.; Zadeh, L.A. Decision-making in a fuzzy environment. *Manag. Sci.* **1970**, *4*, 141–164. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
- [81] Opricovic, S. A compromise solution in water resources planning. *Water Resour. Manag.* **2009**, *23*, 1549–1561. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
- [82] Chang, C.L.; Hsu, C.H. Applying a modified VIKOR method to classify land subdivisions according to watershed vulnerability. *Water Resour. Manag.* **2011**, *25*, 301–309. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
- [83] El-Santawy, M.F. A VIKOR method for solving personnel training selection problem. *Int. J. Comput. Sci.* **2012**, *1*, 9–12. [[Google Scholar](#)]
- [84] Opricovic, S.; Tzeng, G.H. Extended VIKOR method in comparison with outranking methods. *Eur. J. Oper. Res.* **2007**, *178*, 514–529. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
- [85] Sanayei, A.; Mousavi, S.F.; Yazdankhah, A. Group decision-making process for supplier selection with VIKOR under fuzzy environment. *Expert Syst. Appl.* **2010**, *37*, 24–30. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
- [86] Shemshadi, A.; Shirazi, H.; Toreihi, M.; Tarokh, M.J. A fuzzy VIKOR method for supplier selection based on entropy measure for objective weighting. *Expert Syst. Appl.* **2011**, *38*, 12160–12167. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
- [88] Wang, T.C.; Lee, H.D. Developing a fuzzy TOPSIS approach based on subjective weights and objective weights. *Expert Syst. Appl.* **2009**, *36*, 8980–8985. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
- [89] Kim, Y.; Chung, E.S. Fuzzy VIKOR approach for assessing the vulnerability of the water supply to climate change and variability in South Korea. *Appl. Math. Model.* **2013**, *37*, 9419–9430. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
- [90] Luo, X.; Wang, X. Extended VIKOR method for intuitionistic fuzzy multiattribute decision-making based on a new distance measure. *Math. Probl. Eng.* **2017**, *2017*, 4072486. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
- [93] Zadeh, L.A. Fuzzy sets. *Inf. Control.* **1965**, *8*, 338–353. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
- [94] Akram, M.; Arshad, M. A novel trapezoidal bipolar fuzzy TOPSIS method for group decision-making. *Group Decis. Negot.* **2019**, *28*, 565–584. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
- [95] Alghamdi, M.A.; Alshehri, N.O.; Akram, M. Multi-criteria decision-making methods in bipolar fuzzy environment. *Int. J. Fuzzy Syst.* **2018**, *20*, 2057–2064. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
- [96] Akram, M.; Shumaiza; Arshad, M. Bipolar fuzzy TOPSIS and bipolar fuzzy ELECTRE-I methods to diagnosis. *Comput. Appl. Math.* **2019**. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
- [97] Samanta, S.; Sarkar, B. A study on generalized fuzzy graphs. *J. Intell. Fuzzy Syst.* **2018**, *35*, 3405–3412. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
- [98] Sarkar, B.; Samanta, S. Generalized fuzzy trees. *Int. J. Comput. Intell. Syst.* **2017**, *10*, 711–720. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
- [99] Opricovic S. & Tzeng G.-H. (2004). Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis

of VIKOR and TOPSIS, *European Journal of Operational Research* 156 (2), pp. 445-455. Opricovic S. & Tzeng G.-H. (2007). Extended VIKOR method in comparison with out ranking methods, *European Journal of Operational Research* 178 (2), pp. 514-529. Sayadi M.K., Heydari M., & Shahanaghi K. (2009). Extension of VIKOR method for decision making problem with interval numbers, *Applied Mathematical Modelling* 33 (5), pp. 2257-2262.

[100] ΔΙΑΦΑΝΕΙΕΣ Ε.Μ.Π

[101] Steuer, R.E. (1992). *Manual for the ADBASE Multiple Objective Linear Programming*

[102] Package, Department of Management Science and Information Technology, University of Georgia, Athens, GA.

[103] Steuer, R.E. and Choo, E.U. (1983). An interactive weighted Tchebycheff procedure for multiple objective programming, *Mathematical Programming*, 26 (1), 326-344.

[104] Steuer, R.E. and Na, P. (2003). Multiple criteria applications in finance: A categorized bibliography, *European Journal of Operational Research*, 150, 496-515.

[105] Sueyoshi, T. and Sekitani, K. (1998). Goal programming regression with serial correlation: Policy implications for Japanese telecommunications infrastructure development, *Omega*, 26 (2), 195-205.

[106] Tam, M.C.Y. and Tummala, V.M.R. (2001). An application of the AHP in vendor selection of a telecommunications system, *Omega*, 29 (2), 171-182.

[107] Teghem, J., Dufrane, D., Thauvoye, M. and Kunsch, P. (1986). STRANGE: An interactive method for multi-objective linear programming under uncertainty,

[108] *European Journal of Operational Research*, 26, 65-82.

[109] Teng, J.Y. and Tzeng, G.H. (1998). Transportation investment project selection using fuzzy multiobjective programming, *Fuzzy Sets and Systems*, 96 (3), 259-280.

[110] Tsoukias, A. and Papayannakis, A. (2002). A real case study on Transportation Scenario

[111] Comparison, *Yugoslavian Journal of Operational Research*, 12, 85-108.

[112] Von Neumann, J. and Morgenstern, O. (1944). *Theory of Games and Economic*

[113] *Behavior*, Princeton, New Jersey.

[114] Vranes, S., Stanojevic, M., Stevanovic, V. and Lucin, M. (1996). INVEX: Investment

[115] advisory expert system, *Expert Systems*, 13 (2), 105-119.

[116] Wierzbicki, A.P. (1980). The use of reference objectives in multiobjective optimization,

[117] in: Fandel, G. and Gal, T. (eds.), *Multiple Criteria Decision Making: Theory and*

[118] *Applications*, Lecture Notes in Economic and Mathematical Systems 177, SpringerVerlag, Berlin-Heidelberg, 468-486.

[119] Yuan, Y., Feldhamer, S., Gafni, A., Fyfe, F. and Ludwin, D. (2002). Business process reengineering for health-care system using multicriteria mathematical programming, *European Journal of Operational Research*, 142 (1), 152-173.

[120] Zak, J. (1999). The methodology of multiple-criteria decision making in the optimization of an urban transportation system: Case study of Poznan city in Poland, *International Transactions in Operational Research*, 6 (6), 571-590.

[121] Manuel Matos, Class notes Decision Aid Methodologies, FEUP, 2005

[122] V. Mousseau, R. Slowinski, P. Zielniewicz, ELECTRE TRI 2.0a, Methodological, guide and

user's manual

- [123] Barzilai, J. and Lootsma, F.A.: Power relations and group aggregation in the Multiplicative AHP and SMART, *Journal of Multi-criteria Decision Analysis*, 1997
- [124] Benayoun, R., De Montgolfier, J., Tergny, J. and Larichev, O., *Linear programming with multiple objective functions: Step method (STEM)*, *Mathematical Programming*, 1991
- [125] Beuthe M. and Scannella G., Comparative analysis of UTA multicriteria methods, *European Journal of Operational Research*, 2001
- [126] Figueira, J. and Roy, B.: Determining the weights of criteria in the ELECTRE type methods with a revised Simos procedure, *European Journal of Operational Research*, 2002
- [127] Jyoti, D.K. Banwet, S.G. Deshmukh, Evaluating performance of national R&D organizations using integrated DEA – AHP technique, 2008
- [128] Hakyeon Lee, Yongtae Park, Hoogon Choi, Comparative evaluation of performance of national R&D programs with heterogeneous objectives: A DEA approach, 2008, *European Journal of Operational Research*
- [129] Wim De Keyser, Peter Peeters, A note on the use of PROMETHEE multicriteria methods, 1994
- [130] Chen-Tung Chen, Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment, 1997
- [131] Luis C. Dias, Vincent Mousseau, Inferring Electre's veto-related parameters from outranking examples, 2004
- [132] Peter C. Fishburn, Irving H. Lavalley, *MCDA: Theory, Practice and the Future*, 1999
- [133] B. Mareschal and D. Mertens. Evaluation financière par la méthode multicritère GAIA:
- [134] Application au secteur de l'assurance. *Actualité Economique*, 68(4), 1992.
- [135] J.M. Martel and B. Aouni. Incorporating the decision-makers preferences in the goalprogramming model. *Journal of the Operational Research Society*, 41(12):1121–1132,
- [136] 1990.
- [137] J.M. Martel and B. Aouni. Multicriteria method for site selection – Example of an airport for New Quebec. *INFOR*, 30(2):97–117, 1992.
- [138] N. J. Martin, B. St Onge, and J.P. Waaub. An integrated decision aid system for the development of Saint Charles River alluvial plain, Quebec, Canada. *International Journal of Environment and Pollution*, 12(2-3):264–279, 1999.
- [139] K. Meier. Methods for decision making with cardinal numbers and additive aggregation. *Fuzzy Sets and Systems*, 88(2): 135–159, 1997.
- [140] N. Mladineo, I. Lozic, S. Stosic, D. Mlinaric, and T. Radica. An evaluation of multicriteria analysis for DSS in public-policy decision. *European Journal of Operational Research*, 61(1-2):219–229, 1992.
- [141] N. Mladineo, J. Margeta, J.P. Brans, and B. Mareschal. Multicriteria ranking of alternative locations for small scale hydro plants. *European Journal of Operational Research*, 31:215– 222, 1997.
- [142] V. Mlynarovic. Complex evaluation and optimalization of financial structure of the firm.
- [143] *Ekonomicky Casopis*, 43(10):734–745, 1995.
- [144] V. Mlynarovic and E. Hozlar. PROMETHEE – a family of outranking methods in multicriteria

analyses. *Ekonomicko-Matematicky Obzor*, 25(4):435–452, 1989.

[145] Y.N. Ni, S.H. Chen, and S. Kokot. Spectrophotometric determination of metal ions in electroplating solutions in the presence of EDTA with the aid of multivariate calibration and artificial neural networks. *Analytica Chimica Acta*, 463(2):305–316, 2002.

[146] D.L. Olson. Comparison of three multicriteria methods to predict known outcomes.

[147] *European Journal of Operational Research*, 130(3):576–587, 2001.

[148] F. Ouellet and J.M. Martel. Multicriteria method for evaluation and selection of interdependent R-and-D projects. *Revue Canadienne des Sciences de l'Administration – Canadian*

[149] *Journal of Administrative Sciences*, 12(3): 195–209, 1995.

[150] E. Ozelkan and L. Duckstein. Analysing water resources alternatives and handling criteria by multi criterion decision techniques. *Journal of Environmental Management*, 48(1):69– 96, 1996.

[151] P.C. Pandey and A. Kengpol. Selection of an automated inspection system using multiattribute decision-analysis. *International Journal of Production Economics*, 39(3):289–298, 1995.

[152] H.R. Parsaei, M. Wilhelm, and S.S. Kolli. Application of outranking methods to economic and financial justification of CIM systems. *Computers & Industrial Engineering*, 25(1-4):357–360, 1993.

[153] M. Paruccini. *Applying Multiple Criteria Aid for Decision to Environmental Management*.

[154] Kluwer Academic Publishing, Dordrecht, Boston, 1994.

[155] I. Pavic and Z. Babic. The use of the PROMETHEE method in the location choice of a production system. *International Journal of Production Economics*, 23(1-3):165–174, 1991.

### **Paper in Conference Proceedings**

[87] Lihong, M.; Yanping, Z.; Zhiwei, Z. Improved VIKOR Algorithm Based on AHP and Shannon Entropy in the Selection of Thermal Power Enterprise's Coal Suppliers. In *Proceedings of the 2008 International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering*, Taipei, Taiwan, 19–21 December 2008; pp. 129–133. [[Google Scholar](#)]

[91] Zhang, W.R. Bipolar fuzzy sets and relations: A computational framework for cognitive modeling and multiagent decision analysis. In *Proceedings of the IEEE Conference Fuzzy Information Processing Society Biannual Conference*, San Antonio, TX, USA, 18–21 December 1994; pp. 305–309. [[Google Scholar](#)]

[92] Zhang, W.R. (Yin) (Yang) bipolar fuzzy sets. In *Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on Fuzzy Systems Proceedings, IEEE World Congress on Computational Intelligence (Cat. No.98CH36228)*, Anchorage, AK, USA, 4–9 May 1998; pp. 835–840. [[Google Scholar](#)]

## Παράρτημα Α

Στο συγκεκριμένο τμήμα της έρευνας μας παραθέτουμε την ενημέρωση ότι για την εφαρμογή της μεθόδου VIKOR καθώς και για τα αποτελέσματα που εξήχθησαν βρίσκονται παρακάτω

Algorithm Vikor											
Βάρος	0,72	0,72	0,75	0,87	0,635	0,76	0,87	0,855	0,705	0,855	
ΧΩΡΕΣ \ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ	ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤ Α	ΟΙΚΟΝΟΜΙ Α	ΕΜΒΟΛΙΟ	ΧΡΗΣΗ ΜΑΣΚΑΣ	ΧΡΗΣΗ ΓΑΝΤΙΩΝ	ΥΔΡΟΞΥΧΛΩΡΟΚΙΝ Η	ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ Σ	ΑΠΟΣΤΑΣΕΣΙ Σ	ΧΡΗΣΗ ΑΝΤΙΣ/ΚΟΥ	
A1 (ΕΣΘΟΝΙΑ)	0,62	0,61	0,68	0,65	0,61	0,62	0,65	0,665	0,565	0,61	
A2 (ΕΛΛΑΔΑ)	0,605	0,65	0,635	0,65	0,565	0,61	0,565	0,635	0,58	0,61	
A3 (ΓΑΛΛΙΑ)	0,8	0,885	0,675	0,855	0,87	0,84	0,75	0,75	0,84	0,75	
A4 (ΙΣΠΑΝΙΑ)	0,8	0,5	0,695	0,635	0,665	0,68	0,5	0,665	0,635	0,68	
A5 (ΙΤΑΛΙΑ)	0,735	0,69	0,695	0,68	0,65	0,68	0,69	0,72	0,705	0,665	
$f^j$	0,8	0,885	0,695	0,855	0,87	0,84	0,75	0,75	0,84	0,75	
$f_j$	0,605	0,5	0,635	0,635	0,565	0,61	0,5	0,635	0,565	0,61	
	0,6646154	0,514285714	0,1875	0,81068182	0,54131	0,72696	0,348	0,631956522	0,705	0,855	
	0,72	0,439480519	0,75	0,81068182	0,635	0,76	0,6438	0,855	0,666545455	0,855	
	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0	
	0	0,72	0	0,87	0,4268	0,5287	0,87	0,631956522	0,525545455	0,4275	
	0,24	0,364675325	0	0,69204545	0,45803	0,5287	0,2088	0,223043478	0,346090909	0,5191071	
	S	R	Q	Ταξινόμηση							
	5,9853074	0,855	0,9043799	4							
	7,1355078	0,855	0,9879032	5							
	0,25	0,25	0	1							
	5,0005009	0,87	0,8449637	3							
	3,5804907	0,692045455	0,5983361	2							
	S*	0,25	R*	0,25							
	S-	7,135507792	R-	0,87							

## Παράρτημα Β

Στο συγκεκριμένο τμήμα της έρευνας μας παραθέτουμε την ενημέρωση ότι για την εφαρμογή της μεθόδου TOPSIS καθώς και για τα αποτελέσματα που εξήχθησαν βρίσκονται παρακάτω

### Επίλυση προβλήματος MCDM χρησιμοποιώντας τη μέθοδο TOPSIS

	Μη ωφέλιμα	Ωφέλιμα	Ωφέλιμα	Ωφέλιμα
Βάρος	0,35	0,25	0,25	0,15
	Τιμή / κόστος	Χώρος αποθήκευσης	Μέγεθος κάμερας	Ανάλυση
Mobile 1 (Samsung)	250	16	12	5
Mobile 2 (LG)	200	16	8	3
Mobile 3 (Acer Iconia Talk S)	300	32	16	4
Mobile 4 (Acer Liquid Z6)	275	32	8	4
Mobile 5 (Acer Liquid X2)	225	16	16	2

	Τιμή / κόστος	Χώρος αποθήκευσης	Μέγεθος κάμερας	Ανάλυση
Mobile 1	0,442807443	0,301511345	0,428571429	0,597614305
Mobile 2	0,354245954	0,301511345	0,285714286	0,358568583
Mobile 3	0,531368931	0,603022689	0,571428571	0,478091444
Mobile 4	0,487088187	0,603022689	0,285714286	0,478091444
Mobile 5	0,398526698	0,301511345	0,571428571	0,239045722

ΒΗΜΑ 1: Υπολογίζουμε την κανονικοποιημένη μήτρα

$$\bar{X}_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n X_{ij}^2}}$$

	Τιμή / κόστος	Χώρος αποθήκευσης	Μέγεθος κάμερας	Ανάλυση	Si+	Si-	Pi	Ταξινόμηση
Mobile 1	0,154982605	0,075377836	0,107142857	0,089642146	0,089	0,072	0,446	4
Mobile 2	0,123986084	0,075377836	0,071428571	0,053785287	0,11	0,065	0,37	5
Mobile 3	0,185979126	0,150755672	0,142857143	0,071713717	0,065	0,11	0,63	1
Mobile 4	0,170480865	0,150755672	0,071428571	0,071713717	0,087	0,085	0,494	2
Mobile 5	0,139484344	0,075377836	0,142857143	0,035856858	0,094	0,085	0,476	3

ΒΗΜΑ 2: Υπολογίζουμε την σταθμισμένη κανονικοποιημένη μήτρα

$$V_{ij} = X_{ij} \times W_j$$

V+	0,123986084	0,150755672	0,142857143	0,089642146
V-	0,185979126	0,075377836	0,071428571	0,035856858

ΒΗΜΑ 3: Υπολογίζουμε την ιδανική καλύτερη (V+) και την ιδανική χειρότερη τιμή (V-)

ΒΗΜΑ 4: Υπολογίζουμε την Ευκλείδεια απόσταση από την ιδανική καλύτερη

$$S_i^+ = \left[ \sum_{j=1}^m (V_{ij} - V_j^+)^2 \right]^{0.5}$$

ΒΗΜΑ 4: Υπολογίζουμε την Ευκλείδεια απόσταση από την ιδανική χειρότερη

$$S_i^- = \left[ \sum_{j=1}^m (V_{ij} - V_j^-)^2 \right]^{0.5}$$

ΒΗΜΑ 5: Υπολογίζουμε τη βαθμολογία απόδοσης

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

## Παράρτημα Γ

Στο συγκεκριμένο τμήμα της έρευνας μας παραθέτουμε την ενημέρωση ότι για την εφαρμογή της μεθόδου PROMETHEE καθώς και για τα αποτελέσματα που εξήχθησαν βρίσκονται παρακάτω

### PROMETHEE method MCDM

Βάρος	0,35	0,25	0,25	0,15
	Τιμή / Κόστος	Τιμολόγιο	Κύλινδροι	Ισποδύναμη
CAR 1 (MDX)	250	16	12	Άριστος
CAR 2 (RSX)	200	16	8	Μέση τιμή
CAR 3 (TSX)	300	32	16	Καλός
CAR 4 (NSX)	275	32	8	Κάτω από το μέσο όρο

Κλίμακα 5 πόντων για χαρακτηριστικό ή κριτήρια "Ισποδύναμη"	
Χαμηλός	1
Κάτω από το μέσο όρο	2
Μέση τιμή	3
Καλός	4
Άριστος	5

ΒΗΜΑ 1: Πραγματοποιούμε scaling σε δεδομένα(attributes) που περιέχουν χαρακτηρισ

Βάρος	0,35	0,25	0,25	0,15
	Μη ωφέλιμα κριτήρια	Ωφέλιμα κριτήρια	Ωφέλιμα κριτήρια	Ωφέλιμα κριτήρια
	Τιμή / Κόστος	Τιμολόγιο	Κύλινδροι	Ισποδύναμη
CAR 1	250	16	12	5
CAR 2	200	16	8	3
CAR 3	300	32	16	4
CAR 4	275	32	8	2

ΒΗΜΑ 2: Βρίσκουμε τα μέγιστα και ελάχιστα από κάθε attribute

Βάρος	0,35	0,25	0,25	0,15
	Τιμή / Κόστος	Τιμολόγιο	Κύλινδροι	Ισποδύναμη
CAR 1	250	16	12	5
CAR 2	200	16	8	3
CAR 3	300	32	16	4
CAR 4	275	32	8	2
max(Xi), min(Xi)	300, 200	32, 16	16, 8	5, 2

ΒΗΜΑ 3: Εφαρμόζουμε την συνάρτηση διαφοράς MAX-MIN

Βάρος	0,35	0,25	0,25	0,15
	Τιμή / Κόστος	Τιμολόγιο	Κύλινδροι	Ισποδύναμη
CAR 1	250	16	12	5
CAR 2	200	16	8	3
CAR 3	300	32	16	4
CAR 4	275	32	8	2
max(Xi), min(Xi)	300, 200	32, 16	16, 8	5, 2
max(Xi) - min(Xi)	100	16	8	3

ΒΗΜΑ 4: Εφαρμογή του παρακάτω τύπου

Βάρος	0,35	0,25	0,25	0,15
	Τιμή / Κόστος	Τιμολόγιο	Κύλινδροι	Ισποδύναμη
CAR 1	0,5	0	0,5	1
CAR 2	1	0	0	0,333333333
CAR 3	0	1	1	0,666666667
CAR 4	0,25	1	0	0
max(Xi), min(Xi)	300, 200	32, 16	16, 8	5, 2

$$R_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$$

Beneficial criteria

$$R_{ij} = \frac{\max(x_{ij}) - x_{ij}}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})}$$

Non-beneficial criteria

D(C1-C2)	-0,5	0	0,5	0,666666667	ΒΗΜΑ 5: Υπολογίζουμε την διαφορά μεταξύ των CARS με εξάρτηση τον εαυτό του που δεν υπολογίζουμε
D(C1-C3)	0,5	-1	-0,5	0,333333333	
D(C1-C4)	0,25	-1	0,5	1	
D(C2-C1)	0,5	0	-0,5	-0,666666667	
D(C2-C3)	1	-1	-1	-0,333333333	
D(C2-C4)	0,75	-1	0	0,333333333	
D(C3-C1)	-0,5	1	0,5	-0,333333333	
D(C3-C2)	-1	1	1	0,333333333	
D(C3-C4)	-0,25	0	1	0,666666667	
D(C4-C1)	-0,25	1	-0,5	-1	
D(C4-C2)	-0,75	1	0	-0,333333333	
D(C4-C3)	0,25	0	-1	-0,666666667	

D(C1-C2)	0	0	0,5	0,666666667
D(C1-C3)	0,5	0	0	0,333333333
D(C1-C4)	0,25	0	0,5	1
D(C2-C1)	0,5	0	0	0
D(C2-C3)	1	0	0	0
D(C2-C4)	0,75	0	0	0,333333333
D(C3-C1)	0	1	0,5	0
D(C3-C2)	0	1	1	0,333333333
D(C3-C4)	0	0	1	0,666666667
D(C4-C1)	0	1	0	0
D(C4-C2)	0	1	0	0
D(C4-C3)	0,25	0	0	0

ΒΗΜΑ 6: IF (VALUE < 0) THEN VALUE 0

Βάρος	0,35	0,25	0,25	0,15	$\sum_{j=1}^n w_j P_j(a, b)$
	Τιμή / Κόστος	Τιμολόγιο	Κύλινδροι	Ισποδύναμη	
D(C1-C2)	0	0	0,125	0,1	0,225
D(C1-C3)	0,175	0	0	0,05	0,225
D(C1-C4)	0,0875	0	0,125	0,15	0,3625
D(C2-C1)	0,175	0	0	0	0,175
D(C2-C3)	0,35	0	0	0	0,35
D(C2-C4)	0,2625	0	0	0,05	0,3125
D(C3-C1)	0	0,25	0,125	0	0,375
D(C3-C2)	0	0,25	0,25	0,05	0,55
D(C3-C4)	0	0	0,25	0,1	0,35
D(C4-C1)	0	0,25	0	0	0,25
D(C4-C2)	0	0,25	0	0	0,25
D(C4-C3)	0,0875	0	0	0	0,0875

ΒΗΜΑ 7: Aggregated preference function,  $\pi(a, b)$

$$= \left[ \sum_{j=1}^n w_j P_j(a, b) \right] / \sum_{j=1}^n w_j$$

Aggregated Preference Function (Λειτουργία Συγκριτικής Προτίμησης)				
	CAR1	CAR2	CAR3	CAR4
CAR1	-	0,225	0,225	0,3625
CAR2	0,175	-	0,35	0,3125
CAR3	0,375	0,55	-	0,35
CAR4	0,25	0,25	0,0875	-

ΒΗΜΑ 8: Leaving (positive) flow for ath alternative,  $\varphi^+$

$$= \frac{1}{m-1} \sum_{b=1}^m \pi(a, b) \quad (a \neq b)$$

Entering (negative) flow for ath alternative,  $\varphi^-$

$$= \frac{1}{m-1} \sum_{b=1}^m \pi(b, a) \quad (a \neq b)$$

Aggregated Preference Function					
	CAR1	CAR2	CAR3	CAR4	$\varphi^+$ leaving flow
CAR1	-	0,225	0,225	0,3625	0,270833333
CAR2	0,175	-	0,35	0,3125	0,279166667
CAR3	0,375	0,55	-	0,35	0,425
CAR4	0,25	0,25	0,0875	-	0,195833333
$\varphi^-$ entering flow	0,266666667	0,341666667	0,220833333	0,341667	

	$\varphi^+$ leaving flow	$\varphi^-$ entering flow	ΑΠΟΣΤΑΣΗ	Ταξινόμηση
CAR1	0,270833333	0,266666667	0,004166667	2
CAR2	0,279166667	0,341666667	-0,0625	3
CAR3	0,425	0,220833333	0,204166667	1
CAR4	0,195833333	0,341666667	-0,145833333	4

ΒΗΜΑ 9: Καθορισμός ταξινόμησης κατά φθίνουσα σειρά της στήλης "ΑΠΟΣΤΑΣΗ"

$$\varphi(a) = \varphi^+(a) - \varphi^-(a)$$