

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ**

**ΤΜΗΜΑ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ**

*Τίτλος Εργασίας :*

**ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ-ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ**

**( ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ)**

**Πτυχιακή Εργασία των**

**ΚΑΙΣΑΡΗ ΣΟΦΙΑ**

**ΜΠΙΛΙΑΝΟΥ ΜΑΡΙΑ**

**ΤΣΟΥΛΟΥΦΑΣ ΝΙΚΟΣ**

*Επιβλέπων :* ΜΑΣΤΡΟΓΙΑΝΝΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

**ΠΑΤΡΑ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2013**

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ .....	2
ΠΡΟΛΟΓΟΣ .....	5
ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 .....	9
ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ .....	9
1.1 Εισαγωγή .....	9
1.2 Εισαγωγή Στην Επιχειρησιακή Έρευνα .....	11
1.3 Πολυκριτήρια Ανάλυση Αποφάσεων .....	16
1.4 Ιστορική Αναδρομή .....	19
1.5 Τα Χαρακτηριστικά Της Πολυκριτήριας Ανάλυσης Αποφάσεων .....	21
1.6 Στάδια της Πολυκριτήριας Ανάλυσης Αποφάσεων .....	24
1.7 Η Μεθοδολογία της Πολυκριτήριας Ανάλυσης Αποφάσεων.....	26
1.7.1 Το Αντικείμενο Της Απόφασης.....	27
1.7.2 Συνεπής Οικογένεια Κριτηρίων.....	29
1.7.3 Μοντέλο Ολικής Προτίμησης.....	31
1.8 Οι Θεωρητικές Προσεγγίσεις Της Πολυκριτήριας Ανάλυσης Αποφάσεων ..	32
1.8.1 Πολυκριτήριος Μαθηματικός Προγραμματισμός .....	37
1.8.2 Πολυκριτήρια Θεωρία Χρησιμότητας.....	39
1.8.3 Θεωρία Των Σχέσεων Υπεροχής .....	41
1.8.4 Αναλυτική-Συνθετική Προσέγγιση .....	43
1.9 Διάφορες Μέθοδοι Πολυκριτήριας Ανάλυσης Αποφάσεων .....	44

1.9.1 Μέθοδος ELECTRE .....	44
1.9.2 Μέθοδος TOPSIS .....	45
1.9.3 Διαδικασία Αναλυτικής Ιεράρχησης (AHP).....	45
1.9.4 Μέθοδος UTA.....	47
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 .....	49
ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ-ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ .....	49
2.1 Εισαγωγή .....	49
2.2 Η Φιλοσοφία Της Αναλυτικής-Συνθετικής Προσέγγισης.....	50
2.3 Η Μεθοδολογία Της Αναλυτικής-Συνθετικής Προσέγγισης .....	54
2.4 Ιστορική εξέλιξη.....	61
2.5 Η Μέθοδος UTA .....	63
2.6 Παραλλαγές Της Μεθόδου UTA.....	69
2.6.1 Η μέθοδος UTASTAR.....	69
2.6.2 Η μέθοδος UTADIS.....	72
2.6.3 Η μέθοδος UTA Plus .....	74
2.7 Κριτήρια Αποτελεσματικότητας Υποδείγματος.....	75
2.7.1 Προβλήματα Κατάταξης.....	75
2.7.2 Προβλήματα Ταξινόμησης .....	77
2.8 Διαδικασίες Ελέγχου .....	81
2.8.1 Τεχνική Cross Validation.....	82
2.8.2 Τεχνική Bootstrap .....	84
2.9 Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων βάσει της UTA.....	88
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 .....	89
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗΣ-ΣΥΝΘΕΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ .....	89
3.1 Εισαγωγή .....	89
3.2 Περιγραφή Του Προβλήματος Λήψης Απόφασης.....	90

3.3 Μοντελοποίηση Του Προβλήματος .....	93
3.3.1 Στάδιο 1: Αντικείμενο Της Απόφασης .....	93
3.3.2 Στάδιο 2: Συνεπής Οικογένεια Κριτηρίων.....	94
3.3.3 Στάδιο 3: Μοντέλο απόφασης .....	95
3.4 Εφαρμογή της μεθόδου UTADIS.....	99
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 .....	105
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	105
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	108
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	111
Περιεχόμενα Εικόνων-Πινάκων.....	111

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η διαδικασία λήψης αποφάσεων συνιστά ένα σημαντικό πεδίο έρευνας στην καθημερινή ζωή, στον επιστημονικό κλάδο και στην παγκόσμια αγορά. Είναι λοιπόν, σημαντικό στοιχείο η χρησιμοποίηση και η ανάπτυξη των μεθόδων λήψης αποφάσεων ώστε να οδηγούμαστε με ασφάλεια στη λήψη ορθολογικών αποφάσεων.

Για την επιστημονική αιτιολόγηση της διαδικασίας λήψης αποφάσεων, κυρίως σε επιχειρησιακό επίπεδο, έχουν αναπτυχθεί διάφοροι μαθηματικοί μέθοδοι και τεχνικές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες και τις ανάγκες κάθε απόφασης. Σε όλες αυτές τις μεθοδολογίες υποστήριξης λήψης απόφασης γίνεται αρχικά η αναγνώριση και η ανάλυση του προβλήματος, στη συνέχεια η επιλογή της «βέλτιστης» απόφασης ή η κατάταξη των πιθανών λύσεων κατά σειρά προτεραιότητας. Επίσης, η διάδοση και η ταχύτερη εξέλιξη της τεχνολογίας έχει συμβάλλει σημαντικά στην ανάπτυξη ηλεκτρονικών συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων, τα οποία βασίζονται σε κάποιες μεθοδολογίες, παρέχοντας ταυτόχρονα γρήγορη και εύκολη διαχείριση μεγάλου όγκου.

Η παρούσα εργασία έχει ως **σκοπό** να παρουσιάσει μια βασική μέθοδο που συνιστά στη βέλτιστη επίλυση ενός προβλήματος λήψης απόφασης, με τη βοήθεια ενός μεθοδολογικού μοντέλου υποστήριξης της απόφασης. Ειδικότερα, η μέθοδος λήψης αποφάσεων που αναλύεται διεξοδικά είναι η Αναλυτική-Συνθετική Προσέγγιση.

Στο **πρώτο κεφάλαιο** αναφέρονται κάποια εισαγωγικά στοιχεία των πολυκριτήριων συστημάτων απόφασης. Παρουσιάζονται τα κυριότερα ρεύματα αυτών των συστημάτων καθώς και κάποιες από τις σημαντικότερες μεθοδολογικές προσεγγίσεις. Επίσης, αναλύονται τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων με μία σύντομη ιστορική αναδρομή και την αναφορά των βασικών τους χαρακτηριστικών.

Στη συνέχεια της εργασίας, στο **δεύτερο κεφάλαιο** αναπτύσσεται η πολυκριτήρια μεθοδολογία λήψης αποφάσεων, η οποία χρησιμοποιείται στο μεγαλύτερο μέρος της εργασίας, η Αναλυτική-Συνθετική Προσέγγιση. Η συγκεκριμένη μεθοδολογία επιλέχθηκε λόγω του γεγονότος ότι είναι μια μέθοδος εύκολα αντιληπτή, με συγκεκριμένη δομή και στάδια ανάπτυξης ενώ ταυτόχρονα είναι εξαιρετικά ισχυρή ως προς την αποτελεσματικότητά της. Επιπλέον, πετυχαίνει μία ξεκάθαρη απεικόνιση του προβλήματος και των συστατικών του μερών, οπότε ο αποφασίζων διευκολύνεται να εστιάσει την προσοχή του στην εισαγωγή των προσωπικών του προτιμήσεων στο μοντέλο. Επίσης, περιγράφονται τα στάδια που απαιτούνται για την επίλυση ενός προβλήματος,

Στο **τρίτο κεφάλαιο** περιγράφεται ένα ενδεικτικό παράδειγμα προβλήματος λήψης αποφάσεων, το οποίο επιλύεται με τη μεθοδολογία της Αναλυτικής-Συνθετικής Προσέγγισης και παρατίθενται η επεξεργασία των αποτελεσμάτων. Αναλύεται βήμα προς βήμα η εισαγωγή των δεδομένων που προέκυψαν από τη διεξαγωγή και επεξεργασία της έρευνας, το υπολογιστικό κομμάτι που εκτελείται από το λογισμικό και η σύνθεση του τελικού αποτελέσματος και η επιλογή της καλύτερης δυνατής επιλογής απόφασης.

Το **τέταρτο** και τελευταίο **κεφάλαιο** αποτελεί τον επίλογο της εργασίας, όπου συνοψίζονται τα αποτελέσματα, αναπτύσσονται τα συμπεράσματα της έρευνας και τίθενται θέματα προς συζήτηση ως στόχος μελλοντικών εργασιών.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η λήψη αποφάσεων αποτελεί ένα αναπόσπαστο κομμάτι της προσωπικής και κοινωνικής ζωής των ανθρώπων, τόσο σε ατομικό όσο και σε ομαδικό επίπεδο. Όλοι οι άνθρωποι έρχονται καθημερινά αντιμέτωποι με μια πληθώρα απλών ή εξαιρετικά πολύπλοκων αποφάσεων που πρέπει να λάβουν είτε συνειδητά είτε όχι, σταθμίζοντας όλους τους εξωτερικούς παράγοντες που επηρεάζουν το πρόβλημα, τις προσωπικές τους προτιμήσεις καθώς και τις επιπτώσεις των αποφάσεων που τελικά θα πάρουν.

Στην πραγματικότητα για την λήψη ορθολογικών αποφάσεων πρέπει να εξετάζονται σε βάθος οι επιπτώσεις της απόφασης στην καθημερινή ζωή του αποφασίζοντα. Ακριβώς λόγω της πολυπλοκότητας των αποφάσεων, έχουν αναπτυχθεί και διαρκώς εξελίσσονται, διάφοροι μέθοδοι και εργαλεία για την διευκόλυνση της λήψης μιας απόφασης, λαμβάνοντας υπόψη όλους τους παράγοντες που επηρεάζουν τον αποφασίζοντα κατά την λήψη της απόφασης. Ένα τέτοιο εργαλείο είναι η μέθοδος που αναπτύχθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1980 με την ονομασία *Αναλυτική-Συνθετική Προσέγγιση* (Aggregation-Disaggregation Approach, Jacquet-Lagrece & Siskos 1982).

Η Λήψη Αποφάσεων σε γενικές γραμμές στοχεύει, μέσα από την ανάλυση και τη στάθμιση των δεδομένων ενός προβλήματος, στην επιλογή κάποιας από τις εναλλακτικές ενέργειες. Όταν πρόκειται για προβλήματα πολλαπλών κριτηρίων όπως αυτά τα οποία θα πραγματευτούμε στην παρούσα εργασία, η Λήψη Αποφάσεων γίνεται μια εξαιρετικά πολύπλοκη διαδικασία αφού υπάρχει πληθώρα παραγόντων και κριτηρίων που επηρεάζουν το πρόβλημα, και η ανάλυση και στάθμιση τους είναι πλέον περίπλοκη. Έτσι κατά την Λήψη Πολυκριτηρίων Αποφάσεων είναι πολύ σημαντικός ο καθορισμός των προτεραιοτήτων για τους υλικούς και άυλους παράγοντες-κριτήρια που προσδιορίζουν το πρόβλημα απόφασης και η Αναλυτική-Συνθετική Προσέγγιση είναι η κατάλληλη

μεθοδολογία για να το κάνει. Η Αναλυτική-Συνθετική Προσέγγιση υποστηρίζει ότι η απόφαση και τα κριτήρια επιδέχονται προοδευτική επεξεργασία αλληλοδομούνενα μέσα στο χρόνο.

Το σκεπτικό πίσω από την Αναλυτική-Συνθετική Προσέγγιση είναι αρκετά απλό. Η Αναλυτική-Συνθετική Προσέγγιση επιδιώκει να εντοπίσει τον τρόπο με τον οποίο λαμβάνονται οι αποφάσεις μέσω της ανάλυσης σχέσης μεταξύ των αποφάσεων και των επιδόσεων των εναλλακτικών δραστηριοτήτων στα κριτήρια αξιολόγησης.

Στην παρούσα εργασία θα επιχειρήσουμε να ερευνήσουμε και να παρουσιάσουμε διεξοδικά τις ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης μεθοδολογίας. Πιο συγκεκριμένα στο πρώτο και δεύτερο κεφάλαιο, θα παρουσιάσουμε το θεωρητικό και μαθηματικό υπόβαθρο της μεθόδου αντίστοιχα, και στο τρίτο κεφάλαιο θα υλοποιήσουμε χαρακτηριστικά παραδείγματα λήψης αποφάσεων μέσω της Αναλυτικής-Συνθετικής Προσέγγισης.



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

### 1.1 Εισαγωγή

Γίνεται εύκολα αντιληπτό, ότι η διαδικασία της λήψης αποφάσεων αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της προσωπικής και κοινωνικής ζωής των ανθρώπων. Για την υποστήριξη της λήψης αποφάσεων, κυρίως σε επιχειρησιακό επίπεδο, έχουν αναπτυχθεί πολλές μέθοδοι και τεχνικές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες και τις ανάγκες κάθε απόφασης. Η λήψη αποφάσεων στη δυναμική και ραγδαία εξελισσόμενη σύγχρονη πραγματικότητα είναι μία σημαντική πρόκληση.

Η θεωρία λήψης αποφάσεων είναι μία επιστημονική περιοχή που έχει ως αντικείμενο τη μελέτη του τρόπου με τον οποίο άτομα (ή ομάδες ατόμων) λαμβάνουν αποφάσεις και στοχεύει στην **πρόκριση της καταλληλότερης λύσης/απόφασης, από ένα σύνολο εναλλακτικών λύσεων**. Αποτελεί αντικείμενο μελέτης στο πλαίσιο πολλών επιστημών, όπως τα μαθηματικά, η φιλοσοφία, οι οικονομικές, κοινωνικές και πολιτικές επιστήμες.

Οι μεθοδολογίες υποστήριξης λήψης αποφάσεων που έχουν αναπτυχθεί συνίστανται κυρίως στην αναγνώριση και ανάλυση του προβλήματος και στη ακολούθως στην επιλογή της «βέλτιστης» απόφασης ή στην κατάταξη των πιθανών λύσεων κατά σειρά προτεραιότητας. Είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι σε ένα τέτοιο πρόβλημα οι διαθέσιμες επιλογές παρουσιάζουν άριστη επίδοση μόνο ως προς μία ή περισσότερες, αλλά ποτέ ως προς όλες τις παραμέτρους, γιατί

τότε δε θα υπήρχε πρόβλημα απόφασης μιας και η επιλογή που θα ικανοποιούσε μια τέτοια συνθήκη θα ήταν η βέλτιστη λύση.

Τέλος, η διάδοση και εξέλιξη των τεχνολογιών της πληροφορίας και της επικοινωνίας έχει συμβάλει στην ανάπτυξη ηλεκτρονικών συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων, τα οποία βασίζόμενα στις αντίστοιχες μεθοδολογίες, παρέχουν γρηγορότερη και ευκολότερη επεξεργασία και διαχείριση μεγάλου όγκου δεδομένων ενώ επιπρόσθετα διευκολύνουν την επικοινωνία και συνεργασία μεταξύ των μελών μιας ομάδας που καλείται να λάβει κάποια απόφαση.

## 1.2 Εισαγωγή Στην Επιχειρησιακή Έρευνα

Με τον όρο Επιχειρησιακή Έρευνα (Operations Research), αναφερόμαστε στην «επιστήμη που ασχολείται με τη βελτιστοποίηση της απόδοσης ενός συστήματος» (Hillier and Lieberman, 2001). Ειδικότερα, πρόκειται για ένα σύνολο από τεχνικές, οι οποίες χρησιμοποιώντας μαθηματικά μοντέλα, δημιουργούν μια ποσοτική και ορθολογιστική βάση για τη λήψη αποφάσεων που θα βελτιστοποιήσουν τη λειτουργία του υπό μελέτη συστήματος.

Είναι κοινώς αποδεκτό ότι η Επιχειρησιακή Έρευνα δεν είναι απλά μια συλλογή τεχνικών, αλλά κατά κύριο λόγο αποτελεί την ενδεδειγμένη διαδικασία επιστημονικής προσέγγισης των προβλημάτων κατανομής των περιορισμένων πόρων που παρουσιάζονται σε συστήματα των φυσικών και κοινωνικών επιστημών.

Η συνεισφορά της Επιχειρησιακής Έρευνας είναι καθοριστική κυρίως:

- στην υποστήριξη των αποφάσεων της διοίκησης ενός υπαρκτού συστήματος για κάποιο λειτουργικό πρόβλημα, με τη δημιουργία ενός μαθηματικού – αναλυτικού μοντέλου ή, αν κάτι τέτοιο είναι αδύνατο, μ' ένα μοντέλο προσομοίωσης το οποίο επιτρέπει στον ηλεκτρονικό υπολογιστή να προσεγγίσει τη συμπεριφορά του συστήματος,
- στη μελέτη της δομής των ανωτέρω αποφάσεων ώστε να είναι εφικτή η ανάπτυξη μιας διαδικασίας εύρεσής τους (επίλυση του μοντέλου),

- στη διατύπωση της μαθηματικής θεωρίας που οδηγεί στην απόφαση, η οποία βελτιστοποιεί τον προκριθέντα στόχο (κριτήριο επίδοσης του συστήματος), ή που συγκρίνει διαφορετικούς τρόπους ενεργειών αποτιμώντας ένα συγκεκριμένο κριτήριο επίδοσης.

Αν και μοντέλα Επιχειρησιακής Έρευνας αναφέρονται από την αρχή του αιώνα μας, η αρχή της Επιχειρησιακής Έρευνας ως επιστήμης, προσδιορίζεται στη διάρκεια του Δευτέρου Παγκοσμίου Πολέμου. Ακριβώς λόγω του πολέμου, υπήρχε άμεση ανάγκη για την αποτελεσματική κατανομή των λιγοστών πόρων στις διάφορες στρατιωτικές εξορμήσεις. Έτσι, αρχικά στην Αγγλία και στη συνέχεια στις ΗΠΑ, συγκροτήθηκαν ομάδες επιστημόνων με σκοπό την πραγματοποίηση επιστημονικών ερευνών σε στρατιωτικές επιχειρήσεις, εξ' ου και ο όρος Operations Research (research on -military- operations). Η επιτυχία των πρωτοπόρων ομάδων επιχειρησιακών ερευνητών υπήρξε τόσο θεαματική, ώστε γρήγορα έγιναν ευρέως αποδεκτές, πολλαπλασιάστηκαν και ενεπλάκησαν με την επίλυση πάσης φύσεως στρατιωτικών προβλημάτων, όπως την τοποθέτηση των ραντάρ στην Αγγλία, τον αντιαεροπορικό έλεγχο, τον προσδιορισμό του βέλτιστου μεγέθους των νηοπομπών, τον εντοπισμό και βομβαρδισμό των εχθρικών υποβρυχίων, κλπ.

Η βιομηχανική έκρηξη που ακολούθησε, έφερε στην επιφάνεια πολύπλοκα προβλήματα διοίκησης, παραγωγής και εμπορίου προϊόντων, κλπ. Δεν άργησε να γίνει αντιληπτό από τους επιχειρησιακούς ερευνητές ότι τα νέα προβλήματα ήταν σε γενικές γραμμές αυτά που είχαν αντιμετωπίσει και κατά τη διάρκεια του πολέμου, απλά είχε αλλάξει το πεδίο εφαρμογής. Έτσι σιγά-σιγά, η χρήση της Επιχειρησιακής Έρευνας καθιερώθηκε σε επιχειρήσεις, βιομηχανίες και μεγάλους οργανισμούς.

Στη συνέχεια, αφενός μεν η γρήγορη ανάπτυξη νέων μεθοδολογιών, αφετέρου δε η εμφάνιση των ηλεκτρονικών υπολογιστών, οδήγησαν στη ραγδαία διάδοση της Επιχειρησιακής Έρευνας. Στις μέρες μας, είναι απίθανο να υπάρχει επιχείρηση, βιομηχανία, κρατική υπηρεσία και οργανισμός παροχής υπηρεσιών που να μην κάνει χρήση κάποιας τεχνικής-μεθοδολογίας Επιχειρησιακής Έρευνας.

Ένα ακριβές μοντέλο Επιχειρησιακής Έρευνας αναπαριστά ικανοποιητικά όλα τα στοιχεία τα οποία εκτιμάται ότι είναι απαραίτητα για τη λήψη κάποιας απόφασης για την επίλυση του προβλήματος, ενώ δεν περιέχει άσχετες με αυτό λεπτομέρειες ή υποθέσεις.

Αν και η βελτιστοποίηση της λειτουργίας του συστήματος είναι ο βασικός λόγος για τον οποίο προχωρούμε στην κατασκευή ενός μαθηματικού μοντέλου του, με τη χρήση του επιδιώκουμε παράλληλα να περιγράψουμε το σύστημα και να εμβαθύνουμε στις διάφορες πτυχές του, να προβλέψουμε τη μελλοντική συμπεριφορά του, να ορίσουμε δείκτες λειτουργικότητας των επί μέρους τμημάτων του, να προβούμε σε εκτεταμένη μελέτη της συμπεριφοράς του συστήματος κάτω από διαφορετικές υποθετικές συνθήκες λειτουργίας (what-if analysis), να βρούμε λύσεις σε διάφορα ζητήματα-προβλήματα, αποφύγουμε την εμφάνιση προβληματικών καταστάσεων στο σύστημα προειδοποιώντας έγκαιρα για την εμφάνισή τους, να συνδράμουμε στον σχεδιασμό καλύτερων συστημάτων ή να βελτιώσουμε το υπάρχον.

Το «Παραδοσιακό» μεθοδολογικό πλαίσιο της Επιχειρησιακής Έρευνας βασίζεται σε 5 στάδια (Δούμπος, 2003), τα οποία παρουσιάζονται γραφικά στο παρακάτω σχεδιάγραμμα:



Σχήμα 1.1: Μεθοδολογικό πλαίσιο Επιχειρησιακής Έρευνας

Ά Στο πρώτο στάδιο πραγματοποιείται η **διαμόρφωση του προβλήματος**. Πιο συγκεκριμένο στο στάδιο αυτό γίνεται:

Û **Καθορισμός των μεταβλητών απόφασης (decision variables).**

Οι μεταβλητές απόφασης αφορούν το σύνολο των παραγόντων οι τιμές των οποίων πρέπει να προσδιοριστούν προκειμένου να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα. Για παράδειγμα, σε ένα πρόβλημα διαχείρισης παραγωγής, οι μεταβλητές μπορούν να αφορούν το επίπεδο παραγωγής διαφόρων προϊόντων, το είδος και τον όγκο των χρησιμοποιούμενων πρώτων υλών, κλπ.

Û **Προσδιορισμός του στόχου του προβλήματος (objective).**

Ο στόχος προσδιορίζει το κριτήριο αξιολόγησης της ποιότητας των πιθανών λύσεων στο πρόβλημα. Παραδείγματα στόχων είναι η μεγιστοποίηση του κέρδους, η ελαχιστοποίηση του κινδύνου, κλπ.

Û **Προσδιορισμό του χώρου των εφικτών λύσεων (feasible solutions).**

Στην πλειοψηφία των προβλημάτων λήψης αποφάσεων, οι πιθανές λύσεις του προβλήματος προσδιορίζονται από ένα σύνολο περιορισμών. Οι περιορισμοί αυτοί αφορούν τα διαθέσιμα μέσα (υλικά, κεφάλαια, ανθρώπινοι πόροι) καθώς και το περιβάλλον στο οποίο λαμβάνεται η απόφαση (π.χ. νομικοί περιορισμοί).

Ά Το δεύτερο στάδιο αφορά την **κατασκευή του κατάλληλου μοντέλου** που θα χρησιμοποιηθεί για την επίλυση του προβλήματος. Ως μοντέλο ορίζεται η κατάλληλη μαθηματική αναπαράσταση (περιγραφή) του προβλήματος στην οποία αποτυπώνονται όλες οι μεταβλητές απόφασης, στόχοι και περιορισμοί. Βέβαια, στις περισσότερες περιπτώσεις η πραγματικότητα είναι πολύ πολύπλοκη ώστε να αναπαρασταθεί με πληρότητα σε ένα σύνολο μαθηματικών σχέσεων. Για το λόγο αυτό, η κατασκευή του μοντέλου βασίζεται πάντα σε κάποιες υποθέσεις, ώστε να είναι δυνατή η ποσοτική ανάλυση του προβλήματος. Όσο πιο ρεαλιστικές είναι οι

υποθέσεις στις οποίες βασίζεται το μοντέλο, τόσο αυξάνεται η πιθανότητα το μοντέλο να συμβάλει με επιτυχία στην αντιμετώπιση του εξεταζόμενου προβλήματος.

**Ä Το τρίτο στάδιο** της ανάλυσης αφορά την **επίλυση του μοντέλου** με την κατάλληλη μαθηματική διαδικασία (μέθοδος, αλγόριθμος) έτσι ώστε να προσδιοριστούν οι τιμές των μεταβλητών απόφασης οι οποίες αντιστοιχούν σε μια εφικτή λύση που βελτιστοποιεί τον στόχο του προβλήματος.

**Ä Το στάδιο της αξιολόγησης** αφορά την **ανάλυση της ποιότητας της λύσης** (ευαισθησία, ευστάθεια, κλπ.) συναρτήσει των παραμέτρων του μοντέλου, των υποθέσεων που πραγματοποιήθηκαν και των δεδομένων του προβλήματος.

**Ä Το τελευταίο στάδιο** της ανάλυσης αφορά την **υλοποίηση της λύσης** και την ορθή **αιτιολόγησή** της σε περίπτωση όπου αυτό κριθεί απαραίτητο.

### 1.3 Πολυκριτήρια Ανάλυση Αποφάσεων

Η Πολυκριτήρια ή Πολυκριτηριακή Ανάλυση Αποφάσεων (Multi-Criteria Decision Making, MCDA) αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους και ταχύτερα εξελισσόμενους χώρους της Επιχειρησιακής Έρευνας, ο οποίος έχει γνωρίσει ιδιαίτερη άνθηση τόσο σε θεωρητικό όσο και σε πρακτικό επίπεδο. Είναι ένας κλάδος της Θεωρίας Λήψης Αποφάσεων και ανήκει σε μια γενική κατηγορία ερευνητικών επιχειρησιακών μοντέλων που εξετάζουν τα προβλήματα απόφασης υπό από την παρουσία διαφόρων κριτηρίων.

Βασικό ρόλο στην ανάπτυξη και διάδοση της Πολυκριτήριας Ανάλυσης Αποφάσεων αποτέλεσε η απλή διαπίστωση ότι η επίλυση πολύπλοκων και ιδιαίτερα σημαντικών προβλημάτων λήψης αποφάσεων δεν είναι εφικτό να βασίζεται σε μια μονόπλευρη και μονοδιάστατη ανάλυση. Λόγω της εισαγωγής περισσότερων του ενός κριτηρίων στη διαδικασία λήψης απόφασης οδηγούμαστε σε μια πιο ρεαλιστική απεικόνιση των πραγματικών προβλημάτων, προσφέροντας έτσι μεγαλύτερη ευελιξία και καλύτερη αντιμετώπιση των προβλημάτων διότι εξετάζονται περισσότερες διαστάσεις.

Σε επιχειρησιακό επίπεδο, η ελαχιστοποίηση του κόστους και η μεγιστοποίηση της ποιότητας των προσφερόμενων υπηρεσιών/προϊόντων, είναι ζητήματα που ενδιαφέρουν τον κάθε αποφασίζοντα. Τέτοια προβλήματα είναι πιο πολύπλοκα από όσο οι συμβατικές θεωρήσεις των κλασικών οικονομικών υποδεικνύουν. Η μεγιστοποίηση της απόδοσης σε έναν από τους στόχους, συχνά επιτυγχάνεται μόνο με μείωση της απόδοσης σε κάποιον από τους υπόλοιπους. Η λήψη απόφασης μπορεί να οριστεί ως η προσπάθεια επίλυσης των διλημμάτων που προβάλλουν οι αντικρουόμενες επιδιώξεις (Zeleny, 1982).

Πριν την ανάπτυξη των μεθόδων Πολυκριτήριας Ανάλυσης, ο καθορισμός



των επικρατέστερων και των υποτελών δράσεων σε μια επιλογή, γίνονται σύμφωνα με ένα μόνο κριτήριο. Αυτό αντιπροσωπεύεται από μία συνάρτηση (αντικειμενική συνάρτηση, συνάρτηση αξίας, συνάρτηση χρησιμότητας) η οποία συνδέει την κάθε εναλλακτική δράση  $a$  με μία συνάρτηση  $g(a)$ , έτσι ώστε για κάθε δράση  $a$  που είναι 'καλύτερη' από την  $b$ , ισχύει  $g(a) > g(b)$ . Υπό αυτό το πλαίσιο, τα προβλήματα απόφασης είναι μαθηματικά πλήρως ορισμένα. Με τον ορισμό ενός συνόλου  $A$  δυνατών εναλλακτικών δράσεων (alternatives) και τη συνάρτηση  $g$ , μπορεί να κατασκευαστεί ένας αλγόριθμος, που να οδηγεί στην προτιμητέα πρόταση. Αυτός είναι ο σκοπός της κλασσικής Επιχειρησιακής Έρευνας (Brans, 1996) όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη ενότητα. Ωστόσο, είναι σπάνιο να βρεθεί μια συγκεκριμένη εφαρμογή, όπου μόνο ένα κριτήριο να δύναται να συμπεριλάβει όλη την απαιτούμενη πληροφορία για την επιτυχή σύγκριση των στοιχείων του συνόλου  $A$  (σύνολο των δυνατών δράσεων).

**Σκοπός** της πολυκριτήριας ανάλυσης, αποτελεί η διερεύνηση προβλημάτων απόφασης στα οποία λαμβάνονται υπόψη πολλαπλά κριτήρια (Kahneman et al., 1982). Οι διάφορες μέθοδοι πολυκριτήριας ανάλυσης βασίζονται τόσο σε αναγκαίες μαθηματικές περιοριστικές υποθέσεις, όσο και σε δεδομένα που συλλέγονται από τους αποφασίζοντες και αποτελούν παράδειγμα της εξέλιξης του ρόλου του αναλυτή στα προβλήματα απόφασης. Αυτά δεν επιλύονται πλέον με την αντικατάσταση του αποφασίζοντα με ένα μαθηματικό πρόβλημα, αλλά βοηθώντας τον να κατασκευάσει τη λύση.

Πιο συγκεκριμένα, ένας αποφασίζων επιθυμεί να επιλέξει μεταξύ διαφόρων εναλλακτικών δράσεων, χρησιμοποιώντας δύο ή περισσότερα κριτήρια. Στις περισσότερες περιπτώσεις δεν υπάρχει μια μοναδική δράση που να αποδίδει καλύτερα από όλες στο σύνολο των κριτηρίων. Αυτό συνεπάγεται πως η τελική λύση εξαρτάται σημαντικά από την εισαγόμενη προτίμηση των αποφασιζόντων και είναι μία λύση συμβιβασμού (Compromise Solution). Η διαδικασία περιπλέκεται ακόμη περισσότερο, καθώς στις περισσότερες περιπτώσεις διαφορετικές κοινωνικές ομάδες εμπλέκονται στη λήψη των δημοσίων αποφάσεων. Η κάθε ομάδα εισάγει τα δικά της κριτήρια επιλογής και διατηρεί τις απόψεις της. Έτσι, το καταλληλότερο εργαλείο απόφασης απαιτείται να βασίζεται σε ένα πλαίσιο αμοιβαίας κατανόησης και συμβιβασμού (Kersten, Mallory, 1990).

Κατά την προσπάθεια όμως εξέτασης όλων των παραμέτρων ενός

προβλήματος και των κριτηρίων που επηρεάζουν τη λήψη της κατάλληλης απόφασης, γεννάται ένα ιδιαίτερα σημαντικό πρόβλημα, το οποίο ορισμένες φορές αποθαρρύνει τους αποφασίζοντες και αναλυτές να υιοθετήσουν αυτήν την πιο ρεαλιστική προσέγγιση. Το πρόβλημα αυτό αναφέρεται στον τρόπο με τον οποίο μπορεί να πραγματοποιηθεί η σύνθεση όλων των παραμέτρων ώστε να επιτευχθεί η λήψη ορθολογικών αποφάσεων. Βασικό αντικείμενο της πολυκριτήριας ανάλυσης αποφάσεων αποτελεί η αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος.

Η μεθοδολογία της πολυκριτήριας ανάλυσης μπορεί να διαιρεθεί στη Λήψη Αποφάσεων Πολλαπλών Στόχων (Multi Objective Decision Making – MODM) και στη Λήψη Αποφάσεων Πολλαπλών Ιδιοτήτων (Multi Attribute Decision Making – MADM). Η μεθοδολογία της MODM επικεντρώνεται σε προβλήματα όπου ο χώρος απόφασης είναι συνεχής. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιου τύπου είναι τα προβλήματα μαθηματικού προγραμματισμού με πολλαπλές συναρτήσεις – στόχους. Από την άλλη πλευρά, το ρεύμα της MADM έχει ως αντικείμενο προβλήματα με διακριτό χώρο απόφασης, όπου δηλαδή το σύνολο των εναλλακτικών λύσεων είναι προκαθορισμένο. Παρόλα αυτά, οι όροι MODM και MADM συνήθως χρησιμοποιούνται για να δηλώσουν την ίδια κατηγορία μοντέλων, δηλαδή τα μοντέλα της πολυκριτήριας ανάλυσης MCDM.

## 1.4 Ιστορική Αναδρομή

Η διαδικασία λήψης αποφάσεων είναι ένα θέμα που απασχολεί τον άνθρωπο από τα χρόνια της αρχαιότητας. Πολλοί στοχαστές ανά τους αιώνες έχουν στρέψει την προσοχή τους στο θέμα αυτό και αρκετοί επιστήμονες έχουν προσπαθήσει να προσεγγίσουν τον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι λαμβάνουν αποφάσεις. Οι μεγάλοι φιλόσοφοι Πλάτων και Αριστοτέλης ασχολήθηκαν θεωρητικά με τη δυνατότητα του ανθρώπου να λαμβάνει αποφάσεις και υποστήριξαν πως η δυνατότητα του αποφασίζειν κατόπιν στοχασμού είναι αυτό που διακρίνει τον άνθρωπο από τα ζώα.

Ως πρώτη τεκμηριωμένη προσπάθεια επιστημονικής αντιμετώπισης του προβλήματος της σύνθεσης πολλαπλών κριτηρίων μπορεί να θεωρηθεί η εργασία του Pareto (1896), ο οποίος έθεσε τις απαραίτητες αξιωματικές βάσεις, εισάγοντας παράλληλα μια εκ των πλέον βασικών εννοιών της σύγχρονης πολυκριτήριας ανάλυσης, την έννοια της αποτελεσματικότητας (efficiency). Μεταπολεμικά, ο Koopmans (1951) επέκτεινε την έννοια της αποτελεσματικότητας του Pareto εισάγοντας την έννοια του αποτελεσματικού συνόλου, δηλαδή του συνόλου των εναλλακτικών δραστηριοτήτων οι οποίες δεν κυριαρχούνται από καμία άλλη εναλλακτική δραστηριότητα (non dominated set of alternatives). Κατά την ίδια περίπου χρονική περίοδο (1940-1950) οι Von Neumann και Morgenstern (1944) αναπτύσσουν τη θεωρία χρησιμότητας, η οποία αποτελεί τη βάση ενός από τα κυριότερα μεθοδολογικά ρεύματα της πολυκριτήριας ανάλυσης αποφάσεων.

Στη δεκαετία του 1960 όλες οι προαναφερθείσες «προκαταρκτικές» ερευνητικές εργασίες αποτέλεσαν το έναυσμα για την πραγματοποίηση περαιτέρω έρευνας από τους Charnes και Cooper (1961) όσον αφορά τη σύνδεση της θεωρίας του γραμμικού προγραμματισμού και της πολυκριτήριας ανάλυσης (προγραμματισμός στόχων - goal programming), καθώς και από τον Fishburn (1965) όσον αφορά την επέκταση της θεωρίας χρησιμότητας σε προβλήματα

λήψης αποφάσεων υπό καθεστώς πολλαπλών κριτηρίων. Περί τα τέλη της δεκαετίας του 1960 η πολυκριτήρια ανάλυση άρχισε να απασχολεί και τους ευρωπαίους επιχειρησιακούς ερευνητές. Πρωτοπόρος μεταξύ αυτών υπήρξε ο Roy (1968) ο οποίος ανέπτυξε τη θεωρία των σχέσεων υπεροχής (outranking relations) και θεωρείται ο ιδρυτής της «Ευρωπαϊκής Σχολής» της πολυκριτήριας ανάλυσης. Τις επόμενες δύο δεκαετίες (1970-1990) η πολυκριτήρια ανάλυση αναπτύχθηκε ραγδαία σε θεωρητικό επίπεδο αλλά και σε θέματα πρακτικών εφαρμογών για την αντιμετώπιση διαφόρων πολύπλοκων πραγματικών προβλημάτων λήψης αποφάσεων.

Προς την κατεύθυνση αυτή σημαντική υπήρξε η συμβολή της πληροφορικής και της επιστήμης των υπολογιστών. Η ταχύτατη τεχνολογική πρόοδος που συντελέστηκε στους χώρους αυτούς, κυρίως κατά τις τελευταίες δύο δεκαετίες, έδωσε τα απαραίτητα μέσα για την υλοποίηση των μεθοδολογικών εξελίξεων της πολυκριτήριας ανάλυσης σε ολοκληρωμένα πληροφορικά συστήματα (πολυκριτήρια συστήματα υποστήριξης αποφάσεων), τα οποία παράλληλα συνέβαλλαν και στην προώθηση των πρακτικών εφαρμογών της πολυκριτήριας ανάλυσης.

## 1.5 Τα Χαρακτηριστικά Της Πολυκριτήριας Ανάλυσης Αποφάσεων

Το βασικό χαρακτηριστικό γνώρισμα της πολυκριτήριας ανάλυσης, το οποίο την διαφοροποιεί σημαντικά από τις εναλλακτικές προσεγγίσεις, δεν είναι η απλή σύνθεση όλων των παραμέτρων ενός προβλήματος, αλλά **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 αποφασίζων**. Το χαρακτηριστικό αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία στο χώρο λήψης αποφάσεων καθώς η Πολυκριτήρια Ανάλυση Αποφάσεων ενσωματώνει τον αποφασίζοντα και τις προτιμήσεις του στη διαδικασία ανάπτυξης των υποδειγμάτων και επιλογών, χωρίς να προσδίδει στον αποφασίζοντα απλά έναν παθητικό ρόλο, που τον περιορίζει στην παρακολούθηση και εφαρμογή των αποτελεσμάτων μαθηματικών υποδειγμάτων (Σπανός, 2004).

Ένα άλλο κύριο χαρακτηριστικό της Πολυκριτήριας Ανάλυσης Αποφάσεων έγκειται στον τρόπο με τον οποίο προκρίνεται η τελική λύση από το σύνολο των εναλλακτικών λύσεων. Οι εναλλακτικές λύσεις αξιολογούνται χωριστά σε μια βάση ορισμού κριτηρίων, τα οποία μπορεί να αλληλοσυγκρούονται ή να είναι δυσανάλογα μεταξύ τους. Κατά την προσπάθεια εξέτασης όλων των παραμέτρων ενός προβλήματος και των κριτηρίων που επηρεάζουν τη λήψη της κατάλληλης απόφασης, δημιουργείται ένα σημαντικό πρόβλημα, το οποίο ορισμένες φορές αποθαρρύνει τους αποφασίζοντες και αναλυτές να υιοθετήσουν αυτή τη ρεαλιστική προσέγγιση. Το πρόβλημα αυτό αναφέρεται στον τρόπο με τον οποίο μπορεί να πραγματοποιηθεί η σύνθεση όλων αυτών των παραμέτρων ούτως ώστε να επιτευχθεί η λήψη μιας ορθολογικής απόφασης. **Η ικανοποίηση των παραμέτρων αυτών δεν μπορεί να είναι πλήρης**. Οι διαθέσιμες επιλογές σε ένα τέτοιο πρόβλημα παρουσιάζουν άριστη επίδοση μόνο ως προς μια ή περισσότερες, αλλά ποτέ ως προς όλες τις παραμέτρους, γιατί τότε δε θα υπήρχε πρόβλημα

απόφασης μιας και η επιλογή που θα ικανοποιούσε μια τέτοια συνθήκη θα ήταν η άριστη. Είναι αναγκαίος λοιπόν ένας συμβιβασμός μεταξύ των αλληλοσυγκρουόμενων μεταβλητών.

Η πολυκριτήρια ανάλυση δημιουργεί **σχέσεις προτίμησης** μεταξύ των επιλογών, μέσω αναφοράς σε ένα εκτεταμένο σύνολο στόχων, τους οποίους έχει εντοπίσει ο λήπτης αποφάσεων και για τους οποίους έχει ορίσει μετρήσιμα κριτήρια για να αξιολογήσει το βαθμό στον οποίο οι στόχοι αυτοί έχουν επιτευχθεί. Σε απλές συνθήκες, η διαδικασία εντοπισμού των στόχων και των κριτηρίων μπορεί να παρέχει από μόνη της αρκετές πληροφορίες για τους λήπτες αποφάσεων.

Προκειμένου δηλαδή να επιτευχθεί η αξιολόγηση των διαφόρων προτεινόμενων λύσεων, δεν επαρκεί μόνο η σύγκριση μιας κρίσιμης παραμέτρου, αλλά απαιτείται η ανάλυση και βαθμολόγηση μιας σειράς κριτηρίων. Τα κριτήρια αυτά είναι κοινά για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια και η σπουδαιότητά τους για την επίλυση του συγκεκριμένου κάθε φορά προβλήματος χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένο συντελεστή βαρύτητας. Η επιλογή επαρκούς αριθμού κατάλληλων και αντιπροσωπευτικών κριτηρίων είναι ιδιαίτερα σημαντική για την εξαγωγή των βέλτιστων συμπερασμάτων. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα κριτήρια επιλογής είναι πολλές φορές αντικρουόμενα, όπως για παράδειγμα συμβαίνει συνήθως με το κόστος και την ποιότητα. Επίσης, συχνά μετρούνται με διαφορετικές μονάδες μέτρησης, οπότε αυτό δυσχεραίνει την ανάλυση.

Όταν τα κριτήρια επιλογής είναι πολλά, οι μεθοδολογίες συνήθως τα ομαδοποιούν και τα ιεραρχούν, δημιουργώντας με τον τρόπο αυτό υποκριτήρια. Οι περισσότερες μέθοδοι πολυκριτήριας ανάλυσης χρησιμοποιούν τον καθορισμό βαρών για τα κριτήρια επιλογής, ορίζοντας έτσι το βαθμό σημαντικότητας τους για τη λήψη της τελικής απόφασης.

Ένα κύριο χαρακτηριστικό της πολυκριτήριας ανάλυσης, είναι η έμφαση που δίνεται στην κρίση της ομάδας των ληπτών απόφασης για τον καθορισμό των στόχων και των κριτηρίων, εκτιμώντας παράλληλα και τη σχετική σημαντικότητα των βαρών, καθώς και την κριτική της συνεισφοράς κάθε επιλογής σε κάθε κριτήριο απόδοσης. Η υποκειμενικότητα, που χαρακτηρίζει τη διαδικασία αυτή, μπορεί να προκαλέσει κάποια ανησυχία. Η βάση της, κατά κύριο λόγο, αποτελείται από τις προσωπικές επιλογές στόχων, κριτηρίων, βαρών και αξιολογήσεων

εκπλήρωσης των στόχων των ληπτών αποφάσεων, παρόλο που αντικειμενικά στοιχεία, όπως οι τιμές που έχουν εκτιμηθεί, μπορούν επίσης να συμπεριληφθούν. Η πολυκριτήρια ανάλυση, ωστόσο, προσφέρει ένα βαθμό δομής, ανάλυσης και ανοίγματος σε κατηγορίες αποφάσεων, οι οποίες εμπίπτουν πέραν της πρακτικής εφαρμογής της (Σπανός, 2004).

Με βάση αυτά τα δεδομένα, οι πολυκριτήριες μέθοδοι λήψης απόφασης αξιολογούν τις εναλλακτικές με βάση τα κριτήρια επιλογής, συνδυάζουν τις επιδόσεις τους και ταξινομούν τις πιθανές λύσεις ώστε να αναδειχθεί τελικά η καλύτερη επιλογή.

## 1.6 Στάδια της Πολυκριτήριας Ανάλυσης Αποφάσεων

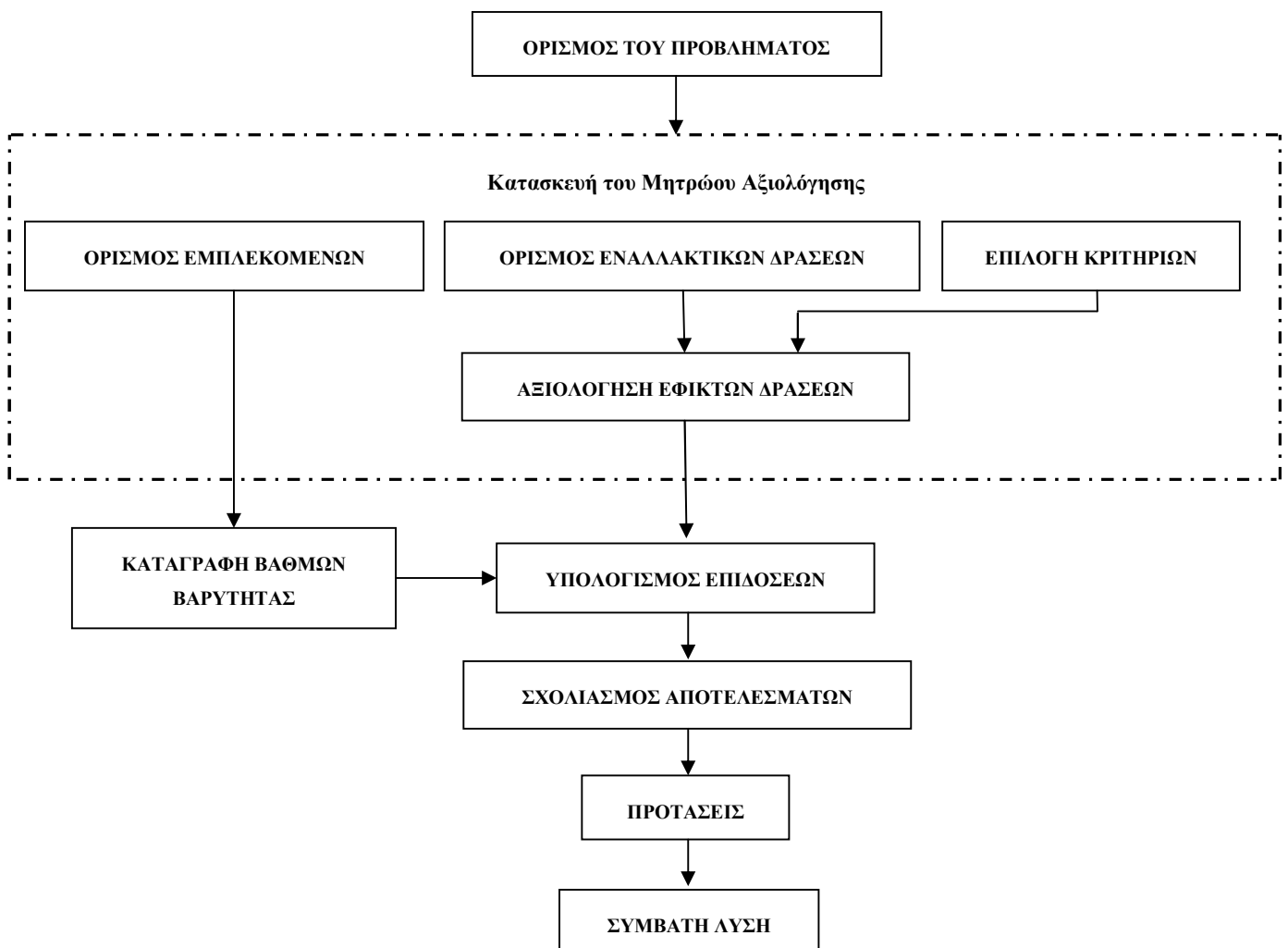
Η διαδικασία του σχεδιασμού του μοντέλου και η τελική επιλογή της απόφασης είναι ιδιαίτερα απαιτητική και εμπλέκει σημαντικό αριθμό παραγόντων. Τα στάδια μιας πολυκριτήριας ανάλυσης είναι τα εξής (Georgoroulou et al., 1997):

1. Αρχικά, κρίνεται απαραίτητος ο **ορισμός του προβλήματος**, καθώς και ο προσδιορισμός των ενδεχόμενων περιορισμών για το σχηματισμό ρεαλιστικών σεναρίων.
2. Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στη συνέχεια, κατά την κατασκευή του **μητρώου επεξεργασίας και αξιολόγησης**, το οποίο περιλαμβάνει:
  - a. τον ορισμό των εμπλεκόμενων στη διαδικασία.
  - b. το σχηματισμό εναλλακτικών στρατηγικών.
  - c. την επιλογή των κριτηρίων αξιολόγησης και τέλος
  - d. την αξιολόγηση των εναλλακτικών σε σχέση με τα κριτήρια.
3. Στη συνέχεια, καθορίζονται οι **βαθμοί βαρύτητας των κριτηρίων**. Σε πραγματικές εφαρμογές, όπου ο αριθμός των εμπλεκόμενων είναι μεγάλος, η τεχνική εκτίμησης των βαθμών βαρύτητας πρέπει να είναι τόσο εύχρηστη όσο και αξιόπιστη.
4. Ακολουθεί ο **υπολογισμός των επιδόσεων των εναλλακτικών σεναρίων**. Αυτός γίνεται με την επιλογή της κατάλληλης πολυκριτήριας μεθόδου.
5. Μετά την εφαρμογή της μεθόδου, η κατάληξη είναι η **κατάταξη** όλων των εφικτών εναλλακτικών με φθίνουσα σειρά επίδοσης.



6. Κρίνεται απαραίτητη η συζήτηση επί των αποτελεσμάτων, προκειμένου να διευκρινιστεί τι καθιστά μια εναλλακτική προτιμότερη από μια άλλη, ποια είναι τα βασικότερα κριτήρια και ποιες θα ήταν οι πιθανές καλύτερες νέες εναλλακτικές που θα μπορούσαν να καθοριστούν μεταξύ των περισσότερο προτιμητέων. Έτσι, απαραίτητη είναι η **διεξαγωγή ανάλυσης ευαισθησίας** προκειμένου να ερευνηθούν οι διάφορες παράμετροι που επηρεάζουν την ταξινόμηση των εναλλακτικών σεναρίων.
7. Στο τελικό στάδιο είναι δυνατόν να γίνουν **προτάσεις /συστάσεις επί των αποτελεσμάτων**.

Τα στάδια της πολυκριτήριας ανάλυσης απεικονίζονται στο Σχήμα 1.2.



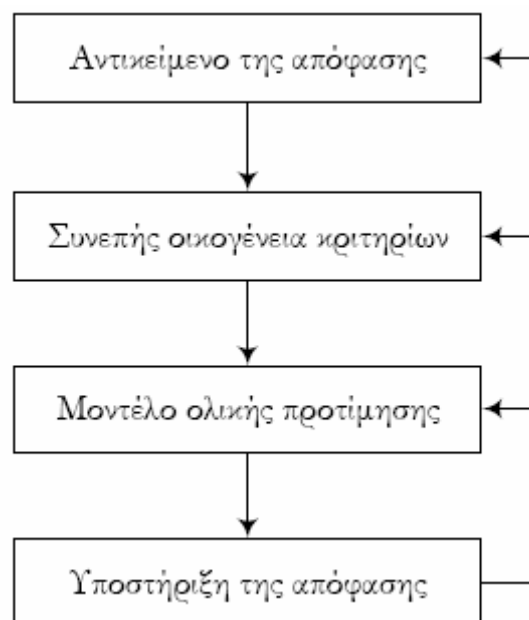
Σχήμα 1.2: Τα στάδια της Πολυκριτήριας Ανάλυσης Αποφάσεων

## 1.7 Η Μεθοδολογία της Πολυκριτήριας Ανάλυσης Αποφάσεων

Με βάση τις ιδιαιτερότητες που παρουσιάζουν τα προβλήματα λήψης αποφάσεων με πολλαπλά κριτήρια, η πολυκριτήρια ανάλυση αποφάσεων έχει τρεις βασικούς στόχους (Δούμπος, 2003):

1. την ανάλυση της ανταγωνιστικής φύσης των κριτηρίων,
2. τη μοντελοποίηση των προτιμήσεων του αποφασίζοντα και
3. τον εντοπισμό ικανοποιητικών λύσεων.

Για την επίτευξη αυτών των στόχων ο Roy (1996) προτείνει ένα γενικό μεθοδολογικό πλαίσιο που ακολουθείται στο πλαίσιο της πολυκριτήριας ανάλυσης. Το πλαίσιο αυτό αποτελείται από τέσσερα στάδια και απεικονίζεται γραφικά στο Σχήμα 1.3.



Σχήμα 1.3: Μεθοδολογικό πλαίσιο Πολυκριτήριας Ανάλυσης Αποφάσεων

### 1.7.1 Το Αντικείμενο Της Απόφασης

Στο πρώτο στάδιο του μεθοδολογικού πλαισίου της πολυκριτήριας ανάλυσης πραγματοποιείται η **διαμόρφωση του προβλήματος**, που περιλαμβάνει τον καθορισμό του συνόλου των εναλλακτικών δραστηριοτήτων, δηλαδή, εντοπίζει το σύνολο των εφικτών λύσεων και δυνατών δραστηριοτήτων και στη συνέχεια καθορίζεται η προβληματική της ανάλυσης. Ως εναλλακτική (alternative), ορίζεται κάθε πιθανή επιλογή, η οποία αποτελεί λύση του εξεταζόμενου προβλήματος και η οποία αξιολογείται ως προς την καταλληλότητά της. Το σύνολο των εναλλακτικών ορίζεται, είτε ως ένα διακριτό σύνολο (discrete set), στο οποίο είναι δυνατή η πλήρης καταγραφή ενός σαφούς συνόλου εναλλακτικών δραστηριοτήτων, είτε ως ένα συνεχές σύνολο (continuous set), στο οποίο η εξαντλητική καταγραφή των εναλλακτικών δεν είναι δυνατή (ορίζεται σύνολο εφικτών λύσεων).

Στη συνέχεια, απαιτείται ο **καθορισμός της προβληματικής της ανάλυσης (decision problematic)**. Γενικά, υπάρχουν τέσσερις προβληματικές που καλύπτουν τις πρακτικές περιπτώσεις (Γρηγορούδης, Δούμπος, Ζοπουνίδης, Ματσατσίνης, 2004):

1. Η *προβληματική τύπου α*, αναφέρεται στην επιλογή μίας ή περισσότερων εναλλακτικών, οι οποίες θεωρούνται ως οι πιο κατάλληλες (**choice**). Για παράδειγμα, κατά την χωροθέτηση ενός εργοστασίου η προβληματική αφορά την επιλογή της πλέον κατάλληλης τοποθεσίας.
2. Η *προβληματική τύπου β*, αναφέρεται στην ταξινόμηση των εναλλακτικών σε προκαθορισμένες ομοιογενείς κατηγορίες (**classification/ sorting**). Για παράδειγμα, κατά την αξιολόγηση μιας αίτησης δανειοδότησης το αντικείμενο της ανάλυσης αφορά την αξιολόγηση του αιτούντα (επιχείρηση

ή ιδιότη) και την ταξινόμησή του είτε στην κατηγορία των αποδεκτών αιτήσεων είτε στην κατηγορία των απορριπτέων αιτήσεων.

3. Η *προβληματική τύπου γ*, αναφέρεται στην κατάταξη των εναλλακτικών δραστηριοτήτων ξεκινώντας από τις καλύτερες (**ranking**). Για παράδειγμα, κατά την εισαγωγή των μαθητών σε μία πανεπιστημιακή σχολή απαιτείται η κατάταξη τους βάσει της βαθμολογίας τους στις εισαγωγικές εξετάσεις.
4. Τέλος, η *προβληματική τύπου δ*, αναφέρεται στην περιγραφή των εναλλακτικών με βάση τα επιμέρους κριτήρια αξιολόγησης (**description**).

Η επιλογή της κατάλληλης προβληματικής σχετίζεται αποκλειστικά και μόνο με το πρόβλημα που εξετάζεται. Επιπλέον, σε ορισμένες περιπτώσεις πιθανόν να απαιτείται ο συνδυασμός δύο προβληματικών για την καλύτερη αντιμετώπιση του προβλήματος.

### 1.7.2 Συνεπής Οικογένεια Κριτηρίων

Κατά το δεύτερο στάδιο της διαδικασίας καθορίζεται μία **συνεπής οικογένεια κριτηρίων** (consistent family of criteria). Ως κριτήριο θεωρείται μία μονότονη συνάρτηση  $x$ , δηλωτική των προτιμήσεων του αποφασίζοντος τέτοια ώστε για κάθε δύο εναλλακτικές  $x'$  και  $x''$  να ισχύει :

$$x' > x'' \Leftrightarrow x' P x''$$

$$x' = x'' \Leftrightarrow x' I x''$$

όπου:

- $x'$  και  $x''$  είναι οι επιδόσεις των εναλλακτικών  $x'$  και  $x''$  στο κριτήριο  $x$ ,
- $P$  και  $I$  είναι αντίστοιχα οι σχέσεις προτίμησης και αδιαφορίας οριζόμενες έτσι ώστε:
  - $x' P x'' \Leftrightarrow$  η εναλλακτική  $x'$  προτιμάται της  $x''$  (**προτίμηση**)
  - $x' I x'' \Leftrightarrow$  οι εναλλακτικές  $x'$  και  $x''$  είναι ισοδύναμες (**αδιαφορία**)

Για τη λήψη ορθολογικών αποφάσεων με πολλαπλά κριτήρια, είναι απαραίτητο να διασφαλιστεί ότι το σύνολο των εξεταζόμενων κριτηρίων διαμορφώνει μία συνεπή οικογένεια κριτηρίων. Ένα σύνολο κριτηρίων  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  θεωρείται ότι διαμορφώνει μία συνεπή οικογένεια κριτηρίων εάν και μόνο εάν διαθέτει τις ακόλουθες τρεις ιδιότητες:

1. *Μονοτονία* (monotonicity): Ένα σύνολο κριτηρίων θεωρείται ότι διαθέτει την ιδιότητα της μονοτονίας εάν και μόνο εάν για οποιεσδήποτε δύο εναλλακτικές  $x'$  και  $x''$  τέτοιες ώστε  $x'_i > x''_i$  για κάποιο κριτήριο  $x_i$  και  $x'_j = x''_j$  για όλα τα υπόλοιπα κριτήρια  $x_j$  ( $j \neq i$ ), συμπεραίνεται ότι  $x' P x''$ .

2. *Επάρκεια* (exhaustively): Ένα σύνολο κριτηρίων θεωρείται ότι διαθέτει την ιδιότητα της επάρκειας εάν και μόνο εάν για οποιοσδήποτε δύο εναλλακτικές  $x'$  και  $x''$  τέτοιες ώστε  $x_i' = x_i''$  για όλα τα κριτήρια  $x_i$ , συμπεραίνεται ότι  $x' \geq x''$ .
  
3. *Μη πλεονασμός* (non-redundancy): Ένα σύνολο κριτηρίων θεωρείται ότι διαθέτει την ιδιότητα του μη πλεονασμού εάν και μόνο εάν η διαγραφή ενός οποιουδήποτε κριτηρίου  $x_i$  οδηγεί σε παραβίαση των ιδιοτήτων της μονοτονίας ή της επάρκειας.

### 1.7.3 Μοντέλο Ολικής Προτίμησης

Μετά το πέρας των δύο προηγούμενων σταδίων της ανάλυσης ακολουθεί η κατασκευή και χρήση ενός **μοντέλου ολικής προτίμησης** (global evaluation model), το οποίο συμβάλει στη σύνθεση όλων των κριτηρίων, έτσι ώστε να ολοκληρωθεί ο στόχος της ανάλυσης με βάση την προβληματική που έχει οριστεί. Το μοντέλο ολικής προτίμησης χρησιμοποιείται ως βάση για:

1. τον προσδιορισμό μίας συνολικής αξιολόγησης κάθε εναλλακτικής,
2. την πραγματοποίηση διμερών συγκρίσεων μεταξύ των εναλλακτικών και
3. τη διεύρυνση του συνόλου των εναλλακτικών (σε συνεχές σύνολο).

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

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

## 1.8 Οι Θεωρητικές Προσεγγίσεις Της Πολυκριτήριας Ανάλυσης Αποφάσεων

Στο πλαίσιο της πολυκριτήριας ανάλυσης αποφάσεων έχουν αναπτυχθεί αρκετές διαφορετικές μεθοδολογικές προσεγγίσεις. Αυτές οι θεωρητικές προσεγγίσεις διαφέρουν τόσο στη μορφή των υποδειγμάτων που αναπτύσσουν, όσο και στη διαδικασία που χρησιμοποιούν για την ανάπτυξη των υποδειγμάτων αυτών. Λόγω αυτού του χαρακτηριστικού έχουν προταθεί διάφορες ομαδοποιήσεις των προσεγγίσεων και των μεθοδολογιών ανάλογα με τη μορφή του μοντέλου ολικής προτίμησης που χρησιμοποιούν αλλά και τη διαδικασία ανάπτυξης του μοντέλου. Μία κατηγοριοποίηση προσεγγίσεων της πολυκριτήριας ανάλυσης είναι η κατάταξη τους σε τέσσερις θεωρητικές τάσεις (Pardalos et al, 1995):

1. **Πολυκριτήριος Μαθηματικός Προγραμματισμός** (multi-objective mathematical programming). Αντικείμενο της συγκεκριμένης προσέγγισης είναι η αντιμετώπιση προβλημάτων όπου υπάρχουν πολλαπλοί στόχοι και οι εναλλακτικές λύσεις είναι συνεχείς. Η επίλυση του προβλήματος πραγματοποιείται μέσω επαναληπτικών μεθόδων που έχουν ως στόχο:
  - a. την ικανοποίηση των κριτηρίων,
  - b. τη δημιουργία ενός μοντέλου χρησιμότητας και
  - c. το συνδυασμό των παραπάνω μεθόδων.
  
2. **Πολυκριτήρια Θεωρία Χρησιμότητας** (multi-attribute utility theory), η οποία αναφέρεται επίσης ως η Αμερικανική Σχολή. Η κεντρική ιδέα της συγκεκριμένης προσέγγισης έγκειται στην αναπαράσταση ενός συστήματος αξιών το οποίο προέρχεται από τη σύνθεση των προτιμήσεων του



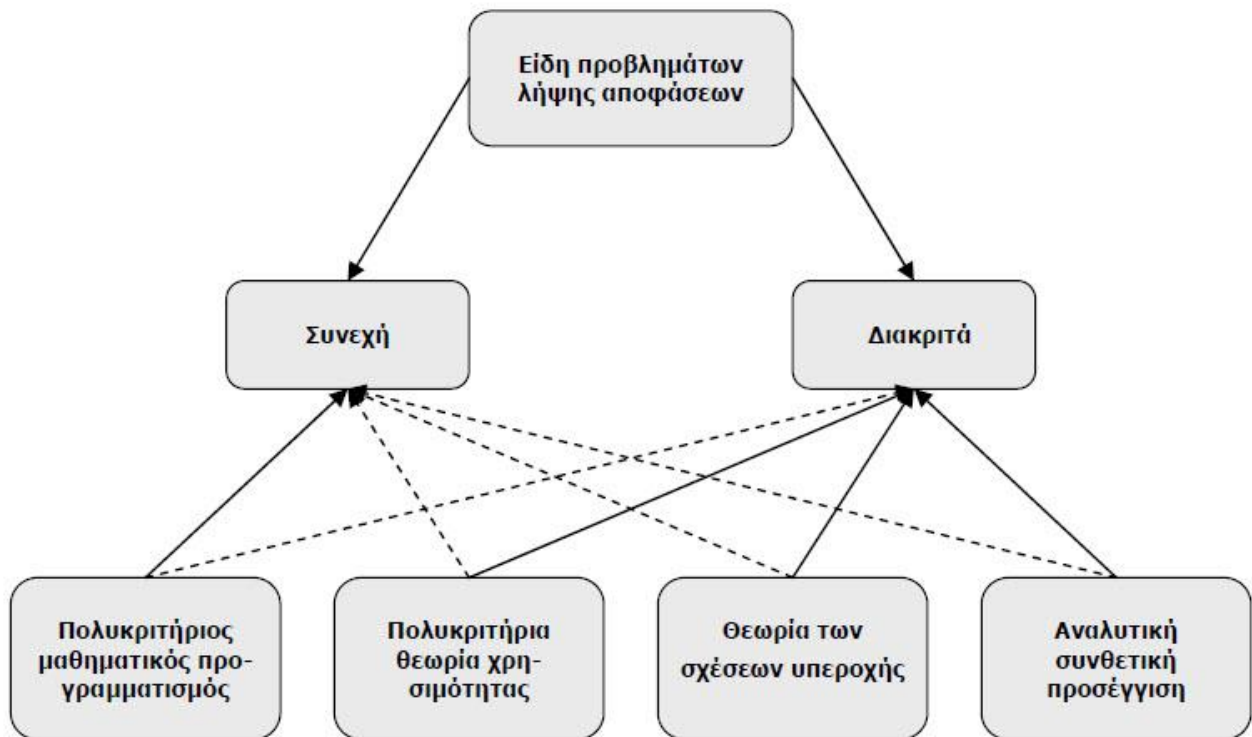
αποφασίζοντα αναφορικά με τα κριτήρια. Στη συνέχεια, από το παραγόμενο σύστημα αξίας προκύπτει μία ποσοτική εκτίμηση που οδηγεί στη λήψη της τελικής απόφασης. Κύριες μέθοδοι της συγκεκριμένης προσέγγισης είναι οι MAUT, MAVT, WSM.

3. **Θεωρία των Σχέσεων Υπεροχής** (outranking relations theory), γνωστή και ως Γαλλική ή Ευρωπαϊκή Σχολή. Δημιουργώντας σχέσεις υπεροχής, δηλαδή δυαδικές σχέσεις που εκφράζουν την προτίμηση του αποφασίζοντα, η προσέγγιση αυτή επιτρέπει την αντιμετώπιση του προβλήματος της μη συγκρισιμότητας των χαρακτηριστικών των εναλλακτικών λύσεων. Αντιπροσωπευτικές μέθοδοι της συγκεκριμένης προσέγγισης θεωρούνται οι ELECTRE, PROMETHEE, ORESTE, QUALIFLEX.
4. **Αναλυτική – Συνθετική Προσεγγιση** (preference disaggregation approach), η οποία αναλύει τη συμπεριφορά και τον τρόπο αντίληψης του αποφασίζοντα. Πιο συγκεκριμένα, μέσω επαναληπτικών διαδικασιών εξετάζονται όλα τα στοιχεία του προβλήματος καθώς και η μέθοδος κρίσης του αποφασίζοντα. Στη συνέχεια όλες οι παράμετροι χρησιμοποιούνται για τη σύνθεση ενός συστήματος αξιών. Η συγκεκριμένη διαδικασία στοχεύει στην υποβοήθηση του αποφασίζοντα στην βαθύτερη κατανόηση του προβλήματος. Ως αντιπροσωπευτική αυτής της τάσης αναφέρεται η μέθοδος UTA.

Η συγκεκριμένη ομαδοποίηση εκτός από τη μορφή των υποδειγμάτων που αναπτύσσονται, λαμβάνει υπόψη της και τον τρόπο με τον οποίο πραγματοποιείται η ανάπτυξή τους. Όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.4, μεταξύ των τεσσάρων αυτών βασικών προσεγγίσεων της πολυκριτήριας ανάλυσης αποφάσεων, οι *τρεις τελευταίες*, δηλαδή η πολυκριτήρια θεωρία χρησιμότητας, η θεωρία των σχέσεων υπεροχής και η αναλυτική-συνθετική προσέγγιση προσανατολίζονται προς την αντιμετώπιση διακριτών προβλημάτων λήψης αποφάσεων. Απώτερος στόχος του είναι η **σύνθεση** όλων των κριτηρίων με σκοπό την αξιολόγηση ενός πεπερασμένου συνόλου εναλλακτικών δραστηριοτήτων σύμφωνα με τις προβληματικές της επιλογής, κατάταξης ή ταξινόμησης.

Αντίθετα, ο πολυκριτήριος μαθηματικός προγραμματισμός αποτελεί μία γενίκευση της γνωστής θεωρίας του μαθηματικού προγραμματισμού σε περιπτώσεις όπου πρέπει να βελτιστοποιηθούν πολλαπλές αντικειμενικές συναρτήσεις.

Στο σχήμα που ακολουθεί μπορούμε επίσης να παρατηρήσουμε ότι η συμβολή του κάθε θεωρητικού ρεύματος της πολυκριτήριας ανάλυσης δεν περιορίζεται στην αντιμετώπιση μόνο ενός είδους προβλημάτων λήψης αποφάσεων (συνεχή ή διακριτά).



Σχήμα 1.4: Η συμβολή των θεωρητικών ρευμάτων της πολυκριτήριας ανάλυσης στην επίλυση συνεχών και διακριτών προβλημάτων λήψης αποφάσεων

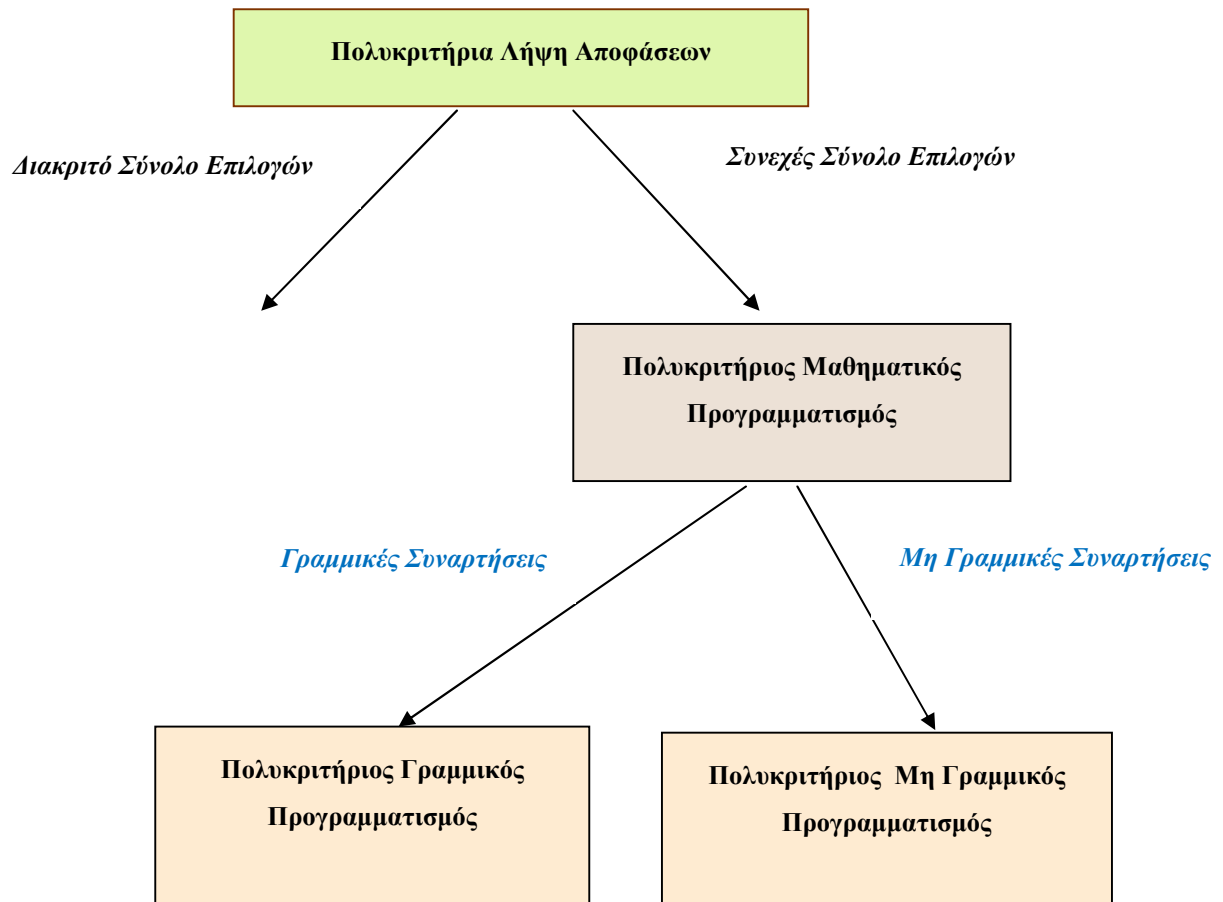
Αναλυτικότερα, η Πολυκριτήρια Θεωρία Χρησιμότητας, η Θεωρία των Σχέσεων Υπεροχής και η Αναλυτική-Συνθετική Προσέγγιση μπορούν να

χρησιμοποιηθούν και ως εργαλεία για την αντιμετώπιση συνεχών προβλημάτων, συμβάλλοντας στην αποτύπωση του συστήματος αξιών και προτιμήσεων του αποφασίζοντα σε ένα μαθηματικό υπόδειγμα. Το υπόδειγμα αυτό χρησιμοποιούμενο σε συνδυασμό με τεχνικές Πολυκριτήριου Μαθηματικού Προγραμματισμού μπορεί να οδηγήσει στην επίλυση συνεχών προβλημάτων. Αντίστοιχα, και ο Πολυκριτήριος Μαθηματικός Προγραμματισμός μπορεί να συμβάλλει στην αντιμετώπιση διακριτών προβλημάτων.

Τα προβλήματα της πολυκριτήριας ανάλυσης αποφάσεων είναι χαμηλού βαθμού δόμησης, δηλαδή η ορθολογική λύση τους δεν καθορίζεται από το ίδιο το πρόβλημα, όπως όταν υπάρχει μόνο ένα κριτήριο απόφασης, αλλά αποτελεί αντικείμενο αναζήτησης με την άμεση εμπλοκή του αποφασίζοντα στη διαδικασία εκφράζοντας τις υποκειμενικές του προτιμήσεις. Όταν το σύνολο των εναλλακτικών επιλογών είναι διακριτό και ρητά καθορισμένο με συγκεκριμένες επιλογές που χαρακτηρίζονται από την επίδοσή τους σε κάποια κριτήρια, τότε το πρόβλημα χαρακτηρίζεται ως πρόβλημα πολυκριτήριας ανάλυσης.

Αντίθετα, όταν το σύνολο των δυνατών επιλογών δεν δίδεται ρητά αλλά έμμεσα μέσω των τιμών των μεταβλητών απόφασης ενός προβλήματος μαθηματικού προγραμματισμού, τότε το πρόβλημα ανήκει στον Πολυκριτήριο Μαθηματικό Προγραμματισμό. Οι μαθηματικές σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών απόφασης που πρέπει να ικανοποιούνται αποτελούν τους περιορισμούς του προβλήματος, ενώ οι συναρτήσεις εκείνες των μεταβλητών απόφασης που πρέπει να αριστοποιήσουν ονομάζονται αντικειμενικές συναρτήσεις. Με τον όρο λύση του προβλήματος εννοείται κάθε δυνατός συνδυασμός τιμών των μεταβλητών απόφασης.

Στο παρακάτω Σχήμα 1.5 απεικονίζεται τη ταξινόμηση των μεθόδων πολυκριτήριας ανάλυσης ανάλογα με το είδος των επιλογών



Σχήμα 1.5: Ταξινόμηση μεθόδων Πολυκριτήριας Ανάλυσης Αποφάσεων

### 1.8.1 Πολυκριτήριο Μαθηματικός Προγραμματισμός

Σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν πολλαπλές αντικειμενικές συναρτήσεις σε ένα πρόβλημα λήψης απόφασης τότε η θεωρία του μαθηματικού προγραμματισμού δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί και τη λύση έρχεται να δώσει ο Πολυκριτήριο Μαθηματικός Προγραμματισμός.

Η γενική μορφή ενός προβλήματος πολυκριτηρίου μαθηματικού προγραμματισμού είναι η ακόλουθη:

$$\text{Μεγιστοποίηση: } \{f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)\}$$

$$\text{Υπό περιορισμούς: } x \in A$$

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 ο οποίος οριοθετείται από σύνολα περιορισμών.

Στον Πολυκριτήριο Μαθηματικό Προγραμματισμό η έννοια της βέλτιστης λύσης, όπως αυτή εννοείται στον κλασικό μαθηματικό προγραμματισμό, δεν υφίσταται. Όταν έχουμε βελτιστοποίηση πολλαπλών αντικειμενικών συναρτήσεων, σπάνια είναι δυνατόν να βρεθεί μία εφικτή λύση, η οποία είναι βέλτιστη για όλες τις υπό εξέταση αντικειμενικές συναρτήσεις. Συνεπώς, η επίλυση ενός προβλήματος πολυκριτηρίου μαθηματικού προγραμματισμού έγκειται στην αναζήτηση μίας συμβιβαστικής λύσης. Κάθε εφικτή λύση καλείται αποτελεσματική εάν και μόνο εάν δεν υπάρχει καμία άλλη λύση που να υπερτερεί έναντι αυτής σε όλους τους προκαθορισμένους στόχους (τιμές των αντικειμενικών συναρτήσεων). Κάθε αποτελεσματική λύση λέγεται ότι είναι βέλτιστη κατά Pareto.

Ένας εναλλακτικός τρόπος προσέγγισης των προβλημάτων βελτιστοποίησης πολλαπλών αντικειμενικών συναρτήσεων, αποτελεί ο **Προγραμματισμός Στόχων** (goal programming). Ο Προγραμματισμός Στόχων

(Charnes & Cooper, 1961) αντιμετωπίζει τα προβλήματα αυτά σε μία περισσότερο απλουστευμένη βάση. Η έννοια της αντικειμενικής συνάρτησης η οποία είναι βασική στον πολυκριτήριο μαθηματικό προγραμματισμό, αντικαθίσταται από την έννοια του στόχου. Έτσι, ενώ στον Πολυκριτήριο Μαθηματικό Προγραμματισμό κάθε αντικειμενική συνάρτηση ορίζει απλά την κατεύθυνση προς την οποία πρέπει να διερευνηθεί η ύπαρξη ικανοποιητικών λύσεων, στον Προγραμματισμό Στόχων η σαφής οριοθέτηση των στόχων επιτρέπει την αξιολόγηση του βαθμού στον οποίο η κάθε λύση ανταποκρίνεται σε αυτούς.

Η γενική μορφή ενός προβλήματος Προγραμματισμού Στόχων είναι η ακόλουθη:

Μεγιστοποίηση:  $h(d_i^+, d_i^-)$

$$\text{Υπό περιορισμούς: } \begin{cases} f_i(x) + d_i^+ - d_i^- = c_i \\ x \in A \end{cases}$$

όπου  $f_i$  είναι ο  $i$  στόχος του προβλήματος εκφραζόμενος συναρτήσει του διανύσματος των μεταβλητών απόφασης  $x$ , ενώ  $c_i$  είναι η επιθυμητή τιμή του στόχου. Τέλος,  $f_i, d_i^+, d_i^-$  είναι οι αποκλίσεις από την τιμή  $c_i$  και  $h$  είναι μία συνάρτηση των αποκλίσεων.

### 1.8.2 Πολυκριτήρια Θεωρία Χρησιμότητας

Η Πολυκριτήρια Θεωρία Χρησιμότητας (multiattribute utility theory) αποτελεί γενίκευση της κλασσικής Θεωρίας Χρησιμότητας (Keeney and Raiffa, 1976). Η Πολυκριτήρια Θεωρία Χρησιμότητας αποτελεί έναν από τους ακρογωνιαίους λίθους της θεωρητικής ανάπτυξης και πρακτικής εφαρμογής των αρχών της πολυκριτήριας ανάλυσης. Ο Πολυκριτήριος Μαθηματικός Προγραμματισμός και ο Προγραμματισμός Στόχων, ουσιαστικά αποσκοπούν στον εντοπισμό μίας αποτελεσματικής λύσης, η οποία μεγιστοποιεί τη χρησιμότητα του αποφασίζοντος.

Επιπλέον, βασικό σημείο ορισμένων μεθόδων Πολυκριτήριου Μαθηματικού Προγραμματισμού αποτελεί η σαφής ανάπτυξη της συνάρτησης χρησιμότητας που διέπει την πολιτική που ακολουθεί ο αποφασίζων, η οποία στη συνέχεια μεγιστοποιείται στην περιοχή των εφικτών λύσεων ώστε να εντοπιστεί η κατάλληλη αποτελεσματική λύση.

Η πολυκριτήρια θεωρία χρησιμότητας έχει ως στόχο **τη μοντελοποίηση και αναπαράσταση του συστήματος αξιών που συνειδητά ή ασυνείδητα ακολουθεί ο αποφασίζων, μέσω μιας συνάρτησης αξιών/χρησιμότητας  $U(x)$** . Η συνάρτηση αυτή εκφράζεται βάσει του συνόλου των κριτηρίων αξιολόγησης τα οποία καθορίζουν το αποτέλεσμα της αξιολόγησης:  $U(x) = U(x_1, x_2, \dots, x_n)$ . Γενικά, οι συναρτήσεις χρησιμότητας είναι *μη γραμμικές αύξουσες συναρτήσεις* οριζόμενες στο πεδίο τιμών των αντίστοιχων κριτηρίων αξιολόγησης, οι οποίες ικανοποιούν τις ακόλουθες δύο βασικές ιδιότητες:

$$U(x') > U(x'') \Leftrightarrow x' P x'' \text{ (η εναλλακτική } x' \text{ προτιμάται της } x'')$$

$$U(x') = U(x'') \Leftrightarrow x' I x'' \text{ (η εναλλακτική } x' \text{ είναι ισοδύναμη της } x'')$$

Η απλούστερη μορφή που μπορεί να λάβει μία συνάρτηση χρησιμότητας είναι η συνάρτηση του σταθμισμένου μέσου, η οποία εκφράζεται ως εξής:

$$U(x) = w_1x_1 + w_2x_2 + \dots + w_nx_n$$

Στη συνάρτηση αυτή τα  $w_1, w_2, \dots, w_n$  είναι θετικοί αριθμητικοί συντελεστές των κριτηρίων αξιολόγησης οι οποίοι αποδίδουν τη σημαντικότητα (βάρος) του κάθε κριτηρίου. Ιδιαίτερη σημασία για τη σωστή χρήση αυτού του απλού υποδείγματος αποτελεί η σημασία που αποδίδεται στον όρο «σημαντικότητα» για την ερμηνεία των συντελεστών  $w_1, w_2, \dots, w_n$ . Οι συντελεστές στάθμισης των κριτηρίων σε ένα μοντέλο σταθμισμένου μέσου ουσιαστικά περιγράφουν τις παραχωρήσεις (trade-offs) μεταξύ των κριτηρίων. Οι παραχωρήσεις αυτές θεωρούνται ότι είναι σταθερές και δεν επηρεάζονται από τις επιδόσεις των εναλλακτικών στα εξεταζόμενα κριτήρια.



### 1.8.3 Θεωρία Των Σχέσεων Υπεροχής

Η Θεωρία των Σχέσεων Υπεροχής προτάθηκε από τον Roy τη δεκαετία του 1960 για την αντιμετώπιση πολυκριτήριων προβλημάτων απόφασης όπου οι εναλλακτικές επιλογές είναι διακριτές. Για την εφαρμογή των σχέσεων υπεροχής είναι απαραίτητη η ύπαρξη μέτρων σύγκρισης, σύμφωνα με τα οποία οι εναλλακτικές ταξινομούνται στις διάφορες κατηγορίες. Σε περίπτωση που τα μέτρα σύγκρισης δεν μπορούν να προσδιοριστούν, τότε απλά οι εναλλακτικές είναι μη συγκρίσιμες. (Οι μέθοδοι ELECTRE δίνουν λύσεις ακόμη και σε περιπτώσεις όπου τα κριτήρια δεν έχουν κοινό μέτρο σύγκρισης ή δεν είναι ποσοτικά προσδιορίσιμα).

Οι μέθοδοι που βασίζονται στη Θεωρία των Σχέσεων Υπεροχής εμπεριέχουν δύο στάδια υλοποίησης. Στο πρώτο στάδιο πραγματοποιείται η ανάπτυξη μιας σχέσης υπεροχής (outranking relation) μεταξύ των εξεταζόμενων εναλλακτικών δραστηριοτήτων, ενώ στο δεύτερο στάδιο πραγματοποιείται η εκμετάλλευση της σχέσης υπεροχής ώστε να εξαχθεί το αποτέλεσμα της αξιολόγησης των εναλλακτικών δραστηριοτήτων υπό την επιθυμητή μορφή (κατάταξη, ταξινόμηση, επιλογή). Κοινό στοιχείο των δύο σταδίων είναι προφανές ότι αποτελεί η έννοια της σχέσης. Η σχέση υπεροχής είναι μία διμερής σχέση η οποία μας δίνει την δυνατότητα να εκτιμήσουμε την ισχύ της υπεροχής μίας εναλλακτικής δραστηριότητας  $x$  έναντι μίας άλλης εναλλακτικής δραστηριότητας  $y$ . Η ισχύς αυξάνεται όσο περισσότερες είναι οι ενδείξεις υπέρ της υπεροχής της εναλλακτικής δραστηριότητας  $x$ , χωρίς παράλληλα να υπάρχουν ισχυρές ενδείξεις που να αναιρούν την ισχύ της υπεροχής.

Η Θεωρία Σχέσεων Υπεροχής, διαφέρει σημαντικά από την Πολυκριτήρια Θεωρία της Χρησιμότητας και αυτό γίνεται σαφές εάν εξετάσουμε τα παρακάτω δύο σημεία:

1. *Η σχέση υπεροχής δεν είναι μεταβατική.* Στην πολυκριτήρια θεωρία χρησιμότητας τα αποτελέσματα της αξιολόγησης των εναλλακτικών δραστηριοτήτων της συνάρτησης χρησιμότητας υπακούουν στη μεταβατική ιδιότητα, ενώ αντιθέτως στην χρήση των σχέσεων υπεροχής δεν συμβαίνει κάτι τέτοιο.
2. *Η σχέση υπεροχής δεν είναι πλήρης.* Η πολυκριτήρια θεωρία χρησιμότητας θεωρεί μόνο τις σχέσεις υπεροχής και αδιαφορίας μεταξύ των εξεταζόμενων εναλλακτικών δραστηριοτήτων, ενώ αντιθέτως στη θεωρία σχέσεων υπεροχής χρησιμοποιείται και επιπλέον σχέση, αυτή της μη συγκρισιμότητας. Αυτή η τρίτη σχέση, επιτρέπει τη μοντελοποίηση και αντιμετώπιση περιπτώσεων κατά τις οποίες ορισμένες εναλλακτικές δραστηριότητες παρουσιάζουν τέτοιες διαφορές στα κριτήρια αξιολόγησης ώστε να καθίσταται ιδιαίτερα δύσκολη η μεταξύ τους σύγκριση.

Πρέπει να τονίσουμε ότι η ανάπτυξη της σχέσης υπεροχής βασίζεται σε πληροφορίες που παρέχει ο ίδιος ο αποφασίζων, διαφέρουν ανάλογα με τη μέθοδο που χρησιμοποιείται, όμως σε γενικές γραμμές και κατά πλειοψηφία αφορούν:

- τα κατώφλια προτίμησης, αδιαφορίας και βέτο,
- τα βάρη των κριτηρίων αξιολόγησης.

Η χρήση των κατωφλίων προτίμησης και αδιαφορίας συμβάλλει στην ανάπτυξη μιας ασαφούς σχέσης υπεροχής, ενώ η χρήση του κατωφλίου βέτο επιτρέπει τη μοντελοποίηση περιπτώσεων όπου η πολύ κακή επίδοση μιας εναλλακτικής δραστηριότητας  $x$  σε ένα κριτήριο εκτίμησης έναντι της αντίστοιχης επίδοσης μίας άλλης εναλλακτικής  $y$  θέτει βέτο στην πρόταση «η εναλλακτική δραστηριότητα  $x$  είναι τουλάχιστον εξίσου καλή όσο και η  $y$ », ανεξαρτήτως των επιδόσεων των δύο εναλλακτικών στα υπόλοιπα κριτήρια.

Οι μέθοδοι της οικογένειας ELECTRE και PROMETHEE, είναι οι δύο περισσότερο γνωστές μέθοδοι που βασίζονται στη θεωρία των σχέσεων υπεροχής.

#### 1.8.4 Αναλυτική-Συνθετική Προσέγγιση

Η Αναλυτική-Συνθετική Προσέγγιση εμφανίζει ομοιότητες τόσο με την Πολυκριτήρια Θεωρία Χρησιμότητας όσο και με τη Θεωρία Σχέσεων Υπεροχής καθώς χρησιμοποιεί συναρτήσεις χρησιμότητας για τη μοντελοποίηση και αναπαράσταση των προτιμήσεων του αποφασίζοντα, ώστε να γίνει η επιλογή, η κατάταξη ή η ταξινόμηση των διακριτών εναλλακτικών λύσεων. Η διαφορά τους έγκειται στο ότι η Πολυκριτήρια Θεωρία Χρησιμότητας και η Θεωρία Σχέσεων Υπεροχής δίνουν ιδιαίτερο βάθος στη μοντελοποίηση και αναπαράσταση του συστήματος αξιών και προτιμήσεων του αποφασίζοντα μέσω μιας προκαθορισμένης μαθηματική μορφής, ενώ η Αναλυτική-Συνθετική Προσέγγιση προσανατολίζεται στην ανάπτυξη ενός γενικού μεθοδολογικού πλαισίου, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση των αποφάσεων που λαμβάνει ο αποφασίζων, έτσι ώστε να καθοριστεί το κατάλληλο υπόδειγμα σύνθεσης των κριτηρίων το οποίο ανταποκρίνεται στο σύστημα αξιών και προτιμήσεων του αποφασίζοντα.

Η Αναλυτική-Συνθετική Προσέγγιση προσπαθεί να εντοπίσει τον τρόπο με τον οποίο λαμβάνονται οι αποφάσεις μέσω της ανάλυσης σχέσης μεταξύ των αποφάσεων και των επιδόσεων των εναλλακτικών δραστηριοτήτων στα κριτήρια αξιολόγησης. Έτσι οδηγούμαστε στον καθορισμό όλων των παραμέτρων του υποδείγματος σύνθεσης των κριτηρίων και το αναπτυσσόμενο υπόδειγμα αναπαράγει τις αποφάσεις του αποφασίζοντα με τον πλέον πιστό τρόπο.

Η Αναλυτική-Συνθετική Προσέγγιση χρησιμοποιεί μία διαδικασία ανάλογη της στατιστικής παλινδρόμησης. Η ανάλυση των προτιμήσεων του αποφασίζοντα γίνεται μέσα σε ένα περιορισμένο σύνολο εναλλακτικών ενεργειών, το σύνολο αναφοράς. Ο αποφασίζων εκφράζει τις συνολικές του προτιμήσεις για τις εναλλακτικές ενέργειες του συνόλου αναφοράς, ανάλογα με τη μορφή που πρέπει να έχει το αποτέλεσμα της αξιολόγησης ή καθορίζοντας μια ταξινόμηση σε προκαθορισμένες ομάδες. Στη συνέχεια χρησιμοποιούνται τεχνικές παλινδρόμησης, από όπου προκύπτει η συνάρτησης χρησιμότητας η οποία

αναπαράγει τις αποφάσεις του αποφασίζοντα, όπως αυτές εκφράστηκαν στο σύνολο αναφοράς. Με τον τρόπο αυτό ανατίθεται ένα μέτρο αξίας σε κάθε εναλλακτική, έτσι ώστε όσο μεγαλύτερο είναι το μέτρο αξίας, τόσο καλύτερη είναι η εναλλακτική.

## 1.9 Διάφορες Μέθοδοι Πολυκριτήριας Ανάλυσης Αποφάσεων

### 1.9.1 Μέθοδος ELECTRE

Η μεθοδολογία ELECTRE (ELimination Et Choix Traduisant la REalité – Απαλοιφή και Επιλογή Ερμηνεύοντας την Πραγματικότητα) εισήχθη αρχικά από τους Benayoun et al (1966) και αποτελεί τη βασικότερη τεχνική στο χώρο των σχέσεων υπεροχής. Κεντρική ιδέα της μεθόδου είναι η δημιουργία σχέσεων υπεροχής, με την κατά ζεύγη σύγκριση των εναλλακτικών για κάθε κριτήριο ξεχωριστά. Αρχικά ο αποφασίζων συγκρίνει κατά ζεύγη τις εναλλακτικές κάτω από κάθε κριτήριο για να δηλώσει ότι προτιμά πλήρως ή ελαφρώς τη μία έναντι της άλλης ή ότι είναι αδιάφορος μεταξύ των δύο ή ακόμη ότι δεν μπορεί να εκφράσει προτίμηση. Μια εναλλακτική A θεωρείται προτιμότερη μιας εναλλακτικής B, όταν η A υπερέχει της B σε περισσότερα κριτήρια από ότι η B υπερέχει της A.

Στη συνέχεια ο αποφασίζων καλείται να αποδώσει βάρη σε κάθε ένα από τα κριτήρια, προκειμένου να δηλώσει τη σημαντικότητά τους στη λήψη της απόφασης. Στον ορισμό της υπεροχής μιας εναλλακτικής έναντι μιας άλλης μπορεί να οριστεί και τιμή **κατωφλίου**, πάνω από την οποία η μία επιλογή θεωρείται καλύτερη της άλλης. Τέλος, υπολογίζονται οι καθολικές σχέσεις υπεροχής και εξάγεται μία τελική ταξινόμηση όλων των εναλλακτικών λύσεων.

### 1.9.2 Μέθοδος TOPSIS

Η μεθοδολογία TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution – Τεχνική για την Ταξινόμηση κατά Προτίμηση με Ομοιότητα προς την Ιδανική Λύση) αναπτύχθηκε από τους Hwang και Yoon το 1981, ως μια εναλλακτική των μεθόδων ELECTRE. Η κεντρική ιδέα της μεθόδου είναι ότι η επιλεγόμενη εναλλακτική πρέπει να απέχει τη μικρότερη απόσταση (σε γεωμετρικούς όρους) από την ιδεατή λύση και τη μεγαλύτερη απόσταση από την πιο αρνητική λύση. Η TOPSIS υποθέτει ότι κάθε χαρακτηριστικό έχει μια αύξουσα ή φθίνουσα χρησιμότητα. Επομένως, είναι εύκολο να εντοπιστούν η ιδανική και η αρνητική λύση. Η προσέγγιση της ευκλείδειας απόστασης χρησιμοποιείται ώστε να εκτιμηθεί η σχετική προσέγγιση των εναλλακτικών στην ιδανική επιλογή. Συνεπώς, οι εναλλακτικές ταξινομούνται συγκρίνοντας τις σχετικές αποστάσεις τους από την ιδανική λύση.

### 1.9.3 Διαδικασία Αναλυτικής Ιεράρχησης (AHP)

Η Διαδικασία Αναλυτικής Ιεράρχησης (Analytic Hierarchy Process –AHP) βασίζεται στην αποσύνθεση ενός πολύπλοκου προβλήματος στα συστατικά του μέρη, τα οποία οργανώνονται σε μια ιεραρχική δομή. Στο τελικό στάδιο της διαδικασίας σχηματίζεται ένας  $M \times N$  πίνακας, όπου  $M$  είναι ο αριθμός των εναλλακτικών και  $N$  ο αριθμός των κριτηρίων, ο οποίος απεικονίζει τις σχετικές σημαντικότητες των εναλλακτικών έναντι των κριτηρίων. Η μεθοδολογία της Διαδικασίας Αναλυτικής Ιεράρχησης (AHP) παρουσιάζει ομοιότητες με αυτή της μεθόδου σταθμισμένου αθροίσματος (WMS), απλώς η AHP χρησιμοποιεί σχετικές

αξίες έναντι των πραγματικών της WMS και συνεπώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε πολυδιάστατα προβλήματα, όπου δηλαδή τα κριτήρια μπορεί να μετρούνται με διαφορετικές μονάδες.

Η Διαδικασία Αναλυτικής Ιεράρχησης αποφάσεων (Analytical Hierarchy Process – AHP) σκοπεύει πρωτίστως στην κατασκευή ρεαλιστικών μοντέλων για τη λήψη μιας απόφασης. Ένα μοντέλο για να είναι ρεαλιστικό, είναι απαραίτητο να προσμετρά όλους τους παράγοντες (κριτήρια) που συμμετέχουν στη λήψη της απόφασης, είτε έχουν υλική είτε άυλη μορφή. Οι μετρήσεις σε ένα μοντέλο AHP μπορεί να είναι ποσοτικές ή ποιοτικές. Αυτό είναι και το «επαναστατικό» στη μέθοδο του Saaty, δημιούργησε μια κλίμακα πέρα από τις θεμελιώδεις η οποία καθιστά τα πάντα μετρήσιμα, με τρόπο ώστε να μπορούν να ιεραρχηθούν με συνέπεια και τελικά να προσδιοριστεί η καλύτερη εναλλακτική απόφαση.

Η AHP συγκαταλέγεται στις μεθόδους λήψης πολυσταδιακών αποφάσεων ως προς τα κριτήρια προβλημάτων, γνωστές ως Multi-Attribute Decision Methods (M.A.D.M's). Η AHP είναι ίσως η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη από τις μεθόδους M.A.D.M. διότι ως μέθοδος έχει μια σειρά από επιθυμητές ιδιότητες:

- a) Η AHP είναι μια δομημένη μέθοδος λήψης αποφάσεων η οποία μπορεί να τεκμηριωθεί και να αναπαραχθεί.
- b) Η AHP πέραν της εφαρμογής της σε πολυκριτήρια προβλήματα αποφάσεων, είναι εφαρμόσιμη και σε περιπτώσεις αποφάσεων όπου εμπλέκεται η υποκειμενική κρίση.
- c) Χρησιμοποιεί τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά δεδομένα.
- d) Προβλέπονται τρόποι για τη μέτρηση της συνέπειας των κρίσεων από την ίδια την διαδικασία.
- e) Υπάρχει πληθώρα στοιχείων για τις εφαρμογές της AHP στην ακαδημαϊκή βιβλιογραφία, γεγονός που την καθιστά ιδιαίτερα προσιτή στον χρήστη.

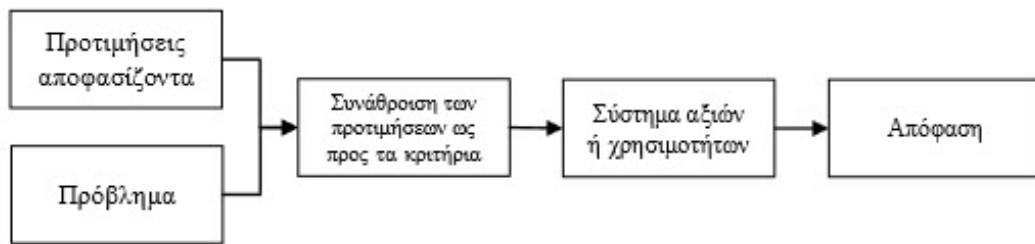
- f) Το εμπορικό λογισμικό της AHP το Expert Choice διατίθεται με τεχνική και εκπαιδευτική υποστήριξη.
- g) Η AHP είναι κατάλληλη για περιπτώσεις όπου ο αποφασίζων είναι μια ομάδα.

#### 1.9.4 Μέθοδος UTA

Η μέθοδος UTA (UTilités Additives) αναπτύχθηκε το 1982 από τους Jacquet-Lagrèze & Siskos και χρησιμοποιείται για την κατάταξη μιας σειράς εναλλακτικών βάσει των προτιμήσεων του αποφασίζοντα. Χρησιμοποιεί τεχνικές γραμμικού προγραμματισμού, και του γραμμικού προγραμματισμού στόχων με σκοπό τη βέλτιστη εξαγωγή συναρτήσεων προστιθέμενης χρησιμότητας, ώστε αυτές οι συναρτήσεις να παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη δυνατή συνέπεια με τις συνολικές προτιμήσεις του αποφασίζοντα.

Η μέθοδος UTA έχει ως στόχο την εκτίμηση (επαγωγή) μίας ή περισσότερων προσθετικών συναρτήσεων αξίας από μία προδιάταξη (διάταξη με ισοδυναμίες) ενός συνόλου αναφοράς  $A_R$ . Η μέθοδος χρησιμοποιεί ειδικές τεχνικού γραμμικού προγραμματισμού για να καθορίσει τις συγκεκριμένες συναρτήσεις, έτσι ώστε οι κατατάξεις που αποκτώνται μέσω αυτών των συναρτήσεων στο  $A_R$  να όσο το δυνατό πιο συμβατές με την αρχική προδιάταξη.

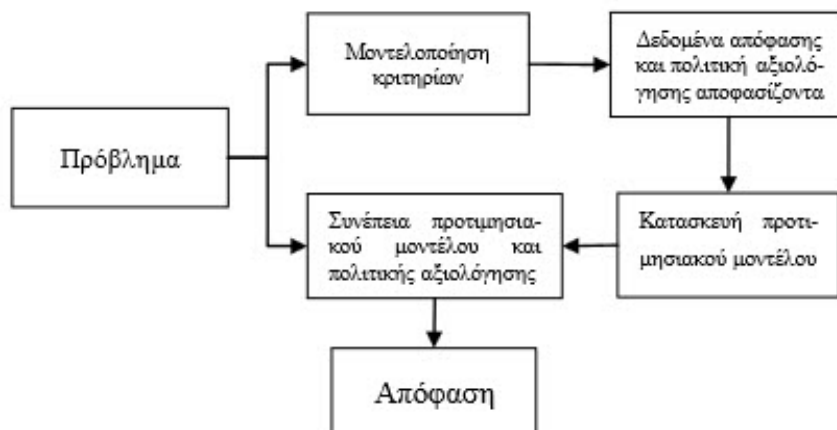
**Ä** Ολοκληρώνοντας την εισαγωγή στην Πολυκριτήρια Ανάλυση Αποφάσεων, παραθέτουμε συγκεντρωτικά, στο Σχήμα 1.6 τις διαφορετικές μεθοδολογικές τάσεις στην Πολυκριτήρια Ανάλυση Αποφάσεων.



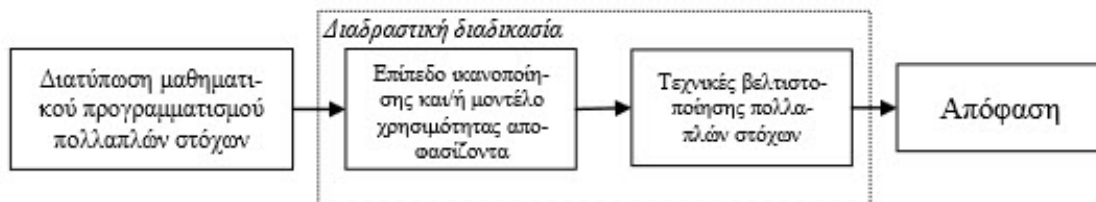
α) Προσέγγιση συστήματος αξιών (value system approach)



β) Προσέγγιση σχέσεων υπεροχής (outranking relation approach)



γ) Αναλυτική – συνθετική προσέγγιση



δ) Βελτιστοποίηση πολλαπλών στόχων

Σχήμα 1.6: Οι διαφορετικές τάσεις στην Πολυκριτήρια Ανάλυση Αποφάσεων (Siskos & Spyridakos, 1999)



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ-ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

#### 2.1 Εισαγωγή

Η Αναλυτική-Συνθετική Προσέγγιση (Aggregation-Disaggregation Approach) σκοπεύει πρωτίστως στην κατασκευή ρεαλιστικών μοντέλων για τη λήψη ορθολογικών και αποτελεσματικών αποφάσεων. Ένα μοντέλο για να είναι ρεαλιστικό, είναι απαραίτητο να προσμετρά όλους τους παράγοντες (κριτήρια) που συμμετέχουν στη λήψη της απόφασης, είτε έχουν υλική είτε άυλη μορφή. Η Αναλυτική-Συνθετική Προσέγγιση εστιάζει στην ανάπτυξη ενός γενικού μεθοδολογικού πλαισίου το οποίο εξυπηρετεί στην ανάλυση των αποφάσεων που λαμβάνει ο αποφασίζων, με σκοπό να καθοριστεί το κατάλληλο υπόδειγμα σύνθεσης των κριτηρίων το οποίο ανταποκρίνεται στο συνολικό σύστημα αξιών και προτιμήσεων του αποφασίζοντα.

## 2.2 Η Φιλοσοφία Της Αναλυτικής-Συνθετικής Προσέγγισης

Το στοιχείο που διαφοροποιεί την Αναλυτική-Συνθετική Προσέγγιση από τα υπόλοιπα μεθοδολογικά ρεύματα της πολυκριτήριας ανάλυσης, τα οποία αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, είναι ότι αντιμετωπίζει τα προβλήματα λήψης αποφάσεων μέσω μιας ακριβώς αντίθετης διαδικασίας σε σχέση με αυτή που ακολουθείται από την πολυκριτήρια θεωρία χρησιμότητας και τη θεωρία των σχέσεων υπεροχής.

Ειδικότερα η πολυκριτήρια θεωρία χρησιμότητας και η θεωρία σχέσεων υπεροχής δίνουν ιδιαίτερο βάρος στη μοντελοποίηση και αναπαράσταση του συστήματος αξιών και προτιμήσεων του αποφασίζοντα μέσω μιας προκαθορισμένης μαθηματικής μορφής (συνάρτηση χρησιμότητας ή σχέση υπεροχής). Αυτές οι δύο μεθοδολογίες επιδιώκουν να υποστηρίξουν τον αποφασίζοντα στη σύνθεση των κριτηρίων αξιολόγησης, μέσω ενός προκαθορισμένου υποδείγματος το οποίο έχει τη μορφή μιας συνάρτησης χρησιμότητας ή μιας σχέσης υπεροχής. Η διαδικασία αυτή είναι μία εμπρόσθια διαδικασία, η οποία στηρίζεται στην αλληλεπίδραση με τον αποφασίζοντα. Υπό το πρίσμα αυτών των μεθοδολογικών προσεγγίσεων, ο αποφασίζων καθορίζει όλες τις παραμέτρους του υποδείγματος σύνθεσης των κριτηρίων, υποστηριζόμενος από έναν εξειδικευμένο αναλυτή, ο οποίος διαθέτει την απαραίτητη εμπειρία στη χρησιμοποιούμενη μεθοδολογική προσέγγιση.

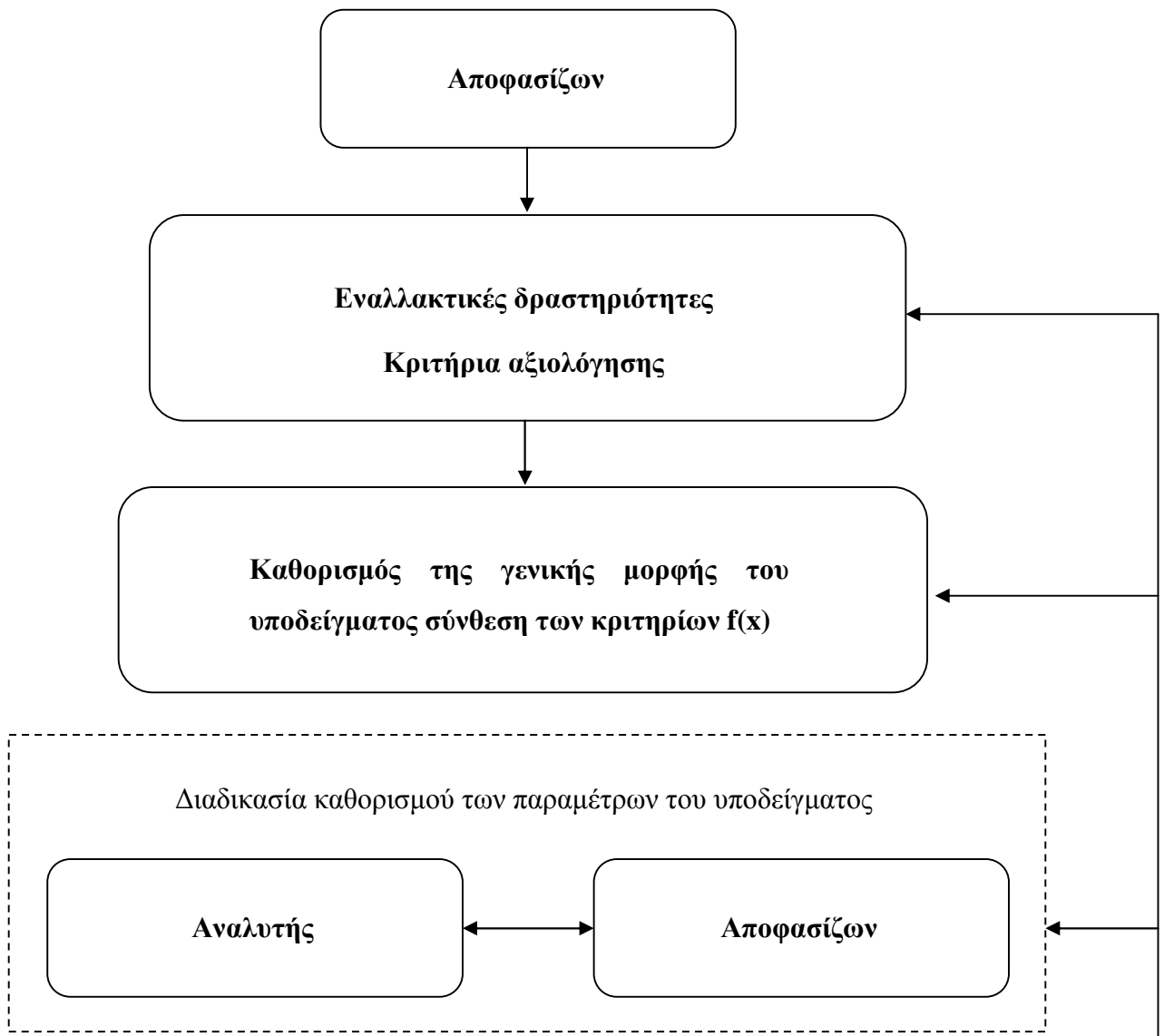
Αντιθέτως, η Αναλυτική-Συνθετική Προσέγγιση ακολουθεί μία ανάστροφη διαδικασία, καθώς θεωρεί ότι ο αποφασίζων ακολουθεί (συνειδητά ή ασυνειδητά) ένα σύστημα αξιών και προτιμήσεων, το οποίο υπαγορεύει και οδηγεί στις αποφάσεις που λαμβάνει. Η Αναλυτική-Συνθετική Προσέγγιση δεν προσπαθεί να εντοπίσει τις αποφάσεις αυτές καλώντας τον αποφασίζοντα να καθορίζει άμεσα πληροφορίες ως προς τον τρόπο με τον οποίο ελήφθησαν. Κάτι τέτοιο γίνεται στην

ανάπτυξη των υποδειγμάτων σύνθεσης των κριτηρίων βάσει της πολυκριτήριας θεωρίας χρησιμότητας και της θεωρίας σχέσεων υπεροχής.

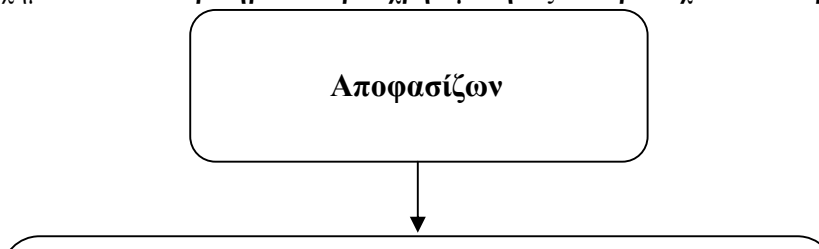
Η ανάλυση αυτή οδηγεί στον καθορισμό όλων των παραμέτρων του υποδείγματος σύνθεσης των κριτηρίων, έτσι ώστε το αναπτυσσόμενο υπόδειγμα να αναπαράγει τις αποφάσεις του αποφασίζονται με τον πλέον πιστό τρόπο.

**Η Αναλυτική-Συνθετική Προσέγγιση επιδιώκει να εντοπίσει τον τρόπο με τον οποίο λαμβάνονται οι αποφάσεις μέσω της ανάλυσης σχέσης μεταξύ των αποφάσεων και των επιδόσεων των εναλλακτικών δραστηριοτήτων στα κριτήρια αξιολόγησης.**

**Α** Στα Σχήματα 2.1 και 2.2 που ακολουθούν συνοψίζονται τα βασικά σημεία των μεθοδολογιών με σκοπό να τονιστεί η προαναφερθείσα ουσιαστική διαφορά των προσεγγίσεων.



Σχήμα 2.1: Πολυκριτήρια θεωρία χρησιμότητας-Θεωρία σχέσεων υπεροχής



Σχήμα 2.2: Διαδικασία Αναλυτικής-Συνθετικής Προσέγγισης

## 2.3 Η Μεθοδολογία Της Αναλυτικής-Συνθετικής Προσέγγισης

Η Αναλυτική-Συνθετική Προσέγγιση στοχεύει στην ανάλυση της συμπεριφοράς του λήπτη αποφάσεων και τον τρόπο αντίληψής του. Με τη χρήση επαναληπτικών διαδικασιών, αναλύονται και στη συνέχεια συντίθενται σε ένα σύστημα αξιών όλες οι παράμετροι του προβλήματος και η μέθοδος κρίσης του λήπτη αποφάσεων.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί η Αναλυτική-Συνθετική Προσέγγιση παρουσιάζει αρκετές ομοιότητες τόσο με την πολυκριτήρια θεωρία χρησιμότητας όσο και με την θεωρία σχέσεων υπεροχής καθώς και το δικό της μεθοδολογικό πλαίσιο χρησιμοποιεί συναρτήσεις χρησιμότητας για τη μοντελοποίηση και αναπαράσταση των προτιμήσεων του αποφασίζοντα, ώστε να γίνει επιλογή, κατάταξη ή ταξινόμηση των διακριτών εναλλακτικών λύσεων. Η *ουσιαστική διαφορά της Αναλυτικής-Συνθετικής Προσέγγισης έγκειται στη διαδικασία που ακολουθείται για την ανάπτυξη της συνάρτησης χρησιμότητας*. Ενώ η πολυκριτήρια θεωρία χρησιμότητας και η θεωρία σχέσεων υπεροχής δίνουν ιδιαίτερη βαρύτητα στη μοντελοποίηση και αναπαράσταση του συστήματος αξιών και προτιμήσεων του λήπτη αποφάσεων μέσω μιας προκαθορισμένης μαθηματικής μορφής (συνάρτηση χρησιμότητας ή σχέση υπεροχής), η Αναλυτική-Συνθετική Προσέγγιση προσανατολίζεται στην ανάπτυξη ενός γενικού μεθοδολογικού πλαισίου το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση των αποφάσεων που λαμβάνει ο αποφασίζων έτσι ώστε να προσδιοριστεί το κατάλληλο υπόδειγμα σύνθεσης των κριτηρίων το οποίο ανταποκρίνεται στο σύστημα αξιών και προτιμήσεων του αποφασίζοντα.

Πιο συγκεκριμένα ο σκοπός τόσο της πολυκριτήριας θεωρίας χρησιμότητας όσο και της θεωρίας σχέσεων υπεροχής, να υποστηρίξουν τον λήπτη αποφάσεων στη σύνθεση των κριτηρίων αξιολόγησης μέσω μιας συνάρτησης χρησιμότητας ή μιας σχέσης υπεροχής, είναι μία εμπρόσθια διαδικασία (**forward**) η οποία βασίζεται στην αλληλεπίδραση με τον αποφασίζοντα. Αντίθετα, η **Αναλυτική-Συνθετική Προσέγγιση** ακολουθεί μία ανάστροφη διαδικασία (**backward**), καθώς θεωρεί ότι ο λήπτης αποφάσεων ακολουθεί, έστω και ασυνείδητα, ένα σύστημα αξιών και προτιμήσεων, το οποίο τον οδηγεί στις αποφάσεις που λαμβάνει.

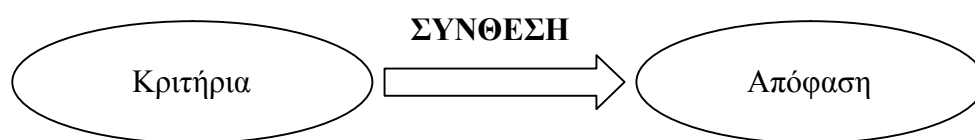
Προκειμένου να εντοπίσει αυτές τις αποφάσεις, η Αναλυτική-Συνθετική Προσέγγιση **δεν ζητάει από τον λήπτη αποφάσεων άμεσα πληροφορίες ως προς τον τρόπο με τον οποίο ελήφθησαν**, κάτι που γίνεται στην ανάπτυξη των υποδειγμάτων της σύνθεσης των κριτηρίων βάσει της πολυκριτήριας θεωρίας χρησιμότητας και της θεωρίας σχέσεων υπεροχής. **Σκοπός της Αναλυτικής-Συνθετικής Προσέγγισης είναι να εντοπίσει τον τρόπο με τον οποίο λαμβάνονται οι αποφάσεις μέσω της ανάλυσης σχέσης μεταξύ των αποφάσεων και των επιδόσεων των εναλλακτικών δραστηριοτήτων στα κριτήρια αξιολόγησης.** Η ανάλυση αυτή οδηγεί με τη σειρά της στον καθορισμό όλων των παραμέτρων του υποδείγματος σύνθεσης των κριτηρίων, έτσι ώστε το υπόδειγμα που θα αναπτυχθεί να αναπαράγει τις αποφάσεις του αποφασίζοντα με τον πλέον πιστό τρόπο.

Ενώ η πολυκριτήρια θεωρία χρησιμότητας και η θεωρία σχέσεων υπεροχής ουσιαστικά συνθέτουν τα δεδομένα του προς ανάλυση προβλήματος ώστε να καταλήξουν στο τελικό αποτέλεσμα, η Αναλυτική-Συνθετική Προσέγγιση αναλύει τα υπάρχοντα δεδομένα (σύνολο αναφοράς) ώστε να εντοπίσει το υπόδειγμα που αναπαριστά όσο πιο πιστά γίνεται το σύστημα αξιών και προτιμήσεων του αποφασίζοντα.

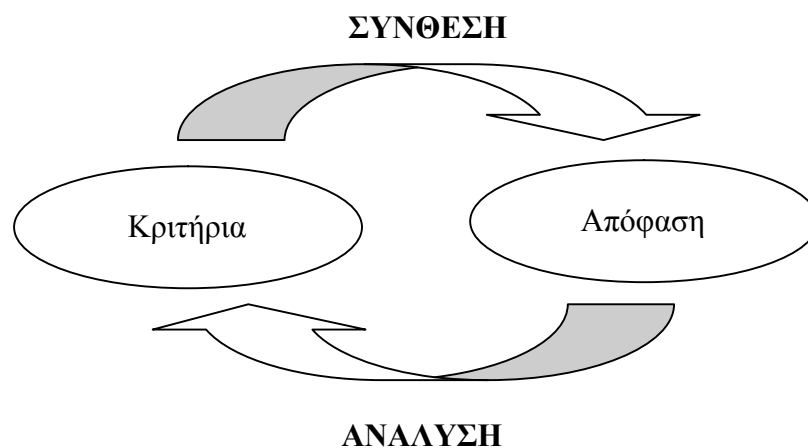
Οι βάσεις της Αναλυτικής-Συνθετικής Προσέγγισης εντοπίζονται στη διαπίστωση των προβλημάτων που συχνά παρουσιάζονται κατά τη διαδικασία απόσπασης από τους αποφασίζοντες, πληροφοριών σχετικών με το σύστημα αξιών και προτιμήσεων που τους διέπει. Είναι συχνό φαινόμενο, οι αποφασίζοντες να αδυνατούν να αποσαφηνίσουν επακριβώς τις παραμέτρους που ασυνείδητα λαμβάνουν υπόψη κατά τη διαδικασία λήψης των αποφάσεών τους. Είναι

ευκολότερο να διατυπώσουν τις ίδιες τις αποφάσεις που λαμβάνουν, χωρίς να καθορίσουν καμία επιπλέον παράμετρο που να σχετίζεται με τον τρόπο λήψης των αποφάσεων.

Τα μοντέλα της πολυκριτήριας ανάλυσης, στην πλειοψηφία τους, απεικονίζουν μια παραδοσιακή αντίληψη του ορθολογισμού που βασίζεται στις αρχές της γραμμικότητας και της αιτιότητας, δηλαδή στηρίζονται στη λογική του ότι η απόφαση καθορίζεται από τα κριτήρια (Συνθετική Προσέγγιση, Aggregation Approach). Η Αναλυτική-Συνθετική Προσέγγιση (Aggregation-Disaggregation Approach) δέχεται ότι η απόφαση και τα κριτήρια επιδέχονται προοδευτική επεξεργασία αλληλοδομούμενα μέσα στο χρόνο (Jacquet-Lagrange & Siskos, 1982). Η διαφορά των δύο μεθόδων στην προσέγγιση των προβλημάτων απόφασης απεικονίζεται στο Σχήμα 2.3 που ακολουθεί:



α) Παραδοσιακή Προσέγγιση προβλημάτων απόφασης



β) Αναλυτική-Συνθετική Προσέγγιση προβλημάτων απόφασης

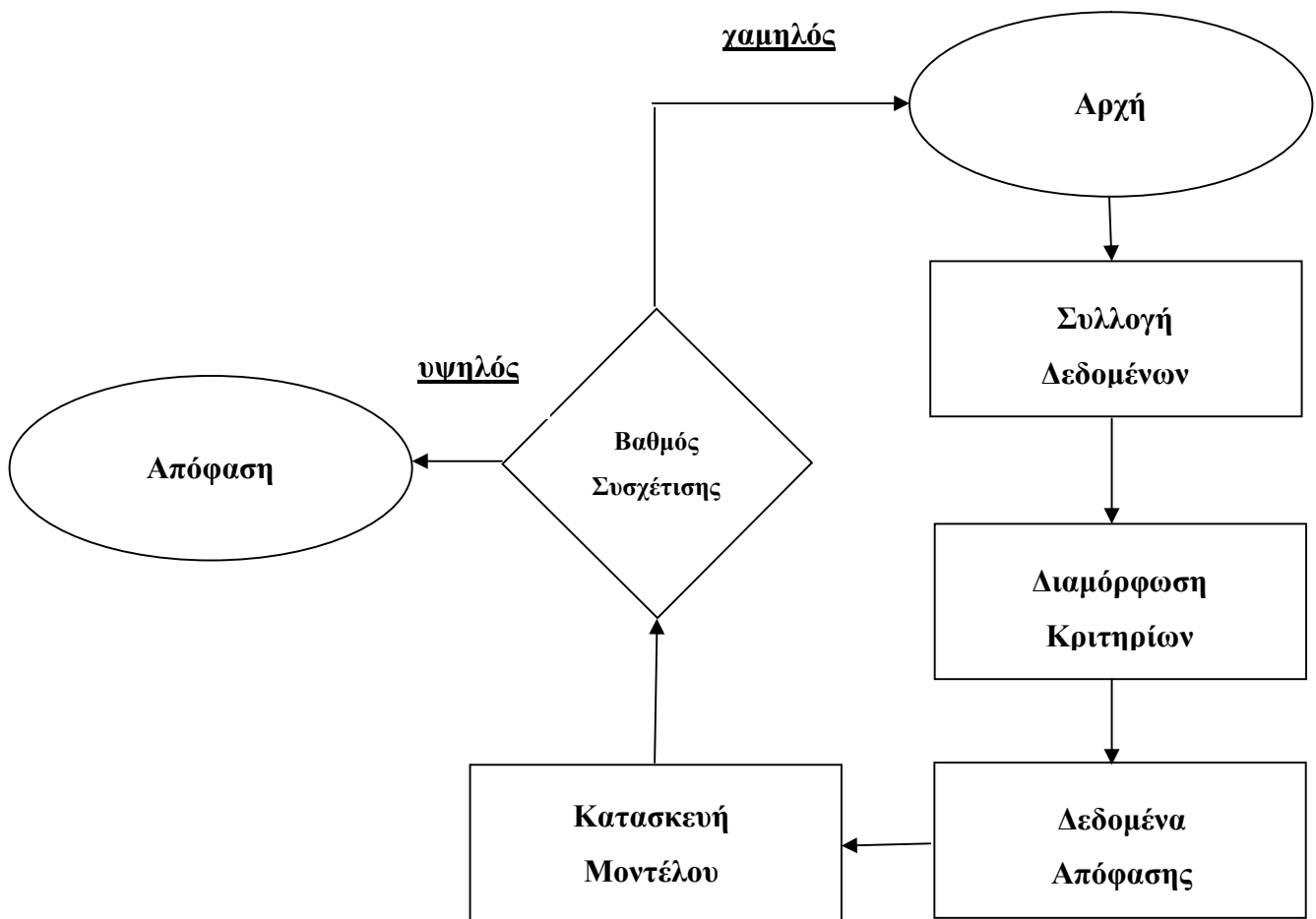
Σχήμα 2.3: Παραδοσιακή και Αναλυτική-Συνθετική Προσέγγιση



Η Αναλυτική-Συνθετική Προσέγγιση ή απλά Αναλυτική Προσέγγιση (Disaggregation Approach) εστιάζει στη συσχέτιση των πραγματικών δεδομένων απόφασης με το ίδιο το μοντέλο απόφασης, προκειμένου να επιτυγχάνεται η μεγαλύτερη δυνατή συμβατότητα μοντέλου-αποφασίζοντος. Ουσιαστική, στις μεθόδους της συγκεκριμένης προσέγγισης εκτιμώνται ή συμπεραίνονται οι παράμετροι εκείνες ενός μοντέλου απόφασης, οι οποίες επιτρέπουν την βέλτιστη ανασύσταση μιας απόφασης. Πρόκειται για το **παράδειγμα της επαγωγής (inference paradigm)**.

Η φιλοσοφία αυτή προϋποθέτει ότι το αποτέλεσμα μιας απόφασης μπορεί είτε να παρατηρηθεί, είτε να εξωτερικευτεί από τον αποφασίζοντα μέσα από διαλογικές διαδικασίες. Βέβαια, όταν προσδιοριστεί το μοντέλο απόφασης, ο απώτερος σκοπός είναι η **επέκτασή του (extrapolation)** στο υπό μελέτη σύνολο Α των δράσεων του προβλήματος. Αξίζει να σημειωθεί ότι, σε περίπτωση που διαπιστωθεί ασυνέπεια μεταξύ του αποφασίζοντα και του εκτιμώμενου μοντέλου απόφασης, αναθεωρείται είτε η συνεπής οικογένεια κριτηρίων είτε η αξιοπιστία των δεδομένων της απόφασης.

**Ä** Η γενικότερη αρχή της Αναλυτικής-Συνθετικής Προσέγγισης παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.4 που ακολουθεί:



Σχήμα 2.4: Αρχής της Αναλυτικής-Συνθετικής Προσέγγισης

Στο γενικότερο πλαίσιο της Αναλυτικής-Συνθετικής Προσέγγισης είναι δυνατή η αξιοποίηση κάθε μορφής που μπορούν να έχουν οι αποφάσεις αυτές. Συχνότερα εκφράζονται μέσω μίας μονότονης κλίμακας με την κατάταξη ή την ταξινόμηση των εναλλακτικών δραστηριοτήτων. Ωστόσο, παράλληλα δύναται να εκφραστούν σε μορφή ενός δείκτη (πόσες φορές μία εναλλακτική δραστηριότητα προτιμάται μιας άλλης), ή ακόμα να παρέχουν και περισσότερες λεπτομέρειες όπως η κατάταξη των εναλλακτικών δραστηριοτήτων στο κάθε κριτήριο αξιολόγησης ή η ιεράρχηση των κριτηρίων αξιολόγησης με βάση τη σημαντικότητά τους.

Η συλλογή των παραπάνω μορφών πληροφοριών στοχεύει στη συγκέντρωση ενός επαρκούς συνόλου παραδειγμάτων των αποφάσεων που

λαμβάνει ο αποφασίζων. Για την αποσαφήνιση της ολικής προτίμησης ενός αποφασίζοντα είναι χρήσιμο να γνωρίζουμε:

1. Παλαιότερες αποφάσεις τις οποίες έλαβε ο αποφασίζων
2. Την αξιολόγηση ενός περιορισμένου αλλά αντιπροσωπευτικού συνόλου φανταστικών εναλλακτικών δραστηριοτήτων.
3. Την αξιολόγηση ενός περιορισμένου αλλά αντιπροσωπευτικού υποσυνόλου των εξεταζόμενων δραστηριοτήτων, τις οποίες γνωρίζει καλά ο αποφασίζων και συνεπώς μπορεί εύκολα να εκφέρει το αποτέλεσμα της αξιολόγησής τους.

Είναι φανερό ότι στα παραδείγματα που αναφέρθησαν ενσωματώνονται όλες οι απαραίτητες πληροφορίες που προσδιορίζουν το σύστημα αξιών και προτιμήσεων που ακολουθεί ο αποφασίζων, και έτσι είναι εφικτό να οδηγηθούμε στον σαφή καθορισμό των παραμέτρων και της μορφής του υποδείγματος, έτσι ώστε να ανταποκρίνεται στο σύστημα αξιών του αποφασίζοντα.

Στην ανάπτυξη του υποδείγματος και στο γενικότερο μεθοδολογικό πλαίσιο της Αναλυτικής-Συνθετικής Προσέγγισης ως **σύνολο αναφοράς** (ή **δράσεις αναφοράς**) θα αποκαλούμε το σύνολο των παραδειγμάτων τα οποία αποτελούν τη βάση για τον καθορισμό του υποδείγματος σύνθεσης των κριτηρίων. Το σύνολο αναφοράς είναι το αντίστοιχο του δείγματος εκμάθησης (training sample), όρος που χρησιμοποιείται στην στατιστική καθώς και στο χώρο της τεχνητής νοημοσύνης (μηχανική μάθηση, νευρωνικά δίκτυα, κλπ).

Συνοψίζοντας όλα τα παραπάνω ένα **σύνολο δράσεων αναφοράς**  $A_R$  (reference actions) μπορεί αν είναι:

1. Ένα σύνολο προγενέστερων δράσεων (past decisions)
2. Ένα υποσύνολο των πραγματικών δράσεων του προβλήματος, ιδιαίτερα όταν το  $A$  είναι αρκετά μεγάλο ( $A_R \subset A$ ),
3. Ένα σύνολο εικονικών δράσεων, το οποίο μπορεί να αξιολογηθεί με ευκολία από τον αποφασίζοντα, ώστε αυτός να εκφράσει τις ολικές του προτιμήσεις.

**Ø Σκοπός της Αναλυτικής-Συνθετικής Προσέγγισης** είναι η ανάλυση των πληροφοριών που περιέχονται στο **σύνολο αναφοράς** με σκοπό τον καθορισμό του υποδείγματος σύνθεσης των κριτηρίων, το οποίο οδήγησε τον αποφασίζοντα στις δεδομένες αξιολογήσεις και μετέπειτα αποφάσεις των δραστηριοτήτων του συνόλου αναφοράς.

Το μεθοδολογικό μοντέλο της Αναλυτικής-Συνθετικής Προσέγγισης είναι ανάλογο με τη διαδικασία της στατιστικής παλινδρόμησης. Είναι χαρακτηριστικό ότι οι βάσεις της Αναλυτικής-Συνθετικής Προσέγγισης τέθηκαν από τις προσπάθειες των επιχειρησιακών ερευνητών να αναπτύξουν διαδικασίες μη παραμετρικής παλινδρόμησης χρησιμοποιώντας τεχνικές μαθηματικού προγραμματισμού και ιδιαίτερα υποδείγματα προγραμματισμού στόχων.

Πιο συγκεκριμένα, η ανάλυση των προτιμήσεων του αποφασίζοντα γίνεται μέσα από ένα περιορισμένο σύνολο εναλλακτικών ενεργειών, το σύνολο αναφοράς (reference set). Ο αποφασίζων εκφράζει τις συνολικές του προτιμήσεις για τις εναλλακτικές ενέργειες του συνόλου αναφοράς με τη μορφή που πρέπει να έχει το αποτέλεσμα της αξιολόγησης ή καθορίζοντας μια ταξινόμηση σε προκαθορισμένες ομάδες. Έπειτα χρησιμοποιούνται τεχνικές από τη στατιστική παλινδρόμηση που βασίζονται στον μαθηματικό προγραμματισμό, έτσι ώστε να προκύψει η συνάρτηση χρησιμότητας η οποία αναπαράγει τις αποφάσεις του λήπτη αποφάσεων, όπως αυτές εκφράστηκαν στο σύνολο αναφοράς. Με τη παραπάνω μεθοδολογία ανατίθεται ένα **μέτρο αξίας (value)** σε **κάθε εναλλακτική δραστηριότητα**, με τέτοιο τρόπο ώστε:

**Ä όσο μεγαλύτερο είναι το μέτρο αξίας, τόσο καλύτερη είναι η εναλλακτική.**

## 2.4 Ιστορική εξέλιξη

Ιστορικά, οι πρώτες έρευνες σε αυτή την κατεύθυνση παρουσιάστηκαν ήδη από τη δεκαετία του 1950 με τις εργασίες των Karst (1958), Kelley (1958) και Wagner (1959). Στις εργασίες τους παρουσιάστηκαν οι πρώτες διαδικασίες γραμμικής παλινδρόμησης βασιζόμενες σε υποδείγματα προγραμματισμού στόχων. Στη συνέχεια, τη δεκαετία του 1970, παρουσιάστηκαν εργασίες από τους Srinivasan και Shocker (1973) για την αντιμετώπιση των προβλημάτων μονότονης παλινδρόμησης (ordinal regression). Στα τέλη της δεκαετίας και στις αρχές του 1980 τέθηκαν οι βάσεις της σύγχρονης Αναλυτικής-Συνθετικής Προσέγγισης από τους Jacquet-Lagrange και Siskos (1982, 1983) οι οποίοι εισήγαγαν τη μέθοδο UTA (UTilites Additives).

Οι πρώτες εργασίες που δημοσιεύτηκαν στο χώρο της Αναλυτικής-Συνθετικής Προσέγγισης βασίζονταν στη χρήση της συνάρτησης του απλού σταθμισμένου μέσου:

$$U(x) = \sum_{i=1}^k w_i x_i$$

Σκοπός του ήταν να καθορίσουν τις σταθερές  $w_i$  (βάρη των κριτηρίων) της συνάρτησης αυτής, ώστε το αποτέλεσμα  $U(x)$  της σύνθεσης των κριτηρίων να διαφέρει όσο το δυνατόν λιγότερο από το πραγματικό αποτέλεσμα. Εντούτοις, η χρήση μίας τέτοιας μορφής αναπαράστασης του συστήματος αξιών και προτιμήσεων του αποφασίζοντος παρουσιάζει δύο βασικά προβλήματα (Δούμπος, 2003):

- a. Είναι μία γραμμική συνάρτησης, γεγονός που καθιστά αδύνατη τη μοντελοποίηση της συμπεριφοράς αποφασίζόντων οι οποίοι χαρακτηρίζονται από «συντηρητική» (risk-averse) ή «επιθετική (risk-prone). Πρακτικά, η χρήση του σταθμισμένου μέσου αντιστοιχεί σε «ουδέτερους» (risk-neutral) αποφασίζοντες.
- b. Καθιστά δύσκολη τη χρήση ποιοτικών κριτηρίων. Πολλά πρακτικά προβλήματα λήψης αποφάσεων από τους χώρους του μάρκετινγκ, της χρηματοοικονομικής διοίκησης, της περιβαλλοντικής διαχείρισης, της διαχείρισης ανθρώπινου δυναμικού κα. αναλύονται καλύτερα μέσω ποιοτικών κριτηρίων. Η ενσωμάτωση ποιοτικών κριτηρίων σε συναρτήσεις ανάλογες με αυτή του σταθμισμένου μέσου απαιτεί την ποσοτικοποίησή τους μέσω της επιλογής μίας αριθμητικής κλίμακας. Μια τέτοια όμως ποσοτικοποίηση μεταβάλλει την έννοια και τη σημασία των ποιοτικών μεταβλητών ενώ παράλληλα πολλές φορές συνδυάζεται με μια αυξημένη αυθαιρεσία στην επιλογή της ποσοτικής κλίμακας που χρησιμοποιείται

Για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων οι Jacquet-Lagreze & Siskos (1982) αξιοποίησαν τα μέσα που παρείχε η πολυκριτήρια θεωρία χρησιμότητας. Πιο συγκεκριμένα, στη μέθοδο UTA πρότειναν τη χρησιμοποίηση μίας προσθετικής συνάρτησης χρησιμότητας, η εκτίμηση της μορφής της οποίας πραγματοποιείται μέσω τεχνικών μονότονης παλινδρόμησης βάσει τεχνικών προγραμματισμού στόχων, όπως θα δούμε στη συνέχεια.

## 2.5 Η Μέθοδος UTA

Η μέθοδος UTA έχει ως στόχο την εκτίμηση (επαγωγή) μίας ή περισσότερων προσθετικών συναρτήσεων αξίας από μία προδιάταξη (διάταξη με ισοδυναμίες) ενός συνόλου αναφοράς  $A_R$ . Η μέθοδος χρησιμοποιεί ειδικές τεχνικού γραμμικού προγραμματισμού για να καθορίσει τις συγκεκριμένες συναρτήσεις, έτσι ώστε οι κατατάξεις που αποκτώνται μέσω αυτών των συναρτήσεων στο  $A_R$  να όσο το δυνατό πιο συμβατές με την αρχική προδιάταξη.

Το μοντέλο σύνθεσης των κριτηρίων (μοντέλο απόφασης) στη μέθοδο UTA είναι μία προσθετική συνάρτησης αξίας της ακόλουθης μορφής:

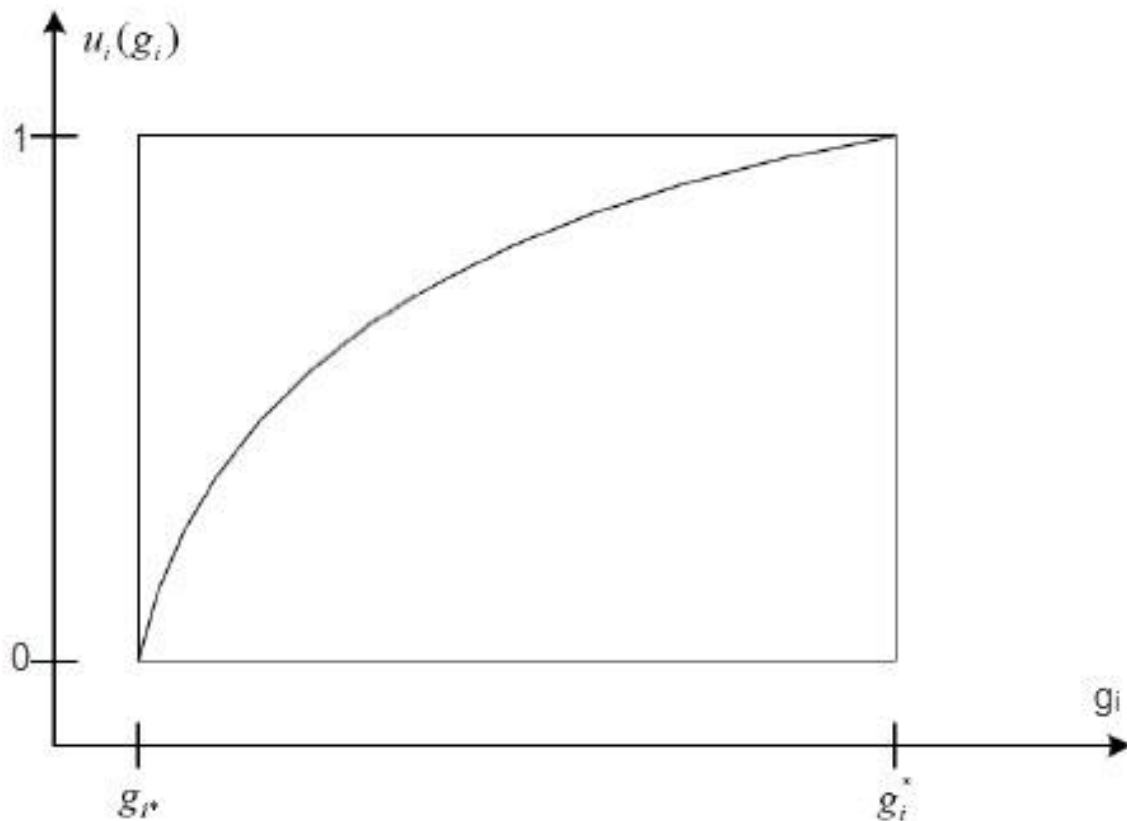
$$u(g) = \sum_{i=1}^n u_i(g_i)$$

υπό τους περιορισμούς της κανονικοποίησης:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n u_i(g_i^*) = 1 \\ u_i(g_i^*) = 0 \quad \forall i = 1, 2, \dots, n \end{cases}$$

όπου  $u_i$ ,  $i=1,2,\dots,n$  αύξουσες συναρτήσεις των  $g_i$  που καλούνται περιθώριες ή μερικές συναρτήσεις αξίας (marginal value functions).

Στο Σχήμα 2.5 που ακολουθεί δίνεται η κανονικοποιημένη συνάρτηση οριακών τιμών, ή αλλιώς η περιθώρια συνάρτηση αξίας.



Σχήμα 2.5: Περιθώρια Συνάρτηση Αξίας

Η ύπαρξη ενός τέτοιου μοντέλου προϋποθέτει φυσικά την **προτιμησιακή ανεξαρτησία των κριτηρίων** (preference independence) για τον λήπτη της απόφασης. Η ιδιότητα της συνέπειας ή μονοτονίας θα πρέπει να ισχύει, τόσο για τις περιθώριες όσο και για την ολική συνάρτηση αξίας. Στην περίπτωση της ολικής συνάρτησης αξίας θα πρέπει αν ισχύουν οι ακόλουθες ιδιότητες:

$$\begin{cases} u[g(a)] > u[g(b)] \Leftrightarrow a \mathbf{f} b \text{ (προτιμηση)} \\ u[g(a)] = u[g(b)] \Leftrightarrow a \square b \text{ (αδιαφορία)} \end{cases}$$

Σύμφωνα με τους Jacquet-Lagreze & Siskos (1978, 1982) η μέθοδος UTA εκτιμά τη συνάρτηση  $u$  στο σύνολο αναφοράς εναλλακτικών δραστηριοτήτων  $A$  βάσει της μεθόδου του γραμμικού προγραμματισμού στόχων. Χρησιμοποιώντας το



προσθετικό μοντέλο και λαμβάνοντας υπ' όψη τις σχέσεις προτίμησης, η αξία κάθε εναλλακτικής  $a \in A_R$  μπορεί να γραφεί ως εξής:

$$u'[g(a)] = \sum_{i=1}^n u_i[g_i(a)] + \sigma(a) \quad \forall a \in A_R$$

όπου  $\sigma(a)$  είναι το ενδεχόμενο σφάλμα σε σχέση με το  $u'[g(a)]$ .

Για την εκτίμηση των αντίστοιχων περιθώριων συναρτήσεων αξίας σε μια γραμμική κατά τμήματα μορφή, οι Jacquet-Lagrange & Siskos προτείνουν τη χρήση της γραμμικής παρεμβολής. Έτσι, για κάθε κριτήριο, το διάστημα  $[g_i^*, g_i^*]$  χωρίζεται σε  $(\alpha_i - 1)$  ίσα διαστήματα και τα τελικά σημεία  $g_i^j$  δίνονται από τη σχέση:

$$g_i^j = g_i^* + \frac{j-1}{\alpha_i - 1} (g_i^* - g_i^*) \quad \forall j=1, 2, \dots, \alpha_i$$

Η περιθώρια αξίας μίας εναλλακτικής  $a$  υπολογίζεται με χρήση γραμμικής παρεμβολής:

$$u_i[g_i(a)] = u_i(g_i^j) + \frac{g_i(a) - g_i^j}{g_i^{j+1} - g_i^j} [u_i(g_i^{j+1}) - u_i(g_i^j)] \quad \text{για } g_i(a) \in [g_i^j, g_i^{j+1}]$$

Επίσης το σύνολο αναφοράς  $A_R = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$  «ανακατατάσσεται» με τέτοιο τρόπο, ώστε οι δράσεις να είναι διατεταγμένες σε μία σειρά προτίμησης, δηλαδή η  $a_1$  αποτελεί την κεφαλή και η  $a_m$  την ουρά της κατάταξης. Δεδομένου ότι η συγκεκριμένη κατάταξη έχει τη μορφή μιας προδιάταξης  $R$ , για κάθε ζεύγος

διαδοχικών δράσεων  $(a_k, a_{k+1})$  ισχύει είτε  $a_k \mathbf{f} a_{k+1}$  (προτίμηση) είτε  $a_k \square a_{k+1}$  (αδιαφορία). Έτσι, αν τεθεί

$$\Delta(a_k, a_{k+1}) = u'[g(a_k)] - u'[g(a_{k+1})]$$

τότε ισχύει μία από τις ακόλουθες περιπτώσεις:

$$\begin{cases} \Delta(a_k, a_{k+1}) \geq \delta & \text{αν } a_k \mathbf{f} a_{k+1} \\ \Delta(a_k, a_{k+1}) = 0 & \text{αν } a_k \square a_{k+1} \end{cases}$$

όπου  $\delta$  είναι ένας μικρός θετικός αριθμός που διαχωρίζει σημαντικά δύο διαδοχικές κλάσεις ισοδυναμίας της R.

Λαμβάνοντας υπόψη την υπόθεση σχετικά με τη μονοτονία των προτιμήσεων, οι περιθώριες αξίες  $u_i(g_i)$  πρέπει να ικανοποιούν το σύνολο των ακόλουθων περιορισμών:

$$u_i(g_i^{j+1}) - u_i(g_i^j) \geq s_i \quad \forall j=1,2,\dots,\alpha_{i-1}, \quad i=1,2,\dots,n$$

όπου  $s_i \geq 0$  είναι τα κατώφλια αδιαφορίας που ορίζονται για κάθε κριτήριο  $g_i$ . Τα συγκεκριμένα κατώφλια δεν είναι απαραίτητο να χρησιμοποιούνται σε κάθε περίπτωση εφαρμογής της μεθόδου UTA, αλλά είναι ιδιαίτερα χρήσιμα για την αποφυγή φαινομένων όπου:  $u_i(g_i^{j+1}) = u_i(g_i^j)$  όταν  $g_i^{j+1} \mathbf{f} g_i^j$ .

Οι περιθώριες συναρτήσεις αξίας υπολογίζονται τελικά μέσω του ακόλουθου γραμμικού προγράμματος, όπου ως περιορισμοί χρησιμοποιούνται οι σχέσεις που αναφέραμε, ενώ η αντικειμενική συνάρτηση είναι το συνολικό προκαλούμενο σφάλμα:

$$\left\{ \begin{array}{l} [\min]F = \sum_{a \in A_R} \sigma(a) \\ \text{υπο τους περιορισμούς} \\ \left. \begin{array}{l} \Delta(a_k, a_{k+1}) \geq \delta \text{ αν } a_k \mathbf{f} a_{k+1} \\ \Delta(a_k, a_{k+1}) = 0 \text{ αν } a_k \square a_{k+1} \end{array} \right\} \forall k \\ u_i(g_i^{j+1}) - u_i(g_i^j) \geq 0 \quad \forall i \text{ και } j \\ \sum_{i=1}^n u_i(g_i^*) = 1 \\ u_i(g_i^*) = 0, u_i(g_i^j) \geq 0, \sigma(a) \geq 0 \quad \forall a \in A_R, \forall i \text{ και } j \end{array} \right.$$

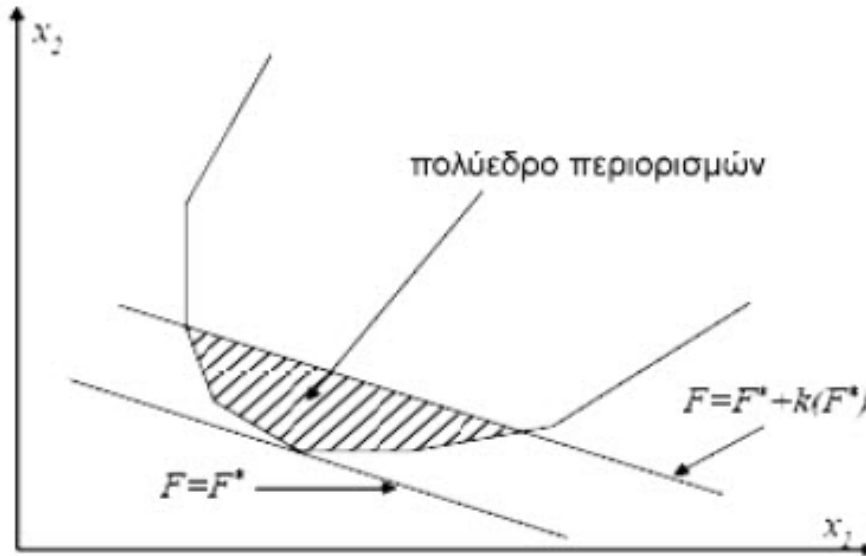
Η ανάλυση ευαισθησίας των αποτελεσμάτων του γραμμικού προγράμματος αντιμετωπίζεται ως ένα πρόβλημα ανάλυσης μεταβελτιστοποίησης. Διαπιστώνουμε ότι αν η βέλτιστη λύση δώσει  $F^* = 0$ , τότε το υπερπολύεδρο των αποδεκτών λύσεων για τα  $u_i(g_i)$  δεν είναι κενό, αλλά υπάρχουν πολλαπλές συναρτήσεις αξίας που είναι απόλυτα συνεπείς με την προδιάταξη R. Ακόμη και στην περίπτωση που η βέλτιστη τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης είναι μη μηδενική, υπάρχουν άλλες λύσεις, λιγότερο καλές από την F, που είναι σε θέση να βελτιώσουν άλλα εναλλακτικά κριτήρια βελτιστοποίησης (για παράδειγμα το συντελεστή συσχέτισης r του Kendall).

Ο χώρος των μεταβέλτιστων λύσεων, που καθορίζεται από το υπερπολύεδρο είναι:

$$\left\{ \begin{array}{l} F \leq F^* + k(F^*) \\ \text{όλοι οι περιορισμοί του γ.π.} \end{array} \right.$$

όπου  $k(F^*)$  είναι ένα θετικό (ή μηδέν) κατώφλι, το οποίο καθορίζεται ως ένα μικρό ποσοστό του σφάλματος  $F^*$ .

Στο Σχήμα 2.6 απεικονίζεται ο χώρος των μεταβέλτιστων λύσεων, ο οποίος καθορίζεται από το υπερπολύεδρο:



Σχήμα 2.6: Ανάλυση Ευαισθησίας στη μέθοδο UTA

Για τη διερεύνηση του πολύεδρου, στην αρχική μορφή της μεθόδου UTA, οι Jacquet-Lagrange & Siskos προτείνουν μία ευρετική μέθοδο αναζήτησης (ημί)βέλτιστων λύσεων, επιλύοντας τα ακόλουθα γραμμικά προγράμματα:

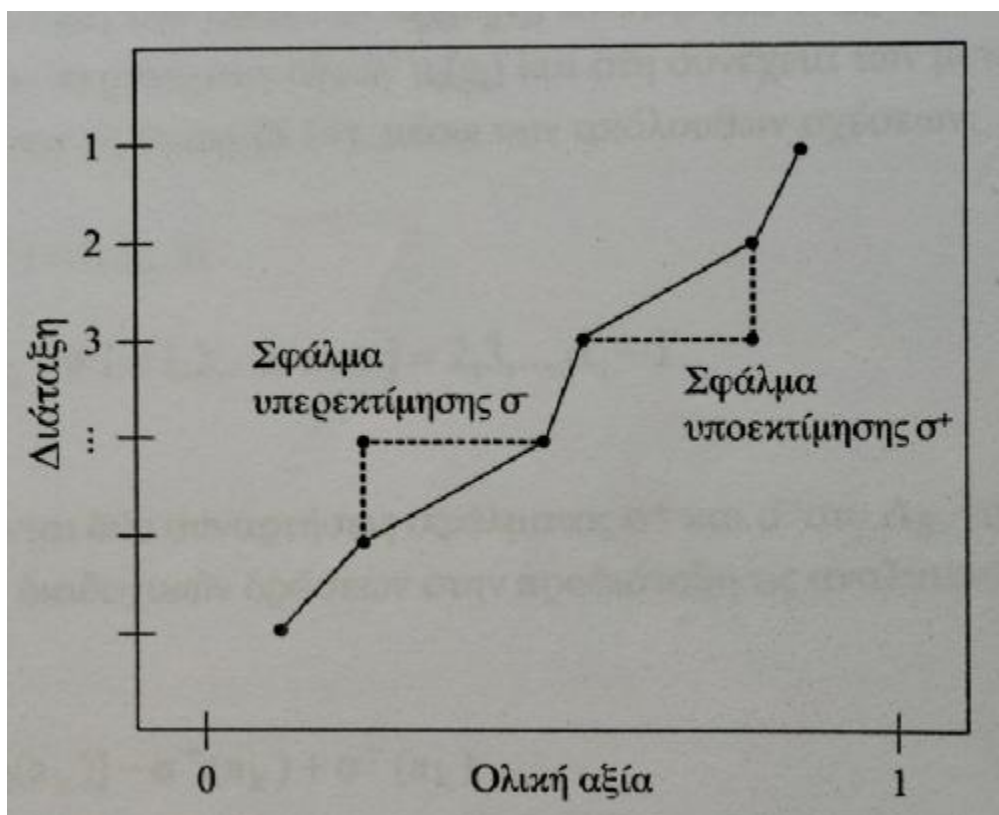
$$\begin{cases} [\min]u_i(g_i^*) \\ \text{στο πολυεδρο} \end{cases} \text{ και } \begin{cases} [\max]u_i(g_i^*) \\ \text{στο πολυεδρο} \end{cases} \quad \forall i = 1, 2, \dots, n$$

Ως τελική λύση του προβλήματος, υπολογίζεται η μέση τιμή των λύσεων των προηγούμενων γραμμικών προγραμμάτων, που είναι και αυτή (ημί)βέλτιστη, λόγω της κυρτότητας του υπερπολύεδρου. Σε περίπτωση αστάθειας, οι λύσεις του γραμμικού προγράμματος εμφανίζουν μεγάλη απόκλιση μεταξύ τους και η εκτιμώμενη μέση λύση είναι λιγότερο αντιπροσωπευτική. Σε κάθε περίπτωση, οι επιμέρους αυτές λύσεις υποδεικνύουν τη διακύμανση των βαρών των κριτηρίων  $g_i$  και συνεπώς δίνουν μίας ιδέα της σημαντικότητας αυτών των κριτηρίων στο σύστημα προτιμήσεων του λήπτη αποφάσεων.

## 2.6 Παραλλαγές Της Μεθόδου UTA

### 2.6.1 Η μέθοδος UTASTAR

Η μέθοδος UTASTAR προτάθηκε από τους Siskos & Yannacopoulos (1985) και αποτελεί μία βελτιωμένη έκδοση της πρωτότυπης μεθόδου UTA. Στην αρχική έκδοση της μεθόδου UTA για κάθε δράση  $a \in A_R$  ορίζεται ένα μοναδικό σφάλμα  $\sigma(a)$ . Αυτή η συνάρτηση σφάλματος δεν είναι επαρκής για την ελαχιστοποίηση της ολικής διασποράς των σημείων στη μονότονη καμπύλη (Σχήμα 2.7).



Σχήμα 2.7: Καμπύλη ποιοτικής παλινδρόμησης

Το πρόβλημα αφορά τα σημεία που βρίσκονται δεξιά της καμπύλης, από τα οποία θα ήταν προτιμότερο να αφαιρεθεί μια ποσότητα αξίας χωρίς να αυξηθούν οι αξίες των άλλων (παράδειγμα της ποιοτικής ή μονότονης παλινδρόμησης, ordinal regression paradigm).

Στη μέθοδο UTASTAR οι Siskos & Yannacopoulos εισάγουν μια διπλή θετική συνάρτηση σφάλματος και έτσι έχουμε:

$$u[g(a)] = \sum_{i=1}^n u_i[g_i(a)] - \sigma^+(a) + \sigma^-(a) \quad \forall a \in A_R$$

όπου  $\sigma^+$  και  $\sigma^-$  είναι τα σφάλματα υποεκτίμησης και υπερεκτίμησης, αντίστοιχα.

Επιπρόσθετα, μια άλλη σημαντική τροποποίηση αφορά τους περιορισμούς μονοτονίας των κριτηρίων, οι οποίοι μοντελοποιούνται με τη βοήθεια των ακόλουθων μετασχηματισμών των μεταβλητών:

$$w_{ij} = u_i(g_i^{j+1}) - u_i(g_i^j) \geq 0 \quad \forall i=1,2,\dots,n \text{ και } j=1,2,\dots,\alpha_{i-1}$$

Με τον τρόπο αυτό, οι συνθήκες μονοτονίας μπορούν να αντικατασταθούν από περιορισμούς μη αρνητικότητας των μεταβλητών  $w_{ij}$ . Ο αλγόριθμος της μεθόδου UTASTAR περιγράφεται συνοπτικά στα ακόλουθα βήματα:

1. Η ολική αξία των δράσεων  $u[g(a_k)]$ ,  $k=1,2,\dots,m$  εκφράζεται αρχικά ως συνάρτηση των περιθώριων αξιών  $u_i(g_i)$  και στη συνέχεια των μεταβλητών  $w_{ij}$  σύμφωνα με την αντίστοιχη εξίσωση, μέσω των ακόλουθων σχέσεων:

$$\begin{cases} u_i(g_i^1) = 0 & \forall i = 1, 2, \dots, n \\ u_i(g_i^j) = \sum_{t=1}^{j-1} w_{it} & \forall i = 1, 2, \dots, n \text{ και } j = 2, 3, \dots, \alpha_i - 1 \end{cases}$$

2. Εισάγοντας δύο συναρτήσεις σφάλματος  $\sigma^+$  και  $\sigma^-$  στο AR, γράφοντας για κάθε ζεύγος διαδοχικών δράσεων στην προδιάταξη τις αναλυτικές εκφράσεις:

$$(a_k, a_{k+1}) = u[g(a_k)] - \sigma^+(a_k) + \sigma^-(a_k) - u[g(a_{k+1})] + \sigma^+(a_{k+1}) - \sigma^-(a_{k+1})$$

3. Επιλύεται το ακόλουθο γραμμικό πρόγραμμα:

$$\begin{cases} [\min] z = \sum_{k=1}^m [\sigma^+(a_k) + \sigma^-(a_k)] \\ \text{υπο τους περιορισμούς} \\ \left. \begin{aligned} \Delta(a_k, a_{k+1}) &\geq \delta \text{ αν } a_k \mathbf{f} a_{k+1} \\ \Delta(a_k, a_{k+1}) &= 0 \text{ αν } a_k \square a_{k+1} \end{aligned} \right\} \forall k \\ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{\alpha_i-1} w_{ij} = 1 \\ w_{ij} \geq 0, \sigma^+(a_k) \geq 0, \sigma^-(a_k) \quad \forall i, j \text{ και } k \end{cases}$$

4. Ελέγχεται η ύπαρξη πολλαπλών βέλτιστων ή ημιβέλτιστων λύσεων στο γραμμικό πρόγραμμα που αναπτύξαμε, υπολογίζοντας το βαρύκεντρο των προσθετικών συναρτήσεων αξίας που μεγιστοποιούν τις ακόλουθες αντικειμενικές συναρτήσεις:

$$u_i(g_i^*) = \sum_{j=1}^{\alpha_j-1} w_{ij} \quad \forall i = 1, 2, \dots, n$$

Στο υπερπολύεδρο των περιορισμών του γραμμικού προγράμματος που περιορίζεται από τον επόμενο νέο περιορισμό:

$$\sum_{k=1}^m [\sigma^+(a_k) + \sigma^-(a_k)] \leq z^* + \varepsilon,$$

Όπου το  $z^*$  είναι η βέλτιστη τιμή (σφάλμα) του γραμμικού προγράμματος του βήματος 3 και  $\varepsilon$  ένας πολύ μικρός θετικός αριθμός ή μηδέν.

Ä Έχει αποδειχθεί από τους Siskos & Yannacopoulos, σε ένα σύνολο πειραματικών δεδομένων, ότι η μέθοδος UTASTAR δίνει καλύτερα αποτελέσματα από τον πρωτότυπο αλγόριθμο της UTA μεθόδου.

### 2.6.2 Η μέθοδος UTADIS

Η μέθοδος UTADIS (Douplos & Zorounidis, 2002) είναι μία επέκταση της μεθόδου UTA, για τις περιπτώσεις όπου η ανάπτυξη και χρησιμοποίηση μιας προσθετικής συνάρτησης χρησιμότητας δε στοχεύει στην κατάταξη των εναλλακτικών, αλλά στην ταξινόμησή τους σε  $q$  ομοιογενείς προκαθορισμένες κατηγορίες  $C_1, C_2, \dots, C_q$ . Οι κατηγορίες αυτές ορίζονται κατά ένα διατεταγμένο (ordered) τρόπο, έτσι ώστε η κατηγορία  $C_1$  να αντιστοιχεί στην κατηγορία των καλύτερων εναλλακτικών δραστηριοτήτων και η κατηγορία  $C_q$  να αντιστοιχεί στην κατηγορία των χειρότερων εναλλακτικών δραστηριοτήτων.

Η διαδικασία μοντελοποίησης των συναρτήσεων μερικών χρησιμοτήτων ως κατά τμήματα γραμμικές συναρτήσεις είναι ίδια με τη διαδικασία που αναλύθηκε προηγούμενα για τη μέθοδο UTA. Στην επέκταση της μεθόδου όμως, στη μέθοδο UTADIS αλλάζει η έννοια των σφαλμάτων και συνεπώς η μορφή των γραμμικών προγραμμάτων που πρέπει να επιλυθούν, τόσο στο πρώτο στάδιο της μεθόδου, όσο και στη φάση της μεταβελτιστοποίησης. Ειδικότερα, για την ταξινόμηση των εναλλακτικών δεν απαιτείται η μεταξύ τους σύγκριση, αλλά **μόνο η σύγκριση των ολικών χρησιμοτήτων των εναλλακτικών με κάποια όρια χρησιμοτήτων**  $t_1, t_2, \dots, t_{q-1}$  τα οποία αποτελούν τα διαχωριστικά σημεία των κατηγοριών ως εξής:



$$\begin{aligned}
U(x_j) \geq t_1 & \Leftrightarrow x_j \in C_1 \\
t_k \leq U(x_j) \leq t_{k-1} & \Leftrightarrow x_j \in C_k \quad (k = 2, 3, \dots, q-1) \\
U(x_j) < t_{q-1} & \Leftrightarrow x_j \in C_q
\end{aligned}$$

Δεδομένου ενός συνόλου αναφοράς οι εναλλακτικές δραστηριότητες του οποίου έχουν ταξινομηθεί από τον λήπτη αποφάσεων στις προκαθορισμένες κατηγορίες, **στόχος** είναι ο προσδιορισμός της κατάλληλης προσθετικής συνάρτησης χρησιμότητας  $U$  η οποία επαληθεύει τους παραπάνω κανόνες για κάθε εναλλακτική στο σύνολο αναφοράς. Εάν αυτό δεν είναι εφικτό για κάποια εναλλακτική  $x_j$ , τότε θα σημειώνεται το σφάλμα  $\sigma_j$ .

Το σφάλμα αυτό αναλύεται ως εξής:

- Υπερεκτίμηση της εναλλακτικής  $x_j$  με την τοποθέτησή της (βάσει της συνάρτησης  $U$  και των κανόνων) σε υψηλότερη κατηγορίας από αυτή στην οποία πραγματικά ανήκει (σφάλμα  $\sigma_j^-$ ).
- Υποεκτίμηση της εναλλακτικής  $x_j$  με την τοποθέτησή της (βάσει της συνάρτησης  $U$  και των κανόνων) σε χαμηλότερη κατηγορίας από αυτή στην οποία πραγματικά ανήκει (σφάλμα  $\sigma_j^+$ ).

Δεδομένου ενός συνόλου αναφοράς, ο προσδιορισμός της συνάρτησης  $U$  που ελαχιστοποιεί τα σφάλματα αυτά και ο καθορισμός των ορίων χρησιμότητας πραγματοποιείται μέσω του ακόλουθου γραμμικού προβλήματος:

$$\left\{ \begin{array}{l}
[\min] z = \sum_{j=1}^m (\sigma_j^+ + \sigma_j^-) \\
\text{υπο τους περιορισμούς} \\
U(x_j) - t_1 + \sigma_j^+ \geq \delta \quad \forall x_j \in C_1 \\
\left. \begin{array}{l}
U(x_j) - t_k + \sigma_j^+ \geq \delta \\
U(x_j) - t_{k-1} - \sigma_j^- \leq \delta
\end{array} \right\} \forall x_j \in C_k \quad (k = 2, 3, \dots, q-1) \\
U(x_j) - t_{q-1} - \sigma_j^- \leq \delta \quad \forall x_j \in C_q \\
\sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^{a_i} p_{it} = 1 \\
p_{it} \geq 0 \quad \forall i = 1, 2, \dots, n \quad t = 1, 2, \dots, a_i \\
\sigma_j \geq 0 \quad \forall j = 1, 2, \dots, m
\end{array} \right.$$

Με την επίλυση του παραπάνω προβλήματος και τον προσδιορισμό μιας βέλτιστης συνάρτησης  $U$  που ελαχιστοποιεί το άθροισμα των σφαλμάτων, πραγματοποιείται η ανάλυση μεταβελτιστοποίησης κατά παρόμοιο τρόπο όπως και στη μέθοδο UTA. Τέλος, η συνάρτηση που χρησιμοποιείται για την ταξινόμηση των εναλλακτικών και τα όρια χρησιμότητων υπολογίζονται ως η μέση λύση όλων των επιμέρους λύσεων που επιτυγχάνονται κατά τη φάση της μεταβελτιστοποίησης.

### 2.6.3 Η μέθοδος UTA Plus

Η μέθοδος UTA Plus βασίζεται στην κατασκευή μιας προσθετικής συνάρτησης χρησιμότητας από μια σειρά προτιμήσεων του αποφασίζοντα, όπως αυτές έχουν εκφραστεί για μια σειρά εναλλακτικών αναφοράς. Όπως αναφέραμε, η δομή του προβλήματος στηρίζεται στην αρχή της σχετικής παλινδρόμησης (ordinal regression). Πιο συγκεκριμένα, κατασκευάζονται μια σειρά από οριακές συναρτήσεις χρησιμότητας, οι οποίες τροποποιούνται με βάση τις προτιμήσεις του αποφασίζοντα μέσα σε συγκεκριμένα όρια, τα οποία καθορίζονται από τη σχετική ανάλυση ευαισθησίας. Η συνάρτηση χρησιμότητας που γίνεται τελικά αποδεκτή από τον αποφασίζοντα χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της σειράς κατάταξης ολόκληρου του συνόλου των εναλλακτικών.

Συνήθως, η μέθοδος UTA Plus βρίσκει εφαρμογή σε προβλήματα κατάταξης. Για την επίλυση προβλημάτων ταξινόμησης σε προκαθορισμένες κατηγορίες χρησιμοποιούνται παραλλαγές αυτής, όπως για παράδειγμα η μέθοδος UTADIS. Η τελευταία βασίζεται στην ανάπτυξη ενός υποδείγματος σύνθεσης των κριτηρίων αξιολόγησης, μέσα από το οποίο αποδίδεται μία τιμή που εκφράζει την αξία κάθε εναλλακτικής. Η τιμή αυτή καθορίζει την τελική ταξινόμηση της εναλλακτικής σε κάποια από τις προκαθορισμένες κατηγορίες.

## 2.7 Κριτήρια Αποτελεσματικότητας Υποδείγματος

Το κριτήριο που εξετάζουμε να για εξακριβώσουμε την αποτελεσματικότητα του υποδείγματος  $U$  που έχουμε αναπτύξει είναι η ακρίβεια με την οποία αποδίδει τα επιζητούμενα αποτελέσματα. Ως ακρίβεια αναφέρεται η σχέση των αποτελεσμάτων του υποδείγματος με τις πραγματικές αποφάσεις του αποφασίζοντος. Η ακρίβεια μπορεί να μετρηθεί με διάφορους τρόπους, ανάλογα με την προβληματική της ανάλυσης. Συχνότερα τα υποδείγματα που αναπτύσσουμε χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις κατάταξης ή ταξινόμησης.

### 2.7.1 Προβλήματα Κατάταξης

Η πλέον διαδεδομένη περίπτωση αφορά την ανάπτυξη ενός υποδείγματος  $U$  το οποίο πρέπει να προσδιορίζει μια κατάταξη των εναλλακτικών, όπως στην περίπτωση της μεθόδου UTA. Στον προσδιορισμό της κατάταξης οι διαφορές στις ολικές χρησιμότητες των εναλλακτικών δεν έχουν σημασία, αλλά εξετάζεται μόνο εάν η κατάταξη των εναλλακτικών βάσει του υποδείγματος συμπίπτει με την κατάταξη που προσδιορίζει ο αποφασίζων.

Έτσι ότι έχουμε στη διάθεσή μας ένα σύνολο εναλλακτικών  $x_1, x_2, \dots, x_m$  οι οποίες έχουν αξιολογηθεί από τον λήπτη αποφάσεων και έχουν καταταχθεί από τις καλύτερες προς τις χειρότερες. Η κατάταξη του αποφασίζοντα συμβολίζεται με  $Y$ . Αναπτύσσοντας, σύμφωνα με το μεθοδολογικό πλαίσιο της Αναλυτικής-Συνθετικής Προσέγγισης ένα υπόδειγμα  $U(x)$  βάσει του οποίου καθορίζεται η εκτιμώμενη κατάταξη  $\hat{Y}$  των εναλλακτικών ως εξής:

$$\left. \begin{aligned} U(x') > U(x'') &\Leftrightarrow x' P x'' \\ U(x') = U(x'') &\Leftrightarrow x' I x'' \end{aligned} \right\}$$

**Στόχος** είναι η ανάπτυξη ενός μέτρου της συσχέτισης μεταξύ της κατάταξης του αποφασίζοντα  $Y$  και της κατάταξης  $\bar{Y}$  που προσδιορίζεται από το υπόδειγμα  $U$ .

Ο πιο διαδεδομένος δείκτης μέτρησης της συσχέτισης των δύο κατατάξεων είναι ο δείκτης  $\tau$  του Kendall:

$$\tau = \frac{M_C - M_D}{\sqrt{(M - I_Y)(M - I_{\bar{Y}})}}$$

όπου ως  $M_C$  συμβολίζεται το πλήθος των συμφωνιών, ως  $M_D$  το πλήθος των ασυμφωνιών, ως  $I_Y$  συμβολίζεται το πλήθος των ισοδυναμιών ως προς την κατάταξη  $Y$  και ως  $I_{\bar{Y}}$  το πλήθος των ισοδυναμιών ως προς την κατάταξη  $\bar{Y}$ .

Ο δείκτης Kendall κυμαίνεται μεταξύ  $-1$  και  $1$ . Τιμές κοντά στο  $1$  υποδεικνύουν ότι υπάρχει απόλυτα θετική συμφωνία μεταξύ των δυο κατατάξεων και συνεπώς η ακρίβεια του υποδείγματος είναι υψηλή. Αντίθετα, τιμές του  $\tau$  κοντά στο  $-1$  υποδεικνύουν ότι υπάρχει απόλυτη ασυμφωνία μεταξύ των δύο κατατάξεων και συνεπώς το υπόδειγμα κρίνεται ανεπαρκές. Τέλος τιμές του  $\tau$  κοντά στο  $0$  υποδεικνύουν ότι δεν παρατηρείται κάποια σχέση μεταξύ των δύο κατατάξεων, στοιχείο το οποίο υποδεικνύει την ανεπάρκεια του υποδείγματος.

Εάν ο αποφασίζων προσδιορίζει μια βαθμολογία για τις εναλλακτικές τότε θα πρέπει να εξεταστούν οι αποκλίσεις του υποδείγματος από την προκαθορισμένη βαθμολογία των εναλλακτικών. Κάτι τέτοιο σημαίνει ότι για κάθε εναλλακτική  $x_i$  εξετάζεται η βαθμολογία  $y_i$  που προσδιορίστηκε από τον αποφασίζοντα σε σχέση με τη βαθμολογία  $\bar{y}_i$  που προσδιορίζεται από το υπόδειγμα.

Δεδομένου ενός συνόλου εναλλακτικών  $x_1, x_2, \dots, x_m$ , τα συνηθέστερα κριτήρια που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της επάρκειας του υποδείγματος στην περίπτωση αυτή είναι το Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα (Mean Square Error, MSE) και το Μέσο Απόλυτο Σφάλμα (Mean Absolute Error, MAE). Είναι φανερό και στις δύο περιπτώσεις χαμηλές τιμές MSE και MAE υποδεικνύουν υψηλή ακρίβεια του υποδείγματος. Η σημαντικότερη διαφορά των δύο μετρικών έγκειται στο γεγονός ότι το MSE αποδίδει μεγαλύτερη σημασία στις υψηλές αποκλίσεις που μπορεί να παρουσιάζονται για κάποιες εναλλακτικές επιλογές.

### 2.7.2 Προβλήματα Ταξινόμησης

Η δεύτερη συχνότερη κατηγορία προβλημάτων είναι αυτή των προβλημάτων ταξινόμησης. Στα προβλήματα ταξινόμησης θα πρέπει να ελεγχθεί η συμφωνία της ταξινόμησης  $Y$  που καθορίζει ο αποφασίζων για ένα σύνολο εναλλακτικών  $x_1, x_2, \dots, x_m$  και της ταξινόμησης  $\hat{Y}$  που προσδιορίζεται βάσει του εξεταζόμενου υποδείγματος  $U$ . Σε αντιστοιχία με τα προβλήματα κατάταξης, συμβολίζεται με  $y_i$  η κατηγορία στην οποία τοποθέτησε ο αποφασίζων την εναλλακτική  $x_i$  και ως  $\hat{y}_i$  την ταξινόμηση του υποδείγματος. Είναι προφανές ότι συμφωνία υπάρχει μόνο εάν  $y_i = \hat{y}_i$ . Συμβολίζοντας  $M_C$  το πλήθος των εναλλακτικών για τις οποίες παρατηρείται συμφωνία μεταξύ του υποδείγματος και του αποφασίζοντα, ο πλέον απλό τρόπος για να προσδιοριστεί η ακρίβεια του μοντέλου είναι να προσδιοριστεί ο δείκτης:

$$\gamma = \frac{M_C}{m}.$$

Ο δείκτης αυτός κυμαίνεται μεταξύ 0 και 1, έτσι ώστε τιμές κοντά στη μονάδα να υποδηλώνουν υψηλή ακρίβεια και τιμές κοντά στο 0 χαμηλή ακρίβεια αντίστοιχα. Επειδή όμως, ο συγκεκριμένος δείκτης δεν ανταποκρίνεται καλά σε

περίπτωση σημαντικής ανισορροπίας στο μέγεθος των κατηγοριών, τροποποιείται ως εξής:

$$\gamma' = \frac{1}{q} \sum_{i=1}^q \frac{M_i^C}{m_i}$$

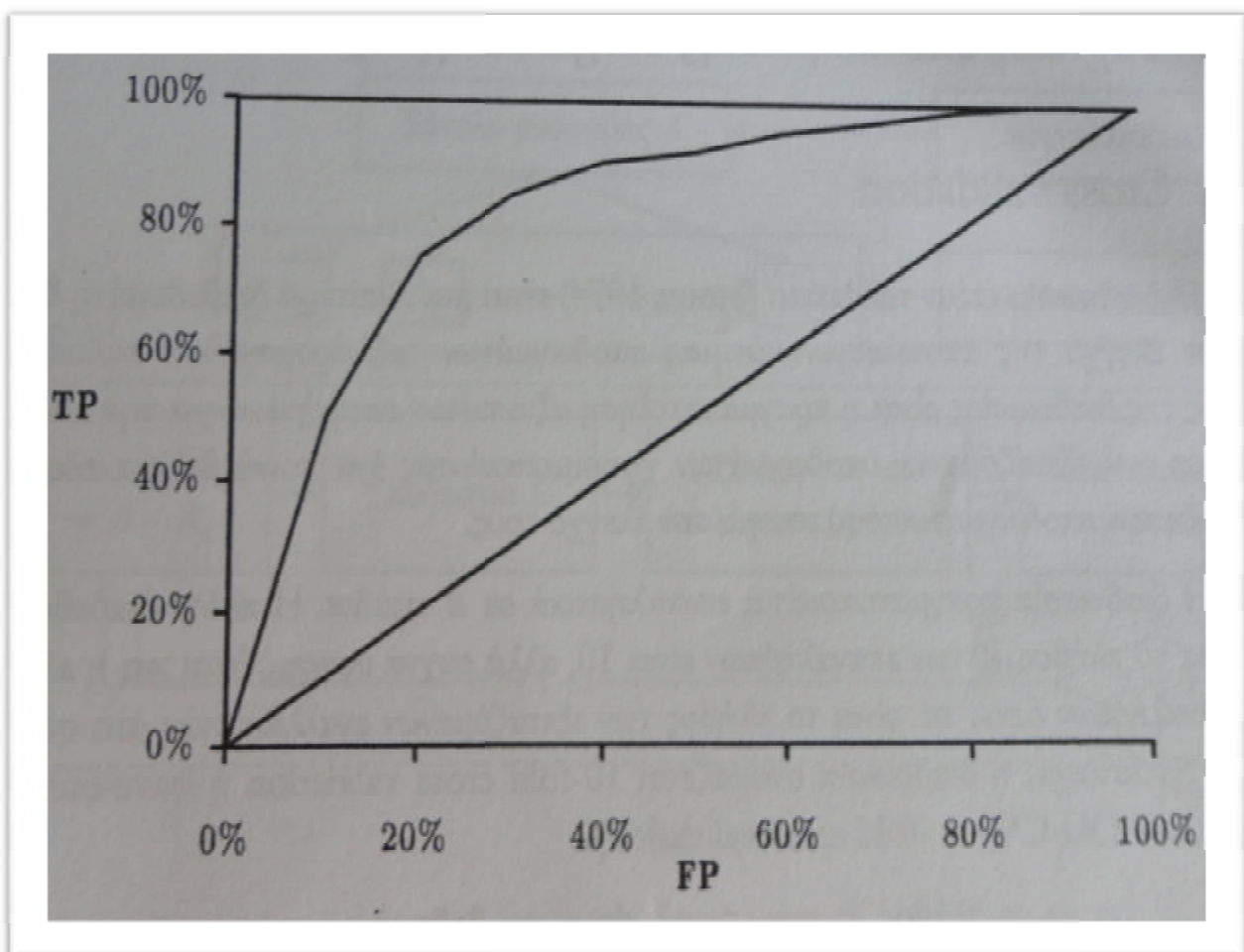
όπου  $q$  συμβολίζεται το πλήθος των κατηγοριών, με  $m_i$  συμβολίζεται το πλήθος των εναλλακτικών που ο αποφασίζων ταξινομήσει στην κατηγορία  $i$  και ως  $M_i^C$  συμβολίζεται το πλήθος των εναλλακτικών της κατηγορίας  $i$  που ταξινομούνται σωστά από το υπόδειγμα.

Ένας εξίσου διαδεδομένος δείκτης αξιολόγησης της αποτελεσματικότητας ενός υποδείγματος ταξινόμησης είναι μέσω του διαγράμματος ROC (Receiver Operating Characteristic). Η κατασκευή του διαγράμματος ROC υλοποιείται στην περίπτωση δυο κατηγοριών, αλλά είναι δυνατή και η επέκταση της ανάλυση σε περίπτωση περισσότερων κατηγοριών.

Έστω ότι έχουμε μόνο δύο κατηγορίες  $C_1$  και  $C_2$  (καλές και κακές εναλλακτικές). Ο οριζόντιος άξονας δείχνει το ποσοστό των εναλλακτικών που ταξινομήθηκαν από τον αποφασίζοντα στην κατηγορία  $C_2$  και το υπόδειγμα τις ταξινομεί στην κατηγορία  $C_1$ . (false positives, FP). Ο κάθετος άξονας δείχνει το ποσοστό των εναλλακτικών που ταξινομήθηκαν από τον αποφασίζοντα στην κατηγορία  $C_1$  και το υπόδειγμα τις ταξινομεί επίσης στην κατηγορία  $C_1$  (true positives, TP). Για την κατασκευή του διαγράμματος θεωρούμε ότι το υπόδειγμα που εξετάζουμε αποδίδει μία βαθμολογία  $U(x_i)$  σε κάθε εναλλακτική  $x_i$ . Το διάγραμμα ROC καταγράφει τα αποτελέσματα του υποδείγματος συναρτήσει ενός σημείου διαχωρισμού  $t$ . Βάσει της βαθμολογίας η ταξινόμηση των εναλλακτικών πραγματοποιείται εισάγοντας το σημείο διαχωρισμού  $t$ , έτσι ώστε:

$$\left. \begin{array}{l} U(x_i) > t \Leftrightarrow x_i \in C_1 \\ U(x_i) < t \Leftrightarrow x_i \in C_2 \end{array} \right\}$$

Σε ένα άριστο υπόδειγμα οι βαθμολογίες των εναλλακτικών της κατηγορίας  $C_1$  είναι πάντα υψηλότερες από τις βαθμολογίες των εναλλακτικών της κατηγορίας  $C_2$ . Αντίθετα, σε ένα ανεπαρκές υπόδειγμα δεν θα παρατηρείται καμία σχέση μεταξύ των βαθμολογιών των εναλλακτικών και της ταξινόμησής τους, οπότε η καμπύλη ROC θα είναι μία ευθεία γραμμή που ξεκινά από την αρχή των αξόνων. Ένα ικανοποιητικό υπόδειγμα βρίσκεται στο ενδιάμεσο των δύο περιπτώσεων.



Σχήμα 2.8: Διάγραμμα ROC

Προκειμένου να εξετάσουμε την αποτελεσματικότητα του υποδείγματος με τη βοήθεια του διαγράμματος ROC, υπολογίζουμε το εμβαδόν της περιοχής κάτω από την καμπύλη ROC (Area Under Curve, AUC). Σε ένα άριστο υπόδειγμα το  $AUC=1$ , ενώ σε ένα ανεπαρκές υπόδειγμα το  $AUC=0.5$ . Στη γενική περίπτωση το εμβαδόν της περιοχής κάτω από την καμπύλη ROC κυμαίνεται μεταξύ 0.5 και 1 με

υψηλότερες τιμές να υποδεικνύουν υψηλότερη αποτελεσματικότητα. Στην ακραία περίπτωση όπου  $AUC < 0.5$  τότε το υπόδειγμα που εξετάζεται είναι απόλυτα ανεπαρκές.



## 2.8 Διαδικασίες Ελέγχου

Η ανάπτυξη πολυκριτήριων μοντέλων μέσω της Αναλυτικής-Συνθετικής Προσέγγισης απαιτεί τη χρήση κατάλληλων μεθοδολογιών για τον έλεγχο των υποδειγμάτων που αναπτύσσονται. Ο απλούστερος έλεγχος που μπορεί να πραγματοποιηθεί αφορά τη σύγκριση των αποτελεσμάτων του μοντέλου για τις εναλλακτικές του συνόλου αναφοράς σε σχέση με την προκαθορισμένη αξιολόγηση των εναλλακτικών αυτών από τον λήπτη αποφάσεων. Εάν σημειώνονται διαφοροποιήσεις, που ωστόσο είναι περιορισμένες, τότε αυτό αποτελεί μια πρώτη θετική ένδειξη για την αξιοπιστία του υποδείγματος, χωρίς βέβαια αυτό να μας εξασφαλίζει την πραγματική αξιοπιστία του μοντέλου που αναπτύξαμε.

**Ά Για να είμαστε σε θέση να εξάγουμε ορισμένα ασφαλή συμπεράσματα θα πρέπει να γίνει έλεγχος της συμπεριφοράς του υποδείγματος σε εναλλακτικές εκτός του συνόλου αναφοράς.**

Αυτό όμως είναι συχνά μία πολύ δύσκολη υπόθεση για τρεις κυρίως λόγους:

1. Η συλλογή νέων δεδομένων απαιτεί χρόνο και κόστος.
2. Ο αποφασίζων θα πρέπει εκ νέου να αξιολογήσει τις νέες εναλλακτικές ώστε να είναι δυνατός ο έλεγχος της αξιοπιστίας του μοντέλου.
3. Οι νέες εναλλακτικές που θα εξεταστούν κατά τη φάση του ελέγχου θα πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικές, στοιχείο που όμως πολύ δύσκολα μπορεί να επαληθευτεί.

Για την αντιμετώπιση των παραπάνω προβλημάτων είναι δυνατή η χρήση στατιστικών τεχνικών ελέγχου, γνωστές και ως **τεχνικές επαναληπτικής δειγματοληψίας** (resampling techniques). Οι τεχνικές επαναληπτικής δειγματοληψίας επιτρέπουν την ανάπτυξη και τον έλεγχο ενός υποδείγματος λήψης αποφάσεων βάσει ενός μόνο συνόλου δεδομένων (σύνολο αναφοράς). Οι περισσότερο διαδεδομένες τεχνικές είναι οι διαδικασίες **cross validation** και **bootstrap**.

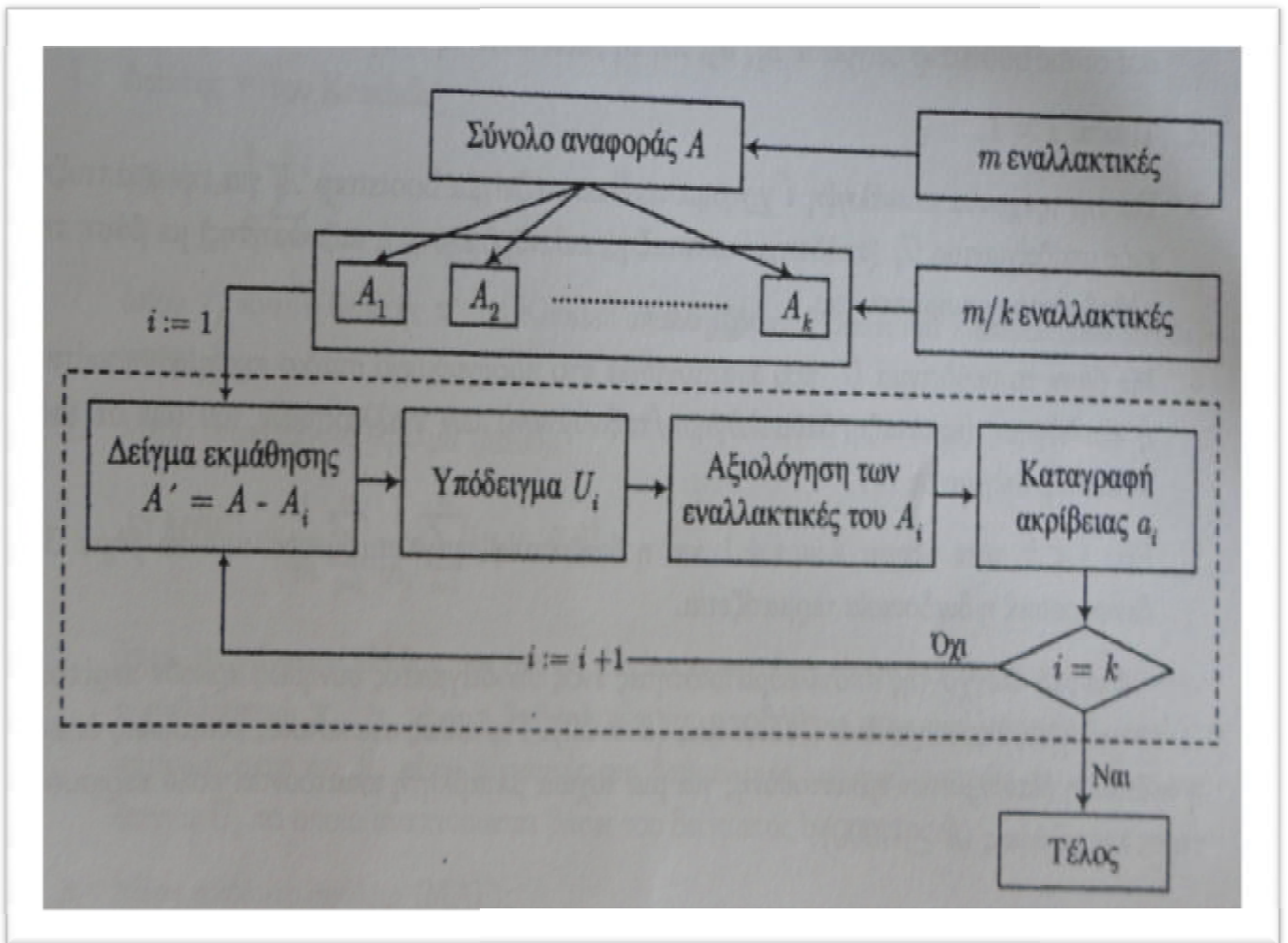
### 2.8.1 Τεχνική Cross Validation

Η τεχνική του Cross Validation (Σταυρωτή Επικύρωση), που προτάθηκε από τον Stone το 1974, είναι μία ιδιαίτερη διαδεδομένη διαδικασία για τον έλεγχο της αποτελεσματικότητας υποδειγμάτων ταξινόμησης και παλινδρόμησης.

**Ø Στόχος** της συγκεκριμένης τεχνικής είναι η **πραγματοποίηση αξιόπιστων εκτιμήσεων για την αποτελεσματικότητα των εξεταζόμενων υποδειγμάτων χρησιμοποιώντας ένα κοινό δείγμα τόσο για την ανάπτυξη των υποδειγμάτων όσο και για τον έλεγχό τους.**

Η διαδικασία πραγματοποιείται επαναληπτικά σε  $k$  στάδια. Η πλέον διαδεδομένη επιλογή για τον πλήθος  $k$ , του αριθμού των επαναλήψεων, είναι δέκα (10). Αξίζει να σημειωθεί, ότι συχνά εφαρμόζεται και η επιλογή των  $m$  επαναλήψεων, όπου  $m$  είναι το πλήθος των εξεταζόμενων εναλλακτικών στο σύνολο αναφοράς. Ανάλογα με την επιλογή των παραμέτρων της διαδικασίας, παίρνει και την ονομασία της. Αντίστοιχα, η διαδικασία ονομάζεται *10-fold Cross Validation* ή *Leave-One-Out Cross Validation* (LOO\_CV,  $m$ -fold cross validation).

Ανάλογα με το πλήθος των  $k$  επαναλήψεων και δεδομένου ενός συνόλου αναφοράς  $A$ , αποτελούμενο από  $m$  εναλλακτικές, η διαδικασία υλοποιείται όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.9.



Σχήμα 2.9: Η διαδικασία Cross Validation

Αναλυτικά τα βήματα της διαδικασίας Cross Validation είναι τα ακόλουθα:

1. Το σύνολο αναφοράς  $A$  διασπάται κατά τυχαίο τρόπο σε  $k$  αλληλοαποκλειόμενα υποσύνολα  $A_1, A_2, \dots, A_k$  μεγέθους  $\frac{m}{k}$ .
2. Τίθεται  $i := 1$ .
3. Για την τρέχουσα επανάληψη  $i$  χρησιμοποιείται το σύνολο  $A - A_i$  για την ανάπτυξη ενός υποδείγματος  $U_i$  (υπόδειγμα κατάταξης, παλινδρόμησης ή ταξινόμησης) με βάση τη μέθοδο που χρησιμοποιείται.

4. Για το υπόδειγμα  $U_i$  που αναπτύχθηκε στο προηγούμενο στάδιο καταγράφεται η αποτελεσματικότητα του  $\alpha_i$ , μετρούμενη με ένα προεπιλεγμένο δείκτη  $\alpha$ . Η αποτελεσματικότητα του υποδείγματος προσδιορίζεται βάσει των εναλλακτικών δραστηριοτήτων του υποσυνόλου  $A_i$ .
5. Εάν  $i < k$  τότε τίθεται  $i := i+1$  και η διαδικασία επαναλαμβάνεται από το βήμα 3. Διαφορετικά η διαδικασία τερματίζεται.

Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας μπορεί να διατυπωθεί μία ολοκληρωμένη άποψη για την αποτελεσματικότητα της μεθόδου που χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη ενός κατάλληλου υποδείγματος. Η αναμενόμενη αποτελεσματικότητα  $E(\alpha)$  αποτελεί το μέσο όρο της αποτελεσματικότητας των  $k$  επιμέρους υποδειγμάτων που αναπτύχθηκαν με την παραπάνω επαναληπτική διαδικασία:

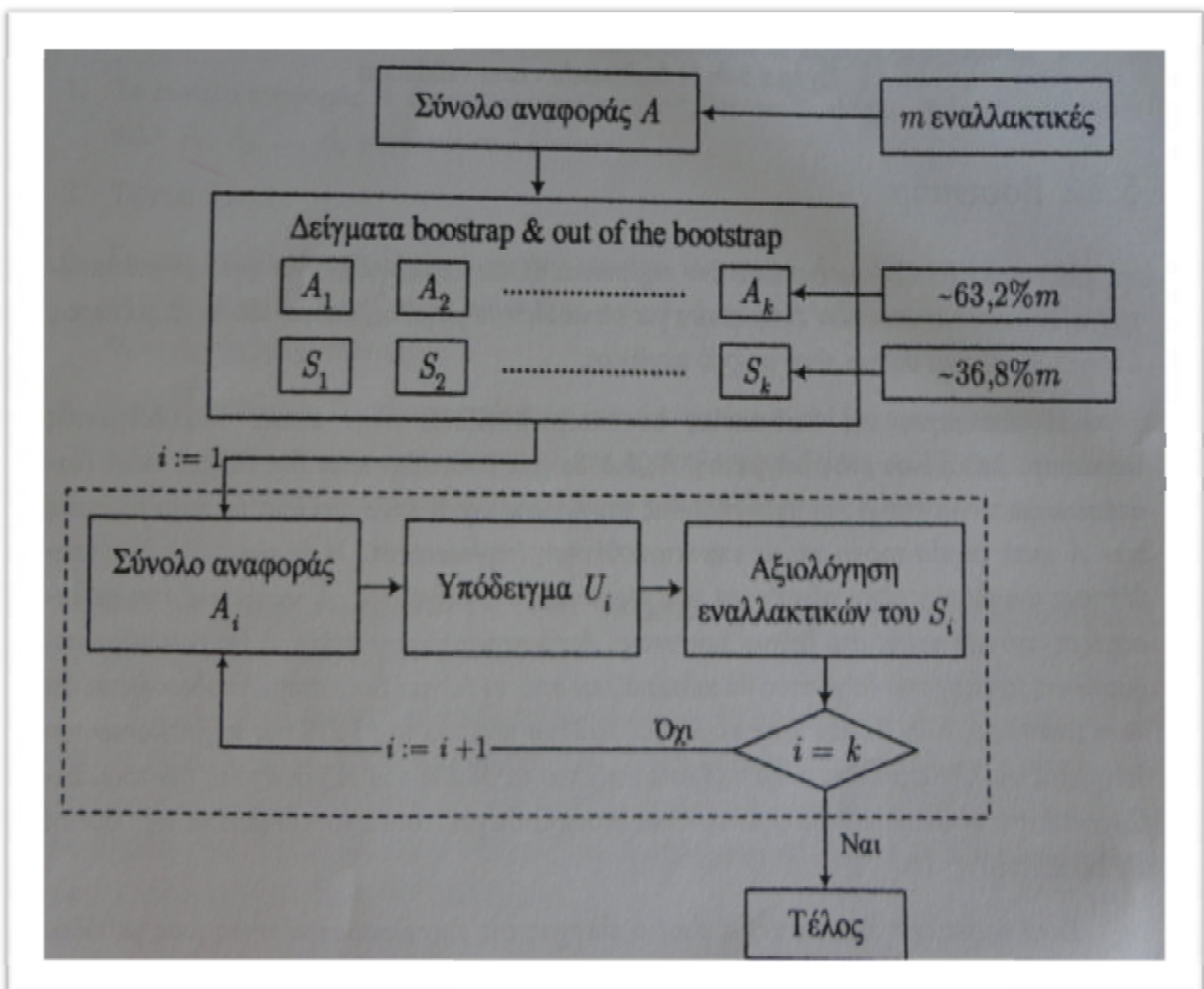
$$E(\alpha) = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \alpha_i$$

### 2.8.2 Τεχνική Bootstrap

Η διαδικασία Bootstrap είναι ένα ιδιαίτερα σημαντικό εργαλείο για την πραγματοποίηση αξιόπιστων στατιστικών εκτιμήσεων για οποιοδήποτε μέγεθος, ακόμα και σε περιπτώσεις που το διαθέσιμο δείγμα είναι αρκετά μικρό. Η υλοποίηση της διαδικασίας Bootstrap βασίζεται στην έννοια του δείγματος Bootstrap. Δεδομένου ενός δείγματος  $A$ , **ένα δείγμα Bootstrap είναι ένα δείγμα ίδιων διαστάσεων με το δείγμα  $A$ , οι παρατηρήσεις του οποίου έχουν επιλεγθεί από τις παρατηρήσεις του  $A$  κατά τρόπο τυχαίο και με επανατοποθέτηση (replacement).** Η έννοια της επανατοποθέτησης αναφέρεται στην πιθανότητα μία

περίπτωση του δείγματος  $A$  να εμφανίζεται περισσότερες από μία φορές στο δείγμα Bootstrap. Αυτό προφανώς συνεπάγεται ότι ορισμένες περιπτώσεις του αρχικού δείγματος θα απουσιάζουν από το δείγμα Bootstrap. Αποδεικνύεται ότι κατά μέσο όρο, κάθε δείγμα Bootstrap περιλαμβάνει περίπου το 63.2% των περιπτώσεων του δείγματος  $A$ . Οι υπόλοιπες παρατηρήσεις διαμορφώνουν το δεύτερο δείγμα το οποίο αναφέρεται ως “out of the Bootstrap”.

Εάν ο στόχος του ελέγχου, είναι ο έλεγχος της αποτελεσματικότητας μιας μεθόδου στην ανάπτυξη αξιόπιστων υποδειγμάτων κατάταξης, παλινδρόμησης ή ταξινόμησης, η διαδικασία υλοποιείται σε  $k$  επαναλήψεις όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.10 που ακολουθεί:



Σχήμα 2.10: Η διαδικασία Bootstrap

Αναλυτικά τα βήματα της διαδικασίας Bootstrap είναι τα ακόλουθα:

1. Το σύνολο αναφοράς  $A$  ( $m$  εναλλακτικές) διασπάται κατά τυχαίο τρόπο σε  $k$  δείγματα Bootstrap  $A_1, A_2, \dots, A_k$  μεγέθους  $m$ . Ταυτόχρονα διαμορφώνονται και τα αντίστοιχα out of the Bootstrap δείγματα  $S_1, S_2, \dots, S_k$ , έτσι ώστε  $A_i \cap S_i = \emptyset$  και  $A_i \cup S_i = A$
2. Τίθεται  $i := 1$ .
3. Για την τρέχουσα επανάληψη  $i$  χρησιμοποιείται το δείγμα Bootstrap  $A_i$  για την ανάπτυξη ενός υποδείγματος  $U_i$  (υπόδειγμα κατάταξης, παλινδρόμησης ή ταξινόμησης) με βάση τη μέθοδο που χρησιμοποιείται.
4. Για το υπόδειγμα  $U_i$  που αναπτύχθηκε στο προηγούμενο στάδιο πραγματοποιείται η αξιολόγηση των εναλλακτικών του out of the Bootstrap δείγματος  $S_i$ .
5. Εάν  $i < k$  τότε τίθεται  $i := i+1$  και η διαδικασία επαναλαμβάνεται από το βήμα 3. Διαφορετικά η διαδικασία τερματίζεται.

Για τον έλεγχο της αποτελεσματικότητας ενός υποδείγματος συνήθως αρκούν περίπου 50 επαναλήψεις. Για άλλες στατιστικές εκτιμήσεις όπως η ανάπτυξη διαστημάτων εμπιστοσύνης για μια τυχαία μεταβλητή απαιτούνται πολύ περισσότερες, για παράδειγμα 1000.

Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας μπορεί να διατυπωθεί μία ολοκληρωμένη άποψη για την αποτελεσματικότητα της μεθόδου που χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη ενός κατάλληλου υποδείγματος. Εξετάζοντας τις αξιολογήσεις των εναλλακτικών στα out of the Bootstrap δείγματα υπολογίζεται η αναμενόμενη αποτελεσματικότητα του υποδείγματος. Για τον υπολογισμό της

αναμενόμενης αποτελεσματικότητας υπάρχει ποικιλία μέτρων αξιολόγησης, όπως για παράδειγμα:

• Ο Δείκτης  $\tau$  του Kendall

• Το Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα (MSE)

• Το Μέσο Απόλυτο Σφάλμα (MAE)

• Ο Δείκτης ακρίβειας  $\gamma'$

• Η περιοχή κάτω από τη ROC καμπύλη (AUC)

## 2.9 Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων βάσει της UTA

Είναι γεγονός ότι έχει αναπτυχθεί πληθώρα Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων και Λογισμικών Πακέτων βασισμένα στη μεθοδολογία της UTA. Τόσο η μέθοδος UTA, όσο και οι διάφορες παραλλαγές της έχουν χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο δόμησης των προτιμήσεων ενός αποφασίζοντα, (χρήστη) προκειμένου να δώσουν λύση σε προβλήματα πολυκριτήριων αποφάσεων, μέσα από μια σειρά αυτοματοποιημένων αναδράσεων που προκαλούνται από τυχόν αντιδράσεις του αποφασίζοντα.

Το πρώτο ολοκληρωμένο σύστημα, το **MINORA** (Multicriteria Interactive Ordinal Regression Analysis) προτάθηκε από τους Sisko & Yannacopoulos, το 1988 και έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως σε πολλές πρακτικές εφαρμογές. Η λειτουργία του συστήματος αποφάσεων MINORA συγκροτείται από πέντε αναδράσεις-τύπους. Μετά το σύστημα MINORA αναπτύχθηκαν διάφορα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων, ορισμένα εκ των οποίων παρουσιάζονται στη συνέχεια:

<i>Σύστημα PREFCALC.</i>	<i>Σύστημα Agent Allocator</i>
<i>Σύστημα MINORA-MIIDAS</i>	<i>Σύστημα FINEVA</i>
<i>Λογισμικό UTA PLUS</i>	<i>Σύστημα FINCLAS</i>
<i>Σύστημα MUSTARD</i>	<i>Σύστημα INVESTOR</i>
<i>Σύστημα MARKEY</i>	<i>Λογισμικό PREFDIS</i>
<i>Σύστημα DIMITRA</i>	



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

## ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗΣ-ΣΥΝΘΕΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ

### 3.1 Εισαγωγή

Στη συνέχεια του κεφαλαίου θα παρουσιαστεί και θα επιλυθεί ένα πρόβλημα απόφασης, με την εφαρμογή της Αναλυτικής-Συνθετικής Προσέγγισης. Αρχικά θα γίνει η περιγραφή του προβλήματος και των χαρακτηριστικών της απόφασης. Στη συνέχεια θα γίνει η μοντελοποίηση του προβλήματος. Τέλος θα εφαρμοστεί η μέθοδος UTADIS και θα ολοκληρωθεί η επίλυση του προβλήματος.

## 3.2 Περιγραφή Του Προβλήματος Λήψης Απόφασης

Μεγάλος κατασκευαστής προϊόντων επίπλωσης γραφείο αποφάσισε την αξιολόγηση των συνεργαζόμενων καταστημάτων μέσω των οποίων εξασφαλίζεται η διάθεση των προϊόντων του, αρχής γενομένης από τα 8 καταστήματα του Νομού Αττικής. Στόχος της αξιολόγησης είναι η βελτίωση της ποιότητας των υπηρεσιών προς του πελάτες καθώς και η σύσφιξη της συνεργασίας της εταιρείας με τα σημεία πώλησης.

**Στόχος** του κατασκευαστή είναι η υπογραφή συμβολαίου αντιπροσώπου με μικρό αριθμό πολύ αποτελεσματικών μαγαζιών και η ως εκ τούτου παύση της συνεργασίας με τα υπόλοιπα. Στο πρώτο στάδιο της μελέτης θα υπάρξει φυσικά μία κατηγορία μαγαζιών στα οποία θα δοθεί μια «περίοδος χάριτος».

∅ Τα κριτήρια αξιολόγησης των καταστημάτων που ορίστηκαν είναι τα ακόλουθα:

**Κριτήριο 1:** Μέσος μηνιαίος κύκλος εργασιών του καταστήματος (κλίματα 0-20 χιλ. €)

**Κριτήριο 2:** Το κατάστημα (περιοχή, εμφάνιση εγκαταστάσεων, πάρκινγκ, προβολή του κατασκευαστή στο κατάστημα, κτλ) με την ακόλουθη κλίματα βαθμολόγησης:

- A. εξαιρετικές εγκαταστάσεις
- B. μέτριες εγκαταστάσεις
- C. προβληματικές εγκαταστάσεις

**Κριτήριο 3:** Το μάνατζμεντ του καταστήματος (διεύθυνση, στρατηγική πωλήσεων, οικονομική διαχείριση, προώθηση της μάρκας, κτλ) με την ακόλουθη κλίμακα βαθμολόγησης:

- A. πολύ αποτελεσματικό μάνατζμεντ
- B. αποτελεσματικό αλλά με ελλείψεις
- C. ανεπαρκές έως προβληματικό

Η διεύθυνση της εταιρείας σε συνεργασία με το τμήμα μάρκετινγκ και πωλήσεων, προχώρησε στη βαθμολόγηση των καταστημάτων της Αττικής, η οποία δίνεται στον πίνακα 3.1 που ακολουθεί:

Κωδικός Καταστήματος	Τζίρος (χιλ.€)	Κατάστημα	Μάνατζμεντ
<b>K1</b>	40	A	B
<b>K2</b>	130	Γ	A
<b>K3</b>	80	B	A
<b>K4</b>	30	A	A
<b>K5</b>	70	B	Γ
<b>K6</b>	150	Γ	Γ
<b>K7</b>	60	B	B
<b>K8</b>	180	Γ	B

Πίνακας 3.1: Αξιολόγηση καταστημάτων Αττικής

**Ά** Εξωτερικός σύμβουλος καλείται να συνεργαστεί με το μάρκετινγκ της εταιρείας, σε ρόλο αναλυτή, για την **επίτευξη ενός δείκτη συνολικής αξιολόγησης των καταστημάτων**, λαμβάνοντας υπόψη ότι η αξιολόγηση αυτή πρέπει να παρέχει τη βάση για την επιλογή ή μη επιλογή αντιπροσώπων.



## 3.3 Μοντελοποίηση Του Προβλήματος

### 3.3.1 Στάδιο 1: Αντικείμενο Της Απόφασης

#### Σύνολο δράσεων

Αντικείμενο της αξιολόγησης είναι τα καταστήματα που συνεργάζονται με τη βιομηχανία. Συνεπώς, ως σύνολο δράσεων θα θεωρηθεί το σύνολο των υπό αξιολόγηση καταστημάτων. Για την περίπτωση της Αττικής, το σύνολο αυτό είναι:

$$A = \{K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6, K_7, K_8\}$$

#### Προβληματική

Ο εξωτερικό σύμβουλος βρίσκεται μπροστά στο δίλλημα «αξιολόγηση καταστήματος ή επιλογή αντιπροσώπου;», διστάζοντας αν θα πρέπει να κατατάξει τα καταστήματα (*προβληματική γ*) ή να αποφανθεί αν πρέπει ή όχι να υπογράψουν συμβόλαιο αντιπροσώπου (*προβληματική β*).

Μετά από σκέψη και δεδομένου ότι ο πελάτης του δεν έχει πείρα από επιστημονικές μελέτες, αποφασίζει να εκπονήσει μία πρώτη μελέτη αξιολόγησης – κατάταξης των καταστημάτων, στο πλαίσιο της προβληματικής γ, προκειμένου να αξιολογηθεί όλο το υπάρχον δίκτυο πωλήσεων και μία δεύτερη, παράλληλη μελέτη επιλογής των αντιπροσώπων στο πλαίσιο της προβληματικής β (ταξινόμηση). Στη δεύτερη περίπτωση, ο σύμβουλος θεωρεί ότι η απόφαση του κατασκευαστή για ένα κατάστημα αφορά στην ένταξη του καταστήματος σε μία από τις παρακάτω τρεις κατηγορίες:

C<sub>1</sub>: αντιπρόσωπος

C<sub>2</sub> κατάστημα σε περίοδο χάριτος

C<sub>3</sub> παύση συνεργασίας

### 3.3.2 Στάδιο 2: Συνεπής Οικογένεια Κριτηρίων

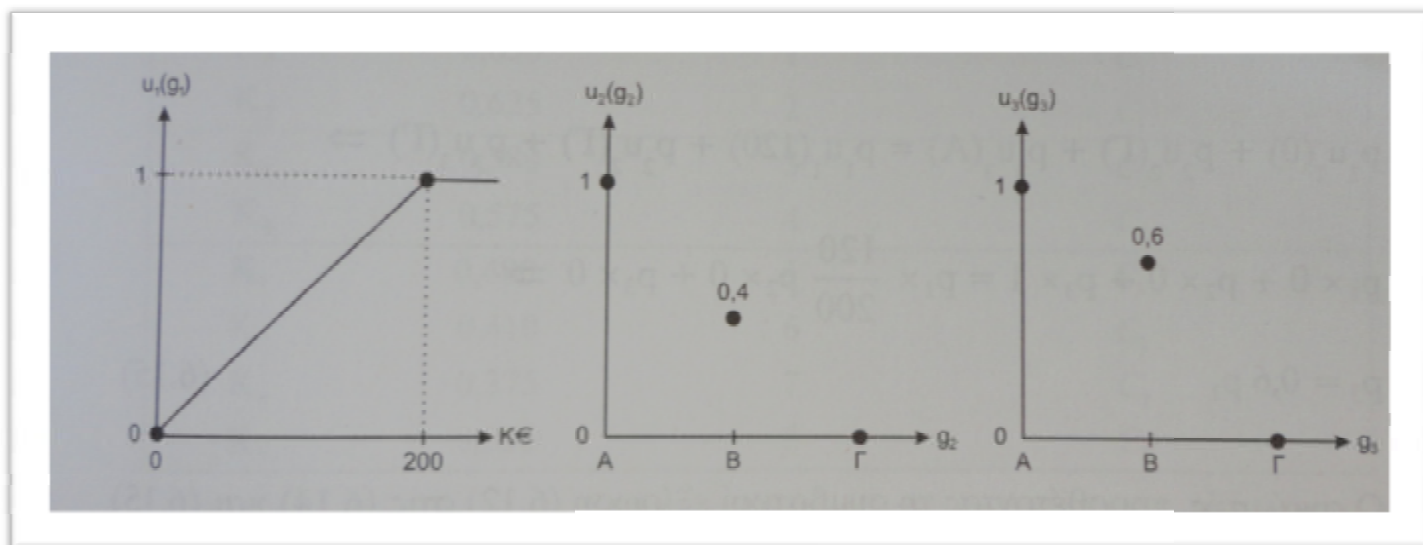
Η προτεινόμενη οικογένεια των τριών κριτηρίων έχει στηριχθεί στους αντίστοιχους στόχους / άξονες προτίμησης:

1. Εμπορικά αποτελέσματα
2. Ποιότητα καταστήματος
3. Διεύθυνση καταστήματος

Αποτελείται από ένα μετρικό κριτήριο (τζίρος) και δύο κριτήρια διάταξης των οποίων η κλίμακα είναι ποιοτική [ $g_* = \Gamma, B, A = g^*$ ]. Από τον τρόπο ορισμού των κριτηρίων, τα τρία κριτήρια φαίνεται να αποτελούν μια συνεπή οικογένεια κριτηρίων.

### 3.3.3 Στάδιο 3: Μοντέλο απόφασης

Ο αναλυτής, προκειμένου να αξιολογήσει τα οκτώ καταστήματα του Νομού Αττικής, προσανατολίζεται στην κατασκευή μίας προσθετικής συνάρτησης αξίας. Για το λόγο αυτό, υποθέτει ότι για τον αποφασίζοντα υφίσταται η προτιμησιακή ανεξαρτησία μεταξύ των τριών κριτηρίων. Απομένει λοιπόν να προσδιοριστούν οι περιθώριες συναρτήσεις  $u_i(g_i)$  και τα βάρη  $p_i$  των κριτηρίων. Μετά από διαλογική συζήτηση με τον διευθυντή της κατασκευαστικής εταιρείας, ο αναλυτής εξάγει άμεσα τις περιθώριες συναρτήσεις αξιών των τριών κριτηρίων σύμφωνα με τον διευθυντή της εταιρείας. Στο Σχήμα 3.2 που ακολουθεί παρουσιάζονται γραφικά οι περιθώριες συναρτήσεις αξίας των τριών κριτηρίων.



Σχήμα 3.2: Περιθώριες συναρτήσεις αξίας

Για την περίπτωση του τζίρου, η περιθώρια συνάρτηση, ως γραμμική, δίνεται από τον τύπο:

$$u_1(g_1) = \frac{g_1}{200}$$

όπου  $u_1(0) = 0$  και  $u_1(200) = 1$ , δηλαδή πέρα των 200 χιλ. € η τιμή της  $u_1$  παραμένει σταθερή στη μονάδα.

Αναφορικά με τον υπολογισμό των συντελεστών βαρύτητας  $p_i$ ,  $i = 1, 2, 3$ , οι απαντήσεις του διευθυντή υπαγορεύουν τις σχέσεις:

$$X \square \Psi, \text{ με } g(X) = (0, A, \Gamma) \text{ και } g(\Psi) = (80, \Gamma, \Gamma) \Rightarrow$$

$$u[g(X)] = u[g(\Psi)] \Rightarrow$$

$$p_1 u_1(0) + p_2 u_2(A) + p_3 u_3(\Gamma) = p_1 u_1(80) + p_2 u_2(\Gamma) + p_3 u_3(\Gamma) \Rightarrow$$

$$p_1 \times 0 + p_2 \times 1 + p_3 \times 0 = p_1 \times \frac{80}{200} + p_2 \times 0 + p_3 \times 0 \Rightarrow$$

$$p_2 = 0.4p_1$$

Επίσης,

$$X \square \Psi, \text{ με } g(X) = (0, \Gamma, A) \text{ και } g(\Psi) = (120, \Gamma, \Gamma) \Rightarrow$$

$$u[g(X)] = u[g(\Psi)] \Rightarrow$$

$$p_1 u_1(0) + p_2 u_2(\Gamma) + p_3 u_3(A) = p_1 u_1(120) + p_2 u_2(\Gamma) + p_3 u_3(\Gamma) \Rightarrow$$

$$p_1 \times 0 + p_2 \times 0 + p_3 \times 1 = p_1 \times \frac{120}{200} + p_2 \times 0 + p_3 \times 0 \Rightarrow$$

$$p_3 = 0.6p_1$$

Ο αναλυτής, καταλήγει στο γραμμικό σύστημα:

$$\begin{aligned} p_1 + p_2 + p_3 &= 1 \\ 0.4p_1 - p_2 &= 0 \\ 0.6p_1 - p_3 &= 0,4 \end{aligned}$$

του οποίου η μοναδική λύση είναι η:



$$p_1 = 0.5$$

$$p_2 = 0.2$$

$$p_3 = 0.3$$

Το μοντέλο αξιολόγησης των καταστημάτων διαμορφώνεται πλέον από τη συνάρτηση αξίας:

$$u(\mathbf{g}) = 0.5u_1(\mathbf{g}_1) + 0.2u_2(\mathbf{g}_2) + 0.3u_3(\mathbf{g}_3)$$

από το οποίο προκύπτει εύκολα η κατάταξη του πίνακα 3.3. Για παράδειγμα, για το κατάστημα Α έχουμε:

$$\begin{aligned} u[g(K_1)] &= 0.5u_1(40) + 0.2u_2(A) + 0.3u_3(B) \\ &= 0.5 \times \frac{40}{200} + 0.2 \times 1 + 0.3 \times 0.6 \\ &= 0.480 \end{aligned}$$

Κατάστημα	Ολική Αξία	Θέση κατάταξης	Πιθανή κατηγορία
<b>K8</b>	0.630	1	C1
<b>K2</b>	0.625	2	C1
<b>K3</b>	0.580	3	C2
<b>K4</b>	0.575	4	C2
<b>K1</b>	0.480	5	C3
<b>K7</b>	0.410	6	C3
<b>K6</b>	0.375	7	C3
<b>K5</b>	0.255	8	C3

Πίνακας 3.3: Κατάταξη καταστημάτων

Στη βάση της κατάταξης που προέκυψε, ο αναλυτής εισηγείται στον κατασκευαστή την κατηγοριοποίηση του πίνακα 3.3. Ειδικότερα, τα καταστήματα Κ8 και Κ2 θα μπορούσαν να υπογράψουν συμβόλαιο αντιπροσώπου για το νέο δίκτυο, τα καταστήματα Κ1, Κ5, Κ6, Κ7 θα πρέπει να σταματήσουν τη συνεργασία τους με το κατασκευαστή, ενώ για τα καταστήματα Κ3 και Κ4 θα πρέπει να υπάρξει περαιτέρω διερεύνηση του ρόλου τους, να δοθεί δηλαδή μία περίοδος χάριτος.

### 3.4 Εφαρμογή της μεθόδου UTADIS

Ο αναλυτής και εξωτερικός σύμβουλος της εταιρείας στρέφεται τώρα προς την εφαρμογή της μεθόδου UTADIS. **Στόχος** είναι να προσδιορίσει με έμμεσο τρόπο (επαγωγή) το μοντέλο απόφασης από ταξινομήσεις καταστημάτων αναφοράς. Οι κατηγορίες που ορίστηκαν ήταν οι εξής:

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΠΟΦΑΣΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ	
<b>Ø Κατηγορία (NAI):</b>	σε αυτή την κατηγορία ανήκουν τα καταστήματα με τα οποία ο αποφασίζων πιστεύει ότι θα πρέπει να συνεργαστεί
<b>Ø Κατηγορία (?):</b>	σε αυτή την κατηγορία ανήκουν τα καταστήματα για τα οποία ο αποφασίζων δεν μπορεί να αποφασίσει με σιγουριά αν θα πρέπει να συνεργαστεί ή όχι
<b>Ø Κατηγορία (OXI):</b>	σε αυτή την κατηγορία ανήκουν τα καταστήματα με τα οποία ο αποφασίζων είναι σίγουρος ότι δεν επιθυμεί να συνεργαστεί

Πίνακας 3.4: Κατηγορίες απόφασης ταξινόμησης

Ο αναλυτής του προβλήματος ζήτησε από τον αποφασίζοντα να ταξινομήσει στις προκαθορισμένες κατηγορίες του Πίνακα 3.4 ένα σύνολο από επτά υποθετικά καταστήματα αναφοράς. Οι αξιολογήσεις των καταστημάτων αναφοράς καθώς και οι απαντήσεις του κατασκευαστή δίνονται στον Πίνακα 3.5 που ακολουθεί:

Κατάστημα αναφοράς	Τζίρος (χιλ. €)	Κατάστημα	Μάνατζμεντ	Απόφαση Ταξινόμησης
A1	180	B	A	ΝΑΙ
A2	200	B	B	ΝΑΙ
A3	40	A	A	?
A4	80	A	A	ΝΑΙ
A5	100	B	Γ	?
A6	70	Γ	B	ΟΧΙ
A7	120	Γ	Γ	ΟΧΙ

Πίνακας 3.5: Πολυκριτήριες αξιολογήσεις και ταξινόμηση των 7 καταστημάτων

Σύμφωνα με τη μέθοδο UTADIS, υπολογίζονται με γραμμική παρεμβολή οι συντελεστές  $w_{ij}$  στις κλίμακες:

ü Τζίρος:  $[g_1^*, g_1^*] = [0, 50, 100, 150, 200]$

ü Κατάστημα:  $[g_2^*, g_2^*] = [\Gamma, B, A]$

ü Μάνατζμεντ:  $[g_3^*, g_3^*] = [\Gamma, B, A]$

Έτσι προκύπτει το αρχικό γραμμικό πρόγραμμα της UTADIS, το οποίο δίνεται στην Εικόνα 3.6.

```

LPsolve III - 5.5.0.5 - C:\Program Files\LPsolve IDE\examples\askin3.lp
File Edit Search Action View Options Help
Source Math Options Resol

1 /* Objective function */
2 min: s1 + s2 + s4 + s3 + s13 + s5 + s15 + s16 + s17 ;
3 /* ( C1      ) ( C2      ) ( C3      ) */
4
5 /* Variable bounds */
6 c1:  w11 + w12 + w13 + 0.6 w14 + w21 + w31 + w32 - u1 + s1 >= 0 ; /* A1 180 B A NAIS*/
7 c2:  w11 + w13 + w13 + w14 + w21 + w31 - u1 + s2 >= 0 ; /* A2 200 B B NAIS*/
8 c4:  w11 + 0.6 w12 + w21 + w22 + w31 + w32 - u1 + s4 >= 0 ; /* A4 80 A A NAIS*/
9
10 c6:  - w11 - 0.4 w12 - w31 + u2 + s16 >= 0.1 ; /* A6 70 Γ B OKS*/
11 c7:  - w11 - w12 - 0.2 w13 + u2 + s17 >= 0.1 ; /* A7 120 Γ Γ OKS*/
12
13 c3a: -0.8 w11 - w21 - w22 - w31 - w32 + u1 + s13 >= 0.1 ; /* A3 40 A A ?*/
14 c3b: 0.8 w11 + w21 + w22 + w31 + w32 - u2 + s3 >= 0.1 ;
15
16 c5a: - w11 - w12 - w21 + u1 + s15 >= 0.1 ; /* A5 100 B Γ ?*/
17 c5b: w11 + w12 + w21 - u2 + s5 >= 0.1 ;
18
19 c0: w11 + w12 + w13 + w14 + w21 + w22 + w31 + w32 = 1 ;
20
21 c10: u1 - u2 >= 0.11 ;

```

Εικόνα 3.6: Βασικό γραμμικό πρόγραμμα UTADIS

Μετά την επίλυση του αρχικού γραμμικού προγράμματος και εκείνων της ανάλυσης ευαισθησίας, υπολογίζεται η συνάρτηση αξίας του κατασκευαστή (τελευταία γραμμή του Πίνακα 3.7). Παρατηρώντας τις διαφορές των τιμών σε κάθε στήλη του πίνακα, το μοντέλο δεν έχει καλή ευαισθησία και δεν πρέπει να κερδίσει την εμπιστοσύνη του αναλυτή. Θα ήταν σκόπιμο να αξιολογηθούν και άλλα καταστήματα αναφοράς. Παρ' όλα αυτά ο αναλυτής προτιμά να συνεχίσει έτσι.

	w11	w12	w13	w14	w21	w22	w31	w32	u1	u2
[max]p1	0.5	0	0	0.2	0.2	0	0	0.09	0.8	0.6
[max]p2	0	0.16	0.1	0	0.56	0.16	0	0	0.83	0.63
[max]p3	0	0.346	0	0	0.2	0	0.2	0.24	0.75	0.44
<b>Μέση λύση</b>	<b>0.167</b>	<b>0.169</b>	<b>0.033</b>	<b>0.067</b>	<b>0.320</b>	<b>0.053</b>	<b>0.067</b>	<b>0.110</b>	<b>0.793</b>	<b>0.557</b>

Πίνακας 3.7: Προσθετική συνάρτηση αξίας και κατώφλια ταξινόμησης

Ολοκληρώνοντας τη μελέτη του προβλήματος διαπιστώνουμε ότι:

τα καταστήματα με ολική αξία μικρότερη του 0.557 ανήκουν στην κατηγορία (OXI), τα καταστήματα με αξία από 0.557 έως 0.793 ανήκουν στην κατηγορία (?), ενώ τα καταστήματα με αξία άνω του 0.793 κατατάσσονται στην κατηγορία (NAI).

Ο υπολογισμός την ολικής αξίας των καταστημάτων προς αξιολόγησης μας δίνει τα παρακάτω αποτελέσματα:

**Κατάστημα 1 è (?)**

$$u[g(K_1)] = 0.8w_{11} + 0w_{12} + 0w_{13} + 0w_{14} + 1w_{12} + 1w_{22} + 1w_{31} + 0w_{32} = 0.573$$

**Κατάστημα 2 è (OXI)**

$$u[g(K_2)] = 1w_{11} + 1w_{12} + 0.6w_{13} + 0w_{14} + 0w_{12} + 0w_{22} + 1w_{31} + 1w_{32} = 0.532$$

### Κατάστημα 3 è (?)

$$u[g(K_3)] = 1w_{11} + 0.6w_{12} + 0w_{13} + 0w_{14} + 1w_{12} + 0w_{22} + 1w_{31} + 1w_{32} = 0.765$$

### Κατάστημα 4 è (?)

$$u[g(K_4)] = 0.6w_{11} + 0w_{12} + 0w_{13} + 0w_{14} + 1w_{12} + 1w_{22} + 1w_{31} + 1w_{32} = 0.650$$

### Κατάστημα 5 è (OXI)

$$u[g(K_5)] = 1w_{11} + 0.4w_{12} + 0w_{13} + 0w_{14} + 1w_{12} + 0w_{22} + 0w_{31} + 0w_{32} = 0.554$$

### Κατάστημα 6 è (OXI)

$$u[g(K_6)] = 1w_{11} + 1w_{12} + 1w_{13} + 0w_{14} + 0w_{12} + 0w_{22} + 0w_{31} + 0w_{32} = 0.369$$

### Κατάστημα 7 è (?)

$$u[g(K_7)] = 1w_{11} + 0.2w_{12} + 0w_{13} + 0w_{14} + 1w_{12} + 0w_{22} + 1w_{31} + 0w_{32} = 0.587$$

### Κατάστημα 8 è (OXI)

$$u[g(K_8)] = 1w_{11} + 1w_{12} + 1w_{13} + 0.6w_{14} + 0w_{12} + 0w_{22} + 1w_{31} + 0w_{32} = 0.475$$

Ä Συγκεντρωτικά οι τρεις κατηγορίες απαρτίζονται λοιπόν από τα καταστήματα:

$$\ddot{u} \text{ (NAI)} = \emptyset$$

$$\ddot{u} \text{ (?) } = \{K1, K3, K4, K7\}$$

$$\ddot{u} \text{ (OXI)} = \{K2, K5, K6, K8\}$$

Είναι προφανές, σύμφωνα με τα παραπάνω, ότι κανένα κατάσταση αξιολόγησης δεν πληρεί τις κατάλληλες προϋποθέσεις του κατασκευαστή για να υπογράψει συμβόλαιο αντιπροσώπου. Η επίλυση του μοντέλου που αναπτύχθηκε με τη μέθοδο UTADIS ανατρέπει πλήρως τα αρχικά αποτελέσματα, σύμφωνα με τα οποία. Το μοναδικό κοινό σημείο είναι η κοινή ένταξη των καταστημάτων K3 και K\$ στην αμφιλεγόμενη κατηγορία (?). Για το λόγο αυτό ο αναλυτής θα πρέπει να επανέλθει στο μεθοδολογικό στάδιο της μοντελοποίησης της ολικής προτίμησης του αποφασίζοντα (Στάδιο 3, Ενότητα 3.2.3) και να προσπαθήσει να διορθώσει το μοντέλο που ανέπτυξε.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η διαδικασία λήψης αποφάσεων αποτελεί ένα πεδίο έρευνας, που άπτεται της καθημερινής ζωής. Οι αποφάσεις διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη ζωή και εξέλιξη όλων των οντοτήτων είτε πρόκειται για άτομα, είτε για επιχειρήσεις και οργανισμούς είτε ακόμα και για κράτη. Για το λόγο αυτό είναι πολύ σημαντική η ανάπτυξη μεθόδων λήψης αποφάσεων ώστε να οδηγούμαστε με ασφάλεια στη λήψη ορθολογικών αποφάσεων. Ιδιαίτερα όταν το πρόβλημα για το οποίο καλούμαστε να αποφασίσουμε περιγράφεται ως ένα πρόβλημα πολυκριτήριας ανάλυσης, η επιλογή της καταλληλότερης απόφασης γίνεται ακόμα δυσκολότερη.

Στην παρούσα εργασία, από την πληθώρα των μεθοδολογιών που προτείνονται για την αντιμετώπιση προβλημάτων πολυκριτήριας ανάλυσης αποφάσεων, έχει επιλεγεί να παρουσιαστεί και να μελετηθεί η Αναλυτική-Συνθετική Προσέγγιση. Η μέθοδος αυτή, συνιστά μία μέθοδο που χρησιμοποιείται ευρύτατα και οδηγεί στη βέλτιστη επίλυση ενός προβλήματος λήψης απόφασης, με τη βοήθεια ενός λογισμικού συστήματος υποστήριξης της απόφασης. Η Αναλυτική-Συνθετική Προσέγγιση σκοπεύει πρωτίστως στην κατασκευή ρεαλιστικών μοντέλων για τη λήψη μιας απόφασης. Ένα μοντέλο για να είναι ρεαλιστικό, είναι απαραίτητο να προσμετρά όλους τους παράγοντες (κριτήρια) που συμμετέχουν στη λήψη της απόφασης, είτε έχουν υλική είτε άυλη μορφή.

Τόσο η μέθοδος UTA, όσο και οι διάφορες παραλλαγές της έχουν χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο δόμησης των προτιμήσεων ενός αποφασίζοντα, (χρήστη) προκειμένου να δώσουν λύση σε προβλήματα πολυκριτήριων αποφάσεων, μέσα από μια σειρά αυτοματοποιημένων αναδράσεων που προκαλούνται από τυχόν αντιδράσεις του αποφασίζοντα. Για το λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί πολλά και διαφορετικά Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων καθώς και Λογισμικά Πακέτα βασισμένα στη μεθοδολογία της UTA.

Μελετώντας την Αναλυτική-Συνθετική Προσέγγιση είναι εμφανές ότι παρουσιάζει ομοιότητες τόσο με την Πολυκριτήρια Θεωρία Χρησιμότητας όσο και με τη Θεωρία Σχέσεων Υπεροχής καθώς χρησιμοποιεί συναρτήσεις χρησιμότητας για τη μοντελοποίηση και αναπαράσταση των προτιμήσεων του αποφασίζοντα, ώστε να γίνει η επιλογή, η κατάταξη ή η ταξινόμηση των διακριτών εναλλακτικών λύσεων. Η διαφορά τους έγκειται στο ότι η Πολυκριτήρια Θεωρία Χρησιμότητας και η Θεωρία Σχέσεων Υπεροχής δίνουν ιδιαίτερο βάθος στη μοντελοποίηση και αναπαράσταση του συστήματος αξιών και προτιμήσεων του αποφασίζοντα μέσω μιας προκαθορισμένης μαθηματική μορφής, ενώ η Αναλυτική-Συνθετική Προσέγγιση προσανατολίζεται στην ανάπτυξη ενός γενικού μεθοδολογικού πλαισίου, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση των αποφάσεων που λαμβάνει ο αποφασίζων, έτσι ώστε να καθοριστεί το κατάλληλο υπόδειγμα σύνθεσης των κριτηρίων το οποίο ανταποκρίνεται στο σύστημα αξιών και προτιμήσεων του αποφασίζοντα.

Η Αναλυτική-Συνθετική Προσέγγιση προσπαθεί να εντοπίσει τον τρόπο με τον οποίο λαμβάνονται οι αποφάσεις μέσω της ανάλυσης σχέσης μεταξύ των αποφάσεων και των επιδόσεων των εναλλακτικών δραστηριοτήτων στα κριτήρια αξιολόγησης. Έτσι οδηγούμαστε στον καθορισμό όλων των παραμέτρων του υποδείγματος σύνθεσης των κριτηρίων και το αναπτυσσόμενο υπόδειγμα αναπαράγει τις αποφάσεις του αποφασίζοντα με τον πλέον πιστό τρόπο. Στην Αναλυτική-Συνθετική Προσέγγιση η ανάλυση των προτιμήσεων του αποφασίζοντα γίνεται μέσα σε ένα περιορισμένο σύνολο εναλλακτικών ενεργειών, το σύνολο αναφοράς. Ο αποφασίζων εκφράζει τις συνολικές του προτιμήσεις για τις εναλλακτικές ενέργειες του συνόλου αναφοράς, ανάλογα με τη μορφή που πρέπει να έχει το αποτέλεσμα της αξιολόγησης ή καθορίζοντας μια ταξινόμηση σε προκαθορισμένες ομάδες. Στη συνέχεια χρησιμοποιούνται τεχνικές παλινδρόμησης, από όπου προκύπτει η συνάρτησης χρησιμότητας η οποία αναπαράγει τις αποφάσεις του αποφασίζοντα, όπως αυτές εκφράστηκαν στο σύνολο αναφοράς. Με τον τρόπο αυτό ανατίθεται ένα μέτρο αξίας σε κάθε εναλλακτική, έτσι ώστε όσο μεγαλύτερο είναι το μέτρο αξίας, τόσο καλύτερη είναι η εναλλακτική.

Ολοκληρώνοντας την παρούσα εργασία, αξίζει να σημειώσουμε ότι σίγουρα χρήζει περαιτέρω μελέτη τόσο η μεθοδολογία της UTA και των παραλλαγών / βελτιώσεών της όσο και η ανάπτυξη συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων και λογισμικών πακέτων βασισμένων στην UTA, αποτελούν βασικό εργαλείο πολυκριτήριας ανάλυσης παγκοσμίως, υλοποιώντας την Αναλυτική-Συνθετική Προσέγγιση.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Hillier F. and Lieberman G., *Introduction to Operations Research* (2001, 7th edition McGraw-Hill)
2. Siskos Y. and A. Spyridakos, Intelligent multicriteria decision support: Overview and perspectives (1999, *European Journal of Operational Research*, vol. 113, pp. 236-246)
3. Panayiotou N., Gayalis S., Domenicos Ch., Vassilikioti N., *An Application of Multicriteria Analysis for ERP Software Selection in a Greek Industrial Company* (2005, *Operational Research, An International Journal* , Vol. 5, No 3, September-December 2005)
4. Von Winterfeldt D. and Edwards W., *Evaluation of Complex stimuli using Multi-attribute utility procedures* (1973, Ann Arbor: Engineering psychology laboratory, University of Michigan)
5. Von Winterfeldt D. and Edwards W., *Decision Analysis and Behavioral Research* (1986 Cambridge University Press, New York)
6. Siskos Y., Grigoroudis E., and Matsatsinis N.F., *UTA Methods* (2005, J. Figueira, S. Greco, and M. Ehrgott, eds, *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*, Springer Verlag, Boston, Dordrecht, London, pp. 297-344)
7. Vincke P., *Multicriteria Decision-Aid* (1992 , John Wiley, New York)
8. T.L. Saaty, *An Exposition of the AHP in Reply to the Paper 'Remarks on the Analytic Hierarchy Process'* (1990, *Management Science*, Vol. 36, pp. 259-268)
9. Saaty T.L., *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the AHP* (1994, RWS Publications, Pittsburgh, PA, U.S.A)
10. Saaty T.L. and L.G. Vargas, *Decision Making with the Analytic Network Process: Economic, Political, Social and Technological Applications with*

- Benefits, Opportunities, Costs and Risk* (2006, Operations Research & Management Science Hardcover, Jun 19)
11. Saaty T.L., *The Analytic Hierarchy Process* (1980, McGraw Hill International, New York, NY, U.S.A.)
  12. Roy B., The outranking approach and the foundation of ELECTRE methods (1991, Theory and Decision, Vol. 31, pp. 49-73)
  13. Roy B., *Multicriteria Methodology for Decision Aiding* (1996, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London)
  14. Korhonen P., *The Multiobjective Linear Programming Decision Support System VIG and its Applications* (1990, Readings in Multiple Criteria Decision Aid, pp. 471-491, ed. C. Bana e Costa, Springer Verlag, Berlin)
  15. Βλαχάβας Ι., Τσουμάκας Γ., *Θεωρία και Συστήματα Λήψης Αποφάσεων* (2009, Τμήμα Πληροφορικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης)
  16. Bouyssou, D., Marchant, T., Pirlot, M., Perny, P., Tsoukias, A. and Vique, P., *Evaluation and decision models-a critical perspective*. (2000, Kluwer Academic Publishers)
  17. Ευαγγέλου Χ. και Καρακαπιλίδης Ν., *Πολυκριτήρια Λήψη Αποφάσεων Ταξινόμησης σε Προβλήματα Στρατηγικού Μάνατζμεντ: Μια Μελέτη Περίπτωσης* (2004, Ε. Γρηγορούδης, Μ. Δούμπος, Κ. Ζοπουνίδης και Ν.Φ. Ματσατσίνης eds. Πολυκριτήρια Ανάλυση Αποφάσεων: Μεθοδολογικές Προσεγγίσεις και Εφαρμογές, Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών, Αθήνα, σελ. 77-103)
  18. Ευαγγέλου Χ., *Ολοκλήρωση συστημάτων υποστήριξης ομαδικών αποφάσεων και διαχείρισης οργανωσιακής γνώσης* (2005, Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή, Πανεπιστήμιο Πατρών)
  19. Triantaphyllou E., Shu B., Nieto Sanchez S., and Ray T., *Multi-Criteria Decision Making: An Operations Research Approach* (1998, Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering -J.G. Webster, Ed.-, John Wiley & Sons, New York, NY, Vol. 15, pp. 175-186)
  20. Δούμπος Μ. και Ζοπουνίδης Κ., *Πολυκριτήριες τεχνικές ταξινόμησης: Θεωρία και εφαρμογές* (2001, Κλειδάριθμος, Αθήνα)
  21. Doumpos M. and Zopounidis, *Multicriteria decision aid classification methods* (2002, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht)

22. Jacquet-Lagrange E. and Siskos Y., *Methodes de decision multicritere* (1983, Hommes et Techniques, Paris)
23. Γρηγορούδης Ε., Δούμπος Μ, Ζοπουνίδης Κ. και Ματσατσίνης Ν., *Πολυκριτήρια ανάλυση αποφάσεων: Μεθοδολογικές προσεγγίσεις και εφαρμογές* (2004, Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών, Αθήνα)
24. Ζοπουνίδης Κ., *Ανάλυση και διαχείριση χρηματοοικονομικών κινδύνων: Πολυκριτήριες προσεγγίσεις* (1998, Κλειδάριθμος, Αθήνα)
25. Ματσατσίνης Ν. και Ζοπουνίδης Κ., *Συστήματα Αποφάσεων με πολλαπλά κριτήρια* (2007, Κλειδάριθμος, Αθήνα)
26. Σίσκος Ι, *Γραμμικός Προγραμματισμός* (1998, Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών, Αθήνα)
27. Σίσκος Ι., *Μοντέλα Αποφάσεων*, (2008, Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών, Αθήνα)

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

## Περιεχόμενα Εικόνων-Πινάκων

Σχήμα 1.1: Μεθοδολογικό πλαίσιο Επιχειρησιακής Έρευνας.....	13
Σχήμα 1.2: Τα στάδια της Πολυκριτήριας Ανάλυσης Αποφάσεων.....	25
Σχήμα 1.3: Μεθοδολογικό πλαίσιο Πολυκριτήριας Ανάλυσης Αποφάσεων .....	26
Σχήμα 1.4: Η συμβολή των θεωρητικών ρευμάτων της πολυκριτήριας ανάλυσης στην επίλυση συνεχών και διακριτών προβλημάτων λήψης αποφάσεων .....	34
Σχήμα 1.5: Ταξινόμηση μεθόδων Πολυκριτήριας Ανάλυσης Αποφάσεων.....	36
Σχήμα 1.6: Οι διαφορετικές τάσεις στην Πολυκριτήρια Ανάλυση Αποφάσεων.....	48
Σχήμα 2.1: Πολυκριτήρια θεωρία χρησιμότητας-Θεωρία σχέσεων υπεροχής .	52
Σχήμα 2.2: Διαδικασία Αναλυτικής-Συνθετικής Προσέγγισης .....	53
Σχήμα 2.3: Παραδοσιακή και Αναλυτική-Συνθετική Προσέγγιση .....	56
Σχήμα 2.4: Αρχής της Αναλυτικής-Συνθετικής Προσέγγισης.....	58
Σχήμα 2.5: Περιθώρια Συνάρτηση Αξίας.....	64
Σχήμα 2.6: Ανάλυση Ευαισθησίας στη μέθοδο UTA.....	68
Σχήμα 2.7: Καμπύλη ποιοτικής παλινδρόμησης .....	69
Σχήμα 2.8: Διάγραμμα ROC.....	79
Σχήμα 2.9: Η διαδικασία Cross Validation.....	83
Σχήμα 2.10: Η διαδικασία Bootstrap .....	85
Πίνακας 3.1: Αξιολόγηση καταστημάτων Αττικής .....	91

Σχήμα 3.2: Περιθώριες συναρτήσεις αξίας .....	95
Πίνακας 3.3: Κατάταξη καταστημάτων .....	97
Πίνακας 3.4: Κατηγορίες απόφασης ταξινόμησης .....	99
Πίνακας 3.5: Πολυκριτήριες αξιολογήσεις και ταξινόμηση των 7 καταστημάτων .....	100
Εικόνα 3.6: Βασικό γραμμικό πρόγραμμα UTADIS.....	101
Πίνακας 3.7: Προσθετική συνάρτηση αξίας και κατώφλια ταξινόμησης .....	102