

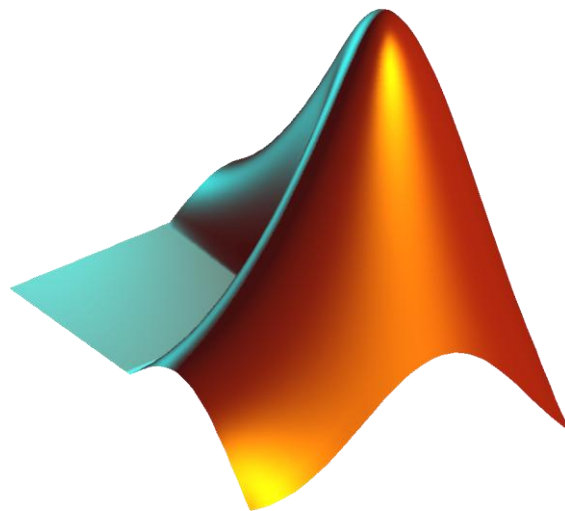
**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**



**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ  
ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΠΛΗΣ ΚΑΙ ΑΣΑΦΟΥΣ  
ΙΕΡΑΡΧΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΣΤΟΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ  
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ  
MATLAB**



**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΣΤΑΥΡΟΥΛΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

## Περιεχόμενα

<b>Κεφάλαιο 1 - Περι Θεωρίας Αποφάσεων</b>
1.1 Εισαγωγή
1.2 Ορισμός της Λήψης Αποφάσεων
1.3 Διαδικασία Λήψης Αποφάσεων
1.3.1 Χρήση Διαδικασίας Λήψης Αποφάσεων
1.3.2 Εμπόδια κατά τη Λήψη Αποφάσεων
1.4 Συγκέντρωση - Αποκέντρωση στη Λήψη Αποφάσεων
1.4.1 Συγκέντρωση (centralization)
1.4.2 Αποκέντρωση (decentralization)
<b>Κεφάλαιο 2 – Μοντέλα Λήψης Αποφάσεων</b>
2.1 Το Λογικό Μοντέλο (Rational Model)
2.2 Το Μοντέλο της Λογικής εντός Ορίων (Bounded Rationality Model)
2.3 Το Επαυξημένο Μοντέλο (Incrementalist view)

2.4 Το Οργανωτικό Μοντέλο (organizational procedures view)
2.5 Το Πολιτικό Μοντέλο (political view)
2.6 Το Μοντέλο του Κάδου Σκουπιδιών (Garbage can model)
2.7 Το Μοντέλο των Διακεκριμένων Διαφορών (The individual differences perspective)
2.8 Το Φυσικό Μοντέλο Λήψης Αποφάσεων (naturalistic Decision-making)
2.9 Το Μοντέλο Πολυεπίπεδης Προσέγγισης
<b>Κεφάλαιο 3 - Τεχνικές Λήψης Αποφάσεων</b>
3.1 Τεχνικές Λήψης Αποφάσεων Ομάδας
3.2 Ανεξάρτητες Τεχνικές Λήψης Αποφάσεων
<b>Κεφάλαιο 4 - Λήψη αποφάσεων και Αβεβαιότητα</b>
4.1 Η Έννοια της Αβεβαιότητας
4.2 Συμβατικές Θεωρίες Λήψης Αποφάσεων
4.3 Μη Συμβατικές Θεωρίες Λήψης Αποφάσεων
<b>Κεφάλαιο 5 - Μεθοδολογία</b>
5.1 Εισαγωγικές Έννοιες στην Πολυκριτήρια Ανάλυση και Ασαφή Λογική
5.1.2 Ασαφής Λογική
5.2 Βιομηχανικές κατασκευές και Μέθοδοι Λήψης Αποφάσεων
5.3 Χρησιμοποιούμενες Μέθοδοι Λήψης Απόφασης
5.4 Θεωρία Γράφων και Μήτρα προσέγγισης ως μέθοδος λήψης απόφασης
5.5 Προσανατολισμένος γράφος για τον χαρακτηρισμό της Μηχανοποίησης
5.6 Δείκτης Μηχανοποίησης
5.7 Πολυ-Χαρακτηριστικές Μέθοδοι Λήψης Απόφασης (MADM)

5.7.1 Μέθοδος Πρόσθεσης των Απλών βαρών (Simple Additive Weighting Method - SAW)
5.7.3 Μέθοδος Αναλυτικής Ιεράρχησης Διεργασιών (Analytic Hierarchy Process - AHP)
5.7.4 Αναθεωρημένη Μέθοδος Αναλυτικής Ιεράρχησης Διεργασιών (Revised Analytic Hierarchy Process - RAHP)
5.7.5 Πολλαπλασιαστική Μέθοδος Αναλυτικής Ιεράρχησης Διεργασιών (Muultiplicative Analytic Hierarchy Process - MAHP)

5.7.6 Τεχνικές για την Επιλογή Τάξης με ομοιότητα προς την Ιδανική Λύση (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution - TOPSIS)
5.7.6.1 Η μέθοδος της Εντροπίας (Entropy method)
5.7.6.2 Η μέθοδος της Τυπικής Απόκλισης (Standard Deviation method)
5.7.6.3 Μεθοδος Ιεραρχικής Ανάλυσης Αποφάσεων (AHP method)
5.7.7 Τροποποιημένη Μέθοδος TOPSIS (Modified TOPSIS Method)
5.7.8 Συμβιβαστική Μέθοδος Κατάταξης (Compromise Ranking Method)

## **Κεφάλαιο 6 – Υπολογισμοί**

6.1 Εισαγωγή
6.2 Κώδικας και Υπολογισμοί
6.2. Περιγραφή των εσωτερικών λειτουργιών και των διεργασιών που υλοποιούνται μέσω των αρχείων Matlab στα πλαίσια οργάνωσης των υπολογισμών του μοντέλου
6.3 Επιλεκτική ένταξη/αποκλεισμός των συναρτήσεων βάρους κριτηρίων/υποκριτηρίων για την εξαγωγή εναλλακτικών συμπερασμάτων
6.4. Διαδικασίες Μασκαρίσματος (Masking) Μεταβλητών (Κριτηρίων-Υποκριτηρίων)
6.5 Συμπεράσματα από την εφαρμογή της ασαφούς μεθοδολογίας

<b>Κεφάλαιο 7 – Παράρτημα</b>
Κριτήρια
<b>Βιβλιογραφία</b>

## Κεφάλαιο 1 - Περι Θεωρίας Αποφάσεων

---

### 1.1 Εισαγωγή

Η λήψη αποφάσεων (decision making) αποτελεί μια διανοητική διεργασία η οποία προηγείται της δράσης του ατόμου ή της οργάνωσης. Στο πλαίσιο των κοινωνικών οργανώσεων η λήψη αποφάσεων προσλαμβάνει και πολιτική διάσταση, με την έννοια των συγκρουόμενων συμφερόντων όπου κάθε άτομο αξιολογεί ανάλογα με το σύστημα αξιών, τις ανάγκες, τις ικανότητες, τις γνώσεις και άλλα χαρακτηριστικά της προσωπικότητας. Επιπλέον, η συμβολή της τεχνολογίας είναι ιδιαίτερα σημαντική καθώς προσδιορίζει τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά τη τεχνική διάσταση της λήψης των αποφάσεων στις οργανώσεις.

Η θεωρητική μελέτη της λήψης αποφάσεων διακρίνει μια σωστή απόφαση από ένα καλό αποτέλεσμα. Μπορεί δηλαδή κάποιος να προσπαθεί να αποσπάσει πιθανότητες του αποτελέσματος, να χρησιμοποιήσει αξίες, να εκτιμήσει εναλλακτικές επιλογές και παρόλο αυτά να καταλήξει σε μια επιλογή που οδηγεί σε ένα ανεπιθύμητο αποτέλεσμα.

Η σύγχρονη θεωρία λήψης αποφάσεων έχει αναπτυχθεί από τα μέσα του 20<sup>ου</sup> αιώνα, κάνοντας χρήση συνεισφορών από αρκετά επιστημονικά πεδία. Αν και η θεωρία λήψης αποφάσεων δεν αποτελεί ένα ξεκάθαρο επιστημονικό τομέα, η έρευνα στην θεωρία αποφάσεων διεξάγεται κυρίως από ερευνητές που προσδιορίζονται ως

οικονομικοί αναλυτές, στατιστικοί αναλυτές, ψυχολόγοι, πολιτικοί και κοινωνικοί επιστήμονες ή φιλόσοφοι. Υπάρχει μία σαφής διαφοροποίηση αυτών των εργασιών με βάση τις αρχές από τις οποίες προέρχονται. Ένας πολιτικός επιστήμονας είναι πιθανόν να μελετήσει κανόνες ψηφοφορίας και άλλες τέτοιου τύπου κατευθύνσεις της συλλογικής διεργασίας για την λήψη αποφάσεων. Έτσι, ως διαδικασία λήψης αποφάσεων καλείται η ενσυνείδητη διαδικασία που καταλήγει στην επιλογή μίας γνώμης, άποψης ή αλληλουχίας ενεργειών ανάμεσα σε αρκετές άλλες εναλλακτικές. Κάθε διαδικασία λήψης απόφασης παράγει στο τέλος της μία εκλογή (choice), η οποία μπορεί είτε να καταλήγει είτε όχι σε περαιτέρω παραγωγή άλλων ενεργειών και αποφάσεων. Λήψη απόφασης είναι η μελέτη της ταυτοποίησης και εκλογής εναλλακτικών, βασισμένες σε αξίες και αναφορές του υπεύθυνου που λαμβάνει την απόφαση. Η διαδικασία λήψης απόφασης είναι μία από τις δεσπόζουσες δραστηριότητες της διοίκησης, και αποτελεί ένα τεράστιο τμήμα οποιασδήποτε διεργασίας που καταλήγει σε πραγματικές υλοποιήσεις.

Όσον αφορά τη διαφορά ανάμεσα στις κανονιστικές και περιγραφικές θεωρίες είναι θέμα μίας πολύ απλής αρχής. Ως Κανονιστική θεωρία λήψης αποφάσεων ορίζουμε μία θεωρία που ασχολείται με το πως θα πρέπει να παίρνονται οι αποφάσεις, ενώ μια περιγραφική θεωρία δίνει έμφαση περισσότερο στο πως τελικά παίρνονται οι αποφάσεις σε πρακτικό επίπεδο.

Έτσι, η διαδικασία λήψης αποφάσεων στα πλαίσια λειτουργίας μίας εταιρείας, ενός οργανισμού ή σχηματισμού που αποτελείται από φυσικά πρόσωπα με κοινούς στόχους και επιδιώξεις, οι οποίες αφορούν στην γενικότερη λειτουργία ή στην επιτυχή οργάνωση και εκτέλεση έργων (projects), συνήθως υποστηρίζεται με την πρόσληψη εξωτερικών συνεργατών (εμπειρογνομόνων) οι οποίοι έχουν συμβουλευτικό ρόλο, είτε με την ανάπτυξη και χρήση εσωτερικών μηχανισμών και διεργασιών που συνιστούν ένα σύστημα λήψης απόφασης (Decision Support System - DSS). Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό αυτών των διεργασιών, είναι ότι ο τρόπος με τον οποίο λαμβάνονται οι αποφάσεις είναι καθολικά κατανοητός. Για το λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί πάρα πολλά μοντέλα για τη λήψη αποφάσεων. Όσοι έχουν εμπειρία στην ποσοτικοποιημένη ανάλυση σίγουρα έχουν εκτεθεί στην αναγκαιότητα λήψης αποφάσεων με μοντέλα όπως του Simon (1977). Το συγκεκριμένο μοντέλο ενσωματώνει ευφυείς μηχανισμούς (intelligence), σχεδιασμό (design), επιλογή (choice) και επανεξέταση (review). Η ανωτέρω διεργασία συνήθως συμπληρώνεται

με τον υπολογισμό της παραμέτρου Υποκειμενικού Προσδοκητού Δείκτη (Subjective Expected Utility - SEU), ο οποίος αποτελεί ένα μέτρο εκτίμησης και βαθμονόμησης των εναλλακτικών, με στόχο να επιλεγεί η καλύτερη δυνατή.

Επίσης, έχει παρατηρηθεί ότι τα αποτελέσματα των εργασιών εκτίμησης λήψης αποφάσεων, που συνήθως αποτελούν τμήματα ενός συστήματος λήψης αποφάσεων δεν καταφέρνουν να καταλήξουν στα επίπεδα λήψης αποφάσεων απόλυτα στον βαθμό που αναμενόταν και για τον οποίο είχαν σχεδιαστεί. Αυτό συνεπάγεται μία ασάφεια στον τρόπο εκτίμησης για την λήψη απόφασης και στον πρακτικό τρόπο που τελικά επιλέγεται για την λήψη αυτής της απόφασης. Η έρευνα και η προκύπτουσα βιβλιογραφία στους μηχανισμούς λήψης απόφασης, έχει ως στόχο να ελέγξει τις υποθέσεις που αποτελούν την βάση για την λήψη απόφασης καθώς και τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για τον σκοπό αυτό, έχει βασιστεί και αναλυθεί με βάση τις μεθόδους που χρησιμοποιούν οι υπεύθυνοι για την λήψη απόφασης (managers) στην πράξη για τον σκοπό αυτό.

## **1.2 Ορισμός της Λήψης Αποφάσεων**

Η λήψη αποφάσεων συνίσταται στην:

- α) Εξεύρεση ευκαιριών για τη λήψη μιας απόφασης (διαφορά υφιστάμενης– επιθυμητής κατάστασης)
- β) Εξεύρεση πιθανών τρόπων δράσης, εναλλακτικών και
- γ) Επιλογή μεταξύ τρόπων δράσης (απόφαση).

Η λήψη αποφάσεων στις οργανώσεις προσδιορίζεται ως μια διαδικασία αναγνώρισης και επίλυσης προβλημάτων. Η διαδικασία αυτή διακρίνεται από δύο βασικά στάδια:

1. Αναγνώριση του προβλήματος όπου συγκεντρώνονται πληροφορίες για τις συνθήκες του περιβάλλοντος και του οργανισμού και έπειτα γίνεται έλεγχος προκειμένου να προσδιοριστεί κατά πόσο η επίδοση είναι ικανοποιητική και να διαγνωστεί η αιτία των αδυναμιών.
2. Επίλυση του προβλήματος όπου εκτιμώνται και αξιολογούνται εναλλακτικοί τρόποι δράσης και έπειτα μια εξ αυτών επιλέγεται και εφαρμόζεται.

Οι οργανωσιακές αποφάσεις ποικίλουν λόγω πολυπλοκότητας και μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε προγραμματισμένες και μη προγραμματισμένες αποφάσεις:

- Προγραμματισμένες αποφάσεις

Επαναλαμβανόμενες και καλά καθορισμένες αποφάσεις που είναι σωστά δομημένες με ξεκάθαρα κριτήρια της επίδοσης, διαθέσιμη κατάλληλη πληροφορία, εύκολα προσδιοριζόμενες εναλλακτικές και διαθέτουν μια σχετική βεβαιότητα επιτυχίας στην επιλεγόμενη εναλλακτική.

- Μη προγραμματισμένες αποφάσεις

Καινοφανείς και ελάχιστα προσδιορισμένες αποφάσεις χωρίς σχετική διαδικασία επίλυσης του προβλήματος. Οι μη προγραμματισμένες αποφάσεις λαμβάνονται όταν η οργάνωση δεν έχει αντιμετωπίσει αντίστοιχο πρόβλημα στο παρελθόν και δεν γνωρίζει πώς να ανταποκριθεί σε αυτό. Δεν υπάρχουν ξεκάθαρα κριτήρια απόφασης και οι εναλλακτικές είναι ασαφείς. Επιπλέον υπάρχει αβεβαιότητα στο κατά πόσο η προτεινόμενη εναλλακτική θα φέρει και τη λύση του προβλήματος. Πράγμα που σημαίνει ότι πολλές εναλλακτικές δύνανται να αναπτυχθούν για τις μη προγραμματισμένες αποφάσεις και κάθε εναλλακτική είναι «κατάλληλα προσαρμοσμένη» στο πρόβλημα.1.3  
Διαδικασία Λήψης Αποφάσεων

Οι περισσότεροι συγγραφείς σε ότι αφορά τον αριθμό και την ονομασία των σταδίων της διαδικασίας λήψης αποφάσεων συγκλίνουν στην άποψη του Mintzberg που διαχωρίζει τη διαδικασία λήψης αποφάσεων σε τρία βασικά στάδια.

Α) Φάση προσδιορισμού: Η φάση αυτή ξεκινάει με την αναγνώριση δηλαδή ένα ή περισσότερα διοικητικά στελέχη διαπιστώνουν το πρόβλημα και πρέπει να λάβουν μια απόφαση που συνήθως παρακινείται από την ύπαρξη κάποιου προβλήματος ή ευκαιρίας. Η ύπαρξη ενός προβλήματος μπορεί να προέρχεται επίσης από τις αλλαγές του εξωτερικού περιβάλλοντος ή από την διαπίστωση ότι η εσωτερική επίδοση είναι κατώτερη από τα καθιερωμένα πρότυπα.

Το επόμενο στάδιο της φάσης προσδιορισμού είναι η διαπίστωση ή διάγνωση. Στο σημείο αυτό συγκεντρώνονται οι περισσότερες πληροφορίες για τον προσδιορισμό της κατάστασης του προβλήματος. Η διαπίστωση μπορεί να είναι συστηματική ή



άτυπη, κρίνοντας από τη σοβαρότητα του προβλήματος. Σε βαρυσήμαντα προβλήματα με πίεση χρόνου, το στάδιο της διαπίστωσης επιβάλλεται να μην είναι εκτεταμένο και η ανταπόκριση σε αυτό θα πρέπει να είναι άμεση. Σε προβλήματα ήπιας δυσκολίας χρησιμοποιείται συνήθως πιο συστηματικός χειρισμός για διάγνωση.

**Β) Φάση ανάπτυξης:** Σε αυτή τη φάση διαμορφώνεται η λύση για το πρόβλημα που προσδιορίστηκε στην προηγούμενη φάση του προσδιορισμού. Η ανάπτυξη της λύσης λαμβάνει δυο κατευθύνσεις:

- Τις διαδικασίες έρευνας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην αναζήτηση εναλλακτικών λύσεων του οργανισμού. Για να διεξαχθεί η έρευνα όλα τα μέλη της οργάνωσης μπορεί να ανακαλέσουν τη μνήμη τους, να συζητήσουν με άλλα διοικητικά στελέχη ή να εξετάσουν τις τυπικές διαδικασίες του οργανισμού.
- Αυτή η κατεύθυνση της ανάπτυξης αφορά το σχεδιασμό της προσαρμοσμένης λύσης. Αυτό συμβαίνει όταν το πρόβλημα που ανακύπτει είναι νέο και συνεπώς η προηγούμενη εμπειρία δεν έχει καμία αξία. Ο Mintzberg ισχυρίστηκε ότι σε αυτές τις περιπτώσεις οι διαμορφωτές των αποφάσεων-κλειδιών έχουν μια αβεβαιότητα περί ιδανικής λύσης. Σταδιακά, μέσα από μια διαδικασία προσπάθειας και λαθών διαμορφώνεται και η εναλλακτική λύση. Επομένως η ανάπτυξη μιας λύσης αποτελεί μια αυξητική διαδικασία που η ανεύρεσή της γίνεται βήμα προς βήμα.

**γ) Φάση επιλογής:** Στη φάση αυτή γίνεται και η επιλογή της λύσης. Η φάση επιλογής δεν αφορά μόνο την ξεκάθαρη επιλογή μεταξύ των εναλλακτικών. Μεταξύ των εναλλακτικών λύσεων η επιλογή της μιας αφορά και την εκτίμηση του κατά πόσο αυτή είναι εφικτή. Η εκτίμηση και η επιλογή μπορούν να επιτευχθούν με δυο τρόπους. Η κριτική επιλογή χρησιμοποιείται όταν μια τελική επιλογή συμπίπτει με αυτή του ατόμου που λαμβάνει την απόφαση και η επιλογή εμπεριέχει κρίση βασισμένη στην εμπειρία. Στην ανάλυση οι εναλλακτικές επιλογές εκτιμώνται σε πιο συστηματική βάση όπως με τη βοήθεια τεχνικών της επιστήμης του management. Η παρατήρηση του Mintzberg είναι πως οι περισσότερες αποφάσεις δεν περιλαμβάνουν συστηματική ανάλυση ή εκτίμηση των εναλλακτικών. Η διαπραγματευτική επιλογή συμβαίνει όταν η επιλογή περιλαμβάνει μια ομάδα ατόμων που συνδράμουν για την

απόφαση. Κάθε άτομο που συμμετέχει στην επιλογή μπορεί να έχει και διαφορετική άποψη για το αποτέλεσμα κι αυτό μπορεί να δημιουργήσει συγκρούσεις. Η συζήτηση και η διαπραγμάτευση συμβαίνει μέχρι να ληφθεί κάποια απόφαση και να γίνει αποδεκτή από την οργάνωση. Στη συνέχεια αναλαμβάνει η εξουσιοδότηση το ρόλο της με την έννοια ότι η απόφαση περνά στα επίσημα στάδια της ιεραρχίας που είναι υπεύθυνα για αυτή. Η εξουσιοδότηση είναι τις περισσότερες φορές θέμα ρουτίνας καθώς παρατηρείται η εμπειρία και η γνώση των κατώτερων διοικητικών στελεχών που αναγνώρισαν το πρόβλημα και βρήκαν τη λύση να περισσεύουν. Αυτό έχει και σαν αποτέλεσμα αρκετές από τις αποφάσεις να απορρίπτονται λόγω της μη πρόβλεψης κάποιων επιπτώσεων από τα κατώτερα διοικητικά στελέχη.

Δυναμικοί παράγοντες: Μερικές φορές παρατηρείται ότι οι οργανωσιακές αποφάσεις δεν ακολουθούν πάντα μια εύρυθμη κίνηση προς τα εμπρός, από το στάδιο της αναγνώρισης δηλαδή στο στάδιο της εξουσιοδότησης. Μικρότερης σημασίας προβλήματα μπορεί να ανακύψουν που να οδηγήσουν πίσω, στο προηγούμενο στάδιο. Αυτές είναι οι διακοπές των αποφάσεων. Αν μια λύση εκτιμηθεί ως ανεπιθύμητη ή αναποτελεσματική τότε η οργάνωση μπορεί να αναγκαστεί να επιστρέψει στο αρχικό στάδιο της διαδικασίας για να εκτιμηθεί αν το πρόβλημα χρήζει αξίας προς επίλυση. Ο μηχανισμός αυτός του ελέγχου–ανατροφοδότησης (feedback) μπορεί να προκληθεί λόγω προβλημάτων συγχρονισμού, πολιτικών, διαφωνιών μεταξύ των διοικητικών στελεχών ή λόγω εμφάνισης κάποιας νέας εναλλακτικής επιλογής. Επιπλέον λόγω της μακροχρόνιας διαδικασίας της λήψης των αποφάσεων οι συνθήκες και οι καταστάσεις πολλές φορές μεταβάλλονται ή αλλάζουν. Επομένως, η λήψη αποφάσεων αποτελεί μια δυναμική διαδικασία που ίσως απαιτεί αρκετούς κύκλους ελέγχου-ανατροφοδότησης ώσπου να λυθεί κάποιο πρόβλημα.

### **1.3.1 Χρήση Διαδικασίας Λήψης Αποφάσεων**

Η χρήση και σπουδαιότητα της διαδικασίας της λήψης αποφάσεων από τα διοικητικά στελέχη εξαρτάται από τρεις βασικούς παράγοντες:

- Σπουδαιότητα της απόφασης.
- Επείγοντα χαρακτήρα.
- Συνθήκες απόφασης.

Η αποτελεσματικότητα των αποφάσεων μιας επιχείρησης είναι συνάρτηση τριών παραγόντων καθένας από τους οποίους επηρεάζεται από τη διαδικασία λήψης αποφάσεων που ακολουθείται. Οι παράγοντες αυτοί είναι:

- Η ποιότητα ή λογική της απόφασης.
- Η αποδοχή ή η δέσμευση των υφισταμένων για εκτέλεση της απόφασης με αποτελεσματικότητα.
- Ο χρόνος που απαιτείται για τη λήψη μιας απόφασης.

### **1.3.2 Εμπόδια κατά τη Λήψη Αποφάσεων**

Κατά την διαδικασία της λήψης αποφάσεων υπάρχουν αρκετά εμπόδια που περιορίζουν την αξιοποίηση των δυνατοτήτων του ατόμου. Η αντιμετώπιση αυτών των εμποδίων απαιτεί κυρίως τη συνειδητοποίηση της ύπαρξής τους και την εξάλειψή τους με την κατάλληλη άσκηση, αξιοποίηση του μυαλού και με τη βοήθεια κανόνων και τεχνικών δημιουργικότητας. Στη συνέχεια αναφέρονται μερικοί από τους σημαντικότερους παράγοντες που δυσκολεύουν τη διαδικασία της λήψης αποφάσεων και αποτελούν:

- Φόβος  
Ο Ferris (1998) ισχυρίστηκε ότι τα άτομα έχουν δώσει ελάχιστη προσοχή στην προσωπική φοβία και στην αρνητική επίδραση που μπορεί να έχει αυτή στην ηγετική συμπεριφορά στο πλαίσιο των επιχειρήσεων και κατά τη διαδικασία της λήψης αποφάσεων.
- Μονοδιάστατη σκέψη  
Πολλοί άνθρωποι έχουν συνηθίσει να σκέφτονται με έναν συγκεκριμένο τρόπο και να αντιλαμβάνονται τα πράγματα μονοδιάστατα, άλλοτε με εικόνες, άλλοτε με αριθμούς, με έννοιες κ.λπ. Αυτός ο τρόπος συλλογισμού και ανάλυσης των καταστάσεων ή συνθηκών αποτελεί σημαντικό εμπόδιο στη διαδικασία λήψης των αποφάσεων που απαιτεί συλλογική σκέψη και σφαιρική εικόνα των πραγμάτων.
- Στερεότυπα  
Αναφέρονται στις δεδομένες αντιλήψεις, εικόνες, πιστεύω, ιδέες, παραδοχές στο μυαλό του ανθρώπου και προσδιορίζουν ή φυλακίζουν τη σκέψη του. Τα στερεότυπα μπορεί να θεωρηθούν ως έτοιμες λύσεις στην περίπτωση της

λήψης αποφάσεων, αλλά στην ουσία περιορίζουν τη δημιουργικότητα, τη φαντασία και την πρωτοτυπία της σκέψης

- Γνώση

Σημαντικός παράγοντας που δυσκολεύει τη διαδικασία της λήψης αποφάσεων είναι η έλλειψη κατάλληλων πληροφοριών και γνώσης. Όταν οι εναλλακτικές επιλογές είναι εξίσου ελκυστικές και δεν υπάρχει σαφής εικόνα των πιθανών αποτελεσμάτων της καθεμιάς επικρατεί σύγχυση κι αναποφασιστικότητα. Επιπλέον λανθασμένες ή κακές αποφάσεις συνήθως λαμβάνονται όταν είναι βασισμένες στα άμεσα αποτελέσματα τα οποία απέχουν πολύ από το μέλλον (Loewenstein, 1992; Roelofsma, 1996).

- Έλλειψη δημιουργικότητας

Αναφέρεται στην έννοια της πρωτοτυπίας και της καινοτομίας. Πολλές φορές η δημιουργικότητα αντιτάσσεται στην έννοια της ομοιομορφίας και του κομπορμισμού και ορίζεται ως η παραγωγή πρωτότυπων ιδεών, η διαφορετική οπτική γωνία με την οποία βλέπει κανείς τα πράγματα. Κύριος στόχος της δημιουργικής σκέψης είναι να οδηγήσει το άτομο μακριά από συμβατικές ιδέες και διαδικασίες, να αφυπνίσει την περιέργειά του, την φαντασία του και να υποβοηθήσει την παραγωγή πολλαπλών εναλλακτικών λύσεων και ιδεών.

## **1.4 Συγκέντρωση - Αποκέντρωση στη Λήψη Αποφάσεων**

Τα τελευταία χρόνια πολλές επιχειρήσεις των ΗΠΑ έχουν υιοθετήσει καινοτόμες πρακτικές στην εργασία συμπεριλαμβανομένου και της συχνά μεγαλύτερης αποκέντρωσης (decentralization) στη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Σε μια έρευνα σε ιδρύματα του ιδιωτικού τομέα που απασχολούνται 50 ή και περισσότεροι εργαζόμενοι, περίπου το 45% των υπαλλήλων που σχετίζονταν άμεσα με την παραγωγή είχαν ουσιαστική συμμετοχή όσον αφορά τη μέθοδο εκτέλεσης της εργασίας τους (Osterman, 1994). Ένα ακραίο παράδειγμα μπορεί να είναι το πολυκατάστημα Nordstrom το οποίο απευθύνεται στους απασχολούμενους του με μια μόνο εντολή: «χρησιμοποίησε την κρίση σου».

Το δίλημμα για συγκέντρωση (centralization) ή για αποκέντρωση (decentralization) εξουσίας στη διαδικασία λήψης αποφάσεων έχει απασχολήσει πολύ καιρό τώρα τη βιβλιογραφία που σχετίζεται με το management. Μεγαλύτερη έμφαση δίνεται στα

δύο αντικρουόμενα αποτελέσματα της αποκέντρωσης ή μεταβίβασης καθηκόντων (delegation) στη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Από την μια πλευρά η αποκέντρωση βοηθά στην καλύτερη διαχείριση πληροφοριών από τα χαμηλότερα ιεραρχικά επίπεδα και από την άλλη πλευρά εντείνει την απώλεια ελέγχου από τα ανώτερα διοικητικά στελέχη.

#### **1.4.1 Συγκέντρωση (centralization)**

Συγκέντρωση σε μια οργάνωση σημαίνει ότι η εξουσία είναι συγκεντρωμένη στα ανώτερα ιεραρχικά επίπεδα και πως η επιλογή του έργου ή της επένδυσης γίνεται από το ανώτερο διοικητικό στέλεχος, χωρίς να εκτιμάται η γνώμη των απασχολούμενων.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της συγκέντρωσης εξουσίας είναι τα ακόλουθα:

1<sup>ο</sup> Διευκολύνει το συντονισμό των αποφάσεων και των ενεργειών της οργάνωσης και επιτυγχάνει την ομοιομορφία των πολιτικών και συμπεριφορών, αφού αυτές καθορίζονται από ένα ενιαίο κέντρο.

2<sup>ο</sup> Επιτρέπει την εξισορρόπηση των διαφορών και αντιθέσεων μεταξύ τμημάτων ή μελών της οργάνωσης.

3<sup>ο</sup> Τα ανώτερα διοικητικά στελέχη έχουν μια σφαιρική θεώρηση της οργάνωσης και του περιβάλλοντός της που τους επιτρέπει να λαμβάνουν στρατηγικές ή λειτουργικές αποφάσεις με συνοχή. Επιπλέον τα ανώτερα διοικητικά στελέχη συνήθως διαθέτουν σημαντικές εμπειρίες, δεξιότητες και γνώσεις έναντι των άλλων στελεχών, πραγματικά χρήσιμα για τη λήψη των αποφάσεων.

4<sup>ο</sup> Διευκολύνει την επίτευξη των οικονομικών κλίμακας σε επίπεδο ειδικών και σε επίπεδο πόρων με την αποφυγή των επαναλήψεων.

5<sup>ο</sup> Σε καταστάσεις κρίσης που απαιτείται ισχυρή ηγεσία και άμεση αντίσταση της οργάνωσης σε απρόσμενες καταστάσεις η συγκέντρωση εξουσίας είναι πιο αποτελεσματική από την αποκέντρωση αφού επιτρέπει ταχύτερη λήψη αποφάσεων και αποτελεσματικότερο συντονισμό.

Τα κυριότερα μειονεκτήματα της συγκέντρωσης εξουσίας αποτελούν τα εξής:

1<sup>ο</sup> Χαρακτηρίζει αυταρχική κι αυστηρή τη διοίκηση.

2<sup>ov</sup> Ακολουθείται από υπέρμετρη επιβάρυνση εξουσιών.

3<sup>ov</sup> Περιορισμός πρωτοβουλιών και έλλειψη δημιουργικότητας των μεσαίων, κατώτερων και κατώτατων διοικητικών θέσεων και απουσία δυνατότητας ανάπτυξης και εκδήλωσης των ικανοτήτων τους.

4<sup>ov</sup> Η γραφειοκρατία αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα μειονεκτήματα της συγκέντρωσης εξουσίας.

### **1.4.2 Αποκέντρωση (decentralization)**

Ο βαθμός αποκέντρωσης εξουσίας εκτιμάται ποιοτικά με τα παρακάτω κριτήρια:

- Αριθμός των αποφάσεων που λαμβάνονται από τα χαμηλότερα ιεραρχικά επίπεδα.
- Σπουδαιότητα των αποφάσεων που λαμβάνονται στα χαμηλότερα ιεραρχικά επίπεδα.
- Έλεγχος των αποφάσεων που λαμβάνονται στα χαμηλότερα ιεραρχικά επίπεδα.

Όσο περισσότερες σε αριθμό και σε βαθμό σημαντικότητας αποφάσεις λαμβάνονται από τα στελέχη ή τους εργαζόμενους που βρίσκονται προς τη βάση της διοικητικής πυραμίδας τόσο πιο αποκεντρωμένη χαρακτηρίζεται η εξουσία. Δηλαδή στην αποκέντρωση η εξουσία κατανέμεται στα χαμηλότερα ιεραρχικά επίπεδα κι ο έλεγχος είναι πιο χαλαρός. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα που διακρίνονται στην αποκέντρωση εξουσίας είναι τα ακόλουθα:

1<sup>ov</sup> Καθώς αυξάνεται ο διαθέσιμος χρόνος των ανώτατων διοικητικών στελεχών, τους δίνεται η δυνατότητα να ασχοληθούν με σημαντικές αποφάσεις ή ενέργειες που αφορούν την ανάπτυξη της επιχείρησης ή του οργανισμού και να παίζουν τον ηγετικό τους ρόλο.

2<sup>ov</sup> Η αύξηση της ελευθερίας πρωτοβουλιών που παρατηρείται στα χαμηλότερα ιεραρχικά επίπεδα δίνει τη δυνατότητα στα στελέχη και στους εργαζόμενους να αποφασίζουν σχετικά με την εργασία τους, γεγονός που τους παρακινεί για υψηλότερη απόδοση και αφοσίωση στην οργάνωση.

3<sup>ον</sup> Όταν οι αποφάσεις λαμβάνονται από τους ανθρώπους που προορίζονται και να τις υλοποιήσουν, τότε αυξάνεται η υπευθυνότητά τους και η δέσμευσή τους ως προς την αποτελεσματική υλοποίηση αυτών.

4<sup>ον</sup> Η συμμετοχή των στελεχών και των εργαζομένων του κάθε χώρου της οργάνωσης στη διαδικασία της λήψης αποφάσεων που τους αφορούν βελτιώνει την ποιότητά τους. Τα ανώτερα στελέχη λόγω της απόστασής τους από το χώρο συνήθως δεν γνωρίζουν τα ιδιαίτερα προβλήματα και εναλλακτικές λύσεις.

5<sup>ον</sup> Η αποκέντρωση συμβάλλει ουσιαστικά στη βελτίωση της ευελιξίας της οργάνωσης αφού μπορούν να ληφθούν άμεσα εκεί που υπάρχει ανάγκη, χωρίς την αναφορά και την αναμονή εγκρίσεων από την ανώτατη διοίκηση.

6<sup>ον</sup> Η αποκέντρωση βοηθά ουσιαστικά στην ανάπτυξη ικανών στελεχών, αφού η λήψη αποφάσεων εκτός των άλλων αποτελεί μια διαδικασία μάθησης, εμπειριών και άσκησης.

Τα μειονεκτήματα της αποκέντρωσης εξουσίας αποτελούν ουσιαστικά τα πλεονεκτήματα της συγκέντρωσης εξουσίας που προαναφέρθηκαν.

Στην συνέχεια θα παρουσιαστούν ποικίλα θεωρητικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται στη λήψη αποφάσεων καθώς και πρακτικοί κανόνες. Τα μοντέλα συγκρίνονται στην κατεύθυνση του κατά πόσον συμπεριλαμβάνουν πρακτικές και υλοποιήσιμες γραμμές όπως αυτές που συναντώνται στην πράξη. Με αυτόν τον τρόπο προσέγγισης αποκτάται πρόσβαση στους μηχανισμούς λήψης αποφάσεων τόσο από πλευράς των συστημάτων όσο και από πλευράς των ειδικών. Ένας άλλος τομέας όπου η παρουσίαση των συστημάτων και τεχνικών αποφάσεων επικεντρώνεται, είναι η χρήση της τεχνολογίας καθώς και των απαιτούμενων συμπληρωματικών εργαλείων που απαιτούνται για την συγκρότηση ενός τέτοιου συστήματος. Επίσης, οι ακόλουθες μεθοδολογίες λήψης απόφασης χρησιμοποιούνται ως τεχνικές βάσης και ανάλυσης για τη δημιουργία και λειτουργία συστημάτων λήψης αποφάσεων.

## Κεφάλαιο 2 – Μοντέλα Λήψης Αποφάσεων

---

Στην υπάρχουσα βιβλιογραφία ένας μεγάλος αριθμός απόψεων, γνώμών και κατευθύνσεων μπορούν να ευρεθούν σχετικά με τις διαδικασίες λήψης απόφασης. Η παρακάτω κατηγοριοποίηση των απόψεων και κατευθύνσεων βασίζεται στις θεωρήσεις των Keen και Scott Morton (1978), Huber (1981) και των Das και Teng (1999). Η κατευθυντήρια οργάνωση από τους 2 τελευταίους συνιστά από μόνη της μία μέτα-κατηγοριοποίηση (meta-classification). Οι εν λόγω δύο αυτές κατηγορίες αναφέρονται στο μοντέλο Φυσικής Λήψης Απόφασης (naturalistic decision-making) και στην Πολυεπίπεδη προσέγγιση λήψης απόφασης (multiple perspective approach), οι οποίες ανήκουν στις πλέον πρόσφατες μεθοδολογίες.

### 2.1 Το Λογικό Μοντέλο (Rational Model)

Η λήψη απόφασης που βασίζεται στο λογικό μοντέλο, προϋποθέτει την λογική ως βάση και πλήρη ενημέρωση όπως περιγράφεται από τις πιο πρόσφατες οικονομικές θεωρίες ανάλυσης του περασμένου αιώνα. Η διαδικασία λήψης αποφάσεων που βασίζεται στο λογικό μοντέλο συνίσταται από ένα αριθμό καθορισμένων βημάτων, όπως αυτά περιγράφονται από τον Simon (1977):

- Ευφυΐα: Εύρεση της κατάλληλης χρονικής ευκαιρίας για την λήψη της απόφασης.



- Σχεδιασμός: Δημιουργεί την ανάπτυξη και την ανάλυση πιθανών αλληλουχιών ενεργειών
- Εκλογή: Επιλογή μίας καθορισμένης αλληλουχίας ενεργειών από τις ήδη διαθέσιμες.
- Επανεξέταση: Έλεγχος των επιλογών.

Στα κλασσικά ή τέλεια μοντέλα λογικής για την λήψη απόφασης, οι μέθοδοι ανάλυσης αποφάσεων χρησιμοποιούνται για να προσδώσουν αριθμητικές τιμές ή ποιοτικούς ενδείκτες σε κάθε μία από τις εναλλακτικές κατά την φάση επιλογής απόφασης. Η εναλλακτική με την υψηλότερη ποιότητα, ή την μέγιστη τιμή Υποκειμενικού Προσδοκητού Δείκτη (SEU), επιλέγεται. Όταν χρησιμοποιείται από τους υπεύθυνους για την λήψη απόφασης (managers), το λογικό μοντέλο για την λήψη απόφασης, υποτίθεται ότι οι αυτοί:

- Γνωρίζουν όλες τις πιθανές εναλλακτικές
- Γνωρίζουν τις συνέπειες από την εφαρμογή οποιασδήποτε από τις εναλλακτικές
- Έχουν ένα καλά οργανωμένο ιεραρχικό σύνολο για την διαβάθμιση αυτών των συνεπειών
- Έχουν την απαιτούμενη υπολογιστική – εκτιμητική ικανότητα να συγκρίνουν τις συνέπειες και να αποφασίσουν για την προτιμότερη

## **2.2 Το Μοντέλο της Λογικής εντός Ορίων (Bounded Rationality Model)**

Η ικανοποιητική και κατευθυνόμενη διεργασία λήψης απόφασης, βασίζεται αρχικά στην εργασία του Simon (1979), περί λογικής εκτίμησης εντός ορίων, αποδεχόμενος ότι ο λογικά σκεπτόμενος υπεύθυνος για την λήψη απόφασης δεν έχει πάντοτε την πλήρη πληροφόρηση καθώς επίσης ότι κατά την φάση λήψης μιας απόφασης δεν απαιτούνται πάντοτε οι απόλυτα βέλτιστες επιλογές. Σύμφωνα με τον Simon: «η ανθρώπινη λογική συμπεριφορά, σχηματίζεται από ψαλίδια, των οποίων οι δύο λεπίδες είναι οι δομές των περιβαλλόντων ανάληψης καθηκόντων και οι ικανότητες ποσοτικής εκτίμησης από αυτόν που χρειάζεται να δράσει». Τα ανωτέρω «ψαλίδια» διαιρούν τον χώρο του προβλήματος σε μία πολύ μικρότερη περιοχή η οποία είναι

εφικτό να διερευνηθεί. Η λογική εντός των ορίων, χαρακτηρίζεται από τις δραστηριότητες της έρευνας και της ικανοποίησης. Κάτω από αυτό το πρίσμα οι εναλλακτικές διερευνώνται σειριακά. Εάν μία επιλογή ικανοποιεί τόσο εσωτερικά όσο και εξωτερικά και ελαχιστοποιεί καθορισμένα κριτήρια, θεωρείται ως «ικανοποιούσα» (satisficing) και αυτό είναι επαρκές για να τερματισθεί η έρευνα. Η διαδικασία του ελέγχου μπορεί να διευκολυνθεί, με ταυτοποίηση και εντοπισμό των «κανονικοτήτων» του περιβάλλοντος του αντικειμένου.

Αν και ο Simon, έχει αναφερθεί αρκετά κολακευτικά για το μοντέλο αυτό, αυτό δεν ξεφεύγει από την χρησιμοποίηση του προηγούμενου κριτηρίου της λογικής συμπεριφοράς. Για τον λόγο αυτό, ένας σημαντικός αριθμός από ερευνητές, όπως ο Huber (1981) και οι Das και Teng (1999), δεν διαφοροποιούν αυτό το μοντέλο από το προηγούμενο (της πλήρους λογικής εξέτασης), στις διεργασίες κατηγοριοποίησης λήψης αποφάσεων.

### **2.3 Το Επαυξημένο Μοντέλο (Incrementalist view)**

Η επαύξουσα λογική θεώρηση, συμπεριλαμβάνει μία διεργασία με βήμα προς βήμα, κλιμακούμενες ενέργειες διατηρώντας μία ανοικτή στρατηγική για διορθώσεις. Υπό το πρίσμα του Lindblom (1959), αποσυζευγμένες επαύξουσες αλλαγές μπορούν να επιτευχθούν, εργαζόμενοι υπό το καθεστώς της υπάρχουσας κατάστασης, στοχεύοντας περισσότερο στο να επιλυθούν τα τρέχοντα προβλήματα που εμφανίζονται παρά στο να επιτευχθούν μακροπρόθεσμοι στόχοι. Άλλοι ερευνητές περιγράφουν την θεώρηση αυτή ως «κομφούζιο με ένα σκοπό».

### **2.4 Το Οργανωτικό Μοντέλο (organizational procedures view)**

Η θεώρηση υπό το πρίσμα των οργανωτικών διεργασιών, αναζητεί την σύλληψη των αποφάσεων, ως αποτέλεσμα σπάντα λειτουργικών διεργασιών που ενεργοποιούνται από τις οργανωτικές υπομονάδες. Ο March (1988) συνεισέφερε σημαντικά προς αυτήν την κατεύθυνση. Ο Huber κατονομάζει αυτήν την προσέγγιση ως το «μοντέλο προγράμματος», δείχνοντας ότι οι αποφάσεις είναι προγραμματισμένες από πριν, στις υπάρχουσες διεργασίες, καθώς επίσης και στον συνηθισμένο (ρουτίνα - καθημερινότητα) τρόπο σκέψης των ανθρώπων που εμπλέκονται με αυτές. Οι Das και Teng (1999), αναφέρονται σε αυτήν την προσέγγιση ως το «μοντέλο αποφυγής», του

οποίου οι θεωρήσεις στις συστηματικές διεργασίες για την λήψη αποφάσεων, στοχεύουν στην διατήρηση του «status quo», επί του κόστους που απαιτείται για την επίτευξη της πρωτοτυπίας και των νέου τύπου λύσεων - προσεγγίσεων. Από την άλλη πλευρά οι Krabuanrat και Phelps (1998), θεωρούν αυτήν την θεώρηση θετικά, ως το μοντέλο κωδικοποίησης της οργανωτικής εμπειρίας.

## **2.5 Το Πολιτικό Μοντέλο (political view)**

Η πολιτική θεώρηση διαβλέπει την διαδικασία λήψης αποφάσεων, σαν μία περιστασιακή ευκαιρία, κυρίως οδηγούμενη από τις ατζέντες ενεργειών των συμμετεχόντων παρά από πλήρως λογικές και αιτιοκρατικές διεργασίες. Οι άνθρωποι διαφέρουν στην οργάνωση των στόχων, των αξιών και της ικανότητας συσχέτισης της πληροφορίας. Η διεργασία λήψης αποφάσεων, δεν τερματίζεται ποτέ, αλλά παραμένει μία διασυνεχής μάχη ανάμεσα στις διαφορετικές παρατάξεις. Αφότου μία ομάδα έχει κερδίσει ένα «γύρο μαχών», οι άλλες ομάδες μπορούν να επαναμορφοποιηθούν και επανασυντεθούν και να γίνουν πιο αποφασισμένες για να κερδίσουν τον επόμενο γύρο της «μάχης». Η επιρροή και η ισχύς κρατούνται κατά ένα σκόπιμο τρόπο για περαιτέρω ίδιον όφελος. Οι στόχοι των συμμαχιών, καθορίζονται περισσότερο από ίδιον ενδιαφέρον, παρά από το συνολικό κοινό καλό για την οργάνωση. Ο Pfeffer (1981), είναι ένας από τους σημαντικότερους εκφραστές με κύρια συνεισφορά στο μοντέλο της πολιτικής για την λήψη αποφάσεων.

## **2.6 Το Μοντέλο του Κάδου Σκουπιδιών (Garbage can model)**

Η θεώρηση του μοντέλου του «κάδου σκουπιδιών», περιγράφει την διαδικασία λήψης αποφάσεων, ως μία «οργανωτική αναρχία», και βασίζεται στις εργασίες των Cohen, March και Olsen (1972). Όπως και το μοντέλο της πολιτικής θεώρησης προϋποθέτει ένα πλουραλιστικό περιβάλλον, με πολλά ενεργά μέλη, στόχους και απόψεις. Το μοντέλο του κάδου σκουπιδιών δίνει έμφαση στην αποσπασματική και χαοτική φύση των συστημάτων απόφασης σε οργανωτικές δομές, περισσότερο από τους σκόπιμους χειρισμούς που συνάγονται από την πολιτική θεώρηση. Κατά το μοντέλο του κάδου σκουπιδιών, «μία απόφαση είναι ένα αποτέλεσμα ή μετάφραση αρκετών σχετικώς ανεξάρτητων πηγών και τάσεων, εντός ενός οργανισμού». Οι πηγές των προβλημάτων, (που ψάχνουν λύσεις και ευκαιρίες για να ξεδιπλωθούν), και οι συμμετέχοντες (των οποίων η προσοχή επικεντρώνεται και αποσπάται), συναντούν το ένα το άλλο, σε μία ευκαιρία επιλογής, η οποία συμβολοποιείται ως ένας «κάδος

σκουπιδών». Όταν λαμβάνεται μία απόφαση, ο κάδος σκουπιδιών αφαιρείται. Αυτό μπορεί να συμβεί χωρίς να έχουμε επιλυμένα όλα ή μερικά από τα σχετιζόμενα προβλήματα εντός του κάδου σκουπιδιών. Δεδομένου ότι οι συμμετέχοντες είναι αυτοί που παράγουν τα «σκουπίδια», δηλαδή τα προβλήματα και τις λύσεις, η απόφαση που λαμβάνεται είναι πλήρως εξαρτημένη, στην σύνθεση της ομάδας των υλικών και των συμμετεχόντων εντός του κάδου.

## **2.7 Το Μοντέλο των Διακεκριμένων Διαφορών (The individual differences perspective)**

Η θεώρηση των διακεκριμένων διαφορών επικεντρώνει την προσοχή της, στην συμπεριφορά επίλυσης των προβλημάτων, εξατομικευμένα του υπεύθυνου που λαμβάνει τις αποφάσεις, καθώς αυτές επηρεάζονται από το στυλ του τελευταίου, το υπόβαθρο και την προσωπικότητα του. Προσπαθεί να εξηγήσει πως αυτοί που λαμβάνουν τις αποφάσεις, μπορούν να χρησιμοποιούν διαφορετικές μεθόδους, ή καταλήγουν σε διαφορετικά συμπεράσματα εξαιτίας διαφοράς των προσωπικοτήτων τους. Το εν λόγω μοντέλο, εκτός από τους Keen και Scott Morton (1978), με την θεώρηση της ιδιαιτερότητας του κάθε υπεύθυνου, δεν έχει λάβει μεγάλης προσοχής. Αυτό οφείλεται εξαιτίας της συνολικής έμφασης οπουδήποτε, στην οργάνωση ή στην ομάδα παρά στο ξεχωριστό του χαρακτήρα που επιδρά στην λήψη αποφάσεων.

## **2.8 Το Φυσικό Μοντέλο Λήψης Αποφάσεων (naturalistic Decision-making)**

Το φυσικό μοντέλο λήψης αποφάσεων ασχολείται με την έρευνα και την κατανόηση της λήψης αποφάσεων σε ένα φυσικό πρίσμα. Η εμπειρική ίδρυση φυσικών μοντέλων απόφασης, το διαφοροποιεί από άλλα περιγραφικά μοντέλα, όπως είναι οι οργανωτικές θεωρήσεις, το μοντέλο του κάδου σκουπιδιών και το μοντέλο πολιτικής θεώρησης. Μία πρόσφατη συνεισφορά σε αυτό το πεδίο της φυσικής λήψης αποφάσεως, είναι αυτή του Klein (1998), με το μοντέλο Πρωταρχικής Αναγνώρισης Απόφασης (Recognition Primed Decision - RPD). Ο Klein παρατήρησε ή/και ανέλυσε, πάνω από 600 αποφάσεις, που έγιναν από ανθρώπους σε καταστάσεις επιλογών «ζωής ή θανάτου», όπως πυροσβεστών, νοσοκόμων ή στρατιωτών.

Κεντρική θέση στο μοντέλο RPD, είναι η ικανότητα αυτού που παίρνει την απόφαση να αναγνωρίσει την ομοιότητα της κατάστασης σε σχέση με προηγούμενες ανάλογες εμπειρίες. Μέρος αυτού που αναγνωρίζεται είναι η κατάλληλη θεώρηση των στόχων,

που σχετίζονται με αυτήν την κατάσταση, καθώς επίσης και η εξαγωγή συμπερασμάτων για το τι αναμένεται. Αυτοί που λαμβάνουν τις αποφάσεις επίσης αναγνωρίζουν την αλληλουχία των ενεργειών, που κατά πάσα πιθανότητα θα οδηγήσουν σε επιτυχή έκβαση. Η αλληλουχία των ενεργειών αξιολογείται από τα μέσα μίας ψυχικής προσομοίωσης, όπου ο υπεύθυνος για την λήψη της απόφασης, δέχεται οπτικοποιημένα, την εφαρμογή και την εκτέλεση της λήψης απόφασης του, βλέποντας τα άμεσα αποτελέσματα της. Το σενάριο αεμπουτίζεται μέχρις ότου ο υπεύθυνος για την λήψη της απόφασης να εξοικειωθεί με αυτήν προτού να υλοποιηθεί. Η διάρκεια αυτής της αλληλουχίας ενεργειών μπορεί να εκταθεί σε μερικά δευτερόλεπτα χρονικού διαστήματος (χρονική αμεσότητα ενεργειών). Εάν μία κατάσταση δεν είναι αναγνωρίσιμη ως τυπική, περισσότερες ενέργειες θα πρέπει να εφαρμοσθούν έτσι ώστε να αναγνωρισθεί η κατάσταση, και να συλλεχθεί επιπρόσθετη πληροφορία. Σύμφωνα με τον Klein, ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που οδηγεί σε καλές αποφάσεις είναι η εμπειρία. Το μοντέλο RPD υποστηρίζει την ιδέα ότι η εμπειρία θα αυξήσει την ικανότητα του υπεύθυνου για την λήψη μιας απόφασης να αναγνωρίσει μία κατάσταση.

## **2.9 Το Μοντέλο Πολυεπίπεδης Προσέγγισης (The Multiple Perspective approach)**

Οι Mitroff και Linstone (1993), προτείνουν μία πολυεπίπεδη προσέγγιση, για την λήψη αποφάσεων, σαν μία απόπειρα να σαρώσει όλες τις πιθανές προσεγγίσεις σε ένα πρόβλημα. Βασίζεται στα μοντέλα των Singer και Churchman (1971), για μη φραγμένα συστήματα λήψης αποφάσεων, τα οποία προϋποθέτουν ότι οποιοδήποτε πρόβλημα αποτελείται από έναν αριθμό άλλων υπό-προβλημάτων.

Η θεώρηση πολυεπίπεδων προσεγγίσεων, κατηγοριοποιεί τα θέματα είτε ως τεχνικά είτε ως οργανωτικά είτε ως ανεξάρτητα. Αναλυτικά μοντέλα τα οποία συλλέγουν δεδομένα, στην βάση κατανόησης του συστήματος, θα καταπέσουν υπό την τεχνική θεώρηση. Διαφορετικοί αναλυτές ή μοντέλα θα παραχθούν με διαφορετικές τεχνικές θεωρήσεις, ακόμα και αν αυτά τα μοντέλα, ισχυρίζονται ότι μπορούν να παρουσιάσουν μία αντικειμενική ή λογική εικόνα της κατάστασης. Όμως ενθαρρύνεται η υλοποίηση περισσότερων του ενός συστημάτων από τεχνικής πλευράς. Για να καλυφθούν οι οργανωτικές καθώς και οι ανεξάρτητες θεωρήσεις, όσον το δυνατόν περισσότεροι από τους ενεργούς συμμετέχοντες καθώς και οι ρόλοι

θα πρέπει να διερευνηθούν. Η συλλογή δεδομένων θα πρέπει να ακολουθήσει την προσέγγιση σάρωσης, και ειδικότερα τα οργανωτικά και τεχνικά δεδομένα, χρειάζεται να ανακτηθούν σε διαφορετικές φάσεις και από όσον το δυνατόν περισσότερες πηγές αυτό είναι δυνατόν.

Πέρα από τις τεχνικές, οργανωτικές και ανεξάρτητες θεωρήσεις, οι Mitroff και Linstone (1993), συμβουλεύουν ότι θέματα ηθικής και αισθητικής θα πρέπει να τεθούν υπόψη. Ακόμα και στην περίπτωση που μία απόφαση βγάζει νόημα από πλευράς τεχνικής θεώρησης, ή ένα γκρουπ οργανωτικών θεμάτων την δικαιολογεί, η απόφαση ίσως να εμπίπτει εκτός ορίων ηθικής κατά την λήψη της.

## Κεφάλαιο 3 - Τεχνικές Λήψης Αποφάσεων

---

Οι τεχνικές λήψης αποφάσεων, μπορούν να διαχωριστούν σε δύο ευρείες κατηγορίες:

- Τεχνικές Λήψης Αποφάσεων Ομάδας (Group Decision\_making)
- Ανεξάρτητες Τεχνικές Λήψης Απόφασης (Indiviuual Decision-making techniques)

### 3.1 Τεχνικές Λήψης Αποφάσεων Ομάδας

Οι συγκεκριμένες τεχνικές μπορούν να υποκατηγοριοποιηθούν ως ακολούθως:

- Κοινές – συλλογικές λήψεις αποφάσεων (consensus decision-making). Οι συγκεκριμένες τεχνικές προσπαθούν να αποφύγουν καταστάσεις «νικητών» και «ηττημένων». Αυτό σημαίνει ότι η απόφαση δεν επιβάλλεται από την πλειοψηφία στην μειοψηφία, αλλά απαιτεί από κοινού αποδοχή μιας συλλογικής απόφασης. Εάν η μειοψηφία κατά τον τρόπο αυτό δεν επικυρώσει την απόφαση της πλειοψηφίας καμμία απόφαση δεν επιβάλλεται ενώ το όλο θέμα οδηγείται σε διαβούλευση για την επίτευξη κοινών στόχων.
- Μέθοδοι απόφασης βασισμένες σε ψηφοφορία (Voting-based methods).
  - Ψηφοφορία επιλογών (Range voting) επιτρέπει σε κάθε μέλος να επιλέξει μία ή περισσότερες από τις διαθέσιμες απόψεις. Η επιλογή

που συγκεντρώνει τον υψηλότερο μέσο όρο εκλέγεται προς υιοθέτηση. Η συγκεκριμένη μέθοδος έχει αποδειχθεί πειραματικά ότι έχει τον χαμηλότερο Bayesian δείκτη αποτυχίας (απόρριψης απόφασης) ανάμεσα στις κοινές μεθόδους ψηφοφορίας, ακόμα και όταν οι ψηφοφόροι είναι στρατηγικά πολωμένοι.

- Ψηφοφορία Πλειοψηφίας (Majority) απαιτεί υποστήριξη από περισσότερο από 50% των μελών μιας ομάδας. Όμως αυτό καταλήγει στην υιοθέτηση πολιτικών απόφασης που δεν έχουν την καθολική θέρμη επιβολής εξαιτίας της μειονότητας των ψηφοφόρων που επέλεξαν διαφορετικές απόψεις.
- Πλουραλισμός (Plurality), όπου το μεγαλύτερο block σε μια ομάδα αποφασίζει, ακόμα και αν αυτό τελικά υπολείπεται σε μέγεθος της πλειοψηφίας.
- Η μέθοδος Delphi είναι μια τεχνική δομημένης επικοινωνίας μεταξύ ομάδων, η οποία αρχικά αναπτύχθηκε για συνεργατικές προβλέψεις αλλά έχει επίσης χρησιμοποιηθεί για την δημιουργία λήψης αποφάσεων.
- Τελειοκρατία (Dotmocracy) είναι μία μέθοδος διευκόλυνσης η οποία βασίζεται στην χρήση ειδικών δομών οι οποίες ονομάζονται σχήματα τελειοκρατίας και επιτρέπουν σε μεγάλης κλίμακας ομάδες να συλλέγουν ιδέες και να καταλήγουν σε συμφωνίες σε ένα αναρίθμητο πλήθος ιδεών.

### **3.2 Ανεξάρτητες Τεχνικές Λήψης Αποφάσεων**

Οι συγκεκριμένες τεχνικές μπορούν να υποκατηγοριοποιηθούν ως ακολούθως:

- Υπέρ και Κατά (Pros and cons): Αναφορά των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων σε κάθε επιλογή απόφασης. Η μέθοδος έγινε ιδιαίτερα δημοφιλής από τον Πλάτωνα και τον Βενιαμίν Φραγκλίνο. Η μέθοδος έρχεται να προβάλλει την αντίθεση του κόστους και του όφελους όλων των εναλλακτικών. Η μέθοδος καλείται και Μέθοδος της Λογικής Απόφασης (Rational decision-making).
- Απλή προτεραιότητα (Simple prioritization): εκλέγουμε την εναλλακτική με την υψηλότερη πιθανότητα – σταθμισμένη ένδειξη για κάθε εναλλακτική.
- Ικανοποιούσα (Satisficing): εξετάζοντας τις εναλλακτικές μέχρι να βρεθεί η πρώτη η οποία να ικανοποιεί τα κριτήρια που έχουν τεθεί.

- Εξάλειψη ανά κατεύθυνση (Elimination by aspects): εκλέγοντας ανάμεσα σε εναλλακτικές χρησιμοποιώντας μαθηματική ψυχολογία (Mathematical psychology). Η τεχνική εισήχθη από τον Amos Tversky (1972). Αποτελεί μία μετατρεπόμενη τεχνική εξάλειψης η οποία συμπεριλαμβάνει σύγκριση όλων των διαθέσιμων εναλλακτικών ανά κατεύθυνση. Ο υπεύθυνος για την λήψη απόφασης επιλέγει μία κατεύθυνση. Οποιαδήποτε εναλλακτική η οποία δεν συμπεριλαμβάνει αυτήν την κατεύθυνση εξαλείφεται. Ο υπεύθυνος λήψης απόφασης επαναλαμβάνει αυτήν την διαδικασία για όσες κατευθύνσεις χρειάζεται μέχρι που στο τέλος να απομείνει μόνο μία εναλλακτική.
- Δέντρα Προτιμήσεων (Preference trees): Το 1979, ο Tversky και ο Shmuel Sattach επεξέτειναν την μέθοδο εξάλειψης ανά κατεύθυνση εισάγοντας ένα πιο ταξινομημένο και δομημένο τρόπο για σύγκριση των εναλλακτικών παρουσιάζοντας τις κατευθύνσεις σε μία αποφασισμένη και σειριακή δομή. Αυτό κατέληξε σε ένα πιο ιεραρχικό σύστημα το οποίο ιεραρχεί τις κατευθύνσεις από τις πιο γενικές στις πιο ειδικές.
- Αποδοχή ενός ειδικού; Αυτό αποτελεί ένα απλό μοντέλο που ακολουθεί εντολές από τον ειδικό. (just following orders)
- Τυχειότητα (Flipism): Εκλογές οι οποίες βασίζονται στην τυχειότητα από το στρίψιμο ενός κέρματος στην επιλογή ενός φύλλου από μία τράπουλα ή άλλες τυχαίες μεθόδους επιλογής.
- Διαλογιστικές: οι οποίες μπορούν να συμπεριλαμβάνουν από αυτοσυγκέντρωση, προσευχή, προβλεπτικές διαδικασίες για το μέλλον, κλπ.
- Εκλογή της αντίθετης ενέργειας: Στην μέθοδο αυτήν επιλέγουμε το αντίθετο από την ενέργεια που συμβουλεύει η λιγότερο έμπιστη ομάδα που συμμετέχει στην λήψη απόφασης.
- Ευκαιριακά κόστη (Opportunity cost): υπολογίζοντας το ευκαιριακό κόστος από κάθε εναλλακτική επιλογή.
- Γραφειοκρατική (Bureaucratic): Ορίζοντας κριτήρια για αυτοματοποιημένες αποφάσεις.
- Πολιτικές (Political): διαπραγματευόμενοι επιλογές ανάμεσα σε ομάδες ιδίων ενδιαφερόντων.
- Συμμετοχικές Διαδικασίες Απόφασης (Participative decision-making - PDM): συνιστά μια μεθοδολογία στην οποία ένας μόνο υπεύθυνος για την λήψη απόφασης για να επιτύχει πλεονέκτημα από περαιτέρω πληροφόρηση



διευρύνει την διαδικασία εκλογής απόφασης σε μία ομάδα που συμβάλλει συνεργατικά σε αυτό.

- Χρήση δομημένης μεθόδου για την λήψη απόφασης.

Οι τεχνικές λήψης ανεξάρτητης απόφασης μπορούν συχνά να εφαρμοσθούν από μία ομάδα ή μέρος μιας ομάδας.

Η χρήση λογισμικού για την εφαρμογή διεργασιών λήψης απόφασης αυξάνει διαρκώς τόσο σε ατομικό όσο και σε επίπεδο επιχειρήσεων και εταιρειών. Αυτό οφείλεται στην διαρκώς αυξανόμενη πολυπλοκότητα για την λήψη αποφάσεων καθώς και στην αύξηση των υπεισερχόμενων παραγόντων που εμπλέκονται στην λήψη αποφάσεων.

## Κεφάλαιο 4 - Λήψη Αποφάσεων και Αβεβαιότητα

---

### 4.1 Η Έννοια της Αβεβαιότητας

Για τον ορισμό της έννοιας της Αβεβαιότητας (Uncertainty) καθώς και το πως αυτή σχετίζεται με την λήψη αποφάσεων στην κλασσική βιβλιογραφία μπορεί να βρεθεί ένας σημαντικός αριθμός αναφορών. Ο αριθμός αυτών των αναφορών δίνει και έναν διαφορετικό τρόπο ορισμού της αβεβαιότητας:

- Αβεβαιότητα είναι το συμπλήρωμα της έννοιας της γνώσης. Εκφράζει το κενό σε αυτό που γνωρίζουμε και σε αυτό που θα πρέπει να γνωρίζουμε για να λαμβάνουμε σωστές αποφάσεις.
- Αβεβαιότητα είναι η διαφορά ανάμεσα στο ποσοστό της πληροφορίας ου απαιτείται για την επίτευξη μιας ενέργειας – στόχου σε σχέση με το ποσοστό της πληροφορίας που είναι ήδη διαθέσιμο στον φορέα της ενέργειας αυτής.
- Αβεβαιότητα είναι η κατάσταση της αμφιβολίας. Περιγράφει την ακαθόριστη σχέση μεταξύ μας και του περιβάλλοντος που αντιμετωπίζουμε. Η κύρια ύπαρξη της αβεβαιότητας προϋποθέτει την ανάγκη για κριτική αντίληψη και λήψη αποφάσεων οι οποίες θα επιλύσουν αυτήν την κατάσταση αβεβαιότητας.

- Αβεβαιότητα υπάρχει όταν η πιθανότητα για ένα ενδεχόμενο συμβάν δεν είναι ούτε 0 αλλά ούτε και 1.
- Αβεβαιότητα είναι αυτό το μέγεθος το οποίο εξαφανίζεται όταν είμαστε σίγουροι για κάτι. Γινόμαστε βέβαιοι για την αλήθεια μίας πρότασης όταν (α) υπάρχουν αληθείς συνθήκες και (β) και αυτές οι αληθείς συνθήκες επικρατούν για την εν λόγω πρόταση.

Θα πρέπει να παρατηρήσουμε ότι οι περισσότεροι από τους παραπάνω ορισμούς δεν είναι λειτουργικοί και για τον λόγο αυτό δεν θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογή τους για την δημιουργία ενός συστήματος αποφάσεων.

Ο Ορισμός της αβεβαιότητας που γίνεται ευρέως αποδεκτός για ποσοτικοποίηση και πρακτική εφαρμογή ορίζεται ως ακολούθως:

- Αβεβαιότητα μιας μέτρησης είναι μία παράμετρος, η οποία σχετίζεται με το αποτέλεσμα της μέτρησης και χαρακτηρίζει την διάχυση των αξιών οι οποίες λογικά θα μπορούσαν να αποδοθούν στην μέτρηση. Η παράμετρος αυτή μπορεί να εκφρασθεί ως μία στάνταρ απόκλιση ή πολλαπλάσιο αυτής ή μήκος ενός διαστήματος για το οποίο υπάρχει επίπεδο εκτίμησης της εμπιστοσύνης.

Παρά την απουσία μίας κοινής αποδοχής της έννοιας της αβεβαιότητας από τους αναλυτές συστημάτων καθώς και στις κατηγοριοποιήσεις αυτής, κατά τις τελευταίες δεκαετίες οι αναλυτές έχουν αρχίσει να κάνουν μία σαφή διάκριση ανάμεσα στην τυχαία και την συστηματική αβεβαιότητα. Η τυχαία αβεβαιότητα παρουσιάζεται στην βιβλιογραφία ως μεταβλητότητα ενός μεγέθους, αμείωτη αβεβαιότητα, εγγενής αβεβαιότητα και στοχαστική αβεβαιότητα. Ο όρος τυχαία αβεβαιότητα χρησιμοποιείται για να περιγράψει την εσωτερική μεταβλητότητα η οποία σχετίζεται με το φυσικό σύστημα ή το περιβάλλον που βρίσκεται υπό την θεώρηση.

Συστηματική αβεβαιότητα ορίζεται ως μειώσιμη αβεβαιότητα, υποκείμενη αβεβαιότητα και αβεβαιότητα προερχόμενη από το μοντέλο προσέγγισης. Η συστηματική αβεβαιότητα κατά ένα μέρος προκύπτει από άγνοια, ατελή πληροφόρηση, οι οποίες αφορούν το σύστημα ή το περιβάλλον αυτού.

## 4.2 Συμβατικές Θεωρίες Λήψης Αποφάσεων

Ένα σύμπαν μπορεί να ιδωθεί υπό του πρίσματος απείρων καταστάσεων, και συνήθως είναι απίθανο να μπορούμε να διακρίνουμε σε ποιά κατάσταση αυτό θα βρεθεί. Έτσι σε αυτό το περιβάλλον ο υπεύθυνος για την λήψη απόφασης θα πρέπει να καταλήξει σε μία εκλογή ανάμεσα από ένα μεγάλο αριθμό εναλλακτικών.

Κάθε εναλλακτική με την σειρά της επισύρει έναν αριθμό από συνέπειες, οι οποίες σχετίζονται με τις καταστάσεις που το σύστημα θα μεταβεί διαμέσου των εναλλακτικών. Ο υπεύθυνος για την λήψη απόφασης επικεντρώνει στην λήψη της καλύτερης δυνατής απόφασης δεδομένων των συνεπειών και των καταστάσεων.

Ο πίνακας αποφάσεων αποτελεί μία συνήθης αντιπροσώπευση του προβλήματος λήψης αποφάσεων:

	$S_1$	$S_2$	$S_n$
$a_1$	$C_{11}$	$C_{12}$	$C_{1n}$
$a_2$	$C_{21}$	$C_{22}$	$C_{2n}$
$a_m$	$C_{m1}$	$C_{m2}$	$C_{mn}$

Οι πιθανές καταστάσεις ( $S_1, S_2, \dots, S_n$ ) περιγράφουν ένα σύνολο από αμοιβαία αποκλειόμενες και πλήρης καταστάσεις ενός συστήματος, χωρίς να αποκλείουν καμία από τις ενεδεχόμενες καταλήξεις ενός συστήματος. Αυτές διαμορφώνουν τις συνέπειες  $C_{ij}$ , των διαφόρων εναλλακτικών ενεργειών ( $a_1, a_2, \dots, a_m$ ). Υποτίθεται βέβαια ότι οι συνέπειες μπορούν να μετρηθούν σε κάποιου είδους μονάδες που αντιστοιχούν σε ένα μετρικό σύστημα.

Υπάρχουν τέσσερις προσεγγίσεις – κατευθύνσεις για την επίλυση του προβλήματος λήψης απόφασης οι οποίες δεν χρειάζεται να ποσοτικοποιήσουν την αβεβαιότητα. Ο πίνακας αποφάσεων σε αυτήν την περίπτωση εξυπηρετεί ως ένας πλήρης οδηγός για την λήψη απόφασης. Οι τέσσερις αυτές κατευθύνσεις έχουν οριστεί από τους Laplace, Wald, Hurwicz και Savage. Στην παρούσα προσέγγιση θα ασχοληθούμε με θεωρίες λήψης απόφασης οι οποίες ποσοτικοποιούν την αβεβαιότητα και ειδικότερα σε περιπτώσεις όπου μία κατανομή πιθανότητας (υπό μορφή ποσοστιαίας συνάρτησης βάρους) μπορεί να ανατεθεί στις περιγραφές των καταστάσεων του συστήματος.

Εάν όλες οι προσδοκούμενες τιμές και οι πιθανότητες, σε ένα πρόβλημα λήψης αποφάσεων τεθούν υποκειμενικά από τον υπεύθυνο για την λήψη απόφασης, και στην συνέχεια ο ίδιος αξιολογήσει το πρόβλημα με βάση την αρχή μεγίστου του Προσδοκητού Ενδείκτη, τότε η μέθοδος απόφασης που χρησιμοποιήθηκε καλείται Bayesian.

Με αυτήν την λογική ο όρος «υποκειμενικός» σημαίνει ότι οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν αντανakλούν, τις πεποιηθήσεις και τα πιστεύω του υπεύθυνου. Καθώς οι πιθανότητες για μερικές από τις καταστάσεις, μπορούν να εκτιμηθούν αντικειμενικά, ο υπεύθυνος θα πρέπει να μπορεί να συμπεριλάβει αυτήν την πληροφορία στο σύστημα αξιολόγησης. Η αρχή της μεγιστοποίησης του Προσδοκητού Ενδείκτη αποτελεί μία μέθοδο η οποία έχει εφαρμοσθεί με επιτυχία για αρκετές δεκαετίες.

Ας υποθέσουμε ότι κάθε εναλλακτική  $a_i$ , μπορεί να αντιπροσωπευθεί με ένα σετ από αριθμούς της μορφής  $\{[C_i], [P_i]\}$ , όπου  $[C_i]$  αποτελεί το σύνολο των συνεπειών από την εναλλακτική  $a_i$  και  $P_i$  είναι η πιθανότητα εφαρμογής της εναλλακτικής  $a_i$ . Θα πρέπει να σημειωθεί σε αυτήν την προσέγγιση ότι η ίδια η κατάσταση στην οποία βρίσκεται το σύστημα έχει αγνοηθεί, και ότι οι πιθανότητες σχετίζονται με τις συνέπειες απευθείας. Ορίζοντας την συνάρτηση  $u_a(c_i)$  η μέση προσδοκητή τιμή από την διενέργεια των εναλλακτικών ισούται με το  $\sum P_i \times u_a(c_i)$ . Στην περίπτωση αυτή η αρχή μεγιστοποίησης του προσδοκητού ενδείκτη μπορεί να εκφρασθεί ως ακολούθως:

Ένας υπεύθυνος για μία λήψη απόφασης θα πρέπει να προτιμήσει την εναλλακτική  $a$  σε σχέση με την εναλλακτική  $b$  εφόσον ο προσδοκητός ενδείκτης για την  $a$  είναι μεγαλύτερος απ'ότι για την  $b$ .

Ο παραπάνω μαθηματικοποιημένος και ποσοτικός αλγόριθμος δεν είναι αυστηρός και δόθηκε ως ένα μέτρο απλής εκτίμησης για την λήψη αποφάσεων. Πλήρης και αξιωματική αιτιολόγηση της συνάρτησης εκτίμησης  $u$  και της μεγιστοποίησης του προσδοκητού ενδείκτη δίνεται από 6 αξιώματα του Savage.

Υπάρχουν αρκετές παραλλαγές της θεωρίας Προσδοκητού Ενδείκτη. Στην πράξη η θεωρία σε πάρα πολλά πειράματα έχει αποτύχει να ερμηνεύσει τις εκλογές αυτών που

λαμβάνουν αποφάσεις. Αυτό ίσως να οφείλεται στις πιθανοτικές εκτιμήσεις για τις εναλλακτικές οι οποίες χρησιμοποιούνται ως συναρτήσεις βάρους για την προσδοκητή εκτίμηση. Αρκετοί ειδικοί έχουν προτείνει την αντικατάσταση των συντελεστών βάρους με μη γραμμικό τρόπο όσον αφορά την αντιστοίχιση με τις πιθανότητες εκλογής, αντί να χρησιμοποιούνται απευθείας οι εκτιμήσεις πιθανότητας. Αυτή η παρατήρηση έχει ως κατάληξη στην δημιουργία θεωριών μη αναμενόμενων – προσδοκητών τιμών.

Το πιο σημαντικό σημείο το οποίο αξίζει να παρατηρήσουμε, είναι ότι οι πιθανότητες από τα ενδεχόμενα αποτελέσματα ή τις συνέπειες χρειάζονται για να υλοποιήσουν τους υπολογισμούς της συνάρτησης προσδοκητού ενδείκτη. Σε μερικές περιπτώσεις οι πιθανότητες των ενδεχομένων συμβάντων εξυπηρετούν απευθείας ως ενδείκτες για την λήψη αποφάσεων, ενώ οι συναρτήσεις ως εκτιμήσεις οικονομικού κόστους μπορεί και να μην χρησιμοποιηθούν. Αυτή η προσέγγιση μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε καταστάσεις οι οποίες απαιτούν γρήγορες αποφάσεις με ευαισθησία ως προς το αποτέλεσμα. Σε αυτές τις περιπτώσεις το πρόβλημα θα είναι να επιλέξουμε μεταξύ ενεργειών που μεγιστοποιούν την πιθανότητα επιτυχίας ενός προγράμματος/αποστολής, ή ελαχιστοποιούν την πιθανότητα αποτυχίας αυτού. Η αρχή μεγιστοποίησης του προσδοκητού ενδείκτη θα αθροίσει τις πιθανότητες των ευνοικών γεγονότων δεδομένης μίας ενέργειας, και θα επιλέξει την πράξη που μεγιστοποιεί την πιθανότητα επιτυχίας.

Μία απλή περίπτωση λήψης απόφασης, είναι όταν δύο ενέργειες χαρακτηρίζονται από μία παράμετρο η κάθε μία, και μετά συγκρίνονται για να επιλεγεί η επιθυμητή. Σε αυτές τις περιπτώσεις ίσως δεν κρίνεται αναγκαίο, να γνωρίζουμε την κατανομή πιθανοτήτων της παραγματικής τιμής για τις μετρούμενες παραμέτρους. Επι της αρχής είναι δυνατόν να έχουμε μία αξιόπιστη απόφαση ακόμα και αν μια παράμετρος είναι μεγαλύτερη από μία άλλη βασισμένη στο γεγονός της αποδιδόμενης διάχυσης των μετρήσεων. Γενικά το να βασίζονται αποφάσεις επί της διάχυσης των μετρήσεων, ακόμα και σε αυτήν την απλή περίπτωση μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένες αποφάσεις.

Άλλη μία απλή περίπτωση της θεωρίας λήψης αποφάσεων είναι η σύγκριση του μετρούμενου επιπέδου μίας παραμέτρου με ένα επιθυμητό επίπεδο. Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, ίσως δεν είναι αναγκαίο να γνωρίζουμε την κατανομή

πιθανοτήτων του πραγματικού μεγέθους για την μετρούμενη παράμετρο. Η απόφαση μπορεί να βασιστεί στην μετρούμενη διάχυση ένα ο μετρούμενος μέσος είναι ευκρινώς διαφορετικός από τα επιτρεπόμενα επίπεδα. Σε αντίθετη περίπτωση η ληφθείσα απόφαση μπορεί να είναι λανθασμένη.

Συμπερασματικά, η διάχυση και οι παράγωγοι αυτής όταν χρησιμοποιούνται ως μοντέλα για την εκτίμηση της αβεβαιότητας των παραμέτρων μπορούν να αποτελέσουν συνθήκες εισόδου για την λήψη απόφασης, μόνο όμως σε απλουστευμένες καταστάσεις. Για να επιλέξουμε μεταξύ ενεργειών με πολλές πιθανές καταστάσεις ο υπεύθυνος για την απόφαση χρειάζεται να γνωρίζει την κατανομή πιθανοτήτων για όλες τις πιθανές καταστάσεις. Αυτό σημαίνει ότι το να γνωρίζουμε τις διαχύσεις δεν είναι αρκετό για να μπορέσουμε να εφαρμόσουμε την αρχή μεγιστοποίησης του προσδοκητού ενδείκτη.

### **4.3 Μη Συμβατικές Θεωρίες Λήψης Αποφάσεων**

Η πλειονότητα των τροποποιημένων θεωριών δεν αμφισβητούν μία από τις βασικές παραδοχές η οποία υποκρύπτεται στις παραπάνω θεωρίες. Αυτή η ουσιαστική παραδοχή, έχει τοποθετηθεί ως το «δόγμα της Bayesian ακρίβειας» (Bayesian dogma of precision), το οποίο εννοεί ότι οι πιθανότητες και οι συναρτήσεις προσδοκητού ενδείκτη στο συνολικό συναρτησοειδές της εκτίμησης αποφάσεων, καθώς και οι μεταβολές αυτών, υποτίθεται ότι είναι επακριβώς γνωστές. Βέβαια αναγνωρίζεται γενικώς ότι η αυστηρή υπόθεση Bayesian για ένα μοναδικό μέτρο πιθανότητας και η μοναδικότητα της συνάρτησης προσδοκητού ενδείκτη είναι δύσκολες προς επίτευξη προϋποθέσεις για πολλές καταστάσεις λήψης απόφασης. Σε πολλές πραγματικές καταστάσεις, το να βασίζονται αποφάσεις στο δόγμα της ακρίβειας, παρεβλέποντας την αβεβαιότητα για την ακρίβεια των τιμών και των πιθανοτήτων, οδηγεί σε λανθασμένο αποτέλεσμα ενεργειών.

Πολλοί ερευνητές έχουν προτείνει ότι η υπόθεση η οποία οδηγεί σε μοναδική κατανομή πιθανότητας είναι μη ρεαλιστική. Σε πολύ λίγες περιπτώσεις λήψης αποφάσεων, ο υπεύθυνος για την λήψη απόφασης έχει πλήρη γνώση των πιθανοτήτων, των συνολικών καταστάσεων του συστήματος, και για τον λόγο αυτό η προϋπόθεση αυτή πρέπει να αποδυναμωθεί. Μία υπόθεση όπου η τοποθέτηση της προσέγγισης του υπεύθυνου για την λήψη της απόφασης πρέπει να αντιπροσωπευθεί

από μία μοναδική κατανομή πιθανότητας θεωρείται ως λανθασμένη και συνιστά ένα σημαντικό λόγο για τον περιορισμό του δόγματος Bayes.

Όπως έχει επισημανθεί, οι άνθρωποι προτιμούν να στοιχηματίζουν υπέρ ενός συμβάντος για το οποίο θεωρούν ότι έχουν αρκετή πληροφορία, επί ενός συμβάντος για το οποίο δεν έχουν, ακόμα και αν δίνουν στα συμβάντα την ίδια πιθανότητα να συμβούν. Κρίσεις αυτού του τύπου διασαφηνίζουν την ανάγκη για αναζήτηση νέων τεχνικών για την λήψη απόφασης οι οποίες ταιριάζουν καλύτερα στο περιορισμένης εμβέλειας πληροφοριακό δυναμικό των ανθρώπινων όντων.

Υπάρχει μία άλλη κατεύθυνση για νέα παραδείγματα, μετα-μοντέρνου τρόπου σκέψης και συμμετοχικές προσεγγίσεις σε αποφάσεις περιβαλλοντικού χαρακτήρα που απευθύνονται στο ευρύ κοινό. Όπως έχει παρατηρηθεί βιώνουμε αυξανόμενο ενδιαφέρον για τα περιβαλλοντικά φαινόμενα, κατά τον τελευταίο αιώνα. Σε πολλές περιπτώσεις αποφάσεις οι οποίες σχετίζονταν με το περιβάλλον, ελήφθησαν πιστεύοντας ότι αυτές είναι επιστημονικά τεκμηριωμένες και για τον λόγο αυτό θεωρήθηκαν ως θέσφατα βασισμένα στην ικανότητα των ειδικών που τις πρότειναν. Η ανάπτυξη ενδιαφέροντος επί των αστοχιών που μπορούν να συμβούν σε θέματα πρόβλεψης, απαρτίζεται από τα πολλά τμήματα του επιστημονικού τρόπου σκέψης ο οποίος εισήγαγε την έννοια του μη καθορισμένου. Είναι κοινή πεποίθηση ότι πολύπλοκα συστήματα όπως είναι η φύση και η κοινωνία, είναι εγγενώς μη προβλέψιμα, όχι μόνο διότι αυτό οφείλεται στην μειωμένη αντίληψη και ικανότητα μας, αλλά ως ένα εγγενές χαρακτηριστικό το οποίο ποτέ δεν πρόκειται να ξεπεράσουμε ακόμα και με την πρόοδο της επιστήμης.

Η προκλητική ερώτηση η οποία προκύπτει για τους επιστημονες και ερευνητές είναι το πώς μπορούμε να μοντελοποιήσουμε την ασάφεια του μη καθορισμένου. Εναλλακτικά πώς μπορούμε να μοντελοποιήσουμε την επιστημονική αβεβαιότητα. Όπως θα προκύψει και στην συνέχεια, υπάρχει μια νέα πιθανοτική αιτιολόγηση η οποία προσφέρει απαντήσεις στις παραπάνω ερωτήσεις. Τα αποτελέσματα αυτού του νέου τρόπου σκέψης καθώς εφαρμόζονται στις θεωρίες λήψης απόφασης καλούνται μη συμβατικά.

Στην πραγματικότητα το να μοντελοποιηθεί το μη καθορισμένο και η επιστημονική αβεβαιότητα ίσως να καταλήξει σε αναποφασιστικότητα, η οποία σημαίνει ότι ο

υπεύθυνος για την λήψη μιας απόφασης να μην είναι ικανός να επιλέξει ποιά απόφαση είναι επιθυμητή. Ένας σίγουρος δρόμος για την κατάληξη σε μία απόφαση και για το ποιά εναλλακτική είναι καλύτερη, θα ήταν να προσπαθήσουμε να συγκεντρώσουμε περαιτέρω στοιχεία και να μην προβούμε σε καμία ενέργεια στην φάση αυτή. Η ουσία σε αυτήν την νέα προσέγγιση στην θεωρία λήψης αποφάσεων, μπορεί να βασιστεί στην άποψη του Αριστοτέλη: «Ένα εκπαιδευμένο μυαλό είναι ικανοποιημένο με τον βαθμό της ακρίβειας όπου η φύση ενός θέματος του επιτρέπει, χωρίς να ψάχνει την ακρίβεια εκεί όπου μία προσέγγιση είναι δυνατή».

Ένα από τα πιο σοβαρά λάθη σε κάθε τύπο ανάλυσης κινδύνου (Risk Managment), είναι η αντιπροσώπηση των εκτιμήσεων κινδύνου, οι οποίες προδιαθέτουν για μία ψευδή ακρίβεια και εμπιστοσύνη στα δεδομένα, ανεξάρτητα από τις αβεβαιότητες οι οποίες είναι εγγενείς στην βασική κατανόηση, στην επεξεργασία των δεδομένων, και στην στατιστική ανάλυση. Στο παρελθόν ανάλυση κινδύνου η οποία βασιζόταν σε μεταφυσικές, διαγνωστικές προβλεπτικές μεθοδολογίες, έχουν τύχει αντικείμενο κριτικής, ως πολύ περιοριστικές στις μεθόδους εκτίμησης του κινδύνου, απλοποιημένες, ή «στενές» στην εξήγηση των υποκείμενων υποθέσεων και των αποδείξεων όπως επίσης και στο να παρουσιάσουν τα αποτελέσματα για την αβεβαιότητα και την επίδραση στα αποτελέσματα από τις αναλύσεις κινδύνου.

Αρκετοί συγγραφείς – ερευνητές, έχουν προτείνει, θεωρίες λήψης αποφάσεων οι οποίες βασίζονται σε πιο γενικούς τρόπους οι οποίοι να απηχούν τις πίστεις των υπεύθυνων για την απόφαση, απ'ότι το αυστηρό δόγμα Bayes επιτρέπει. Ανάμεσα σε αυτές είναι οι θεωρίες των Gardenfors – Sahlin, του Levi, καθώς και ένα σύνολο από κανόνες για ανακριβείς προβλέψεις.



## Κεφάλαιο 5 - Μεθοδολογία

---

### **5.1 Εισαγωγικές Έννοιες στην Πολυκριτήρια Ανάλυση και Ασαφή Λογική**

#### **5.1.1 Πολυκριτηριακή Ανάλυση Αποφάσεων (Multicriteria Decision Making, MCDM)**

Η Πολυκριτηριακή Ανάλυση Αποφάσεων αποτελεί κλάδο της Επιχειρησιακής Έρευνας (Operational Research) που ασχολείται με την επίλυση προβλημάτων λαμβάνοντας υπόψη περισσότερα του ενός κριτήρια απόφασης.

Τα προβλήματα Πολυκριτήριας Ανάλυσης Αποφάσεων είναι χαμηλού βαθμού δόμησης (ill structured problems), δηλαδή η ορθολογική λύση 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 αυτή, ο οποίος εκφράζει τις υποκειμενικές του προτιμήσεις. Ένα από τα πιο συνήθη και ιδιαίτερα σημαντικό πρόβλημα που αντιμετωπίζεται στη λήψη αποφάσεων είναι η χωροθέτηση εγκαταστάσεων (facility location).

Η πολυκριτηριακή ανάλυση αποφάσεων τις τελευταίες τρεις δεκαετίες έχει γνωρίσει ιδιαίτερη άνθηση τόσο σε θεωρητικό όσο και σε πρακτικό επίπεδο. Βασικό ρόλο στην ανάπτυξη και διάδοση της πολυκριτηριακής ανάλυσης αποτέλεσε η απλή διαπίστωση ότι η επίλυση πολύπλοκων και ιδιαίτερα σημαντικών προβλημάτων λήψης αποφάσεων δεν είναι δυνατό να πραγματοποιείται μέσω μιας μονόπλευρης και μονοδιάστατης ανάλυσης.

Κατά την προσπάθεια, όμως, εξέτασης όλων των παραμέτρων ενός προβλήματος και των κριτηρίων-παραγόντων που επηρεάζουν τη λήψη της κατάλληλης απόφασης, γεννάται ένα ιδιαίτερα σημαντικό πρόβλημα, το οποίο ορισμένες φορές αποθαρρύνει τους αποφασίζοντες και αναλυτές από την υιοθέτηση αυτής της πιο ρεαλιστικής προσέγγισης. Το πρόβλημα αυτό αναφέρεται στον τρόπο με τον οποίο μπορεί να πραγματοποιηθεί η σύνθεση όλων των παραμέτρων ώστε να επιτευχθεί η λήψη ορθολογικών αποφάσεων.

Η αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού αποτελεί το βασικό αντικείμενο της πολυκριτηριακής ανάλυσης αποφάσεων. Η κύρια όμως ειδοποιός διαφορά της πολυκριτηριακής ανάλυσης από άλλες εναλλακτικές προσεγγίσεις, δεν είναι η απλή σύνθεση όλων των παραμέτρων ενός προβλήματος. Αυτή πραγματοποιείται και μέσω άλλων μεθοδολογικών προσεγγίσεων. Το βασικό χαρακτηριστικό γνώρισμα της πολυκριτηριακής ανάλυσης είναι η πραγματοποίηση της αναγκαίας σύνθεσης υπό το πρίσμα της πολιτικής λήψης των αποφάσεων και του συστήματος προτιμήσεων και αξιών, το οποίο συνειδητά ή ασυνείδητα χρησιμοποιεί ο αποφασίζων.

Το χαρακτηριστικό αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία στο χώρο της λήψης αποφάσεων.

Όπως είναι κατανοητό, το αποτέλεσμα της όποιας ανάλυσης πραγματοποιείται με σκοπό την αντιμετώπιση ενός προβλήματος λήψης αποφάσεων, έχει ως τελικό αποδέκτη τον ίδιο τον αποφασίζοντα. Συνεπώς, η ανάπτυξη υποδειγμάτων λήψης αποφάσεων μέσω μεθοδολογικών προσεγγίσεων που δεν είναι σε θέση να

ενσωματώσουν τον αποφασίζοντα και τις προτιμήσεις του στη διαδικασία ανάπτυξης των υποδειγμάτων αυτών, ουσιαστικά προσδίδουν στον αποφασίζοντα έναν παθητικό ρόλο, ο οποίος περιορίζεται στην παρακολούθηση και εφαρμογή των αποτελεσμάτων μαθηματικών υποδειγμάτων.

Υπό το πρίσμα των παρατηρήσεων αυτών, η πολυκριτηριακή ανάλυση έχει δώσει ιδιαίτερο ενδιαφέρον στην έρευνα θεμάτων που σχετίζονται με την ανάλυση, μαθηματική μοντελοποίηση και αναπαράσταση των προτιμήσεων που διέπουν την πολιτική λήψης αποφάσεων από τη πλευρά του εκάστοτε αποφασίζοντα. Απώτερος στόχος είναι η παροχή των απαραίτητων πληροφοριών για την υποστήριξη της διαδικασίας λήψης των αποφάσεων, συμβάλλοντας στον εντοπισμό των βασικών χαρακτηριστικών του εξεταζόμενου προβλήματος καθώς και των ιδιαιτεροτήτων των διαθέσιμων εναλλακτικών λύσεων.

Οι μεθοδολογικές εξελίξεις που έχουν πραγματοποιηθεί κατά τη διάρκεια της ιστορικής πορείας του χώρου της πολυκριτηριακής ανάλυσης, καλύπτουν, όλα τα είδη των προβλημάτων λήψης αποφάσεων.

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικότερα οι κύριες μεθοδολογικές προσεγγίσεις της πολυκριτηριακής.

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 πολυκριτηριακής ανάλυσης, την έννοια της αποτελεσματικότητας (efficiency). Μεταπολεμικά, ο Koopmans 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 αναπτύσσουν τη θεωρία χρησιμότητας, η οποία αποτελεί τη βάση ενός από τα κυριότερα μεθοδολογικά ρεύματα της πολυκριτηριακής 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 όσον αφορά τη σύνδεση της θεωρίας του γραμμικού προγραμματισμού και της πολυκριτηριακής ανάλυσης, καθώς και από τον Fishburn όσον αφορά την επέκταση της θεωρίας χρησιμότητας σε προβλήματα λήψης αποφάσεων υπό καθεστώς πολλαπλών κριτηρίων. Περί τα τέλη της δεκαετίας του 1960 η πολυκριτηριακή ανάλυση άρχισε να απασχολεί και τους Ευρωπαίους επιχειρησιακούς ερευνητές. Πρωτοπόρος μεταξύ αυτών υπήρξε ο Roy ο οποίος ανέπτυξε τη θεωρία των σχέσεων υπεροχής (outranking relations) και θεωρείται ο ιδρυτής της «Ευρωπαϊκής σχολής» της πολυκριτηριακής ανάλυσης.

Τις επόμενες δύο δεκαετίες (1970-1990) η πολυκριτηριακή 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 πολυκριτηριακής ανάλυσης σε ολοκληρωμένα πληροφορικά συστήματα, τα οποία παράλληλα συνέβαλλαν και στην προώθηση των πρακτικών εφαρμογών της πολυκριτηριακής ανάλυσης.

Πλεονεκτήματα της Πολυκριτηριακής Ανάλυσης Αποφάσεων: ανταποκρίνεται σε πραγματικά προβλήματα, όπου το τελικό ζητούμενο (στόχος) είναι πολυδιάστατο μέγεθος και ο αντικειμενικός του προσδιορισμός εμπεριέχει την επιμέρους θεώρηση και εκτίμηση των μεγεθών που το προσδιορίζουν, προσφέρει συνήθως ένα ευρύ σύνολο εναλλακτικών ως λύση και, τέλος, αποσαφηνίζει το ρόλο των συμμετεχόντων στο σχεδιασμό και λήψη αποφάσεων. Το τελευταίο σημείο είναι πολύ σημαντικό καθώς στην Πολυκριτήρια Ανάλυση επιβάλλεται η ενσωμάτωση της εμπειρίας και των προτιμήσεων του στη διαδικασία λήψης αποφάσεων, καθώς καμία λύση δεν είναι ανεξάρτητη από την κρίση του λήπτη αποφάσεων. Η έμφαση δίνεται στην διαδικασία λήψης της απόφασης και όχι στην ίδια την απόφαση. Η διαδικασία πληροφόρησης των αξιών και προτιμήσεων του λήπτη αποφάσεων είναι και αυτή που τελικά καθορίζει τις κατευθύνσεις επίλυσης του προβλήματος.

Βασικά βήματα της γενικής μεθόδολογίας: Το «παραδοσιακό» μεθοδολογικό πλαίσιο της επιχειρησιακής έρευνας βασίζεται στα στάδια που παρουσιάζονται γραφικά στο παρακάτω σχήμα.



Στο πρώτο στάδιο πρέπει να πραγματοποιηθεί η διαμόρφωση του προβλήματος και αφορά:

- 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 το όγκο των χρησιμοποιούμενων πρώτων υλών, κλπ.

- 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.

- Προσδιορισμός 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.

Βάσει της παραπάνω διαμόρφωσης του προβλήματος, το δεύτερο στάδιο αφορά στην κατασκευή του κατάλληλου μοντέλου που περιγράφει το πρόβλημα. Ως μοντέλο ορίζεται η μαθηματική αναπαράσταση 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.

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

Η φάση της αξιολόγησης αφορά την ανάλυση της ποιότητας της λύσης συναρτήσει των παραμέτρων του μοντέλου, των υποθέσεων που πραγματοποιήθηκαν και των δεδομένων του προβλήματος.

Τέλος, το τελευταίο στάδιο της ανάλυσης αφορά την υλοποίηση της λύσης και την υποστήριξή της (αιτιολόγηση) σε περίπτωση όπου αυτό κριθεί απαραίτητο.

### 5.1.2 Ασαφής Λογική

Η ιστορία της ασαφούς λογικής ξεκινά από το 500 π.Χ. Ο πρώτος άνθρωπος που συνέβαλλε σημαντικά στην εξέλιξή της ήταν ο Βούδας. Έζησε στην Ινδία και ίδρυσε την θρησκεία που ονομάστηκε Βουδισμός. Η φιλοσοφία του βασίστηκε στη σκέψη ότι ο κόσμος είναι γεμάτος με αντιφάσεις και ότι σχεδόν υπάρχει μέσα σ' αυτόν περιέχει κάτι από το αντίθετό του. Με άλλα λόγια, τα πράγματα μπορεί να είναι Α και όχι-Α ταυτόχρονα. Έπρεπε να περάσουν 200 χρόνια για να καταγραφεί στην ιστορία μια άλλη διαφορετική άποψη από έναν άλλον σημαντικό άνθρωπο, τον Αριστοτέλη. Ο Αριστοτέλης θεωρούσε πως ο κόσμος είναι φτιαγμένος από αντιθέσεις. Αντίθετα από το Βούδα, ο Αριστοτέλης πίστευε ότι όλα μπορεί να είναι Α ή όχι-Α. Ήταν αδύνατο να είναι και τα δύο μαζί. Η θεωρία του αυτή έμεινε γνωστή με την ονομασία «Ο Νόμος του Αποκλειστικού Μέσου» και την ασπάστηκαν όλοι οι προκάτοχοί του εκτός από έναν, τον Πλάτωνα ο οποίος ανέδειξε μια τρίτη περιοχή όπου το Α και το αντίθετό του συνυπήρχαν.

Μέσα στους αιώνες, οι δύο αυτές φιλοσοφίες αναπτύχθηκαν και διαδόθηκαν ανεξάρτητα η μία από την άλλη. Ο Βουδισμός καθιερώθηκε ως η επίσημη θρησκεία της Ινδίας και των γύρω πολιτειών. Από την άλλη η Αριστοτελική φιλοσοφία υιοθετήθηκε από τους Έλληνες και αργότερα επεκτάθηκε σε όλη την Ευρώπη. Η Αριστοτελική δυαδική λογική έγινε τελικά η βάση της επιστήμης.

Το 1965, ο καθηγητής του Πανεπιστημίου της Καλιφόρνια Lofti A. Zadeh άρχισε να αναρωτιέται αν όντως δεν υπήρχε καλύτερη λογική για να χρησιμοποιηθεί στις μηχανές. Σκέφτηκε πως θα ήταν πολύ πιο βολικό αν για παράδειγμα το κλιματιστικό μπορούσε από μόνο του να επιταχύνει όταν είχε πιο πολύ ζέστη και το αντίθετο. Το ανήσυχο πνεύμα του τον οδήγησε τελικά στην έκδοση του βιβλίου του με τίτλο «Fuzzy Sets».

Χρειάστηκε πολύς χρόνος έως ότου η ασαφής λογική να γίνει αποδεκτή παρά το γεγονός ότι ενθουσίασε πολλούς από την αρχή. Οι Αμερικάνοι και οι Ευρωπαίοι επιστήμονες αρνιόντουσαν να πάρουν στα σοβαρά κάτι που ακουγόταν τόσο «παιδικό» στ' αυτιά τους. Αντίθετα το ζήτημα αυτό το αντιμετώπιζαν τελείως διαφορετικά στην Ιαπωνία. Ο καθηγητής Terano εμπνευσμένος από τον Zadeh συνέστησε την ιδέα στην Ιαπωνική επιστημονική κοινότητα το 1972. Το αποτέλεσμα ήταν να υπάρξει ένας σχεδόν άμεσος και τεράστιος ενθουσιασμός για το καινούργιο

και γεμάτο προσδοκίες επιστημονικό πεδίο που είχε κάνει την εμφανισή του. Δεν είναι άλλωστε τυχαίο το γεγονός ότι το πρώτο μετρό που βασιζόταν στην ασαφή λογική κατασκευάστηκε το έτος 1987 στην Ιαπωνία. Μετέπειτα η εξέλιξη της ασαφούς λογικής ήταν ραγδαία και συνεχίζει να υφίσταται μέχρι σήμερα.

Για να συνοψιστούν οι ιδιότητες της ασαφούς λογικής, εισήχθησαν από τον Earl Cox επτά προτάσεις που τη χαρακτηρίζουν και συγχρόνως την διαφοροποιούν από τη θεωρία των πιθανοτήτων.

1. Η ασαφή λογική δεν είναι ασαφή. Δεν είναι στην πραγματικότητα ανακριβής, δεν βεβηλώνει και δεν καταπατεί την κοινή λογική. Παράγει ξεκάθαρα αποτελέσματα. Η «κλασσική» δυαδική λογική είναι μία ειδική περίπτωση της.
2. Η ασαφή λογική διαφέρει από την πιθανότητα. Με την πιθανότητα προσπαθούμε να καθορίσουμε όλες τις δυνατές εκβάσεις κάποιου προβλήματος, ενώ με την ασαφή λογική προσπαθούμε να καθορίσουμε το κατά πόσο είναι σωστό ένα γεγονός. Γι' αυτό και η ασάφεια εκφράζεται συχνά ως αμφιβολία και όχι σαν ανακρίβεια.
3. Η σχεδίαση των ασαφών συνόλων είναι εύκολη. Τα ασαφή σύνολα αντανakλούν στην πραγματικότητα τον τρόπο που σκέπτονται οι άνθρωποι. Συνήθως η κατά προσέγγιση σκιαγράφηση της μορφής ενός ασαφούς συνόλου είναι εύκολη και γρήγορη.
4. Τα ασαφή συστήματα είναι σταθερά και μπορούν να ελεγχτούν για την αξιοπιστία τους. Λόγω του ότι η ασαφή λογική έχει τη δυνατότητα να ανταπεξέρθει με όλους τους εμπλεκόμενους βαθμούς ελευθερίας, είναι πιο εύκολο να δημιουργήσεις ασαφή σύνολα και να κατασκευάσεις ένα ασαφές σύστημα παρά να φτιάξεις ένα συμβατικό, βασισμένο στη γνώση σύστημα.
5. Τα ασαφή συστήματα δεν είναι νευρωνικά δίκτυα. Ένα ασαφές σύστημα προσπαθεί να βρει την τομή, την ένωση και το συμπλήρωμα των ασαφών μεταβλητών ελέγχου. Παρόλο που αυτό είναι ανάλογο με τα νευρωνικά δίκτυα και τον δυναμικό προγραμματισμό, τα ασαφή συστήματα προσεγγίζουν διαφορετικά το πρόβλημα.
6. Η ασαφή λογική είναι κάτι παραπάνω από μια διαδικασία ελέγχου. Είναι επιπλέον ένας τρόπος να αναπαριστά και να αναλύει πληροφορίες ανεξάρτητα από συγκεκριμένες εφαρμογές.



7. Η ασαφής λογική είναι μία παραστατική και συλλογική διαδικασία ελέγχου. Δεν μπορεί να λύσει όλα τα προβλήματα, αλλά μας βοηθάει να μοντελοποιήσουμε ακόμα και δυσεπίλυτα προβλήματα.

### Εφαρμογές της Ασαφούς Λογικής

Η ασαφής λογική αποτελεί σήμερα μια αναγνωρισμένη επιστημονική θεωρία, κυρίως πρακτικού χαρακτήρα, με προσανατολισμό στην επίλυση ή τουλάχιστον στην επίτευξη καλύτερων λύσεων από αυτές των υπόλοιπων επιστημών, ικανή για την αντιμετώπιση προβλημάτων με υψηλό βαθμό αβεβαιότητας. Η θεωρία, η τεχνολογία και οι εφαρμογές της ασαφούς λογικής έχουν σημειώσει τα τελευταία χρόνια ταχύτατη ανάπτυξη και έχουν καταστεί αξιόπιστο και εύχρηστο εργαλείο σε πολλές επιστημονικές και ερευνητικές περιοχές. Για παράδειγμα πολλές οικιακές συσκευές χρησιμοποιούν την ασαφή λογική. Μερικές απ' αυτές είναι τα πλυντήρια πιάτων ή ρούχων που από μόνα τους έχουν τη δυνατότητα να καθορίζουν την κατάλληλη ποσότητα απορρυπαντικού που πρέπει να χρησιμοποιήσουν καθώς και την σωστή πίεση νερού που απαιτείται, ώστε να καθαρίζουν αποτελεσματικά και με ασφάλεια.

Εκτός από τις οικιακές συσκευές, ασαφής λογική χρησιμοποιούν τα αντικλεπτικά συστήματα, οι ελεγκτές αυτοκινήτων μηχανών, τα υπόγεια συστήματα τρένων, τα αναπτυσσόμενα συστήματα έγχρωμων φίλμ, τα μετεωρολογικά συστήματα, τα συστήματα απόφασης, ακόμη και οι αυτόματης εστίασης κάμερες. Τέλος, ασαφής λογική χρησιμοποιείται στην ιατρική για τις διάφορες διαγνώσεις καθώς και για την πρόβλεψη κληρονομικών χαρακτηριστικών. Είναι φανερό ότι η μελλοντική επερχόμενη εξέλιξη της ασαφούς λογικής, θα είναι τεράστια και θα καταλήξει να είναι αναπόσπαστο κομμάτι της επιστήμης και της τεχνολογίας. Παρολαυτά όμως, θα χρειαστεί να ερευνηθούν πολλά κρίσιμα σημεία και θα πρέπει να βρεθούν λύσεις σε πολλά προβλήματα.

Μερικές μελλοντικές εφαρμογές της όπως προβλέφθηκαν από τον καθηγητή *Bart Kosko* του πανεπιστημίου της Νότιας Καλιφόρνιας, είναι οι εξής:

Ρομπότ με ανθρώπινη συμπεριφορά

- Υπολογιστές που θα κατανοούν και θα ανταποκρίνονται στην ανθρώπινη γλώσσα.

- Μηχανές που θα γράφουν μυθιστορήματα και πλήρη σενάρια ταινιών με προεπιλεγμένο θέμα και ύφος
- Μόρια που θα περιπλανιούνται στο αίμα και θα σκοτώνουν τα καρκινοειδή κύτταρα καθυστερώντας έτσι την θανατηφόρα πορεία τους.

Γενικότερα, η ασαφής λογική μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συστήματα υψηλού επιπέδου αυτόματου ελέγχου, στην ιατρική, στο πεδίο των επιχειρήσεων, στις ανθρωπιστικές και κοινωνικές επιστήμες όπως τη ψυχολογία, στην δημόσια παιδεία και εκπαίδευση, στα θέματα που αφορούν τη τάξη και την ασφάλεια μιας κοινωνίας, καθώς και σε άλλες ειδικές επιστήμες όπως η σεισμολογία και η γεωργική μετεωρολογία.

### Περιορισμοί της ασαφούς λογικής

Η ασαφής λογική δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αδύνατα προβλήματα. Μπορεί αυτό να ακούγεται λογικό και προφανές αλλά συχνά, λόγω της τυχειότητας που χαρακτηρίζει την ασαφή λογική, οι άνθρωποι πιστεύουν πως μπορεί να χρησιμοποιηθεί παντού.

Επίσης μια φανερή αδυναμία της ασαφούς λογικής είναι ότι τα αποτελέσματά της δεν είναι πάντα σωστά ακριβώς επειδή παρουσιάζονται ως εικασίες. Αντίθετα αυτά της «κλασσικής» λογικής μπορούν να είναι πλήρως αξιόπιστα.

Τέλος, υπάρχει ο φόβος να συγχύσει κανείς την ασαφή λογική με την θεωρία των πιθανοτήτων.

Οι οπαδοί της «κλασσικής» λογικής πιστεύουν πως η ασαφής λογική δεν έχει καμία χρησιμότητα. Υποστηρίζουν ότι η «γκρίζα» περιοχή μεταξύ του 0 και του 1 είναι ανακριβής σε αντίθεση με το πραγματικό 1 ή 0.

Είναι δύσκολο να υπάρξει αντιδικία για συγκεκριμένες θεωρίες αν αυτές δεν είναι πλήρως αποδεκτές από την επιστημονική κοινότητα. Χρειάζεται ανοικτό μυαλό και πάνω απ' όλα διάθεση για να τις αποδεκτεί κανείς.

## **5.2 Βιομηχανικές κατασκευές και Μέθοδοι Λήψης Αποφάσεων**

Οι διεργασίες παραγωγής αποτελούν την ραχοκοκαλιά όλων των βιομηχανοποιημένων εθνών. Αυτή η σημαντικότητα βασίζεται στο γεγονός ότι η

οικονομική γενικότερα δραστηριότητα, συνιστά το 20-30% της αξίας όλων των αγαθών και των υπηρεσιών που παράγονται. Το επίπεδο βιομηχανικής δραστηριοποίησης μίας χώρας, απευθείας σχετίζεται με την οικονομική ευμάρεια αυτής. Γενικότερα όσο υψηλότερο είναι το επίπεδο της βιομηχανικής δραστηριότητας σε μία χώρα, τόσο υψηλότερο είναι και το επίπεδο διαβίωσης των κατοίκων της χώρας αυτής.

Η βιομηχανική παραγωγή μπορεί να ορισθεί ως η εφαρμογή μηχανικών, φυσικών, και χημικών διεργασιών, με σκοπό την μεταβολή των χαρακτηριστικών, της γεωμετρίας, τις ιδιότητες και/ή της εμφάνισης ενός δεδομένου υλικού, με στόχο να κατασκευαστεί κάτι νέο, ή την ολοκλήρωση των επιμέρους τμημάτων ενός προϊόντος. Αυτή η προσπάθεια συμπεριλαμβάνει όλες τις ενδιαμέσες διεργασίες, που απαιτούνται για την παραγωγή και την ολοκλήρωση όλων των τμημάτων που συνθέτουν ένα προϊόν. Η ικανότητα να παράγουμε αυτήν την μεταβολή αποδοτικά, καθορίζει την επιτυχία μιας εταιρείας. Ο τύπος της βιομηχανικής παραγωγής που εξασκείται από μία εταιρεία εξαρτάται από τα είδη των παραγόμενων προϊόντων. Η βιομηχανική παραγωγή είναι μια πολύ σημαντική εμπορική δραστηριότητα, η οποία διεκπεραιώνεται από εταιρείες που πωλούν προϊόντα σε πελάτες. Σε σύγχρονη βάση, η βιομηχανική παραγωγή περιλαμβάνει συσχετιζόμενες δραστηριότητες εντός των οποίων είναι ο σχεδιασμός ενός προϊόντος, η συγγραφή σχετιζόμενων πληροφοριών με αυτό, η επιλογή υλικών, ο σχεδιασμός διεργασιών παραγωγής, η κατασκευή, διασφάλιση της ποιότητας, η διαχείριση και η εμπορική προώθηση της παραγωγής. Αυτές οι δραστηριότητες θα πρέπει να ενοποιηθούν έτσι ώστε να καταλήξουν σε βιώσιμα και ανταγωνιστικά προϊόντα.

### **5.3 Χρησιμοποιούμενες Μέθοδοι Λήψης Απόφασης**

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τη λήψη αποφάσεων σε βιομηχανικά περιβάλλοντα κατασκευών είναι:

1. Η θεωρία Γράφων και η Προσέγγιση Μητρών για την περιγραφή τους (Graph Theory and Matrix Approach)
2. Οι Ασαφείς Πολυ-χαρακτηριστικές Μέθοδοι Αποφάσεων (Fuzzy Multiple Attribute Decision-Making Methods.)

Η θεωρία γράφων αποτελεί μία συστηματική και λογική προσέγγιση. Η προχωρημένη θεωρία περιγραφής των γράφων και οι εφαρμογές αυτών, αποτελούν δεδομένα με ικανοποιητική περιγραφή από την υπάρχουσα μεθοδολογία και βιβλιογραφία. Οι αναπαραστάσεις με μοντέλα επίπεδων/προσανατολισμένων ή μη γράφων, έχουν αποδειχθεί πάρα πολύ χρήσιμες για την μοντελοποίηση και την ανάλυση πολλών ειδών συστημάτων και προβλημάτων σε αναρίθμητους τομείς της επιστήμης και της τεχνολογίας. Βέβαια, εφόσον το μοντέλο περιγραφής των επίπεδων προσανατολισμένων ή μη γράφων είναι πολύπλοκο, καθίσταται δύσκολη η οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης. Αυτό μπορεί να γίνει με χρήση υπολογιστή διαμέσου της μεθόδου προσέγγισης μητρών. Μία ισοδύναμη μήτρα περιγραφής του επίπεδου προσανατολισμένων ή μη γράφου, μπορεί πάντοτε να ορισθεί για να περιγράψει την δομή ενός γράφου. Η θεωρία γράφων και η προσέγγιση μητρών, βοηθούν στην διαπίστωση ιδιοτήτων και προσφέρουν μία καλύτερη οπτικοποίηση των ιδιοτήτων και των συσχετίσεων τους. Μπορεί να χειρισθεί τα εγγενή σφάλματα και ένα αριθμό ποσοτικών και ποιοτικών ιδιοτήτων ταυτόχρονα. Η μέθοδος έχει αξιωματική βάση, συμπεριλαμβάνει λιγότερο υπολογιστικό τμήμα, παρέχοντας μεγαλύτερη έμφαση στην μεθοδολογία λήψης αποφάσεων προσφέροντας μία πιο αντικειμενική, απλή και συμπαγή μέθοδο λήψης απόφασης. Επιπροσθέτως, στόχος είναι η ταυτοποίηση και η σύγκριση των εναλλακτικών σε όρους ομοιοτήτων/ανομοιοτήτων όπου μπορούν να εντοπισθούν. Η εφαρμογή της θεωρίας γράφων και της προσέγγισης μητρών ως ένα εργαλείο για την λήψη αποφάσεων σε βιομηχανικές κατασκευές, είναι σχετικά νέος και αυτή η προσέγγιση δεν έχει γίνει αντικείμενο εκτενούς μελέτης και χρήσης από πολλούς μελετητές.

Επιπροσθέτως στη θεωρία γράφων και στην προσέγγιση μητρών μερικές άλλες σημαντικές μέθοδοι, γνωστές ως Μέθοδοι Πολυ-Χαρακτηριστικών για την Λήψη Απόφασης (Multiple Attribute Decision-Making methods-MADM), επίσης χρησιμοποιούνται για την λήψη απόφασης σε βιομηχανικά περιβάλλοντα. Αυτές οι μέθοδοι εμπίπτουν στην κατηγορία των Πολυκριτηριακών Μεθόδων Λήψης Απόφασης (Multiple Criteria Decision-Making methods -MCDM), όπως για παράδειγμα στην παρουσία πολλαπλών γενικά και εμπλεκόμενων κριτηρίων. Εξαρτώμενες από το πεδίο των εναλλακτικών (domain of alternatives), τα προβλήματα της Πολυκριτήριας μεθόδου συνήθως διαιρούνται σε προβλήματα συνεχούς ή διακριτού τύπου.

Τα προβλήματα Πολυκριτήριας Ανάλυσης μπορούν να χωρισθούν σε δύο υποκατηγορίες:

- Πολυ αντικειμενική Λήψη Απόφασης (Multiple Objective Decision-Making - MODM)
- Πολυ Χαρακτηριστική Λήψη Αποφάσεων (Multiple Attribute Decision-Making - MADM).

Οι Πολυ αντικειμενικές μέθοδοι έχουν μεταβλητές τιμές αποφάσεων, οι οποίες ορίζονται σε συνεχή ή σε περιβάλλοντα ακεραίων αριθμών με είτε άπειρο είτε πεπερασμένο αλλά πολύ μεγάλο αριθμό εναλλακτικών επιλογών, η καλύτερη εκ των οποίων θα πρέπει να ικανοποιεί τις δεσμεύσεις και τις προτεραιότητες των επιλογών του υπεύθυνου για την Λήψη της απόφασης. Από την άλλη πλευρά οι Πολυ-χαρακτηριστικές μέθοδοι είναι γενικά διακριτές με ένα περιορισμένο αριθμό προκαθορισμένων εναλλακτικών επιλογών. Αυτές οι μέθοδοι απαιτούν συγκρίσεις ιδιοτήτων εντός και εκτός του χώρου των ιδιοτήτων και συμπεριλαμβάνουν αποκλειστικά κριτήρια τα οποία είναι κατάλληλα διατυπωμένα για την επίλυση του προβλήματος.

Κάθε μήτρα λήψης απόφασης στην πολυ-χαρακτηριστική μέθοδο χωρίζεται σε τέσσερα μέρη:

- (α). Εναλλακτικές
- (β). Ιδιότητες
- (γ). Βάρη της σχετικής σημαντικότητας για κάθε ιδιότητα
- (δ). Μέτρα Επίδοσης των Εναλλακτικών με έμφαση στις ιδιότητες

Από τις πολλές μεθόδους που κατατάσσονται στην κατηγορία των Πολυ-χαρακτηριστικών πέντε χρησιμοποιούνται ευρέως:

- (α) Η μέθοδος του Αθροίσματος των Βαρών (Weighted Sum Method - WSM)
- (β) Η μέθοδος του Γινομένου των Βαρών (Weighted Product Method - WPM)

(γ) Τέσσερες τύποι από Αναλυτικές Ιεραρχικές Διεργασίες (Analytic Hierarchy Process - AHP)

(δ) Η αναθεωρημένη AHP (Revised AHP)

(ε) Τεχνική Προτεραιοτήτων τάξης που είναι κοντά στην Ιδανική Λύση (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution - TOPSIS).

Μία συμβιβαστική τεχνική που εντάσσεται επίσης στην Πολυ-χαρακτηριστική μέθοδο είναι η μέθοδος VIKOR. Όμως, ένα από τα πιο κρίσιμα προβλήματα για πολλές από τις μεθόδους λήψης απόφασης είναι η ακριβής αξιολόγηση των «παρεμφερών» δεδομένων. Συχνά τα δεδομένα είναι ανακριβή και υπόκεινται σε αβεβαιότητες. Είναι επιθυμητό να αναπτύξουμε μεθόδους λήψης απόφασης για να μπορούμε να χειριστούμε αυτά τα προβλήματα. Οι κλασσικές πολυ-χαρακτηριστικές μέθοδοι λήψης απόφασης δεν μπορούν να χειρισθούν αυτά τα προβλήματα ικανοποιητικά με τόσο ανακριβή επίπεδα πληροφόρησης. Για να επιλύσουμε και αυτήν την δυσκολία χρησιμοποιούμε ασαφείς Πολυ-χαρακτηριστικές μεθόδους (fuzzy MADM).

Στη συνέχεια θα παρουσιασθούν μερικά εισαγωγικά χαρακτηριστικά για τις μεθόδους που αναφέρθηκαν όσον αφορά στην εφαρμογή των Βιομηχανικών Κατασκευών.

## **5.4 Θεωρία Γράφων και Μήτρα προσέγγισης ως μέθοδος λήψης απόφασης**

Ένας γράφος  $G=(V,E)$ , αποτελείται από ένα σετ από αντικείμενα  $V=\{v_1,v_2,\dots\}$ , τα οποία καλούνται κορυφές ή κόμβοι και ένα άλλο σύνολο  $E=\{e_1,e_2,\dots\}$ , το οποίο καλείται σύνολο ακμών ή κλάδων. Για να ορισθεί ένας κλάδος του γράφου χρειάζονται δύο κορυφές. Οι κόμβοι  $v_i$  και  $v_j$  οι οποίοι σχετίζονται με την ακμή  $e_k$  καλούνται γειτονικοί κόμβοι του κλάδου  $e_k$ . Η πιο κοινή αναπαράσταση ενός γράφου περιλαμβάνει τη χρήση ενός διαγράμματος στο οποίο οι κόμβοι αντιπροσωπεύονται από σημεία ή κύκλους, ενώνοντας με κλάδους τους τελικούς κόμβους.

Η εφαρμογή της θεωρίας γράφων για την περιγραφή προβλημάτων ήταν γνωστή ήδη αρκετούς αιώνες πριν. Από τους θεμελιωτές της θεωρίας γράφων θεωρείται ο Euler

το 1736. Από τους θεμελιωτές της σύγχρονης θεωρίας των γράφων θεωρούνται οι: Harary (1985), Wilson και Watkins (1990), Chen (1997), Deo (2000), Jense και Gutin (2000), Liu και Lai (2001), Tutte (2001), Pemmaraju και Skiena (2003), Gross και Yellen (2005) και Biswal (2005).

Στην συνέχεια θα παρουσιασθούν οι λεπτομέρειες της θεωρίας γράφων και της μήτρας προσέγγισης ως μία μέθοδο για την λήψη αποφάσεων σε βιομηχανικά περιβάλλοντα. Επιπλέον θα χρειαστεί να εισάγουμε την έννοια της μηχανοποίησης. Η μηχανοποίηση (machinability) αποτελεί ένα μέτρο της ευκολίας με την οποία ένα υλικό που απαιτείται για μία διεργασία, μπορεί να παραχθεί ικανοποιητικά με την χρήση μηχανών. Το θέμα της μηχανοποίησης είναι μεγάλης σημαντικότητας για τον μηχανικό παραγωγής έτσι ώστε να βασίζεται εκ των προτέρων, ότι η επεξεργασία των υλικών μπορεί να σχεδιασθεί με έναν αποδοτικό τρόπο. Η αντίστοιχη μελέτη μπορεί να αποτελεί μία βάση π.χ. για ένα εργαλείο κοπής και την διαδικασία κοπής, η αξιολόγηση της απόδοσης υγρών για την ψύξη του εργαλείου κοπής είναι σημαντική την βελτιστοποίηση της χρήσης του μηχανήματος. Στην διεργασία του σχεδιασμού προϊόντων η επιλογή των υλικών για την πραγμάτωση του σχεδιασμού είναι σημαντική για την μείωση του κόστους παραγωγής. Η μηχανοποίηση των υλικών παραγωγής, βασίζοντας την επίδραση τους στις τιμές της αγοράς για το κόστος παραγωγής, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη, αν και γενικά μπορεί να μην αποτελεί ένα κριτήριο το οποίο να θεωρείται ως μέγιστης σημαντικότητας για την παραγωγική διεργασία ως προς την επιλογή του προϊόντος. Εφόσον διατίθεται ένα πεπερασμένο πλήθος υλικών ανάμεσα από τα οποία θα πρέπει να εκλεγεί το επιθυμητό, και εφόσον το κάθε ένα από αυτά τα υλικά ικανοποιεί τις τεχνικές απαιτήσεις για τον σχεδιασμό του προϊόντος, τότε το βασικό κριτήριο για την επιλογή είναι η λειτουργική αποδοτικότητα των υλικών στην χρήση μηχανής δηλ. η μηχανοποίηση της παραγωγής.

Η αξιολόγηση της μηχανοποίησης βασίζεται στην αξιολόγηση οικονομικών και τεχνικών κριτηρίων.

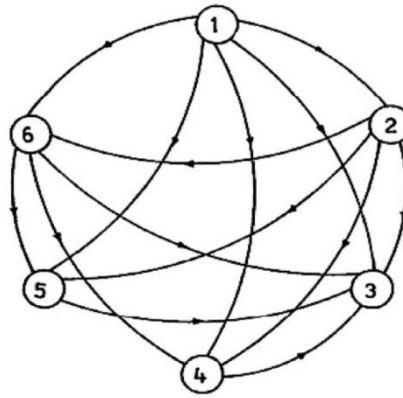
## 5.5 Προσανατολισμένος γράφος για τον χαρακτηρισμό της Μηχανοποίησης

Ένας προσανατολισμένος γράφος (direct graph - digraph) αποτελείται από ένα σύνολο προσανατολισμένων κλάδων. Ένας προσανατολισμένος γράφος μηχανοποίησης μοντελοποιεί τις ιδιότητες μηχανοποίησης και την συσχέτιση τους για μία δεδομένη εργασία που απαιτεί χρήση μηχανημάτων. Ο προσανατολισμένος γράφος αποτελείται από κόμβους και κλάδους. Ένας κόμβος  $\{V_i\}$  συνιστά ικανότητα ή μέτρο της  $i$ -οστής ιδιότητας μηχανοποίησης. Ο αριθμός των κόμβων του γράφου είναι ίσος με τον αριθμό των ιδιοτήτων μηχανοποίησης που απαιτούνται για μία δεδομένη εργασία. Ο προσανατολισμένος κλάδος αντιπροσωπεύει μία σχετική σημαντικότητα ανάμεσα στις ιδιότητες. Εάν ο κόμβος 'i' έχει μία σχετική σημαντικότητα έναντι ενός άλλου κόμβου 'j' στην αξιολόγηση της μηχανοποίησης για τα υλικά που αναφέρονται στην δεδομένη εργασία, ένας απευθείας κλάδος ή βέλος σύνδεσης οδηγείται από τον κόμβο i προς τον κόμβο j (π.χ.  $e_{ij}$ ). Εάν ο κόμβος j έχει σχετική σημαντικότητα έναντι του κόμβου i, τότε ο κατευθυνόμενος κλάδος συνιστά ένα βέλος από τον κόμβο j προς τον κόμβο i (π.χ.  $e_{ji}$ ).

Ένας προσανατολισμένος γράφος μηχανοποίησης δίνει μια γραφική απεικόνιση των ιδιοτήτων και της σχετικής τους σημαντικότητας για γρήγορη οπτική επισκόπηση. Καθώς ο αριθμός των κόμβων και των συσχετίσεων τους αυξάνουν, ο προσανατολισμένος γράφος γίνεται όλο και πιο πολύπλοκος. Σε μια τέτοια περίπτωση, η οπτική ανάλυση του προσανατολισμένου γράφου αναμένεται να γίνει δύσκολη και πολύπλοκη. Για να ξεπεραστεί αυτός ο περιορισμός, ο προσανατολισμένος γράφος αναπαρίσταται με την χρήση μιας μήτρας προσέγγισης.

Ένα σχεδιαστικό παράδειγμα ενός γράφου με κόμβους που αναπαριστούν 6 ιδιότητες μηχανοποίησης μίας διεργασίας δίνεται στο σχήμα που ακολουθεί:





**Σχήμα 1:** Γραφική αναπαράσταση με χρήση προσανατολισμένου γράφου της διεργασίας μηχανοποίησης με σύγκριση 6 ιδιοτήτων

Για την αντιστοίχιση του προσανατολισμένου γράφου σε μία μήτρα προσέγγισης  $A=[a_{ij}]$  χρησιμοποιείται ο ακόλουθος κανόνας:

$a_{ij}=1$  όταν η  $i$ -ιδιότητα μηχανοποίησης είναι πιο σημαντική από την  $j$ -ιδιότητα μηχανοποίησης για μία δεδομένη διεργασία που απαιτεί την χρήση μηχανής

$a_{ij}=0$  εναλλακτικά

Με βάση την αντιστοίχιση των 6 ιδιοτήτων μηχανοποίησης και τον προηγούμενο προσανατολισμένο γράφο περιγραφής, προκύπτει η μήτρα προσέγγισης:

Attributes	GR	NF	TF	SF	DA	GT
GR	0	1	1	1	1	1
NF	0	0	1	1	1	1
TF	0	0	0	0	0	0
SF	0	0	1	0	0	0
DA	0	0	1	0	0	0
GT	0	0	1	1	1	0

## 5.6 Δείκτης Μηχανοποίησης

Ο δείκτης μηχανοποίησης (machinability index) είναι ένα μέτρο της ευκολίας με την οποία ένα υλικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ικανοποιητικά από μία μηχανή σε μία μηχανική διεργασία. Ο δείκτης μηχανοποίησης ορίζεται από τις σχέσεις της μορφής που ακολουθούν, λαμβάνοντας υπόψη τα μέτρα των ιδιοτήτων και τις σχετικές τους

σημαντικότητες και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα μέτρο εκτίμησης της ιδιότητας αυτής:

$$\begin{aligned}
\text{per}(J) = & \prod_{i=1}^M A_i + \sum_{i=1}^{M-1} \sum_{j=i+1}^M \dots \sum_{M=t+1}^M (a_{ij}a_{ji})A_k A_l A_m A_n A_o \dots A_t A_M \\
& \dots, M \neq \text{pus} \\
& + \sum_{i=1}^{M-2} \sum_{j=i+1}^{M-1} \sum_{k=j+1}^M \dots \sum_{M=t+1}^M (a_{ij}a_{jk}a_{ki} + a_{ik}a_{kj}a_{ji})A_l A_m A_n A_o \dots A_t A_M \\
& \dots, M \neq \text{pus} \\
& + [\sum_{i=1}^{M-3} \sum_{j=i+1}^M \sum_{k=i+1}^{M-1} \sum_{l=i+2}^M \dots \sum_{M=t+1}^M (a_{ij}a_{ji})(a_{kl}a_{lk})A_m A_n A_o \dots A_t A_M \\
& \dots, M \neq \text{pus} \\
& + \sum_{i=1}^{M-3} \sum_{j=i+1}^{M-1} \sum_{k=i+1}^M \sum_{l=j+1}^M \dots \sum_{M=t+1}^M (a_{ij}a_{jk}a_{kl}a_{li} + a_{il}a_{lk}a_{kj}a_{ji})A_m A_n A_o \dots A_t A_M] \\
& \dots, M \neq \text{pus} \\
& + [\sum_{i=1}^{M-2} \sum_{j=i+1}^{M-1} \sum_{k=j+1}^M \sum_{l=i+1}^{M-1} \sum_{m=l+1}^M \dots \sum_{M=t+1}^M (a_{ij}a_{jk}a_{kl} + a_{ik}a_{kj}a_{ji})(a_{lm}a_{ml})A_n A_o \dots A_t A_M \\
& \dots, M \neq \text{pus} \\
& + \sum_{i=1}^{M-4} \sum_{j=i+1}^{M-1} \sum_{k=i+1}^M \sum_{l=i+1}^M \sum_{m=j+1}^M \dots \sum_{M=t+1}^M (a_{ij}a_{jk}a_{kl}a_{lm}a_{mi} + a_{im}a_{ml}a_{lk}a_{kj}a_{ji})A_n A_o \dots A_t A_M] \\
& \dots, M \neq \text{pus} \\
& + [(\sum_{i=1}^{M-3} \sum_{j=i+1}^{M-1} \sum_{k=i+1}^M \sum_{l=j+1}^M \sum_{m=1}^{M-1} \sum_{n=m+1}^M \dots \sum_{M=t+1}^M (a_{ij}a_{jk}a_{kl}a_{li} + a_{il}a_{lk}a_{kj}a_{ji})(a_{nm}a_{mn})A_o \dots A_t A_M \\
& \dots, M \neq \text{pus} \\
& + \sum_{i=1}^{M-5} \sum_{j=i+1}^{M-1} \sum_{k=j+1}^M \sum_{l=1}^{M-2} \sum_{m=l+1}^{M-1} \sum_{n=m+1}^M \dots \sum_{M=t+1}^M (a_{ij}a_{jk}a_{kl} + a_{ik}a_{kj}a_{ji})(a_{lm}a_{nm}a_{nl} + a_{ln}a_{nm}a_{ml})A_o \dots A_t A_M \\
& \dots, M \neq \text{pus} \\
& + \sum_{i=1}^{M-5} \sum_{j=i+1}^M \sum_{k=i+1}^{M-3} \sum_{l=i+2}^M \sum_{m=k+1}^{M-1} \sum_{n=k+2}^M \dots \sum_{M=t+1}^M (a_{ij}a_{ji})(a_{kl}a_{lk})(a_{mn}a_{nm})A_o \dots A_t A_M \\
& \dots, M \neq \text{pus} \\
& + \sum_{i=1}^{M-5} \sum_{j=i+1}^{M-1} \sum_{k=i+1}^M \sum_{l=i+1}^M \sum_{m=i+1}^M \sum_{n=j+1}^M \dots \sum_{M=t+1}^M (a_{ij}a_{jk}a_{kl}a_{lm}a_{mn}a_{ni} + a_{in}a_{nm}a_{ml}a_{lk}a_{kj}a_{ji})A_o \dots A_t A_M] \\
& \dots, M \neq \text{pus} \\
& + \dots \dots \dots
\end{aligned} \tag{2.11}$$

Καθώς η συνάρτηση μηχανοποίησης περιλαμβάνει μόνο θετικούς όρους υψηλότερες τιμές των  $A_i$  και  $a_{ij}$  θα καταλήξουν σε αυξημένες τιμές του δείκτη μηχανοποίησης.

Για να υπολογιστεί αυτός ο δείκτης η ζητούμενη πληροφορία είναι οι τιμές των  $A_i$  και  $a_{ij}$ . Οι τιμές των παραμέτρων θα πρέπει να εκτιμηθούν από ένα δεδομένο/καθορισμένο τεστ. Εάν μία αντικειμενική τιμή δεν είναι διαθέσιμη τότε ένα κριτήριο κατάταξης σε κλίμακα μεταξύ του 0 και 1 απαιτείται. Μία τέτοια κατάταξη παρουσιάζεται στους παρακάτω πίνακες:

Subjective measure of attribute	Assigned value
Exceptionally low	0.0
Extremely low	0.1
Very low	0.2
Low	0.3
Below average	0.4
Average	0.5
Above average	0.6
High	0.7
Very high	0.8
Extremely high	0.9
Exceptionally high	1.0

**Πίνακας 2:** Τιμές των Ιδιοτήτων

Class description	Relative importance	
	$a_{ij}$	$a_{ji} = 1 - a_{ij}$
Two attributes are equally important	0.5	0.5
One attribute is slightly more important over the other	0.6	0.4
One attribute is strongly more important over the other	0.7	0.3
One attribute is very strongly important over the other	0.8	0.2
One attribute is extremely important over the other	0.9	0.1
One attribute is exceptionally more important over the other	1.0	0.0

**Πίνακας 3:** Σχετική Σημαντικότητα των Ιδιοτήτων

### 5.7 Πολυ-Χαρακτηριστικές Μέθοδοι Λήψης Απόφασης (MADM)

Η Πολυκριτηριακή Μέθοδος Λήψης Απόφασης (MCDM) αναφέρεται στην λήψη απόφασης παρουσία πολλαπλών και συνήθως αντικρουόμενων κριτηρίων. Το πρόβλημα της πολυ-κριτηριακής μεθόδου μπορεί να κατηγοριοποιηθεί ευρέως σε δύο κατηγορίες: (α) Πολυ-χαρακτηριστική Μέθοδος Λήψης Απόφασης (MADM) (β) την

Πολλαπλών Αντικειμενικών Στόχων μέθοδο Λήψης Απόφασης (MODM), εξαρτώμενες από το αν ένα πρόβλημα είναι πρόβλημα επιλογής ή σχεδιασμού. Οι μέθοδοι MODM έχουν μεταβλητές για την λήψη απόφασης οι οποίες παίρνουν συνεχείς ή ακέραιες τιμές με άπειρο ή πολλαπλά μεγάλο αριθμό επιλογών, οι οποίες ικανοποιούν τις δεσμεύσεις και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά επιλογής και προτεραιοτήτων του προβλήματος. Οι μέθοδοι MADM από την άλλη πλευρά, είναι γενικά διακριτές με ένα πεπερασμένο αριθμό προκαθορισμένων επιλογών. Η MADM είναι μια προσέγγιση η οποία χρησιμοποιείται για να επιλύσει προβλήματα τα οποία συμπεριλαμβάνουν επιλογές ανάμεσα σε ένα πεπερασμένο αριθμό εναλλακτικών. Μία μέθοδος MADM καθορίζει πως μία πληροφορία που σχετίζεται με μία ιδιότητα θα γίνει αντικείμενο επεξεργασίας έτσι ώστε να μπορεί να μετουσιωθεί σε μία εκλογή. Οι μέθοδοι MADM όπως αναφέρθηκε απαιτούν συγκρίσεις των ιδιοτήτων και εντός αλλά και εκτός του χώρου ιδιοτήτων και συμπεριλαμβάνουν αποκλειστικές αντικρουόμενες συναρτήσεις.

Κάθε πίνακας απόφασης (καλείται μήτρα απόφασης), στην μέθοδο MADM, έχει τέσσερα κύρια μέρη: (α) εναλλακτικές (β) ιδιότητες (γ) βάρη ή σχετική σημαντικότητα για κάθε ιδιότητα/χαρακτηριστικό και (δ) μέτρα απόδοσης των εναλλακτικών όπως αυτά σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά. Η μήτρα απόφασης παρουσιάζεται στον πίνακα που ακολουθεί:

Alternatives	Attributes					$B_M$ ( $w_M$ )
	$B_1$ ( $w_1$ )	$B_2$ ( $w_2$ )	$B_3$ ( $w_3$ )	- (-)	- (-)	
$A_1$	$m_{11}$	$m_{12}$	$m_{13}$	-	-	$m_{1M}$
$A_2$	$m_{21}$	$m_{22}$	$m_{23}$	-	-	$m_{2M}$
$A_3$	$m_{31}$	$m_{32}$	$m_{33}$	-	-	$m_{3M}$
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
$A_N$	$m_{N1}$	$m_{N2}$	$m_{N3}$	-	-	$m_{NM}$

**Πίνακας 1:** Πίνακας Απόφασης της Πολυ-Χαρακτηριστικών Μεθόδου (MADM)

Ο πίνακας απόφασης δείχνει τις εναλλακτικές  $A_i$ , για  $i=1,2,\dots,N$  και τα μέτρα της απόδοσης των εναλλακτικών  $m_{ij}$  για  $i=1,2,\dots,N$  και  $j=1,2,\dots,M$ . Δεδομένης της πληροφορίας του πίνακα απόφασης και μίας μεθόδου απόφασης η διαδικασία για την εξαγωγή απόφασης είναι να εντοπίσει τις καλύτερες εναλλακτικές και/ή να ταξινομήσει το συνολικό σύνολο των επιλογών. Θα πρέπει να προστεθεί στο σημείο

αυτό ότι όλα τα στοιχεία του πίνακα απόφασης πρέπει να κανονικοποιηθούν στις ίδιες μονάδες, έτσι ώστε όλες οι πιθανές ιδιότητες στο πίνακα απόφασης να μπορούν να συγκριθούν.

Από την πληθώρα των μεθόδων MADM οι οποίες παρουσιάζονται στην βιβλιογραφία (Saaty 1980, 2000, Hwang και Yoon 1981, Chen και Hwang 1992, Yoon και Hwang 1995, Olson 1996, Triantaphyllou και Sanchez 1997, Zanakis et al 1998, Gal et al 1999, Triantaphyllou 2000, Figueira et al 2004), μερικές από αυτές τις μεθόδους έχουν μία υψηλότερη προοπτική στην αντιμετώπιση προβλημάτων λήψης απόφασης για τα βιομηχανικά – κατασκευαστικά περιβάλλοντα.

### **5.7.1 Μέθοδος Πρόσθεσης των Απλών βαρών (Simple Additive Weighting Method - SAW)**

Αυτή η μέθοδος καλείται και μέθοδος Αθροίσματος των Βαρών (Weighted Sum Method – WSM), και είναι η απλούστερη και ευρύτερα διαδεδομένη μέθοδος από την οικογένεια των Πολυ-χαρακτηριστικών Μεθόδων (MADM). Σε αυτήν την μέθοδο αποδίδεται και μία τιμή βάρους σε κάθε χαρακτηριστικό, και το άθροισμα όλων των βαρών πρέπει να είναι κανονικοποιημένο σε τιμή 1. Κάθε εναλλακτική σχετίζεται όσον αφορά το κάθε χαρακτηριστικό. Το συνολικό ή συνθετικό αποτέλεσμα από την άθροιση των εναλλακτικών δίνεται από την εξίσωση:

$$P_i = \sum_{j=1}^M w_j m_{ij}$$

Η μέθοδος SAW θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί όταν τα χαρακτηριστικά απόφασης μπορούν να εκφραστούν με ιδανικές μονάδες μέτρου (κοινή μονάδα μέτρησης). Όμως αν όλα τα στοιχεία του πίνακα λήψης απόφασης είναι κανονικοποιημένα τότε η μέθοδος SAW μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κάθε τύπο και οποιοδήποτε πλήθος χαρακτηριστικών. Σε αυτήν την περίπτωση η προηγούμενη εξίσωση θα πάρει την μορφή:

$$P_i = \sum_{j=1}^M w_j (m_{ij})_{\text{normal}}$$

όπου η ποσότητα  $(m_{ij})_{\text{normal}}$  αντιπροσωπεύει την κανονικοποιημένη τιμή της ποσότητας  $m_{ij}$ , και  $P_i$  αποτελεί το συνολικό αποτέλεσμα άθροισης (score), για τις εναλλακτικές  $A_i$ . Η εναλλακτική  $A_i$  με την καλύτερη τιμή  $P_i$  θεωρείται ως η καλύτερη εναλλακτική.

Τα χαρακτηριστικά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε ωφέλιμα και μη ωφέλιμα. Όταν οι αντικειμενικές τιμές των χαρακτηριστικών είναι διαθέσιμες οι αντίστοιχες κανονικοποιημένες τιμές τους μπορούν να υπολογισθούν ως λόγος που δίνεται από την σχέση:

$$(m_{ij})_K / (m_{ij})_L$$

όπου η ποσότητα  $(m_{ij})_K$ , είναι το μέτρο των χαρακτηριστικών για την K-εναλλακτική και  $(m_{ij})_L$  είναι το μέτρο του χαρακτηριστικού για την L-εναλλακτική η οποία παρουσιάζει το μεγαλύτερο μέτρο από όλες τις εναλλακτικές που παρουσιάζονται στον πίνακα. Ο λόγος είναι έγκυρος για ωφέλιμες (δυνατές) επιλογές των εναλλακτικών μόνο. Ένα ωφέλιμο χαρακτηριστικό σημαίνει ότι η μεγαλύτερη τιμή στο μέτρο του είναι πιο επιθυμητή για το δοθέν πρόβλημα λήψης απόφασης. Κατά αντίθεση, μη ωφέλιμα χαρακτηριστικά ορίζονται να είναι αυτά όπου οι μικρότερες τιμές μέτρου είναι επιθυμητές για την λήψη απόφασης. Ο λόγος για αυτά προσδιορίζεται με αντιστροφή του προηγούμενου ορισμού δηλ.

$$(m_{ij})_L / (m_{ij})_K.$$

Εάν ο περιορισμός κανονικοποίησης για άθροιση όλων των βαρών ίσο με τη μονάδα χαλαρώσει, τότε η εξίσωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί με χαλάρωση της αυστηρότητας κανονικοποίησης και αυτή η μέθοδος καλείται Απλή Τεχνική Στάθμισης (Simple Multiple Attribute Rating Techniques - SMART).

$$P_i = \left[ \sum_{j=1}^M w_j (m_{ij})_{\text{normal}} \right] / \sum_{j=1}^M w_j$$

Οι Edwards et al (1982) πρότειναν μια απλή μέθοδο για τον καθορισμό των βαρών για κάθε χαρακτηριστικό για να αντικατοπτρίζουν την σχετική σημαντικότητα των αποφάσεων. Για αρχή τα χαρακτηριστικά κατατάσσονται κατά σημαντικότητα και οι

10 μονάδες (μέγιστο score) ανατίθενται στο λιγότερο σημαντικό χαρακτηριστικό. Μετά το επόμενο λιγότερο σημαντικό στοιχείο επιλέγεται και ο δεύτερος βαθμός (9) ανατίθεται σε αυτό κ.ο.κ. για να δηλωθεί έτσι η σχετική σημαντικότητα. Τα τελικά βάρη υπολογίζονται με τις κανονικοποιήσεις έτσι ώστε το τελικό άθροισμα να καταλήγει σε τιμή 1.

### 5.7.2 Μέθοδος του Πολλαπλασιασμού των Βαρών (Weighted Product Method - WPM)

Η μέθοδος μοιάζει με την προηγούμενη. Η βασική της διαφορά είναι ότι αντί της άθροισης των βαρών για το μοντέλο χρησιμοποιείται πολλαπλασιασμός (Miller και Starr, 1969). Το συνολικό ή συνθετικό score απόδοσης για τις εναλλακτικές δίνεται από την φόρμουλα:

$$P_i = \prod_{j=1}^M [(m_{ij})_{\text{normal}}]^{w_j}$$

Οι κανονικοποιημένες τιμές υπολογίζονται με την διαδικασία της προηγούμενης παραγράφου. Κάθε κανονικοποιημένη τιμή κάθε εναλλακτικής σε σχέση με το αντίστοιχο χαρακτηριστικό, υψώνεται στην δύναμη του σχετικού βάρους για την αντίστοιχη μεταβλητή. Η εναλλακτική με το υψηλότερο  $P_i$  λογίζεται ως η καλύτερη επιλογή εναλλακτικής.

### 5.7.3 Μέθοδος Αναλυτικής Ιεράρχησης Διεργασιών (Analytic Hierarchy Process - AHP)

Μία από τις πιο δημοφιλείς τεχνικές για σύνθετα προβλήματα λήψης απόφασης είναι η αναλυτική Ιεράρχηση Διεργασιών (AHP, Saaty 1980, 2000), η οποία αποδομεί το πρόβλημα λήψης απόφασης, σε ένα σύστημα ιεράρχησης των αντικειμενικών εκβάσεων ή κριτηρίων καθώς και των εναλλακτικών τους.

Η μέθοδος AHP μπορεί να έχει τόσα επίπεδα όσα χρειάζονται έτσι ώστε να χαρακτηρίσει συνολικά το πρόβλημα λήψης απόφασης. Ένας αριθμός από λειτουργικά χαρακτηριστικά κάνουν την AHP μία πολύ χρήσιμη μεθοδολογία. Αυτό συμπεριλαμβάνει την ικανότητα της μεθόδου να χειριστεί καταστάσεις οι οποίες συμπεριλαμβάνουν υποκειμενικές κρίσεις, πολλαπλά επίπεδα από υπεύθυνους για την

λήψη απόφασης, καθώς και η ικανότητα να παρέχει μέτρα συμβατότητας και προτίμησης (Triantaphyllou 2000). Η μέθοδος είναι σχεδιασμένη να αντανάκλα τον ανθρώπινο τρόπο σκέψης και για τον λόγο αυτό, συνεχίζει να είναι η προτιμότερη και πιο διαδεδομένη μέθοδος για την επίλυση σύνθετων προβλημάτων λήψης απόφασης. Η μέθοδος AHP είναι ικανή να χειριστεί τόσο αντικειμενικές (tangible) όσο και υποκειμενικές (non-tangible) καταστάσεις, όπου οι υποκειμενικές κρίσεις από διαφορετικούς ανθρώπους συνιστούν ένα σημαντικό τμήμα της διαδικασίας λήψης απόφασης. Η κύρια διαδικασία της AHP χρησιμοποιώντας την καινοτόμο μέθοδο ανίχνευσης των διαδρομών (roots) (η οποία επίσης καλείται και μέθοδος του γεωμετρικού μέσου), εφαρμόζεται ως ακολούθως:

**Βήμα 1:** Καθορισμός των αντικειμενικών και των χαρακτηριστικών που τίθενται προς αξιολόγηση. Ανάπτυξη μιας ιεραρχικής δομής με στόχο στο τελικό επίπεδο, ανάθεση των χαρακτηριστικών στο δεύτερο επίπεδο και των εναλλακτικών στο τρίτο επίπεδο.

**Βήμα 2:** Καθορισμός της σχετικής σημαντικότητας των διαφορετικών χαρακτηριστικών με έποψη στον τελικό στόχο ή αντικείμενο.

- Δημιουργία μήτρας ζευγών σύγκρισης χρησιμοποιώντας κλίμακα σχετικής σημαντικότητας. Οι κρίσεις εισάγονται χρησιμοποιώντας την κύρια κλίμακα της Αναλυτικής Ιεράρχησης Διεργασιών (Saaty 1980, 2000). Ένα χαρακτηριστικό συγκρινόμενο με τον εαυτό του πάντα δέχεται σχετική τιμή 1, έτσι ώστε η κύρια διαγώνιος της μήτρας σύγκρισης να έχει τιμές μονάδας. Οι αριθμοί 3,5,7,9 αντιστοιχούν σε προφορικές κρίσεις ‘μεσαίας σημαντικότητας’, ‘ισχυρής σημαντικότητας’, ‘πολύ ισχυρής σημαντικότητας’, και ‘απόλυτης σημαντικότητας’ αντίστοιχα. Οι τιμές 2,4,6,8 χρησιμοποιούνται για να εκφράσουν ενδιάμεσες διαβαθμίσεις μεταξύ αυτών των τιμών. Υποθέτοντας  $M$ -πλήθος χαρακτηριστικών, τα ζεύγη σύγκρισης των χαρακτηριστικών  $(i,j)$  ορίζουν μία τετραγωνική μήτρα  $B_{M \times M}$  όπου τα στοιχεία  $a_{ij}$  δηλώνουν την συγκρίσιμη σημαντικότητα για τα χαρακτηριστικά  $(i,j)$ . Στην μήτρα αυτή  $b_{ii}=1$  και  $b_{ji}=1/b_{ij}$ .

Παράδειγμα περιγραφής.



$$B_{M \times M} = \begin{matrix} \text{Attributes} \\ B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ - \\ - \\ B_M \end{matrix} \begin{bmatrix} B_1 & B_2 & B_3 & - & - & B_M \\ 1 & b_{12} & b_{13} & - & - & b_{1M} \\ b_{21} & 1 & b_{23} & - & - & b_{2M} \\ b_{31} & b_{32} & 1 & - & - & b_{3M} \\ - & - & - & - & - & - \\ - & - & - & - & - & - \\ b_{M1} & b_{M2} & b_{M3} & - & - & 1 \end{bmatrix}$$

- Στην συνέχεια βρίσκουμε τα σχετικά κανονικοποιημένα βάρη ( $w_j$ ) για κάθε χαρακτηριστικό με (α) υπολογισμό των γεωμετρικών μέσων για την  $i$ -γραμμή και (β) κανονικοποιώντας τους γεωμετρικούς μέσους των γραμμών στην μήτρα σύγκρισης. Αυτό μπορεί να παρασταθεί με τις φόρμουλες:

$$GM_j = \left[ \prod_{i=1}^M b_{ij} \right]^{1/M}$$

και

$$w_j = GM_j / \sum_{j=1}^M GM_j$$

Η μέθοδος του γεωμετρικού μέσου για την AHP χρησιμοποιείται κοινά για να μπορεί να καθορίσει τα κανονικοποιημένα βάρη των χαρακτηριστικών, εξαιτίας της απλότητας, του εύκολου καθορισμού των ιδιοτιμών της, και μείωση στην ασυμβατότητα των κρίσεων.

- Υπολογίζουμε τις μήτρες  $A_3$  και  $A_4$  τέτοιες ώστε  $A_3 = A_1 * A_2$  και  $A_4 = A_3 / A_2$  όπου  $A_2 = [w_1, w_2, \dots, w_j]^T$ .
- Καθορισμός της μέγιστης ιδιοτιμής  $\lambda_{\max}$ , η οποία είναι η μέση τιμή της μήτρας  $A_4$ .
- Υπολογισμός του δείκτη συνέπειας  $CI = (\lambda_{\max} - M) / (M - 1)$ . Όσο μικρότερη η τιμή του δείκτη  $CI$  τόσο μικρότερη είναι και η απόκλιση του δείκτη συνέπειας.
- Καθορισμός του δείκτη τυχειότητας (RI) για τον αριθμό των χαρακτηριστικών που χρησιμοποιούνται στην λήψη απόφασης (βλεπε πίνακα που ακολουθεί).

- Υπολογισμός του λόγου συνέπειας  $CR=CI/RI$ . Συνήθως ένας λόγος συνέπειας της τάξης του 0.1 ή λιγότερο, είναι αποδεκτός και αντανακλά ένα πληροφοριακό χαρακτηριστικό το οποίο έχει τεθεί σε γνώση του αναλυτή όσον αφορά το προς μελέτη πρόβλημα.

**Βήμα 3:** Το επόμενο βήμα είναι η σύγκριση των ζευγών εναλλακτικών όσον αφορά το πιο είναι το περισσότερο καλύτερο (πιο κυρίαρχο) στην ικανοποίηση του κάθε χαρακτηριστικού, π.χ. στην βεβαίωση του πόσο καλά κάθε εναλλακτική χειρίζεται κάθε χαρακτηριστικό. Εάν υπάρχουν  $N$  το πλήθος εναλλακτικές, θα υπάρχουν  $M$  το πλήθος  $N \times N$  μήτρες κρίσεων, δεδομένου ότι υπάρχουν  $M$  χαρακτηριστικά. Η κατασκευή των πινάκων των ζευγών σύγκρισης χρησιμοποιεί μια κλίμακα σχετικής σημαντικότητας. Οι κρίσεις εισάγονται χρησιμοποιώντας την κύρια κλίμακα της AHP μεθόδου (Saaty 1980, 2000). Τα βήματα είναι τα ίδια όπως αυτά που αναφέρθηκαν στο κύριο βήμα 2.

Attributes	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.4	1.45	1.49

**Πίνακας 4:** Πίνακας τιμών του δείκτη τυχαιότητας (RI)

Στο μοντέλο της AHP και οι σχετικές αλλά και οι απόλυτες εκδοχές σύγκρισης μπορούν να παρασταθούν. Η εκδοχή της σχετικής σύγκρισης μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν οι εμπλεκόμενοι στην λήψη απόφασης έχουν πρότερη γνώση των χαρακτηριστικών για την χρήση διαφορετικών εναλλακτικών, ή όταν τα αντικειμενικά δεδομένα των χαρακτηριστικών για διαφορετικές εναλλακτικές που θα αξιολογηθούν δεν είναι διαθέσιμα. Η εκδοχή της απόλυτης σύγκρισης χρησιμοποιείται όταν τα δεδομένα από τα χαρακτηριστικά που θα χρησιμοποιηθούν είναι απευθείας διαθέσιμα. Στην απόλυτη εκδοχή, ο δείκτης CI είναι πάντοτε μηδέν καθώς υπάρχει πλήρη συνέπεια στις κρίσεις, εφόσον οι ακριβείς τιμές χρησιμοποιούνται στις μήτρες συγκρίσεων.

**Βήμα 4:** Το επόμενο βήμα είναι να εξαγάγουμε τα συνολικά ή συνθετικά κόστη (scores) για τις εναλλακτικές πολλαπλασιάζοντας τα σχετικά κανονικοποιημένα βάρη ( $w_j$ ) για κάθε χαρακτηριστικό (το οποίο ελήφθη υπόψη στο βήμα 2) με την

αντίστοιχη κανονικοποιημένη τιμή του για κάθε εναλλακτική (όπως αυτές προέκυψαν στο βήμα 3), και αθροίζοντας πάνω στα χαρακτηριστικά για κάθε εναλλακτική. Αυτό το βήμα μοιάζει με την SAW μέθοδο.

Οι Kwiesielewicz και Uden (2004) δήλωσαν ακόμα και στην περίπτωση που η μήτρα σύγκρισης των ζευγών εναλλακτικών  $B_{M \times M}$  ακόμα και αν είναι αποδεκτής συνέπειας, μπορεί να περιλαμβάνει παρ'όλα αυτά αντιφάσεις. Εάν μία μήτρα περικλείει αντιφάσεις τότε είναι δύσκολο να εξαγάγουμε βάρη τα οποία να ικανοποιούν όλες τις κρίσεις που εκφράζονται στην  $B_{M \times M}$  μήτρα. Κατά συνέπεια είναι επιβεβλημένο να αφαιρέσουμε οποιαδήποτε τέτοια ασάφεια από την μήτρα για την φάση διαδικασίας λήψης απόφασης. Για παράδειγμα, εάν  $b_{ij}=1$  και  $b_{ik}=1$  τότε το  $b_{jk}$  θα πρέπει να ισούται με την μονάδα. Εάν οποιαδήποτε κρίση γίνει για την οποία  $b_{jk}>1$  τότε η αντίφαση είναι παρούσα στον ορισμό της προηγούμενης μήτρας και θα πρέπει να απομακρυνθεί. Οι προηγούμενοι μελετητές σχημάτισαν έναν αλγόριθμο για να ελέγξουν την ύπαρξη τέτοιων αντιφάσεων στην μήτρα  $B_{M \times M}$ .

Θα πρέπει να προστεθεί στο σημείο αυτό ότι η μέθοδος AHP μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάθεση των τιμών σχετικής σημαντικότητας ( $a_{ij}$ ) στα χαρακτηριστικά της θεωρίας γράφων και στην προσέγγιση μήτρας (GTMA).

#### **5.7.4 Αναθεωρημένη Μέθοδος Αναλυτικής Ιεράρχησης Διαεργασιών (Revised Analytic Hierarchy Process - RAHP)**

Η RAHP μέθοδος προτάθηκε από τους Belton και Gear (1983). Οι μελετητές παρατήρησαν ότι μερικές φορές είναι πιθανό για την μέθοδο AHP να καταλήξει σε μη δικαιολογημένους αντιστρόφους. Το πρόβλημα στο σημείο αυτό είναι εάν παρουσιαστεί μία καινούρια εναλλακτική ταυτόσημη σε μία μη βέλτιστη εναλλακτική, τότε η κατάταξη των υπαρχουσών εναλλακτικών αλλάζει. Οι Belton και Gear (1983) έθεσαν το επιχείρημα ότι ο λογος για αυτήν την ασυνέπεια οφειλόταν στο ότι τα μέτρα των σχετικών αποδόσεων για όλες τις εναλλακτικές σε όρους κάθε χαρακτηριστικού (όπως προέκυψαν στην περιγραφή του βήματος 3 της προηγούμενης παραγράφου), αθροίζονται σε τιμή μονάδα. Αντί λοιπόν να έχουμε τους σχετικούς δείκτες απόδοσης σε άθροισμα μονάδα, προτάθηκε να διαιρείται κάθε σχετικός δείκτης απόδοσης με την μέγιστη τιμή του αντίστοιχου διανύσματος των σχετικών τιμών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αποφεύγει την ανατροπή κατάταξης

όταν στο σύστημα εισάγεται μία μη βέλτιστη εναλλακτική. Αυτή η μέθοδος καλείται και 'Ιδανική AHP' και έγινε επίσης αποδεκτή από τον Saaty ο οποίος είναι και ο δημιουργός της αρχικής μεθόδου AHP.

#### **5.7.5 Πολλαπλασιαστική Μέθοδος Αναλυτικής Ιεράρχησης Διεργασιών (Muultiplicative Analytic Hierarchy Process - MAHP)**

Οι Barzilai και Lootsma (1994) και ο Lootsma (1999), πρότειναν μία πολλαπλασιαστική έκδοση της μεθόδου AHP. Στην μέθοδο MAHP, οι τιμές των κανονικοποιημένων βαρών για κάθε εναλλακτική, (όπως προκύπτουν από το βήμα 3 της προηγούμενης παραγράφου), υψώνονται στην δύναμη του κανονικοποιημένου βάρους ( $w_j$ ) για κάθε χαρακτηριστικό (βήμα 2 της προηγούμενης μεθόδου), με πολλαπλασιασμό επί όλων των χαρακτηριστικών για κάθε εναλλακτική. Αυτό το βήμα μοιάζει με την πολλαπλασιαστική μέθοδο WPM.

#### **5.7.6 Τεχνικές για την Επιλογή Τάξης με ομοιότητα προς την Ιδανική Λύση (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution - TOPSIS)**

Η μέθοδος TOPSIS αναπτύχθηκε από τους Hwang και Yoon (1981). Η μέθοδος βασίζεται στην ιδέα ότι οι επιλεγείσες εναλλακτικές θα πρέπει να έχουν την συντομότερη Ευκλείδεια απόσταση από την ιδανική λύση, και προφανώς την μεγαλύτερη από την μη ιδανική λύση. Η ιδανική λύση είναι μια υποθετική λύση για την οποία όλες οι τιμές των χαρακτηριστικών που αντιστοιχούν σε μέγιστες στον πίνακα απόφασης ικανοποιούν την επίλυση του προβλήματος. Η αρνητικά ιδανική λύση είναι η υποθετική λύση για την οποία όλες οι τιμές των χαρακτηριστικών αντιστοιχούν στις ελάχιστες τιμές του πίνακα απόφασης. Έτσι η TOPSIS δίνει μία λύση η οποία δεν είναι μόνο κοντά στην υποθετικά καλύτερη, αλλά και η οποία είναι μακρύτερα από την υποθετικά μη ιδανική. Η βασική διαδικασία για την εφαρμογή της μεθόδου TOPSIS για την συλλογή των βέλτιστων εναλλακτικών ανάμεσα σε αυτές που είναι διαθέσιμες, περιγράφεται παρακάτω:

**Βήμα 1:** Το πρώτο βήμα είναι ο καθορισμός του αντικειμενικού αποτελέσματος, και ο καθορισμός των συναφών προς αξιολόγηση χαρακτηριστικών.

**Βήμα 2:** Αυτό το βήμα αντιπροσωπεύει την κατασκευή μίας μήτρας η οποία βασίζεται σε όλη την πληροφορία των χαρακτηριστικών που είναι διαθέσιμη. Αυτή η

μήτρα δεν είναι τίποτα διαφορετικό από τον πίνακα 1. Κάθε γραμμή από αυτόν τον πίνακα αντιστοιχεί σε κάθε εναλλακτική και κάθε στήλη της σε ένα χαρακτηριστικό. Για τον λόγο αυτό ένα στοιχείο  $m_{ij}$  του πίνακα απόφασης 'D' δίνει την τιμή του  $j$ -τάξης χαρακτηριστικού σε αρχικές πραγματικές τιμές, οι οποίες δεν είναι κανονικοποιημένες σε μορφή και μονάδες για την  $i$ -τάξης εναλλακτική.

Στην περίπτωση ενός υποκειμενικού χαρακτηριστικού (π.χ. η αντικειμενική τιμή δεν είναι διαθέσιμη), υιοθετείται μία κατηγοριοποιημένη κρίση σε κλίμακα. Εάν ένα υποκειμενικό χαρακτηριστικό αντιπροσωπευθεί σε μία κλίμακα, τότε οι κανονικοποιημένες τιμές του χαρακτηριστικού οι οποίες ανατίθενται σε διαφορετικές εναλλακτικές υπολογίζονται με τον ίδιο τρόπο όπως αυτός που χρησιμοποιείται για τα αντικειμενικά χαρακτηριστικά.

**Βήμα 3:** Κατασκευή της μήτρας κανονικοποιημένης απόφασης  $R_{ij}$ , Αυτή μπορεί να αντιπροσωπευθεί ως:

$$R_{ij} = m_{ij} / \left[ \sum_{j=1}^M m_{ij}^2 \right]^{1/2}$$

**Βήμα 4:** Λήψη απόφασης με βάση τις σχετικές σημαντικότητες (βάρη) των διαφορετικών χαρακτηριστικών ως προς το αντικείμενο – στόχο. Ένα σύνολο από βάρη  $w_j$  με  $j=1,2,\dots,M$ , τα οποία να δίνουν άθροισμα μονάδα μπορούν να αποφασισθούν σε αυτό το βήμα.

**Βήμα 5:** Καθορισμός της μήτρας κανονικοποιημένων βαρών  $V_{ij}$ , Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τον πολλαπλασιασμό κάθε στοιχείου της στήλης της  $R_{ij}$  με το συσχετιζόμενο βάρος  $w_j$ . Άρα τα στοιχεία για την κανονικοποιημένη μήτρα βαρών  $V_{ij}$ , εκφράζονται ως:

$$V_{ij} = w_j R_{ij}$$

**Βήμα 6:** Καθορισμός της ιδανικής (καλύτερης) και της αρνητικά ιδανικής (χειρότερης) λύσης σε αυτό το βήμα. Οι ιδανικές και αρνητικά ιδανικές λύσεις είναι:

$$V^+ = \left\{ \left( \sum_i V_{ij} / j \in J \right), \left( \sum_i V_{ij} / j \in J' \right) / i = 1, 2, \dots, N \right\},$$

$$= \{V_1^+, V_2^+, V_3^+, \dots, V_M^+\}$$

$$V^- = \left\{ \left( \sum_i V_{ij} / j \in J \right), \left( \sum_i V_{ij} / j \in J' \right) / i = 1, 2, \dots, N \right\},$$

$$= \{V_1^-, V_2^-, V_3^-, \dots, V_M^-\}$$

όπου  $J=(j=1,2,\dots,M)/j$  σχετίζεται με τα 'ωφέλιμα' χαρακτηριστικά

και  $J'=(j=1,2,\dots,M)/j$  σχετίζεται με τα 'μη ωφέλιμα' χαρακτηριστικά

$V_j^+$  αναφέρεται στην ιδανική (καλύτερη) τιμή για το θεωρούμενο χαρακτηριστικό ανάμεσα στις τιμές των χαρακτηριστικών για διαφορετικές εναλλακτικές. Στην περίπτωση των 'ωφέλιμων' χαρακτηριστικών (για αυτές στις οποίες υψηλότερες τιμές είναι επιθυμητές για την δεδομένη εφαρμογή), η  $V_j^+$  δεικνύει την υψηλότερη τιμή για αυτό το χαρακτηριστικό. Στην περίπτωση των 'μη ωφέλιμων' χαρακτηριστικών (για εκείνες δηλ. για τις οποίες επιθυμούμε ις χαμηλότερες τιμές για την δεδομένη εφαρμογή), η  $V_j^+$  δεικνύει την χαμηλότερη τιμή του χαρακτηριστικού.

Η  $V_j^-$  δεικνύει την αρνητικά ιδανική (χειρότερη) τιμή των θεωρούμενων χαρακτηριστικών ανάμεσα στις τιμές των χαρακτηριστικών για εναλλακτικές επιλογές. Στην περίπτωση των 'ωφέλιμων' χαρακτηριστικών (δηλ. εκείνων για τα οποία οι υψηλότερες τιμές είναι επιθυμητές για την δεδομένη εφαρμογή), η  $V_j^-$  αναφέρεται στην χαμηλότερη τιμή για το χαρακτηριστικό. Στην περίπτωση των 'μη ωφέλιμων' χαρακτηριστικών (δηλ. εκείνες για τις οποίες οι χαμηλότερες τιμές είναι επιθυμητές για την δεδομένη εφαρμογή), η  $V_j^-$  δεικνύει την υψηλότερη τιμή για το χαρακτηριστικό.

**Βήμα 7:** Καθορισμός των μέτρων διαχωρισμού. Ο διαχωρισμός κάθε εναλλακτικής από την ιδανική δίνεται από την Ευκλείδεια απόσταση με χρήση των παρακάτω εξισώσεων:

$$S_i^+ = \left\{ \sum_{j=1}^M (V_{ij} - V_j^+)^2 \right\}^{0.5}, \quad i = 1, 2, \dots, N$$

$$S_i^- = \left\{ \sum_{j=1}^M (V_{ij} - V_j^-)^2 \right\}^{0.5}, \quad i = 1, 2, \dots, N$$

**Βήμα 8:** Η σχετική εγγύτητα της ειδικής εναλλακτικής προς την ιδανική λύση  $P_i$ , μπορεί να εκφραστεί σε αυτό το βήμα ως ακολούθως:

$$P_i = S_i^- / (S_i^+ + S_i^-)$$

**Βήμα 9:** Ένα σύνολο από εναλλακτικές κατατάσσεται σε φθίνουσα δομή σε αυτό το βήμα, σύμφωνα με τις τιμές των  $P_i$  οι οποίες αφορούν στις περισσότερες και λιγότερες επιλεγόμενες προς εφαρμογή λύσεις. Οι δείκτες  $P_i$  μπορούν να κληθούν ως οι συνολικές ή συνθετικές τιμές αποτελέσματος (score) για την εναλλακτική  $A_i$ .

Θα πρέπει να προστεθεί στο σημείο αυτό ότι στο βήμα 4 της μεθόδου TOPSIS, αν και τα βάρη των διαφορετικών χαρακτηριστικών που αναφέρονται στις αντικειμενικές επιλογές  $w_j$  για  $j=1,2,\dots,M$  αποφασίζονται από τον υπεύθυνο για την λήψη της απόφασης αυθαίρετα, μόνο μερικές συστηματικές μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Οι συστηματικές μέθοδοι για τον καθορισμό των βαρών των χαρακτηριστικών επεξηγούνται στις επόμενες παραγράφους.

#### 5.7.6.1 Η μέθοδος της Εντροπίας (Entropy method)

Οι Shannon και Weaver (1947) πρότειναν την ιδέα σύλληψης της εντροπίας και αυτή η ιδέα αποσαφηνίστηκε στα πλαίσια της ασαφούς λογικής από τον Zeleny (1982), για τον καθορισμό των αντικειμενικών βαρών των χαρακτηριστικών. Η εντροπία είναι ένα μέτρο της αβεβαιότητας στην πληροφορία το οποίο ποσοτικοποιείται χρησιμοποιώντας την θεωρία πιθανοτήτων. Δεικνύει ότι μία επεκτεταμένη (διευρυμένη) κατανομή αντιπροσωπεύει μεγαλύτερη αβεβαιότητα από ότι μία αιχμηρά επικεντρωμένη. Για τον καθορισμό των βαρών με βάση το μέτρο της εντροπίας, χρησιμοποιείται η μήτρα κανονικοποιημένης απόφασης  $R_{ij}$ . Το ποσοστό της πληροφορίας απόφασης που περιλαμβάνεται στον ορισμό αυτής της μήτρας και σχετίζεται με κάθε χαρακτηριστικό μπορεί να μετρηθεί με χρήση της τιμής της εντροπίας  $e_j$  ως:

$$e_j = -k \sum_{i=1}^N R_{ij} \ln R_{ij}$$

όπου το  $k=1/\ln N$  αποτελεί μία σταθερά η οποία διασφαλίζει ότι  $0 \leq e_j \leq 1$ . Ο βαθμός της απόκλισης ( $d_j$ ) της μέσης πληροφορίας η οποία περιλαμβάνεται από κάθε χαρακτηριστικό μπορεί να υπολογισθεί ως εξής:

$$d_j = 1 - e_j$$

Όσο πιο αποκλίνουσες οι τιμές των στοιχείων  $R_{ij}$ ,  $i=1,2,\dots,N$  για το χαρακτηριστικό  $B_j$  τόσο υψηλότερη η τιμή του  $d_j$  και περισσότερο σημαντικό το χαρακτηριστικό  $B_j$  για το πρόβλημα λήψης απόφασης που εξετάζουμε (Zeleny 1982) .

Το αντικειμενικό βάρος για κάθε χαρακτηριστικό  $B_j$  για  $j=1,2,\dots,M$  δίνεται έτσι από την σχέση:

$$w_j = d_j / \sum_{k=1}^M d_k$$

#### 5.7.6.2 Η μέθοδος της Τυπικής Απόκλισης (Standard Deviation method)

Η μέθοδος υξ τυπικής απόκλισης υπολογίζει αντικειμενικά τιμές για τα βάρη των χαρακτηριστικών βασισμένη στην παρακάτω εξίσωση:

$$w_j = \sigma_j / \sum_{k=1}^M \sigma_k$$

όπου  $\sigma_j$  είναι η τυπική απόκλιση του κανονικοποιημένου διανύσματος  $R_j=(R_{1j},R_{2j},\dots,R_{Nj})$

Και οι δύο μέθοδοι, της εντροπίας και της τυπικής απόκλισης, υπολογίζουν τις αντικειμενικές τιμές βαρών χωρίς να βασίζονται σε αναφορές οι οποίες προέρχονται από τον υπεύθυνο για την λήψη της απόφασης.



### 5.7.6.3 Μεθοδος Ιεραρχικής Ανάλυσης Αποφάσεων (AHP method)

Η μέθοδος AHP προτάθηκε από τον Saaty στα τέλη της δεκαετίας του 70 και έκτοτε έχει καθιερωθεί ως μία από τις περισσότερο

εφαρμοσμένες τεχνικές ανάλυσης αποφάσεων. Η μέθοδος έχει χρησιμοποιηθεί σε ένα μεγάλο εύρος προβλημάτων όπως:

- 1) Επιλογή μεταξύ εναλλακτικών λύσεων σε περιβάλλοντα με πολλαπλούς στόχους,
- 2) Κατανομή πόρων σε ανεπάρκεια (scarce resources),
- 3) Προβλέψεις.

Η AHP βασίζεται στην πολύ καλά ορισμένη μαθηματική δομή των συνεπών πινάκων (consistent matrices) και την ικανότητα των χαρακτηριστικών ιδιοδιανυσμάτων τους (eigenvectors) να παράγουν αληθείς ή με πολύ καλή προσέγγιση σχετικές βαρύτητες.

Η μέθοδος μπορεί να αναλυθεί σε 4 στάδια:

1. Την ιεραρχική ανάλυση του προβλήματος απόφασης σε στοιχεία απόφασης (decision elements).
2. Την συλλογή προτιμήσεων από τον αποφασίζοντα σχετικά με τα στοιχεία απόφασης.
3. Τον υπολογισμό των επιμέρους προτεραιοτήτων (βαρών) για τα στοιχεία απόφασης.
4. Την σύνθεση των επιμέρους προτεραιοτήτων σε γενικές προτεραιότητες των εναλλακτικών λύσεων.

Το πρώτο στάδιο είναι το σημαντικότερο και καθορίζει την ποιότητα των αποτελεσμάτων. Ο απώτερος (γενικός) στόχος αναλύεται σε επιμέρους υποστόχους, οι οποίοι στη συνέχεια αναλύονται όλο και περισσότερο στα πρότυπα ιεραρχικής δομής. Σε αυτή την δομή τα ανώτερα επίπεδα αναφέρονται σε γενικούς στοχους-κριτήρια και όσο κατεβαίνει κανείς προς τα κάτω, τα κριτήρια εξειδικεύονται όλο και περισσότερο, μέχρι του σημείου που να μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά για τη σύγκριση εναλλακτικών λύσεων. Η ιεραρχική δομή κατασκευάζεται με μια διαδικασία καταιγισμού ιδεών (brainstorming).

Η μεθοδολογία εμπεριέχει συγκρίσεις μεταξύ των κριτηρίων και των εναλλακτικών επιλογών, με την διαδικασία των ανά ζεύγη συγκρίσεων (pair wise comparisons). Έτσι, όχι μόνο χρειάζεται να δημιουργηθούν προτεραιότητες για τις εναλλακτικές σε σχέση με τα κριτήρια ή υποκριτήρια, αλλά και για τα ίδια τα κριτήρια σε σχέση με ένα υψηλότερο στοχο. Τα κριτήρια ενδέχεται να είναι ασαφή και ακαθόριστα, κάτι το οποίο συμβαίνει όταν δεν είναι εύκολη η ποσοτικοποίηση του κριτηρίου. Ο βαθμός

σπουδαιότητας των κριτηρίων καθορίζεται από τον συντελεστή βαρύτητας που αποδίδεται στα κριτήρια αυτά. Αυτοί οι συντελεστές καθορίζουν το σύστημα αξιών και προτιμήσεων του αποφασίζοντα. Έτσι για τον προσδιορισμό της βαρύτητας των κριτηρίων απαιτείται η προσεκτική ιεραρχική ταξινόμηση των κριτηρίων από τους ενδιαφερόμενους φορείς. Με την μετατροπή των προσωπικών προτιμήσεων σε βαρύτητες βαθμονομημένης κλίμακας, οι οποίες στη συνέχεια μετατρέπονται σε αθροιστικές γραμμικές βαρύτητες για τις εναλλακτικές επιλογές, γίνεται η τελική κατάταξη των επιλογών.

### Μαθηματικό Υπόβαθρο

Η μέθοδος AHP περιέχει συγκεκριμένες αρχές και αξιώματα:

- Αποδόμηση, δημιουργία ενός ιεραρχικού συνόλου κατηγοριών, υποκατηγοριών κτλ.
- Συγκριτικές κρίσεις, πραγματοποίηση συγκρίσεων ανά ζεύγη όλων των δυνατών συνδυασμών των στοιχείων, εξάγοντας τις «τοπικές» βαρύτητες των στοιχείων της ομάδας σε σχέση με το ανώτερο επίπεδο της ιεραρχίας
- Ιεραρχική δόμηση, σύνθεση αυτών των "τοπικών" προτεραιοτήτων σε μια ολική (global) βαρύτητα του ανωτέρου επιπέδου.

Πιο συγκεκριμένα τα αξιώματα αυτά οδηγούν στις τρεις βασικές λειτουργίες της AHP:

- Η δόμηση της περιπλοκότητας (Structuring complexity): ο Saaty βρήκε ένα κοινό μοτίβο σχετικά με τον τρόπο που οι άνθρωποι χειρίζονται την πολυπλοκότητα, την ιεραρχική δόμηση σε ομογενείς ομάδες παραγόντων.

Η μέτρηση σε αναλογική κλίμακα: η αναλογική μέτρηση είναι απαραίτητη για να εκφραστεί η αναλογικότητα, και σε συνδυασμό με την ανάγκη ύπαρξης μιας μαθηματικής σωστής και βασιζόμενης σε αξιώματα μεθόδου, οδήγησε τον Saaty στην χρήση συγκρίσεων ανα ζεύγη των ιεραρχικών παραγόντων. Η σύγκριση αυτή έχει στόχο την εξαγωγή αναλογικών μέτρων κλίμακας, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως προτεραιότητες κατάταξης, δηλαδή βαρύτητες. Κάθε μεθοδολογία που βασίζεται στην ιεράρχιση θα πρέπει να χρησιμοποιεί αναλογικές προτεραιότητες για τα στοιχεία του κατώτατου επιπέδου της ιεραρχίας, καθώς οι βαρύτητες των στοιχείων σε κάθε επίπεδο προκύπτουν πολλαπλασιάζοντας τις προτεραιότητες του συγκεκριμένου επιπέδου με αυτές ενός επιπέδου ψηλότερα.

- Σύνθεση: εκτός από την δυνατότητα διαχωρισμού μιας οντότητας στα μέρη που την απαρτίζουν, η AHP προσφέρει την δυνατότητα σύνθεσης των μεμονωμένων

στοιχείων της ιεραρχίας σε ένα σύνολο ή οντότητα, μετρώντας και συνθέτοντας έτσι ένα μεγάλο όγκο παραγόντων που υπεισέρχονται σε μια ιεραρχία. Τέλος, σύμφωνα με τους Froman and Gass (1999), τα τρία κοινά αποδεκτά στάδια της μεθόδου είναι:

Δεδομένου ότι  $i = 1...m$  αποτελούν τα κριτήρια της απόφασης, πρέπει να υπολογιστούν οι αντίστοιχες βαρύτητες τους  $w_i$  για κάθε  $i$  θα πρέπει να συγκριθούν οι εναλλακτικές επιλογές  $j$ , όπου  $j = 1...n$  και να καθοριστούν οι βαρύτητες τους  $w_{ij}$ . Τέλος θα πρέπει να καθοριστούν οι τελικές ή ολικές βαρύτητες των εναλλακτικών  $W_j$  σε σχέση με όλα τα κριτήρια μέσω της διανυσματικής εξίσωσης

$$W_j = w_1j_1 + w_2j_2 + \dots + w_mj_m \quad (1).$$

Στη συνέχεια οι επιλογές κατηγοριοποιούνται σύμφωνα με το διάνυσμα  $W_j$ .

Η κλίμακα συγκρίσεων που προτάθηκε από τον Saaty είναι η εξής: I (identical, 1), WP (weak preference, 3), SP (strong preference, 5), DP (very strong preference, 7) και AP (absolute preference, 9). Υπάρχουν επίσης και οι ενδιάμεσες τιμές 2, 4, 6, 8. Τελικά συνολική κλίμακα που προτάθηκε από τον Saaty είναι:  $P = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 1/2, 1/3, 1/4, 1/5, 1/6, 1/7, 1/8, 1/9\}$  συμπεριλαμβάνοντας και τις αντίστροφες τιμές  $1/X$ .

### Ασαφής AHP

Η μέθοδος της Ιεραρχικής Ανάλυσης και οι παραλλαγές τις αποτελούν σημαντικό κομμάτι της σύγχρονης μεθοδολογίας αποφάσεων, για τους εξής λόγους:

- Δυνατότητα χειρισμού υποκειμενικών, αβέβαιων και ανακριβών δεδομένων
- Ευρωστία της μεθόδου κατά την επίλυση πρακτικών προβλημάτων κατάταξης
- Μεθοδολογική καθαρότητα και η μαθηματική της ακρίβεια
- Διαφάνεια της ασαφούς λογικής και της θεωρίας των ασαφών συνόλων. Ο κύριος στόχος είναι η επίδειξη μιας πρακτικής μεθόδου για την αξιολόγηση τακτικών σε περίπλοκα προβλήματα απόφασης όπου υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός αποφασιζόντων και όπου υπάρχει η ανάγκη να αξιοποιηθεί η ανθρώπινη γνώση, όπου η ασάφεια μας φέρνει πιο κοντά σε πραγματικά αποτελέσματα από μια διαδικασία αξιολόγησης βασισμένη σε ποσοτικά δεδομένα.

Οι Saaty και Vargas δηλώνουν ότι: " Η αβεβαιότητα της ανθρώπινης κρίσης μπορεί να εκφραστεί με δύο τρόπους: πρώτον, σαν μια εκτίμηση με μια ορισμένη συνάρτηση κατανομής πιθανότητας, και δεύτερον, ως μια εκτίμηση διαστήματος χωρίς συγκεκριμένη συνάρτηση κατανομής". Ο πρώτος τρόπος οδηγεί σε διάφορες στατιστικές μεθόδους και ο δεύτερος οδηγεί σε μεθόδους ασαφών προτεραιοτήτων.

Μια ασαφής έκδοση της μεθόδου AHP βασίζεται στην χρήση τριγωνικών ασαφών αριθμών κατά τη διάρκεια των ανα ζεύγη συγκρίσεων, ώστε να υπολογιστούν τα βάρη των κριτηρίων και οι συνολική χρησιμότητα των εναλλακτικών, γνωστή και ως ασαφής χρησιμότητα. Για να φτάσουμε στο τελικό στάδιο, δηλαδή την κατάταξη των εναλλακτικών, οι ασαφείς χρησιμότητες πρέπει να αποσαφηνιστούν και να καταταχθούν. Στην μέθοδο αυτή, τα ποιοτικά κριτήρια εκφράζονται μέσω βαρών που δημιουργούνται από τους ειδικούς. Οι τοπικές προτεραιότητες που υπολογίζονται αθροίζονται σε ολικά αποτελέσματα των εναλλακτικών, εφαρμόζοντας την αρχή της ιεραρχικής σύνθεσης.

Για των υπολογισμό αυτών των ολικών αποτελεσμάτων, χρειάζεται μια διαδικασία αποασαφοποίησης, η οποία δεν αποτελεί μέρος της διαδικασίας AHP. Οι μέθοδοι μέσω των οποίων αντλούνται τα αριθμητικά βάρη των εναλλακτικών, τα οποία και επιτρέπουν την τελική τους κατάταξη, είναι πολλοί και υπόκεινται σε συνεχή έρευνα. Ο πιο συχνός τρόπος αποασαφοποίησης είναι η μέθοδος των α-cuts, ώστε να υπολογιστούν οι μήτρες διαστημάτων εμπιστοσύνης. Ακολουθώντας αυτή την μέθοδο, για την αποασαφοποίηση χρησιμοποιείται ο λεγόμενος δείκτης εμπιστοσύνης (ή αισιοδοξίας) του αποφασίζοντα ώστε να πετύχουμε την γραμμική μετατροπή των διαστημάτων σε συγκεκριμένες τιμές.

Όπως έχει τονιστεί από τον Deng, η εφαρμογή της ασαφούς AHP μπορεί να δημιουργήσει αναξιόπιστα αποτελέσματα εάν:

- α) Χρησιμοποιείται μια μη ισορροπημένη 9-βάθμια κλίμακα.
- β) Κλίμακα ασαφοποίησης δεν είναι πλήρως δικαιολογημένη.
- γ) Εφαρμοστεί μια ακατάλληλη μέθοδος αποασαφοποίησης.

Μερικά παραδείγματα της μεθόδου fuzzy AHP είναι η αξιολόγηση σχεδίων διαχείρισης υδάτινων πόρων, κρίσιμων αποφάσεων κατά την διαδικασία ανάπτυξης προϊόντων, ευέλικτων κατασκευαστικών συστημάτων και διαχείρισης ασφάλειας κατά την παραγωγή, επιλογής συστημάτων διαχείρισης πόρων (ERP), παραγόντων επιτυχίας του ηλεκτρονικού εμπορίου, επιλογής προσωπικού και επιλογής οπλικών συστημάτων.

#### **5.7.7 Τροποποιημένη Μέθοδος TOPSIS (Modified TOPSIS Method)**

Στην μέθοδο TOPSIS, η κανονικοποιημένη μήτρα  $R_{ij}$ , σταθμίζεται πολλαπλασιάζοντας κάθε στήλη της μήτρας με το σχετιζόμενο με το χαρακτηριστικό βάρος. Η συνολική

απόδοση της εναλλακτικής καθορίζεται από την Ευκλείδεια απόσταση προς τα διανύσματα  $V_{j+}$  και  $V_{j-}$ . Όμως αυτή η απόσταση σχετίζεται με τα βάρη των χαρακτηριστικών και θα πρέπει να συμπεριληφθεί στην εκτίμηση της απόστασης. Αυτό οφείλεται στο ότι όλες οι εναλλακτικές συγκρίνονται περισσότερο με τα  $V_{j+}$  και τα  $V_{j-}$ , παρά από ότι μεταξύ τους. Οι Deng et al (2000), παρουσίασαν σταθμισμένες Ευκλείδειες αποστάσεις, δίνοντας μεγαλύτερη έμφαση σε αυτές από ότι σε μία μήτρα βαρών για την λήψη απόφασης. Σε αυτήν την διαδικασία, η θετική ιδανική λύση ( $R^+$ ) και η αρνητική ιδανική λύση ( $R^-$ ) οι οποίες δεν εξαρτώνται από τις μήτρες βαρών για την λήψη απόφασης δίνονται από τις σχέσεις:

$$R^+ = \left\{ \left( \sum_{j \in J} R_{ij} / j \in J \right), \left( \sum_{j \in J'} R_{ij} / j \in J' \right) / i = 1, 2, \dots, N \right\},$$

$$= \{R_1^+, R_2^+, R_3^+, \dots, R_M^+\}$$

$$R^- = \left\{ \left( \sum_{j \in J} R_{ij} / j \in J \right), \left( \sum_{j \in J'} R_{ij} / j \in J' \right) / i = 1, 2, \dots, N \right\},$$

όπου  $J=(j=1,2,\dots,M)/j$  σχετίζεται με τα ‘ωφέλιμα’ χαρακτηριστικά

και  $J'=(j=1,2,\dots,M)/j$  σχετίζεται με τα ‘μη ωφέλιμα’ χαρακτηριστικά

Οι σταθμισμένες Ευκλείδειες Αποστάσεις υπολογίζονται ως:

$$D_i^+ = \left\{ \sum_{j=1}^M w_j (R_{ij} - R_j^+)^2 \right\}^{0.5}, \quad i = 1, 2, \dots, N$$

$$D_i^- = \left\{ \sum_{j=1}^M w_j (R_{ij} - R_j^-)^2 \right\}^{0.5}, \quad i = 1, 2, \dots, N$$

Η σχετική εγγύτητα της συγκεκριμένης εναλλακτικής με την ιδανική λύση  $P_{i-mod}$  μπορεί να πρασταθεί σε υατό το βήμα ως ακολούθως:

$$P_{i-mod} = D_i^- / (D_i^+ + D_i^-)$$

Ένα σύνολο από εναλλακτικές μπορεί να κατασκευαστεί σε φθίνουσα δομή σύμφωνα με τις τιμές των  $P_{i-mod}$ , υποδεικνύοντας την σειρά από την πιο επιθυμητή προς την λιγότερο επιθυμητή από το σύνολο των λύσεων.

Θα πρέπει να αναφερθεί στο σημείο αυτό ότι αντί να χρησιμοποιούμε κανονικοποίηση διανυσμάτων όπως στην μέθοδο TOPSIS (ή την τροποποιημένη μέθοδο TOPSIS), μπορεί να χρησιμοποιηθεί γραμμική κανονικοποίηση (Lai et al 1994). Σε αυτήν την περίπτωση η κανονικοποίηση δίνεται από την εξίσωση:

$$R_{ij} = m_{ij} / [(m_{ij})_{\max} - (m_{ij})_{\min}]$$

όπου η ποσότητα  $(m_{ij})_{\max}$  είναι η καλύτερη τιμή και  $(m_{ij})_{\min}$  η χειρότερη τιμή του χαρακτηριστικού που αντιστοιχεί στην δεδομένη εναλλακτική.

#### 5.7.8 Συμβιβαστική Μέθοδος Κατάταξης (Compromise Ranking Method)

Η εγκαθίδρυση της συμβιβαστικής εκλογής λύσεως ήλθε από τους Yu και Zeleny και αργότερα συνεπικουρήθηκε από τους Opricovic και Tzeng, και τους Tzeng et al. Η συμβιβαστική λύση αποτελεί μία εφικτή λύση η οποία είναι κοντά στην ιδανική, και ένας συμβιβασμός σημαίνει μια συμφωνία που εγκαθιδρύεται με κοινή συναίνεση. Η μέθοδος της συμβιβαστικής λύσης, είναι γνωστή ως VIKOR μέθοδος, η οποία εισήχθη αρχικά ως μία εφαρμοσιμη τεχνική για εφαρμογή εντός του πεδίου των μεθόδων MADM. Τα πολλαπλά χαρακτηριστικά συνιστούν προσόν για την εφαρμογή συμβιβαστικής κατάταξης και αναπτύχθηκαν έχοντας ως βάση την μετρική  $L_p$  η οποία χρησιμοποιείται στην μέθοδο συμβιβαστικού προγραμματισμού (Zeleny 1982):

$$L_{p,i} = \left\{ \sum_{j=1}^M (w_j [(m_{ij})_{\max} - (m_{ij})] / [(m_{ij})_{\max} - (m_{ij})_{\min}])^p \right\}^{1/p}$$

$$1 \leq p \leq \infty; i = 1, 2, \dots, N$$

Με την μέθοδο VIKOR οι ποσότητες  $L_{1,j}$  και  $L_{\infty,j}$  χρησιμοποιούνται για να σχηματίσουν τα μέτρα κατάταξης. Η βασική διαδικασία για την εφαρμογή της μεθόδου VIKOR παρουσιάζεται στα παρακάτω βήματα:

**Βήμα 1:** Το πρώτο βήμα αποτελεί ο καθορισμός του αντικειμενικού σκοπού – στόχου, και ο καθορισμός των συναφών χαρακτηριστικών προς αξιολόγηση. Επίσης καθορίζονται οι καλύτερες και οι χειρότερες τιμές  $m_{ij}$  για όλα τα χαρακτηριστικά.

**Βήμα 2:** Υπολογισμός των ποσοτήτων  $E_i$  και  $F_i$ :

$$E_i = \sum_{j=1}^M w_j [(m_{ij})_{\max} - (m_{ij})] / [(m_{ij})_{\max} - (m_{ij})_{\min}]$$

$$F_i = \text{Max}^m \text{ of } \{w_j [(m_{ij})_{\max} - (m_{ij})] / [(m_{ij})_{\max} - (m_{ij})_{\min}] \mid j = 1, 2, \dots, M\}$$

Step 3: Calculate the values of  $P_i$ :

$$P_i = v ((E_i - E_{i-\min}) / (E_{i-\max} - E_{i-\min})) + (1 - v) ((F_i - F_{i-\min}) / (F_{i-\max} - F_{i-\min}))$$

όπου  $E/F_{i-\max/\min}$  συνιστά την μέγιστη/ελάχιστη τιμή των  $E/F_i$  ποσοτήτων αντίστοιχα. Η ποσότητα  $v$  εισάγεται ως βάρος της στρατηγικής για την πλειονότητα των χαρακτηριστικών. Συνήθως η τιμή του  $v$ , λαμβάνεται σε 0.5. Όμως το  $v$  μπορεί να πάρει οποιαδήποτε τιμή μεταξύ 0 και 1.

**Βήμα 4:** Καθορισμός των εναλλακτικών σε αύξουσα μορφή σύμφωνα με τις τιμές των  $P_i$ . Όμοια κατηγοριοποίηση των εναλλακτικών σύμφωνα με τις τιμές των  $E_i$  και  $F_i$ . Έτσι έχουν κατασκευαστεί τρεις λίστες κατηγοριοποίησης των εναλλακτικών. Η συμβιβαστική λίστα κατάταξης για ένα δεδομένο  $v$ , προκύπτει με χρήση των μετρήσεων των  $P_i$ . Η καλύτερη εναλλακτική ταξινομείται από την ελάχιστη τιμή του  $P_i$ .

**Βήμα 5:** Για δεδομένα βάρη χαρακτηριστικών, προτείνεται μία συμβιβαστική λύση για εναλλακτική  $A_k$ , η οποία είναι καλύτερα ταξινομημένη ως προς το μέτρο  $P$ , εάν οι ακόλουθες δύο συνθήκες ικανοποιούνται (Tzeng et al 2005):

- Συνθήκη 1: ‘Αποδεκτό Πλεονέκτημα’  $P(A_k) - P(A_l) \geq 1/(N-1)$  όπου  $A_l$  είναι η δεύτερη καλύτερη εναλλακτική με βάση την κατάταξη των μέτρων  $P$ .
- Συνθήκη 2: ‘Αποδεκτή Ευστάθεια στην Λήψη Απόφασης’ εναλλακτική  $A_k$  θα πρέπει να είναι η καλύτερα ταξινομημένη από την παράμετρο  $E$  και/ή  $F$ . Αυτή η λύση συμβιβασμού είναι ευσταθής σε μία διεργασία λήψης απόφασης η οποία μπορεί να προκύψει ως ‘ψηφοφορία με βάση τον κανόνα της

πλειονοψηφίας' (όταν το  $v > 0.5$ ) ή με 'συναίνεση' (όταν το  $v = 0.5$ ) ή 'με βέτο/αρνησικυρία' (όταν το  $v < 0.5$ ).

Εάν μία από τις συνθήκες δεν ικανοποιείται, τότε ένα σύνολο από συμβιβαστικές λύσεις προτείνεται, το οποίο αποτελείται από:

- Εναλλακτικές  $A_k$  και  $A_l$  εάν μόνο η συνθήκη 2 δεν ικανοποιείται
- Εναλλακτικές  $A_k, A_l, \dots, A_p$ , εάν η συνθήκη 1 δεν ικανοποιείται. Η  $A_p$  καθορίζεται από την σχέση  $P(A_p) - P(A_l) = 1/(N-1)$ .

Η μέθοδος VIKOR είναι ένα πολύ βοηθητικό εργαλείο της οικογένειας των μεθόδων MADM, ειδικότερα σε περιπτώσεις όπου ο υπεύθυνος για την λήψη απόφασης δεν είναι ικανός ή δεν γνωρίζει πως να εκφράσει τις επιλογές του στην έναρξη σχεδιασμού του συστήματος απόφασης. Η προκύπτουσα συμβιβαστική λύση θα πρέπει να γίνει αποδεκτή από τους υπεύθυνους για την λήψη απόφασης διότι παρέχει μια μέγιστη 'ιδιότητα ομάδας' (η οποία αντιπροσωπεύεται από την ποσότητα  $E_{i-\min}$ ) της 'πλειονότητας' και ένα ελάχιστο των διακριτών 'μη αποδοχών (η οποία αντιπροσωπεύεται από την ποσότητα  $F_{i-\min}$ ), του αντιπάλου'. Η συμβιβαστική λύση μπορεί να είναι η βάση για διαπραγματεύσεις συμπεριλαμβάνοντας τις προτιμήσεις των υπεύθυνων για την λήψη απόφασης με χρήση ιδιοτήτων βαρών.



## Κεφάλαιο 6 – Υπολογισμοί

---

### 6.1 Εισαγωγή

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας γίνεται χρήση της ασαφούς λογικής για την λήψη αποφάσεων μέσω αριθμητικών μεθόδων υπολογισμού. Η μεθοδολογία υπολογισμού και η μέθοδος των αποφάσεων βασίζονται στην χρήση της ασαφούς κλίμακας. Βασικό χαρακτηριστικό της ασαφούς λογικής είναι ότι, όσο μεγαλύτερη αβεβαιότητα υπάρχει σε ένα πρόβλημα, όσον αφορά στην ικανότητα εξαγωγής συμπερασμάτων και λήψης ορθών αποφάσεων, τόσο λιγότερο ακριβείς προφανώς, μπορούμε να είμαστε στην κατανόηση και περιγραφή του προβλήματος. Στα πλαίσια της ασαφούς λογικής λοιπόν, η αλήθεια μίας πρότασης είναι θέμα βαθμού. Ο βαθμός συμμετοχής ενός αντικειμένου σε ένα ασαφές σύνολο εξαρτάται από την τιμή μιας συνάρτησης συμμετοχής, η οποία παίρνει τιμές ανάμεσα στο 0 και στο 1.

### 6.2 Κώδικας και Υπολογισμοί

Στα πλαίσια των απαιτούμενων υπολογισμών ασαφούς λογικής, αναπτύχθηκε κώδικας (σε μορφή script αρχείου τύπου .m) για περιβάλλον Matlab, ο οποίος ενσωματώνει και αυτοματοποιεί την διαδικασία υπολογισμών μέσω αυτόνομων συναρτήσεων.

Τα αρχεία κώδικα που αναπτύχθηκαν, είναι αυτόνομα και δέχονται τα ορίσματα εισαγωγής (εισόδου) των συναρτήσεων ως εσωτερικές μεταβλητές στην επικεφαλίδα του κώδικα κάθε αρχείου, οργανώνοντας στην συνέχεια εσωτερικά τους απαιτούμενους αριθμητικούς υπολογισμούς. Οι εσωτερικές συναρτήσεις που χρησιμοποιούνται οργανώνουν κλιμακωτά τους απαιτούμενους υπολογισμούς με χρήση εσωτερικών διανυσμάτων - πινάκων (vectors).

Τα αποτελέσματα από την εκτέλεση των αρχείων στο περιβάλλον Matlab τυπώνονται στην «παραθυρική» εφαρμογή όπου το περιβάλλον Matlab, προβλέπει για την απεικόνιση των αποτελεσμάτων (output pane section of Matlab screen), ενώ ορισμένα από αυτά παρουσιάζονται και με την μορφή γραφικών παραστάσεων (διαγραμμάτων) διευκολύνοντας την παρακολούθηση τους από τον χρήστη. Η οργάνωση των

αποτελεσμάτων και η ομαδοποίηση τους γίνεται με βάση την λογική αλληλουχία των υπολογισμών καθώς και την συνέχεια των διαδικασιών που απαιτείται στα πλαίσια της ασαφούς λογικής.

Ενδεικτικά αναφέρεται ότι ο κώδικας είναι οργανωμένος αυτόνομα σε 4 ανεξάρτητα αρχεία που ξεκινούν τους υπολογισμούς μέσω των ασαφών αντιστοιχίων.

Στα αρχεία Matlab υπολογίζονται αριθμητικές τιμές για τους παρακάτω δείκτες:

#### Κριτήρια (Krithrio.m)

Αντίστροφη ασαφής κλίμακα, βάρη των κεντρικών κριτηρίων, βάρη υποκριτηρίων (Economy costs, Capital costs, Maintenance), βάρη των κριτηρίων Environmental aspects, βάρη των υποκριτηρίων (Resource management, Energy use), κριτήριο biodiversity, βάρη των κριτηρίων του Social aspects, και τέλος βάρη των κριτηρίων Technology aspects

- Εναλλακτικές (Enallaktikes.m)

Αντίστροφη ασαφής κλίμακα, Τρέχοντα κόστη (Ongoing costs), Κόστος Αποδόμησης της Κατασκευής (Demolition/End of Life), Λειτουργικότητα (Operation), Προσαρμοστικότητα και Ευελιξία (Adaptability & Flexibility), Αποδοτικότητα (Efficiency & Effectiveness), Βιοποικιλότητα (Biodiversity), Χειρισμός των πηγών των υλικών κατασκευής (Managed sources of input materials), Χρήση ενεργειακών πόρων (Energy use), Εξαγωγή και απομάκρυνση των υλικών κατασκευής (Resource extraction), Απαιτούμενη ενέργεια για την ενσωμάτωση των υλικών (Embodied energy of materials), Ενεργειακές Απαιτήσεις της Διαδικασίας Κατασκευής (Energy demand of the construction process), Περιβαλλοντολογικό προφίλ των υλικών κατασκευής (Environmental profile of input materials), Περιβαλλοντολογική ποιότητα εσωτερικών χώρων (Indoor Environmental quality), Ευκολία Εξαγωγής και Απομάκρυνσης Επικίνδυνων Υλικών Κατασκευής (Ease of removal of hazardous materials), Μακροπρόθεσμοι Κίνδυνοι για την Υγεία (Long term Health Risks), Ωριμότητα και Τεχνολογική Αξιοπιστία των Μεθόδων Κατασκευής (Maturity & Reliability, Efficiency of production methods).

- Μήτρες Απόδοσης (PerformanceMatrixZ.m)

Κατασκευή των μητρών απόδοσης για κάθε κριτήριο και υποκριτήριο που συμμετέχει στην κατασκευή με βάση τα αντίστοιχα πρότυπα ασαφούς κλίμακας. Οι παραγόμενες μήτρες απόδοσης Z είναι σταθμισμένες με βάση τα προηγούμενα βάρη και δίνουν μία ένδειξη των επιδράσεων των προκαθορισμένων παραμέτρων στην επιλογή λήψης απόφασης για την κατασκευή του βιομηχανικού κτιρίου.

- Τελική Αξιολόγηση (FinalReview.m)

Τελικά βάρη αξιολόγησης των εναλλακτικών, Κατάταξη των Εναλλακτικών με την μέθοδο των Integral value (Liou & Wang - 1992). Στο συγκεκριμένο αρχείο παρέχονται τυπωμένα τα αποτελέσματα από τους αριθμητικούς υπολογισμούς καθώς και γραφικές παραστάσεις. Οι γραφικές παραστάσεις αναφέρονται στα αντίστοιχα πρότυπα ασαφούς λογικής σε κάθε κριτήριο και υποκριτήριο, στους συνολικούς αντίστο

ιχους ασαφούς λογικής για τις εναλλακτικές αποφάσεις καθώς και στα αποτελέσματα συνδιασμού των εναλλακτικών με χρήση της μεθόδου Liou & Wang 1992 – total integral value με παραμέτρο λ.

## **6.2. Περιγραφή των εσωτερικών λειτουργιών και των διεργασιών που υλοποιούνται μέσω των αρχείων Matlab στα πλαίσια οργάνωσης των υπολογισμών του μοντέλου**

Όπως αναφέρθηκε και στο εισαγωγικό σημείωμα περιγραφής της εργασίας, στα πλαίσια της συγκεκριμένης διπλωματικής, οργανώθηκε και αναπτύχθηκε ο απαιτούμενος κώδικας σε περιβάλλον Matlab (με χρήση της προβλεπόμενης γλώσσας προγραμματισμού Matlab Script Language), που αφορά στην μελέτη κατασκευής βιομηχανικού κτιρίου. Ο κώδικας είναι οργανωμένος σε 4 ανεξάρτητα αρχεία Matlab τύπου m-file, τα οποία μπορούν να εκτελεστούν αυτόνομα στο περιβάλλον προσομοίωσης και εκτέλεσης Matlab. Τα αποτελέσματα από την εκτέλεση των αρχείων τυπώνονται στο προβλεπόμενο παράθυρο εκτέλεσης του περιβάλλοντος ή ως γραφικές παραστάσεις. Η αυτονομία στην οργάνωση των αρχείων δεν αποτρέπει τον χρήστη από την χρήση των αποτελεσμάτων σε σύνδεση αλυσίδας, όπως δηλ. παράγονται από το ένα εν λόγω αρχείο στην εισαγωγή των παραγόμενων στοιχείων

και χρήση τους από το άλλο αρχείο αλλά είτε και αυτόνομα (εφόσον το κάθε αρχείο και οι εκτελούμενοι υπολογισμοί σε αυτό παράγονται ανεξάρτητα).

Η οργάνωση της δομής των διεργασιών και η ένταξη τους σε αυτόνομο κώδικα ανά αρχείο, βασίστηκε στην οργάνωση των αντίστοιχων υπολογισμών σε περιβάλλον MS Excel που αποτέλεσε την βάση υπολογισμών για την παρούσα διπλωματική. Για την διευκόλυνση του ελέγχου και της αποσφαλμάτωσης του αριθμητικού μέρους των υπολογισμών, οι οποίοι είναι εκτενείς, διατηρήθηκε ανάλογη δομή στους υπολογισμούς (στην ονοματολογία και στην χρήση των μεταβλητών, εσωτερικών και εξωτερικών, όπου αυτό ήταν δυνατόν). Η οργάνωση των υπολογισμών ασαφούς λογικής όπως ήδη έχει προαναφερθεί, αφορά στην αυτόνομη συγκρότηση 4 αρχείων:

- Αρχείο Krithrio.m
- Αρχείο Enallaktikes.m
- Αρχείο PerformanceMatrixZ.m

- Αρχείο FinalReview.m

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι η οργάνωση των υπολογισμών που απαιτεί η ασαφής λογική οργανώνεται σε στάδια:

Το πρώτο στάδιο της μεθόδου AHP είναι η ανάλυση του προβλήματος και η δημιουργία ιεραρχίας απόφασης. Το επόμενο βήμα της μεθόδου εμπεριέχει την αξιολόγηση των κριτηρίων η οποία και γίνεται με την βοήθεια «γνωμών ειδικών» (expert opinions), οι οποίες αξιολογούν συγκριτικά τα κριτήρια και υποκριτήρια ως προς τον τελικό στόχο. Η αξιολόγηση έγινε με βάση την επίσημη κλίμακα ασαφούς λογικής όπως προτάθηκε από τον Saaty (1980). Το πρώτο βήμα της μεθόδου AHP είναι ο υπολογισμός των «βαρών» των κεντρικών κριτηρίων ως προς τον τελικό στόχο. Αυτό γίνεται με την μέθοδο του σταθμιζόμενου μέσου δηλ. λαμβάνοντας υπόψη το «βάρος» κάθε κριτηρίου ως προς το σύνολο στόχο. Η λήψη αποφάσεων από την ανωτέρω ανάλυση γίνεται με χρήση της μεθοδολογίας Fuzzy Decision Making – FDM. Για τον υπολογισμό των συναρτήσεων συμμετοχής των ασαφών αριθμών γίνεται χρήση της λεγόμενης ασαφούς απόστασης  $\delta$ . Έτσι υπολογίζεται η ασαφής καθώς και η αντίστροφη ασαφής κλίμακα αξιολόγησης. Οι υπολογισμοί κατά

την χρήση της μεθόδου FDM είναι αρκετά εκτεταμένοι και αυτός είναι και ο κύριος λόγος απαίτησης αυτοματοποίησης τους, μέσω της χρήσης του μαθηματικού επεξεργαστικού περιβάλλοντος Matlab. Οι ανωτέρω παραγόμενες συναρτήσεις στο τέλος κανονικοποιούνται με χρήση των προ-υπολογισμένων βαρών για να σταθμιστεί και η τελική συμμετοχή τους στην απόφαση.

Η κατάταξη και η λήψη απόφασης με βάση την παραπάνω μεθοδολογία ανάλυσης της ασαφούς λογικής γίνεται με την προτεινόμενη μέθοδο total integral value των Liou και Wang, (1992). Η μέθοδος στοχεύει σε αποασαφοποίηση των παραγόμενων υπολογισμών. Η μέθοδος επιτρέπει διαφορετικές τιμές της παραμέτρου στάθμισης  $\lambda$ , για να συνδιάσει σε ένα τελικό αποτέλεσμα την στάση των ειδικών ως προς τους παράγοντες κινδύνου (ρίσκα αρχικών εκτιμήσεων της κλίμακας). Είναι πολύ σημαντικό οι δείκτες απόφασης που προκύπτουν από την κατηγοριοποίηση των εναλλακτικών προτάσεων να διατηρούν μία σχετικά σταθερή (μονοτονική) κατηγοριοποίηση για διάφορες τιμές της παραμέτρου  $\lambda$ . Δηλ. η ασαφής λογική παρόλο που τα πρότυπα της βασίζονται σε έναν καθορισμένο βαθμό βεβαιότητας δίνει αποτελέσματα τα οποία απφαινόνται κατά καθορισμένο τρόπο για την επίδραση των παραμέτρων στην λήψη της τελικής απόφασης. Το γεγονός αυτό διευκολύνει σε μεγάλο επίπεδο σημαντικότητας την λήψη και αξιολόγηση των μεθόδων απόφασης μειώνοντας τα επίπεδα ρίσκου που υπεισέρχονται στις μεθόδους ασαφούς λογικής από τους παράγοντες των expert opinions.

Επιπλέον στην μέθοδο total integral value αναγνωρίσθηκε η αποτελεσματικότητα και σταθερότητα της, όσον αφορά στην «ευαισθησία» που υπεισέρχεται στην λήψη απόφασης από τους υπολογισμούς. Επίσης ένα περαιτέρω πλεονέκτημα είναι η ευκολία χρησιμοποίησης της σε συναντήσεις με τους ενδιαφερόμενους φορείς ενός προβλήματος, οι οποίοι επιβάλλουν ασάφεια στις απόψεις και τα ρίσκα κινδύνου των επιλογών τους. Οι παράμετροι αυτοί σίγουρα διαφέρουν από γνώμη ενός ειδικευμένου φορέα σε σχέση με την αντίστοιχη γνώμη και έμφαση ενός άλλου. Δηλ. η υπεισερχόμενη ασάφεια από την χρήση των expert opinions έχει να κάνει με την στάθμιση των προτεραιοτήτων και τα επίπεδα κινδύνου που κάθε φορέας ταθμίζει σε σχέση με κάποιον άλλο καθώς και με την μεταβολή των χαρακτηρισμών προτεραιότητας σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, οι οποίες ενδεχόμενα μπορεί να επιβάλλονται και από συμπερίληψη στην απόφαση νέων δεδομένων (π.χ. ένταξη νέων πληροφοριών και τεχνολογιών στην διαδικασία αξιολόγησης και λήψης απόφασης).

Στην συνέχεια, στις επόμενες παραγράφους περιγράφονται οι αναλυτικές διεργασίες και οι υπολογισμοί σε κάθε ένα από τα προαναφερόμενα επιμέρους αρχεία οργάνωσης του κώδικα.

- **Αρχείο Krithrio.m**

Στο συγκεκριμένο αρχείο, ξεκινώντας από την κλίμακα ασαφούς λογικής Saaty, υπολογίζεται η ασαφής και η αντίστροφη ασαφής κλίμακα. Οι υπολογισμοί επεκτείνονται μετά την χρήση των ανωτέρω κλιμάκων στον υπολογισμό των κεντρικών βαρών που αναλογούν στα κριτήρια  $W(c1)$ ,  $W(c2)$ ,  $W(c3)$  και  $W(c4)$ . Οι συγκεκριμένοι υπολογισμοί επιμερίζονται στα βάρη των υποκριτηρίων για κάθε κριτήριο (όπου υπάρχουν υποκριτήρια). Στο τέλος γίνεται η αναγωγή στο σύνολο πολλαπλασιάζοντας τα επιμέρους παραγόμενα αποτελέσματα κάθε κλίμακας με την αντίστοιχη τιμή του κεντρικού βάρους που αναλογεί ιεραρχικά στην κλίμακα αυτή.

Οι τύποι που χρησιμοποιήθηκαν για τους παραπάνω υπολογισμούς είναι:

$$M^{(-1)} = (m, \alpha, \beta)^{(-1)} \approx [m^{(-1)}, \beta m^{(-2)}, \alpha m^{(-2)}]$$

για τον υπολογισμό του πίνακα αριθμών αντίστροφης ασαφούς λογικής.

Αρχικά τα ασαφή αντίστοιχα οργανώνονται σε διανύσματα (vectors)  $mi[1:8]$ ,  $ai[1:8]$  και  $bi[1:8]$ . Στην συνέχεια οι μεταβλητές ανατίθενται σε άλλα διανύσματα υπό την μορφή πινάκων προς απεικόνιση καθώς και σε ενδιάμεσες (temporary) μεταβλητές για να χρησιμοποιηθούν απευθείας από τις φόρμουλες υπολογισμού. Η ονομασία των ενδιάμεσων μεταβλητών συμπίπτει με την αντίστοιχη ονομασία των μεταβλητών που χρησιμοποιούνταν στο περιβάλλον MS Excel με στόχο να διευκολύνει την αποσφαλμάτωση των υπολογισμών (βασισμένος ήδη σε προϋπάρχουσες φόρμουλες υπολογισμού που έχουν ελεγχθεί και πιστοποιηθεί για την ορθότητα και ακρίβεια των υπολογισμών τους).

Στην συνέχεια στον κώδικα υπολογίζεται η αντίστροφη ασαφής κλίμακα μέσω της ήδη προαναφερόμενης φόρμουλας υπολογισμού. Τα αποτελέσματα από τους υπολογισμούς ανατίθενται σε διανύσματα – πίνακες για την διευκόλυνση της απεικόνισης και στην συνέχεια ανατίθενται σε ενδιάμεσες μεταβλητές οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν περαιτέρω για την συνέχιση των υπολογισμών εντός του αρχείου.

Μετά από τους παραπάνω υπολογισμούς ο κώδικας υπολογίζει τελικά τα βάρη των κριτηρίων και υποκριτηρίων (όπου υπάρχουν υποκριτήρια), και με ανάλογο τρόπο τα αναθέτει σε ενδιάμεσα διανύσματα για την αναπαράσταση και απεικόνιση τους.

- **Αρχείο Enallaktikes.m**

Το αρχείο enallaktikes.m κάνει ανάλογους υπολογισμούς χρησιμοποιώντας εναλλακτικές εκφράσεις για τα βάρη των κεντρικών κριτηρίων και υποκριτηρίων. Για όλα τα κριτήρια και υποκριτήρια το αρχείο εκτελεί τους υπολογισμούς, αναθέτει τα αποτελέσματα σε διανύσματα - πίνακες για να διευκολύνει τα θέματα απεικόνισης και στην συνέχεια αναθέτει τις προκύπτουσες τιμές σε ενδιάμεσα διανύσματα για την συνέχιση των υπολογισμών εντός του αρχείου. Οι ενδιάμεσες μεταβλητές ανάθεσης που έχουν χρησιμοποιηθεί στον κώδικα διατηρούν επίσης τα ονόματα των αντίστοιχων μεταβλητών που είχαν χρησιμοποιηθεί στο περιβάλλον MS Excel με στόχο την διευκόλυνση της απασφαλμάτωσης μέσω των υπαρχόντων τύπων.

- **Αρχείο PerformanceMatrixZ.m**

Στο αρχείο PerformanceMatrixZ.m υλοποιούνται οι υπολογισμοί πολλαπλασιασμού των ασαφών αριθμών που προέκυψαν από τα προηγούμενα αρχεία των κριτηρίων και των εναλλακτικών.

Η φόρμουλα για τον πολλαπλασιασμό των ασαφών αριθμών είναι:

**Πολλαπλασιασμός ασαφών αριθμών  $M=(m,a,\beta)$  και  $N=(n,\gamma,\delta)$**

2ος τρόπος:  $M = (a1, a2, a3)$  και  $N = (b1, b2, b3)$

$M \times N = [a2b2, \min(a1b1, a1b3, a3b1, a3b3), \max(a1b1, a1b3, a3b1, a3b3)]$

Το αρχείο χρησιμοποιεί τα ήδη υπολογισμένα κεντρικά βάρη και τις εναλλακτικές. Αναθέτει τα υπάρχοντα βάρη σε διανύσματα - πίνακες για τους υπολογισμούς. Στην συνέχεια οργανώνει αυτά σε ενδιάμεσες μεταβλητές για την απεικόνιση και εκτύπωση των αποτελεσμάτων στο τμήμα εκτέλεσης του παραθύρου του Matlab.

- **Αρχείο FinalReview.m**

Στο αρχείο FinalReview.m οργανώνονται οι υπολογισμοί που χρησιμοποιούν τα αποτελέσματα από το προηγούμενο αρχείο. Στόχος των αριθμητικών υπολογισμών

είναι η αξιολόγηση των εναλλακτικών και η κατάταξη τους με βάση τους δείκτες απόδοσης της ασαφούς λογικής. Η κατάταξη των εναλλακτικών θα γίνει με χρήση της τεχνικής total integral value (Liou και Wang, 1992). Οι φόρμουλες αξιολόγησης δίνονται από τις παρακάτω σχέσεις:

**Τα τελικά βάρη αξιολόγησης των εναλλακτικών προέρχεται από την πρόσθεση των στοιχείων κάθε γραμμής του πίνακα Z**

$$F_i = \sum x(ij) (x) w(j) , \text{ για } i = 1, 2, \dots, N.$$

**Για το ranking των εναλλακτικών θα χρησιμοποιήσουμε την μέθοδο total integral value (Liou and Wang, 1992).**

$$I(A) = (1/2)[\lambda\beta + m + (1-\lambda)\alpha] , \lambda [0,1]$$

Ο κώδικας του αρχείου αναθέτει τα ορίσματα εισόδου σε διανύσματα – πίνακες που θα χρησιμοποιηθούν στους υπολογισμούς. Στην συνέχεια οργανώνει τα παραγόμενα αποτελέσματα σε ενδιάμεσες μεταβλητές που θα χρησιμοποιηθούν στην εκτύπωση και αναπαράσταση τους στο παράθυρο εκτέλεσης του Matlab. Ο κώδικας τυπώνει τόσο τα παραγόμενα αποτελέσματα για την κάθε απόφαση καθώς και τα συνολικά προκύπτοντα που είναι σταθμισμένα με την προηγούμενη μέθοδο. Επίσης παράγει γραφικές παραστάσεις των παραπάνω αποτελεσμάτων για καλύτερη εποπτεία και απεικόνιση προς τον χρήστη.

### **6.3 Επιλεκτική ένταξη/αποκλεισμός των συναρτήσεων βάρους κριτηρίων/υποκριτηρίων για την εξαγωγή εναλλακτικών συμπερασμάτων**

Στην συνέχεια της ανάπτυξης κώδικα στο περιβάλλον Matlab, για την υλοποίηση συναρτήσεων ασαφούς λογικής, προσθέσαμε την δυνατότητα επιλεκτικής ένταξης/αποκλεισμού συναρτήσεων βάρους κριτηρίων/υποκριτηρίων στην τελική λήψη αποφάσεων και την εξαγωγή συμπερασμάτων. Η δυνατότητα αυτή έγινε με την χρήση μεταβλητών «μασκαρίσματος» (functional masking) ανά συνάρτηση βάρους (κεντρικό κριτήριο – υποκριτήρια όπου υπάρχουν), δίνοντας την επιλογή στον χρήστη της ένταξης του εν λόγω κριτηρίου/υποκριτηρίου επιλέγοντας οποιαδήποτε



επιθυμητή τιμή για αυτό. Η δυνατότητα αυτή επιτρέπει στον χρήστη την επιλογή κριτηρίων που αυτός θεωρεί σημαντικά καθώς και την δυνατότητα αποκλεισμού (μερικού ή ολικού αποκλεισμού κριτηρίων και υποκριτηρίων, ανάλογα με τις τιμές που θα χρησιμοποιήσει στην συγκεκριμένη μάσκα) για άλλα που θεωρεί λιγότερο σημαντικά. Επιπλέον, η συνάρτηση μασκαρίσματος των κριτηρίων/υποκριτηρίων δίνει την δυνατότητα εκτέλεσης δοκιμών προσομοίωσης για την εξαγωγή συμπερασμάτων όσον αφορά στην βαρύτητα επίδρασης κριτηρίων – υποκριτηρίων στην λήψη απόφασης, χωρίς όμως να επηρεάσει τις αρχικές εκτιμήσεις και γνώμες των ειδικών (expert opinions) αφού χρησιμοποιεί τις αρχικές εκτιμήσεις κλίμακας που αυτοί έχουν αποδώσει. Το γεγονός αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό στην επίτευξη αμερόληπτων συνθηκών για την λήψη απόφασης, αφού ενδεχόμενη μη ένταξη ή προσθήκη ενός κριτηρίου από την πλευρά των ειδικών θα δημιουργούσε συνθήκες για διαφορετική αποτίμηση στην κλίμακα και την βαθμονόμηση τους. Αυτό όμως αποφεύγεται από την στιγμή που οι υπόλοιπες τιμές βαθμονόμησης για τα υπόλοιπα κριτήρια/υποκριτήρια δεν μεταβάλλεται από την διαδικασία του μασκαρίσματος ενός κριτηρίου. Ο πίνακας που ακολουθεί περιλαμβάνει το σύνολο των συναρτήσεων βαρών, καθώς και την φυσική επίδραση στην λήψη απόφασης κατασκευής:

Ομάδα Συναρτήσεων Βάρους			Φυσική Ερμηνεία
	Κατηγορία		
		Υποκατηγορία	
C1. ECONOMIC COSTS			Συνολικά Οικονομικά Κόστη
	W(E1). CAPITAL COSTS		Κεφάλαιο
		<i>W(11). ONGOING COSTS</i>	Τρέχοντα κόστη
		<i>W(12). DEMOLITION/END OF LIFE</i>	Αποδόμηση/Τέλος Χρήσης
		<i>W(13). OPERATION</i>	Λειτουργία
	W(E2). MAINTENANCE		Συντήρηση
		<i>W(21). ADAPTABILITY &amp; FLEXIBILITY</i>	Προσαρμοστικότητα/Ευελιξία
		<i>W(22). EFFICIENCY &amp; EFFECTIVENESS</i>	Ποιότητα/Λειτουργικότητα
C2. ENVIRONMENTAL ASPECTS			Περιβαλλοντικές Παράμετροι
	W(EA1). RESOURCE MANAGEMENT		Διαχείριση Πόρων
		<i>W(EA11). MANAGED SOURCES OF INPUT MATERIALS</i>	Διαχείριση Υλικών Κατασκευής

		<i>W(EA12). ENERGY USE</i>	Ενεργειακές Ανάγκες
		<i>W(EA2). ENERGY USE</i>	Διαχείριση Ενέργειας
		<i>W(EA21). EMBODIED ENERGY</i>	Ενέργεια Κατασκευών
		<i>W(EA22). ENERGY DEMAND</i>	Απαιτήσεις Ενέργειας Λειτουργίας
		<i>W(EA3). BIODIVERSITY</i>	Βιοσυμβατότητα
		<i>W(EA4). RESOURCE EXTRACTION</i>	Ανάγκες Πόρων
<b>C3. SOCIAL ASPECTS</b>			<b>Κοινωνικές Παράμετροι</b>
		<i>W(S1). ENVIRONMENTAL PROFILE OF MATERIALS USED</i>	Περιβαλλοντικό προφίλ των υλικών προς χρήση
		<i>W(S2). INDOOR ENVIRONMENTAL QUALITY</i>	Ποιότητα εσωτερικών υλικών
		<i>W(S3). EASE OF REMOVAL OF HAZARDOUS MATERIALS</i>	Ευκολία απομάκρυνσης επικίνδυνων υλικών
		<i>W(S4). LONG TERM HEALTH RISKS</i>	Μακροπρόθεσμοι κίνδυνοι υγείας
<b>C4. TECHNOLOGICAL ASPECTS</b>			<b>Τεχνολογικές Παράμετροι</b>
		<i>W(TA1). MATURITY &amp; RELIABILITY</i>	Τεχνολογική ωριμότητα και αξιοπιστία
		<i>W(TA2). EFFICIENCY OF CONSTRUCTION METHODS</i>	Αποδοτικότητα των μεθόδων κατασκευής

### Πίνακας 1: Συναρτήσεις Βάρους στην επιλογή αποφάσεων της ασαφούς λογικής

Συνολικά οι παραπάνω συναρτήσεις βάρους συνιστούν 17 παραμέτρους προς καθορισμό για την λήψη απόφασης επιλογών της κατασκευής. Τα αποτελέσματα από την διαδικασία μασκαρίσματος των συναρτήσεων βάρους καθώς και οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν για τις εν λόγω μεταβλητές, παρουσιάζονται σε μορφή γραφικών παραστάσεων στην ενότητα που ακολουθεί.

## 6.4. Διαδικασίες Μασκαρίσματος (Masking) Μεταβλητών (Κριτηρίων - Υποκριτηρίων)

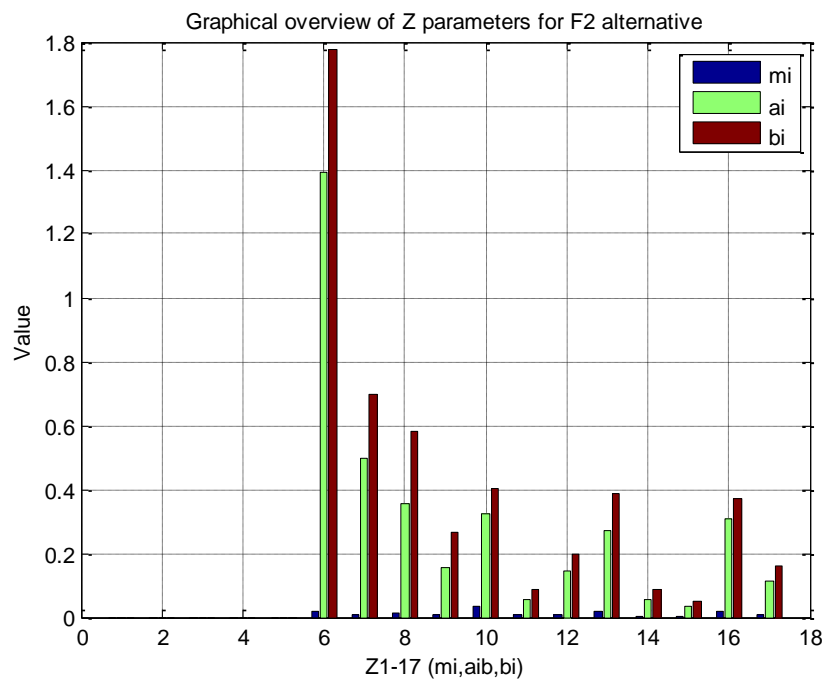
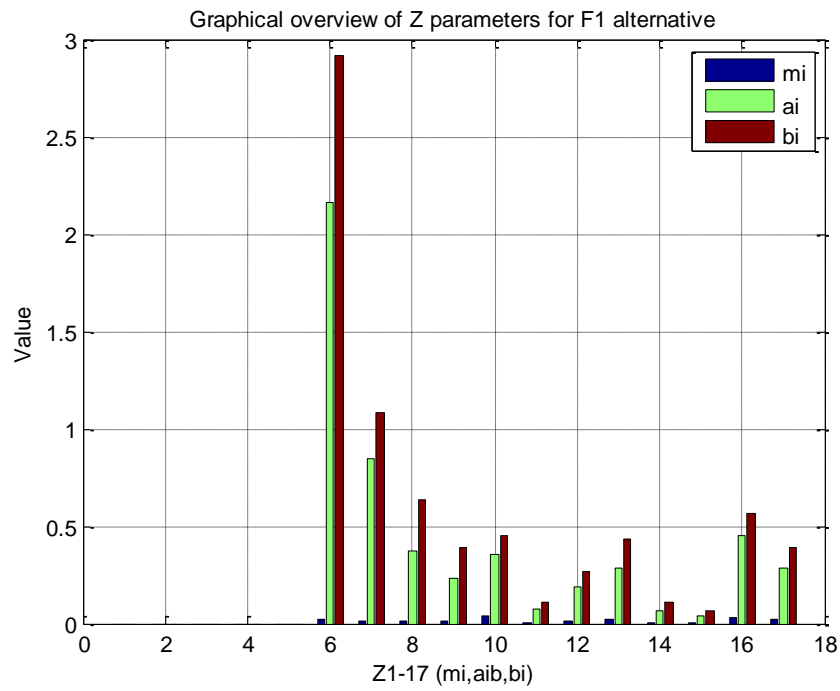
### C1. Οικονομικά Κριτήρια (Economic costs)

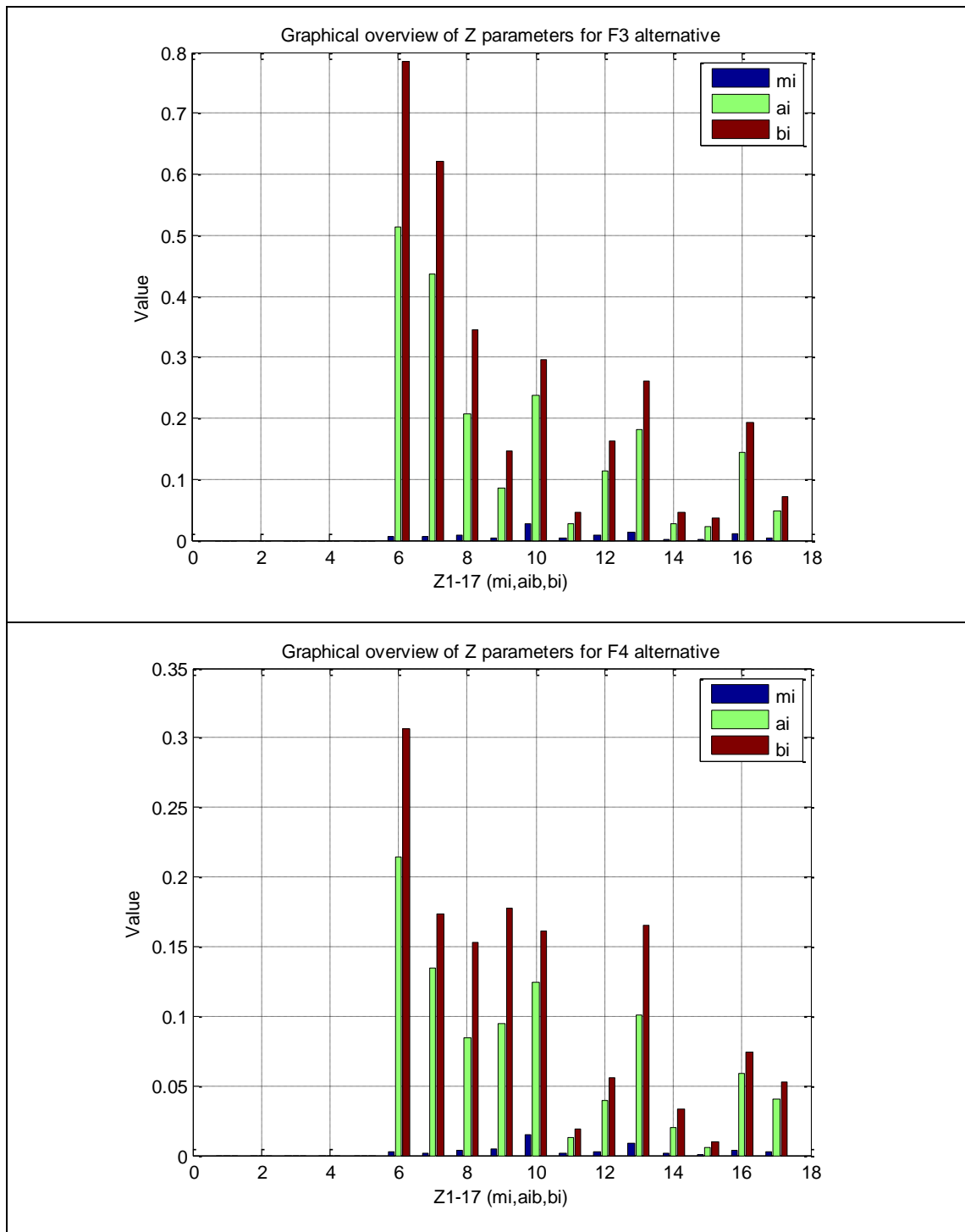
## Masking των κριτηρίων - υποκριτηρίων z1 – z5

Το μασκάρισμα αυτών των μεταβλητών αντιστοιχεί στον αποκλεισμό των Οικονομικών παραμέτρων (Economic costs) από την εξαγωγή απόφασης για την βιομηχανική κατασκευή. Αναλυτικότερα τα οικονομικά κόστη αναφέρονται στα τρέχοντα κόστη, στα έξοδα αποδόμησης και τέλη χρήσης, στα κόστη λειτουργίας, στα κόστη συντήρησης που αφορούν στην προσαρμοστικότητα του κτιρίου και στην ευελιξία μετατροπών, και τέλος στα κόστη που αφορούν στην διασφάλιση της ποιότητας και λειτουργικότητας του κτιρίου. Κατά την διαδικασία του μασκαρίσματος έχουν αποδοθεί τιμές μηδέν στα εν λόγω κριτήρια και υποκριτήρια. Η τιμή μηδέν χρησιμοποιήθηκε για να αποκλείσει οποιαδήποτε συνεισφορά αυτών των παραμέτρων στην λήψη απόφασης (δηλ. ο συνολικός παράγοντας του οικονομικού κόστους με τις παραπάνω εκφάνσεις αποκλείεται με το μασκάρισμα από την διαδικασία λήψης απόφασης στην ασαφή λογική). Εναλλακτικά θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως «πλαφόν» για το μασκάρισμα οποιαδήποτε άλλη σταθμισμένη τιμή θα κριθεί επιθυμητή από τον χρήστη. Αυτό δίνει την δυνατότητα ενός μερικού και σταθμισμένου αποκλεισμού των εν λόγω κριτηρίων και υποκριτηρίων από την λήψη απόφασης (π.χ. χρήση της τιμής 0.1 – οπότε τότε τα οικονομικά κόστη λαμβάνονται με πολύ μικρό βάρος επίδρασης στην τελική λήψη απόφασης). Αντίστοιχα θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί πολλαπλασιαστική συνεισφορά της μάσκας στον υπολογισμό της τρέχουσας τιμής, έτσι ώστε να σταθμίσει κλιμακωτά την εν λόγω επίδραση.

- Γραφικά Αποτελέσματα

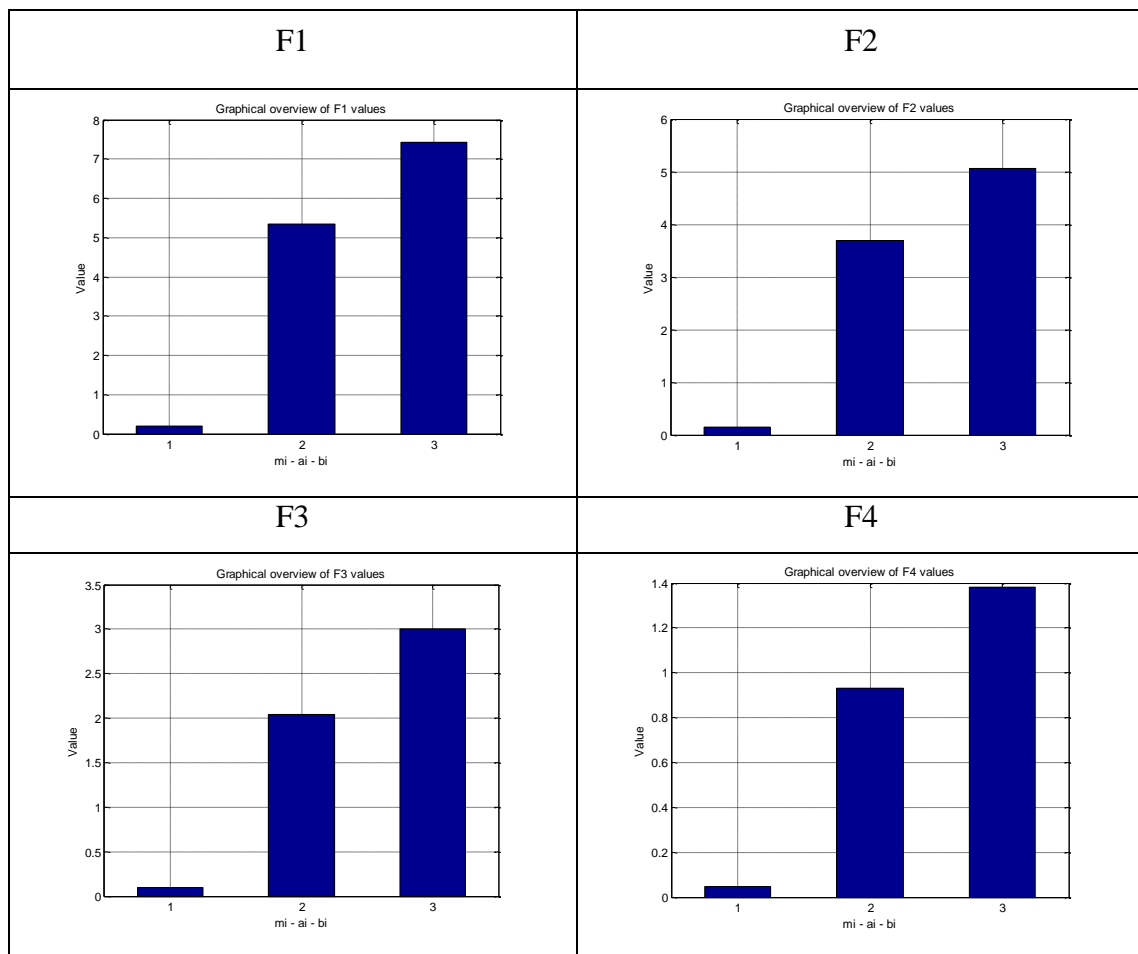
Τα γραφικά αποτελέσματα από την διαδικασία μασκαρίσματος για τις μεταβλητές Οικονομικού κόστους παρουσιάζονται ανά κριτήριο/υποκριτήριο στο διάγραμμα που ακολουθεί. Η παρουσίαση των τιμών αναλογεί στις τριπλέτες ασαφούς αντιστοίχου ( $m_i, a_i, b_i$ ) όπως αυτές έχουν υπολογισθεί για κάθε κριτήριο-υποκριτήριο που συμμετέχει στην λήψη απόφασης μέσω των εναλλακτικών.





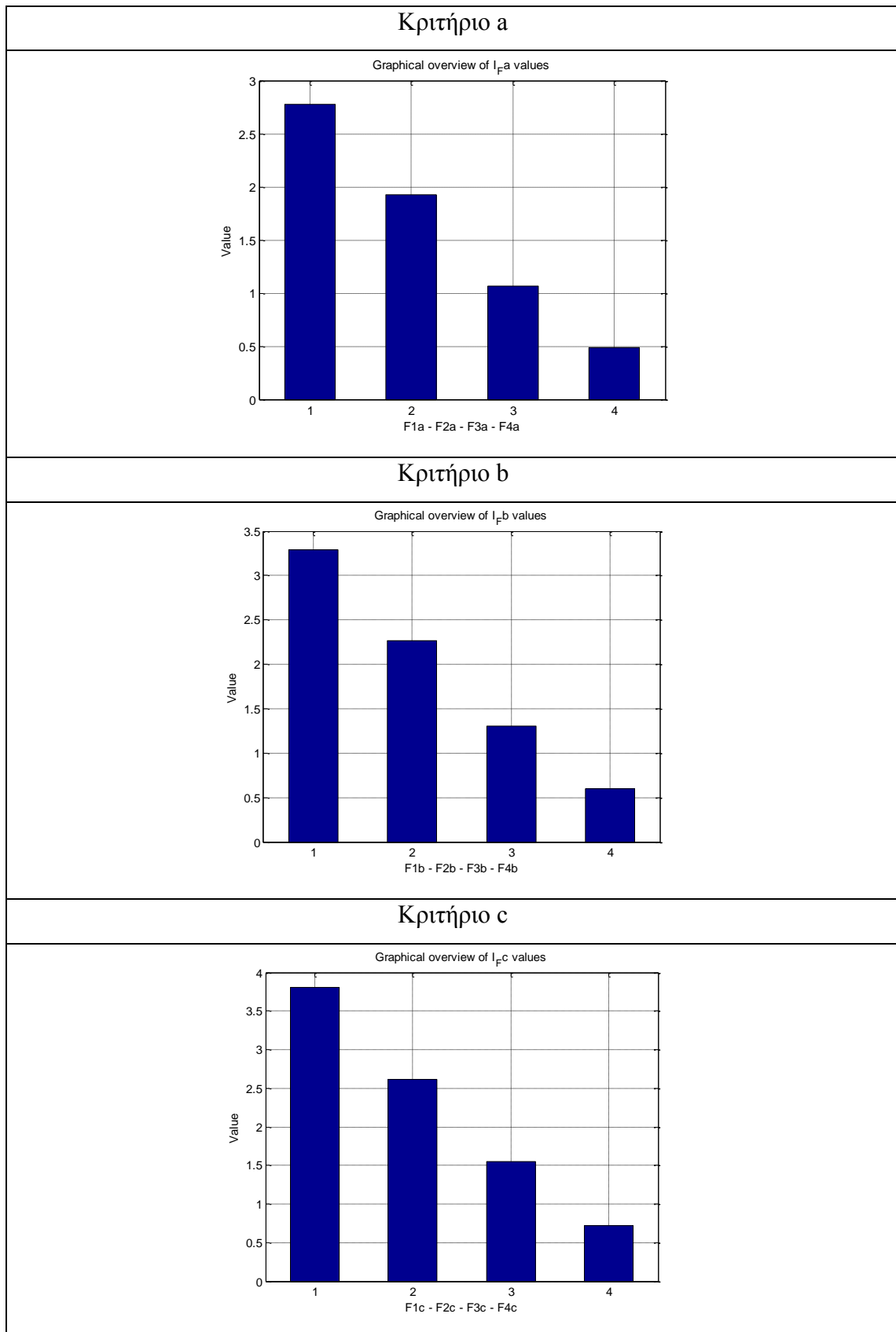
Σχήμα 1: Διαγράμματα παρουσίασης των μασκαρισμένων κριτηρίων-υποκριτηρίων για όλες τις εναλλακτικές διαδικασίες απόφασης

Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα συνολικά ασαφή αντίστοιχα ( $mi, ai, bi$ ) για κάθε μία από τις εναλλακτικές αποφάεις (F1,F2,F3,F4) για την κατασκευή:



Σχήμα 2: Διαγράμματα παρουσίασης των συνολικών αντιστοιχών ασαφούς λογικής για όλες τις εναλλακτικές διαδικασίες απόφασης

Στο τέλος παρουσιάζονται τα σταθμισμένα αποτελέσματα από την λήψη των αποφάσεων με βάση τις παραπάνω εναλλακτικές με την χρήση της μεθόδου total integral value των Liou – Wang (οι τιμές φορούν σε εκλογή παραμέτρου  $\lambda=0, 0.5$  και 1 αντίστοιχα):



Σχήμα 3: Διαγράμματα παρουσίασης των συνολικών αποτελεσμάτων στάθμισης για όλες τις εναλλακτικές διαδικασίες απόφασης

## **C2. Περιβαλλοντικά Κριτήρια (Environmental Aspects)**

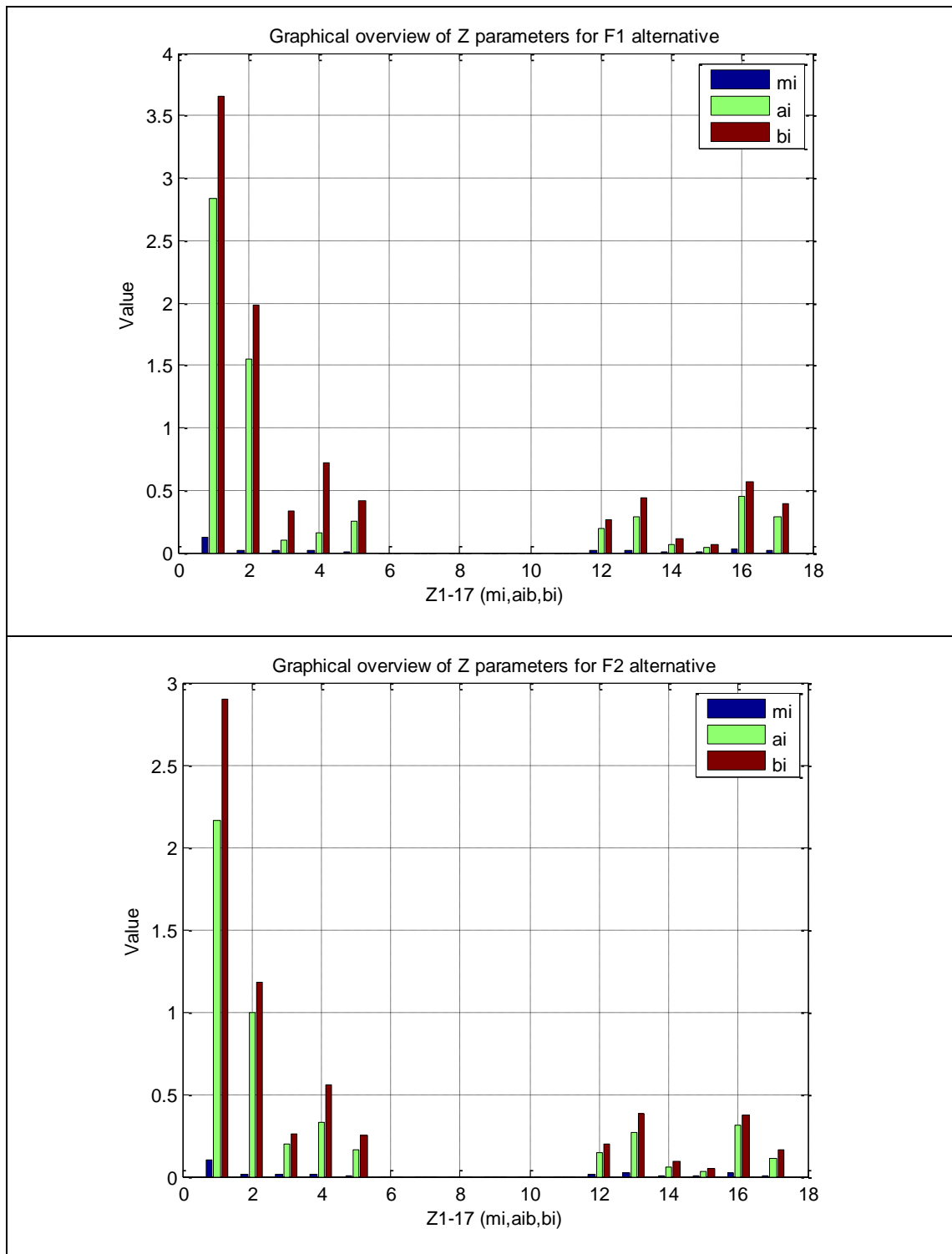
Masking των κριτηρίων - υποκριτηρίων z6 – z11

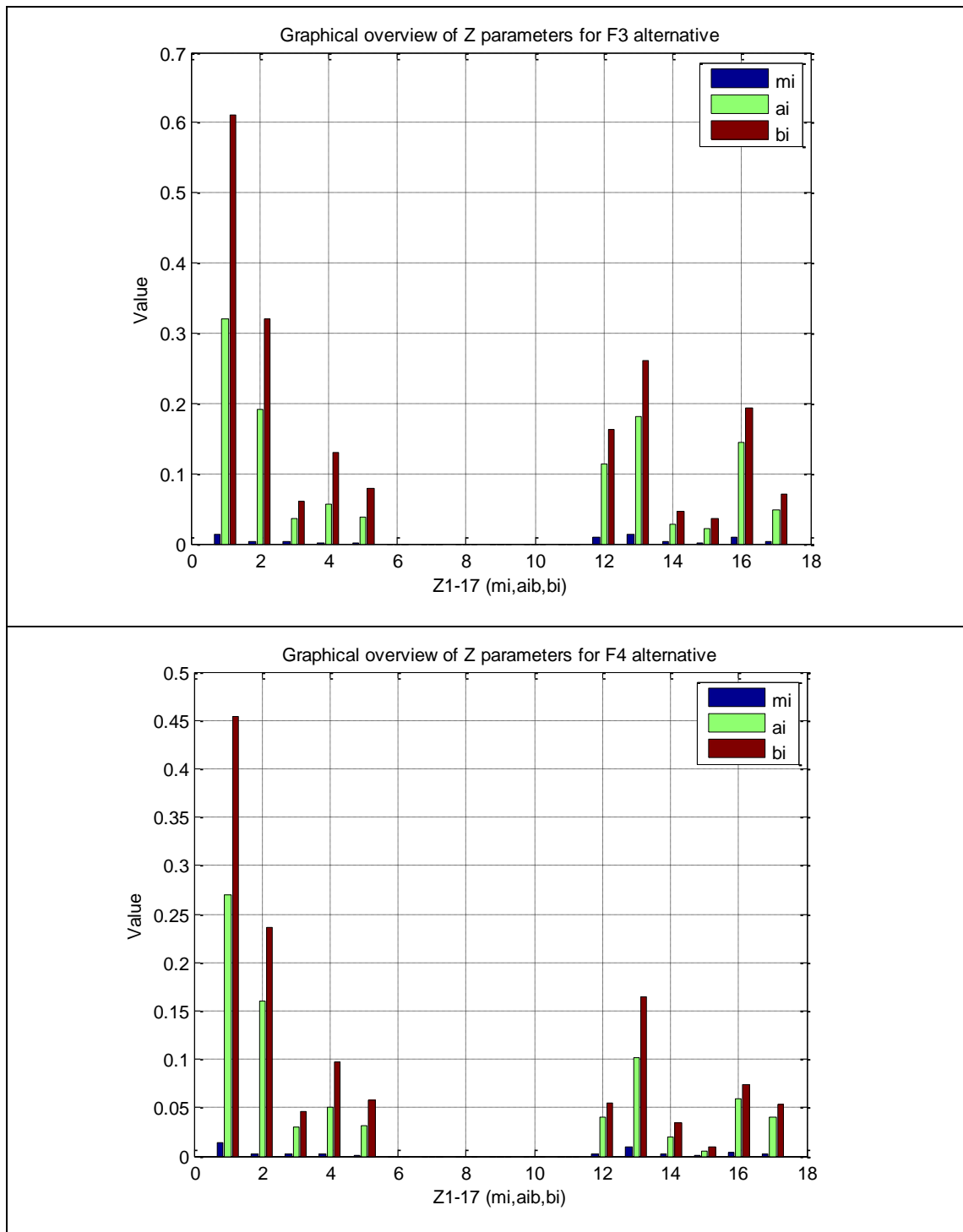
Το μασκάρισμα αυτών των μεταβλητών αντιστοιχεί στον αποκλεισμό των Περιβαλλοντολογικών παραμέτρων από την εξαγωγή απόφασης για την βιομηχανική κατασκευή. Αναλυτικότερα τα περιβαλλοντικά κόστη αναφέρονται στην διαχείριση των πόρων, στις ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου, στην ενέργεια που απαιτείται για τη κατασκευή, στις ενεργειακές απαιτήσεις λειτουργίας, στην βιοσυμβατότητα της κατασκευής και τέλος στις ανάγκες ενεργειακών πόρων για την συνέχιση λειτουργίας. Κατά την διαδικασία του μασκαρίσματος έχουν αποδοθεί τιμές μηδέν στα εν λόγω κριτήρια και υποκριτήρια. Η τιμή μηδέν χρησιμοποιήθηκε για να αποκλείσει ολικά οποιαδήποτε συνεισφορά αυτών των παραμέτρων στην λήψη απόφασης.

### **Γραφικά Αποτελέσματα**

Τα γραφικά αποτελέσματα από την διαδικασία μασκαρίσματος για τις μεταβλητές παρουσιάζονται ανά κριτήριο/υποκριτήριο στο διάγραμμα που ακολουθεί. Η παρουσίαση των τιμών αναλογεί στις τριπλέτες ασαφούς αντιστοίχου (mi, ai, bi) όπως αυτές έχουν υπολογισθεί για κάθε κριτήριο-υποκριτήριο που συμμετέχει στην λήψη απόφασης μέσω των εναλλακτικών.

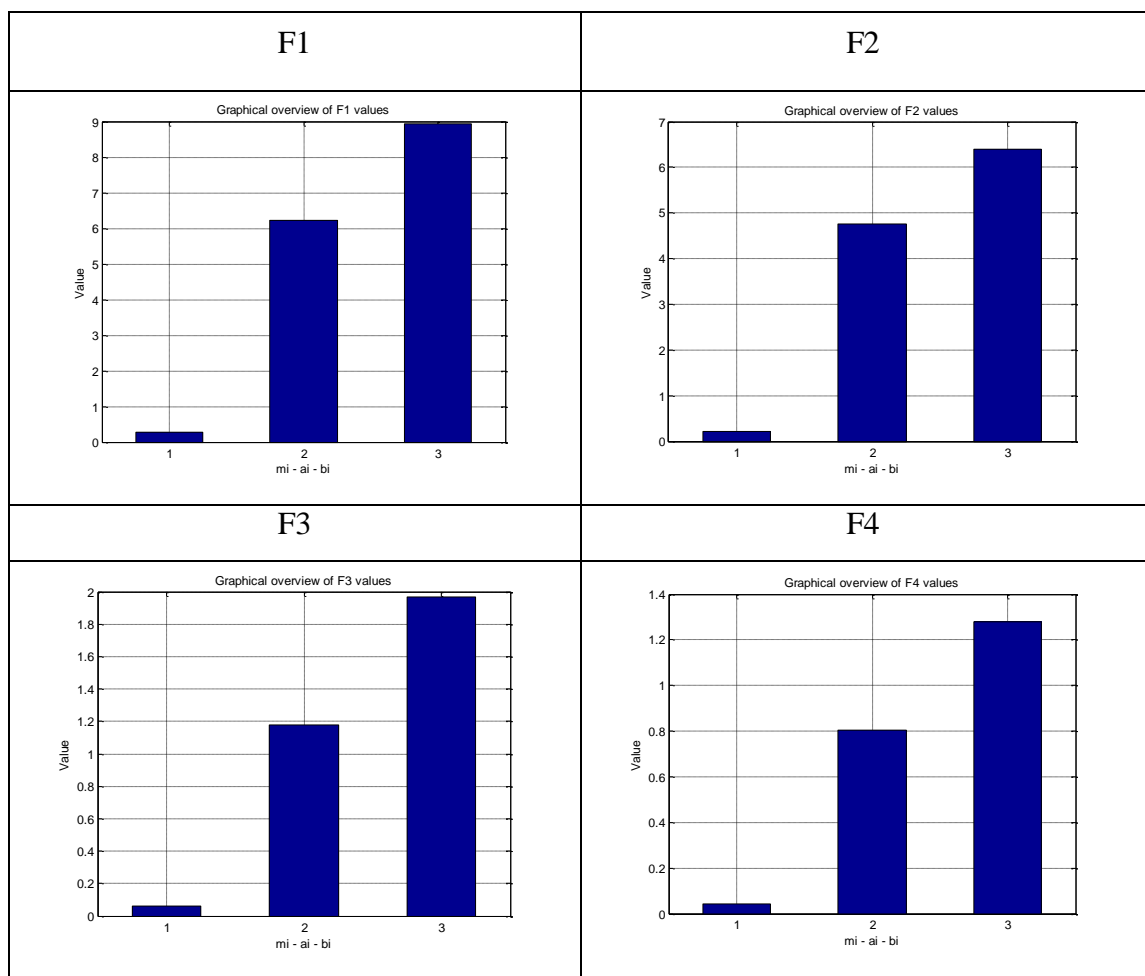






Σχήμα 4: Διαγράμματα παρουσίασης των μασκαρισμένων κριτηρίων-υποκριτηρίων για όλες τις εναλλακτικές διαδικασίες απόφασης

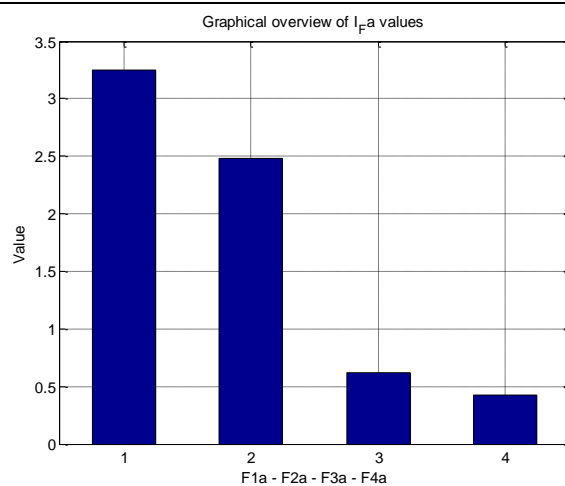
Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα συνολικά ασαφή αντίστοιχα ( $mi, ai, bi$ ) για κάθε μία από τις εναλλακτικές αποφάσεις για την κατασκευή:



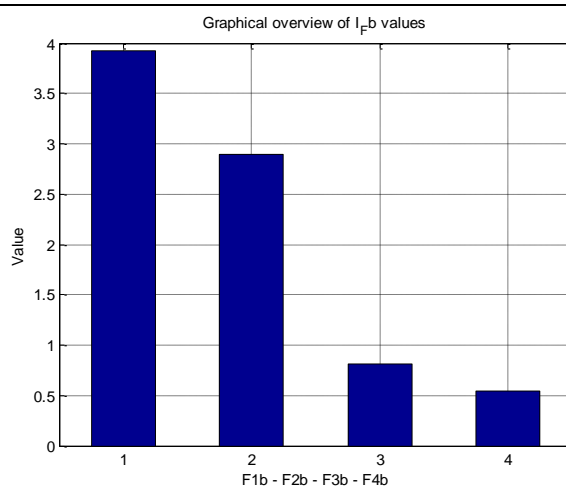
Σχήμα 5: Διαγράμματα παρουσίασης των συνολικών αντιστοιχών ασαφούς λογικής για όλες τις εναλλακτικές διαδικασίες απόφασης

Στο τέλος παρουσιάζονται τα σταθμισμένα αποτελέσματα από την λήψη των αποφάσεων με βάση τις παραπάνω εναλλακτικές με την χρήση της μεθόδου των Liou – Wang:

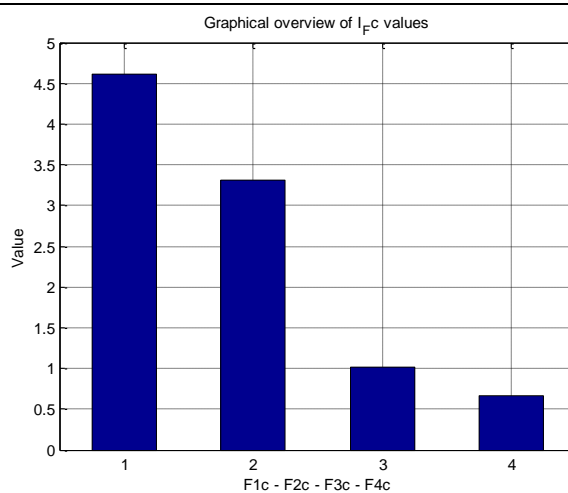
### Κριτήριο a



### Κριτήριο b



### Κριτήριο c



Σχήμα 6: Διαγράμματα παρουσίασης των συνολικών αποτελεσμάτων στάθμισης για όλες τις εναλλακτικές διαδικασίες απόφασης

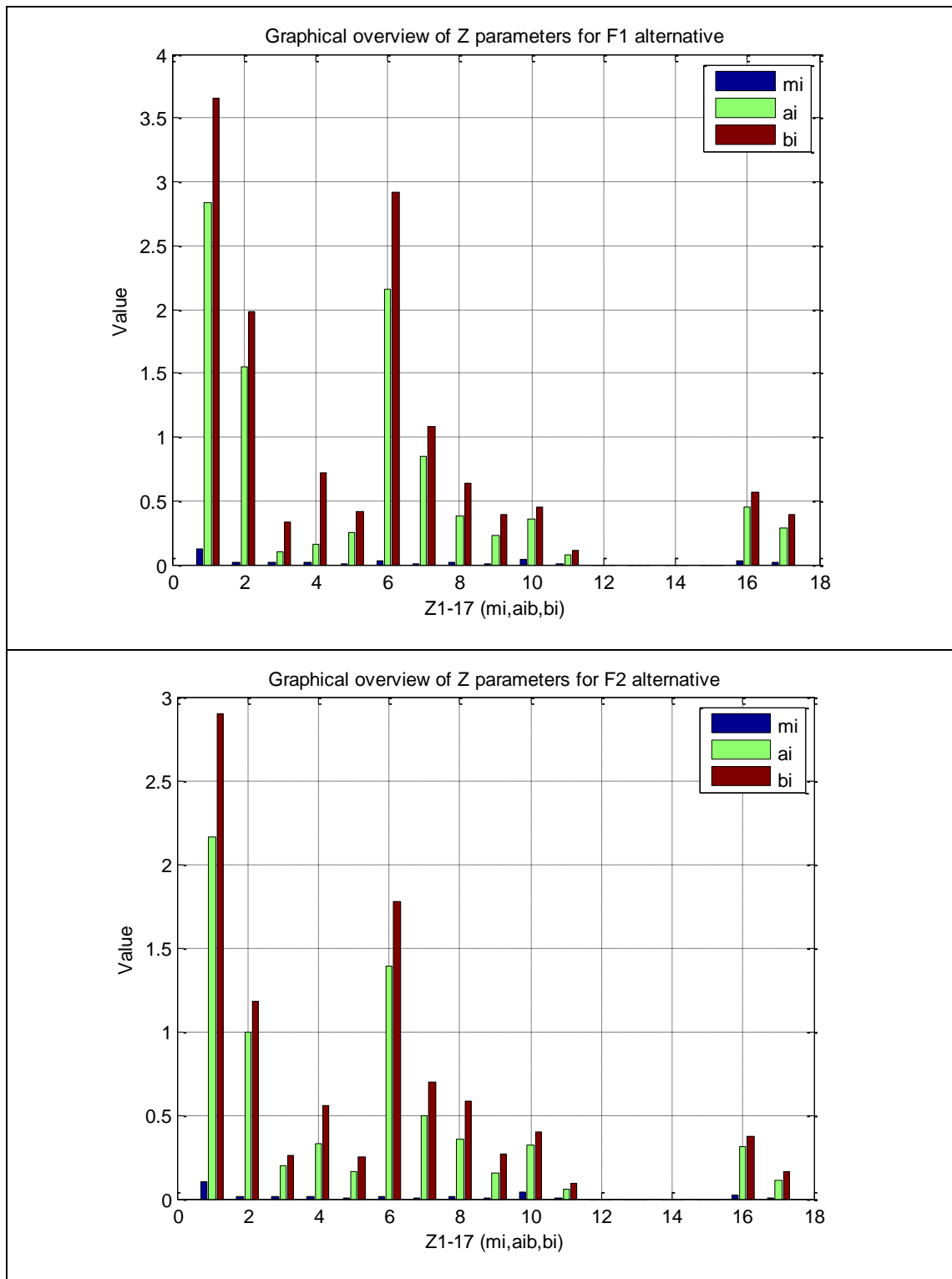
### **C3. Κοινωνικά Κριτήρια (Social Aspects)**

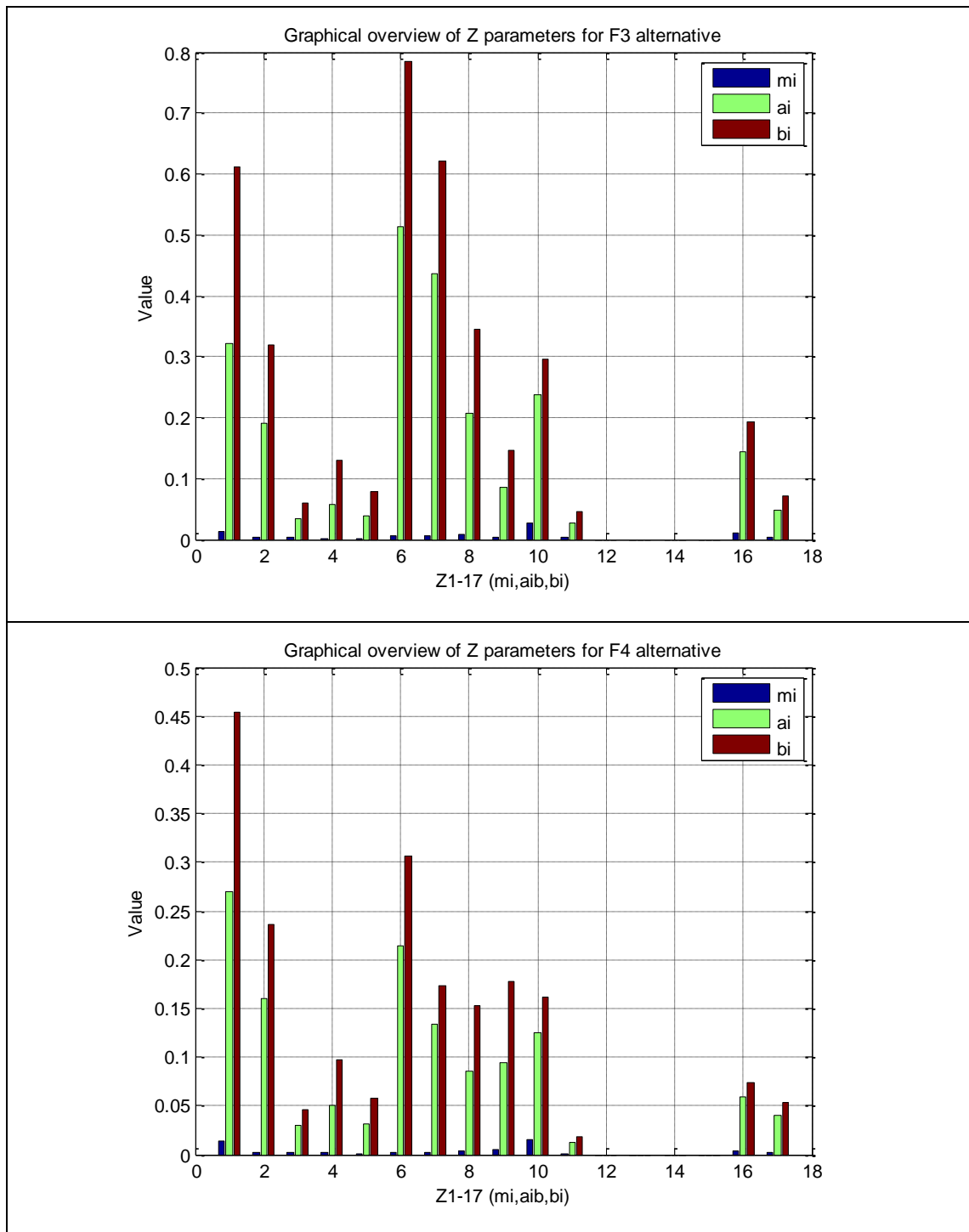
Masking των κριτηρίων - υποκριτηρίων z12 – z15

Το μασκάρισμα αυτών των μεταβλητών αντιστοιχεί στον αποκλεισμό των Κοινωνικών παραμέτρων από την εξαγωγή απόφασης για την βιομηχανική κατασκευή. Αναλυτικότερα τα κοινωνικά κόστη αναφέρονται στο περιβαλλοντικό προφίλ των υλικών προς χρήση, την ποιότητα των εσωτερικών υλικών, την ευκολία απομάκρυνσης των επικίνδυνων υλικών, και τέλος στους μακροπρόθεσμα επαγόμενους κινδύνους για την υγεία των ανθρώπων από την λειτουργία του κτιρίου. Κατά την διαδικασία του μασκαρίσματος έχουν αποδοθεί τιμές μηδέν στα εν λόγω κριτήρια και υποκριτήρια. Η τιμή μηδέν χρησιμοποιήθηκε για να αποκλείσει ολικά οποιαδήποτε συνεισφορά αυτών των παραμέτρων.

- **Γραφικά Αποτελέσματα**

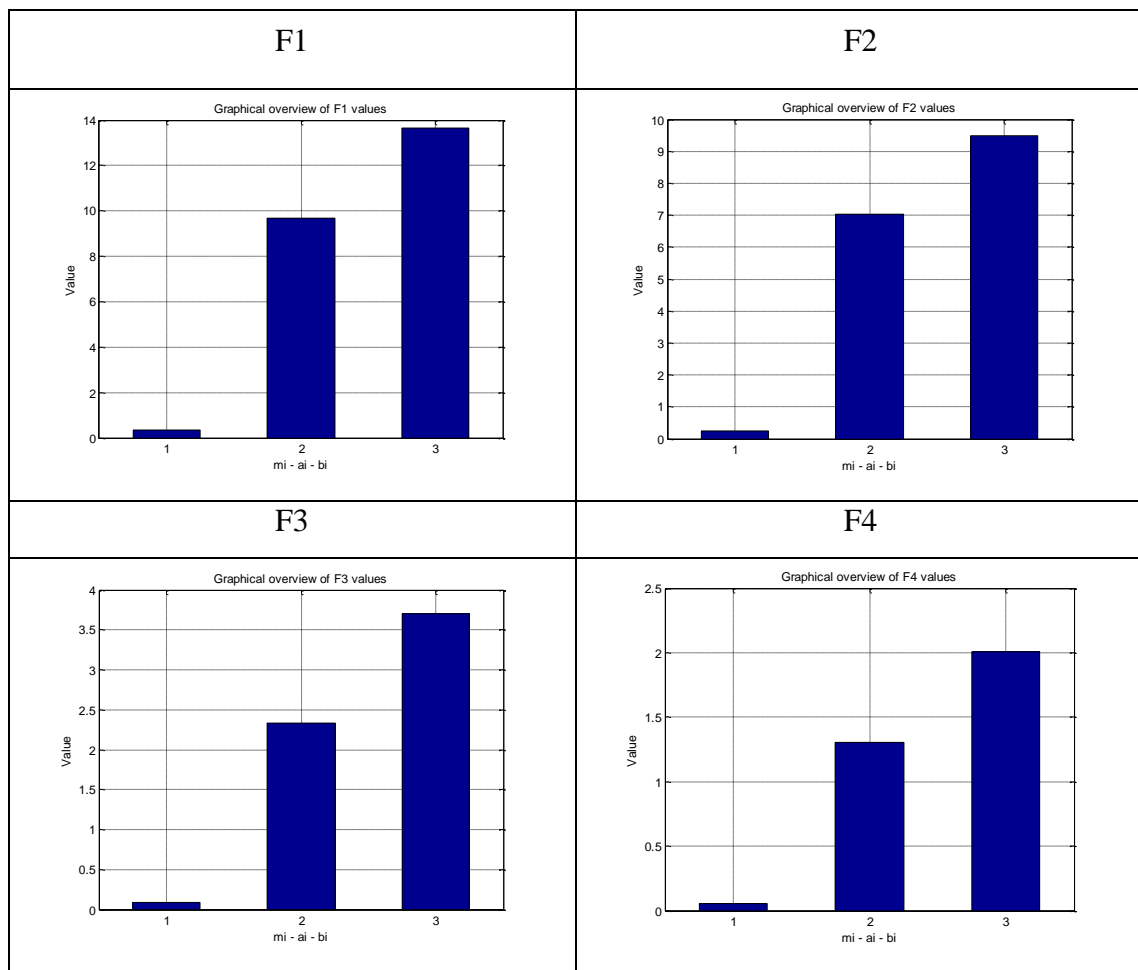
Τα γραφικά αποτελέσματα από την διαδικασία μασκαρίσματος για τις μεταβλητές Κοινωνικών Παραμέτρων, παρουσιάζονται ανά κριτήριο/υποκριτήριο στο διάγραμμα που ακολουθεί. Η παρουσίαση των τιμών αναλογεί στις τριπλέτες ασαφούς αντιστοίχου (mi, ai, bi) όπως αυτές έχουν υπολογισθεί για κάθε κριτήριο-υποκριτήριο που συμμετέχει στην λήψη απόφασης μέσω των εναλλακτικών.





Σχήμα 7: Διαγράμματα παρουσίασης των μασκαρισμένων κριτηρίων-υποκριτηρίων για όλες τις εναλλακτικές διαδικασίες απόφασης

Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα συνολικά ασαφή αντίστοιχα (mi,ai,bi) για κάθε μία από τις εναλλακτικές αποφάσεις για την κατασκευή:

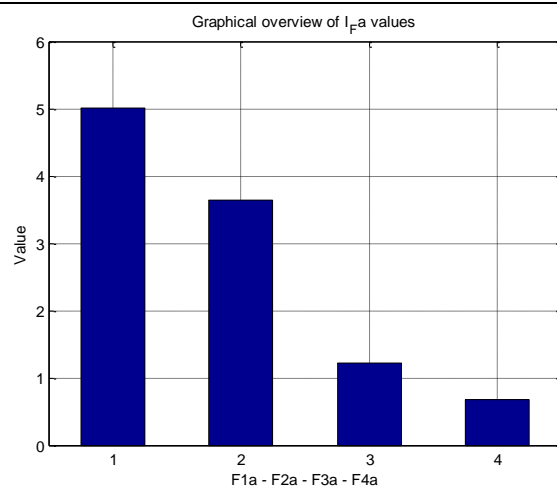


Σχήμα 8: Διαγράμματα παρουσίασης των συνολικών αντιστοιχών ασαφούς λογικής για όλες τις εναλλακτικές διαδικασίες απόφασης

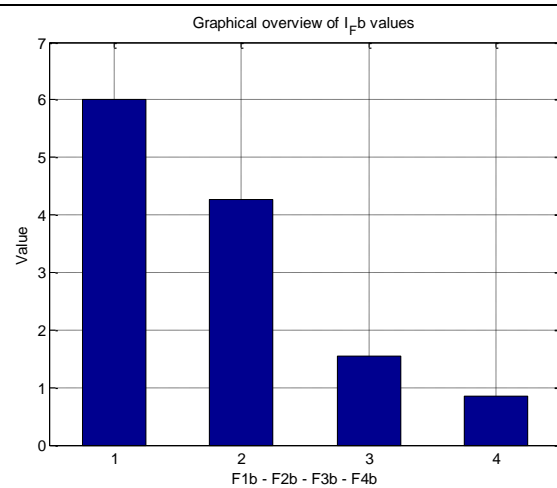
Στο τέλος παρουσιάζονται τα σταθμισμένα αποτελέσματα από την λήψη των αποφάσεων με βάση τις παραπάνω εναλλακτικές με την χρήση της μεθόδου των Liou – Wang:



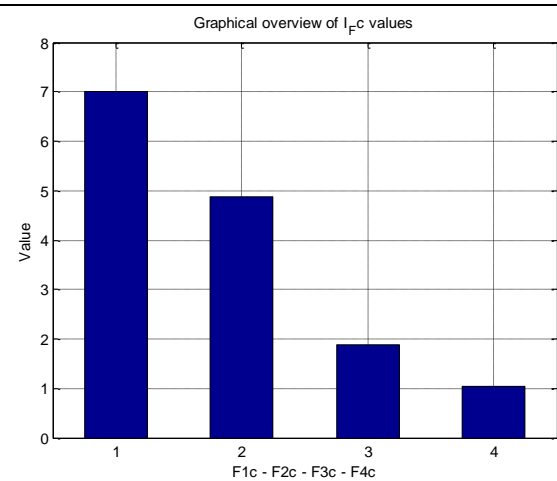
### Κριτήριο a



### Κριτήριο b



### Κριτήριο c



Σχήμα 9: Διαγράμματα παρουσίασης των συνολικών αποτελεσμάτων στάθμισης για όλες τις εναλλακτικές διαδικασίες απόφασης

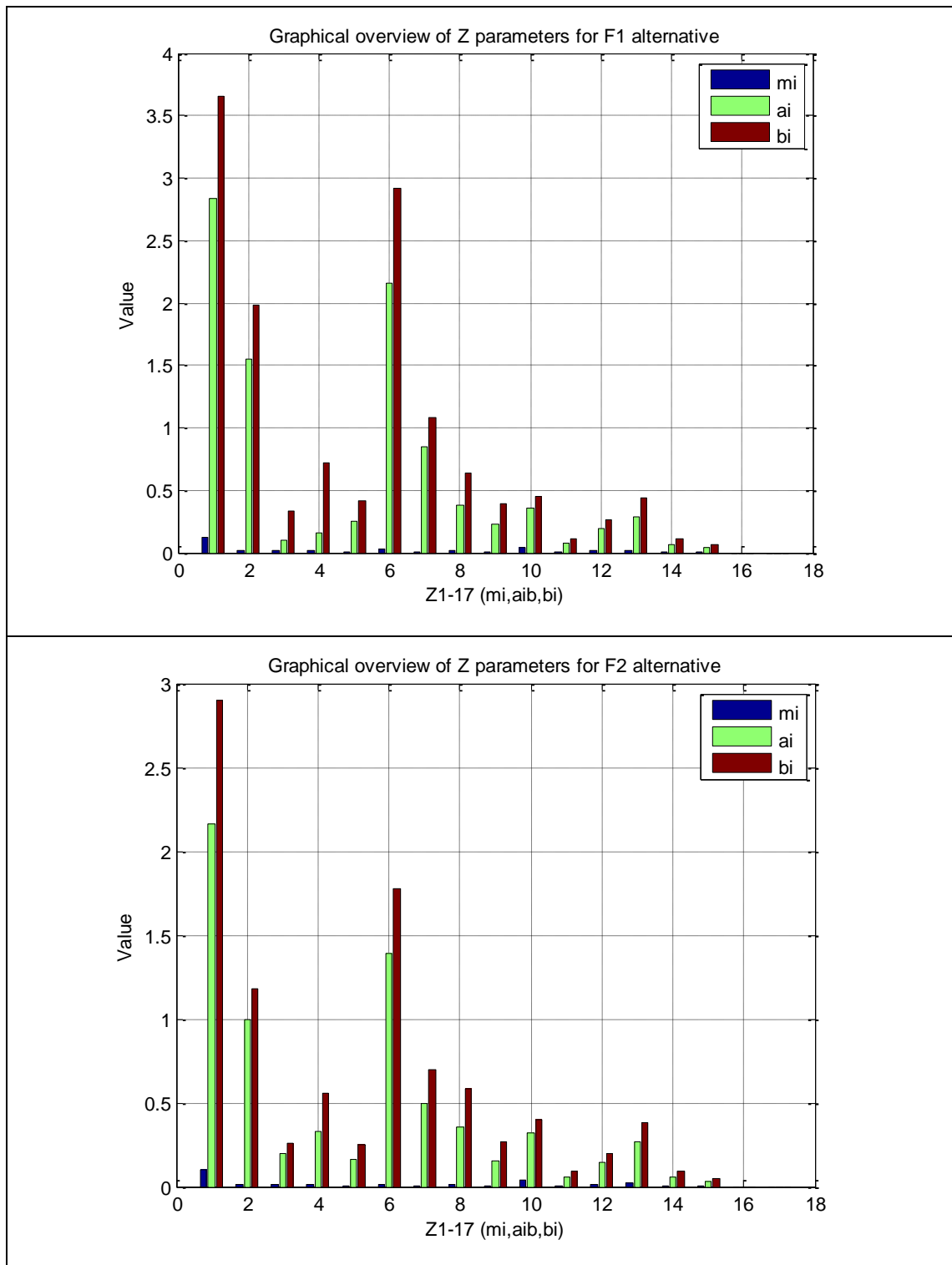
#### **C4. Τεχνολογικά Κριτήρια (Technological Aspects)**

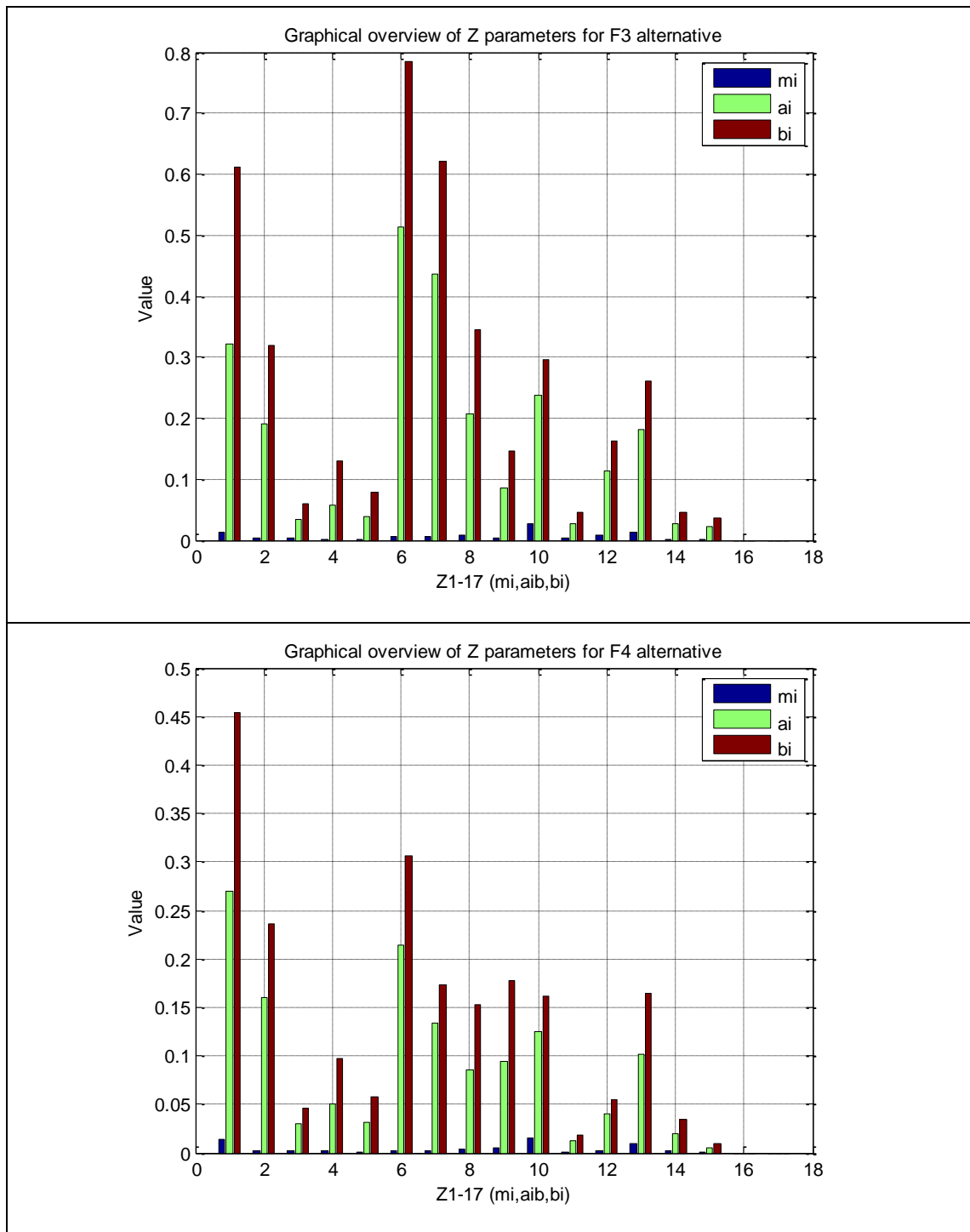
Masking των κριτηρίων - υποκριτηρίων z16 – z17

Το μασκάρισμα αυτών των μεταβλητών αντιστοιχεί στον αποκλεισμό των Τεχνολογικών παραμέτρων από την εξαγωγή απόφασης για την βιομηχανική κατασκευή. Αναλυτικότερα τα τεχνολογικά κόστη αναφέρονται στην τεχνολογική ωριμότητα και αξιοπιστία για την επίτευξη της κατασκευής, και τέλος στην αποδοτικότητα των μεθόδων κατασκευής. Κατά την διαδικασία του μασκαρίσματος έχουν αποδοθεί τιμές μηδέν στα εν λόγω κριτήρια και υποκριτήρια. Η τιμή μηδέν χρησιμοποιήθηκε για να αποκλείσει ολικά οποιαδήποτε συνεισφορά αυτών των παραμέτρων.

- Γραφικά Αποτελέσματα

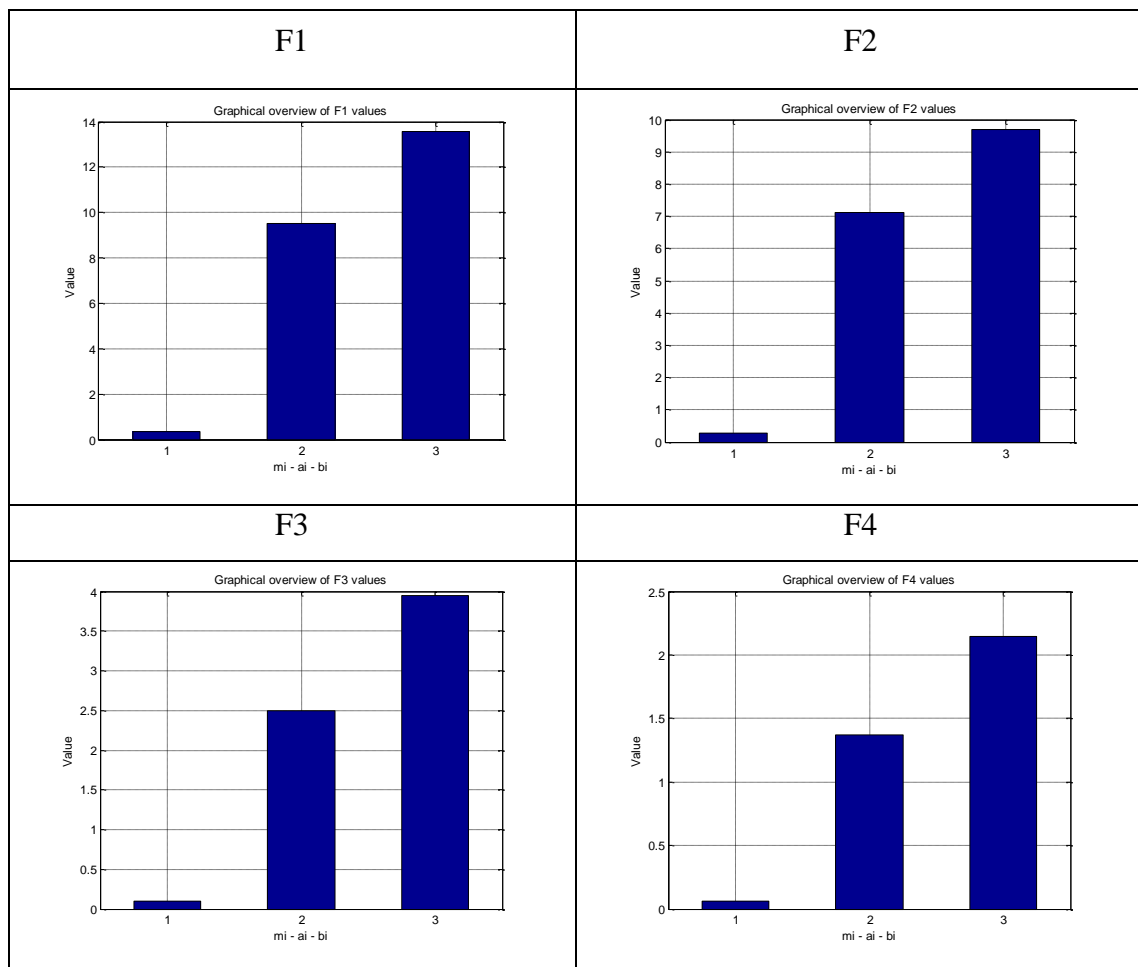
Τα γραφικά αποτελέσματα από την διαδικασία μασκαρίσματος για τις μεταβλητές Τεχνολογικών παραμέτρων παρουσιάζονται ανά κριτήριο/υποκριτήριο στο διάγραμμα που ακολουθεί. Η παρουσίαση των τιμών αναλογεί στις τριπλέτες ασαφούς αντιστοίχου ( $m_i, a_i, b_i$ ) όπως αυτές έχουν υπολογισθεί για κάθε κριτήριο-υποκριτήριο που συμμετέχει στην λήψη απόφασης μέσω των εναλλακτικών.





Σχήμα 10: Διαγράμματα παρουσίασης των μασκαρισμένων κριτηρίων-υποκριτηρίων για όλες τις εναλλακτικές διαδικασίες απόφασης

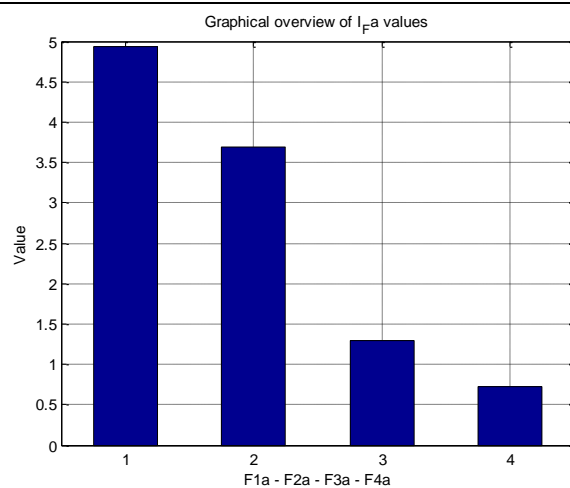
Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα συνολικά ασαφή αντίστοιχα ( $mi, ai, bi$ ) για κάθε μία από τις εναλλακτικές αποφάσεις για την κατασκευή:



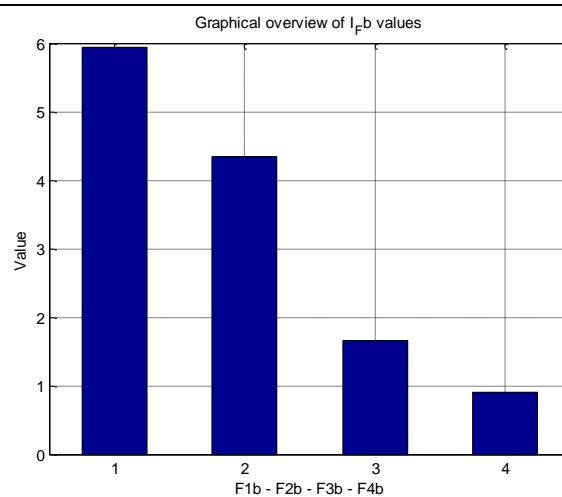
Σχήμα 11: Διαγράμματα παρουσίασης των συνολικών αντιστοιχών ασαφούς λογικής για όλες τις εναλλακτικές διαδικασίες απόφασης

Στο τέλος παρουσιάζονται τα σταθμισμένα αποτελέσματα από την λήψη των αποφάσεων με βάση τις παραπάνω εναλλακτικές με την χρήση της μεθόδου των Liou – Wang:

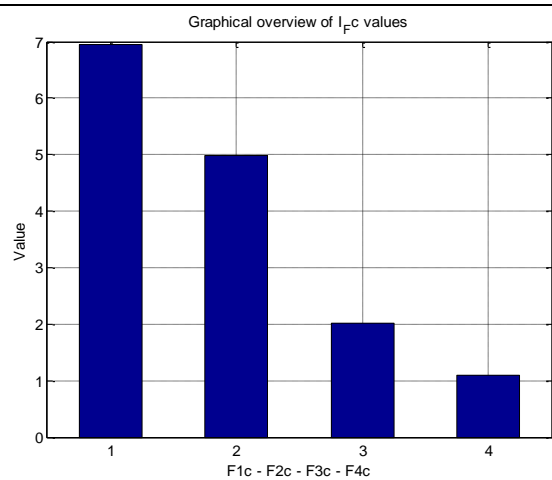
### Κριτήριο α



### Κριτήριο b



### Κριτήριο c



Σχήμα 12: Διαγράμματα παρουσίασης των συνολικών αποτελεσμάτων στάθμισης για όλες τις εναλλακτικές διαδικασίες απόφασης

## 6.5 Συμπεράσματα από την εφαρμογή της ασαφούς μεθοδολογίας

Σε αυτήν την μελέτη χρησιμοποιήθηκε η ασαφής λογική και η αναλυτική μέθοδος της AHP για την επιλογή αποφάσεων στην κατασκευή βιομηχανικού κτιρίου ως προς τα δομικά του τμήματα (σκελετός και τοιχοποιία).

Η ασαφής μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για την λήψη απόφασης και εναλλακτικών επιλογών για την κατασκευή βιομηχανικού κτιρίου, βασίστηκε σε μία ιεραρχική επιβολή κριτηρίων και υποκριτηρίων που συνιστούν παραμέτρους επιλογής της κατασκευής. Μέσω της ασαφούς λογικής σταθμίστηκε η επίδραση των ανωτέρω κριτηρίων και υποκριτηρίων, βαθμονομώντας τις επιδράσεις τους μέσω συντελεστών, οι οποίοι προέκυψαν από την «αριθμητική ταξινόμηση» των γνώμων των ειδικών (experts opinions). Η μεταβλητότητα στην έκφραση και βαθμονόμηση των γνώμων σταθμίστηκε με την χρήση 4 εναλλακτικών προσεγγίσεων, οι οποίες προέκυψαν με εφαρμογή μεθόδων διαφορετικής βαρύτητας για την κατασκευή του κτιρίου. Η κάθε μία από αυτές τις εναλλακτικές κατέληξε μέσω των παραμέτρων  $Z$  σε μία τριπλέτα αντιστοίχου ασαφούς λογικής  $(m_i, a_i, b_i)$  καθώς και των αντιστρόφων αυτών με βάση τους κανόνες αριθμητικών υπολογισμών της ασαφούς λογικής. Οι τριπλέτες αυτές συνδιάστηκαν συνολικά με χρήση της μεθόδου στάθμισης (total integral value) των Liou και Wang (1992), η οποία κάνει χρήση της παραμέτρου  $\lambda$ , με στόχο να συγκεράσει τις εναλλακτικές και να καταλήξουμε σε ένα συνολικό συμπέρασμα.

Από την μορφή των αριθμητικών υπολογισμών καθώς και των διαγραμμάτων (γραφικών παραστάσεων), καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι γενικά  $F1 > F2 > F3 > F4$  όσον αφορά στην επιλογή αποφάσεων. Η ανωτέρω ανισότητα εξακολουθεί να ισχύει για όλη την γκάμα εναλλακτικών τιμών  $\lambda$  που χρησιμοποιήθηκε για την στάθμιση της μεθόδου των Liou και Wang (παράμετρος  $\lambda = 0, 0.5, 1$ ).

Η οργάνωση των υπολογισμών και η παραγωγή των αποτελεσμάτων βασίστηκε όπως παρουσιάσαμε από την εισαγωγή της εργασίας, στο περιβάλλον Matlab. Το περιβάλλον Matlab αποτελεί ένα πλήρες μαθηματικό προγραμματιστικό σύστημα με δυνατότητα επεξεργασίας και υπολογισμών, καθώς και απεικόνισης αποτελεσμάτων

(τόσο σε αριθμητική όσο και σε γραφική μορφή). Η οργάνωση των υπολογισμών με χρήση της script language του Matlab δίνει ευελιξία και προσαρμοστικότητα στον αλγόριθμο υπολογισμού καθώς διευκολύνει τον χρήστη στην τελική απεικόνιση των αποτελεσμάτων.

Επιπροσθέτως στις αρχικά υποστηριζόμενες διαδικασίες υπολογισμού από το περιβάλλον απόφασης ασαφούς λογικής προστέθηκε η δυνατότητα του μασκαρίσματος (masking) κριτηρίων – υποκριτηρίων. Ειδικότερα, οι διαδικασίες μασκαρίσματος (masking) των κριτηρίων και υποκριτηρίων που εφαρμόστηκαν με χρήση των αντίστοιχων συναρτήσεων του Matlab στο αρχείο FinalResults.m, απευθύνθηκαν αυτοτελώς σε αποκλεισμό της συνεισφοράς των κύριων κριτηρίων επιλογής της μεθόδου, δηλ. του Οικονομικού κόστους (Economic cost), των Περιβαλλοντικών παραμέτρων (Environmental Aspects), των Κοινωνικών παραμέτρων (Social Aspects), και τέλος των Τεχνολογικών Παραμέτρων (Technological Aspects). Η διαδικασία μασκαρίσματος που εφαρμόστηκε στην διπλωματική, στόχευε στον αποκλεισμό κάθε φορά ενός από τα παραπάνω κύρια κριτήρια, με στόχο να εντοπιστεί η επίδραση του στην λήψη της τελικής απόφασης κατασκευής μέσω των εναλλακτικών και της συνολικής απόφασης. Ο αποκλεισμός κριτηρίων και υποκριτηρίων από τα περιβάλλον του κώδικα που έχει αναπτυχθεί είναι δυναμικός, και καθορίζεται αποκλειστικά από τον χρήστη χωρίς κανέναν επιπλέον περιορισμό. Αυτό δίνει την δυνατότητα επιλεκτικού αποκλεισμού κριτηρίων και υποκριτηρίων από την τελική λήψη απόφασης. Επιπλέον η μέθοδος μασκαρίσματος που χρησιμοποιήθηκε στους υπολογισμούς, δεν αλλοιώνει τις αρχικές εκτιμήσεις, γνώμες και βαθμονομήσεις ασαφούς κλίμακας όπως προέρχονται από τους ειδικούς, αφού αφήνει αμετάβλητες τις υπόλοιπες παραμέτρους (που δεν έχουν μασκαριστεί) να υπεισέρχονται στους υπολογισμούς. Επιπλέον η εισαγωγή των συναρτήσεων μασκαρίσματος δίνει την δυνατότητα της αντικατάστασης των επιλεγμένων κατηγοριών από επιθυμητές τιμές από τον χρήστη παρέχοντας έτσι την δυνατότητα αντί να αποκλείσουν τις εν λόγω μεταβλητές ολικά από την λήψη της τελικής απόφασης, να ποσοστώσουν την συμμετοχή τους κατά τον επιθυμητό βαθμό.

Από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης φάνηκε ότι για τους παραπάνω αποκλεισμούς (masking), δεδομένου των τρεχουσών δομών ασαφούς λογικής, το αποτέλεσμα επιλογής και λήψης αποφάσεων παραμένει σταθερό, εφόσον το ίδιο κριτήριο αποκλείεται και για τις υπόλοιπες εναλλακτικές επιλογές. Έτσι η διαδικασία



αποκλεισμού είναι ομοιόμορφη για όλες τις εναλλακτικές, αποκλείοντας με τον ίδιο τρόπο τα κύρια κριτήρια και υποκριτήρια από όλες τις εναλλακτικές και κατά συνέπεια από την τελική απόφαση.

Η προσθήκη της δυνατότητας masking των παραμέτρων  $Z$  που αναφέρεται σε οποιοδήποτε κριτήριο και υποκριτήριο επηρεάζει την κατασκευή και είναι πολύ σημαντική διότι δίνει την δυνατότητα διεξοδικής εφαρμογής προσομοιώσεων στο σύστημα, αναλύοντας την επίδραση κυρίων και δευτερευόντων παραγόντων. Έτσι από ένα σύνολο 17 υποκριτηρίων οργανωμένα σε 4 δέσμες κεντρικών κριτηρίων, δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη, να αποκλεισθούν κατά βούληση κάποιες, χωρίς να επηρεάζουν τους συντελεστές βάρους και τα αντίστοιχα ασαφούς λογικής πρότυπα για τα υπόλοιπα κριτήρια.

Επιπλέον θα πρέπει να επισημανθεί ότι η διαδικασία masking όπως έχει αναπτυχθεί στον κώδικα, δίνει την δυνατότητα στάθμισης και επιλογής τιμών που θα εισέρχονται στους υπολογισμούς για τις παραμέτρους που έχουν αποκλεισθεί. Αυτό έχει ως συνέπεια η διαδικασία του masking να είναι ελεγχόμενη και σταθμισμένη στον βαθμό που θέλουμε να συμπεριληφθεί ή να αποκλεισθεί μερικώς από την διαδικασία (αφού μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε και μη μηδενικές τιμές). Από την άλλη πλευρά η διαδικασία του masking μπορεί να χρησιμοποιηθεί όχι αποκλειστικά για αποκλεισμό της μεταβλητής, αλλά για διαμόρφωση ισχυρής συμμετοχής ενός παράγοντα (κριτηρίου/υποκριτηρίου) στην τελική λήψη απόφασης.

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν μετά την διαδικασία του μασκαρίσματος συντίθεται και πάλι με την χρήση της τεχνικής της μεθόδου total integral value. Αυτό όπως δείξαμε, δεν συνιστά καμμία μεταβολή στην διαδικασία λήψης απόφασης από το μοντέλο παρά την διαδικασία μασκαρίσματος.

Κλείνοντας την προσπάθεια οργάνωσης της αλγοριθμικής διεργασίας υπολογισμών ασαφούς λογικής στο περιβάλλον Matlab, μπορούμε να επισημάνουμε ότι η χρήση του εν λόγω μαθηματικού πακέτου επεξεργασίας μπορεί να συντελέσει στην επιπρόσθετη ολοκλήρωση και επιπλέον δημιουργία και άλλων συναρτήσεων για την λήψη απόφασης, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν δυναμικά και συνεπικουρικά, χτίζοντας ένα μεγαλύτερης κλίμακας επεξεργαστικό περιβάλλον ασαφούς λογικής.

## Παράρτημα

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα κριτήρια βαρών που χρησιμοποιήθηκαν στη συγκεκριμένη μελέτη.

### Βασικά Κριτήρια

$$W_{C1} = \frac{\bar{1} + \bar{3} + \bar{1} + \bar{5}}{\bar{1} + \bar{3} + \bar{1} + \bar{5} + \bar{1} + \bar{7} + \bar{3} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{3}^{-1} + \bar{7}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1}}$$

$$W_{C2} = \frac{\bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{7} + \bar{3}}{\bar{1} + \bar{3} + \bar{1} + \bar{5} + \bar{1} + \bar{7} + \bar{3} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{3}^{-1} + \bar{7}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1}}$$

$$W_{C3} = \frac{\bar{1} + \bar{7}^{-1} + \bar{1} + \bar{1}}{\bar{1} + \bar{3} + \bar{1} + \bar{5} + \bar{1} + \bar{7} + \bar{3} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{3}^{-1} + \bar{7}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1}}$$

$$W_{C4} = \frac{\bar{5}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{1}}{\bar{1} + \bar{3} + \bar{1} + \bar{5} + \bar{1} + \bar{7} + \bar{3} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{3}^{-1} + \bar{7}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1}}$$

	Αριθμητής		
	m	α	β
W(c1):	10	6	18
	Παρονομαστής		
	n	γ	δ
	26, 00952381	17, 00995717	47, 22748299
Τελικά W(c1) είναι:	m	α	β
	0, 384474551	0, 928804599	0, 943496537

W(c2):	Αριθμητής		
	m	α	β
	11, 33333333	7, 00444444	17, 11111111
	Παρονομαστής		
	n	γ	δ
	26, 00952381	17, 00995717	47, 22748299
<hr/>			
Τελικά W(c2) είναι:	m	α	β
	0, 435737825	1, 060505581	0, 942846668

W(c3):	Αριθμητής		
	m	α	β
	3, 142857143	3, 000251953	9, 000816327
	Παρονομαστής		
	n	γ	δ
	26, 00952381	17, 00995717	47, 22748299
<hr/>			
Τελικά W(c3) είναι:	m	α	β
	0, 120834859	0, 334761154	0, 425083219

W(c4):	Αριθμητής		
	m	α	β
	2, 533333333	2, 005260771	6, 115555556
	Παρονομαστής		
	n	γ	δ
	26, 00952381	17, 00995717	47, 22748299
<hr/>			
Τελικά W(c4) είναι:	m	α	β
	0, 09740022	0, 253954207	0, 298826275

## Βάρη Υποκριτηρίων του Economic Costs

$$W_{E1} = \frac{\bar{I} + \bar{8}}{\bar{I} + \bar{8} + \bar{I} + \bar{8}^{-1}}$$

$$W_{E2} = \frac{\bar{I} + \bar{8}^{-1}}{\bar{I} + \bar{8} + \bar{I} + \bar{8}^{-1}}$$

W(E1):	Αριθμητής		
	m	α	β
	9	8	12
	Παρονομαστής		
	n	γ	δ
	10, 125	9, 000192901	15, 00031888
Τελικά W(E1) είναι:	m	α	β
	0, 888888889	2, 10702388	1, 975325577

W(E2):	Αριθμητής		
	m	α	β
	1, 125	1, 000192901	3, 000318878
	Παρονομαστής		
	n	γ	δ
	10, 125	9, 000192901	15, 00031888
Τελικά W(E2) είναι:	m	α	β
	0, 111111111	0, 263397037	0, 395095339

## Βάρη των υποκριτηρίων Capital Costs

$$W_{11} = \frac{\bar{1} + \bar{9} + \bar{3}}{\bar{1} + \bar{9} + \bar{3} + \bar{9}^{-1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{1}}$$

$$W_{12} = \frac{\bar{9}^{-1} + \bar{1} + \bar{1}}{\bar{1} + \bar{9} + \bar{3} + \bar{9}^{-1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{1}}$$

$$W_{13} = \frac{\bar{3}^{-1} + \bar{1}^{-1} + \bar{1}}{\bar{1} + \bar{9} + \bar{3} + \bar{9}^{-1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{1}}$$

W(11):	Αριθμητής		
	m	α	β
	13	9	17
	Παρονομαστής		
	n	γ	δ
	17,44444444	13,00459686	29,11136306
Τελικά W(11) είναι:	m	α	β
	0,74522293	1,759554761	1,530075885

W(12):	Αριθμητής		
	m	α	β
	2,111111111	2,000152416	6,000251953
	Παρονομαστής		
	n	γ	δ
	17,44444444	13,00459686	29,11136306
Τελικά W(12) είναι:	m	α	β
	0,121019108	0,316615621	0,434181592

Αριθμητής			
	m	α	β
	2,333333333	1,115555556	4,111111111
W(13):	Παρονομαστής		
	n	γ	δ
	17,44444444	13,00459686	29,11136306
Τελικά W(13) είναι:	m	α	β
	0,133757962	0,2871649	0,335383537

Τελικά τα  $W'(11)$ ,  $W'(12)$ ,  $W'(13)$  είναι:

		m	α	β
$W'(11)$	$W(E1) \times W(11)$	0,662420382	3,022398031	3,707423899
$W'(12)$	$W(E1) \times W(12)$	0,107572541	0,625418935	0,914830983
$W'(13)$	$W(E1) \times W(13)$	0,118895966	0,335383537	0,706661122

Και τα  $W''(11)$ ,  $W''(12)$ ,  $W''(13)$  είναι:

		m	α	β
$W''(11)$	$W(C1) \times W'(11)$	0,254683779	2,807217192	3,497941611
$W''(12)$	$W(C1) \times W'(12)$	0,041358904	1,421141519	1,660133824
$W''(13)$	$W(C1) \times W'(13)$	0,045712473	0,26672008	0,316433206

## Βάρη των Υποκριτηρίων του Maintenance (E2)

$$W_{21} = \frac{\bar{1} + \bar{2}}{\bar{1} + \bar{2} + \bar{1} + \bar{2}^{-1}}$$

$$W_{22} = \frac{1 + \bar{2}^{-1}}{\bar{1} + \bar{2} + \bar{1} + \bar{2}^{-1}}$$

W(21):	Αριθμητής		
	m	α	β
	3	2	6
	Παρονομαστής		
	n	γ	δ
	4, 5	3, 027777778	9, 25
Τελικά W(21) είναι:	m	α	β
	0, 666666667	1, 814814815	1, 781893004

W(22):	Αριθμητής		
	m	α	β
	1, 5	1, 027777778	3, 25
	Παρονομαστής		
	n	γ	δ
	4, 5	3, 027777778	9, 25
Τελικά W(22) είναι:	m	α	β
	0, 333333333	0, 913580247	0, 946502058

Τελικά τα  $W'(21)$ ,  $W'(22)$  είναι:

	m	α	β
$W'(21) \quad W(E2) \times W(21)$	0, 074074074	0, 469345337	0, 717024875
$W'(22) \quad W(E2) \times W(22)$	0, 037037037	0, 24063433	0, 373958552

Και τα  $W''(21)$ ,  $W''(22)$  είναι:

	m	α	β
$W''(21) \quad W(C1) \times W'(21)$	0, 028479596	0, 435930108	0, 676510487
$W''(22) \quad W(C1) \times W'(22)$	0, 014239798	0, 223502272	0, 352828599

## Βάρη Υποκριτηρίων του Environmental Aspects

$$W_{EA1} = \frac{\bar{1} + \bar{6} + \bar{6} + \bar{9}}{\bar{1} + \bar{6} + \bar{6} + \bar{9} + \bar{6}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{2} + \bar{6}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{9} + \bar{6}^{-1} + \bar{2}^{-1} + \bar{6}^{-1} + \bar{1}}$$

$$W_{EA2} = \frac{\bar{6}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{2}}{\bar{1} + \bar{6} + \bar{6} + \bar{9} + \bar{6}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{2} + \bar{6}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{9} + \bar{6}^{-1} + \bar{2}^{-1} + \bar{6}^{-1} + \bar{1}}$$

$$W_{EA3} = \frac{\bar{3}^{-1} + \bar{6}^{-1} + \bar{1} + \bar{9}}{\bar{1} + \bar{6} + \bar{6} + \bar{9} + \bar{6}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{2} + \bar{6}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{9} + \bar{6}^{-1} + \bar{2}^{-1} + \bar{6}^{-1} + \bar{1}}$$

$$W_{EA1} = \frac{\bar{6}^{-1} + \bar{2}^{-1} + \bar{6}^{-1} + 1}{\bar{1} + \bar{6} + \bar{6} + \bar{9} + \bar{6}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{2} + \bar{6}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{9} + \bar{6}^{-1} + \bar{2}^{-1} + \bar{6}^{-1} + \bar{1}}$$

		Αριθμητής	
		α	β
W(EA1):	m		
	22	18	26
		Παρονομαστής	
		γ	δ
		40, 5	30, 0344898 52, 36555556
		α	β
Τελικά W(EA1) είναι:		0, 543209877 1, 146802147	1, 044815592



W(EA2):	Αριθμητής		
	m	α	β
	6,166666667	3,000566893	11,00111111
	Παρονομαστής		
	n	γ	δ
	40,5	30,0344898	52,36555556
Τελικά W(EA2) είναι:	m	α	β
	0,152263374	0,270961064	0,384549725

W(EA3):	Αριθμητής		
	m	α	β
	10,5	8,005011338	12,11222222
	Παρονομαστής		
	n	γ	δ
	40,5	30,0344898	52,36555556
Τελικά W(EA3) είναι:	m	α	β
	0,259259259	0,532870777	0,491331896

W(EA4):	Αριθμητής		
	m	α	β
	1,833333333	1,028911565	3,252222222
	Παρονομαστής		
	n	γ	δ
	40,5	30,0344898	52,36555556
Τελικά W(EA4) είναι:	m	α	β
	0,04526749	0,083935032	0,113871807

## Βάρη Υποκριτηρίων του Resourch Management

$$W_{EA12} = \frac{\bar{1} + \bar{2}^{-1}}{\bar{1} + \bar{2} + \bar{1} + \bar{2}^{-1}}$$

W(EA11):	m	Αριθμητής	β
		α	
	3	2	6
	n	Παρονομαστής	δ
		γ	
	4,5	3,027777778	9,25
Τελικά W(EA11) είναι:	m	α	β
	0,666666667	1,814814815	1,781893004

W(EA12):	m	Αριθμητής	β
		α	
	1,5	1,027777778	3,25
	n	Παρονομαστής	δ
		γ	
	4,5	3,027777778	9,25
Τελικά W(EA12) είναι:	m	α	β
	0,333333333	0,913580247	0,946502058

Τελικά τα  $W'(EA11)$ ,  $W'(EA12)$  είναι:

		m	α	β
$W'(EA11)$	$W(EA1) \times W(EA11)$	0,362139918	1,861749595	2,081233527
$W'(EA12)$	$W(EA1) \times W(EA12)$	0,181069959	0,954522887	1,085450592

Και τα  $W''(EA11)$ ,  $W''(EA12)$  είναι:

		m	α	β
$W''(EA11)$	$W(C2) \times W'(EA11)$	0,15779806	1,755344401	2,207159771
$W''(EA12)$	$W(C2) \times W'(EA12)$	0,07889903	0,899968723	1,151126411

## Βάρη Υποκριτηρίων του Energy Use

$$W_{EA21} = \frac{\bar{1} + \bar{2}}{\bar{1} + \bar{2} + \bar{1} + \bar{2}^{-1}}$$

$$W_{EA22} = \frac{\bar{1} + \bar{2}^{-1}}{\bar{1} + \bar{2} + \bar{1} + \bar{2}^{-1}}$$

		Αριθμητής	
		α	β
W(EA21):	m		
	3	2	6
		Παρονομαστής	
	n	γ	δ
	4, 5	3,027777778	9,25
		α	β
Τελικά W(EA21) είναι:			
	m	α	β
	0,666666667	1,814814815	1,781893004

	m	Αριθμητής	$\beta$
		$\alpha$	
	1, 5	1, 027777778	3, 25
W(EA22):		Παρονομαστής	
	n	$\gamma$	$\delta$
	4, 5	3, 027777778	9, 25
<hr/>			
Τελικά W(EA22) είναι:	m	$\alpha$	$\beta$
	0, 333333333	0, 913580247	0, 946502058

Τελικά τα  $W'(EA21)$ ,  $W'(EA22)$  είναι:

	m	$\alpha$	$\beta$
$W'(EA21)$ $W(EA2) \times W(EA21)$	0, 101508916	0, 482823624	0, 697886539
$W'(EA22)$ $W(EA2) \times W(EA22)$	0, 050754458	0, 247544676	0, 363977106

Και τα  $W''(EA21)$ ,  $W''(EA22)$  είναι:

	m	$\alpha$	$\beta$
$W''(EA21)$ $W(C2) \times W'(EA21)$	0, 044231274	0, 455228645	0, 740112569
$W''(EA22)$ $W(C2) \times W'(EA22)$	0, 022115637	0, 233396673	0, 385999753

### Βάρη των Κριτηρίων Biodiversity

	m	$\alpha$	$\beta$
$W'(EA3)$ $W(C2) \times W(EA3)$	0, 112969066	0, 463250641	0, 565112433
$W'(EA4)$ $W(C2) \times W(EA4)$	0, 019724758	0, 079137866	0, 120761687

## Βάρη των Υποκριτηρίων του Social Aspects

$$W_{S1} = \frac{\bar{1} + \bar{2} + \bar{4} + \bar{2}}{\bar{1} + \bar{2} + \bar{4} + \bar{2} + \bar{2}^{-1} + \bar{1} + \bar{9} + \bar{5} + \bar{4}^{-1} + \bar{9}^{-1} + \bar{1} + \bar{2} + \bar{2}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{2}^{-1} + \bar{1}}$$

$$W_{S2} = \frac{\bar{2}^{-1} + \bar{1} + \bar{9} + \bar{5}}{\bar{1} + \bar{2} + \bar{4} + \bar{2} + \bar{2}^{-1} + \bar{1} + \bar{9} + \bar{5} + \bar{4}^{-1} + \bar{9}^{-1} + \bar{1} + \bar{2} + \bar{2}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{2}^{-1} + \bar{1}}$$

$$W_{S3} = \frac{\bar{4}^{-1} + \bar{9}^{-1} + \bar{1} + \bar{2}}{\bar{1} + \bar{2} + \bar{4} + \bar{2} + \bar{2}^{-1} + \bar{1} + \bar{9} + \bar{5} + \bar{4}^{-1} + \bar{9}^{-1} + \bar{1} + \bar{2} + \bar{2}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{2}^{-1} + \bar{1}}$$

$$W_{S4} = \frac{\bar{2}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{2}^{-1} + 1}{\bar{1} + \bar{2} + \bar{4} + \bar{2} + \bar{2}^{-1} + \bar{1} + \bar{9} + \bar{5} + \bar{4}^{-1} + \bar{9}^{-1} + \bar{1} + \bar{2} + \bar{2}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{2}^{-1} + \bar{1}}$$

W(S1):	Αριθμητής		
	m	α	β
	9	6	14
	Παρονομαστής		
Τελικά W(S1) είναι:	n	γ	δ
	30,06111111	20,08680208	42,76164084
	m	α	β
	0,299390131	0,625472997	0,665770145

W(S2):	Αριθμητής		
	m	α	β
	15,5	11,02777778	19,25
	Παρονομαστής		
Τελικά W(S2) είναι:	n	γ	δ
	30,06111111	20,08680208	42,76164084
	m	α	β
	0,515616337	1,100304585	0,984896506

		Αριθμητής	
		α	β
W(S3):	m	3,361111111	2,002652416
	n	30,06111111	20,08680208
	γ	42,76164084	
		Παρονομαστής	
		α	β
Τελικά W(S3) είναι:		0,111809277	0,225666994

		Αριθμητής	
		α	β
W(S4):	m	2,2	1,056371882
	n	30,06111111	20,08680208
	γ	42,76164084	
		Παρονομαστής	
		α	β
Τελικά W(S4) είναι:		0,073184254	0,139244709

Τα κριτήρια S1, S2, S3 και S4 δεν έχουν υποκριτήρια οπότε είναι:

		m	α	β
W'(S1)	W(C3) x W(S1)	0,036176764	0,209384062	0,283007716
W'(S2)	W(C3) x W(S2)	0,062304427	0,329705091	0,467721015
W'(S3)	W(C3) x W(S3)	0,013510458	0,075544543	0,116703899
W'(S4)	W(C3) x W(S4)	0,008843209	0,04661372	0,070342338

## Βάρη των Υποκριτηρίων του Technological Aspects

$$W_1 = \frac{\bar{1} + \bar{2}}{\bar{1} + \bar{2} + \bar{1} + \bar{2}^{-1}}$$

$$W_2 = \frac{\bar{1} + \bar{2}^{-1}}{\bar{1} + \bar{2} + \bar{1} + \bar{2}^{-1}}$$

W(TA1):	Αριθμητής		
	m	α	β
	3	2	6
	Παρονομαστής		
	n	γ	δ
	4, 5	3, 027777778	9, 25
Τελικά W(TA1) είναι:			
	m	α	β
	0, 666666667	1, 814814815	1, 781893004

W(TA2):	Αριθμητής		
	m	α	β
	1, 5	1, 027777778	3, 25
	Παρονομαστής		
	n	γ	δ
	4, 5	3, 027777778	9, 25
Τελικά W(TA2) είναι:			
	m	α	β
	0, 333333333	0, 913580247	0, 946502058

Τα κριτήρια TA1 και TA2 δεν έχουν υποκριτήρια οπότε είναι:

		m	$\alpha$	$\beta$
W'(TA1)	W(C4) x W(TA1)	0,06493348	0,452519225	0,542314351
W'(TA2)	W(C4) x W(TA2)	0,03246674	0,232007547	0,282839684

Οπότε το τελικό διάνυσμα βαρών όλων των υποκριτηρίων είναι:

Υποκριτήριο	m	$\alpha$	$\beta$
W''(11)	0,254683779	2,807217192	3,497941611
W''(12)	0,041358904	1,421141519	1,660133824
W''(13)	0,045712473	0,26672008	0,316433206
W''(21)	0,028479596	0,435930108	0,676510487
W''(22)	0,014239798	0,223502272	0,352828599
W''(EA11)	0,044231	1,7552444	2,20716
W''(EA12)	0,022116	0,89996872	1,151126
W''(EA21)	0,044231	0,4552865	0,740113
W''(EA22)	0,022116	0,23339667	0,386
W'(EA3)	0,112969066	0,463250641	0,565112433
W'(EA4)	0,019724758	0,079137866	0,120761687
W'(S1)	0,036176764	0,209384062	0,283007716
W'(S2)	0,062304427	0,329705091	0,467721015
W'(S3)	0,013510458	0,075544543	0,116703899
W'(S4)	0,008843209	0,04661372	0,070342338
W'(TA1)	0,06493348	0,452519225	0,542314351
W'(TA2)	0,03246674	0,232007547	0,282839684



# Βιβλιογραφία

---

- [1] Horvitz, E.J., Breese, J.S., Henrion, M. (1988). Decision Making In Expert Systems and Artificial Intelligence.
- [2] Simon Herbert A. (1960). The New Science of Management Decision (Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall), 1-8.
- [3] Ferris, W.P. (1998). Fear, stress, and second-guessing in leadership decision-making: Using interior monologues, reflective nonfiction and spiritual approaches. *Journal of Management Education*, 22(1): 26-48.
- [4] Loewenstein, G. (1992). The fall and rise of psychological explanations in the economics of intertemporal choice.
- [5] In Zeelenberg, M. (1999). Anticipated regret, expected feedback and behavioral decision making. *Journal of Behavioral Decision Making* 12(2), 93-106.
- [6] Osterman, Paul (1994). "Supervision, Discretion, and Work Organization." *American Economic Review, Papers and Proceedings* 84: 380-84.
- [7] Keen, P. G. W. and M. S. Scott-Morton (2001). Decision Support Systems: An Organizational Perspective. Reading, MA: Addison-Wesley, 1978. *DSS News*, Vol. 2, No. 10.
- [8] Amos Tversky; Daniel Kahneman, (1974) *Science*, New Series, Vol. 185, No. 4157. pp. 1124-1131.
- [9] Dash, G.H. Jr. and Kajiji, N. (2003). Evolving economy bank asset-liability and risk management under uncertainty with hierarchical objectives and nonlinear pricing, *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 11 (4-5), 247-260.
- [10] Doumpos, M., Zanakis, S.H. and Zopounidis, C. (2001). Multicriteria preference disaggregation for classification problems with an application to global investing risk, *Decision Sciences*, 32 (2), 333-385.

- [11] Dash, G.H. Jr. and Kajiji, N. (2003). Evolving economy bank asset-liability and risk management under uncertainty with hierarchical objectives and nonlinear pricing, *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 11 (4-5), 247-260.
- [12] Cook, W.D. and Kress, M. (1991). A multiple criteria decision model with ordinal preference data, *European Journal of Operational Research*, 54, 191-198.
- [13] Zopounidis, C., Matsatsinis, N.F. and Doumpos, M. (1996). Developing a multicriteria knowledge-based decision support system for the assessment of corporate performance and viability: The FINEVA system, *Fuzzy Economic Review*, 1 (2), 35-53.
- [14] Charles E. Lindblom, *Public Administration Review* (1959) Vol. 19, No. 2, pp. 79-88.
- [15] Power and the design and implementation of accounting and control systems, M.Lynne Markus & Jeffrey Pfeffer, *Accounting, Organizations and Society*, Volume 8, Issues 2–3, 1983, Pages 205–218.
- [16] Αναγνωστοπουλος Κ. & Βαβατσικος Α (2006) Πολυκριτηριακες μέθοδοι και ασαφείς επεκτάσεις σε χωρικά συστήματα στήριξης αποφάσεων.
- [17] Αναγνωστόπουλος Κ. (2007) Πολυκριτηριακά Συστήματα Αποφάσεων σε Ασαφές Περιβάλλον και Εφαρμογή τους στην Αξιολόγηση της Επιπροσθετικότητας Έργων των Μηχανισμών του Πρωτοκόλου του Κυότο.
- [18] Μητρόπουλος Π. (2007) Πολυκριτηριακή Ανάλυση για τη χωροθέτηση εγκαταστάσεων και την κατανομή πόρων.
- [19] Μουρμούρης Ι (2007) Εφαρμογές θεωρίας αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων, μεταφορές, χωροθέτηση και ανάπτυξη. Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης Αθήνα.
- [20] Πολλάτου Ε. & Πάνου Κ. Πολυκριτηριακό πρότυπο στρατηγικής αξιολόγησης πολιτικών των μεταφορών.
- [21] Σίσκος Γ et al. (2001) Ανάπτυξη μίας πολυκριτηριακής μεθοδολογίας αξιολόγησης προσόντων πληροφορικής. Πολυτεχνείο Κρήτης.

- [22] Σίσκος Γ. (2008) Μοντέλα αποφάσεων , Μεθοδολογία επιχειρησιακής έρευνας θεωρία πολυκριτηριακής ανάλυσης εφαρμογές σε επιχειρήσεις και οργανισμούς. Εκδόσεις νέων τεχνολογιών, Αθήνα
- [23] Atthirawong, W. & Mac Carthy, B. (2001). Critical Success Factors in International Location Decisions: A Delphi Study, in the proceedings of the Production and Operations anagement Society (POMS): POM Mastery in the New Millennium, Orlando, March, CD-ROM.
- [24] Atthirawong, W. & Mac Carthy, B. (2002). An Application of the Analytical Hierarchy Process to International Location Decision-Making, in the proceedings of the 7th Cambridge Research Symposium on International Manufacturing, Centre for International Manufacturing, ambridge University, September.
- [25] Barzilai, J. (1997). Deriving weights from pairwise comparison matrices. Journal of the Operational Research Society Vol. 48, No. 12, pp. 1226-1232.
- [26] Chen, S.J. & Hwang, C.L. (1992). Fuzzy Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, No. 375, Sringer-Verlag, Berlin, Germany.
- [27] Costa, H.G. & Correa, P.S., (2010). Construction of an AHP – Model to Catch Criteria Weights in Post – Occupancy Evaluation. Vol. 2, Fluminense Federal University Niteroi, RJ, Brazil. Ανακτήθηκε από International Journal of the Analytic Hierarchy Process (IJAHF).
- [28] Entani, T. (2009). Interval AHP for a group of decision makers. Department of Economics and Social Sciences, Kochi University, Japan. European Society for fuzzy Logic and Technology.
- [29] J. Espinoza, J. Wandewalle, V. Wertz (2005), Fuzzy Logic, Identification & Predictive Control.
- [28] J. Xu, X. Zhou (2011), Fuzzy-Like Multiple Objective Decision Making.
- [29] R. Rao (2007), Decision Making in the Manufacturing Environment.
- [30] S. Das (2008), Foundations of Decision-Making Agents. Logic, Probability and Modality, Imperial College Press.

- [31] Y. Bai, H. Zhuang, D. Wang (2006), Advanced Fuzzy Logic Technologies in Industrial Applications.
- [32] Θεόδωρης Γαλανός () Εφαρμογή Απλής και Ασαφούς Ιεραρχικής Ανάλυσης στον Σχεδιασμό Βιομηχανικής Κατασκευής, Διπλ. Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης.
- [33] H. Rommelfanger (2003) Fuzzy Decision Theory, Institute of Statistics and Mathematics, Goethe University, Germany.
- [34] H. Romelfanger (2003) Decision Making in Fuzzy Environment: Ways for getting practical Decision Models, Institute of Statistics and Mathematics, Goethe University, Germany.
- [35] Chitrasen Samantra (2008), Decision Making in Fuzzy Environment, Master Thesis, National Institute of Technology, India.
- [36] R. Bellman, L. Zadeh (1970), Decision Making in a Fuzzy Environment, Management Science, Vol 17, No 4.
- [37] J. Lee, J. Kuo (1996) Fuzzy Decision Making through trade-off analysis between criteria, Dept of Computer Science and Information Eng. National Technical University Chungli, Taiwan.
- [38] Fuzzy Concept, Wikipedia.
- [39] C. Hung, L. Chen (2009), A Fuzzy TOPSIS Decision making Model with Entropy Weight under Intuitionistic Fuzzy Environment, Proceedings of the International Multi Conference of Engineers and Computer Scientists, Hong-Kong.
- [40] J. Mitrani (2009), Fuzzy Logic Methodology for the comparison of construction firms, A. Caballero, Florida International University.
- [41] L. Malinin (2009) On Application of Fuzzy Logic to Decisions Making in Solving Inventive Problems, International Journal of Computer and Information Technology, Volume 2.
- [42] E. Triantaphyllou, C. Lin (1995) Development and Evaluation of Five Fuzzy Multiattribute Decision-Making Methods, Dept of Industrial Engineering.

#### ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ

- International Society on Multiple Criteria Decision Making (MCDM)  
[www.mdcmsociety.org](http://www.mdcmsociety.org)
- International Journal of the Analytic Hierarchy Process (IJAHF)  
[www.ijahp.com](http://www.ijahp.com)
- International Journal of Operations and Production Management, MBC  
university, διαθέσιμο στο διαδίκτυο από την Emerald Group Publishing  
[www.emeraldinsight.com](http://www.emeraldinsight.com)
- Outdoor Education Research and Evaluation Center  
[www.wilderdom.com](http://www.wilderdom.com)
- European Society for Fuzzy Logic and Technology  
[www.eusflat.org](http://www.eusflat.org)