



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**Πολυτεχνική Σχολή**

**Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**«Εφαρμογές διαφορετικών μεθόδων Πολυκριτηριακής  
Ανάλυσης για τη Διαχείριση Υδατικών Πόρων: Η  
περίπτωση της λεκάνης απορροής της λίμνης Κάρλας»**

**Γαϊτανάρος Δημήτριος**

**Επιβλέπων καθηγητής: Μυλόπουλος Νικήτας**

**ΒΟΛΟΣ, 2017**



## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας, η οποία υλοποιήθηκε στο τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους ανθρώπους που συνέβαλλαν στην διεκπεραίωσή της.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Νικήτα Μυλόπουλο, καθηγητή του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε στην εκπόνησή του. Ευχαριστώ επίσης τα υπόλοιπα μέλη της επιτροπής.

Η ολοκλήρωση της διπλωματικής θα ήταν αδύνατη χωρίς τη βοήθεια του Άγγελου Αλαμάνου, υποψήφιου διδάκτορα του τμήματος. Του οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ για την ανάθεση και τη διαμόρφωση του συγκεκριμένου θέματος, τις υποδείξεις, την καθοδήγηση, τη προθυμία του και τη συμπαράστασή του, που ήταν καθοριστικές τόσο στην ανάπτυξη όσο και στην εκπόνηση του θέματος της διπλωματικής.

Ευχαριστώ επίσης τους κ. Τζιάτζιο, Τζαφόλια, Παππά, Αραμπατζή, Νικοπούλη, Πινάκα και Παπακανάκη για τον πολύτιμο χρόνο που διέθεσαν για την συμπλήρωση των ερωτηματολογίων, και τον κ. Γ. Παπαϊωάννου για τις συμβουλές και τη στήριξή του.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία επιχειρεί μία ανασκόπηση των βασικών τεχνικών Πολυκριτηριακής Ανάλυσης και την εφαρμογή τους σε ένα πρόβλημα Διαχείρισης Υδατικών Πόρων. Εξετάζονται τέσσερις κύριες μέθοδοι, ώστε να γίνει σύγκριση και αξιολόγηση αυτών και των αποτελεσμάτων τους. Το πρόβλημα που εξετάζεται είναι η εξοικονόμηση των υδατικών και οικονομικών πόρων της λεκάνης απορροής της λίμνης Κάρλας, μιας περιοχής που στηρίζεται στην αγροτική οικονομία. Πιο συγκεκριμένα, αξιολογούνται πέντε εναλλακτικές πολιτικές, λαμβάνοντας υπόψη το υδατικό ισοζύγιο, το καθαρό κέρδος από την αγροτική δραστηριότητα και το κόστος νερού.

Αρχικά γίνεται εισαγωγή στην Ανάλυση Αποφάσεων, τα πολυδιάστατα προβλήματα και βιβλιογραφική ανασκόπηση πάνω στις κυριότερες ερευνητικές προσεγγίσεις που έχουν διαμορφωθεί. Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται σύνδεση της Πολυκριτηριακής Ανάλυσης ως εργαλείο υποστήριξης αποφάσεων. Επίσης αναλύεται η έννοια του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων (Decision Support System), δίνονται στοιχεία για τον ορθολογικό σχεδιασμό του και ανασκόπηση των κυριότερων εφαρμογών – χρήσεών του.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρατίθεται το μεθοδολογικό πλαίσιο εφαρμογής της Πολυκριτηριακής Ανάλυσης. Παρουσιάζονται οι σχέσεις μεταξύ του αντικειμένου της απόφασης και των κριτηρίων της. Ακολούθως, παρουσιάζονται οι κυριότερες θεωρητικές προσεγγίσεις στη λήψη αποφάσεων με πολλαπλά κριτήρια. Οι προσεγγίσεις αυτές αποτελούν τη θεωρητική βάση για τις τεχνικές που προαναφέρθηκαν και εφαρμόζονται στην παρούσα εργασία. Οι θεμελιώδεις προσεγγίσεις είναι η Θεωρία των σχέσεων υπεροχής, η θεωρία της ταξινόμησης, η αναλυτική-συνθετική προσέγγιση και η διαδικασία αναλυτικής ιεράρχησης. Έτσι, εφόσον έχουν τεθεί οι βάσεις, στο επόμενο κεφάλαιο γίνεται διεξοδική περιγραφή του θεωρητικού μεθοδολογικού πλαισίου των τεχνικών που χρησιμοποιήθηκαν, και βασίζονται στις αρχές του προηγούμενου κεφαλαίου: Multi Attribute Utility Theory (MAUT), Analytic Hierarchy Process (AHP), ELimination and Choice Expressing REality (ELECTRE) και Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS).

Το πέμπτο κεφάλαιο περιγράφει τη σχέση της Πολυκριτηριακής Ανάλυσης με τη Διαχείριση Υδατικών Πόρων, τη χρησιμότητα και τις εφαρμογές της. Τέλος αναλύει το πρόβλημα που εξετάστηκε στην παρούσα διατριβή ως παράδειγμα εφαρμογής. Η εφαρμογή της μεθοδολογίας, τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται στο επόμενο κεφάλαιο, το έκτο. Εδώ φαίνεται και μία καινοτομία της εργασίας, όπου αφορά την εφαρμογή της μέσω ερωτηματολογίων στους ιθύνοντες (1<sup>ο</sup> δείγμα) και σε ειδικούς σε θέματα υδατικών πόρων (2<sup>ο</sup> δείγμα) αντί των χρηστών. Επίσης, τα αποτελέσματα παρουσιάζονται διεξοδικά για κάθε μέθοδο, συνοδευόμενα από τα σχόλια και τις παρατηρήσεις που προέκυπταν κατά τη διαδικασία εφαρμογής και εξαγωγής αποτελεσμάτων, μαζί με στατιστικά στοιχεία.

Το έβδομο και τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζει τα συμπεράσματα, για τις μεθόδους, για τους ερωτώμενους, για τη σύγκριση των αποτελεσμάτων και των στατιστικών που εξήχθησαν, καθώς και για τη σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο δειγμάτων (experts και non experts).

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ.....</b>	<b>1</b>
1.1 Εισαγωγικές έννοιες.....	1
1.2 Προβλήματα πολυδιάστατων αποφάσεων.....	1
1.3 Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων.....	2
1.4 Ανασκόπηση ερευνητικών προσεγγίσεων.....	3
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ.....</b>	<b>5</b>
2.1 Η πολυκριτηριακή ανάλυση στα Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων.....	5
2.2 Ανασκόπηση χρήσεων ΣΥΑ.....	5
2.3 Σχεδιασμός ενός ΣΥΑ.....	6
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ.....</b>	<b>8</b>
3.1 Η ανάλυση προβλημάτων πολλαπλών κριτηρίων.....	8
3.2 Η θεωρία Ταξινόμησης.....	9
3.3 Η θεωρία Ιεράρχησης.....	11
3.4 Η θεωρία Χρησιμότητας.....	11
3.5 Η θεωρία Σχέσεων Υπεροχής.....	13
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΤΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ.....</b>	<b>15</b>
4.1 Η μέθοδος MAUT (Multi-Attribute Utility Theory).....	15
4.2 Η μέθοδος AHP (Analytic Hierarchic Process).....	17
4.3 Η μέθοδος TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution).....	22
4.4 Η μέθοδος ELECTRE I (ELimination Et Choix Traduisant la REalité – ELimination and Choice Expressing REality).....	24
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Η ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ .....</b>	<b>27</b>
5.1 Η Διαχείριση Υδατικών Πόρων ως πρόβλημα πολλαπλών κριτηρίων και εναλλακτικών.....	27
5.2 Ανασκόπηση εφαρμογών Θεωρίας Αποφάσεων στη Διαχείριση Υδατικών Πόρων.....	29
5.3 Περιγραφή του μελετώμενου προβλήματος.....	30
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ.....</b>	<b>34</b>
6.1 Αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθόδου M.A.U.T.....	35
6.2 Αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθόδου AHP.....	41
6.3 Αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθόδου TOPSIS.....	50
6.4 Αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθόδου ELECTRE.....	54
6.5 Συνολικά στατιστικά για όλες τις μεθόδους.....	57

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>61</b>
<b>7.1 Συμπεράσματα για τις μεθόδους.....</b>	<b>62</b>
<b>7.2 Συμπεράσματα για τους ερωτώμενους.....</b>	<b>63</b>
<b>7.3 Συμπεράσματα για την κατάσταση στην περιοχή μελέτης.....</b>	<b>64</b>
<b>7.4 Προτάσεις για βελτίωση και περεταίρω έρευνα.....</b>	<b>64</b>

<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>66</b>
--------------------------	-----------

#### **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΩΝ**

**Ερωτηματολόγιο για την αξιολόγηση των τιμών βαρύτητας των κριτηρίων για την μέθοδο πολυκριτηριακής ανάλυσης M.A.U.T**

**Ερωτηματολόγιο για την αξιολόγηση των τιμών βαρύτητας των κριτηρίων για την μέθοδο πολυκριτηριακής ανάλυσης A.H.P.**

**Ερωτηματολόγιο για την αξιολόγηση των τιμών βαρύτητας των κριτηρίων για την μέθοδο πολυκριτηριακής ανάλυσης TOPSIS και ELECTRE**

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ**

### **1.1 Εισαγωγικές έννοιες**

Η ικανότητα και ο τρόπος με τον οποίο οι άνθρωποι παίρνουν αποφάσεις, τους ξεχωρίζει από τα υπόλοιπα όντα. Οι αποφάσεις καθορίζουν τις ενέργειες και τις πράξεις των ατόμων με χαρακτηριστικό τρόπο, καθημερινά, είτε ατομικά είτε συλλογικά. Με την πάροδο των ετών η σημασία των αποφάσεων αυξήθηκε και έτσι η διαδικασία λήψης μιας απόφασης έγινε πιο «επιστημονικοποιημένη» (Παρασκευόπουλος, 2008).

Ο νομπελίστας Herbert Simon ονομάζει απόφαση, την πολύπλοκη και σύνθετη διαδικασία της επιλογής μεταξύ εναλλακτικών που παρουσιάζονται ως περισσότερο ή λιγότερο πρόσφορες για την επίτευξη ορισμένων στόχων, ενώ θεωρεί τη λήψη αποφάσεων ως κατάσταση συνώνυμη του μάνατζμεντ (Janssen 1992, Andreoli και Tellarini 2000, Mendoza και Prabhu 2000). Εφόσον υπάρχει η έννοια της απόφασης, υπονοείται πάντα και η ύπαρξη ενός λήπτη αποφάσεων, ο οποίος μπορεί να είναι είτε ένα άτομο, είτε μία ομάδα ατόμων με θεσμικό, πολιτικό ή άλλο χαρακτήρα. Η αγγλική ορολογία του λήπτη αποφάσεων είναι decision maker (DM), που είναι και η συνηθέστερη, ενώ στα ελληνικά λέγεται «αποφασίζων».

Μία από τις καινοτομίες της παρούσας εργασίας είναι το ότι επιχειρεί και την αξιολόγηση των decision makers, μέσα από τη σύγκρισή τους με άτομα που θεωρούνται ειδικοί στο θέμα για το οποίο πρέπει να παρθεί μια απόφαση. Αφορμή για αυτή τη σύγκριση είναι ο τρόπος και με τον οποίο λαμβάνονται αποφάσεις από ομάδες ατόμων. Για κάθε απόφαση υπάρχει και σκοπιμότητα (Funtowicz και Ravetz, 1990). Η απόφαση είναι το αποτέλεσμα μιας οργανωμένης διαδικασίας που χρησιμοποιεί πληροφορίες και κριτήρια ώστε να δοθούν προτεραιότητες και να αναδειχτεί η καταλληλότερη λύση.

### **1.2 Προβλήματα πολυδιάστατων αποφάσεων**

Ακριβώς αυτό είναι και το επιθυμητό αποτέλεσμα: να επιλέγεται η καταλληλότερη λύση. Δηλαδή αυτή η εναλλακτική που ικανοποιεί όσο το δυνατόν περισσότερο τα κριτήρια και τους στόχους που έχουν τεθεί. Αυτό αποτελεί και τη φύση των προβλημάτων απόφασης, αυτή καθαυτή: Υπάρχει ένα πολύπλοκο πρόβλημα το οποίο μπορεί να λυθεί από ένα μεγάλο αριθμό εναλλακτικών λύσεων (αποφάσεων, πολιτικών, δραστηριοτήτων ή δράσεων). Το ποια από αυτές είναι η πιο συμφέρουσα δεν είναι ορατό, καθώς έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά, μπορούν να επιφέρουν διαφορετικά αποτελέσματα, και ενδέχεται να μην υπόκεινται σε κοινά μέτρα σύγκρισης. Για αυτό το λόγο άλλωστε και τα προβλήματα αυτά χαρακτηρίζονται «πολύπλοκα». Έτσι, ουσιαστικά δεν υπάρχει βέλτιστη λύση, καθώς μπορεί να είναι βέλτιστη για κάποια κριτήρια ενώ για άλλα να υπάρχει καλύτερη λύση. Ο όρος βέλτιστη λύση μπορεί να υφίσταται όταν υπάρχει ένα κριτήριο το οποίο βελτιστοποιεί. Κατ' επέκταση η βελτιστοποίηση ως προσέγγιση προβλημάτων απόφασης μπορεί να θεωρηθεί μονοκριτήρια προσέγγιση (Μυλόπουλος, 2006).

Παραδείγματα τέτοιων πολύπλοκων αποφάσεων συναντώνται συχνά. Λόγου χάρη, η εγκατάσταση ενός σταθμού λεωφορείων (ή τρένων). Η θέση στην οποία θα γίνει θα πρέπει να εξυπηρετεί πολλαπλές σκοπιμότητες που ενδέχεται να συγκρούονται ή τουλάχιστον να μη συμφωνούν μεταξύ τους. Ακόμα και σε μικρότερη κλίμακα, όπως για παράδειγμα η επιλογή επαγγέλματος, κλάδου σπουδών, η έρευνα για αγορά αυτοκινήτου ή αγορά σπιτιού, κλπ.

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι η πολυπλοκότητα και η δυσκολία αυτών των προβλημάτων έγκειται στον πολυδιάστατο χαρακτήρα των επιπτώσεων και στην αβεβαιότητα που διέπει τα δεδομένα και τις εναλλακτικές του προβλήματος (Voogd 1983). Στις μέρες μας η πλειονότητα των αποφάσεων και των προβλημάτων που αντιμετωπίζουμε είναι τέτοια, και επομένως η βελτιστοποίηση δεν αρκεί ως προσέγγιση, καθώς υπάρχουν πάνω του ενός κριτηρίου προς ικανοποίηση. Η αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων γίνεται με την εισαγωγή (επιλογή) κριτηρίων, όπου αντικειμενικά πρέπει να αντικατοπτρίζουν τους στόχους των εναλλακτικών λύσεων του προβλήματος. Αυτή η διαδικασία που θα εξάγει την καταλληλότερη απόφαση λέγεται πολυκριτηριακή ανάλυση (MultiCriteria Analysis ή MCA). Η σημαντικότητα των κριτηρίων επιλέγεται από τους αποφασίζοντες.

Η διαδικασία της MCA πλεονεκτεί σημαντικά σε σχέση με την κρίση του λήπτη αποφάσεων, καθώς λαμβάνει υπόψη όλους τους παράγοντες που έχουν επιλεγεί να μελετηθούν ταυτόχρονα, και να αποτελέσει μέσο επικοινωνίας μεταξύ των ιθυνόντων και των εμπλεκομένων (Σπανός, 2004). Η παρούσα εργασία εξετάζει την εφαρμογή περισσότερων της μια τεχνικής MCA ώστε να είναι πιο αντικειμενική, και εφαρμόζεται από ειδικούς (και όχι από τους λήπτες αποφάσεων) ώστε να είναι πιο αμερόληπτη.

### **1.3 Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων**

Η διαδικασία λήψης αποφάσεων, ανεξάρτητα από ποιον εφαρμόζεται, εμπεριέχει και έναν αριθμό ανθρώπων (ατόμων ή συλλογικών οργάνων) που με τη δράση ή τα αποτελέσματα που θα έχει πάνω του η απόφαση, επηρεάζει τη διαδικασία (Σκόνδρας, 2015). Αυτός είναι και ο λόγος που σε αυτή τη διπλωματική οι ιθύνοντες (και οι ειδικοί) απλά καθόρισαν τη σημαντικότητα των κριτηρίων, ενώ η διαδικασία της MCA εκπονήθηκε από τον «μελετητή». Ο ρόλος του μελετητή (decision analyst) είναι η εφαρμογή των γνώσεων μοντελοποίησης και κατάστροφης του προβλήματος ώστε η διαδικασία να γίνει επιστημονικά και να διευκολυνθεί η επιλογή της απόφασης (Σκόνδρας, 2015). Ο αναλυτής δεν υποκαθιστά σε καμιά περίπτωση τον αποφασίζων, αλλά το έργο του είναι καθαρά υποστηρικτικό και επιτελικό, και για αυτό το λόγο το έργο του ονομάζεται και «υποστήριξη της απόφασης» (decision support) (Παρασκευόπουλος, 2008). Κατά τον Bernard Roy, η υποστήριξη της απόφασης είναι η δραστηριότητα κάποιου, ο οποίος στηρίζεται σε μοντέλα λιγότερο ή περισσότερο μορφοποιημένα και συμβάλλει στην εξαγωγή απαντήσεων σε ερωτήματα που γεννιούνται στον αποφασίζων κατά τη διαδικασία λήψης μιας απόφασης. Τα



ερωτήματά αυτά έχουν να κάνουν με την ποιότητα της απόφασης αλλά και την τεκμηρίωση της υπεροχής μιας εναλλακτικής έναντι των άλλων.

Ο στόχος του decision analyst είναι να παρέχει λοιπόν ένα Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων (Decision Support System ή DSS) στους λήπτες αποφάσεων. Στα πλαίσια της έρευνας δημιουργήθηκε λοιπόν ένα DSS για το μελετώμενο πρόβλημα. Τα βασικά χαρακτηριστικά του είναι τα ακόλουθα:

- Βασίζεται σε δεδομένα που προέκυψαν από τη μελέτη του προβλήματος, και όχι σε γνώμες ή εικασίες άρα είναι αντικειμενικό.
- Εφαρμόστηκαν τέσσερις τεχνικές MCA ώστε να παρέχει «σταθερές» λύσεις.
- Το δείγμα περιλάμβανε τους ιθύνοντες, αλλά και μια ομάδα ειδικών, ώστε οι λύσεις να είναι ολοκληρωμένες και αμερόληπτες. Από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων οι λήπτες αποφάσεων μπορούν να αντλήσουν στοιχεία για τη μελλοντική χάραξη πολιτικής. Έτσι το παρών DSS μπορεί να συμπληρώσει και να επεκτείνει τις γνώσεις των ιθυνόντων.

#### 1.4 Ανασκόπηση ερευνητικών προσεγγίσεων

Η διαδικασία λήψης αποφάσεων είναι στη φύση του ανθρώπου, γινόταν πάντα, αρχικά ασυνείδητα, μετέπειτα συνειδητά και αργότερα αποτέλεσε επιστημονικό κλάδο. Πλέον η πολυκριτήρια ανάλυση αποφάσεων (multicriteria decision making, MCDM ή multicriteria decision aid, MCDA) αντιμετωπίζεται από ερευνητές με προσεγγίσεις που έχουν κοινά σημεία και άλλοτε διαφέρουν μεταξύ τους. Όλες όμως οι προσεγγίσεις στοχεύουν στη σωστότερη προσομοίωση και μαθηματική μοντελοποίηση όλων των παραγόντων (εναλλακτικών λύσεων και κριτηρίων) που συμμετέχουν, εμπλέκονται και επηρεάζουν τη διαδικασία λήψης απόφασης.

Οι πρώτοι που μελέτησαν το πεδίο της πολυκριτήριας λήψης αποφάσεων ήταν οι Ramon Llull (1232-1316), Nicolaus Cusanus (1401-1464), Le Chevalier Jean-Charles de Borda (1733-1799), Marie Jean Antoine Nicolas de Caritat (1743-1794), Jeremy Bentham (1748-1832), Francis Ysidro Edgeworth (1845-1926). Ορόσημο αποτελεί η εργασία του Vilfredo Federico Damaso Pareto (1896) καθώς ήταν η πιο επιστημονική έως τότε προσέγγιση. Πιο συγκεκριμένα επιχείρησε τη σύνθεση πολλαπλών κριτηρίων και έτσι έθεσε τις απαραίτητες αξιωματικές βάσεις, εισάγοντας παράλληλα μια εκ των πλέον βασικών εννοιών της σύγχρονης πολυκριτήριας ανάλυσης, την έννοια της αποτελεσματικότητας (efficiency) (Παρασκευόπουλος, 2008). Τη δεκαετία του 1940 οι John von Neumann και Oskar Morgenstern (1944) αναπτύσσουν τη θεωρία χρησιμότητας, η οποία αποτελεί τη βάση ενός από τα κυριότερα μεθοδολογικά ρεύματα της πολυκριτήρια ανάλυσης αποφάσεων. Λίγο αργότερα ο Koopmans (1951) επέκτεινε την έννοια της αποτελεσματικότητας του Pareto εισάγοντας την έννοια του αποτελεσματικού συνόλου, δηλαδή του συνόλου των εναλλακτικών δραστηριοτήτων οι οποίες δεν κυριαρχούνται από καμία άλλη εναλλακτική δραστηριότητα (non

dominated set of alternatives). Ακόμη και σήμερα χρησιμοποιούνται τέτοιοι δείκτες για να ελέγχεται ότι το κάθε κριτήριο είναι ανεξάρτητο.

Ένα από τα σημαντικότερα επιτεύγματα στο χώρο θεωρείται και η έρευνα των Charnes και Cooper (1961) πάνω στη σύνδεση του γραμμικού προγραμματισμού και της πολυκριτήριας ανάλυσης (goal programming), όπως και αυτή του Fishburn (1965) που επέκτεινε τη θεωρία χρησιμότητα σε προβλήματα λήψης αποφάσεων υπό καθεστώς πολλαπλών κριτηρίων. Στα τέλη της δεκαετίας του '60 η πολυκριτήρια ανάλυση άρχισε να κεντρίζει το ενδιαφέρον και αρκετών επιχειρησιακών ερευνητών στην Ευρώπη. Πρωτοπόρος μεταξύ αυτών υπήρξε ο Bernard Roy (1968) ο οποίος ανέπτυξε τη θεωρία των σχέσεων υπεροχής (outranking relations) και θεωρείται ο ιδρυτής της λεγόμενης Ευρωπαϊκής σχολής της πολυκριτήριας ανάλυσης.

Από τότε η πολυκριτήρια ανάλυση εφαρμόζεται ευρέως και αναπτύσσεται συνεχώς, θεωρητικά και πρακτικά, σε όλο και περισσότερες επιστήμες. Σημαντικό ρόλο σε αυτή τη διάδοση έπαιξε και η τεχνολογική ανάπτυξη των τελευταίων 30 χρόνων που παρείχε καλύτερα, γρηγορότερα και πιο αξιόπιστα υπολογιστικά εργαλεία για την εφαρμογή των μεθοδολογικών εξελίξεων της πολυκριτήριας ανάλυσης, σε DSS πλέον.

Όλα αυτά τα χρόνια έχουν προταθεί και έχουν επικρατήσει διάφορες ερευνητικές προσεγγίσεις για την πιο ορθολογική διαδικασία υποστήριξης αποφάσεων. Οι διαφοροποιήσεις τους προκύπτουν από τους εναλλακτικούς τρόπους σύνθεσης των κριτηρίων λήψης της απόφασης. Η επιλογή της πιο κατάλληλης τεχνικής ή μεθόδου, εξαρτάται γενικά τόσο από τη φύση και τις ιδιαιτερότητες του υπό εξέταση προβλήματος, όσο και από το συγκεκριμένο περιβάλλον της λήψης της απόφασης, ενώ σημαντικό ρόλο παίζουν και παράγοντες όπως η ευκολία χειρισμού της κάθε προσέγγισης, ο όγκος και το είδος των πληροφοριών που απαιτούνται (Παρασκευόπουλος, 2008).

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ**

### **2.1 Η πολυκριτηριακή ανάλυση στα Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων**

Η προσέγγιση των Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων (ΣΥΑ ή DSS) που περιεγράφηκε, σε συνδυασμό με την τεχνολογική ανάπτυξη που αναφέρθηκε και τις επιστημονικές προσεγγίσεις στην πολυκριτηριακή ανάλυση (MCA), έχουν επικρατήσει στις μέρες μας να είναι έννοιες αλληλένδετες. Αλληλένδετες με την έννοια ότι πλέον ο όρος ΣΥΑ χρησιμοποιείται για να περιγράψει ένα μοντέλο (ή σύστημα ή πρόγραμμα) που βρίσκεται σε Η/Υ, και βοηθάει στην κατάστρωση και επίλυση ενός προβλήματος λήψης αποφάσεων με χρήση MCA. Είναι σχεδιασμένα για να υποστηρίζουν διαδικασίες λήψης απόφασης σε ημιδομημένα ή μη-δομημένα προβλήματα και επικουρούν παρά αντικαθιστούν την διοικητική κρίση (Παρασκευόπουλος, 2008). Επειδή οι προσεγγίσεις και οι χρησιμοποιούμενες τεχνικές διαφέρουν, και τα προβλήματα είναι θεωρητικά άπειρα, έχουν διαμορφωθεί πάρα πολλά ΣΥΑ, με πολλούς διαφορετικούς ορισμούς να έχουν δοθεί για αυτά (Little, 1970, Keen and Scott-Morton, 1978, Sprague and Carlson, 1982, Andriole, 1989, Sage, 1986; 1991, Adelman, 1992). Τελικά σήμερα, με τον όρο ΣΥΑ έχει επικρατήσει να είναι το αλληλεπιδραστικό σύστημα (ένα software) που χρησιμοποιούν υπολογιστικές τεχνικές πολυκριτηριακής ανάλυσης για την υποβοήθηση των DMs.

### **2.2 Ανασκόπηση χρήσεων ΣΥΑ**

Η πρόοδος των τελευταίων δεκαετιών στα μαθηματικά και την επιστήμη των υπολογιστών κατέστησε δυνατή τη χρήση των ΣΥΑ σε πολλά διαφορετικά πεδία εφαρμογής. Αρχικά οι εφαρμογές των ΣΥΑ αφορούσαν ακαδημαϊκά θέματα και ερευνητικές εφαρμογές, όμως αργότερα, λόγω της διευκόλυνσης στη χρήση τους, άρχισαν να βρίσκουν πληθώρα άλλων εφαρμογών. Κυριότερες από αυτές είναι η διαχείριση αγροτικών εκτάσεων, συστημάτων παραγωγής, μηχανική περιβάλλοντος, διαχείριση ενέργειας, ιατρική, χημεία, τηλεπικοινωνίες και οικονομικές επιστήμες (Σκόνδρας, 2015). Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν εφαρμογές ΣΥΑ με χρήση MCA πάνω σε χρηματοοικονομικά προβλήματα (Eom et al., 1988, Langen, 1989, Mareschal and Brans, 1991, Mareschal and Mertens, 1992, Siskos et Al., 1994, Zorounidis et al., 1996, Zorounidis and Doumplos, 1998), σε προβλήματα πολεοδομικού σχεδιασμού (Anselin and Arias, 1983), σχεδίων μάρκετινγκ (Matsatsinis and Siskos, 1999), και την αντιμετώπιση προβλημάτων στρατηγικού προγραμματισμού (Chandrasekaran and Ramesh, 1987). Επίσης σημαντικά βήματα στο χώρο είναι τα συστήματα υποστήριξης ομαδικών αποφάσεων (Bui, 1994, Colson and Mareschal, 1994, Csaki et al., 1995), καθώς και η ανάπτυξη πολυκριτήριων ευφών συστημάτων τα οποία συνδυάζουν πολυκριτήριες μεθοδολογίες με τεχνικές από το χώρο της τεχνητής νοημοσύνης (Antunes et al., 1992, Matsatsinis and Siskos, 1999, Siskos et al., 1999, Srinivasan and Ruparel, 1990, Vranes et al., 1996, Zorounidis et al., 1996).

Πλέον τα σύγχρονα ΣΥΑ χαρακτηρίζονται από ευελιξία, αυξημένη εφύια και συνήθως προσπαθούν να αξιοποιήσουν την κρίση των DMs. Από όλα τα παραπάνω, είναι δυνατό

να προκύψει ένας σύγχρονος και ολοκληρωμένος ορισμός για τα ΣΥΑ: Ένα Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων είναι μία σύζευξη ανθρώπου – ηλεκτρονικού υπολογιστή στο πλαίσιο της οποίας, ο (Αποφασίζων/χρήστης χρησιμοποιεί ένα σύνολο μοντέλων περισσότερο ή λιγότερο μορφοποιημένων, για να διερευνήσει το περιβάλλον ενός προβλήματος χαμηλού βαθμού δόμησης και να καταλήξει στην λήψη μίας απόφασης, μέσα από μία διαδικασία ενίσχυσης της συλλογιστικής του (Παρασκευόπουλος, 2008).

### 2.3 Σχεδιασμός ενός ΣΥΑ

Για να συσταθεί ένα Ολοκληρωμένο ΣΥΑ (IDSS) απαιτείται όχι μόνο ένα άτομο, αλλά μια ομάδα επιστημόνων διαφόρων ειδικοτήτων (εμπλεκόμενοι, αποφασίζοντες, decision analysts, τεχνικοί συστημάτων κλπ) οι οποίοι έχουν διακριτούς αλλά και συμπληρωματικούς ρόλους (Peat and Briggs, 1999).

Οι εμπλεκόμενοι αρχικά καθορίζουν τις απαιτήσεις τους από το ΣΥΑ, με τη μορφή των στόχων που θέτουν. Στη συνέχεια οι αποφασίζοντες καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο θα επικοινωνούν με το ΣΥΑ (ως μοντέλο, άσχετα με τα τεχνικά του χαρακτηριστικά). Οι συνήθειες απαιτήσεις τους βασίζονται στην ευκολία χρήσης και στην ξεκάθαρη επιλογή – στήριξη της καταλληλότερης εναλλακτικής. Με τη σειρά τους οι decision analysts, και πάντα σε συνεννόηση με τους αποφασίζοντες, προβαίνουν στις εξής ενέργειες (Παρασκευόπουλος, 2008):

- Συλλογή δεδομένων και κατάλληλη οργάνωσή τους.
- Σχεδιασμός και σύνθεση λογισμικού διαχείρισης των δεδομένων, με τρόπο που να εξασφαλίζει αμεσότητα και ευελιξία.
- Επιλογή υπαρχόντων ή επινόηση και σχεδιασμός νέων μοντέλων ικανών να βοηθήσουν στη λήψη των αποφάσεων.
- Σχεδιασμός και σύνθεση λογισμικού διαχείρισης των μοντέλων που να εγγυάται την αποτελεσματική χρησιμοποίησή τους.
- Σχεδιασμός και σύνθεση λογισμικού διαχείρισης διαλόγου: Το στάδιο αυτό είναι ίσως το σημαντικότερο στον σχεδιασμό ενός ΣΥΑ. Το λογισμικό διαχείρισης διαλόγου είναι το μέσο που επιτρέπει την αμφίδρομη επικοινωνία χρήστη – συστήματος. Συνεπώς, ο κατάλληλος σχεδιασμός του συμβάλλει αποφασιστικά στην αύξηση της αποτελεσματικότητας του όλου συστήματος. Θα πρέπει επομένως να είναι άμεσο, user-friendly, με κατανοητές θεματικές ενότητες και εύκολο χειρισμό.

Ένα ΣΥΑ θα πρέπει να κάνει ξεκάθαρους τους στόχους (objectives) που πρέπει να επιτευχθούν, αλλά και να βοηθήσει στην επίτευξή τους. Αυτό, σύμφωνα με τους Αναγνωστόπουλο και Βαβάτσικο (2006), μπορεί να πραγματοποιηθεί σε τέσσερα αλληλεπιδρώντα στάδια με δυνατότητα επαναπροσδιορισμού τους:

- Μελέτη και καθορισμός του περιβάλλοντος του προβλήματος.
- Αναζήτηση και σχεδιασμός εναλλακτικών τρόπων προσέγγισης.
- Επιλογή εκείνου που φαίνεται καλύτερος.

- Εφαρμογή και αξιολόγηση.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

### 3.1 Η ανάλυση προβλημάτων πολλαπλών κριτηρίων

Σύμφωνα με το Roy (1996), η πολυκριτηριακή ανάλυση πρέπει να διασαφηνίζει την ανταγωνιστική φύση των κριτηρίων, να επιτυγχάνει τη μοντελοποίηση των προτιμήσεων του αποφασίζοντος και τον εντοπισμό ικανοποιητικών λύσεων. Το γενικό μεθοδολογικό πλαίσιο που πρότεινε ο Roy, συνοπτικά αποτελείται από τέσσερα στάδια:

- 1 Στο πρώτο στάδιο καθορίζεται το σύνολο των εναλλακτικών δραστηριοτήτων και η προβληματική της ανάλυσης. Ως ‘εναλλακτική’ (alternative) ορίζεται κάθε πιθανή επιλογή η οποία αποτελεί λύση του προβλήματος και θα αξιολογηθεί ως προς την καταλληλότητά της (Σπανός, 2004). Στη συνέχεια, απαιτείται ο καθορισμός της προβληματικής της ανάλυσης (decision problematic). Γενικά, υπάρχουν τέσσερις προβληματικές που καλύπτουν τις πρακτικές περιπτώσεις (Roy, 1996):
  - Η προβληματική τύπου α αναφέρεται στην επιλογή μίας ή περισσότερων εναλλακτικών οι οποίες θεωρούνται ως οι πιο κατάλληλες (choice).
  - Η προβληματική β αναφέρεται στην ταξινόμηση των εναλλακτικών σε προκαθορισμένες ομοιογενείς κατηγορίες (classification/ sorting).
  - Η προβληματική γ αναφέρεται στην κατάταξη των εναλλακτικών δραστηριοτήτων ξεκινώντας από τις καλύτερες (ranking).
  - Η προβληματική δ αναφέρεται στην περιγραφή των εναλλακτικών με βάση τα επιμέρους κριτήρια αξιολόγησης (description).
- 2 Στο δεύτερο στάδιο της διαδικασίας ανάλυσης ενός προβλήματος καθορίζονται τα κριτήρια. Οι εναλλακτικές θα αξιολογηθούν με βάση τις επιδόσεις τους ως προς τα επιλεχθέντα κριτήρια. Τα κριτήρια ορίζονται από τους αποφασίζοντες, αφού έχουν λάβει υπόψη τους στόχους που πρέπει να ικανοποιήσει η όποια πολιτική – εναλλακτική επιλεχθεί.
- 3 Το τρίτο στάδιο καθορίζει τον τρόπο σύνθεσης των κριτηρίων βάσει του οποίου θα αντιμετωπιστεί το αντικείμενο του προβλήματος, όπως αυτό καθορίστηκε στο πρώτο στάδιο (επιλογή, κατάταξη, ταξινόμηση, περιγραφή). Σύμφωνα δηλαδή με την προβληματική που επιλέχθηκε, γίνεται η μαθηματική σύνθεση όλων των κριτηρίων έτσι ώστε να ολοκληρωθεί ο στόχος της ανάλυσης. Το μοντέλο χρησιμοποιείται ως βάση για: τον προσδιορισμό μίας συνολικής αξιολόγησης κάθε εναλλακτικής, την πραγματοποίηση διμερών συγκρίσεων μεταξύ των εναλλακτικών και τη διεύρυνση του συνόλου των εναλλακτικών (σε συνεχές σύνολο) (Σπανός, 2004).
- 4 Στο τέταρτο και τελευταίο στάδιο της διαδικασίας γίνεται η εφαρμογή του μοντέλου και η εξαγωγή αποτελεσμάτων. Εδώ λαμβάνουν χώρα όλες εκείνες οι δραστηριότητες οι οποίες θα βοηθήσουν τον αποφασίζοντα να κατανοήσει τα αποτελέσματα του υποδείγματος σύνθεσης των κριτηρίων που καθορίστηκε στο τρίτο στάδιο καθώς και τη διαδικασία με την οποία εξάχθηκαν τα αποτελέσματα αυτά (Παρασκευόπουλος, 2008). Στην ουσία το στάδιο αυτό είναι η συμπλήρωση

του τρίτου σταδίου, αλλά έχει λόγο ύπαρξης επειδή μια λύση που δίνει ένα μοντέλο, δε σημαίνει ότι θα είναι και άμεσα εκμεταλλεύσιμη στα πεδία λήψης αποφάσεων.

Η κρίση και η ευελιξία των ληπτών απόφασης είναι τελικά αυτή που θα επιλέξει την καταλληλότερη πολιτική, ακολουθώντας, τις περισσότερες φορές ένα σκεπτικό που στηρίζεται στη σύνθεση των κριτηρίων που περιεγράφηκε στο τρίτο στάδιο. Ο Roy (1985) πρότεινε μια ομαδοποίηση σε τρεις κατηγορίες με βάση τη μορφή των υποδειγμάτων που αναπτύσσονται:

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

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

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

Ο πολυκριτήριος μαθηματικός προγραμματισμός αποτελεί μια γενίκευση της θεωρίας του μαθηματικού προγραμματισμού σε περιπτώσεις όπου πρέπει να βελτιστοποιηθούν πολλαπλές αντικειμενικές συναρτήσεις (Παρασκευόπουλος, 2008). Οι τρεις τελευταίες από τις τέσσερις παραπάνω προσεγγίσεις, προσανατολίζονται προς την αντιμετώπιση διακριτών προβλημάτων λήψης αποφάσεων. Στόχος τους είναι η σύνθεση όλων των κριτηρίων με σκοπό την αξιολόγηση ενός πεπερασμένου συνόλου εναλλακτικών δραστηριοτήτων σύμφωνα με τις προβληματικές της επιλογής, κατάταξης ή ταξινόμησης.

Οι προσεγγίσεις αυτές αποτελούν το θεωρητικό υπόβαθρο των τεχνικών που εφαρμόστηκαν στην παρούσα εργασία και έτσι κρίνεται σκόπιμο να αναπτυχθεί μια σύντομη περιγραφή για την κάθε μια.

### 3.2 Η θεωρία Ταξινόμησης

Ένα πολύ σημαντικό στάδιο στην Πολυκριτηριακή Ανάλυση, που αποτελεί και πλεονέκτημά της σε σχέση με τη βελτιστοποίηση, είναι η ταξινόμηση των εναλλακτικών λύσεων. Η ταξινόμηση αυτή γίνεται με βάση την αξία των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων των εναλλακτικών ως προς τα ήδη καθορισμένα

πρότυπα που έχουν τεθεί. Ως τέτοια πρότυπα μπορεί να θεωρηθούν κάποιες ιδεατές εναλλακτικές για παράδειγμα, όπου διακρίνονται σε διατεταγμένες και μη διατεταγμένες, ανάλογα με την μοντελοποίηση του προβλήματος (Παρασκευόπουλος, 2008). Ένα πρόβλημα απόφασης μπορεί να μοντελοποιηθεί με διαφορετικούς τρόπους, ανάλογα με την φύση του και την επιθυμητή μορφή των αποτελεσμάτων. Βασικό στοιχείο διαφοροποίησης των αποτελεσμάτων της ανάλυσης είναι η πραγματοποίηση απόλυτων ή σχετικών συγκρίσεων (Hyde, 2006). Στην πρώτη περίπτωση, οι εναλλακτικές συγκρίνονται απευθείας μεταξύ τους, ενώ τα αποτελέσματα είναι της μορφής «η εναλλακτική a είναι καλύτερη της b» χωρίς όμως αυτό να σημαίνει πως η a είναι μια καλή εναλλακτική (Sage, 2007b). Στη δεύτερη περίπτωση, κάθε εναλλακτική εξετάζεται ανεξάρτητα από τις υπόλοιπες, έτσι ώστε η αξία της να καθοριστεί από τη σύγκριση με κάποια προκαθορισμένα πρότυπα. Η αξιολόγηση των εναλλακτικών οδηγεί σε κατάταξή τους σε κατηγορίες οι οποίες συνιστούν (ή όχι) αποδεκτές λύσεις. Έτσι, η ταξινόμηση καθορίζεται από τα προδιαγεγραμμένα πρότυπα, και όχι από το σύνολο των διαθέσιμων εναλλακτικών (Sage, 2007a).

Η βιβλιογραφία αναφέρει τρεις όρους – τύπους ταξινόμησης: sorting, classification και discrimination, δηλαδή στη διατεταγμένη ταξινόμηση, ταξινόμηση (κατηγοριοποίηση), ταξινόμηση και διάκριση (Δούμπος και Ζοπουνίδης, 2001). Η πολυκριτηριακή ανάλυση ασχολείται κυρίως με τη διατεταγμένη ταξινόμηση, στην οποία η κατάταξη των εναλλακτικών γίνεται σε σχετικές κατηγορίες. Η ταξινόμηση (κατηγοριοποίηση) και η διάκριση αφορούν την κατάταξη των εναλλακτικών σε ονομαστικές κατηγορίες. Η κατάταξη σε ονομαστικές κατηγορίες δηλώνει την ομαδοποίηση των εναλλακτικών με βάση μια σειρά κοινών χαρακτηριστικών, αλλά δεν συνεπάγεται ότι οι εναλλακτικές μιας κατηγορίας είναι καλύτερες ή χειρότερες από τις εναλλακτικές των άλλων κατηγοριών (Παρασκευόπουλος, 2008).

Οι ερευνητικές προσεγγίσεις του προβλήματος της ταξινόμησης διακρίνονται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

1. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει στατιστικές (Fisher, 1936, Smith, 1947) και οικονομετρικές μεθόδους (McFadden and Manski, 1980), οι οποίες θεωρούνται ως οι πλέον κλασσικές προσεγγίσεις των προβλημάτων λήψης απόφασης με πολλαπλά κριτήρια. Πιο συγκεκριμένα, η στατιστική αντιμετωπίζει το πρόβλημα της ταξινόμησης θεωρώντας ότι η κάθε κατηγορία αντιστοιχεί σε ένα «πληθυσμό» (population) (Fisher, 1936). Ως σημαντικότερες προσεγγίσεις του χώρου θεωρούνται οι πολυδιάστατες τεχνικές όπως η γραμμική και η τετραγωνική διακριτική ανάλυση (linear and quadratic discriminant analysis) (Παρασκευόπουλος, 2008). Από την άλλη μεριά, όσον αφορά το χώρο των οικονομετρικών μεθόδων ταξινόμησης, οι σημαντικότερες προσεγγίσεις βασίζονται στο γραμμικό, το λογιστικό και το κανονικό υπόδειγμα πιθανότητας (linear, logit and probit analysis) (McFadden and Manski, 1980).
2. Η δεύτερη κατηγορία αφορά σε μη-παραμετρικές μεθόδους, οι οποίες έχουν αναπτυχθεί από τη δεκαετία του 90. Οι μη-παραμετρικές μέθοδοι βρίσκουν εφαρμογή όταν οι στατιστικές μέθοδοι δεν ικανοποιούν τις απαιτήσεις του προβλήματος ταξινόμησης. Οι προσεγγίσεις αυτές παρέχουν αυξημένη ευελιξία στο χρήστη, καθώς δεν περιορίζονται από τις ανάγκες εντοπισμού και ανάλυσης των στατιστικών ιδιοτήτων των δεδομένων του εκάστοτε προβλήματος (Heil, 2006). Πιο συγκεκριμένα, το πρόβλημα της ταξινόμησης αντιμετωπίζεται από ερευνητικές περιοχές όπως τα νευρωνικά δίκτυα (neural



networks), η μηχανική εκμάθηση (machine learning), η ασαφής λογική (fuzzy logic) και τα προσεγγιστικά σύνολα (rough set theory) (Heil, 2006).

3. Η τρίτη κατηγορία αφορά την πολυκριτηρική ανάλυση, σύμφωνα με την οποία υπάρχουν δύο διαφορετικές θεωρήσεις του προβλήματος της ταξινόμησης: η άμεση και η έμμεση. Η διαφορά τους είναι η σημαντικότητα του ρόλου του λήπτη της απόφασης. Η άμεση ταξινόμηση χρησιμοποιεί πρότυπα που καθορίζονται από τις πληροφορίες που αποσπώνται από τον λήπτη της απόφασης (τέτοια παραδείγματα είναι η Πολυκριτήρια Θεωρία Χρησιμότητας και η θεωρία των Σχέσεων Υπεροχής) (Roy, 1980). Η έμμεση ταξινόμηση χρησιμοποιεί πρότυπα που αναπτύσσει από την ανάλυση ενός συνόλου παλαιότερων αποφάσεων, με βάση τις αρχές της Αναλυτικής-Συνθετικής Προσέγγισης (Σκόνδρας, 2005). Η Διαδικασία Αναλυτικής Ιεράρχησης βρίσκει πολλές εφαρμογές σε προβλήματα ταξινόμησης καθώς συνδυάζει και τις δύο παραπάνω θεωρήσεις.

### 3.3 Η θεωρία Ιεράρχησης

Η Διαδικασία Αναλυτικής Ιεράρχησης (Analytic Hierarchic Process - AHP) λοιπόν ταξινομεί τις εναλλακτικές λύσεις με τρόπο που τις ιεραρχεί, κατανέμοντας βαρύτητες σημαντικότητας στα κριτήρια που έχουν καθοριστεί. Για την ιεράρχηση των εναλλακτικών πραγματοποιούνται δυαδικές συγκρίσεις με βάση τις εκτιμήσεις των αποφασιζόντων, και γίνεται σύνθεση αυτών προκειμένου να προσδιοριστεί ποια μεταβλητή έχει τη μεγαλύτερη προτεραιότητα/επιρροή στο αποτέλεσμα (Σπανος, 2004). Έτσι διαμορφώνεται ένας πίνακας βαρών και ένας πίνακας εκτιμήσεων (αποτελεσμάτων) για κάθε κριτήριο.

Η μέθοδος αναπτύχθηκε από τον Thomas Saaty (1980) ως απάντηση στην έλλειψη κοινών και εύκολα κατανοητών καθώς και εφαρμόσιμων μεθόδων στη διαδικασία λήψης σύνθετων αποφάσεων και από τότε εφαρμόζεται ευρέως. Ο λόγος είναι ότι διευκολύνει την οργάνωση του προβλήματος και στη δόμηση της πολυπλοκότητας, μέτρησης και σύνθεσης των κατατάξεων (Σπανός, 2004). Η μέθοδος ενδείκνυται σε προβλήματα με διακριτές εναλλακτικές και προτιμάται λόγω της απλότητας στη χρήση της.

### 3.4 Η θεωρία Χρησιμότητας

Η θεωρία Χρησιμότητας ίσως αποτελεί την πιο ικανοποιητική περιγραφή του τρόπου λήψης αποφάσεων σε προβλήματα πολλαπλών κριτηρίων, και για αυτό αποτελεί και τον ακρογωνιαίο λίθο της θεωρητικής ανάπτυξης και πρακτικής εφαρμογής των αρχών της πολυκριτηριακής ανάλυσης (Σπανός, 2004). Η θεωρία Χρησιμότητας σήμερα βρίσκει εφαρμογή σε διακριτά προβλήματα, ειδικότερα σε προβλήματα επιλογής, αλλά και σε περιπτώσεις όπου επιθυμείται η κατάταξη ή η ταξινόμηση των εναλλακτικών σε προκαθορισμένες κατηγορίες. Η Πολυκριτηριακή Θεωρία Χρησιμότητας (Multiattribute Utility Theory) αποτελεί γενίκευση της κλασσικής θεωρίας χρησιμότητας, όπως προέκυψε από το έργο των von Neumann και Morgenstern και του Savage στις δεκαετίες 1940 και 1950.

Σκοπός της πολυκριτηριακής θεωρίας χρησιμότητας είναι η μοντελοποίηση και αναπαράσταση του συστήματος αξιών που συνειδητά ή ασυνείδητα ακολουθεί ο αποφασίζων, μέσω μιας συνάρτησης αξιών/χρησιμότητας  $U(x)$ . Σύμφωνα με τους von

Neumann και Morgenstern (1953), η συνάρτηση αυτή εκφράζεται βάσει του συνόλου των κριτηρίων αξιολόγησης τα οποία καθορίζουν το αποτέλεσμα της αξιολόγησης:

$$U(x)=U(x_1,x_2,\dots,x_n) \quad (1)$$

Όπου:

$U(x)$  η χρησιμότητα της εναλλακτικής  $x$ .

Γενικά, οι συναρτήσεις χρησιμότητας είναι μη γραμμικές αύξουσες συναρτήσεις οριζόμενες στο πεδίο τιμών των αντίστοιχων κριτηρίων αξιολόγησης, οι οποίες ικανοποιούν τις ακόλουθες δύο βασικές ιδιότητες:

$$U(x') > U(x'') \Leftrightarrow x' P x'' \text{ (η εναλλακτική } x' \text{ προτιμάται της } x'') \quad (2)$$

$$U(x') = U(x'') \Leftrightarrow x' I x'' \text{ (η εναλλακτική } x' \text{ προτιμάται της } x'') \quad (3)$$

Η συνέχεια του έργου των von Neumann, Morgenstern και του Savage έρχεται από τους Keeney και Raiffa το 1976. Στο έργο τους ανέπτυξαν τρεις βασικές διαδικασίες που επιτρέπει στους λήπτες αποφάσεων να αξιολογούν τις πολυκριτήριες επιλογές τους στην πράξη (Σπανός, 2004). Αυτές είναι:

1. Πίνακας αποδοτικότητας
2. Έλεγχοι ανεξαρτησίας των κριτηρίων
3. Τρόποι εκτίμησης των παραμέτρων στις μαθηματικές συναρτήσεις, οι οποίες επιτρέπουν την εκτίμηση ενός δείκτη,  $U$ , για να εκφράσει την ολική αξιολόγηση του λήπτη αποφάσεων μίας επιλογής σε όρους απόδοσης καθενός από τα κριτήρια.

Η προσέγγιση αυτή των Keeney και Raiffa έχει βρει εφαρμογή σε ποικίλες πραγματικές αποφάσεις, τόσο στον ιδιωτικό όσο και στον δημόσιο τομέα. Παρόλο που είναι αποτελεσματικές, είναι στην πιο γενική της μορφή σχετικά πολύπλοκη και εφαρμόζεται καλύτερα από ειδικούς σε προβλήματα όπου τόσο ο χρόνος όσο και η ειδίκευση είναι απαραίτητα και διαθέσιμα (Σπανός, 2004). Σημαντικά σημεία του μοντέλου των Keeney και Raiffa είναι το ότι λαμβάνει υπόψη την αβεβαιότητα, το ότι επιτρέπει σε χαρακτηριστικά να αλληλοεπηρεάζονται με έναν τρόπο που δεν είναι ούτε απλός ούτε αθροιστικός και επίσης ότι δεν υποθέτει αμοιβαία ανεξαρτησία των προτιμήσεων. Σε ορισμένες περιπτώσεις αυτά μπορεί να είναι χρήσιμα, αλλά συχνά στην πράξη παραλείπονται ώστε μία πιο απλή και πιο διαφανής διαδικασία λήψης αποφάσεων να μπορεί να εφαρμοστεί γρηγορότερα από ένα ευρύ σύνολο χρηστών και για ένα μεγαλύτερο σύνολο προβλημάτων (Σπανός, 2004).

Έτσι, σήμερα, η πιο συνήθης μορφή συνάρτησης χρησιμότητας που χρησιμοποιείται σε ερευνητικό και πρακτικό επίπεδο, είναι η προσθετική:

$$U(x) = \sum_{i=1} w_i \cdot v_i(x) \quad (4)$$

Όπου:

$w_i$  η βαρύτητα σημαντικότητας του κριτηρίου  $i$

$v_i$  η επίδοση – τιμή (value) της εναλλακτικής  $x$  ως προς το κριτήριο  $i$ .

Η βασική υπόθεση η οποία διέπει τη χρησιμοποίηση της προσθετικής συνάρτησης χρησιμότητας αφορά την αμοιβαία ανεξαρτησία προτίμησης των κριτηρίων αξιολόγησης (mutual preference independence) (Παρασκευόπουλος, 2008). Ένα υποσύνολο του συνόλου των κριτηρίων αξιολόγησης ( $i' \subset i$ ), θεωρείται ότι είναι ανεξάρτητο από τις προτιμήσεις των υπόλοιπων κριτηρίων, εάν και μόνο εάν οι προτιμήσεις του αποφασίζοντος σχετικά με τις εξεταζόμενες εναλλακτικές δραστηριότητες, οι οποίες διαφέρουν μεταξύ τους μόνο ως προς τα κριτήρια του συνόλου  $i'$ , δεν επηρεάζονται από τα υπόλοιπα κριτήρια (Fishburn, 1970). Το σύνολο  $i$  των κριτηρίων αξιολόγησης θεωρείται ότι πληροί την υπόθεση της αμοιβαίας προτιμησιακής ανεξαρτησίας εάν και μόνο εάν κάθε υποσύνολο  $i' \subset i$  είναι ανεξάρτητο προτιμήσεων των υπολοίπων κριτηρίων (Keeney and Raiffa, 1993).

Για το σαφή καθορισμό της συνάρτησης χρησιμότητας θα πρέπει να καθοριστούν οι βαρύτητες των κριτηρίων αξιολόγησης, όπου έχουν την έννοια των παραχωρήσεων που ο αποφασίζων είναι διατεθειμένος να κάνει σε ένα κριτήριο προκειμένου να βελτιώσει κάποιο άλλο (Παρασκευόπουλος, 2008). Το πιο χαρακτηριστικό παραδείγματα ΣΥΑ που εφαρμόζει προσθετικές συναρτήσεις χρησιμότητας είναι η Multi Attribute Utility Theory (MAUT) (Neumann and Morgenstern, 1953). Άλλα σημαντικά ΣΥΑ με μεθόδους που επιτρέπουν την αλληλεπιδραστική ανάπτυξη και χρησιμοποίηση προσθετικών συναρτήσεων χρησιμότητας, είναι το MACBETH (Bana e Costa and Vasnick, 1994) και η μέθοδος SMART (Simple Multiattribute Ranking Technique) (Edwards, 1977, 1994).

### 3.5 Η θεωρία Σχέσεων Υπεροχής

Αυτή η θεωρία αναπτύχθηκε από το Roy (1968, 1991, 1996) με τις εργασίες του σχετικά με την οικογένεια μεθόδων ELECTRE (ELimination Et Choix Traduisant la Réalité) για την αντιμετώπιση πολυκριτηρίων προβλημάτων απόφασης όπου οι εναλλακτικές επιλογές είναι διακριτές. Οι μέθοδοι της οικογένειας ELECTRE (Roy, 1991) αλλά και οι μέθοδοι της οικογένειας PROMETHEE (Brans and Mareschal, 2000), είναι οι δύο περισσότερο γνωστές μέθοδοι που βασίζονται στη θεωρία των σχέσεων υπεροχής. Οι δύο αυτές μέθοδοι σε διάφορες παραλλαγές τους, χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση διαφόρων μορφών προβλημάτων που αφορούν την αξιολόγηση ενός πεπερασμένου συνόλου εναλλακτικών δραστηριοτήτων.

Το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο στηρίζεται σε συγκρίσεις μεταξύ των εναλλακτικών. Οι μέθοδοι σχέσεων υπεροχής επιτρέπουν τη γενική διάταξη των εναλλακτικών (κατάταξή τους σε κατηγορίες) ενώ παράλληλα επιτρέπουν ξεχωριστά ζεύγη εναλλακτικών να παραμείνουν μη συγκρίσιμα όταν δεν υπάρχουν επαρκείς πληροφορίες. Αντίθετα, οποιαδήποτε από τις θεωρίες που περιεγράφηκαν παραπάνω, παρέχει ένα μόνο «σκορ» για κάθε εναλλακτική, απαιτεί όλες οι επιλογές να είναι άμεσα συγκρίσιμες, ακόμη κι όταν τέτοιες συγκρίσεις είναι αμφισβητήσιμες λόγω έλλειψης κατάλληλων στοιχείων (Σπανός, 2004).

Το πρώτο στάδιο της διαδικασίας αφορά στην ανάπτυξη της σχέσης υπεροχής (outranking relation). Η σχέση υπεροχής είναι μια μαθηματική συνάρτηση που αναπαριστά τις προτιμήσεις των DMs εκφρασμένες ως βαθμό επικράτησης της μιας

εναλλακτικής έναντι της άλλης. Αυτό επιτυγχάνεται με την αντιστοίχιση αρχικών βαρών στα κριτήρια αποφάσεων και εν συνεχεία μεταβάλλοντας τα βάρη αυτά στα πλαίσια της ανάλυσης ευαισθησίας, εάν η ακριβή τους τιμή δεν είναι γνωστή (Σκόνδρας, 2015). Η σύγκριση μεταξύ των εναλλακτικών συνεχίζεται ανά ζεύγη αναφορικά με κάθε κριτήριο απόφασης και καθορίζει το βαθμό επικράτησης ή «υπεροχής» της μίας επιλογής έναντι της άλλης. Στο δεύτερο στάδιο η σχέση αυτή εφαρμόζεται ώστε να αξιολογηθούν οι εναλλακτικές υπό την επιθυμητή μορφή (κατάταξη, ταξινόμηση, επιλογή) και να εξαχθούν τα αποτελέσματα.

Η ανάπτυξη των σχέσεων υπεροχής βασίζεται σε πληροφορίες που παρέχει ο ίδιος ο αποφασίζοντας, και κυρίως γίνεται:

- Με κατώφλια προτίμησης, αδιαφορίας και βέτο (preference, indifference, veto thresholds). Θέτονται δηλαδή τα κατώτατα και ανώτατα όρια στα οποία μπορεί να θεωρούνται αποδεκτές οι εναλλακτικές, ώστε οι συγκρίσεις να γίνουν σε αυτό το πλαίσιο.
- Με βαρύτητες (σημαντικότητα) των κριτηρίων αξιολόγησης.

Ο συνδυασμός των πληροφοριών αυτών παρέχει τη δυνατότητα στον αναλυτή να εξετάσει την ύπαρξη επαρκούς συμφωνίας των κριτηρίων ώστε να θεωρηθεί ότι ισχύει η πρόταση «η εναλλακτική δραστηριότητα  $x$  είναι τουλάχιστον εξίσου καλή όσο και η  $y$ » εξετάζοντας παράλληλα και την ισχύ των ενδείξεων που πιθανόν να υπάρχουν κατά της ισχύος της πρότασης αυτής (ασυμφωνία).

Το πλεονέκτημα αυτών των μεθόδων είναι αυτού του είδους η αντιμετώπιση των εναλλακτικών, μέσω μεταξύ τους συγκρίσεων. Έτσι επιτρέπει τη μοντελοποίηση και αντιμετώπιση περιπτώσεων όπου ενώ η εναλλακτική δραστηριότητα  $x$  προτιμάται ή είναι αδιάφορη της  $y$  η οποία με τη σειρά της προτιμάται/είναι αδιάφορη της  $z$ , τελικά η  $x$  δεν προτιμάται/δεν είναι αδιάφορη της  $z$  (Luce, 1956). Ακριβώς αυτή η ιδιότητα αποτελεί και την ειδοποιό διαφορά των σχέσεων υπεροχής από τις «μεταβατικές» σχέσεις που χρησιμοποιούν οι μέθοδοι χρησιμότητας (Παρασκευόπουλος, 2008). Αυτό μπορεί να γίνει εύκολα κατανοητό με το παράδειγμα του Luce για τον καφέ: Η διαφορά ενός ποτηριού καφέ με  $A$  γραμμάρια ζάχαρης και ενός με  $A+0,01$  γραμμάρια ζάχαρης δεν είναι αισθητή, άρα υπάρχει αδιαφορία μεταξύ των δύο προτιμήσεων. Ομοίως, υπάρχει αδιαφορία και μεταξύ των  $A+0,01$  και  $A+0,02$  γραμμαρίων ζάχαρης, κ.ο.κ. Αν η σχέση αδιαφορίας είναι μεταβατική τότε συμπεραίνεται ότι υπάρχει αδιαφορία μεταξύ  $A$  και  $A+0,02$  γραμμαρίων ζάχαρης, και συνεπώς μέσω μιας σειράς ανάλογων συλλογισμών μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι ισχύει η σχέση αδιαφορίας μεταξύ ενός ποτηριού καφέ με  $a$  γραμμάρια ζάχαρης και ενός ποτηριού καφέ το οποίο είναι γεμάτο ζάχαρη, το οποίο προφανώς δεν είναι αληθές. Αυτές τις περιπτώσεις καλύπτει η θεωρία των σχέσεων υπεροχής, εκτός βέβαια από την περίπτωση της μη συγκρισιμότητας, όταν δηλαδή οι εναλλακτικές δεν υπάγονται σε κοινά κριτήρια.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΤΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ

Η εργασία αυτή έκανε χρήση τεσσάρων βασικών τεχνικών Πολυκριτηριακής Ανάλυσης, βασισμένες σε κάθε μία από τις θεωρίες που περιεγράφηκαν στο Κεφάλαιο 3. Έτσι το πρόβλημα που μελετήθηκε, εξετάστηκε με τέσσερις διαφορετικές και θεμελιώδεις θεωρητικές προσεγγίσεις. Σε αυτό το Κεφάλαιο γίνεται η ανάλυση του μεθοδολογικού πλαισίου αυτών των τεχνικών.

### **4.1 Η μέθοδος MAUT (Multi-Attribute Utility Theory)**

Οι βάσεις για την ανάπτυξη της μεθόδου τέθηκαν από τους Churchman, Ackoff and Arnoff (1957). Η περεταίρω ανάπτυξή της έγινε από τον Fishburn (1968, 1970, 1978), ενώ η προσθετική συνάρτηση, όπως περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο (σχέση 4) προτάθηκε από τον Sintonen, το 1981. Από τότε η μέθοδος έχει τύχει ευρείας αναγνώρισης, καθώς χρησιμοποιείται σε πληθώρα εφαρμογών, με κύριο πλεονέκτημά της να είναι η βοήθεια που παρέχει στους λήπτες αποφάσεων να αποκτήσουν διορατικότητα στις αποφάσεις (π.χ. αποσαφήνιση παραγόντων και προτεραιοτήτων) και όχι τόσο στην ανακάλυψη ή την απόδειξη της "αλήθειας" (De Montis et al., 2005).

Η μέθοδος MAUT ως μαθηματικό μοντέλο στηρίζεται στη θεωρία της χρησιμότητας που περιεγράφηκε παραπάνω και τα βασικά της στοιχεία περιλαμβάνουν (Σπανός, 2004):

- Μία αριθμητική τιμή της συνολικής χρησιμότητας μίας επιλογής
- Βάρη καθορισμένα σε μεμονωμένα χαρακτηριστικά
- Μέτρα της απόδοσης των επιλογών έναντι των χαρακτηριστικών
- Ένα προσθετικό κανόνα που να περικλείει όλα τα μέτρα απόδοσης

Η σχέση εύρεσης της χρησιμότητας των εναλλακτικών, ως προς τα επιλεχθέντα κριτήρια είναι η προσθετική (Σχέση 4), όπως αναλύθηκε στην παράγραφο 3.4. Υπενθυμίζεται ότι:

$$U(x) = \sum_{i=1} w_i \cdot v_i(x) \quad (4)$$

Όπου:

$w_i$  η βαρύτητα σημαντικότητας του κριτηρίου  $i$

$v_i$  η επίδοση – τιμή (value) της εναλλακτικής  $x$  ως προς το κριτήριο  $i$ .

Η διαδικασία εύρεσης και αξιολόγησης των κριτηρίων βασίζεται στην κρίση του καθενός. Πειθαρχία στην απόκτηση των μέτρων των προϊόντων και συνεπής χρήση των συναρτήσεων μετατροπής μπορεί να αποτρέψει την ομοιότητα της λογικής (Wallnau, 1998). Σύμφωνα με τον Wallnau, το μοντέλο γίνεται λειτουργικό με τα ακόλουθα βήματα:

1. Ορίζονται οι υποψήφιος εναλλακτικές και τα κριτήρια απόφασης που τις χαρακτηρίζουν.

2. Πραγματοποιείται αξιολόγηση κάθε εναλλακτικής, ξεχωριστά ως προς κάθε κριτήριο.
3. Καθορίζονται τα βάρη των κριτηρίων, ανάλογα με την σημαντικότητα που τα χαρακτηρίζει σε κάθε περίπτωση.
4. Τα βάρη των κριτηρίων κανονικοποιούνται ώστε το άθροισμά τους να ισούται με τη μονάδα.
5. Το συνολικό μέτρο αξίας κάθε εναλλακτικής προκύπτει από το άθροισμα των επιμέρους γινομένων των αξιολογήσεων των εναλλακτικών ως προς κάθε κριτήριο, με το βάρος του αντίστοιχου κριτηρίου.
6. Γίνεται κατάταξη των εναλλακτικών από την καλύτερη προς τη λιγότερο επιθυμητή, σύμφωνα με την τιμή συνάρτησης αξίας, που αποδίδεται τελικά στην κάθε εναλλακτική
7. Πραγματοποιείται ανάλυση ευαισθησίας

Σημειώνεται ότι με την ανάπτυξη κατάλληλων συναρτήσεων και την αξιολόγηση των εναλλακτικών, καθορίζονται τα βάρη των κριτηρίων. Η αρχική κατάταξη που προκύπτει, αλλάζει με αλλαγή των βαρών των κριτηρίων. Οι κατατάξεις είναι ευαίσθητες στην επιλογή των βαρών και διαφορετικά βάρη οδηγούν σε διαφορετικές κατατάξεις. Για το λόγο αυτό πραγματοποιείται ανάλυση ευαισθησίας, προκειμένου να ελεγχθεί η ευαισθησία στις μεταβολές των κατατάξεων ως προς τις μεταβολές των βαρυτήτων των κριτηρίων (Σκόνδρας, 2015).

Ειδικότερα στο πρόβλημα που εξετάζεται από την παρούσα εργασία εφαρμόστηκε η εξής διαδικασία. Αρχικά έγινε αξιολόγηση 5 διαφορετικών εναλλακτικών λύσεων υπό 3 διαφορετικά κριτήρια, όπου κάθε ένα από αυτά χωρίστηκε σε υποκριτήρια. Το πρώτο και το τρίτο κριτήριο χωρίστηκαν σε 3 υποκριτήρια και το δεύτερο σε 2. Έτσι προέκυψαν συνολικά 8 υποκριτήρια. Στη συνέχεια συμπληρώθηκαν από τους λήπτες απόφασης τα ερωτηματολόγια, στα οποία ζητήθηκε να βαθμολογήσουν με μία τιμή από 1 έως 10 τις 5 εναλλακτικές, ανάλογα με την βαρύτητα που έχουν για τον κάθε ένα και ακολούθησε η ποσοστοποίηση τους. Έπειτα συμπληρώθηκαν για κάθε κριτήριο ξεχωριστά, με την ίδια κλίμακα από 1 έως 10, για τα αντίστοιχα υποκριτήρια που τα αποτελούν, ως προς κάθε εναλλακτική, οι τιμές που εκφράζουν τη βαρύτητα που έχουν για τους λήπτες αποφάσεων, τα υποκριτήρια, ως προς την επίτευξη της εναλλακτικής αλλά και το αντίστροφο. Αναλυτική παρουσίαση των ερωτηματολογίων υπάρχει στο Παράρτημα. Έπειτα έγινε ποσοστοποίηση των βαθμολογιών αυτών και μετά πραγματοποιήθηκαν τα παρακάτω βήματα:

1. Έγινε κανονικοποίηση των επιδόσεων των εναλλακτικών ως προς κάθε υποκριτήριο (values) σε κλίμακα από το 0 έως το 10.
2. Για κάθε κριτήριο ξεχωριστά, ως προς κάθε εναλλακτική, υπολογίστηκε το άθροισμα των γινομένων, των τιμών από το παραπάνω βήμα, με τις τιμές βαρύτητας των του κάθε υποκριτηρίου, που συμπληρώθηκαν τα ερωτηματολόγια (Σχέση 4). Έτσι για κάθε ένα από τα 3 κριτήρια προέκυψαν 5 τιμές οι οποίες αντιστοιχούν σε κάθε εναλλακτική.

3. Για κάθε κριτήριο, οι τιμές των αθροισμάτων από το παραπάνω βήμα, οι οποίες αντιστοιχούν σε κάθε εναλλακτική, πολλαπλασιάστηκαν με τις τιμές βαρυτήτων των εναλλακτικών από τα ερωτηματολόγια.
4. Τέλος υπολογίστηκαν τα αθροίσματα των παραπάνω τιμών για κάθε κριτήριο, ως προς την κάθε εναλλακτική.

Η εναλλακτική που συγκέντρωσε το μεγαλύτερο άθροισμα είναι και η καταλληλότερη λύση για το πρόβλημα. Ακολουθούν με σειρά καταλληλότητας οι εναλλακτικές που αντιστοιχούν σε φθίνουσα σειρά των αθροισμάτων αυτών.

#### **4.2 Η μέθοδος AHP (Analytic Hierarchic Process)**

Η Διαδικασία Αναλυτικής Ιεράρχησης (Analytic Hierarchic Process - AHP) είναι μια μέθοδος που καθορίζει προτιμήσεις προκειμένου να ιεραρχεί τις εναλλακτικές λύσεις. Χρησιμοποιεί συγκρίσεις ζευγών μεταξύ των κριτηρίων και μεταξύ των εναλλακτικών ώστε να παράγει τις βαρύτητες των κριτηρίων (Saaty, 1980). Έτσι, θέτονται στο λήπτη αποφάσεων μία σειρά ερωτήσεων, καθεμία από τις οποίες ρωτά πόσο σημαντικό είναι ένα συγκεκριμένο κριτήριο σε σχέση με ένα άλλο για την απόφαση που πρέπει να πάρει. Τα στοιχεία που αφορούν την ιεράρχηση των στόχων συλλέγονται από ειδικούς ή από τους λήπτες αποφάσεων για την ανά ζεύγη σύγκριση των στόχων στη βάση μίας ποιοτικής κλίμακας (Γάλλιου, 2009). Οι λήπτες αποφάσεων μπορούν να χαρακτηρίσουν τη σύγκριση ως «ίση», «οριακά ισχυρή», «πολύ ισχυρή» και «υπερβολικά ισχυρή». Οι τιμές είναι ανάμεσα στο 1 (ίσης σημασίας) και το 9 (πολύ περισσότερο σημαντικό) ή είναι συμπληρωματικές, δηλαδή από 1/1 έως 1/9. Πιο συγκεκριμένα οι τιμές που μπορούν να δοθούν είναι : 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 και 1/1, 1/2, 1/3, 1/4, 1/5, 1/6, 1/7, 1/8, 1/9 (Saaty, 1980). Ο παρακάτω Πίνακας δείχνει τις επιλογές βαθμολόγησης που περιγράφηκαν, όπως δίνονται στους λήπτες απόφασης:

**Πίνακας 1: Οι κύριες επιλογές για τη βαθμολόγηση κατά τη μέθοδο AHP.**

Συγκριτική σημασία προτιμήσεων		
1	Ίσης σημασίας	Τα κριτήρια επιδρούν εξίσου σημαντικά στο πρόβλημα
3	Ελάχιστα πιο σημαντική	Η εμπειρία και η κρίση ευνοούν ελαφρά τη σημασία του ενός κριτηρίου έναντι του άλλου
5	Αρκετά πιο σημαντική	Η εμπειρία και η κρίση ευνοούν αρκετά τη σημασία του ενός κριτηρίου έναντι του άλλου
7	Πολύ πιο σημαντική	Υπάρχουν σημαντικές ενδείξεις ότι το ένα κριτήριο υπερέρχει του άλλου
9	Εξαιρετικά πιο σημαντική	Υπάρχουν πολύ ισχυρές ενδείξεις ότι το ένα κριτήριο υπερέρχει του άλλου
2-4-6-8		Ενδιάμεσες τιμές

Η χρήση αυτού του τρόπου βαθμολόγησης είναι και ο κύριος λόγος για την αποδοχή και την ευρεία χρήση της μεθόδου. Η απλότητα της και το γεγονός ότι καθορίζει σχέσεις μεταξύ κριτηρίων και εναλλακτικών, σύμφωνα με τις προτιμήσεις των DMs, οι οποίες μπορούν να εκφραστούν σε φράσεις ή σε κανονική γλώσσα (Γάλλιου, 2009). Αυτές οι φράσεις, χρησιμοποιώντας μια συγκεκριμένη κλίμακα, δίνουν τη θέση τους σε αριθμούς-βάρη (Saaty, 1990). Ωστόσο, η μέθοδος έχει λάβει κάποια δυσμενή κριτική από τεχνικής πλευράς, διότι μεταξύ άλλων, στερείται μαθηματικής βάσης για την κλίμακα που χρησιμοποιείται για τη μετατροπή των ποιοτικών εννοιών σε μαθηματικές τιμές (Saaty, 1980). Συγκεκριμένα, ανησυχία έχει προκαλέσει το φαινόμενο της αντιστροφής της κατάταξης (Saaty, 2003). Αυτή είναι η πιθανότητα όπου, απλά προσθέτοντας μία άλλη επιλογή στη λίστα των επιλογών που εκτιμώνται, η κατάταξη δύο άλλων επιλογών, που δεν σχετίζονται με την καινούργια, μπορεί να αντιστραφεί. Αυτό αντιμετωπίζεται από πολλούς ως ασυνεπές σε σχέση με τη λογική αξιολόγηση των επιλογών και έτσι αμφισβητείται η θεωρητική βάση της AHP (Γάλλιου, 2009).

Η μέθοδος AHP, σύμφωνα με τον Saaty (1980), βασίζεται θεωρητικά σε τέσσερα αξιώματα:

1. Ο λήπτης αποφάσεων μπορεί να παρέχει συγκρίσεις ανά ζεύγη  $a_{ij}$  δύο εναλλακτικών  $i$  και  $j$  αναφορικά με ένα κριτήριο/ υπο-κριτήριο στη βάση μίας αντίστροφης κλίμακας  $a_{ij}=1/ a_{ji}$ .
2. Ο λήπτης αποφάσεων ποτέ δεν κρίνει μία εναλλακτική ως απόλυτα καλύτερη από μία άλλη αναφορικά με ένα κριτήριο, για παράδειγμα,  $a_{ij} \neq \infty$ .
3. Το πρόβλημα απόφασης μπορεί να διαμορφωθεί σε μία ιεραρχία.



4. Όλα τα κριτήρια/ υπο-κριτήρια, τα οποία έχουν κάποια επιρροή στο δοσμένο πρόβλημα, καθώς και όλες οι σχετικές εναλλακτικές, απεικονίζονται σε μία ιεραρχία.

Πιο αναλυτικά, τα παραπάνω αξιώματα εφαρμόζονται ως εξής:

Αφού καθοριστούν τα κριτήρια που θα χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση των διαφορετικών εναλλακτικών λύσεων, η μέθοδος ξεκινά με έναν τετραγωνικού πίνακα χρησιμοποιώντας τα ίδια κριτήρια σε στήλες και σε σειρές. Κάθε «κελί» του πίνακα είναι το αποτέλεσμα της σύγκρισης μεταξύ των κριτηρίων, με την κλίμακα που αναλύθηκε παραπάνω. Τα στοιχεία της διαγωνίου προφανώς θα έχουν την τιμή 1, αφού συγκρίνονται με τον εαυτό τους. Έπειτα, είτε υπολογίζεται το ιδιοδιάνυσμα με τη βοήθεια λογισμικού, είτε ακολουθώντας την αναλυτική διαδικασία υπολογισμού του. Ακολουθεί η στάθμιση των εναλλακτικών λύσεων πάλι με μεταξύ τους συγκρίσεις, ανά κριτήριο. Στο τέλος της διαδικασίας θα υπάρχει μια τιμή (ή βάρος) για κάθε κριτήριο και κάθε εναλλακτική λύση. Στη συνέχεια, πολλαπλασιάζεται η αξία κάθε εναλλακτικής με το βάρος του αντίστοιχου κριτηρίου. Τέλος, προστίθενται όλες τις τιμές για μια εναλλακτική λύση. Οι εναλλακτικές κατατάσσονται σε φθίνουσα σειρά των τιμών που προέκυψαν, δηλαδή σε σειρά καταλληλότητας. Με βάση τα παραπάνω, καθώς και τα αξιώματα που θέτει ο Saaty, ο Nauman (1998) συμπεραίνει ότι η ΑHP είναι μία μέθοδος αποσύνθεσης του προβλήματος σε μία ιεραρχία υπο-προβλημάτων, τα οποία μπορούν να κατανοηθούν και να αξιολογηθούν καλύτερα. Οι ακόλουθες εκτιμήσεις μετατρέπονται σε αριθμητικές τιμές και επεξεργάζονται έτσι ώστε να γίνει κατάταξη κάθε εναλλακτικής σε μία αριθμητική κλίμακα. Γενικεύοντας τα παραπάνω συμπεράσματα του θεωρητικού υποβάθρου της μεθόδου, σύμφωνα με το Σπανό (2004), τρεις βασικές ιδέες διέπουν τη μέθοδο ΑHP:

- Η ΑHP είναι αναλυτική. Η μαθηματική και λογική αιτιολόγηση για τη λήψη αποφάσεων είναι το ισχυρό γνώρισμα της μεθόδου. Συμβάλλει στην ανάλυση του προβλήματος σε μία λογική βάση και στη μετατροπή των σκέψεων και διαισθήσεων του λήπτη αποφάσεων σε νούμερα.
- Η ΑHP δομεί το πρόβλημα σε μία ιεραρχία. Αυτή η αποσύνθεση του προβλήματος σε υπο-προβλήματα μειώνει την πολυπλοκότητα.
- Η ΑHP ορίζει μία διαδικασία για τη λήψη αποφάσεων, όπου οι πληροφορίες του λήπτη αποφάσεων ενσωματώνονται μέσω της κλίμακας ποσοτικοποίησης των βαρών.

Τα παραπάνω αποτελούν και τα πλεονεκτήματα της μεθόδου που συχνά υπερτερούν των κριτικών της, και αυτό δείχνει και το εύρος των πολυκριτηρίων προβλημάτων όπου η ΑHP έχει βρει εφαρμογή (Γάλλιου, 2009):

- Επιλογή μίας εναλλακτικής από ένα σύνολο εναλλακτικών.
- Αξιολόγηση/ προτεραιότητα ορισμένων εναλλακτικών έναντι άλλων.
- Κατανομή πόρων-εύρεση του καλύτερου συνδυασμού εναλλακτικών κάτω από ορισμένους περιορισμούς.
- Οριοθέτηση- ορισμένων διαδικασιών ή συστημάτων με βάση κάποιες άλλες διαδικασίες ή συστήματα.
- Ποιοτικό μάνατζμεντ.

Στη συνέχεια αναλύεται η διαδικασία όπως εφαρμόστηκε στο πρόβλημα που εξετάζει η παρούσα εργασία. Αρχικά αξιολογήθηκαν τα κριτήρια μεταξύ τους (Πίνακας 2). Έγινε στη συνέχεια αξιολόγηση των 5 διαφορετικών εναλλακτικών λύσεων υπό αυτά

τα 3 κριτήρια. Συμπληρώθηκαν τα ερωτηματολόγια από τους ερωτηθέντες, όπου τους ζητήθηκε να αξιολογήσουν τη σημασία του ενός κριτηρίου έναντι του άλλου, σύμφωνα με τις τιμές του Πίνακα 1. Έτσι συμπληρώθηκαν οι πίνακες 3 επί 3 με γραμμές και στήλες τα 3 κριτήρια, από κάθε ερωτηθέντα (Πίνακας 2) και πίνακες 5x5 με γραμμές και στήλες τις 5 εναλλακτικές.

**Πίνακας 2: Ο πίνακας προς συμπλήρωση για τα κριτήρια της AHP.**

Criteria Weights	Κριτήριο 1	Κριτήριο 2	Κριτήριο 3
Κριτήριο 1	1		
Κριτήριο 2		1	
Κριτήριο 3			1

**Πίνακας 3: Ο πίνακας προς συμπλήρωση για τις εναλλακτικές της AHP, μία φορά για κάθε κριτήριο.**

Altern. Weights	Scen. 2	Scen.2a	Scen.2b	Scen.2c	Scen.2d
Scen. 2	1				
Scen.2a		1			
Scen.2b			1		
Scen.2c				1	
Scen.2d					1

Υστερα ακολουθήθηκαν τα παρακάτω βήματα:

1. Υπολογίστηκε το διάνυσμα προτεραιότητας (priority vector) κάθε κριτηρίου. Είναι ο λόγος του άθροισματος κάθε γραμμής του πίνακα, προς το συνολικό άθροισμα των γραμμών του πίνακα. Επίσης υπολογίστηκε ο αριθμός  $\lambda$ , δηλαδή το ιδιοδιάνυσμα (eigen vector), για κάθε κριτήριο, πολλαπλασιάζοντας το διάνυσμα προτεραιότητας με το άθροισμα κάθε στήλης του πίνακα του ερωτηματολογίου. Έπειτα βρέθηκε η κύρια ιδιοτιμή (principal eigen value)  $\lambda_{max}$  που ισούται με το άθροισμα των γινομένων του διανύσματος προτεραιότητας κάθε κριτηρίου με το αντίστοιχο άθροισμα κάθε στήλης του πίνακα. Στη συνέχεια υπολογίστηκαν οι δείκτες συνέπειας C.I. (consistency index) και ο δείκτης τυχαιότητας R.I. (random consistency index), σύμφωνα με τις ακόλουθες σχέσεις:

$$C.I. = (\lambda_{max} - n)/(n-1) \quad (5)$$

όπου  $n=3$  και άρα  $R.I. = 0.58$ , για αριθμό κριτηρίων ίσο με τρία και  $n=5$  και άρα  $R.I. = 1.12$ , για αριθμό εναλλακτικών ίσο με πέντε, όπου η τιμές λήφθηκαν από τον ακόλουθο Πίνακα.

Αυτή η διαδικασία επαναλήφθηκε άλλες τρεις φορές (μία για κάθε κριτήριο) και για τον πίνακα των εναλλακτικών.

**Πίνακας 4: Οι τιμές του δείκτη τυχειότητας R.I. (random consistency index), ανάλογα με τον αριθμό κριτηρίων.**

<b>Random Consistency Index (RI)</b>	
n	RI
1	0,00
2	0,00
3	0,58
4	0,90
5	1,12
6	1,24
7	1,32
8	1,41
9	1,45
10	1,49
11	1,51
12	1,48
13	1,56
14	1,57
15	1,59

Οι παραπάνω δείκτες υπολογίστηκαν για να ελεγχθεί ο βαθμός τυχειότητας των απαντήσεων. Ο δείκτης συνοχής C.R. (consistency ratio) ο οποίος είναι ο λόγος του C.I./R.I. εκφράζει αυτή την τυχειότητα, και για να είναι ικανοποιητικός θα πρέπει να είναι μικρότερος από 10%. Αλλιώς τα ερωτηματολόγια συμπληρώνονται ξανά έως ότου να ισχύει η παραπάνω σχέση για τον δείκτη C.R.

2. Έγινε κανονικοποίηση των επιδόσεων των εναλλακτικών ως προς κάθε κριτήριο (values) σε κλίμακα από το 1 έως το 10.
3. Βρέθηκαν τα σχετικά βάρη για κάθε κριτήριο με την εξής διαδικασία: πολλαπλασιάστηκαν τα αποτελέσματα των ερωτηματολογίων ανά γραμμή για το κάθε κριτήριο, και έπειτα υψώθηκαν εις την  $1/n$ , όπου  $n$  ο αριθμός των εναλλακτικών. Αθροίστηκαν οι τιμές που προέκυψαν και διαιρώντας τον κάθε αριθμό με το άθροισμα αυτό προέκυψαν τα σχετικά βάρη.
4. Έπειτα για κάθε κριτήριο ξεχωριστά, υπολογίστηκαν οι λόγοι των εναλλακτικών από τις τιμές των values για κάθε κριτήριο και με τον ίδιο τρόπο σχηματίστηκε ένας τετραγωνικός πίνακας με στήλες και γραμμές τα 5 διαφορετικά σενάρια. Στη συνέχεια με τον ίδιο τρόπο όπως και στα κριτήρια βρέθηκαν τα σχετικά βάρη. Με αυτόν τον τρόπο για κάθε κριτήριο ξεχωριστά έχουμε 5 διαφορετικές τιμές που αντιστοιχούν στα σχετικά βάρη των εναλλακτικών.
5. Πολλαπλασιάστηκαν τα σχετικά βάρη των εναλλακτικών για κάθε κριτήριο με το σχετικό βάρος του κάθε κριτηρίου. Τέλος αθροίστηκαν τα γινόμενα αυτά, ως προς κάθε εναλλακτική, δηλαδή προστέθηκε ο αριθμός που έχει προκύψει από την παραπάνω διαδικασία για κάθε κριτήριο για κάθε εναλλακτική λύση ξεχωριστά.

Οι τελικοί αυτοί αριθμοί, από το μεγαλύτερο προς το μικρότερο, δείχνουν και την σειρά ιεράρχησης της καταλληλότητας των εναλλακτικών.

### 4.3 Η μέθοδος TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution)

Η μέθοδος TOPSIS αναπτύχθηκε από τους Hwang και Yoon (1981) ως μία εναλλακτική των μεθόδων ELECTRE. Πρόκειται για μια απλή, κατανοητή και εύχρηστη μέθοδο. Σύμφωνα με τους Kim et al. (1997) και τις παρατηρήσεις των Shih, Shyur και Lee (2007), η μέθοδος παρουσιάζει 4 βασικά πλεονεκτήματα, τα οποία την καθιστούν ως μία από τις κυριότερες τεχνικές MCA:

1. Μαθηματική λογική που αντιπροσωπεύει το σκεπτικό της ανθρώπινης επιλογής.
2. Χρήση κλιμακωτών τιμών που αντιπροσωπεύουν ταυτόχρονα τις καλύτερες και τις χειρότερες εναλλακτικές λύσεις.
3. Απλή διαδικασία υπολογισμού που μπορεί εύκολα να προγραμματιστεί σε ένα υπολογιστικό φύλλο.
4. Τα μέτρα απόδοσης όλων των εναλλακτικών μπορούν να εμφανιστούν σε πολυεδρικό, τουλάχιστον δύο διαστάσεων.

Στην πραγματικότητα η TOPSIS είναι μια μέθοδος που κατά μέρος στηρίζεται και στη θεωρία χρησιμότητας, αφού συγκρίνει κάθε άμεσα εναλλακτική ανάλογα με τις επιδόσεις της και τις βαρύτητες (Cheng, Chan, Huang, 2007). Επιπλέον, σύμφωνα με τη σύγκριση που προσομοίωσαν οι Zanakis et al. (1998), η TOPSIS είχε τις λιγότερες αναστροφές κατάταξης (rank reversals) από τις οχτώ μεθόδους της κατηγορίας της. Έτσι, η μέθοδος επιλέγεται και στην παρούσα εργασία για την επίλυση του προβλήματος που εξετάζεται.

Η TOPSIS ανήκει στην οικογένεια μεθοδολογιών που λειτουργούν με αναγνώριση του πόσο μακριά βρίσκεται μια λύση που βρέθηκε από τη βέλτιστη λύση (Yoon, 1987). Φυσικά, όσο μικρότερη είναι η απόστασή τους, τόσο το καλύτερο. Υπάρχουν τρία βασικά βήματα ως εξής (Yoon, 1987):

1. Υπολογίζεται για ένα συγκεκριμένο πρόβλημα η ιδανική λύση. Η τιμή αυτή είναι γνωστή, αφού καθορίζεται από την καλύτερη βαθμολογία για κάθε κριτήριο σε σχέση με τη θεωρητικά μεγιστοποιημένη ή την ελαχιστοποιημένη τιμή της (Triantaphyllou et al., 1996). Δηλαδή, σε ένα κριτήριο που απαιτεί μεγιστοποίηση, το καλύτερο αποτέλεσμα είναι το μεγαλύτερο. Εάν το κριτήριο απαιτεί ελαχιστοποίηση, το καλύτερο αποτέλεσμα θα είναι το μικρότερο. Η βέλτιστη αυτή λύση συμβολίζεται με  $(A)^+$ . Υπολογίζεται στη συνέχεια η χειρότερη λύση. Ομοίως καθορίζεται από το χειρότερο σκορ κάθε κριτηρίου όσον αφορά τη μεγιστοποίηση και την ελαχιστοποίηση. Σε ένα κριτήριο που απαιτεί μεγιστοποίηση, το χειρότερο σκορ είναι το μικρότερο. Αν το κριτήριο απαιτεί ελαχιστοποίηση, το χειρότερο σκορ είναι το μεγαλύτερο. Η χειρότερη λύση σε κάθε περίπτωση συμβολίζεται με  $(A)^-$ .
2. Για κάθε εναλλακτική λύση ξεχωριστά ακολουθείται η εξής διαδικασία: Υπολογίζεται η διαφορά μεταξύ της βαθμολογίας του κάθε κριτηρίου και της

καλύτερης τιμής για το κριτήριο αυτό, δηλαδή το  $(A)^-$ , και έπειτα οι διαφορές αυτές υψώνονται εις το τετράγωνο. Στη συνέχεια προστίθενται όλες αυτές οι τιμές και εξάγεται η τετραγωνική ρίζα αυτού του αθροίσματος. Έτσι υπολογίζεται η Ευκλείδεια Μετρική και είναι η λύση  $(R)^+$  για κάθε εναλλακτική λύση:

$$(R)^+ = \sqrt{((A)^+ - (C1))^2 + ((A)^+ - (C2))^2 + ((A)^+ - (C3))^2} \quad (6)$$

Ομοίως επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία, αλλά τώρα εξετάζονται οι χειρότερες τιμές που είναι  $(A)^-$ . Ως τελικό αποτέλεσμα θα υπάρξει ένας πίνακας του οποίου οι στήλες θα είναι οι εναλλακτικές και οι γραμμές είναι οι καλύτερες  $(R)^+$  και οι χειρότερες αποστάσεις  $(R)^-$  (Nauman, 1998).

3. Υπολογίζεται ο δείκτης εγγύτητας C.I. (closeness index) χρησιμοποιώντας τον ακόλουθο τύπο για κάθε μια εναλλακτική λύση:

$$C.I. = \frac{(R)^-}{(R)^+ + (R)^-} \quad (7)$$

Η εναλλακτική λύση με την μεγαλύτερη τιμή του δείκτη C.I. είναι και η καλύτερη επιλογή. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η διαδικασία όπως εφαρμόστηκε στο πρόβλημα που εξετάζεται από την παρούσα εργασία.

Αρχικά έγινε αξιολόγηση 5 διαφορετικών εναλλακτικών λύσεων υπό 3 διαφορετικά κριτήρια. Συμπληρώθηκαν από τους λήπτες απόφασης τα ερωτηματολόγια, όπου τους ζητήθηκε να συμπληρώσουν μία τιμή από το 1 έως το 10, ανάλογα με την βαρύτητα που έχει για τον κάθε ένα το κάθε κριτήριο. Τα ερωτηματολόγια παρουσιάζονται αναλυτικά στο Παράρτημα. Ύστερα έγινε η ποσοστοποίηση των βαθμολογιών αυτών και ακολούθησαν τα παρακάτω βήματα:

1. Έγινε κανονικοποίηση των επιδόσεων των εναλλακτικών ως προς κάθε κριτήριο (values) σε κλίμακα από το 0 έως το 1 για θετικές τιμές και από το 0 έως το -1 για αρνητικές τιμές. Αρνητικές τιμές χρησιμοποιήθηκαν λόγω του αρνητικού κριτηρίου του υδατικού ισοζυγίου.
2. Οι τιμές που προέκυψαν για κάθε εναλλακτική ως προς κάθε κριτήριο, πολλαπλασιάστηκαν με τα βάρη κάθε κριτηρίου, όπως αυτά λήφθησαν από τα ερωτηματολόγια.
3. Για κάθε κριτήριο ξεχωριστά, αν η ιδανική λύση ήταν το μέγιστο, αντιστοιχήθηκε το  $(A)^+$  με την μέγιστη τιμή των εναλλακτικών για το κριτήριο αυτό και το  $(A)^-$  με την μικρότερη. Αν όμως η ιδανική λύση ήταν η ελάχιστη τιμή, ακολούθησε η αντίστροφη διαδικασία.
4. Για κάθε εναλλακτική, υπολογίστηκαν οι διαφορές της τιμής κάθε κριτηρίου με το αντίστοιχο  $(A)^+$ , έπειτα υψώθηκαν στο τετράγωνο και στη συνέχεια βρέθηκε το άθροισμα των τιμών αυτών και τέλος η τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος αυτού, σύμφωνα με την εξίσωση (1). Αντιστοίχως έγινε η ίδια διαδικασία για το  $(A)^-$ . Έτσι προέκυψε ένας πίνακας με στήλες τις 5 εναλλακτικές και με 2 γραμμές που εκφράζουν τις αποστάσεις των τιμών των εναλλακτικών από το  $(A)^+$  και  $(A)^-$  αντίστοιχα.
5. Υπολογίστηκε ο δείκτης εγγύτητας C.I. (closeness index) για κάθε εναλλακτική, σύμφωνα με τη σχέση (2) όπου  $(R)^+$  η απόσταση των τιμών των εναλλακτικών από το  $(A)^+$  και  $(R)^-$  η απόσταση των τιμών των εναλλακτικών από το  $(A)^-$ .

Έτσι η εναλλακτική για την οποία το C.I. θα έχει την μεγαλύτερη τιμή, θα είναι και η καταλληλότερη λύση. Ακολουθούν οι υπόλοιπες εναλλακτικές κατά φθίνουσα σειρά (καταλληλότητας) του δείκτη C.I.

#### 4.4 Η μέθοδος ELECTRE I (ELimination Et Choix Traduisant la REalité – ELimination and Choice Expressing REality)

Μία βασική μέθοδος στο χώρο των σχέσεων υπεροχής είναι η ELECTRE. Η μέθοδος έχει πολλές εκδοχές που αναπτύχθηκαν από τον Bernard Roy (1968, 1978, 1991, 1996) ως απάντηση στις ελλείψεις των μεθόδων λήψης αποφάσεων που υπήρχαν ως τότε. Υπάρχουν τέσσερις βασικές μορφές της ELECTRE - I, II, III και IV- η καθεμία λίγο διαφορετική από την άλλη σε όρους απαιτούμενων στοιχείων και των αποτελεσμάτων που προκύπτουν. Το 1968 αναπτύχθηκε η ELECTRE III από τον Roy για να την ακολουθήσουν αργότερα, το 1991 και 1996, μία σειρά παραλλαγών (II, III, IV, TRI, IS-Roy, 1991, Roy και Bouyssou, 1996). Όλες οι μέθοδοι βασίζονται στις ίδιες βασικές ιδέες αλλά διαφέρουν στη λειτουργία και ανάλογα με τον τύπο του προβλήματος. Η ELECTRE ανήκει στην οικογένεια μεθόδων υπεροχής (outranking) επειδή δουλεύει με δυαδικές σχέσεις (σύγκρισης) μεταξύ των εναλλακτικών, ως προς όλα τα κριτήρια (Rogers et al., 1999).

Σύμφωνα με τον Roy, στην ELECTRE, η εναλλακτική  $x_i$  θεωρείται ότι ξεπερνάει (surpases) τη  $x_j$  ( $x_i S x_j$ ) αν ο αριθμός των ευνοϊκών κριτηρίων είναι μεγαλύτερος για τη  $x_i$  από ό,τι στη  $x_j$ , και δεν υπάρχει κάποια ισχυρή αντίθεση προς τη  $x_i$ . Το  $x_i S x_j$  θα σήμαινε ότι το « $x_i$  είναι τουλάχιστον εξίσου καλό με το  $x_j$ » η «το  $x_i$  δεν είναι χειρότερο από το  $x_j$ ». τότε, κάθε ζεύγος εναλλακτικών  $x_i$  και  $x_j$  εξετάζεται για να ελεγχθεί εάν ισχύει ο ισχυρισμός  $x_i S x_j$  ή όχι. Αυτό οδηγεί σε μια από τις ακόλουθες 4 περιπτώσεις:

- $x_i S x_j$  και όχι ( $x_j S x_i$ )
- όχι ( $x_i S x_j$ ) και  $x_j S x_i$
- $x_i S x_j$  και  $x_j S x_i$  (δηλαδή αδιαφορία)
- όχι  $x_i S x_j$  και όχι  $x_j S x_i$ . (δηλαδή ασυμβατότητα)

Για να ελεγχθεί ποια σχέση υπεροχής ισχύει, κατασκευάζεται αρχικά ένας πίνακας συμφωνίας (concordance), ο οποίος συγκρίνει τους συνδυασμούς των εναλλακτικών λύσεων (ανά ζεύγη). Αποκλεισμός κάποιας (outranking) υπάρχει εάν οι άλλες έχουν ισχυρή υπεροχή στα κριτήρια (Hwang, Lai, και Liu, 1993). Κατασκευάζεται και ένας πίνακας ασυμφωνίας (discordance) όπου στην ουσία αντιτίθεται στον πίνακα αντιστοιχίας, με την έννοια ότι αντιτίθεται στην υπεροχή μιας εναλλακτικής έναντι των άλλων. Η αρχή της συμφωνίας απαιτεί ότι μια πλειοψηφία κριτηρίων, αφού υπολογιστεί η σχετική σημαντικότητά τους, είναι υπέρ του ισχυρισμού -αρχή της πλειοψηφίας-, ενώ η αρχή της ασυμφωνίας απαιτεί μέσα στη μειοψηφία των κριτηρίων που δεν υποστηρίζουν τον ισχυρισμό, να μην είναι κανένα από αυτά ισχυρά εναντίον του ισχυρισμού - η αρχή του σεβασμού των μειοψηφιών.

Έτσι, το θέμα που εμφανίζεται αμέσως είναι το ποια αξία μπορούμε να θεωρήσουμε αρκετά μεγαλύτερη ώστε να δικαιολογούμε την υπεροχή μιας εναλλακτικής λύσης έναντι μιας άλλης, που οδηγεί στην έννοια του κατώφλιου (threshold). Για τη δημιουργία των πινάκων συμφωνίας και ασυμφωνίας (concordance και discordance test) χρησιμοποιούνται ανώτατα και κατώτατα όρια, που ορίζονται από τον DM. Αν μία εναλλακτική πάρει τιμές πάνω από το ανώτατο, τότε υπερέχει. Αν πάρει τιμές κάτω από το κατώτατο όριο, της «επιτρέπεται» να αποκλειστεί. Ουσιαστικά με τη χρήση των κατωφλιών δημιουργείται ουσιαστικά η ζητούμενη σχέση υπεροχής «S». Έτσι ο DM αποδέχεται αυτή την υπεροχή ή αδυναμία στις συγκρίσεις που πραγματοποιούνται, και επομένως τον αποκλεισμό (outranking) εναλλακτικών (Roy, 1978). Βεβαίως, υπάρχουν και πιο σύνθετες περιπτώσεις που αυτά τα όρια δεν είναι σταθερά, αλλά συναρτήσεις της αξίας των κριτηρίων (μεταβλητά όρια).

Ειδικότερα, η ELECTRE I είναι σχεδιασμένη για προβλήματα επιλογής. Δηλαδή, από ένα σύνολο υποψηφίων λύσεων A επιλέγει ένα υποσύνολο A1, τέτοιο ώστε για κάθε υποψήφια λύση a<sub>2</sub> (με a<sub>2</sub> ∈ A2=A-A1) να υπάρχει τουλάχιστον μία λύση a<sub>1</sub> ∈ A1 η οποία να υπερτερεί της a<sub>2</sub>. Σε κάθε κριτήριο g<sub>i</sub> αντιστοιχίζεται ένα βάρος w<sub>i</sub> και ορίζεται ο δείκτης συμφωνίας (concordance index):

$$c(a, b) = \frac{1}{P} \sum_{j: g_j(a) \geq g_j(b)} p_j \quad \text{με} \quad P = \sum_{j=1}^n p_j \quad (8)$$

Επίσης ορίζεται ο δείκτης ασυμφωνίας (discordance index):

$$d(a, b) = \begin{cases} 0 & \text{if } g_j(a) \geq g_j(b) \\ \frac{1}{\delta} \max_j [g_j(b) - g_j(a)] & \end{cases} \quad (9)$$

$$\text{με } \delta = \max_{c, d, j} [g_j(c) - g_j(d)] \quad (10)$$

ή εναλλακτικά ορίζεται ένα σύνολο ασυμφωνίας D<sub>j</sub> για κάθε κριτήριο g<sub>j</sub> με D<sub>j</sub> = {(x<sub>j</sub>, y<sub>j</sub>), ...}.

Στη συνέχεια ορίζεται το κατώφλι συμφωνίας c και το κατώφλι ασυμφωνίας d, όπου:

$$S(a, b) \text{ iff } \begin{cases} c(a, b) \geq c \\ d(a, b) \leq d \end{cases} \quad (11) \quad \text{ή} \quad S(a, b) \text{ iff } \begin{cases} c(a, b) \geq c \\ (g_j(a), g_j(b)) \notin D_j, \forall j \end{cases} \quad (12)$$

Η ELECTRE II είναι σχεδιασμένη για προβλήματα κατάταξης και προϋποθέτει να οριστούν δύο σχέσεις υπεροχής, αντί για μία. Ενώ η ELECTRE III (Roy, 1978), όπως αναφέρεται στο Buchanan et al.(1999), είναι μία σύνθετη μέθοδος σχέσεων υπεροχής που χρησιμοποιεί τρία διαφορετικά κατώφλια για να ενσωματώσει τις αβεβαιότητες οι οποίες είναι έμφυτες στις περισσότερες αξιολογήσεις επιδράσεων.

Η ELECTRE εφαρμόστηκε ευρέως σε διάφορα προβλήματα και είναι ιδιαίτερα χρήσιμη όταν ένας μεγάλος αριθμός εναλλακτικών πρέπει να περιοριστεί ώστε να διευκολυνθεί η περαιτέρω λεπτομερής θεώρησή τους. Στα πλεονεκτήματα της ELECTRE σε σχέση με άλλες μεθόδους, συγκαταλέγεται και το γεγονός ότι είναι κατ'ουσία μη – αντισταθμιστική, δηλαδή μία πολύ κακή επίδοση σε ένα κριτήριο δεν μπορεί να αντισταθμιστεί από πολύ καλά σκορ σε άλλα κριτήρια (Σπανός, 2004). Ένα άλλο αρχικό στοιχείο είναι ότι τα μοντέλα ELECTRE επιτρέπουν την ασυμβατότητα. Η ασυμβατότητα, η οποία δεν πρέπει να συγχέεται με την αδιαφορία, συμβαίνει μεταξύ δυο εναλλακτικών  $x_i$  και  $x_j$  όταν δεν υπάρχει καθαρή απόδειξη ούτε υπέρ της  $x_i$  ούτε υπέρ της  $x_j$  (Roy, 1968).

Στην παρούσα εργασία εφαρμόστηκε η μέθοδος ELECTRE I και ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία. Έγινε αξιολόγηση 5 διαφορετικών εναλλακτικών λύσεων υπό 3 διαφορετικά κριτήρια. Συμπληρώθηκαν από τους λήπτες απόφασης τα ερωτηματολόγια, όπου τους ζητήθηκε να συμπληρώσουν μία τιμή από το 1 έως το 10, ανάλογα με την βαρύτητα που έχει για τον κάθε ένα το κάθε κριτήριο. Έπειτα έγινε ποσοστοποίηση των απαντήσεων και ακολουθήσαν τα εξής βήματα:

1. Έγινε κανονικοποίηση των επιδόσεων των εναλλακτικών ως προς κάθε κριτήριο (values) σε κλίμακα από το 0 έως το 10.
2. Υπολογίστηκε το άθροισμα των σειρών του πίνακα και στη συνέχεια δημιουργήθηκε ένας νέος πίνακας όπου κάθε τιμή πολλαπλασιάστηκε με τα βάρη των κριτηρίων και διαιρέθηκε με το άθροισμα των σειρών.
3. Στη συνέχεια έγινε σύγκριση των όλων των εναλλακτικών ανά ζεύγη, ως προς τα τρία κριτήρια με γνώμονα την μεγιστοποίηση ή ελαχιστοποίηση που έχει τεθεί ως στόχος. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλα τα ζεύγη των εναλλακτικών και στη συνέχεια εξάγονται οι επιδόσεις της κάθε σύγκρισης των εναλλακτικών.
4. Οι τιμές αυτές εισάγονται σε ένα πίνακα με στήλες και γραμμές της εναλλακτικής, βάση του οποίου προκύπτουν οι τελικές σχέσεις υπεροχής και άρα η καταλληλότερη λύση.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Η ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

### **5.1 Η Διαχείριση Υδατικών Πόρων ως πρόβλημα πολλαπλών κριτηρίων και εναλλακτικών**

Η μετατροπή της κατάστασης των υδατικών συστημάτων προκειμένου να ικανοποιούνται οι ανάγκες σε νερό, κατά τρόπο μάλιστα που σύμφωνα με τον ορισμό της Διαχείρισης των Υδατικών Πόρων θα πρέπει να εξασφαλίζει την επίτευξη του μέγιστου δυνατού οφέλους, αποτελεί κατ' ουσία μία σύνθετη διαδικασία λήψης αποφάσεων (Μυλόπουλος, 2006). Το νερό εμπλέκεται άμεσα ή έμμεσα με ένα πλήθος πολυδιάστατων δραστηριοτήτων και ένα πλήθος αναγκών προς ικανοποίηση. Όλοι αυτοί οι παράγοντες με τη σειρά τους επηρεάζουν και επηρεάζονται και από άλλες παραμέτρους (συνήθως εξωγενείς) και συχνά είναι ανταγωνιστικοί. Αν αυτοί οι παράγοντες θεωρηθούν ως κριτήρια, τότε το πλήθος των δυνατοτήτων που συνήθως παρέχονται για την εκμετάλλευση των υδατικών πόρων διαμορφώνει έναν τεράστιο αριθμό εναλλακτικών λύσεων. Έτσι, κάθε σύνθετο πρόβλημα απόφασης σχετικό με τη Διαχείριση Υδατικών Πόρων (ΔΥΠ), είναι ουσιαστικά ένα πρόβλημα Πολυκριτηριακής Ανάλυσης (MCA). Πράγματι, οι λύσεις που ικανοποιούν τις τεχνικές απαιτήσεις των προβλημάτων ΔΥΠ είναι συνήθως περισσότερες από μία και συχνά ζητείται ο καθορισμός της καλύτερης από αυτές, εκείνης δηλαδή που εκτός από την τεχνική αρτιότητα, εξασφαλίζει στο μεγαλύτερο βαθμό την επίτευξη των οικονομικών, κοινωνικών, περιβαλλοντικών, ή και εθνικών στόχων, σύμφωνα με τα κριτήρια που έχουν προκαθοριστεί (Μυλόπουλος, 2006).

Η ιδιαιτερότητα που χαρακτηρίζει τις αποφάσεις πάνω σε θέματα νερού είναι η μεγάλη κλίμακα των απαιτούμενων έργων, όπως ταμιευτήρες, φράγματα, υδροηλεκτρικά, αρδευτικά και στραγγιστικά, ύδρευση, αποχέτευση, διευθέτηση φυσικών υδατορευμάτων, καθώς και έργα αντιπλημμυρικής προστασίας ή προστασίας και αποκατάστασης της ποιότητας των επιφανειακών και υπόγειων νερών (Dunning et al. 2000, Romero and Rehman 1987). Η μεγάλη κλίμακα συνεπάγεται και μεγάλες επενδύσεις σε χρήμα. Επίσης η φύση τους είναι τέτοια που επεμβαίνει και συχνά μεταβάλλει καθοριστικά τόσο το περιβάλλον και τη φυσιογνωμία των υπόψη περιοχών, όσο και τις χρήσεις γης, τις οικονομικές, αλλά και τις κοινωνικές συνθήκες, σε μεγάλη έκταση. Οι αποφάσεις ΔΥΠ είναι η δύσκολα αναστρέψιμες και επηρεάζουν ένα μεγάλο τμήμα του πληθυσμού. Ακόμη μία σημαντική ιδιαιτερότητά τους είναι ότι δεν υπάρχει δυνατότητα πρόβλεψης ως προς την αποδοχή που θα τύχουν και τις αλλαγές και τις πιέσεις που θα επιφέρουν. Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι τέτοιες αποφάσεις πρέπει να είναι προσεκτικά σχεδιασμένες και η διαδικασία λήψης τους να προσεγγίζεται όσο το δυνατόν επιστημονικά.

Η επιλογή μεταξύ του πλήθους των εναλλακτικών λύσεων για την αξιοποίηση του υδατικού δυναμικού, των πλέον κατάλληλων, σκόπιμων και ωφέλιμων από αυτές, είναι μια διαδικασία ιδιαίτερα σύνθετη και σοβαρή που ξεπερνά τα όρια της παραδοσιακής υδρολογικής και υδρογεωλογικής αντιμετώπισης των προβλημάτων που σχετίζονται με το νερό, αλλά και τα όρια της κλασικής υδραυλικής και τεχνικοοικονομικής αντιμετώπισης των προβλημάτων που σχετίζονται με τη μελέτη και την κατασκευή των υδραυλικών έργων (Μυλόπουλος, 2006). Επομένως τα προβλήματα ΔΥΠ μπορούν να προσεγγιστούν ως σύνθετα προβλήματα MCA, καθώς η καλύτερη λύση δεν είναι προφανής, ούτε εύκολα ορατή εκ των προτέρων. Η Διαχείριση των Υδατικών Πόρων συμπεριλαμβάνει τη διαμόρφωση των ρεαλιστικών εναλλακτικών σεναρίων για τη

βιώσιμη αξιοποίηση του υδατικού δυναμικού (υπό τους περιορισμούς και στόχους που θέτει), αλλά και την αξιολόγησή τους και την επιλογή του καλύτερου και αποδοτικότερου από αυτά. Η αξιολόγηση των λύσεων και η επιλογή εκείνης που σε μεγαλύτερο βαθμό ικανοποιεί τα προκαθορισμένα κριτήρια και τους στόχους του προβλήματος, επιτυγχάνεται με την ανάπτυξη μεθόδων και τεχνικών λήψης αποφάσεων, που στηρίζονται είτε στις μεθόδους της Ανάλυσης Κόστους-Οφέλους, είτε της Ανάλυσης Συστημάτων, είτε, όπως συμβαίνει τα τελευταία χρόνια, στη Θεωρία των Αποφάσεων.

Η φύση της ΔΥΠ έχει επιπτώσεις στην όλη μεθοδολογία που αναπτύσσεται για την αντιμετώπιση των σχετικών προβλημάτων που δημιουργούνται. Η μεθοδολογία αυτή θα πρέπει συνεπώς να ενσωματώνει κατά κάποιον τρόπο και τη φυσική και την περιβαλλοντική και την αναπτυξιακή διάσταση, προκειμένου να δίνει βιώσιμες και κοινωνικά αποδεκτές λύσεις.

Οι πλέον διαδεδομένες μέθοδοι λήψης αποφάσεων που χρησιμοποιούνται για την επίλυση τέτοιων προβλημάτων σήμερα είναι τρεις:

1. Η Ανάλυση Κόστους-Οφέλους (Cost-Benefit Analysis)

Όταν οι παράμετροι που επηρεάζουν το σχεδιασμό είναι προσδιορισμένοι και δεν τίθεται θέμα αβεβαιότητας, η επιλογή της καλύτερης απόφασης στηρίζεται σε ντετερμινιστικές μεθόδους και εξαρτάται από καθαρά οικονομικά κριτήρια (Hwang, Lai, και Liu, 1993). Αυτό γίνεται διότι η αποτελεσματικότητα των έργων και η τεχνική τους αρτιότητα έχουν εξεταστεί ήδη και έχουν εξασφαλιστεί από τα προηγούμενα στάδια της ανάπτυξης των εναλλακτικών σεναρίων, οπότε το μόνο που μένει στο τελευταίο στάδιο του σχεδιασμού είναι η αξιολόγηση των λύσεων και η επιλογή της καλύτερης, εκείνης δηλαδή για την οποία επιτυγχάνονται οι τεχνικοί στόχοι του προβλήματος με τον οικονομικότερο τρόπο (Μυλόπουλος, 2006). Η μέθοδος υπολογίζει το συνολικό κόστος κάθε σεναρίου, τα οφέλη που αναμένεται να προκύψουν από την εφαρμογή τους και η διαφορά κόστους-οφέλους του καθενός. Αυτή η διαφορά αποτελεί και το κριτήριο για την αξιολόγηση των εναλλακτικών λύσεων (Hwang, Lai, και Liu, 1993).

2. Τεχνικές Βελτιστοποίησης

Οι μέθοδοι Βελτιστοποίησης αποτελούν την εναλλακτική τεχνική λήψης αποφάσεων με βέβαιες συνθήκες και χωρίς επικινδυνότητα (Μυλόπουλος, 2006). Η βέλτιστη πολιτική για ένα σχεδιαζόμενο έργο, οι βέλτιστες δηλαδή τιμές των μεταβλητών απόφασης του προβλήματος, προκύπτουν με την ελαχιστοποίηση ή τη μεγιστοποίηση μίας αντικειμενικής συνάρτησης που αντιστοιχεί στους στόχους του προβλήματος. Ο υπολογισμός του μέγιστου ή του ελάχιστου γίνεται στον χώρο της δυνατής πολιτικής, στην περιοχή δηλαδή των επιτρεπόμενων τιμών των μεταβλητών απόφασης. Ο χώρος αυτός καθορίζεται από ένα σύνολο περιορισμών οι οποίοι εκφράζουν τις φυσικές, τεχνικές, οικονομικές, περιβαλλοντικές ή και πολιτικές δεσμεύσεις του προβλήματος (Λατινόπουλος, 2006). Η προσομοίωση της λειτουργίας των υπό εξέταση φυσικών συστημάτων, που προδιαγράφει τις φυσικές δεσμεύσεις των προβλημάτων αυτών, αποτελεί μέρος του μητρώου των περιορισμών, ενώ η αντικειμενική συνάρτηση αποτελεί την έκφραση των οικονομικών συνήθως στόχων των προβλημάτων, με τη μορφή της ελαχιστοποίησης του κόστους ή

της μεγιστοποίησης του αναμενόμενου οφέλους από τη λειτουργία των έργων (Λατινόπουλος, 2006).

Παρόλο που όπως ήδη αναφέρθηκε οι μέθοδοι Βελτιστοποίησης είναι περισσότερο γενικές από τη μέθοδο της Ανάλυσης Κόστους-Οφέλους αλλά και από εκείνη της Ανάλυσης Αποφάσεων, παρουσιάζουν δύο σοβαρά μειονεκτήματα τα οποία περιορίζουν σημαντικά το πεδίο της εφαρμογής τους (Μυλόπουλος, 2006):

Πρώτον, οι μέθοδοι της Βελτιστοποίησης εφαρμόζονται με επιτυχία στην περίπτωση γραμμικών προβλημάτων, γεγονός που προϋποθέτει την ύπαρξη γραμμικής αντικειμενικής συνάρτησης ή τουλάχιστον γραμμικών περιορισμών. Αυτό σημαίνει ότι μη γραμμικά προβλήματα προσομοίωσης, όπως συμβαίνει με τις περισσότερες περιπτώσεις στη φύση, δύσκολα μπορούν να αντιμετωπιστούν και να επιλυθούν σ' αυτό το πλαίσιο, εκτός και αν γίνουν απλοποιητικές παραδοχές προκειμένου να γραμμικοποιηθούν οι μη γραμμικοί όροι. Δεύτερο μειονέκτημα των μεθόδων αυτών, είναι ότι παραδοσιακά έχουν συνδεθεί με ντετερμινιστικές μεθόδους και δεν είναι κατάλληλες για εφαρμογή σε συνθήκες επικινδυνότητας, όπου η ανάλυση είναι στοχαστική. Οι λύσεις που έχουν δοθεί μέχρι σήμερα για την αντιμετώπιση αυτών των μειονεκτημάτων αναφέρονται στη μελέτη ειδικών περιπτώσεων, με αποτέλεσμα στη γενική τους μορφή τα προβλήματα να παραμένουν και να αποτελούν περιοριστικό παράγοντα για την εφαρμογή στη γενική περίπτωση των μεθόδων Βελτιστοποίησης (Μυλόπουλος, 2006).

### 3. Θεωρία Αποφάσεων (Decision Analysis)

Οι βασικές αρχές της έχουν αναλυθεί στα εισαγωγικά κεφάλαια. Είναι μια σύγχρονη τεχνική λήψης αποφάσεων σε συνθήκες αβεβαιότητας που σήμερα βρίσκει εφαρμογή σε σύνθετα προβλήματα αποφάσεων που απαιτούν περισσότερα εργαλεία από αυτά που παρέχει η κοινή λογική. Σε τέτοιες συνθήκες αβεβαιότητας δεν υπάρχει καλή γνώση του πεδίου των τιμών βασικών μεγεθών και παραμέτρων των υπό ανάλυση προβλημάτων, ή υπάρχει έλλειψη πληροφοριών και στοιχείων για το περιβάλλον ανάπτυξης των εναλλακτικών δράσεων και πολιτικών (Zanakis et al., 1998). Έτσι δημιουργούνται συνθήκες επικινδυνότητας για τα αποτελέσματα και τις επιπτώσεις τους, καθώς η επιτυχία των στόχων του προβλήματος είναι αβέβαιη και στηρίζεται πλέον σε πιθανότητες (Zanakis et al., 1998).

Η υπεροχή της οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι δεν είναι απλώς μία οικονομική θεωρία, αλλά χρησιμοποιεί και συνδυάζει μεθόδους και τεχνικές από πολλές επιστημονικές περιοχές, παρέχοντας με αυτόν τον τρόπο τη δυνατότητα μιας πιο ολοκληρωμένης ανάλυσης (Μυλόπουλος, 2006). Έτσι αποτιμά πολιτικές με αβέβαιη επιτυχία, ενσωματώνοντας στη διαδικασία της ανάλυσης και την αξιολόγηση των συνθηκών διακινδύνευσης. Αυτός είναι ο λόγος που η μεθοδολογία αυτή εφαρμόζεται τα τελευταία χρόνια για την επίλυση και προβλημάτων Διαχείρισης Υδατικών Πόρων.

## **5.2 Ανασκόπηση εφαρμογών Θεωρίας Αποφάσεων στη Διαχείριση Υδατικών Πόρων**

Σήμερα η MCA είναι μια καθιερωμένη μεθοδολογία με πληθώρα βιβλίων, οδηγών, εφαρμογών, αφιερωμένων και σχετικών επιστημονικών περιοδικών, λογισμικά πακέτα και πανεπιστημιακά μαθήματα (Figueira et al. 2005a). Ενδεικτικό στοιχείο είναι οι

δημοσιεύσεις ανασκόπησης (review papers) που έχουν δημοσιευτεί σχετικά με τη χρήση της MCA σε διάφορους επιστημονικούς κλάδους. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι αυτά των Pohekar and Ramachandran (2004) που συμπεριέλαβαν περί των 90 δημοσιευμένων μελετών MCA με θέμα τον ενεργειακό σχεδιασμό. Ο Hayashi (2000) εξέτασε περί των 80 μελετών με θέμα την εφαρμογή της MCA στη γεωργία. Οι Romero and Rehman (1987) αντίστοιχα 150 εφαρμογές σε θέματα διαχείρισης φυσικών πόρων. Πέρα από την ιχθυολογία, τη δασολογία και τους εδαφικούς πόρους οι Romero and Rehman (1987) βρίσκουν ότι οι περισσότερες εφαρμογές της MCA αφορούν τη διαχείριση υδατικών πόρων:

Στο χώρο των οικονομικών του νερού οι Steuer and Na (2003) εντοπίζουν 265 μελέτες, διαφορετικών ή/και όμοιων προσεγγίσεων. Οι Hajkowicz και Collins (2007) κατηγοριοποίησαν αυτές τις εργασίες σε 8 κατηγορίες:

1. Μελέτες για διαχείριση λεκανών απορροής (χρήσεις γης, ταμιευτήρες, οικονομία, περιβαλλοντικά κριτήρια κλπ),
2. μελέτες για διαχείριση και βέλτιστη εκμετάλλευση υπόγειων υδροφορέων,
3. μελέτες για βέλτιστη επιλογή έργων υποδομών (προσφοράς ή τροφοδοσίας νερού)
4. μελέτες αξιολόγησης εναλλακτικών έργων (project appraisal) υδατικών πόρων (φράγματα, εκτροπές, ανασύσταση υδροφορέων κλπ),
5. μελέτες για την εύρεση της καταλληλότερης κατανομής νερού (water allocation),
6. μελέτες καταλληλότερης πολιτικής και σχεδιασμού (water policy and supply planning),
7. μελέτες για διαχείριση της ποιότητας του νερού, και
8. μελέτες για προστασία και διαχείριση παράκτιων περιοχών (marine protected area management).

Υπάρχει και ένας σημαντικός αριθμός μελετών που αξιολογεί διαφορετικές προσεγγίσεις και τεχνικές για την επίλυση ενός πολυκριτηρίου προβλήματος. Μία παλαιότερη έρευνα των Cohon and Marks (1975) αξιολογεί τεχνικές MCA πάνω στη διαχείριση υδατικών πόρων που να βασίζονται σε τρία κριτήρια: υπολογιστική αποτελεσματικότητα, σαφήνεια των σχέσεων και ποσότητα των χρήσιμων πληροφοριών που παρέχονται. Ο Teclé (1992) χρησιμοποίησε μια καινοτομία προσέγγιση, εφαρμόζοντας MCA για να αξιολογήσει 15 μεθόδους MCA που εφαρμόστηκαν στη διαχείριση υδατικών πόρων. Επίσης συγκριτικές μελέτες μεθόδων MCA που εφαρμόστηκαν στη διαχείριση υδατικών πόρων έχουν γίνει και από τους Gershon and Duckstein (1983), Ozelkan and Duckstein (1996), Eder et al. (1997). Το γενικό συμπέρασμα από όλες αυτές τις έρευνες είναι ότι δεν υπάρχει καμία τεχνική Πολυκριτηριακής Ανάλυσης που να είναι εκ φύσεως καλύτερη. Με βάση αυτό προκύπτει ακόμα μια καινοτομία της παρούσας διατριβής, που αφορά τη χρήση τεσσάρων τεχνικών, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα στον αναλυτή να συγκρίνει την εφαρμογή τους, πάνω στο ίδιο πρόβλημα.

### 5.3 Περιγραφή του μελετώμενου προβλήματος

Ένα από τα σοβαρότερα προβλήματα παγκοσμίως, όπως και στην Ελλάδα, είναι η λειψυδρία. Είτε με την έννοια της ποσοτικής ανεπάρκειας, είτε με αυτήν της ποιοτικής υποβάθμισης, η κάλυψη των υδατικών αναγκών γίνεται όλο και πιο δύσκολη. Οι

πολιτικές της μονοδιάστατης διαχείρισης και η αντιμετώπιση του νερού ως μη-εξαντλήσιμου αγαθού, ιδιαίτερα στον αγροτικό τομέα, έχουν σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Ο αγροτικός τομέας είναι ο μεγαλύτερος καταναλωτής νερού στη χώρα, έχει το μικρότερο διαχειριστικό έλεγχο και υψηλές παραγωγικές και οικονομικές απαιτήσεις. Είναι λοιπόν αναγκαία η ανάλυση όλων των παραπάνω, σε ένα ενιαίο πλαίσιο.

Το πρόβλημα που χρησιμοποιείται ως υπόδειγμα εφαρμογής των θεμελιωδών τεχνικών MCA που αναλύθηκαν παραπάνω, είναι ένα σύγχρονο πρόβλημα ΔΥΠ. Αφορά μία αγροτική περιοχή με πολλά υδρολογικά, οικονομικά και διαχειριστικά προβλήματα. Συνδυάζει τη μελέτη του υδατικού ισοζυγίου, του καθαρού κέρδους από την αγροτική δραστηριότητα και το πλήρες κόστος νερού, υπό ένα σύνολο εναλλακτικών πολιτικών.

Η περιοχή που χρησιμοποιείται είναι η λεκάνη απορροής της λίμνης Κάρλας, μια αντιπροσωπευτική περιοχή που στηρίζεται στην αγροοικονομία, βρίσκεται υπό καθεστώς υπερεκμετάλλευσης, και συνεχούς ποσοτικής και ποιοτικής υποβάθμισης των υδατικών πόρων, ενώ δεν υπάρχει σοβαρή κεντρική διαχείριση, ούτε συνεργασία μεταξύ αρχών και χρηστών. Οι αρμόδιοι φορείς για τη διαχείριση του αρδευτικού νερού της λεκάνης, που αποτελεί το 94% της συνολικής κατανάλωσης νερού (Alamanos et al., 2016), είναι οι ΤΟΕΒ Πηνειού και Κάρλας. Όπως προκύπτει (Σιδηρόπουλος, 2014, ΥδροΜέντωρ, 2015, Alamanos et al., 2016) το υδατικό ισοζύγιο της λεκάνης είναι κατά πολύ ελλειμματικό, ενώ η χρήση του αρδευτικού νερού δε χρεώνεται (Alamanos et al., 2017). Η μεγαλύτερη περιβαλλοντική πίεση στην περιοχή είναι η υπερεκμετάλλευση του υπόγειου υδροφορέα, καθώς αναμένεται η λειτουργία του ταμιευτήρα της Κάρλας, όπου θα εξυπηρετήσει ένα μέρος των εκτάσεων που τώρα αρδεύονται με υπόγειο νερό.





**Σχήμα 1: Η περιοχή μελέτης. Με πράσινη γραμμή φαίνονται τα όρια του ΤΟΕΒ Πηγείου και με μαύρη τα όρια του ΤΟΕΒ Κάρλας (ΥδροΜέντωρ, 2015).**

Η ανάλυση που θα ακολουθήσει στοχεύει στην ανάπτυξη διαχειριστικών σεναρίων (εναλλακτικών), με σκοπό την καλύτερη ικανοποίηση των υδατικών αναγκών (ποσοτικά και ποιοτικά) και την αποδοτικότερη λειτουργία της οικονομίας. Το μοντέλο αποφάσεων της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ιεραρχήσει αυτές τις εναλλακτικές, με σειρά καταλληλότητας, χρησιμοποιώντας τις τεχνικές του Κεφαλαίου 4, εφαρμοζόμενες σε δύο δείγματα (experts και DMs).

Οι εναλλακτικές λύσεις – Σενάρια, είναι:

- 2 = Η μελλοντική κατάσταση (λειτουργία του ταμιευτήρα της Κάρλας).
- 2a = Η αντικατάσταση του 25% της έκτασης βαμβακιού από σιτάρι στη μελλοντική κατάσταση.
- 2b = Η αντικατάσταση του 20% της έκτασης βαμβακιού από 10% σιτάρι και 10% αραβόσιτο στη μελλοντική κατάσταση.
- 2c = Η μείωση των απωλειών λόγω άρδευσης στη μελλοντική κατάσταση.
- 2d = Η εφαρμογή στάγδην άρδευσης στη μελλοντική κατάσταση.

Η αξιολόγηση των εναλλακτικών θα γίνει βάσει Κριτηρίων. Στη συνέχεια περιγράφονται τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται, καθώς και ο τρόπος που προέκυψαν:

- Κριτήριο 1: Υδατικό ισοζύγιο

Με δεδομένη την προσφορά νερού, των εκτάσεων και του είδους των καλλιεργειών, γίνεται εκτίμηση των υδατικών αναγκών και εξαγωγή του υδατικού ισοζυγίου (έλλειμμα νερού). Για τις ανάγκες της μεθόδου MAUT, η οποία χρησιμοποιεί υποκριτήρια, θεωρήθηκε το υδατικό ισοζύγιο για κάθε πηγή προσφοράς νερού ξεχωριστά (Πηνείος, υπόγειος υδροφορέας, Κάρλα).

- Κριτήριο 2: Καθαρό Κέρδος

Έχει υπολογιστεί το καθαρό κέρδος των αγροτών, με δεδομένες τις εκτάσεις, τα είδη των καλλιεργειών και τις τιμές προϊόντων. Λαμβάνονται υπόψη η ακαθάριστη πρόσοδος, οι επιδοτήσεις, το κόστος παραγωγής κάθε καλλιέργειας. Πιο αναλυτικά, για την εκτίμηση του καθαρού κέρδους από την αγροτική δραστηριότητα εφαρμόστηκε η εξίσωση (Faramarzi et al., 2010):

$$NP = \sum_c gm_c \cdot X_i + \sum_c sub_c \cdot X_i - \sum_c prc_c \cdot X_i \quad (13)$$

Όπου:

c: οι μελετώμενες καλλιέργειες

X<sub>i</sub>: οι εκτάσεις αυτών των καλλιεργειών

gm: η ακαθάριστη πρόσοδος των αγροτών (€), που προκύπτει από το γινόμενο της παραγωγής (kg) με την αντίστοιχη τιμή προϊόντων (€/kg).

sub: οι επιδοτήσεις για κάθε καλλιέργεια

prc: το κόστος παραγωγής.

Για τις ανάγκες της μεθόδου MAUT, ως υποκριτήρια θεωρήθηκαν η ακαθάριστη πρόσοδος και το κόστος παραγωγής

- Κριτήριο 3: Πλήρες Κόστος Νερού

Το τελευταίο κριτήριο είναι το πλήρες κόστος νερού, σύμφωνα με τις επιταγές της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ. Προκύπτει ως άθροισμα του χρηματοοικονομικού, του περιβαλλοντικού και του κόστους πόρου. Πιο αναλυτικά:

- Το χρηματοοικονομικό κόστος είναι το κόστος της επιχείρησης παροχής νερού (κόστος κεφαλαίου, συντήρησης, λειτουργίας, διοικητικό, κλπ)
- Το κόστος πόρου αντιμετωπίζεται ως κόστος σπανιότητας, ανά πηγή προσφοράς νερού. Εκτιμήθηκε ως διαφυγόν κέρδος από την ίδια χρήση νερού, με θεωρητική αναπλήρωση του υδατικού ελλείμματος (κόστος ευκαιρίας του νερού που λείπει).
- Το περιβαλλοντικό κόστος θεωρείται ίσο με το κόστος απορρύπανσης ανά πηγή προσφοράς νερού ώστε να φτάσει στα επιτρεπόμενα όρια ποιότητας για χρήση, σύμφωνα με τα Σχέδια Διαχείρισης Λεκανών Απορροής.

Για τις ανάγκες της μεθόδου MAUT, ως υποκριτήρια θεωρήθηκαν ξεχωριστά το χρηματοοικονομικό κόστος, το κόστος φυσικού πόρου και το περιβαλλοντικού κόστος.

Οι εναλλακτικές (σχεδιασμός) και οι τιμές των επιδόσεων των εναλλακτικών ως προς κάθε κριτήριο λήφθησαν από τους Alamanos et al. (2016, 2017a, 2017b).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ

Για την ανάλυση, το πρόβλημα επιλύθηκε με τις τεχνικές Πολυκριτηριακής Ανάλυσης: MAUT (Multi-Attribute Utility Theory), AHP (Analytical Hierarchy Process), TOPSIS (The Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), και ELECTRE I. Κάθε μία από αυτές από αυτές τις μεθόδους εφαρμόστηκε δύο φορές, με δύο διαφορετικά δείγματα ερωτώμενων που έδωσαν βαρύτητες μέσω των ερωτηματολογίων. Το πρώτο δείγμα αφορούσε ειδικούς πάνω σε θέματα διαχείρισης υδατικών πόρων, ενώ το δεύτερο τους ιθύνοντες (τους λήπτες αποφάσεων) από τους αρμόδιους ΤΟΕΒ. Ο στόχος αυτής της προσέγγισης είναι διττός: Αφενός να αξιολογηθούν και να συγκριθούν οι διαφορετικές μέθοδοι ανάλυσης και αφετέρου να αξιολογηθούν και να συγκριθούν τα αποτελέσματα των δύο δειγμάτων, ώστε να προκύψουν χρήσιμα συμπεράσματα για την πολιτική που ακολουθείται στην περιοχή. Η άποψη των αρμόδιων, όπως θα αποτυπωθεί μέσω της διαδικασίας Πολυκριτηριακής Ανάλυσης, για το τι θεωρούν διαχειριστικά ωφελιμότερο για την περιοχή μελέτης, θα αποτελέσει ένα μέτρο αξιολόγησης και των ίδιων, κάτι που δεν είχε ληφθεί υπόψη στις μέχρι τώρα προσεγγίσεις. Οι βαρύτητες που θα κληθούν να δώσουν εκφράζουν την αντίληψή τους για την κατάσταση και για τις προτεραιότητες που θέτουν για την αντιμετώπισή της. Συγκρίνοντάς τες με τα αποτελέσματα εφαρμογής των αντίστοιχων μέτρων, φαίνεται η κατανόηση και οι διαχειριστικοί στόχοι των ιθυνόντων. Η πιο σχετική διατριβή είναι αυτή του Λατινόπουλου (2006), που όμως δε λάμβανε τη γνώμη των ιθυνόντων, στην Πολυκριτηριακή Ανάλυση.

Τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την εφαρμογή των μεθόδων αυτών είναι τα εξής: Μοντέλο βαρυτήτων που δημιουργήθηκε στο πρόγραμμα MS Excel για κάθε μέθοδο, και επιπλέον, το πρόγραμμα Open Decision Maker καθώς και το Free Decision Maker για τη μέθοδο AHP (σε περιβάλλον Java), και η εφαρμογή DEA-SANNA (Jablonsky, 2005) για τη μέθοδο ELECTRE I. Οι εφαρμογές που χρησιμοποιήθηκαν αλλά και τα μοντέλα που δημιουργήθηκαν για κάθε μέθοδο επιτρέπουν τη σύνθεση της δομής του προβλήματος, την έκφραση των προτιμήσεων και την εξαγωγή αποτελεσμάτων, μέσα από ένα εύχρηστο περιβάλλον. Αναφορικά με τις εφαρμογές Open Decision Maker καθώς και το Free Decision Maker που χρησιμοποιήθηκαν επιπλέον για την AHP, αξίζει να σημειωθεί ότι επιλέχθηκαν μεταξύ άλλων λόγω της χρήσης της γλώσσας Java, η οποία αντιστάθμισε το μειονέκτημα του περιορισμένου υπολογιστικού χώρου που διατέθηκε. Το βασικό πλεονέκτημά της έναντι των περισσότερων άλλων γλωσσών είναι η ανεξαρτησία του λειτουργικού συστήματος και πλατφόρμας. Τα προγράμματα που είναι γραμμένα σε Java τρέχουν ακριβώς το ίδιο σε Windows, Linux, Unix και Macintosh, Playstation κλπ, χωρίς να χρειαστεί να ξαναγίνει μεταγλώττιση (compiling) ή να αλλάξει ο πηγαίος κώδικας για κάθε διαφορετικό λειτουργικό σύστημα. Επίσης η Java προσφέρει τη δυνατότητα να γραφούν, πιο εύκολα, προγράμματα τα οποία θα είναι απαλλαγμένα από λάθη χρόνου εκτέλεσης (Runtime Errors). Αυτό επιτυγχάνεται μέσω του Garbage Collector της εικονικής μηχανής της Java (Java Virtual Machine - JVM) ο οποίος αναλαμβάνει τον καθαρισμό του σωρού (heap) της μνήμης όταν αυτός κοντεύει να γεμίσει (στη Java η συντριπτική



πλειοψηφία των αντικειμένων αποθηκεύονται στο σωρό σε αντίθεση με τη C++ όπου αποθηκεύονται κυρίως στη στοίβα - stack). Έτσι ο προγραμματιστής δε χρειάζεται να ανησυχεί για το πότε και αν θα ελευθερώσει ένα συγκεκριμένο τμήμα της μνήμης, ούτε και για δείκτες (pointers) που αναφέρονται σε άδειο χώρο μνήμης. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό αν σκεφτούμε ότι ένα μεγάλο ποσοστό κατάρρευσης των προγραμμάτων οφείλονται σε λανθασμένο χειρισμό της μνήμης.

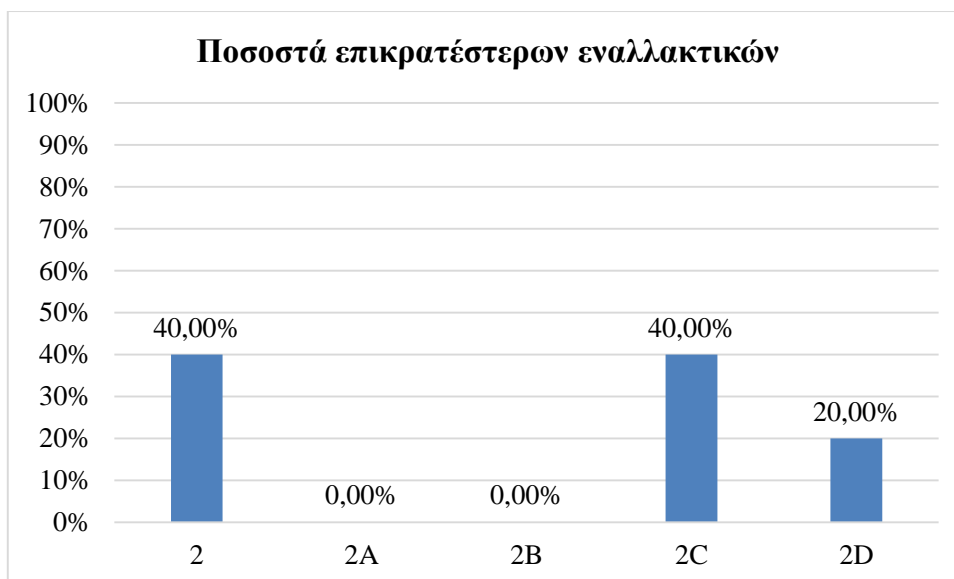
### 6.1 Αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθόδου M.A.U.T. (Multi-Attribute Utility Theory)

Για την επίλυση του προβλήματος εφαρμόστηκε μέθοδος M.A.U.T. (Multi-Attribute Utility Theory) όπως περιγράφηκε στο κεφάλαιο 4. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την διαδικασία αυτή είναι τα ακόλουθα:

A) αποτελέσματα για το πρώτο δείγμα που αφορά τους ειδικούς σε θέματα διαχείρισης υδατικών πόρων.

**Πίνακας 5: Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης (τιμές) των εναλλακτικών από τον κάθε expert.**

Μέθοδος MAUT - αποτελέσματα για experts					
Εναλλακτικές					
exp1	2	2C	2B	2D	2A
τιμές	9,25	6,3	1,27	1	0,71
exp2	2	2C	2D	2B	2A
τιμές	5,9	5,36	3,23	1,2	1,13
exp3	2D	2	2C	2B	2A
τιμές	4,65	4,39	4,36	1,67	1,09
exp4	2C	2D	2	2B	2A
τιμές	5,62	4,62	3,52	1,91	0,96
exp5	2C	2D	2	2B	2A
τιμές	4,89	4,5	4,39	1,78	0,88



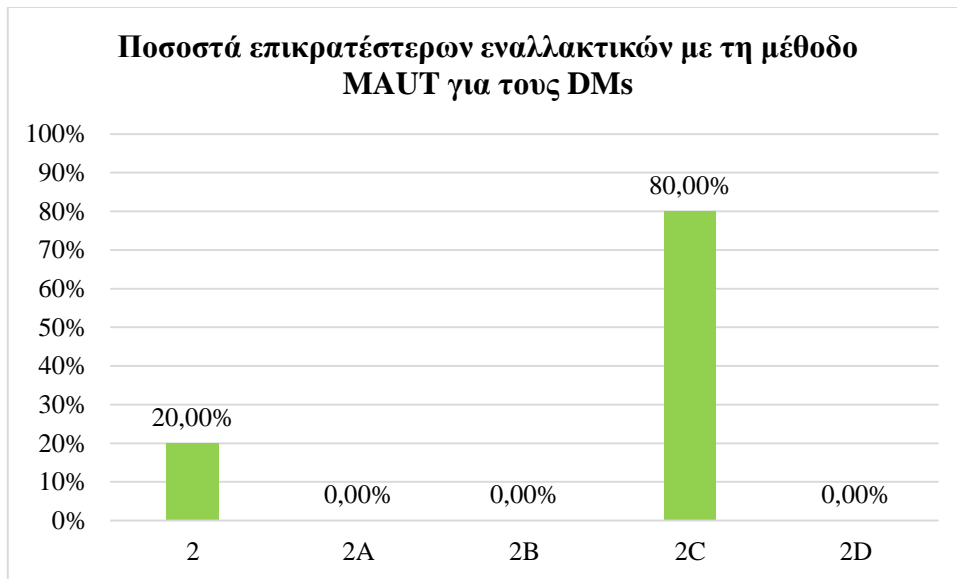
**Σχήμα 2: Η ποσοστιαία αξιολόγηση των εναλλακτικών από τους experts με τη μέθοδο MAUT.**

Όπως φαίνεται από τα διαγράμματα, επικρατέστερες εναλλακτικές είναι η 2 με 40% και εύρος τιμών χρησιμότητας από 5,9 έως 9,25, μαζί με τη 2C με 40% και εύρος τιμών από 4,89 έως 5,62. Ακολουθεί η εναλλακτική 2D με 20%. Τελευταίες κατά προτίμηση έρχονται οι 2A και 2B (0%) με εύρος τιμών από 0,71 μέχρι 1,13.

B) αποτελέσματα για το δεύτερο δείγμα που αφορά τους ιθύνοντες (τους λήπτες αποφάσεων) από τους αρμόδιους ΤΟΕΒ.

**Πίνακας 6: Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης (τιμές) των εναλλακτικών από τον κάθε non-expert.**

		Μέθοδος MAUT - αποτελέσματα για λήπτες αποφάσεων				
		Εναλλακτικές				
		2	2C	2D	2B	2A
DM1	τιμές	5,5	3,99	0,65	0,32	0,29
DM2	τιμές	2C	2	2D	2B	2A
	τιμές	5,6	5,33	5,18	1,09	0,71
DM3	τιμές	2C	2D	2	2B	2A
	τιμές	11,94	5,63	3,74	0	0
DM4	τιμές	2C	2D	2	2B	2A
	τιμές	6,22	5,8	5,01	1,04	0,52

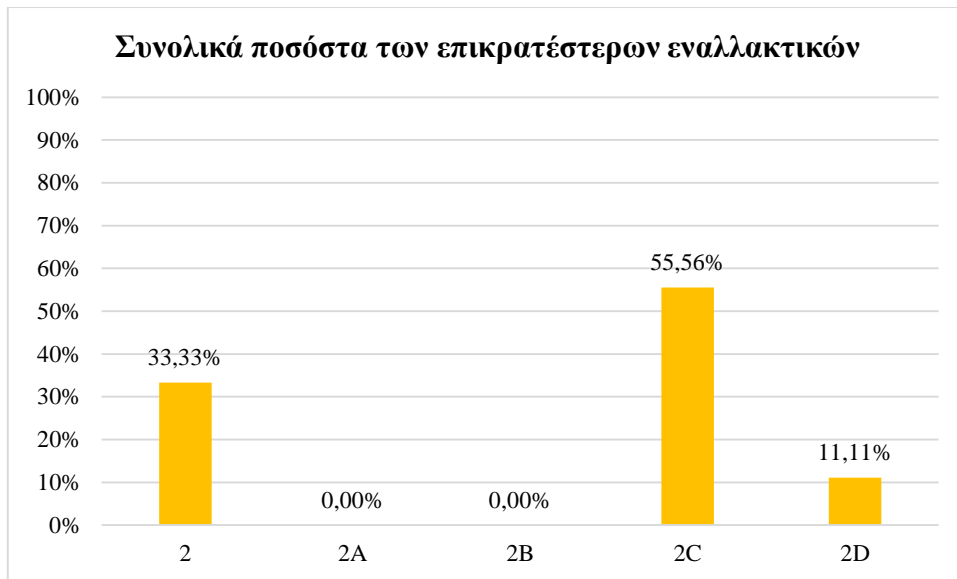


**Σχήμα 3: Η ποσοστιαία αξιολόγηση των εναλλακτικών από τους DMs με τη μέθοδο MAUT.**

Από τα διαγράμματα φαίνεται πως επικρατέστερη εναλλακτική είναι η 2C με ποσοστό 75% και εύρος τιμών από 5,6 έως 11,94. Ακολουθεί η 2 με 20%. Τελευταία κατά προτίμηση έρχεται και στο δεύτερο δείγμα η 2A και 2B με ποσοστό 0% και εύρος τιμών από 0 μέχρι 0,29.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι experts προτιμούν την εναλλακτική 2C εξίσου με τη 2, καθώς αντιλαμβάνονται την επίδραση της λειτουργίας ταμιευτήρα στο (συνδυαστικό) Σενάριο 2C μείωσης απωλειών. Σε αυτό το σημείο φαίνεται και ο λόγος που η μέθοδος MAUT έχει δεχτεί κριτική, ως προς την προϋπόθεση ανεξαρτησίας των επιλογών απόφασης, κάτι που σε πραγματικά προβλήματα δε μπορεί να ισχύει πάντα. Φαίνεται πάντως ότι οι DMs δεν αντιλαμβάνονται τη σύνδεση μεταξύ των δύο αυτών Σεναρίων, με ότι αυτό συνεπάγεται για την καθυστέρηση της λειτουργίας του ταμιευτήρα της Κάρλας, κατανοούν όμως τη σημαντικότητα των υπέρογκων απωλειών.

Γ) αποτελέσματα και για τα δύο δείγματα συνολικά με την μέθοδο MAUT



**Σχήμα 4: Η ποσοστιαία αξιολόγηση των εναλλακτικών με τη μέθοδο MAUT για το σύνολο των ερωτηθέντων.**

Όπως παρουσιάζεται λοιπόν στο παραπάνω διάγραμμα, στο σύνολο του δείγματος δηλαδή και για τα δύο δείγματα μαζί, η επικρατέστερη εναλλακτική είναι η 2C με ποσοστό 55,56% και ακολουθούν η εναλλακτική 2 με ποσοστό 33,33% και η 2D με 11,11%. Οι εναλλακτικές 2A και 2B βρίσκονται στις τελευταίες θέσεις με ποσοστό 0%. Όπως ήταν αναμενόμενο, η αξιολόγηση των εναλλακτικών συνολικά, δείχνει το πιο ρεαλιστικό και αντιπροσωπευτικό αποτέλεσμα. Δηλαδή να μεν επικρατεί η μελλοντική κατάσταση με μείωση απωλειών (2C), όμως είναι και ξεκάθαρο ότι ένα μέρος της επίδοσής της στηρίζεται στη συνεισφορά της λειτουργίας του ταμιευτήρα.

#### Δ) στατιστικά των αποτελεσμάτων της μεθόδου MAUT

Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων παρατηρήθηκε ότι το δείγμα των ειδικών (experts) παρουσίασε μεγαλύτερο εύρος επικρατέστερων επιλογών από το δείγμα των ληπτών αποφάσεων (DMs). Δηλαδή οι experts εξέτασαν περισσότερες πτυχές του προβλήματος και έδωσαν βαρύτητες σε πολλές από αυτές, που θεώρησαν σημαντικές. Επομένως η λύση δεν τους ήταν ξεκάθαρη, εν αντιθέσει με τους DMs, όπου στην πλειοψηφία τους θεώρησαν σημαντική την επίδραση της μείωσης των απωλειών. Αυτό αποτελεί εν μέρει μία πιο μονοδιάστατη αντίληψη του διαχειριστικού προβλήματος, καθώς, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η MAUT είναι μια μέθοδος που δεν στοχεύει τόσο στη λύση, όσο στη διορατική οπτική για ένα πρόβλημα.

Στη συνέχεια βλέπουμε πως βαθμολόγησε το κάθε δείγμα τα υποκριτήρια του προβλήματος, τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές για κάθε υποκριτήριο καθώς και τα εύρη.

**Πίνακας 7: Οι ελάχιστες, οι μέγιστες τιμές με τις οποίες αξιολόγησαν οι experts τα υποκριτήρια και το εύρος του καθενός.**

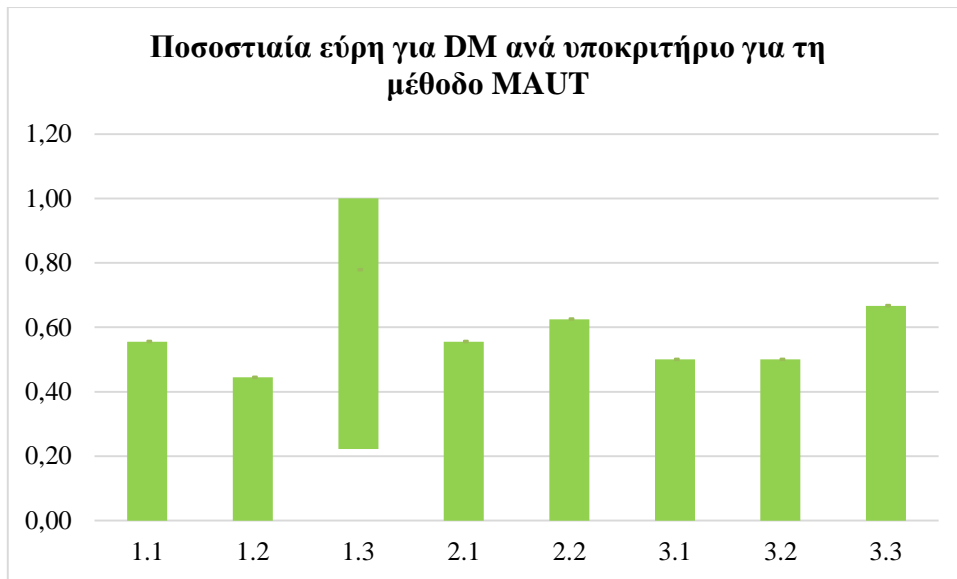
Sub-criterion	MAX	MIN	RANGE
1.1	0,80	0,25	0,55
1.2	0,75	0,10	0,65
1.3	0,44	0,00	0,44
2.1	0,65	0,00	0,65
2.2	1,00	0,35	0,65
3.1	0,45	0,00	0,45
3.2	0,80	0,12	0,68
3.3	0,70	0,10	0,60



**Σχήμα 5: Τα εύρη των βαρυτήτων που έδωσαν οι experts σε κάθε υποκριτήριο, εκφρασμένα ως ποσοστά.**

**Πίνακας 8: Οι ελάχιστες, οι μέγιστες τιμές με τις οποίες αξιολόγησαν οι DMs τα υποκριτήρια, και το εύρος του καθενός.**

Sub-criterion	MAX	MIN	RANGE
1.1	0,56	0,00	0,56
1.2	0,44	0,00	0,44
1.3	1,00	0,22	0,78
2.1	0,56	0,00	0,56
2.2	0,63	0,00	0,63
3.1	0,50	0,00	0,50
3.2	0,50	0,00	0,50
3.3	0,67	0,00	0,67



**Σχήμα 6: Τα εύρη των βαρυτήτων που έδωσαν οι experts σε κάθε υποκριτήριο, εκφρασμένα ως ποσοστά.**

Τα παραπάνω διαγράμματα δεν εξάγουν κάποιο συμπέρασμα ως προς τις μέγιστες και τις ελάχιστες βαθμολογίες που πήρε το κάθε υποκριτήριο, καθώς τα εύρη έχουν προκύψει από τις βαρύτητες που αυτά συνέλλεξαν ως προς το σύνολο των υπό εξέταση κριτηρίων. Αυτό που διακρίνεται είναι η συμφωνία (ή μη) των ερωτηθέντων ως προς κάποιο υποκριτήριο. Δηλαδή ένα μηδενικό εύρος, θεωρητικά θα σήμαινε πλήρη συμφωνία. Όσο μεγαλύτερο εύρος, τόσο περισσότερα αποκλίνουν οι απόψεις, χωρίς να σημαίνει ότι αυτό είναι απαραίτητα αρνητικό.

Διακρίνεται ότι το δείγμα των ειδικών συμφωνεί ως προς τη σημαντικότητα των υποκριτηρίων 1.3 (υδατικό ισοζύγιο εκτάσεων εξυπηρετούμενων από τον ταμιευτήρα Κάρλας) και 3.1 (χρηματοοικονομικό κόστος) με εύρη 44% και 45% αντίστοιχα. Αυτά τα δύο μεγέθη όντως είναι τα πιο ασφαλή, καθώς είναι πιο κατανοητά: Από τη μία το ισοζύγιο των εκτάσεων που θα εξυπηρετήσει ο ταμιευτήρας προκύπτει θετικό, και από την άλλη το χρηματοοικονομικό κόστος ύδατος είναι το πιο εύκολα αντιληπτό, αφού αφορά την επιχείρηση παροχής νερού. Αντίθετα μεγαλύτερη ασυμφωνία παρατηρήθηκε ως προς το υποκριτήριο 3.2 (κόστος φυσικού πόρου) με εύρος 68%, το οποίο είναι αναμενόμενο, καθώς αποτελεί και την πιο «αφηρημένη» έννοια (κόστος σπανιότητας νερού) σε σχέση με τα υπόλοιπα υποκριτήρια, και το ποια είναι η σχέση του με τις εναλλακτικές που εξετάζονται. Επομένως οι experts έχουν λάβει ικανοποιητικά υπόψη τους παράγοντες που εξέτασαν και αντιλαμβάνονται ικανοποιητικά το πρόβλημα.

Στο δείγμα των DMs παρατηρείται γενικά μεγάλη ασυμφωνία ως προς τη σημαντικότητα των υποκριτηρίων, με όλα τα εύρη να κυμαίνονται από 50 έως 78%. Αξιοσημείωτο είναι ότι η τιμή 78% παρατηρείται στο υποκριτήριο 1.3 (υδατικό ισοζύγιο εκτάσεων εξυπηρετούμενων από τον ταμιευτήρα Κάρλας), ενώ σημαντικό εύρος παρουσιάζει και το υποκριτήριο 3.3 του περιβαλλοντικού κόστους (67%) και το 2.2 του κόστους παραγωγής (63%). Αυτοί είναι παράγοντες που θα έπρεπε να

θεωρούνται αυτονόητοι, να υπάρχει μια στοιχειώδης κατανόηση και η σχέση τους με τις εναλλακτικές να είναι ήδη γνωστή, ώστε ο σχεδιασμός να προχωρήσει πιο αποτελεσματικά.

## **6.2 Αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθόδου AHP (Analytical Hierarchy Process)**

Για για την επίλυση του προβλήματος που μελετά η συγκεκριμένη εργασία εφαρμόστηκε και η μέθοδος A.H.P., όπως παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 4. Η επίλυση πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του προγράμματος Open Decision Maker, και τα αποτελέσματά του φαίνεται ενδεικτικά για μία επανάληψη της διαδικασίας.

## Report of your AHP - Analysis

Goal: Most appropriate alternative for Sustainable Water Resources Management

### Result Summary

#### Alternatives Ranking:

	Name	Value
1.	Scenario 2c	42.39%
2.	Scenario 2	21.06%
3.	Scenario 2b	14.26%
4.	Scenario 2a	11.91%
5.	Scenario 2d	10.38%

#### Alternative-Main Criterion-Matrix:

	Criterion 1	Criterion 2	Criterion 3
Scenario 2	22.48%	15.13%	25.11%
Scenario 2a	7.88%	23.16%	9.27%
Scenario 2b	8.35%	30.67%	10.58%
Scenario 2c	47.67%	26.24%	48.08%
Scenario 2d	13.62%	4.81%	6.96%

Consistency ratio:0,05 (Critical consistency ratio: 0.1)

#### Main Criteria Weighting:

	Name	Value
1.	Criterion 1	59.36%
2.	Criterion 2	24.93%
3.	Criterion 3	15.71%



## Alternatives Summary

Name	Description
Scenario 2c	Losses reduction
Scenario 2	Karla reservoir operation
Scenario 2b	Crop replacement (20% of cotton into 10% wheat and 10% maize)
Scenario 2a	Crop replacement (25% of cotton into wheat)
Scenario 2d	Drip irrigation

## Criteria Summary

### 1. Main Criterion: Criterion 1

Description:

Water Balance

Weighting Matrix:

	Scenario 2	Scenario 2a	Scenario 2b	Scenario 2c	Scenario 2d
Scenario 2	1	3.00	3.00	0.33	2.00
Scenario 2a	0.33	1	1.00	0.20	0.50
Scenario 2b	0.33	1.00	1	0.25	0.50
Scenario 2c	3.00	5.00	4.00	1	4.00
Scenario 2d	0.50	2.00	2.00	0.25	1

Consistency ratio:0.02 (Critical consistency ratio: 0.1)

Result (Ranking):

	Name	Value
1.	Scenario 2c	47.67%
2.	Scenario 2	22.48%
3.	Scenario 2d	13.62%
4.	Scenario 2b	8.35%
5.	Scenario 2a	7.88%

## 2. Main Criterion: Criterion 2

Description:

Net Profit

Weighting Matrix:

	Scenario 2	Scenario 2a	Scenario 2b	Scenario 2c	Scenario 2d
Scenario 2	1	0.50	0.50	0.50	5.00
Scenario 2a	2.00	1	1.00	0.50	5.00
Scenario 2b	2.00	1.00	1	2.00	5.00
Scenario 2c	2.00	2.00	0.50	1	4.00
Scenario 2d	0.20	0.20	0.20	0.25	1

Consistency ratio:0.05 (Critical consistency ratio: 0.1)

Result (Ranking)

	Name	Value
1.	Scenario 2b	30.67%
2.	Scenario 2c	26.24%
3.	Scenario 2a	23.16%

4.	Scenario 2	15.13%
5.	Scenario 2d	4.81%

### 3. Main Criterion: Criterion 3

Description:

Full Water Cost

Weighting Matrix:

	Scenario 2	Scenario 2a	Scenario 2b	Scenario 2c	Scenario 2d
Scenario 2	1	4.00	4.00	0.33	2.00
Scenario 2a	0.25	1	1.00	0.20	2.00
Scenario 2b	0.25	1.00	1	0.20	3.00
Scenario 2c	3.00	5.00	5.00	1	5.00
Scenario 2d	0.50	0.50	0.33	0.20	1

Consistency ratio:0.08 (Critical consistency ratio: 0.1)

Result (Ranking):

	Name	Value
1.	Scenario 2c	48.08%
2.	Scenario 2	25.11%
3.	Scenario 2b	10.58%
4.	Scenario 2a	9.27%
5.	Scenario 2d	6.96%

Η μέθοδος επαναλήφθηκε για το σύνολο του δείγματος, και τα αποτελέσματα από τη διαδικασία αυτή, καθώς και οι έλεγχοι για την τυχαιότητα του δείγματος παρουσιάζονται στη συνέχεια.

A) αποτελέσματα για το πρώτο δείγμα που αφορά τους ειδικούς σε θέματα διαχείρισης υδατικών πόρων.

**Πίνακας 9: Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης (τιμές) των εναλλακτικών από τον κάθε expert.**

		Μέθοδος AHP - αποτελέσματα για experts				
		1	2	3	4	5
exp1		2C	2	2B	2A	2D
τιμές		42,39%	21,06%	14,26%	11,91%	10,38%
exp2		2C	2	2B	2A	2D
τιμές		42,96%	22,80%	15,87%	9,64%	8,72%
exp3		2C	2	2B	2A	2D
τιμές		35,40%	26,83%	17,40%	11,57%	8,79%
exp4		2C	2	2B	2A	2D
τιμές		44,13%	17,13%	14,44%	14,06%	10,23%
exp5		2C	2B	2A	2D	2
τιμές		30,32%	22,53%	22,58%	13,67%	9,89%



**Σχήμα 7: Η ιεράρχηση των εναλλακτικών από τους experts με τη μέθοδο AHP.**

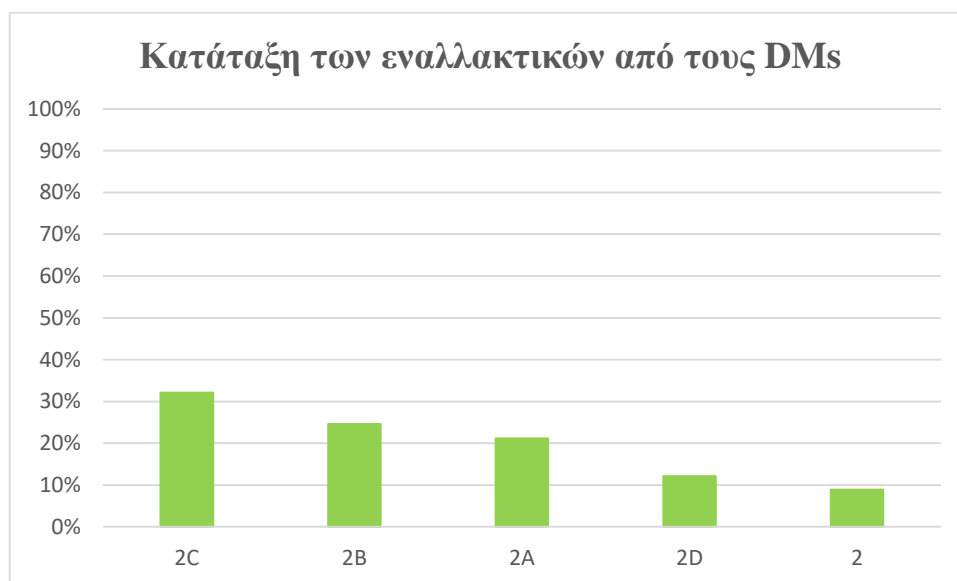
Όλοι οι experts θεωρούν τελικά ως επικρατέστερη εναλλακτική λύση τη 2C με ποσοστό με μέσο σκορ 38.2%. Ακολουθούν οι εναλλακτικές 2, 2B, 2A και 2D.

B) αποτελέσματα για το δεύτερο δείγμα που αφορά τους ιθύνοντες (τους λήπτες αποφάσεων) από τους αρμόδιους ΤΟΕΒ.

**Πίνακας 10: Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης (τιμές) των εναλλακτικών από τον κάθε DM.**

		Μέθοδος AHP - αποτελέσματα για DMs				
		1	2	3	4	5
DM1	2C	2B	2A	2	2D	
τιμές	33,57%	25,89%	19,77%	12,66%	8,11%	
DM2	2C	2B	2A	2D	2	
τιμές	29,48%	27,07%	24,99%	11,33%	7,14%	
DM3	2C	2B	2A	2D	2	
τιμές	29,11%	26,59%	25,29%	11,92%	7,09%	
DM4	2C	2B	2A	2D	2	
τιμές	36,18%	19,04%	18,70%	17,14%	8,93%	

Και για το δεύτερο δείγμα ισχύει το ίδιο, ότι δηλαδή η επικρατέστερη εναλλακτική λύση είναι η 2C, όμως με ποσοστό 32.1%. Στη δεύτερη θέση βρίσκεται η 2B με ποσοστό 24.65% και ακολουθούν οι 2A, 2D και 2. Η σειρά ιεράρχησης είναι διαφορετική με αυτή του πρώτου δείγματος, με την κύρια διαφορά να είναι η θέση της εναλλακτικής 2. Οι experts αντιλαμβάνονται ότι η λειτουργία ταμιευτήρα είναι προτεραιότητα, ενώ οι DMs τη θεώρησαν «αυτονόητη» και επέλεξαν τις υπόλοιπες εναλλακτικές, μη λαμβάνοντας υπόψη τη θετική συνεισφορά του ταμιευτήρα.



**Σχήμα 8: Η ιεράρχηση των εναλλακτικών από τους DMs με τη μέθοδο AHP.**

### Γ) αποτελέσματα και για τα δύο δείγματα συνολικά

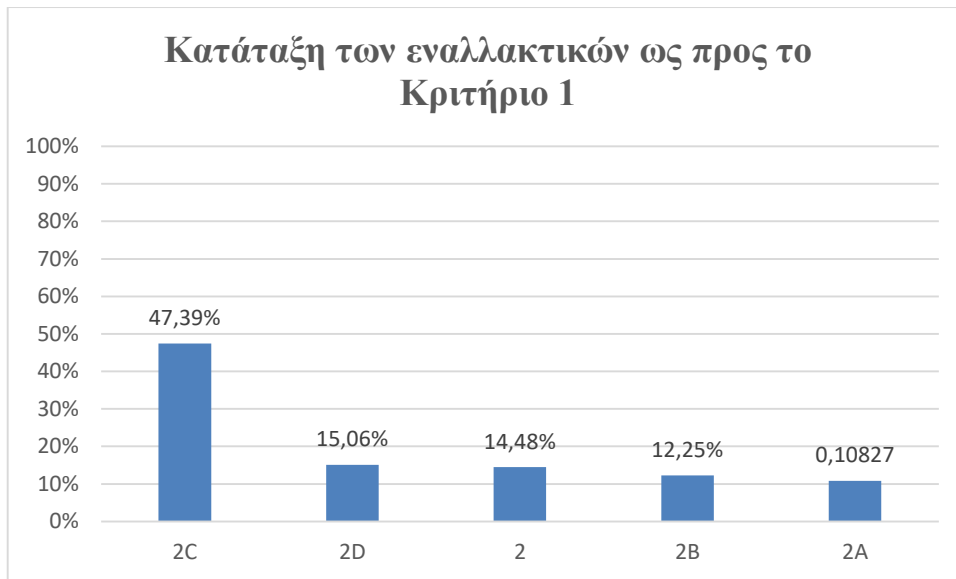
Από τα παραπάνω προκύπτει ότι στο σύνολο του δείγματος, δηλαδή των ειδικών και των ληπτών αποφάσεων, η εναλλακτική 2C παρουσιάζεται ως η επικρατέστερη με ποσοστό 35.14% και ακολουθεί η εναλλακτική 2B με ποσοστό συμφωνίας 20.77%. Ακολούθως, οι καταλληλότερες λύσεις είναι οι 2A, 2 και 2D.



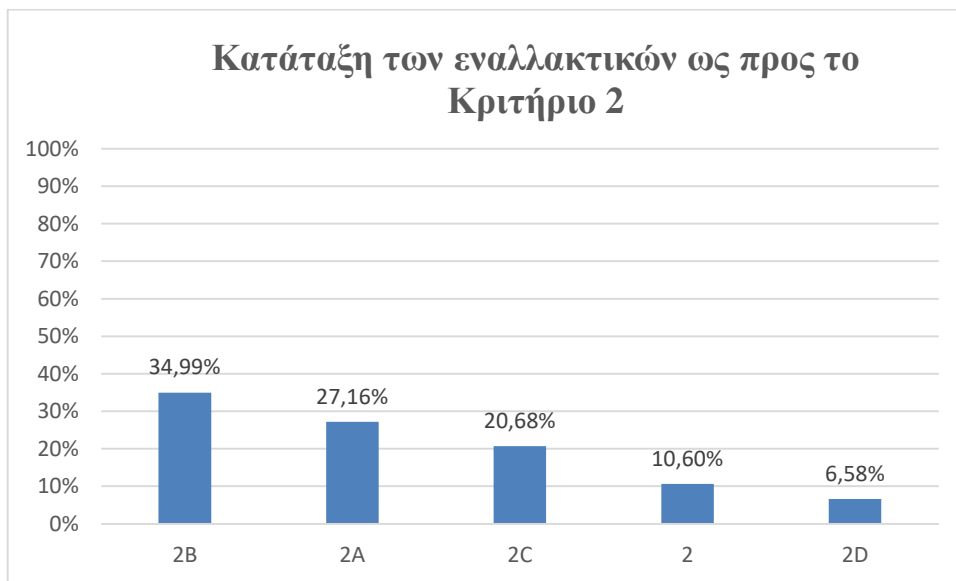
**Σχήμα 9: Η ιεράρχηση των εναλλακτικών από το σύνολο του δείγματος με τη μέθοδο ΑHP.**

#### Δ) στατιστικά των αποτελεσμάτων της μεθόδου ΑHP

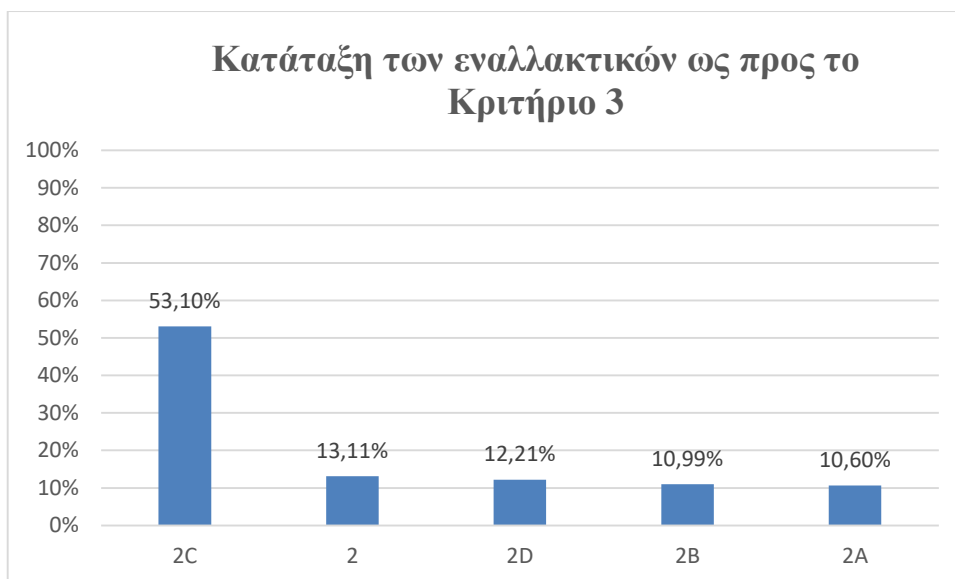
Από τα συνολικά αποτελέσματα προκύπτει ότι, παρόλο που οι δύο ομάδες του δείγματος συμφωνούν σε γενικές γραμμές ως προς την καταλληλότητα, υπάρχει μία μικρή διαφοροποίηση ως προς τα σκορ των εναλλακτικών. Πιο συγκεκριμένα, οι experts αντιλαμβάνονται και επιλέγουν ξεκάθαρα τη 2C, στους DMs αυτό δεν είναι δεδομένο, καθώς υπάρχει και η 2B ως «κοντινή» δεύτερη επιλογή. Αυτό δικαιολογείται λόγω της μεγαλύτερης βαρύτητας που έχουν δώσει οι DMs στο Κριτήριο 2 του καθαρού κέρδους έναντι του Κριτηρίου 1, που αντιπροσωπεύει το υδατικό ισοζύγιο. Η πιο κερδοφόρα εναλλακτική θεωρήθηκε η 2B (αντικατάσταση καλλιεργειών) από τους ερωτώμενους, στο σύνολό τους, όπως φαίνεται και στα διαγράμματα που ακολουθούν. Όμως το αυξημένο σκορ της 2B στους DMs παρατηρείται επειδή έχουν δώσει αυξημένη βαρύτητα στο Κριτήριο 2, όπου εκεί επικρατεί η εναλλακτική 2C. Τα απόμεινα διαγράμματα δείχνουν την επικρατέστερη εναλλακτική ως προς κάθε κριτήριο χωριστά, όπως προέκυψαν σε ενδιάμεσο βήμα της μεθόδου, από το σύνολο του δείγματος.



**Σχήμα 10:** Η ιεράρχηση των εναλλακτικών από το σύνολο του δείγματος ως προς το υδατικό ισοζύγιο.



**Σχήμα 11:** Η ιεράρχηση των εναλλακτικών από το σύνολο του δείγματος ως προς το κέρδος.



**Σχήμα 12:** Η ιεράρχηση των εναλλακτικών από το σύνολο του δείγματος ως προς το πλήρες κόστος νερού.

### 6.3 Αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθόδου TOPSIS (The Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)

Το πρόβλημα επιλύθηκε και με τη μέθοδο TOPSIS, με τον τρόπο που αυτή παρουσιάστηκε στο 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο. Τα αποτελέσματα από της εφαρμογής παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Α) αποτελέσματα για το πρώτο δείγμα που αφορά τους ειδικούς σε θέματα διαχείρισης υδατικών πόρων.

**Πίνακας 11:** Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης (τιμές) των εναλλακτικών από τον κάθε expert.

	Μέθοδος TOPSIS - αποτελέσματα για experts				
	Εναλλακτικές				
exp1	2C	2D	2B	2A	2
τιμές	0,919	0,208	0,196	0,19	0,163
exp2	2C	2B	2A	2	2D
τιμές	0,845	0,342	0,337	0,263	0,2
exp3	2C	2B	2A	2	2D
τιμές	0,862	0,313	0,308	0,233	0,196
exp4	2C	2B	2A	2	2D
τιμές	0,875	0,29	0,285	0,213	0,199
exp5	2C	2B	2A	2	2D
τιμές	0,86	0,313	0,308	0,232	0,195





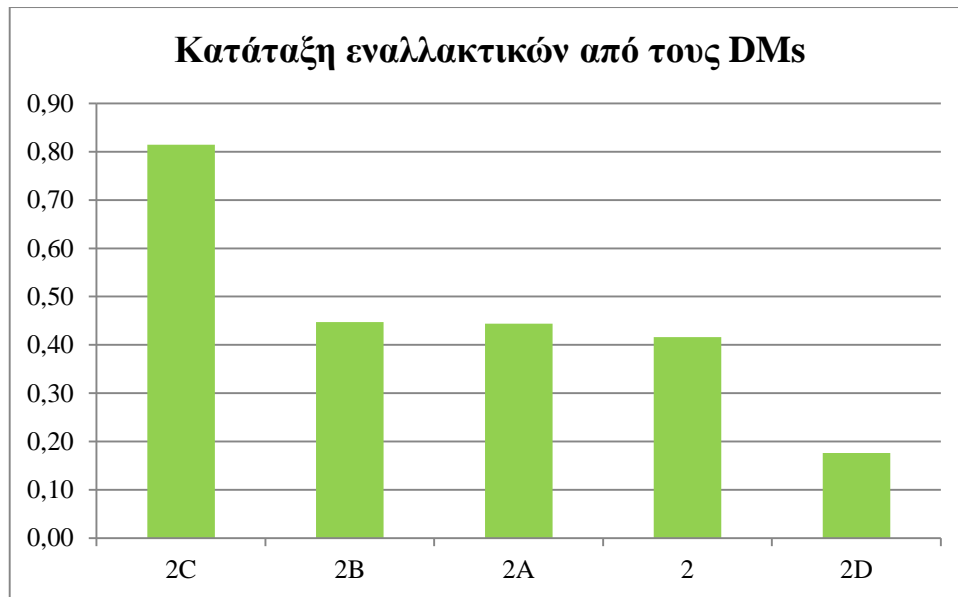
**Σχήμα 13: Η ταξινόμηση των εναλλακτικών από τους experts με τη μέθοδο TOPSIS.**

Όπως φαίνεται, η επικρατέστερη εναλλακτική είναι η εναλλακτική 2C με ποσοστό συμφωνίας 100% και εύρος προτίμησης από 91,9% έως 84,5%. Στη δεύτερη θέση παρουσιάστηκε η επιλογή 2B, εκτός από μία περίπτωση όπου παρουσιάστηκε η 2D.

B) αποτελέσματα για το δεύτερο δείγμα που αφορά τους ιθύνοντες (τους λήπτες αποφάσεων) από τους αρμόδιους ΤΟΕΒ.

**Πίνακας 12: Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης (τιμές) των εναλλακτικών από τον κάθε DM.**

	Μέθοδος TOPSIS - αποτελέσματα για λήπτες αποφάσεων				
	Εναλλακτικές				
	2C	2B	2A	2	2D
DM1 τιμές	0,782	0,424	0,42	0,389	0,171
DM2 τιμές	0,765	0,453	0,448	0,418	0,168
DM3 τιμές	0,987	0,4	0,395	0,364	0,176
DM4 τιμές	0,723	0,512	0,514	0,494	0,189



**Σχήμα 14: Η ταξινόμηση των εναλλακτικών από τους DMs με τη μέθοδο TOPSIS.**

Φαίνεται λοιπόν ότι και το δεύτερο δείγμα των DMs η επικρατέστερη εναλλακτική είναι η 2C με ποσοστό συμφωνίας 100% και εύρος τιμών προτίμησης από 72,3% έως 98,7%. Εδώ παρατηρείται συμφωνία και στην κατάταξη των εναλλακτικών. Μετά τη 2C ακολουθούν οι 2B, 2A, 2, και 2D.

#### Γ) αποτελέσματα και για τα δύο δείγματα συνολικά

Είναι προφανές πως αφού και στα δύο δείγματα επικρατέστερη επιλογή είναι το 2C, το ίδιο θα ισχύει και για το σύνολο του δείγματος. Η διαφορά βρίσκεται μεταξύ των υπόλοιπων εναλλακτικών, με την προσοχή να συγκεντρώνει η σχέση της 2D όπου μόνο ένας expert έδωσε πολύ μεγάλη βαρύτητα στην εφαρμογή της στάγδην άρδευσης. Ωστόσο, όπως φαίνεται και στο επόμενο διάγραμμα, οι 2B, 2A και 2 έχουν ταξινομηθεί πολύ «κοντά» από το σύνολο του δείγματος.



**Σχήμα 15: Η ταξινόμηση των εναλλακτικών από το σύνολο του δείγματος με τη μέθοδο TOPSIS.**

Δ) στατιστικά των αποτελεσμάτων της μεθόδου TOPSIS

Από τα παραπάνω αποτελέσματα είναι προφανές πως στο κάθε δείγμα ξεχωριστά αλλά και στο σύνολό τους, υπήρξε ομοφωνία για την καταλληλότερη εναλλακτική λύση. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η επεξεργασία των αποτελεσμάτων αυτών, ως προς τις ιδανικές (βέλτιστες) και τις χειρίστες λύσεις που εξήχθησαν σε ενδιάμεσο στάδιο της μεθόδου, από το δείγμα, για κάθε κριτήριο.

Τα στατιστικά στοιχεία της βαθμολόγησης των κριτηρίων από τις ομάδες του δείγματος φαίνονται στο επόμενο υποκεφάλαιο, καθώς η ερώτηση είναι κοινή για τις μεθόδους TOPSIS και ELECTRE I.

**Πίνακας 13: Οι ιδανικές και οι χειρίστες λύσεις που προέκυψαν από την αξιολόγηση κάθε κριτηρίου.**

Experts	exp1		exp2		exp3		exp 4		exp 5	
	(A)+	(A)-	(A)+	(A)-	(A)+	(A)-	(A)+	(A)-	(A)+	(A)-
C1	-0.026	-0.129	-0.014	-0.067	-0.014	-0.089	-0.014	-0.014	-0.089	-0.014
C2	0.071	0.068	0.090	0.085	0.063	0.060	0.063	0.090	0.060	0.090
C3	0.024	0.044	0.052	0.076	0.060	0.088	0.024	0.076	0.024	0.088
DM	DM1		DM2		DM3		DM 4			
	(A)+	(A)-	(A)+	(A)-	(A)+	(A)-	(A)+	(A)-		
C1	-0.020	-0.101	-0.016	-0.079	-0.016	-0.117	-0.008	-0.040		
C2	0.044	0.042	0.071	0.067	0.028	0.026	0.126	0.119		
C3	0.063	0.115	0.055	0.102	0.065	0.121	0.037	0.068		

Ο Πίνακας 13 δείχνει ότι τα εύρη των βέλτιστων τιμών (A)+ και των χειρότερων τιμών (A)- που προέκυψαν από τις απαντήσεις των experts, είναι πολύ μικρότερα από τα αντίστοιχα των DMs. Αυτό εκφράζει τη συμφωνία μεταξύ των experts, άρα και την

καλύτερη αντίληψη για το πού και πώς μπορεί να εξελιχθεί η υφιστάμενη κατάσταση, σε αντίθεση με τους ιθύνοντες.

#### 6.4 Αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθόδου ELECTRE

Η τέταρτη και τελευταία μέθοδος που εφαρμόστηκε για την επίλυση του προβλήματος ήταν η ELECTRE I. Στη μέθοδο αυτή δεν υπάρχουν τιμές για την αξιολόγηση του αποτελέσματος. Το αποτέλεσμα της διαδικασίας δείχνει μόνο ποια είναι η επικρατέστερη εναλλακτική λύση, μέσα από μία διαδικασία συγκρίσεων μεταξύ ζευγών εναλλακτικών, ως προς όλα τα κριτήρια (pairwise comparisons). Το επόμενο σχήμα δείχνει ενδεικτικά ένα «τρέξιμο» της μεθόδου με το εργαλείο Sanna, ενώ τα αποτελέσματα που προέκυψαν και τα στατιστικά της μεθόδου παρουσιάζονται στη συνέχεια.

#### Metoda ELECTRE I

Aktuální úloha pro 5 variant a 3 kritéria  
dne 20-Jun-17 - 7:21:00 PM

Vstupní data:

	MAX C 1	MAX C 2	MIN C 3
2	1.00	9.99	3.22
2A	1.75	1.00	1.00
2B	1.87	1.44	1.00
2C	10.00	10.00	4.71
2D	2.90	10.00	10.00
Weights	0.50	0.35	0.15

Matic D:

	2	2A	2B	2C	2D
2	---	0.24634	0.25906	1.00000	0.27954
2A	1.00000	---	1.00000	1.00000	1.00000
2B	1.00000	0.00000	---	1.00000	0.95137
2C	0.16630	0.41243	0.43363	---	0.00000
2D	1.00000	0.99989	1.00000	1.00000	---

Upravená vstupní data:

	MAX C 1	MAX C 2	MAX C 3
2	1.00	9.99	6.78
2A	1.75	1.00	9.00
2B	1.87	1.44	9.00
2C	10.00	10.00	5.29
2D	2.90	10.00	0.00
Váhy	0.50000	0.35000	0.15000

Matic P:

	2	2A	2B	2C	2D
2	0	1	1	0	1
2A	0	0	0	0	0
2B	0	1	0	0	0
2C	1	1	1	0	1
2D	0	0	0	0	0
C = 0.10000		D = 0.90000			

Matic C:

	2	2A	2B	2C	2D
2	---	0.35000	0.35000	0.15000	0.15000
2A	0.65000	---	0.00000	0.15000	0.15000
2B	0.65000	1.00000	---	0.15000	0.15000
2C	0.85000	0.85000	0.85000	---	1.00000
2D	0.85000	0.85000	0.85000	0.35000	---

Σχήμα 16: Η εφαρμογή του προγράμματος Sanna για την επίλυση της μεθόδου ELECTRE.

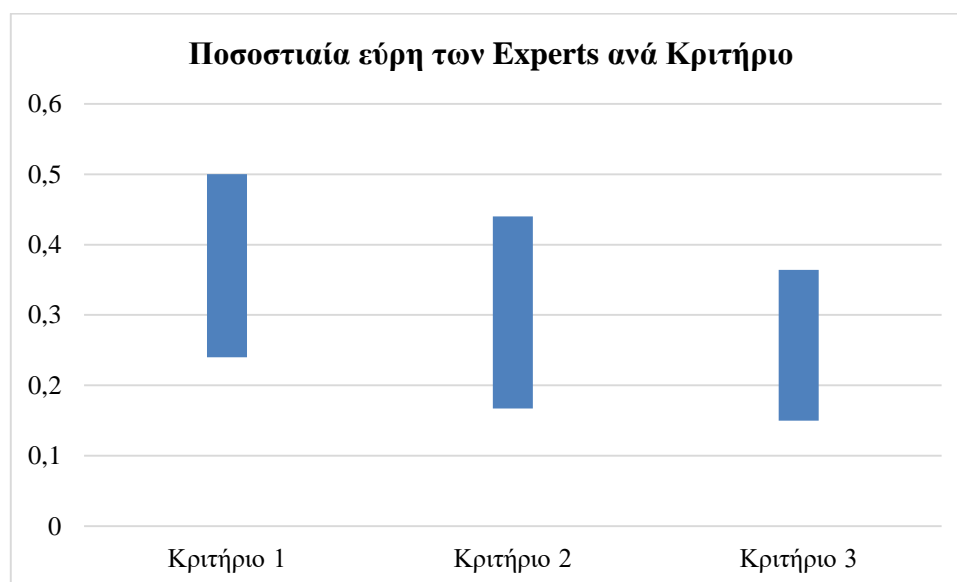
Τα αποτελέσματα για το πρώτο δείγμα που αφορά τους ειδικούς σε θέματα διαχείρισης υδατικών πόρων, καθώς και για τη δεύτερη ομάδα του δείγματος, που αφορά τους ιθύνοντες (λήπτες αποφάσεων) από τους αρμόδιους ΤΟΕΒ, συμφωνούν. Καταλληλότερη λύση είναι η 2C. Έτσι και τα συνολικά αποτελέσματα ως προς το σύνολο των κριτηρίων, δείχνουν ότι επικρατέστερη εναλλακτική είναι η μείωση απωλειών στη μελλοντική κατάσταση.

Αναφορικά με τα στατιστικά της μεθόδου, όπως επιλύθηκε, μπορεί να εξαχθούν μόνο φαίνονται τα εύρη με τα οποία βαθμολογήθηκε κάθε κριτήριο από το δείγμα των ειδικών και από των ιθυνόντων (DMs), καθώς και από το σύνολο. Αυτή η βαθμολόγηση προέκυψε από το κοινό ερωτηματολόγιο των μεθόδων TOPSIS και ELECTRE, άρα τα στατιστικά που ακολουθούν αντιπροσωπεύουν και τη μέθοδο TOPSIS.

**Πίνακας 14: Οι ελάχιστες, οι μέγιστες τιμές και το εύρος με τα οποία αξιολογήθηκαν τα κριτήρια, με τις μεθόδους TOPSIS και ELECTRE.**

	Experts			DMs			Total		
	max	min	Range	max	min	Range	max	min	Range
Crit.1	0,5	0,26	0,24	0,45	0,15	0,3	0,5	0,15	0,35
Crit.2	0,44	0,273	0,167	0,62	0,14	0,48	0,62	0,14	0,48
Crit.3	0,364	0,15	0,214	0,41	0,23	0,18	0,41	0,15	0,26

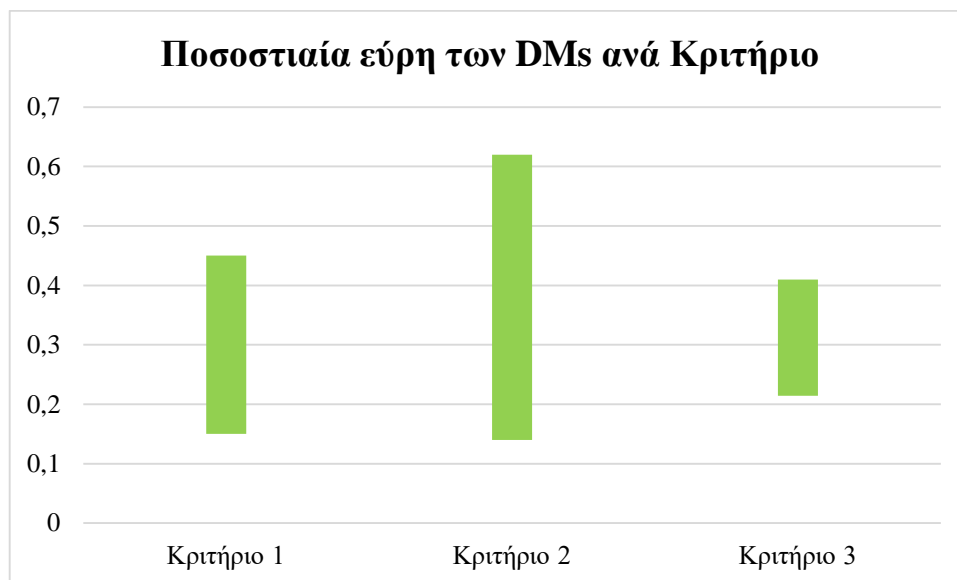
Όπως εξηγήθηκε και στη μέθοδο MAUT, η μελέτη του εύρους της βαθμολόγησης που δόθηκε από το δείγμα δεν παράγει κάποιο συμπέρασμα ως προς τις μέγιστες και τις ελάχιστες βαθμολογίες που πήρε το κάθε κριτήριο. Μπορούν όμως να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα ως προς τη σημαντικότητα των κριτηρίων ως προς την κάθε ομάδα του δείγματος και ως προς τη συμφωνία που είχαν μεταξύ τους τα άτομα της ίδιας ομάδας.



**Σχήμα 17: Τα εύρη των βαθμολογιών των κριτηρίων από τους experts με τις μεθόδους TOPSIS και ELECTRE.**

Έτσι, φαίνεται αρχικά ότι οι experts έδωσαν ένα σταθερό εύρος στις απαντήσεις τους ως προς το κάθε κριτήριο, επομένως υπάρχει γενικά συμφωνία. Αυτό δείχνει την ομοιομορφία στην αντίληψη των κριτηρίων και των εναλλακτικών, άρα και του

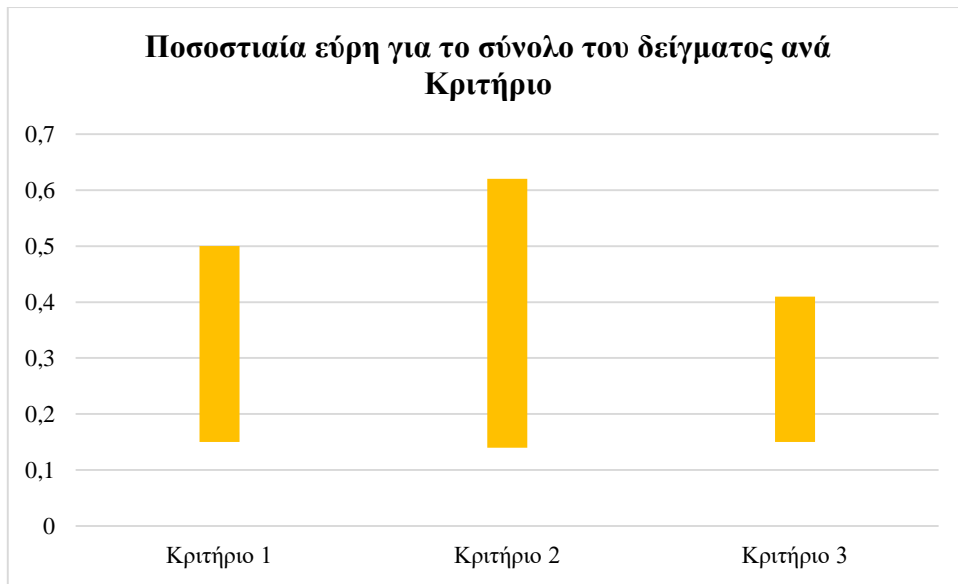
προβλήματος. Δευτερευόντως, φαίνεται ότι η ομάδα των ειδικών βαθμολόγησε με μεγαλύτερες τιμές το Κριτήριο 1, που αντιστοιχεί στο υδατικό ισοζύγιο, έναντι των άλλων, και αυτό θέτουν ως βασικό στόχο. Στη συνέχεια, δεύτερο πιο σημαντικό ήταν το Κριτήριο 2 του κέρδους και τρίτο το Κριτήριο 3 του κόστους νερού. Αντιλαμβάνονται λοιπόν ότι το Κριτήριο 1 είναι βασική προϋπόθεση για την επίτευξη οικονομικών στόχων.



**Σχήμα 18:** Τα εύρη των βαθμολογιών των κριτηρίων από τους DMs με τις μεθόδους TOPSIS και ELECTRE.

Η ομάδα των ιθυνόντων δε χαρακτηρίζεται από την ίδια ομοιομορφία στις βαθμολογήσεις της, καθώς προκύπτουν μεγαλύτερα εύρη τιμών. Εξάιρεση στη μεταξύ τους συμφωνία αποτελεί το Κριτήριο 3 του κόστους νερού, όπου κανένας τους δεν το θεώρησε ιδιαίτερα σημαντικό.

Ως προς τη σημαντικότητα των κριτηρίων, η ομάδα των ιθυνόντων βαθμολόγησε με μεγαλύτερες τιμές το Κριτήριο 2 που αντιστοιχεί στο κέρδος. Έτσι φαίνεται ότι αυτό αποτελεί και τον πρωταρχικό στόχο τους, ακόμα και αν υπάρχει υπερεκμετάλλευση των υδατικών αποθεμάτων, και αυτό με τη σειρά του οδηγεί σε αυξημένα κόστη νερού.



**Σχήμα 19:** Τα εύρη των βαθμολογιών των κριτηρίων από το σύνολο του δείγματος με τις μεθόδους TOPSIS και ELECTRE.

### 6.5 Συνολικά στατιστικά για όλες τις μεθόδους

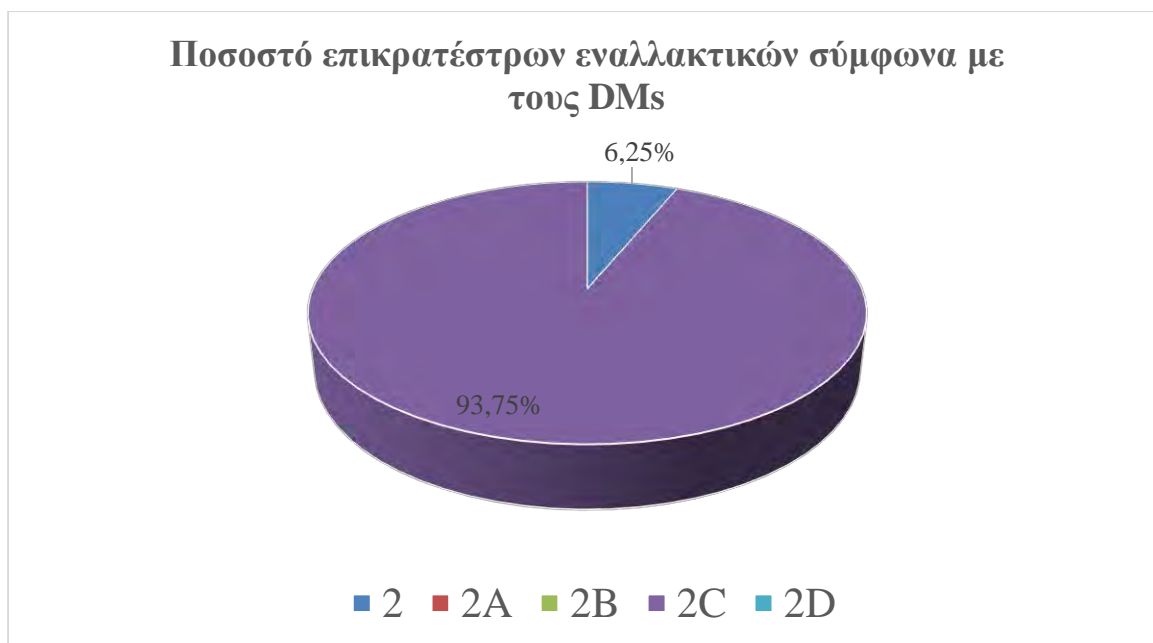
Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα συνολικά αποτελέσματα για το σύνολο των μεθόδων. Πιο συγκεκριμένα, παρατίθενται τα συνολικά αποτελέσματα του δείγματος των ειδικών σε θέματα διαχείρισης υδάτινων πόρων, των ιθυνόντων και του συνόλου του δείγματος.



**Σχήμα 20:** Τα αποτελέσματα των experts για το σύνολο των μεθόδων.

Η εναλλακτική 2C είναι η επικρατέστερη εναλλακτική με ποσοστό 85% και ακολουθούν στη δεύτερη θέση η εναλλακτική 2 με ποσοστό 10% και στην τρίτη η εναλλακτική 2D με ποσοστό 5%.

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται οι απαντήσεις για το δείγμα των ληπτών απόφασης (DMs).



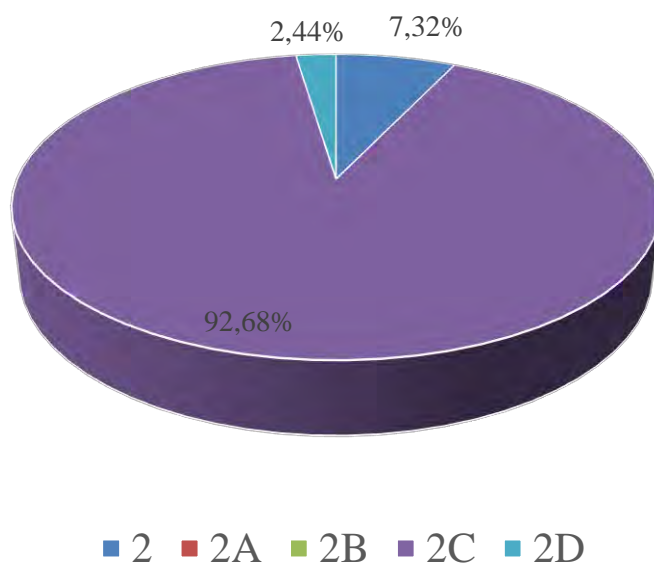
**Σχήμα 21: Τα αποτελέσματα των DMs για το σύνολο των μεθόδων.**

Η εναλλακτική 2C είναι η επικρατέστερη εναλλακτική με ποσοστό 93.75%. Στη δεύτερη θέση έρχεται η εναλλακτική 2 με ποσοστό 6,25%.

Έπειτα, τα αποτελέσματα για το σύνολο των απαντήσεων του δείγματος, για όλες τις μεθόδους, φαίνονται στο επόμενο διάγραμμα.



### Ποσοστό επικρατέστρων εναλλακτικών σύμφωνα με το σύνολο του δείγματος

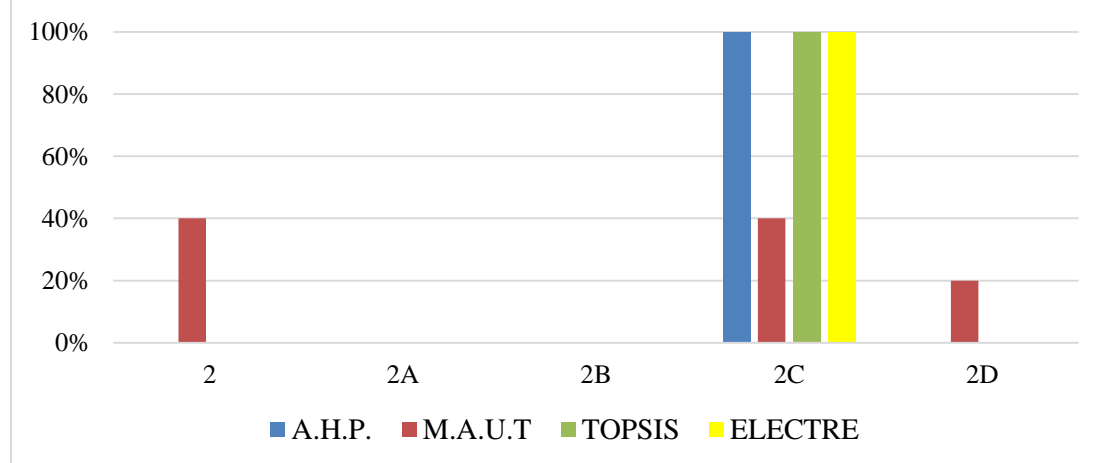


Σχήμα 22: Τα αποτελέσματα όλου του δείγματος για το σύνολο των μεθόδων.

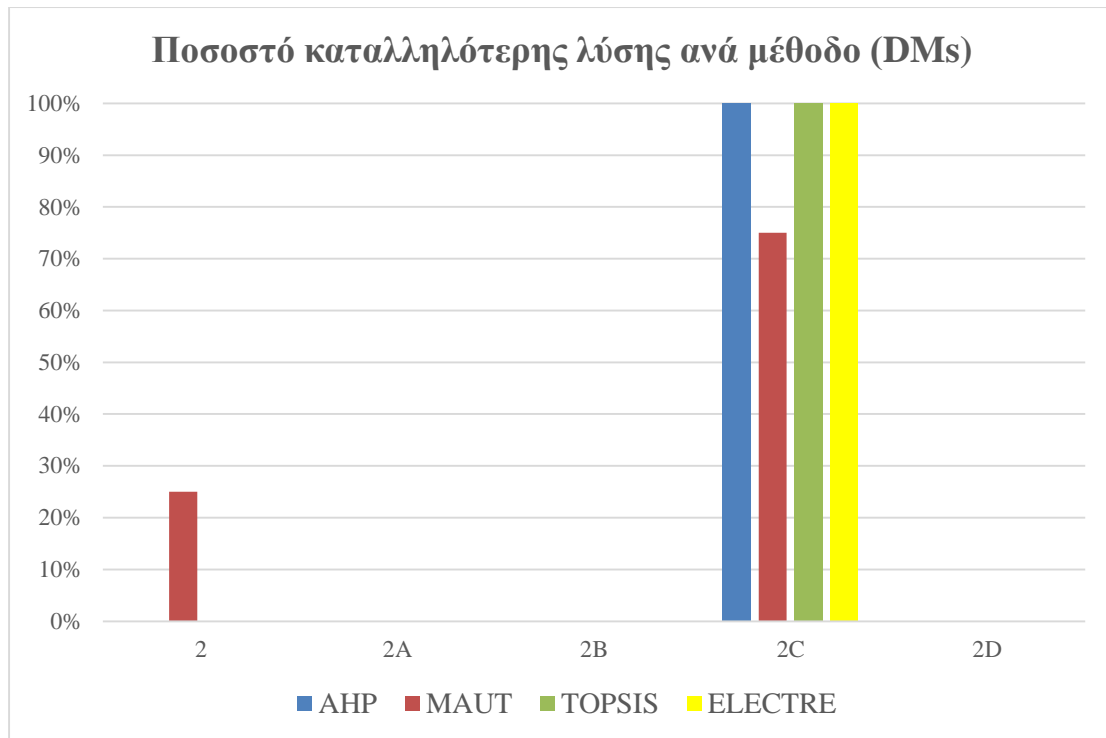
Η εναλλακτική 2C είναι και συνολικά η επικρατέστερη εναλλακτική με ποσοστό 92,68% και ακολουθούν στη δεύτερη θέση η εναλλακτική 2 με ποσοστό 7,32% και στην τρίτη η εναλλακτική 2D με ποσοστό 2,44%.

Τέλος, παρουσιάζονται τα ποσοστά των επικρατέστερων εναλλακτικών για το δείγμα των ειδικών και για το δείγμα των ληπτών αποφάσεων ανά μέθοδο.

### Ποσοστό καταλληλότερης λύσης ανά μέθοδο (experts)



Σχήμα 23: Τα αποτελέσματα των ειδικών ανά μέθοδο.



**Σχήμα 24: Τα αποτελέσματα των ιθυνόντων ανά μέθοδο.**

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Η παρούσα εργασία επιχείρησε μία ανασκόπηση των βασικών τεχνικών Πολυκριτηριακής Ανάλυσης και την εφαρμογή τους σε ένα πρόβλημα Ολοκληρωμένης Διαχείρισης Υδατικών Πόρων. Το πρόβλημα που εξετάστηκε είναι η εξοικονόμηση των υδατικών και οικονομικών πόρων της λεκάνης απορροής της λίμνης Κάρλας, μιας περιοχής που στηρίζεται στην αγροτική οικονομία.

Αξιολογήθηκαν πέντε εναλλακτικές πολιτικές, λαμβάνοντας ως κριτήρια το υδατικό ισοζύγιο, το καθαρό κέρδος από την αγροτική δραστηριότητα και το κόστος νερού. Οι τεχνικές Πολυκριτηριακής Ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τέσσερις, μία τεχνική για κάθε μία από τις θεμελιώδεις προσεγγίσεις της Θεωρίας αποφάσεων:

- Η μέθοδος MAUT, που βασίζεται στην αναλυτική-συνθετική προσέγγιση της θεωρίας χρησιμότητας,
- η μέθοδος AHP, που βασίζεται στη θεωρία ιεράρχησης,
- η μέθοδος TOPSIS, που βασίζεται στη θεωρία ταξινόμησης, και
- η μέθοδος ELECTRE, που βασίζεται στη θεωρία των σχέσεων υπεροχής.

Η εφαρμογή έγινε σε δύο ομάδες δείγματος (5 experts και 4 non- experts) ώστε να αξιολογηθούν και να συγκριθούν τα αποτελέσματα.

Η εφαρμογή της μεθοδολογίας μέσω της συμπλήρωσης ερωτηματολογίων ήταν και η μεγαλύτερη δυσκολία της εργασίας. Αρχικά, ήταν εξαιρετικά δύσκολη η ανταπόκριση, ιδιαίτερα από τους ιθύνοντες ώστε να γίνει συγκέντρωση ενός ικανοποιητικού δείγματος. Ενδεικτικά, το ανθρώπινο δυναμικό του ΤΟΕΒ Πηνειού αποτελείται από 3 εξειδικευμένα άτομα, από τα οποία μόνο το ένα είναι σχετικό με θέματα υδατικών πόρων. Οι υπόλοιποι είναι ανειδίκευτο προσωπικό. Ο ΤΟΕΒ Κάρλας, πάλι φαίνεται να διαχειρίζεται μόνο από ένα άτομο. Πέρα από τις ανθρώπινες δυσκολίες υπήρξαν και θεσμικές, καθώς το κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας αυτής, ο ΤΟΕΒ Κάρλας σταμάτησε να λειτουργεί και έτσι η εύρεση των προηγούμενων ιθυνόντων ήταν ακόμα πιο δύσκολη.

Τελικά, η εργασία στοχεύει στο να συνεισφέρει στη θεωρητική και πρακτική γνώση για τις εφαρμογές Πολυκριτηριακής Ανάλυσης καθιερώνοντας δύο αναβαθμίσεις στις υπάρχουσες προσεγγίσεις:

1. Να καθιερώσει το σκεπτικό αξιολόγησης πολλών διαφορετικών τεχνικών MCA πριν την επίλυση ενός προβλήματος, ώστε να καταλήξει στην καταλληλότερη και πιο «ταιριαστή» μέθοδο για τις ανάγκες του προβλήματος.
2. Για σημαντικές αποφάσεις μεγάλης κλίμακας καλό είναι να εξετάζονται δύο ομάδες δειγμάτων. Εκτός από τους ιθύνοντες θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η γνώμη ειδικών σε θέματα που αφορά η απόφαση που πρόκειται να παρθεί.

Στη συνέχεια αναλύεται και τεκμηριώνεται αυτή η στόχευση της εργασίας, μελετώντας τα συμπεράσματα ξεχωριστά για τη μεθοδολογική προσέγγιση και το δείγμα. Τέλος, δίνονται συστάσεις για βελτίωση και συνέχιση της έρευνάς μας.

## 7.1 Συμπεράσματα για τις μεθόδους

Αρχικά, όλες οι μέθοδοι εφαρμόστηκαν όπως αναπτύχθηκαν και ο τρόπος επίλυσής τους ήταν τέτοιος που έδινε τη δυνατότητα ελέγχου τους σε κάθε στάδιο της διαδικασίας. Αυτό είναι και το πρώτο βασικό στοιχείο που συνίσταται για παρόμοιες εργασίες. Από εκεί και πέρα, το θέμα που τίθεται είναι η αξιολόγηση των ίδιων των μεθόδων. Όλες οι μέθοδοι εξάγουν το ίδιο αποτέλεσμα, με άλλα ποσοστά και άλλη κατάταξη των υπολοίπων εναλλακτικών, πάντως η απόφαση για την καταλληλότερη εναλλακτική είναι σαφές ότι είναι «ομόφωνη». Το συμπέρασμα λοιπόν είναι ότι όλες οι μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το πρόβλημα, όμως θα πρέπει να επιλεχθεί αυτή που δίνει καλύτερη αναπαράσταση της κατάστασης και της αντίληψης του δείγματος. Ένας τρόπος λοιπόν να αξιολογηθούν αυτές οι μέθοδοι, είναι οι δείκτες ελέγχου τυχαιότητας, συνοχής και αξιοπιστίας τους, όταν αυτοί υπάρχουν. Το δείγμα και στις δύο ομάδες του συμφωνεί δηλαδή σε γενικές γραμμές στα αποτελέσματα, άρα αυτό δείχνει ότι ήταν αξιόπιστο.

Πιο συγκεκριμένα, στη μέθοδο MAUT, σύμφωνα με τους Witttrup-Jensen και Pedersen (2008), δεν υπάρχει αντικειμενικά αποδεκτός έλεγχος συνοχής (consistency) και έτσι θα περιορίζονται σε έναν έλεγχο αξιοπιστίας (reliability). Στο συγκεκριμένο πρόβλημα η MAUT απέδειξε την «αδυναμία» της προσθετικής συνάρτησης, ότι δηλαδή προϋποθέτει αναγκαστικά ανεξαρτησία μεταξύ εναλλακτικών και κριτηρίων, επομένως δεν κρίνεται ως η καταλληλότερη μέθοδος για το συγκεκριμένο πρόβλημα, εκτός από την περίπτωση που οι σχέσεις μεταξύ εναλλακτικών και κριτηρίων διασαφηνιστούν πλήρως στους ερωτώμενους.

Η μέθοδος AHP έχει έλεγχο τυχαιότητας και συνοχής, ο οποίος παρουσιάστηκε αναλυτικά με τα αποτελέσματά της. Η AHP είναι και η μόνη μέθοδος που παρέχει αυτή τη δυνατότητα ελέγχου και είναι ένα από τα σημαντικά πλεονεκτήματά της έναντι των υπολοίπων μεθόδων. Βασιζόμενοι στις επαναλήψεις όπου χρειάστηκε η AHP για να φτάσει σε αποδεκτά όρια συνοχής, και στη δυσκολία έως και αδυναμία των ερωτώμενων να κατανοήσουν το πρόβλημα και τις σχέσεις βαθμολόγησης που τους ζητήθηκαν, συμπεραίνουμε ότι τίθεται και θέμα ευχρηστίας. Γιατί στη διαδικασία επανάληψης των ερωτηματολογίων της AHP η γραμμή πρωτοβουλίας του ερωτώμενου και η επίδρασή του από τον ερευνητή, ώστε να ικανοποιήσει το δείκτη συνοχής, ήταν λεπτή. Ένα πολύ βασικό όμως πλεονέκτημα της AHP ήταν η δυνατότητα ελέγχου των αποτελεσμάτων της σε κάθε ενδιάμεσο βήμα. Δηλαδή είναι ξεκάθαρο ποια εναλλακτική επικρατεί ως προς κάθε κριτήριο ξεχωριστά, και ως προς το σύνολο των κριτηρίων. Επίσης οι δείκτες τυχαιότητας εξάγονται 4 φορές συνολικά, μία για τη βαθμολόγηση των κριτηρίων και μία για τη βαθμολόγηση των εναλλακτικών ως προς τα 3 κριτήρια. Αυτό δίνει τη δυνατότητα για την εξαγωγή αποτελεσμάτων που προέκυψαν από σοβαρή αντιμετώπιση του ερωτηματολογίου, καθώς οι ερωτώμενοι καλούνται να αναθεωρήσουν τις απαντήσεις τους για τις σχέσεις μεταξύ των εναλλακτικών ως προς διαφορετικά μέτρα σύγκρισης.

Στις μεθόδους TOPSIS και ELECTRE, η μόνη βαρύτητα που έδωσαν οι ερωτώμενοι ήταν πόσο σημαντικό θεωρούν το κάθε κριτήριο σε κλίμακα από το 1-10. Οι υπόλοιπες παράμετροι υπολογίσθηκαν με βάση τις επιδόσεις των εναλλακτικών ως προς τα κριτήρια, έτσι η μέθοδος δίκαια χαρακτηρίζεται ως σχετικά αντικειμενική. Ως εκ τούτου δεν υπάρχει κάποιος έλεγχος τυχαιότητας για αυτές τις μεθόδους, και όπως επισημαίνουν και οι Shih, Shyur και Lee (2007), το κύριο μειονέκτημά τους είναι ότι δεν παρέχουν εξαγωγή βαρών και έλεγχο συνέπειας (weight elicitation, and consistency checking for judgments). Ειδικά η μέθοδος ELECTRE έδωσε μία πιο μονοδιάστατη προσέγγιση, εφόσον εξήγαγε μόνο μία λύση και όχι κατάταξη καταλληλότερων λύσεων. Το ότι δεν υπάρχει δεύτερη καταλληλότερη εναλλακτική σε περίπτωση που η πρώτη δεν εφαρμοστεί είναι μια έλλειψη ευελιξίας, όπου σε θέματα πολιτικής είναι επικίνδυνη. Μπορεί δηλαδή να δίνει μια καλή αναπαράσταση της πραγματικής κατάστασης, όμως η έλλειψη διαφάνειας και ελέγχου σε κάθε στάδιο λειτουργεί ως μειονέκτημά της. Για τους λόγους αυτούς, προτείνεται να μη χρησιμοποιείται σε προβλήματα με παρόμοιο σκοπό. Από την άλλη, το μειονέκτημα της TOPSIS ήταν ότι εξάγει ποια λύση ήταν πιο κοντά στην ιδανική, κάτι δηλαδή θεωρητικό. Συγκριτικά δηλαδή με τις TOPSIS και ELECTRE, οι μέθοδοι MAUT και AHP, ήταν πολύ πιο άμεσες, με την έννοια ότι οι ερωτώμενοι κρίθηκαν να βαθμολογήσουν, όχι μόνο τα κριτήρια, αλλά και κάθε υποκριτήριο και εναλλακτική, ως προς κάθε πιθανότητα επίλυσης. Αυτό συνεπάγεται καλύτερη απόκριση στο ερωτηματολόγιο, και άρα πιο αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα της πραγματικότητας.

Για περαιτέρω έρευνα, λοιπόν, προτείνονται οι μέθοδοι AHP και MAUT. Σε αυτό το σημείο δικαιολογείται και η πρώτη στόχευση της εργασίας, επειδή αν το πρόβλημα είχε επιλυθεί με μία μόνο μέθοδο, τότε ένα μέρος της πραγματικότητας δε θα ήταν γνωστό στους μελετητές.

## **7.2 Συμπεράσματα για τους ερωτώμενους**

Η μεγαλύτερη δυσκολία που συνάντησαν ήταν η κατανόηση του προβλήματος και η συμπλήρωση του ερωτηματολογίου της AHP ώστε να ικανοποιείται ο περιορισμός τυχαιότητας.

Οι ερωτώμενοι δε δίνουν τα ίδια βάρη, αλλά τα αποτελέσματά τους είναι ίδια σε μεγάλο ποσοστό, σημαίνει ότι οι επιδόσεις των εναλλακτικών επηρέασαν σημαντικά το αποτέλεσμα. Αυτό δικαιολογείται από τη συσχέτιση (correlation) μεταξύ των κριτηρίων 1 και 3. Επομένως θα μπορούσαμε να απαλείψουμε το κριτήριο 3, εκτός όμως της συνιστώσας του χρηματοοικονομικού κόστους, που δε συσχετίζεται με το υδατικό ισοζύγιο.

Εφόσον όμως έγινε ξεκάθαρη η καταλληλότερη λύση, τότε οι διαφορές μεταξύ των υπολοίπων εναλλακτικών οφείλονται σε αβεβαιότητα, τυχαιότητα από την αδυναμία κατανόησης του προβλήματος από τους ερωτώμενους και σε θέματα της κάθε μεθόδου.

Εδώ δικαιολογείται και η δεύτερη στόχευση της εργασίας, επειδή αν το πρόβλημα είχε επιλυθεί με χρησιμοποιώντας ως δείγμα μόνο του ιθύνοντες ίσως οδηγούταν σε παραπλανητικά συμπεράσματα λόγω ελλιπούς κατανόησης, αν λάβουμε υπόψη ότι η συμπλήρωση των ερωτηματολογίων τους έγινε παρουσία του ερευνητή. Δυστυχώς στη χώρα μας, δεν είναι λίγες οι φορές που η διοίκηση είναι ανεπαρκής είτε λόγω θεσμικών είτε λόγω ανθρώπινων περιορισμών. Το δεύτερο θα μπορούσε να λυθεί ή να ελαττωθεί με τη συμβολή των κατ' επάγγελμα αρμόδιων σε κάθε διαδικασία λήψης απόφασης. Τα αποτελέσματα αποδεικνύουν ότι αυτή η προσέγγιση έχει μέλλον, ακόμα και αν ενισχυθεί η διαδικασία διαβούλευσης μεταξύ ειδικών και ιθυνόντων.

### **7.3 Συμπεράσματα για την κατάσταση στην περιοχή μελέτης**

Τα αποτελέσματα αλλά και οι απαντήσεις και των δύο ομάδων του δείγματος δείχνουν ότι το μεγαλύτερο ζήτημα που αντιμετωπίζει η λεκάνη απορροής της λίμνης Κάρλας, είναι η τεράστια ποσοτική υποβάθμιση των υδατικών της πόρων. Είναι κοινώς αντιληπτό, όμως στην πράξη μόνο οι ειδικοί (experts) έθεσαν ως πρώτο στόχο την επίτευξη καλύτερου υδατικού ισοζυγίου (Κριτήριο 1). Οι DMs εξακολουθούν να θέτουν ως στόχο την επίτευξη κέρδους (Κριτήριο 2), χωρίς όμως να αποκλείουν τη σημασία της διαθεσιμότητας του νερού. Αυτό δείχνει ότι στην περιοχή έχουν γίνει αρκετά βήματα για να μεταφερθούμε από μία καπιταλιστική αντιμετώπιση του περιβάλλοντος σε μία συνδυαστική πολιτική επίτευξης οικονομικών στόχων με περιβαλλοντικούς όμως περιορισμούς. Προς το παρόν, τα μέσα για να επιτευχθεί αυτό, μόνο οι ειδικοί έδειξαν ότι μπορούν να διαθέσουν.

### **7.4 Προτάσεις για βελτίωση και περαιτέρω έρευνα**

Στο υποκεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι αδυναμίες της εργασίας, οι οποίες δεν έγιναν λόγω χρονικών περιορισμών της δουλειάς, αναγνωρίζονται όμως και συνιστώνται για περαιτέρω έρευνα και βελτίωση της παρούσας διατριβής.

Αρχικά, η χρήση μεγαλύτερου δείγματος θα έκανε τα αποτελέσματα πιο αντιπροσωπευτικά και θα έδινε μεγαλύτερη σημασία στη βαρύτητα και την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Από την άλλη ο περιορισμένος αριθμός των ιθυνόντων στους ΤΟΕΒ Πηνειού και Κάρλας καθιστά αδύνατη αυτή την επιλογή, η οποία όμως θα μπορούσε να βρει ανταπόκριση από την εύρεση περισσότερων ειδικών ως δείγμα. Ακόμα και η χρήση περισσότερων μεθόδων MCA θα μπορούσε να συνεισφέρει στην εύρεση κάποιας που να «ταιριάζει» περισσότερο στο πρόβλημά μας.

Επίσης, πριν ξεκινήσει μία διαδικασία Πολυκριτηριακής ανάλυσης, είναι σημαντικό να είναι ξεκάθαροι οι στόχοι, οι εναλλακτικές και τα κριτήρια που θα χρησιμοποιηθούν. Οι περισσότερες μέθοδοι προϋποθέτουν ανεξαρτησία κριτηρίων. Αυτό επιτυγχάνεται με τεστ συσχέτισης (correlation test). Στην περίπτωσή μας είναι προφανές ότι το υδατικό ισοζύγιο (Κριτήριο 1) επηρεάζει το κόστος πόρου και έμμεσα το περιβαλλοντικό κόστος (συνιστώσες του Κριτηρίου 3) όμως από τους μελετητές

κρίθηκε σημαντικό και άξιο ελέγχου, να συμπεριληφθούν όλα τα διαθέσιμα στοιχεία στην ανάλυση. Ο λόγος ήταν ότι ένα μέρος του δείγματος μπορεί να αδυνατούσε να κατανοήσει αυτή τη σχέση, καθώς το κόστος νερού είναι σχετικά καινούρια έννοια, και να οδηγήσει έτσι σε διαφορετικά αποτελέσματα. Επίσης σε αυτή την απόφαση συνέβαλλε και το γεγονός ότι το χρηματοοικονομικό κόστος, που είναι και αυτό συνιστώσα του πλήρους κόστους νερού, δεν επηρεάζεται από το υδατικό ισοζύγιο. Εκ του αποτελέσματος, συμπεραίνουμε ότι, εφόσον δε δίνουν τα ίδια βάρη, αλλά τα αποτελέσματά τους είναι ίδια σε μεγάλο ποσοστό, οι επιδόσεις των εναλλακτικών επηρέασαν σημαντικά το αποτέλεσμα. Αυτό δικαιολογείται από τη συσχέτιση (correlation) μεταξύ των Κριτηρίων 1 και 3. Επομένως, σε επόμενη επανάληψη της έρευνας, θα μπορούσε να απαλειφθεί το κριτήριο 3, εκτός όμως της συνιστώσας του χρηματοοικονομικού κόστους, που δε συσχετίζεται με το υδατικό ισοζύγιο.

Όπως προαναφέρθηκε, στη μέθοδο MAUT οι Wittrup-Jensen και Pedersen (2008) ακολούθησαν μια μεθοδολογία έμμεσων ελέγχων. Ομοίως, η παρούσα εργασία θα μπορούσε να επεκταθεί με ελέγχους συσχέτισης μεταξύ βαρυτήτων, κριτηρίων και εναλλακτικών, όχι μόνο στη MAUT, αλλά και στις υπόλοιπες μεθόδους. Πιο αναλυτικά, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί συντελεστής συσχέτισης (Pearson correlation coefficient ή Spearman rank correlation coefficient) μεταξύ του μέσου όρου των βαρυτήτων που έδωσαν οι ερωτώμενοι. Μεγάλη συσχέτιση θα σήμαινε ότι οι ερωτήσεις είναι αντιληπτές και οι στόχοι ξεκάθαροι, άρα αυτόματα επιτυγχάνεται ομοιογένεια στο δείγμα. Γενικότερα, η χρήση στατιστικών δεικτών (μέσες τιμές, διακύμανση, διασπορά) ίσως θα έδινε περισσότερα συμπεράσματα και θα κάλυπτε τις αδυναμίες των μεθόδων ως προς την απουσία των ελέγχων τυχαιότητας.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Adelman L. (1992). Evaluating decision support and expert systems. New York: Wiley.
- Alamanos A., Latinopoulos D., Xenarios S., Mylopoulos N. (2017). A new hydroeconomic modeling approach for Lake Karla Watershed, in Central Greece. Submitted to International Journal of Water (IJW) (under review).
- Alamanos A., Xenarios S., Mylopoulos N., Stalnacke P. (2016). Hydro-economic modeling and management with limited data: the case of Lake Karla Basin, Greece. European Water Journal, issue 54:3-18.
- Alamanos A., Xenarios S., Mylopoulos N., Stalnacke P. (2017). Integrated Water Resources Management in Agro-economy using linear programming: the case of Lake Karla Basin, Greece. 10th World Congress of EWRA, 5-9/7/2017, Athens, Greece.
- Andreoli, M. and Tellarini, V. (2000). 'Farm sustainability evaluation: methodology and practice', Agriculture, Ecosystems and Environment, 77 (1–2): 43–52.
- Andriole S. J. (1989). Handbook for the design, development, evaluation, and application of interactive decision support systems. Princeton, NJ: Petrocelli.
- Anselin L., & Arias, E. G. (1983). A multi-criteria framework as a decision support system for urban growth management applications: Central city redevelopment. European Journal of Operational Research, 13(3), 300-309. DOI: 10.1016/0377-2217(83)90058-9
- Antunes E., Marangoni R.A., Brain, S.D. & De Nucci, G. (1992). Phoneutria nigriventer (armed spider) venom induces increased vascular permeability in rat and rabbit skin in vivo. Toxicon, 30, 1011–1016.
- Bana e Costa C.A., Vansnick, J.C. (1994). MACBETH – An interactive path towards the construction of cardinal value functions”, International Transactions in Operations Research, 1,4 (489-500).
- Berhan M.T. (2000). Basic development and decision processes: Technical and Economic Analyses. African Technology Forum. <http://www.africantechologyforum.org>
- Brans J. P., Mareschal B. (2000). How to Decide with PROMETHEE?, <http://www.visualdecision.com>.
- Zopounidis C. N.F. Matsatsanis and M. Doumpos. (1996). Developing a multicriteria knowledge –based decision system for the assetment of corporate performance and viability: The FINEVA system. Fuzzy Economic Review, 1(2):35-53
- Hwang C.L., K. Yoon, (1981). Multiple Attribute Decision Making, Springer-Verlag, Berlin..



- Chandrasekaran and Ramesh, (1987). Microcomputer based multiple criteria decision support system for strategic planning
- Churchman, C.W., Ackoff, R.L. and Arnoff, E.L. (1957). Introduction to Operations Research, New York: Wiley.
- Cohon JL, Marks DH (1975). A review evaluation of multiobjective programming techniques. *Water Resour Manag* 11(2):208–220
- Colson G, Mareschal B. (1994). JUDGES: A descriptive group decision support system for the ranking of items. *Decision support systems* 12:391-404
- Csaki, E., Csorgo, M., Foldes, A., Revesz, P., (1995). Global Strassen-type theorems for iterated Brownian motions. *Stochastic Process. Appl.* 59, 321 341
- De Montis A., De Toro B. , Droste-Franke B., Omann I., Stagl S. (2005). Assessing the quality of different MCDA methods, In book: *Alternatives for Environmental Valuation*, Publisher: Routledge, Editors: Getzner, Michael and Spash, Clive L. and Stagl, Sigrid, pp.99-133.
- Dunning DJ, Ross QE, Merkhofer MW (2000). Multiattribute utility analysis; best technology available; adverse environmental impact; Clean Water Act; Section 316(b). *Environ Sci Policy* 3:7–14
- Eder G, Duckstein L, Nachtnebel HP (1997). Ranking water resource projects and evaluating criteria by multicriterion Q-analysis: an Austrian case study. *J Multi-Criteria Decis Anal* 6(5):259–271
- Edwards W., Barron F.H, (1994). SMARTS and SMARTER: Improved simple methods for multiattribute utility measurement, *Organizational behavior and Human Decision Processes* 60, 306-325
- Edwards, W., (1977). How to use multiattribute utility measurement for social decision making. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics SMC*, 7(5), pp. 326-340.
- Eom, H.B., Lee, S.M., Snyder, C.A., and Ford, F.N. (1987/1988). A multiple criteria decision support system for global financial planning", *Journal of Management Information Systems* 494-113
- Faramarzi M., Yanga H., Schulinc R., Abbaspoura K.C. (2010). Modeling wheat yield and crop water productivity in Iran: Implications of agricultural water management for wheat production. *Agricultural Water Management* 97 2010 1861–1875.
- Figueira J, Salvatore G, Ehrgott M . (2005a). Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys. Springer, Berlin Heidelberg New York, p 1045
- Fishburn, P.C. (1968). ‘Utility theory’, *Management Science*, 14: 335–78.
- Fishburn, P.C. (1970). *Utility Theory for Decision Making*, New York: John Wiley and Sons.

- Fishburn, P.C. (1978). A survey of multiattribute/multiple criteria evaluation theories', in S. Zionts (ed.) *Multiple Criteria Problem Solving*, Berlin: Springer: 181–224.
- Funtowicz, S.O. and Ravetz, J. (1990) *Uncertainty and Quality in Science for Policy*, Dordrecht: Kluwer.
- Kim G., Park C.S., Yoon K.P. (1997.) Identifying investment opportunities for advanced manufacturing systems with comparative-integrated performance measurement, *International Journal of Production Economics* 50 23–33.
- Gershon M, Duckstein L (1983). Multiobjective approaches to river basin planning. *J Water Resour Plan Manage Div* 109(1):13–28
- H.S. Shih, H.J. Shyr, E.S. Lee, (2007). An extension of TOPSIS for group decision making, *Elsevier, Mathematical and Computer Modelling* 45 801–813.
- Hayashi K (2000). Multicriteria analysis for agricultural resource management: a critical survey and future perspectives. *Eur J Oper Res* 122:486–500
- Heil, K., (2006). Open and Closed Systems, in *Encyclopedia of Management* Edited by Marilyn M. Helms, 5th Edition, Thomson Gale Editions, 596 – 598.
- Hwang C.L., Lai Y.J., Liu T.Y. (1993). "A new approach for multiple objective decision making". *Computers and Operational Research*. 20: 889–899. doi:10.1016/0305-0548(93)90109-v.
- Hwang C.L., Yoon K. (1981). *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. New York: Springer-Verlag.
- Hyde, K.M., (2006). Uncertainty analysis methods for multi-criteria decision analysis. Ph.D. Dissertation. University of Adelaide, School of Civil and Environmental Engineering.
- Hydromentor, (2011-2015). Development of an integrated monitoring system and management of quantity and quality of water resources in agricultural basins under climate change conditions. Application in the basin of Lake Karla
- Jablonsky, J., (2005). A MS Excel Based Support System for Data Envelopment Analysis Models. In: Skalska, H. (ed.) *Mathematical Methods in Economics 2005*, Gaudeamus, Hradec Kralove, 2005, 175–181.
- Janssen, R. (1992). *Multiobjective Decision Support for Environmental Management*, Dordrecht: Kluwer Academic.
- Keen, P. G. W. and M. S. Scott-Morton. (1978). *Decision Support Systems: An Organizational Perspective*. Reading, MA: Addison-Wesley.
- Keeney, R.L. and Raiffa, H. (1976). *Decisions with Multiple Objectives*, New York: John Wiley.
- Keeney, R.L. and Raiffa, H. (1976). *Decisions with Multiple Objectives*, Wiley, New York.

- Wallnau K. (1998). Risk/Misfit, Software Engineering Institute, THE 99 SOFTWARE ENGINEERING SYMPOSIUM, Carnegie Mellon University, , [http://www.sei.cmu.edu/cbs/cbs\\_slides/99symposium/056pr.pdf](http://www.sei.cmu.edu/cbs/cbs_slides/99symposium/056pr.pdf)
- Langen D., (1989). P.L. An (interactive) decision support system for bank asset liability management
- Little, J. D. C. (1970). Models and Managers: The Concept of a Decision Calculus". *Management Science*, 16, 8, B466-485.
- Little, J. D. C. (1970). Models and Managers: The Concept of a Decision Calculus". *Management Science*, vol. 16, no. 8, pp. B466-485.
- Mareschal B and J.P. Brans (1996). *European Journal of Operational Research*
- Mareschal B., Mertens D. (1992). *Journal of Decision Systems*
- Mendoza, G.A. and Prabhu, R. (2000). Multiple criteria decision making approaches to assessing forest sustainability using criteria and indicators: a case study', *Forest Ecology and Management*, 131(1-3): 107-26.
- Neumann J. V., Morgenstern O. (1953). *Theory of Games and Economic Behavior*. Princeton, NJ. Princeton University Press
- Ozelkan EC, Duckstein L (1996). Analysing water resource alternatives and handling criteria by multi criterion decision techniques. *J Environ Manag* 48:69-96
- Peat, D., and Briggs, J., (1999). *Seven Life Lessons of Chaos: Timeless Wisdom from the Science of Change*. Harper Collins Publishers, Inc.
- Pohekar SD, Ramachandran M (2004). Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning – a review. *Renew Sustain Energy Rev* 8:365-381
- R.A. Fisher (1936) The use of multiple measurements in taxonomic problems." *Annals of Eugenics* 7: 179-188.
- Rogers, M. and Bruen, M. (1998). Choosing realistic values of indifference, preference and veto thresholds for use with environmental criteria within ELECTRE", *European Journal of Operational Research*, 1998;107:542-551
- Romero C, Rehman T (1987). Natural resource management and the use of multiple criteria decision making techniques: a review. *Eur Rev Agric Econ* 14(1):61-89
- Romero C, Rehman T (1987). Natural resource management and the use of multiple criteria decision making techniques: a review. *Eur Rev Agric Econ* 14(1):61-89
- Roy, B. (1991). The outranking approach and the foundations of ELECTRE methods", *Theory and Decision*, 31, 49-73.

- Roy, B. (1996). *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Roy, B. and Bouyssou, D. (1993). *Aide multicritère à la decision: Méthodes et cas*”, Economica, Collection Gestion; Paris.
- Roy, B. and Mousseau, V. (1996). *A theoretical framework for analysing the notion of relative importance of criteria*”, *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*; 5:145-149
- Roy, B. and Mousseau, V. (1996). *A theoretical framework for analysing the notion of relative importance of criteria*”, *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*; 5:145-149
- Roy, B., (1968). *Classement et choix en présence de points de vue multiples (la méthode ELECTRE)*. *La Revue d'Informatique et de Recherche Opérationnelle (RIRO)* (8): 57–75.
- Roy, B., Present, M., Silhol, D., (1986). *A programming method for determining which Paris metro stations should be renovated*. *European Journal of Operational Research*, 24 (2): 318-334.
- Roy, Bernard (1968). *Classement et choix en présence de points de vue multiples (la méthode ELECTRE)*. *La Revue d'Informatique et de Recherche Opérationnelle (RIRO)* (8): 57–75.
- Cheng S., Chan C.W., Huang G.H., (2002). *Using multiple criteria decision analysis for supporting decision of solid waste management*, *Journal of Environmental Science and Health, Part A* 37 (6) 975–990.
- Hajkowicz S. and Collins K. (2007). *A Review of Multiple Criteria Analysis for Water Resource Planning and Management*
- Zanakis S.H., Solomon A., Wishart N., Dublisch S. (1998). *Multi-attribute decision making: A simulation comparison of selection methods*, *European Journal of Operational Research* 107 507–529.
- Saaty R. W. (1987). *The Analytic Hierarchy Process-what it is and how it is used*, *Mat/d Modelling*, Vol. 9, No. 3-5, pp. 161-176, 1987, Printed in Great Britain.
- Saaty T.L., (1991). *Some mathematical concepts of the analytic hierarchy process*. *Behaviormetrika* Vol 18 , No.29 pp.1-9.
- Saaty Th. L. (2003). *Decision-making with the AHP: Why is the Principal Eigenvector necessary?* *European Journal of Operational Research* 145: 85-91
- Saaty, T. L. (1990)., *How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process*, *European Journal of Operations Research* 48 (1990), pp 9-26.
- Sage, A. P. (1991). *Decision support systems engineering*. New York: Wiley

- Sage, A., (2007a). Decision support system, in McGraw – Hill Encyclopedia of Science and Technology. Vol.5, 10th Edition. pp. 301 – 302.
- Sage, A., (2007b) . Decision Theory, in McGraw – Hill Encyclopedia of Science and Technology. Vol.5, 10th Edition. pp. 302 – 308.
- Sanja Vraneš, Mladen Stanojević, Violeta Stevanović, Mario Lučin (1996). Expert Systems
- Sidiropoulos P., (2014). Groundwater Resources Management under Uncertainty: The value of information on environmentally degraded aquifers, PhD Thesis, University of Thessaly, Department of Civil Engineering.
- Sintonen H. (1981). n approach to measuring and valuing health states. Social Science and Medicine ; 15: 55-65.
- Sprague, R. H., and E. D. Carlson. (2001). Building Effective Decision Support Systems. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Inc., 1982. appeared in DSS News, February 11, , Vol. 2, No. 4
- Srinivasan and Ruparel, (1990). An expert support system for credit granting
- Steuer RE, Na P (2003). Multiple criteria decision making combined with finance: a categorized bibliographic study. Eur J Oper Res 150:496–515
- Teclé A (1992). Selecting a multicriterion decision making technique for watershed resources management. Water Resour Bull 28(1):129–140
- Voogd, H. (1983). Multiple Criteria Evaluation for Urban and Regional Planning, London: Pion.
- Wittrup-Jensen KU., Pedersen K.M. (2008). Modelling Danish Weights for the 15D Quality of Life Questionnaire by Applying Multi-Attribute Utility Theory (MAUT). University of Southern Denmark, Health Economics Papers 2008:7.
- Siskos Y., Zopounidis C. and Poliezos. (1994). An integrated DSS for financing firms by industrial development bank in Greece. Decision Support Systems, 112(2):151-168
- Siskos Y. and Matsatsinis N.F. (1993). A DSS for market analysis and product design. Journal of Decision Systems, 2(1):35-60,
- Yoon K. (1987). A reconciliation among discrete compromise situations. Journal of Operational Research Society. 38. pp. 277–286. doi:10.1057/jors.1987.44.
- Zopounidis, C. and Doumpos, M. (2002). Multicriteria classification and sorting methods: A literature review, European Journal of Operational Research, 138, 229-246.
- Alamanos A., Fafoutis G, Papaioannou G., Mylopoulos N. (2017) An integrated hydroeconomic model for sustainable water resources management. Selected

paper from CEMEPE Conference for submission to Fresenius Environmental Bulletin in October.

- Alamanos A., Fafoutis C., Papaioannou G., Mylopoulos N.(2017), Extension of an integrated hydroeconomic model of Lake Karla watershed, under management, climate and pricing scenario analysis. Sixth International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics (CEMEPE), June 25-30, 2017 Thessaloniki, Greece.
- Αναγνωστόπουλος Κ. & Βαβάτσικος Α. (2006). Πολυκριτηριακές μέθοδοι και ασαφείς επεκτάσεις σε χωρικά συστήματα στήριξης αποφάσεων.
- Αναγνωστόπουλος Κ. (2007). Πολυκριτηριακά Συστήματα Αποφάσεων σε Ασαφές Περιβάλλον και Εφαρμογή τους στην Αξιολόγηση της Επιπροσθετικότητας Έργων των Μηχανισμών του Πρωτοκόλλου του Κυότο. Διδακτορική διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών.
- Γάλλιου Φ. (2009). Διευρέυνση πλαισίου αξιολόγησης συστημάτων επεξεργασίας λυμάτων μικρής κλίμακας με Πολυκριτηριακή Ανάλυση Αποφάσεων, Μεταπτυχιακή Διατριβή. Γεωπονική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Δούμπος, Μ. και Ζοπουνίδης, Κ. (2001). Πολυκριτήριες Τεχνικές Ταξινόμησης: Θεωρία και Εφαρμογές. Κλειδάριθμος, Αθήνα.
- Λατινόπουλος Δ. (2006). «Εφαρμογή πολυκριτηριακής ανάλυσης για την οικονομική θεώρηση του νερού στη γεωργία, στο πλαίσιο της αειφορικής διαχείρισης των υδατικών πόρων». Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Α.Π.Θ.
- Μυλόπουλος Ν. (2006). Διαχείριση Υδατικών Πόρων, Διδακτικές σημειώσεις, Παν. Θεσσαλίας.
- Παρασκευόπουλος Κ. (2008) Υλοποίηση Πολυκριτηριακής μεθόδου ΑHP, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πληροφορικής, Σχολή Θετικών Επιστημών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Σκόνδρας Ν. (2015) Λήψη αποφάσεων στη Διαχείριση Υδατικών Πόρων: Ανάπτυξη σύνθετου δείκτη αξιολόγησης των κοινωνικών – περιβαλλοντικών συστημάτων ως προς τις συνθήκες αντοχής και τρωτότητας στην έλλειψη ύδατος και την υδατοπύνηση. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Σπανός Σ. (2004) Αναλυτική Μελέτη Πολυκριτηριακών Μεθόδων Λήψης Αποφάσεων, Διπλωματική Εργασία, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΩΝ

Ερωτηματολόγιο για την αξιολόγηση των τιμών βαρύτητας των κριτηρίων για την μέθοδο πολυκριτηριακής ανάλυσης M.A.U.T

ΕΡΩΤΩΜΕΝΟΣ/Η	ΙΔΙΟΤΗΤΑ

Το ερωτηματολόγιο αυτό έχει ως σκοπό την συμπλήρωση των τιμών βαρύτητας των υποκριτηρίων για κάθε εναλλακτική λύση, καθώς και τις τιμές βαρύτητας των εναλλακτικών λύσεων, με τη μέθοδο πολυκριτηριακής ανάλυσης Multi Attribute Utility Theory (M.A.U.T.). Το πρόβλημα για το οποίο εφαρμόζεται η μέθοδος αυτή, είναι το πρόβλημα της καλύτερης κάλυψης των υδατικών αναγκών και αποδοτικότερης λειτουργίας της οικονομίας στη λεκάνη απορροής της λίμνης Κάρλας. Πιο συγκεκριμένα η μέθοδος αυτή στοχεύει στην αξιολόγηση διαφορετικών εναλλακτικών λύσεων, υπό 3 διαφορετικά κριτήρια, τα οποία χωρίζονται σε υποκριτήρια. Οι 5 αυτές εναλλακτικές λύσεις είναι οι εξής:

- Η λειτουργία του ταμιευτήρα της Κάρλας.
- Η αντικατάσταση του 25% της έκτασης βαμβακιού από σιτάρι.
- Η αντικατάσταση του 20% του βαμβακιού από 10% σιτάρι και 10% αραβόσιτο.
- Η μείωση των απωλειών λόγω άρδευσης.
- Η εφαρμογή στάγην άρδευσης.

Σας ζητείται να αξιολογήσετε τις εναλλακτικές λύσεις, με βαθμολογία από το 0 ως το 10 ανάλογα με την βαρύτητα που έχει για εσάς η κάθε μια.

Λειτουργία νέου ταμιευτήρα της Κάρλας.	
Αντικατάσταση του 25% της έκτασης βαμβακιού από σιτάρι.	
Αντικατάσταση του 20% του βαμβακιού από 10% σιτάρι και 10% αραβόσιτο.	
Μείωση των απωλειών λόγω άρδευσης.	
Εφαρμογή στάγδην άρδευσης	

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα κριτήρια και τα υποκριτήρια που

- Κριτήριο 1: Το υδατικό ισοζύγιο.  
Υποκριτήριο 1,1: Εξυπηρετούμενων εκτάσεων από Πηγειό  
Υποκριτήριο 1,2: Εξυπηρετούμενων εκτάσεων από υπόγειο υδροφορέα  
Υποκριτήριο 1,3: Εξυπηρετούμενων εκτάσεων από Κάρλα
- Κριτήριο 2: Το καθαρό κέρδος από την αγροτική δραστηριότητα.



Υποκριτήριο 2,1: Ακαθάριστη Πρόσοδος

Υποκριτήριο 2,2: Κόστος Παραγωγής

- Κριτήριο 3: Πλήρες κόστος νερού

Υποκριτήριο 3,1: Χρηματοοικονομικό κόστος (της επιχείρησης)

Υποκριτήριο 3,2: Κόστος φυσικού πόρου (σπανιότητα)

Υποκριτήριο 3,3: Περιβαλλοντικό κόστος (ποιοτική υποβάθμιση)

Σας ζητείται να αξιολογήσετε την βαρύτητα που έχει κάθε υποκριτήριο ως προς την καθε εναλλακτική λύση ξεχωριστά, βαθμολογώντας κατα στήλες απο το 0 ως το 10.

κριτήριο 1	Λειτουργία νέου ταμιευτήρα της Κάρλας.	Αντικατάσταση του 25% της έκτασης βαμβακιού από σιτάρι	Αντικατάσταση του 20% του βαμβακιού από 10% σιτάρι και 10% αραβόσιτο.	Μείωση των απωλειών λόγω άρδευσης.	Εφαρμογή στάγην άρδευσης
υποκριτήριο 1,1					
υποκριτήριο 1,2					
υποκριτήριο 1,3					

κριτήριο 2	Λειτουργία νέου ταμιευτήρα της Κάρλας.	Αντικατάσταση του 25% της έκτασης βαμβακιού από σιτάρι	Αντικατάσταση του 20% του βαμβακιού από 10% σιτάρι και 10% αραβόσιτο.	Μείωση των απωλειών λόγω άρδευσης.	Εφαρμογή στάγην άρδευσης
υποκριτήριο 2,1					
υποκριτήριο 2,2					

κριτήριο 3	Λειτουργία νέου ταμιευτήρα της Κάρλας.	Αντικατάσταση του 25% της έκτασης βαμβακιού από σιτάρι	Αντικατάσταση του 20% του βαμβακιού από 10% σιτάρι και 10% αραβόσιτο.	Μείωση των απωλειών λόγω άρδευσης.	Εφαρμογή στάγην άρδευσης
υποκριτήριο 3,1					
υποκριτήριο 3,2					
υποκριτήριο 3,3					

**Ερωτηματολόγιο για την αξιολόγηση των τιμών βαρύτητας των κριτηρίων για την μέθοδο πολυκριτηριακής ανάλυσης Α.Η.Ρ.**

ΕΡΩΤΩΜΕΝΟΣ/Η	ΙΔΙΟΤΗΤΑ

Το ερωτηματολόγιο αυτό έχει ως σκοπό την συμπλήρωση των τιμών βαρύτητας των κριτηρίων, σε σύγκριση ανα δύο μεταξύ τους, με τη μέθοδο πολυκριτηριακής ανάλυσης Analytic Hierarchic Process (Α.Η.Ρ.). Το πρόβλημα για το οποίο εφαρμόζεται η μέθοδος αυτή, είναι το πρόβλημα καλύτερης κάλυψης των υδατικών αναγκών και αποδοτικότερης λειτουργίας της οικονομίας στη λεκάνη απορροής της λίμνης Κάρλας,. Πιο συγκεκριμένα η μέθοδος αυτή στοχεύει στην αξιολόγηση διαφορετικών εναλλακτικών λύσεων υπό 3 διαφορετικά κριτήρια. Οι 5 αυτές εναλλακτικές λύσεις είναι οι εξής:

- Η λειτουργία του νέου ταμιευτήρα της Κάρλας
- Η αντικατάσταση του 25% της έκτασης βαμβακιού με σιτάρι .
- Η αντικατάσταση του 20% του βαμβακιού από 10% σιτάρι και 10% αραβόσιτο.
- Η μείωση των απωλειών από την άρδευση
- Η εφαρμογή σταγόνις άρδευσης για την αύξηση της απόδοσης.

Τα 3 διαφορετικά κριτήρια υπό τα οποία θα αξιολογηθούν οι επιπτώσεις των παραπάνω εναλλακτικών είναι τα ακόλουθα:

- Κριτήριο 1: Το υδατικό ισοζύγιο.
- Κριτήριο 2: Το καθαρό κέρδος από την αγροτική δραστηριότητα,
- Κριτήριο 3: Η αξία του νερού ως άθροισμα χρηματοοικονομικού, περιβαλλοντικού κόστους και κόστους πόρου.

Σας ζητείται να αξιολογήσετε τα κριτήρια, ανά ζεύγη με βάση την βαρύτητα που έχει για εσάς το ένα έναντι του άλλου, συμπληρώνοντας τα λευκά κελιά του πίνακα που ακολουθεί. Χρησιμοποιείτε μια εννιάβαθμη κλίμακα από το 1 για ίσης σημασίας έως το 9 για την απόλυτη προτεραιότητα του ενός κριτηρίου ως προς το άλλο, και με κλάσμα 1/1 έως 1/9 για το αντίστροφο.

Επεξήγηση τιμών συμπλήρωσης του πίνακα.

Συγκριτική σημασία κριτηρίων i και j		
1	Ίσης σημασίας	Τα κριτήρια επιδρούν εξίσου σημαντικά στο πρόβλημα
3	Ελάχιστα πιο σημαντική	Η εμπειρία και η κρίση ευνοούν ελαφρά τη σημασία του ενός κριτηρίου έναντι του άλλου
5	Αρκετά πιο σημαντική	Η εμπειρία και η κρίση ευνοούν αρκετά τη σημασία του ενός κριτηρίου έναντι του άλλου
7	Πολύ πιο σημαντική	Υπάρχουν σημαντικές ενδείξεις ότι το ένα κριτήριο υπερέχει του άλλου
9	Εξαιρετικά πιο σημαντική	Υπάρχουν πολυ ισχυρές ενδείξεις ότι το ένα κριτήριο υπερέχει του άλλου

Οι τιμές που μπορούν να δοθούν είναι : 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 και 1/1, 1/2, 1/3, 1/4, 1/5, 1/6, 1/7, 1/8, 1/9

Ανάμεσα στην σύγκριση δύο κριτηρίων επιλέγουμε αυτό που έχει μεγαλύτερη επίδραση για τον στόχο μας. Αν το κριτήριο που επιλέξαμε βρίσκεται στην περιοχή κριτηρίων στην κάθετη στήλη τότε βαθμολογούμε με 1 έως 9. Αν το κριτήριο που επιλέξαμε βρίσκεται στην οριζόντια διάταξη τότε βαθμολογούμε με 1/1 έως 1/9. Οι τιμές της διαγωνίου προφανώς θα είναι ίσες με 1 καθώς γίνεται σύγκριση του κάθε κριτηρίου με τον εαυτό του.

Criteria Weights	Κριτήριο 1	Κριτήριο 2	Κριτήριο 3
Κριτήριο 1	1	5	3
Κριτήριο 2	1/5	1	3
Κριτήριο 3	1/3	1/3	1

Στη συνέχεια σας ζητείται να συμπληρώσετε κατά τον ίδιο τρόπο τους Πίνακες συγκρίσεων των εναλλακτικών, ως προς κάθε κριτήριο:

Ως προς το Κριτήριο 1:

Altern. Weights	Scen. 2	Scen.2a	Scen.2b	Scen.2c	Scen.2d
Scen. 2	1				
Scen.2a		1			
Scen.2b			1		
Scen.2c				1	
Scen.2d					1

Ως προς το Κριτήριο 2:

Altern. Weights	Scen. 2	Scen.2a	Scen.2b	Scen.2c	Scen.2d
Scen. 2	1				
Scen.2a		1			
Scen.2b			1		
Scen.2c				1	
Scen.2d					1

Ως προς το Κριτήριο 3:

Altern. Weights	Scen. 2	Scen.2a	Scen.2b	Scen.2c	Scen.2d
Scen. 2	1				
Scen.2a		1			
Scen.2b			1		
Scen.2c				1	
Scen.2d					1

**Ερωτηματολόγιο για την αξιολόγηση των τιμών βαρύτητας των κριτηρίων για την μέθοδο πολυκριτηριακής ανάλυσης TOPSIS και ELECTRE**

ΕΡΩΤΩΜΕΝΟΣ/Η	ΙΔΙΟΤΗΤΑ

Το ερωτηματολόγιο αυτό έχει ως σκοπό την συμπλήρωση των τιμών βαρύτητας των κριτηρίων, σε κλίμακα από το 1 έως το 10, με τη μέθοδο πολυκριτηριακής ανάλυσης Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS). Το πρόβλημα για το οποίο εφαρμόζεται η μέθοδος αυτή, είναι το πρόβλημα της καλύτερης κάλυψης των υδατικών αναγκών και αποδοτικότερης λειτουργίας της οικονομίας στη λεκάνη απορροής της λίμνης Κάρλας. Πιο συγκεκριμένα η μέθοδος αυτή στοχεύει στην αξιολόγηση διαφορετικών εναλλακτικών λύσεων, υπό 3 διαφορετικά κριτήρια. Οι 5 αυτές εναλλακτικές λύσεις είναι οι εξής:

- Η λειτουργία του ταμιευτήρα της Κάρλας.
- Η αντικατάσταση του 25% της έκτασης βαμβακιού από σιτάρι.
- Η αντικατάσταση του 20% του βαμβακιού από 10% σιτάρι και 10% αραβόσιτο.
- Η μείωση των απωλειών λόγω άρδευσης.
- Η εφαρμογή στάγην άρδευσης.

Τα 3 διαφορετικά κριτήρια υπό τα οποία θα αξιολογηθούν οι επιπτώσεις των παραπάνω εναλλακτικών είναι τα ακόλουθα:

- Κριτήριο 1: Το υδατικό ισοζύγιο.
- Κριτήριο 2: Το καθαρό κέρδος από την αγροτική δραστηριότητα.
- Κριτήριο 3: Η αξία του νερού ως άθροισμα χρηματοοικονομικού, περιβαλλοντικού κόστους και κόστους πόρου.

Σας ζητείται να αξιολογήσετε τα κριτήρια, με βάση την βαρύτητα που έχει για εσάς το κάθε κριτήριο. Για την βαθμολόγηση χρησιμοποιήστε κλίμακα από το 0 ως το 10.

	Βαρύτητα
Κριτήριο 1	
Κριτήριο 2	
Κριτήριο 3	

