



ΑΝΟΙΚΤΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΚΥΠΡΟΥ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΜΑΣΤΕΡ

*Δόμηση χωρικού συστήματος λήψης απόφασης για
χωροθέτηση εγκαταστάσεων*

Ανδρέας Πήττας

Επιβλέπων Καθηγητής
Γεώργιος Χ. Μηλιαρέσης

Μάιος, 2015

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ
ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Δόμηση χωρικού συστήματος λήψης απόφασης για χωροθέτηση εγκαταστάσεων

Ανδρέας Πήττας

Επιβλέπων Καθηγητής
Γεώργιος Χ. Μηλιαρέσης

Μάιος, 2015

Οι άνθρωποι γεννιούνται αμόρφωτοι. Ηλίθιοι γίνονται με την εκπαίδευση.

Bertrand Russell (1872-1970)



ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	12
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	13
ABSTRACT.....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ.....	17
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	17
1.1 ΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ	17
1.2 ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΚΑΙ Η ΑΝΑΓΚΗ	18
1.3 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	19
1.4 ΣΗΜΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	20
1.5 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΟΥ ΑΚΟΛΟΥΘΕΙΤΑΙ.....	21
1.6 ΔΙΑΘΕΣΙΜΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ-ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	23
1.7 ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ.....	24
1.8 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ – ΦΥΣΙΚΟΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΥΠΙΓΩΓΗ.....	25
1.8.1 Υπολεκάνη Λαγκαδά.....	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ.....	30
2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	30
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	30
2.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	30
2.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΩΡΟΥ	33
2.4 ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ-ΜΕΘΟΔΟΙ ΛΗΨΗΣ ΑΠΟΦΑΣΗΣ.....	34
2.4.1 Λήψη Αποφάσεων	34
2.4.2 Διαδικασία Πολυκριτηριακής Ανάλυσης.....	34
2.4.2.1 Γενικά	34
2.4.2.2 Αρχιτεκτονική Χωρικού Συστήματος Απόφασης.....	36
2.4.3 Μέθοδος Αναλυτικής Ιεράρχησης - ΑΗΡ	37
2.4.3.1 Διαδικασία Αναλυτικής Ιεράρχησης.....	37
2.4.3.2 Μεθοδολογικό Πλαίσιο	38

2.4.3.3	Ιεράρχηση ενός προβλήματος απόφασης.....	39
2.4.3.4	Συγκρίσεις ανά ζεύγη.....	40
2.4.3.5	Καθορισμός τοπικών προτεραιοτήτων.....	41
2.4.3.6	Έλεγχος Συνέπειας.....	43
2.4.3.7	Αιτίες πιθανής ασυνέπειας.....	43
2.4.3.8	Τελική Σύνθεση και Αποτίμηση.....	44
2.4.4	Απόδοση Βαρών με χρήση Ασαφούς Λογικής.....	44
2.4.4.1	Ιστορική Αναδρομή.....	44
2.4.4.2	Ανάλυση με τη Λογική της Ασάφειας.....	46
2.4.4.3	Ασαφή συστήματα στα Γεωγραφικά Γεωγραφικά Συστήματα.....	47
2.4.4.4	Αναπαράσταση του χωρικού προβλήματος με Ασαφή Συστήματα.....	48
2.4.4.5	Οι μεταβλητές των Ασαφών συνόλων.....	49
2.4.4.6	Διαδικασία Ασαφοποίησης – Συναρτήσεις συμμετοχής.....	50
2.4.4.7	Μορφή συναρτήσεων συμμετοχής.....	51
2.4.4.8	Μεταβλητές ως λεκτικές μεταβλητές.....	52
2.4.4.9	Κανόνες ασαφών συστημάτων.....	53
2.4.4.10	Αποασαφοποίηση του προβλήματος.....	53

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ.....54

3	ΥΠΑΡΧΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ Ν. ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ.....	54
3.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	54
3.2	ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ Ν. ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ.....	55
3.2.1	Στρατηγική διαχείρισης στερεών αποβλήτων Ν. Θεσσαλονίκης.....	55
3.2.2	Τεχνολογία Χ.Υ.Τ.Α.....	57
3.2.3	Αναγκαιότητα κατασκευής του Χ.Υ.Τ. ΒΔ Ν. Θεσ/νίκης.....	58

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ.....60

4	ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΠΟΡΩΝ.....	60
4.1	ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΠΟΓΔΑΝΟΥ.....	60
4.2	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΜΠΟΓΔΑΝΟΥ.....	60
4.3	ΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΑ ΚΑΙ ΜΟΡΦΟΓΡΑΦΙΑ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΠΟΓΔΑΝΟΥ.....	61
4.3.1	Ποιοτική αξιολόγηση λεκάνης Μπογδάνου (Μορφογραφία).....	62

4.3.1.1	Μέγεθος.....	62
4.3.1.2	Σχήμα.....	62
4.3.1.3	Συμμετρία λεκάνης	63
4.3.1.4	Εκβάθυνση-Διεύρυνση λεκάνης	64
4.3.1.5	Συμπεράσματα ποιοτικής ανάλυσης.....	66
4.3.2	Τμήμα Άνω Ρου.....	66
4.3.2.1	Συμπεράσματα Αξιολόγησης Άνω Ρου	67
4.3.3	Τμήμα Κάτω Ρου.....	68
4.3.3.1	Συμπεράσματα Κάτω Ρου.....	68
4.3.4	Ποσοτική Ανάλυση Λεκάνης Μπογδάνου	69
4.3.4.1	Εισαγωγή.....	69
4.3.4.2	Κατασκευή Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους	71
4.3.4.3	Υψομετρικό Ολοκλήρωμα Λεκάνης	72
4.3.4.4	Κλίσεις του αναγλύφου	73
4.3.4.5	Προσανατολισμός του αναγλύφου	76
4.3.4.6	Μορφομετρικοί Παράμετροι του αναγλύφου.....	78
4.3.4.7	Μορφομετρικοί παράμετροι λεκάνης απορροής.....	78
4.4	ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	81
4.4.1	Εισαγωγή.....	81
4.4.2	Γεωλογία ευρύτερης περιοχής λεκάνης Μπογδάνου	81
4.4.3	Γεωλογία λεκάνης απορροής υδατορεύματος Μπογδάνου	84
4.4.3.1	Το μεταμορφωμένο κρυσταλλικό υπόβαθρο.....	85
4.4.3.1.1	Γνευσιακά πετρώματα.....	85
4.4.3.2	Πυριγενή πετρώματα (γρανιτικές αποφύσεις πλουτωνίτη Πολυδενδρίου).....	85
4.4.3.3	Στρωματογραφία του Νεογενούς-Τεταρτογενούς	85
4.4.4	Τεκτονική λεκάνης απορροής.....	88
4.4.4.1	Ρηξιγενής Τεκτονική.....	88
4.4.5	Συμπεράσματα.....	89
4.5	ΦΥΤΟΚΑΛΥΨΗ-ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ.....	91
4.5.1	Εισαγωγή.....	91
4.5.2	Κατανομή της φυτοκάλυψης στη λεκάνη του ρεύματος Μπογδάνου	92
4.5.3	Διάκριση της φυτοκάλυψης σε κλάσεις.....	94
4.6	ΥΔΡΟΛΙΘΟΛΟΓΙΑ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΠΟΓΔΑΝΟΥ	95
4.6.1	Εισαγωγή.....	95

4.6.2	Ποιοτική αξιολόγηση υδρολιθολογικών σχηματισμών.....	96
4.6.2.1	Υδρολιθολογική Ενότητα «Α», Πορώδεις Σχηματισμοί.....	96
4.6.2.2	Υδρολιθολογική Ενότητα «Β», Πλειστοκαινικών αποθέσεων	99
4.6.2.3	Υδρολιθολογική ενότητα «Γ» - Βραχώδη πετρώματα.....	100
4.7	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	101
4.8	ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑ – ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΠΟΓΔΑΝΟΥ.	102
4.8.1	Εισαγωγή.....	102
4.9	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ.....	103
4.10	ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΑ.....	104
4.11	ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΚΑ.....	104
4.12	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	109

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ.....111

5	ΕΙΣΗΓΗΣΕΙΣ.....	111
5.1	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ - ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	111
5.2	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ.....	111
5.2.1	Δόμηση Γεωβάσης – Χωρικά Επίπεδα.....	112
5.3	ΕΠΙΛΟΓΗ ΧΩΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ - ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ.....	112
5.3.1	Καθορισμός μεταβλητών	113
5.3.2	Βαθμολόγηση Χωρικών Κριτηρίων	116
5.3.2.1	Περιορισμοί - Constraints.....	116
5.3.2.1.1	Κριτήριο Περαιτότητα Σχηματισμών – C1.....	116
5.3.2.1.2	Κριτήριο Εδαφοκάλυψη – C2	117
5.3.2.1.3	Κριτήριο Καταφύγια Άγριας Ζωής – C3	118
5.3.2.1.4	Κριτήριο Δίκτυο Φύσις 2000 – C4	119
5.3.2.1.5	Κριτήριο Δασικές Εκτάσεις - Καλλιέργειες – C5	119
5.3.2.2	Παράγοντες – Factors	120
5.3.2.2.1	Κριτήριο Ρηξιγενείς Ζώνες – F1	120
5.3.2.2.2	Κριτήριο Κλίσεις Αναγλύφου – F2	121
5.3.2.2.3	Κριτήριο Απόσταση από Υδρογραφικό Δίκτυο – F3.....	124
5.3.2.2.4	Κριτήριο Απόσταση από Κατολισθήσεις – F4.....	126
5.3.2.2.5	Κριτήριο Απόσταση από Οδικό Δίκτυο – F5	126
5.3.2.2.6	Κριτήριο Απόσταση από Οικισμούς – F6.....	129

5.3.2.2.7	Κριτήριο Εκθέσεις σε Ανέμους – F7	129
5.3.2.2.8	Δόμηση Ιεραρχίας - Βαθμονόμηση Κριτηρίων Συνδυαστικά.....	133
5.3.3	Στάθμιση Κριτηρίων	134
5.3.4	Σταθμισμένη Μέθοδος Προγραμματισμού Μέσου Όρου	135
5.3.5	Ανάλυση Ευαισθησίας.....	136
5.4	ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ.....	141
5.5	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	143
5.5.1	Ελληνική Βιβλιογραφία.....	143
5.5.2	Διεθνής Βιβλιογραφία.....	144

Λίστα Σχημάτων

Σχήμα 1-1. Τρισδιάστατη φωτορεαλιστική απεικόνιση του χώρου της κεντρικής Μακεδονίας με έμφαση στη Μυγδονία λεκάνη.	25
Σχήμα 1-2. Φυσικογεωγραφική υπαγωγή υπολεκάνης απορροής Μπογδάνου στο χώρο της Κεντρικής Μακεδονίας.	27
Σχήμα 1-3. Ορεογραφικοί άξονες οριοθετούντες την υπολεκάνη Λαγκαδά.	28
Σχήμα 2-1. Αρχιτεκτονική Χωρικού Συστήματος Απόφασης.	37
Σχήμα 2-2. Ιεραρχική δόμηση διαδικασίας λήψης απόφασης μέσω ΑΗΡ.	40
Σχήμα 2-3. Μορφή τριγωνικής συνάρτησης συμμετοχής.	51
Σχήμα 2-4. Μορφή τραπεζοειδούς συνάρτησης συμμετοχής.	52
Σχήμα 2-5. Διαδικασία Ασαφοποίησης.	52
Σχήμα 4-1. Λεκάνη απορροής Λαγκαδά και υπολεκάνη απορροής υδατορεύματος Μπογδάνου.	61
Σχήμα 4-2. Σχήμα λεκάνης απορροής.	62
Σχήμα 4-3. Εγκάρσιες γεωμορφολογικές τομές του αναγλύφου της λεκάνης απορροής του ρεύματος Μπογδάνου.	63
Σχήμα 4-4. Εφαρμογή του λόγου Διεύρυνσης προς Εκβάθυνση στην νότια περιοχή της λεκάνης απορροής του ρεύματος Μπογδάνου.	65
Σχήμα 4-5. Διάκριση τμήμα Άνω ρου (στάδιο γήρατος) και Κάτω ρου (στάδιο ωριμότητας).	66
Σχήμα 4-6. Κατανομή του αθροιστικού ποσοστού του συνολικού εμβαδού [%] σε σχέση με τα υψόμετρα του αναγλύφου.	70
Σχήμα 4-7. Υψομετρική καμπύλη λεκάνης απορροής.	70
Σχήμα 4-8. Κατανομή του αναλογίας συνολικού εμβαδού [%] σε σχέση με τα υψόμετρα του αναγλύφου.	71
Σχήμα 4-9. Ψηφιακό μοντέλλο εδάφους λεκάνης απορροής υδατορεύματος Μπογδάνου.	72
Σχήμα 4-10. Υψομετρικό ολοκλήρωμα της λεκάνης απορροής του ρεύματος Μπογδάνου.	73
Σχήμα 4-11. Χάρτης κλίσεων αναγλύφου της λεκάνης απορροής του ρεύματος Μπογδάνου.	74
Σχήμα 4-12. Ιστόγραμμα κατανομής και ροδοδιάγραμμα των γωνιών κλίσεων του αναγλύφου της λεκάνης απορροής του υδατορεύματος Μπογδάνου.	75
Σχήμα 4-13. Προσδιορισμός του σχήματος της κλίσης του αναγλύφου στη λεκάνη Μπογδάνου.	75
Σχήμα 4-14. Χάρτης προσανατολισμού του αναγλύφου της λεκάνης απορροής του ρεύματος Μπογδάνου.	76
Σχήμα 4-15. Ιστόγραμμα κατανομής του προσανατολισμού του αναγλύφου της λεκάνης απορροής του υδατορεύματος Μπογδάνου.	77

Σχήμα 4-16. Ροδодιάγραμμα κατανομής του προσανατολισμού του αναγλύφου της λεκάνης απορροής του υδατορεύματος Μπογδάνου.....	77
Σχήμα 4-17. Πίνακας κατανομής του προσανατολισμού του αναγλύφου της λεκάνης απορροής του ρεύματος Μπογδάνου.	78
Σχήμα 4-18. Απλοποιημένο χάρτης των γεωτεκτονικών ζωνών στο χώρο της Κεντρικής Μακεδονίας.	82
Σχήμα 4-19. Στρωματογραφικές στήλες των τριών ενοτήτων στις οποίες διαίρεται η Περιοδοπική ζώνη.	84
Σχήμα 4-20. Ιστόγραμμα επιφανειακής κατανομής των πετρωμάτων στη λεκάνη απορροής του ρεύματος Μπογδάνου.	85
Σχήμα 4-21. Γεωλογικός χάρτης λεκάνης απορροής ρεύματος Μπογδάνου.	87
Σχήμα 4-22. Ροδодιάγραμμα, Ιστόγραμμα κατανομής και στατιστική αξιολόγηση των ρηξιγενών δομών που κυριαρχούν στη λεκάνη απορροής του ρεύματος Μπογδάνου.	88
Σχήμα 4-23. Τομείς διάκρισης λεκάνης απορροής βάσει μακροσκοπικών γεωλογικών κριτηρίων.....	89
Σχήμα 4-24. Χάρτης φυτοκάλυψης λεκάνης απορροής ρεύματος Μπογδάνου.	91
Σχήμα 4-25. Ιστόγραμμα και πίνακας κατανομής εμβαδών των ειδών της φυτοκάλυψης.....	92
Σχήμα 4-26. Χάρτης κλάσεων φυτοκάλυψης, τρωτότητας απέναντι στη διάβρωση, της λεκάνης απορροής υδατορεύματος Μπογδάνου.	93
Σχήμα 4-27. Διάκριση φυτοκάλυψης σε κλάσεις.....	94
Σχήμα 4-28. Πίνακας και ραβδόγραμμα κατανομής των εμβαδών των υδρολιθολογικών ενοτήτων της λεκάνης απορροής.....	97
Σχήμα 4-29. Υδρολιθολογικός χάρτης λεκάνης απορροής ρεύματος Μπογδάνου.....	99
Σχήμα 4-30. Μέση διακύμανση θερμοκρασίας Μ.Σ. Λαγκαδά.....	104
Σχήμα 4-31. Ομβροθερμικό διάγραμμα (Μ.Σ. Λαχανά).....	107
Σχήμα 4-32. Μέση Μηνιαία Σχετική % Υγρασία.....	107
Σχήμα 4-33. Διάγραμμα μέσου ύψους υετού στον Μ.Σ. Λαγκαδά και πίνακας τιμών αυτών.	108
Σχήμα 4-34. Ετήσια συχνότητα (%) κατεύθυνσης και έντασης ανέμου σε beaufort στο Μ.Σ. Λαχανά.	109
Σχήμα 5-1. Ιεραρχική δομή Πολυκριτηριακού προβλήματος.	115
Σχήμα 5-2. Χωρικό ομοίωμα Κριτηρίου C1.....	117
Σχήμα 5-3. Χωρικό ομοίωμα Κριτηρίου C2.....	117
Σχήμα 5-4. Χωρικό ομοίωμα Κριτηρίου C3.....	118
Σχήμα 5-5. Χωρικό ομοίωμα Κριτηρίου C4.....	118
Σχήμα 5-6. Χωρικό ομοίωμα Κριτηρίου C5.....	120

Σχήμα 5-7. Χωρικό ομοίωμα Byte (0-255) Παράγοντα F1 και Ασαφοποίηση αυτού.	122
Σχήμα 5-8. Χωρικό ομοίωμα Byte (0-255) Παράγοντα F2 και Ασαφοποίηση αυτού.	123
Σχήμα 5-9. Χωρικό ομοίωμα Byte (0-255) Παράγοντα F3 και Ασαφοποίηση αυτού.	125
Σχήμα 5-10. Χωρικό ομοίωμα Byte (0-255) Παράγοντα F4 και Ασαφοποίηση αυτού.	127
Σχήμα 5-11. Χωρικό ομοίωμα Byte (0-255) Παράγοντα F5 και Ασαφοποίηση αυτού.	128
Σχήμα 5-12. Χωρικό ομοίωμα Byte (0-255) Παράγοντα F6 και Ασαφοποίηση αυτού.	130
Σχήμα 5-13. Χωρικό ομοίωμα Byte (0-255) Παράγοντα F7 και Βαθμολόγηση προσανατολισμού.	132
Σχήμα 5-14. Στρατηγικό τρίγωνο OWA και τυπικές σχέσεις απόδοσης βερών μεταξύ επικινδυνότητας και συμβιβασμού.	136
Σχήμα 5-15. Τυπικές OWA για τα σενάρια (a), (b), (c), (d), χωροθέτησης του τελικού αποδέκτη σε διαβαθμίσεις κλίμακας 0-255. Με τιμές 0=μη αποδεκτές και 255= απόλυτα αποδεκτές. Το κόκκινο πολύγωνο δεικνύει την υφιστάμενη Θέση – Μαυροράχη II.	138
Σχήμα 5-16. Τυπικές OWA για τα σενάρια (e), (f), χωροθέτησης του τελικού αποδέκτη σε διαβαθμίσεις κλίμακας 0-255. Με τιμές 0=μη αποδεκτές και 255= απόλυτα αποδεκτές. Το κόκκινο πολύγωνο δεικνύει την υφιστάμενη Θέση – Μαυροράχη II.	140

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1-1. Χωρικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν και προέλευση αυτών.	24
Πίνακας 2-1. Κλίμακα χρησιμοποιούμενη για συγκρίσεις ανά ζεύγη.	39
Πίνακας 2-2. Σύγκριση ανα ζεύγη και απόδοση βαθμού προτίμησης ανάμεσα στα κριτήρια.	41
Πίνακας 2-3. Πίνακας Α.....	42
Πίνακας 2-4. Παράδειγμα πίνακα συγκρίσεων.	43
Πίνακας 3-1. Ελάχιστοι στόχοι διαχείρισης δημοτικών Σ.Α για βιοαποδομήσιμα υλικά και απορρίμματα συσκευασιών στον Ν. Θεσσαλονίκης.....	57
Πίνακας 3-2. Ποσοτικοποίηση στόχων διαχείρισης βιομηχανικών Σ.Α για απορρίμματα συσκευασιών στον Ν. Θεσσαλονίκης.	57
Πίνακας 4-1. Μορφομετρικοί παράγοντες της λεκάνης απορροής του ρεύματος Μπογδάνου.	63
Πίνακας 4-2. Μορφομετρικές παράμετροι του αναγλύφου και της λεκάνης απορροής.....	80
Πίνακας 4-3. Έκταση υδρολιθολογικών σχηματισμών στη λεκάνη απορροής και εκτιμώμενος συντελεστής κατεΐσδυσης αυτών.....	102
Πίνακας 4-4. Μέση μηνιαία θερμοκρασία του Μετεωρολογικού Σταθμού Λαχανά (Υπ. Γεωργίας 1961 – 1985), Υψόμετρο Σταθμού: 634m.	106
Πίνακας 5-1. Κριτήρια που λήφθησαν υπόψη στη χωροθέτηση.....	114
Πίνακας 5-2. Κριτήριο C1 και βαθμολόγηση αυτού.	116
Πίνακας 5-3. Κριτήριο C3 και βαθμολόγηση αυτού.	119
Πίνακας 5-4. Κριτήριο C4 και βαθμολόγηση αυτού.	119
Πίνακας 5-5. Κριτήριο C5 και βαθμολόγηση αυτού.	120
Πίνακας 5-6. Πίνακας κανονικοποιημένων τιμών των συχνοτήτων ανέμου αναφορικά με την κατεύθυνση πρηνών.....	131
Πίνακας 5-7. Συνεχής κλίμακα για την επιλογή της βαρύτητας κάθε κριτηρίου.	133
Πίνακας 5-8: Πίνακας συσχετισμού της βαρύτητας των επιμέρους κριτηρίων.....	134
Πίνακας 5-9. Βαρύτητα κριτηρίων.....	134
Πίνακας 5-10. Τυπικό σύνολο σταθμισμένων τιμών για επτά κριτήρια – υποκριτήρια.	137

Ευχαριστίες

Θερμές ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή Μηλιαρέση Γιώργο, για τη συμβολή του στην ολοκλήρωση της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής.

Περίληψη

Τις τελευταίες δεκαετίες ένα από τα κρισιμότερα και πλέον δυσεπίλυτα περιβαλλοντικά προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι κοινωνίες, σχετίζεται με την υλοποίηση ολοκληρωμένων προγραμμάτων διαχείρισης στερεών αποβλήτων (ΔΣΑ). Τα δυνάμει προβλήματα που προκύπτουν από την ελλιπή εφαρμογή ή την μη εφαρμογή ορθολογικών προγραμμάτων ΔΣΑ εντοπίζονται τόσο από το αρχικό στάδιο συλλογής και μεταφοράς των απορριμμάτων καταλήγοντας στην επιλογή μεθόδου της τελικής διάθεσης τους. Οι Χώροι Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) ως επιλογή τελικής διάθεσης κρίνονται επιβεβλημένοι, ανεξάρτητα από τη μέθοδο ή το σύστημα διαχείρισης των αποβλήτων που δύναται να επιλεγεί. Ως εκ τούτου τα κριτήρια που θεσπίζονται για τη χωροθέτηση ενός ΧΥΤΑ είναι πλείστα, πολυδιάστατα και ενίοτε αλληλοσυγκρουόμενα. Πρόδηλα οι προς χωροθέτηση περιοχές διαμορφώνονται εξαρτώμενες κύρια από την επιλογή των κριτηρίων, από τη μέθοδο χωροθέτησης που επιλέγεται καθώς και τους δυνάμει περιορισμούς της.

Το πρόβλημα και ταυτόχρονα η ανάγκη που δημιουργείται, στη χωροθέτηση οχλουσών δραστηριοτήτων, οι οποίες εν κατακλείδι ανάγονται σε επίλυση πολυκριτηριακού συστήματος χωροθέτησης, συνιστά ή έλλειψη συγκεκριμενοποιημένης μεθοδολογικής προσέγγισης στη διαδικασία επιλογής και εν γένει στη λήψης απόφασης. Η διαπίστωση τεκμαίρεται από ανεπαρκείς, ατεκμηριώτες και συχνά λανθασμένες αποφάσεις που έχουν ληφθεί αναφορικά με τη χωροθέτηση δραστηριοτήτων. Αποτέλεσμα η επιτυχής ή όχι επιλογή τελικής θέσης χωροθέτησης να συνιστά αρκετές φορές, θέμα συγκυριών, μικροσυμφερόντων, κομματικών ή όχι και μη συντονισμένων και περιβαλλοντικά τεκμηριωμένων στρατηγικών ενεργειών.

Το αντικείμενο, το οποίο πραγματεύεται η παρούσα Μεταπτυχιακή Διατριβή, είναι η συμβολή της Πολυκριτηριακής Λήψης Απόφασης (Multi-criteria Decision making - MCDM), των Γεωγραφικών Πληροφοριακών συστημάτων (GIS) και της δορυφορικής Τηλεπισκόπησης (Rs) στις Γεωεπιστήμες. Πιο συγκεκριμένα θα ερευνηθούν οι δυνατότητες συνέργιας των ανωτέρω μεθοδολογιών στην αξιολόγηση της καταλληλότητας γης για τη χωροθέτηση ΧΥΤΑ στην ευρύτερη περιοχή της Μυγδονίας λεκάνης στο χώρο της κεντρικής Μακεδονίας.

Αναφορικά με τις μεθόδους που πραγματεύεται και το πλαίσιο εντός του οποίου λειτουργεί η παρούσα, άπτεται των επιστημονικών πεδίων της Χωρικής Ανάλυσης, της Ψηφιακής Χαρτογραφίας - GIS, της Τηλεπισκόπησης, της Πολυκριτηριακής ανάλυσης καθώς και της Ψηφιακής Επεξεργασίας και Ανάλυσης Δεδομένων. Το πεδίο εφαρμογής της, συνιστούν τα αντικείμενα της Γεωμορφολογίας, της Μορφοτεκτονικής, της Γεωλογίας και των Δασικών χρήσεων γης, επιχειρώντας κάτω από το πρίσμα

μιας διεπιστημονικής προσέγγισης να καθορισθεί μια μεθοδολογία αναζήτησης χώρων περιβαλλοντικώς αποδεκτών για χωροθέτηση ενός ΧΥΤΑ.

Η δόμηση των χωρικών επιπέδων, η αποτίμηση και τεκμηρίωσή τους και εν τέλει η τελική μορφή του δομημένου πληροφοριακού συστήματος θα βασιστεί σε χωρικό σύστημα διαχείρισης βάσεων δεδομένων (RDBMS). Τα χωρικά και παραμετρικά δεδομένα προβάλουν την αναδόμηση ενός κλασσικού σχεσιακού συστήματος (ArcInfo 10.4) σε ένα υβριδικό περιβάλλον αντικειμενοσχεσιακό. Το γεωγραφικό σύστημα επιλέγεται να δομηθεί πάνω στην αντικειμενοσχεσιακή αρχιτεκτονική PostgreSQL 9.3. Ο συνδυασμός Postgres SQL 9.3 και ArcGis 10.4 θα χρησιμοποιηθεί ως ο πλέον ενδεδειγμένος τρόπος μεταφοράς του πληροφοριακού συστήματος σε περιβάλλον GIS. Μεθοδολογικά η αξιολόγηση θα στηριχθεί στην υπέρθεση καναβοποιημένων χωρικών επιπέδων (Raster Gis) και ομοιωμάτων τους στο λογισμικό Idrisi Selva κάνοντας ευρεία χρήση μεθοδολογίας ιεραρχικής δομής (Analytical Hierarchy Process - AHP), ανάλυσης στοιχείων κανάβου με απόδοση βαρών (Weight Linear) και αποτίμηση συμμετοχής αυτών με χρήση Ασαφών Συνόλων (Fuzzy Logic). Εν κατακλείδι με την παρούσα, λαμβάνει χώρα προσπάθεια για την υιοθέτηση πολιτικών υλοποίησης ενός συστήματος υποστήριξης αποφάσεων, πλαισιωμένο από χωρικούς κανόνες, με στόχο τον εντοπισμό χώρων περιβαλλοντικώς αποδεκτών για τη χωροθέτηση οχλουσών δραστηριοτήτων όπως οι ΧΥΤΑ με συμπεράσματα και δυνάμει μελλοντικές δυνατότητες εξέλιξης της μεθοδολογίας.

Λέξεις Κλειδιά: Χωροθέτηση Οχλουσών Δραστηριοτήτων, Πολυκριτηριακή Ανάλυση, Μέθοδος Αναλυτικής Ιεράρχησης, Ασαφής Λογική, Γεωπληροφορική, Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών, Χωρικά Συστήματα Υποστήριξης Λήψης Αποφάσεων, Χωρική Ανάλυση.

Abstract

During the last decades one of the most critical and most difficult environmental problems the societies are facing, relates to the implementation of integrated solid waste management programs (SWM). The potential problems, resulting from inadequate application or inapplicability of rational SWM programs, are identified both at the stage of the original waste collection and transport as well as at the stage of the choice of the disposal method. The Landfill as an option for final disposal, is considered imperative, regardless of the method or the system of waste management that can be selected. Therefore the criteria established for the siting of a landfill are many, multidisciplinary and sometimes conflicting. To this end, the site selected regions depend largely on the choice of criteria, the chosen locating method, as well as their potential limitations.

The problem, and at the same time the need created, in siting disturbing activities, which can be solved using multicriteria locating systems, constitutes the lack of specific methodological approaches in the selection process and generally in the decision making. This conclusion is based on unsubstantiated and often wrong decisions taken regarding the site selection of these activities. The result is that the successful or not site selection, constitute several times, a matter of circumstances, local party interests, partisan or not, uncoordinated environmental and documented strategic actions.

The target of the current Master Thesis, is the contribution of Multicriteria Decision Making (MCDM), Geographic Information Systems (GIS) and Remote Sensing Satellite (Rs) in Geosciences. Most specifically there will be investigated the possibilities of synergy of the above mentioned methodologies in assessing the suitability of land for the siting a Landfill in Greater Mygdonia basin in the area of central Macedonia.

Regarding the methods that this research uses are based on the scientific fields of Spatial Analysis of Digital Cartography - GIS, Remote Sensing, the Multicriteria Analysis and Digital Processing and Data Analysis. The processes use Geomorphology of Morphotectonic, geology and forest land use, attempting under the light of a multidisciplinary approach to determine a site search methodology for siting a Landfill environmentally acceptable.

The construction of spatial data levels, the evaluation and documentation and ultimately the final form of structured information system will be based on spatial database management system (RDBMS). The spatial and parametric data show the reconstruction of a traditional relational system (ArcInfo 10.4) in a hybrid object oriented environment. The geographic system is selected to be built in the object oriented architecture of PostgreSQL 9.3. The combination of PostGres SQL 9.3 and ArcGis 10.4 will be used as the most appropriate method for transport of the information system in an environmental GIS. The

evaluation will be based on the superposition of pixel based spatial data layers – grid layers (Raster Gis) and the development of models in the Idrisi Selva software, using the hierarchical structure methodology (Analytical Hierarchy Process - AHP), data analysis grid with factor weighting (Weight Linear) and valuation of their participation with the use of Fuzzy Sets (Fuzzy Logic).

In conclusion, this thesis efforts to adopt policies of implementation of a decision support system controlled by rules, in order to identify areas for environmentally acceptable siting disturbing activities such as landfills, leading to potential possibilities of future extend of the current methodology.

Keywords: Siting disturbing Activities, Multicriteria Analysis, Analytical Hierarchy Process, Fuzzy Logic, Geoinformation, Geographic Information Systems, Spatial Decision Support Systems, Spatial Analysis, Spatial autocorrelation, Spatial Clustering.

Κεφάλαιο Πρώτο

1 Εισαγωγή

1.1 Το πλαίσιο

Το περιβαλλοντικό πρόβλημα και η κοινωνική του αποδοχή σε περιπτώσεις υλοποίησης έργων περιβαλλοντικής διαχείρισης αποτελεί δείκτη κοινωνικής ωριμότητας και εξέλιξης ενός περιβαλλοντικού σχεδιασμού ο οποίος πρέπει να αποσκοπεί στη διαχρονική βελτίωση της ποιότητας ζωής.

Τα προβλήματα αυτά έχοντας εγγενώς χωρική διάσταση αλλά και χωρική εξάρτηση προκαλούν ενίοτε συγκρούσεις υπερτοπικές κατά το στάδιο ακόμη της προμελέτης. Η αναζήτηση της κοινωνικής και πολιτικής οπτικής καθώς και του επιστημονικού πλαισίου εντός του οποίου θα λάβει αναζήτηση και δύναμη εύρεση χώρων καταλλήλων για εγκατάσταση οχλουσών δραστηριοτήτων (ΧΥΤΑ) στον κατάλληλο χρόνο, συνιστά εν κατακλείδι πρόβλημα χωροθέτησης.

Με την έννοια χωροθέτηση δε, νοείται μια σειρά ενεργειών αναζήτησης (πολυπαραγοντική διαδικασία), βάσει παραγόντων-κριτηρίων, καθορισμένων σε κατηγορίες από υφιστάμενο νομικό πλαίσιο ή επιστημονικές μεθοδολογίες, προς εντοπισμό καταλλήλων περιοχών με χαρακτηριστικά που μεγιστοποιούν τα οφέλη λειτουργίας της οχλούσας δραστηριότητας, ελαχιστοποιώντας ταυτόχρονα τις δυνάμει δυσμενείς επιπτώσεις. Κομβικό σημείο των δράσεων, αποτελεί ο σαφής προσδιορισμός του ωφελούμενου, που σε κάθε περίπτωση δεν μπορεί να είναι άλλος από την κοινωνία.

Η μεθοδολογική προσέγγιση της χωροθέτησης με τη σειρά της ερευνά, αποτιμά, τεκμηριώνει, αναλύει, ταξινομεί και τακτοποιεί κατάλληλα τις διαθέσιμες χωρικές και παραμετρικές πληροφορίες σχετικά με τις προκύπτουσες προς χωροθέτηση περιοχές.

Η βιβλιογραφία βρίθει σειράς μεθοδολογιών που έχουν αναπτυχθεί και αφορούν Μοντέλα Πρόβλεψης και Αναλύσεις Σεναρίων με τελικό στόχο την αποτίμηση και τη απλούστευση της ιδιαίτερα πολύπλοκης διαδικασίας της Πολυκριτηριακής Ανάλυσης. Λαμβάνοντας δε υπόψη την αδυναμία μετατροπής όλων των σχετικών μεγεθών σε μία κοινή μονάδα μέτρησης, αλλά και της ποιοτικής φύσης της διαθέσιμης πληροφορίας, οι μέθοδοι Πολυκριτηριακής Ανάλυσης συνιστούν αξιόπιστες διεξόδους αποτίμησης του τελικού αποδέκτη.

Ως μέθοδος πολυκριτηριακής ανάλυσης επιλέγεται η Ιεραρχικής Μέθοδος (Analytic Hierarchy Process – AHP) (Saaty, 1990). Η διάδοσή της και η ευρεία αποδοχή στην βιβλιογραφία οφείλεται στην

απλότητα των διαδικασιών της, στη σαφήνεια των προαπαιτούμενων, στην ευκολία υλοποίησης και στο τεκμηριωμένο αποτέλεσμα της. Μεθοδολογικά υλοποιείται επιμεριστικά σε στάδια:

- Ιεραρχική ανάλυση του προβλήματος σε στοιχεία απόφασης,
- Προτιμήσεις του αποφασίζοντα,
- Επιμερισμός βαρών για τα στοιχεία απόφασης,
- Σύνθεση επιμέρους προτεραιοτήτων.

Ως γενικευμένο υπόβαθρο εντός του οποίου πλαισιώνεται και ολοκληρώνεται η Πολυκριτηριακή Ανάλυση επιλέγεται η πλατφόρμα των Raster GIS. Το ανωτέρω μεθοδολογικό πλαίσιο θα εφαρμοστεί στην αναζήτηση και εν τέλει στην αξιολόγηση της καταλληλότητας θέσης χωροθέτησης ΧΥΤΑ στην ευρύτερη περιοχή της Μυγδονίας λεκάνης στο χώρο της κεντρικής Μακεδονίας.

1.2 Το πρόβλημα και η ανάγκη

Ο χωροταξικός σχεδιασμός σε επίπεδο κράτους, συνιστά υπερτοπική χάραξη πολιτικής διαμόρφωσης του ανθρωπογενούς και φυσικού περιβάλλοντος. Η έλλειψη του σε συστηματικό επίπεδο, τις προηγούμενες δεκαετίες, στην Ελλάδα οδήγησε μονοσήμαντα σε ένα διαπιστωμένα ασαφές και δαιδαλώδες θεσμικό πλαίσιο, προκαλώντας θέσει και δυνάμει προβλήματα στην χωροθέτηση οχλουσών δραστηριοτήτων με μορφή εγκαταστάσεων. Ο μη ορθολογικός σχεδιασμός των χρήσεων γης, η αιφνιδιαστική αρκετές φορές μεταβολή αυτών χωρίς καμιά διαβούλευση, η υιοθέτηση μη συστηματικών, χωρίς πληρότητα και αρτιότητα πολιτικών κατέστησε την νομοθεσία ασαφή, αμφίσημη, δύστοκη και δαιδαλώδη με αλληλεπικαλύψεις αφενός ανάμεσα στα επίπεδα σχεδιασμού και αφετέρου πολιτικά ελλειμματική. Στον χωροταξικό αυτόν κυκεώνα έρχεται να προστεθεί και η συχνή προσφυγή στο Συμβούλιο επικρατείας διαφόρων κοινωνικών ομάδων πασχόντων ενίοτε από το σύνδρομο της «Αλίκης στη χώρα των Θαυμάτων» (Feldman, 2008). Κοινωνικές ομάδες που πιθανά γειτνιάζουν με τους τελικούς αποδέκτες εμφανίζοντας αυξημένες κοινωνικές αντιδράσεις. Οι αντιδράσεις κωδικοποιημένες στη διεθνή βιβλιογραφία ως σύνδρομο N.I.M.B.Y (Never In My Backyard) (Kao and Lin, 1996) και CAVE (Citizens Against Virtual Everything) (Joerin and Musy, 2000), αιτιολογούνται για τη μονοδιάσταση φύση της τεχνολογίας ΧΥΤΑ, για την ποιοτικά υποβαθμισμένη και συχνά επικίνδυνη φύση των αποβλήτων και για το γεγονός ότι αποκλειστικός αποδέκτης συνιστά εν τέλει το περιβάλλον.

Επικουρικά η πειθώ της επίσημης πολιτείας, αναφορικά με τη πληρέστερη και ορθολογικότερη σχεδίαση των τελικών αποδεκτών, καταρτίζεται ενίοτε από αλληλοσυγκρουόμενες, αμφίρροπες ως προς την εξέλιξη και με αμφιλεγόμενες ερμηνείες μελέτες, ενισχύοντας αντί κατευνάζοντας την κοινωνική αντίδραση. Η αντίδραση αυτή δεν θα είναι υπερβολή να ειπωθεί ότι αποτελεί τις

περισσότερες των περιπτώσεων, το πλέον δύσκολο πρόβλημα στην αντιμετώπισή του συγκρινόμενη με οποιοδήποτε άλλης φύσης, τεχνικό ή οικονομικό αναφορικά με την περιβαλλοντική προστασία.

Παρόλα αυτά, τα αποτελέσματα στη Ελληνική επικράτεια, τις τελευταίες δεκαετίες δεικνύουν ότι οι σοβαρές προσπάθειες που καταβλήθηκαν, με χρηματοδότηση από ευρωπαϊκούς πόρους, οδήγησε σε περιφερειακό επίπεδο στην κατασκευή ΧΥΤΑ. Αρκετοί ΟΤΑ, πλέον, διαθέτουν οριοθετημένους χώρους απόρριψης, οι οποίοι όμως σε αρκετές περιπτώσεις στερούνται κατάλληλης υποδομής και δεν πληρούν τις προδιαγραφές για τη σωστή εφαρμογή της υγειονομικής ταφής. Επιπλέον υφίστανται ακόμη περιοχές στις οποίες η διάθεση των απορριμμάτων γίνεται σχεδόν ανεξέλεγκτα.

Εύκολα αντιλαμβανόμαστε από το ανωτέρω σκεπτικό ότι η χωροθέτηση ΧΥΤΑ σαν επιλογή τελικής διάθεσης στην Ελλάδα συνιστά δύσκολη διαδικασία λόγω θεσμικού πλαισίου, και κοινωνικών παραμέτρων. Ένα κράτος με σύνδρομο «παιδικών ασθενειών – Kinderkrankheit».

1.3 Αντικείμενο και στόχος της έρευνας

Στόχος της έρευνας της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής πλασιώνεται πάνω στο τρίπτυχο:

- Αποτίμηση πόρων στην περιοχή εντός της οποίας θα χωροθετεί ο ΧΥΤΑ Ν. Θεσσαλονίκης,
- Αποτίμηση μεθοδολογιών χωρικής ανάλυσης,
- Εφαρμογή της μεθοδολογίας στη Μυγδονία λεκάνη και πιο συγκεκριμένα στην υπολεκάνη του Μπογδάνου στο γεωγραφικό διαμέρισμα της κεντρικής Μακεδονίας.

Αντικείμενο της έρευνας της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής συνιστά πρωτογενώς η δόμηση Γεωγραφικής και Περιγραφικής Βάσης δεδομένων (εφεξής Γεωβάσης) και δευτερογενώς η ανάπτυξη των απαραίτητων εργαλείων γεωπληροφορικής, τα οποία θα έχουν σαν πυρήνα λειτουργίας τη δομημένη Γεωβάση. Τα εργαλεία αναζήτησης του τελικού αποδέκτη αποτελούν κριτήρια σχετιζόμενα με τοπογραφικές, γεωτεχνικές, γεωλογικές, υδρολογικές, υδρολιθολογικές και περιβαλλοντικές παραμέτρους. Τα εργαλεία και οι αλγόριθμοι που θα χρησιμοποιηθούν, στηρίζονται στις νέες τεχνολογίες γεωπληροφορικής, εφαρμόζουν κανόνες Ασαφούς Λογικής (Fuzzy Logic), εκπληρώνουν προϋποθέσεις, απαντούν σε ερευνητικά ερωτήματα και βελτιστοποιούν διαδικασίες όπως:

- Αμεσότητα, ταχύτητα στην εφαρμογή και ορθολογισμό κατευθείαν σε επιχειρησιακό επίπεδο. Ούτως ειπείν να είναι σε θέση η μεθοδολογία να εφαρμόζεται άμεσα, εναργώς με ταχύτητα και ορθολογισμό αναφορικά με τα αποτελέσματά της.
- Απλότητα στη δομή της ιεράρχησης χωρίς εφαρμογή δαιδαλωδών διαδικασιών και πολύπλοκων κριτηρίων.
- Τυποποίηση κανόνων εφαρμογής της μεθοδολογίας σε ευρύτερες χωρικές επικράτειες.

- Αυτοματοποιημένη σχετικά διαδικασία με τη μέγιστη δυνατή ελαχιστοποίηση υποκειμενικότητας των Ιθυόντων.

Επικουρικά οι εφαρμοζόμενες διαδικασίες θα πρέπει να πετυχαίνουν να είναι:

- Χρονικά αποτελεσματικές, ώστε να επιτυγχάνεται το βέλτιστο εντός βραχέος διαστήματος.
- Οικονομικά συμφέρουσες με την υλοποίησή τους, ακολουθώντας διεθνή πρότυπα καλών πρακτικών.
- Τεχνολογικά να βρίσκονται στην αιχμή του δόρατος για τουλάχιστον μια δεκαετία ενώ να εξελίσσονται και να επικαιροποιούνται σύμφωνα με τις νέες επιστημονικές πρακτικές.
- Κοινωνικά να τίθενται σε δημόσια διαβούλευση, δημοσίων δικτύων πληροφόρησης και να είναι σε θέση να γίνονται αποδεκτές από κοινωνικές ομάδες που μετέχουν στην περιβαλλοντική αξιολόγηση.

Εν κατακλείδι η παρούσα Μεταπτυχιακή Διατριβή θα μπορούσε να συνεισφέρει στα κάτωθι:

- Αποτίμηση πόρων αποδέκτη (υδρολογική λεκάνη απορροής Μπογδάνου).
- Χαρτογράφηση του προβλήματος χωροθέτησης ΧΥΤΑ στο Ν.Θ.
- Στην κατασκευή θεματικού χάρτη της κατανομής χώρων περιβαλλοντικά αποδεκτών για την χωροθέτηση του ΧΥΤΑ.

Εφαρμόζοντας ευρέως τεχνικές:

- Πολυκριτηριακής Ανάλυσης με στάθμιση συντελεστών βαρύτητας και χρήση Ασαφών Συνόλων για βαθμολόγηση χωρικών περιοχών.
- Γεωπληροφορικής (GIS και Remote Sensing) για ορθολογικότερη και πληρέστερη επεξεργασία και ανάλυση των αποτελεσμάτων.

1.4 Σημασία και αναγκαιότητα της έρευνας

Η δημιουργία ενός συστήματος λήψης απόφασης με στόχο τη χωροθέτηση ενός ΧΥΤΑ στην υδρολογική λεκάνη απορροής της Μυγδονίας στο χώρο της κεντρικής Μακεδονίας αποτελεί το κυρίαρχο ζητούμενο το οποίο διερευνάται στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή. Τα οφέλη ενός τέτοιου συστήματος καθίστανται πρωτίστως κοινωνικά με συνοδά επακόλουθα περιβαλλοντικά και τεχνικο-οικονομικά.

Η υιοθέτηση μεθοδολογιών γεωπληροφορικής (GIS και RS) είναι σε θέση να αποφέρει σημαντικά οφέλη αφενός τόσο σε επίπεδο ορθολογικής και αειφορικής διαχείρισης της υδρολογικής λεκάνης, (Ehrt and Mascha, 1998) όσο και στο επίπεδο υιοθέτησης τεχνολογίας στη λήψη απόφασης σε πολυκριτηριακό επίπεδο .

Αναφορικά με το περιβάλλον, η συνεχής ποσοτική και ποιοτική παρακολούθηση των περιβαλλοντικών παραμέτρων μέσω του φορέα διαχείρισης του ΧΥΤΑ, η ένταξή τους σε Γεωβάση και η διαχείρισή τους μέσα από ένα εξελιγμένο (GIS) θα αποτελέσει τον κύριο μηχανισμό έγκαιρης λήψης αποφάσεων για την προστασία των φυσικών οικοσυστημάτων και των υδατικών πόρων της περιοχής (Goodchild, 1993).

Τέτοια συστήματα αποτελούν τις βάσεις για ορθολογικές πολιτικές όσον αφορά την εύρεση τρόπων εξοικονόμησης πόρων και κατανομής αυτών ώστε να επιτυγχάνεται ισορροπία μεταξύ περιβάλλοντος και οχλούσας δραστηριότητας (Greathouse et al., 1989).

Εν κατακλείδι:

- Θα καθοριστούν ποιοτικώς και θα αποτιμηθούν ποσοτικώς τα περιβαλλοντικά όρια των πόρων στην Υδρολογική λεκάνη, εντός των οποίων θα γίνει προσπάθεια να μην συντελείται επιβάρυνση των οικοσυστημάτων,
- Θα καθοριστούν τα όρια και θα παρακολουθούνται οι σημαντικές μεταβολές στην ποσότητα των υδάτων και η δυνάμει ποιοτική υποβάθμιση αυτών,
- Θα καθοριστούν και θα προβλεφθούν δυνάμει μεταβολές στην επάρκεια των υδάτων ως αποτέλεσμα των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων και χρήσεων γης,
- Θα τεθούν οι βάσεις για την παρακολούθηση των περιβαλλοντικών πόρων και εν γένει για τη βελτίωση των συνθηκών ζωής των κατοίκων της περιοχής.
- Θα αποδοθούν τα κατάλληλα εργαλεία στο φορέα διαχείρισης του έργου ώστε να υλοποιήσει στον πλέον βασικό του στόχο, που αποτελεί η προστασία του περιβάλλοντος.

Εν τέλει στο επίπεδο της βασικής έρευνας, ο συσχετισμός περιβαλλοντικών, γεωτεχνικών, γεωλογικών, υδρολογικών παραμέτρων με εργαλεία της σύγχρονης τεχνολογίας γεωπληροφορικής, θα προσδώσει σημαντικά αποτελέσματα και για την εφαρμογή σε άλλες γεωγραφικές επικράτειες.

Η ολοκλήρωση δε της πολύ-παραμετρικής διάστασης της μοντελοποίησης σε επίπεδο χωροθέτησης οχλούσας δραστηριότητας οδηγεί σε ένα πλαίσιο προς τη σύγχρονη και αειφόρο διαχείριση του περιβαλλοντικού αποθέματος.

1.5 Μεθοδολογία που ακολουθείται

Η επιλογή συγκεκριμένου μεθοδολογικού πλαισίου της ερευνητικής προσπάθειας με στόχο τη διαμόρφωση ολοκληρωμένης πολιτικής χωροθέτησης, αναφορικά με την τελική επιλογή θέσης ΧΥΤΑ συνιστά πολύπλοκη διαδικασία δεδομένου:

- Του μεγάλου αριθμού διαθέσιμων μοντέλων χωροθέτησης που οδηγούν σε τεχνικά εφικτές και ορθολογικές λύσεις.
- Της διαπίστωσης πως κάθε μέθοδος παρουσιάζει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, τεχνικά, οικονομικά, περιβαλλοντικά. Ως εκ τούτου απαιτείται η συγκριτική αξιολόγηση να λαμβάνει χώρα με όσο το δυνατόν πιο επιστημονικά τεκμηριωμένη προσέγγιση.
- Η καταλληλότητα κάθε συστήματος χωροθέτησης εξαρτάται από τις τοπικές ιδιαιτερότητες και τα χαρακτηριστικά κάθε περιοχής, οι οποίες θέτουν ένα σύνολο φυσικών και τεχνικών περιορισμών.

Η πολυκριτηριακή ανάλυση (Abu-Taleb, 2000) συνιστά τμήμα μια ευρύτερης προσέγγισης που είναι γνωστή ως Λήψη Απόφασης. Ορίζεται δε από μαθηματικά τυποποιημένα μοντέλλα που λειτουργούν προς επίλυση προβλημάτων που προκύπτουν από πολλαπλές αλληλεπικαλυπτόμενες και ενίοτε αντικρουόμενες παραμέτρους (Etnier and Sodeberg, 2002). Η επίτευξη και ικανοποίηση των στόχων δεν δύναται να είναι πλήρης. Οι χρησιμοποιούμενες διαθέσιμες παράμετροι σε ένα σύστημα λήψης απόφασης εμφανίζουν ικανοποιητική επίδοση ως προς έναν ή περισσότερους, αλλά σχεδόν ποτέ προς όλους τους στόχους τους (Keeney and Raiffa, 1976).

Τεκμαίρεται εκ των ανωτέρω ότι η επιλογή που θα ικανοποιούσε τις πλείστες των παραμέτρων θα συνιστούσε άριστη συνθήκη. Α Priori, αναγκαίος θεωρείται ένας συμβιβασμός παραμέτρων ανάμεσα στους αλληλοσυγκρουόμενους στόχους (Makowski, 2001). Κρίνεται ως εκ τούτου επιβεβλημένο ο αναλυτής του συστήματος στη λήψη της απόφασης (Ιθύνων) να προσδιορίσει τον ή τους στόχους, τους οποίους διατίθεται να μεγιστοποιήσει, καθώς και τις δυνάμει αντισταθμιστικές απώλειες που δύναται να στερηθεί σε σχέση με τους λοιπούς στόχους (Makowski, 2001). Η Αχίλλειος πτέρνα της μεθοδολογίας έγκειται στην έννοια του συμβιβασμού ανάμεσα στις παραμέτρους και κατ' επέκταση στην συμβιβαστική λύση. Στον αντίποδα η πιθανά άριστη λύση, δηλώνει το χαρακτήρα των αποφάσεων, που διερευνώνται στις πολυκριτηριακές αναζητήσεις. Οι λύσεις τεκμαίρονται ως άριστες και με ενάργεια εφόσον αυτή είναι η τελική επικρατούσα άποψη του Ιθύνοντα.

Το μαθηματικό υπόβαθρο της πολυκριτηριακής ανάλυσης περιλαμβάνει αρχικά ένα θεωρητικό υπόβαθρο, το οποίο αναπτύσσει τη βασική προσέγγιση του προβλήματος. Στη συνέχεια προσδιορίζονται οι δομικές παράμετροι των προβλημάτων ενώ αναλύονται οι βασικές τους ιδιότητες (Roy, 1994). Το βασικό μαθηματικό αυτό υπόβαθρο συνιστά θεμέλιο πλήθους μεθοδολογιών για την διερεύνηση μεγάλου εύρους προβλημάτων που σχετίζονται με τη διαχείριση πολλαπλών κριτηρίων (Carver, 1991).

1.6 Διαθέσιμα στοιχεία-Δεδομένα

Η δόμηση της ψηφιακής βάσης δεδομένων, συνιστά μια σημαντική παράμετρο κατά το αρχικό στάδιο της εφαρμοζόμενης μεθοδολογίας, αποτελεί δε τον ακρογωνιαίο λίθο σε κάθε εργασία που περιλαμβάνει επεξεργασία και ανάλυση χωρικών και παραμετρικών δεδομένων. Αρχικά επιβάλλονται ενέργειες οι οποίες προϋποθέτουν την καταγραφή, κωδικοποίηση, αποτίμηση όλων των απαραίτητων χωρικών και παραμετρικών πληροφοριών και μετέπειτα ακολουθεί η μετατροπή τους σε ψηφιακή μορφή με ενέργειες ψηφιοποίησης και διανυσματοποίησης. Η κωδικοποίηση των χωρικών πληροφοριών προσδίδει εύκολη προσβασιμότητα, δυνατότητα μετέπειτα προσθήκης πληροφορίας, αντικατάσταση δεδομένων ή και αλλαγή αυτών με κριτήρια τον χρόνο και την ευκολία στις διαδικασίες (Ρουγιά et al., 2014). Κατά αυτόν τον τρόπο η προκύπτουσα Γεωβάση αποκτά ευελιξία με δυνατότητα συνεχούς ενημέρωσης των δεδομένων της. Τα ανωτέρω στάδια περιγράφονται ακολούθως:

- Συλλογή, καταγραφή, κωδικοποίηση, αξιολόγηση, αποτίμηση και οργάνωση των χωρικών και παραμετρικών δεδομένων.
- Δόμηση Γεωβάσης συνεχής ενημέρωσης, δημιουργία μεταδεδομένων και δόμηση τοπολογίας.
- Συγκρότηση της περιγραφικής βάσης δεδομένων με έλεγχο συνέπειας και συσχέτισης ανάμεσα σε χωρικά και παραμετρικά δεδομένα.

Το χαρτογραφικό υλικό που συλλέχθηκε και χρησιμοποιήθηκε περιγράφεται κάτωθι:

- Τοπογραφικά φύλλα χάρτου: Αρναία, Ζαγκλιβέρι, Κιλκίς, Θέρμη, Θεσσαλονίκη, Λαχανάς, Πολύγυρος, Σιτοχώριο, Σταυρός, Σοχός, κλίμακας 1:50.000 και έκδοσης ΓΥΣ.
- Τοπογραφικά Διαγράμματα κλίμακας 1:5.000, και έκδοσης ΓΥΣ.
- Γεωλογικά φύλλα χάρτου: Αρναία, Ζαγκλιβέρι, Κιλκίς, Θέρμη, Θεσσαλονίκη, Λαχανάς, Πολύγυρος, Σιτοχώριο, Σταυρός, Σοχός, κλίμακας 1:50.000 και έκδοσης Ι.Γ.Μ.Ε. (1993).
- Εδαφολογικά φύλλα χάρτου: Αρναία, Ζαγκλιβέρι, Κιλκίς, Θέρμη, Θεσσαλονίκη, Λαχανάς, Πολύγυρος, Σιτοχώριο, Σταυρός, Σοχός, κλίμακας 1:50.000 και έκδοσης ΥΠ.ΓΕΩ. (1991).
- Διαγράμματα Ορίων Οικισμών, κλίμακας 1:5.000, Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Θεσσαλονίκης.
- Χάρτης Διοικητικών Ορίων ΟΤΑ, κλίμακας 1:200.000 και έκδοσης Ε.Σ.Υ.Ε. (1983).
- Χάρτες Προτεινόμενων Περιοχών NATURA 2000, κλίμακας 1:100.000 και έκδοσης Υ.Π.Ε.ΧΩ.Δ.Ε. (1995).
- Δασικός χάρτης Μυγδονίας λεκάνης. Διεύθυνση Δασών Δασαρχείο Σταυρού, κλίμακας 1:25000 (1998).

Μετά τη συλλογή των χωρικών δεδομένων επόμενο στάδιο συνιστά η εισαγωγή της χωρικής πληροφορίας στο GIS. Κατά τη μεταφορά των δεδομένων ιδιαίτερη μέριμνα δόθηκε στην κωδικοποίηση αυτών, ώστε να υπάρξει υψηλός βαθμός ακρίβειας και να έχουν κοινό σημείο αναφοράς την περιοχή μελέτης στο προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ87. Επιπρόσθετα η προτεινόμενη μεθοδολογία στο σύνολό της δομείται με τέτοιο τρόπο ώστε να επεξεργάζεται δεδομένα τύπου κανάβου (raster). Για τη κατασκευή των καναβοποιημένων ομοιωμάτων (Grid) ή για τη μετατροπή αυτών από δεδομένα τύπου Vector, χρησιμοποιήθηκε ως όριο της περιοχής μελέτης ο υδροκρίτης της υδρολογικής λεκάνης του Μπογδάνου ενώ το μέγεθος κελιού ορίστηκε στα 15 μέτρα.

Πιο αναλυτικά τα ψηφιακά χωρικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν και η πηγή τους διακρίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 1-1. Χωρικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν και προέλευση αυτών.

Δεδομένα	Πηγή
Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (Dem).	Τοπογραφικά Διαγράμματα κλίμακας 1:5000 και έκδοσης ΓΥΣ.
Γεωλογία.	Γεωλογικά φύλλα χάρτου κλίμακας 1:50000 και έκδοσης ΙΓΜΕ.
Ρηξιγενείς ζώνες.	Γεωλογικά φύλλα χάρτου κλίμακας 1:50000 και έκδοσης ΙΓΜΕ.
Χρήσεις Γης.	Δασικοί Χάρτες Δασαρχείου Σταυρού.
Υδρογραφικό Δίκτυο.	Τοπογραφικά Διαγράμματα κλίμακας 1:5000 και έκδοσης ΓΥΣ.
Όρια Οικισμών	Διαγράμματα Ορίων Οικισμών, κλίμακας 1:5000, Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Θεσσαλονίκης.
Γης χαμηλής παραγωγικότητας	Εδαφολογικά φύλλα χάρτου κλίμακας 1:50000 και έκδοσης ΥΠ.ΓΕΩ. (1991).
Ζώνες Προστασίας	Χάρτες Προτεινόμενων Περιοχών NATURA 2000, κλίμακας 1:100000 και έκδοσης Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. (1995).

1.7 Λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν

Στα πλαίσια της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω λογισμικά:

ArcGIS (έκδοση ArcInfo 10.4), με τα modules (ArcMap, ArcCatalog, ArcToolbox) και τα extensions, Spatial Analyst™ και 3D Analyst™, σε πλατφόρμα Vector και Raster Gis.

Για τη διαχείριση και την επεξεργασία των πολυφασματικών εικόνων χρησιμοποιήθηκαν τα:

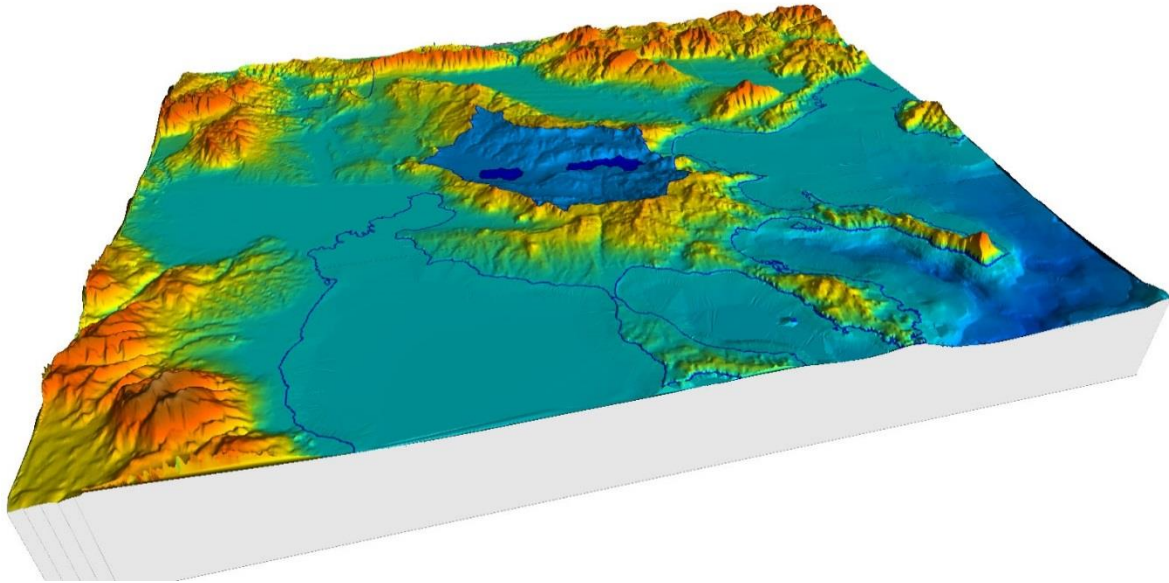
- ENVI™.
- Erdas Imagine™.
- Leica Photo-grammetry Suite™ (LPST™).

Η επεξεργασία και διαχείριση των Raster ομοιωμάτων σε μορφή κανάβου (Grid) βασίστηκε στο λογισμικό Idrisi Selva™. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν: Εφαρμογές του Microsoft Office™ (Access,

Word, Excel.), το λογισμικό ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας Adobe Photoshop CC™ και Adobe Illustrator CC™.

1.8 Περιοχή μελέτης – Φυσικογεωγραφική υπαγωγή

Η περιοχή προς διερεύνηση στην οποία θα κατασκευασθεί ο προτεινόμενος χώρος ΧΥΤΑ γεωμορφολογικά εντάσσεται στη ζώνη των βόρειων πετροπροπόδων της Μυγδονίας λεκάνης (Σχήμα



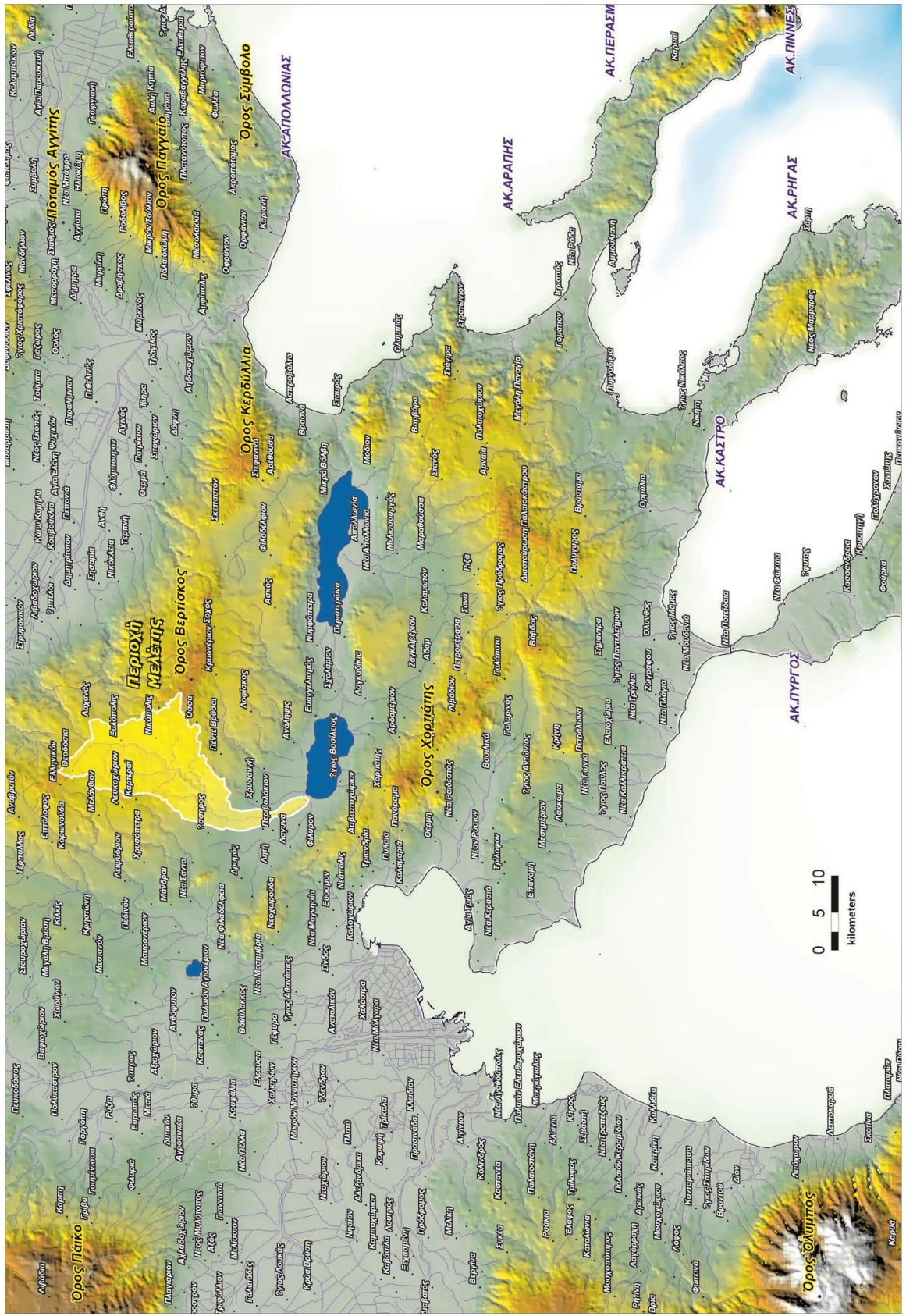
Σχήμα 1-1. Τρισδιάστατη φωτορεαλιστική απεικόνιση του χώρου της κεντρικής Μακεδονίας με έμφαση στη Μυγδονία λεκάνη.

1.1). Η Μυγδονία λεκάνη συνιστά ένα εκτεταμένο και επίμηκες τεκτονικό βύθισμα (Graben Μυγδονίας) (Ψιλοβίκος Α. 1977), εντός του οποίου τοποθετούνται οι λίμνες του Λαγκαδά (Κορώνεια ή Αγίου Βασιλείου) και της Βόλβης (Μπεσικίων) (Σχήμα 1.2).

Το Μυγδονιακό τεκτονικό βύθισμα διαχωρίζει γεωμορφολογικά και τεκτονικά τις νότιες απολήξεις της χερσονήσου της Χαλκιδικής από τον προς Βορρά ορογραφικό άξονα της κεντρικής Μακεδονίας (Σχήμα 1.2). Η λεκάνη απορροής της Μυγδονίας καλύπτει σε γενικές γραμμές έκταση 2026 Km², ενώ γεωγραφικά ορίζεται βόρεια έως τη λεκάνη του ποταμού Στρυμόνα, δυτικά φτάνει μέχρι τις παραποτάμιες εκτάσεις του Γαλλικού ποταμού, νότια έως τις υδρολογικές λεκάνες των χειμάρρων Ανθεμούντα, Ολύνθου, και Χαβρία. Ανατολικά δε οριοθετείται από την ποταμοχειμάρρα λεκάνη του Ρείχιου ποταμού στα στενά της Ρεντίνας (Σχήμα 1.3). Τα κατάντη πεδινά τμήματα της Μυγδονίας λεκάνης εμφανίζουν ένα μέγιστο υψόμετρο περίπου στα 200m. Συνιστούν δε περί τα 31.8% της συνολικής έκτασης της λεκάνης με μεβαδόν περίπου 656 Km². Το μέγιστο υψόμετρο της λεκάνης ανέρχεται στα 1200m. Στα πεδινά κατάντη τμήματα της λεκάνης εμφανίζεται ζώνη εκτεταμένου, Α-Δ διεύθυνσης, επίμηκους τεκτονικού βυθίσματος εντός του οποίου εντάσσονται οι υπολεκάνες Λαγκαδά και Βόλβης (Tranos et al., 2003) (Σχήμα 1.3). Η υπολεκάνη Λαγκαδά οριοθετείται ανατολικά από τα

υψώματα Στίβου-Σχολαρίου, ενώ προς τα δυτικά καλύπτει την περιοχή μέχρι τον ορεινό όγκο της Καμήλας. Τα κατάντη γεωμορφολογικά τμήματα αυτής καλύπτονται από τον ταμιευτήρα της λίμνης Κορώνειας (Σχήμα 1.3). Η λίμνη Κορώνεια καταλαμβάνει το δυτικό τμήμα της υπολεκάνης με μέσο υψόμετρο του ταμιευτήρα +75m. και συνολική έκταση 46,9Km² περίπου (κατάσταση λιμναίου ταμιευτήρα τη χρονική 1970-1975) (Πήττας, 2003). Η υπολεκάνη Βόλβης οριοθετείται προς Βορρά από την οροσειρά του Βερτίσκου ενώ ανατολικά ορίζεται μέχρι τους λοφώδεις όγκους (536m υψόμετρο) μεταξύ της λίμνης Βόλβης και του Χορτιάτη (Σχήμα 1.3).

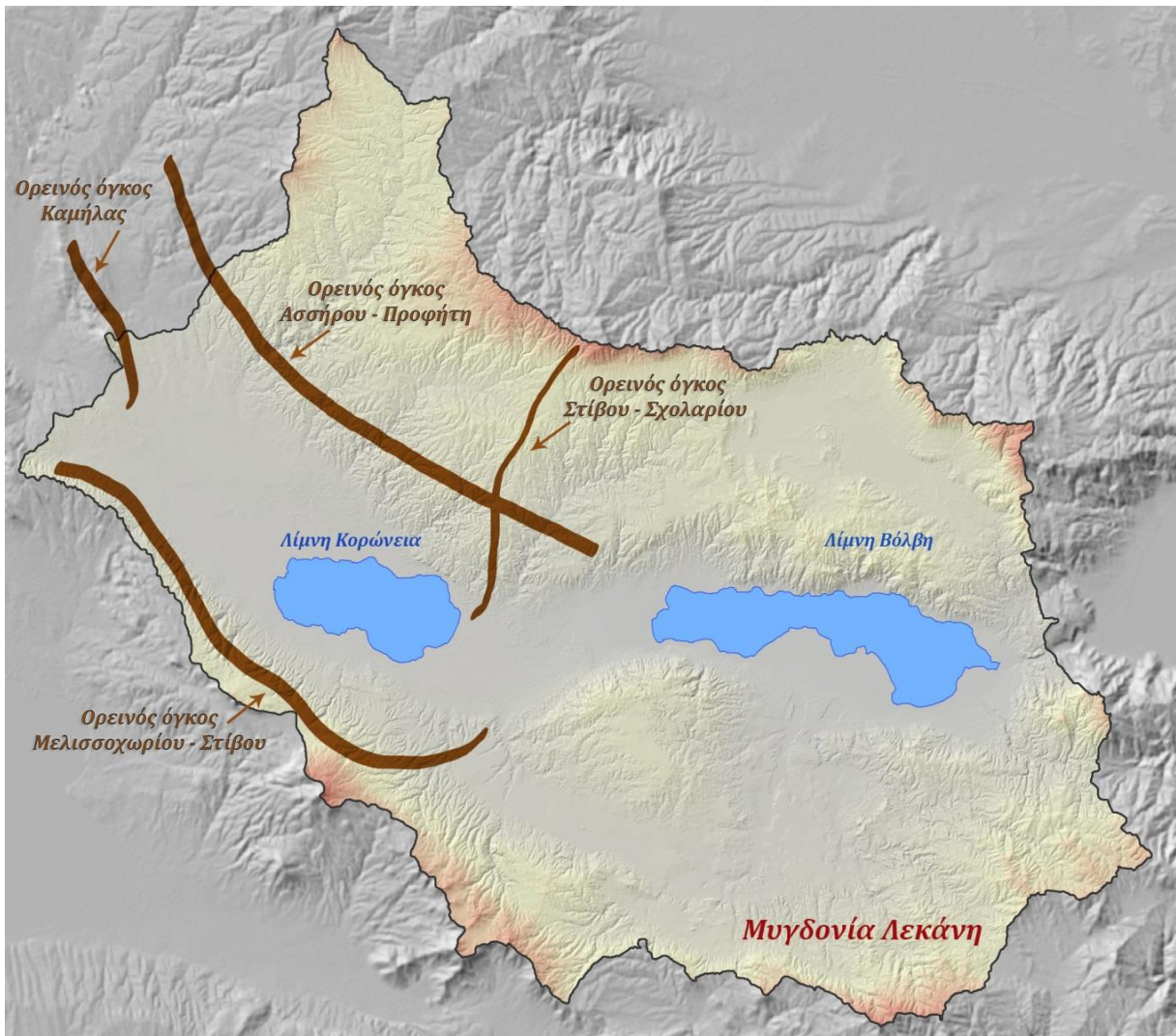
Στο σύνολό της η λεκάνη Μυγδονίας διασχίζει πλήθος χειμάρρων ενώ το γεωλογικό υπόβαθρο θεωρείται πλούσιο σε υδροφόρα στρώματα (Ψιλοβίκος, 1996). Τις τελευταίες δεκαετίες όμως η αλόγιστη χρήση των υδατικών πόρων και το εντατικό καθεστώς δράσης ανθρωπογενών δραστηριοτήτων οδήγησε μονοσήμανα στην ποιοτική και ποσοτική υποβάθμιση αυτών με χαρακτηριστικό παράδειγμα την πτώση στάθμης του λιμναίου ταμιευτήρα της Κορώνειας (Πήττας, 2003). Σαν αποτέλεσμα αυτού παρατηρείται εξάντληση των υψηλότερων υδροφόρων στρωμάτων με την περιοχή να βρίσκεται πλέον σε ένα εντατικό καθεστώς περιβαλλοντικού stress (Τζιμόπουλος, 2004).



Σχίμα 1-2. Φυσικογεωγραφική υπαγωγή υπολεκάνης απορροής Μπογδάου στο χώρο της Κεντρικής Μακεδονίας.

1.8.1 Υπολεκάνη Λαγκαδά

Το γεωμορφολογικό σύστημα της Μυγδονίας λεκάνης, συνίσταται από επιμέρους υπολεκάνες, μια από αυτές συνιστά η υπολεκάνη του Λαγκαδά. Η υπολεκάνη του Λαγκαδά καλύπτει το δυτικό τμήμα της Μυγδονίας λεκάνης, τα όρια της δε εκτείνονται μεταξύ του ορεινού όγκου της Καμήλας (Ντεβέ Γκοράν-569 m) και της ημιορεινής ζώνης των ράχων Στίβου-Σχολαρίου (Σχήμα 1.3). Το σχήμα της υπολεκάνης προσομοιάζει με τραπέζιο, του οποίου η μεγάλη βάση έχει μήκος 38Κm κατ'εκτίμηση (άξονας Μελισσοχωρίου-Στίβου), ενώ η μικρή βάση οριοθετείται με μήκος 26Κm περίπου (άξονας



Σχήμα 1-3. Ορεογραφικοί άξονες οριοθετούντες την υπολεκάνη Λαγκαδά.

Ασσήρου-Προφήτη) (Σχήμα 1.3). Η νότια περιοχή της υπολεκάνης, καθώς και το ανατολικό τμήμα αυτής, χαρακτηρίζεται από ημι-ορεινό έως ορεινό ανάγλυφο σε αντίθεση με τη βόρεια πλευρά στην οποία το ανάγλυφο είναι ομαλό. Δυτικά της υπολεκάνης του Λαγκαδά τα υδροκριτικά όρια δεν διακρίνονται με σαφήνεια, εκτός από τον ορεινό όγκο της Καμήλας, ο οποίος αποτελεί ένα γεωμορφολογικό σύνορο της υπολεκάνης Λαγκαδά με την λεκάνη του ποταμού Γαλλικού.

Εκατέρωθεν του ορεινού όγκου της Καμήλας, μεταξύ Ασσήρου και Μελισσοχωρίου, γεωμορφολογικά η περιοχή χαρακτηρίζεται από την παρουσία εναλλαγών ράχων και κοιλωμάτων με ομαλές πλευρές και τάση για ευρεία διάνοιξη. Οι ράχες κάνουν την εμφάνιση τους με μια γενική διεύθυνση Δ-Α έως ΒΔ-ΝΑ, συνίστανται δε λιθολογικά από χερσοποτάμιας προέλευσης κλαστικά ιζήματα, τα οποία επικάθονται ασύμφωνα στο έντονα διαβρωμένο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο της Μυγδονιακού συστήματος (Ψιλοβίκος, 1977). Η εν λόγω μορφολογία αποτελεί σημαντική ένδειξη για την παλαιογεωγραφική ύπαρξη ενός υδρογραφικού δικτύου με έντονη δράση, το οποίο στη παρούσα γεωλογική περίοδο είναι αδρανές (Ψιλοβίκος, 1977).

Κεφάλαιο Δεύτερο

2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

2.1 Εισαγωγή

Εφαρμόζοντας στατιστικές μεθοδολογίες και μαθηματικά ομοιώματα σε παράγοντες οι οποίοι απλά και μόνο καθορίζονται χωρικά, δεν συνιστά αναγκαστικά χωρική ανάλυση. Σε αντιδιαστολή μέσω διαδικασιών καταγραφής, αξιολόγησης, αποτίμησης, τροποποίησης, επέκτασης και βελτίωσης παραγόντων που εξελίσσονται χωρικά δημιουργούμε τις προϋποθέσεις για χωρική ανάλυση και εν τέλει για διαδικασίες που οδηγούν σε χωροθέτηση.

Τις τελευταίες δεκαετίες η ποσοτική επανάσταση και η πληθώρα των δεδομένων που αίφνης προέκυψαν στις επιστήμες οδήγησαν μονοσήμαντα στην αναζήτηση νέων τεχνικών ταξινόμησης, κωδικοποίησης και επεξεργασίας των δεδομένων. Από την απλή στατιστική και περιγραφική επεξεργασία φτάσαμε στην εξόρυξη δεδομένων (data mining) και στην αναζήτηση επεξεργασίας στοιχείων τα οποία εξελίσσονται χωρικά με μορφή καναβοποιημένων ομοιωμάτων (Grid). Η ποσοτική αυτή επανάσταση οδήγησε από την παραμετρική αξιολόγηση στην χωρική αποτίμηση. Οι νέες διαδικασίες αποτέλεσαν το βάθρο ώστε ο χωρικός σχεδιασμός να οδηγείται σε νέες μορφές υποδείγματος με μορφή καναβοποιημένου χάρτη.

Στο κεφάλαιο αυτό θα επιχειρήσουμε να καταγράψουμε και να αποτιμήσουμε μέσα από ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, τις νέες τάσεις της γεωπληροφορικής, τις μεθοδολογίες που αφορούν τεχνικές Λήψης απόφασης και την Πολυκριτηριακή Ανάλυση.

2.2 Ιστορική Αναδρομή

Στις περισσότερες των περιπτώσεων η πολυπλοκότητα των περιβαλλοντικών παραμέτρων, οι εγγενείς δυσκολίες συλλογής, καταγραφής, αποτίμησης πληροφοριών για τους φυσικούς πόρους, είναι σε θέση να δημιουργήσουν δυσκολία στη λήψη απόφασης για το σχεδιασμό, τη χωροθέτηση και την εκτέλεση των τεχνικών έργων. Με τις σύγχρονες μεθοδολογίες που έχουν αναπτυχθεί, όπως τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) και η Τηλεπισκόπηση (RS), δίνεται η δυνατότητα να αναπτυχθούν τεχνικές για την εξαγωγή πληροφορίας από το γεωανάγλυφο.

Με αρωγό την τεχνολογία και λαμβάνοντας υπόψη την ένταση με την οποία επιδρά πλέον η ανθρωπογενής επέμβαση στο περιβάλλον, διαπιστώνεται μια προσπάθεια για θέσπιση διαρκώς

αυστηρότερων νόμων και εν γένει θεσμικού πλαισίου αναφορικά με την περιβαλλοντική πολιτική, αντικατοπτρίζοντας και την αυξημένη οικολογική συνείδηση του συνόλου των πολιτών.

Στο πλαίσιο αυτό αναζητούνται περιβαλλοντικές μέθοδοι και τεχνικές οι οποίες να ελαχιστοποιούν τις αρνητικές επιπτώσεις από την λειτουργία οχλουσών δραστηριοτήτων. Ιδιαίτερη σημασία αποκτά η διαδικασία σχεδιασμού εγκαταστάσεων επεξεργασίας στερεών αποβλήτων, η οποία είναι αρκετά σύνθετη και πολυδιάστατη, λαμβάνοντας υπόψη πολλαπλά κριτήρια και παράμετρους περιβαλλοντικής, γεωλογικής, γεωτεχνικής και κοινωνικής διάστασης. Η αντιμετώπιση τέτοιων περιβαλλοντικών προβλημάτων αντιμετωπίζεται από μεθοδολογίες όπως η πολυκριτηριακή ανάλυση (Makowski, 2001):.

Η πολυκριτηριακή ανάλυση συνιστά εργαλείο λήψης αποφάσεων στην επιχειρησιακή έρευνα που αναπτύχθηκε με στόχο την ελαχιστοποίηση και τον δυνάμει περιορισμό της σύγκυσης που προκαλείται στις περιπτώσεις εμπλοκής διαφορετικών, πολλαπλών και διαφορετικής φύσεως κριτηρίων τα οποία αφορούν συγκεκριμένες επιλογές. Απώτερος στόχος της μεθοδολογίας συνιστά η επιτυχής σύνθεση μεγάλου όγκου πληροφοριών μέσα από έναν πολιτικό συμβιβασμό (Figueira et al., 2005) ανάμεσα σε όλους τους εμπλεκόμενους φορείς, σύμφωνα με τους κανόνες της περιβαλλοντικής αξιολόγησης. Με αυτό τον τρόπο ρυθμίζονται κατά περίπτωση και ανάλογα με τους στόχους που έχουν τεθεί, τα βάρη που φέρει ο καθένας στην τελική λήψη της απόφασης.

Μεθοδολογικά οι τεχνικές πολυκριτηριακές ανάλυσης αποτελούν εξέλιξη πιο απλών μεθοδολογιών και μαθηματικών διαδικασιών του παρελθόντος. Η μέθοδος δυαδικών συγκρίσεων (pairwise comparison), η μέθοδος βαθμονόμησης (scoring method) συνιστούν πρόδρομες μεθοδολογίες της πολυκριτηριακής ανάλυσης (Κοντούλας κ.α., 2010). Οι μεθοδολογίες που σε σημαντικό βαθμό διαμόρφωσαν ένα πρόδρομο θεωρητικό πλαίσιο της πολυκριτηριακής ανάλυσης ήταν και τα συστήματα ψηφοφορίας. (Κοντούλας κ.α., 2010). Στην πορεία ενσωματώνονται σε αυτά οι μεθοδολογίες κριτηρίων δίνοντας τη δυνατότητα στα μοντέλλα να λαμβάνουν υπόψη τους το κοινωνικό όφελος.

Για πρώτη φορά ο Pareto δίνει τον ορισμό της ωφέλειας για τα μέλη μιας κοινωνικής ομάδας, δίνοντας τη δυνατότητα να σταθμίζεται η ωφέλεια αυτών διακριτά (Κοντούλας κ.α., 2010). Η περαιτέρω ανάπτυξη της πολυκριτηριακής ανάλυσης χαρακτηρίστηκε από την εξέλιξη της θεωρίας παιγνίων, ενώ για πρώτη φορά στα μετέπειτα χρόνια εισάγεται έννοια του διανύσματος βελτιστοποίησης στην διαδικασία (Κοντούλας κ.α., 2010).

Στις ημέρες μας διαφορετικές μεθοδολογίες πολυκριτηριακής ανάλυσης έχουν εφαρμοστεί για την χωροθέτηση οχλουσών δραστηριοτήτων και ειδικότερα σε ότι αφορά τη διαχείριση στερεών αποβλήτων (Aravossis et al., 2001). Με τα στερεά απόβλητα έχουν ασχοληθεί ερευνητές όπως οι Caruso et al., (1993) οι οποίοι σχεδιάζοντας αστικά συστήματα διαχείρισης απορριμμάτων δόμησαν

μοντέλα χωροθέτησης, βάσει τεχνικών πολυκριτηριακής ανάλυσης. Σημαντική κρίνεται η πρόταση των Bautista et al., (2006) οι οποίοι αναπτύσσουν Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων, για τη χωροθέτηση, το σχεδιασμό και τη διαχείριση των οικιακών στερεών αποβλήτων. Εφαρμόζοντας τις μεθοδολογίες ELECTRE II και ELECTRE III, ανέπτυξαν μοντέλλα χωροθέτησης ΧΥΤΑ οι Hokkanen and Salminen, (1997).

Αναφορικά με τη διαχείριση υγρών αποβλήτων, σημαντικό ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι Merkhofer και Keeney, (1987), οι οποίοι αναζητούν θέσεις για τη διάθεση πυρηνικών αποβλήτων με μεθόδους ταξινομικής ανάλυσης. Οι Briggs et al., (1990) χρησιμοποιούν τις πολυκριτηριακές μεθόδους PROMETHEE και GAIA για διαχείριση πυρηνικών αποβλήτων, οι οποίες αποτιμούν με οικονομικούς όρους το αποτέλεσμα. Για την αξιολόγηση μονάδων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων ενδιαφέρον παρουσιάζει η μελέτη της Van Moeffaert, (2002), η οποία κάνοντας χρήση της πολυκριτηριακής μεθόδου NAIADE συγκρίνει τρία συστήματα επεξεργασίας αστικών αποβλήτων. Σημαντική προσπάθεια έχουν να παρουσιάσουν οι Foxon et al., (2000), προσπαθώντας να αναπτύξουν μια μεθοδολογία η οποία να βασίζεται στην πολυκριτηριακή ανάλυση και να εκτιμά την βιωσιμότητα των μονάδων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Αφήνουμε προς το τέλος την εξαιρετική δουλειά του Makowski, (2001), ο οποίος δημιουργεί μεθοδολογικά ένα πλαίσιο για την κατασκευή ενός πολυπαραγοντικού εργαλείου λήψης απόφασης με εφαρμογή σε περιβαλλοντικά προβλήματα.

Στην Ελλάδα η μελέτη του Σκορδίλη, (1989), αξιολογεί μεθόδους διάθεσης στερεών αστικών αποβλήτων με την ευριστική μέθοδο της ανάλυσης αξίας, οφέλους και χρήσης. Οι Aravossis et al., (2001) εφαρμόζουν ευρέως πολυκριτηριακά μοντέλα για την αξιολόγηση εναλλακτικών μεθόδων διάθεσης στερεών αποβλήτων. Στην μελέτη των Karkazi et al., (2001) εφαρμόζεται συγκεκριμένη μεθοδολογία της Δελφικής μεθόδου για τη χωροθέτηση ΧΥΤΑ στο Κάιρο της Αιγύπτου.

Επιπλέον στην βιβλιογραφία αναφέρονται πλείστες ερευνητικές προσπάθειες υιοθετούσες το μεθοδολογικό πλαίσιο της Ασαφούς Λογικής, για την λεκτική αποτίμηση των κριτηρίων. Από τις πρώτες εργασίες που χρησιμοποιεί το μαθηματικό υπόβαθρο της λογικής της ασάφειας είναι του Banai, (1993) για την εκτίμηση της καταλληλότητας χωροθέτησης δραστηριοτήτων. Από τις πλέον αξιόλογες μετέπειτα προσπάθειες είναι αυτή των Champatheep et al., (1997), στην οποία αναλύεται με ευρύτητα και ολοκληρωμένα το πλαίσιο εφαρμογής της Ασαφούς Λογικής για τη χωροθέτηση ΧΥΤΑ στην Ταϊλάνδη.

Μια τελική ανασκόπηση της σχετιζόμενης με το αντικείμενο βιβλιογραφίας δεικνύει ότι υπάρχουν εργασίες οι οποίες υιοθετούν τη συγκεκριμένη μεθοδολογία για τη χωροθέτηση δραστηριοτήτων (Mahler and De Lima 2003, Calijuri et al 2004, Al-Jarrah and Abu-Qdais 2006, Salman and Gholamalifard 2006, Chang et al 2007, Hatzichristos and Giaoutzi 2006), Gemitzi et al 2007).

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή η μεθοδολογία που θα εφαρμοστεί, στοχεύει πλιν των άλλων υπό ορισμένες προϋποθέσεις, να προταθεί λύση σε επίπεδο πολιτικής σε ό,τι αφορά τη χωροθέτηση ΧΥΤΑ. Η συμβολή της μεθοδολογίας έχει σαν στόχο τη μείωση της υποκειμενικότητας κατά τη λήψη απόφασης μέσω του προτεινόμενου τρόπου στάθμισης των βαρών των κριτηρίων αξιολόγησης και της απόδοσης βαρών στους εμπλεκόμενους φορείς της περιβαλλοντικής αξιολόγησης.

2.3 Ανάλυση Χώρου

Η ανάλυση χώρου ορίζεται εννοιολογικά ως η συνολική δυνατότητα διαχείρισης και μετασχηματισμού των χωρικών δεδομένων τα οποία αποτιμώνται σε διαφορετικές μορφές αποδίδοντας τους διαφορετική έννοια ως τελικό αποτέλεσμα. Συνολικά συνιστά ένα σύνολο από ποιοτικές αξιολογήσεις και ποσοτικές διεργασίες εφαρμοζόμενες σε χωρικές αναλυτικές μεθοδολογίες (Johnston, 1990) έχοντας ως στόχο τη (Haining, 1994):

- Αποτίμηση δομών του χώρου με γεωμετρικές μορφές,
- Διερεύνηση των χωρικών προτύπων και ανάπτυξη σχέσεων μεταξύ τους,
- Στοχευμένες διεργασίες πρόβλεψης και ελέγχου συμβάντων,
- Χρήση αυτών ως εργαλείο λήψης χωρικών αποφάσεων.

Μέχρι και πριν μερικές δεκαετίες η περιγραφική διαδικασία αποτελούσε μονόδρομο στην ταξινόμηση, κωδικοποίηση και πρωτόλεια επεξεργασία των χωρικών δεδομένων με τη μορφή του τυπικού αναλογικού χάρτη. Ο χωρικός σχεδιασμός κατά αυτόν τρόπο περιοριζόταν στο κλασσικό υπόδειγμα αυτού.

Η επανάσταση της γεωπληροφορικής, η ποσοτικοποίηση των χωρικών δεδομένων, η δυνατότητα καταγραφής, η ψηφιοποίηση αναλογικών δεδομένων, η τεκμηριωμένη ψηφιακή τους απόδοση, η αποτίμηση αυτών σε συνδυασμό με ενέργειες χωρικών τροποποιήσεων, επεκτάσεων, βελτιώσεων με σαφήνεια συνιστούν τη χωρική ανάλυση (Goodchild, 1993). Επικουρικά η ραγδαία εξέλιξη της στατιστικής επιστήμης του 1950 με τις νέες μορφές στατιστικών μεθόδων επεξεργασίας που εισήλθαν στο προσκήνιο έδωσαν μεγάλη ώθηση στον χωρικό σχεδιασμό.

Μετέπειτα εξελικτικό στάδιο στην ανάλυση χώρου αποτέλεσε η Αναλυτική Επεξεργασία και η Μοντελοποίηση, δίνοντας προοπτική και εστιάζοντας στις δυνάμει αναπτυσσόμενες σχέσεις ανάμεσα στα χωρικά πρότυπα. Η προσπάθεια μοντελοποίησης των σχέσεων αυτών οδήγησε στην πρόγνωση συμβάντων και την κατανόηση πολύπλοκων προβλημάτων (Aronoff, 1989).

Η πλέον πρόσφατη τεχνολογική μετεξέλιξη στον πεδίο της ανάλυσης χώρου συνιστά η υποστήριξη λήψης απόφασης. Οι κλασσικές στατιστικές μεθοδολογικές προσεγγίσεις υποχωρούν στην ανάγκη μοντελοποίησης των χωρικών προτύπων και των σχέσεων που αναπτύσσουν μεταξύ τους. Οι

διεργασίες αυτές με την ραγδαία ανάπτυξη της γεωπληροφορικής τεχνολογίας δημιούργησε την ανάγκη για πληροφοριακά χωρικά συστήματα εστιασμένα στη διαδικασία λήψης απόφασης (Jensen and Christensen, 1986).

2.4 Πολυκριτηριακή Ανάλυση Αποφάσεων-Μέθοδοι Λήψης Απόφασης

2.4.1 Λήψη Αποφάσεων

Η διαδικασία λήψης απόφασης σαν επιλογή τεχνικής λύσης ανάμεσα σε εναλλακτικές που συνήθως έχουμε στη διάθεσή μας (Adair, 2010), (Adam and Humphreys, 2008), (Bianco, 2006), (Morcöl, 2007), κρίνεται αναγκαία, λόγω της απόστασης που μπορεί να υφίσταται μεταξύ πραγματικής και επιθυμητής κατάστασης. Η απόσταση αυτή ορίζεται ως ένα πρόβλημα χωροθέτησης για το οποίο θα πρέπει να ληφθεί απόφαση. Οι προτεινόμενες λύσεις πραγματεύονται τον τρόπο, τη διαδικασία, τις τεχνικές, τις δράσεις, τα μέσα και το χρόνο βάσει των οποίων η υπάρχουσα κατάσταση θα οδηγηθεί προς την επιθυμητή ή τη μη επιθυμητή κατάσταση που θα γίνει πραγματικότητα. Η λήψη απόφασης ως εκ τούτου συνιστά περισσότερο πολύπλοκη διανοητική διαδικασία, λιγότερο δε μια απλή ενέργεια επιλογής μεταξύ πολλαπλών εναλλακτικών λύσεων η οποία εν τέλει ολοκληρώνεται με μια τεχνική μεθοδολογία (Chauhan, 2008). Στη διαδικασία αυτή εμφανίζονται πολλές μέθοδοι και τεχνικές χρησιμοποιούμενες στη διαδικασία λήψης των αποφάσεων. Η επιλογή κάθε μιας από αυτές εξαρτάται από το πρόβλημα που θέλουμε να επιλύσουμε κάθε φορά. Η πολυκριτηριακή ανάλυση, αποτελεί μια μαθηματικά τεκμηριωμένη κατεύθυνση επίλυσης προβλημάτων προκύπτουσα από αλληλοσυγκρουόμενους στόχους (Chang, 2007).

2.4.2 Διαδικασία Πολυκριτηριακής Ανάλυσης

2.4.2.1 Γενικά

Η πολυκριτηριακή ανάλυση μεθοδολογικά εδράζεται στη φιλοσοφία ότι το προς επίλυση πρόβλημα, μπορεί εναργώς να κατανοηθεί, αφού ορίσουμε σχέσεις ανάμεσα στα επιμέρους κριτήρια προς ένα τελικό στόχο. Ειρήσθω εν παρόδω δεν συνιστά εργαλείο αναζήτησης της άριστης λύσης καθώς αυτή αν υπήρχε δεν θα τίθετο θέμα απόφασης.

Η ιεραρχική δομή της πολυκριτηριακής ανάλυσης είναι σε θέση προσδώσει πληρέστερη κατανόηση του προβλήματος και των επιμέρους αξιολογήσεων (Papalexandrou et al, 2008) καθώς επιτρέπει στον Ιθύνοντα να επιμερίσει το πρόβλημα σε μικρότερου εύρους προβλήματα σχετιζόμενα αμφότερα με συγκεκριμένη δομή στόχου και κριτηρίων ώστε να οδηγηθεί σε επιμέρους αποφάσεις συγκρίνοντας τα αποτελέσματα (Papadopoulos et al., 2011).

Α priori δεν είναι εφικτό οι τελικές μας επιλογές σε κάποιο προς επίλυση πρόβλημα να έχουν άριστη επίδοση παρά μόνο ως προς έναν ή περισσότερους αλλά ποτέ ως προς όλους τους τελικούς στόχους που έχουμε θεσπίσει (Yeh et al., 2010). Ως εκ τούτου ο Ιθύνων πρέπει συμβιβαστικά να μεγιστοποιήσει και να επάγει τους αποδεχόμενους στόχους ενώ σε αντιδιαστολή να αποδεχθεί τις αντισταθμιστικές απώλειες αναφορικά με τους υπόλοιπους σαν αποτέλεσμα των επιλογών του. Ο χαρακτήρας των τελικών αποφάσεων στην πολυκριτηριακή ανάλυση είναι δογματικά συμβιβαστικός. Σε ανώτερο επίπεδο τίθεται και η έννοια του συμβιβασμού ανάμεσα σε διαφορετικούς Ιθύνοντες που είναι σε θέση να αποδεχτούν μικρή απομάκρυνση από τους στόχους ώστε η επιτευχθείσα συναίνεση να οδηγήσει προς μια αποδεκτή λύση (Keeney and Raiffa, 1976). Η διαδικασία στο σύνολό της ελαττώνει το χρόνο λήψης απόφασης, ελαχιστοποιεί μεθοδολογικά προβλήματα όπως η αυξημένη εντροπία που προκύπτει από τα πολυπληθή κριτήρια και την πιθανή έλλειψη εστίασης και σχεδιασμού παρέχοντας ποσοτικοποιημένα αποτελέσματα, ενώ η κρίση του Ιθύνοντα να μπορεί να μετρηθεί (Chauhan, 2008). Η ευελιξία της μεθοδολογίας έγκειται στο γεγονός ότι είναι σε θέση να ενσωματωθεί σε τεχνικές όπως ο γραμμικός προγραμματισμός και η λογική της ασάφειας (Vaidya and Kumar, 2006), διαχειριζόμενη ποσοτικά και ποιοτικά κριτήρια (Macharis et al., 2004). Οι διαδικασίες απλοποιούνται σε περίπτωση που κρίνεται επιβεβλημένη η αξιολόγηση μη μετρήσιμων κριτηρίων όπως ενίοτε τα περιβαλλοντικά. Προς την κατεύθυνση αυτή στη βιβλιογραφία αναφέρονται πλείστες πολυκριτηριακές μέθοδοι και εφαρμογή αυτών στη χωροθέτηση οχλουσών δραστηριοτήτων.

Εν προκειμένω η ανέρευση θέσης περιβαλλοντικώς αποδεκτής και η τελική επιλογή του κατάλληλου αποδέκτη χωροθέτησης ενός ΧΥΤΑ συνιστά πολύπλοκη διαδικασία καθότι:

- Η χωρική επικράτεια μια υδρολογικής λεκάνης απορροής εντός της οποίας προτείνεται αν χωροθετηθεί ένας ΧΥΤΑ είναι συνήθως μεγάλων διαστάσεων. Συνήθως δε ο προγραμματισμός δράσεων χωροθέτησης πρέπει σε επίπεδο προμελέτης να συμπεριλαμβάνει τη διαδικασία επιλογής με τις τεχνικά εφικτές λύσεις.
- Η τελικά εφαρμοζόμενη μεθοδολογία σε σχέση με τις ανταγωνιστικές τις παρουσιάζει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, γεωτεχνικά, γεωλογικά, τεχνικά, οικονομικά, περιβαλλοντικά κ.α. Ούτως ειπείν κρίνεται σκόπιμη η συγκριτική αξιολόγηση να λαμβάνει χώρα με την πλέον αξιόπιστη επιστημονικά και τεκμηριωμένη προσέγγιση.
- Οι περιβαλλοντικές ιδιαιτερότητες και η εν γένει καταλληλότητα κάθε περιοχής που θα ενταχθεί ο αποδέκτης θέτουν πάντα και φυσικούς και τεχνικούς περιορισμούς.

Συνδυάζοντας τις παραμέτρους της χωρικής επικράτειας που θα ενταχθεί ο αποδέκτης δημιουργείται ένα πολυκριτηριακό σενάριο, του οποίου η αξιολόγηση αρχικά και η επίλυση στη συνέχεια προκύπτει από συσχετιζόμενες σειρές δεδομένων, απόψεις ειδικών, εμπειρικές γνώσεις και εμπειρικούς κανόνες.

Η επαγόμενη λύση συνιστά ανάλυση, συνδυασμό, βαθμολόγηση και αξιολόγηση ενίοτε αντιφατικών και αντικρουόμενων παραμέτρων (Malczewski, 1999). Οι παράμετροι με τη σειρά τους αποτιμώνται με μορφή κριτηρίων τα οποία είναι κοινά για τα προς αξιολόγηση σενάρια ενώ η σπουδαιότητά αυτών για τη χωροθέτηση αποτιμάται από τυπικά προσδιοριζόμενους συντελεστές βαρύτητας. Ο επαρκής αριθμός κατάλληλων και τυπικά αντιπροσωπευτικών κριτηρίων κρίνεται επιβεβλημένος για την τελική εξαγωγή του πληρέστερου και ορθολογικότερου συμπεράσματος.

2.4.2.2 Αρχιτεκτονική Χωρικού Συστήματος Απόφασης

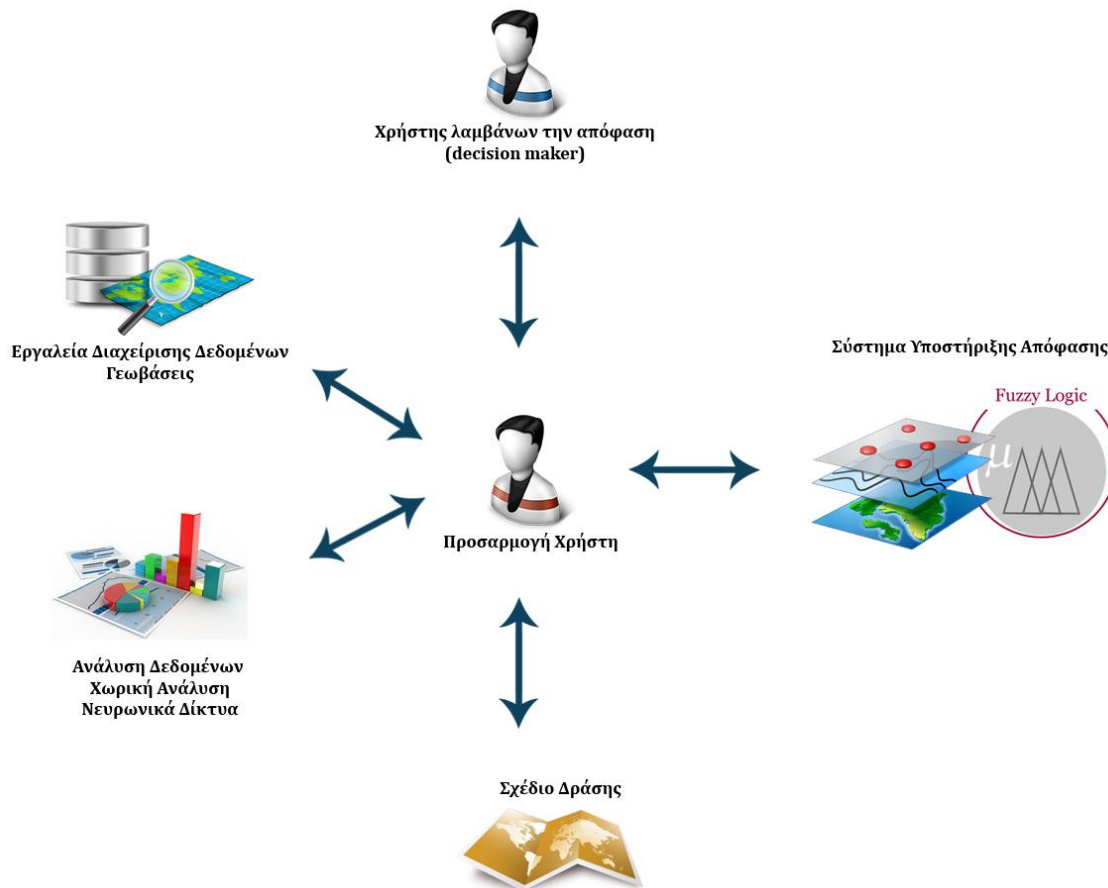
Ανάμεσα στα πολύπλοκα μαθηματικά μοντέλα ανάλυσης χώρου και στους Ιθύνοντες στο τελικό σενάριο χωροθέτησης υφίσταται ένα κενό, την προσπάθεια κάλυψης του οποίου έρχεται να επιχειρήσουν τα χωρικά συστήματα απόφασης (ΧΣΑ) (Fedra, 1996). Ένα τέτοιο σύστημα (Σχήμα 2-1) συνιστά ένα μαθηματικό εργαλείο που κατευθύνει τους αποφασίζοντες να αντιμετωπίσουν προβλήματα με ασαφή και μη ξεκάθαρη σχέση με τα αναλυτικά μοντέλα (Ross, 1995).

Ο σχεδιασμός ενός ΧΣΑ βασίζεται σε ένα δομημένο περιβάλλον λήψης απόφασης με δυνατότητα διεξαγωγής με ευελιξία κάθε ανάλυσης των γεωγραφικών δεδομένων. Τα ΧΣΑ διακρίνονται από τα κάτωθι κυρίαρχα χαρακτηριστικά:

- Δίνουν λύση σε σαφώς ή ασαφώς καθορισμένα χωρικά προβλήματα για τα οποία οι τελικοί στόχοι χωροθέτησης δεν μπορούν να καθοριστούν με ακρίβεια.
- Διακρίνονται από ένα φιλικό στη χρήση τις περισσότερες των περιπτώσεων γραφικό περιβάλλον.
- Παρέχουν στο χρήστη τη δυνατότητα να συνδυάζει μαθηματικά μοντέλα και χωρικά δεδομένα με ευελιξία και ενάργεια.
- Δίνουν τη δυνατότητα στον αποφασίζοντα να εφαρμόσει μοντέλα ανάπτυξης εναλλακτικών σεναρίων προς τελική επίλυση χωροθέτησης.
- Παρέχουν την δυνατότητα μιας ευρείας γκάμας μορφών λήψης απόφασης με ευκολία.
- Δίνουν τη δυνατότητα να λαβαίνει χώρα αλληλεπίδραση του αποφασίζοντα χρήστη και της εφαρμόζουσας διαδικασίας με περισσότερους του ενός τρόπους.

Επιπλέον παρουσιάζουν επιπρόσθετες δυνατότητες με τις οποίες δυνάμεθα:

- Να προχωρήσουμε στην ορθολογική εισαγωγή χωρικών δεδομένων.
- Να αναπαραστήσουμε χωρικές σχέσεις και δομές.
- Να επιχειρήσουμε τεχνικές ανάλυσης με τα χωρικά δεδομένα.
- Δίνουν τη δυνατότητα απεικόνισης των χωρικών δεδομένων σε μορφή χαρτών.



Σχήμα 2-1. Αρχιτεκτονική Χωρικού Συστήματος Απόφασης

Σαν επιμύθιο στο ανωτέρω σύστημα η Γεωβάση ολοκληρώνει μια σύζευξη χωρικών και παραμετρικών δεδομένων διευκολύνοντας τη χρήση στατιστικών και μαθηματικών μοντέλων. Ένα γραφικό περιβάλλον απόδοσης (GUI – Graphics User Interface) με το πέρας της ανάλυσης δεικνύει τα αποτελέσματα της έρευνας στους τελικούς χρήστες. Ο αποφασίζων στο τέλος χρησιμοποιεί το δικό του μοντέλο στην τελική λήψη απόφασης (Djokic, 1996), (Σχήμα 2-1).

2.4.3 Μέθοδος Αναλυτικής Ιεράρχησης - AHP

2.4.3.1 Διαδικασία Αναλυτικής Ιεράρχησης

Με την πάροδο των δεκαετιών έχουν αναπτυχθεί και βαθμιαία εξελίσσονται μέθοδοι και εργαλεία για να διευκολύνουν την λήψη μιας απόφασης, λαμβάνοντας υπόψη τους παράγοντες που την επηρεάζουν. Κυρίαρχη μεθοδολογία στη βιβλιογραφία αποτελεί η μέθοδος που παρουσίασε ο Saaty στις αρχές της δεκαετίας του 1970 καλώντας την Analytical Hierarchy Process (AHP) – Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία (Saaty, 1990).

Η AHP έκτοτε έχει καθιερωθεί στην διεθνή βιβλιογραφία ως μια από τις πλέον εφαρμοσμένες τεχνικές ανάλυσης και λήψης απόφασης. Διακρίνεται για τις απλές διαδικασίες εφαρμογής, υλοποίησης με ιδιαίτερη σαφήνεια, μεγάλη προσαρμοστικότητα των δεδομένων σε αυτήν και μεγάλη ευρύτητα

αναφορικά με τις εφαρμογές που δύναται να υλοποιήσει. Η AHP αποτιμάται και διακρίνεται κάτω από τέσσερα κυρίαρχα στάδια:

- την ιεραρχική δόμηση του προβλήματος απόφασης,
- την εισαγωγή δεδομένων από τον αποφασίζοντα σχετικά με τα στοιχεία απόφασης,
- την εκτίμηση και τον υπολογισμό των βαρών για τα στοιχεία απόφασης και
- τη σύνθεση των επιμέρους βαρών των κριτηρίων με στόχο την τελική αξιολόγηση.

2.4.3.2 Μεθοδολογικό Πλαίσιο

Η μεθοδολογία της AHP οργανώνει συστηματικά τα δομικά στοιχεία ενός προβλήματος λήψης απόφασης μέσω μιας ιεραρχική δομής ξεκινώντας από το στόχο και κατεβαίνοντας προς τα κριτήρια, τα υποκριτήρια και τις εναλλακτικές λύσεις σε διαδοχικά επίπεδα, (Saaty, 1990). Στο ιεραρχημένο μοντέλο δύναται να συμπεριλάβουμε παράγοντες αβεβαιότητας αλλά και κρισιμότητας για την απόφαση. Η μέθοδος δίνει τη δυνατότητα για ένα συστηματικό τρόπο υπολογισμού των προτεραιοτήτων ή των βαρών του κάθε στοιχείου, αντί της αυθαίρετης εισαγωγής τους (Forman and Selly, 2001).

Στο πρώτο στάδιο ο Ιθύνων προβαίνει σε ιεράρχηση του προβλήματος θέτωντας στην κορυφή της ιεραρχίας τον γενικό στόχο του προβλήματος. Στη συνέχεια υιοθετούνται τα κριτήρια απόφασης, με ενδεχόμενη επιμέρους ανάλυση σε υποκριτήρια. Ακολούθως τοποθετούνται οι εναλλακτικές ενέργειες του εξεταζόμενου προβλήματος απόφασης. Τόσο η δομή όσο και το μέγεθος της ιεραρχίας εξαρτώνται από τη φύση του προβλήματος σε συνδυασμό με το βαθμό ανάλυσης που επιθυμεί να φτάσει ο Ιθύνων.

Στο δεύτερο στάδιο η εισαγωγή των δεδομένων τα οποία συνιστούν μέρος του προβλήματος, αποτιμώνται μέσω διμερών συγκρίσεων χωρικών επιπέδων που καθορίστηκε στο πρώτο στάδιο. Ο Ιθύνων συγκρίνει ανά δύο αμφοτέρωτα τα χωρικά επίπεδα σε συνδυασμό κάθε φορά ενός στοιχείου του προηγούμενου ιεραρχικού επιπέδου. Η ολοκλήρωση της διαδικασίας επιτυγχάνεται με τις τελικές συγκρίσεις των εναλλακτικών ενεργειών του τελευταίου επιπέδου ιεραρχίας πάντα υπό το πρίσμα των στοιχείων του άμεσα προηγούμενου επιπέδου. Οι προτιμήσεις του Ιθύνοντα εκφράζονται μέσω αριθμητικής κλίμακας ενός συστήματος διακριτών αξιών, από το 1 έως το 9 (Πίνακας 2-1) δεικνύοντας την ισοδυναμία των προτιμήσεων με λεκτικούς όρους όπως: ασθενής προτίμηση, ισχυρή προτίμηση, απόλυτη προτίμηση και τις πιθανές ενδιάμεσες καταστάσεις αυτών στην παρακάτω κλίμακα του (Saaty, 1990).

Πίνακας 2-1. Κλίμακα χρησιμοποιούμενη για συγκρίσεις ανά ζεύγη.

Βαρύνουσα τιμή	Ορισμός	Ερμηνεία
1	Ίση βαρύτητα	Δυο δραστηριότητες συνεισφέρουν εξίσου στον στόχο. Τα συγκρινόμενα στοιχεία είναι ίσης σημαντικότητας (equal).
3	Μέτρια Βαρύτητα του ενός στοιχείου ως προς ένα άλλο	Η εμπειρία και η κρίση ευνοούν ελαφρώς μια δραστηριότητα έναντι της άλλης. Το πρώτο συγκρινόμενο στοιχείο είναι ελαφρώς σημαντικότερο από το δεύτερο.
5	Σημαντική Βαρύτητα του ενός στοιχείου ως προς ένα άλλο	Η εμπειρία και η κρίση ευνοούν σημαντικά μια δραστηριότητα έναντι της άλλης. Το πρώτο συγκρινόμενο στοιχείο είναι πολύ πιο σημαντικό από το δεύτερο.
7	Εκδηλωμένη βαρύτητα	Μια δραστηριότητα ευνοείται ισχυρά και η κυριαρχία της εκδηλώνεται στην πράξη. Το πρώτο συγκρινόμενο στοιχείο είναι πάρα πολύ πιο σημαντικό από το δεύτερο.
9	Μέγιστη Βαρύτητα	Οι λόγοι που ευνοούν τη μια δραστηριότητα έναντι της άλλης είναι του υψηλότερου δυνατού βαθμού επιβεβαίωσης. Το πρώτο συγκρινόμενο στοιχείο είναι απόλυτα πιο σημαντικό από το δεύτερο.
2,4,6,8	Ενδιάμεσες τιμές ανάμεσα σε δύο παρακείμενες κρίσεις	Όταν απαιτείται συμβιβασμός
0	Καμία σχέση	Ο παράγοντας δεν συμβάλλει στον στόχο.

Στο τρίτο στάδιο, μεθοδολογικά υπολογίζονται τα σχετικά βάρη μέσω των προτιμήσεων που τέθηκαν στα προηγούμενα στάδια δια των σχετιζόμενων συγκρίσεων.

Στο τελευταίο στάδιο της πολυκριτηρίας μεθόδου, λαμβάνει χώρα ο συνδυασμός των σχετικών βαρών των στοιχείων όλων των επιπέδων με στόχο το υπολογισμό των βαρών των εναλλακτικών ενεργειών του τελευταίου επιπέδου ιεραρχίας. Η τελική αξιολόγηση λαμβάνει χώρα βάσει της κατάταξης των εναλλακτικών ενεργειών από τις καλύτερες προς τις χειρότερες. Τα δύο πρώτα στάδια εκτελούνται με ευθύνη του Ιθύνοντα ενώ τα δύο τελευταία αποτελούν μαθηματικό τμήμα της διαδικασίας.

2.4.3.3 Ιεράρχηση ενός προβλήματος απόφασης

Η εφαρμογή της ΑHP καθορίζεται αρχικά σε ένα πρώτο στάδιο από την επιμέρους ανάλυση του επιδιωκόμενου στόχου σε υποστόχους με επακόλουθη ανάλυση η οποία ακολουθεί τα πρότυπα της ιεραρχικής δομής επίλυσης προβλημάτων. Στην κορυφή της ιεραρχικής δομής εντάσσεται ο τελικός στόχος της απόφασης στην οποία πρέπει να φτάσουμε.

Εξαιτίας του γεγονότος ότι σε κάθε πρόβλημα απόφασης οι πιθανές εναλλακτικές λύσεις είναι σχεδόν αδύνατο να τεκμηριώσουν εναργώς τον γενικό στόχο ως εκ τούτου ο απώτερος στόχος πρέπει να αναλυθεί ιεραρχικά σε έναν αριθμό περισσότερων υποστόχων. Η ιεραρχική ακολουθία που προσδίδεται στην ανάλυση θα πρέπει να ικανοποιεί του επιμέρους και να αναδεικνύει τον τελικό στόχο. Στο Σχήμα 2-2 αποτυπώνεται ιεραρχική δομή τεσσάρων επιπέδων.

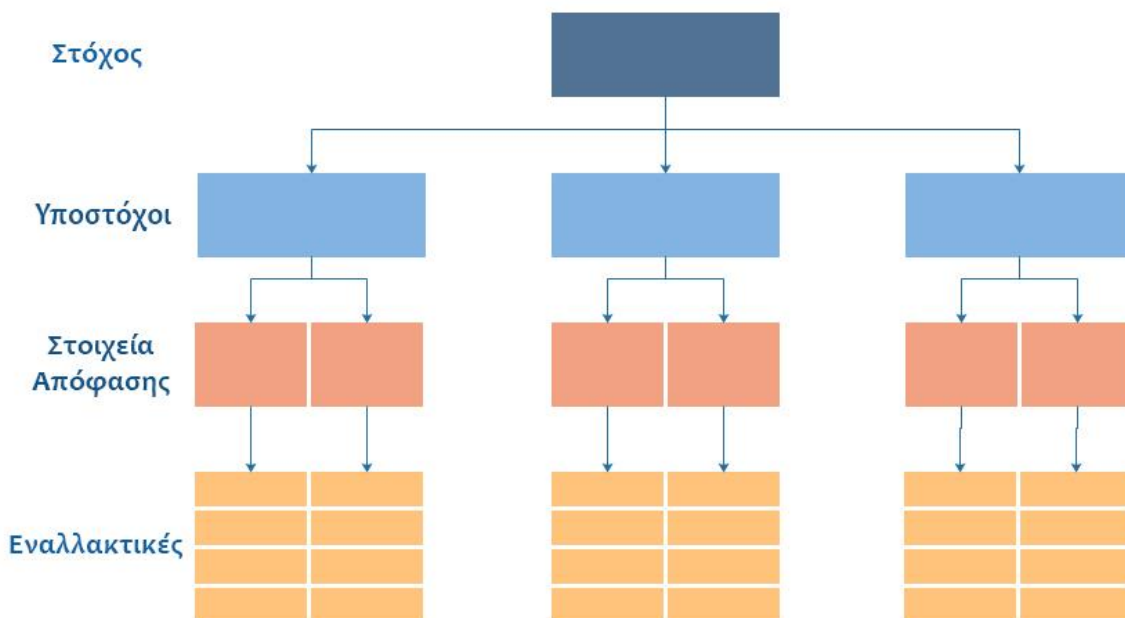
Όπως διακρίνεται στο σχήμα ο τελικός στόχος υποστηρίζεται ιεραρχικά από τρεις υποστόχους κάθε ένας από τους οποίους αναλύεται σε έναν αριθμό λεπτομερέστερων στοιχείων απόφασης. Ο βαθμός

λεπτομέρειας που προσδίδεται στην ιεραρχική δομή εξαρτάται από την εν γένει πολυπλοκότητα του ιεραρχικού προβλήματος.

Η ορθότητα αναφορικά με τον καταμερισμό των κριτηρίων στα επίπεδα ιεραρχίας κρίνεται επιβεβλημένη ώστε να έχει νόημα η σύγκριση κατά ζεύγη των στοιχείων του ίδιου επιπέδου.

Σύμφωνα με τον (Saaty, 1990) η δόμηση της ιεραρχίας θα πρέπει:

- Να είναι αντιπροσωπευτική του προβλήματος,
- Να λαμβάνει υπόψη το πλαίσιο του προβλήματος στο σύνολό του,
- Να εντοπίζει στοιχεία που οδηγούν προς την επίλυση του προβλήματος,
- Να αποτιμά και συμπεριλαμβάνει τους συμμετέχοντες στο πρόβλημα,



Σχήμα 2-2. Ιεραρχική δόμηση διαδικασίας λήψης απόφασης μέσω AHP.

2.4.3.4 Συγκρίσεις ανά ζεύγη

Ο επιμερισμός των βαρών σε ένα πρόβλημα λήψης απόφασης συνιστά ένα σημαντικό θέμα διότι ο Ιθύνων καλείται να επιμερίσει μέσα σε ένα σύνολο εναλλακτικών αναφορικά με τη σημαντικότητά τους, βάσει κριτηρίων (Mazaher, 2010). Η συμβολή της ιεράρχησης μεθοδολογικά επιτρέπει τη σύγκριση κάθε ζεύγους στοιχείων χωριστά, οδηγώντας στη λήψη ασφαλέστερων αποφάσεων (Saaty, 1990). Σε κάθε επίπεδο ιεραρχίας τα στοιχεία αμφοτέρωθεν συγκρίνονται κατά ζεύγη ως προς το βαθμό προτίμησης σχετιζόμενα με τα γονικά τους στοιχεία (Saaty, 1990). Επικουρικά με τη σύγκριση κατά ζεύγη προκύπτουν οι σχέσεις και ο βαθμός προτίμησης του ενός έναντι του άλλου, σε σχέση με το κριτήριο του αμέσως ανωτέρου επιπέδου. Το σκεπτικό δημιουργεί έναν πίνακα κατά ζεύγη σύγκρισης ο

αριθμός των οποίων έρχεται σε ταύτιση με το πλήθος των κόμβων της ιεραρχικής δομής. Ενδεικτικά τέτοιος είναι ο Πίνακας 2-2.

Πίνακας 2-2. Σύγκριση ανα ζεύγη και απόδοση βαθμού προτίμησης ανάμεσα στα κριτήρια.

Στόχος	Κριτήριο 1	Κριτήριο 2	Κριτήριο 3
Κριτήριο 1	a_{11}	a_{12}	a_{13}
Κριτήριο 2	a_{21}	a_{33}	a_{23}
Κριτήριο 3	a_{31}	a_{32}	a_{33}

Τα τρία κριτήρια 1, 2, 3 συγκρίνονται κατά ζεύγη ως προς το βαθμό συμμετοχή τους και εν γένει τη σημαντικότητά τους ως προς το βαθμό συμμετοχής στην ικανοποίηση του τελικού στόχου (Πίνακας 2-2). Κατ'αυτόν τον τρόπο δημιουργούνται πίνακες σύγκρισης των κριτηρίων ανά δύο τόσοι όσα και τα κριτήρια του προβλήματος, εκτός εναλλακτικών. Στο πλαίσιο αυτό ο έχων το πρόσταγμα της απόφασης, δηλώνει υποκειμενικές προτιμήσεις για κάθε συγκρίσιμο ζεύγος X και Y με βάση την εξής διαβάθμιση:

- I το X είναι ισοδύναμο με το Y (XIY)
- WP η προτίμηση του X έναντι του Y είναι ασθενής (weak preference: XWPY)
- SP η προτίμηση του X έναντι του Y είναι ισχυρή (strong preference: XSPY)
- DP η προτίμηση του X έναντι του Y είναι πολύ ισχυρή (very strong pref: XDPY)
- AP η προτίμηση του X έναντι του Y είναι απόλυτη (absolute preference: XAPY)

Οι ανωτέρω διαβαθμίσεις $R=\{I, WP, SP, DP, AP\}$ έρχονται σε αντιστοιχία με τη βαθμιαία αριθμητική κλίμακα του πίνακα ... Οι τελικές αριθμητικές διαβαθμίσεις των προτιμήσεων είναι:

$$P=\{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 1/2, 1/3, 1/4, 1/5, 1/6, 1/7, 1/8, 1/9\}$$

Σε περίπτωση που χρησιμοποιηθούν οι αντίστροφες τιμές 2,3,4,5,6,7,8,9 δεικνύουν αντίστροφες προτιμήσεις. Εν κατακλείδι τα στοιχεία a_{ij} του πίνακα δεικνύουν την προτίμηση του κριτηρίου i έναντι του κριτηρίου j και εκφράζουν πόσες φορές πιο σημαντικό είναι το ένα κριτήριο από το άλλο. Για κάθε πίνακα κατά ζεύγη συγκρίσεων ισχύει $a_{ii}=1$, αφού αναφέρεται σε σύγκριση του κριτηρίου i με τον εαυτό του. Επίσης, αν το κριτήριο i είναι σημαντικότερο από το j τότε $a_{ij}>1$ ενώ αν το j είναι σημαντικότερο το i , τότε $a_{i<j}$, ενώ για κάθε $i \neq j$, ισχύει $a_{ij}=1/a_{ji}$.

2.4.3.5 Καθορισμός τοπικών προτεραιοτήτων

Με την διάρθρωση της ιεραρχίας κρίνεται απαραίτητο να καθοριστούν οι προτεραιότητες για κάθε κριτήριο - παράγοντα σε κάθε επίπεδο σε σχέση με κάθε κριτήριο στο αμέσως επόμενο επίπεδο. Στο βήμα αυτό καθορίζονται οι σχετικές βαρύτητες ή προτεραιότητες διενεργώντας συγκρίσεις ανά ζεύγη. Η βαρύτητα του i -οστού κριτηρίου διακρίνεται εκφρασμένη ως w_i (Kallali, 2007). Η προσέγγιση είναι

πρωτίστως ποιοτική και ούτως ειπείν δεν είναι απαραίτητο να επιβεβαιωθούν όλες οι προϋποθέσεις ανεξαρτησίας ή να διατυπωθούν όλες οι συναρτήσεις προτίμησης. Παρόλα αυτά για την εγκυρότητα της μεθοδολογίας θα πρέπει να ισχύουν οι υποθέσεις:

- Ο υπεύθυνος για τη λήψη αποφάσεων πρέπει να είναι σε θέση συγκρίνει ανά ζεύγη a_{ij} τις εναλλακτικές δυνατότητες (i και j) βάσει του κριτηρίου σε κλίμακα αντίστροφου λόγου, δηλαδή: $a_{ij}=1/a_{ji}$ για κάθε i, j .
- Μετά τη σύγκριση των δύο εναλλακτικών i, j , ο υπεύθυνος για τη λήψη αποφάσεων ποτέ δεν θεωρεί μία απεριόριστα καλύτερη από την άλλη. Δηλαδή, $a_{ij} \neq \infty$ για κάθε i, j .
- Το πρόβλημα απόφασης δύναται να διατυπωθεί ιεραρχικά.
- Τα κριτήρια και οι εναλλακτικές λύσεις ιεραρχούνται σε κάθε πρόβλημα λήψης απόφασης.

Θεωρώντας ότι ο έχων το πρόσταγμα της απόφασης, έχει αποτιμήσει τα βάρη $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$ κάθε επιπέδου $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ ο πίνακας κατά ζεύγη διαμορφώνεται ακολούθως:

Πίνακας 2-3. Πίνακας A

$$A = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix}$$

Το τελικό διάνυσμα των βαρών σε κατάταξη στήλης προκύπτει:

$$w = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix}$$

Για τον Πίνακα (2-3) θεωρούμε ότι ισχύει $Aw = \lambda w$, όπου λ συνιστά το πλήθος των συγκρινόμενων ζευγών. Η ποσότητα λ συνιστά τη μέγιστη ιδιοτιμή (eigenvalue) του πίνακα A, με το w να αποτελεί το αντίστοιχο ιδιοδιάνυσμα (eigenvector). Επιπλέον πρέπει να τονιστεί πως κάθε πίνακας $A=(a_{ij})$, όπου ισχύει $a_{ij}=w_i/w_j$ για κάθε $i, j=1, \dots, n$ θεωρείται πλήρης και ορθολογικά συνεπής όταν $a_{jk} = a_{ik}/a_{ij}$, για κάθε $i, j, k=1, \dots, n$.

Ο Πίνακας (2-3), στην περίπτωση που τα βάρη είναι καθορισμένα, ικανοποιεί το κριτήριο της συνέπειας. Μολαταύτα ο αποφασίζων δεν είναι σε θέση να αποτιμήσει επακριβώς τα βάρη w_1, w_2, \dots, w_n , παρά μόνο τις εκτιμήσεις τους. Ειρήσθω εν παρόδω ο Πίνακας (2-3) δεν είναι απόλυτα συνεπής, σύμφωνα δε με τη θεωρία των ιδιοτιμών (eigenvalue theory), η εκτίμηση του διανύσματος των βαρών δίνεται από τη σχέση $Aw' = \lambda_{\max} w'$, όπου λ_{\max} είναι η μέγιστη ιδιοτιμή του Πίνακα (2-3). Το

διάνυσμα w' συνιστά προσέγγιση του πραγματικού διανύσματος βαρών w , ενώ αποδεικνύεται ότι $\lambda_{\max} > n$.

Οι αξιωματικές θέσεις που περιγράφησαν αποτελούν το βασικό πλαίσιο της AHP όπερ σημαίνει επίλυση του προβλήματος ιεραρχικά (Saaty, 1990) με διατύπωση κρίσεων υπό μορφή συγκρίσεων ανά ζεύγη (Ni-Bin et al., 2008).

2.4.3.6 Έλεγχος Συνέπειας

Η συνέπεια των τελικών πορισμάτων ή η μεταβατικότητα των προτιμήσεων ελέγχεται ποιοτικά υπολογίζοντας κατά πόσο ισχύει: $a_{ij} = a_{ik} a_{kj}$ για κάθε i, j, k . Στην πραγματικότητα, η απόλυτα συνεπής σύμπτωση δεν δύναται να συμβεί. Κατά αυτόν τον τρόπο για την αξιολόγηση της ποιότητας του Πίνακα συγκρίσεων (2-3), δημιουργήθηκε ο δείκτης συνέπειας (CI), ο οποίος εκφράζεται από τη σχέση: $CI = \lambda_{\max} - n / n - 1$.

Για την πληρέστερη και ορθότερη προκύπτουσα προοπτική, συγκρίνουμε τον CI με τον δείκτη που προκύπτει από έναν αυθαίρετο πίνακα συγκρίσεων, δεδομένων εισόδου του οποίου λαμβάνονται από τυχαία επιλογή. Μέσω προσομοίωσης ο Saaty, (1990) πέτυχε τα ακόλουθα αποτελέσματα:

Πίνακας 2-4. Παράδειγμα πίνακα συγκρίσεων.

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

όπου ως n αντιπροσωπεύεται η διάσταση ενός συγκεκριμένου πίνακα συγκρίσεων και ως RI υποδεικνύεται ο τυχαίος δείκτης που υπολογίζεται από τον μέσο όρο του CI για ένα μεγάλο δείγμα τυχαίων πινάκων σύγκρισης. Καθ' αυτόν τον τρόπο είμαστε σε θέση να καθορίσουμε το λόγο συνέπειας (CR) από τη σχέση: $CR = CI / RI$. Εμπειρικά έχει διαπιστωθεί ότι ο λόγος CR πρέπει να είναι μικρότερος του 0,1 για να έχουμε εμπιστοσύνη στα επαγόμενα αποτελέσματα. Η τιμή του CR στον Πίνακα (2-4) είναι 0,045, τιμή που εμπίπτει στο αποδεκτό φάσμα.

2.4.3.7 Αιτίες πιθανής ασυνέπειας

Αποτιμώντας εκτιμήσεις των Forman and Selly, (2001), είναι πιθανόν να εμφανιστούν μετά την εφαρμογή της μεθοδολογίας ασυνέπειες στα αποτελέσματα ή πιθανοί λόγοι εμφάνισης ασυνέπειας στους πίνακες συγκρίσεων κατά ζεύγη. Οι δυστοκίες αυτές δύναται να οφείλονται στα κάτωθι:

- Εκ παραδρομής λάθος καταχώριση μιας τιμής.
- Απειρία ή πιθανή έλλειψη πληροφόρησης του λήπτη απόφασης αναφορικά με τα συγκρινόμενα κριτήρια.
- Πιθανή έλλειψη συγκέντρωσης ή πλημελή γνώση του προβλήματος.

- Πιθανή έλλειψη συνέπειας των κριτηρίων αναφορικά με το εξωτερικό περιβάλλον.
- Πιθανή ανεπαρκής δομή του μοντέλου με λαθεμένο καθορισμό της ιεραρχικής δομής και κριτηρίων που δεν δύναται να συγκριθούν αμοιότεροι.

2.4.3.8 Τελική Σύνθεση και Αποτίμηση

Με το πέρας της διαδικασίας των συγκρίσεων ανά ζεύγη για τα κριτήρια που έχουν επιλεγεί και αποτιμώντας τα βάρη των κριτηρίων και τις τελικές επιδόσεις των εναλλακτικών λύσεων για κάθε κριτήριο, το τελικό βήμα στη διαδικασία της AHP συνιστά η αποτίμηση των προτεραιοτήτων και η σύνθεση του τελικού αποτελέσματος.

Ο υπολογισμός των προτεραιοτήτων συνίσταται από τον πολλαπλασιασμό των διανυσμάτων των βαρών από τα κατάντη επίπεδα της ιεραρχίας προς τα ανάντη. Οι προκύπτοντες πίνακες προσδίδουν τα βάρη των εναλλακτικών ως προς τα κριτήρια. Η διαδικασία φτάνει ως το ανώτερο επίπεδο της ιεραρχίας με αποτέλεσμα να προκύψουν οι συνολικές προτεραιότητες των εναλλακτικών ως προς τον στόχο. Η προκύπτουσα εναλλακτική με την υψηλότερη προτεραιότητα είναι και αυτή που ικανοποιεί πληρέστερα και ορθολογικότερα το στόχο αποτελώντας την πλέον αποδεκτή επιλογή.

2.4.4 Απόδοση Βαρών με χρήση Ασαφούς Λογικής

2.4.4.1 Ιστορική Αναδρομή

Η πραγματικότητα είναι ζήτημα βαθμού. Κάθε φυσικό γεγονός είναι ζήτημα βαθμού. Τα γεγονότα είναι πάντα σε κάποιο βαθμό είτε ακριβή είτε ανακριβή. Τα μαθηματικά πάραυτα είναι ο μόνος κλάδος της ανθρώπινης σκέψης όπου υπάρχει το άσπρο και το μαύρο διότι συνιστούν ένα τεχνητό και σκιάδες σύστημα από κανόνες και σύμβολα. Η επιστήμη παρόλα αυτά χειρίζεται τα ασαφή γεγονότα όπως τα άσπρα ή μαύρα των μαθηματικών. Μέχρι τούδε κανείς δεν έδειξε ένα απλό γεγονός για το φυσικό κόσμο το οποίο να είναι 100% αληθές ή 100% ψευδές. Απλά και μόνο υποστηρίζουν ότι έτσι έχουν τα πράγματα. Από το λάθος γεννήθηκε μια νέα αμφιβολία. Η επιστημονική προσέγγιση κινείται στο επίπεδο της λογικής και των μαθηματικών και διατηρεί αυτό το λάθος με τη μισαλοδοξία θρησκευτικής πίστης.

Αυτή η πίστη στο άσπρο και το μαύρο, αυτή η διτιμία στην λογική πηγαίνει πίσω μέχρι τους αρχαίους Έλληνες. Ο Δημόκριτος ανήγαγε το σύμπαν σε ύλη (άτομα) και στο κενό. Ο Πλάτωνας ερμήνευσε τον κόσμο με μορφές ορθότητας και τριγωνικότητας. Ο Αριστοτέλης έγραψε τους νόμους της λογικής του άσπρου και του μαύρου που ακόμη και σήμερα οι μαθηματικοί χρησιμοποιούν για να περιγράψουν το γκρίζο σύμπαν. Η Αριστοτελική λογική της διτιμίας συνοψίζεται σε έναν νόμο:

A ή όχι A.

Ο νόμος αυτός ορίζει το μαθηματικά ορθό δύο χιλιάδες χρόνια, αντιπροσωπεύοντας την δίτιμη λογική και εν κατακλείδι την σχολή της Δυαδικής λογικής που πρεσβεύεται από τον Boolean γεωμετρία.

Ο Πλάτωνας στην ακαδημία του μια ημέρα, όρισε τον άνθρωπο ως άπτερο δίποδο ον. Την επόμενη ημέρα σοφιστής μαθητής του, του έφερε μια ξεπουπουλιασμένη κότα. Ο Ζήνων ο Ελεάτης παίρνοντας έναν κόκκο άμμου από έναν σωρό αναρωτήθηκε αν ο κόκκος αποτελεί ακόμη σωρό. Ο Ντεκάρτ μετά από αιώνες διευρύνοντας τη φύση της ταυτότητας αναζήτησε ένα κοινό υποκατάστατο από την ύπαρξη στη μη ύπαρξη. Ο Χιούμ είδε το εγώ να διαλύεται σε μια δέσμη αισθήσεων του μη εγώ. Ο Heisenberg με την αρχή αβεβαιότητας του στην κβαντική φυσική απέδειξε στην επιστημονική κοινότητα πως δεν είναι όλες οι επιστημονικές προτάσεις αληθείς ή ψευδείς. Ο Μπέρτραντ Ράσσελ ανακάλυψε το παράδοξο του άσπρου – μαύρου στα θεμέλια της σύγχρονης μαθηματικής σκέψης. Ο Αλβέρτος Αϊνστάιν δε, αμφισβήτησε τη μαθηματική βάση του άσπρου – μαύρου με τη φράση “Όσο οι νόμοι των μαθηματικών αναφέρονται στην πραγματικότητα δεν είναι βέβαιοι. Και όσο είναι βέβαιοι δεν αναφέρονται στην πραγματικότητα”.

Ο Lukasiewicz (Πολωνός Μαθηματικός) το 1920 τεμαχίζοντας το ακαθόριστο σε πολλαπλά τμήματα εισαγάγει την τρίτιμη λογική κατά την οποία οι προτάσεις είναι αληθείς, ψευδείς ή ακαθόριστες. Το 1937, ο Max Black δημοσίευσε άρθρο για τα αόριστα σύνολα, το οποίο αγνοήθηκε από την επιστημονική κοινότητα. Ο Lotfi Zadeh, καθηγητής στο τμήμα ηλεκτρολόγων μηχανικών του Πανεπιστημίου Μπέρκλεϋ δημοσίευσε το 1965, ένα άρθρο με τίτλο «Ασαφή Σύνολα» (Fuzzy Sets) βάζοντας τα θεμέλια της Λογικής της Ασάφειας.

Ο Zadeh, (1965) επέκτεινε την δίτιμη λογική, από το διακριτό σύνολο $[0,1]$ στο συνεχές διάστημα $[0,1]$, εισάγοντας μία μετάβαση από το «λάθος» στο «σωστό». Ένα καθορισμένο σύνολο (crisp set) περιγράφεται ορθολογικά και με πληρότητα από τα στοιχεία του με βάση τη διακριτή σχέση, «ανήκει», 1 ή δεν «ανήκει», 0. Ο Zadeh, (1965) πρότεινε για τα μη σαφώς καθορισμένα σύνολα η συνάρτηση συμμετοχής, μ να βρίσκεται στο διάστημα $[0,1]$, ομαλοποιώντας την απόφαση για το εάν ένα στοιχείο, x ανήκει ή όχι σε ένα σύνολο A .

Σαν επιμύθιο ο κόσμος είναι γκριζός αλλά η επιστήμη είναι άσπρο και μαύρο. Η αλήθεια βρίσκεται ανάμεσα στην λογική αυτή αναντιστοιχία. Ασαφής κόσμος με μη σαφή μαθηματική περιγραφή. Οι προτάσεις της δίτιμης (Boolean) λογικής και του προγραμματισμού των υπολογιστών είναι όλες αληθείς ή ψευδείς, 1 και 0. Οι δηλώσεις για τον πραγματικό κόσμο διαφέρουν. Δεν είναι όλες αληθείς ή ψευδείς. Δεν είναι δίτιμες αλλά πλειότιμες, γκριζες, ασαφείς. Δηλώσεις του τύπου «ο ήλιος λάμπει» δεν μπορεί να αποδεικτεί ως επιστημονικά σωστή διότι την επόμενη στιγμή ο ήλιος θα λάμπει από λιγότερο έως και περισσότερο ή και καθόλου.

Πέρα από τον επιστημονικό φορμαλισμό της δίτιμης λογικής περνάμε στην πλειότιμη λογική ή λογική της ασάφειας (Fuzzy Logic).

Η Ασαφής Λογική προσεγγίζει αληθοφανώς συνθήκες που λαμβάνουν χώρα στον πραγματικό κόσμο, ερμηνεύοντας συνεχείς, μη γραμμικές ιδιότητες δεδομένων διαφορετικές κλίμακες μέτρησης όπως η ποιοτική και η ποσοτική (Boroushaki, 2008).

2.4.4.2 Ανάλυση με τη Λογική της Ασάφειας

Εξελικτικά από την δίτιμη και την ντετερμινιστική λογική οι μεθοδολογικές προσεγγίσεις χωρικής ανάλυσης οδεύουν προς την Πλειότιμη Ασαφή Λογική (Fuzzy Logic). Οι διαθέσιμες διαβαθμίσεις καταλληλότητας περιοχών προκύπτουν από τη αξιολόγηση των κριτηρίων των θεσμικών παραμέτρων. Η προσέγγιση της Ασαφούς Λογικής, μοντελοποιεί την δύναμη καταλληλότητα των περιοχών με τρόπο μειωμένης υποκειμενικότητας.

Η κεντρική θεώρηση της Ασαφούς Λογικής, αποτελεί το σκεπτικό ότι τα στοιχεία ενός συνόλου δύναται να περιέχονται σε αυτό όχι καθ' ολοκληρία ή καθ' αποκλεισμό αλλά με κάποιο βαθμό συμμετοχής (membership), κυμαινόμενο στο διάστημα 0-1.

Αντίθετα από τη δυαδική λογική όπου κάποια παράμετρος απλά ανήκει ή δεν ανήκει σε κάποιο σύνολο, η πλειότιμη λογική εισαγάγει τη δυνατότητα απεικόνισης στοιχείων τα οποία ενίοτε μερικώς δύναται να θεωρηθούν τμήματα συνόλου. Κατά αυτόν τον τρόπο αντιμετωπίζονται ερωτήματα τα οποία δεν έχουν μονοσήμαντες απαντήσεις.

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά της πλειότιμης λογικής της Ασάφειας είναι τα ακόλουθα:

- Η προσέγγιση των παραμέτρων ενός σεναρίου χωροθέτησης λαμβάνει χώρα εγγενώς με δόση ανακρίβειας ή οποία δεν υπολογίζεται με όρους παραδοχών αλλά είναι συνδεδεμένη άμεσα με μια υφέρπουσα καμουφλαρισμένη πιθανότητα ως κατάσταση αβεβαιότητας.
- Μεθοδολογικά δίνεται η δυνατότητα στον αποφασίζοντα να αποδώσει με εννοιολογικούς όρους και διατυπώσεις ανθρώπινης γλώσσας, την ποιοτική αξιολόγηση των σεναρίων προς πληρέστερη και ορθολογικότερη προσέγγιση των παραμέτρων που αξιολογούνται.
- Τα συστήματα ασάφειας δομικά βασίζονται σε μεταβλητές που έχουν γλωσσολογική μορφή. Η χρήση γλωσσολογικών κανόνων υποβοηθά τη σειρά των υπολογισμών προς την τελική εξαγωγή χωρικού αποτελέσματος. Κατά αυτόν τον τρόπο ο Ιθύνων έχει τη δυνατότητα πληρέστερης αντίληψης του υπολογιστικού σεναρίου και της διαδικασίας. Το κύριο πλεονέκτημα της Ασαφούς λογικής συνιστά η δυνατότητα εφαρμογής των χωρικών μοντέλων σε περιπτώσεις που τα διαθέσιμα δεδομένα κρίνονται ελλιπή και ανεπαρκή (Knight and Fayek, 2002).

Κατά αυτόν τον τρόπο αξιοποιεί δεδομένα με σημαντικό βαθμό απροσδιοριστίας (Ross, 1995) που δεν είναι δυνατή η αξιοποίησή τους βάσει Δυαδικής ή Ντετερμινιστικής Λογικής (Knight and Fayek, 2002), (De Ru and Eloff, 1996).

Ως εκ τούτου τα δεδομένα αυτά:

- Είναι εκ φύσεως ελλειπή,
- Εμφανίζουν εγγενώς υποκειμενική φύση,
- Η διάκρισή τους είναι αμιγώς ποιοτική.

Η εφαρμογή της Ασαφούς Λογικής συνιστά μοναδικό εργαλείο στις περιπτώσεις όπου οι διαθέσιμες πληροφορίες είναι περιορισμένες (Zolotukhin and Gudmestad, 2002), (Suresh et al., 1996).

2.4.4.3 Ασαφή συστήματα στα Γεωγραφικά Γεωγραφικά Συστήματα

Τα GIS λειτουργούν αναπτύσσονται και εξελίσσονται βάσει της Δυαδικής Λογικής. Παρόλα αυτά σε περιπτώσεις όπου χωρικά αναζητούμε τον ακριβή καθορισμό των ακραίων τιμών μιας τάξης, η επάλληλη επίθεση των χωρικών επιπέδων και η εξαγωγή συμπερασμάτων με τη Boolean γεωμετρία καθίσταται προβληματική (Banai, 1993). Για την επίλυση χωρικών προβλημάτων χρησιμοποιώντας Λογική της Ασάφειας επιβάλλεται η χρήση Ασαφών συστημάτων με λεκτικές μεταβλητές τα οποία είναι σε θέση να αποδώσουν εννοιολογικά τα μη αριθμητικά δεδομένα εισόδου στο σύστημα (Carver, 1991). Η ροή εργασιών ενός Ασαφούς συστήματος είναι:

- Δεδομένα εισόδου
- Ασαφοποίηση δεδομένων εισόδου
- Δόμηση κανόνων
- Επεξεργασία κανόνων
- Αποασαφοποίηση δεδομένων
- Αποτελέσματα

Ένα Ασαφές σύστημα δομείται αρχικά από την αναζήτηση των δεδομένων εισόδου σε αυτό.

- Σε ένα πρώτο στάδιο κρίνεται απαραίτητος ο προσδιορισμός των μεταβλητών (χωρική ή μη) που εμπλέκονται και σχετίζονται με το χωρικό πρόβλημα. Η διαδικασία μετατροπής των αρχικών αριθμητικών τιμών σε εννοιολογικές, λεκτικές με την αρωγή των συναρτήσεων συμμετοχής καλείται *Ασαφοποίηση*. Οι συναρτήσεις συμμετοχής των ασαφών αριθμών παίρνουν την τιμή 1 σε ένα σημείο ή σε κάποιο διάστημα. Οι λεκτικές μεταβλητές μας επιτρέπουν στην συνέχεια να επιμερήσουμε το διάστημα των αριθμητικών τιμών. Ακολούθως η εξίσωση συμμετοχής προσδίδει στο σύστημα τη γνώση που χρειάζεται για κάθε μεταβλητή.

- Στο δεύτερο στάδιο υλοποίησης του Ασαφούς συστήματος καθορίζονται οι κανόνες που συνδέουν την είσοδο του συστήματος με την έξοδο αυτού. Όσο πιο αντιπροσωπευτικοί οι κανόνες τόσο πληρέστερη η γνώση του συστήματος. Κατόπιν προσδιορίζονται τα βάρη στον καθορισμό των κανόνων και ακολουθεί η επεξεργασία αυτών φτάνοντας στην τελική εξαγωγή συμπεράσματος. Το αποτέλεσμα της επεξεργασίας συνίσταται από μια λεκτική μεταβλητή η οποία ακολουθείται από την αποασαφοποίηση του προβλήματος.

2.4.4.4 Αναπαράσταση του χωρικού προβλήματος με Ασαφή Συστήματα

Αναπαριστώντας ένα χωρικό μοντέλο είναι εφικτή η προσομοίωση ενός πραγματικού συστήματος μέσω παραμέτρων και κριτηρίων (Evans and Olsson, 2002). Η αποτελεσματικότητα της διαδικασίας και εν γένει του μοντέλου δεν κρίνεται πάντα από την πολυπλοκότητα μαθηματικής διαδικασίας που ακολουθείται αλλά από την τεκμηριωμένα δομημένη ιεράρχηση και παρουσίαση του χωρικού προβλήματος (Grey, 1995). Τα προαπαιτούμενα για την πληρέστερη σχεδίαση ενός χωρικού μοντέλου αναζήτησης (Pascale et al., 1998) είναι:

- Ορθολογισμός και πληρότητα αναφορικά με τις επιδιώξεις του μοντέλου,
- Απλότητα της αλγοριθμικής και αρχιτεκτονικής δομής
- Ευκολία του Ιθύνοντα, στον έλεγχο και στις δυνάμει τροποήσεις του μοντέλου.
- Επαρκή επικαιροποιημένα δεδομένα με μορφή Γεωβάσης για εισαγωγή στο μοντέλο,

Τα πλεονεκτήματα της Ασαφούς Λογικής στην αναπαράσταση του χωρικού προβλήματος είναι τα εξής:

- Η δυνατότητα απεικόνισης χωρικών ή μη παραμέτρων με γλωσσολογικούς όρους ή λογικούς κανόνες διευκολύνει την κατανόηση του προβλήματος. Κατά αυτόν τον τρόπο διευκολύνεται η κατανόηση πολύπλοκων φυσικών προβλημάτων αφού δεν αναπαρίστανται από πολύπλοκα μαθηματικά μοντέλα επίλυσης αλλά προσομοιώνονται από όρους ανθρώπινης αντίληψης.
- Η εφαρμογή λεκτικών μεταβλητών (linguistic variables) και τελεστών (operators) αντιμετωπίζουν εναργώς προβλήματα όπως η έλλειψη γραμμικότητας μεταξύ των μεταβλητών του χωρικού προβλήματος (Tsoukalas and Uhrig, 1997). Με τον τρόπο αυτό πετυχαίνουμε ορθολογικότερη προσέγγιση, πληρέστερη ακρίβεια στην αναπαράσταση του χωρικού προβλήματος και ταχύτερη απεικόνιση των αποτελεσμάτων.

Η δυνατότητα προσαρμοστικότητας της ανθρώπινης αντίληψης μέσω της φυσικής γλώσσας σε παραμέτρους και διαστάσεις που δεν μεταφράζονται με αριθμητικούς όρους δίνει ενίοτε τη δυνατότητα στον Ιθύνοντα να εφαρμόσει τη διάσταση της υποκειμενικότητας στην χωρική αναζήτηση

(Fayek, 2005). Εν κατακλείδι οι κάτωθι προϋποθέσεις πρέπει να τηρούνται για την πληρέστερη δόμηση ενός χωρικού προβλήματος με ασαφή συστήματα (Babuska, 2000):

- Η λειτουργία του συστήματος βασίζεται σε κανόνες, λεκτικές μεταβλητές και τελεστές.
- Οι παράμετροι δύναται να καθορίζονται με μαθηματικές σχέσεις
- Οι μεταβλητές εισόδου και εξόδου του συστήματος πρέπει να καθορίζονται με ακρίβεια και επαρκώς.

2.4.4.5 Οι μεταβλητές των Ασαφών συνόλων

Τα ασαφή σύνολα συνιστούν επεκτάσεις των τυπικών συνόλων που συναντάται στα μαθηματικά. Σε αυτά τα σύνολα τα όρια τους αξιωματικώς καθορίζονται αυστηρά ώστε ένα στοιχείο του συνόλου να ανήκει, ή να μην ανήκει σε αυτό κατ' αποκλειστικότητα. Στα ασαφή σύνολα τα όρια παρουσιάζονται συγκεχυμένα, θεωρώντας δυνατή τη μερική συμμετοχή ενός στοιχείου σε αυτά.

Η α priori δυνατότητα συμμετοχής ενός στοιχείου μερικώς σε κάποιο σύνολο συνιστά τον θεμελιώδη κανόνα των ασαφών συνόλων με τρόπο που εισάγεται εγγενώς η αμφιβολία και η ανακρίβεια.

Ο καθορισμός των μεταβλητών και των θεματικών επιπέδων υποβοηθά στην ανέρευση δεδομένων εισόδου τα οποία θα χρησιμοποιηθούν στο ασαφές σύστημα. Στο στάδιο αυτό θα πρέπει αν προσδιοριστούν:

- Οι θεματικές ενότητες οι οποίες αφορούν το θεματολογικό πλαίσιο εντός του οποίου θα κινηθούμε για να προσδιορίσουμε τις μεταβλητές του συστήματος. Στην ανάγκη χωροθέτησης ενός ΧΥΤΑ θεματικές ενότητες συνιστούν το περιβάλλον, η γεωτεχνική μηχανική, η γεωλογία, η υδρολογία, τα θεσμικά όρια, η κοινωνική αποδοχή κ.α.
- Οι μεταβλητές εισόδου είναι κατά βάση οι συνιστώσες της θεματικής ενότητας και σκιαγραφούν τους παράγοντες που επηρεάζουν τη χωροθέτηση του ΧΥΤΑ. Για παράδειγμα το υδρογραφικό δίκτυο, το οδικό δίκτυο, ο αστικός ιστός, οι γεωλογικοί σχηματισμοί κ.α
- Οι τιμές των μεταβλητών συνιστούν τις κρίσιμες οριακές τιμές που είναι καθοριζόμενες από τη φύση του προβλήματος. Για παράδειγμα η χωροθέτηση ενός ΧΥΤΑ θα πρέπει να λάβει χώρα όσο το δυνατόν σε μεγαλύτερη απόσταση από έναν λιμναίο ταμειυτήρα ο οποίος συνιστά προστατευόμενο οικοσύστημα. Αντιθέτως θα πρέπει να υλοποιηθεί σε εγγύτητα γεωλογικών σχηματισμών όπως τα αμφιβολιτικά πετρώματα τα οποία εμφανίζουν εγγενώς πολύ μικρή τιμή πρωτογενούς πορώδους ελαχιστοποιώντας την κατείσδυση στραγγιδίων σε πιθανή αστοχία του τεχνητού γεωλογικού φραγμού (γεωμβράνη του ΧΥΤΑ).

2.4.4.6 Διαδικασία Ασαφοποίησης – Συναρτήσεις συμμετοχής

Η διαδικασία μετατροπής των αρχικών αριθμητικών τιμών σε εννοιολογικές λεκτικές μεταβλητές οι οποίες συνιστούν ασαφή σύνολα ορισμένα σε κάποιο διάστημα με την αρωγή συναρτήσεων συμμετοχής καλείται *Ασαφοποίηση*.

Στα τυπικά μαθηματικά ένα σύνολο C ορίζεται στο πεδίο ορισμού A από το οποίο πέρνει τιμές και συνίσταται από μια ομάδα διακριτών στοιχείων. Για τα στοιχεία που ανήκουν στο σύνολο A , υφίσταται μια συνάρτηση ($f_c(x)$), η οποία ορίζεται στο πεδίου ορισμού A και εκφράζεται από τη σχέση (1) (Tsoukalas and Uhrig, 1997):

$$f_c(x) \equiv \begin{cases} 1, & \text{αν και μόνο αν } x \in C \\ 0, & \text{αν και μόνο αν } x \notin C \end{cases} \quad (1)$$

Μέσω της συνάρτησης $f_c(x)$ τεκμαίρεται πως κάθε στοιχείο του A είτε ανήκει είτε δεν ανήκει στο προαναφερθέν σύνολο C .

Τα δύο προαναφερθέντα ενδεχόμενα ορίζουν ένα σύνολο S το οποίο με τη σειρά του συνιστά το σύνολο τιμών της συνάρτησης. Από τη σχέση (1) συνάγεται ότι το σύνολο S συνίσταται από δύο στοιχεία, $S = \{0,1\}$. Η διαδικασία απεικόνισης ενός αντικειμένου απλοποιείται εκ του γεγονότος των δύο μόνο τιμών συμμετοχής στο σύνολο. Παρόλα αυτά η πληρότητα απεικόνισης των πραγματικών συμβάντων σηματοδοτεί την ανάγκη ύπαρξης και ενδιαμέσων τιμών S αποδίδουσες τις ενδιάμεσες καταστάσεις. Εν προκειμένω η συνάρτηση απεικόνισης καλείται εφεξής συνάρτηση συμμετοχής και ουσιαστικά απεικονίζει ένα στοιχείο του πεδίου ορισμού A στο πεδίου ορισμού S (Σχέση 2):

$$\mu_c(x) : A \rightarrow [0,1] \quad (2)$$

Η σχέση (2) συνιστά μία πιο γενική κατάσταση από αυτήν της σχέσης (1) και έχει το πλεονέκτημα της διεύρυνσης των φυσικών προβλημάτων με μαθηματική λύση. Το σύνολο C στα πλαίσια της λογικής της ασάφειας ονομάζεται πλέον σύνολο ασάφειας C και ορίζεται ως εξής (3) :

$$C = \{(x, \mu_c(x))\}, x \in A \quad (3)$$

Η σχέση (4) αποτελεί μια διαφορετική διατύπωση του στοιχείου ενός συνόλου ασάφειας χωρίς να διαφοροποιείται η έννοια της έκφρασης.

$$C = (\mu_c(x)/x), x \in A \quad (4)$$

Αν εν κατακλείδι το πεδίου ορισμού συνίσταται από διακριτά στοιχεία ή είναι συνεχές πεδίο τα ασαφή σύνολα εκφράζονται από τις σχέσεις (5) και (6) κατ' αντιστοιχία (Tsoukalas and Uhrig, 1997):

$$C = \sum_{x_i \in A} \mu_C(x_i)/x_i \quad (5)$$

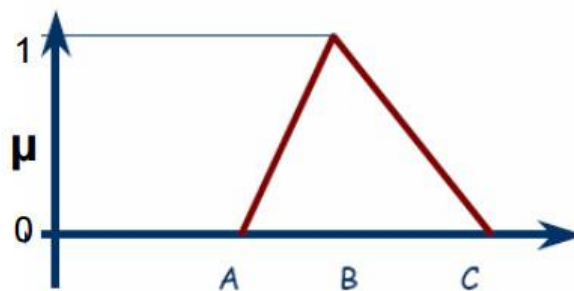
$$C = \int_A \mu_C(x)/x \quad (6)$$

2.4.4.7 Μορφή συναρτήσεων συμμετοχής

Η συνάρτηση συμμετοχής συνιστά κρίσιμη παράμετρο βάσει της οποίας καθορίζεται ο βαθμός κατά τον οποίο συμμετέχουν τα δομικά στοιχεία των συνόλων ασάφειας. Η μορφή της δεν είναι a priori καθοριζόμενη αλλά συνδέεται με την υποκειμενική γνώση και την εμπειρία του Ιθύνοντα. Επιπλέον συνιστά ένα τρόπο μετάβασης από αριθμητικές τιμές σε ασαφή σύνολα και η επιλογή της κατάλληλης μορφής πρέπει να αντιστοιχεί στο προς επίλυση φυσικό πρόβλημα (Medaglia et al., 2002). Από τις μορφές συναρτήσεων που απαντώνται στην βιβλιογραφία κάποιες κάνουν την εμφάνισή τους στις πρώτες γραμμές της προτίμησης των ερευνητών. Αυτές οι συναρτήσεις συμμετοχής είναι:

- Η τριγωνική συνάρτηση συμμετοχής όπου A,B, και C είναι οι κορυφές του τριγώνου, ενώ στο Σχήμα 2-3 παρουσιάζεται η μορφή της συνάρτησης για τιμές

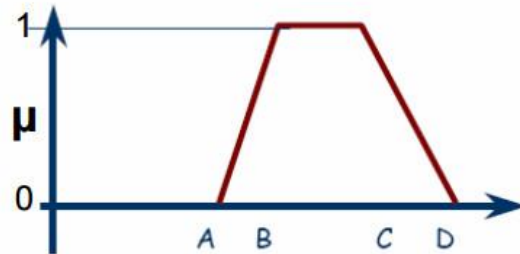
$$f(x,a,b,c) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ (x-a)/(b-a), & a \leq x \leq b \\ (c-x)/(c-b), & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases}$$



Σχήμα 2-3. Μορφή τριγωνικής συνάρτησης συμμετοχής

- Η τραπεζοειδής συνάρτηση συμμετοχής σύμφωνα με την οποία η αριθμητική της έκφραση αποδίδεται από τη παρακάτω σχέση, με a,b,c και d τις κορυφές του τραπεζίου, ενώ στο Σχήμα 2-4 παρουσιάζεται η μορφή της τραπεζοειδούς συνάρτησης.

$$f(x, a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ (x-a)/(b-a), & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ (d-x)/(d-c), & c \leq x \leq d \\ 0, & d \leq x \end{cases}$$

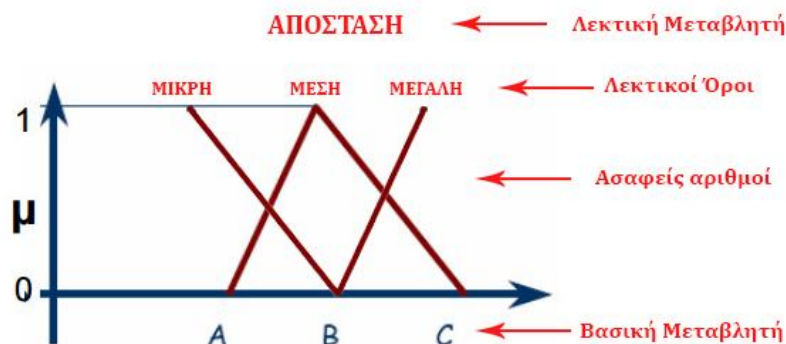


Σχήμα 2-4. Μορφή τραπεζοειδούς συνάρτησης συμμετοχής

Η πλέον χρησιμοποιούμενη συνάρτηση συμμετοχής συνιστά η τριγωνική συνάρτηση η οποία είναι σε θέση να απεικονίσει επαρκώς τις λεκτικές έννοιες μικρή, μέση μεγάλη πιθανότητα εξαιτίας της μορφής της (Ross, 1995).

2.4.4.8 Μεταβλητές ως λεκτικές μεταβλητές

Η διαδικασία της ασαφοποίησης ακολουθείται από τη δόμηση ενός συστήματος κανόνων οι οποίοι συνδέουν τα δεδομένα με τα αποτελέσματα αντιπροσωπεύοντας τη γνώση του αποφασίζοντα. Κατ' αυτόν τον τρόπο το υποσύστημα μεταβλητής – κριτηρίου συνδέεται με αυτό του λεκτικού συμβολισμού (χαμηλή ή υψηλή καταλληλότητα), προσδιορίζοντας τη βεβαιότητα καθορισμού του κανόνα. Συγκεκριμένα έχοντας σε πρώτο στάδιο επιλέξει συνάρτηση συμμετοχής για τα δεδομένα



Σχήμα 2-5. Διαδικασία Ασαφοποίησης

εισόδου του μοντέλου, το σύνολο των λεκτικών εννοιών περιγράφει το μαθηματικό εύρος της συνάρτησης. Το πεδίο τιμών ορίζεται ως $M=[0,1]$ για το σύνολο των λεκτικών τιμών.

- $L= \{ \text{μικρή, μέση, μεγάλη} \}$.
- $M^{\text{μικρή}}=[0 0.5]$ για τη λεκτική τιμή “μικρή”
- $M^{\text{μέση}}=[0 1]$ για τη λεκτική τιμή “μέση”
- $M^{\text{μεγάλη}}=[0.5 1]$ για τη λεκτική τιμή “μεγάλη”

Στο Σχήμα (2-5) καθορίζεται η διαδικασία ασαφοποίησης και μετατροπής των δεδομένων εισόδου σε εννοιολογικές αποδόσεις βάσει των συναρτήσεων συμμετοχής με τιμές μέχρι και 1.

2.4.4.9 Κανόνες ασαφών συστημάτων

Η κατασκευή κανόνων οι οποίοι συνδέουν άρρηκτα τα δεδομένα εισόδου του συστήματος με αυτά της εξόδου αποτιμώνται από τις λεκτικές μεταβλητές σε κάθε υποσύνολο του εννοιολογικού συμβολισμού. Ο βαθμός βεβαιότητας του κάθε εφαρμοζόμενου κανόνα σχετίζεται με τη σημαντικότητα των εννοιολογικών προτάσεων. Με αυτό τον τρόπο τεκμαίρεται πως η γνώση του συστήματος αντιπροσωπεύεται από ένα σύνολο κανόνων οι οποίοι βασίζονται στη λογική:

“ΑΝ το x_1 είναι A_1 το x_n είναι A_n τότε το y είναι B ”

Στον ανωτέρω διατυπωθέντα συλλογισμό, τα A_n και B είναι ασαφή σύνολα και οι x_n και y συνιστούν λεκτικές μεταβλητές εισόδου και εξόδου που εκφράζονται με σύνολα ασάφειας. Ως εκ τούτου η αξιολόγηση ενός κανόνα ασάφειας συνιστά την τελική αποτίμηση των συναρτήσεων συμμετοχής κάθε εννοιολογικής μεταβλητής.

2.4.4.10 Αποασαφοποίηση του προβλήματος

Η απόδοση από τον αποφασίζοντα ενός βαθμού σε κάθε στοιχείο και εντός της κλίμακας $[0,1]$ μέσω της συνάρτησης συμμετοχής βοηθά στην υλοποίηση του χωρικού μοντέλου. Το τελικό αποτέλεσμα της διαδικασίας που λαμβάνει χώρα από το μοντέλο πρέπει να παρουσιάζει μορφή καθαρού αριθμού ώστε να μην προκαλούνται παρερμηνείες ή διχογνωμίες στην τελική τεκμηρίωση της επίλυσης. Κρίνεται ως εκ τούτου επιβεβλημένη ή διαδικασία κατά την οποία τα προκύπτοντα ασαφή σύνολα να μετατρέπονται από το σύστημα σε καθαρούς αριθμούς για λόγους αφενός διαχειριστικούς, αφετέρου πληρέστερης αποτίμησης. Διαδικασία που καλείται *Αποασαφοποίηση*. Η διαδικασία αποασαφοποίησης διενεργείται διότι επιβάλλεται η συμβατότητα ανάμεσα στα δεδομένα εισόδου και στα αποτελέσματα αποφεύγοντας δυστοκίες στην ερμηνεία, κακή αποτίμηση των αποτελεσμάτων και μη κατανόηση του επαγόμενου αποτελέσματος. Οι μέθοδοι αποασαφοποίησης συνιστούν αυτή της μέγιστης τιμής, του υπολογισμού του δείκτη μέγιστης αλλαγής (Buttough, 1986), του μέσου όρου, των μεγίστων τιμών, του κέντρου βάρους (Bezdek, 1982). Στην πρόσφατη βιβλιογραφία ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος αποτελεί η μέθοδος της μέγιστης τιμής (Mahmoodzadeh, 2007).

Κεφάλαιο Τρίτο

3 Υπάρχουσα Κατάσταση Διαχείρισης Απορριμμάτων Ν. Θεσσαλονίκης

3.1 Εισαγωγή

Μέχρι το 2000 αποκλειστικά υπεύθυνος αλλά και αρμόδιος φορέας για τη Διαχείριση απορριμμάτων στον Νομό Θεσσαλονίκης ήταν ο ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ ΤΟΠΙΚΗΣ ΑΥΤΟΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΜΕΙΖΟΝΟΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ (Σύνδεσμος ΟΤΑ Μείζονος Θεσσαλονίκης). Τη χρονική εκείνη περίοδο το υφιστάμενο σύστημα διαχείρισης απορριμμάτων του Νομού Θεσσαλονίκης είχε εξαντλήσει κάθε περιθώριο λειτουργίας στην υφιστάμενη θέση (ΧΥΤΑ Ταγαράδων) ενώ οι διαδοχικές χρονικά αναβολές στη λήψη απόφασης για τη χωροθέτηση του νέου χώρου είχαν φέρει την κατάσταση σε οριακό σημείο. Έπρεπε με κάθε τρόπο πλέον αφενός να προχωρήσει ο αρμόδιος φορέας στην εφαρμογή νέων πολιτικών οι οποίες να είναι συμβατές και εναρμονισμένες με τη νομοθεσία αφετέρου να οδηγηθούμε στη χωροθέτηση ενός νέου χώρου ο οποίος περιβαλλοντικά να είναι όσο το δυνατό αποδεκτός και εντός των ορίων της γεωγραφικής επικράτειας του Νομού Θεσσαλονίκης. Με την μέχρι τότε ισχύουσα νομοθεσία «περί διαχείρισης στερεών αποβλήτων» (ΚΥΑ 69728/96, 113944/97 & 114218/97) απαραίτητο στάδιο για την χωροθέτηση έργων και την επιλογή μεθόδων διαχείρισης στερεών αποβλήτων συμβατή με τον υφιστάμενο εθνικό σχεδιασμό συνιστούσε η εκπόνηση του περιφερειακού (νομαρχιακού) πλαισίου σχεδιασμού διαχείρισης στερεών αποβλήτων. Έπειτα από χρόνια διαβουλεύσεων ο προς χωροθέτηση Χώρος Υγειονομικής ταφής στερεών αποβλήτων του Βορειοδυτικού Νομού Θεσσαλονίκης (Β.Δ.Ν.Θ) αποτέλεσε κύριο και αναντικατάστατο έργο του Σχεδιασμού Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων του Ν.Θ, και μια από τις βραχυπρόθεσμες προτεραιότητές του. Επιπλέον τα θετικά πολλαπλασιαστικά αποτελέσματα που θα επέφερε στις διαδικασίες διαχείρισης των στερεών αποβλήτων του Ν.Θ επέβαλλε την επιτάχυνση των διαδικασιών ωρίμανσης και κατασκευής του έργου.

Στο τρέχον κεφάλαιο επιχειρείται η περιγραφή του Νομαρχιακού πλαισίου σχεδιασμού διαχείρισης στερεών αποβλήτων του Ν.Θ κατά τη χρονική εκείνη περίοδο που λήφθηκαν οι αποφάσεις χωροθέτησης καθώς και η στρατηγική διαχείρισης που επιλέχτηκε ταυτόχρονα με τη διαδικασία επιλογής της θέσης χωροθέτησης.

3.2 Θεσμικό πλαίσιο σχεδιασμού Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων Ν. Θεσσαλονίκης

Ο Σχεδιασμός Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων (ΣΔΣΑ) του Ν. Θεσσαλονίκης θέλοντας να εναρμονιστεί με την εθνική στρατηγική για την διαχείριση των στερεών αποβλήτων και λαμβάνοντας υπόψη του τα κάτωθι:

- ΚΥΑ 69728/824/96 (ΦΕΚ 358 Β/17-5-96) «Μέτρα και όροι για την διαχείριση στερεών αποβλήτων»
- ΚΥΑ 113944/97 (ΦΕΚ 1016 Β/17-11-97) «Εθνικός σχεδιασμός διαχείρισης στερεών αποβλήτων (Γενικές κατευθύνσεις της πολιτικής διαχείρισης των στερεών αποβλήτων)»
- ΚΥΑ 114218/97 (ΦΕΚ 1016 Β/17-11-97) «Κατάρτιση πλαισίου Προδιαγραφών και γενικών προγραμμάτων διαχείρισης στερεών αποβλήτων»
- Την υπ' αριθμό 30/295οικ/01-03-00 γνωμοδότηση της Δ/σης Προστασίας Περιβάλλοντος Ν.Α.Θ.
- Την υπ' αριθμό 1091οικ./24-2-00 γνωμοδότηση του ΤΕΕ/ΤΚΜ
- Την υπ' αριθμό 229/18γ/ΖΠ/6-3-00 γνωμοδότηση της Τ.Ε.Δ.Κ. Ν.Θεσ/νίκης

υιοθέτησε ομόφωνα το Νομαρχιακό Πλαίσιο Σχεδιασμού Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων με την απόφαση 45/8-3-2000. Με το νέο πλαίσιο σχεδιασμού καθορίζεται η ενιαία και ολοκληρωμένη διαχείριση στερεών αποβλήτων σε επίπεδο νομού και θεσπίζονται αρχές και στόχοι για την διαχείριση των στερεών αποβλήτων καθώς και άμεσες δράσεις υλοποίησης των στόχων αυτών.

3.2.1 Στρατηγική διαχείρισης στερεών αποβλήτων Ν. Θεσσαλονίκης

Οι στόχοι και η στρατηγική διαχείρισης των Στερεών Αποβλήτων για τον Ν.Θ στηρίζονται στις κατευθύνσεις της εθνικής και κοινοτικής πολιτικής και αποτελούν την βάση ανάπτυξης ενός μοντέλου σχεδιασμού βασισμένου στις ελληνικές συνθήκες αξιοποιώντας την εμπειρία και την ανεπτυγμένη τεχνογνωσία άλλων χωρών. Το γενικό πλαίσιο διαχείρισης στερεών αποβλήτων συνίσταται :

- στην θέσπιση ενιαίας και ολοκληρωμένης διαχείρισης Σ.Α σε επίπεδο Νομού καθώς και γενικών και ειδικών στόχων-πολιτικών υλοποίησής για τον εκσυγχρονισμό και την ορθολογικοποίηση της διαχείρισης Σ.Α.
- στην υιοθέτηση και εξασφάλιση εφαρμογής ασφαλών μεθόδων για την διαχείριση Σ.Α.
- στην περιβαλλοντική αειφορία και την αποτελεσματική προστασία της δημόσιας υγείας, και
- στην ενίσχυση και στην υποστήριξη των δραστηριοτήτων της Τοπικής και Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης προς ενημέρωση του κοινού για τις πολιτικές διαχείρισης.

Οι αλλαγές που απαιτείται να γίνουν στη διαχείριση των δημοτικών Σ.Α ώστε να επιτευχθούν οι στόχοι που προβλέπονται από την εθνική και κοινοτική στρατηγική και τον Εθνικό σχεδιασμό κρίνονται επιβεβλημένες. Η στρατηγική διαχείρισης αποβλήτων για τον Ν.Θ εκφράζεται μέσω του εγκεκριμένου Νομαρχιακού Πλαισίου Σχεδιασμού Διαχείρισης Σ.Α και συνιστά στην επίτευξη των μεγθών στους δείκτες διαχείρισης Σ.Α που συνιστούν υποχρέωση της Ελλάδας ως μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Η βασικοί στόχοι που τίθενται ενώ παράλληλα η εφαρμογή τους χαράσει το πλαίσιο σχεδιασμού για τον Ν.Θ για περισσότερες κατηγορίες στερεών αποβλήτων είναι :

- Μείωση της παραγωγής, της τοξικότητας (hazard) και της επικινδυνότητας (risk) των παραγομένων Σ.Α.
- Ανάκτηση πρώτων υλών, ανακύκλωση και επαναξιοποίηση των αποβλήτων για ενεργειακούς σκοπούς.
- Ασφαλή διάθεση στο γεωπεριβάλλον των υπολειμμάτων που δεν επαναξιοποιούνται με οποιονδήποτε τρόπο.
- Διακοπή λειτουργίας, απαγόρευση της ανεξέλεγκτης διάθεσης και αποκατάσταση των υφιστάμενα λειτουργούντων Χ.Α.Δ.Α.
- Οργάνωση και εκσυγχρονισμός του συστήματος προσωρινής αποθήκευσης, συλλογής, μεταφοράς, μεταφόρτωσης Σ.Α. και ενίσχυσης των διαδικασιών διαλογής στην πηγή.
- Καθιέρωση κανόνων και περιβαλλοντικών προτύπων με εισαγωγή καινοτόμων μεθοδολογιών σε όλες τις δραστηριότητες των φορέων διαχείρισης Σ.Α.
- Αξιοποίηση και συμμετοχή σε όλες τις πρωτοβουλίες του πολίτη και συνεχή ενημέρωση των εμπλεκομένων και ενδιαφερομένων φορέων.

Σύμφωνα με το ανωτέρω σκεπτικό έχουν καθοριστεί οι κατηγορίες μη επικινδύνων στερεών αποβλήτων στον Ν.Θ:

- Δημοτικά-αστικά στερεά απόβλητα
- Βιομηχανικά στερεά απόβλητα
- Αδρανή στερεά απόβλητα
- Κτηνοτροφικά στερεά απόβλητα
- Γεωργικά στερεά απόβλητα
- Πλείς από ΕΕΛ
- Απόβλητα αυτοκινήτων
- Απόβλητα ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών

- Μολυσματικά νοσοκομειακά απόβλητα
- Επικίνδυνα στερεά απόβλητα

Παράλληλα με τους ποιοτικούς στόχους που έχουν τεθεί στο πλαίσιο του Νομαρχιακού Σχεδιασμού έχουν ποσοτικοποιηθεί και στόχοι διαχείρισης. Στόχοι οι οποίοι αφορούν τα υλικά συσκευασίας και την εκτροπή βιοαποδομήσιμων υλικών από την ταφή. Οι ευρωπαϊκές οδηγίες θέτουν τις υποχρεωτικές κατευθύνσεις για την ποσοτικοποίηση των στόχων και είναι υποχρεωτικές για την χώρα μας. Στον κάτωθι πίνακα τίθενται ενδεικτικά οι πίνακες των ποσοτικοποιημένων στόχων διαχείρισης για τα δημοτικά στερεά απόβλητα και για τα βιομηχανικά στερεά απόβλητα όπως προκύπτουν από το εγκεκριμένο Νομαρχιακό πλαίσιο σχεδιασμού διαχείρισης στερεών αποβλήτων.

Πίνακας 3-1. Ελάχιστοι στόχοι διαχείρισης δημοτικών Σ.Α για βιοαποδομήσιμα υλικά και απορρίμματα συσκευασιών στον Ν. Θεσσαλονίκης

ΕΤΗ	Εκτροπή βιοαποδομήσιμων από την ταφή (τόνοι/χρόνο)	Ανακύκλωση συσκευασιών (τόνοι/χρόνο)	Αξιοποίηση συσκευασιών (τόνοι/χρόνο)
2001	22.555	-	23.395
2005	112.775	23.395	23.395
2010	225.555	30414	30414
2013	320.936	33509	33509
2020	395.319	36216	36216

Πίνακας 3-2. Ποσοτικοποίηση στόχων διαχείρισης βιομηχανικών Σ.Α για απορρίμματα συσκευασιών στον Ν. Θεσσαλονίκης.

ΕΤΗ	2001	2005	2010
Αξιοποίηση	5.814 tn		
Αξιοποίηση 50% + Ανακύκλωση 50%		11.628 tn	15.115 tn

3.2.2 Τεχνολογία Χ.Υ.Τ.Α.

Η τεχνολογία των χώρων υγειονομικής ταφής απορριμμάτων στηρίζεται στην αναζήτηση μειωμένης αξίας γης σε υποβαθμισμένες περιοχές οι οποίες μπορεί να είναι επίπεδες εκτάσεις, όπου η διαχείριση των απορριμμάτων μπορεί να λάβει χώρα με τη μέθοδο των κυψελών, με τη μέθοδο των τάφρων ή με πλήρωση χαραδρώσεων. Στις ανωτέρω προαναφερθέντες περιπτώσεις επιβάλλεται η ολική στεγανοποίηση, γεγονός που συνάδει με γνώμονα την αυστηρή θέσπιση γεωλογικών, γεωτεχνικών, υδρολογικών και περιβαλλοντικών κριτηρίων. Η επιλογή του τελικού αποδέκτη πρέπει να συνδέεται με γεωλογικό υπόθεμα που εμφανίζει υδατοστεγανά πετρώματα απηλλαγμένα ενεργών ή αδρανοποιημένων τεκτονικών ζωνών, απομακρυσμένους σε βάθος υδροφόρους ορίζοντες κ.α. Πλησίον κατοικημένων περιοχών οι προδιαγραφές αυστηροποιούνται περαιτέρω με επιλογή χώρου σε όσο το δυνατόν μη ζώσας τεκτονικής κατάστασης, με γεωλογικό υπόθεμα μαργαϊκό, αργιλικό ή σχιστολιθικό και τεχνική στεγανοποίηση με φύλλα γεωϋφάσματος με ενσωματωμένο μπετονίτη. Επιπλέον προβλέπονται διανοίξεις τάφρων περιμετρικά του έργου προς για την ομαλή και αδιάλλειπτη

περισυλλογή των λυμάτων. Εντός του ΧΥΤΑ η κατασκευή οφείλει να ανοίγονται φρεάτια, να βυθίζονται διάτρητοι σωλήνες οι οποίοι θα προέχουν 1-2m. του εδάφους, να χαλικώνονται, να στεγανοποιούνται και μέσω ειδικής διάταξης να μεταφέρουν το εξερχόμενο βιοαέριο σε ειδική μονάδα επεξεργασίας για ενεργειακή αξιοποίηση ή καύση. Τα λύματα με τη σειρά τους υπόκεινται σε επεξεργασία για την απομάκρυνση των τοξικών στοιχείων και τελική διευθέτηση σε μονάδα επεξεργασίας λυμάτων.

Προκειμένου να μειωθεί ο όγκος των απορριμμάτων προς ταφή επιβάλλεται να εφαρμοστούν τεχνικές όπως:

- ανακύκλωση στην πηγή,
- μηχανική επεξεργασία για επιλογή χρήσιμων υλικών,
- απομάκρυνση του οργανικού φόρτου,
- διαλογή χρήσιμων πρώτων υλών όπως ξύλο, γυαλί, μέταλλα
- Επεξεργασία οργανικών για κομποστοποίηση (λιπασματοποίηση).

Οι ανωτέρω διαδικασίες είναι σε θέση να αυξήσουν το χρόνο ζωής του τεχνικού έργου, ενώ τα προβλήματα που προκύπτουν οδηγούν την τεχνολογία σε ακόμη πιο προηγμένες λύσεις διαχείρισης και επεξεργασίας απορριμμάτων.

3.2.3 Αναγκαιότητα κατασκευής του Χ.Υ.Τ. ΒΔ Ν. Θεσ/νίκης

Ένα από τα βραχυπρόθεσμα έργα με καθορισμένα υψηλή προτεραιότητα υλοποίησης αποτελεί η κατασκευή και λειτουργία του ΧΥΤΑ Β.Δ του Ν.Θ. Το έργο θεωρείται αναπόσπαστο και θεμελιώδες τμήμα της ολοκληρωμένης διαχείρισης Σ.Α στον Ν.Θ., αλλά και άμεσης χρονικής προτεραιότητας, διότι:

- Θα δώσει την δυνατότητα διακοπής λειτουργίας και αποκατάστασης των 83 ανεξέλεγκτων χώρων που λειτουργούσαν μέχρι το 2000 για την διάθεση των Σ.Α του Ν.Θ. Μεγάλο ποσοστό των χώρων αυτών βρίσκεται σε περιοχές υψηλής οικολογικής σημασίας ενώ η συνέχιση της λειτουργίας τους θα επιφέρει σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις στο ανθρωπογενές και φυσικό περιβάλλον του Ν.Θ.
- Η λειτουργία ΧΥΤΑ στο ΒΔ τμήμα του Ν.Θ θα δώσει την δυνατότητα ολοκλήρωσης της λειτουργίας και αποκατάστασης του ΧΥΤ στους Ταγαράδες, χώρου ο οποίος παραλαμβάνει τα τελευταία 20 χρόνια σχεδόν το 90% των παραγόμενων στερεών αποβλήτων στον Ν.Θ. Γενικότερα η λειτουργία του ΧΥΤΑ ΒΔ Νομού θα ανακουφίσει τις ΝΑ περιοχές του Ν.Θ που για 30 χρόνια παραλαμβάνουν τα απορρίμματα του Πολεοδομικού Συγκροτήματος Θεσσαλονίκης (Δερβένι, Θέρμη, Πανόραμα, Ταγαράδες) και θα συνεισφέρει στην επίλυση έντονων κοινωνικών προβλημάτων.

- Η χωροθέτηση του ΧΥΤΑ ΒΔ Ν.Θ. συνιστά τμήμα της ολοκληρωμένης διαχείρισης Σ.Α, εφόσον αποτελεί συμπληρωματικό έργο όλων των σύγχρονων μεθόδων επεξεργασίας (διαλογή, κομποστοποίηση, ενεργειακή αξιοποίηση κλπ.). Η απουσία του ΧΥΤΑ ως τελικό κρίκο της αλυσίδας διαχείρισης στερεών αποβλήτων καθιστά αναποτελεσματική την όποια επένδυση σε σύγχρονο εξοπλισμό ή τεχνολογία διαχείρισης. Η λειτουργία του ΧΥΤΑ Β.Δ. Ν.Θ. αποτελεί το πρώτο βήμα για την υλοποίηση του Νομαρχιακού Πλαισίου Σχεδιασμού Διαχείρισης Σ.Α.
- Ο μηχανισμός λειτουργίας του ΧΥΤΑ θα επιτρέψει τον αποτελεσματικό έλεγχο όλων των παραγωγών Σ.Α και την ορθολογική τιμολόγηση του συστήματος, στοιχεία που χαρακτηρίζουν την ολοκληρωμένη διαχείριση.
- Εν κατακλείδι η χωροθέτης ΧΥΤΑ στο Ν.Θ. προστατεύει το περιβάλλον από τους ανεξέλεγκτους αποδέκτες και ικανοποιεί υποχρεώσεις απέναντι στην Εθνική και Ευρωπαϊκή Νομοθεσία.

Κεφάλαιο Τέταρτο

4 Αποτίμηση Πόρων.

4.1 Γεωμορφολογία Υδρολογικής Λεκάνης Μπογδάνου

Οι υδρολογικές λεκάνες, αναφορικά με τη λειτουργία τους, αποτελούν οριοθετημένα γεωμορφολογικά συστήματα (Brierley, 2005). Η γεωμορφολογική τους κατάσταση επηρεάζεται και διμορφώνεται από μια σειρά εξωγενών διεργασιών (Horton, 1945), (Strahler, 1964). Οι σπουδαιότερες από τις οποίες είναι:

- Η επιφανειακή απορροή,
- Η αιολική διάβρωση,
- Η δράση του πάγου,
- Η βαρύτητα ως κύριος παράγοντας κίνησης των υλικών.

Η πλήρης ποιοτική και ποσοτική μελέτη των φυσιογραφικών χαρακτηριστικών μίας υδρολογικής λεκάνης, είναι σε θέση να μας βοηθήσει να αποκωδικοποιήσουμε τις διεργασίες που διαμόρφωσαν και διαμορφώνουν το γεωανάγλυφο. Απώτερος σκοπός μιας τέτοιας προσέγγισης, αποτελεί η εκτίμηση αν η λεκάνη βρίσκεται σε ζώσα δυναμική κατάσταση από άποψη εξέλιξης, διευκολύνοντας την πρόβλεψη μελλοντικών γεωμορφολογικών διεργασιών και αποτιμώντας κατά πόσο η δυναμική αυτή έχει επιπτώσεις στα τεχνικά έργα και κατ' επέκταση στο χώρο ΧΥΤΑ που πρόκειται να χωροθετηθεί.

4.2 Γεωγραφική θέση λεκάνης απορροής Μπογδάνου

Αναλύοντας επιμέρους τα υδροκριτικά όρια της υπολεκάνης του Λαγκαδά, φτάνουμε σε μικρότερου μεγέθους υπολεκάνες. Μια από αυτές είναι η υπολεκάνη του υδατορεύματος Μπογδάνου (Σχήμα 4-1), εντός των υδροκριτικών ορίων της οποίας επιλέχθηκε να χωροθετηθεί η περιοχή η οποία έχει επιλεγεί για το ΧΥΤΑ. Η προαναφερθείσα υπολεκάνη αποστραγγίζει τις βόρειες ως ΒΔ παρυφές του Μυγδονιακού βυθίσματος, διερχόμενη κατά το πλείστον από κρυσταλλοσχιτώδη πετρώματα. Το σχήμα της είναι επίμηκες, ριπδοειδές τριγωνικό με μια τοποθέτηση Β-Ν ως ΒΒΑ-ΝΝΔ στο τμήμα του άνω ρου, ως ΒΑ-ΝΔ στο τμήμα του κάτω ρου, προς την έξοδο του, στην λίμνη Κορώνεια.

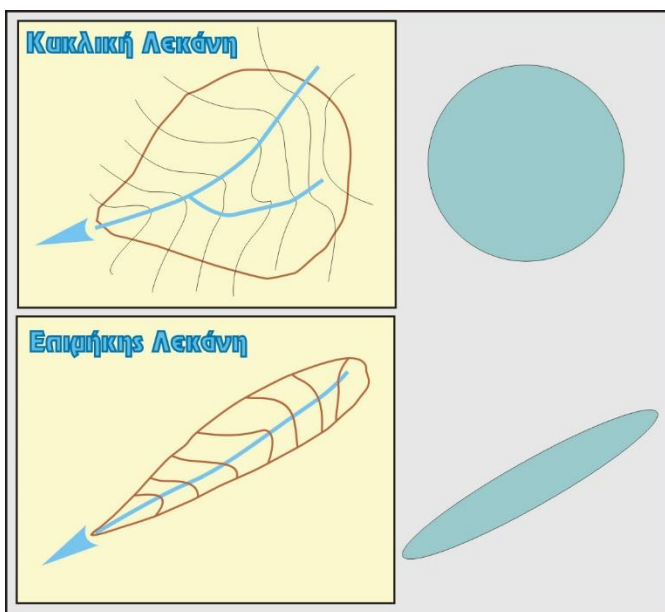
4.3.1 Ποιοτική αξιολόγηση λεκάνης Μπογδάνου (Μορφογραφία)

4.3.1.1 Μέγεθος

Το μέγεθος της λεκάνης απορροής, διαδραματίζει σημαίνοντα ρόλο επηρεάζοντας τόσο τη συνολική συγκέντρωση της απορροής στην έξοδο της λεκάνης, όσο και το χρόνο συγκέντρωσης της απορροής (Gregory and Wailing, 1983). Η παραπάνω σχέση δεν είναι γραμμική, αφού κατά κανόνα τα γεωλογικά, εδαφολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης διαφέρουν. Η εκτίμηση του μεγέθους της λεκάνης απορροής του υδατορεύματος Μπογδάνου έγινε βάσει του επιφανειακού υδροκρίτη και υπολογίστηκε σε $E=221,75\text{Km}^2$.

4.3.1.2 Σχήμα

Το σχήμα της λεκάνης απορροής επηρεάζει το χρόνο συγκέντρωσης της απορροής και επομένως το μέγεθος της παροχής που παρατηρείται στην έξοδο της λεκάνης (Gregory and Wailing, 1983), (Nebegu, 2005). Πιο συγκεκριμένα, επιμήκεις λεκάνες απορροής έχουν μεγαλύτερο χρόνο συγκέντρωσης από ριτιδοειδείς ή κυκλικές και κατά συνέπεια, κάτω από ίδιες συνθήκες, οι πρώτες εμφανίζουν μικρότερες παροχές (Σχήμα 4-2).



Σχήμα 4-2. Σχήμα λεκάνης απορροής.

Το σχήμα της λεκάνης απορροής παρά τη σπουδαιότητα που έχει σαν μορφομετρικός παράγοντας, δύσκολα προσδιορίζεται και εκφράζεται αριθμητικά. Για το λόγο αυτό έχουν χρησιμοποιηθεί διάφοροι δείκτες για την απόδοση του σχήματος αυτής. Πιο συγκεκριμένα ο Cravelius (Horton, 1945) χρησιμοποίησε το δείκτη συγκέντρωσης (K_c) για να αποδώσει το σχήμα της λεκάνης, ο οποίος δίνεται από την εξίσωση:

$$K_c = A/A'$$

Όπου:

A = Περίμετρος της λεκάνης P με εμβαδόν A και

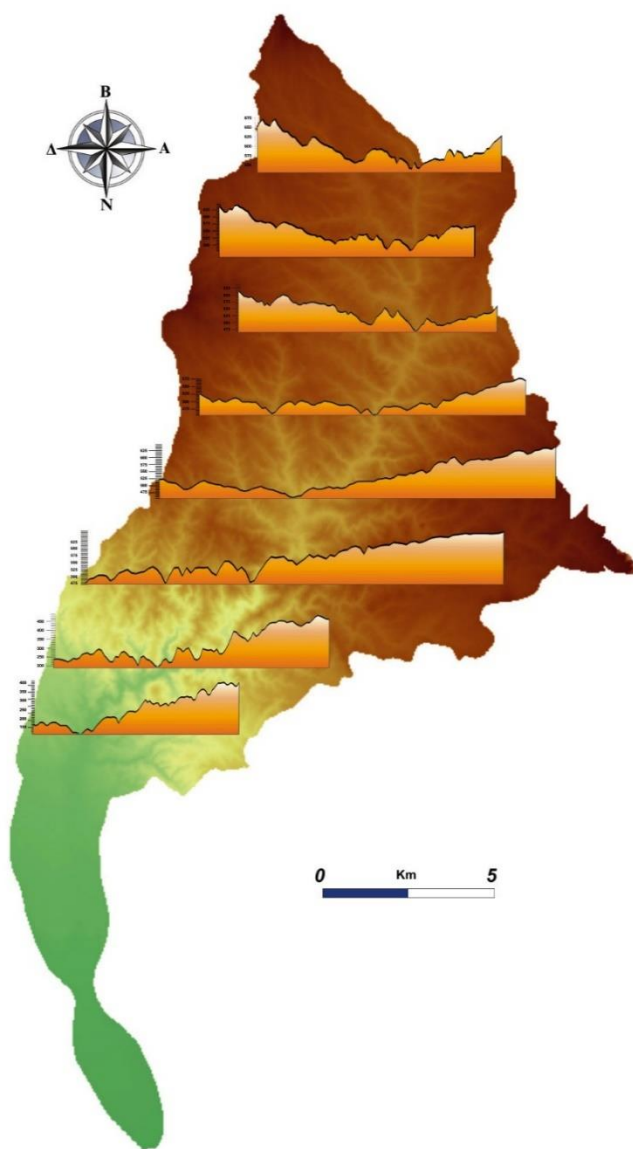
A' = Περίμετρος κύκλου με εμβαδόν A

Για κυκλική λεκάνη προκύπτει ότι $K_c=1$, ενώ για επιμήκη $K_c=0$

Για τη λεκάνη απορροής του ρεύματος Μπογδάνου, έχουμε $K_c=0.85$.

Πίνακας 4-1. Μορφομετρικοί παράγοντες της λεκάνης απορροής του ρεύματος Μπογδάνου.

Δείκτης Cravelius (K_c)	Δείκτης Μορφής (F)	Κυκλικότητα (R_c)	Επιμήκυνση (R_L)
$K_c=0.85$	$F=0.198$	$R_c=0.286$	$R_L=0.502$



Σχήμα 4-3. Εγκάρσιες γεωμορφολογικές τομές του αναγλύφου της λεκάνης απορροής του ρεύματος Μπογδάνου.

Εξίσου σημαντικούς μορφομετρικούς παράγοντες, αποτελούν, ο δείκτης μορφής (F) της λεκάνης, η κυκλικότητα (R_c), και η επιμήκυνση (R_L).

4.3.1.3 Συμμετρία λεκάνης

Η κάθετη τομή της κύριας μισογάγγειας κοίτης, αποτελεί ιδιαίτερο χαρακτηριστικό γνώρισμα της γεωμορφολογικής ιστορίας της λεκάνης απορροής και ενίοτε αποκαλύπτει την επίδραση των τοπικών γεωλογικών και κλιματολογικών παραγόντων. Στη λεκάνη απορροής του Μπογδάνου, από τις γεωμορφολογικές τομές κάθετα στη διεύθυνση ανάπτυξης των κλάδων, διακρίνεται ο συμμετρικός χαρακτήρας της ανάπτυξης (Σχήμα 4-3). Το γεγονός αυτό χαρακτηρίζει τόσο το τμήμα του άνω ρου, όσο και το τμήμα του κάτω ρου του υδατορεύματος. Ο συμμετρικός χαρακτήρας των κάθετων τομών της κύριας μισογάγγειας κοίτης δεικνύει ότι:

- Η οριζόντια διάβρωση αποτελεί τον κύριο παράγοντα μεταφοράς και απόθεσης υλικών στη λεκάνη.

- Δεν υπάρχει τάση για μετακίνηση (Ετεροκλινής μετατόπιση αναγλύφου) εκατέρωθεν της κύριας κοίτης, γεγονός που σημαίνει ότι το υδατόρευμα δεν εμφανίζει τάση για μετατόπιση εκατέρωθεν της κύριας κοίτης του.

4.3.1.4 Εκβάθυνση-Διεύρυνση λεκάνης

Κατά μήκος της κύριας μισγάγγειας κοίτης του ρεύματος Μπογδάνου, παράλληλα με την εκβάθυνση που προκαλείται από τη δράση του νερού, προκαλείται και διεύρυνση αυτής. Τα μορφομετρικά στοιχεία που χαρακτηρίζουν την κύρια κοίτη της λεκάνης απορροής είναι:

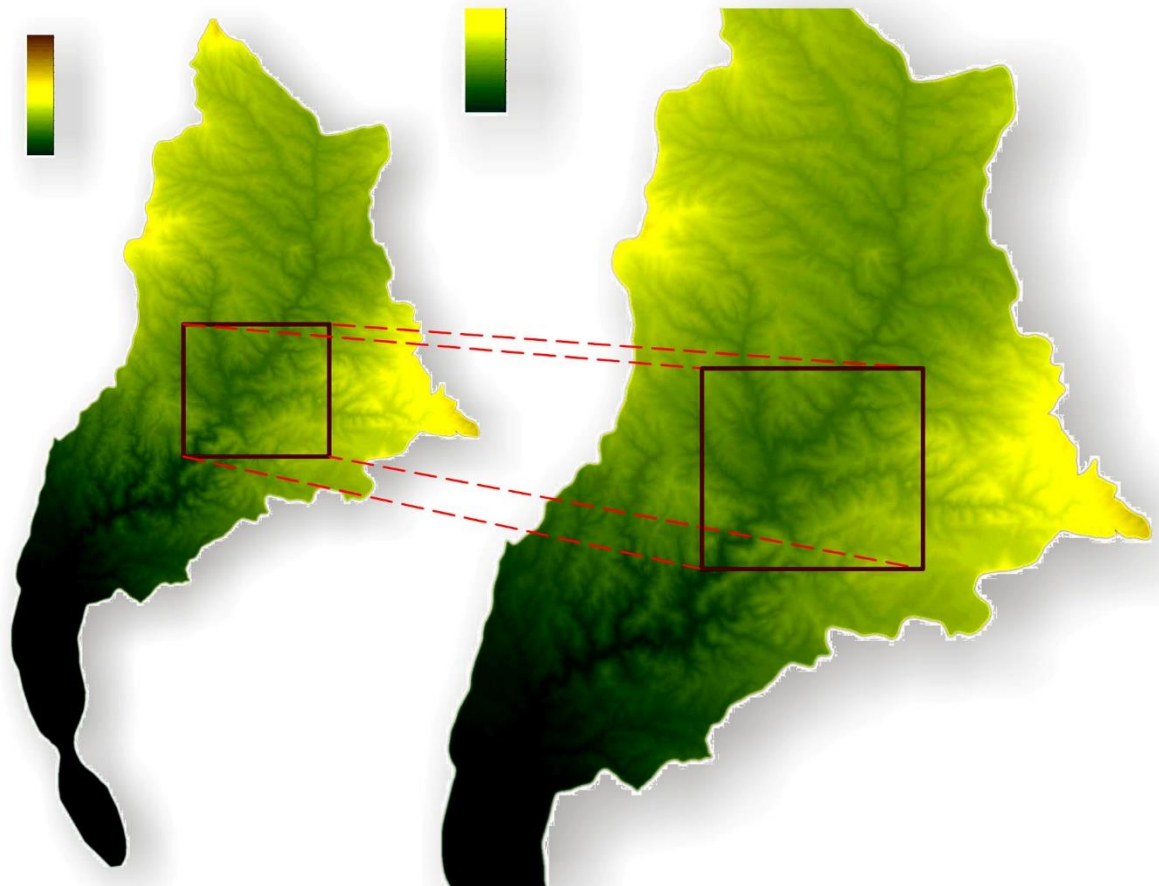
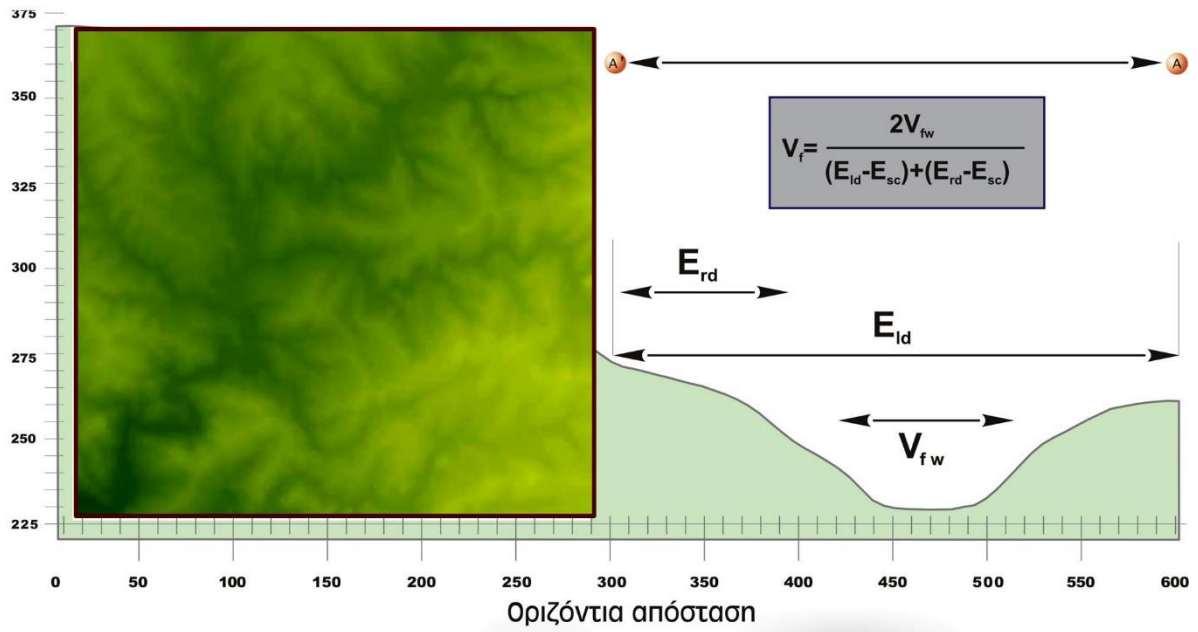
- η Διεύρυνση
- η Εκβάθυνση
- το Μήκος

Η τελική μορφή που έχει λάβει η λεκάνη απορροής, εξαρτάται από το στοιχείο που υπερέχει, κυρίως δε από την εκβάθυνση και τη διεύρυνση της. Στις νεαρές λεκάνες απορροής επικρατεί η εκβάθυνση, όπου η εγκάρσια της παραγόμενης κοίτης έχει σχήμα V (Ζαμάνη-Παπαπέτρου, 1995). Αντίθετα στις λεκάνες που βρίσκονται στο στάδιο γήρατος επικρατεί η διεύρυνση και το σχήμα της κοίτης προσομοιάζει με U. Κατά το στάδιο της νεότητας μιάς λεκάνης, η εκβάθυνση υπερτερεί της διεύρυνσης (Ζαμάνη-Παπαπέτρου, 1995). Η τομή σχήματος V, η οποία είναι τυπική των νέων κοιλάδων, σχεδόν πάντα έχει μεγαλύτερο πλάτος από βάθος.

Ο δείκτης διεύρυνσης της λεκάνης απορροής προς την εκβάθυνση της (V_f) (Bull, 1978) διαχωρίζει τμήματα του υδατορεύματος με διευρυμένες κοίτες σχήματος U οι οποίες εμφανίζουν υψηλές τιμές (V_f) και κοίτες σχήματος V με σχετικά μειωμένες τιμές (V_f). Οι υψηλές τιμές (V_f) δεικνύουν χαμηλές τιμές ρυθμού τεκτονικής ανόδου και γενικά γεωδυναμικής δραστηριότητας. Χαμηλές τιμές (V_f) αντιπροσωπεύουν βαθιές κοίτες, συνήθως εγκιβωτισμένες με υδατορεύματα, που έχουν τάση να διαβρώνουν σε βάθος σχετιζόμενα με έντονη τεκτονική άνοδο (uplift).

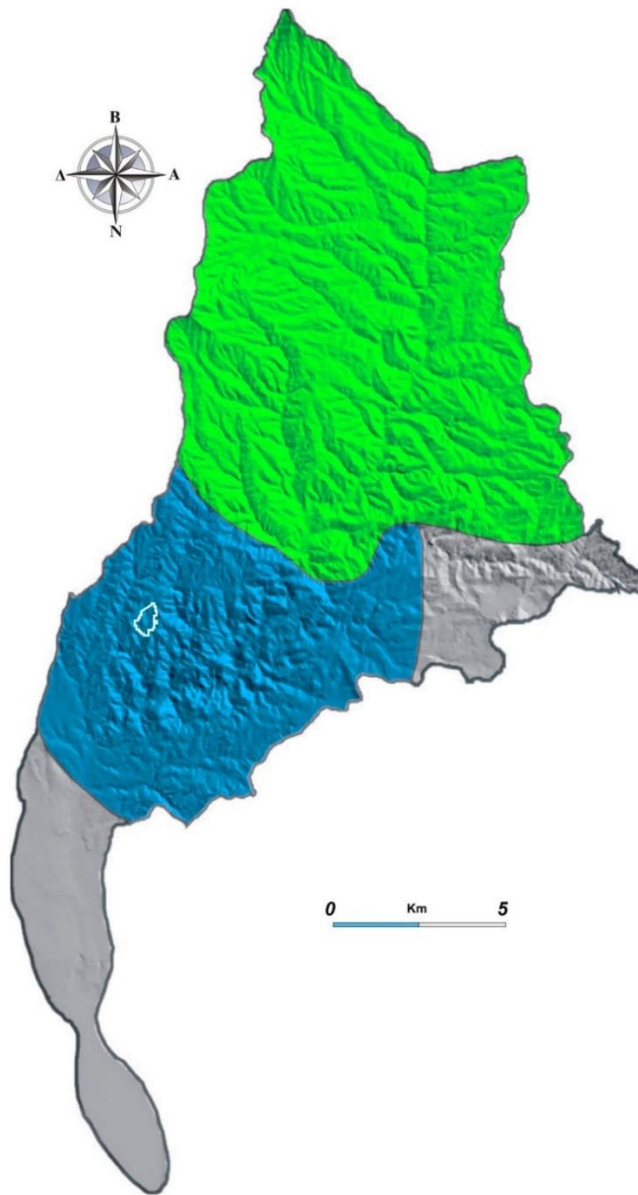
Στο βόρειο τμήμα της λεκάνης διακρίνεται ο διευρυμένος χαρακτήρας των κοιτών των κλάδων (Σχήμα 4-4). Ο λόγος της εκβάθυνσης προς τη διεύρυνση είναι 1:3. Στο νότιο τμήμα της λεκάνης επικρατεί η εκβάθυνση σε σχέση με τη διεύρυνση με ένα λόγο 3:1. Η διαφοροποίηση αυτή οριοθετεί ουσιαστικά τη διτή γεωμορφολογική κατάσταση της λεκάνης. Στο τμήμα του άνω ρου επικρατεί χαμηλό γεωμορφολογικό προφίλ, με κοίτες κυρίως διευρυμένες, μικρή γεωμορφολογική δραστηριότητα και χαμηλές τιμές ρυθμού τεκτονικής ανόδου. Στο νότιο τμήμα (τμήμα κάτω ρου) η γεωμορφολογική κατάσταση χαρακτηρίζεται ζώσα, με ανάπτυξη ιδιαιτέρων γεωμορφών όπως:

- έντονοι μαιανδρισμοί στις κοίτες,
- έντονη εκβάθυνση σε σχέση με τη διεύρυνση των κοιτών, γεγονός που δεικνύει την τάση της κύριας μισγάγγειας κοίτης να προσεγγίσει το βασικό επίπεδο που βρίσκεται ακόμη χαμηλότερα.



Σχήμα 4-4. Εφαρμογή του λόγου Διέυρυνσης προς Εκβάθυνση στην νότια περιοχή της λεκάνης απορροής του ρεύματος Μπιογάνου.

4.3.1.5 Συμπεράσματα ποιοτικής ανάλυσης



Σχήμα 4-5. Διάκριση τμήμα Άνω ρου (στάδιο γήρατος) και Κάτω ρου (στάδιο ωριμότητας).

συνθήκες), ενώ αντιθέτως ενισχύουν την επιφανειακή απορροή του (ευνοϊκές υδρογεωλογικές συνθήκες).

Η λεκάνη εμφανίζεται με ήπιο ανάγλυφο, χωρίς σημαντικές υψομετρικές διακυμάνσεις, με διαμορφωμένη κύρια μισγάγγεια κοίτη και με κλίσεις οι οποίες κυμαίνονται από 5^0 - 25^0 . Η εκβάθυνση της λεκάνης κατά μήκος της κύριας μισγάγγειας του ρεύματος, δεν είναι σημαντική, ενώ εμφανίζεται

Η λεπτομερής περιγραφή και αξιολόγηση των γεωμορφών στην λεκάνη απορροής οδήγησε στη διάκριση δυο επιμέρους τμημάτων στο εσωτερικό της, με διαφορετική γεωμορφολογική κατάσταση. Σε κάθε ένα από αυτά οι εξωγενείς παράγοντες που διαμόρφωσαν και διαμορφώνουν τις γεωμορφές έδρασαν αρχικά κάτω από το ίδιο γεωδυναμικό καθεστώς, στην πορεία όμως η εξέλιξη τους διαφοροποιήθηκε γεγονός που οδήγησε σε διάκριτα σημάδια αναγέννησης του ανάγλυφου. Σε επόμενη παράγραφο διακρίνουμε τα επιμέρους τμήματα της λεκάνης βάσει ποιοτικής αξιολόγησης. Το αντίστοιχο κεφάλαιο της ποσοτικής αξιολόγησης θα μας οδηγήσει στη δυναμική ανάλυση της κατάστασης των γεωμορφών.

4.3.2 Τμήμα Άνω Ρου

Στο τμήμα του άνω ρου (Σχήμα 4-5), λιθολογικά η λεκάνη συνίσταται επί το πλείστον, από κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα. Τα πετρώματα αυτά εξαιτίας του μικρού ενεργού πορώδους, με τιμές $K > 10^{-8}$ εναποθηκεύουν μικρές ποσότητες υπόγειου ύδατος (δυσμενείς υδρογεωλογικές

αυξημένη η τάση που παρουσιάζει το ανάγλυφο για διαπλάτυνση της λεκάνης. Από τις παρατηρήσεις αυτές διαπιστώνονται τα εξής:

Η διαπλάτυνση της κοίτης στο τμήμα του άνω ρου, οφείλεται στη δράση των παρακάτω παραγόντων:

- Από την πλάγια διάβρωση (Planation) ή από τις διαδικασίες επιπέδωσης (peneplain) μέσω της μηχανικής και υδραυλικής δράσης του νερού. Η διεργασία αυτή δρα σε όλα τα στάδια της λειτουργίας ενός υδατορεύματος, αλλά είναι πιο ευδιάκριτη κατά το στάδιο ωριμότητας ως γήρατος. Στο στάδιο αυτό τα δυναμικά φαινόμενα εκβάθυνσης εξασθενούν στο ελάχιστο και τα αποτελέσματα της πλάγιας επιπέδωσης είναι εμφανή.
- Από την αποσάθρωση και κίνηση υλικού μέσω του μηχανισμού της βαρύτητας. Ο μηχανισμός αυτός συμβάλλει στη διαπλάτυνση της κοιλάδας έμμεσα και άμεσα. Άμεσα στις κοιλάδες με απότομες κλιτύες. Ωστόσο συχνότερα η αποσάθρωση δρα έμμεσα, μέσω της δημιουργίας μανδύα αποσάθρωσης που κινείται κατάντη με ερπυσμό ή περιστροφική ολίσθηση.
- Από τη συμβολή των κλάδων, η οποία είναι πολύ πιο έντονη στο τμήμα του άνω ρου, σε σχέση με αυτή στον κάτω. Όταν συμβάλλουν δύο κλάδοι, ακόμα και αν πρόκειται για μικρά ρυάκια, οι κοίτες διαπλατώνονται σημαντικά, επειδή η διάβρωση προχωρά στα τοιχώματα της κοιλάδας από δύο διαφορετικές κατευθύνσεις.

4.3.2.1 Συμπεράσματα Αξιολόγησης Άνω Ρου

Το τμήμα του άνω ρου του ρεύματος Μπογδάνου (Σχήμα 4-5), βρίσκεται σε κατάσταση ωριμότητας ως γήρατος (ευνοϊκές συνθήκες – χαμηλή τρωτότητα).

- Η διάβρωση χαρακτηρίζεται οριζόντια ως ελαφρώς πλάγια (planation) έχοντας προχωρήσει σε σημαντικό βαθμό, με μη αναμενόμενες μετέπειτα σημαντικές δραστηριοποιήσεις. Η πιθανότητα έντονων διαβρωτικών διεργασιών, είναι δυνατή, σε περίπτωση καθόδου του βασικού επιπέδου ή ανόδου του αναγλύφου από τεκτονικές κινήσεις, συμβάντα τα οποία λαμβάνουν χώρα σε κλίμακα γεωλογικού χρόνου, ξεφεύγοντας από τα χρονικά όρια της ανθρώπινης δραστηριότητας.
- Η υδραυλική δράση του νερού, θεωρείται μη σημαντική, σε ποσοστό που να επιβαρύνει τον περιβάλλοντα χώρο με στερεοπαροχές.
- Η κύρια μισγάγγεια εμφανίζεται μη επιμήκης, με μαιανδρισμούς, με αρκετά μεγάλο μήκος παραποτάμων, με τους οποίους έρχεται σε σύγκλιση σε διάταξη οξείας γωνίας έως ορθής .
- Η λιθολογία των σχηματισμών είναι τέτοια που να προτρέπει την επιφανειακή απορροή, σε σχέση με την κατείσδυση.

4.3.3 Τμήμα Κάτω Ρου

Στο τμήμα του κάτω ρου του υδατορεύματος (Σχήμα 4-5), λιθολογικά η λεκάνη συνίσταται από κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα υποβάθρου και κατά θέσεις από Πλειο-Πλειστοκαινικές αποθέσεις. Τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα εξαιτίας του μικρού ενεργού πορώδους, $K > 10^{-8}$ εναποθηκεύουν μικρές ποσότητες υπόγειου ύδατος (δυσμενείς υδρογεωλογικές συνθήκες), ενώ αντίθετως ενισχύουν την επιφανειακή απορροή (ευνοϊκές υδρογεωλογικές συνθήκες). Αντίθετη υδρολιθολογική συμπεριφορά χαρακτηρίζει τις ιζηματογενείς αποθέσεις, οι οποίες διακρίνονται από την τάση για εναποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων υπόγειου ύδατος (ευνοϊκές υδρογεωλογικές συνθήκες), ενώ αντίθετως δυσχεραίνουν την επιφανειακή απορροή του (δυσμενείς υδρογεωλογικές συνθήκες).

Στο νότιο αυτό τμήμα, παρατηρείται μια στρέψη της κύριας μισγάγγειας κοίτης γεωμορφολογίας σε μια γενική διεύθυνση από ΒΑ-ΝΔ σε Β-Ν, η οποία συνοδεύεται από μια ένταση στις γεωμορφές (έντονο ανάγλυφο), έντονους μαιανδρισμούς της κύριας μισγάγγειας, ελάχιστη διαπλάτυνση αυτής, και έντονα φαινόμενα εκβάθυνσης της κοιλάδας. Κατά την έξοδο του ρεύματος προς την λίμνη Κορώνεια η διεύθυνση της κύριας μισγάγγειας επανέρχεται στη αρχική διεύθυνση Β-Ν.

Η εκβάθυνση της κοιλάδας στο τμήμα του κάτω ρου, οφείλεται στη δράση των παρακάτω παραγόντων:

- Της έντονης οριζόντιας υδραυλικής δράσης του ύδατος στο τμήμα αυτό της ροής του.
- Των φαινομένων μηχανικής, χαραδρωτής διάβρωσης.
- Της αποσάθρωσης του πυθμένα του υδατορεύματος, εξαιτίας της περιοδικής ροής και της επακόλουθης μεταφοράς του αποσαθρωμένου υλικού μέσω της υδραυλικής δράσης του ύδατος.
- Της τάσης του γεωμορφολογικού αναγλύφου να προσεγγίσει το βασικό επίπεδο.
- Των έντονων μαιανδρισμών.

4.3.3.1 Συμπεράσματα Κάτω Ρου

Το τμήμα του κάτω ρου του Υδατορεύματος Μπογδάνου, βρίσκεται σε κατάσταση νεότητας ως ωριμότητας, γεγονός που σημαίνει ότι οι γεωμορφολογικές διαδικασίες, δεν έχουν ολοκληρώσει τη δράση τους. Το υψομετρικό ολοκλήρωμα της λεκάνης απορροής (Σχήμα 4-10) συνηγορεί με τα συμπεράσματα, δεικνύοντας μια διτή διαμορφωμένη εικόνα του γεωαναγλύφου. Το τμήμα της καμπύλης που βαίνει στη περιοχή του σταδίου ωριμότητας αντιστοιχεί στο τμήμα του κάτω ρου, σε αντίθεση με το βόρειο ανάντη τμήμα που χαρακτηρίζεται από το στάδιο γήρατος. Στο τμήμα του κάτω ρου διακρίνεται μια έντονη, ζώσα «δυναμική» στο ανάγλυφο (μαιανδρισμοί κύριας μισγάγγειας, εκβάθυνση κοίτης, έντονη χαραδρωτή διάβρωση) με τάση για μετέπειτα επεξεργασία των γεωμορφών από εξωγενείς παράγοντες (κλιματολογικές συνθήκες, τεκτονική δράση, ισοστατικές κινήσεις).

- Η διάβρωση χαρακτηρίζεται ως έντονη χαραδρωτή έχει προχωρήσει σε αρκετό βαθμό κατά τη κατακόρυφη διεύθυνση, ελάχιστα κατά την οριζόντια με αναμενόμενες μετέπειτα σημαντικές δραστηριοποιήσεις.
- Η υδραυλική δράση του νερού, θεωρείται σημαντική σε ποσοστό που να επιβαρύνει με στερεοπαροχές την έξοδο της λεκάνης. Έχει υπολογιστεί επιπροσθέτως η μέση ετήσια παροχή στην έξοδο ίση με 17.000.000 m³/y. (Παπακωνσταντίνου κ.α., 1995).
- Η κύρια μισγάγγεια εμφανίζει έντονους μαιανδρισμούς με ελάχιστη επιμήκυνση, με μικρό μήκος και αριθμό παραποτάμων, με τους οποίους έρχεται σε σύγκλιση με διάταξη οξείας γωνίας.
- Η λιθολογία των σχηματισμών, είναι τέτοια που προτρέπει την ενίσχυση της κατείσδυσης στους ιζηματογενείς σχηματισμούς και επιφανειακής απορροής στα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα του υποβάθρου.

4.3.4 Ποσοτική Ανάλυση Λεκάνης Μπογδάνου

4.3.4.1 Εισαγωγή

Σαν μορφομετρία ορίζεται η ποσοτική αξιολόγηση της μορφής του γεωαναγλύφου. Στην πιο απλή προσέγγιση ποσοτικής εκτίμησης των γεωμορφών είμαστε σε θέση να προσδιορίσουμε παραμέτρους όπως:

- Μέγιστο-ελάχιστο, μέσο ανάγλυφο,
- Κλίσεις και προσανατολισμού του αναγλύφου,
- Προσανατολισμό αναγλύφου.

Η ποσοτική αυτή προσέγγιση των γεωμορφών μέσω εκτίμησης γεωμορφολογικών δεικτών είναι σε θέση να προσδιορίσει την δυναμική ή όχι κατάσταση του αναγλύφου. Συγκεκριμένα επιτρέπει την εκτίμηση:

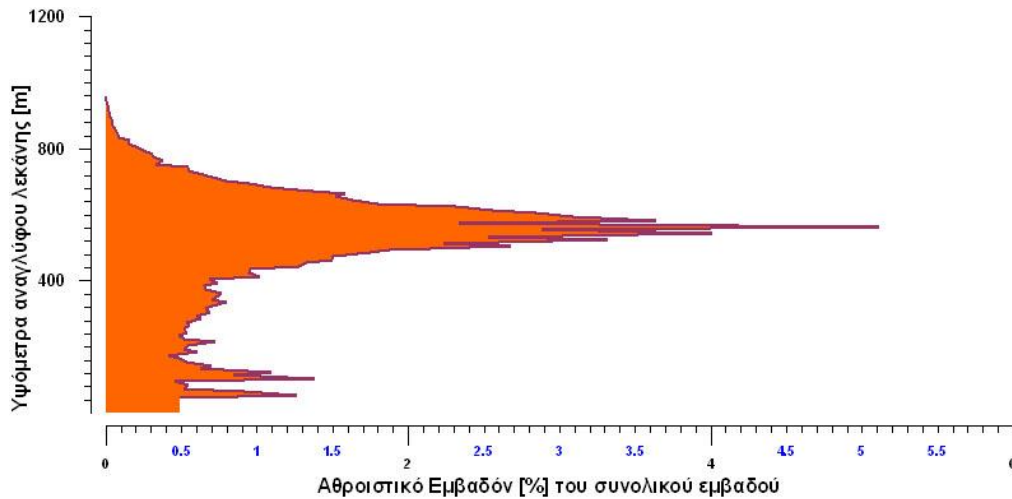
- του Κινδύνου διάβρωσης,
- της Τεκτονικής δραστηριότητας,
- του Πλημμυρικού κινδύνου.

Μερικοί από τους γεωμορφολογικούς δείκτες που εκτιμώνται, βάσει της ποσοτικής ανάλυσης είναι:

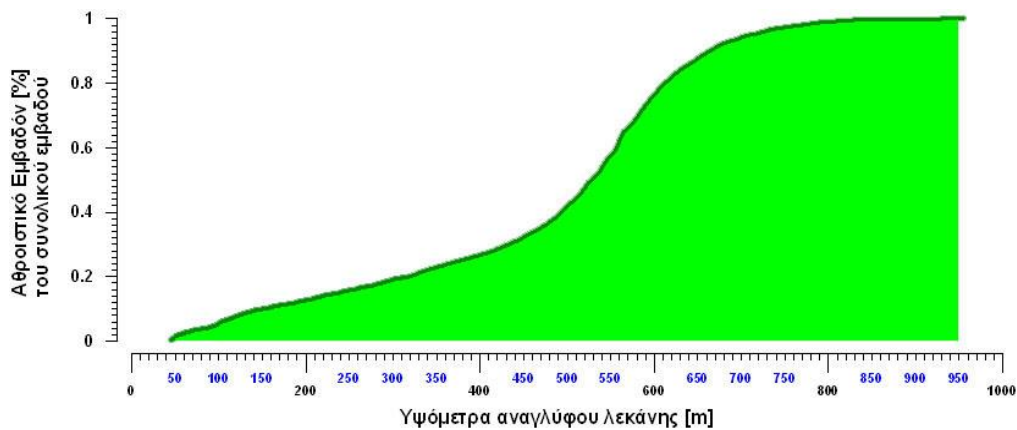
- το υψομετρικό ολοκλήρωμα λεκάνης,
- η κλίση του αναγλύφου,
- ο προσανατολισμός του αναγλύφου,
- η καμπυλότητα του αναγλύφου.

Η παρούσα μορφή που εμφανίζει το γεωανάγλυφο της λεκάνης του υδατροεύματος, είναι το αποτέλεσμα μιας σειράς εξωγενών παραγόντων που διαμόρφωσαν και διαμορφώνουν το σύστημα αυτό. Στο παρόν κεφάλαιο αναλύεται ποσοτικά η μορφή του αναγλύφου με τη χρήση μεθόδων GIS. Ο στόχος μέσα από αυτή τη διαδικασία είναι:

α) να εκτιμηθεί η ένταση των φαινομένων από τη δράση των παραγόντων



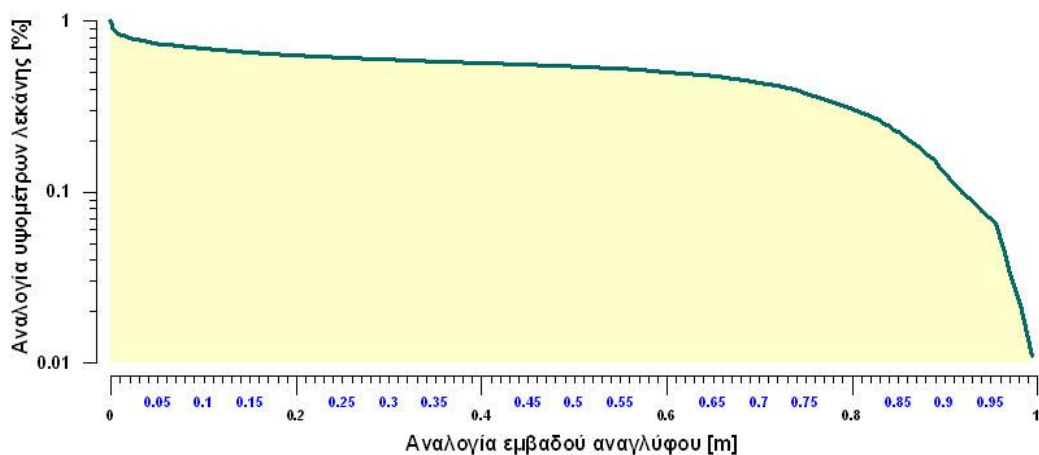
Σχήμα 4-6. Κατανομή του αθροιστικού ποσοστού του συνολικού εμβαδού [%] σε σχέση με τα υψόμετρα του αναγλύφου.



Σχήμα 4-7. Υψομετρική καμπύλη λεκάνης απορροής.

που διαμόρφωσαν και διαμορφώνουν το ανάγλυφο

β) πως τα φαινόμενα αυτά θα ρυθμίζουν στο μέλλον τη λειτουργία της λεκάνης σε συνάρτηση με το ΧΥΤΑ.

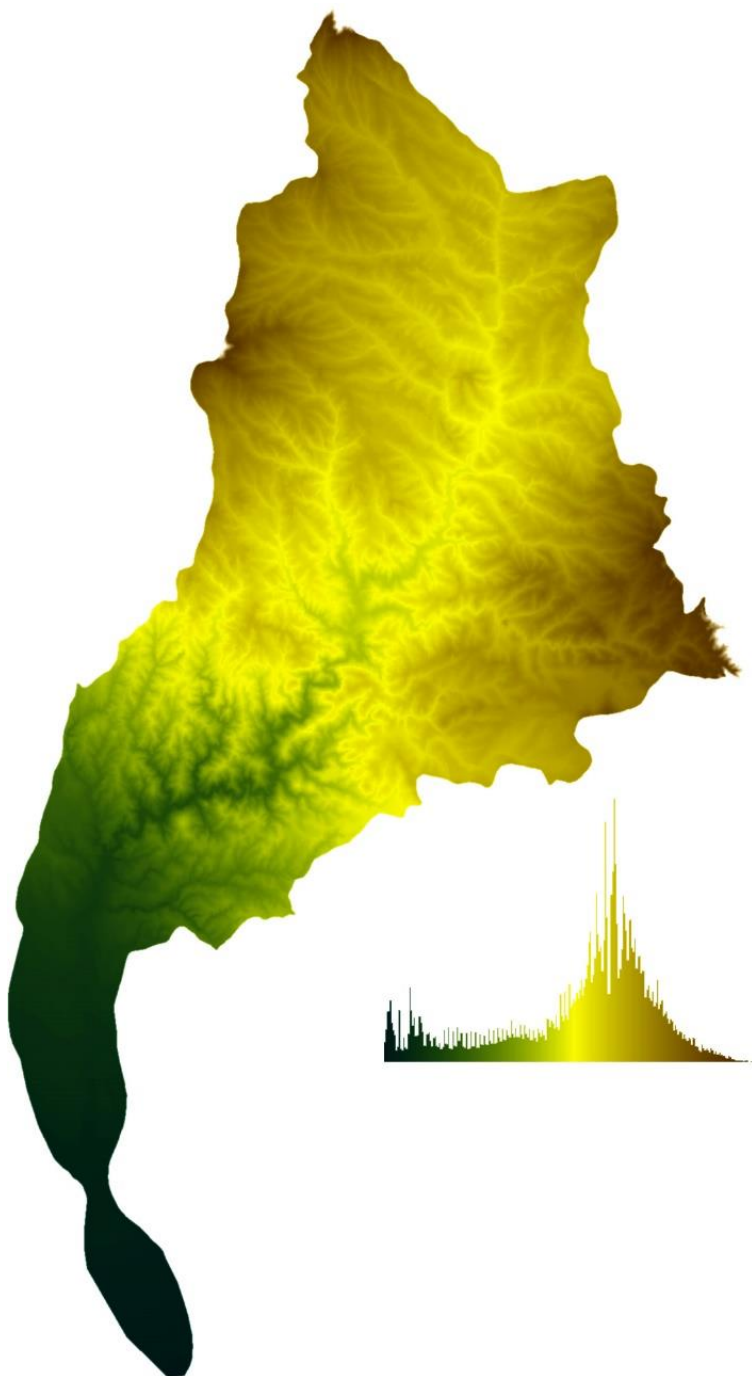


Σχήμα 4-8. Κατανομή του αναλογίας συνολικού εμβαδού [%] σε σχέση με τα υψόμετρα του αναγλύφου.

4.3.4.2 Κατασκευή Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους

Το πρώτο στάδιο της αξιολόγησης και επιμέτρησης των γεωμορφών, βασίστηκε στην δημιουργία του ψηφιακού μοντέλλου εδάφους (Dem). Για την κατασκευή του χρησιμοποιήθηκαν τοπογραφικοί χάρτες της ΓΥΣ κλίμακας 1:5000. Οι ισοϋψείς καμπύλες ψηφιοποιήθηκαν και τα διανυσματικά δεδομένα των υψομέτρων της λεκάνης επεξεργάστηκαν με τη βοήθεια γεωστατιστικών μεθόδων ανάλυσης, ώστε να κατασκευασθεί το ψηφιακό μοντέλλο εδάφους (DEM) (Σχήμα 4-9). Στην περίπτωση μας για την κανναβοποίηση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Triangulation (Linear Interpolation) (Guibas and Stolfi, 1985), (Lawson, 1977), (Lee and Schachter, 1980). Η μέθοδος αυτή εφαρμόζει ευρέως τον τριγωνισμό (Delauny Triangulation) ανάμεσα στα σημεία των υψομέτρων. Τα δημιουργηθέντα τρίγωνα ενώνονται μεταξύ τους κατά πλευρά δημιουργώντας ένα πλέγμα τριγώνων. Το τελικό αποτέλεσμα παρουσιάζεται με τη μορφή πίνακα, αποτελεί δε έναν κάρναβο ο οποίος αντιπροσωπεύει το ψηφιακό μοντέλλο εδάφους (DEM).

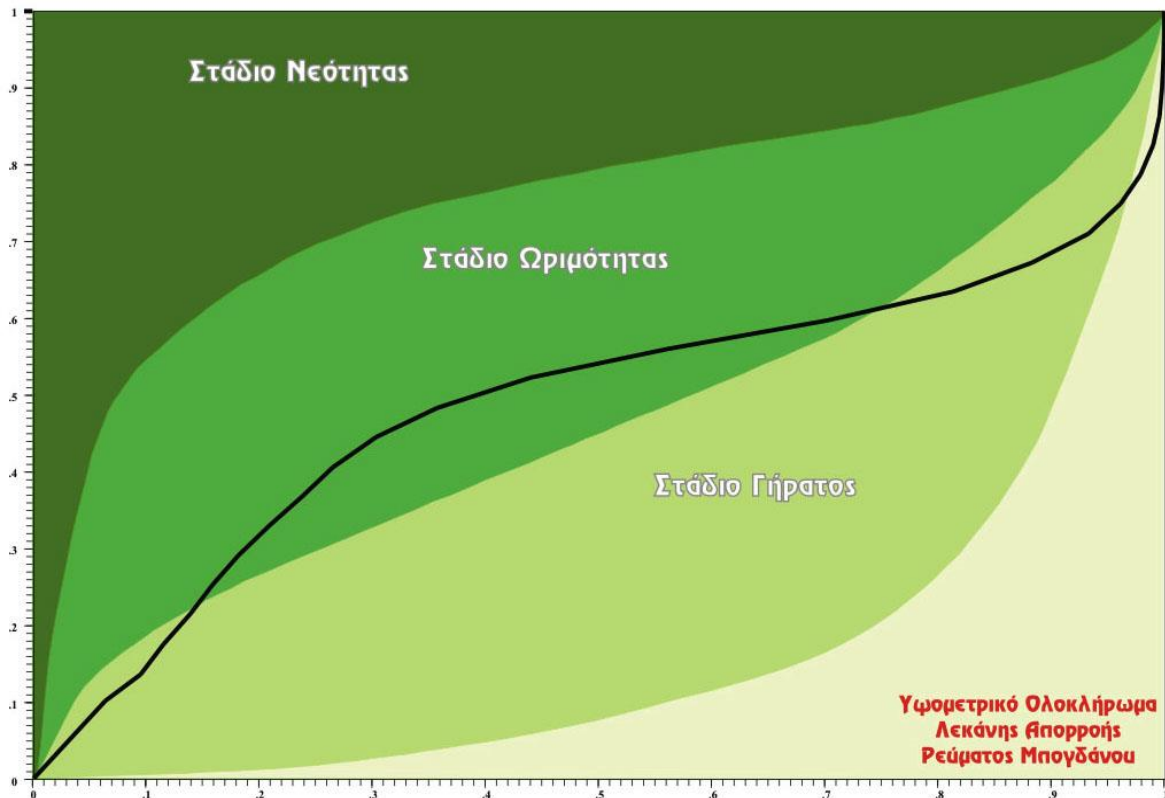
Μέσω της παραπάνω διαδικασίας κανναβοποίησης (Grid) υπολογίστηκε το υψόμετρο σε κάθε σημείο της λεκάνης με ακρίβεια, ενώ με μεθόδους ελέγχου και διόρθωσης λαθών (Error quality control) (Burrough, 1998) υπολογίστηκε ότι η απόκλιση του μοντέλλου από τις πραγματικές τιμές ήταν <0.5%. Η ανάλυση του ψηφιακού μοντέλλου στην οποία βασίστηκε η επεξεργασία ορίστηκε στα 225m². Η παραδοχή αυτή σημαίνει πως για κάθε καρτεσιανή επιφάνεια της λεκάνης διαστάσεων 15x15m. (κελί) είναι γνωστό το υψόμετρο της. Στη συνέχεια το ψηφιακό μοντέλο εδάφους επεξεργάστηκε στατιστικά. Το εμβαδό της λεκάνης υπολογίστηκε ίσο με E=221,75 Km². Στο (Σχήμα 4-6) δίνεται η κατανομή του αθροιστικού ποσοστού του συνολικού εμβαδού [%] σε σχέση με τα υψόμετρα του αναγλύφου. Στο (Σχήμα 4-7), δίνεται η υψομετρική καμπύλη της λεκάνης απορροής ενώ στο (Σχήμα 4-8) η κατανομή του αναλογίας συνολικού εμβαδού [%] σε σχέση με τα υψόμετρα του αναγλύφου. Παρατηρώντας τα ανωτέρω διαγράμματα διαπιστώνουμε το μεγάλο συντελεστή ομοιομορφίας του αναγλύφου της λεκάνης.



4.3.4.3 Υψομετρικό Ολοκλήρωμα Λεκάνης

Το υψομετρικό ολοκλήρωμα της λεκάνης εκφράζει το στάδιο διάβρωσης στο οποίο βρίσκεται μια γεωμορφολογική λεκάνη. Για τον υπολογισμό του (Strahler, 1964) χρησιμοποιούνται οι παράμετροι χ (σχετική επιφάνεια) και γ (σχετικό ύψος). Η σχετική επιφάνεια ισούται με το λόγο του εμβαδού της λεκάνης που είναι μικρότερο από ένα υψόμετρο προς το συνολικό εμβαδό της λεκάνης. Οι παράμετροι χ και γ παίρνουν τιμές από 0 ως 1.

Σχήμα 4-9. Ψηφιακό μοντέλλο εδάφους λεκάνης απορροής υδατορεύματος Μπογδάνου.



Σχήμα 4-10. Υψομετρικό ολοκλήρωμα της λεκάνης απορροής του ρεύματος Μπογδάνου.

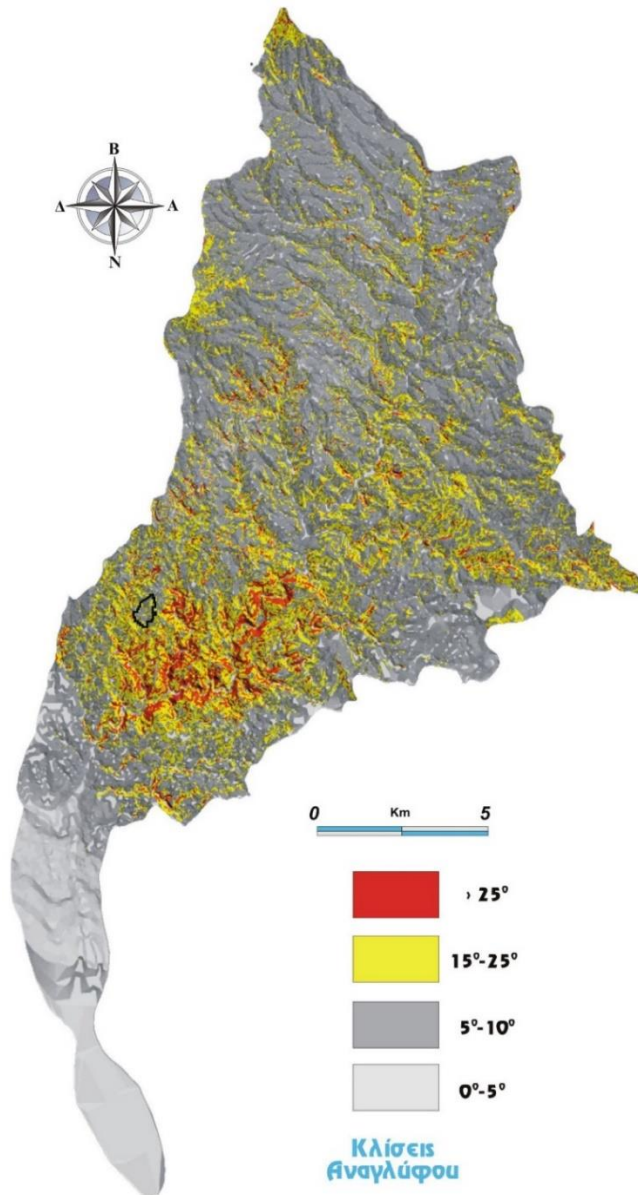
Αριθμητικά το υψομετρικό ολοκλήρωμα προκύπτει μετά από ολοκλήρωση της συνάρτησης $x=f(y)$ (Σχήμα 4-10). Η τιμή του υψομετρικού ολοκληρώματος χαρακτηρίζει το στάδιο εξέλιξης του αναγλύφου (Strahler, 1964). Αποτελεί όμως κοινή διαπίστωση πως το υψομετρικό ολοκλήρωμα μιάς λεκάνης δείχνει τα όρια κύμανσης του αναγλύφου, χωρίς ποσοτικές εκτιμήσεις. Δεν είναι σε θέση δε να εξακριβώσει περιοχές που έχουν υποστεί αναγέννηση του αναγλύφου, μιας και αποτυπώνει την τελική σημερινή κατάσταση των γεωμορφών.

4.3.4.4 Κλίσεις του αναγλύφου

Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM) επεξεργάστηκε με μια σειρά γεωστατιστικών μεθόδων (Moore et al., 1993), για τον προσδιορισμό του μοντέλου κλίσεων αναγλύφου σε κάθε σημείο της λεκάνης (Σχήμα 4-11). Ο υπολογισμός βασίστηκε στον προσδιορισμό της πρώτης παραγώγου του αναγλύφου στο κέντρο κάθε μιάς επιφανείας με διαστάσεις 15x15m. Για κάθε τέτοιο τετράγωνο της επιφανείας υπολογίστηκε η κλίση, η οποία παρουσιάζεται σε μοίρες από 0^0 (οριζόντια επιφάνεια αναγλύφου) ως 90^0 (κατακόρυφη επιφάνεια αναγλύφου). Σε κάθε τετράγωνο 15x15m η κλίση υπολογίστηκε κατά την διεύθυνση της πλέον απότομης μεταβολής του αναγλύφου.

Η κλίση του αναγλύφου, αποτελεί μια από τις μείζονες παραμέτρους, που καθορίζει τόσο το υδρολογικό ισοζύγιο όσο και την παραγωγή και μεταφορά στερεών υλικών (στερεοπαροχών) στη λεκάνη. Σε κάθε σημείο της λεκάνης απορροής η κλίση ρυθμίζεται κυρίως από τη φύση του

γεωλογικού σχηματισμού, από την αντίσταση του στην αποσάθρωση και τη διάβρωση, από το κλίμα και συγκεκριμένα από την έκταση των βροχοπτώσεων, καθώς και από τη φυτοκάλυψη. Το γεωανάγλυφο μέσα από τις δράσεις των εξωγενών αυτών παραγόντων εξομαλύνεται ώστε να επέλθει σε μια κατάσταση ηρεμίας. Η ηρεμία αυτή είναι σε θέση να διαταραχθεί μέσα από μιά σειρά διαδικασιών, όπως τεκτονικές ή ευστατικές κινήσεις. Αξιολογώντας την κατανομή των κλίσεων της λεκάνης μπορούμε να εξάγουμε έμμεσα μια σειρά από συμπεράσματα για τις παραμέτρους που τη ρυθμίζουν.



Σχήμα 4-11. Χάρτης κλίσεων αναγλύφου της λεκάνης απορροής του ρεύματος Μπογδάνου.

Η επεξεργασία του καννάβου των κλίσεων του αναγλύφου μας επέτρεψε να διακρίνουμε και να εκφράσουμε ποσοτικά την κλίση στις παρακάτω ποσότητες.

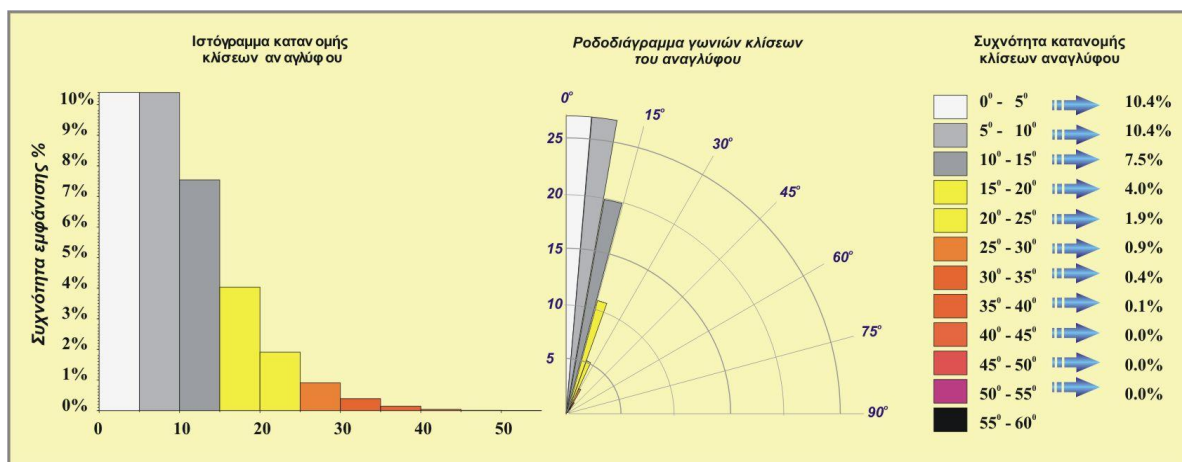
- Κλάση κλίσεων (%),
- Σχήμα κλίσης,
- Μήκος κλίσης.

Το Σχήμα της κλίσης, έχει σημασία κυρίως για την ένταση της διάβρωσης που δρα ή θα δράσει στο μέλλον (Σχήμα 4-12). Διακρίνουμε τρεις βασικούς τύπους κλίσης, (Dikau, 1988b) βάσει του σχήματος της:

- Κυρτή
- Κοίλη
- Ευθεία.

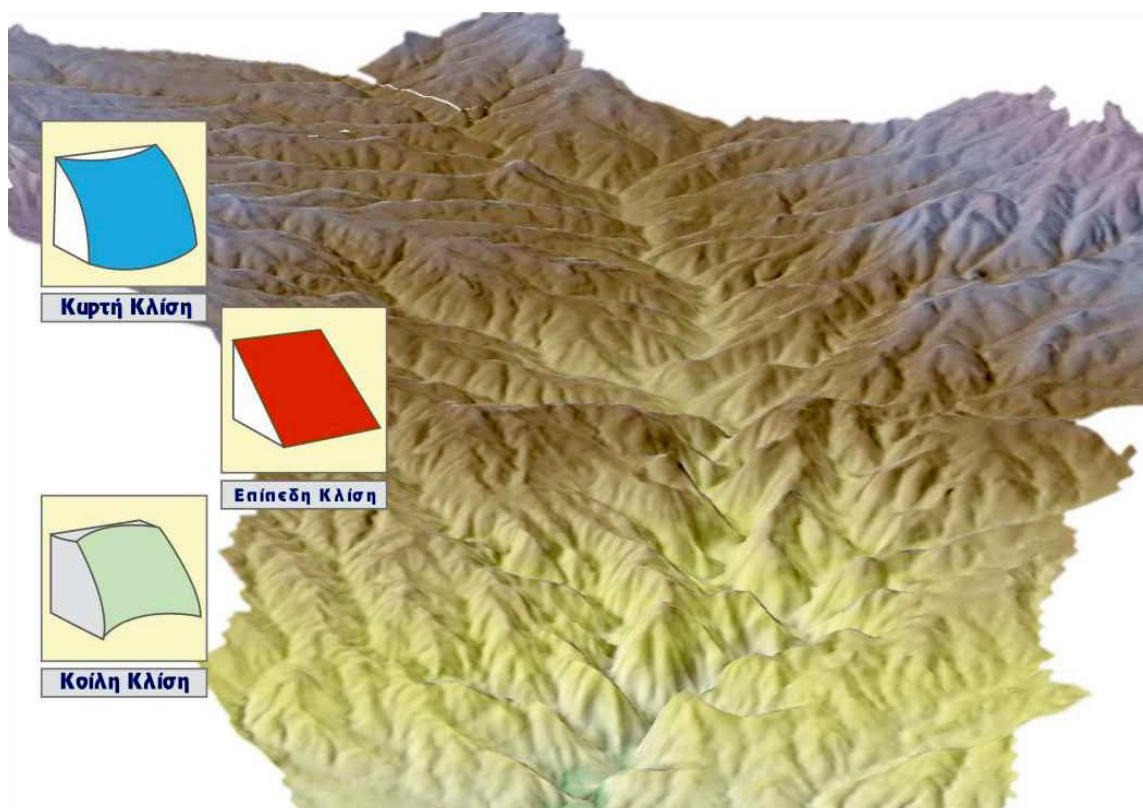
Η οριζόντια κατανομή των κλίσεων στη λεκάνη διακρίνεται στο (Σχήμα 4-12). Η ελάχιστη τιμή είναι 1.7° , ενώ η μέγιστη είναι 45° . Η μέση κλίση της λεκάνης υπολογίστηκε ίση με 9.74° , ενώ η τυπική απόκλιση ίση με $\sigma=7.38$. Από τη μορφή του ιστογράμματος διακρίνεται ότι οι κλίσεις ακολουθούν μια φθίνουσα

κατανομή. Η συχνότητα εμφάνισης ελαττώνεται όσο αυξάνονται οι κλίσεις στη λεκάνη απορροής.



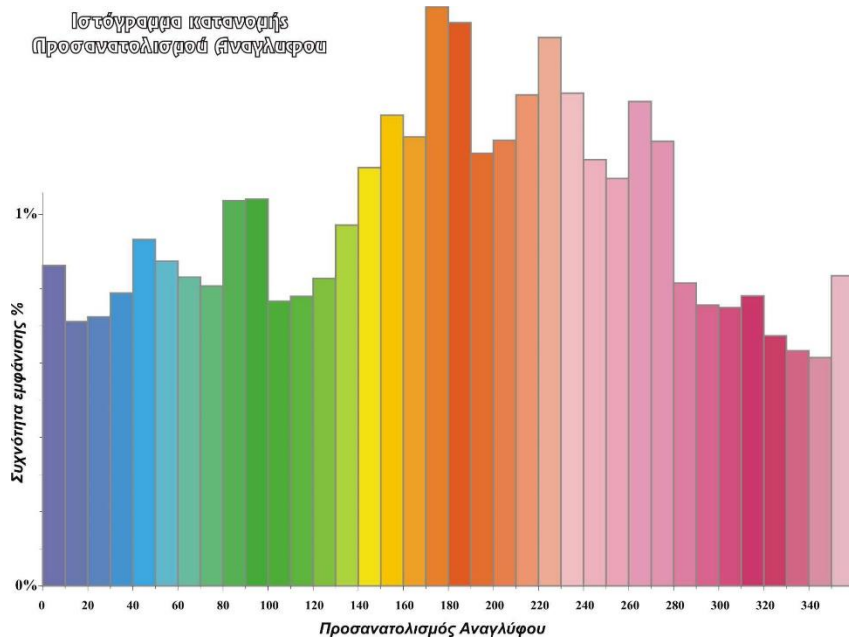
Σχήμα 4-12. Ιστογράμμο κατανομής και ροδοδιάγραμμα των γωνιών κλίσεων του αναγλύφου της λεκάνης απορροής του υδατορεύματος Μπογδάνου.

Αναφορικά με το σχήμα της κλίσης του αναγλύφου, διαπιστώνεται ότι κατά το πλείστον τα πρανή έχουν κυρτή κλίση σε αντίθεση με τις κοίτες των ρευμάτων στις οποίες η κλίση είναι κοίλη. Το σχήμα της κλίσης έχει σημασία στην εκτίμηση της διάβρωσης που δρα ή που θα δράσει στο μέλλον.

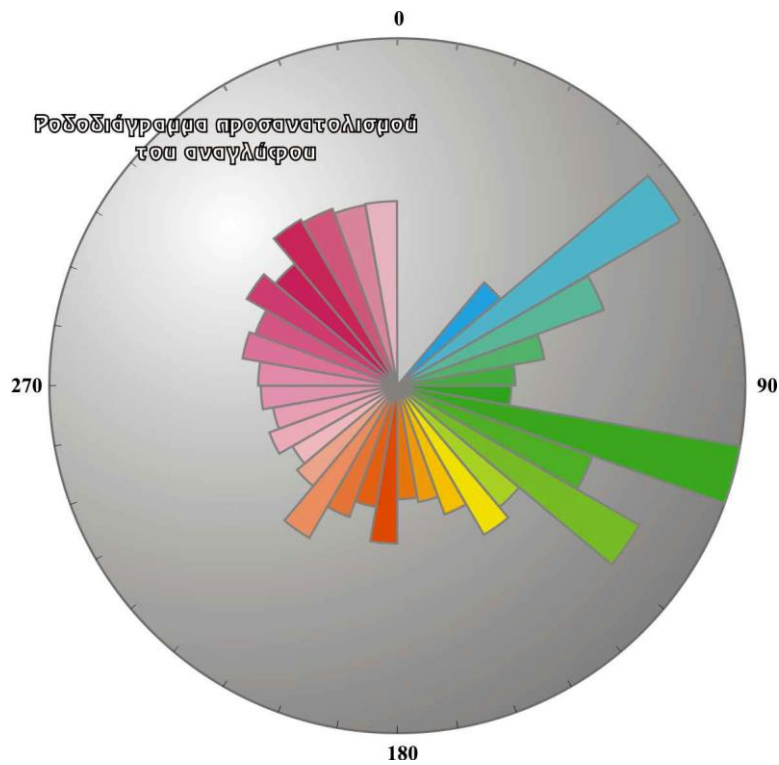


Σχήμα 4-13. Προσδιορισμός του σχήματος της κλίσης του αναγλύφου στη λεκάνη Μπογδάνου.

Αναφορικά με το μήκος των κλίσεων, έχει σημασία για την ένταση της διάβρωσης. Μεγάλου μήκους κλίσεις, δέχονται μεγαλύτερο όγκο νερού, ενώ δίνεται ο κατάλληλος χρόνος για την αύξηση της ταχύτητας απορροής και κατά συνέπεια της διάβρωσης (Dikau, 1988b).

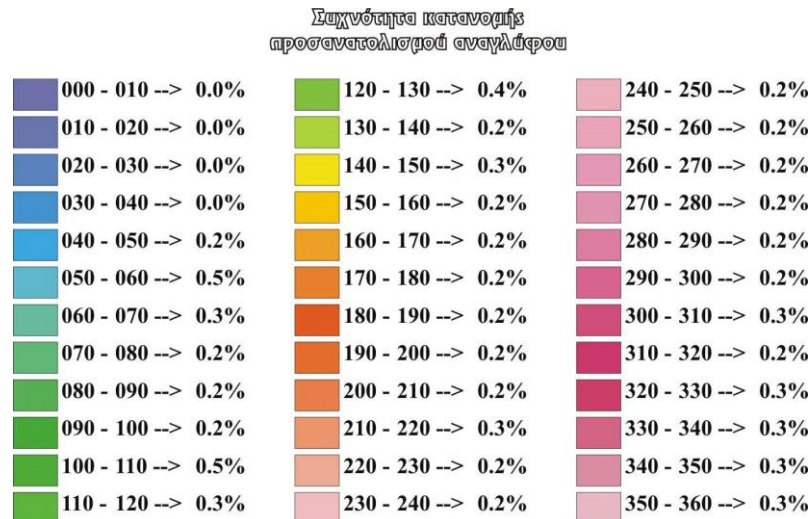


Σχήμα 4-15. Ιστογράμμο κατανομής του προσανατολισμού του αναγλύφου της λεκάνης απορροής του υδατορεύματος Μπογδάνου.



Σχήμα 4-16. Ροδοδιάγραμμα κατανομής του προσανατολισμού του αναγλύφου της λεκάνης απορροής του υδατορεύματος Μπογδάνου

Ιδιαίτερα στο νότιο τμήμα (τμήμα κάτω ρου), ο τεκτονικός έλεγχος στην διαμόρφωση των πρηνών είναι κυρίαρχος.



Σχήμα 4-17. Πίνακας κατανομής του προσανατολισμού του αναγλύφου της λεκάνης απορροής του ρεύματος Μπογδάνου.

4.3.4.6 Μορφομετρικοί Παράμετροι του αναγλύφου

Επιπλέον στο κεφάλαιο της ποσοτικής αξιολόγησης των γεωμορφών μετρήθηκαν και αποτιμήθηκαν για το γεωανάγλυφο της λεκάνης μια σειρά από μορφομετρικές παραμέτρους (Broscoe, 1959). Οι παράμετροι αυτοί υπολογίστηκαν με τη βοήθεια της πλατφόρμας του Raster GIS ταχύτερα και με μεγαλύτερη ακρίβεια. Οι τιμές της κάθε παραμέτρου δίνονται στον πίνακα 3

- Μέσο υψόμετρο (H)
- Τοπικό ανάγλυφο (Hb): Ποσότητα που καθορίζεται ως η υψομετρική διαφορά μεταξύ του ψηλότερου (υδροκρίτης y) και χαμηλότερου σημείου (έξοδος) της λεκάνης κατά μήκος της μεγαλύτερης διαστάσεως της, η οποία είναι παράλληλη προς το κυρίως υδρογραφικό ρεύμα της: $Hb = H_{max} - H_{min}$.
- Λόγος αναγλύφου της λεκάνης (Rh): Πρόκειται για το λόγο του τοπικού αναγλύφου της λεκάνης (Hb) προς τη μεγαλύτερη διαστάση της λεκάνης (Lb_{max}) παράλληλα προς την κυρίως υδρογραφική γραμμή (κοίτη). Υπολογίζεται από τη σχέση $Rh = Hb / Lb_{max}$. Ο λόγος αναγλύφου είναι μια παράμετρος που δεικνύει το βαθμό της έντασης των διεργασιών διάβρωσης σε μία λεκάνη απορροής.
- Βαθμός τραχύτητας του αναγλύφου της λεκάνης (Rn): Υπολογίζεται από τη σχέση $Rn = D * Hb$. Εξαιρετικά υψηλές τιμές του βαθμού τραχύτητας απαντώνται όταν, οι τιμές D και Hb είναι πολύ υψηλές, οπότε οι κλιτύες δεν είναι μόνο απότομες, αλλά και επιμήκεις.

4.3.4.7 Μορφομετρικοί παράμετροι λεκάνης απορροής

Επιπροσθέτως, μετρήθηκαν και υπολογίστηκαν οι ακόλουθες μορφομετρικές παράμετροι που αποτιμούν γεωμορφολογικά τη λεκάνη απορροής (Pareta, 2011). Οι τιμές της κάθε παραμέτρου δίνονται στον Πίνακα (4-2).

- Υδρογραφική πυκνότητα (D): Ως υδρογραφική πυκνότητα ορίζεται ο λόγος του συνολικού μήκους όλων των ρευμάτων μίας λεκάνης απορροής προς το εμβαδόν της. Δίνεται από τη σχέση: $D_u = \sum L_u / A_u$ και μετράται σε (Km^{-1}). Χαμηλή τιμή υδρογραφικής πυκνότητας απαντάται σε περιοχές όπου τα πετρώματα α) παρουσιάζουν υψηλό βαθμό αντίστασης στη διάβρωση, β) παρουσιάζουν υψηλό βαθμό υδατοπερατότητας, γ) έχουν πυκνή φυτοκάλυψη και δ) το ανάγλυφο είναι χαμηλό. Υψηλή τιμή υδρογραφικής πυκνότητας παρουσιάζεται σε περιοχές όπου α) τα υποκείμενα πετρώματα είναι ασθενή στη διάβρωση, β) τα πετρώματα είναι αδιαπέρατα, γ) η βλάστηση είναι αραιή και δ) το ανάγλυφο είναι υψηλό.
- Υδρογραφική συχνότητα (F) : Υδρογραφική συχνότητα ονομάζεται ο λόγος του συνολικού αριθμού των κλάδων των κοιτών όλων των τάξεων μιας λεκάνης απορροής προς το εμβαδόν αυτής. Δίνεται από τη σχέση : $F = \sum N_u / A_u$.
- Σταθερά διατήρησης της κοίτης του ρεύματος (C). Ισοδυναμεί με το αντίστροφο της υδρογραφικής πυκνότητας. ($C=1/D$) και εκφράζεται σε Km^2 .
- Μήκος της λεκάνης απορροής (L_b). Η μέτρηση γίνεται από το στόμιο της λεκάνης απορροής μέχρι το υψηλότερο σημείο του υδροκρίτη, ακολουθώντας την κοίτη του κύριου κλάδου.
- Περίμετρος της λεκάνης απορροής (P): Η παράμετρος αυτή σχετίζεται με το σχήμα της λεκάνης απορροής. Ως περίμετρο μιας λεκάνης θεωρούμε το μήκος της υδροκριτικής γραμμής της, όπως προβάλλεται αυτή στο οριζόντιο επίπεδο του χάρτη.
- Λόγος κυκλικότητας (Rc): Ποσότητα που παρουσιάζει το βαθμό της απόκλισης του σχήματος της λεκάνης απορροής από έναν πραγματικό κύκλο με περιφέρεια ίση με την περιφέρεια της εν λόγω λεκάνης απορροής. Υπολογίζεται από το λόγο του εμβαδού της λεκάνης προς το εμβαδόν του κύκλου που έχει την ίδια περίμετρο με την περίμετρο της λεκάνης και συγκεκριμένα $R^o = A_{\lambda\epsilon\kappa} / A_{\kappa\upsilon\kappa\lambda} = 4\pi A / P^2$ (όπου : $\pi=3.14$ και P =περίμετρος της λεκάνης απορροής).
- Λόγος επιμηκύνσεως της λεκάνης (Er): Πρόκειται για την έκφραση του σχήματος της λεκάνης και ορίζεται ως λόγος της διαμέτρου του κύκλου (d), ο οποίος έχει εμβαδόν ίσο με το εμβαδόν της λεκάνης απορροής, και της μέγιστης διαστάσεως της λεκάνης ($L_{b_{\max}}$) ($Er=d / L_{b_{\max}}$). Χρησιμοποιείται για να εκφρασθεί το σχήμα της λεκάνης απορροής. Έχει συγκεκριμένο πεδίο τιμών ($0.2 \leq Er \leq 1275$). Ο λόγος επιμήκυνσης, όπως και ο λόγος κυκλικότητας δίνουν την απόκλιση του σχήματος της λεκάνης από συγκεκριμένα γεωμετρικά σχήματα.

Πίνακας 4-2. Μορφομετρικές παράμετροι του αναγλύφου και της λεκάνης απορροής

Μορφομετρικοί παράμετροι του αναγλύφου			
Εμβαδό λεκάνης απορροής	E	=	221,75 Km ² .
Υδρογραφική πυκνότητα	D	=	4.47 Km ⁻¹
Υδρογραφική συχνότητα	F	=	10.86 Km ⁻²
Μήκος λεκάνης απορροής	L_b	=	49.336 Km
Σταθερά διατήρησης κοίτης	C	=	0.022 Km ²
Περίμετρος λεκάνης απορροής	P	=	98.68 Km
Μήκος μέγιστου μισογάγγειου	L_m	=	49.336 Km
Λόγος κυκλικότητας	R_c	=	0.286
Λόγος επιμήκυνσης	R_L	=	0.502
Περίμετρος λεκάνης απορροής	P	=	98.68 Km
Τοπικό ανάγλυφο	H_b	=	910 m
Μέσο υψόμετρο	H	=	479.63 m
Τυπική απόκλιση υψομέτρου	Σ		183.71m
Μέση κλίση λεκάνης	K	=	9.74 ⁰
Λόγος αναγλύφου λεκάνης	R_h	=	0.01844 m
Βαθμός τραχύτητας του αναγλύφου λεκάνης	R_n	=	4.06 Km ⁻¹ m

4.4 Γεωλογία λεκάνης απορροής

4.4.1 Εισαγωγή

Στο χώρο της κεντρικής Μακεδονίας, η Σερβομακεδονική Μάζα (SRB) και η Περιοδοπική ζώνη (CRB) (Σχήμα 4-18), διευθετούν την προς το νότο γεωτεκτονική ανάπτυξη, της Αλπικής ορογενετικής αλυσίδας, στο νότιο τμήμα της Βαλκανικής χερσονήσου. Οι δύο γεωτεκτονικές ζώνες αναπτύσσονται με μία τυπική ΒΔ-ΝΑ τάση τοποθέτησης των λιθολογικών τους ενοτήτων, αποτελούν δε ένα πολυσύνθετο γεωτεκτονικό πεδίο, στο οποίο συναντώνται κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα με μεταιζήματα μέσου ως υψηλού βαθμού μεταμόρφωσης. Στο πολυμεταμορφωμένο αυτό κρυσταλλικό υπόβαθρο, διεισδύουν μία σειρά από πυριγενή πετρώματα, ασβεσταλκαλικού χημισμού και διαφορετικής ηλικίας.

4.4.2 Γεωλογία ευρύτερης περιοχής λεκάνης Μπογδάνου

Η Σερβομακεδονική μάζα (SRB) σαν γεωτεκτονική ενότητα, εμφανίζει σαφείς χαρακτήρες υποβάθρου. Στο χώρο της κεντρικής Μακεδονίας κάνει την εμφάνιση της σαν μία στενή και επιμήκης γεωτεκτονική ζώνη, η οποία αναπτύσσεται από το Βελιγράδι στην περιοχή της Σερβίας, ως τη χερσόνησο της Χαλκιδικής προς νότο στην Ελληνική ενδοχώρα. Συνίσταται δε από μια ακολουθία πετρωμάτων με χαρακτήρες ηπειρωτικής προέλευσης, τα οποία έχουν μεταμορφωθεί, σε διαφορετικούς τεκτονικούς ορίζοντες και είναι δυνατόν να διακριθούν σε δύο επιμέρους κρυσταλλικές σειρές (Kockel et al., 1971):

- Την ανατολικότερη και κατώτερη τεκτονική σειρά, η οποία καλείται Ενότητα Κερδυλλίων (Kerdillia Unit - KU). Η σειρά Κερδυλλίων συνίσταται από υψηλού βαθμού μεταμόρφωσης, τα οποία έχουν φτάσει ως την βαθμίδα της αμφιβολιτικής φάσης και τα οποία κατά κύριο λόγο αντιπροσωπεύονται από μιγματιτικούς γνευσίους, αμφιβολίτες, διεστρωμένους από «ανθρακικές τράπεζες» (Kockel et al., 1971).
- Την δυτικότερη και ανώτερη τεκτονική σειρά, η οποία καλείται Ενότητα Βερτίσκου (Vertiskos Unit - VU). Η ενότητα Βερτίσκου χαρακτηρίζεται από μία άνω πρασινο-σχιστολιθική ως κάτω αμφιβολιτική φάση μεταμόρφωσης (Chatzidimitriades et al., 1985), τα πετρώματα της οποίας συνίστανται κυρίως από εναλλαγές σχιστολίθων, λευκοκρατικών γνευσίων, οφθαλμογνευσσίων και αμφιβολιτών.

Τα γεωτεκτονικά και πετρολογικά χαρακτηριστικά της Σερβομακεδονικής μάζας δεικνύουν ομοιότητες με τις γεωτεκτονικές ενότητες ης Ροδοπικής μάζας (Rhodopian Units - RU), (Dinter and Royden., 1993). Το πολυμεταμορφικό αυτό πεδίο, εμφανίζει μια προ-Παλαιozoϊκή ηλικία, σχετιζόμενη με μια πολυφασική τεκτονο-μεταμορφική προέλευση, από μια υψηλής πίεσης φάση μεταμόρφωσης (15Kb) σε μια Μέσο-Ηωκαινική ανάδρομη μεταμόρφωση κατά Barrow (7 kb/650°C).



Σχήμα 4-18. Απλοποιημένο χάρτης των γεωτεκτονικών ζωνών στο χώρο της Κεντρικής Μακεδονίας.

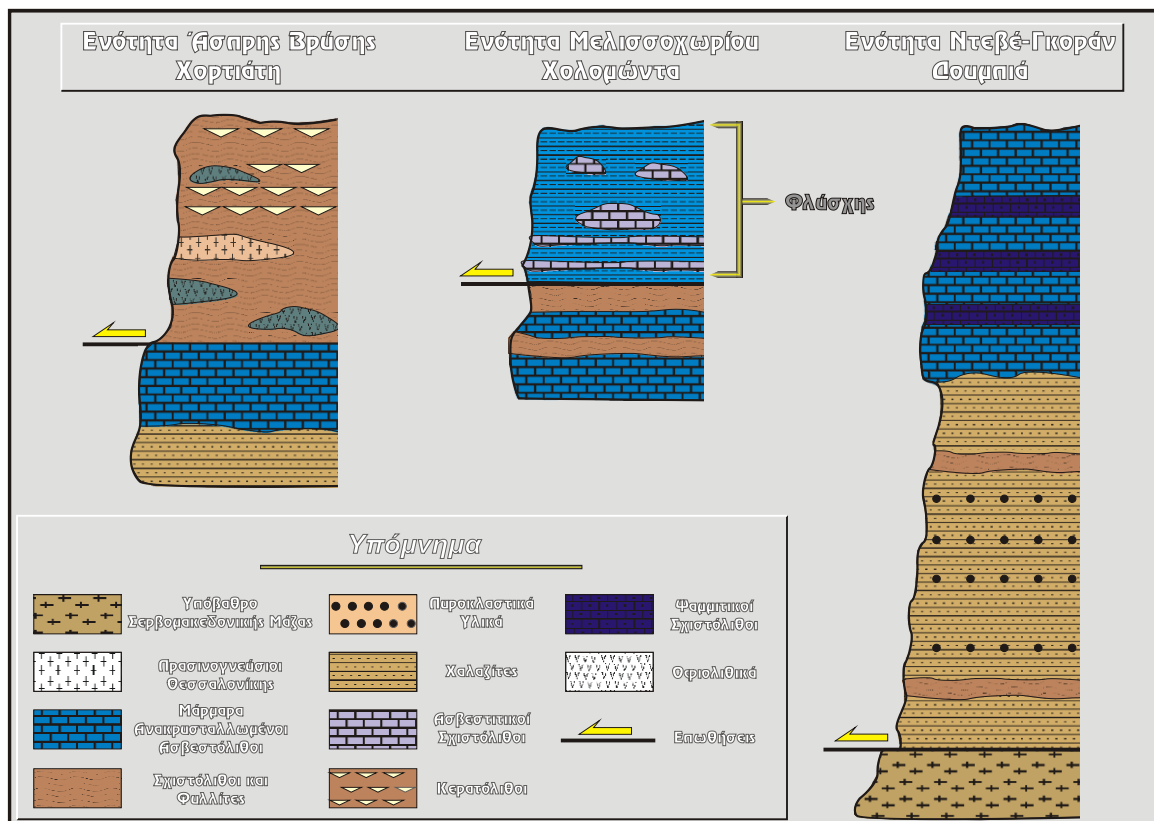
Σύμφωνα με το παραπάνω γεωτεκτονικό σενάριο τα Παλαιοζωϊκής ηλικίας πετρώματα της Σερβομακεδονικής μάζας, επαναδραστηριοποιούνται κατά τη διάρκεια της Αλπικής ορογένεσης μέσω μιάς συντεκτονικής χαμηλής πίεσης ανάδρομης πρασινοσχιστολιθικής φάσης μεταμόρφωσης (Dixon and Dimitriades, 1984), (Kassoli-Foumaraki, 1984). Εκλογιτικά «ράκη» πιθανής Μεσοζωϊκής ηλικίας, αναγνωρίζονται κατά θέσεις στο κρυσταλλικό υπόβαθρο της Σερβομακεδονικής Μάζας (Dimitriades and Godelitsas 1991), (Sidiropoulos, 1991). Το δυτικό όριο της Σερβομακεδονικής μάζας κείται σε

άμεση επαφή με τα Πέρμια ως Τριαδικής ηλικίας μετα-ιζηματογενή πετρώματα της Περιοδοπικής ζώνης (Σχήμα 4-18).

Η Περιοδοπική ζώνη (CRB) (Σχ.4-18) συνίσταται λιθολογικά από μια μετα-ιζηματογενή ακολουθία πετρωμάτων ηπειρωτικού περιθωρίου σε συνδυασμό με ηφαιστειακά παράγωγα, τα οποία παρουσιάζουν μιά χαμηλού βαθμού μεταμόρφωση Μεσοζωϊκής ηλικίας (Άνω Ιουρασικό – Κάτω Κρητιδικό) (Kauffmann, 1976), (Kockel and Mollat, 1977). Κατά θέσεις το ηφαιστειο-ιζηματογενές αυτό «πακέτο» εμφανίζει υπολείματα γλαυκοφανιτικής φάσης μεταμόρφωσης υψηλής πίεσης-χαμηλής θερμοκρασίας (Michard et al. 1994).

Η Περιοδοπική ζώνη διακρίνεται κυρίως λιθολογικά και στρωματογραφικά με τρεις κύριες ενότητες (Σχήμα 4-19):

- Ενότητα Ντεβέ Γκοράν Δουμπιά η οποία λιθολογικά συνίσταται από μιά ηφαιστειο-ιζηματογενή ακολουθία σε εναλλαγές με νηρητικής φάσης Τριαδικής ηλικίας ανθρακικά πετρώματα.
- Ενότητα Μελισσοχωρίου-Χολομώντα στην οποία κυρίαρχη λιθο-στρωματογραφική ακολουθία αποτελούν τα Τριαδικής ηλικίας ανθρακικά, νηρητικής φάσης πετρώματα. Στην ενότητα αυτή κάνει την εμφάνισή της μια ακολουθία ιζηματογενών πετρωμάτων, τα οποία εμφανίζουν σαφείς χαρακτήρες φλύσχη. Η ακολουθία των Μέσω – Ιουρασικών αυτών σχηματισμών είναι γνωστή σαν σειρά Σβούλας (Kockel and Mollat, 1977).
- Ενότητα Άσπρης Βρύσης-Χορτιάτη, η οποία συνίσταται κατά το πλείστον από ανθρακικά πετρώματα, τα οποία σε αρκετές περιπτώσεις εναλλάσσονται με μαύρους αργίλλους, ασβεστοφυλλίτες, κερατολίθους και ρυολιθικής προέλευσης θραύσματα (Kouyou, 1991).



Σχήμα 4-19. Στρωματογραφικές στήλες των τριών ενότητων στις οποίες διαίρεται η Περιοδοπική ζώνη.

4.4.3 Γεωλογία λεκάνης απορροής υδατορεύματος Μπογδάνου

Ο κυρίαρχοι lithολογικοί τύποι από τους οποίους συνίσταται το μεγαλύτερο τμήμα της λεκάνης απορροής του υδατορεύματος Μπογδάνου, αντιπροσωπεύονται κατά κύριο λόγο από τα κρυσταλλοσχιτώδη πετρώματα της Σερβομακεδονικής μάζας (Ενότητα Βερτίσκου) και κατά δεύτερο λόγο από τους ιζηματογενείς μεταλλικούς σχηματισμούς ποταμοχειμάρρειας κυρίως προέλευσης Νεογενούς και Τεταρτογενούς ηλικίας στο νότιο τμήμα της λεκάνης (Σχήμα 4-21). Τα κρυσταλλοσχιτώδη πετρώματα διακρίνονται κυρίως σε διμαρμαρυγικούς γνευσίους και αμφιβολίτες, μέσα στα οποία διεισδύουν πυριγενείς αποφύσεις του πλουτωνίτη του Πολυδενδρίου. Οι ιζηματογενείς σχηματισμοί περιορίζονται κυρίως στα κατάντη της λεκάνης, στη θέση εξόδου του κεντρικού κλάδου του ρεύματος Μπογδάνου, προς τη λίμνη Κορώνεια. Καλύπτουν όμως και τμήματα του Βόρειου ως Βορειο-Ανατολικού τμήματος της λεκάνης κατά μήκος στενών επιμήκων τεκτονικών βυθισμάτων, εντός των οποίων διαμορφώνονται οι κεντρικοί κλάδοι του υδρογραφικού δικτύου. Οι αποθέσεις εμφανίζονται ασύμφωνα τοποθετημένες πάνω στα κρυσταλλοσχιτώδη πετρώματα, τα δε όρια τους διασαφηνίζονται κατά μήκος από ρηξιγενών ζωνών (Σχήμα 4-21). Πιο αναλυτικά τα πετρώματα της λεκάνης απορροής του ρεύματος Μπογδάνου, διαχωρίζονται στους παρακάτω τύπους ενώ η επιφανειακή τους κατανομή στη λεκάνη απορροής διακρίνεται στο (Σχήμα 4-20).

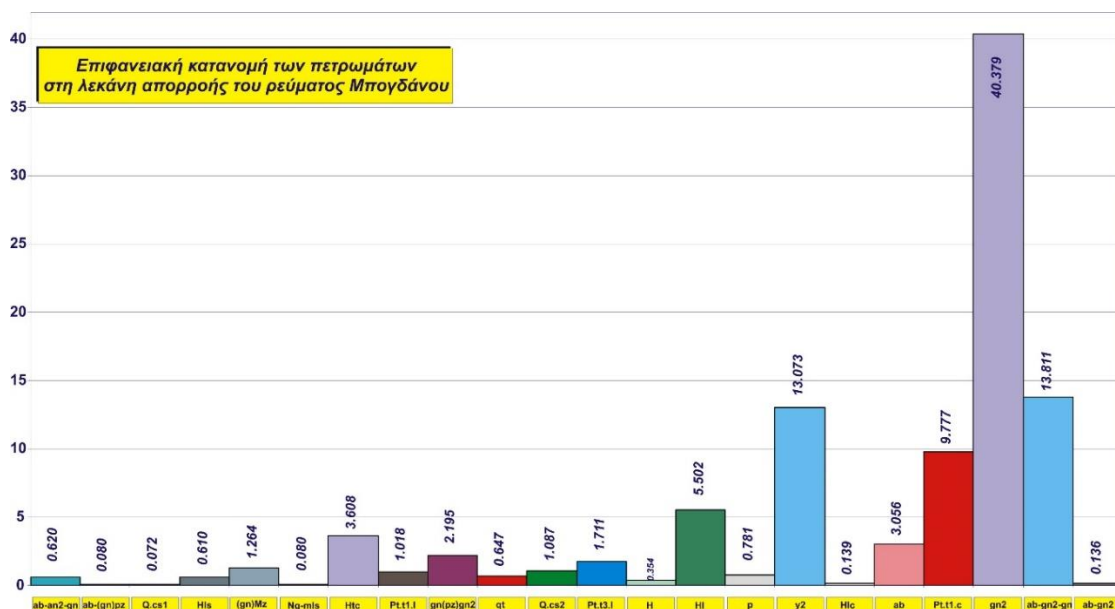
4.4.3.1 Το μεταμορφωμένο κρυσταλλικό υπόβαθρο

4.4.3.1.1 Γνευσιακά πετρώματα

Με το λιθολογικό όρο «γνευσιακά πετρώματα» χαρακτηρίζουμε χαλαζιοαστριούχα και σχιστολιθικά πετρώματα με σαφή και διαμορφωμένη σχιστότητα και παρόμοια ή παραπλήσια μεταμορφική συγγένεια. Με βάση τα μικροσκοπικά τους δομικά και λιθολογικά χαρακτηριστικά διακρίνονται σε τέσσερις λιθολογικούς τύπους. Η ανεξάρτητη χαρτογράφηση τους αρκετές φορές δεν είναι εφικτή λόγω της άμεσης γενετικής τους συγγένειας. Οι λιθολογικοί αυτοί τύποι είναι μιγματίτες, μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι και μεταναμμίτες.

4.4.3.2 Πυριγενή πετρώματα (γρανιτικές αποφύσεις πλουτωνίτη Πολυδενδρίου)

Με το λιθολογικό όρο «γρανίτης του Πολυδενδρίου» η (Κουρου, 1991) ομαδοποιεί τα διάφορα μικρά ή μεγάλα σε μέγεθος γρανιτικά σώματα που συναντώνται στην περιοχή μελέτης και που φαίνεται ότι σχετίζονται γενετικά με το «γρανίτη της Αρναίας» ή με την πιθανή προς βορρά συνέχεια του (Σχήμα 4-21). Τα προαναφερθέντα αυτά γρανιτικά σώματα βρίσκονται στην περιοχή Λοφίσκου, Πολυδενδρίου, Μαυροράχης, Αρετής καθώς και στην περιοχή Προφήτη-Μικροκώμης (γρανίτης Ασκού). Οι γρανιτικές αυτές διεισδύσεις εμφανίζονται με ένα πάχος που κυμαίνεται από 5m ως μερικές δεκάδες ή και εκατοντάδες μέτρα, όπως στην περιοχή του Πολυδενδρίου. Πρόκειται για λευκοκρατικό, μεσόκοκκο πέτρωμα με έντονη φύλλωση.



Σχήμα 4-20. Ιστόγραμμα επιφανειακής κατανομής των πετρωμάτων στη λεκάνη απορροής του ρεύματος Μπογδάνου.

4.4.3.3 Στρωματογραφία του Νεογενούς-Τεταρτογενούς

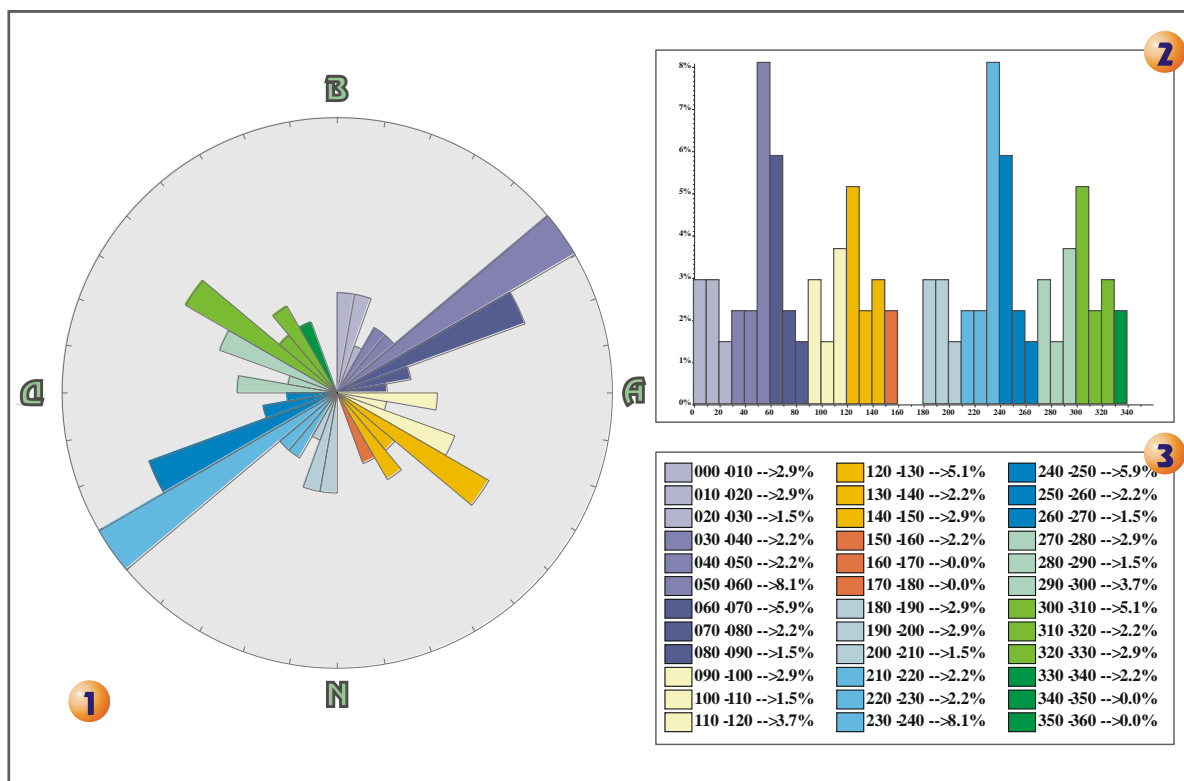
Ασύμφωνα πάνω στο κρυσταλλοσχιτώδες αλπικό-προαλπικό υπόβαθρο, του τεκτονικού βυθίσματος της Μυγδονίας, τοποθετούνται οι Νεογενείς και Τεταρτογενείς αποθέσεις, κυρίως χερσαίας και

ποταμοχειμάρρειας προέλευσης. Οι σχηματισμοί αυτοί, εντοπίζονται με σημαντική εξάπλωση στο νότιο τμήμα της λεκάνης (Σχήμα 4-21) του ρεύματος Μπογδάνου, και προς την έξοδο της στη λίμνη Κορώνεια.

4.4.4 Τεκτονική λεκάνης απορροής

4.4.4.1 Ρηξιγενής Τεκτονική

Η ευρύτερη περιοχή της λεκάνης απορροής του ρεύματος Μπογδάνου τοποθετείται γεωτεκτονικά στο χώρο της Σερβομακεδονικής μάζας. Στο γεωτεκτονικό αυτό χώρο έχουν δημιουργηθεί κατά το νεοτεκτονικό στάδιο (Νεογενές – Τεταρτογενές) μεγάλα τεκτονικά βυθίσματα και λεκάνες (Μυγδονία, Ζαγκλιβεριού, Μαραθούσας, Ανθεμιούντα και Στρυμόνα). Τα βυθίσματα αυτά δημιουργήθηκαν από τη δράση ενός συνεχούς εντατικού πεδίου εφελκυστικών τάσεων από το Μειόκαινο ως σήμερα. Το τασικό αυτό πεδίο είχε σαν αποτέλεσμα το σχηματισμό κατά κανόνα κανονικής συνιστώσας ρηγμάτων με μικρή κατά το πλείστον συνιστώσα οριζόντιας μετατόπισης. Στην άμεση περιοχή της λεκάνης του Μπογδάνου, οι ρηξιγενείς αυτές ζώνες έχουν διεύθυνση Α-Δ μέχρι ΑΒΑ-ΔΝΔ και ΒΔ-ΝΑ (Σχήμα 4-

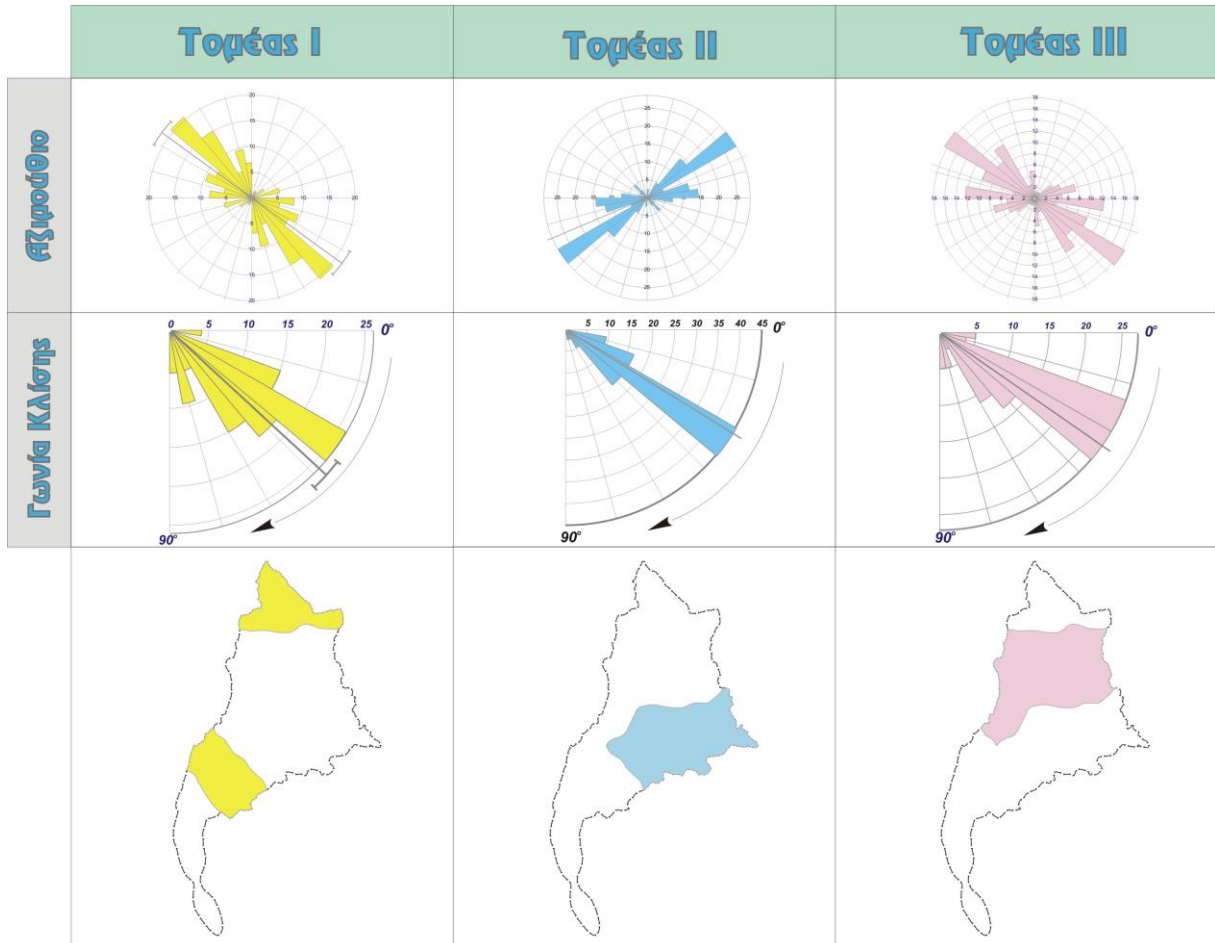


Σχήμα 4-22. Ροδοδιάγραμμα, Ιστόγραμμα κατανομής και στατιστική αξιολόγηση των ρηξιγενών δομών που κυριαρχούν στη λεκάνη απορροής του ρεύματος Μπογδάνου.

22). Οι περισσότερες από αυτές τις δομές λειτούργησαν από το Μειόκαινο, ενώ ορισμένες εξακολουθούν να βρίσκονται αποδεδειγμένα σε ζώσα γεωδυναμική κατάσταση, προκαλώντας μικρούς και μεγάλους σεισμούς (Pavlidis et al., 1988). Η ιδιαίτερη νεοτεκτονική συμπεριφορά της περιοχής αυτής, την κατατάσσει στην περισσότερο ενεργή ζώνη του βόρειου Ελλαδικού χώρου.

4.4.5 Συμπεράσματα

Από τη παραπάνω διερεύνηση προέκυψε ότι η λεκάνη απορροής του ρεύματος Μπογδάνου, δύναται να διακριθεί με βάση γεωλογικά κριτήρια, σε τρεις επιμέρους τομείς, «Τομέας Ι», «Τομέας ΙΙ» και «Τομέας ΙΙΙ».



Σχήμα 4-23. Τομείς διάκρισης λεκάνης απορροής βάσει μακροσκοπικών γεωλογικών κριτηρίων

- Ο Τομέας Ι εντοπίζεται στην Ν-ΝΔ πλευρά της λεκάνης απορροής του ρεύματος. Αποτελεί την περιοχή μέσω της οποίας η κύρια μισγάγγεια του υδατορεύματος Μπογδάνου, εκτελεί τους τελευταίους μαιανδρισμούς σε μία ΝΔ κατεύθυνση πριν δρομολογηθεί η εκφόρτισή του μέσω της εξόδου της λεκάνης, προς τη λίμνη Κορώνεια. Λιθολογικά το πεδίο αυτό συνίσταται σχεδόν εξ'ολοκλήρου από τον διμαρμαρυγικό γνεύσιο της ενότητας Βερτίσκου και από τον γρανοδιορίτη του «Πολυδενδρίου». Χαρακτηρίζεται από μια κυρίαρχη φύλλωση η οποία αναπτύσσεται με μια σαφή τοποθέτηση ΒΔ-ΝΑ, η δε γωνία κλίσης κυμαίνεται από 30° - 45° . Στο πεδίο αυτό διακρίνεται η έντονη παρουσία μεγάλων ρηξιγενών τεκτονικών δομών, όπως είναι (Σχήμα 4-21, 4-22, 4-23), το ρήγμα του Σωχού, το ρήγμα της Ασσήρου. Η παρουσία αυτών των τεκτονικών δομών σε συνάρτηση με την ευδιάκριτη διεύθυνση κλίσης των δομών

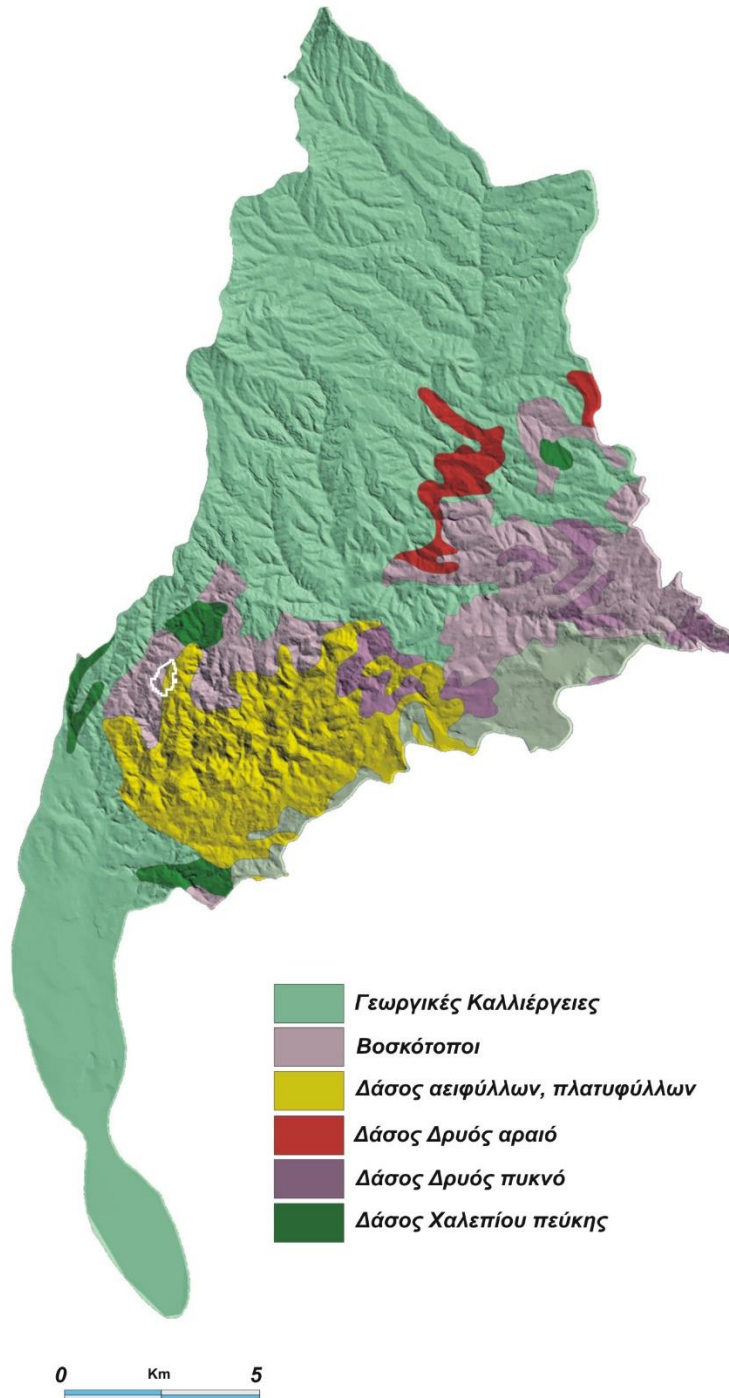
της πλαστικής τεκτονικής (φυλλώσεις, σχιστότητες) κατατάσει το πεδίο αυτό σε θέση υψηλής τρωτότητας από άποψη κινδύνου.

- Ο Τομέας II εντοπίζεται στην ανατολική πλευρά της λεκάνης απορροής. Χαρακτηρίζεται όπως είδαμε στο κεφάλαιο της γεωμορφολογίας από μια σημαντική επιφάνεια επιπέδωσης η οποία συνιστά επίπεδο τμήμα ή με μικρή κλίση της επιφάνειας του αναγλύφου. Τμήματα τα οποία σχηματίστηκαν κατά τη διάρκεια της απογύμνωσης με ευνοϊκές κλιματικές και τεκτονικές συνθήκες. Στη συνέχεια όμως με τη δράση ισοστατικών κινήσεων ανυψώθηκαν στο χώρο των ορεινών όγκων. Η παρουσία της φύλλωσης στο πεδίο αυτό αλλάζει ριζικά από την άποψη της γεωμετρικής τοποθέτησης, σε σχέση με σχέση με το γειτονικό πεδίο «Α». Η κυρίαρχη φύλλωση αναπτύσσεται με μια σαφή τοποθέτηση BA-NΔ, η δε γωνία κλίσης κυμαίνεται από 30° - 35° . Η αλλαγή αυτή δεν φαίνεται να οφείλεται σε φαινόμενα πτυχωσιγενούς τεκτονικής αλλά στη δράση των ρηγμάτων τα οποία εντοπίζονται στο νότιο τμήμα της λεκάνης και φαίνεται να έχουν περιστρέψει τα τεμάχια. Οι μορφοτεκτονικές παρατηρήσεις κατατάσσουν το πεδίο σε θέση ενδιάμεσης τρωτότητας από άποψη κινδύνου.
- Ο Τομέας III εμφανίζεται στις βόρειες παρυφές της λεκάνης απορροής του ρεύματος Μπογδάνου. Λιθολογικά η περιοχή χαρακτηρίζεται από την παρουσία γνευσιακών και αμφιβολιτικών πετρωμάτων χωρίς τη έντονη παρουσία ρηξιγενών δομών (Σχήμα 4-23). Η παράταξη της κυρίαρχης φύλλωσης κυμαίνεται από 135° - 150° , η δε γωνία κλίσης από 30° - 45° . Αξιοσημείωτη είναι η παρουσία μιας συγκλινικής δομής, με παράταξη άξονα αντικλίνου περίπου Α-Δ. Οι ανωτέρω παρατηρήσεις κατατάσσουν το πεδίο σε θέση χαμηλής τρωτότητας από άποψη κινδύνου.

4.5 Φυτοκάλυψη-Χρήσεις γης

4.5.1 Εισαγωγή

Η φυτοκάλυψη μιας λεκάνης απορροής αποτελεί έναν άμεσα ρυθμιστικό παράγοντα του υδρολογικού



Σχήμα 4-24. Χάρτης φυτοκάλυψης λεκάνης απορροής ρεύματος Μπογδάνου.

ισοζυγίου της, ενώ παράλληλα παρέχει προστασία απέναντι στις διαδικασίες διάβρωσης και αποσάθρωσης. Η ποσοτική αξιολόγηση της φυτοκάλυψης μπορεί να δώσει σημαντικά στοιχεία για τον καλύτερο σχεδιασμό των τεχνικών έργων. Στην παρούσα αποτίμηση η μελέτη της φυτοκάλυψης, η γεωγραφική κατανομή της, η επίδραση που ασκεί κάθε φυτικό είδος στην αντιδιαβρωτική προστασία της λεκάνης παρουσιάζεται με μορφή χωρικής πληροφορίας. Η διαδικασία αυτή μας επιτρέπει τη διάκριση σε τομείς στους οποίους είναι εφικτή η εκτίμηση της παραγωγής στερεοπαροχών και ο γεωγραφικός καθορισμός των δυνητικών εστιών διάβρωσης. Για την αξιολόγηση της φυτοκάλυψης της λεκάνης απορροής του ρεύματος Μπογδάνου, λήφθηκε πληροφορία από δασικούς χάρτες της Α' Διεύθυνση Δασών του Υπουργείου Γεωργίας.

4.5.2 Κατανομή της φυτοκάλυψης στη λεκάνη του ρεύματος Μπογδάνου

Στο μεγαλύτερο ποσοστό της έκτασης της, η λεκάνη απορροής του ρεύματος Μπογδάνου καλύπτεται από γεωργικές καλλιέργειες (Σχήμα 4-24). Οι γεωργικές καλλιέργειες κυριαρχούν στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης του υδατορεύματος Μπογδάνου, με κύρια εμφάνιση τόσο στο βόρειο τμήμα (τμήμα άνω ρου), όσο και στο νότιο τμήμα (κάτω ρου) προς την έξοδο του ρεύματος στη λίμνη Κορώνεια (Σχήμα 4-24). Αποτελούν το 67,675% της συνολικής έκτασης της λεκάνης απορροής (Σχήμα 4-25) με εμβαδό 150,069Km². Οι γεωργικές καλλιέργειες, παρέχουν τη μικρότερη προστατευτική επίδραση σε σύγκριση με τα άλλα είδη βλάστησης στη λεκάνη απορροής.

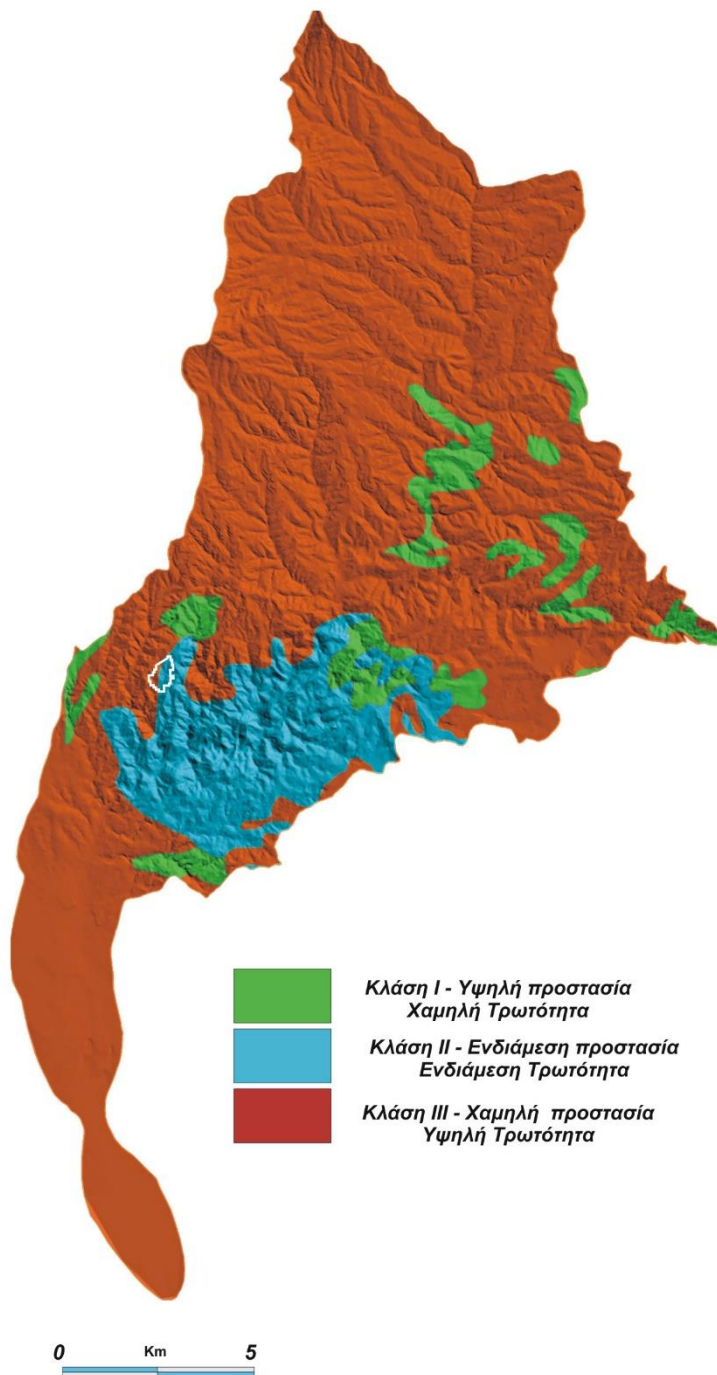
Είδος φυτοκάλυψης	Εμβαδόν (Km²)	%
Δάσος αειφύλλων πλατυφύλλων	27.7847	12.530
Δάσος Δρυός αραιό	4.69792	2.119
Δάσος Χαλεπίου Πεύκης	4.26102	1.922
Βοσκότοποι	27.4311	12.370
Δάσος Δρυός πυκνό	7.50655	3.385
Γεωργικές καλλιέργειες	150.069	67.675
Σύνολο	221.75029	100.000



Σχήμα 4-25. Ιστόγραμμα και πίνακας κατανομής εμβαδών των ειδών της φυτοκάλυψης.

Ένα σημαντικό τμήμα της λεκάνης απορροής του ρεύματος Μπογδάνου καλύπτεται από βοσκότοπους και άγονες εκτάσεις. Οι εκτάσεις αυτές, από πλευράς αξιολόγησης φυτικού είδους αποτελούν την πλέον υποβαθμισμένη μορφή βλάστησης. Εντοπίζονται κυρίως στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης απορροής και τοποθετούνται κατά μήκος ενός νοητού άξονα με γενική διεύθυνση Α-Δ. Η παρουσία τους εντοπίζεται κατά το πλείστον, στο γνευσιακό πεδίο από πλευράς γεωλογικής αξιολόγησης. Οι εκτάσεις αυτές αποτελούν το 12,370% της λεκάνης απορροής με εμβαδό 27,431 Km². Σε γενικές γραμμές τα

είδη μικρής συμβολής (βοσκότοποι, γεωργικές καλλιέργειες) καλύπτουν το 80% περίπου της συνολικής έκτασης της λεκάνης απορροής. Οι άγονες εκτάσεις και οι βοσκότοποι καλύπτονται μόνο εποχιακά από αραιή και ποώδη βλάστηση με αποτέλεσμα η προστατευτική δράση τους έναντι της διάβρωσης, να είναι μηδαμινή.



Σχήμα 4-26. Χάρτης κλάσεων φυτοκάλυψης, τρωτότητας απέναντι στη διάβρωση, της λεκάνης απορροής υδατορεύματος Μπογδάνου.

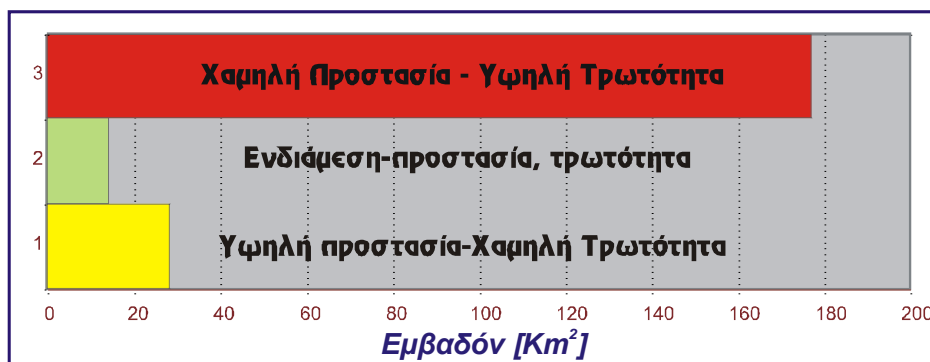
Τα δασικά είδη, καλύπτουν συνολικά το 8% της συνολικής έκτασης της λεκάνης απορροής. Συνίστανται δε κυρίως από δάση Δρυός (5,6%) με εμβαδό 12,1Km² περίπου και δάση Πεύκης (1,9%) με εμβαδό 4,26Km². Τα δασικά είδη προσφέρουν τη μέγιστη δυνατή προστασία από τη διάβρωση.

Οι θαμνώνες καλύπτουν το 12,5% της λεκάνης απορροής με εμβαδό 27,78 Km². Διακρίνονται κυρίως στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης σε ικανή έκταση, ενώ κάνουν την εμφάνισή τους με ικανή έκταση και στις παρόχθιες κοίτες με μεγάλο βαθμό συγκόμωσης. Κυρίαρχα είδη είναι τα πουρνάρια. Ασκούν δε στη λεκάνη προστατευτική δράση ανάλογη περίπου με τα δασικά είδη σε βαθμό που είναι ανάλογος της πυκνότητας των συστάδων τους. Από όλες τις μορφές βλάστησης, η δασική προσφέρει την μεγαλύτερη δυνατή προστασία έναντι των διαδικασιών της διάβρωσης.

4.5.3 Διάκριση της φυτοκάλυψης σε κλάσεις

Βασιζόμενοι στις παραπάνω διαπιστώσεις αναφορικά με τα είδη και την κατανομή της φυτοκάλυψης στη λεκάνη απορροής είμαστε σε θέση να διακρίνουμε τη λεκάνη σε κλάσεις (Σχήμα 4-27), οι οποίες να ανταποκρίνονται σε διαφορετική δυνατότητα προστασίας απέναντι σε διαδικασίες διάβρωσης και αποσάθρωσης.

Κλάσεις Φυτοκάλυψης	Εμβαδόν (Κm ²)	%
Χαμηλή Προστασία-Υψηλή τρωτότητα	177.5	80.45
Ενδιάμεση-προστασία, τρωτότητα	27.78	10.44
Υψηλή προστασία-Χαμηλή Τρωτότητα	16.46	6.91
Σύνολο	221.75	100.000



Σχήμα 4-27. Διάκριση φυτοκάλυψης σε κλάσεις.

ΚΛΑΣΗ 1: Η διάκριση σε κλάση 1, βασίζεται σε είδη βλάστησης τα οποία είναι σε θέση να προσφέρουν μέγιστη δυνατή προστασία απέναντι σε διαδικασίες διάβρωσης και αποσάθρωσης. Χαρακτηρίζονται από την παρουσία των δασικών ειδών Δρυός και Χαλεπίου Πεύκης. Χωρικά τοποθετούνται στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης απορροής, κατά μήκος ενός νοητού άξονα Α-Δ με τη μορφή συσσωματωμάτων. Το ποσοστό της περιοχής που δυνητικά παρέχει μέγιστη προστασία σε διαδικασίες αποικοδόμησης του αναγλύφου και χαρακτηρίζεται σαν κλάση 1, έχει εμβαδό 16,46Κm² και καλύπτει έκταση σε ποσοστό 6,91% της συνολικής έκτασης της λεκάνης απορροής. Η περιοχή με τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά χαρακτηρίζεται σαν περιοχή Υψηλής προστασίας-Χαμηλής τρωτότητας απέναντι στη διάβρωση.

ΚΛΑΣΗ 2: Η διάκριση σε κλάση 2 βασίζεται σε είδη βλάστησης τα οποία είναι σε θέση να προσφέρουν ενδιάμεση προστασία απέναντι σε διαδικασίες διάβρωσης και αποσάθρωσης σε σχέση με τα δασικά είδη και τους εγκαταλλημένους αγρούς. Χαρακτηρίζονται από την παρουσία δάσους αιφύλλων πλατυφύλλων. Χωρικά τοποθετούνται στο ΝΑ τμήμα της λεκάνης απορροής. Εμφανίζονται επιπροσθέτως κατά μήκος των κοιτών των υδατορευμάτων με βαθμό συγκόμωσης ο οποίος ποικίλλει μεταξύ 50-70%. Το ποσοστό της περιοχής που δυνητικά παρέχει ενδιάμεση προστασία σε διαδικασίες διάβρωσης του αναγλύφου και χαρακτηρίζεται σαν κλάση 2, έχει εμβαδό 27,78Κm² και καλύπτει

έκταση σε ποσοστό 10,44% της συνολικής έκτασης της λεκάνης απορροής. Η περιοχή η οποία διακρίνεται σαν κλάση 2 χαρακτηρίζεται σαν περιοχή Ενδιάμεσης προστασίας-Ενδιάμεσης τρωτότητας απέναντι στη διάβρωση.

ΚΛΑΣΗ 3: Η κλάση 3 αποτελεί την πλέον υποβαθμισμένη από άποψη φυτοκάλυψης περιοχή της λεκάνης απορροής. Η διάκρισή της βασίζεται σε είδη βλάστησης τα οποία είναι σε θέση να προσφέρουν τη μικρότερη προστασία απέναντι σε διαδικασίες διάβρωσης και αποσάθρωσης. Χαρακτηρίζεται από την παρουσία εγκατελλημένων αγρών, βοσκοτόπων. Χωρικά αποτελούν την κυρίαρχη δομική μονάδα φυτοκάλυψης από την οποία συνίσταται η λεκάνη απορροής. Επικρατούν τόσο στο τμήμα του άνω ρου, όσο και στο τμήμα του κάτω. Το ποσοστό της περιοχής που δυνητικά παρέχει τη μικρότερη προστασία σε διαδικασίες αποικοδόμησης του αναγλύφου και χαρακτηρίζεται σαν κλάση 3, έχει εμβαδό 177,5Km² και καλύπτει έκταση σε ποσοστό 80,45% της συνολικής έκτασης της λεκάνης απορροής. Η περιοχή η οποία διακρίνεται σαν κλάση 3 χαρακτηρίζεται σαν περιοχή Χαμηλής προστασίας-Υψηλής τρωτότητας απέναντι στη διάβρωση.

4.6 Υδρολιθολογία λεκάνης Μπογδάνου

4.6.1 Εισαγωγή

Η συνολική επιφανειακή απορροή μιάς λεκάνης, που θα φτάνει στην έξοδο της, είναι άμεση συνάρτηση (Mason, 2000):

- του ύψους και της κατανομής των βροχοπτώσεων,
- του είδους των λιθολογικών τύπων,
- της μορφολογίας της λεκάνης
- της συμπεριφοράς της φυτοκάλυψης.

Οι παραπάνω παράμετροι ελέγχουν σε μεγάλο βαθμό το υδρολογικό ισοζύγιο και τις πλημμυρικές αιχμές της λεκάνης απορροής. Οι απορροές της λεκάνης και οι πλημμυρικές αιχμές της είναι δύο βασικά φαινόμενα απαραίτητα για τον ορθό σχεδιασμό ενός τεχνικού έργου. Οι μετρήσεις απορροής στη λεκάνη απορροής του ρεύματος Μπογδάνου είναι περιορισμένες και σποραδικές, γεγονός που τις καθιστά μη αξιοποιήσιμες για την ακριβή μελέτη της υδρολογικής συμπεριφοράς της λεκάνης. Εκ των πραγμάτων ο μόνος τρόπος για τη μελέτη της υδρολογικής συμπεριφοράς, είναι η εφαρμογή προσεγγιστικών λύσεων. Οι λύσεις αυτές εμπεριέχουν τον κίνδυνο σημαντικών σφαλμάτων εάν δεν ληφθούν υπόψη τα χαρακτηριστικά και τις ιδιαιτερότητες της λεκάνης απορροής.

Τα υδρολιθολογικά χαρακτηριστικά των λιθολογικών τύπων της λεκάνης απορροής δύναται να προσδιορισθούν τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά. Επιχειρείται επιπροσθέτως μέσα από τη προσέγγιση αυτή να σκιαγραφηθεί η συμπεριφορά τους, ως προς την κατείδυση, αποθήκευση και την απορροή

του υετού. Η αξιολόγηση αυτή, μας επιτρέπει τη επιμέρους διάκριση σε τομείς των υδρολιθολογικών ενοτήτων κατά τέτοιο τρόπο ώστε να είναι εφικτή η αξιολόγηση της συμπεριφοράς τους αναφορικά με τη χωροθέτηση του ΧΥΤΑ.

Τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα αμέσως μετά την πρόσπτωση τους, σε μια λεκάνη απορροής, έχουν τη δυνατότητα ή να κατεισδύσουν, η να ακολουθήσουν τη διέξοδο της επιφανειακής απορροής. Το ποσοστό των κατακρημνισμάτων το οποίο είναι σε θέση να ακολουθήσει κάθε μια από τις δύο οδούς, εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά και τη φύση των λιθολογικών τύπων της λεκάνης απορροής. Το ποσοστό των κατακρημνισμάτων το οποίο παρουσιάζει τάση να σχηματίσει απορροή εισέρχεται στο υδρογραφικό δίκτυο και φτάνει στον επιφανειακό ταμιευτήρα σε μικρό σχετικά χρονικό διάστημα. Αντιθέτως το τμήμα που κατεισδύει, συμπληρώνει τα αποθέματα των υπόγειων υδροφόρων και κινείται με μικρές ταχύτητες. Το υπόγειο νερό είτε προέρχεται από την άμεση κατείσδυση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, είτε από πλευρική διήθηση, αποθηκεύεται και κινείται μέσα στους σχηματισμούς της περιοχής υπακούοντας σε βασικούς κανόνες που εξαρτώνται από τη δομή των σχηματισμών. Γενικά η ικανότητα των σχηματισμών να αποθηκεύουν και να μεταβιβάζουν σημαντικές ποσότητες υπόγειου νερού εξαρτάται από τη υδρολιθολογική συμπεριφορά τους. Βασιζόμενοι στο σκεπτικό της διαφοροποιημένης υδρολιθολογικής συμπεριφοράς των λιθολογικών τύπων μιάς υδρολογικής λεκάνης, διακρίνουμε σε επιμέρους ενότητες, τους λιθολογικούς τύπους προσεγγίζοντας την συμπεριφορά τους τόσο ποιοτικά, όσο και παραμετρικά.

Για τη λεκάνη απορροής του υδατορεύματος Μπογδάνου η ποιοτική αξιολόγηση, έγκειται στη διάκριση δύο υδρολιθολογικών ενοτήτων:

- της Ενότητας Α των Πλευρικών Κορημάτων – Ριπιδίων,
- της Ενότητας Β των Πλειστοκαινικών Αποθέσεων
- της Ενότητας Γ των κρυσταλλοσχιστώδων πετρωμάτων.

4.6.2 Ποιοτική αξιολόγηση υδρολιθολογικών σχηματισμών

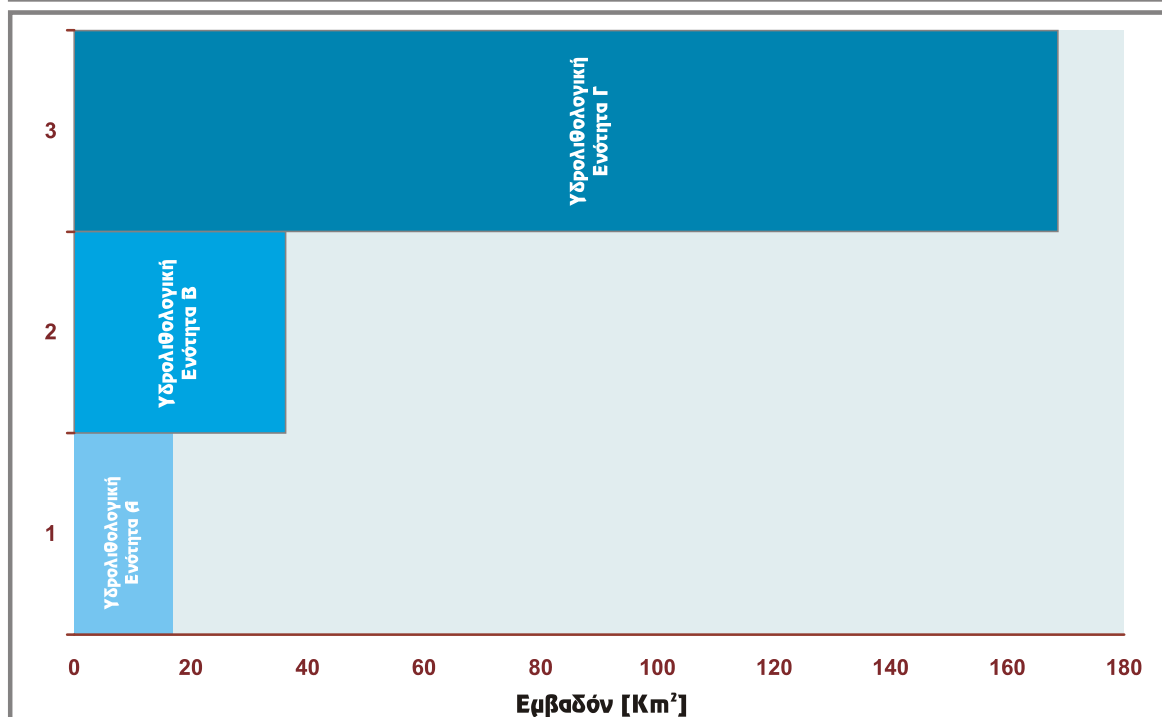
4.6.2.1 Υδρολιθολογική Ενότητα «Α», Πορώδεις Σχηματισμοί

Η υδρολιθολογική ενότητα Α, περιλαμβάνει τους πορώδεις σχηματισμούς της λεκάνης (Σχήμα 4-28) και συγκεκριμένα τα αλλουβιακά ριπίδια (Q.cs1), τις λιμναίες αποθέσεις του Ολοκαίνου και τις ποταμοχειμάρριες αποθέσεις του Πλειστοκαινού. Οι σχηματισμοί αυτοί αποτέθηκαν πάνω στο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο της λεκάνης και καλύπτουν το πεδινό και το λοφώδες τμήμα της, προς την έξοδο της στη λίμνη Κορώνεια (Σχήμα 4-21, 4-29). Η επιφανειακή εξάπλωση των σχηματισμών αυτών είναι αρκετά μεγάλη (78.06 Km²).

Το υδρογεωλογικό ενδιαφέρον τους θεωρείται σημαντικό λόγω της επιφανειακής εξάπλωσής τους, του σημαντικού πάχους και κυρίως γιατί έχουν μεγάλο συντελεστή κατείσδυσης και παρέχουν ευνοϊκές υδρολογικές συνθήκες για την ανάπτυξη υπόγειας υδροφορίας. Το υπόγειο νερό που φιλοξενούν είτε προέρχεται από την άμεση κατείσδυση των κατακρημνισμάτων ή από πλευρική διήθηση, αφού αποθηκευτεί μέσα στους σχηματισμούς της ενότητας Α, κινείται δε υπακούοντας σε ορισμένους βασικούς κανόνες υδραυλικής. Οι κανόνες αυτοί εξαρτώνται:

- Από τη δομή των σχηματισμών
- Από το ολικό και ενεργό πορώδες,
- την κοκκομετρική διαβάθμιση, ταξινόμηση και τη διαγένεση των υλικών.

Υδρολιθολογικές Ενότητες	Περιγραφή	Εμβαδόν (Κm ²)	%
Υδρολιθολογική Ενότητα Α	Πλευρικά Κορήματα-Ριπίδια	16.916	7.628
Υδρολιθολογική Ενότητα Β	Πλειστοκαινικές Αποθέσεις	36.2338	8.494
Υδρολιθολογική Ενότητα Γ	Κρυσταλλοσχιστώδη Πετρώματα	168.601	43.192
Σύνολο		221.7508	100.000

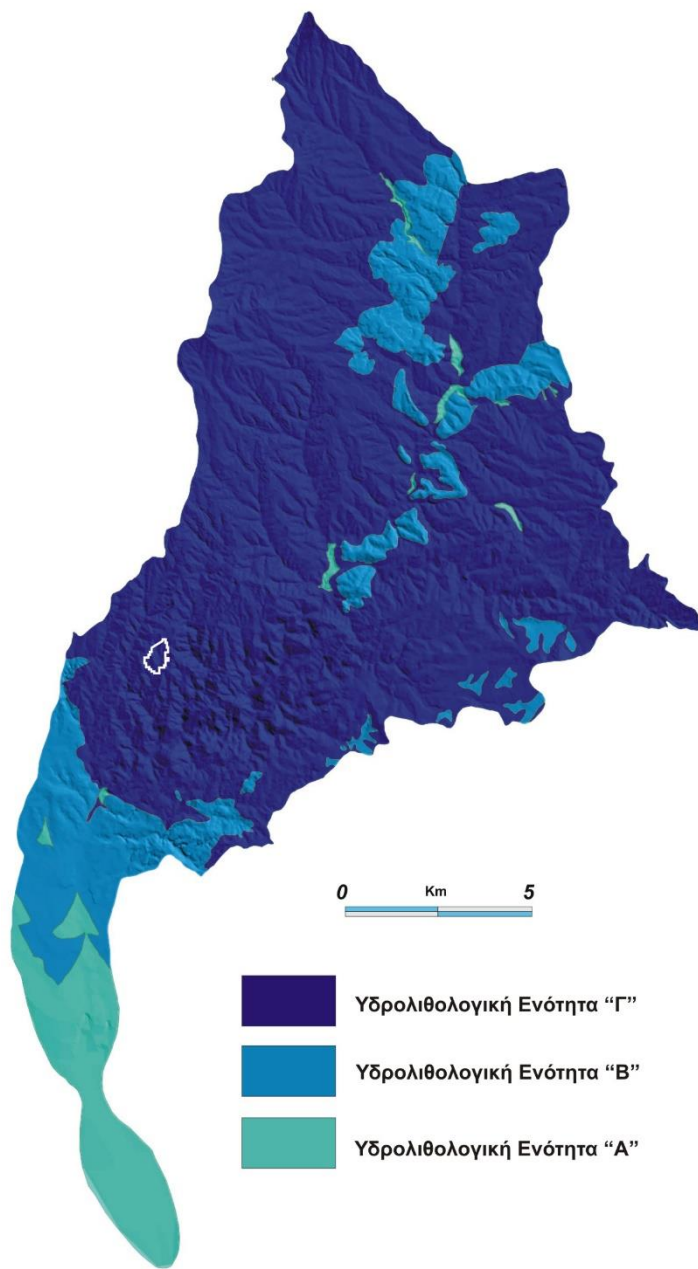


Σχήμα 4-28. Πίνακας και ραβδόγραμμα κατανομής των εμβαδών των υδρολιθολογικών ενότητων της λεκάνης απορροής.

Οι κοκκώδεις σχηματισμοί της λεκάνης παρουσιάζουν μια ποικίλη υδρολιθολογική συμπεριφορά, με βάση τις ιδιότητές τους. Πρόκειται για αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας οι οποίες κατά το πλείστον συνίστανται λιθολογικά από κροκάλες, λατύπες, και ριπιδιοπαγείς αποθέσεις στις εξόδους των ρευμάτων. Υλικά τα οποία έχουν προέλθει κατά κύριο λόγο από την διάβρωση και αποσάθρωση των κρυσταλλικών πετρωμάτων του υποβάθρου.

Τα πλευρικά κορήματα γεωγραφικά εντοπίζονται κυρίως στη ζώνη των πετροπροπόδων του ορεινού συγκροτήματος της λεκάνης, στην έξοδο της προς τη λίμνη Κορώνεια (Σχήμα 4-21). Η έκταση τους είναι μικρή (7,68%), με εμβαδό (16,916 Km²) σε σχέση με το συνολικό ποσοστό της λεκάνης απορροής (Σχήμα 4-28). Η κοκκομετρία τους ποικίλει από ογκόλιθους και τεμάχια μέχρι άργιλλο, με διαφορετικούς βαθμούς διαβάθμισης. Τα αδρομερέστερα υλικά βρίσκονται κοντά στους πρόποδες, συνήθως αναμεμιγμένα με πιο λεπτόκοκκα κλάσματα, ενώ η κοκκομετρική διαβάθμιση εξομαλύνεται στις χαμηλότερες περιοχές. Τα κορήματα έχουν φακοειδή μορφή, σε τομή εγκάρσια προς το ριπίδιο, και ινώδη μορφή (επιμήκη στρώματα μικρού πάχους), κατά τη διεύθυνση των υδρορευμάτων. Η κοκκομετρία είναι συνεχώς ελαττούμενη από τα ανάντη προς τα κατόντη, ενώ παράλληλα ελαττώνεται και το πάχος των περατών στρωμάτων με την ίδια φορά. Οι υδρολιθολογικές ιδιότητες των κορημάτων, εξαρτώνται από το λιθολογικό χαρακτήρα των μητρικών πετρωμάτων. Στα περατά στρώματα και στους φακούς των κορημάτων αναπτύσσονται αρκετοί υδροφόροι με ικανοποιητική σύνδεση μεταξύ τους. Η τροφοδοσία των υδροφόρων αυτών γίνεται κυρίως με τη διήθηση του νερού των υδατορευμάτων που απορρέουν από το ορεινό τμήμα καθώς και από πλευρικές διηθήσεις από τους παρακείμενους γνευσίους. Το υπόγειο νερό σε αρκετές περιπτώσεις επανεμφανίζεται με τη μορφή πηγών γύρω από τους πόδες των ριπιδίων, ενώ συνήθως συνεχίζει την υπόγειη ροή του προς τα κατόντη και διηθείται στις αλλουβιακές αποθέσεις, προς τη λίμνη Κορώνεια.

4.6.2.2 Υδρολιθολογική Ενότητα «B», Πλειστοκαινικών αποθέσεων



Σχήμα 4-29. Υδρολιθολογικός χάρτης λεκάνης απορροής ρεύματος Μπογδάνου.

διάμετρο $< 2\mu\text{m}$. Χαρακτηρίζονται από ασήμαντο πρωτογενές πορώδες με σημαντικότερο δευτερογενές. Το πρωτογενές πορώδες οφείλεται στη κενά μεταξύ των μικροκόκκων που συνιστούν τα στρώματα και μειώνεται με το βάθος, ενώ το δευτερογενές πορώδες οφείλεται στη δημιουργία διόδων κυκλοφορίας του νερού είτε λόγω τεκτονισμού, είτε λόγω αποσάθρωσης. Γενικά τα αργιλλικά στρώματα είναι αδιαπέρατα και στεγανά και μόνο όταν παρουσιάζουν δευτερογενές πορώδες μπορούν να

Η υδρολιθολογική ενότητα B περιλαμβάνει στρωματομόρφες Πλειστοκαινικές αποθέσεις ψαμμιτών, αργίλων, άμμων και κροκαλοπαγών (Σχήμα 4-29). Τα ιζήματα των αποθέσεων αυτών καλύπτουν το λοφώδες τμήμα της λεκάνης τόσο στην νότια περιοχή της λεκάνης απορροής, στην έξοδο προς τη λίμνη Κορώνεια, όσο και στο τμήμα του άνω ρου κατά μήκος μιας νοητής τεκτονικής ζώνης σαν μέσο πλήρωσης του τεκτονικού βυθίσματος. Οι εναλλαγές των λιθολογικών τύπων που συνιστούν το σχηματισμό έχουν τα δικά τους υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά και με βάση αυτά μπορεί να εκτιμηθεί η συνολική υδρογεωλογική συμπεριφορά τους. Κυρίως επικρατούν οι άργιλλοι και οι ψαμμίτες και τα χαρακτηριστικά τους καθορίζουν στην πράξη την συνολική συμπεριφορά του σχηματισμού. Τα αργιλλικά στρώματα παρουσιάζονται με τη μορφή συνεκτικών ιζημάτων που προέρχονται από τη διαγένεση πηλινών και συνίστανται σε ποσοστό μεγαλύτερο του 50%, από κόκκους με μέση

φιλοξενήσουν μία κακή ως μέτρια υδροφορία. Τέλος η περατότητά τους είναι μικρότερη του 10^{-8} m/sec. Στην περιοχή του κάτω ρου τα αργιλικά στρώματα δεν είναι συμπαγή, έχουν μικρή συνοχή και σπανίως σε αυτά αναπτύσσεται πρωτογενές πορώδες.

Οι ψαμμίτες και τα κροκαλοπαγή εμφανίζονται υπό μορφή φακών και στρωμάτων σε διάφορα βάθη μέση στη Πλειστοκαινική ακολουθία, ενώ στην επιφάνεια εμφανίζονται μόνο κατά θέσεις. Λόγω του μικρού βαθμού διαγένεσης, της κοκκομετρικής διαβάθμισης και της κακής ταξινόμησης, τα στρώματα φακοί ψαμμιτών και κροκαλοπαγών έχουν ένα μεγάλο σχετικά πορώδες, το οποίο κυμαίνεται από 0,4% μέχρι 35%. Η περατότητά τους είναι επίσης σχετικά μεγάλη και κυμαίνεται γύρω στο 10^{-4} m/sec.

4.6.2.3 Υδρολιθολογική ενότητα «Γ» - Βραχώδη πετρώματα

Τα κρυσταλλοσχιτώδη πετρώματα αποτελούν το γεωλογικό υπόβαθρο της λεκάνης απορροής και περιλαμβάνουν γνευσίους, γνευσιακούς σχιστόλιθους, μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους, πρασινοσχιτόλιθους, αμφιβολίτες και γρανοδιορίτες (Σχήμα 4-21). Τα γνευσιακά και γρανιτικά πετρώματα παρουσιάζουν παρόμοια υδρολιθολογικά χαρακτηριστικά και αποτελούν το μεγαλύτερο τμήμα των βραχωδών πετρωμάτων. Τα σχιστολιθικά πετρώματα έχουν βέβαια διαφορετικά χαρακτηριστικά, αλλά έχουν συγκριτικά περιορισμένη έκταση. Για το λόγο αυτό οι λιθολογικοί τύποι που συνιστούν την ενότητα Γ εξετάζονται αδιαίρετοι (Σχήμα 4-29).

Τα πετρώματα της ενότητας Γ παρουσιάζουν ένα ασήμαντο πρωτογενές και ένα πολύ πιο σημαντικό δευτερογενές πορώδες. Το πρωτογενές πορώδες των υγιών (χωρίς αποσάθρωση) πετρωμάτων είναι συνήθως μικρότερο του 3%, Στη ζώνη αποσάθρωσης όμως, το πορώδες αυξάνει και δύναται να κυμαίνεται από 1% μέχρι 35%. Το πορώδες αυτό ελαττώνεται με το βάθος στις ζώνες όπου τα πετρογενετικά ορυκτά είναι ελάχιστα εξαλλοιωμένα. Εκτός της αποσάθρωσης, το δευτερογενές πορώδες των πετρωμάτων αυτών, οφείλεται και στην ύπαρξη προνομιακών ζωνών κίνησης του νερού, όπως οι ζώνες διάρρηξης και οι επιφάνειες ασυνέχειας. Έτσι η περατότητά τους, εκτός από την αποσάθρωση, καθορίζεται κυρίως από τον τύπο και τα χαρακτηριστικά των ασυνεχειών. Συνήθως τα πετρώματα αυτά παρουσιάζουν ισχυρή υδραυλική ανισοτροπία και υδραυλική ετερογένεια.

Στη λεκάνη απορροής του ρεύματος Μπογδάνου τα κρυσταλλικά πετρώματα εμφανίζονται με υψηλό βαθμό κατακερματισμού από ασυνέχειες, εξαιτίας της φύλλωσης και των διακλάσεων. Ο κατακερματισμός είναι εντονότερος κοντά και μέσα σε ρηξιγενείς ζώνες, με αποτέλεσμα τέτοιες ζώνες να παρουσιάζουν αξιόλογες υδρογεωλογικές συνθήκες. Είναι γνωστό ότι η περατότητα στη ρωγμώδη πετρώματα ελαττώνεται όσο αυξάνεται το βάθος, έτσι η αποθήκευση νερού περιορίζεται σε ένα μικρό σχετικά βάθος και σε θέσεις όπου οι ασυνέχειες δημιουργούν προνομιακές ζώνες κίνησης του υπόγειου νερού. Όταν οι ζώνες αυτές παρουσιάζουν υδραυλική σύνδεση μεταξύ τους και οι ασυνέχειες είναι

ικανοποιητικά υδραυλικά αγωγίμες, τότε δημιουργούνται δομές που επιτρέπουν τη διακίνηση και αποθήκευση αξιόλογων ποσοτήτων υπόγειου νερού.

Στα κρυσταλλικά πετρώματα αναπτύσσονται γενικά μικροί επικρεμάμενοι υδροφόροι όπου οι συνθήκες το επιτρέπουν. Κυρίως αναπτύσσονται σε ζώνες διάρρηξης και όπου ο μανδύας αποσάθρωσης έχει σημαντικό πάχος. Η τροφοδοσία των υδροφόρων αυτών γίνεται αποκλειστικά από την κατείδυση. Ο συντελεστής ενεργής κατείδυσης στα πετρώματα αυτά κυμαίνεται από 3-7% και εξαρτάται κυρίως από τις μορφολογικές κλίσεις του αναγλύφου, τη φυτοκάλυψη και τις κλιματικές συνθήκες. Η τιμή αυτή είναι σημαντικά μικρή ώστε να δημιουργεί προβληματικές συνθήκες τροφοδοσίας και εμπλουτισμού των υδροφορέων. Σε γενικές γραμμές τα πετρώματα αυτά παρουσιάζουν αρνητικές συνθήκες τροφοδοσίας τόσο από την άμεση κατείδυση όσο και από τις πλευρικές διηθήσεις μέσω γειτονικών πετρωμάτων. Η περατότητα τους είναι καθαρά δευτερογενής και κυμαίνεται γύρω στη 10^{-6} m/sec.

4.7 Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας όσα αναφέρθηκαν είμαστε σε θέση να εξάγουμε μια σειρά από συμπεράσματα και να προτείνουμε κατευθύνσεις, που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη για την εκτίμηση της υδρολιθολογικής συμπεριφοράς της λεκάνης του ρεύματος Μπογδάνου.

- Τα πετρώματα της λεκάνης από υδρολιθολογικής άποψης τα διακρίναμε σε 3 ενότητες. Η έκταση που καταλαμβάνουν και ο συντελεστής κατείδυσης που τις χαρακτηρίζει φαίνεται στο Σχήμα (4-28) και στον Πίνακα (4-3), ενώ στο Σχήμα (4-29) δίνεται η γεωγραφική τους κατανομή.
- Ο μέσος συντελεστής κατείδυσης στη λεκάνη κυμαίνεται στο 18% έως 20%. Η τιμή αυτή είναι δεν είναι σημαντική, ευνοεί την απορροή σε σχέση με την κατείδυση και οφείλεται κυρίως στα κρυσταλλοσχιτώδη πετρώματα.
- Το νερό που κατεισδύει και εμπλουτίζει του υδροφόρους ορίζοντες είναι ασήμαντο. Μεγάλη ποσότητα των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων απορρέει επιφανειακά και αποστραγγίζεται στην προς νότο έξοδο της λεκάνης προς τη λίμνη Κορώνεια.
- Ο υδροφορέας που εντοπίζεται στις Πλειστοκαινικές αποθέσεις, στην προς νότο προέκταση της λεκάνης τροφοδοτείται είτε κατά κύριο λόγο άμεσα από την κατείδυση, τροφοδοτώντας προς νότο τη λίμνη Κορώνεια.
- Στη λεκάνη σημαντικός αριθμός πηγών έχουν στερέψει τα τελευταία χρόνια. Αυτό οφείλεται στην εξάντληση των ρυθμιστικών καθώς και τμήματος των μόνιμων αποθεμάτων της λεκάνης,

Η στέρηση των πηγών και κατ' επέκταση των αναβλύσεων, έχει σαν αποτέλεσμα και τη μείωση των θερινών απορροών της λεκάνης.

Πίνακας 4-3. Έκταση υδρολιθολογικών σχηματισμών στη λεκάνη απορροής και εκτιμώμενος συντελεστής κατείσδυσης αυτών.

Υδρολιθολογικές Ενότητες	Έκταση Km ²	Συντ. Κατείσδυσης %
Περιγραφή		
ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ Ι		
Ενότητα Α – Πλευρικά Κορήματα, Ριτίδια	16,916	10 - 25
Ενότητα Β – Πλειστοκαινικές Αποθέσεις	36,2338	15 - 30
ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΙΙ		
Ενότητα Γ – Κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα	168,601	3 - 7

4.8 Κλιματολογία – Μετεωρολογία ευρύτερης περιοχής λεκάνης Μπογδάνου.

4.8.1 Εισαγωγή

Το μικροκλίμα της άμεσης περιοχής της λεκάνης του Μπογδάνου είναι σε θέση να διαδραματίσει πρωτεύοντα ρόλο τόσο στον τεχνικό σχεδιασμό όσο και στα χαρακτηριστικά κατασκευής και λειτουργίας του τεχνικού έργου.

Τα μετεωρολογικά δεδομένα, από τον υετό, την ένταση, την διεύθυνση των ανέμων ως την θερμοκρασία αποτελούν σημαντικές παραμέτρους οι οποίες πρέπει να αναλυθούν με στόχο την ορθολογικότερη και πληρέστερη τεχνική σχεδίαση του έργου.

Οι πλέον σημαντικές παράμετροι που διαδραματίζουν κυρίαρχο ρόλο στην κατασκευή και λειτουργία ενός ΧΥΤΑ είναι οι εξής (Κούγκολος, 2000):

- Επιφανειακή απορροή, κατείσδυση, εξατμισοδιαπνοή.
- Τεχνικός σχεδιασμός υποδομών του έργου, (Οχετοί παροχέτευσης όμβριων, Οχετοί αποστράγγισης των επιφανειών των κυττάρων).
- Παραγωγή στραγγιδίων (εναπομείνουσα ποσότητα υετού που κατεισδύει στον όγκο των απορριμμάτων).
- Βιοαποικοδόμηση (επικρατούσες συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας στη μάζα των κυττάρων).
- Προσπέλαση στον χώρο του ΧΥΤΑ (χιονόπτωση – παγετός στις οδούς προσπέλασης).
- Συνθήκες εργασίας (τυχόν αποτρεπτικές καιρικές συνθήκες για την εκτέλεση εργασιών στο ύπαιθρο).

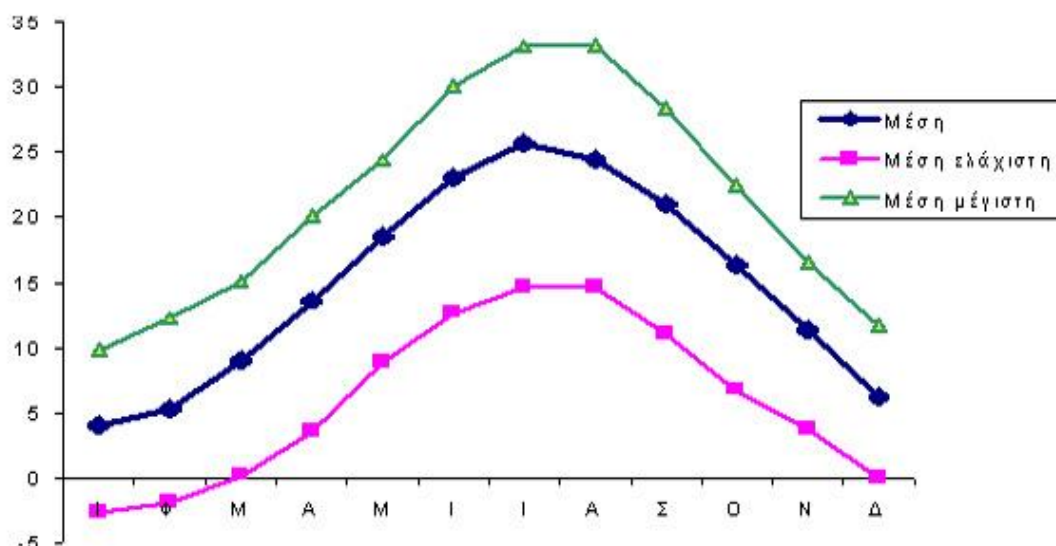
Η πληρέστερη μέθοδος για την ακριβή μέτρηση των ποσοτικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών του υετού στην άμεση περιοχή της λεκάνης, συνιστά η εγκατάσταση ενός πλήρους συστήματος καταμέτρησης είτε κατά την διάρκεια της μελέτης είτε κατά την διάρκεια της λειτουργίας ενός ΧΥΤΑ.

Στην παρούσα μελέτη διαπιστώθηκε για άλλη μιά φορά η δυσκολία στη συλλογή και η έλλειψη συστηματικής και αξιόπιστης καταγραφής καθώς και αξιολόγησης μετρήσεων υδρολογικών, μετεωρολογικών, υδρογεωλογικών και ποιοτικών παραμέτρων. Η έλλειψη ορθολογικά οργανωμένου δικτύου συλλογής υδρολογικής πληροφορίας καθιστά ατελή την γνώση των υφιστάμενων δεδομένων και κατ'επέκταση δημιουργεί σημαντικά προβλήματα στην εκτίμηση των παραμέτρων τόσο του υδρολογικού ισοζυγίου όσο και των μετεωρολογικών παραμέτρων. Ασαφή και ελλειματικά δεδομένα αρμόδιων κρατικών υπηρεσιών (Διεύθυνση Γεωργίας - Νομαρχίας Θεσσαλονίκης) αναφορικά με τους μετεωρολογικούς σταθμούς. Η παραπάνω κατάσταση δημιουργεί δυσκολίες πραγματοποίησης μακροχρόνιων προβλέψεων υδρολογικών παραμέτρων και μεγεθών, με αποτέλεσμα την έλλειψη ορθολογικού σχεδιασμού και την ανυπαρξία αντιμετώπισης προβλημάτων αναφορικά με την διαχείριση των υδατικών πόρων.

Στην άμεση περιοχή της λεκάνης λειτούργησαν για μεγάλο χρονικό διάστημα με διαθέσιμα στοιχεία, οι μετεωρολογικοί σταθμοί Λαγκαδά και Λαχανά. Ο πλησιέστερος γεωγραφικά στην περιοχή, μετεωρολογικός σταθμός είναι ο σταθμός του Λαγκαδά. Οι κλιματολογικές συνθήκες σύμφωνα με τα στοιχεία του σταθμού Λαγκαδά παρουσιάζονται στον Πίνακα (4-4) και στα Σχήματα (4-32) και (4-33).

4.9 Θερμοκρασία

Ο νομός Θεσσαλονίκης από άποψη μακροκλιματική εμφανίζει θερινούς μήνες με σταθερές θερμοκρασιακές συνθήκες και χειμώνες με πολύ μεταβλητές (Μπαλαφούτης, 1977). Το ημερήσιο περιοδικό εύρος της θερμοκρασίας αυξάνεται τους χειμερινούς μήνες κατά $4^{\circ} - 5^{\circ} \text{C}$, και το καλοκαίρι κατά $9^{\circ} - 10^{\circ} \text{C}$. Η μέση ετήσια θερμοκρασία του αέρα στην ευρύτερη περιοχή του Λαγκαδά (Σχήμα 4-30) είναι $14,88^{\circ}\text{C}$. Η μέση ελάχιστη θερμοκρασία εμφανίζεται τον μήνα Ιανουάριο και είναι της τάξης των $4,0^{\circ}\text{C}$, ενώ η μέση μέγιστη εμφανίζεται τον μήνα Ιούλιο και φθάνει τους $25,7^{\circ}\text{C}$.



Σχήμα 4-30. Μέση διακύμανση θερμοκρασίας Μ.Σ. Λαγκαδά

Κατά τη διάρκεια του υγρού υδρολογικού εξαμήνου, μέχρι το Μάρτιο, επικρατούν χαμηλές θερμοκρασίες, με ψυχρότερο μήνα τον Ιανουάριο (Σχήμα 4-30), και συχνές βροχοπτώσεις που αρκετά συχνά μετατρέπονται κυρίως στα ορεινά τμήματα της λεκάνης, σε χιονοπτώσεις (Σχήμα 4-32). Με την έναρξη του θερινού υδρολογικού εξαμήνου και πιο συγκεκριμένα από τον Απρίλιο μέχρι το Ιούνιο επικρατούν θερμοκρασίες σε μέτρια επίπεδα και αρκετές βροχοπτώσεις, ενώ για την περίοδο από τον Ιούλιο ως και τον Σεπτέμβριο τα κυριότερα χαρακτηριστικά είναι οι αρκετά ψηλές θερμοκρασίες, η ανομβρία και η ξηρασία, με σποραδικές αλλά ραγδαίες βροχοπτώσεις. Το φθινόπωρο διαρκεί ημερολογιακά μέχρι το Νοέμβριο, οι θερμοκρασίες κυμαίνονται σε μέτρια επίπεδα και σχετικά μικρές καιρικές μεταβολές ενώ οι βροχές αρχίζουν τον Οκτώβριο χωρίς όμως μεγάλη διάρκεια.

Με βάση αυτά τα ανωτέρω στοιχεία το κλίμα της άμεσης περιοχής χωροθέτησης του προτεινόμενου έργου χαρακτηρίζεται, κατά Corpen, εύκρατο βροχερό με μέση θερμοκρασία του θερμότερου μήνα πάνω από 22⁰ C και του ψυχρότερου μεταξύ 18⁰ C και -38⁰ C (C.s.a) (Μαυρομάτης, 1980).

4.10 Βροχομετρικά

Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής είναι 456,93 mm για τον Σταθμό Λαγκαδά (Σχήμα 4-33) και 574,3 mm για το Σταθμό Λαχανά (Πίνακας 2.7). Οι λιγότερο βροχερός μήνας είναι ο Αύγουστος, ενώ ο Νοέμβριος είναι ο πιο βροχερός με μέση τιμή 56,94 mm (Σχήμα 4-32). Οι χιονοπτώσεις είναι συχνότερες τον μήνα Ιανουάριο και Φεβρουάριο ενώ οι χαλαζοπτώσεις τον Μάιο.

4.11 Ανεμολογικά

Ο άνεμος οριζόμενος ως η εκδήλωση της κίνησης των αερίων μαζών, αποτελεί από τα πιο βασικά κλιματολογικά στοιχεία μιας περιοχής και καθορίζεται ως βασικός παράγοντας του κλίματός της.

Οι συχνότητες του ανέμου και οι επικρατέστερες διευθύνσεις, παρουσιάζονται στο Σχήμα (4-34) για τον μετεωρολογικό σταθμό του Λαχανά. Οι άνεμοι που επικρατούν στην περιοχή είναι ΒΑ με συχνότητα 18,25%. Οι λιγότερο συχνά άνεμοι είναι με Ν διεύθυνση με συχνότητα 4,77% και οι Δ με συχνότητα 5,75. Το ποσοστό νηνεμίας φθάνει το 12,88%.

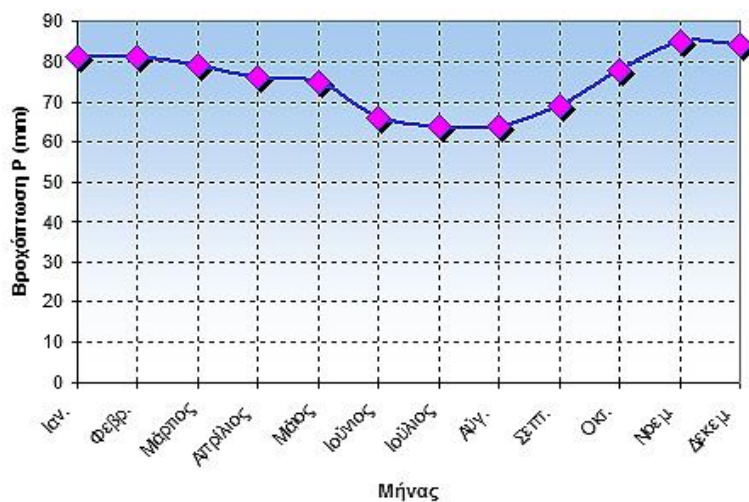
Για μεν την χειμερινή περίοδο η επικράτηση ανέμων βόρειας συνιστώσας είναι το αποτέλεσμα της μεσημβρινής διάταξης των ορεινών όγκων που οριοθετούν την πεδιάδα της Κεντρικής Μακεδονίας και επιτρέπουν την ροή των αερίων μαζών από την Βαλκανική προς το Αιγαίο Πέλαγος.

Την θερινή περίοδο στην Κεντρική Μακεδονία εκδηλώνονται άνεμοι Β-ΒΔ συνιστώσας. Η πνοή Νότιων ανέμων (θαλάσσια αύρα) είναι αρκετά συχνή. Ισχυροί και σφοδροί άνεμοι ≥ 6 Beaufort και θύελλες ≥ 8 Beaufort απουσιάζουν.

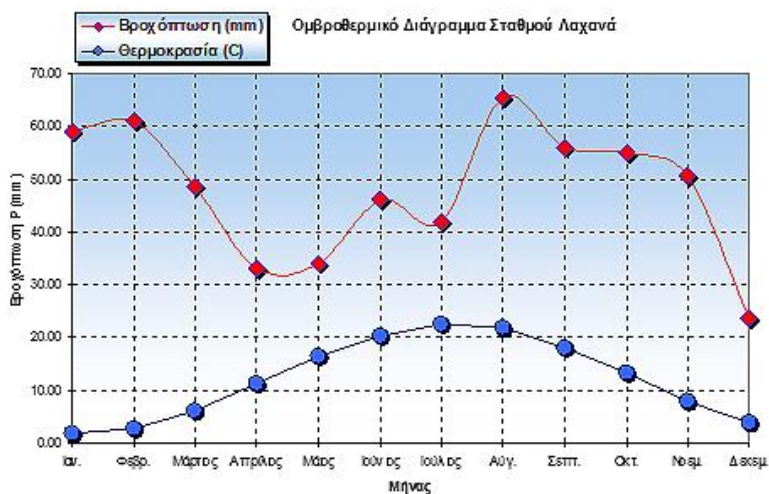
Πίνακας 4-4. Μέση μηνιαία θερμοκρασία του Μετεωρολογικού Σταθμού Λαχανά (Υπ. Γεωργίας 1961 – 1985), Υψόμετρο Σταθμού: 634m.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	Μέσο ετήσιο
1961	1,7	2,7	8,1	13,8	15,4	20,3	23,0	23,5	19,5	14,2	10,2	3,7	13,0
1962	3,4	1,1	5,9	11,3	18,7	19,9	23,7	26,0	19,9	13,2	10,1	1,5	12,9
1963	-0,6	3,6	4,4	10,4	15,9	20,6	24,1	25,0	20,3	12,7	10,4	4,0	12,6
1964	-0,8	1,8	5,6	11,7	14,8	21,0	22,0	22,1	17,3	14,2	8,3	5,1	11,9
1965													
1966							25,0	21,7	18,9	16,7	9,2	4,2	
1967				10,5	16,7	19,1	22,2	23,3	16,3	14,6	9,7	4,1	
1968				14,6	20,2	20,2	24,1	21,7	19,4	13,5	8,6	2,1	
1969	2,1	4,3	4,4	10,1	19,6	20,6	21,7	22,8	19,8	13,8	10,1	4,1	12,8
1970	3,1	4,5	6,7	13,6	14,1	20,6	23,4	24,4	17,0	13,0	10,0	4,3	12,9
1971	4,7	2,7	4,9	10,6	17,4	20,2	22,5	22,9	16,3	11,8	7,8	4,6	12,2
1972	1,3	3,1	7,3	12,2	16,1	21,9	21,6	21,4	15,4	9,4	8,0	2,5	11,7
1973	0,3	3,8	3,0	10,0	17,5	19,3	22,1	20,7	18,7	12,9	5,7	3,4	11,5
1974	1,2	4,4	5,0	8,4	14,6	19,5	23,2	22,6	19,3	14,9	8,1	4,0	12,1
1975	2,5	1,6	8,8	12,1	16,7	19,9	21,9	20,0	20,0	12,3	5,7	2,4	12,0
1976	3,3	1,2	4,3	10,8	15,1	18,2	20,6	18,4	16,9	14,0	8,0	2,8	11,1
1977	2,9	7,5	9,4	11,3	16,9	20,2	22,6	21,7	16,0	11,9	8,5	3,5	12,7
1978	0,3	3,8	7,5	9,2	14,9	20,4	23,4	20,9	15,7	11,4	6,1	4,3	11,5
1979	0,9	4,0	8,8	9,2	16,5	22,1	21,4	20,0	17,3	9,2	5,4	5,9	11,7
1980	-0,7	2,4	5,2	10,1	13,0	19,4	22,6	21,4	17,3	13,2	8,8	4,2	11,4
1981				12,0	15,3	23,0	21,0	20,8	18,0	15,6	4,8	4,6	
1982	1,1	0,3	4,2	9,2	16,0	21,4	21,2	21,1	20,3	13,5	6,5	3,9	11,6
1983	1,5	-0,2	6,6	13,7	16,8	17,9	21,9	20,7	18,1	11,8	4,3	3,9	11,4
1984	3,5	2,4	4,3	8,3	17,0	20,4	22,1	19,3	19,2	16,4	7,1	2,5	11,9
1985	2,0	-1,1	5,0	13,7	18,0	20,5	23,7	23,6	18,7	11,7	7,4	5,6	12,6
Μέση τιμή	1,7	2,7	6,0	11,2	16,4	20,3	22,5	21,9	18,1	13,2	7,8	3,8	

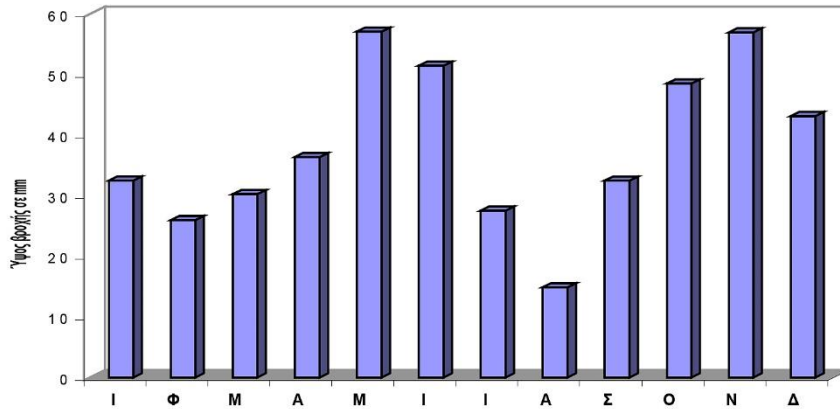
Μέσες Μηνιαίες Τιμές Σχετικής Υγρασίας Σταθμού Λαχανά



Σχήμα 4-31. Ομβροθερμικό διάγραμμα (Μ.Σ. Λαχανά)



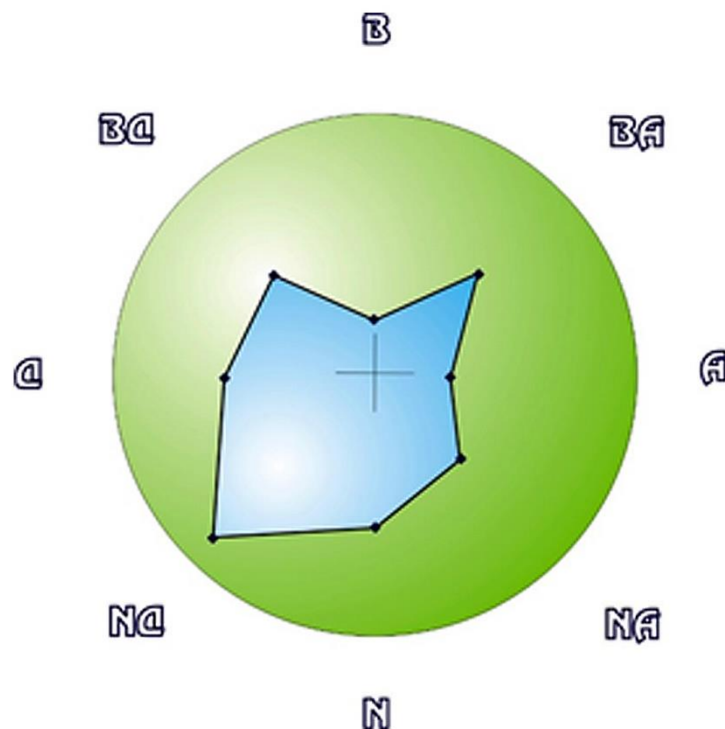
Σχήμα 4-32. Μέση Μηνιαία Σχετική % Υγρασία



	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	Μέσο ετήσιο
1961/62	0,0	64,4	31,9	7,6	15,5	69,3	15,0	20,1	74,3	30,9	38,8	16,1	383,9
1962/63	50,5	74,3	12,9	26,4	61,3	44,3	32,7	64,7	41,1	31,7	36,7	9,4	486,0
1963/64	39,4	28,0	59,9	8,5	7,6	40,6	20,4	79,3	28,9	34,7	17,2	48,4	412,9
1972/73	154,7	12,4	0,0	64,4	25,3	68,8	33,0	5,0	100,3	175,6	36,2	3,1	678,8
1973/74	51,1	26,7	83,3	71,9	40,5	57,2	57,2	55,9	63,8	1,5	29,2	13,1	551,4
1974/75	83,2	126,1	49,8	34,8	27,8	17,6	26,8	54,9	58,1	72,0	53,6	26,3	631,0
1975/76	44,0	45,3	22,3	24,5	26,3	42,0	18,5	87,7	109,7	74,5	60,2	4,0	559,0
1978/79	81,0	29,0	62,2	36,0	46,0	45,0	92,0	168,2	32,3	15,0	38,5	101,0	746,2
1979/80	122,5	104,3	70,6	48,3	5,0	51,8	77,4	94,4	18,0	51,0	81,0	41,6	765,9
1980/81	86,5	32,0	71,0	45,0	41,0	44,0	18,0	40,9	23,7	43,4	76,5	5,1	527,1
1981/82	36,5	98,0	72,0	18,0	43,5	69,0	104,0	34,0	6,0	62,0	45,0	16,0	604,0
1982/83	47,0	100,0	49,0	15,0	35,0	22,0	18,0	69,0	130,0	155,0	78,0	10,0	728,0
Μέση Τιμή	58,9	60,9	48,7	33,0	34,0	46,2	41,8	65,6	56,1	54,9	50,6	23,7	574,3

Σχήμα 4-33. Διάγραμμα μέσου ύψους νετού στον Μ.Σ. Λαγκαδά και πίνακας τιμών αυτών.

Beaufort	B	BA	A	NA	N	NΔ	Δ	ΒΔ	Άπνοια	ΣΥΝΟΛΟ
0	-	-	-	-	-	-	-	-	12,88	12,88
1	17,65	9,10	8,06	7,07	3,40	4,53	3,93	3,29	-	47,02
2	2,78	6,41	3,14	3,49	0,88	4,49	1,28	3,51	-	25,98
3	1,13	2,28	0,64	1,21	0,46	2,27	0,29	11,68	-	9,96
4	0,47	0,33	0,47	0,38	0,04	0,42	0,22	0,75	-	3,09
5	0,13	0,07	0,11	0,04	0,00	0,04	0,04	0,31	-	0,73
6	0,04	0,05	0,00	0,02	0,00	0,09	0,00	0,15	-	0,35
>7-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ΣΥΝΟΛΟ	12,2	18,25	12,42	12,2	4,77	11,84	5,75	9,68	12,88	100



Σχήμα 4-34. Ετήσια συχνότητα (%) κατεύθυνσης και έντασης ανέμου σε beaufort στο Μ.Σ. Λαχανά.

4.12 Συμπεράσματα

Από την ανάλυση των στοιχείων που προαναφέρθηκαν προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα αναφορικά με τις κλιματικές συνθήκες στη λεκάνη του Μπογδάνου:

- Η μέση βροχόπτωση στην περιοχή μελέτης είναι ~575mm. Ο μεγαλύτερος όγκος των βροχοπτώσεων πέφτει κατά τους μήνες Αύγουστο ως Δεκέμβρη, ενώ οι χαμηλότερες βροχοπτώσεις σημειώνονται κατά τους μήνες Μάρτιο ως Μάιο. Εξαιτίας του ότι, στους χρησιμοποιηθέντες μετεωρολογικούς σταθμούς δεν υπάρχουν όργανα μέτρησης για το πάχος

του χιονιού, καθίσταται δυσχερής, αν όχι αδύνατος, ο υπολογισμός του νερού που προέρχεται από την τήξη του.

- Οι ελάχιστες θερμοκρασίες καταγράφονται τον μήνα Ιανουάριο ($<4^{\circ}\text{C}$) και οι μέγιστες καταγράφονται τον μήνα Ιούλιο ($>23^{\circ}\text{C}$).
- Βάσει του Βιοκλιματικού χάρτη της Ελλάδας που κατασκευάστηκε από τον Μαυρομάτη, (2000) η περιοχή μελέτης ανήκει στην κατηγορία «Ξηρό-Θερμό Μεσογειακό» κλίμα.
- Ως προς τους βιοκλιματικούς ορόφους και υπο-ορόφους ο χειμώνας στην ευρύτερη περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται ως Ψυχρός και Υγρός.
- Κατά τους Bagnous-Gaussen η περίοδος ξηρασίας περιλαμβάνει τους μήνες Μάρτιο - Ιούλιο (~120 ημέρες), άρα το κλίμα χαρακτηρίζεται ως «Υπο-Μεσογειακό».
- Κατά Korpen χαρακτηρίζεται ως κλίμα του εσωτερικού της Μεσογείου, δηλαδή «Ήπιοι Χειμώνες με Ξηρά και Θερμά Καλοκαίρια (C.s.a)».

Κεφάλαιο Πέμπτο

5 Εισηγήσεις

5.1 Εφαρμογή Μεθοδολογίας - Εισαγωγή

Η διαχείριση γης συνιστά μια σημαντική και πολύπλοκη διαδικασία που απαιτεί υπεύθυνους λήψης αποφάσεων οι οποίοι να διαχειρίζονται και να αποτιμούν ταυτόχρονα διαφορετικές σταθμισμένες παραμέτρους σε πολυκριτηριακά συστήματα. Ένα ολοκληρωμένο στρατηγικό πλαίσιο διαχείρισης της γης υπαγορεύεται από πλαίσια, τα οποία πρέπει να παρέχουν κατευθυντήριες αρχές και να υπαγορεύουν συγκεκριμένες τεχνικές για την αποτίμηση της.

Η ανάλυση καταλληλότητας και η αναζήτηση χώρου αποδεκτού μέσω κριτηρίων αποσκοπεί να προσδιορίσει τους πλέον κατάλληλους χώρους για την εγκατάσταση ΧΥΤΑ, του Β.Δ Ν.Θ σύμφωνα με τις ειδικές τεχνικές απαιτήσεις και το επικρατών θεσμικό πλαίσιο. Στο κεφάλαιο αυτό εφαρμόζεται και παρουσιάζεται μια μεθοδολογία που συνδυάζει Raster GIS και Ανάλυση Πολλαπλών Κριτηρίων για Λήψη Απόφασης, (MCDA), προκειμένου να ευρεθούν και να αξιολογηθούν οι εναλλακτικές περιοχές για τη βιώσιμη διάθεση των αστικών στερεών απορριμμάτων του Ν.Θ. Η Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία (AHP) χρησιμοποιήθηκε ως τεχνική MCDA με στόχο να οργανωθούν τα κριτήρια που αποτιμώνται ιεραρχικά. Η προτεινόμενη μεθοδολογία έχει ως στόχο να αποτελέσει ένα αναπόσπαστο διοικητικό εργαλείο της ολοκληρωμένης διαχείρισης των αποβλήτων. Η εφαρμογή δε του εργαλείου αυτού έχει αναπτυχθεί σύμφωνα με τους στόχους της ΕΕ και του ελληνικού νομικού πλαισίου. Η μεθοδολογία ακολουθεί τα κάτωθι στάδια:

- Ψηφιοποίηση, Διανυσματοποίηση, αποτίμηση και δόμηση Γεωβάσης,
- Εφαρμογή μεθοδολογικού πλαισίου λογικής της ασάφειας
 - Ασαφοποίηση,
 - Δημιουργία κανόνων
 - Επεξεργασία κανόνων
 - Απασαφοποίηση
- Παρουσίαση των αποτελεσμάτων με χρήση Raster Gis.

5.2 Μεθοδολογικό πλαίσιο

Το μεθοδολογικό πλαίσιο το οποίο θα ακολουθηθεί υποστηρίζεται μέσω της ανάπτυξης ενός συστήματος υποστήριξης χωρικών αποφάσεων και μέσω της δόμησης μιας Γεωβάσης σε περιβάλλον Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS).

5.2.1 Δόμηση Γεωβάσης – Χωρικά Επίπεδα

Η Γεωβάση συνιστά μια σύνθετη μορφή λογισμικού η οποία σχεδιάζεται με στόχο να αποτιμά και εν τέλει να οργανώνει την αποθήκευση χωρικών και παραμετρικών δεδομένων με στόχο την πληρέστερη, ορθολογικότερη και ταχύτερη πρόσβαση σε αυτά με τρόπο αποδοτικό και άμεσο (Amirian, 2014). Στην περίπτωση της δόμησης της Γεωβάσης της υδρολογικής λεκάνης του Μπογδάνου κάθε χωρική μεταβλητή μεταφράστηκε σε αντίστοιχο θεματικό επίπεδο το οποίο περιλαμβάνει τη γεωμετρία αλλά και την παραμετρική πληροφορία. Τα θεματικά επίπεδα συνίστανται τόσο από γεωγραφικά δεδομένα σε διανυσματική δομή όσο και από γεωγραφικά δεδομένα καναβοποιημένης μορφής. Τα προαναφερθέντα δεδομένα τα οποία είναι διαθέσιμα σε διανυσματική δομή, έχουν δομηθεί σε μορφή shapefile (.shp) ενώ η κωδικοποίηση τους έλαβε χώρα σε πλατφόρμα Vector Gis, Η γεωαναφορά των δεδομένων έγινε στο προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ87 ενώ η μεθοδολογία πλαισιώθηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να επεξεργάζεται και δεδομένα Raster Gis. Σαν όριο της περιοχής μελέτης τέθηκε a priori ο επιφανειακός υδροκρίτης της λεκάνης απορροής του υδατορεύματος Μπογδάνου.

5.3 Επιλογή χωρικών δεδομένων - Κριτηρίων

Το πρώτο στάδιο της εφαρμογής της προτεινόμενης μεθοδολογίας πλαισιώνεται από τον καθορισμό της ιεραρχικής δομής του πολυκριτηριακού προβλήματος. Η ιεραρχική δομή ως μεθόδου διάρθρωσης των κριτηρίων – παραγόντων αποτελεί καίριο βήμα στην μεθοδολογική προσέγγιση βοηθώντας τα μέγιστα στην επίλυση του πολυκριτηριακού προβλήματος. Συνθέτοντας την ιεραρχική δομή του προβλήματος, ακολουθούμε τα τρία κυρίαρχα επίπεδα (Σχήμα 5-1) τα οποία παρουσιάζονται ως εναλλακτικές λύσεις, κριτήρια και τελικός στόχος (Borouhaki and Malczewski, 2010).

Στο πλαίσιο της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής, στόχος δεν ήταν εξαρχής η υιοθέτηση όλων των πιθανών κριτηρίων και υποκριτηρίων τα οποία ούτως ή άλλως εν μέρει αποτιμώνται από το νομικό και θεσμικό πλαίσιο, αλλά περισσότερο ήταν να εφαρμόσουμε την προτεινόμενη μεθοδολογία με στόχο να αποτιμήσουμε την υφιστάμενη θέση του ΧΥΤΑ ΒΔ Ν.Θ του οποίου η θέση χωροθέτησης είχε ληφθεί μέσω της απόρριψης δύο άλλων θέσεων χωροθέτησης σε εγγύτητα με αυτόν.

Τοιουτρόπως τα κριτήρια που λαμβάνονται στην έρευνα προκύπτουν κυρίως από την Ελληνική νομοθεσία, ενώ αυτά που δεικνύουν θέσεις ή περιοχές εξαίρεσης υπαγορεύονται τόσο θεσμικά όσο και από προσωπικές μονοδιάστατες εκτιμήσεις. Επιπλέον ακολουθείται η μέθοδος αποκλεισμού χωρικών ενοτήτων για ευαίσθητα οικοσυστήματα αλλά και η μέθοδος αξιολόγησης σε σχέση με τα εξεταζόμενα κριτήρια, ώστε να ακολουθείται ακριβέστερη ανάλυση και αξιοπιστία ως προς το επαγόμενο αποτέλεσμα.

Η επιλογή της ιεραρχικής δομής βασίστηκε στην αποτίμηση πέντε επιπέδων (Σχήμα 5-1). Αρχικά το πρώτο επίπεδο συνιστά τον τελικό στόχο της αναζήτησης του χώρου προς χωροθέτηση του ΧΥΤΑ.

Ακολουθούν σε δεύτερο επίπεδο τα κριτήρια απόφασης, τα οποία αποτιμώνται παράγοντες γεωλογικοί-γεωτεχνικοί, οικολογικοί, κοινωνικοί και οικονομικοί ενώ στο επίπεδο αυτό λαμβάνεται υπόψη η όσο το δυνατόν προσπάθεια ελαχιστοποίησης των δυνάμει επιπτώσεων που δύναται να προκύψουν από τη χωροθέτηση. Ένα επίπεδο πιο κάτω καταγράφονται και αποτιμώνται τα κριτήρια αξιολόγησης τα οποία συνιστούν υποπαραμέτρους των κριτηρίων απόφασης του επιπέδου 2. Ένα επίπεδο κατάντη καταγράφονται τα υποκριτήρια αξιολόγησης, ως επιμέρους παράμετροι των κριτηρίων αξιολόγησης του επιπέδου 3. Στο τελικό επίπεδο αποτιμώνται εν κατακλείδι οι χωρικές και παραμετρικές συνιστώσες κάθε κριτηρίου ή υποκριτηρίου αξιολόγησης. Αναλυτικά η Ιεραρχική Δομή του Πολυκριτηριακού προβλήματος διακρίνεται στο Σχήμα (5-1) ενώ τα επιλεγόμενα κριτήρια διακρίνονται στον Πίνακα (5-1).

5.3.1 Καθορισμός μεταβλητών

Ακολουθώντας την ιεραρχική δομή του Σχήματος (5-1) θα λάβει χώρα αναλυτική περιγραφή, ιεράρχηση, αποτίμηση και εφαρμογή των κριτηρίων αξιολόγησης του χώρου. Οι διεργασίες για την τελική χωροθέτηση θα εξελιχθούν με φορά από κάτω προς τα πάνω μέχρι των τελικό στόχο. Η βαθμολόγηση των κριτηρίων λαμβάνει χώρα σταδιακά, με τις διακριτές παραμέτρους σε επίπεδο κανάβου (Grid) να ακολουθούν την υποκειμενική βαθμολόγηση, εφαρμόζοντας ευρέως πίνακες αξιολόγησης που βασίζονται στην διεθνή βιβλιογραφία.

Κάθε κριτήριο με τη μορφή *περιορισμού* (Constraint) περιλαμβάνει κυρίως δύο (2) βασικές χωρικές ζώνες. Αφενός εκείνες τις περιοχές που είναι κατάλληλες για χωροθέτηση του ΧΥΤΑ αφετέρου αυτές που περιλαμβάνουν τις ακατάλληλες προς χωροθέτηση. Οι κατάλληλες ζώνες λαμβάνουν βαθμό 1, ενώ οι μη κατάλληλες βαθμό 0. Επιπλέον είναι εφικτή η εισαγωγή στο μοντέλο και μεταβλητών ενδιάμεσως καταλλήλων ή ακατάλληλων με βαθμολόγηση 0.5 ή παρόμοια.

Κάθε κριτήριο με τη μορφή *παράγοντα* (Factor) έχει ψηφιακή μορφοποίηση ενός συνόλου σε 8bit σε ένα πεδίο ορισμού μεταξύ 0 και 255. Στο Raster Gis οι παράγοντες εμφανίζονται με 255 διαβαθμίσεις του γκρι.

Η βαθμολόγηση των κριτηρίων με μορφή παράγοντα, θα λάβει χώρα με τη βοήθεια των συνόλων της Ασαφούς Λογικής. Ακολουθώς οι συντελεστές βαρύτητας εξάγονται με τη βοήθεια της Αναλυτικής Ιεραρχικής (AHP), όπου για κάθε επίπεδο δομήθηκαν οι σχετιζόμενοι Πίνακες Συγκρίσεων ανά Ζεύγη με στόχο τον υπολογισμό των συντελεστών βαρύτητας.

Οι μεταβλητές που λήφθησαν υπόψη και η περιγραφή τους για την επιλογή της βέλτιστης θέσης χωροθέτησης συνοψίζονται στον Πίνακα (5-1).

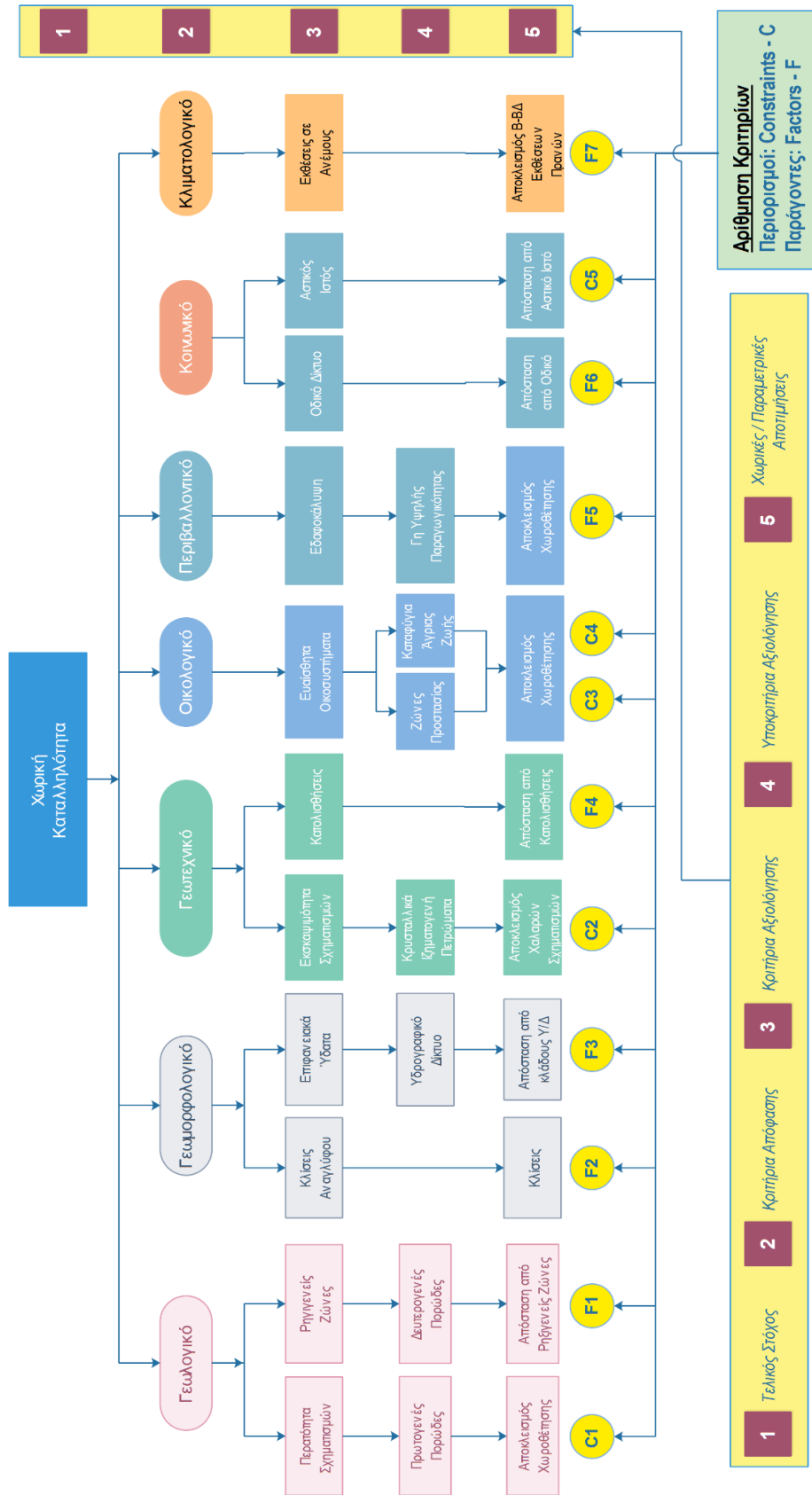
Πίνακας 5-1. Κριτήρια που λήφθηκαν υπόψη στη χωροθέτηση.

Κριτήριο		
C1	Υδρολιθολογικές Ζώνες	Constraint – C1
F1	Ρηξιγενείς Ζώνες	Factor – F1
F2	Κλίσεις Αναγλύφου	Factor – F2
F3	Υδρογραφικό Δίκτυο	Factor – F3
C2	Γεωλογικά Πετρώματα	Constraint – C2
F4	Κατολισθήσεις	Factor – F4
C3	Καταφύγια Άγριας Ζωής	Constraint - C3
C4	Θεσμοθετημένες Ζώνες	Constraint – C4
F5	Οδικό Δίκτυο	Factor – F5
F6	Αστικός ιστός	Factor – F6
C5	Δασικές Εκτάσεις - Καλλιέργειες	Constraint – C5
F7	Προσανατολισμός Αναγλύφου	Factor – F7

Η εν γένει συζήτηση αναφορικά με τα κριτήρια χωροθέτησης ενός ΧΥΤΑ είτε αυτά καθορίζονται άμεσα από την νομοθεσία είτε όχι, είτε αποτελούν εκτιμήσεις διαφορετικών επιστημονικών προσεγγίσεων είτε όχι, δύναται να προστεθούν, να αφαιρεθούν, να διαφοροποιηθούν, να μειωθούν ή να αυξηθούν αναφορικά με την κρίση και την εμπειρία του Ιθύνοντα. Το ανωτέρω σκεπτικό δεικνύει πως η υιοθέτηση κριτηρίων και οι αποστάσεις χωροθέτησης συνιστούν ποιοτικό δείκτη και όχι

ποσοτικό (Brito and De Almeida, 2009). Άλλωστε τα κριτήρια αυτά δεν είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν σε κάθε περίπτωση χωροθέτησης αξιωματικά (Savage et al., 1998). Ούτως ειπείν αν εφαρμοστούν επακριβώς και με αυστηρότητα π.χ σε ένα μικρό νησί το οποίο έχει καταχωρηθεί στο δίκτυο NATURA 2000, τότε τεκμαίρεται ότι θα αποκλειστούν όλες οι δυνάμει περιοχές για χωροθέτηση ΧΥΤΑ. Στην περίπτωση αυτή πρέπει να επανεξεταστούν τα κριτήρια με κατάλληλη μείωση των περιορισμών σε κάποια από αυτά (Chen and Ding, 2008).

Δεν πρέπει να παραληφθεί επιπλέον το γεγονός ότι στις ημέρες μας που τεχνικά είναι εφικτό να επιτευχθούν δύσκολες τεχνικές επιλύσεις, όπως το να θεμελιωθεί ανωδομή πάνω σε υδαρά εδάφη ο συσχετισμός ποιοτικών κριτηρίων για τη χωροθέτηση τέτοιων εγκαταστάσεων συνιστά μεθοδολογία περισσότερο περιβαλλοντικής και οικονομοτεχνικής προσέγγισης με στόχο και την ελαχιστοποίηση του κόστους χωροθέτησης και κατασκευής.



Σχήμα 5-1. Ιεραρχική δομή Πολυκριτηριακού προβλήματος.

5.3.2 Βαθμολόγηση Χωρικών Κριτηρίων

Ο βαθμός συμμετοχής των συνεχών χωρικών κριτηρίων με μορφή χωρικών ομοιωμάτων (Grid), θα λάβει χώρα με τη βοήθεια των συνόλων της Ασαφούς Λογικής. Στο στάδιο Ασαφοποίησης ακολουθείται διαδικασία μετατροπής των αρχικών αριθμητικών τιμών σε λεκτικές μεταβλητές (linguistic variables) εφαρμόζοντας συναρτήσεις συμμετοχής (Deng, 2009). Οι αριθμοί που αντιστοιχούν στα κριτήρια που τέθηκαν, αντικαθίστανται πλέον από λεκτικούς όρους (terms) ενώ δημιουργούνται συναρτήσεις συμμετοχής αντίστοιχα για κάθε κριτήριο. Επικουρικά προσδιορίζονται οι υποκλάσεις με την μεταξύ τους επικάλυψη σε σχέση με την χρησιμοποιούμενη συνάρτηση συμμετοχής. Απαραίτητο για να οριστεί πλήρως το ασαφές σύστημα συνιστά ο προσδιορισμός κατάλληλων λεκτικών συμβολισμών, για το χαρακτηρισμό των αποτελεσμάτων της επεξεργασίας των δεδομένων.

5.3.2.1 Περιορισμοί - Constraints

5.3.2.1.1 Κριτήριο Περατότητα Σχηματισμών - C1

Η πιθανότητα ρύπανσης των υπόγειων υδροφόρων οριζόντων και εν γένει η ποιοτική υποβάθμιση αυτών συνιστά παράμετρο υψηλής επικινδυνότητας εξαιτίας της πιθανότητας διαφυγής στραγγιδίων από τη βάση των κυμελών του ΧΥΤΑ. Ως εκ τούτου το κριτήριο περατότητας των γεωλογικών σχηματισμών αναφορικά με το πρωτογενές πορώδες αυτών, θεωρείται από τις κρίσιμότερες παραμέτρους στη διαδικασία της χωροθέτησης. Η Ελληνική νομοθεσία πλασιώνεται για την προστασία των υπόγειων υδάτων από την ΚΥΑ Ε1β/301/64 αναφέροντας χαρακτηριστικά ότι «η περιοχή διαθέσεως δεν θα ευρίσκεται άνωθεν αγωγών υδραγωγείου και τα αποστραγγιζόμενα εκ βροχής ύδατα δεν θα δύνανται να μολύνουν φρέατα ή ετέρας πηγές ποσίμου ύδατος».

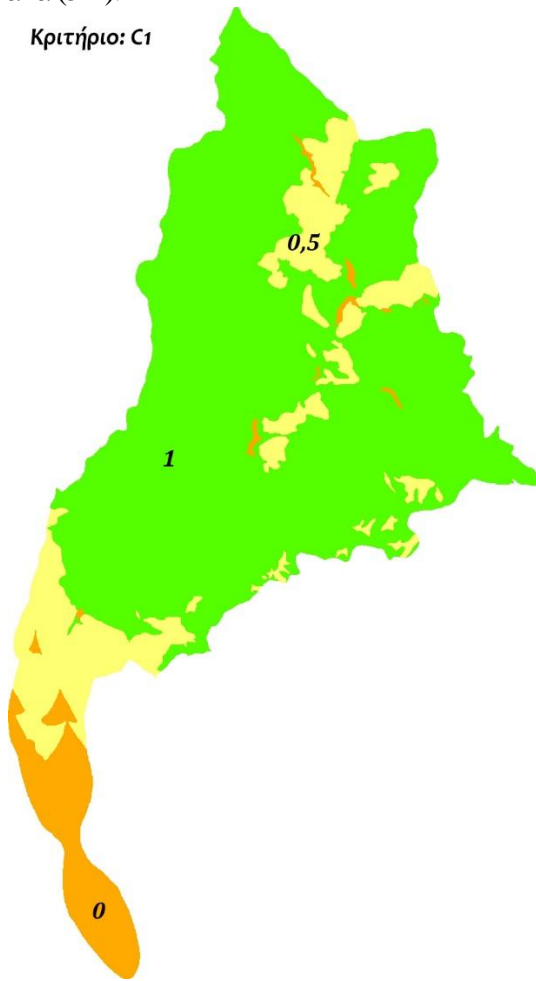
Η υιοθέτηση του ανωτέρω κριτηρίου της περατότητας των λιθολογικών σχηματισμών, η γεωλογική διάρθρωση της περιοχής, η υδραυλική συμπεριφορά των σχηματισμών και οι υδραυλικές παράμετροι του υπόγειου υδροφορέα διαδραματίζουν ουσιαστικό ρόλο στην τελική επιλογή χωροθέτησης. Επιπλέον θωρακίζει το γεωλογικό υπόθεμα της βάσης του γηπέδου του ΧΥΤΑ στην περίπτωση μελλοντικής δυνάμει αστοχίας του τεχνικού γεωλογικού φραγμού και της μεθόδου στεγάνωσης του δαπέδου των κυμελών του ΧΥΤΑ.

Πίνακας 5-2. Κριτήριο C1 και βαθμολόγηση αυτού.

Κριτήριο 01- Constraint C1 - Υδρολιθολογικοί Σχηματισμοί	Βαθμολογία
Ζώνες Πρακτικά Αδιαπέρατες (Κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα υποβάθρου)	1
Ζώνες Μέτριας Περατότητας (Πλειστοκαινικές αποθέσεις)	0.5
Ζώνες Υψηλής Περατότητας (Ζώνη Κορημάτων, χαλαρών σχηματισμών)	0

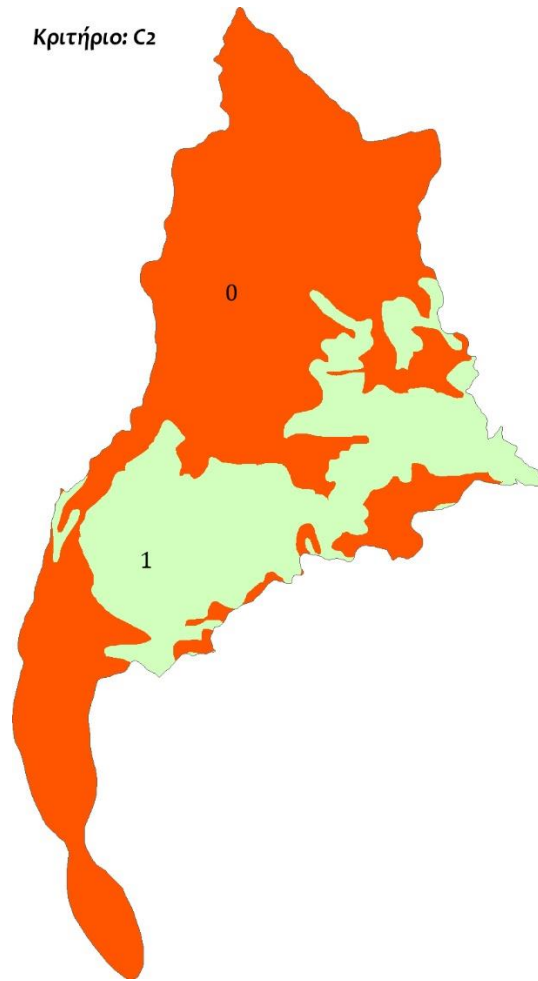
Στο Σχήμα (5-2) διακρίνεται το κριτήριο Περρατότητα Σχηματισμών βαθμολογημένο σύμφωνα με τον Πίνακα (5-2).

Κριτήριο: C1



Σχήμα 5-2. Χωρικό ομοίωμα Κριτηρίου C1.

Κριτήριο: C2

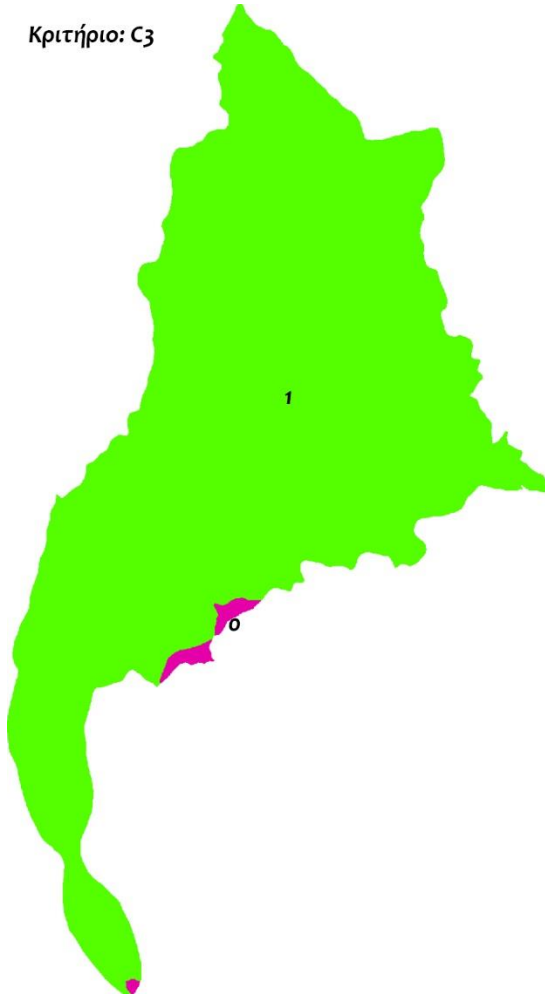


Σχήμα 5-3. Χωρικό ομοίωμα Κριτηρίου C2.

5.3.2.1.2 Κριτήριο Εδαφοκάλυψη – C2

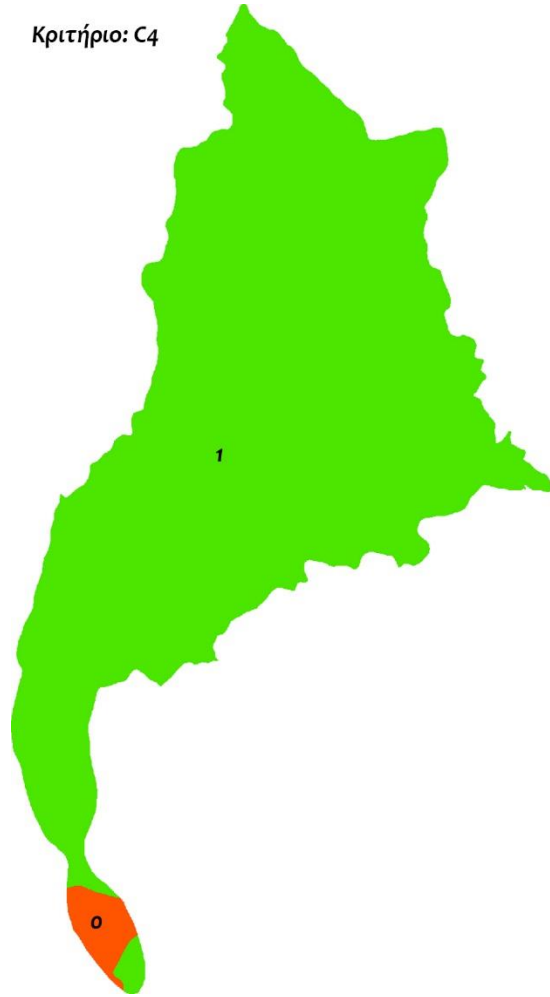
Οι λιθολογικοί τύποι οι οποίοι συνιστούν το γεωλογικό υπόθεμα της υδρολογικής λεκάνης του Μπογδάνου διακρίνονται τεχνικογεωλογικά σε εδαφικούς και βραχώδεις. Οι βραχώδεις προϋπάρχουν αποτελώντας το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο ενώ οι εδαφικοί αποτελούν τα προϊόντα διεργασιών διάβρωσης των βραχωδών μαζών και ενίοτε της μηχανικής ή και χημικής αποσάθρωσης αυτών. Η ανάμειξη των ανωτέρω φάσεων σε ποικίλες αναλογίες με την επικουρική παρουσία οργανικών υλών δημιουργεί τον εδαφικό μανδύα. Ο εδαφικός μανδύας (soils), συνίσταται από φυσικές διατάξεις εδαφικών κόκκων, εμπεριέχοντας οργανικό απόθεμα, ενώ ο δείκτης πόρων μπορεί να πληρούται με αέρα ή και νερό. Η υιοθέτηση του ανωτέρω κριτηρίου της εδαφοκάλυψης διαδραματίζει καίριο ρόλο αναφορικά με τη εκσκαψιμότητα των σχηματισμών και την αποφυγή χωροθέτησης σε περιοχές εδαφικού υλικού και γεωργικής γης υψηλής παραγωγικότητας (Σχήμα 5-3).

Κριτήριο: C3



Σχήμα 5-4. Χωρικό ομοίωμα Κριτηρίου C3.

Κριτήριο: C4



Σχήμα 5-5. Χωρικό ομοίωμα Κριτηρίου C4.

5.3.2.13 Κριτήριο Καταφύγια Άγριας Ζωής – C3

Ο νόμος Ν.3937/2011 (ΦΕΚ Α'60) αφορά την Διατήρηση της βιοποικιλότητας, σε περιοχές οικοτόπων. Τέτοιες περιοχές χαρακτηρίζονται σε γενικές γραμμές εκτάσεις χερσαίες, υγροτοπικές ή θαλάσσιες που εντάσσονται σε προγράμματα ειδικής διαχείρισης για τη διασφάλιση της ικανοποιητικής τους κατάστασης και της διατήρησης των προστατευτέων οικοτόπων και ειδών (Beunen et al., 2013). Οι οικοτόποι αυτοί διακρίνονται σε:

- Ειδικές Ζώνες Διατήρησης (Special Areas of Conservation),
- Ζώνες Ειδικής Προστασίας (Special Protection Areas) και
- Καταφύγια Άγριας Ζωής (Wildlife refuges).

Κατάντη της υδρολογικής λεκάνη του Μπογδάνου κάνει την εμφάνιση του καταφύγιο άγριας ζωής (Κ.Α.Ζ) με τη μορφή χερσαίας υγροτοπικής κάλυψης γης με ιδιαίτερη σημασία ως βίοτοπος αναπαραγωγής, διατροφής και διαχείμανσης ειδών της άγριας πανίδας (Σχήμα 5-4).

Πίνακας 5-3. Κριτήριο C3 και βαθμολόγηση αυτού.

Κριτήριο – Καταφύγια Άγριας Ζωής - Constraint C3	Βαθμολογία
Ζώνη Κ.Α.Ζ	0
Ζώνη Δυνάμει Χωροθέτησης	1

Θεσμικά εντός των (Κ.Α.Ζ) με τον Ν.3937/2011 (ΦΕΚ Α'60), απαγορεύονται η θήρα, οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες, η υπαγωγή της έκτασης σε πολεοδομικό ή ρυμοτομικό σχεδιασμό και η εγκαθίδρυση πάσης φύσεων χωροθέτησης εγκαταστάσεων. Η υιοθέτηση του ανωτέρω κριτηρίου (Πίνακας 5-3), με τη μορφή περιορισμού (Constraint – C3) διαδραματίζει σημαίνων ρόλο στην αποφυγή οποιαδήποτε χωροθέτησης στην περιοχή του (Κ.Α.Ζ).

5.3.2.14 Κριτήριο Δίκτυο Φύσις 2000 – C4

Στην προς νότο απόληξη της υδρολογικής λεκάνης κάνει την εμφάνισή του δίκτυο Natura 2000. Το δίκτυο Natura2000 συνιστά ένα πανευρωπαϊκό δίκτυο οικοτόπων με ιδιαίτερη σημασία για τη διατήρηση της βιοποικιλότητας.

Η υιοθέτηση του κριτηρίου Natura 2000 (Πίνακας 5-4), με τη μορφή περιορισμού (Constraint – C4) ακολουθεί την τακτική που υιοθετήθηκε και στο κριτήριο C3 με στόχο την ολική χωρική εξαγωγή από τις διαδικασίες χωροθέτησης των ανωτέρω περιοχών (Σχήμα 5-4).

Πίνακας 5-4. Κριτήριο C4 και βαθμολόγηση αυτού.

Κριτήριο Δίκτυο Natura 2000 - Constraint C4	Βαθμολογία
Ζώνη Natura 2000	0
Ζώνη Δυνάμει Χωροθέτησης	1

5.3.2.15 Κριτήριο Δασικές Εκτάσεις - Καλλιέργειες – C5

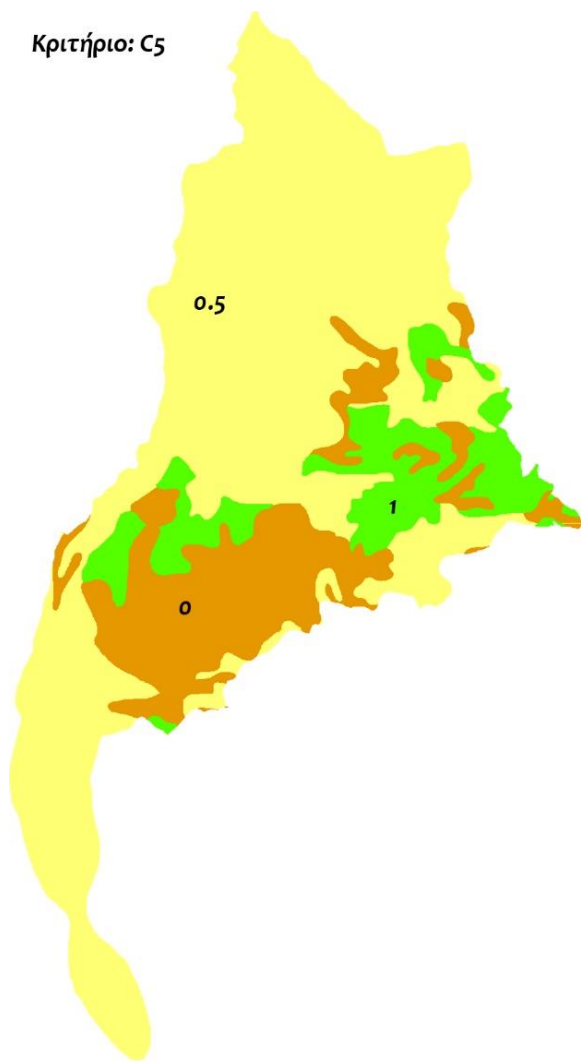
Βάσει του σχεδίου Νόμου Ν. 998/1979 (ΦΕΚ Α'289) με τίτλο “Δασικά οικοσυστήματα: Ορισμοί, μέτρα προστασίας, ανάπτυξης και διαχείρισης” επιτρέπονται η αδειοδότηση τουριστικών καταλυμάτων, η διάνοιξη δρόμων, η κατασκευή αγωγών υδρογονανθράκων, η εγκατάσταση βιομηχανικών εγκαταστάσεων επεξεργασίας, η λατόμευση και ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως μοναστήρια, φυλακές, ΧΥΤΑ και κέντρα υποδοχής μεταναστών.

Παρόλα αυτά, αν και κάθε πολιτεία έχει υποχρέωση να υιοθετεί τον νέο συνταγματικό ορισμό του δάσους, η οικονομική εκμετάλλευση εμπεριέχει τον κίνδυνο αλλαγής χρήσης και την πιθανή υποβάθμιση του.

Πίνακας 5-5. Κριτήριο C5 και βαθμολόγηση αυτού.

Κριτήριο Δασικές Εκτάσεις - Καλλιέργειες - Constraint C5	Βαθμολογία
Ζώνη Δασικών Εκτάσεων	0
Ζώνη Γεωργικών Καλλιεργειών	0.5
Ζώνη Βοσκοτόπων – Χέρσων Εκτάσεων	1

Κριτήριο: C5



Σχήμα 5-6. Χωρικό ομοίωμα Κριτηρίου C5.

Στο πλαίσιο αυτό είναι φανερό ότι η επίσημη πολιτεία χρειάζεται χρόνο ώστε να υιοθετήσει τη νέα νομοθεσία ώστε να μην προκληθούν ανεπανόρθωτες βλάβες στα οικοσυστήματα. Η ωρίμανση απαιτεί χρόνο και στρατηγικές, κάτι για το οποίο δεν μας έχει συνηθίσει η Ελληνική επίσημη πολιτεία. Μέχρι τότε επιλέγουμε τα δασικά οικοσυστήματα και η γεωργική γη (Πίνακας 5-5) να υιοθετούνται στο μοντέλο χωροθέτησης με τη μορφή περιορισμού (Constraint – C5) εξάγοντας αυτές από τις διαδικασίες χωροθέτησης του ΧΥΤΑ (Σχήμα 5-6).

5.3.2.2 Παράγοντες – Factors

5.3.2.2.1 Κριτήριο Ρηξιγενείς Ζώνες –

F1

Για λόγους ασφαλείας του τεχνικού έργου αφενός αλλά και για ελαχιστοποίηση της πιθανότητας διάρρηξης του τεχνητού γεωλογικού φραγμού και του υποκείμενου γεωυφάσματος αφετέρου, η προς χωροθέτηση περιοχή πρέπει να βρίσκεται εκτός των ζωνών επιρροής των μεγάλων ρηξιγενών

ζωνών. Σε αντίστοιχα τεχνικά έργα έχουν παρατηρηθεί οριζόντιες μετακινήσεις, στροφές κρηπιδότοιχων, βυθίσεις υλικών επίκωσης, δυναμικές διαφορικές καθιζήσεις και παρόμοια δυναμικά φαινόμενα. Επιπλέον η αν η κατασκευή βρίσκεται στη ζώνη επιρροής ζώσας τεκτονικής κατάστασης ενίοτε παρατηρούνται κατολισθήσεις, καταπτώσεις και ανατροπές. Προς αποφυγή των ανωτέρω δυσχερών φαινομένων επιλέγεται το κριτήριο «Ρηξιγενείς Ζώνες» να συμμετάσχει στην αξιολόγηση ως παράγοντας – F1 (Σχήμα 5-7).

Η εφαρμογή του συγκεκριμένου κριτηρίου επιβάλλει να ληφθεί υπόψη η απόσταση από τις ρηξιγενείς ζώνες. Ο χωρικός καθορισμός της λεκτικής μεταβλητής “Απόσταση από Ρηξιγενείς Ζώνες”, περιλαμβάνει τη διαδικασία που απεικονίζεται στο Σχήμα (5-7). Αρχικά εκτελείται η χωρική διαδικασία της Ευκλείδειας Απόστασης από τις ρηξιγενείς ζώνες και στη συνέχεια εφαρμόζεται η συνάρτηση συμμετοχής (Αύξουσα Γραμμική), χρησιμοποιώντας ως παραμέτρους $\alpha=50$ και $\beta=500$. Η εφαρμογή της δηλεί πως κάθε χωρική ζώνη ευρισκόμενη σε απόσταση μέχρι 50 μέτρα από οποιοδήποτε ρήγμα θα έχει μηδενική συμμετοχή στην αναζήτηση. Στις χωρικές ζώνες που οριοθετούνται σε απόσταση από 50 έως 500 μέτρα, εκτελείται αύξουσα γραμμική συνάρτηση συμμετοχής για την τελική αποτίμηση του κριτηρίου. Σε απόσταση μεγαλύτερη από 500 μέτρα, οι ρηξιγενείς ζώνες θεωρούμε (μονοσήμαντα) ότι δεν επηρεάζουν το μοντέλο χωροθέτησης και για το λόγο αυτό λαμβάνουν τη βέλτιστη βαθμολογία στη συνάρτηση συμμετοχής με τιμή 1.

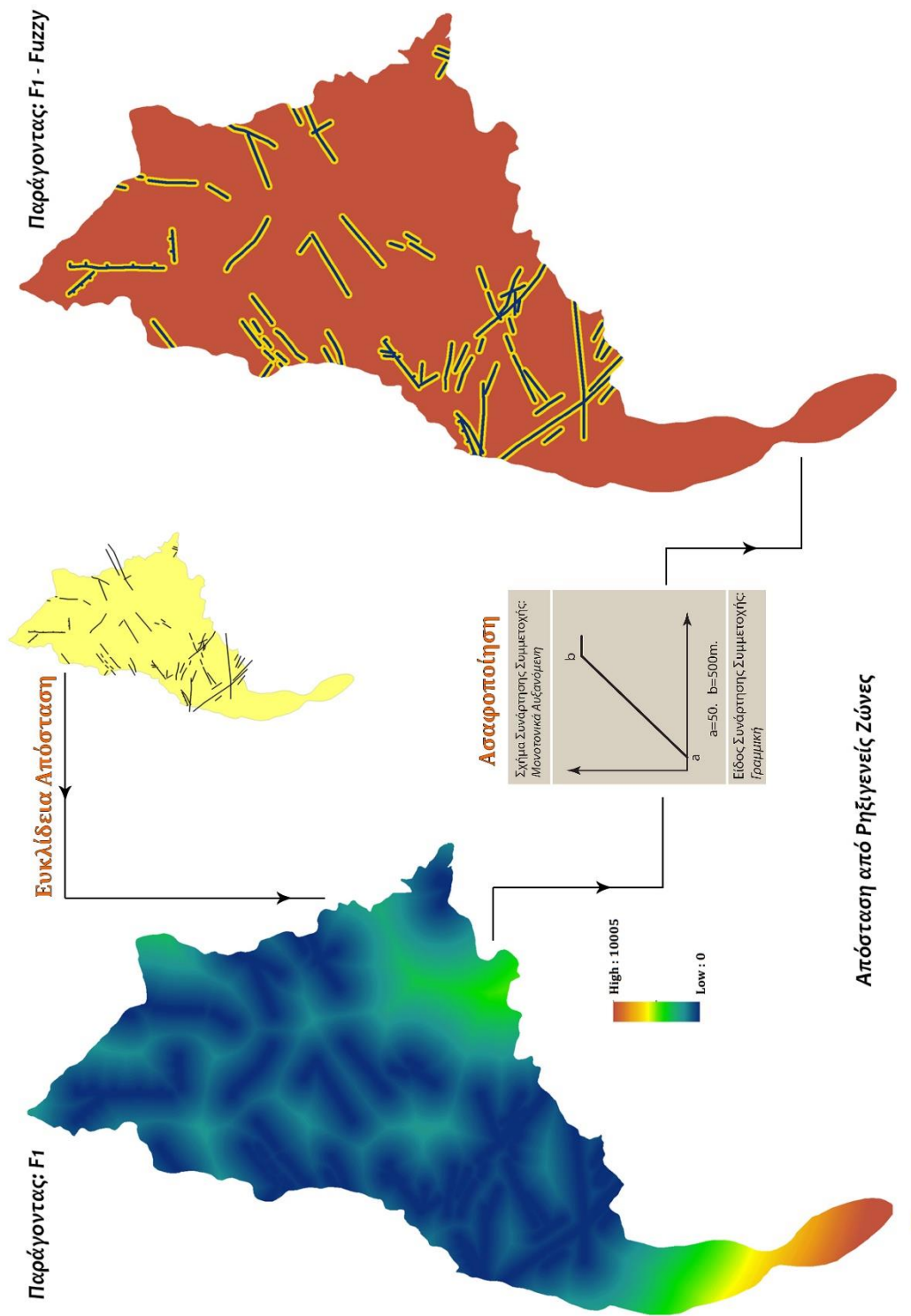
5.3.2.2 Κριτήριο Κλίσεις Αναγλύφου – F2

Η έκταση στην οποία θα χωροθετηθεί το έργο θα πρέπει να συνίσταται από ήπιες κλίσεις ομαλού αναγλύφου οι οποίες αν είναι δυνατόν να μην υπερβαίνουν το 15^0 . Το σκεπτικό αυτό πλασιώνεται από δύο κυρίως λόγους:

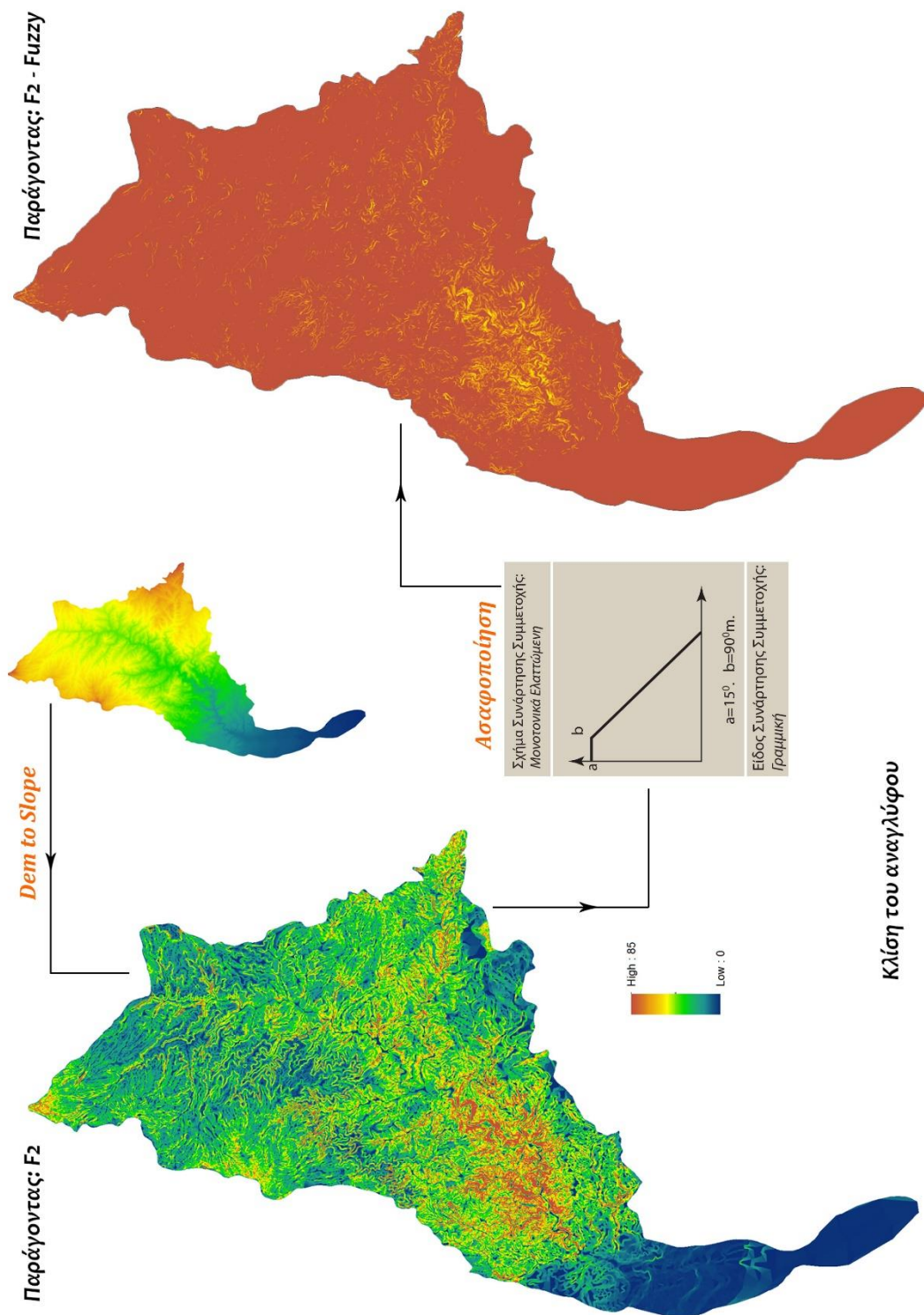
- Για λόγους γεωτεχνικούς και προς αποφυγή φαινομένων αστάθειας ή πιθανών κατολισθήσεων.
- Για λόγους τεχνικο-οικονομικούς καθότι πρέπει να εξασφαλίζεται η ομαλή προσπέλαση στις διάφορες εγκαταστάσεις εντός του γηπέδου του ΧΥΤΑ με το εσωτερικό δίκτυο της οδοποιίας αποφεύγοντας πολλαπλές εκσκαφές.

Για τους ανωτέρω λόγους επιλέγεται το κριτήριο «Κλίσεις του αναγλύφου» να συμμετάσχει στην αξιολόγηση ως παράγοντας – F2.

Η εφαρμογή του συγκεκριμένου κριτηρίου επιβάλλει να ληφθεί υπόψη η κλίση του γεωαναγλύφου. Ο χωρικός καθορισμός περιλαμβάνει τη διαδικασία που απεικονίζεται στο Σχήμα (5-8). Σε πρώτο στάδιο από το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (Dem) προκύπτει το μοντέλο κλίσεων του αναγλύφου (Slope) ενώ στη συνέχεια εφαρμόζεται η (Φθίνουσα Γραμμική) συνάρτηση συμμετοχής, χρησιμοποιώντας ως παραμέτρους $\alpha=15^0$ και $\beta=90^0$. Η εφαρμογή της συνάρτησης υποδηλώνει πως για κάθε χωρική ζώνη με διαπιστωμένες κλίσεις μεγαλύτερες των 15^0 θα υπάρχει μηδενική συμμετοχή στην αναζήτηση. Στις χωρικές ζώνες που οριοθετούνται με κλίσεις από 15^0 έως 90^0 , εκτελείται φθίνουσα γραμμική συνάρτηση συμμετοχής για την τελική αποτίμηση του κριτηρίου.



Σχήμα 5-7. Χωρικό ομοίωμα Byte (0-255) Παράγοντα F1 και Ασαφοποίησή του.



Σχήμα 5-8. Χωρικό ομοίωμα Byte (0-255) Παράγοντα F2 και Ασαφοποίηση αυτού.

5.3.2.2.3 Κριτήριο Απόσταση από Υδρογραφικό Δίκτυο – F3

Το υδρογραφικό δίκτυο συνιστά το μέσο το οποίο εξασφαλίζει την κίνηση του επιφανειακού νερού και της στερεοπαροχής των ιζημάτων μιας υδρολογικής λεκάνης.

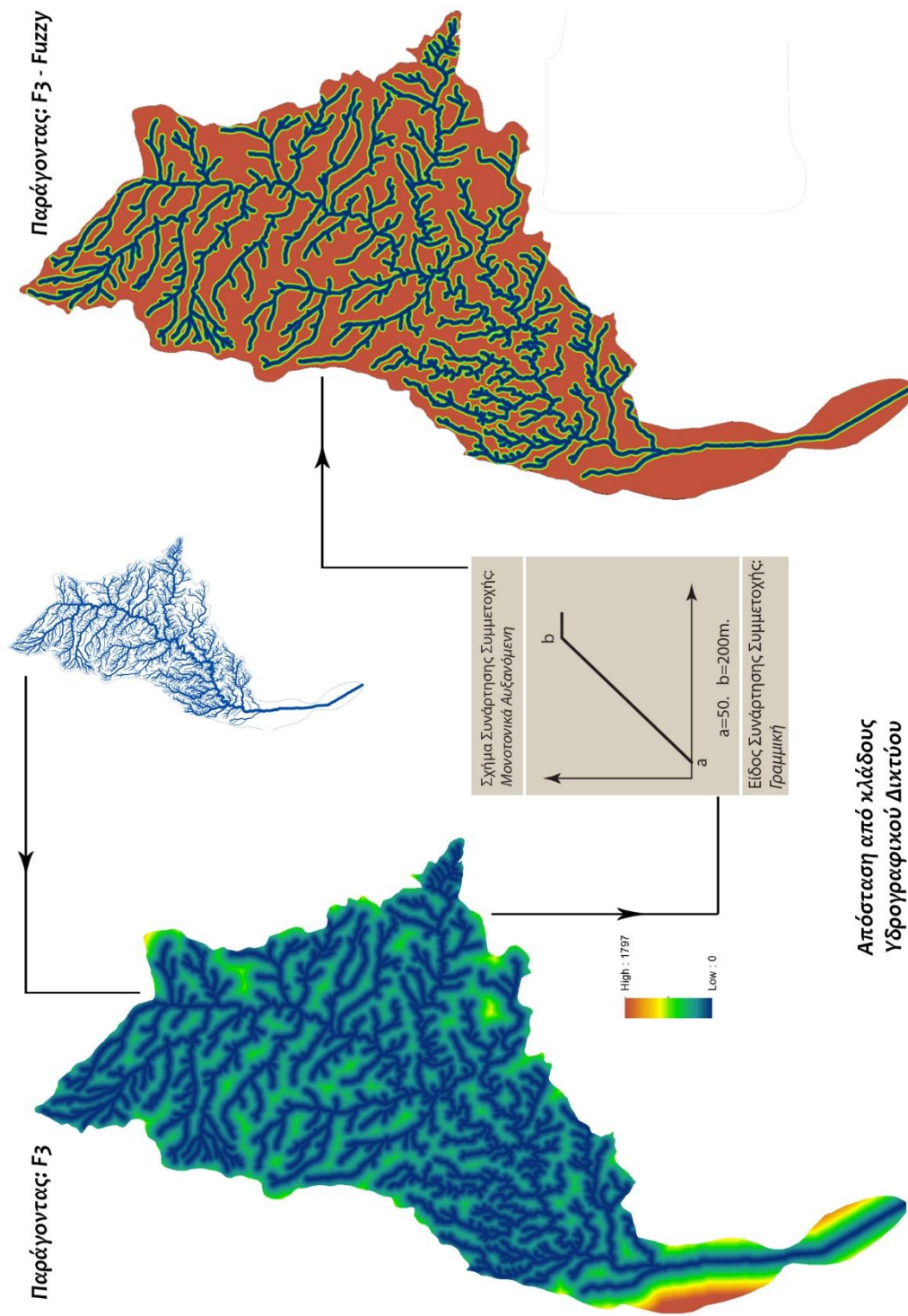
Η ανάλυση ενός υδρογραφικού δικτύου εστιάζεται κατά κύριο λόγο στην μορφολογική του εξέλιξη και στους δυνάμει εξελικτικά τρόπους ανάπτυξής του. Η ανάλυση δεν χρησιμοποιείται μόνο σαν δομικό εργαλείο αλλά και σαν βάση για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε ένα υδρολογικό σύστημα καθώς και για τον προσδιορισμό της υδρολογικής συμπεριφοράς της υδρολογικής λεκάνης εντός της οποίας εντάσσεται.

Η ποσοτική ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου του υδατορεύματος Μπογδάνου καθορίστηκε από τη σχέση ανάμεσα στους κλάδους του, ακολουθώντας το σύστημα ταξινόμησης του Strahler (1952) όπου η ύπαρξη μεγάλων κεντρικών κλάδων, μικρότερων δευτερευόντων και ακόμα μικρότερων πρωτεύοντων ποσοτικοποιούνται σχετιζόμενοι με την αρίθμησή τους.

Εύκολα συνάγεται εκ των ανωτέρω πως μικροί πρωτεύοντες κλάδοι κατά Strahler εκφορτίζουν μικρές ποσότητες επιφανειακής απορροής, μεγαλύτεροι δευτερευόντες αναλογικά μεγαλύτερες από τους πρωτεύοντες ενώ οι κεντρικοί κλάδοι, εκφορτίζουν στον τελικό αποδέκτη της λεκάνης απορροής, το συνολικό υδατικό περιεχόμενο αυτής. Πρόδηλα οι υπολεκάνες των μικρών πρωτεύοντων κλάδων (Αρίθμηση τάξης 1^{ης} κατά Strahler) δυνάμει μπορούν να αποτελέσουν αποδέκτες ΧΥΤΑ σε αντίθεση με τους κλάδους που ανεβαίνουν σε αρίθμηση στην κλίμακα ταξινόμησης του Strahler.

Το κριτήριο «Απόσταση από Υδρογραφικό Δίκτυο» συμμετέχει στην αξιολόγηση ως παράγοντας – F3 (Σχήμα 5-9).

Κατά την εφαρμογή του συγκεκριμένου υποκριτηρίου αξιολόγησης, λαμβάνεται υπόψη η Ευκλείδεια απόσταση από τα υδατορεύματα. Ο χωρικός καθορισμός της παραμέτρου απεικονίζεται διαδικαστικά στο Σχήμα (5-9). Αρχικά εκτελείται η χωρική διαδικασία της Ευκλείδειας Απόστασης στους κλάδους του υδρογραφικού δικτύου (αφαιρώντας τους κλάδους 1^{ης} τάξης κατά Strahler) ενώ ακολούθως εφαρμόζεται η συνάρτηση συμμετοχής (Αύξουσα Γραμμική), χρησιμοποιώντας ως παραμέτρους $\alpha=50$ και $\beta=200$. Σύμφωνα με το ανωτέρω σκεπτικό η εφαρμογή της συγκεκριμένης συνάρτησης συμμετοχής, δηλώνει ότι οι περιοχές που βρίσκονται σε απόσταση μέχρι 50 μέτρα από οποιοδήποτε κλάδο του υδατορεύματος θα έχουν μηδενική συμμετοχή. Οι χωρικές ζώνες που βρίσκονται σε απόσταση από 50 έως 200 μέτρα, συμμετέχουν μέσω της αύξουσας γραμμικής συνάρτησης για τον τελικό καθορισμό της βαθμολογίας. Κατά αυτόν τον τρόπο οι κλάδοι του υδρογραφικού δικτύου οι οποίοι δεν επηρεάζονται από την χωροθέτηση ενός ΧΥΤΑ σε απόσταση πέραν των 200 μέτρων. Οι χωρικές αυτές ζώνες βαθμολογούνται με τη μέγιστη βαθμολογία με τιμή 1 στη συνάρτηση συμμετοχής.



Σχήμα 5-9. Χωρικό ομοίωμα Byte (0-255) Παράγοντα F3 και Ασαφροποίηση αυτού.

5.3.2.2.4 Κριτήριο Απόσταση από Κατολισθήσεις – F4

Στην ευρύτερη περιοχή της υδρολογικής λεκάνης του Μπογδάνου έχουν διαπιστωθεί με εργασίες πεδίου τοπικής κλίμακας και μικρής έκτασης κατολισθητικά φαινόμενα στα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα του υποβάθρου (Σχήμα 5-10).

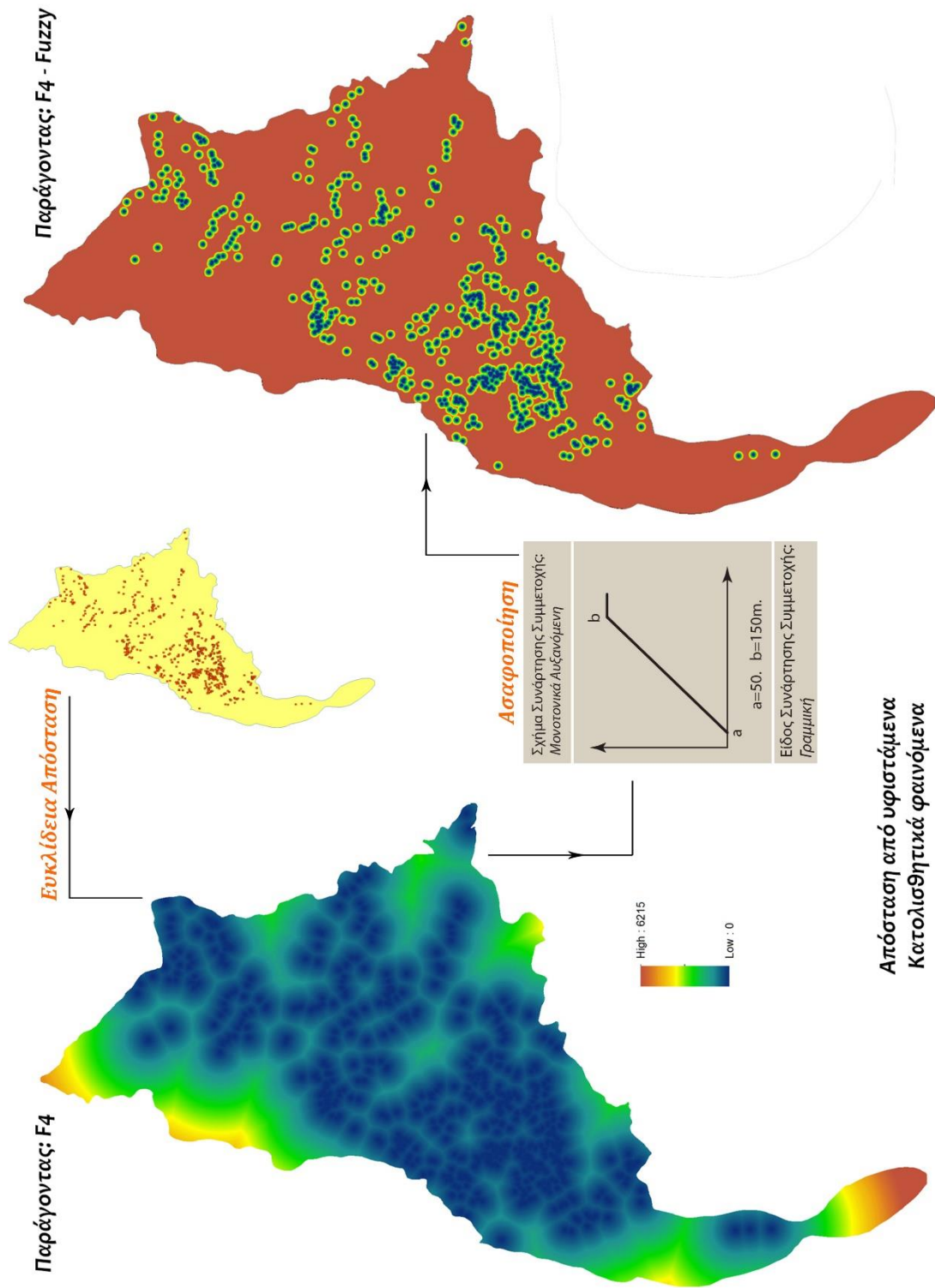
Η διασπορά αυτών, παρόλη τη σχετικά μικρή κλίμακα διαμόρφωσης και εξέλιξης τους, επιβάλλει την ένταξή τους στις διαδικασίες της πολυκριτηριακής ανάλυσης εστιάζοντας επί τω πλείστον στην αποφυγή χωροθέτησης εντός της ζώνης επιρροής τους.

Το κριτήριο «Απόσταση από Κατολισθήσεις» συμμετέχει στην αξιολόγηση ως παράγοντας – F4 (Σχήμα 5-10).

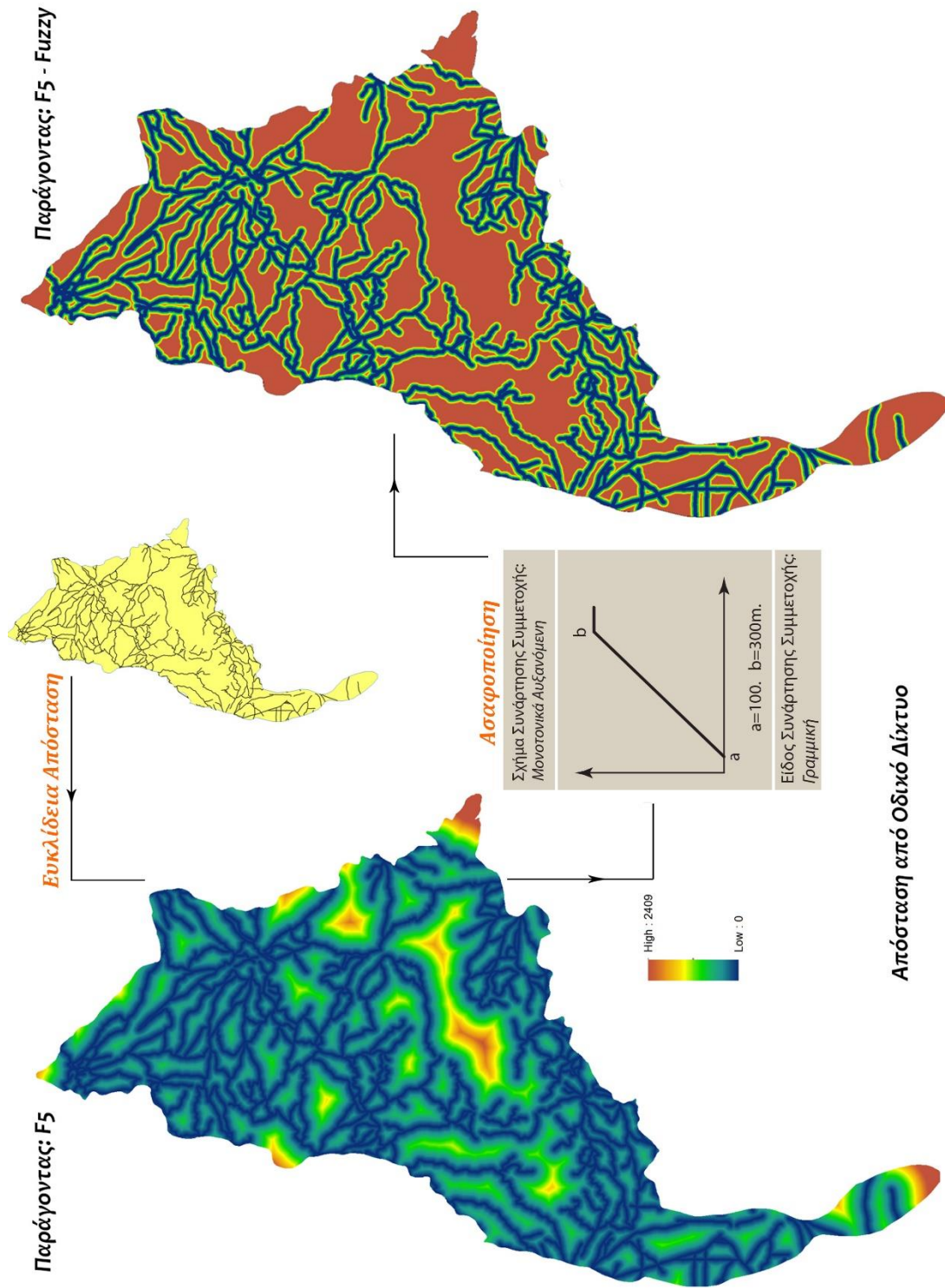
Εφαρμόζοντας το συγκεκριμένο υποκριτήριο αξιολόγησης λαμβάνεται υπόψη η απόσταση από τις διαπιστωμένες κατολισθήσεις. Μετά την εκτέλεση της χωρικής διαδικασίας της Ευκλείδειας Απόστασης από τα επίμαχα σημεία εφαρμόζεται η «Αύξουσα γραμμική» συνάρτηση συμμετοχής, χρησιμοποιώντας ως παραμέτρους $a=50$ και $b=150$. Η εφαρμογή της συγκεκριμένης συνάρτησης συμμετοχής, δηλώνει ότι οι χωρικές ζώνες που βρίσκονται σε απόσταση μέχρι 50 μέτρα από οποιοδήποτε σημείο διαπιστωμένης κατολίσθησης θα έχουν μηδενική συμμετοχή στην αναζήτηση. Οι χωρικές ζώνες που βρίσκονται σε απόσταση από 50 έως 150 μέτρα, συμμετέχουν μέσω της αύξουσας γραμμικής συνάρτησης για τον τελικό καθορισμό της βαθμολογίας. Τοιουτοτρόπως οι χωρικές ζώνες που διαμορφώνονται σε αποστάσεις πέραν των 150 μέτρων θεωρούμε ότι δεν επηρεάζουν τη χωροθέτηση. Ως εκ τούτου οι ζώνες αυτές βαθμολογούνται με τη μέγιστη βαθμολογία με τιμή 1 στη συνάρτηση συμμετοχής.

5.3.2.2.5 Κριτήριο Απόσταση από Οδικό Δίκτυο – F5

Εφαρμόζοντας το υποκριτήριο «Απόσταση από το οδικό δίκτυο» εφαρμόστηκε «Φθίνουσα Γραμμική» συνάρτηση συμμετοχής, χρησιμοποιώντας την παράμετρο $a=100$ και $b=300$. Η εφαρμογή της συγκεκριμένης συνάρτησης συμμετοχής δηλώνει ότι οι χωρικές ζώνες μέχρι 100 μέτρα θα έχουν μηδενική συμμετοχή στην συνάρτηση. Οι περιοχές που εντάσσονται εντός της ζώνης που οριοθετείται σε απόσταση από 100 έως 300 μέτρα, συμμετέχουν μέσω της αύξουσας γραμμικής συνάρτησης για τον τελικό καθορισμό της βαθμολογίας. Πέραν των 300 μέτρων οι διαμορφωθείσες χωρικές ζώνες, θεωρούμε ότι δεν επηρεάζουν τη χωροθέτηση. Οι ζώνες αυτές βαθμολογούνται με τη μέγιστη βαθμολογία με τιμή 1 στη συνάρτηση συμμετοχής (Σχήμα 5-11).



Σχήμα 5-10. Χωρικό ομοίωμα Byte (0-255) Παράγοντα F4 και Ασαφοποίηση αυτού.



Σχήμα 5-11. Χωρικό ομοίωμα Byte (0-255) Παράγοντα F5 και Ασαφοποίηση αυτού.

5.3.2.2.6 Κριτήριο Απόσταση από Οικισμούς – F6

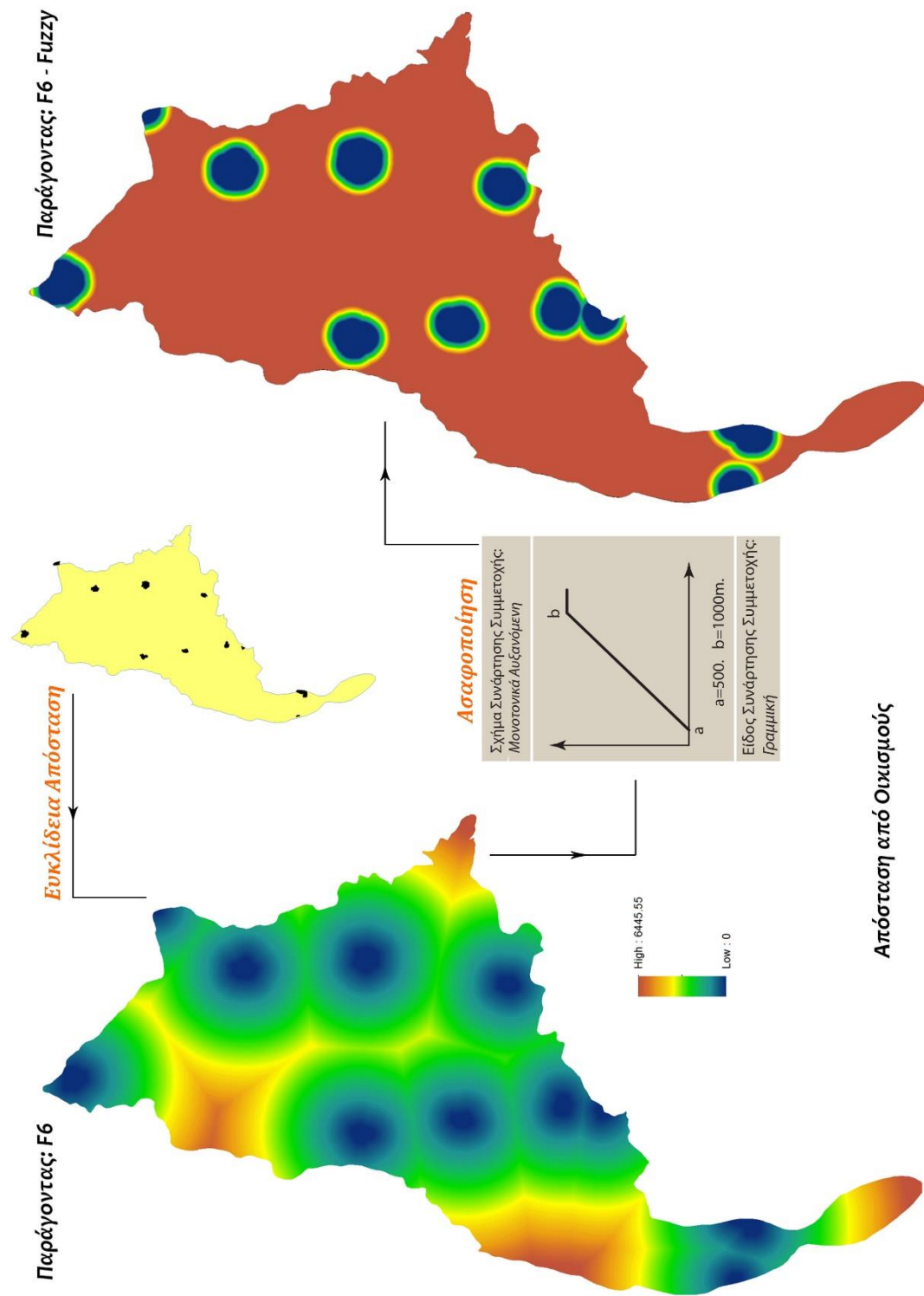
Το υποκριτήριο «Απόσταση από Οικισμούς» ακολουθεί τη διαδικασία που εικονίζεται στο Σχήμα (5-12). Αρχικά εκτελείται η χωρική διαδικασία της Ευκλείδειας Απόστασης από τους οικισμούς ενώ ακολούθως εφαρμόζεται «Γραμμικά Αύξουσα» συνάρτηση συμμετοχής με παραμέτρους $a=500$ και $b=1000$. Η συνάρτηση συμμετοχής δηλώνει ότι για κάθε περιοχή που εντάσσεται στη χωρική ζώνη μέχρι τα 500 μέτρα από τους οικισμούς θα έχει μηδενική συμμετοχή στην συνάρτηση. Όσο απομακρυνόμαστε από τους οικισμούς η συμμετοχή αυξάνει γραμμικά μέχρι να λάβει την τιμή 1 στις περιοχές οι οποίες βρίσκονται σε απόσταση 1000 μέτρων και μεγαλύτερη (Σχήμα 5-12).

5.3.2.2.7 Κριτήριο Εκθέσεις σε Ανέμους – F7

Το υποκριτήριο αξιολόγησης «Εκθέσεις σε Ανέμους» συνιστά ένα κριτήριο χωροθέτησης το οποίο λαμβάνεται με γνώμονα περιβαλλοντικό. Οι εκθέσεις οι οποίες υπόκεινται σε εντατικό καθεστώς δράσης των ανέμων στην περιοχή δύναται να εντείνουν το φαινόμενο της μετακίνησης οσμών και μικροαπορριμάτων που παράγονται στο χώρο του ΧΥΤΑ, σε μεγάλες αποστάσεις χιλιόμετρα μακριά σε μεγάλα αστικά κέντρα (Nicolas et al. 2006). Επιπλέον οι ισχυροί άνεμοι αρκετές φορές δυσχεραίνουν τις εργασίες εκφόρτωσης και διάστρωσης, ενώ αυξάνεται η διασπορά ελαφρών αντικειμένων στο χώρο.

Αρχικά χρησιμοποιήθηκε η μορφολογική παράμετρος «Προσανατολισμός του Αναγλύφου» εκφραζόμενη σε αζιμουθιακές μοίρες. Ταυτόχρονα λαμβάνεται υπόψη η συχνότητα των επικρατούντων ανέμων στην περιοχή της υδρολογικής λεκάνης η οποία αξιολογείται στο Κεφάλαιο 4.8 Πίνακας (5-6) όπου διακρίνεται η κατανομή των επικρατούντων ανέμων στις διάφορες εκθέσεις των πρανών, βάσει του Σχήματος (4-33). Εξαιτίας της εγγενούς ύπαρξης του προσανατολισμού του αναγλύφου ως μη γραμμικό υποκριτήριο για το λόγο αυτό δεν λαμβάνει χώρα χρήση ασαφούς συνάρτησης συμμετοχής αλλά βαθμολογείται σύμφωνα με τις κανονικοποιημένες τιμές συχνοτήτων ανέμων (Πίνακας 5-6).

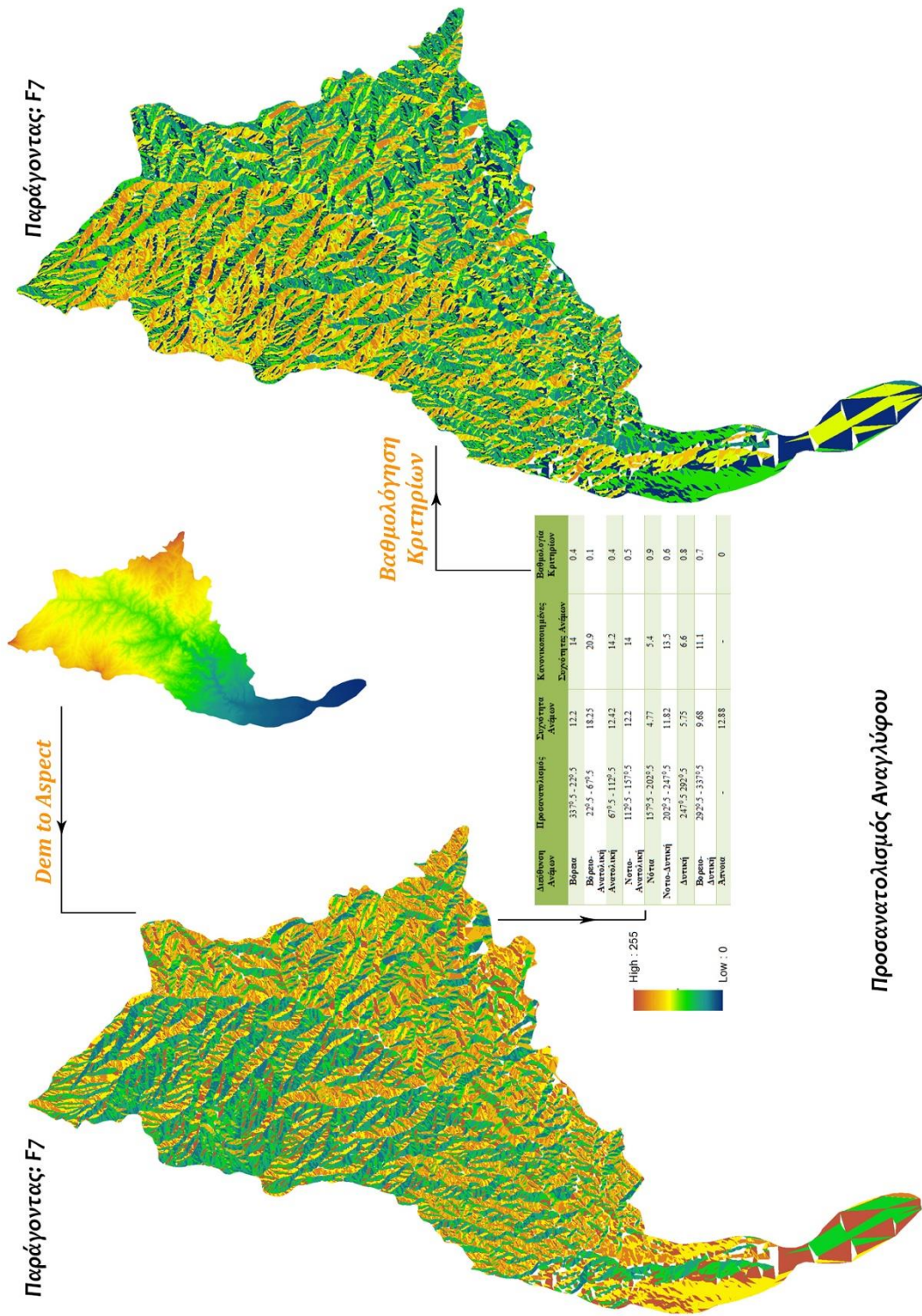
Σύμφωνα με το ανωτέρω σκεπτικό ο χωρικός καθορισμός του υποκριτηρίου «Εκθέσεις σε Ανέμους» βασίστηκε σε εργαλεία γεωμορφολογικής ανάλυσης, βάσει των κανονικοποιημένων συχνοτήτων εμφάνισης των ανέμων. Το υποκριτήριο διακρίνεται στο Σχήμα (5-13).



Σχήμα 5-12. Χωρικό ομοίωμα Byte (0-255) Παράγοντα F6 και Ασαφοποίηση αυτού.

Πίνακας 5-6. Πίνακας κανονικοποιημένων τιμών των συχνοτήτων ανέμου αναφορικά με την κατεύθυνση πρανάων.

Διεύθυνση Ανέμων	Προσανατολισμός	Συχνότητα Ανέμων	Κανονικοποιημένες Συχνότητες Ανέμων	Βαθμολογία Κριτηρίων
Βόρεια	337 ^{0.5} - 22 ^{0.5}	12.2	14	0.4
Βόρειο-Ανατολική	22 ^{0.5} - 67 ^{0.5}	18.25	20.9	0.1
Ανατολική	67 ^{0.5} - 112 ^{0.5}	12.42	14.2	0.4
Νοτιο-Ανατολική	112 ^{0.5} - 157 ^{0.5}	12.2	14	0.5
Νότια	157 ^{0.5} - 202 ^{0.5}	4.77	5.4	0.9
Νοτιο-Δυτική	202 ^{0.5} - 247 ^{0.5}	11.82	13.5	0.6
Δυτική	247 ^{0.5} - 292 ^{0.5}	5.75	6.6	0.8
Βορειο-Δυτική	292 ^{0.5} - 337 ^{0.5}	9.68	11.1	0.7
Άπνοια	-	12.88	-	0



Σχήμα 5-13. Χωρικό ομοίωμα Byte (0-255) Παράγοντα F7 και Βαθμολόγηση προσανατολισμού.

5.3.2.2.8 Δόμηση Ιεραρχίας - Βαθμονόμηση Κριτηρίων Συνδυαστικά

Με την ολοκλήρωση της οργάνωσης των επιμέρους κριτηρίων ενός συστήματος σε ιεραρχική δομή, ορίζεται η μεθοδολογία που υιοθετείται για να αντιμετωπιστεί η πολυπλοκότητα των φυσικών και των τεχνητών συστημάτων (Dong et al., 2010). Η AHP βασίζεται μεθοδολογικά στην ιεραρχική δόμηση των στοιχείων που εμπλέκονται σε ένα πρόβλημα απόφασης. Αξιοσημείωτη είναι η διαπίστωση ότι στην ιεραρχική αυτή δομή αποτυπώνεται η γνώση, η πείρα και η διαίσθηση του Ιθύνοντα αναφορικά με την χωροθέτηση (Duran and Aguilo, 2008).

Επόμενη φάση της AHP συνιστά η αξιολόγηση της ιεραρχίας. Η αξιολόγηση αυτή καθ' αυτή βασίζεται σε συγκρίσεις ανά ζεύγη. Ο Ιθύνων συγκρίνει δύο κριτήρια αμφοτέρωθεν και αποδίδει μία αριθμητική τιμή στη σχετική τους βαρύτητα, απαντώντας στην ερώτηση: Η δράση P_i πόσες φορές περισσότερο από τη δράση P ικανοποιεί (επικρατεί, συνεισφέρει, επηρεάζει) το κριτήριο (ή την ιδιότητα). Ως εκ τούτου με το πέρας της επιμέρους βαθμολόγησης του κάθε κριτηρίου ακολουθεί η συνδυαστική βαθμονόμηση των κριτηρίων μεταξύ τους. Με τη βοήθεια της κλίμακας που διακρίνεται στο Πίνακα (5-7) (Rao, 1991), συγκρίναμε διαδοχικώς και αμφοτέρωθεν τα κριτήρια και καθορίσαμε τη σημαντικότητα τους σε σχέση με τις δυνητικές επιπτώσεις στο και από το τεχνικό έργο του ΧΥΤΑ. Στην υποκειμενική αυτή αξιολόγηση λήφθηκαν υπόψη οι παρατηρήσεις μας στην λεκάνη απορροής, όπως προέκυψαν από την ποσοτική αξιολόγηση των γεωμορφών. Βασιζόμενοι στη βαρύτητα του κάθε κριτηρίου κατασκευάστηκε ο πίνακας συσχετισμού των κριτηρίων (Πίνακας 5-8). Στη συνέχεια τα δεδομένα του πίνακα αυτού βελτιοποιήθηκαν μέσα από μια επαναληπτική διαδικασία ώστε να μην υπάρχουν ασυμβατότητες στη βαρύτητα μεταξύ των επιμέρους κριτηρίων (Fu et al., 2008). Σαν κριτήριο επιτυχούς βελτιστοποίησης τέθηκε ο συντελεστής συνάφειας να είναι μικρότερος του 0.1 (Saaty, 1977). Η βελτιστοποίηση του πίνακα συσχετισμού που πετύχαμε ήταν πολύ ικανοποιητική με συντελεστή συνάφειας ίσο με $CR=0.06$. Οι τελικές τιμές του πίνακα συσχετισμού της βαρύτητας των κριτηρίων φαίνονται στον Πίνακα (5-9).

Πίνακας 5-7. Συνεχής κλίμακα για την επιλογή της βαρύτητας κάθε κριτηρίου

ΛΙΓΟΤΕΡΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ					ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ			
Παρά πολύ Ισχυρά	Πολύ Ισχυρά	Ισχυρά	Ελαφρώς	Ισοδύναμα	Ελαφρώς	Ισχυρά	Πολύ Ισχυρά	Πάρα Πολύ Ισχυρά
1/9	1/7	1/5	1/3	/	3	5	7	9

Πίνακας 5-8: Πίνακας συσχετισμού της βαρύτητας των επιμέρους κριτηρίων

ΚΡΙΤΗΡΙΟ	Ρηξιγενείς Ζώνες	Κλίσεις Αναγλύφου	Υδρογραφικό Δίκτυο	Κατολισθήσεις	Οδικό Δίκτυο	Αστικός Ιστός	Προσαν. Αναγλύφου
Ρηξιγενείς Ζώνες	1						
Κλίσεις Αναγλύφου	2	1					
Υδρογρ.Δίκτυο	1.5	0.8	1				
Κατολισθήσεις	1	1	1.5	1			
Οδικό Δίκτυο	0.8	2	0.5	0.5	1		
Αστικός Ιστός	1.5	1.5	0.5	0.5	1.5	1	
Προσαν. Αναγλύφου	1.5	1	0.5	0.5	1.5	1.5	1

5.3.3 Στάθμιση Κριτηρίων

Πίνακας 5-9. Βαρύτητα κριτηρίων

Κριτήριο	Βαρύτητα
Ρηξιγενείς Ζώνες	0.1089
Οδικό Δίκτυο	0.1135
Αστικός Ιστός	0.1276
Προσαν. Αναγλύφου	0.1326
Κλίση Αναγλύφου	0.1416
Υδρογρ. Δίκτυο	0.1792
Κατολισθήσεις	0.1965
Συντελεστής συνάφειας	0.06

Οι τιμές του πίνακα συσχετισμού της βαρύτητας των κριτηρίων που υλοποιήθηκε στο προηγούμενο στάδιο χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του ιδιοδιανύσματος των βαρών κάθε κριτηρίου.

Η βαρύτητα του κάθε κριτηρίου που προέκυψε δίνεται στον Πίνακα (5-9) ιεραρχικά από αυτό με τη χαμηλότερη επίδοση έως αυτό με την υψηλότερη. Πιο σημαντικό κριτήριο ιεραρχικά, προκύπτει ότι είναι οι κατολισθήσεις που παρατηρήθηκαν στην υδρολογική λεκάνη, το υδρογραφικό δίκτυο, η κλίση του

αναγλύφου και ακολουθεί η έκθεση των πρανών σε ανέμους. Σε λιγότερο σημαντικό κριτήριο αναδεικνύεται το κριτήριο «Απόσταση από ρηξιγενείς ζώνες» με ελαφρώς πιο σημαντικό το κριτήριο της «Απόστασης από το οδικό δίκτυο».

Μετά την βαθμονόμηση του κάθε κριτηρίου και τον υπολογισμό της βαρύτητας του, ακολούθησε η τελική αναζήτηση του αποδεκτού σύμφωνα με τα κριτήρια χώρου για την χωροθέτηση του ΧΥΤΑ.. Ο υπολογισμός έλαβε χώρα σε επιμέρους τετραγωνικά τμήματα της λεκάνης με διαστάσεις 15x15m, σύμφωνα με την αρχική κανναβοποίηση.

Η επίλυση πρόκυψε με τον γραμμικό συνδυασμό των ανωτέρω παραγόντων πολλαπλασιάζοντας κάθε έναν με την τιμή του κάθε κριτηρίου βαρύτητας, βάσει της σχέσης $S = \sum W_i X_i$ (Voogd, 1983) όπου:

S = Καταλληλότητα

W = Τιμή του κριτηρίου σε κάθε σημείο της λεκάνης,

X = Βαρύτητα του κριτηρίου και

$i = 1, 2, 3, 4, 5$ το κάθε κριτήριο.

Πιο αναλυτικά η εξίσωση γίνεται:

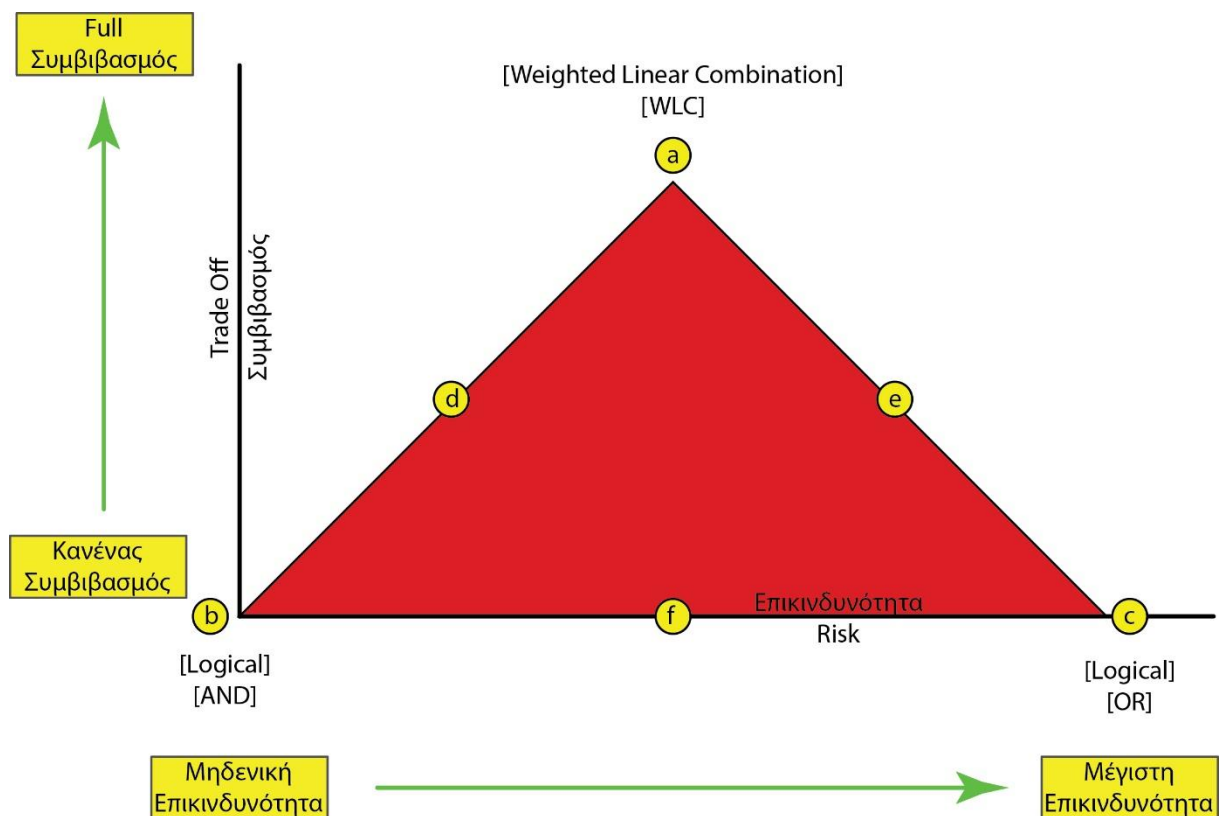
$$S = W_1 * X_1 + W_2 * X_2 + W_3 * X_3 + W_4 * X_4 + W_5 * X_5 + W_6 * X_6 + W_7 * X_7$$

5.3.4 Σταθμισμένη Μέθοδος Προγραμματισμού Μέσου Όρου

Η σταθμισμένη μέθοδος μέσου όρου (Order Weighting Averaging - OWA) βασίζεται στην ελαχιστοποίηση των σταθμισμένων και κανονικοποιημένων αποκλίσεων από τους στόχους παρέχοντας τον έλεγχο της θέσης του MCE σε ένα εικονικό τρίγωνο κατά μήκος της επικινδυνότητας (Risk) και του τελικού συμβιβασμού (trade-off), (Rinner and Malczewski, 2002). Χρησιμοποιώντας το OWA είμαστε σε θέση να ελέγξουμε το επίπεδο του κινδύνου που επιθυμούμε να αναλάβουμε σαν Ιθύνοντες. Η διαδικασία προϋποθέτει ότι ο ιθύνων μπορεί «διαισθητικά» να αναζητήσει και να εντοπίσει βάρη με βάση το βαθμό της λογικής συνάρτησης ANDness ή ORness (μηδενική επικινδυνότητα – μέγιστη επικινδυνότητα) στον οριζόντιο άξονα του τριγώνου OWA και ανάμεσα στον μηδενικό ή πλήρη συμβιβασμό (trade-off) στον κάθετο άξονα του τριγώνου OWA (Σχήμα 5-14). (Asproth et al., 1999), (Mendes and Motizuki, 2001). Για το σκοπό αυτό, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι για μια δεδομένη τιμή του ANDness (ή ORness) μπορεί ο ιθύνων να λάβει ένα μεγάλο αριθμό διαφορετικών τιμών επικινδυνότητας και συναφούς συμβιβασμού. Επίσης, για ένα δεδομένο βαθμό συμβιβασμού (trade-off) ο ιθύνων μπορεί να παράξει ικανό αριθμό διαφορετικών συνόλων βαρών, συνδεδεμένων με αντίστοιχους βαθμούς επικινδυνότητας, ANDness (ή ORness) (Yager, 1988). Κατά συνέπεια, η OWA βασίζεται στις αρχές της μέγιστης διασποράς (εντροπία) ή της μέγιστου συμβιβασμού (trade-off), προσφέροντας την ευκαιρία στον ιθύνοντα να εισαγάγει εξίσου σημαντικά θέματα που διαδραματίζουν ρόλο στην τελική χωροθέτηση όπως είναι το ρίσκο που θέλει να πάρει ή πόσο μπορεί ή θέλει να υιοθετήσει έναν συμβιβασμό ανάμεσα στα ζεύγη στόχων που έχει θέσει. Αν ο συμβιβασμός δεν είναι προτεραιότητα ή εφικτή προσέγγιση στην τελική λήψη απόφασης τότε μπορούν να τεθούν οι συντελεστές συμβιβασμού ίσοι με μονάδα. Στη κορυφή του τριγώνου της λήψης απόφασης (Σχήμα 5-14) βρίσκεται η μέθοδος (Weighting Linear Combination – WLC) η οποία εφαρμόστηκε με την AHP, σημείο (a) – κορυφής τριγώνου στο Σχήμα (5-14). Σε αυτή την κατηγορία ανήκει η διεργασία αναλυτικής ιεραρχίας (AHP) και ο σταθμισμένος γραμμικός συνδυασμός. Το σενάριο (a) αποτιμάται ως μέσο επίπεδο επικινδυνότητας και μέγιστος συμβιβασμός. Οι υπόλοιπες δυνάμει αποφάσεις διακρίνονται στον Πίνακα (5-10) και εννοιολογικά στο τρίγωνο OWA του Σχήματος (5-14) εκ των οποίων τεκμαίρεται πως η WLC, ως σενάριο (a) συνιστά εναλλακτικό OWA υιοθετώντας μια συντηρητική απόφαση για την τελική χωροθέτηση (Sanaee et al., 2010). Τα επαγόμενα σενάρια-αποτελέσματα σε επίπεδο χωρικού ομοιώματος κανάβου (Grid) διακρίνονται στα Σχήματα (5-15, 5-16). Σε κάθε περίπτωση η τελική απόφαση είναι ζήτημα βαθμού.

5.3.5 Ανάλυση Ευαισθησίας

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή θα εφαρμοστούν έξι στρατηγικά σενάρια για την αναζήτηση της τελικής θέσης. Κάθε στρατηγική συνδέεται με μία δεδομένη τιμή των (a), (b), (c), (d), (e), (f) (Σχήμα 5-14) συνδέοντας αντιστρόφως ανάλογα τη σχέση ανάμεσα στον κίνδυνο (Risk) και τον συμβιβασμό (Trade-off), όπως διακρίνεται στο στρατηγικό τρίγωνο της OWA (Σχήμα 5-14). Η OWA μεθοδολογικά θα μας αποδώσει τον έλεγχο της κάθε θέσης της MCE τόσο κατά μήκος του κινδύνου όσο και του τελικού συμβιβασμού. Η διαδικασία είναι σε θέση να ελέγξει το επίπεδο του κινδύνου που επιθυμούμε να αναλάβουμε ως Ιθύνοντες και και το βαθμό στον οποίο ο συμβιβασμός (trade off) θα επηρεάσει την



Σχήμα 5-14. Στρατηγικό τρίγωνο OWA και τυπικές σχέσεις απόδοσης βερών μεταξύ επικινδυνότητας και συμβιβασμού.

τελική μας χωροθέτηση.

Τα σενάρια αυτά περιλαμβάνουν:

Σενάριο Α: Στο πρώτο σενάριο, Θέση (a), (Σχήμα 5-14), (Πίνακας 5-10) χαρακτηρίζεται εννοιολογικά από μέσο επίπεδο επικινδυνότητας και μέγιστο συμβιβασμό. Το επίπεδο του κινδύνου εντάσσεται ακριβώς ανάμεσα στο AND και στο OR (Σχήμα 5-14) ενώ τα βάρη κατανέμονται ομοιόμορφα με τιμή 0.1428 (Πίνακας 5-10) για κάθε υποκριτήριο. Το σενάριο Α έχει πανομοιότυπα αποτελέσματα με αυτά που προκύπτουν από την εφαρμογή της WLC. Μια τέτοια στάθμιση δεν οδηγεί σε ιδιαίτερα διλήμματα

χωροθέτησης μιας και κυμαίνεται σε ενδιάμεσο επίπεδο επικινδυνότητας με το μέγιστο συμβιβασμό. Το χωρικό ομοίωμα του Σεναρίου Α διακρίνεται στο Σχήμα (5-15).

Πίνακας 5-10. Τυπικό σύνολο σταθμισμένων τιμών για επτά κριτήρια – υποκριτήρια.

(α) Μέσο επίπεδο επικινδυνότητας και μέγιστος συμβιβασμός							
Στάθμιση	0.1428	0.1428	0.1428	0.1428	0.1428	0.1428	0.1428
Κατάταξη	Ρηξιγενείς Ζώνες	Οδικό Δίκτυο	Αστικός Ιστός	Προσαν. Αναγλύφου	Κλίση Αναγλύφου	Υδρογρ. Δίκτυο	Κατολισθήσεις

(β) Μηδενική επικινδυνότητα και κανένας συμβιβασμός							
Στάθμιση	1	0	0	0	0	0	0
Κατάταξη	Ρηξιγενείς Ζώνες	Οδικό Δίκτυο	Αστικός Ιστός	Προσαν. Αναγλύφου	Κλίση Αναγλύφου	Υδρογρ. Δίκτυο	Κατολισθήσεις

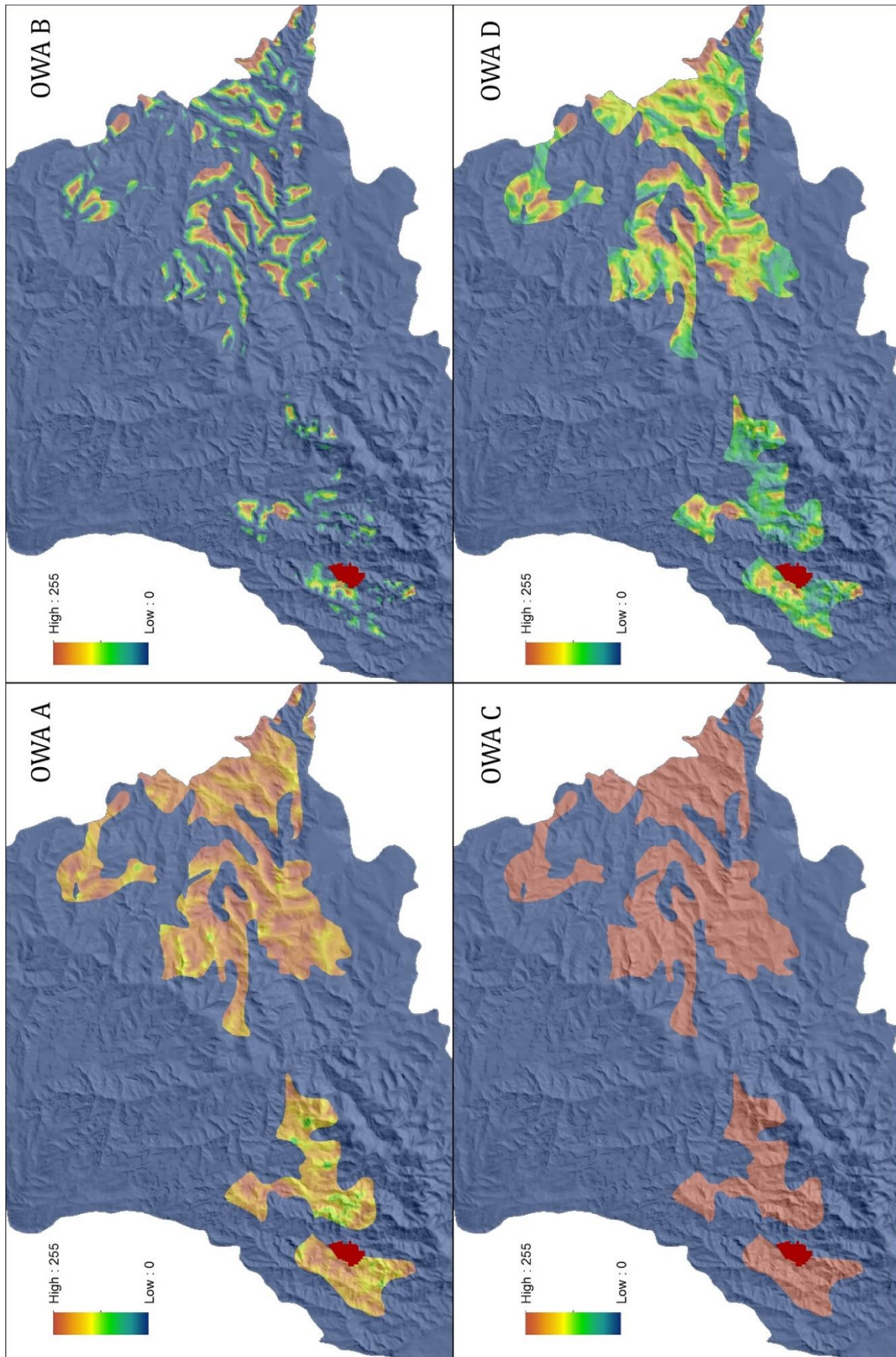
(γ) Μέγιστη επικινδυνότητα και κανένας συμβιβασμός							
Στάθμιση	0	0	0	0	0	0	1
Κατάταξη	Ρηξιγενείς Ζώνες	Οδικό Δίκτυο	Αστικός Ιστός	Προσαν. Αναγλύφου	Κλίση Αναγλύφου	Υδρογρ. Δίκτυο	Κατολισθήσεις

(δ) Χαμηλό επίπεδο επικινδυνότητας και ενδιάμεσος συμβιβασμός							
Στάθμιση	0.4555	0.2772	0.1579	0.0789	0.032	0.0085	0
Κατάταξη	Ρηξιγενείς Ζώνες	Οδικό Δίκτυο	Αστικός Ιστός	Προσαν. Αναγλύφου	Κλίση Αναγλύφου	Υδρογρ. Δίκτυο	Κατολισθήσεις

(ε) Υψηλό επίπεδο επικινδυνότητας και ενδιάμεσος συμβιβασμός							
Στάθμιση	0	0.0085	0.032	0.0789	0.1579	0.2772	0.4455
Κατάταξη	Ρηξιγενείς Ζώνες	Οδικό Δίκτυο	Αστικός Ιστός	Προσαν. Αναγλύφου	Κλίση Αναγλύφου	Υδρογρ. Δίκτυο	Κατολισθήσεις

(φ) Ενδιάμεσο επίπεδο επικινδυνότητας και κανένας συμβιβασμός							
Στάθμιση	0	0	0	1	0	0	0
Κατάταξη	Ρηξιγενείς Ζώνες	Οδικό Δίκτυο	Αστικός Ιστός	Προσαν. Αναγλύφου	Κλίση Αναγλύφου	Υδρογρ. Δίκτυο	Κατολισθήσεις

Σενάριο Β: Στο δεύτερο σενάριο, Θέση **(β)**, (Σχήμα 5-14), (Πίνακας 5-10) χαρακτηρίζεται εννοιολογικά από μηδενική επικινδυνότητα και κανένα συμβιβασμό. Το επίπεδο του κινδύνου τοποθετείται ακριβώς στο AND (Σχήμα 5-14) ενώ τα βάρη κατανέμονται ανομοιόμορφα με τιμή 1 στο κριτήριο με τη μικρότερη επίδοση (Πίνακας 5-10) που είναι οι ρηξιγενείς ζώνες. Το σενάριο Β έχει πανομοιότυπα αποτελέσματα με αυτά που προκύπτουν από την εφαρμογή της Boolean γεωμετρίας χωροθετώντας αποκλειστικά με ζώνες περιορισμών (Constraints) χωρίς απόδοση βαρών. Μια τέτοια στάθμιση δεν οδηγεί σε κανένα δίλημμα χωροθέτησης και κυμαίνεται στο ελάχιστο επίπεδο επικινδυνότητας με τον ελάχιστο λαμβανόμενο συμβιβασμό. Το χωρικό ομοίωμα του Σεναρίου Β διακρίνεται στο Σχήμα (5-15).



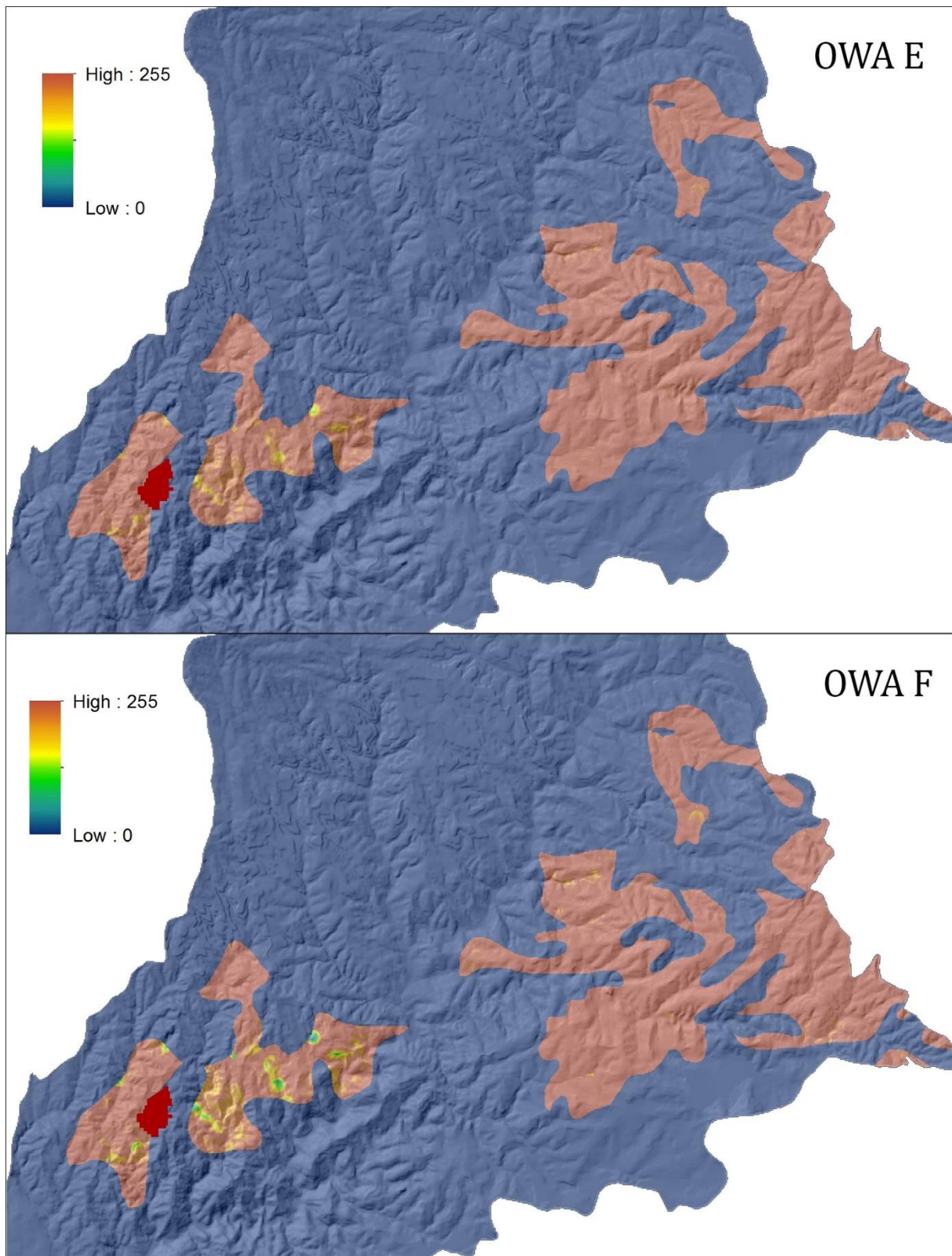
Σχήμα 5-15. Τυπικές OWA για τα σενάρια (a), (b), (c), (d), χωροθέτησης του τελικού αποδέκτη σε διαβαθμίσεις κλίμακας 0-255. Με τιμές 0=μη αποδεκτές και 255= απόλυτα αποδεκτές. Το κόκκινο πολύγωνο δεικνύει την υφιστάμενη Θέση – Μαυροράχη II.

Σενάριο C: Στο τρίτο σενάριο, Θέση (c), (Σχήμα 5-14), (Πίνακας 5-10) χαρακτηρίζεται εννοιολογικά από μέγιστη επικινδυνότητα και κανένα συμβιβασμό. Το επίπεδο του κινδύνου τοποθετείται ακριβώς στο OR (Σχήμα 5-14) ενώ τα βάρη κατανέμονται ανομοιόμορφα με τιμή 1 στο κριτήριο με τη μεγαλύτερη επίδοση (Πίνακας 5-10) που είναι οι κατολισθήσεις. Το σενάριο C οδηγεί σε μεγάλα διλήμματα χωροθέτησης καθότι κυμαίνεται στο μέγιστο επίπεδο επικινδυνότητας που μπορεί να πάρει ο Ιθύνων με μηδενικό λαμβανόμενο συμβιβασμό. Το χωρικό ομοίωμα του Σεναρίου C διακρίνεται στο Σχήμα (5-15).

Σενάριο D: Στο τέταρτο σενάριο, Θέση (d), (Σχήμα 5-14), (Πίνακας 5-10) χαρακτηρίζεται εννοιολογικά από χαμηλό επίπεδο επικινδυνότητας και ενδιάμεσο συμβιβασμό. Το επίπεδο του κινδύνου τοποθετείται κοντά στο AND (Σχήμα 5-14) ενώ τα βάρη κατανέμονται ανομοιόμορφα και με φθίνουσα διαβάθμιση από την τιμή 0.4555 στο κριτήριο με τη μικρότερη επίδοση (Πίνακας 5-10) που είναι οι ρηξιγενείς ζώνες έως την τιμή 1 για τις κατολισθήσεις. Μια τέτοια στάθμιση δεν οδηγεί σε ιδιαίτερο δίλημμα χωροθέτησης και κυμαίνεται σε μικρό επίπεδο επικινδυνότητας με ενδιάμεσο λαμβανόμενο συμβιβασμό. Το χωρικό ομοίωμα του Σεναρίου D διακρίνεται στο Σχήμα (5-15).

Σενάριο E: Στο πέμπτο σενάριο, Θέση (e), (Σχήμα 5-14), (Πίνακας 5-10) χαρακτηρίζεται εννοιολογικά από υψηλό επίπεδο επικινδυνότητας και ενδιάμεσο συμβιβασμό. Το επίπεδο του κινδύνου τοποθετείται κοντά στο OR (Σχήμα 5-14) ενώ τα βάρη κατανέμονται ανομοιόμορφα και με αύξουσα διαβάθμιση από την τιμή 0 στο κριτήριο με τη μικρότερη επίδοση (Πίνακας 5-10) που είναι οι ρηξιγενείς ζώνες έως την τιμή 0.4555 για τις κατολισθήσεις. Μια τέτοια στάθμιση οδηγεί σε ιδιαίτερο δίλημμα χωροθέτησης μιας και κυμαίνεται σε μεγάλο επίπεδο επικινδυνότητας με ενδιάμεσο λαμβανόμενο συμβιβασμό. Το χωρικό ομοίωμα του Σεναρίου E διακρίνεται στο Σχήμα (5-16).

Σενάριο F: Στο έκτο σενάριο, Θέση (f), (Σχήμα 5-14), (Πίνακας 5-10) χαρακτηρίζεται εννοιολογικά από ενδιάμεσο επίπεδο επικινδυνότητας και κανένα συμβιβασμό. Το επίπεδο του κινδύνου εντάσσεται ακριβώς ανάμεσα στο AND και στο OR (Σχήμα 5-14) ενώ τα βάρη κατανέμονται ανομοιόμορφα με τιμή 1 στο κριτήριο με την ενδιάμεση επίδοση (Πίνακας 5-10) που είναι ο προσανατολισμός του αναγλύφου. Μια τέτοια στάθμιση οδηγεί σε ιδιαίτερο δίλημμα χωροθέτησης μιας και κυμαίνεται σε ενδιάμεσο επίπεδο επικινδυνότητας με μηδενικό όμως συμβιβασμό. Το χωρικό ομοίωμα του Σεναρίου F διακρίνεται στο Σχήμα (5-16).



Σχίμα 5-16. Τυπικές OWA για τα σενάρια (e), (f), χωροθέτησης του τελικού αποδέκτη σε διαβαθμίσεις κλίμακας 0-255. Με τιμές 0=μη αποδεκτές και 255= απόλυτα αποδεκτές. Το κόκκινο πολύγωνο δεικνύει την υφιστάμενη Θέση – Μαυροράχη II.

5.4 Επισκόπηση

Αντικείμενο της παρούσης μεταπτυχιακής διατριβής αποτέλεσε η χωροθέτηση ΧΥΤΑ ο οποίος υπάγεται γεωγραφικά στα ΒΔ τμήματα του Νομού Θεσσαλονίκης. Βασιζόμενοι στην ελληνική νομοθεσία και σε βιβλιογραφικές αναφορές η έρευνα υλοποιήθηκε σε περιβάλλον GIS εφαρμόζοντας ευρέως μεθοδολογίες Πολυκριτηριακής Ανάλυσης (MCDM) και μεθόδων Λογικής της Ασάφειας (Fuzzy Logic). Κύριος γνώμονας για την επιλογή των ΒΔ περιοχών της Θεσσαλονίκης για τη χωροθέτηση του έργου αποτέλεσε το γεγονός της έντονης οικιστικής ανάπτυξης των νότιων παράκτιων περιοχών του Νομού κατά τα τελευταία 30 χρόνια και το γεγονός ότι ο ΧΥΤΑ Ταγαράδων ο οποίος λειτούργησε κατά το χρονικό αυτό διάστημα εξάντλησε τα όρια της λειτουργίας του.

Η τελική θέση χωροθέτησης του υφιστάμενου πλέον ΧΥΤΑ Μαυροράχη II (Σχήμα 5-15), (Σχήμα 5-16), δεν αποτελεί αποτέλεσμα της παρούσας έρευνας αλλά επιλογή ανάμεσα σε τρεις υποψήφιους χώρους σε παραπλήσιες θέσεις του Μαυροράχη II.

Μεθοδολογικά η AHP είναι μια «αντικειμενική» μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε, με την έννοια ότι οι προτεραιότητες συνάγονται αλγοριθμικά από τις πληροφορίες που έχει δώσει ο Ιθύνων της απόφασης. Ωστόσο, είναι προφανές ότι οι πληροφορίες αυτές είναι υποκειμενικές. Η υποκειμενικότητα του Ιθύνοντα, υπεισέρχεται τόσο κατά τη μοντελοποίηση του προβλήματος σε ιεραρχία όσο και κατά τις συγκρίσεις ανά ζεύγη των κριτηρίων και των εναλλακτικών αξιολογήσεων. Η χρήση της Ασαφούς Λογικής, εφαρμόζεται για την αντιμετώπιση της παραπάνω αδυναμίας, καθώς η υιοθέτηση της ανταποκρίνεται με μεγαλύτερη ευκολία στην απροσδιοριστία που υπάρχει στα φυσικά προβλήματα.

Σε αντίθεση με τη συμβατική πολυκριτηριακή λήψη αποφάσεων, το χωροταξικό πλαίσιο της πολυκριτηριακής ανάλυσης γεωγραφικής συνιστώσας απαιτεί δύο στοιχεία για να λειτουργήσει. Το συμβατικό στοιχείο των σταθμισμένων βαρών και τη γεωγραφική θέση των εναλλακτικών λύσεων.

Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή καταδεικνύουν την εφαρμογή του Σταθμισμένου Γραμμικού Συνδυασμού (WLC) και της Σταθμισμένης Μέσης Τιμής (OWA) σε πλατφόρμα Raster GIS για την αναζήτηση και εν τέλει τη χωροθέτηση των πλέον κατάλληλων θέσεων για κατασκευή ΧΥΤΑ. Είναι σαφές ότι ολοκληρωμένα εργαλεία υποστήριξης αποφάσεων σε πλατφόρμα Raster GIS είναι σε θέση να αναζητήσουν και να αποτιμήσουν θέσεις για την αξιολόγηση της καταλληλότητας της γης. Στην τρέχουσα μεταπτυχιακή διατριβή εφαρμόστηκε μια απλή υπόθεση εργασίας με επτά υποκριτήρια. Στον πραγματικό κόσμο, η κατάσταση είναι πολύ πιο πολύπλοκη. Υπάρχουν πολλά ακόμη κριτήρια που χρίζουν διερεύνησης ειδικά για χωροθέτηση οχλουσών δραστηριοτήτων όπως είναι οι ΧΥΤΑ.

Η αναζήτηση τέτοιων κριτηρίων σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να πληρεί ορισμένες προϋποθέσεις και τα κριτήρια προς αναζήτηση να εμφανίζουν χαρακτηριστικά όπως:

- Πληρότητα,
- Ανεξαρτησία,
- Πραγματική επιρροή,
- Αντιπροσωπευτικά βάρη,
- Αξιόπιστη κλίμακα βαρών,
- Ορθολογική εκτίμηση σφάλματος και τέλος,
- Ενσωμάτωση στη βάση δεδομένων στοιχεία της αβεβαιότητας και της ευαισθησία ανάλυσης.

Εν κατακλείδι η ανάγκη επιπλέον συμβατότητας μεταξύ των δεδομένων εισόδου και εξόδου, αναδεικνύουν την περαιτέρω έρευνα, ώστε η προτεινόμενη μεθοδολογία να καταστεί περισσότερο ελκυστική στους Ιθύνοντες που εμπλέκονται σε προβλήματα χωροθέτησης. Τα εργαλεία που είναι διαθέσιμα επί του παρόντος, προσφέρουν πλεονεκτήματα και αναδεικνύουν τα Raster GIS σε εξαιρετικό εργαλείο αποτίμησης, διαχείρισης, απόδοσης και εν τέλει λήψης απόφασης.

5.5 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

5.5.1 Ελληνική Βιβλιογραφία

Ζαμάνη Α., Παπαπέτρου, (1995). Γεωμορφολογία. Εκδόσεις Συμμετρία.

Κοντούλας Α., Κοσκοσίδης Α., Μαυράκης Γ., Μπεργελές Κ. (2010). Επισκόπηση χρήσης μεθόδων πολυκριτηριακής ανάλυσης σε περιβαλλοντικά προβλήματα, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Ιούνιος.

Κούγκολος Α., (2000). Διαχείριση στερεών αποβλήτων στην Ελλάδα . Η περίπτωση της Θεσσαλίας στο *Δεκαεπτά Κείμενα για το Σχεδιασμό, τις Πόλεις και την Ανάπτυξη*, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας, Βόλος.

Μαυρομάτης Γ., (1980). Το βιοκλίμα της Ελλάδας. Σχέσεις κλίματος και φυσικής βλαστήσεως. Βιοκλιματικοί χάρτες. Δασ. Έρευνα, τομ. 1.

Μπαλαφούτης, Χ. (1977). Συμβολή εις την μελέτην του κλίματος της Μακεδονίας και Δυτικής Θράκης. Διδακτορική Διατριβή, Θεσσαλονίκη, σελ.121.

Παπακωνσταντίνου Α., Στεφανίδης Π., Καλούση Ε. (1987). “Υδρογεωλογική μελέτη στις ευρύτερες περιοχές των επιλεγέντων χώρων εναπόθεσης στερεών βιομηχανικών αποβλήτων στις κοινότητες Νεοχωρούδας και Περιστεράς του Ν. Θεσσαλονίκης”, ΙΓΜΕ.

Πήττας, Α., (2003). Εφαρμογή Μεθόδων Τηλεανίχνευσης στην Παρακολούθηση της Χωροχρονικής Εξέλιξης του Ταμιευτήρα της Λίμνης Κορώνειας. 90 Πανελλήνιο Συνέδριο Υδροτεχνικής Ένωσης – Θεσσαλονίκη 2-5 Απριλίου 2003.

Τζιμόπουλος, Χ., (2004). «Επιχειρησιακό σχέδιο αποκατάστασης της λίμνης Κορώνειας του Νομού Θεσσαλονίκης». Ερευνητικό έργο, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογραφών Μηχανικών, Τομέας Συγκοινωνιακών και Υδραυλικών Έργων, Α.Π.Θ.

Ψιλοβίκος, Α., (1977). Παλαιογεωγραφική εξέλιξης της λεκάνης και της λίμνης της Μυγδονίας Λαγκαδά-Βόλβης), Διδ. διατρ. Φ.Μ.Σ. Α.Π.Θ.

Ψιλοβίκος, Α., (1996). *Βέλτιστη διαχείριση υπόγειων υδροφορέων με τη μέθοδο του γραμμικού προγραμματισμού. Εφαρμογή στον υδροφορέα Ειδομένης – Ευζώνων*. Μεταπτυχιακή διατριβή. Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Α.Π.Θ.

5.5.2 Διεθνής Βιβλιογραφία

Abu-Taleb M., (2000). Application of multicriteria analysis to the design of wastewater treatment in a nationally protected area. *Readings in Environ Eng. and Policy* 2, 37-46 Springer-Verlag.

Adair, J., (2010). *Decision Making and Problem Solving Strategies*. The Sunday Times, London, Philadelphia, New Delhi.

Adam, F., Humphreys, P., (2008). *Encyclopedia of Decision Making and Decision Support Technologies*. Information Science Reference, Hershey, New York.

Al-Jarrah, O. and Abu-Qdais, H., (2006). Municipal solid waste landfill siting using intelligent system. *Waste management*,

Aravossis, K., Anagnostopoulos, P., Kumgolos, A., Vliamos, S., (2001). A new methodology approach for the technical-economical evaluation of alternative waste disposal methods by use of multicriteria analysis. *7th International Conference on Environmental Science and Technology*, ed. by T. D. LEKKAS, September 3-6, Ermoupolis, Syros Island, Greece, Vol. A, pp. 40-51.

Aronoff, S., (1989). *Geographic Information Systems: A management perspective*. Ottawa, Canada: WDL Publications.

Babuska, R. (2000). "Introduction to Fuzzy Systems". In COIL 2000 Workshop: Evolutionary Computing – Fuzzy Logic Machine Learning – Neural Networks, 19 June 2000, Chios, Greece.

Banai, R. (1993). Fuzziness in Geographical Information Systems: contributions from the analytic hierarchy process, *International Journal of Geographical Information Systems*, 7, 315-329.

Barzilai, J., (2008). "Preference Modeling in Engineering Design" in "Decision Making in Engineering Design", Ed. Kemper E. Lewis, et al., New York: ASME Press, pp. 43-47.

Bautista J. and Pereira J. (2006). 'Modeling the problem of locating collection areas for urban waste management', An application to the metropolitan area of Barcelona, *Omega*, Vol.34, No.6, pp.617-629.

Bezdek, J., (1982). Fuzzy Qmodel: A new approach for linear unmixing. *Jour. Math. Geology* (1982).

Bianco, D., (2006). Decision Making, in *Encyclopedia of Management* Edited by Marilyn M. Helms (2006), 5th Edition, Thomson Gale Editions. pp 160 – 164.

Borouhaki, S., Malczewski, J., (2008). Implementing an extension of the analytical hierarchy process using ordered weighted averaging operators with fuzzy quantifiers in ArcGIS. *Computers & Geosciences* 34(4), 399–410.

Brierley, G. J., & Fryirs, K. A. (2005). *Geomorphology and river management - applications of the River Styles framework*. Carlton, VIC.: Blackwell Publishing.

Briggs, Th., Kunsch, P.L., Mareschal, B., (1990). Nuclear waste management: An application of the multicriteria PROMETHEE methods. *European Journal of Operational Research*, 44, 1–10.

Broscoe, A.J (1959). “Quantitative Analysis of Longitudinal Stream Profiles of Small Watersheds”, Project N. 389042, Tech. Rep. 18, Geology Department, Columbian University, ONR, Geography Branch, New York.

Bull, W.B. (1978). *Geomorphic Tectonic Activity Classes of the South Front of the San Gabriel Mountains, California*. United States Geological Survey, Contract Report 14-08-001-G-394, Office of Earthquakes, Volcanoes and Engineering, Menlo Park, CA.

Burrough, P.A. (1986). “Fuzzy Mathematical Methods for Soil Survey and Land Evaluation”. *Journal of Soil Science*, vol. 40, p.p. 477-492.

Burrough, P. and R. McDonnell, (1998), *Principles of Geographical Information Systems*. (Oxford: Oxford University Press).

Calijuri, M., Marques, E. and et al. (2004). Multi-criteria analysis for the identification of waste disposal areas. *Geotechnical and Geological Engineering*, 22(2):299–312.

Carlson, E.D. (1982). “Building Effective Decision Support Systems”. Prentice-Hall, Englewood Cliffs NJ.

Caruso C., Colomi A. and Paruccini M. (1993). ‘The regional urban solid waste management system: A modeling approach’, *European Journal of Operational Research*, Vol.70, No.1, pp.16-30.

Carver, S.J. (1991). Integrating multi-criteria evaluation with geographical information systems, *International Journal of Geographical Information Systems*, 5, 321-339.

Chang, N.Bin, Parvathinathan, G., Breedon, J. B., (2008). Combining GIS with fuzzy multi criteria decision-making for landfill sitting in a fast-growing urban region. *J. Environ. Manage.* 87 (1), 139–153.

Charnpratheep, K., Zhou, Q., Garner, B., (1997). Preliminary landfill site screening using fuzzy geographical information systems. *Waste Manage. Res.* 15, 197–215.

Chatzidimitriadis E., Kiliyas A., Staikopoulos G. (1985). Nuovi aspetti petrologici e tettonici del massiccio Serbomacedonne e delle regioni adiacenti, della Grecia del Nord. *Στο Bolletino della Societa Geologica Italiana*. vol. 104 p.515-526.

Chauhan, K., A., Shah N.C., Venkata R.R., (2008). The Analytic Hierarchy Process as a decision-support system in the housing sector: a case study. *World Applied Sciences Journal* 3, 609-613.

De Ru, W.G. & Eloff, J.H.P. (1996). "Risk Analysis Modelling with the Use of Fuzzy Logic". *Computers & Security*, vol. 15, No.3, p.p. 239-248.

Diakoulaki, D., Papayannakis, L., Moutzouris, P., Alexopoulou, S., Lavdaki, N., (1993): Selection of Solid Waste and Sludge Disposal System by Multicriteria Analysis" *HELECO '93: 1st International Exhibition and Conference for Environmental Technology I, TEE*.

Dikau, R., (1989). The application of a digital relief model to landform analysis. In: Raper, J.F. (Ed.), *Three dimensional applications in Geographical Information Systems*. Taylor and Francis, London, pp. 51 – 77.

Dinter D. A., and L.Royden, (1993). Late Cenozoic extension in Northern Greece: Strymon valley detachment system and Rhodope metamorphic core complex, *Geology*, 21, 45-48.

Dixon, J. E. and Dimitriadis, (1984). Metamorphosed ophiolitic rocks from the Servomacedonian Massif, near lake Volvi, Northeast Greece, in "The Geological evolution of the eastern mediterranean, edited by J. E. Dixon and A. H. F. Robertson, Geological society Special Publication, 17, London, 603-618.

Dimitriadis, S. And A. Godelitsas, (1991). Evidence for high pressure metamorphism in the Vertiskos group of the Servomacedonian massif. The eclogite of Nea Roda, Chalkidiki, *Bulletin Geological society of Greece*, 25(1), 67-80.

Djokic, D. (1996). *Toward a general-purpose decision support system using existing technologies*. In *GIS and Environmental Modeling: Progress and Research Issues*, p.p. 353-356, GIS World Books, Fort Collins, CO.

Erhart-Schippke, W. & Mascha, H. (1998). *Dynamic ground water management system based on GIS*. *Water Resources and the Urban Environment: Proceedings of the Annual Water Resources Planning and Management Conference*. Reston, VA, USA: ASCE.

Etnier C., Sodeberg H., (2002). An exercise in multicriteria assessment for choosing a wastewater treatment system. *Submitted to Urban Water*.

Evans, J.R. & Olson, D.L. (2002). "Introduction to Simulation and Risk Analysis". N.Jersey: Prentice Hall.

Fayek, A.R. (2005). "Predicting Industrial Construction Labor Productivity Using Fuzzy Expert Systems" *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 131, No.8, p.p. 938-941.

Fedra, K. (1996). "Distributed models and Embedded GIS: Strategies and Case Studies of Integration". In Goodchild, M.F., Steyaert, L.T., Parks, B.O., Johnston, C., Maidment, D., Crane, M.,

Glendinning, S. (1996). "GIS and Environmental modeling: Progress and Research Issues". Fort Collins: GIS World Books. p.p. 413-418.

Feldman, C., (2008). "A Not So Pleasant Fairy Tale: Investigating Alice in Wonderland Syndrome". *Serendip*. Serendip Studio, Bryn Mawr College. Archived from the original on May 7, 2013. Retrieved 25 November 2011.

Figueira, J., Greco, S., Ehrogott, M. (Eds.), (2005). Multiple criteria decision analysis: State of the art surveys International series in operations research and management science. Springer New York, New York.

Forman E., Selly M.A., (2001). Decision by Objectives: How to convince others that you are right, World Scientific Publishing.

Foxon, T.J., Butler, D., Dawes, J.K., Hutchinson, D., Leach, M.A., Pearson, P.J.G., Rose, D., (2000). An Assessment of Water Demand Management Options from a Systems Approach. *Journal of Chartered Institute of Water and Environmental Management*, 14, 171-178.

Gemitzi A., Tsihrintzis V.A., Voudrias V., Petalas C. and Stravodimos G. (2007). Combining GIS, multicriteria evaluation techniques and fuzzy logic in siting MSW landfills, *Environmental Geology*, 51,797-811.

Goodchild. M., (1993). Introduction in Environmental Modelling with GIS. Oxford University Press London. Heywood, I., Cornelius, S. and Carver, S (1998). An introduction to Geographical Information Systems. Pearson Education Limited, England. pp 279.

Goodchild, M. F. (1993). The State of GIS for Environmental Problem-solving. In: Goodchild, M.F., Parks, B. O., Steyaert, L. T. (eds) Environmental Modeling with GIS. New York, NY, USA: Oxford University Press.

Greathouse, D., Clements, J., Morris, K. (1989). The Use of Expert System to Assist in Decision Concerning Environmental Control. *Critical Reviews in Environmental Control* 19:4, 341-357.

Gregory K.J., Walling D.E., (1983). Man and environmental processes: a physical geography perspective.

Grey, S. (1995). "Practical Risk Assessment for Project Management". Chichester, England: John Wiley and Sons.

Guibas, L., Stolfi. J., (1985). Primitives for the manipulation of general subdivisions and the computation of Voronoi diagrams. *ACM Transactions on Graphics*, 4(2):74–123, April 1985.

Haining, R. (1994). "Designing Spatial Data Analysis Modules for Geographical Information Systems". In Forthingham, P. & Rogerson, P. (1994). "Spatial Analysis and GIS". Hong Kong: Taylor & Francis.

Hatzichristos, T., Giaoutzi, M., (2006). Landfill siting using GIS, fuzzy logic and the Delphi method. *International Journal of Environmental Technology and Management* 6 (1/2).

Hokkanen, J. and Salminen, P., (1997). Choosing a Solid Waste Management System Using Multicriteria Decision Analysis, *European Journal of Operational Research*, 98, 1936.

Horton, R.E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bulletin of the Geological Society of America* 56, 2 75-3 70.

Jensen J.R. and Christensen E.J., (1986). Solid and Hazardous Waste Disposal Site Selection Using Digital Geographic Information System Techniques. *The Science of the Total Environment*, 56, 265-276.

Johnston, C. A. and R. J. Naiman (1990). The use of a geographic information system to analyze long-term landscape alteration by beaver. *Landscape Ecology* 4:5-19.

Joerin F., Musy A. (2000). 'Land management with GIS and multicriteria analysis', *International Transactions in Operational Research*, (7), pp.67-78.

Kallali, H., Anane, M., Jellali, S., Tarhouni, J., (2007). GIS-based multi-criteria analysis for potential wastewater aquifer recharge sites. *Desalination* 215, 111–119.

Kao JJ, Lin H., (1996). Multifactor spatial analysis for landfill siting. *J Environ. Eng* 122(10): 902–908.

Karkazi A., Hatzichristos T., Mavropoulos A., Emmanouilidou B., Elseoud A., (2001). Landfill Siting using GIS and Fuzzy Logic. 8th International Landfill Symposium, Sardinia, Italy.

Kassoli-Fournaraki, (1984). A. Contribution to the mineralogical and petrological study of the amphibolitic rocks from the Serbomacedonian massif, Ph.D. thesis, 231pp. University of Thessaloniki, 1984.

Kauffman, G., F. Kockel, and H. Mollat, (1976). Notes on the stratigraphic and paleogeographic position of the Svoula formation in the Innermost zone of the Hellenides (Northern Greece), *Bulletin Geological Society de la France*, 18(2), 225-230.

Keeney, R., Raiffa, H., (1993). *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs*. Willey, New York.

Knight, K. & Fayek, A.R. (2002). Use of Fuzzy Logic for Predicting Design Cost Overruns on Building Projects". *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 128, No.6, p.p. 503-512.

Kockel, F.H. Mollat, H. Walther, (1971). Geologie des Serbomazedonischen Massivs und seines mesozoischen Rahmes (Nordgriechenland), Geol. Jb. 89, 529-551.

Kourou, A., (1991). Lithology, tectonic, geochemistry, and metamorphism in the western part of Vertiskos group. The NE from the lake Agios Vasilios, Northern Greece, PH.D. Thesis, 461pp. University of Thessaloniki.

Lawson, C.L., (1977). Software for C-1 surface interpolation. Jet Propulsion Laboratory, C.I.T., Pasadena, Publication 77-30.

Lee, D. T., Schachter, B. J., (1980). Two Algorithms for Constructing a Delaunay Triangulation, International Journal of Computer and Information Sciences, v. 9, n. 3, (1980) p. 219-242.

Macharis C., Springael J., De Brucker K., Verbeke A., (2004). PROMETHEE and AHP: the design of operational synergies in multicriteria analysis. Strengthening PROMETHEE with ideas of AHP. European Journal of Operational Research, 153, 307-317.

Mahler, C. F.; De Lima, G. S., (2003). Applying value analysis and fuzzy logic to select areas for installing waste fills, Environ. Monitor. Assess, 84 (1-2), 129-140.

Mahmoodzadeh, S., Shahrabi, J., Pariazar, M., & Zaeri, M. S. (2007). Project selection by using fuzzy AHP and TOPSIS technique. International Journal of Human and social sciences, 59-66.

Makowski, M., (2001). *Multi-objective Decision Support Including Sensitivity Analysis*, Laxenburg, Austria, draft version from EOLSS.

Malczewski, J. (1999). GIS and Multicriteria Decision Analysis. Wiley, New York.

Mason, D., (2000), An Analysis of methodology for generating watershed parameters using GIS, Bureau of Engineering Research, The university of Texas, Austin, TX 78712-4497.

Massong, T., Smith, K.I., Glover, A., Candelaria, K., and Bullard, M. (2002). Overview of Geomorphology for the Middle Rio Grande. Technical Report, U.S. Bureau of Reclamation, Albuquerque, New Mexico. 8 pp.

Mazaher, M., (2010). Siting MSW landfill using weighted linear combination and analytical Hierarchy process (AHP) methodology in GIS environment (case study: Karaj) Waste Manage, 30, pp. 912–920.

Medaglia, A. L., Fang, S. C., & Nuttle, H. L. W. (2002). Fuzzy controlled simulation optimization. *Fuzzy Sets and Systems*, 127(1), 65-84.

Merkhofer, M. L. and Keeney, R. L. (1987). A multiattribute utility analysis of alternative sites for the disposal of nuclear wastes. Risk Analysis, 7, 173-194.

Michard, A., Feinberg, H., Montigny, R., (1997). Supra-ophiolitic formations from the Thessaloniki nappe (Greece), and associated magmatism: an intra-oceanic subduction predates the Vardar obduction, *Tectonique*. 493-499.

Moore I.D., Lewis A., Gallant J. C., (1993). Terrain attributes: estimation of scale effects. In Jakeman A J, Beck M B, McAleer M (eds) *Modelling change in environmental systems*. New York, John Wiley & Sons Inc.: 189–214.

Morcöl, G., Editor. (2007). *Handbook of Decision Making*. CRC Press, Taylor and Francis Group.

Nebegu, A.B. (2005), Determinant of Sediment Yield in River Basins. Implications for Reservoir Management, *International Journal of Environmental Issues* 3(2), 40-48.

Papadopoulos, A., Boemi, S., Giama, E., Slini,T., (2011). Knowledge transfer and research needs for preparing mitigation/adaptation policy portfolios. Report to EC project PROMITHEAS-4.

Papalexandrou, M.A., Pilavachi, P.A., Chatzimouratidis, A.I., (2008). Evaluation of liquid bio-fuels using the Analytic Hierarchy Process. *Process Safety and Environment Protection* 86, 360-374.

Pascale, S., Troilo, L., Lorenz, C. (1998). “Risk Analysis: How good are your Decisions? Part 1”. *PM Network*, February, p.p.25-28

Pareta, K., (2011). “GeoEnvironmental and GeoHydrological Study of Rajghat Dam, Sagar (Madhya Pradesh) using Remote Sensing Techniques”, *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 2(8) (ISSN 2229-5518), pp 1-8.

Pavlidis, S., Kondopoulou, D., Kiliass, A., & Westphal, M. (1988). Complex rotational deformation in the Serbo-Macedonian massif (north Greece). A case of transtensional tectonics. *Tectonophysics*, 145, 329-335.

Pouria, A., Basiri, A. and Winstanley, A. (2014). *Evaluation of Data Management Systems for Geospatial Big Data*. Springer. (ISBN 9783319091563).

Rinner C, Malczewski J (2002) Web-enabled spatial decision analysis using ordered weighted averaging (OWA). *J Geogr Syst* 4(4):385–403.

Ross, T.J. (1995). “Fuzzy Logic with Engineering Applications”. USA: McGraw-Hill, Inc.

Roy, B., (1994). *Decision Aid and Decision Making*. In Bana et Costa C. *Readings in Multiple Criteria Decision Aid*, 18-35 Springer-Verlag.

Saaty, T.L, (1990). “Relative Measurement and its Generalization in Decision Making: Why Pairwise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors – The

Analytic Hierarchy/Network Process”, *Rev. R. Acad. Cien. Serie A. Mat.*, Vol. 102 (2), 2008, pp. 251–318.

Salman Mahini, A., & Gholamalifard, M., (2006). ‘Siting MSW landfills with a weighted linear combination methodology in a GIS environment’, *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, vol. 3, no. 4, pp. 435–445.

Strahler, A. N. (1964). "Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks." In *Handbook of Applied Hydrology*, edited by V. T. Chow, 4-39/4-76. McGraw-Hill, New York.

Suresh, P.V., Babar, A.K., Raj, V.V. (1996). “Uncertainty in Fault Tree Analysis: A Fuzzy Approach”. *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 83, p.p. 135-141.

Tsoukalas, L.H., Uhrig, R.E. (1997). “Fuzzy and Neural Approaches in Engineering”.
New York: John Wiley & Sons Inc.

Tranos, M., Papadimitriou, E., & Kiliass, A. (2003). Thessaloniki - Gerakarou Fault Zone TGFZ): the western extension of the 1978 Thessaloniki earthquake fault (Northern Greece) and seismic hazard assessment, *J. Struct.Geol.* 25, 2109-2123.

Vaidya, O., Kumar, S., (2006). Analytic hierarchy process: an overview of applications. *European Journal of Operational Research* 169, 1-29.

Van Moeffaert, D. (2002). Multi-criteria decision aid in sustainable urban water management. Masters thesis, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.

Yeh C. H., Deng, H., Wibowo, S., and Xu, Y., (2010). Multicriteria Group Decision for Information Systems Project Selection under Uncertainty, *International Journal of Fuzzy Systems*, Volume 12, Issue 2, Pages 170-179.

Zadeh, L. A. (1965). "Fuzzy sets". *Information and Control* 8 (3): 338.

Zolotukhin, A.B., Gudmestad, O.T. (2002). “Application of Fuzzy Sets Theory in Qualitative and Quantitative Risk Assessment”. *International Journal of Offshore and Polar Engineering*, vol. 12, No.4, p. p. 288-296.