



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΚΙ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ**

**Βέλτιστη χωροθέτηση  
Ολοκληρωμένης Εγκατάστασης  
Διαχείρισης Απορριμμάτων με  
χρήση GIS, πολυκριτηριακής  
ανάλυσης και ασαφούς λογικής.**

**Παναγιώτα Ζαχαροπούλου**

**Επιβλέπων: Τσιχριντζής Βασίλειος,  
Καθηγητής ΣΑΤΜ, ΕΜΠ**

**Αθήνα, Φεβρουάριος 2019**



## Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, ολοκληρώνεται ο κύκλος φοίτησής μου στη Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Λαμβάνω αυτή την ευκαιρία για να ευχαριστήσω όσους με στήριξαν και με βοήθησαν όλη αυτή την περίοδο.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα Καθηγητή της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Ε.Μ.Π. κ. Βασίλειο Τσιχριντζή, για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα, που μου προσέφερε πληθώρα νέων γνώσεων, καθώς επίσης και για την πολύτιμη βοήθειά του, την καθοδήγηση και το χρόνο που αφιέρωσε για τη διεκπεραίωση της εργασίας, αλλά και γενικότερα για τις πολύτιμες γνώσεις που μου μετέδωσε κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επίκουρο καθηγητή κ. Ναλμπάντη Ιωάννη και τον κ. Βαγγέλη Χαρίλαο, οι οποίοι αποτελούν τα μέλη της τριμελούς επιτροπής και από τους οποίους έχω λάβει χρήσιμες γνώσεις που αφορούν τον τομέα των Υδατικών Πόρων κατά τα χρόνια φοίτησής μου στη Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου και ιδιαίτερα τον αδερφό μου που όλα αυτά τα χρόνια είναι δίπλα μου και με στηρίζουν σε κάθε μου βήμα και σε κάθε δυσκολία, καθώς και τους φίλους μου για τη στήριξη και τη βοήθειά τους.



## Πίνακας περιεχομένων

Ευχαριστίες.....	3
Περίληψη .....	11
Abstract .....	13
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	15
1.1 Γενικά .....	15
1.2 Αντικείμενο εργασίας .....	15
1.3 Διάρθρωση εργασίας .....	17
Κεφάλαιο 2: Διαχείριση στερεών αποβλήτων .....	19
2.1 Πολιτική της Ε.Ε για τη διαχείριση Στερεών Αποβλήτων .....	20
2.2 Το Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων .....	22
2.3 Ολοκληρωμένος σχεδιασμός για τη Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων (ΔΣΑ) σε επίπεδο Περιφέρειας .....	24
2.4 Μέθοδοι διαχείρισης απορριμμάτων .....	26
Κεφάλαιο 3: Περιοχή μελέτης .....	29
3.1 Γενικά Στοιχεία Π.Ε. Φθιώτιδος .....	29
3.2 Εδαφολογικά και γεωμορφολογικά στοιχεία Π.Ε.....	31
3.2.1 Ψηφιακό μοντέλο εδάφους.....	32
3.2.2 Γεωλογικά χαρακτηριστικά .....	37
3.3 Χρήσεις γης.....	40
Κεφάλαιο 4: Μεθοδολογία .....	43
4.1 Η Διαδικασία της Πολυκριτηριακής Ανάλυσης.....	43
4.2 Πολυκριτηριακή Ανάλυση και GIS.....	44
4.3 Διαδικασίες GIS.....	45
4.3.1 Απλή χαρτογραφική υπέρθεση περιορισμών .....	45
4.3.2 Διαδικασία ασαφούς αναλυτικής ιεράρχησης παραγόντων.....	47
4.3.3 Ανάλυση ευαισθησίας .....	53

Κεφάλαιο 5: Εφαρμογή – Αποτελέσματα .....	55
5.1 Διαγραμματική παρουσίαση κριτηρίων χωροθέτησης.....	55
5.2 Κριτήρια αποκλεισμού .....	56
5.2.1 Γεωλογικά - Υδρογεωλογικά – Υδρολογικά κριτήρια.....	56
5.2.2 Περιβαλλοντικά κριτήρια .....	62
5.2.3 Χωροταξικά κριτήρια .....	69
5.2.4 Συνολικός χάρτης αποκλεισμού .....	80
5.3 Κριτήρια καταλληλότητας.....	81
5.3.1 Γεωλογικό - Υδρογεωλογικό – Υδρολογικό κριτήριο.....	81
5.3.2 Χωροταξικό κριτήριο .....	87
5.4 Εφαρμογή ΑΗΡ – Τελικά αποτελέσματα .....	96
5.4.1 Γεωλογικό - Υδρογεωλογικό – Υδρολογικό κριτήριο .....	96
5.4.2 Χωροταξικό κριτήριο.....	98
5.4.3 Το συνολικό κριτήριο καταλληλότητας.....	101
5.4.4 Ο τελικός χάρτης .....	102
5.5 Ανάλυση ευαισθησίας .....	104
5.5.1 Τα σενάρια της ανάλυσης .....	104
5.5.2 Σύγκριση – Αποκλίσεις.....	114
5.6 Τελική επιλογή θέσης.....	116
Κεφάλαιο 6: Γενικά συμπεράσματα και προεκτάσεις.....	119
6.1 Σύνοψη.....	119
6.2 Συμπεράσματα .....	119
6.3 Προεκτάσεις .....	121
Βιβλιογραφικές αναφορές .....	123
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ .....	126

## Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 3.1: Θέση και όρια Π.Ε Φθιώτιδος.....	29
Εικόνα 3.2: Καλλικρατικοί Δήμοι Π.Ε Φθιώτιδας .....	30
Εικόνα 3.3: Ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM).....	34
Εικόνα 3.4: Αλγόριθμος υπολογισμού κλίσης από ΨΜΕ.....	35
Εικόνα 3.5: Χάρτης κλίσης εδάφους Π.Ε Φθιώτιδος.....	35
Εικόνα 3.6: Χάρτης έκθεσης εδάφους Π.Ε Φθιώτιδος .....	36
Εικόνα 3.7: Χάρτης σκίασης αναγλύφου Π.Ε Φθιώτιδος .....	37
Εικόνα 3.8: Λιθολογικός χάρτης.....	39
Εικόνα 3.9: Χάρτης χρήσεων (CLC 2012).....	41
Εικόνα 4.1: Διαδικασία Χαρτογραφικής Υπέρθεσης.....	46
Εικόνα 4.2: Παραλλαγές γραμμικής συνάρτησης ασαφούς λογικής.....	50
Εικόνα 5.1: Ιεραρχικό διάγραμμα κριτηρίων χωροθέτησης.....	55
Εικόνα 5.2: Κριτήριο απόστασης από υδρογραφικό δίκτυο.....	56
Εικόνα 5.3: Απόσπασμα Model Builder για το κριτήριο απόστασης από υδρογραφικό δίκτυο.....	57
Εικόνα 5.4: Κριτήριο απόστασης από τεκτονικά ρήγματα.....	58
Εικόνα 5.5: Απόσπασμα Model Builder για το κριτήριο απόστασης από ρήγματα....	59
Εικόνα 5.6: Κριτήριο αποκλεισμού συγκεκριμένων σχηματισμών.....	60
Εικόνα 5.7: Απόσπασμα Model Builder για το κριτήριο αποκλεισμού ασβεστολιθικών πετρωμάτων.....	61
Εικόνα 5.8: Κριτήριο απόστασης από την ακτογραμμή.....	62
Εικόνα 5.9: Απόσπασμα Model Builder για το κριτήριο απόστασης από ακτογραμμή .....	63
Εικόνα 5.10: Κριτήριο αποκλεισμού περιοχών του δικτύου Natura 2000.....	64
Εικόνα 5.11: Απόσπασμα Model Builder για το κριτήριο αποκλεισμού περιοχών NATURA 2000.....	65
Εικόνα 5.12: Κριτήριο αποκλεισμού περιοχών ΚΑΖ.....	66
Εικόνα 5.13: Απόσπασμα Model Builder για το κριτήριο αποκλεισμού περιοχών ΚΑΖ .....	67
Εικόνα 5.14: Απόσπασμα Model Builder για το κριτήριο απόστασης από περιοχές φυσικού ενδιαφέροντος.....	68
Εικόνα 5.15: Κριτήριο απόστασης από σημεία φυσικού ενδιαφέροντος.....	69
Εικόνα 5.16: Απόσπασμα Model Builder για το κριτήριο απόστασης από οικισμούς. 70	
Εικόνα 5.17: Κριτήριο απόστασης από οικισμούς.....	71
Εικόνα 5.18: Απόσπασμα Model Builder για το κριτήριο απόστασης από μνημεία... 72	

Εικόνα 5.19: Κριτήριο απόστασης από μνημεία.....	73
Εικόνα 5.20:Κριτήριο ορατότητας από μνημεία.....	73
Εικόνα 5.21: Κριτήριο απόστασης από σιδηροδρομικό δίκτυο.....	74
Εικόνα 5.22: Απόσπασμα Model Builder για το κριτήριο απόστασης από το σιδηροδρομικό δίκτυο.....	75
Εικόνα 5.23: Κριτήριο απόστασης από υπάρχοντα αεροδρόμια.....	76
Εικόνα 5.24: Απόσπασμα Model Builder για το κριτήριο απόστασης από αεροδρόμιο .....	77
Εικόνα 5.25: Κριτήριο αποκλεισμού συγκεκριμένων χρήσεων.....	78
Εικόνα 5.26: Απόσπασμα Model Builder για το κριτήριο αποκλεισμού περιοχών ΒΙΠΕ και εξορύξεων.....	79
Εικόνα 5.27: Συνολικός χάρτης αποκλεισμού.....	80
Εικόνα 5.28: Απόσπασμα Model Builder για το κριτήριο καταλληλότητας υδρογραφικού δικτύου.....	81
Εικόνα 5.29: Κριτήριο καταλληλότητας απόστασης από υδρογραφικό δίκτυο.....	82
Εικόνα 5.30: Απόσπασμα Model Builder για το κριτήριο καταλληλότητας ρηγμάτων.....	83
Εικόνα 5.31: Κριτήριο καταλληλότητας απόστασης από ρήγματα.....	83
Εικόνα 5.32: Παραγωγικότητα και είδος υδροφορέων Π.Ε Φθιώτιδος.....	84
Εικόνα 5.33: Κριτήριο καταλληλότητας υπογείων υδροφορέων.....	85
Εικόνα 5.34: Απόσπασμα Model Builder για το κριτήριο καταλληλότητας υπογείων υδροφορέων.....	86
Εικόνα 5.35: Απόσπασμα Model Builder για το κριτήριο προσβασιμότητας σε υπάρχοντες δρόμους.....	88
Εικόνα 5.36: Κριτήριο προσβασιμότητας σε σχέση με υπάρχοντες δρόμους.....	89
Εικόνα 5.37: Απόσπασμα Model Builder για το κριτήριο καταλληλότητας εδαφικών κλίσεων.....	90
Εικόνα 5.38: Κριτήριο καταλληλότητας κλίσεων εδάφους.....	90
Εικόνα 5.39: Διευθύνσεις επιπέδου Aspect.....	91
Εικόνα 5.40: Απόσπασμα Model Builder για το κριτήριο καταλληλότητας έκθεσης εδάφους.....	92
Εικόνα 5.41: Κριτήριο καταλληλότητας έκθεσης εδάφους.....	93
Εικόνα 5.42: Κριτήριο απόστασης από έδρες Δήμων.....	94
Εικόνα 5.43: Απόσπασμα Model Builder για το κριτήριο απόστασης από έδρες Δήμων .....	95
Εικόνα 5.44: Σύγκριση ανά ζεύγη και συντελεστές βαρύτητας υποκριτηρίων.....	96



Εικόνα 5.45: Υπολογισμός σύνθετου υδρογεωλογικού κριτηρίου με χρήση του εργαλείου Raster Calculator.....	97
Εικόνα 5. 46:Το σύνθετο υδρογεωλογικό κριτήριο.....	98
Εικόνα 5.47:Σύγκριση ανά ζεύγη και συντελεστές βαρύτητας υποκριτηρίων.....	99
Εικόνα 5.48: Υπολογισμός σύνθετου χωροταξικού κριτηρίου.....	100
Εικόνα 5.49: Το σύνθετο χωροταξικό κριτήριο.....	100
Εικόνα 5.50: Υπολογισμός συνολικού κριτηρίου καταλληλότητας με χρήση του εργαλείου Raster Calculator.....	101
Εικόνα 5.51: Ο συνολικός χάρτης καταλληλότητας.....	102
Εικόνα 5.52: Υπολογισμός τελικού χάρτη.....	103
Εικόνα 5.53: Τελικός χάρτης συνδυασμού περιορισμών-παραγόντων.....	103
Εικόνα 5.54: Υπολογισμός χάρτη καταλληλότητας Σεναρίου 1.....	105
Εικόνα 5.55: Καταλληλότητα Σεναρίου 1.....	105
Εικόνα 5.56: Τελικός χάρτης Σεναρίου 1.....	106
Εικόνα 5.57: Υπολογισμός γεωλογικού-υδρογεωλογικού-υδρολογικού κριτηρίου Σεναρίου 2.....	107
Εικόνα 5.58: Γεωλογικό-υδρογεωλογικό-υδρολογικό κριτήριο Σεναρίου 2.....	107
Εικόνα 5.59: Καταλληλότητα Σενάριο 2.....	108
Εικόνα 5.60: Τελικός χάρτης Σενάριο 2.....	108
Εικόνα 5.61: Υπολογισμός χωροταξικού κριτηρίου Σεναρίου 3.....	109
Εικόνα 5.62: Χωροταξικό κριτήριο Σενάριο 3.....	110
Εικόνα 5.63: Καταλληλότητα Σενάριο 3.....	110
Εικόνα 5.64: Τελικός χάρτης Σενάριο 3.....	111
Εικόνα 5.65: Υπολογισμός χωροταξικού κριτηρίου Σεναρίου 4.....	112
Εικόνα 5.66: Χωροταξικό κριτήριο Σενάριο 4.....	112
Εικόνα 5.67: Καταλληλότητα Σενάριο 4.....	113
Εικόνα 5.68: Τελικός χάρτης Σενάριο 4.....	113
Εικόνα 5.69: Συγκριτικό διάγραμμα εκτάσεων καταλληλότητας σεναρίων – μοντέλου.....	115
Εικόνα 5. 70:Διάγραμμα αποκλίσεων εκτάσεων καταλληλότητας από το μοντέλο...	116
Εικόνα 5.71: Προτεινόμενη θέση εγκατάστασης ΟΕΔΑ.....	118

## Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 3.1: Έδρες Δήμων Π.Ε. Φθιώτιδος.....	30
Πίνακας 4.1: Κλίμακα σχετικής σημαντικότητας για τη διενέργεια συγκρίσεων ανά ζεύγη (Saaty1980).....	51
Πίνακας 5.1: Συγκριτικός πίνακας εκτάσεων καταλληλότητας σεναρίων – μοντέλου .....	114
Πίνακας 5.2: Πίνακας αποκλίσεων εκτάσεων καταλληλότητας σεναρίων – μοντέλου .....	115

## Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την ανάπτυξη συγκεκριμένης μεθοδολογίας με σκοπό τον προσδιορισμό βέλτιστης θέσης χωροθέτησης για Ολοκληρωμένη Εγκατάσταση Διαχείρισης Απορριμμάτων (ΟΕΔΑ). Η μεθοδολογία που εφαρμόζεται αποτελεί ένα συνδυασμό Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ), πολυκριτηριακής ανάλυσης και ασαφούς λογικής. Η περιοχή μελέτης είναι η Π.Ε. Φθιώτιδος που ανήκει στην Περιφέρεια Στερεάς Ελλάδας. Όσον αφορά τη διαχείριση αποβλήτων, είναι γεγονός ότι αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά ζητήματα της σύγχρονης εποχής και ιδιαίτερα στην περίπτωση της Ελλάδας, όπου και είναι επιτακτική η ανάγκη ανάπτυξης ενός οργανωμένου εθνικού δικτύου διαχείρισης, απαλλαγμένου από ανεξέλεγκτους χώρους διάθεσης. Στο πλαίσιο αυτό, η χωροθέτηση πραγματοποιείται σύμφωνα με τα όσα ορίζονται από το Περιφερειακό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων για την Περιφέρεια Στερεάς Ελλάδος (ΠΕΣΣΔΑ) που αποτελεί μια μορφή εξειδίκευσης του Εθνικού Σχεδίου Διαχείρισης (ΕΣΣΔΑ) σε περιφερειακό επίπεδο.

Τα κριτήρια που εφαρμόζονται είναι δύο κατηγοριών και συγκεκριμένα περιορισμοί (κριτήρια αποκλεισμού) και παράγοντες (κριτήρια καταλληλότητας). Οι περιορισμοί είναι δίτιμα κριτήρια που παρουσιάζουν με απόλυτο τρόπο αποκλειόμενες και μη αποκλειόμενες περιοχές. Απ' την άλλη, οι παράγοντες απεικονίζουν την καταλληλότητα στην περιοχή ενδιαφέροντος με συνεχή τρόπο. Χρησιμοποιήθηκαν 12 κριτήρια αποκλεισμού και 2 σύνθετα κριτήρια καταλληλότητας γεωλογικό-υδρογεωλογικό-υδρολογικό και χωροταξικό με 3 και 4 υποκριτήρια αντίστοιχα. Οι μέθοδοι επεξεργασίας που βασίζονται, όπως έχει ήδη αναφερθεί, στην πολυκριτηριακή ανάλυση, είναι η απλή χαρτογραφική υπέρθεση όσον αφορά τους περιορισμούς και η διαδικασία αναλυτικής ιεράρχησης για τους παράγοντες η οποία βασίζεται σε συγκρίσεις ανά ζεύγη. Οι διαδικασίες διεκπεραιώνονται με τη βοήθεια του λογισμικού ArcMap. Ουσιαστική είναι η συμβολή της ασαφούς λογικής κατά τη διαδικασία της αναλυτικής ιεράρχησης για την απεικόνιση των κριτηρίων με τη βοήθεια της γραμμικής συνάρτησης ασαφούς λογικής.

Τελικό παραγόμενο είναι ο χάρτης που συνδυάζει το δίτιμο αποτέλεσμα της χαρτογραφικής υπέρθεσης των περιορισμών με το συνολικό χάρτη καταλληλότητας των παραγόντων. Τη διαδικασία αναλυτικής ιεράρχησης διαδέχεται η ανάλυση ευαισθησίας, που αποτελεί και το τελευταίο στάδιο ανάλυσης και στοχεύει στον έλεγχο

της ευαισθησίας του αποτελέσματος σε μεταβολές των συντελεστών βαρύτητας των παραγόντων, όπως προήλθαν από τις συγκρίσεις ανά ζεύγη. Έπειτα από την ανάλυση αυτή, γίνεται η τελική επιλογή προτεινόμενης θέσης από τις μέγιστα κατάλληλες του τελικού συνδυαστικού χάρτη. Η επιλογή αυτή προκύπτει τόσο σύμφωνα με υπολογισμούς για την απαιτούμενη για τη χωροθέτηση έκταση, όσο και με βάση διευκολύνσεις που παρέχονται από συγκεκριμένη θέση. Τελικά, προκύπτουν γενικά συμπεράσματα της όλης διαδικασίας αλλά και ενδεχόμενες προεκτάσεις της.

**Λέξεις κλειδιά:** Χωροθέτηση Ολοκληρωμένης Εγκατάστασης Διαχείρισης Απορριμμάτων, Πολυκριτηριακή Ανάλυση, ΣΓΠ, Αναλυτική Ιεράρχηση, Ασαφή λογική, Ανάλυση Ευαισθησίας

## **Abstract**

The present thesis deals with the development of a methodology to determine the optimal position for siting an Integrated Facility for Waste Management. The methodology used is a combination of Geographic Information Systems (GIS), multicriteria analysis and fuzzy logic. The study area is owned by the regional unit of Fthiotida in Central Greece. Waste management is one of the most important environmental issues of today and especially in the case of Greece, where there is an urgent need to develop an organized national management network, free from illicit disposal sites. As a result, the siting is performed according to what is defined by the Regional Waste Management Plan of Central Greece, which is forming a kind of specialization of the National Waste Management plan regionally.

The criteria applied are of two categories: restrictions (exclusionary criteria) and factors (eligibility criteria). Restrictions are binary criteria siting with an absolute manner exclusive and non-exclusive areas. On the other hand, factors illustrate the suitability of the region of interest in a continuous manner. 12 exclusionary criteria and two composite suitability criteria geological-hydrogeological-hydrological and spatial, including 3 and 4 subcriteria respectively, are used. As it is already mentioned, the processing methods based on multicriteria analysis, are simple cartographic overlaying for the restrictions and analytical hierarchy process for the factors, which is based on pairwise comparisons. Most of the procedures are carried out with the help of ArcMap software. Substantial is the contribution of fuzzy logic in the process of analytical hierarchy process for the display of the criteria using the linear function of fuzzy membership tool.

Spinoff of the analysis is the map that combines the two intermediate results and in particular the binary result of the cartographic overlay of restrictions and the final map of suitability that concerns factors. The next step after Analytical Hierarchy Process is Sensitivity Analysis, which is also the last stage of the project. This procedure aims to control the sensitivity of the result in changes of the weighting factors, as they derived from the comparison in pairs. The final choice is a result of the previous analysis and the proposed position derives from the most appropriate regions of the final

map. Specifically, this choice is in accordance with the calculations required for determining the location area and the facilitations provided by specific locations. Last but not least, the study mentions general conclusions of the process, as well as its possible implications.

**Keywords:** Siting Integrated Facility for Waste Management, Multicriteria Analysis, GIS, Analytical Hierarchy, Fuzzy logic, Sensitivity Analysis

## **Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή**

### **1.1 Γενικά**

Το ζήτημα της διαχείρισης απορριμμάτων είναι ένα από τα πιο σημαντικά περιβαλλοντικά προβλήματα, ιδιαίτερα όσον αφορά τις αναπτυγμένες οικονομικά χώρες, γι' αυτό και έχει απασχολήσει τόσο μεμονωμένες χώρες όσο και διεθνείς οργανισμούς (ΟΗΕ, ΟΟΣΑ, Ε.Ε.). Στην περίπτωση της Ελλάδας, είναι γεγονός ότι τις τελευταίες δεκαετίες έχουν πραγματοποιηθεί αλλαγές στον τρόπο ζωής που οδήγησαν όχι μόνο στην αύξηση παραγωγής στερεών αποβλήτων αλλά και στη μεταβολή της ποιοτικής τους σύστασης. Συγκεκριμένα οι αλλαγές που συντελέστηκαν αφορούν: στην αστικοποίηση, την αύξηση του βιοτικού επιπέδου, την αλλαγή στις καταναλωτικές και διαιτολογικές συνήθειες, την αύξηση επικίνδυνων βιομηχανικών και τοξικών στερεών αποβλήτων, τη δημιουργία σύνθετων υλικών συσκευασίας που είναι δυσκολότερο να αποδομηθούν, την αύξηση του τουρισμού (Κούγκολος, 2018).

Σε αυτό το πλαίσιο ξεπροβάλλει έντονη η ανάγκη ολοκληρωμένου σχεδιασμού διαχείρισης. Νομοθετικά η χώρα μας έχει εκσυγχρονισθεί σε σημαντικό βαθμό, ωστόσο ο εθνικός και περιφερειακός σχεδιασμός διαχείρισης στερεών αποβλήτων βρίσκεται σε πρωταρχικό στάδιο αν συγκριθεί με άλλες χώρες της Ε.Ε. Διακρίνονται ουσιαστικά προβλήματα, καθώς όχι μόνο δεν έχουν υλοποιηθεί σε πολλές περιπτώσεις εγκεκριμένες μελέτες διαχείρισης, αλλά λειτουργούν ακόμη και σήμερα ανεξέλεγκτοι χώροι διάθεσης απορριμμάτων (χωματερές) που δεν πληρούν τις προδιαγραφές. Ζητούμενο είναι η εφαρμογή ενός εθνικού δικτύου διαχείρισης που να συμβαδίζει με τις σύγχρονες τεχνολογίες και να συμφωνεί με τα όσα ορίζονται από τη νομοθεσία.

### **1.2 Αντικείμενο εργασίας**

Στην παρούσα εργασία μελετάται η περίπτωση διαχείρισης απορριμμάτων της Περιφερειακής Ενότητας (Π.Ε.) Φθιώτιδος της Περιφέρειας Στερεάς Ελλάδας. Πιο

συγκεκριμένα, η εργασία επικεντρώνεται στη χωροθέτηση στην περιοχή Ολοκληρωμένης Εγκατάστασης Διαχείρισης Απορριμμάτων (ΟΕΔΑ), η οποία αποτελείται από Μονάδα Επεξεργασίας Απορριμμάτων (ΜΕΑ) και Χώρο Υγειονομικής Ταφής Υπολειμμάτων (ΧΥΤΥ). Η επιλογή κατάλληλης θέσης χωροθέτησης πραγματοποιείται με τη βοήθεια προγραμμάτων Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ/GIS) και συγκεκριμένα με τη χρήση του λογισμικού ArcMap του ArcGIS. Για την υλοποίηση της εργασίας εξετάζεται πληθώρα χαρακτηριστικών της περιοχής, όπως υπαγορεύουν το αναθεωρημένο Περιφερειακό Σχέδιο Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων Στερεάς Ελλάδας (ΠΕΣΔΑ ΠΣΤΕΛΛ, 2016), καθώς και άλλες εργασίες που έχουν το ίδιο αντικείμενο μελέτης (π.χ. Gemitzi et al., 2006).

Η μεθοδολογία επεξεργασίας των διαφόρων στοιχείων που ακολουθείται στην περίπτωση μας είναι αυτή της Πολυκριτηριακής Ανάλυσης Αποφάσεων (MCDA). Ειδικότερα, οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι η απλή χαρτογραφική υπέρθεση για τα δίτιμα κριτήρια αποκλεισμού (περιορισμοί) και η διαδικασία αναλυτικής ιεράρχησης (AHP) για τους παράγοντες, ενώ για τον έλεγχο του αποτελέσματος που προκύπτει από την εφαρμογή των δύο προαναφερόμενων μεθόδων, είναι αναγκαία η ανάλυση ευαισθησίας.

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθούμε στο στάδιο στο οποίο βρίσκεται η εφαρμογή του σχεδιασμού διαχείρισης απορριμμάτων στην περιοχή ενδιαφέροντος, ώστε να κατανοήσουμε καλύτερα και τη συσχέτιση της παρούσας μελέτης. Με βάση τα όσα προβλέπονται από το νόμο, αυτό που έχει επιτευχθεί σε σημαντικό βαθμό είναι η συνεργασία των Οργανισμών Τοπικής Αυτοδιοίκησης (ΟΤΑ) με τα Συστήματα Εναλλακτικής Διαχείρισης. Συγκεκριμένα ρεύματα αποβλήτων και ειδικότερα τα απόβλητα υλικών συσκευασίας, τα μεταχειρισμένα ελαστικά, τα οχήματα στο τέλος του κύκλου ζωής τους και τα απόβλητα Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού εξοπλισμού υπόκεινται σε επεξεργασία μέσω των εγκεκριμένων από το ΥΠΕΝ συστημάτων εναλλακτικής διαχείρισης (ΣΣΕΔ), τα οποία έχουν συνάψει συμβάσεις με τους δήμους της Περιφέρειας (ΠΕΣΔΑ ΠΣΤΕΛΛ, 2016).

Ωστόσο, δεν έχουν δημιουργηθεί οι προβλεπόμενες εγκαταστάσεις επεξεργασίας στην πλειοψηφία των περιπτώσεων. Συγκεκριμένα, οι διαδικασίες που έχουν προχωρήσει σχετίζονται (α) με τη Μονάδα Κομποστοποίησης Βιοαποβλήτων της Φωκίδας, για την οποία τον Ιούνιο του 2015 υπεγράφη η σύμβαση με τον ανάδοχο για την κατασκευή της και (β) με τη Μονάδα Επεξεργασίας της Θήβας, για την οποία έχουν ξεκινήσει οι



διαδικασίες κατασκευής. Οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας που σχετίζονται με τη διαχείριση στερεών αποβλήτων της Π.Ε Φθιώτιδος δεν έχουν υλοποιηθεί ακόμη, παρ' όλο που έχει καθοριστεί η θέση εγκατάστασής τους. Η παρούσα εργασία δρα συμπληρωματικά στην υπάρχουσα μελέτη, ορίζοντας σύμφωνα με τα όσα προβλέπονται και κάνοντας χρήση συγκεκριμένων μεθόδων την βέλτιστη θέση χωροθέτησης του έργου της ΟΕΔΑ, δηλαδή ΜΕΑ και ΧΥΤΥ (ΠΕΣΔΑ ΠΣΤΕΛΛ, 2016).

### **1.3 Διάρθρωση εργασίας**

Στο παρόν κεφάλαιο (Κεφάλαιο 1) γίνεται μια εισαγωγή στα όσα πραγματεύεται η διπλωματική εργασία. Αρχικά, γίνεται αναφορά στο γενικότερο πρόβλημα της διαχείρισης στερεών αποβλήτων και συγκεκριμένα στην κατάσταση που επικρατεί στη χώρα μας. Έπειτα, συγκεκριμενοποιείται το αντικείμενο της εργασίας και οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται. Τέλος, το κεφάλαιο καταλήγει στην παρούσα ενότητα που αφορά στη διάρθρωση του συνόλου της εργασίας.

Στο Κεφάλαιο 2 αναλύεται το θεσμικό πλαίσιο διαχείρισης απορριμμάτων τόσο σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης, όσο και σε εθνικό και περιφερειακό επίπεδο. Ειδικότερα, αναφέρονται οι στόχοι που χρειάζεται να επιτευχθούν στο πλαίσιο της βιώσιμης διαχείρισης και οι στρατηγικές που υιοθετούνται για την υλοποίησή τους. Το κεφάλαιο κλείνει με αναφορά στις σύγχρονες βιομηχανικές μεθόδους που χρησιμοποιούνται από τις μονάδες επεξεργασίας.

Στο Κεφάλαιο 3 αναφέρονται χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης. Ξεκινώντας από τα γενικότερα στοιχεία που αφορούν την Π.Ε. Φθιώτιδος (θέση, όρια, δήμοι ενδιαφέροντος). Το κεφάλαιο στη συνέχεια εμβαθύνει στην ανάλυση με αναφορά στα γεωμορφολογικά στοιχεία που διακρίνονται στην περιοχή, με παραγωγή του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους, μορφής DEM, αλλά και των παράγωγων από αυτό επιπέδων που είναι απαραίτητα για την εφαρμογή, καθώς και με παρουσίαση των λιθολογικών στοιχείων που συναντώνται. Τέλος, το κεφάλαιο αναφέρεται στις χρήσεις γης που χαρακτηρίζουν την περιοχή σύμφωνα με τα δεδομένα του προγράμματος Corine Land Cover 2012.

Το Κεφάλαιο 4 πραγματεύεται τη μεθοδολογία που χρησιμοποιείται στην ανάλυση. Αρχικά, γίνεται γενικότερη αναφορά στη διαδικασία της Πολυκριτηριακής Ανάλυσης που αποτελεί και τη βάση της παρούσας εργασίας, ενώ στη συνέχεια αναλύεται η

χρήση της μεθόδου συνδυαστικά με GIS. Το κεφάλαιο καταλήγει στην περιγραφή των διαδικασιών που χρησιμοποιούνται στην περίπτωση μας για την επίτευξη του βέλτιστου αποτελέσματος χωροθέτησης.

Στο Κεφάλαιο 5 γίνεται αναλυτική αναφορά στα χαρακτηριστικά (κριτήρια) που επηρεάζουν και τελικά καθορίζουν τη χωροθέτηση. Συγκεκριμένα, παρουσιάζεται ο τρόπος χειρισμού κριτηρίων αποκλεισμού και κριτηρίων καταλληλότητας, καθώς και τα επιμέρους αποτελέσματα που προκύπτουν. Αναλύεται η διαδικασία AHP για τα κριτήρια καταλληλότητας και το τελικό αποτέλεσμα που προκύπτει και τέλος παρουσιάζεται η ανάλυση ευαισθησίας που αποσκοπεί σε επιβεβαίωση του προαναφερόμενου τελικού αποτελέσματος.

Στο τελευταίο κεφάλαιο της ανάλυσης (Κεφάλαιο 6) γίνεται λόγος για τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την εργασία, με το σχολιασμό των αποτελεσμάτων, αλλά και λαμβάνοντας υπόψη το ευρύτερο πλαίσιο της διαχείρισης απορριμμάτων στην περιοχή. Κλείνοντας, γίνονται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα και προέκταση του παρόντος.

## Κεφάλαιο 2: Διαχείριση στερεών αποβλήτων

Με τον όρο διαχείριση στερεών αποβλήτων αναφερόμαστε σε όλες εκείνες τις τεχνικές διαδικασίες και μεθόδους που αφορούν στη συλλογή και προσωρινή αποθήκευση των απορριμμάτων, την ανάκτηση χρήσιμων υλικών εξ αυτών, καθώς και την τελική διάθεσή τους σε κατάλληλα επιλεγμένους χώρους. Ως αποτέλεσμα της πληθώρας περιβαλλοντικών επιπτώσεων που απορρέουν από τη διαχείριση αυτή, είναι απαραίτητο οι διαδικασίες και οι μέθοδοι που υιοθετούνται να είναι αποδεκτές τόσο από τεχνοοικονομική, όσο και από περιβαλλοντική άποψη (Κούγκολος, 2018).

Στην χώρα μας, το νομοθετικό πλαίσιο και ο σχεδιασμός που αφορούν την υλοποίηση ενός ολοκληρωμένου εθνικού προγράμματος διαχείρισης, που θα συμβαδίζει με τα δεδομένα της σύγχρονης εποχής και θα αποσκοπεί στην αντιμετώπιση των προβλημάτων που προκύπτουν, ολοκληρώθηκε πρόσφατα. Συγκεκριμένα οι βασικοί Νόμοι που αφορούν τη διαχείριση απορριμμάτων παρουσιάζονται συνοπτικά στη συνέχεια:

- ο Ν. 2939/2001 (ΦΕΚ 179/Α/06.08.2001) «Συσκευασίες και εναλλακτική διαχείριση των συσκευασιών και άλλων προϊόντων – Ίδρυση Εθνικού Οργανισμού Εναλλακτικής Διαχείρισης Συσκευασιών και άλλων Προϊόντων (ΕΟΕΔΣΑΠ) και άλλες διατάξεις», όπως τροποποιήθηκε με το Ν. 3854/10 (ΦΕΚ 94/Α/23.06.2010) «Τροποποίηση της νομοθεσίας για την εναλλακτική διαχείριση των συσκευασιών και άλλων προϊόντων και τον Εθνικό Οργανισμό Εναλλακτικής Διαχείρισης Συσκευασιών και Άλλων Προϊόντων (Ε.Ο.Ε.Δ.Σ.Α.Π.) και άλλες διατάξεις» και το Ν.4042/2012
- ο Ν.4042/2012 (ΦΕΚ 24/Α/13-2-2012) «Ποινική Προστασία του περιβάλλοντος – Εναρμόνιση με την Οδηγία 2008/99/ΕΚ – Πλαίσιο παραγωγής και διαχείρισης αποβλήτων – Εναρμόνιση με την Οδηγία 2008/98/ΕΚ – Ρύθμιση θεμάτων Υπουργείου Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής», που ενσωματώνει στο εθνικό δίκαιο την οδηγία-πλαίσιο 2008/98/ΕΕ για τα απόβλητα
- ειδικές προβλέψεις του Ν. 4014/11 (ΦΕΚ 209/Α/21-9-11) «Περιβαλλοντική αδειοδότηση έργων και δραστηριοτήτων, ρύθμιση αυθαιρέτων σε συνάρτηση

με δημιουργία περιβαλλοντικού ισοζυγίου και άλλες διατάξεις αρμοδιότητας Υπουργείου Περιβάλλοντος» όπως τροποποιήθηκε και ισχύει.

Παράλληλα, στο εθνικό δίκαιο έχουν ενσωματωθεί βασικές οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τα απόβλητα, όπως:

- η ΚΥΑ 29407/3508/2002 (ΦΕΚ 1572 Β) «Μέτρα και όροι για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων», προς ενσωμάτωση της Οδηγίας 1999/31/ΕΚ
- η ΚΥΑ 22912/1117/2005 (ΦΕΚ 759 Β) «Μέτρα και όροι για την πρόληψη και τον περιορισμό της ρύπανσης του περιβάλλοντος από την αποτέφρωση των αποβλήτων», προς ενσωμάτωση της Οδηγίας 2000/76/ΕΚ

ενώ έχει άμεση ισχύ ο Ευρωπαϊκός Κατάλογος Αποβλήτων (ΕΚΑ), σύμφωνα με το Παράρτημα της Απόφασης 2002/532/ΕΚ, όπως έχει τροποποιηθεί και ισχύει.

Τέλος, για τη ρύθμιση επιμέρους θεμάτων έχει εκδοθεί σειρά κοινών υπουργικών αποφάσεων, οι σημαντικότερες από τις οποίες είναι:

- ΚΥΑ με αρ. 50910/2727/2003 «Μέτρα και Όροι για τη Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων. Εθνικός και Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης», όπως έχει τροποποιηθεί με το Ν. 4042/2012
- ΚΥΑ 13588/725/2006 «Μέτρα, όροι και περιορισμοί για την διαχείριση επικινδύνων αποβλήτων σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 91/689/ΕΟΚ «για τα επικίνδυνα απόβλητα» του Συμβουλίου της 12ης Δεκεμβρίου 1991», όπως έχει τροποποιηθεί με το Ν. 4042/2012
- ΚΥΑ με αρ. Κ.Υ.Α. 146163//2012 «Μέτρα και όροι για τη Διαχείριση Αποβλήτων Υγειονομικών Μονάδων 1991», που εκδόθηκε κατ' εξουσιοδότηση του άρθρου 38, παρ. 7 του ν. 4042/2012 (<http://www.ypeka.gr/>).

Στις επόμενες παραγράφους, θα αναφερθούμε αναλυτικότερα στις βασικές πολιτικές και θεσμικά πλαίσια που διέπουν τη διαχείριση απορριμμάτων στις μέρες μας, τόσο σε ευρωπαϊκό επίπεδο, όσο και σε εθνικό και περιφερειακό.

## **2.1 Πολιτική της Ε.Ε για τη διαχείριση Στερεών Αποβλήτων**

Στα πλαίσια της αειφόρου ανάπτυξης, βασικός στόχος της πολιτικής είναι η πρόληψη για μείωση της παραγωγής στερεών αποβλήτων και ειδικότερα για ελάττωση της

αναλογίας επικίνδυνων υλικών στα απορρίμματα. Με τον τρόπο αυτό, επιτυγχάνεται μείωση των κινδύνων που αφορούν την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον, ενώ παράλληλα μπορούμε να κάνουμε λόγο για κοινωνικοοικονομική και περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Για τα παραγόμενα απορρίμματα σκοπός είναι η ανάκτησή τους η οποία περιλαμβάνει τέσσερις συνιστώσες, όπως παρουσιάζονται παρακάτω (Κούγκολος, 2018).

#### ▪ **Πρόληψη**

Στη διαδικασία της πρόληψης σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η επίγνωση των επιπτώσεων που προκαλούν στο περιβάλλον τα προϊόντα και μάλιστα από αρχικό στάδιο της παραγωγής τους. Σκοπός είναι η μείωση χρησιμοποίησης προϊόντων που ρυπαίνουν, η οποία μπορεί να επιτευχθεί με τη λήψη συγκεκριμένων μέτρων όπως: Η υλοποίηση χρηματοδοτικών προγραμμάτων, η θεσμοθέτηση τεχνικών προτύπων, η απαγόρευση χρήσεων συγκεκριμένων υλικών, η διενέργεια οικονομικών ελέγχων, η ενθάρρυνση καταναλωτών για αγορά φιλικών προς το περιβάλλον προϊόντων κλπ. (Κούγκολος, 2018).

#### ▪ **Επαναχρησιμοποίηση, Ανακύκλωση & Ανάκτηση ενέργειας**

Για την επίτευξη των παραπάνω διαδικασιών, το μεγαλύτερο μέρος της ευθύνης έχουν οι υπεύθυνοι για την κατασκευή των διαφόρων προϊόντων, αφού το ζήτημα της διαχείρισης απορριμμάτων θα πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη κατά τη διαδικασία σχεδιασμού ενός προϊόντος. Συγκεκριμένα, οι κατασκευαστές αγαθών θα πρέπει να μεριμνούν τόσο για την αποφυγή δημιουργίας αποβλήτων μέσω της συνετής χρήσης των φυσικών πόρων και της προτίμησης ανανεώσιμων πρώτων υλών και μη επικίνδυνων υλικών, όσο και για την παραγωγή προϊόντων τέτοιων που να διευκολύνεται η επαναχρησιμοποίηση και ανάκτησή τους (Κούγκολος, 2018).

#### ▪ **Ανάκτηση υλικών**

Στις περιπτώσεις που δεν μπορεί να αποφευχθεί η δημιουργία απορριμμάτων, θα πρέπει να εξασφαλίζεται η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης ή υποβολής τους σε διαδικασίες ανάκτησης υλικών/ενέργειας, αν θέλουμε να κάνουμε λόγο για βιώσιμη διαχείριση αποβλήτων. Όσον αφορά την ανάκτηση υλικών, απαιτεί ευαισθητοποίηση των πολιτών ως προς την ανάγκη μείωσης παραγωγής αποβλήτων, καθώς αποτελούν τους τελικούς χρήστες των προϊόντων. Την ίδια στιγμή, γενική αρχή αποτελεί η προτεραιότητα των διαδικασιών πρόληψης/ανάκτησης έναντι των

ενεργειακών στρατηγικών, εφόσον κάτι τέτοιο είναι ασφαλές για το περιβάλλον. Έτσι, είναι απαραίτητη η ανάπτυξη σύγχρονης βιομηχανίας ανακύκλωσης, αλλά και η δημιουργία αγοράς για υλικά και προϊόντα των δραστηριοτήτων ανακύκλωσης. Σχετικά με τις εγκαταστάσεις ανάκτησης ενέργειας θα πρέπει να τηρούνται οι κανονισμοί που αφορούν τις εκπομπές (Κούγκολος, 2018).

#### ▪ Τελική διάθεση

Η τελική διάθεση θα πρέπει να είναι ασφαλής και να περιορίζεται σε απόβλητα τα οποία δεν μπορούν να ανακτηθούν. Αυτός είναι και ο στόχος των κρατών-μελών, που ακολουθεί τη δημιουργία ολοκληρωμένου και επαρκούς δικτύου εγκαταστάσεων διάθεσης απορριμμάτων. Συχνά, δεν υιοθετούνται οι βέλτιστες για το περιβάλλον τεχνικές διάθεσης που περιλαμβάνουν επεξεργασία και ανάκτηση υλικών διότι το κόστος είναι χαμηλότερο χωρίς αυτές. Τις σημαντικότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις έχει η διάθεση σε ΧΥΤΑ, ιδιαίτερα μακροπρόθεσμα, γι' αυτό και θα πρέπει να ελαχιστοποιείται κατά το μέγιστο ο αριθμός των απορριμμάτων που καταλήγουν στους χώρους αυτούς, μέσω της διαλογής και της προκαταρκτικής επεξεργασίας πριν τον ενταφιασμό. Μακροπρόθεσμος στόχος είναι η διάθεση σε ΧΥΤΑ μόνο των μη ανακτήσιμων και αδρανών αποβλήτων (Κούγκολος, 2018).

## 2.2 Το Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων

Το νομοθετικό πλαίσιο που αφορά τη διαχείριση αποβλήτων στην Ελλάδα διέπεται από την Οδηγία 2008/98 για τα απόβλητα και το Νόμο 4042/12. Οι πολιτικές, οι στόχοι και η στρατηγική της διαχείρισης αποβλήτων στη χώρα μας καθορίζονται επακριβώς στο Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων (ΕΣΔΑ), το οποίο κυρώθηκε με την Κ.Υ.Α 51373/4684/25/11/2015 (Άρθρο 31 Ν.4342/2012) και εγκρίθηκε με την 49/15-12-2015 Πράξη Υπουργικού Συμβουλίου (ΦΕΚ Α' 174/2015).

Όπως υπαγορεύουν και οι κατευθύνσεις της Ε.Ε κάνουμε λόγο για προσανατολισμό προς την ανακύκλωση και την επαναχρησιμοποίηση με το νέο ΕΣΔΑ. Στο πλαίσιο αυτό, προωθούνται δράσεις διαλογής στην πηγή όπως είναι τα πράσινα σημεία και συστήματα ξεχωριστής διαλογής βιοαποβλήτων, αλλά και η εκπόνηση και εφαρμογή σχεδίων διαχείρισης τοπικού χαρακτήρα (Δημοτικά/ Διαδημοτικά), (Κούγκολος, 2018).

Αξίζει να αναφερθούν στο σημείο αυτό οι ποσοτικοί στόχοι του νέου ΕΣΔΑ (Κούγκολος, 2018), που αναφέρονται χρονολογικά στο έτος 2020. Συνοπτικά, οι στόχοι αυτοί είναι:

1. Προετοιμασία προς επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση με χωριστή συλλογή ανακυκλώσιμων-βιοαποβλήτων
2. Χωριστή συλλογή για γυαλί, χαρτί, μέταλλο και πλαστικό για την εξασφάλιση ελάχιστου ποσοστού (65%) ανακύκλωσης του συνολικού τους βάρους από το στάδιο της προδιαλογής
3. Ξεχωριστή συλλογή βιοαποβλήτων σε 40% του συνολικού τους βάρους
4. Η υγειονομική ταφή να αποτελεί έσχατη λύση και να περιοριστεί στο 30 % του συνόλου των Αστικών Στερεών Αποβλήτων (ΑΣΑ)

Το ΕΣΔΑ συμπληρώνεται με τα ειδικά θεσμικά πλαίσια που αφορούν συγκεκριμένες κατηγορίες αποβλήτων και συγκεκριμένα τις (Κούγκολος, 2018):

- Βιοαποδομήσιμα
- Ανακυκλώσιμα υλικά
- Απόβλητα συσκευασίας
- Βιοαπόβλητα
- Σύμμεικτα ΑΣΑ
- Στήλες & Συσσωρευτές
- Ιλύες
- ΑΗΗΕ
- Βιομηχανικά απόβλητα
- Απόβλητα εγκαταστάσεων κοινής ωφέλειας/εξυπηρέτησης κοινού
- Απόβλητα έλαια
- Απόβλητα συσσωρευτών οχημάτων & βιομηχανίας
- Οχήματα στο τέλος κύκλου ζωής
- Μεταχειρισμένα ελαστικά
- Απόβλητα ηλεκτρικού-ηλεκτρονικού εξοπλισμού βιομηχανικής προέλευσης
- Απόβλητα υγειονομικών μονάδων
- Απόβλητα εκσκαφών, κατασκευών & κατεδαφίσεων (ΑΕΚΚ)

### **2.3 Ολοκληρωμένος σχεδιασμός για τη Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων (ΔΣΑ) σε επίπεδο Περιφέρειας**

Το Περιφερειακό Σχέδιο Διαχείρισης Απορριμμάτων (ΠΕΣΔΑ) που αφορά την Περιφέρεια Στερεάς Ελλάδας (ΠΣΤΕΛΛ), στην οποία, όπως έχει ήδη αναφερθεί, ανήκει η εξεταζόμενη περιοχή και συγκεκριμένα η αναθεωρημένη έκδοσή του (ΠΕΣΔΑ ΠΣΤΕΛΛ, 2016), αποτελεί μια εξειδίκευση των εθνικών στόχων του ΕΣΔΑ για τα επιμέρους ρεύματα αποβλήτων της Περιφέρειας. Το συγκεκριμένο σχέδιο επικεντρώνεται ιδιαίτερα στην πρόληψη δημιουργίας αποβλήτων και καλύπτει κατά προτεραιότητα τα (α) αστικά στερεά απόβλητα, (β) τις ιλύες αστικού τύπου και (γ) τα απόβλητα εκσκαφών, κατασκευών και κατεδαφίσεων.

Παρακάτω διακρίνονται οι βασικοί άξονες του ΠΕΣΔΑ ΠΣΤΕΛΛ, οι οποίοι είναι (ΠΕΣΔΑ ΠΣΤΕΛΛ, 2016):

1. Λειτουργία του Περ. ΦοΔΣΑ για τη διαχείριση του συνόλου των εγκαταστάσεων
2. Ολοκλήρωση των υποδομών διαχείρισης αποβλήτων
3. Παύση της λειτουργίας των χώρων ανεξέλεγκτης διάθεσης αποβλήτων και στη συνέχεια αποκατάσταση των περιοχών αυτών
4. Δράσεις για την ενίσχυση της πρόληψης δημιουργίας και της ανακύκλωσης αποβλήτων και συγκεκριμένα:
  - Διαθεσιμότητα και αξιοπιστία μετρήσιμων δεδομένων
  - Ελάττωση παραγωγής αποβλήτων τροφίμων
  - Μείωση κατανάλωσης χαρτιού
  - Ελάττωση παραγωγής αποβλήτων συσκευασίας
  - Προώθηση της επαναχρησιμοποίησης ΑΗΗΕ
5. Εξειδικευμένοι ποσοτικοί στόχοι διαχείρισης συγκεκριμένων κατηγοριών αποβλήτων:
  - Μη κατάληξη σε χώρους διάθεσης για τα αστικά στερεά απόβλητα (βιοαποδομήσιμα αστικά απόβλητα (ΒΑΑ), βιοαπόβλητα (ΒΑ) και αστικά απόβλητα). Πλήρης υιοθέτηση του στόχου για μείωση των ΒΑΑ που οδηγούνται σε υγειονομική ταφή στο 35% για το έτος 2020.
  - Προώθηση της διαχείρισης υλικών συσκευασίας ώστε να μην βρεθούν στους χώρους διάθεσης. Πλήρης υιοθέτηση του στόχου για προετοιμασία για



επαναχρησιμοποίηση & ανακύκλωση με προδιαλογή του 65% κ.β. τουλάχιστον για χαρτί, μέταλλα, πλαστικό και γυαλί.

- Ανάκτηση της ιλύος αστικού τύπου και εκτροπή της από τους χώρους διάθεσης. Πλήρης υιοθέτηση του στόχου για εργασίες ανάκτησης 95% κ.β. και εργασίες διάθεσης 5% κ.β. επί της παραγόμενης ποσότητας για το έτος 2020.
- Επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση και ανάκτηση των ΑΕΚΚ. Πλήρης υιοθέτηση του στόχου για προετοιμασία για επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση και ανάκτηση, τουλάχιστον ποσοστού 70% των παραγόμενων ΑΕΚΚ, ως το τέλος του 2020.
- Ανάκτηση, ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση των ΑΗΗΕ. Πλήρης υιοθέτηση των στόχων για το 2016, επίτευξη του ελάχιστου ποσοστού συλλογής (45%) και για το 2019 επίτευξη 65% συλλογής του μέσου ετήσιου βάρους των ΗΗΕ που διατέθηκαν στην αγορά κατά την προηγούμενη 3ετία.
- Χωριστή συλλογή και ανακύκλωση των φορητών ηλεκτρικών στηλών. Πλήρης υιοθέτηση του στόχου για συλλογή τουλάχιστον 45% κ.β. των ποσοτήτων φορητών ΗΣ&Σ που κυκλοφορούν στην αγορά.
- Χωριστή συλλογή και διαχείριση των μικρών ποσοτήτων επικίνδυνων αποβλήτων (ΜΠΕΑ) στα ΑΣΑ.
- Δημιουργία δικτύου Πράσινων Σημείων (ΠΣ) για τη συλλογή ανακυκλώσιμων υλικών και ειδικών αποβλήτων.

Οι μελέτες Ολοκληρωμένου Σχεδιασμού Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων περιλαμβάνουν επιμέρους στάδια. Αρχικά, καθορίζεται και αναλύεται το υφιστάμενο νομοθετικό πλαίσιο διαχείρισης απορριμμάτων. Στη συνέχεια, ακολουθεί η κατάρτιση του πλαισίου σχεδιασμού που περιλαμβάνει: Τον καθορισμό σκοπού και στόχων, την αναγνώριση της περιοχής ενδιαφέροντος, την ανάλυση της υφιστάμενης κατάστασης και του Φορέα Δ.Σ.Α., την επιλογή των μεθόδων διαχείρισης, τα οικονομικά στοιχεία και την τιμολογιακή πολιτική, τη συγκριτική αξιολόγηση των κριτηρίων καταλληλότητας, καθώς και την πρόταση χώρων εγκαταστάσεων και τα συμπεράσματα. Επόμενο στάδιο σχεδιασμού αποτελεί η κυρίως μελέτη που αφορά: την τεχνική περιγραφή του έργου ή της δραστηριότητας, τον εντοπισμό των επικρατέστερων θέσεων χωροθέτησης σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά της περιοχής, την ανάλυση πιθανών περιβαλλοντικών ζητημάτων και τον καθορισμό μέτρων διευθέτησής τους, τα οικονομικά στοιχεία του έργου, την αποκατάσταση ανεξέλεγκτων χώρων διάθεσης και τα συμπεράσματα που προκύπτουν. Αξίζει να σημειωθεί ότι το

σχεδιασμό ακολουθούν διαδικασίες που αφορούν την Περιβαλλοντική Αδειοδότηση του έργου – Προμελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΠΠΕ), κατάθεση Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ) – και είναι ουσιαστικές για την χορήγηση άδειας για την εκπόνησή του (Κούγκολος, 2018).

## **2.4 Μέθοδοι διαχείρισης απορριμμάτων**

Στην παρούσα ενότητα θα αναλυθούν οι μέθοδοι επεξεργασίας απορριμμάτων που χρησιμοποιούνται από τις Μονάδες Επεξεργασίας Απορριμμάτων (ΜΕΑ) των ΟΕΔΑ, όπως υπαγορεύει και το αντικείμενο της παρούσας εργασίας. Πρόκειται για βιομηχανικές μεθόδους οι οποίες αποσκοπούν στη μερική αξιοποίηση υλικών ή ενέργειας και κατ' επέκταση στην ταφή μόνο των υπολειμμάτων των διεργασιών σε Χώρους Υγειονομικής Ταφής Υπολειμμάτων (ΧΥΤΥ). Προκειμένου να αποφασιστεί ποια τεχνολογία θα εφαρμοστεί σε κάθε Μονάδα Επεξεργασίας, πρέπει να εκπονηθεί μια μελέτη σκοπιμότητας/βιωσιμότητας προκειμένου να εξεταστούν οι περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές απαιτήσεις της περιοχής που θα εγκατασταθεί. Παραδείγματα βιομηχανικών μεθόδων αποτελούν οι ακόλουθες: κομποστοποίηση (λιπασματοποίηση), αεριοποίηση, καύση, πυρόλυση, παραγωγή μεθανίου και παραγωγή στερεού καυσίμου (Κούγκολος, 2018).

Οι μέθοδοι διαχωρίζονται σε μηχανικής, βιολογικής και θερμικής επεξεργασίας. Οι μέθοδοι μηχανικής επεξεργασίας αναφέρονται κυρίως στο ρεύμα των ανακυκλώσιμων αποβλήτων συσκευασίας, ενώ οι μέθοδοι Βιολογικής Επεξεργασίας αφορούν στην επεξεργασία του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ. Οι μονάδες επεξεργασίας διαθέτουν συνήθως τμήματα τόσο βιολογικής όσο και μηχανικής επεξεργασίας των ΑΣΑ. Κάτι τέτοιο είναι λογικό αν αναλογιστούμε ότι το ρεύμα των ανακυκλώσιμων αποβλήτων συσκευασίας είναι αυτό που έχει εμπορική αξία και η μονάδα στηρίζεται στο έσοδο αυτό, ενώ το οργανικό κλάσμα αποτελεί σημαντικό ποσοστό των εισερχόμενων ΑΣΑ όποτε η δυνατότητα επεξεργασίας του επιβάλλεται (ΠΕΣΔΑ ΠΣΤΕΛΛ, 2016).

Αναφορικά με τη μηχανική επεξεργασία των ανακυκλώσιμων αποβλήτων συσκευασίας, αυτή περιλαμβάνει μια σειρά από μεθόδους που αφορούν αφενός τη μείωση μεγέθους (τεμαχιστές, σχίστες σάκων) και αφετέρου το διαχωρισμό (περιστροφικά -βαλλιστικά - βαρυμετρικά κόσκινα, οπτικοί διαχωριστές, χειροδιαλογή)

των αποβλήτων. Από την άλλη, η βιολογική επεξεργασία του οργανικού κλάσματος μπορεί να επιτευχθεί είτε με αερόβιες είτε με αναερόβιες μεθόδους (ΠΕΣΣΔΑ ΠΣΤΕΛΛ, 2016).

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθούμε στη βιολογική μέθοδο της κομποστοποίησης, παρά το γεγονός ότι έχει χρησιμοποιηθεί ελάχιστα στον Ελλαδικό χώρο. Με τον όρο κομποστοποίηση, αναφερόμαστε στην ελεγχόμενη αποσύνθεση των απορριμμάτων μέσα από μια σειρά βιολογικών διαδικασιών και στην μετατροπή των ζυμώσιμων τους σε εδαφοβελτιωτικό υλικό (κομποστ), το οποίο είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί στον αγροτικό τομέα (βιολογική γεωργία). Η συγκεκριμένη μέθοδος μπορεί να θεωρηθεί και μιας μορφής ανακύκλωση. Προηγούνται της κομποστοποίησης, οι μηχανικές επεξεργασίες του τεμαχισμού και της διαλογής ορισμένων συστατικών των απορριμμάτων, ώστε να δημιουργηθεί τελικά μια ομογενής μάζα. Παράδειγμα εφαρμογής της μεθόδου στη χώρα μας είναι η λειτουργία πιλοτικής μονάδας κομποστοποίησης στην Καλαμάτα, με επιχορήγηση της Ε.Ε (Κούγκολος, 2018).

Η επιλογή της μεθόδου θερμικής επεξεργασίας των ΑΣΑ πλεονεκτεί σε σχέση με τις προαναφερόμενες μεθόδους επεξεργασίας στο θέμα του υπολείμματος της διεργασίας. Ωστόσο υστερεί τόσο στο κόστος επένδυσης και λειτουργίας της μονάδας, όσο και στο θέμα της Κοινωνικής Αποδοχής για την περίπτωση της Ελλάδας. Η παρούσα μέθοδος δεν προϋποθέτει το διαχωρισμό των ανακυκλώσιμων αποβλήτων συσκευασίας και του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ. Έτσι, το σύνολο των εισερχόμενων αποβλήτων, μετά την αφαίρεση των μετάλλων και των αδρανών, οδηγείται στους θαλάμους καύσης (Κούγκολος, 2018).

Όσον αφορά την εφαρμογή της μεθόδου της καύσης, στο εξωτερικό έχει εφαρμοστεί με αρκετή επιτυχία. Πραγματοποιείται είτε με εκμετάλλευση της θερμοϊκανότητας των ίδιων των αποβλήτων, είτε με τη βοήθεια πρόσθετου καυσίμου. Διακρίνονται δύο περιπτώσεις καύσης: (α) Καύση με δυνατότητα εκμετάλλευσης μέρους της εκλυόμενης ενέργειας και συγκεκριμένων υποπροϊόντων της και (β) καύση χωρίς αξιοποίηση ενέργειας και υποπροϊόντων της, που συναντάται συνήθως σε μικρότερες μονάδες. Υπολογίζεται ότι το κόστος ενός σταθμού καύσης της περίπτωσης (α) είναι διπλάσιο-τριπλάσιο του κόστους ενός ΧΥΤΑ, με την προϋπόθεση ότι υπάρχουν τα κοινόχρηστα και ιδιωτικά δίκτυα διανομής θερμού νερού ή ατμού, ενώ όσον αφορά την περίπτωση (β), το κόστος αυξάνεται σε τετραπλάσιο-πενταπλάσιο του κόστους ενός ΧΥΤΑ. Το αυξημένο κόστος συμπληρώνουν τα μειονεκτήματα του υψηλού

περιβαλλοντικού κινδύνου που ενέχεται από την παραγωγή διαφόρων αερίων κατά την καύση, καθώς και της μη εξάλειψης των υπολειμμάτων, εφόσον πάντοτε θα υπάρχουν στάχτες που χρειάζονται διάθεση. Παρ' όλα αυτά, όπως έχει ήδη αναφερθεί, αποτελεί μια μέθοδο που μειώνει κατά πολύ τον όγκο των απορριμμάτων και αυτό θεωρείται και το βασικό της πλεονέκτημα (Κούγκολος, 2018).

## Κεφάλαιο 3: Περιοχή μελέτης

### 3.1 Γενικά Στοιχεία Π.Ε. Φθιώτιδος

Η Π.Ε. Φθιώτιδος (4.441 km<sup>2</sup>) αποτελεί διοικητική υποδιαίρεση της Περιφέρειας Στερεάς Ελλάδας και έχει πρωτεύουσα την πόλη της Λαμίας, που αποτελεί και την έδρα της Περιφέρειας. Βρισκόμενη στα βορειανατολικά της Περιφέρειας και με πληθυσμό 158.231 μόνιμων κατοίκων (ΕΛ.ΣΤΑΤ/2011), συνορεύει με τις Π.Ε. Ευβοίας και Μαγνησίας στα ανατολικά, Φωκίδας και Βοιωτίας στα νότια, Αιτωλοακαρνανίας στα νοτιοδυτικά, Ευρυτανίας και Καρδίτσας στα δυτικά και Λάρισας στα βόρεια. Το σύνορό της με την Π.Ε. Ευβοίας είναι ο Ευβοϊκός κόλπος. Για καλύτερη αντίληψη της θέσης της Περιφερειακής Ενότητας παρατίθεται η παρακάτω εικόνα (Εικόνα 3.1).



Εικόνα 3.1: Θέση και όρια Π.Ε. Φθιώτιδος

(Πηγή: Arcmap: National Geographic Basemap / geodata.gov.gr)

Η Περιφερειακή Ενότητα που μελετάται αποτελείται από επτά Δήμους και συγκεκριμένα από τους: Αμφίκλειας - Ελάτειας, Λοκρών, Δομοκού, Μόλου - Αγ.Κωνσταντίνου, Στυλίδας, Λαμιέων και Μακρακώμης. Αξίζει να αναφερθούν μέρη της περιοχής με ιδιαίτερο ενδιαφέρον, τα οποία είναι: Οι Θερμοπύλες, τα Καμένα Βούρλα, ο Άγιος Κωνσταντίνος, η Στυλίδα, η Υπάτη και το Πλατύστομο (ΠΕΣΔΑ ΠΣΤΕΛΛ, 2016). Παρακάτω μπορούν να διακριθούν οι έδρες των Δήμων της Π.Ε. (Πίνακας 3.1), καθώς και η περιοχή της Π.Ε. που καταλαμβάνει ο καθένας σύμφωνα με το Πρόγραμμα Καλλικράτης (Εικόνα 3.2).

Πίνακας 3.1: Έδρες Δήμων Π.Ε. Φθιώτιδος

Δήμοι	Έδρες Δήμων
Αμφίκλειας - Ελάτειας	Κάτω Τιθορέα
Λοκρών	Αταλάντη
Δομοκού	Δομοκός
Μόλου - Αγ.Κωνσταντίνου	Καμένα Βούρλα
Στυλίδας	Στυλίδα
Λαμιέων	Λαμία
Μακρακώμης	Σπερχειάδα



Εικόνα 3.2: Καλλικρατικοί Δήμοι Π.Ε. Φθιώτιδας  
(Πηγή: Arcmap: National Geographic Basemap/geodata.gov.gr)

### 3.2 Εδαφολογικά και γεωμορφολογικά στοιχεία Π.Ε.

Η Π.Ε. Φθιώτιδας είναι η μεγαλύτερη σε έκταση και η δεύτερη μεγαλύτερη σε πληθυσμό στην Περιφέρεια Στερεάς Ελλάδας. Είναι κατά βάση ημιορεινή και συγκεκριμένα: 897,9 km<sup>2</sup> (19,7%) είναι πεδινά, 1.896,6 km<sup>2</sup> (42,8%) είναι ημιορεινά και 1.667,2 km<sup>2</sup> (37,5%) ορεινά.

Χαρακτηριστικά της διαμόρφωσης του ανάγλυφου της Π.Ε. Φθιώτιδας είναι η ύπαρξη των ορεινών όγκων Παρνασσού, Οίτης και Βαρδουσίων (στα σύνορα με την Π.Ε. Φωκίδας), Τυμφρηστού (στα σύνορα με την Π.Ε. Ευρυτανίας), Όθρυς (στα σύνορα με την Π.Ε. Μαγνησίας) και Καλλίδρομο, Χλωμό και Κνήμης (στα νότιο-ανατολικά της Π.Ε.). Στο πεδινό τμήμα της Π.Ε. διακρίνονται οι κοιλάδες του Σπερχειού, του Βοιωτικού Κηφισού και οι παράκτιες ζώνες του Διαύλου των Ωρεών, του Μαλιακού και του βόρειου Ευβοϊκού κόλπου (ΠΕΣΣΔΑ ΠΣΤΕΛΛ, 2016).

Η Π.Ε. στο σύνολό της έχει δύο κύριους ποταμούς, τον Σπερχειό, μήκους 854 m, ο οποίος ακολουθεί διαδρομή εξ ολοκλήρου εντός της Π.Ε. και τον Κηφισό. Ο Σπερχειός τροφοδοτείται από εξήντα τρεις (63) χείμαρρους, οι κυριότεροι από αυτούς είναι: Βίστριζας, Ρουσιανίτης, Λουγγιές, Κατής, Υπάτης, Παλαιοκάστρου, Ασωπός και Γοργοπόταμος. Βασικό γεωμορφολογικό χαρακτηριστικό της Π.Ε. είναι η Λεκάνη Απορροής του Σπερχειού, η οποία αποτελεί μία ταφροειδή ζώνη διευθύνσεων Α-Δ και πλαισιώνεται βόρεια από το όρος Όθρυς, δυτικά από τον Τυμφρηστό και νότια από τα Βαρδούσια Όρη, την Οίτη και το Καλλίδρομο. Ανατολικά οριοθετείται από τον Μαλιακό Κόλπο (ΠΕΣΣΔΑ ΠΣΤΕΛΛ, 2016).

Οι υπόλοιπες λεκάνες και συγκεκριμένα οι δευτερεύουσες λεκάνες που αναπτύσσονται στα υψίπεδα των περιοχών Ελάτειας - Αμφίκλειας και Δομοκού - Ξυνιάδας, είναι μικρότερης έκτασης και αναπτύσσονται στην ηπειρωτική ζώνη της Π.Ε. Εκτός από τις παραπάνω ορογραφικές ενότητες, ιδιαίτερο γεωμορφολογικό ενδιαφέρον παρουσιάζει και η παράκτια ζώνη της Π.Ε. που αναπτύσσεται από την περιοχή της Μαλεσίνας μέχρι την ευρύτερη περιοχή της Στυλίδας (ΠΕΣΣΔΑ ΠΣΤΕΛΛ, 2016).



Στην Π.Ε. διακρίνεται πληθώρα πηγών, τόσο ψυχρών όσο και θερμών. Οι σπουδαιότερες ψυχρές πηγές που έχουν καταγραφεί από το ΙΓΜΕ στη λεκάνη απορροής του Σπερχειού και μπορούν να αξιοποιηθούν τόσο για αρδευτικούς, όσο και για υδρευτικούς σκοπούς είναι οι πηγές Μαυρονέρια Βαρδατών, Μεγ. Βρύσης Αγ. Παρασκευής, Κεφαλόβρυσο Μεξιατών, Κεφαλόβρυσο Μαυρίλου και η πηγή Μύλων. Όσον αφορά τις θερμές πηγές, οι κυριότερες είναι οι πηγές Υπάτης, Αρχανίου, Θερμοπυλών, Ψωρονερίου, Πλατυστόμου και Καμένων Βούρλων (ΠΕΣΔΑ ΠΣΤΕΛΛ, 2016).

### 3.2.1 Ψηφιακό μοντέλο εδάφους

Τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους (ΨΜΕ) αποτελούν πλέον αναπόσπαστο κομμάτι των γεωγραφικών αναλύσεων, καθώς διευκολύνουν κατά πολύ την μελέτη, επεξεργασία και παρουσίαση των πληροφοριών που αφορούν το φυσικό περιβάλλον. Βασικά δεδομένα εισαγωγής σε ένα ΨΜΕ είναι τα δεδομένα καταγραφής υψομέτρου, τα οποία μπορούν να προέλθουν από πληθώρα πηγών (θεματικά επίπεδα GIS, αρχεία ASCII, μετρήσεις πεδίου κ.α.). Οι δύο τύποι ψηφιακών μοντέλων εδάφους που χρησιμοποιούνται κατά βάση σήμερα είναι: Τα ακανόνιστα τριγωνικά δίκτυα (Triangulated Irregular Network/TIN) και τα ψηφιακά υψομετρικά μοντέλα DEM (Digital Elevation Matrices). Η πρώτη κατηγορία, έχει ως δομικές μονάδες ακανόνιστα πολυγωνικά αντικείμενα (τρίγωνα) και κατ' επέκταση αντιστοιχίες με το διανυσματικό μοντέλο (vector). Απ' την άλλη, η δεύτερη κατηγορία ΨΜΕ, λόγω του ότι αποτελείται από στοιχειώδη ομοειδή αντικείμενα έχει αναλογίες με το ψηφιδωτό μοντέλο (raster), (Χαλκιάς, 2015).

Αξίζει να αναφερθούμε σε βασικά χαρακτηριστικά ΨΜΕ μορφής DEM, καθώς αυτή θα χρησιμοποιηθεί στην παρούσα εργασία. Στα μοντέλα αυτού του τύπου, η επιφάνεια του εδάφους μοντελοποιείται με Κανάβο σημείων τα οποία ισαπέχουν. Υπάρχει η δυνατότητα αντιστοίχισης μιας τιμής  $Z$  σ' ένα σημείο του Κανάβου (συνήθως στο κέντρο βάρους) ή σε μια στοιχειώδη επιφάνεια. Γενικά, στα σημειακά μοντέλα πινάκων εμφανίζονται τα παρακάτω στοιχεία:

- συντεταγμένες  $X, Y$  αρχικού σημείου αναφοράς σε πραγματικές μονάδες
- απόσταση μεταξύ των σημείων σε πραγματικές μονάδες (μέγεθος ψηφίδας)
- αριθμός σημείων (αριθμός στηλών, αριθμός γραμμών)

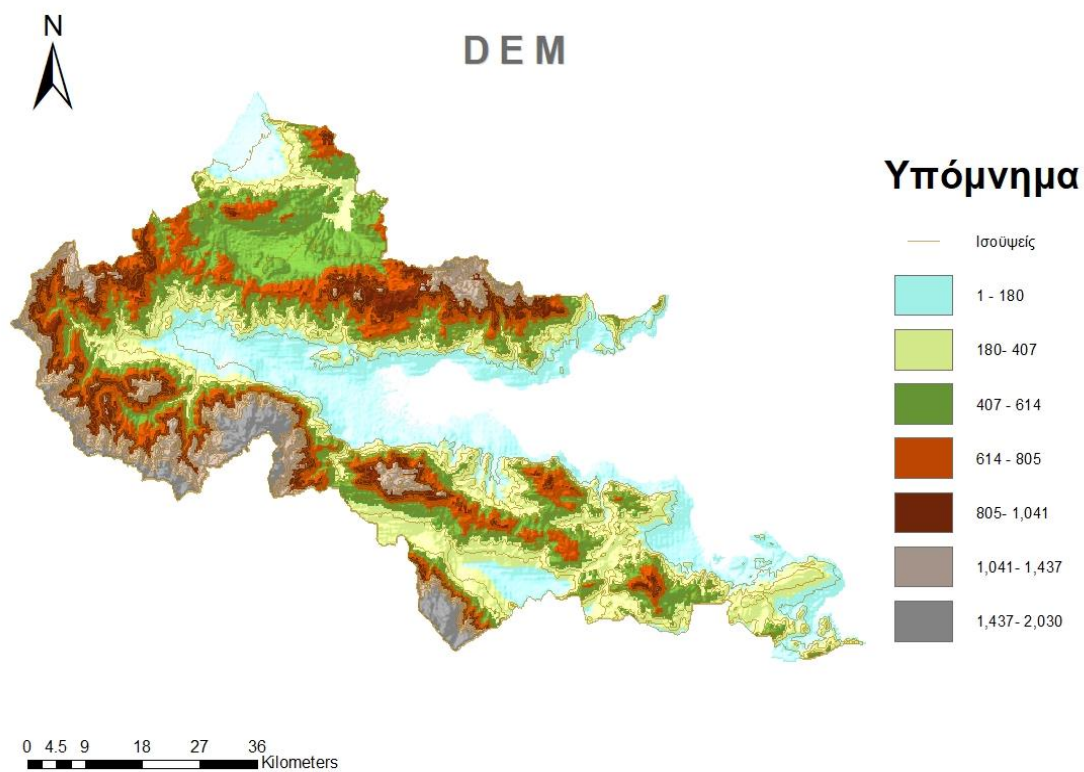


- πίνακας με τις τιμές της μεταβλητής Z (υψομέτρου) για κάθε σημείο

Στην περίπτωση μας, χρησιμοποιείται DEM το οποίο αποκτήθηκε από το σύνολο δεδομένων GMTED2010 της ιστοσελίδας <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Η GMTED (Global Multi-resolution Terrain Elevation Data) αποτελεί ένα σύνολο δεδομένων εδάφους για όλο τον κόσμο και είναι νεότερη έκδοση του συνόλου δεδομένων GTOPO30. Η ακρίβεια των δεδομένων που αντλούνται αντιστοιχεί σε 7.5" (7.5 arc-seconds), δηλαδή σε 225 μέτρα, ενώ κάνουμε λόγο για αρχεία τύπου Tiff. Στα δεδομένα που αποκτώνται (GMTED2010N30E000\_075) διακρίνονται διάφορα αρχεία, τα οποία έχουν παραχθεί από διαφορετικούς αλγορίθμους. Για την ανάλυσή μας χρησιμοποιείται το αρχείο με όνομα 30n000e\_20101117\_gmted\_mea075.

Μετά τη φόρτωση των δεδομένων εδάφους στο λογισμικό, πραγματοποιείται περικοπή τους στα όρια της περιοχής ενδιαφέροντος, σύμφωνα με θεματικό επίπεδο της Περιφερειακής Ενότητας Φθιώτιδος που χρησιμοποιήθηκε ως mask layer. Αξίζει να αναφερθεί ότι κάθε pixel στο πλέγμα εδάφους αντιπροσωπεύει το μέσο υψόμετρο σε μέτρα σε αυτή την τοποθεσία. Ειδικότερα, τα σκούρα pixels αντιπροσωπεύουν περιοχές με χαμηλό υψόμετρο και τα ανοιχτόχρωμα pixels αντιπροσωπεύουν περιοχές με μεγάλο υψόμετρο.

Στη συνέχεια, πραγματοποιείται ταξινόμηση (classification) σε ομάδες τιμών υψομέτρου και κατ' επέκταση απόδοση του αναγλύφου σε χρωματικές ζώνες, όπου κάθε ψηφίδα λαμβάνει το χρώμα της ομάδας στην οποία ανήκει. Παράλληλα, δημιουργούνται ισοϋψείς με ισοδιάσταση 20 m, οι οποίες συμβάλλουν στην αποτελεσματικότερη οπτικοποίηση του υψομέτρου της μελετώμενης περιοχής. Την ίδια στιγμή, οι παράγωγες ισοϋψείς καμπύλες είναι δυνατόν να αξιοποιηθούν και για τον έλεγχο της πιστότητας του μοντέλου, συγκρινόμενες με ισοϋψείς καμπύλες από τοπογραφικούς χάρτες. Τέλος, η προσθήκη φωτοσκίασης (hillshade) προσδίδει στην παραστατικότητα του μοντέλου, το οποίο παρουσιάζεται στο χάρτη που ακολουθεί (Εικόνα 3.3).



Εικόνα 3.3: Ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM)

Ουσιαστική για τη χωροθέτηση αποτελεί η δημιουργία παράγωγων επιπέδων του ΨΜΕ, αυτών της κλίσης και του προσανατολισμού. Με τον όρο κλίση αναφερόμαστε στο μέγιστο ρυθμό μεταβολής του υψομέτρου, μετρημένο σε μοίρες ή ποσοστό επί της εκατό (%). Στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 3.4) διακρίνεται ενδεικτικός αλγόριθμος υπολογισμού της κλίσης, ενώ ακολουθεί ο χάρτης του επιπέδου της κλίσης για την περιοχή ενδιαφέροντος (Εικόνα 3.5).

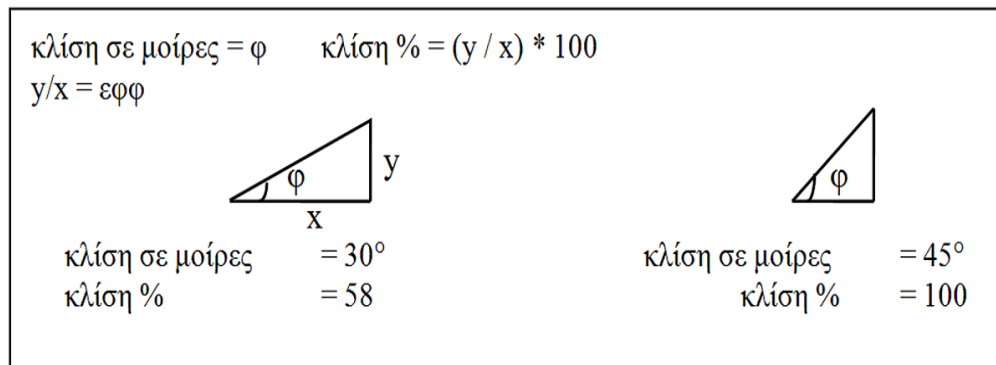
εφ. κλίσης =  $\sqrt{((dz/dx)^2 + (dz/dy)^2)}$

όπου τα dx, dy, dz υπολογίζονται από ένα κινητό 3X3 παράθυρο

a b c  
d e f  
g h i

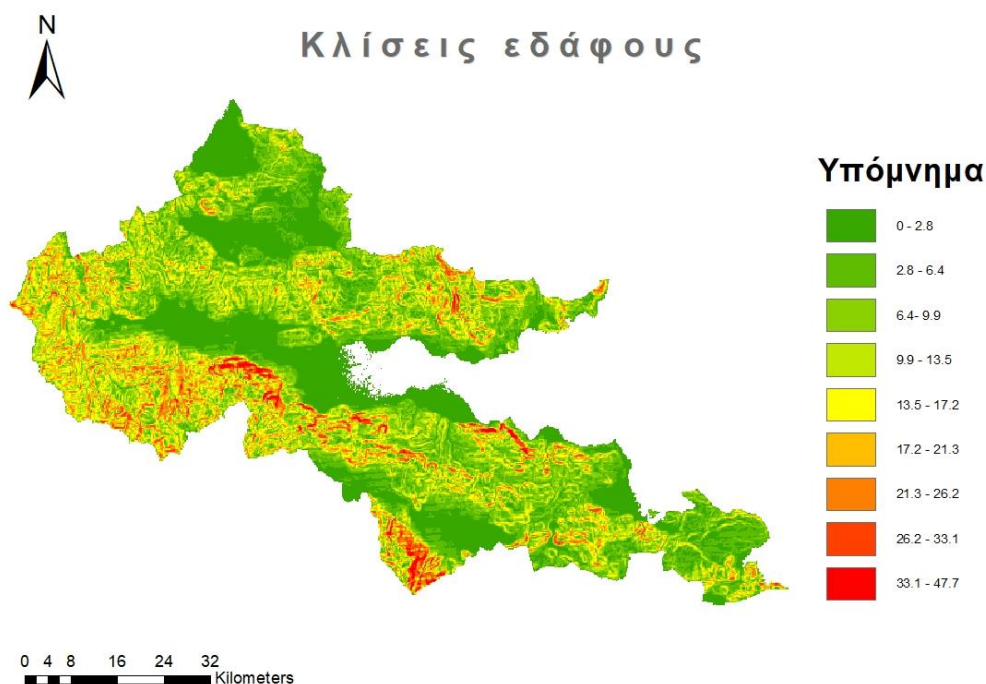
$dz/dx = ((a + 2d + g) - (c + 2f + i)) / (8 * \text{απόσταση σημείων κατά τον άξονα x})$

$dz/dy = ((a + 2b + c) - (g + 2h + i)) / (8 * \text{απόσταση σημείων κατά τον άξονα y})$



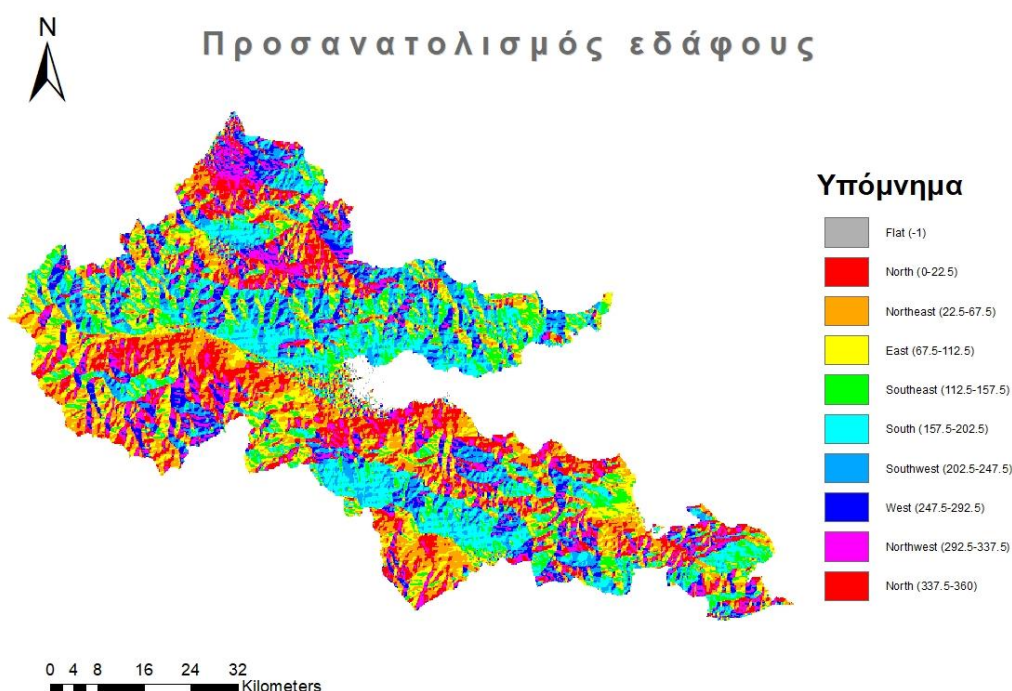
Εικόνα 3.4: Αλγόριθμος υπολογισμού κλίσης από ΨΜΕ

(Πηγή: Χαλκιάς 2015)



Εικόνα 3.5: Χάρτης κλίσης εδάφους Π.Ε Φθιώτιδος

Ο προσανατολισμός/έκθεση (aspect) μιας επιφάνειας αντιστοιχεί στη διεύθυνση κατά την οποία παρατηρείται ο μέγιστος ρυθμός μεταβολής του υψομέτρου και συνήθως μετριέται με το αζιμούθιο της διεύθυνσης αυτής. Συγκεκριμένα η μέτρηση πραγματοποιείται σε μοίρες (0-360), κατά τη φορά του ρολογιού και με προσανατολισμό αναφοράς το Βορρά. Για την περιοχή μελέτης, το παραγόμενο layer προσανατολισμού διακρίνεται στον παρακάτω χάρτη (Εικόνα 3.6).

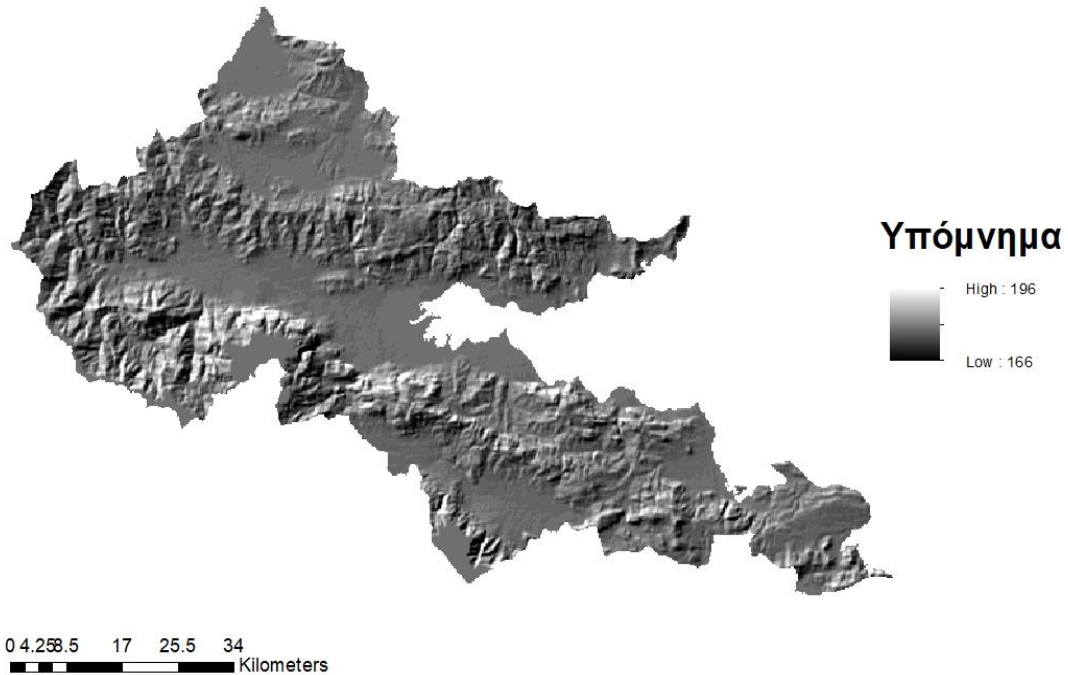


Εικόνα 3.6: Χάρτης έκθεσης εδάφους Π.Ε Φθιώτιδος

Τέλος, δημιουργείται βοηθητικό επίπεδο σκίασης αναγλύφου (hillshade), το οποίο συνδυαστικά με άλλα επίπεδα, συμβάλλει στην αποδοτικότερη παρουσίαση της υψομετρικής πληροφορίας. Οι παράγοντες που πρέπει να προσδιοριστούν για τη συγκεκριμένη διαδικασία είναι οι θέσεις του παρατηρητή και του στόχου παρατήρησης, καθώς και η ακριβής θέση της φωτεινής πηγής. Κατά την παραγωγή του συγκεκριμένου επιπέδου χρησιμοποιήθηκε η προεπιλεγμένη από το λογισμικό θέση φωτεινής πηγής. Το αποτέλεσμα διακρίνεται στον παρακάτω χάρτη (Εικόνα 3.7).



## Σκίαση αναγλύφου



Εικόνα 3.7: Χάρτης σκίασης αναγλύφου Π.Ε Φθιώτιδος

### 3.2.2 Γεωλογικά χαρακτηριστικά

Κυριαρχούν τρεις κατηγορίες σχηματισμών στην Περιφέρεια. Ειδικότερα, κάνουμε λόγο για (α) μεταλπικά ιζήματα, (β) αλπικούς και προαλπικούς σχηματισμούς και (γ) εκρηξιγενή πετρώματα.

#### (α) Μεταλπικά Ιζήματα

Μεταλπικά ιζήματα συναντώνται κατά βάση στις λεκάνες πεδινών τμημάτων της περιφέρειας. Συγκεκριμένα στην Π.Ε. Φθιώτιδος παρατηρείται σημαντική ανάπτυξη σε έκταση και πάχος. Διακρίνονται τεταρτογενείς αποθέσεις (κυρίως από αργίλους,

άμμους, κροκάλες, χαλίκια κ.α.), όπως αυτές που συναντώνται στις λεκάνες Γραβιάς και Τιθορέας, αλλά και τριτογενή ιζήματα που χωρίζονται σε Νεογενή (μάργκες, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, άργιλοι) και Παλαιογενή (ολιγοκαινικά κροκαλοπαγή). Τα τελευταία διακρίνονται στην, ουσιαστικής σημασίας για την περιοχή, λεκάνη του Σπερχειού (ΠΕΣΔΑ ΠΣΤΕΛΛ, 2016).

#### (β) Αλπικοί / Προαλπικοί σχηματισμοί

Στην Π.Ε. Φθιώτιδος διακρίνονται αλπικοί και προαλπικοί σχηματισμοί κυρίως στο όρος Οίτη της κοιλάδας του Σπερχειού, που αποτελεί αντιπροσωπευτικό μέλος της γεωτεκτονικής ζώνης Παρνασσού – Γκιώνας. Η ζώνη αυτή συνίσταται κυρίως από παχιές σειρές ανθρακικών πετρωμάτων νιτρικής φάσης και αποθέσεις φλύσχη μικρού πάχους (Παλαιογενές πέτρωμα). Χαρακτηριστικό της ζώνης, που το συνολικό της πάχος υπερβαίνει τα 1.000 m είναι η παρουσία βωξιτικών οριζόντων, που δημιουργήθηκαν από τις αλλεπάλληλες αναδύσεις και αποκαρστώσεις της περιοχής. Ο φλύσχη που συναντάται αποτελείται από κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, αργιλικούς σχιστόλιθους και κατά θέσεις φακοειδείς ενστρώσεις ασβεστόλιθων, ενώ το πάχος του είναι μικρό (100 m) και η επιφανειακή του ανάπτυξη περιορισμένη (ΠΕΣΔΑ ΠΣΤΕΛΛ, 2016).

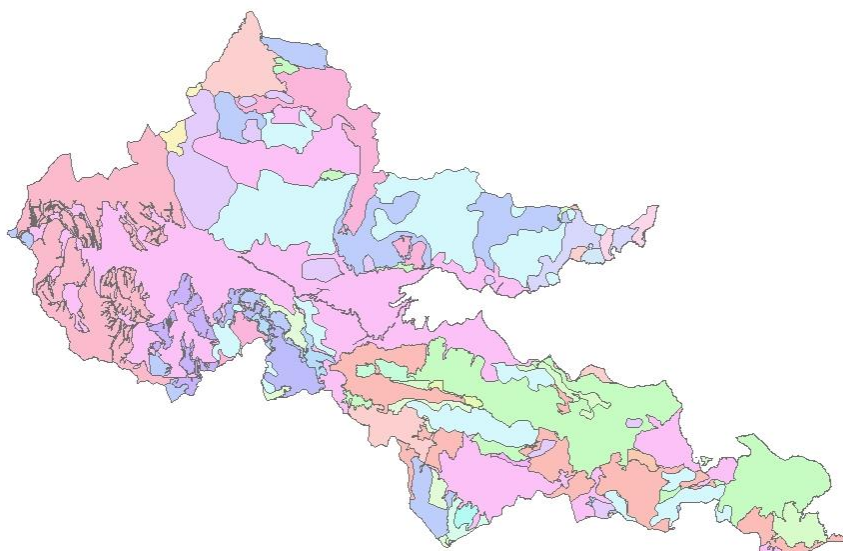
#### (γ) Εκρηξιγενή πετρώματα

Στην Π.Ε. Φθιώτιδος διακρίνονται εκρηξιγενή πετρώματα τα οποία δομούν βραχώδεις σχηματισμούς. Παρ' όλο που και τα αλπικά και προαλπικά πετρώματα αποτελούν επίσης δομικά στοιχεία βράχων, στην περίπτωση των εκρηξιγενών σχηματισμών κάνουμε λόγο για πετρώματα παλαιότερης ηλικίας (ΠΕΣΔΑ ΠΣΤΕΛΛ, 2016).

Στη συνέχεια παρουσιάζεται γεωλογικός χάρτης (Εικόνα 3.8) για οπτικοποίηση και κατ' επέκταση βέλτιστη κατανόηση του είδους των σχηματισμών που υπάρχουν στην περιοχή ενδιαφέροντος, αλλά και των ορίων της περιοχής που καταλαμβάνει κάθε πέτρωμα. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν αντλήθηκαν από την ιστοσελίδα <http://www.igme.gr/geoportal/>.



## Γεωλογία



0 4.25 8.5 17 25.5 34  
Kilometers

### Υπόμνημα

	<all other values>		Limestone_Permlan
	Clastic_sediment_Holocene		Limestone_UpperCretaceous
	Clastic_sediment_Pleistocene		Limestone_UpperJurassic
	Clastic_sediment_Pliocene		Limestone_UpperTriassic
	Clastic_sediment_Quaternary		Marble_Triassic
	Conglomerate_Cretaceous		Sandstone_Miocene
	Conglomerate_LowerCretaceous		Sandstone_Paleocene
	Conglomerate_Oligocene		Sandstone_Pliocene
	Fine_grained_Igneous_rock_Mesozoic		Shale_LowerCretaceous
	Glaucophane_lawsonite_epidote_metamorphic_rock_Miocene		Shale_UpperCretaceous
	Limestone_LowerJurassic		Siltstone_Eocene
	Limestone_Mesozoic		Siltstone_Paleocene
	Limestone_MiddleJurassic		Ultramafic_Igneous_rock_Jurassic
	Limestone_MiddleTriassic		Ultramafic_Igneous_rock_Mesozoic

Εικόνα 3.8: Γεωλογικός χάρτης



### 3.3 Χρήσεις γης

Η ορθή και αποτελεσματική διαχείριση του περιβάλλοντος και του φυσικού πλούτου μιας χώρας, προϋποθέτει την παροχή ολοκληρωμένης και έγκαιρης πληροφόρησης όσον αφορά τις μορφές κάλυψης και χρήσεων γης, αλλά και τις μεταβολές αυτών. Στο πλαίσιο αυτό, η Ε.Κ.ΧΑ. Α.Ε. ανέλαβε την υλοποίηση σε εθνικό επίπεδο του, συγχρηματοδοτούμενου από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος (Ε.Ο.Π.), προγράμματος με τίτλο «GMES/ Copernicus Initial Operations (GIO) Land monitoring 2011-2013» ή GIO LAND [Κανονισμός (ΕΥ) Νο. 911/2010 – Pan- EU component].

Για την εκτέλεση του προγράμματος υπογράφηκε σύμβαση μεταξύ της Ε.Κ.ΧΑ. Α.Ε. και του Ε.Ο.Π. και συντάχθηκε το αναδιαμορφωμένο Εθνικό Σχέδιο Υλοποίησης του Προγράμματος από την Δ/νση Δασικών Χαρτών & Φυσικού Περιβάλλοντος. Αντικείμενο του προγράμματος αποτέλεσε η δημιουργία και παροχή πληροφορίας πολλαπλών σκοπών σε μια μεγάλη κοινωνία χρηστών. Συγκεκριμένα, σκοπός είναι η πληροφόρηση σχετικά με τις μεταβολές μορφών κάλυψης/χρήσεων γης σε διαφορετικές κλίμακες και περιόδους και τις βιοφυσικές μεταβλητές δυναμικής παρακολούθησης της γης, αλλά και η δυνατότητα βελτιωμένης πρόσβασης σε δεδομένα αναφοράς.

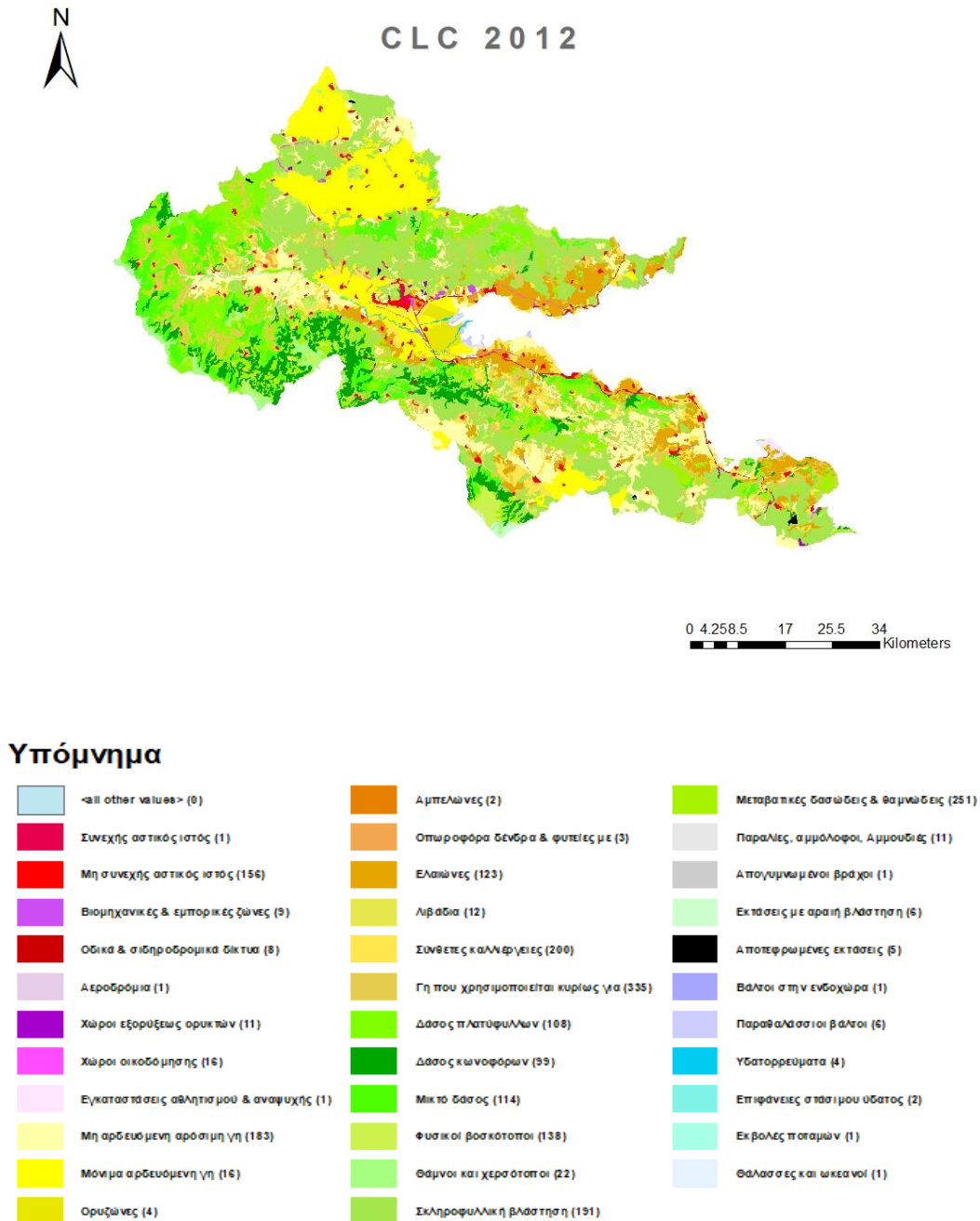
Στην περίπτωση του ελλαδικού χώρου, το πρόγραμμα αφορά τη διόρθωση του χάρτη των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης για το έτος 2000 σε εθνικό επίπεδο, την καταγραφή των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης κατά τα έτη 2006 και 2012 και των μεταβολών αυτών, καθώς και τον έλεγχο και την επιβεβαίωση, ως προς την ορθότητά τους, των εξής πέντε επιπέδων πληροφορίας: δάση, λιβάδια, υγρότοποι, δόμηση και ύδατα.

Αρχικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση του προγράμματος είναι: δορυφορικές εικόνες LANDSAT 7, SPOT και IRS της Ευρωπαϊκής Διαστημικής Υπηρεσίας και γεωχωρικά δεδομένα της Ε.Κ.ΧΑ. Α.Ε. Τα τελευταία αυτά δεδομένα περιλαμβάνουν τα εξής: Ενιαία χαρτογραφικά υπόβαθρα μεγάλης κλίμακας 1:5.000, δεδομένα Δασικών Χαρτών, δεδομένα του έργου «Οριοθέτηση δασών και δασικών εκτάσεων» και ακτογραμμής, καθώς και δεδομένα από άλλες πηγές, όπως οικισμοί, υγρότοποι, οδικό δίκτυο, κ.λπ.

Τα παραγόμενα δεδομένα το προγράμματος Corine Land Cover για τα έτη 2006 και 2012 διατίθενται δωρεάν και χωρίς περιορισμούς σε κάθε ενδιαφερόμενο από την



ΕΚΧΑ Α.Ε. Διάφοροι χρήστες χρειάζονται και αξιοποιούν τα παραχθέντα γεωχωρικά δεδομένα του προγράμματος, όπως ερευνητικά ιδρύματα, επαγγελματίες, φορείς και υπηρεσίες του δημόσιου και ιδιωτικού τομέα (<http://www.data.gov.gr/>). Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιούνται τα δεδομένα του CLC 2012, όπως φαίνονται στον παρακάτω χάρτη (Εικόνα 3.9).



Εικόνα 3.9: Χάρτης χρήσεων (CLC 2012)



## Κεφάλαιο 4: Μεθοδολογία

### 4.1 Η Διαδικασία της Πολυκριτηριακής Ανάλυσης

Το σύνθετο πρόβλημα της λήψης συγκεκριμένων αποφάσεων συναντάται καθημερινά στους διάφορους τομείς της ανθρώπινης ζωής και καθιστά επιτακτική την ανάγκη εφαρμογής τυποποιημένων και ευκολονόητων διαδικασιών για την επίλυσή του. Μια τέτοια διαδικασία αποτελεί η Πολυκριτηριακή Ανάλυση Αποφάσεων (MCDA – MultiCriteria Decision Analysis), η οποία αναπτύχθηκε ιδιαίτερα τα χρόνια που ακολούθησαν μετά το Β' Παγκόσμιο πόλεμο και προσπαθεί να δώσει λύση στο παραπάνω ζήτημα συνθέτοντας κατάλληλα τους επιμέρους παράγοντες κάθε μελετώμενου προβλήματος.

Η Πολυκριτηριακή Ανάλυση (ΠΚΑ) πηγάζει από τον τομέα της Επιχειρησιακής Έρευνας και για την υλοποίησή της είναι αναγκαία η εφαρμογή επιμέρους σταδίων-διαδικασιών. Πιο συγκεκριμένα, το γενικό πλαίσιο υλοποίησης της μεθόδου περιλαμβάνει (Θεοχάρη, 2018):

- Τον καθορισμό του γενικού προβλήματος και του/των στόχων
- Τον προσδιορισμό των κριτηρίων (περιορισμοί / παράγοντες) και των εναλλακτικών επιλογών (περιορισμένες / μεγάλος αριθμός)
- Την αξιολόγηση των κριτηρίων και τον καθορισμό των προτιμήσεων των συντελεστών απόφασης
- Την επιλογή της μεθόδου σύνθεσης των κριτηρίων
- Τον καθορισμό των συντελεστών βαρύτητας κάθε κριτηρίου
- Την Ανάλυση Ευαισθησίας (Sensitivity Analysis), για τον έλεγχο των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τα παραπάνω
- Τη διαμόρφωση των τελικών αποφάσεων, με την αποτίμηση των εναλλακτικών επιλογών

Τα παραπάνω στάδια θα αναλυθούν διεξοδικά όσον αφορά την περίπτωσή μας και τις διαδικασίες που ακολουθήθηκαν στις επόμενες παραγράφους. Όπως αναφέρεται και

στο κείμενο του Χαλκιά (2015), τα ισχυρά χαρακτηριστικά των μεθόδων ΠΚΑ είναι η απλότητα στη σύλληψη και την εκτέλεση, η δυνατότητα ενσωμάτωσης στην ανάλυση ποιοτικών, αλλά και ποσοτικών κριτηρίων, καθώς και η δυνατότητα εμπλοκής στη διαδικασία λήψης απόφασης διαφορετικών ληπτών, (π.χ. εμπειρογνώμονες, ομάδες ειδικών, διαχειριστές του χώρου, ομάδες πολιτών κ.λπ.).

## 4.2 Πολυκριτηριακή Ανάλυση και GIS

Διακρίνουμε πληθώρα διαφορετικών προβλημάτων στην καθημερινότητα. Ωστόσο, η πλειοψηφία αυτών και συγκεκριμένα το 80%, περιλαμβάνει δεδομένα με χωρική διάσταση, οπότε κάνουμε λόγο για γεωγραφικά προβλήματα ή προβλήματα χωρικών αποφάσεων (Rikalovic et al., 2013). Τέτοιου είδους ζητήματα αποτελούνται, συνήθως από μεγάλο αριθμό κριτηρίων και εναλλακτικών λύσεων, με αποτέλεσμα να είναι πολλές φορές δύσκολη η διαχείρισή τους. Τα ΣΓΠ (GIS) αποτελούν έναν τομέα που διευκολύνει κατά πολύ την επεξεργασία των χωρικών δεδομένων και κατ' επέκταση την Πολυκριτηριακή Ανάλυση, καθώς αυτοματοποιούνται οι διαδικασίες και γενικότερα, παρέχονται σημαντικές ευκολίες στην διαχείριση και ανάλυση των χωρικών στοιχείων (Malczewski and Rinner, 2015).

Η χωροθέτηση ΟΕΔΑ, ανήκει στην παραπάνω κατηγορία προβλημάτων και δεν είναι λίγα τα χωρικά δεδομένα που πρέπει να ληφθούν υπόψη έτσι ώστε να προκύψει τελικά το βέλτιστο αποτέλεσμα. Πρόκειται για ένα συνεχές πρόβλημα, όπως και τα περισσότερα χωρικά προβλήματα που συναντώνται, καθώς αφορά ολόκληρη την Π.Ε Φθιώτιδας κι όχι συγκεκριμένες διακριτές περιοχές. Στην ουσία κάθε υποπεριοχή της περιοχής μελέτης αποτελεί δυνητική χωρική εναλλακτική επιλογή (spatial alternative) και εξετάζεται.

Η όλη διαδικασία αφορά το συνδυασμό των αρχικών γεωγραφικών στοιχείων (εισροές) με σκοπό να προκύψει μια τελική απόφαση (εκροή), με τη βοήθεια των ΓΠΣ. Το λογισμικό που χρησιμοποιείται για τη διεκπεραίωση των διαφόρων εργασιών στην παρούσα εργασία, είναι το ArcGIS το οποίο εμφανίζει ισχυρή σύνδεση (tight coupling) μεταξύ GIS και ΠΚΑ. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι παρέχονται επεκτάσεις-προσθήκες, οι οποίες ενσωματώνονται στο πρόγραμμα και προσφέρουν δυνατότητες ΠΚΑ. Με τη βοήθεια του προγράμματος, λοιπόν, ορίζεται μια μετατροπή «χαρτών εισόδου» σε «χάρτες εξόδου» σύμφωνα με προκαθορισμένα βήματα (Χαλκιάς, 2015).

### 4.3 Διαδικασίες GIS

Στην περίπτωση μας, κάνουμε λόγο για μία στόχευση, τη χωροθέτηση ΟΕΔΑ σε κάποιο σημείο της Π.Ε., που πηγάζει από το γενικότερο πρόβλημα διαχείρισης απορριμμάτων για την περιοχή. Τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται για αυτό το σκοπό είναι τόσο παράγοντες (factors), όσο και περιορισμοί (restrictions), ενώ πρόκειται για ένα πρόβλημα πολλών εναλλακτικών επιλογών (alternatives), εφόσον εξετάζονται όλες οι πιθανές θέσεις εγκατάστασης της περιοχής μελέτης, με χωρική μονάδα αναφοράς το μέγεθος του rixel. Με τον όρο περιορισμοί αναφερόμαστε σε κριτήρια δίτιμης μορφής, τα οποία περιορίζουν την ανάλυση σε συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές της περιοχής μελέτης. Απ' την άλλη, η δεύτερη μορφή κριτηρίων, οι παράγοντες, καθορίζει κάποιο βαθμό καταλληλότητας για το σύνολο της περιοχής που εξετάζεται. Κάνουμε λόγο για μια συνεχή μέτρηση καταλληλότητας. Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν οι διαδικασίες χειρισμού (α) των περιορισμών και (β) των παραγόντων.

#### 4.3.1 Απλή χαρτογραφική υπέρθεση περιορισμών

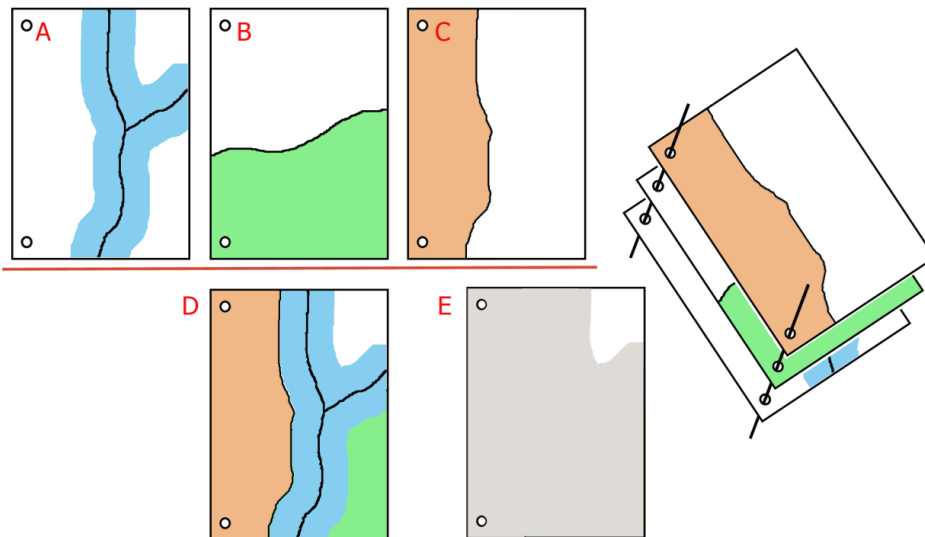
Η επεξεργασία των περιορισμών (restrictions) πραγματοποιείται με τη βοήθεια της μοντελοποίησης με χαρτογραφική υπέρθεση (Cartographic overlay). Πρόκειται για μία μέθοδο που συναντάται από την εποχή των αναλογικών μέσων έως και σήμερα. Στις μέρες μας το σκεπτικό της μεθόδου υιοθετείται και εφαρμόζεται με τη βοήθεια των ΣΓΠ. Πλέον δεν κάνουμε λόγο για συνδυασμό διαφανειών – αντίγραφων χαρτών - όπως την εποχή των συμβατικών μέσων, αλλά για αξιοποίηση των θεματικών επιπέδων της βάσης δεδομένων ενός ΣΓΠ (Χαλκιάς 2015).

Σύμφωνα με τα όσα ορίζονται από το νόμο, αλλά και με παράλληλη εξέταση αντίστοιχων μελετών (Τσερώνης, 2011) τα κριτήρια αποκλεισμού (περιορισμοί) που χρησιμοποιούνται στην περίπτωση μας ανέρχονται σε 12 και συγκεκριμένα:

1. Απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο
2. Απόσταση από γεωλογικά ρήγματα
3. Λιθολογικός αποκλεισμός ασβεστολίθων

4. Απόσταση από την ακτογραμμή
5. Αποκλεισμός των περιοχών του δικτύου NATURA 2000
6. Αποκλεισμός ζωνών προστασίας - περιοχών φυσικού κάλλους
7. Απόσταση από περιοχές με ιδιαίτερο φυσικό ενδιαφέρον
8. Απόσταση από οικισμούς
9. Απόσταση και ορατότητα από μνημεία
10. Απόσταση από σιδηροδρομικό δίκτυο
11. Απόσταση από Αεροδρόμιο
12. Αποκλεισμός περιοχών με συγκεκριμένες χρήσεις γης

Η χαρτογραφική υπέρθεση προϋποθέτει τη χωρική ταύτιση των δεδομένων, γι' αυτό και οι αρχικές επεξεργασίες αφορούν χωρικούς μετασχηματισμούς και αλλαγή συστήματος αναφοράς στα θεματικά επίπεδα που χρειάζεται. Στη συνέχεια, δημιουργείται, με τη βοήθεια της εφαρμογής Model Builder, μοντέλο αποκλεισμού στο οποίο παρουσιάζονται διαγραμματικά όλες οι διαδικασίες (Παράρτημα: Εικόνα 1). Αυτές περιλαμβάνουν δευτερογενείς επεξεργασίες ανάλογα με τη μορφή των δεδομένων και τον κάθε περιορισμό (δημιουργία ζωνών αποκλεισμού, μετατροπές vector – raster, ορατότητα από σημεία κ.λπ.) όπως θα δούμε και παρακάτω κατά την περιγραφή του κάθε κριτηρίου.



Εικόνα 4.1: Διαδικασία Χαρτογραφικής Υπέρθεσης

Πηγή: Χαλκιάς 2015

Τελικά, όλα τα δεδομένα μετατρέπονται σε δυαδικούς χάρτες (binary maps), στους οποίους παρουσιάζονται με απόλυτο τρόπο (0/1) οι αποκλειόμενες και μη αποκλειόμενες περιοχές (Mahdiah et al, 2017). Με το συνδυασμό του συνόλου των χαρτών και κατ' επέκταση του συνόλου των κριτηρίων προκύπτει το τελικό παραγόμενο, το οποίο είναι επίσης δυαδικός χάρτης. Οι δίτιμοι αυτοί χάρτες ονομάζονται χάρτες καταλληλότητας (capability maps) και εφόσον κάνουμε λόγω για ψηφιδωτά (raster) δεδομένα, είναι αποτέλεσμα απλών κανόνων (rules) χαρτογραφικής άλγεβρας. Η μαθηματική διατύπωση που εκφράζει την επιλογή κατάλληλης περιοχής με βάση τα κριτήρια αποκλεισμού είναι (Gemitzi et al, 2006):

$$SI = \prod_{j=1}^K b_j \quad (4.1)$$

όπου:

- $SI$  = συνολικός δείκτης καταλληλότητας (Suitability Index) 0 ή 1
- $b_j$  = δείκτης καταλληλότητας κάθε κριτηρίου 0 ή 1
- $K$  = αριθμός κριτηρίων αποκλεισμού (περιορισμών)

Όπως είναι εμφανές και από την παραπάνω μαθηματική έκφραση, δε χρησιμοποιούνται βάρη που να προσδίδουν διαφορετική σημαντικότητα σε κάθε περιορισμό όσον αφορά την επίδρασή του στη χωροθέτηση. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι, βασικό μειονέκτημα της δίτιμης παρουσίασης των περιορισμών αποτελεί η έλλειψη πληροφοριών για τη διαβάθμιση του φαινομένου στην εξεταζόμενη περιοχή (Χαλκιάς, 2015).

#### 4.3.2 Διαδικασία ασαφούς αναλυτικής ιεράρχησης παραγόντων

Για την αποτελεσματικότερη διαχείριση των παραγόντων (factor) του προβλήματος προτιμήθηκε η χρήση της υπολογιστικής θεωρίας της Αναλυτικής Ιεράρχησης (Analytical Hierarchy Process, AHP). Η συγκεκριμένη μέθοδος προτάθηκε από τον Saaty (1977) και αποτελεί μια υιοθέτηση του σταθμισμένου γραμμικού συνδυασμού (WLC). Βασίζεται στην αρχή ότι τα δεδομένα που διαθέτουμε για την επίλυση ενός προβλήματος είναι το ίδιο σημαντικά με τον ανθρώπινο παράγοντα (Θεοχάρη, 2018).

Συγκεκριμένα, η άποψη και η εμπειρία των υπευθύνων έχει ενεργό ρόλο στη διαδικασία και εκφράζεται με την προσθήκη συντελεστών βαρύτητας στους εξεταζόμενους παράγοντες. Πρόκειται για μια μεθοδολογία αναλυτική που συνδυάζει λογική και μαθηματική αξιολόγηση κατά την ανάλυση ενός προβλήματος. Στα χαρακτηριστικά της συγκαταλέγονται επίσης, η απλή τεκμηρίωσή της, ο πολυκριτηριακός της χαρακτήρας, η ιεραρχική δομή που προσδίδει στο πρόβλημα, αλλά και η δυνατότητα εντοπισμού ασυνεπειών στην κρίση των αναλυτών. Οι προαναφερόμενες ιδιότητες αποτελούν και τα πλεονεκτήματα της Αναλυτικής Ιεράρχησης (Χαλκιάς, 2015).

Τα στάδια υλοποίησης της μεθόδου AHP είναι (Saaty, 1980):

- Η αποδόμηση του μελετώμενου προβλήματος σ' ένα ιεραρχικό (ή δικτυακό) μοντέλο, το οποίο απαρτίζεται από τις βασικές συνιστώσες του επιτρέποντας τις συγκρίσεις κατά ζεύγη
- Η συγκριτική αξιολόγηση κάθε κριτηρίου / υποκριτηρίου
- Η σύνθεση των αξιολογημένων κριτηρίων με σκοπό την παραγωγή των τελικών αποτελεσμάτων
- Η εύρεση βέλτιστης / επιθυμητής επιλογής

Αναλυτικότερα, το ιεραρχικό μοντέλο της μεθόδου έχει δομή δέντρου, με κορυφή το βασικό στόχο του προβλήματος που εξετάζεται, δηλαδή τη βέλτιστη χωροθέτηση ΟΕΔΑ. Τα κριτήρια που περιγράφουν το στόχο αυτό στην περίπτωσή μας είναι δύο. Το πρώτο αφορά στο φυσικό περιβάλλον και συγκεκριμένα την υδρογεωλογία της περιοχής μελέτης, ενώ το δεύτερο αναφέρεται σε χωροταξικούς παράγοντες.

Τα κριτήρια αυτά με τη σειρά τους αναλύονται σε υποκριτήρια έτσι ώστε να φτάσουμε στη βάση του δέντρου, δηλαδή στο κατώτατο σημείο ιεραρχίας (Χαλκιάς, 2015). Πιο συγκεκριμένα, για το σκοπό της εφαρμογής, το υδρογεωλογικό κριτήριο αναλύεται σε τρεις μεταβλητές (υποκριτήρια): Την απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο, την καταλληλότητα των υδροφορέων και την απόσταση από υπάρχοντα ρήγματα. Παράλληλα, το χωροταξικό κριτήριο αναλύεται σε τέσσερα υποκριτήρια και συγκεκριμένα: την απόσταση από το υπάρχον οδικό δίκτυο, τις κλίσεις της επιφάνειας του εδάφους, τον προσανατολισμό της περιοχής μελέτης και την απόσταση από τις έδρες των Δήμων της Π.Ε. (Gemitzi et al., 2006)



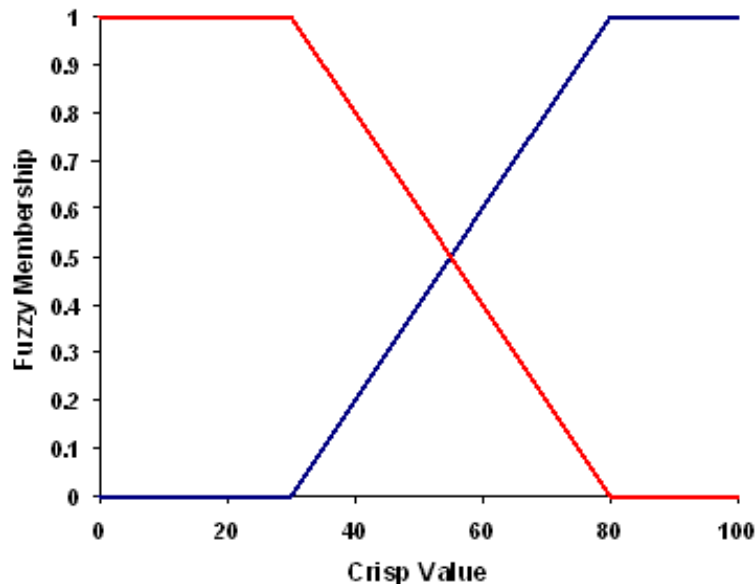
Δημιουργείται εκ νέου, κάνοντας χρήση της εφαρμογής Model Builder του ArcMap, μοντέλο καταλληλότητας παραγόντων (Παράρτημα: Εικόνα 2), όπου παρουσιάζονται με μορφή ιεραρχικού διαγράμματος όλες οι διαδικασίες. Ειδικότερα, εισάγονται στην εφαρμογή τα αρχικά δεδομένα των υποκριτηρίων σε διανυσματική (πχ υδρογραφικό δίκτυο) ή σε ψηφιδωτή μορφή (πχ Slope). Αρχική επεξεργασία των διανυσματικών δεδομένων αποτελεί η μετατροπή τους σε ψηφιδωτά με τη χρήση είτε της εντολής Euclidean Distance είτε της Polygon to raster, ανάλογα με το κριτήριο.

Στη συνέχεια, ακολουθεί η ομογενοποίηση των τιμών των κριτηρίων, ώστε να κάνουμε λόγο για ενιαία κλίμακα ταξινόμησης και κατ' επέκταση για δυνατότητα σύγκρισής τους. Στο παρόν πρόβλημα, οι τιμές των παραγόντων μετατρέπονται σε τιμές από 0 έως 1, είτε κάνοντας χρήση της γραμμικής συνάρτησης ασαφούς λογικής που παρέχεται από το λογισμικό ArcGIS (Fuzzy Membership Linear), είτε επαναταξινομώντας τις τιμές των κριτηρίων στην κλίμακα 0-1 με τη βοήθεια της εντολής Reclassify, αλλά και του εργαλείου Raster Calculator που καθιστά εφικτή τη χρήση των ενδιάμεσων δεκαδικών τιμών του διαστήματος (0-1). Συγκεκριμένα για την επαναταξινόμηση, οι τιμές αρχικά ταξινομούνται στην κλίμακα 0-10 (Reclassify), στη συνέχεια μετατρέπονται σε Float μορφή και διαιρούνται με το 10 (Raster Calculator), ώστε τελικά να επιτευχθεί το ζητούμενο, δηλαδή τιμές από 0 – 1.

Η χρήση ασαφούς λογικής στη διαδικασία Αναλυτικής Ιεράρχησης αποσκοπεί στην αντιμετώπιση της αβεβαιότητας που προκύπτει εξαιτίας της ανακρίβειας και της ασάφειας, καθώς βασικό πλεονέκτημα της λογικής αυτής είναι η δυνατότητα αναπαράστασης ασαφών δεδομένων. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιείται για τα περισσότερα κριτήρια της περίπτωσης μας, το εργαλείο Fuzzy Membership του ArcMap και συγκεκριμένα, όπως έχει ήδη αναφερθεί, η γραμμική συνάρτηση. Οι συναρτήσεις ασαφούς λογικής, προσφέρουν μια σταδιακή (φασματική) μετάβαση των τιμών των κριτηρίων και κατ' επέκταση των υποπεριοχών μελέτης από ακατάλληλες (value=0) σε κατάλληλες (value=1), (Shahmoradi and Isalou, 2013).

Αναφορικά με τη γραμμική συνάρτηση ασαφούς λογικής (Fuzzy Linear), εφαρμόζει μια γραμμική συνάρτηση μεταξύ ελαχίστου (minimum), που λαμβάνει την τιμή 0 και μεγίστου (maximum), που λαμβάνει την τιμή 1. Τα ελάχιστο – μέγιστο ορίζονται, για κάθε περίπτωση, από το χρήστη. Κάθε τιμή μικρότερη του ελαχίστου λαμβάνει την τιμή 0, ενώ κάθε τιμή μεγαλύτερη του μεγίστου την τιμή 1. Στην περίπτωση που το ελάχιστο είναι μεγαλύτερο από το μέγιστο κάνουμε λόγο για γραμμική συνάρτηση αρνητικής κλίσης (negative slope linear transformation). Στο παρακάτω σχήμα

διακρίνονται παραδείγματα τόσο θετικής (μπλε γραμμή), όσο και αρνητικής κλίσης (κόκκινη γραμμή) γραμμικής συνάρτησης (<http://desktop.arcgis.com>).



Εικόνα 4.2: Παραλλαγές γραμμικής συνάρτησης ασαφούς λογικής  
(Πηγή: <http://desktop.arcgis.com>)

Επόμενο βήμα της μεθόδου αποτελεί η αξιολόγηση των επιμέρους κριτηρίων και υποκριτηρίων. Με τον όρο αξιολόγηση αναφερόμαστε σε συγκρίσεις ανά ζεύγη (pairwise comparisons) των κριτηρίων / υποκριτηρίων και όχι σε απευθείας ανάθεση βαρών σε αυτά. Οι συγκρίσεις αυτές διενεργούνται με βάση την υποκειμενική άποψη του μελετητή σχετικά με τις σχέσεις σημαντικότητας που διαμορφώνονται μεταξύ των διαφόρων παραγόντων και διακρίνονται σε κάθε επίπεδο της προαναφερόμενης ιεραρχίας. Επιπρόσθετα, πραγματοποιούνται σύμφωνα με τη θεμελιώδη κλίμακα του Saaty, η οποία διακρίνεται στον πίνακα 4.1, ενώ το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι η δημιουργία ενός πίνακα συγκρίσεων ανά ζεύγη (Comparison matrix), (Chabuk et al, 2017).

Πίνακας 4.1: Κλίμακα σχετικής σημαντικότητας για τη διενέργεια συγκρίσεων ανά ζεύγη (Saaty 1980)

(Πηγή: Chabuk et al, 2017)

Intensity of importance	Definition
1	Equal importance
2	Equal to moderately importance
3	Moderate importance
4	Moderate to strong importance
5	Strong importance
6	Strong to very strong importance
7	Very strong importance
8	Very to extremely strong importance
9	Extreme importance

Αξίζει να σημειωθεί, ότι σε περιπτώσεις πολλών κριτηρίων, τα βάρη κανονικοποιούνται και το άθροισμά τους ισούται με 1. Ο υπολογισμός τους με βάση τον πίνακα συγκρίσεων που δημιουργείται, γίνεται με τη μέθοδο του ιδιοδιανύσματος η οποία υλοποιείται με την εξής επαναληπτική διαδικασία (Παρασκευόπουλος, 2008):

1. Αθροίζονται κατά γραμμή τα στοιχεία του πίνακα των κατά ζεύγη συγκρίσεων
2. Γίνεται προσέγγιση, για κάθε γραμμή του πίνακα, του βάρους του αντίστοιχου στοιχείου με το πηλίκο του αθροίσματος του βήματος 1 δια του αθροίσματος των στοιχείων όλου του πίνακα. Λαμβάνεται έτσι το βάρος, του οποίου οι διαστάσεις είναι κανονικοποιημένες, δηλαδή έχουν άθροισμα τη μονάδα.
3. Ο πίνακας υψώνεται στο τετράγωνο και η διαδικασία επαναλαμβάνεται από το βήμα 1. Η διαδικασία ολοκληρώνεται όταν δύο διαδοχικές προσεγγίσεις του βάρους δε διαφέρουν σημαντικά στα πλαίσια μιας επιθυμητής ακρίβειας.

Προκειμένου να καθορισθεί η ορθότητα των συγκρίσεων μεταξύ των κριτηρίων, κρίνεται αναγκαίος ο έλεγχος συνέπειας των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τις διαδικασίες που προαναφέρθηκαν. Ο έλεγχος αυτός περιλαμβάνει τον υπολογισμό

αρχικά του δείκτη συνέπειας (Consistency Index, CI) και στη συνέχεια, μέσω αυτού, του λόγου συνέπειας (Consistency Ratio, CR), όπως φαίνεται παρακάτω:

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Όπου:

- $CI$ =Δείκτης συνέπειας που παρέχει ένα μέτρο απομάκρυνσης από τη συνέπεια και υπολογίζεται ως εξής:

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1}$$

με  $\lambda$ = ιδιοτιμή του πίνακα και  $n$  = ο αριθμός των κριτηρίων

- $RI$ = Τυχαίος δείκτης συνέπειας του τυχαίου πίνακα συγκρίσεων, που εξαρτάται από τον αριθμό των στοιχείων που συγκρίνονται

Στην περίπτωση που ο λόγος συνέπειας (CR) είναι μικρότερος ή ίσος του 0,10 ή 10% κάνουμε λόγο για αποδεκτή ασυνέπεια, δηλαδή οι διαδικασίες που πραγματοποιήθηκαν μέχρι των καθορισμό των βαρών κρίνονται αποδεκτές. Σε αντίθετη περίπτωση συνίσταται η αλλαγή των στοιχείων του πίνακα συγκρίσεων και κατ' επέκταση η μεταβολή των συντελεστών βαρύτητας. Αν ο λόγος συνέπειας ισούται με μηδέν μπορούμε να μιλήσουμε για απόλυτη συνέπεια (Chabuk 2017).

Οι υπολογισμοί που περιγράφονται παραπάνω πραγματοποιούνται στην παρούσα εργασία, με τη βοήθεια του online υπολογιστικού εργαλείου Αναλυτικής Ιεράρχησης AHP-OS ([https://bpmsg.com/academic/ahp\\_calc.php](https://bpmsg.com/academic/ahp_calc.php)).

Ο τελικός χάρτης καταλληλότητας που παράγεται περιλαμβάνει πέντε κατηγορίες περιοχών και συγκεκριμένα τις:

1. Αποκλειόμενες (Excluded)
2. Ακατάλληλες (Unsuitable)
3. Μέτρια κατάλληλες (Moderately suitable)

4. Κατάλληλες (Suitable)
5. Μέγιστα κατάλληλες (Most suitable)

Τελικό παραγόμενο είναι ο χάρτης που συνδυάζει τα αποτελέσματα επεξεργασίας τόσο των περιορισμών, όσο και των παραγόντων. Η μαθηματική έκφραση για τον προσδιορισμό του συνολικού δείκτη καταλληλότητας, ο οποίος λαμβάνει υπόψη το σύνολο των κριτηρίων είναι:

$$SI = \sum_{i=1}^N w_i x_i \times \prod_{j=1}^K b_j \quad (4.2)$$

όπου:

- $SI$  = συνολικός δείκτης καταλληλότητας (περιορισμών και παραγόντων )
- $w_i$  = βάρος κάθε παράγοντα
- $x_i$  = τιμή παραγόντων
- $b_j$  = τιμή περιορισμών
- $K$  = αριθμός περιορισμών
- $N$  = αριθμός παραγόντων

Οι παραπάνω διαδικασίες αναφορικά με την περίπτωση μας παρουσιάζονται διεξοδικά στο Κεφάλαιο 5.

#### 4.3.3 Ανάλυση ευαισθησίας

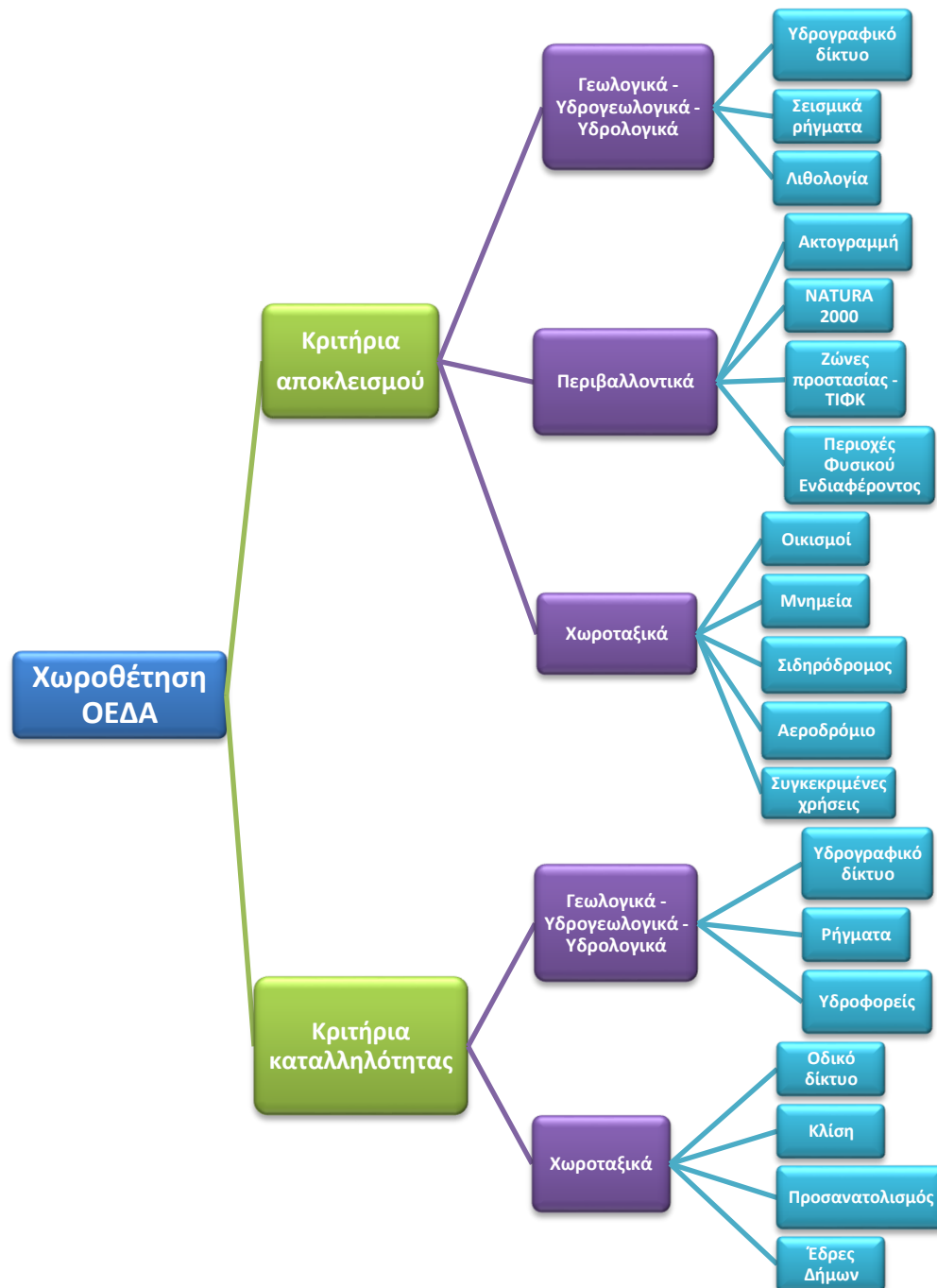
Στο σημείο αυτό της ανάλυσης απαιτείται, όπως και σε κάθε εφαρμογή μοντελοποίησης, έλεγχος και πιστοποίηση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν. Το σκοπό αυτό εξυπηρετεί η Ανάλυση Ευαισθησίας (Sensitivity Analysis). Η τελευταία αυτή διαδικασία, πριν την τελική επιλογή, αποσκοπεί στον εντοπισμό και τη διερεύνηση των μεταβολών που προκύπτουν από μικροαλλαγές στην απόδοση των συντελεστών βαρύτητας στους παράγοντες. Ουσιαστικά, δημιουργούνται σενάρια στα οποία διακρίνονται διαφοροποιήσεις από την αρχική διαδικασία (Θεοχάρη, 2018).

Στην περίπτωση μας, τα σενάρια που εξετάζονται είναι 4 και αφορούν στη μεταβολή των συντελεστών βαρύτητας αρχικά των κριτηρίων και έπειτα των υποκριτηρίων που τα συνθέτουν. Η μεταβολή αυτή στην ουσία αφορά σε αυξομείωση των συντελεστών, έτσι ώστε το άθροισμα των συντελεστών να παραμένει ίσο με 1. Το αποτέλεσμα που προκύπτει για κάθε περίπτωση τροποποίησης του μοντέλου αποτελεί την απόκλιση από το αρχικό και ως εκ τούτου, μπορούν να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα ως προς την ευαισθησία (ή μη) του παραγόμενου σε αυτές τις μικρές αλλαγές. Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί στο ποσοστό της κάθε τροποποίησης, το οποίο δε θα πρέπει να είναι σημαντικό, για να μην υπάρχει κίνδυνος αλλοίωσης του μοντέλου. Στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται αναλυτικά τα σενάρια και τα αποτελέσματα που εξάγονται από αυτά.

## Κεφάλαιο 5: Εφαρμογή – Αποτελέσματα

### 5.1 Διαγραμματική παρουσίαση κριτηρίων χωροθέτησης

Παρουσιάζεται στη συνέχεια το σύνολο των κριτηρίων που εφαρμόζονται στην παρούσα μελέτη με τη μορφή ιεραρχικού διαγράμματος.



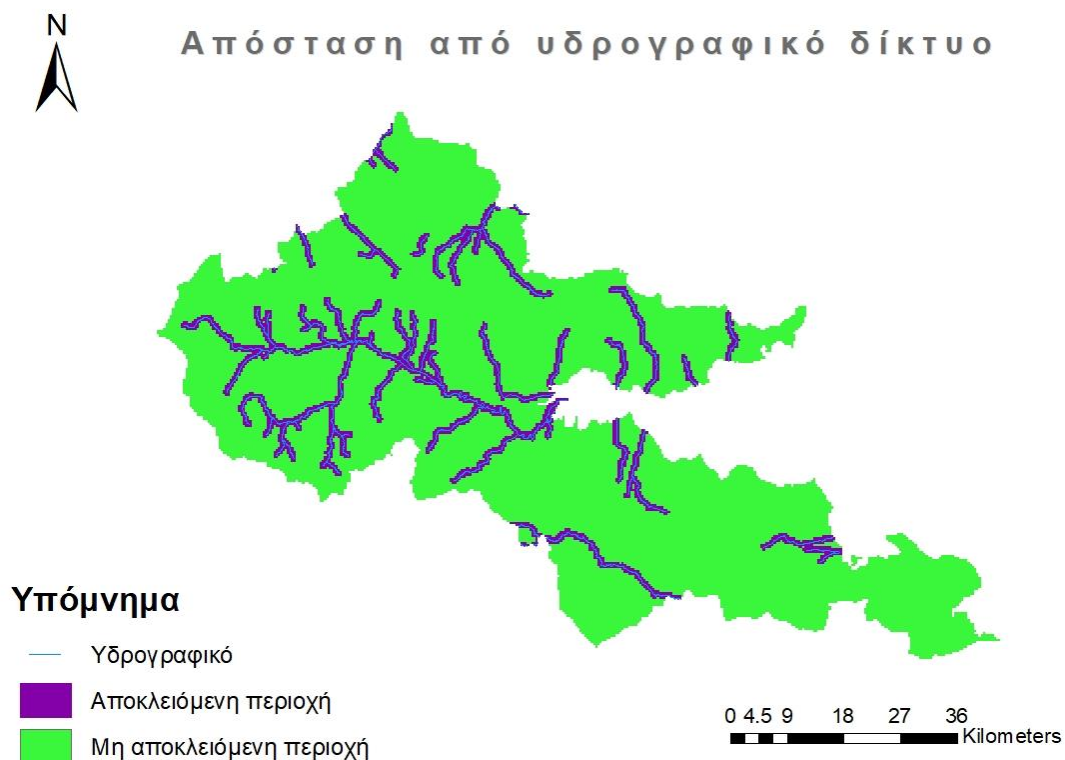
Εικόνα 5.1: Ιεραρχικό διάγραμμα κριτηρίων χωροθέτησης

## 5.2 Κριτήρια αποκλεισμού

### 5.2.1 Γεωλογικά - Υδρογεωλογικά – Υδρολογικά κριτήρια

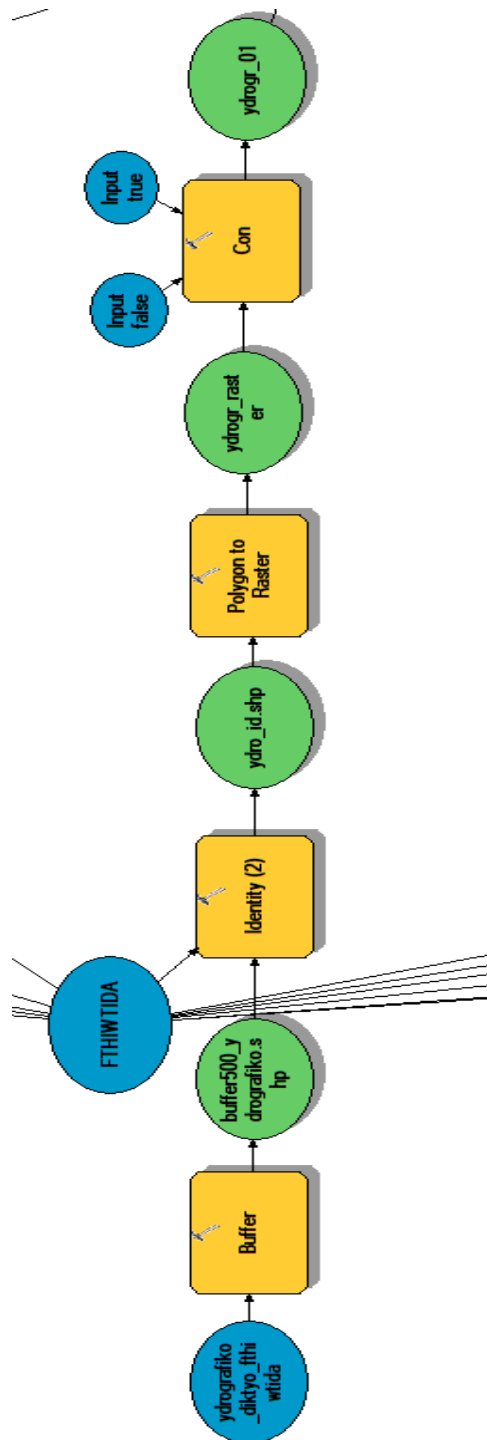
#### ✚ Απόσταση από υδρογραφικό δίκτυο

Σύμφωνα με το ισχύον νομοθετικό πλαίσιο, η τήρηση απόστασης αποκλεισμού 0.5 km από το κύριο υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής αποτελεί επιτακτική ανάγκη για αποφυγή τυχόν ρύπανσης λόγω διαφυγής στραγγισμάτων. Ως αποτέλεσμα, δημιουργήθηκε, με τη βοήθεια της εντολής *buffer*, ζώνη 500 m γύρω από τα στοιχεία του θεματικού επιπέδου υδρογραφικό δίκτυο, η οποία, αφού έγινε μετατροπή των διανυσματικών δεδομένων σε ψηφιδωτά μέσω της εντολής *vector to raster*, έλαβε την τιμή 0 ως αποκλειόμενη περιοχή. Χάρτης με το αποτέλεσμα (Εικόνα 5.2) και απόσπασμα από την εφαρμογή Model Builder του ArcMap (Εικόνα 5.3), όπου διακρίνονται οι διαδικασίες επεξεργασίας, φαίνονται παρακάτω:



Εικόνα 5.2: Κριτήριο απόστασης από υδρογραφικό δίκτυο





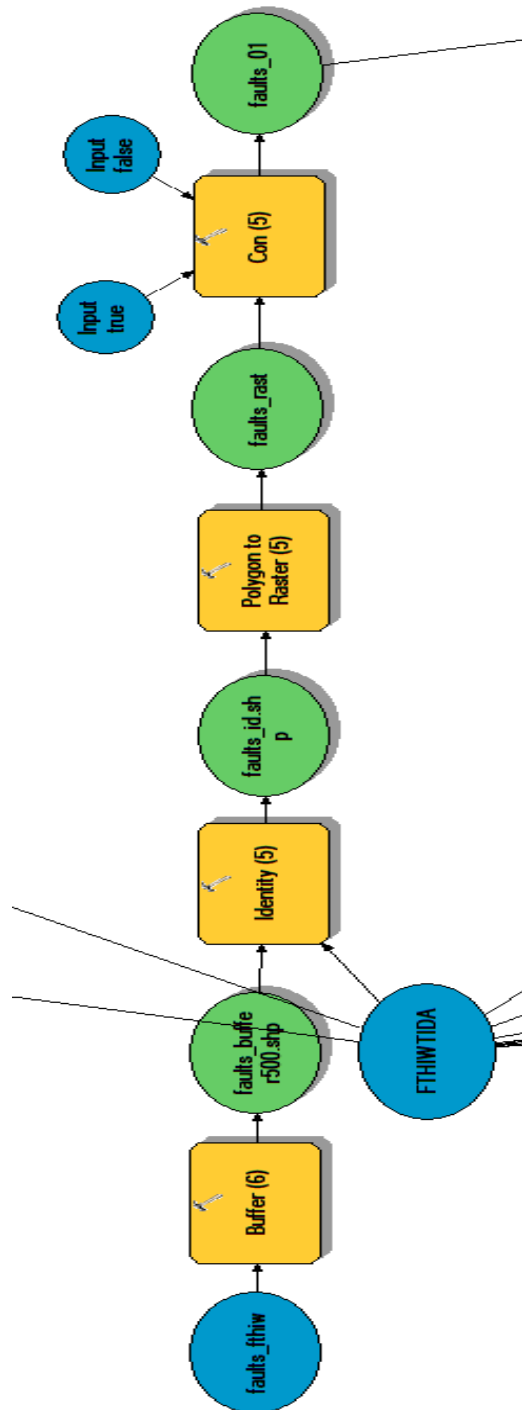
Εικόνα 5.3: Απόσπασμα Model Builder για το κριτήριο απόστασης από υδρογραφικό δίκτυο

## ✚ Απόσταση από σεισμικά ρήγματα

Ιδανικά απαγορεύεται η χωροθέτηση σε σεισμογενείς περιοχές, καθώς υπάρχει η πιθανότητα να προκληθεί πληθώρα προβλημάτων στις διάφορες κατασκευές κατά τη διάρκεια ενός σεισμού. Ωστόσο, η Ελλάδα είναι σε σεισμογενή περιοχή, με αποτέλεσμα να αρκούμαστε στην εφαρμογή του κριτηρίου ελάχιστης απόστασης από τα υπάρχοντα σεισμικά ρήγματα. Στην περίπτωση μας, λοιπόν, δημιουργήθηκαν ζώνες (buffer) 0.5 km από τα ρήγματα της περιοχής, οι οποίες και αποκλείστηκαν λαμβάνοντας την τιμή 0. Στις εικόνες που ακολουθούν φαίνονται το αποτέλεσμα που προέκυψε από τις διαδικασίες επεξεργασίας (Εικόνα 5.4) καθώς και η σειρά που πραγματοποιήθηκαν αυτές στο πρόγραμμα (Εικόνα 5.5):



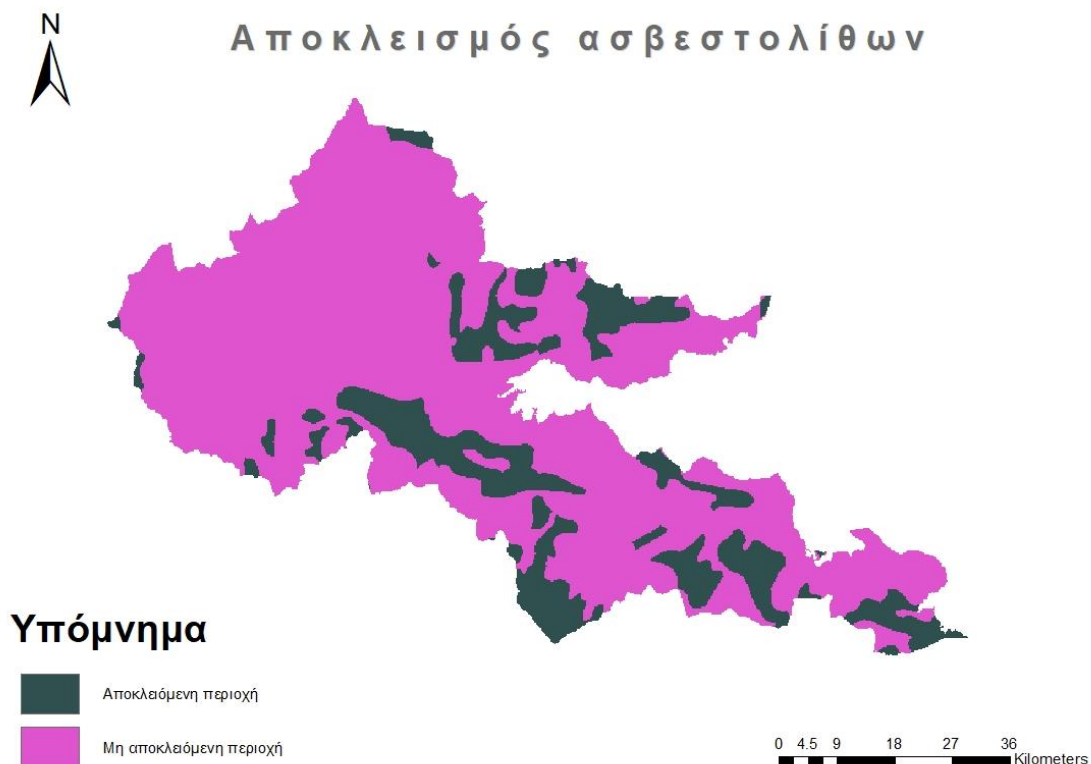
Εικόνα 5.4: Κριτήριο απόστασης από τεκτονικά ρήγματα



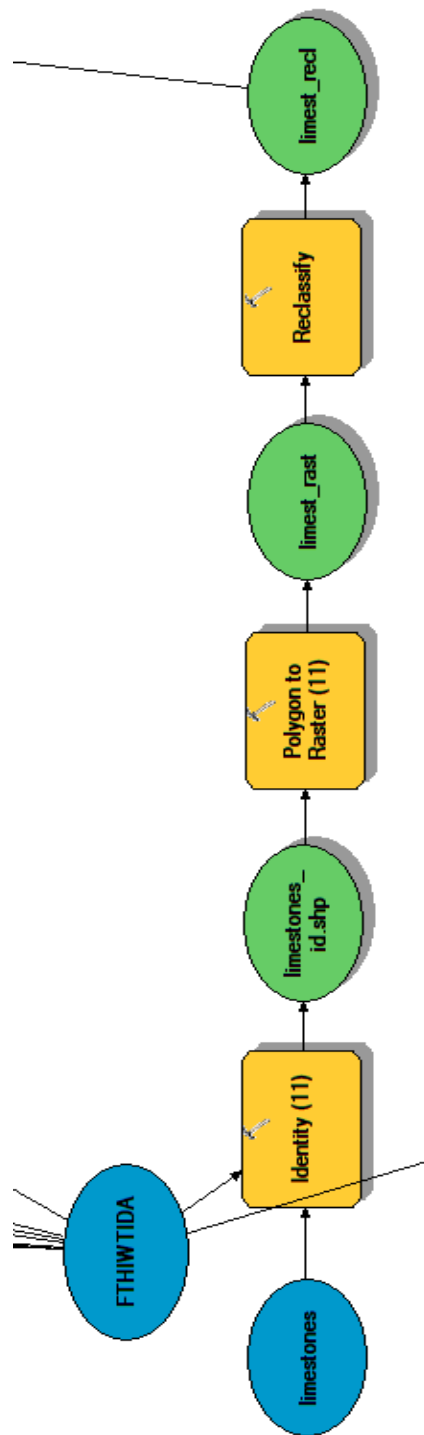
Εικόνα 5.5: Απόσπασμα Model Builder για το κριτήριο απόστασης από ρήγματα

## ✚ Γεωλογικός αποκλεισμός

Απαραίτητη κρίνεται, εκτός από την τεκτονική μελέτη της περιοχής ενδιαφέροντος και η εξέταση της λιθολογίας των υπογείων υδροφορέων. Ειδικότερα, θεωρείται απαγορευτική για τη χωροθέτηση η ύπαρξη ασβεστολιθικών πετρωμάτων, γι' αυτό και περιοχές στις οποίες συναντώνται, αποκλείονται από περαιτέρω εξέταση. Με τη βοήθεια δεδομένων που αντλήθηκαν από τους ψηφιακούς χάρτες IHME 1500 του γερμανικού Ομοσπονδιακού Ινστιτούτου Γεωεπιστημών και Φυσικών Πόρων *BGR* (<https://www.bgr.bund.de/>), εντοπίστηκαν οι υποπεριοχές στις οποίες διακρίνεται ασβεστόλιθος κι αποκλείστηκαν λαμβάνοντας την τιμή 0, αφού πρώτα μετατράπηκαν σε ψηφιακή μορφή. Οι αποκλειόμενες και μη αποκλειόμενες περιοχές εμφανίζονται στην Εικόνα 5.6, ενώ οι διαδικασίες που ακολουθήθηκαν στην Εικόνα 5.7.



Εικόνα 5.6: Κριτήριο αποκλεισμού συγκεκριμένων σχηματισμών



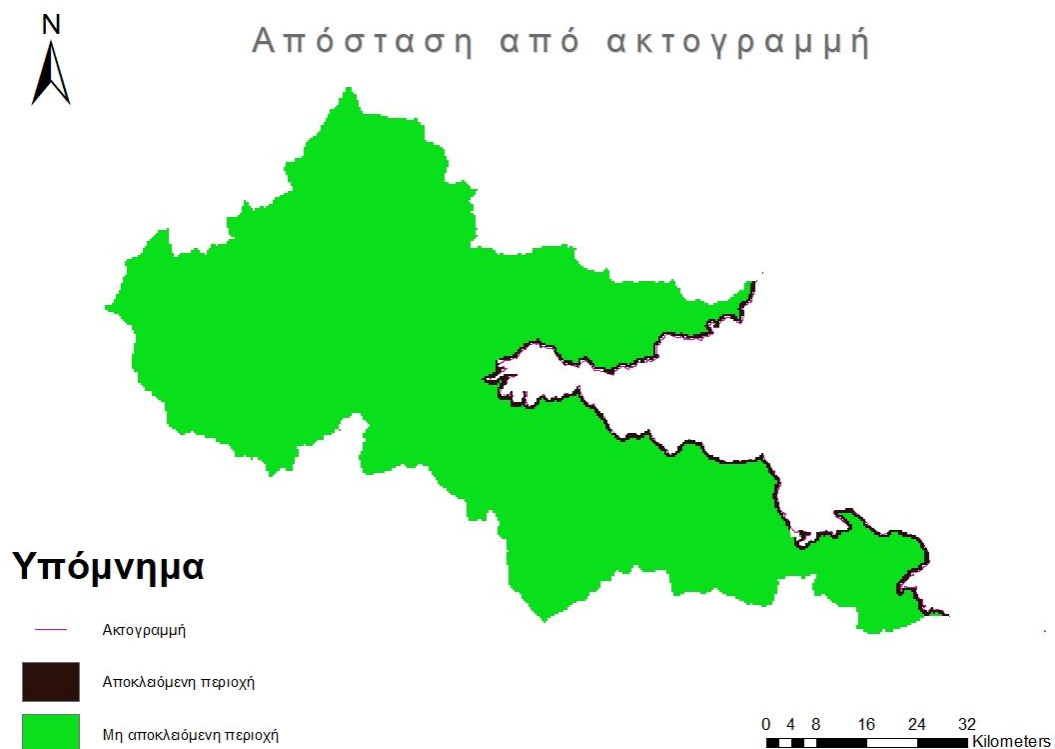
Εικόνα 5.7: Απόσπασμα Model Builder για το κριτήριο αποκλεισμού ασβεστολιθικών πετρωμάτων

## 5.2.2 Περιβαλλοντικά κριτήρια

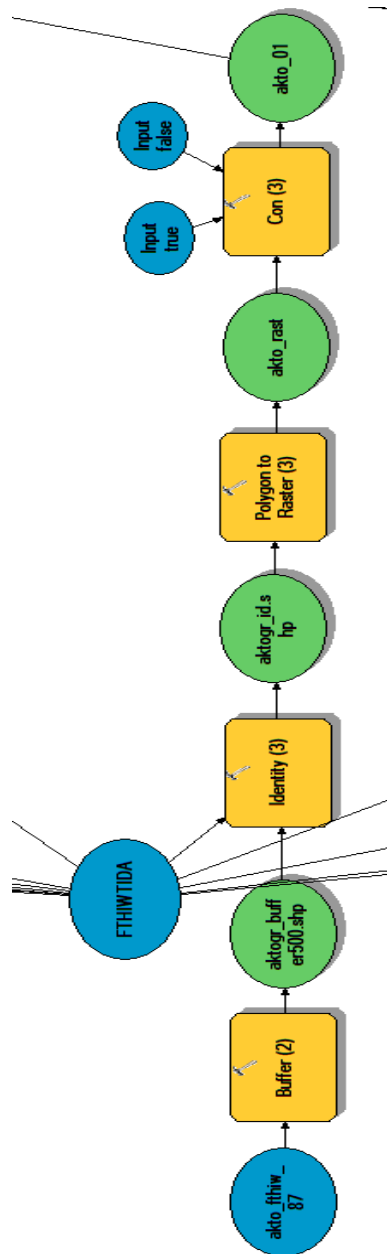
### Απόσταση από ακτογραμμή

Η χωροθέτηση μιας ΟΕΔΑ δεν είναι εύλογο να πραγματοποιηθεί σε οριζοντιογραφική απόσταση μικρότερη ή ίση του 0.5 km από ακτογραμμή. Σε κάποιες περιπτώσεις ωστόσο, για παράδειγμα όταν κάνουμε λόγο για απότομες-πολυσχιδείς ακτές με έντονες κλίσεις, επιτρέπεται μια τέτοιου είδους χωροθέτηση και σε μικρότερη απόσταση.

Όσον αφορά την περίπτωση μας, δημιουργήθηκε, κάνοντας χρήση της εντολής buffer, ζώνη 0.5 km από την ακτογραμμή, η οποία και έλαβε την τιμή 0 ως μη επιτρεπτή περιοχή. Όπως και στις προαναφερόμενες περιπτώσεις πραγματοποιήθηκε μετατροπή των δεδομένων σε ψηφιδωτά. Η εφαρμογή του κριτηρίου οπτικοποιείται παρακάτω (Εικόνα 5.8), ενώ παράλληλα διακρίνεται απόσπασμα διαδικασιών (Εικόνα 5.9):



Εικόνα 5.8: Κριτήριο απόστασης από την ακτογραμμή

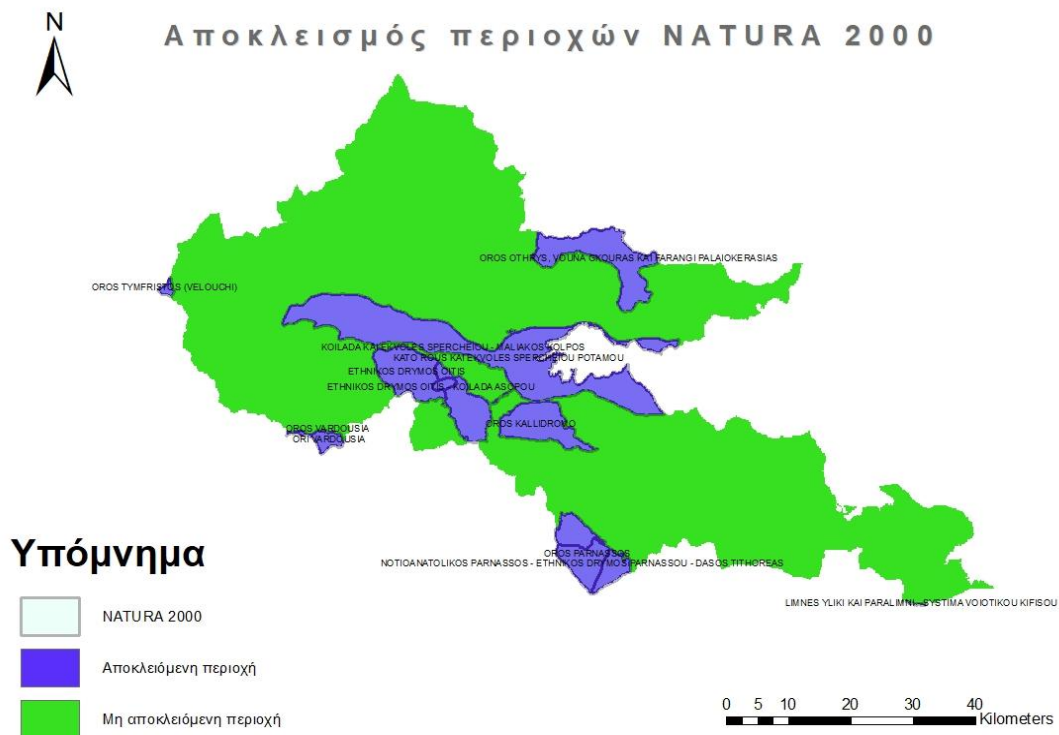


Εικόνα 5.9: Απόσπασμα Model Builder για το κριτήριο απόστασης από ακτογραμμή

## Αποκλεισμός περιοχών NATURA 2000

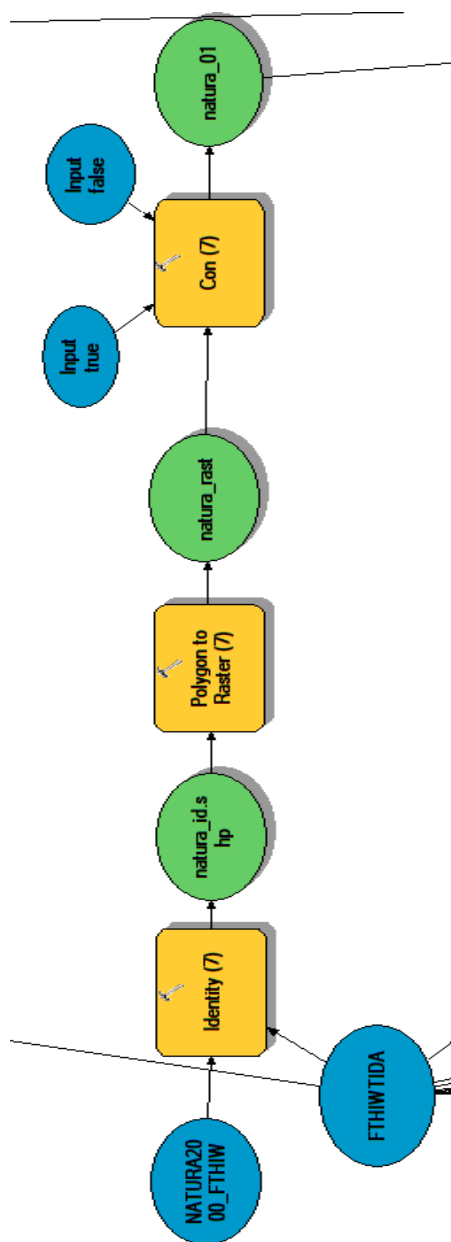
Στο πλαίσιο της προστασίας και διατήρησης της φύσης ιδρύθηκε το 1992 το πανευρωπαϊκό οικολογικό δίκτυο Natura 2000 (Φύση 2000). Τις περιοχές του δικτύου αποτελούν δύο ειδών ζώνες. Οι Ειδικές Ζώνες Προστασίας (Special Protection Areas – SPAs) της ορνιθοπανίδας, που δημιουργήθηκαν με βάση την Οδηγία για την προστασία των άγριων πτηνών και οι Ειδικές Ζώνες Διατήρησης (Special Areas of Conservation – SAC) για τα υπόλοιπα ήδη και το περιβάλλον, οι οποίες προέκυψαν από την Οδηγία των Οικοτόπων.

Για την ορθή χωροθέτηση ΟΕΔΑ είναι απαραίτητο να αποκλειστούν προαναφερόμενες ζώνες που συναντώνται στην περιοχή ενδιαφέροντος. Ως εκ τούτου, σύμφωνα με τη διαδικασία επεξεργασίας των κριτηρίων αποκλεισμού, δίνεται στις περιοχές του δικτύου Natura 2000 της Π.Ε. Φθιώτιδος η τιμή 0 (Εικόνα 5.11). Τελικά προκύπτει ο παρακάτω χάρτης (Εικόνα 5.10).



Εικόνα 5.10: Κριτήριο αποκλεισμού περιοχών του δικτύου Natura 2000





Εικόνα 5.11: Απόσπασμα Model Builder για το κριτήριο αποκλεισμού περιοχών NATURA 2000

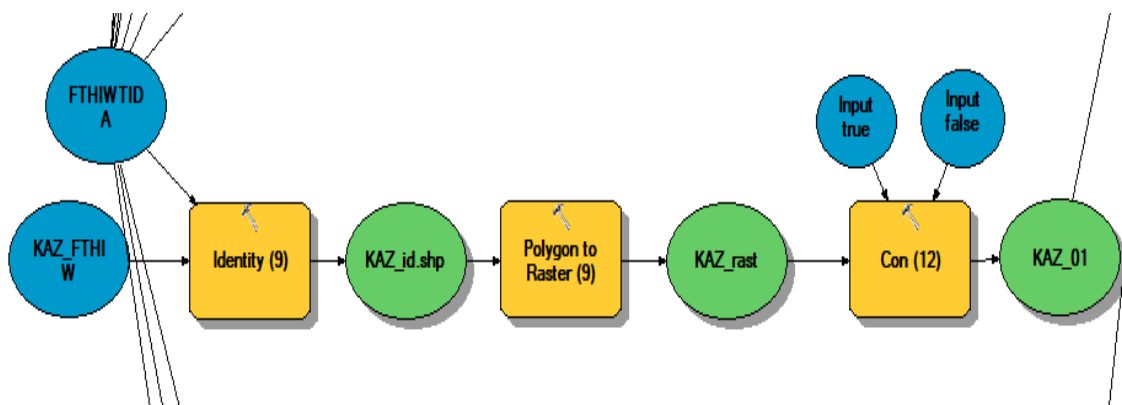
## ✚ Αποκλεισμός ζωνών προστασίας - περιοχών φυσικού κάλλους

Επιπρόσθετα των περιοχών του δικτύου Natura 2000, συνίσταται να αποκλείονται και περιοχές με ειδικό καθεστώς χρήσεων γης. Ειδικότερα, τέτοιες περιοχές θεωρούνται: Καταφύγια Άγριας Ζωής (ΚΑΖ), Διατηρητέα Μνημεία της Φύσης, Αισθητικά Δάση κ.ο.κ.

Στην περίπτωση μας, αντλήθηκε layer που περιλαμβάνει τις εκτάσεις που θεωρούνται ΚΑΖ στην περιοχή μελέτης το οποίο, εφόσον μετατράπηκε σε raster, αποκλείστηκε λαμβάνοντας την τιμή 0, ως μη κατάλληλο για εγκατάσταση ΟΕΔΑ (Εικόνα 5.13). Ο αποκλεισμός που περιγράφεται οπτικοποιείται στο χάρτη που ακολουθεί (Εικόνα 5.12):



Εικόνα 5.12: Κριτήριο αποκλεισμού περιοχών ΚΑΖ

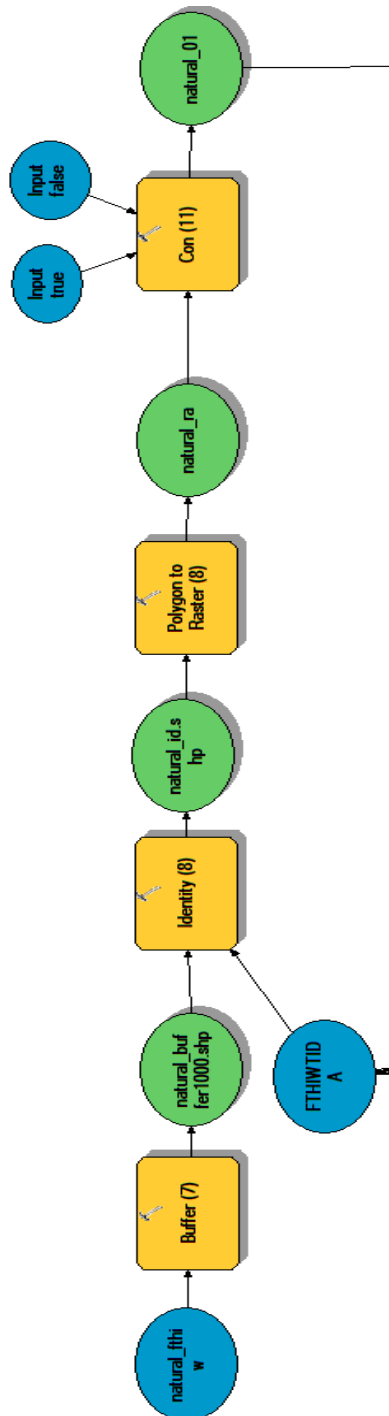


Εικόνα 5.13: Απόσπασμα Model Builder για το κριτήριο αποκλεισμού περιοχών ΚΑΖ

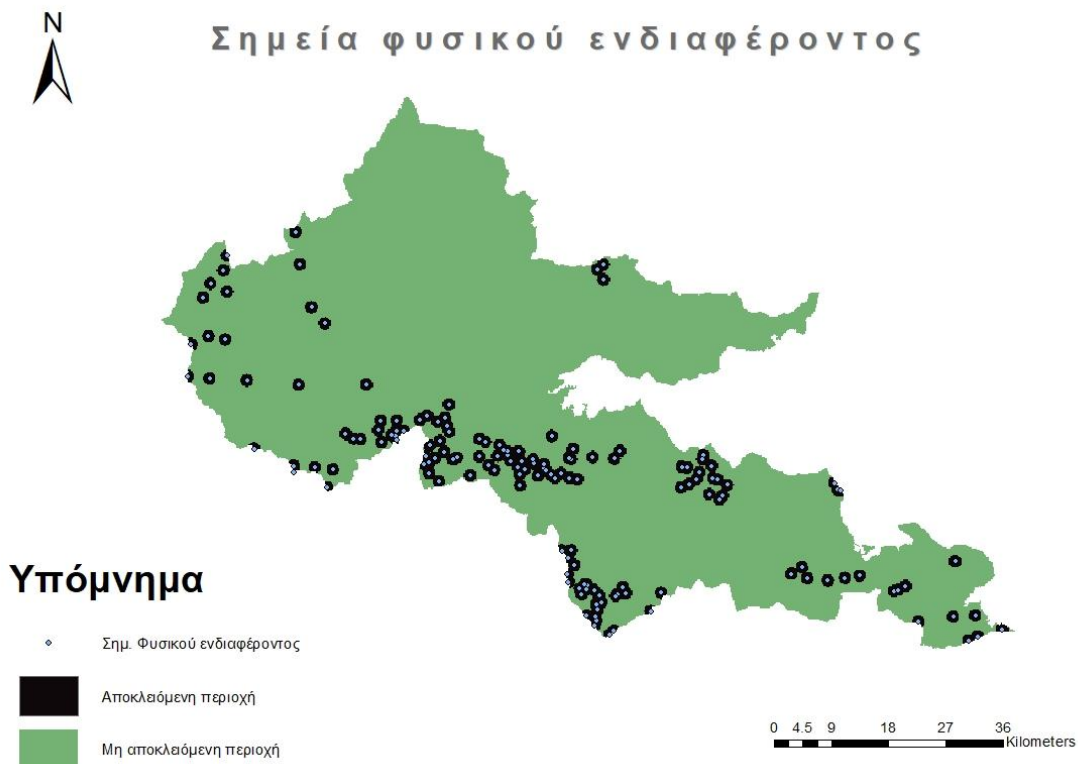
#### ✚ Απόσταση από περιοχές με ιδιαίτερο φυσικό ενδιαφέρον

Στην περιοχή μελέτης συναντώνται τοποθεσίες του φυσικού περιβάλλοντος κοντά στις οποίες δεν είναι εύλογο να τοποθετηθεί ΟΕΔΑ. Πιο συγκεκριμένα, αναφερόμαστε σε στοιχεία της φύσης και του τοπίου όπως: Πηγές ποταμών και θερμές πηγές, συγκεκριμένα είδη χλωρίδας, σπηλιές και παραλίες.

Αρχικά, αντλήθηκε layer που περιλαμβάνει σημειακά τα παραπάνω φυσικά στοιχεία από τη βάση δεδομένων του layer Open Street Map (OSM) (πρόσθετο Open Layers του λογισμικού QGIS). Στη συνέχεια, δημιουργήθηκαν, με την εντολή buffer, ζώνες 1000 m γύρω από τα σημεία αυτά, οι οποίες στη συνέχεια αποκλείστηκαν, λαμβάνοντας τιμή 0 (Εικόνα 5.14). Το αποτέλεσμα είναι εμφανές στο χάρτη που ακολουθεί (Εικόνα 5.15).



Εικόνα 5.14: Απόσπασμα Model Builder για το κριτήριο απόστασης από περιοχές φυσικού ενδιαφέροντος

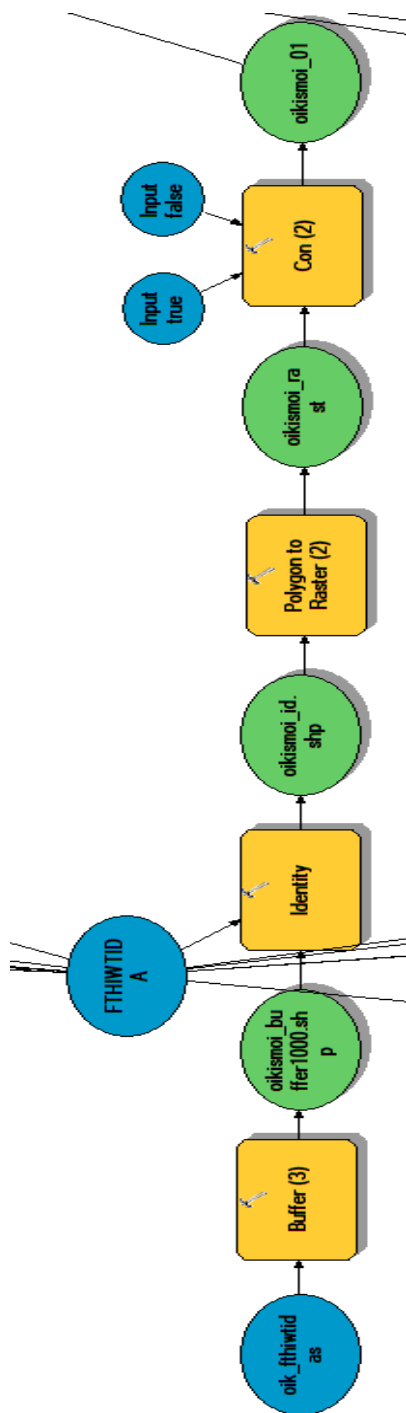


Εικόνα 5.15: Κριτήριο απόστασης από σημεία φυσικού ενδιαφέροντος

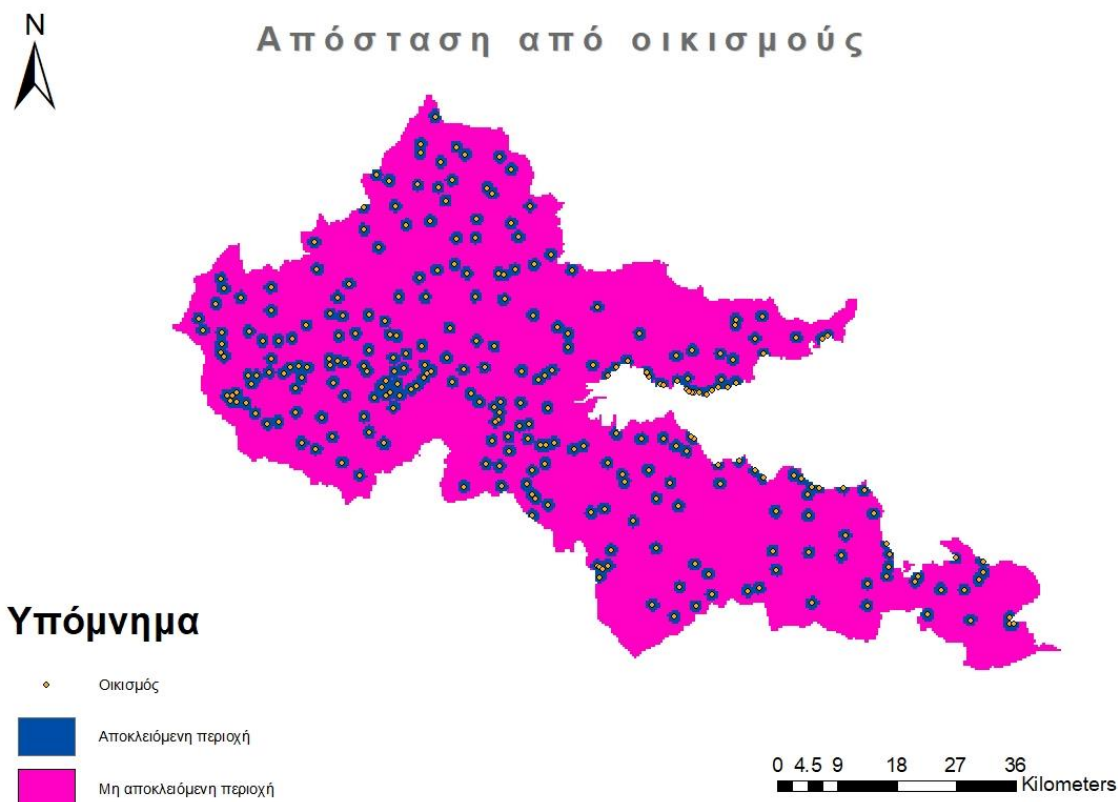
### 5.2.3 Χωροταξικά κριτήρια

#### ✚ Απόσταση από οικισμούς

Σύμφωνα με το νομικό πλαίσιο, ελάχιστη απόσταση χωροθέτησης θεωρούνται τα 1000 m από τα όρια του Γενικού Πολεοδομικού Σχεδίου (ΓΠΣ), καθώς και των Ζωνών Οικιστικού Ελέγχου (ΖΟΕ). Ιδανικά, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη εκτός από την παρούσα οικιστική διάταξη και οι προβλεπόμενες προεκτάσεις των οικισμών, το ΓΠΣ και οι ΖΟΕ. Όσον αφορά την περίπτωση μας, λόγω απουσίας δεδομένων των εγκεκριμένων ορίων των οικισμών της περιφερειακής ενότητας, λήφθηκε ως γενικότερο κριτήριο αποκλεισμού η απόσταση 1000 m από τα κέντρα των οικισμών της περιοχής. Οι διαδικασίες που ακολουθήθηκαν για την επεξεργασία, καθώς και οι αποκλειόμενες περιοχές και φαίνονται παρακάτω (Εικόνα 5.16, Εικόνα 5.17)



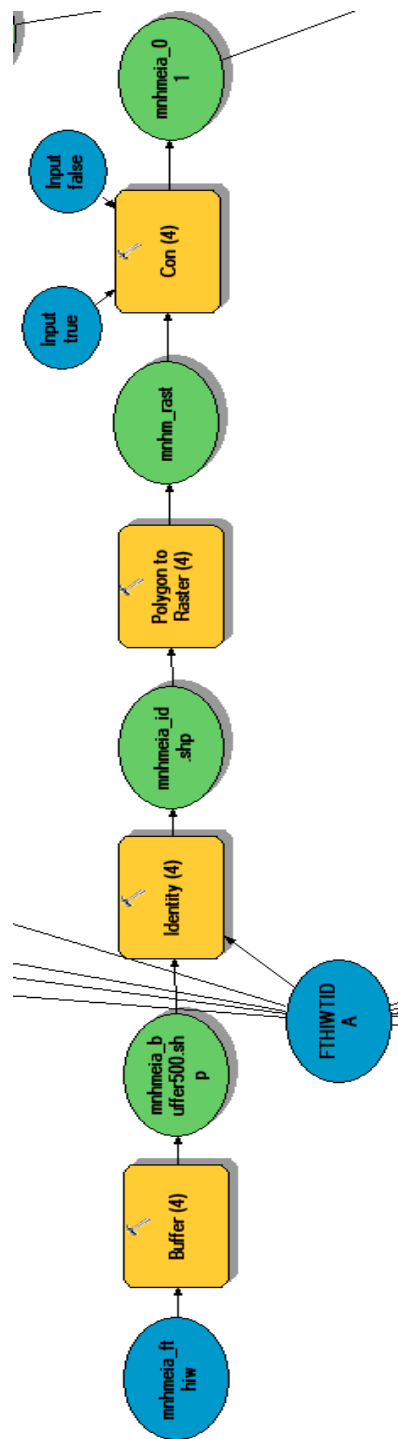
Εικόνα 5.16: Απόσπασμα Model Builder για το κριτήριο απόστασης από οικισμούς



Εικόνα 5.17: Κριτήριο απόστασης από οικισμούς

#### ✚ Απόσταση και ορατότητα από Μνημεία

Με βάση το ισχύον νομικό πλαίσιο, προτείνεται ελάχιστη απόσταση χωροθέτησης 500 m από τα κυριότερα μνημεία αρχαιολογικού/πολιτιστικού ενδιαφέροντος (σημειακή εποπτική παρουσίαση) της περιοχής μελέτης. Έτσι, δημιουργήθηκαν ζώνες 0.5 km, κάνοντας χρήση της εντολής buffer, οι οποίες στη συνέχεια προστέθηκαν στις περιοχές αποκλεισμού (Εικόνα 5.18). Παράλληλα, οι ΟΕΔΑ είναι εύλογο να μην είναι ορατές από αρχαιολογικούς χώρους και μνημεία. Ως αποτέλεσμα, οι εγκαταστάσεις θα πρέπει να τοποθετηθούν σε τμήμα της περιοχής όπου έχει εξασφαλιστεί η παραπάνω προϋπόθεση. Για το σκοπό αυτό, έγινε χρήση της εντολής viewshed, σύμφωνα με το παραγόμενο ψηφιακό μοντέλο εδάφους. Από τις προαναφερόμενες διαδικασίες προέκυψαν τα ακόλουθα αποτελέσματα (Εικόνα 5.19, Εικόνα 5.20).

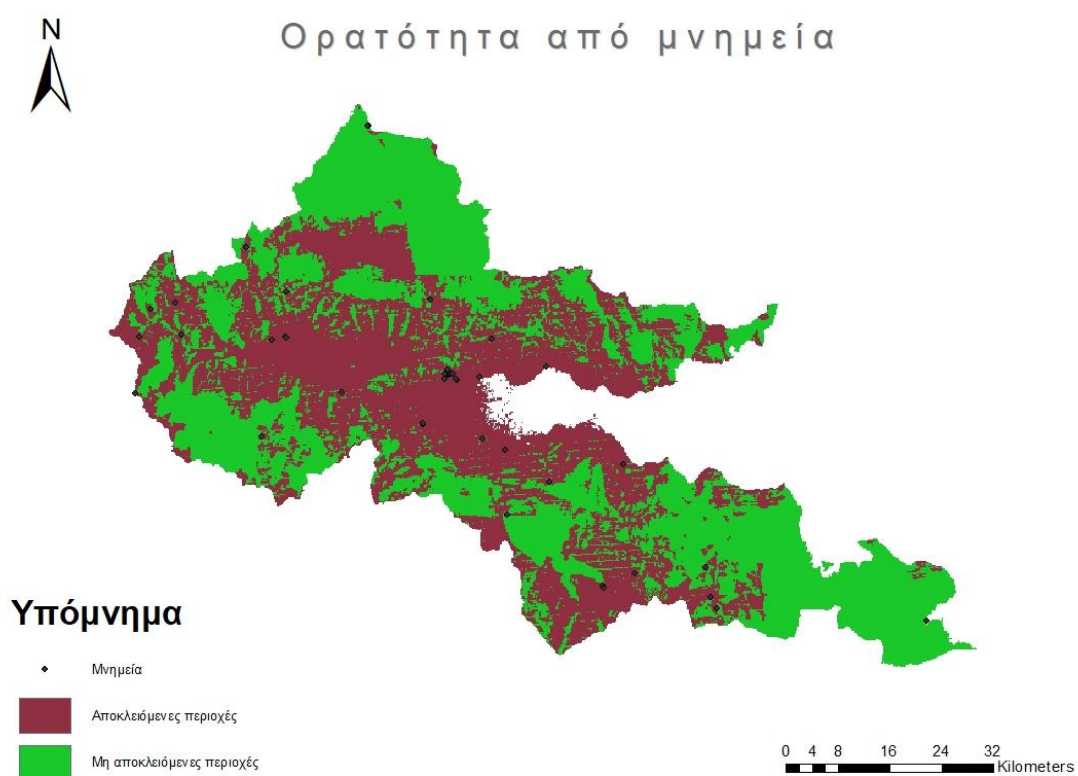


Εικόνα 5.18: Απόσπασμα Model Builder για το κριτήριο απόστασης από μνημεία





Εικόνα 5.19: Κριτήριο απόστασης από μνημεία



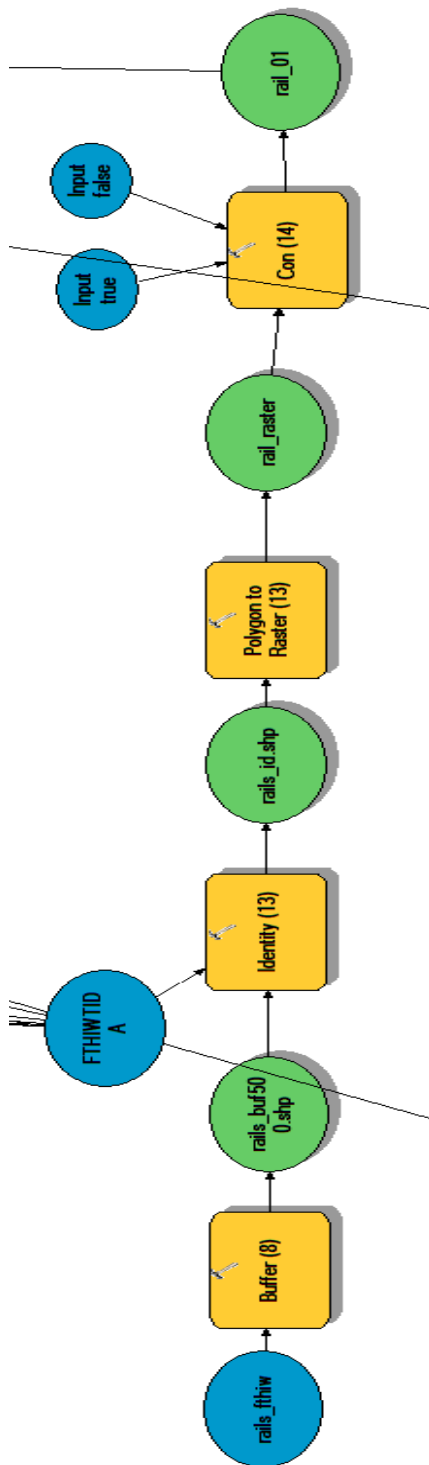
Εικόνα 5.20: Κριτήριο ορατότητας από μνημεία

## ✚ Απόσταση από Σιδηρόδρομο

Όπως υπαγορεύουν αντίστοιχες μελέτες χωροθέτησης, εφαρμόστηκε ελάχιστη απόσταση εγκατάστασης από το σιδηροδρομικό δίκτυο της περιοχής ίση με 500 m. Ειδικότερα, δημιουργήθηκαν ζώνες 0.5 km, με τη βοήθεια της εντολής buffer, οι οποίες και αποτέλεσαν ζώνες αποκλεισμού. Όσα περιγράφονται οπτικοποιούνται στη συνέχεια (Εικόνα 5.21, Εικόνα 5.22).



Εικόνα 5.21: Κριτήριο απόστασης από σιδηροδρομικό δίκτυο



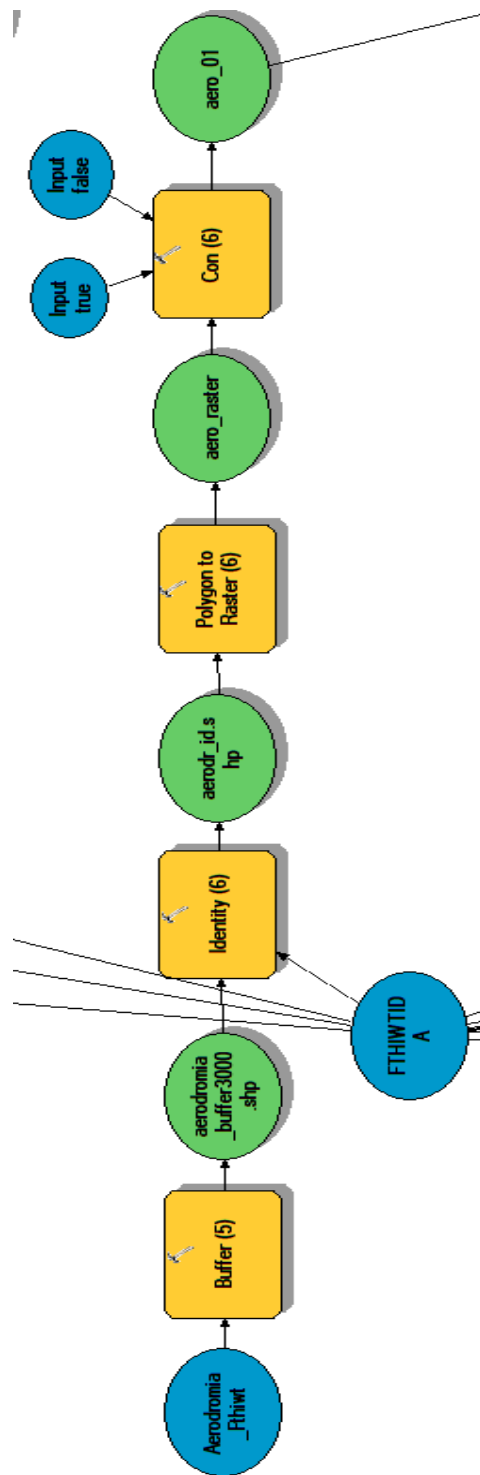
Εικόνα 5.22: Απόσπασμα Model Builder για το κριτήριο απόστασης από το σιδηροδρομικό δίκτυο

## ✚ Απόσταση από Αεροδρόμιο

Όσον αφορά τα αεροδρόμια ισχύουν αυτά που ορίζει η απόφαση της Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας με αρ. Δ3/Β/26901/6554/18.7.06. Στην περιοχή μελέτης δε συναντάται κάποιο αεροδρόμιο που να έχει κάποια εμπορική ή επιβατική κίνηση, αλλά διακρίνονται δύο αεροδρόμια, της Λαμίας και του Μώλου, που εξυπηρετούν άλλους σκοπούς. Λαμβάνοντας υπόψη και αντίστοιχες μελέτες, εφαρμόστηκε στην περίπτωση μας απόσταση ασφαλείας ίση με 3000 m. Όπως φαίνεται παρακάτω (Εικόνα 5.23, Εικόνα 5.24), δημιουργήθηκαν ζώνες (buffer) 3 km γύρω από τα υπάρχοντα αεροδρόμια, οι οποίες έπειτα αποκλείστηκαν λαμβάνοντας την τιμή (value) 0.



Εικόνα 5.23: Κριτήριο απόστασης από υπάρχοντα αεροδρόμια



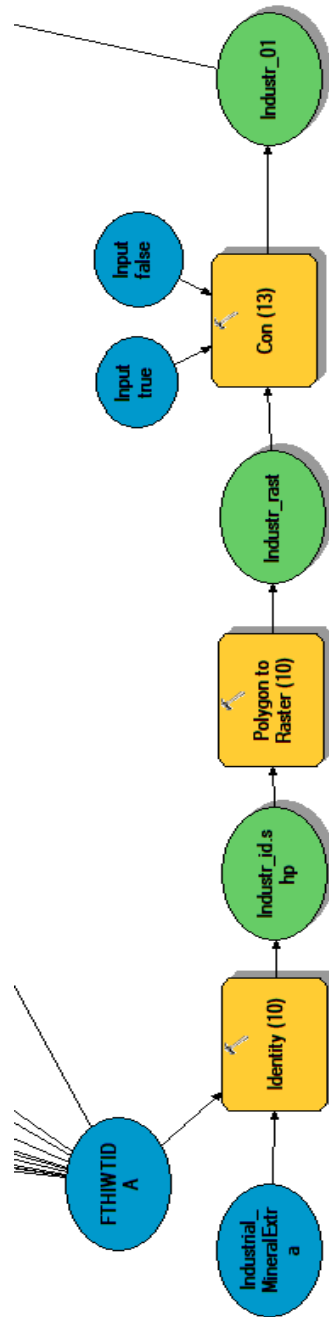
Εικόνα 5.24: Απόσπασμα Model Builder για το κριτήριο απόστασης από αεροδρόμιο

## ✚ Αποκλεισμός περιοχών με συγκεκριμένες χρήσεις γης

Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία, αλλά και έπειτα από μελέτη αντιστοίχων χωροθετήσεων, αποκλείονται περιοχές με συγκεκριμένες χρήσεις γης, οι οποίες συναντώνται ως κατηγορίες στο Corine Land Cover (CLC). Όπως έχει ήδη αναφερθεί, στην περίπτωση μας χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα του CLC 2012, ως πιο πρόσφατα. Όσον αφορά τις περιοχές που θεωρούνται ακατάλληλες για δημιουργία ΟΕΔΑ, κάνουμε λόγο για Βιομηχανικές Περιοχές (CLC κωδ. 1.2.1) και Περιοχές Εξορύξεων (CLC 1.3.1). Παρακάτω φαίνονται οι αποκλειόμενες περιοχές (Εικόνα 5.25), καθώς και οι διαδικασίες αποκλεισμού που ακολουθήθηκε στο λογισμικό (Εικόνα 5.26).



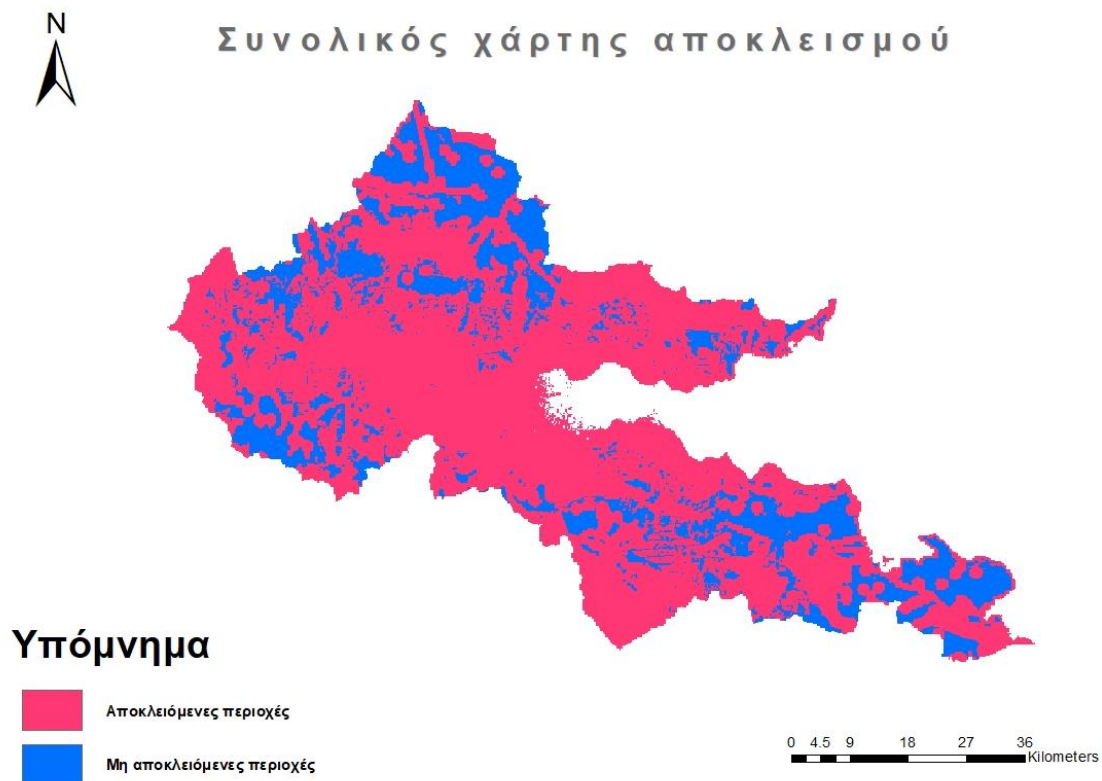
Εικόνα 5.25: Κριτήριο αποκλεισμού συγκεκριμένων χρήσεων



Εικόνα 5.26: Απόσπασμα Model Builder για το κριτήριο αποκλεισμού περιοχών ΒΙΠΕ και εξορύξεων

#### 5.2.4 Συνολικός χάρτης αποκλεισμού

Οι περιορισμοί συνδυάζονται με τη βοήθεια του εργαλείου Raster Calculator. Ουσιαστικά ο συνδυασμός αυτός είναι το γινόμενο όλων των επιμέρους περιορισμών και αποτελεί δίτιμο χάρτη, ο οποίος θα συνδυαστεί με το χάρτη συνδυασμού των κριτηρίων καταλληλότητας για την παραγωγή των τελικών αποτελεσμάτων. Στο χάρτη αυτό δε θα αποδοθεί συντελεστής βαρύτητας, αλλά θα χρησιμοποιηθεί ως δυαδική εικόνα, υποδηλώνοντας τις περιοχές που εξαιρούνται από τη μελέτη ως μη κατάλληλες. Το αποτέλεσμα σύνθεσης του συνόλου των κριτηρίων αποκλεισμού διακρίνεται παρακάτω (Εικόνα 5.27):



Εικόνα 5.27: Συνολικός χάρτης αποκλεισμού



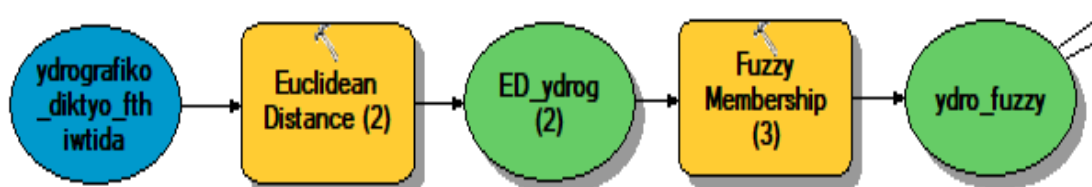
## 5.3 Κριτήρια καταλληλότητας

### 5.3.1 Γεωλογικό - Υδρογεωλογικό – Υδρολογικό κριτήριο

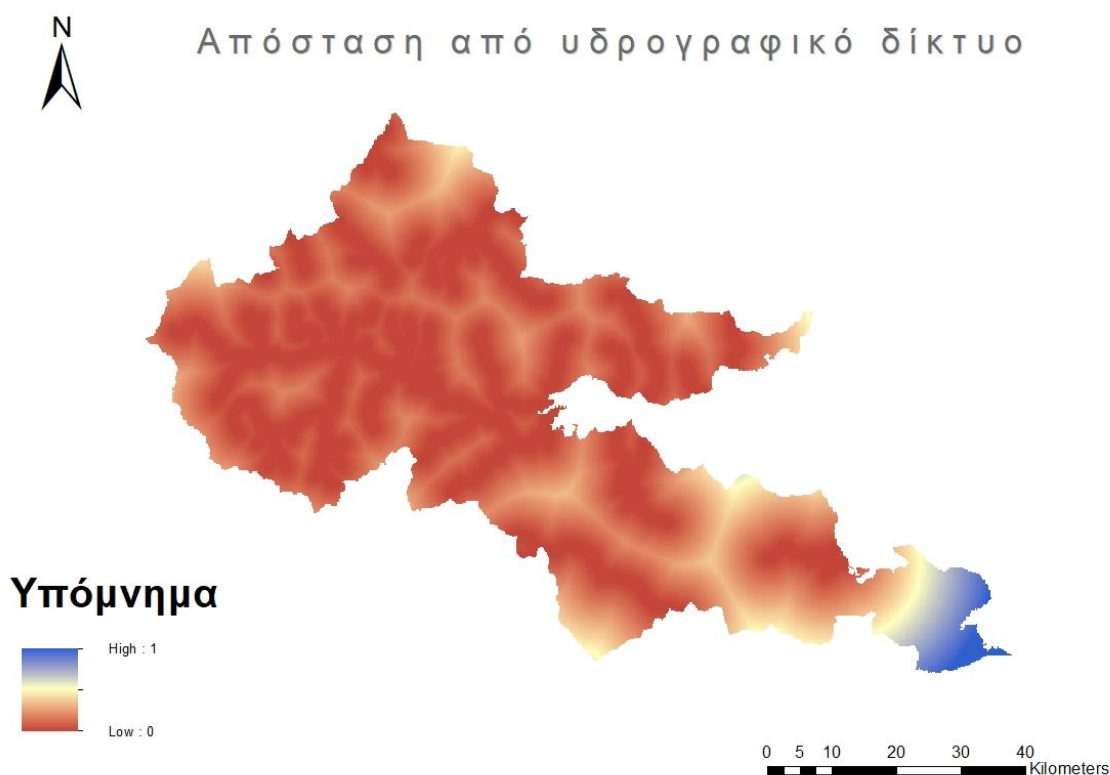
#### ✚ Απόσταση από υδρογραφικό δίκτυο

Στο προηγούμενο στάδιο πραγματοποιήθηκε αποκλεισμός ζωνών 500 m από το υδρογραφικό δίκτυο ως μη κατάλληλες για χωροθέτηση ΟΕΔΑ. Ωστόσο, είναι προτιμότερο τέτοιου είδους δραστηριότητες να εγκαθίστανται όσο το δυνατόν πιο μακριά από αυτό. Πρώτα από όλα, τα αρχικά διανυσματικά δεδομένα μετατράπηκαν σε ψηφιδωτά με τη βοήθεια της εντολής Euclidean Distance. Με τον τρόπο αυτό, δημιουργήθηκαν τιμές για κάθε επιμέρους περιοχή της περιφερειακής ενότητας, ανάλογα με την απόσταση από τους κλάδους του υδρογραφικού δικτύου.

Στη συνέχεια, με τη βοήθεια γραμμικής συνάρτησης ασαφούς λογικής (fuzzy membership – linear) πραγματοποιήθηκε μετατροπή των τιμών σε κλίμακα 0 έως 1. Πιο συγκεκριμένα, η τιμή 500 m (minimum) μετατράπηκε μέσω της συνάρτησης, σε 0, όπως και όλες οι μικρότερες των 500 τιμές, ενώ σε 1 μετατράπηκε η τιμή 29192 m (maximum), δηλαδή το πιο απομακρυσμένο και κατ' επέκταση το πιο κατάλληλο, pixel. Ανάμεσα στις τιμές 500 και 29192 διακρίνουμε τη ζώνη μετάβασης από 0 σε 1. Οι διαδικασίες σχηματικά, καθώς και τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρουσιάζονται στα Εικόνα 5.28 και Εικόνα 5.29.



Εικόνα 5.28: Απόσπασμα Model Builder για το κριτήριο καταλληλότητας υδρογραφικού δικτύου



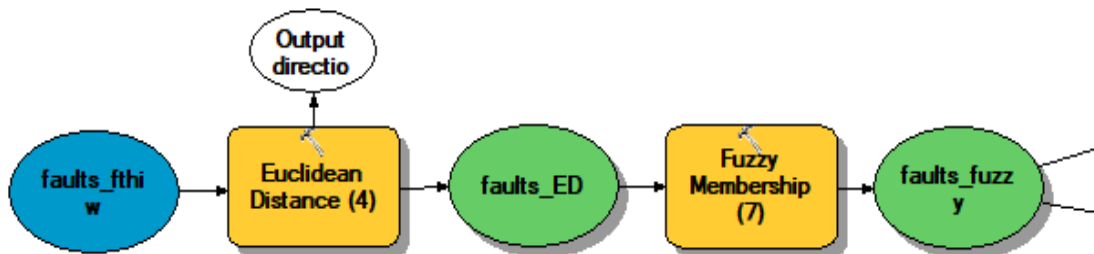
Εικόνα 5.29: Κριτήριο καταλληλότητας απόστασης από υδρογραφικό δίκτυο

#### ✚ Απόσταση από υπάρχοντα ρήγματα

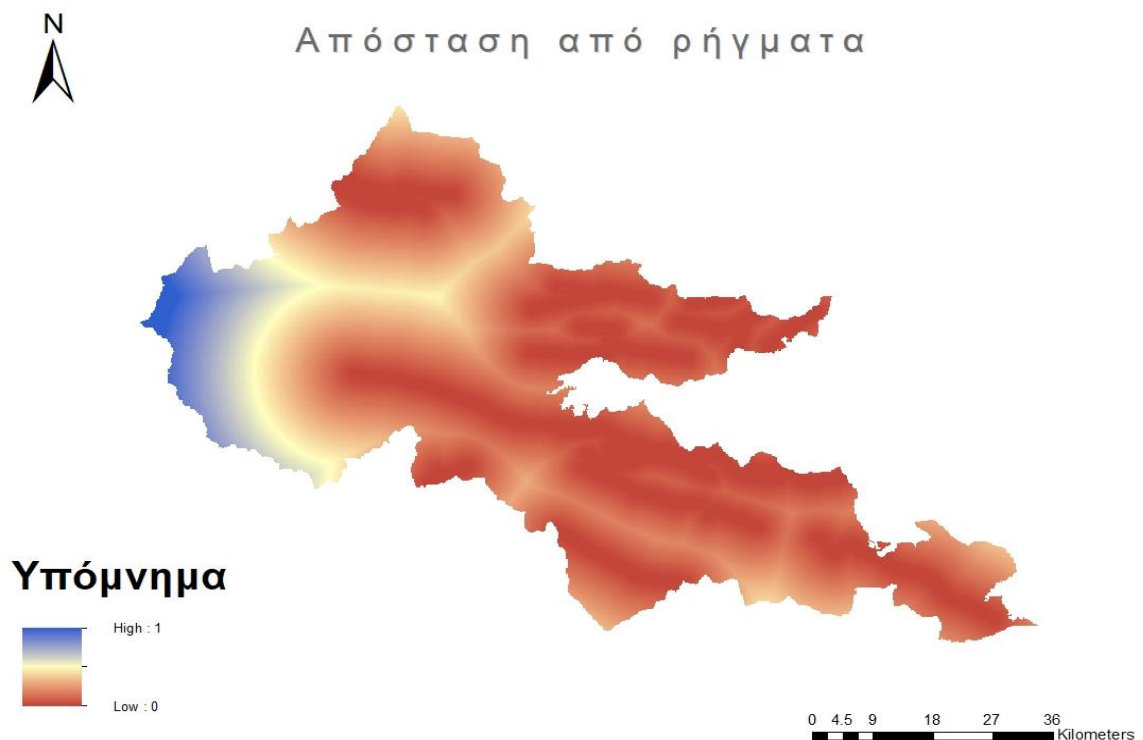
Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το ιδανικό θα ήταν μια χωροθέτηση ΟΕΔΑ σε περιοχή η οποία δεν είναι σεισμογενής. Ωστόσο, η περιοχή μελέτης παρουσιάζει μέση σεισμική επικινδυνότητα, γι' αυτό και θα πρέπει να εξασφαλιστεί η βέλτιστη απομάκρυνση των χώρων από τα ρήγματα που συναντώνται σε αυτή. Ως επακόλουθο, επιπρόσθετα της ζώνης αποκλεισμού 0.5 km από τα ρήγματα της περιοχής που δημιουργήθηκε προηγουμένως, είναι επιθυμητή η επιλογή περιοχής χωροθέτησης που να βρίσκεται όσο πιο μακριά γίνεται από αυτά.

Αρχικά, τα διανυσματικά δεδομένα, κάνοντας χρήση της εντολής Euclidean Distance, μετατράπηκαν σε ψηφιδωτά και έτσι κάθε στοιχείο έλαβε κάποια τιμή ανάλογα με την απόσταση από τα ρήγματα. Έπειτα, χρησιμοποιήθηκε εκ νέου η συνάρτηση fuzzy

membership linear με minimum τα 500 m, που έλαβαν νέα τιμή 0 και maximum το πιο απομακρυσμένο από κάποιο ρήγμα pixel δηλαδή αυτό που αντιστοιχεί στα 32921 m, με νέα τιμή 1. Παρακάτω διακρίνονται η προαναφερόμενη διαδικασία και τα αποτελέσματα της (Εικόνα 5.30, Εικόνα 5.31)



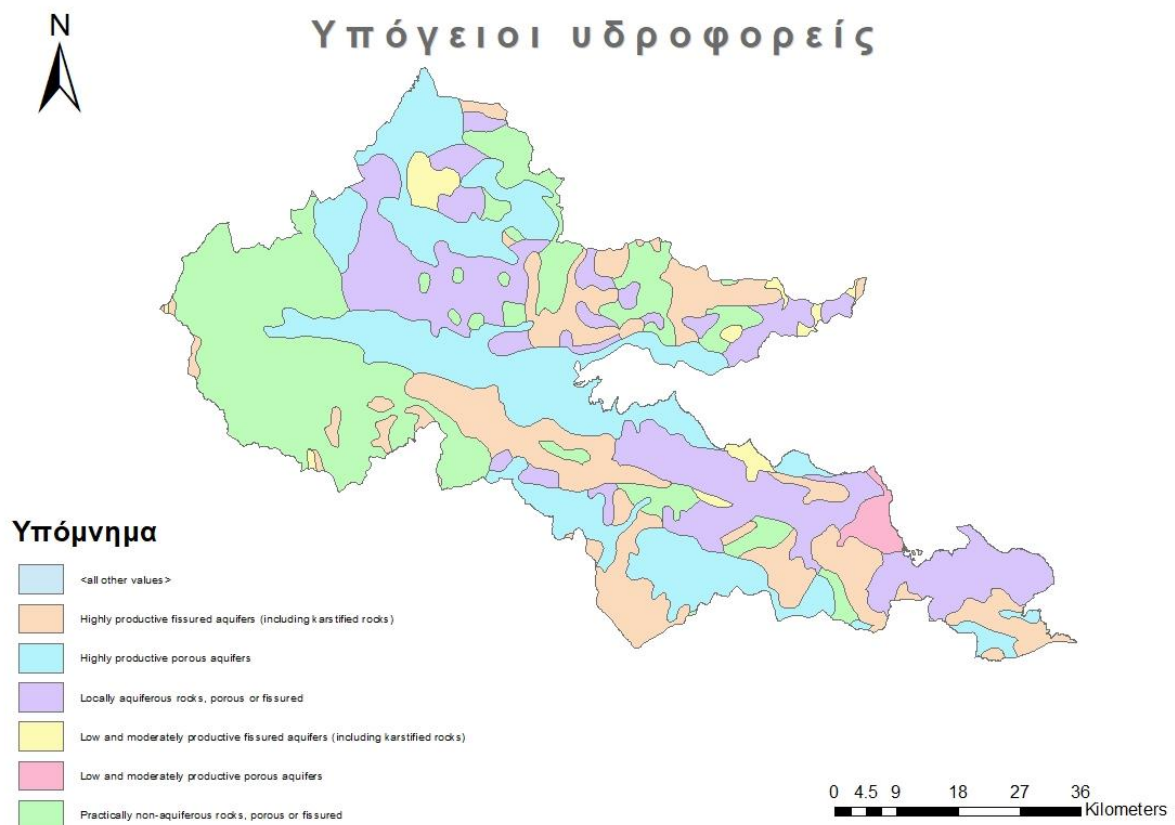
Εικόνα 5.30: Απόσπασμα Model Builder για το κριτήριο καταλληλότητας ρηγμάτων



Εικόνα 5.31: Κριτήριο καταλληλότητας απόστασης από ρήγματα

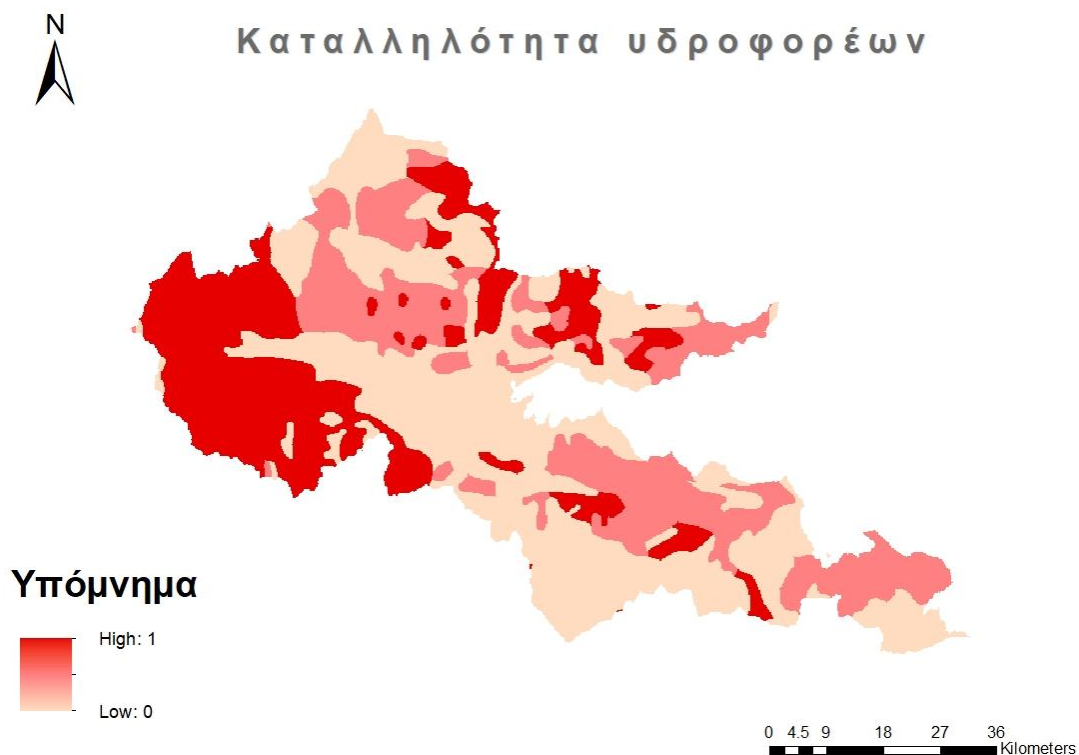
## Υδροφορείς

Η χωροθέτηση ΟΕΔΑ είναι εύλογο να γίνεται σε περιοχή όπου υπάρχει μικρός κίνδυνος ρύπανσης των υπογείων υδροφορέων. Στο πλαίσιο αυτό χρησιμοποιήθηκαν οι ψηφιακοί υδρογεωλογικοί χάρτες IHME 1500 του γερμανικού Ομοσπονδιακού Ινστιτούτου Γεωεπιστημών και Φυσικών Πόρων BGR (<https://www.bgr.bund.de>), οι οποίοι μας παρέχουν πληροφορίες τόσο για την παραγωγικότητα των υδροφορέων, όσο και για το είδος του εδαφικού τους σχηματισμού. Οι πληροφορίες που αντλήθηκαν για την περιοχή μελέτης για το παρόν κριτήριο, είναι εμφανείς στον παρακάτω χάρτη.

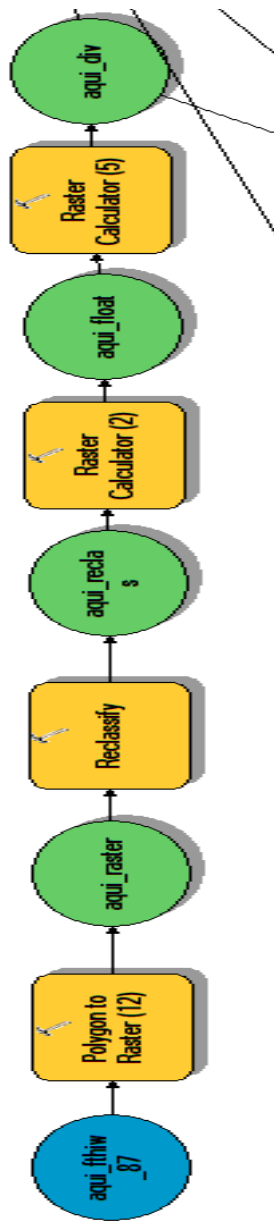


Εικόνα 5.32: Παραγωγικότητα και είδος υδροφορέων Π.Ε Φθιώτιδος

Αρχικά, πραγματοποιήθηκε μετατροπή στο σύστημα αναφοράς των δεδομένων που λήφθηκαν (από ETRS89 σε ΕΓΣΑ87) προκειμένου να εξασφαλιστεί η ομοιογένεια του συνόλου των δεδομένων. Στη συνέχεια, έγινε μετατροπή στη μορφή τους (από διανυσματικά σε ψηφιδωτά), καθώς και επαναταξινόμησή τους. Πιο συγκεκριμένα, οι υδροφορείς υψηλής παραγωγικότητας, πορώδεις ή διαρρηγμένοι, αλλά και οι μέτριας/χαμηλής παραγωγικότητας πορώδεις έλαβαν την τιμή 0 ως απαγορευτικές περιοχές χωροθέτησης. Παράλληλα, οι μέτριας παραγωγικότητας διαρρηγμένοι υδροφορείς, καθώς και οι τοπικά υδροφόροι σχηματισμοί, ταξινομήθηκαν λαμβάνοντας την τιμή 0.5. Τέλος, οι μη υδροφόροι σχηματισμοί, ανεξάρτητα από το αν είναι πορώδεις ή ρηγματωμένοι, έλαβαν την τιμή 1 ως κατάλληλοι για χωροθέτηση ΟΕΔΑ. Απαραίτητο σε αυτό το σημείο ήταν να αλλάξει, με τη βοήθεια του Raster Calculator, η μορφή των τιμών σε float, έτσι ώστε να γίνει εφικτή η χρήση της τιμής 0.5 στην ταξινόμηση. Αποτελέσματα και διαδικασίες διακρίνονται στη συνέχεια (Εικόνα 5.33, Εικόνα 5.34)



Εικόνα 5.33: Κριτήριο καταλληλότητας υπογείων υδροφορέων



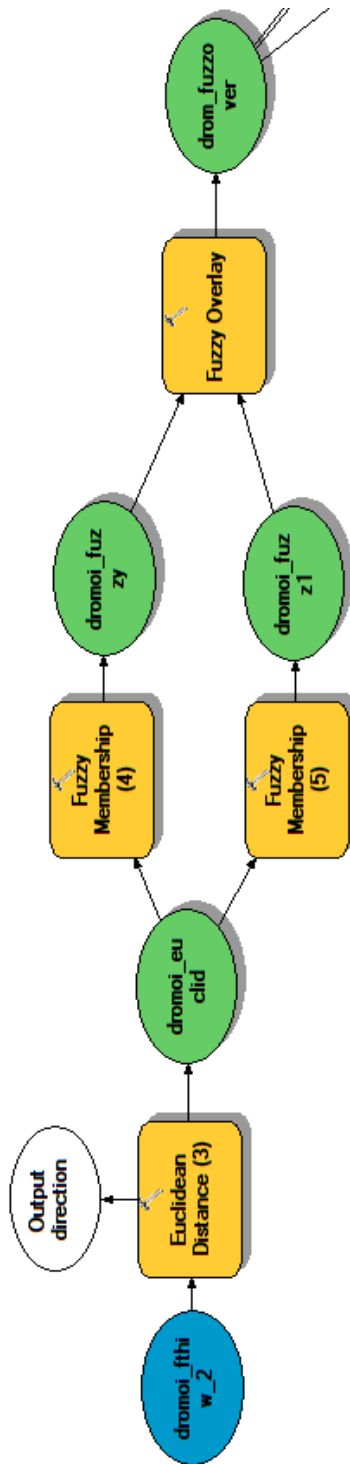
Εικόνα 5.34: Απόσπασμα Model Builder για το κριτήριο καταλληλότητας υπογείων υδροφορέων

### 5.3.2 Χωροταξικό κριτήριο

#### Προσβασιμότητα σε υπάρχοντες δρόμους

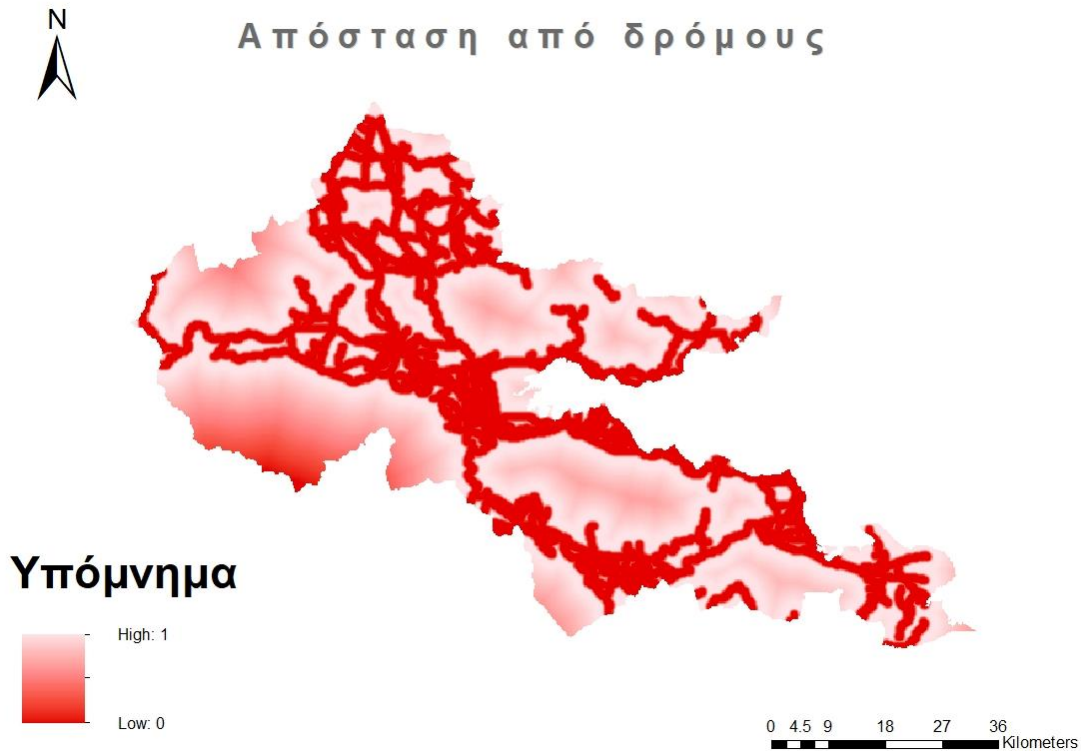
Η προσβασιμότητα αποτελεί ουσιώδες ζήτημα της χωροθέτησης και είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την οικονομική εφικτότητα. Ουσιαστικά, κατάλληλη θεωρείται μια περιοχή κοντά στο υφιστάμενο οδικό δίκτυο, έτσι ώστε να μην προκύψουν επιπλέον έξοδα που αφορούν την κατασκευή νέων δρόμων. Την ίδια στιγμή όμως, θα πρέπει να τηρηθεί κάποια απόσταση αποκλεισμού από το οδικό δίκτυο, έτσι ώστε να αποφευχθεί η δημιουργία προβλημάτων κυκλοφορίας από τα οχήματα μεταφοράς των απορριμμάτων στην μονάδα.

Τα δεδομένα οδικού δικτύου της περιοχής μελέτης αντλήθηκαν κάνοντας χρήση του προσθέτου Open Layers του λογισμικού QGIS, από τη βάση δεδομένων του layer Open Street Map (OSM). Τα δεδομένα αυτά μετατράπηκαν σε ψηφιδωτά κάνοντας χρήση της εντολής Euclidean Distance του περιβάλλοντος του ArcMap. Έπειτα, πραγματοποιήθηκε συνδυασμός (Fuzzy Overlay AND) δύο γραμμικών συναρτήσεων ασαφούς λογικής, έτσι ώστε να καλυφθούν οι απαιτήσεις που αφορούν την προσβασιμότητα. Συγκεκριμένα, στη μια συνάρτηση τέθηκε minimum (value=0) τα 500 m και maximum (value=1) τα 1000 m, ενώ στην άλλη maximum τα 2000 m και minimum το πιο απομακρυσμένο pixel της περιοχής από το δίκτυο. Παρακάτω παρουσιάζονται οι διαδικασίες διαγραμματικά (Εικόνα 5.35), καθώς και το τελικό αποτέλεσμα, που καλύπτει τόσο την απαίτηση ύπαρξης ζώνης αποκλεισμού, όσο και την ανάγκη εύκολης πρόσβασης σε υφιστάμενους δρόμους (Εικόνα 5.36).



Εικόνα 5.35: Απόσπασμα Model Builder για το κριτήριο προσβασιμότητας σε υπάρχοντες δρόμους





Εικόνα 5.36: Κριτήριο προσβασιμότητας σε σχέση με υπάρχοντες δρόμους

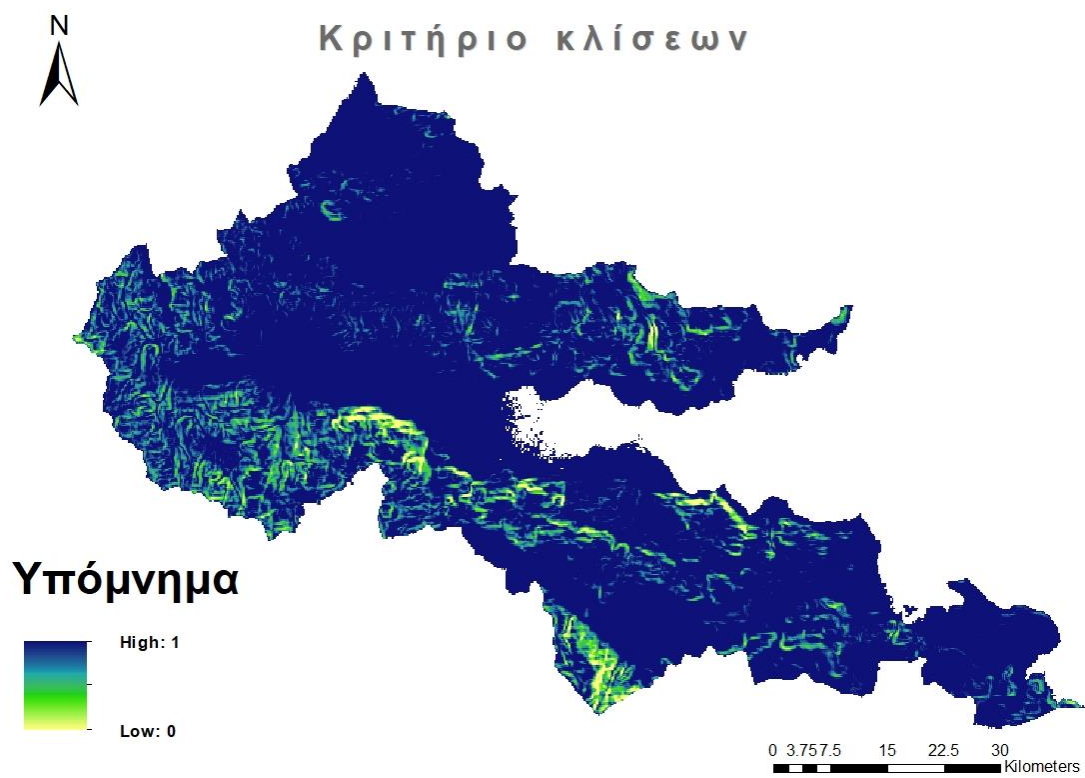
#### ✚ Κλίση του εδάφους

Το ζήτημα της κλίσης του εδάφους που θα εγκατασταθεί η ΟΕΔΑ είναι ιδιαίτερα σημαντικό, καθώς έχει άμεση επίδραση στο κόστος κατασκευής. Πιο συγκεκριμένα, η ύπαρξη απότομων κλίσεων, απαιτεί περισσότερες εκσκαφές και κατ' επέκταση αυξάνει σημαντικά το κόστος. Ως αποτέλεσμα, για την εξεταζόμενη περιοχή, όσο αυξάνεται η κλίση τόσο πιο ακατάλληλη κρίνεται.

Στο περιβάλλον του ArcMap δημιουργήθηκε, κάνοντας χρήση του DEM της περιοχής και του εργαλείου Slope (Spatial Analyst -> Surface Analysis), χάρτης κλίσεων της περιοχής μελέτης σύμφωνα με τον οποίο οι κλίσεις κυμαίνονται από 0 έως 47.69 %. Στη συνέχεια, έγινε χρήση της συνάρτησης Fuzzy Membership Linear, όπου και τέθηκαν: min= 47.69% και max=10%. Έτσι, τα pixels με κλίσεις μικρότερες/ίσες του 10% έλαβαν την τιμή 1 ως πιο κατάλληλα. Το αποτέλεσμα (Εικόνα 5.38), αλλά και η παραπάνω διαδικασία διαγραμματικά (Εικόνα 5.37), διακρίνονται στη συνέχεια.



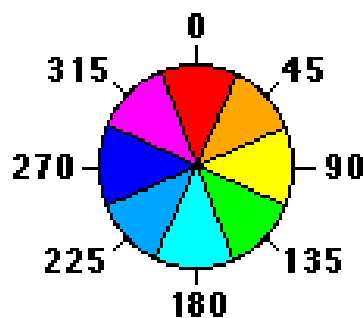
Εικόνα 5.37: Απόσπασμα Model Builder για το κριτήριο καταλληλότητας εδαφικών κλίσεων



Εικόνα 5.38: Κριτήριο καταλληλότητας κλίσεων εδάφους

## ✚ Προσανατολισμός εδάφους

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, το παράγωγο Aspect του DEM μετράει την κατηφορική διεύθυνση στην οποία παρατηρείται ο μέγιστος ρυθμός μεταβολής υψομέτρου. Οι τιμές κυμαίνονται από -1, όταν κάνουμε λόγο για επίπεδες περιοχές χωρίς κατηφορικές διευθύνσεις έως 360 (σε μοίρες). Στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 5.39) διακρίνονται οι διευθύνσεις του επιπέδου. Συγκεκριμένα, το 0 αντιστοιχεί στο Βορρά, το 90 στην Ανατολική διεύθυνση, το 180 στο Νότο και το 270 στη Δυτική διεύθυνση.



Εικόνα 5.39: Διευθύνσεις επιπέδου Aspect

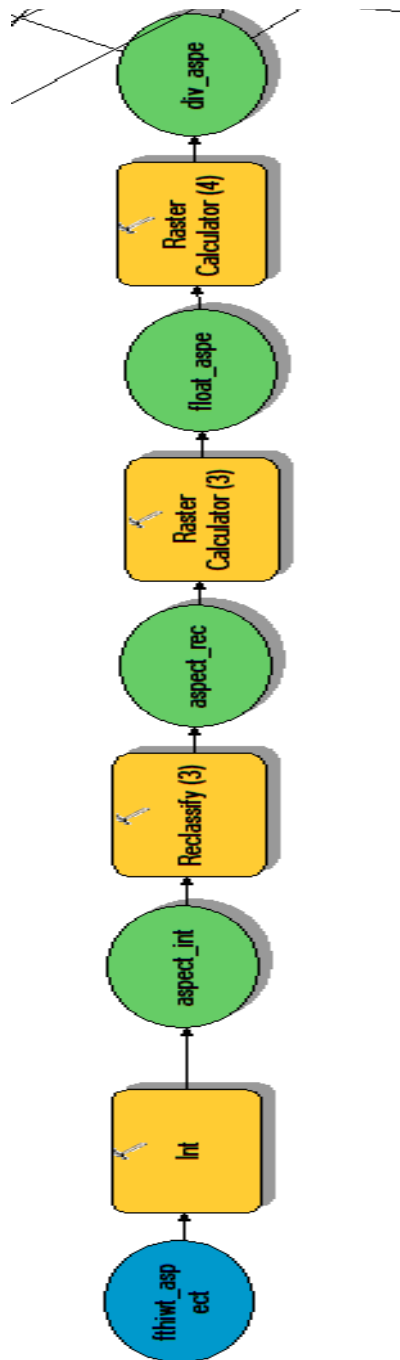
Πηγή:<http://desktop.arcgis.com>

Σύμφωνα με μετεωρολογικά στοιχεία οι επικρατούντες άνεμοι στην περιοχή είναι βόρειοι και βορειοδυτικοί (<http://www.lamia.gr>). Ως επακόλουθο, κατά την επαναταξινόμηση (reclassify) των τιμών του κριτηρίου δημιουργούνται τέσσερις κλάσεις, ανάλογα με το αν ευνοείται η μυρωδιά και η μεταφορά σωματιδίων ή όχι και συγκεκριμένα:

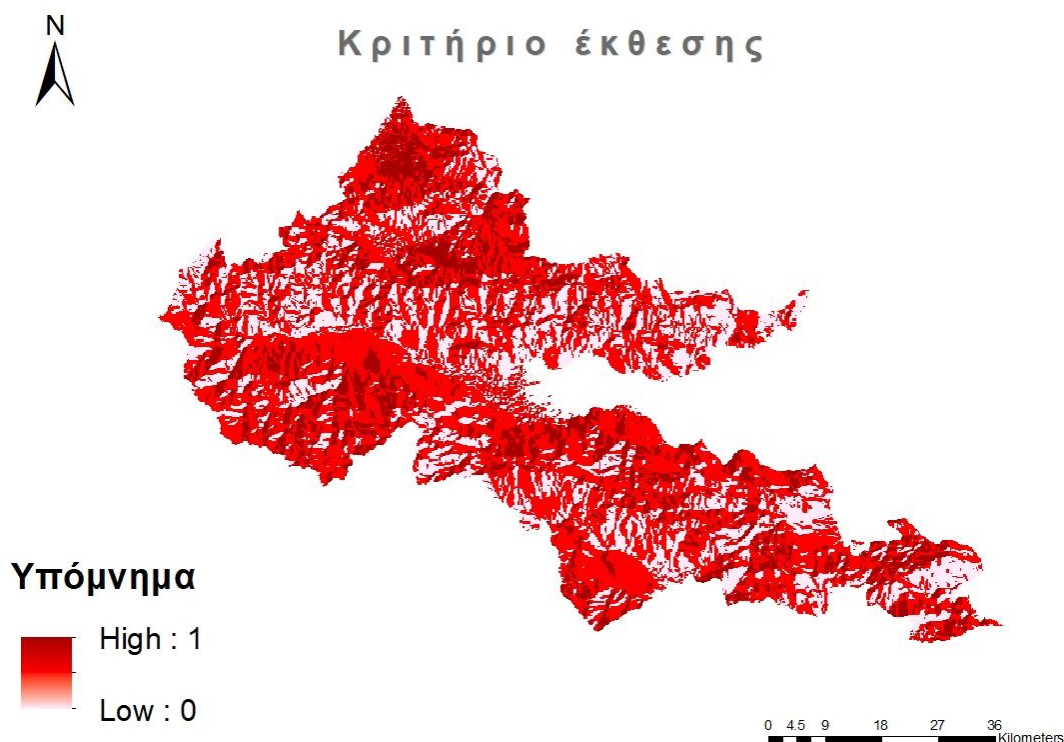
1. ( $0^{\circ}$ - $90^{\circ}$ ) με τιμή 5 που υποδηλώνει μέτρια καταλληλότητα
2. ( $90^{\circ}$ - $180^{\circ}$ ) με τιμή 0 ως ακατάλληλο διάστημα τιμών
3. ( $180^{\circ}$ - $270^{\circ}$ ) με τιμή 5 ως μέτριας καταλληλότητας διάστημα τιμών
4. ( $270^{\circ}$ - $360^{\circ}$ ) με τιμή 10 ως το πιο κατάλληλο διάστημα τιμών

Στη συνέχεια, οι τιμές του επαναξινομημένου, πλέον, επιπέδου έκθεσης εδάφους, είναι απαραίτητο να αλλάξουν μορφή και συγκεκριμένα να μετατραπούν σε δεκαδικές (float). Έτσι τελικά, εφόσον διαιρέσουμε τις νέες δεκαδικής μορφής τιμές με το 10, προκύπτουν τιμές από 0 έως 1 και επιτυγχάνεται συμφωνία με τα υπόλοιπα εξεταζόμενα κριτήρια. Το αποτέλεσμα, καθώς και οι παραπάνω διαδικασίες

ιεραρχημένες, διακρίνονται στην Εικόνα 5.40 και στο χάρτη που ακολουθεί (Εικόνα 5.41):



Εικόνα 5.40: Απόσπασμα Model Builder για το κριτήριο καταλληλότητας έκθεσης εδάφους



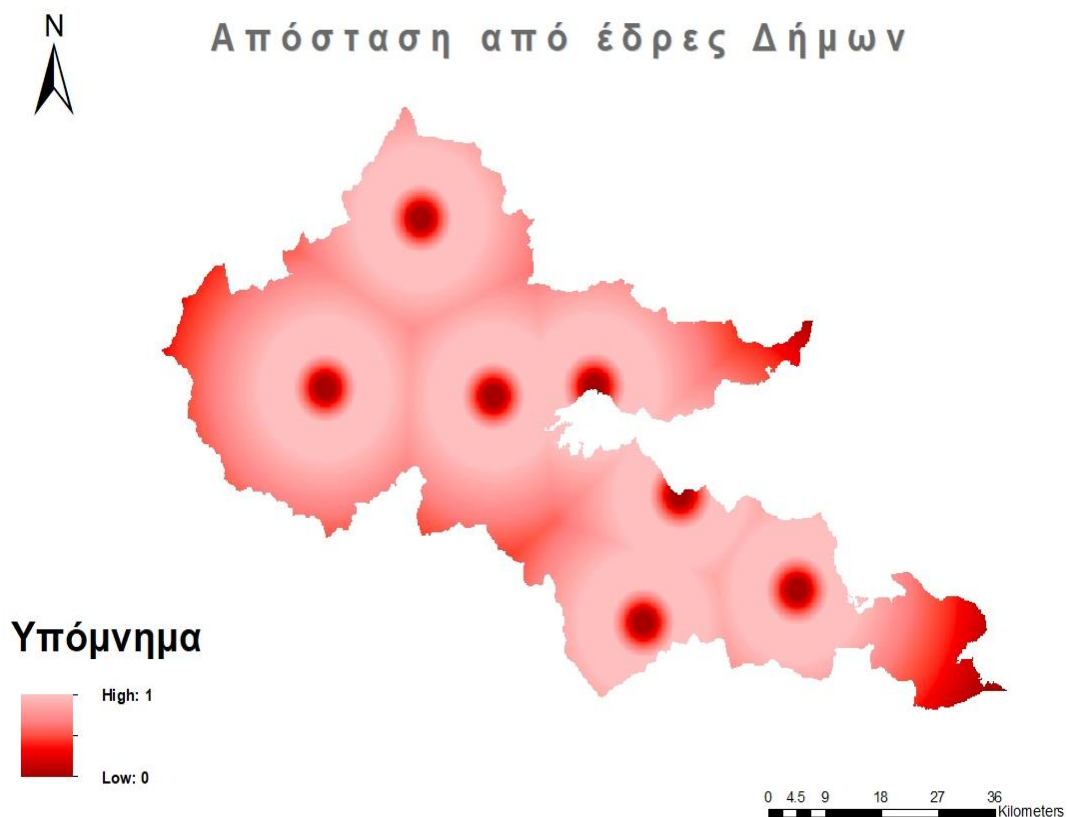
Εικόνα 5.41: Κριτήριο καταλληλότητας έκθεσης εδάφους

#### **✚ Απόσταση από έδρες Δήμων**

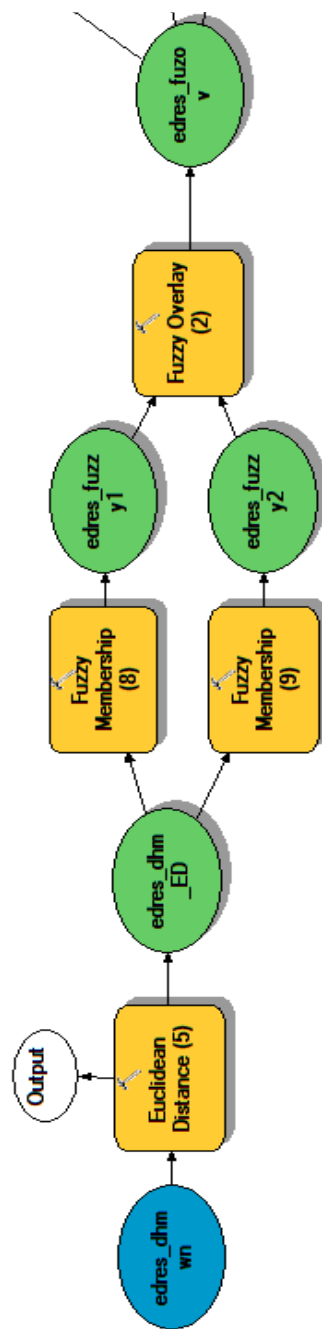
Οι έδρες των Δήμων της Περιφερειακής Ενότητας διαδραματίζουν ενεργό ρόλο στην παραγωγή απορριμμάτων, καθώς μεγάλο κομμάτι του πληθυσμού συγκεντρώνεται σε αυτές. Ως επακόλουθο, θα πρέπει οι εγκαταστάσεις διαχείρισης απορριμμάτων να είναι εύκολα προσεγγίσιμες από τα σημεία αυτά. Την ίδια στιγμή, βέβαια, θα πρέπει να εξασφαλίζεται και μια εύλογη απόσταση αποκλεισμού χωροθέτησης.

Θέλοντας να ικανοποιήσουμε ταυτόχρονα τις δύο προαναφερόμενες απαιτήσεις και έχοντας ως πρότυπο τη διαχείριση αντίστοιχου κριτηρίου σε άλλες μελέτες (πχ Chabuk et al, 2017), πραγματοποιήθηκε συνδυασμός (Fuzzy overlay AND), δύο γραμμικών συναρτήσεων ασαφούς λογικής, όπως και στην περίπτωση του κριτηρίου απόστασης από το υπάρχον οδικό δίκτυο. Ειδικότερα, στην μια συνάρτηση τίθεται ελάχιστο (minimum) ίσο με 1000 και μέγιστο (maximum) ίσο με 5000, ώστε να εξασφαλίζεται μηδενική καταλληλότητα σε περιοχές με <1000 m απόσταση από κάποια έδρα (ζώνη αποκλεισμού) και σταδιακή αύξηση της καταλληλότητας με

μεγιστοποίηση της στο 5000. Παράλληλα, στην άλλη συνάρτηση τίθεται ελάχιστο ίσο με το πιο απομακρυσμένο ριχεί (~36208) και μέγιστο ίσο με 10000. Τελικά, με το συνδυασμό των δύο συναρτήσεων προκύπτει μέγιστη καταλληλότητα για το διάστημα τιμών (5000-10000). Το αποτέλεσμα που προέκυψε (Εικόνα 5.42), αλλά και το ιεραρχικό διάγραμμα των διαδικασιών που περιγράφηκαν (Εικόνα 5.43), εμφανίζονται παρακάτω:



Εικόνα 5.42: Κριτήριο απόστασης από έδρες Δήμων



Εικόνα 5.43: Απόσπασμα Model Builder για το κριτήριο απόστασης από έδρες Δήμων

## 5.4 Εφαρμογή AHP – Τελικά αποτελέσματα

Την επεξεργασία των κριτηρίων καταλληλότητας ακολουθεί η διαδικασία των συγκρίσεων ανά ζεύγη για τον υπολογισμό των βαρών αρχικά των υποκριτηρίων και στη συνέχεια των δύο σύνθετων κριτηρίων. Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενη παράγραφο, οι απαιτούμενοι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν με τη βοήθεια του online υπολογιστικού εργαλείου Αναλυτικής Ιεράρχησης AHP-OS ([https://bpmsg.com/academic/ahp\\_calc.php](https://bpmsg.com/academic/ahp_calc.php)). Όσον αφορά την κατάταξη των παραγόντων ως προς την σημαντικότητα, αυτή πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια αντιστοίχων μελετών, ενώ δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στην ιεραρχία που συναντάται στο άρθρο των Gemitzi et al (2006).

### 5.4.1 Γεωλογικό - Υδρογεωλογικό – Υδρολογικό κριτήριο

Η κατάταξη των υποκριτηρίων του συγκεκριμένου κριτηρίου, σύμφωνα με την κλίμακα σύγκρισης του Saaty (Πίνακας 4.1, σελ.52), έχει ως εξής:

- Το υποκριτήριο που αφορά τους υπόγειους υδροφορείς είναι ελαφρά προτιμητέο (3), τόσο του υδρογραφικού όσο και του κριτηρίου που αφορά τα ρήγματα
- Τα υποκριτήρια που σχετίζονται με το υδρογραφικό δίκτυο και τα ρήγματα θεωρούνται ίσης καταλληλότητας (1)

Ακολουθεί ο πίνακας σύγκρισης και τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη χρήση του εργαλείου AHP-OS (Εικόνα 5.44).

#### Priorities

These are the resulting weights for the criteria based on your pairwise comparisons

Category	Priority	Rank
1 Ρήγματα	20.0%	2
2 Υδροφορείς	60.0%	1
3 Υδρογραφικό	20.0%	2

Number of comparisons = 3  
Consistency Ratio CR = 0.0%

#### Decision Matrix

The resulting weights are based on the principal eigenvector of the decision matrix

	1	2	3
1	1	0.33	1.00
2	3.00	1	3.00
3	1.00	0.33	1

Principal eigen value = 3.000  
Eigenvector solution: 1 iterations, delta = 6.2E-33

Εικόνα 5.44: Σύγκριση ανά ζεύγη και συντελεστές βαρύτητας υποκριτηρίων

Πηγή: [https://bpmsg.com/academic/ahp\\_calc.php](https://bpmsg.com/academic/ahp_calc.php)

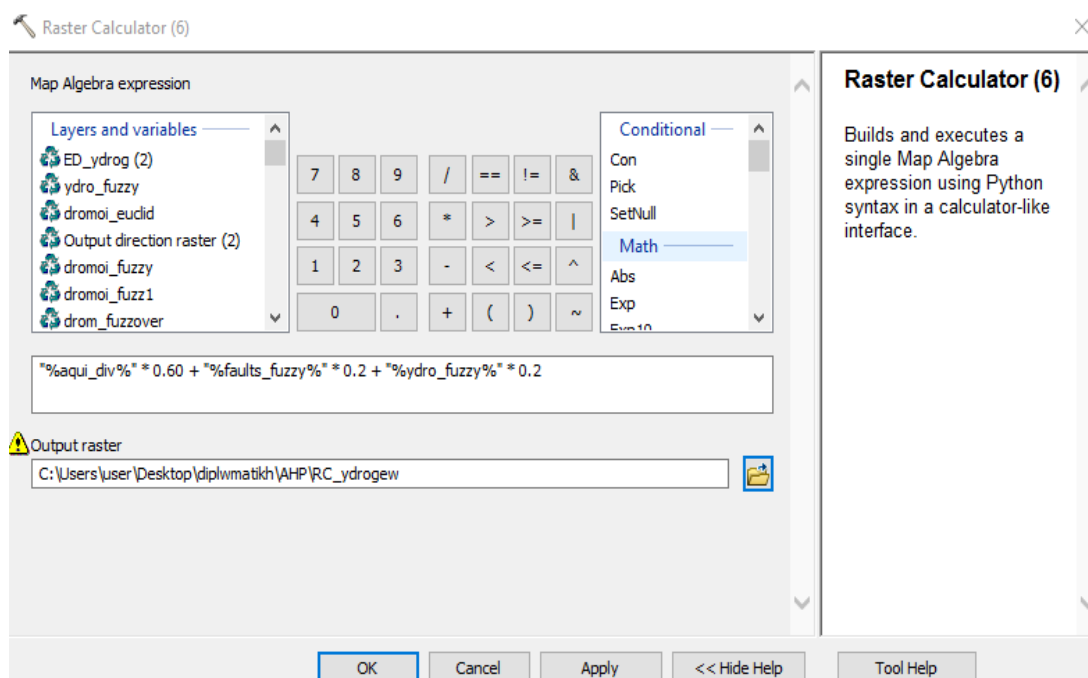


Ο λόγος συνέπειας (CR) που υπολογίστηκε ισούται με  $0\% < 10\%$ , άρα είναι αποδεκτός και μάλιστα κάνουμε λόγο για απόλυτη συνέπεια. Τα βάρη που προκύπτουν είναι: 0.2 όσον αφορά το υποκριτήριο των ρηγμάτων, επίσης 0.2 για το υποκριτήριο υδρογραφικού δικτύου και 0.6, όπως ήταν αναμενόμενο λόγω αυξημένης σημαντικότητας, για αυτό των υδροφορέων.

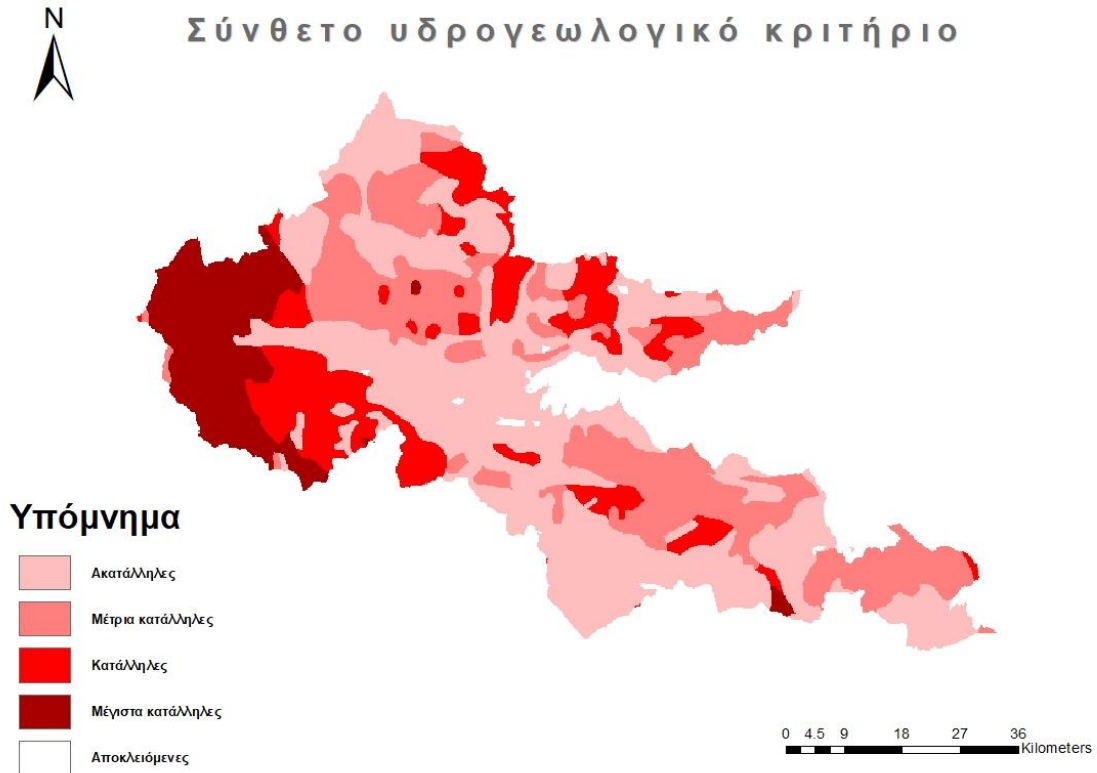
Το γεωλογικό-υδρογεωλογικό-υδρολογικό κριτήριο υπολογίζεται σύμφωνα με τα βάρη που ορίστηκαν παραπάνω, με τη σχέση:

$$0.2 \times (\text{Ρήγματα}) + 0.6 \times (\text{Υδροφορείς}) + 0.2 \times (\text{Υδρογραφικό δίκτυο})$$

Η εφαρμογή της σχέσης πραγματοποιείται στο λογισμικό ArcMap με τη βοήθεια του εργαλείου Raster Calculator, όπως είναι εμφανές στο απόσπασμα του προγράμματος, που ακολουθεί (Εικόνα 5.45). Επίσης ακολουθεί ο χάρτης του υπολογισμένου σύνθετου κριτηρίου (Εικόνα 5.46).



Εικόνα 5.45: Υπολογισμός σύνθετου υδρογεωλογικού κριτηρίου με χρήση του εργαλείου Raster Calculator



Εικόνα 5.46: Το σύνθετο υδρογεωλογικό κριτήριο

#### 5.4.2 Χωροταξικό κριτήριο

Όσον αφορά την ιεράρχηση των τεσσάρων υποκριτηρίων του χωροταξικού κριτηρίου γίνεται σύμφωνα με τις παρακάτω σχέσεις σημαντικότητας:

- Η κλίση του εδάφους είναι ελαφρά προτιμητέα (3) του προσανατολισμού
- Η προσβασιμότητα σε υπάρχοντες δρόμους θεωρείται μέτρια προτιμητέα (5) σε σχέση με τον προσανατολισμό
- Η απόσταση από τις έδρες των δήμων κρίνεται ελαφρά προτιμητέα (3) του προσανατολισμού

Με βάση τα προαναφερόμενα προέκυψε ο πίνακας σύγκρισης και τα αποτελέσματα που διακρίνονται παρακάτω (Εικόνα 5.47).

## Priorities

These are the resulting weights for the criteria based on your pairwise comparisons

Category	Priority	Rank
1 Προσβασιμότητα	31.8%	2
2 Κλίση	38.2%	1
3 Προσανατολισμός	8.3%	4
4 Απόστ. από Αστικά κέντρα	21.7%	3

Number of comparisons = 6  
Consistency Ratio CR = 6.9%

## Decision Matrix

The resulting weights are based on the principal eigenvector of the decision matrix

	1	2	3	4
1	1	1.00	5.00	1.00
2	1.00	1	3.00	3.00
3	0.20	0.33	1	0.33
4	1.00	0.33	3.00	1

Principal eigen value = 4.187  
Eigenvector solution: 6 iterations, delta = 1.2E-9

Εικόνα 5.47: Σύγκριση ανά ζεύγη και συντελεστές βαρύτητας υποκριτηρίων

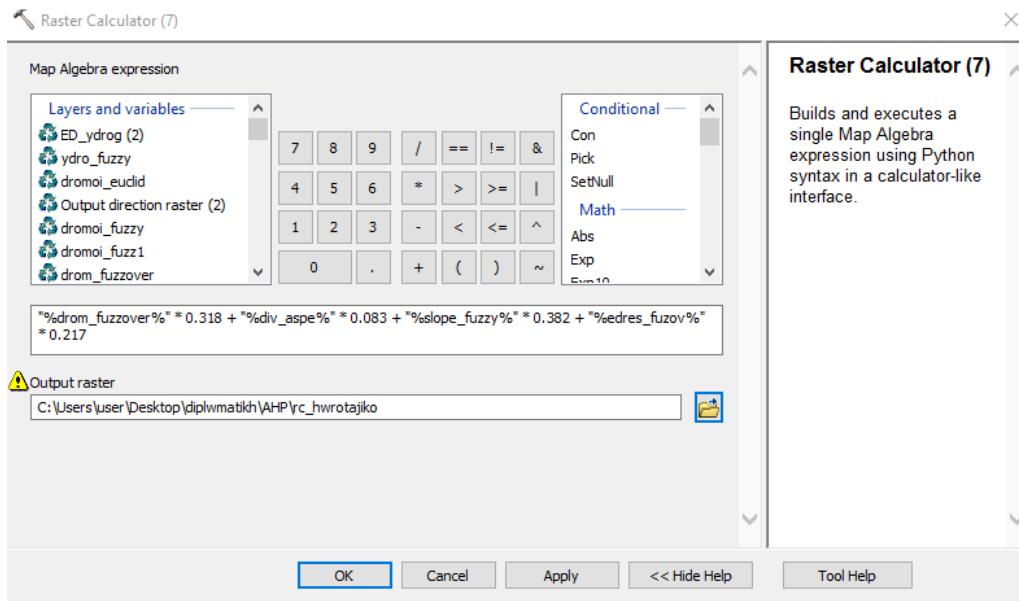
Πηγή: [https://bpmsg.com/academic/ahp\\_calc.php](https://bpmsg.com/academic/ahp_calc.php)

Όπως διακρίνεται και στην Εικόνα 5.47, ο λόγος συνέπειας (CR) που υπολογίστηκε ισούται με 6.9% ή  $0.069 < 0.1$  άρα είναι αποδεκτός. Τα βάρη που προκύπτουν είναι: 0.318 όσον αφορά το υποκριτήριο της προσβασιμότητας στο υπάρχον οδικό δίκτυο, 0.382 για το υποκριτήριο της κλίσης του εδάφους, 0.083 όπως ήταν αναμενόμενο λόγω μειωμένης σημαντικότητας, για αυτό του προσανατολισμού και 0.217 για την απόσταση από τις έδρες των Δήμων.

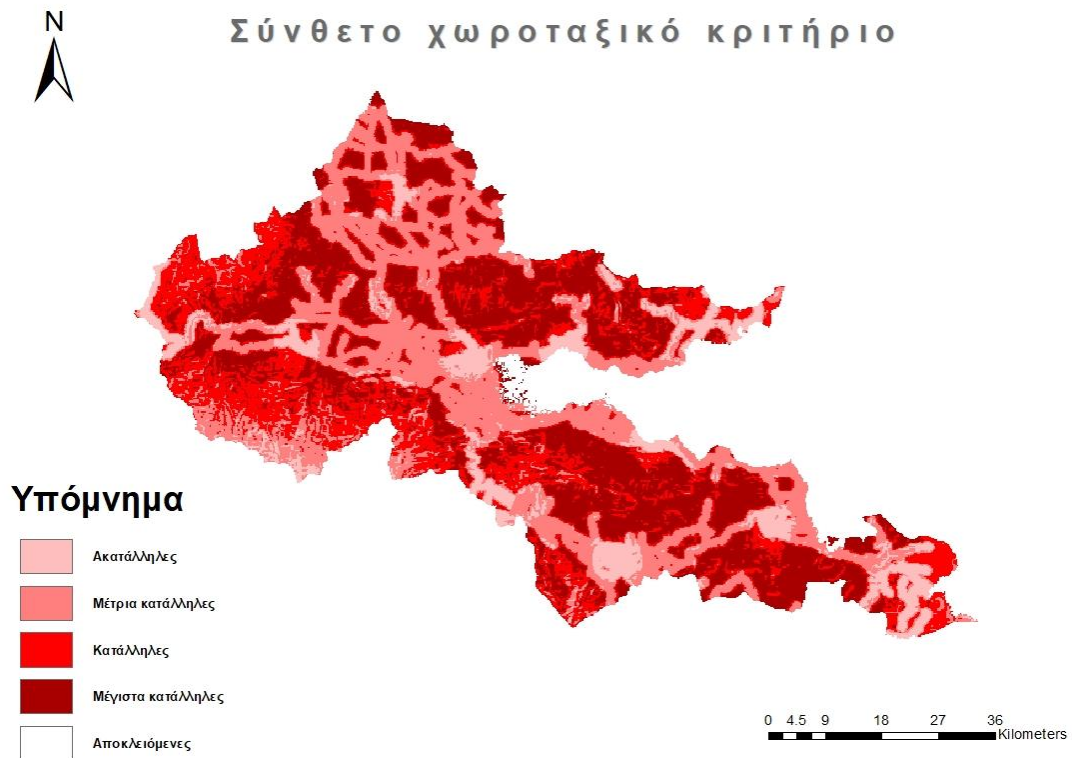
Το σύνθετο χωροταξικό κριτήριο υπολογίζεται με βάση τα βάρη που παράχθηκαν για τα υποκριτήρια που το αποτελούν, με τη σχέση:

$$0.318x(\text{Προσβασιμότητα}) + 0.382x(\text{Κλίση}) + 0.083x(\text{Προσανατολισμός}) + 0.217x(\text{Έδρες})$$

Ακολουθούν απόσπασμα από το πρόγραμμα (Εικόνα 5.48), όπου διαφαίνεται η παραπάνω σχέση, καθώς και χάρτης (Εικόνα 5.49), όπου διακρίνεται το χωροταξικό κριτήριο.



Εικόνα 5.48: Υπολογισμός σύνθετου χωροταξικού κριτηρίου



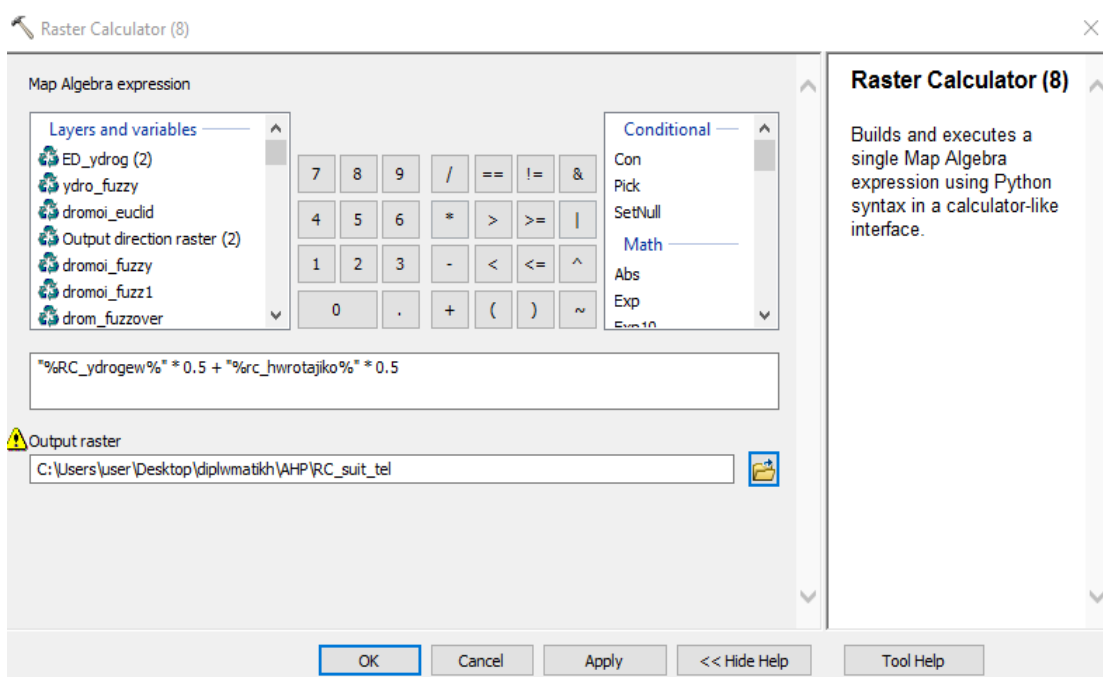
Εικόνα 5.49: Το σύνθετο χωροταξικό κριτήριο

### 5.4.3 Το συνολικό κριτήριο καταλληλότητας

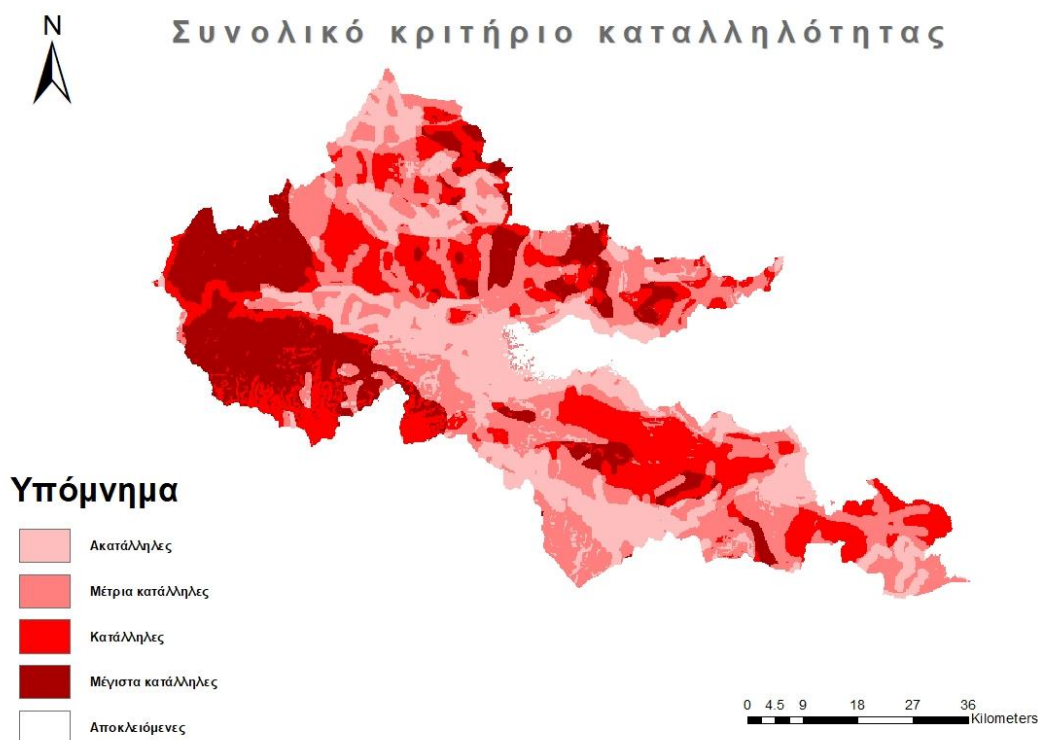
Το συνολικό κριτήριο καταλληλότητας αποτελείται από τα σύνθετα κριτήρια γεωλογικό-υδρογεωλογικό-υδρολογικό και χωροταξικό. Τα δύο αυτά κριτήρια θεωρούνται ίσης σημαντικότητας και ως επακόλουθο τα βάρη τους ταυτίζονται και ισούνται με 0.5. Ο υπολογισμός του συνολικού κριτηρίου πραγματοποιείται εκ νέου με τη βοήθεια του εργαλείου Raster Calculator του ArcMap και συγκεκριμένα με βάση τη σχέση:

$$0.5 \times (\text{γεωλογικό-υδρογεωλογικό-υδρολογικό}) + 0.5 \times (\text{χωροταξικό})$$

Στη συνέχεια, διακρίνονται απόσπασμα από το εργαλείο RasterCalculator όπου εφαρμόζεται η παραπάνω σχέση (Εικόνα 5.50) καθώς και ο συνολικός χάρτης καταλληλότητας (Εικόνα 5.51).



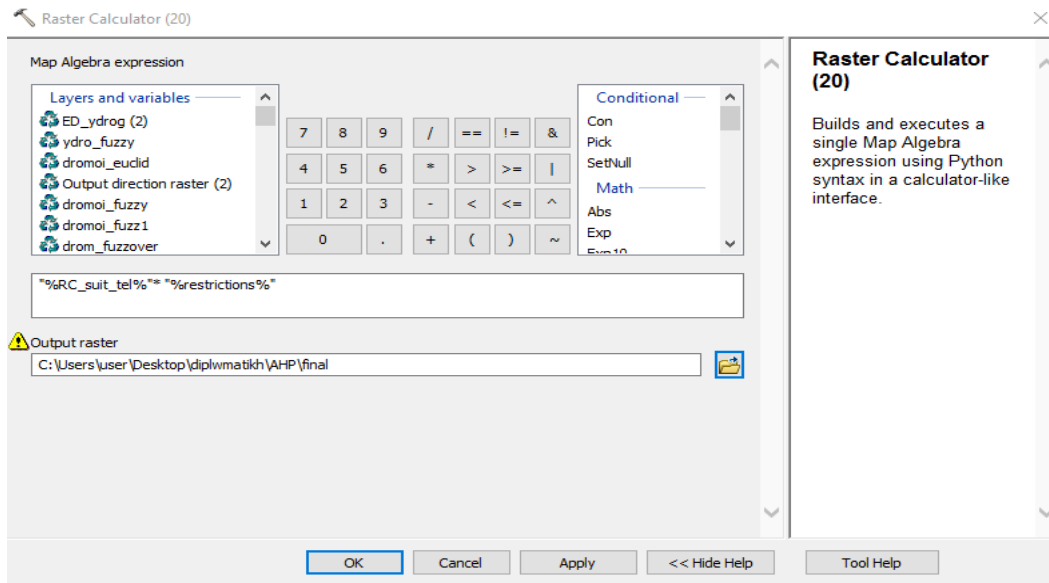
Εικόνα 5.50: Υπολογισμός συνολικού κριτηρίου καταλληλότητας με χρήση του εργαλείου Raster Calculator



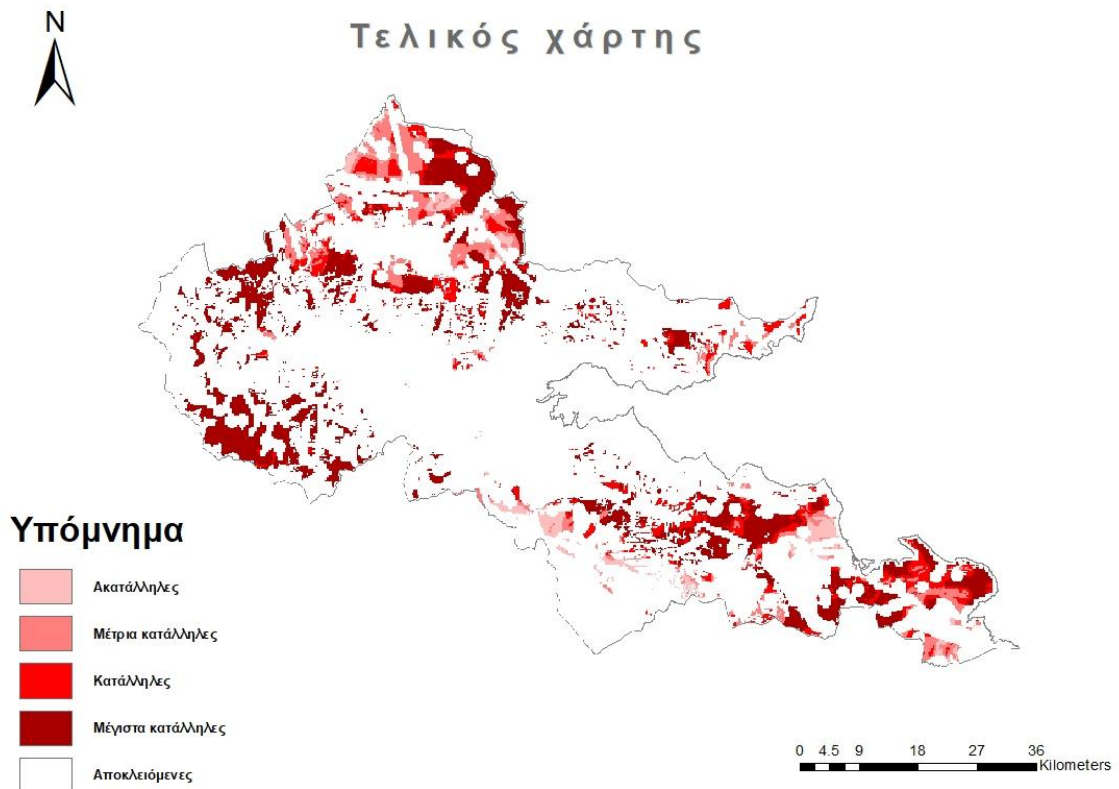
Εικόνα 5.51: Ο συνολικός χάρτης καταλληλότητας

#### 5.4.4 Ο τελικός χάρτης

Η διαδικασία ολοκληρώνεται με την παραγωγή του τελικού χάρτη ο οποίος συνυπολογίζει περιορισμούς και παράγοντες. Πιο συγκεκριμένα, τα δύο αυτά είδη κριτηρίων, και συγκεκριμένα οι χάρτες που προέκυψαν από την επεξεργασία τους, συνδυάζονται με την πράξη του πολλαπλασιασμού, όπως μπορούμε να διακρίνουμε και στην Εικόνα 5.52 που αποτελεί απόσπασμα από το εργαλείο Raster Calculator. Ακολουθεί επίσης και ο ίδιος ο χάρτης (Εικόνα 5.53)



Εικόνα 5.52: Υπολογισμός τελικού χάρτη



Εικόνα 5.53: Τελικός χάρτης συνδυασμού περιορισμών-παραγόντων

## 5.5 Ανάλυση ευαισθησίας

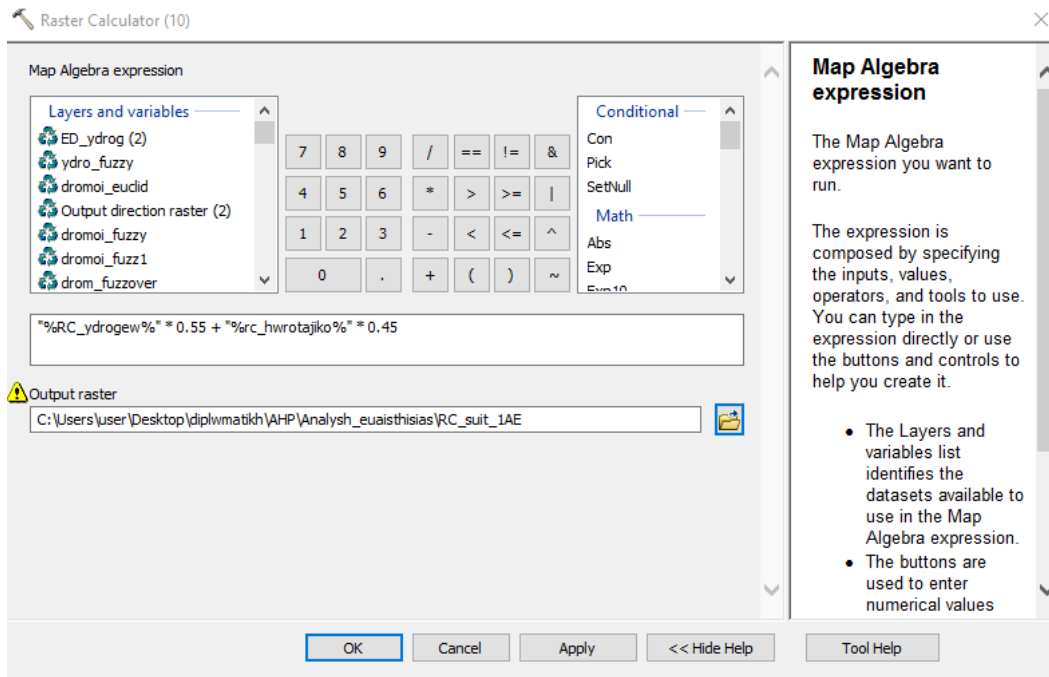
Στο σημείο αυτό της ανάλυσης είναι αναγκαίο να πραγματοποιηθεί ανάλυση ευαισθησίας ώστε να διαπιστωθεί πόσο εύκολα μεταβάλλεται το μοντέλο αν αλλάξουν κάποιοι παράμετροι. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται αυξομείωση των συντελεστών βαρύτητας κάποιων παραγόντων κατά μικρό ποσοστό (0.05), με την προϋπόθεση το συνολικό άθροισμα να διατηρείται σταθερό και ίσο με τη μονάδα. Η διαδικασία αυτή μπορεί να επαναληφθεί για όσες τιμές τροποποίησης αποφασιστούν, ενώ οι τιμές που θα προκύψουν για κάθε περίπτωση τροποποίησης του μοντέλου αποτελούν τις αποκλίσεις από το αρχικό. Αξίζει να σημειωθεί ότι το ποσοστό της κάθε τροποποίησης δεν θα πρέπει να είναι σημαντικό, καθώς σε μια τέτοια περίπτωση υπάρχει ενδεχόμενο αλλοίωσης του μοντέλου. Στην παρούσα εργασία δημιουργούνται τέσσερα σενάρια ανάλυσης ευαισθησίας.

### 5.5.1 Τα σενάρια της ανάλυσης

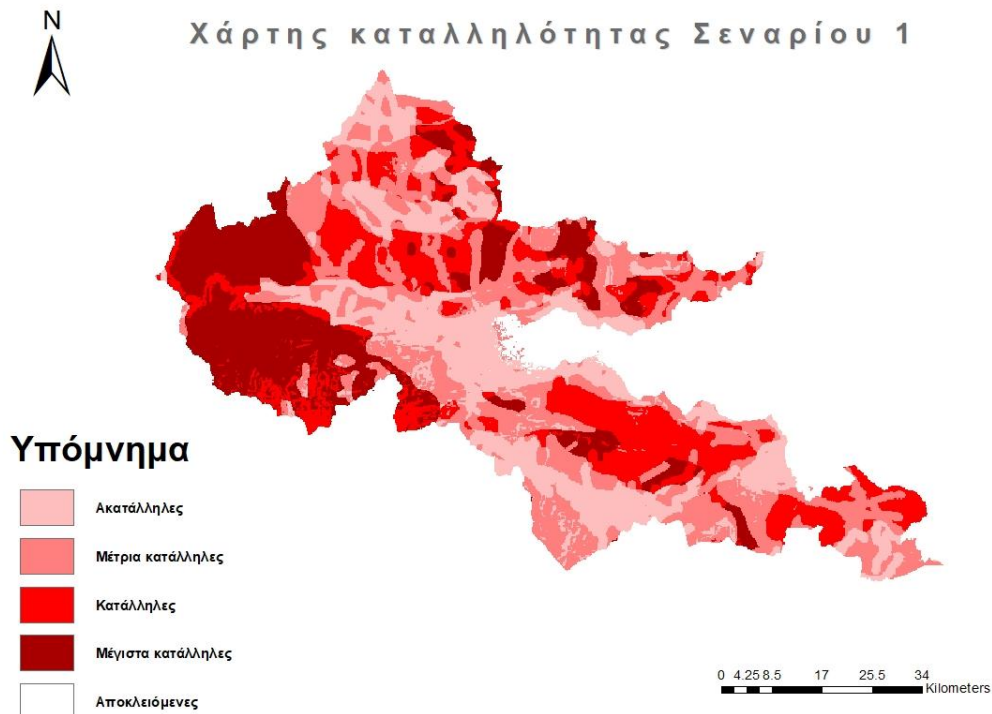
#### Σενάριο 1

Το σενάριο αυτό αφορά μεταβολή στο τελευταίο στάδιο συνδυασμού παραγόντων, δηλαδή αυξομείωση των τιμών των δύο σύνθετων κριτηρίων, γεωλογικό-υδρογεωλογικό-υδρολογικό και χωροταξικό. Ειδικότερα, αυξάνεται κατά 0.05 το βάρος του γεωλογικού-υδρογεωλογικού-υδρολογικού κριτηρίου και μειώνεται κατά 0.05 αυτό του χωροταξικού, όπως φαίνεται και στο απόσπασμα του Raster Calculator (Εικόνα 5.54). Η μεταβολή που προκύπτει διακρίνεται στο χάρτη καταλληλότητας (Εικόνα 5.55) και όπως είναι λογικό επεκτείνεται στον τελικό χάρτη (Εικόνα 5.56).





Εικόνα 5.54: Υπολογισμός χάρτη καταλληλότητας Σεναρίου 1



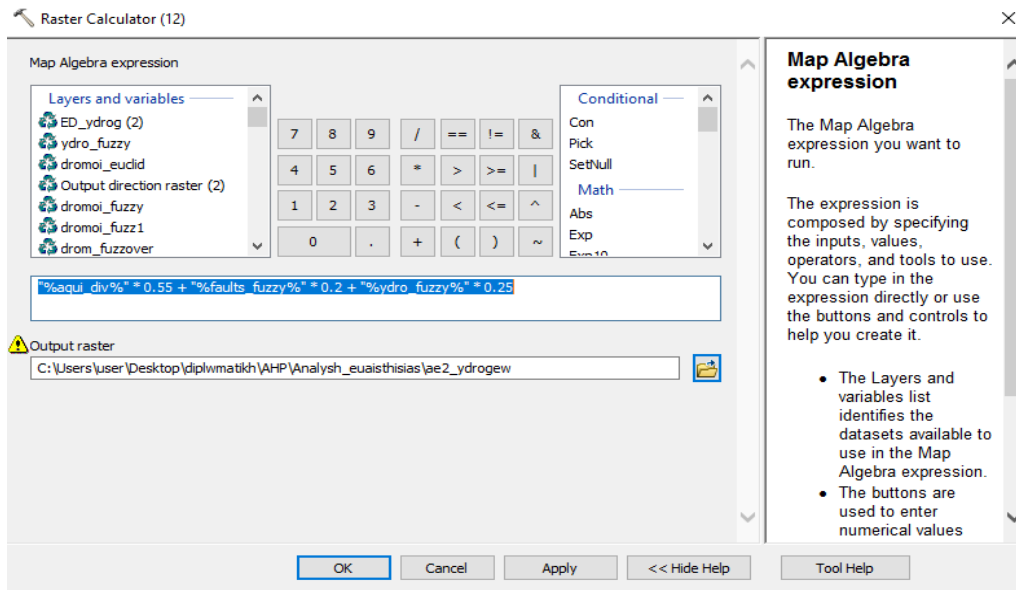
Εικόνα 5.55: Καταλληλότητα Σεναρίου 1



Εικόνα 5.56: Τελικός χάρτης Σεναρίου 1

## **✚ Σενάριο 2**

Το συγκεκριμένο σενάριο αφορά προηγούμενο στάδιο της ανάλυσης, δηλαδή το στάδιο συνδυασμού των υποκριτηρίων υδροφορείς, υδρογραφικό δίκτυο και ρήγματα. Πραγματοποιείται και σε αυτή την περίπτωση αυξομείωση των συντελεστών βαρύτητας κριτηρίων και συγκεκριμένα ελαττώνεται κατά 0.05 το βάρος των υδροφορέων και αυξάνεται κατά το ίδιο ποσοστό το βάρος του υδρογραφικού δικτύου. Τα νέα αυτά βάρη διακρίνονται στο απόσπασμα του εργαλείου Raster Calculator που ακολουθεί (Εικόνα 5.57), ενώ πλέον μεταβάλλονται τρεις χάρτες. Έτσι, κάνουμε λόγο για νέο χάρτη γεωλογικού-υδρογεωλογικού-υδρολογικού κριτηρίου (Εικόνα 5.58) και κατ' επέκταση για διαφορετικούς χάρτες καταλληλότητας (Εικόνα 5.59) και τελικό χάρτη (Εικόνα 5.60).



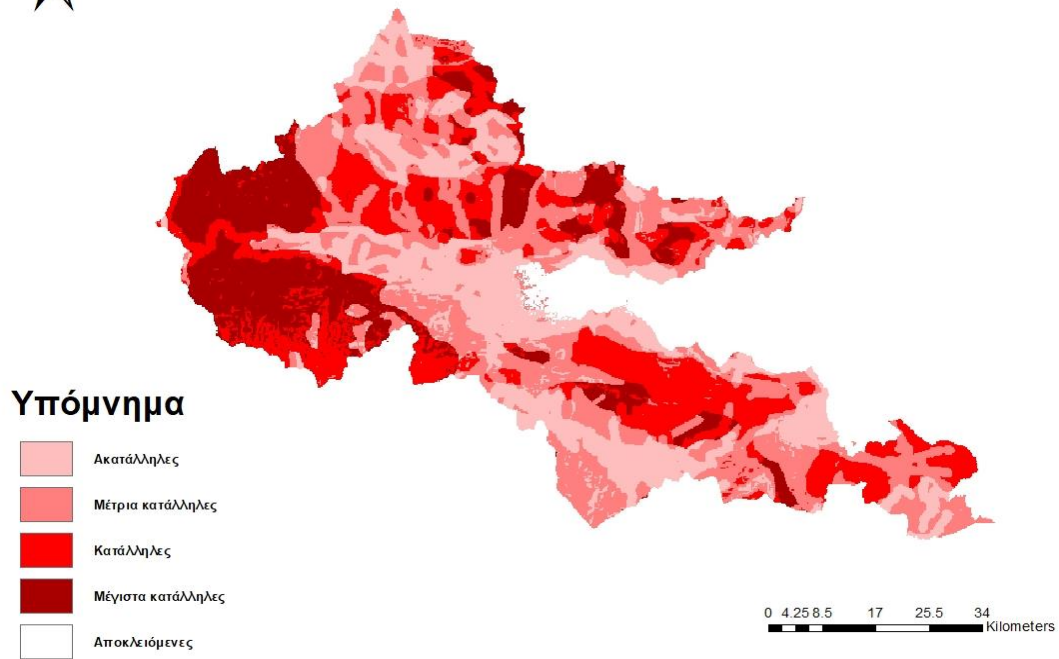
Εικόνα 5.57: Υπολογισμός γεωλογικού-υδρογεωλογικού-υδρολογικού κριτηρίου Σεναρίου 2



Εικόνα 5.58: Γεωλογικό-υδρογεωλογικό-υδρολογικό κριτήριο Σεναρίου 2



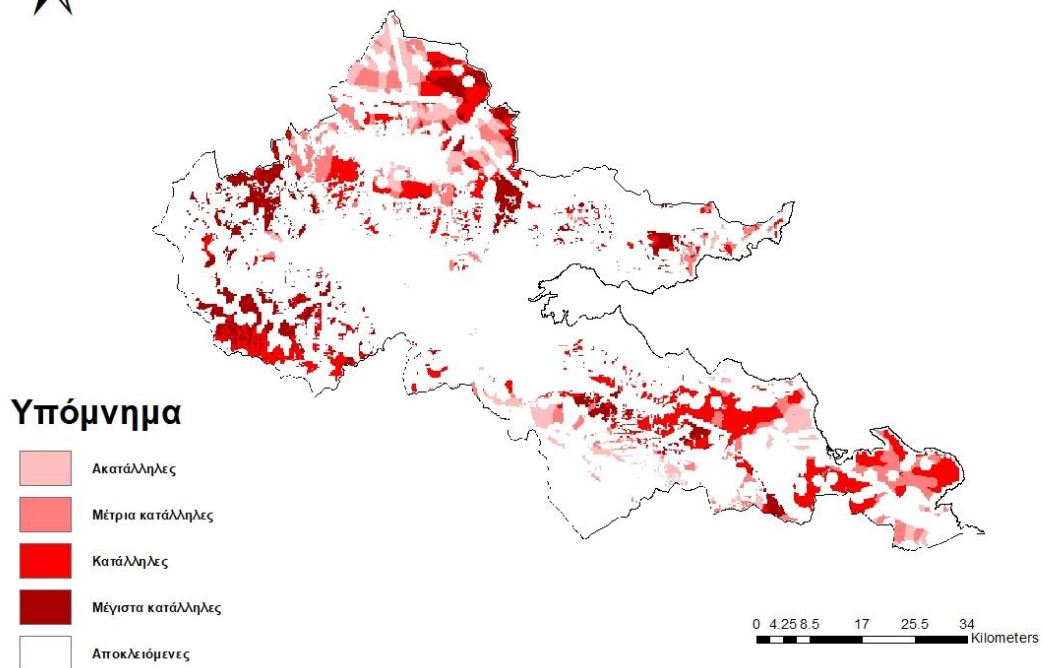
## Κριτήριο καταλληλότητας Σεναρίου 2



Εικόνα 5.59: Καταλληλότητα Σενάριο 2



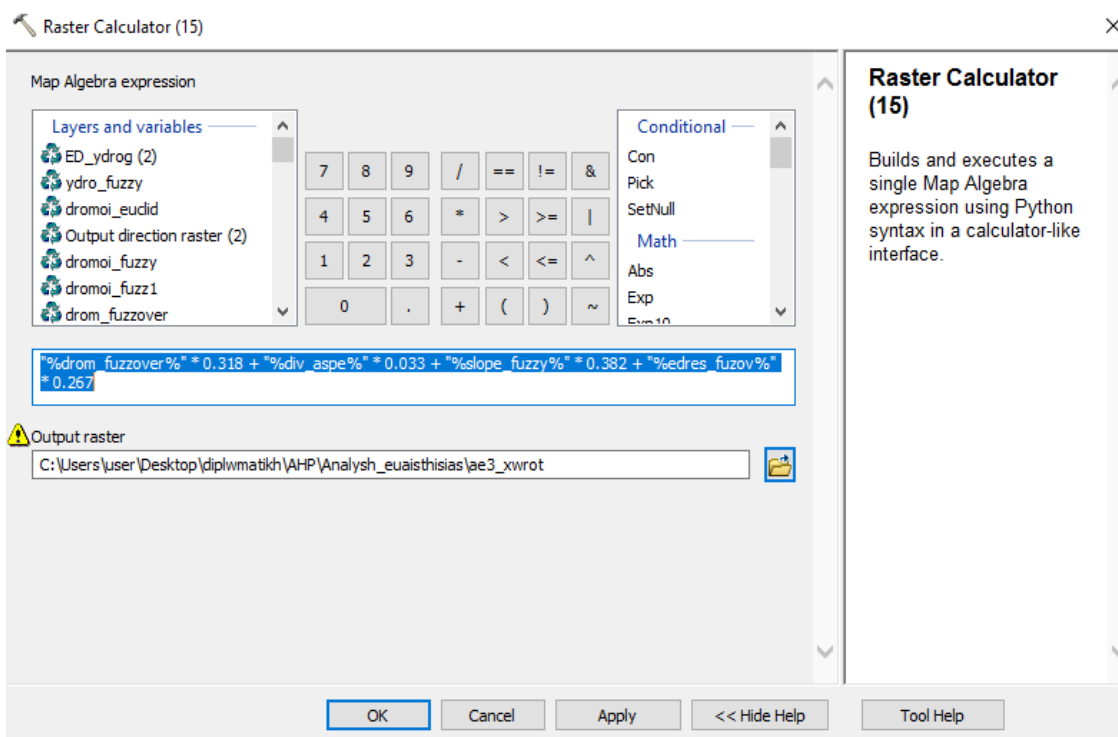
## Τελικός χάρτης Σεναρίου 2



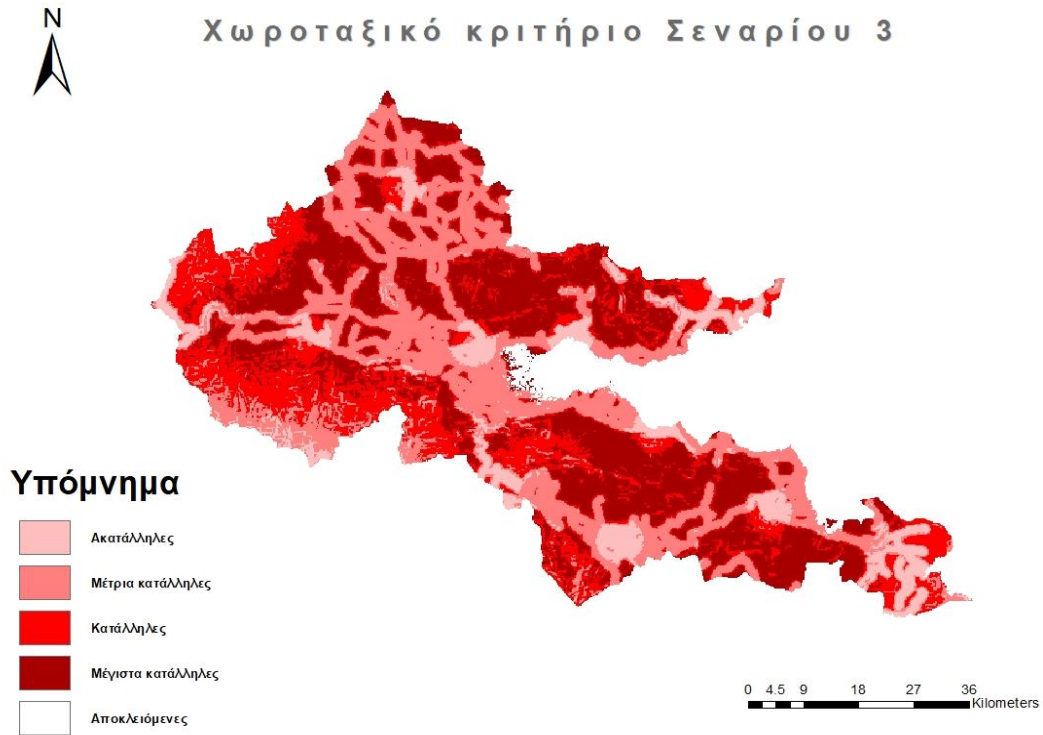
Εικόνα 5.60: Τελικός χάρτης Σενάριο 2

### Σενάριο 3

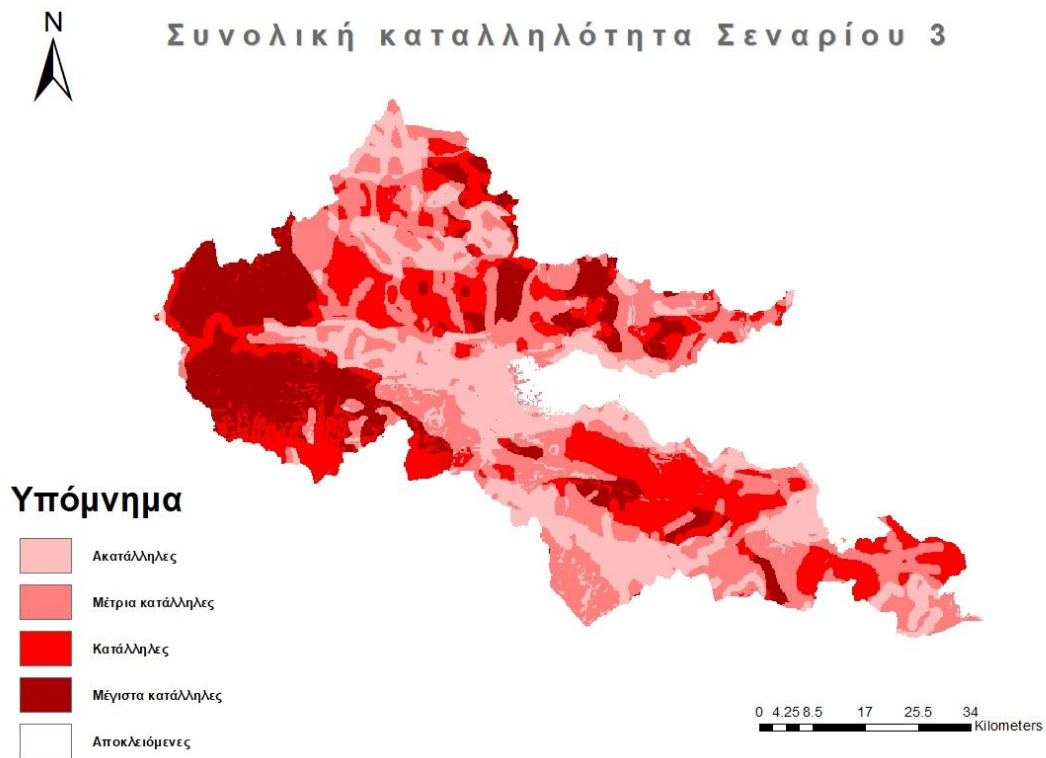
Το σενάριο αυτό αφορά το στάδιο συνδυασμού των υποκριτηρίων του χωροταξικού κριτηρίου. Ειδικότερα, μειώνεται κατά ποσοστό 5% ο συντελεστής βαρύτητας του υποκριτηρίου του προσανατολισμού και αυξάνεται αντιστοίχως το βάρος του υποκριτηρίου έδρες Δήμων. Τα υπόλοιπα δύο υποκριτήρια μένουν ως έχουν. Τελικά παράγεται νέο χωροταξικό κριτήριο και ως αποτέλεσμα νέοι χάρτες καταλληλότητας και τελικός. Παρακάτω διακρίνονται απόσπασμα από το Raster Calculator (Εικόνα 5.61), όπου διακρίνεται η προαναφερόμενη μεταβολή των βαρών, καθώς και τα παραγόμενα του Σεναρίου 2 (Εικόνες 5.62, 5.63, 5.64).



Εικόνα 5.61: Υπολογισμός χωροταξικού κριτηρίου Σεναρίου 3

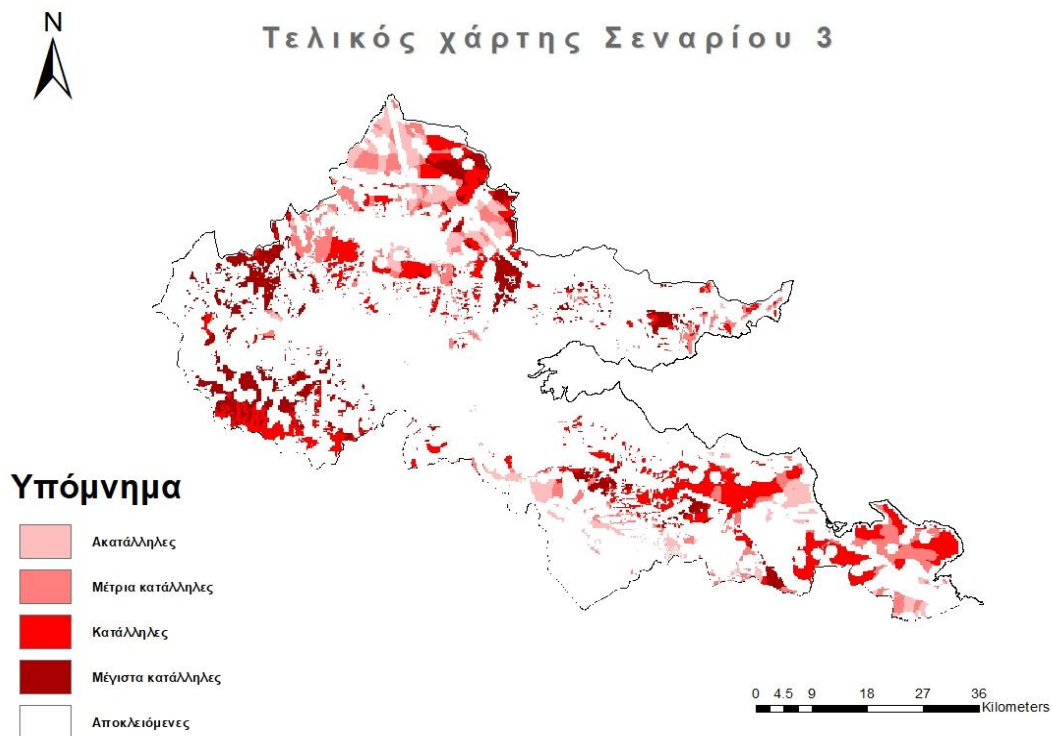


Εικόνα 5.62: Χωροταξικό κριτήριο Σενάριο 3



Εικόνα 5.63: Καταλληλότητα Σενάριο 3

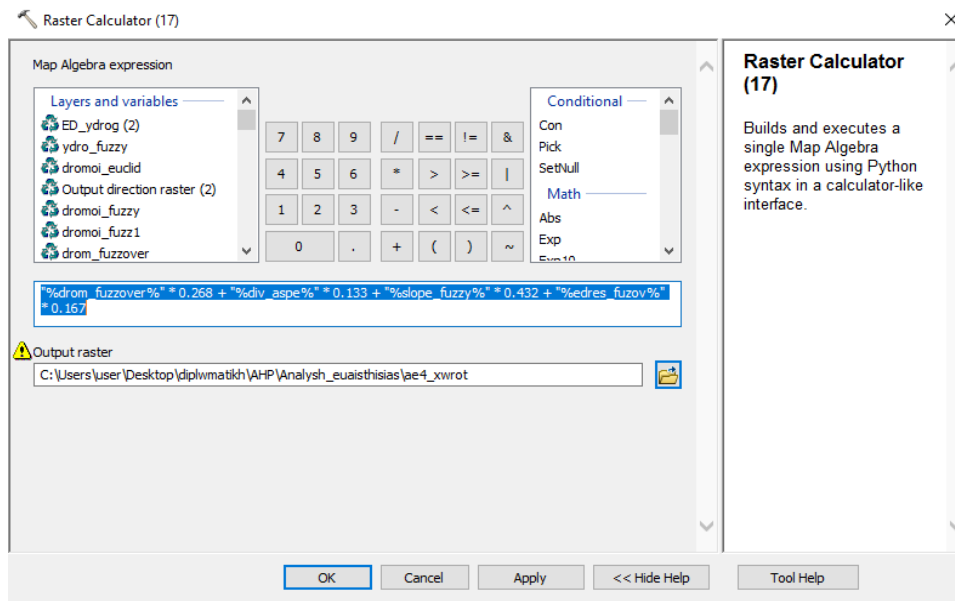




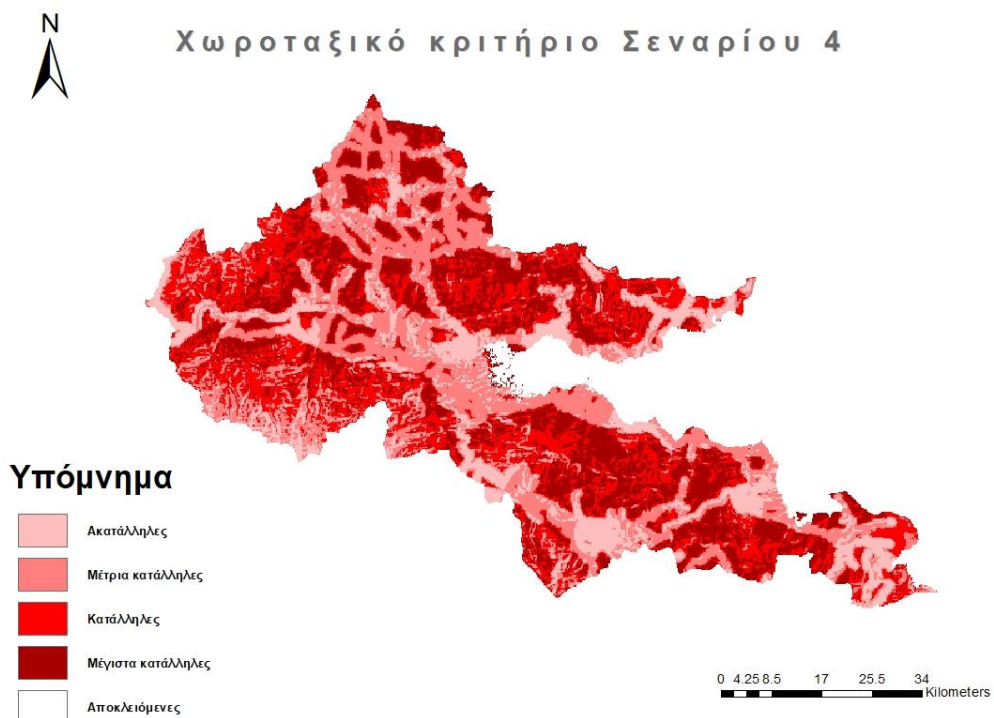
Εικόνα 5.64: Τελικός χάρτης Σενάριο 3

#### Σενάριο 4

Το παρόν σενάριο αφορά επίσης τα χαρακτηριστικά του χωροταξικού κριτηρίου. Σε αυτή την περίπτωση ωστόσο μεταβάλλονται οι συντελεστές βαρύτητας και των τεσσάρων υποκριτηρίων. Ειδικότερα, οι συντελεστές των υποκριτηρίων προσανατολισμού και κλίσης αυξάνονται κατά 0.05 ενώ αυτοί των εδρών Δήμων και προσβασιμότητας μειώνονται κατά το ίδιο ποσοστό. Οι μεταβολές διακρίνονται αριθμητικά στο απόσπασμα του εργαλείου Raster Calculator που ακολουθεί (Εικόνα 5.65), ενώ στη συνέχεια βλέπουμε επίσης τους νέους χάρτες χωροταξικού κριτηρίου (Εικόνα 5.66), συνολικής καταλληλότητας (Εικόνα 5.67) και του τελικού αποτελέσματος (Εικόνα 5.68).



Εικόνα 5.65: Υπολογισμός χωροταξικού κριτηρίου Σεναρίου 4

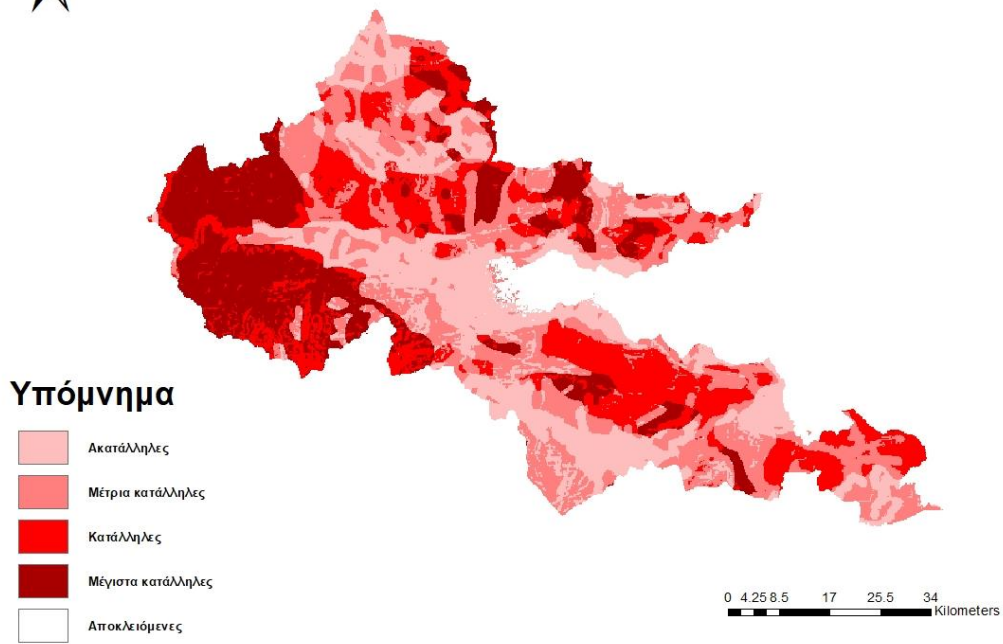


Εικόνα 5.66: Χωροταξικό κριτήριο Σενάριο 4





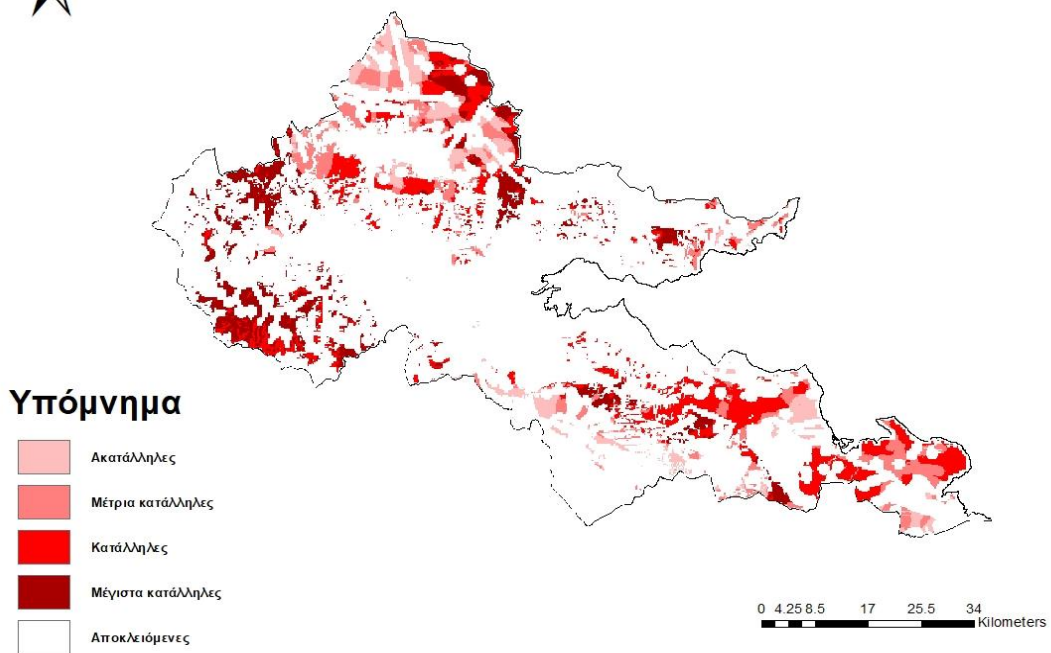
### Συνολική καταλληλότητα Σεναρίου 4



Εικόνα 5.67: Καταλληλότητα Σενάριο 4



### Τελικός χάρτης Σεναρίου 4



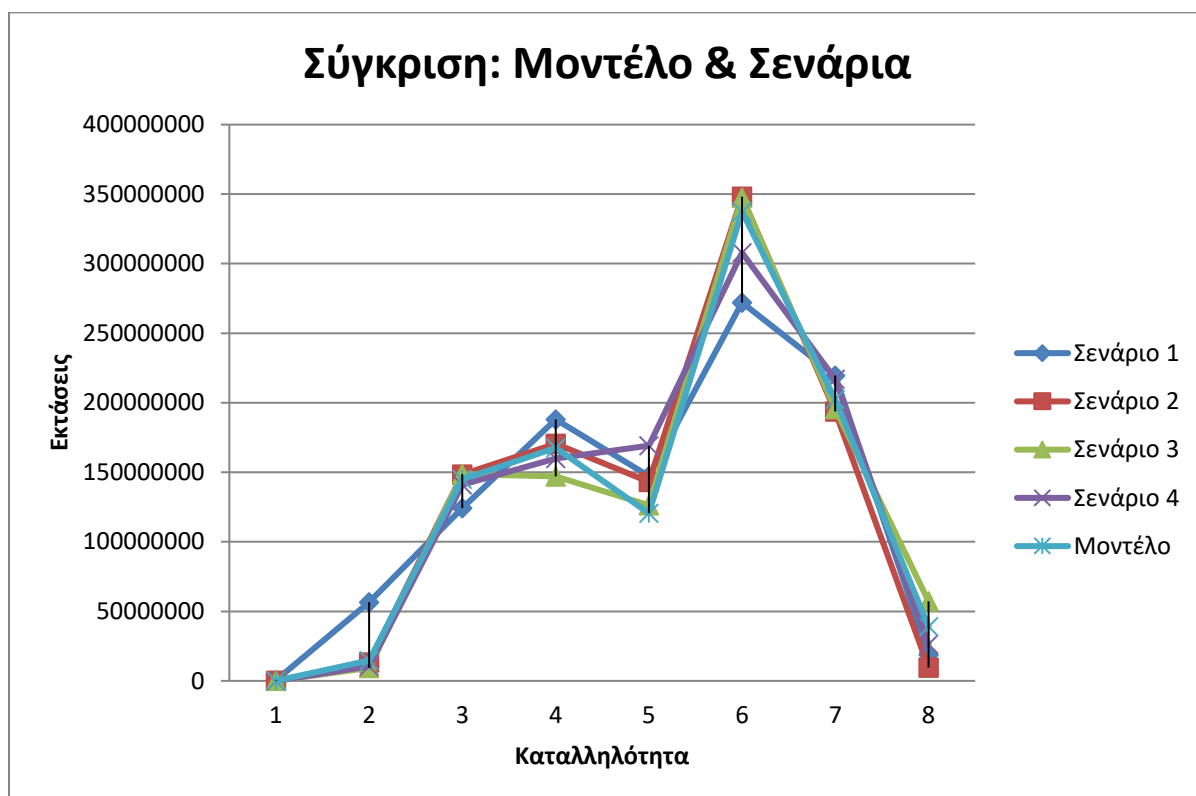
Εικόνα 5.68: Τελικός χάρτης Σενάριο 4

### 5.5.2 Σύγκριση – Αποκλίσεις

Για καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης ευαισθησίας ακολουθούν πίνακες και διαγράμματα ποσοτικής σύγκρισης των σεναρίων που δημιουργήθηκαν στο προηγούμενο στάδιο, με τον τελικό χάρτη της Εικόνας 5.53 (παραγόμενο μοντέλο). Προκειμένου να είναι δυνατή η πραγματοποίηση των παρακάτω συγκρίσεων, έπρεπε να είναι εφικτή η μέτρηση των εμβαδών των διαφόρων περιοχών καταλληλότητας. Για το σκοπό αυτό, πραγματοποιήθηκε μετατροπή των συγκεκριμένων raster δεδομένων σε ακέραια (integer) μορφή. Η μετατροπή αυτή έγινε με τη βοήθεια της εντολής int του ArcMap, αφού πρώτα όμως πολλαπλασιάστηκαν οι τιμές των επιπέδων ενδιαφέροντος με το 10, μέσω του Raster Calculator. Η τελευταία ενέργεια κρίθηκε αναγκαία λόγω της ταξινόμησης των δεδομένων στην κλίμακα 0-1 στο στάδιο της διαδικασίας AHP, καθώς στην κλίμακα αυτή οι μόνοι ακέραιοι είναι το 0 και το 1 και η χρήση της εντολής int δεν έχει ορθό αποτέλεσμα. Ουσιαστικά, τα ακέραια δεδομένα που δημιουργήθηκαν διαθέτουν πίνακα χαρακτηριστικών όπου ορίζεται ο αριθμός των κελιών που καταλαμβάνει κάθε ακέραια κατηγορία καταλληλότητας. Με τον πολλαπλασιασμό αυτών των στοιχείων με το μέγεθος του pixel (195.2888876 x 195.2888876) προκύπτουν τα εμβαδά των διαφόρων περιοχών καταλληλότητας. Δημιουργούνται δύο ειδών διαγράμματα: (1) σύγκρισης σεναρίων-μοντέλου και (2) αποκλίσεων από τις τιμές του μοντέλου. Οι πίνακες (Πίνακες 5.1\5.2) και τα διαγράμματα (Εικόνες 5.69,5.70) που δημιουργήθηκαν φαίνονται στη συνέχεια.

Πίνακας 5.1: Συγκριτικός πίνακας εκτάσεων καταλληλότητας σεναρίων – μοντέλου

Καταλληλότητα	Εκτάσεις (m <sup>2</sup> )				
	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3	Σενάριο 4	Μοντέλο
0	3258489360	3258489360	3273744460	3273744460	3258489360
1	457653	76275.5	76275.5	0	76275.5
2	56634558.8	13386350.25	9343748.75	10602294.5	14759309.25
3	124252790	148470260.8	148584674	140957124	144961587.8
4	188057245	170437604.8	147021026.3	159835310.3	167615411.3
5	147249853	143169113.5	126312228	169064645.8	120515290
6	272074709	348159519.8	347587453.5	307886055.8	337442812
7	219597165	193739770	195532244.3	217080073	202587728
8	18763773	9648850.75	57359176	26391323	39129331.5



Εικόνα 5.69: Συγκριτικό διάγραμμα εκτάσεων καταλληλότητας σεναρίων – μοντέλου

Πίνακας 5.2: Πίνακας αποκλίσεων εκτάσεων καταλληλότητας σεναρίων – μοντέλου

Καταλληλότητα	Αποκλίσεις (m <sup>2</sup> )			
	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3	Σενάριο 4
0	0	0	-15255100	-15255100
1	-381377.5	0	0	76275.5
2	-41875249.5	1372959	5415560.5	4157014.75
3	20708798.25	-3508673	-3623086.25	4004463.75
4	-20441834	-2822193.5	20594385	7780101
5	-26734562.75	-22653823.5	-5796938	-48549355.75
6	65368103.5	-10716707.75	-10144641.5	29556756.25
7	-17009436.5	8847958	7055483.75	-14492345
8	20365558.5	29480480.75	-18229844.5	12738008.5



Εικόνα 5.70: Διάγραμμα αποκλίσεων εκτάσεων καταλληλότητας από το μοντέλο

Σύμφωνα με τα παραπάνω διακρίνουμε ότι μεγαλύτερη απόκλιση από το μοντέλο έχει το Σενάριο 1, ενώ επίσης μεγάλη απόκλιση παρουσιάζει και το Σενάριο 4, ιδιαίτερα για τις περισσότερο κατάλληλες περιοχές. Απ' την άλλη τα Σενάρια 2 και 3 δεν παρουσιάζουν μεγάλες αποκλίσεις, με πιο κοντά στο μοντέλο να είναι το Σενάριο 3. Η μεγαλύτερη απόκλιση συναντάται στο Σενάριο 1 και για τιμή καταλληλότητας 6. Η διαφορά σε ποσοστό έκτασης της τιμής αυτής σε σύγκριση με το αντίστοιχο ποσοστό του μοντέλου είναι της τάξεως του 1.53 %. Δεν αποτελεί σημαντική απόκλιση με αποτέλεσμα το μοντέλο να χαρακτηρίζεται ως σταθερό.

## 5.6 Τελική επιλογή θέσης

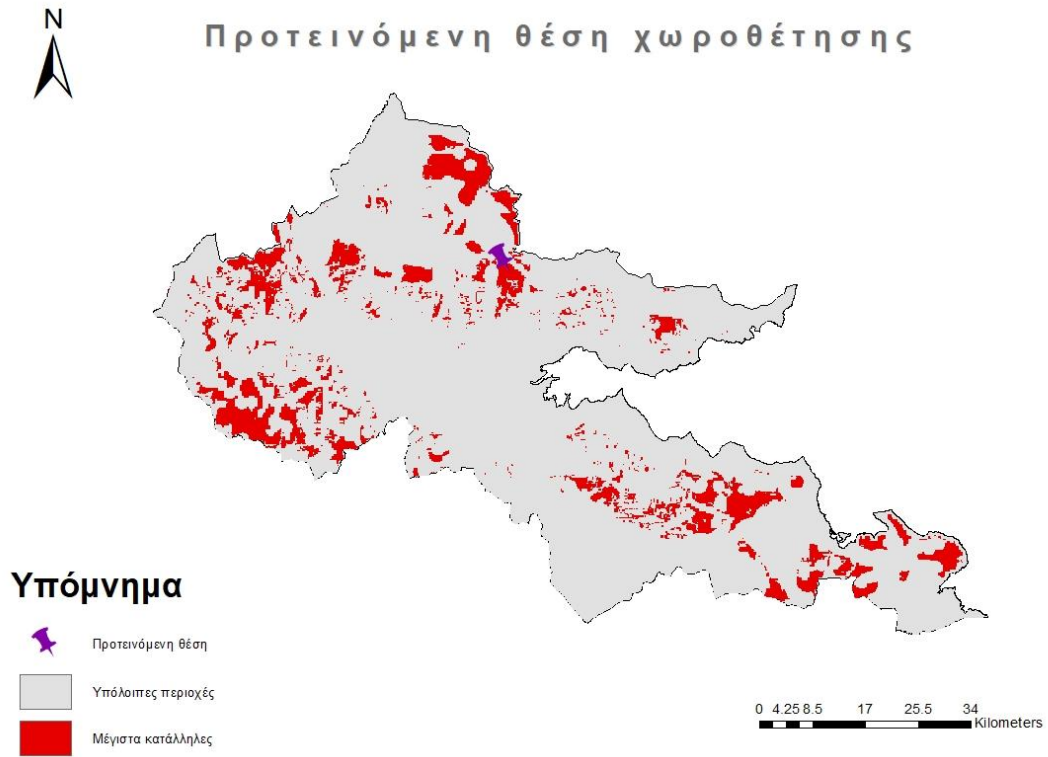
Για την τελική επιλογή καταλληλότερης θέσης χωροθέτησης, βασική προϋπόθεση αποτελεί να είναι επαρκής η έκταση της επιλεγόμενης περιοχής. Για το σκοπό αυτό υπολογίστηκαν οι απαιτούμενες εκτάσεις για ΜΕΑ και ΧΥΤΥ, σύμφωνα με το συνολικό

αριθμό απορριμμάτων (ΑΣΑ και ιλύς) που παράγονται ετησίως. Συγκεκριμένα, για την Π.Ε Φθιώτιδος, με πληθυσμό που σήμερα υπολογίζεται περίπου στους 160.000 κατοίκους και με μέση ημερήσια παραγωγή απορριμμάτων 1.1 kg/κάτοικο, προσδιορίζεται αρχικά η απαιτούμενη έκταση ΧΥΤΑ, για χρονικό άξονα λειτουργίας 15 έτη και με 0.05 αύξηση του πληθυσμού το χρόνο. Η ετήσια μάζα (M) παραγόμενων ΑΣΑ υπολογίζεται σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:  $M = 365 \times (\text{Πληθυσμός Έτους}) \times 1.1 (\text{kg})$  και για μία μέση πυκνότητα στο ΧΥΤΥ μετά από συμπίεση ίση με  $\rho = 600 (\text{kg/m}^3)$  προκύπτει ο όγκος απορριμμάτων από τον τύπο:  $V = M/\rho$ .

Λαμβάνοντας υπόψη την προαναφερόμενη αύξηση (5%) του πληθυσμού για κάθε χρόνο ενδιαφέροντος, προέκυψε ο συνολικός όγκος (15ετίας) απορριμμάτων στην Π.Ε ίσος με  $V = 2.310.345 \text{ m}^3$ . Όσον αφορά την ετήσια ποσότητα ιλύος που παράγεται στην περιοχή, ανέρχεται σε 6.160 tn/year (ΠΕΣΔΑ ΠΣΤΕΛΛ, 2016), δηλαδή κάνουμε λόγο για 92.400 tn σε 15 έτη, άρα για  $V = 154.000 \text{ m}^3$ . Στην περίπτωση που η μελέτη μας αφορούσε ΧΥΤΑ κατά προσέγγιση, η μέση επιφάνεια, θεωρώντας ένα μέσο βάθος 8 m κάτω από την επιφάνεια του εδάφους και μέσο ύψος 10 m πάνω από την επιφάνεια του εδάφους των απορριμμάτων (18 m συνολικά) και διαιρώντας με το συνολικό όγκο  $V = 2.310.345 + 154.000 = 2.464.345 \text{ m}^3$ , θα ήταν περίπου ίση με 140 στρέμματα (Κομίλης, 2012).

Όπως προϋποθέτει ο Εθνικός Σχεδιασμός το 30% του συνόλου των αποβλήτων καταλήγουν στο ΧΥΤΥ. Έτσι, όγκοι  $V_1 = 693.104 \text{ m}^3$  ΑΣΑ και  $V_2 = 46.200 \text{ m}^3$  Ιλύς αποτελούν τις ποσότητες διάθεσης και σύμφωνα με την προαναφερόμενη προσεγγιστική διαδικασία για συνολικό όγκο  $V = V_1 + V_2 = 739.304 \text{ m}^3$  προκύπτει μια μέση απαιτούμενη επιφάνεια ίση με: 41.1 στρέμματα. Την ίδια στιγμή, όσον αφορά την αναγκαία έκταση για κατασκευή ΜΕΑ και με βάση την προμελέτη για τη ΜΕΑ Θήβας αλλά και άλλα παραδείγματα εγκατάστασης μονάδων, προκύπτει ότι τα υπόλοιπα 98.9 στρέμματα επαρκούν για την κατασκευή των απαιτούμενων εγκαταστάσεων.

Παράλληλα, παρατηρείται ότι συγκεκριμένη μέγιστα κατάλληλη έκταση πλεονεκτεί καθώς βρίσκεται κοντά στην έδρα της Π.Ε, τη Λαμία, αλλά και πλησίον του υπάρχοντος ΧΥΤΑ, ο οποίος θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε αρχικό στάδιο λειτουργίας της ΜΕΑ ως ΧΥΤΥ για διευκόλυνση και περιορισμό επιπλέον εξόδων. Επιλέγεται λοιπόν η συγκεκριμένη περιοχή η οποία επισημαίνεται παρακάτω στην Εικόνα 5.71.



Εικόνα 5.71: Προτεινόμενη θέση εγκατάστασης ΟΕΔΑ

## Κεφάλαιο 6: Γενικά συμπεράσματα και προεκτάσεις

### 6.1 Σύνοψη

Η παρούσα διπλωματική πραγματεύεται την ανάπτυξη μεθοδολογίας για τη βέλτιστη χωροθέτηση ΟΕΔΑ στην Π.Ε. Φθιώτιδος, με χρήση μεθόδων GIS. Ειδικότερα, η μεθοδολογία βασίστηκε στην πολυκριτηριακή ανάλυση, με συνδυασμό των μεθόδων απλής χαρτογραφικής υπέρθεσης και Αναλυτικής Ιεράρχησης (AHP), κάνοντας χρήση ικανού αριθμού κριτηρίων. Αυτά αφορούν τόσο κριτήρια αποκλεισμού (περιορισμούς), όσο και καταλληλότητας (παράγοντες). Η απλή χαρτογραφική υπέρθεση είναι απλή λειτουργία, που δεν περιλαμβάνει προσθήκη βαρών και χρησιμοποιήθηκε κατά την επεξεργασία των περιορισμών. Απ' την άλλη, η διαδικασία αναλυτικής ιεράρχησης είναι πιο σύνθετη και περιλαμβάνει και υπολογισμό βαρών. Ο συνδυασμός των αποτελεσμάτων εφαρμογής των παραπάνω καταλήγει στις προτεινόμενες θέσεις χωροθέτησης κατατάσσοντας τις διάφορες περιοχές της Π.Ε. σε κάποια κατηγορία καταλληλότητας. Επιπλέον, προκειμένου να εξεταστεί ποια βάρη είναι καθοριστικά στη χωροθέτηση, έγινε ανάλυση ευαισθησίας για μεταβολή  $\pm 5\%$  σε επιλεγμένα κριτήρια. Οι προτεινόμενες θέσεις τελικά απεικονίζονται στο περιβάλλον του ArcGIS / ArcMap.

### 6.2 Συμπεράσματα

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθούμε στα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα διπλωματική εργασία, τα οποία είναι:

- Η επιλογή των κριτηρίων χωροθέτησης είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς αυτά είναι υπεύθυνα για το τελικό αποτέλεσμα. Θα πρέπει, λοιπόν, να επιλέγονται προσεκτικά και να είναι σύμφωνα με τις ισχύουσες νομοθετικές διατάξεις.

- Η απόδοση τιμής σημαντικότητας κατά τη σύγκριση ζευγών κριτηρίων παίζει επίσης ουσιαστικό ρόλο στην εξαγωγή των βαρών, καθώς τα τελευταία επηρεάζονται άμεσα από τις τιμές που δίνει ο υπεύθυνος λήψης αποφάσεων. Σε αυτό το πλαίσιο, γίνεται εύκολα κατανοητό ότι χρειάζεται εμπειρία και ορθή κρίση.
- Η μεταβολή του βάρους ενός κριτηρίου για κάποιο ποσοστό σε σχέση με τα υπόλοιπα κριτήρια κατά την ανάλυση ευαισθησίας, είναι αρκετά καθοριστική. Αν το κριτήριο αυτό είναι το πιο ευαίσθητο, τότε μπορεί να προκύψουν εντελώς διαφορετικές θέσεις χωροθέτησης και κατ' επέκταση να κάνουμε λόγο για αποκλίσεις σημαντικές, που καθιστούν το μοντέλο ασταθές.
- Η επιλογή χρήσης ασαφούς λογικής κατά την επεξεργασία των παραγόντων με τη μέθοδο της Αναλυτικής Ιεράρχησης είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς σχετίζεται με τη φυσική σημασία της κάθε μεταβλητής.
- Σε ευρύτερο πλαίσιο η βέλτιστη χωροθέτηση εγκαταστάσεων διαχείρισης απορριμμάτων αποτελεί ζήτημα βιωσιμότητας, γι' αυτό και δε θα πρέπει σε καμία περίπτωση να υποβαθμίζει τη ζωή και την ποιότητά της.
- Υπάρχουν αρκετές εναλλακτικές επιλογές καθώς σύμφωνα με τα όσα υπολογίστηκαν, διακρίνεται σημαντικός αριθμός κατάλληλων θέσεων χωροθέτησης, αλλά και ικανοποιητικός αριθμός μέγιστα κατάλληλων.
- Η τελική επιλογή της προτεινόμενης θέσης λαμβάνει υπόψη επιπλέον παραμέτρους οι οποίοι σχετίζονται κατά βάση με χαρακτηριστικά της εγγύτερης περιοχής των μέγιστα κατάλληλα θέσεων, τα οποία διευκολύνουν κυρίως από οικονομική και χωροταξική άποψη.
- Είναι αναγκαίο να σημειωθεί ότι η συγκεκριμένη εργασία βασίζεται καθαρά σε επιστημονικά στοιχεία για την περιοχή μελέτης. Ως αποτέλεσμα, δεν είναι



λίγες οι φορές που έρχεται σε διαφωνία με πολιτικές αποφάσεις ή τη κοινή γνώμη.

- Τα οικονομικά στοιχεία έχουν σημαντική θέση σε μια τέτοιου είδους χωροθέτηση γι' αυτό και θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και να μελετώνται.

### 6.3 Προεκτάσεις

Κατά τη διαδικασία διεκπεραίωσης της εργασίας παράχθηκε πληθώρα δεδομένων τα οποία μπορούν να συμβάλλουν σε άλλες εργασίες και έρευνα. Ειδικότερα, στη συνέχεια αναλύονται κάποιες πιθανές προεκτάσεις.

- Το υλικό που συλλέχθηκε και τα κριτήρια που δημιουργήθηκαν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δεδομένα για άλλες μελέτες σχετικές με την περιοχή αναφοράς (π.χ. υδρολογικές, περιβαλλοντικές, χωροταξικές).
- Η διαδικασία χωροθέτησης, με το συγκεκριμένο συνδυασμό μεθόδων, μπορεί να αποτελέσει βάση για εργασίες/ μελέτες αντιστοίχου περιεχομένου, καθώς ακόμα και για μελέτες λήψης αποφάσεων σχετικές με άλλα προβλήματα του γεωγραφικού χώρου που χρειάζεται να επιλυθούν.
- Τα αποτελέσματα που προέκυψαν θα μπορούσαν να επεκταθούν σε μια μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων, η οποία αποτελεί το επόμενο και εξίσου σημαντικό στάδιο της διαχείρισης απορριμμάτων.
- Θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί διερεύνηση για εισαγωγή πρόσθετων κριτηρίων χωροθέτησης για τη βελτίωση της διαδικασίας και την εξειδίκευση των επιλογών. Τέτοια κριτήρια μπορεί να είναι: Το βάθος των υπογείων υδροφορέων, η επιτάχυνση του εδάφους, ο δείκτης βλάστησης (NDVI) κ.α.
- Προτείνεται αναλυτικότερη ανάλυση ευαισθησίας των κριτηρίων σχεδιασμού για μια πιο ολοκληρωμένη διερεύνηση της σταθερότητας του μοντέλου που δημιουργήθηκε.

- Τέλος, συνίσταται η διερεύνηση και εφαρμογή και άλλων μεθόδων ταξινόμησης και η σύγκριση των αποτελεσμάτων με αυτά της διαδικασίας αναλυτικής ιεράρχησης για μια πιο ολοκληρωμένη και αντικειμενική προσέγγιση.

## Βιβλιογραφικές αναφορές

### Ελληνική

Κούγκολος Αθ., 2018. *Περιβαλλοντική Μηχανική | Ρύπανση και προστασία του περιβάλλοντος* Εκδόσεις Τζιόλα, Αθήνα

ΠΕΣΔΑ ΠΣΤΕΛΛ, 2016. *Περιφερειακό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων (ΠΕΣΔΑ) Περιφέρειας Στερεάς Ελλάδας*

Χαλκιάς Χ, 2015. *Γεωγραφική Ανάλυση με την αξιοποίηση της Γεωπληροφορικής / Εφαρμοσμένα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών*, 157 σελίδες, Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα, Αθήνα 2015

Θεοχάρη Α., 2018. *Ανάπτυξη μεθοδολογίας βέλτιστης χωροθέτησης δικτύου υδρομετρικών σταθμών στην Αττική με χρήση μεθόδων GIS*, Μεταπτυχιακή εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα 2018

Τσερώνης Κ., 2011. *Βέλτιστη χωροθέτηση μονάδας επεξεργασίας στερεών αστικών αποβλήτων σε συνδυασμό με το χώρο υγειονομικής ταφής υπολειμμάτων*, Μεταπτυχιακή εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα 2011

Παρασκευόπουλος Κ., 2008. *Υλοποίηση πολυκριτηριακής μεθόδου ΑΗΡ*, Διπλωματική εργασία, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη 2008

Κομίλης Δ., 2012. *ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΧΩΡΩΝ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΤΑΦΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ*, ΔΠΘ, Ξάνθη 2012

Τεχνική Προμελέτη, ΜΕΑ Θήβας. *Μελέτες ωρίμανσης μονάδας επεξεργασίας απορριμμάτων (ΜΕΑ) 2<sup>ης</sup> Δ.Ε Νομού Βοιωτίας*

## Ξενόγλωσση

Gemitzi A., Tsihrintzis V., Voudrias E., Petalas C., 2006. *Combining geographic information system, multicriteria evaluation techniques and fuzzy logic in siting MSW landfills*

Malczewski J. and Rinner C., 2015. *Multicriteria Decision Analysis in Geographic Information Science*. Springer (DOI 10.1007/978-3-540-74757-4-4)

Saaty T.L., 1977. *A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures*. J Math Psychol, 15, pp. 234–281, 2018

Saaty T.L., 1980. *The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resources allocation*. McGraw, New York

Mahdieh Saadat Foomani, Saeed Karimi, Hamidreza Jafari, Zahra Ghorbaninia, 2017. *Using boolean and fuzzy logic combined with analytic hierarchy process for hazardous waste landfill site selection: A case study from Hormozgan province, Iran*

Rikalovic A., Cosic I., Lazarevic D., 2013. *GIS Based Multi-Criteria Analysis for Industrial Site Selection*

Shahmoradi B., Isalou A., 2013. *Site selection for wastewater treatment plant using integrated fuzzy logic and multicriteria decision model: A case study in Kahak district*

Chabuk A., Al-Ansari N., Musa H., Knutsson S., Pusch P., 2017. *GIS-based assessment of combined AHP and SAW methods for selecting suitable sites for landfill in Al-Musayjab Qadhaa, Babylon, Iraq*

## Διαδικτυακοί ιστότοποι

Ιστοσελίδα Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας

<http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=607&language=el-GR>

Κεντρικός κατάλογος δημοσίων δεδομένων

[http://www.data.gov.gr/dataset?res\\_format=SHP](http://www.data.gov.gr/dataset?res_format=SHP)

Ιστοσελίδα Ινστιτούτου Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών

<http://www.igme.gr/geoportal/>

Ιστοσελίδα λογισμικού ArcGIS

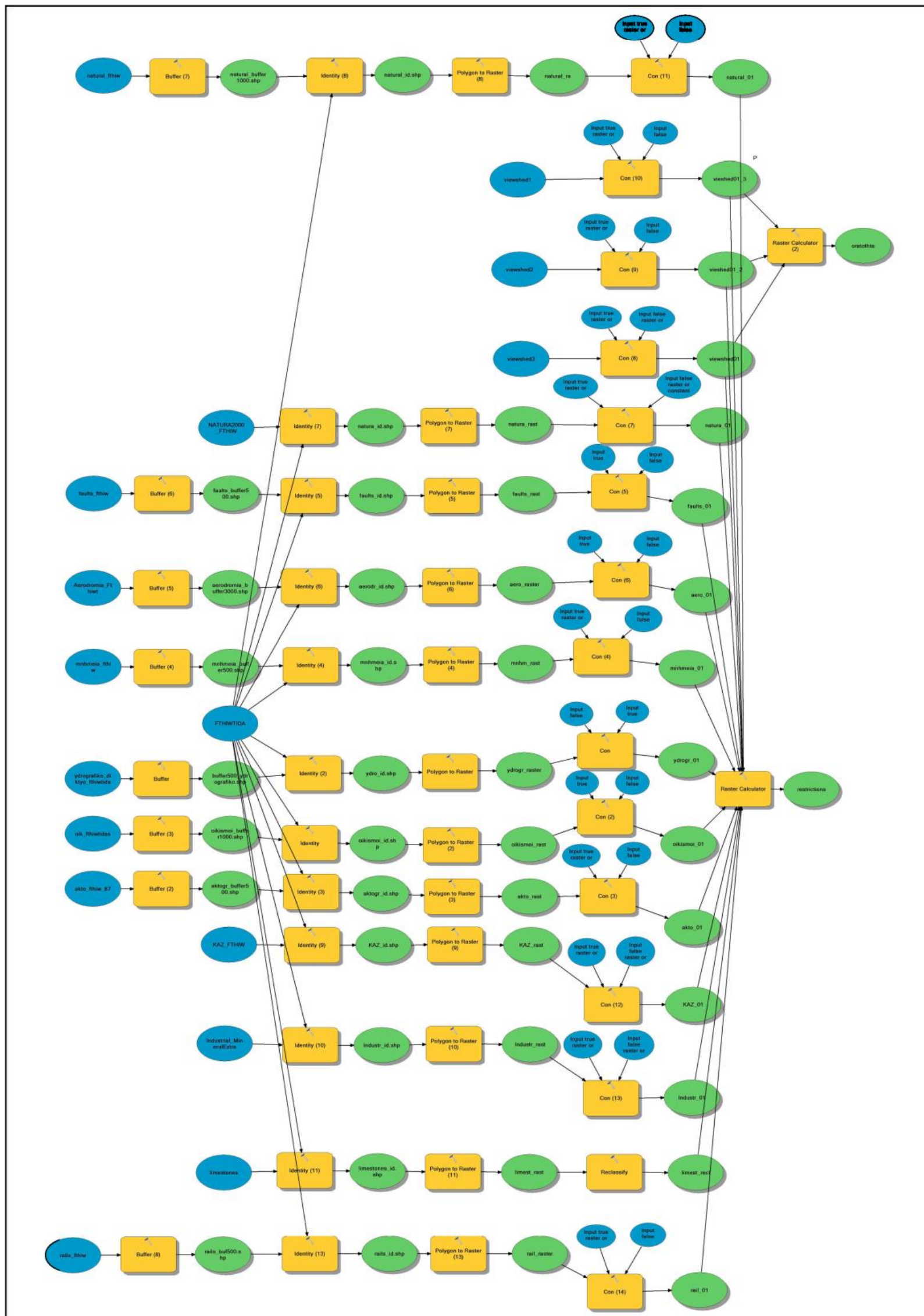
<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-fuzzy-membership-works.htm>

Εθνικός κατάλογος ανοιχτών δεδομένων

<http://geodata.gov.gr/>

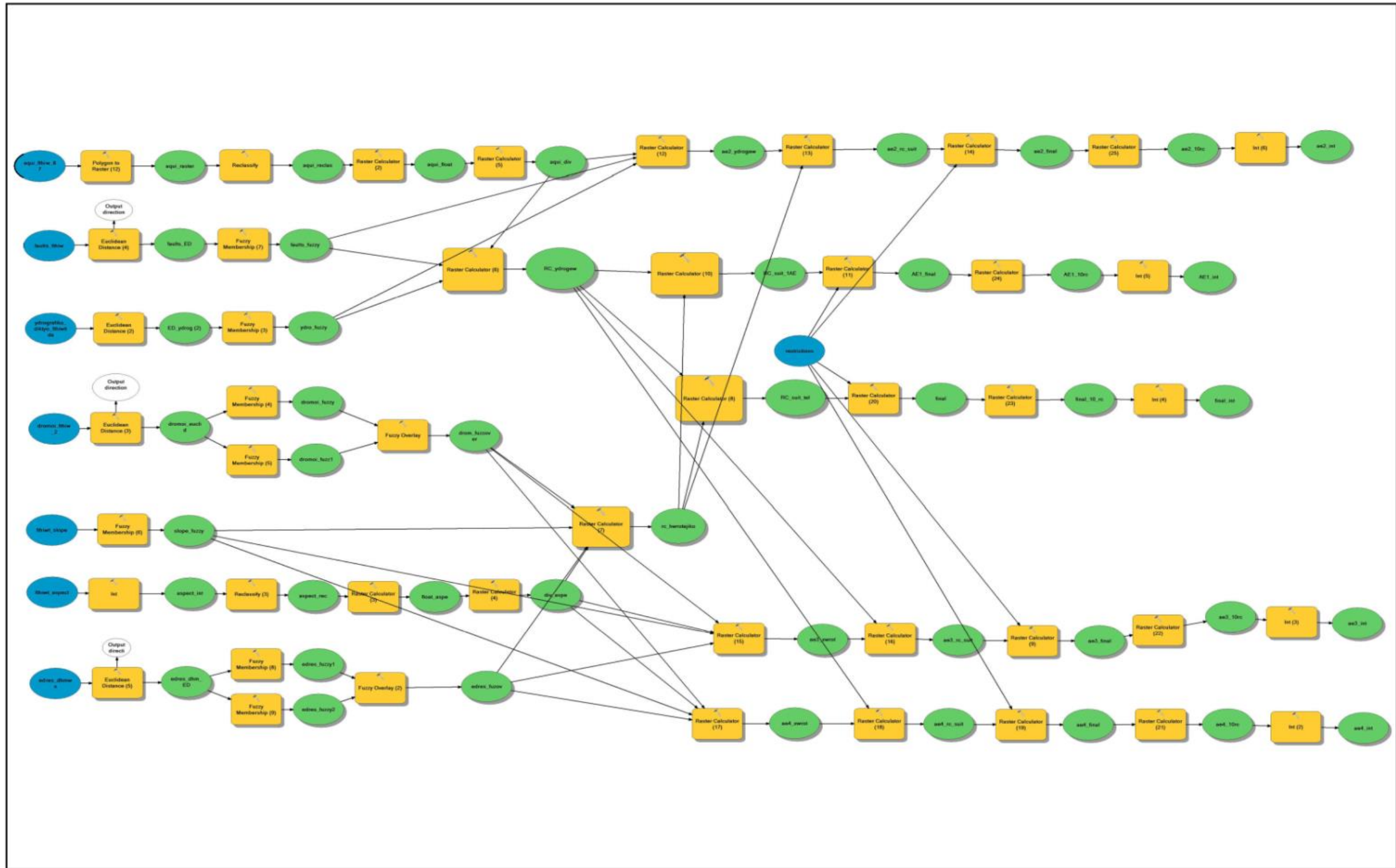
Ιστοσελίδα γερμανικού Ομοσπονδιακού Ινστιτούτου Γεωεπιστημών και Φυσικών Πόρων BGR

[https://www.bgr.bund.de/EN/Themen/Wasser/Projekte/laufend/Beratung/Ihme1500/ihme1500\\_projektbeschr\\_en.html](https://www.bgr.bund.de/EN/Themen/Wasser/Projekte/laufend/Beratung/Ihme1500/ihme1500_projektbeschr_en.html)



Restriction\_Model

Εικόνα 1: Μοντέλο αποκλεισμού



Suitability\_Model

Εικόνα 2: Μοντέλο καταλληλότητας