



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
– ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ**

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΓΓΕΙΟΒΕΛΤΙΩΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΚΑΙ
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ**

Βέλτιστη χωροθέτηση ΧΥΤΑ στην Π.Ε. Λακωνίας με χρήση GIS και προϋπολογισμός κόστους κατασκευής

ΚΑΚΡΙΑΩΝΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:

ΤΣΙΧΡΙΝΤΖΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΣΑΤΜ-ΜΓ ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2022

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της Διπλωματικής μου εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Τσιχριντζή για την καθοδήγηση που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια της διεκπεραίωσης της εργασίας αυτής, σε μια περίοδο ιδιαίτερα δύσκολη όπου η δια ζώσης επικοινωνία κατέστη σχεδόν αδύνατη λόγω της πανδημίας του ιού SARS-CoV-2, καθώς και για τις γνώσεις που μου μετέδωσε κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τα υπόλοιπα μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής, τον Αν. Καθηγητή κ. Ναλμπάντη Ιωάννη και την Καθηγήτρια κ. Παπαδοπούλου Μαρία, για όλες τις γνώσεις που μου προσέφεραν στα χρόνια φοίτησής μου στην σχολή αυτή.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της οικογένειάς μου, την μητέρα μου και την θεία μου, που με στήριξαν και πίστεψαν σε μένα.

Πίνακας περιεχομένων

Κατάλογος εικόνων.....	7
Κατάλογος πινάκων	9
Περίληψη	11
Abstract.....	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	15
1.1 Γενικά.....	15
1.2 Αντικείμενο εργασίας	15
1.3 Διάρθρωση εργασίας.....	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	17
2.1 Απορρίματα/Υγειονομική ταφή.....	17
2.2 Τρόποι υγειονομικής ταφής απορριμμάτων	17
2.2.2 Διάθεση με συμπίεση.....	18
2.2.3 Διάθεση μετά από θραύση	18
2.2.4 Κατόρυξη σε μπάλες.....	19
2.2.5 Εξόρυξη παλιών απορριμμάτων	19
2.2.6 Αποθήκευση σε κτίριο από μπετόν.....	20
2.2.7 Κομποστοποίηση επί τόπου στο χώρο διάθεσης	20
2.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της υγειονομικής ταφής	20
2.4 Πρόγραμμα εκμετάλλευσης ΧΥΤΑ.....	21
2.5 Ημερήσιο κύτταρο	21
2.6 Γεωμετρία του ημερήσιου κυττάρου	22
2.7 Τεχνική υποδομή ενός ΧΥΤΑ	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	25
3.1 Γενικά στοιχεία	25
3.2 Εδαφικά και γεωμορφολογικά στοιχεία Λακωνίας	27
3.2.1 Ανάγλυφο/Ψηφιακό μοντέλο εδάφους	30
3.2.2: Γεωλογικά χαρακτηριστικά	34
3.3: Χρήσεις γης	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	37
4.1 Η πολυκριτηριακή ανάλυση.....	37
4.2 Η πολυκριτηριακή ανάλυση στα GIS	37
4.3 Διεργασίες GIS	38
4.3.1 Διεργασίες κριτηρίου αποκλεισμού.....	39
4.3.2 Διεργασίες κριτηρίου καταλληλότητας	39

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	41
5.1 Κριτήρια αποκλεισμού.....	41
5.2 Κριτήρια Καταλληλότητας	51
5.2.1 Υδρολογικό-Υδρογεωλογικό-Γεωλογικό κριτήριο	51
5.2.2 Χωροταξικό κριτήριο.....	57
5.3 Συνολικό Κριτήριο Καταλληλότητας	66
5.4 Τελικός Χάρτης.....	67
Κεφάλαιο 6: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ/ΠΡΟΫΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ.....	71
6.1 Υπολογισμός παραγόμενων απορριμμάτων	71
6.2 Βασικά χαρακτηριστικά ΧΥΤΑ.....	72
6.2.1 Πρόγραμμα εκμετάλλευσης.....	72
6.2.2 Εκσκαφές	73
6.2.3 Μονώσεις.....	73
6.3 Υπολογισμός όγκων συναρτήσει βάσης	73
6.4 Ημερήσια Δυναμικότητα	76
6.5 Υπολογισμός διαστάσεων βασικών χαρακτηριστικών	78
6.5.1 Όγκος εκσκαφών.....	78
6.5.2 Εμβαδόν μόνωσης.....	78
6.5.3 Διαστασιολόγηση ζώνης αποστράγγισης	80
6.5.4 Έκτασης χωροθέτησης.....	82
6.5.5 Εμβαδόν χωματουργικών ζώνης πυροπροστασίας και περιμετρικού δρόμου	83
6.5.6 Περίμετρος περίφραξης	84
6.8 Κοστολόγηση.....	85
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	89
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	91
Ελληνική:	91
Ξενόγλωσση:.....	91
Ιστοσελίδες από όπου αντλήθηκαν τα απαραίτητα χωρικά δεδομένα:	92

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 2.1: Γεωμετρία Ημερήσιου Κυττάρου (Panagiotakopoulos, 2001)	22
Εικόνα 3.1: Η Π.Ε. Λακωνίας.....	25
Εικόνα 3.2: Οι δήμοι της Π.Ε Λακωνίας	26
Εικόνα 3.3: Υδρολογικό δίκτυο Λακωνίας.....	28
Εικόνα 3.4: Τύποι υπόγειων υδροφορέων	29
Εικόνα 3.5: DEM Λακωνίας.....	30
Εικόνα 3.6: Χάρτης φωτοσκίασης	31
Εικόνα 3.7: Υπολογισμός κλίσεων από υψομετρική πληροφορία	32
Εικόνα 3.8: Χάρτης Κλίσεων.....	32
Εικόνα 3.9: Χάρτης Προσανατολισμού.....	33
Εικόνα 3.10: Χάρτης Πετρωμάτων.....	34
Εικόνα 3.11: Κάλυψη Γης CLC 2018.....	35
Εικόνα 5.1: Buffer 500m στα ποτάμια	41
Εικόνα 5.2: Αποκλεισμός ακατάλληλων πετρωμάτων	42
Εικόνα 5.3: Αποκλεισμός περιοχών πλησίον της ακτογραμμής.....	43
Εικόνα 5.4: Αποκλεισμός περιοχών Natura.....	44
Εικόνα 5.5: Αποκλεισμός καταφυγίων άγριων ζώων	45
Εικόνα 5.6: Αποκλεισμός περιοχών πλησίον οικισμών	46
Εικόνα 5.7: Αποκλεισμός περιοχών ορατές από μνημεία	47
Εικόνα 5.8: Αποκλεισμός περιοχών πλησίον μνημείων	47
Εικόνα 5.9: Αποκλεισμός περιοχών πλησίον πρωτεύοντος οδικού δικτύου	48
Εικόνα 5.10: Αποκλεισμός περιοχής κοντά στο αεροδρόμιο	49
Εικόνα 5.11: Χάρτης αποκλεισμού.....	50
Εικόνα 5.12: Καταλληλότητα βάσει απόστασης από το υδρογραφικό δίκτυο.....	52
Εικόνα 5.13: Καταλληλότητα βάσει απόστασης από ρήγμα.....	53
Εικόνα 5.14: Χάρτης υδροφορέων	54
Εικόνα 5.15: Καταλληλότητα βάσει υδροφορέων.....	55
Εικόνα 5.16: Ο τύπος υπολογισμού του Υδρολογικού-Υδρογεωλογικού-Γεωλογικού κριτηρίου στο raster calculator	56
Εικόνα 5.17: Χάρτης Υδρολογικού-Υδρογεωλογικού-Γεωλογικού κριτηρίου.....	57
Εικόνα 5.18: Καταλληλότητα κλίσεων εδάφους	58
Εικόνα 5.19: Καταλληλότητα βάσει προσβασιμότητας	59
Εικόνα 5.20: Ανεμολόγιο (Πηγή: https://www.meteoblue.com).....	60
Εικόνα 5.21: Καταλληλότητα προσανατολισμού εδάφους	61
Εικόνα 5.22: Καταλληλότητα χρήσεων γης	62
Εικόνα 5.23: Καταλληλότητα βάσει απόστασης από έδρες δήμων.....	63
Εικόνα 5.24: Ο τύπος υπολογισμού του Χωροταξικού κριτηρίου στο raster calculator	65
Εικόνα 5.25: Χάρτης καταλληλότητας βάσει το Χωροταξικό κριτήριο	66
Εικόνα 5.26: Χάρτης Κατάλληλων περιοχών.....	67
Εικόνα 5.27: Τελικός συνδυαστικός χάρτης με τελική επιλογή τοποθεσίας.....	68
Εικόνα 5.28:Εικόνα υψηλής ακρίβειας περιοχής που επιλέχθηκε για τη χωροθέτηση του ΧΥΤΑ.....	69
Εικόνα 6.1: Διάγραμμα ωφέλιμου όγκου συναρτήσει πλευρά X	75
Εικόνα 6.2: Διάγραμμα όγκου εξ. Κάλυψης συναρτήσει πλευράς X.....	76

Εικόνα 6.3: Διάγραμμα όγκου εκσκαφών συναρτήσει πλευράς X.....	78
Εικόνα 6.4: Διάγραμμα εμβαδού μόνωσης συναρτήσει πλευράς X.....	80
Εικόνα 6.5: Διάγραμμα όγκου άμμου συναρτήσει πλευράς X.....	81
Εικόνα 6.6: Διάγραμμα όγκου αμμοχάλικου συναρτήσει πλευράς X.....	81
Εικόνα 6.7: Διάγραμμα μήκους αγωγών συναρτήσει πλευράς X.....	82
Εικόνα 6.8: Διάγραμμα εμβαδού συναρτήσει πλευράς X.....	83
Εικόνα 6.9: Εμβαδόν χωματουργικών συναρτήσει πλευράς X.....	84
Εικόνα 6.10: Διάγραμμα περιμέτρου περίφραξης συναρτήσει πλευράς X.....	85
Εικόνα 6.11: Διάγραμμα κόστους κατασκευής σε 10^6 € ως προς την ετήσια δυναμικότητα για το έτος 2003.....	86
Εικόνα 6.12: Διάγραμμα κόστους κατασκευής σε 10^6 € ως προς την ετήσια δυναμικότητα για το έτος 2021.....	87

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 2.1: Τυπικές παράμετροι ημερήσιου κύτταρου (Panagiotakopoulos et al., 2001)	22
Πίνακας 3.1: Δήμοι Π.Ε. Λακωνία και οι έδρες τους.....	26
Πίνακας 4.1: Κριτήρια της πολυκριτηριακής ανάλυσης	38
Πίνακας 4.2: Κλίμακα βαθμολόγησης AHP.....	40
Πίνακας 5.1: Υποκριτήρια καταλληλότητας και οι συνιστώσες τους.....	51
Πίνακας 5.2: Σύγκριση συνιστωσών Υδρολογικού-Υδρογεωλογικού-Γεωλογικού κριτηρίου.....	56
Πίνακας 5.3: Βαθμολόγηση συνιστωσών Υδρολογικού-Υδρογεωλογικού-Γεωλογικού κριτηρίου σύμφωνα με την AHP	56
Πίνακας 5.4: Σύγκριση συνιστωσών χωροταξικού κριτηρίου.....	64
Πίνακας 5.5: Βαθμολόγηση συνιστωσών Χωροταξικού κριτηρίου σύμφωνα με την AHP.....	64
Πίνακας 6.1: Πληθυσμός σύμφωνα με τις απογραφές (ΕΛΣΤΑΤ 1999, 2001, 2011)	71
Πίνακας 6.2: Εκτίμηση πληθυσμού και παραγωγής ΑΣΑ σε kg.....	71
Πίνακας 6.3: Ωφέλιμος όγκος ως προς την πλευρά της βάσης	75
Πίνακας 6.4: Όγκος εξωτερικής κάλυψης ως προς την πλευρά της βάσης.....	76
Πίνακας 6.5: Ημερήσια δυναμικότητα συναρτήσει της πλευράς X	77
Πίνακας 6.6: Ζητούμενοι όγκοι ωφέλιμος και εξωτερικής κάλυψης	77
Πίνακας 6.7 Όγκος εκσκαφών συναρτήσει πλευράς X	78
Πίνακας 6.8: Εμβαδόν μόνωσης συναρτήσει πλευράς X	79
Πίνακας 6.9: Όγκος άμμου και αμμοχάλικου συναρτήσει πλευράς X.....	80
Πίνακας 6.10: Αριθμός απαιτούμενων και συνολικό απαιτούμενο μήκος αγωγών	82
Πίνακας 6.11: Εμβαδό έκτασης συναρτήσει της πλευράς X.....	83
Πίνακας 6.12: Εμβαδό χωματουργικών συναρτήσει της πλευράς X.....	83
Πίνακας 6.13: Περίμετρος περιόφραξης συναρτήσει της πλευράς X	84
Πίνακας 6.14: Ετήσια δυναμικότητα για πλευρά X	86
Πίνακας 6.15: Κόστος κατασκευής σε 10^6 € ως προς την ετήσια δυναμικότητα για το έτος 2003.....	86
Πίνακας 6.16: Κόστος κατασκευής σε 10^6 € ως προς την ετήσια δυναμικότητα για το έτος 2021.....	87

Περίληψη

Η διαχείριση απορριμμάτων στην Ελλάδα αποτελεί ένα σημαντικό περιβαλλοντικό πρόβλημα λόγω της ύπαρξης και λειτουργίας πολλών χώρων ανεξέλεγκτης διάθεσης αποβλήτων (ΧΑΔΑ) στην περιοχή, παρά τις χρηματικές ποινές που επιβλήθηκαν από το ΔΕΕ για την λειτουργία τους, όπως στο ΧΑΔΑ Ανατολικής Μάνης (ΕΣΔΑ 2020). Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύτηκε την ανάπτυξη μεθοδολογίας με σκοπό τη βέλτιστη χωροθέτηση ΧΥΤΑ στην περιφερειακή ενότητα Λακωνίας της περιφέρειας Πελοποννήσου λαμβάνοντας υπόψη περιβαλλοντικά, υδρογεωλογικά και άλλα κριτήρια. Η μεθοδολογία συνδύασε GIS με πολυκριτηριακή ανάλυση και ασαφή λογική. Η χωροθέτηση ΧΥΤΑ πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τις προδιαγραφές του Περιφερειακού Σχεδίου Διαχείρισης Αποβλήτων για την Περιφέρεια Πελοποννήσου.

Η χωροθέτηση έγινε βάσει κριτηρίων αξιολόγησης 2 κατηγοριών, αποκλεισμού και καταλληλότητας. Τα κριτήρια αποκλεισμού είναι δίτημα κριτήρια και χωρίζουν με απόλυτο τρόπο την περιοχή σε απαγορευμένες και επιτρεπόμενες περιοχές. Τα κριτήρια καταλληλότητας αντίθετα βαθμολογούν την περιοχή μελέτης ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της σε κλίμακα από το 0 ως το 10. Οι μέθοδοι επεξεργασίας που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η απλή χαρτογραφική υπέρθεση για τα κριτήρια αποκλεισμού και η διαδικασία αναλυτικής ιεράρχησης για τα κριτήρια καταλληλότητας. Οι διεργασίες αυτές διεκπεραιώθηκαν σε περιβάλλον ArcMap. Τελικό αποτέλεσμα των διαδικασιών ήταν ένας χάρτης που συνδύασε τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προηγούμενες διαδικασίες.

Επιπλέον έγινε μια εκτίμηση προϋπολογισμού του κόστους κατασκευής του εν λόγω ΧΥΤΑ με τη χρήση συναρτήσεων κόστους της μορφής $K = F(T)$, όπου K το κόστος και T η ετήσια δυναμικότητα του ΧΥΤΑ σε ton/year . Ο υπολογισμός του κόστους έγινε με βάση τη γεωμετρία του ΧΥΤΑ, το είδος της μόνωσης, τα χωματουργικά και τα αποστραγγιστικά έργα.

Λέξεις-κλειδιά:

Στερεά απορρίμματα, ΧΥΤΑ, Χωροθέτηση, πολυκριτηριακή ανάλυση, ασαφής λογική, αναλυτική ιεραρχική διαδικασία (AHP), όγκος, καμπύλη κόστους, συνάρτηση κόστους.

Abstract

Waste management in Greece, consists a major environmental issue caused by the continuing existence and operation of a plethora of illicit disposal sites in the Country, despite the fines imposed by the EU, regarding their use, like the one in East Mani Municipality, which was shut down in 2020. The present thesis aims at the development of a methodology regarding the optimum landfill sitting within the Laconia prefecture in the Peloponnese considering environmental, hydrogeological and other criteria. This methodology combined GIS with multicriteria analysis and fuzzy logic. The sitting was realized according to the specifications set by the Regional Waste Management Plan of the Peloponnese.

The sitting was done by applying two types of evaluation criteria, exclusion criteria and suitability criteria. The exclusion criteria are binary and separate the study area in an absolute way, in suitable or unsuitable areas. In contrast, suitability criteria grade the study area using a scale from 1 (unsuitable) to 10 (completely suitable). The processing methods applied were simple cartographic overlaying for the exclusion criteria and the analytical hierarchy process for the suitability criteria. All the aforementioned processes were executed using ArcMap software. The end result was a map combining all the results from the previous procedures.

In addition, there was an attempt to estimate the construction costs of the landfill, creating cost functions of the form $K = F(T)$, where K is a certain cost and T is the yearly capacity of the landfill in ton/year. The cost calculation took into account the geometry of the landfill, the type of insulation used, earthmoving works and draining installations.

Keywords:

Municipal solid waste, landfill, siting, multicriteria analysis, fuzzy logic, analytical hierarchy process, volume, cost function

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

Η διαχείριση των απορριμμάτων συνιστά ένα από τα μεγαλύτερα περιβαλλοντικά προβλήματα στην Ελλάδα, με την ύπαρξη ή και λειτουργία χώρων ανεξέλεγκτης διάθεσης αποβλήτων (ΧΑΔΑ) παρά τα πρόστιμα και την εξαμηνιαία ποινή που επιβλήθηκαν από την ΕΕ. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με το ΕΣΔΑ 2020-2030, σε όλη την επικράτεια υφίστανται 52 περιπτώσεις τέτοιων ΧΑΔΑ που συντρέχει επιβολή προστίμου, με έναν εξ αυτών να βρίσκεται εντός της Π.Ε. Λακωνίας, στον δήμο Ανατολικής Μάνης, περιοχή που έχει ανακηρυχθεί ως Natura.

Σύμφωνα με τον ΕΣΔΑ του 2020, οι στόχοι που είχαν τεθεί δεν επιτεύχθηκαν, και συγκεκριμένα υπάρχει υστέρηση στις απαιτούμενες υποδομές διαχείρισης αστικών αποβλήτων και υπολειτουργία ήδη υφιστάμενων χώρων υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) ή χώρων υγειονομικής ταφής υπολειμμάτων (ΧΥΤΥ) που είχαν φτάσει τα όρια κορεσμού τους με ανάγκη την επέκτασή τους ή την εύρεση νέων χώρων και τη δημιουργία νέων.

1.2 Αντικείμενο εργασίας

Η εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε την διαχείριση απορριμμάτων της Π.Ε Λακωνίας. Συγκεκριμένα αποτέλεσε μελέτη για χωροθέτηση νέου ΧΥΤΑ. Η επιλογή της καταλληλότερης θέσης χωροθέτησης του νέου ΧΥΤΑ πραγματοποιήθηκε με τη χρήση λογισμικού ΣΓΠ/GIS και συγκεκριμένα του ArcMap του ArcGIS. Για την διεκπεραίωση της εργασίας μελετήθηκαν το Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Απορριμμάτων καθώς και πληθώρα εργασιών στο αντικείμενο της μελέτης (π.χ., Gemitzi et al., 2006).

Η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε κατά την επεξεργασία των απαραίτητων στοιχείων ήταν η Πολυκριτηριακή Ανάλυση Αποφάσεων. Ειδικότερα, χρησιμοποιήθηκαν η απλή χαρτογραφική υπέρθεση για τον διαχωρισμό των απαγορευμένων περιοχών για χωροθέτηση της εγκατάστασης από αυτές που θεωρούνται κατάλληλες και η διαδικασία της αναλυτικής ιεράρχικης διαδικασίας (Analytic Hierarchy Process, AHP) για την βαθμολογία των θεμιτών περιοχών ανάλογα με την καταλληλότητά τους. Επιπλέον, εφαρμόστηκαν συναρτήσεις που εκτιμούν το κόστος της κατασκευής του ΧΥΤΑ ανάλογα με την ημερήσια ποσότητα απορριμμάτων που δέχεται.

Κατά την εκτέλεση και σύνταξη της εργασίας αυτής ανακοινώθηκε έργο κατασκευής ΟΕΔΑ στην Πελοπόννησο, με 3 νέες Μονάδες Επεξεργασίας Απορριμμάτων (ΜΕΑ) και ισάριθμους Χώρους Υγειονομικής Ταφής Υπολειμμάτων (ΧΥΤΥ), με σκοπό την καταπολέμηση των ΧΑΔΑ και της έλλειψης οργάνωσης της διαχείρισης των απορριμμάτων. Σχετικά με Συστήματα Εναλλακτικής Διαχείρισης, στην Περιφέρεια Πελοποννήσου δραστηριοποιήθηκαν δύο, όμως δεν έχει επιτευχθεί προς το παρόν συνεργασία με τους ΟΤΑ.

1.3 Διάρθρωση εργασίας

Η παρούσα εργασία οργανώθηκε σε έξι κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται μια εισαγωγή για όσα πραγματεύτηκε η εργασία και αναφέρεται το γενικό πρόβλημα της διαχείρισης των απορριμμάτων στην Ελλάδα. Επιπλέον, επεκτείνεται στο αντικείμενο της εργασίας και στη μέθοδο που εφαρμόστηκε. Το τέλος του κεφαλαίου περιγράφεται η διάρθρωση της εργασίας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύονται διεξοδικά οι ΧΥΤΑ από τον ορισμό τους, τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της χρήσης τους, οι συνιστώσες τους, τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά και οι τρόποι κατασκευής τους.

Το τρίτο κεφάλαιο πραγματεύεται τα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης. Παρουσιάζονται γενικά στοιχεία όπως τα όρια και η θέση της περιοχής μελέτης. Έπειτα παρατίθενται τα γεωμορφολογικά στοιχεία της περιοχής, το ψηφιακό μοντέλο εδάφους και τα παράγωγά του, τα λιθολογικά στοιχεία, το υδρογραφικό δίκτυο και οι χρήσεις γης σύμφωνα με το Corine Land Cover 2018.

Το τέταρτο κεφάλαιο περιγράφει την μεθοδολογία που ακολουθήθηκε κατά την ανάλυση. Πρώτα αναφέρονται γενικά για την πολυκριτηριακή ανάλυση, ενώ έπειτα αναλύονται συγκεκριμένα πως χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος αυτή συνδυαστικά με τα GIS. Τέλος περιγράφονται οι διαδικασίες που χρησιμοποιήθηκαν για την βέλτιστη χωροθέτηση του ΧΥΤΑ.

Στο πέμπτο κεφάλαιο αναλύονται ενδελεχώς τα κριτήρια που οδήγησαν στην επιλογή της θέσης χωροθέτησης. Παρουσιάζεται ο τρόπος χρήσης των κριτηρίων αποκλεισμού και καταλληλότητας καθώς και οι χάρτες που παράχθηκαν ως αποτέλεσμα της εφαρμογής τους. Τέλος, περιγράφεται η διαδικασία AHP για τα κριτήρια καταλληλότητας, καθώς και το τελικό αποτέλεσμα της διαδικασίας και η τελική επιλογή της θέσης χωροθέτησης.

Στο τελευταίο κεφάλαιο παρατίθενται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την εργασία, με σχολιασμό των αποτελεσμάτων, λαμβάνοντας υπόψη το ευρύτερο πλαίσιο της διαχείρισης των στερεών απορριμμάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

2.1 Απορρίμματα/Υγειονομική ταφή

Απορρίμματα ή στερεά απόβλητα είναι όλα τα κατά υποκειμενική κρίση άχρηστα προϊόντα ή υλικά που παράγονται από ανθρώπινες δραστηριότητες και δημιουργούν περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Διαχείριση απορριμμάτων είναι το σύνολο των δραστηριοτήτων από τη φάση της παραγωγής τους ως τη τελική διάθεση τους στο περιβάλλον, με ή χωρίς βιομηχανική επεξεργασία (Κούγκολος, 2018).

Η υγειονομική ταφή αποτελεί την πιο διαδεδομένη, οικονομική και αποτελεσματική μέθοδο διαχείρισης των στερεών αποβλήτων. Τα απορρίμματα διατίθενται σε φυσικά ή τεχνητά ορύγματα, ή στην επιφάνεια του εδάφους με υπερύψωση. Σε κάθε περίπτωση όμως πρέπει να καλύπτονται από εδαφικό υλικό. Τα είδη των απορριμμάτων που πρέπει να διατίθενται σε χώρο υγειονομικής ταφής είναι (Κούγκολος, 2018):

- Οικιακά απορρίμματα ή αντίστοιχα απορρίμματα από εμπορικές ζώνες.
- Μπάζα.
- Τέφρες και σκουριές (όταν δεν περιέχουν βαριά μέταλλα πάνω από συγκεκριμένα όρια).
- Σταθεροποιημένες και αφυδατωμένες λάσπες που περιέχουν περισσότερα από 20% στερεά.

Απαγορευμένα για υγειονομική ταφή στερεά απόβλητα, για τα οποία χρειάζεται ειδική οργάνωση και χώροι για τη διάθεσή τους, είναι τα:

- Ραδιενεργά απόβλητα.
- Ειδικά απόβλητα.
- Τοξικά και επικίνδυνα απόβλητα.

2.2 Τρόποι υγειονομικής ταφής απορριμμάτων

Η υγειονομική ταφή γίνεται σε ΧΥΤΑ με τους παρακάτω τρόπους (Κούγκολος, 2018)

- Παραδοσιακή διάθεση απορριμμάτων
- Διάθεση με συμπίεση
- Διάθεση μετά από θραύση
- Δεματοποίηση
- Εξόρυξη παλιών και ταφή νέων
- Αποθήκευση σε υπερυψωμένα κτίρια

Ανάλογα με τα προϊόντα αποσύνθεσης των απορριμμάτων, οι ΧΥΤΑ διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες (Κούγκολος, 2018). Στεγανοποιημένους ΧΥΤΑ, οι οποίοι είναι σχεδιασμένοι με τρόπο τέτοιο ώστε να μην επιτρέπεται η δυνατότητα διαφυγής των στραγγισμάτων, είτε με τη χωροθέτησή τους σε μη περατά στρώματα, ή με

επίστρωση στον πυθμένα τους με στεγανά υλικά. Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει χώρους που επιτρέπουν την βραδεία κατείσδυση των στραγγισμάτων χρησιμοποιώντας τα πετρώματα πάνω στα οποία έχει χωροθετηθεί ο ΧΥΤΑ για την αποδυνάμωση της ρυπαντικής τους ικανότητας.

2.2.1 Παραδοσιακή διάθεση απορριμμάτων

Τα απορρίμματα διατίθενται σε διαδοχικές επάλληλες οριζόντιες στρώσεις 2-3 m που καλύπτονται με στρώσεις χώματος 60 cm. Το ιδανικό πάχος της κάθε στρώσης κυμαίνεται στα 2,4 – 2,6 m, που εξασφαλίζει καλή θέα στους χειριστές των μηχανημάτων. Το λοξό μέτωπο εργασίας καλύπτεται με 15 cm χώματος για να μην ελκύνονται ζώα που τρέφονται από απορρίμματα όπως τρωκτικά και μύγες. Τελικά, ο χώρος της ταφής αποτελείται από επάλληλες αποθέσεις απορριμμάτων (Κούγκολος, 2018).

2.2.2 Διάθεση με συμπίεση

Η μέθοδος αυτή είναι διαδομένη κυρίως στο εξωτερικό. Ειδικά μηχανήματα συμπίεσης, συμπιέζουν τα απορρίμματα μέχρι η πυκνότητά τους να ισούται με 1000kg/m^3 . Μετά την συμπίεση τα απορρίμματα διατίθενται σε λεπτές στρώσεις πάχους 30-50cm (Κούγκολος, 2018).

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής έναντι της παραδοσιακής διάθεσης είναι τα εξής (Κούγκολος, 2018):

- Η μέθοδος αυτή ευνοεί την αναερόβια χώνευση.
- Ο μικρότερος όγκος των απορριμμάτων δεν απαιτεί καθημερινή επικάλυψη με χώμα.
- Η μεγάλη αυτή συμπίεση εμποδίζει τα ζώα που ζουν μέσα σε σκουπίδια, π.χ. αρουραίοι, να αναπτυχθούν.
- Οι αναερόβιες καταστάσεις προστατεύουν από αναφλέξεις και πυρκαγιές.
- Αποτελεσματικότερη προστασία έναντι της βροχής.
- Μειωμένος κίνδυνος καθιζήσεων.

2.2.3 Διάθεση μετά από θραύση

Με μέθοδο αυτή τα απορρίμματα κόβονται σε κομμάτια τα οποία περνούν από κόσκινο των 50mm. Τα τεμαχισμένα απορρίμματα δεν προσελκύουν τα ζώα που τρέφονται με απορρίμματα ή γενικότερα ευδοκιμούν σε αυτά. Παρατηρείται επίσης, ταχύτερη βιοδιάσπαση των οργανικών ενώσεων καθώς αυτές βρίσκονται εκτεθειμένες στον αέρα. Αντίθετα με την μέθοδο της συμπίεσης η μέθοδος αυτή ευνοεί τις αερόβιες διεργασίες (Κούγκολος, 2018).

Υπάρχουν 2 μέθοδοι τεμαχισμού (Κούγκολος, 2018):

- Η μέθοδος όπου ζύμωση σε σωρούς προηγείται της διάθεσης, η οποία γίνεται σε στρώσεις 1,5m.
- Η μέθοδος που πραγματοποιείται διάθεση σε στρώσεις πάχους 0,5m και η ζύμωση γίνεται επί τόπου

Πλεονεκτήματα μεθόδου διάθεσης μετά από θραύση (Κόλλιας, 1993)

- Ταχεία ζύμωση
- Λιγότερος όγκος χώματος για επικάλυψη
- Η μέθοδος αυτή δύναται να εξελιχθεί σε αργή λιπασματοποίηση

2.2.4 Κατόρυξη σε μπάλες

Η συμπίεση γίνεται σε μπάλες, διαστάσεων 1x1x1m και πυκνότητας 1000kg/m³. Η τεχνική αυτή δεν είναι ευρέως διαδεδομένη και χρησιμοποιείται κυρίως στο εξωτερικό (Κούγκολος, 2018).

Πλεονεκτήματα της μεθόδου (Κούγκολος, 2018)

- Ευκολία στη μεταφορά
- Ευκολία στην τοποθέτηση στον ΧΥΤΑ
- Το νερό της βροχής ρέει ανάμεσα στις μπάλες, δεν τις διαπερνά. Τα διασταλάζοντα νερά είναι πιο καθαρά από ρύπους

2.2.5 Εξόρυξη παλιών απορριμμάτων

Πρόκειται για μια μέθοδο επέκτασης του χρόνου λειτουργίας ενός ΧΥΤΑ. Εφαρμόζεται όταν δεν υπάρχει καινούργιος χώρος για νέο ΧΥΤΑ, συνεπώς η επιμήκυνση της λειτουργίας του υπάρχοντος είναι η μόνη συμφέρουσα λύση (Κούγκολος, 2018).

Πλεονεκτήματα της μεθόδου (Κούγκολος, 2018)

- Εξοικονόμηση χώρου
- Χρήση των παλιών απορριμμάτων σαν υλικό κάλυψης, εξοικονόμηση στο χώμα
- Ανακύκλωση υλικών

2.2.6 Αποθήκευση σε κτίριο από μπετόν

Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε και χρησιμοποιείται κυρίως στις Η.Π.Α. Το κόστος της είναι πολύ μεγάλο (Κούγκολος, 2018). Ένα κτίριο έχει δυνατότητα εξυπηρέτησης 25.000 κατοίκων για 10 χρόνια (Κόλλιας, 1993).

2.2.7 Κομποστοποίηση επί τόπου στο χώρο διάθεσης

Πρόκειται για ιδιαίτερη μέθοδο. Χαρακτηριστικό μειονέκτημά της είναι η δυσκολία διάθεσης του τελικού προϊόντος. Η μέθοδος αυτή είναι παρόμοια με την λιπασματοποίηση, η ζύμωση γίνεται αερόβια και δεν παράγεται μεθάνιο (Κούγκολος, 2018)

2.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της υγειονομικής ταφής

Ως πλεονεκτήματα της υγειονομικής ταφής μπορούν να θεωρηθούν τα ακόλουθα (Κούγκολος, 2018):

- Αποτελεί την πιο οικονομική, από τις περιβαλλοντικά αποδεκτές, μέθοδο διαχείρισης απορριμμάτων.
- Απαιτεί μικρό κεφάλαιο επενδύσεων για υποδομές.
- Δεν αφήνει υπολείμματα, όπως η στάχτη που αφήνει η καύση, που θα έπρεπε να διατεθούν (πλήρης μέθοδος) .
- Χαρακτηρίζεται από ευελιξία, δεν παρουσιάζει προβλήματα σε ξαφνική αύξηση της ποσότητας των απορριμμάτων.
- Προσφέρει δυνατότητα περιβαλλοντικής αποκατάστασης του χώρου της ταφής.
- Το παραγόμενο μεθάνιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως καύσιμο.

Μειονεκτήματα της μεθόδου (Κούγκολος, 2018):

- Η εύρεση κατάλληλων χώρων είναι δύσκολη καθώς συμβάλουν πολλά κριτήρια στην τελική επιλογή, συμπληρωματικά με το “Not in my back yard” (NIMBY) σκεπτικό των πολιτών.
- Η συμπεριφορά αυτή πολλές φορές οδηγεί στην δημιουργία ΧΥΤΑ μακριά από τα πληθυσμιακά κέντρα αυξάνοντας έτσι το κόστος μεταφοράς των απορριμμάτων.
- Απαιτείται καθημερινά κάλυψη με χώμα, αλλιώς ο χώρος μετατρέπεται σε ΧΑΔΑ, μια μη περιβαλλοντικά αποδεκτή μέθοδο διάθεσης.
- Υπάρχει κίνδυνος καθίζησης του εδάφους ειδικά όταν τα απορρίμματα δεν συμπιέζονται ικανοποιητικά.
- Υπάρχει κίνδυνος παραγωγής δύσοσμων, εύφλεκτων και εκρηκτικών αερίων.
- Υπάρχει κίνδυνος ρύπανσης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα από διασταλάζοντα υγρά.

2.4 Πρόγραμμα εκμετάλλευσης ΧΥΤΑ

Όπως ορίζεται από τη νομοθεσία (ΦΕΚ 1016B/97), η εκμετάλλευση του χώρου ενός ΧΥΤΑ μπορεί να ακολουθεί μία από τις εξής τρεις μεθόδους:

- Εκτατική, για μικρού ή μεσαίου μεγέθους μονάδες (<60 στρέμματα)
- Καθ' ύψος ή μέθοδος των κυττάρων, για μεσαίου και μεγάλου μεγέθους μονάδα (>60 στρέμματα)
- Κατά τμήματα, μέθοδος που συνδυάζει τις δύο προηγούμενες.

Ο ΧΥΤΑ που θα χωροθετηθεί στην Π.Ε. Λακωνίας επιλέχθηκε να ακολουθεί την μέθοδο των κυττάρων, καθώς πρόκειται για μονάδα που θα εξυπηρετεί όλο τον πληθυσμό της Λακωνίας για τουλάχιστον 20 χρόνια. Σύμφωνα με το ΦΕΚ 1016B/97 ένας ΧΥΤΑ που αναπτύσσεται με τη μέθοδο των κυττάρων πρέπει να ικανοποιεί συγκεκριμένες προδιαγραφές:

- Το κάθε κύτταρο πρέπει να έχει επιφάνεια έκτασης 30.000m².
- Το απορριμματικό ανάγλυφο απαγορεύεται να ξεπερνά τα 20-25m ύψος. Στην περίπτωση που αυτό δεν ισχύει διακόπτεται η ανάπτυξη του κυττάρου και ξαναξεκινά μετά την διαμόρφωση των κυττάρων γύρω του.
- Ένα νέο κύτταρο διαμορφώνεται όταν εκείνο που λειτουργεί γεμίζει. Η αλληλουχία διαμόρφωσης θα ακολουθήσει την εξής σειρά. Κατά μήκος τα κύτταρα θα διαμορφώνονται από τα ανάντι στα κατόντι, εγκάρσια από το ένα όριο του ΧΥΤΑ μια από τις επονομαζόμενες πλαγιές προς το εσωτερικό και από εκεί στο απέναντι όριο. Ενδιάμεσα των κυττάρων δημιουργούνται αναχώματα από μη περατά υλικά όπως αργιλικό.

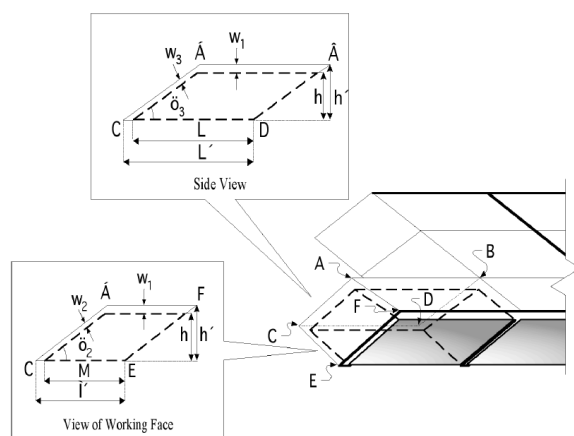
Οι εργασίες σε ΧΥΤΑ που αναπτύσσονται με τη μέθοδο των κυττάρων ακολουθούν συγκεκριμένο πρόγραμμα. Ενώ ένα κύτταρο *n* βρίσκεται σε λειτουργία, ταυτόχρονα ολοκληρώνονται οι εργασίες επικάλυψης του προηγούμενου κυττάρου *n-1*, και τελειώνουν ή έχουν τελειώσει τα έργα διαμόρφωσης της βάσης του κυττάρου *n+1*. Επίσης, για το επόμενο κύτταρο *n+1* εκτελούνται έργα στεγάνωσης και αποστράγγισης στη βάση του, με τρόπο τέτοιο ώστε να προηγηθεί 1 με 2 μήνες την εξάντληση του κυττάρου *n* (ΦΕΚ 1016B/97).

2.5 Ημερήσιο κύτταρο

Όπως έχει οριστεί προηγουμένως, ο ΧΥΤΑ θα ακολουθεί την καθ' ύψος μέθοδο ή μέθοδο των κυττάρων. Η μορφή ενός κυττάρου μπορεί να παρομοιαστεί με κουτί που συμπίεζεται σε μία γωνία του πάνω μέρους του. Το γεωμετρικό τους σχήμα είναι πλάγιο παραλληλεπίπεδο. Σε καθένα κύτταρο αντιστοιχεί μια ποσότητα αστικών στερεών αποβλήτων, συνήθως η ημερήσια παραγωγή ΑΣΑ (Panagiotakopoulos et al., 2001). Τα απορρίμματα που δέχονται τα κύτταρα υφίστανται συμπίεση. Επιπλέον τα κύτταρα καλύπτονται με λεπτή στρώση εδαφικού υλικού (ΦΕΚ 1016B/97).

2.6 Γεωμετρία του ημερήσιου κυττάρου

Αν οριστεί η γεωμετρία του ημερήσιου κυττάρου, τότε βάσει αυτής μπορεί να υπολογιστεί ο όγκος του κυττάρου που αντιστοιχεί στο υλικό κάλυψης και ο τελικός ωφέλιμος όγκος του ΧΥΤΑ για εναπόθεση απορριμμάτων. Όπως προαναφέρθηκε το γεωμετρικό σχήμα του κυττάρου είναι ένα πλάγιο παραλληλεπίπεδο όπου M είναι το πλάτος του μετώπου, L το μήκος της πλάγιας πλευράς, h το ύψος του κυττάρου ή ταμπάνι, w_1, w_2, w_3 η επικάλυψη (στρώσης, μετώπου, πλάγιας πλευράς) και b η τελική πυκνότητα των απορριμμάτων (Panagiotakopoulos et al., 2001). Η εξιδανικευμένη γεωμετρία ενός κύτταρου παρουσιάζεται παρακάτω (Εικόνα 2.1).



Εικόνα 2.1: Γεωμετρία Ημερήσιου Κυττάρου (Panagiotakopoulos, 2001)

Καθώς το μέγεθος ενός κυττάρου εξαρτάται από την ημερήσια διάθεση απορριμμάτων είναι προφανές πως δεν μπορούν να οριστούν, ρεαλιστικά, σταθερές τιμές για τις διαστάσεις του. Παρακάτω παρουσιάζονται τα εύρη τιμών και οι μονάδες μέτρησής των διαστάσεων ενός κυττάρου στον Πίνακα 2.1.

Πίνακας 2.1: Τυπικές παράμετροι ημερήσιου κύτταρου (Panagiotakopoulos et al., 2001)

Τυπικές τιμές παραμέτρων ημερήσιου κυττάρου				
a/a	Παράμετρος	Σύμβολο	Μονάδες	Τιμή
1	Πλάτος μετώπου	M	m	3,00-50,00
2	Ύψος ή Ταμπάνι	h	m	2,00-6,75
3	Μήκος κύτταρου	L	m	Εξαρτάται από τον όγκο ΑΣΑ που δέχεται και από τα M, h
4	Επικάλυψη στρώσης	w_1	m	0,15-0,70
5	Επικάλυψη μετώπου	w_2	m	0,15-0,35

6	Επικάλυψη πλευράς	w_3	m	0,15-0.35
7	Τελική πυκνότητα	b	tn/m ³	0,60

Γνωρίζοντας λοιπόν τα μεγέθη αυτά, αλλά και η μάζα των απορριμμάτων T σε τόνους στο κύτταρο, μπορεί εύκολα να υπολογιστεί το μήκος της πλάγιας πλευράς του κυττάρου L.

Αν ο συνολικός όγκος των απορριμμάτων μέσα στο κύτταρο είναι $V_{απ}$ ισχύει (Panagiotakopoulos et al., 2001):

$$V_{απ} = M \times L \times h = \frac{T}{b} \quad (\text{Εξ. 2.1})$$

τότε λύνοντας ως προς L προκύπτει το μήκος της πλάγιας πλευράς και ο όγκος κάλυψης $V_{καλ}$ στο κύτταρο θα είναι:

$$V_{καλ} = (M + w_2) \times (L + w_3) \times (h + w_1) - V_{απ} \quad (\text{Εξ. 2.2})$$

2.7 Τεχνική υποδομή ενός ΧΥΤΑ

Ένας ΧΥΤΑ θα πρέπει να τηρεί ορισμένες προδιαγραφές, αυτές είναι (ΦΕΚ 168/06):

- Ενημερωτική πινακίδα, που θα αναγράφει τα στοιχεία του και το ωράριο λειτουργίας.
- Οικίσκος ελέγχου, ένας κλειστός χώρος με εγκαταστάσεις WC ικανός να παρέχει πρώτες βοήθειες και τα κατάλληλα εργαλεία ελέγχου.
- Αποθήκη υλικών.
- Περίφραξη, με φράκτη από συρματόπλεγμα ύψους τουλάχιστον 2m.
- Πύλη εισόδου διαστάσεων 2m x 5m, ύψος και άνοιγμα αντίστοιχα.
- Οδικό δίκτυο, εξωτερικό για να εξασφαλίζεται η πρόσβαση και εσωτερικό πλάτους τουλάχιστον 3m και μέγιστη κατά μήκος κλίση 12%.
- Εγκαταστάσεις συντήρησης όπως συνεργείο οχημάτων.
- Αποθήκη υγρών καυσίμων.
- Περιμετρική δενδροφύτευση για απομόνωση του χώρου.

Συμπεριλαμβανομένων αυτών ένας ΧΥΤΑ πρέπει να εξοπλιστεί με έργα διαχείρισης όμβριων. Τέτοια έργα είναι (ΦΕΚ 168/06):

- Κατασκευή περιμετρικά του χώρου απόθεσης, δικτύου απορροής όμβριων.
- Δεξαμενή στην οποία καταλήγουν τα όμβρια που συλλέγονται από το δίκτυο

Επιπλέον, επειδή εντός του ΧΥΤΑ παράγεται μεθάνιο και άλλα εύφλεκτα αέρια απαιτείται αντιπυρική προστασία. Για την αντιπυρική προστασία χρειάζονται (ΦΕΚ 168/06):

- Αποθήκη χώματος για κάλυψη τυχόν εστιών πυρκαγιάς.
- Δεξαμενή πυρόσβεσης.

- Σήμανση που απαγορεύει το κάπνισμα.
- Πυροσβεστικοί σταθμοί τοποθετημένοι σε σημεία κλειδιά εντός του ΧΥΤΑ
- Οργανωμένο σχέδιο αντιπυρικής προστασίας, έμπειρο ανθρώπινο δυναμικό, πυροσβεστικές ασκήσεις, εγχειρίδιο οδηγιών και ανάρτηση τηλεφωνικών αριθμών έκτακτης ανάγκης π.χ. πυροσβεστική.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

3.1 Γενικά στοιχεία

Η Π.Ε. Λακωνίας βρίσκεται στην Περιφέρεια Πελοποννήσου, πρωτεύουσα της είναι η Σπάρτη. Η έκταση της είναι 3636 km² (Περιφέρεια Πελοποννήσου, 2016). Σύμφωνα με την απογραφή του 2011 ο πληθυσμός ανερχόταν στους 89138 (ΕΛΣΤΑΤ, 2011). Συνορεύει δυτικά με την Π.Ε. Μεσσηνίας και βόρεια με την Π.Ε. Αρκαδίας. Στην Εικόνα 3.1 παρουσιάζεται η θέση και η έκταση της Π.Ε. Λακωνίας καθώς και οι γειτονικές της Π.Ε. στην Περιφέρεια Πελοποννήσου.



Εικόνα 3.1: Η Π.Ε. Λακωνίας

Διοικητικά χωρίζεται σε 5 δήμους: Σπάρτης, Ευρώτα, Μονεμβασιάς, Ανατολικής Μάνης και Ελαφονήσου (Πίνακας 3.1, Εικόνα 3.2).

Πίνακας 3.1: Δήμοι Π.Ε. Λακωνία και οι έδρες τους

Δήμοι	Έδρες Δήμων
Σπάρτης	Σπάρτη
Ευρώτα	Σκάλα
Μονεμβασιάς	Μολάοι
Ανατολικής Μάνης	Γύθειο
Ελαφονήσου	Ελαφόνησος



Εικόνα 3.2: Οι δήμοι της Π.Ε. Λακωνίας

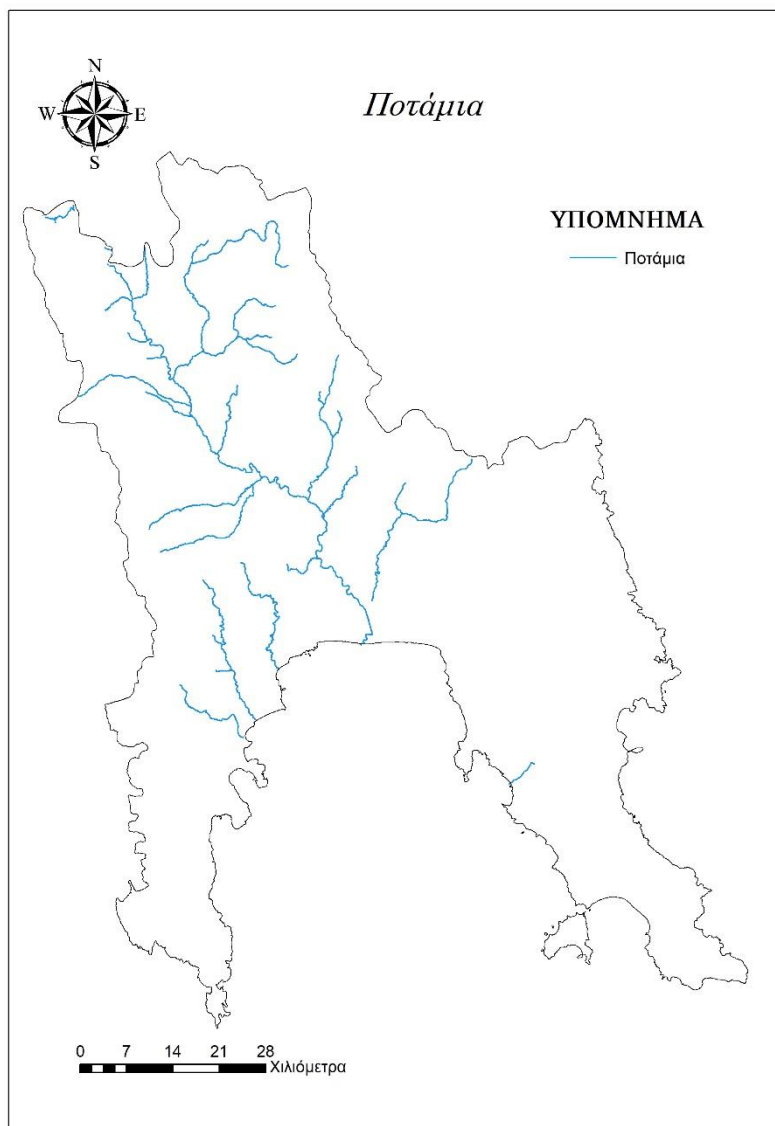
3.2 Εδαφικά και γεωμορφολογικά στοιχεία Λακωνίας

Η περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται ως η δεύτερη πιο πεδινή Π.Ε της Περιφέρειας Πελοποννήσου με 43,49% ορεινή, 32,80% ημιορεινή και 23,71% πεδινή (Περιφέρεια Πελοποννήσου, 2016). Γεωμορφολογικά η Λακωνία χαρακτηρίζεται από τις σχεδόν παράλληλες οροσειρές του Ταϋγέτου και Πάρνωνα στα δυτικά και ανατολικά αντίστοιχα. Η ψηλότερη κορυφή της υψώνεται στα 2.407m, η κορυφή του Ταϋγέτου. Άλλες χαρακτηριστικές κορυφές της οροσειράς είναι το Ξεροβούνι στα 1.521m, η Ανώνυμη στα 1.612m, ο Προφήτης Ηλίας στα 2.404m, η Νεραϊδοβούνα στα 2.025m. Συνέχεια του Ταϋγέτου, στην χερσόνησο της Μάνης βρίσκεται το βουνό Ταίναρο στα 1.214m (Περιφέρεια Πελοποννήσου, 2016).

Ανατολικά, βρίσκεται το όρος Πάρνωνας ύψους 1934m. Ο Πάρνωνας διαθέτει αρκετές ακόμα κορυφές, όπως η Μεγάλη Τούρλα στα 1.935m, ο Προφήτης Ηλίας 1.152m και η Κορομηλιά στα 1.557m, καθώς και η χαμηλότερη Κουλόχερα στα 1.125m (Περιφέρεια Πελοποννήσου, 2016).

Ανάμεσα στις 2 οροσειρές ρέει ο ποταμός Ευρώτας, ο οποίος δημιουργεί μια εύφορη κοιλάδα η οποία αποτελεί σημαντική πηγή αγροτικής ανάπτυξης για την περιοχή. Όλη η κοιλάδα αποτελεί την λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα και των πολλών παραποτάμων του, οι σημαντικότεροι από τους οποίους είναι ο Γερακάρης και το Αρδελολάγκαδο (από τον Ταϋγετο) και ο Οινούς, το Μεγάλο Ρέμα και το Μαριόρεμα (από τον Πάρνωνα). Σπουδαιότερος είναι ο Οινούς ή Κελεφίνα που πηγάζει από το χωριό Αράχοβα του Πάρνωνα (Εικόνα 3.3).

Ο Ευρώτας όπως και οι παραπόταμοί του είναι πλούσιοι σε νερό και ορμητικοί (χειμαρώδεις) τον χειμώνα και την άνοιξη, ενώ είναι σχεδόν ξεροί τους θερινούς μήνες δημιουργώντας νερόλακκους κατά μήκος της κοίτης του και ένα περίφημο υδροβιότοπο στην εκβολή του ποταμού. Η κοίτη του Ευρώτα φτάνει τα 92,49km ενώ η κοίτη του δεύτερου σημαντικότερου ποταμού του Πλατύ φτάνει τα 24,14km. Η λεκάνη απορροής του Ευρώτα (GR33) έχει έκταση 1.679,77km² και τα γεωγραφικά της όρια είναι στα δυτικά η οροσειρά του Ταϋγέτου, στα ανατολικά η οροσειρά του Πάρνωνα στα βόρεια οι ορεινές περιοχές της Δημοτικής Ενότητα Σκιριτίδας και νότια ο Λακωνικός κόλπος (Περιφέρεια Πελοποννήσου, 2016)



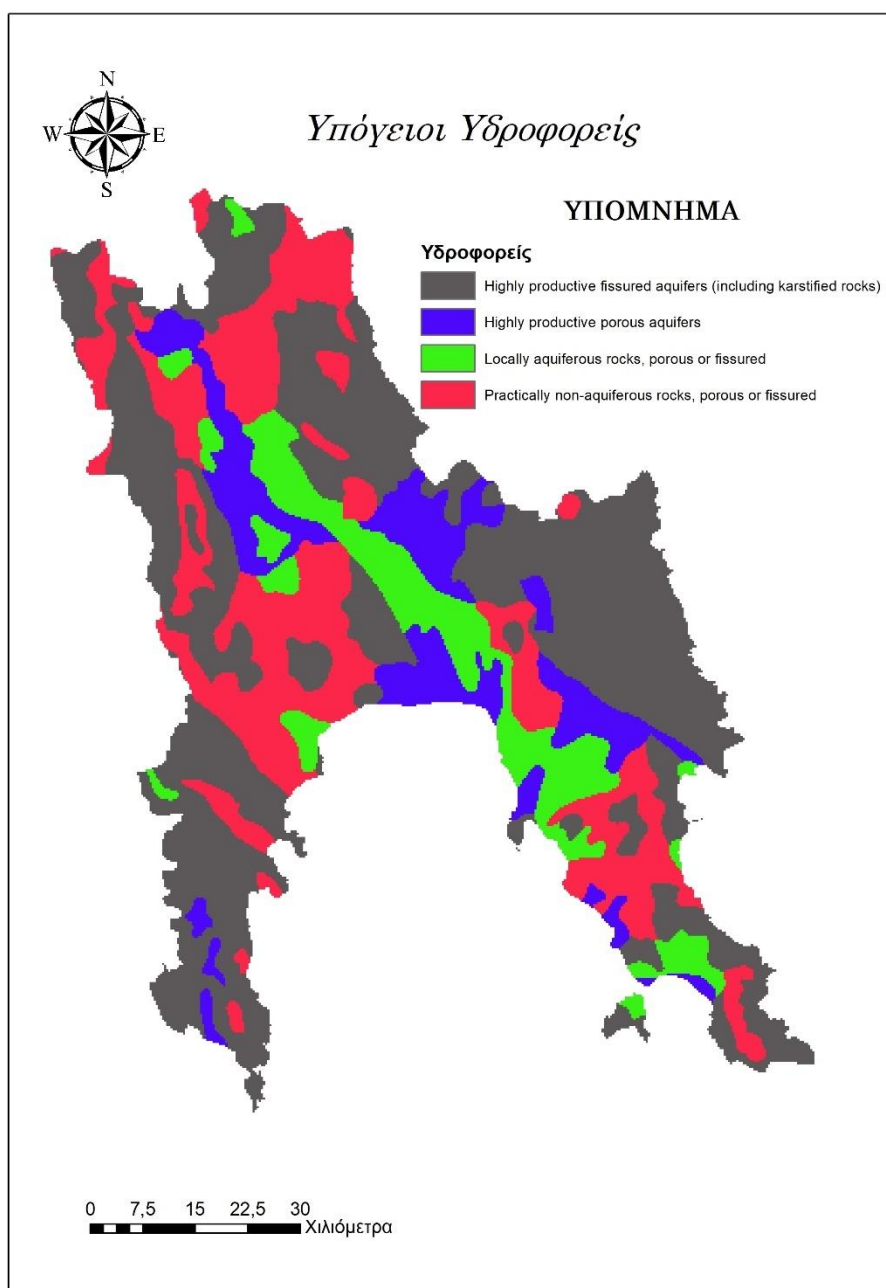
Εικόνα 3.3: Υδρολογικό δίκτυο Λακωνίας

Το ύψος της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης στην περιοχή είναι 321,68mm το χειμώνα και το ελάχιστο 47,02mm το καλοκαίρι, το μέγιστο ύψος βροχής ανέρχεται στα 715,85mm (Περιφέρεια Πελοποννήσου, 2016). Από τα νερά του Ευρώτα και των παραποτάμων του υδρεύονται οικισμοί και αρδεύεται ένα μεγάλο μέρος της καλλιεργήσιμης έκτασης στη Λακωνία.

Από άποψη διαχείρισης υδατικών πόρων, η περιοχή μελέτης ανήκει στο υδατικό διαμέρισμα ανατολικής Πελοποννήσου, ΥΔ 3. Το ΥΔ 3 έχει έκταση 8.442km² και αποτελείται από τις λεκάνες απορροής του Οροπέδιου Τρίπολης (GR30), Ρεμάτων Αργολικού Κόλπου (GR31), και του Ευρώτα (GR33). Η Π.Ε. περιλαμβάνει στο σύνολό της την λεκάνη απορροής του Ευρώτα και ένα μικρό τμήμα της λεκάνης απορροής των Ρεμάτων του Αργολικού Κόλπου, οι περιοχές της Π.Ε ανατολικά της οροσειράς του Πάρνωνα (Περιφέρεια Πελοποννήσου, 2016).

Σχετικά με τα υπόγεια ύδατα της Λακωνίας, ο αριθμός των υπόγειων υδατικών συστημάτων στην λεκάνη του Ευρώτα είναι 12 και η συνολική τους έκταση φτάνει τα 2.571,68km². Τα νερά αυτά χρησιμοποιούνται σε πληθώρα εργασιών και δραστηριοτήτων με κυριότερη αυτών την άρδευση και ύδρευση. (Περιφέρεια Πελοποννήσου, 2016).

Η περιοχή της λεκάνης του Ευρώτα ως προς την υδρογεωλογική της άποψη, δομείται από τους γεωλογικούς σχηματισμούς των ζωνών του Ιονίου, που αποτελείται κυρίως από ασβεστόλιθους Ηωκαινικής-Τριαδικής ηλικίας και μικρά στρώματα φλυσχή, της Τρίπολης, που αποτελείται από ασβεστόλιθους μεγάλου πάχους και δολομίτες Τριαδικής-Ηωκαινικής ηλικίας με υπόβαθρο στρώματα τύρου, και από τη σειρά Φυλιττών-Χαλαζιτών, αποτελείται από σχιστόλιθους, φυλίττες και μάρμαρα, και από τις νεότερες αποθέσεις (Περιφέρεια Πελοποννήσου, 2016). Στην εικόνα 3.4 παρουσιάζονται οι υπόγειοι υδροφορείς ταξινομημένοι ως προς την παραγωγικότητά τους.

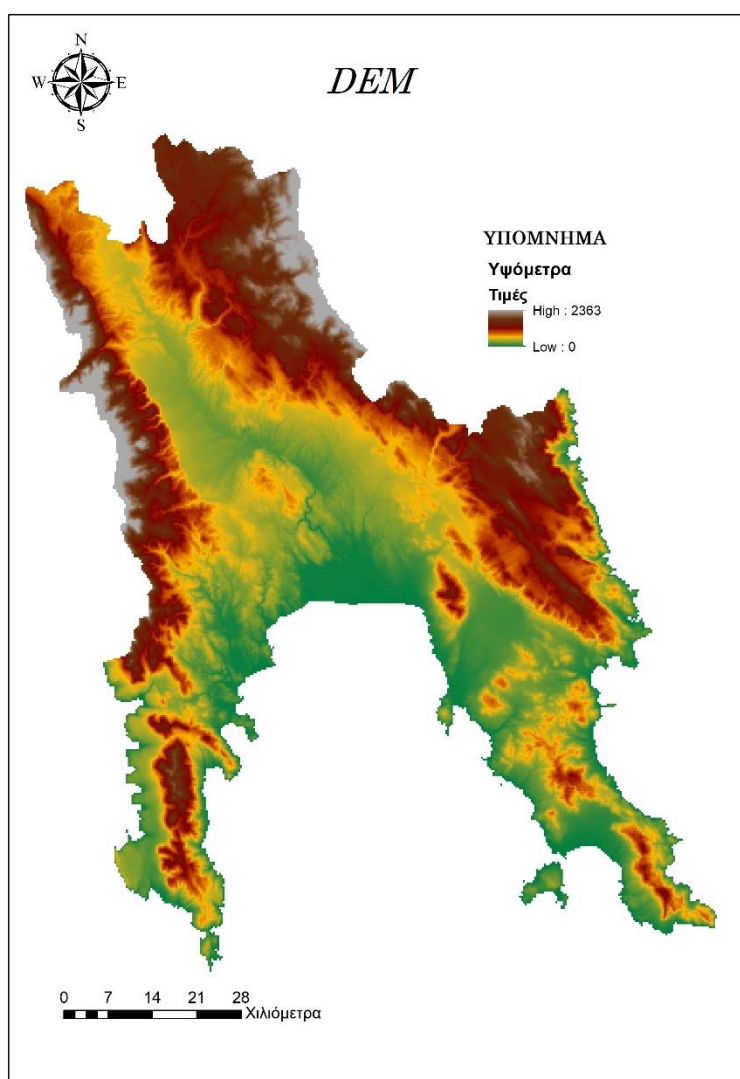


3.2.1 Ανάγλυφο/Ψηφιακό μοντέλο εδάφους

Η επιφάνεια του εδάφους είναι φαινόμενο συνεχές και όχι διακριτό. Για την πλήρη καταγραφή της απαιτούνται άπειρα σημεία και τεράστιος αποθηκευτικός χώρος. Ο τρόπος με τον οποίο επιτυγχάνεται η περιγραφή της γήινης επιφάνειας με ψηφιακό τρόπο και πεπερασμένο αριθμό σημείων είναι τα ΨΜΕ. Ένα ΨΜΕ είναι ένα σύνολο σημείων σε τρισδιάστατο σύστημα αναφοράς (X,Y,Z) που προσεγγίζει την πραγματική επιφάνεια. Οι τύποι ΨΜΕ που χρησιμοποιούνται κυρίως είναι:

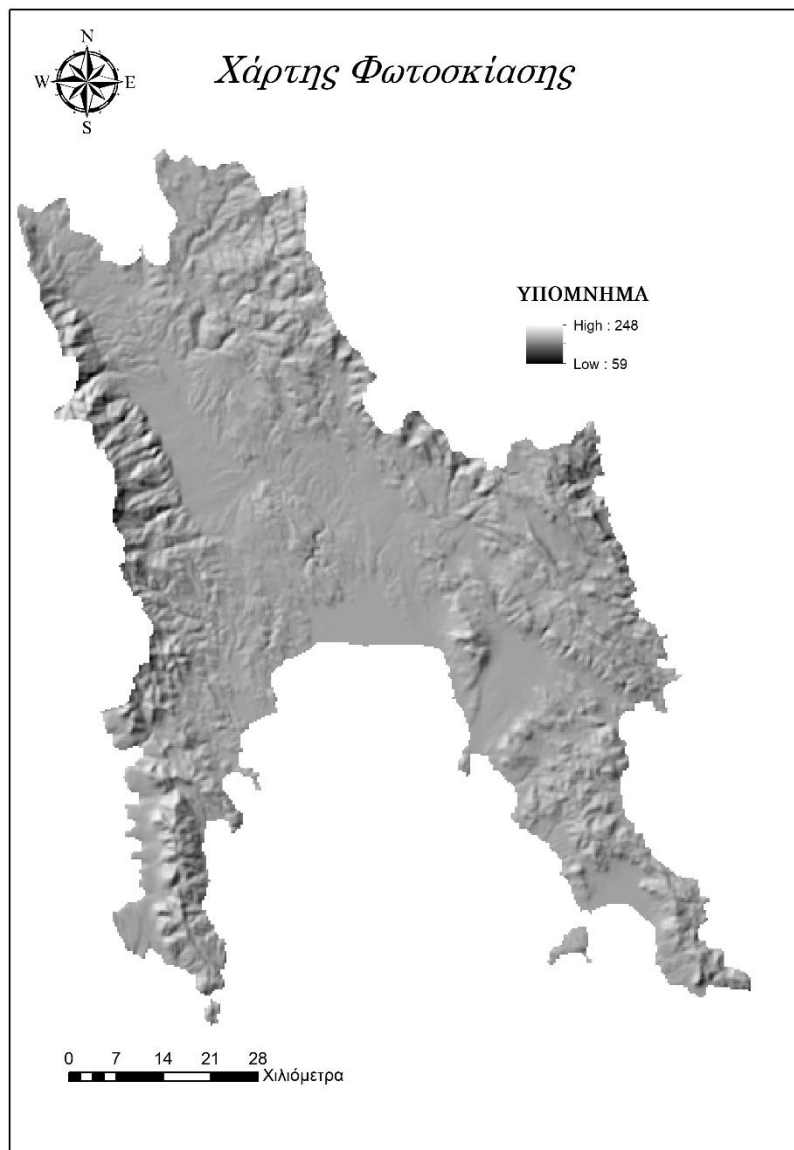
- Τα ακανόνιστα τριγωνικά δίκτυα (TIN), δεδομένα τύπου vector
- Τα ψηφιακά υψομετρικά μοντέλα (DTM), δεδομένα τύπου raster

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε μοντέλο τύπου DEM. Η εικόνα raster που χρησιμοποιήθηκε εμπεριείχε υψομετρικά δεδομένα για το σύνολο του Ελλαδικού χώρου καθώς και για την Κύπρο. Προκειμένου να αφαιρεθούν περιττές πληροφορίες πραγματοποιήθηκε αποκοπή της περιοχής μελέτης χρησιμοποιώντας το θεματικό επίπεδο της Λακωνίας ως mask layer (Εικόνα 3.5).



Εικόνα 3.5: DEM Λακωνίας

Επιπλέον δημιουργήθηκε ο χάρτης φωτοσκίασης για μια πιο παραστατική απόδοση του ανάγλυφου της περιοχής. Η παραγωγή του χάρτη αυτού απαιτήσε τον προσδιορισμό παραμέτρων όπως η θέση του παρατηρητή και του στόχου παρατήρησης καθώς και το υψόμετρο και ο προσανατολισμός της φωτεινής πηγής (Εικόνα 3.6).



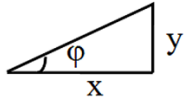

Εικόνα 3.6: Χάρτης φωτοσκίασης

Χρησιμοποιώντας το DEM ως βάση, παράχθηκαν επιπλέον χάρτες απαραίτητοι για την σωστή χωροθέτηση, οι χάρτες κλίσεων και προσανατολισμού εδάφους. Ο χάρτης κλίσεων (Εικόνα 3.8) οπτικοποίησε τις κλίσεις του εδάφους σε ποσοστό επί της εκατό. Ο υπολογισμός των κλίσεων από το DEM παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.7.

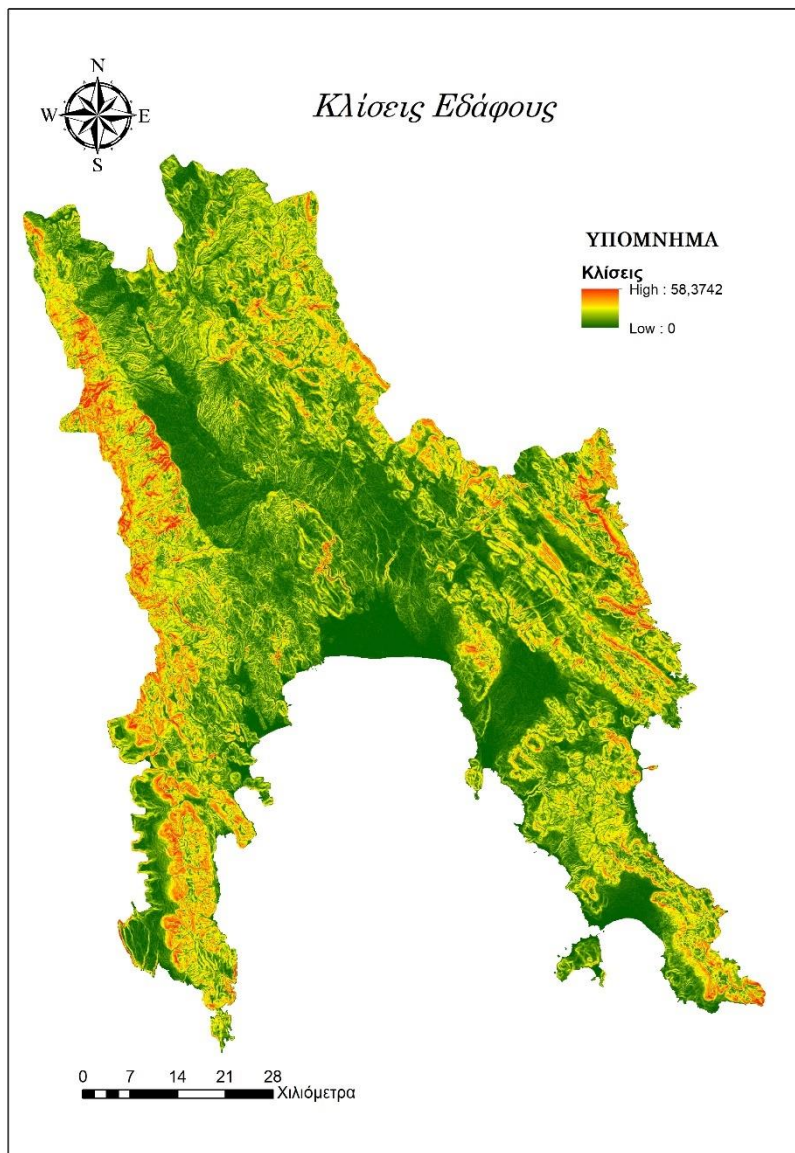
εφ. κλίσης = $\sqrt{((dz/dx)^2 + (dz/dy)^2)}$
 όπου τα dx,dy,dz υπολογίζονται από ένα κινητό 3Χ3 παράθυρο

a b c
 d e f
 g h i

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

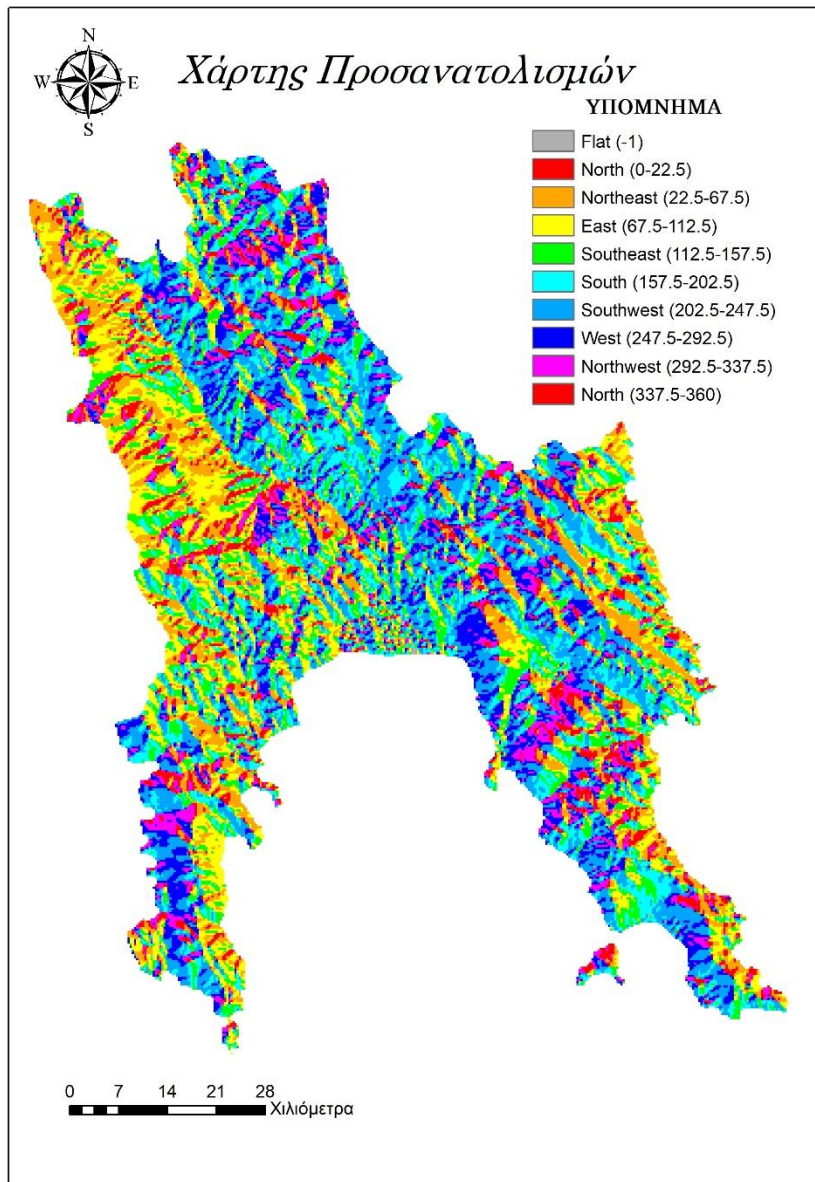
κλίση σε μοίρες = φ	κλίση % = (y / x) * 100
y/x = εφφ	
	
κλίση σε μοίρες = 30°	κλίση σε μοίρες = 45°
κλίση % = 58	κλίση % = 100

Εικόνα 3.7: Υπολογισμός κλίσεων από υψομετρική πληροφορία



Εικόνα 3.8: Χάρτης Κλίσεων

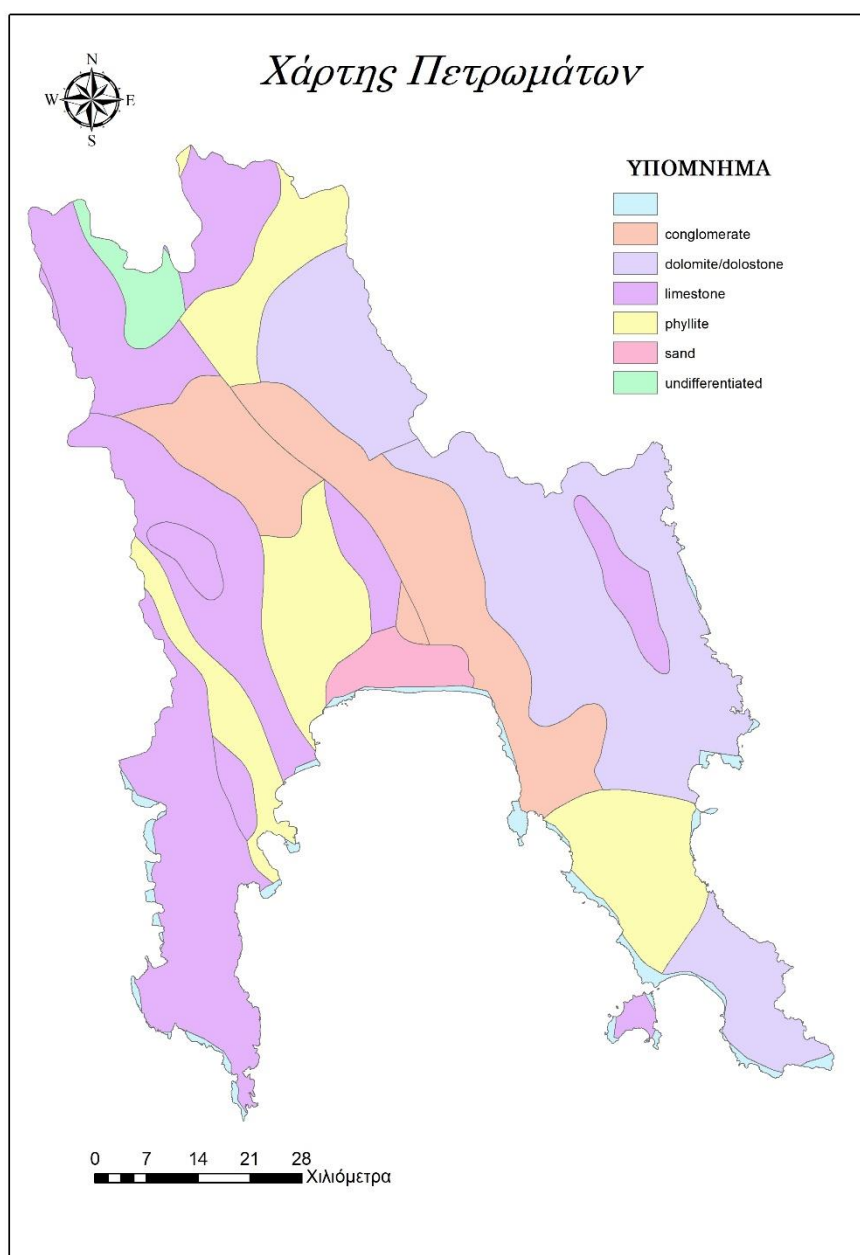
Συμπληρωματικά με το DEM και τις κλίσεις εδάφους παράχθηκε χάρτης προσανατολισμού εδάφους (Εικόνα 3.9). Ο προσανατολισμός μιας επιφάνειας ορίζεται από τη διεύθυνση επί στους οποίες παρουσιάζεται ο μεγαλύτερος ρυθμός μεταβολής υψομέτρου και εκφράζεται από το αζιμούθιο της επιφάνειας και μετριέται σε μοίρες. Η φορά μέτρησης είναι κατά τη φορά του ρολογιού και προσανατολισμός αναφοράς είναι ο Βορράς.



Εικόνα 3.9: Χάρτης Προσανατολισμού

3.2.2: Γεωλογικά χαρακτηριστικά

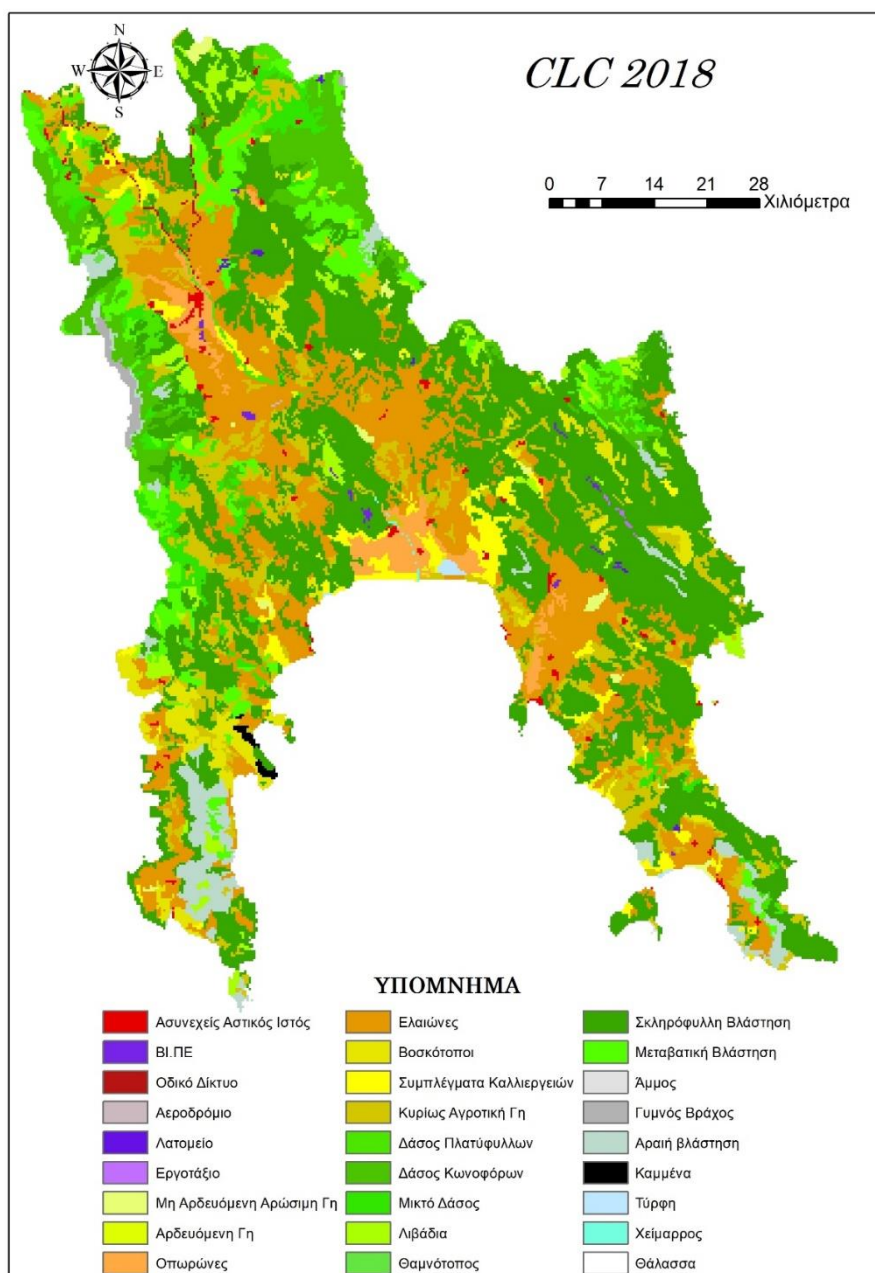
Γεωλογικά η Π.Ε Λακωνίας καλύπτεται από τις εξής γεωλογικές ζώνες. Το προαλπικό υπόβαθρο αποτελείται από Περμοτριάδικους φυλλίτες και τους ασβεστολιθικούς—γραουβάκες-ηφαιστίτες. Στην Π.Ε Λακωνίας η ζώνη αυτή κυριαρχεί στην χερσόνησο του Πάρνωνα, εκεί παρατηρείται το μέγιστο εύρος της, αλλά και στην Μάνη μέχρι το ύψος της Αρεόπολης. Επίσης συναντάται η ζώνη Γαβρόβου, η οποία αποτελείται κυρίως από δολομίτες και ασβεστόλιθους παλαιάς ηλικίας (Τριαδικής και Ιουρασικής) και νεότερους σχηματισμούς ασβεστόλιθων και φλυσχή (Ηωκαινικούς-Παλαιοκαινικούς) (Εικόνα 3.10).



Εικόνα 3.10: Χάρτης Πετρωμάτων

3.3: Χρήσεις γης

Η σωστή διαχείριση και προστασία του περιβάλλοντος επιβάλλει την ολοκληρωμένη και ενημερωμένη αποτύπωση των χρήσεων γης. Για την μελέτη αυτή χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα του προγράμματος Corine Land Cover. Ο χάρτης των χρήσεων γης βασίστηκε σε ταξινομήσεις δορυφορικών εικόνων. Διακρίνονται 44 τάξεις σε τρία επίπεδα ιεράρχησης. Στον χάρτη παρουσιάζονται οι εξειδικευμένες χρήσεις γης, το τρίτο επίπεδο ιεράρχησης, με ελάχιστη μονάδα μέτρησης επιφανείας τα 5000m² και το ελάχιστο πλάτος γραμμικών στοιχείων τα 100 m.



Εικόνα 3.11: Κάλυψη Γης CLC 2018

Η μελέτη του χάρτη των χρήσεων γης έδειξε πως στην Π.Ε. επικρατεί η χλωρίδα και πιο συγκεκριμένα, η χαμηλή σκληρόφυλλη βλάστηση, με θάμνους και δενδρύλλια των οποίων το ύψος φτάνει περίπου τα 2 m. Ακολουθούν οι ελαιώνες και λοιπές καλλιέργειες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

4.1 Η πολυκριτηριακή ανάλυση

Η χωροθέτηση ενός ΧΥΤΑ αποτελεί ένα σύνθετο πρόβλημα η επίλυση του οποίου απαιτεί πολύπλευρη προσέγγιση. Η Πολυκριτηριακή Ανάλυση Αποφάσεων (MCDA-MultiCriteria Decision Analysis) ήταν η διαδικασία που χρησιμοποιήθηκε για την λήψη της απόφασης θέσης του ΧΥΤΑ συνθέτοντας όλους τους παράγοντες που έλαβαν μέρος στην επιλογή της.

Η πολυκριτηριακή ανάλυση 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

Χαρακτηριστικά της πολυκριτηριακής ανάλυσης είναι η απλότητα στη σύλληψη και εκτέλεση, η δυνατότητα ενσωμάτωσης στην ανάλυση ποιοτικών κριτηρίων, καθώς και η δυνατότητα εμπλοκής στη διαδικασία λήψης απόφασης διαφορετικών ληπτών.

4.2 Η πολυκριτηριακή ανάλυση στα GIS

Η φύση του προβλήματος της χωροθέτησης ΧΥΤΑ είναι χωρική, συνεπώς χρειάζεται η συμμετοχή πληθώρας κριτηρίων και η ύπαρξη πολλών εναλλακτικών λύσεων. Με την χρήση των GIS απλοποιούνται η διαχείριση των χωρικών δεδομένων και η εκτέλεση των διαδικασιών των χωρικών δεδομένων.

Τα GIS χρησιμοποιούν τα χωρικά δεδομένα που συλλέχθηκαν (εισροές) και με τις κατάλληλες διεργασίες εξάγουν αποτελέσματα τα οποία αξιολογούνται προκειμένου να προκύψει η πιο συμβατή λύση. Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε στην εργασία

αυτή ήταν το ArcGIS καθώς παρουσιάζει ισχυρή σύνδεση μεταξύ GIS και πολυκριτηριακής ανάλυσης (ΠΚΑ), συμπεριλαμβάνει δηλαδή εργαλείοι που προσφέρουν δυνατότητες ΠΚΑ.

4.3 Διεργασίες GIS

Η χωροθέτηση του ΧΥΤΑ στην Λακωνία βασίστηκε σε 2 σύνθετα κριτήρια, αποκλεισμού και καταλληλότητας, τα οποία περιλαμβάνουν υποκριτήρια, με βάση τα οποία αναδείχθηκαν οι πιο κατάλληλες περιοχές της Π.Ε. για το σκοπό αυτό. Το κριτήριο αποκλεισμού και τα υποκριτήριά του είναι δίτιμης μορφής, λαμβάνουν τιμές 0 και 1, και αποκλείουν περιοχές χαρακτηρίζοντάς τες ως απαγορευτικές. Το κριτήριο καταλληλότητας βαθμολογεί την περιοχή μελέτης ως προς την καταλληλότητα με βαθμό από 0 (καθόλου κατάλληλο) ως 10 (μέγιστα κατάλληλο). Ακολουθεί πίνακας που παραθέτει τα κριτήρια και τα υποκριτήριά τους, η επιλογή των οποίων έγινε με βάση τους ορισμούς της σχετικής νομοθεσίας καθώς και από μελέτη αντίστοιχων μελετών (Gemitzi et al., 2006):

Πίνακας 4.1: Κριτήρια της πολυκριτηριακής ανάλυσης

Κριτήριο αποκλεισμού	Εγγύτητα σε ποτάμια	Κριτήριο Καταλληλότητας	Υδρολογικό-Υδρογεωλογικό-Γεωλογικό	Υδροφορείς	
	Ακατάλληλα εδάφη			Απόσταση από ρήγματα	
	Εγγύτητα στην ακτή			Υδρογραφικό δίκτυο	
	Εντός περιοχών Natura			Χωροταξικό	Οδικό δίκτυο
	Εντός καταφυγίων άγριας ζωής				Κλίση εδάφους
	Εγγύτητα σε οικισμούς				Προσανατολισμός εδάφους
	Εγγύτητα σε μνημεία				Έδρες δήμων
	Ορατότητα από μνημεία				Χρήσεις γης
	Εγγύτητα σε κυρίως οδικό δίκτυο				
	Εγγύτητα σε αεροδρόμιο				

4.3.1 Διεργασίες κριτηρίου αποκλεισμού

Όπως παρουσιάστηκε το κριτήριο αποκλεισμού είναι σύνθετο κριτήριο, συνεπώς για την εξαγωγή τελικού χάρτη που θα το εκφράζει χρειάστηκε η δημιουργία θεματικών επιπέδων για κάθε υποκριτήριο. Για να επιτευχθεί αυτό, τα χωρικά δεδομένα γεωαναφέρθηκαν στο ίδιο σύστημα αναφοράς, υπέστησαν κατάλληλη επεξεργασία χρησιμοποιώντας τις απαραίτητες εργαλειοθήκες του ArcMap, μετατράπηκαν όλα τα διαθέσιμα δεδομένα σε ψηφιακή (raster) μορφή, και αποθηκεύτηκαν ως δυαδικές εικόνες. Οι εικόνες αυτές χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία του χάρτη με τη διαδικασία της χαρτογραφικής υπέρθεσης, οπτικοποιώντας έτσι την απόλυτη διαίρεση της περιοχής σε απαγορευμένες και μη απαγορευμένες περιοχές. Η μαθηματική διατύπωση που εκφράζει την καταλληλότητα της περιοχής με βάση τα κριτήρια αποκλεισμού ήταν (Gemitzi et al., 2006):

$$SI = \prod_{i=1}^K b_i \quad (\text{Εξ. 4.1})$$

όπου SI = συνολικός δείκτης καταλληλότητας (0 ή 1), b_j = καταλληλότητα κάθε υποκριτηρίου (0 ή 1) και K = αριθμός υποκριτηρίων αποκλεισμού.

Από την εξίσωση που χρησιμοποιήθηκε φαίνεται πως τα κριτήρια θεωρήθηκαν ισοβαρή, δηλαδή ίσης σημαντικότητας για όλες της περιοχές που θεωρήθηκαν αποκλεισμένες, καθώς δεν υφίσταται μια απαγόρευση να είναι σημαντικότερη της άλλης.

4.3.2 Διεργασίες κριτηρίου καταλληλότητας

Ομοίως με το κριτήριο αποκλεισμού, για το κριτήριο καταλληλότητας χρειάστηκε να δημιουργηθούν θεματικά επίπεδα από εικόνες raster όπου οι τιμές των pixel τους βαθμολογούσαν την περιοχή ως προς την καταλληλότητά τους. Σε αντίθεση όμως με τις απαγορεύσεις, δεν δημιουργήθηκαν δυαδικές εικόνες που είχαν τιμές 0 και 1 αλλά εικόνες οι τιμές των οποίων κυμαίνονταν στο διάστημα [0,1]. Για την δημιουργία τους απαιτήθηκε η μετατροπή των διανυσματικών δεδομένων σε ψηφιδωτά είτε με την εντολή Polygon to Raster είτε με την χρήση της εντολής της Ευκλείδειας Απόστασης.

Έπειτα, για να αποκτήσουν τιμές στο επιθυμητό διάστημα τα pixel της εικόνας, χρησιμοποιήθηκαν οι εντολές της γραμμικής συνάρτησης ασαφούς λογικής είτε της επαναταξινόμησης. Η χρήση της συνάρτησης ασαφούς λογικής έγινε για την καταπολέμηση της ασάφειας. Οι συναρτήσεις ασαφούς λογικής προσφέρουν σταδιακή μετάβαση των τιμών των περιοχών από ακατάλληλες (0) σε κατάλληλες (1), (Shahmoradi and Isalou, 2013). Η συνάρτηση ασαφούς λογικής που χρησιμοποιήθηκε ήταν η γραμμική. Η λειτουργία της συνάρτησης αυτής περιγράφεται ως η εφαρμογή μιας γραμμικής συνάρτησης μεταξύ ενός ελάχιστου και ενός μέγιστου που λαμβάνουν τιμές 0 και 1, αντίστοιχα, τα οποία ορίζει ο χρήστης. Τιμές μικρότερες του ελάχιστου λαμβάνουν επίσης τιμή 0 και τιμές μεγαλύτερες του μέγιστου επίσης τιμή 1.

Όπως και για την εξαγωγή του χάρτη ακαταλληλότητας έτσι και σε αυτήν την περίπτωση πραγματοποιήθηκε υπέρθεση των θεματικών επιπέδων που προέκυψαν από

την επεξεργασία των χωρικών δεδομένων. Τα υποκριτήρια στην περίπτωση αυτή δεν κρίθηκαν ισάξια, κάθε ένα συμμετείχε με διαφορετικό βάρος. Για τον προσδιορισμό του βάρους του κάθε υποκριτηρίου χρησιμοποιήθηκε η Αναλυτική Ιεράρχική Διαδικασία (Analytical Hierarchy Process ή AHP). Η μέθοδος προτάθηκε από τον Saaty το 1977 και αποτελεί υιοθέτηση του σταθμισμένου γραμμικού σχεδιασμού.

Τα κριτήρια συγκρίθηκαν μεταξύ τους ως προς τη σημασία τους. Η σύγκριση αυτή επιτεύχθηκε βαθμολογώντας την σχέση των κριτηρίων μεταξύ τους από το 1 ως το 9. Προτιμήθηκε η βαθμολόγηση με περιττό αριθμό εξασφαλίζοντας την λογική διάκριση μεταξύ των κριτηρίων (Wind and Saaty, 1980).

Πίνακας 4.2: Κλίμακα βαθμολόγησης AHP

Κλίμακα	Βαθμολογία	Αντιστρόφως
Εξαιρετικά προτιμώμενο	9	0,111
Πολύ ισχυρά προτιμώμενο	7	0,143
Ιδιαίτερα προτιμώμενο	5	0,200
Μέτρια προτιμώμενο	3	0,333
Εξίσου προτιμώμενο	1	1,000

Αφού βαθμολογήθηκαν οι σχέσεις των κριτηρίων μεταξύ τους, ελέγχθηκε η συνέπεια των αποτελεσμάτων της σύγκρισης. Αυτό επιτεύχθηκε με την χρήση του δείκτη συνέπειας (CI). Ο CI βασίζεται στην μέγιστη ιδιοτιμή λ_{max} , η οποία υπολογίστηκε ως εξής (Saaty, 1977):

$$\lambda_{max} = \sum_{j=1}^n a_{ij} \left(\frac{w_j}{w_i} \right) \quad (\text{Εξ. 4.2})$$

Ο δείκτης CI υπολογίστηκε αντίστοιχα από τη σχέση (Saaty, 2005):

$$CI = \frac{(\lambda_{max} - n)}{n - 1} \quad (\text{Εξ. 4.3})$$

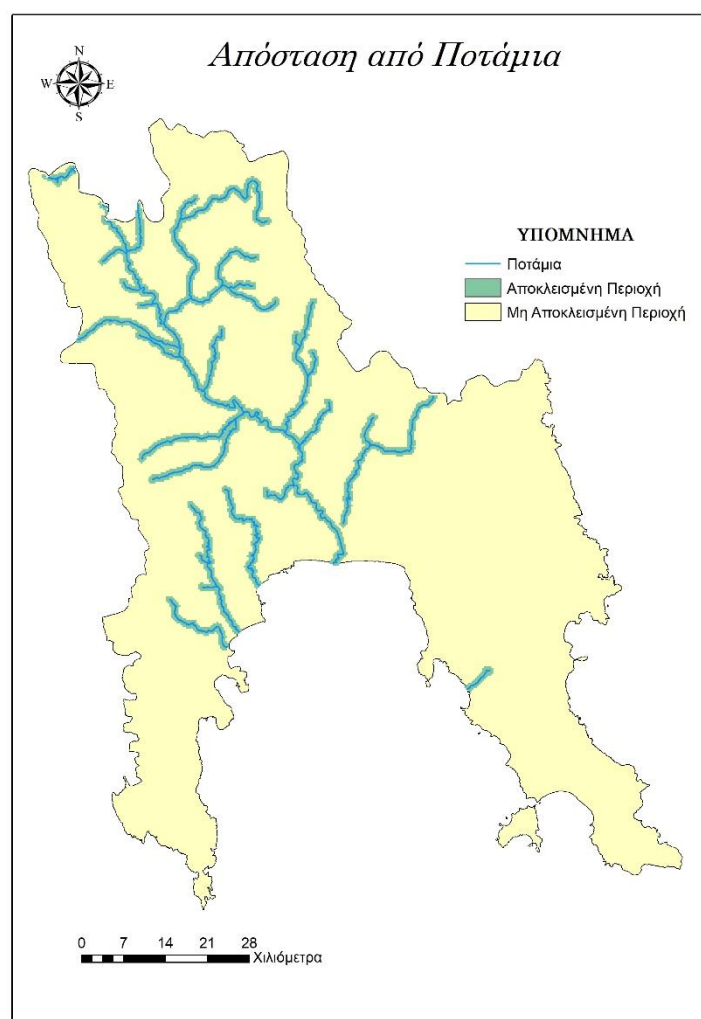
Η επαλήθευση της ορθότητας του δείκτη συνέπειας έγινε με το ποσοστό συνοχής (CR), όπως πρότεινε και ο Saaty. Υπολογίστηκε με διαίρεση του δείκτη συνέπειας με το δείκτη τυχαίας συνέπειας RI. Θεωρείται ότι έχει επιτευχθεί συνέπεια όταν ο $CR < 10\%$. Αλλιώς χρειάζεται επανεξέταση της κατάστασης και επαναβαθμολόγηση των σχέσεων των κριτηρίων, οδηγώντας σε μεταβολή των συντελεστών βαρύτητας. Αν $CR=0$ τότε επιτυγχάνεται απόλυτη συνέχεια (Chabuk, 2017). Οι παραπάνω υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση του online υπολογιστικού εργαλείου της Αναλυτικής Ιεράρχισης Διαδικασίας AHP-OS (<https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php>).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1 Κριτήρια αποκλεισμού

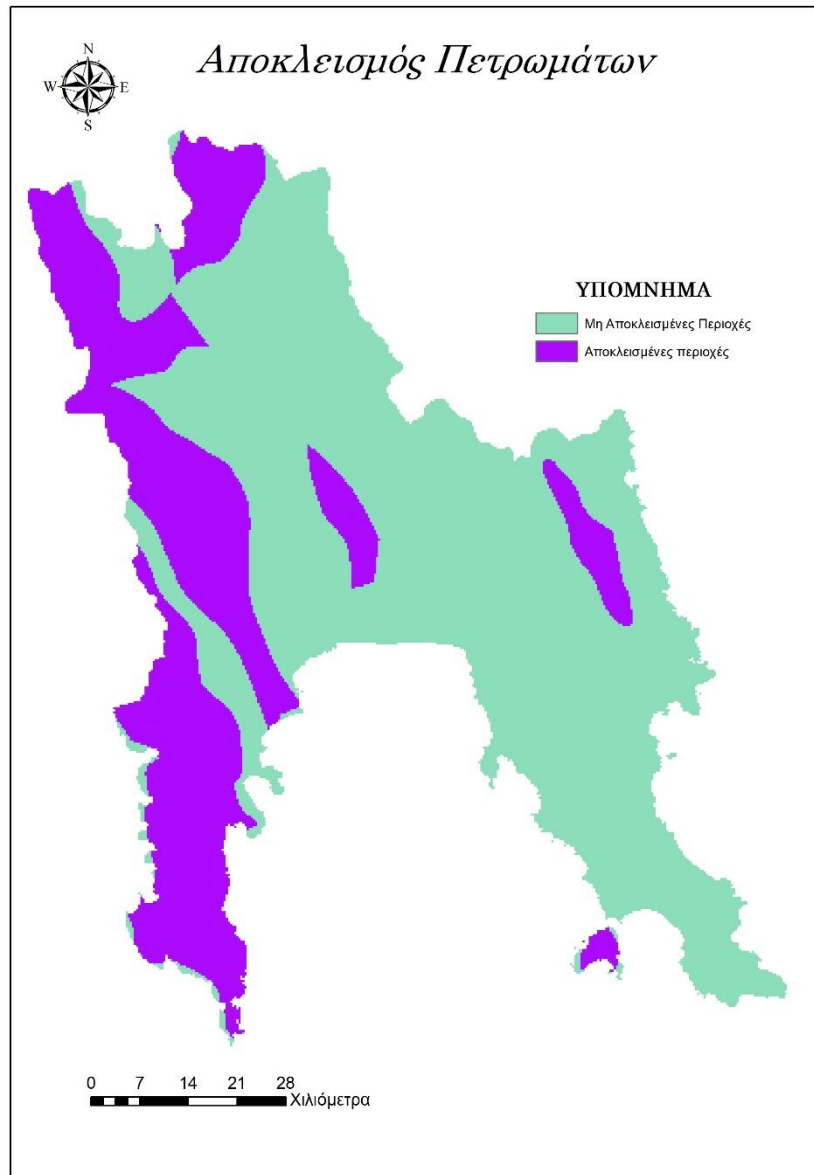
Τα κριτήρια αποκλεισμού ξεχώρισαν τις περιοχές της Π.Ε. Λακωνίας που απαγορεύτηκε απολύτως η χωροθέτηση του ΧΥΤΑ. Τα κριτήρια αυτά είχαν χαρακτήρα γεωγραφικό, περιβαλλοντικό και χωροταξικό. Η οπτικοποίηση τους μέσω του ArcMap πραγματοποιήθηκε με μορφή δυαδικών εικόνων raster, με τιμές 0 και 1. Οι αποκλεισμένες περιοχές όπως ορίστηκαν από τα κριτήρια έλαβαν τιμή 0, ενώ οι επιτρεπόμενες τιμή 1.

Σαν πρώτο κριτήριο αποκλεισμού τέθηκε η απόσταση του ΧΥΤΑ από το υδρογραφικό δίκτυο. Σύμφωνα με τι ισχύον νομοθετικό πλαίσιο, απαιτήθηκε ο αποκλεισμός ζώνης 500 m από τα ποτάμια της περιοχής μελέτης, για να αποφευχθεί ρύπανση των υδάτων λόγω διαφυγής στραγγισμάτων. Η ζώνη δημιουργήθηκε με την εντολή buffer εμβέλειας 500 m, πάνω στο θεματικό επίπεδο των ποταμιών. Έπειτα, τα vector δεδομένα μετατράπηκαν σε raster, δημιουργώντας μια δυαδική εικόνα όπου οι αποκλεισμένες περιοχές έλαβαν τιμή 0 (Εικόνα 5.1).



Εικόνα 5.1: Buffer 500m στα ποτάμια

Ένα επιπλέον κριτήριο ορίστηκε με βάση τη μελέτη του υπεδάφους της περιοχής και η εξέταση της λιθολογίας των υπόγειων υδροφορέων. Συγκεκριμένα από τα εδάφη της περιοχής μελέτης, κρίθηκαν ως πλήρως αποκλεισμένα από τη διαδικασία χωροθέτησης, τα ασβεστολιθικά. Οι πληροφορίες για την εδαφική σύσταση της Λακωνίας αντλήθηκαν από το γερμανικό Ομοσπονδιακό Ινστιτούτο Φυσικών Πόρων BGR. Οι χάρτες αυτοί ήταν σε διανυσματική μορφή και μετατράπηκαν σε raster δυαδική εικόνα όπου οι ασβεστολιθικές περιοχές έλαβαν επίσης τιμή 0 (Εικόνα 5.2).



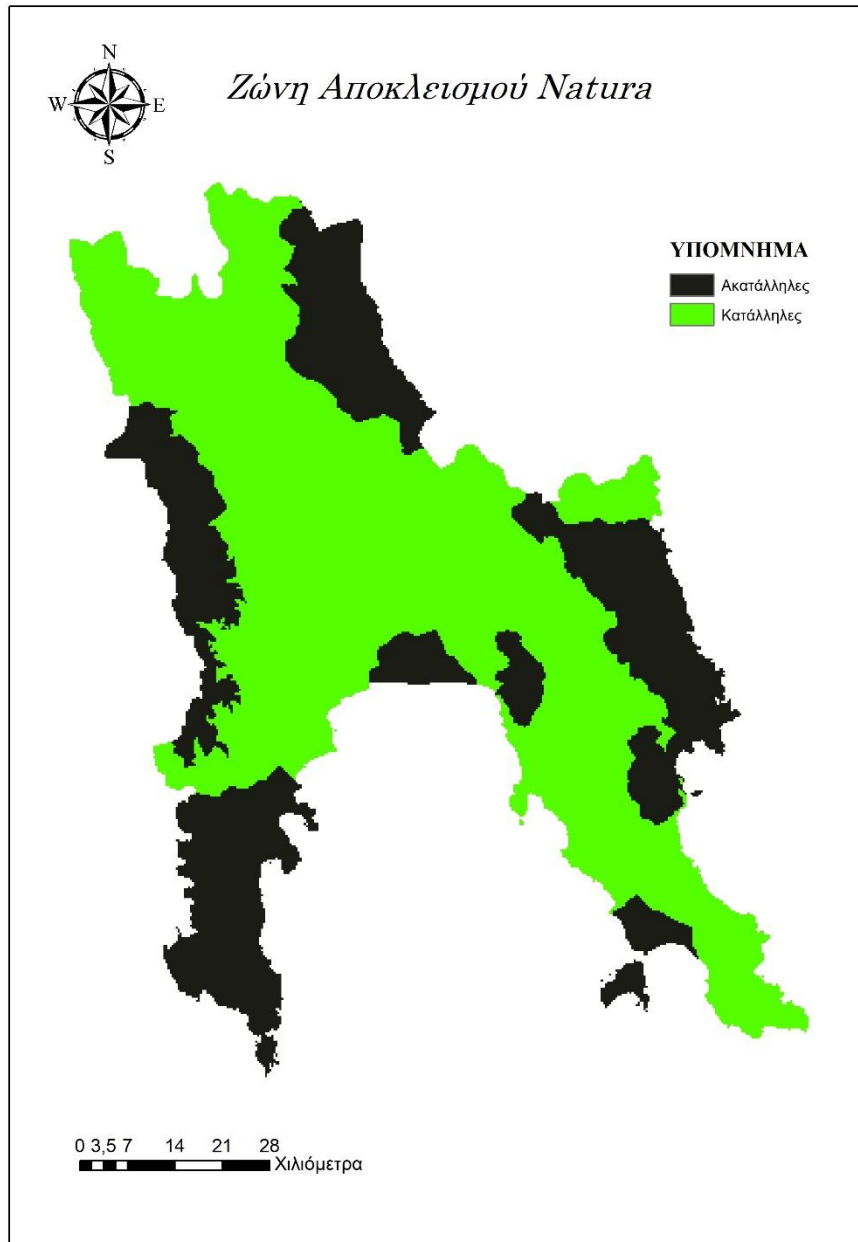
Εικόνα 5.2: Αποκλεισμός ακατάλληλων πετρωμάτων

Επιπροσθέτως, αποφασίστηκε να τεθεί ως κριτήριο αποκλεισμού η απόσταση από την ακτογραμμή. Η Π.Ε. Λακωνίας διαθέτει μεγάλο μήκος ακτογραμμή, η οποία ως επί των πλείστον είτε εκμεταλλεύεται τουριστικά είτε προστατεύεται λόγω της οικολογικής της σημαντικότητας. Συνεπώς ορίστηκε ζώνη 500 m από την ακτογραμμή εντός της οποίας απαγορεύτηκε η χωροθέτηση του ΧΥΤΑ. Η ζώνη δημιουργήθηκε στο ArcMap, με την εντολή buffer δίνοντας εμβέλεια 500 m, επί του επιπέδου της ακτογραμμής. Ακολούθησε μετατροπή των αποτελεσμάτων σε μορφή raster με την ακατάλληλη ζώνη να λαμβάνει τιμή 0 (Εικόνα 5.3).



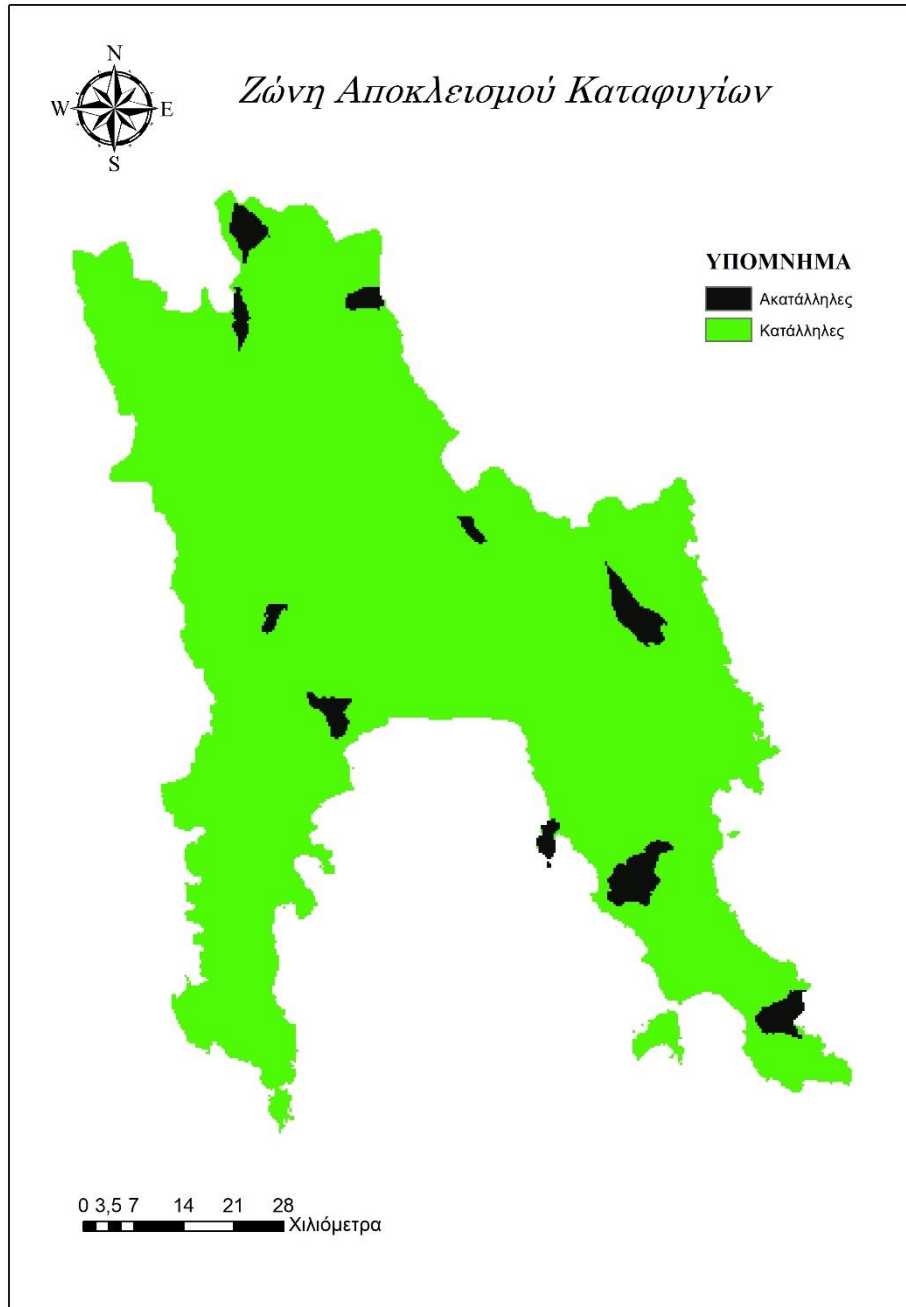
Εικόνα 5.3: Αποκλεισμός περιοχών πλησίον της ακτογραμμής

Συμπληρωματικά απαραίτητος θεωρήθηκε ο αποκλεισμός των περιοχών που προστατεύονται από το πρόγραμμα Natura 2000. Τα διανυσματικά δεδομένα τα οποία ελήφθησαν μετατράπηκαν επίσης σε ψηφιδωτά, με τις περιοχές εντός των ορίων του Natura να λαμβάνουν την τιμή 0 (Εικόνα 5.4).



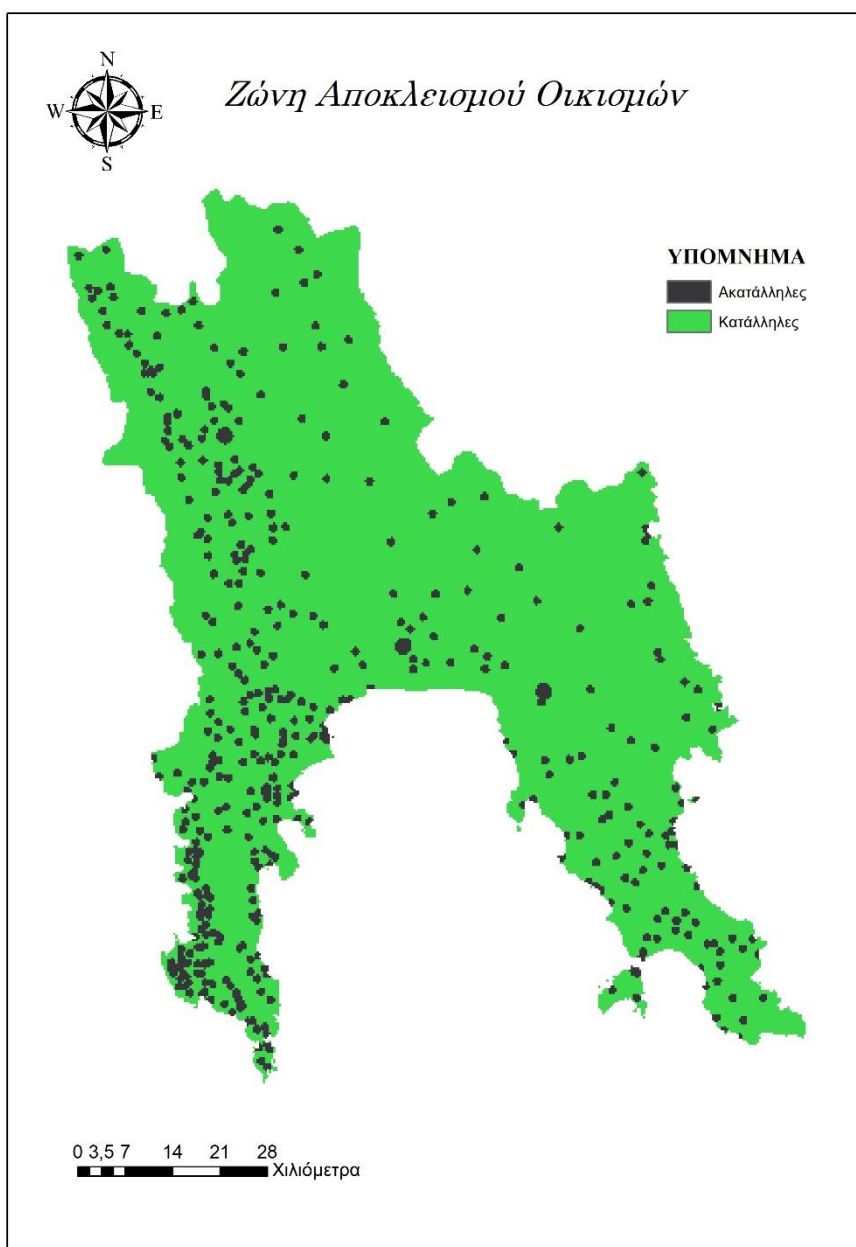
Εικόνα 5.4: Αποκλεισμός περιοχών Natura

Συνδυαστικά με τα 2 προηγούμενα κριτήρια που αποσκοπούσαν στην προστασία του περιβαλλοντικού πλούτου της Λακωνίας, ορίστηκε κριτήριο αποκλεισμού των καταφυγίων άγριας ζωής. Από θεματικό επίπεδο που εμπεριείχε τέτοιες περιοχές δημιουργήθηκε δυαδική εικόνα όπου στις εκτάσεις που συναντιούνταν τα καταφύγια δόθηκε τιμή 0 (Εικόνα 5.5).



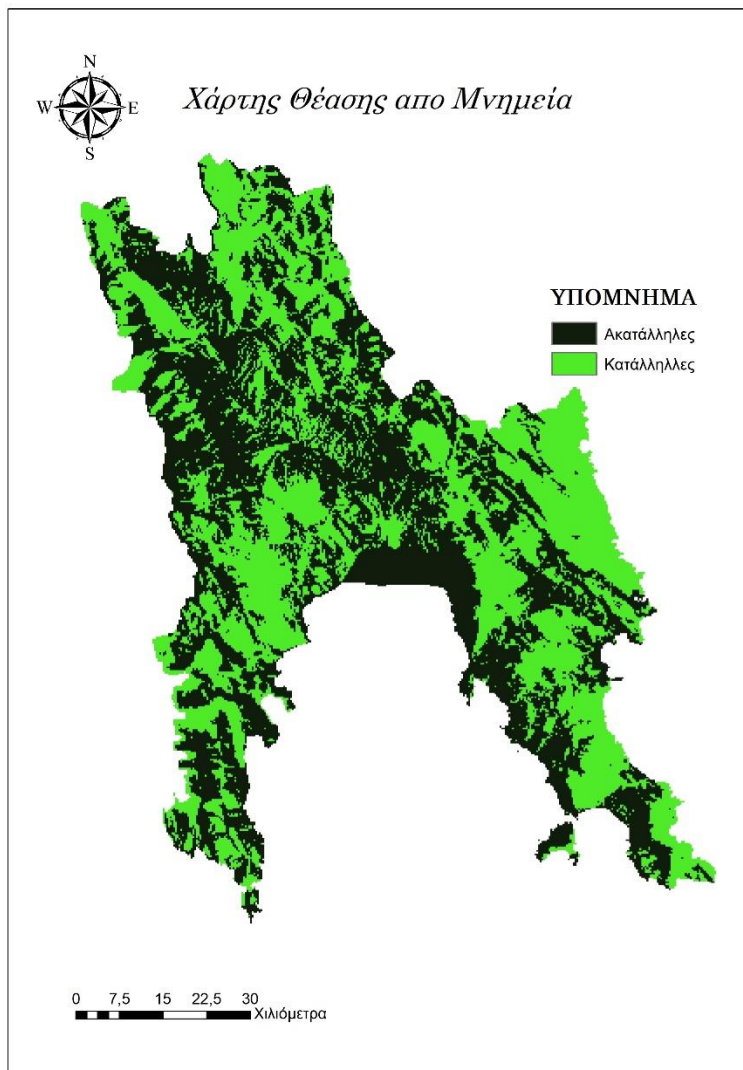
Εικόνα 5.5: Αποκλεισμός καταφυγίων άγριων ζώων

Συμπεριλαμβανόμενων των προηγούμενων κριτηρίων ορίστηκε και ζώνη αποκλεισμού από τους οικισμούς. Σύμφωνα με τον νόμο 114218/97, ένας ΧΥΤΑ απαγορεύεται να χωροθετηθεί 500 m από οικισμό (Gemitzi et al. 2006). Συνεπώς εφαρμόστηκε buffer ζώνης 500 m γύρω από τους οικισμούς, με 1000 m buffer γύρω από τις έδρες των δήμων της Π.Ε. λόγω της μεγαλύτερης έκτασης των οικισμών αυτών. Τα vector επίπεδα μετατράπηκαν σε raster με τις ζώνες αποκλεισμού γύρω από τους οικισμούς να λαμβάνουν τιμή 0 (Εικόνα 5.6).



Εικόνα 5.6: Αποκλεισμός περιοχών πλησίον οικισμών

Επίσης με βάση τον ισχύοντα νόμο, επιβάλλεται ελάχιστη απόσταση από αρχαιολογικά μνημεία τα 500 m. Έτσι, δημιουργήθηκαν buffer ζώνες 500 m γύρω από τα μνημεία. Οι ζώνες αυτές όταν μετατράπηκαν σε raster δεδομένα έλαβαν τιμή 0 (Εικόνα 5.7). Ταυτόχρονα, για αισθητικούς λόγους, κρίθηκε απαραίτητο ο νέος ΧΥΤΑ να μην ήταν ορατός από αρχαιολογικούς χώρους και μνημεία. Η ορατότητα οπτικοποιήθηκε στο ArcMap με την εντολή viewshed, σύμφωνα με το DEM που χρησιμοποιήθηκε. Οι ορατές από μνημεία περιοχές έλαβαν τιμή 0 (Εικόνα 5.8).



Εικόνα 5.7: Αποκλεισμός περιοχών ορατές από μνημεία



Εικόνα 5.8: Αποκλεισμός περιοχών πλησίον μνημείων

Στα κριτήρια αποκλεισμού συμπεριλήφθηκε και η απόσταση από το κύριο οδικό δίκτυο της περιοχής μελέτης. Ορίστηκε πως ο ΧΥΤΑ δεν θα χωροθετηθεί σε απόσταση 1 km από τους κύριους οδικούς άξονες, για να αποφευχθεί κυκλοφοριακή συμφόρηση, λόγω της κυκλοφορίας φορτηγών μεγάλου κυβισμού. Τα δεδομένα για το οδικό δίκτυο λήφθηκαν από το Open Layers του QGIS, από τη βάση δεδομένων του Open Street Maps. Από το σύνολο της πληροφορίας, επιλέχθηκαν μόνο το εθνικό δίκτυο, καθώς οι υπόλοιποι δρόμοι παρουσίαζαν ελάχιστη κίνηση. Γύρω από το επιλεγμένο δίκτυο ιδρύθηκαν ζώνες, με την εντολή buffer, εμβέλειας 1000 m. Τα παράγωγα μετατράπηκαν σε raster και οι ζώνες έλαβαν τιμή 0 (Εικόνα 5.9)



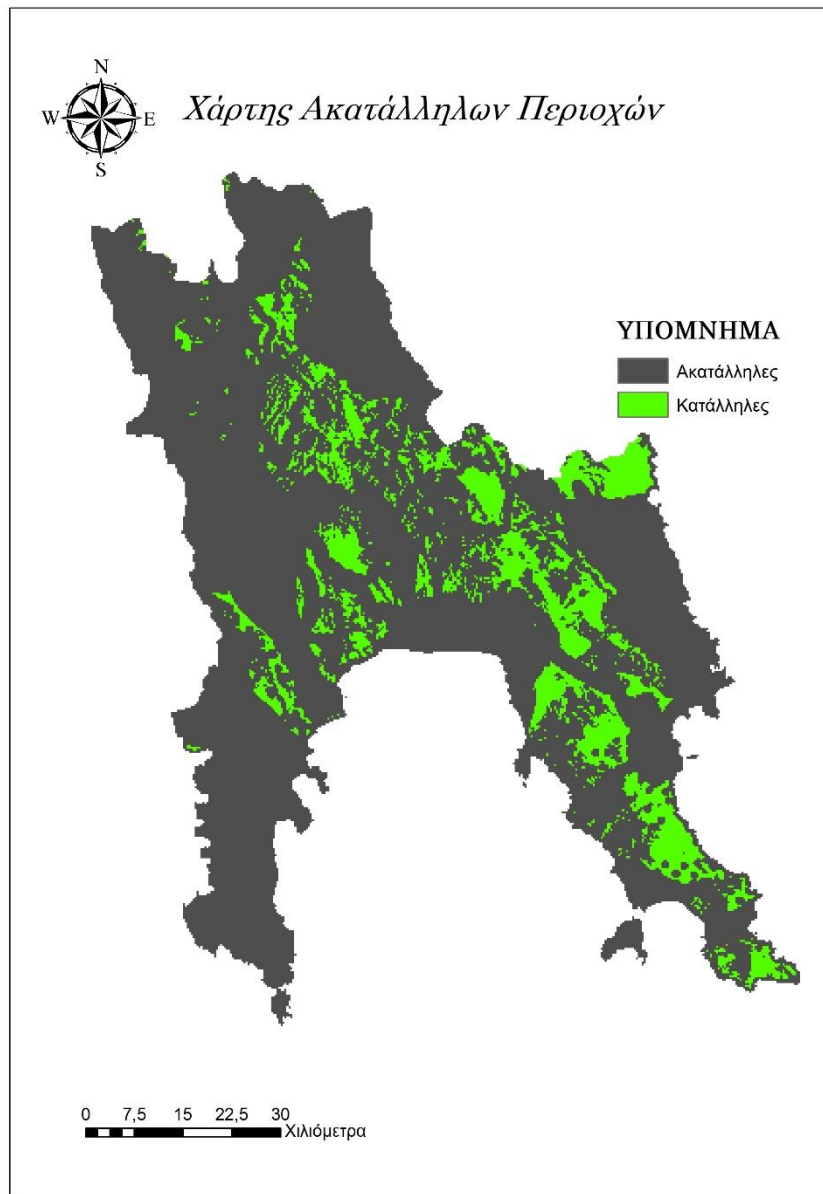
Εικόνα 5.9: Αποκλεισμός περιοχών πλησίον πρωτεύοντος οδικού δικτύου

Στην περιοχή μελέτης εντοπίστηκε αεροδρόμιο, το οποίο δεν έχει εμπορική ή επιβατική κίνηση. Συνεπώς λαμβάνοντας υπόψη άλλες μελέτες εφαρμόστηκε buffer 3 km για ασφάλεια (Εικόνα 5.10).



Εικόνα 5.10: Αποκλεισμός περιοχής κοντά στο αεροδρόμιο

Όλα τα κριτήρια αποκλεισμού εν τέλει συνδυάστηκαν για να δημιουργηθεί ο τελικός χάρτης αποκλεισμού. Ο συνδυασμός επιτεύχθηκε με τον raster calculator πολλαπλασιάζοντας όλες τις δυαδικές εικόνες που παράχθηκαν κατά τη διαδικασία. Ο παραγόμενος χάρτης ήταν επίσης μια δυαδική εικόνα όπου τιμή 0 πήραν οι απαγορευμένες περιοχές και τιμή 1 οι επιτρεπόμενες. Ο χάρτης αυτός συνδυαστικά με τον τελικό χάρτη Καταλληλότητας θα δείχνει τις περιοχές που είναι κατάλληλες για την χωροθέτηση του ΧΥΤΑ (Εικόνα 5.11)



Εικόνα 5.11: Χάρτης αποκλεισμού

5.2 Κριτήρια Καταλληλότητας

Τα κριτήρια Καταλληλότητας χρησιμοποιήθηκαν για την βαθμολογία της περιοχής μελέτης σε κλίμακα 0-1. Παρομοίως με εκείνα του αποκλεισμού, αυτά τα κριτήρια διακρίθηκαν σε κατηγορίες, όπου κάθε κατηγορία διετέλεσε και ένα σύνθετο κριτήριο. Τα βάρη με τα οποία τα επιμέρους κριτήρια συμμετείχαν στα αντίστοιχα σύνθετα κριτήρια ορίστηκαν με τη βοήθεια της θεωρίας της αναλυτικής ιεράρχησης. Τα 3 σύνθετα κριτήρια ήταν:

Πίνακας 5.1: Υποκριτήρια καταλληλότητας και οι συνιστώσες τους

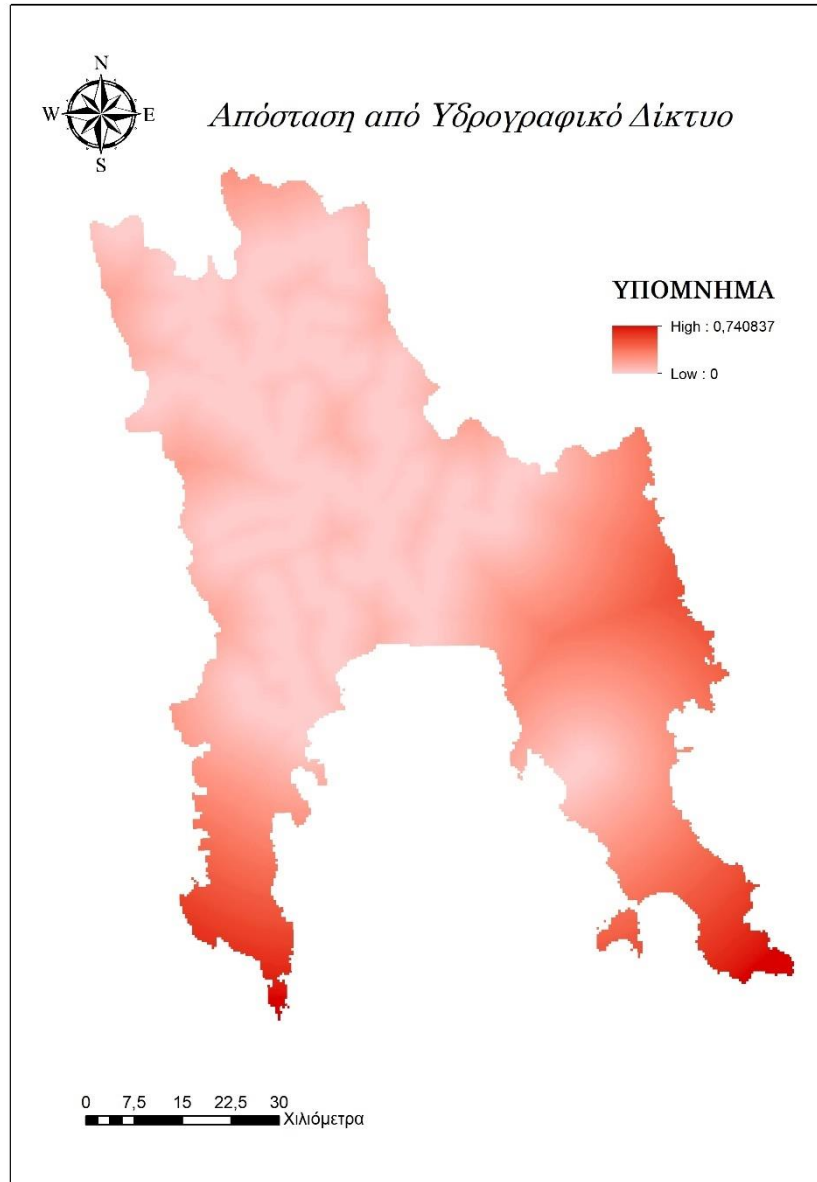
Σύνθετα κριτήρια	Συνθετικά
Υδρολογικό-Υδρογεωλογικό-Γεωλογικό	Απόσταση από Υδρογραφικό δίκτυο
	Απόσταση από ρήγματα
	Καταλληλότητα Υδροφορέων
Χωροταξικό	Κλίση εδάφους
	Προσβασιμότητα
	Προσανατολισμός
	Χρήσεις Γης
	Απόσταση από έδρες δήμων

5.2.1 Υδρολογικό-Υδρογεωλογικό-Γεωλογικό κριτήριο

5.2.1.1 Απόσταση από Υδρογραφικό Δίκτυο

Στα κριτήρια αποκλεισμού ορίστηκε κριτήριο σχετικά με το υδρογραφικό δίκτυο με το οποίο απαγορεύτηκε η χωροθέτηση ΧΥΤΑ σε ζώνη 500 m από αυτό. Συγχρόνως όμως, κρίθηκε απαραίτητο πως μια τέτοια μονάδα επεξεργασίας αποβλήτων θα έπρεπε να τοποθετηθεί όσο πιο μακριά γινόταν από το δίκτυο.

Οι διεργασίες που πραγματοποιήθηκαν στο ArcGIS για την εξαγωγή του επιθυμητού αποτελέσματος ήταν η χρήση της Ευκλείδειας απόστασης για την μετατροπή των δεδομένων από vector σε raster, δίνοντας έτσι τιμές στην περιοχή μελέτης ανάλογα με την απόστασή από το υδρογραφικό δίκτυο. Έπειτα, με τη χρήση της γραμμικής συνάρτησης ασαφούς λογικής (fuzzy membership – linear), οι τιμές αυτές μετατράπηκαν σε κλίμακα 0 ως 1. Αναλυτικότερα, προκειμένου να υπάρχει συμβατότητα με το κριτήριο αποκλεισμού, οι περιοχές που απείχαν 500m ή λιγότερο από τα επιφανειακά ύδατα έλαβαν τιμή 0 και 1 έλαβε το πιο απομακρυσμένο pixel της εικόνας (Εικόνα 5.12).

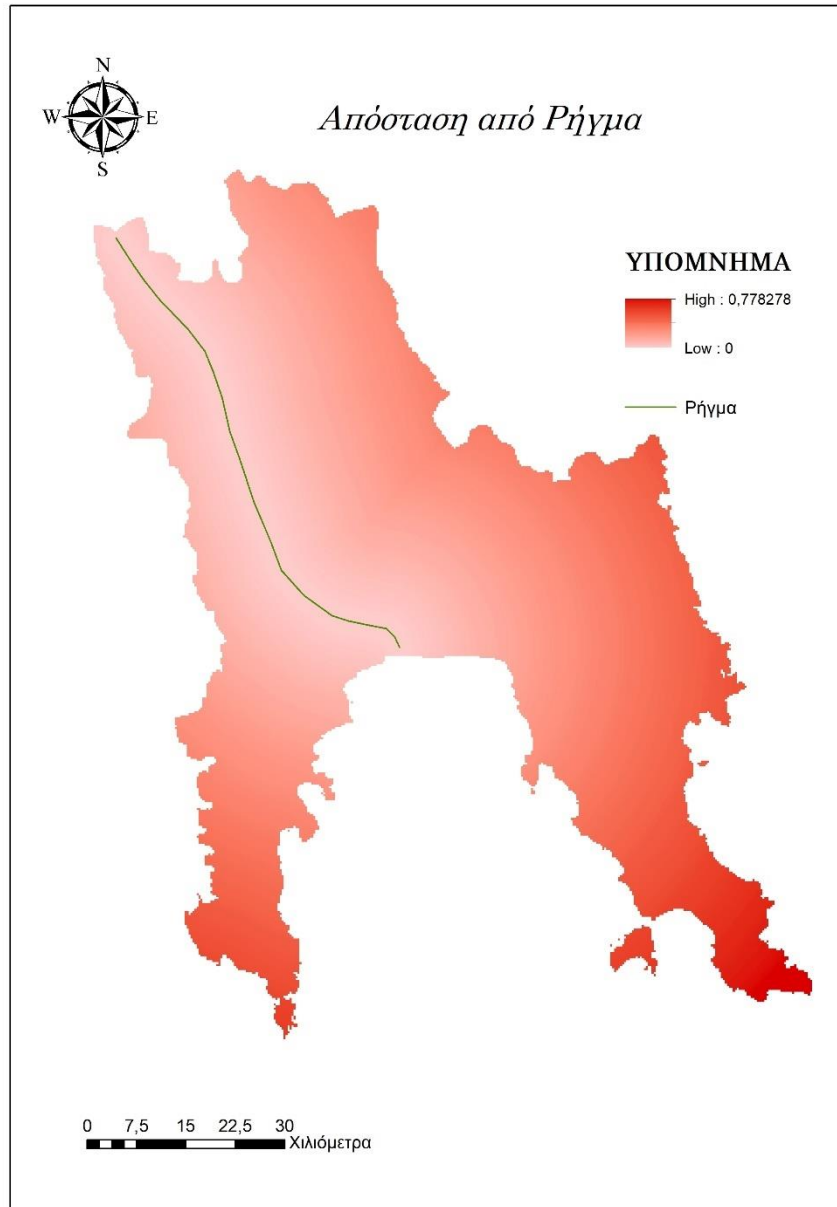


Εικόνα 5.12: Καταλληλότητα βάσει απόστασης από το υδρογραφικό δίκτυο

5.2.1.2: Απόσταση από Ρήγματα

Η χωροθέτηση ενός ΧΥΤΑ θα πρέπει να γίνει σε μια μη σεισμογενή περιοχή, μακριά από ρήγματα. Στην Π.Ε. Λακωνίας παρουσιάζεται ένα μεγάλο ρήγμα το οποίο ξεκινά σχεδόν από το βόρειο άκρο της οροσειράς του Ταυγέτου, διασχίζει κατά πλάτος την Λακωνία και καταλήγει κοντά στις ακτές του Λακωνικού κόλπου, κοντά στο δέλτα του Ευρώτα.

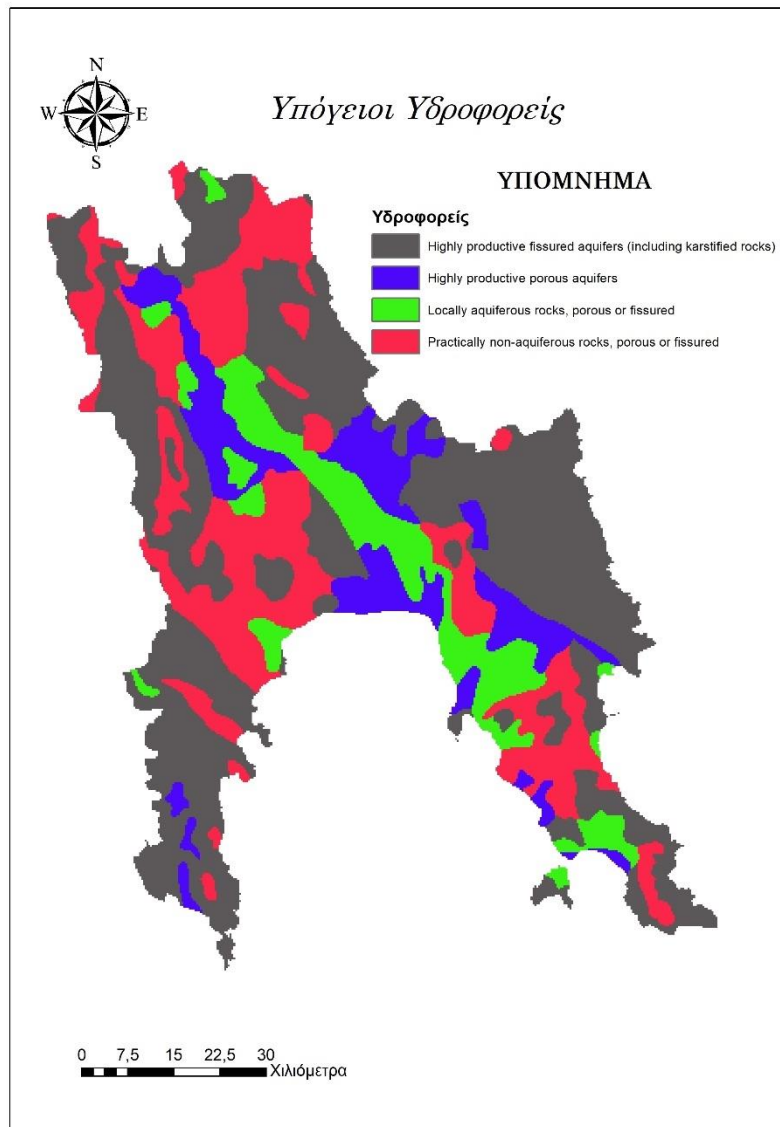
Με την χρήση της Ευκλείδειας απόστασης, μετατράπηκαν σε raster μορφή τα δεδομένα, και τα pixel την εικόνας έλαβαν μια τιμή ως προς την απόστασή τους από το ρήγμα. Με την συνάρτηση fuzzy membership linear με ελάχιστη απόσταση τα 500 m και μέγιστη το πιο απομακρυσμένο pixel, μετατράπηκαν οι τιμές σε 0 ως 1 (Εικόνα 5.13).



Εικόνα 5.13: Καταλληλότητα βάσει απόστασης από ρήγμα

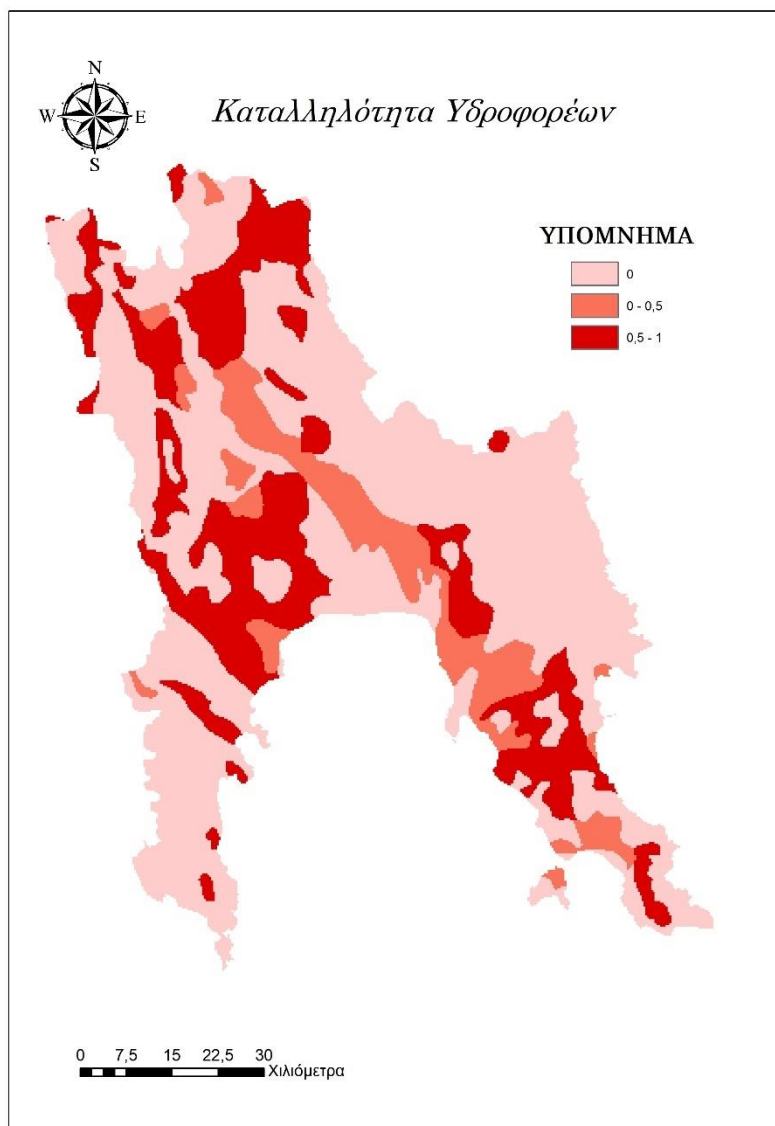
5.2.1.3: Καταλληλότητα Υδροφορέων

Η χωροθέτηση του ΧΥΤΑ δεν είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί σε περιοχή όπου υπάρχει κίνδυνος ρύπανσης των υπόγειων υδροφορέων. Για τον έλεγχο της καταλληλότητας των υδροφορέων χρησιμοποιήθηκαν χάρτες ΙΗΜΕ 1500 του Γερμανικού Ομοσπονδιακού Ινστιτούτου Γεωεπιστημών και Φυσικών Πόρων, οι οποίοι εμπεριείχαν πληροφορίες για την παραγωγικότητα και το είδος του εδαφικού τους σχηματισμού (Εικόνα 5.14).



Εικόνα 5.14: Χάρτης υδροφορέων

Στην Π.Ε. Λακωνίας συναντιούνται υψηλά παραγωγικοί υδροφορείς πορώδεις ή διερρηγμένοι, τοπικά υδροφόροι σχηματισμοί και μη υδροφόροι. Για την χρήση των δεδομένων αυτών χρειάστηκε η μετατροπή τους σε ψηφιδωτά. Η νέα raster εικόνα αναταξινομήθηκε και δόθηκαν νέες τιμές στους υδροφορείς. Στους υψηλά παραγωγικούς δόθηκε τιμή 0, στους τοπικά υδροφόρους τιμή 0,5 και στους μη υδροφόρους τιμή 1 (Εικόνα 5.15).



Εικόνα 5.15: Καταλληλότητα βάσει υδροφορέων

5.2.1.4: Ολοκληρωμένο Υδρολογικό-Υδρογεωλογικό-Γεωλογικό κριτήριο

Η ολοκλήρωση του κριτηρίου αυτού έγινε με την εφαρμογή της θεωρίας αναλυτικής ιεράρχησης, με τη χρήση του online εργαλείου υπολογιστικού εργαλείου της θεωρίας αυτής (<https://bpmmsg.com/ahp/ahp-calc.php>). Η κατάταξη των παραγόντων ως προς τη σημαντικότητα πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια αντίστοιχων μελετών και ιδιαίτερα το άρθρο των Gemitzi et al. (2006) και παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες (Πίνακας 5.2, 5.3)

Σύμφωνα με την κλίμακα Saaty:

- Το κριτήριο των υπόγειων υδροφορέων ήταν ελαφρώς προτιμητέο των υπολοίπων, και δόθηκε τιμή 3.
- Τα κριτήρια του υδρογραφικού δικτύου και των ρηγμάτων θεωρήθηκαν ισάξια.

Πίνακας 5.2: Σύγκριση συνιστωσών Υδρολογικού-Υδρογεωλογικού-Γεωλογικού κριτηρίου

Υδρολογικό-Υδρογεωλογικό-Γεωλογικό		
Κριτήριο	Προτεραιότητα	Θέση
Απόσταση από υδρογραφικό δίκτυο	20,0%	2
Απόσταση από Ρήγμα	20,0%	2
Καταλληλότητα Υδροφορέων	60,0%	1

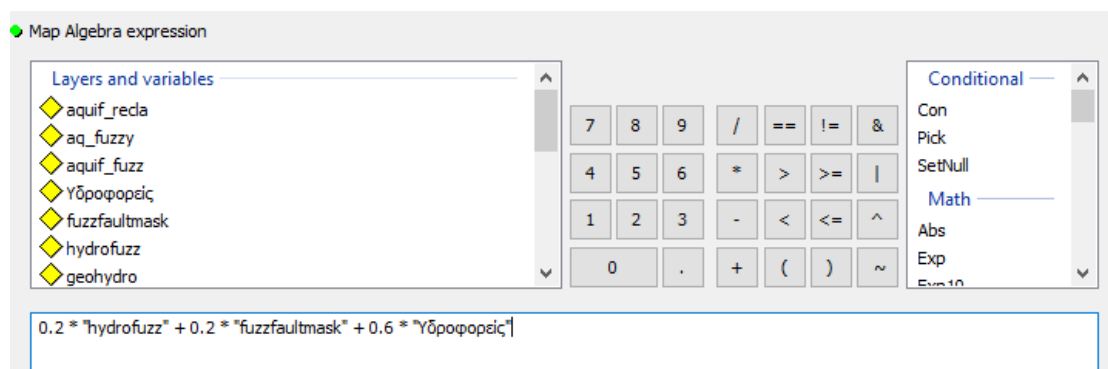
Πίνακας 5.3: Βαθμολόγηση συνιστωσών Υδρολογικού-Υδρογεωλογικού-Γεωλογικού κριτηρίου σύμφωνα με την AHP

Υδρολογικό-Υδρογεωλογικό-Γεωλογικό			
	Απόσταση από υδρογραφικό δίκτυο	Απόσταση από Ρήγμα	Καταλληλότητα Υδροφορέων
Απόσταση από υδρογραφικό δίκτυο	1	3	3
Απόσταση από Ρήγμα	0,33	1	1
Καταλληλότητα Υδροφορέων	0,33	1	1

Ο λόγος συνέπειας CR υπολογίστηκε ίσος με το $0 < 10\%$, άρα ήταν αποδεκτός και επιτεύχθηκε απόλυτη συνέπεια. Τα βάρη που προέκυψαν ήταν: 0.2 για τα κριτήρια του ρήγματος και του υδρογραφικού δικτύου και 0.6 για τους υδροφορείς.

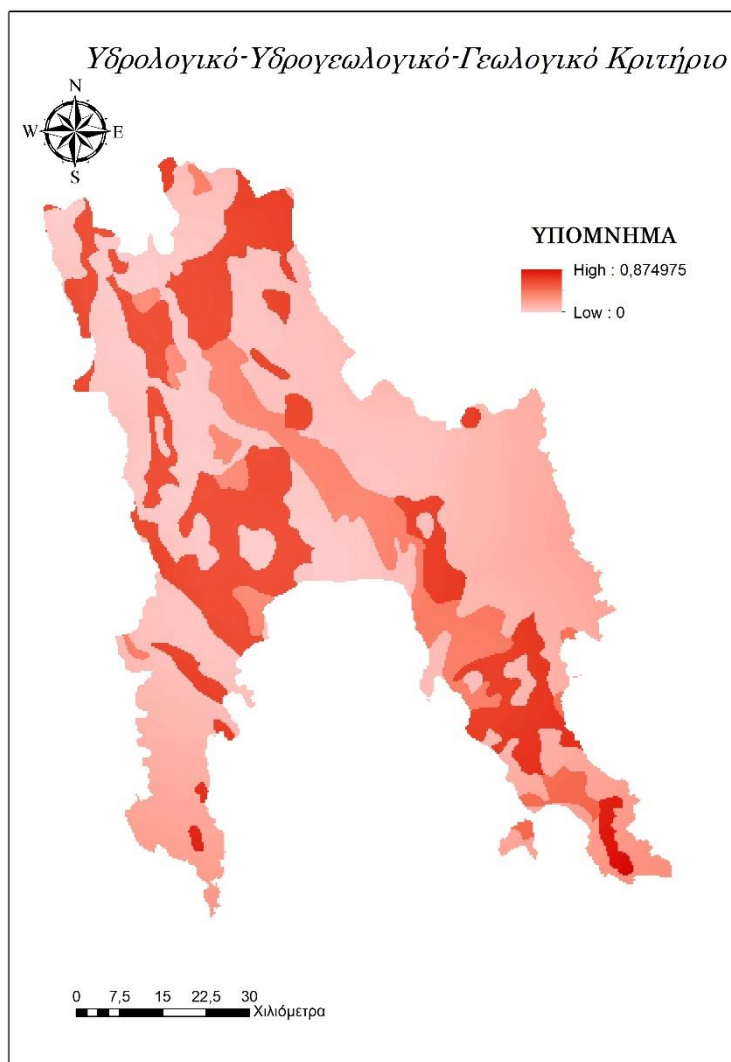
Στον raster calculator του ArcGIS δόθηκε ο παρακάτω τύπος προκειμένου να παραχθεί η τελική εικόνα του κριτηρίου αυτού (Εικόνα 5.16).

$$0,2 \times \text{Υδρογραφικό} + 0,2 \times \text{Ρήγμα} + 0,6 \times \text{Υδροφορείς} \quad (\text{Εξ. 5.1})$$



Εικόνα 5.16: Ο τύπος υπολογισμού του Υδρολογικού-Υδρογεωλογικού-Γεωλογικού κριτηρίου στο raster calculator

Ο χάρτης που δείχνει την καταλληλότητα των περιοχών με βάση το κριτήριο αυτό παρουσιάζεται παρακάτω (Εικόνα 3.17)



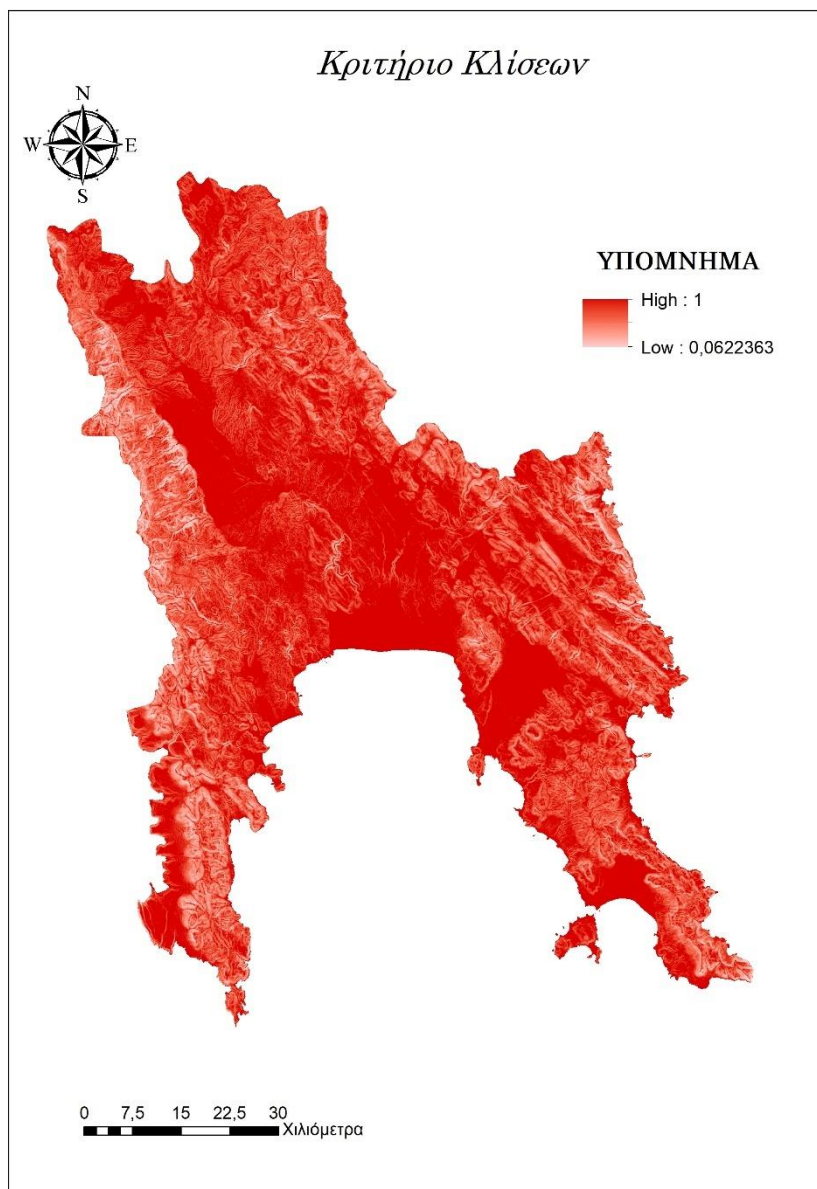
Εικόνα 5.17: Χάρτης Υδρολογικού-Υδρογεωλογικού-Γεωλογικού κριτηρίου

5.2.2 Χωροταξικό κριτήριο

5.2.2.1: Κλίσεις εδάφους

Η κλίση του εδάφους επηρεάζει το κόστος, καθώς απαιτούνται περισσότερες εκσκαφές για την ολοκλήρωση του έργου. Συνεπώς, όσο μεγαλύτερη η κλίση, τόσο μικρότερη η καταλληλότητα.

Ο χάρτης των κλίσεων όπως προαναφέρθηκε παράχθηκε χρησιμοποιώντας ένα DEM της περιοχής, με το εργαλείο Slope του ArcGIS. Οι κλίσεις στην περιοχή κυμαίνονται από 0 ως 58,3%. Με τη χρήση της fuzzy membership lineal με $\min = 58,3\%$ και $\max = 5\%$, όπου υπήρχε κλίση 5% ή μικρότερη ελήφθη η τιμή 1 και όπου 58,3% η τιμή 0 (Εικόνα 5.18).



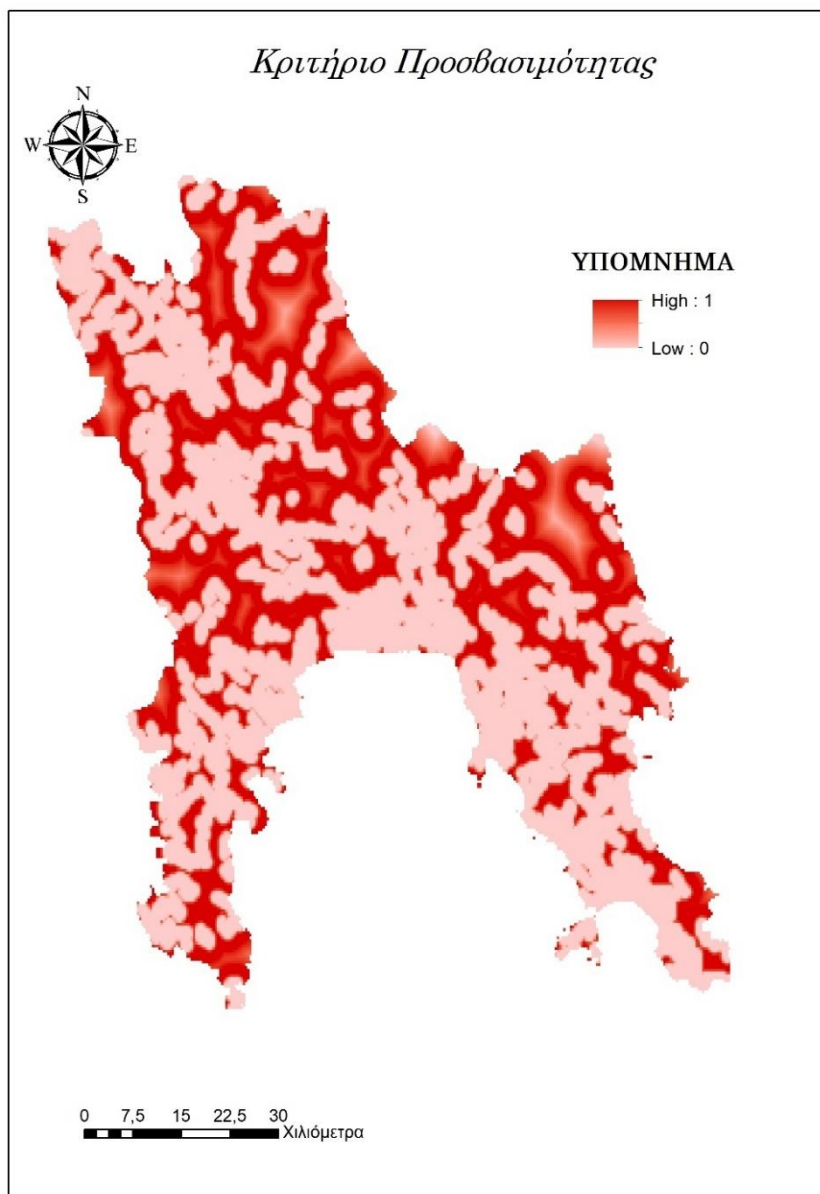
Εικόνα 5.18: Καταλληλότητα κλίσεων εδάφους

5.2.2.2: Προσβασιμότητα

Η προσβασιμότητα αποτέλεσε επίσης σημαντικό κριτήριο για τη χωροθέτηση του ΧΥΤΑ καθώς συνδεόταν με το κόστος. Στα κριτήρια αποκλεισμού ορίστηκε ζώνη 1 km γύρω από το κύριο οδικό δίκτυο για την αποφυγή κυκλοφοριακής συμφόρησης λόγω της κίνησης των οχημάτων εντός και εκτός της μονάδας. Ταυτόχρονα όμως, για να αποφευχθεί η χάραξη και κατασκευή νέων δρόμων, κρίθηκε απαραίτητη η εγγύτητα στο υπάρχον δευτερεύον οδικό δίκτυο, έτσι ώστε να ικανοποιηθούν τόσο το κριτήριο αποκλεισμού, όσο και το κριτήριο της προσβασιμότητας.

Στο ArcMap με την ευκλείδεια απόσταση μετατράπηκαν σε raster τα vector αρχεία του οδικού δικτύου και με την fuzzy overlay πραγματοποιήθηκε επικάλυψη χρησιμοποιώντας δύο fuzzy membership linear. Η πρώτη με min=500 m και max =

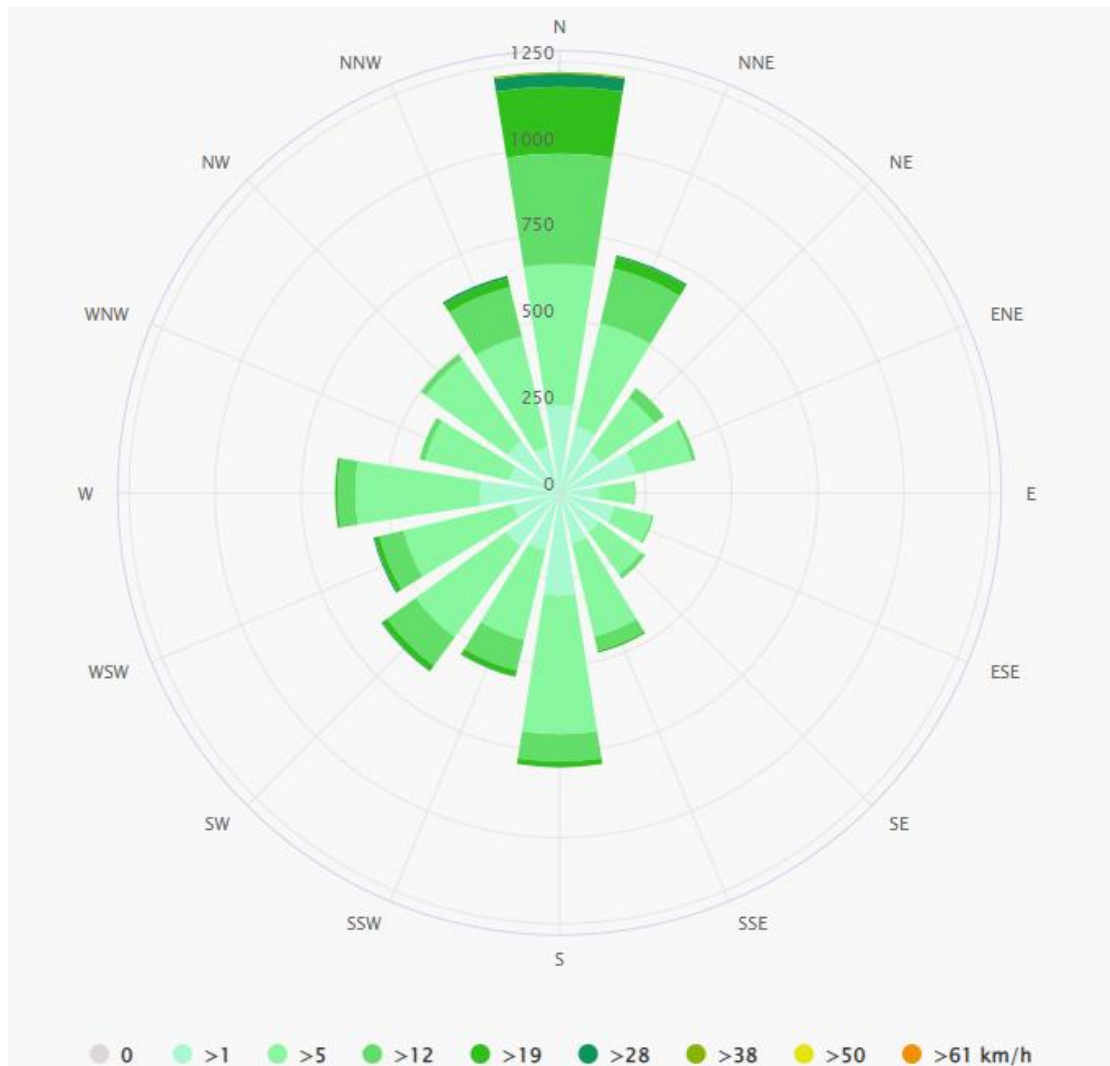
1000 m και η δεύτερη με $\max = 2000$ m και \min το πιο απομακρυσμένο pixel της περιοχής (Εικόνα 5.19).



Εικόνα 5.19: Καταλληλότητα βάσει προσβασιμότητας

5.2.2.3: Προσανατολισμός

Το κριτήριο του προσανατολισμού εφαρμόστηκε για να μελετηθεί η έκθεση της νέας μονάδας στα στοιχεία της φύσης. Μελετώντας τις συνήθεις συνθήκες οι άνεμοι πνέουν κυρίως βόρειοι, βορειοανατολικοί και βορειοδυτικοί (Εικόνα 5.20).

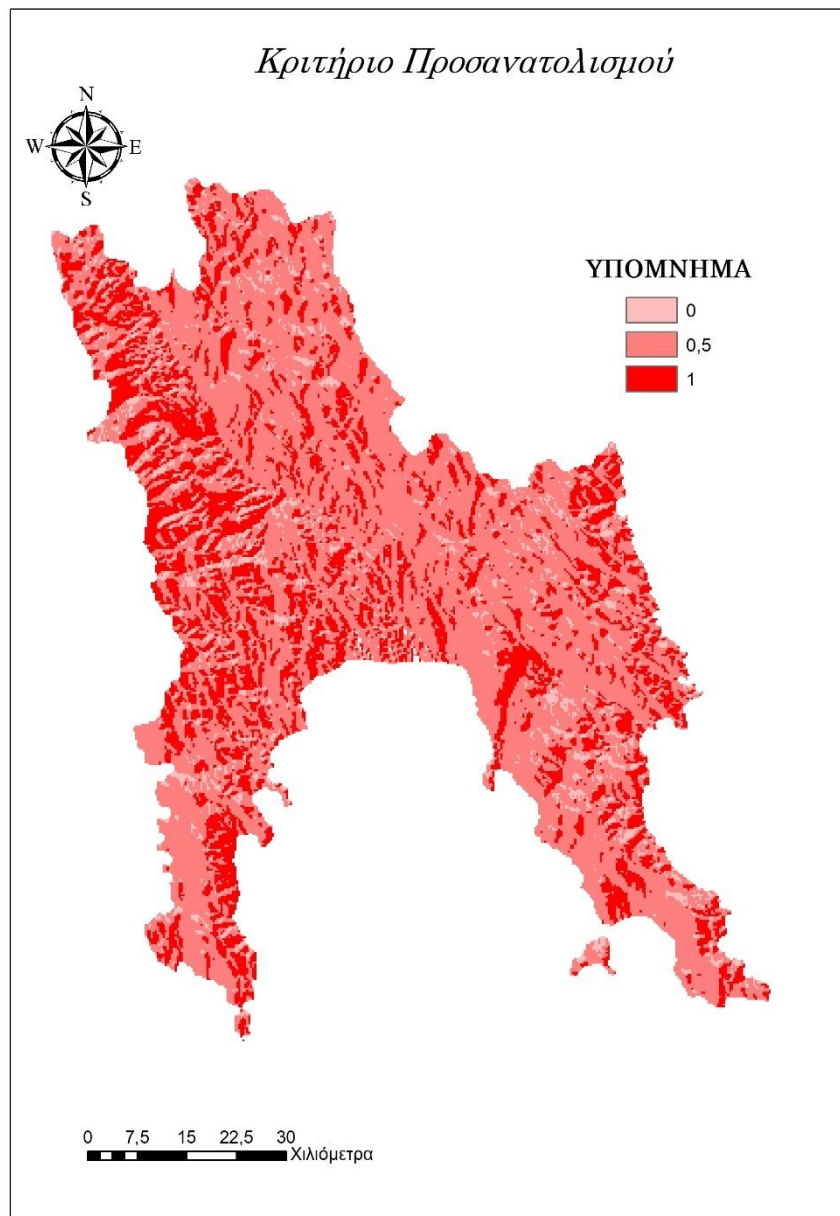


Εικόνα 5.20: Ανεμολόγιο (Πηγή: <https://www.meteoblue.com>)

Συνεπώς στην αναταξινόμηση των κατηγοριών οι νέες τιμές ήταν:

1. Βορράς (337,5°-22,5°) τιμή 0
2. Βορειοανατολικά (22,5°-67,5°) τιμή 5
3. Ανατολικά (67,5°-112,5°) τιμή 10
4. Νοτιοανατολικά (112,5°-157,5°) τιμή 10
5. Νότια (157,5°-202,5°) τιμή 5
6. Νοτιοδυτικά (202,5°-247,5°) τιμή 5
7. Δυτικά (247,5°-292,5°) τιμή 5
8. Βορειοδυτικά (292,5°-337,5°) τιμή 5

Οι τιμές αυτές μετατράπηκαν σε κλίμακα 0-1, διαιρώντας την εικόνα με το 10 (Εικόνα 5.21).



Εικόνα 5.21: Καταλληλότητα προσανατολισμού εδάφους

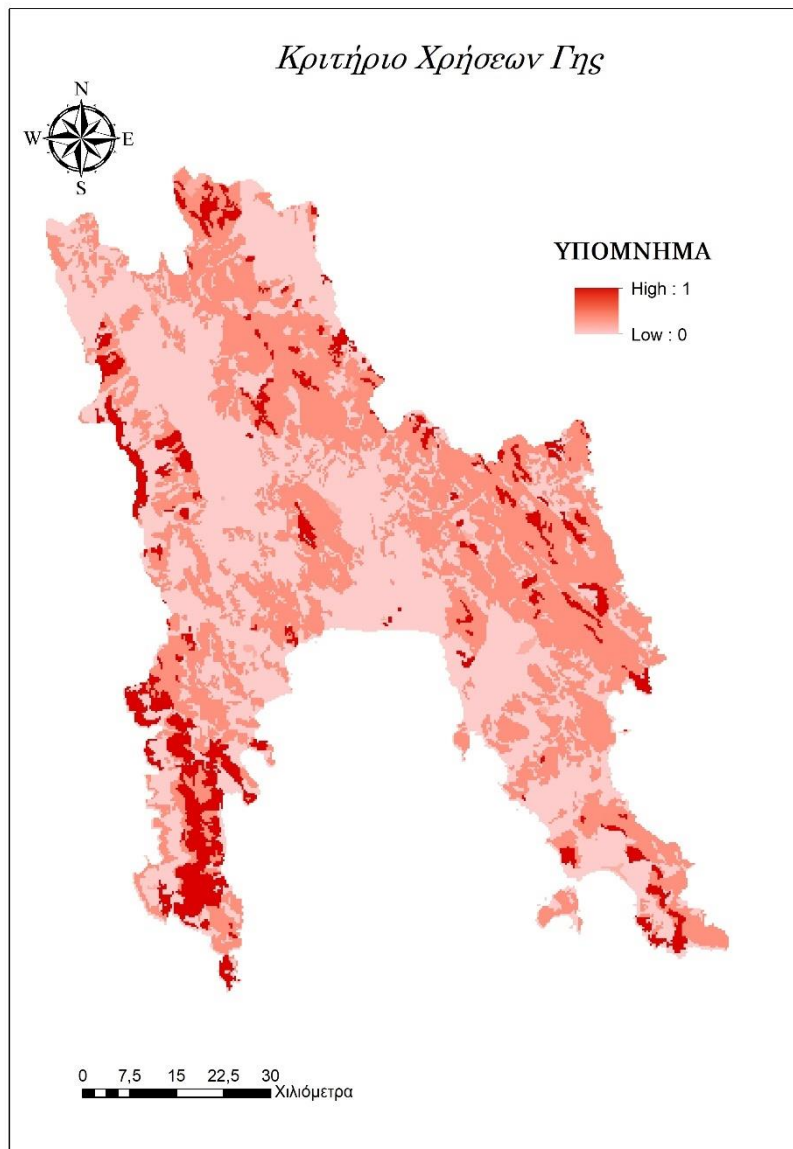
5.2.2.4: Χρήσεις Γης

Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία και με βάση μελέτες αντίστοιχων χωροθετήσεων, έγινε αναταξινόμηση των χρήσεων γης σε 11 νέες κατηγορίες, οι οποίες έλαβαν τιμές από 0 ως 10 ανάλογα με την καταλληλότητά τους. Τα δεδομένα για τις χρήσεις γης αντλήθηκαν από το Corine Land Cover 2018. Οι νέες κατηγορίες συμπεριελάμβαναν:

1. Με 0 βαθμολογήθηκαν οι ανθρώπινες κατασκευές (κτίσματα, δρόμοι) και επιρροές στο περιβάλλον (λατομείο), καθώς και όλα τα είδη δασών υδατικών όγκων, και λοιπών ακατάλληλων καλύψεων γης (άμμος).

2. Με 1 δεν κρίθηκε απαραίτητο να βαθμολογηθεί κάποια κατηγορία.
3. Με 2 δεν κρίθηκε απαραίτητο να βαθμολογηθεί κάποια κατηγορία.
4. Με 3 βαθμολογήθηκαν οι περισσότερες καλλιέργειες και περιοχές με γεωργικές δραστηριότητες
5. Με 4 βαθμολογήθηκαν οι ελαιώνες
6. Με 5 οι κατηγορίες χαμηλής βλάστησης, όπως θαμνώδεις εκτάσεις
7. Με 6 δεν κρίθηκε απαραίτητο να βαθμολογηθεί κάποια κατηγορία.
8. Με 7 δεν κρίθηκε απαραίτητο να βαθμολογηθεί κάποια κατηγορία.
9. Με 8 δεν κρίθηκε απαραίτητο να βαθμολογηθεί κάποια κατηγορία.
10. Με 9 βαθμολογήθηκαν τα λιβάδια και οι βοσκότοποι
11. Με 10 βαθμολογήθηκαν περιοχές με αραιή βλάστηση ή χωρίς βλάστηση

Στις νέες αυτές κατηγορίες εφαρμόστηκε fuzzy membership linear όπου $\max = 10$ και $\min = 0$ (Εικόνα 5.22).

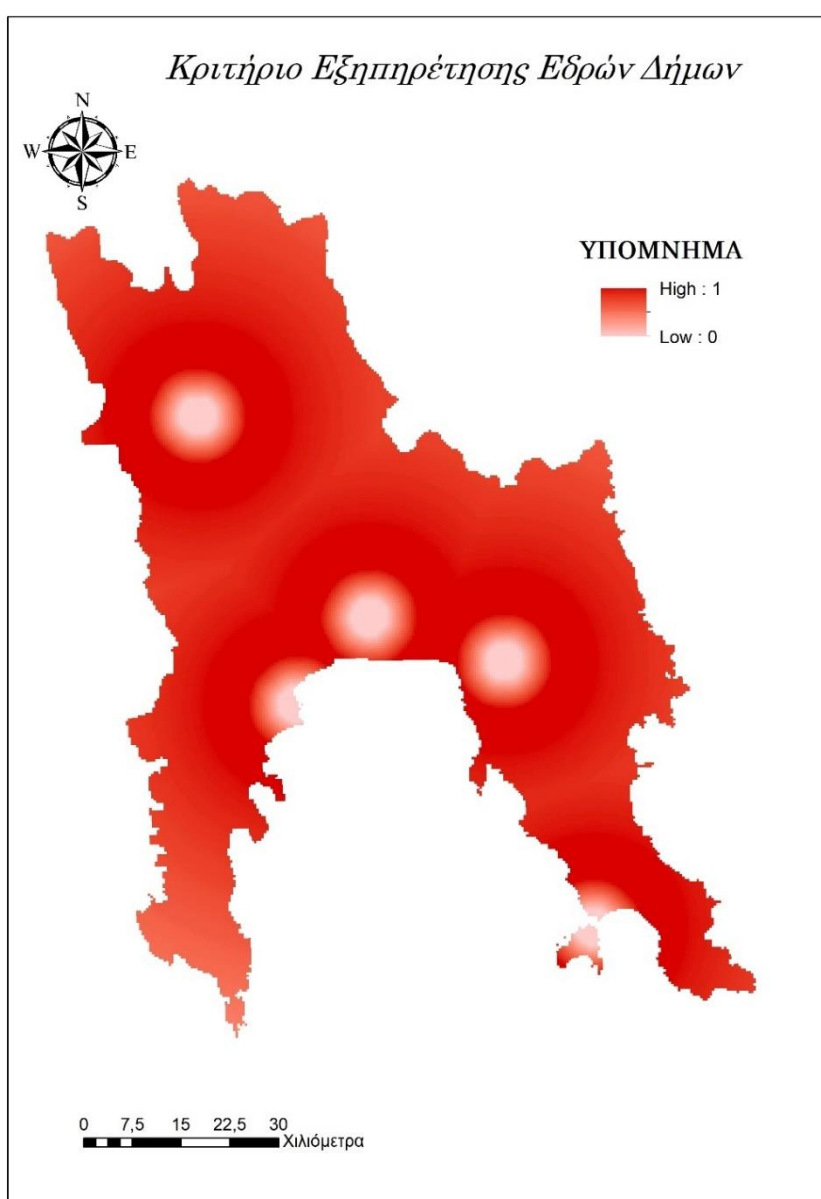


Εικόνα 5.22: Καταλληλότητα χρήσεων γης

5.2.2.5: Αποστάσεις από έδρες δήμων

Οι έδρες των δήμων μια Π.Ε. συνήθως αποτελούν και τους μεγαλύτερους οικισμούς της περιοχής με αποτέλεσμα να παράγουν μεγαλύτερο όγκο απορριμμάτων. Συνεπώς, οι μονάδες διαχείρισης απορριμμάτων δεν πρέπει να βρίσκονται μακριά από αυτές, χωρίς όμως να βρίσκονται τόσο κοντά που να προκαλούν υγειονομικό κίνδυνο.

Οι ανάγκες αυτές επιτεύχθηκαν με το εργαλείο fuzzy overlay του ArcMap. Με τον συνδυασμό δύο fuzzy membership linear συναρτήσεων. Η μια συνάρτηση με $\text{min}=1000\text{ m}$ και $\text{max}=5000\text{ m}$ που εξασφάλισε την απόσταση από τους οικισμούς και αύξηση της καταλληλότητας σταδιακά μέχρι τα 5 km, και μια με $\text{max}=10000\text{ m}$ και min το πιο απομακρυσμένο pixel της περιοχής. Έτσι οι καταλληλότερες περιοχές βρέθηκαν σε απόσταση από 1000 m ως 5000 m (Εικόνα 5.23).



Εικόνα 5.23: Καταλληλότητα βάσει απόστασης από έδρες δήμων

5.2.2.6: Ολοκληρωμένο Χωροταξικό Κριτήριο

Όπως το Υδρολογικό-Υδρογεωλογικό-Γεωλογικό κριτήριο, έτσι και το χωροταξικό κριτήριο είναι σύνθετο κριτήριο. Τα βάρη των υποκριτηρίων του υπολογίστηκαν με τον online εργαλείο και κατατάχθηκαν σύμφωνα με την κλίμακα σύγκρισης του Saaty ως εξής (Πίνακες 5.4, 5.5):

- Το υποκριτήριο της κλίσης είναι ελαφρώς προτιμότερο της προσβασιμότητας, της χρήσης γης και των αποστάσεων από τις έδρες των δήμων (3) και ιδιαίτερα προτιμώμενο του προσανατολισμού (5).
- Το υποκριτήριο της προσβασιμότητας είναι ελαφρώς προτιμότερο της χρήσης γης και της απόστασης από τις έδρες των δήμων (3), και ιδιαίτερα προτιμότερο του προσανατολισμού (5).
- Το υποκριτήριο της χρήσης γης είναι ισάξιο της απόστασης από τις έδρες των δήμων (1), και ελαφρώς προτιμότερο του προσανατολισμού (3).
- Ομοίως το υπόκριτήριο της απόστασης από τις έδρες των δήμων

Πίνακας 5.4: Σύγκριση συνιστωσών χωροταξικού κριτηρίου

Χωροταξικό Κριτήριο		
Κριτήριο	Προτεραιότητα	Θέση
Κλίσεις	43,1%	1
Προσβασιμότητα	27,1%	2
Προσανατολισμός	5,3%	5
Χρήσεις Γης	12,2%	3
Αποστάσεις από έδρες δήμων	12,2%	3

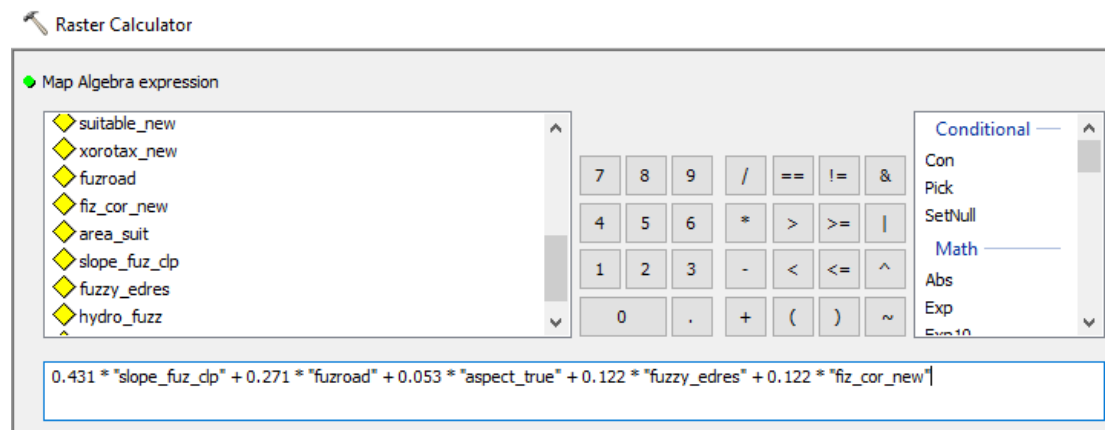
Πίνακας 5.5: Βαθμολόγηση συνιστωσών Χωροταξικού κριτηρίου σύμφωνα με την AHP

Χωροταξικό Κριτήριο					
	Κλίσεις	Προσβασιμότητα	Προσανατολισμός	Χρήσεις Γης	Αποστάσεις από έδρες δήμων
Κλίσεις	1	3	5	3	3
Προσβασιμότητα	0,33	1	5	3	3
Προσανατολισμός	0,2	0,2	1	0,33	0,33
Χρήσεις Γης	0,33	0,33	3	1	1
Αποστάσεις από έδρες δήμων	0,33	0,33	3	1	1

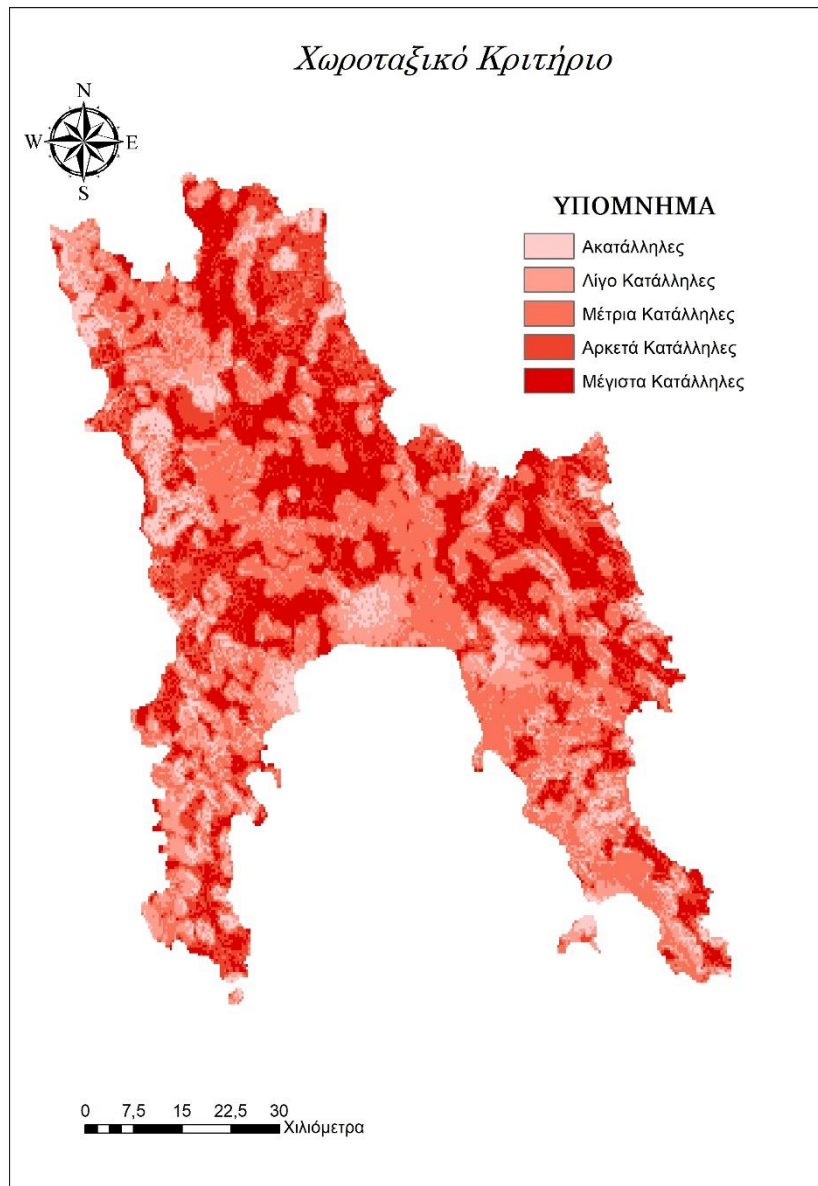
Ο λόγος συνέπειας CR υπολογίστηκε ίσος με το 4,6% <10% άρα ήταν αποδεκτός,. Τα βάρη που προέκυψαν ήταν: 0,431 για τις κλίσεις, 0,271 για την προσβασιμότητα 0,053 για τον προσανατολισμό και 0,122 για τις χρήσεις γης και τις αποστάσεις από τις έδρες των δήμων.

Στον raster calculator του ArcGIS δόθηκε ο παρακάτω τύπος προκειμένου να παραχθεί η τελική εικόνα του κριτηρίου αυτού (Εικόνα 5.24).

$$0,431 \times \text{Κλίσεις} + 0,271 \times \text{Προσβασιμότητα} + 0,053 \times \text{Προσανατολισμός} + 0,122 \times \text{Χρήσεις Γης} + 0,122 \times \text{Αποστάσεις από Έδρες Δήμων} \quad (\text{Εξ. 5.2})$$



Εικόνα 5.24: Ο τύπος υπολογισμού του Χωροταξικού κριτηρίου στο raster calculator

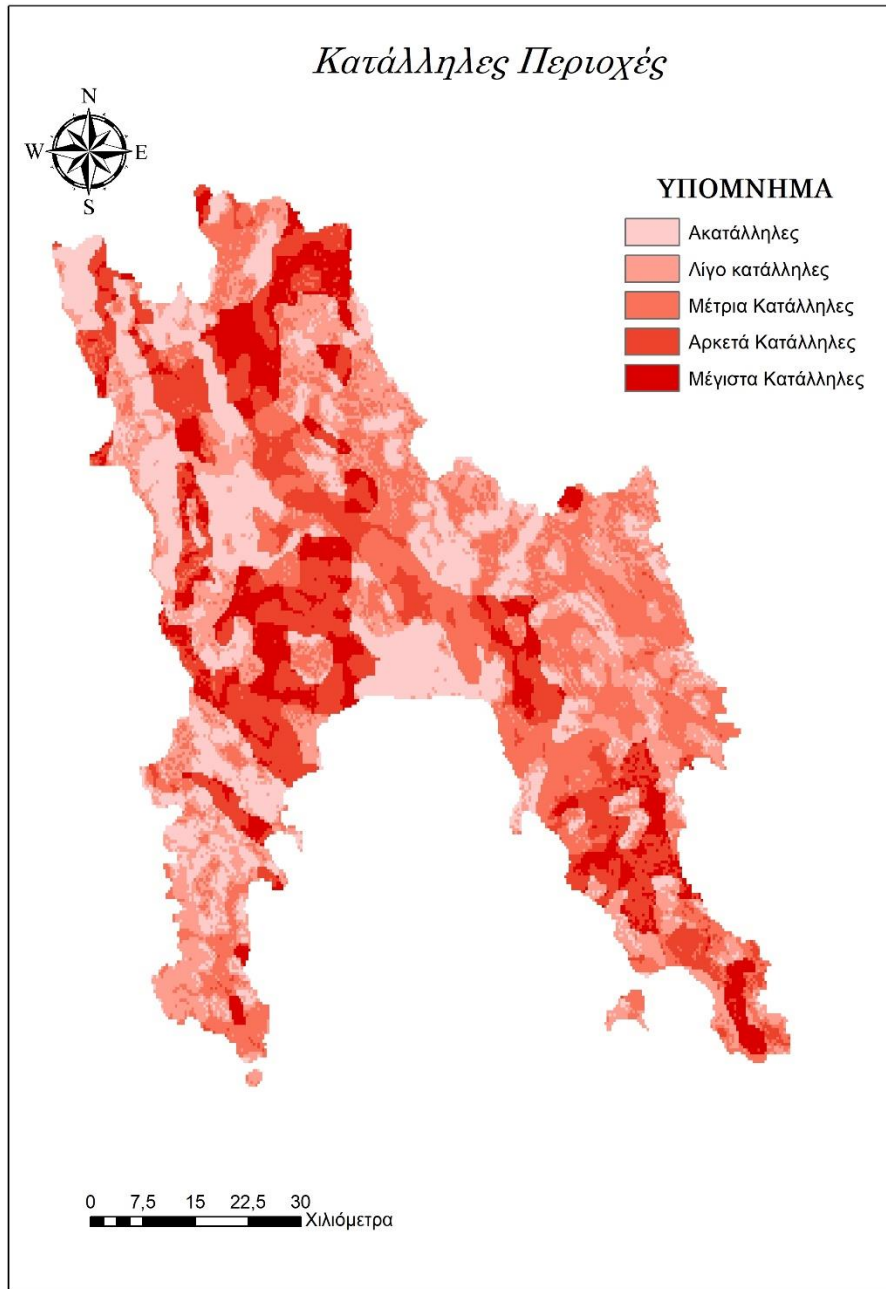


Εικόνα 5.25: Χάρτης καταλληλότητας βάσει το Χωροταξικό κριτήριο

5.3 Συνολικό Κριτήριο Καταλληλότητας

Το συνολικό κριτήριο καταλληλότητας κατασκευάστηκε χρησιμοποιώντας τα δύο σύνθετα κριτήρια που αναλύθηκαν, το Υδρολογικό-Υδρογεωλογικό-Γεωλογικό και το Χωροταξικό. Τα κριτήρια θεωρήθηκαν ίσης σημαντικότητας και το βάρος τους δόθηκε ίσο με το 0,5. Στον raster calculator ο τύπος που χρησιμοποιήθηκε ήταν

$$0,5 \times \text{ΥδρολογικόΥδρογεωλογικόΓεωλογικό} + 0,5 \times \text{Χωροταξικό} \text{ (Εξ. 5.3)}$$

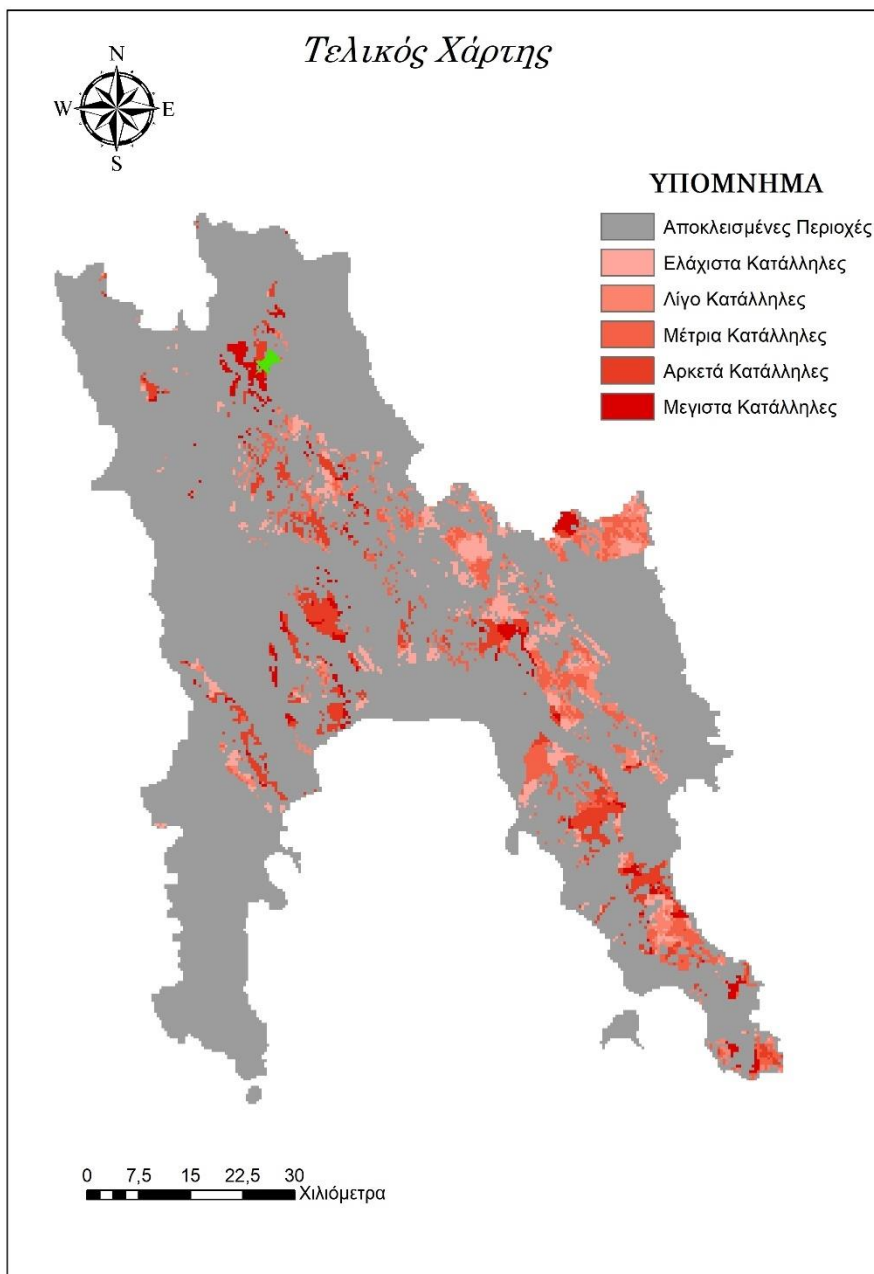


Εικόνα 5.26: Χάρτης Κατάλληλων περιοχών

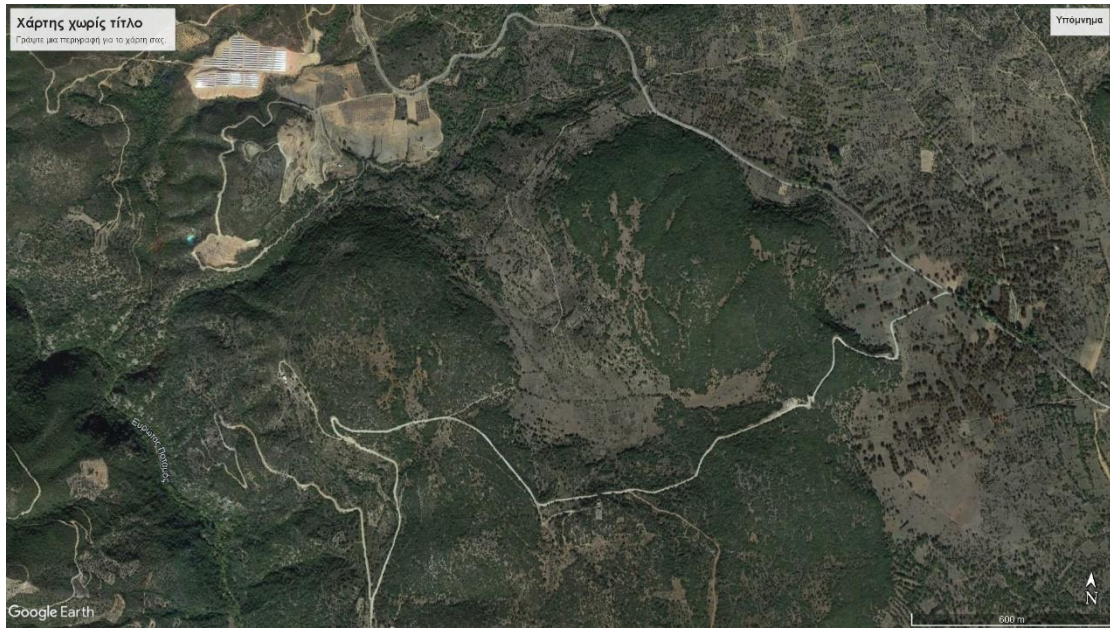
5.4 Τελικός Χάρτης

Η διαδικασία της επιλογής της βέλτιστης θέσης χωροθέτησης ολοκληρώθηκε με την παραγωγή του τελικού χάρτη. Ο χάρτης αυτός απεικόνιζε τόσο τις αποκλεισμένες περιοχές όσο και το πόσο κατάλληλες ήταν οι υπόλοιπες περιοχές. Η παραγωγή του έγινε με τον πολλαπλασιασμό του χάρτη ακατάλληλων περιοχών με τον χάρτη κατάλληλων περιοχών, με τη χρήση του raster calculator του ArcGIS. Με την πράσινη σηματοδότηση παρουσιάστηκε η τελική τοποθεσία στην οποία αποφασίστηκε πως θα χωροθετηθεί ο ΧΥΤΑ (Εικόνα 5.27), όπως ανέδειξαν τα κριτήρια και σε συνδυασμό

με εποπτεία σε δορυφορική εικόνα υψηλής ανάλυσης Google Earth (Εικόνα 5.28). Επιπλέον ο χώρος αυτός είναι ο πλησιέστερος στην Σπάρτη που ανήκει στις μέγιστα κατάλληλες περιοχές, όπου και εκτιμάται πως θα είναι ο κύριος παραγωγός στερεών αποβλήτων.



Εικόνα 5.27: Τελικός συνδυαστικός χάρτης με τελική επιλογή τοποθεσίας



Εικόνα 5.28:Εικόνα υψηλής ακρίβειας περιοχής που επιλέχθηκε για τη χωροθέτηση του ΧΥΤΑ

Κεφάλαιο 6: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ/ΠΡΟΫΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ

6.1 Υπολογισμός παραγόμενων απορριμμάτων

Τελικό στάδιο της εργασίας αποτέλεσε η διαστασιολόγηση και η εξαγωγή συναρτήσεων κόστους κατασκευής του ΧΥΤΑ. Είναι προφανές πως το κόστος κατασκευής εξαρτάται από το μέγεθος του ΧΥΤΑ. Ο χρόνος λειτουργίας μιας τέτοιας μονάδας είναι τα 20 χρόνια. Συνεπώς ο ΧΥΤΑ που θα σχεδιαστεί θα πρέπει να χωρέσει την 20ετή παραγωγή στερεών αποβλήτων της Π.Ε. Λακωνίας. Επίσης, το μέγεθος και συνεπώς κόστος του ΧΥΤΑ εξαρτάται από τον πληθυσμό. Σύμφωνα με τις απογραφές των ετών 1991, 2001, 2011 παρατηρήθηκε πως ο μόνιμος πληθυσμός της Π.Ε. μειώνεται (Πίνακας 6.1).

Πίνακας 6.1: Πληθυσμός σύμφωνα με τις απογραφές (ΕΛΣΤΑΤ 1999, 2001, 2011)

Έτος	Πληθυσμός	Μεταβολή %
1999	95.696	
2001	92.811	-3%
2011	89.138	-4%

Καθώς κατά την σύνταξη της εργασίας αυτής τα αποτελέσματα της απογραφής του 2021 δεν είναι ακόμα διαθέσιμα, το έτος αφετηρίας της μελέτης θεωρήθηκε το έτος 2021 για το οποίο υπάρχει διαθέσιμη εκτίμηση του πληθυσμού από τη EUROSTAT στους 88491 κατοίκους (Περιφέρεια Πελοποννήσου, 2016) ακόμα μια μείωση 2% από το 2011.

Όμως στα πλαίσια της μελέτης αυτής θεωρήθηκε πως το πληθυσμός θα παρουσιάσει αύξηση 1% ετησίως, με σκοπό να εξασφαλιστεί χώρος για κάποια ξαφνική αύξηση του πληθυσμού, καθώς και για να ληφθεί υπόψη και εποχιακός πληθυσμός όπως ο τουριστικός και μεταναστευτικός. Επιπλέον, σύμφωνα με την εκτίμηση της πρότασης αναθεώρησης του ΠΕΣΔΑ Πελοποννήσου, η ετήσια παραγωγή ΑΣΑ της Λακωνίας για το έτος 2021 θα ήταν 40.833 τόνοι, 0,47 τόνοι/κάτοικο/έτος και 1,3 kgκάτοικο/ημέρα. Άρα, έγινε η υπόθεση πως ο πληθυσμός και τα παραγόμενα ΑΣΑ στο διάστημα 2021-2041 θα ακολουθούσε την πορεία όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.2.

Πίνακας 6.2: Εκτίμηση πληθυσμού και παραγωγής ΑΣΑ σε kg

Έτος	Πληθυσμός	Μάζα ΑΣΑ (tn)	Ημερήσια Παραγωγή (tn/day)
2021	88.491	41.989,051	115,038
2022	89.376	42.408,941	116,189
2023	90.270	42.833,031	117,351
2024	91.173	43.261,361	118,,524
2025	92.084	43.693,975	119,710
2026	93.005	44.130,914	120,907
2027	93.935	44.572,223	122,116

Έτος	Πληθυσμός	Μάζα ΑΣΑ (tn)	Ημερήσια Παραγωγή (tn/day)
2028	94.874	45.017,946	123,337
2029	95.823	45.468,125	124,570
2030	96.781	45.922,806	125,816
2031	97.749	46.382,034	127,074
2032	98.727	46.845,855	128,345
2033	99.714	47.314,313	129,628
2034	100.711	47.787,456	130,925
2035	101.718	48.265,331	132,234
2036	102.735	48.747,984	133,556
2037	103.763	49.235,464	134,892
2038	104.800	49.727,819	136,241
2039	105.848	50.225,097	137,603
2040	106.907	50.727,348	138,979
2041	107.976	51.234,621	140,369

Άρα ο ΧΥΤΑ στη διάρκεια λειτουργίας του θα πρέπει να χωρέσει 975.791,696 tn ΑΣΑ. Άρα λαμβάνοντας υπόψη πως η μέση πυκνότητα σε ΧΥΤΑ μετά από συμπίεση είναι ίση με $\rho = 600 \text{ kg/m}^3$ (Κούγκολος, 2018) τότε μια αρχική εκτίμηση για τον όγκο θα είναι $V = \frac{\text{Μάζα}}{\rho} = 1.626.319 \text{ m}^3$.

6.2 Βασικά χαρακτηριστικά ΧΥΤΑ

Όπως προαναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 6.2, προκειμένου να προσδιοριστεί συνάρτηση του συνολικού κόστους κατασκευής χρειάστηκε ο προσδιορισμός συναρτήσεων για τα βασικά χαρακτηριστικά του ΧΥΤΑ. Ως βασικά χαρακτηριστικά ορίστηκαν τα εξής:

- Το πρόγραμμα εκμετάλλευσης
- Οι εκσκαφές
- Τα χαρακτηριστικά μόνωσης

Με βάση αυτά τα χαρακτηριστικά εξήχθησαν οι απαραίτητες συναρτήσεις.

6.2.1 Πρόγραμμα εκμετάλλευσης

Το πρόγραμμα εκμετάλλευσης που θα ακολουθήσει ο ΧΥΤΑ αποτελεί και τον πρώτο παράγοντα που θα επηρέαζε τις συναρτήσεις υπολογισμού του όγκου, ως προς τις διαστάσεις του. Στην περίπτωση που μελετήθηκε στην παρούσα εργασία, ο υπολογισμένος όγκος παραγόμενων ΑΣΑ εκτιμήθηκε πολύ μεγάλος για να χωρέσει σε έκταση 60 στρεμμάτων, συνεπώς ο ΧΥΤΑ σχεδιάστηκε με καθ' ύψος μέθοδο ή μέθοδο κυττάρων. Ο προσδιορισμός της μεθόδου του προγράμματος εκμετάλλευσης ήταν

σημαντικός καθώς η συνάρτηση υπολογισμού του όγκου με βάση τις διαστάσεις θα ήταν διαφορετικές για κάθε μέθοδο.

Η περιοχή που επιλέχθηκε για τη χωροθέτηση του ΧΥΤΑ, με βάση τα κριτήρια που ορίστηκαν, είναι επίπεδη. Ο διαθέσιμος όγκος μπορεί να εκφραστεί ως συνάρτηση των διαστάσεων της βάσης του χώρου, χρειάζεται όμως και γνώση των κλίσεων των πλευρών του λοφίσκου που θα δημιουργηθεί από τα απορρίμματα καθώς και το τελικό γεωμετρικό του σχήμα. Η κλίση θα θεωρηθεί ως η μέγιστη δυνατή $\frac{1}{z} = \frac{1}{3}$ (Εξ. 6.1) (Aivaliotis et al., 2004). Το τελικό σχήμα που θα λάβει το απορριμματικό ανάγλυφο είναι αυτό της κόλουρης πυραμίδας με τετραγωνική βάση. Ο όγκος μιας πυραμίδας, $V\pi$, εκφράζεται ως συνάρτηση των διαστάσεων της βάσης της ως $V\pi = \frac{1}{18} \times X^3$ (Εξ. 6.2) όπου X η πλευρά της τετραγωνικής βάσης.

6.2.2 Εκσκαφές

Οι εκσκαφές χρησιμοποιούνται στους ΧΥΤΑ για να αυξηθεί η χωρητικότητά τους για μια δεδομένη έκταση. Ουσιαστικά προκύπτει επιπλέον ωφέλιμος όγκος. Ο όγκος αυτός εκφράζεται ως συνάρτηση του μήκους της βάσης, του βάθους εκσκαφής και των κλίσεων των πρανών. Στην εφαρμογή αυτή ωστόσο ο όγκος υπολογίζεται ως συνάρτηση των διαστάσεων της βάσης, άρα οι κλίσεις και το βάθος εκσκαφής θεωρήθηκαν σταθερά. Η κλίση όπως θεωρήθηκε και στο κεφάλαιο 6.3.1 θα είναι μέγιστη δυνατή (Εξ. 6.1) και το βάθος εκσκαφής $d=2,4$ m (Mandylas et al., 1998).

6.2.3 Μονώσεις

Η μόνωση που θα εγκατασταθεί θα είναι η ελάχιστη που ορίζει η νομοθεσία. Συγκεκριμένα, 0,5 m αργιλική στρώση (Aivaliotis et al., 2004), 1,5 mm γεωμεμβράνη, γεωύφασμα προστασίας 600 g/mm² και 0,1 m άμμου. Στον υπολογισμό του όγκου η γεωμεμβράνη και το γεωύφασμα θεωρήθηκαν αμελητέα. Σχετικά με την αποστραγγιστική ζώνη, 0,5 m αμμοχάλικου και 0,1 m ζώνη προστασίας από άμμο.

6.3 Υπολογισμός όγκων συναρτήσει βάσης

Ο όγκος της κόλουρης πυραμίδας, $V\pi\kappa$, υπολογίζεται ως:

$$V\pi\kappa = \frac{h}{3} \times (B + b + \sqrt{B \times b}) \quad (\text{Εξ. 6.3})$$

όπου:

- B , εμβαδόν μεγάλης βάσης
- b , εμβαδόν μικρής βάσης
- h , ύψος κόλουρης πυραμίδας

- X, πλευρά μεγάλης βάσης
- x, πλευρά μικρής βάσης

Αν $x=X/2$ τότε ο όγκος της κόλυρης πυραμίδας συναρτήσει της πλευράς X υπολογίζεται ως:

$$V_{κπ} = \frac{7}{12} \times X^2 \times h \quad (\text{Εξ. 6.4})$$

Ο όγκος των εκσκαφών υπολογίζεται αν από τον τύπο του όγκου της κανονικής πυραμίδας αφαιρεθεί τμήμα που αντιστοιχεί σε πυραμίδα με πλευρές, για βάθος εκσκαφών 2,4 m, ίσες με $X - 2 \times z \times d$ (Εξ. 6.5). Έτσι ο όγκος εκσκαφών, $V_{ε}$, είναι:

$$V_{ε} = V_{π} - \frac{1}{18} \times (X - 14,4)^3 \quad (\text{Εξ.6.5})$$

Άρα ο ολικός όγκος, $V_{ολ}$, θα ισούται με το άθροισμα του όγκου της κανονικής πυραμίδα, $V_{π}$, και του όγκου των εκσκαφών, $V_{ε}$:

$$V_{ολ} = (\text{Εξ. 6.2}) + (\text{Εξ. 6.5}) = \frac{X^3}{9} - \frac{1}{18} \times (X - 14,4)^3 \quad (\text{Εξ. 6.6})$$

Με την εισαγωγή και της μόνωσης στους υπολογισμούς παρατηρείται επιρροή στον όγκο των εκσκαφών, μειώνεται η πλευρά της βάσης λόγω των στρωμάτων της μόνωσης με $X_{μ} = X - 2 \times z \times (0,1 + 0,5) = X - 3,6$ (Εξ. 6.7)

Επιπλέον, αλλάζει και το βάθος, μειώνεται κατά 0.6 m με $d_{μ} = 1.8$ m. Συνεπώς λαμβάνοντας υπόψη τις αλλαγές αυτές ο όγκος των εκσκαφών υπολογίζεται, $V'_{ε}$ ως:

$$V'_{ε} = \frac{(X-3,6)^3}{18} - \frac{1}{18} \times (X - 14,4)^3 \quad (\text{Εξ. 6.8})$$

Το μέγεθος $V'_{ε}$ δίνει τον ωφέλιμο όγκο των εκσκαφών, χωρίς τον όγκο που λαμβάνει η μόνωση. Επιπλέον όμως πρέπει να αφαιρεθεί και ο όγκος της αποστραγγιστικής ζώνης, για να υπολογιστεί σωστά ο ωφέλιμος όγκος που δίνουν οι εκσκαφές. Η κάτω επιφάνεια της αποστραγγιστικής ζώνης θα έχει πλευρά ίση με $X-14,4$ και η πάνω θα έχει πλευρές μήκους $X - 14,4 + 2 \times z \times 0,5 = X - 11,4$. Ο όγκος της άμμου προστασίας της ζώνης αποστράγγισης υπολογίζεται και ως γινόμενο της πάνω επιφάνειας επί 0,1 m. Έτσι ο όγκος της αποστραγγιστικής ζώνης, $V_{απζ}$ ισούται με:

$$V_{απζ} = \frac{1}{18} \times (X - 11,4)^3 - \frac{1}{18} \times (X - 14,4)^3 + 0,1 \times (X - 11,4)^2 \quad (\text{Εξ. 6.9})$$

Ο τελικός ωφέλιμος όγκος των εκσκαφών, $V_{ωφ.ε}$ προκύπτει αν από τον ωφέλιμο όγκο των εκσκαφών χωρίς τον όγκο της μόνωσης αφαιρεθεί και ο όγκος της αποστραγγιστικής ζώνης, δηλαδή:

$$V_{ωφ.ε} = \frac{1}{18} (X - 3,6)^3 - \frac{1}{18} \times (X - 11,4)^3 - 0,1 \times (X - 11,4)^2 \quad (\text{Εξ. 6.10})$$

Επιπροσθέτως, το απορριμματικό ανάγλυφο καλύπτεται εξωτερικά με κάλυψη, πάχους 40 cm. Άρα το μήκος των πλευρών μειώνεται κατά $2 \times z \times (0.6 + 0.4)$ με τελικό ωφέλιμο όγκο, $V_{ω}$:

$$V_{ω} = V_{ωφ.ε} + \frac{1}{18} \times (X - 6)^3 - \frac{X^3}{144} \quad (\text{Εξ. 6.11})$$

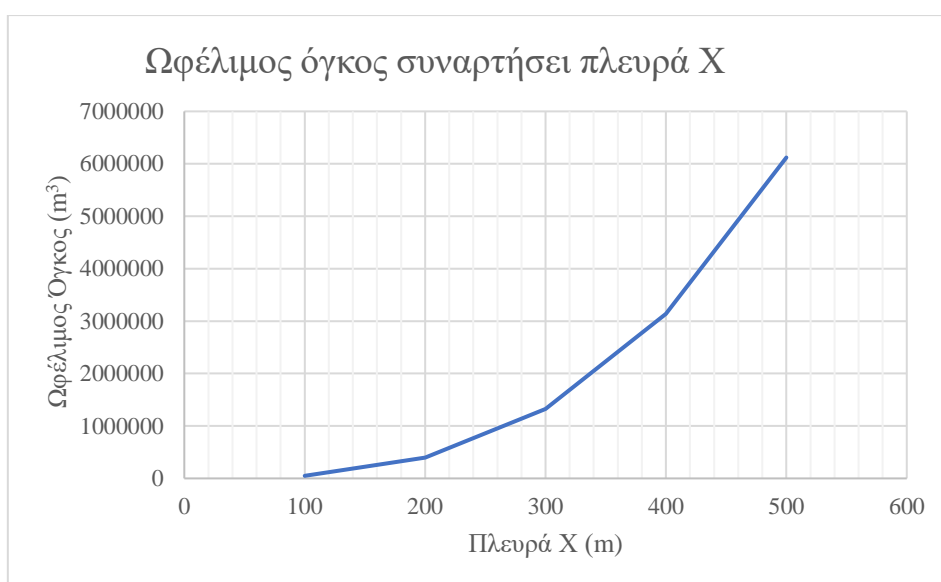
Η προηγούμενη σχέση όταν αναλυθεί καταλήγει σε πολυώνυμο 3^{ου} βαθμού. Θεωρώντας ως γνωστό τον όγκο απορριμμάτων που θα παραχθεί κατά την 20ετη λειτουργία του ΧΥΤΑ, το πολυώνυμο λύνεται με άγνωστη την πλευρά της βάσης X. Ο τελικός τύπος είναι:

$$V\omega = 0,0486 \times X^3 + 0,2 \times X^2 - 11,22 \times X + 54,72 \quad (\text{Εξ. 6.12})$$

Ακολουθεί πίνακας και διάγραμμα που δημιουργήθηκαν με υπολογιστικό φύλλο που υπολογίζει για πλευρά από 100 m ως 500 m τον ωφέλιμο όγκο

Πίνακας 6.3: Ωφέλιμος όγκος ως προς την πλευρά της βάσης

Πλευρά X (m)	Ωφέλιμος Όγκος (m ³)
100	49533
200	394611
300	1326889
400	3137967
500	6119445



Εικόνα 6.1: Διάγραμμα ωφέλιμου όγκου συναρτήσει πλευρά X

Τέλος υπολογίζεται ο όγκος της εξωτερικής κάλυψης του απορριμματικού ανάγλυφου. Το πάχος της κάλυψης θα είναι 0.4 m και προκειμένου να υπολογιστεί ο όγκος της αφαιρείται ο όγκος του απορριμματικού ανάγλυφου επάνω από το έδαφος χωρίς τις εκσκαφές, από τον συνολικό εξωτερικό όγκο. Ο εξωτερικό όγκος υπολογίζεται αν στον τύπο υπολογισμού του όγκου πυραμίδας (Εξ. 6.2) η πλευρά της βάσης λάβει τιμή $X' = X - 3,6$ και αφαιρώντας την ποσότητα $\frac{X^3}{144}$ για να σχηματιστεί κόλουρη πυραμίδα. Έτσι

$$V_{ολ. εξ} = \frac{1}{18} \times (X - 3,6)^3 - \frac{X^3}{144} \quad (\text{Εξ. 6.13})$$

$$V_{ωφ. εξ} = \frac{1}{18} \times (X - 6)^3 - \frac{X^3}{144} \quad (\text{Εξ. 6.14})$$

$$V_{εξ.κ} = (Εξ. 6.13) - (Εξ. 6.14) = \frac{1}{18} \times (X - 3.6)^3 - \frac{1}{18} \times (X - 6)^3 \quad (Εξ. 6.15)$$

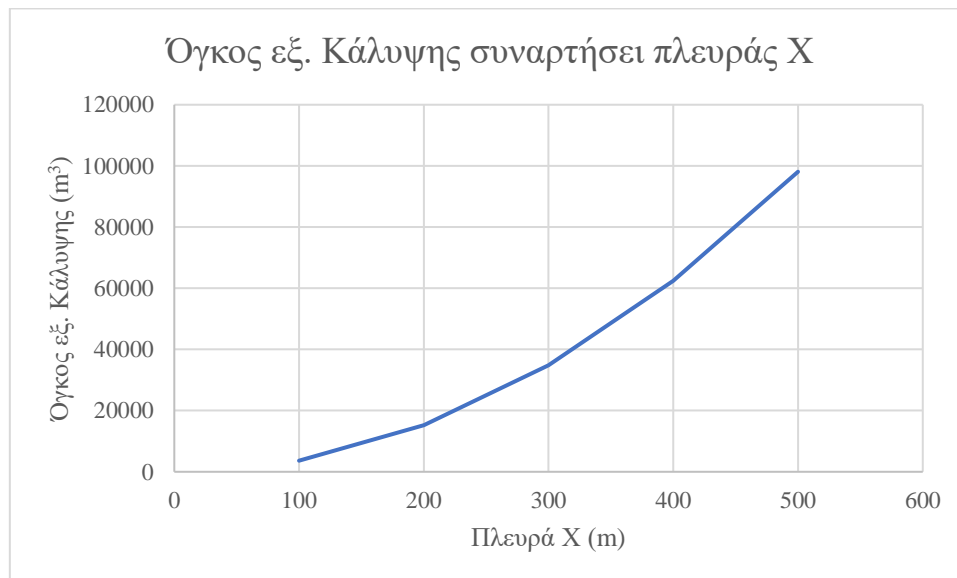
Αναλύοντας τον τύπο προκύπτει πολυώνυμο 2^{ου} βαθμού με τελικό τύπο:

$$V_{εξ.κ} = 0,4 \times X^2 - 3,84 \times X + 9,408 \quad (Εξ. 6.16)$$

Για πλευρά X από 100m ως 500m

Πίνακας 6.4: Όγκος εξωτερικής κάλυψης ως προς την πλευρά της βάσης

Πλευρά X (m)	Όγκος εξ. Κάλυψης (m ³)
100	3625
200	15241
300	34857
400	62473
500	98089



Εικόνα 6.2: Διάγραμμα όγκου εξ. Κάλυψης συναρτήσεως πλευράς X

6.4 Ημερήσια Δυναμικότητα

Ο σχεδιασμός τους ΧΥΤΑ αυτού προβλέπει πως ο χρόνος λειτουργίας του θα είναι τα 20 χρόνια. Σε μέρες υπολογίζεται πως θα λειτουργήσει $N = 7300$ days. Αν γίνει η υπόθεση πως ο ένας Vημ είναι ο όγκος που λαμβάνει το καθημερινό κύτταρο τότε ισχύει:

$$V\omega = V\eta\mu \times N \Rightarrow V\eta\mu = \frac{V\omega}{N} \quad (\text{Εξ.6.17})$$

6Το ημερήσιο κύτταρο αποτελείται από τον ημερήσιο όγκο απορριμμάτων και τον όγκο της κάλυψης της ποσότητας αυτής. Αυτός ο όγκος αποτελείται από 80% απορρίματα και 20% υλικό κάλυψης (Κούγκολος, 2018), άρα:

Ο ημερίσιος όγκος απορριμμάτων που δέχεται ο ΧΥΤΑ αντιστοιχεί με 80% του όγκου ενός κύτταρου, με το υπόλοιπο 20% του όγκου του κύτταρου να αντιστοιχεί σε γαίες κάλυψης (Κούγκολος, 2018)

$$V\eta\mu, \text{απ} = 0,8 \times V\eta\mu = 0,8 \times \frac{V\omega}{N} \quad (\text{Εξ. 6.18})$$

Πριν την τελική διάθεση στον ΧΥΤΑ τα απορρίματα θα υποστούν επιταχυνόμενη συμπίεση και θα αποκτήσουν πυκνότητα 600 kg/m³ ή 0.6 tn/m³ (Κούγκολος, 2018). Άρα η ημερήσια δυναμικότητα υπολογίζεται ως:

$$T = 0.6 \times V\eta\mu. \text{απ} \Rightarrow T = \frac{0,48}{7300} \times (0,0486 \times X^3 + 0,2 \times X^2 - 11,22 \times X + 54,72) \quad (\text{Εξ. 6.19})$$

αφού κάνοντας όλες τις αντικαταστάσεις για να εκφραστεί η ημερήσια δυναμικότητα συναρτήσει της πλευράς X της βάσης της πυραμίδας του όγκου. Ακολουθεί πίνακας και διάγραμμα που αντιστοιχεί στην ημερήσια δυναμικότητα συναρτήσει της πλευράς από 100m στα 500m με βήμα 100m (Πίνακας 6.5).

Πίνακας 6.5: Ημερήσια δυναμικότητα συναρτήσει της πλευράς X

Πλευρά X (m)	Ημερήσια δυναμικότητα (tn/day)
100	3
200	26
300	87
400	206
500	402

Όπως υπολογίστηκε στην Παράγραφο 6.1, η μέγιστη ημερήσια παραγωγή απορριμμάτων στην 20ετία λειτουργίας του ΧΥΤΑ θα προκύψει τον τελευταίο χρόνο λειτουργίας του, θα είναι T_{max} = 140369 kg = 140 ton. Για T = 140 ton, λύνοντας την Εξ. 6.19 ως προς X, υπολογίζεται πως η πλευρά X θα είναι X=351m.

Άρα για πλευρά X=351m ο ωφέλιμος όγκος και ο όγκος εξωτερικής κάλυψης (Εξ. 6.12, Εξ. 6.16) υπολογίζεται (Πίνακας 6.6):

Πίνακας 6.6: Ζητούμενοι όγκοι ωφέλιμος και εξωτερικής κάλυψης

Πλευρά X (m)	Ωφέλιμος Όγκος (m ³)	Όγκος εξ. Κάλυψης (m ³)
351	2.122.393	47.942

6.5 Υπολογισμός διαστάσεων βασικών χαρακτηριστικών

6.5.1 Όγκος εκσκαφών

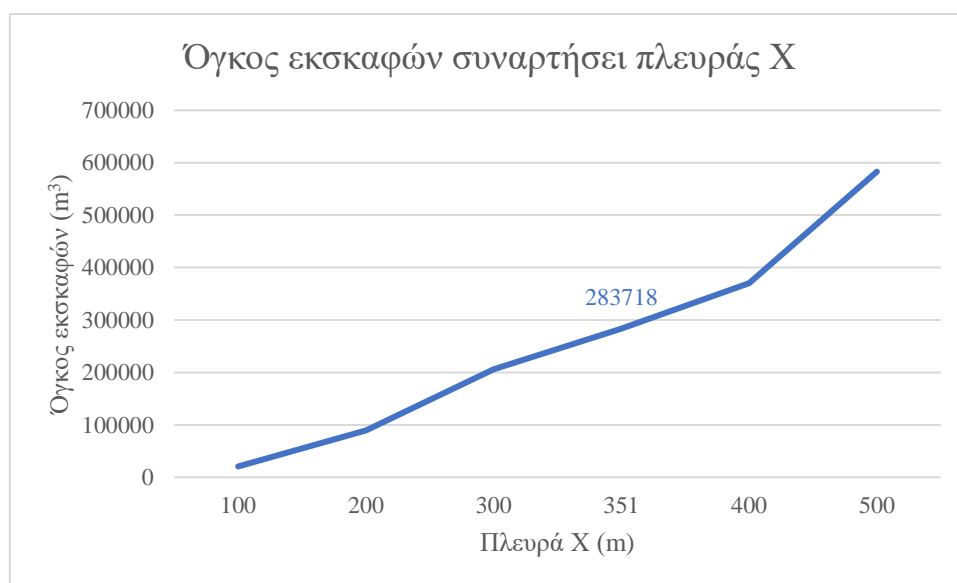
Ο όγκος εκσκαφών συναρτήσει της πλευράς X και για βάθος εκσκαφών $d = 2.4\text{m}$, όπως υπολογίζεται βάσει της Εξ. 6.5 η τελική μορφή της οποίας, μετά από ανάπτυγμα, είναι πολυώνυμο 2^{ου} βαθμού:

$$V_{\varepsilon} = 2,4 \times X^2 - 34,56 \times X + 165,89 \quad (\text{Εξ. 6.20})$$

Για πλευρά X από 100m ως 500m ο όγκος των εκσκαφών θα είναι (Πίνακας 6.7, Εικόνα 6.3)

Πίνακας 6. 7 Όγκος εκσκαφών συναρτήσει πλευράς X

Πλευρά X (m)	Όγκος εκσκαφής (m^3)
100	20.710
200	89.254
300	205.798
351	283.718
400	370.342
500	582.886



Εικόνα 6.3: Διάγραμμα όγκου εκσκαφών συναρτήσει πλευράς X

6.5.2 Εμβαδόν μόνωσης

Η μόνωση που θα χρησιμοποιηθεί έχει ήδη οριστεί και αποτελείται από:

- Ζώνη αργιλικού πάχους 0.5m

- Γεωμεμβράνη πάχους 1.5 mm
- Γεώφασμα προστασίας 600 g/mm²
- Στρώση άμμου πάχους 0.1 m

Το εμβαδόν πλευράς πυραμίδας με ίδια χαρακτηριστικά λεκάνης είναι:

$$E\pi = \frac{\sqrt{10}}{12} \times L^2 \quad (\text{Εξ. 6.21})$$

όπου L είναι το μήκος των πλευρών της βάσης.

Η μόνωση θα εφαρμοστεί σε κάθε πλευρά της πυραμίδας, συνεπώς το συνολικό εμβαδόν θα είναι 4 φορές το εμβαδόν της μιας πλευράς. Με την αργιλική στρώση το μήκος πλευράς της πυραμίδας γίνεται $L = X - 2 \times z \times 0,5$ (Εξ. 6.22). Επίσης, πρέπει να αφαιρεθεί και εμβαδόν πλευρών πυραμίδας μήκους βάσης ίσο με την οριζόντια επιφάνεια λεκάνης:

$$L' = X - 2 \times z \times 0,5 - 2 \times z \times (d - 0,5) \quad (\text{Εξ. 6.23})$$

Άρα το εμβαδόν των πρανών, $E\pi\rho$, είναι:

$$E\pi\rho = 4 \times \left[\frac{\sqrt{10}}{12} \times (X - 3)^2 - \frac{\sqrt{10}}{12} \times (X - 14,4)^2 \right] \quad (\text{Εξ. 6.24})$$

Στο εμβαδόν αυτό προστίθεται και το εμβαδόν της οριζόντιας επιφάνειας L'^2 . Το εμβαδόν της μόνωσης είναι:

$$E\mu = 4 \times \left[\frac{\sqrt{10}}{12} \times (X - 3)^2 - \frac{\sqrt{10}}{12} \times (X - 14,4)^2 \right] + (X - 14,4)^2 \quad (\text{Εξ. 6.25})$$

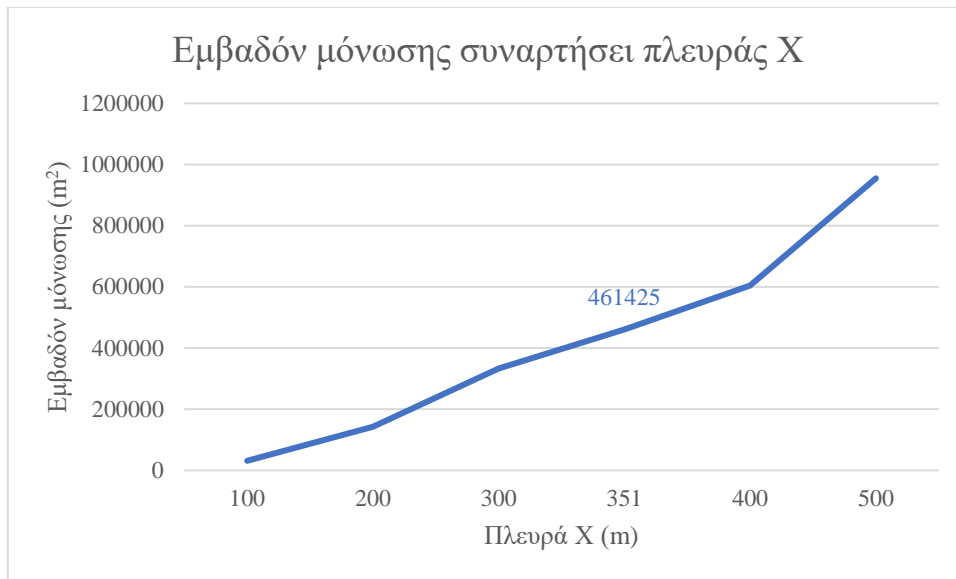
Λύνοντας την εξίσωση παράγεται μια εξίσωση 2^{ου} βαθμού η οποία είναι

$$E\mu = 4 \times X^2 - 91,167 \times X + 620.35 \quad (\text{Εξ. 6.26})$$

Για πλευρά X από 100m ως 500m το εμβαδόν της μόνωσης θα είναι (Πίνακας 6.8, Εικόνα 6.4)

Πίνακας 6.8: Εμβαδόν μόνωσης συναρτήσει πλευράς X

Πλευρά X (m)	Εμβαδόν μόνωσης (m ²)
100	31.504
200	142.387
300	333.270
351	461.425
400	604.154
500	955.037



Εικόνα 6.4: Διάγραμμα εμβαδού μόνωσης συναρτήσει πλευράς X

6.5.3 Διαστασιολόγηση ζώνης αποστράγγισης

Οι πολυωνμικές εξισώσεις του όγκου του αμμοχάλικου και της άμμου προκύπτουν με βάση την Εξ. 6.9 και θα είναι:

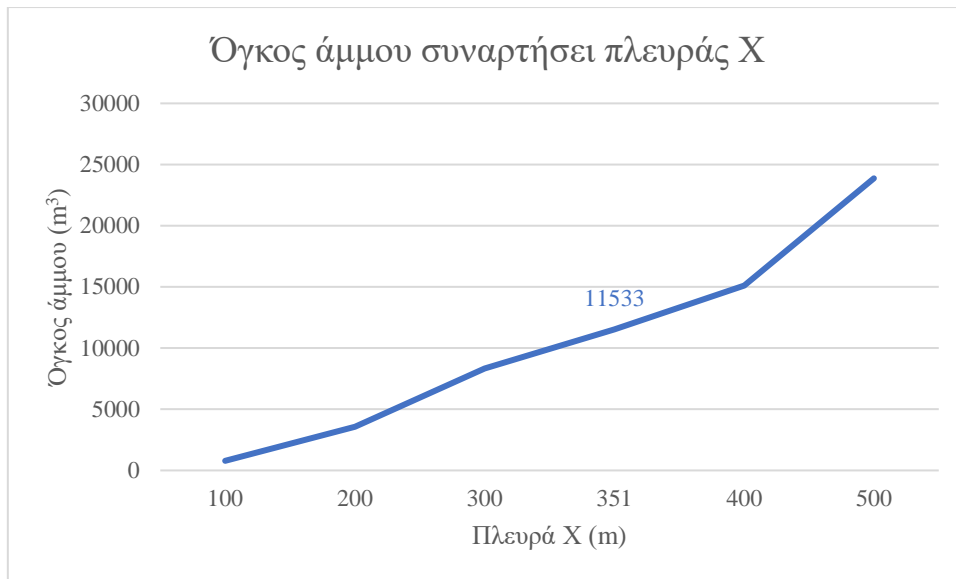
$$V_{αμχ} = \frac{1}{18} \times (X - 11,4)^3 - \frac{1}{18} \times (X - 14,4)^3 = 0,5 \times X^2 - 12,9 \times X + 83,58 \quad (\text{Εξ. 6.27})$$

$$V_{αμ} = 0,1 \times (X - 11,4) = 0,1 \times X^2 - 2,28 \times X + 12,996 \quad (\text{Εξ. 6.28})$$

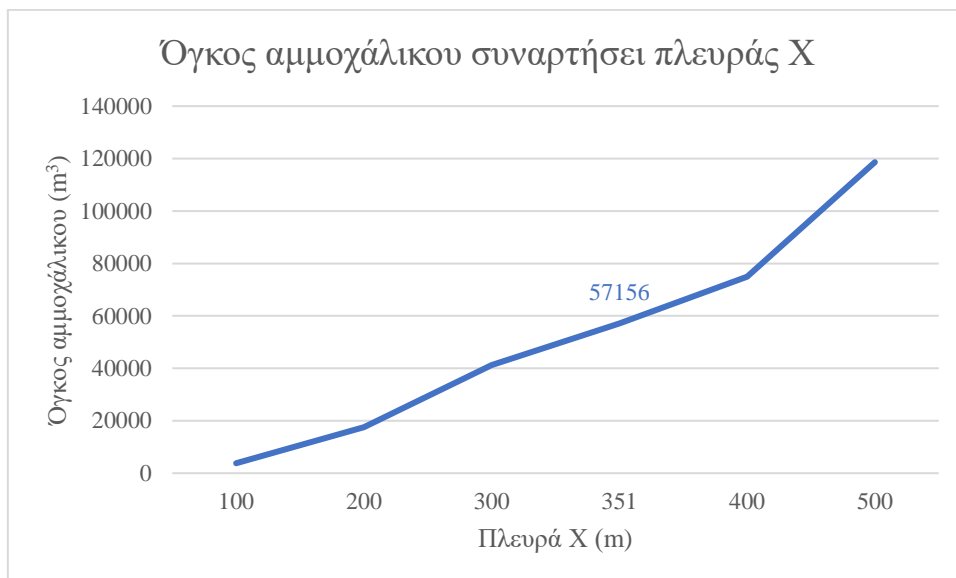
Τα αποτελέσματα των υπολογισμών των όγκων της άμμου και του αμμοχάλικου αντίστοιχα παρουσιάζονται παρακάτω (Πίνακας 6.9, Εικόνες 6.5, 6.6)

Πίνακας 6.9: Όγκος άμμου και αμμοχάλικου συναρτήσει πλευράς X

Πλευρά X (m)	Όγκος άμμου (m³)	Όγκος αμμοχάλικου (m³)
100	785	3.794
200	3.557	17.504
300	8.329	41.214
351	11.533	57.156
400	15.101	74.924
500	23.873	118.634



Εικόνα 6.5: Διάγραμμα όγκου άμμου συναρτήσει πλευράς X



Εικόνα 6.6: Διάγραμμα όγκου αμμοχάλικου συναρτήσει πλευράς X

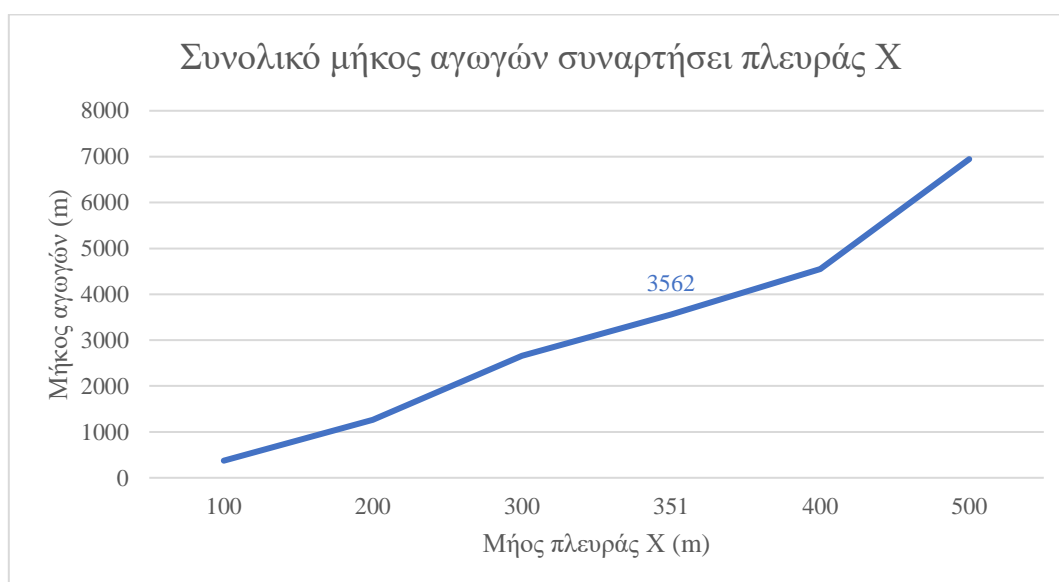
Σχετικά με τους αγωγούς, η μέγιστη επιτρεπτή απόσταση μεταξύ των αγωγών είναι τα 40 m. Με βάση αυτούς τους περιορισμούς, για να καλυφθεί μια τετράγωνη έκταση εμβαδού X^2 , όπου X η πλευρά της τετράγωνης βάσης του απορριμματικού ανάγλυφου, χρειάζονται $((\frac{X}{40} + 1) \times X)$ m αγωγών. Είναι προφανές πως ο αριθμός των αγωγών πρέπει να είναι ακέραιος. Συμπληρωματικά, χρειάζεται ένας ακόμη αγωγός που θα τοποθετηθεί κάθετα στη διεύθυνση της κλίσης και θα συνδέει τους αγωγούς συλλογής. Το μήκος του αγωγού αυτού θα ισούται με το μήκος της πλευράς X. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω και πως το μήκος της βάσης του XYTA είναι $(X - 11,4)$ m το συνολικό απαιτούμενο μήκος αγωγών ισούται με

$$L\alpha = ((\frac{X-11,4}{40} + 2) \times (X - 11,4)) \quad (\text{Εξ 6.29})$$

Πίνακας 6.10: Αριθμός απαιτούμενων και συνολικό απαιτούμενο μήκος αγωγών

Πλευρά X (m)	Αριθμός αγωγών	Μήκος αγωγών (m)
100	5	373
200	7	1.266
300	10	2.659
351	11	3.562
400	12	4.552
500	15	6.945

Στον παραπάνω πίνακα (Πίνακας 6.10) ο αριθμός των αγωγών έχει υποστεί στρογγυλοποίηση προς τον μεγαλύτερο κοντινότερο ακέραιο, δεν υφίσταται υποδιαίρεση στους σωλήνες. Ακολουθεί διάγραμμα που απεικονίζει το πως μεταβάλλεται το μήκος των αγωγών συναρτήσει της πλευράς X (Εικόνα 6.7)



Εικόνα 6.7: Διάγραμμα μήκους αγωγών συναρτήσει πλευράς X

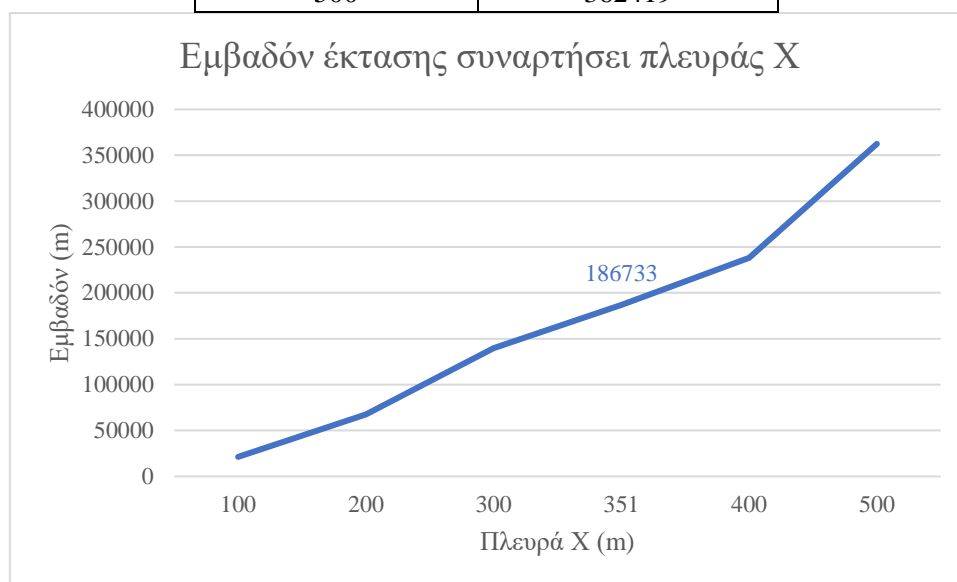
6.5.4 Έκτασης χωροθέτησης

Η βάση της περιοχής που θα εναποτίθενται τα απορρίμματα είναι τετράγωνη με πλευρά μήκους X. Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία, περιμετρικά του, επιβάλλεται η ύπαρξη ζώνης πυροπροστασίας πλάτους τουλάχιστον 8 m και περιμετρικός δρόμος τουλάχιστον 6 m. επίσης, σε έναν ΧΥΤΑ απαιτούνται και άλλοι χώροι όπως κτηριακές εγκαταστάσεις και άλλοι βοηθητικοί χώροι. Για τις ανάγκες της εργασίας, γίνεται η παραδοχή πως το 70% της έκτασης του χώρου θα αξιοποιηθεί για την ταφή των απορριμμάτων και το υπόλοιπο 30% για τους υπόλοιπες εγκαταστάσεις (Κούγκολος, 2018). Συνεπώς η συνολική απαιτούμενη έκταση θα ισούται με:

$$E_{ολ} = 1,3 \times (X + 28)^2 \quad (Eξ. 6.30)$$

Πίνακας 6.11: Εμβαδό έκτασης συναρτήσει της πλευράς X

Πλευρά X (m)	Εμβαδόν έκτασης (m ²)
100	21299
200	67579
300	139859
351	186733
400	238139
500	362419



Εικόνα 6.8: Διάγραμμα εμβαδού συναρτήσει πλευράς X

6.5.5 Εμβαδόν χωματουργικών ζώνης πυροπροστασίας και περιμετρικού δρόμου

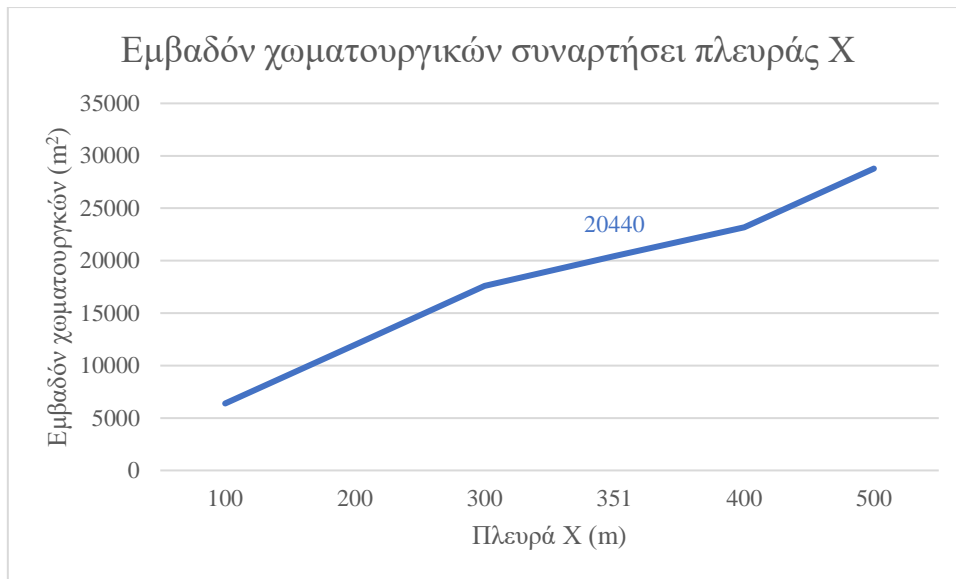
Το εμβαδόν υπολογίζεται ως η διαφορά του εμβαδού της απαιτούμενης έκτασης για εναπόθεση απορριμμάτων μείον το εμβαδό της βάσης της κόλουρης πυραμίδας.

$$E_{\text{χωμ}} = (X + 28)^2 - X^2 = 56 \times X + 784 \quad (\text{Εξ. 6.31})$$

Το εμβαδόν των χωματουργικών για πλευρά X=351m (Πίνακας 6.12, Εικόνα 6.9)

Πίνακας 6.12: Εμβαδό χωματουργικών συναρτήσει της πλευράς X

Πλευρά X (m)	Εμβαδόν χωματουργικών (m ²)
100	6.384
200	11.984
300	17.584
351	20.440
400	23.184
500	28.784



Εικόνα 6.9: Εμβαδόν χωματουργικών συναρτήσσει πλευράς X

6.5.6 Περίμετρος περιφραξης

Η περίμετρος της έκτασης της μονάδας θα είναι ορθογωνίου σχήματος, με πλευρές:

- $x = (X + 28) \times 1,3$ (Εξ. 6.32)
- $y = X + 28$ (Εξ. 6.33)

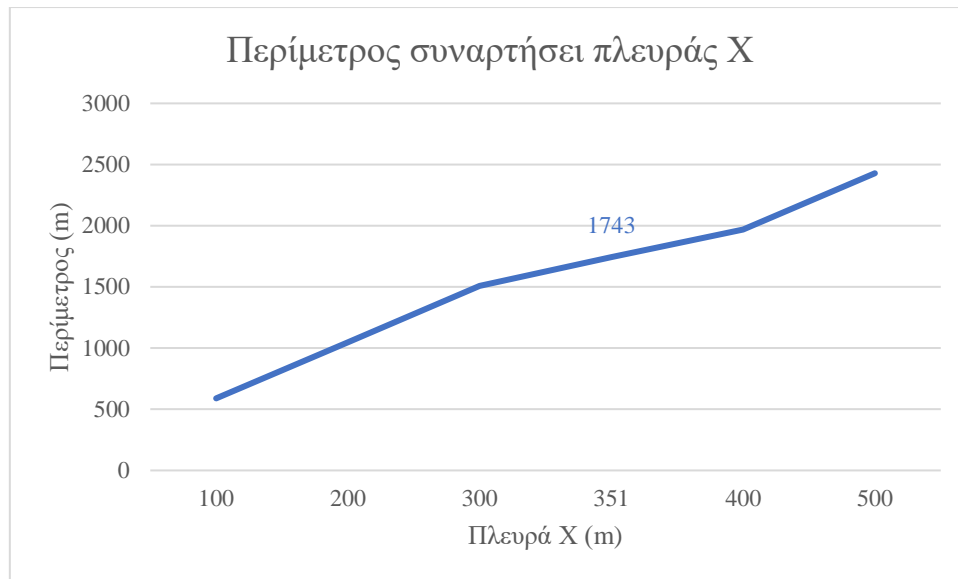
Άρα:

$$\Pi = 2 \times x + 2 \times y = 4,6 \times X + 128,8 \quad (\text{Εξ. 6.34})$$

Η περίμετρος του ΧΥΤΑ για πλευρά X=351m (Πίνακας 6.13, Εικόνα 6.10)

Πίνακας 6.13: Περίμετρος περιφραξης συναρτήσσει της πλευράς X

Πλευρά X (m)	Περίμετρος (m)
100	589
200	1.049
300	1.509
351	1.743
400	1.969
500	2.429



Εικόνα 6.10: Διάγραμμα περιμέτρου περίφραξης συναρτήσεως πλευράς X

6.8 Κοστολόγηση

Ο προϋπολογισμός του κόστους κατασκευής αποτελεί βασική απαίτηση κατά τον σχεδιασμό ενός ΧΥΤΑ ή οποιασδήποτε μορφής μονάδας επεξεργασίας στερεών αποβλήτων. Το εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε για να επιτευχθεί ο προϋπολογισμός είναι η συνάρτηση κόστους μορφής $Cost = f(size)$ που size μπορεί να αναφέρεται σε διάφορους παράγοντες όπως ο πληθυσμός που εξυπηρετεί, η χωρητικότητα του ΧΥΤΑ σε tn/year, ή το εμβαδόν του γεωμετρικού σχήματος της βάσης του ΧΥΤΑ ή το σύνολο της μάζας ΑΣΑ που θα διατεθούν καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας του (Moutsiou and Panagiotakopoulos, 1998).

Μετά από μελέτη της διαθέσιμης βιβλιογραφίας, βρέθηκαν συναρτήσεις κόστους που υπολογίζουν το κόστος συναρτήσεως της δυναμικότητας του ΧΥΤΑ σε tn/year. Ανάλογα με την δυναμικότητα σε tn/year χρησιμοποιείται διαφορετική συνάρτηση (Tsimelou and Panagiotakopoulos, 2006).

- Αν $500 \leq x \leq 60.000$ tn/year τότε η συνάρτηση κόστους είναι της μορφής $y = 0,0057 \times x^{0,61}$ (Εξ 6.35)
- Αν $60000 \leq x \leq 1.500.000$ tn/year τότε η συνάρτηση κόστους είναι της μορφής $y = 0,0033 \times x^{0,71}$ (Εξ. 6.36)

Όπου x σε tn/year και y σε 10^6€ . Οι συναρτήσεις αυτές έχουν εξαχθεί με βάση τιμές του 2003 (Tsimelou and Panagiotakopoulos).

Έχοντας ήδη υπολογίσει την ημερήσια δυναμικότητα υπολογίζεται εύκολα η ετήσια δυναμικότητα

$$x = T \times 365 \quad (\text{Εξ. 6.37})$$

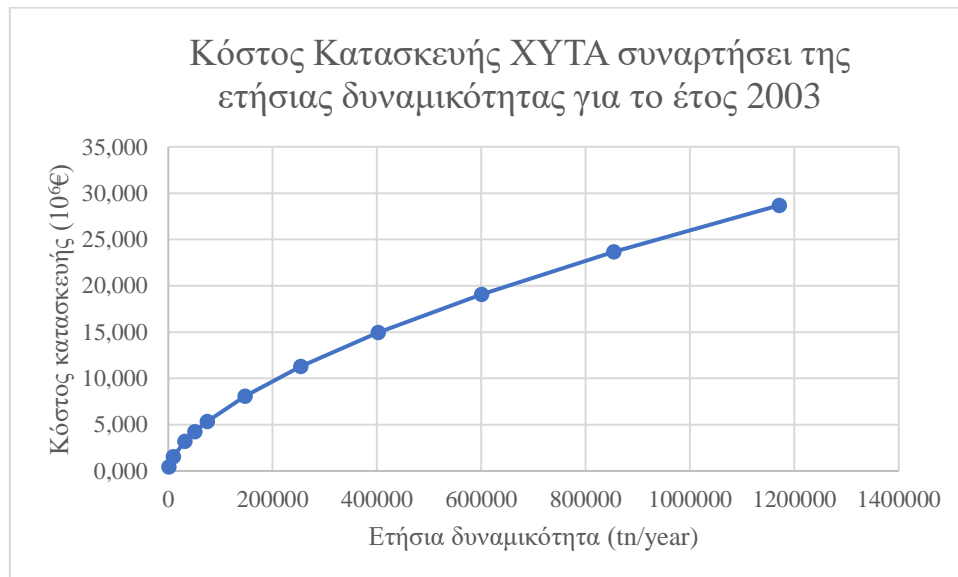
Πίνακας 6.14: Ετήσια δυναμικότητα για πλευρά X

Πλευρά X (m)	Ημερήσια δυναμικότητα (tn/ημέρα)	Ετήσια Δυναμικότητα (tn/year)
100	3	1.189
200	26	9.471
300	87	31.845
351	140	50.937
400	204	74.543
500	402	14.6867

Από τον Πίνακα 6.14 για τις διαστάσεις του ΧΥΤΑ (πλευρά X=351m) που θα χωροθετηθεί η συνάρτηση που δίνει το κόστος κατασκευής του είναι η Εξ. 6.35. Συνεπώς η γραφική παράσταση του κόστους ως προς την ετήσια δυναμικότητα παρουσιάζεται στην Εικόνα 6.11 και στον Πίνακα 6.15

Πίνακας 6.15: Κόστος κατασκευής σε 10^6 € ως προς την ετήσια δυναμικότητα για το έτος 2003

Πλευρά X (m)	Ετήσια Δυναμικότητα (tn/year)	Κόστος κατασκευής (10^6 €) για το έτος 2003
100	1189	0,428
200	9471	1,519
300	31845	3,182
351	50937	4,238
400	74543	5,346
500	146867	8,085

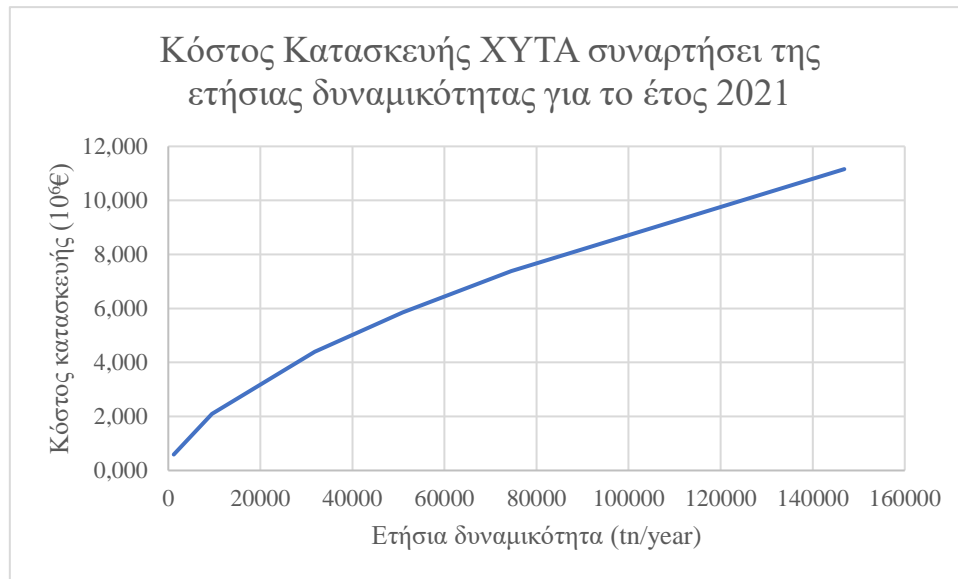


Εικόνα 6.11: Διάγραμμα κόστους κατασκευής σε 10^6 € ως προς την ετήσια δυναμικότητα για το έτος 2003

Σύμφωνα με τους (Tsimelou and Panagiotakopoulos, 2006) οι τιμές αυτές ισχύουν για έναν ΧΥΤΑ το 2003. Προκειμένου να υπολογιστεί το κόστος το 2021 χρειάστηκε να ληφθεί υπόψη ο πληθωρισμός. Συνεπώς γίνεται η παραδοχή πως από υπεισέρχεται πληθωρισμός 2% κάθε χρόνο από το 2003 ως το 2021, συνεπώς η τιμή θα είναι 38% αυξημένη

Πίνακας 6.16: Κόστος κατασκευής σε 10^6 € ως προς την ετήσια δυναμικότητα για το έτος 2021

Πλευρά X (m)	Ετήσια Δυναμικότητα (tn/year)	Κόστος κατασκευής (10^6 €) για το έτος 2021
100	1189	0,591
200	9471	2,096
300	31845	4,391
351	50937	5,849
400	74543	7,378
500	146867	11,158



Εικόνα 6.12: Διάγραμμα κόστους κατασκευής σε 10^6 € ως προς την ετήσια δυναμικότητα για το έτος 2021

Συνεπώς για μήκος πλευράς $X=351\text{m}$ το κόστος κατασκευής του ζητούμενου ΧΥΤΑ θα ανέρθει στα 5.849.000€.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η συγκεκριμένη εργασία πραγματοποιήθηκε την βέλτιστη χωροθέτηση μιας μονάδας υγειονομικής ταφής. Η επιλογή των κριτηρίων γεωγραφικής, περιβαλλοντικής και χωροταξικής φύσεως το αντικατοπτρίζουν. Τα συμπεράσματα που εξήχθησαν κατά τη διαδικασία και με το πέρας της ήταν τα εξής:

- Η επιλογή των υποκριτηρίων, που θα συμμετέχουν στον αποκλεισμό και στην καταλληλότητα, καθορίζει το αποτέλεσμα. Πρέπει να γίνεται μετά από μελέτη της εκάστοτε περιοχής ενδιαφέροντος, και της ισχύουσα νομοθεσίας που ρυθμίζει την διαδικασία.
- Κατά την αναλυτική ιεράρχηση, η απόδοση τιμών σημαντικότητας κατά τη σύγκριση των κριτηρίων ανά ζεύγη, απαιτεί ορθή κρίση, καθώς ο χρήστης καθορίζει τη σημαντικότητά τους.
- Η μέθοδος είναι ευέλικτη, ανάλογα με τις ανάγκες της εφαρμογής, τα κριτήρια μπορούν να αλλάξουν, να μειωθούν ή και να προστεθούν κι άλλα.
- Σημειώνεται πως η εργασία βασίζεται σε επιστημονικά στοιχεία ή εκτιμήσεις και υπάρχει περίπτωση να μην συνάδει με πολιτικές αποφάσεις ή την κοινή γνώμη.
- Η ποιότητα των χωρικών δεδομένων επηρεάζει άμεσα το αποτέλεσμα, με δεδομένα υψηλότερης χωρικής ακρίβειας να δίνουν καλύτερα αποτελέσματα. Χαρακτηριστικό είναι τα δεδομένα χρήση γης του Corine που έχουν ακρίβεια 5 ha.
- Επικουρικά των εφαρμογών GIS πρέπει να γίνει και δια ζώσης εποπτεία, για να σιγουρευτεί η καταλληλότητα των επιλεγμένων περιοχών.
- Η μέθοδος θα μπορούσε να επεκταθεί με την μελέτη των κοινωνικών και οικονομικών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή μελέτης.
- Όλα τα αποτελέσματα που έχουν εξαχθεί δεν έχουν λάβει υπόψη αν οι εκτάσεις ανήκουν στο δημόσιο ή σε ιδιώτες καθώς δεν ήταν δυνατή η λήψη τέτοιων δεδομένων.

Επίσης, αντικείμενο της εργασίας αυτής ήταν η εξαγωγή συναρτήσεων κόστους της κατασκευής του ΧΥΤΑ. Τα συμπεράσματα σχετικά με τις συναρτήσεις ήταν τα εξής:

- Παρατηρήθηκε πως η αύξηση της δυναμικότητας του ΧΥΤΑ οδηγεί σε οικονομικότερη διαχείριση.
- Η ελλιπής βιβλιογραφία κατέστησε την εύρεση συναρτήσεων κόστους ως προς την δυναμικότητα του ΧΥΤΑ ιδιαίτερα δύσκολη.
- Μια άλλη προσέγγιση για τον υπολογισμό του κόστους κατασκευής είναι η χρήση τιμολογίων που εκδίδονται από το υπουργείο που δίνουν τιμές ανά μονάδα χώρου ή μάζας για τα υλικά που χρειάζονται για την κατασκευή του ΧΥΤΑ. Δηλαδή υπολογισμός του κόστους με βάση τη διαστασιολόγηση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική:

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

Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένων των επικίνδυνων αποβλήτων, 2020-2030

Mandyilas, C., Balis, M., Kontos, T., Akriotis, D. and Halvadakis, C. (1998). Investigation and evaluation of sites for the construction of a central sanitary landfill in Lesvos. Technical Report, Part I, University of the Aegean, Dept. of Environmental Studies, Waste Management Laboratory / Region of the North Aegean, Mytilene, Greece (in Greek)

Περιφέρεια Πελοποννήσου (2016) Στρατηγική Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Περιφερειακού Σχεδιασμού Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων Περιφέρειας Πελοποννήσου <https://issuu.com/ermionis/docs/> (Ημερ. επίσκεψης 15-2-2022)

Κατάρτιση πλαισίου Προδιαγραφών και γενικών προγραμμάτων διαχείρισης στερεών αποβλήτων, Εθνικός Σχεδιασμός Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων, ΦΕΚ 1016B/97.

Μέτρα και όροι για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων, ΦΕΚ 1572/02.

Παναγιωτακόπουλος, Δ. (2002). Βιώσιμη Διαχείριση Αστικών Στερεών Αποβλήτων, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζυγός.

Καθορισμός τεχνικών προδιαγραφών μικρών χώρων υγειονομικής ταφής αποβλήτων σε νησιά και απομονωμένους οικισμούς, κατ' εφαρμογή του άρθρου 3 (παρ.4) σε συνδυασμό με το άρθρο 20 (παράρτημα 1) της υπ' αριθμού 29407/3508/2002 ΚΥΑ «Μέτρα και όροι για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων», ΦΕΚ 168/06.

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

Ξενόγλωσση:

Aivaliotis, V., Dokas, I., Hatzigiannakou, M., Panagiotakopoulos, D. (2004). Functional relationships of landfill and landraise capacity with design and operation parameters. Waste Management and Research, 22, pp. 283–290.

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

Gemitzi, A., Tsihrintzis V., Voudrias, E., Petalas, C. and Stravodimos, G. (2006). Combining geographic information system, multicriteria evaluation techniques and fuzzy logic in siting MSW landfills. *Environmental Geology*, 51, pp. 797–811.

Moutsiou, M., Panagiotakopoulos, D. (1998). A Procedure for Generating Landfill Cost Functions and Estimating the Degree of Economies of Scale, *Proceedings of The International Conference for the Protection and Restoration of the Environment, Vol II, Halkidiki, Greece*, pp. 643-650.

Panagiotakopoulos, D., Dokas, I., (2001). Design of landfill daily cells. *Waste Management and Research*, 19, pp. 332-341.

Saaty, T. (1977). A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15, pp. 234-281.

Saaty, T. (2005). Making and Validating Complex Decisions with the AHP/ANP. *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 14, pp. 1–36.

Kontos, T., Komilis, D., Halvadakis, C. (2005). Siting MSW landfills with a spatial multiple criteria analysis methodology. *Waste Management*, 25, pp. 818–832.

Demesouka, O., Vavatsikos, A., Anagnostopoulos, K. (2013). Suitability analysis for siting MSW landfills and its multicriteria spatial decision support system: Method, implementation and case study. *Waste Management*, 33, pp. 1190-1206

Tsilemou, K., Panagiotakopoulos, D. (2006). Approximate cost functions for solid waste treatment facilities. *Waste Management and Research*, 24, pp. 310–322.

Khodaparast, M. Rajabi, A.M., Edalat, A. (2018). Municipal solid waste landfill siting by using GIS and analytical hierarchy process (AHP): a case study in Qom city, Iran, *Environmental Earth Sciences* (2018) 77:52.

Adewumi, J.R., Ejeh, O.J., Lasisi, K.H. *et al.* A GIS–AHP-based approach in siting MSW landfills in Lokoja, Nigeria. *SN Appl. Sci.* 1, 1528 (2019). <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1500-6>

Ιστοσελίδες από όπου αντλήθηκαν τα απαραίτητα χωρικά δεδομένα:

Ιστοσελίδα Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας

<https://ypen.gov.gr/diacheirisi-apovliton/sterea-apovlita/open-data/>

Κεντρικός κατάλογος δημοσίων δεδομένων

http://www.data.gov.gr/dataset?res_format=SHP

Ιστοσελίδα Ινστιτούτου Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών

<http://www.igme.gr/geoportal/125>

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

Ιστοσελίδα Corine Land Cover

<https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>

Ιστοσελίδα από όπου αντλήθηκαν δεδομένα για το κλίμα

https://www.meteoblue.com/el/%CE%BA%CE%B1%CE%B9%CF%81%CF%8C%CF%82/historyclimate/climatemodelled/%CE%A3%CF%80%CE%AC%CF%81%CF%84%CE%B7_%CE%95%CE%BB%CE%BB%CE%B7%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AE-%CE%94%CE%B7%CE%BC%CE%BF%CE%BA%CF%81%CE%B1%CF%84%CE%AF%CE%B1_253394