ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΚΑΙ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ

ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΑΠΟ ΤΑ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΑ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΧΑΝΙΩΝ

Μεταπτυχιακή Διατριβή της Αθανασίας Χάρη

Επιβλέπων Καθηγητής :

Ευάγγελος Διαμαντόπουλος

Χανιά. Ιούλιος 2010

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΚΑΙ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ

ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΑΠΟ ΤΑ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΑ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΧΑΝΙΩΝ

Μεταπτυχιακή Διατριβή της Αθανασίας Χάρη

<u>Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή :</u>

Ευάγγελος Διαμαντόπουλος

Γεώργιος Καρατζάς

Διονύσιος Μαντζαβίνος

Χανιά, Ιούλιος 2010

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης Ευάγγελο Διαμαντόπουλο για την καθοδήγηση και την ηθική και επιστημονική συμπαράσταση που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διατριβής και την έμπρακτη βοήθειά του στην αντιμετώπιση κάθε ζητήματος που ανέκυπτε.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Λέκτορα του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης Παναγιώτη Παρτσινέβελο και την κύρια Ράνια Παπαδάκη για την πολύτιμη βοήθειά τους και τις εποικοδομητικές ιδέες τους σε θέματα σχετικά με την τεχνολογία των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών.

Ευχαριστώ, ακόμη, την κυρία Κασσιανή Τσιράκη και τον κύριο Μιχάλη Καλαϊτζάκη από τη Διεύθυνση Ανάπτυξης της Νομαρχίας Χανίων για τον προσωπικό χρόνο που αφιέρωσαν για την παροχή σημαντικών πληροφοριών και απαραίτητων στατιστικών δεδομένων για την εκπόνηση αυτής της εργασίας.

Θα ήταν παράλειψη να μην ευχαριστήσω τη Δρ. Βέτα Κουκουράκη και όλους του υποψήφιους διδάκτορες και μέλη του Εργαστηρίου Τεχνολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος για τη συμβολή τους στην τέλεση αυτής της διατριβής.

Τέλος, οφείλω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, τους φίλους μου και τους συμφοιτητές μου για την υπομονή, την κατανόηση και την αγάπη που μου παρείχαν.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εν λόγω διατριβή αναπτύσσεται ένα στρατηγικό σχέδιο διαχείρισης των υγρών αποβλήτων από τα ελαιοτριβεία του νομού Χανίων, σύμφωνα με το οποίο προτείνονται δύο εναλλακτικά σενάρια. Το ένα αναφέρεται στην εγκατάσταση δύο κεντρικών συστημάτων επεξεργασίας σε επίπεδο νομού. Τα συστήματα αυτά συνίστανται από μια μονάδα αναερόβιας χώνευσης και έναν τεχνητό υγροβιότοπο. Το δεύτερο διαφοροποιείται από το πρώτο στη θεώρηση ότι στα ελαιοτριβεία της περιοχής Σφακίων η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων θα γίνει αυτόνομα με την εγκατάσταση μιας μονάδας ηλεκτροχημικής οξείδωσης και ενός τεχνητού υγροβιότοπου. Η συγκριτική αξιολόγηση των παραπάνω σεναρίων υποδεικνύει την υστέρηση του δεύτερου σεναρίου έναντι του πρώτου, βάσει οικονομικών και περιβαλλοντικών παραμέτρων. Ο βέλτιστος όγκος της δεξαμενής αναερόβιας χώνευσης (τύπου UASB) είναι 5.435m^3 και 4.095m^3 για τις δύο μονάδες επεξεργασίας, ενώ η βέλτιστη απαιτούμενη έκταση του υγροβιότοπου είναι 47στρ. και 35 στρ. αντίστοιχα. Επιπλέον, εφαρμόζονται η πολυκριτήρια ανάλυση αποφάσεων και η τεχνολογία του Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (GIS), για τον εντοπισμό των βέλτιστων γεωγραφικών θέσεων για την εγκατάσταση των μονάδων επεξεργασίας. Τα επιλεγόμενα κριτήρια αξιολόγησης καθορίζονται από τις εφαρμοζόμενες τεχνολογίες επεξεργασίας, τα γεωφυσικά γνωρίσματα της υπό μελέτη περιοχής και των περιβαλλοντικών διατάξεων και αναφέρονται στο υπάρχον σύστημα χειμάρρων (κριτήριο f), στο γεωλογικό υπόβαθρο (κριτήριο g) και στο υπάρχον οδικό δίκτυο (κριτήριο n). Πραγματοποιούνται 10.000 προσομοιώσεις και για τις τρεις κατηγορίες των συντελεστών βαρύτητας και επιλέγεται αυτή με τη μικρότερη ευαισθησία (w_1=0,5 για το κριτήριο f, w_2=0,2 για το κριτήριο g και w_3=0,3 για το κριτήριο n). Οι συντεταγμένες των θέσεων στις οποίες προτείνεται η εγκατάσταση των μονάδων επεξεργασίας ανήκουν στο Γεωγραφικό Σύστημα Συντεταγμένων του 1987 και είναι οι εξής : (473.348,874 , 3.918.682,684) για τη μονάδα 1, και (494.444,961 , 3.919.703,462) για τη μονάδα2.

ABSTRACT

In this thesis a strategic plan was developed for the management of olive mill wastewater (OMWW) in the prefecture of Chania. Specifically, two alternative technico-economic scenarios were investigated. The first scenario is related to the establishment of two central processing systems, which consist of an anaerobic digestion plant and a constructed wetland. The second one is related to the establishment of a decentralized processing system in the area of Sfakia consisting of an electrochemical oxidation plant and an artificial wetland. Comparison between these scenarios indicate the superiority of the first scenario over the second one, in terms of economic and environmental aspects. The optimum volumes of the proposed anaerobic digester (type UASB) are 5.435m^3 and 4.095m^3 for the two processing systems respectively, while the optimum surface area of the wetland is 4,7ha and 3,5ha respectively. Moreover, multicriteria decision analysis and Geographic Information System (GIS) analysis are applied in order to identify the best locations for the installation of the treatment plant. The selection of the criteria is based on technical, geophysical and environmental characteristics of the area under study. The selected criteria refer to the hydrographic network (criterion f), to the geological substrate (criterion g) and to the existing road network (criterion n). After the completion of 10.000 simulations, which were made for each one of the three weighting classes, the least sensitive simulation is selected as the optimum one (w_1 = 0,5 for the criterion f, w_2 = 0,2 for the criterion g and w_3 = 0,3 for the criterion n). The coordinates of the proposed locations for the establishment of the treatment plants are as follows: (473.348,874, 3.918.682,684) for plant 1 and (494.444,961, 3.919.703,462) for plant 2. The above coordinates belong to the Geographic Coordinate System of 1987.

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κατά τη διάρκεια του 20^{ου} και 21^{ου} αιώνα η συνεχής αύξηση του πληθυσμού έχει ως αποτέλεσμα την υποβάθμιση διαφόρων οικοσυστημάτων, πάνω στα οποία βασίζεται η ανθρώπινη ζωή. Συγκεκριμένα η ποιότητα των υδάτων έχει αλλοιωθεί λόγω της ανεξέλεγκτης απόθεσης των αστικών και βιομηχανικών αποβλήτων, χωρίς την προηγούμενη επαρκή επεξεργασία τους. Τα εν λόγω απόβλητα περιέχουν μεγάλη ποσότητα οργανικών ρύπων, οι οποίοι είναι μεν βιοαποδομήσιμοι, αλλά το φορτίο επιρροής τους, είτε ως ολικά αιωρούμενα στερεά (total suspended solids, TSS), είτε ως χημικώς απαιτούμενο οξυγόνο (COD), είτε ως βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD), είναι της τάξης των εκατοντάδων έως και χιλιάδων mg/L.

Μεταξύ όλων των διαφορετικών αγροτοβιομηχανικών αποβλήτων, τα υγρά απόβλητα από τα ελαιοτριβεία (Olive Mill Waste Water, OMWW), εξαιτίας της τοξικότητάς τους, του υψηλού περιεχομένου σε φαινολικές ενώσεις, της παρουσίας των αιωρούμενων στερεών και κυρίως, λόγω του υψηλού οργανικού φορτίου (COD 45.000-170.000 mg/L), εμφανίζουν τον υψηλότερο ρυθμό ρύπανσης. Τα γνωρίσματα αυτά συνιστούν καθοριστικούς παράγοντας για την αποτροπή απόρριψης των αποβλήτων απευθείας στους υδάτινους αποδέκτες, όπως συνηθίζονταν μέχρι πρόσφατα. Στους παραπάνω παράγοντες έρχονται να προστεθούν και η εποχιακή λειτουργία των ελαιοτριβείων, η μεγάλη διασπορά των ελαιουργείων ανά περιοχή, καθώς επίσης και το γεγονός ότι οι περισσότερες μονάδες είναι μικρές οικογενειακές επιχειρήσεις, με αποτέλεσμα το κόστος για την επεξεργασία των OMWW να μην μπορεί να συμπεριληφθεί στο γενικό επιχειρησιακό σχεδιασμό. Εύλογα εξάγεται το συμπέρασμα πως είναι επιτακτική η ανάγκη εξεύρεσης ενός στρατηγικού σχεδιασμού, ο οποίος θα λαμβάνει υπόψη όλες τις παραπάνω παραμέτρους και θα περιλαμβάνει τεχνικές απορρύπανσης που να εξασφαλίζουν την αποδοτική επεξεργασία των υγρών αποβλήτων από τα ελαιοτριβεία και να είναι οικονομικά συμφέρουσες.

Στην εν λόγω διατριβή, μελετάται το περιβαλλοντικό πρόβλημα των υγρών αποβλήτων από τα ελαιοτριβεία του νομού Χανίων και εξετάζονται εναλλακτικά σενάρια διαχείρισης, είτε σε κεντρικό επίπεδο-επίπεδο νομού, είτε σε επίπεδο λεκανών απορροής, για την εξεύρεση των βέλτιστων θέσεων για την εγκατάσταση της μονάδας επεξεργασίας, καθώς και των βέλτιστων διεργασιών. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται η μεθοδολογίας της πολυκριτήριας ανάλυσης αποφάσεων και η τεχνολογία του Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (GIS). Αναλυτικότερα, οι επιμέρους στόχοι της διπλωματικής είναι :

- Η ανάπτυξη μιας αξιόπιστης μεθοδολογίας για την επιλογή των βέλτιστων θέσεων εγκατάστασης της μονάδας επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων από τα ελαιοτριβεία. Η μεθοδολογία στηρίζεται στις αρχές της πολυκριτήριας θεωρίας χρησιμότητας. Επιλέγονται συγκεκριμένα κριτήρια αξιολόγησης, τα οποία καθορίζονται από τις επιλεγόμενες τεχνολογίες απορρύπανσης, τους υπάρχοντες περιβαλλοντικούς κανονισμούς τη γεωγραφική κατανομή των ελαιοτριβείων, τα γεωμορφολογικά δεδομένα του νομού Χανίων και το οικονομικό κόστος και καθορίζουν τη γεωγραφική κατάταξη της υπό μελέτη περιοχής από τις μη επιτρεπόμενες στις καταλληλότερες θέσεις.

- Η μελέτη της μεταβολής του αποτελέσματος της πολυκριτήριας ανάλυσης όταν μεταβάλλονται οι τιμές των κριτηρίων αξιολόγησης και των συντελεστών βαρύτητας. Πραγματοποιούνται 10.000 προσομοιώσεις για κάθε ξεχωριστή ομάδα βαρών, για τη συγκριτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και την επιλογή των βέλτιστων, αυτών δηλαδή που εμφανίζουν τη μικρότερη ευαισθησία ως προς τις προαναφερόμενες μεταβολές.

- Εφαρμογή της βέλτιστης προσομοίωσης στο περιβάλλον του GIS, με σκοπό τη γεωγραφική απεικόνιση των καταλληλότερων θέσεων για την εγκατάσταση των μονάδων επεξεργασίας των OMWW. Βελτιστοποίηση της διαδρομής μεταφοράς των λυμάτων από τα ελαιοτριβεία στις κεντρικές μονάδες πάνω στο υπάρχον οδικό δίκτυο. Για το λόγο αυτό εφαρμόζεται ο αλγόριθμος Σχεδιασμού Μονοπατιών «Dijkstra» μέσω της λειτουργίας του Network Analyst του GIS.

- Ανάπτυξη δύο εναλλακτικών σεναρίων για την ορθή διαχείριση των OMWW. Το πρώτο σενάριο αναφέρεται στην εγκατάσταση δύο κεντρικών υβριδικών συστημάτων επεξεργασίας, τα οποία αποτελούνται από μία μονάδα αναερόβιας χώνευσης, σε αντιδραστήρα τύπου UASB, και έναν τεχνητό υγροβιότοπο ως δεύτερο στάδιο εξυγίανσης. Εξετάζονται δύο υποπεριπτώσεις, ανάλογα του όγκου των υγρών αποβλήτων (αραιωμένων και μη) και επιλέγεται η βέλτιστη. Το δεύτερο σενάριο αναφέρεται στην εγκατάσταση ενός μικρότερου υβριδικού συστήματος, στην περιοχή των Σφακίων, το οποίο αποτελείται από μια μονάδα ηλεκτροχημικής οξείδωσης και έναν τεχνητό υγροβιότοπο. Η σειρά της σύζευξης των εν λόγω διεργασιών εξετάζεται και επιλέγεται η βέλτιστη.

- Προκαταρκτικός υπολογισμός της ολικής επένδυσης κεφαλαίου, για κάθε ένα από τα προτεινόμενα σενάρια, βάσει του κόστους πάγιου κεφαλαίου και λειτουργικών αναγκών των κυριότερων μηχανολογικών εξοπλισμών. Συγκριτική αξιολόγηση των εναλλακτικών σεναρίων και επιλογή του βέλτιστου.

2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

2.1 Υγρά απόβλητα από ελαιοτριβεία – OMWW

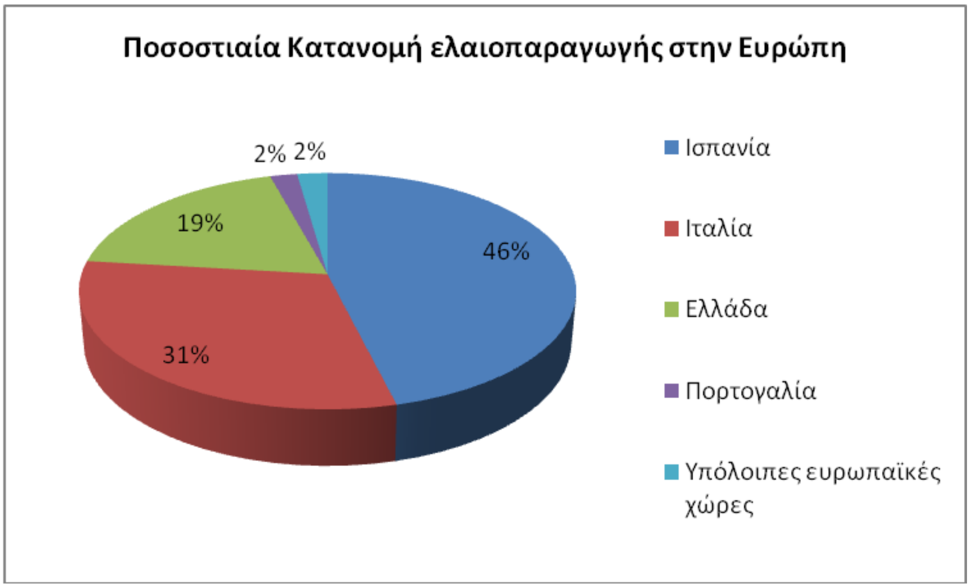
2.1.1. Παγκόσμια Παραγωγή

Σε παγκόσμια κλίμακα υπάρχουν 750 εκατομμύρια παραγωγικά ελαιόδεντρα, τα οποία καταλαμβάνουν μια επιφάνεια 7 εκατομμυρίων εκταρίων. Ένα ελαιόδεντρο παράγει 15 έως 40 kg καρπών ετησίως. Η παγκόσμια ετήσια παραγωγή ελαιόκαρπων και ελαιόλαδου αγγίζει τα 8 και 1.743 εκατομμύρια τόνους αντίστοιχα, που προέρχονται από 25.000 ελαιουργεία. Μόνο η επιφάνεια της Μεσογειακής λεκάνης αποτελεί το 98% της συνολικής καλλιεργήσιμης επιφάνειας παραγωγικών ελαιόδεντρων και ευθύνεται για το 97% της συνολικής παραγωγής ελαιολάδου. Οι μεγαλύτερες ελαιοπαραγωγές χώρες είναι η Ισπανία, η Ιταλία, η Ελλάδα, η Τουρκία και η Τυνησία και σε μικρότερο βαθμό η Πορτογαλία, το Μαρόκο και η Αλγερία. Ακόμα, ελαιόδεντρα καλλιεργούνται στην Καλιφόρνια Αμερικής, στην Αυστραλία και στην Αργεντινή.[1]

Παρακάτω δίνεται πίνακας με στατιστικά στοιχεία για τις τέσσερις μεγαλύτερες ελαιοπαραγωγές χώρες της Ευρώπης [2]:

Πίνακας (2.1) : Στατιστικά δεδομένα της ελαιοπαραγωγικής διαδικασίας στην Ευρώπη [2]

Μεγαλύτερες ελαιοπαραγωγές χώρες	Έκταση (ha)	Παραγωγή ελαιοκάρπων (tonnes)	Παραγωγή ελαιολάδου (tonnes)	Παραγωγή ελαιολάδου (Ευρώπη)	Ποσοστό (%)
		FAOSTAT 2005			
Ισπανία	2.465.258	4.021.720	819.428		42,8
Ιταλία	1.141.269	3.774.812	671.315		35,0
Ελλάδα	797.029	2.646.447	386.385		20,2
Πορτογαλία	376.524	211.873	31.817		1,7
Σύνολο		**10.654.852**	**1.908.945**	**1.916.108**	**99,7**
		FAOSTAT 2006			
Ισπανία	2.483.697	5.679.021	1.092.602		50,8
Ιταλία	1.167.862	3.415.683	603.253		28,0
Ελλάδα	796.972	2.432.507	396.196		18,4
Πορτογαλία	379.400	373.400	51.847		2,4
Σύνολο		**11.900.611**	**2.143.898**	**2.152.399**	**99,6**
		FAOSTAT 2007			
Ισπανία	2.600.000	6.222.100	1.211.900		55,8
Ιταλία	1.164.211	3.481.379	574.261		26,4
Ελλάδα	800.000	2.444.230	331.310		15,2
Πορτογαλία	379.400	373.400	49.700		2,3
Σύνολο		**12.521.109**	**2.167.171**	**2.174.073**	**99,7**



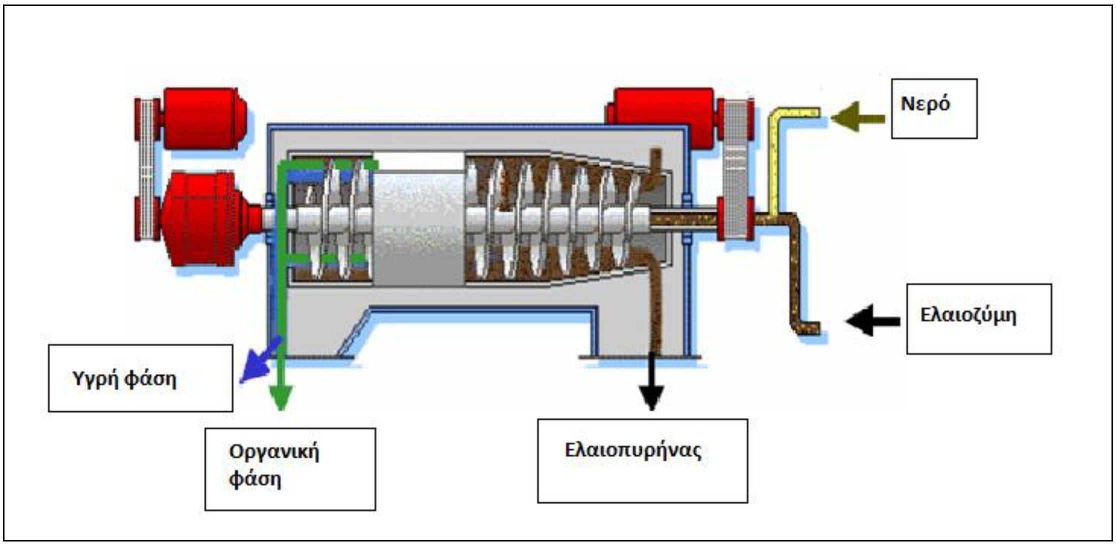
Σχήμα (2.1) : Ποσοστιαία κατανομή της μέσης παραγωγής ελαιολάδου σε ευρωπαϊκή κλίμακα για τα έτη 2005-07

Από τα παραπάνω δεδομένα προκύπτει πως η Ελλάδα κατέχει εξέχουσα θέση στις μεγαλύτερες ελαιοπαραγωγές χώρες παρόλο το μικρό της εδαφικής της έκτασης, συγκριτικά με την Ισπανία και την Ιταλία. Η μεγάλη ελαιοπαραγωγική της δραστηριότητα συμβάλλει σημαντικά στην αύξηση του ΑΕΠ της χώρας [2]. Ωστόσο, η κατεργασία του ελαιοκάρπου για την εκχύλιση του ελαιολάδου, συμβάλλει παράλληλα στην αύξηση των παραγόμενων στερεών κα υγρών αποβλήτων. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι ένα μεσαίου μεγέθους ελαιοτριβείο παράγει περίπου 1.000 tn απόβλητα, ανά περίοδο συγκομιδής ελαιοκάρπου, με οργανικό φορτίο το οποίο ισοδυναμεί με τα ετήσια απόβλητα μιας πόλης 30.000 κατοίκων [1].

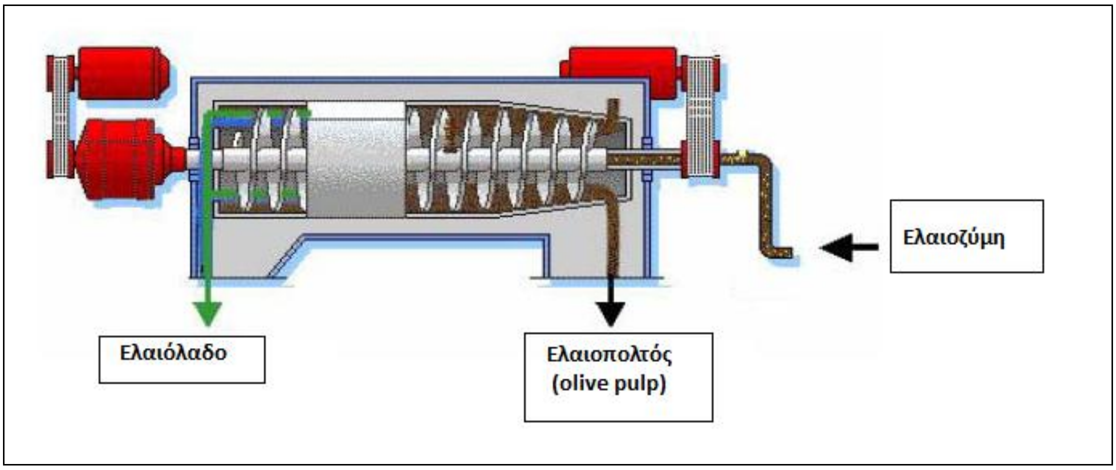
2.1.2. Διαδικασία παραγωγής ελαιολάδου

Η βιομηχανία του ελαιόλαδου έχει σημειώσει σημαντικές αλλαγές. Η παραδοσιακή ασυνεχής διεργασία της πρέσας, κατά την οποία το ελαιόλαδο εξάγεται με πίεση σε υδραυλικό πιεστήριο, έχει αντικατασταθεί με τη συνεχή διεργασία της φυγοκέντρισης. Τα φυγοκεντρικά συστήματα, διακρίνονται σε τριών και δύο φάσεων, ανάλογα με τα προϊόντα που δίνουν στο τέλος της επεξεργασίας.

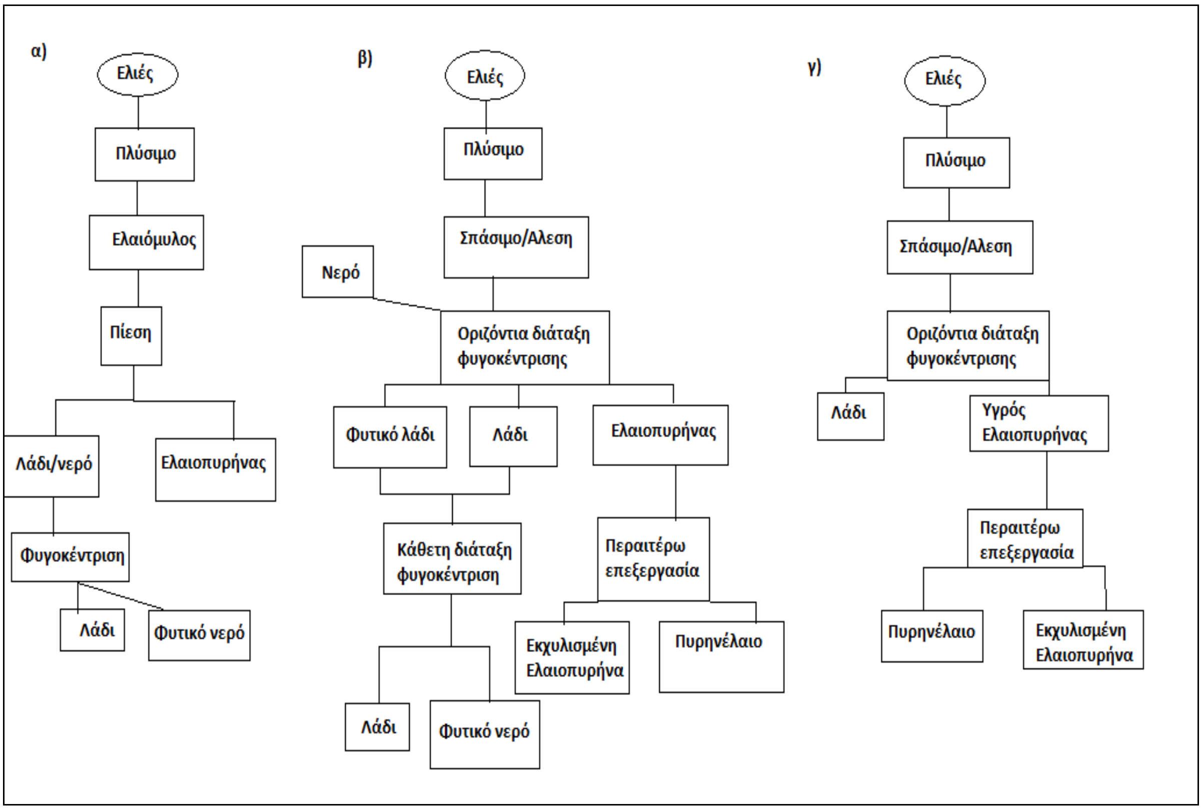
Σε όλες τις περιπτώσεις ο καρπός πρώτα πλένεται και έπειτα συνθλίβεται και αλέθεται. Η τριφασική μέθοδος εξαγωγής αναπτύχθηκε το 1970 με σκοπό να μειωθεί το κόστος λειτουργίας της μονάδας και να αυξηθεί η απόδοση της διεργασίας. Τα συνεχή τριφασικά συστήματα, σε αντίθεση με τα κλασικά που επεξεργάζονται 8-10 τόνους καρπών ανά ημέρα, επεξεργάζονται 30-32 τόνους καρπών ανά ημέρα, με ένα μέρος μόνο του εργαστηριακού εξοπλισμού. Ωστόσο, η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιεί 50 % περισσότερο νερό από τις κλασικές μεθόδους (80-100L νερό ανά 100 kg καρπού, κατά μέσο όρο) και παράγει 50% περισσότερα υγρά απόβλητα ανά μονάδα μάζας επεξεργασμένου καρπού (1,7 kg OMWW ανά kg επεξεργασμένων ελιών έναντι 0,9 kg στην κλασική μέθοδο). Ως συνέπεια, αναπτύχθηκε η διφασική μέθοδος επεξεργασίας, η οποία χρησιμοποιεί πολύ λιγότερο νερό. Συγκεκριμένα, η τεχνολογία αυτή δεν χρησιμοποιεί επιπλέον νερό επεξεργασίας, αλλά εξάγει το λάδι ως την υγρή φάση του καρπού και τα απόβλητα με την μορφή μιας υγρής πάστας ελιάς (2POMW) ως τη στερεή φάση, χρησιμοποιώντας μια πιο αποδοτική μέθοδο φυγοκέντρισης. Πάραυτα, η παραπάνω διεργασία περιέχει σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα, καθώς συνδυάζει τα παραγόμενα υγρά απόβλητα με τα στερεά αυξάνοντας έτσι την ποσότητα των τελευταίων που απαιτούν (ακριβή) προεπεξεργασία πριν την παραλαβή του πυρηνέλαιου, την κομποστοποίηση ή την καύση τους. [1]



Σχήμα (2.2) : Τριφασικός διαχωριστήρας [3]



Σχήμα (2.3) : Διφασικός διαχωριστήρας [3]



Σχήμα (2.4) : Διάγραμμα ροής των τριών διαφορετικών διαδικασιών παραγωγής ελαιολάδου α) Παραδοσιακή β) τριών φάσεων γ) δύο φάσεων [3]

2.1.3. Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά OMWW

Τα υγρά απόβλητα των ελαιοτριβείων (OMWW- Olive Mill WasteWater), αν και παραπροϊόντα επεξεργασίας του ελαιοκάρπου, συγκαταλέγονται στα κατ' εξοχήν βεβαρημένα από πλευράς ρυπαντικού φορτίου γεωργικά βιομηχανικά απόβλητα. Παράγονται από τα τριφασικά κυρίως ελαιουργεία και αποτελούν μίγμα του νερού που χρησιμοποιείται στα διάφορα στάδια παραγωγής του ελαιόλαδου (όπως φαίνεται στο σχήμα 2.4) και του νερού που περιέχεται στον ίδιο τον καρπό, καθώς επίσης και του νερού πλύσης του εξοπλισμού.

Τα υγρά απόβλητα των ελαιοτριβείων χαρακτηρίζονται από έντονο και σκούρο καφέ έως μαύρο χρώμα και έντονη όξινη οσμή λαδιού. Η σύστασή τους αποτελείται από νερό (80-83%), οργανικά συστατικά, (15-18%) και ανόργανα συστατικά 2% (κυρίως άλατα καλίου και φωσφόρου 2%). Τα απόβλητα των ελαιουργείων, πέρα από το υψηλό τους οργανικό φορτίο (BOD_5= 35-100 g/l και COD= 40-175g/l), περιέχουν μεγάλα ποσοστά φυτοτοξικών και μικροβιακών ενώσεων, όπως οι φαινόλες και τα μεγαλομοριακά λιπαρά οξέα, καθώς επίσης και αιωρούμενα στερεά (της τάξης των 1-9 g/l) και υψηλές συγκεντρώσεις δύσκολα διασπώμενων ενώσεων, όπως οι λιγνίνες και οι τανίνες, οι οποίες δίνουν το χαρακτηριστικό σκούρο χρώμα στα λύματα. Ωστόσο τα βασικά οργανικά συστατικά των λυμάτων είναι τα σάκχαρα και οι πολυφαινόλες. Οι φαινολικές ενώσεις που εμπεριέχονται στον καρπό της ελιάς είναι πιο διαλυτές στην υδατική φάση απ' ό, τι στο λάδι, με αποτέλεσμα η συγκέντρωσή τους στα απόβλητα να κυμαίνεται μεταξύ 0.5 και 24 g/l. Οι φαινόλες όταν βρεθούν σε υδατικό διάλυμα παρουσιάζουν υψηλή φυτοτοξική και αντιβακτηριακή δράση. Γενικά η ισχυρή τοξικότητα των OMWW αποδίδεται αρχικά στις εμπεριεχόμενες πολυφαινολικές ενώσεις και δευτερευόντως στα λιπαρά οξέα. Επιπλέον, τα απόβλητα των ελαιουργείων, αν και διαθέτουν υψηλό οργανικό φορτίο, χάρη στην παρουσία υψηλών ποσοτήτων πρωτεϊνών, πολυσακχαριτών, μεταλλικών αλάτων, χουμικού οξέος κ.α., θεωρούνται στην ουσία δυσκόλως βιοδιασπώμενα και συνεπώς, ακατάλληλα για απευθείας χρήση ως λίπασμα ή αρδευτικό νερό [1-5]

Πίνακας (2.2) : Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των OMWW τριφασικού ελαιοτριβείου [1]

pH	4,5-6
EC_{25} (dS/m)	8-22
BOD_5 (mg/l)	35.000-100.000
COD (mg/l)	40.000-175.000
Lipids (mg/l)	300-23.000
Organic matter (g/l)	40-165
Mineral matter (g/l)	5-14
Polyphenols (mg/l)	500-24.000
N (g/l)	5-15
P (g/l)	0,3-1,1
K (g/l)	2,7-7,2
Ca (g/l)	0,12-0,75
Mg (g/l)	0,10-0,40
Na (g/l)	0,04-0,90
Solids (%)	5,5-17,6
Density (g/l)	1.016-1100
Total bacteria ($*10^6$ col/ml)	5

Τα χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων από τα ελαιουργεία εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, όπως π.χ. οι εναλλακτικοί τρόποι επεξεργασίας του ελαιοκάρπου (π.χ. φυγοκεντρικό ή κλασσικό), η ποικιλία και η ωριμότητα της ελιάς, οι εδαφοκλιματικές συνθήκες, όπως επίσης και οι καλλιεργητικές μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν. Επίσης, οι μετρούμενες ποιοτικές διαφορές οφείλονται στον τρόπο και στην περίοδο συγκομιδής του καρπού και στον τρόπο αποθήκευσής του, στη χρήση φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων, στη γήρανση του δέντρου, καθώς και στις συνθήκες δειγματοληψίας του κατσίγαρου (π.χ. αμέσως μετά την παραγωγή ή αφού περάσουν κάποιες ημέρες, από ανοιχτή ή κλειστή δεξαμενή απόθεσης, δείγμα επιφανειακό ή βάθους.

Ο συνδυασμός των παραπάνω χαρακτηριστικών των OMWW, καθιστά αναγκαία τη σωστή διαχείριση αυτών, εφόσον η ελεύθερη διάθεσή τους στους υδάτινους και εδαφικούς αποδέκτες, δύναται να μεταβάλει τη βιολογική ισορροπία του περιβάλλοντος [1,4,5].

2.1.4 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Η ασύστολη διάθεση των OMWW σε εδαφικούς και υδάτινους αποδέκτες, χωρίς να προηγηθεί επεξεργασία αυτών, επιφέρει σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις στο οικοσύστημα διαταράσσοντας τη βιολογική ισορροπία του. Το περιβαλλοντικό κόστος της ανεξέλεγκτης απόρριψης των λυμάτων πρέπει να ληφθεί υπόψη στον γενικότερο σχεδιασμό διαχείρισης των OMWW.

Τα υγρά απόβλητα από τα ελαιοτριβεία εμφανίζουν ανασταλτική δράση στην ανάπτυξη των φυτών, η οποία αποδίδεται στην ισχυρή παρουσία των φαινολών και κάποιων οργανικών οξέων, όπως π.χ. το οξικό οξύ και μυρμηκικό οξύ.

Μια επιπλέον ανεπιθύμητη επίδραση είναι ο χρωματισμός των φυσικών υδάτων. Η αλλαγή στο χρώμα αποδίδεται στην οξείδωση των τανινών και στον ακόλουθο πολυμερισμό τους, παράγοντας «χρωματισμένες» πολυφαινόλες, οι οποίες είναι δύσκολο να απομακρυνθούν από τις απορροές. Ακόμη, η ποσότητα των σακχάρων που περιέχονται στα OMWW, δύναται να λειτουργήσει ως υπόστρωμα για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών, σε περίπτωση που τα λύματα εκφορτιστούν στους υδάτινους αποδέκτες. Ως άμεσο επακόλουθο, θα αυξηθεί η κατανάλωση του διαλυμένου οξυγόνου με παράλληλη μείωση της συνολικής ποσότητάς του που διατίθεται για τους υπόλοιπους υδρόβιους οργανισμούς, με άμεση επίδραση στην ισορροπία του ευρύτερου οικοσυστήματος. Παρόμοιο αποτέλεσμα επιφέρει η μεγάλη συγκέντρωση σε μη αποδομήσιμο φώσφορο, ο οποίος ευθύνεται για την αύξηση του ρυθμού ανάπτυξης των μικροφυκών και συντελεί στο φαινόμενο του ευτροφισμού.

Επιπλέον, αξίζει να αναφερθεί, πως η ποσότητα των λιπιδίων που περιέχονται στα υγρά απόβλητα των ελαιουργείων, δύναται να σχηματίσει μια αδιαπέρατη στρώση στην επιφάνεια των ποταμών, στις όχθες και στις γειτονικές γεωργικές εκτάσεις, η οποία εμποδίζει τη μεταφορά του ηλιακού φωτός και του οξυγόνου στους μικροοργανισμούς. Ως συνέπεια των παραπάνω, συντελείται μείωση της βλάστησης στις όχθες των ποταμών και στις εδαφικές εκτάσεις της γύρω περιοχής, συμβάλλοντας προοδευτικά σε φαινόμενα διάβρωσης.

Τέλος, η απόθεση των OMWW σε ανοιχτές δεξαμενές εξάτμισης έχει αρνητικές επιδράσεις στην ατμόσφαιρα μέσω της εξάτμισης διαφόρων αερίων, όπως π.χ. το μεθάνιο και το υδρόθειο. Η εκπομπή των συγκεκριμένων ρύπων, οι οποίοι χαρακτηρίζονται από έντονα δυσάρεστη οσμή, προκαλεί υποβάθμιση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα [1].

2.1.5 Νομικό πλαίσιο

Σύμφωνα με το άρθρο 3 του προεδρικού διατάγματος 1180/81 (ΦΕΚ 293/Α/6-10-81), «Περί ρυθμίσεως θεμάτων αναγομένων εις τα της ιδρύσεως και λειτουργίας βιομηχανιών, βιοτεχνιών, πάσης φύσεως μηχανολογικών εγκαταστάσεων και αποθηκών και τη εκ τούτων διασφαλίσεως περιβάλλοντος εν γένει.» ορίζονται τα ανώτερα όρια εκπομπής των αποβλήτων από τις εγκαταστάσεις παραγωγής και επεξεργασίας ελαιών, όπως φαίνεται στον πίνακα 2.3. Για την αναγωγή των τιμών από τόνους προϊόντος (ελαιόλαδου) σε λίτρα αποβλήτου, έχει θεωρηθεί ότι για την παραγωγή 1tn ελαιολάδου προκύπτουν 5 m^3 υγρά απόβλητα [6].

Πίνακας (2.3) : Ανώτερες τιμές δεικτών ρύπανσης κατά τη διάθεση υγρών αποβλήτων από ελαιοτριβεία σε φυσικούς αποδέκτες (Π.Δ 1180/81)

Είδος εγκατάστασης	**Χαρακτηριστικά αποβλήτων**	**Ανώτατη μέση τιμή 24ώρου**		**Μέσος όρος τιμών για 30 συνεχείς ημέρες**	
		kg/tn προϊόντος	mg/L αποβλήτου	kg/tn προϊόντος	mg/L αποβλήτου
Παραγωγή φυτικών, ζωικών λιπών και ελαίων	BOD_5	4,00	800	2,00	400
	COD	6,00	1.200	3,00	600
	Αιωρούμενα στερεά	5,00	1.000	2,00	400
	Λίπη και έλαια	1,00	200	0,5	100

Επιπλέον, σύμφωνα με την Υγειονομική διάταξη Ε1β/221: «Περί διαθέσεως λυμάτων και βιομηχανικών αποβλήτων» (ΦΕΚ 138/Β/24-12-1965), τίθενται τα όρια των χαρακτηριστικών τιμών των βιομηχανικών αποβλήτων, ανάλογα τη χρήση για την οποία προορίζονται τα επιφανειακά ύδατα (π.χ. ύδρευση, άρδευση, κολύμβηση, αλιεία, κ.λπ.)

Πίνακας (2.4) : Οριακές τιμές δεικτών ρύπανσης ανάλογα την προοριζόμενη χρήση των επιφανειακών υδάτων (Υ.Δ Ε1β/221)

Οριακές τιμές δεικτών ρύπανσης	**Ύδατα για ύδρευση**	**Ύδατα για κολύμβηση**	**Ύδατα για αλιεία**	**Ύδατα για άρδευση**	**Θαλάσσια ύδατα**
Ολικά κολοβακτηρίδια	50/100ml/μήνα	50/100ml/μήνα	50/100ml/μήνα	(δεν προβλέπεται)	70/100ml/μήνα (για αλιεία οστρακόδερμων)
Απουσία αιωρούμενων στερεών ή λυματολάσπης	Απαραίτητη	Απαραίτητη	Απαραίτητη	Απαραίτητη	Απαραίτητη
Περιεχόμενες φαινολικές ενώσεις (mg/L)	<0,005	<0,005	<0,005	(δεν προβλέπεται)	(δεν προβλέπεται)
pH	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,0-9,5	-
Συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου (mg/L)	≥5,0	≥5,0	≥5,0	≥3,0	≥5,0
Απουσία τοξικών ή επιβλαβών αποβλήτων (κυρίως ελαιοειδή ή χρωματισμένα απόβλητα)	Απαραίτητη	Απαραίτητη	Απαραίτητη	Απαραίτητη	Απαραίτητη

Ακόμη η Υγειονομική Διάταξη προσδιορίζει τη θέση εγκατάστασης της μονάδας επεξεργασίας των βιομηχανικών αποβλήτων εκτός ορίων του σχεδίου πόλεως ή του περιγράμματος της κατοικημένης περιοχής.

Μέσα στα πλαίσια των παραπάνω κανονισμών και ορίων κινείται η παρούσα μελέτη περί στρατηγικού σχεδιασμού διαχείρισης των υγρών αποβλήτων από τα ελαιουργεία.

2.1.6 Υπάρχουσες τεχνολογίες για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων από τα ελαιοτριβεία

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας στο τομέα της διαχείρισης των βιομηχανικών αποβλήτων έχει συντελέσει στην εύρεση αποδοτικών μεθόδων επεξεργασίας. Οι σημαντικότερες τεχνολογίες διαχείρισης των OMWW περιλαμβάνουν φυσικοχημικές, θερμικές, οξειδωτικές και βιολογικές μεθόδους [1,5,7]:

<u>Στις φυσικοχημικές μεθόδους περιλαμβάνονται</u>: η αραίωση, η καθίζηση, η κροκίδωση-συσσωμάτωση, η διήθηση (φιλτράρισμα), η προσρόφηση, η φυγοκέντριση και η τεχνολογία μεμβρανών. Οι τεχνολογίες αυτές είναι αποδοτικές στο στάδιο της προεπεξεργασίας (pretreatment) ή μετεπεξεργασίας των αποβλήτων (postreatment) είτε με τον κατάλληλο συνδυασμό αυτών. Η εφαρμογή κάθε φυσικοχημικής διεργασίας ξεχωριστά δεν μειώνει το οργανικό φορτίο και την τοξικότητα των OMWW κάτω από τα επιτρεπόμενα όρια.

<u>Στις θερμικές μεθόδους περιλαμβάνονται:</u> η εξάτμιση, η καύση και η πυρόλυση. Οι δύο τελευταίες τεχνολογίες, ενώ έχουν το πλεονέκτημα της μείωσης του όγκου των αποβλήτων, με την παράλληλη ανάκτηση της ενέργειας, εμπεριέχουν τον κίνδυνο της πιθανής εκπομπής τοξικών αέριων ρύπων στην ατμόσφαιρα. Επιπλέον απαιτούνται εγκαταστάσεις υψηλού κόστους.

<u>Στις οξειδωτικές μεθόδους περιλαμβάνονται</u>: οξείδωση με όζον και υπεροξείδιο του υδρογόνου, η UV ακτινοβόληση, η φωτοκατάλυση, η οξείδωση με αντιδραστήριο Fenton, η ηλεκτροχημική οξείδωση, η υγρή οξείδωση. Οι προηγμένες μέθοδοι επεξεργασίας έχουν τη δυνατότητα να αδρανοποιούν τις πλέον βλαβερές/τοξικές και μη βιοαποδομήσιμες οργανικές ουσίες που συναντώνται στην υγρή και αέρια φάση με σχετικά μικρό χρόνος παραμονής. Ωστόσο, για τη μείωση του οργανικού φορτίου κάτω από τα επιτρεπόμενα όρια, είναι αναγκαία η προσθήκη ισχυρών οξειδωτικών, με αποτέλεσμα να αυξάνεται, κατά πολύ, το κόστος.

<u>Στις βιολογικές μεθόδους περιλαμβάνονται </u>: η αερόβια αποδόμηση, η αναερόβια χώνευση, η λιπασματοποίηση-κομποστοποίηση, η βραδεία ή ταχεία εφαρμογή στο έδαφος, η ελεγχόμενη άρδευση, ο τεχνητός υγροβιότοπος, κ.α. Οι τεχνολογίες αυτές εφαρμόζονται σε παγκόσμια κλίμακα για την επεξεργασία των βιομηχανικών αποβλήτων συμπεριλαμβανομένων των αποβλήτων από τα ελαιοτριβεία. Οι περισσότερες μέθοδοι, εκτός από την αερόβια αποδόμηση,

έχουν χαμηλές ενεργειακές απαιτήσεις, μειώνοντας έτσι το λειτουργικό κόστος της πιθανής εγκατάστασης. Για την επίτευξη της επιθυμητής απομάκρυνσης απαιτούνται ιδιαίτερα υψηλές τιμές του υδραυλικού χρόνου παραμονής.

Η μεμονωμένη εφαρμογή των τεχνολογιών, ακόμα και όταν μεγιστοποιείται η απόδοσή τους, δεν είναι ικανή να αποδομήσει σε ικανοποιητικό επίπεδο (κάτω από τα περιβαλλοντικά όρια), το οργανικό φορτίο και να μειώσει το ποσοστό των φαινολών και των λιπαρών οξέων σε βαθμό που να μην επιδρούν αρνητικά στο οικοσύστημα. Για τους παραπάνω λόγους, έχει μελετηθεί ο συνδυασμός των προαναφερθεισών τεχνολογιών, αποσκοπώντας στην ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης διαχείρισης των υγρών αποβλήτων από τα ελαιοτριβεία. Στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 2.5) δίνεται μια εικόνα του βαθμού απόδοσης των σημαντικότερων τεχνολογιών επεξεργασίας των OMWW και συνδυασμού αυτών.

Πίνακας (2.5) : Παρουσίαση σημαντικότερων τεχνολογιών στη διαχείριση των υγρών αποβλήτων από τα ελαιουργεία [5]

Μέθοδοι επεξεργασίας	Αποτελέσματα	Σχολιασμός
Φυσικοχημική επεξεργασία	30-50% μείωση COD, που φτάνει το 80-95% με τον κατάλληλο συνδυασμό	Φυγοκέντριση, διήθηση, κροκίδωση, συσσωμάτωση, προσρόφηση
Αναερόβια χώνευση	60-80% μείωση COD για HRT 2-5 ημέρες. 90% μείωση για μεγάλους HRTs (25ημέρες) ή κατάλληλο υπόστρωμα	Αραίωση, ρύθμιση pH και προσθήκη θρεπτικών
Αναερόβια χώνευση μετά από φυσικοχημική επεξεργασία	Αύξηση της απόδοσης κατά 50-70%. η μέγιστη μείωση COD μέχρι και 95%. >90% μείωση φαινολών	Τεχνολογίες προεπεξεργασίας : διήθηση, κροκίδωση, προσρόφηση σε κοκκώδη ενεργό άνθρακα, οζόνωση
Αναερόβια χώνευση μετά από αερόβια επεξεργασία	40-60% μείωση COD στην προεπεξεργασία, 60-90% μείωση φαινολών, μείωση τοξικότητας	Προεπεξεργασία με επιλεγμένα γένη αερόβιων μικροοργανισμών
Αερόβια επεξεργασία	58-74% μείωση COD ανάλογα τον OLR και HRT, 81-84% για μεγαλύτερους HRTs	Οι τεχνολογίες περιλαμβάνουν ενεργό ιλύ κα ιτεχνητούς υγροβιότοπους
Συνδυασμός βιολογικών διεργασιών	Μέχρι και 90% απομάκρυνση COD και παρόμοια ποσοστά απομάκρυνσης φαινολών	Συνδυασμός δύο και τριών τεχνολογιών
Συγχώνευση υπό αναερόβια διεργασία (OMWW με άλλα υγρά απόβλητα)	75-90% απομάκρυνση COD ανάλογα την αραίωση και την μετεπεξεργασία	Βιολογική επεξεργασία των OMWW με άλλα απόβλητα (απόβλητα χοιροστασίου, όμβριων υδάτων, αστικών λυμάτων)
Οξείδωση και μέθοδοι προηγμένης οξείδωσης	40-60% απομάκρυνση COD, υπό κανονικές οξειδωτικές συνθήκες, 70-99% απομάκρυνση υπό ισχυρές δόσεις οξειδωτικού, ή μετά από προεπεξεργασία	Οι διεργασίες περιλαμβάνουν όζον/H_2O_2, UV/ H_2O_2, υγρή οξείδωση, οξείδωση Fenton, ηλεκτροχημική οξείδωση
Συνδυασμός διεργασιών	80-99% απομάκρυνση του COD	Συνδυασμός οξείδωσης/βιολογικών διεργασιών, τεχνολογίες μεμβρανών
Κομποστοποίηση	Παραγωγή κομπόστ για λίπασμα και εδαφοβελτιωτικό	Κομποστοποίηση με αστικά λύματα και άλλα αγρο-βιομηχανικά απόβλητα

2.2 Στρατηγικός σχεδιασμός διαχείρισης των OMWW

2.2.1 Υφιστάμενη κατάσταση

Το περιβαλλοντικό πρόβλημα της μεγάλης παραγωγής και ανεξέλεγκτης διάθεσης των υγρών αποβλήτων από τα ελαιοτριβεία σε υδάτινους και εδαφικούς αποδέκτες, ενισχύεται και από άλλες παραμέτρους. Στον ελλαδικό χώρο, οι κύριοι λόγοι που συμβάλλουν στη διόγκωση του προβλήματος, εκτός από το υψηλό οργανικό φορτίο των λυμάτων και την παρουσία πολυφαινολικών ενώσεων, είναι οι εξής:

- Η αντικατάσταση της παραδοσιακής μεθόδου παραγωγής ελαιολάδου (με τη μέθοδο της πρέσας) με τη νέα φυγοκεντρική μέθοδο, η οποία παράγει μεγαλύτερο όγκο αποβλήτων ανά τόνο ελαιοκάρπων.
- Η ύπαρξη πολλών μικρών ελαιουργείων, τα οποία είναι διασκορπισμένα σε ποικίλες γεωγραφικές θέσεις, έχει ως αποτέλεσμα την επέκταση των πηγών ρύπανσης.
- Τα περισσότερα ελαιουργεία είναι μικρές οικογενειακές, κυρίως, επιχειρήσεις, καθιστώντας την κατ' οίκο διαχείριση των αποβλήτων ασύμφορη οικονομικά.
- Η περιοδική λειτουργία των ελαιοτριβείων. Θεωρείται ότι η μέση περίοδος λειτουργίας των ελαιοτριβείων είναι περίπου 100 ημέρες.
- Η έλλειψη ενός άρτιου κανονισμού για τη ρύθμιση των επιτρεπόμενων ορίων εκπομπής των ρύπων και των τεχνικών επεξεργασίας.
- Η μη συμμόρφωση της εκάστοτε επιχείρησης στους ήδη θεσπισμένους κανονισμούς, είτε λόγω υψηλού κόστους κεφαλαίου για την εγκατάσταση μιας μονάδας επεξεργασίας, είτε λόγω έλλειψης ενημέρωσης και περιβαλλοντικής παιδείας.

Σήμερα, στην Ελλάδα και συγκεκριμένα στην Κρήτη, οι κύριες πρακτικές που ακολουθούνται για την διαχείριση των υγρών αποβλήτων από την πλειοψηφία των ελαιοτριβείων, περιλαμβάνουν την εδαφική απόθεση, την απόθεση κοντά σε ποτάμια ή θάλασσες και την αποθήκευση σε λεκάνες εξατμισοδιαπνοής [5]. Σε ορισμένες περιπτώσεις, προηγείται η εφαρμογή ενός είδους κροκίδωσης-συσσωμάτωσης με την προσθήκη κυρίως της υδράσβεστου ως κροκιδωτικό σε δεξαμενές αποθήκευσης-καθίζησης. Η παραγόμενη λάσπη διατίθεται στο έδαφος.

Οι παραπάνω συμβατικές τεχνικές εμπεριέχουν τον κίνδυνο της ρύπανσης των φυσικών αποδεκτών, καθώς δεν λαμβάνονται μέτρα για την ικανοποιητική μείωση του οργανικού φορτίου και την αδρανοποίηση των τοξικών μη βιοαποδομήσιμων ενώσεων των λυμάτων. Συγκεκριμένα η αποθήκευση των OMWW σε εξατμισοδεξαμενές είναι προβληματική καθώς [4,7,8] :

- Η επίπλευση των ελαίων στην επιφάνεια της δεξαμενής αποτρέπει την εξάτμιση της υγρής φάσης των λυμάτων.

- Οι μεγάλοι υδραυλικοί χρόνοι παραμονής (HRT) και οι χαμηλοί ρυθμοί οργανικής φόρτισης (OLR) που απαιτούνται αυξάνουν την απαιτούμενη επιφάνεια της εγκατάστασης. Σε αυτό συμβάλλει και το μικρό ποσοστό εξάτμισης που μπορεί να φτάσει το $1m^3/m^2$ στην διάρκεια ενός μήνα.

- Η ύπαρξη υδροπερατών γεωλογικών σχηματισμών, στο μεγαλύτερο μέρος της Κρήτης, και η απουσία μέριμνας για τη στεγανοποίηση του πυθμένα των δεξαμενών, συντελούν στη ρύπανση των υπόγειων υδάτων σε περίπτωση κατείσδυσης των αποβλήτων στον υπόγειο υδροφορέα.

- Η έκλυση πτητικών οργανικών ενώσεων δημιουργεί δυσοσμία και υποβαθμίζει την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα.

Για τους παραπάνω λόγους, απαιτείται η εύρεση περιβαλλοντικά ασφαλών και οικονομικά αποδοτικών λύσεων για τη διαχείριση των υγρών αποβλήτων από τα ελαιοτριβεία.

2.2.2 Επιλογή κατάλληλων τεχνολογιών για την επεξεργασία των OMWW

Λαμβάνοντας υπόψη την απόδοση των εφαρμοζόμενων τεχνολογιών, σχετικά με το ποσοστό απομάκρυνσης του οργανικού φορτίου και της περιεχόμενης φαινόλης από τα υγρά απόβλητα των ελαιουργείων [1,5,7], καθώς και τους περιβαλλοντικούς, τεχνικούς και οικονομικούς περιορισμούς, που αναφέρθηκαν στις παραγράφους 2.1.5 και 2.2.1, επιλέγονται οι παρακάτω συνδυασμοί διεργασιών για την ολοκληρωμένη επεξεργασία των OMWW.

1) Αναερόβια χώνευση, με χρήση του αντιδραστήρα UASB → Αερόβια επεξεργασία στο περιβάλλον ενός τεχνητού υγροβιότοπου

2) Ηλεκτροχημική οξείδωση, με χρήση ενέργειας από Φωτοβολταϊκό Σύστημα→ Αερόβια επεξεργασία στο περιβάλλον ενός τεχνητού υγροβιότοπου

<u>Αναερόβια χώνευση</u>

Η αναερόβια χώνευση είναι μια σύνθετη βιοχημική διεργασία κατά την οποία οι μικροοργανισμοί, απουσία οξυγόνου, μετατρέπουν το οργανικό φορτίο των υγρών αποβλήτων σε αέρια προϊόντα. Τα αέρια προϊόντα είναι κυρίως μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα. Η αναερόβια χώνευση περιλαμβάνει τρία βασικά στάδια : (i) την υδρόλυση, κατά την οποία οι σύνθετες οργανικές ουσίες μετασχηματίζονται σε απλά μονομερή ενδιάμεσα προϊόντα, (ii) την οξεογένεση, κατά την οποία τα απλά μονομερή μετατρέπονται σε πτητικά λιπαρά οξέα και στη συνέχεια τα τελευταία μετατρέπονται σε οξικό οξύ, σε διοξείδιο του άνθρακα και υδρογόνο, και (iii) τη μεθανογένεση, κατά την οποία το υδρογόνο ανάγεται σε διοξείδιο του άνθρακα και μεθάνιο, ενώ παράλληλα το οξικό οξύ μετασχηματίζεται σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα [9,10].

Οι κυριότεροι λόγοι για την επιλογή της αναερόβιας χώνευσης, ως την καταλληλότερη μέθοδο επεξεργασίας, είναι οι εξής [9,11,12]:

- Η δυνατότητα να διαχειρίζεται, με μεγάλη αποδοτικότητα, απόβλητα με υψηλό οργανικό φορτίο.
- Η μικρή απαίτηση σε προσθήκη θρεπτικών.
- Η μικρή απαίτηση σε ενέργεια, ενώ παράλληλα υπάρχει η δυνατότητα ανάκτησης της παραγόμενης βιοενέργειας.
- Η μικρή παραγωγή λυματολάσπης.
- Ο μικρός ρυθμός θανάτου (decay rate) των μεθανογενών βακτηριδίων δεν δυσχεραίνει την εποχιακή λειτουργία των μονάδων επεξεργασίας. Η εκ νέου εκκίνηση του αντιδραστήρα της αναερόβιας χώνευσης δεν απαιτεί μεγάλους χρόνους προσαρμογής για την ανάπτυξη των βακτηριδίων.

Η αναερόβια χώνευση, παρά την προφανή χρησιμότητά της παρουσιάζει και ορισμένα μειονεκτήματα που χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής. Το βασικότερο μειονέκτημα είναι η απαίτηση της θέρμανσης του αντιδραστήρα και των λυμάτων, για την αύξηση του ρυθμού ανάπτυξης και τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας. Ωστόσο, η ενεργειακή απαίτηση της συνεχούς παροχής θερμότητας καλύπτεται κατά ένα μεγάλο ποσοστό, όπως θα αναπτυχθεί παρακάτω, από τη θερμική αξία του παραγόμενου βιοαερίου.

<u>Ηλεκτροχημική οξείδωση</u>

Η ηλεκτροχημική οξείδωση ανήκει στην κατηγορία των προηγμένων οξειδωτικών μεθόδων απορρύπανσης (ΠΟΜΑ). Οι οξειδωτικές μέθοδοι στηρίζονται στο φαινόμενο της οξειδοαναγωγής, σύμφωνα με την οποία ένα οξειδωτικό μέσο, κατά τη διάρκεια μιας χημικής αντίδρασης προκαλεί οξείδωση σε μία άλλη ουσία (αναγωγικό μέσο), αποσπώντας από αυτήν ηλεκτρόνια, αυξάνοντας με αυτόν τον τρόπο τον αριθμό οξείδωσής του. Συγκεκριμένα, οι οξειδωτικές διεργασίες απορρύπανσης πραγματοποιούνται μέσω της δημιουργίας ελευθέρων ριζών υδροξυλίου OH^-, οι οποίες δρουν ως οξειδωτικά μέσα. Οι ρίζες OH^- αντιδρούν με τις οργανικές ενώσεις, αποσπώντας ή δημιουργώντας έτσι υπεροξειδικές ρίζες, οι οποίες με τη σειρά τους προκαλούν οξειδωτικές αντιδράσεις, με αποτέλεσμα την πλήρη μετατροπή των οργανικών ενώσεων σε διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), νερό (H_2O) και ανόργανα άλατα.

Η τεχνολογία της προτεινόμενης ηλεκτροχημικής οξείδωσης στηρίζεται στη χρήση ηλεκτροδίων διαμαντιού εμπλουτισμένο με βόριο (BDD) [13]. Η συγκεκριμένη μέθοδος επιλέγεται έπειτα από αξιολόγηση ενός πλήθους χαρακτηριστικών γνωρισμάτων :

- Είναι κατάλληλη για πλήθος εφαρμογών
- Παρουσιάζει καλή ενεργειακή απόδοση, καθώς έχει μικρότερες θερμοκρασιακές απαιτήσεις, συγκριτικά με τις υπόλοιπες ΠΟΜΑ.
- Υπάρχει η δυνατότητα για αυτοματοποίηση της διεργασίας, μέσω του εύκολου ελέγχου των μεταβλητών (δυναμικό ηλεκτροδίου, ένταση ρεύματος, παροχή λυμάτων κ.λπ.)
- Απαιτείται προσθήκη μικρής ποσότητας χημικών στα απόβλητα.
- Το ηλεκτρόδιο BDD χαρακτηρίζεται από υψηλή δραστικότητα ως προς την οξείδωση των οργανικών ρύπων και υψηλή απόδοση της χρησιμοποιούμενης ενέργειας [14].
- Η ηλεκτρόλυση με χρήση ανόδου BDD έχει τη μικρότερη κατανάλωση ενέργειας έναντι των άλλων ΠΟΜΑ
- Το κόστος επένδυσης είναι πολύ μικρό, συγκρινόμενο με τις υπόλοιπες οξειδωτικές μεθόδους απορρύπανσης.
- Η οξειδωτική διεργασία δεν απαιτεί μεγάλους όγκους δεξαμενών για την ικανοποιητική απορρύπανση των λυμάτων λόγω του μικρού χρόνου επεξεργασίας της διεργασίας.
- Για κάθε διεργασία, όσο αυξάνεται το COD_0 των υγρών αποβλήτων, μειώνεται η ειδική κατανάλωση ενέργειας, με αποτέλεσμα η απορρύπανση των αποβλήτων να ευνοείται σε υψηλές τιμές αρχικού οργανικού φορτίου.
- Λόγω της προηγούμενης παρατήρησης, η πιθανότητα εφαρμογής των διεργασιών οξείδωσης στα υγρά απόβλητα των ελαιοτριβείων ενισχύεται, καθώς δεν απαιτείται υψηλή αραίωση. [13]

Ένα μειονέκτημα των προηγμένων τεχνολογιών οξείδωσης, είναι η υψηλή απαίτηση σε ηλεκτρική ενέργεια ανά μονάδα όγκου λυμάτων. Ωστόσο, ένα μέρος της απαιτούμενης ενέργειας μπορεί να καλυφθεί από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

<u>Τεχνητός Υγροβιότοπος</u>

Τα συστήματα υγρών υγροβιότοπων ανήκουν στην ευρύτερη κατηγορία των φυσικών συστημάτων επεξεργασίας, τα οποία διαθέτουν και παρέχουν τις απαραίτητες βιοχημικές διεργασίες για την αποδόμηση και αδρανοποίηση των ρυπαντών. Όλοι οι τύποι των φυσικών συστημάτων επεξεργασίας προϋποθέτουν προεπεξεργασία των χρησιμοποιούμενων υγρών αποβλήτων, με κάποια μηχανική ή συμβατική διεργασία.

Οι υγροβιότοποι είναι ένα είδος φυτοεξυγίανσης, καθώς αποτελούνται από τμήματα εδάφους κατακλυζόμενα με νερό συνήθως μικρού βάθους (<0,6m), στα οποία αναπτύσσονται υδρόχαρα φυτά, κυρίως καλαμιώνες. Η φυσική βλάστηση ασκεί ένα πολύ σημαντικό και ολοκληρωμένο ρόλο στη λειτουργία των συστημάτων υγροβιοτόπων με τη μεταφορά οξυγόνου δια μέσου του ριζικού συστήματος στον πυθμένα των λεκανών επεξεργασίας. Έτσι, εφοδιάζεται με οξυγόνο το μέσο κάτω από την επιφάνεια του νερού, για την ανάπτυξη και συγκράτηση των μικροοργανισμών που διενεργούν τη βασική επεξεργασία του εφαρμοζόμενου αποβλήτου. Επιπλέον, συντελεί στο φιλτράρισμα και την προσρόφηση των συστατικών του αποβλήτου. Ως αποτέλεσμα, στο περιβάλλον ενός υγροβιοτόπου απομακρύνονται σε ικανοποιητικό βαθμό, όλα σχεδόν τα κύρια και δευτερεύοντα ρυπαντικά συστατικά των υγρών αποβλήτων. Ενδεικτικά αναφέρονται το φιλτράρισμα των αιωρούμενων στερεών στο έδαφος ή στο υπέδαφος ή σε βαθύτερους γεωλογικούς σχηματισμούς, η βιολογική αποδόμηση του οργανικού φορτίου, υπό αερόβιες κυρίως συνθήκες, η βιολογική απονιτροποίηση του νιτρικού αζώτου και η απομάκρυνση παθογόνων μικροοργανισμών. Σε τέτοια συστήματα, η εφαρμογή του αποβλήτου διενεργείται πάνω ή κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Με βάση αυτή της αρχή, τα συστήματα των τεχνητών υγροβιότοπων διακρίνονται σε αυτά με την ελεύθερη επιφάνεια νερού (FWS) και σε αυτά με βυθισμένη βάση ή υποεπιφανειακής ροής (SFS). Στα τελευταία, δεν απαιτείται η συγκομιδή της φυτικής βλάστησης [1,15].

Τα οφέλη της ανάπτυξης ενός τεχνητού υγροβιότοπου για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων από τα ελαιοτριβεία ποικίλουν, μεταξύ των οποίων [1] :

- η υψηλή απόδοση απομάκρυνσης του COD (έως 90%) και των φαινολών
- απουσία δυσωδίας και μολυσματικών εντόμων
- περιορισμένη έως μηδενική κατανάλωση ενέργειας
- δεν απαιτείται εξειδικευμένο προσωπικό. Απαιτούνται κυρίως τεχνικές γνώσεις αγροτικής ανάπτυξης
- χαμηλό κόστος κεφαλαίου, λειτουργίας και συντήρησης
- οικονομικά οφέλη από την πιθανή παραγωγή ξυλείας

- περιορισμένη έως μηδενική παραγωγή ιλύος

Συνδυασμός του πρώτου σταδίου επεξεργασίας με το σύστημα του τεχνητού υγροβιότοπου

Το υψηλό οργανικό φορτίο των υγρών αποβλήτων από τα ελαιοτριβεία είναι αδύνατον να αποδομηθεί από μία μεμονωμένη μέθοδο επεξεργασίας, σε βαθμό που να πληρούνται τα όρια των κανονισμών

Ο συνδυασμός αναερόβιας χώνευσης-σύστηματος τεχνητού υγροβιότοπου δύναται, ωστόσο, να φέρει ικανοποιητικά αποτελέσματα με χαμηλό κόστος, μεγάλη απόδοση απομάκρυνσης οργανικού φορτίου, μικρή παραγωγή ιλύος και καμία διόρθωση στις τιμές του pH. Η αερόβια διεργασία, που λαμβάνει χώρα στο περιβάλλον του υγροβιότοπου, τελειοποιεί την ποιότητα της αναερόβιας εκροής και εξομαλύνει τις διακυμάνσεις των τιμών της. Επίσης, η αναερόβια προεπεξεργασία λειτουργεί ως δεξαμενή εξισορρόπησης για τα εισρέοντα λύματα, ρυθμίζοντας με αυτόν τον τρόπο την οργανική φόρτιση, βάσει της απαιτούμενης ποσότητας σε οξυγόνο στο εσωτερικό του υγροβιότοπου. Τέλος, η πιθανότητα εξάτμισης των πτητικών ενώσεων, από την επιφάνεια του υγροβιότοπου, μειώνεται σημαντικά καθώς τα πτητικά οργανικά οξέα αποδομούνται πρωτίστως στον αναερόβιο αντιδραστήρα [9].

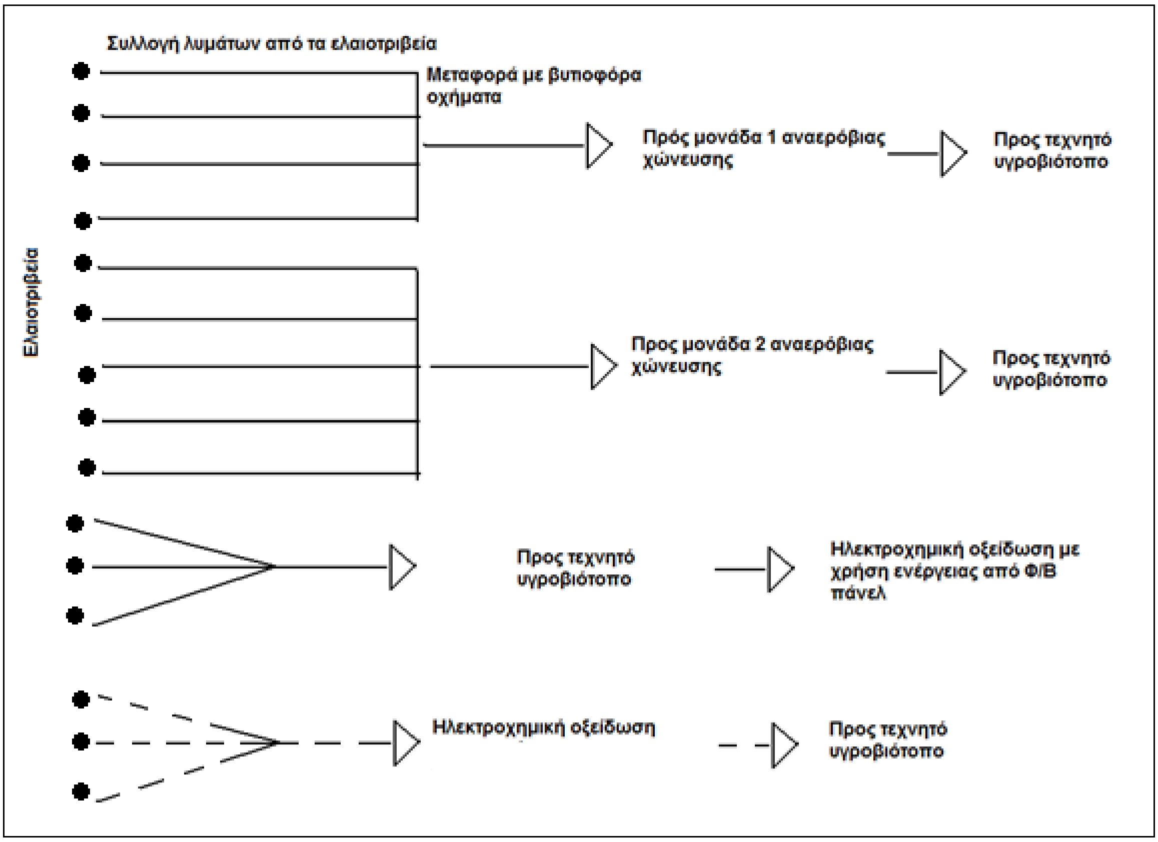
Επιπλέον, ο συνδυασμός της ηλεκτροχημικής οξείδωσης με το σύστημα του τεχνητού υγροβιότοπου αυξάνει την ολική απόδοση της επεξεργασίας με σχετικά χαμηλό κόστος, καθώς το λειτουργικό κόστος ενός συστήματος τεχνητού υγροβιότοπου είναι ελάχιστο. Αξίζει να αναφερθεί ότι η εκροή της μονάδας οξείδωσης παρουσιάζει υψηλό παραμένον οργανικό φορτίο, καθώς η τελική απομάκρυνση του COD είναι της τάξης των 40-60% υπό κανονικές συνθήκες οξείδωσης [5]. Γι’ αυτό το λόγο η δημιουργία ενός υγροβιότοπου κρίνεται αναγκαία, καθώς η πλήρης ανοργανοποίηση των οργανικών ρύπων μόνο με εφαρμογή της ηλεκτρόλυσης είναι είτε πρακτικά αδύνατη, είτε οικονομικά μη συμφέρουσα. Η βασική αρχή του συνδυασμού αυτών των δύο διεργασιών έγκειται στη δυνατότητα που έχει το χημικό στάδιο προεπεξεργασίας να μετατρέψει το μεγαλύτερο μέρος των μη βιοαποδομήσιμων ρύπων, που συνήθως εμπεριέχονται στα βιομηχανικά απόβλητα, σε βιοαποδομήσιμα ενδιάμεσα προϊόντα. Τα ενδιάμεσα αυτά προϊόντα μετατρέπονται με τη σειρά τους σε βιομάζα, βιοαέριο και νερό, αφού υποστούν βιολογική επεξεργασία στο εσωτερικό του υγροβιότοπου. ωστόσο, υπάρχει το ενδεχόμενο παραγωγής ενδιάμεσων παραπροϊόντων, μη βιοδιασπώμενων, κατά αρχικό στάδιο της ηλεκτροχημικής οξείδωσης. Στην περίπτωση αυτή η σειρά των διεργασιών πρέπει να αντιστρέφεται. Σε κάθε περίπτωση σχεδιασμού, πρέπει να ελέγχεται η βιοαποδομησιμότητα των συστατικών των αποβλήτων [7,16].

2.2.3 Ανάπτυξη στρατηγικού σχεδίου διαχείρισης OMWW στο νομό Χανίων Κρήτης

Στην ευρύτερη περιοχή του νομού Χανίων, το πρόβλημα της ρύπανσης του περιβάλλοντος από τα απόβλητα των ελαιουργείων, λόγω της έλλειψης ορθής αντιμετώπισης, είναι ιδιαίτερο οξυμένο. Σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία της Διεύθυνσης Ανάπτυξης της Νομαρχίας Χανίων, ο αριθμός των ελαιοτριβείων φτάνει τα 128 και ο μέσος όρος της ετήσιας παραγωγής υγρών αποβλήτων ανά περίοδο συγκομιδής, αγγίζει τα 145.067m^3 ή 154.332tn για τα έτη 2003-2008. Το παραγόμενο οργανικό φορτίο αντιστοιχεί στα ετήσια αστικά λύματα 4,5 εκατομμυρίων ανθρώπων! Τα αναλυτικά στατιστικά στοιχεία παρουσιάζονται στον πίνακα 3.1.

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι ένας στρατηγικός σχεδιασμός για τη διαχείριση των αποβλήτων από τα ελαιοτριβεία στο νομό Χανιών, ο οποίος περιλαμβάνει την επιλογή αποδοτικών τεχνολογιών επεξεργασίας, σύμφωνα με την παράγραφο 2.2.3, τη βελτιστοποίηση των θέσεων πιθανής εγκατάστασης μονάδων επεξεργασίας, σε κεντρικό και σε τοπικό επίπεδο, και τέλος την προμέτρηση ενός μέρους του κόστους κεφαλαίου για δύο διαφορετικά σενάρια. Αναλυτικότερα, το πρώτο σενάριο αναφέρεται στην επιλογή των βέλτιστων θέσεων για την εγκατάσταση δύο κεντρικών μονάδων επεξεργασίας, που θα διαχειρίζονται την πλειοψηφία των παραγόμενων αποβλήτων. Οι μέθοδοι που εφαρμόζονται είναι η αναερόβια χώνευση, με τη χρήση του αντιδραστήρα UASB και η ανάπτυξη ενός τεχνητού υγροβιότοπου για την ολοκληρωμένη αποδόμηση του οργανικού φορτίου. Στο πρώτο σενάριο εξετάζεται η εγκατάσταση της μονάδας για δύο διαφορετικούς όγκους λυμάτων, αραιωμένων και μη, και επιλέγεται αυτή που βελτιστοποιεί το περιβαλλοντικό και οικονομικό κόστος. Το δεύτερο σενάριο αναφέρεται στην διαχείριση των OMWW στο επίπεδο λεκάνης απορροής της περιοχής Σφακίων. Οι μέθοδοι που εφαρμόζονται είναι ο τεχνητός υγροβιότοπος και η ηλεκτροχημική οξείδωση. Η σειρά της σύζευξης των παραπάνω μεθόδων εξετάζεται και επιλέγεται η βέλτιστη. Στην περίπτωση που η μέθοδος της ηλεκτροχημικής οξείδωσης αποτελεί το δεύτερο στάδιο επεξεργασίας, μελετάται η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας από εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πλαισίων. Η διαφορετική αντιμετώπιση του περιβαλλοντικού ζητήματος στην περιοχή Σφακίων οφείλεται στη γεωγραφική απομόνωση της περιοχής λόγω παρεμβολής του μεγάλου ορεινού όγκου των Λευκών Ορέων, ο οποίος δυσχεραίνει τη μεταφορά των OMWW από την περιοχή Σφακίων στις κεντρικές μονάδες επεξεργασίας. Και στα δύο σενάρια, η μεταφορά των λυμάτων πραγματοποιείται με βυτιοφόρα οχήματα.

Ένα σχηματικό διάγραμμα του προτεινόμενου σχεδιασμού απεικονίζεται στο Σχήμα 2.5



Σχήμα (2.5) : Διάγραμμα ροής λυμάτων για τα δύο προτεινόμενα σενάρια διαχείρισης στο νομό Χανίων Κρήτης

Οι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη, στη διαδικασία της λήψης αποφάσεων, είναι ποικίλοι :

- Ο όγκος των αποβλήτων και το οργανικό τους φορτίο ανά ελαιοτριβείο
- Η γεωγραφική θέση κάθε ελαιοτριβείου
- Τα τοπογραφικά στοιχεία της περιοχής μελέτης
- Τα γεωφυσικά χαρακτηριστικά και το γεωλογικό υπόβαθρο του νομού
- Οι τουριστικές περιοχές και οι περιοχές που ανήκουν στο δίκτυο Natura 2000.

Τα δεδομένα, τα οποία χρησιμοποιούνται για τη διαμόρφωση των παραπάνω παραγόντων, περιλαμβάνουν (α) στατιστικά στοιχεία από την ελαιοπαραγωγική διαδικασία όλων των ελαιοτριβείων του νομού Χανίων (Διεύθυνση Ανάπτυξης Νομαρχίας Χανίων) και (β) ψηφιακά δεδομένα σε μορφή ψηφιακών χαρτών.

Η πολυπλοκότητα και ο μεγάλος αριθμός των συντελεστών, οι οποίοι επηρεάζουν το γενικότερο σχεδιασμό διαχείρισης, επιβάλλουν μια πολυπαραγοντική προσέγγιση του προβλήματος. Για την επίτευξη του σκοπού αυτού, εφαρμόζεται μια μεθοδολογία, η οποία στηρίζεται στην πολυκριτήρια ανάλυση αποφάσεων [17], και γίνεται χρήση του υπολογιστικού προγράμματος GIS (Geographical Informaton System- Γεωγραφικό Συστήμα Πληροφοριών).

Πολυκριτήρια ανάλυση αποφάσεων

Για το συνδυασμό των διαφορετικών παραγόντων με σκοπό τη βελτιστοποίηση των πιθανών θέσεων για την εγκατάσταση των μονάδων επεξεργασίας των OMWW αναπτύσσεται μία αξιόπιστη και χρηστική μεθοδολογία. Η μεθοδολογία σχεδιάζεται και υλοποιείται με βάση τις αρχές της πολυκριτήριας ανάλυσης αποφάσεων, σύμφωνα με την οποία κάθε εναλλακτική επιλογή μπορεί να εκτιμηθεί από τους αποφασίζοντες με βάση ένα νέφος στοιχειωδών επιπτώσεων αποτελούμενο από ιδιότητες, χαρακτηριστικά, μειονεκτήματα, πλεονεκτήματα. Το σύνολο αυτών των ιδιοτήτων καλούνται «κριτήρια». Τα κριτήρια μπορεί να είναι είτε ποσοτικά (συνεχής κλίμακα), είτε ποιοτικά (κλίμακες διακριτών τιμών). Γενικά, η επιλογή, η βαθμονόμηση και η βαθμολόγηση των κριτηρίων αξιολόγησης των εναλλακτικών λύσεων-θέσεων είναι υποκειμενική, δεν υπόκειται σε κανόνες και εξαρτάται από το εκάστοτε πρόβλημα (περιοχή μελέτης, διαθέσιμοι πόροι, κοινωνικές συνθήκες κ.ά.) [17].

Στην προκείμενη μελέτη, τα κριτήρια είναι ποιοτικά και καθορίζουν, βάσει της υποκειμενικής κρίσεως, ποιες περιοχές ενδείκνυνται περισσότερο για την εγκατάσταση μιας μονάδας επεξεργασίας των OMWW. Οι παράγοντες καθορισμού των κριτηρίων αναφέρθηκαν στην παράγραφο 2.2.2. Η ανάπτυξη της μεθοδολογίας πραγματοποιείται στο 3^{ο} Κεφάλαιο.

Ρόλος του Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (GIS)

Το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS, Geographical Information System) θεωρείται μία από τις σημαντικότερες τεχνολογίες επεξεργασίας πληροφοριών (information technology), καθώς έχει τη δυνατότητα συνένωσης και συνεπεξεργασίας δεδομένων από διαφορετικές πηγές. Η δομή του έγκειται στην απεικόνιση της πληροφορίας και στην ανάλυση και μοντελοποίηση, η οποία στηρίζεται στην επιστήμη της γεωγραφίας. Το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών συνδυάζει τρεις βασικές λειτουργίες :

Η λειτουργία της **γεωγραφικής βάσης δεδομένων (geodatabase),** κατά την οποία το GIS χειρίζεται γεωγραφικές πληροφορίες. Η βάση δεδομένων, πάνω στην οποία στηρίζεται, σχετίζεται με την έννοια του χώρου (spatial database) και περιλαμβάνει σειρές δεδομένων (dataset) που αναφέρονται σε γεωγραφικές πληροφορίες. Το dataset του GIS προσομοιάζει με τις επιφάνειες των χαρτών, οι οποίοι είναι γεωαναφερόμενοι, ανήκουν δηλαδή σε συγκεκριμένο σύστημα συντεταγμένων. Τα γνωρίσματα της σειράς δεδομένων του GIS, (σημεία, γραμμές και πολύγωνα) αναπτύσσουν χωρικές σχέσεις μεταξύ τους.

Η λειτουργία της **οπτικοποίησης-προβολή χαρτών (map view).** Το GIS αποτελείται από ένα σύνολο χαρτών και εικόνων, που παριστάνουν τα γνωρίσματα της επιφάνειας της γης και τις σχέσεις μεταξύ των γνωρισμάτων. Ποικίλες απεικονίσεις της υποκείμενης γεωγραφικής πληροφορίας κατασκευάζονται, με τη βοήθεια του map view, και χρησιμοποιούνται ως «παράθυρα στη γεωγραφική βάση δεδομένων» για την ανάλυση και την επεξεργασία των γεωγραφικών πληροφοριών.

Η λειτουργία της **επεξεργασίας γεωγραφικών πληροφοριών (geoprocessing).** Το GIS αποτελείται από ένα σύνολο εργαλείων μετασχηματισμού των πληροφοριών, βάσει των οποίων παράγονται νέες πληροφορίες από τα υπάρχοντα σύνολα δεδομένων. Η λειτουργία geoprocessing λαμβάνει πληροφορίες από τα υπάρχοντα σύνολα δεδομένων, εφαρμόζει αναλυτικές συναρτήσεις και αποθηκεύει τα αποτελέσματα σε νέα σύνολα δεδομένων. Η λειτουργία αυτή έγκειται στην ικανότητα να συνδυάζονται σειρές ενεργειών, ώστε ο χρήστης να εκτελεί χωρική ανάλυση με την παράλληλη αυτοματοποίηση της επεξεργασίας δεδομένων.

Στην παρούσα μελέτη, επιτυγχάνεται, μέσω των παραπάνω λειτουργιών, η απεικόνιση των τοπογραφικών, γεωμορφολογικών και γεωλογικών γνωρισμάτων του νομού Χανίων και η επεξεργασία των υποκείμενων γεωγραφικών πληροφοριών. Επιπλέον, αποθηκεύονται στη γεωγραφική βάση δεδομένων, οι θέσεις των ελαιοτριβείων Χανίων, σε συνδυασμό με τα στατιστικά στοιχεία της ελαιοπαραγωγικής διαδικασίας, και απεικονίζονται στο αντίστοιχο περιβάλλον του GIS, το Arc Map, για την καλύτερη χωρική ανάλυσή τους. Εκτός από τη λειτουργία της απεικόνισης, το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών παρέχει τη δυνατότητα ανάπτυξης της πολυκριτήριας ανάλυσης. Τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης, τα οποία συνιστούν ένα σύνολο γεωγραφικών πληροφοριών, απεικονίζονται με τη μορφή ταξινομημένων χαρτών (classification). Η ταξινόμηση της γεωγραφικής πληροφορίας αντιστοιχεί στην ταξινόμηση των περιοχών του νομού ανάλογα με το αν αναφέρονται σε βέλτιστες ή μη θέσεις για την πιθανή εγκατάσταση των μονάδων επεξεργασίας. Τέλος, πραγματοποιείται βελτιστοποίηση της πορείας για τη μεταφορά των λυμάτων στις κεντρικές μονάδες επεξεργασίας μέσω της διαχείρισης των γεωγραφικών δεδομένων που σχετίζονται με το οδικό δίκτυο (Network Analyst).

Στην παρούσα μελέτη έγινε χρήση του λογισμικού Arc Gis 9, έκδοση 9.3.

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 Διαθέσιμα Δεδομένα

Τα δεδομένα, τα οποία χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη ενός στρατηγικού σχεδίου διαχείρισης των υγρών αποβλήτων από τα ελαιοτριβεία του νομού Χανίων συνοψίζονται παρακάτω :

(α) στατιστικά στοιχεία από την ελαιοπαραγωγική διαδικασία όλων των ελαιοτριβείων του νομού Χανίων (Διεύθυνση Ανάπτυξης Νομαρχίας Χανίων) και (β) ψηφιακά δεδομένα σε μορφή ψηφιακών χαρτών.

3.1.1 Στατιστικά στοιχεία από την ελαιοπαραγωγική διαδικασία

Η γεωγραφική κατανομή των ελαιοτριβείων σε όλη την έκταση της υπό μελέτη περιοχής και τα ποσοτικά στοιχεία που χαρακτηρίζουν τις παραγόμενες ποσότητες αποβλήτων (κατσίγαρου) από την ελαιοπαραγωγική διαδικασία, συνιστούν καθοριστικούς παράγοντες στην ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου σχεδιασμού διαχείρισης. Τα στοιχεία, τα οποία συλλέχθηκαν από την Διεύθυνση Ανάπτυξης της Νομαρχίας Χανίων, αναφέρονται στις χρησιμοποιούμενες ποσότητες ελαιοκάρπου και στην αντίστοιχη παραγωγή ελαιολάδου, για κάθε ελαιουργείο του νομού Χανίων για την περίοδο λειτουργίας 2003-2008.

Με την κατάλληλη αναγωγή υπολογίστηκε η παραγόμενη ποσότητα υγρών αποβλήτων όπως φαίνεται παρακάτω :

$\text{ΑΠΟΒΛΗΤΑ}_{\text{ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΥ.ΕΛ.}}\,(m^3) = \text{Βάρος ελαιολάδου}(tn) \times 5 (m^3/tn)$ [6]

$\text{ΑΠΟΒΛΗΤΑ}_{\text{ΔΙΦΑΣΙΚΟΥ.ΕΛ.}}\,(m^3) = 0{,}11 \times \text{ΚΑΤΣΙΓΑΡΟΣ}_{\text{ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΥ.ΕΛ}}$ [1]

Στο σύνολο των ελαιοτριβείων Χανίων, τα τέσσερα είναι διφασικού τύπου και όλα τα υπόλοιπα τριφασικού.

Στον παρακάτω πίνακα 3.1 παρουσιάζονται οι τιμές της ελαιοπαραγωγικής διαδικασίας του συνόλου των ελαιοτριβείων για κάθε περίοδο μέτρησης

Πίνακας (3.1) : Χαρακτηριστικές τιμές της ελαιοπαραγωγικής διαδικασίας για το σύνολο των ελαιοτριβείων στο νομό Χανίων (Διεύθυνση Ανάπτυξης Νομαρχίας Χανίων)

Χαρακτηριστικά γνωρίσματα της ελαιοπαραγωγικής διαδικασίας	**Περίοδος μετρήσεων**			**Μέση τιμή για τις τρεις περιόδους μετρήσεων**
	2003-2004	**2004-2005**	**2007-2008**	
Αριθμός ελαιοτριβείων (*)	121	119	110	*
Επεξεργάσιμος Καρπός (tn)	155.372	132.845	134.087	140.768
Παραγωγή ελαιολάδου (tn)	28.314	29.323	29.713	29.117
Ποσοστό ελαιολάδου/καρπού (%)	18,9	22,0	22,0	21
OMWW (m^3)	140.998	146.052	148.152	**145.067**

Το σύνολο των ελαιοτριβείων για τα έτη 2003-2008 είναι **128. Ωστόσο κάποια ελαιοτριβεία δε λειτούργησαν για κάποια περίοδο μετρήσεων.*

Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρείται πως η σταδιακή μείωση στον αριθμό των ελαιοτριβείων που λειτούργησαν ανά περίοδο μέτρησης (121→119→110), δεν επέφερε την αντίστοιχη μείωση στη συνολική παραγόμενη ποσότητα ελαιολάδου και αποβλήτων OMWW (140.998→146.052→148.152). Αυτό εξηγείται, εν μέρει από τις κλιματικές συνθήκες ωρίμανσης του ελαιοκάρπου και από την τελειοποίηση της τεχνολογίας εξαγωγής ελαιολάδου και συνεπώς, την αύξηση της απόδοσης της ελαιοπαραγωγικής διαδικασίας.

Η ανάπτυξη των δύο σεναρίων βασίζεται στα στατιστικά δεδομένα της μέσης τιμής των συνολικών παραγόμενων αποβλήτων (145.067m^3) και της μέσης τιμής των παραγόμενων αποβλήτων ανά ελαιοτριβείο (για περίοδο μετρήσεων 2003-2008), σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα 3.2 :

Πίνακας (3.2) : Μέση τιμή της συνολικής παραγόμενης ποσότητας αποβλήτων για τις περιόδους μετρήσεων 2003-2008, για κάθε ελαιοτριβείο

ελαιοτριβείο	OMWW (m^3)	ελαιοτριβείο	OMWW (m^3)	ελαιοτριβείο	OMWW (m^3)	ελαιοτριβείο	OMWW (m^3)
1	1194	**33**	1327	**65**	314	**97**	1111
2	1797	**34**	762	**66**	2137	**98**	442
3	1571	**35**	2007	**67**	3053	**99**	1234
4	154	**36**	818	**68**	1406	**100**	1965
5	842	**37**	745	**69**	620	**101**	1081
6	1675	**38**	1631	**70**	1238	**102**	1750
7	666	**39**	1864	**71**	1135	**103**	1418
8	507	**40**	597	**72**	1946	**104**	1405
9	54	**41**	2116	**73**	471	**105**	1245
10	1444	**42**	1024	**74**	107	**106**	2385
11	421	**43**	2436	**75**	994	**107**	2207
12	1798	**44**	1914	**76**	860	**108**	51
13	2068	**45**	1920	**77**	384	**109**	1442
14	253	**46**	414	**78**	329	**110**	522
15	706	**47**	156	**79**	2762	**111**	1171
16	717	**48**	1695	**80**	489	**112**	609
17	780	**49**	2591	**81**	37	**113**	132
18	1519	**50**	1876	**82**	1578	**114**	957
19	2467	**51**	1132	**83**	464	**115**	1671
20	1148	**52**	133	**84**	1920	**116**	1346
21	682	**53**	1407	**85**	262	**117**	142
22	1692	**54**	445	**86**	958	**118**	1302
23	2018	**55**	347	**87**	289	**119**	1368
24	777	**56**	517	**88**	1931	**120**	2554
25	737	**57**	714	**89**	885	**121**	1232
26	1191	**58**	1643	**90**	545,41	**122**	200
27	2604	**59**	1394	**91**	2351	**123**	1508
28	695	**60**	1689	**92**	1115	**124**	1233
29	613	**61**	3685	**93**	385	**125**	317
30	1404	**62**	32	**94**	1729	**126**	121
31	852	**63**	1650	**95**	995	**127**	202
32	750	**64**	1228	**96**	588	**128**	708

3.1.2 Ψηφιακά δεδομένα σε μορφή ψηφιακών χαρτών.

Τα ψηφιακά δεδομένα αναφέρονται

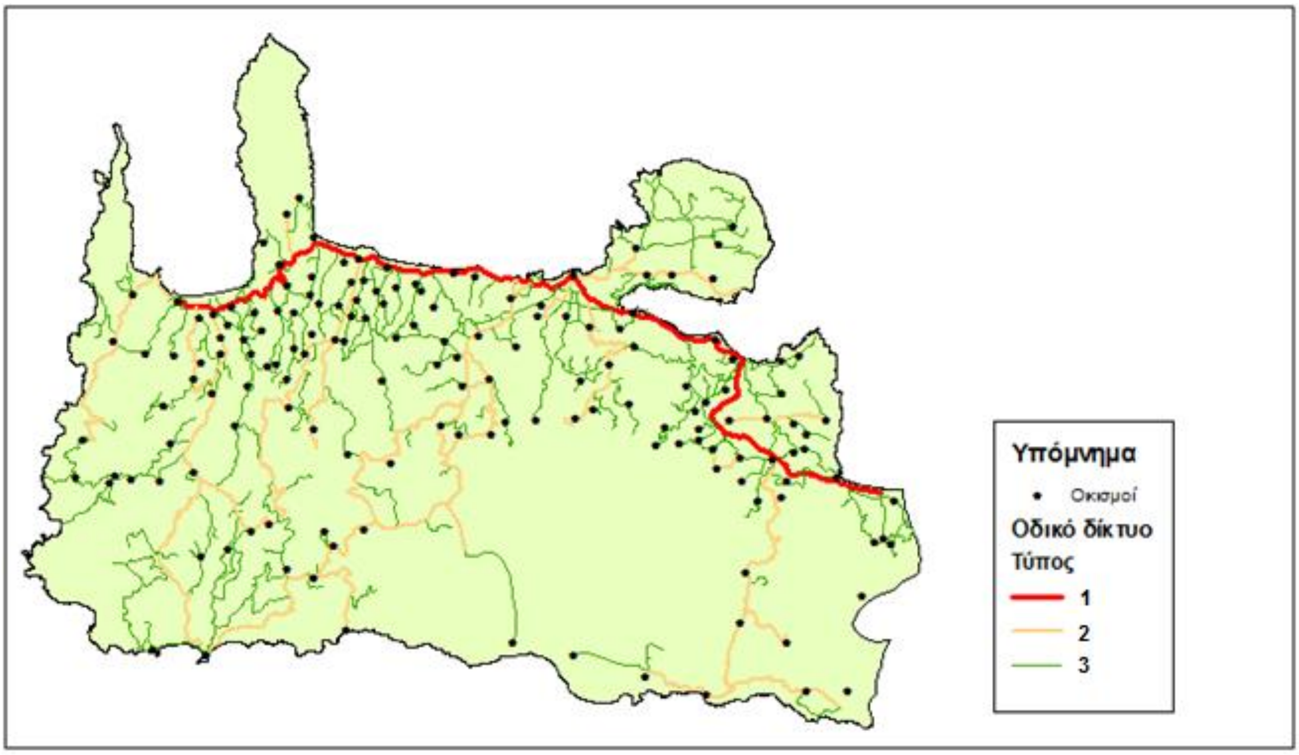
i. στα τοπογραφικά στοιχεία του νομού Χανίων, τα οποία περιλαμβάνουν το περίγραμμα του νομού, τους μεγαλύτερους οικισμούς, το οδικό δίκτυο και τις ισοϋψείς (Σχήματα 3.1-3.3)
ii. στις χρήσεις γης (Σχήμα 3.4)
iii. στο γεωλογικό υπόβαθρο (Σχήματα 3.5, 3.6)

iv. σε υδρολογικά στοιχεία, τα οποία περιλαμβάνουν το υδρογραφικό δίκτυο το νομού με τις αντίστοιχες λεκάνες απορροής (Σχήματα 3.7, 3.8)
v. στις περιοχές που ανήκουν στο δίκτυο Natura 2000 (Σχήμα 3.9)

Τα ψηφιακά δεδομένα είναι σε μορφή shapefile (.shp) και συνοδεύονται από πίνακες γνωρισμάτων (Attribute Tables), όπου είναι καταχωρημένα τα αντίστοιχα στατιστικά στοιχεία τους (π.χ. εμβαδόν έκτασης του νομού, πληθυσμιακά στοιχεία, είδη γεωλογικών πετρωμάτων, αριθμός χειμάρρων, εμβαδόν λεκάνης απορροής, κ.α.). Η επεξεργασία των ψηφιακών δεδομένων πραγματοποιείται στο περιβάλλον του Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (GIS) και η «οπτικοποίησή-visualization» τους έχει τη μορφή χαρτών, σε μορφή διανυσματική (vector). Κάθε επιφάνεια χάρτη είναι γεωαναφερόμενη στο ενιαίο Γεωγραφικό Σύστημα Συντεταγμένων (Γ.Σ.Σ.) του 1987 (GCS_GGRS_1987). Ο καθορισμός του ενιαίου συστήματος συντεταγμένων για όλες τις επιφάνειες των χαρτών, πραγματοποιείται με τη λειτουργία «project» από την εργαλειοθήκη του Arc Toolbox στο Arc Gis.

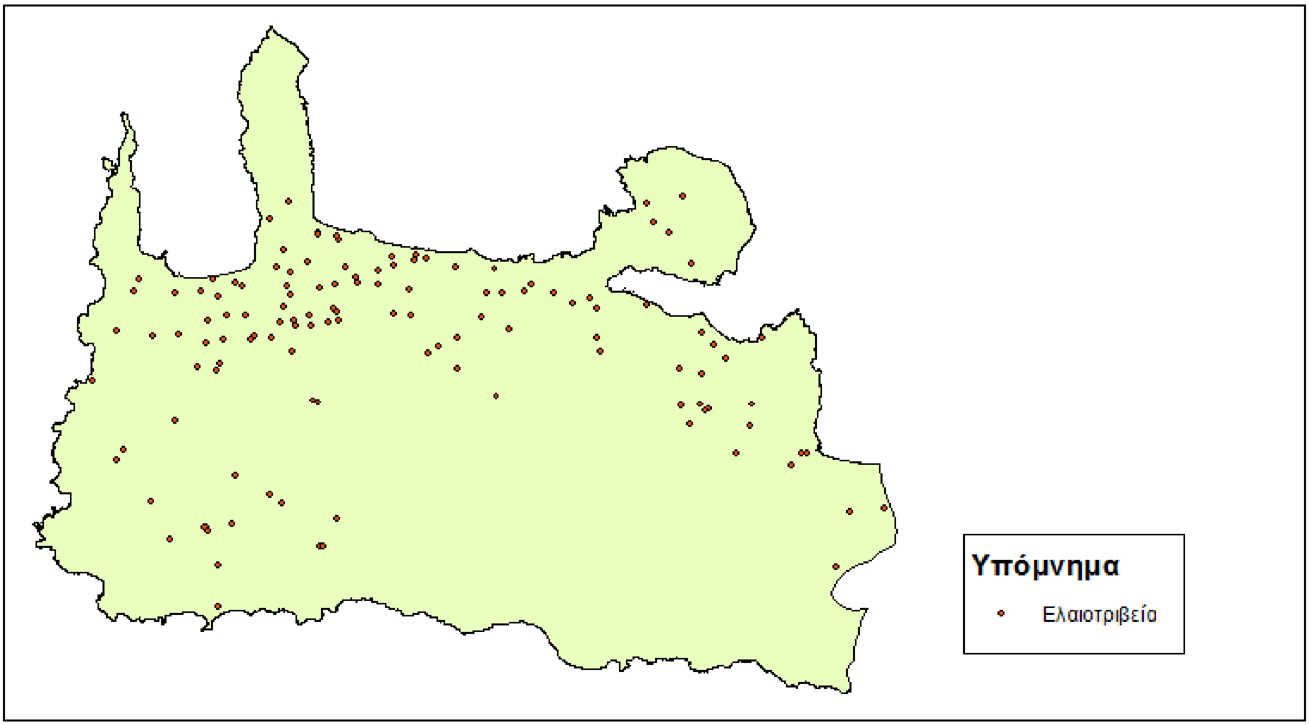
Οι γεωγραφικές θέσεις των ελαιοτριβείων εντοπίστηκαν στο Google Earth και αποθηκεύτηκαν στη γεωγραφική βάση δεδομένων (geodatabase) του Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών με τη μορφή σημείων (points).

i. <u>ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ</u>

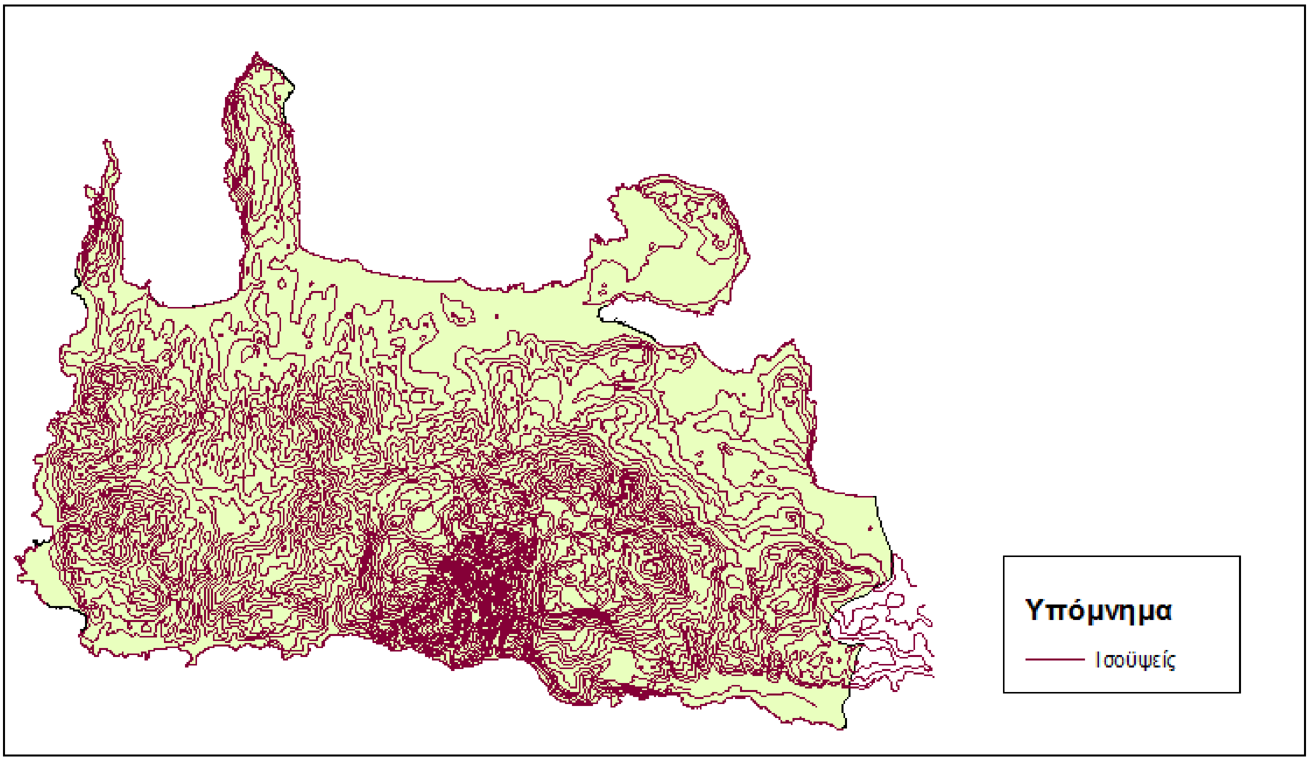


Σχήμα (3.1) : Απεικόνιση των ψηφιακών δεδομένων του οδικού δικτύου και των οικισμών του νομού Χανίων στο περιβάλλον του Arc Map (ο χάρτης είναι σε μορφή vector)

Το οδικό δίκτυο χωρίζεται σε τρείς τύπους οδών ανάλογα τη λειτουργική σημασία τους, σύμφωνα με το ΠΔ/9-8-55 "Περί καθορισμού των Εθνικών Οδών κατά τις διατάξεις του Ν-3155/55" και την Αποφ-Γ/25871/9-7-63 του Υπουργού Δημοσίων Έργων "Περί αριθμήσεως των Εθνικών Οδών". Ο τύπος ένα (1) αναφέρεται στις πρωτεύουσες οδούς-εθνική οδός, ο τύπος δύο (2) αναφέρεται στο πρωτεύον επαρχιακό δίκτυο και ο τύπος τρία (3) στο δευτερεύον οδικό δίκτυο.

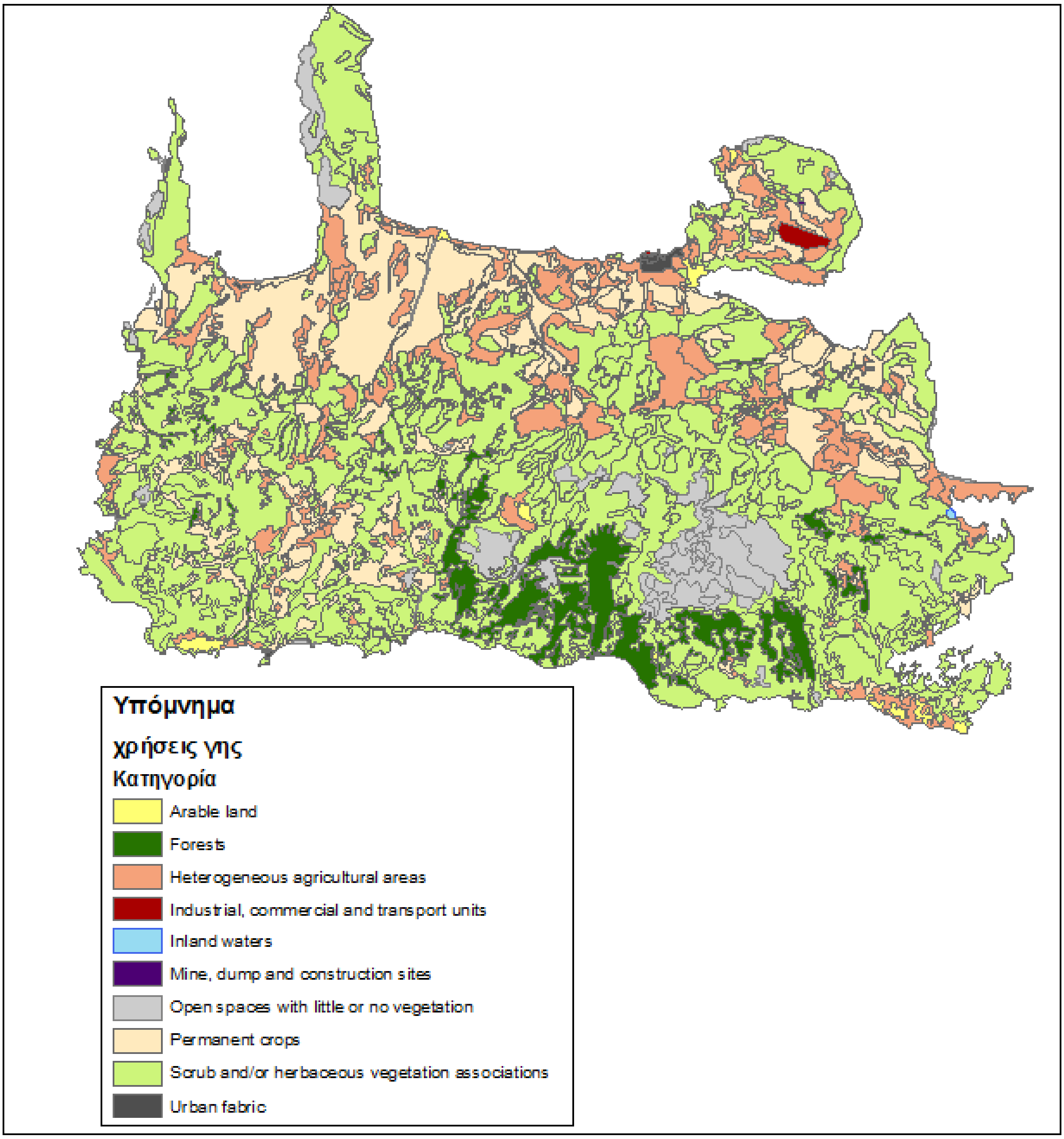


Σχήμα (3.2) : Απεικόνιση των ψηφιακών δεδομένων των ελαιοτριβείων του νομού Χανίων στο περιβάλλον του Arc Map (ο χάρτης είναι σε μορφή vector)



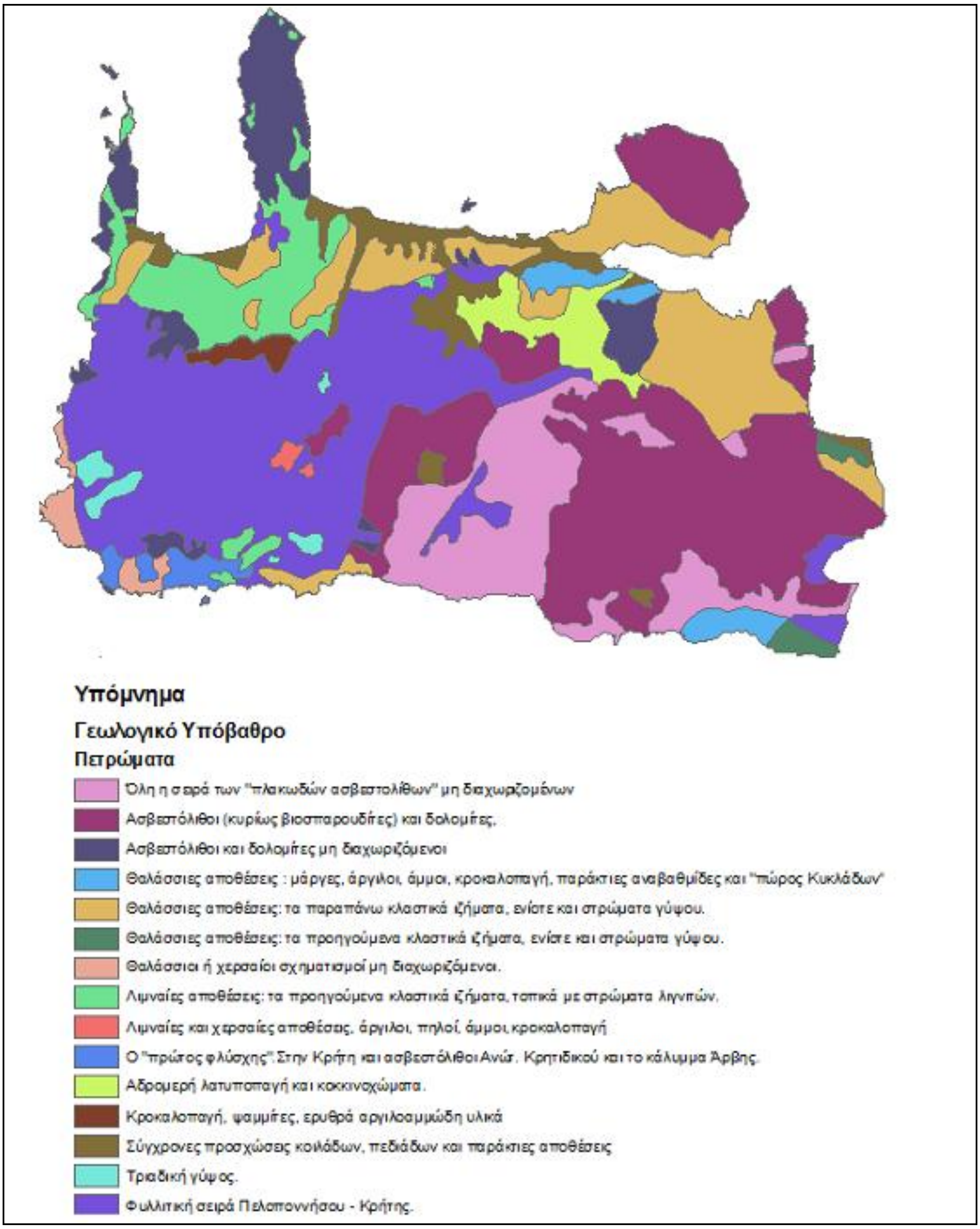
Σχήμα (3.3) : Απεικόνιση των ψηφιακών δεδομένων των ισοϋψών του νομού Χανίων στο περιβάλλον του Arc Map (ο χάρτης είναι σε μορφή vector)

1. ii ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ



Σχήμα (3.4) : Απεικόνιση των ψηφιακών δεδομένων των χρήσεων γης του νομού Χανίων στο περιβάλλον του Arc Map. Η ονοματολογία είναι κατά Corine Land Cover (ο χάρτης είναι σε μορφή vector)

2. iii ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

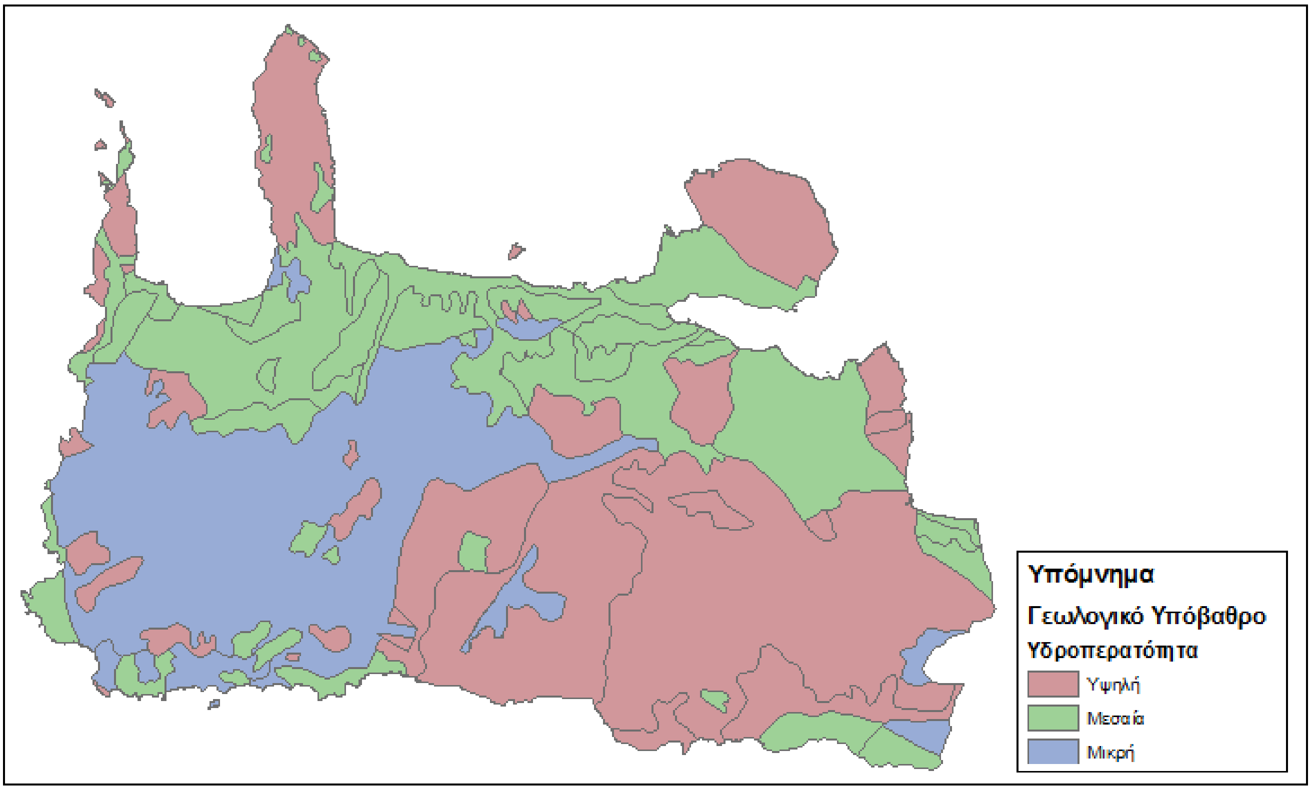


Σχήμα (3.5) : Απεικόνιση των ψηφιακών δεδομένων του γεωλογικού υποβάθρου του νομού Χανίων στο περιβάλλον του Arc Map. (ο χάρτης είναι σε μορφή vector)

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις ομάδες με βάση τα υδραυλικά χαρακτηριστικά τους (πάχος, έκταση, μεταβιβαστικότητα και αποθηκευτικότητα του νερού). Στην παρούσα μελέτη γίνεται μια απόπειρα ταξινόμησης των σχηματισμών με βάση της υδροπερατότητά τους, δηλαδή τη δυνατότητά τους να επιτρέπουν την κατείσδυση του επιφανειακού νερού στα κατώτερα στρώματά τους. Η υδροπερατότητα των γεωλογικών σχηματισμών συνιστά σημαντικό παράγοντα στην ανάπτυξη ενός στρατηγικού σχεδίου διαχείρισης των αποβλήτων, καθώς καθορίζει τη χρήση ή μη, ενός στεγανοποιητικού υποστρώματος στη θέση εγκατάστασης της μονάδας επεξεργασίας, προς αποφυγήν τυχόν διαρροής των εισερχόμενων λυμάτων. Επιπλέον, τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά των πετρωμάτων, επηρεάζουν την επιλογή της προτεινόμενης τεχνολογίας (π.χ. το σύστημα τεχνητών υγροβιότοπων αναπτύσσεται σε αργιλώδη εδάφη με αδιαπέρατες στρώσεις). Η ταξινόμηση των γεωλογικών σχηματισμών βάσει των υδρογεωλογικών τους χαρακτηριστικών στηρίζεται σε βιβλιογραφικά στοιχεία [19,20]. Ωστόσο, για την πληρέστερη κατάταξη υδροπερατότητας είναι αναγκαία η μελέτη πεδίου (in situ), με τη διεξαγωγή των απαραίτητων γεωτρήσεων.

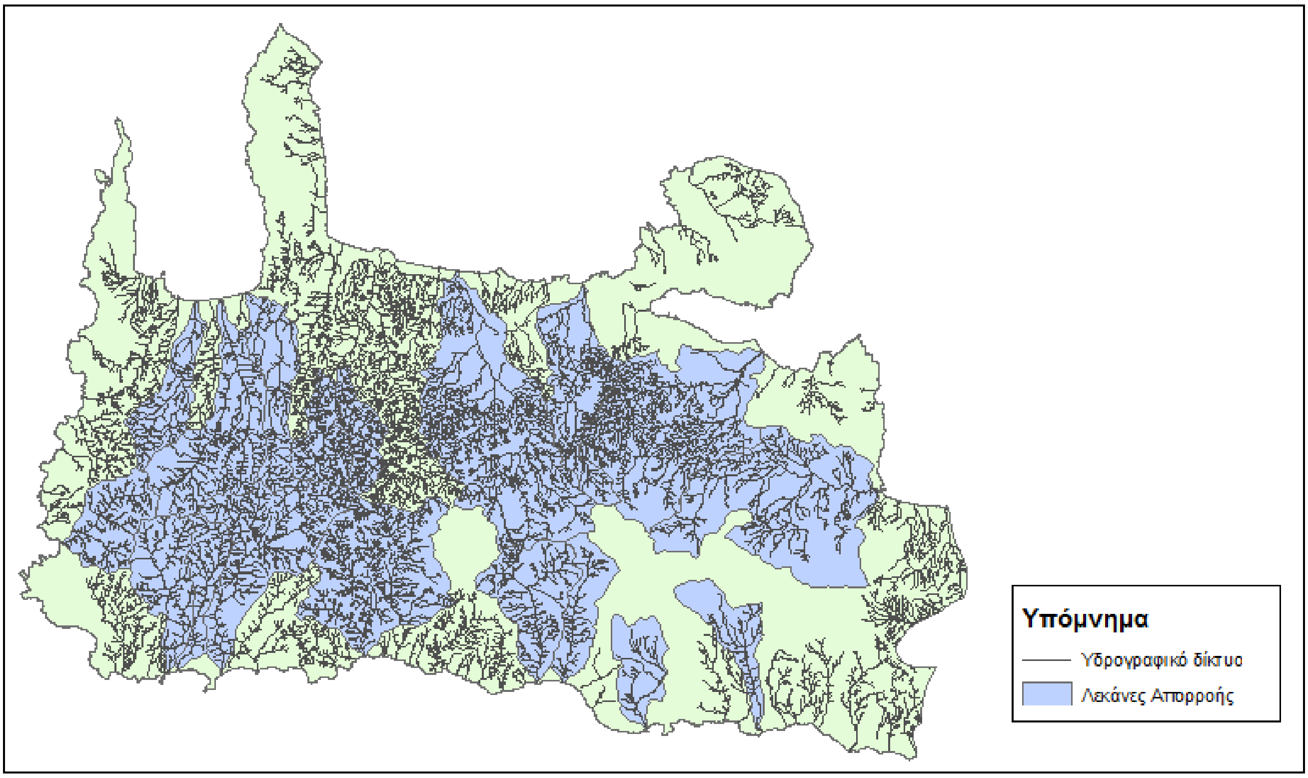
Πίνακας (3.3) : Κατάταξη των γεωλογικών σχηματισμών με βάση την υδροπερατότητά τους

Κύριοι γεωλογικοί σχηματισμοί	***Κατάταξη Υδροπερατότητας***
Όλη η σειρά των "πλακωδών ασβεστολίθων" μη διαχωριζομένων/Ασβεστόλιθοι και δολομίτες/ Τριαδική γύψος.	Υψηλή
Θαλάσσιες αποθέσεις : μάργες, άργιλοι, άμμοι, κροκαλοπαγή, παράκτιες αναβαθμίδες./ Θαλάσσιοι ή χερσαίοι σχηματισμοί μη διαχωριζόμενοι/ Λιμναίες αποθέσεις : τα προηγούμενα κλαστικά ιζήματα, τοπικά με στρώματα λιγνιτών/ Λιμναίες και χερσαίες αποθέσεις, άργιλοι, πηλοί, άμμοι, κροκαλοπαγή, κοκκινοχώματα, κ.λ.π/ Αδρομερή λατυποπαγή και κοκκινοχώματα./ Σύγχρονες προσχώσεις κοιλάδων, πεδιάδων και παράκτιες αποθέσεις	Μέτρια
Ο «πρώτος φλύσχης»/ Φυλλιτική σειρά Πελοποννήσου - Κρήτης.	Μικρή

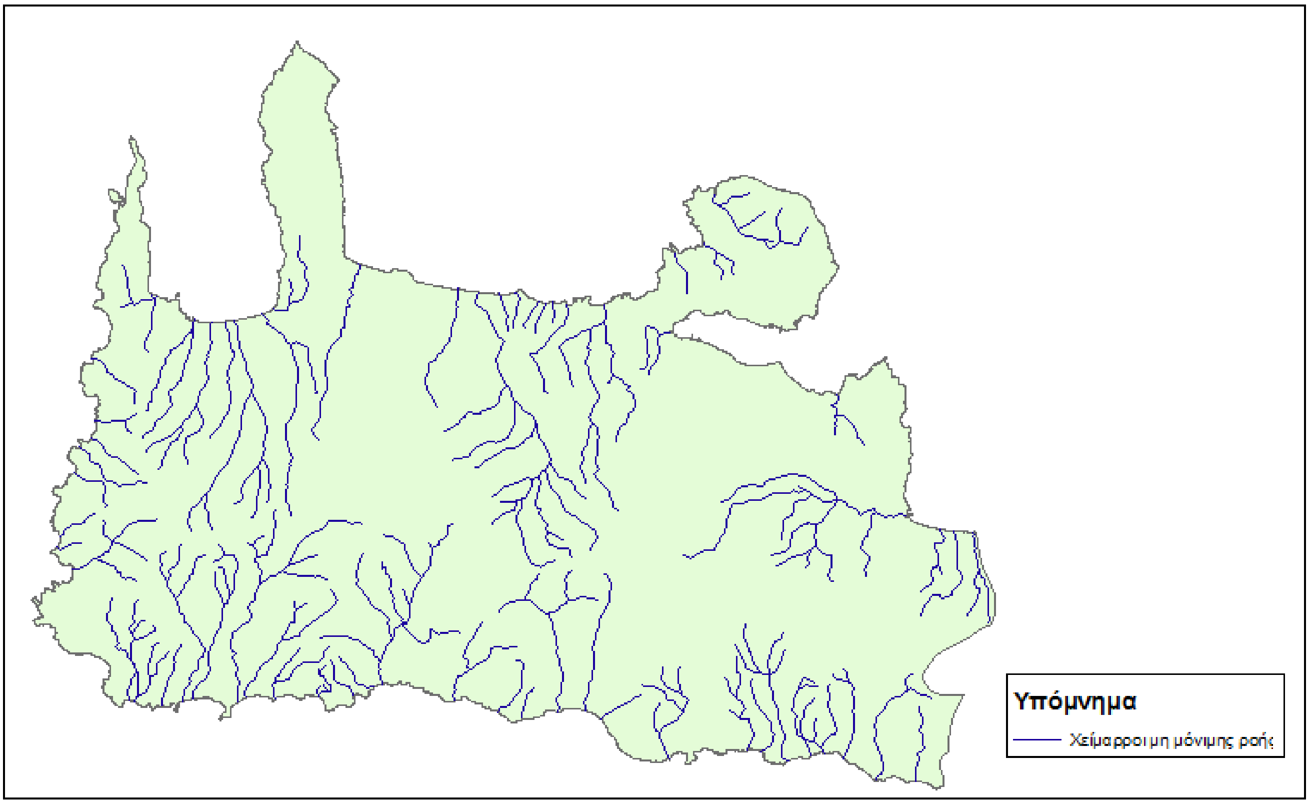


Σχήμα (3.6) : Ταξινόμηση του γεωλογικού υποβάθρου βάσει της χαρακτηριστικής του υδροπερατότητας [19,20]

3. iv <u>ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ</u>

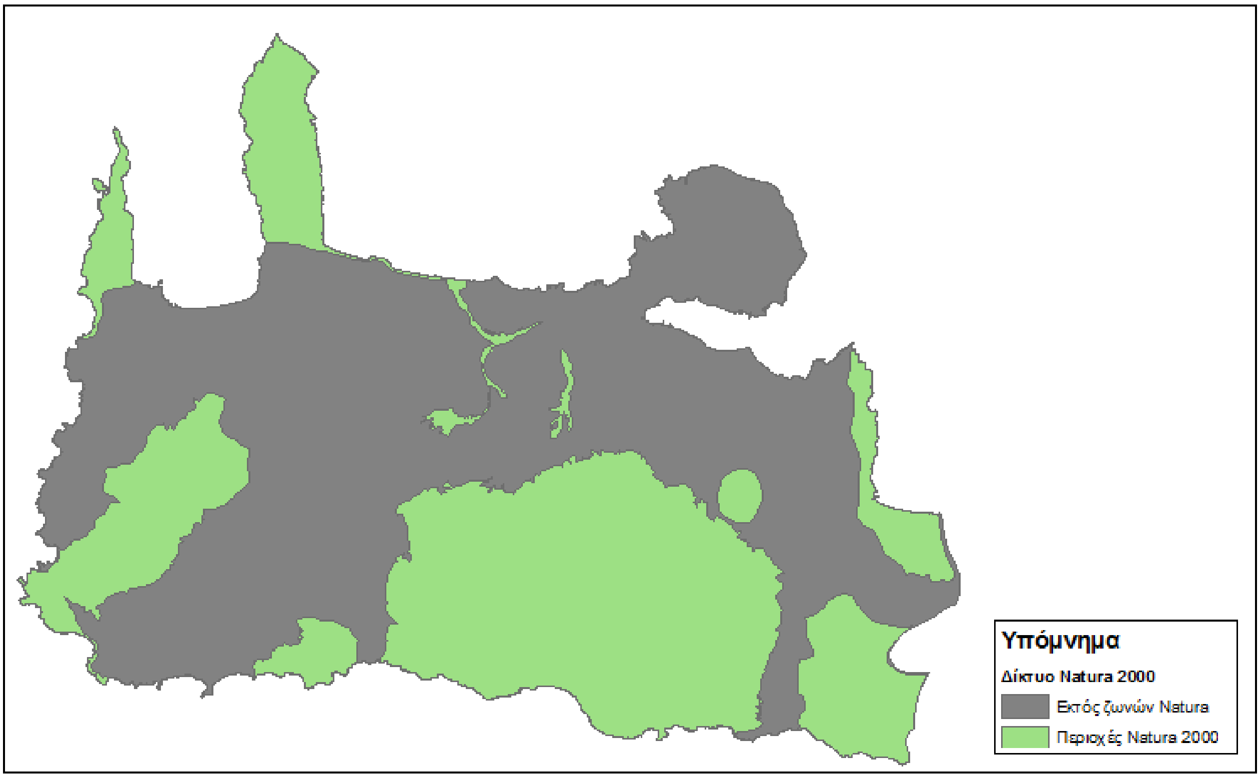


Σχήμα (3.7) : Απεικόνιση των ψηφιακών δεδομένων των υδρολογικών γνωρισμάτων του νομού Χανίων στο περιβάλλον του Arc Map. (ο χάρτης είναι σε μορφή vector)



Σχήμα (3.8) : Ψηφιακή απεικόνιση των μεγαλύτερων χειμάρρων μη μόνιμης ροής του νομού Χανίων στο περιβάλλον του Arc Map (ο χάρτης είναι σε μορφή vector)

v <u>ΠΕΡΙΟΧΕΣ NATURA 2000</u>



Σχήμα (3.9) : Ψηφιακή απεικόνιση των περιοχών που ανήκουν στο δίκτυο Natura 2000 του νομού Χανίων στο περιβάλλον του Arc Map (ο χάρτης είναι σε μορφή vector)

3.2 Ανάπτυξη Πολυκριτήριας Ανάλυσης

3.2.1 Επιλογή κριτηρίων-υποκριτηρίων

Με βάση τις γενικές αρχές της πολυκριτήριας ανάλυσης αποφάσεων και της προσομοίωσης, δημιουργήθηκε ένας αλγόριθμος στο Microsoft Excel, που επιδιώκει να δώσει αξιόπιστα συμπεράσματα σχετικά με την επιλογή των βέλτιστων θέσεων της πιθανής εγκατάστασης των μονάδων επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων από τα ελαιοτριβεία. Οι εναλλακτικές ενέργειες που προκύπτουν από την πολυκριτήρια ανάλυση, αναφέρονται στις εναλλακτικές γεωγραφικές θέσεις, μεταξύ των οποίων αναζητείται η βέλτιστη. Συγκεκριμένα, οι παράμετροι που εισάγονται στον αλγόριθμο και καθορίζουν το τελικό αποτέλεσμα είναι οι εξής :

- Οι συντελεστές βαρύτητας των κριτηρίων σε κλίμακα από 0 έως 1
- Η βαθμολογία των κριτηρίων για κάθε σενάριο σε κλίμακα από 1 έως 10

Για την κατηγοριοποίηση της υπό μελέτης περιοχής βάσει των βέλτιστων ή μη θέσεων επιτρεπόμενων καθορίστηκε ένα σύνολο κριτηρίων-υποκριτηρίων με βάση την βιβλιογραφία [15,17,18,21,] και την υποκειμενική κρίση. Οι βασικοί άξονες σύμφωνα με τους οποίους διαμορφώθηκαν τα επιμέρους υποκριτήρια είναι οι εξής :

- Περιβαλλοντικό κόστος
- Οικονομικό κόστος

Με βάση τις γενικές κατηγορίες κατατάσσονται και τα υποκριτήρια που θα χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση των εναλλακτικών θέσεων. Τα υποκριτήρια έχουν τη μορφή στόχων.

Περιβαλλοντικό κόστος :

1. Εγκατάσταση της μονάδας σε θέση γειτνιάζουσα με υπάρχον δίκτυο χειμάρρων μη μόνιμης ροής (υποκριτήριο f=flow)
2. Εγκατάσταση της μονάδας σε θέση που υπέρκειται αδιαπέρατου γεωλογικού υποβάθρου (υποκριτήριο g=geology)

Οικονομικό κόστος :

1. Εγκατάσταση της μονάδας σε θέση γειτνιάζουσα με το υπάρχον οδικό δίκτυο (υποκριτήριο n=network)

Η κατάταξη των υποκριτηρίων βασίστηκε στο διάγραμμα ροής της μονάδας διαχείρισης των υγρών αποβλήτων από τα ελαιοτριβεία. Συγκεκριμένα, ο προτεινόμενος τεχνητός υγροβιότοπος (παράγραφος 2.2.2) καθόρισε την επιλογή των περιβαλλοντικών κριτηρίων, καθώς τα βασικά χαρακτηριστικά που πρέπει να συγκεντρώνει η θέση ανάπτυξης του υγροβιότοπου είναι [15]:

- Ήπιες εδαφικές κλίσεις
- Μικρή εδαφική περατότητα
- Προτεινόμενες χρήσεις γης : σε υπάρχοντες φυσικούς υγροβιότοπους ή χείμαρρους με περιορισμένη ροή.

Παρακάτω παρουσιάζεται ο συνοπτικός πίνακας κατάταξης των κριτηρίων :

Πίνακας (3.4) : Κατάταξη των υποκριτηρίων σε δύο ευρύτερες κατηγορίες

ΚΡΙΤΗΡΙΑ	ΥΠΟΚΡΙΤΗΡΙΑ	ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ
Περιβαλλοντικό κόστος	Χείμαρροι	f
	Διαπερατό έδαφος	g_1
	Ημιδιαπερατό έδαφος	g_2
	Αδιαπέρατο έδαφος	g_3
Οικονομικό κόστος	Buffer 1	n_1
	Buffer 2	n_2
	Buffer 3	n_3

Buffer 3 : 50-250 m από δρόμο type 3, 100-300m από type 2, 200-400m από type 1. Η ζώνη επιρροής από τον άξονα του οδικού δικτύου ακτίνας 50,100 και 200m ανά τύπο δρόμου αντίστοιχα, θεωρείται μη επιτρεπόμενη περιοχή για πιθανή θέση εγκατάστασης, όπως φαίνεται και στην παράγραφο 3.3.2
Buffer 2 : 250-450 m type 3, 300-500 m type 2, 400-600 m type 1
Buffer 1 : η υπόλοιπη περιοχή

3.2.2 Βαθμονόμηση υποκριτηρίων

Το πρόβλημα της εύρεσης της βέλτιστης θέσης εξετάζεται υπό διαφορετικά πρίσματα ανάλογα με το ποιες προτεραιότητες τίθενται κάθε φορά. Επιλέχθηκε να πραγματοποιηθεί τρεις φορές η ανάλυση της βαρύτητας των υποκριτηρίων. Συγκεκριμένα:

Πίνακας (3.5) : Βαθμονόμηση υποκριτηρίων

Υποκριτήρια	**Βάρη W**	**Βαθμονόμηση B**		
		B1	**B2**	**B3**
Χείμαρροι f	w_1	0,5	1/3	0,3
Γεωλογία g	w_2	0,2	1/3	0,2
Οδικό δίκτυο n	w_3	0,3	1/3	0,5
Σύγκριση κριτηρίων (περιβαλλοντικό κόστος-Π/οικονομικό-Ο)		Π>Ο	Π>Ο	Π=Ο

Στην 1η Βαθμονόμηση, το υποκριτήριο των χειμάρρων είναι αυτό που κατέχει βαρύνουσα σημασία στην επιλογή της βέλτιστης θέσης. Αυτό συμβαίνει λόγω των τεχνικών περιορισμών που συναντώνται κατά την ανάπτυξη ενός τεχνητού υγροβιότοπου. Η υδροπερατότητα των εδαφικών σχηματισμών (υποκριτήριο g), αν και αποτελεί σημαντική παράμετρο στο σχεδιασμό του τεχνητού υγροβιότοπου, λαμβάνει μικρό βάρος (w_2=0,2), καθώς η μεγάλη υδατοπερατότητα αντιμετωπίζεται με την κατάλληλη διαμόρφωση του εδάφους με τεχνικά μέσα (π.χ. κατασκευή αδιαπέρατου εδαφικού υποστρώματος με προσθήκη αργίλου). Η Βαθμονόμηση αυτή, Β1, θα χρησιμοποιηθεί περαιτέρω στην εφαρμογή της πολυκριτήριας ανάλυσης στο Gis για τον γεωγραφικό εντοπισμό των βέλτιστων θέσεων. Στην 2^{η} Βαθμονόμηση, όλα τα υποκριτήρια θεωρούνται ισάξια, ενώ στην 3^{η} Βαθμονόμηση, ο συνδυασμός των περιβαλλοντικών υποκριτηρίων θεωρείται ισάξιος με το οικονομικό κριτήριο της γειτνίασης με το οδικό δίκτυο.

3.2.3 Βαθμολόγηση υποκριτηρίων

Η βαθμολόγηση των υποκριτηρίων είναι συνάρτηση της σπουδαιότητας του κάθε υποκριτηρίου στην επιλογή της βέλτιστης θέσης. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε μια κλίμακα διακριτών τιμών (3,6,9), με τη μεγαλύτερη τιμή να αντιστοιχεί στο υποκριτήριο με τη μεγαλύτερη σπουδαιότητα.

Πίνακας (3.6): Βαθμολόγηση των υποκριτηρίων

Υποκριτήρια	**Συμβολισμός**	**Τιμές**
Ζώνες >50 m από τον άξονα των χειμάρρων.	f_1	3
Ζώνες <50 m από τον άξονα του χειμάρρων	f_3	9
Διαπερατό έδαφος	g_1	3
Ημιδιαπερατό	g_2	6
Αδιαπέρατο	g_3	9
Buffer 1	n_1	3
Buffer 2	n_2	6
Buffer 3	n_3	9

3.2.4 Υπολογισμός εναλλακτικών ενεργειών

Οι εναλλακτικές ενέργειες προκύπτουν από τον συνδυασμό των 8 παραπάνω υποκριτηρίων, με την προϋπόθεση ότι τα υποκριτήρια της ίδιας κατηγορίας (π.χ. f_1, f_2, f_3) δεν μπορούν να συνδυαστούν μεταξύ τους. Οι εναλλακτικές ενέργειες-θέσεις, οι οποίες προσδιορίζονται με βάση όλους τους δυνατούς συνδυασμούς των υποκριτηρίων, παρουσιάζονται με την μορφή του πίνακα 3.7. Ως αποτέλεσμα οι εναλλακτικές ενέργειες ανέρχονται σε 18 (2*3*3). Η τιμή 1 ή 0 που αναγράφεται σε κάθε κελί του πίνακα προσδιορίζει τη συμμετοχή ή μη, αντίστοιχα, του κάθε υποκριτηρίου στην εκάστοτε εναλλακτική ενέργεια:

Πίνακας (3.7) : Προσδιορισμός των εναλλακτικών ενεργειών-θέσεων από τον εκάστοτε συνδυασμό των υποκριτηρίων

εναλλακτικές	**Υποκριτήρια**							
	f_1	**f_3**	**g_1**	**g_2**	**g_3**	**n_1**	**n_2**	**n_3**
a_1	1	0	1	0	0	1	0	0
a_2	1	0	0	1	0	1	0	0
a_3	1	0	0	0	1	1	0	0
a_4	1	0	1	0	0	0	1	0
a_5	1	0	1	0	0	0	0	1
a_6	1	0	0	1	0	0	1	0
a_7	1	0	0	1	0	0	0	1
a_8	1	0	0	0	1	0	1	0
a_9	1	0	0	0	1	0	0	1
a_{10}	0	1	1	0	0	1	0	0
a_{11}	0	1	0	1	0	1	0	0
a_{12}	0	1	0	0	1	1	0	0
a_{13}	0	1	1	0	0	0	1	0
a_{14}	0	1	1	0	0	0	0	1
a_{15}	0	1	0	1	0	0	1	0
a_{16}	0	1	0	1	0	0	0	1
a_{17}	0	1	0	0	1	0	1	0
a_{18}	0	1	0	0	1	0	0	1

Σκοπός της πολυκριτήριας ανάλυσης είναι η κατάταξη των εναλλακτικών ενεργειών από την πλέον προτιμώμενη προς τη λιγότερη προτιμώμενη. Αυτό επιτυγχάνεται με την εφαρμογή της πολυκριτήριας θεωρίας χρησιμότητας και συγκεκριμένα με χρήση της προσθετικής συνάρτησης χρησιμότητας, της οποίας η πιο συνηθισμένη μορφή είναι αυτή του αθροίσματος των βαρών των κριτηρίων [17] :

$$U(ai)=w_1.f_i+w_2.g_j+w_3.n_z$$

όπου f_i το υποκριτήριο των χειμάρρων, g_j το υποκριτήριο της υδρογεωλογίας, n_z το υποκριτήριο του οδικού δικτύου και $w_{1,2,1}$ τα αντίστοιχα βάρη των υποκριτηρίων, βάσει του πίνακα 3.5

Για δυο διαφορετικές ενέργειες a_1 και a_2

$U(a_1) > U(a_2) \leftrightarrow a_1 > a_2$
$U(a_1) = U(a_2) \leftrightarrow a_1 \sim a_2$

Η απόδοση συντελεστών βαρύτητας στις τρεις κατηγορίες κριτηρίων και η βαθμολόγηση των υποκριτηρίων με γνώμονα της σπουδαιότητά τους στην επιλογή της βέλτιστης θέσης, παρουσιάζονται στους ακόλουθους πίνακες. Οι βαθμολογίες των υποκριτηρίων συμφωνούν με αυτές του πίνακα 3.5. Θεωρείται πως οι βέλτιστες εναλλακτικές ενέργειες είναι αυτές των οποίων η τιμή μερικής χρησιμότητας είναι μεγαλύτερη ή ίση του επτά (U(ai)≥7,0). Οι εναλλακτικές αυτές χρωματίζονται με έντονο κόκκινο χρώμα στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας (3.8) : Υπολογισμός της μερικής χρησιμότητας U για την αρχική βαθμολόγηση και για B1 βαθμονομήση των υποκριτηρίων

B1					**τιμές κριτηρίων**							
		f1	**f3**		**g1**	**g2**	**g3**		**n1**	**n2**	**n3**	**Uai**
εναλλακτικές	**W_1 βάρη**	**3**	**9**	**W_2 βάρη**	**3**	**6**	**9**	**W_3 βάρη**	**3**	**6**	**9**	
a1	0,5	1	0	0,2	1	0	0	0,3	1	0	0	3
a2	0,5	1	0	0,2	0	1	0	0,3	1	0	0	3,6
a3	0,5	1	0	0,2	0	0	1	0,3	1	0	0	4,2
a4	0,5	1	0	0,2	1	0	0	0,3	0	1	0	3,9
a5	0,5	1	0	0,2	1	0	0	0,3	0	0	1	4,8
a6	0,5	1	0	0,2	0	1	0	0,3	0	1	0	4,5
a7	0,5	1	0	0,2	0	1	0	0,3	0	0	1	5,4
a8	0,5	1	0	0,2	0	0	1	0,3	0	1	0	5,1
a9	0,5	1	0	0,2	0	0	1	0,3	0	0	1	6
a10	0,5	0	1	0,2	1	0	0	0,3	1	0	0	6
a11	0,5	0	1	0,2	0	1	0	0,3	1	0	0	6,6
a12	0,5	0	1	0,2	0	0	1	0,3	1	0	0	**7,2**
a13	0,5	0	1	0,2	1	0	0	0,3	0	1	0	6,9
a14	0,5	0	1	0,2	1	0	0	0,3	0	0	1	**7,8**
a15	0,5	0	1	0,2	0	1	0	0,3	0	1	0	**7,5**
a16	0,5	0	1	0,2	0	1	0	0,3	0	0	1	**8,4**
a17	0,5	0	1	0,2	0	0	1	0,3	0	1	0	**8,1**
a18	0,5	0	1	0,2	0	0	1	0,3	0	0	1	**9**

Πίνακας (3.9) : Υπολογισμός της μερικής χρησιμότητας U για B2 Βαθμονόμηση

B2				**τιμές κριτηρίων**									
		f1	**f3**		**g1**	**g2**	**g3**		**n1**	**n2**	**n3**	**U(ai)**
εναλλακτικές	**W_1 βάρη**	**3**	**9**	**W_2 βάρη**	**3**	**6**	**9**	**W_3 βάρη**	**3**	**6**	**9**	
a1	0,333	1	0	0,333	1	0	0	0,333	1	0	0	3,0
a2	0,333	1	0	0,333	0	1	0	0,333	1	0	0	4,0
a3	0,333	1	0	0,333	0	0	1	0,333	1	0	0	5,0
a4	0,333	1	0	0,333	1	0	0	0,333	0	1	0	4,0
a5	0,333	1	0	0,333	1	0	0	0,333	0	0	1	5,0
a6	0,333	1	0	0,333	0	1	0	0,333	0	1	0	5,0
a7	0,333	1	0	0,333	0	1	0	0,333	0	0	1	6,0
a8	0,333	1	0	0,333	0	0	1	0,333	0	1	0	6,0
a9	0,333	1	0	0,333	0	0	1	0,333	0	0	1	**7,0**
a10	0,333	0	1	0,333	1	0	0	0,333	1	0	0	5,0
a11	0,333	0	1	0,333	0	1	0	0,333	1	0	0	6,0
a12	0,333	0	1	0,333	0	0	1	0,333	1	0	0	**7,0**
a13	0,333	0	1	0,333	1	0	0	0,333	0	1	0	6,0
a14	0,333	0	1	0,333	1	0	0	0,333	0	0	1	**7,0**
a15	0,333	0	1	0,333	0	1	0	0,333	0	1	0	**7,0**
a16	0,333	0	1	0,333	0	1	0	0,333	0	0	1	**8,0**
a17	0,333	0	1	0,333	0	0	1	0,333	0	1	0	**8,0**
a18	0,333	0	1	0,333	0	0	1	0,333	0	0	1	**9,0**

Πίνακας (3.10) : Υπολογισμός της μερικής χρησιμότητας U για B3 Βαθμονόμηση

B3				**τιμές κριτηρίων**									
		f1	**f3**		**g1**	**g2**	**g3**		**n1**	**n2**	**n3**	**U(ai)**
εναλλακτικές	**W_1 βάρη**	**3**	**9**	**W_2 βάρη**	**3**	**6**	**9**	**W_3 βάρη**	**3**	**6**	**9**	
a1	0,2	1	0	0,3	1	0	0	0,5	1	0	0	3,0
a2	0,2	1	0	0,3	0	1	0	0,5	1	0	0	3,6
a3	0,2	1	0	0,3	0	0	1	0,5	1	0	0	4,2
a4	0,2	1	0	0,3	1	0	0	0,5	0	1	0	4,5
a5	0,2	1	0	0,3	1	0	0	0,5	0	0	1	6
a6	0,2	1	0	0,3	0	1	0	0,5	0	1	0	5,1
a7	0,2	1	0	0,3	0	1	0	0,5	0	0	1	6,6
a8	0,2	1	0	0,3	0	0	1	0,5	0	1	0	5,7
a9	0,2	1	0	0,3	0	0	1	0,5	0	0	1	**7,2**
a10	0,2	0	1	0,3	1	0	0	0,5	1	0	0	4,8
a11	0,2	0	1	0,3	0	1	0	0,5	1	0	0	5,4
a12	0,2	0	1	0,3	0	0	1	0,5	1	0	0	6
a13	0,2	0	1	0,3	1	0	0	0,5	0	1	0	6,3
a14	0,2	0	1	0,3	1	0	0	0,5	0	0	1	**7,8**
a15	0,2	0	1	0,3	0	1	0	0,5	0	1	0	6,9
a16	0,2	0	1	0,3	0	1	0	0,5	0	0	1	**8,4**
a17	0,2	0	1	0,3	0	0	1	0,5	0	1	0	**7,5**
a18	0,2	0	1	0,3	0	0	1	0,5	0	0	1	**9**

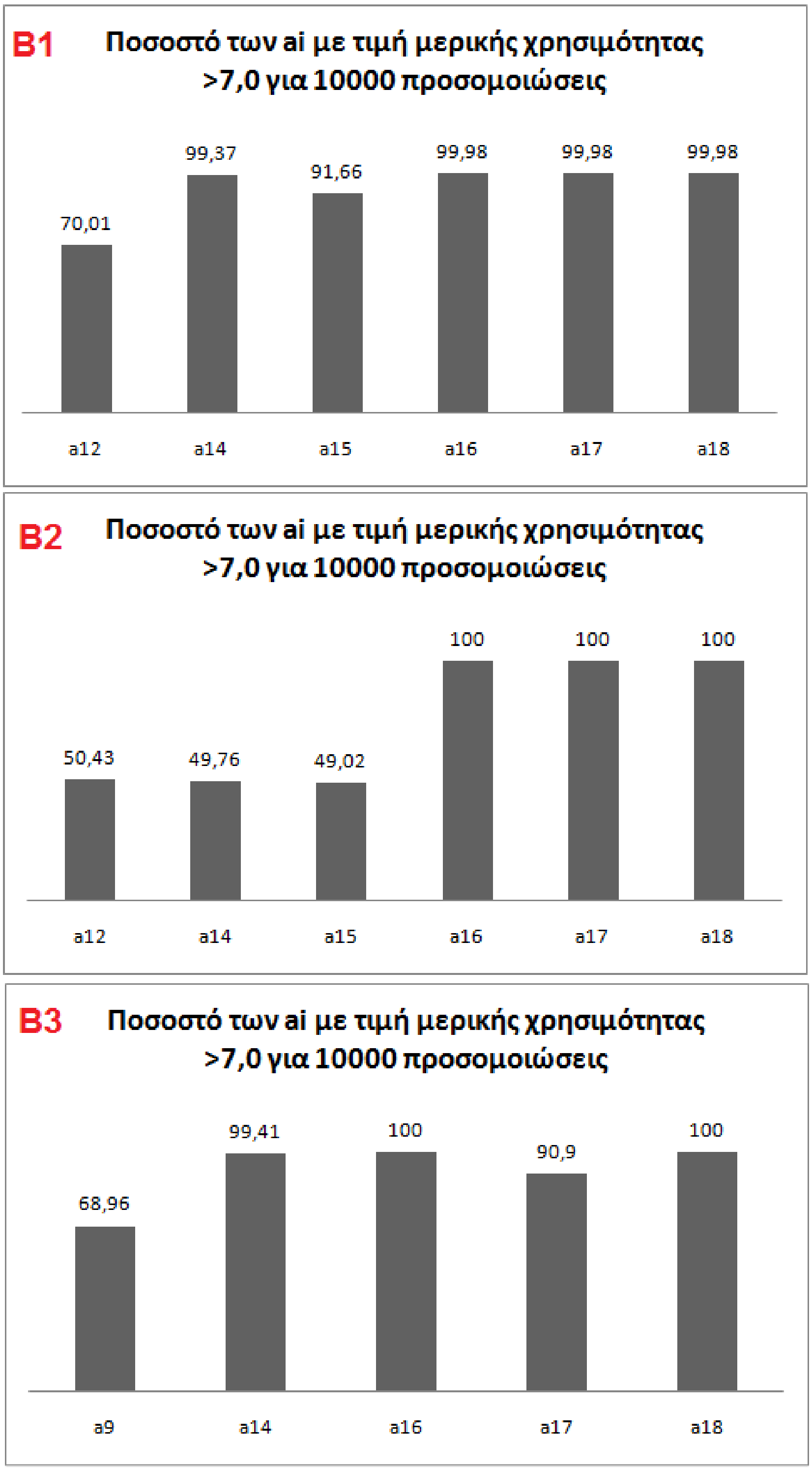
3.2.5 Γεννήτρια τυχαίων αριθμών

Στόχος της εφαρμοζόμενης μεθοδολογίας είναι η διερεύνηση της επίδρασης στο αποτέλεσμα της πολυκριτήριας ανάλυσης κατά τη μεταβολή των συντελεστών βαρύτητας και των επιδόσεων των κριτηρίων αξιολόγησης [18].

Στην ουσία πραγματοποιείται ανάλυση ευαισθησίας, μελετώντας πόσο θα μεταβληθεί η τελική επιλογή αν οι τιμές των βαθμολογιών των κριτηρίων (3,6 και 9) μεταβάλλονταν κατά μία δεκαδική μονάδα (0,1) και με τυχαίους συνδυασμούς, εντός ενός εύρους τιμών που καθορίζεται για κάθε υποκριτήριο. Θα ήταν επιθυμητό το πρόγραμμα να δοκιμάσει όλους τους τυχαίους συνδυασμούς μεταβολής των τιμών των κριτηρίων κατά μία δεκαδική μονάδα. Αντί αυτού, χρησιμοποιείται η γεννήτρια τυχαίων αριθμών [21], μέσω της συνάρτησης «rand» του Microsoft Excel. Η γεννήτρια παράγει τυχαίους αριθμούς, με ακρίβεια πρώτου δεκαδικού, οι οποίοι ανήκουν στο ορισμένο πεδίο τιμών [min ,max] για κάθε υποκριτήριο, όπου min το κατώτερο και max το ανώτερο όριο του πεδίου. Το κατώτερο όριο min, είναι ένας ακέραιος αριθμός που προκύπτει όταν η βαθμολογία ενός υποκριτηρίου (3, 6 ή 9) μειωθεί κατά μία μονάδα MIN(2,5,8), ενώ το ανώτερο όριο max προκύπτει όταν η βαθμολογία ενός υποκριτηρίου αυξηθεί κατά μία μονάδα MAX(4,7,10). Συγκεκριμένα, για τα υποκριτήρια f_1, g_1 και n_1 η γεννήτρια παράγει τυχαίους αριθμούς με ακρίβεια δεκαδικού από το σύνολο τιμών [2,4], για τα υποκριτήρια g_2 και n_2 από το σύνολο τιμών [5,7] και για τα υποκριτήρια f_3, g_3 και n_3 από το σύνολο τιμών [8,10].

Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται κάθε φορά ένας νέος πίνακας με τις νέες τιμές των βαθμολογιών, ο οποίος χρησιμοποιείται έπειτα από τον αλγόριθμο για τον υπολογισμό των νέων τιμών της μερικής χρησιμότητας U(a). Στη συνέχεια, τα αποτελέσματα της κάθε προσομοίωσης συγκρίθηκαν με την τιμή 7, η οποία θεωρείται το κατώτερο όριο των βέλτιστων τιμών της μερικής χρησιμότητας. Η συγκριτική αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε με την βοήθεια της συνάρτησης «IF» στο Microsoft Excel. Ο αριθμός των προσομοιώσεων ανέρχεται σε 10.000 για κάθε Βαθμονόμηση.

Από την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας προέκυψαν τα εξής:



Σχήμα (3.10) : Διαγραμματική απεικόνιση της συγκριτικής αξιολόγησης των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης με την τιμή 7 της μερικής χρησιμότητας και για τις τρεις Βαθμονομήσεις.

3.2.6 Αποτελέσματα Πολυκριτήριας Ανάλυσης

Από την εφαρμογή της πολυκριτήριας ανάλυσης και της συγκριτικής αξιολόγησης των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

Στη Βαθμονόμηση Β1, οι εναλλακτικές ενέργειες-θέσεις που συγκεντρώνουν τις μεγαλύτερες τιμές μερικής χρησιμότητας (U(a)>7,0) είναι οι a12 και a14-a18 για την αρχική βαθμολόγηση (Πίνακας 3.8). Αντίστοιχα, σύμφωνα με το σχήμα 3.10, οι εναλλακτικές a14-a18 δεν εμφανίζουν ευαισθησία στις μεταβολές των βαθμολογιών , καθώς οι τιμές τους είναι μεγαλύτερες του κατώτερου ορίου των βέλτιστων τιμών (>7) για πάνω από το 90% των προσομοιώσεων. Ωστόσο η εναλλακτική a12, παρουσιάζει μικρή ευαισθησία, γιατί , όπως φαίνεται από το διάγραμμα, η τιμή της είναι μικρότερη του 7 για το 30% περίπου των προσομοιώσεων.

Στη Βαθμονόμηση Β2, οι εναλλακτικές a12, a14 και a15, οι οποίες είχαν επιλεγεί ως βέλτιστες στην αρχική ανάλυση της πρώτης βαθμολόγησης (Πίνακας 3.9), παρουσιάζουν μεγαλύτερη ευαισθησία, γιατί το ποσοστό αυτών που φέρουν τιμή >7,0 είναι περίπου 50%, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης.

Τέλος στη Βαθμονόμηση Β3, η εναλλακτική a9, η οποία είχε επιλεγεί ως βέλτιστη στην πρώτη ανάλυση, (Πίνακας 3.10), παρουσιάζει ευαισθησία στις μεταβολές των βαθμολογιών των υποκριτηρίων (το 32% περίπου των αποτελεσμάτων έχουν τιμή μικρότερη του 7).

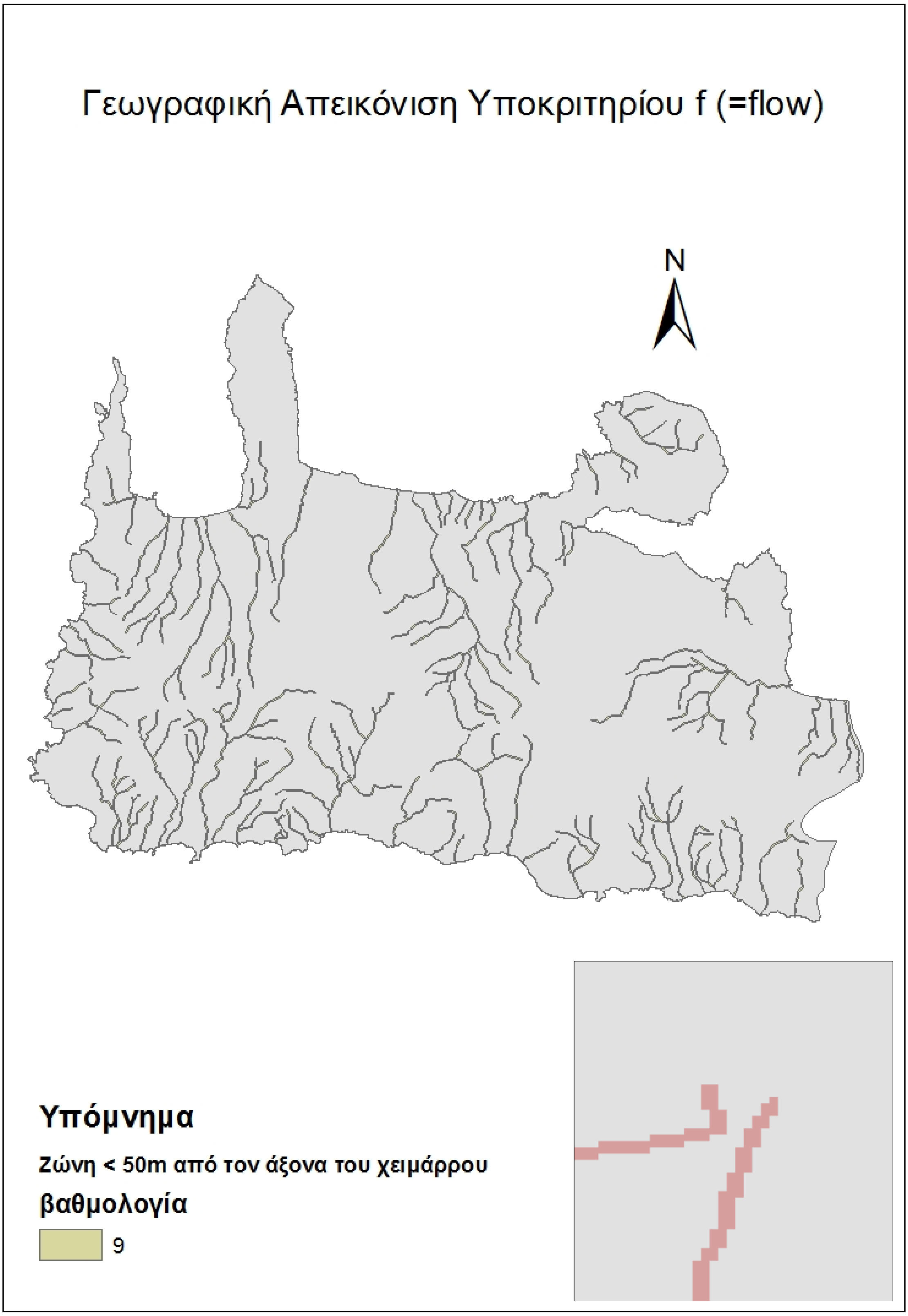
Από τα αποτελέσματα των 10.000 προσομοιώσεων, παρατηρείται πως η Βαθμονόμηση Β1 χαρακτηρίζεται από τη μικρότερη ευαισθησία, συγκριτικά με τις άλλες δύο Βαθμονομήσεις (Β2 και Β3). Για τον παραπάνω λόγο, ο γεωγραφικός εντοπισμός των βέλτιστων ενεργειών-θέσεων στο περιβάλλον του Arc Gis, βασίζεται στους συντελεστές βαρύτητας της πρώτης Βαθμονόμησης, ενώ οι βαθμολογίες των υποκριτηρίων συμφωνούν με την αρχική ανάλυση του Πίνακα 3.8.

3.3 Εφαρμογή της πολυκριτήριας ανάλυσης στο Arc Gis

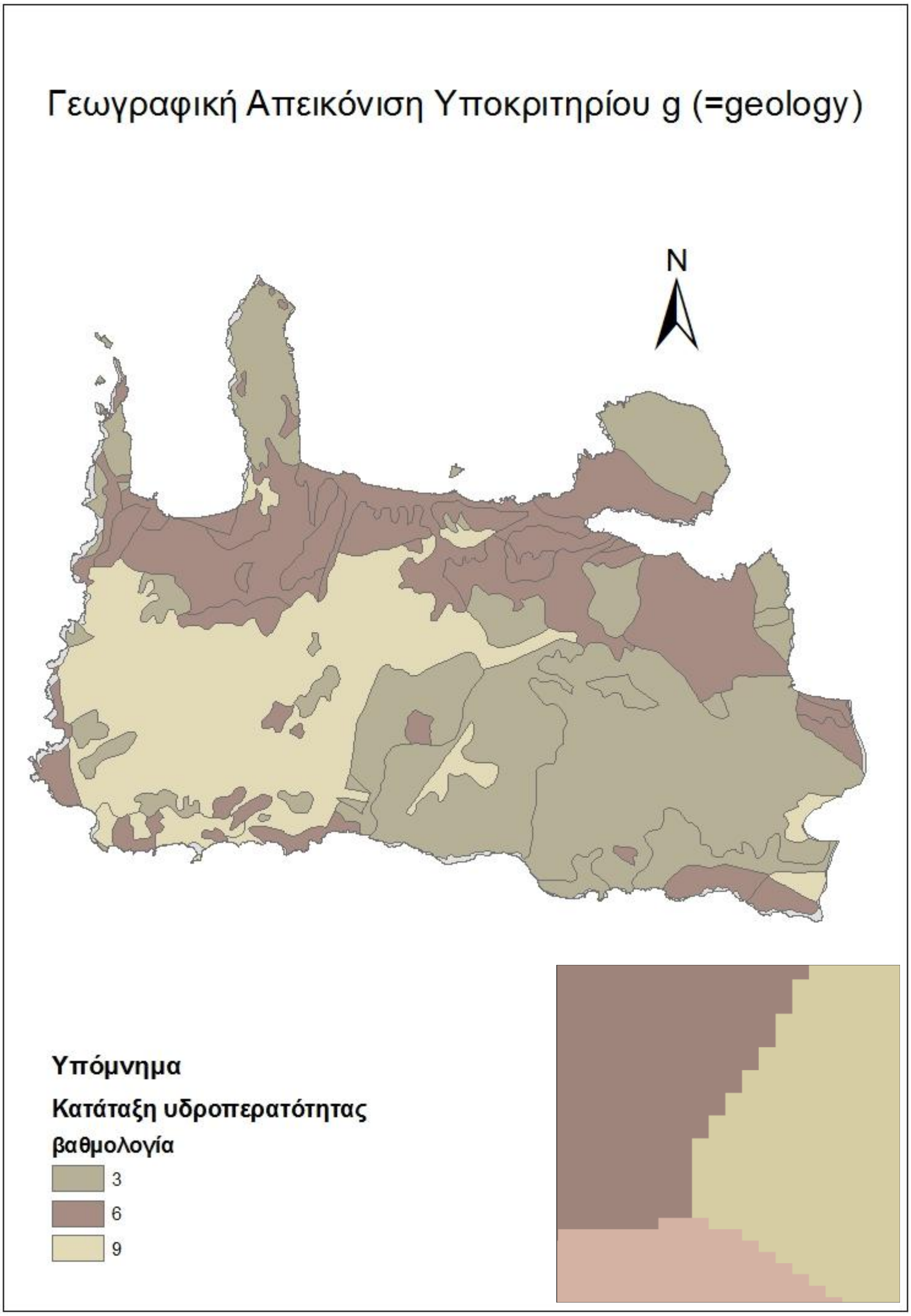
3.3.1 Γεωγραφική απεικόνιση υποκριτηρίων

Η ανάπτυξη της μεθοδολογίας για την επιλογή των βέλτιστων θέσεων ολοκληρώνεται με τον χωρικό εντοπισμό αυτών στο περιβάλλον του Arc Map του Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (GIS). Η πολυκριτήρια ανάλυση εφαρμόζεται στο Arc Gis με τη χρήση της πρώτης βαθμονόμησης Β1 και βαθμολόγησης (3,6,9) των κριτηρίων αξιολόγησης.

Τα χωρικά δεδομένα της περιοχής μελέτης (νομός Χανίων) είναι καταχωρημένα στην γεωγραφική βάση δεδομένων του Arc Gis, ως στοιχεία ενός δισδιάστατου πίνακα (raster). Κάθε κελί του πίνακα προσδιορίζεται από μια συγκεκριμένη τιμή (ποιοτική ή ποσοτική), η οποία αντιπροσωπεύει κάποιο συγκεκριμένο γνώρισμα της εκάστοτε θέσης. Τα υποκριτήρια (f, g, n) που χρησιμοποιήθηκαν στην πολυκριτήρια ανάλυση απεικονίζονται γεωγραφικά στο περιβάλλον του Arc Map με τη μορφή είτε διανυσματικών (vector) είτε πινακωτών επιφανειών (raster). Οι χρωματικές εναλλαγές των γεωγραφικών απεικονίσεων, όπως παρουσιάζονται στα σχήματα 3.11, 3.12, 3.13, αποδίδουν τα διαφορετικά γνωρίσματα του κάθε υποκριτηρίου. Η μετατροπή των γεωγραφικών επιφανειών από διανυσματική μορφή σε πινακωτή εξυπηρετεί την εφαρμογή της πολυκριτήριας ανάλυσης. Σύμφωνα με αυτή , η επιφάνεια κάθε υποκριτηρίου (π.χ. η επιφάνεια που αντιπροσωπεύει τα γεωλογικά γνωρίσματα της υπό μελέτη περιοχής), «μεταφράζεται» στον αντίστοιχο πίνακα, όπου σε κάθε κελί καταχωρείται η ποιοτική τιμή της βαθμολογίας (3 ή 6 ή 9) ανάλογα με τη χωρική ταυτότητα του κάθε κελιού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία τριών ξεχωριστών επιφανειών-πινάκων. Η απόδοση των συντελεστών βαρύτητας (w1, w2, w3) στην αντίστοιχη πινακωτή επιφάνεια f, g, n και η πρόσθεση των νέων επιφανειών-πινάκων, βάσει της θεωρίας της συνάρτησης χρησιμότητας [17], συμφωνούν με τους κανόνες της γραμμικής άλγεβρας περί πρόσθεσης πινάκων, και πραγματώνονται με την λειτουργία του εργαλείου «raster calculator» στο περιβάλλον του Arc Map. Η νέα επιφάνεια καταχωρείται σε μορφή πίνακα, όπου κάθε κελί (grid) αντιπροσωπεύει την τιμή της μερικής χρησιμότητας U(ai), σύμφωνα με την πολυκριτήρια ανάλυση, σχήμα 3.14.

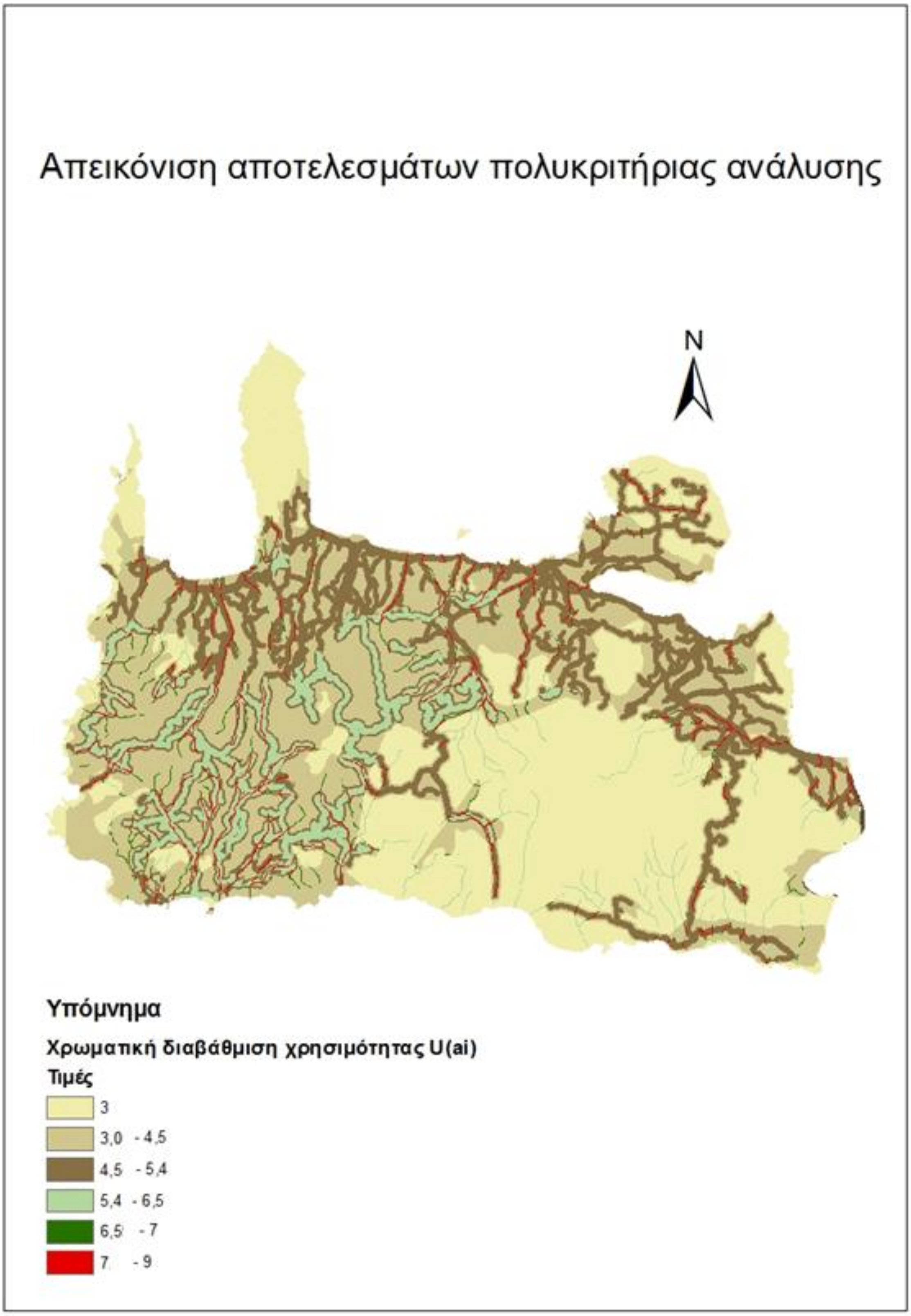


Σχήμα (3.11) : Απεικόνιση των ζωνών εντός 50 m από τον άξονα των χειμάρρων του νομού Χανίων. Η επιφάνεια είναι σε μορφή vector. Σε μεγέθυνση απεικονίζεται τμήμα της raster επιφάνειας



Σχήμα (3.12) : Απεικόνιση της υδροπερατότητας των γεωλογικών σχηματισμών του νομού Χανίων. Η επιφάνεια είναι σε μορφή vector. Σε μεγέθυνση απεικονίζεται τμήμα της raster επιφάνειας.

Σχήμα (3.13) : Απεικόνιση των ζωνών-buffers από τον άξονα του οδικού δικτύου του νομού Χανίων. Η επιφάνεια είναι σε μορφή vector. Σε μεγέθυνση απεικονίζεται τμήμα της raster επιφάνειας.



Σχήμα (3.14) : Απεικόνιση του αποτελέσματος της πολυκριτήριας ανάλυσης. Κάθε χρωματική απόχρωση αναφέρεται σε συγκεκριμένο εύρος τιμών της μερικής χρησιμότητας. Η επιφάνεια είναι σε μορφή raster.

3.3.2 Χωρικός εντοπισμός επιτρεπόμενων-μη επιτρεπόμενων περιοχών προς εγκατάσταση των μονάδων επεξεργασίας βιομηχανικών αποβλήτων.

Σύμφωνα με την βιβλιογραφία [6] και την Υγειονομική διάταξη Ε1β/221 «Περί διαθέσεως λυμάτων και βιομηχανικών αποβλήτων» (ΦΕΚ 138/Β/24-12-1965), οι ζώνες, οι οποίες **αποκλείονται** από πιθανές θέσεις για την εγκατάσταση μονάδας επεξεργασίας βιομηχανικών αποβλήτων, είναι οι εξής:

- Ζώνες ακτίνας 1 km γύρω από κάθε οικισμό.
- Ζώνες εντός 2 km από την ακτογραμμή του νομού.
- Ζώνες εντός ορισμένης ακτίνας από τον άξονα του οδικού δικτύου.
- Ζώνες Natura.

Η μεθοδολογία που ακολουθείται για την εύρεση των μη επιτρεπόμενων περιοχών προσομοιάζει με αυτή της πολυκριτήριας ανάλυσης που εφαρμόστηκε προηγουμένως, με την διαφορά ότι τα κριτήρια είναι ισοβαρή. Επιπλέον, το πεδίο τιμών της βαθμολογίας των κριτηρίων αξιολόγησης περιορίζεται στις τιμές 0 και 1. Η πολυκριτήρια ανάλυση εφαρμόζεται απευθείας στο υπολογιστικό πρόγραμμα Gis με τον άμεσο χωρικό εντοπισμό των μη επιτρεπόμενων περιοχών. Ως κριτήρια αξιολόγησης χρησιμοποιούνται τέσσερις πινακωτές επιφάνειες, των οποίων τα στοιχεία λαμβάνουν τις **τιμές 0 ή 1**, ανάλογα με τον αν αναφέρονται σε γεωγραφικές θέσεις **εκτός ή εντός των αποκλειόμενων ζωνών** αντίστοιχα.

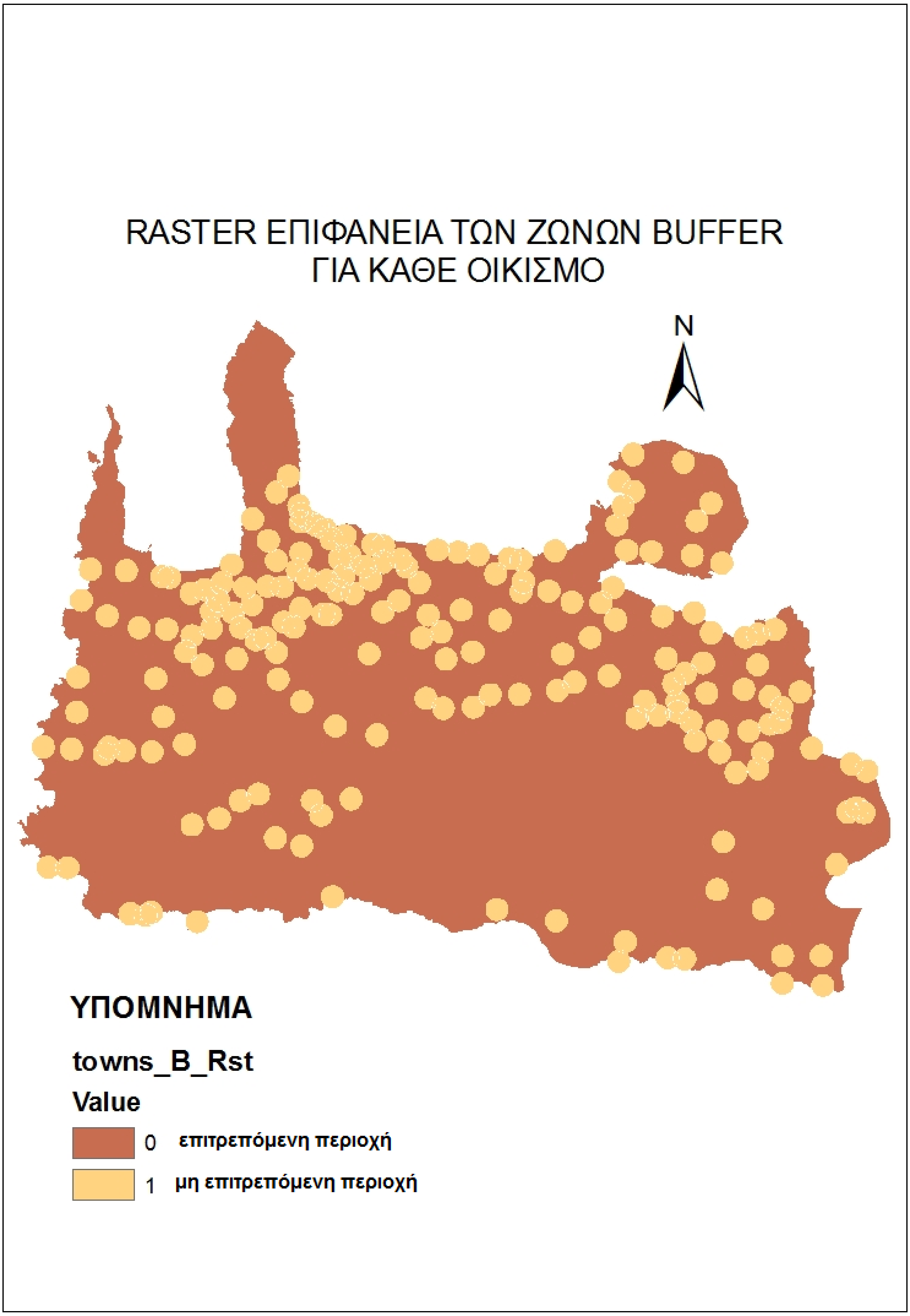
Αρχικά, στο περιβάλλον του Arc Map δημιουργούνται ζώνες επιρροής-buffers για τις διανυσματικές επιφάνειες (vector data) απεικόνισης των τριών πρώτων κριτηρίων. Αναλυτικότερα, στην περίπτωση των οικισμών δημιουργήθηκε μία ζώνη buffer γύρω από κάθε οικισμό, ακτίνας 1km, ενώ στην περίπτωση της ακτογραμμής ορίστηκαν τα 2km ως πλάτος της ζώνης επιρροής. Επιπλέον, οι δημιουργούμενες ζώνες buffer στο οδικό δίκτυο ποικίλουν ανάλογα τον τύπο του δρόμου : για πρωτεύουσες οδούς-εθνική οδός (type 1) η ακτίνα της ζώνης επιρροής είναι 200m, για το πρωτεύον επαρχιακό δίκτυο (type 2) η ακτίνα της ζώνης επιρροής είναι 100m και για το δευτερεύον επαρχιακό δίκτυο (type 3) η ακτίνα της ζώνης επιρροής είναι 50m. Αξίζει να σημειωθεί ότι στην προηγούμενη πολυκριτήρια ανάλυση για την κατάταξη των βέλτιστων περιοχών, το υποκριτήριο της γειτνίασης με τον άξονα του οδικού δικτύου (n-network), αναφέρεται στις ζώνες εκτός των αποκλειόμενων ζωνών, όπως ορίστηκαν παραπάνω (Πίνακας 3.4). Τέλος, οι ζώνες Natura, εντός των οποίων απαγορεύεται η κατασκευή μονάδας διαχείρισης λυμάτων, είναι ήδη χαρτογραφημένες και ψηφιοποιημένες σε διανυσματική μορφή (vector).

Ακολουθεί η μετατροπή των διανυσματικών επιφανειών των ζωνών σε πινακωτές επιφάνειες για την απόδοση της τιμής 1 στα κελιά (grids) που ανήκουν εντός την ζώνης επιρροής και της τιμής 0 στα κελιά εκτός της ζώνης επιρροής (Σχήματα 3.15-3.18). Η μετατροπή πραγματοποιείται μέσω της εργαλειοθήκης του Arc Toolbox και συγκεκριμένα της εντολής «conversion tools→ Polygon to raster».

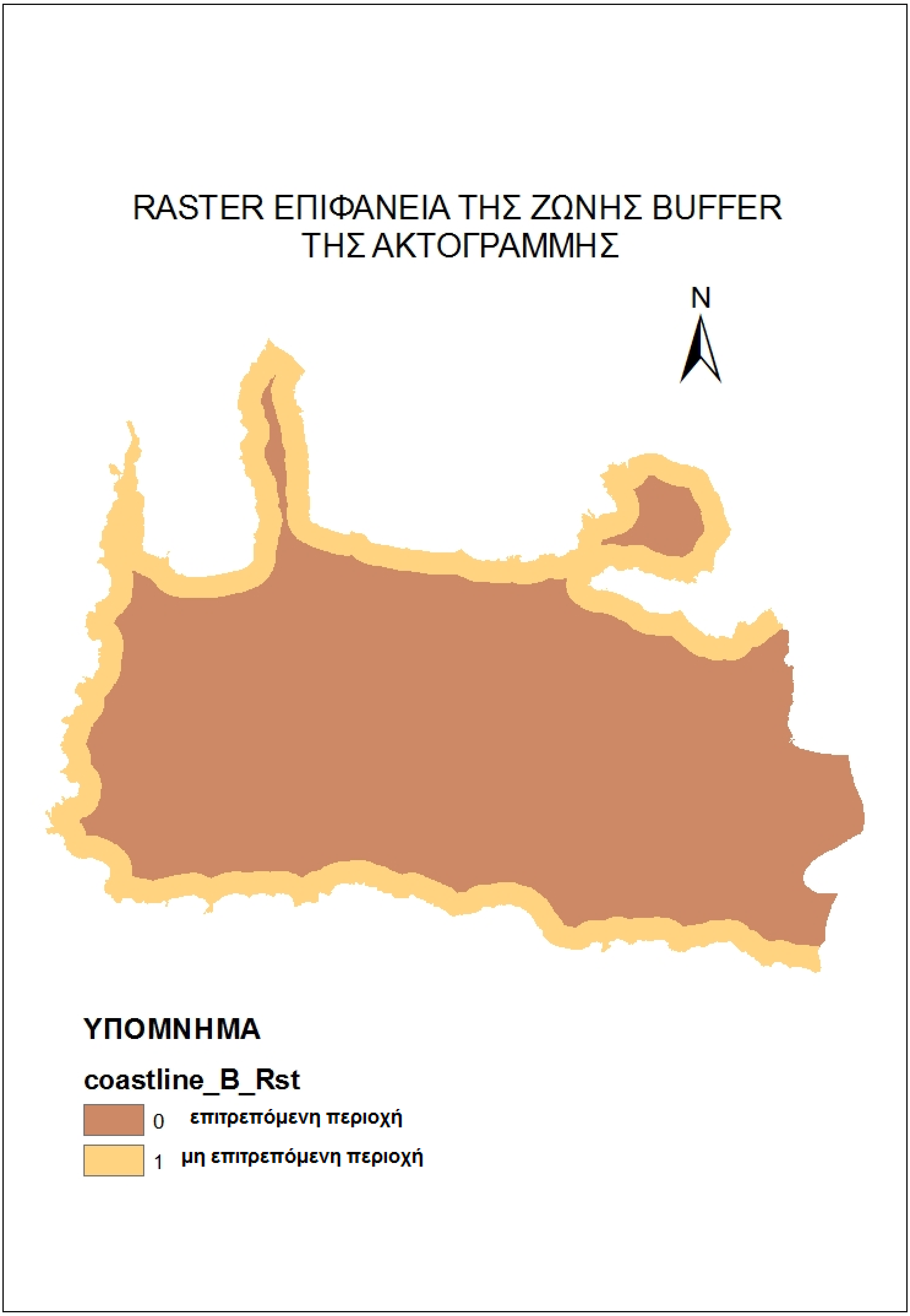
Μετά την ολοκλήρωση της μετατροπής των πολυγώνων σε πινακωτές επιφάνειες, ακολουθεί η πρόσθεση τους (σύμφωνα με τους κανόνες της γραμμικής άλγεβρας περί πρόσθεσης πινάκων) για τον εντοπισμό αυτών των θέσεων που δεν αποκλείονται από πιθανή θέση εγκατάστασης. Οι θέσεις αυτές σχηματίζονται από κελιά που έχουν την τιμή 0, καθώς όλα τα υπόλοιπα κελιά λαμβάνουν τιμές 1-4. Συγκεκριμένα, μετά την πρόσθεση κάθε κελί λαμβάνει μία από τις παρακάτω τιμές :

0+0+0+0=**0**
1+0+0+0=**1**
1+1+0+0=**2**
1+1+1+0=**3**
1+1+1+1=**4**

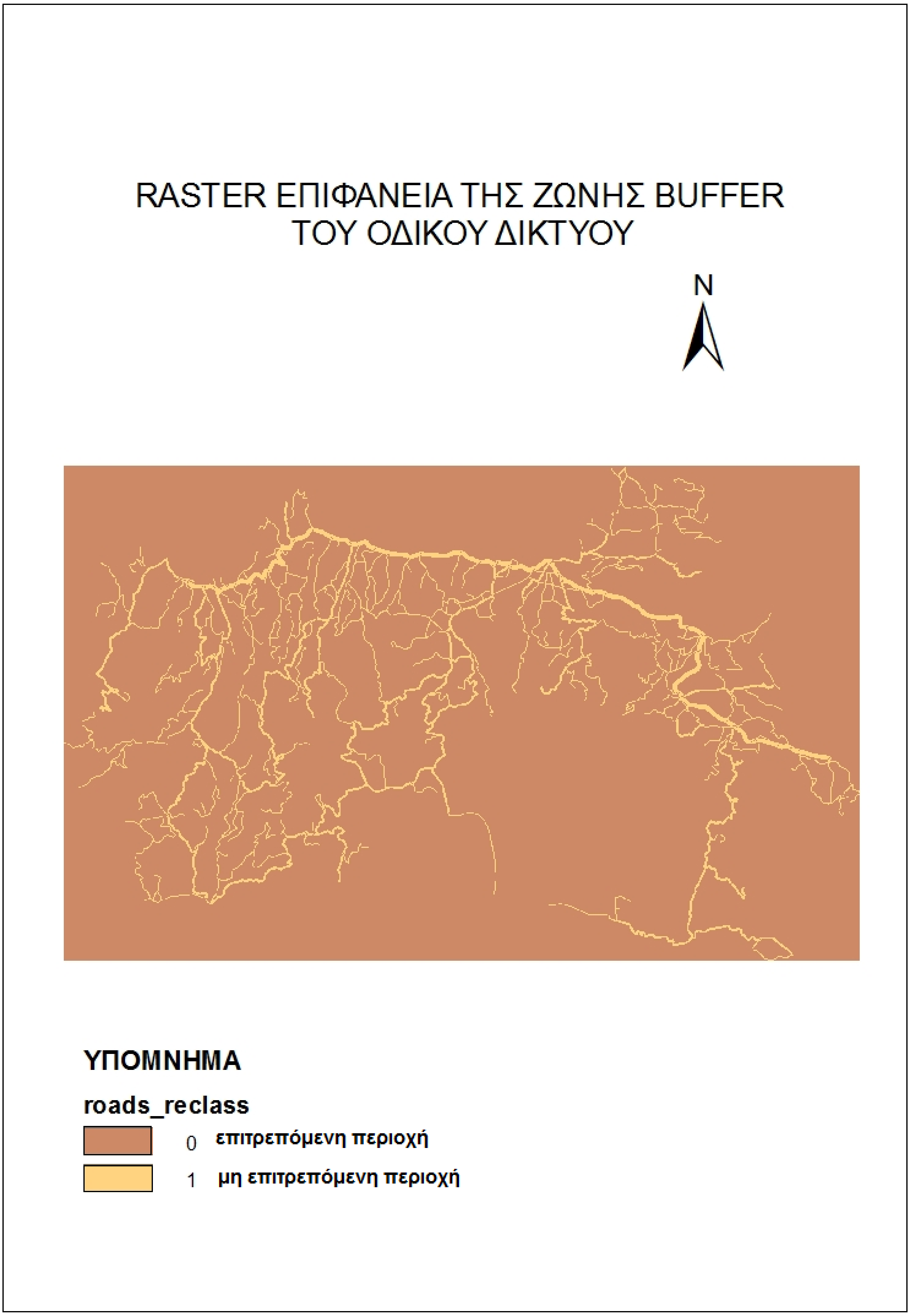
Η διαδικασία της πρόσθεσης πραγματοποιήθηκε με χρήση του εργαλείου Raster Calculator από Spatial Analyst Tools. Η νέα πινακωτή επιφάνεια απεικονίζεται στο σχήμα 3.19. Με σκοπό την ευκολία στην χρήση και στη μελέτη της προηγούμενης raster επιφάνειας (σχήμα 3.19) πραγματοποιείται ενοποίηση (dissolve) των κελιών, στα οποία αντιστοιχούν τιμές ≠ 0 , δηλαδή ενοποιούνται όλες οι θέσεις που βρίσκονται εντός αποκλειόμενων ζωνών. Στα νέα κελιά αποδίδεται η τιμή 1. Ακολουθεί μετατροπή των τιμών από [0,1] σε [1,0] αντίστοιχα με την εφαρμογή της λειτουργίας «reclass» από την εργαλειοθήκη του Arc Toolbox. Η νέα πινακωτή επιφάνεια, Σχήμα 3.20, θα χρησιμοποιηθεί για την εύρεση των βέλτιστων θέσεων προς εγκατάσταση της μονάδας. Με **ανοιχτή απόχρωση** απεικονίζονται οι περιοχές οι οποίες δεν συγκεντρώνουν κανένα από τα κριτήρια «αποκλεισμού» αλλά **ενδείκνυνται** για την πιθανή εγκατάσταση των μονάδων επεξεργασίας των OMWW που παράγονται σε όλη την έκταση του νομού Χανίων.



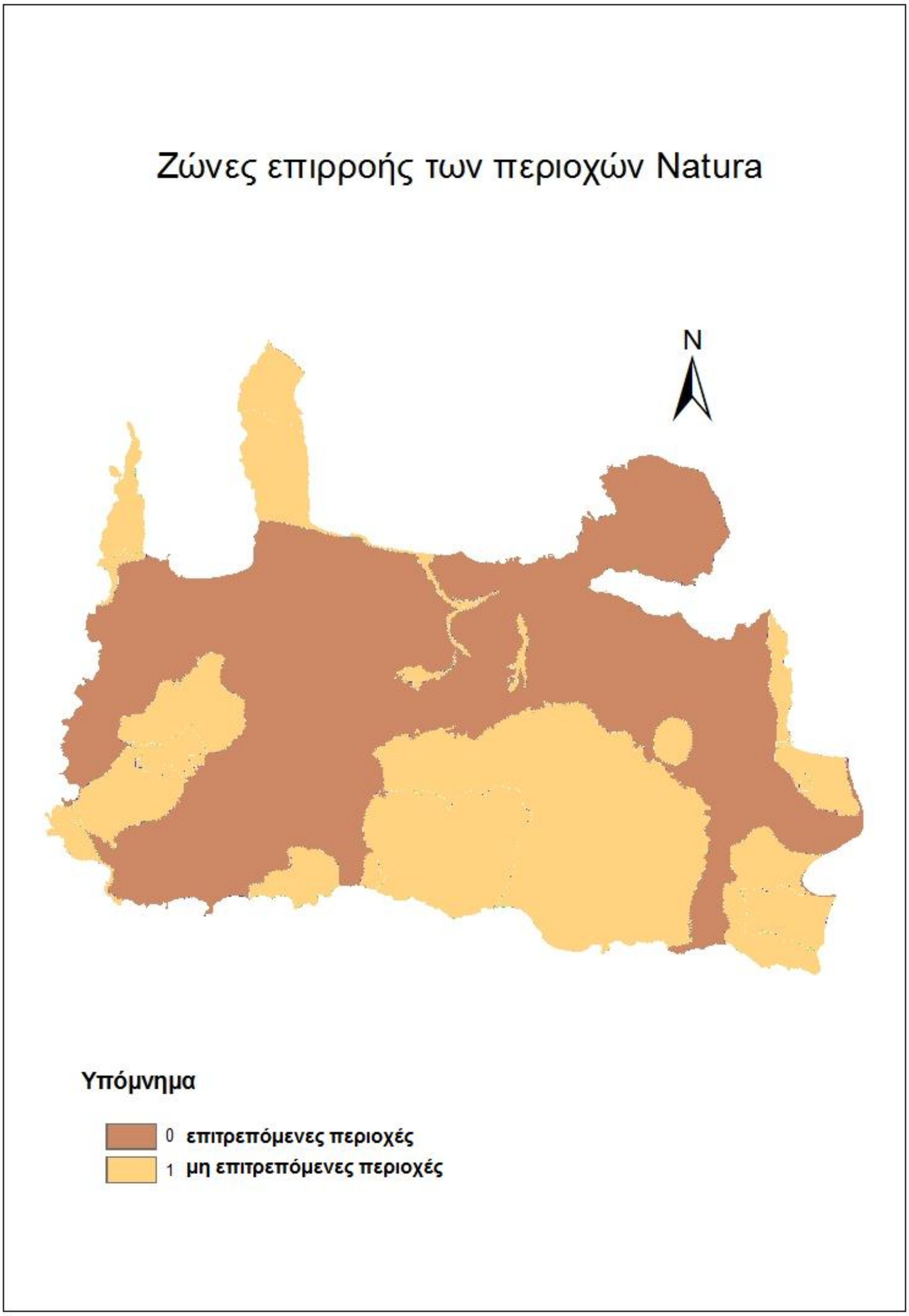
Σχήμα (3.15) : Πινακωτή επιφάνεια απεικόνισης των μη επιτρεπόμενων ζωνών ακτίνας 1km από τον κάθε οικισμό.



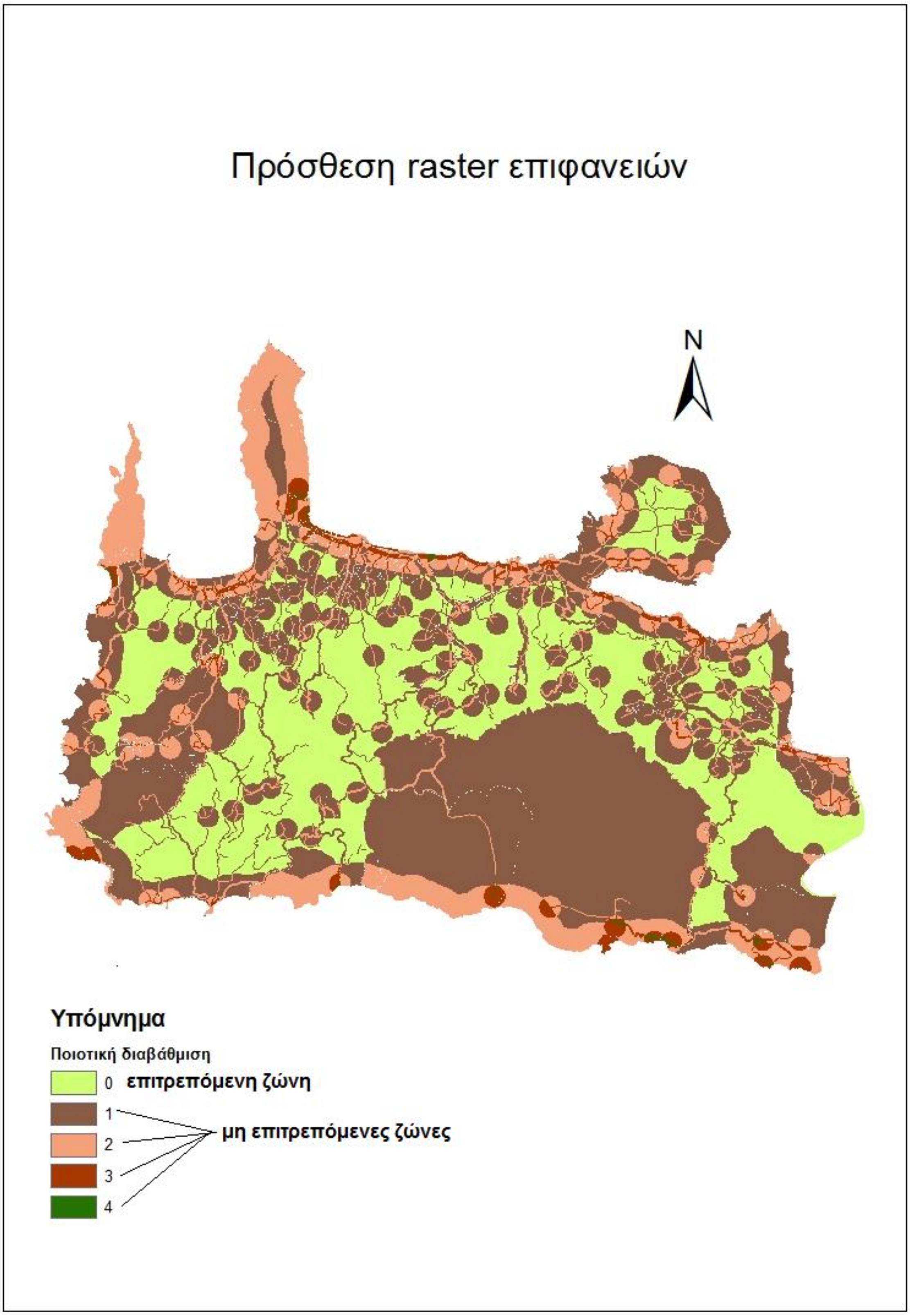
Σχήμα (3.16) : Πινακωτή επιφάνεια απεικόνισης των μη επιτρεπόμενων ζωνών εντός 2km από την ακτογραμμή.



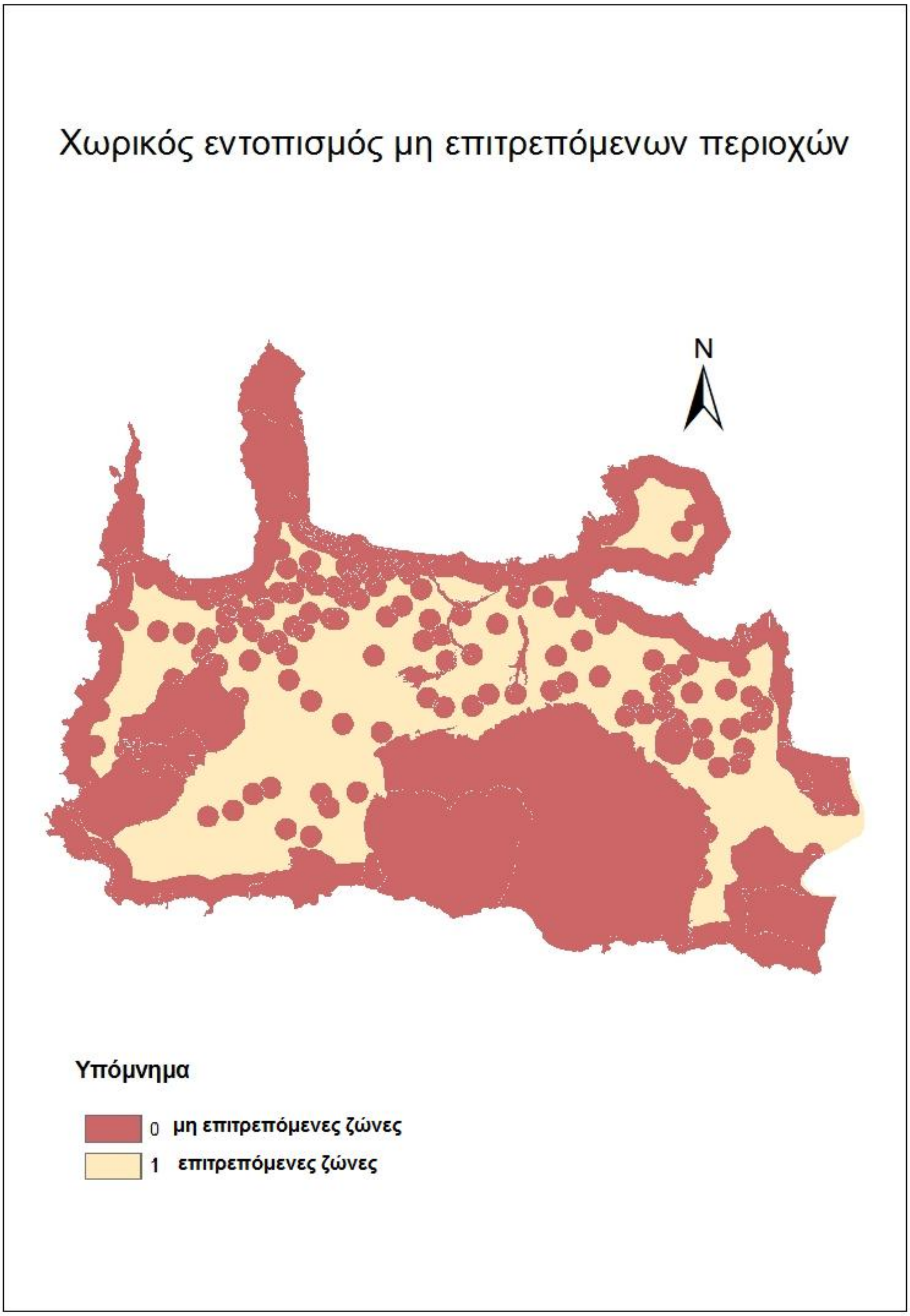
Σχήμα (3.17) : Πινακωτή επιφάνεια απεικόνισης των μη επιτρεπόμενων ζωνών-buffers από τον άξονα του οδικού δικτύου.



Σχήμα (3.18) : Πινακωτή επιφάνεια απεικόνισης των μη επιτρεπόμενων ζωνών-buffers εντός των περιοχών Natura.



Σχήμα (3.19) : Πρόσθεση των τεσσάρων raster επιφανειών. Το αποτέλεσμα είναι μια νέα raster επιφάνεια, στην οποία κάθε κελί μπορεί να λάβει τις τιμές [0-4].



Σχήμα (3.20) : Κατηγοριοποίηση της υπό μελέτη περιοχής σε επιτρεπόμενες (τιμή 1) και μη επιτρεπόμενες θέσεις (τιμή 0). Η επιφάνεια είναι σε μορφή raster.

3.4 Βελτιστοποίηση της τοποθέτησης των μονάδων επεξεργασίας και της μεταφοράς των λυμάτων.

3.4.1 Επιλογή γεωγραφικών σημείων

Η επιφάνεια που απεικονίζει τις τιμές της μερικής χρησιμότητας κάθε εναλλακτικής θέσης (Σχήμα 3.14), δεν περιλαμβάνει τις θέσεις, στις οποίες δεν επιτρέπεται η εγκατάσταση της μονάδας (Σχήμα 3.20). Για την δημιουργία μιας ενιαίας πινακωτής (raster) επιφάνειας ταξινόμησης των χωρικών δεδομένων από τη μη επιτρεπόμενη θέση προς τη βέλτιστη, πραγματοποιείται πολλαπλασιασμός των δύο προηγούμενων πινακωτών επιφανειών σύμφωνα με τους κανόνες της γραμμικής άλγεβρας, μέσω της λειτουργίας του «raster calculator» στο περιβάλλον του Arc Map, (Σχήμα 3.21). Τα κελιά που απεικονίζονται με το **σκούρο χρωματισμό** αντιστοιχούν στις γεωγραφικές θέσεις που συγκεντρώνουν τις μεγαλύτερες τιμές μερικής χρησιμότητας (7,0-9,0) και θεωρούνται οι **βέλτιστες**. Αντίθετα, τα κελιά που απεικονίζονται με το **ανοιχτό χρωματισμό** αντιστοιχούν στις **μη επιτρεπόμενες θέσεις** (τιμές μερικής χρησιμότητας : 0-3).

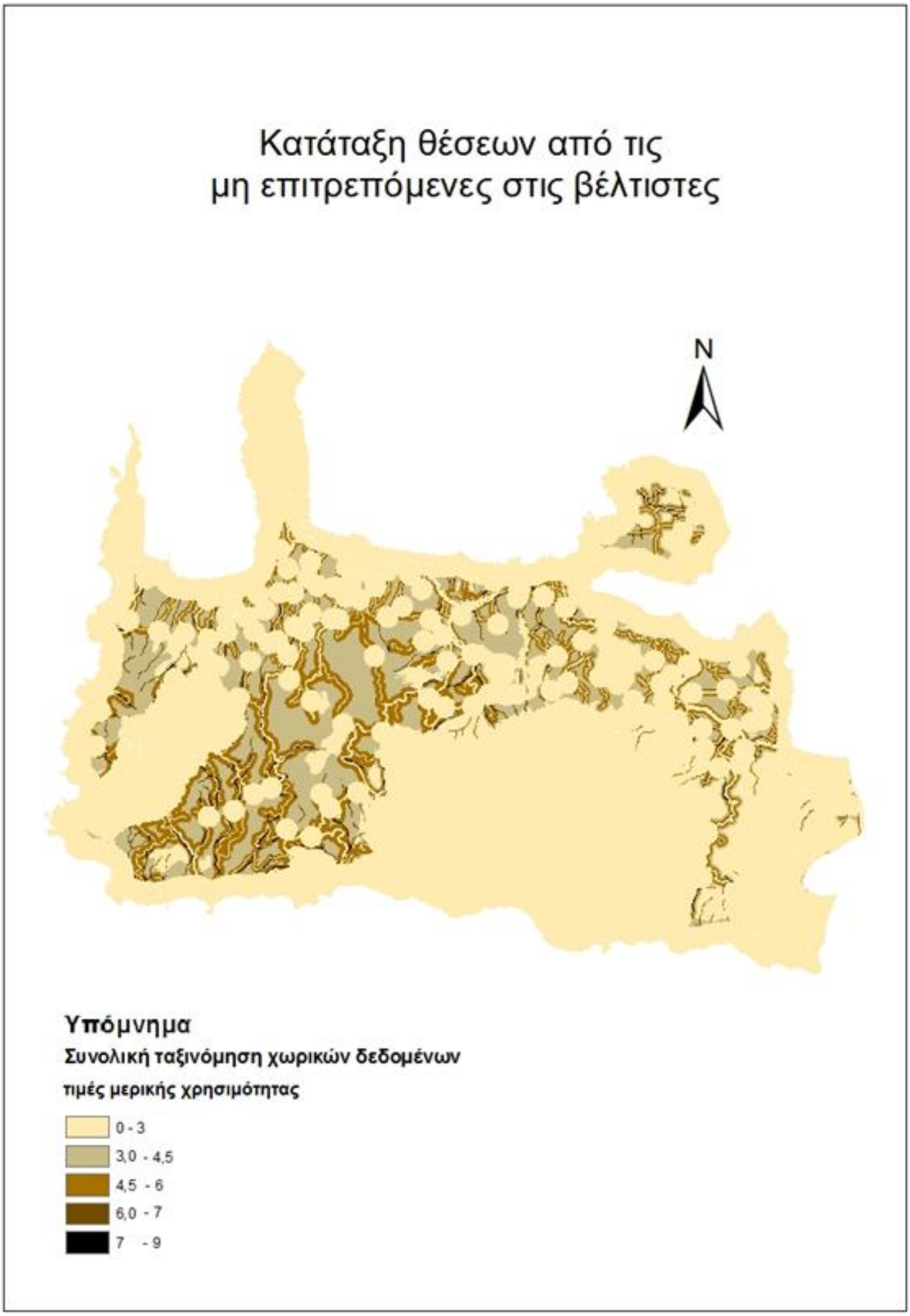
Επιλέγονται δύο γεωγραφικές θέσεις στις οποίες προτείνεται να τοποθετηθούν οι μονάδες επεξεργασίας των λυμάτων από τα ελαιοτριβεία που εκτείνονται βορειοδυτικά του νομού (Σενάριο 1), ενώ για την εγκατάσταση της μονάδας διαχείρισης στην περιοχή των Σφακιών (Σενάριο 2), επιλέγεται μία γεωγραφική θέση, (Σχήμα 3.22). Οι προτεινόμενες γεωγραφικές θέσεις αντιστοιχούν στα κελιά που φέρουν τις μεγαλύτερες τιμές μερικής χρησιμότητας (7-9) και απεικονίζονται με μαύρο χρωματισμό. Συνδυαστικά με την παραπάνω παράμετρο, η επιλογή των θέσεων βασίστηκε και στη γεωγραφική κατανομή των ελαιοτριβείων σε όλη την έκταση του νομού, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.23. Οι συντεταγμένες των θέσεων (xy), στις οποίες προτείνεται η εγκατάσταση των μονάδων επεξεργασίας, ανήκουν στο Ενιαίο Γεωγραφικό Σύστημα Συντεταγμένων του 1987 και είναι οι εξής :

Για τη μονάδα 1 : (473.348,874 , 3.918.682,684)

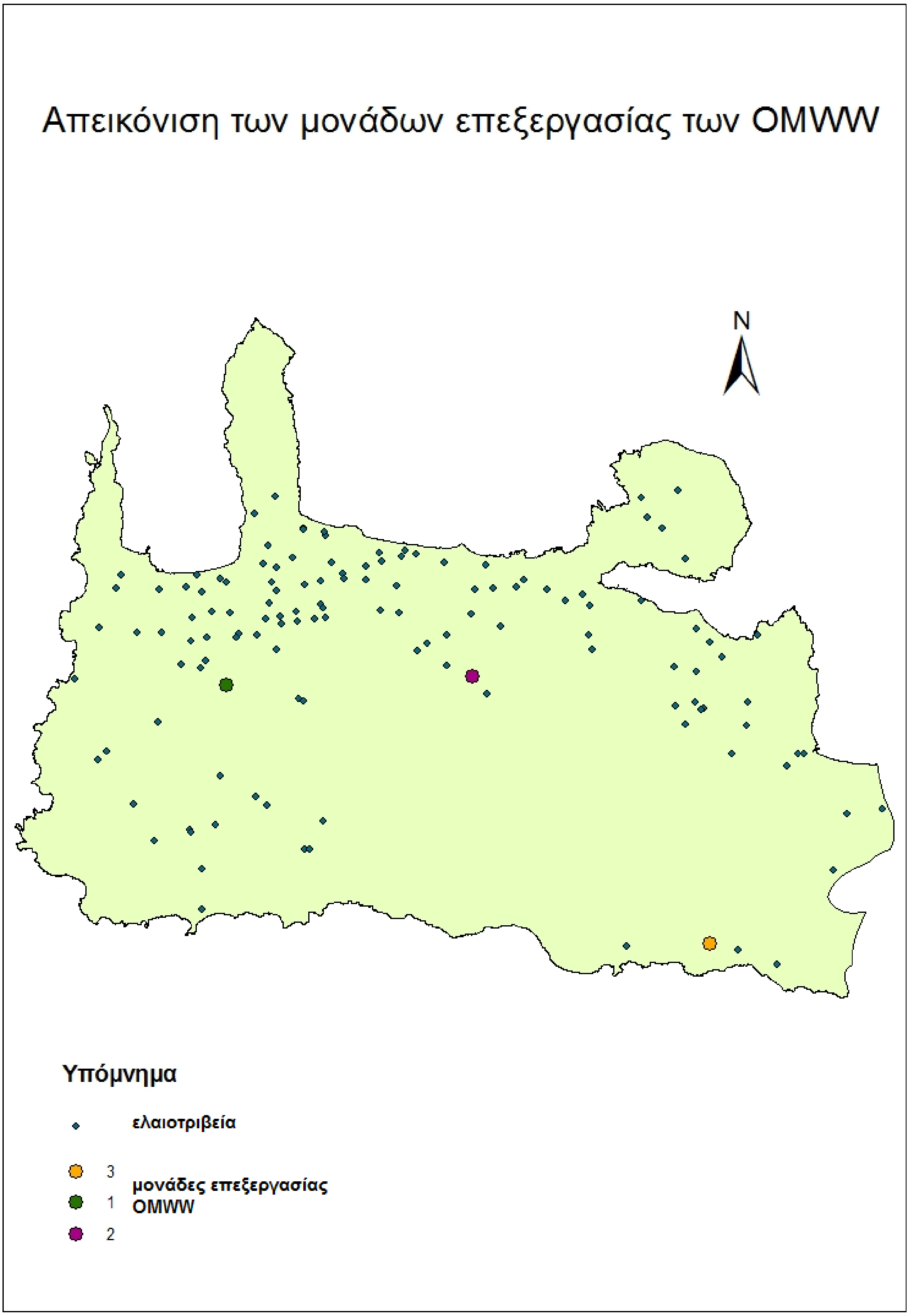
Για τη μονάδα 2 : (494.444,961 , 3.919.703,462)

Για τη μονάδα 3 : (514.520,269 , 3.897.019,498)

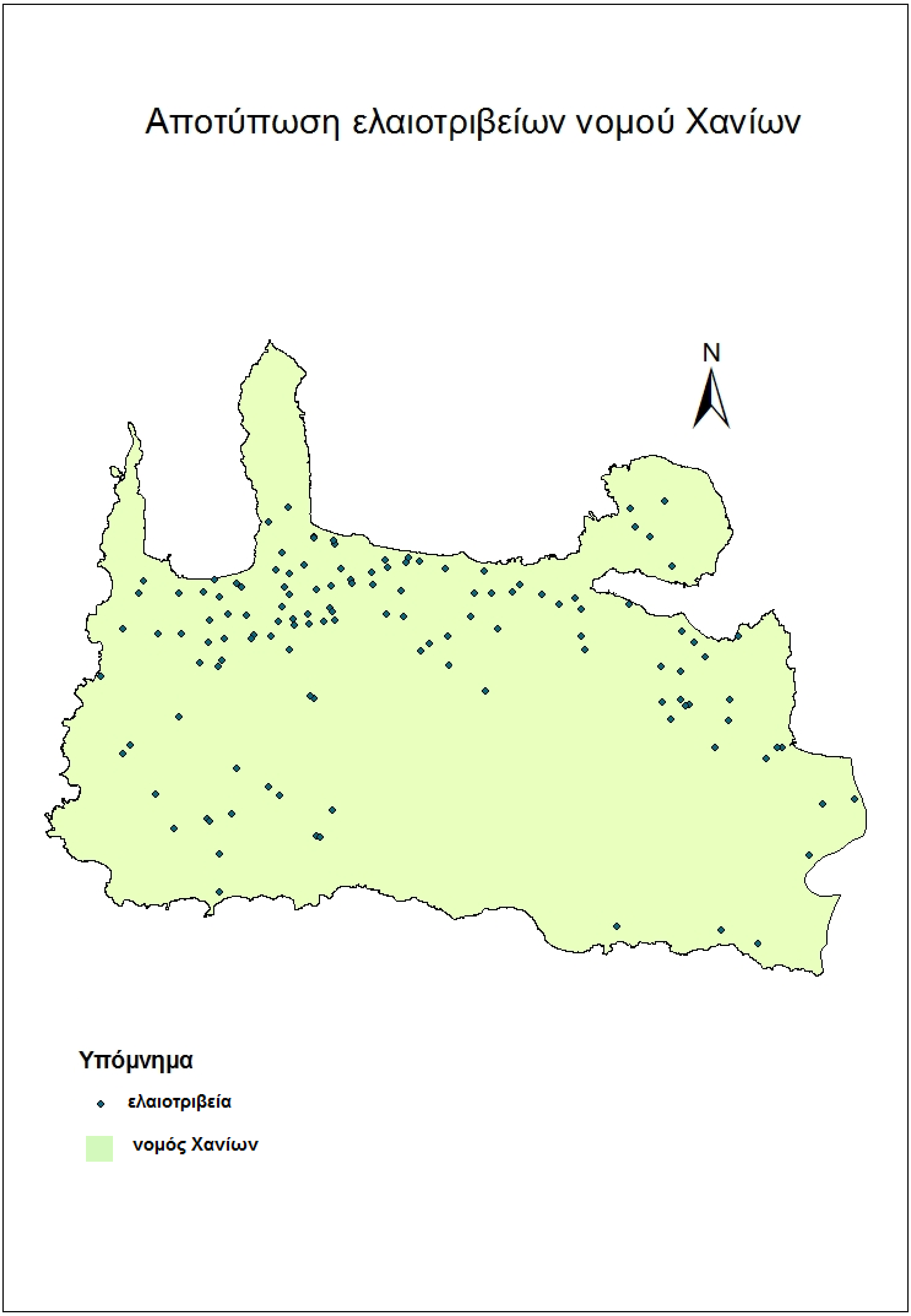
Η εύρεση των συντεταγμένων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του εργαλείου «Identify» στο περιβάλλον του Arc Map.



Σχήμα (3.21) : Δημιουργία πινακωτής επιφάνειας ταξινόμησης των χωρικών δεδομένων από τη μη επιτρεπόμενη προς τη βέλτιστη θέση



Σχήμα (3.22) : Εντοπισμός των γεωγραφικών θέσεων για την εγκατάσταση των μονάδων επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων από τα ελαιοτριβεία.



Σχήμα (3.23) : Απεικόνιση των θέσεων των ελαιουργείων του νομού Χανίων στο περιβάλλον του Arc Map

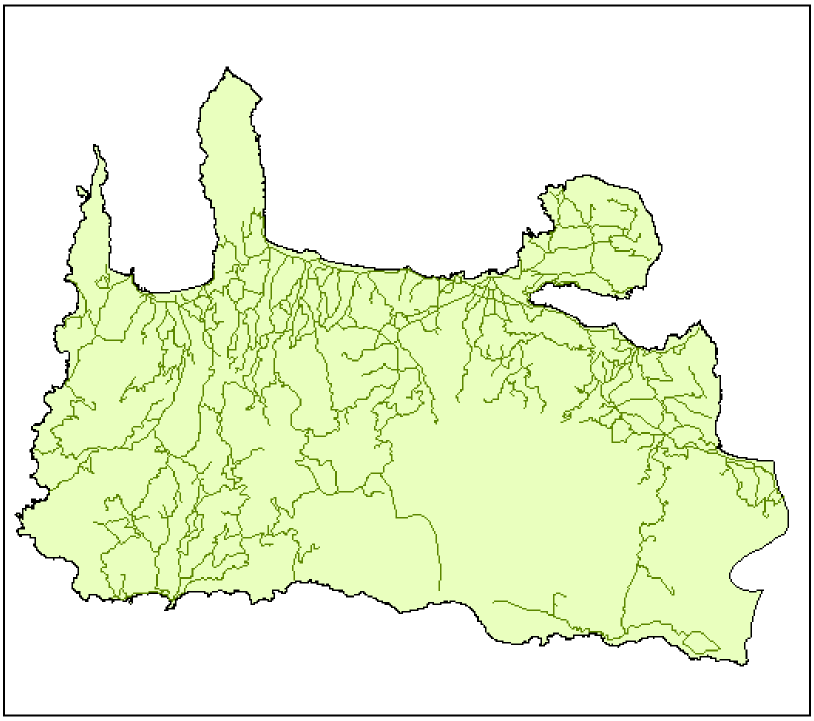
3.4.2 Βελτιστοποίηση της διαδρομής για τη μεταφορά των OMWW στις δύο κεντρικές μονάδες επεξεργασίας

Ένα άλλο πρόβλημα που χρήζει ξεχωριστής αντιμετώπισης είναι η μεταφορά των υγρών αποβλήτων από τα ελαιοτριβεία στις δύο κεντρικές μονάδες επεξεργασίας του 1ου σεναρίου. Η μεταφορά των λυμάτων θεωρείται ότι γίνεται με τη χρήση βυτιοφόρων οχημάτων, τα οποία κινούνται στο υπάρχον οδικό δίκτυο. Η κατασκευή καταθλιπτικών αγωγών ή αγωγών βαρύτητας αποκλείεται, καθώς οι αποστάσεις είναι μεγάλες και δεν ενδείκνυνται για την τοποθέτηση σωληνώσεων. Επιπλέον, η υψηλή περιεκτικότητα των OMWW σε αιωρούμενα σωματίδια και λιπαρά οξέα έχει ως αποτέλεσμα την επικάθιση αυτών στην εσωτερική επιφάνεια των σωληνώσεων και τη μείωση της διατομής, με παράλληλη διάβρωση των τοιχωμάτων. Συνεπώς, υπάρχει κίνδυνος διακοπής της ροής των αγωγών για λόγους επισκευής ή συντήρησης [1].

Στην παρούσα ενότητα θα χρησιμοποιηθεί μια ειδική λειτουργία του Arc Gis για την ταξινόμηση των ελαιοτριβείων του βορειοδυτικού τμήματος του νομού, με βάση την πλησιέστερη μονάδα επεξεργασίας, και τον υπολογισμό της βέλτιστης διαδρομής για τη μεταφορά των λυμάτων στις αντίστοιχες μονάδες. Η λειτουργία που θα εφαρμοστεί ονομάζεται **Network Analyst** [29] και επιτρέπει τη σύνταξη και διαμόρφωση μιας δικτυακής βάσης δεδομένων (Network Dataset). Η εφαρμογή της δικτυακής ανάλυσης (Network Analyst) στηρίζεται στο υπάρχον ψηφιοποιημένο οδικό δίκτυο, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 3.24 και στην κοστολόγηση του μήκους κάθε οδικής γραμμής (polyline) ξεχωριστά. Στον παρακάτω Πίνακα Γνωρισμάτων (Attribute Table), ο οποίος είναι καταχωρημένος στη βάση δεδομένων του Arc Gis, παρουσιάζονται ενδεικτικά τα μήκη τριών οδικών γραμμών για κάθε διαφορετικό τύπο δρόμου.

Πίνακας (3.11) : Πίνακας γνωρισμάτων τριών ενδεικτικών οδικών γραμμών του συνολικού οδικού δικτύου. Η μονάδα μέτρησης του μήκους κάθε οδικής γραμμής είναι σε μέτρα (m) και αποθηκεύεται στη στήλη «LENGTH».

OBJECTID *	LENGTH	ROADS_	TYPE
23	1599,574	20073	3
1	866,164	20038	4
44	1840,204	20099	2



Σχήμα (3.24) : Απεικόνιση του ψηφιοποιημένου οδικού δικτύου που εκτείνεται στο νομό Χανίων

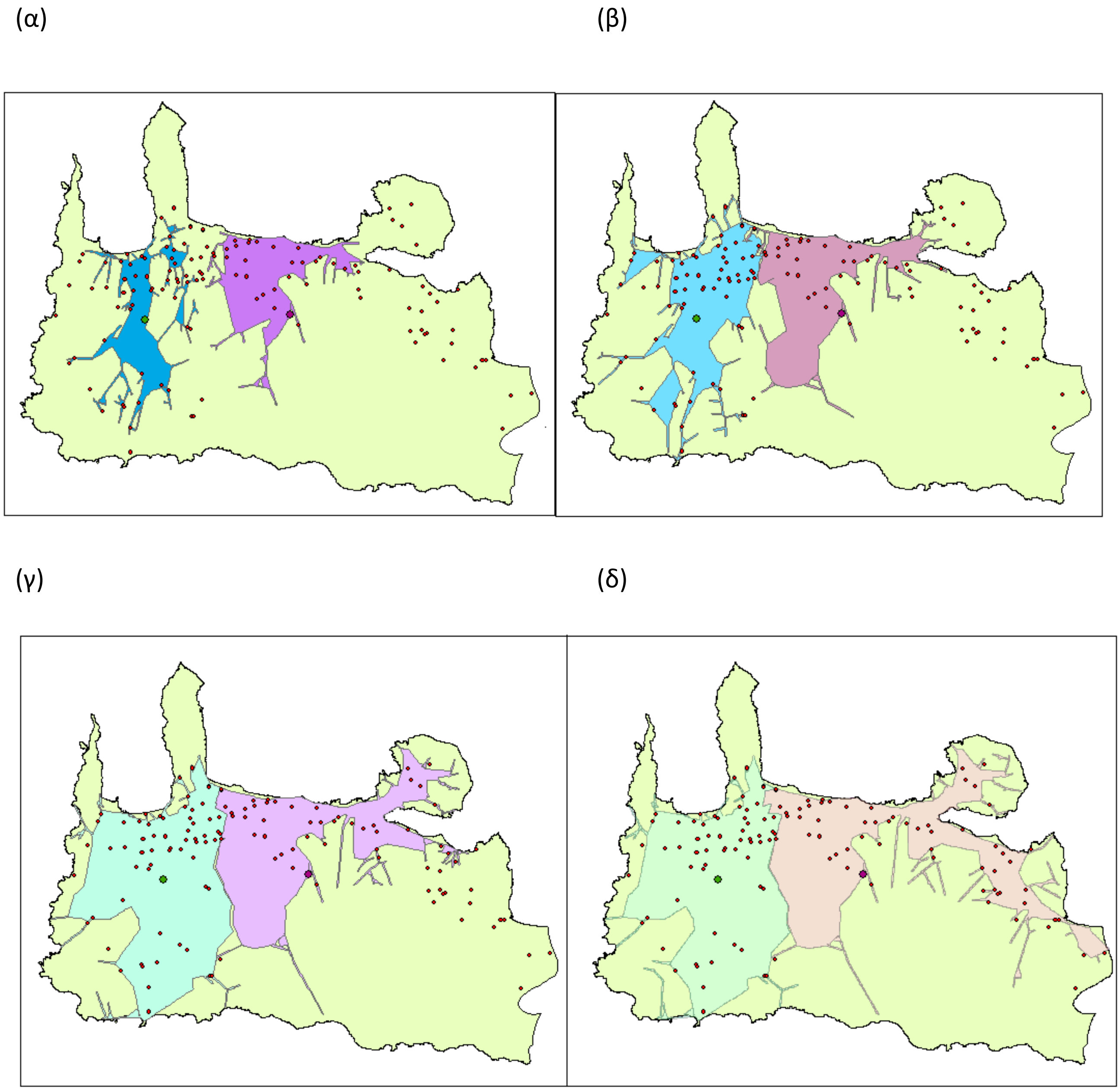
Η επίλυση του προβλήματος της δρομολόγησης μέσω της λειτουργίας του Network Analyst βασίζεται στη χρήση του **αλγορίθμου «Dijkstra»,** για τον υπολογισμό της βέλτιστης διαδρομής. Ο αλγόριθμος «Dijkstra» είναι ένας αλγόριθμος Σχεδιασμού Μονοπατιών (path planning algorithm) που επιλύει το πρόβλημα του βραχύτερου μονοπατιού ενός σημείου εκκίνησης, εντοπίζοντας την διαδρομή μεταξύ δύο κορυφών όπου το άθροισμα των βαρών για όλες τις ενδιάμεσες ακμές είναι ελάχιστο. Η βελτιστοποίηση αναφέρεται στην εύρεση της συντομότερης διαδρομής από άποψη είτε χιλιομετρικής απόστασης, είτε χρόνου, είτε οδικής ασφάλειας ανάλογα με την εκάστοτε περίπτωση. Στην ανάλυση που ακολουθεί, ο αλγόριθμος «Dijkstra», αναζητά τη βέλτιστη πορεία για τη μεταφορά των λυμάτων στις κεντρικές μονάδες επεξεργασίας με βάση τη μικρότερη χιλιομετρική απόσταση. Ο αλγόριθμος του Dijkstra είναι ένας **single source shortest path algorithm** (δηλαδή αναφέρεται συγκεκριμένα σε μια κορυφή εκκίνησης) για γράφους με **μη-αρνητικά βάρη**.[23]

Συγκεκριμένα, για την εύρεση της συντομότερης διαδρομής από μία θέση εκκίνησης (s-starting) σε μία θέση προορισμού (d-destination), ο αλγόριθμος αποθηκεύει το σύνολο των σημείων των κόμβων (X) , των οποίων η τελική συντομότερη απόσταση από το (s) έχει ήδη υπολογιστεί. Επίσης, διατηρεί σε πίνακα τη μικρότερη απόσταση οποιουδήποτε κόμβου X από τον κόμβο s (σημείο εκκίνησης).

Σε κάθε κύκλο επανάληψης, ο αλγόριθμος, αφού εντοπίσει τον κόμβο, ο οποίος διαθέτει την ελάχιστη τιμή της συντομότερης απόστασης, τον αποθηκεύει στο σύνολο X και ανανεώνει τον υπολογισμό της συντομότερης διαδρομής των γειτονικών σημείων των κόμβων που δεν ανήκουν στο σύνολο X. Ο αλγόριθμος συνεχίζει τον υπολογισμό μέχρι ένα από τα σημεία της διασταύρωσης να συμπέσει με το σημείο προορισμού (d). Το σύνολο των αποθηκευμένων σημείων των κόμβων (X) ορίζει τη βέλτιστη διαδρομή. Στη συγκεκριμένη ανάλυση **τα ελαιοτριβεία αντιστοιχούν στα σημεία εκκίνησης και οι μονάδες επεξεργασίας στα σημεία προορισμού**.

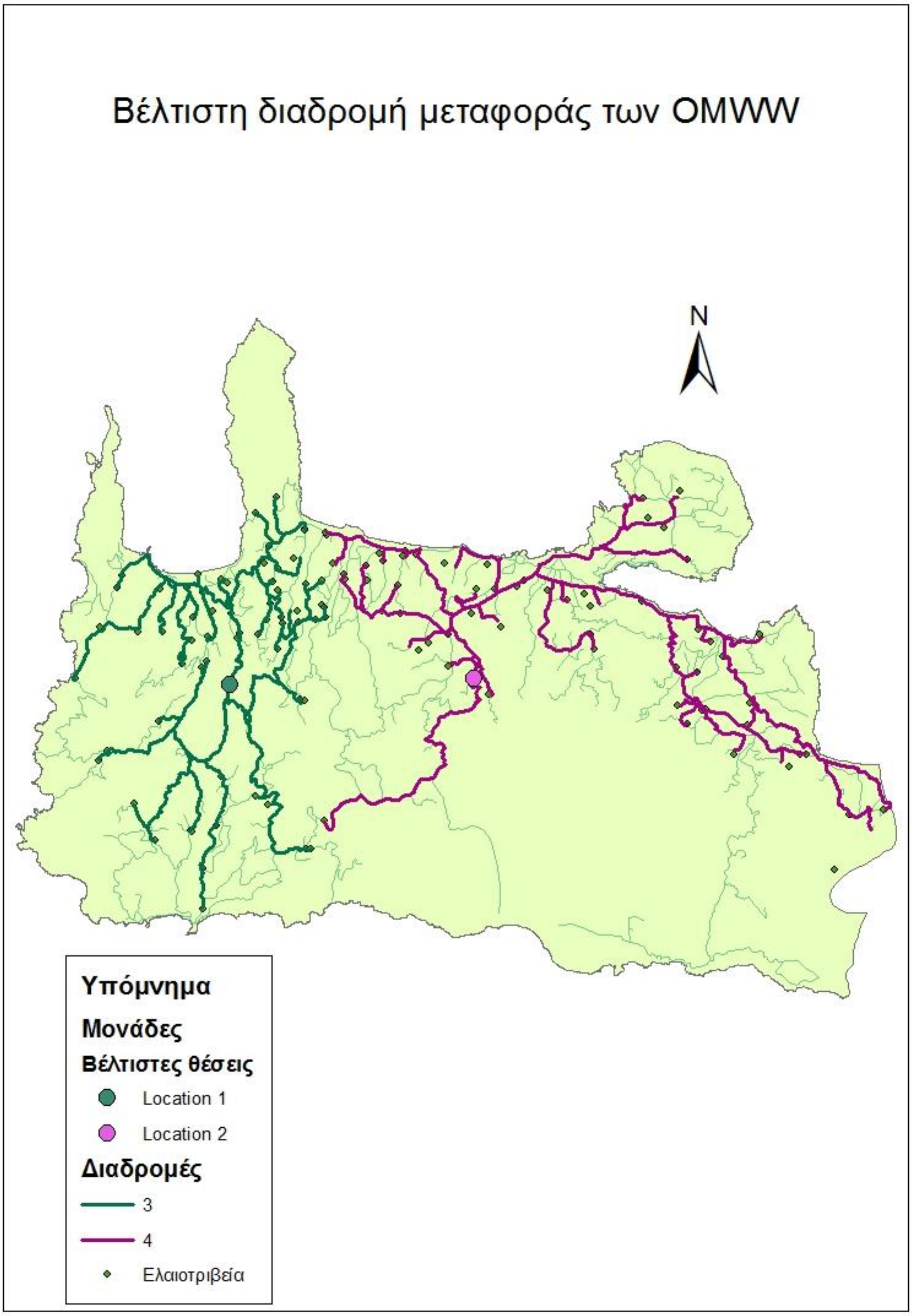
Ο αλγόριθμος αναπτύσσεται στο Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών με τη μορφή του εργαλείου «**New Service Area**» και «**New Closest Facility**» μέσω της λειτουργίας του Network Analyst. Η περιοχή εξυπηρέτησης (Service Area) είναι ένα πολύγωνο, γύρω από ένα σημείο εκκίνησης (μονάδα επεξεργασίας), το οποίο περικλείει όλες τις οδικές γραμμές προς τις θέσεις προορισμού (ελαιοτριβεία). Ορίζεται η τιμή της απόστασης εντός της οποίας πραγματοποιείται η ανάλυση και προκύπτουν τα πολύγωνα του Σχήματος 3.25.

Ακολούθως, με την χρήση του εργαλείου «New Closest Facility» πραγματοποιείται, για τα πολύγωνα του σχήματος 3.25.δ, ο υπολογισμός των βέλτιστων διαδρομών για τη μεταφορά των λυμάτων από τις θέσεις των ελαιοτριβείων στις κεντρικές θέσεις των μονάδων. Οι βέλτιστες διαδρομές, που απεικονίζονται στο σχήμα 3.26, αναφέρονται στη χρήση πολλαπλών βυτιοφόρων οχημάτων. Ο ακριβής υπολογισμός του αριθμού των βυτιοφόρων και ο αντίστοιχος όγκος τους απαιτεί περαιτέρω ανάλυση, η οποία δεν παρουσιάζεται στην παρούσα μελέτη

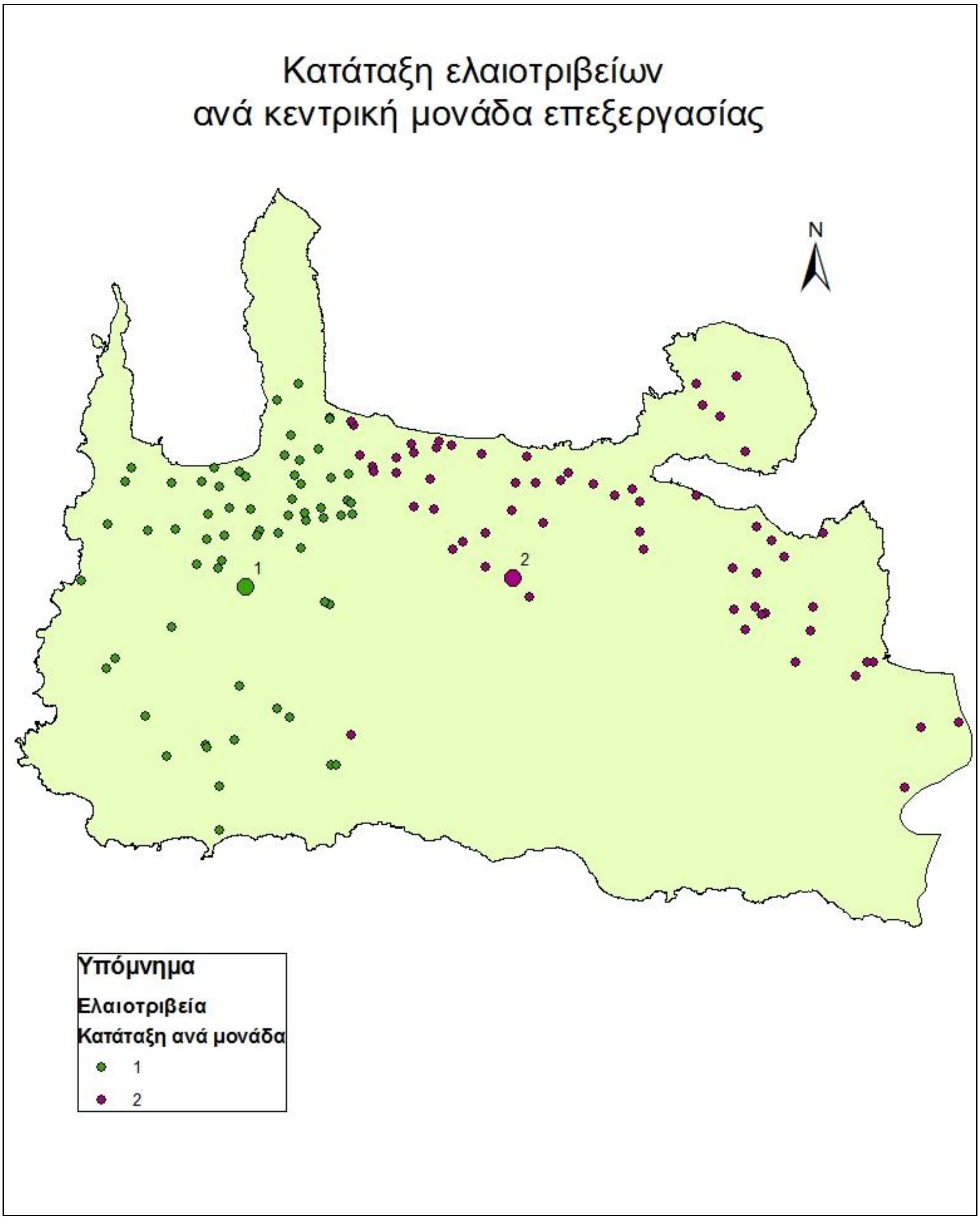


Σχήμα (3.25) : Service Area- Περιοχή Εξυπηρέτησης γύρω από κάθε μονάδα επεξεργασίας. Το κάθε πολύγωνο προκύπτει αφού οριστεί η τιμή της απόστασης για κάθε κύκλο υπολογισμού: (α) 20 km, (β) 25 km, (γ) 35 km και (δ) 60 km.

.



Σχήμα (3.26) : Απεικόνιση των βέλτιστων διαδρομών μεταφοράς των λυμάτων στις κεντρικές μονάδες επεξεργασίας. Η βελτιστοποίηση της διαδρομής πραγματοποιήθηκε με την βοήθεια της λειτουργίας του Network Analyst.



Σχήμα (3.27) : Κατάταξη των ελαιοτριβείων του βορειοδυτικού τμήματος του νομού (Σενάριο 1), με βάση τη μονάδα επεξεργασίας των λυμάτων στην οποία υπάγονται.

3.5 Συμπεράσματα

Στην ενότητα αυτή, επιτεύχθηκε η γεωγραφική τοποθέτηση των μονάδων διαχείρισης των υγρών αποβλήτων από τα ελαιοτριβεία, σε κεντρικό επίπεδο (Σενάριο 1) και σε επίπεδο λεκάνης απορροής (Σενάριο 2). Για την πραγματοποίηση του παραπάνω σκοπού, αναπτύχθηκε η μέθοδος της πολυκριτήριας ανάλυσης αποφάσεων και προσομοίωσης για την κατάταξη τον εναλλακτικών θέσεων από την πλέον προτιμώμενη προς τη λιγότερο προτιμώμενη, βάσει της πολυκριτήριας θεωρίας χρησιμότητας. Αρχικά, επιλέχθηκαν 8 υποκριτήρια, τα οποία αναφέρονται σε τρεις καθοριστικές παραμέτρους για την επιλογή της βέλτιστης θέσης (θέση γειτνιάζουσα με χείμαρρο μη μόνιμης ροής (f), θέση γειτνιάζουσα με το υπάρχον οδικό δίκτυο (n) και θέση που υπέρκειται αδιαπέρατου εδαφικού υποστρώματος (g)). Τα επιλεγμένα υποκριτήρια μελετήθηκαν για διαφορετικές βαθμολογίες και διαφορετικές ομάδες συντελεστών βαρύτητας (τρεις διαφορετικές βαθμονομήσεις), αποσκοπώντας στον εντοπισμό των βέλτιστων εναλλακτικών θέσεων και στην εκτίμηση του βαθμού ευαισθησίας των αποτελεσμάτων της ανάλυσης. Οι 10.000 προσομοιώσεις ανέδειξαν την 1η βαθμονόμηση (w_1=0,5 , w_2=0,2 , w_3=0,3 για τις παραμέτρους f, g και n αντίστοιχα) ως τη λιγότερο «ευαίσθητη» στις μεταβολές των βαθμολογιών των υποκριτηρίων αξιολόγησης και τις εναλλακτικές a12 και a14-a18 ως τις πλέον προτιμώμενες θέσεις.

Επιπρόσθετα, πραγματοποιήθηκε η ακριβής γεωγραφική απεικόνιση των θέσεων αυτών στο Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών, μέσω της εφαρμογής της πολυκριτήριας ανάλυσης αποφάσεων για την 1η βαθμονόμηση και βαθμολόγηση (3,6,9, για τις παραμέτρους f, g , n αντίστοιχα), αφού προηγουμένως εκτιμήθηκαν οι περιοχές αυτές στις οποίες δεν επιτρέπεται η εγκατάσταση μονάδων επεξεργασίας αποβλήτων (Σχήμα 3.20). Ουσιαστικά, κάθε παράμετρος (f, g, n) μεταφράστηκε σε απεικόνιση στο περιβάλλον του Arc Map, με τη μορφή πινακωτής επιφάνειας και στη συνέχεια εφαρμόστηκε η προσθετική συνάρτηση χρησιμότητας μέσω της λειτουργίας του Raster Calculator, όπου αποδόθηκαν και οι αντίστοιχοι συντελεστές βαρύτητας. Από την γεωγραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων της θεωρίας χρησιμότητας (Σχήμα 3.21), εξάγεται το συμπέρασμα ότι οι βέλτιστες θέσεις, αυτές δηλαδή που συγκεντρώνουν τιμή μερικής χρησιμότητας >7,0 , είναι περιορισμένες. Ωστόσο ο μικρός αριθμός των βέλτιστων περιοχών διευκολύνει την διαδικασία ανεύρεσης των πιθανών θέσεων εγκατάστασης, σε συνδυασμό με την γεωγραφική διασπορά των ελαιοτριβείων σε όλη την έκταση του νομού (Σχήμα 3.22). Ακολούθως, η εφαρμογή του αλγορίθμου «Dijkstra», μέσω της λειτουργίας του Network Analyst στο Arc Gis, όχι μόνο ανέδειξε τη βέλτιστη πορεία των βυτιοφόρων οχημάτων για τη μεταφορά των λυμάτων στις κεντρικές μονάδες επεξεργασίας (Σχήμα 3.26), αλλά συνέβαλε επίσης στην κατάταξη των ελαιοτριβείων ανά μονάδα διαχείρισης των αποβλήτων τους (Σχήμα 3.27).

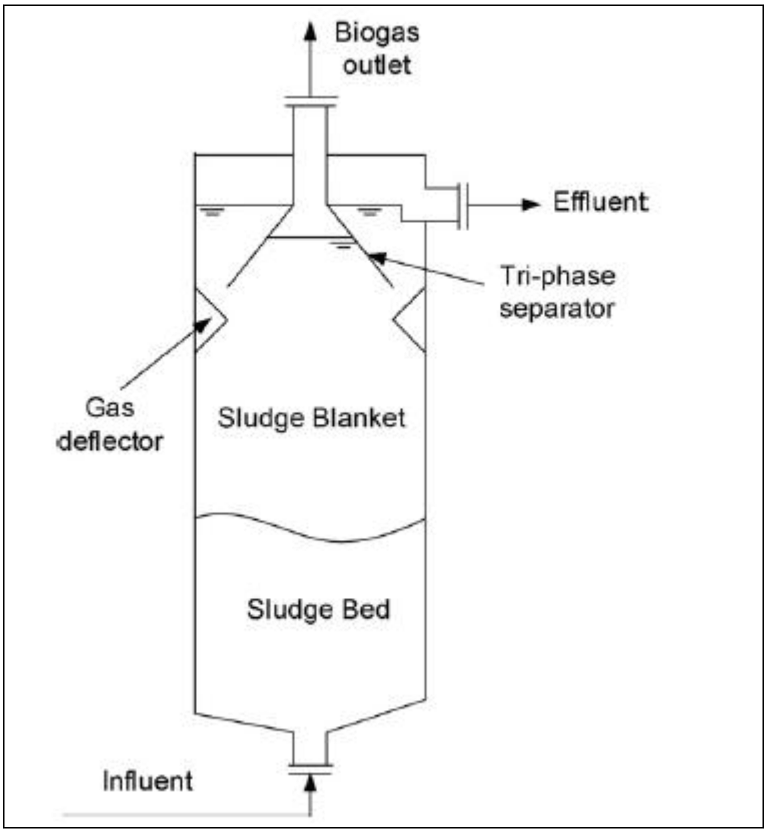
Οι μεθοδολογίες που ακολουθήθηκαν στις αντίστοιχες παραγράφους και βασίστηκαν σε βιβλιογραφικά στοιχεία και υποκειμενικά κριτήρια, δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα στο στάδιο της προμελέτης. Η πλήρης εφαρμογή των μεθοδολογιών, σε μελετητικό στάδιο, απαιτεί τη συμπλήρωση ή και ανανέωση των υπαρχόντων δεδομένων και αποτελεσμάτων. Συγκεκριμένα, όσον αφορά στην επιλογή των βέλτιστων θέσεων προς εγκατάσταση των μονάδων, όπως επίσης και των βέλτιστων διαδρομών μεταφοράς λυμάτων, συνιστάται ο εμπλουτισμός των κριτηρίων αξιολόγησης που χρησιμοποιήθηκαν, είτε από τη βιβλιογραφία, είτε από επιτόπου μετρήσεις, είτε συνδυασμός αυτών.

4. ΑΝΑΠΤΥΞΗ 1^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ

4.1 Κατασκευαστικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά ενός UASB αντιδραστήρα.

Για την αναερόβια χώνευση των υγρών αποβλήτων από τα ελαιοτριβεία, επιλέγεται ο αντιδραστήρας τύπου UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket- αναερόβια κλίνη ιλύος ανοδικής ροής), ο οποίος συγκεντρώνει τα περισσότερα πλεονεκτήματα, όσον αφορά στην επεξεργασία των λυμάτων υψηλού οργανικού φορτίου [1,11,12,24,25]. Ο αντιδραστήρας UASB ανήκει στην κατηγορία των χωνευτών Υψηλού Ρυθμού-δυο βαθμίδων (High-Rate Digester-Two stage), στο εσωτερικό των οποίων πραγματοποιείται αναερόβια χώνευση σε όλο τον όγκο, καθώς το αντιδρόν μίγμα υπόκειται σε ανάδευση. Ως αποτέλεσμα, οι χρόνοι παραμονής και κατ’ επέκταση ο όγκος του αντιδραστήρα μειώνονται. Το είδος αυτό του αντιδραστήρα είναι κατάλληλο για συνεχή λειτουργία χωρίς ανακύκλωση [10].

Σύμφωνα με τη σχηματική απεικόνιση (Σχήμα 4.1), η δεξαμενή UASB αποτελείται από μία πυκνή κλίνη ιλύος με αυξημένη μικροβιακή δραστηριότητα, μέσα από την οποία διέρχονται τα λύματα και βιοαποδομούνται από τους αναερόβιους μικροοργανισμούς. Η ανοδική ροή σε συνδυασμό με τη δύναμη της βαρύτητας έχουν ως αποτέλεσμα την αιώρηση της κλίνης. Κατά τη διάρκεια της διεργασίας, σχηματίζονται μικροί κόκκοι ιλύος (διαμέτρου 1-4 mm) σε συσσωμάτωση με τα βακτήρια, οι οποίοι παρουσιάζουν χαρακτηριστικά καθίζησης και παρασύρονται από την εκροή του συστήματος. Η αναερόβια αποδόμηση του οργανικού φορτίου που λαμβάνει χώρα στην κλίνη ιλύος έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή βιοαερίου (μεθάνιο, διοξείδιο του άνθρακα). Η ανύψωση των αερίων στην επιφάνεια της δεξαμενής αναμιγνύει ικανοποιητικά το περιεχόμενό της. Η διατήρηση της ενεργούς ιλύος στο εσωτερικό της δεξαμενής, με τη μορφή είτε κόκκων είτε φλόκκων, επιτρέπει την καλή επεξεργασία των λυμάτων σε υψηλούς ρυθμούς οργανικής φόρτισης. Η υψηλή συγκέντρωση ιλύος είναι μία από τις πιο σημαντικές συνθήκες στη διεργασία του αντιδραστήρα UASB. Όσο μεγαλύτερη είναι η διαθέσιμη ιλύς, τόσο καλύτερη η αποδόμηση του οργανικού φορτίου [25].



Σχήμα (4.1) : Κάθετη διατομή ενός αντιδραστήρα UASB.[9]

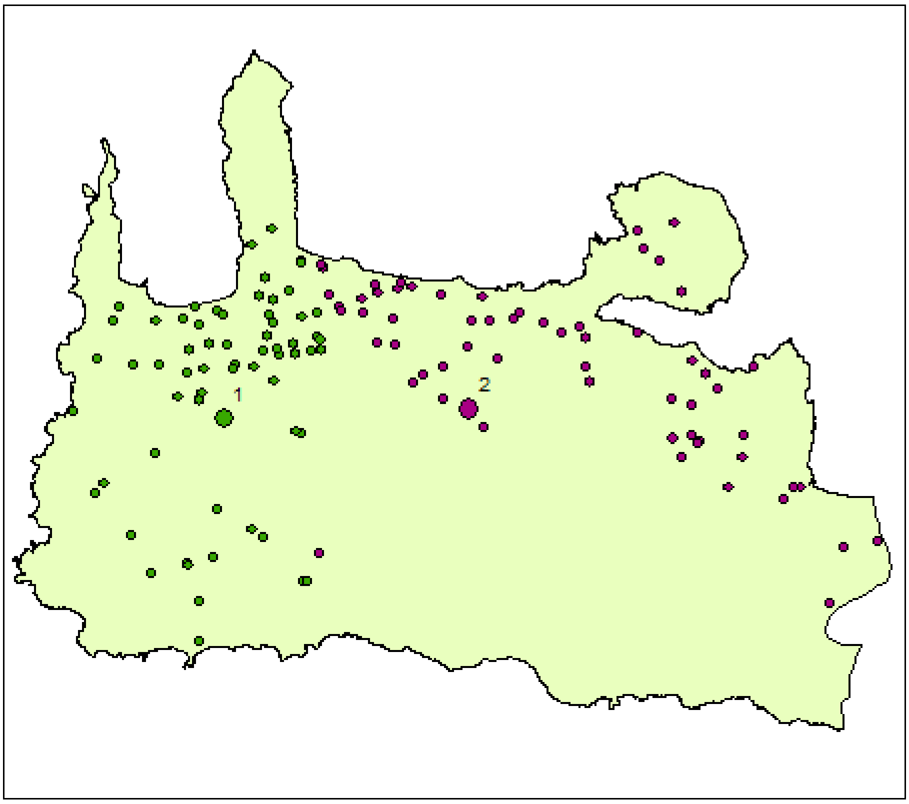
Η επιλογή του συγκεκριμένου αντιδραστήρα στηρίζεται σε αντικειμενικά περιβαλλοντικά και οικονομικά κριτήρια, τα σημαντικότερα εκ των οποίων είναι:

- Χαμηλή παραγωγή σταθεροποιημένης λάσπης.
- Υψηλή απόδοση επεξεργασίας (μέχρι και 85% απομάκρυνση του BOD και των αιωρούμενων σωματιδίων SS).
- Απαίτηση μικρών ποσοτήτων ενέργειας, κυρίως για τη θέρμανση του αντιδραστήρα και τη λειτουργία της αντλίας τροφοδοσίας.
- Χαμηλό κεφάλαιο επένδυσης (100$/m^3) και μειωμένο λειτουργικό κόστος για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών.
- Δυνατότητα ανάκτησης ενέργειας με τη μορφή μεθανίου(0,35-0,50 m^3 μεθάνιο / kg COD που απομακρύνεται).

Ωστόσο, ένα μειονέκτημα, που πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά το σχεδιασμό μιας μονάδας επεξεργασίας των OMWW, είναι ο χρόνος προσαρμογής που απαιτείται κατά την πρώτη εκκίνηση του αντιδραστήρα (2-3 μήνες) για την ανάπτυξη των βακτηριδίων [25].

4.2 Υπολογισμός της ημερήσιας παροχής λυμάτων ανά μονάδα επεξεργασίας

Μετά την ολοκλήρωση της βελτιστοποίησης της πορείας μεταφοράς των OMWW στις δύο κεντρικές μονάδες, Σχήμα 3.25, τα ελαιοτριβεία της βορειοδυτικής πλευράς του νομού κατατάσσονται με βάση τη μονάδα επεξεργασίας στην οποία θα μεταφερθούν τα λύματά τους, Σχήμα 4.2.



Σχήμα (4.2) : Κατάταξη των ελαιοτριβείων με βάση την αντίστοιχη μονάδα επεξεργασίας.

Για το σχεδιασμό του υβριδικού συστήματος επεξεργασίας των OMWW (αναερόβια χώνευση+ τεχνητός υγροβιότοπος), είναι αναγκαίος ο υπολογισμός της ημερήσιας παροχής λυμάτων ανά μονάδα επεξεργασίας. Τα στατιστικά στοιχεία των υγρών αποβλήτων για κάθε μονάδα δίνονται από την αντίστοιχη λειτουργία του Arc Gis «Statistics» από τον πίνακα γνωρισμάτων των ελαιοτριβείων.

Πίνακας (4.1) : Υπολογισμός στατιστικών στοιχείων της μέσης τιμής των παραγόμενων λυμάτων για μετρήσεις τριών ετών. Η περίοδος λειτουργίας των ελαιοτριβείων είναι 100 ημέρες.

Μονάδα επεξεργασίας	**Αριθμός ελαιοτριβείων**	**Μέση τιμή υγρών αποβλήτων για τρία διαφορετικά έτη, για περίοδο λειτουργίας 100 ημερών (m^3/yr)**				
		Ελάχιστη τιμή	*Μέγιστη τιμή*	*Άθροισμα*	*Μέση τιμή*	*Τυπική απόκλιση*
1	64	32	3.685	**84.654**	1.323	730
2	61	36	2.762	**63.760**	1.045	686
Σύνολο	125	-	-	**148.414**	-	-

Η ημερήσια παροχή λυμάτων ανά μονάδα επεξεργασίας είναι :

Για τη μονάδα επεξεργασίας N^o 1 : Q_1= 84654/100 → Q_1= 846,54 m^3/day

Για τη μονάδα επεξεργασίας N^o 2 : Q_2=63760/100 → Q_2= 637,60 m^3/day

Η διαστασιολόγηση των βασικών στοιχείων της μονάδας επεξεργασίας πραγματοποιείται για δύο διαφορετικούς όγκους αποβλήτων (αραιωμένων και μη), βάσει της βιβλιογραφίας [12,24], και τα αποτελέσματα συγκρίνονται μεταξύ τους για την επιλογή της βέλτιστης λύσης, ανάλογα το συνολικό κόστος (οικονομικό και περιβαλλοντικό) της εκάστοτε εγκατάστασης.

4.3 Σχεδιασμός του αντιδραστήρα αναερόβιας χώνευσης με βάση την οργανική φόρτιση

4.3.1 Υπολογισμός του όγκου V δεξαμενής για αραιωμένα απόβλητα

Ο σημαντικότερος παράγοντας που καθορίζει τα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά μιας δεξαμενής είναι η φόρτιση (loading), καθώς απόβλητα με υψηλό οργανικό φορτίο ή απόβλητα που βιοδιασπώνται εύκολα δεν έχουν την ίδια επίδραση στο σχεδιασμό, όπως απόβλητα με χαμηλό οργανικό φορτίο ή αυτά που δεν υφίστανται εύκολα αναερόβια χώνευση [10].

Ο υπολογισμός του υδραυλικού χρόνου παραμονής και του όγκου της δεξαμενής στηρίζεται σε πειραματικά αποτελέσματα ενός πιλοτικού UASB αντιδραστήρα για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων από τα ελαιοτριβεία [24] .

Τα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά του πιλοτικού αντιδραστήρα είναι :

- Οργανική φόρτιση : 16 kgCOD/m^{3}day
- Αρχικό οργανικό φορτίο : 13 kgCOD$_0$/m^3
- Υδραυλικός χρόνος παραμονής HRT : 20h
- Απόδοση επεξεργασίας : 70 % απομάκρυνση COD και BOD
- Οργανικό φορτίο στην εκροή : 3,9 kgCOD$_F$/m^3

Από τις παραπάνω τιμές εξάγεται το συμπέρασμα πως η διαστασιολόγηση της δεξαμενής πραγματοποιείται για αραιωμένα απόβλητα (με λόγο αραίωσης 1:3 έως 1:13), καθώς οι μετρήσεις του οργανικού φορτίου COD κυμαίνονται μεταξύ των τιμών 40-170 kg/m^3 [1]. Για μία μέση τιμή οργανικού φορτίου της τάξης των 100 kgCOD/m^3 και μία μέση τιμή αραίωσης 1:8, η αραιωμένη ημερήσια παροχή των υγρών αποβλήτων από τα ελαιοτριβεία είναι : 6772,32 m^3/day και 5100,8 m^3/day για τις μονάδες επεξεργασίας 1 και 2, αντίστοιχα.

Σύμφωνα με την εξίσωση για τον υπολογισμό του όγκου της δεξαμενής ισχύει [10]:

$$\text{Υδραυλικός χρόνος παραμονής } (HRT) = \frac{\text{Ογκος αντιδραστήρα } (V)}{\text{Παροχή λυμάτων } (Q)} \rightarrow$$

$$\rightarrow V = HRT \times Q$$

$$V_1 = 20\left(\frac{h}{day}\right) \times \frac{6772{,}32 \times (1{,}2) m^3}{\frac{24h}{day}} \rightarrow V_1 = 6772{,}32\ m^3$$

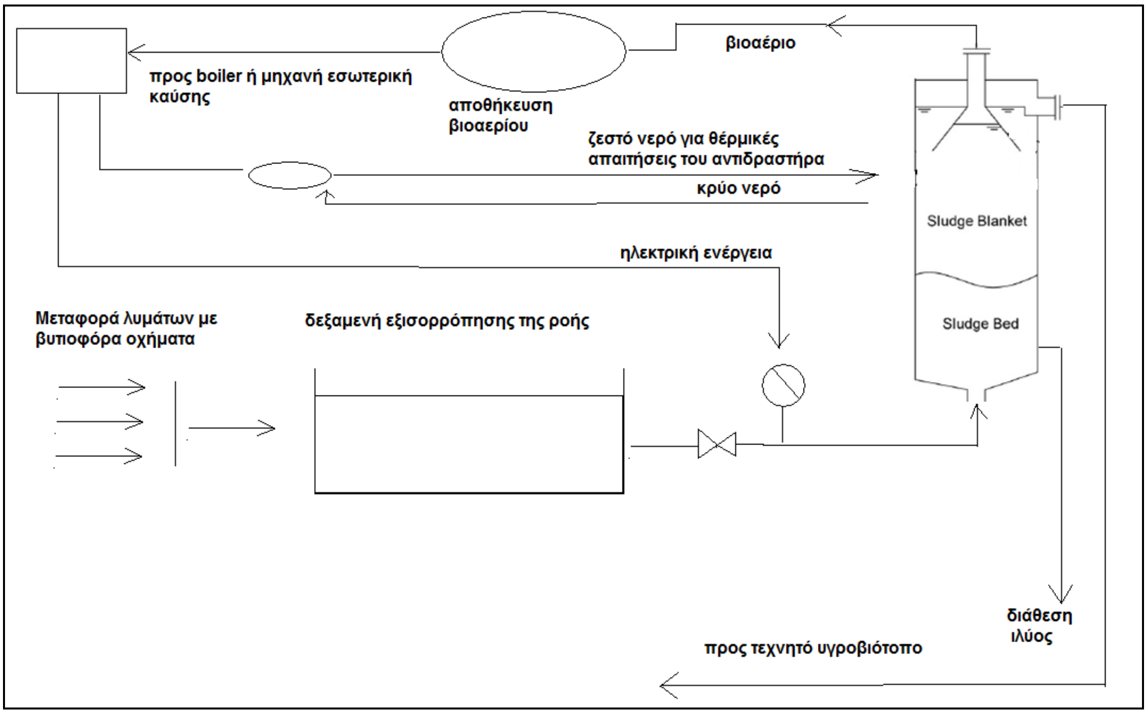
$$V_2 = 20\left(\frac{h}{day}\right) \times \frac{5100{,}8 \times (1{,}2) m^3}{\frac{24h}{day}} \rightarrow V_2 = 5100{,}72\ m^3$$

Όπου η τιμή 1,2 αναφέρεται στο συντελεστή ασφαλείας προς αποφυγή υπερχείλισης, σε περίπτωση τυχαίας αύξησης της ημερήσιας παροχής.

Προτείνεται η κατασκευή **2 παράλληλων δεξαμενών** με όγκο **$V_1 \approx 3390\ m^3$** (με D_1= 19m, H_1= 14m κεντρικό ύψος και H_2=11m ύψος τοιχωμάτων**)** και **V_2= 2550 m^3** (με D_1=18m, H_1=12m και H_2=9m) έκαστη, με σκοπό την απρόσκοπτη επεξεργασία των λυμάτων σε περίπτωση διακοπής της λειτουργίας της μίας δεξαμενής για τεχνικούς λόγους ή λόγους συντήρησης.

Οι υπολογισμοί αναφέρονται σε ένα ***συνεχές σύστημα*** αναερόβιας χώνευσης ***χωρίς επανακυκλοφορία*** της ιλύος, μετά την πάροδο τεσσάρων εβδομάδων προσαρμογής των μικροοργανισμών. Επιπλέον, η λειτουργία του αντιδραστήρα UASB λαμβάνει χώρα στη ***μεσόφιλη*** θερμοκρασιακή κλίμακα (35-37 ^oC) [24]. Οι σχετικά υψηλές θερμοκρασίες αυξάνουν τους ρυθμούς ανάπτυξης των βακτηριδίων, με αποτέλεσμα να μειώνεται η απαιτούμενος χρόνος παραμονής τους στον αντιδραστήρα με παράλληλη μείωση του απαιτούμενου όγκου. Επιπρόσθετα, μειώνεται ο πληθυσμός των παθογόνων μικροοργανισμών.

Στο παρακάτω σχήμα αποτυπώνεται το διάγραμμα ροής της εγκατάστασης αναερόβιας χώνευσης των υγρών αποβλήτων από τα ελαιοτριβεία, σχήμα 4.3



Σχήμα (4.3) : Διάγραμμα ροής τη μονάδας αναερόβιας χώνευσης των υγρών αποβλήτων από τα ελαιοτριβεία.

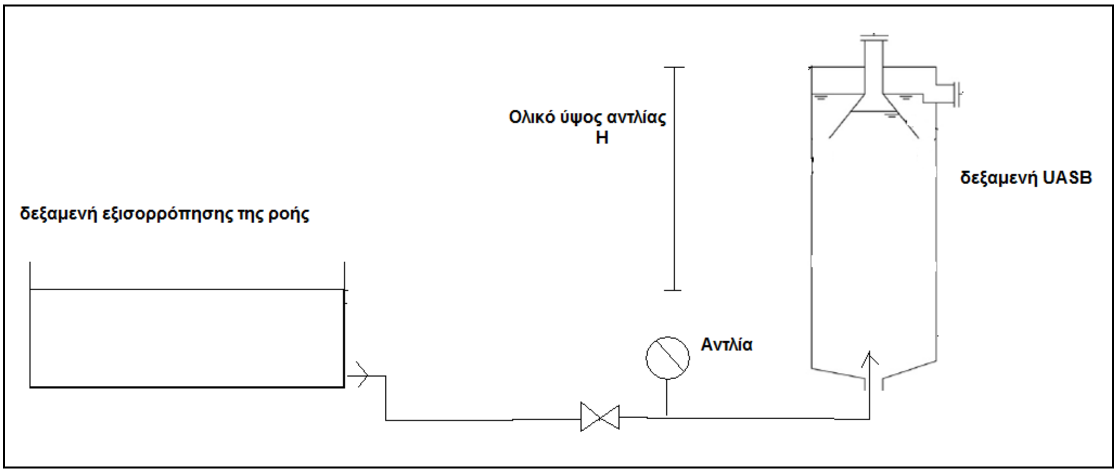
4.3.2 Διαστασιολόγηση δεξαμενής σε μη αραιωμένα απόβλητα

Για τη συγκριτική αξιολόγηση της αναερόβιας χώνευσης σε αραιωμένα και μη αραιωμένα υγρά απόβλητα των ελαιουργείων, πραγματοποιήθηκε μια προμέτρηση του απαιτούμενου όγκου αντιδραστήρα UASB για OMWW με οργανικό φορτίο της τάξης των 117,7CODkg/m^3 [12]. Ο ρυθμός της οργανικής φόρτισης είναι παρόμοιος (11kgCOD/m^3.day), αλλά ο υδραυλικός χρόνος παραμονής σταθεροποιείται στις 10,7d, μετά την προσαρμοστική περίοδο διάρκειας 23 ημερών. Οι αντίστοιχοι συνολικοί όγκοι για κάθε μονάδα, για μη αραιωμένα απόβλητα (Q_1=846,54m^3/d και Q_2=637,60m^3/d), είναι **$V_{1,1}$=10.870/2=5435m^3** (H_1=14m, H_2=11m και D=43m) και **$V_{1,2}$=8.190/2=4095m^3** (H_1=14m, H_2=11m και D=37m), έναντι 3390 m^3 και 2550 m^3 για αραιωμένα απόβλητα (με λόγο αραίωσης 1:8). Επιπλέον, στην δεύτερη εφαρμογή [12], ο μέσος ρυθμός απόδοσης της διεργασίας είναι 80% απομάκρυνση του COD (>70% της πρώτης εφαρμογής [24]). Ωστόσο, το τελικό COD παραμένει υψηλό ($COD_{τελ}$≈24kg/m^3), με αποτέλεσμα να δυσχεραίνεται η μετέπειτα διεργασία που λαμβάνει χώρα στον τεχνητό υγροβιότοπο.

4.3.3 Σχεδιασμός της αντλητικής εγκατάστασης

Στον αντιδραστήρα ανοδικής ροής, η χρήση αντλίας είναι αναγκαία για την επίτευξη της επιθυμητής κατάθλιψης και την αντιμετώπιση της μανομετρικής διαφοράς ύψους μεταξύ του σημείου εισόδου των λυμάτων και της στάθμης της δεξαμενής, σχήμα 4.1. Ο σχεδιασμός της αντλητικής εγκατάστασης πραγματοποιείται για τον τελικό υπολογισμό της απαιτούμενης ισχύος της αντλίας και της αντίστοιχης κατανάλωσης ενέργειας. Αξίζει να αναφερθεί ότι, στη μονάδα αναερόβιας χώνευσης, η οποία έχει περιορισμένες ενεργειακές απαιτήσεις, το κόστος λειτουργίας της αντλίας τροφοδοσίας των λυμάτων συνιστά σημαντικό παράγοντα στον γενικότερο σχεδιασμό. Αντιθέτως, ο σχεδιασμός της μονάδας ηλεκτροχημικής οξείδωσης (παράγραφος), στην οποία το λειτουργικό κόστος της οξείδωσης είναι, κατά πολύ, πολλαπλάσιο του αντίστοιχου κόστους άντλησης, υπολείπεται τέτοιου είδους υπολογισμών.

Παρακάτω, στο σχήμα 4.4 δίνεται σχηματικά η αντλητική εγκατάσταση, στην οποία η αντλία αντλεί τα λύματα από την δεξαμενή εξισορρόπησης ροής (δεξαμενή αναρρόφησης) και τα καταθλίβει στη δεξαμενή UASB (δεξαμενή κατάθλιψης).



Σχήμα (4.4) : Σχηματική διάταξη της αντλητικής εγκατάστασης.

Στο στάδιο της προμελέτης, επειδή η ακριβής θέση των δύο δεξαμενών και η μεταξύ τους απόσταση είναι απροσδιόριστος παράγοντας, θεωρείται ότι το ολικό ύψος αντλίας ισούται με το ολικό ύψος του αναερόβιου αντιδραστήρα (≥14m).

Η επιλογή της αντλίας πραγματοποιείται σύμφωνα με τα διάγραμμα τυποποιημένων μονοβάθμιων φυγόκεντρων αντλιών και της αντίστοιχης χαρακτηριστικής καμπύλης [26]. Η απαιτούμενη ισχύ υπολογίζεται βάσει της παρακάτω εξίσωσης [26].

$$n = \frac{N_i}{N} = \frac{\gamma H Q}{N} \rightarrow N = \frac{\gamma H Q}{n}$$

Όπου

- n : ο ολικός βαθμός απόδοσης της αντλίας
- N_i : η θεωρητική ισχύς (W)
- N : η πραγματική ισχύς λόγω απωλειών (W)
- γ : ειδικό βάρος του υγρού = ρ.g
- H : πραγματικό ολικό ύψος της αντλίας (m)
- Q : η παροχή όγκου του υγρού (m^3/h ή m^3/sec)

Προσδιορισμός ισχύος για την άντληση των αραιωμένων αποβλήτων

Η παροχή σχεδιασμού για κάθε δεξαμενή είναι Q_1= 141,09m^3/h και Q_2= 106,26m^3/h για τις μονάδες 1 και 2 αντίστοιχα. Από το διάγραμμα τυποποιημένων αντλιών [26], επιλέγεται το ολικό ύψος αντλίας, H_1=20m και H_2=15m (14m) για τις αντίστοιχες παροχές. Από την παραπάνω εξίσωση, για βαθμό απόδοσης n=0,75 [26] και μέση πυκνότητα λυμάτων ίση με 1050kg/m^3 [1], **η απαιτούμενη ισχύς για κάθε αντλία είναι N_1= 11,445KW και N_2= 6,867KW για τις μονάδες 1 και 2 αντίστοιχα.** Επομένως, η ολική κατανάλωση ενέργειας για περίοδο λειτουργίας 100 ημερών είναι 11,445(KW) × 24(h/d) × 100(d/yr) × 2(αριθμός αντλιών/μονάδα) = **54.936KWh** και 6,867(KW) × 24(h/d) × 100(d/yr) × 2(αριθμός αντλιών/μονάδα) = **32.962KWh** για τις μονάδες 1 και 2 αντίστοιχα.

Προσδιορισμός ισχύος για την άντληση των μη αραιωμένων αποβλήτων

Η παροχή σχεδιασμού για κάθε δεξαμενή είναι Q_1= 17,6m^3/h και Q_2= 13,3m^3/h για τις μονάδες 1 και 2 αντίστοιχα. Από το διάγραμμα τυποποιημένων αντλιών [26], επιλέγεται το ολικό ύψος αντλίας, H_1= H_2=14m για τις αντίστοιχες παροχές. Από την παραπάνω εξίσωση, για βαθμό απόδοσης n=0,75 [26] και μέση πυκνότητα λυμάτων ίση με 1050kg/m^3 [1], **η απαιτούμενη ισχύς για κάθε αντλία είναι N_1= 940W και N_2= 710,3W για τις μονάδες 1 και 2 αντίστοιχα.** Επομένως, η ολική κατανάλωση ενέργειας για περίοδο λειτουργίας 100 ημερών ανέρχεται στις **4.512KWh** και **3.410KWh** για τις μονάδες 1 και 2 αντίστοιχα.

4.3.4 Ρύθμιση της αναερόβιας χώνευσης

Κατά την εκκίνηση του αντιδραστήρα UASB, ανά περίοδο λειτουργίας, παρουσιάζονται προβλήματα αστάθειας και χαμηλής αποδοτικότητας, με αποτέλεσμα να είναι αναγκαία μια περίοδος προσαρμογής για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών. Στα αναερόβια συστήματα, ο χρόνος προσαρμογής μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με την δημιουργία κατάλληλων συνθηκών για τη μεγιστοποίηση του ρυθμού ανάπτυξης των μεθανογενών βακτηριδίων. Ο πιο απλός τρόπος για την επίτευξη του παραπάνω σκοπού, είναι η αραίωση των λυμάτων, κατά την οποία η συγκέντρωση των πτητικών οξέων μειώνεται σε τέτοιο βαθμό που να μην εμποδίζει την ανάπτυξη των μεθανογενών βακτηριδίων. Επιπλέον, η αραίωση είναι ευεργετική καθώς, αυξάνοντας το υδραυλικό φορτίο, ασκεί επιλεκτική πίεση στην καθιζάνουσα ιλύ, ενισχύοντας έτσι το σχηματισμό συμπαγής λυματολάσπης. Ακόμη, κατά την εκκίνηση είναι απαραίτητη η αύξηση της συγκέντρωσης του διαθέσιμου αζώτου, με την προσθήκη ουρίας [11,24].

Μία σημαντική παράμετρος ρύθμισης της λειτουργίας του UASB αντιδραστήρα είναι ο έλεγχος της τροφοδοσίας και της οργανικής φόρτισης. Αυξομειώσεις στη συχνότητα τροφοδοσίας, παροχή και οργανική φόρτιση μπορεί να οδηγήσουν σε αστάθεια του αντιδραστήρα. Η χρήση μιας δεξαμενής εξισορρόπησης της ροής και ο συχνός έλεγχος του περιεχόμενου οργανικού φορτίου των λυμάτων συνιστούν μια αποδοτική λύση. Επίσης, η ρύθμιση της τροφοδοσίας δύναται να αποτρέψει το σχηματισμό αφρού στην επιφάνεια της δεξαμενής. Ο έλεγχος του αφρισμού μπορεί να επιτευχθεί και με την κατάλληλη ρύθμιση του συστήματος θέρμανσης ώστε να αποφεύγονται οι θερμοκρασιακές διακυμάνσεις πάνω από 2 ^oC [10].

Τέλος, κατά τη διάρκεια λειτουργίας του αντιδραστήρα και σε τακτά χρονικά διαστήματα πρέπει να πραγματοποιείται απομάκρυνση της χωνευμένης ιλύος και του υπερκείμενου υγρού, σύμφωνα με το εγχειρίδιο του εκάστοτε αντιδραστήρα [10].

4.4 Ανάπτυξη του τεχνητού υγροβιότοπου

Η ανάπτυξη ενός τεχνητού υγροβιότοπου, ως δεύτερο στάδιο επεξεργασίας, είναι αναγκαία για την απορρύπανση των λυμάτων κάτω από τα όρια των δεικτών ρύπανσης, σύμφωνα με την Προεδρική Διάταξη 1180/81, όπου ανώτατη μέση τιμή 24ώρου = 1,2 kgCOD/m^3 ή 0,8kg BOD_5/m^3, (Πίνακας 2.3).

Στην παρούσα μελέτη αναλύεται και εφαρμόζεται ο τεχνητός υγροβιότοπος υποεπιφανειακής ροής (SFS). Τα συστήματα τύπου SFS σχεδιάζονται με σκοπό την επίτευξη δευτεροβάθμιας η προωθημένης επεξεργασίας και αναπτύσσονται μέσα σε κανάλια η τάφρους με σχετικά στεγανούς πυθμένες, που περιέχουν άμμο ή άλλα γήινα μέσα υποστήριξης της αναπτυσσόμενης φυτικής βλάστησης [1,15].

Παρακάτω παρουσιάζονται περιληπτικά τα τυπικά χαρακτηριστικά του σχεδιασμού ενός υγροβιότοπου SFS

Πίνακας (4.2) : Τυπικά χαρακτηριστικά σχεδιαστικών παραμέτρων ενός συστήματος τεχνητού υγροβιότοπου τύπου SFS [18]

Χαρακτηριστικά	**Σύστημα υγροβιότοπου SFS**
Τεχνική εφαρμογής	Καταιονισμός ή επιφανειακά
Ρυθμός εφαρμογή φορτίου BOD_5	11kg/στρ.day
Ταχύτητα υδραυλικού φορτίου	15-50 m^3/στρ.day
Απαιτούμενη επιφάνεια	19,20-66,3 στρ./($10^3 m^3$/d)
Τύπος εδάφους	Αργιλώδη με αδιαπέρατες στρώσεις
Κλίση	Συνήθως < 5%
Βάθος εδάφους	≤0,6m
Συγκομιδή φυτικής βλάστησης	Δεν απαιτείται

Θα εξεταστούν δύο περιπτώσεις, οι οποίες αναφέρονται σε αραιωμένα [24] και μη αραιωμένα [12] απόβλητα :

4.4.1 Σχεδιασμός ενός συστήματος SFS για αραιωμένα απόβλητα

Ο προσδιορισμός των βασικών παραμέτρων σχεδιασμού ενός συστήματος υγροβιότοπων τύπου SFS πραγματοποιείται βάσει των παρακάτω δεδομένων :

- Εισροή C_0, BOD_5 =3,9×0,75(λόγος COD/BOD_5)=2,9kg/m^3
- Εκροή C_e, BOD_5=0,8 kg/m^3
- Παροχή Q_1=6772,32m^3/d και Q_2=5100,8m^3/d για τις μονάδες 1 και 2 αντίστοιχα.

- Ελάχιστη θερμοκρασία νερού =8^{o}C.
- Υπόστρωμα λεκάνης : χαλικώδης άμμος
- Κλίση λεκάνης : 0,04
- Βάθος λεκάνης : 0,6m

Σύμφωνα με την κατάταξη κατά US.EPA,1988 [15], η χαλικώδης άμμος ως τύπος υποστρώματος συγκεντρώνει τα εξής χαρακτηριστικά: πορώδες α=0,35, Υδραυλική αγωγιμότητα $K=499{,}87m^3/m^2.d$ και σταθερά $K_{20}=0{,}86$

Ο προσδιορισμός του χρόνου κράτησης t' , γίνεται με την εξίσωση κινητικής πρώτης τάξης :

$$t' = \frac{-\ln\left(\frac{C_0}{C_e}\right)}{K_T} = 4{,}77d$$

,όπου $K_T= K_{20}1{,}10^{(T-20)}$, με T την θερμοκρασία νερού (8^{o}C)

Ο προσδιορισμός της επιφάνειας κάθετα στην κατεύθυνση της ροής, As, υπολογίζεται βάσει του Νόμου του Darcy :

$$A_{s1} = \frac{Q}{KS} = 340 \; και \; A_{s2} = 255m^2 \; για \; τις \; μονάδες \; 1 \; και \; 2 \; αντίστοιχα$$

Το πλάτος της λεκάνης, για βάθος λεκάνης ίσο με 0,6m , ισούται με W_1= 567m και W_2=425m

Ο προσδιορισμός του μήκους της λεκάνης, πραγματοποιείται σύμφωνα με την εξίσωση του θεωρητικού χρόνου κράτησης πορώδους, βασιζόμενη στο πορώδες του μέσου :

$$L = \frac{t'Q}{Wd\alpha} => L_1 = 271m \; και \; L_2 = 273m$$

Άρα η απαιτούμενη έκταση είναι $A_1=L_1.W_1$ → **A_1= 154 στρ**. και $A_2=L_2.W_2$ → **A_2=116 στρ**. για τις μονάδες 1 και 2 αντίστοιχα.

- Έλεγχος της ταχύτητας του υδραυλικού φορτίου:

$$L_{w1} = \frac{Q}{LW} = 44\frac{m^3}{στρ.day} = L_{w2} < 50\frac{m^3}{στρ.day}$$

4.4.2 Σχεδιασμός ενός συστήματος SFS για μη αραιωμένα απόβλητα

Οι παράμετροι παραμένουν ίδιες με την διαφορά ότι το οργανικό φορτίο της εκροής είναι C_0= BOD_5 =24×0,75(λόγος COD/BOD_5)=18kg/m^3 και η παροχή της εκροής της αναερόβιας χώνευσης ισούται με Q_1=846,54m^3/d και Q_2=637,60m^3/d

Άρα οι απαιτούμενες εκτάσεις για κάθε μονάδα είναι A_1= L_1.W_1=(662m)×(70m)➔ **A_1=47 στρ**.

Και A_2= L_2.W_2=(655m)×(53,3m)➔ **A_2=35 στρ. ,** με το χρόνο κράτησης πορώδους να φτάνει τις 11,5d.

Η ταχύτητα του υδραυλικού φορτίου είναι εντός των ορίων :

$15<L_{w1}= L_{w2}= 18{,}28(m^3/\text{στρ.d})<50$

4.5 Εκτίμηση συνολικού κόστους για τις μονάδες αναερόβιας χώνευσης

Το κόστος κατασκευής και λειτουργίας του τεχνητού υγροβιότοπου είναι κατά πολύ μικρότερο από το αντίστοιχο κόστος της εγκατάστασης μιας μονάδας αναερόβιας χώνευσης. Για το λόγο αυτό, ο υπολογισμός του κόστους του υβριδικού συστήματος επεξεργασίας περιορίζεται αποκλειστικά στην εκτίμηση του κατασκευαστικού και λειτουργικού κόστους του αναερόβιου αντιδραστήρα.

Η ολική επένδυση κεφαλαίου, συνίσταται από την επένδυση πάγιου κεφαλαίου (π.χ. κόστος φυσικού εξοπλισμού και εγκαταστάσεων της μονάδας) και από το κεφάλαιο κίνησης (π.χ. μισθοί, διαθέσιμες πρώτες ύλες κ.α.). Το συνολικό κόστος, το οποίο περιλαμβάνει το κόστος επένδυσης και λειτουργίας, υπολογίζεται σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση [13]:

$$\text{Συνολικό Κόστος} = \frac{I \times \text{Συντελεστής Απόδοσης Επένδυσης}}{Q} + \text{Λειτουργικό Κόστος}$$

Και ο συντελεστής απόδοσης της επένδυσης υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{Συντελεστής Απόδοσης Επένδυσης} = \frac{r(1+r)^N}{(1+r)^N - 1}$$

όπου r : το επιτόκιο = 6%

και N : ο χρόνος χρήσιμης ζωής για τη μονάδα (N= 15 χρόνια για την αναερόβια χώνευση).

Το κόστος λειτουργίας αναφέρεται στη κάλυψη κυρίως των ενεργειακών αναγκών για την θέρμανση του αντιδραστήρα και τη λειτουργία της αντλίας τροφοδοσίας των λυμάτων.

Η προμέτρηση του κόστους πραγματοποιείται για τις δύο κατηγορίες αποβλήτων (αραιωμένων και μη) για κάθε μονάδα αναερόβιας χώνευσης ξεχωριστά.

4.5.1 Πάγιο κεφάλαιο

Το κόστος επένδυσης, για το έτος 2004, ισούται με 100$ ή 77€ ανά m^3 όγκου δεξαμενής [25]. Με χρονική αναγωγή για το εναρκτήριο έτος 2011 το πάγιο κόστος υπολογίζεται ίσο με

$$K_{2011} = K_{2004}(1+\pi)^n = 94{,}7€/m^3 \delta\varepsilon\xi\alpha\mu\varepsilon\nu ής$$

,όπου π ο πληθωρισμός = 3%
n = η χρονική διαφορά παλαιάς και παρούσας αξίας, yr
K_{2011}= παρούσα αξία (2011), €
K_{2004}= παλαιά αξία (2004), €

<u>Επεξεργασία αραιωμένων αποβλήτων</u>

Το κόστος πάγιου κεφαλαίου για την εγκατάσταση 2×2 δεξαμενών τύπου UASB ισούται με 321.033€ και 241.485€ ανά δεξαμενή και ανά μονάδα επεξεργασίας 1 και 2 αντίστοιχα ή 1.125.036€ για το σύνολο των μονάδων. Το αντίστοιχο ετήσιο κόστος, με το συντελεστή απόδοσης επένδυσης να ισούται με 0,103, υπολογίζεται ίσο με 33.067€/yr και 24.873€/yr ανά δεξαμενή και ανά μονάδα επεξεργασίας 1 και 2 αντίστοιχα. Συνεπώς, το συνολικό κόστος του πάγιου κεφαλαίου και για τις δύο μονάδες ανέρχεται στην τιμή των 115.800€/yr ή 1,55€/m^3 επεξεργασμένου αποβλήτου. Ο όγκος των λυμάτων αναφέρεται στην ετήσια παραγωγή υγρών αποβλήτων από το σύνολο των ελαιοτριβείων του 1^{ου} Σεναρίου (84.654+63.760=148.414m^3/yr).

<u>Επεξεργασία μη αραιωμένων αποβλήτων</u>

Το κόστος πάγιου κεφαλαίου για την εγκατάσταση 2×2 δεξαμενών τύπου UASB ισούται με 514.695€ και 387.797€ ανά δεξαμενή και ανά μονάδα επεξεργασίας 1 και 2 αντίστοιχα ή 1.804.984€ για το σύνολο των μονάδων. Το αντίστοιχο ετήσιο κόστος, με το συντελεστή απόδοσης επένδυσης να ισούται με 0,103, υπολογίζεται ίσο με 53.014€/yr και 39.943€/yr ανά δεξαμενή και ανά μονάδα επεξεργασίας 1 και 2 αντίστοιχα. Συνεπώς, το συνολικό κόστος του πάγιου κεφαλαίου και για τις δύο μονάδες ανέρχεται στην τιμή των 185.913€/yr ή 2,50€/m^3 επεξεργασμένου αποβλήτου. Ο όγκος των λυμάτων αναφέρεται στην ετήσια παραγωγή υγρών αποβλήτων από το σύνολο των ελαιοτριβείων του 1ου Σεναρίου (84.654+63.760=148.414m^3/yr).

4.5.2 Ενεργειακές απαιτήσεις για την άντληση των λυμάτων.

Άντληση αραιωμένων λυμάτων

Οι απαιτήσεις της αντλίας σε ηλεκτρική ενέργεια για κάθε αντλία ξεχωριστά, με βάση την ισχύ της κάθε αντλίας, για περίοδο λειτουργίας 100 ημέρες, ανέρχονται σε **54.936KWh** και **32.962KWh** για τις μονάδες 1 και 2 αντίστοιχα.

Άντληση μη αραιωμένων λυμάτων

Οι απαιτήσεις της αντλίας σε ηλεκτρική ενέργεια για κάθε αντλία ξεχωριστά, με βάση την ισχύ της κάθε αντλίας, για περίοδο λειτουργίας 100 ημέρες, ανέρχονται σε **4.512KWh** και **3.410KWh** για τις μονάδες 1 και 2 αντίστοιχα.

4.5.3 Ενεργειακές απαιτήσεις για τη θέρμανση του αντιδραστήρα.

Όπως έχει αναφερθεί , η εν λόγω αναερόβια χώνευση λαμβάνει χώρα σε θερμοκρασίες 35-37 ^oC, με αποτέλεσμα την απαίτηση για παροχή θερμότητας στον αντιδραστήρα. Η ανάγκη αυτή, δύναται να καλυφθεί από την καύση ενός μέρους από το παραγόμενο βιοαέριο.

Οι θερμικές απαιτήσεις της αναερόβιας χώνευσης οφείλονται τόσο στην ανάγκη για αύξηση της θερμοκρασίας των αποβλήτων από το φυσικό τους επίπεδο στη θερμοκρασία αντίδρασης, όσο και στις απώλειες θερμότητας δια μέσου του τοιχώματος, του δαπέδου και της οροφής του χωνευτή.

Οι ενεργειακές απαιτήσεις για τη θέρμανση των αποβλήτων και για την κάλυψη των απωλειών θερμότητας υπολογίστηκαν με βάση τις παρακάτω εξισώσεις [5]:

$q_1 = QpC(\Delta t)$ και $q_2 = UA(\Delta t)$ σε W αντίστοιχα,

όπου

- Q : παροχή των λυμάτων (m^3/d)
- p : πυκνότητα των λυμάτων (kg/m^3)

- C : ειδική θερμότητα των λυμάτων (≈ 4200 J/kg/^{o}C)
- Δt : διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στο αντιδρόν μίγμα και στο ρεύμα εισόδου του αντιδραστήρα, (^{o}C)
- U : ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας (W/m^{2}/^{o}C)
- Α : Το εμβαδό της επιφάνειας δια μέσου της οποίας γίνεται μεταφορά της θερμότητας (m^{2})
- Δt : η διαφορά θερμοκρασίας στις δύο πλευρές της επιφάνειας (^{o}C)

Για τον υπολογισμό των θερμικών απαιτήσεων θεωρήθηκε πως η δεξαμενή κατασκευάζεται από μπετόν, με στερεή οροφή, χωρίς μόνωση και εντός του εδάφους για μερική μόνωση. Επιπλέον, η θερμοκρασία αέρα θεωρήθηκε ίση με 10^{o}C, η θερμοκρασία εδάφους δίπλα στα τοιχώματα ίση με 12^{o}C και η θερμοκρασία εδάφους κάτω από το δάπεδο ίση με 15^{o}C.

<u>Θέρμανση αραιωμένων λυμάτων</u>

Σύμφωνα με την παραπάνω εξίσωση, οι απώλειες θερμότητας για τις μονάδες 1 και 2 αντίστοιχα είναι :
$q_{2,1}$= 45,123KW και $q_{2,2}$= 39,496KW, ενώ η θερμαντική απαίτηση των λυμάτων είναι $q_{1,1}$= 3456,7KW και $q_{1,2}$= 2603,5KW ανά δεξαμενή αναερόβιας χώνευσης.

Η συνολική ισχύς είναι :
q_{1}= 3502KW και q_{2}= 2643KW ανά δεξαμενή και ανά μονάδα αναερόβιας χώνευσης.

Η ολική κατανάλωση ενέργειας σε ετήσια βάση (για περίοδο λειτουργίας 100 ημέρες) είναι :
3502(KW)×24(h/d)×100(d/yr)×2(δεξαμενές/μονάδα)=**16.809.600KWh** και 2643(KW)×24(h/d)×100(d/yr)×2(δεξαμενές/μονάδα)=**12.686.400KWh** ανά μονάδα επεξεργασίας.

Η θερμικές απαιτήσεις μπορούν να καλυφθούν με την θερμική αξία του παραγόμενου μεθανίου. Σύμφωνα με την βιβλιογραφία [24], η ποσότητα του παραγόμενου μεθανίου αγγίζει την τιμή των 6m^{3} ανά όγκο αντιδραστήρα ημερησίως, μετά την περίοδο προσαρμογής. Το ποσοστό του μεθανίου στο βιοαέριο καταλαμβάνει μια μέση τιμή της τάξης του 70%, ενώ η αντίστοιχη θερμική αξία του μεθανίου είναι 35.800KJ/m^{3} παραγόμενου μεθανίου [5]. Επομένως, η ημερήσια παραγόμενη ποσότητα μεθανίου από τη λειτουργία των δύο δεξαμενών, είναι 28.476m^{3}/d και 21.420m^{3}/d για τις μονάδες 1 και 2 αντίστοιχα.

Η υπολογιζόμενη θερμική αξία της ημερήσιας παραγόμενης ποσότητας μεθανίου είναι q_{ch4},1= 1.019.440.800J/day (=11.800KW) και q_{ch4},2= 766.836.000KJ/day (=8.875KW) ανά μονάδα επεξεργασίας.

Το συνολικό ενεργειακό περιεχόμενο του μεθανίου σε περίοδο παραγωγής 100 ημερών είναι **28.320.000KWh και 21.300.000KWh**

Παρατηρείται πως η θερμική αξία του παραγόμενου μεθανίου είναι ικανή να καλύψει, όχι μόνο τις ενεργειακές απαιτήσεις του αντιδραστήρα για την θέρμανση των αποβλήτων στη θερμοκρασία των 35-37^{o}C και την απώλεια θερμότητας από τα τοιχώματα, αλλά και τις ενεργειακές απαιτήσεις για την άντληση των λυμάτων. Το ενεργειακό ισοζύγιο είναι θετικό, βάσει της παρακάτω εξίσωσης:

- Μονάδα (1) : Ενεργειακό Ισοζύγιο = Προσφορά Ενέργειας – Ζήτηση Ενέργειας ➔Ε.Ι.=28.320.000-16.809.600-54.936➔**Ε.Ι.=11.455.464KWh πλεόνασμα ενέργειας**

- Μονάδα (2) : Ενεργειακό Ισοζύγιο = Προσφορά Ενέργειας – Ζήτηση Ενέργειας ➔Ε.Ι.=21.300.000-12.686.400-32.962➔**Ε.Ι.=8.580.638KWh πλεόνασμα ενέργειας**

<u>Θέρμανση μη αραιωμένων λυμάτων</u>

Σύμφωνα με την εξίσωση οι απώλειες θερμότητας για τις μονάδες 1 και 2 αντίστοιχα είναι :
$q_{2,1}$= 204,406KW και $q_{2,2}$= 153,854KW ενώ η θερμαντική απαίτηση των λυμάτων είναι $q_{1,1}$= 432,1KW και $q_{1,2}$= 325,5KW ανά δεξαμενή αναερόβιας χώνευσης.

Η συνολική ισχύς είναι :
q_1= 636,506KW και q_2= 479,354KW ανά δεξαμενή και ανά μονάδα αναερόβιας χώνευσης.

Η ολική κατανάλωση ενέργειας σε ετήσια βάση (για περίοδο λειτουργίας 100 ημέρες) είναι :
3.055.229KWh και 2.300.900KWh ανά μονάδα επεξεργασίας.

Η θερμικές απαιτήσεις μπορούν να καλυφθούν με την θερμική αξία του παραγόμενου μεθανίου. Σύμφωνα με την βιβλιογραφία [12], η ποσότητα του παραγόμενου μεθανίου αγγίζει την τιμή των 2,3m^3 ανά όγκο αντιδραστήρα ημερησίως, μετά την περίοδο προσαρμογής. Το ποσοστό του μεθανίου στο βιοαέριο καταλαμβάνει μια μέση τιμή της τάξης του 70%, ενώ η αντίστοιχη θερμική αξία του μεθανίου είναι 35.800KJ/m^3 παραγόμενου μεθανίου [5]. Επομένως, η ημερήσια παραγόμενη ποσότητα μεθανίου από τη λειτουργία των δύο δεξαμενών, είναι 17.501m^3/d και 13.186m^3/d για τις μονάδες 1 και 2 αντίστοιχα.

Η υπολογιζόμενη θερμική αξία της ημερήσιας παραγόμενης ποσότητας μεθανίου είναι q_{ch4},1= 626.535.800KJ/day (=7.252KW) και q_{ch4},2= 472.058.800KJ/day (=5.464KW) ανά μονάδα επεξεργασίας.

Το συνολικό ενεργειακό περιεχόμενο του μεθανίου σε περίοδο παραγωγής 100 ημερών είναι **17.404.800KWh και 13.113.600KWh.**

Παρατηρείται πως η θερμική αξία του παραγόμενου μεθανίου είναι ικανή να καλύψει, όχι μόνο τις ενεργειακές απαιτήσεις του αντιδραστήρα για την θέρμανση των αποβλήτων στη θερμοκρασία των 35-37^{o}C και την απώλεια θερμότητας από τα τοιχώματα, αλλά και τις ενεργειακές απαιτήσεις για την άντληση των λυμάτων. Το ενεργειακό ισοζύγιο είναι θετικό, βάσει της παρακάτω εξίσωσης:

- Μονάδα (1) : Ενεργειακό Ισοζύγιο = Προσφορά Ενέργειας – Ζήτηση Ενέργειας ➔Ε.Ι.= 17.404.800-3.055.229-4.512➔**Ε.Ι.=14.345.059KWh πλεόνασμα ενέργειας**
- Μονάδα (2) : Ενεργειακό Ισοζύγιο = Προσφορά Ενέργειας – Ζήτηση Ενέργειας ➔Ε.Ι.= 13.113.600-2.300.900-3.410➔**Ε.Ι.=10.809.290KWh πλεόνασμα ενέργειας**

4.6 Συνοπτικά αποτελέσματα διαστασιολόγησης

Στην ενότητα αυτή, εξετάστηκε η εγκατάσταση δύο μονάδων αναερόβιας χώνευσης σε συνδυασμό με ένα σύστημα τεχνητού υγροβιότοπου για των περαιτέρω επεξεργασία της εκροής, για δύο διαφορετικές θέσεις στο νομό Χανίων. Τα αποτελέσματα της διαστασιολόγησης υποδεικνύουν την κατασκευή δύο δεξαμενών τύπου UASB σε κάθε μονάδα επεξεργασίας. Η μεθοδολογία αναπτύχθηκε για δύο διαφορετικούς όγκους λυμάτων, αραιωμένων και μη, σύμφωνα με τις επιταγές της βιβλιογραφίας [24] και [12] αντίστοιχα. Τα τεχνικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά της κάθε μονάδας, όπως επίσης και η ανάλυση του κόστους επένδυσης, παρουσιάζονται συνοπτικά στους παρακάτω πίνακες (4.3 , 4.4) για την καλύτερη συγκριτική αξιολόγηση των δύο διαφορετικών περιπτώσεων.

Πίνακας (4.3) : Τεχνικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά της κάθε μονάδας επεξεργασίας για δύο περιπτώσεις λυμάτων (αραιωμένων και μη)

Λειτουργία		Μονάδα 1		Μονάδα 2	
	Ανά δύο δεξαμενές	**Αραιωμένα OMWW [25]**	**Μη αραιωμένα OMWW [13]**	**Αραιωμένα OMWW [25]**	**Μη αραιωμένα OMWW [13]**
Αναερόβια χώνευση	**COD εισροής (kg/m^3)**	13	117,7	13	117,7
	COD εξόδου (kg/m^3)	3,9	24	3,9	24
	Q (m^3/yr)	677.232	84.654	510.080	63.760
	Q (m^3/day)	6.772	847	5.101	638
	HRT	20h	10,7d	20h	10,7d
	Όγκος δεξαμενής (m^3)	2×3.390	2×5.435	2×2.550	2×4.095
Τεχνητός Υγροβιότοπος	**Έκταση (στρ.)**	154	47	116	35
Ενεργειακές Απαιτήσεις (KWh)	**Άντληση**	54.936	4.512	32.962	3.410
	Θέρμανση λυμάτων	16.809.600	3.055.229	12.686.400	2.300.900
	Παραγωγή μεθανίου	28.320.000	17.404.800	21.300.000	13.113.600
	Ενεργειακό Ισοζύγιο	+11.455.464	+14.345.059	+8.580.638	+10.809.290

Στον υπολογισμό του συνολικού κόστους επένδυσης (Πίνακας 4.4) δεν συμπεριλαμβάνεται το λειτουργικό κόστος για την κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων, εφόσον οι ενεργειακές ανάγκες υπερκαλύπτονται από τη θερμική αξία του παραγόμενου μεθανίου και στις δύο περιπτώσεις. Επιπρόσθετα, η παραγόμενη ποσότητα υγρών αποβλήτων είναι ίδια για τις δύο περιπτώσεις, ανεξάρτητα αν ο αντιδραστήρας επεξεργάζεται αραιωμένα ή μη απόβλητα, και ίση με 84.654m^3/yr και 63.760m^3/yr για τις μονάδες 1 και 2 αντίστοιχα.

Πίνακας(4.4) : Ανάλυση κόστους επένδυσης και λειτουργικού κόστους των δύο μονάδων αναερόβιας χώνευσης, για δύο περιπτώσεις λυμάτων (αραιωμένων και μη)

Είδος Δαπάνης	**Εκτίμηση Δαπάνης**	**Υπολογισμός κόστους**	
		Αραιωμένα απόβλητα [27]	**Μη αραιωμένα [15]**
Πάγιο Κεφάλαιο, I_F (€/yr)	*	2*33.067+2*24.873=115.800	2*53.014+2*39.943=185.915
Κεφάλαιο Κίνησης, I_w (€/yr)	**15% ×I_F**	9.920+7.462=17.382	15.904+11.983=27.887
Ολική Επένδυση Κεφαλαίου, I	**I_F+I_W**	76.054+57.208=133.262	121.932+91.869=213.801
Κόστος Λειτουργίας I_E (€/yr)	**Άντληση**	0	0
	Θέρμανση	0	0
Συνολικό Κόστος (€/yr)	**I+ I_E**	**133.262**	**213.801**
Συνολικό Κόστος (€/m^3)	*	**1,80**	**2,88**

*Η εκτίμηση κόστους περιγράφεται αναλυτικά στο κείμενο

4.7 Συμπεράσματα

Στην ενότητα αυτή ολοκληρώθηκε ο σχεδιασμός δύο κεντρικών μονάδων αναερόβιας χώνευσης των υγρών αποβλήτων από τα ελαιοτριβεία του νομού Χανίων, πλην των 3 ελαιοτριβείων της περιοχής Σφακίων. Επιλέχτηκε η αναερόβια χώνευση ως η κατάλληλη μέθοδος για την αποδόμηση του οργανικού φορτίου των λυμάτων, μέσω της χρήσης του αντιδραστήρα UASB, σε συνδυασμό με ένα σύστημα τεχνητού υγροβιότοπου, τύπου SFS, για τη μείωση των δεικτών ρύπανσης κάτω από τα ανώτερα όρια, σύμφωνα με το Π.Δ 1180/81, Πίνακας 2.3. Η μεθοδολογία της διαστασιολόγησης και της προμέτρησης του κόστους επένδυσης, αναπτύσσεται για δύο διαφορετικούς όγκους λυμάτων (με αραίωση ή μη). Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα της διαστασιολόγησης, όπως παρουσιάζονται στους πίνακες 4.3 και 4.4, υποδεικνύουν την υπεροχή της 2ης μεθόδου επεξεργασίας (των μη αραιωμένων λυμάτων), έναντι της 1ης μεθόδου, αν και το κόστος επένδυσης της 1ης μεθόδου είναι μικρότερο (1,80€/m^3 έναντι 2,88€/m^3) . Η υπεροχή έγκειται κυρίως στο περιβαλλοντικό κόστος, καθώς οι απαιτούμενες εκτάσεις για την ανάπτυξη του τεχνητού υγροβιότοπου είναι μικρότερες στην περίπτωση των μη αραιωμένων λυμάτων (47 και 35 στρ. έναντι 154 και 116 στρ. για τις μονάδες 1 και 2 αντίστοιχα). Επιπλέον, ο μικρότερος όγκος των αποβλήτων μειώνει τον όγκο της δεξαμενής εξισορρόπησης της ροής και εκμηδενίζει τον όγκο του νερού αραίωσης, το κόστος των οποίων δεν συνυπολογίστηκε στο συνολικό κόστος. Αξίζει να σημειωθεί πως, ο υπολογισμός του συνολικού κόστους δεν αναφέρεται σε ολόκληρη την εγκατάσταση της μονάδας επεξεργασίας, καθώς δεν συμπεριλαμβάνονται το κόστος αγοράς και λειτουργίας των βυτιοφόρων οχημάτων, το κόστος του εργατικού προσωπικού, το κόστος της κατασκευής και λειτουργίας των δεξαμενών εξισορρόπησης ροής, τα έξοδα συντήρησης και επισκευής κ.α. Σε γενικές γραμμές, όμως, η εν λόγω ανάλυση παρουσιάζει μια ενδεικτική εικόνα της τάξης μεγέθους του κόστους επένδυσης ανά κυβικό μέτρο επεξεργασμένων αποβλήτων.

Επιπρόσθετα, από την καταγραφή των αποτελεσμάτων στον πίνακα 4.3, εξάγεται το συμπέρασμα ότι το Ενεργειακό Ισοζύγιο, και στις δύο περιπτώσεις λυμάτων, είναι πλεονασματικό, λόγω της παραγόμενης ποσότητας μεθανίου, και ικανό να καλύψει και τις υπόλοιπες ενεργειακές απαιτήσεις του συνολικού συστήματος, οι οποίες έγκεινται στην άντληση των επεξεργασμένων λυμάτων της εκροής του αναερόβιου αντιδραστήρα για την τροφοδοσία του τεχνητού υγροβιότοπου, στη λειτουργία της δεξαμενής εξισορρόπησης και στη λειτουργία όλων των διατάξεων και συσκευών που χρησιμοποιούνται σε όλη την εγκατάσταση. Είναι αξιοσημείωτο το γεγονός ότι το πλεόνασμα της ενέργειας στην περίπτωση των μη αραιωμένων λυμάτων (πίνακας 4.3), είναι μεγαλύτερο από ό, τι στην περίπτωση των αραιωμένων λυμάτων (14,3 εκατ. KWh έναντι 11,5 εκατ. KWh και 10,8 εκατ. KWh έναντι 8,6 εκατ. KWh για τις μονάδες 1 και 2 αντίστοιχα). Η διαφορά αυτή οφείλεται στις, συγκριτικά, μεγαλύτερες ενεργειακές απαιτήσεις για τη θέρμανση των αραιωμένων λυμάτων.

Η απόδοση του ενεργειακού περιεχομένου του μεθανίου είναι εφικτή με τη χρήση μηχανών εσωτερικής καύσης για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή ως καύσιμο σε λέβητες (boilers). Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στην ασφάλεια των εγκαταστάσεων αποθήκευσης, καθώς υπάρχει ο κίνδυνος ανάμιξης του μεθανίου με τον αέρα (λόγω διαφυγής του μεθανίου στον αέρα ή εισροής του αέρα στον αντιδραστήρα), με αποτέλεσμα τη δημιουργία εκρηκτικών μιγμάτων. Η συσκευή που χρησιμοποιείται για αυτόν τον σκοπό είναι μια παγίδα νερού.

5. ΑΝΑΠΤΥΞΗ $2^{ΟΥ}$ ΣΕΝΑΡΙΟΥ

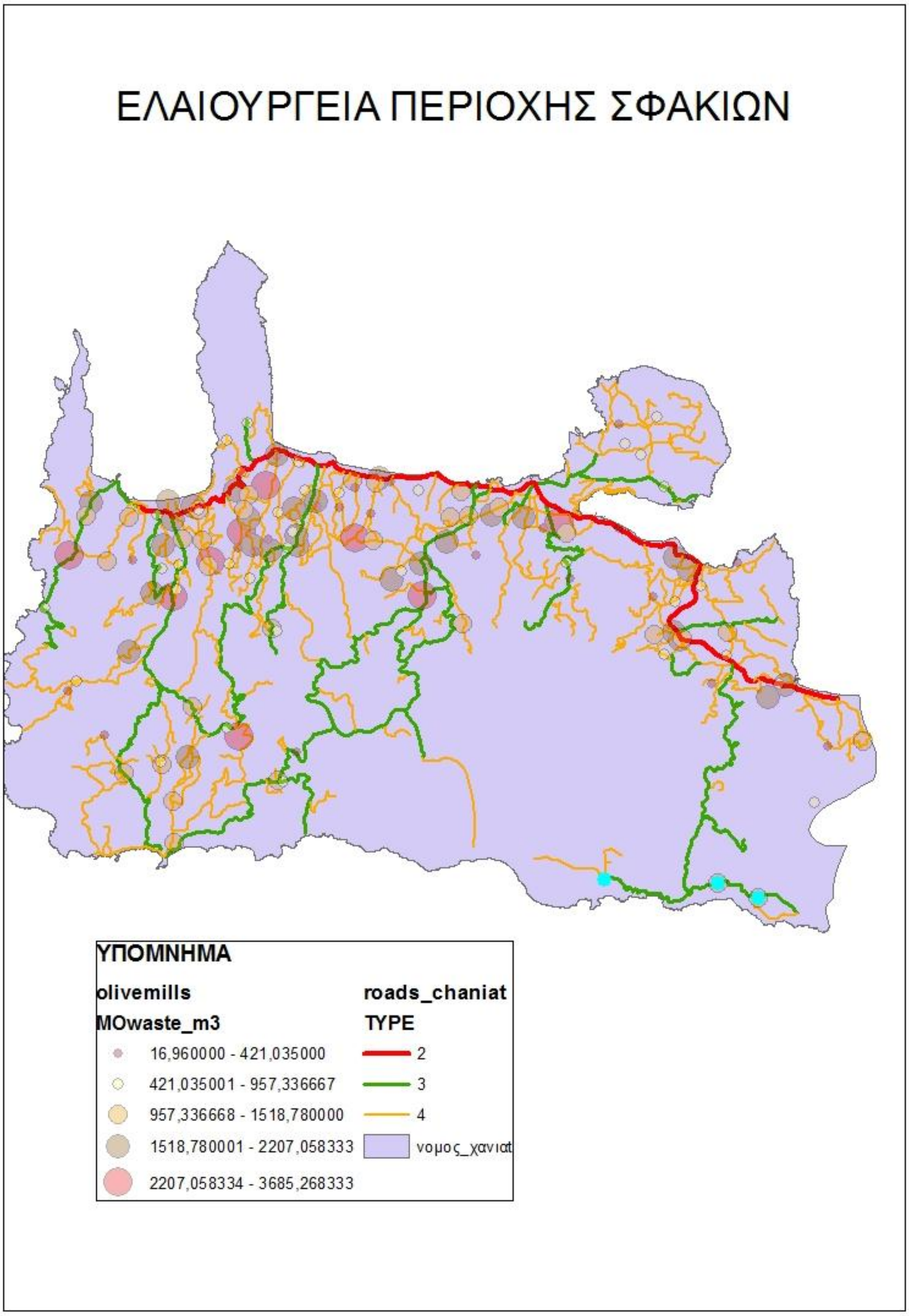
5.1 Γενικά

Το νοτιοανατολικό τμήμα του νομού Χανίων, στην περιοχή Σφακίων, λόγω της γεωγραφικής του απομόνωσης, απαιτεί ξεχωριστή αντιμετώπιση σε επίπεδο λεκάνης απορροής. Τα ελαιοτριβεία και οι αντίστοιχες ποσότητες των υγρών αποβλήτων τους, απεικονίζονται στο σχήμα 5.1 και στον πίνακα 5.1 αντίστοιχα.

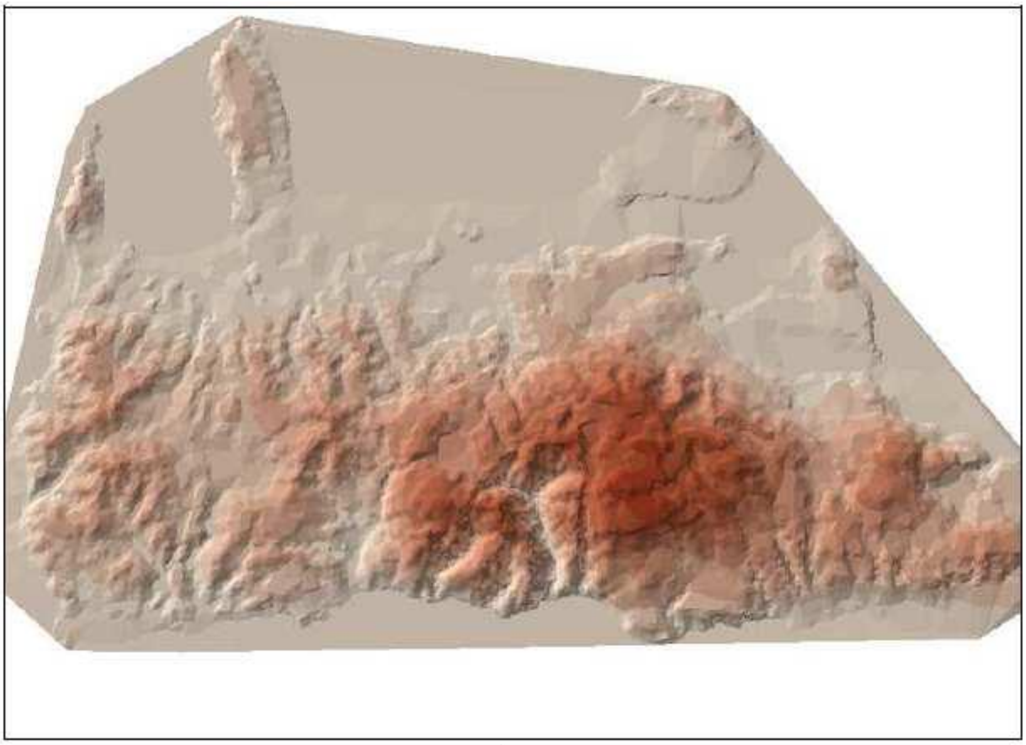
Πίνακας (5.1) : Όγκος υγρών αποβλήτων (m^3) από τα ελαιοτριβεία της περιοχής των Σφακίων

Θέση	**Μέσος όγκος λυμάτων (m^3)**		
	Ανά ελαιοκομική περίοδο (100 ημερών)	Ανά ημέρα	
122	200,	2,0	ελαιοτριβεία περιοχής Σφακίων
123	1508	15,0	
124	1234	12,5	
Σύνολο	**2942**	**29,5**	

Παρατηρείται πως η θέση των ελαιοτριβείων βρίσκεται κοντά στη δευτερεύουσα οδό του οδικού δικτύου (πράσινη γραμμή), γεγονός που διευκολύνει την μεταφορά των λυμάτων στη μονάδα επεξεργασίας. Ωστόσο, τα εν λόγω ελαιοτριβεία συνορεύουν με το σύνολο των ελαιοτριβείων μέσω μίας μοναδικής οδικής αρτηρίας (Χανίων-Σφακίων), λόγω του μεγάλου ορεινού όγκου των Λευκών Ορέων, ο οποίος αναπτύσσεται νοτιοανατολικά του νομού, όπως απεικονίζεται και στο σχήμα 5.2.



Σχήμα (5.1) : Απεικόνιση της γεωγραφικής θέσης των ελαιοτριβείων στην περιοχή των Σφακίων.



Σχήμα (5.2) : Απεικόνιση των υψομετρικών διαβαθμίσεων στο νομό Χανίων. Η σκούρα χρωματική διαβάθμιση αναφέρεται στον ορεινό όγκο των Λευκών Ορέων.

Ο μικρός όγκος των λυμάτων, ο οποίος φτάνει τα 2942 m^3 ετησίως, συγκριτικά με το συνολικό όγκο σε επίπεδο νομού, ο οποίος αγγίζει την τιμή των 145.067 m^3 ετησίως, σε συνδυασμό με τη γεωγραφική θέση των ελαιοτριβείων και την περιορισμένη περίοδο λειτουργίας τους (100 ημέρες), ευνοούν την εγκατάσταση μίας αποκεντρωμένης υβριδικής μονάδας επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων από τα ελαιοτριβεία, η οποία θα στηρίζεται στην ανάπτυξη ενός τεχνητού υγροβιότοπου και μιας μονάδας ηλεκτροχημικής οξείδωσης, με τη χρήση ηλεκτροδίων διαμαντιού εμπλουτισμένου με βόριο (BDD). Στις επόμενες παραγράφους, εξετάζονται δύο εναλλακτικά σχέδια επεξεργασίας με σκοπό τη συγκριτική αξιολόγηση αυτών. Το πρώτο αναφέρεται στη χρήση του τεχνητού υγροβιότοπου ως πρώτο στάδιο επεξεργασίας και της ηλεκτρόλυσης ως δεύτερο [30], ενώ στο δεύτερο σχέδιο η πορεία αντιστρέφεται [13, 15]. Επιπλέον, θα εξεταστεί το ενδεχόμενο παροχής ηλεκτρικού ρεύματος στη μονάδα ηλεκτροχημικής οξείδωσης, του πρώτου σχεδίου, από ένα εγκατεστημένο σύστημα Φωτοβολταϊκών πανελών, καλύπτοντας ένα μέρος των ενεργειακών της απαιτήσεων [28].

5.2 Ανάπτυξη του πρώτου υβριδικού συστήματος επεξεργασίας

Ο σχεδιασμός της μονάδας επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων από τα ελαιοτριβεία στην περιοχή Σφακίων, στηρίζεται στην αντίστοιχη πιλοτική μονάδα που κατασκευάστηκε για τα απόβλητα ενός πυρηνελαιουργείου του νομού Χανίων και η οποία αποτελείται από έναν τεχνητό υγροβιότοπο κάθετης ροής και μία μονάδα ηλεκτροχημικής οξείδωσης με την χρήση ηλεκτροδίων

BDD [30]. Τα υγρά απόβλητα των πυρηνελαιουργείων έχουν τη μορφή στραγγισμάτων, που παράγονται κατά την αποθήκευση του ελαιοπολτού σε ανοιχτές δεξαμενές, πριν το στάδιο της παραγωγής του πυρηνέλαιου και του πυρήνα, ενός στερεού υπολείμματος που χρησιμοποιείται ως καύσιμο. Τα υγρά απόβλητα των πυρηνελαιουργείων συγκεντρώνουν παρόμοια φυσικοχημικά χαρακτηριστικά με τα υγρά απόβλητα των ελαιοτριβείων, με αποτέλεσμα οι λειτουργικές παράμετροι που βελτιστοποιούν τις παραπάνω διεργασίες και το συνδυασμό αυτών, να χρησιμοποιούνται στο σχεδιασμό της αντίστοιχης υβριδικής εγκατάστασης για τα απόβλητα των ελαιοτριβείων.

Οι βέλτιστες παράμετροι, όπως αποτυπώνονται από τα αποτελέσματα της πιλοτικής μονάδας, είναι οι εξής :

Πίνακας (5.2) : Σχεδιαστικές παράμετροι για τη βέλτιστη λειτουργία της υβριδικής μονάδας για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων από τα ελαιοτριβεία [30]

Τεχνητός υγροβιότοπος κάθετης ροής	Χρόνος παραμονής : 3 ημέρες Οργανική φόρτιση μετά το στάδιο προσαρμογής : 15gCOD/m^2.d ή 15kgCOD/στρ.d Απομάκρυνση COD : 86% Απομάκρυνση χρώματος : 77%
Ηλεκτροχημική οξείδωση με χρήση ηλεκτροδίων BDD	Χρόνος επεξεργασίας : 360 min=6h Ένταση ρεύματος : 20A Οργανικό φορτίο εισόδου : 800mgCOD/L ή 0,8kgCOD/m^3 Απομάκρυνση COD : 61% Απομάκρυνση χρώματος : 76% Ε.Κ.Ε (Ειδική Κατανάλωση Ενέργειας : 1KWh/gCOD που απομακρύνεται Δεν προστίθεται ηλεκτρολύτης

5.2.1 Σχεδιασμός του τεχνητού υγροβιότοπου ως πρώτο στάδιο επεξεργασίας

Η ημερήσια παραγωγή αποβλήτων για το σύνολο των τριών ελαιοτριβείων είναι 30m^3 περίπου με μέση τιμή οργανικού φορτίου ίση με 100kg/m^3. Άρα, η ημερήσια παραγωγή οργανικού φορτίου ισούται με 100×30=3000kgCOD/d. Επιπλέον, σύμφωνα με την τιμή της οργανικής φόρτισης του πίνακα 5.2, η οποία λαμβάνει την τιμή 15kgCOD/στρ.d μετά την περίοδο προσαρμογής, υπολογίζεται η απαιτούμενη επιφάνεια του τεχνητού υγροβιότοπου για την βελτιστοποίηση της απόδοσης της διεργασίας (86% απομάκρυνση COD). **Η απαιτούμενη επιφάνεια του τεχνητού υγροβιότοπου** ισούται με 3000(kgCOD/d)/15(kgCOD/στρ.d)=**200στρ**.

Ο προτεινόμενος τεχνητός υγροβιότοπος αποτελείται από τρεις διαδοχικές στρώσεις, με διαβαθμισμένο υλικό πληρώσεως. Η κατώτερη στρώση πληρείται από χοντρό χαλίκι και λειτουργεί ως αποστραγγιστική στρώση, μέσα στην οποία τοποθετείται ο αγωγός αποστράγγισης. Η ανώτερη στρώση, η οποία αποτελείται από λεπτό χαλίκι (<10mm), λειτουργεί ως επιφάνεια υποδοχής των λυμάτων, ενώ η μεσαία στρώση (χαλίκι μεσαίου μεγέθους 10-15mm) λειτουργεί ως πέρασμα των λυμάτων από το ανώτερο στο κατώτερο επίπεδο αποστράγγισης. Το συνολικό πάχος των στρωμάτων ανέρχεται στα 0,60m. Το φυτικό είδος που αναπτύσσεται εντός του υγροβιότοπου είναι οι καλαμιώνες και συγκεκριμένα το είδος Phragmites australis [30].

5.2.3 Σχεδιασμός της μονάδας ηλεκτροχημικής οξείδωσης ως δεύτερο στάδιο επεξεργασίας

Ο σχεδιασμός της μονάδας της ηλεκτροχημικής οξείδωσης και ο υπολογισμός των κατασκευαστικών και λειτουργικών της χαρακτηριστικών βασίζεται στα πειραματικά αποτελέσματα του πιλοτικού αντιδραστήρα ηλεκτρόλυσης με χρήση ηλεκτροδίων BDD, των υγρών αποβλήτων από το πυρηνελαιουργείο, για τις βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας, όπως παρουσιάζεται στον πίνακα 5.2. **Η ημερήσια ποσότητα οργανικού φορτίου** στην είσοδο του αντιδραστήρα ισούται με (0,8kgCOD/m^3)×(30m^3/d)=**24kgCOD/d.** Η συνολική ποσότητα οξειδωμένου οργανικού φορτίου για 61% απόδοση επεξεργασίας, σε ημερήσια βάση, είναι της τάξης των 14,64kgCOD/day ή 14.640gCOD/d. Συνεπώς**, η ημερήσια κατανάλωση ενέργειας** για την ηλεκτρόλυση της παραπάνω ποσότητας οργανικού φορτίου **είναι 1KWh/g×14640g=14.640KWh/d.**

Διαφορετικά :

$$E.K.E = \frac{Pt}{V(COD_0 - COD)},$$

$όπου\ P\ ισχύς\ του\ τροφοδοτικού\ (KW),$

$t : χρόνος\ επεξεργασίας\ (h),$

$V\ όγκος\ του\ αποβλήτου\ (L),$

$COD_0\ COD\ οργανικό\ φορτίο\ πριν\ και\ μετά\ το\ τέλος\ της\ επεξεργασίας\ σε\ g/L$

P=2.440KW

Προτείνεται η κατασκευή **2 παράλληλων δεξαμενών** με όγκο **V_1=V_2= 15 m^3** έκαστη, με σκοπό την απρόσκοπτη επεξεργασία των λυμάτων σε περίπτωση διακοπής της λειτουργίας της μίας δεξαμενής για τεχνικούς λόγους ή λόγους συντήρησης.

5.3 Σχεδιασμός Φωτοβολταϊκού συστήματος για το πρώτο σχέδιο

5.3.1 Γενικά χαρακτηριστικά μιας φωτοβολταϊκής μονάδας

Οι υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις της ηλεκτροχημικής οξείδωσης των υγρών αποβλήτων από τα ελαιοτριβεία, καθιστούν τη μέθοδο μη συμφέρουσα από πλευράς λειτουργικού αλλά και περιβαλλοντικού κόστους, σε μια εποχή όπου τα συμβατικά αποθέματα ενέργειας λιγοστεύουν δραματικά. Η αειφόρος ανάπτυξη και εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όχι μόνο για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, αλλά και σε άλλα παραγωγικά συστήματα, συνιστά μια λύση προσοδοφόρα. Η εξέλιξη της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας θα συμβάλει σημαντικά στη μείωση του λειτουργικού κόστους των παραγωγικών διεργασιών, οι οποίες βασίζονται στην παροχή του ηλεκτρικού ρεύματος από φωτοβολταϊκά πάνελ, καθώς και στον μηδενισμό των αέριων εκπομπών, πχ εκπομπές CO_2, συγκριτικά με τις συμβατικές τεχνολογίες παραγωγής ρεύματος, πχ από ορυκτές πηγές ενέργειας (γαιάνθρακας).

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι ηλεκτρονικές διατάξεις ημιαγωγών (φωτοδιόδων) οι οποίες παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα. Η μετατροπή της φωτοβολταϊκής ενέργειας σε ηλεκτρική βασίζεται στον διαχωρισμό των φορτίων κατά την επαφή μεταξύ δύο υλικών με διαφορετικούς μηχανισμούς αγωγιμότητας. Οι διατάξεις, όπως αυτές που βασίζονται σε υλικά μονοκρυσταλλικού πυριτίου (monocrystalline silicon materials), έχουν την ικανότητα να απορροφούν κλάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας, η οποία προσπίπτει στην επιφάνεια της διάταξης, και να μετατρέπουν τα φωτόνια σε φορτία ηλεκτρικού ρεύματος. [27].

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα που συγκεντρώνει η εφαρμογή της Φ/Β ενέργειας σε μία μονάδα ηλεκτροχημικής οξείδωσης, συνοψίζονται παρακάτω:

- Δεν υπάρχει ανάγκη για συστήματα αποθήκευσης ενέργειας. Οι διεργασίες μπορούν να σχεδιαστούν έτσι ώστε η ηλιακή ακτινοβόληση, αφού μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια, να χρησιμοποιείται άμεσα στην ηλεκτροχημική οξείδωση. Οι Φ/β μονάδες παρουσιάζουν χαμηλό κόστος και ευκολία στη λειτουργία και στην κατασκευή, συγκριτικά με αντίστοιχα ενεργειακά συστήματα.

- Λόγω της άμεσης παροχής του ρεύματος στην μονάδα επεξεργασίας, τα εισρέοντα λύματα μπορούν να υποστούν επεξεργασία σε δεξαμενές συνεχούς λειτουργίας [28].

- Η επένδυση μιας φωτοβολταϊκής μονάδας, συνιστά μια λύση οικονομικά συμφέρουσα και περιβαλλοντικά ακίνδυνη, καθώς μειώνει το λειτουργικό κόστος, λόγω μείωσης της παροχής ηλεκτρικού ρεύματος από τη Δ.Ε.Η, και ελαχιστοποιεί τις εκπομπές ρυπογόνων αερίων. Ο δείκτης κόστους και ο δείκτης ρύπανσης μειώνεται σημαντικά σε μία βιομηχανική μονάδα, η οποία τροφοδοτείται ηλεκτρικά κατά ένα ποσοστό από μια Φ/Β μονάδα [27].

- Μία Φ/Β μονάδα παρουσιάζει ευελιξία στις εφαρμογές, καθώς χρησιμοποιείται είτε αυτόνομα είτε διασυνδεδεμένα με το δίκτυο ηλεκτροδότησης.

Τα οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη που αναφέρθηκαν, αντισταθμίζουν τα μειονεκτήματα που παρουσιάζει μια Φ/Β μονάδα, στα οποία περιλαμβάνονται το υψηλό κόστος πάγιου κεφαλαίου (3.000 €/εγκατεστημένο KW (KWp) ηλεκτρικής ισχύος), η μεγάλη απαίτηση χώρου (7-10 m^2/ KWp εγκατεστημένης ισχύος) και η μικρή απόδοση της μονάδας (10-18%).

5.3.2 Διαστασιολόγηση ενός Φ/Β συστήματος

Η διαστασιολόγηση μιας φωτοβολταϊκής μονάδας βασίζεται στην αξιολόγηση των παρακάτω παραγόντων :

i. Της ποσότητας της ηλιακής ακτινοβόλησης (KWh/m^2) στην υπόψη τοποθεσία, στην επιλεγμένη χρονική περίοδο και για τη βέλτιστη κλίση των συλλεκτών.

ii. Των καθημερινών ενεργειακών απαιτήσεων όλων των ηλεκτρικών συσκευών που θα τροφοδοτηθούν από το Φ/Β σύστημα (KWh/ημέρα).

iii. Της απαιτούμενης συνολικής επιφάνειας ή της συνολικής ισχύος αιχμής των Φ/Β συλλεκτών και του αντίστοιχου πλήθους των τυποποιημένων Φ/Β πλαισίων ή πανέλων,

Εκτίμηση πρώτου παράγοντα (i)

Ο υπολογισμός της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και του ποσοστού μετατροπής αυτής σε ηλεκτρικό ρεύμα, βασίστηκε στο σύστημα φωτοβολταϊκών γεωγραφικών δεδομένων (PVGIS-photovoltaic geographical information system) του Ερευνητικού Κέντρου της ευρωπαϊκής Επιτροπής (Joint Research Centre of the European Commission) [29]. Για την νοτιανατολική περιοχή του νομού, η ετήσια παγκόσμια ακτινοβόληση για τη βέλτιστη γωνία κλίσης των Φ/Β μονάδων (modules), παρουσιάζεται στον πίνακα 5.3.

Πίνακας (5.3) : Ετήσια ηλιακή ακτινοβόληση (KWh/m^3) για την περιοχή των Σφακίων [29]

Ετήσια ηλιακή ακτινοβόληση για την επιλεγμένη τοποθεσία (KWh/m^2)			
	Κλίση των Φ/Β πανελών		
Τιμές	**Οριζόντια**	**Κάθετη**	**Βέλτιστη**
Ελάχιστη	1616	1026	**1763**
Μέση	1644	1047	1794
Μέγιστη	1700	1086	1857

Σχολιασμός :

- *Η βέλτιστη γωνία της κλίσης των φωτοβολταϊκών πάνελ που θα δεχτούν τη μέγιστη ποσότητα της ακτινοβολίας είναι αυτή των 28˚ κατά την διάρκεια του έτους*
- *Επιλέγεται η ελάχιστη τιμή της ετήσιας παγκόσμιας ακτινοβόλησης (1763) στην βέλτιστη θέση των modules, καθώς η χειμερινή περίοδος (περίοδος διαχείρισης των αποβλήτων) εμφανίζει μειωμένη ηλιοφάνεια*

Σε μηνιαία βάση οι τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας αποκλίνουν από τη μέση τιμή, καθώς η ποσότητα ακτινοβόλησης και η βέλτιστη γωνία κλίσης διαφοροποιείται από μήνα σε μήνα, Πίνακας 5.4.

Πίνακας (5.4) : Μέση τιμή της ημερήσιας ηλιακής ακτινοβόλησης στην βέλτιστη γωνία κλίσης των πανελών για κάθε μήνα [29]

Μήνας	Ημερήσια ακτινοβόληση: (Wh/m2/day)	Βέλτιστη κλίση (deg.)
Ιανουάριος	3190	55
Φεβρουάριος	4105	48
Μάρτιος	4975	36
Απρίλιος	6003	23
Μάιος	6364	9
Ιούνιος	6805	2
Ιούλιος	6913	5
Αύγουστος	6723	18
Σεπτέμβριος	6060	33
Οκτώβριος	4793	45
Νοέμβριος	3440	53
Δεκέμβριος	2777	56
Έτος	**5184**	**28**

Παρατηρείται πως την περίοδο λειτουργίας των ελαιοτριβείων (Νοέμβριο έως Φεβρουάριο), η τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας αποκλίνει από την ετήσια μέση τιμή κατά 33.6 , 46.5 , 38.5, και 20.8% για τους αντίστοιχους μήνες. Προτείνεται η εφαρμογή ενός ρυθμιζόμενου άξονα στην βάση της Φ/Β μονάδας για την μεταβολή της κλίσης σε μηνιαία βάση, σύμφωνα με τις τιμές του Πίνακα 5.4.

Εκτίμηση δεύτερου παράγοντα (ii)

Ο παράγοντας (ii), ο οποίος αναφέρεται στις ενεργειακές ανάγκες της ηλεκτρόλυσης των λυμάτων, υπολογίστηκε στην παράγραφο 5.2.3 και ισούται με **14640KWh/day**

Εκτίμηση τρίτου παράγοντα (iii)

Η ηλεκτρική ενέργεια Ε που παράγει ένα πλήθος Φ/Β στοιχείων με συντελεστή απόδοσης η και συνολική επιφάνεια Α(m^2), όταν δεχτεί μία πυκνότητα ηλιακής ακτινοβολίας Π (KWh/m^2), είναι:

$$E = \Pi \times A \times \eta (KWh) \qquad (5.1)$$

Η πυκνότητα της ηλιακής ακτινοβόλησης, Π, θεωρείται ίση με τη μέση τιμή της ηλιακής ακτινοβόλησης για τους τέσσερις μήνες λειτουργίας των ελαιοτριβείων (Νοέμβριος-Φεβρουάριος), σύμφωνα με τον πίνακα 5.5 και υπολογίζεται ίση με 3,4KWh/m^2/d. Οι τιμές του συντελεστή απόδοσης και της επιφάνειας που καταλαμβάνει ένα Φ/Β πάνελ λαμβάνονται ίσες με 13,5% και 1,26m^2 αντίστοιχα, βάσει των λειτουργικών και τεχνικών χαρακτηριστικών του τυποποιημένου Φωτοβολταϊκού στοιχείου BP 3170. Συνεπώς, σύμφωνα με την εξίσωση (5.1), η ηλεκτρική ενέργεια που παράγει ένα Φ/Β στοιχείο με τα υπόψη χαρακτηριστικά είναι :

$$E = 0{,}58 KWh/d$$

Θεωρώντας ότι κατά την διάρκεια της ημέρας η ηλιοφάνεια διαρκεί 5 ώρες**, η ονομαστική ισχύς** Wp του Φ/Β πάνελ ισούται με (580Wh/d)/(5h/d)=**116Wp** για τους χειμερινούς μήνες.

5.3.3 Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Συγκρίνοντας τις τιμές της ενεργειακής ζήτησης *(14.640KWh/day)* για την ηλεκτρόλυση των OMWW και της ενεργειακής προσφοράς από ένα Φ/Β στοιχείο *(0,58KWh/d),* παρατηρείται πως η απόκλιση αυτών είναι τόσο μεγάλη. Συνεπώς, η εγκατάσταση μιας συστοιχίας Φ/Β στοιχείων για την κάλυψη έστω και ενός μέρους των ενεργειακών αναγκών, είναι, όχι μόνο οικονομικά ασύμφορη (3000€/KWp), αλλά και ανέφικτη. Ενδεικτικά αναφέρεται πως, για την κάλυψη όλων των ενεργειακών αναγκών της ηλεκτροχημικής οξείδωσης των υγρών αποβλήτων από τα ελαιοτριβεία, απαιτούνται περίπου 25.000 Φ/Β στοιχεία συνολικής έκτασης 31.500m^2!.

5.4 Ανάπτυξη του δεύτερου υβριδικού συστήματος επεξεργασίας

Το δεύτερο υβριδικό σύστημα επεξεργασίας αναφέρεται στη χρήση της ηλεκτροχημικής οξείδωσης των OMWW ως πρώτο στάδιο επεξεργασίας [13] και του τεχνητού υγροβιότοπου ως δεύτερο στάδιο [15].

5.4.1 Σχεδιασμός της μονάδας ηλεκτροχημικής οξείδωσης ως πρώτο στάδιο επεξεργασίας

Ο σχεδιασμός της μονάδας ηλεκτροχημικής οξείδωσης και ο υπολογισμός των κατασκευαστικών και λειτουργικών της χαρακτηριστικών, βασίζονται στα πειραματικά αποτελέσματα μιας αντίστοιχης πιλοτικής μονάδας, για τις βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας [13].

Πίνακας (5.5) : Σχεδιαστικές παράμετροι για τη βέλτιστη λειτουργία της μονάδας ηλεκτροχημικής οξείδωσης ως πρώτο στάδιο επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων από τα ελαιοτριβεία

Ηλεκτροχημική οξείδωση με χρήση ηλεκτροδίων BDD	Χρόνος επεξεργασίας : 420 min=7h Ένταση ρεύματος : 20A Οργανικό φορτίο εισόδου : 10.000mgCOD_0/L ή 10kgCOD/m^3 Απομάκρυνση COD : 28% Οργανικό φορτίο εκροής : 7.200mgCOD_F/L Ποσότητα αποδομήσιμου COD : 2.800mg/L Ε.Κ.Ε (Ειδική Κατανάλωση Ενέργειας : 0,15KWh/gCOD που απομακρύνεται Προσθήκη ηλεκτρολύτη : 1%w/v Na_2SO_4

Από τις παραπάνω τιμές εξάγεται το συμπέρασμα πως η διαστασιολόγηση της δεξαμενής πραγματοποιείται για αραιωμένα απόβλητα (με λόγο αραίωσης 1:3 έως 1:13), καθώς οι μετρήσεις του οργανικού φορτίου COD κυμαίνονται μεταξύ των τιμών 40-170 g/L [3]. Για μια μέση τιμή οργανικού φορτίου της τάξης των 100gCOD/L και μια μέση τιμή αραίωσης 1:10, **η αραιωμένη παροχή των υγρών αποβλήτων από τα ελαιοτριβεία για περίοδο λειτουργίας 100 ημερών είναι: 29.430m^3/yr ή 294,3m^3/d.**

Η ημερήσια ποσότητα οργανικού φορτίου στην είσοδο του αντιδραστήρα ισούται με (10kgCOD/m^3)×(294,3m^3/d)=**2943kgCOD/d.** Η συνολική ποσότητα οξειδωμένου οργανικού φορτίου για 28% απόδοση επεξεργασίας, σε ημερήσια βάση, είναι της τάξης των 824kgCOD/day ή 824.000gCOD/d. Συνεπώς**, η ημερήσια κατανάλωση ενέργειας** για την ηλεκτρόλυση της παραπάνω ποσότητας οργανικού φορτίου **είναι 0,15KWh/g×824.000g=123.600KWh/d.**

Διαφορετικά :

$$E.K.E = \frac{Pt}{V(COD_0 - COD)},$$

$όπου\ P\ ισχύς\ του\ τροφοδοτικού\ (KW),$

$t : χρόνος\ επεξεργασίας\ (h),$

V *όγκος του αποβλήτου* (L),
COD_0 *COD οργανικό φορτίο πριν και μετά το τέλος της επεξεργασίας σε* g/L

P=17.658KW

Προτείνεται η κατασκευή **2 παράλληλων δεξαμενών** με όγκο **$V_1=V_2=150\ m^3$** έκαστη, με σκοπό την απρόσκοπτη επεξεργασία των λυμάτων σε περίπτωση διακοπής της λειτουργίας της μίας δεξαμενής για τεχνικούς λόγους ή λόγους συντήρησης.

5.4.2 Σχεδιασμός του τεχνητού υγροβιότοπου ως δεύτερο στάδιο επεξεργασίας

Η ανάπτυξη ενός τεχνητού υγροβιότοπου, ως δεύτερο στάδιο επεξεργασίας, είναι αναγκαία για την απορρύπανση των λυμάτων κάτω από τα όρια των δεικτών ρύπανσης, σύμφωνα με την Προεδρική Διάταξη 1180/81, όπου ανώτατη μέση τιμή 24ώρου = 1,2 $kgCOD/m^3$ ή 0,8kg BOD_5/m^3, (πίνακας 2.3).

Στην παρούσα μελέτη αναλύεται και εφαρμόζεται ο τεχνητός υγροβιότοπος υποεπιφανειακής ροής (SFS), όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 4.5. Τα συστήματα τύπου SFS σχεδιάζονται με σκοπό την επίτευξη δευτεροβάθμιας η προωθημένης επεξεργασίας και αναπτύσσονται μέσα σε κανάλια η τάφρους με σχετικά στεγανούς πυθμένες, που περιέχουν άμμο ή άλλα γήινα μέσα υποστήριξης της αναπτυσσόμενης φυτικής βλάστησης [1,15].

Ο προσδιορισμός των βασικών παραμέτρων σχεδιασμού ενός συστήματος υγροβιότοπων τύπου SFS πραγματοποιείται βάσει των παρακάτω δεδομένων :

Πίνακας (5.6) : Σχεδιαστικές παράμετροι για τη βέλτιστη λειτουργία του τεχνητού υγροβιότοπου ως δεύτερο στάδιο επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων από τα ελαιοτριβεία [15]

Τεχνητός υγροβιότοπος SFS	Οργανική φορτίο εισροής COD_0 : 7.200mg/L=7,2kg/m^3 Οργανική φορτίο εκροής COD_F :1,2kgCOD/m^3 Ημερήσια παροχή λυμάτων Q : 294,3m^3/d Ελάχιστη θερμοκρασία νερού : 8^{o}C Υπόστρωμα λεκάνης : χαλικώδης άμμος (πορώδες α=0,35, υδραυλική αγωγιμότητα K=499,87m^3/m^2.d, σταθερά K_{20}=0,86 Κλίση λεκάνης S : 0,04 Βάθος λεκάνης : 0,6m

- Ο προσδιορισμός του χρόνου κράτησης t' , γίνεται με την εξίσωση κινητικής πρώτης τάξης :

$$t' = \frac{\ln\left(\frac{C_0}{C_e}\right)}{K_T} = 6{,}5d$$

,όπου $K_T = K_{20} 1{,}10^{(T-20)}$, με T την θερμοκρασία νερού (8°C)

- Ο προσδιορισμός της επιφάνειας κάθετα στην κατεύθυνση της ροής, As, υπολογίζεται βάσει του Νόμου του Darcy :

$$A_S = \frac{Q}{KS} = 14{,}7m^2$$

- Το πλάτος της λεκάνης, για βάθος λεκάνης ίσο με 0,6m , ισούται με W= 25m
- Ο προσδιορισμός του μήκους της λεκάνης, πραγματοποιείται σύμφωνα με την εξίσωση του θεωρητικού χρόνου κράτησης πορώδους, βασιζόμενη στο πορώδες του μέσου :

$$L = \frac{t'Q}{Wda} = 364m$$

- Άρα η απαιτούμενη έκταση είναι A=L×W➔**A= 9,1 στρ.**
- Έλεγχος της ταχύτητας του υδραυλικού φορτίου:

$$L_W = \frac{Q}{LW} = 32\frac{m^3}{\sigma\tau\rho.d} < 50\frac{m^3}{\sigma\tau\rho.d}$$

5.5 Εκτίμηση συνολικού κόστους της μονάδας ηλεκτροχημικής οξείδωσης

Όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο 4.6,η εκτίμηση του κόστους κατασκευής και λειτουργίας του τεχνητού υγροβιότοπου υπολείπεται από τον υπολογισμό του συνολικού κόστους. Η παράληψη αυτή και στα δύο σενάρια, βοηθάει τη συγκριτική αξιολόγηση των δύο μεθόδων που ακολουθήθηκαν.

Για τον υπολογισμό του συνολικού κόστους κεφαλαίου της μονάδας οξείδωσης λήφθηκαν υπόψη οι παρακάτω παραδοχές:

- Η πάγια επένδυση I_F της μονάδας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων υπολογίζεται με τη μέθοδο υπολογισμού κόστους εξοπλισμού με κλιμάκωση μεγέθους [13].

$$I_F = I_{FB}\left(\frac{Q}{Q_B}\right)^{0,6}$$

Όπου I_{FB} η πάγια επένδυση μιας άλλης μονάδας γνωστής δυναμικότητας Q_B και I_F το πάγιο κεφάλαιο της μονάδας που αναφερόμαστε δυναμικότητας Q.

- Στο Κόστος λειτουργίας περιλαμβάνονται μόνο τα έξοδα από την κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας

- Το συνολικό κόστος προκύπτει από την παρακάτω εξίσωση

$$Συνολικό\ Κόστος = \frac{I \times Συντελεστής\ Απόδοσης\ Επένδυσης}{Q} + Λειτουργικό\ Κόστος$$

Και ο συντελεστής απόδοσης της επένδυσης υπολογίζεται ως εξής:

$$Συντελεστής\ Απόδοσης\ Επένδυσης = \frac{r(1+r)^N}{(1+r)^N - 1}$$

όπου r : το επιτόκιο = 6%

και N : ο χρόνος χρήσιμης ζωής για τη μονάδα (N= 10 χρόνια για την ηλεκτρόλυση).

<u>Πάγιο κεφάλαιο</u>

- Της μονάδας ηλεκτροχημικής οξείδωσης ως δεύτερο στάδιο επεξεργασίας

  Βάσει της παραπάνω εξίσωσης από παρόμοιες πειραματικές διαδικασίες, η πάγια επένδυση του πιλοτικού ηλεκτρολυτικού αντιδραστήρα ισούται με I_{FB}=6500€ για Q_B= 3430 L/yr (δυναμικότητα ηλεκτρολυτικού κελιού) ενώ η παροχή των λυμάτων στην υπόψη περιοχή είναι Q=2.942 m^3/yr. Η πάγια επένδυση ισούται με I_F=374.000€ περίπου και ο συντελεστής απόδοσης επένδυσης ισούται με 0,136. Συνεπώς, το πάγιο κεφάλαιο ανηγμένο στο χρόνο ζωής της ηλεκτροχημικής οξείδωσης ισούται με 374.000×0,136=50.864€/yr ή 17,3€/m^3 μη αραιωμένων αποβλήτων.

- Της μονάδας ηλεκτροχημικής οξείδωσης ως πρώτο στάδιο επεξεργασίας

Για αραιωμένη παροχή λυμάτων Q=29.420m^3/yr, η πάγια επένδυση ισούται με I_F=1.489.095€. Το πάγιο κεφάλαιο ανηγμένο στο χρόνο ζωής της μονάδας ηλεκτροχημικής οξείδωσης ισούται με 1.489.095×0,136=202.517€/yr ή 68,8€/m^3 μη αραιωμένων αποβλήτων.

Λειτουργικό κόστος

- Της μονάδας ηλεκτροχημικής οξείδωσης ως δεύτερο στάδιο επεξεργασίας

  Οι απαιτήσεις της ηλεκτρολυτικής μονάδας σε ηλεκτρική ενέργεια για την περίοδο λειτουργίας των 100 ημερών ανέρχονται σε 1.464.000KWh/yr. . Επιπλέον, από τα τιμολόγια της Δ.Ε.Η φαίνεται ότι το βιομηχανικό ρεύμα κοστίζει περίπου 0,06€/KWh. Συνεπώς, το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας για την ηλεκτροχημική οξείδωση των 2942m^3 υγρών αποβλήτων από τα ελαιοτριβεία ανέρχεται σε 87.840€/yr ή 30€/m^3.

- Της μονάδας ηλεκτροχημικής οξείδωσης ως πρώτο στάδιο επεξεργασίας

  Οι απαιτήσεις της ηλεκτρολυτικής μονάδας σε ηλεκτρική ενέργεια για την περίοδο λειτουργίας των 100 ημερών ανέρχονται σε 17.658(KW)×7(h/d)×100(d)=12.360.600KWh/yr. Επιπλέον, από τα τιμολόγια της Δ.Ε.Η φαίνεται ότι το βιομηχανικό ρεύμα κοστίζει περίπου 0,06€/KWh. Συνεπώς, το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας για την ηλεκτροχημική οξείδωση των 2942m^3 υγρών αποβλήτων από τα ελαιοτριβεία ανέρχεται σε 741.636€/yr ή 252€/m^3.

Στον παρακάτω πίνακα 5.7, παρουσιάζεται το συνολικό κόστος επένδυσης της μονάδας ηλεκτροχημικής οξείδωσης και ως πρώτο στάδιο επεξεργασίας (Σχεδιασμός 2) και ως δεύτερο στάδιο επεξεργασίας (Σχεδιασμός 1).

Πίνακας(5.7) : Ανάλυση κόστους επένδυσης και λειτουργικού κόστους της ηλεκτροχημικής μονάδας οξείδωσης για τις δύο περιπτώσεις σχεδιασμού (η παροχή των αποβλήτων είναι Q=2.942m^3/yr)

Είδος Δαπάνης	Εκτίμηση Δαπάνης	Υπολογισμός Κόστους	
		1^{ος} Σχεδιασμός	2^{ος} Σχεδιασμός
Πάγιο Κεφάλαιο, I_F (€/yr)	*	50.864	202.517
Κεφάλαιο Κίνησης, I_w (€/yr)	**15% ×I_F**	7.630	30.378
Ολική Επένδυση Κεφαλαίου, I	**I_F+I_W**	58.494	232.895
Κόστος Λειτουργίας I_E (€/yr)	**Οξείδωση OMWW**	87.840	741.636
Συνολικό Κόστος (€/yr)	**I+ I_E**	**146.334**	**974.531**
Συνολικό Κόστος (€/m^3)	*	**50**	**331**

5.6 Συμπεράσματα

Στο κεφάλαιο αυτό εξετάστηκαν δύο εναλλακτικοί σχεδιασμοί για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων από τα ελαιοτριβεία της περιοχής Σφακίων, οι οποίοι αναφέρονται στην ανάπτυξη ενός συστήματος τεχνητού υγροβιότοπου και μιας μονάδας ηλεκτροχημικής οξείδωσης. Η διαφορά τους έγκειται στη θέση που καταλαμβάνουν οι δύο μέθοδοι ως προς τα στάδια επεξεργασίας. Στον πρώτο σχεδιασμό, ο οποίος τελικά κρίνεται βέλτιστος, το σύστημα του τεχνητού υγροβιότοπου συνιστά το πρώτο στάδιο επεξεργασίας ενώ η ηλεκτροχημική οξείδωση το δεύτερο. Στο δεύτερο σχεδιασμό, η πορεία αντιστρέφεται.

Βάσει των αποτελεσμάτων του πίνακα 5.7, ο πρώτος σχεδιασμός υπερτερεί έναντι του δεύτερου ως προς τα οικονομικά κριτήρια, καθώς το συνολικό κόστος επένδυσης και λειτουργίας της μονάδας ηλεκτροχημικής οξείδωσης του δεύτερου σχεδιασμού είναι σχεδόν εξαπλάσιο από ό, τι του πρώτου, για δυναμικότητα λυμάτων ίση με 2.942m^3/yr. Αυτό δικαιολογείται από το γεγονός ότι, στη δεύτερη περίπτωση, κατά την οποία η ηλεκτρόλυση των λυμάτων αποτελεί το πρώτο στάδιο επεξεργασίας, απαιτείται σημαντική αραίωση των αποβλήτων, με αναλογία 1:10, με αποτέλεσμα να αυξάνεται (δεκαπλασιάζεται) σε μεγάλο βαθμό ο όγκος τους. Το τελευταίο συνεπάγεται αύξηση της απαιτούμενης επιφάνειας του ηλεκτροδίου BDD (m^2), το οποίο συνιστά το κυριότερο και ακριβότερο μηχανολογικό εξοπλισμό, καθώς επίσης και αύξηση των ενεργειακών αναγκών.

Η υπεροχή του πρώτου σχεδιασμού ενισχύεται και από την βιβλιογραφία [30], σύμφωνα με την οποία το ολικό ποσοστό απομάκρυνσης του οργανικού φορτίου COD από τα υγρά απόβλητα του πυρηνελαιουργείου είναι 95% για τον πρώτο σχεδιασμό έναντι 81%, για τις ίδιες συνθήκες ηλεκτρόλυσης και τα ίδια κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του τεχνητού υγροβιότοπου. Επιπλέον, βάσει των εργαστηριακών αποτελεσμάτων μιας ερευνητικής μελέτης για τα απόβλητα των ελαιουργείων [13], ο συνδυασμός της αερόβιας βιολογικής προ-επεξεργασίας με ακόλουθη ηλεκτρόλυση με άνοδο BDD απέδωσε περισσότερο από ό, τι η αντίστροφη σειρά διεργασιών. Γενικότερα, έχει παρατηρηθεί πως στην περίπτωση που η χημική διεργασία προηγείται, σχηματίζονται ενδιάμεσα προϊόντα που, είτε είναι τοξικά, είτε μη βιοαποδομήσιμα, με αποτέλεσμα να μειώνεται η συνολική απόδοση του συστήματος.

Ωστόσο, ένα σημαντικό μειονέκτημα του πρώτου σχεδιασμού είναι η απαίτηση μεγάλης γεωγραφικής έκτασης για την ανάπτυξη του υγροβιότοπου (Α=200στρ.), καθώς τα ανεπεξέργαστα λύματα είναι ιδιαίτερα βεβαρημένα. Αξίζει να αναφερθεί πως το βέλτιστο συνολικό κόστος επένδυσης του δεύτερου σεναρίου είναι της τάξης των 50€/m^3 επεξεργασμένου αποβλήτου, το οποίο είναι εξαιρετικά μεγαλύτερο από το αντίστοιχο συνολικό κόστος του πρώτου σεναρίου (2,88€/m^3). Για το λόγο αυτό, το δεύτερο σενάριο κρίνεται μη αποδοτικό και προτείνεται, είτε η αντικατάσταση της ηλεκτρολυτικής μεθόδου με την αναερόβια χώνευση, είτε η ημερήσια μεταφορά των υγρών αποβλήτων στην κεντρική μονάδα 2 με ένα βυτιοφόρο όχημα όγκου 30m^3.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπερασματικά, αναπτύχθηκε ένας στρατηγικός σχεδιασμός διαχείρισης των υγρών αποβλήτων από τα ελαιοτριβεία του νομού Χανίων και εξετάστηκαν δύο εναλλακτικά σενάρια, το πρώτο αναφερόμενο σε επίπεδο νομού (με χρήση των διεργασιών της αναερόβιας χώνευσης και του τεχνητού υγροβιότοπου) και το δεύτερο στο επίπεδο της λεκάνης απορροής της περιοχής Σφακίων (με χρήση των τεχνολογιών της ηλεκτροχημικής οξείδωσης και του τεχνητού υγροβιότοπου). Τα συμπεράσματα που προέκυψαν είναι τα εξής :

- Για τον εντοπισμό των βέλτιστων γεωγραφικών θέσεων για την εγκατάσταση των μονάδων επεξεργασίας των OMWW, εφαρμόστηκε η πολυκριτήρια θεωρία χρησιμότητας, η οποία στηρίχθηκε σε ένα σύνολο κριτηρίων ποιοτικής κλίμακας. Τα κριτήρια έχουν τη μορφή στόχων και κατατάσσονται στις εξής κατηγορίες : κριτήριο f →εγκατάσταση της μονάδας σε θέση γειτνιάζουσα ή μη με το υπάρχον δίκτυο χειμάρρων μη μόνιμης ροής, κριτήριο g→εγκατάσταση της μονάδας πάνω σε γεωλογικό υπόβαθρο με συγκεκριμένα γνωρίσματα υδροπερατότητας και κριτήριο n→εγκατάσταση της μονάδας σε θέση γειτνιάζουσα ή μη με το υπάρχον οδικό δίκτυο. Μετά την πραγματοποίηση της ανάλυσης ευαισθησίας, μέσω της γεννήτριας τυχαίων αριθμών, για 10.000 προσομοιώσεις για διαφορετικές τιμές κριτηρίων και για κάθε κατηγορία βαρών, επιλέχθηκε η αρχική προσομοίωση. Σύμφωνα με αυτή τα επιμέρους υποκριτηρία λαμβάνουν τις τιμές 3 ή 9 για το κριτήριο f, 3 ή 6 ή 9 για τα κριτήρια g και n, ενώ οι συντελεστές βαρύτητας λαμβάνουν τις τιμές 0,5 , 0,2 και 0,3 για τις τρεις ομάδες κριτηρίων (f,g,n) αντίστοιχα. Η πολυκριτήρια ανάλυση έδωσε τα αποτελέσματα για τις βέλτιστες εναλλακτικές θέσεις εγκατάστασης των μονάδων επεξεργασίας, οι οποίες είναι οι a12 και a14-a18. Οι θέσεις αυτές συγκεντρώνουν τιμές μερικής χρησιμότητας μεγαλύτερες του επτά (U(ai)>7).

- Η εφαρμογή της βέλτιστης ανάλυσης, βάσει της παραπάνω διαδικασίας, στο Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS), κατά την οποία τα δεδομένα των κριτηρίων «μεταφράστηκαν» σε γεωγραφικά δεδομένα και ακολούθως «οπτικοποιήθηκαν» σε πινακωτές επιφάνειες, υπέδειξε τις καταλληλότερες θέσεις για την εγκατάσταση των μονάδων επεξεργασίας με τη μορφή γεωγραφικών επιφανειών. Οι ακριβείς συντεταγμένες των μονάδων ανήκουν στο Γεωγραφικό Σύστημα Συντεταγμένων του 1987 και είναι οι εξής: (473.348,874 , 3.918.682,684) για τη μονάδα1, και (494.444,961 , 3.919.703,462) για τη μονάδα2 του πρώτου Σεναρίου και (514.520,269 , 3.897.019,498) για τη μονάδα3 του δεύτερου Σεναρίου.

- Η εφαρμογή του αλγορίθμου «Dijkstra» μέσω της λειτουργίας του Network Analyst του Arc Gis, βελτιστοποίησε τη διαδρομή μεταφοράς των λυμάτων στις δύο κεντρικές μονάδες επεξεργασίας του πρώτου Σεναρίου και κατέταξε τα ελαιοτριβεία ανάλογα τη μονάδα στην οποία υπάγονται. Στην μονάδα1 κατατάσσονται 64 ελαιοτριβεία και στη μονάδα2 61 ελαιοτριβεία. Οι αντίστοιχοι όγκοι υγρών αποβλήτων προς επεξεργασία, για μια μέση περίοδο λειτουργίας των ελαιοτριβείων της τάξης των 100 ημερών, είναι 84.654m^3 και 67.760m^3. Ο μέση συνολική παραγωγή των OMWW σε όλο το νομό Χανίων, για τρεις περιόδους μετρήσεων, αγγίζει την τιμή των 145.067m^3.

- Η ανάπτυξη του υβριδικού συστήματος επεξεργασίας του πρώτου Σεναρίου, πραγματοποιήθηκε για δύο διαφορετικούς όγκους λυμάτων, αραιωμένων και μη. Η συγκριτική αξιολόγηση των δύο επιμέρους υποπεριπτώσεων, η οποία βασίστηκε στα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των μονάδων και σε μια ενδεικτική εκτίμηση κόστους, υπέδειξε πως η επεξεργασία των μη αραιωμένων αποβλήτων είναι η βέλτιστη. Επιλέχθηκε η αναερόβια χώνευση σε αντιδραστήρα UASB, ως πρώτο στάδιο επεξεργασίας, και το σύστημα ενός τεχνητού υγροβιότοπου SFS ως δεύτερο στάδιο. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της διαστασιολόγησης προτείνεται η κατασκευή δύο δεξαμενών UASB σε κάθε μονάδα με όγκο 5.435m^3 και 4.095m^3 έκαστη, με υδραυλικό χρόνο παραμονής τις 10,7 ημέρες και οργανικό φορτίο εισόδου COD ίσο με 117,7kg/m^3. Επιπλέον, υπολογίστηκε η απαιτούμενη έκταση του τεχνητού υγροβιότοπου ίση με 47στρ. και 35στρ. για τις μονάδες 1 και 2 αντιστοίχως. Το ετήσιο ενεργειακό ισοζύγιο της εγκατάστασης βρέθηκε πλεονασματικό και ίσο με 14,3εκ.KWh και 10,8εκ.KWh για κάθε μονάδα, το οποίο είναι ικανό να καλύψει όλες τις ενεργειακές απαιτήσεις της εγκατάστασης. Το οργανικό φορτίο της τελικής εκροής, πληροί τους κανονισμούς της Π.Δ 1180/81για τις ανώτερες τιμές δεικτών ρύπανσης και ισούται με 1.200mgCOD/L. Το ετήσιο συνολικό κόστος της επένδυσης ανέρχεται στις 213.801€/yr και ουσιαστικά αναφέρεται στο πάγιο κεφάλαιο και στο κεφάλαιο κίνησης.

- Η ανάπτυξη του υβριδικού συστήματος επεξεργασίας του δεύτερου Σεναρίου, πραγματοποιήθηκε για δύο εναλλακτικές συζεύξεις των προτεινόμενων διεργασιών, της ηλεκτροχημικής οξείδωσης και του συστήματος του τεχνητού υγροβιότοπου. Η μονάδα 3 διαστασιολογήθηκε για τα υγρά απόβλητα τριών ελαιοτριβείων συνολικού όγκου 2.942m^3/yr. Η αποδοτικότερη σύζευξη είναι αυτή σύμφωνα με την οποία η ηλεκτροχημική οξείδωση με χρήση ηλεκτροδίου BDD έπεται το συστήματος του τεχνητού υγροβιότοπου κάθετης ροής. Η απαιτούμενη έκταση του τεχνητού υγροβιότοπου υπολογίζεται ίση με 200στρ. με ρυθμό οργανικής φόρτισης ίσο με 15kg/στρ.d και ποσοστό απομάκρυνσης ίσο με 86%. Στο στάδιο της ηλεκτροχημικής οξείδωση πραγματοποιείται 61% απομάκρυνση του COD σε διάστημα 6 ωρών. Η Ειδική Κατανάλωση Ενέργειας αγγίζει την 1KWh/g COD που απομακρύνεται, δημιουργώντας έτσι ημερήσιες ενεργειακές ανάγκες της τάξης των 14.640KWh/d. Συνεπώς, το ετήσιο συνολικό κόστος επένδυσης ανέρχεται στα 146.334€/yr, συμπεριλαμβανομένου του παγίου και του λειτουργικού κόστους της μονάδας ηλεκτροχημικής οξείδωσης.

- Η εγκατάσταση ενός συστήματος φωτοβολταϊκών πανελών για την τροφοδοσία της ηλεκτρολυτικής μονάδας με ηλεκτρικό ρεύμα, κρίθηκε μη αποδοτική. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγει ένα τυποποιημένο Φ/Β στοιχείο, εμβαδού 1,26m^2 και με απόδοση 13,5%, είναι 0,58KWh/d, για μια μέση τιμή της ηλιακής ακτινοβόλησης για τους χειμερινούς μήνες της τάξης των 3,4KWh/m^2/d. Η τιμή αυτή είναι πρακτικά μη συγκρίσιμη με την ενεργειακές απαιτήσεις της ηλεκτρολυτικής μονάδας (14.640KWh/d).

- Η συγκριτική αξιολόγηση των δύο εναλλακτικών Σεναρίων υπέδειξε την υστέρηση του δεύτερου έναντι του πρώτου Σεναρίου. Η εγκατάσταση ενός αποκεντρωμένου συστήματος διαχείρισης των OMWW στην περιοχή Σφακίων δεν ενδείκνυται λόγω το μεγάλου κόστους επένδυσης της μονάδας ηλεκτροχημικής οξείδωσης και της μεγάλης απαιτούμενης επιφάνειας του τεχνητού υγροβιότοπου, εφόσον ο τελευταίος συνιστά το πρώτο στάδιο επεξεργασίας. Αξιοσημείωτη είναι η διαφορά του κόστους (2,88€/m^3 επεξεργασμένου αποβλήτου για το πρώτο σενάριο έναντι 50€/m^3 επεξεργασμένου αποβλήτου για το δεύτερο). Αντί αυτού, σε περίπτωση που προτιμάται η διαχείριση των αποβλήτων σε επίπεδο λεκάνης απορροής, συνιστάται η κατασκευή μιας μονάδας αναερόβιας χώνευσης και ενός τεχνητού υγροβιότοπου, όπως στο πρώτο σενάριο. Διαφορετικά προτείνεται η ημερήσια μεταφορά των λυμάτων με ένα βυτιοφόρο όχημα (όγκου 30m^3) στις δύο επιλεγόμενες κεντρικές μονάδες. Η προσθήκη των αποβλήτων αυτών στα κεντρικά συστήματα μεταβάλλει ελάχιστα τα κατασκευαστικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά τους.

Η παρούσα εργασία ανέδειξε έναν ολοκληρωμένο τρόπο διαχείρισης των υγρών αποβλήτων από τα ελαιοτριβεία του νομού Χανίων στο στάδιο της προμελέτης. Σε περίπτωση οριστικοποίησης της μελέτης συνιστάται ο εμπλουτισμός των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν, είτε με τη συμπλήρωση των κριτηρίων αξιολόγησης κατά τη μεθοδολογία της πολυκριτήριας ανάλυσης, είτε με επιτόπου μετρήσεις, είτε συνδυασμός αυτών. Επιπλέον, σε περίπτωση υλοποίησης ενός στρατηγικού σχεδίου διαχείρισης απαιτείται αρχικά η κατασκευή σε πιλοτική κλίμακα (όχι εργαστηριακή) των μονάδων επεξεργασίας και η μελέτη του τρόπου λειτουργίας των, καθότι τα εργαστηριακά δεδομένα που χρησιμοποιούνται θα διαφέρουν σημαντικά σε μία αντίστοιχη μονάδα βιομηχανικής κλίμακας. Ωστόσο η εν λόγω διατριβή δύναται να αποτελέσει αφορμή για περαιτέρω ανάλυση στο διαχειριστικό πρόβλημα της επεξεργασίας των OMWW και να δώσει μια κατευθυντήρια γραμμή στο τρόπο ανάπτυξης του στρατηγικού σχεδιασμού.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

[1] : Niaounakis M. & Halvadakis C.P. «Olive mill wastewater management : Literature Review and Patent Survey» Typothito-George Dardanos, Athens (2004)

[2] : http://faostat.fao.org

[3] :http://www.nea.gr/popular "Προσδιορισμός και ανάλυση συμβατικών και καινοτόμων μεθόδων και τεχνικών για τη διαχείριση των αποβλήτων των ελαιοτριβείων"

[4] : McNamara C.J., Anastasiou C.C., O'Flaherty V., Mitchell R. «Bioremediation of olive mill wastewater» International Biodeterioration & Biodegradation 61 (2008) 127-134

[5] : Paraskeva P., Diamadopoulos E. «Review. Technologies for olive mill wastewater (OMW) treatment» Chemical Technology and Biotechnology 81 (2006) 1475-1485

[6] : Kapellakis I.E., Tsagarakis K.P., Avramaki Ch., Angelakis A.N., «Olive mill wastewater management in river basins : A case study in Greece» Agricultural Water Management 82 (2006) 354-370

[7] : Mantzavinos D., Kalogerakis N. «Treatment of olive mill effluents. Part I. Organic matter degradation by chemical and biological processes- an overview» Environmental International 31 (2005) 289-295

[8] : Σπαρτάλη Ν. «Συμπεριφορά υγρών αποβλήτων ελαιουργείων σε πετρώματα διαφόρου λιθολογίας» Μεταπτυχιακό Δίπλωμα Ειδίκευσης Γεωτεχνολογία και Περιβάλλον, Χανιά (2005)

[9] : Chan Y.J., Chong M.F., Law C.L., Hassel D.G., «A review on anaerobic-aerobic treatment of industrial and municipal wastewater» Chemical Engineering Journal 155 (2009) 1-18

[10] : Διαμαντόπουλος Ε. «Αναερόβια Χώνευση» Σημειώσεις από το μάθημα Διεργασίες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, Πολυτεχνείο Κρήτης, τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος (2009)

[11] : Hamdi M. «Anaerobic Digestion of Olive Mill Wastewaters» Process Biochemistry 31 (1996) 105-110

[12] : Dalis D., Anagnostidis K., Lopez A., Letsiou I., Hartmann L. «Anaerobic digestion of total raw olive-oil wastewaters in a two-stage pilot plant (up-flow and fixed-bed bioreactors)» Bioresource Technology 57 (1996) 237-243

[13] : Χατζησυμεών Ε. «Επεξεργασία υγρών αποβλήτων κατεργασίας ελιάς με εφαρμογή χημικών και βιολογικών διεργασιών» Διδακτορική Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης (2009)

[14] : Comninellis, C., Kapalka, A., Malato, S., Parsons, S.A., Poulios, I., Mantzavinos, D., «Advanced oxidation processes for water treatment: advances and trends for R&D» Chemical Technology & Biotechnology 83, (2008.) 769-776.

[15] : Αγγελάκης Α.Ν., Tchobanoglous G. «Υγρά απόβλητα-Φυσικά συστήματα επεξεργασίας και ανάκτηση, επαναχρησιμοποίηση και διάθεση εκροών» Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο, 5-22 , 108-124 (1995)

[16] : Lafi W., Shannak B., Al-Shannag M., Al-Hasan M., «Treatment of olive mill wastewater by combined advanced oxidation and biodegradation» Separation and Purification Technnology 70 (2009) 141-146

[17] : Δούμπος Μ.: «Πολυκριτήρια συστήματα αποφάσεων», Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2003

[18] : Καρτερτάκης Σ. Γιδαράκος Ε. «Ανάπτυξη Μεθοδολογίας για την επιλογή του βέλτιστου σεναρίου διαχείρισης αστικών στερεών απορριμμάτων», Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Διαχείρισης Τοξικών και Επικίνδυνων Αποβλήτων, ΤΕΕ 2005

[19] : Περλέρος Β, Παπαμαστοράκης Δ., Κριτσωτάκης Μ., Δρακοπούλου Ε. και Παναγόπουλος Α., «Υπόγειο Υδατικό Δυναμικό Κρήτης. Προβλήματα και Προοπτικές» Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας (XXXVI), Πρακτικά 10ου Διεθνούς Συνεδρίου (2004) 2048-2056

[20] : Πυτικάκης Ε.Λ., «Περιβαλλοντική έρευνα των υδροφόρων οριζόντων του ΒΔ Λασιθίου με τη χρήση σπάνιων γαιών» Διπλωματική εργασία ειδίκευσης στο τομέα Εφαρμοσμένης Γεωλογίας και Γεωφυσικής, Πανεπιστήμιο Πάτρας (2005) 91-97

[21] : Κουϊκόγλου Β.Σ. «Προσομοίωση», Σημειώσεις μαθήματος, Πολυτεχνείο Κρήτης, 5-6, 14-18 (2006)

[22] : Allen D.W., «Gis Tutorial II, Spatial Analysis Workbook» ESRI Press, California (2009)

[23] : http://users.informatik.uni-halle.de/~jopsi/dssea/dijkstra.gif

[24] : Boari G., Brunetti A,, Passino R., Rozzi A. «Anaerobic Digestion of Olive Mill Wastewaters» Agricultural Wastes 10 (1984) 161-175

[25] : «A directory of environmentally sound technologies for the integrated management of solid, liquid and hazardous waste for SIDs in the Carribean region» UNEP-United Nations Environment Programme, 87-101 (2004)

[26] : Παπαντώνης Δ. «Υδροδυναμικές Μηχανές, Αντλίες-Υδροστρόβιλοι, Υδροδυναμικές Μεταδόσεις», Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα (2009) 87-162

[27] : Luque A and Hegedus S, «Handbook of Photovoltaic Science and Engineering» John Wiley & Sons, Chichester, 1138 (2003).

[28] : Dominguez-Ramos A., Aldaco R., Irabien A. «Photovoltaic solar electrochemical oxidation (PSEO) for treatment of lignosulfonate wastewater» Chem. Technol. Biotechnol. 85 (2010) 821-830

[29] : http://re.jrc.ec.europa.eu/prgis

[30] : Grafias P., Xekoukoulotakis N.P., Mantzavinos D., Diamadopoulos E. «Pilot treatment of olive pomace leachate by vertical-flow constructed wetland and electrochemical oxidation : An efficient hybrid process» Water Research 44 (2010) 2773-2780