

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΜΣ: ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΚΑΙ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗ
ΜΗΧΑΝΙΚΗ



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Υδρολογία και Γεωχημεία των Μεσογειακών Εποχικών
Λιμνίων (ΜΕΛ) της Δυτικής Κρήτης

Σταμάτη Φωτεινή

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ
Δρ.Ν.Νικολαΐδης (επιβλέπων)
Δρ.Ε.Ψυλλάκη
Δρ.Η.Δημητρίου

ΧΑΝΙΑ
ΜΑΙΟΣ 2006

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία αποτελεί τη μεταπτυχιακή μου διατριβή στα πλαίσια των σπουδών μου στο ΠΜΣ: 'Περιβαλλοντική και Υγειονομική Μηχανική' του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης. Η εκπόνησή της ξεκίνησε τον Απρίλιο του 2005 και ολοκληρώθηκε τον Μάιο του 2006, υπό την επίβλεψη του Καθηγητή κ Νικόλαου Νικολαΐδη.

Με την ολοκλήρωση της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους εκείνους που με βοήθησαν και με στήριξαν καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησής της. Κυρίως, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Νικολαΐδη Νικόλαο για την συνεχή και πολύτιμη βοήθεια και συμπαράστασή, την εξαιρετική συνεργασία και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε σε όλα τα στάδια της εργασίας.

Οφείλω επίσης να αναγνωρίσω την πολύτιμη συνεισφορά, του κυρίου Δρ. Ηλία Δημητρίου, ερευνητή του Ελληνικού Κέντρου Θαλάσσιων Ερευνών (ΕΛΚΕΘΕ) ο οποίος έδειξε ανεξάντλητη διάθεση συνεργασίας όποτε του ζητήθηκε. Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω του κυρίου Δρ. Νίκο Σκουλικίδη και Δρ. Θεόδωρο Κουσσουρή ερευνητές του ΕΛΚΕΘΕ για τα εποικοδομητικά σχόλια για την παρούσα εργασία. Ευχαριστώ επίσης την κα Ελευθερία Ψυλλάκη για την συμμετοχή της στην εξεταστική επιτροπή και την αξιολόγηση της παρούσας εργασίας. Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στις συναδέλφους μου στο εργαστήριο «Υδρογεωχημικής Μηχανικής και Αποκατάστασης Εδαφών» Ράνια Τζωράκη, Κωνσταντίνα Τυροβολά, Ελπίδα Περουλάκη και Μαρία Ανδριανάκη για την αρμονική και χρήσιμη συνεργασία τους και την κατανόηση τους καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας.

Θα ήθελα ακόμη να ευχαριστήσω το εργαστήριο «Εμπλουτισμού» και «Ανόργανης Γεωχημείας, Οργανικής Γεωχημείας & Οργανικής Πετρογραφίας» του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης για την διάθεση του χώρου και του εξοπλισμού τους για την πραγματοποίηση των κοκκομετρικών αναλύσεων, και των αναλύσεων για Μέταλλα και ιχνοστοιχεία (XRF) και συγκεκριμένα την κυρία Παντελάκη Όλγα και τον κύριο Μωραΐτη Δανιήλ για την διάθεση του χρόνου τους και την καθοδήγησή τους.

Τέλος, η εργασία αυτή δεν θα ήταν δυνατό να ολοκληρωθεί χωρίς την συμπαράσταση της οικογένειάς μου και των φίλων μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα «Μεσογειακά Εποχικά Λιμνία, (ΜΕΛ)» (Mediterranean Temporary Ponds, MTPs) είναι οικότοποι προτεραιότητας (κωδικός δικτύου Natura: 3170) και εξαιρετικής οικολογικής σημασίας σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή νομοθεσία (Οδηγία για τους οικοτόπους - ενδιαιτήματα 92/43/EEC). Στην Ελλάδα έχουν καταγραφεί 24 εμφανίσεις των Μεσογειακών Εποχικών Λιμνίων (2002), εκ των οποίων οι 5 βρίσκονται στη Δ. Κρήτη (Γαύδος, Φαλάσσαρνα, Ελαφονήσι, Γεωργιούπολη, Ομαλός).

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή έχει στόχο τη μελέτη της υδρολογίας και της γεωχημείας των ΜΕΛ της Δυτικής Κρήτης (Φαλάσσαρνα, Ελαφονήσι, Γεωργιούπολη, Ομαλός). Ο στόχος της εργασίας υλοποιείται:

- Με μια σειρά από αναλύσεις και πειράματα, ώστε να προσδιορισθούν τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του ιζήματος των ΜΕΛ (υγρασία, pH, πυκνότητα επί ξηρού, πορώδες, κοκκομετρία, χημική σύσταση (μέταλλα-ιχνοστοιχεία), ορυκτολογική σύσταση).
- Με μηνιαίες επισκέψεις στις περιοχές των λιμνίων για την συλλογή υδρολογικών παρατηρήσεων και την πραγματοποίηση επιτόπιων μελετών, όπως πειράματα προσδιορισμού της διηθητικής ικανότητας του ιζήματος των λιμνίων. Τα παραπάνω για την εννοιολογική προσέγγιση του υδρολογικού κύκλου των λιμνίων.
- Την χρήση των παραπάνω για την εννοιολογική προσέγγιση του υδρολογικού κύκλου των λιμνίων και την ανάπτυξη ενός μοντέλου για τον προσδιορισμό της υδροπερίοδου των ΜΕΛ.
- Πραγματοποίηση πειραμάτων διαλείποντος έργου σε δείγματα ιζήματος από τα λιμνία για την μελέτη των κύριων γεωχημικών διεργασιών (Ανοργανοποίηση, Εκχύλιση και Προσρόφηση) του κύκλου του αζώτου και του φωσφόρου.

Πιο συγκεκριμένα η εργασία αποτελείται από 9 κεφάλαια. Στο 1ο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή και διευκρινίζεται ο στόχος της διατριβής. Το 2ο κεφάλαιο περιλαμβάνει μια βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετικά με τα Μεσογειακά Εποχικά Λιμνία. Μάλιστα, καθώς η κύρια απειλή που δέχονται τα εποχικά λιμνία της Μεσογείου, πέρα από τις ανθρωπογενείς παρεμβάσεις, είναι οι επικείμενες κλιματικές αλλαγές, γίνεται αναφορά σε μελέτες, όσον αφορά στις κλιματικές αλλαγές στη Μεσόγειο και την Ελλάδα και επιπλέον πραγματοποιείται ανάλυση των τάσεων των χρονοσειρών του νερού για μια σειρά βροχομετρικών σταθμών της Κρήτης, όπως επίσης και ανάλυση συχνότητας βροχομετρικών δεδομένων του σταθμού της Σούδας. Στο 3ο κεφάλαιο παρουσιάζεται μια σύντομη περιγραφή των περιοχών της Δ. Κρήτης στις οποίες συναντάμε εμφανίσεις ΜΕΛ. Η περιγραφή εστιάζεται κυρίως στο κλίμα, την υδρογεωλογία (υδατικό έλλειμμα) και τις κύριες πιέσεις της εκάστοτε περιοχής. Στη συνέχεια στο 4ο κεφάλαιο γίνεται εκτεταμένη περιγραφή των υπό μελέτη ΜΕΛ και παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των λιμνίων όπως προέκυψαν ύστερα από επιτόπιες μελέτες και πειράματα στο εργαστήριο. Στο 5ο κεφάλαιο παρουσιάζεται το μοντέλο (Hydro-Pond-Model) που αναπτύχθηκε με τη χρήση του μαθηματικού πακέτου MATLAB για τον προσδιορισμό της υδροπερίοδου των λιμνίων, ενώ στο 6ο κεφάλαιο παρατίθενται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων του μοντέλου. Στο 7ο κεφάλαιο περιγράφεται το θεωρητικό υπόβαθρο και η πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε κατά την διεξαγωγή των πειραμάτων για την μελέτη των βασικών γεωχημικών διαδικασιών (Ανοργανοποίηση, Εκχύλιση και Προσρόφηση) που λαμβάνουν χώρα στο ίζημα των λιμνίων με βάση την ανάλυση των κύκλων αζώτου και φωσφόρου. Τέλος, στο 8ο κεφάλαιο παρουσιάζεται μια σύνοψη των συμπερασμάτων που προέκυψαν από την παρούσα εργασία.

Όπως προέκυψε από την παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή τα μεσογειακά εποχικά λιμνία αποτελούν ένα οικοσύστημα υψηλής γεωχημικής αξίας, το οποίο είναι ιδιαίτερα ευαίσθητο στις επικείμενες κλιματικές αλλαγές, αλλά και τις ανθρώπινες παρεμβάσεις και χρήζει προστασίας.



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Εισαγωγή	1
1.2 Σκοπός της Εργασίας	2
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	3
2.1 Τα Μεσογειακά Εποχικά Λιμνία (ΜΕΛ)	3
2.1.1 Εισαγωγή στα ΜΕΛ	3
2.1.2 Η Αξία των ΜΕΛ	4
2.1.3 Η Υδρολογία των ΜΕΛ	5
2.1.4 Τα Χημικά Χαρακτηριστικά των ΜΕΛ	6
2.1.5 Τα Οφέλη από τα ΜΕΛ	6
2.1.6 Οι Απειλές που Δέχονται τα ΜΕΛ	7
2.1.7 Οι Ενέργειες για την Προστασία, Αποκατάσταση και Αξιοποίηση των ΜΕΛ	9
2.2 Οι Κλιματικές Αλλαγές και τα Μεσογειακά Εποχικά Λιμνία (ΜΕΛ)	10
2.2.1 Εισαγωγή στις Κλιματικές Αλλαγές	10
2.2.2 Το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου Υπεύθυνο για τις Κλιματικές Αλλαγές	11
2.2.3 Οι Επιπτώσεις των Κλιματικών Αλλαγών	11
2.2.3.1 Οι Επιπτώσεις στα Οικοσυστήματα – ΜΕΛ	12
2.2.4 Οι Κλιματικές Αλλαγές στη Μεσόγειο και την Ελλάδα	13
2.2.5 Ανάλυση των Τάσεων Χρονοσειρών του Υετού Βροχομετρικών Σταθμών της Κρήτης	13
2.2.6 Ανάλυση Συχνότητας Βροχομετρικών Δεδομένων	15
2.2.6.1 Ανάλυση Συχνότητας – Θεωρητικό Υπόβαθρο	15
2.2.6.2 Ανάλυση Συχνότητας Βροχομετρικών Δεδομένων της Σούδας	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΕΥΡΥΤΕΡΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΤΩΝ ΜΕΛ ΤΗΣ ΔΥΤΙΚΗΣ ΚΡΗΤΗΣ	22
3.1 Περιγραφή της Περιοχής του Ελαφονησίου	22
3.1.1 Γεωγραφική Τοποθέτηση και Γενικά Χαρακτηριστικά	22
3.1.2 Μορφολογία	22
3.1.3 Ιστορικές Αναφορές και Μνημεία	24
3.1.4 Θεσμικές Ρυθμίσεις	24
3.1.5 Υδρογεωλογικές Συνθήκες	24
3.1.6 Κλιματολογικές Συνθήκες	24
3.1.7 Χρήσεις Γης και Κύριες Δραστηριότητες	25
3.1.8 Κύριες Φορτίσεις	26
3.1.9 Βλάστηση, Χλωρίδα και Πανίδα	27

3.2	Περιγραφή της Περιοχής της Λίμνης Κουρνά	28
3.2.1	Γεωγραφική Τοποθέτηση και Γενικά Χαρακτηριστικά	28
3.2.2	Μορφολογία	28
3.2.3	Ιστορικές Αναφορές και Μνημεία	29
3.2.4	Θεσμικές Ρυθμίσεις	30
3.2.5	Υδρογεωλογικές Συνθήκες	30
3.2.6	Κλιματολογικές Συνθήκες	31
3.2.7	Χρήσεις Γης και Κύριες Δραστηριότητες	32
3.2.8	Κύριες Φορτίσεις	32
3.2.9	Βλάστηση, Χλωρίδα και Πανίδα	33
3.3	Περιγραφή της Περιοχής των Φαλασάρνων	34
3.3.1	Γεωγραφική Τοποθέτηση και Γενικά Χαρακτηριστικά	34
3.3.2	Μορφολογία	34
3.3.3	Ιστορικές Αναφορές και Μνημεία	35
3.3.4	Θεσμικές Ρυθμίσεις	35
3.3.5	Υδρογεωλογικές Συνθήκες	35
3.3.6	Κλιματολογικές Συνθήκες	36
3.3.7	Χρήσεις Γης και Κύριες Δραστηριότητες	37
3.3.8	Κύριες Φορτίσεις	37
3.3.9	Βλάστηση, Χλωρίδα και Πανίδα	38
3.4	Περιγραφή της Περιοχής του Οροπεδίου του Ομαλού	39
3.4.1	Γεωγραφική Τοποθέτηση και Γενικά Χαρακτηριστικά	39
3.4.2	Μορφολογία	40
3.4.3	Ιστορικές Αναφορές και Μνημεία	41
3.4.4	Θεσμικές Ρυθμίσεις	41
3.4.5	Υδρογεωλογικές Συνθήκες	41
3.4.6	Κλιματολογικές Συνθήκες	42
3.4.7	Χρήσεις Γης και Κύριες Δραστηριότητες	43
3.4.8	Κύριες Φορτίσεις	43
3.4.9	Βλάστηση, Χλωρίδα και Πανίδα	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4:	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΩΝ ΕΠΟΧΙΚΩΝ ΛΙΜΝΙΩΝ (ΜΕΛ) ΤΗΣ ΔΥΤΙΚΗΣ ΚΡΗΤΗΣ	45
4.1	Εισαγωγή	45
4.2	Γεωγραφική Τοποθέτηση των ΜΕΛ	45
4.3	Επιλογή ΜΕΛ προς Μελέτη	47
4.3.1	Ομαδοποίηση των ΜΕΛ στο Ελαφονήσι	47
4.4	Μορφολογικά Χαρακτηριστικά των υπό Μελέτη ΜΕΛ	47
4.5	Προσδιορισμός Φυσικοχημικών Χαρακτηριστικών του Εδάφους των ΜΕΛ	48
4.5.1	Φυσικά Χαρακτηριστικά του Εδάφους	48

4.5.2	Χημικά Χαρακτηριστικά του Εδάφους	48
4.5.3	Δειγματοληψία και Μεθοδολογία	49
4.5.4	Αποτελέσματα	49
4.6	Υδρολογικά Χαρακτηριστικά	60
4.6.1	Υδρολογικές Παρατηρήσεις	60
4.6.2	Μελέτη Ικανότητας Διήθησης των Εδαφών των Λιμνίων	61
4.6.3	Εννοιολογική Προσέγγιση του Υδρολογικού Κύκλου των Λιμνίων	65
4.6.4	Υδροπερίοδος των Λιμνίων	67
4.7	Απειλές που δέχονται τα ΜΕΛ	67
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΥΔΡΟΠΕΡΙΟΔΟΥ ΤΩΝ ΜΕΛ		70
5.1	Εισαγωγή	70
5.2	Περιγραφή του Εννοιολογικού Υδρολογικού Μοντέλου	70
5.3	Περιγραφή των Εξισώσεων και των Παραμέτρων του Μοντέλου ‘Hydro-Pond Model, HPM’	71
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΥΔΡΟΠΕΡΙΟΔΟΥ ΤΩΝ ΜΕΛ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ‘HPM’		76
6.1	Δεδομένα Εισαγωγής	76
6.2	Υδροπερίοδος των Λιμνίων 2 και 11 στο Ελαφονήσι	81
6.3	Υδροπερίοδος του Λιμνίου στον Ομαλό	85
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ ΤΟΥ ΙΖΗΜΑΤΟΣ ΤΩΝ ΜΕΛ (ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ)		87
7.1	Εισαγωγή	87
7.2	Βιογεωχημικοί Κύκλοι και Θρεπτικά Συστατικά	87
7.2.1	Γενικά	87
7.2.2	Ο Κύκλος του Αζώτου	88
7.2.2.1	Μορφές Αζώτου	88
7.2.2.2	Λειτουργίες του Αζώτου	89
7.2.2.3	Δέσμευση Μοριακού Αζώτου	89
7.2.2.4	Ανοργανοποίηση - Αμμωνιοποίηση	89
7.2.2.5	Νιτροποίηση	90
7.2.2.6	Απονιτροποίηση	91
7.2.2.7	Κύριες Πηγές Αζώτου	92
7.2.2.8	Πηγές Εδαφικού Αζώτου	93
7.2.2.9	Απώλειες Αζώτου από το Έδαφος	93
7.2.3	Ο Κύκλος του Φωσφόρου	93
7.3.1	Μηχανισμοί Προσρόφησης	95
7.3.2	Βήματα Προσρόφησης	96

7.2.4	Διαφορές Κύκλων Αζώτου και Φωσφόρου	95
7.3	Προσρόφηση	95
7.3.1	Μηχανισμοί Προσρόφησης	95
7.3.2	Βήματα Προσρόφησης	96
7.3.3	Ιδιότητες της Επιφάνειας των Ιζημάτων	96
7.3.3.1	Παράγοντες που Επηρεάζουν το Επιφανειακό Φορτίο	98
7.3.4	Μοντέλα Προσρόφησης	98
7.3.4.1	Μοντελοποίηση Προσρόφησης σε σταθερό pH	99
7.3.4.2	Μοντελοποίηση Προσρόφησης σε μεταβλητό pH	100
7.3.4.3	Κατακρήμνιση Ανιόντων και Κατιόντων στην Επιφάνεια Οξειδίων	101
7.4	Προσρόφηση του Φωσφόρου στο Έδαφος	101
7.4.1	Παράγοντες που Επηρεάζουν την Προσρόφηση	102
7.4.2	Προσρόφηση σε Κολλοειδή Σωματίδια	102
7.4.3	Προσρόφηση σε Οργανικό Υλικό	102
7.4.4	Προσρόφηση Φωσφόρου σε Ασβεστολιθικά Ιζήματα	102
7.4.5	Μοντελοποίηση της Γρήγορης και της Αργής Προσρόφησης	103
7.5	Πειραματική Διαδικασία	103
7.5.1	Δειγματοληψία και Προετοιμασία του Δείγματος	103
7.5.2	Πειράματα Προσδιορισμού της Ικανότητας Ανοργανοποίησης του Ιζήματος των ΜΕΛ	104
7.5.3	Πειράματα Προσδιορισμού της Ικανότητας Εκχύλισης του Ιζήματος των ΜΕΛ	104
7.5.4	Πειράματα Προσδιορισμού της Ικανότητας Προσρόφησης Φωσφόρου του Ιζήματος των ΜΕΛ	105
7.5.5	Βαθμονόμηση Οργάνων, Έλεγχος Αξιοπιστίας	105
7.5.5	Ρύθμιση του pH	106
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8:	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	108
8.1	Εισαγωγή	108
8.1	Ικανότητα Ανοργανοποίησης του Ιζήματος των ΜΕΛ	109
8.2	Ικανότητα Εκχύλισης του Ιζήματος των ΜΕΛ	110
8.2	Ικανότητα Προσρόφησης του Ιζήματος των ΜΕΛ	113
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9:	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	116
9.1	Συμπεράσματα και Προτάσεις	116
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		119
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ		123

ΟΔΗΓΟΣ

ΣΧΗΜΑΤΩΝ– ΕΙΚΟΝΩΝ – ΧΑΡΤΩΝ - ΠΙΝΑΚΩΝ - ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1. Οι Σημαντικότερες Λειτουργίες και Αξίες των Υγροτόπων.	7
Σχήμα 2.2. Το ενεργειακό ισοζύγιο της Γης.	11
Σχήμα 2.3. Η πιθανή αύξηση της θερμοκρασίας και οι επιπτώσεις στα οικοσυστήματα παγκοσμίως.	12
Σχήμα 4.1. Απεικόνιση της κατανομής του ιζήματος των λιμνίων στο διάγραμμα ταξινόμησης εδαφών (τρίγωνο).	58
Σχήμα 4.2. Σχηματική απεικόνιση του εννοιολογικού μοντέλου που περιγράφει τον υδρολογικό κύκλο των λιμνίων στο Ελαφονήσι.	65
Σχήμα 4.3. Σχηματική απεικόνιση του εννοιολογικού μοντέλου που περιγράφει τον υδρολογικό κύκλο του λιμνίου στα Φαλάσσαρνα.	66
Σχήμα 4.4. Σχηματική απεικόνιση του εννοιολογικού μοντέλου που περιγράφει τον υδρολογικό κύκλο του λιμνίου στον Ομαλό.	66
Σχήμα 4.5. Σχηματική απεικόνιση του εννοιολογικού μοντέλου που περιγράφει τον υδρολογικό κύκλο του λιμνίου στον Κουρνά.	67
Σχήμα 5.1. Σχηματική απεικόνιση του εννοιολογικού υδρολογικού μοντέλου των ΜΕΛ.	70
Σχήμα 7.1. Ο κύκλος του αζώτου σε λιμναίο σύστημα.	90
Σχήμα 7.2. Οι δύο αντίστροφες διαδικασίες, Ανοργανοποίηση και Ακινητοποίηση.	90
Σχήμα 7.3. Κύκλος Φωσφόρου στο Χερσαίο Περιβάλλον.	94
Σχήμα 8.1. Ο κύκλος του Αζώτου στα λιμνία.	108
Σχήμα 8.2. Ο κύκλος του Φωσφόρου λιμνία.	109
Εικόνα 3.1. Πανοραμική άποψη της Ελαφονήσου και της απέναντι ακτής.	23
Εικόνα 3.2. Πανοραμική άποψη της λίμνης Κουρνά.	29
Εικόνα 3.3. Πανοραμική άποψη της ακτής των Φαλασάρνων.	35
Εικόνα 3.4. Πανοραμική άποψη του οροπεδίου του Ομαλού.	40
Εικόνα 3.5. Πανοραμική άποψη του φαραγγιού της Σαμαριάς.	41
Εικόνα 4.1. Το λιμνίο δίπλα στην λίμνη Κουρνά.	45
Εικόνα 4.2. Πανοραμική φωτογραφία των λιμνίων στα Φαλάσσαρνα.	47
Εικόνα 4.3. Η ξύλινη σταδία που εγκαταστάθηκε στα λιμνία για την παρατήρηση της στάθμης του νερού σε αυτά.	60
Εικόνα 4.4. Η κυλινδρική συσκευή που χρησιμοποιήθηκε στα πειράματα προσδιορισμού της διηθητικής ικανότητας του ιζήματος.	61
Εικόνα 4.5. Πραγματοποίηση πειράματος προσδιορισμού της διηθητικής ικανότητας του ιζήματος στις περιοχές (α) Ομαλός, (β) Φαλάσσαρνα.	61
Εικόνα 4.6. Αιγοπρόβατα που φιλοξενούνται καθημερινά από τα λιμνία στο Ελαφονήσι.	68
Εικόνα 4.7. Αιγοπρόβατα που επισκέπτονται καθημερινά το λιμνίο του Ομαλού για πότισμα.	68
Εικόνα 4.8. Ίχνη τρακτέρ στο λιμνίο 2 στα Φαλάσσαρνα.	69
Εικόνα 4.9. Πλαστικά απορρίματα στο λιμνίο 1 στα Φαλάσσαρνα.	69

Χάρτης 2.1.	Οι χώρες της Ευρώπης με εμφανίσεις Μεσογειακών Εποχικών Τελμάτων.	4
Χάρτης 2.2.	Οι περιοχές της Δυτικής Κρήτης με εμφανίσεις Μεσογειακών εποχικών Λιμνίων.	4
Χάρτης 3.1.	Οι περιοχές Natura της δυτικής Κρήτης (περιοχή NATURA με κωδικό A4340002).	22
Χάρτης 3.2.	Ο Δήμος Ιναχωρίου, στον οποίο υπάγεται διοικητικά η μεγαλύτερη έκταση της περιοχής των λιμνίων στο Ελαφονήσι.	22
Χάρτης 3.3.	Οι περιοχές Natura της δυτικής Κρήτης (περιοχή NATURA με κωδικό A4340010).	28
Χάρτης 3.4.	Ο Δήμος Γεωργιούπολης, στον οποίο υπάγεται διοικητικά η λίμνη Κουρνά.	28
Χάρτης 3.5.	Οι περιοχές Natura της δυτικής Κρήτης (περιοχή NATURA με κωδικό A4340010).	34
Χάρτης 3.6.	Ο Δήμος Κισάμου, στον οποίο υπάγονται διοικητικά τα Φαλάσαρνα.	34
Χάρτης 3.7.	Οι περιοχές Natura της δυτικής Κρήτης (περιοχή NATURA με κωδικό A4340010).	39
Χάρτης 3.8.	Οι Δήμοι Μουσούρων και Ανατολικού Σελίνου, στους οποίους υπάγεται διοικητικά το οροπέδιο του Ομαλού Φαλάσαρνα.	40
Χάρτης 4.1.	Αεροφωτογραφία του οροπεδίου του Ομαλού στην οποία φαίνεται το ΜΕΛ.	46
Χάρτης 4.2.	Αεροφωτογραφία της περιοχής του Ελαφονησίου στην οποία φαίνονται αριθμημένα τα Μεσογειακά Εποχικά Λιμνία.	46
Χάρτης 6.1.	Τρισδιάστατο μοντέλο εδάφους του λιμνίου 2 στο Ελαφονήσι.	77
Χάρτης 6.2.	Τρισδιάστατο μοντέλο εδάφους του λιμνίου 11 στο Ελαφονήσι.	78
Χάρτης 6.3.	Τρισδιάστατο μοντέλο εδάφους του λιμνίου στον Ομαλό.	79
Πίνακας 2.1.	Τα καταγεγραμμένα ονόματα των προσωρινών λιμνίων ανά τον κόσμο.	3
Πίνακας 2.2.	Κατανομή των βροχομετρικών σταθμών της Κρήτης ανά νομό.	14
Πίνακας 2.3.	Ποσοστά της τάσης της βροχόπτωσης στην Κρήτη.	14
Πίνακας 2.4.	Το μέγιστο ύψος υετού στην Σούδα για διάφορες περιόδους επαναφοράς όπως προέκυψε από τις μεθόδους Log Pearson III και Gumbel	21
Πίνακας 4.1.	Μορφολογικά χαρακτηριστικά των υπό μελέτη ΜΕΛ.	48
Πίνακας 4.2.	Τα αποτελέσματα των μετρήσεων της υγρασίας, της πυκνότητας και του πορώδους του εδάφους των λιμνίων.	51
Πίνακας 4.3.	Τα αποτελέσματα των μετρήσεων του pH του εδάφους των λιμνίων.	51
Πίνακας 4.4.	Ποσοστά κατανομής των κόκκων του ιζήματος των λιμνίων και χαρακτηρισμός τους (Method ISO 11277:1998 + Corr 1:2002 - without destruction of carbonates).	52
Πίνακας 4.5.	Χαρακτηρισμός του ιζήματος με τις αθροιστικές κοκκομετρικές καμπύλες.	52
Πίνακας 4.6.	Ποσοστά κατανομής των κόκκων του ιζήματος των λιμνίων (κλάσμα < 2 mm).	57
Πίνακας 4.7.	Χαρακτηρισμός του ιζήματος με βάση το τρίγωνο ταξινόμησης εδαφών (USDA Soil Textural Triangle).	59
Πίνακας 4.8.	Χημική σύσταση του ιζήματος των λιμνίων.	59
Πίνακας 4.9.	Οι τιμές των παραμέτρων f_c , f_{co} και k της εξίσωσης Horton.	62

Πίνακας 5.1. Οι κύριες υδρολογικές διαδικασίες για κάθε διαμέρισμα του εννοιολογικού υδρολογικού μοντέλου των ΜΕΛ.	71
Πίνακας 5.2. Οι παράμετροι του μοντέλου HYDRO-POND MODEL (HPM).	74
Πίνακας 6.1. Ύψη βροχοπτώσεων και η αντίστοιχη συνεισφορά τους στην υδροπερίοδο του λιμνίου 2 στο Ελαφονήσι.	80
Πίνακας 6.2. Ύψη βροχοπτώσεων και η αντίστοιχη συνεισφορά τους στην υδροπερίοδο του λιμνίου 11 στο Ελαφονήσι.	82
Πίνακας 6.3. Ύψη βροχοπτώσεων και η αντίστοιχη συνεισφορά τους στην υδροπερίοδο του λιμνίου στον Ομαλό.	84
Πίνακας 8.1. Η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση της ποσότητας οργανικού N και P που ανοργανοποιήθηκε για τις δύο σειρές πειραμάτων και η οργανική ουσίας (%) των ιζημάτων.	110
Πίνακας 8.2. Οι συγκεντρώσεις και η τυπική απόκλιση των ανόργανων μορφών αζώτου και φωσφόρου που εκχυλίζονται από το λιμνίο του Ομαλού και ο μοριακός λόγος N/P.	111
Πίνακας 8.3. Οι συγκεντρώσεις και η τυπική απόκλιση των ανόργανων μορφών αζώτου και φωσφόρου που εκχυλίζονται από το λιμνίο 2 στο Ελαφονήσι και ο μοριακός λόγος N/P.	111
Πίνακας 8.4. Οι συγκεντρώσεις και η τυπική απόκλιση των ανόργανων μορφών αζώτου και φωσφόρου που εκχυλίζονται από το λιμνίο 11 στο Ελαφονήσι και ο μοριακός λόγος N/P.	112
Πίνακας 8.5. Οι συγκεντρώσεις και η τυπική απόκλιση των ανόργανων μορφών αζώτου και φωσφόρου που εκχυλίζονται από το λιμνίο στον Κουρνά και ο μοριακός λόγος N/P.	112
Πίνακας 8.6. Οι συγκεντρώσεις και η τυπική απόκλιση των ανόργανων μορφών αζώτου και φωσφόρου που εκχυλίζονται από το λιμνίο στα Φαλάσαρνα και ο μοριακός λόγος N/P.	113
Διάγραμμα 2.1. Τάση της βροχόπτωσης στα Παλαιά Ρούματα Χανίων για τα έτη 1960-03.	14
Διάγραμμα 2.2. Πιθανότητα των μεγίστων βροχοπτώσεων 24ώρου ανά έτος για την Σούδα.	19
Διάγραμμα 2.3. Πιθανότητα των μεγίστων βροχοπτώσεων 24ώρου ανά μήνα για την Σούδα.	19
Διάγραμμα 2.4. Πιθανότητα των μεγίστων μη μηδενικών βροχοπτώσεων 24ώρου ανά μήνα για την Σούδα.	20
Διάγραμμα 2.5. Ανάλυση συχνότητας ακραίων μεγίστων βροχομετρικών δεδομένων της Σούδας ανά μήνα με τη χρήση των κατανομών Log Pearson III και Gumbel.	21
Διάγραμμα 3.1. Το δυνητικό υδατικό έλλειμμα για την περιοχή του Ελαφονησίου το υδρολογικό έτος 2004-05.	25
Διάγραμμα 3.2. Μέση μηνιαία βροχόπτωση α) Καλύβες β) Μουρί.	31
Διάγραμμα 3.3. Ελάχιστη, μέση και μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία για τις Καλύβες.	31
Διάγραμμα 3.4. Το δυνητικό υδατικό έλλειμμα για την περιοχή του Κουρνά το υδρολογικό έτος 2000-01.	32
Διάγραμμα 3.5. Μέση μηνιαία βροχόπτωση για τα Φαλάσαρνα.	36
Διάγραμμα 3.6. Ελάχιστη, μέση και μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία για τα Φαλάσαρνα.	36
Διάγραμμα 3.7. Το δυνητικό υδατικό έλλειμμα για την περιοχή των Φαλασάρνων το υδρολογικό έτος 2001-02.	37
Διάγραμμα 3.8. Μέση μηνιαία βροχόπτωση για τον Ομαλό.	42
Διάγραμμα 3.9. Ελάχιστη, μέση και μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία για τον Ομαλό.	42
Διάγραμμα 3.10. Το δυνητικό υδατικό έλλειμμα για την περιοχή του Ομαλού το Ιουλιανό έτος 2000.	42
Διάγραμμα 4.1. Κοκκομετρική αθροιστική καμπύλη του ιζήματος του λιμνίου 2 στο Ελαφονήσι.	53
Διάγραμμα 4.2. Κοκκομετρική αθροιστική καμπύλη του ιζήματος του λιμνίου 11 στο Ελαφονήσι.	53

Διάγραμμα 4.3. Κοκκομετρική αθροιστική καμπύλη του ιζήματος του λιμνίου στον Ομαλό.	54
Διάγραμμα 4.4. Κοκκομετρική αθροιστική καμπύλη του ιζήματος περιφερειακά του λιμνίου στον Ομαλό.	54
Διάγραμμα 4.5. Κοκκομετρική αθροιστική καμπύλη του ιζήματος του λιμνίου στα Φαλάσσορνα.	55
Διάγραμμα 4.6. Κοκκομετρική αθροιστική καμπύλη του ιζήματος του λιμνίου στην λίμνη Κουρνά.	55
Διάγραμμα 4.7. Υδρολογικές παρατηρήσεις για τα λιμνία 2 και 11 στο Ελαφονήσι.	61
Διάγραμμα 4.8. Υδρολογικές παρατηρήσεις για το λιμνίο στον Ομαλό.	61
Διάγραμμα 4.9. Γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων της μοντελοποίησης της διηθητικής ικανότητας του ιζήματος στα λιμνία με ταυτότητα (α) 2, (β) 11 και (γ) 1 στην περιοχή του Ελαφονησίου.	62
Διάγραμμα 4.10. Γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων της μοντελοποίησης της διηθητικής ικανότητας του ιζήματος στα λιμνία με ταυτότητα (α) 1 και (β) 2, στην περιοχή των Φαλασσάρνων.	63
Διάγραμμα 4.11. Γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων της μοντελοποίησης της διηθητικής ικανότητας του ιζήματος στο λιμνίο στην περιοχή του Ομαλού.	64
Διάγραμμα 6.1. Συσχέτιση της επιφάνειας και του όγκου του λιμνίου 2 στο Ελαφονήσι με το βάθος.	77
Διάγραμμα 6.2. Η επιφάνεια του λιμνίου 2 στο Ελαφονήσι σε σχέση με τον όγκο του λιμνίου.	77
Διάγραμμα 6.3. Συσχέτιση της επιφάνειας του λιμνίου 11 στο Ελαφονήσι και του όγκου του λιμνίου με το βάθος.	78
Διάγραμμα 6.4. Η επιφάνεια του λιμνίου σε σχέση με τον όγκο του λιμνίου 11 στο Ελαφονήσι (α) για όγκους 0-50 m ³ και (β) για όγκους 50-271 m ³ .	78
Διάγραμμα 6.5. Συσχέτιση της επιφάνειας και του όγκου του λιμνίου στον Ομαλό με το βάθος.	79
Διάγραμμα 6.6. Η επιφάνεια του λιμνίου στον Ομαλό σε σχέση με τον όγκο του λιμνίου.	79
Διάγραμμα 6.7. Ο όγκος του νερού στο λιμνίο 2 στο Ελαφονήσι όπως προέκυψε από το μοντέλο HPM και όπως παρατηρήθηκε στο πεδίο για την περίοδο προσομοίωσης 1/6/05-27/2/06.	80
Διάγραμμα 6.8. (α) Ο όγκος του νερού στο λιμνίο και στο χερσαίο ίζημα και (β) η μέση στάθμη του νερού στο λιμνίο 2 στο Ελαφονήσι, σε ημερήσια βάση για την περίοδο προσομοίωσης 1/6/05-27/2/06.	81
Διάγραμμα 6.9. (α) Ο όγκος του νερού στο λιμνίο και (β) η πλημμυρική απορροή από το λιμνίο 2 στο Ελαφονήσι σε σχέση με το ύψος της ημερήσιας βροχόπτωσης (γ) η ημερήσια μεταβολή του όγκου του νερού στο λιμνίο και (δ) το χρονικό διάστημα σε ημέρες που ο όγκος μηδενίζεται, μετά από διαφορετικά γεγονότα βροχόπτωσης.	81
Διάγραμμα 6.10. Ο όγκος του νερού στο λιμνίο 11 στο Ελαφονήσι όπως προέκυψε από το μοντέλο HPM και όπως παρατηρήθηκε στο πεδίο για την περίοδο προσομοίωσης 1/6/05-27/2/06.	82
Διάγραμμα 6.11. (α) Ο όγκος του νερού στο λιμνίο και στο χερσαίο ίζημα και (β) η μέση στάθμη του νερού στο λιμνίο 11 στο Ελαφονήσι, σε ημερήσια βάση για την περίοδο προσομοίωσης 1/6/05-27/2/06.	83
Διάγραμμα 6.12. (α) Ο όγκος του νερού στο λιμνίο και (β) η πλημμυρική απορροή από το λιμνίο 11 στο Ελαφονήσι σε σχέση με το ύψος της ημερήσιας βροχόπτωσης (γ) η ημερήσια μεταβολή του όγκου του νερού στο λιμνίο και (δ) το χρονικό διάστημα σε ημέρες που ο όγκος μηδενίζεται, μετά από διαφορετικά γεγονότα βροχόπτωσης.	83
Διάγραμμα 6.13. Ο όγκος του νερού στο λιμνίο στον Ομαλό όπως προέκυψε από το μοντέλο HPM και όπως παρατηρήθηκε στο πεδίο για την περίοδο προσομοίωσης 1/6/05-27/2/06.	84

Διάγραμμα 6.14. (α) Ο όγκος του νερού στο λιμνίο και στο χερσαίο ίζημα και (β) η μέση στάθμη του νερού στο λιμνίο στον Ομαλό, σε ημερήσια βάση για την περίοδο προσομοίωσης 1/9/05-28/2/06.	85
Διάγραμμα 6.15. (α) Ο όγκος του νερού στο λιμνίο και (β) η πλημμυρική απορροή από το λιμνίο στον Ομαλό σε σχέση με το ύψος της ημερήσιας βροχόπτωσης (γ) η ημερήσια μεταβολή του όγκου του νερού στο λιμνίο και (δ) το χρονικό διάστημα σε ημέρες που ο όγκος μηδενίζεται, μετά από διαφορετικά γεγονότα βροχόπτωσης.	85
Διάγραμμα 7.1. Καμπύλη βαθμονόμησης PO ₄ -P (μέθοδος ανάλυσης PhosVer3 Method, 8048).	106
Διάγραμμα 7.2. Καμπύλη βαθμονόμησης NH ₄ -N (μέθοδος ανάλυσης NH ₄ -N Salicylate Method, 10023).	106
Διάγραμμα 7.3. Καμπύλη βαθμονόμησης NO ₃ -N (μέθοδος ανάλυσης NO ₃ -N Cadmium Reduction Method, 8039).	107
Διάγραμμα 7.4. Καμπύλη βαθμονόμησης NO ₂ -N (μέθοδος ανάλυσης NO ₂ -N Diazotization Method, 8507).	107
Διάγραμμα 8.1. Η ικανότητα ανοργανοποίησης των οργανικών μορφών του αζώτου του ιζήματος των λιμνίων κατά την υγρή και την ξηρή περίοδο.	109
Διάγραμμα 8.2. Η ικανότητα ανοργανοποίησης των οργανικών μορφών του φωσφόρου του ιζήματος των λιμνίων κατά την υγρή και την ξηρή περίοδο.	110
Διάγραμμα 8.3. Η ικανότητα εκχύλισης ανόργανων μορφών αζώτου και φωσφόρου του ιζήματος του λιμνίου στον Ομαλό σε διαφορετικά pH και θερμοκρασία 20 °C.	111
Διάγραμμα 8.4. Η ικανότητα εκχύλισης ανόργανων μορφών αζώτου και φωσφόρου του ιζήματος του λιμνίου 2 στο Ελαφονήσι σε διαφορετικά pH και θερμοκρασία 20 °C.	111
Διάγραμμα 8.5. Η ικανότητα εκχύλισης ανόργανων μορφών αζώτου και φωσφόρου του ιζήματος του λιμνίου 11 στο Ελαφονήσι σε διαφορετικά pH και θερμοκρασία 20 °C.	112
Διάγραμμα 8.6. Η ικανότητα εκχύλισης ανόργανων μορφών αζώτου και φωσφόρου του ιζήματος του λιμνίου στον Κουρνά σε διαφορετικά pH και θερμοκρασία 20 °C.	112
Διάγραμμα 8.7. Η ικανότητα εκχύλισης ανόργανων μορφών αζώτου και φωσφόρου του ιζήματος του λιμνίου στα Φαλάσαρνα σε διαφορετικά pH και θερμοκρασία 20 °C.	113
Διάγραμμα 8.8. Η ικανότητα προσρόφησης ανόργανων μορφών φωσφόρου του ιζήματος των λιμνίων σε pH 6, 7 και 8 και θερμοκρασία 20 °C.	113
Διάγραμμα 8.9. Πειραματικά δεδομένα ισόθερμων προσρόφησης ανόργανων μορφών φωσφόρου του ιζήματος των λιμνίων σε θερμοκρασία 20 oC.	114
Διάγραμμα 8.10. Η γραμμικοποιημένη μορφή της ισόθερμης Freundlich και των πειραματικών δεδομένων για την προσρόφηση φωσφορικών του ιζήματος του λιμνίου 2 στο Ελαφονήσι σε θερμοκρασία 20 °C.	115
Διάγραμμα 8.11. Η γραμμικοποιημένη μορφή της ισόθερμης Freundlich και των πειραματικών δεδομένων για την προσρόφηση φωσφορικών του ιζήματος του λιμνίου στον Κουρνά σε θερμοκρασία 20 °C.	115
Διάγραμμα 8.12. Η γραμμικοποιημένη μορφή της ισόθερμης Freundlich και των πειραματικών δεδομένων για την προσρόφηση φωσφορικών του ιζήματος του λιμνίου στα Φαλάσαρνα σε θερμοκρασία 20 oC.	115

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αειφορία αποτελεί μια σύγχρονη απάντηση στο πρόβλημα των υλικών ορίων της οικονομικής μεγέθυνσης. Η βιοποικιλότητα, η οποία διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην γενική αειφόρο ανάπτυξη, είναι σημαντική για τον Πλανήτη μας, την ευημερία των ανθρώπων, τα μέσα συντήρησης και την πολιτιστική ακεραιότητα των ανθρώπων. Εν τούτοις, η βιοποικιλότητα σήμερα χάνεται με πρωτοφανείς ρυθμούς εξ αιτίας των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Ο ορατός κίνδυνος εξαφάνισης πολλών ειδών και αλλοίωσης της σύνθεσης πολλών οικοτόπων, με αποτέλεσμα τη μείωση της βιοποικιλότητας σε παγκόσμιο επίπεδο, οδήγησαν στη διακήρυξη της διάσκεψης του Ρίο το 1992 και στην έκδοση της Οδηγίας 92/43 από μέρους της επιτροπής της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Σκοπός της έκδοσης της Οδηγίας αυτής είναι τόσο η διατήρηση της βιοποικιλότητας (σε όλα τα της τα επίπεδα: γενετική, ειδών, οικοσυστημάτων ή φυτοκοινωνιών (habitats), τοπίων), στις χώρες μέλη, μέσω της προστασίας ορισμένων φυσικών τύπων οικοτόπων (habitats) κοινοτικού ενδιαφέροντος, όσο και ορισμένων ειδών φυτών και ζώων, επίσης κοινοτικού ενδιαφέροντος. Βασικό όργανο για την επίτευξη αυτού του σκοπού αποτελεί η δημιουργία ενός δικτύου προστατευμένων περιοχών γνωστού ως "ΦΥΣΗ 2000" (Natura 2000). Το δίκτυο αυτό, το οποίο θα τεθεί κάτω από ένα καθεστώς ειδικής διαχείρισης που θα καθορίσει κάθε χώρα μέλος λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιαιτερότητές της, θα αποτελέσει στο μέλλον τη σπονδυλική στήλη όχι μόνο για τη διατήρηση της βιοποικιλότητας αλλά και της γενικότερης προστασίας του φυσικού περιβάλλοντος.

Τα 'Μεσογειακά Εποχικά Λιμνία ή Τέλματα, ΜΕΛ' (Mediterranean Temporary Ponds, MTPs) είναι οικοτόποι προτεραιότητας (κωδικός δικτύου Natura: 3170) και εξαιρετικής οικολογικής σημασίας σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή νομοθεσία ('Habitats' Directive 92/43/EEC). Οι οικοτόποι των ΜΕΛ, είναι συνήθως μικροί σε έκταση υγρότοποι, εμφανίζουν ιδιαιτερότητες και φιλοξενούν σημαντικό αριθμό ειδών χλωρίδας και πανίδας, πολλά από τα οποία είναι σπάνια και ενδημικά. Οι εν λόγω οικοτόποι, απαντώνται σε μικρά βυθίσματα του εδάφους τα οποία συγκεντρώνουν νερό κατά τη χειμερινή περίοδο και αποξηραίνονται, κυρίως λόγω εξάτμισης κατά τη θερινή περίοδο. Τα Μεσογειακά Εποχικά Λιμνία, όπως και όλοι οι εποχικοί υγρότοποι, παρά το μικρό μέγεθός τους, έχουν πολυδιάστατο ρόλο και προς το περιβάλλον και προς τον άνθρωπο, με αποτέλεσμα να παρέχουν πολλά και σημαντικά οφέλη (υδρολογική, οικολογική, βιο-γεωχημική, βιοπαραγωγική-τροφική, κλιματική-μικροκλιματική, λειτουργία και αξία). Η μικρή τους έκταση και η περιοδικότητα στην υδροπερίοδο τους έχουν οδηγήσει στο να παραμελείται η αξία τους με αποτέλεσμα τα τελευταία χρόνια να παρατηρείται συρρίκνωση ή και εξαφάνιση τους, λόγω των ισχυρών πιέσεων που δέχονται από διάφορες δραστηριότητες. Μάλιστα, η κύρια απειλή που δέχονται τα εποχικά λιμνία της Μεσογείου, πέρα από τις ανθρωπογενείς παρεμβάσεις, είναι οι επικείμενες κλιματικές αλλαγές.

Μεσογειακά Εποχικά Λιμνία έχουν καταγραφεί στην Ισπανία, την Ιταλία, την Γαλλία, την Πορτογαλία, την Ελλάδα και το Ηνωμένο Βασίλειο. Στην Ελλάδα είχαν καταγραφεί 48 εμφανίσεις των Μεσογειακών Εποχικών Τελμάτων μέχρι το 1996, ενώ πρόσφατα (2002) τεκμηριώθηκε η ιδιαίτερη αξιολογή παρουσία τους σε 24 μόνο περιοχές της Ελλάδας, εκ των οποίων οι 5 βρίσκονται στη Δ. Κρήτη (Γαύδος, Φαλάσσαρνα, Ελαφονήσι, Γεωργιούπολη, Ομαλός). Η εμφάνιση στον Ομαλό προστέθηκε (2005) στα πλαίσια του προγράμματος LIFE/ Φύση 2004 'Δράσεις για τη Διατήρηση των Μεσογειακών Εποχικών Τελμάτων στην Δ. Κρήτη'. Αξίζει να τονιστεί ότι η Κρήτη αποτελεί τη

νοτιότερη περιοχή της Ευρωπαϊκής Ένωσης όπου συναντώνται τα ‘Μεσογειακά Εποχικά Τέλματα ή Λιμνία’.

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι η ανάλυση των μελετών που έχουν ασχοληθεί με τις κλιματολογικές αλλαγές στη Μεσόγειο κι ιδιαίτερα στην Ελλάδα, παρουσιάζουν από μικρή σύγκλιση έως και διαφωνίες στα αποτελέσματα. Ωστόσο, η παρατηρηθείσα τάση στα κλιματολογικά δεδομένα, όπως επίσης και η κλιματική προσομοίωση που πραγματοποιήθηκε από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών προβλέπουν αξιοσημείωτες κλιματολογικές αλλαγές και ενδείξεις για επερχόμενη κλιματική μεταβολή. Μελέτη με στοιχεία από τον μετεωρολογικό σταθμό της Σούδας δείχνει ότι την τελευταία 30ετία σημειώνεται αφενός, συρρίκνωση του μηνιαίου θερμοκρασιακού εύρους εξ’ αιτίας των μεταβολών της μέσης μέγιστης και της μέσης ελάχιστης μηνιαίας τιμής της θερμοκρασίας κι αφετέρου, σχεδόν σταθερή πτωτική τάση του μέσου ύψους νετού. Έως τώρα έχει σημειωθεί πτώση του μέσου ετήσιου ύψους νετού περίπου 50 mm. Ακόμη, η ανάλυση των τάσεων χρονοσειρών του νετού για μια σειρά βροχομετρικών σταθμών της Κρήτης, που πραγματοποιήθηκε από το εργαστήριο Υδρογεωχημικής Μηχανικής και Αποκατάστασης Εδαφών, έδειξε μια σχεδόν σταθερή πτωτική τάση του μέσου ύψους νετού στην Κρήτη. Επομένως, καθώς η διακύμανση των πλημμυρικών περιόδων (υδροπερίοδος) παίζει καθοριστικό ρόλο στην διαμόρφωση όχι μόνο της ποικιλομορφίας των φυτικών ειδών, αλλά και στο να επιτρέψει σε αυτά τα είδη την αναπαραγωγή τους, η αλλαγή του υδρολογικού καθεστώτος λόγω των κλιματικών αλλαγών θα μπορούσε να προκαλέσει καταστροφικές συνέπειες στην βιοποικιλότητα.

Επιπλέον, οι γεωχημικές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε ΜΕΛ δημιουργούν ένα ιδιαίτερο περιβάλλον, υψηλής γεωχημικής αξίας, το οποίο δεν έχει μελετηθεί μέχρι τώρα στην Ελλάδα.

1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο στόχος της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής είναι η μελέτη της υδρολογίας και της γεωχημείας των ΜΕΛ της Δ. Κρήτης. Η μελέτη χωρίστηκε σε τέσσερα μέρη. Στο πρώτο μέρος πραγματοποιήθηκαν μια σειρά από αναλύσεις και πειράματα, ώστε να προσδιορισθούν τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του ιζήματος των ΜΕΛ (υγρασία, pH, πυκνότητα επί ξηρού, πορώδες, κοκκομετρία, χημική σύσταση (μέταλλα-ιχνοστοιχεία), ορυκτολογική σύσταση). Το δεύτερο μέρος περιελάμβανε μηνιαίες επισκέψεις στις περιοχές των λιμνίων για την συλλογή υδρολογικών παρατηρήσεων (στάθμη υπόγειου νερού, στάθμη νερού στα λιμνία) επιτόπιες μελέτες, όπως πειράματα προσδιορισμού της διηθητικής ικανότητας του ιζήματος των λιμνίων. Η συλλογή των παραπάνω δεδομένων επέτρεψε την εννοιολογική προσέγγιση του υδρολογικού κύκλου των λιμνίων. Στη συνέχεια στο τρίτο μέρος με βάση το εννοιολογικό υδρολογικό μοντέλο αναπτύχθηκε ένα μοντέλο για τον προσδιορισμό της υδροπερίοδου των ΜΕΛ. Τέλος, μελετήθηκαν στο εργαστήριο οι βασικές γεωχημικές διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα στο ίζημα των λιμνίων, με βάση την ανάλυση των κύκλων αζώτου και φωσφόρου. Πραγματοποιήθηκαν πειράματα διαλείποντος έργου (batch), με κύριες μεταβλητές την υγρασία και το pH του ιζήματος, ώστε να αξιολογηθεί η ικανότητα του ιζήματος για ανοργανοποίηση, εκχύλιση και προσρόφηση θρεπτικών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 ΤΑ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΑ ΕΠΟΧΙΚΑ ΛΙΜΝΙΑ (ΜΕΛ)

2.1.1 Εισαγωγή στα ΜΕΛ

Τα ‘Μεσογειακά Εποχικά Λιμνία ή Τέλματα, ΜΕΛ’ (Mediterranean Temporary Ponds, MTPs) είναι οικότοποι προτεραιότητας (κωδικός δικτύου Natura: 3170*) και εξαιρετικής οικολογικής σημασίας σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή νομοθεσία (Οδηγία για τους οικότοπους - ενδιαιτήματα 92/43/EEC). Οι οικότοποι αυτοί, είναι συνήθως μικροί σε έκταση υγρότοποι, εμφανίζουν ιδιαιτερότητες και φιλοξενούν σημαντικό αριθμό ειδών χλωρίδας και πανίδας, με σπάνια και ενδημικά είδη. Κάθε ένα από τα ‘Εποχικά Λιμνία’ έχει τη δική του οικολογική ταυτότητα, την υδροπερίοδό του, τη δική του ιδιάζουσα και μοναδική χλωρίδα και πανίδα. Οι εν λόγω οικότοποι, εμφανίζονται σε μικρά βυθίσματα του εδάφους τα οποία συγκεντρώνουν νερό κατά τη χειμερινή περίοδο και συνήθως αποξηραίνονται, κυρίως λόγω εξάτμισης, κατά τη θερινή περίοδο. Επιπλέον, παρουσιάζουν σχετικά μικρή έκταση και περιοδικότητα στην υδροπερίοδό τους, με αποτέλεσμα να παραμελείται η αξία τους. Έτσι, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται συρρίκνωση ή και εξαφάνιση τους, λόγω των ισχυρών πιέσεων που δέχονται από διάφορες δραστηριότητες. [1]

Στο σημείο αυτό, πρέπει να σημειώσουμε ότι τα προσωρινά λιμνία, γενικότερα είναι κοινά στη βόρεια Ευρώπη, Βόρεια Αμερική, Αυστραλία και στη Νότια Αφρική και είναι γνωστά με πολλά διαφορετικά ονόματα (πίνακας 2.1), (βιβλιογραφική ανασκόπηση – υπό δημοσίευση των Ζαχαρίας, Δημητρίου, ΕΛΚΕΘΕ).

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1. Τα καταγεγραμμένα ονόματα των προσωρινών λιμνίων ανά τον κόσμο.

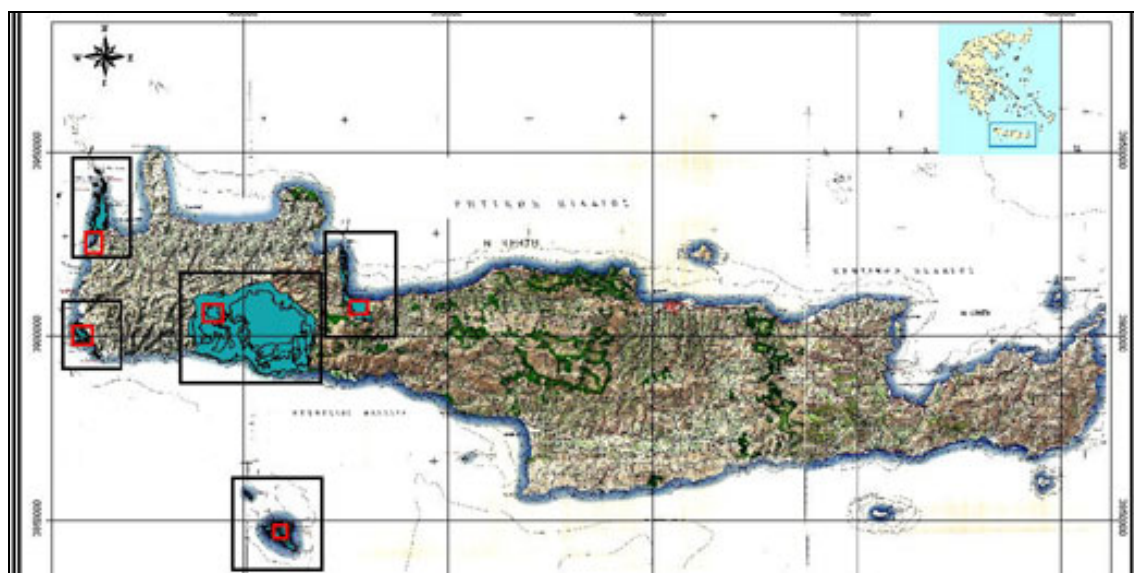
Artificial/semi-natural temporary pools	Rain-pools
Mediterranean temporary pools	Riparian pools
Vernal pools or potholes	Seasonal wetlands
Brumal pools	Ephemeral waters
Cupular pools	Padule
Dayas	Habitat 3120, Natura 2000
Habitat 3170, Natura 2000	

«Μεσογειακά Εποχικά Λιμνία ή Τέλματα» έχουν καταγραφεί στην Ισπανία, την Ιταλία, την Γαλλία, την Πορτογαλία, την Ελλάδα και το Ηνωμένο Βασίλειο. Η γεωγραφική κατανομή των Μεσογειακών Εποχικών Τελμάτων στην Ευρώπη φαίνεται στον χάρτη 2.1 [29]. Στην Ελλάδα είχαν καταγραφεί 48 εμφανίσεις των Μεσογειακών Εποχικών Τελμάτων μέχρι το 1996, ενώ πρόσφατα (2002) τεκμηριώθηκε η ιδιαίτερη αξιολογία παρουσία τους σε 23 μόνο περιοχές της Ελλάδας, εκ των οποίων οι 4 βρίσκονται στη Δ. Κρήτη (Γαύδος, Φαλάσσαρνα, Ελαφονήσι, Γεωργιούπολη). Στα πλαίσια μάλιστα του προγράμματος LIFE/ Φύση 2004 ‘Δράσεις για τη Διατήρηση των Μεσογειακών Εποχικών Τελμάτων στην Δ. Κρήτη’, προστέθηκε άλλη μια εμφάνιση στην περιοχή του Ομαλού (Χάρτης 2.2). Αξίζει να τονιστεί ότι η Κρήτη αποτελεί τη νοτιότερη περιοχή της Ευρωπαϊκής Ένωσης όπου συναντώνται τα ‘Μεσογειακά Εποχικά Τέλματα ή Λιμνία’.



Χάρτης 2.1. Οι χώρες της Ευρώπης με εμφανίσεις Μεσογειακών Εποχικών Τελμάτων [29].

Χώρα	Βιογεω-περιοχή
Ισπανία	Ατλαντική
Ισπανία	Μεσογειακή
Γαλλία	Ατλαντική
Γαλλία	Ηπειρωτική
Γαλλία	Μεσογειακή
Ελλάδα	Μεσογειακή
Ιταλία	Αλπική
Ιταλία	Ηπειρωτική
Ιταλία	Μεσογειακή
Πορτογαλία	Macaronesian
Πορτογαλία	Μεσογειακή
Ηνωμένο Βασίλειο	Ατλαντική



Χάρτης 2.2. Οι περιοχές της Δυτικής Κρήτης με εμφανίσεις Μεσογειακών εποχικών Λιμνίων.

2.1.2 Η Αξία των ΜΕΛ

Τα μεσογειακά εποχικά λιμνία αποτελούν οικοτόπους με σημαντική αξία διατήρησης, καθώς παρά το μικρό μέγεθός τους, προφυλάσσουν πολλά σπάνια και υπό εξαφάνιση είδη. Ένας άλλος σημαντικός λόγος για τον οποίο πρέπει να προστατευθούν είναι ότι τις μέρες μας παρατηρείται σε αυτά ένα μεγάλο ποσοστό συρρίκνωσης ή και εξαφάνισή τους [4,9].

Τα εν λόγω λιμνία υποστηρίζουν μια πλούσια βιοποικιλότητα που περιλαμβάνει υψηλή βλάστηση, αμφίβια και γυρίνους, έντομα, πολλούς μικροοργανισμούς και μακροασπόνδυλα. Μερικά από τα είδη είναι ενδημικά και μερικά μπορούν επίσης να βρεθούν αλλού. Ακόμη, τα εποχικά λιμνία είναι απομονωμένα ενδιαιτήματα, που αποτελούν σημαντικό περιβάλλον για πολλά μεταναστευτικά πουλιά. Παρέχουν, εκτός από έναν βιότοπο για τα απειλούμενα και σπάνια είδη, ένα τέλειο σταθμό για πολλά πουλιά κατά τη διάρκεια του ταξιδιού τους [14]. Σε μερικές περιπτώσεις τα είδη εξαρτώνται και από τις υδρολογικές αλλαγές των λιμνίων, όσο αφορά την αναπαραγωγή ή την

ολοκλήρωση του κύκλου της ζωής τους. Παραδείγματος χάριν, η διακύμανση των πλημμυρικών περιόδων παίζει καθοριστικό ρόλο στην διαμόρφωση όχι μόνο της ποικιλομορφίας των φυτικών ειδών, αλλά και στο να επιτρέψει σε αυτά τα είδη την αναπαραγωγή τους. Η αλλαγή του υδρολογικού καθεστώτος επομένως θα μπορούσε να προκαλέσει καταστροφικές συνέπειες στην βιοποικιλότητα.

Υπάρχει επίσης ισχυρή πιθανότητα τα εποχικά λιμνία να συμβάλλουν στη μεγιστοποίηση της ομάδας γονιδίων των ειδών που εμφανίζονται στα προσωρινά καθώς επίσης και στα μόνιμα ύδατα. Αυτή η αυξανόμενη ποικιλομορφία μπορεί να είναι κρίσιμη για την επιβίωση των ειδών που θα αντιμετωπίσουν τις πιθανές μελλοντικές αλλαγές του παγκόσμιου περιβάλλοντος. [3,28]

2.1.3 Η Υδρολογία των ΜΕΛ

Η υδρολογία των Μεσογειακών Εποχικών Λιμνίων μπορεί να χαρακτηριστεί ως αυτορυθμιζόμενη και παρουσιάζει σημαντική μεταβλητότητα τόσο στο μήκος της υδροπερίοδου των λιμνίων (το διάστημα στο οποίο υπάρχει νερό στα προσωρινά λιμνία), όσο και στην έναρξη της περιόδου κατακλυσμού τους. Οι εν λόγω οικότοποι, εμφανίζονται συχνά σε μικρά βυθίσματα του εδάφους με αδιαπέρατο υπέδαφος, και συνήθως ανήκουν σε μια σχετικά μικρή λεκάνη απορροής. Αλλά μπορούν να βρεθούν επίσης και σε καρστικές περιοχές.

Η διαπερατότητα και η κλίση των υποστρωμάτων καθορίζουν την ποσότητα του ύδατος που μπορεί να φθάσει στο λιμνίο μέσω της επιφανειακής απορροής και το υπόγειο νερό και επομένως επηρεάζουν την υδροπερίοδο, αλλά και (κατά συνέπεια) τη σύνθεση του οικοσυστήματος. Είναι λογικό λοιπόν η γεωλογική δομή να έχει μια σημαντική επιρροή στο υδρολογικό καθεστώς στην περιοχή των λιμνίων.

Σύμφωνα με τον D.D. Williams (Williams 1997) υπάρχουν δύο διαφορετικοί τύποι προσωρινών λιμνίων [29]:

1. **Ασυνεχή** Λιμνία (Intermittent ponds) – που ακολουθούν ένα εποχιακό κυκλικό σχήμα ξηρασίας και κατακλυσμού.
2. **Επεισοδιακά** Λιμνία (Episodic ponds)- που εμφανίζουν απρόβλεπτο πλημμυρισμό.

Οι Grillas *et al.* [14,15] ανέφεραν ότι οι εποχιακές και ετήσιες μεταβολές του όγκου του ύδατος σε ένα λιμνίο προκύπτουν από το υδατικό ισοζύγιο των εισροών και των εκροών. Οι εισροές μπορούν να είναι η άμεση βροχή, η επιφανειακή απορροή, το λωμένο χιόνι και εισροές από το υπόγειο νερό. Οι εκροές μπορούν να είναι η διήθηση, η υπερχειλίση και η εξατμισοδιαπνοή [14,18]. Εάν η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα είναι χαμηλότερη από το κατώτατο σημείο του λιμνίου, το νερό του λιμνίου θα τείνει να τροφοδοτεί το υπόγειο νερό. Στην αντίθετη περίπτωση, όταν δηλαδή η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα είναι πιο ψηλά από τη στάθμη του ύδατος στο λιμνίο, εμφανίζονται εισροές από το υπόγειο νερό [14].

Οι Keely και Zedler (1996) [18] ανέφεραν ότι (όπως τροποποιείται από τον Zedler, 1987) ένα προσωρινό (vernal) τέλμα αποτελείται από τέσσερα στάδια:

1. Μια **υγρή φάση** (wetting phase)
2. Μια **φάση κατακλυσμού** (aquatic or inundation phase)
3. Μια **κορεσμένη-χερσαία φάση** (waterlogged-terrestrial phase)
4. Μια **φάση ξηρασίας** (drought phase)

Το μήκος της υδροπερίοδου καθορίζει την αναπτυσσόμενη χλωρίδα και πανίδα [14, 18, 27]. Αυτές οι υδρολογικές μεταβολές είναι απολύτως φυσικές και όπως μεταβάλλεται η ποσότητα του ύδατος, έτσι μεταβάλλεται και η υδρόβια αναπτυσσόμενη βλάστηση και τα ασπόνδυλα. Κατά τη διάρκεια του πλημμυρισμού, ο υδρόβιος βιότοπος έχει διαθέσιμους τροφικούς πόρους και η δράση των αρπακτικών ζώων είναι χαμηλή. Κατά τη διάρκεια της ξηρασίας, η υψηλότερης πυκνότητας πανίδα οδηγεί σε μεγαλύτερο ανταγωνισμό και κατάλληλες συνθήκες για δράση των αρπακτικών [8, 14, 27].

2.1.4 Τα Χημικά Χαρακτηριστικά των ΜΕΛ

Τα προσωρινά λιμνία διαφέρουν από τα μόνιμα ύδατα από πολλές απόψεις. Τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά τους συχνά κυμαίνονται αρκετά και μπορούν προσωρινά να πλησιάσουν ή να υπερβούν τα βιολογικά όρια των οργανισμών [2,10,20,23].

Οι συγκεντρώσεις των νιτρικών και των συνολικών φωσφορικών ποικίλλουν σημαντικά καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, αλλά τα επίπεδα συγκέντρωσής τους είναι σχετικά χαμηλά.

Η αλατότητα μπορεί να είναι ένας σημαντικός παράγοντας προς το τέλος των υγρών περιόδων σε μερικά προσωρινά λιμνία, λόγω της συγκέντρωσης των διαλυμένων ιόντων από την εξάτμιση. Η ανοχή στην αλατότητα μεταξύ των διαφορετικών ομάδων οργανισμών που βρίσκονται στα προσωρινά λιμνία ποικίλλει σημαντικά [18,20].

Στα εν λόγω ύδατα παρατηρούνται συχνά ακραίες αλλαγές στις τιμές του pH και των επιπέδων του διαλυμένου διοξειδίου του άνθρακα, καθώς επίσης και του οξυγόνου. Το pH ελέγχεται κατά ένα μεγάλο μέρος από το σύστημα διοξειδίου του άνθρακα-δισανθρακικών αλάτων και έτσι, κατά την φωτοσυνθετική μείωση του CO₂, το pH των υδάτων μπορεί να αυξηθεί κατά 2-3 μονάδες μέσα σε λίγες μόνο ώρες [2,18,24].

Επιπλέον, τα επίπεδα οξυγόνου κυμαίνονται και είναι συχνά πολύ χαμηλά. Κατά τη διάρκεια της ξηρής περιόδου οι περιβαλλοντικές παράμετροι αλλάζουν, η θερμοκρασία αυξάνει και το διαλυμένο οξυγόνο κυμαίνεται. Ακόμη, λόγω της πολύ υψηλής τιμής του λόγου επιφάνειας/όγκου των λιμνίων, τα περισσότερα από αυτά βιώνουν ακραίες αλλαγές στη θερμοκρασία. Κατά συνέπεια, νωρίς στην ημέρα μπορούν να παρουσιάσουν συνθήκες σχετικά γρήγορης ανάπτυξης, αλλά καθώς το φως (ηλιακή ακτινοβολία) αυξάνει, η φωτοσύνθεση επιβραδύνεται από τον περιορισμό του διοξειδίου του άνθρακα, και ενδεχομένως το διαθέσιμο οξυγόνο αποβάλλεται μέσω της φωτοαναπνοής [17].

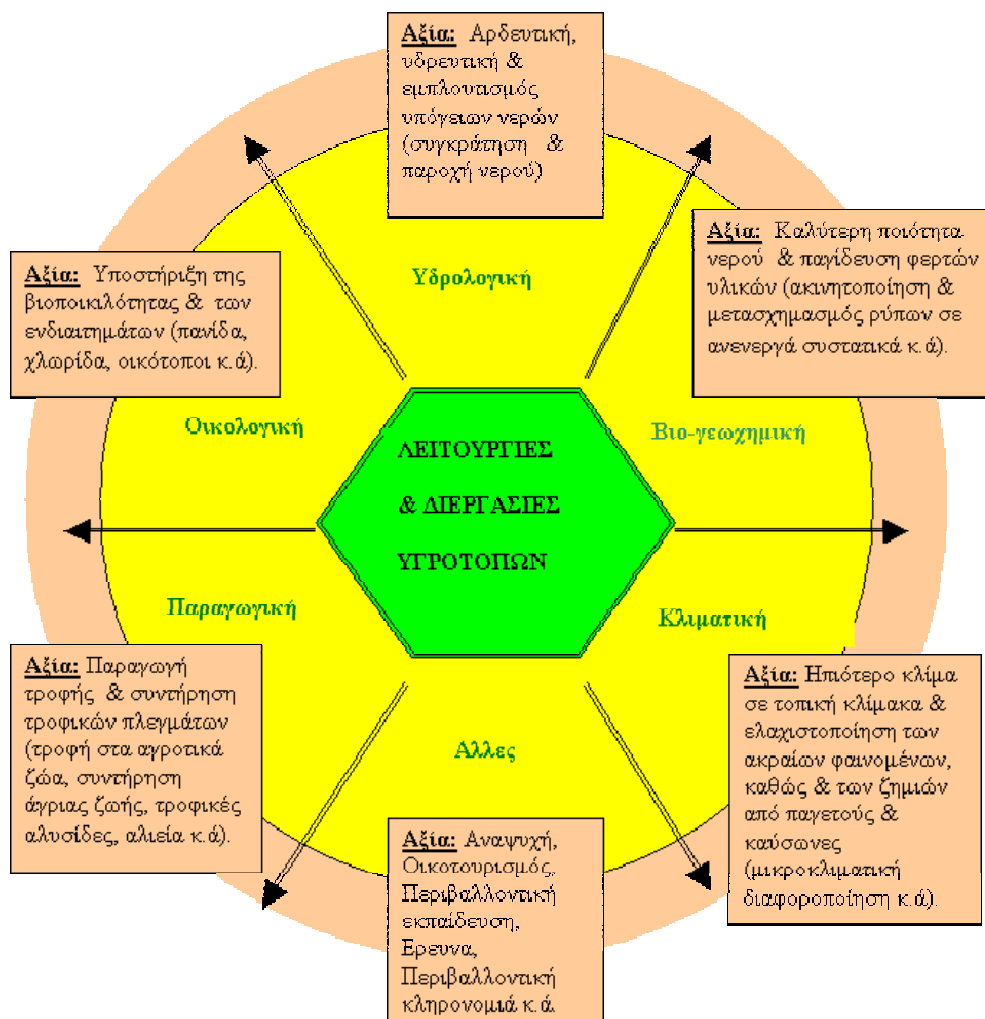
Η σταθερότητα-διατήρηση των εποχικών λιμνών φαίνεται ότι πιθανότατα είναι το αποτέλεσμα της γρήγορης αποσύνθεσης της οργανικής ύλης κατά τη διάρκεια της ξηρής φάσης, η οποία μειώνει κατά ένα μεγάλο μέρος το ρυθμό συσσώρευσης του ιζήματος [9].

Τέλος, τονίζεται ότι η έρευνα των χημικών χαρακτηριστικών των μεσογειακών εποχικών λιμνίων είναι περιορισμένη. Συγκεκριμένα, λίγα είναι γνωστά για τις χημικές αλλαγές που συμβαίνουν καθώς τα λιμνία περνούν από τα διαφορετικά διαδοχικά στάδια [2].

2.1.5 Τα Οφέλη από τα ΜΕΛ

Τα 'Μεσογειακά Εποχικά Λιμνία', όπως και όλοι οι εποχικοί υγρότοποι, παρά το μικρό μέγεθός τους, εξαιτίας των φυσικών τους λειτουργιών και διεργασιών (υδρολογική, οικολογική, βιο-γεωχημική, βιοπαραγωγική-τροφική, κλιματική-μικροκλιματική, κ.α.), έχουν πολυδιάστατο ρόλο και προς το περιβάλλον και προς τον άνθρωπο. Έτσι, δημιουργούν και παρέχουν οφέλη τα οποία μεταξύ των άλλων περιλαμβάνουν [1,30]:

- Συγκράτηση και προσφορά νερού (π.χ. πότισμα ζώων, άρδευση, εμπλουτισμός υπόγειων νερών, προστασία από πλημμυρικά φαινόμενα).
- Παραγωγή τροφής (π.χ. βόσκηση αγροτικών ζώων, συντήρηση των τροφικών πλεγμάτων της άγριας ζωής).
- Ποικιλία ενδιαιτημάτων και υποστήριξη της βιοποικιλότητας (οικολογική σημασία).
- Βελτίωση της ποιότητας του νερού και ακινητοποίηση - μετασχηματισμός των ρύπων σε ανενεργά συστατικά (βιο-γεωχημική σημασία).
- Επηρεάζουν το μικρο-κλίμα της περιοχής μειώνοντας τις ζημιές από παγετούς και καύσωνες (κλιματική σημασία).
- Πολυποίκιλες ευκαιρίες για έρευνα, εκπαίδευση, οικοτουρισμό, αναψυχή κ.ά.



Σχήμα 2.1. Οι Σημαντικότερες Λειτουργίες και Αξίες των Υγροτόπων
(πηγές: e.g. Zalewski, 2000, Novitzki et al., 2000, Grillas et al., 2004, προσαρμογή Θ. Κουσουρή, 2004) [30].

2.1.6 Οι απειλές που Δέχονται τα ΜΕΛ

Τα Μεσογειακά Εποχικά Λιμνία είναι οικότοποι πολύ τρωτοί στις ανθρώπινες δραστηριότητες, λόγω των ειδικών φυσικών και οικολογικών χαρακτηριστικών τους. Επιπλέον, ο εν λόγω οικότοπος και η αξία του συχνά αγνοούνται [3, 23, 25], λόγω της μικρής κλίμακας του και του εποχιακού του χαρακτήρα, με αποτέλεσμα να μην προστατεύεται και να δέχεται ακόμα περισσότερες απειλές. Οι απειλές που δέχονται τα Μεσογειακά Εποχικά Λιμνία οφείλονται στην ανθρώπινη παρέμβαση, αλλά και τις μελλοντικές κλιματικές αλλαγές. Οι απειλές αφορούν το υδρολογικό τους καθεστώς και την χημική και οικολογική τους ποιότητα. Μάλιστα οποιαδήποτε ενέργεια επηρεάζει ένα από τα παραπάνω, έχει πιθανότατα επιπτώσεις και στα άλλα.

Σημειώνουμε, ότι σχεδόν σε όλα τα εποχικά λιμνία στην περιοχή της Μεσογείου η ανθρώπινη παρέμβαση και επιρροή είναι παρούσα. Παρόλο, που δεν υπάρχει καμία τρέχουσα έρευνα που να επιτρέπει την μέτρηση της υποβάθμισης των εποχικών λιμνίων [15], δεν αναιρείται ο κίνδυνος υποβάθμισης πολυάριθμων περιοχών της Μεσογείου με εμφανίσεις εποχικών λιμνίων εξαιτίας κυρίως της αυξανόμενης γεωργίας και αστικής – τουριστικής ανάπτυξης στην περιοχή [3,4,7,19].

Οι απειλές, οι παρεμβάσεις και οι κίνδυνοι που διατρέχουν τα εν λόγω εποχικά λιμνία μπορούν να συνοψιστούν στα παρακάτω:

a) Η **οικιστική ανάπτυξη** στην περιοχή της Μεσογείου έχει οδηγήσει, μέσω των αναπτυξιακών έργων (κατοικίες, δρόμοι), στην καθολική καταστροφή και εξαφάνιση πολυάριθμων εποχικών τελμάτων. Πολλές φορές τα έργα διακόπτουν τη συνέχεια των οικοτόπων αυτών, οι οποίοι συχνά απαντώνται σε συμπλέγματα που αλληλεπιδρούν και επικοινωνούν μεταξύ τους, δημιουργώντας μια 'όαση' υδρολογικών και υδροβιολογικών συνθηκών [1].

b) Επιπλέον, ο συνεχώς αυξανόμενος **τουρισμός** στην περιοχή της Μεσογείου αυξάνει συχνά την πίεση που δέχεται ο οικότοπος από δραστηριότητες, όπως η έντονη και σκόπιμη μετακίνηση ανθρώπων (**ποδοπάτηση** από τους επισκέπτες-περιπατητές), αλλά και οχημάτων (**ροδιές** από μοτοσυκλέτες και τζίπς) στο χώρο του, η ιππασία, τα πικνίκ. Ακόμη, αξιοσημείωτη είναι η χρήση των οικοτόπων ως πάρκινγκ κατά τη διάρκεια της ξηρής περιόδου [15, 26], όπου σε αυτήν την περίπτωση επηρεάζεται όχι μόνο η περιοχή του εποχικού λιμνίου, αλλά και η περιοχή γύρω από αυτό, η οποία περιέχει συχνά σπάνια είδη χλωρίδας και σημαντικούς οικοτόπους με χαρακτηριστικά είδη πανίδας εποχικών λιμνίων. Η πίεση των επισκεπτών την ξηρή περίοδο, καθώς επίσης και η ποδοπάτηση από τα βοοειδή, αλλάζει επίσης τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά του πυθμένα του λιμνίου. Αυτό μπορεί να καταστήσει αδύνατη τη βλάστηση μερικών φυτικών ειδών. Είδη όπως το *Elatine brochonii* παραδείγματος χάριν, είναι ανέκτα να βλαστήσουν εάν οι σπόροι τους καλυφθούν έστω και με ένα λεπτό στρώμα χώματος [16]. Η ποδοπάτηση μπορεί να βλάψει τη βλάστηση και τα ζώα στο στάδιο διαχείμανσής τους. Προκαλεί επίσης την καταστροφή των καταφύγιων των μικρών οργανισμών. Στην περίπτωση της μακροχρόνιας ή πολύ έντονης ποδοπάτησης ακόμη και ο τύπος του χώματος θα μπορούσε να αλλάξει, αλλάζοντας τη σύνθεση της χλωρίδας, ευνοώντας τα πιο κοινά φυτικά είδη [15].

c) Ακόμη, ένας λόγος που οδηγεί σε πιο σύντομες υδροπεριόδους είναι η '**δάσωσή**' της περιοχής του λιμνίου με θάμνους ή δένδρα τα οποία αυξάνουν το ποσοστό της εξατμισοδιαπνοής τοπικά. Η διαδικασία αυτή μπορεί να είναι φυσική, αλλά ενισχύεται αρκετά με τον ευτροφισμό και άλλες διαδικασίες που ευνοούν τα είδη με τις καλύτερες δυνατότητες ανταγωνισμού [15,21].

d) Αν και η ορθολογική βόσκηση των εποχικών λιμνίων είναι απαιτούμενη και ζητούμενη, ώστε να αποφεύγεται η '**δάσωσή**' τους με θάμνους ή δένδρα, η **υπερβόσκηση**, μπορεί να αφανίσει σημαντικά είδη από τη χλωρίδα του οικοτόπου, καθώς επίσης και να ρυπάνει πολύ γρήγορα τη μικρή σχετικά ποσότητα νερού, δημιουργώντας έτσι ακατάλληλο νερό ακόμη και για το 'πότισμα' των ζώων [1].

e) Το νερό των λιμνίων χρησιμοποιείται συχνά για διάφορες χρήσεις, (άρδευση, πότισμα του ζωικού κεφαλαίου, και οικιακή χρήση) με άμεση εξαγωγή του ή με άντληση του κοντά στα λιμνία. Έτσι, η **απόληψη νερού** από τα εποχικά λιμνία μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την **πρόωρη ξηρασία** τους και την αποσταθεροποίηση της υδροπεριόδου τους . [7,26]

f) Η **τεχνητή αποξήρανση** των λιμνίων κατά την ξηρή περίοδο ενισχύει την σμίκρυνση της υδροπεριόδου και επηρεάζει τους υδρόβιους οργανισμούς, στην αναπαραγωγή και την ανάπτυξή τους (π.χ. αμφίβια, είδη Odonata) [15,26].

g) Σε μερικές περιπτώσεις, χρησιμοποιείται η **τεχνητή επαναφόρτιση** των εποχικών λιμνίων ως πρακτική αποκατάστασης, η οποία οδηγεί συχνά σε εκτεταμένη πλημμύρα και μπορεί ακόμη και να καταστήσει τα λιμνία μόνιμα. Η επίδραση της εκτεταμένης πλημμύρας μπορεί γενικά να είναι θετική. Τα λιμνία που κρατούν το νερό για μια πιο μεγάλη περίοδο μπορούν να υποστηρίξουν ποικιλία ειδών πανίδας (με διαφορετικό χρόνο αναπαραγωγής) [3]. Αλλά η επιμήκυνση της πλημμυρικής φάσης συχνά επίσης οδηγεί στην αύξηση του ανταγωνισμού των πιο κοινών φυτικών ειδών, αντικαθιστώντας τα σπάνια είδη [28].

h) Μερικά από τα λιμνία - πολλές φορές μετά από σκάψιμο, ώστε να αυξηθεί το βάθος του λιμνίου- **χρησιμοποιούνται** από τους αγρότες ως **δεξαμενές αποθήκευσης** του νερού των καναλιών άρδευσης. Αρπακτικά ζώα, όπως ορισμένα ψάρια και είδη αστακών (π.χ. *Micropterus salmoides* και *clarkia Procambarus*) είναι κοινά στα κανάλια άρδευσης και αποικίζουν συχνά τις μόνιμες

δεξαμενές. Αυτά τα αρπακτικά ζώα τρέφονται με τα αυγά των αμφίβιων και τις προνύμφες, μειώνοντας κατά συνέπεια τους πληθυσμούς τους [3,15].

ι) Με την **ενδυνάμωση της γεωργίας**, μπορούν να εμφανιστούν αλλαγές τόσο στην ευρύτερη, όσο και στην άμεση λεκάνη απορροής. Στην περίπτωση που το μεγαλύτερο μέρος της γης στην λεκάνη απορροής οργώνεται, αυτό μπορεί να οδηγήσει στην αύξηση της διάβρωσης, γεμίζοντας βαθμιαία τα βυθίσματα των λιμνίων και μειώνοντας κατά συνέπεια το μήκος των υδροπεριόδων τους. Η **διάβρωση** συνεπάγεται μια πρόσθετη εισαγωγή θρεπτικών ουσιών στα λιμνία, συμβάλλοντας κατά συνέπεια στον **ευτροφισμό** του οικοτόπου [23].

j) Τα επίπεδα της **ρύπανσης** στα εποχικά λιμνία αυξάνονται γενικά με την ένταση της γεωργικής δραστηριότητας και την εκτενή χρήση φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων, από τα οικιακά και βιομηχανικά απόβλητα και τους αερομεταφερόμενους ρύπους [12,20]. Η επιβάρυνση των εποχικών λιμνίων με θρεπτικά είναι μια διαδεδομένη απειλή στην περιοχή της Μεσογείου. Αυτό συμβαίνει κυρίως μέσω των λιπασμάτων στην απορροή από το γεωργικό έδαφος. Αρκετές λίμνες, π.χ. στο Μαρόκο, χρησιμοποιούνται επίσης για την πλύση, η οποία προσθέτει φωσφορικά άλατα από τα απορρυπαντικά στο νερό των λιμνίων. Ο ευτροφισμός έχει επιπτώσεις στη χλωρίδα και την πανίδα και είναι πολύ πιθανό να μειώσει την αξία αυτών των οικοτόπων για την κοινωνία [23]. Η αστική ανάπτυξη μπορεί να οδηγήσει στην αύξηση της βιομηχανικής δραστηριότητας και της διάθεσης στερεών και υγρών αποβλήτων, όπως επίσης και στην όξυνση των υδάτινων σωμάτων. Η έκθεση σε (ύπο-) θανατηφόρες δόσεις ((sub-) lethal doses) ρύπων θα μειώσει τους πληθυσμούς των τρωτών οργανισμών – λόγω θνησιμότητας ή μείωσης του ρυθμού ανάπτυξης του πληθυσμού [15,20,24].

k) Ο κίνδυνος **πυρκαγιάς** στην περιοχή των εποχικών λιμνίων, είναι άμεσος εξαιτίας του μεγάλου αριθμού επισκεπτών και μπορεί να προκαλέσει άμεση ζημία με το κάψιμο της βλάστησης, τη μείωση των διαθέσιμων σπόρων και του ζωικού πληθυσμού. Η επίδραση της καμένης βλάστησης μπορεί μερικές φορές να είναι θετική υπό την έννοια ότι η καταστροφή των δέντρων ευνοεί τα μεσογειακά είδη. Ενδεχόμενη πυρκαγιά στην ευρύτερη λεκάνη απορροής μπορεί να ασκήσει σημαντική επίδραση στα οικοσυστήματα των λιμνίων, προκαλώντας έντονη διάβρωση και επιβαρύνοντάς τα με θρεπτικά [15].

l) Τέλος, οι μελλοντικές **κλιματικές αλλαγές** (π.χ. ανομβρία, ξηρασία), εάν οδηγήσουν στη μείωση της βροχόπτωσης στην περιοχή της Μεσογείου, όπως διάφορες μελέτες, θα έχουν ως αποτέλεσμα την αποσταθεροποίηση ή και την κατάρρευση των υδρολογικών συνθηκών των εποχικών λιμνίων. Το μήκος των υδροπεριόδων των εποχικών λιμνίων μπορεί να γίνει πολύ μικρό (ή να μην εμφανιστούν οι υγρές περίοδοι ακόμη και καθόλου), λόγω της πτώσης της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα και τη μειωμένη ποσότητα του ύδατος που θα καταλήγει στο λιμνίο μέσω της βροχής και της επιφανειακής απορροής.

Οι περισσότερες από τις απειλές αποτελούν απόρροια της ελλιπούς ενημέρωσης της τοπικής κοινωνίας για τις αξίες που περικλείονται σ' αυτούς τους οικοτόπους. Έτσι, οι τοπικές κοινωνίες έχουν δημιουργήσει απαξιωτική εικόνα γι' αυτούς και ταυτίζουν συνήθως τα εποχικά λιμνία με άχρηστες περιοχές, όπου ρίχνουν σκουπίδια, μπάζα και οτιδήποτε άχρηστο υλικό, ενώ άλλες φορές υπερεκμεταλλεύονται (π.χ. υπερβόσκηση, υπεράντληση), τα φυσικά τους αγαθά συμπεριλαμβανομένων του νερού, της βιοποικιλότητας, αλλά και της χλωρίδας τους.

2.1.7 Οι Ενέργειες για την Προστασία, Αποκατάσταση και Αξιοποίηση των ΜΕΛ

Όλες οι λειτουργίες των υγροτόπων από τη φύση τους δεν μπορούν να αποτελέσουν άμεσο στόχο αποκατάστασης, εφόσον έχουν υποβαθμιστεί, ενώ οι προς επιλογή δράσεις αποκατάστασης, συνήθως βασίζονται σε μια σειρά από κριτήρια (περιβαλλοντικά, κοινωνικο-οικονομικά, θεσμικά και άλλα). Ακόμη, πρέπει να σημειωθεί ότι σε επίπεδο εφαρμογής είναι σκόπιμο να ακολουθούνται ήπιες παρεμβάσεις και οικολογικά ενδεδειγμένες μέθοδοι. Έτσι, καταρχήν πρέπει να διαπιστωθούν οι απειλές εξαφάνισης ή και περαιτέρω υποβάθμισης των οικοτόπων αυτών και να σχεδιαστεί πλαίσιο δραστηριοτήτων, ώστε [1,30]:

- να αποκατασταθούν οι ήδη υποβαθμισμένοι οικότοποι στην επιθυμητή οικολογική κατάσταση τους,
- να εξαλειφθούν ή και να ελαχιστοποιηθούν οι κίνδυνοι εξαφάνισής τους,
- να διασφαλιστεί η συναίνεση και η αποδοχή της τοπικής κοινωνίας για την αξία και σημασία τους,
- να προωθηθεί η οικο-τουριστική ανάδειξη και προβολή τους και
- να υλοποιηθούν διαχειριστικά σχέδια διατήρησής τους από την Τοπική Αυτοδιοίκηση.

Πρέπει να τονιστεί, ότι το εγχείρημα του σχεδιασμού και της υλοποίησης ενός οικοαναπτυξιακού-περιβαλλοντικού προγράμματος είναι δύσκολο, και κρίνεται απαραίτητη η κατάλληλη ενημέρωση των τοπικών κοινωνιών ώστε να προωθηθεί ο οικο-τουρισμός σε ορισμένο πλαίσιο δραστηριοτήτων, αναψυχής και περιήγησης.

2.2 ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΑΛΛΑΓΕΣ ΚΑΙ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΑ ΕΠΟΧΙΚΑ ΛΙΜΝΙΑ (ΜΕΛ)

2.2.1 Εισαγωγή στις Κλιματικές Αλλαγές

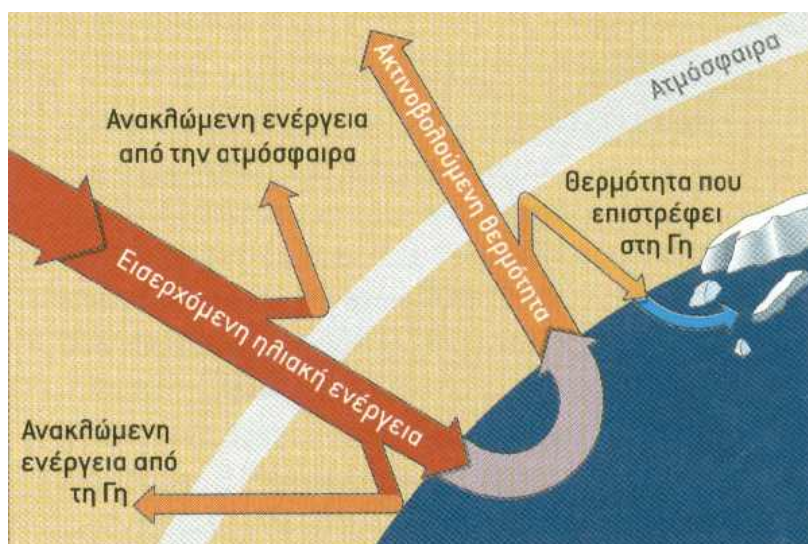
Το κλίμα αποτελεί αναμφισβήτητα ένα από τα πιο σημαντικά στοιχεία του φυσικού περιβάλλοντος για την ανάπτυξη και την επιβίωση κάθε μορφής ζωής πάνω στη γη. Ως κλίμα νοείται η μέση τιμή των μετεωρολογικών παραμέτρων (θερμοκρασία, υγρασία, βροχόπτωση, διεύθυνση και ένταση ανέμου) που παρατηρούνται σε μια συγκεκριμένη περιοχή για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα. Όμως, χρόνο με το χρόνο οι παραπάνω παράμετροι μεταβάλλονται, και μάλιστα ορισμένες φορές σημαντικά, με αποτέλεσμα, προκειμένου να εξαχθούν χρήσιμα και ασφαλή συμπεράσματα για το κατά πόσο αυτές οι μεταβολές είναι περιοδικές ή μπορεί να έχουν μόνιμο χαρακτήρα, να απαιτείται η συστηματική και μακροχρόνια εξέταση τους. Έτσι, πρέπει να τονίσουμε ότι στην περίπτωση, που οι μέσοι όροι των μετεωρολογικών παραμέτρων τείνουν να έχουν μόνιμη μεταβολή, τότε είναι δυνατόν να προκληθούν κλιματικές αλλαγές. [31,35]

Σήμερα, όλα τα στοιχεία δείχνουν ότι το κλίμα έχει αλλάξει και θα συνεχίσει να αλλάζει στο μέλλον. Η υπερθέρμανση του πλανήτη είναι γεγονός και είναι ορατή με ένα πλήθος γεγονότων και ακραίων καιρικών φαινομένων ανά τον κόσμο. Στους Εσκιμώους της βόρειας Αμερικής γίνεται αντιληπτό με το λιώσιμο των πάγων, τη λιμοκτονία των πολικών αρκούδων και την απρόβλεπτη μετανάστευση των φαλαινών. Ο κόσμος των παραγκουπόλεων, από τη Λατινική Αμερική μέχρι τη νοτιοανατολική Ασία, το βλέπει καθημερινά στους φονικούς τυφώνες, τις συχνές καθιζήσεις του εδάφους και τις πλημμύρες. Οι Ευρωπαίοι το ζουν με την εξαφάνιση των παγετώνων των Άλπεων, την ξηρασία σε πολλές περιοχές της Μεσογείου και τις ακραίες καταιγίδες. Μία σειρά από επιστημονικά άρθρα τεκμηριώνουν τις σημαντικές αλλαγές στους παγετώνες της Ευρώπης, της Αμερικής της Ανταρκτικής ακόμη και του Κιλιμάντζαρο. Ταυτόχρονα η χλωρίδα και η πανίδα προσπαθούν να προσαρμοστούν στις νέες κλιματικές συνθήκες. Οι ερευνητές γίνονται καθημερινά μάρτυρες της επερχόμενης καταστροφής σε όλο της το μεγαλείο, μελετώντας τους δακτυλίους ανάπτυξης σε κορμούς δέντρων και τα ιζήματα των λιμνών, έως τα απολιθωμένα κοράλλια και τις φυσαλίδες αέρα που παγιδεύονται στον πυρήνα των πάγων. [31]

Όλα τα στοιχεία αποκαλύπτουν ότι ο κόσμος είναι ο θερμότερος της τελευταίας χιλιετίας ή και περισσότερο. Και πιθανώς η θερμοκρασία του να μην αυξανόταν ποτέ με τόσο ταχείας ρυθμούς όσο τα τελευταία 30 χρόνια – σε μια περίοδο όπου οι επιδράσεις της φύσης όπως οι ηλιακές κηλίδες, θα έπρεπε αν μη τι άλλο να μειώνουν τη θερμοκρασία του. Με το φαινόμενο του θερμοκηπίου να αποτελεί εδώ και έναν τουλάχιστον αιώνα επιστημονικά τεκμηριωμένο γεγονός, είναι δύσκολο να διαφωνήσει κάποιος με τη συντριπτική πλειοψηφία των κλιματολόγων, οι οποίοι θεωρούν ότι αυτό που παρατηρούμε πια είναι μια αλλαγή κλίματος που οφείλεται καθαρά στον ανθρώπινο παράγοντα. Μάλιστα, όλες οι επιστημονικές εκτιμήσεις συγκλίνουν στο συμπέρασμα ότι έστω και αν μειώσουμε από σήμερα σημαντικά τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, η θερμοκρασία θα συνεχίσει να αυξάνεται για δεκαετίες. Οι επιπτώσεις της αύξησης πρέπει να προσδιοριστούν σε παγκόσμια κλίμακα αφού άλλωστε πρόκειται για παγκόσμιο πρόβλημα που απαιτεί παγκόσμια δράση, αλλά και σε τοπική αφού στην ανθρώπινη κλίμακα οι επιπτώσεις θα διαφέρουν πολύ από μέρος σε μέρος. [31]

2.2.2 Το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου Υπεύθυνο για τις Κλιματικές Αλλαγές

Η πλειοψηφία των επιστημόνων πιστεύει ότι η πρόσφατη μεγάλη αύξηση της θερμοκρασίας της γης οφείλεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι θεμελιώδες για τη συνέχιση της ζωής στον πλανήτη μας. Ορισμένα αέρια που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα παγιδεύουν τη θερμότητα που εκπέμπεται από την επιφάνεια της Γης, εμποδίζοντάς τη να διαφύγει στο διάστημα (Σχήμα 2.2). Τα βασικά «αέρια του θερμοκηπίου» που συμβάλλουν στη διατήρηση της σταθερότητας της θερμοκρασίας της Γης είναι οι υδατμοί και το διοξείδιο του άνθρακα. Χωρίς την προστατευτική ζεστή κάλυψή τους, η επιφάνεια της Γης θα πάγωνε. Κάθε αέριο θερμοκηπίου διαθέτει το δικό του «χαρακτηριστικό» ακτινοβολίας. Οι υδατμοί του νερού απορροφούν ακτινοβολία μήκους κύματος μεταξύ 4 και 7 μικρομέτρων, ενώ το διοξείδιο του άνθρακα απορροφά ακτινοβολία μήκους κύματος μεταξύ 13 και 19 μικρομέτρων. Το μέγεθος της επίδρασης των αερίων αυτών στο φαινόμενο του θερμοκηπίου μετρήθηκε με ακρίβεια για πρώτη φορά το 2000, όταν οι επιστήμονες διαπίστωσαν αλλαγές στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα της ακτινοβολίας που διέφευγε από τη γήινη ατμόσφαιρα προς το διάστημα. Συγκρίνοντας στοιχεία που συνέλεξαν από δύο δορυφόρους, με εύρος χρόνου 27 ετών, απέδειξαν ότι έχει αρχίσει να διαφεύγει στο διάστημα λιγότερη θερμική ακτινοβολία από συχνότητες που συμπίπτουν με αυτές των κύριων αερίων του θερμοκηπίου, για την παραγωγή των οποίων μάλιστα κύριος υπεύθυνος είναι ο άνθρωπος. [31]



Σχήμα 2.2. Το ενεργειακό ισοζύγιο της Γης [38].

2.2.3 Οι Επιπτώσεις των Κλιματικών Αλλαγών

Η εντατικοποίηση του φαινομένου του θερμοκηπίου απειλεί να μετατρέψει τον πλανήτη σε έναν αφιλόξενο τόπο. Οι λεπτομέρειες για το πώς θα επηρεάσει το κλίμα παραμένουν αδιευκρίνιστες, κυρίως λόγω της απρόβλεπτης θετικής ανάδρασης που οφείλεται στην τήξη των πάγων, στην αύξηση των υδατμών και στην αλλαγή της θερμοκρασίας των ωκεανών που επιταχύνουν το ρυθμό μεταβολής της θερμοκρασίας. Αλλά μια θερμότερη ατμόσφαιρα θα είναι αναμφίβολα μια περισσότερο δυναμική ατμόσφαιρα παρέχοντας ακόμη πιο ακραία φαινόμενα καταιγίδων και ξηρασίας, θυελλωδών ανέμων και βροχής. Η επιστημονική κοινότητα, ιδιαίτερα κατά τα τελευταία χρόνια, έχει καταβάλει σημαντικές προσπάθειες εκτίμησης των επιπτώσεων της αναμενόμενης κλιματικής μεταβολής σε διάφορους τομείς της οικονομικής και κοινωνικής δραστηριότητας καθώς επίσης και προσδιορισμού του οικονομικού μεγέθους των εν λόγω επιπτώσεων. Οι σημαντικότερες διαταραχές που θα προκληθούν σύμφωνα με τις αναλύσεις αυτές περιλαμβάνουν επιπτώσεις στα παρακάτω πεδία [32]:

- ο δημόσια υγεία,
- ο αγροτική παραγωγή,
- ο διαθεσιμότητα και ποιότητα των υδατικών πόρων,
- ο διαθεσιμότητα γης,

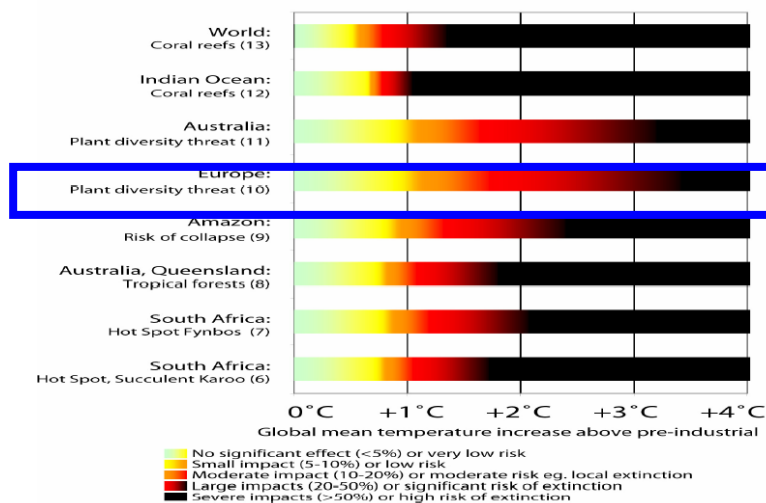
- ο ποιότητα των φυσικών οικοσυστημάτων,
- ο βιοποικιλότητα,
- ο προσφορά και ζήτηση ενέργειας,
- ο συχνότητα εμφάνισης ακραίων καιρικών φαινομένων, κλπ.

Όπως είναι φυσικό η ένταση των προαναφερθέντων κλιματικών αλλαγών και των συνεπαγόμενων επιπτώσεων δεν θα είναι η ίδια σε όλες τις περιοχές του πλανήτη, ενώ σε ορισμένες γεωγραφικές περιοχές και σε συγκεκριμένους τομείς είναι ακόμη δυνατόν να προκύψουν και οφέλη. Για την Ελλάδα και την ευρύτερη περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου όπου οι δραστηριότητες του πρωτογενή τομέα και ο τουρισμός αποτελούν ιδιαίτερα σημαντικό ποσοστό της συνολικής οικονομικής δραστηριότητας, οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην προσφορά και ζήτηση ενέργειας, στην αγροτική παραγωγή, στις μεταβολές που αναμένεται ότι θα επέλθουν στα ανθρωπογενή και φυσικά οικοσυστήματα της παράκτιας ζώνης, και στη διαθεσιμότητα των υδατικών πόρων, θεωρούνται ως οι πλέον σημαντικές συνιστώσες των επερχόμενων κλιματικών αλλαγών.[32]

2.2.3.1 Οι Επιπτώσεις στα Οικοσυστήματα – ΜΕΛ

Τα αποτελέσματα της υπερθέρμανσης του πλανήτη στη βιοποικιλότητα θα μπορούσαν να εξελιχθούν σε μία από τις πιο καταστροφικές συνέπειες που αντιμετώπισε ποτέ η Γη από την αρχή της εξέλιξής της. Όπως πάντα, ανάμεσα στα διαφορετικά βιολογικά γένη υπάρχουν νικητές και ηττημένοι. Αλλά η ταχύτητα με την οποία αλλάζει το κλίμα είναι πιθανόν να ξεπεράσει σε ταχύτητα ακόμη και αυτή την ικανότητα προσαρμογής των όντων. Τα οικοσυστήματα και πολλές καθιερωμένες καλλιέργειες, που προσαρμόστηκαν με την πάροδο του χρόνου σε κάποιες συγκεκριμένες συνθήκες, θα μπορούσαν να αποσταθεροποιηθούν. [33]

Τα εξαιρετικής οικολογικής σημασίας, σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή νομοθεσία ('Habitats' Directive 92/43/EEC) "Μεσογειακά Εποχικά Τέλματα" ή λιμνία (Mediterranean Temporary Ponds MTPs), είναι εποχικοί υγρότοποι, συνήθως μικροί σε έκταση που εμφανίζουν ιδιαιτερότητες και φιλοξενούν σημαντικό αριθμό ειδών χλωρίδας και πανίδας, με σπάνια και ενδημικά είδη για το υγρό και το ξηρό περιβάλλον. Τα συναντούμε σε μικρά βυθίσματα του εδάφους τα οποία συγκεντρώνουν νερό κατά τη χειμερινή περίοδο και συνήθως αποξηραίνονται, κυρίως λόγω εξάτμισης, κατά τη θερινή περίοδο. Τα τελευταία χρόνια, η υδροπερίοδος των ΜΕΛ παρουσιάζεται διαταραγμένη και ασταθής, προκαλώντας έτσι τη σταδιακή υποβάθμισή τους. Ανάμεσα στις απειλές που δέχονται γενικά οι συγκεκριμένοι οικοτόποι, οι κλιματικές αλλαγές (π.χ. ανομβρία, ξηρασία) παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο, καθώς προκαλούν την αποσταθεροποίηση ή και την κατάρρευση των υδρολογικών τους συνθηκών. Η υδροπερίοδός τους, δηλαδή το χρονικό διάστημα κατά το οποίο τα λιμνία είναι πλημμυρισμένα, παίζει καθοριστικό ρόλο στη διατήρηση των οικολογικά σημαντικών χαρακτηριστικών τους.



Σχήμα 2.3. Η πιθανή αύξηση της θερμοκρασίας και οι επιπτώσεις στα οικοσυστήματα παγκοσμίως [33].

2.2.4 Οι Κλιματικές Αλλαγές στη Μεσόγειο και την Ελλάδα

Η ανάλυση των μελετών που έχουν ασχοληθεί με τις κλιματολογικές αλλαγές στη Μεσόγειο και ιδιαίτερα στην Ελλάδα, παρουσιάζουν από μικρή συμφωνία έως και διαφωνίες στα αποτελέσματα. Ωστόσο, η παρατηρηθείσα τάση στα κλιματολογικά δεδομένα, όπως επίσης και η κλιματική προσομοίωση που πραγματοποιήθηκε από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών συνιστούν αξιοσημείωτες κλιματολογικές αλλαγές και ενδείξεις για επερχόμενη κλιματική μεταβολή.

Το ΕΑΑ (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών), για να διερευνήσει τι πραγματικά σημαίνει η κλιματική αλλαγή για τον Ελληνικό χώρο και ποιες θα είναι οι επιπτώσεις, από το τέλος του 2003 εγκατέστησε και προσάρμοσε στο Παρατηρητήριο Κλιματικών Αλλαγών του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών το χωρικό κλιματικό μοντέλο PRECIS. Η ομάδα των ερευνητών πραγματοποίησε κλιματική προσομοίωση της περιόδου 1961-1990 (η οποία παγκοσμίως θεωρείται ως περίοδος αναφοράς), όπως επίσης και κλιματική προσομοίωση της περιόδου 2070-2100 για τα σενάρια A2 και B2 της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (Intergovernmental Panel for Climate Change-IPCC), με κάποιες διαφοροποιήσεις στις παραδοχές της μεταβολής του πληθυσμού της υφελίου, της παγκοσμιοποίησης της οικονομίας και της διάδοσης της τεχνολογίας. Τα σενάρια αφορούν στις αναμενόμενες αυξήσεις των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου κατά τα επόμενα 100 χρόνια, κατά 250% (A2) και 62% (B2) αντίστοιχα μέχρι το 2100. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων έδειξαν ότι τον μήνα Δεκέμβριο, που είναι ο πιο βροχερός μήνας σήμερα στις περισσότερες περιοχές της Ελλάδας, η μείωση των βροχοπτώσεων είναι σημαντική κυρίως πάνω από τις θαλάσσιες περιοχές της Α. Μεσογείου αλλά και στη Δυτική Ελλάδα, όπου η μέση βροχόπτωση την περίοδο 2071-2100 κυμαίνεται περίπου στο 60-70% της σημερινής βροχόπτωσης. Στη Βορειοανατολική Ελλάδα και στα νησιά του Α. Αιγαίου και στην Κρήτη η μείωση είναι μικρότερη. Το καλοκαίρι η μείωση των βροχοπτώσεων είναι πολύ σημαντική κυρίως στη Β. Ελλάδα και στα Βαλκάνια. Η μέση βροχόπτωση στις περιοχές αυτές την περίοδο 2071-2100 κυμαίνεται περίπου στο 20-30% της σημερινής βροχόπτωσης. Στη Ν. Ελλάδα η μείωση των βροχοπτώσεων είναι επίσης μεγάλη αλλά ως γνωστό οι περιοχές αυτές ακόμη και σήμερα χαρακτηρίζονται από ελάχιστες βροχοπτώσεις τους καλοκαιρινούς μήνες. [34]

Μια ακόμη εργασία που πραγματοποιήθηκε στο Πολυτεχνείο Κρήτης (Ανάλυση των τάσεων χρονοσειρών της θερμοκρασίας του αέρα και του υετού στον ΜΣ της Σούδας-Μεταπτυχιακή Διατριβή Ε. Λέκκα-Πολυτεχνείο Κρήτης) έδειξε ότι στο βόρειο τμήμα του Ν. Χανίων σημειώνεται συρρίκνωση του μηνιαίου θερμοκρασιακού εύρους εξ' αιτίας των μεταβολών της μέσης μέγιστης και της μέσης ελάχιστης μηνιαίας τιμής της θερμοκρασίας. Η συρρίκνωση του θερμοκρασιακού εύρους συμβάλλει στην επιβάρυνση του κλιματικού περιβάλλοντος, αφού η διακύμανση της θερμοκρασίας, αποτελεί σημαντικό ρυθμιστικό παράγοντα στην άνετη διαβίωση των κατοίκων μίας περιοχής, αλλά και στην λειτουργία των οικοσυστημάτων. Ακόμη από την ίδια εργασία Διαπιστώθηκε μια σχεδόν σταθερή πτωτική τάση του μέσου ύψους υετού. Έως τώρα έχει σημειωθεί πτώση του μέσου ετήσιου ύψους υετού περίπου 50 mm, κατά μέσο όρο. Η σημειωθείσα πτωτική τάση του μέσου ετήσιου ύψους υετού εκφρασμένη σε ποσοστό φθάνει το 8%. Το ποσοστό αυτό είναι βέβαιο ότι θα αυξηθεί στα επόμενα χρόνια, εφόσον διατηρηθεί η τάση επικράτησης των 'ξηρών' ετών, η οποία φαίνεται να ξεκινά από το 1985. Το γεγονός αυτό εκτιμάται ότι θα προκαλέσει στο προσεχές μέλλον σημαντικά προβλήματα επάρκειας νερού στην περιοχή. [35]

2.2.5 Ανάλυση των Τάσεων Χρονοσειρών του Υετού Βροχομετρικών Σταθμών της Κρήτης

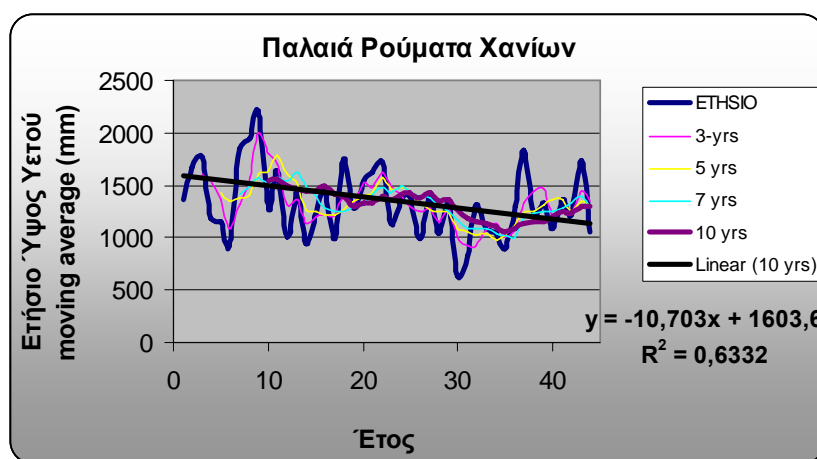
Σκοπός της ανάλυσης είναι να ποσοτικοποιηθεί η τάση που εμφανίζουν οι βροχοπτώσεις στην νήσο Κρήτη. Η ανάλυση χρησιμοποιεί τα διαθέσιμα βροχομετρικά στοιχεία 56 βροχομετρικών σταθμών εγκαταστημένων κατά νομούς όπως φαίνεται στον πίνακα 2.1 [36]. Από αυτούς τους σταθμούς οι (53) λειτουργούν για λογαριασμό της Υπηρεσίας Εγγείων Βελτιώσεων, Υ.Ε.Β και οι υπόλοιποι τρεις (3) ανήκουν σε άλλες Υπηρεσίες (Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, Ε.Μ.Υ., Υπουργείο Δημοσίων Έργων, Υ.Δ.Ε.). Τα βροχομετρικά στοιχεία των σταθμών ήταν στη διάθεση μας σε ηλεκτρονική μορφή και δεν είχαμε πρόσβαση στα πρωτογενή στοιχεία, ώστε να είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί κάποιος έλεγχος σε αυτά. Παρ' όλα αυτά, τα ίδια στοιχεία έχουν χρησιμοποιηθεί και στην μελέτη

«Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων Κρήτης» που πραγματοποιήθηκε από την Περιφέρεια Κρήτης, στην οποία έχει ελεγχθεί η συνέπεια των δεδομένων. Ωστόσο, πρέπει να τονίσουμε ότι από την παρούσα ανάλυση, μπορούν να εξαχθούν σημαντικά συμπεράσματα για την τάση που παρουσιάζουν οι βροχοπτώσεις, αλλά πρέπει να διατηρείται κάθε επιφύλαξη ως προς τα ποσοστά που προκύπτουν. Επιλέχθηκε, να χρησιμοποιηθεί ο κινητός μέσος όρος της 10ετίας (moving average), και όχι μεγαλύτερος καθώς έτσι θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν και σταθμοί με λίγα δεδομένα. Ακόμη, ο κινητός μέσος όρος της 10ετίας φάνηκε να ομαλοποιεί τα δεδομένα μας πολύ καλά.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.2. Κατανομή των βροχομετρικών σταθμών της Κρήτης ανά νομό.

Νομός	Σταθμοί
Λασιθίου	12
Ηρακλείου	28
Ρεθύμνης	10
Χανίων	6

Στο παράρτημα 2.1 παρουσιάζονται αναλυτικά τα γραφήματα των τάσεων για κάθε σταθμό, όπως επίσης και ο συγκεντρωτικός πίνακας με τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων και την αναγωγή των τάσεων σε ποσοστά. Παρακάτω παρουσιάζεται ενδεικτικά το διάγραμμα για την τάση που παρουσιάζει η βροχόπτωση στα Παλαιά Ρούματα Χανίων και ένας πίνακας που παρουσιάζει συνοπτικά μια ένδειξη της τάσης των βροχοπτώσεων στην Κρήτη σε ποσοστά.



Διάγραμμα 2.1. Τάση της βροχόπτωσης στα Παλαιά Ρούματα Χανίων για τα έτη 1960-03.

Η ανάλυση που πραγματοποιήθηκε έδειξε τάση μείωσης της βροχόπτωσης για τους 32 από τους 51 σταθμούς ενώ η ίδια ανάλυση μέχρι το έτος 2000 έδειξε τάση μείωσης για τους 39 από τους 50 σταθμούς. Συνολικά, οι βροχοπτώσεις στην Κρήτη παρουσιάζουν κατά μέσο όρο ποσοστό μείωσης 8 % (Πίνακας 2.2), ένα ποσοστό που συμφωνεί με την μελέτη του Λέκκα [35] με τα αξιόπιστα δεδομένα από τον μετεωρολογικό σταθμό της Σούδας.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.3. Ποσοστά της τάσης της βροχόπτωσης στην Κρήτη.

	Μέσο ποσοστό της τάσης της βροχόπτωσης στην Κρήτη	
	μέχρι το έτος 2003	μέχρι το έτος 2000
Ελάχιστο ποσοστό μείωσης, %	-49.5	-61.5
Μέγιστο ποσοστό αύξησης, %	37.6	26.3
Μέσο ποσοστό, %	-8.0	-14.7
Τυπική απόκλιση, %	21.5	20.2

2.2.6 Ανάλυση Συχνότητας Βροχομετρικών Δεδομένων

2.2.6.1 Ανάλυση Συχνότητας - Θεωρητικό Υπόβαθρο

Η ανάλυση συχνότητας συσχετίζει το μέγεθος ακραίων γεγονότων με την συχνότητα εμφάνισής τους μέσω κατανομών πιθανότητας. Η ανάλυση συχνότητας προϋποθέτει ότι οι παρατηρήσεις είναι τυχαίες με τη στατιστική έννοια του όρου και ομοιογενείς (χωρίς δηλαδή να έχει επέλθει καμία μεταβολή κατά τη διάρκεια της περιόδου των παρατηρήσεων) [37].

Ορισμοί

Περίοδος επαναφοράς δοθέντος ετήσιου μεγέθους ενός φαινομένου είναι το μέσο χρονικό διάστημα T (έτη) μέσα στο οποίο το θεωρούμενο υδρολογικό φαινόμενο θα εμφανιστεί μια μόνο φορά με τιμή ίση ή μεγαλύτερη της δοθείσας. Αν η σειρά που εξετάζεται είναι σειρά ετήσιων μεγίστων η περίοδος επαναφοράς αναφέρεται στο μέγεθος του φαινομένου ως ετήσιο μέγιστο, πράγμα που δεν συμβαίνει αν η σειρά είναι μερική [37]. Σημείωση: όταν λέμε ότι ένα γεγονός (π.χ. μια καταιγίδα, μια τιμή ετήσιας βροχόπτωσης ή μια ξηρασία) έχει περίοδο επαναφοράς 100 ετών, αυτό σημαίνει ότι κάθε χρόνο υπάρχει πιθανότητα 1% να συμβεί ένα τέτοιο γεγονός. Αυτό, δηλαδή σημαίνει ότι το συγκεκριμένο γεγονός θα εμφανίζεται κατά μέσο όρο μια φορά κάθε 100 χρόνια, αλλά είναι επίσης πιθανό να εμφανιστεί και σε συντομότερα χρονικά διαστήματα, αφού υπάρχει θεωρητική πιθανότητα να συμβεί κάθε χρόνο (έστω και πολύ μικρή της τάξεως του 1%)

Έστω η ετήσια σειρά μεγίστων x_i , $i=1(1)N$ διατάσσεται κατά φθίνουσα σειρά μεγέθους. Δηλαδή $x_1 > x_2 > x_3 > \dots > x_N$. τότε η συχνότητα υπερβάσεως του μεγέθους x είναι [37]:

$$P(X \geq x) = \frac{m}{N} \quad (3.1)$$

όπου N είναι ο αριθμός των παρατηρήσεων, m είναι η σειρά του μεγέθους x στην φθίνουσα σειρά $x_1, x_2, x_3, \dots, x_N$. Η εξίσωση αυτή εφαρμόζεται ικανοποιητικά στις λεγόμενες κλειστές σειρές στις οποίες δεν υπάρχει πιθανότητα να εμφανισθεί κάποιο μέγεθος έξω από τα όρια της μεταβλητής του δείγματος σ' ένα άλλο δείγμα ή στο μέλλον. Όμως οι σειρές στην υδρολογία είναι συνήθως ανοικτές.

Γι' αυτό η εκτίμηση της πιθανότητας υπερβάσεως γίνεται με την ακόλουθη εξίσωση:

$$P(X \geq x) = \frac{m}{N+1} \quad \text{Weibull (1939)} \quad (3.2)$$

άλλες εξισώσεις που επίσης χρησιμοποιούνται είναι:

$$P(X \geq x) = \frac{2m-1}{2N} \quad \text{Hazen (1930)} \quad (3.3)$$

$$P(X \geq x) = \frac{m-0.3}{N+0.4} \quad \text{Chegodayev (1955)} \quad (3.4)$$

$$P(X \geq x) = \frac{3m-1}{3N+1} \quad \text{Tucey (1962)} \quad (3.5)$$

Σύμφωνα λοιπόν με τον ορισμό προκειμένου για ανάλυση μεγίστων και ελαχίστων τιμών ενός φαινομένου ισχύουν αντίστοιχα τα παρακάτω:

$$P(X \geq x) = \frac{1}{T} \quad \text{ή} \quad T = \frac{1}{P(X \geq x)} \quad (3.6)$$

$$P(X \leq x) = \frac{1}{T} \quad \text{ή} \quad T = \frac{1}{P(X \leq x)} \quad (3.7)$$

Αν και υπάρχει μια μικρή διαφορά στο νόημα της περιόδου επαναφοράς μερικής σειράς, (T_p), από την περίοδο επαναφοράς μιας ετήσιας σειράς (T), στην πράξη δεν γίνεται διάκριση μια που τα

αποτελέσματα δεν διαφέρουν ουσιαστικά για περιόδους μεγαλύτερες των πέντε ετών. Γενικά υπάρχει η ακόλουθη σχέση μεταξύ των δύο περιόδων επαναφοράς:

$$T_p = \frac{1}{\ln T - \ln(T-1)} \quad (3.8)$$

όπως, προκύπτει από τον ορισμό της περιόδου επαναφοράς για τα μέγιστα (εξίσωση 3.6), η πιθανότητα υπέρβασης σε ένα έτος είναι $1/T$. Αν θεωρήσουμε ότι το γεγονός της υπέρβασης (ή μη υπέρβασης) είναι ανεξάρτητο για κάθε έτος τότε η πιθανότητα *μη υπέρβασης* του μεγέθους x στα n έτη είναι:

$$P(X \leq x)_n = P(X \leq x)^n = (1 - P(X > x))^n \quad (3.9)$$

Αντίστοιχα η πιθανότητα *υπέρβασης* (έστω και μία φορά) στα n έτη λόγω της παραπάνω εξίσωσης είναι:

$$P(X \geq x)_n = 1 - P(X \leq x)_n = 1 - (1 - P(X > x))^n \quad (3.10)$$

Η εξίσωση 3.10 λόγω της 3.6 γίνεται:

$$P(X \geq x) = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \quad (3.11)$$

Από την τελευταία σχέση που εκφράζει την πιθανότητα υπέρβασης στην περίοδο n ετών μπορεί να προκύψει η περίοδος σχεδιασμού n

$$n = \frac{\log(1 - P(X \geq x)_n)}{\log\left(\frac{T-1}{T}\right)} \quad (3.12)$$

• **Περίοδος Σχεδιασμού**, n , είναι η περίοδος σε έτη κατά τη οποία η πιθανότητα υπέρβασης του μεγέθους x του υδρολογικού φαινομένου (με περίοδο επαναφοράς T) δεν υπερβαίνει τη δοθείσα τιμή πιθανότητας [37].

Μεθοδολογία

• Πρακτικός τρόπος ανάλυσης συχνότητας

Στην περίπτωση που η περίοδος επαναφοράς είναι μικρή ($T < 10$) και μικρότερη από την περίοδο των παρατηρήσεων και η χρονοσειρά είναι σχετικά μικρή (αριθμός παρατηρήσεων < 30) είναι δυνατόν η ανάλυση συχνότητας του υδρολογικού φαινομένου να γίνει με την εξής απλή διαδικασία [37]:

- I. Επιλέγονται οι τιμές που θα αποτελέσουν το δείγμα ώστε να είναι σχετικές με το υπό μελέτη πρόβλημα.
- II. Διατάσσονται κατά φθίνουσα σειρά μεγέθους (προκειμένου για μέγιστα)
- III. Υπολογίζονται οι περίοδοι επαναφοράς και οι πιθανότητες υπέρβασης χρησιμοποιώντας τις σχέσεις 3.2 και 3.6

Παρατήρηση: Αν δύο διαδοχικές παρατηρήσεις στη φθίνουσα σειρά είναι ίσες υπάρχουν δύο τρόποι να υπολογισθεί η πιθανότητα υπέρβασης της τιμής αυτής:

- a) Να δοθεί σειρά m και $m+1$ στις δύο ίσες παρατηρήσεις με αποτέλεσμα για το ίδιο μέγεθος να υπάρχουν δύο διαφορετικές πιθανότητες υπέρβασης.
- b) Να δοθεί και στις δύο παρατηρήσεις σειρά $(2m+1)/2$.

Από τους παραπάνω τύπους ο δεύτερος είναι προτιμότερος.

- IV. Οι εκτιμήσεις των σχέσεων μεγέθους–περιόδου επαναφοράς για την περίοδο που καλύπτεται από το δείγμα γίνεται με γραμμική παρεμβολή στα μεγέθη που έχουν προκύψει στο βήμα III της διαδικασίας ή με εμπειρική προέκταση για περιόδους λίγο μεγαλύτερες του δείγματος.

Είναι προφανές ότι η μέθοδος δεν ενδείκνυται για προβλήματα που αναφέρονται στην εκτίμηση μεγέθους πολύ μεγαλύτερης περιόδου επαναφοράς σε σχέση με την περίοδο που καλύπτει το δείγμα.

• Χρήση Συναρτήσεων Κατανομής Πιθανότητας – Εκτίμηση Παραμέτρων

Το σύνηθες πρόβλημα στην ανάλυση συχνότητας των υδρολογικών φαινομένων είναι ότι η περίοδος επαναφοράς είναι μεγαλύτερη (αν όχι πολλαπλάσια) από το μέγεθος του δείγματος. Επομένως, η προηγούμενη μέθοδος δεν μπορεί να εφαρμοστεί. Σ' αυτήν την περίπτωση κρίνεται σκόπιμη η χρήση των γνωστών συναρτήσεων κατανομής πιθανότητας. Όταν παράμετροι μιας τέτοιας συνάρτησης κατανομής προσδιοριστούν από τις υπάρχουσες παρατηρήσεις τότε είναι δυνατή η εκτίμηση της τιμής του φαινομένου για μεγάλες περιόδους επαναφοράς με τη χρησιμοποίηση της θεωρητικής κατανομής. Υπάρχουν οι εξής αναλυτικές τεχνικές για την εκτίμηση των παραμέτρων των Θεωρητικών Κατανομών Πιθανότητας [37]:

1. Η μέθοδος των Ρομών (method of moments)
2. Η μέθοδος του μέγιστου πιθανοφάνειας (method of maximum likelihood)
3. Η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων (method of least squares)
4. Η μέθοδος του ελαχίστου χ^2 (minimum χ^2 method)
5. Η μέθοδος των έξι διαιρέσεων (method of sextiles)
6. Η μέθοδος επιλογής ειδικών σημείων (method of matching selected points).

Στην υδρολογία αντί των παραπάνω αναλυτικών μεθόδων με εξαίρεση ίσως τη μέθοδο των ρομών, χρησιμοποιούνται κυρίως οι εξής μέθοδοι:

- i. Η γραφική μέθοδος - χαρτί πιθανότητας.
- ii. Η μέθοδος του παράγοντα συχνότητας.

ο Μέθοδος του Παράγοντα Συχνότητας

Σύμφωνα με τον Chow (1951) για πολλές θεωρητικές κατανομές πιθανότητας ισχύει η σχέση [37]:

$$x_T = \bar{x}(1 + c_V k_T) \quad (3.12)$$

όπου:

x_T : το μέγεθος του γεγονότος περιόδου επαναφοράς T,

\bar{x} : ο μέσος όρος,

c_V : ο συντελεστής διακύμανσης ή μεταβλητότητας ($\hat{\sigma} / \bar{x}$)

k_T : ο παράγοντας συχνότητας (εξαρτάται από την T και τα χαρακτηριστικά της κατανομής).

Για τις συνήθεις κατανομές πιθανότητας έχουν προκύψει σχέσεις για τον υπολογισμό του παράγοντα συχνότητας.

■ Θεωρητικές Κατανομές Πιθανότητας

Με την προϋπόθεση, λοιπόν, ότι οι τιμές του υδρολογικού φαινομένου είναι *τυχαίες και ανεξάρτητες*, η κατανομή πιθανότητας εμφανισέως τους μπορεί να περιγραφεί από τις θεωρητικές κατανομές πιθανότητας. Πρέπει να σημειώσουμε ότι αποδεικνύεται η ακραία τιμή (μέγιστη ή ελάχιστη) από ένα δείγμα τυχαίων τιμών είναι επίσης τυχαία. Επίσης, αποδεικνύεται ότι η κατανομή πυκνότητας πιθανότητας της ακραίας τιμής εξαρτάται από την αρχική κατανομή πυκνότητας πιθανότητας και το μέγεθος του αρχικού δείγματος. Για μεγάλο αριθμό αρχικών παρατηρήσεων η κατανομή πυκνότητας πιθανότητας για τις ακραίες τιμές περιγράφεται από ασυμπτωτικές κατανομές (Gumbel 1954, 1958). Έχουν προταθεί τρεις τύποι ασυμπτωτικών κατανομών [37]:

Τύπος I : Αρχική κατανομή χωρίς όριο προς την κατεύθυνση της ακραίας τιμής.

Τύπος II : Αρχική κατανομή χωρίς όριο και προς τις δύο κατευθύνσεις.

Τύπος III : Αρχική κατανομή με όριο προς την κατεύθυνση της ακραίας τιμής.

Η κατανομή *τύπου I* (ή Gumbel) ενδείκνυται να εφαρμόζεται συνήθως για ανάλυση μεγίστων τιμών αν η αρχική κατανομή είναι η Κανονική, Λογαριθμοκανονική, Εκθετική ή Γάμμα και για ελάχιστα αν η αρχική κατανομή είναι κανονική.

Η κατανομή *τύπου II* (ή Cauchy) δεν έχει σημαντική εφαρμογή στην υδρολογία.

Η κατανομή *τύπου III* ενδείκνυται να εφαρμόζεται συνήθως για ανάλυση μεγίστων τιμών αν η αρχική κατανομή είναι Βήτα και για ελάχιστα αν η αρχική κατανομή είναι Βήτα, Λογαριθμοκανονική, Εκθετική ή Γάμμα.

α) Κατανομή Pearson III

Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας και η συνάρτηση αθροιστικής πιθανότητας είναι [37]:

$$p(x) = \frac{(x - x_o)^{\gamma-1} \exp[-(x - x_o)/\beta]}{\beta^\gamma \Gamma(\gamma)}$$

$$P(x) = \int_{x_o}^x \frac{(x - x_o)^{\gamma-1} \exp[-(x - x_o)/\beta]}{\beta^\gamma \Gamma(\gamma)} dx$$

Με την αντικατάσταση $z = x - x_o$ προκύπτει η κατανομή Γάμμα με παραμέτρους β και γ . δηλαδή η κατανομή Pearson III είναι η αντίστοιχη κατανομή Γάμμα αλλά με αρχικό όριο $x = x_o \neq 0$.

Βασικές στατιστικές ποσότητες:

$$E(x) = x_o + \beta\gamma \quad (\text{μέσος όρος})$$

$$Var(x) = \beta^2 \gamma \quad (\text{διασπορά})$$

$$g = 2/\sqrt{\gamma} \quad (\text{συντελεστής ασυμμετρίας})$$

Η τυπική μεταβλητή $y = (x - x_o)/\beta$ αυτής της κατανομής είναι η ίδια με της Γάμμα για την ίδια τιμή της παραμέτρου γ . Η χρήση των κατανομών Pearson διευκολύνεται με τη μέθοδο του παράγοντα συχνότητας. Ο παράγοντας συχνότητας δίνεται σε πίνακες με βάση την αθροιστική πιθανότητα και το συντελεστή ασυμμετρίας. Για αρνητικές τιμές του συντελεστή ασυμμετρίας η τιμή του παράγοντα συχνότητας βρίσκεται ως εξής: Πρώτα επιλέγεται η τιμή που αντιστοιχεί στην αντίστοιχη θετική τιμή και στην αθροιστική πιθανότητα αθροιστική πιθανότητα $1 - P(x)$. Στην τιμή του παράγοντα συχνότητας που προκύπτει από τον πίνακα αλλάζεται το πρόσημο [37].

β) Κατανομή Λογαριθμική Pearson III (Log Pearson III)

Όταν μια σειρά από παρατηρήσεις περιγράφεται ικανοποιητικά από την κατανομή Λογαριθμική Pearson III (Log Pearson III) σημαίνει ότι οι λογάριθμοι των παρατηρήσεων περιγράφονται από την κατανομή Pearson III. Επομένως η διαδικασία που ακολουθείται περιλαμβάνει [37]:

- i. Αντικατάσταση των τιμών των παρατηρήσεων x_i από του λογαρίθμους y_i όπου $y_i = \log x_i$.
- ii. Υπολογισμό του μέσου όρου \bar{y} , της τυπικής απόκλισης $\hat{\sigma}_y$ και του συντελεστή ασυμμετρίας

$$\hat{g}_y, \hat{s}_y = \frac{n \sum (y_i - \bar{y})^3}{(n-1)(n-2)(\hat{\sigma}_y)^3}.$$

- iii. Υπολογισμό του μεγέθους y_T περιόδου επαναφοράς T ετών με τη μέθοδο του παράγοντα συχνότητας K_T . $y_T = \bar{y} + \hat{\sigma}_y K_T$, όπου K_T από πίνακες της κατανομής Pearson III.
- iv. Υπολογισμό του μεγέθους $x_T = \text{anti} \log y_T$.

γ) Κατανομή Ακραίων Τιμών Τύπου I (Gumbel)

Με τη μέθοδο του παράγοντα συχνότητας για πολύ μεγάλο δείγμα ($N \rightarrow \infty$) έχει προκύψει αναλυτικά η σχέση μεταξύ παράγοντα συχνότητας και περιόδου επαναφοράς [37]:

$$K_T = -0.7797[0.5772 + \ln(\ln[T/(T-1)])]$$

Για μικρά σχετικά δείγματα ($N < 100$) ο παράγοντας συχνότητας υπολογίζεται ως εξής:

$$K_T = \frac{-[\ln(\ln[T/T-1]) + \bar{y}_N]}{\sigma_N}$$

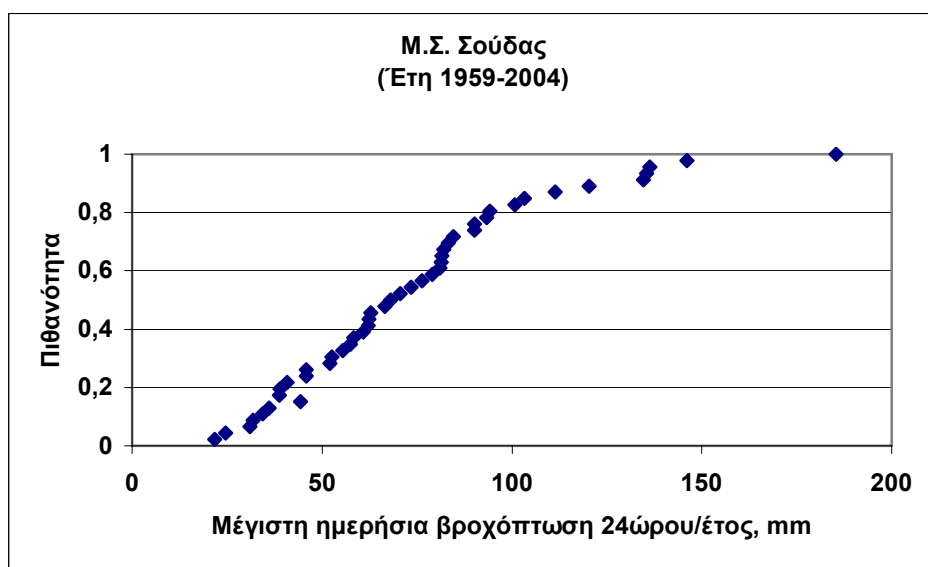
Όπου \bar{y}_N και σ_N (μέσος όρος και τυπική απόκλιση της ανηγμένης μεταβλητής y) από πίνακα βρίσκονται με βάση τον αριθμό των παρατηρήσεων του δείγματος.

2.2.6.2 Ανάλυση Συχνότητας Βροχομετρικών Δεδομένων της Σούδας

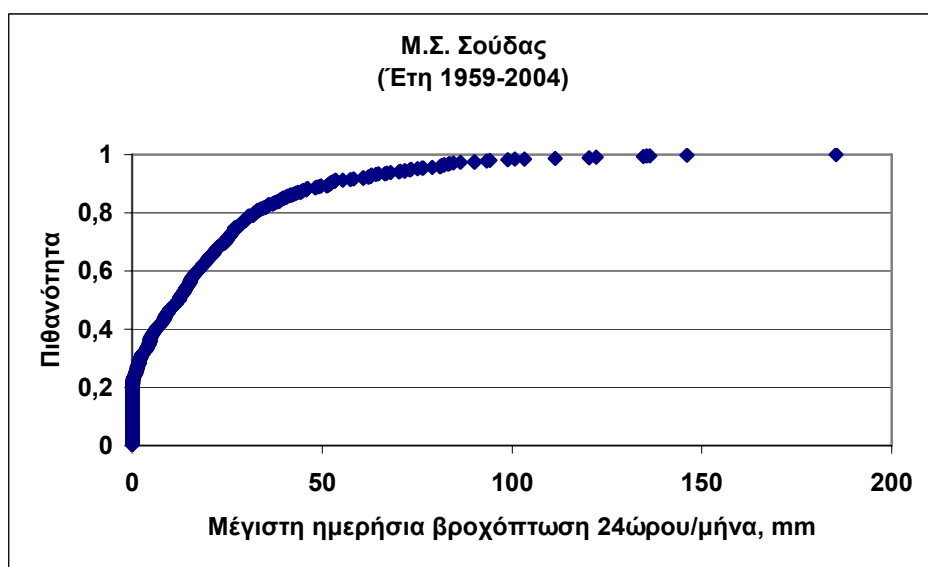
Η παραπάνω μεθοδολογία εφαρμόστηκε για την πραγματοποίηση ανάλυσης συχνότητας **ακραίων μέγιστων τιμών υετού 24ώρου** για βροχομετρικά δεδομένα του Μετεωρολογικού Σταθμού της ΕΜΥ στην Σούδα. Υπήρχαν διαθέσιμα δεδομένα όσο αφορά το μέγιστο ύψος υετού 24ώρου, σε μηνιαία βάση, για τα έτη 1959 έως 2002 (12μήνες*46έτη=552 τιμές).

ι. Επιλογή δείγματος

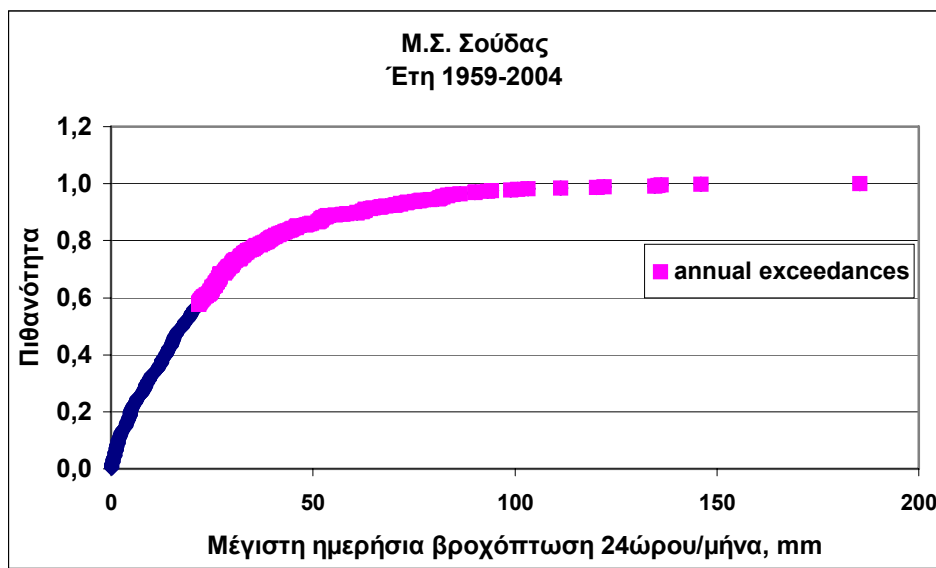
Αρχικά, επιλέχθηκαν οι τιμές που θα αποτελούσουν το δείγμα ώστε να πραγματοποιηθεί η ανάλυση συχνότητας προκειμένου για μέγιστα. Έτσι θεωρήθηκε τιμή αναφοράς η ελάχιστη εκ των μεγίστων βροχοπτώσεων 24ώρου ανά έτος, η οποία όπως φαίνεται στο διάγραμμα 2.2 είναι ίση με 21,7 mm. Στο διάγραμμα 2.3 φαίνεται το μέγιστο ύψος υετού 24ώρου, σε μηνιαία βάση, για τα έτη 1959 έως 2004 και η πιθανότητα. Παρατηρούμε ότι όπως είναι λογικό υπάρχουν αρκετές μηδενικές τιμές που αντιπροσωπεύουν τους καλοκαιρινούς μήνες. Έτσι κρίθηκε σκόπιμο να αφαιρεθούν αυτές οι τιμές (πλέον 436 τιμές), ώστε να φανεί το ποσοστό των ακραίων βροχοπτώσεων επί των πραγματικών μεγίστων (διάγραμμα 2.4). Με τη ροζ γραμμή φαίνονται οι ακραίες βροχοπτώσεις (186 τιμές).



Διάγραμμα 2.2. Πιθανότητα των μεγίστων βροχοπτώσεων 24ώρου ανά έτος για την Σούδα.



Διάγραμμα 2.3. Πιθανότητα των μεγίστων βροχοπτώσεων 24ώρου ανά μήνα για την Σούδα.



Διάγραμμα 2.4. Πιθανότητα των μεγίστων μη μηδενικών βροχοπτώσεων 24ώρου ανά μήνα για την Σούδα.

ii. Επιλογή κατανομής

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε ανάλυση συχνότητας τόσο με τη χρήση της κατανομής Log Pearson III, όσο και με την κατανομή ακραίων τιμών τύπου I (Gumbel) για σύγκριση και επιβεβαίωση. Παρακάτω παρουσιάζονται υπό μορφή πινάκων οι υπολογισμοί των απαραίτητων παραμέτρων:

➤ Log Pearson III

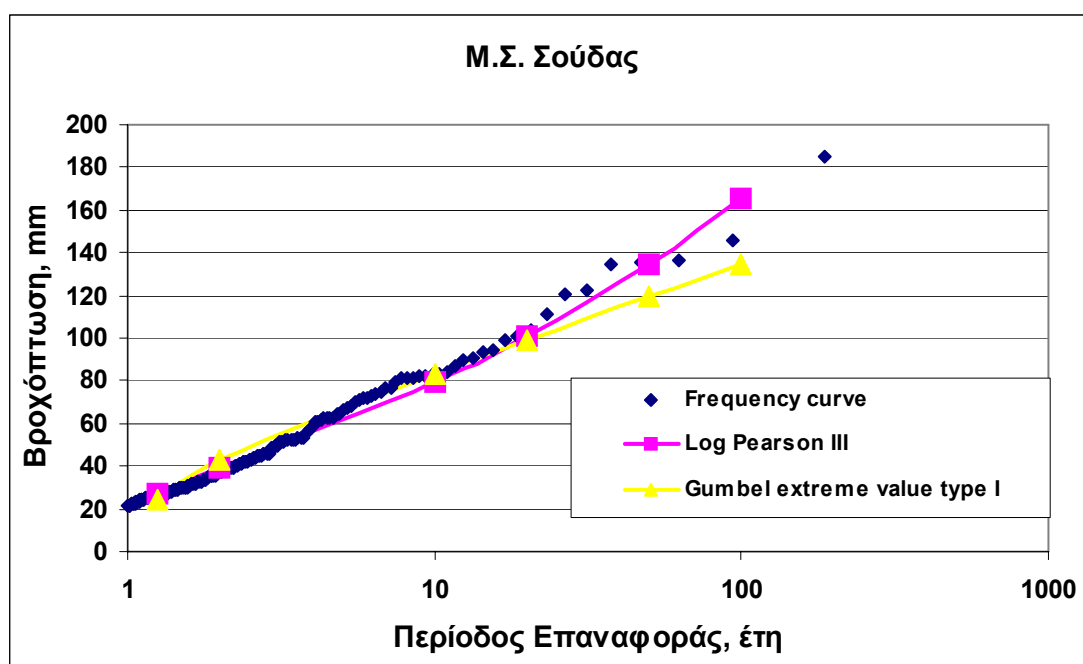
Υπολογισμός Παραμέτρων		
$y_T = \bar{y} + \hat{\sigma}_y K_T$		
Μέσος όρος λογαρίθμων y_i	\bar{y}	1,616
Συντελεστής ασυμμετρίας	\hat{g}_y	0,753
Τυπική απόκλιση λογαρίθμων y_i	$\hat{\sigma}_y$	0,212

➤ Κατανομή Ακραίων Τιμών Τύπου I (Gumbel) με τη μέθοδο του παράγοντα συχνότητας

Υπολογισμός Παραμέτρων		
$x_T = \bar{x}(1 + c_T k_T)$		
Μέσος όρος x_i	\bar{x}	47,172
Τυπική απόκλιση x_i	$\hat{\sigma}_x$	27,836

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.4. Το μέγιστο ύψος υετού στην Σούδα για διάφορες περιόδους επαναφοράς όπως προέκυψε από τις μεθόδους Log Pearson III και Gumbel.

	<i>Log Pearson III</i>	<i>Gumbel</i>
Πιθανότητα εμφάνισης, P% Περίοδος Επαναφοράς, T	Ύψος Υετού (mm)	Ύψος Υετού (mm)
P ₈₀ (T=1,25 έτη)	27	24
P ₅₀ (T=2 έτη)	39	43
P ₁₀ (T=10 έτη)	79	83
P ₅ (T=20 έτη)	101	99
P ₂ (T=50 έτη)	135	119
P ₁ (T=100 έτη)	165	134



Διάγραμμα 2.5. Ανάλυση συχνότητας ακραίων μεγίστων βροχομετρικών δεδομένων της Σούδας ανά μήνα με τη χρήση των κατανομών Log Pearson III και Gumbel.

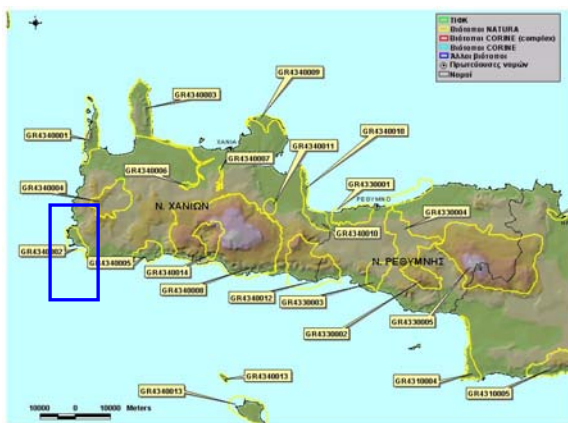
Από το γράφημα 2.5 βλέπουμε ότι η κατανομή Log Pearson III φαίνεται να έχει καλύτερη προσαρμογή σε σχέση με την Gumbel. Ωστόσο, πρέπει να τονίσουμε ότι για να εξαχθούν αξιόπιστα συμπεράσματα πρέπει η ίδια ανάλυση να πραγματοποιηθεί σε πλήρη χρονοσειρά, καθώς προφανώς οι ακραίες μέγιστες βροχοπτώσεις ανά μήνα ίσως αποκλείουν και άλλες ακραίες τιμές. Παρόλα αυτά τα αποτελέσματα αυτά μπορούν να μας δώσουν μια ένδειξη και μια τάξη μεγέθους όσο αφορά τις ακραίες βροχοπτώσεις στην περιοχή. Έτσι, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως σημείο αναφοράς για την μελέτη της συμπεριφοράς των λιμνίων σε ακραία γεγονότα βροχής.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΕΥΡΥΤΕΡΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΤΩΝ ΜΕΛ ΤΗΣ ΔΥΤΙΚΗΣ ΚΡΗΤΗΣ

3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΕΛΑΦΟΝΗΣΙΟΥ

3.1.1 Γεωγραφική Τοποθέτηση και Γενικά Χαρακτηριστικά

Η περιοχή του Ελαφονησίου βρίσκεται στη νοτιοδυτική πλευρά της Κρήτης και απέχει περίπου 78 Km από την πόλη των Χανίων [39]. Η περιοχή διοικητικά υπάγεται στο Δήμο Ιναχωρίου και παρουσιάζει σημαντικό ιστορικό, οικολογικό, φυσιολατρικό και τουριστικό ενδιαφέρον.



Χάρτης 3.1. Οι περιοχές Natura της δυτικής Κρήτης (περιοχή NATURA με κωδικό A4340002) [40].



Χάρτης 3.2. Ο Δήμος Ιναχωρίου, στον οποίο υπάγεται διοικητικά η μεγαλύτερη έκταση της περιοχής των λιμνίων στο Ελαφονήσι [39].

3.1.2 Μορφολογία

Η περιοχή του Ελαφονησίου χαρακτηρίζεται από μια ανοικτή πεδιάδα αλλουβιακών αποθέσεων που καταλήγει σε εκτεταμένη αμμώδη παραλία με αμμοθίνες, αλλά και βραχώδεις ακτές. με πρόχειρες τουριστικές εγκαταστάσεις, ομπρέλες και ξαπλώστρες. Απέναντι από την αμμώδη παραλία (προς Δ.) βρίσκεται η νησίδα Ελαφόνησος που χωρίζεται από την ξηρά από στενό πορθμό που είναι δυνατόν να διαβεί κανείς πεζός. Το τοπίο είναι σπάνιου τύπου και παρουσιάζει ιδιαίτερη φυσική ομορφιά και πανοραμική θέα. Στην περιοχή υπάρχουν ενδιαφέροντα φυσικά, οικολογικά, γεωμορφολογικά στοιχεία, όπως σημαντικά οικοσυστήματα και τύποι βλάστησης και μάλιστα η περιοχή έχει καταχωρηθεί στο δίκτυο NATURA 2000. Στην έκταση της περιοχής Natura βρίσκονται 16 Μεσογειακά Εποχικά Λιμνία.

❖ Η προτεινόμενη περιοχή NATURA 2000

Η περιοχή έχει καταχωρηθεί στο δίκτυο NATURA 2000 με το όνομα ΝΗΣΟΣ ΕΛΑΦΟΝΗΣΟΣ – ΑΠΕΝΑΝΤΙ ΠΑΡΑΛΙΑ (ΑΠΟ ΧΡΥΣΟΣΚΑΛΙΤΙΣΣΑ ΜΕΧΡΙ ΑΚΡΩΤΗΡΙΟ ΚΡΙΟΣ) και κωδικό A4340002. Η έκταση που καλύπτεται από την προτεινόμενη περιοχή Natura περιλαμβάνει έναν σημαντικό βιότοπο με ευαίσθητα οικοσυστήματα που λόγω κυρίως του τουρισμού υφίστανται

έντονες ανθρώπινες επιδράσεις (κατασκήνωση, ποδοπάτημα, μηχανοκίνητα οχήματα, εναποθέσεις απορριμμάτων, συγκομιδή φυτών). Θεωρείται λοιπόν άμεση η ανάγκη να τεθεί η περιοχή κάτω από αυστηρή και καλά οργανωμένη διαχείριση, ώστε να προστατευθούν οι σπάνιες βιοκοινωνίες των αμμοθινών της Ελαφώνησου όπως επίσης και να διατηρηθεί η αισθητική αξία της απέναντι ακτής με τους κέδρους και τη «ροζ άμμο» (ασβεστολιθικά θραύσματα ζωικής προέλευσης) [40].

• **Η νήσος Ελαφώνησος**

Η νήσος Ελαφώνησος απέχει 150 m από την απέναντι ακτή, από την οποία χωρίζεται με αβαθή διάυλο (χαμηλή αμμόδης ζώνη πλάτους 140–200 m που καλύπτεται με νερό βάθους 0.3–3.0 m). Το σχήμα του νησιού είναι επίμηκες με μέγιστο μήκος 1500 m και μέγιστο πλάτος 500 m. Ο συνδυασμός αυτός μαζί με τις αμμοθίνες που υπάρχουν επάνω στην Ελαφώνησο αποτελούν έναν πολύ ενδιαφέροντα, μοναδικό και μεγάλης ομορφιάς γεωλογικό σχηματισμό που οπωσδήποτε αξίζει να προστατευθεί γιατί εκτός των άλλων παρουσιάζει και μεγάλο οικολογικό ενδιαφέρον λόγω των σπάνιων φυτικών και ζωικών οργανισμών. Το μεγαλύτερο υψόμετρο στο νησί είναι 39 m και βρίσκεται στο δυτικό βραχώδες μέρος του, ενώ το υπόλοιπο είναι χαμηλό και κυρίως αμμώδες. Βραχώδες υπόβαθρο εμφανίζεται μόνο περιφερειακά στις ακτές (με εξαίρεση το ανατολικό τμήμα). Στην εκτεταμένη παραλία του νησιού εμφανίζονται αμμοθίνες, όπου αναπτύσσεται η φυτοκοινωνία *Ammophiletum arenariare*. Επίσης στη ζώνη αυτή βρίσκεται ένας σημαντικός πληθυσμός του είδους *Panocratium maritimum* (κρίνος της θάλασσας). Πίσω από την κοινωνία εγκαθίστανται υψηλοί θαμνώνες με *Juniperus oxycedrus* ssp. *macrocarpa*, πάλι πάνω σε άμμους. Άλλα είδη που συμμετέχουν σε αυτούς τους θαμνώνες είναι τα *Anthyllis hermanniae*, *Silene sedoides*, *Lotus creticus* ssp. *cytisoides*, *Ipomoea stolonifera*, *Orobancha versicolor*, *Plantago squarrosa*. Στις βραχώδεις ακτές που υπάρχουν σε ορισμένα μέρη του νησιού φύονται *Atriplex halimus*, *Crithmum maritimum*, *Inula crithmoides*, *Capparis orientalis*, *Euphorbia dendroides*, *Ficus carica*. Τέλος, στο κεντρικό μέρος του νησιού αναπτύσσονται φρύγανα και επικρατούν τα είδη *Coridothymus capitatus*, *Phagnalon graecum*, *Ballota pseudodictamnus*, *Hyparrhenia hirta*, *Ruta chalepensis* [40].



Εικόνα 3.1. Πανοραμική άποψη της Ελαφώνησου και της απέναντι ακτής.

• **Απέναντι παραλία**

Παρόμοιες φυτοκοινωνίες έχουν αναπτυχθεί και στην απέναντι ακτή της κύριας Κρήτης. Λίγα χιλιόμετρα πριν από την Ελαφώνησο βρίσκεται η μονή της Χρυσοσκαλίτισσας με χαρακτηριστική φρυγανώδη και μακκία βλάστηση όπου επικρατούν τα είδη *Erica manipuliflora*, *Pistacia lentiscus*, *Ceratonía siliqua*, *Antyllis hermammiae*, *Calicotome villosa* κ.α. Η συγκεκριμένη περιοχή διαθέτει μια πλουσιότατη βραχοχλωρίδα της οποίας πολλά είδη είναι σπανιότατα ελληνικά ενδημικά είδη ή είδη με διακεκομμένη γεωγραφική εξάπλωση. Από τα χλωριδικά στοιχεία της περιοχής αξίζει να αναφέρουμε τα είδη: *Bellevalia brevipedicellata* - ενδημικό Κρήτης, γνωστό μόνο στην περιοχή της δυτικής Κρήτης, *Verbascum arcturus*, *Origanum dictamnus*, *Petromarula pinnata*, *Campanula saxatilis* ssp. *saxatilis* και *Allium rubrovittatum* - κρητικά ενδημικά και τέλος τα *Viola scorpiuroides* και *Achillea cretica* - είδη με γεωγραφική εξάπλωση υπολειμματικού χαρακτήρα. Κοντά στην Χρυσοσκαλίτισσα απαντά βλάστηση χαρακτηριστική των γυψούχων στεπών όπου κυριαρχεί το πολυετές είδος *Lygeum spartum*. Προς το εσωτερικό βρίσκονται δενδρώδεις διαπλάσεις *Juniperus phoenicea* μαζί με αειφύλλους σκληρόφυλλους θάμνους από *Pistacia lentiscus*, *Ceratonía siliqua* και

Olea europaea. Το υγρόφυλλο είδος *Taraxacum parviflorum* και το εξωτικής εμφάνισης *Nerium oleander* σχηματίζουν μικρές συστάδες στις όχθες των χειμάρρων που υπάρχουν στην περιοχή. Τέλος το θαλάσσιο τμήμα της περιοχής Natura που καλύπτει το 53% της συνολικής της έκτασης περιλαμβάνει αμμοσύρτες, αβαθείς όρμους, ύφαλους και εκτεταμένα λιβάδια με *Posidonia oceanica* [40].

3.1.3 Ιστορικές Αναφορές και Μνημεία

Μια άλλη συνιστώσα της σπουδαιότητας της περιοχής είναι και η πολιτιστική – ιστορική: το 1824, την ημέρα του Πάσχα, ο Ιμπραήμ πασάς σκότωσε 850 γυναικόπαιδα που είχαν καταφύγει στο Ελαφονήσι. Εκεί επίσης βρίσκεται ο τάφος των ναυαγών του πλοίου που ναυάγησε το 1907. Σημαντικός είναι και ο αρχαιολογικός χώρος στο νησί (ιερό του Απόλλωνα). Τέλος, λόγω της μεγάλης αισθητικής της αξίας η περιοχή χρησιμοποιείται και ως χώρος αναψυχής. [40]

3.1.4 Θεσμικές Ρυθμίσεις

Η περιοχή υπάγεται στις παρακάτω θεσμικές ρυθμίσεις (Παράρτημα 3.Ι):

- Η περιοχή έχει καταχωρηθεί στο δίκτυο NATURA 2000 με το όνομα ΝΗΣΟΣ ΕΛΑΦΟΝΗΣΟΣ – ΑΠΕΝΑΝΤΙ ΠΑΡΑΛΙΑ (ΑΠΟ ΧΡΥΣΟΣΚΑΛΙΤΙΣΣΑ ΜΕΧΡΙ ΑΚΡΩΤΗΡΙΟ ΚΡΙΟΣ) και κωδικό A4340002.
- Η νήσος Ελαφονήσος (Λαφονήσι) Κρήτης έχει χαρακτηριστεί σαν τοπίο ιδιαίτερου φυσικού κάλους. (ΑΤ6011066).
- Τέλος, η περιοχή είναι Χώρος Ειδικής Κρατικής Προστασίας, περιλαμβάνει αρχαιολογικούς χώρους, είναι ιστορικός τόπος και περιλαμβάνεται ακόμη στο Δίκτυο CORINE-Biotopes (AG0030050).

3.1.5 Υδρογεωλογικές Συνθήκες

Τα πετρώματα που δομούν την ευρύτερη υδρογεωλογική λεκάνη της περιοχής έχουν διαφορετική υδρολιθολογική συμπεριφορά, γεγονός που αντανάκλα και τη διαφοροποίηση στις υδρογεωλογικές συνθήκες. Έτσι στο μεν τμήμα του άνω ρου επικρατούν οι σχηματισμοί των Φυλλιτών-Χαλαζιτών-Σχιστολίθων, που χαρακτηρίζονται ως υδατοστεγανοί σχηματισμοί, γεγονός που αυξάνει στο υδρολογικό ισοζύγιο την επιφανειακή απορροή. Αντίθετα στο τμήμα του κάτω ρου επικρατούν σχηματισμοί που χαρακτηρίζονται ως υδατοπερατοί σχηματισμοί, με αποτέλεσμα στο τμήμα αυτό η κατείσδυση να κυριαρχεί της απορροής. Πιο συγκεκριμένα, όπως φαίνεται και στον γεωλογικό χάρτη του Ν. Χανίων (Παράρτημα 3.ΙΙ), τα πετρώματα που δομούν την περιοχή, ανήκουν αποκλειστικά στο πρώτο τεκτονικό κάλυμμα της Κρήτης, που αποτελεί το γεωλογικό υπόβαθρο και είναι το ημιμεταμορφωμένο σύστημα των Φυλλιτών-Χαλαζιτών-Σχιστολίθων, με επικαθήμενους τους νεώτερους σχηματισμούς, που έχουν μεταφερθεί και αποτεθεί σε ευνοϊκές θέσεις του γεωαναγλύφου. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί στην έκταση της περιοχής κατά σειρά αρχαιότητας είναι [41]:

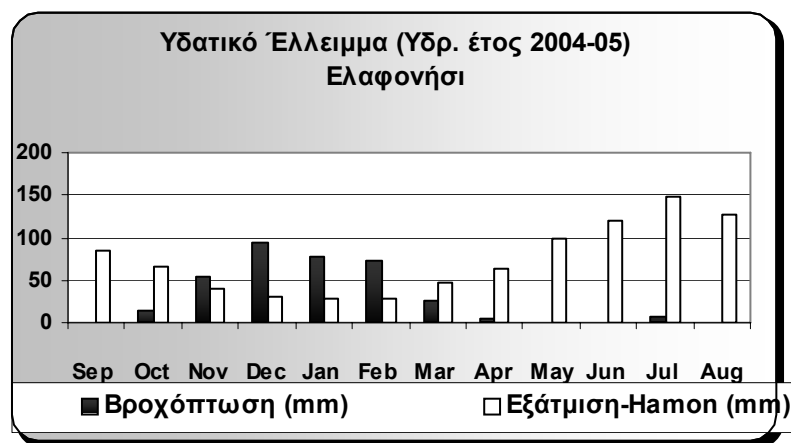
1. Ημιμεταμορφωμένο σύστημα Φυλλιτών-Χαλαζιτών-Σχιστολίθων
 - A. Κατώτερο τμήμα
 - α. Γύψος – Ραουβάκες
 - β. Δολομιτικοί ασβεστόλιθοι και μελανοί αργιλικοί σχιστόλιθοι
 - B. Ανώτερο τμήμα
 - α. Φυλλίτες-Χαλαζίτες-Σχιστόλιθοι
2. Τεταρτογενείς Αποθέσεις

3.1.6 Κλιματολογικές Συνθήκες

Γενικότερα, το κλίμα του Νομού Χανίων είναι μεσογειακό με έντονα θερμομεσογειακό χαρακτήρα και παρουσιάζει χαρακτηριστικά, όπως ήπιο χειμώνα, με αυξημένες βροχοπτώσεις που πέτουν κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου. Σημειώνουμε ότι ο αριθμός των βιολογικά ξηρών ημερών κατά την θερμή και ξηρά περίοδο κυμαίνεται ανάμεσα στις 125 και 150 ημέρες. Η χειμερινή περίοδος είναι περιορισμένη και υπάρχει έντονη ηλιοφάνεια. Το μεσογειακό κλίμα, έχει τέσσερις ευδιάκριτες εποχές οι οποίες με την πάροδο των χρόνων παραχωρούν τη θέση τους σε δύο μεγάλες εποχές την θερινή και την χειμερινή. Λόγω της μορφολογίας του εδάφους του νομού, δημιουργούνται ψυχρά ρεύματα από

τα ψηλά βουνά τα οποία συναντούν τον ζεστό αέρα που προέρχεται από τη θάλασσα και σε συνδυασμό με τις ήπιες υποτροπικές συνθήκες και την μεγάλη ηλιοφάνεια, δημιουργούν ένα κλίμα εξαιρετικά εύκρατο. Το κλίμα χαρακτηρίζει και το ποσοστό εξάτμισης-εξατμισοδιαπνοής των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων που υπολογίζεται ότι ξεπερνά το 50%. Συνεπώς περισσότερο από το μισό των κατακρημνισμάτων επιστρέφει στην ατμόσφαιρα, ενώ το υπόλοιπο είτε απορρέει επιφανειακά είτε κατεισδύει στον υπόγειο ορίζοντα, σε ποσοστό που εξαρτάται από την γεωλογία της περιοχής. Λόγω του μεγάλου συντελεστή κατεισδύσης των ασβεστολίθων, το ποσοστό που απορρέει επιφανειακά είναι αμελητέο.

Για την περιοχή του Ελαφονησίου δεν υπήρξε πρόσβαση σε άλλα ιστορικά βροχομετρικά και μετεωρολογικά δεδομένα, πέρα από δεδομένα βροχόπτωσης από τον σταθμό που βρίσκεται στην Χρυσосκαλίτισσα (δεδομένα από τον Νοέμβριο του 2003). Η περιοχή σύμφωνα με την βιβλιογραφία [41] παρουσιάζει μέση βροχόπτωση περίπου στα 480 mm (1978-93). Το δυνητικό υδατικό έλλειμμα για την περιοχή (Διάγραμμα 3.1 και Παράρτημα 3.III) υπολογίστηκε με δεδομένα βροχόπτωσης από το βροχόμετρο της Χρυσосκαλίτισσας και μετεωρολογικά δεδομένα, για τον υπολογισμό της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, από τον σταθμό της Σούδας. Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή υπολογίστηκε με τη χρήση του προγράμματος WDM [42], στο οποίο επιλέχθηκε η εξίσωση του Hamon [43]. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η περιοχή (σύμφωνα με το υδρολογικό έτος 2004-05) παρουσιάζει δυνητικό υδατικό έλλειμμα από τον μήνα Μάρτιο έως τον μήνα Οκτώβριο, ενώ το αθροιστικό έλλειμμα είναι αρνητικό της τάξεως των 533,7 mm.



Διάγραμμα 3.1. Το δυνητικό υδατικό έλλειμμα για την περιοχή του Ελαφονησίου το υδρολογικό έτος 2004-05.

3.1.7 Χρήσεις Γης και Κύριες Δραστηριότητες

Η ευρύτερη περιοχή χαρακτηρίζεται ως γεωργο-κτηνοτροφική και το 63,82% του οικονομικά ενεργού πληθυσμού απασχολείται σε αυτόν τον τομέα (ΕΣΥΕ, 1991). Ο τριτογενής τομέας, με βάση την απασχόληση, κατέχει τη δεύτερη θέση στην οικονομία του Δήμου Ιναχωρίου. Σύμφωνα με απογραφή της ΕΣΥΕ (1991), το 21,84 του οικονομικά ενεργού πληθυσμού του Δήμου απασχολείται σε αυτόν. Πιο συγκεκριμένα, στο εμπόριο-επισκευές-ξενοδοχεία-εστιατόρια απασχολείται το 6,72% του οικονομικά ενεργού πληθυσμού του Δήμου, στις μεταφορές-αποθηκεύσεις-επικοινωνίες το 3,21, στους ενδιάμεσους χρηματοπιστωτικούς οργανισμούς 0,61% και στις λοιπές υπηρεσίες το 11%. Πιο αναλυτικά στην περιοχή είναι αναπτυγμένες κυρίως οι παρακάτω δραστηριότητες: [41]

Αγροτική δραστηριότητα: στην περιοχή κυριαρχεί η καλλιέργεια της ελιάς, έπειτα της καστανιάς και ακολουθούν τα αμπέλια, αλλά και τα κηπευτικά υπό κάλυψη (θερμοκηπίου). Έτσι, το βασικό προϊόν που παράγεται στην περιοχή είναι το λάδι, το οποίο διαμορφώνει το αγροτικό εισόδημα κατά ένα μεγάλο ποσοστό. Τα κάστανα είναι το δεύτερο σε σημασία προϊόν της περιοχής και είναι από τα εκλεκτότερα της Κρήτης. Η καλλιέργεια της όμως θα ήταν πιο αποτελεσματική αν δεν είχε εξαπλωθεί το πρόβλημα της ασθένειας (μελάνωση), η οποία οδηγεί σε ξήρανση των δένδρων και διατάραξη του

μικροπεριβάλλοντος τους. Ακόμη, η αμπελουργία, η Τρίτη σε θέση καλλιέργεια στην περιοχή του Δήμου Ιναχωρίου, μαζί με την ελιά αποτέλεσε τον άριστο συνδυασμό γεωργικών εκμεταλλεύσεων που αξιοποίησε με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τα ξηρικά εδάφη της περιοχής. Σημειώνουμε όμως ότι η απρογραμματίστη εφαρμογή της από το 1989 έχει καταλήξει στον εκριζισμό της συντριπτικής πλειοψηφίας των αμπελιών και στον περιορισμό της σημασίας της καλλιέργειας αυτής για την περιοχή. Τέλος, λόγω των πολύ ευνοϊκών κλιματολογικών συνθηκών της περιοχής της Χρυσοσκαλίτισσας, κυριαρχούν στην περιοχή καλλιέργειες θερμοκηπίου, που συνεχώς αναπτύσσονται.

Κτηνοτροφική δραστηριότητα: στην περιοχή κυριαρχεί η αιγοπροβατοτροφία (οικόσιτη και ποιμενική – συστηματικής εκτροφής), με κυριότερα κτηνοτροφικά προϊόντα το γάλα και το κρέας. Σημειώνουμε ότι το βασικό στήριγμα για τους κτηνοτρόφους είναι η εξισωτική αποζημίωση που δίδεται από την Ευρωπαϊκή Ένωση και ότι η κτηνοτροφία αποτελεί τον δεύτερο σε σπουδαιότητα κλάδο του πρωτογενή τομέα αναφορικά με την διαμόρφωση του αγροτικού εισοδήματος.

Τουριστική δραστηριότητα: η τουριστική δραστηριότητα στην περιοχή είναι αναπτυσσόμενη τα τελευταία χρόνια και στηρίζεται σε μικρής κλίμακας μονάδες. Είναι περισσότερο προσανατολισμένη στις παραδοσιακές μορφές οργάνωσης και διαχείρισης του Τουρισμού παρά στις εναλλακτικές. Σύμφωνα με τα στοιχεία της Πρωτογενούς έρευνας που διατάχθηκε στα πλαίσια του ΤΑΠ της Επαρχίας Κισάμου (1995), το δυναμικό σε κλίνες συνολικά στην περιοχή ήταν (2) ξενώνες που διαθέτουν 48 κλίνες – ένας στο Δ. Βάθης με 8 κλίνες και ένας στο Δ. Έλους με 40 κλίνες. Επίσης υπάρχουν (4) ξενοδοχεία Δ' κατηγορίας στο Δ. Βάθης που διαθέτουν 83 κλίνες. Συνολικά στην περιοχή υπάρχουν 39 ενοικιαζόμενα δωμάτια που διαθέτουν 45 κλίνες. Τα περισσότερα βρίσκονται στο Δ. Βλάτους, συγκεκριμένα έχει 12 μονάδες με 24 κλίνες. Τα υπόλοιπα είναι κατανομημένα στα άλλα διαμερίσματα. Στην περιοχή υπάρχουν συνολικά 45 μονάδες που διαθέτουν 223 κλίνες. Εναλλακτικές μορφές τουρισμού: στον οικισμό Μηλιά του διαμερίσματος Βλάτους λειτουργεί πρότυπη αγροτουριστική μονάδα η οποία μπορεί να θεωρηθεί πιλοτική για ολόκληρη την περιοχή.

Εμπορική δραστηριότητα: κυρίαρχη θέση στην απασχόληση του τομέα κατέχει ο κλάδος των εστιατορίων – ξενοδοχείων μαζί με το λιανικό εμπόριο. Τελευταία, παρατηρείται μια σχετική ανάπτυξη σε υπηρεσίες, που αντικατροπτίζει τις κοινωνικοοικονομικές εξελίξεις της περιοχής και συγκεκριμένα την συγκέντρωση του

Βιοτεχνία: ο δευτερογενής τομέας και συγκεκριμένα η μεταποίηση, καταλαμβάνει την Τρίτη θέση στην οικονομία της περιοχής. Βάσει των στοιχείων ΕΣΥΕ (1991) στον κλάδο αυτό απασχολείται το 8,85 του οικονομικά ενεργού πληθυσμού. Η διάκριση κατά ομάδες κλάδων οικονομικής δραστηριότητας έχει ως εξής: σε ορυχεία – λατομεία απασχολείται το 0,15% του οικονομικά ενεργού πληθυσμού, στην μεταποιητική βιομηχανία το 4,27% και στις κατασκευές το 4,43%.

3.1.8 Κύριες Φορτίσεις

Οι κύριες φορτίσεις της περιοχής είναι οι εξής:

- Ρύπανση από χρήση φυτοπροστατευτικών, εντομοκτόνων, ζιζανιοκτόνων κτλ στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες, στους ελαιώνες και τα αμπέλια που υπάρχουν στην περιοχή καθώς και λόγω απόρριψης στερεών απορριμμάτων που σχετίζονται με τις καλλιέργειες αυτές, όπως φθαρμένα νάιλον, υλικά συσκευασίας φυτοφαρμάκων κτλ.
- Ρύπανση από τουριστικές δραστηριότητες της περιοχής (πχ. λύματα από ξενοδοχειακές μονάδες, ταβέρνες κτλ) καθώς και στερεά απορρίμματα.
- Η Ελαφόνησος όπως επίσης και η απέναντι παραλία κατακλύζεται από πλήθη τουριστών που την διατρέχουν από άκρου σε άκρο ποδοπατώντας την βλάστηση και ενοχλώντας τα πουλιά. Ιδιαίτερα ενοχλητικές είναι οι ομπρέλες και οι ξαπλώστρες συν οι πρόχειρες αυθαίρετες τουριστικές εγκαταστάσεις.

3.1.9 Βλάστηση, Χλωρίδα και Πανίδα

Ενδιαιτήματα [40]

Ανοικτή θάλασσα
Λιμνοθάλασσα
Μικρά νησιά και βραχονησίδες
Παράκτιες και Αλοφυτικές βιοκοινότητες
Παράκτιος κρημνός
Λιβάδια *Posidonia oceanica*.
Μεσογειακά εποχικά λιμνία

Βλάστηση και χλωρίδα [40]

Ammophiletum arenariare
Pancratium maritimum
Juniperus oxycedrus ssp. macrocarpa
Anthyllis hermanniae
Silene sedoides
Lotus creticus ssp. cytisoides
Ipomoea stolonifera
Orobanche versicolor
Plantago squarrosa
Atriplex halimus
Crithmum maritimum
Inula crithmoides
Capparis orientalis
Euphorbia dendroides
Ficus carica
Coridothymus capitatus
Phagnalon graecum,
Ballota pseudodictamnus
Hyparrhenia hirta
Ruta chalepensis
Erica manipuliflora

Pistacia lentiscus
Ceratonia siliqua
Antyllis hermanniae
Calicotome villosa
Bellevallia brevipedicellata
Verbascum arcturus
Origanum dictamnus, *Petro*
Petromarula pinnata
Campanula saxatilis ssp. saxatilis
Allium rubrovittatum
Viola scorpiuroides
Achillea cretica
Lygeum spartum
Juniperus phoenicea
Pistacia lentiscus
Ceratonia siliqua
Olea europaea
Taraxacum parviflora
Nerium oleander
Androcymbium rechingeri
Centaurea pumilio

Πανίδα [40]

➤ **Θηλαστικά**

Monachus monachus

Άρκαλος

➤ **Πτηνά**

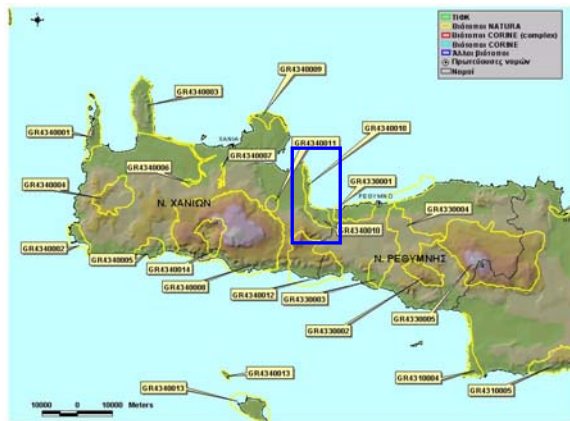
Aquila chrysaetos
Carduelis spinus
Charadrius dubius
Erithacus rubecula
Falco eleonora
Fringilla barbatus
Gyps fulvus
Motacilla alba

Motacilla chinerea
Numenius arquata
Oenanthe oenanthe
Otus scops
Phoenicurus ochruros
Phylloscopus collybita
Pluvialis squatarola
Saxicola rubetra

3.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΚΟΥΡΝΑ

3.2.1 Γεωγραφική Τοποθέτηση και Γενικά Χαρακτηριστικά

Η λίμνη Κουρνά-περιοχή βρίσκεται στη βόρεια πλευρά της Κρήτης, στα όρια των νομών Χανίων και Ρεθύμνου. Απέχει περίπου 47 Km από την πόλη των Χανίων και 15 Km από την πόλη του Ρεθύμνου [39]. Η λίμνη Κουρνά αποτελεί περιοχή της τέως επαρχίας Αποκορώνου και διοικητικά υπάγεται στο νεοσύστατο Δήμο Γεωργιούπολης. Το πιο κοντινό χωριό στην περιοχή αποτελεί το Μουρί. Η λίμνη βρίσκεται στους πρόποδες των Λευκών Ορέων και απέχει 2,5 Km από τη Θάλασσα.



Χάρτης 3.3. Οι περιοχές Natura της δυτικής Κρήτης (περιοχή NATURA με κωδικό A4340010) [40].



Χάρτης 3.4. Ο Δήμος Γεωργιούπολης, στον οποίο υπάγεται διοικητικά η λίμνη Κουρνά [39].

3.2.2 Μορφολογία

Το ανάγλυφο της ευρύτερης περιοχής της λίμνης Κουρνά χαρακτηρίζεται από δύο ζώνες, την παραλιακή χαμηλή ζώνη και την εσωτερική ορεινή ζώνη των Λευκών Ορέων [44]:

- Η παραλιακή ζώνη είναι σχεδόν επίπεδη και ξεκινάει από υψόμετρο 100 m και κλίνει ομαλά έως το επίπεδο της θάλασσας με μέση κλίση περίπου 4%. Η εν λόγω ζώνη καλύπτεται από νεογενείς αποθέσεις, κυρίως μαργών, και σε υψόμετρο 5 m από το επίπεδο της θάλασσας, από κόκκινες πλειστόκαινες αποθέσεις και νεώτερες προσχωματικές αποθέσεις. Στο άκρο περίπου της παρούσας ζώνης βρίσκεται η λίμνη Κουρνά. Δυτικά της λίμνης το ανάγλυφο αρχίζει να γίνεται λοφώδες.
- Η ορεινή ζώνη των Λευκών Ορέων έχει ανώμαλη επιφάνεια με αρκετά απότομες πλαγιές και σχήμα βαθουλωτού καθίσματος με άξονα από Δύση προς Ανατολή. Η ζώνη καλύπτεται αποκλειστικά από ασβεστόλιθους της υποζώνης Τριπόλεως και το ανώμαλο ανάγλυφο οφείλεται πέρα από τις τεκτονικές αιτίες και στην καρστική δράση.

Η ακτή Γεωργιούπολης με μήκος περίπου 9 Km και πλάτος 100-250 m αποτελείται από επίπεδη αμμώδη παραλία και σχηματισμούς θαλάσσιας άμμου, κυμαινόμενου πλάτους 30-120 m, που σχηματίζουν μικροθίνες ύψους 1-3 m. Πίσω από αυτή τη ζώνη εκτείνονται υγρά λιβάδια και καλλιεργούμενοι αγροί και στο βάθος ορθώνεται ο ορεινός όγκος των Λευκών Ορέων. Στο δυτικό άκρο της παραλιακής ζώνης στο μύχο του κόλπου βρίσκεται το τέλμα Γεωργιούπολης-Αλμυρού γύρω και μέσα στον οικισμό Γεωργιούπολης. Το τέλμα τροφοδοτείται από πολλές μικρές πηγές συνεχούς ροής. Στο ίδιο μέρος βρίσκονται και οι εκβολές του ποταμού Αλμυρού, ένας χείμαρρος με μεγάλη παροχή νερού που δεν ξεραίνεται εντελώς το καλοκαίρι, αλλά διατηρεί άφθονα τέλματα στην κοίτη του, φιλοξενώντας εκεί μια αξιόλογη υδρόβια πανίδα. Εσωτερικά τον οικισμό Γεωργιούπολης παράλληλα με την ακτή, διέρχεται η εθνική οδός Χανίων Ηρακλείου. Στο βάθος της παραλιακής ζώνης (νοτιοδυτικά) βρίσκεται η λίμνη Κουρνά. Αποτελεί μια υδρολογική και βιολογική ενότητα με

το υφάλμυρο δέλτα της Γεωργιούπολης–Αλμυρού, καθώς ο δρόμος εκφόρτισης των νερών της λίμνης, είναι αυτός των τεκτονισμένων και καρστικοποιημένων ασβεστόλιθων. Η υδροδότηση της λίμνης γίνεται από την ορεινή μάζα των Λευκών Ορέων, μέσω της πηγής «αμάτι» στο Νοτιοανατολικό άκρο της. [44, 45]

❖ Η Λίμνη Κουρνά

Η λίμνη Κουρνά είναι η μοναδική μεγάλη φυσική λίμνη της Κρήτης και είναι η νοτιότερη λίμνη της Ευρώπης. Η λίμνη βρίσκεται σε ένα υψόμετρο 19 m κι έχει γεωγραφικές συντεταγμένες πλάτος 35° 20' και μήκος 24° 16'. Τα βασικά στοιχεία είναι [44]:

Απόσταση από τη θάλασσα	2500 m
Απόσταση από τον ομώνυμο οικισμό Κουρνά	2300 m
Μέγιστο μήκος Β-Ν	1080 m
Μέγιστο πλάτος Α-Δ	880 m
Μέγιστο βάθος (θερινή στάθμη)	22.5 m
Έκταση (θερινή στάθμη)	579 στρ.
Βάθος πηγής αμάτι	16,5 m
Όγκος (θερινή στάθμη)	7484736 m
Υψόμετρο επιφανείας (θερινή στάθμη)	19 m
Ύψος χειμερινής υπερχειλίσης	+3.5 m
Υψόμετρο επιφανείας από τη στάθμη της θάλασσας	15-20 m



Εικόνα 3.2. Πανοραμική άποψη της λίμνης Κουρνά.

Τα μεγαλύτερα βάθη παρατηρούνται κατά μήκος των ρηγμάτων και των ρηγματογενών ζωνών που έχουν συντελέσει σημαντικά στο σχηματισμό του βυθίσματος της λίμνης. Αυτά εντοπίζονται στη ΝΔ πλευρά της (σημείο συμβολής των ρηγματογενών ζωνών ΒΔ-ΝΑ κατεύθυνσης) και κατά μήκος ενός ρήγματος BBN-NNA κατεύθυνσης, που περνά και από το σημείο ανάβλυσης. Το βαθύτερο σημείο της λίμνης βρίσκεται 3,5 κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας. Η στάθμη της λίμνης κυμαίνεται με την εποχή. Την χειμερινή περίοδο και μέχρι την άνοιξη η στάθμη βρίσκεται στο χαμηλότερο επίπεδο λόγω της μείωσης του όγκου των υπογείων υδάτων από τα ορεινά, ενώ κατά την καλοκαιρινή περίοδο (και με την τήξη του χιονιού στα Λευκά Όρη που τροφοδοτούν τους υδροφόρους ορίζοντες) η στάθμη ανέρχεται. Πρέπει να σημειωθεί ότι από τα είδη που φιλοξενεί η λίμνη η ποταμοσαλιάρα (*Blennius fluviatilis*) και η αθερίνα (*Atherina boyeri*) δεν υπάρχουν σε άλλα γλυκά νερά της Κρήτης. [44, 46]

3.2.3 Ιστορικές Αναφορές και Μνημεία

Ιστορικά στοιχεία για την περιοχή εμφανίζονται από την μινωική εποχή. Οι ανασκαφές αποκάλυψαν έναν τάφο Μινωικού τύπου στον Κάστελλο και ευρήματα λατρευτικών χώρων στο σπήλαιο "Κορακιά". Αρχαιολογικές τοποθεσίες έχουν εντοπιστεί επίσης στις περιοχές νότια του οικισμού Γεωργιούπολης όπου βρισκόταν η αρχαία Αμφιμάλλα, ανατολικά του οικισμού Δραμιών (αρχαία

Υδραμία ή Υδράμιο). Η αρχαία αυτή πόλη ήταν κτισμένη στον γήλοφο Κεφάλα και ήταν το επίνειο της αρχαίας πόλης Λάμπας (σημερινή Αργυρούπολη). Τα αρχαιολογικά ευρήματα, που φυλάσσονται στο μουσείο Χανίων, δείχνουν ότι η πόλη υπήρχε κατά την υστερομινωϊκή ή μετανακτορική περίοδο (1580-1100 π.Χ.) και εμφάνισε την μεγαλύτερη ακμή της κατά την ρωμαϊκή περίοδο. Τέλος, στον οικισμό "Κάβαλλος" βόρεια της λίμνης βρέθηκαν υπολείμματα ρωμαϊκής εποχής. Κατά την περίοδο του Βυζαντίου την περιοχή διοικούσε η αρχοντική οικογένεια των Μελισσινών. Σημαντική δράση στην περιοχή φαίνεται ότι ανέπτυξε κατά τον 11ο αιώνα ο μοναχός Ιωάννης Ξένος που ίδρυσε στην περιοχή των Δραμιών την Μονή του Αγίου Γεωργίου (Δούβρικα). Από τις αρχές του 13ου αιώνα η Κρήτη περιέρχεται στην επιρροή των Βενετών. Στη βιβλιογραφία αναφέρονται τα ονόματα των οικισμών που υπήρχαν τότε: Azogeromuri, Chrussopoli, Castelo, Mathe, Flachi, Dramia, Curna, Calamitsi Amigdalu. Τότε οι οικισμοί που ήταν σε ανάπτυξη βρίσκονταν στα ορεινά και σε τέτοια σημεία που να έχουν φυσική άμυνα (κορυφές). Ο κόλπος του Αλμυρού ήταν ιδανικό σημείο για στρατιωτική απόβαση, γι' αυτό και οι Βενετοί έκτισαν οχυρό εκεί. Εκείνο όμως που χαρακτηρίζει την περιοχή από την αρχαιότητα είναι η λίμνη, η οποία αναφέρεται από τα αρχαία χρόνια με το όνομα Κορησία. Μάλιστα πιστεύεται ότι υπήρχε ιερό στις όχθες προς τιμήν της Κορησίας Αθηνάς. Στα αραβικά η λέξη Κουρνά σημαίνει λουτήρας και λίμνη. Πιθανολογείται λοιπόν πως οι Άραβες ήταν αυτοί που την μετονόμασαν από Κορησία σε Κουρνά. Τα σκοτεινά νερά της λίμνης έκαναν εντύπωση σε όλους τους επισκέπτες αλλά και τους κατοίκους αφού θεωρούσαν την λίμνη χωρίς πυθμένα (άπατη). Μάλιστα περιηγητές ήδη από τα χρόνια του Μεσαίωνα αναφέρονταν με δέος για το εκτιμώμενο βάθος της λίμνης. [47]

3.2.4 Θεσμικές Ρυθμίσεις

Η περιοχή υπάγεται στις παρακάτω θεσμικές ρυθμίσεις (Παράρτημα 3.I):

- Η περιοχή έχει καταχωρηθεί στο δίκτυο NATURA 2000 με το όνομα ΔΡΑΠΑΝΟ – ΠΑΡΑΛΙΑ ΓΕΩΡΓΙΟΥΠΟΛΗΣ – ΛΙΜΝΗ ΚΟΥΡΝΑ και κωδικό A4340010.
- Η λίμνη Κουρνά έχει καταχωρηθεί στην απογραφή των ελληνικών υγροτόπων (EKBY) ως υγρότοπος (εσωτερική μονίμως κατακλυσμένη λίμνη γλυκού νερού) με κωδικό GR43438000.
- Το Έλος Γεωργιούπολης έχει καταχωρηθεί στην απογραφή των ελληνικών υγροτόπων (EKBY) ως υγρότοπος (παράκτιο μονίμως και περιοδικώς κατακλυσμένο έλος αλμυρού – υφάλμυρου νερού) με κωδικό GR434382000.
- Η λίμνη Κουρνά έχει χαρακτηριστεί σαν τοπίο ιδιαίτερου φυσικού κάλους. (AT6020003).
- Η περιοχή αναφέρεται σε διεθνείς-ευρωπαϊκούς καταλόγους βιοτόπων-υγροβιοτόπων, και θεωρείται ως σημαντική περιοχή για την ορνιθοπανίδα ICBP-IWRB, CORINE-Biotopes (AG0030050, AG0050037).

3.2.5 Υδρογεωλογικές Συνθήκες

Η περιοχή, όπως φαίνεται κι από τον χάρτη του νομού Χανίων (Παράρτημα 3.II), χωρίζεται σε τριών τύπων υδρογεωλογικούς σχηματισμούς, ανάλογα με την υδροπερατότητά τους [45]:

- **Υδροπερατοί σχηματισμοί που αποτελούνται από καρστικούς ασβεστόλιθους της ορεινής μάζας των Λευκών Ορέων:** Σημειώνουμε ότι τα Λευκά Όρη αποτελούν τον κύριο υδροσυλλέκτη της δυτικής Κρήτης, λόγω της έκτασής τους, του υψομέτρου τους και του έντονου τεκτονικού και καρστικού τους χαρακτήρα. Μάλιστα, ένα πυκνό δίκτυο μικροκαρστ και διαρρήξεων διαμορφώνουν το ενεργό πορώδες των ασβεστόλιθων, περίπου 13%
- **Αδιαπέρατοι υδατοστεγείς σχηματισμοί:** Στεγανές μάργες, φυλλίτες, χαλαζίτες και κόκκινα εδάφη.
- **Ημιδιαπερατοί σχηματισμοί:** Ημι-στεγανά υλιομαργαϊκά υλικά και παραλιακές αργιλοαμμώδεις αποθέσεις.

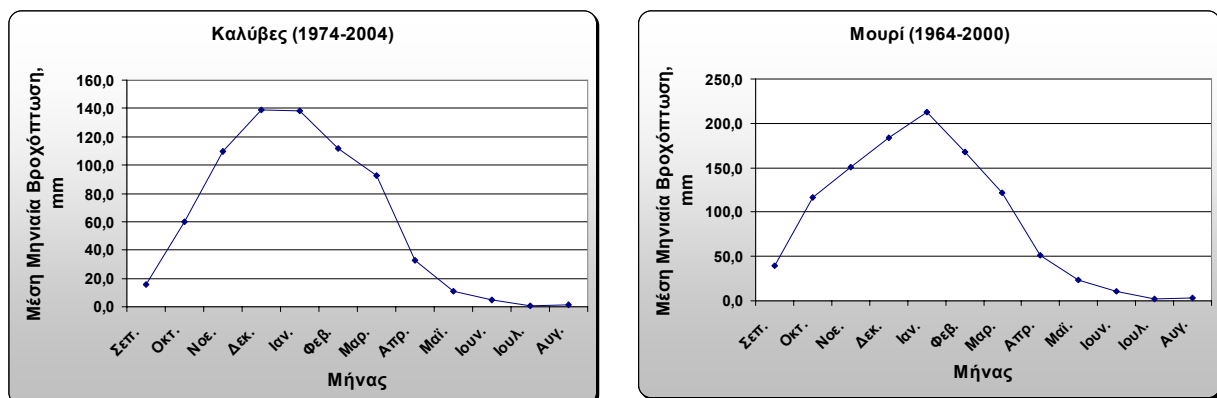
Οι Αδιαπέρατοι υδατοστεγείς σχηματισμοί σε συνδυασμό με την τεκτονική δομή και τα μικροκαρστ διαμορφώνουν τρεις ανεξάρτητες υδρογεωλογικές υπολεκάνες και τρεις κύριες κατευθύνσεις εκφόρτωσης των υπόγειων καρστικών σταθμών νερών. Οι κατευθύνσεις αυτές είναι προς τις πηγές Αλμυρού-Αργυρούπολης, την λίμνη Κουρνά και τις πηγές Αργυρούπολης. Ο ετήσιος όγκος

εκφόρτωσης του νερού έχει υπολογιστεί ως $300 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. η αντίστοιχη προς την παροχή αυτή υδρογεωλογική λεκάνη υπολογίζεται ότι είναι μεγαλύτερη των 200 km^2 . [45]

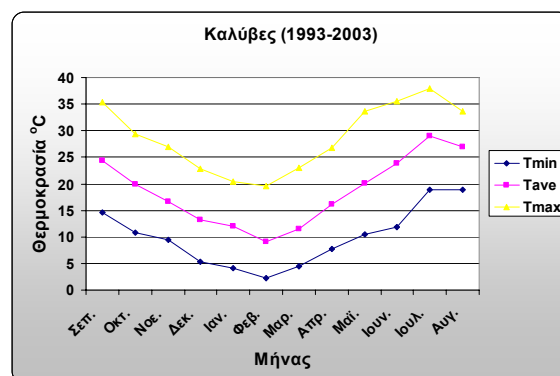
3.3.6 Κλιματολογικές Συνθήκες

Το κλίμα της περιοχής της λίμνης Κουρνά είναι μεσογειακό με έντονα θερμομεσογειακό χαρακτήρα και συμπίπτει με το συνολικό κλίμα του νομού Χανίων. Η μελέτη των κλιματολογικών συνθηκών της περιοχής έγινε με τη χρήση βροχομετρικών στοιχείων από τον σταθμό της ΥΕΒ που είναι εγκατεστημένος στο χωριό Μουρί (στη λεκάνη της λίμνης του Κουρνά-πλησίον της λίμνης) σε υψόμετρο 24 m. Ο σταθμός αυτός έχει γεωγραφικό πλάτος $35^\circ 20'$ και γεωγραφικό μήκος $24^\circ 17'$ και λειτουργεί από το 1964. Ακόμη, κοντά στην περιοχή βρίσκεται και ένας ακόμη σταθμός της ΥΕΒ που είναι εγκατεστημένος στις Καλύβες και απέχει από τη λίμνη 6 Km. Ο σταθμός αυτός βρίσκεται σε υψόμετρο 50 m με γεωγραφικές συντεταγμένες πλάτος $35^\circ 27'$ και μήκος $24^\circ 10'$ και λειτουργεί από το 1974. Καθώς δεν υπήρξε πρόσβαση σε μετεωρολογικά δεδομένα σε κοντινό στην περιοχή μετεωρολογικό σταθμό χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τον σταθμό της Σούδας (πρόγραμμα WDM εξίσωση Hamon [42,43]).

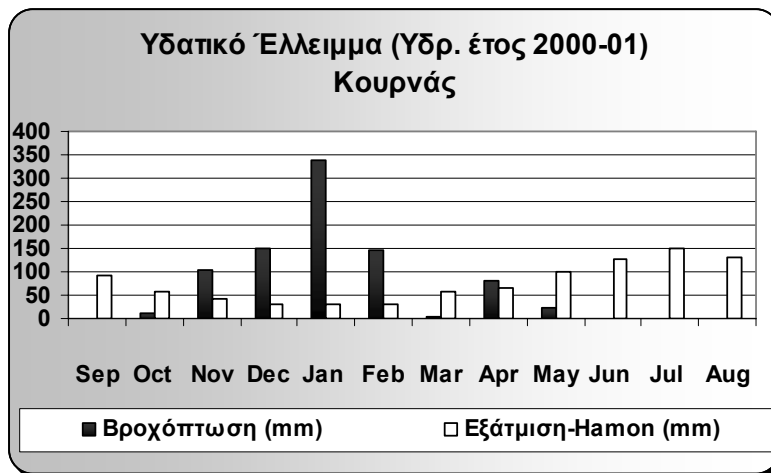
Η μέση βροχόπτωση στην περιοχή σύμφωνα με το βροχόμετρο των Καλυβών είναι 705 mm (474-1032 mm), ενώ σύμφωνα με το Μουρί 1076 mm (458-1667 mm). Ψυχρότερος μήνας στην περιοχή είναι ο Φεβρουάριος με μέση ελάχιστη θερμοκρασία 2°C και θερμότερος ο Ιούλιος με μέση μέγιστη θερμοκρασία 38°C (Διάγραμμα 3.3 και Παράρτημα 3.ΙΙΙ). Τα αποτελέσματα από τον υπολογισμό του ελλείμματος για δύο υδρολογικά έτη έδειξαν ότι η περιοχή (υδρ. έτος 2000-01) παρουσιάζει δυνητικό υδατικό έλλειμμα από τον μήνα Μάρτιο έως τον μήνα Οκτώβριο, με εξαίρεση τον Απρίλιο (υδρ. έτος 2000-01) και από τον μήνα Φεβρουάριο έως τον μήνα Οκτώβριο (υδρ. έτος 2001-02) ενώ το αθροιστικό έλλειμμα είναι αρνητικό της τάξεως των 65,5 και 153.7 mm για τις δύο χρονιές αντίστοιχα.



Διάγραμμα 3.2. Μέση μηνιαία βροχόπτωση α) Καλύβες β) Μουρί.



Διάγραμμα 3.3. Ελάχιστη, μέση και μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία για τις Καλύβες.



Διάγραμμα 3.4. Το δυνητικό υδατικό έλλειμμα για την περιοχή του Κουρνά το υδρολογικό έτος 2000-01.

3.2.7 Χρήσεις Γης και Κύριες Δραστηριότητες

Στην ευρύτερη περιοχή της λίμνης Κουρνά είναι αναπτυγμένες κυρίως οι παρακάτω δραστηριότητες [44]:

Αγροτική δραστηριότητα: στην περιοχή κυριαρχεί η καλλιέργεια της ελιάς και λιγότερο τα κηπευτικά και τα αμπέλια.

Κτηνοτροφική δραστηριότητα: στην περιοχή κυριαρχεί η αιγοπροβατοτροφία (οικόσιτη και ποιμενική-συστηματικής εκτροφής), με κυριότερα κτηνοτροφικά προϊόντα το γάλα και το κρέας. Σημειώνουμε ότι το βασικό στήριγμα για τους κτηνοτρόφους είναι η εξισωτική αποζημίωση που δίδεται από την Ευρωπαϊκή Ένωση.

Αλιευτική δραστηριότητα: στην Γεωργιούπολη είναι ένα από τα έξι μεγάλα αλιευτικά κέντρα που υπάρχουν στον νομό Χανίων. Έτσι στο λιμάνι της Γεωργιούπολης υπάρχει σημαντικός αριθμός (περίπου 20) αλιευτικών σκαφών.

Τουριστική δραστηριότητα: η τουριστική δραστηριότητα στην περιοχή είναι αλματώδης τα τελευταία χρόνια. Υπάρχουν στην ευρύτερη περιοχή πολλές εγκαταστάσεις ενοικιαζόμενων δωματίων καθώς και αρκετά ξενοδοχεία.

Εμπορική δραστηριότητα: στην ευρύτερη περιοχή υπάρχουν εμπορικές δραστηριότητες που έχουν να κάνουν κυρίως με τον τουρισμό, όπως ενοικιάσεις αυτοκινήτων, εποχιακά τουριστικά εμπορικά καταστήματα κ.λ.π, τα περισσότερα από αυτά εντοπίζονται κατά μήκος της παραλίας με μεγαλύτερη συγκέντρωση στον οικισμό Γεωργιούπολης και Καβρού, καθώς και γύρω από την λίμνη Κουρνά.

Βιοτεχνία: στην περιοχή δεν υπάρχουν βιομηχανικές δραστηριότητες, ενώ οι βιοτεχνικές μονάδες που είναι καταγεγραμμένες στα μητρώα του ΕΒΕ Χανίων είναι μόλις 26 στο σύνολο του δήμου Γεωργιούπολης.

3.2.8 Κύριες Φορτίσεις

Οι κύριες φορτίσεις της περιοχής είναι οι εξής:

- Ρύπανση των νερών της λίμνης από τα υπολείμματα από τα λιπάσματα και τα γεωργικά φάρμακα των καλλιεργειών της ανατολικής όχθης, καθώς αυτά παρασέρνονται από τα νερά της βροχής προς τη λίμνη.

- Ρύπανση των νερών της λίμνης από τουριστικές δραστηριότητες που αναπτύσσονται κοντά στις όχθες (πχ. ταβέρνες κτλ) καθώς και στερεά απορρίμματα που προκύπτουν από την απουσία οργανωμένης διαχείρισης της ακτής. Σημειώνεται ότι στην περιοχή δεν υπάρχει μονάδα επεξεργασίας των λυμάτων ούτε των απορριμμάτων, με αποτέλεσμα η διαχείρισή τους να γίνεται με σηπτικούς βόθρους και με απόρριψή τους αυθαίρετα σε παράνομες χωματερές.
- Πίεση από τον μεγάλο αριθμό επισκεπτών που δέχεται η περιοχή. Η όχληση της πανίδας είναι μεγάλη, κυρίως μέσα στη λίμνη από τα θαλάσσια ποδήλατα. Τα δεδομένα της υδρόβιας πανίδας αποκαλύπτουν ότι η βόρειο ανατολική πλευρά της λίμνης που χρησιμοποιείται περισσότερο από τους επισκέπτες είναι πιο υποβαθμισμένη από τις υπόλοιπες
- Στην δυτική και νοτιοδυτική πλευρά της λίμνης υπάρχουν κοπάδια αιγοπροβάτων. Αν και τα τελευταία δεν έχει χρησιμοποιηθεί φωτιά για την διαχείριση των βοσκοτόπων, εξακολουθεί να υπάρχει ο κίνδυνος.
- Τέλος, την μεγαλύτερη απειλή για την λίμνη αποτελούν οι αυθαίρετες κατασκευές, οι επεκτάσεις στις όχθες τις λίμνης και η καταπάτησή της.

3.2.9 Βλάστηση, Χλωρίδα και Πανίδα

Ενδιαιτήματα[40]

Αλλουβιακό και πολύ υγρό δάσος και πυκνή βλάστηση
Θαμνότοποι/φρύγανα/χορτολίβαδα
Φρύγανα
Θαμνώνας σκληρόφυλλων (Μεσογειακή Μακία)
Μεσογειακά εποχικά λιμνία

Βλάστηση και χλωρίδα[40]

Γύρω από τη λίμνη

Vitex Angus castus
Styrax officinalis
Rubus sanctus
Nerium oleander
Myrtus communis
Ficus carica

Νοτιοανατολικά της λίμνης

Quercus coccifera
Styrax officinalis
Phillyrea latifolia
Calicotome villosa
Euphorbia dendroides

➤ Φυτά

Crataegus monogyna monogyna
Cyclamen creticum
Potamogeton pectinatus
Quercus coccifera

Quercus ithaburensis macrolepis
Ulmus minor minor
Vitex angus-castus

Πανίδα[40]

➤ Θηλαστικά

Meles meles arcalus
Mustela nivalis
Martes foina
Erinaceus concolor
Crocidura suaveolens

Suncus etruscus
Acomys minous
Apodemus sylvaticus
Lepus europaeus

➤ **Πτηνά**

Ardea purpurea
Aythya nyroca
Egretta alba

Netta rufina
Plegadis falcinellus

➤ **Αμφίβια / Ερπετά**

Rana cretensis
Hyla arborea arborea
Bufo viridis viridis
Mauremys caspica rivulata
Trachemys scripta elegans
Natrix tessellata
Podarcis erhardii cretensis

Tarentola mauritanica
Hemidactylus turcicus
Telescopus fallax fallax
Cyrtodactylus kotschy bartoni
Elaphe situla
Lacerta trilineata trilineata
Lacerta trilineata citrovittata

➤ **Ψάρια**

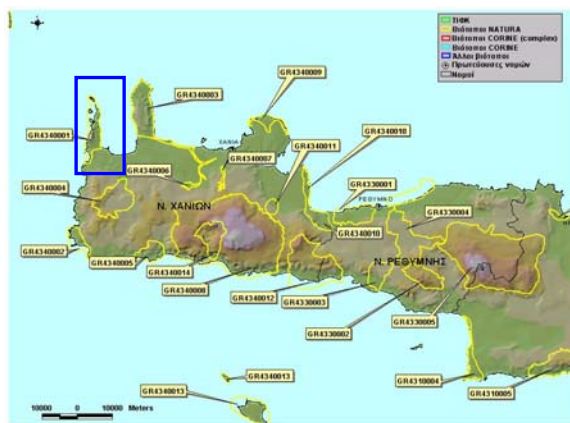
Blennius fluviatilis
Atherina boyeri
Gamboysia affinis
Liza ramada

Anquilla anquilla
Carassius auratus gibelio
Onkorhynchus mykiss

3.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΩΝ ΦΑΛΑΣΑΡΝΩΝ

3.3.1 Γεωγραφική Τοποθέτηση και Γενικά Χαρακτηριστικά

Τα Φαλάσαρνα βρίσκονται στη δυτική ακτή του νομού Χανίων, 25 Km δυτικά από το Καστέλλι Κισσάμου και απέχουν 58 Km από την πόλη των Χανίων [39]. Η περιοχή διοικητικά υπάγεται στο Δήμο Κισσάμου (δημοτικό διαμέρισμα Πλατάνου).



Χάρτης 3.5. Οι περιοχές Natura της δυτικής Κρήτης (περιοχή NATURA με κωδικό A4340010) [40].



Χάρτης 3.6. Ο Δήμος Κισσάμου, στον οποίο υπάγονται διοικητικά τα Φαλάσαρνα [39].

3.3.2 Μορφολογία

Το τοπίο στην περιοχή είναι ιδιαίτερου φυσικού κάλους και παρουσιάζει έντονη πολυμορφία χαρακτηριστική του Κρητικού χώρου. Έτσι, η δυτική πλευρά της περιοχής περιβάλλεται από την θάλασσα όπου εκτείνεται μια επιμήκη ακτή μήκους περίπου 6 km. Οι παραλίες είναι αμμόδεις με μεγάλο βάθος παραλίας. Επίσης, στην ευρύτερη περιοχή υπάρχουν και αρκετές βραχώδεις παραλίες. Ο κάμπος των Φαλασάρνων (καλλιεργούμενη γη) περιβάλλεται από μια περιοχή με ήπια κλίση (πλαγιά) που καταλήγει περιμετρικά του κάμπου σε υψόμετρο 300 m περίπου. Οι βουνοπλαγιές είναι καλυμμένες με χορτολιβαδικές εκτάσεις και δασικούς θαμνώνες. Στην ευρύτερη περιοχή υπάρχουν

και σημαντικοί ορεινοί όγκοι. Προς νότο υπάρχει ο Προφήτης Ηλίας, στον οποίο υπάρχει και ο ομώνυμος ναός, που απέχει οριζοντιογραφικά μόλις 2.5 km από τη θάλασσα και φτάνει σε ύψος 891 m. Προς βορρά υπάρχει το Ακρωτήριο της Γραμβούσας που καταλήγει στο Νησί Γραμβούσα με το ιστορικό Κάστρο της Γραμβούσας, με τεράστια συνεισφορά κατά τα χρόνια της Κρητικής Επανάστασης, διατηρημένο σε άριστη κατάσταση. [48]



Εικόνα 3.3. Πανοραμική άποψη της ακτής των Φαλασάρνων.

3.3.3 Ιστορικές Αναφορές και Μνημεία

Στην περιοχή σώζονται τα ερείπια από την ομώνυμη αρχαία πόλη. Ήταν λιμάνι της Πολυρρήνιας από την οποία απείχε 60 στάδια και το όνομα της είναι προελληνικό και κατά πάσα πιθανότητα το πήρε από την νύφη Φαλασάρνη. Η ύπαρξη της αναφέρεται από το Σκύλακα, τον έλληνα Σικελό φιλόσοφο Διονύσιο Καλλιφόντη, από τον Στέφανο Βυζάντιο και τον Πλίνιο. Το λιμάνι της ήταν κλειστό περιβαλλόταν με τείχος και συνδεόταν με την θάλασσα με διώρυγα. Η εξαιρετική ασφάλεια του λιμανιού της, το απόρθητο φρούριο της και ο πλούσιος κάμπος της περιφέρειας της δείχνουν ότι ήταν σπουδαίο εμπορικό και ναυτικό κέντρο. [40]

3.3.4 Θεσμικές Ρυθμίσεις

Επιπλέον σημειώνουμε ότι η περιοχή υπάγεται στις παρακάτω θεσμικές ρυθμίσεις (Παράρτημα 3.Ι):

- Η περιοχή έχει καταχωρηθεί στο δίκτυο NATURA 2000 με το όνομα ΗΜΕΡΗ ΚΑΙ ΑΓΡΙΑ ΓΡΑΜΒΟΥΣΑ - ΤΗΓΑΝΙ ΚΑΙ ΦΑΛΑΣΑΡΝΑ - ΠΟΝΤΙΚΟΝΗΣΙ και κωδικό GR4340001.
- Η περιοχή έχει καταχωρηθεί στο δίκτυο CORINE-Biotopes (AG0020039, AG0050008).
- Η ευρύτερη περιοχή του Κόλπου Λειβάδι έχει χαρακτηριστεί σαν περιοχή ιδιαίτερου φυσικού κάλους. ΦΕΚ 1242/Β/16-10-1973.
- Αρχαιολογικός χώρος Φαλάσαρνας Κισάμου Ν. Χανίων ΦΕΚ 23/Β/17-1-1995.

3.3.5 Υδρογεωλογικές Συνθήκες

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που επικρατούν στην περιοχή είναι οι ασβεστολιθικοί. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με τον γεωλογικό χάρτη του νομού Χανίων (Παράρτημα 3.ΙΙ), η περιοχή των Φαλασάρνων, αποτελείται από τεταρτογενείς αποθέσεις παραλιακά, και όσο αυξάνεται το υψόμετρο από αποθέσεις του νεογενούς. Το ανάγλυφο του εδάφους είναι ηπιώς κεκλιμένο. Το έδαφος προέρχεται από μητρικά πετρώματα ασβεστολίθων και τύπου terra rossa με κύρια χαρακτηριστικά την έλλειψη καλίου και φωσφόρου, το υψηλό pH, την σχετικά μεγάλη περιεκτικότητα σε ανθρακικό ασβέστιο και την έλλειψη υγρασίας. [48,49]

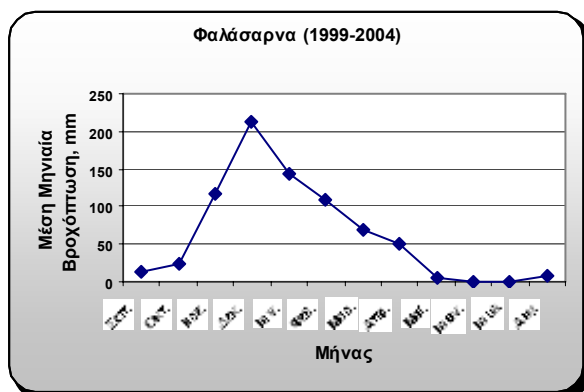
Τα Φαλάσαρνα ανήκουν στην ευρύτερη υδρολογική λεκάνη Γραμβούσας – Πλατάνου – Σφηναρίου. Η εν λόγω λεκάνη βρίσκεται στο δυτικό τμήμα του Ν. Χανίων, και είναι μια δευτερεύουσα υδρολογική λεκάνη της επαρχίας Κισάμου. Η επιφανειακή απορροή περιορίζεται στην έκταση που καταλαμβάνουν οι σχιστολιθικοί σχηματισμοί στο νοτιοδυτικό τμήμα της λεκάνης. Σύμφωνα με την

Υδρολογική Μελέτη του Κάμπου Χανίων [49], η ευρύτερη αυτή υδρολογική λεκάνη χωρίζεται σε δύο μικρότερες υδρολογικές λεκάνες, αυτή των Φαλασάρων, έκτασης 6,1 km² και του Πλατάνου – Γραμβούσας έκτασης 10,83 km². Στην υδρολογική λεκάνη των Φαλασάρων, βάσει των μέσων ετήσιων βροχοπτώσεων, οι οποίες υπολογίστηκαν σε 650 mm, λαμβάνοντας κατεύθυνση 10% λόγω του αυξημένου πορώδους των μαργαϊκών ασβεστολίθων και των κροκαλοπαγών εμφανίσεων των νεογενών, θεωρείται ότι διακινούνται υπόγεια ποσότητες νερού της τάξεως των 0.4 10⁶ m³/yr (Λιόνης, 2001). Σημαντικότερη πηγή της περιοχής είναι αυτή του Σφηναρίου η οποία δίνει μέσο ετήσιο όγκο νερού (έτη 1970 – 1993) 1.6 10⁶ m³ νερού. Υπάρχουν ακόμη και άλλες πηγές, οι περισσότερες από τις οποίες παρουσιάζουν έντονα φαινόμενα υφαλμύρνησης. Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στην πηγή «Ποταμός» με αξιόλογη παροχή, της οποίας το νερό όμως είναι ποιοτικά υποβαθμισμένο, ακατάλληλο για κάθε χρήση. Οι γεωτρήσεις που έχουν ανορυχθεί στην περιοχή αυτή, εκμεταλλεύονται τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα που αναπτύσσεται τόσο στους τεταρτογενείς και νεογενείς σχηματισμούς όσο και στο ανθρακικό υπόβαθρό της. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι η συγκεκριμένη περιοχή, υπάγεται στα μέτρα προστασίας υδάτινου δυναμικού του νομού, υπό καθεστώς απαγόρευσης ανόρυξης νέων γεωτρήσεων και πηγαδιών, καθώς και μεταβολής των συνθηκών λειτουργίας των ήδη υπάρχοντων υδροληπτικών έργων. Η απόφαση αυτή έχει ληφθεί στα πλαίσια της έντονης υφαλμύρνησης που παρουσιάζεται στην παραλιακή ζώνη. Γενικά, η υδρολογική λεκάνη αυτή είναι περιορισμένης δυναμικότητας. Η γεωλογία της περιοχής, η γειτνίαση με την θάλασσα και η υπεράντληση, επιβαρύνουν την ποιότητα του νερού, ενώ η ολοένα και μεγαλύτερη ανάγκη εξασφάλισης νερού για την μερική κάλυψη των αναγκών της περιοχής μεγαλώνει τον κίνδυνο περαιτέρω ποιοτικής υποβάθμισης του υδροφορέα.

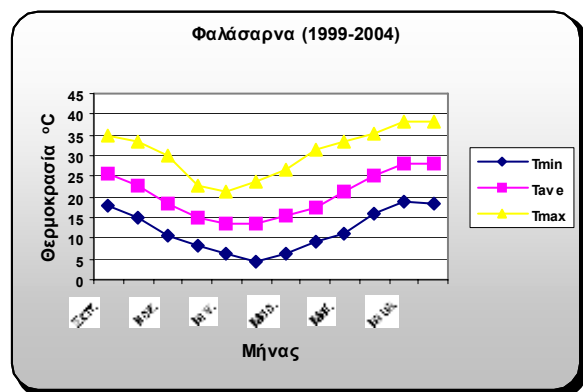
3.3.6 Κλιματολογικές Συνθήκες

Το κλίμα της περιοχής των Φαλασάρων είναι μεσογειακό με έντονα θερμομεσογειακό χαρακτήρα και συμπίπτει με το συνολικό κλίμα του νομού Χανίων. Η μελέτη των κλιματολογικών συνθηκών της περιοχής έγινε με τη χρήση βροχομετρικών στοιχείων και στοιχείων θερμοκρασίας από το Σταθμό του Ινστιτούτου Υποτροπικών και Ελιάς Χανίων στα Φαλάσαρνα. Ο σταθμός αυτός βρίσκεται σε υψόμετρο 24m με γεωγραφικές συντεταγμένες πλάτος 35° 30' και μήκος 23° 35'. Μετεωρολογικά δεδομένα για τον υπολογισμό της εξάτμισης χρησιμοποιήθηκαν από τον σταθμό της Σούδας.

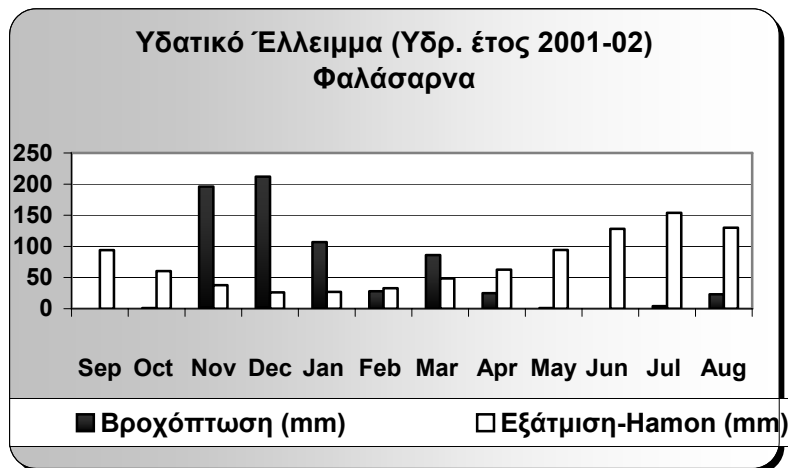
Η μέση βροχόπτωση στην περιοχή είναι 750 mm (610-1153 mm). Ψυχρότερος μήνας στην περιοχή είναι ο Φεβρουάριος με μέση ελάχιστη θερμοκρασία 4.5 °C και θερμότερος ο Ιούλιος με μέση μέγιστη θερμοκρασία 38 °C (Διάγραμμα 3.6 και Παράρτημα 3.III). Τα αποτελέσματα από τον υπολογισμό του ελλείμματος για τα υδρολογικά έτη 2000-01 έως 2003-04 έδειξαν ότι η περιοχή παρουσιάζει δυνητικό υδατικό έλλειμμα από τους μήνες Φεβρουάριο-Μάιο έως τον μήνα Οκτώβριο, ενώ το αθροιστικό έλλειμμα είναι αρνητικό της τάξεως των 120 mm (μέση τιμή). Στο διάγραμμα 3.7 απεικονίζεται το δυνητικό υδατικό έλλειμμα για το χαρακτηριστικό υδρολογικό έτος 2001-02 (βροχόπτωση 683 mm).



Διάγραμμα 3.5. Μέση μηνιαία βροχόπτωση για τα Φαλάσαρνα.



Διάγραμμα 3.6. Ελάχιστη, μέση και μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία για τα Φαλάσαρνα.



Διάγραμμα 3.7. Το δυνητικό υδατικό έλλειμμα για την περιοχή των Φαλασάρνων το υδρολογικό έτος 2001-02.

3.3.7 Χρήσεις Γης και Κύριες Δραστηριότητες

Στην περιοχή των Φαλασάρνων είναι αναπτυγμένες κυρίως οι παρακάτω δραστηριότητες [48]:

Αγροτική δραστηριότητα: υπάρχουν θερμοκηπιακές καλλιέργειες, καλλιέργειες ελιάς και αμπελοκαλλιέργειες (κυρίως στον κάμπο της Κισάμου).

Αλιευτική δραστηριότητα: στο λιμανάκι του Πλατάνου υπάρχει μικρός αριθμός αλιευτικών σκαφών, όπως και στον γειτονικό λιμενίσκο Σφηνάρι, ενώ μεγαλύτερος αριθμός σκαφών υπάρχει στο μεγάλο λιμάνι του Καβονησίου

Τουριστική δραστηριότητα: η τουριστική δραστηριότητα στην περιοχή είναι ανεπτυγμένη. Υπάρχουν στην ευρύτερη περιοχή αρκετές εγκαταστάσεις ενοικιαζόμενων δωματίων – διαμερισμάτων καθώς και λίγα ξενοδοχεία.

Εμπορική δραστηριότητα: στην ευρύτερη περιοχή υπάρχουν εμπορικές δραστηριότητες που έχουν να κάνουν κυρίως με τον τουρισμό, όπως ενοικιάσεις αυτοκινήτων, εποχιακά τουριστικά εμπορικά καταστήματα, mini markets κ.λ.π.

Αρχαιολογικοί χώροι: στην ευρύτερη περιοχή υπάρχει αρχαιολογικός χώρος (Αρχαία πόλη Φαλάσαρνας), με σημαντικά αρχαιολογικά ευρήματα (αρχαίο λιμάνι, οχυρωματικά έργα κ.λ.π). στο Καβούσι υπάρχει Ενετικός Πύργος καθώς και ισόγειες κατοικίες στην παραδοσιακή τους μορφή.

Οι τουριστικές εγκαταστάσεις καθώς και τα τουριστικά εμπορικά καταστήματα, έχουν δώσει στην περιοχή τουριστικό χαρακτήρα. Οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις της περιοχής περιλαμβάνουν τέσσερα ελαιотριβεία, τον Αγροτικό Συνεταιρισμό με Μονάδες Τυποποίησης Λαδιού και εμφιαλωτήρια κρασιού.

3.3.8 Κύριες Φορτίσεις

Οι κύριες φορτίσεις της περιοχής είναι οι εξής:

- Ρύπανση από χρήση φυτοπροστατευτικών, εντομοκτόνων, ζιζανιοκτόνων κτλ στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες, στους ελαιώνες και τα αμπέλια που υπάρχουν στην περιοχή καθώς και λόγω απόρριψης στερεών απορριμμάτων που σχετίζονται με τις καλλιέργειες αυτές, όπως φθαρμένα νάιλον, υλικά συσκευασίας φυτοφαρμάκων κτλ.

- Ρύπανση από τουριστικές δραστηριότητες της περιοχής (πχ. λύματα από ξενοδοχειακές μονάδες, ταβέρνες κτλ) καθώς και στερεά απορρίμματα που προκύπτουν από την απουσία οργανωμένης διαχείρισης της ακτής. Σημειώνεται ότι στην περιοχή δεν υπάρχει μονάδα επεξεργασίας των λυμάτων ούτε των απορριμμάτων, με αποτέλεσμα η διαχείρισή τους να γίνεται με σηπτικούς βόθρους και με απόρριψή τους αυθαίρετα σε παράνομες χωματερές.
- Λόγω της αυξημένης άντλησης για την κάλυψη των αναγκών ύδρευσης των θερμοκηπιακών καλλιέργειών, έχει παρουσιαστεί έντονο πρόβλημα επιβάρυνσης σε άλατα του αντλούμενου νερού (Υφαλμύρωση). Το πρόβλημα αυτό έχει παρουσιαστεί τόσο στις γεωτρήσεις άντλησης όσο και στις τρεις υπάρχουσες πηγές της περιοχής.

3.3.9 Βλάστηση, Χλωρίδα και Πανίδα

Βλάστηση και χλωρίδα [40]

Η περιοχή από χλωριστική, οικολογική, φυσιογνωμική και ιστορική άποψη ανήκει στην Ευμεσογειακή ζώνη βλάστησης, στην υποζώνη του Oleo Ceratonion και στον αυξητικό χώρο του Oleo Ceratonietum. Στις νότιες και νοτιοανατολικές λοφώδεις περιοχές έχουμε χαρακτηριστικά του Oleo Lentiscentum και τα όρια των δύο αυξητικών χώρων καθίσταται ασαφή. Στην ευρύτερη περιοχή αναπτύσσονται κατά θέσεις υπολείμματα της μεσογειακής μακίας κυρίως πλησίον της κοίτης των ρεμάτων που το εδαφικό περιβάλλον είναι ευνοϊκό λόγω της έκπλυσης των γειτονικών κλιτύων. Τα απαντώμενα είδη, όσο αφορά την βλάστηση είναι:

Ceratonia siliqua

Nerium oleander

Pistacia lentiscus

Vitex Angus castus

Coridothymus capitatus

Origanum dictamnus

Genista acathoclada

Calicotome villosa

Juniperus oxycedrus

Phlomis cretica

Ενδιαφέρον, παρουσιάζει η Βραχοχλωρίδα της περιοχής που είναι εξαιρετικά πλούσια σε αριθμό και ποικιλία ειδών, όπως τα *Verbascum arcturus*, *Achillea cretica*, *Petromarula pinnata*, *Campanula saxatilis*, *Centaurea argentea*, *Tulipa goulimy*. Επίσης η βλάστηση της παραλιακής ζώνης είναι σημαντική με τα: *Pancratium maritimum* (κρίνος της θάλασσας), *Otanthus maritimus*, *Euphorbia paralias*, *Tamarix smyrnensis*. Επιπλέον πρέπει να τονίσουμε ότι η παραλία είναι ένα από τα 3 μέρη της Κρήτης όπου μπορεί κανείς να παρατηρήσει το πολύ όμορφο ενδημικό της Κρήτης κρίνακι *Androcymbium Reichingeri* (Ανδροκύμβιο) Η σπανιότητά του το κατατάσσει στα κινδυνεύοντα και προστατεύεται από προεδρικά διατάγματα και διεθνείς συνθήκες.

Πανίδα [40]

Σύμφωνα με τη μελέτη Αναγνώρισης του φυσικού Περιβάλλοντος της Χώρας (ΥΠΕΧΩΔΕ) τα απαντώμενα είδη στην ευρύτερη περιοχή είναι:

➤ Αμφίβια

Bufo viridis

➤ Ασπόνδυλα

Είναι κολεόπτερα, λεπιδόπτερα, υμενόπτερα, δίπτερα και μαλάκια του γένους (*Helix*) σαλιγκάρια.

➤ Ερπετά

Coluber gemonensis gemonensis

Natrix tessellata

Elaphe situla

Podarcis erhardi cretensis

Lacerta trilineata

Chalcides ocellatus

Mauremys caspica

Tarentola mauritania

➤ Θηλαστικά

Meles meles arcalus

Rattus rattus frugivorous



Χάρτης 3.8. Οι Δήμοι Μουσούρων και Ανατολικού Σελίνου, στους οποίους υπάγεται διοικητικά το οροπέδιο του Ομαλού Φαλάσαρνα [39].

3.4.2 Μορφολογία

Το οροπέδιο του Ομαλού, στα Λευκά όρη, βρίσκεται σε υψόμετρο 1080 μέτρων έχει ελλειψοειδές σχήμα (διάμετρος περίπου 4 Km) και είναι περιτριγυρισμένο από απόκρημνες κορυφές. Στην είσοδο του οροπεδίου βρίσκονται μικρά πέτρινα σπίτια που κατοικούνται μόνο τους καλοκαιρινούς μήνες και λίγα εστιατόρια. Στο νότιο άκρο του οροπεδίου του Ομαλού βρίσκεται το Ξυλόσκαλο, στο οποίο βρίσκεται η είσοδος για το φαράγγι της Σαμαριάς, σε ύψομετρο 1300 m. Μετά από μια απότομη κάθοδο από το Ξυλόσκαλο, υπάρχει μονοπάτι που διασχίζει το φαράγγι κατά μήκος μιας στενής κοιλάδας με πρηνή που υψώνονται ως και 1000 m προς τον Γκίγκελο και τον Βόλτακα στη δεξιά όχθη. Το φαράγγι της Σαμαριάς είναι ο παλαιότερος Εθνικός Δρυμός της χώρας (1962) και αποτελεί το πιο διάσημο και ίσως το πιο όμορφο φαράγγι της Ευρώπης. Ακόμη, είναι το μεγαλύτερο και το πιο στενό, αφού υπάρχει πέρασμα που είναι μόλις 2,5 m. Ως το εγκαταλελειμμένο χωριό Σαμαριά υπάρχει πυκνό μικτό δάσος τραχείας πεύκης και κυπαρισσιών, ενώ στη συνέχεια και σχεδόν ως την έξοδο, τραχεία πεύκη. Το φαράγγι προς την έξοδο του στενεύει και οδηγεί μέσα από ένα στενό πέρασμα -τις σιδηρόπορτες- στον οικισμό και την παραλία της Αγίας Ρουμέλης, το σημείο εξόδου του φαραγγιού. Στο τελευταίο τμήμα του φαραγγιού υπάρχει πυκνή βλάστηση, κυρίως πικροδάφνες. Το μήκος του φαραγγιού είναι περίπου 16 Km. Το σημερινό χωριό έχει κτιστεί πάνω στην αρχαία πόλη Τάρα, ενώ το παλιό χωριό βρίσκεται ένα χιλιόμετρο μέσα στο φαράγγι. [40]



Εικόνα 3.4. Πανοραμική άποψη του οροπεδίου του Ομαλού.



Εικόνα 3.5. Πανοραμική άποψη του φαράγγιού της Σαμαριάς.

3.4.3 Ιστορικές Αναφορές και Μνημεία

Το οροπέδιο του Ομαλού λόγω της μορφολογίας του, υπήρξε πάντα καταφύγιο όλων των επαναστατών του παρελθόντος και πολύ γνωστό για τους απελευθερωτικούς αγώνες του νησιού. Στο Ξυλόσκαλο, σε κοντινό λόφο βρίσκεται ο ναός του Αγίου Παντελεήμονα, όπου βρίσκεται ο τάφος του Χατζημιχάλη Γιάνναρη, αρχηγού των επαναστάσεων του 1866, 1878 και 1897 κατά των Τούρκων. Στο φαράγγι υπάρχουν τα βυζαντινά Ξωκλήσια του Αγ. Νικολάου και της Οσίας Μαρίας. Τούρκικα κάστρα, το ένα πάνω από το χωριό Σαμαριά και το άλλο πάνω από το χωριό Αγ. Ρουμέλη. Η αρχαία πόλη Τάρα αναφέρεται από αρχαίους συγγραφείς ως μια δυνατή και ανεξάρτητη πόλη. Χρησιμοποιούσε το δικό της νόμισμα, έχοντας τον Κρητικό Αίγαγρο με ένα βέλος από την μία όψη και μία μέλισσα από την άλλη. Μάλιστα, η Τάρα, μαζί με άλλες σημαντικές αρχαίες πόλεις της Νοτιοδυτικής Κρήτης (Ελυρο και Υρτακίνα) είχαν συστήσει νομισματική ένωση. [40]

3.4.4 Θεσμικές Ρυθμίσεις

Η περιοχή υπάγεται στις παρακάτω θεσμικές ρυθμίσεις (Παράρτημα 3.Ι):

- Η περιοχή έχει καταχωρηθεί στο δίκτυο NATURA 2000 με το όνομα ΕΘΝΙΚΟΣ ΔΡΥΜΟΣ ΣΑΜΑΡΙΑΣ και κωδικό GR4340014, αλλά και η ευρύτερη περιοχή των Λεθκών Ορέων έχει καταχωρηθεί στο δίκτυο με το όνομα ΛΕΥΚΑ ΟΡΗ και κωδικό GR4340008.
- Η περιοχή Φαράγγι Σαμαριάς και Τάρρα έχει χαρακτηριστεί σαν τοπίο ιδιαίτερου φυσικού κάλους. (ΑΤ6010022).
- Τέλος, η περιοχή είναι Εθνικός Δρυμός (1962), Χώρος Ειδικής Κρατικής Προστασίας, Περιοχή Προστασίας Ορνιθοπανίδας, περιλαμβάνει αρχαιολογικούς χώρους, είναι ιστορικός τόπος και περιλαμβάνεται ακόμη στο Δίκτυο CORINE-Biotopes (AG0010068).

3.4.5 Υδρογεωλογικές Συνθήκες

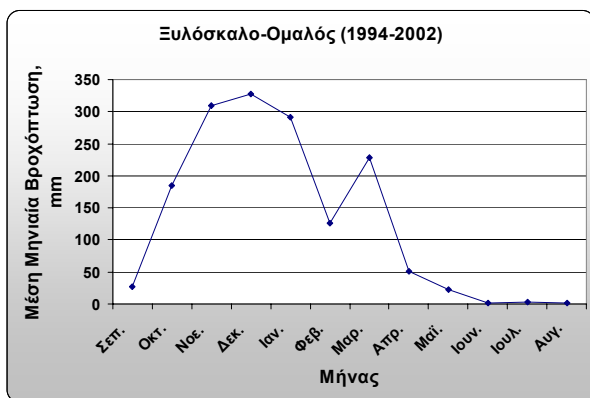
Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που επικρατούν στην περιοχή είναι οι ασβεστολιθικοί. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με τον γεωλογικό χάρτη του νομού Χανίων (Παράρτημα 3.ΙΙ) οι κύριοι γεωλογικοί σχηματισμοί που συνθέτουν το γεωλογικό υπόβαθρο του Εθνικού Δρυμού Σαμαριά είναι τρεις: πλακώδεις κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι, συμπαγείς ασβεστόλιθοι και δολομίτες και λιθώνες (χαλαροί σχηματισμοί από κομμάτια βράχων που συσσωρεύονται στις πλαγιές) Ρηξιγενές φαράγγι με κατεύθυνση Β-Ν σε πλακώδεις ασβεστόλιθους Ηωκαίνου που φθάνουν ως την ακτή. Στην είσοδο του φαράγγιού στη θέση Ξυλόσκαλο λεπτοκρυσταλλικός ασβεστόλιθος εναλλασσόμενος με δολομίτες, φυλλίτη και ασβεστοφυλλίτη (σχηματισμός Γκίγκελου). Η διαβρωτική δράση του νερού επηρέασε

σαφώς τη διαμόρφωση των πρανών του φαραγγιού που απέκτησε τη μορφή που έχει σήμερα κατά το Πλειστόκαινο. [40]

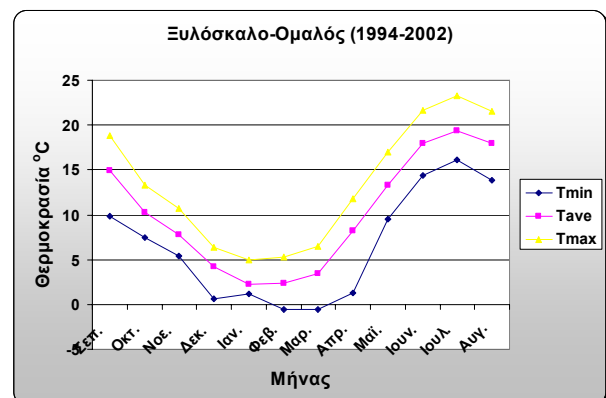
3.4.6 Κλιματολογικές Συνθήκες

Η μελέτη των κλιματολογικών συνθηκών της περιοχής έγινε με τη χρήση βροχομετρικών στοιχείων και στοιχείων θερμοκρασίας από τον σταθμό στο Ξυλόσκαλο. Καθώς τα διαθέσιμα δεδομένα αφορούσαν μέσες μηνιαίες τιμές για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής οι τιμές της θερμοκρασίας συσχετίστηκαν με τις αντίστοιχες της Σούδας και με βάση την θερμοβαθμίδα υπολογίστηκαν η ημερήσιες τιμές θερμοκρασίας για τον Ομαλό. Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή υπολογίστηκε με το πρόγραμμα WDM [42] (εξίσωση Hamon [43]).

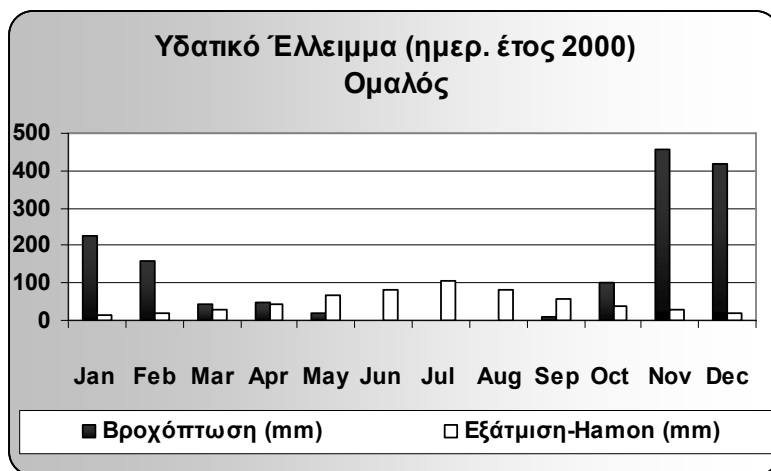
Η μέση βροχόπτωση στην περιοχή είναι 1600 mm. Ψυχρότεροι μήνες στην περιοχή είναι ο Φεβρουάριος και ο Μάρτιος με μέση ελάχιστη θερμοκρασία -0.6°C και θερμότερος ο Ιούλιος με μέση μέγιστη θερμοκρασία $23,2^{\circ}\text{C}$ (Διάγραμμα 3.9 και Παράρτημα 3.III). Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί ότι στον Ομαλό κατά τους χειμερινούς μήνες εμφανίζονται έντονες χιονοπτώσεις, οι οποίες δεν καταγράφονται, με αποτέλεσμα να γίνεται υποεκτίμηση του ισοζυγίου. Τα αποτελέσματα από τον υπολογισμό του ελλείμματος για το ημερολογιακό έτος 2000 για το οποίο υπήρχαν πλήρη στοιχεία βροχόπτωση έδειξαν ότι η περιοχή παρουσιάζει δυνητικό υδατικό έλλειμμα από τους μήνες Μάιο έως τον μήνα Σεπτέμβριο, ενώ το αθροιστικό έλλειμμα είναι θετικό της τάξεως των 897 mm (μέση τιμή).



Διάγραμμα 3.8. Μέση μηνιαία βροχόπτωση για τον Ομαλό.



Διάγραμμα 3.9. Ελάχιστη, μέση και μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία για τον Ομαλό.



Διάγραμμα 3.10. Το δυνητικό υδατικό έλλειμμα για την περιοχή του Ομαλού το Ιουλιανό έτος 2000.

3.4.7 Χρήσεις Γης και Κύριες Δραστηριότητες

Στην περιοχή του οροπεδίου του Ομαλού είναι αναπτυγμένες κυρίως οι παρακάτω δραστηριότητες:

Αγροτική δραστηριότητα: υπάρχουν κυρίως κηπευτικές καλλιέργειες.

Κτηνοτροφική δραστηριότητα: στην περιοχή κυριαρχεί η αιγοπροβατοτροφία (οικόσιτη και ποιμενική – συστηματικής εκτροφής), με κυριότερα κτηνοτροφικά προϊόντα το γάλα και το κρέας. Στην περιοχή υπολογίζεται ότι υπάρχουν τουλάχιστον 10000 αιγοπρόβατα.

Τουριστική δραστηριότητα: η τουριστική δραστηριότητα στην περιοχή είναι αναπτυσσόμενη. Καθώς το οροπέδιο του Ομαλού αποτελεί σταθμό για τους επισκέπτες του Φαραγγιού της Σαμαριάς (καλοκαιρινούς μήνες), αλλά και πόλο έλξης επισκεπτών κατά τους χειμερινούς μήνες που το οροπέδιο σκεπάζεται από χιόνι. Έτσι, υπάρχουν στην ευρύτερη περιοχή λίγες εγκαταστάσεις ενοικιαζόμενων δωματίων-ξενώνων, όπως επίσης και εστιατόρια. Επίσης στην περιοχή υπάρχει και το καταφύγιο Καλλέργη (1680 m), που διαθέτει 40 κρεβάτια.

3.4.8 Κύριες Φορτίσεις

Οι κύριες φορτίσεις της περιοχής είναι οι εξής [40]:

- Ρύπανση από χρήση (αν και περιορισμένη) φυτοπροστατευτικών, εντομοκτόνων, ζιζανιοκτόνων κτλ στις καλλιέργειες.
- Ρύπανση από τις τουριστικές δραστηριότητες της περιοχής (πχ. λύματα από ξενοδοχειακές μονάδες, ταβέρνες), ιδιαίτερα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, που η τουριστική εκμετάλλευση του φαλαγγιού της Σαμαριάς φέρνει στην περιοχή πολλούς επισκέπτες. Σημειώνεται ότι στην περιοχή δεν υπάρχει μονάδα επεξεργασίας των λυμάτων ούτε των απορριμμάτων, με αποτέλεσμα η διαχείρισή τους να γίνεται με σπηττικούς βόθρους και με απόρριψή τους αυθαίρετα σε παράνομες χωματερές.
- Η εγκατάλειψη των καλλιεργειών μπορεί να προκαλέσει κυριαρχία του πεύκου και παροδική αύξηση της κατανομής του, με άγνωστες επιπτώσεις για την ιθαγενή ή την ενδημική χλωρίδα.
- Η ανάπτυξη του πευκοδάσους, μετά την απαγόρευση της κτηνοτροφίας και της υλοτομίας, έχει ως αποτέλεσμα τον έντονο κίνδυνο πυρκαγιάς. Η πιθανότητα μεγάλης και ανεξέλεγκτης πυρκαγιάς, είναι μια συνεχής απειλή για τα εξαιρετικά εύφλεκτα είδη της χλωρίδας που κυριαρχούν. Επιπρόσθετα ο κίνδυνος αυξάνει λόγω του δύσβατου της περιοχής-έντονο γεωμορφολογικό ανάγλυφο. Εξάλλου δυνητικά επικίνδυνες είναι και οι φωτιές που χρησιμοποιούνται ανεξέλεγκτα, για διαχειριστικούς λόγους σε όλο τον ορεινό όγκο των Λευκών Ορέων.
- Η πιθανότητα σοβαρής ζημίας ή και καταστροφής των Κυπαρισσοδασών από το μύκητα *Corineum cardinale*, είναι μια από τις μεγαλύτερες απειλές για την περιοχή. Ήδη έχουν παρατηρηθεί νοσούντα άτομα στην ευρύτερη περιοχή των Λευκών ορέων. Δεν υπάρχει όμως καμία επιστημονική καταγραφή ούτε του μεγέθους ούτε της έντασης του προβλήματος.
- Στην περιοχή υπάρχει έντονη κυνηγετική δραστηριότητα κατά το μεγαλύτερο μέρος παράνομη.

3.4.9 Βλάστηση, Χλωρίδα και Πανίδα

Βλάστηση και χλωρίδα [40]

➤ Φυτά

Zelkova abelicea

Cephalanthera cucullata

Bupleureum kakiskalae

Πανίδα [40]

➤ Θηλαστικά

Capra aegagrus

Phinolophus ferrum-equinum

Phinolophus hipposideros

➤ Πτηνά

Accipiter gentilis

Accipiter nisus

Apus apus

Apus melba

Apus palidus

Aquila chrysaetos

Bubo bubo

Buteo buteo

Calandrella brachydactyla

Caprimulgus europaeus

Carduelis spinus

Circaetus gallicus

Coccothraustes coccothraustes

Columba oenas

Columba palumbus

Cuculus canorus

Delichon urbica

Emberiza citrinella

Emberiza hortulana

Erithacus rubecula

Falco peregrinus

Falco subbuteo

Fringilla montifringilla

Gyps fulvus

Hirundo rustica

Jynx torquilla

Lanius collurio

Lanius minor

Lanius senator

Lullula arborea

Luscinia megarhynchos

Monticola saxatiles

Motacila alba

Motacila cinerea

Motacila flava

Muscicapa striata

Oenanthe hispanica

Oenanthe oenanthe

Otus scops

Pernis aprivorus

Phoenicurus Phoenicurus

Prunella modularis

Pyrrhocorax pyrrhocorax

Regulus regulus

Saxicola rubetra

Streptopelia turtur

Sturnus vulgaris

Sylvia anticapilla

Sylvia cantillans

Sylvia rueppelli

Turdus iliacus

Turdus philomelos

Turdus pilaris

Turdus torquatus

➤ Αμφίβια / Ερπετά

Elaphe situla

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΩΝ ΕΠΟΧΙΚΩΝ ΛΙΜΝΙΩΝ (ΜΕΛ) ΤΗΣ ΔΥΤΙΚΗΣ ΚΡΗΤΗΣ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται τα ΜΕΛ της Δ. Κρήτης (1 ΜΕΛ στην Λίμνη Κουρνά, 1 ΜΕΛ στα Φαλάσαρνα, 1 ΜΕΛ στον Ομαλό και 16 ΜΕΛ στο Ελαφονήσι), πέρα από αυτά της Γαύδου. Τα χαρακτηριστικά των λιμνίων προέκυψαν ύστερα από επιτόπιες μελέτες και πειράματα στο εργαστήριο. Οι μελέτες πραγματοποιήθηκαν σε πέντε λιμνία τα οποία θεωρήθηκαν αντιπροσωπευτικά. Έτσι, πραγματοποιήθηκαν μια σειρά από αναλύσεις και πειράματα, ώστε να προσδιορισθούν τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του ιζήματος των ΜΕΛ. Ακόμη, κατά τις μηνιαίες επισκέψεις στις περιοχές των λιμνίων συλλέχθηκαν παρατηρήσεις για το εάν και πώς αυτά έχουν τροποποιηθεί από φυσικά αίτια ή και από τον άνθρωπο, όπως επίσης και υδρολογικές παρατηρήσεις (στάθμη υπόγειου νερού, στάθμη νερού στα λιμνία) και πραγματοποιήθηκαν επιτόπιες μελέτες, όπως πειράματα προσδιορισμού της διηθητικής ικανότητας του ιζήματος των λιμνίων. και το εάν και πώς αυτά έχουν τροποποιηθεί από φυσικά αίτια ή και από τον άνθρωπο. Η συλλογή των παραπάνω δεδομένων επέτρεψε την εννοιολογική προσέγγιση του υδρολογικού κύκλου των λιμνίων, βάσει του οποίου αναπτύχθηκε ένα μοντέλο για τον προσδιορισμό της υδροπερίοδου των ΜΕΛ (κεφάλαιο 5).

4.2 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΛ

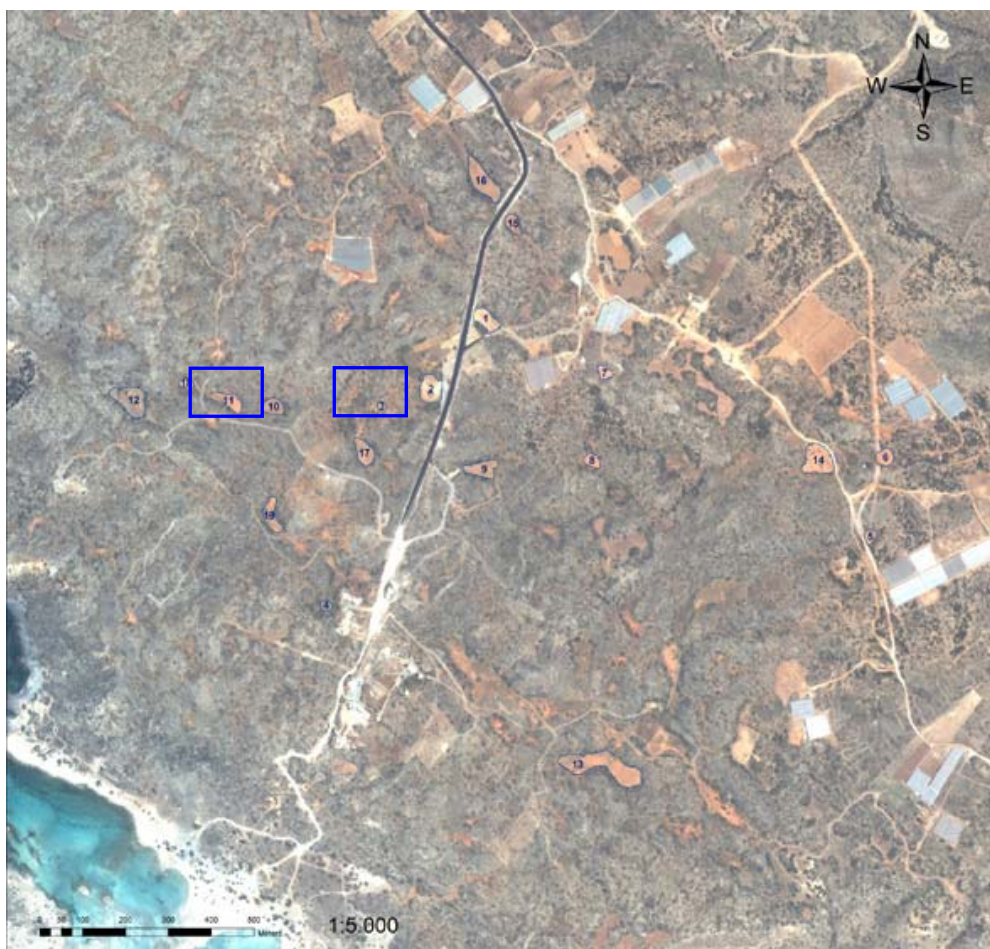
Το ΜΕΛ της λιμνής Κουρνά βρίσκεται νοτιοδυτικά και παράπλευρα της λίμνης (Εικόνα 4.1). Το ΜΕΛ στο νοτιοδυτικό τμήμα του οροπεδίου του Ομαλού βρίσκεται ανατολικά του δρόμου προς το Ξυλόσκαλο (Χάρτης 4.1). Τα 16 ΜΕΛ στο Ελαφονήσι βρίσκονται δεξιά και αριστερά του δρόμου που βγαίνει στην παραλία όπως φαίνεται στον χάρτη 4.2. Τέλος τα 2 λιμνία στα Φαλάσαρνα βρίσκονται δεξιά της κεντρικής παραλίας των Φαλασάρνων, δίπλα στην ακτή (από την οποία το λιμνίο χωρίζεται με αμμοθίνες) και χωρίζονται από τον παραλιακό δρόμο (Εικόνα 4.2).



Εικόνα 4.1. Το λιμνίο δίπλα στην λίμνη Κουρνά.



Χάρτης 4.1. Αεροφωτογραφία του οροπεδίου του Ομαλού στην οποία φαίνεται το ΜΕΛ [50].



Χάρτης 4.2. Αεροφωτογραφία της περιοχής του Ελαφονησίου στην οποία φαίνονται αριθμημένα τα Μεσογειακά Εποχικά Λιμνία [51].



Εικόνα 4.2. Πανοραμική φωτογραφία των λιμνίων στα Φαλάσαρνα.

4.3 ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΛ ΠΡΟΣ ΜΕΛΕΤΗ

Στις περιοχές των λιμνίων όπου συναντάται μόνο ένα αυτό αποτελεί και αυτό που θα μελετηθεί. Έτσι, στην λίμνη Κουρνά, στον Ομαλό και στα Φαλάσαρνα το ένα και μοναδικό λιμνίο που υπάρχει σε κάθε περίπτωση είναι το προς μελέτη λιμνίο της περιοχής. Αντίθετα στο Ελαφονήσι υπάρχουν αρκετά λιμνία και εξετάστηκε το ενδεχόμενο ομαδοποίησης τους.

4.3.1 Ομαδοποίηση των ΜΕΛ στο Ελαφονήσι

Στην περιοχή της Ελαφονήσου υπάρχουν 16 εποχικά μεσογειακά λιμνία, τα οποία παρουσιάζουν παρόμοια μορφολογικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά. Κρίθηκε, λοιπόν, σκόπιμο να μελετηθούν 2 αντιπροσωπευτικά λιμνία (σε συμφωνία με τις μελέτες του ΜΑΙΧ) στα οποία μάλιστα η πρόσβαση ήταν σχετικά εύκολη. Αυτά ήταν τα λιμνία 2 και 11 (Σχήμα 4.2, λιμνία στο μπλε πλαίσιο)

4.3 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΛ

Στα πλαίσια του προγράμματος LIFE-ΦΥΣΗ 2004 ‘Δράσεις για την προστασία των Μεσογειακών Εποχικών Λιμνίων της Δ. Κρητής’ το Μεσογειακό Αγρονομικό Ινστιτούτο Χανίων (ΜΑΙΧ) πραγματοποίησε την τοπογραφική αποτύπωση όλων των ΜΕΛ. Έτσι, με τη χρήση του GIS ArcView 3.3 δημιουργήθηκε το τρισδιάστατο μοντέλο εδάφους και προσδιορίστηκε η έκταση, ο μέγιστος όγκος και το μέγιστο βάθος κάθε λιμνίου, όπως επίσης και της λεκάνης απορροής του και παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί. Στο κεφάλαιο 6 παρουσιάζεται το τρισδιάστατο μοντέλο εδάφους, όπως επίσης και το διάγραμμα που προέκυψε με την συσχέτιση της επιφάνειας και του όγκου του λιμνίου με το υψόμετρο.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1. Μορφολογικά χαρακτηριστικά των υπό μελέτη ΜΕΛ.

Ταυτότητα λιμνίου	Λιμνίο			Λεκάνη απορροής			Μέγιστο βάθος λιμνίου (m)
	Επίπεδη Επιφάνεια (m ²)	Επιφάνεια (m ²)	Όγκος (m ³)	Επίπεδη Επιφάνεια (m ²)	Επιφάνεια (m ²)	Όγκος (m ³)	
Ελαφονήσι 2	1449.461	1628.713	514.656	6174.282	6040.051	2416.283	1.2
Ελαφονήσι 11	2344.843	2629.458	270.979	4611.298	4379.485	5582.896	0.4
Ομαλός	7910.107	8026.189	6182.482	10501.66	10267.54	20113.53	2.6
Κουρνάς	353.279						
Φαλάσσαρνα	1536.304						1.233
Φαλάσσαρνα	1669.233						4.3

4.5 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΤΩΝ ΜΕΛ

4.5.1 Φυσικά Χαρακτηριστικά του Εδάφους

Για τον φυσικό χαρακτηρισμό των εδαφών των λιμνίων μετρήθηκαν από το εργαστήριο «Υδρογεωχημικής Μηχανικής και Αποκατάστασης Εδαφών» οι ακόλουθες παράμετροι:

- ❖ Υγρασία (soil moisture)
- ❖ pH
- ❖ Πυκνότητα επί ξηρού (dry bulk density)
- ❖ Πορώδες (porosity)
- ❖ Κοκκομετρία (particle size distribution)

Σημειώνεται, ότι η υγρασία, η πυκνότητα επί ξηρού και το πορώδες, μετρήθηκαν στο έδαφος 8 λιμνίων στο Ελαφονήσι (ταυτότητα λιμνίων: 2, 8, 9, 11, 12, 15, 16, 17), 2 λιμνίων στα Φαλάσσαρνα, στο έδαφος του λιμνίου στον Κουρνά, όπως επίσης και στο έδαφος του λιμνίου στον Ομαλό και περιφερειακά αυτού. Καθώς τα αποτελέσματα των παραπάνω έδειξαν ομοιότητες τόσο μεταξύ των εδαφών των λιμνίων στο Ελαφονήσι, όσο και μεταξύ των εδαφών των λιμνίων στα Φαλάσσαρνα, η μέτρηση του pH και η κοκκομετρική ανάλυση πραγματοποιήθηκαν μόνο σε δύο λιμνία στο Ελαφονήσι (στα λιμνία 2 και 11 –υπό μελέτη λιμνία), ενώ τα δύο λιμνία στα Φαλάσσαρνα (τα οποία όπως έχει προαναφερθεί χωρίζονται από τον δρόμο) αντιμετωπίστηκαν ως ένα. Επιπλέον, η κοκκομετρική ανάλυση έγινε τόσο για το έδαφος του λιμνίου στον Ομαλό, όσο και για το έδαφος περιφερειακά του λιμνίου, καθώς τα δύο εδάφη παρουσιάζουν πολύ διαφορετική συμπεριφορά όσο αφορά στην διηθητική τους ικανότητα (βλ. 4.6.2).

4.5.2 Χημικά Χαρακτηριστικά του Εδάφους

Για τον χημικό χαρακτηρισμό των εδαφών των λιμνίων μετρήθηκαν τα:

- ❖ **Μέταλλα - ιχνοστοιχεία (XRF)**

Οι παραπάνω μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν μόνο για τα εδάφη των υπο-μελέτη λιμνίων. τα Μέταλλα- ιχνοστοιχεία προσδιορίστηκαν με την χρήση του εξοπλισμού του Εργαστηρίου «Ανόργανης Γεωχημείας, Οργανικής Γεωχημείας & Οργανικής Πετρογραφίας» του Τμήματος των Μηχανικών Ορυκτών πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης.

4.5.3 Δειγματοληψία και μεθοδολογία

Όλες οι προαναφερθέντες παράμετροι μετρήθηκαν σύμφωνα με την μεθοδολογία που παρατίθεται αναλυτικά στο παράρτημα 4.1 [52], σε επιφανειακά ομογενοποιημένα (από πέντε διαφορετικά σημεία) δείγματα που λήφθηκαν από τις περιοχές των λιμνίων κατά την θερινή περίοδο, που αυτά ήταν ξηρά.

Περιοχή δειγματοληψίας	Ημερομηνία δειγματοληψίας
Ελαφονήσι	01/09/05
Κουρνάς	13/09//05
Ομαλός	13/09/05
Φαλάσσορνα	19/09/05

4.5.4 Αποτελέσματα

❖ Υγρασία, πυκνότητα και πορόδες του ιζήματος

Όπως σημειώθηκε παραπάνω η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε κατά την θερινή περίοδο (ανομβρίας), με αποτέλεσμα η υγρασία που μετρήθηκε να μπορεί να θεωρηθεί ως η ελάχιστη υγρασία των εν λόγω εδαφών. Εξαίρεση αποτελεί η υγρασία του ιζήματος στα Φαλάσσορνα, καθώς είχε προηγηθεί της δειγματοληψίας γεγονός βροχόπτωσης. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα 4.2

❖ pH

Το pH των ιζημάτων προσδιορίστηκε σύμφωνα με την μέθοδο που παρατίθεται στο παράρτημα Ι. Έτσι, αρχικά προσδιορίστηκαν τα καρστικά από τα μη καρστικά ιζήματα και για τον προσδιορισμό του pH τους ακολουθήθηκε η κατάλληλη διαδικασία, με μετρήσεις σε διπλά δείγματα. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα 4.3.

❖ Κοκκομετρία

Η κοκκομετρική ανάλυση για τα εδάφη των έξι δειγμάτων πραγματοποιήθηκε με υγρή κοσκίνιση με τη χρήση της σειράς κόσκινων: 2, 1, 0.5, 0.25, 0.125, 0.063 mm και το κλάσμα < 0.063 mm αναλύθηκε περαιτέρω με σύστημα Διαθλαστικών Ακτινών Λείζερ (Laser Diffraction). Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί ότι η κατανομή των κόκκων του ιζήματος που προκύπτει με τη χρήση των κόσκινων αφενός είναι κατανομή κατά βάρος και αφετέρου αντιπροσωπεύει την δεύτερη κατά μέγεθος πραγματική διάμετρος-διάσταση των κόκκων, ενώ η κατανομή του πολύ λεπτόκοκκου κλάσματος που προκύπτει με το Laser αφενός είναι κατανομή κατ' όγκο και αφετέρου αντιπροσωπεύει την διάμετρο σφαίρας ισοδύναμου όγκου με τον υπό μέτρηση κόκκο. Συνεπώς, η δύο κατανομές δεν είναι συγκρίσιμες. Παρόλα αυτά το σφάλμα που προκύπτει από την ενοποίηση των δύο κατανομών θεωρείται ότι δεν επηρεάζει σημαντικά τον υπολογισμό των διαφόρων παραμέτρων (π.χ ενεργός διάμετρος d10, d50, συντελεστής ομοιομορφίας U) και τον χαρακτηρισμό του ιζήματος. Ο χαρακτηρισμός του ιζήματος έγινε με βάση τις αθροιστικές κοκκομετρικές καμπύλες και το τρίγωνο ταξινόμησης εδαφών (USDA Soil Textural Triangle).

Στον πίνακα 4.5 φαίνεται ο χαρακτηρισμός του ιζήματος σύμφωνα με τις αθροιστικές κοκκομετρικές καμπύλες (Διαγράμματα 4.1-4.6). Στον πίνακα 4.6 παρουσιάζονται τα ποσοστά %, του κλάσματος του ιζήματος < 2 mm, στη συνέχεια με αυτά τα ποσοστά και την χρήση του 'Τριγώνου Ταξινόμησης Εδαφών', γίνεται ο χαρακτηρισμός του ιζήματος των λιμνίων. Έτσι, από την απεικόνιση της κατανομής του ιζήματος (τρίγωνο ταξινόμησης εδαφών) των λιμνίων (Σχήμα 4.1) προκύπτει ο συγκεντρωτικός πίνακας 4.7, σχετικά με τον χαρακτηρισμό των εν λόγω εδαφών.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων της υγρασίας, της πυκνότητας και του πορώδους του εδάφους των λιμνίων.

Ταυτότητα λιμνίου		Υγρασία, %	Υγρασία (κλάσμα <2 mm), %	Πυκνότητα επί ξηρού, %	Πορώδες, %	Ποσοστό πόρων, %
Ελαφονήσι	2	2,8	4,8	109,2	48,0	50,6
	8	2,7	4,1	121,2	38,2	55,3
	9	2,7	5,0	116,8	40,0	65,0
	11	2,7	4,4	110,0	38,4	47,1
	12	5,4	7,2	116,8	37,2	59,2
	15	2,9	4,9	118,0	41,2	66,7
	16	2,2	3,4	122,8	44,0	68,9
	17	2,3	3,6	124,4	44,0	66,7
Φαλάσσαρνα	1	10,7	8,2	159,6	37,2	59,2
	2	12,8	11,4	147,2	36,4	57,2
Ομαλός	κεντρικά	12,4	17,5	93,2	40,0	66,7
	περιφερειακά	3,8	5,2	103,6	42,0	72,4
Κουρνάς		1,0	2,6	139,2	42,4	73,6

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων του pH του εδάφους των λιμνίων.

pH			
Ταυτότητα λιμνίου	1η μέτρηση	2η μέτρηση	pH (μέσος όρος)
Ελαφονήσι 2 (μη καρστικό)	7,34 (μετρούμενο σε νερό)	7,41 (μετρούμενο σε νερό)	7,38
Ελαφονήσι 11 (μη καρστικό)	7,11(μετρούμενο σε νερό)	7,45 (μετρούμενο σε νερό)	7,28
Φαλάσσαρνα (καρστικό)	7,09 (μετρούμενο σε 0,01M CaCl ₂)	7,19 (μετρούμενο σε 0,01M CaCl ₂)	7,14
Ομαλός (μη καρστικό)	5,58 (μετρούμενο σε νερό)	6,07 (μετρούμενο σε νερό)	5,83
Κουρνάς (μη καρστικό)	7,41 (μετρούμενο σε νερό)	7,42 (μετρούμενο σε νερό)	7,42

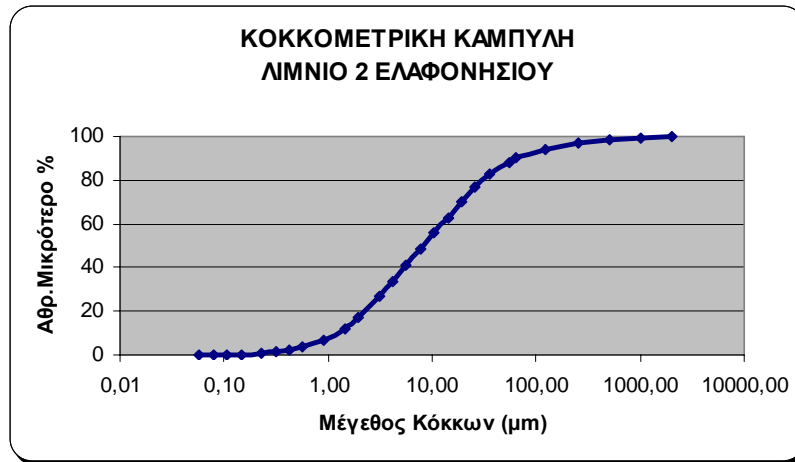
➤ *Χαρακτηρισμός του ιζήματος με βάση τις αθροιστικές κοκκομετρικές καμπύλες*

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4. Ποσοστά κατανομής των κόκκων του ιζήματος των λιμνίων και χαρακτηρισμούς τους (Method ISO 11277:1998 + Corr 1:2002 - without destruction of carbonates).

Κλάσμα	Χαρακτηρισμός	Κατανομή, %					
		Λιμνίο 2 Ελαφονήσι	Λιμνίο 11 Ελαφονήσι	Λιμνίο Κουρνά	Λιμνίο Ομαλός	Περιφ.Λιμνίου Ομαλός	Λιμνίο Φαλάσσαρνα
< 0,002 mm %	Αργίλος	17,72	9,61	2,45	2,53	3,89	1,02
0,002 < d < 0,0063 mm %	Λεπτή Ιλύς	25,41	14,86	5,02	4,21	6,53	1,39
0,0063 < d < 0,02 mm %	Μέση Ιλύς	27,56	27,25	7,91	14,24	19,94	2,29
0,02 < d < 0,063 mm %	Χοντρή Ιλύς	19,50	32,29	12,82	27,72	37,93	1,70
0,063 < d < 0,1 mm %	Λεπτότατη Άμμος	2,09	3,50	6,89	6,73	6,33	0,61
0,1 < d < 0,2mm %	Λεπτή Άμμος	3,28	4,96	30,16	11,16	9,63	2,44
0,2 < d < 0,63 mm %	Μέση Άμμος	3,26	4,84	26,91	16,02	10,60	42,51
0,63 < d < 2 mm %	Χοντρή Άμμος	1,17	2,21	4,94	17,39	5,14	43,49
d > 2 mm %	Χάλικες	-	0,49	2,90			4,55

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.5. Χαρακτηρισμός του ιζήματος με τις αθροιστικές κοκκομετρικές καμπύλες.

Ταυτότητα Λιμνίου	Χαρακτηρισμός του ιζήματος
Ελαφονήσι Λιμνίο 2	Αμμοειδής αργιώδης ιλύς
Ελαφονήσι Λιμνίο 11	Αργιώδης αμμοειδής ιλύς
Ομαλός Λιμνίο	Αργιώδης ιλυώδης άμμος
Ομαλός Περιφ.Λιμνίου	Αργιώδης αμμοειδής ιλύς
Κουρνάς Λιμνίο	Αργιώδης ιλυώδης άμμος
Φαλάσσαρνα Λιμνίο	Αργιώδης ιλυώδης άμμος

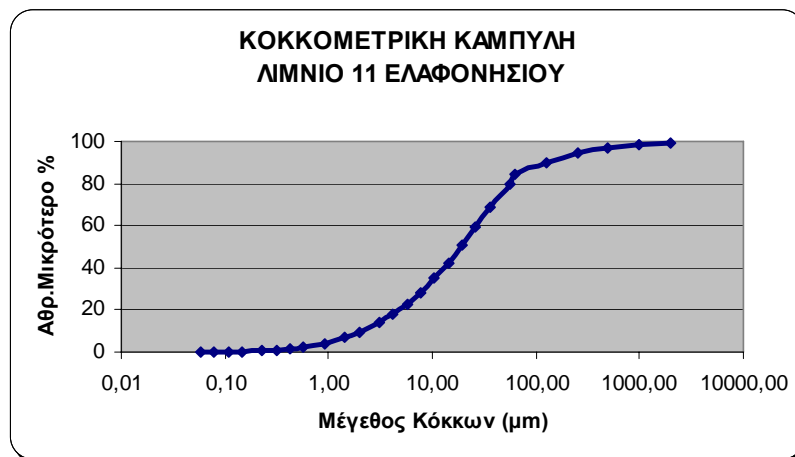


Διάγραμμα 4.1. Κοκκομετρική αθροιστική καμπύλη του ιζήματος του λιμνίου 2 στο Ελαφονήσι.

Παρατηρούμε ότι η καμπύλη αποκλίνει της κανονικής σιγμοειδούς καμπύλης και παρουσιάζει απότομη μετάβαση από τα λεπτόκοκκα στα αδρόκοκκα κλάσματα. Ακόμη, τα λεπτόκοκκα κλάσματα παρουσιάζουν ομοιομορφία (έντονη κλίση), ενώ τα αδρόκοκκα κλάσματα έντονη ανομοιομορφία. Τέλος, το ίζημα συνολικά χαρακτηρίζεται ανομοιόμορφο ($U = 10.37$).

$$d_{50} = 8.4 \mu\text{m}$$

Χαρακτηρισμός: αμμοειδής αργιλώδης ιλύς

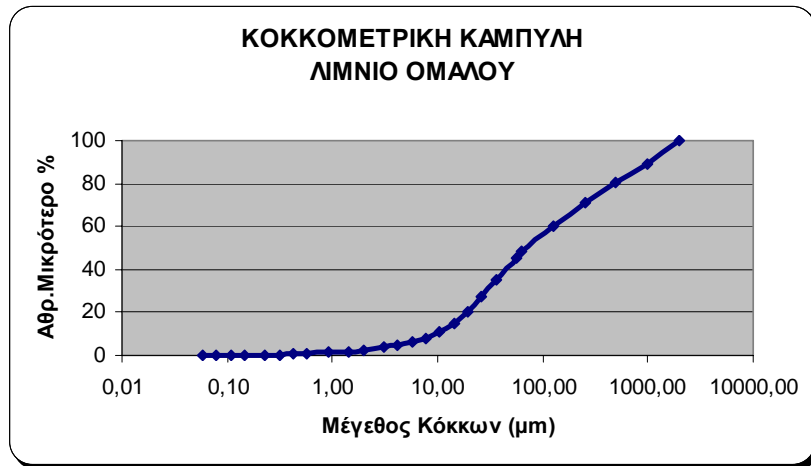


Διάγραμμα 4.2. Κοκκομετρική αθροιστική καμπύλη του ιζήματος του λιμνίου 11 στο Ελαφονήσι.

Παρατηρούμε ότι η καμπύλη αποκλίνει της κανονικής σιγμοειδούς καμπύλης και παρουσιάζει απότομη μετάβαση από τα λεπτόκοκκα στα αδρόκοκκα κλάσματα. Ακόμη, τα λεπτόκοκκα κλάσματα παρουσιάζουν ομοιομορφία (έντονη κλίση), ενώ τα αδρόκοκκα κλάσματα έντονη ανομοιομορφία. Τέλος, το ίζημα συνολικά χαρακτηρίζεται ανομοιόμορφο ($U = 12.74$).

$$d_{50} = 18.8 \mu\text{m}$$

Χαρακτηρισμός: αργιλώδης αμμοειδής ιλύς

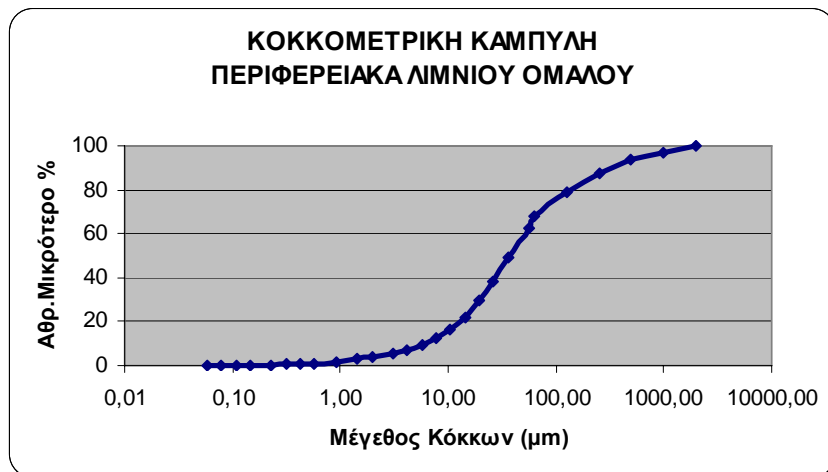


Διάγραμμα 4.3. Κοκκομετρική αθροιστική καμπύλη του ιζήματος του λιμνίου στον Ομαλό.

Παρατηρούμε ότι η καμπύλη αποκλίνει της κανονικής σιγμοειδούς καμπύλης. Ακόμη, τα λεπτόκοκκα κλάσματα παρουσιάζουν σχετική ομοιομορφία και τα αδρόκοκκα κλάσματα έντονη ομοιομορφία (έντονη κλίση). Τέλος, το έδαφος συνολικά χαρακτηρίζεται ανομοιόμορφο ($U = 89$).

$$d_{50} = 70 \mu\text{m}$$

Χαρακτηρισμός: αργιλώδης ιλυώδης άμμος

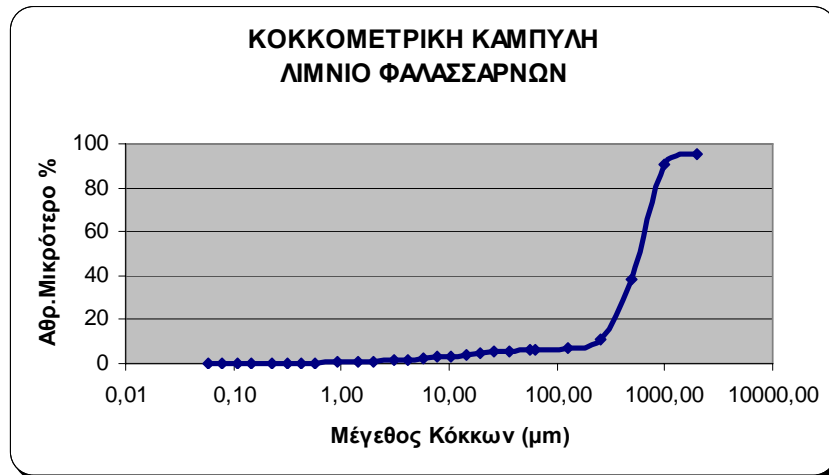


Διάγραμμα 4.4. Κοκκομετρική αθροιστική καμπύλη του ιζήματος περιφερειακά του λιμνίου στον Ομαλό.

Παρατηρούμε ότι η καμπύλη αποκλίνει της κανονικής σιγμοειδούς καμπύλης και παρουσιάζει σχετικά απότομη μετάβαση από τα λεπτόκοκκα στα αδρόκοκκα κλάσματα. Ακόμη, τα λεπτόκοκκα κλάσματα παρουσιάζουν ομοιομορφία, ενώ τα αδρόκοκκα κλάσματα δεν παρουσιάζουν μεγάλη ομοιομορφία. Τέλος, το ίζημα συνολικά χαρακτηρίζεται ανομοιόμορφο ($U = 8.79$).

$$d_{50} = 37.1 \mu\text{m}$$

Χαρακτηρισμός: αργιλώδης αμμοειδής ιλύς

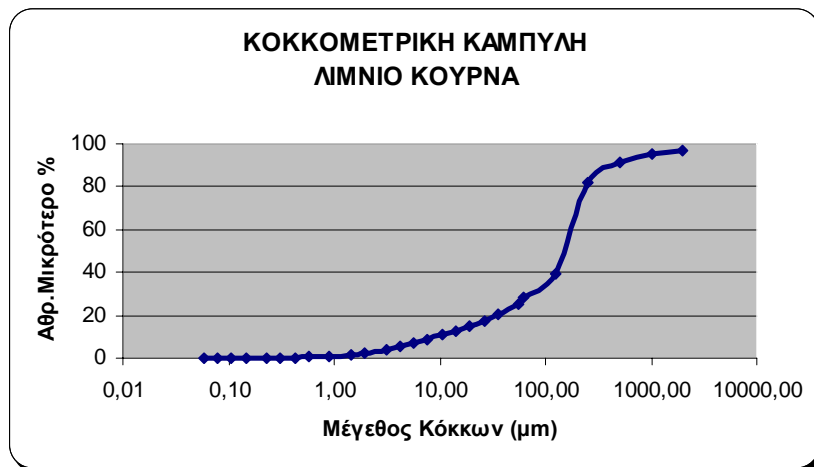


Διάγραμμα 4.5 Κοκκομετρική αθροιστική καμπύλη του ιζήματος του λιμνίου στα Φαλάσσαρνα.

Παρατηρούμε ότι η καμπύλη είναι ανορθωμένη σιγμοειδής καμπύλη και επιπρόσθετα παρουσιάζει πολύ απότομη μετάβαση από τα λεπτόκοκκα στα αδρόκοκκα κλάσματα. Ακόμη, τα λεπτόκοκκα κλάσματα παρουσιάζουν έντονη ανομοιομορφία, ενώ τα αδρόκοκκα έντονη ομοιομορφία, πέρα από τα πολύ αδρόκοκκα. Τέλος, το ίζημα συνολικά χαρακτηρίζεται ομοιόμορφο ($U = 3.20 < 5$).

$$d_{50} = 610 \mu\text{m}$$

Χαρακτηρισμός: αργιλώδης ιλυώδης άμμος



Διάγραμμα 4.6. Κοκκομετρική αθροιστική καμπύλη του ιζήματος του λιμνίου στην λίμνη Κουρνά.

Παρατηρούμε ότι η καμπύλη αποκλίνει της κανονικής σιγμοειδούς καμπύλης και παρουσιάζει σχετικά απότομη μετάβαση από τα λεπτόκοκκα στα αδρόκοκκα κλάσματα. Ακόμη, τα λεπτόκοκκα κλάσματα παρουσιάζουν σχετική ανομοιομορφία, ενώ τα αδρόκοκκα κλάσματα σχετική ομοιομορφία, πέρα από τα πολύ αδρόκοκκα (ανομοιομορφία). Τέλος, το έδαφος συνολικά χαρακτηρίζεται ανομοιόμορφο ($U = 19.61$).

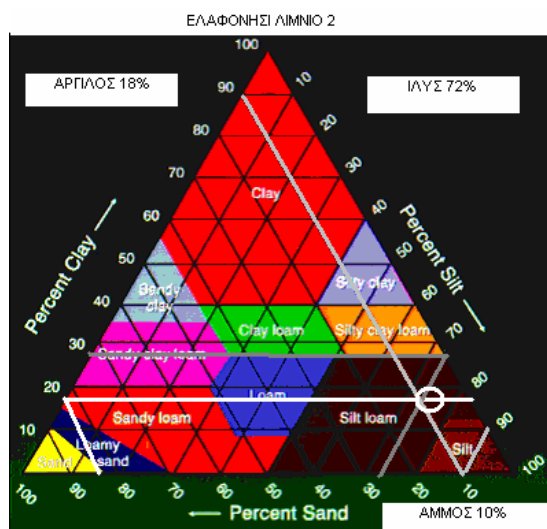
$$d_{50} = 160 \mu\text{m}$$

Χαρακτηρισμός: αργιλώδης ιλυώδης άμμος

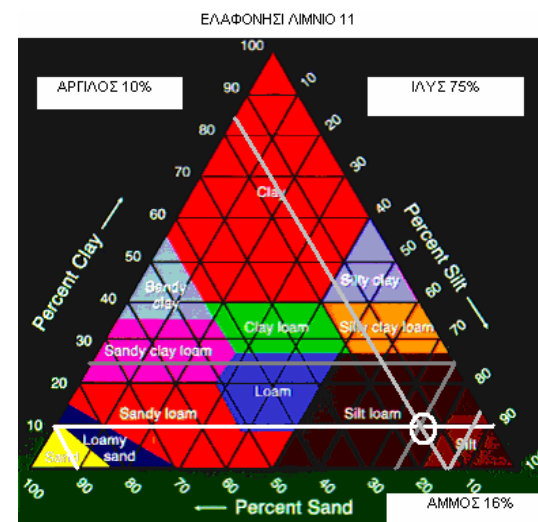
➤ Χαρακτηρισμός του ιζήματος με βάση το τρίγωνο ταξινόμησης εδαφών (USDA Soil Textural Triangle)

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.6. Ποσοστά κατανομής των κόκκων του ιζήματος των λιμνίων (κλάσμα < 2 mm).

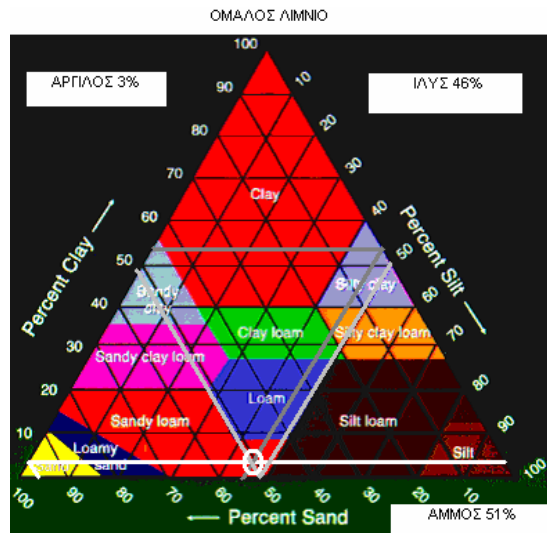
Κλάσμα	Χαρακτηρισμός	Κατανομή, %					
		Λιμνίο 2 Ελαφονήσι	Λιμνίο 11 Ελαφονήσι	Λιμνίο Κουνιά	Λιμνίο Ομαλός	Περιφ.Λιμνίου Ομαλός	Λιμνίο Φαλάσσαρνα
< 0,002 mm %	Αργίλος	18	10	3	3	4	1
0,002 < d < 0,063 mm %	Ιλύς	72	75	27	46	64	6
0,063 < d < 2 mm %	Άμμος	10	16	71	51	32	93



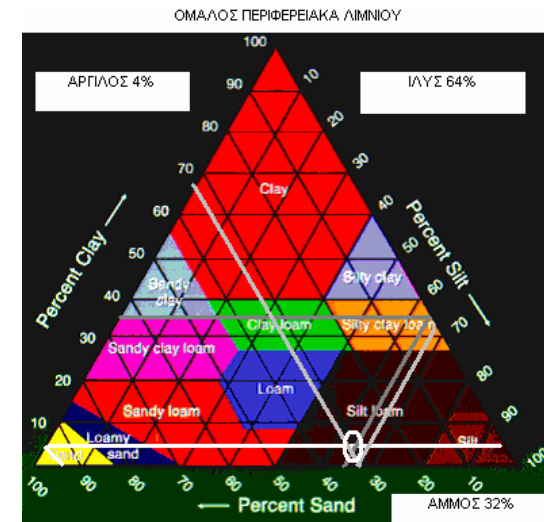
Χαρακτηρισμός: ιλυώδης πηλός (silt loam)



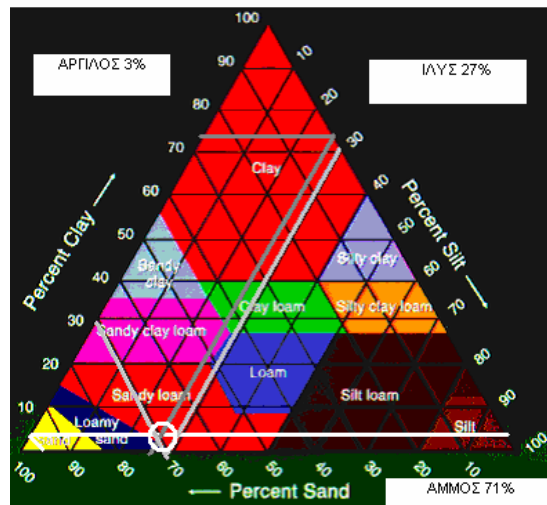
Χαρακτηρισμός: ιλυώδης πηλός (silt loam)



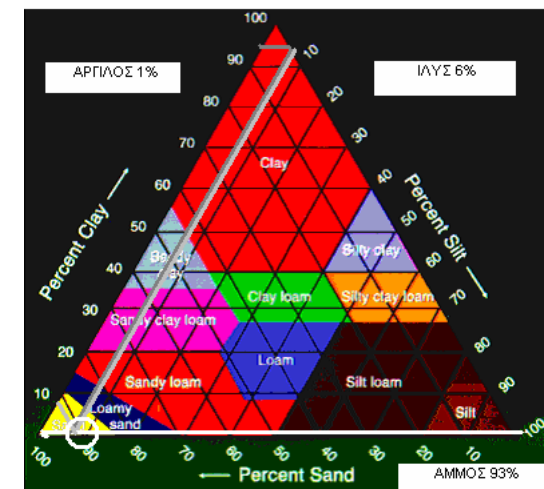
Χαρακτηρισμός: αμμώδης πηλός (sandy loam)



Χαρακτηρισμός: ιλυώδης πηλός (silt loam)



Χαρακτηρισμός: αμμώδης πηλός (sandy loam)



Χαρακτηρισμός: άμμος (sand)

Σχήμα 4.1. Απεικόνιση της κατανομής του ιζήματος των λιμνίων στο διάγραμμα ταξινόμησης εδαφών (τρίγωνο).

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.7. Χαρακτηρισμός του ιζήματος με βάση το τρίγωνο ταξινόμησης εδαφών (USDA Soil Textural Triangle).

Ταυτότητα Λιμνίου	Χαρακτηρισμός του Ιζήματος
Ελαφονήσι Λιμνίο 2	Ιλυώδης πηλός (silt loam)
Ελαφονήσι Λιμνίο 11	Ιλυώδης πηλός (silt loam)
Ομαλός Λιμνίο	Αμμώδης πηλός (sandy loam)
Ομαλός Περιφ.Λιμνίου	Ιλυώδης πηλός (silt loam)
Κουρνάς Λιμνίο	Αμμώδης πηλός (sandy loam)
Φαλάσσαρνα Λιμνίο	Άμμος (sand)

❖ Μέταλλα - ιχνοστοιχεία (XRF)**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.8.** Χημική σύσταση του ιζήματος των λιμνίων.

Ταυτότητα Λιμνίου	Na ₂ O* (%)	MgO (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)	TiO ₂ (%)	MnO (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	P ₂ O ₅ (%)
Ομαλός Λιμνίο	0,000	0,818	1,146	0,249	0,312	0,036	2,420	6,518	86,411	1,337
Φαλάσσαρνα Λιμνίο	0,000	4,932	0,186	63,917	0,117	0,051	0,777	0,927	27,706	0,380
Κουρνάς Λιμνίο	0,000	0,497	0,701	4,163	0,392	0,027	2,261	5,342	83,925	1,175
Ελαφονήσι Λιμνίο 2	0,000	2,329	2,390	0,696	0,623	0,148	5,377	13,058	72,886	0,000
Ελαφονήσι Λιμνίο 11	0,000	2,070	1,780	0,524	0,488	0,069	4,149	10,738	74,127	0,000

*Το μηδέν στο Νάτριο σημαίνει κάτω από το όριο ανίχνευσης περίπου 1,5%

4.6 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

4.6.1 Υδρολογικές Παρατηρήσεις

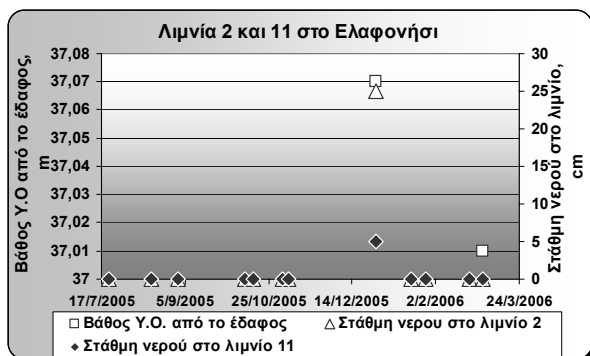
Κατά την διάρκεια διεξαγωγής της παρούσας εργασίας πραγματοποιούνταν μηνιαίες επισκέψεις στις περιοχές των λιμνίων για την συλλογή υδρολογικών παρατηρήσεων. Πιο συγκεκριμένα, εγκαταστάθηκαν στα λιμνία ξύλινες βαθμονομημένες σταδίες (Εικόνα 4.3) και έγινε καταγραφή της στάθμης του νερού σε αυτά σε μηνιαία βάση. Επιπλέον, καταγράφηκε η στάθμη του υπογείου νερού σε κάθε περιοχή, ώστε να αποσαφηνιστεί η αλληλεπίδραση του υπογείου και επιφανειακού νερού. Στο παράρτημα 4.IV παρουσιάζονται τα πρωτόκολλα των παρατηρήσεων για τα υπό μελέτη λιμνία, ενώ στα διαγράμματα 4.7 και 4.8 φαίνονται οι υδρολογικές παρατηρήσεις για τα λιμνία 2 και 11 στο Ελαφονήσι και για το λιμνίο στον Ομαλό, αντίστοιχα.



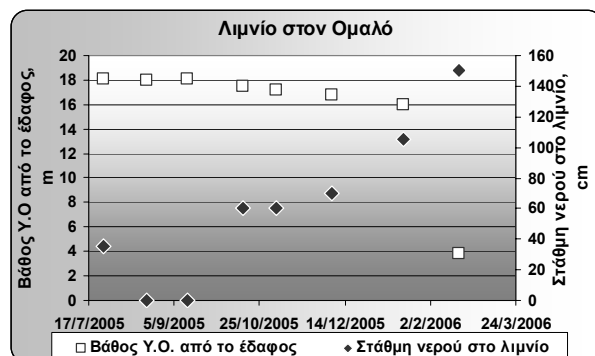
Εικόνα 4.3. Η ξύλινη σταδία που εγκαταστάθηκε στα λιμνία για την παρατήρηση της στάθμης του νερού σε αυτά.

Όσο αφορά στα λιμνία στο Ελαφονήσι οι παρατηρήσεις έδειξαν ότι ο υδροφόρος ορίζοντας βρίσκεται μόνιμα περίπου στα 30 m κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Έτσι δεν υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ του υπογείου και του επιφανειακού νερού του λιμνίου. Επιπλέον, οι παρατηρήσεις έδειξαν ότι ακόμα και έπειτα από σημαντικά γεγονότα βροχόπτωσης το λιμνίο δεν συγκρατούσε το νερό για περισσότερο από 1-2 ημέρες, όταν δεν ακολουθούσε βροχόπτωση. Για παράδειγμα αναφέρεται ότι ενώ στις 2-3/11/05 σημειώθηκαν βροχοπτώσεις της τάξεως των 65 mm, στις 6/11/05 η παρατήρηση έδειξε μηδενική στάθμη, αλλά κορεσμένο ίζημα. Το παραπάνω καταδεικνύει την εξάρτηση της υδροπεριόδου των εν λόγω λιμνίων κυρίως από την συχνότητα αλλά και το ύψος των βροχοπτώσεων. Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι το ίζημα στο λιμνίο εμφάνισε σημεία ενεργούς καθίζησης. Τα σημεία αυτά πιθανότητα βρίσκονται κατά μήκος ρηγμάτων (καρστικοποιημένο υπόβαθρο), με αποτέλεσμα λόγω της σεισμικότητας της περιοχής να δημιουργούνται στην περιοχή τοπικές καθιζήσεις. Η μη στεγανότητα του υποβάθρου αποτελεί έναν ακόμη λόγο για την υποστήριξη της άποψης ότι η υδροπερίοδος των λιμνίων εξαρτάται από την βροχόπτωση και τις συνθήκες καθίζησης.

Το λιμνίο στον Ομαλό βρίσκεται σε υψόμετρο 1050 m με αποτέλεσμα λόγω των μεγάλων βροχοπτώσεων, αλλά και χιονοπτώσεων που χαρακτηρίζουν την περιοχή να εμφανίζει και μεγαλύτερες υδροπεριόδους. Οι παρατηρήσεις έδειξαν ότι ο υδροφόρος ορίζοντας τον χειμώνα βρίσκεται οριακά στο ίδιο ύψος με το λιμνίο, έτσι υπάρχει σχετική αλληλεπίδραση μεταξύ του υπογείου και του επιφανειακού νερού του λιμνίου. Ακόμη, οι παρατηρήσεις έδειξαν έπειτα από γεγονός βροχόπτωσης το λιμνίο συγκρατούσε το νερό για αρκετές ημέρες, κάτι που συμφωνεί και με τα πειράματα διηθητικής ικανότητας του εδάφους από τα οποία προέκυψε ότι στο κέντρο του λιμνίου υπάρχει ένας μεγάλος πυρήνας με μηδαμινή διηθητική ικανότητα (βλ. επόμενη παράγραφο). Η χρονική στιγμή που το λιμνίο περνάει στη φάση της ξηρασίας, εξαρτάται κυρίως από το πότε συνέβησαν οι τελευταίες χιονοπτώσεις, οπότε και μέχρι τότε θα συμβαίνει τήξη χιονιού.



Διάγραμμα 4.7. Υδρολογικές παρατηρήσεις για τα λιμνία 2 και 11 στο Ελαφονήσι.



Διάγραμμα 4.8. Υδρολογικές παρατηρήσεις για το λιμνίο στον Ομαλό.

4.6.2 Μελέτη Ικανότητας Διήθησης των Εδαφών των Λιμνίων

Για τον υπολογισμό της ικανότητας διήθησης του ιζήματος στην περιοχή των μεσογειακών εποχικών λιμνίων πραγματοποιήθηκαν πειράματα στο πεδίο (infiltration tests) και συγκεκριμένα στα προς μελέτη λιμνία. Τα πειράματα έλαβαν χώρα το καλοκαίρι, καθώς τότε δεν είχαν σημειωθεί βροχοπτώσεις, οπότε ο υδροφόρος ορίζοντας στις περιοχές των ΜΕΤ βρισκόταν στην χαμηλότερη στάθμη του και το ιζήμα ήταν ξηρό με ελάχιστη υγρασία. Για την διεξαγωγή των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκε συσκευή του εργαστηρίου Υδρογεωχημικής Μηχανικής και Αποκατάστασης Εδαφών. Η συσκευή είναι φτιαγμένη από ανοξείδωτο χάλυβα κι έχει σχήμα κυλινδρικό, διαμέτρου 50 cm (εικόνα 4.4). Στο εσωτερικό της συσκευής είναι τοποθετημένη μεζούρα, η οποία χρησιμοποιείται για την καταγραφή της πτώσης στάθμης του νερού με τον χρόνο.



Εικόνα 4.4. Η κυλινδρική συσκευή που χρησιμοποιήθηκε στα πειράματα προσδιορισμού της διηθητικής ικανότητας του ιζήματος.



(α)



(β)

Εικόνα 4.5. Πραγματοποίηση πειράματος προσδιορισμού της διηθητικής ικανότητας του ιζήματος στις περιοχές (α) Ομαλός, (β) Φαλάσσαρνα.

Για τον υπολογισμό της ταχύτητας διήθησης χρησιμοποιήθηκε η εμπειρική εξίσωση Horton [53], η οποία είναι:

$$f = f_c + (f_{co} - f_c) * e^{(-kt)}$$

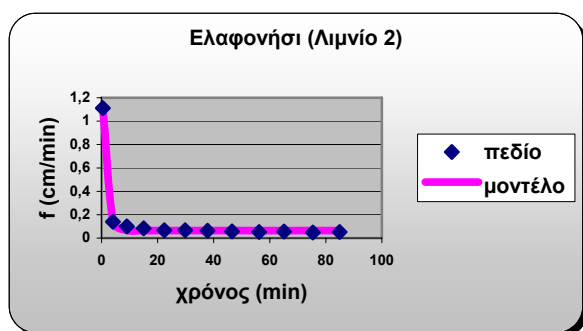
όπου:

- f : η ταχύτητα διήθησης του μοντέλου (cm/min)
 f_c : η ταχύτητα διήθησης του πεδίου (cm/min)
 f_{co} : η αρχική ταχύτητα διήθησης του πεδίου (cm/min)
 k : σταθερά
 t : ο χρόνος διήθησης (min)

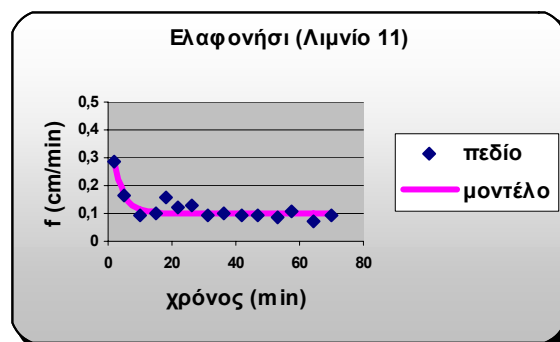
Παρακάτω παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων f_c , f_{co} και k (με τη χρήση του solver του excel), όπως επίσης και τα διαγράμματα που προέκυψαν από την μοντελοποίηση με την εξίσωση Horton και από τα οποία μπορούν να εξαχθούν σημαντικά συμπεράσματα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.9. Οι τιμές των παραμέτρων f_c , f_{co} και k της εξίσωσης Horton.

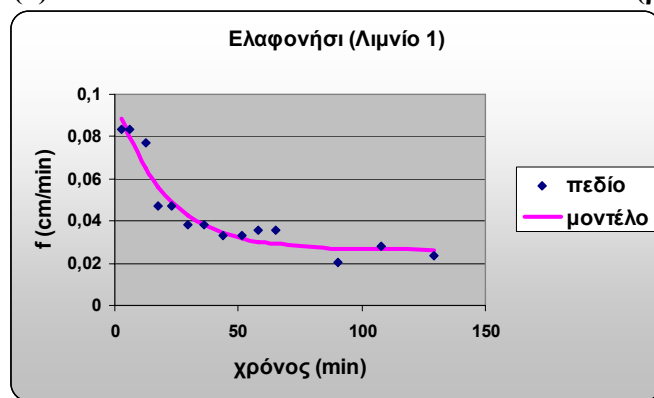
Περιοχή		f_{co} (cm/min)	f_c (cm/min)	k
Ελαφονήσι				
Λιμνίο	2	1,516	0,064	0,727
	11	0,454	0,103	0,371
	1	0,098	0,026	0,049
Φαλάσσαρνα				
Λιμν.	1	1,355	0,772	1,120
	2	1,550	0,562	0,270
Ομαλός		2,305	0,014	0,597



(α)



(β)

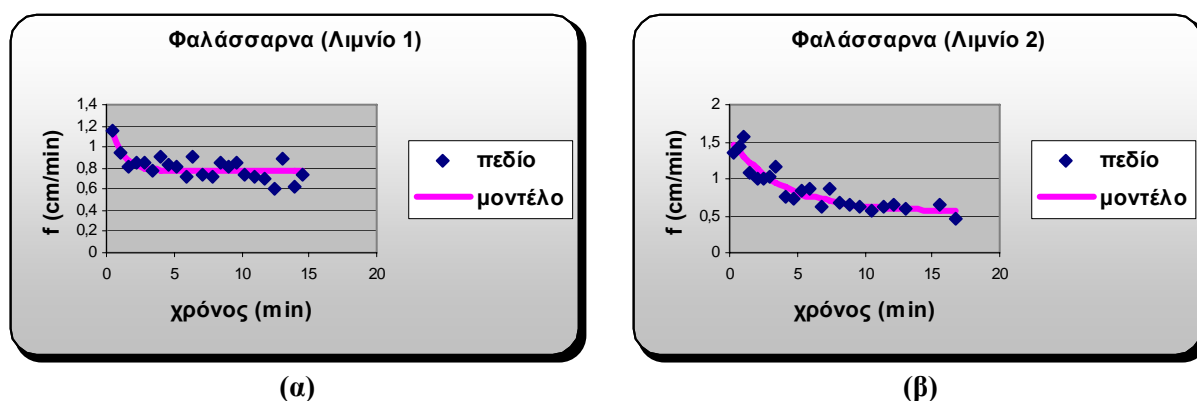


(γ)

Διάγραμμα 4.9. Γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων της μοντελοποίησης της διηθητικής ικανότητας του ιζήματος στα λιμνία με ταυτότητα (α) 2, (β) 11 και (γ) 1 στην περιοχή του Ελαφονησίου.

Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 4.9 αρχικά η ταχύτητα διήθησης είναι αρκετά μεγάλη και στη συνέχεια μόλις το ίζημα αποκτήσει σταθερές συνθήκες υγρασίας, η ταχύτητα σταθεροποιείται στα 0,064 (λιμνίο 2), 0,103 (λιμνίο 11) και 0,026 (λιμνίο 11) cm/min. Η σταθερά K υπολογίστηκε 0,727, 0,371, 0,049 για τα λιμνία 2, 11 και 1 αντίστοιχα και το RMSE των τιμών ήταν πολύ μικρό.

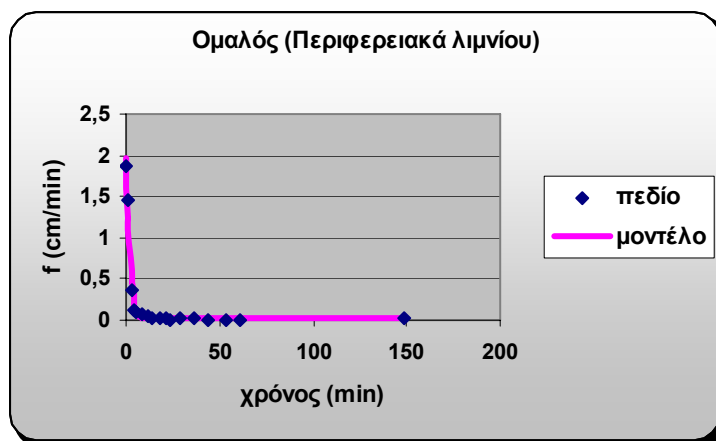
Εδώ πρέπει να επισημανθεί ότι το πορώδες του ιζήματος στα λιμνία στην περιοχή του Ελαφονησίου έχει υπολογιστεί, από μετρήσεις που έγιναν στο 41.4 % (βλ. ΠΙΝΑΚΑ 4.1). Το ίζημα όμως είναι πολύ λεπτόκοκκο με υψηλά ποσοστά αργίλου και λεπτής ιλύος και χαρακτηρίζεται ως ιλυώδης πηλός, με αποτέλεσμα παρά το μεγάλο πορώδες, οι κόκκοι του ιζήματος να εμφανίζουν την τάση να κολλάνε μεταξύ τους και η διαπερατότητα να περιορίζεται. Άρα όταν προσθέτουμε νερό 8 cm στο όργανο μέτρησης μπορεί θεωρητικά να αντιστοιχούν περίπου σε 19 cm για το ίζημα, αλλά πρακτικά η περιορισμένη διαπερατότητα δημιουργεί το λίκνασμα του νερού. Ακόμη, πρέπει να αναφερθεί ότι αποτέλεσμα της χαμηλής διηθητικής ικανότητας σε συνθήκες κορεσμού του ιζήματος, είναι ότι σε έντονες βροχοπτώσεις, μετά από ορισμένο χρονικό διάστημα, το νερό θα λιμνάζει στην επιφάνεια του ιζήματος στην συγκεκριμένη περιοχή μελέτης.



Διάγραμμα 4.10. Γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων της μοντελοποίησης της διηθητικής ικανότητας του ιζήματος στα λιμνία με ταυτότητα (α) 1 και (β) 2, στην περιοχή των Φαλασσάρων.

Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 4.10 αρχικά η ταχύτητα διήθησης είναι αρκετά μεγάλη και στη συνέχεια μόλις το ίζημα αποκτήσει σταθερές συνθήκες η ταχύτητα σταθεροποιείται στα 0,772 (λιμνίο 1) και 0,562 (λιμνίο 2) cm/min. Η σταθερά K υπολογίστηκε 1,120 και 0,270 για τα λιμνία 1 και 2 αντίστοιχα και το RMSE των τιμών ήταν πολύ μικρό.

Και σε αυτήν την περίπτωση πρέπει να επισημανθεί ότι το πορώδες του ιζήματος, έχει υπολογιστεί, από μετρήσεις που έγιναν στα δύο λιμνία κατά μέσο όρο στο 36,8 % (βλ. ΠΙΝΑΚΑ 4.1). Το ίζημα είναι αδρόκοκκο με υψηλά ποσοστά μέσης και χοντρής άμμου και χαρακτηρίζεται ως άμμος, με αποτέλεσμα να εμφανίζει καλή διαπερατότητα. Άρα όταν προσθέτουμε νερό 8 cm στο όργανο μέτρησης αντιστοιχούν περίπου σε 22 cm για το ίζημα. Ακόμη, πρέπει να αναφερθεί ότι το ίζημα στην συγκεκριμένη περιοχή εμφανίζει καλή διηθητική ικανότητα, με αποτέλεσμα ακόμα και σε έντονες βροχοπτώσεις το νερό δύσκολα να λιμνάζει στην επιφάνεια του. Παρόλα αυτά όπως αναλύεται και σε επόμενο κεφάλαιο ο υδροφόρος ορίζοντας στην εν λόγω περιοχή, ειδικά τους χειμερινή περίοδο, είναι πολύ ψηλά, κι έτσι υπάρχει έντονη αλληλεπίδραση μεταξύ του υπογείου και του επιφανειακού νερού του λιμνίου.



Διάγραμμα 4.11. Γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων της μοντελοποίησης της διηθητικής ικανότητας του ιζήματος στο λιμνίο στην περιοχή του Ομαλού.

Στην περιοχή του Ομαλού πραγματοποιήθηκαν δύο πειράματα προσδιορισμού της διηθητικής ικανότητας του ιζήματος. Το πρώτο έγινε περιφερειακά του λιμνίου (δηλαδή περιφερειακά της έκτασης που συνήθως λιμνάζει το νερό), και τα αποτελέσματα αυτού φαίνονται στο διάγραμμα παραπάνω. Το δεύτερο έγινε κεντρικά του λιμνίου και έδωσε μηδενική ταχύτητα διήθησης (διάρκεια πειράματος 4,5 h). Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 4.11 αρχικά η ταχύτητα διήθησης είναι αρκετά μεγάλη και στη συνέχεια μόλις το ίζημα αποκτήσει σταθερές συνθήκες η ταχύτητα σταθεροποιείται στα 0,014 cm/min. Η σταθερά K υπολογίστηκε 0,597 και και το RMSE των τιμών ήταν πολύ μικρό.

Και σε αυτήν την περίπτωση πρέπει να επισημανθεί ότι το πορώδες του ιζήματος έχει υπολογιστεί, από μετρήσεις που έγιναν στο 40 % (βλ. ΠΙΝΑΚΑ 4.1). Το ίζημα είναι αρκετά λεπτόκοκκο με υψηλά ποσοστά μέσης και χοντρές ιλύος και χαρακτηρίζεται ως Αργιλώδης αμμοειδής ιλύς, με αποτέλεσμα παρά το μεγάλο πορώδες, οι κόκκοι του ιζήματος να εμφανίζουν μια σχετική τάση να κολλάνε μεταξύ τους και η διαπερατότητα να περιορίζεται. Άρα όταν προσθέτουμε νερό 8 cm στο όργανο μέτρησης μπορεί θεωρητικά να αντιστοιχούν περίπου σε 20 cm για το ίζημα, αλλά πρακτικά η περιορισμένη διαπερατότητα δημιουργεί το λίμνασμα του νερού. Επιπρόσθετα, το ίζημα στην εν λόγω περιοχή έχει υψηλό ποσοστό οργανικής ουσίας της τάξεως του 6 % (μέτρηση MAIX), και έτσι ενισχύεται ακόμη περισσότερο η ικανότητα συγκράτησης του νερού. Ακόμη, πρέπει να αναφερθεί ότι αποτέλεσμα της πολύ χαμηλής διηθητικής ικανότητας σε συνθήκες κορεσμού του ιζήματος (περιφερειακά και ειδικά κεντρικά), είναι ότι ακόμη και σε μικρές βροχοπτώσεις, μετά από σύντομο χρονικό διάστημα, το νερό θα λιμνάζει στην επιφάνεια του ιζήματος. Ακόμη, όσο αφορά τη διήθηση το λιμνίο μπορεί να χωριστεί σε δύο ομόκεντρους κύκλους, από τους οποίους ο εσωτερικός εμφανίζει πολύ μικρότερη ταχύτητα διήθησης.

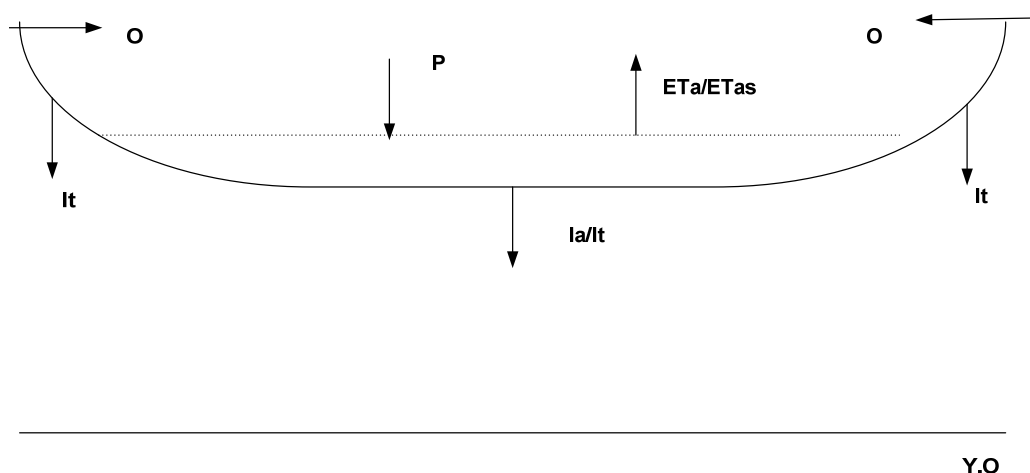
Τέλος, στο ίζημα στο λιμνίο στην περιοχή του Κουρνά λόγω της βλάστησης δεν ήταν δυνατό να πραγματοποιηθεί πείραμα διηθητικής ικανότητας του ιζήματος. Έτσι, καθώς το ίζημα στην εν λόγω περιοχή παρουσιάζει παρόμοια χαρακτηριστικά (κοκκομετρία, πορώδες) με το ίζημα του λιμνίου στον Ομαλό, θεωρείται ότι η διηθητική ικανότητα του ιζήματος είναι της ίδιας τάξης μεγέθους με αυτή του ιζήματος στον Ομαλό.

4.6.3 Εννοιολογική Προσέγγιση του Υδρολογικού Κύκλου των Λιμνίων

Οι παρατηρήσεις που προέκυψαν από τις επισκέψεις στις περιοχές των λιμνίων και ο προσδιορισμός των φυσικοχημικών ιδιοτήτων τους την εννοιολογική προσέγγιση του υδρολογικού κύκλου των λιμνίων, η οποία παρουσιάζεται παρακάτω.

❖ Ελαφονήσι

Στο Ελαφονήσι στην περιοχή που εντοπίζονται τα λιμνία ο υδροφόρος ορίζοντας (Υ.Ο) βρίσκεται περίπου στα 30 m κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Έτσι δεν υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ του υπογείου και του επιφανειακού νερού του λιμνίου. Επιπλέον, η άμεση λεκάνη απορροής του λιμνίου λόγω της τοπογραφίας της περιοχής (χαμηλές κλίσεις) είναι μικρή, και η επιφανειακή απορροή θεωρείται περιορισμένη. Ωστόσο, πρέπει να επισημανθεί ότι στην συγκεκριμένη περιοχή πολλά λιμνία έχουν υποστεί ανθρώπινη παρέμβαση (π.χ. σκάψιμο), με αποτέλεσμα να αλλοιώνεται το τοπογραφικό καθεστώς και να αυξάνεται η επιφανειακή απορροή τοπικά. Αξίζει ακόμη να σημειώσουμε ότι από τα πειράματα διηθητικής ικανότητας που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή προέκυψε ότι η ταχύτητα διήθησης, σε συνθήκες κορεσμού, είναι μικρή (0,026 – 0,103 cm/min). Επομένως, οι κύριες υδρολογικές διαδικασίες είναι η βροχόπτωση, η εξάτμιση, η διήθηση και εν μέρει η επιφανειακή απορροή.



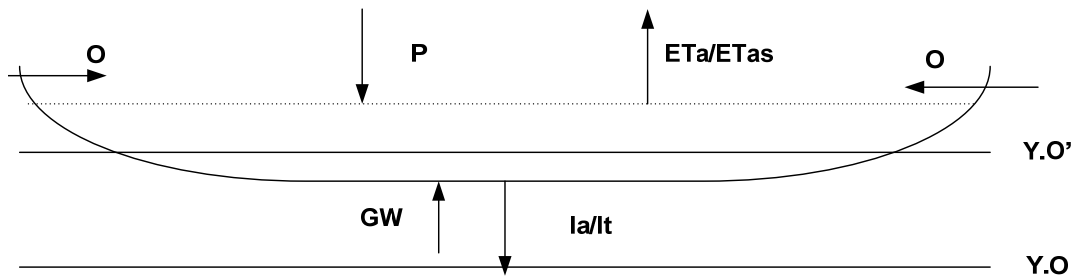
Σχήμα 4.2. Σχηματική απεικόνιση του εννοιολογικού μοντέλου που περιγράφει τον υδρολογικό κύκλο των λιμνίων στο Ελαφονήσι.

όπου:

P (Precipitation)	: βροχόπτωση
ETa (Evapotranspiration – aquatic)	: εξατμισοδιαπνοή από το υδάτινο τμήμα
ETs (Evapotranspiration – terrestrial)	: εξατμισοδιαπνοή από το χερσαίο τμήμα
Ia (Infiltration – aquatic)	: διήθηση στο υδάτινο τμήμα
It (Infiltration – terrestrial)	: διήθηση στο χερσαίο τμήμα
O (Overland flow)	: επιφανειακή απορροή

❖ Φαλάσσοαρνα

Στα Φαλάσσοαρνα στην περιοχή που εντοπίζεται το λιμνίο ο υδροφόρος ορίζοντας (Υ.Ο) το καλοκαίρι βρίσκεται περίπου στα 2 m κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Ωστόσο, κατά τους χειμερινούς μήνες η στάθμη ανεβαίνει και παρατηρείται έντονη αλληλεπίδραση μεταξύ του υπογείου και του επιφανειακού νερού του λιμνίου. Η άμεση λεκάνη απορροής του λιμνίου λόγω της τοπογραφίας της περιοχής (χαμηλές κλίσεις) είναι μικρή, και η επιφανειακή απορροή θεωρείται περιορισμένη. Επιπλέον, καθώς το έδαφος είναι σχεδόν καθαρή άμμος η ικανότητα διήθησης του εδάφους, σε συνθήκες κορεσμού, όπως προέκυψε από τα πειράματα διηθητικής ικανότητας που διεξήχθησαν στην περιοχή, είναι πολύ μεγάλη, της τάξεως του 0,772 (λιμνίο 1) και 0,562 (λιμνίο 2) cm/min. Κατά συνέπεια, οι κύριες υδρολογικές διαδικασίες είναι η βροχόπτωση, η εξάτμιση, η διήθηση, η εισροή υπογείου νερού στο λιμνίο και εν μέρει η επιφανειακή απορροή.



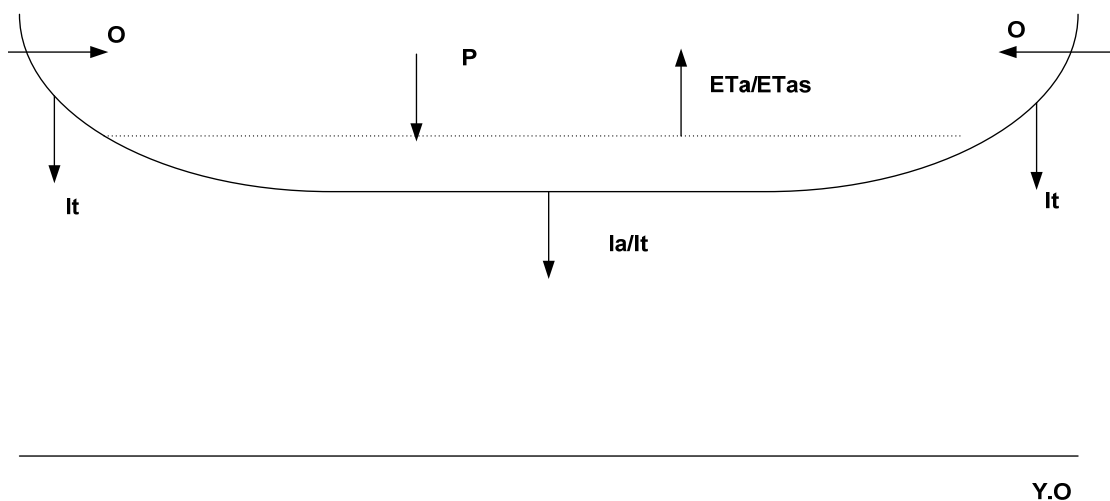
Σχήμα 4.3. Σχηματική απεικόνιση του εννοιολογικού μοντέλου που περιγράφει τον υδρολογικό κύκλο του λιμνίου στα Φαλάσσαρνα.

όπου:

P (Precipitation)	: βροχόπτωση
ETa (Evapotranspiration – aquatic)	: εξατμισοδιαπνοή από το υδάτινο τμήμα
ETs (Evapotranspiration – terrestrial)	: εξατμισοδιαπνοή από το χερσαίο τμήμα
Ia (Infiltration – aquatic)	: διήθηση στο υδάτινο τμήμα
It (Infiltration – terrestrial)	: διήθηση στο χερσαίο τμήμα
GW (Groundwater flow)	: εισροή υπόγειου νερού
O (Overland flow)	: επιφανειακή απορροή

❖ Ομαλός

Στην περιοχή του Ομαλού που εντοπίζεται το λιμνίο ο υδροφόρος ορίζοντας (Υ.Ο) το καλοκαίρι βρίσκεται περίπου στα 18 m και τον χειμώνα στα 4 κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Έτσι, η αλληλεπίδραση μεταξύ του υπογείου και του επιφανειακού νερού του λιμνίου δεν είναι άμεση. Ακόμη, η άμεση λεκάνη απορροής του λιμνίου λόγω της τοπογραφίας της περιοχής (χαμηλές κλίσεις) είναι μικρή, και η επιφανειακή απορροή θεωρείται αρκετά περιορισμένη. Αξίζει ακόμη να σημειώσουμε, ότι από τα πειράματα διηθητικής ικανότητας που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή προέκυψε ότι σε απόσταση 8 m από το λιμνίο (δηλαδή την έκταση που συγκρατούσε ακόμη νερό κατά την ημερομηνία διεξαγωγής των πειραμάτων: 27/07/05), η ταχύτητα διήθησης, σε συνθήκες κορεσμού, ήταν μικρή της τάξεως του 0,014 cm/min, ενώ πολύ κοντά στο λιμνίο ήταν μηδενική. Το παραπάνω δικαιολογεί το γεγονός ότι το συγκεκριμένο λιμνίο συγκρατεί νερό και τους καλοκαιρινούς λίμνες (μεγαλύτερη υδροπερίοδος). Έτσι, οπωσδήποτε δεν μπορούμε να παραλείψουμε την διήθηση, αλλά οι κύριες υδρολογικές διαδικασίες είναι η βροχόπτωση ή χιονόπτωση, η εξάτμιση και η επιφανειακή απορροή.



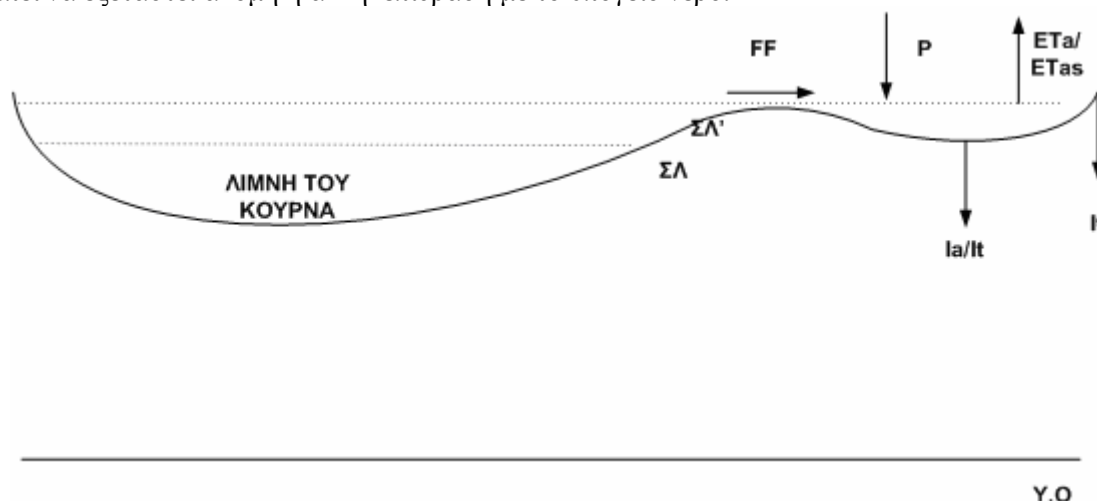
Σχήμα 4.4. Σχηματική απεικόνιση του εννοιολογικού μοντέλου που περιγράφει τον υδρολογικό κύκλο του λιμνίου στον Ομαλό.

όπου:

P (Precipitation or snow)	: βροχόπτωση ή χιονόπτωση
ETa (Evapotranspiration – aquatic)	: εξατμισοδιαπνοή από το υδάτινο τμήμα
ETs (Evapotranspiration – terrestrial)	: εξατμισοδιαπνοή από το χερσαίο τμήμα
Ia (Infiltration – aquatic)	: διήθηση στο υδάτινο τμήμα
It (Infiltration – terrestrial)	: διήθηση στο χερσαίο τμήμα
O (Overland flow)	: επιφανειακή απορροή

❖ Κουρνάς

Το λιμνίο στην περιοχή του Κουρνά εντοπίζεται παράπλευρα της λίμνης του Κουρνά και έχει μεγάλη εξάρτηση από αυτή, καθώς τροφοδοτείται κυρίως από την πλημμυρική απορροή της λίμνης όταν ανεβαίνει η στάθμη της την χειμερινή περίοδο. Επιπλέον, η άμεση λεκάνη απορροής του λιμνίου λόγω της τοπογραφίας της περιοχής (χαμηλές κλίσεις) είναι μικρή, και η επιφανειακή απορροή θεωρείται αρκετά περιορισμένη. Αξίζει ακόμη να σημειώσουμε, ότι το έδαφος στην περιοχή του λιμνίου παρουσιάζει περιορισμένη διηθητική ικανότητα. Έτσι, οι κύριες υδρολογικές διαδικασίες είναι η πλημμυρική απορροή της λίμνης, η βροχόπτωση, η εξάτμιση, αλλά και η διήθηση. Ενώ, πρέπει να εξεταστεί ακόμη η αλληλεπίδραση με το υπόγειο νερό.



Σχήμα 4.5. Σχηματική απεικόνιση του εννοιολογικού μοντέλου που περιγράφει τον υδρολογικό κύκλο του λιμνίου στον Κουρνά.

όπου:

P (Precipitation)	: βροχόπτωση
ETa (Evapotranspiration – aquatic)	: εξατμισοδιαπνοή από το υδάτινο τμήμα
ETs (Evapotranspiration – terrestrial)	: εξατμισοδιαπνοή από το χερσαίο τμήμα
Ia (Infiltration – aquatic)	: διήθηση στο υδάτινο τμήμα
It (Infiltration – terrestrial)	: διήθηση στο χερσαίο τμήμα
FF (Flood flow)	: πλημμυρική απορροή

4.6.4 Υδροπερίοδος των Λιμνίων

Η εννοιολογική προσέγγιση του υδρολογικού κύκλου των ΜΕΛ της Δ. Κρήτης επέτρεψε την ανάπτυξη ενός μοντέλου για τον προσδιορισμό της υδροπεριόδου των ΜΕΛ. Το μοντέλο αυτό παρουσιάζεται στο επόμενο κεφάλαιο. Σημειώνεται ότι τα αποτελέσματα του φυσικού χαρακτηρισμού του ιζήματος, η ταχύτητα διήθησης που υπολογίστηκε παραπάνω καθώς και οι υδρολογικές παρατηρήσεις χρησιμοποιούνται για την βαθμονόμηση του μοντέλου.

4.7 ΑΠΕΙΛΕΣ ΠΟΥ ΔΕΧΟΝΤΑΙ ΤΑ ΜΕΛ

Οι απειλές που δέχονται τα μεσογειακά εποχικά λιμνία της Δυτικής Κρήτης οφείλονται κυρίως στις ανθρώπινες δραστηριότητες και παρεμβάσεις. Κατά την διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας,

και κατά τις μηνιαίες επισκέψεις μας στο πεδίο, καταγράφηκαν οι εν λόγω απειλές και παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω κάποιες από αυτές:

❖ *Ελαφονήσι*

Τα περισσότερα λιμνία στο Ελαφονήσι βρίσκονται κοντά ή δίπλα στον δρόμο με αποτέλεσμα να υπάρχει εύκολη πρόσβαση σε αυτά. Επιπλέον σε αρκετά από αυτά έχει διανοιχτεί χωματόδρομος που φτάνει ως τα λιμνία. Τα λιμνία 18 και 11 χωρίζονται από έναν χωματόδρομο. Έτσι, πιθανότατα αποτελούσαν ένα ενιαίο λιμνίο και χωρίστηκαν από διάνοιξη δρόμου παλαιότερα. Το παραπάνω έχει ως αποτέλεσμα να εισέρχονται στο χώρο των λιμνίων αυτοκίνητα, ζώα και γενικά να χρησιμοποιείται ο χώρος για διάφορες δραστηριότητες. Έτσι, στο λιμνία στο Ελαφονήσι κατά την διάρκεια των επισκέψεων παρατηρήθηκαν οι εξής ανθρωπογενείς παρεμβάσεις:

1. Ίχνη από ροδιές αυτοκινήτων.
2. Απορρίμματα (βάσεις ομπρελών, ξύλα, σίδερα κτλ).
3. Φιλοξενία, βοσκή και πότισμα ζώων (παρατηρήθηκαν πολλά βαρέλια που χρησιμοποιούνται ως στέρνες, ίχνη από πατημασιές ζώων).
4. Απόληψη ιζήματος (λιμνία σκαμμένα μέχρι και τα 3 m)
5. Μελισσοκομικές δραστηριότητες.
6. Διάβρωση (τα ζώα στο διάβα τους κονιορτοποιούν το χώμα, με αποτέλεσμα αυτό να φεύγει με το αέρα κι έτσι να παρατηρείται έντονη διάβρωση).



Εικόνα 4.6. Αιγοπρόβατα που φιλοξενούνται καθημερινά από τα λιμνία στο Ελαφονήσι.

❖ *Ομαλός*

Το λιμνίο στην περιοχή του Ομαλού το επισκέπτεται, καθημερινά, πλήθος αιγοπροβάτων για βόσκηση και κυρίως για πότισμα. Στην περιοχή υπάρχουν τουλάχιστον 12000 αιγοπρόβατα, με αποτέλεσμα να επιβαρύνουν έντονα την περιοχή του λιμνίου με θρεπτικά, αλλά και να παρεμβαίνουν στην υδροπερίοδο του.



Εικόνα 4.7. Αιγοπρόβατα που επισκέπτονται καθημερινά το λιμνίο του Ομαλού για πότισμα.

❖ **Φαλάσσαρνα**

Στο λιμνία στα Φαλάσσαρνα κατά την διάρκεια των επισκέψεων παρατηρήθηκαν οι εξής ανθρωπογενής παρεμβάσεις:

Ταυτότητα	Παρεμβάσεις	Παρατηρήσεις
1 (Λιμνίο δίπλα στις αμμοθίνες)	<ol style="list-style-type: none"> 1. ίχνη τρακτέρ 2. μπάζα 3. πλαστικά απορρίμματα 4. μια ανώτερη στρώση του εδάφους που δεν αποτελεί την αυτόχθονη άμμο 	μια ανώτερη στρώση του εδάφους που δεν αποτελεί την αυτόχθονη άμμο
2 (Λιμνίο πάνω από τον δρόμο)	<ol style="list-style-type: none"> 1. ίχνη τρακτέρ 2. απόληψη χώματος (σκαμμένο) 3. πλαστικά απορρίμματα 	



Εικόνα 4.8. Ίχνη τρακτέρ στο λιμνίο 2 στα Φαλάσσαρνα.



Εικόνα 4.9. Πλαστικά απορρίμματα στο λιμνίο 1 στα Φαλάσσαρνα.

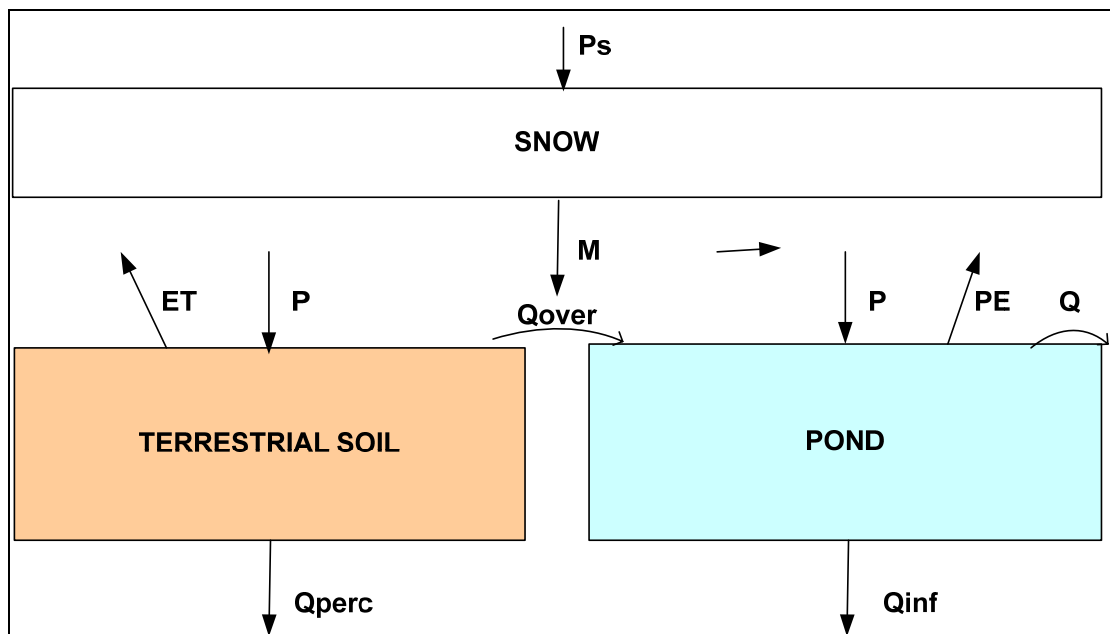
ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΥΔΡΟΠΕΡΙΟΔΟΥ ΤΩΝ ΜΕΛ

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εννοιολογική προσέγγιση του υδρολογικού κύκλου των ΜΕΛ στο Ελαφονήσι, στην Λίμνη Κουρνά, τα Φαλάσαρνα και τον Ομαλό, που προηγήθηκε, επέτρεψε την επιλογή του τρόπου μοντελοποίησης της υδρολογίας των ΜΕΛ της εκάστοτε περιοχής. Έτσι, όσο αφορά στο ΜΕΛ της Λίμνης Κουρνά η μοντελοποίηση του υδρολογικού του κύκλου και ο υπολογισμός της υδροπεριόδου του, προϋποθέτει την μοντελοποίηση της υδρολογίας της λίμνης, καθώς η κύρια εισροή του είναι η πλημμυρική απορροή της. Το ΜΕΛ στα Φαλάσαρνα, καθώς αλληλεπιδρά έντονα με το υπόγειο νερό, προϋποθέτει τις συνεχείς καταγραφές της στάθμης του υπογείου νερού (τοποθέτηση πιεζόμετρου με datalogger). Τα ΜΕΛ στο Ελαφονήσι και στον Ομαλό παρουσιάζουν παρόμοια υδρολογικά χαρακτηριστικά και η υδρολογία τους μπορεί να μοντελοποιηθεί με τον ίδιο τρόπο. Στην παρούσα εργασία αναπτύχθηκε ένα μοντέλο για τον προσδιορισμό της υδροπεριόδου των ΜΕΛ στο Ελαφονήσι και τον Ομαλό.

5.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Το εννοιολογικό μοντέλο που περιγράφει τον υδρολογικό κύκλο των λιμνίων στο Ελαφονήσι και τον Ομαλό φαίνεται στο σχήμα 5.1.



Σχήμα 5.1. Σχηματική απεικόνιση του εννοιολογικού υδρολογικού μοντέλου των ΜΕΛ.

Τόσο στον Ομαλό, όσο και στο Ελαφονήσι ο υδροφόρος ορίζοντας βρίσκεται πολύ χαμηλά, 15-30 m από την επιφάνεια του εδάφους, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ του υπογείου και του επιφανειακού νερού των λιμνίων. Επιπλέον, η άμεση λεκάνη απορροής των λιμνίων λόγω της τοπογραφίας των περιοχών (χαμηλές κλίσεις) είναι μικρή και οι κύριες υδρολογικές διαδικασίες συνολικά είναι η βροχόπτωση, η εξάτμιση/εξατμισοδιαπνοή, η διήθηση και η επιφανειακή απορροή. Σημειώνουμε, ότι καθώς το λιμνίο στον Ομαλό παρουσίασε στο κέντρο του λιμνίου έναν πυρήνα με μηδενική ταχύτητα διήθησης λαμβάνεται και αυτό υπόψη στο μοντέλο. Για την περίπτωση των λιμνίων στο Ελαφονήσι η έκταση του πυρήνα θεωρείται μηδενική. Έτσι, το μοντέλο υποθέτει 3 διαμερίσματα, αυτό του χιονιού, του χερσαίου ιζήματος (άμεση λεκάνη απορροής) και του λιμνίου. Οι κύριες υδρολογικές διαδικασίες για κάθε διαμέρισμα παρουσιάζονται στον πίνακα 5.1 που ακολουθεί:

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1. Οι κύριες υδρολογικές διαδικασίες για κάθε διαμέρισμα του εννοιολογικού υδρολογικού μοντέλου των ΜΕΛ.

ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑ	ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ	
	ΕΙΣΡΟΕΣ	ΕΚΡΟΕΣ
ΧΙΟΝΙ	Χιονόπτωση	Τήξη χιονιού
ΧΕΡΣΑΙΟ ΙΖΗΜΑ	Βροχόπτωση	Επιφανειακή απορροή
	Τήξη χιονιού	Βαθιά διήθηση
		Εξατμισοδιαπνοή
ΛΙΜΝΙΟ (νερό)	Βροχόπτωση	Διήθηση (πυρήνας)
	Τήξη χιονιού	Διήθηση (περιφερειακά)
	Επιφανειακή απορροή	Εξάτμιση
		Εκροή

5.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ‘HYDRO-POND MODEL, HPM’

Για την μοντελοποίηση του εννοιολογικού υδρολογικού μοντέλου που μόλις περιγράφηκε αναπτύχθηκε σε περιβάλλον MATLAB 6.5 το μοντέλο HYDRO-POND MODEL. Το εν λόγω μοντέλο επιλύει τα ισοζύγια του όγκου του νερού για τα τρία διαμερίσματα (χιόνι, χερσαίο ιζήμα, λιμνίο) με τη μέθοδο του Euler. Το χρονικό βήμα είναι ίσο με μία ημέρα. Πιο συγκεκριμένα, στο πρόγραμμα MATLAB γράφτηκαν 2 mfiles, εκ των οποίων στο ένα (HPM.m) γράφτηκε ο κώδικας επίλυσης των τριών υδρολογικών ισοζυγίων και στο άλλο (inputs.m) δίνονται τα δεδομένα εισαγωγής (βλ. ΠΙΝΑΚΑ 5.2). Ο κώδικας και ένα βοηθητικό αρχείο για την επεξήγηση των παραμέτρων δίνονται στο παράρτημα 5.1. Οι εξισώσεις που περιγράφουν τις υδρολογικές διαδικασίες κάθε διαμερίσματος δίνονται παρακάτω, ενώ οι ερμηνείες των διάφορων παραμέτρων στον πίνακα 5.2.

A. ΧΙΟΝΙ, S

Το υδρολογικό ισοζύγιο για το διαμέρισμα του χιονιού φαίνεται στην εξίσωση 5.1. Η μεταβολή του όγκου του χιονιού (V_s) με το χρόνο ισούται με τη διαφορά της τήξης του χιονιού από την χιονόπτωση. Πιο αναλυτικά, όταν η μέση ημερήσια θερμοκρασία (T) είναι μικρότερη από την θερμοκρασία κάτω από την οποία η κατακρήμνιση είναι με τη μορφή χιονιού (T_s), τότε εκείνη την ημέρα υπάρχει χιονόπτωση ($P_s = cs * P$), η οποία ισούται με την βροχόπτωση που καταγράφηκε εκείνη την ημέρα επί έναν συντελεστή διόρθωσης (cs) και δεν υπάρχει τήξη χιονιού ($M_s = 0$). Όταν η μέση ημερήσια θερμοκρασία (T) είναι μεγαλύτερη από την θερμοκρασία T_s τότε δεν υπάρχει χιονόπτωση ($P_s = 0$) και αν υπάρχει χιόνι τότε αυτό λιώνει σύμφωνα με την εξίσωση 5.2 αν δεν σημειώνεται βροχόπτωση ή σύμφωνα με την εξίσωση 5.3 αν υπάρχει βροχόπτωση. Ο παράγων $k(1.8TEMPC)^{(n+1)}$ χαρακτηρίζει τη μέρα (degree day factor) και το n συνήθως παίρνει την τιμή

0.25. [etd]. Τέλος, αν το χιόνι που δύναται να τήξει είναι περισσότερο από τον όγκο Vs τότε η τήξη του χιονιού διορθώνεται σε αυτόν τον όγκο Vs.

$$\frac{dV_s}{dt} = \underbrace{P_s * A_s f}_{\text{χιονόπτωση}} - \underbrace{c_m * M_s * A_s}_{\text{τήξη χιονιού}} \quad (5.1)$$

$$M_s = ((T * 1.8) \wedge (n + 1)) * k / 1000 \quad (5.2)$$

$$M_s = (((P * 0.007 + 0.074) * T * 1.8 + 0.05) * 0.254) / 1000 \quad (5.3)$$

B. ΧΕΡΣΑΙΟ ΙΖΗΜΑ, T

Το υδρολογικό ισοζύγιο για το διαμέρισμα του χερσαίου ιζήματος δίνεται στην εξίσωση 5.4, ενώ οι εξισώσεις για τον υπολογισμό του όγκου της βαθιάς διήθησης, της εξατμισοδιαπνοής και της επιφανειακής απορροής από το χερσαίο ίζημα στις εξισώσεις 5.5, 5.6 και 5.7, αντίστοιχα. Η μεταβολή του όγκου του νερού στο χερσαίο ίζημα (V_t) με το χρόνο ισούται με τη διαφορά της εξατμισοδιαπνοής, της βαθιάς διήθησης και της επιφανειακής απορροής από το άθροισμα της βροχόπτωσης και της τήξης του χιονιού. Πιο αναλυτικά, όταν υπάρχει χιονόπτωση ($P_s > 0$), εκείνη την ημέρα η βροχόπτωση, η εξατμισοδιαπνοή και η βαθιά διήθηση είναι μηδενικές. Στη συνέχεια, όταν δεν υπάρχει κάποια εισροή (βροχόπτωση ή τήξη χιονιού) στο διαμέρισμα του χερσαίου ιζήματος και ο υπάρχον όγκος νερού είναι ίσος με τον ελάχιστο όγκο (V_{tmin} : όγκος πορώδους επί ελάχιστη υγρασία) η εξατμισοδιαπνοή και η βαθιά διήθηση είναι μηδενικές. Στην ίδια περίπτωση όταν υπάρχει όγκος νερού μεγαλύτερος από τον ελάχιστο όγκο (V_{tmin}), αν ο ενεργός όγκος ($V - V_{tmin}$) είναι μικρότερος από την εξατμισοδιαπνοή και βαθιά διήθηση, τότε διορθώνονται τα παραπάνω στον όγκο αυτό με τα αντίστοιχα ποσοστά. Ομοίως, όταν υπάρχει βροχόπτωση ή/και τήξη χιονιού και ο υπάρχον ενεργός όγκος νερού μαζί με τις εισροές είναι μικρότερα από την εξατμισοδιαπνοή και την βαθιά διήθηση, τότε διορθώνονται τα παραπάνω στον όγκο που δίνουν ο υπάρχον ενεργός όγκος νερού μαζί με τις εισροές, με τα αντίστοιχα ποσοστά. Τέλος, αν ο όγκος που προκύπτει είναι μεγαλύτερος από τον μέγιστο όγκο του χερσαίου ιζήματος (V_{tmax} : όγκος πορώδους), τότε ο πλεονάζων όγκος δίνει επιπλέον επιφανειακή απορροή (O_t).

$$\frac{dV_t}{dt} = \underbrace{M_s t}_{\text{τήξη χιονιού}} + \underbrace{P_t}_{\text{βροχόπτωση}} - \underbrace{E_t}_{\text{εξατμισοδιαπνοή}} - \underbrace{P R_t}_{\text{βαθιά διήθηση}} - \underbrace{O_t}_{\text{επιφανειακή απορροή}} \quad (5.4)$$

$$P R_t = c_p * f_c * A_t \quad (5.5)$$

$$E_t = c_e t * E T * A_t \quad (5.6)$$

$$O_t = P * A_t f + (M_s - f_c) * A_t \quad (5.7)$$

Γ. ΛΙΜΝΙΟ, P

Το υδρολογικό ισοζύγιο για το διαμέρισμα του λιμνίου δίνεται στην εξίσωση 5.8, ενώ οι εξισώσεις για τον υπολογισμό του όγκου της διήθησης και της εξάτμισης από την επιφάνεια του λιμνίου στις εξισώσεις 5.9 και 5.10, αντίστοιχα. Η μεταβολή του όγκου του νερού στο λιμνίο (V_p) με το χρόνο ισούται με τη διαφορά της εξάτμισης, της διήθησης και της εκροής (πλημμυρική απορροή) από το άθροισμα της βροχόπτωσης και της τήξης του χιονιού. Πιο αναλυτικά, όταν υπάρχει χιονόπτωση ($P_s > 0$), εκείνη την ημέρα η βροχόπτωση, η εξάτμιση και η διήθηση είναι μηδενικές. Στη συνέχεια, όταν δεν υπάρχει κάποια εισροή (βροχόπτωση ή τήξη χιονιού) στο διαμέρισμα του λιμνίου και ο υπάρχον όγκος νερού είναι μηδενικός, τότε η εξάτμιση και η διήθηση είναι μηδενικές. Στην ίδια περίπτωση όταν υπάρχει όγκος νερού, αν είναι μικρότερος από την εξάτμιση και την διήθηση, τότε διορθώνονται τα παραπάνω στον όγκο αυτό με τα αντίστοιχα ποσοστά. Ομοίως, όταν υπάρχει

βροχόπτωση ή/και τήξη χιονιού και ο υπάρχον όγκος νερού μαζί με τις εισροές είναι μικρότερα από την δυνητική εξάτμιση και διήθηση, τότε διορθώνονται τα παραπάνω στον όγκο που δίνουν ο υπάρχον όγκος νερού μαζί με τις εισροές, με τα αντίστοιχα ποσοστά. Τέλος, αν ο όγκος που προκύπτει είναι μεγαλύτερος από τον μέγιστο όγκο του λιμνίου (V_{rmax}), τότε ο πλεονάζων όγκος δίνει επιπλέον πλημμυρική απορροή (Q_p).

$$\frac{dV_p}{dt} = \underbrace{Mst}_{\text{τήξη χιονιού}} + \underbrace{Pp}_{\text{βροχόπτωση}} + \underbrace{Qt}_{\text{επιφανειακή απορροή}} - \underbrace{Ep}_{\text{εξάτμισοδιαπνοή}} - \underbrace{It}_{\text{διήθηση}} - \underbrace{Qp}_{\text{εκροή}} \quad (5.8)$$

$$Ip = ci * fc * (Ap - Ac) \quad (5.9)$$

$$Ep = cpe * PE * Ap \quad (5.10)$$

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2. Οι παράμετροι του μοντέλου HYDRO-POND MODEL (HPM).

Παράμετροι του μοντέλου				
Σύμβολο	Μονάδες	Τιμή	Κατάσταση	Ορισμός
Ps	cm ³ /d	if (T>Ts) Ps=cs*P, else Ps=0	Χρονοσειρά που υπολογίζεται από το μοντέλο	Επιφανειακή χιονόπτωση
Ms	cm ³ /d	if P=0 Ms=εξ. 5.2 else Ms=εξ. 5.3	Χρονοσειρά που υπολογίζεται από το μοντέλο	Τήξη χιονιού
Pt	cm ³ /d	Pt=P*Atf	Χρονοσειρά που υπολογίζεται από το μοντέλο	Επιφανειακή βροχόπτωση στο χερσαίο ιζημα
Et	cm ³ /d	Et=C _{ET} *ET*At	Χρονοσειρά που υπολογίζεται από το μοντέλο	Εξατμισοδιαπνοή από το χερσαίο ιζημα
PRt	cm ³ /d	PRt=C _p *fc*At	Χρονοσειρά που υπολογίζεται από το μοντέλο	Βαθιά διήθηση από το χερσαίο ιζημα
Ot	cm ³ /d	if (Vt>Vtmax) Ot=Vt-Vtmax	Χρονοσειρά που υπολογίζεται από το μοντέλο	Επιφανειακή απορροή από το χερσαίο ιζημα
Pp	cm ³ /d	Pp=P*Apf	Χρονοσειρά που υπολογίζεται από το μοντέλο	Επιφανειακή βροχόπτωση στο λιμνίο
Ep	cm ³ /d	Ep=C _{PE} *PE*Ap	Χρονοσειρά που υπολογίζεται από το μοντέλο	Εξάτμιση από το λιμνίο
Ip	cm ³ /d	Ip=C _I *fc*(Ap-Ac)	Χρονοσειρά που υπολογίζεται από το μοντέλο	Διήθηση από το λιμνίο
Qp	cm ³ /d	if (Vp>Vpmax) Qp=Vp-Vpmax	Χρονοσειρά που υπολογίζεται από το μοντέλο	Εκροή από το λιμνίο
P	mm/d	Παρατηρούμενη	Εισαγόμενη χρονοσειρά	Βροχόπτωση
ET	mm/d	Παρατηρούμενη (ή από εξισώσεις)	Εισαγόμενη χρονοσειρά	Εξατμισοδιαπνοή
PE	mm/d	Παρατηρούμενη (ή από εξισώσεις)	Εισαγόμενη χρονοσειρά	Εξάτμιση (pan evaporation)
T	°C	Παρατηρούμενη	Εισαγόμενη χρονοσειρά	Μέση θερμοκρασία του αέρα
N	-		Εισαγόμενη τιμή	Αριθμός των ημερών της προσομοίωσης
Apf	m ²	GIS	Εισαγόμενη τιμή	Επιφάνεια του λιμνίου (επίπεδη)
Atf	m ²	GIS	Εισαγόμενη τιμή	Επιφάνεια του χερσαίου ιζήματος (επίπεδη)

Ap	m ²	GIS	Εισαγόμενη τιμή	Επιφάνεια του λιμνίου
At	m ²	Τρισδιάστατο μοντέλο εδάφους GIS	Εισαγόμενη τιμή	Επιφάνεια του χερσαίου ιζήματος
Ac	m ²	Τρισδιάστατο μοντέλο εδάφους GIS	Εισαγόμενη τιμή	Επιφάνεια του πυρήνα
Atotalf	m ²	Apf+Atf	Τιμή που υπολογίζεται από το μοντέλο	Συνολική επιφάνεια (επίπεδη)
Atotal	m ²	Ap+At	Τιμή που υπολογίζεται από το μοντέλο	Συνολική επιφάνεια
Asf	m ²	Atotalf	Τιμή που υπολογίζεται από το μοντέλο	Επιφάνεια του χιονιού (επίπεδη)
As	m ²	Atotal	Τιμή που υπολογίζεται από το μοντέλο	Επιφάνεια του χιονιού
Vpmax	m ³	Τρισδιάστατο μοντέλο εδάφους GIS	Εισαγόμενη τιμή	Μέγιστος όγκος του λιμνίου
Vtmax	m ³	Τρισδιάστατο μοντέλο εδάφους GIS	Εισαγόμενη τιμή	Μέγιστος όγκος του χερσαίου ιζήματος
ε	%	Πειραματικός προσδιορισμός στο εργαστήριο	Εισαγόμενη τιμή	Πορώδες χερσαίου ιζήματος
sm	%	Πειραματικός προσδιορισμός στο εργαστήριο	Εισαγόμενη τιμή	Ελάχιστη υγρασία του χερσαίου ιζήματος
Vtev	m ³	$\varepsilon \cdot V_t$	Τιμή που υπολογίζεται από το μοντέλο	Μέγιστος όγκος νερού στο χερσαίο ίζημα
Vtmin	m ³	$sm \cdot \varepsilon \cdot V_t$	Τιμή που υπολογίζεται από το μοντέλο	Ελάχιστος όγκος νερού στο χερσαίο ίζημα
fc	m/day	Πειραματικός προσδιορισμός στο πεδίο	Εισαγόμενη τιμή	Ταχύτητα διήθησης
Ts	°C		Εισαγόμενη τιμή	
C_S	αδιάστατο		Εισαγόμενη τιμή (βαθμονομούμενη)	Συντελεστής διόρθωσης για την χιονόπτωση
C_M	αδιάστατο		Εισαγόμενη τιμή (βαθμονομούμενη)	Συντελεστής διόρθωσης για την ταχύτητα τήξης του χιονιού
n	αδιάστατο		Εισαγόμενη τιμή (βαθμονομούμενη)	Συντελεστής της εξ. 5.2
k	αδιάστατο		Εισαγόμενη τιμή (βαθμονομούμενη)	Συντελεστής της εξ. 5.2
C_P	αδιάστατο		Εισαγόμενη τιμή (βαθμονομούμενη)	Συντελεστής διόρθωσης της βαθιάς διήθησης
C_{ET}	αδιάστατο		Εισαγόμενη τιμή (βαθμονομούμενη)	Συντελεστής διόρθωσης της εξατμισοδιαπνοής
C_I	αδιάστατο		Εισαγόμενη τιμή (βαθμονομούμενη)	Συντελεστής διόρθωσης της διήθησης
C_{PE}	αδιάστατο		Εισαγόμενη τιμή (βαθμονομούμενη)	Συντελεστής διόρθωσης της εξάτμισης

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΥΔΡΟΠΕΡΙΟΔΟΥ ΤΩΝ ΜΕΛ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ‘HPM’

6.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ

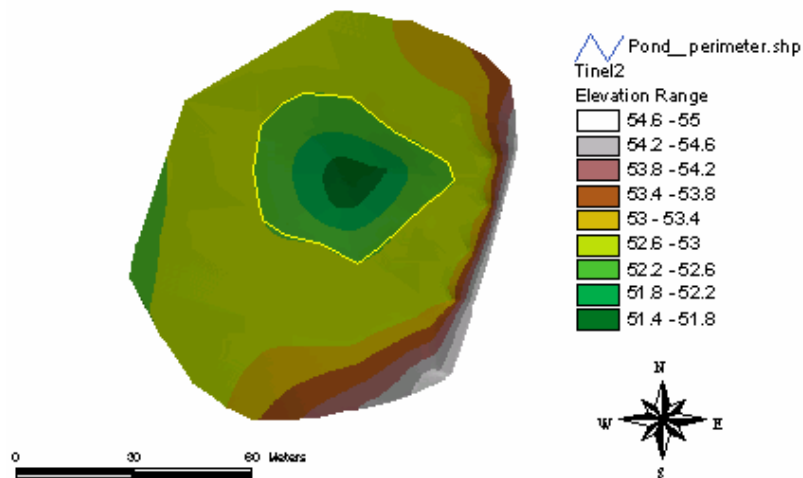
Το μοντέλο HPM που περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό της υδροπεριόδου των ΜΕΛ 2 και 11 στο Ελαφονήσι και του ΜΕΛ στον Ομαλό. Στο παράρτημα 5.3 φαίνονται τα 3 αρχεία με τα δεδομένα εισαγωγής των λιμνίων 2 και 11 στο Ελαφονήσι και για το λιμνίο στον Ομαλό (mfile: input) στο μοντέλο HPM.

Και για τα τρία λιμνία οι αντίστοιχες επιφάνειες και όγκοι του χερσαίου ιζήματος και του λιμνίου προέκυψαν από τα τρισδιάστατα μοντέλα εδάφους που δημιουργήθηκαν με το πρόγραμμα GIS ArcView 3.3 (Χάρτες 6.1-3, ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1). Οι συναρτήσεις (επιφάνεια λιμνίου)=f(όγκος λιμνίου), όπως προέκυψαν από τα τρισδιάστατα μοντέλα εδάφους φαίνονται στα διαγράμματα 6.2, 6.4 και 6.6, και 6.7 για το λιμνίο 2 στο Ελαφονήσι, για το λιμνίο 11 στο Ελαφονήσι και για το λιμνίο στον Ομαλό, αντίστοιχα. Έτσι, από τον όγκο που προκύπτει από το μοντέλο HPM μπορεί να υπολογιστεί η αντίστοιχη επιφάνεια και στη συνέχεια το μέσο βάθος του νερού στο λιμνίο. Η ταχύτητα διήθησης που χρησιμοποιήθηκε στο μοντέλο προέκυψε από τα επιτόπια πειράματα προσδιορισμού της διηθητικής ικανότητας του ιζήματος των λιμνίων που περιγράφονται στην παράγραφο 4.6.2 (ΠΙΝΑΚΑΣ 4.10).

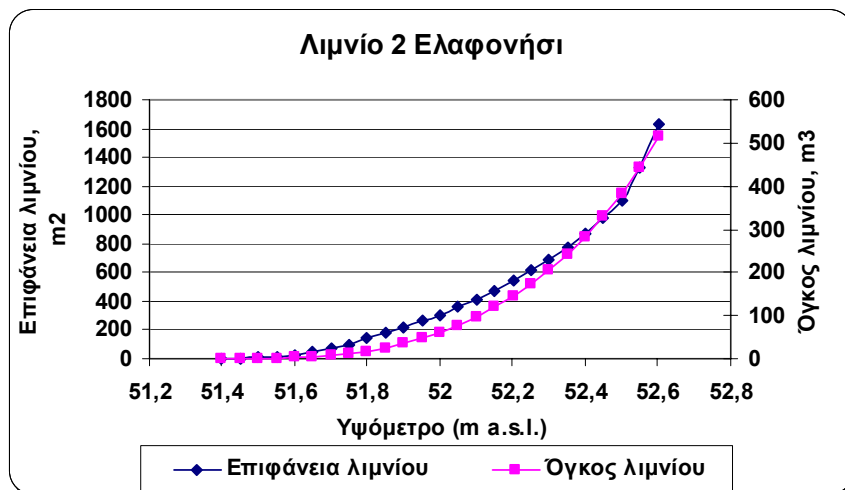
Όσο αφορά στα λιμνία στο Ελαφονήσι, τα βροχομετρικά και μετεωρολογικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν είναι από τον μετεωρολογικό σταθμό του ΕΛΚΕΘΕ, ο οποίος εγκαταστάθηκε πλησίον της περιοχής των λιμνίων στην Χρυσοσκαλίτισσα και άρχισε να λειτουργεί από τις 1/6/05. Αυτή είναι και η ημερομηνία έναρξης της προσομοίωσης. Η δυναμική εξατμισοδιαπνοή και εξάτμιση υπολογίστηκε με την χρήση του προγράμματος WDM, στο οποίο επιλέχθηκαν οι εξίσωσεις του Hamon και του Pan Penman αντίστοιχα. Σημειώνουμε ότι στις σύντομες περιόδους που ο σταθμός δεν λειτουργούσε λόγω βλάβης, τα βροχομετρικά δεδομένα συμπληρώθηκαν με αυτά ενός βροχόμετρου στην Χρυσοσκαλίτισσα και η εξατμισοδιαπνοή υπολογίστηκε με απευθείας συσχέτιση με αυτή που προέκυψε για τον σταθμό της Σούδας, ενώ η εξάτμιση υπολογίστηκε κατόπιν σύμφωνα με τη σχέση που προέκυψε για την εξάτμιση/εξατμισοδιαπνοή για το Ελαφονήσι.

Αναφορικά με το λιμνίο στον Ομαλό μετεωρολογικός σταθμός στην περιοχή εγκαταστάθηκε μόλις στις 2/2/06 εποχή μάλιστα στην οποία υπάρχουν ήδη χιονοπτώσεις, τις οποίες δεν είναι σε θέση να καταγράψει ο σταθμός. Έτσι δεν ήταν δυνατή η συσχέτιση των δεδομένων του σταθμού με δεδομένα γειτονικού σταθμού. Παρόλα αυτά, επιλέχτηκε να χρησιμοποιηθούν βροχομετρικά δεδομένα από το σταθμό της YEB στον Κάμπο Χανίων (υψόμετρο 22 m) τα οποία ανήχθηκαν σε αντιπροσωπευτική βροχόπτωση (ή χιονόπτωση, ανάλογα με τη θερμοκρασία) με τη χρήση της βροχοβαθμίδας $P=0.9058*(\text{υψόμετρο})+726.19$ [77]. Ο λόγος της βροχόπτωσης στον Ομαλό με την βροχόπτωση στον Κάμπο προέκυψε 2.248. Η ημερομηνία έναρξης της προσομοίωσης είναι η 1/9/05. Η δυναμική εξατμισοδιαπνοή και εξάτμιση υπολογίστηκε με την χρήση του προγράμματος WDM, στο οποίο επιλέχθηκαν οι εξίσωσεις του Hamon και του Pan Penman αντίστοιχα. Εξατμισοδιαπνοή υπολογίστηκε με απευθείας συσχέτιση με αυτή που προέκυψε για τον σταθμό της Σούδας, ενώ η εξάτμιση υπολογίστηκε κατόπιν σύμφωνα με τη σχέση που προέκυψε για την εξάτμιση/εξατμισοδιαπνοή για τον Ομαλό.

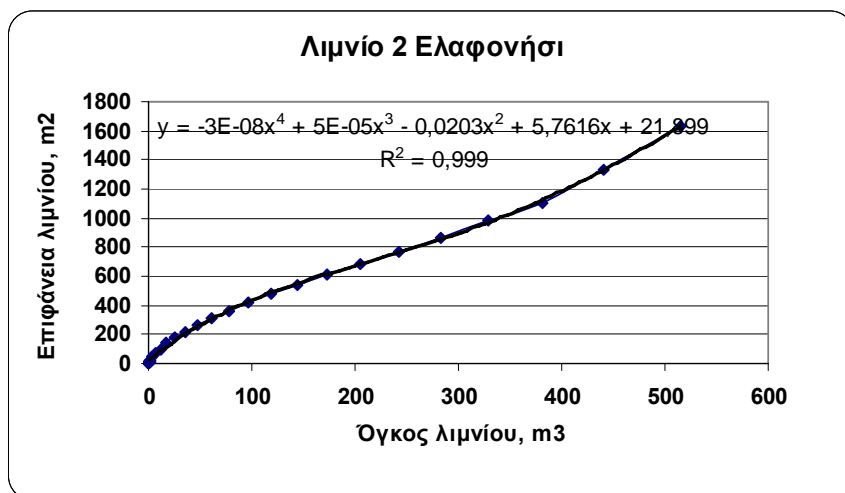
Λιμνίο 2 Ελαφονήσι



Χάρτης 6.1. Τρισδιάστατο μοντέλο εδάφους του λιμνίου 2 στο Ελαφονήσι.

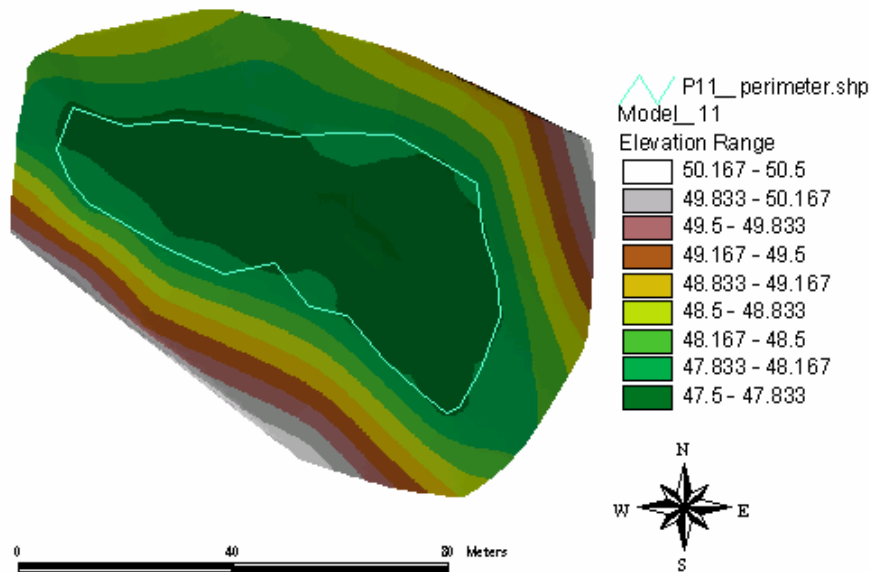


Διάγραμμα 6.1. Συσχέτιση της επιφάνειας και του όγκου του λιμνίου 2 στο Ελαφονήσι με το βάθος.

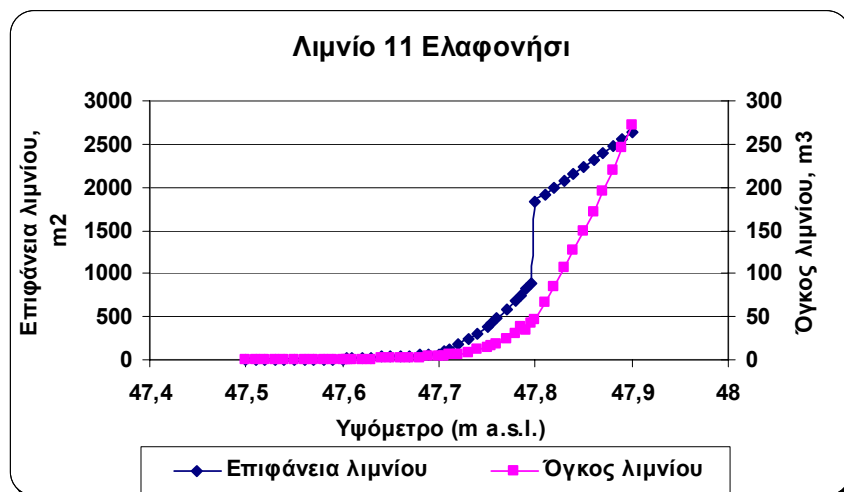


Διάγραμμα 6.2. Η επιφάνεια του λιμνίου 2 στο Ελαφονήσι σε σχέση με τον όγκο του λιμνίου.

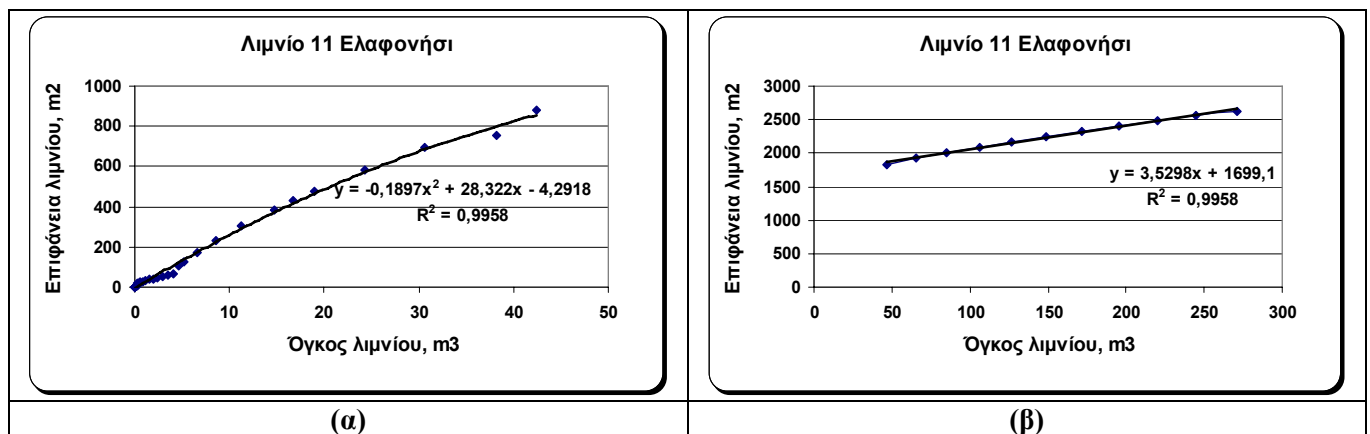
Λιμνίο 11 - Ελαφονήσι



Χάρτης 6.2. Τρισδιάστατο μοντέλο εδάφους του λιμνίου 11 στο Ελαφονήσι.

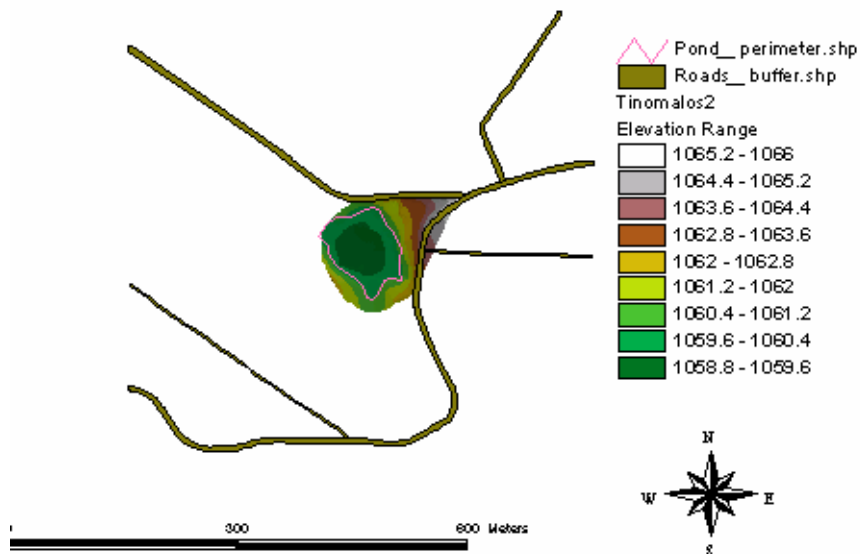


Διάγραμμα 6.3. Συσχέτιση της επιφάνειας του λιμνίου 11 στο Ελαφονήσι και του όγκου του λιμνίου με το βάθος.

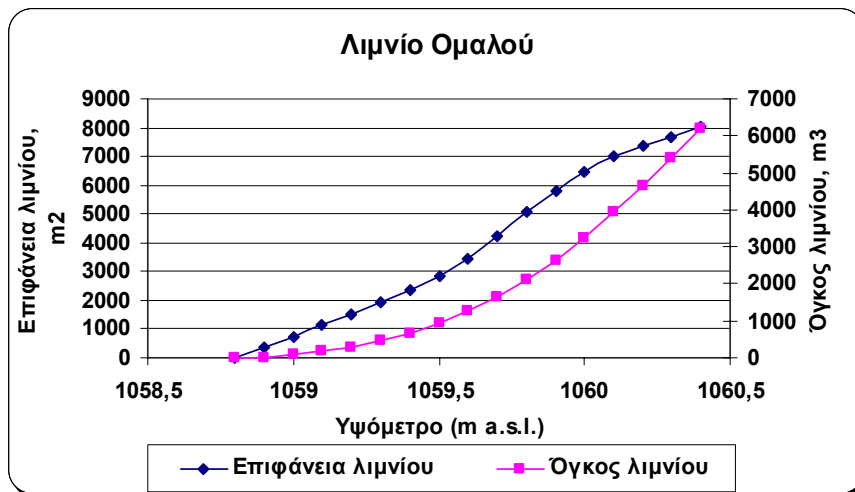


Διάγραμμα 6.4. Η επιφάνεια του λιμνίου σε σχέση με τον όγκο του λιμνίου 11 στο Ελαφονήσι (α) για όγκους 0-50 m³ και (β) για όγκους 50-271 m³.

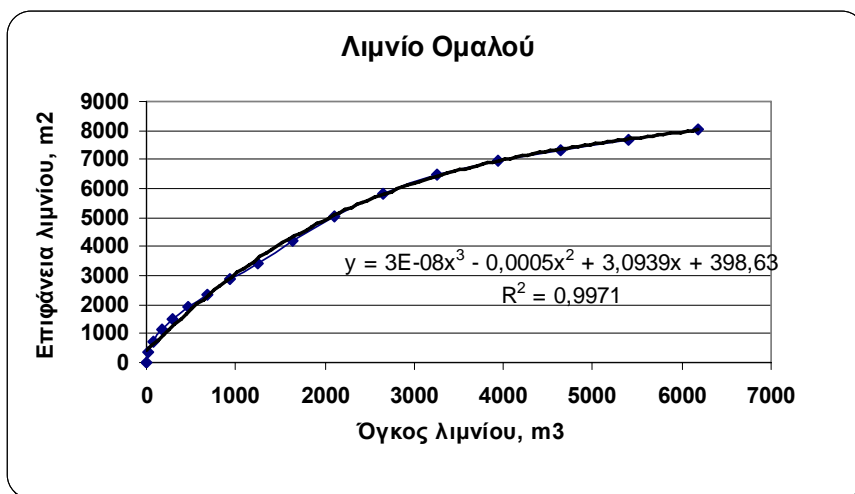
Λιμνίο στον Ομαλό



Χάρτης 6.3. Τρισδιάστατο μοντέλο εδάφους του λιμνίου στον Ομαλό.



Διάγραμμα 6.5. Συσχέτιση της επιφάνειας και του όγκου του λιμνίου στον Ομαλό με το βάθος.



Διάγραμμα 6.6. Η επιφάνεια του λιμνίου στον Ομαλό σε σχέση με τον όγκο του λιμνίου.

6.2 ΥΔΡΟΠΕΡΙΟΔΟΣ ΤΩΝ ΛΙΜΝΙΩΝ 2 ΚΑΙ 11 ΣΤΟ ΕΛΑΦΟΝΗΣΙ

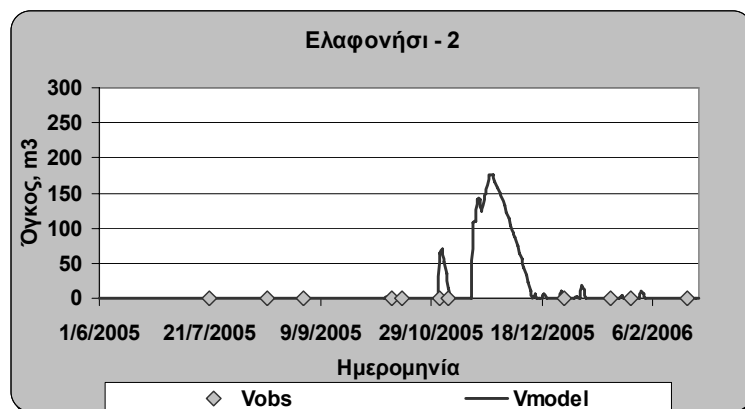
❖ Λιμνίο 2

Στο διάγραμμα 6.8.(α) παρουσιάζεται ο όγκος του νερού στο λιμνίο και στο χερσαίο ιζήμα, ενώ στο διάγραμμα 6.9.(β) η μέση στάθμη του νερού στο λιμνίο, για την περίοδο προσομοίωσης (1/6/05 έως 27/2/06). Ακόμη στο διάγραμμα 6.7 φαίνεται ο όγκος του νερού στο λιμνίο όπως προέκυψε από το μοντέλο HPM και όπως παρατηρήθηκε στο πεδίο (παράγοντας βαθμονόμησης). Έτσι, το λιμνίο 2 στο Ελαφονήσι για την συγκεκριμένη περίοδο εμφάνισε υδροπερίοδο, δηλαδή υγρή φάση, 45 ημερών. Η επιφανειακή απορροή από το χερσαίο ιζήμα προς το λιμνίο, λόγω του μεγάλου όγκου του χερσαίου ιζήματος, προέκυψε μηδενική καθ' όλη την διάρκεια της προσομοίωσης, όπως επίσης και η πλημμυρική απορροή από το λιμνίο. Οι ημέρες που εμφανίστηκε βροχόπτωση στην περιοχή ήταν 50. Το παραπάνω καταδεικνύει την άμεση εξάρτηση της υδροπεριόδου του λιμνίου από την συχνότητα και το ύψος των βροχοπτώσεων. Κατά του καλοκαιρινούς μήνες που ο λόγος βροχόπτωση/εξάτμιση είναι πολύ χαμηλός και η υγρασία του ιζήματος του λιμνίου είναι ελάχιστη το λιμνίο βρίσκεται στη φάση ξηρασίας. Αντίθετα, κατά τους χειμερινούς μήνες, (Νοέμβριο-Φεβρουάριο) το λιμνίο περνά στην υγρή φάση και την φάση κατακλυσμού. Τέλος, σημειώνεται ότι ο λόγο της βροχόπτωσης προς το έλλειμμα από την εξάτμιση ($P/(P-PE)$: Evapoconcentration factor) ήταν κατά μέσο όρο 2.2.

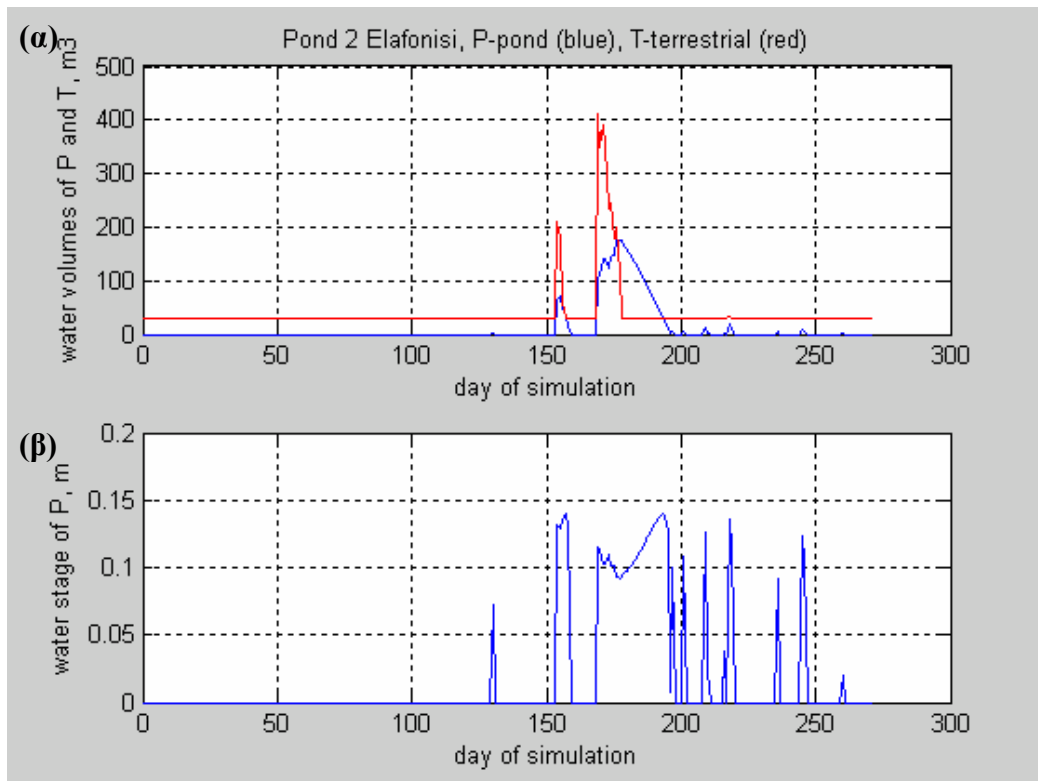
Σε μια περαιτέρω ανάλυση που έγινε για την συμπεριφορά του λιμνίου κατά τους χειμερινούς μήνες έπειτα από ακραία γεγονότα βροχόπτωσης (Διαγράμματα 6.9.(α) και (β)) (σύμφωνα με την ανάλυση συχνότητας για τον σταθμό της Σούδας βλ. Κεφάλαιο 2) φάνηκε ότι η κρίσιμη βροχόπτωση που μπορεί να προκαλέσει πλημμυρική απορροή από το λιμνίο είναι πολύ μεγαλύτερη από 165 mm/d, η οποία αποτελεί την βροχόπτωση με περίοδο επαναφοράς 100 έτη για την Σούδα. Ακόμη, η ίδια ανάλυση έδειξε ότι το λιμνίο συγκρατεί έστω και μικρό όγκο νερού για μία μέρα ($0.7-10 \text{ m}^3$) με βροχόπτωση 7-10 mm/d (Διαγράμματα 6.9.(γ) και (δ)). Στον πίνακα 6.1 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα ύψη των βροχοπτώσεων και η αντίστοιχη συνεισφορά τους στην υδροπερίοδο του λιμνίου. Σημειώνουμε, ότι οι προσομοιώσεις αυτές έγιναν με στοιχεία της περιόδου Ιανουαρίου – Φεβρουαρίου, θεωρώντας μηδενικές αρχικές συνθήκες όσο αφορά στον όγκο νερού και ότι μετά τις βροχοπτώσεις αυτές δεν ακολουθούν άλλες. Έτσι, προφανώς, στην περίπτωση που μετά από αυτά τα γεγονότα βροχόπτωσης ακολουθήσουν και άλλα αυτό θα έχει θετική επίδραση στην υδροπερίοδο, ενώ στην περίπτωση που η προσομοίωση γινόταν για την περίοδο του καλοκαιριού, τότε λόγω της εξάτμισης και του ακόρεστου ιζήματος του λιμνίου το λιμνίο θα συγκρατούσε νερού για πολύ μικρότερο χρονικό διάστημα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1. Ύψη βροχοπτώσεων και η αντίστοιχη συνεισφορά τους στην υδροπερίοδο του λιμνίου 2 στο Ελαφονήσι.

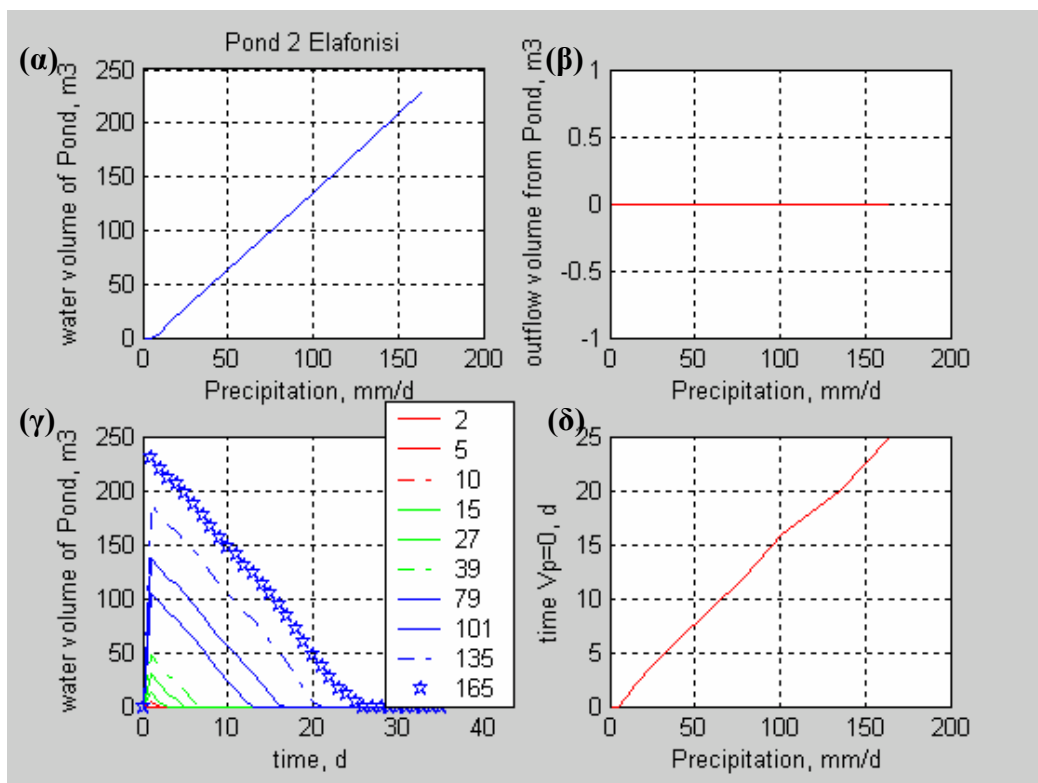
Βροχόπτωση, mm/day	2	5	10	15	27	39	79	101	135	165
Συνεισφορά στην υδροπερίοδο, d	0	0	1	2	4	6	12	16	20	25



Διάγραμμα 6.7. Ο όγκος του νερού στο λιμνίο 2 στο Ελαφονήσι όπως προέκυψε από το μοντέλο HPM και όπως παρατηρήθηκε στο πεδίο για την περίοδο προσομοίωσης 1/6/05-27/2/06.



Διάγραμμα 6.8. (α) Ο όγκος του νερού στο λιμνίο και στο χερσαίο ίζημα και (β) η μέση στάθμη του νερού στο λιμνίο 2 στο Ελαφονήσι, σε ημερήσια βάση για την περίοδο προσομοίωσης 1/6/05-27/2/06.



Διάγραμμα 6.9. (α) Ο όγκος του νερού στο λιμνίο και (β) η πλημμυρική απορροή από το λιμνίο 2 στο Ελαφονήσι σε σχέση με το ύψος της ημερήσιας βροχόπτωσης (γ) η ημερήσια μεταβολή του όγκου του νερού στο λιμνίο και (δ) το χρονικό διάστημα σε ημέρες που ο όγκος μηδενίζεται, μετά από διαφορετικά γεγονότα βροχόπτωσης.

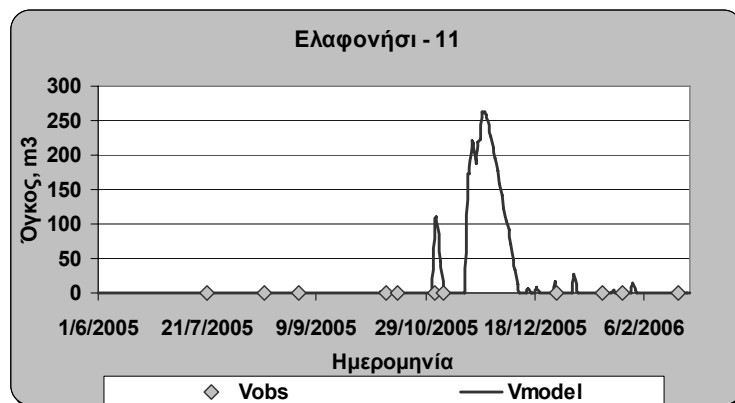
❖ Λιμνίο 11

Η περίοδος προσομοίωσης για την περίπτωση του λιμνίου 11 ήταν η ίδια με το λιμνίο 2 (1/6/05 έως 27/2/06). Στο διάγραμμα 6.11.(α) παρουσιάζεται ο όγκος του νερού στο λιμνίο και στο χερσαίο ίζημα, ενώ στο διάγραμμα 6.12.(β) η μέση στάθμη του νερού στο λιμνίο, για την περίοδο προσομοίωσης. Ακόμη στο διάγραμμα 6.10 φαίνεται ο όγκος του νερού στο λιμνίο όπως προέκυψε από το μοντέλο HPM και όπως παρατηρήθηκε στο πεδίο (παράγοντας βαθμονόμησης). Το λιμνίο 11 στο Ελαφονήσι για την συγκεκριμένη περίοδο εμφάνισε υδροπερίοδο 40 ημερών. Η επιφανειακή απορροή από το χερσαίο ίζημα προς το λιμνίο, λόγω του μεγάλου όγκου του χερσαίου ιζήματος, , όπως επίσης και η πλημμυρική απορροή από το λιμνίο, προέκυψαν όπως και για το λιμνίο 2 μηδενική καθ' όλη την διάρκεια της προσομοίωσης. Και σε αυτήν την περίπτωση επιβεβαιώνεται η άμεση εξάρτηση της υδροπεριόδου του λιμνίου από την συχνότητα και το ύψος των βροχοπτώσεων και η διαφορετική συμπεριφορά του λιμνίου κατά του καλοκαιρινούς και χειμερινούς μήνες. Τέλος, σημειώνεται ότι ο λόγο της βροχόπτωσης προς το έλλειμμα από την εξάτμιση ($P/(P-PE)$: Evapoconcentration factor) ήταν κατά μέσο όρο 2.24.

Στην ανάλυση που έγινε για την συμπεριφορά του λιμνίου κατά τους χειμερινούς μήνες έπειτα από ακραία γεγονότα βροχόπτωσης (Διαγράμματα 6.12.(α) και (β)) φάνηκε ότι η κρίσιμη βροχόπτωση που μπορεί να προκαλέσει πλημμυρική απορροή από το λιμνίο είναι 135 mm/d, η οποία αποτελεί την βροχόπτωση με περίοδο επαναφοράς 50 έτη για την Σούδα, ενώ βροχόπτωση της τάξεως των 165 mm/d προκαλεί πλημμυρική απορροή τουλάχιστον 70 m³. Ακόμη, η ίδια ανάλυση έδειξε ότι το λιμνίο συγκρατεί έστω και μικρό όγκο νερού για μία μέρα (1.1-6m³) με βροχόπτωση 8-10 mm/d (Διαγράμματα 6.12.(α) και (β)). Στον πίνακα 6.2 παρουσιάζονται τα ύψη των βροχοπτώσεων και η αντίστοιχη συνεισφορά τους στην υδροπερίοδο του λιμνίου. Οι συνθήκες προσομοιώσεις ήταν ίδιες με αυτές που περιγράφονται παραπάνω (λιμνίο 2)

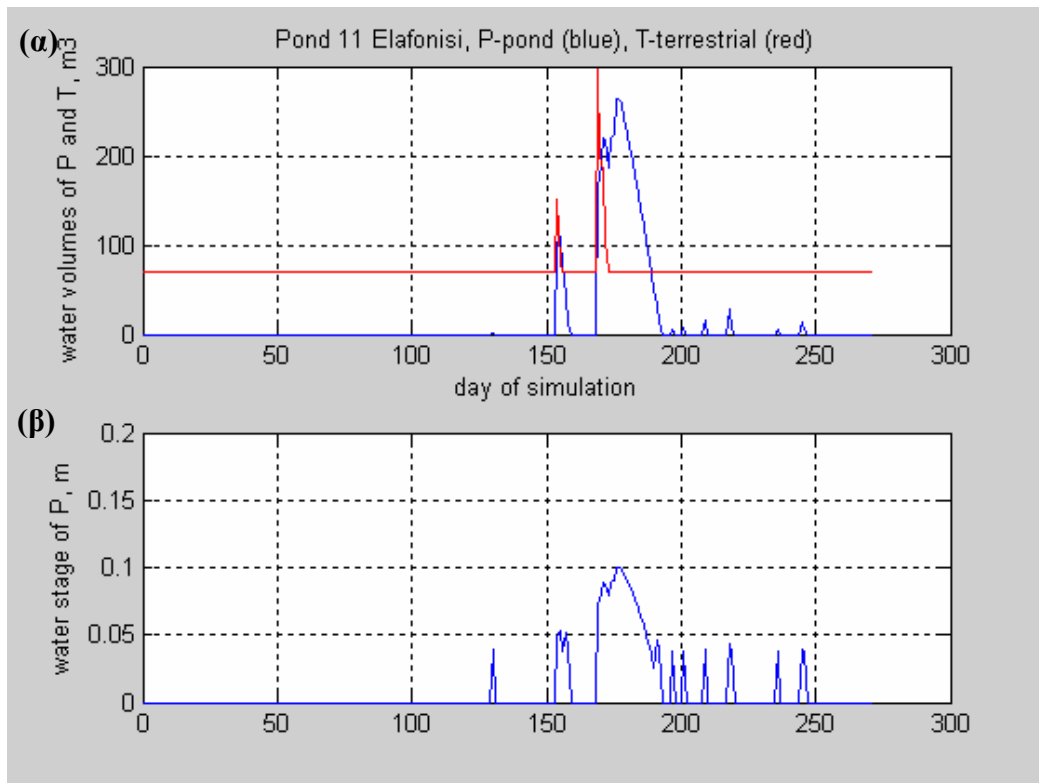
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2. Ύψη βροχοπτώσεων και η αντίστοιχη συνεισφορά τους στην υδροπερίοδο του λιμνίου 11 στο Ελαφονήσι.

Βροχόπτωση, mm/d	2	5	10	15	27	39	79	101	135	165
Συνεισφορά στην υδροπερίοδο, d	0	0	1	1	3	5	10	13	17	17

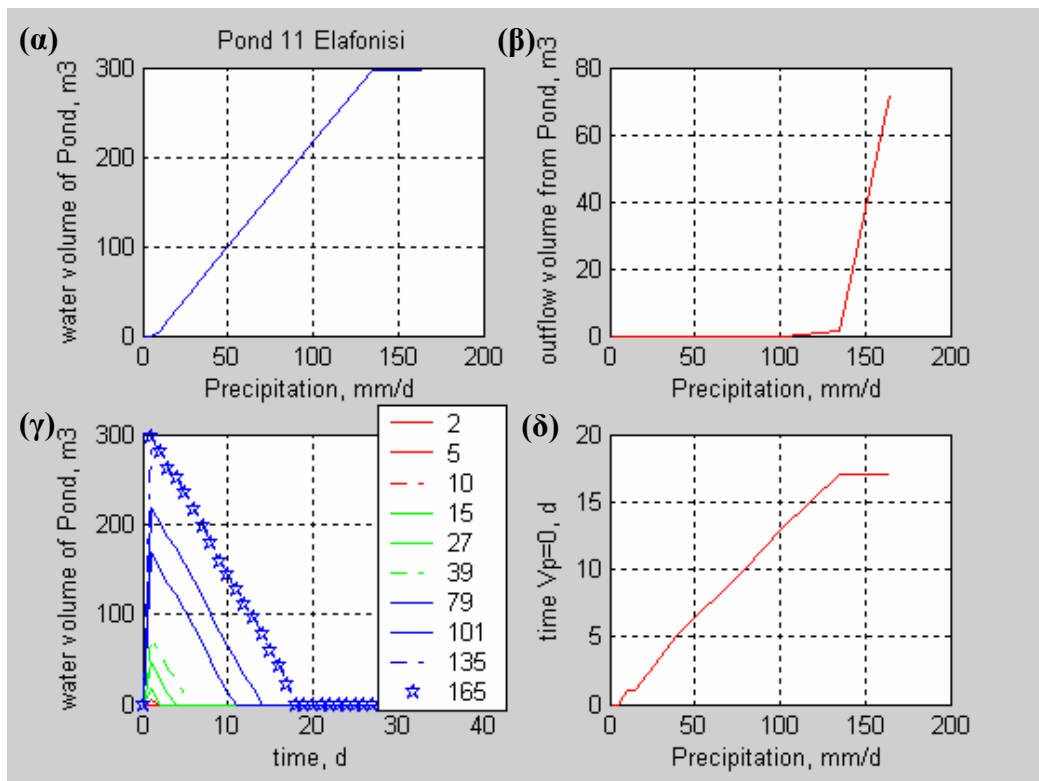


Διάγραμμα 6.10. Ο όγκος του νερού στο λιμνίο 11 στο Ελαφονήσι όπως προέκυψε από το μοντέλο HPM και όπως παρατηρήθηκε στο πεδίο για την περίοδο προσομοίωσης 1/6/05-27/2/06.

Τα λιμνία 2 και 11 στο Ελαφονήσι παρουσιάζουν παρόμοια συμπεριφορά, όσο αφορά στην υδροπερίοδό τους. Η μικρή απόκλιση (45/40 ημέρες, λιμνίο 2/11 αντίστοιχα) οφείλεται στο γεγονός ότι το ίζημα του λιμνίου 11 εμφανίζει μεγαλύτερη διηθητική ικανότητα (βλ. Πίνακα 4.10), αλλά και σημεία καθίζησης που ευνοούν την διήθηση. Η διαφορά στην υδροπερίοδο μεταξύ των δύο λιμνίων περιορίζεται, λόγω του ότι ο λόγος επιφανείας/όγκου των λιμνίων είναι 1.25 για το λιμνίο 11 και 3 για το λιμνίο 2 και η επιφάνεια του λιμνίου 2 (~1500 m²) είναι μεγαλύτερη του 11 (~2500 m²), με αποτέλεσμα η επιφανειακή βροχόπτωση που δέχεται το λιμνίο 2 να είναι πολλαπλάσια από αυτή του λιμνίου 11.



Διάγραμμα 6.11. (α) Ο όγκος του νερού στο λιμνίο και στο χερσαίο ίζημα και **(β)** η μέση στάθμη του νερού στο λιμνίο 11 στο Ελαφονήσι, σε ημερήσια βάση για την περίοδο προσομοίωσης 1/6/05-27/2/06.



Διάγραμμα 6.12. (α) Ο όγκος του νερού στο λιμνίο και **(β)** η πλημμυρική απορροή από το λιμνίο 11 στο Ελαφονήσι σε σχέση με το ύψος της ημερήσιας βροχόπτωσης **(γ)** η ημερήσια μεταβολή του όγκου του νερού στο λιμνίο και **(δ)** το χρονικό διάστημα σε ημέρες που ο όγκος μηδενίζεται, μετά από διαφορετικά γεγονότα βροχόπτωσης.

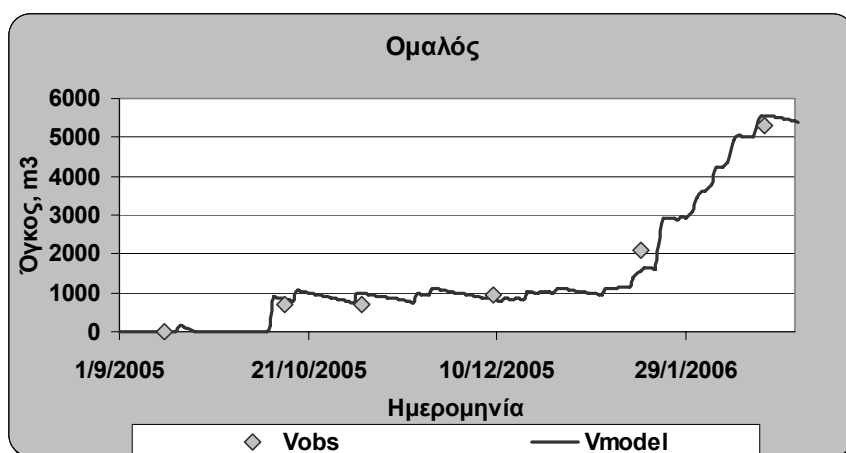
5.3 ΥΔΡΟΠΕΡΙΟΔΟΣ ΤΟΥ ΛΙΜΝΙΟΥ ΣΤΟΝ ΟΜΑΛΟ

Στο διάγραμμα 6.14.(α) παρουσιάζεται ο όγκος του νερού στο λιμνίο και στο χερσαίο ιζήμα, ενώ στο διάγραμμα 6.15.(β) η μέση στάθμη του νερού στο λιμνίο, για την περίοδο προσομοίωσης (1/9/05 έως 28/2/06). Ακόμη στο διάγραμμα 6.13 φαίνεται ο όγκος του νερού στο λιμνίο όπως προέκυψε από το μοντέλο HPM και όπως παρατηρήθηκε στο πεδίο (παράγοντας βαθμονόμησης). Έτσι, το λιμνίο στον Ομαλό για την συγκεκριμένη περίοδο εμφάνισε υδροπερίοδο, δηλαδή υγρή φάση, 146 ημερών. Το εν λόγω λιμνίο εμφανίζει συνεχή υδροπερίοδο η οποία ξεκίνησε στις 11/10/05. Η επιφανειακή απορροή από το χερσαίο ιζήμα προς το λιμνίο, λόγω του μεγάλου όγκου του χερσαίου ιζήματος, προέκυψε μηδενική καθ' όλη την διάρκεια της προσομοίωσης, όπως επίσης και η πλημμυρική απορροή από το λιμνίο. στην περιοχή συνέβησαν 4 γεγονότα χιονόπτωσης και συνολικά η επιφάνεια του λιμνίου ήταν καλυμμένη με χιόνι για περίπου ένα μήνα. Η περίοδος που το λιμνίο θα περάσει στην ξηρή φάση εξαρτάται από το πότε θα σημειωθούν στην περιοχή οι τελευταίες σημαντικές βροχοπτώσεις ή χιονοπτώσεις. Τέλος, σημειώνεται ότι ο λόγο της βροχόπτωσης προς το έλλειμμα από την εξάτμιση ($P/(P-PE)$: Evapoconcentration factor) ήταν κατά μέσο όρο 1.12.

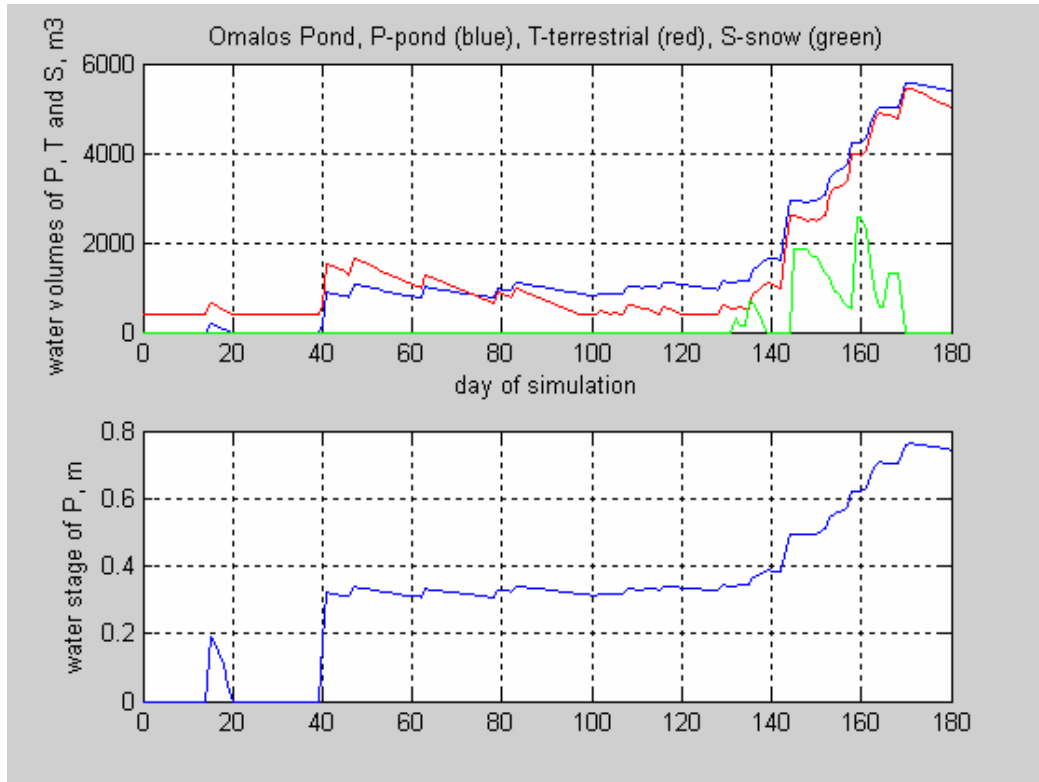
Σε μια περαιτέρω ανάλυση που έγινε για την συμπεριφορά του λιμνίου κατά τους χειμερινούς μήνες έπειτα από ακραία γεγονότα βροχόπτωσης (Διαγράμματα 6.7.(α) και (β)) (σύμφωνα με την ανάλυση συχνότητας για τον σταθμό της Σούδας βλ. Κεφάλαιο 2) φάνηκε ότι η κρίσιμη βροχόπτωση που μπορεί να προκαλέσει πλημμυρική απορροή από το λιμνίο είναι μεγαλύτερη από 165 mm/d, η οποία αποτελεί την βροχόπτωση με περίοδο επαναφοράς 100 έτη για την Σούδα. Ακόμη, η ίδια ανάλυση έδειξε ότι το λιμνίο συγκρατεί έστω και πολύ μικρό όγκο νερού για μία μέρα με βροχόπτωση έστω και 2 mm/d (Διαγράμματα 6.7.(γ) και (δ)). Στον πίνακα 6.3 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα ύψη των βροχοπτώσεων και η αντίστοιχη συνεισφορά τους στην υδροπερίοδο του λιμνίου. Σημειώνουμε, ότι οι προσομοιώσεις αυτές έγιναν με στοιχεία της περιόδου Δεκεμβρίου – Φεβρουαρίου, θεωρώντας μηδενικές αρχικές συνθήκες όσο αφορά στον όγκο νερού και ότι μετά τις βροχοπτώσεις αυτές δεν ακολουθούν άλλες. Έτσι, προφανώς, στην περίπτωση που μετά από αυτά τα γεγονότα βροχόπτωσης ακολουθήσουν και άλλα αυτό θα έχει θετική επίδραση στην υδροπερίοδο, ενώ στην περίπτωση που η προσομοίωση γινόταν για την περίοδο του καλοκαιριού, τότε λόγω της εξάτμισης και του ακόρεστου ιζήματος του λιμνίου το λιμνίο θα συγκρατούσε νερού για μικρότερο χρονικό διάστημα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.3. Ύψη βροχοπτώσεων και η αντίστοιχη συνεισφορά τους στην υδροπερίοδο του λιμνίου στον Ομαλό.

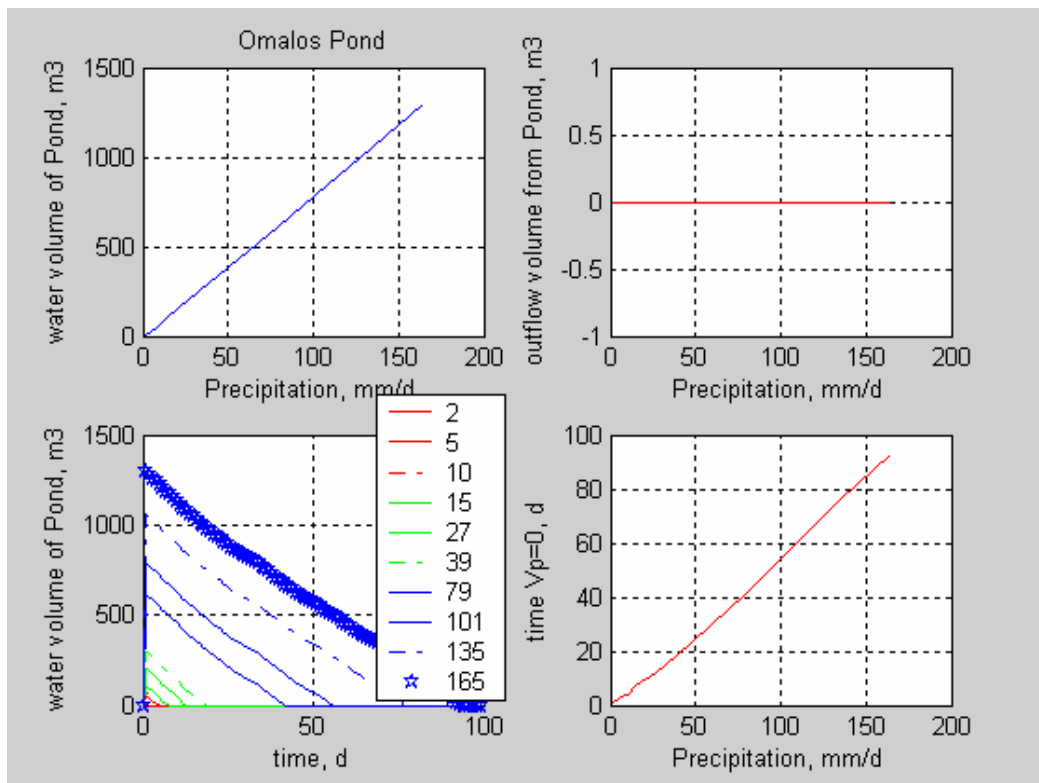
Βροχόπτωση, mm/day	2	5	10	15	27	39	79	101	135	165
Συνεισφορά στην υδροπερίοδο, d	1	4	4	7	12	18	41	55	76	93



Διάγραμμα 6.13. Ο όγκος του νερού στο λιμνίο στον Ομαλό όπως προέκυψε από το μοντέλο HPM και όπως παρατηρήθηκε στο πεδίο για την περίοδο προσομοίωσης 1/6/05-27/2/06.



Διάγραμμα 6.14. (α) Ο όγκος του νερού στο λιμνίο και στο χερσαίο ίζημα και **(β)** η μέση στάθμη του νερού στο λιμνίστον Ομαλό, σε ημερήσια βάση για την περίοδο προσομοίωσης 1/9/05-28/2/06.



Διάγραμμα 6.15. (α) Ο όγκος του νερού στο λιμνίο και **(β)** η πλημμυρική απορροή από το λιμνίο στον Ομαλό σε σχέση με το ύψος της ημερήσιας βροχόπτωσης **(γ)** η ημερήσια μεταβολή του όγκου του νερού στο λιμνίο και **(δ)** το χρονικό διάστημα σε ημέρες που ο όγκος μηδενίζεται, μετά από διαφορετικά γεγονότα βροχόπτωσης.

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ ΤΟΥ ΙΖΗΜΑΤΟΣ ΤΩΝ ΜΕΛ (ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ)

7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μελέτη της γεωχημείας του ιζήματος των λιμνίων πραγματοποιήθηκε με μια σειρά πειραμάτων, με τα οποία μελετήθηκαν οι βασικές γεωχημικές διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα στο ίζημα των λιμνίων, με βάση την ανάλυση των κύκλων αζώτου και φωσφόρου. Πραγματοποιήθηκαν πειράματα διαλείποντος έργου, με κύριες μεταβλητές την υγρασία και το pH του ιζήματος, ώστε να αξιολογηθεί η ικανότητα του ιζήματος για ανοργανοποίηση, εκχύλιση και προσρόφηση των θρεπτικών. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο (βιογεωχημικοί κύκλοι αζώτου και φωσφόρου, προσρόφηση και ισόθερμες προσρόφησης) και περιγράφεται η πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε κατά την διεξαγωγή των πειραμάτων που προαναφέρθηκαν.

7.2 ΒΙΟΓΕΩΧΗΜΙΚΟΙ ΚΥΚΛΟΙ ΚΑΙ ΘΡΕΠΤΙΚΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ

7.2.1 Γενικά

Στα θρεπτικά στοιχεία περιλαμβάνονται όλες οι απαραίτητες για την επιβίωση ουσίες που προσλαμβάνονται από τους οργανισμούς. Εκτός από τον άνθρακα, το οξυγόνο και το υδρογόνο (μακροθρεπτικά, στοιχεία απαραίτητα σε μεγάλες σχετικά ποσότητες $\geq 1000\text{ppm}$), βασικά θρεπτικά συστατικά των φυτικών οργανισμών μιας λίμνης είναι τα νιτρικά, τα νιτρώδη και τα αμμωνιακά ιόντα, τα φωσφορικά ιόντα, το πυρίτιο (απαραίτητο στα διάτομα και σε κάποια άλλα πλαγκτονικά είδη), τα κατιόντα ασβεστίου, μαγνησίου, καλίου, τα ανιόντα θείου κ.ά [55].

Ο όρος βιογεωχημικός κύκλος αναφέρεται στις κυκλικές διαδρομές που πραγματοποιούν τα θρεπτικά συστατικά των οργανισμών και περιλαμβάνει τη διέλευσή τους από τους οργανισμούς και το αβιοτικό περιβάλλον. Το συνθετικό 'βιο' αναφέρεται στους ζωντανούς οργανισμούς και το 'γεω' στα πετρώματα, το έδαφος, τον αέρα και τα νερά. Η κυκλική ροή, την οποία ακολουθούν τα θρεπτικά συστατικά, είναι εξαιρετικής σημασίας για τη λειτουργία του οικοσυστήματος, καθώς η ενέργεια από μόνη της δεν είναι αρκετή. Αντίθετα, όμως με την ενέργεια, η οποία παρέχεται συνεχώς στο οικοσύστημα, τα θρεπτικά συστατικά υπάρχουν σε πεπερασμένη και συγκεκριμένη ποσότητα και δεν μπορούν να αντικατασταθούν εύκολα. Έτσι η ανακύκλωση των θρεπτικών συστατικών επιβάλλεται από την ανάγκη συνεχούς λειτουργίας του οικοσυστήματος [56]. Τα θρεπτικά συστατικά μπορεί να βρίσκονται δεσμευμένα για κάποιο χρονικό διάστημα στους ζωντανούς ιστούς των οργανισμών και να απελευθερώνονται είτε μετά το θάνατό τους, είτε κατά τη διάρκεια της ζωής τους μέσω φυσικών διεργασιών, όπως η αναπνοή. Αξίζει να σημειωθεί ότι το οξυγόνο και το υδρογόνο ανακυκλώνονται και αυτόνομα, σαν ανεξάρτητα στοιχεία, αλλά και μέσω του βιογεωχημικού κύκλου του νερού [56].

Η περιγραφή των βιογεωχημικών κύκλων του αζώτου και του φωσφόρου σε ένα οποιοδήποτε υδάτινο οικοσύστημα είναι απαραίτητη τόσο για την κατανόηση των μηχανισμών με τους οποίους μετασχηματίζονται τα στοιχεία αυτά στις διάφορες μορφές τους όσο και για την εκτίμηση των επιπτώσεων των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στα υδατικά συστήματα. Τα τελευταία χρόνια οι

ανθρώπινες δραστηριότητες ασκούν πιέσεις στα υδατικά οικοσυστήματα τα οποία δέχονται σε αρκετές περιπτώσεις φορτία θρεπτικών πολλαπλάσια των φυσικών με αποτέλεσμα την ποιοτική υποβάθμιση τους. Αυξημένες συγκεντρώσεις θρεπτικών προκαλούν το φαινόμενο του ευτροφισμού αλλά και ασθένειες στον άνθρωπο.

7.2.2 Ο κύκλος του Αζώτου

Το άζωτο (N) υπάρχει στο περιβάλλον σε πολλές μορφές. Η μεταφορά των ενώσεων αζώτου μέσω υδατικών και χερσαίων συστημάτων (π.χ. λεκάνες απορροής) προσδιορίζεται από τον κύκλο του αζώτου. Το μοριακό άζωτο (N_2) καταλαμβάνει το 79% του ατμοσφαιρικού αέρα. Εν τούτοις, αν και αφθονεί στην ατμόσφαιρα με τη μοριακή του μορφή, καθώς είναι χημικά αδρανές και σταθερό συστατικό δεν μπορεί να διασπαστεί εύκολα από οργανισμούς και απαιτεί σημαντική ενέργεια για να 'λυθεί' ο μοριακός του δεσμός [57].

Οι βασικοί ταμιευτήρες του κύκλου του αζώτου και τα υπολογιζόμενα ταμιεύματα εκτιμώνται ως εξής [55]:

Θάλασσα (διαλυμένο)	20000*10 ⁹ tn
Ατμόσφαιρα	3800000*10 ⁹ tn
Οργανισμοί	13*10 ⁹ tn
Νεκρή οργανική ύλη	1660*10 ⁹ tn
Αποθέσεις	4000000*10 ⁹ tn.

Εκτιμώμενη από άλλους ερευνητές η συνολική ποσότητα αζώτου ανέρχεται σε $1,6*10^{17}$ metric tons και επιμερίζεται ως εξής [58]:

Γεώσφαιρα	98%
Ατμόσφαιρα	2%
Βιόσφαιρα	0.0002%

7.2.2.1 Μορφές αζώτου

Το άζωτο μπορεί να σχηματίζει διαφορετικές ενώσεις λόγω των διαφορετικών βαθμών οξείδωσης που παρουσιάζει. Η πλειοψηφία αυτών των φυσικών μετασχηματισμών των ενώσεων αζώτου είναι μικροβιακά ελεγχόμενες, όπως υπαγορεύεται από το βαθμό οξείδωσής τους. Έτσι όλες οι διαδικασίες μετατροπής του αζώτου σε διαφορετικές μορφές ολοκληρώνονται από διάφορες ομάδες και τύπους μικροοργανισμών που βρίσκονται στο έδαφος. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τους μικροοργανισμούς, όπως η θερμοκρασία, το διαθέσιμο οξυγόνο και η υγρασία, μπορούν να έχουν επιπτώσεις στο βαθμό στον οποίο οι μετατροπές αζώτου πραγματοποιούνται. Η αμμωνία NH_3 , η αμμωνιακή ρίζα NH_4^+ , το αέριο μοριακό άζωτο N_2 , η νιτρώδης ρίζα NO_2^- και η νιτρική ρίζα NO_3^- είναι οι συνήθεις μορφές του αζώτου σε υδατικό και χερσαίο περιβάλλον [57].

Το άζωτο υπάρχει στο έδαφος σε πολλές μορφές και είναι απαραίτητο θρεπτικό συστατικό για την ανάπτυξη των φυτών. Τα φυτά απαιτούν μεγάλες ποσότητες αζώτου και περιέχουν περίπου 1 έως 6% σε μια βάση ξηρού βάρους. Το μεγαλύτερο ποσοστό του αζώτου που βρίσκεται στο έδαφος είναι σε πολυάριθμες διαφορετικές οργανικές μορφές. Εντούτοις, τα φυτά δεν είναι σε θέση να χρησιμοποιήσουν τις οργανικές μορφές αζώτου. Φυσικές σύνθετες διαδικασίες στο έδαφος μετατρέπουν το άζωτο από τις οργανικές μορφές του σε αμμώνιο.

Το άζωτο στο έδαφος βρίσκεται λοιπόν σε δυο κύριες μορφές, οι οποίες είναι:

(i) οργανική μορφή (πρωτεΐνες, αμίνες, αμίδια κ.λπ.)

(ii) ανόργανη μορφή

(a) αμμωνιακό-N στα αργιλικά ορυκτά

(b) μορφές ορυκτού-N όπως αμμώνιο NH_4^+ , νιτρώδη NO_2^- και νιτρικά NO_3^- στο εδαφικό διάλυμα.

7.2.2.2 Λειτουργίες του Αζώτου

Το άζωτο είναι απαραίτητο σε πολλές λειτουργίες των φυτών, όπως οι ακόλουθες:

1. Το άζωτο είναι πολύ σημαντικό για την ανάπτυξη των φυτών και το πράσινο χρώμα στα φύλλα.
2. Είναι πρωταρχικό συστατικό των βασικών αμινοξέων που είναι οι δομικές μονάδες των πρωτεϊνών.
3. Είναι απαραίτητο για τη σύνθεση της χλωροφύλλης και των ενζύμων.
4. Είναι επίσης απαραίτητο για τη χρησιμοποίηση των υδατανθράκων.

Το άζωτο είναι απαραίτητο για το σχηματισμό των πρωτεϊνών. Οι περισσότεροι παραγωγικοί οργανισμοί μπορούν να απορροφήσουν μόνο τις δεσμευμένες μορφές του αμμωνιακού αζώτου NH_4^+ , και του νιτρικού αζώτου NO_3^- . Έτσι, αν και το ατμοσφαιρικό άζωτο N_2 αποτελεί τεράστιο ταμείωμα, ο κύκλος του αζώτου και μαζί με αυτόν η διαδικασία της ζωής στον πλανήτη περιορίζονται από την ταχύτητα μετατροπής του ατμοσφαιρικού στις χρησιμοποιήσιμες δεσμευμένες μορφές του [56].

Ανεξάρτητα από τον τρόπο δέσμευσης, οι παραγωγικοί οργανισμοί ενσωματώνουν το άζωτο στις παρασκευαζόμενες πρωτεΐνες. Από αυτούς εφοδιάζονται με το αναγκαίο οργανικό άζωτο όλοι οι υπόλοιποι οργανισμοί, ενώ διάφοροι ειδικευμένοι αποσυνθέτες διασπούν τις αζωτούχες ενώσεις της νεκρής οργανικής ύλης. Το μεγαλύτερο μέρος από αυτό το άζωτο παραμένει στο έδαφος ή στο νερό με τη μορφή νιτρικών ή αμμωνιακών αλάτων και ξαναχρησιμοποιείται από τα φυτά. Ένα μικρότερο μέρος ελευθερώνεται ως αέριο N_2 στην ατμόσφαιρα και κλείνει τον κύκλο. Τέλος, κάποιες ποσότητες N_2 βγαίνουν από τον κύκλο, διότι καταλήγουν ως ιζήματα στο βυθό των ωκεανών. Υπάρχει εξ άλλου μικρός εμπλουτισμός της ατμόσφαιρας με N_2 από την ηφαιστειακή δραστηριότητα [57].

Οι κύριες γραμμές του κύκλου του αζώτου είναι η δέσμευση αερίου N_2 , η αμμωνιοποίηση ή ανοργανοποίηση του οργανικού αζώτου, η νιτροποίηση της αμμωνιακής ρίζας και η απονιτροποίηση. Κάθε μια διεργασία μπορεί να πραγματοποιηθεί από συγκεκριμένους μικροοργανισμούς. Οι κύριες γραμμές ροής του αζώτου που αναφέρθηκαν σχηματίζουν τον κύκλο του αζώτου που για το χερσαίο και υδατικό περιβάλλον παρουσιάζονται στα σχήματα 2-1 και 2-2. Οι διεργασίες μετασχηματισμού παρουσιάζονται αναλυτικά στις επόμενες παραγράφους. [57]

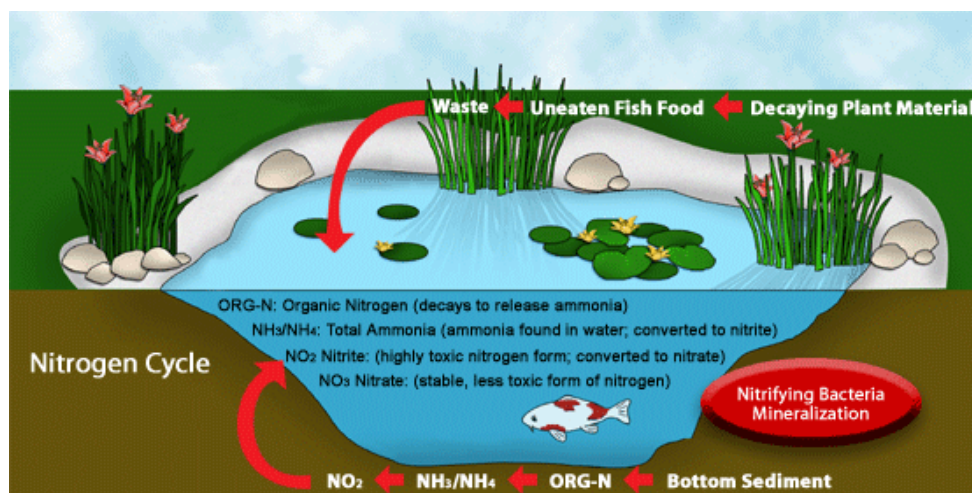
7.2.2.3 Δέσμευση Μοριακού Αζώτου

Δέσμευση μοριακού αζώτου N_2 συμβαίνει όταν το αέριο άζωτο της ατμόσφαιρας ενσωματώνεται σε ευπρόσληπτες μορφές του αμμωνιακού αζώτου και των νιτρικών, οι οποίες χρησιμοποιούνται από ζώα και φυτά. Η φυσική δέσμευση πραγματοποιείται είτε με φυσικοχημικές διαδικασίες, κυρίως υπό την επίδραση των ηλεκτρικών εκκενώσεων των καταιγίδων, είτε με βιολογικές διαδικασίες. Κατά μία εκτίμηση δεσμεύονται κάθε χρόνο με τις βιολογικές διαδικασίες $54 \cdot 10^6$ τόνοι ατμοσφαιρικού N_2 και με τις φυσικοχημικές $7.6 \cdot 10^6$ τόνοι. Η βιολογική δέσμευση πραγματοποιείται από ετεροτροφικούς αλλά και αυτοτροφικούς-φωτοσυνθετικούς μικροοργανισμούς. Υπάρχουν και μη συμβιωτικά βακτήρια που πραγματοποιούν δέσμευση, όπως το αερόβιο αζωτοβακτήριο (γένη *Azotobacter*, *Aerobacter*) και το αναερόβιο κλωστρίδιο (γένη *Clostridium*, *Chromatium*). Δέσμευση αζώτου πραγματοποιούν επίσης και μερικά είδη αλγών που υπάγονται στην κατηγορία των κυανοφυκών. Η τεχνητή δέσμευση, εφεύρεση του αιώνα μας, πραγματοποιείται κυρίως με την παραγωγή τεχνητών λιπασμάτων. Η βιομηχανική δέσμευση, σήμερα έχει φθάσει κοντά στους $80 \cdot 10^6$ τόνους. Έτσι ο άνθρωπος έχει φτάσει στο σημείο αυτό και ξεπεράσει την Φύση [56].

7.2.2.4 Ανοργανοποίηση – Αμμωνιοποίηση (Mineralization)

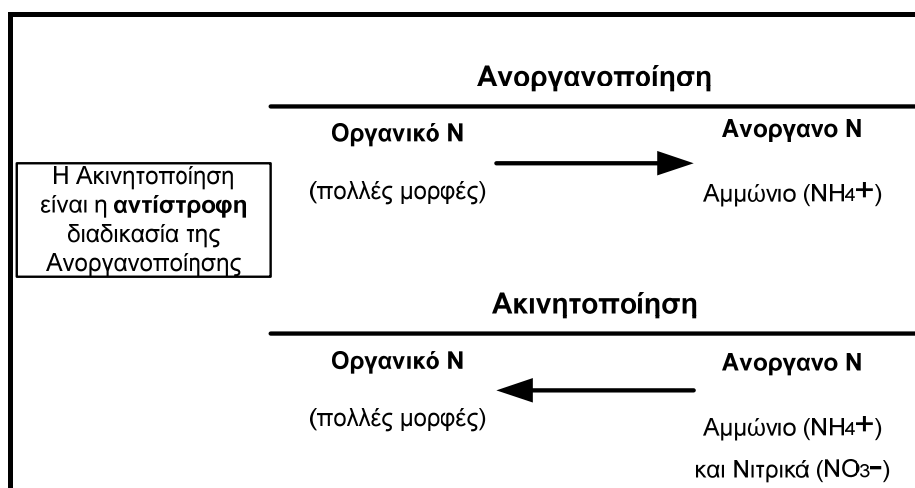
Το μεγαλύτερο ποσοστό του εδαφικού αζώτου, όπως προαναφέρθηκε, βρίσκεται στην οργανική μορφή (οργανικό υλικό) και είναι μη διαθέσιμο για τα φυτά. Αυτές οι οργανικές ενώσεις πρέπει να διασπαστούν από φυσικές βιολογικές διαδικασίες για να παραγάγουν τις διαθέσιμες για τα φυτά ορυκτές μορφές αμμωνίου και νιτρικού άλατος. Η μετατροπή των οργανικών μορφών (μη διαθέσιμη μορφή) του N στις ανόργανες ή ορυκτές μορφές (διαθέσιμη μορφή για τα φυτά) είναι γνωστή ως αμμωνιοποίηση ή ανοργανοποίηση (mineralization). Έτσι ορίζεται ως Ανοργανοποίηση ή Αμμωνιοποίηση η μετατροπή του οργανικού αζώτου (org-N) σε ανόργανη μορφή, αμμωνία NH_3 ή το προϊόν ιονισμού της, αμμωνιακή ρίζα NH_4^+ . Η Αμμωνιοποίηση λαμβάνει χώρα κατά τη διάρκεια της αποσύνθεσης ζωικών μικροβιακών και/ή φυτικών ιστών και βακτηριακού φορτίου. Μια άλλη περίπτωση αμμωνιοποίησης αποτελεί η υδρόλυση των λιπασμάτων όπως για παράδειγμα η ουρία,

ένωση αζώτου, η οποία απαντάται στα ούρα και στα λιπάσματα [59]. Η αμμωνιοποίηση στο έδαφος είναι μια μικροβιακά ελεγχόμενη διεργασία, η οποία είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας του εδάφους, της υγρασίας του εδάφους, του λόγου άνθρακα προς άζωτο και της παρουσίας κατάλληλων μικροοργανισμών που μπορούν να αποικοδομήσουν το οργανικό υπόλειμμα [60]. Στη μετατροπή αυτή συμμετέχουν βακτήρια, μύκητες και ακτινομύκητες. Σε αλκαλικά και ουδέτερα εδάφη κυριαρχούν τα βακτήρια, ενώ σε όξινα οι μύκητες. Τα περισσότερο γνωστά βακτήρια που προσβάλλουν οργανικές ουσίες του εδάφους ανήκουν στα γένη *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Clostridia*, *Serratia* και *Micrococcus* [61].



Σχήμα 7.1. Ο κύκλος του αζώτου σε λιμναίο σύστημα.

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονίσουμε ότι οι μικροοργανισμοί χρησιμοποιούν κάποιο ποσοστό από το ορυκτό N που παράγεται και το ενσωματώνουν στους οργανισμούς τους που δεν είναι διαθέσιμο πλέον για τα φυτά. Αυτή η διαδικασία καλείται ως ακινητοποίηση (immobilization). Οι διαδικασίες της ανοργανοποίησης και της ακινητοποίησης μπορούν να συμβαίνουν ταυτόχρονα στο έδαφος, ανάλογα με την αναλογία C:N της οργανικής ουσίας και άλλων εδαφικών περιβαλλοντικών συνθηκών.



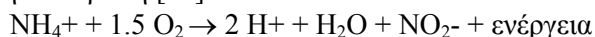
Σχήμα 7.2. Οι δύο αντίστροφες διαδικασίες, Ανοργανοποίηση και Ακινητοποίηση.

7.2.2.5 Νιτροποίηση (Nitrification)

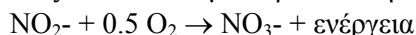
Η νιτροποίηση είναι η μικροβιακή οξείδωση της αμμωνιακής ρίζας NH₄⁺ σε νιτρώδη ρίζα NO₂⁻ και στη συνέχεια νιτρική ρίζα NO₃⁻ από τα αυτοτροφικά χημικοσυνθετικά βακτήρια Νιτροσομονάδα (*Nitrosomonas*) και Νιτροβακτηρίδιο (*Nitrobacter*) [55,56]. Τα βακτήρια αυτά είναι αυστηρά αερόβια και παίρνουν την απαιτούμενη ενέργεια οξειδώνοντας την αμμωνία σε νιτρώδη και νιτρικά [56]. Η νιτροποίηση του αμμωνίου σε νιτρική ρίζα και είναι λοιπόν μια αερόβια μικροβιακά ελεγχόμενη

αντίδραση. Κατά τη διάρκεια της νιτροποίησης δύο ιόντα υδρογόνου απελευθερώνονται για κάθε νιτρική ρίζα που σχηματίζεται. Ο σχηματισμός αμμωνίου κατά τη διάρκεια της αποσύνθεσης οργανικού φορτίου παράγει ένα ιόν υδροξυλίου. Η αμμωνιακή ρίζα επίσης επηρεάζεται από την επιφάνεια των σωματιδίων του εδάφους (π.χ. άργιλος, όξινη επιφάνεια) και η απορρόφηση και εκρόφησή της εξαρτάται από την υγρασία του εδάφους. Η διεργασία της απορρόφησης του αμμωνίου εντός όξινων επιφανειών μοντελοποιείται χρησιμοποιώντας μια γραμμική ισόθερμη [60].

Αρχικά τα βακτήρια του γένους *Nitrosomonas* μετατρέπουν το αμμώνιο NH_4^+ σε νιτρώδη ρίζα σύμφωνα με την ακόλουθη αντίδραση [18]:



Στη συνέχεια, τα βακτήρια του γένους *Nitrobacter* μετατρέπουν τη νιτρώδη ρίζα σε νιτρική [61]:



Ατομα αζώτου N που παράγονται από την αμμωνιακή ρίζα NH_4^+ και από τη νιτρική ρίζα NO_3^- επιστρέφουν στην ατμόσφαιρα ως αέριο άζωτο N (N_2 ή N_2O) μέσω εξάτμισης και απονιτροποίησης. [56].

Το φαινόμενο της βιολογικής μετατροπής της αμμωνίας σε νιτρικά αποτελεί σημαντική φάση του κύκλου του αζώτου αλλά και αξιόλογο παράγοντα ρύπανσης των υδατικών αποδεκτών. Μία επίπτωση της ρύπανσης είναι η αποξυγόνωση του νερού εξαιτίας της αερόβιας οξείδωσης [55].

7.2.2.6 Απονιτροποίηση (Denitrification)

Η απονιτροποίηση είναι γενικά μια μικροβιακά ελεγχόμενη διεργασία αναπνοής στην οποία λαμβάνει χώρα το φαινόμενο της αναγωγής των νιτρικών σε N_2 και N_2O κατά την αναερόβια οξείδωση της οργανικής ύλης από επαμφοτερίζοντες μικροοργανισμούς. Το N_2O ανάγεται σε N_2 με περαιτέρω βακτηριακή δράση ή με φωτοχημικές αντιδράσεις στην ατμόσφαιρα, καθιστώντας την απονιτροποίηση το τελευταίο μονοπάτι για να κλείσει ο κύκλος του αζώτου με επιστροφή του N_2 στην ατμόσφαιρα. Τα οξειδία του αζώτου λειτουργούν ως τελικοί αποδέκτες ηλεκτρονίων (TEAs, Terminal Electron Acceptors). Τουλάχιστον 14 είδη απονιτροποιώντων βακτηρίων έχουν αναγνωρισθεί και είναι παρόντα σε αφθονία σε χερσαίο και υδάτινο περιβάλλον κατά τη διάρκεια της διεργασίας της απονιτροποίησης [56]. Χωρίς την απονιτροποίηση όλο το άζωτο της ατμόσφαιρας θα είχε – μέσα στη μακρά ιστορία του Γαλάζιου Πλανήτη – δεσμευτεί στη ξηρά και στη θάλασσα με τη μορφή νιτρικών [55].

Η μικροβιακά ελεγχόμενη απονιτροποίηση αντιπροσωπεύεται από μια έκφραση κινητικής Michaelis-Menten απλού υποστρώματος, η οποία λαμβάνει υπόψη την επίδραση της θερμοκρασίας, την επίδραση της υγρασίας του εδάφους και τον παράγοντα της διαθεσιμότητας απονιτροποιώντων βακτηρίων. Η μικροβιακή ανάπτυξη και αναπνοή επίσης μοντελοποιείται με την κινητική Michaelis-Menten υπό τη συνεργιστική δράση της θερμοκρασίας, της περιεχόμενης υγρασίας, της συγκέντρωσης βιομάζας και της διαθεσιμότητας θρεπτικών [60].

Η πρόσληψη αμμωνιακής και νιτρικής ρίζας (NH_4^+ και NO_3^-) από τις ρίζες των φυτών είναι συνάρτηση του περιεχόμενου του εδάφους σε νερό, σε θρεπτικά και του ρυθμού καταστροφής των θρεπτικών στο έδαφος. Επιπλέον, οι μικροοργανισμοί που βρίσκονται συγκεντρωμένοι στη ριζόσφαιρα επηρεάζουν άμεσα τους ρυθμούς πρόσληψης. Παρουσιάζονται διαφοροποιήσεις όσον αφορά τους ρυθμούς πρόσληψης μεταξύ των ριζών NH_4^+ και NO_3^- με την αμμωνιακή ρίζα να προσλαμβάνεται ταχύτερα από τα δέντρα [59].

Ένα ακόμα μονοπάτι, όπου η νιτρική ρίζα NO_3^- αφομοιωτικά μειώνεται προς αμμώνιο NH_4^+ είναι η αφομοιωτική απονιτροποίηση (dissimilatory denitrification). Παρόλα αυτά, αυτή η διεργασία απαιτεί περίσσεια οργανικού άνθρακα ως πηγή ενέργειας. Η απονιτροποίηση δύναται επίσης να είναι μια καταλυόμενη μη ενζυματική χημική αντίδραση, η οποία οδηγεί στην παραγωγή αερίου αζώτου N_2 υπό πλήρως αερόβιες και αβιοτικές συνθήκες.

7.2.2.7 Κύριες Πηγές Αζώτου

Κύριες πηγές ανθρωπογενούς προέλευσης μη γεωργικής χρήσης αποτελούν [62]:

- η υπόγεια διάθεση των οικιακών υγρών αποβλήτων στους ατομικούς βόθρους των σπιτιών (σηπτικές δεξαμενές και καταβόθρες).
- Η ταφή των στερεών αποβλήτων (χωματερές και ανεξέλεγκτη διάθεση)
- Τα βιομηχανικά υγρά απόβλητα

Οι πιο σοβαρές και διάσπαρτες πηγές μόλυνσης είναι η υπόγεια διάθεση των οικιακών υγρών αποβλήτων στους ατομικούς βόθρους των σπιτιών (σηπτικές δεξαμενές και καταβόθρες). Οι δεξαμενές προβλέπεται να καθαρίζονται περιοδικά για την απομάκρυνση της συσσωρευμένης λάσπης [62], αλλά η ελληνική κυρίως πραγματικότητα παρουσιάζεται αντίθετη και συνήθως οι δεξαμενές και οι σηπτικοί βόθροι δεν εκκενώνονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα, όπως προβλέπεται, αλλά 'λειτουργούν' ως απορροφητικοί και με αυτόν τον τρόπο επιβαρύνουν ακόμα περισσότερο το έδαφος και τους υπόγειους υδροφορείς.

Η ταφή των στερεών αποβλήτων (χωματερές και ανεξέλεγκτη διάθεση) μπορεί να αποτελέσει αιτία υποβάθμισης τόσο των υπογείων όσο και των επιφανειακών υδάτων, λόγω της έκπλυσης που προκαλεί το νερό που διέρχεται από τη μάζα των στερεών αποβλήτων. Το νερό έκπλυσης είναι πλούσιο σε ανόργανα συστατικά όπως χλωρίοντα, σίδηρο, μόλυβδο, χαλκό, νάτριο, νιτρικά, αμμωνία και ποικιλία οργανικών ουσιών. Όταν περιέχονται και στερεά βιομηχανικά απόβλητα, τότε στο νερό έκπλυσης μπορεί να περιλαμβάνονται επικίνδυνες ουσίες όπως κυάνιο, κάδμιο και χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες. Σύμφωνα με τα παραπάνω, το εύρος των συγκεντρώσεων των συστατικών στα εκπλύματα χωματερών αστικών αποβλήτων όσον αφορά το ολικό άζωτο κατά Kjeldahl είναι 10-500 mg/L, στα νιτρικά 0.1-10 mg/L, στην αμμωνιακή ρίζα 100-400 mg/L, στον ολικό φώσφορο 0.5-50 mg/L και στα ορθοφωσφορικά 1.0-60 mg/L [62].

Κύριες πηγές ανθρωπογενούς προέλευσης γεωργικής χρήσης αποτελούν [62]:

- Η χρήση συνθετικών λιπασμάτων που περιέχουν ανόργανο άζωτο

Σημαντική πηγή ρύπανσης αποτελεί η εκτεταμένη χρήση συνθετικών λιπασμάτων που περιέχουν ανόργανο άζωτο. Η άρδευση και η εφαρμογή λιπασμάτων ανόργανου αζώτου φαίνεται ότι συντελούν στην ταχύτατη αύξηση των νιτρικών σε πολλές αγροτικές περιοχές. Αλλά η αύξησή τους μπορεί να παρατηρηθεί και σε μη αρδευόμενες περιοχές με οργανικά εδάφη. Παρόλο που τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί μια μείωση της περίσσειας αζώτου στις περιοχές γεωργικής δραστηριότητας η χρησιμοποίηση των συνθετικών λιπασμάτων είχε αυξηθεί δραματικά τα τελευταία χρόνια, επειδή αυτά είναι ένας από τους λίγους τρόπους με τους οποίους οι γεωργοί μπορούν να επηρεάσουν τις φυσικές διαδικασίες που καθορίζουν την ανάπτυξη των φυτών. Το ανόργανο άζωτο εφαρμόζεται συχνά σε ποσότητες μεγαλύτερες από τις κανονικές που προκαλούν μεγαλύτερες αποδόσεις. Από μελέτες που έγιναν, και αναφέρονται στη σχετική βιβλιογραφία ([62]) βρέθηκε ότι η μισή ποσότητα αζωτούχων λιπασμάτων από αυτή που εφαρμόζεται χρησιμοποιείται από τα φυτά. Η υπερβολική λίπανση μπορεί να προκαλέσει την έκπλυση των νιτρικών στο υπόγειο νερό, αν και ακόμα και με την ορθολογική εφαρμογή της λίπανσης, η συγκέντρωσή του στο υπόγειο νερό είναι υψηλή[62].

Φυσικές πηγές μπορεί να είναι [63]:

- Η αποσύνθεση φυτικών και ζωικών οργανισμών
- Περιπτώματα ζώων και άλλα οργανικά υπολείμματα

Τα στερεά απόβλητα (κοπριές) των ζώων είναι επίσης σημαντικές πηγές νιτρικών και διαλυμένων αλάτων. Η διεύθυνση αυτών των ρύπων στα υπόγεια ύδατα και η επιφανειακή απορροή τους στα επιφανειακά νερά εξαρτάται από τις τοπικές εδαφικές συνθήκες, τη στράγγιση, τη βροχόπτωση και τις επιφανειακές συνθήκες απόθεσης. Η νιτροποίηση-απονιτροποίηση που γίνεται στο μίγμα των κοπριών και του επιφανειακού εδάφους περιορίζουν κατά έναν τρόπο τον κίνδυνο της διήθησης του αζώτου. Η ταφή των γεωργικών αποβλήτων στα οποία περιλαμβάνονται και τα υπολείμματα των καλλιεργειών, τα νεκρά ζώα και τα κόπρανα μπορεί να προκαλέσουν την έκπλυση, αν και αυτό αποτελεί μικρής έκτασης τοπικό φαινόμενο [62].

7.2.2.8 Πηγές Εδαφικού Αζώτου

Το εδαφικό άζωτο λαμβάνεται κυρίως από τις ακόλουθες πηγές:

- a) Λιπάσματα και μηκυτοκτόνα
- b) Ατμόσφαιρα
- c) Κατακρημνίσματα
- d) Μέσω της βιολογικής σταθεροποίησης N (συμβιωτική & μη-συμβιωτική σταθεροποίηση)
- e) Ανοργανοποίηση της οργανικής ουσίας
- f) Υπολείμματα συγκομιδών.

7.2.2.9 Απώλειες Αζώτου από το Έδαφος

Το άζωτο χάνεται από το έδαφος μέσω των ακόλουθων διαδικασιών:

- a) Πρόσληψη από τα φυτά
- b) Εκχύλιση
- c) Αεριώδεις απώλειες Gaseous losses
- d) Εξάτμιση της αμμωνίας NH_3
- e) Απονιτροποίηση
- f) Διάβρωση
- g) Ακινητοποίηση

7.2.3 Ο Κύκλος του Φωσφόρου

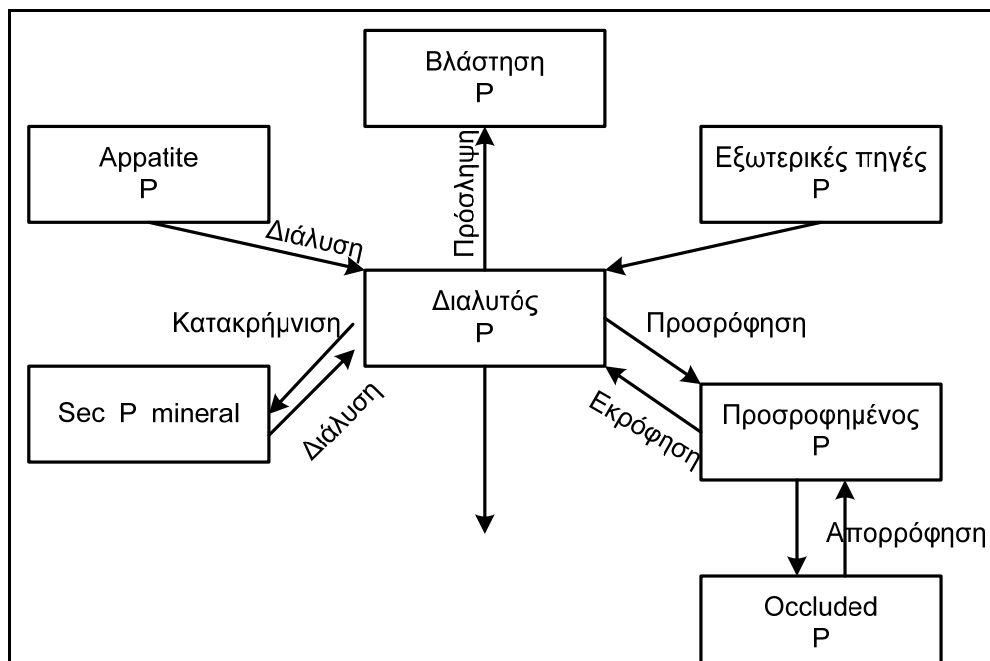
Ο φώσφορος είναι ένα θρεπτικό συστατικό το οποίο χρησιμοποιείται από όλους τους οργανισμούς για τη φυσική εξέλιξη της ζωής. Είναι ένα φυσικό στοιχείο το οποίο συναντάται στους βράχους, το έδαφος και την οργανική ύλη. Λόγω του ότι προσκολλάται σφιχτά στα σωματίδια του χώματος και χρησιμοποιείται από τα φυτά, η συγκέντρωσή του στα γλυκά νερά είναι γενικά πολύ χαμηλή. Παρόλα αυτά, ο φώσφορος χρησιμοποιείται εκτενώς στα λιπάσματα και σε άλλα χημικά, για αυτό μπορεί να βρεθεί σε μεγάλες συγκεντρώσεις σε περιοχές με ανθρώπινες δραστηριότητες. Φαινομενικά αυτές οι δραστηριότητες είναι ακίνδυνες αλλά το άθροισμα αυτών είναι αρκετά καταστροφικό για τα υδάτινα οικοσυστήματα.

Κύκλος του φωσφόρου ονομάζουμε την κυκλική μεταφορά του φωσφόρου από το έδαφος και τα φωσφορικά πετρώματα στα φυτά και τα ζώα. Ο φώσφορος (P) είναι σημαντικό συστατικό της έμβιας ύλης και η σχετική σπανιότητά του τον καθιστά περιοριστικό παράγοντα για την ανάπτυξη των οργανισμών. Έτσι, Η παραγωγικότητα πολλών οικοσυστημάτων ελέγχεται σε μεγάλο βαθμό από το φώσφορο, για αυτό και θεωρείται ο μεγάλος ρυθμιστής των άλλων βιογεωχημικών κύκλων. Πολλοί επιστήμονες θεωρούν το φώσφορο ως τον αδύνατο κρίκο στην αλυσίδα της ζωής πάνω στη Γη, διότι ο κύκλος του είναι σχετικά ατελής και ανοικτός [55,56]. Όλες οι ενώσεις του φωσφόρου συναντώνται στα νερά είτε διαλυμένες, είτε σαν σωματίδια, είτε στο σώμα των υδρόβιων οργανισμών. Ο φώσφορος όπως και το άζωτο, είναι βασικό στοιχείο για την ανάπτυξη των αλγών και η περιεκτικότητά τους στα νερά αποτελεί καθοριστικό παράγοντα στον ευτροφισμό των επιφανειακών υδάτων. Η μεγαλύτερη ποσότητα ανόργανου φωσφόρου οφείλεται στα ανθρώπινα λύματα και προέρχεται από τη διάσπαση των πρωτεϊνών κατά το μεταβολισμό. Η σωματιδιακή μορφή του φωσφόρου περιλαμβάνει το ζωντανό ή νεκρό φυτοπλαγκτόν, τον κατακρημνιζόμενο (precipitates) φώσφορο, ο προσροφούμενος σε σωματίδια φώσφορος και ο άμορφος φώσφορος. Στη διαλυτή μορφή περιλαμβάνεται ο ανόργανος φώσφορος και ο οργανικός. Συνήθως στα φυσικά ύδατα ο φώσφορος συναντάται με τη μορφή των φωσφορικών (PO_4^{-3}) τα οποία χωρίζονται σε ανόργανα φωσφορικά (συμπεριλαμβανομένων των ορθοφωσφορικών και των πολυφωσφορικών) και σε οργανικά (organically-bound phosphate) [64].

Τα φωσφορικά δεν είναι τοξικά στους ανθρώπους και τα ζώα εάν δεν βρίσκονται σε υψηλά επίπεδα. Σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να δημιουργηθούν προβλήματα χώνευσης.

Στα γλυκά νερά και τα ποτάμια, ο φώσφορος εμφανίζεται συχνά ως περιοριστικός παράγοντας, γιατί βρίσκεται σε μικρότερη ποσότητα συγκριτικά με τις ανάγκες των φυτών. Εάν στα νερά προστεθεί μεγάλη ποσότητα φωσφόρου και νιτρικών τότε τα άλγη και τα υδρόβια φυτά μπορεί να παραχθούν σε

μεγάλες ποσότητες. Μετά το θάνατο των αλγών, τα βακτήρια που τα αποσυνθέτουν καταναλώνουν οξυγόνο. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται ευτροφισμός. Η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου μπορεί να μειωθεί σε σημαντικό βαθμό, τα ψάρια και οι ζωντανοί οργανισμοί να μην μπορούν να αναπνεύσουν με αποτέλεσμα το θάνατο αυτών. Η έλλειψη οξυγόνου στα βαθιά νερά μπορεί να οδηγήσει σε απελευθέρωση του φωσφόρου που βρισκόταν παγιδευμένος στο ίζημα, με αποτέλεσμα την περαιτέρω αύξηση του διαθέσιμου φωσφόρου [64].



Σχήμα 7.3 Κύκλος Φωσφόρου στο Χερσαίο Περιβάλλον [56].

7.2.3.1 Είδη Φωσφορικών

❖ Οργανικά Φωσφορικά

Είναι τα φωσφορικά που εντοπίζονται στους ιστούς των φυτών και των ζώων. Βασικά σχηματίζονται λόγω των βιολογικών διεργασιών αλλά επίσης σχηματίζονται στα νερά των αποχετεύσεων με τη συνεισφορά του κύριου όγκου των υγρών αποβλήτων καθώς και των υπολειμμάτων τροφών. Ένας άλλος τρόπος σχηματισμού των οργανικών φωσφορικών είναι από τα ορθοφωσφορικά μέσω των διαδικασιών βιολογικής επεξεργασίας ή (by receiving water biota). Τα οργανικά φωσφορικά μπορεί να είναι αποτέλεσμα των οργανικών φυτοφαρμάκων τα οποία περιέχουν φωσφορικά [64].

❖ Ανόργανα Φωσφορικά

Είναι εκείνα που δεν σχετίζονται με την οργανική ύλη. Περιλαμβάνουν τα **ορθοφωσφορικά** και τα **πολυφωσφορικά**. Τα ορθοφωσφορικά μερικές φορές αναφέρονται και σαν ‘ενεργός φώσφορος’, είναι το πιο σταθερό είδος φωσφορικών και είναι η μορφή η οποία χρησιμοποιείται από τα φυτά. Τα ορθοφωσφορικά σχηματίζονται μέσω φυσικών διαδικασιών και βρίσκονται συχνά στα αποχετευτικά ύδατα. Τα πολυφωσφορικά (επίσης γνωστά και σαν μεταφωσφορικά ή συμπυκνωμένα φωσφορικά) (metaphosphates or condensed phosphates) δημιουργούν πολύ ισχυρούς δεσμούς με κάποια μεταλλικά ιόντα. Τα πολυφωσφορικά χρησιμοποιούνται επεξεργασία boiler water και στα απορρυπαντικά. Στο νερό τα πολυφωσφορικά είναι ασταθή και τελικά μετατρέπονται σε ορθοφωσφορικά.

7.2.3.1 Κύριες Ανθρωπογενείς Πηγές Φωσφόρου

Η ανθρώπινη δραστηριότητα επιβαρύνει την ατέλεια του κύκλου του φωσφόρου. Μεγάλες ποσότητες φωσφορούχων ουσιών εξορύσσονται από τα φυσικά αποθέματα της λιθόσφαιρας, μετατρέπονται σε φωσφορικά άλατα από τη βιομηχανία λιπασμάτων ή απορρυπαντικών και τελικά καταλήγουν στην υδρόσφαιρα και εν μέρει στο βυθό των ωκεανών [55].

Τα αστικά υγρά απόβλητα περιέχουν σημαντικές ποσότητες φωσφόρου, εξαιτίας κυρίως των χρησιμοποιούμενων απορρυπαντικών, το ίδιο δε συμβαίνει με μερικά βιομηχανικά απόβλητα. Ο φώσφορος των αποβλήτων αυτών έχει γίνει αιτία προχωρημένων αυτοτροφικών καταστάσεων σε λίμνες και παράκτια ύδατα. Μικρότερη είναι η συμβολή των φωσφορούχων λιπασμάτων, λόγω των αδιάλυτων ενώσεων που σχηματίζει ο φώσφορος με χημικά στοιχεία που περιέχονται στο έδαφος [55].

7.2.4 Διαφορές Κύκλων Αζώτου και Φωσφόρου

Αν και το άζωτο είναι τόσο σημαντικό για τη ζωή όσο και ο φώσφορος διαφέρουν όσον αφορά τους βιογεωχημικούς τους κύκλους στα εξής:

- Το άζωτο στη μοριακή του μορφή είναι αέριο, παρουσιάζεται δηλαδή και στην αέρια φάση. Όπως έχει ήδη αναφερθεί τα μπλε-πράσινα άλγη ευθύνονται για τη δημιουργία ελεύθερου αζώτου. Αυτό τους δίνει το συγκριτικό πλεονέκτημα σε περιπτώσεις, όπου άλλες μορφές του αζώτου δεν θα είναι σε μεγάλη διαθεσιμότητα. Το στάδιο αυτό του κύκλου του αζώτου είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε περιπτώσεις, που κάποιο σχέδιο διαχείρισης περιλαμβάνει απομάκρυνση του αζώτου. Σε αυτές τις περιπτώσεις τα κυανοπράσινα άλγη κυριαρχούν [65].
- Οι ανόργανες μορφές του αζώτου δε ροφώνται τόσο ισχυρά όσο ο φώσφορος. Κατά συνέπεια, αν και ορισμένες μορφές του αζώτου μεταφέρονται στον πυθμένα λόγω καθίζησης εισάγονται εύκολα πίσω στο νερό λόγω επαναιώρησης ή επαναδιάλυσης. Επιπρόσθετα οι ανόργανες μορφές του αζώτου (και ειδικότερα τα νιτρικά) είναι περισσότερο κινητικά στο υπόγειο νερό [65].
- Η απονιτροποίηση αναπαριστά ένα μηχανισμό καθαρισμού, ο οποίος όμως δεν συμβαίνει για το φώσφορο. Η απονιτροποίηση συμβαίνει υπό την απουσία οξυγόνου και για το λόγο αυτό είναι ασημαντος μηχανισμός για αρκετούς επιφανειακούς υδάτινους αποδέκτες αλλά σημαντικός για ανοξικούς πυθμένες και ιζήματα [65].

7.3 ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ

7.3.1 Μηχανισμοί Προσρόφησης

Η προσρόφηση είναι μια από τις κυριότερες φυσικοχημικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα σε εδάφη. Γενικότερα, με τον όρο προσρόφηση εννοούμε την αύξηση της συγκέντρωσης σε μία διεπιφάνεια υγρού-στερεού ή αερίου-στερεού. Η χημική ουσία που προσροφάται στη διεπιφάνεια ονομάζεται 'προσρόφημα' και το στερεό πάνω στην επιφάνεια του οποίου γίνεται η προσρόφηση ονομάζεται προσροφητικό υλικό ή 'προσροφητής' [64]. Η προσρόφηση στα εδάφη είναι μία σημαντική διεργασία που επηρεάζει την κινητικότητα των θρεπτικών ουσιών και των ρυπαντών μέσα σε αυτά και παρέχει τη δυνατότητα απομάκρυνσης θρεπτικών συστατικών, μετάλλων, οργανικών ουσιών κ.α μέσω της συγκράτησης τους στην επιφάνεια των εδαφικών σωματιδίων, επομένως, συμβάλλει καθοριστικά στη γονιμότητα και τη ρύπανση/απορρύπανση των εδαφών και των υδάτων (υπόγειων και επιφανειακών) καθώς και τη χημική διάβρωση των ορυκτών στο υπέδαφος. Υπάρχουν τρεις μηχανισμοί προσρόφησης, μέσω των οποίων τα προσροφημένα μόρια συγκρατούνται στην επιφάνεια του προσροφητή, η προσρόφηση για τα περισσότερα συστήματα προκαλείται από το συνδυασμό των μηχανισμών αυτών [64], οι οποίοι είναι:

- **Φυσική προσρόφηση:** Η προσρόφηση αυτού του τύπου οφείλεται στις ασθενείς δυνάμεις Van der Waals. Σε αυτό το μηχανισμό προσρόφησης το προσροφούμενα μόρια κινούνται ελεύθερα στην επιφάνεια προσρόφησης και δεν συγκρατούνται σε κάποιο συγκεκριμένο σημείο.
- **Ηλεκτροστατική προσρόφηση:** Η προσρόφηση οφείλεται σε ηλεκτροστατικές δυνάμεις έλξης (περίπτωση ιονανταλλαγής). Τα ιόν συγκρατείται στην επιφάνεια του στερεού από αντίθετα ηλεκτροστατικά φορτία
- **Χημική προσρόφηση:** Είναι ο μηχανισμός της προσρόφησης κατά την οποία το προσρόφημα αντιδρά χημικά με την επιφάνεια του προσροφητή και υπάρχει χημικός δεσμός μεταξύ του διαλυτού μορίου και της επιφάνειας (δεσμοί υδρογόνου, αλληλεπιδράσεις δίπολων) [69].

Η φυσική προσρόφηση παρατηρείται κυρίως σε χαμηλές θερμοκρασίες και χαρακτηρίζεται από χαμηλή ενέργεια προσρόφησης [64], ενώ η χημική προσρόφηση παρατηρείται σε υψηλές θερμοκρασίες και χαρακτηρίζεται από υψηλές ενέργειες προσρόφησης.

Στη διαδικασία της προσρόφησης καθοριστικό ρόλο παίζουν οι ιδιότητες της επιφάνειας του προσροφητικού υλικού, όπως η ειδική επιφάνεια, οι επιφανειακές ενεργές θέσεις, οι σταθερές πρόσληψης και αποβολής πρωτονίων από την επιφάνεια και η ανάπτυξη του φορτίου της επιφάνειας [67].

7.3.2 Βήματα Προσρόφησης

Η προσρόφηση ακολουθεί τα παρακάτω στάδια:

- Μεταφορά του προσροφούμενου υλικού με διάχυση, μέσω της κύριας μάζας του υγρού στο οριακό στρώμα του σταθεροποιημένου υγρού φιλμ που περιλαμβάνει τον προσροφητή
- Μεταφορά των προσροφούμενων μορίων με διάχυση δια μέσου του λεπτού υγρού φιλμ, προς την είσοδο των πόρων του προσροφητή.
- Μεταφορά με διάχυση, μέσω των πόρων (όταν το προσροφητικό υλικό είναι πορώδες)
- Προσρόφηση των μορίων από την ενεργή επιφάνεια, δημιουργία του δεσμού προσρόφησης.

Από τα στάδια που περιγράφονται παραπάνω το πρώτο και το τελευταίο είναι πολύ γρήγορα, ενώ ένα από τα άλλα δυο είναι το περιοριστικό στάδιο. Μάλιστα το πιο αργό στάδιο λέγεται ρυθμορυθμιστικό. Στην περίπτωση που η χημική προσρόφηση είναι ο βασικός μηχανισμός έχει βρεθεί ότι το τελευταίο στάδιο είναι το ρυθμορυθμιστικό. Το μέγεθος του στρώματος του υγρού, που είναι προσκολλημένο στην επιφάνεια, εξαρτάται από το καθεστώς ροής. Η διάχυση δια μέσου των πόρων εξαρτάται τόσο από το μέγεθος των πόρων, όσο και από το μέγεθος των μορίων [64].

7.3.3 Ιδιότητες της Επιφάνειας των Ιζημάτων

ο *Ειδική Επιφάνεια*

Η ειδική επιφάνεια των ιζημάτων προκύπτει από το σύνολο της επιφάνειας όλων των επιμέρους στερεών συστατικών του ιζήματος και εκφράζεται σε μονάδες επιφάνειας προς το βάρος του ιζήματος (m^2/g). Η ειδική επιφάνεια των ιζημάτων ποικίλει, λόγω των διαφορών στην ορυκτολογική τους σύσταση, την κοκκομετρία και την ποσότητα της οργανικής ουσίας που περιέχουν. Η ικανότητα προσρόφησης των εδαφών, σχετίζεται ισχυρά με την ειδική επιφάνειά τους, αφού εκεί βρίσκονται οι ενεργές ομάδες που αντιδρούν με τα διάφορα ιόντα και προκαλούν τις αντιδράσεις της προσρόφησης [68].

ο *Ενεργές Θέσεις*

Οι ενεργές θέσεις στην επιφάνεια του μορίου μπορούν να χαρακτηριστούν ως χημικώς ενεργές μοριακές μονάδες, οι οποίες βρίσκονται στην περιφέρεια της δομής του στερεού υλικού, έτσι ώστε τα ενεργά συστατικά της ομάδας να έχουν τη δυνατότητα να βαπτίζονται μέσα σε ένα ρευστό μέσο. Οι ενεργές ομάδες επιφανείας μπορεί να είναι οργανικές ή ανόργανες. Οι συνηθέστερες και πιο δραστικές ενεργές επιφανειακές ομάδες στην επιφάνεια των εδαφών και ιζημάτων είναι οι ομάδες υδροξυλίων που συντάσσονται στην περιφέρεια των ορυκτών. Αυτό το είδος των OH-ομάδων απαντάται στα φυλλοπυριτικά, τα άμορφα πυριτικά ορυκτά $[\text{Si}(\text{OH})_4]$, τα οξείδια των μετάλλων $[\text{FeO}, \text{MnO}, \text{PbO}]$, τα υδροξείδια $[\text{Al}(\text{OH})_3, \text{Fe}(\text{OH})_3]$ και υδροξείδια $[\text{FeO}(\text{OH})]$ [56].

Σύμπλοκα επιφανείας

Κατά την αλληλεπίδραση μιας ενεργής ομάδας της επιφάνειας με ένα ιόν ή μόριο που εμφανίζεται στο αιώρημα του ιζήματος, δημιουργείται μία σταθερή μοριακή οντότητα στην επιφάνεια του ιζήματος, η οποία ονομάζεται σύμπλοκο επιφανείας. Η συνολική αντίδραση αναφέρεται ως επιφανειακή σύμπλοκοποίηση και διακρίνεται σε δύο είδη εσωτερικής επιφάνειας και εξωτερικής επιφάνειας. Η δημιουργία συμπλόκων έχει μεγάλη σημασία στην περιβαλλοντική χημεία. Η τοξικότητα των μετάλλων και ιχνοστοιχείων στους υδρόβιους οργανισμούς προσδιορίζεται από την

ενεργότητα των ελεύθερων ιόντων και όχι από την ολική διαλυτή συγκέντρωση. Έτσι, η δημιουργία συμπλόκων μειώνει την τοξικότητα των βαρέων μετάλλων.

ο Επιφανειακό φορτίο

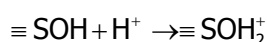
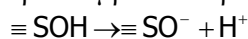
Πολλές φυσικές και χημικές ιδιότητες των εδαφών και ιζημάτων εξαρτώνται άμεσα ή έμμεσα από τη φύση και την ποσότητα του φορτίου στην επιφάνειά τους, όπως επίσης και από τη μεταβολή του φορτίου επιφανείας τους με τα χαρακτηριστικά των διαλυμάτων τους. Οι ιδιότητες αυτές περιλαμβάνουν τη διασπορά, τη θρόμβωση, τη διαλυτότητα και την προσρόφηση διαφόρων ιόντων (Διδ). Κατά συνέπεια, οι αντιδράσεις επιφανείας των φορτισμένων σωματιδίων παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στη βιοχημικό κύκλο των θρεπτικών συστατικών και των ρύπων, στην αποδόμηση των μικροβιοκτόνων και την αποκατάσταση των ρυπασμένων εδαφών. Τα συστατικά των εδαφών και ιζημάτων εμφανίζουν αρνητικό φορτίο στην επιφάνειά τους, εξαιτίας του ιονισμού των ομάδων της επιφανείας τους, το οποίο μπορεί να είναι μόνιμο ή μεταβαλλόμενο. Μόνιμο και μεταβαλλόμενο φορτίο σχηματίζεται με τις τρεις διαδικασίες που περιγράφονται παρακάτω:

(α) Ισόμορφη αντικατάσταση

Στο πλέγμα των αργιλικών ορυκτών αναπτύσσεται μόνιμο φορτίο με την αντικατάσταση ιόντων ίδιου μεγέθους αλλά διαφορετικού φορτίου. Με την υποκατάσταση κατιόντων υψηλότερου σθένους από άλλα χαμηλότερου (Si^{4+} από Al^{3+} ή του Al^{3+} από Mg^{2+}) προκύπτει αρνητικά φορτισμένο πλέγμα, ενώ κατά την υποκατάσταση κατιόντων χαμηλότερου σθένους από άλλα υψηλότερου (π.χ. του Mg^{2+} από Al^{3+}) προκύπτει θετικά φορτισμένο πλέγμα.

(β) Πρόσληψη και αποβολή ηλεκτρονίων-χημικές αντιδράσεις στην επιφάνεια

Το φορτίο μπορεί να δημιουργηθεί από χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στην επιφάνεια. Όταν η επιφάνεια έρθει σε επαφή με το νερό, τότε τα μόρια του νερού συντάσσονται έτσι ώστε να εξουδετερωθεί το φορτίο του μετάλλου. Τα μόρια του νερού διασπώνται και ένα υδρογόνο συντάσσεται με το οξυγόνο, αφήνοντας το υδροξύλιο με το μέταλλο. Έτσι, το μόριο του νερού «συμπληρώνει» και «ισορροπεί» την επιφάνεια από πλευράς οξυγόνου για τα άτομα του μετάλλου και από πλευράς υδρογόνου για τα άτομα του οξυγόνου. Με αυτό τον τρόπο η επιφάνεια των οξειδίων του μετάλλου καλύπτεται από υδροξύλια όταν έρχεται σε επαφή με το νερό. Αυτή η ομάδα παριστάνεται χημικά ως $\equiv\text{SOH}$ [69]. Τα οξείδια έχουν την ιδιότητα του μεταβλητού φορτίου, το οποίο εξαρτάται από την τιμή του pH. Όταν το pH του διαλύματος είναι χαμηλό, οι υδροξυλομάδες προσλαμβάνουν H, με αποτέλεσμα περίσσεια φορτίου. Αντίστοιχα, όταν το pH είναι υψηλό, οι υδροξυλομάδες αποβάλλουν H^+ , με αποτέλεσμα την εμφάνιση αρνητικού φορτίου στην επιφάνεια. Έτσι, μέσα σε αιώρημα ύδατος, οι OH-ομάδες της επιφανείας των ορυκτών αποβάλλουν ή προσλαμβάνουν πρωτόνια ανάλογα με το pH του διαλύματος, σύμφωνα με τις αντιδράσεις:



(γ) Ειδική προσρόφηση ανιόντων και κατιόντων

Κατά τη διάρκεια της προσρόφησης ενός ανιόντος, το φορτίο που προστίθεται στην επιφάνεια εξαρτάται από το φορτίο του ανιόντος, αλλά διαφέρει για ανιόντα του ίδιου φορτίου. Αυτό οφείλεται στη θέση την οποία καταλαμβάνει το ιόν στο επίπεδο της προσρόφησης. Εάν το επίπεδο της προσρόφησης βρίσκεται μακριά από την επιφάνεια του στερεού, τότε η εξισορρόπηση του φορτίου γίνεται κυρίως έξω από τα όρια της επιφανείας. Έτσι, όταν η επιφάνεια είναι θετικά φορτισμένη, το φορτίο του προσροφημένου ανιόντος φαίνεται πως εξισορροπείται με απομάκρυνση ανιόντων του ηλεκτρολύτη. Όταν η επιφάνεια είναι θετικά φορτισμένη, το φορτίο του προσροφημένου ανιόντος εξισορροπείται με προσρόφηση κατιόντων του ηλεκτρολύτη. Αυτές οι διαδικασίες έχουν σαν αποτέλεσμα το καθαρό φορτίο που προσφέρεται στην επιφάνεια να είναι μεγάλο. Από την άλλη πλευρά, εάν το επίπεδο της προσρόφησης είναι κοντά στην επιφάνεια, το φορτίο στα προσροφημένα ανιόντα εξισορροπείται κυρίως μέσα στα όρια της επιφανείας με την πρόσληψη H^+ ή αποβολή OH^- , με αποτέλεσμα το καθαρό φορτίο που προσφέρεται στην επιφάνεια να είναι μικρό. [70]

7.3.3.1 Παράγοντες που Επηρεάζουν το Επιφανειακό Φορτίο

Η ποσότητα και η φύση του επιφανειακού φορτίου εξαρτάται από τη φύση του κατιόντος και του ανιόντος που προσροφάται στην επιφάνεια, από την τιμή του pH και τη συγκέντρωση του ηλεκτρολύτη [71]. Το επιφανειακό φορτίο επηρεάζεται κυρίως από τα χαρακτηριστικά του εδάφους. Η φύση και η ποσότητα των στερεών των εδαφών και των ιζημάτων επηρεάζει τόσο το μόνιμο όσο και το μεταβαλλόμενο φορτίο τους, ενώ η σύσταση των αιωρημάτων τους επηρεάζει κυρίως τις συνιστώσες του μεταβαλλόμενου φορτίου. Πιο συγκεκριμένα οι παράγοντες που επηρεάζουν το επιφανειακό φορτίο είναι:

α. Σύσταση του ιζήματος

Οι πηγές του επιφανειακού φορτίου στα ιζήματα είναι τόσο τα ανόργανα όσο και τα οργανικά συστατικά. Η κυριότερη πηγή επιφανειακού φορτίου, μεταξύ των οργανικών συστατικών είναι οι ενεργές ομάδες των χουμικών ενώσεων. Τα ανόργανα συστατικά που αποτελούν πηγές του επιφανειακού φορτίου είναι όλα τα πυριτικά ορυκτά και τα μη κρυσταλλικά ανόργανα υλικά των ιζημάτων. Τα αργιλοπυριτικά ορυκτά φέρουν κυρίως μόνιμο φορτίο. Τα ανόργανα συστατικά του ιζήματος προσφέρουν μόνο μεταβαλλόμενο φορτίο.

β. Ιοντική Ισχύς

Έχει παρατηρηθεί ότι αυξάνοντας τη συγκέντρωση του ηλεκτρολύτη του διαλύματος, αυξάνεται το καθαρό επιφανειακό φορτίο. Δηλαδή, αυξάνεται το αρνητικό φορτίο πάνω από το PZC και το θετικό φορτίο κάτω από το PZC. Κατά την προσρόφηση λοιπόν ενός ανιόντος και με την προϋπόθεση ότι λαμβάνουν χώρα μόνο δυνάμεις Coulomb, η αύξηση του ιοντικού σθένους προκαλεί μείωση της προσρόφησης του ανιόντος πάνω από το PZC και αύξηση αυτής κάτω από το PZC.

Σημείωση: **PZC** είναι το σημείο μηδενικού φορτίου (point of zero charge), σημαντική παράμετρος των σωματιδίων των ιζημάτων που εμφανίζουν μεταβαλλόμενο φορτίο. Πιο συγκεκριμένα ορίζεται, ως η τιμή του pH του αιωρήματος, στην οποία μία ή περισσότερες συνιστώσες του επιφανειακού φορτίου μηδενίζονται. Σε τιμές pH μεγαλύτερες από το pH_{PZC} η επιφάνεια των σωματιδίων παρουσιάζει περίσσεια αρνητικού φορτίου, ενώ σε τιμές pH μικρότερες του pH_{PZC} εμφανίζεται περίσσεια θετικού φορτίου.

γ. Σύσταση του εδαφικού διαλύματος

Η προσρόφηση μπορεί να ελεγχθεί από τη δράση διαφόρων οργανικών ριζών. Αυτή η παρατήρηση έγινε μελετώντας την προσρόφηση του Cd^{2+} , κατά την οποία ανακαλύφθηκε ότι ακόμα και σε χαμηλά pH αυξάνεται σημαντικά η προσρόφηση του Cd^{2+} με τη χρήση οργανικών υποκαταστατών. Στην ουσία οι υποκαταστάτες αυτοί επηρεάζουν το επιφανειακό φορτίο των σωματιδίων του εδάφους και κατά συνέπεια τις ελκτικές και απωθητικές δράσεις μεταξύ των προσροφούμενων ιόντων και της επιφάνειας.

δ. Σύσταση του υδατικού διαλύματος - pH

Η σύσταση του υδατικού διαλύματος επηρεάζει έμμεσα το επιφανειακό φορτίο, αφού επηρεάζει την ιοντική ισχύ και pH του διαλύματος. Πιο συγκεκριμένα, το pH επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό τις επιφανειακές ιδιότητες των εδαφικών συστατικών με μεταβαλλόμενο φορτίο με την προσρόφηση υδρογόνων H^+ πάνω στις υδροξυλομάδες και με τον αποχωρισμό των ενεργών ομάδων από την οργανική ουσία. Με την αύξηση του pH προκαλείται αύξηση του αρνητικού φορτίου με αποτέλεσμα να προσροφούνται τα κατιόντα. Αντίθετα, με τη μείωση του pH προκαλείται αύξηση του θετικού φορτίου και κατά συνέπεια προσρόφηση των ανιόντων.

ε. Προσρόφηση ανιόντων και κατιόντων

Συνεισφορά στο επιφανειακό φορτίο έχουν τα τυχόν προσροφημένα ανιόντα και κατιόντα στην επιφάνεια. Τα φορτίο που προστίθεται στην επιφάνεια εξαρτάται από το φορτίο του ανιόντος, αλλά διαφέρει για ανιόντα του ίδιου φορτίου.

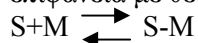
7.3.4 Μοντέλα Προσρόφησης

Υπάρχουν δύο είδη μοντέλων, τα εμπειρικά μοντέλα και αυτά που στηρίζονται στην επιφανειακή συμπλοκοποίηση. Τα εμπειρικά μοντέλα είναι εξισώσεις που περιγράφουν την προσρόφηση σε

σταθερό pH, ενώ τα μοντέλα επιφανειακής συμπλοκοποίησης περιγράφουν τη διαδικασία σε μεταβλητό pH (Νικολαΐδης, 2005).

7.3.4.1 Μοντελοποίηση Προσρόφησης σε Σταθερό pH

Η εξίσωση που περιγράφει την προσρόφηση η διαλυτής ουσίας M η οποία προσροφάται πάνω σε μία επιφάνεια με θέσεις προσρόφησης, S είναι:



Σε κατάσταση ισορροπίας, η συγκέντρωση της προσροφημένης ουσίας θα αυξάνεται με την αύξηση της συγκέντρωσης της στο διάλυμα. Αύτη η κατάσταση περιγράφεται από τις ισόθερμους [69]. Υπάρχει μεγάλος αριθμός πρότυπων ισόθερμων εξισώσεων που χρησιμοποιούνται για να συσχετιστούν τα πειραματικά δεδομένα της προσρόφησης σε σταθερό pH. Στην απλούστερη μορφή τους οι εξισώσεις θεωρούν στιγμιαία προσέγγιση της ισορροπίας, αλλά μπορούν επίσης να τροποποιηθούν έτσι ώστε να παρουσιάζουν μία χρονικά μεταβαλλόμενη προσέγγιση (Κινητική) της ισορροπίας [72].

❖ Μοντέλο προσρόφησης Kd (Γραμμική κατανομή)

Το εν λόγω μοντέλο χρησιμοποιείται κυρίως όταν οι συγκεντρώσεις της διαλυμένης ουσίας είναι χαμηλές στις οποίες παρατηρείται γραμμική συσχέτιση μεταξύ της προσρόφησης και διαλυτής συγκέντρωσης. Ο συντελεστής κατανομής μεταξύ της στερεάς και της υδατικής φάσης είναι ο K_d και δίνεται από την εξίσωση [69]:

$$K_d = \frac{[S-M] \text{ } \mu\text{g/g}}{[M] \text{ } \mu\text{g/ml}}$$

Όπου το S συμβολίζει την επιφάνεια του στερεού και το M την προσροφημένη ουσία. Ο συντελεστής K_d είναι μία εμπειρική έκφραση της προσρόφησης ισορροπίας [73]

❖ Μοντέλο Freundlich

Η εξίσωση του Freundlich έχει τη γενική μορφή:

$$Q = k_F C^{1/n}$$

Η εξίσωση αυτή είναι μία μη γραμμική εξίσωση (λόγω του συντελεστή $1/n$) όπου K_F είναι μία σταθερά που εκφράζει την προσροφητική ικανότητα του στερεού (m^3/kg), n = σταθερά προσρόφησης, q_e η προσροφημένη μάζα ανά μονάδα μάζας προσροφητή (kg / kg) και C_e είναι η συγκέντρωση της απομένουσας διαλυμένης ουσίας(kg/m^3) [64]. Η εξίσωση αυτή έχει τη δυνατότητα να συσχετίζει δεδομένα προσρόφησης σχεδόν σε όλα τα εδάφη. Παρ' όλα αυτά έχει το μειονέκτημα ότι δεν καθορίζει μία μέγιστη τιμή προσρόφησης.

Πολλές φορές η εξίσωση του Freundlich χρησιμοποιείται με τη γραμμικοποιημένη μορφή:

$$\log Q = \log k_F + \frac{1}{n} \log C$$

Όταν το n είναι πολύ μεγάλο από τη γραμμικοποιημένη μορφή φαίνεται ότι το Q_e γίνεται ανεξάρτητο της συγκέντρωσης C_e . Η ισόθερμη καμπύλη (Q_e , C_e) γίνεται οριζόντια και η προσρόφηση ονομάζεται μη αντιστρεπτή. Όταν το $1/n$ είναι μεγάλο, ο δεσμός προσρόφησης είναι ασθενής και το Q_e εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την τιμή του C_e . Η σταθερά K_F δείχνει τη δυναμικότητα του προσροφητικού για τη συγκεκριμένη ουσία [64].

❖ Μοντέλο Langmuir

Η εξίσωση του Langmuir είναι:

$$Q = Q_{\max} \left[\frac{k_L C}{1 + k_L C} \right]$$

Όπου Q_{\max} είναι η μέγιστη τιμή του Q , όταν αυξάνεται το C_e . Αντιστοιχεί στην επικάλυψη της επιφάνειας του προσροφητικού με ένα μονομοριακό στρώμα της προσροφώμενης ουσίας (gr/Kg). Το k_L είναι μία σταθερά που σχετίζεται με την ενέργεια προσρόφησης και αυξάνεται με την αύξηση της ισχύος του δεσμού προσρόφησης [64].

Η εξίσωση του Langmuir χρησιμοποιείται κυρίως με τη γραμμικοποιημένη του μορφή:

$$\frac{C}{Q} = \frac{1}{Q_{\max} k_L} + \frac{C}{Q_{\max}} \text{ με κλίση } 1/k_L \text{ και σημείο τομής με τον άξονα των } y \text{ } \frac{1}{Q_{\max} K_L}$$

Για τη διατύπωση της εξίσωσης ο Langmuir έκανε τις παράκατω υποθέσεις :

1. Η προσρόφηση εμφανίζεται πάνω σε επίπεδες επιφάνειες που έχουν συγκεκριμένο αριθμό πανομοιότυπων θέσεων και μπορούν να κρατήσουν μόνο ένα μόριο ανά θέση. Έτσι, επιτρέπεται μονοστρωματική κάλυψη της επιφάνειας, η οποία εκφράζει και τη μέγιστη προσρόφηση.
2. Η προσρόφηση είναι αναστρέψιμη.
3. Δεν παρατηρείται πλευρική μετατόπιση των μορίων πάνω στην επιφάνεια.
4. Όλες οι θέσεις προσρόφησης έχουν την ίδια ενέργεια, η οποία εξαρτάται από την κάλυψη της επιφάνειας, ενώ δεν αναπτύσσονται αντιδράσεις μεταξύ των προσροφηθέντων μορίων(δηλ. Το προσροφηθέν ιόν συμπεριφέρεται ιδανικά).

Οι περισσότερες από τις παραπάνω υποθέσεις δεν εφαρμόζονται σε ετερογενείς επιφάνειες, επιτρέποντας στην εξίσωση του Langmuir να χρησιμοποιείται καθαρά για ποιοτικούς και περιγραφικούς σκοπούς [67].

Πολλοί ερευνητές έδειξαν ότι τα δεδομένα της κατακράτησης μπορούν να περιγραφούν με την εξίσωση του Langmuir από επιμέρους γραμμικά τμήματα, αποδίδοντας τα σε διαφορετικές θέσεις προσρόφησης. Επίσης, συμπέραναν, ότι εάν τα δεδομένα της κατακράτησης προσαρμόζονται στην εξίσωση του Langmuir, τότε λαμβάνει χώρα προσρόφηση και οι αποκλίσεις που παρατηρούνται οφείλονται πιθανότατα σε κατακρήμνιση ή σε άλλους μηχανισμούς που λαμβάνουν χώρα ταυτόχρονα. Προκύπτει, επομένως, ότι η εξίσωση Langmuir μπορεί να περιγράψει τόσο την προσρόφηση όσο και την κατακρήμνιση [74].

❖ *Εξίσωση Langmuir διπλής επιφάνειας*

Σε κάποιες περιπτώσεις όπου η απλή εξίσωση του Langmuir δεν συσχετίζει απόλυτα τα δεδομένα της προσρόφησης, χρησιμοποιείται το μοντέλο της διπλής επιφάνειας. Η εξίσωση διπλής επιφάνειας του Langmuir περιλαμβάνει δύο όρους ο καθένας με διαφορετικούς συντελεστές όπως δίνεται παρακάτω:

$$Q = Q_{\max,1} \left[\frac{K_{L1} C}{1 + K_{L1} C} \right] + Q_{\max,2} \left[\frac{K_{L2} C}{1 + K_{L2} C} \right]$$

Σε αυτή την περίπτωση υπάρχουν δύο μέγιστα προσρόφησης $Q_{\max,1}$ και $Q_{\max,2}$ με συνέπεια ο κορεσμός να προσδιορίζεται σαν το άθροισμα αυτών ($Q_{\max,1} + Q_{\max,2}$). Αυτό αναπαριστά την προσρόφηση από ένα στερεό (ή το έδαφος) το οποίο περιέχει δύο ευδιάκριτους πληθυσμούς από θέσεις προσρόφησης. Ο ένας πληθυσμός δημιουργεί ισχυρούς χημικούς δεσμούς ενώ ο άλλος πολύ πιο αδύναμους (τυπικά γύρω στις 100 φορές της δύναμης, δηλαδή $K_{L1} \approx 100 \times K_{L2}$, αλλά με πληθυσμό τρεις φορές μεγαλύτερο των ισχυρών χημικών δεσμών, δηλαδή $Q_{\max,2} \approx 3 \times Q_{\max,1}$ (McGechan).

Σχηματικά, η ισόθερμος αυτής της εξίσωσης παρουσιάζει πολλές ομοιότητες με την ισόθερμο του Freundlich, αλλά και σε αυτή την περίπτωση παρουσιάζεται μέγιστο προσρόφησης.

7.3.4.2 Μοντελοποίηση Προσρόφησης σε Μεταβλητό pH

Όπως προαναφέρθηκε, τα μοντέλα επιφανειακής συμπλοκοποίησης περιγράφουν τη διαδικασία προσρόφησης σε μεταβλητό pH. Τα μοντέλα αυτά χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν μία σειρά χημικών αντιδράσεων, που περιλαμβάνουν αποχωρισμό των πρωτονίων, αντιδράσεις προσρόφησης ανιόντων και κατιόντων μετάλλων πάνω σε οξείδια και αργιλικά ορυκτά, προσρόφηση οργανικών υποκαταστατών σε οξείδια καθώς και ανταγωνιστικές αντιδράσεις προσρόφησης σε οξείδια. [70].

- ο Μοντέλο Διάχυσης Διπλού Στρώματος (Diffuse Layer Model- DLM)
- ο Μοντέλο Σταθερής Ηλεκτρικής Χωρητικότητας (Constant Capacitance Model-CCM)
- ο Μοντέλο Τριπλού Στρώματος (Triple Layer Model-TLM)

7.3.4.3 Κατακρήμνιση Ανιόντων και Κατιόντων στην Επιφάνεια Οξειδίων

Σε πολύ μεγάλες συγκεντρώσεις ανιόντων και μετάλλων υπάρχει περίπτωση τα ιόντα αυτά να κατακρημνιστούν στην επιφάνεια των οξειδίων. Είναι δυνατόν να διαχωριστεί η προσρόφηση από την κατακρήμνιση σαν διαδικασίες, αλλά για να γίνει η μοντελοποίηση της διαδικασίας χρησιμοποιούνται οι έννοιες της επιφανειακής συμπλοκοποίησης. Στην περίπτωση των ανιόντων το προσροφημένο ανιόν μπορεί κατακρημνιστεί στην επιφάνεια των οξειδίων, ενώ στην περίπτωση των μετάλλων η διαδικασία ακολουθεί τρία στάδια. Πρώτα γίνεται η κατακρήμνιση του οξειδίου στην επιφάνεια, μετά συμβαίνει η προσρόφηση του μετάλλου στο στερεό και τέλος η κατακρήμνιση του προσροφημένου μετάλλου στην επιφάνεια. [75]

7.4 ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ ΤΟΥ ΦΩΣΦΟΡΟΥ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ

Η προσρόφηση, όπως προαναφέρθηκε, είναι η διαδικασία στην οποία ενεργά χημικά προσκολλώνται στην επιφάνεια των σωματιδίων. Τα μικρά σωματίδια έχουν μεγάλη ειδική επιφάνεια και γι' αυτό το λόγο η προσροφητική ικανότητα τους είναι αρκετά μεγάλη (εξαρτάται βέβαια και από τη χημική τους σύσταση). Εκτός από τα ακίνητα σωματίδια που υπάρχουν στο έδαφος, υπάρχουν ανταγωνιστικές θέσεις προσρόφησης και σε μη ρυπογόνα ιζήματα (non-polluting sediments) και κολλοειδή τα οποία κινούνται σχετικά ελεύθερα στη ροή του νερού κατά μήκος της επιφάνειας του ή διαμέσου αυτού. Μικρά σωματίδια εδάφους αποκολλούνται άμεσα για να μετατραπούν σε κινούμενα σωματίδια ή κολλοειδή και η κοπριά, που χρησιμοποιείται για την καλλιέργεια της γης, μαζί με τα απόβλητα, περιέχουν επιπρόσθετα σωματίδια κολλοειδών. Παρ' όλα αυτά, η βιβλιογραφία έχει επικεντρωθεί στην προσρόφηση σε ακίνητα συστατικά του εδάφους, με λίγες μόνο αναφορές σε ιζήματα τα οποία κινούνται λόγω επιφανειακής απορροής.

Ο βαθμός με τον οποίο ο φώσφορος προσροφάται σε σχέση με το διαλυτό φώσφορο είναι μη γραμμικός, καθώς τα επίπεδα της ενέργειας διαφέρουν μεταξύ διαφορετικών θέσεων προσρόφησης πάνω σε στερεές επιφάνειες, με τις θέσεις υψηλής ενέργειας να καταλαμβάνονται πριν τις θέσεις χαμηλής ενέργειας [72]. Αυτή η μη γραμμικότητα εκφράζεται μαθηματικά από ένα μεγάλο αριθμό εξισώσεων (ισόθερμες), με λογαριθμικούς ή άλλους μετασχηματισμούς με σκοπό τη γραμμικοποίηση τους.

Φαινομενικά, η προσρόφηση του φωσφόρου μπορεί να θεωρηθεί ως ο συνδυασμός πολλών διεργασιών, συμπεριλαμβανομένου μία γρήγορη (σχεδόν στιγμιαία) αντιστρέψιμη πραγματική διαδικασία προσρόφησης πάνω σε επιφανειακά σωματίδια εδάφους και πολλών πιο αργών (χρονικά εξαρτώμενων) διαδικασιών, ορισμένες από τις οποίες οδηγούν στην εναπόθεσης του φωσφόρου στο εσωτερικό των σωματιδίων. Αυτή η πιο αργή διαδικασία ονομάζεται από πολλούς συγγραφείς 'αργή προσρόφηση', 'αργή αντίδραση', 'εναπόθεση', 'δέσμευση', 'κατακρήμνιση' ή 'διάχυση στερεής κατάστασης'. Οι γνώμες διαφέρουν για το βαθμό στον οποίο η διαδικασία είναι αντιστρεπτή. Η διαφορά ανάμεσα στη γρήγορη και την αργή διαδικασία της προσρόφησης και μεταξύ της προσρόφησης πάνω στην επιφάνεια και εσωτερικά αυτής είναι και στις δύο περιπτώσεις ακαθόριστη. Οι δύο αυτές διαδικασίες μπορούν να θεωρηθούν ως σειριακές. Η διαδικασία της πολλαπλής προσρόφησης περιπλέκει αυτό που συμβαίνει όταν προκύπτει εκρόφηση από αραίωση του στερεού διαλύματος. Η ποσότητα του προσροφημένου υλικού που είναι διαθέσιμο για τη γρήγορη εκρόφηση από την επιφάνεια των θέσεων ρόφησης επηρεάζεται από το βαθμό στον οποίο η αργή εναπόθεση έχει προχωρήσει. [75]

Ο φώσφορος που περιέχεται στο έδαφος, μπορεί να θεωρηθεί ότι περιέχεται σε ένα αριθμό 'δεξαμενών' ('pools'), που περιλαμβάνουν διαλυτό ανόργανο φώσφορο, ανόργανο φώσφορο προσροφημένο στις επιφανειακές θέσεις, ανόργανο φώσφορο προσροφημένο ή εναποθετημένο από πολλές αργές, χρονικά εξαρτώμενες διαδικασίες και μεγάλη ποσότητα οργανικού φωσφόρου (συμπεριλαμβανομένου του κατακρημνισθέντος φωσφόρου). Η ποσότητα του φωσφόρου σε κάθε

‘δεξαμενή’, σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή, εξαρτάται από το «ιστορικό» εφαρμογής των λιπασμάτων (δηλαδή τον τρόπο με τον οποίο έγινε ρίψη φωσφόρου), καθώς και από τον χρόνο που έχει περάσει από την τελευταία εφαρμογή. Ο όρος ‘ασταθής φωσφόρος’ χρησιμοποιείται συχνά για να αναπαραστήσει τον κινητό (mobile) φωσφόρο ο οποίος είναι διαθέσιμος (ή στιγμιαία γίνεται διαθέσιμος από αντιδράσεις οι οποίες έχουν γρήγορη κινητική), σαν θρεπτικό για την ανάπτυξη των φυτών. ‘Ασταθής φωσφόρος’ θεωρείται ο διαλυτός P καθώς επίσης και ο P που έχει προσροφηθεί στις επιφανειακές θέσεις (sites), αλλά όχι η μορφή του P που έχει αποθηκευτεί λόγω της αργής προσροφητικής διαδικασίας. Επίσης, η ικανότητα εξουδετέρωσης είναι συχνά χρησιμοποιούμενη σαν μία ένδειξη της ποσότητας του P που είναι προσροφημένη στις επιφανειακές θέσεις και η οποία θα εκροφηθεί στιγμιαία όταν θα συμβεί αραίωση. Η διαδικασία της προσρόφησης μπορεί να γίνει ακόμα πιο περίπλοκη εάν εκτός από τις ανταγωνιστικές θέσεις προσρόφησης του στατικού εδαφικού πλαισίου, ληφθούν υπ’ όψη και τα κινούμενα σωματίδια. [75]

7.4.1 Παράγοντες που Επηρεάζουν την Προσρόφηση

Ο βαθμός στον οποίο το έδαφος προσροφά το P, εξαρτάται από τη σύσταση των εδαφών. Εδάφη με υψηλά ποσοστά σωματιδίων μικρού μεγέθους (επομένως μεγάλη ειδική επιφάνεια), όπως ο πηλός τείνουν να παρουσιάζουν υψηλή προσρόφηση. Ακόμη, η κοπριά που προστίθεται στο έδαφος έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε φωσφόρο καθώς και σε κolloειδή σωματίδια, πάνω στα οποία ο φωσφόρος προσροφάται. Τα κolloειδή αυτά, που κατανέμονται με το όργωμα του εδάφους, παρέχουν επιπρόσθετες θέσεις προσρόφησης. Λαμβάνοντας υπ’ όψη τη χημεία, τα αργιλικά εδάφη που περιέχουν υψηλά ποσοστά οξειδίων του σιδήρου (Fe) ή αργιλίου (Al), έχουν υψηλή ικανότητα εξουδετέρωσης. Ένας άλλος σημαντικός, περιβαλλοντικός παράγοντας είναι το pH, το οποίο έχει πολύ μεγάλη επιρροή στους μηχανισμούς ιοντισμού της προσρόφησης. Αυτό έχει σαν συνέπεια την διαφορετική συμπεριφορά προσρόφησης μεταξύ των αλκαλικών ασβεστολιθικών εδαφών και των περισσότερων όξινων εδαφών [72,75].

7.4.2 Προσρόφηση σε Κolloειδή Σωματίδια

Τα σωματίδια που κινούνται μέσω του εδάφους (κυρίως με μακροσκοπική ροή) τείνουν να μετατραπούν σε διαιρεμένα κolloειδή, με πολύ μεγάλη ειδική επιφάνεια και με εκτενή προσροφητική επιφάνεια. Τα κolloειδή σωματίδια της αργίλου τίθενται σε κίνηση με επιφανειακή απορροή μέχρι να φτάσουν σε μεγαλύτερο πορώδες το οποίο τα οδηγεί στο εσωτερικό του εδαφικού πλαισίου και από εκεί σε κανάλια αποστράγγισης του νερού. Τα αποτελέσματα αυτά διαψεύδουν την ευρεία λανθασμένη αντίληψη, ότι ο φωσφόρος ο οποίος μεταφέρεται με επιφανειακή απορροή μετά από ένα επεισόδιο βροχής, προσροφάται από τα συστατικά του στερεού εδάφους και δεν μεταφέρονται με το νερό. Συνεπώς τα κινούμενα συστατικά, αντιπροσωπεύουν την τρίτη φάση του κύκλου, μαζί με το διαλυτό P και τον προσροφημένο P από τα σωματίδια του εδάφους. Δεν υπάρχουν αρκετά μοντέλα που να περιγράφουν αυτή τη διαδικασία. Το μόνο γνωστό μοντέλο είναι μία προσαρμογή του MACRO, το οποίο έχει περιγράψει ο Jarvis et al. (1999). [75]

7.4.3 Προσρόφηση σε Οργανικό Υλικό

Παρ’ όλο που υπάρχουν ενδείξεις ότι η μεταφορά του ανόργανου P σχετίζεται με την οργανική ύλη, ο μηχανισμός με τον οποίο γίνεται η προσρόφηση αυτού σε τέτοια υλικά δεν έχει κατανοηθεί πλήρως [72,75]. Ο μηχανισμός ιοντικής προσρόφησης πάνω σε οξείδια των μετάλλων, δεν φαίνεται να έχει εφαρμογή στην οργανική ύλη, εφ’ όσον τα ανιόντα των φωσφορικών δεν μπορούν να προσκολληθούν σε οργανικά κolloειδή, λόγω του ότι έχουν και αυτά αρνητικό φορτίο.

7.4.4 Προσρόφηση Φωσφορικών σε Ασβεστολιθικά Ιζήματα

Όσον αφορά την προσρόφηση (γενικότερα, όχι μόνο των φωσφορικών) σε ασβεστολιθικά ιζήματα, η βιβλιογραφία είναι πολύ περιορισμένη. Θεωρείτο ότι η προσρόφηση των ανιόντων και των κατιόντων πάνω σε ασβεστολιθικά ιζήματα, γίνεται με επιφανειακή ανταλλαγή μεταξύ των ειδών που βρίσκονται στην υδατική φάση και των ιόντων Ca^{2+} και CO_3^{2-} του εδάφους. Αυτή η υπόθεση, δεν

έχει εκτιμηθεί με μοντελοποίηση, όπου η επίδραση τόσο των ειδών του διαλύματος όσο και οι αντιδράσεις της επιφάνειας μπορούν να καθοριστούν σε σχέση με το pH και τις συγκεντρώσεις των Ca^{2+} και CO_3^{2-} . Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία υπάρχει μία μέγιστη τιμή φωσφόρου που μπορεί να προσροφηθεί από τα ασβεστολιθικά ιζήματα και αυτή είναι 26 mg/kg. Σύμφωνα με το παραπάνω από τη συνολική επιφάνεια του ασβεστολιθικού ιζήματος, μόνο το 8 με 25% καλύπτεται από ανιόντα φωσφόρου. Η ανεπάρκεια κάλυψης όλης της επιφάνειας, μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι στην εσωτερική διάμετρο των μορίων του φωσφόρου, η οποία δημιουργεί απωθητικές δυνάμεις μεταξύ των προσροφημένων φωσφορικών της επιφάνειας και των ανθρακικών θέσεων. Η διάμετρος των φωσφορικών (θεωρώντας σφαιρικό σχήμα) είναι 6.18 \AA , η οποία είναι μεγαλύτερη της διαγώνιας απόστασης του ασβεστολιθικού κελιού (4.52 \AA). Αυτό το απλό γεωμετρικό μοντέλο διευκρινίζει γιατί μόνο το 1/4 ή το 1/8 της επιφάνειας του ασβεστολιθικού ιζήματος προσροφάει τα ανιόντα του φωσφόρου [75].

7.4.5 Μοντελοποίηση της Γρήγορης και της Αργής Προσρόφησης

❖ Γρήγορη προσρόφηση

Για να μοντελοποιηθεί η διαδικασία της γρήγορης προσρόφησης, χρησιμοποιούνται εξισώσεις ισόθερμων. Ο όρος 'μοντέλο' χρησιμοποιείται ευρύτατα στη βιβλιογραφία της προσρόφησης του φωσφόρου, για να περιγράψει την προσαρμογή των πειραματικών δεδομένων σε ισόθεμους ισορροπίας. Ο Barrow (1978) και άλλοι συγγραφείς, έχουν αναφερθεί σε εναλλακτικές ισόθεμους προσρόφησης του φωσφόρου. Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός προσπαθειών προσαρμογής της ισόθερμου του Langmuir. Σε περιπτώσεις, όπου η προσρόφηση του P αναφέρεται σε συγκεκριμένα οξείδια των μετάλλων, όπου υπάρχει μία καθορισμένη τιμή Q_{\max} (μέγιστη προσρόφηση), η ισόθερμος αυτή προσομοιάζει πολύ καλά τις πειραματικές τιμές. Παρ' όλο που πολλοί ερευνητές, χρησιμοποίησαν την ισόθερμη αυτή για να περιγράψουν την προσρόφηση σε εδάφη, ο Barrow σύγκρινε την ισόθερμο του Langmuir με αυτή του Freundlich και συμπέρανε ότι η δεύτερη ήταν ανώτερη της πρώτης, αλλά και αυτή (η ισόθερμος του Freundlich) ήταν ικανοποιητική για ένα εύρος περιορισμένων συγκεντρώσεων. Πάνω σε αυτή την παρατήρηση του Barrow, οι Davey (1978) και Sibbesen (1981), ανακάλυψαν ότι τροποποιώντας την ισόθερμο του Freundlich μπορούσαν να προκύψουν βελτιωμένα αποτελέσματα. [72,75]

❖ Αργή προσρόφηση

Παλαιότερες μελέτες, υπέθεταν ότι η προσρόφηση του P ήταν μία απλή αλλά μη-γραμμική διαδικασία, η οποία μπορούσε να αναπαρασταθεί από μία από τις γνωστές ισόθεμους ισορροπίας, με παραμέτρους που εκτιμούνταν από ένα εύρος πρότυπων τεχνικών. Η πιο συνηθισμένη τεχνική, περιλαμβάνει μετρήσεις μετά από μία σταθερή περίοδο (συνήθως 24 ωρών) επαφής του P και του προσροφητή. Ωστόσο, αυτές οι παράμετροι μεταβάλλονταν με τη μεταβολή του χρόνου και της θερμοκρασίας. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα τη μείωση του διαλυτού P (και της μορφής αυτού που είναι εύκολα διαθέσιμη σαν θρεπτικό συστατικό) με αύξηση του χρόνου από την αρχική επαφή (ή την εφαρμογή των λιπασμάτων στο έδαφος). Οι Lin et al. (1983a, 1983b) αναπαράστησαν αυτό απλά, προσθέτοντας έναν χρονικά εξαρτώμενο όρο στις εξισώσεις των ισόθερμων. Εν τούτοις, αυτή η προσέγγιση κρίθηκε ότι δεν περιέγραφε επαρκώς τη διαδικασία της εκρόφησης που λαμβάνει χώρα με την αραίωση του διαλύματος. [75]

7.5 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

7.5.1 Δειγματοληψία και Προετοιμασία του Δείγματος

Τα δείγματα συλλέχθηκαν από το ανώτερο στρώμα του εδάφους των υπό μελέτη λιμνίων κι έτσι, ώστε να υπάρχει αντιπροσωπευτικότητα (τουλάχιστον από πέντε διασκορπισμένα σημεία). Στη συνέχεια, κοσκινίστηκαν με τη χρήση κόσκινου των 2 mm και το κλάσμα, κάθε δείγματος, που ήταν μικρότερο από δύο 2 mm αποθηκεύτηκε στους 4°C , ώστε να σταματήσει η μικροβιακή δραστηριότητα. Πριν από την διεξαγωγή κάθε πειράματος αντιπροσωπευτική ποσότητα δείγματος ξηράθηκε σε θερμοκρασία δωματίου (air dried) για 24 ώρες τουλάχιστον.

7.5.2 Πειράματα Προσδιορισμού της Ικανότητας Ανοργανοποίησης του Ιζήματος των ΜΕΛ

Η ικανότητα ανοργανοποίησης (μετατροπή με μικροβιακές δραστηριότητες των οργανικών μορφών του αζώτου και φωσφόρου σε ανόργανες) του ιζήματος των λιμνίων κατά τη διάρκεια τόσο της υγρής όσο και της ξηρής περιόδου εκτιμήθηκε με την πραγματοποίηση πειραμάτων ανοργανοποίησης σε δείγματα ιζήματος από τα πέντε λιμνία. Πραγματοποιήθηκαν δυο σειρές πειραμάτων διαλείποντος έργου σε συνθήκες θερμοκρασίας 40 °C. Στην πρώτη σειρά το ποσοστό του περιεχόμενου υγρασίας των δειγμάτων του ιζήματος ήταν 40% και αντιπροσώπευε την ξηρή περίοδο. Στην δεύτερη σειρά πειραμάτων το ποσοστό του περιεχόμενου υγρασίας των δειγμάτων του ιζήματος ήταν >100%, δηλαδή το ίζημα ήταν υπερκορεσμένο σε νερό, και αντιπροσώπευε την υγρή περίοδο. Σημειώνεται ότι το πείραμα έγινε σε τριπλέτες για κάθε δείγμα ιζήματος, ώστε να υπολογιστεί η τυπική απόκλιση και να υπάρξει μεγαλύτερη αξιοπιστία στα αποτελέσματα και πραγματοποιήθηκε ο απαραίτητος έλεγχος αξιοπιστίας, σύμφωνα με τα κριτήρια της EPA.

Η πειραματική διαδικασία είχε ως εξής:

- i. Ζύγιση 5 gr δείγματος ιζήματος από κάθε λιμνίο και τοποθέτησή τους σε πλαστικά φιαλίδια των 100 ml.
- ii. Συμπλήρωση των πλαστικών φιαλιδίων με την κατάλληλη ποσότητα 2 M KCl (25 ml για το υπερκορεσμένο σε νερό ίζημα και κατάλληλη ποσότητα για την επίτευξη της 40 % υγρασίας- σύμφωνα με το πορώδες που μετρήθηκε στο πεδίο, βλ. ΠΙΝΑΚΑ 4.2).
- iii. Συμπλήρωση ενός πλαστικού φιαλιδίου με 25 ml 2 M KCl (τυφλό διάλυμα)
- iv. Επώαση των φιαλιδίων σε θάλαμο στους 40 °C και ανάδευση τους στις 200 στροφές ανά λεπτό, για 7 ημέρες.
- v. Συμπλήρωση των πλαστικών φιαλιδίων μέχρι τα 100 ml με 2 M KCl.
- vi. Διήθηση κατάλληλης ποσότητας του υπερκείμενου υγρού με τη χρήση φίλτρου των 0.45 μm
- vii. Ανάλυση του διηθήματος για φωσφορικό φώσφορο και αμμωνιακό άζωτο με τη χρήση φασματοφωτόμετρου Hack 2010 (μέθοδος για τα φωσφορικά, PhosVer3 Method, 8048 και για την αμμωνία, NH₄-N Salicylate Method, 10023).

Σημειώνεται ότι η ποσότητα του φωσφορικού φωσφόρου και του αμμωνιακού αζώτου πριν από την επώαση καθορίστηκε σε χωριστές τριπλέτες δειγμάτων και το mineralizable N υπολογίστηκε ως διαφορά μεταξύ των επωασμένων και μη-επωασμένων δειγμάτων.

7.5.3 Πειράματα Προσδιορισμού της Ικανότητας Εκχύλισης του Ιζήματος των ΜΕΛ

❖ Πειράματα ισορροπίας

Η ικανότητα εκχύλισης ανόργανων μορφών αζώτου και φωσφόρου του ιζήματος των λιμνίων μελετήθηκε με πειράματα διαλείποντος έργου σε συνθήκες θερμοκρασίας 20 °C και τρία διαφορετικά pH 6, 7 και 8. Σημειώνεται ότι το πείραμα έγινε σε τριπλέτες για κάθε δείγμα ιζήματος, ώστε να υπολογιστεί η τυπική απόκλιση και να υπάρξει μεγαλύτερη αξιοπιστία στα αποτελέσματα και πραγματοποιήθηκε ο απαραίτητος έλεγχος αξιοπιστίας, σύμφωνα με τα κριτήρια της EPA.

Η πειραματική διαδικασία είχε ως εξής:

- i. Ζύγιση 5 gr δείγματος ιζήματος από κάθε λιμνίο και τοποθέτησή τους σε πλαστικά φιαλίδια των 100 ml.
- ii. Συμπλήρωση των πλαστικών φιαλιδίων με 100 ml 0.1 M NaNO₃ (για τον προσδιορισμό του ανόργανου φωσφόρου) και 0.01 M KCl (για τον προσδιορισμό των ανόργανων μορφών αζώτου)
- iii. Επώαση των φιαλιδίων σε θάλαμο στους 20 °C και ανάδευση τους στις 200 στροφές ανά λεπτό, για 4 ημέρες.
- iv. Περιοδική ρύθμιση (κάθε 2-3 ώρες) του pH του υπερκείμενου υγρού στην επιθυμητή τιμή.
- v. Διήθηση του υπερκείμενου υγρού με τη χρήση φίλτρου των 0.45 μm
- vi. Ανάλυση του διηθήματος για φωσφορικό φώσφορο, αμμωνιακό άζωτο, νιτρικό άζωτο και νιτρώδες άζωτο με τη χρήση φασματοφωτόμετρου Hack 2010 (μέθοδος για τα φωσφορικά,

PhosVer3 Method, 8048, για την αμμωνία, NH₄-N Salicylate Method, 10023, για τα νιτρικά NO₃-N Cadmium Reduction Method, 8039 και για τα νιτρώδη NO₂-N Diazotization Method, 8507).

7.5.4 Πειράματα Προσδιορισμού της Ικανότητας Προσρόφησης Φωσφόρου του Ιζήματος των ΜΕΛ

❖ Πειράματα ισορροπίας

Η ικανότητα προσρόφησης ανόργανου φωσφόρου του ιζήματος των λιμνίων μελετήθηκε με πειράματα διαλείποντος έργου σε συνθήκες θερμοκρασίας 20 °C και τρία διαφορετικά pH 6, 7 και 8. Σημειώνεται ότι το πείραμα έγινε σε τριπλέτες για κάθε δείγμα ιζήματος, ώστε να υπολογιστεί η τυπική απόκλιση και να υπάρχει μεγαλύτερη αξιοπιστία στα αποτελέσματα και πραγματοποιήθηκε ο απαραίτητος έλεγχος αξιοπιστίας, σύμφωνα με τα κριτήρια της EPA

Η πειραματική διαδικασία είχε ως εξής:

- i. Ζύγιση 5 gr δείγματος ιζήματος από κάθε λιμνίο και τοποθέτησή τους σε πλαστικά φιαλίδια των 100 ml.
- ii. Συμπλήρωση των πλαστικών φιαλιδίων με 100 ml 0.1 M NaNO₃ και 1 mg/l PO₄-P
- iii. Επώαση των φιαλιδίων σε θάλαμο στους 20 °C και ανάδευση τους στις 200 στροφές ανά λεπτό, για 4 ημέρες.
- iv. Περιοδική ρύθμιση (κάθε 2-3 ώρες) του pH του υπερκείμενου υγρού στην επιθυμητή τιμή.
- v. Διήθηση του υπερκείμενου υγρού με τη χρήση φίλτρου των 0.45 μm
- vi. Ανάλυση του διηθήματος για φωσφορικό φώσφορο με τη χρήση φασματοφωτόμετρου Hack 2010 (μέθοδος για τα φωσφορικά, PhosVer3 Method, 8048), οπότε μέτρηση της εναπομένουσας ποσότητας φωσφορικών στο διάλυμα.

❖ Ισόθερμες προσρόφησης

Επιπλέον, πραγματοποιήθηκαν ισόθερμες προσρόφησης ανόργανου φωσφόρου του ιζήματος των λιμνίων σε συνθήκες θερμοκρασίας 20 °C και pH 7. Σημειώνεται ότι το πείραμα έγινε σε διπλέτες για κάθε δείγμα ιζήματος και συγκέντρωση ανόργανου φωσφόρου, ώστε να υπολογιστεί η τυπική απόκλιση και να υπάρχει μεγαλύτερη αξιοπιστία στα αποτελέσματα και πραγματοποιήθηκε ο απαραίτητος έλεγχος αξιοπιστίας, σύμφωνα με τα κριτήρια της EPA

Η πειραματική διαδικασία είχε ως εξής:

- i. Ζύγιση 5 gr δείγματος ιζήματος από κάθε λιμνίο και τοποθέτησή τους σε πλαστικά φιαλίδια των 100 ml.
- ii. Συμπλήρωση των πλαστικών φιαλιδίων με 100 ml 0.1 M NaNO₃ και 0.1, 0.3, 0.6, 0.8, 1, 3, 5 mg/l PO₄-P
- iii. Επώαση των φιαλιδίων σε θάλαμο στους 20 °C και ανάδευση τους στις 200 στροφές ανά λεπτό, για 4 ημέρες.
- iv. Περιοδική ρύθμιση (κάθε 2-3 ώρες) του pH του υπερκείμενου υγρού στην επιθυμητή τιμή.
- v. Διήθηση του υπερκείμενου υγρού με τη χρήση φίλτρου των 0.45 μm
- vi. Ανάλυση του διηθήματος για φωσφορικό φώσφορο με τη χρήση φασματοφωτόμετρου Hack 2010 (μέθοδος για τα φωσφορικά, PhosVer3 Method, 8048).

7.5.5 Βαθμονόμηση Οργάνων, Έλεγχος Αξιοπιστίας (Quality Assurance/Quality Control)

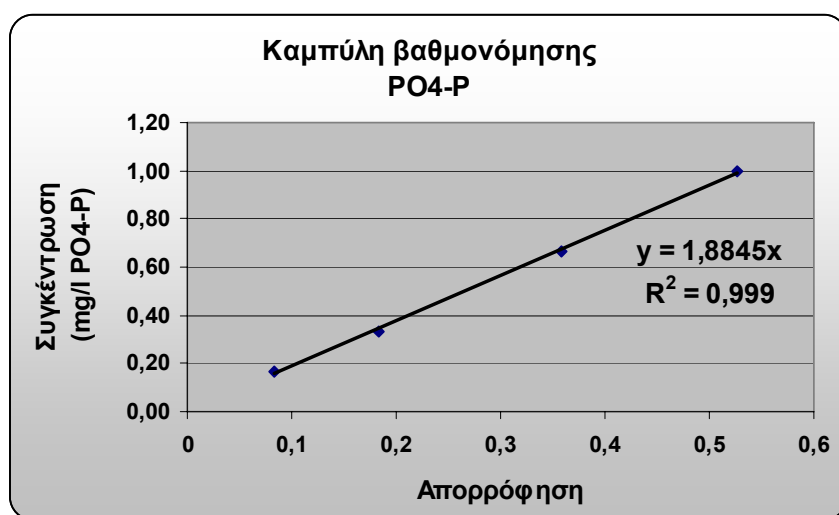
Για την εξασφάλιση της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων των μετρήσεων κατά το πειραματικό μέρος πραγματοποιήθηκε ο απαραίτητος έλεγχος αξιοπιστίας, σύμφωνα με τα κριτήρια της EPA. Πιο συγκεκριμένα, για τον έλεγχο αξιοπιστίας γινόταν βαθμονόμηση των οργάνων που χρησιμοποιούνταν μια φορά τη μέρα. Τα πρότυπα βαθμονόμησης προετοιμάζονταν με σταδιακή αραιώση ενός πρότυπου διαλύματος κατά τη διάρκεια της ανάλυσης. Επιπρόσθετα, για την εξασφάλιση της αξιοπιστίας, στην αρχή της ανάλυσης και μέτρησης των δειγμάτων, πριν από οποιοδήποτε άλλο δείγμα, αναλυόταν ένα τυφλό δείγμα για την αρχική βαθμονόμηση αλλά και για επαλήθευση της βαθμονόμησης. Επίσης, η τριπλή ανάλυση των δειγμάτων κατά την εκτέλεση των πειραμάτων (triplicates) καθώς και η διπλή

ανάλυση των δειγμάτων, όπου ένα διπλό δείγμα αναλύεται κάθε 10 δείγματα εξασφάλισε την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. (αναλυτικά η μεθοδολογία στο παράρτημα 7.1)

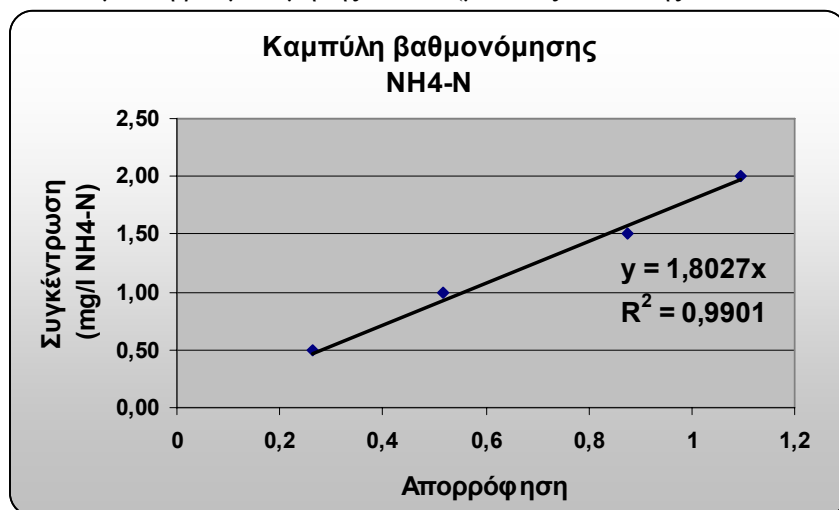
Τέλος, σημειώνουμε ότι πραγματοποιήθηκαν πρότυπες καμπύλες βαθμονόμησης, για τις μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν (Διαγράμματα 7.1-7.4). Καθώς μάλιστα η ανάλυση των νιτρικών δέχεται παρεμβολή από τα χλωριόντα η καμπύλη για αυτά έγινε με τη χρήση διαλύματος 0.01 M KCl.

7.5.6 Ρύθμιση του pH

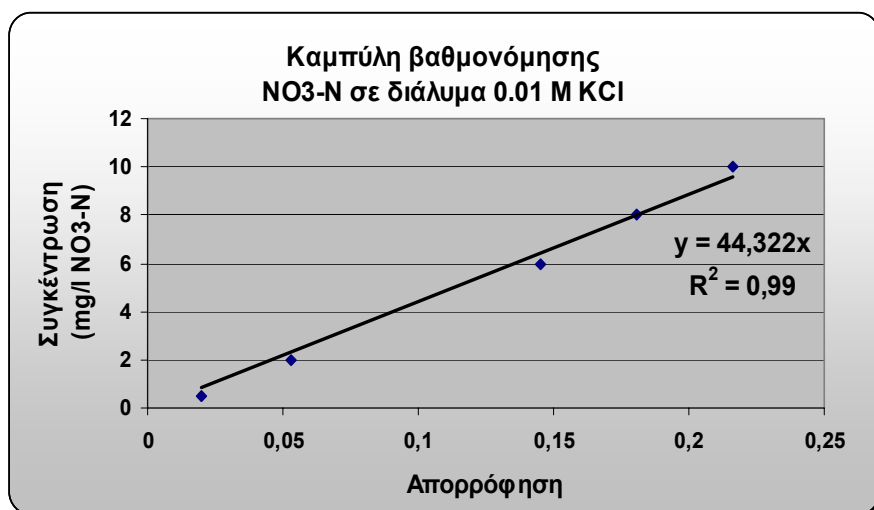
Η τιμή του pH είναι μία πολύ σημαντική παράμετρος των πειραμάτων και για αυτό το λόγο πρέπει να διατηρείται σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια αυτών. Έτσι, κατά την διάρκεια των πειραμάτων σε σταθερό pH, ο έλεγχος του είχε πρωταρχική σημασία και γινόταν πολύ συχνά έτσι, ώστε να μην υπάρχουν μεταβολές στην τιμή αυτού. Κάθε φορά που διαπιστωνόταν ότι η τιμή διέφερε από την επιθυμητή τότε στο διάλυμα γινόταν πρόσθεση οξέως (HCl συγκεντρώσεως 1.2M) ή βάσεως (NaOH συγκεντρώσεως 5.0, 1.0 ή 0.5 N) ανάλογα με τον αν υπερέβαινε ή ήταν χαμηλότερη αυτής.



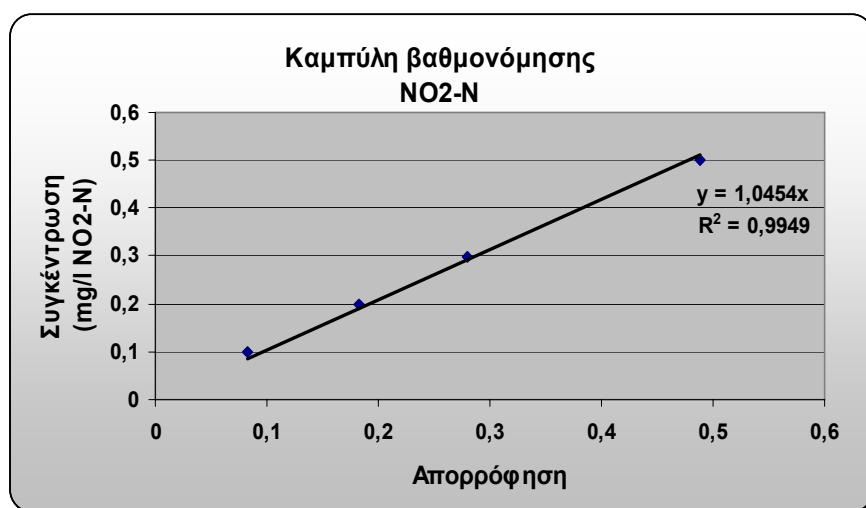
Διάγραμμα 7.1. Καμπύλη βαθμονόμησης PO₄-P (μέθοδος ανάλυσης PhosVer3 Method, 8048).



Διάγραμμα 7.2. Καμπύλη βαθμονόμησης NH₄-N (μέθοδος ανάλυσης NH₄-N Salicylate Method, 10023).



Διάγραμμα 7.3. Καμπύλη βαθμονόμησης NO₃-N (μέθοδος ανάλυσης NO₃-N Cadmium Reduction Method, 8039).



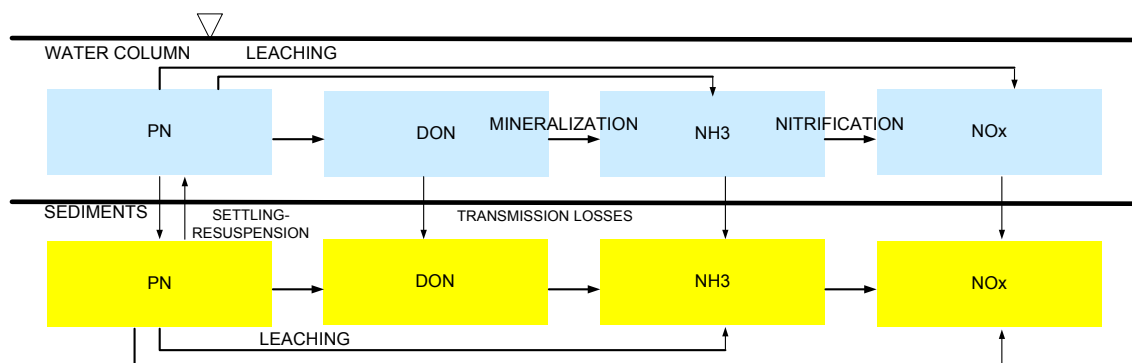
Διάγραμμα 7.4. Καμπύλη βαθμονόμησης NO₂-N (μέθοδος ανάλυσης NO₂-N Diazotization Method, 8507).

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

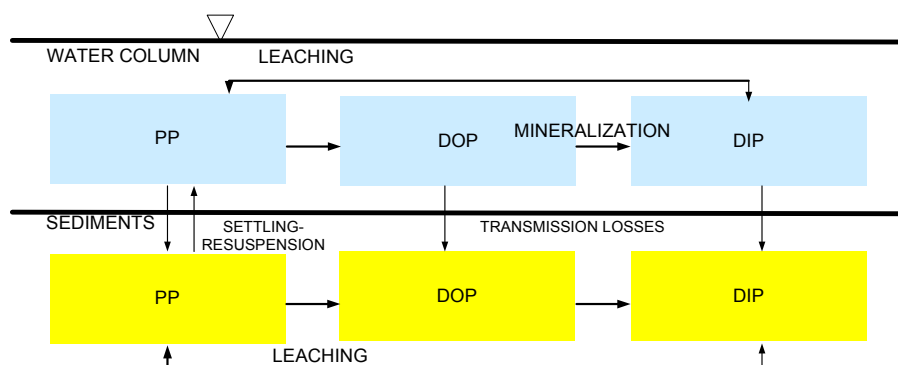
8.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο (βλ. Πειραματική διαδικασία) για την μελέτη της γεωχημείας του ιζήματος των λιμνίων με βάση την ανάλυση του κύκλου του αζώτου και του φωσφόρου (Σχήματα 8.1 και 8.2). Οι διεργασίες που αποφασίστηκε να μελετηθούν πιο λεπτομερώς, όπως έχει ήδη προαναφερθεί, είναι η ανοργανοποίηση, η εκχύλιση και η προσρόφηση των φωσφορικών. Ακόμη, εξετάστηκε η απονιτροποίηση με την μέτρηση του δυναμικού οξειδοαναγωγής του ιζήματος. Το δυναμικό οξειδοαναγωγής του ιζήματος εκτιμήθηκε με την πραγματοποίηση ενός σύντομου πειράματος διαλείποντος έργου. Έτσι, σε ένα ποτήρι ζέσεως των 500 ml προστέθηκαν 25 gr ιζήματος και 250 ml υπερκάθαρου νερού. Το αιώρημα αναδεύονταν συνεχώς με μηχανικό αναδευτήρα και προστέθηκε στο σύστημα σταθερή ροή N_2 , ώστε να απομακρυνθεί το O_2 . Ακόμη, το σύστημα είχε απομονωθεί από το περιβάλλον με παραφίλμ και γινόταν συνεχής παρακολούθηση του οξυγόνου με τη χρήση ηλεκτροδίου για την επιβεβαίωση ότι είχε απομακρυνθεί το O_2 από το σύστημα. Το πείραμα που μόλις περιγράφηκε έδειξε $E_h < -50$ mV για όλα τα ιζήματα, με αποτέλεσμα να μπορεί να θεωρηθεί ότι υπάρχει απονιτροποίηση.

Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειώσουμε ότι οι κύριες άμεσες πηγές θρεπτικών στο λιμνίο είναι η ατμοσφαιρική εναπόθεση και τα περιττώματα των ζώων. Τα ετήσια φορτία του διαλυτού ανόργανου αζώτου (DIN), του σωματιδιακού οργανικού αζώτου (PON) και του διαλυτού ανόργανου φωσφόρου (DIP) από την ατμοσφαιρική εναπόθεση, όπως έχουν υπολογιστεί για την Κρήτη [78], είναι 782.5, 260 και 10.7 mg/m^3 βροχής. Το παραπάνω δίνει έναν λόγο N/P περίπου 200, με αποτέλεσμα ο P να είναι ο περιοριστικός παράγοντας. Ακόμη, με τον λόγο της βροχόπτωσης προς το έλλειμμα από την εξάτμιση ($P/(P-PE)$: Evapoconcentration factor) μπορεί να καθοριστεί η επίδραση της ατμοσφαιρικής εναπόθεσης στην τροφική κατάσταση του λιμνίου. Έτσι, με την συγκέντρωση του φωσφόρου στο λιμνίο και σύμφωνα με τα κριτήρια της EPA (EPA's National Eutrophication Survey Criteria). Ακόμη, όπως προέκυψε από την εννοιολογική προσέγγιση του υδρολογικού κύκλου των λιμνίων, αυτά παρουσιάζουν 'κάθετη' υδρολογία και συνήθως διακοπτόμενη υδροπερίοδο, δηλαδή έχουν συχνές εναλλαγές μεταξύ υγρής και ξηρής φάσης. Έτσι, γενικά οι κύριες υδρολογικές διαδικασίες είναι η βροχόπτωση, η εξάτμιση και η διήθηση, επομένως το νερό του λιμνίου καθώς διηθείται μεταφέρει μαζί του και τη ρύπανση με αποτέλεσμα πιθανόν να εκχυλίζει στο υπέδαφος επιπλέον ποσότητες ανόργανων μορφών αζώτου και φωσφόρου και τελικά να επιβαρύνει το υπόγειο νερό.



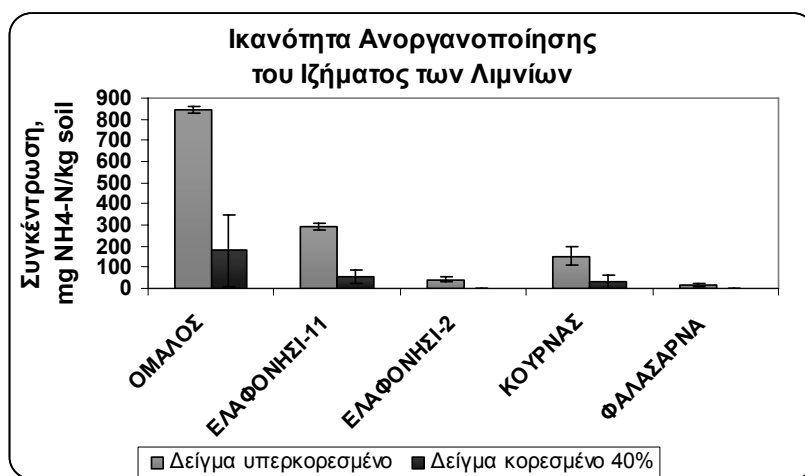
Σχήμα 8.1. Ο κύκλος του Αζώτου στα λιμνία [76].



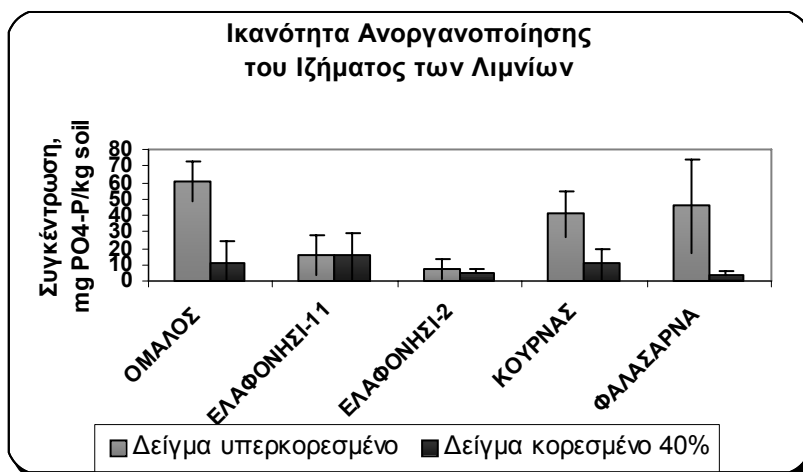
Σχήμα 8.2. Ο κύκλος του Φωσφόρου λιμνία [76].

8.2 ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΑΝΟΡΓΑΝΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΙΖΗΜΑΤΟΣ ΤΩΝ ΛΙΜΝΙΩΝ

Στα διαγράμματα 8.1 και 8.2 που ακολουθούν παρουσιάζεται η ικανότητα ανοργανοποίησης των οργανικών μορφών του αζώτου και του φωσφόρου, αντίστοιχα, του ιζήματος των πέντε υπό μελέτη λιμνίων κατά την υγρή και την ξηρή περίοδο, όπως προέκυψε από τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο (βλ. Πειραματική διαδικασία). Στον πίνακα 8.1 παρουσιάζεται η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση της ποσότητας οργανικού αζώτου και φωσφόρου που ανοργανοποιήθηκε για τις δύο σειρές πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν για το ιζήμα των πέντε λιμνίων, όπως επίσης και το ποσοστό της οργανικής ουσίας των ιζημάτων, όπως υπολογίστηκε από το MAIX (δειγματοληψία Μάρτιος 2005). Ακόμη, στο παράρτημα 8.I φαίνονται αναλυτικά τα διαγράμματα για κάθε λιμνίο. Όπως, φαίνεται από τα παρακάτω διαγράμματα τα ιζήματα και των πέντε λιμνίων παρουσίασαν μεγαλύτερη ικανότητα ανοργανοποίησης για τις οργανικές μορφές του αζώτου σε σχέση με του φωσφόρου. Η ικανότητα ανοργανοποίησης του αζώτου κυμάνθηκε από 16 (Φαλάσαρνα) έως 844 (Ομαλός) mg NH₄-N/kg soil για υπερκορεσμένο δείγμα, ενώ το εύρος ήταν 0 (Φαλάσαρνα και Ελαφονήσι-2) έως 179 (Ομαλός) mg NH₄-N/kg soil για 40% κορεσμού. Ομοίως για τον φωσφόρο ήταν 7 (Ελαφονήσι-2) έως 60.5 (Ομαλός) mg PO₄-P/kg soil για υπερκορεσμένο δείγμα, και 3 (Ελαφονήσι-2) έως 16 (Ομαλός) mg PO₄-P/kg soil για 40% κορεσμού. Γενικά, η ικανότητα ανοργανοποίησης εξαρτάται από την υγρασία του ιζήματος και το ιζήμα των λιμνίων παρουσίασε μεγαλύτερη στα υπερκορεσμένα δείγματα. Εξάιρεση αποτελεί το ιζήμα του λιμνίου 11 στο Ελαφονήσι που παρουσίασε παρόμοια ικανότητα ανοργανοποίησης φωσφόρου και στα δύο δείγματα. Το παραπάνω όμως πιθανότατα οφείλεται στην περιορισμένη φόρτιση του λιμνίου σε οργανικά. Γενικά, τα ιζήματα των λιμνίων παρουσιάζουν πολλαπλάσια ικανότητα ανοργανοποίησης, σε σύγκριση με παρόμοια πειράματα που έχουν γίνει σε ιζήματα εφήμερων ποταμών της Ευρώπης [76].



Διάγραμμα 8.1. Η ικανότητα ανοργανοποίησης των οργανικών μορφών του αζώτου του ιζήματος των λιμνίων κατά την υγρή και την ξηρή περίοδο.



Διάγραμμα 8.2. Η ικανότητα ανοργανοποίησης των οργανικών μορφών του φωσφόρου του ιζήματος των λιμνίων κατά την υγρή και την ξηρή περίοδο.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.1. Η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση της ποσότητας οργανικού N και P που ανοργανοποιήθηκε για τις δύο σειρές πειραμάτων και η οργανική ουσία (%) των ιζημάτων.

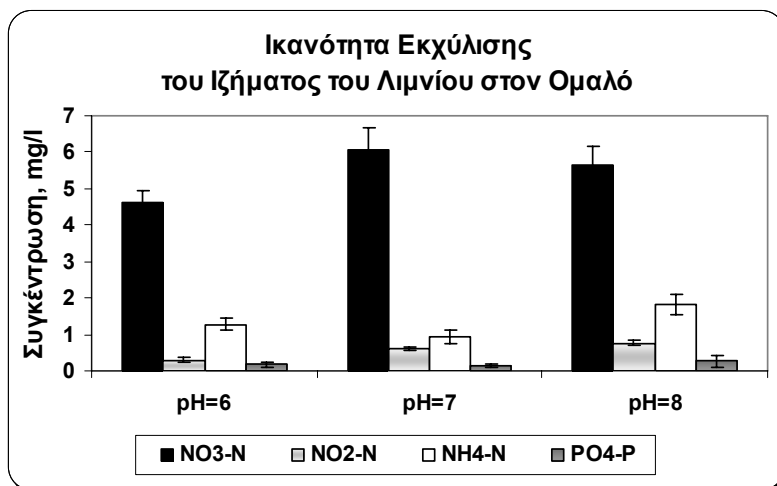
	mg NH ₄ -N/kg soil				mg PO ₄ -P/kg soil				Οργ. ουσία %
	Μέση (>100% υγρ.)	std	Μέση (40% υγρ.)	std	Μέση (>100% υγρ.)	std	Μέση (40% υγρ.)	std	
ΟΜΑΛΟΣ	844	13	179	168	60.5	12	16	13	6.45
ΕΛΑΦ-11	292	17	54	31	16	12	5	13	1.34
ΚΟΥΡΝΑΣ	153	50	29	36	41	13	10	9	1.90
ΕΛΑΦ-2	42	13	<MDL	<MDL	7	6	3	2	1.50
ΦΑΛΑΣΑΡΝΑ	16	7	<MDL	<MDL	46	29	11	3	0.18/6.52

8.3 ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΕΚΧΥΛΙΣΗΣ ΤΟΥ ΙΖΗΜΑΤΟΣ ΤΩΝ ΜΕΛ

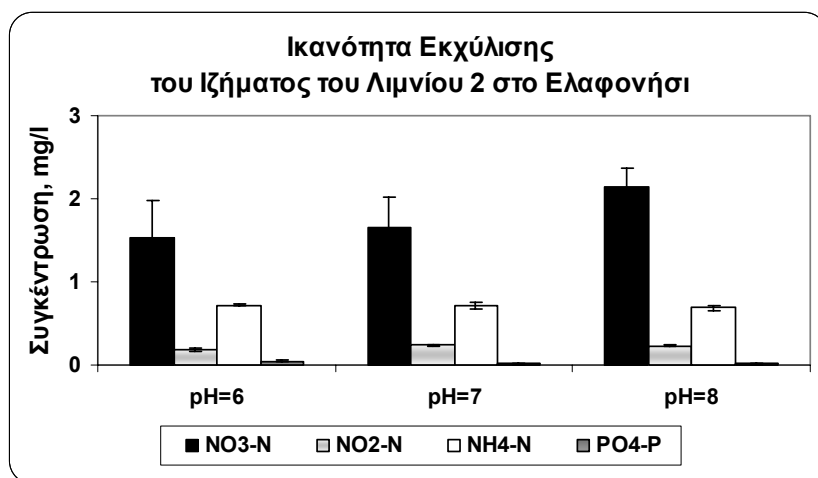
Στα διαγράμματα 8.3 έως 8.7 παρουσιάζεται η ικανότητα εκχύλισης των ανόργανων μορφών του αζώτου και του φωσφόρου του ιζήματος των λιμνίων σε συνθήκες τριών διαφορετικών pH (pH=6,7 και 8), όπως προέκυψε από τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο (βλ. Πειραματική διαδικασία). Επίσης, στους πίνακες 8.2 έως 8.6 φαίνονται οι συγκεντρώσεις και η τυπική απόκλιση των ανόργανων μορφών αζώτου και φωσφόρου που εκχυλίζονται από τα ιζήματα των λιμνίων και ο μοριακός λόγος N/P. Γενικά, η συνολική ποσότητα εκχύλισης ανόργανων μορφών αζώτου δείχνει μια πολύ μικρή αύξηση με την αύξηση του pH στο εύρος pH 6-8, με εξαίρεση το ίζημα του λιμνίου στα Φαλάσαρνα, όπου η αύξηση είναι πολύ μεγαλύτερη. Ακόμη, τα αποτελέσματα αποτελούν ένδειξη για το ότι πέρα από την ανοργανοποίηση λειτουργεί και μάλιστα με σχετικά μεγάλο ρυθμό και η νιτροποίηση. Αξίζει να σημειωθεί ότι, τα ιζήματα των λιμνίων παρουσιάζουν αρκετά μεγαλύτερη ικανότητα εκχύλισης ανόργανων μορφών αζώτου και φωσφόρου, σε σύγκριση με παρόμοια πειράματα που έχουν γίνει σε ιζήματα εφήμερων ποταμών της Ευρώπης [76]. Τέλος, η ικανότητα του ιζήματος του λιμνίου στον Ομαλό να εκχυλίζει ανόργανες μορφές αζώτου και φωσφόρου βρέθηκε ότι είναι μεγαλύτερη από τις συγκεντρώσεις των αντίστοιχων ειδών στο νερό του λιμνίου. Το παραπάνω καταδεικνύει την τάση του ιζήματος να ενισχύει την χημική σύσταση του νερού του λιμνίου. Πιο συγκεκριμένα, η συγκεντρώση εκχύλισης του ιζήματος ήταν 11 φορές μεγαλύτερη για την αμμωνία και 5 φορές για τα νιτρώδη σε σχέση με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις στο νερό του λιμνίου και στα ίδια επίπεδα για τα νιτρικά (0.4 ppm NH₄-N, 0.15 ppm NO₂-N, <10 ppm NO₃-N -μετρήσεις ΜΑΙΧ, Μάρτιος 2005). Αν και δεν υπάρχουν μετρήσεις και για τα υπόλοιπα λιμνία, η συμπεριφορά αναμένεται να είναι ίδια. Ο μοριακός λόγος N/P και στα πέντε ιζήματα βρέθηκε μεγαλύτερος από 16 καταδεικνύοντας ότι περιοριστικός παράγοντας είναι ο φώσφορος. Μάλιστα, οι συγκεντρώσεις του εκχυλιζόμενου P (το νερό στα λιμνία παρουσίασε από εποχικές μετρήσεις του ΜΑΙΧ pH 7.5-8) είναι πολύ μεγαλύτερες από 20 μg/l και δημιουργούν ευτροφικές συνθήκες.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.2. Οι συγκεντρώσεις και η τυπική απόκλιση των ανόργανων μορφών αζώτου και φωσφόρου που εκχυλίζονται από το λιμνίο του Ομαλού και ο μοριακός λόγος N/P.

mg/l	pH=6	std	pH=7	std	pH=8	std
NO ₃ -N	4.624	0.344	6.072	0.609	5.644	0.494
NO ₂ -N	0.300	0.052	0.606	0.036	0.767	0.052
NH ₄ -N	1.279	0.181	0.935	0.179	1.814	0.267
PO ₄ -P	0.183	0.071	0.138	0.030	0.268	0.158
N/P (molar ratio)	77.3		125.9		70.1	

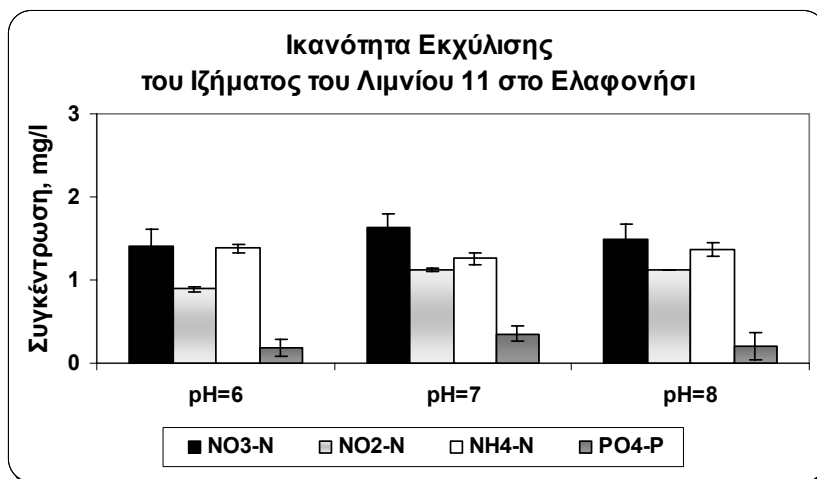
**Διάγραμμα 8.3.** Η ικανότητα εκχύλισης ανόργανων μορφών αζώτου και φωσφόρου του ιζήματος του λιμνίου στον Ομαλό σε διαφορετικά pH και θερμοκρασία 20 °C.**ΠΙΝΑΚΑΣ 8.3.** Οι συγκεντρώσεις και η τυπική απόκλιση των ανόργανων μορφών αζώτου και φωσφόρου που εκχυλίζονται από το λιμνίο 2 στο Ελαφονήσι και ο μοριακός λόγος N/P.

mg/l	pH=6	std	pH=7	std	pH=8	std
NO ₃ -N	1.536	0.444	1.655	0.358	2.142	0.227
NO ₂ -N	0.181	0.018	0.238	0.009	0.233	0.014
NH ₄ -N	0.716	0.009	0.708	0.038	0.686	0.033
PO ₄ -P	0.048	0.008	0.014	0.012	0.012	0.016
N/P (molar ratio)	114.9		415.5		569.6	

**Διάγραμμα 8.4.** Η ικανότητα εκχύλισης ανόργανων μορφών αζώτου και φωσφόρου του ιζήματος του λιμνίου 2 στο Ελαφονήσι σε διαφορετικά pH και θερμοκρασία 20 °C.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.4. Οι συγκεντρώσεις και η τυπική απόκλιση των ανόργανων μορφών αζώτου και φωσφόρου που εκχυλίζονται από το λιμνίο 11 στο Ελαφονήσι και ο μοριακός λόγος N/P.

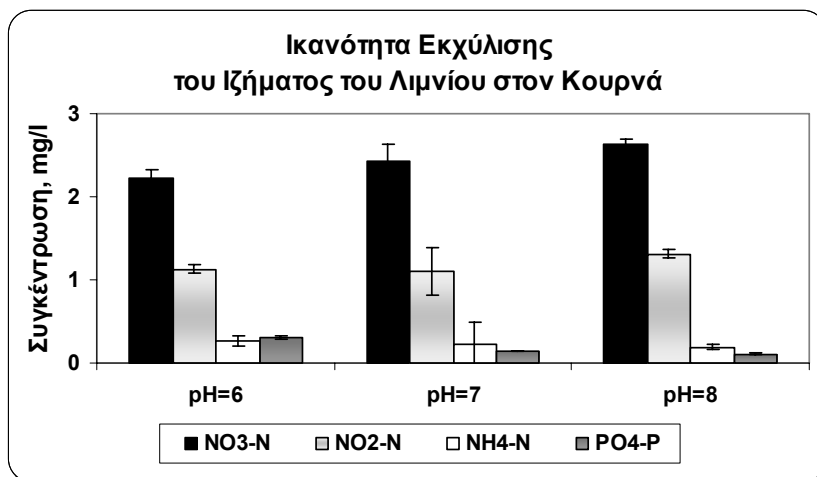
mg/l	pH=6	std	pH=7	std	pH=8	std
NO ₃ -N	1.404	0.209	1.625	0.168	1.492	0.185
NO ₂ -N	0.891	0.031	1.120	0.015	1.123	0.007
NH ₄ -N	1.378	0.045	1.256	0.066	1.368	0.088
PO ₄ -P	0.185	0.094	0.352	0.096	0.204	0.155
N/P (molar ratio)	45.3		25.9		44.6	



Διάγραμμα 8.5. Η ικανότητα εκχύλισης ανόργανων μορφών αζώτου και φωσφόρου του ιζήματος του λιμνίου 11 στο Ελαφονήσι σε διαφορετικά pH και θερμοκρασία 20 °C.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.5. Οι συγκεντρώσεις και η τυπική απόκλιση των ανόργανων μορφών αζώτου και φωσφόρου που εκχυλίζονται από το λιμνίο στον Κουρνά και ο μοριακός λόγος N/P.

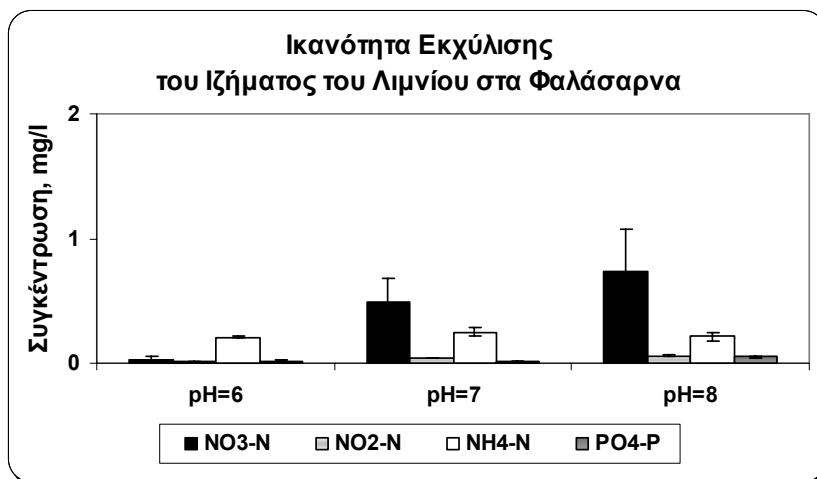
mg/l	pH=6	std	pH=7	std	pH=8	std
NO ₃ -N	2.216	0.117	2.423	0.205	2.630	0.068
NO ₂ -N	1.129	0.050	1.098	0.290	1.315	0.054
NH ₄ -N	0.259	0.060	0.227	0.259	0.189	0.027
PO ₄ -P	0.298	0.021	0.136	0.000	0.112	0.001
N/P (molar ratio)	27.7		63.1		84.3	



Διάγραμμα 8.6. Η ικανότητα εκχύλισης ανόργανων μορφών αζώτου και φωσφόρου του ιζήματος του λιμνίου στον Κουρνά σε διαφορετικά pH και θερμοκρασία 20 °C.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.6. Οι συγκεντρώσεις και η τυπική απόκλιση των ανόργανων μορφών αζώτου και φωσφόρου που εκχυλίζονται από το λιμνίο στα Φαλάσαρνα και ο μοριακός λόγος N/P.

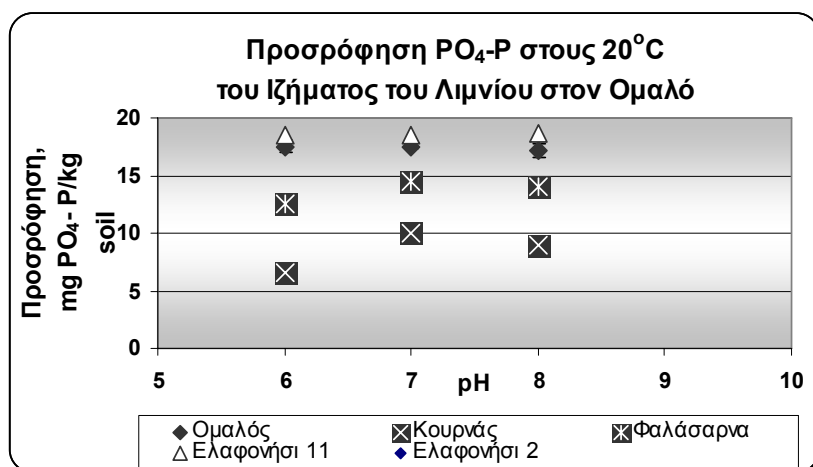
mg/l	pH=6	std	pH=7	std	pH=8	std
NO ₃ -N	0.022	0.031	0.488	0.188	0.731	0.345
NO ₂ -N	0.008	0.004	0.039	0.004	0.059	0.004
NH ₄ -N	0.206	0.008	0.248	0.032	0.211	0.031
PO ₄ -P	0.014	0.007	0.014	0.001	0.048	0.012
N/P (molar ratio)	38.1		125.3		47.6	



Διάγραμμα 8.7. Η ικανότητα εκχύλισης ανόργανων μορφών αζώτου και φωσφόρου του ιζήματος του λιμνίου στα Φαλάσαρνα σε διαφορετικά pH και θερμοκρασία 20 °C.

8.4 ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ ΦΩΣΦΟΡΙΚΩΝ ΤΟΥ ΙΖΗΜΑΤΟΣ ΤΩΝ ΜΕΛ

Στο διάγραμμα 8.9 παρουσιάζεται η ικανότητα προσρόφησης ανόργανου φωσφόρου του ιζήματος των λιμνίων όπως μελετήθηκε στο εργαστήριο με πειράματα διαλείποντος έργου σε συνθήκες θερμοκρασίας 20 °C και τρία διαφορετικά pH 6, 7 και 8 (βλ. Πειραματική διαδικασία και παράρτημα 8.Ι για αναλυτικά διαγράμματα). Η προσρόφηση βρέθηκε ότι είναι της ίδιας τάξης μεγέθους και στα τρία pH και για τα πέντε λιμνία. Μεγαλύτερη ικανότητα προσρόφησης παρουσίασαν τα ιζήματα των λιμνίων στο Ελαφονήσι και στον Ομαλό και ακολούθησαν τα Φαλάσαρνα και ο Κουρνάς. Σημειώνεται ότι η συγκέντρωση φωσφορικών που προστέθηκε ήταν 1ppm.



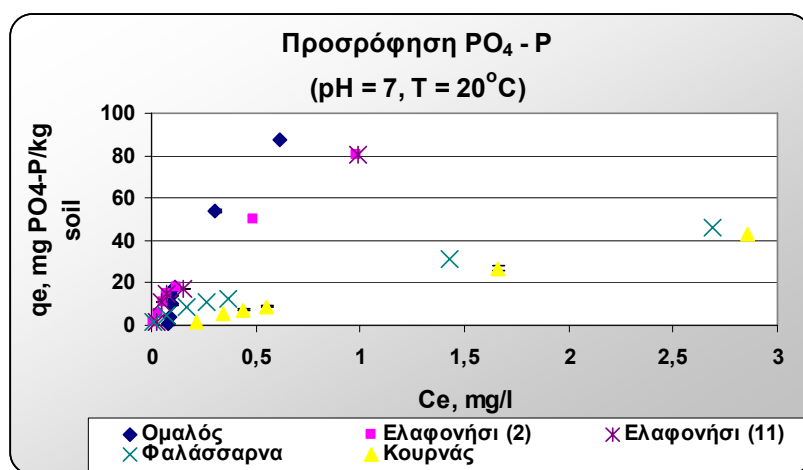
Διάγραμμα 8.8. Η ικανότητα προσρόφησης ανόργανων μορφών φωσφόρου του ιζήματος των λιμνίων σε pH 6, 7 και 8 και θερμοκρασία 20 °C.

❖ Ισόθερμες προσρόφησης

Επιπλέον, όπως έχει ήδη αναφερθεί πραγματοποιήθηκαν ισόθερμες προσρόφησης φωσφορικών του ιζήματος των λιμνίων σε συνθήκες θερμοκρασίας 20 °C και pH 7 και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο διάγραμμα 8.10.

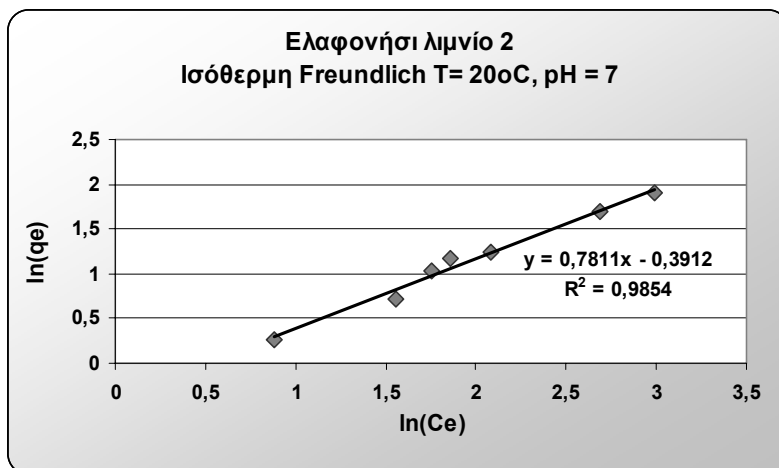
Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι γενικά τα ιζήματα παρουσιάζουν μεγάλη ικανότητα προσρόφησης. Ακόμη, στις χαμηλές συγκεντρώσεις η ισόθερμες ήταν γραμμικές και για τα πέντε ιζήματα. Όμως, δεν υπήρξε καθαρή προσρόφηση φωσφορικών από τα ιζήματα στην συγκέντρωση 0.1 mg/L PO₄-P (συγκέντρωση ισορροπίας), τιμή η οποία είναι σύμφωνη με την τιμή(EPC₀ ~ 0.08 mg/L PO₄-P και για τα πέντε ιζήματα) που προκύπτει από την εξίσωση EPC₀ = 0.0000577*(άργιλος + ιλύς) + 0.0763 [79], όπου (άργιλος + ιλύς) είναι το ποσοστό της αργίλου και της ιλύος στο ιζημα.

Μεγαλύτερη ικανότητα προσρόφησης παρουσίασε το ίζημα του Ομαλού, ακολούθησαν τα ιζήματα των λιμνίων στο Ελαφονήσι με παρόμοια συμπεριφορά, στη συνέχεια το ίζημα στα Φαλάσαρνα και τέλος μικρότερη ικανότητα παρουσίασε το ίζημα του λιμνίου στον Κουρνά. Όσο αφορά τα ιζήματα στον Ομαλό και το Ελαφονήσι παρατηρείται ότι ενώ στις χαμηλές συγκεντρώσεις παρατηρείται η χαρακτηριστική εκθετική αύξηση της προσρόφησης με την αύξηση της συγκέντρωσης, στις μεγάλες συγκεντρώσεις (> ppm) η αύξηση αυτή αρχίζει να γίνεται δυσανάλογη. Το παραπάνω υποδεικνύει ότι σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 5 ppm αυτές πιθανότατα λαμβάνει χώρα επιφανειακή κατακρήμνιση των φωσφορικών στα οξείδια του σιδήρου και του αργιλίου, καθώς και στις οργανικές επικαλύψεις που υπάρχουν στους κόκκους του ιζήματος. Έτσι, θα πρέπει να γίνουν πειράματα και σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις, ώστε να διευκρινιστεί το παραπάνω.

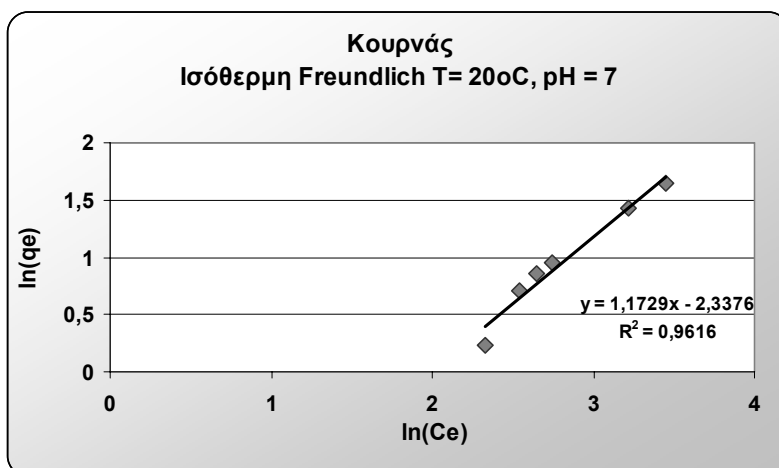


Διάγραμμα 8.9. Πειραματικά δεδομένα ισόθερμων προσρόφησης ανόργανων μορφών φωσφόρου του ιζήματος των λιμνίων σε θερμοκρασία 20 °C.

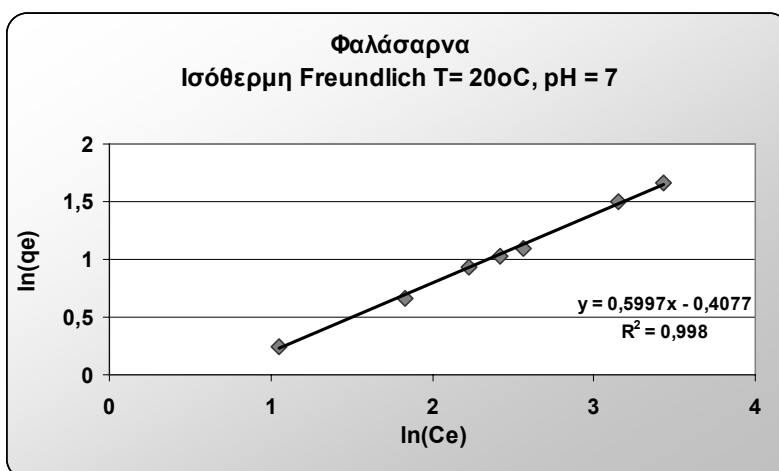
Ακόμη, εξετάστηκε η δυνατότητα να προσομοιωθούν τα πειραματικά δεδομένα της προσρόφησης με τα μοντέλα Freundlich, Langmuir, κ.α.. Ικανοποιητική φάνηκε η προσομοίωση με το μοντέλο Freundlich για την προσρόφηση φωσφορικών του ιζήματος των λιμνίων Ελαφονήσι-2, Κουρνάς και Φαλάσαρνα, καθώς το R² ήταν μεγαλύτερο από 0.95 (Διαγράμματα 8.13-15). Τα μοντέλα που προέκυψαν για το Ελαφονήσι-2, τον Κουρνά και τα Φαλάσαρνα ήταν $q=0.40626 \cdot C^{1/1.28025}$, $q=0.00460 \cdot C^{1/0.85259}$ και $q=0.39111 \cdot C^{1/1.66750}$, αντίστοιχα. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων της παραπάνω εξισώσεων και των πειραματικών δεδομένων γίνεται στα διαγράμματα 8.1.11-13 στο παράρτημα 8.1.



Διάγραμμα 8.10. Η γραμμικοποιημένη μορφή της ισόθερμης Freundlich και των πειραματικών δεδομένων για την προσρόφηση φωσφορικών του ιζήματος του λιμνίου 2 στο Ελαφονήσι σε θερμοκρασία 20°C .



Διάγραμμα 8.11. Η γραμμικοποιημένη μορφή της ισόθερμης Freundlich και των πειραματικών δεδομένων για την προσρόφηση φωσφορικών του ιζήματος του λιμνίου στον Κουρνά σε θερμοκρασία 20°C .



Διάγραμμα 8.12. Η γραμμικοποιημένη μορφή της ισόθερμης Freundlich και των πειραματικών δεδομένων για την προσρόφηση φωσφορικών του ιζήματος του λιμνίου στα Φαλάσαρνα σε θερμοκρασία 20°C .

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

9.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή είχε στόχο τη μελέτη της υδρολογίας και της γεωχημείας των Μεσογειακών Εποχικών Λιμνίων (ΜΕΛ) της Δυτικής Κρήτης (Φαλάσσαρνα, Ελαφονήσι, Γεωργιούπολη, Ομαλός). Τα συμπεράσματα που προέκυψαν παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω:

❖ Υδρολογία

- Ο φυσικοχημικός χαρακτηρισμός του ιζήματος των ΜΕΛ και οι επιτόπιες μελέτες και παρατηρήσεις στο πεδίο (πειράματα προσδιορισμού της διηθητικής ικανότητας του ιζήματος των λιμνίων, υδρολογικές παρατηρήσεις), επέτρεψαν την εννοιολογική προσέγγιση του υδρολογικού κύκλου των λιμνίων. Το παραπάνω έδειξε ότι τα ΜΕΛ της Δυτικής Κρήτης παρουσιάζουν από περιοχή σε περιοχή διαφορετικά υδρολογικά χαρακτηριστικά. Έτσι, η μοντελοποίηση της υδρολογίας των λιμνίων και ο υπολογισμός της υδροπεριόδου τους πρέπει να λαμβάνει υπόψη τα υδρολογικά χαρακτηριστικά κάθε περιοχής.
- Ο ακριβής υπολογισμός της υδροπεριόδου του λιμνίου στην Λίμνη Κουρνά απαιτεί την μοντελοποίηση της υδρολογίας της λίμνης. Το παραπάνω όμως λόγω του ασβεστολιθικού υποβάθρου της περιοχής αποτελεί μια δύσκολη διαδικασία. Παρόλα αυτά, οι τηλεμετρικές μετρήσεις της στάθμης της λίμνης από την Περιφέρεια Κρήτης θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν, ώστε να γίνει μια εκτίμηση της υδροπεριόδου.
- Όσο αφορά το λιμνίο στα Φαλάσσαρνα, καθώς εξαρτάται από την στάθμη του υπογείου νερού της περιοχής, για τον ακριβή υπολογισμό της υδροπεριόδου του απαιτείται η εγκατάσταση πιεζομέτρου στο λιμνίο.
- Για τα λιμνία στο Ελαφονήσι και στον Ομαλό το μοντέλο HPM, που αναπτύχθηκε στην παρούσα διατριβή, έδειξε ότι μπορεί να δώσει πολύ καλά αποτελέσματα για την εκτίμηση της υδροπεριόδου.
- Έτσι, η προσομοίωση για την περίοδο 1/6/05 έως 27/2/06, για τα λιμνία 2 και 11 στο Ελαφονήσι, έδειξε διακοπτόμενη υδροπερίοδο 45 και 40 ημερών αντίστοιχα. Ακόμη, η προσομοίωση για την περίοδο 1/9/05 έως 28/2/06, για το λιμνίο στον Ομαλό, έδειξε συνεχή υδροπερίοδο 145 ημερών.
- Ο υπολογισμός της υδροπεριόδου των λιμνίων της Δυτικής Κρήτης για τουλάχιστον ένα υδρολογικό έτος και η συσχέτιση των υδροπεριόδων με τις φυτοκοινωνίες που αναπτύσσονται σε αυτά θα μπορούσε να αποτελέσει χρήσιμη πληροφορία για την προστασία τους και για την ενδεχόμενη επέμβαση στις υδροπεριόδους τους.
- Οι πιέσεις και απειλές που αντιμετωπίζουν τα ΜΕΛ της Δ. Κρήτης είναι οι ανθρωπογενείς παρεμβάσεις και οι επικείμενες κλιματικές αλλαγές. Από τις μηνιαίες επισκέψεις στο περιοχές των λιμνίων που πραγματοποιήθηκαν κατά την διάρκεια εκπόνηση της παρούσας εργασίας, προέκυψε ότι οι κύριες ανθρωπογενείς πιέσεις είναι: οι απολήψεις ιζήματος (Ελαφονήσι), οι οποίες αλλάζουν την τοπογραφία της περιοχής, το υδρολογικό καθεστώς και αποτελούν κίνδυνο για την ανάπτυξη των φυτοκοινωνιών, η ρύπανση από τα θερμικά (Ελαφονήσι, Φαλάσσαρνα) και τα περιττώματα των ζώων και η εναπόθεση απορριμμάτων.

- Σχετικά με τις κλιματικές αλλαγές τονίζεται ξανά ότι η ανάλυση των μελετών που έχουν ασχοληθεί με τις κλιματολογικές αλλαγές στη Μεσόγειο κι ιδιαίτερα στην Ελλάδα, παρουσιάζουν από μικρή συμφωνία έως και διαφωνίες στα αποτελέσματα. Ωστόσο, η παρατηρηθείσα τάση στα κλιματολογικά δεδομένα, όπως επίσης και η κλιματική προσομοίωση που πραγματοποιήθηκε από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (ΕΕΑ) συνιστούν αξιοσημείωτες κλιματολογικές αλλαγές και ενδείξεις για επερχόμενη κλιματική μεταβολή. Έτσι, η μείωση των βροχοπτώσεων που προβλέπει το ΕΕΑ θα έχει ως αποτέλεσμα την αποσταθεροποίηση ή και την κατάρρευση των υδρολογικών συνθηκών των λιμνίων. Κατά συνέπεια η σμίκρυνση της υδροπεριόδου θα έχει επίδραση και στα οικολογικά χαρακτηριστικά των λιμνίων.
- Ακόμη, οι τάσεις των βροχοπτώσεων στην Κρήτη γενικά παρουσιάζονται πτωτικές, με αποτέλεσμα να μπορεί να θεωρηθεί ότι ήδη έχει υπάρξει κάποια μείωση στο μήκος της υδροπεριόδου. Το παραπάνω όμως δεν μπορεί να επιβεβαιωθεί καθώς δεν υπάρχουν χρονοσειρές βροχοπτώσεων για τις περιοχές ενδιαφέροντος. Παρόλα αυτά θα ήταν σκόπιμο να ερευνηθεί και ίσως να βρεθούν υδροπερίοδοι αναφοράς για τις διάφορες φυτοκοινωνίες και μακροασπόνδυλα, ώστε αν κριθεί απαραίτητο να γίνουν επεμβάσεις στις υδροπεριόδους των λιμνίων.

❖ Γεωχημεία

- Η μελέτη των γεωχημικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στο ίζημα των λιμνίων με βάση την ανάλυση των κύκλων αζώτου και φωσφόρου, έδειξε ότι οι κύριες διεργασίες είναι η ανοργανοποίηση και η εκχύλιση θρεπτικών, η απονιτροποίηση και η προσρόφηση φωσφορικών.
- Το ίζημα και των πέντε λιμνίων έδειξε μεγάλη ικανότητα ανοργανοποίησης οργανικών μορφών αζώτου και φωσφόρου. Η ανοργανοποίηση γενικά προέκυψε μεγαλύτερη κατά την υγρή φάση και για τις μορφές αζώτου, σε σχέση με τις μορφές φωσφόρου. Γενικά, η ικανότητα ανοργανοποίησης εξαρτάται από την υγρασία του ιζήματος και το ίζημα των λιμνίων παρουσίασε μεγαλύτερη στα υπερκορεσμένα δείγματα.
- Ακόμη, ικανότητα εκχύλισης ανόργανων μορφών αζώτου και φωσφόρου ήταν επίσης μεγάλη και φάνηκε ότι δεν επηρεάζεται ιδιαίτερα από το pH στο εύρος 6-8, με εξαίρεση το ίζημα του λιμνίου στα Φαλάσαρνα, όπου παρατηρήθηκε αύξηση με το pH.
- Η προσρόφηση φωσφορικών βρέθηκε ότι είναι της ίδιας τάξης μεγέθους στο εύρος pH 6-8 και για τα πέντε ιζήματα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι γενικά τα ιζήματα παρουσιάζουν μεγάλη ικανότητα προσρόφησης. Ακόμη, στις χαμηλές συγκεντρώσεις η ισόθερμες ήταν γραμμικές και για τα πέντε ιζήματα, ενώ στις μεγάλες συγκεντρώσεις τα ιζήματα του Ομαλού και του Ελαφονησίου έδειξαν ενδείξεις επιφανειακής κατακρήμνισης, ένα ζήτημα που πρέπει να διευκρινιστεί.
- Οι κύκλοι του αζώτου και του φωσφόρου φάνηκε ότι λειτουργούν καλά, ανεξάρτητα από την υγρή και ξηρή φάση του λιμνίου.
- Τα ενδιαυτήματα των ΜΕΛ φάνηκε ότι είναι πλούσια σε θρεπτικά περιβάλλοντα, κυρίως λόγω της ατμοσφαιρικής εναπόθεσης και των ανθρωπογενών πιέσεων (π.χ κτηνοτροφία).
- Η μεγάλη ικανότητα ανοργανοποίησης σε συνδυασμό με την ικανότητα για εκχύλιση αποτελεί ένδειξη για την σημαντική ενίσχυση του νερού με θρεπτικά και εν τέλει την ρύπανση του υπόγειου νερού.
- Τα ιζήματα παρουσίασαν μεγάλη ικανότητα να απομακρύνουν τον φώσφορο και αυτός πιθανότατα είναι ο λόγος που τον κάνει και περιοριστικό παράγοντα για την βιο-ανάπτυξη.
- Η σημαντική φόρτιση του ιζήματος με οργανικό φορτίο δημιουργεί τις συνθήκες για αναγωγικό περιβάλλον, όπου μπορεί να συμβεί απονιτροποίηση.
- Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι υγρές/ξηρές φάσεις του λιμνίου δεν αποτελούν περιοριστικό παράγοντα για την διαθεσιμότητα των θρεπτικών στα φυτά.

Όπως προέκυψε από την παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή τα μεσογειακά εποχικά λιμνία αποτελούν ένα οικοσύστημα υψηλής γεωχημικής αξίας, το οποίο είναι ιδιαίτερα ευαίσθητο στις επικείμενες κλιματικές αλλαγές, αλλά και τις ανθρώπινες παρεμβάσεις και χρήζει προστασίας. Απαραίτητη προϋπόθεση για την κατάλληλη διαχείριση και προστασία των ΜΕΛ αποτελεί η κατανόηση των τοπικών υδρογεωλογικών, κλιματικών και γεωχημικών συνθηκών κάθε περιοχής εμφάνισης ΜΕΛ.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] ‘Μεσογειακά Εποχικά Λιμνία Τέλματα’, Υπουργείο Ανάπτυξης, Φόρουμ Υγρότοποι – Βιότοποι, Δρ. Θεόδωρος Κουσουρής (ΕΛΚΕΘΕ).
- [2] Angélibert S, Marty P, Céréghino R, Giani N. 2004. Seasonal variations in the physical and \chemical characteristics of ponds: implications for biodiversity conservation. *Aquatic Conservation: Marine Freshwater Ecosystems* **14**: 439–456.
- [3] Beja P, Alcazar R. 2003. Conservation of Mediterranean temporary ponds under agricultural intensification: an evaluation using amphibians. *Pages Biological Conservation volume 114* 3: 317-326.
- [4] Blaustein L, Kiflawi M, Eitam A, Mangel M, Cohen J.E. 2004. Oviposition habitat selection in response to risk of predation in temporary pools: mode of detection and consistency across experimental venue, *Oecologia* **138**: 300-305.
- [5] Boix D, Sala J, Quintana XD, Moreno-Amich R. 2004. Succession of animal community in a Mediterranean temporary pond. *North American Benthological Society volume 23* 1: 29-49.
- [6] Boix D, Sala J, Moreno-Amich R. 2001. The faunal composition of Espolla Pond (NE Iberian Peninsula): the neglected biodiversity of temporary waters. *Wetlands volume 21* 4: 577-592.
- [7] Brendonck L, Williams WD. 2000. Biodiversity in Wetlands of dry regions (drylands). *Biodiversity in wetlands: assessment function and conservation volume 1*: 181-194.
- [8] Brendonck L, Michels E, De Meester L, Riddoch B. 2002. Temporary pools are not ‘enemy free’. *Hydrobiologia volume 486* 1: 147-159.
- [9] Collinson NH, Biggs J, Corfield A, Hodson MJ, Walker D, Whitfield M, Williams PJ. 1995. Temporary and permanent ponds: an assessment of the effects of drying out on the conservation value of aquatic macroinvertebrate communities. *Biological Conservation* **74**: 125–133.
- [10] Eitam A, Noren C, Blaustein L. 2004. Microturbellarian species richness and community similarity among temporary pools: relationships with habitat properties. *Biodiversity and Conservation* **13**: 2107–2117.
- [11] European Commission DG Environment. 2003. Interpretation manual of European Union habitats- directive. *Natura 2000, Nature and biodiversity EUR* **25**: 32-3.
- [12] Everts JW. 1997. Ecotoxicology for Risk Assessment in Arid Zones: Some Key Issues. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology volume 32* 1: 1-10.
- [13] Fahd K, Serrano L, Toja J. 2000. Crustacean and rotifer composition of temporary ponds in the Doñana National Park (SW Spain) during floods. *Hydrobiologia* **436** (1-3): 41-49.
- [14] Grillas P, Gauthier P, Yavercovski N, Perennou C. 2004. Mediterranean Temporary Pools; Volume 1 – Issues relating to conservation, functioning and management. *Station biologique de la Tour du Valat*.
- [15] Grillas P, Gauthier P, Yavercovski N, Perennou C. 2004b. Mediterranean Temporary Pools, Volume 2 - Species information sheets. *Station biologique de Tour du Valat*.
- [16] Jakob C, Poizat G, Veith M, Seitz A, Crivelli AJ. 2003. Breeding phenology and larval distribution of amphibians in a Mediterranean pond network with unpredictable hydrology. *Hydrobiologia* **499**: 51-61.
- [17] Keeley JE, Busch G. 1984. Carbon assimilation characteristics of the aquatic CAM plant , *Isoetes howellii*. *Plant Physiology* **76**: 525-530.
- [18] Keeley JE, Zedler PH. 1996. Characterization and global distribution of vernal pools. *Ecology, Conservation, and Management of Vernal Pool Ecosystems*. California Native Plant Society,

- Sacramento. Proceedings from a Conference, Section I: Past and Present Distribution and Physical and Biological Considerations.
- [19] King JL. 1996. Loss of Diversity as a Consequence of Habitat Destruction in California Vernal Pools, Ecology, Conservation, and Management of vernal pool ecosystems proceedings from a Conference, Section II: The Plants, Animals, and Ecosystems - Ecology and Systematics, Status and Trends. .
- [20] Lahr J. 1997. Ecotoxicology of organisms adapted to life in temporary freshwater ponds in arid and semi-arid regions. Archives Of Environmental Contamination And Toxicology volume 32 1: 50-57.
- [21] Rhazi M, Grillas P, Charpentier A, Médail F. 2004. Experimental management of Mediterranean temporary pools for conservation of the rare quillwort “*Isoetes setacea*”. Biological Conservation volume 118 5: 675-684.
- [22] Rhazi M, Grillas P, Tan Ham L, Khyari El D. 2001. The seed bank and the between years dynamics of the vegetation of a Mediterranean temporary pool (NW Morocco). Ecologia mediterranea volume 27 1: 69-88.
- [23] Rhazi M, Grillas P, Mounirou Toure A, Tan Ham L. 2001b. Impact of land use in catchment and human activities on water, sediment and vegetation of Mediterranean temporary pools. Life Sciences 324: 165-177.
- [24] Rowe CL, Sadinski WJ, Dunson WA. 1992. Effects of acute and chronic acidification on three larval amphibians that breed in temporary ponds. Archives Of Environmental Contamination And Toxicology volume 23 3: 339-350.
- [25] Schwartz SS, Jenkins DG. 2000. Temporary aquatic habitats: constraints and opportunities. Aquatic Ecology 34 (1): 3-8.
- [26] Serrano Laura, Serrano Luis. 1996. Influence of Groundwater Exploitation for Urban Water Supply on Temporary Ponds from the Doñana National Park (SW Spain). Journal of Environmental Management, volume 46 3: 229-238.
- [27] Spencer M, Blaustein L, Schwartz SS, Cohen JE. 1999. Species richness and the proportion of predatory animal species in temporary freshwater pools: relationships with habitat size and permanence. Ecology Letters 2 :157-166.
- [28] Warwick NWM, Brock MA. 2003. Plant reproduction in temporary wetlands: the effects of seasonal timing, depth, and duration of flooding. Aquatic Botany 77: 153–167.
- [29] EUNIS - ECCHM - Factsheet for Mediterranean temporary ponds European Nature Information System.
- [30] Ιστοσελίδα του προγράμματος LIFE-ΦΥΣΗ 2004 “Δράσεις Προστασίας των Μεσογειακών Εποχικών Λιμνίων Νήσο Κρήτη” (<http://www.life-kriti.gr>).
- [31] Η Γη θερμαίνεται και αλλάζει τη ζωή μας (1ο βιβλίο από την «Βασική Σειρά Επιστημών»)
- [32] Ειδικός φάκελος: κλιματικές αλλαγές τι διακυβεύεται Περιοδικό της Γενικής Διεύθυνσης Περιβάλλοντος Αρ. 19 (Μάρτιος 2005)
(http://europa.eu.int/comm/environment/news/efe/19/article_2096_el.htm)
- [33] B. Hare (2005), “Relationship between increases in global mean temperature and impacts on ecosystems, food production, water and socio-economic systems”
- [34] “Περιοχικές Κλιματικές Προγνώσεις στην Περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου: Αποτελέσματα για τη Χρονική Περίοδο 2071-2100”, Β. Κοτρώνη και Κ. Λαγουβάρδο, Σ. Μοιρασγεντή, Ε. Γεωργοπούλου, και Γ. Σαραφίδη, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, Παρατηρητήριο Κλιματικών Αλλαγών.
- [35] Μεταπτυχιακή Διατριβή: “Ανάλυση των τάσεων χρονοσειρών της θερμοκρασίας του αέρα και του νερού στον ΜΣ της Σούδας”, Ε. Λέκκας, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Ιούνιος 2005.
- [36] “Υδρολογικά Στοιχεία Νήσου Κρήτης”, Πρόγραμμα Υδρολογικής Έρευνας, Τμήμα Εγγείων Βελτιώσεων, Διεύθυνση Δημοσίων Έργων, Περιφέρεια Κρήτης.
- [37] Γ. Τσακίρης Γ., “Υδατικοί πόροι: Ι. Τεχνική Υδρολογία”. Εκδόσεις Συμμετρία Αθήνα 1995.
- [38] Η φυσική στο Δίκτυο – Η πρώτη πύλη της Φυσικής στην Ελλάδα (<http://www.physics4u.gr>)
- [39] Ιστοσελίδα Δήμου Χανίων (<http://www.chania.gr>)

- [40] ΦΙΛΟΤΗΣ - Τράπεζα Στοιχείων για την Ελληνική Φύση, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (<http://www.itia.ntua.gr/filotis/>)
- [41] Μελέτη Περιβαλλοντικών επιπτώσεων 'Αντιπλημμυρική Προστασία-οριοθέτηση Κοίτης Ποταμού Ξηροποτάμου Δ.Δ. Βάθης Δήμου Ιναχωρίου' Ελληνική Δημοκρατία, Περιφέρεια Κρήτης, δήμος Ιναχωρίου, Ιναχώριο 2004.
- [42] Ιστοσελίδα της EPA (<http://www.epa.gov/waterscience/basins/index.html>)
- [43] Hamon WR (1961) Estimating potential evapotranspiration. J Hydraul Div Proc Am Soc Civil Eng 87:107-120
- [44] Διαχειριστικό σχέδιο Κουρνά – Γεωργιούπολης LIFE/ΔΥΤΙΚΗΣ ΚΡΗΤΗΣ
- [45] ΥΔΡΟΓΑΙΑ – Π. Παυλάκης, Σ. Κουντούρης, Α. Γιώτης, Α. Χατζηδάκης Γεωλογική και υδρογεωλογική έρευνα λίμνης Κουρνά-πηγών Γεωργιούπολης. Υπ. Δημ. Έργων 1972
- [46] Σ. Μιχελάκης – Η λίμνη Κουρνά Προστασία και Αξιοποίησης της Αγία Σοφία 1984
- [47] Ιστοσελίδα Δήμου Γεωργιούπολης (www.georgioupolis.gr)
- [48] Δ. Βιβιράκης (1996) Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων για την λειτουργία μιας ξενοδοχειακής μονάδας δυναμικότητας 648 κλινών στην περιοχή Φαλάσαρνα, Χανιά.
- [49] Μ. Λιόνης, Β. Περγλέρος Υδρογεωλογική Μελέτη Κάμπου Χανίων, 2001.
- [50] ΕΛΚΕΘΕ
- [51] MAIX
- [52] Chheda P, Nikolaidis N, Carley R. 1996 Manual of Standard Operating Procedures The Development of Mobility-Based Unsaturated Zone Cleanup Standards for Heavy Metals
- [53] Horton, R.E. 1940. An Approach Towards a Physical Interpretation of Infiltration Capacity. Soil Science Society of America Proceedings 5: 399-417.
- [54] N.P.Nikolaidis, H.Rajaram, J.L.Schnoor, K.P.Georgakakos (1988), A Generalized Soft Water Acidification Model, Water Research, Vol. 24, No. 12, pp.1983-1996.
- [55] Κ.Χατζημήτρος (2001), Οικολογία, Οικοσυστήματα και προστασία περιβάλλοντος, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα, σελ. 93-100, σελ. 213-215.
- [56] Sposito, G., I., (1984): The surface chemistry of soils. Oxford Univ. Press, New York.
- [57] H.H.Heng (1996), Modeling of the Hydrochemical Response of a Watershed to Nitrogen Loadings, The University of Connecticut.
- [58] E.C.Krug, D.Winstanley (2002), The need for comprehensive and consistent treatment of the nitrogen cycle in nitrogen cycling and mass balance studies: I. Terrestrial nitrogen cycle, the Science of the Total Environment, Vol. 293, pp. 1-29.
- [59] M.C.Uys, J.H.O Keffe (1997), Simple Words and Fuzzy Zones: Early Directions for Temporary River Research in South Africa, Environmental Management, Vol. 21, No. 4, pp. 517-531.
- [60] N.P.Nikolaidis, H.Hemg, R.Semagin, J.C.Clausen (1998), Non-linear response of a mixed land use watershed to nitrogen loading, Agriculture, Ecosystems and Environment, Vol. 67, pp. 251-265.
- [61] Ι.Πολυράκης (2002), Ποιότητα και Τεχνολογία Τροφίμων, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις Μαθήματος, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης.
- [62] Β.Ζ.Αντωνόπουλος (2001), Ποιότητα και Ρύπανση Υπογείων Νερών, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, σελ. 12-23.
- [63] Κ.Μύρκου (2001), Συγκεντρώσεις Νιτρικών στα Επιφανειακά Νερά της Ελλάδας και στο πόσιμο Νερό της Λέσβου, Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Περιβάλλοντος, Μυτιλήνη 2001.
- [64] Λέκκας, Δ., Θ.,(1996): Περιβαλλοντική Μηχανική Ι, Διαχείριση Υδατικών Πόρων, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, τμήμα Περιβάλλοντος.
- [65] St.C.Chapra, Surface Water-Quality Modeling, The McGRAW-HILL Companies, Inc., McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering, pp. 419-512.
- [66] Cole, C. V., and Heil, R. D. (1981) Phosphorus effects on terrestrial nitrogen cycling, in Clark, F. E., and Rosswall, T. (eds) Terrestrial Nitrogen Cycles, Processes, Ecosystem and Management Impact., Ecol. Bull. (Stockholm), 33, 363-374.
- [67] Sparks, D., L., (1995): Environmental Soil Chemistry, Academic press, Inc.

- [68] Carter, D., L., Mortand, M., M., and Kemper, W., D., (1986). Specific surface, pp. 413-423 In A. Klute (ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*, 2nd ed. Monograph 9, Am. Soc. of Agronomy, Madison, WI.
- [69] Νικαλαΐδης, Π., Ν., (2005): Υδατική Χημεία, Θεωρία, Μοντέλα Και Περιβαλλοντικές Εφαρμογές, Εκδόσεις Ζήτη.
- [70] Ιωάννου, Δ., Ι., (2001): Διδακτορική διατριβή ‘Μελέτη Προσρόφησης βαρέων Μετάλλων και τοξικών στοιχείων στα ιζήματα του Θερμαϊκού κόλπου, με τη χρήση μαθηματικών προτύπων επιφανειακής συμπλοκοποίησης. Περιβαλλοντική Μελέτη’.
- [71] Yu, T., R., (1997): *Chemistry of variable charge soils*, Oxford Univ. Press, Oxford
- [72] McGechan, M., B., Lewis, D., R., (2002): Sorption of phosphorus by soils. Part 1: Principles, equation and model, *Biosystem Engineering*, vol. 82(1), pp. 1-24
- [73] Schnoor, J., L., Περιβαλλοντικά Μοντέλα. Τύχη και μεταφορά ρύπων στον αέρα, νερό και έδαφος. Εκδόσεις Τζιόλα.
- [74] Veith, J., A., and Sposito, G., (1977): on the use of Langmuir equation in the interpretation of adsorption phenomena, *Soil. Sci. Soc. Am J.* 41:497-502
- [75] Γεωργακοπούλου, Κ., (2005): ‘Μελέτη προσρόφησης φωσφορικών σε ασβεστολιθικά ιζήματα’, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης.
- [76] Tzoraki, O., Nikolaidis, N., Amaxidis, Y., Skoulikidis, N. (2006) “In stream biogeochemical processes of a temporary river, *Environmental Science and Technology* (under revision).
- [77] Λιόνης Μ., Περγλέρος, Β., (2001) Υδρογεωλογική μελέτη Κάμπου Χανίων.
- [78] Markaki, Z., et al (2003): ‘Atmospheric deposition of inorganic phosphorus in the Levantine Basin, eastern Mediterranean: Spatial and temporal variability and its role in seawater productivity’ *Limnol. Oceanogr.*
- [79] Smith, D.R.; Haggard, B.E.; Warnemuende E.A.; Huang C., (2005) Sediment phosphorus dynamics for three tile fed drainage ditches in Northeast Indiana. *Agricultural Water Management*, 2005, 71, 19-32.

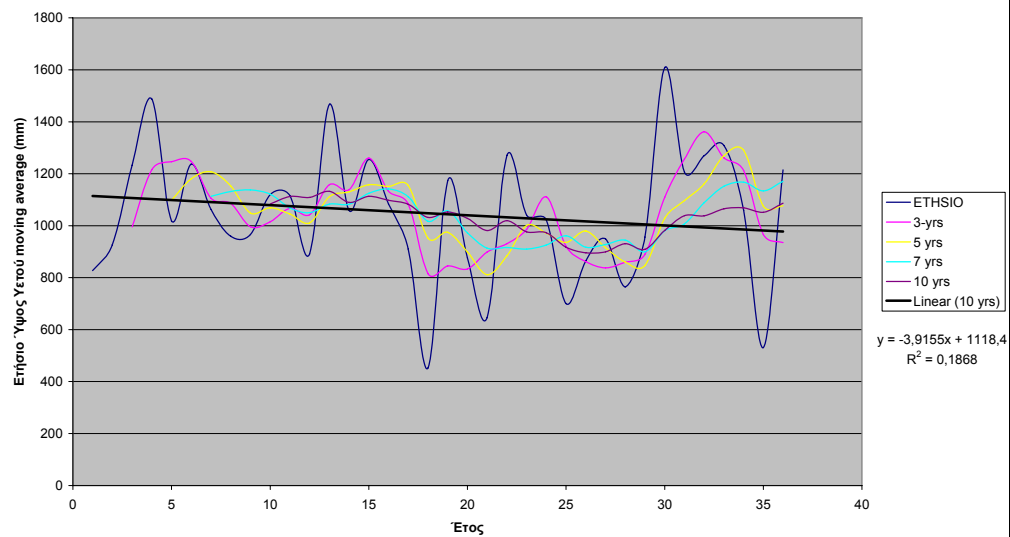
Παράρτημα 2.1

Ανάλυση των τάσεων χρονοσειρών του υετού βροχομετρικών σταθμών της Κρήτης

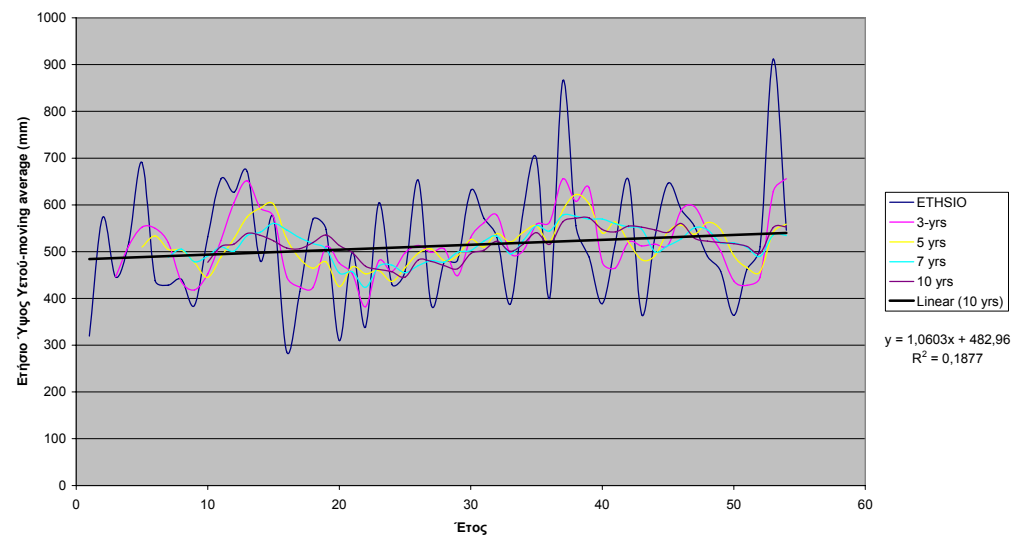
Παρουσιάζονται αναλυτικά τα γραφήματα των τάσεων για κάθε σταθμό, όπως επίσης και συγκεντρωτικός πίνακας με τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων και την αναγωγή των τάσεων σε ποσοστά.

Σταθμοί Ν. Λασιθίου

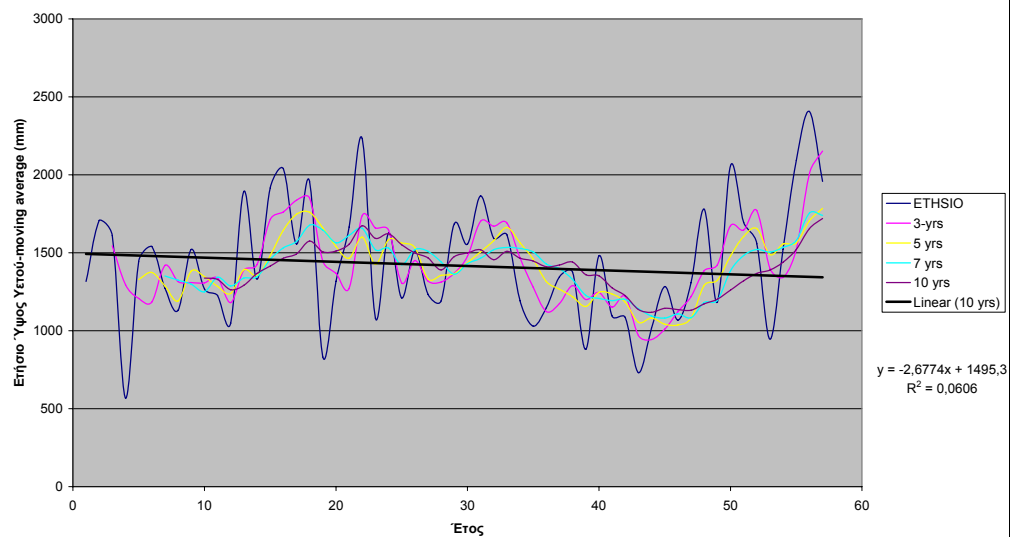
Άγιος Γεώργιος Λασιθίου



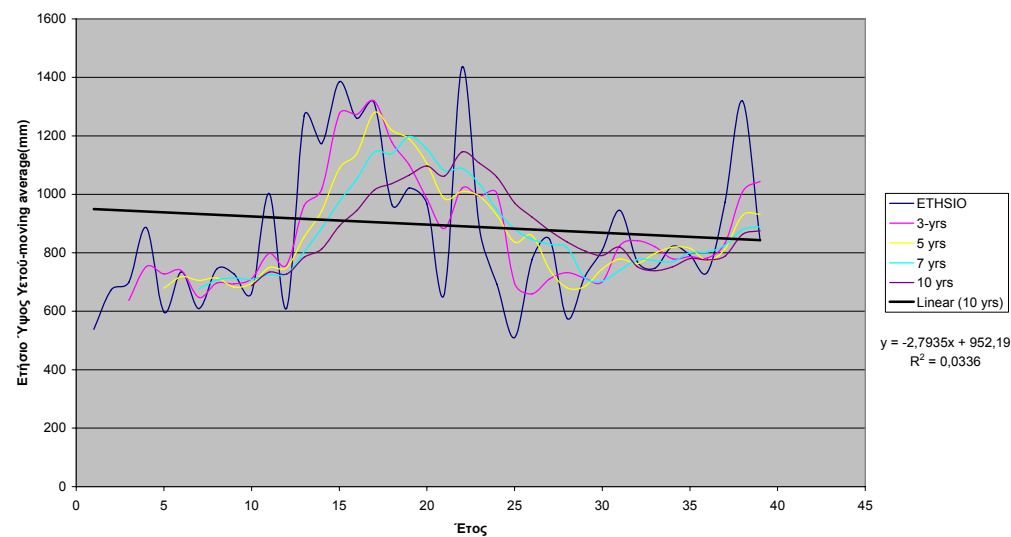
Καλό Χωριό Λασιθίου



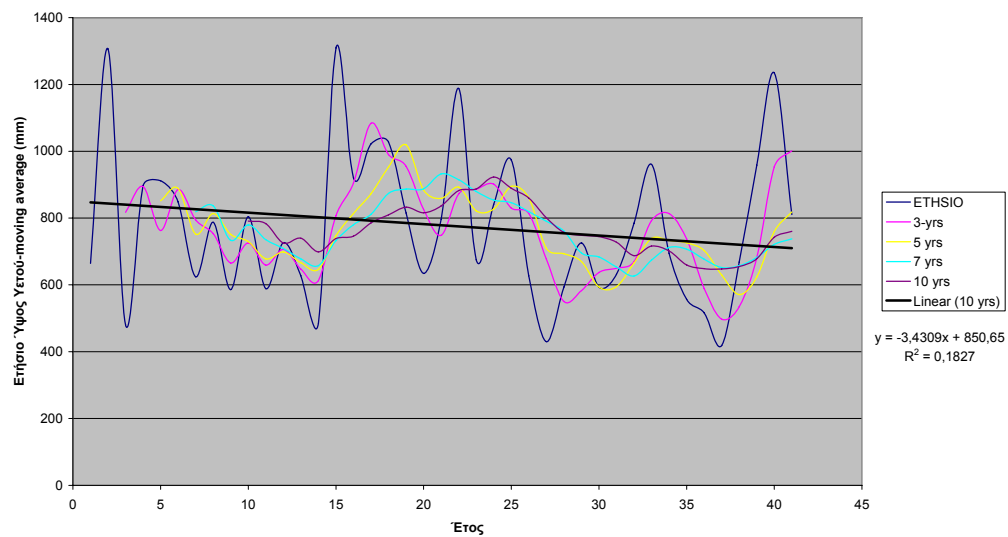
Έξω Ποτάμιο Λασιθίου



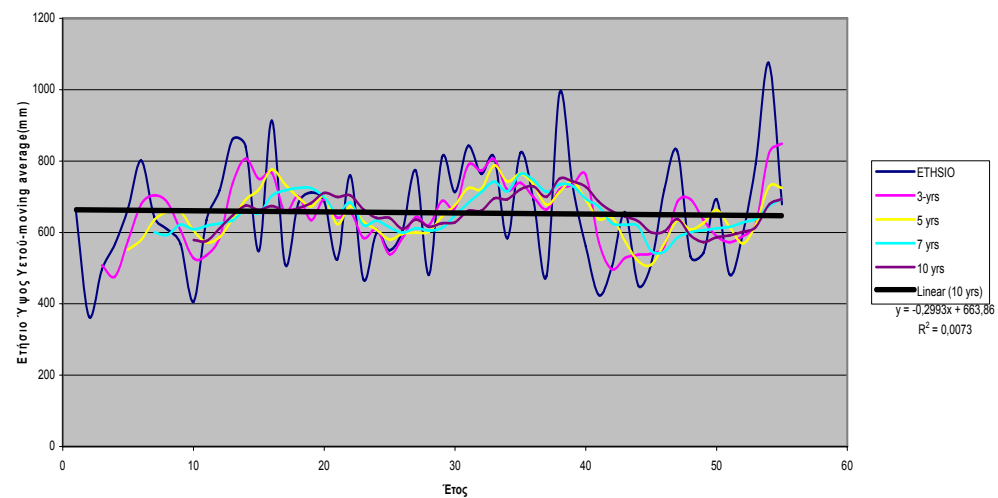
Κατσιδώνι Λασιθίου



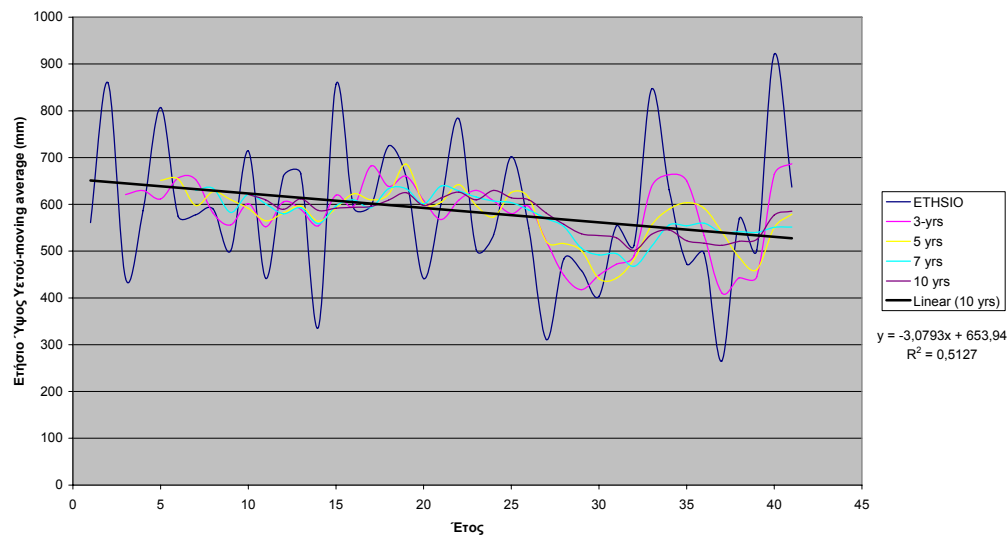
Μάλλες Λασιθίου



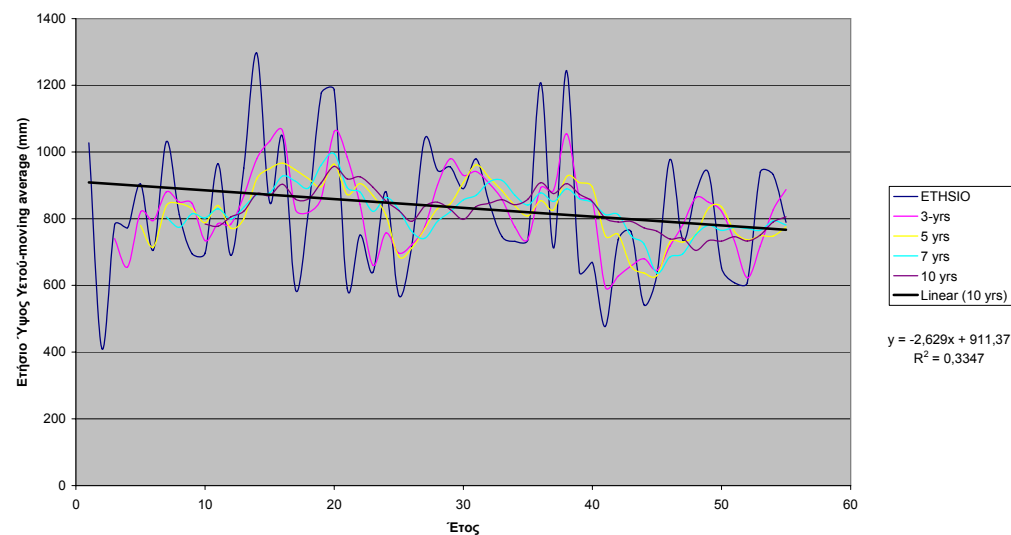
Μαρωνιά Λασιθίου



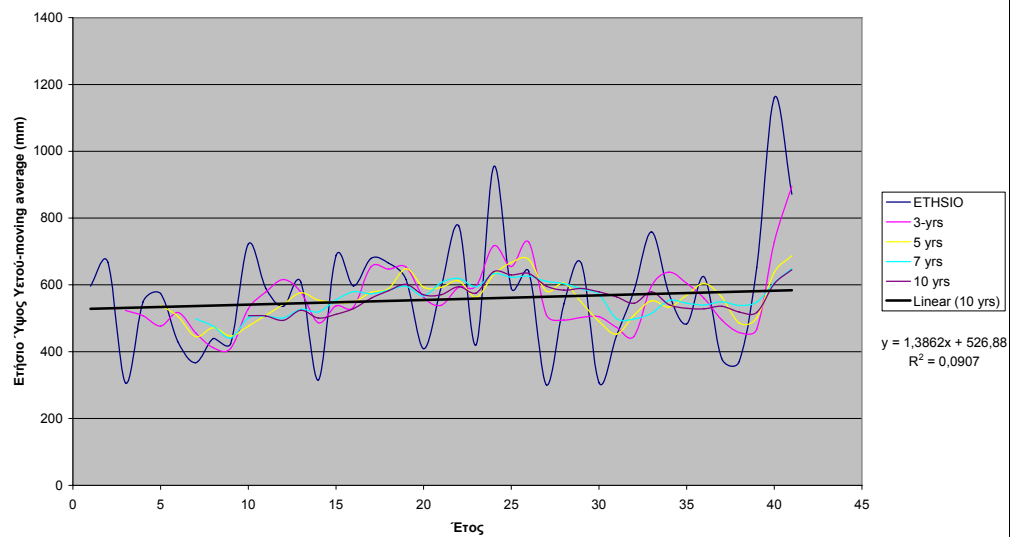
Μύθοι Λασιθίου



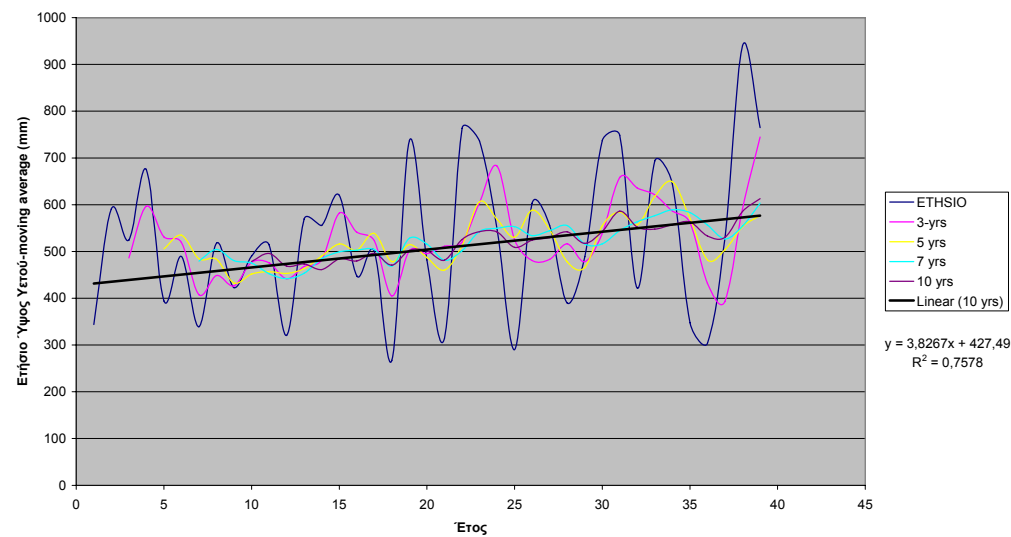
Νεάπολης Λασιθίου



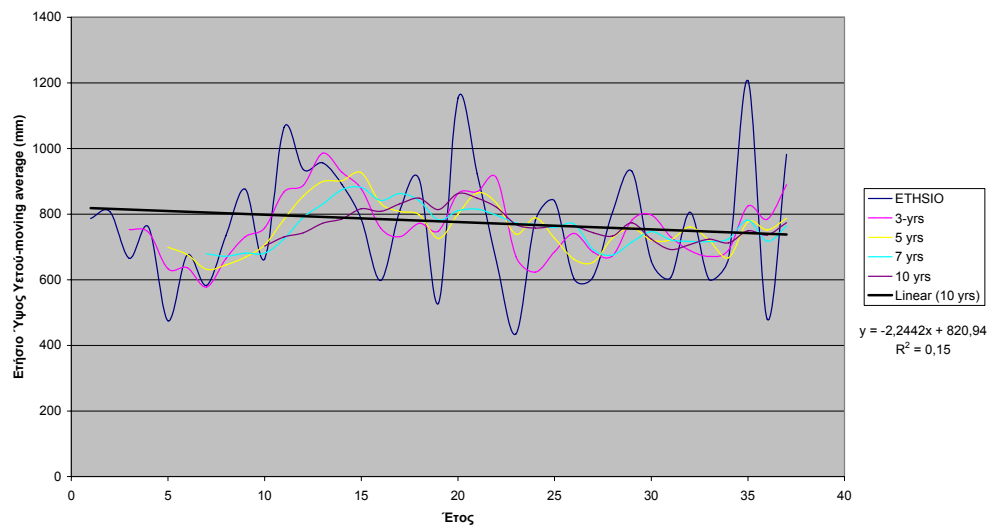
Παχειά Άμμος Λασιθίου



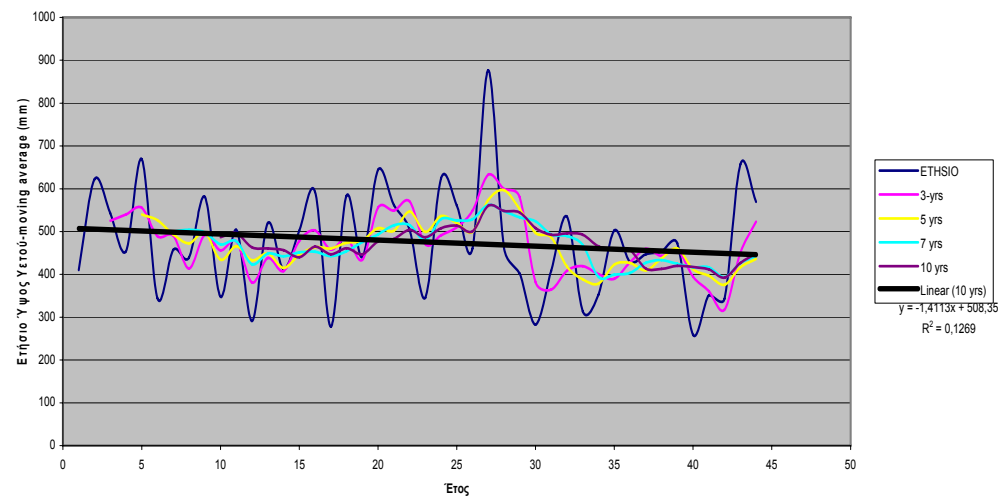
Παλιόκαστρο Λασιθίου



Σταυροχώρι Λασιθίου

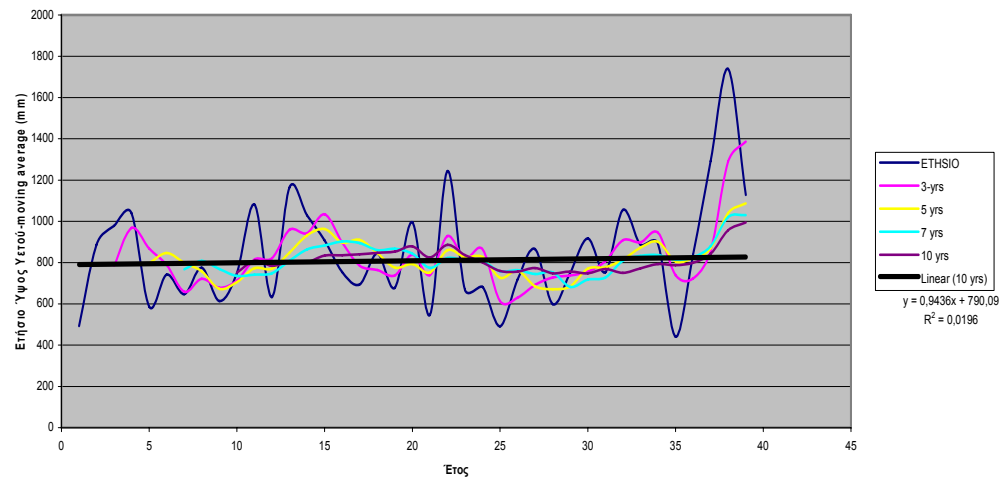


Σητεία Λασιθίου

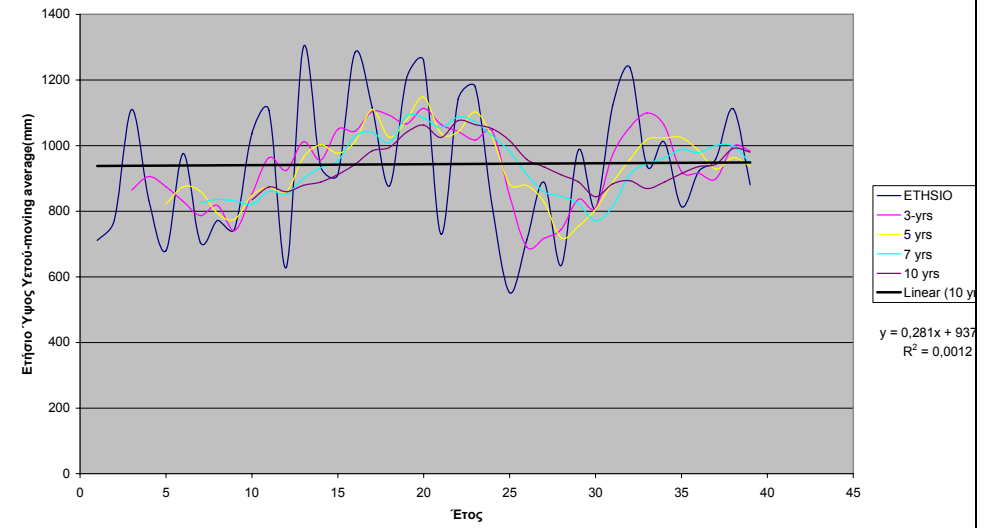


Σταθμοί Ν.Ηρακλείου

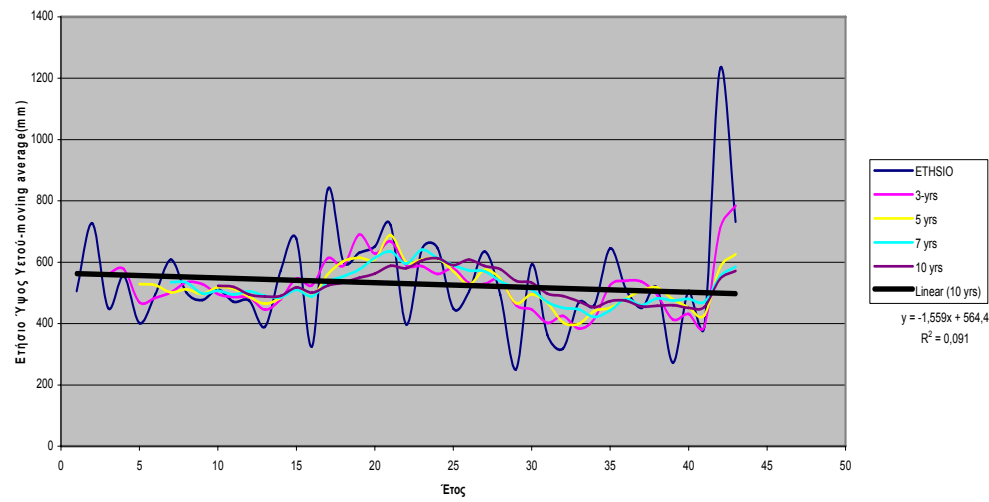
Αβδού Ηρακλείου



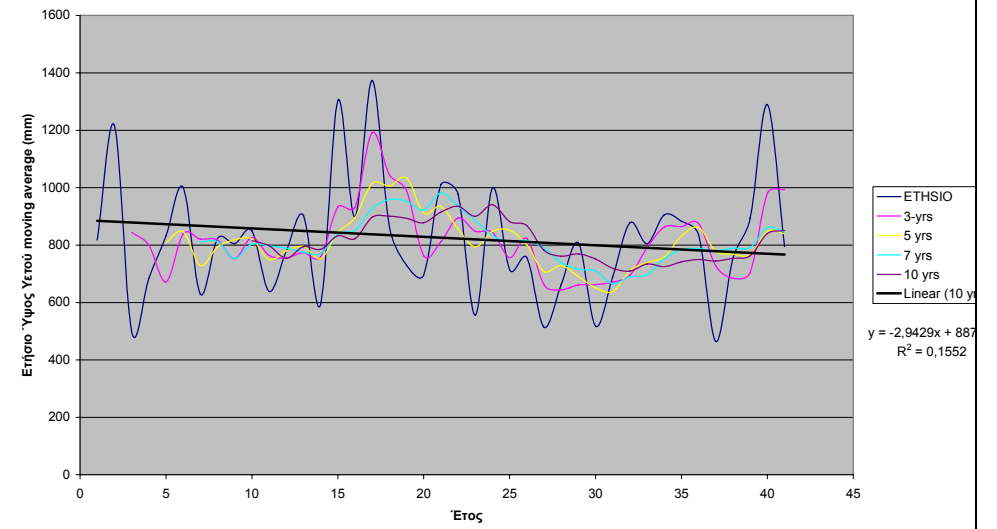
Αγία Βαρβάρα Ηρακλείου



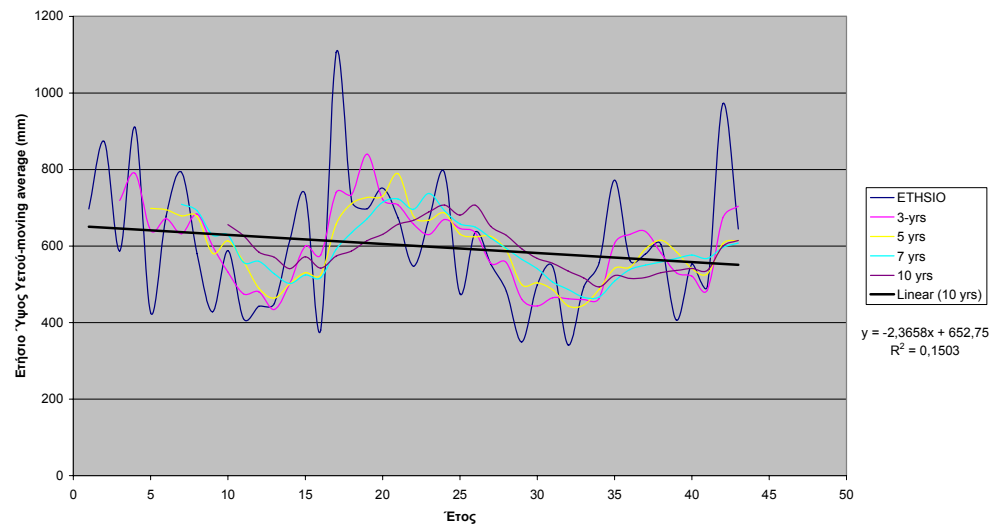
Αγιος Κύριλλος Ηρακλείου



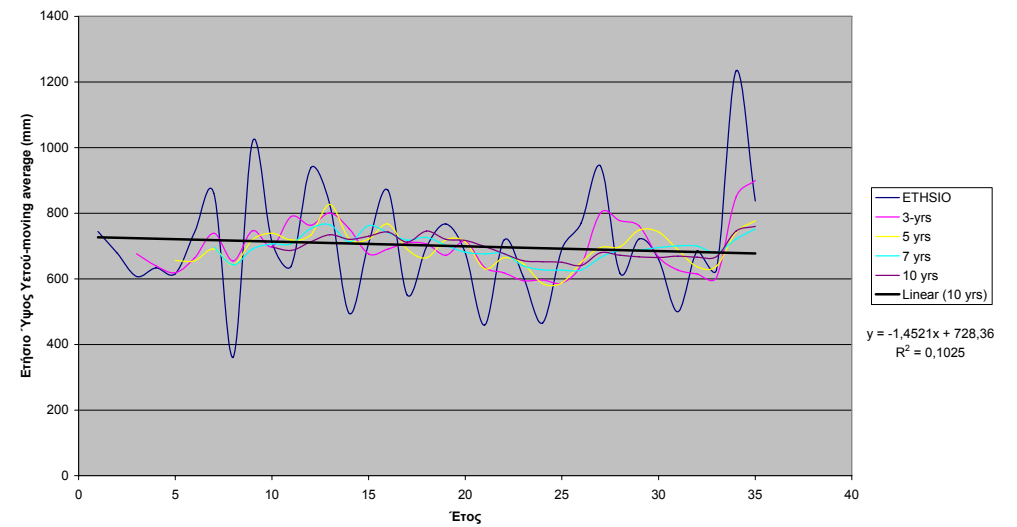
Αρμάχα Ηρακλείου



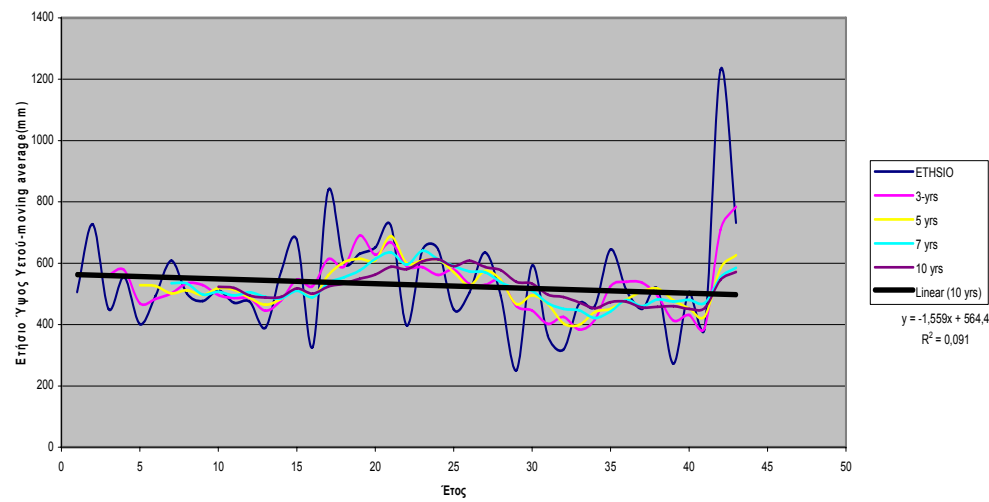
Ασήμι Ηρακλείου



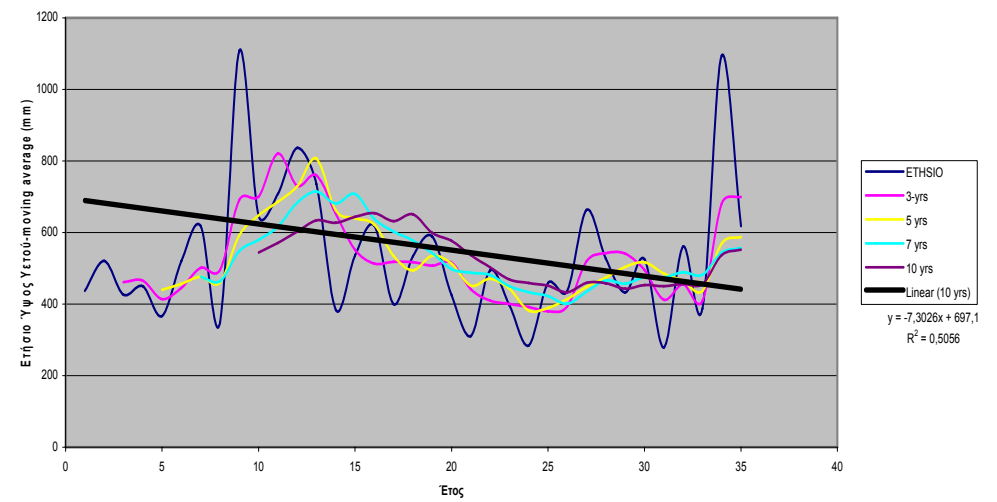
Αχεντριάς Ηρακλείου



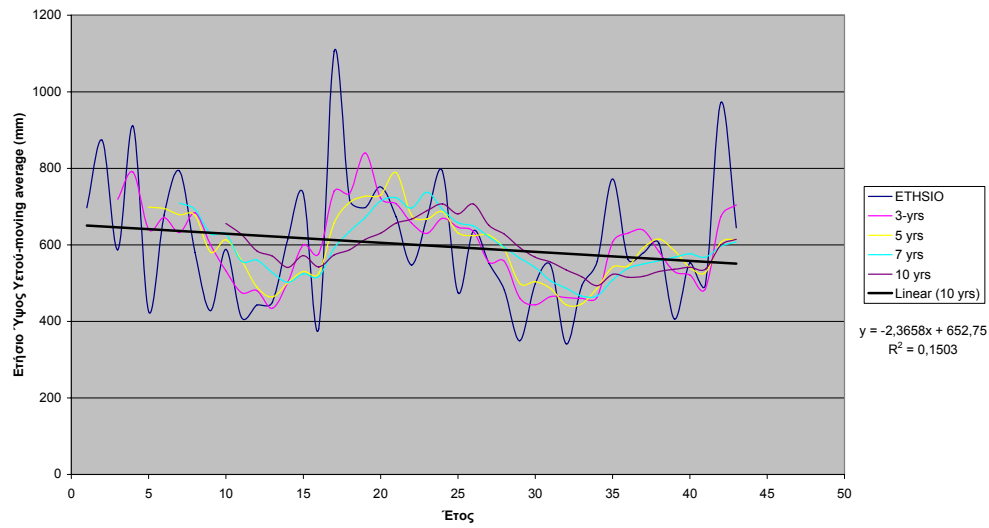
Αγιος Κύριλλος Ηρακλείου



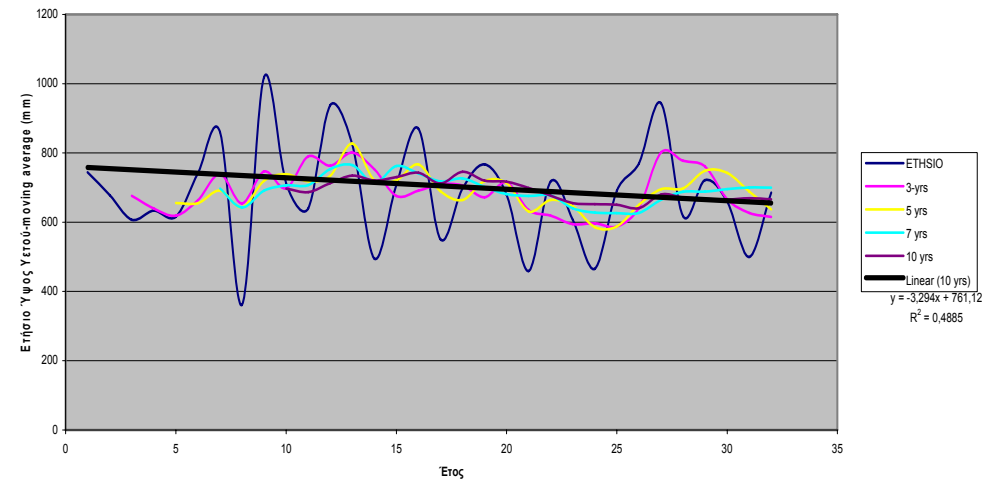
Βαγιωνιά Ηρακλείου



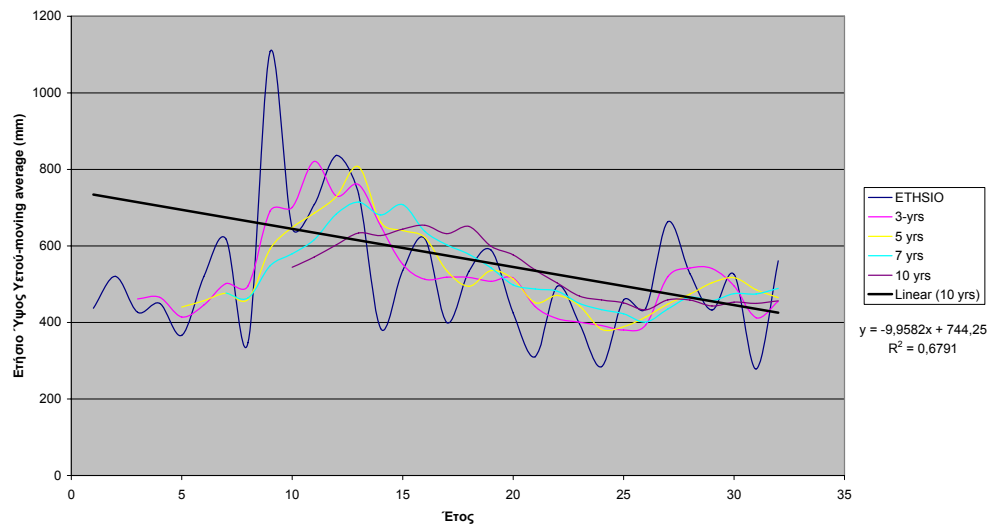
Ασήμι Ηρακλείου



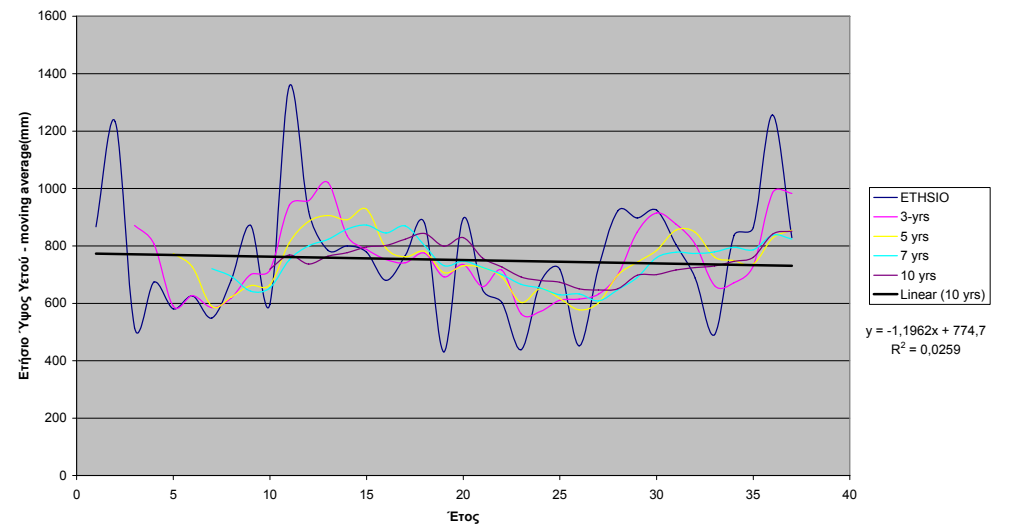
Αγεντριάς Ηρακλείου



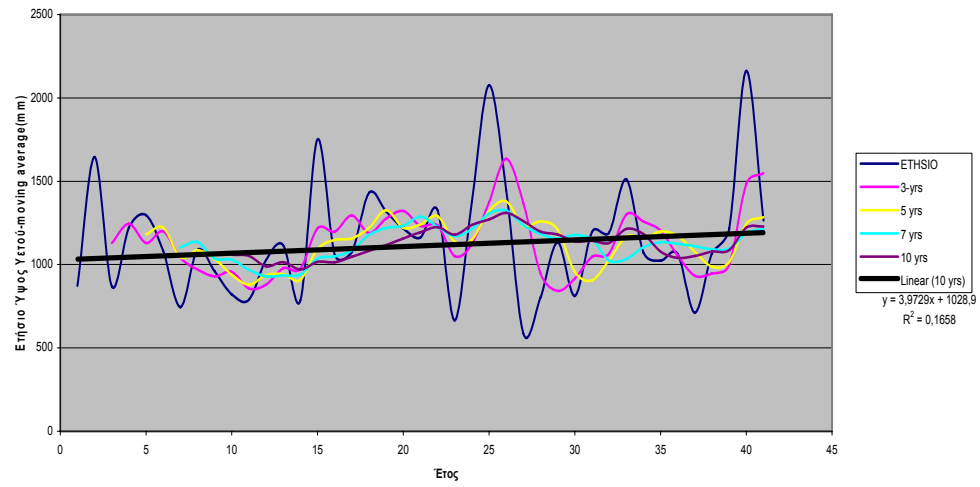
Βαγιωνιάς Ηρακλείου



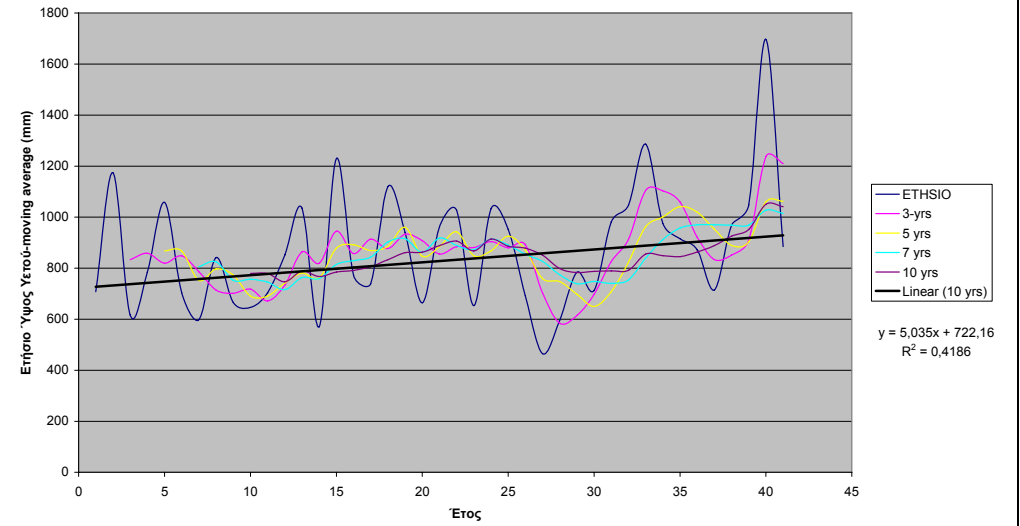
Βόνη Ηρακλείου



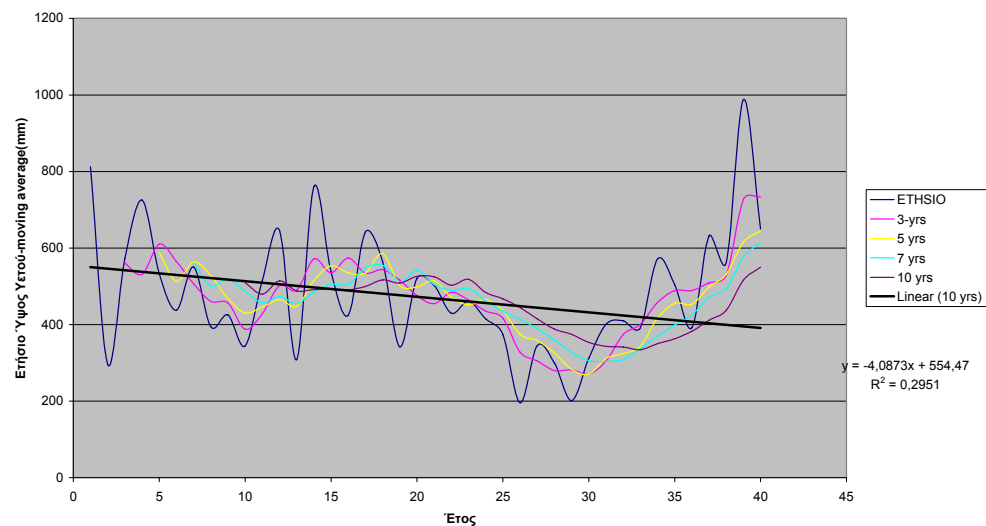
Βορίζια Ηρακλείου



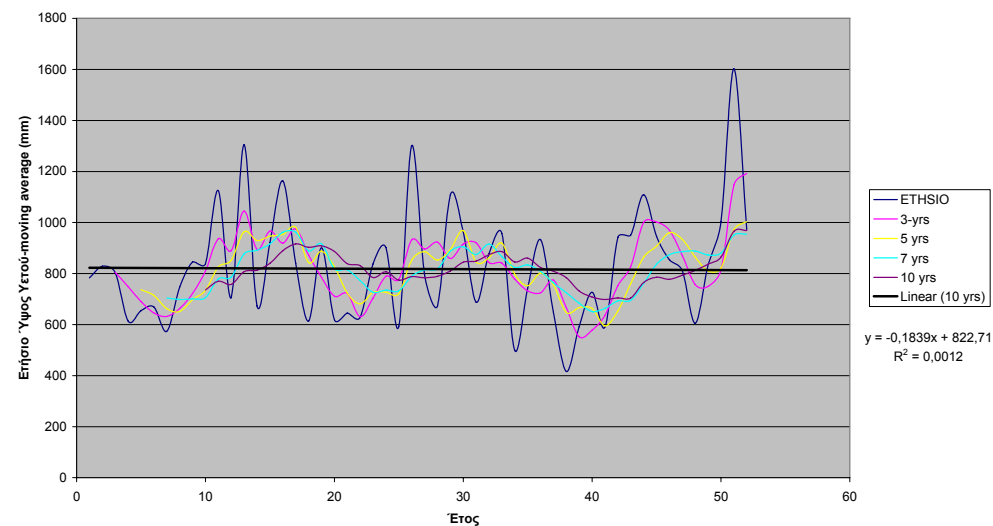
Γέγγερι Ηρακλείου



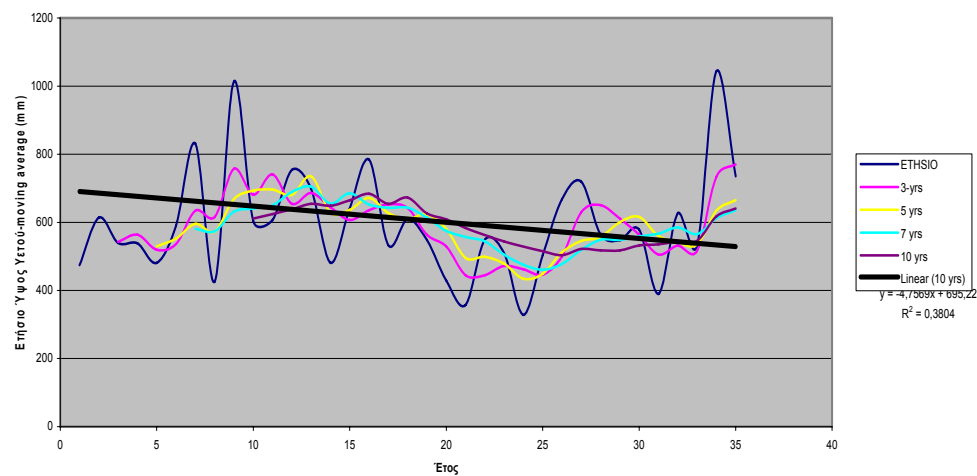
Δεμάτι Ηρακλείου



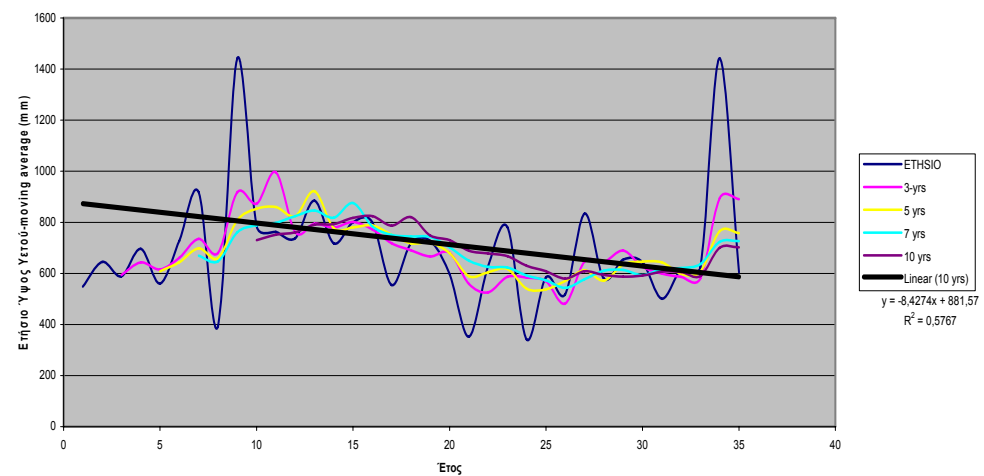
Ζαρός Ηρακλείου



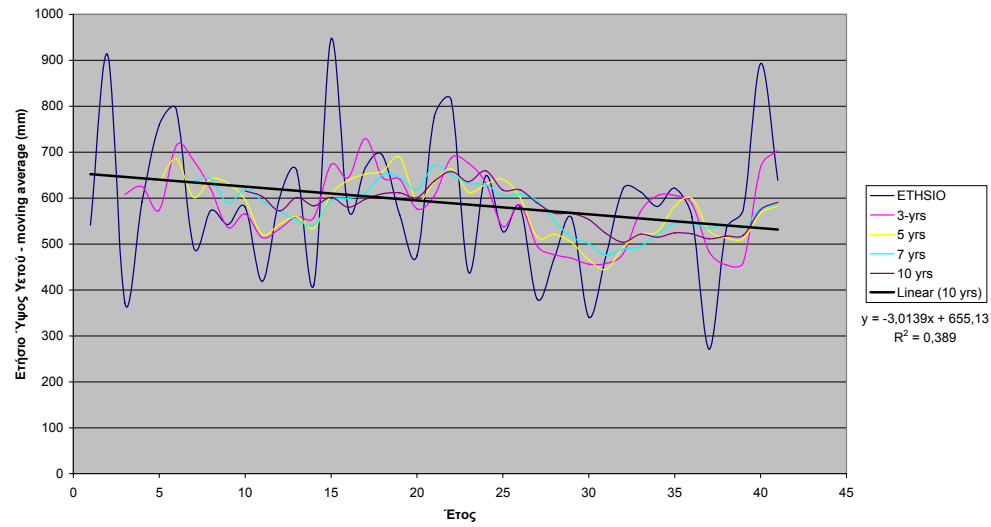
Καλύβια Ηρακλείου



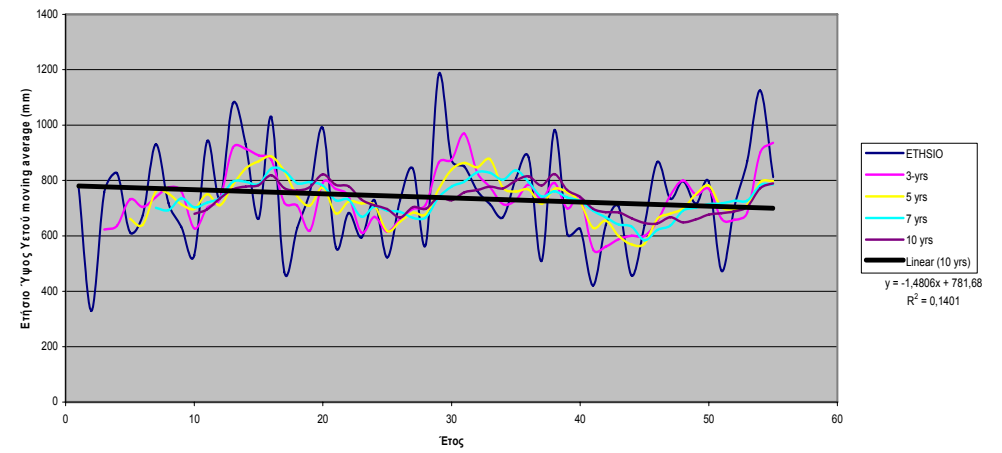
Καπετανιανά Ηρακλείου



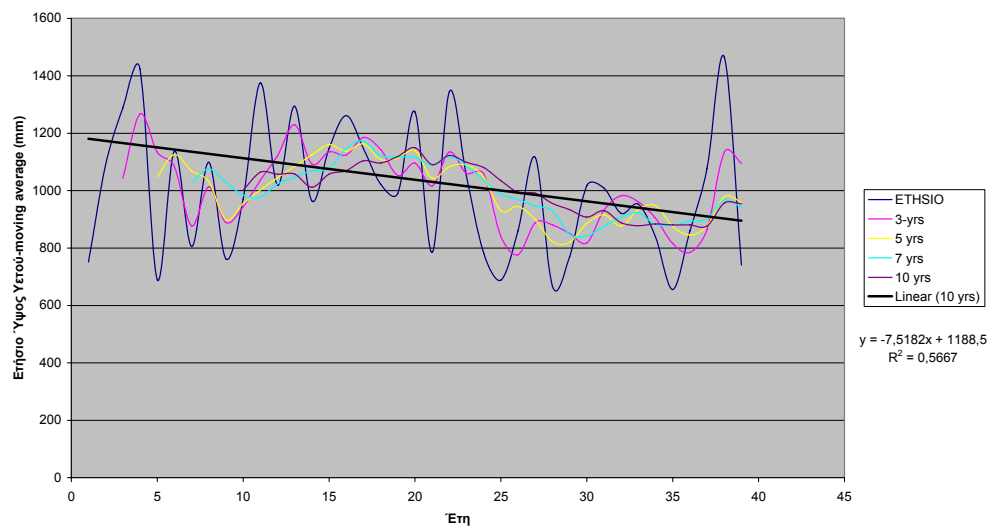
Κασσάνοι Ηρακλείου



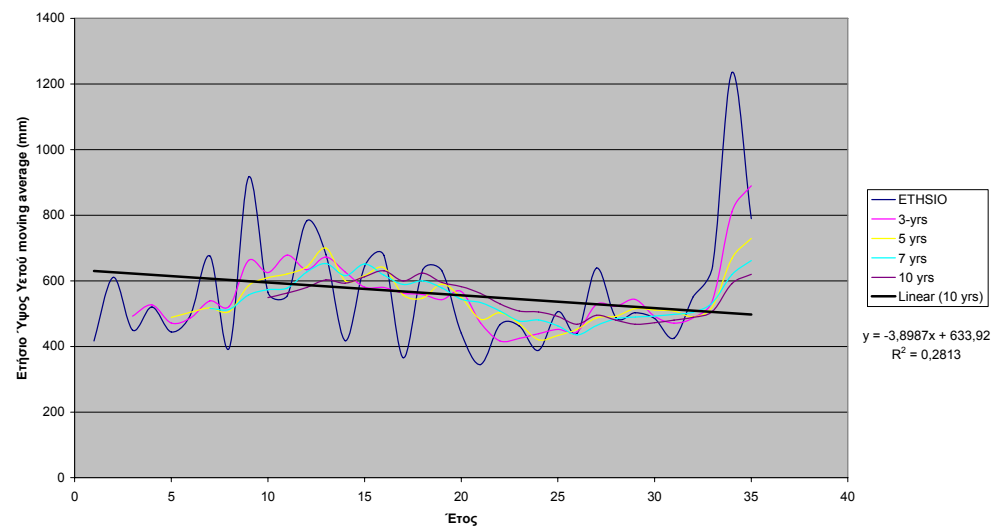
Καστέλλι Ηρακλείου



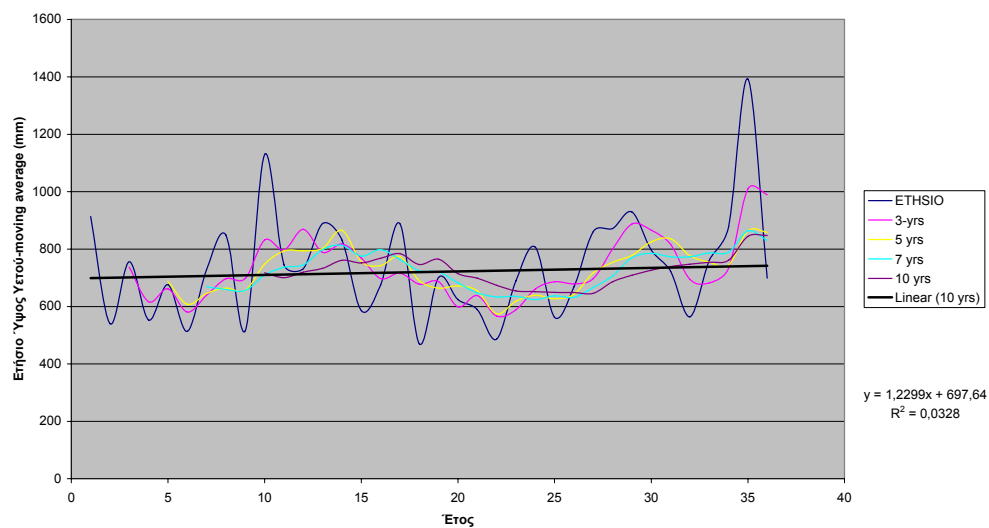
Κρουσσώνας Ηρακλείου



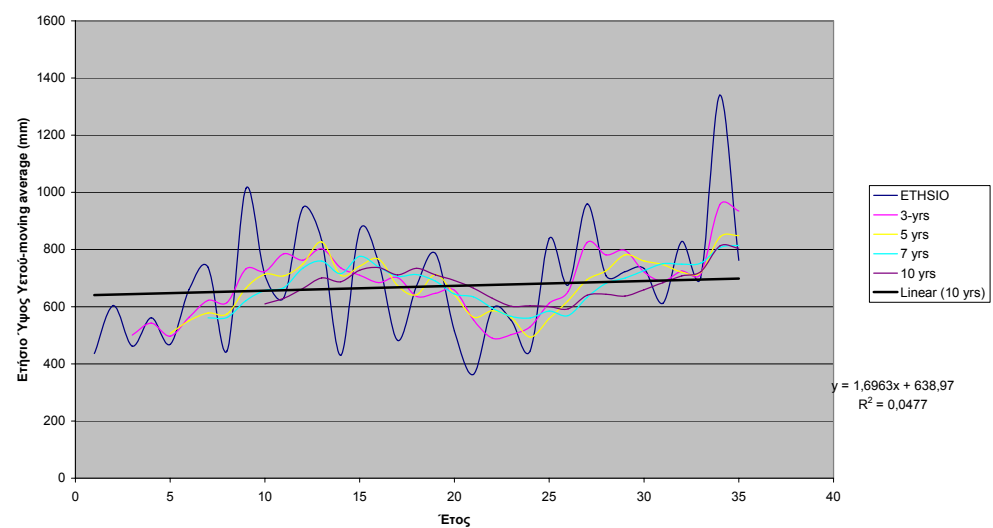
Λαγολιό Ηρακλείου



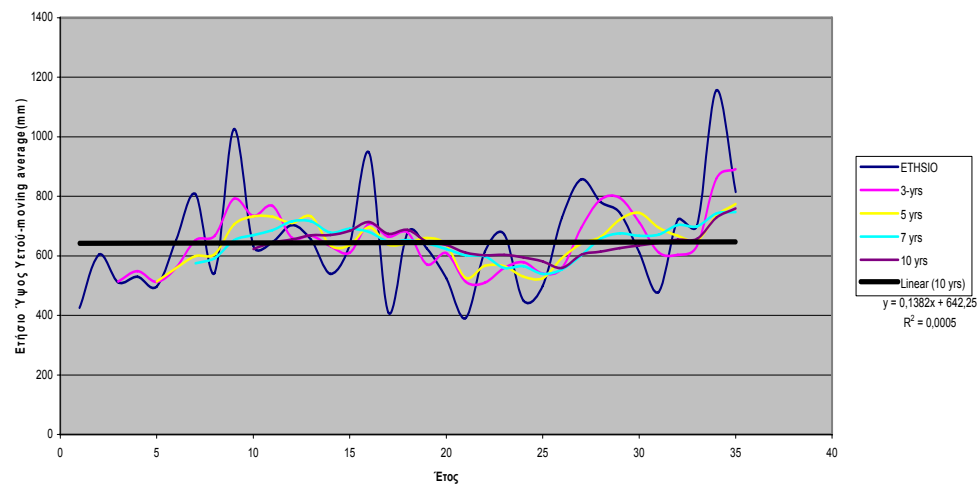
Μεταξοχώρι Ηρακλείου



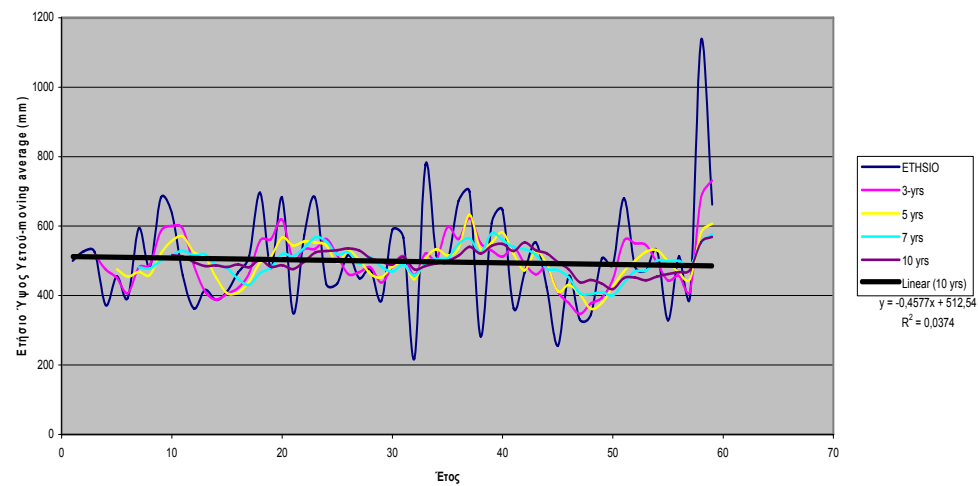
Μορόνι Ηρακλείου



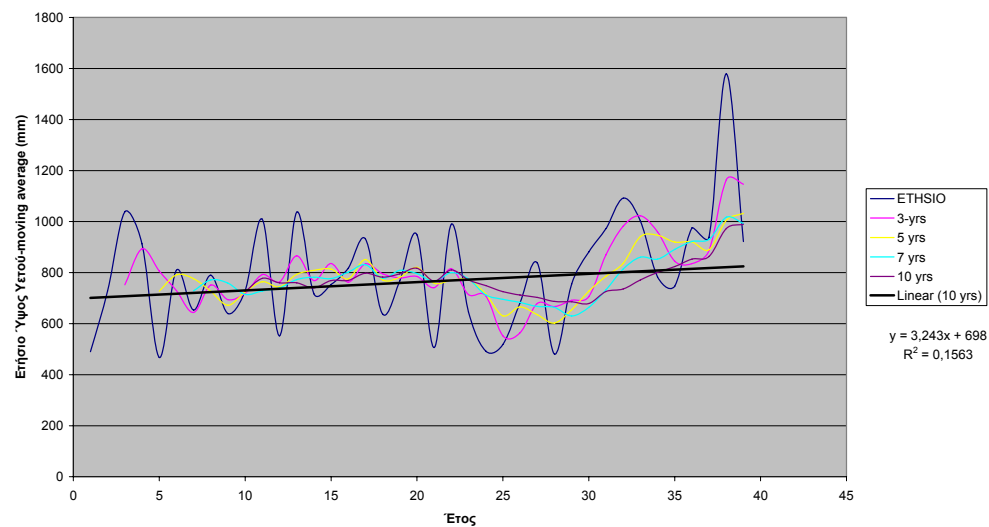
Πάρτηρα Ηρακλείου



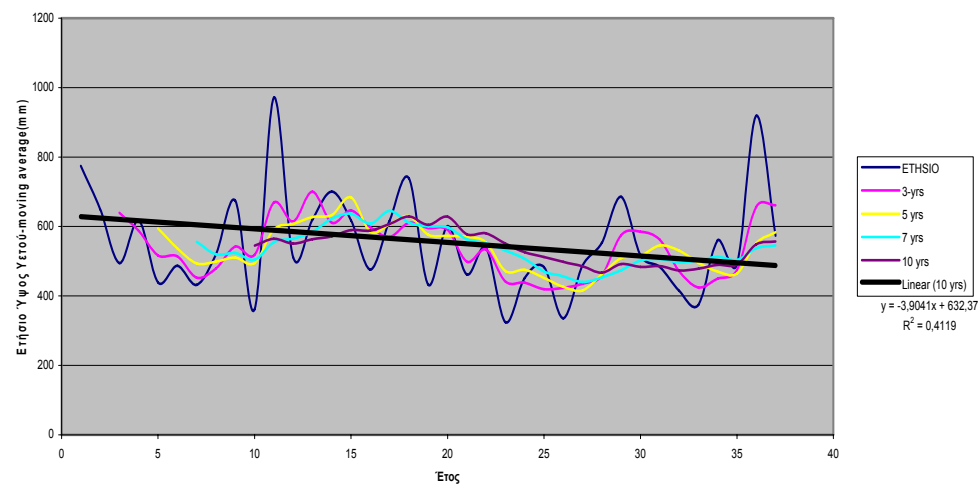
Πόμπια Ηρακλείου



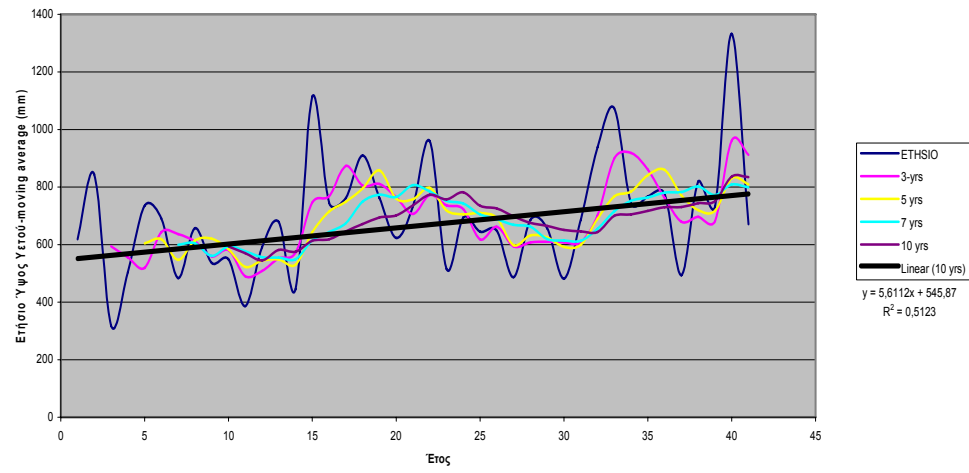
Προφήτης Ηλίας Ηρακλείου



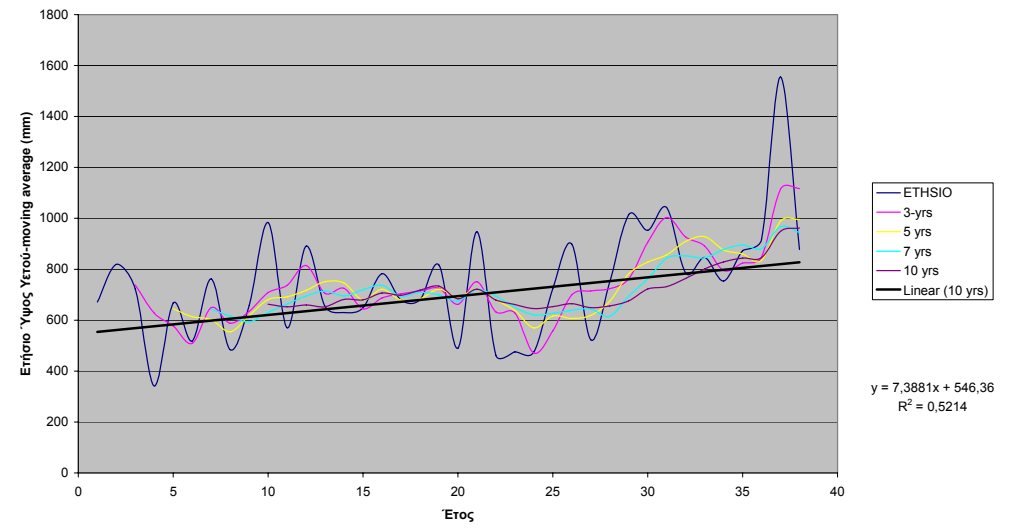
Πραιώρια Ηρακλείου



Τεφέλι Ηρακλείου

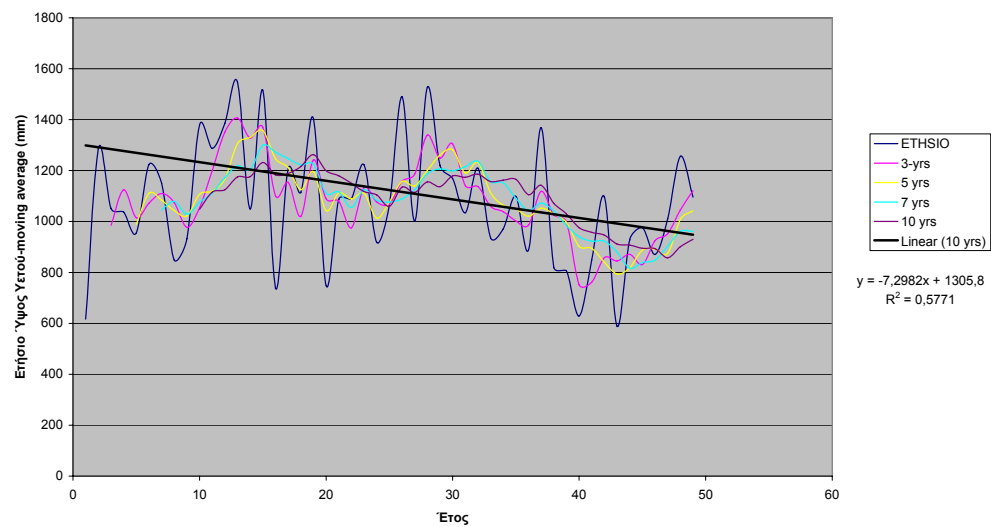


Φοινικιά Ηρακλείου

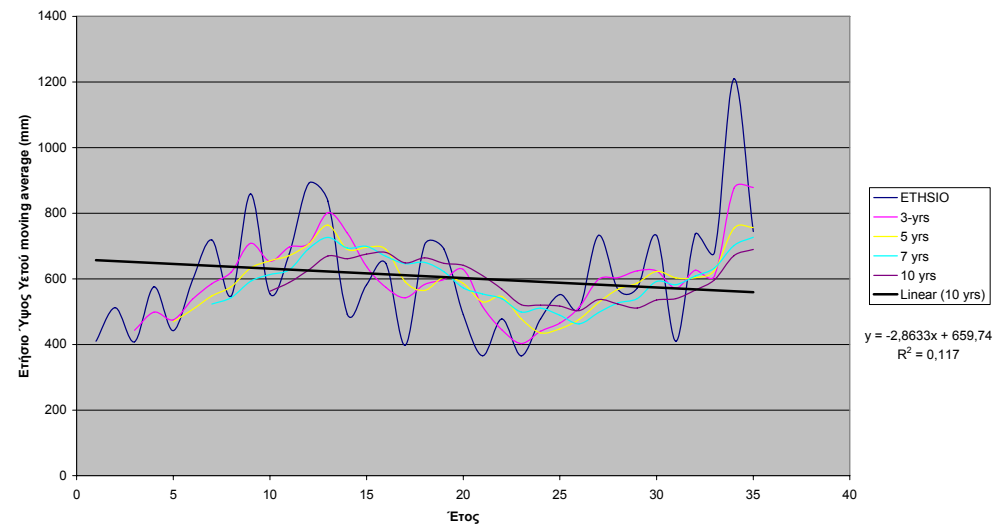


Σταθμοί Ν.Ρεθύμνης

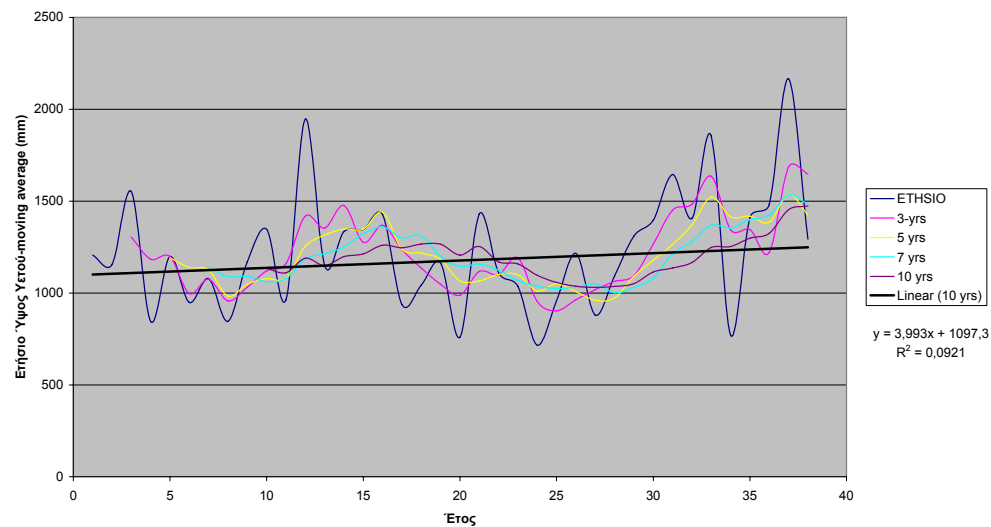
Ανώγεια Ρεθύμνου



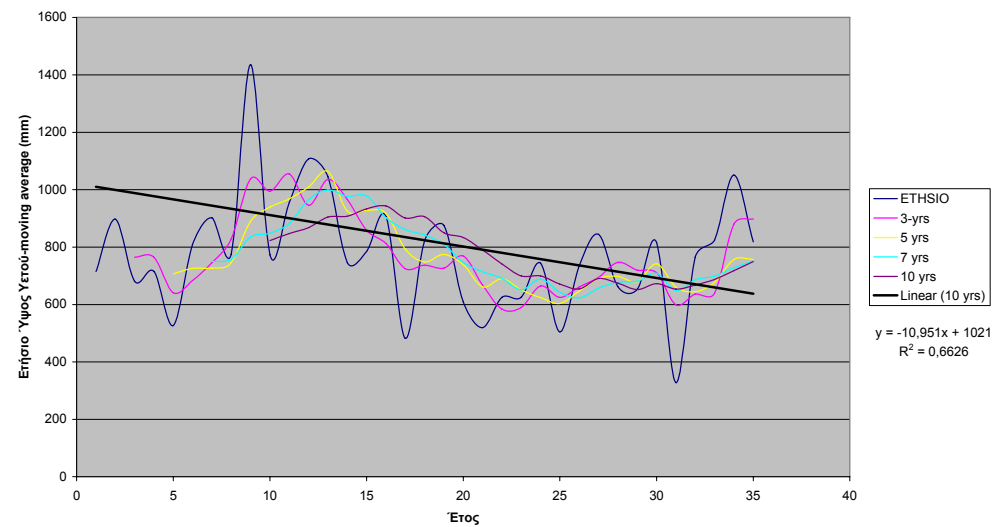
Αγία Γαλήνη Ρεθύμνου



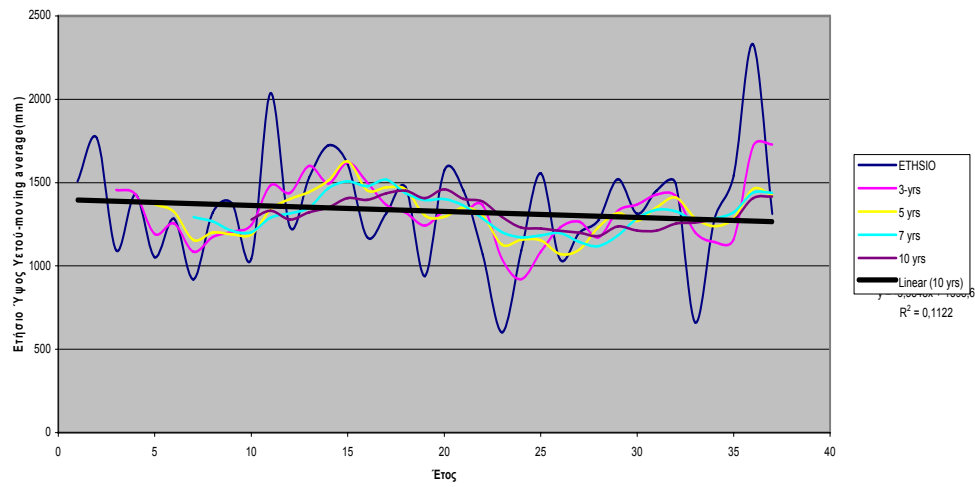
Βολεώνες Ρεθύμνου



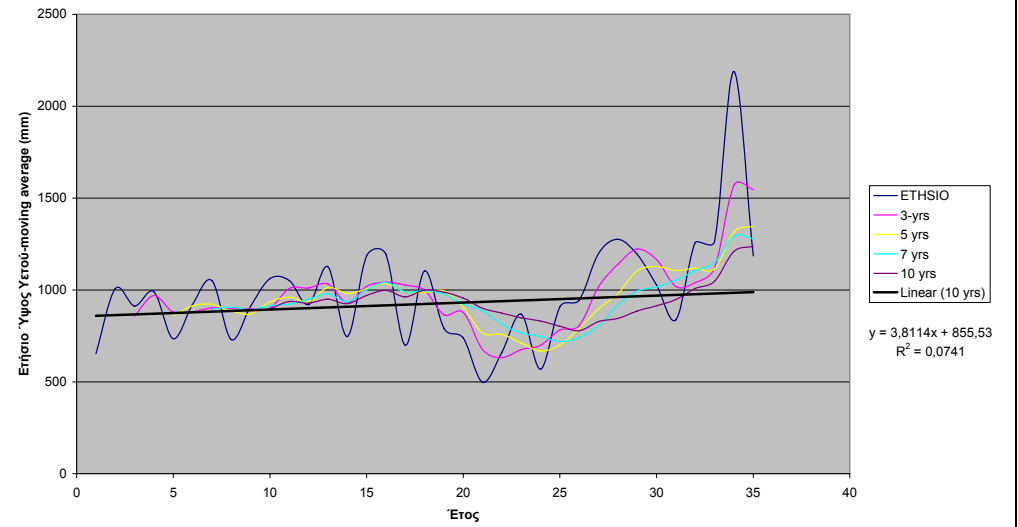
Βυζάρι Ρεθύμνου



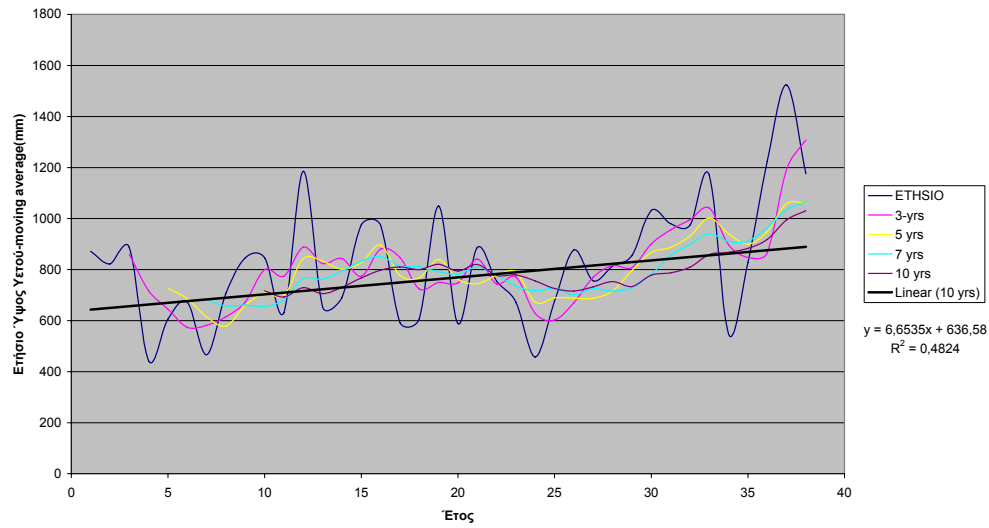
Γερακίρι Ρεθύμνου



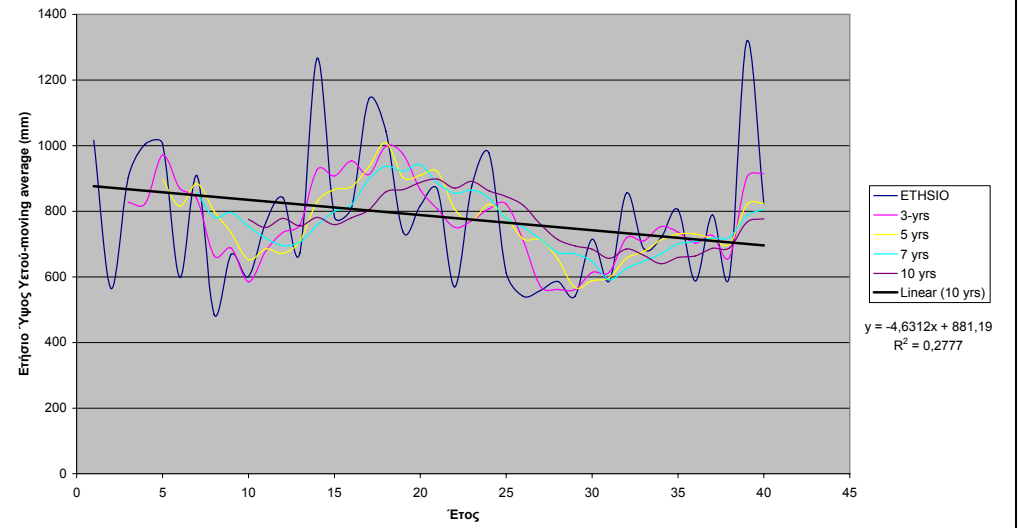
Καβούσι Ρεθύμνου



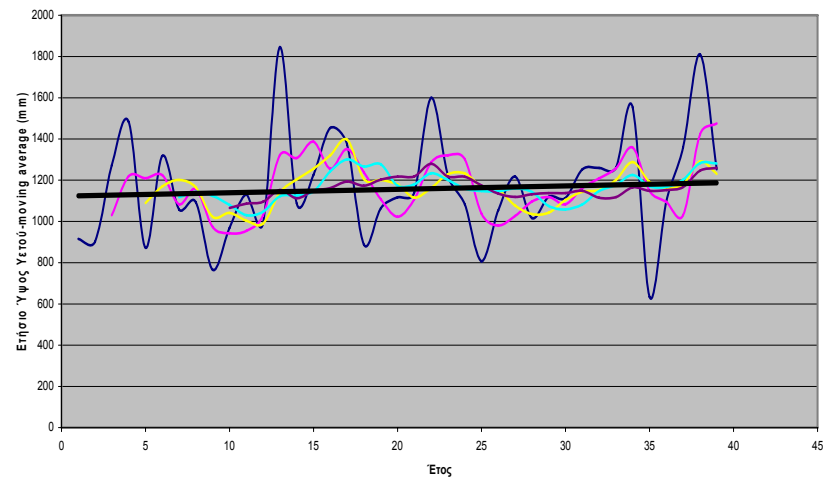
Λευκώγεια Ρεθύμνου



Μέλαμπες Ρεθύμνου

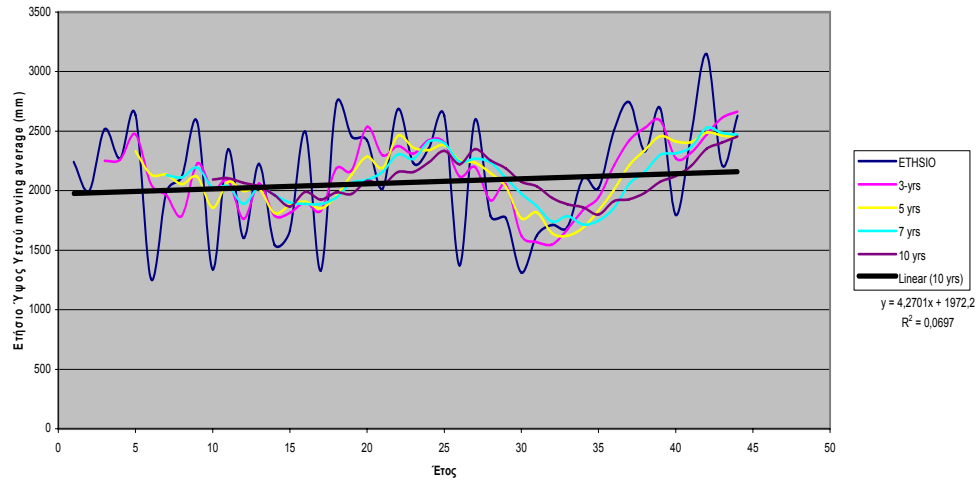


Σπήλι Ρεθύμνου

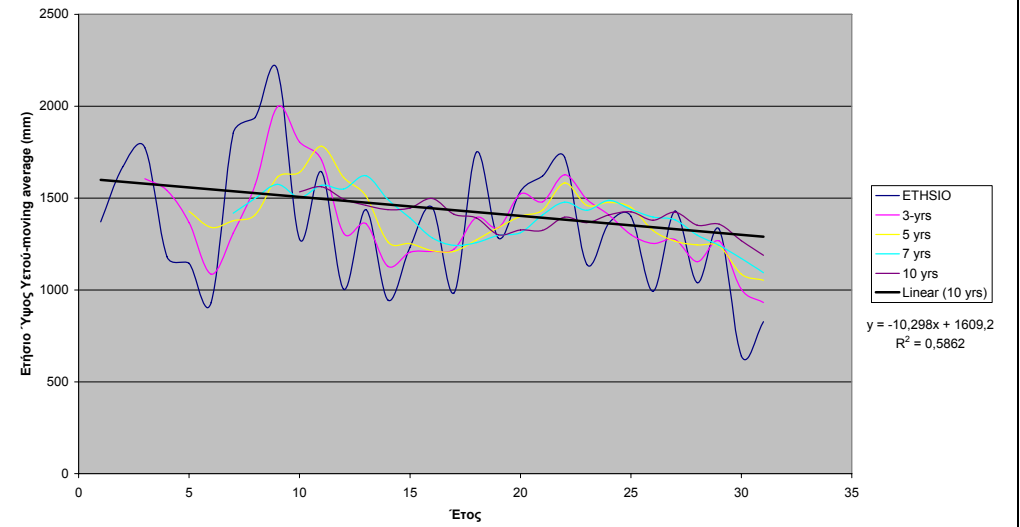


Σταθμοί Ν. Χανίων

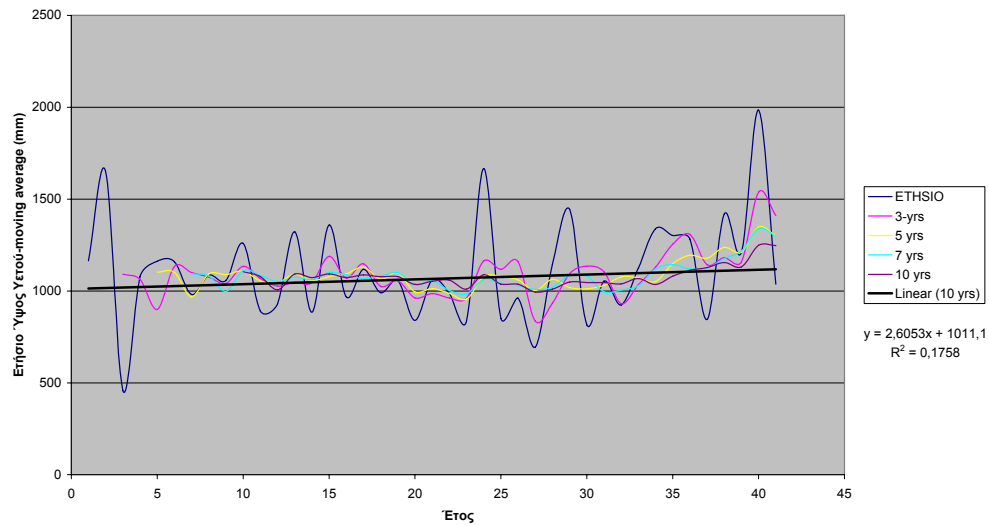
Ασκήφου Χανίων



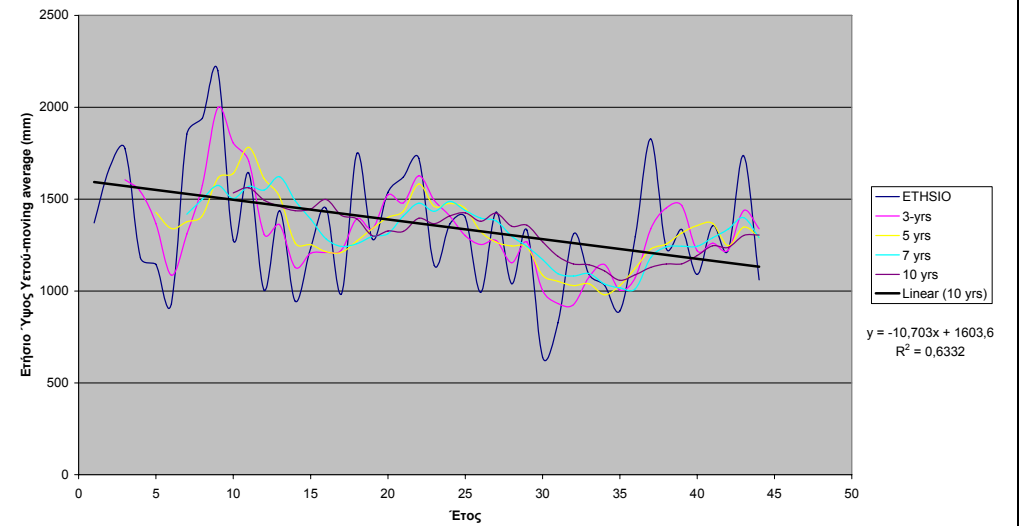
Καλύβες Χανίων



Μουρί Χανίων



Παλαιά Ρούματα Χανίων



Σταθμοί Ν. Λασιθίου

Περιοχή Όνομα Σταθμού	Υψόμετρο m	Χρονική Έτη Περίοδος	Μέσο Ετήσιο Ύψος Υετού	Μέγιστο Ετήσιο Ύψος Υετού	Ελάχιστο Ετήσιο Ύψος Υετού	Τυπική Απόκλιση	Τάση 10 έτη	Ποσοστό, % (2003)	Ποσοστό, % (2000)
Άγιος Γεώργιος	850	1965-2000 36	1042,5	1608,5	452,5	252,4	-3,9155	-13,52	-13,52
Έξω Ποτάμοι	800	1947-2003 57	1434,9	2406,0	567,4	385,0	-2,6774	-10,64	-20,99
Καλό Χωριο	20	1950-2003 54	517,5	911,6	285,9	126,8	1,0603	11,06	11,09
Κατσιδώνι	480	1965-2003 39	863,7	1435,0	510,0	247,4	-2,7935	-12,61	-11,63
Μάλλες	590	1963-2003 41	774,2	1309,4	418,8	227,5	-3,4309	-18,17	-19,08
Μαρωνιά	150	1949-2003 55	653,6	1075,0	364,9	151,7	-0,2993	-2,52	-3,73
Μύθοι	200	1963-2003 41	583,6	921,0	264,8	150,4	-3,0793	-21,63	-25,40
Νεάπολης	240	1949-2003 55	820,1	1296,5	411,5	196,7	-2,629	-17,63	-17,65
Παχεία Αμμος	50	1963-2003 41	572,5	1160,7	301,0	179,4	1,3862	9,93	25,62
Παλαιόκαστρο	25	1965-2003 39	528,8	940,0	267,2	160,9	3,8267	28,22	8,25
Σταυροχώρι	325	1967-2003 37	763,4	1206,8	435,0	184,1	-2,2442	-10,88	-12,18
Σητεία	114,08	1960-2003 44	472,9	876,5	258,5	126,1	-3,9722	-36,96	-8,28

Σταθμοί Ν.Ηρακλείου

Περιοχή Όνομα Σταθμού	Υψόμετρο m	Χρονική Έτη Περίοδος	Μέσο Ετήσιο Ύψος Υετού	Μέγιστο Ετήσιο Ύψος Υετού	Ελάχιστο Ετήσιο Ύψος Υετού	Τυπική Απόκλιση	Τάση 10 έτη	Ποσοστό, % (2003)	Ποσοστό, % (2000)
Αβδού	230	1965-2003 39	841,1	1739,2	440,8	256,9	0,9436	4,38	-9,22
Αγία Βαρβάρα	570	1965-2003 39	933,6	1301,0	551,8	202,2	0,281	1,17	-1,44
Άγιος Κύριλλος	450	1961-2003 43	536,4	1230,8	251,1	168,3	-1,559	-12,50	-16,35
Αρμάχα	450	1963-2003 41	820,7	1373,7	464,0	211,7	-2,9429	-14,70	-19,38
Ασήμι	200	1961-2003 43	606,3	1105,5	341,6	168,7	-2,3658	-16,78	-20,16
Αχεντριάς	680	1969-2003 35	705,2	1233,0	361,5	170,1	-1,4521	-7,21	-15,34
Βαγιωνιά	190	1969-2003 35	533,7	1107,5	278,7	191,6	-7,3026	-47,89	-61,51
Βόνη	330	1967-2003 37	763,7	1357,0	431,0	213,4	-1,1962	-5,80	-18,48
Βορίζια	520	1963-2003 41	1147,4	2162,0	588,1	344,0	3,9729	14,20	14,01
Γέργερη	450	1963-2003 41	870,6	1696,9	465,0	235,9	5,035	23,71	12,80
Δεμάτι	210	1964-2003 40	484,7	812,7	988,3	164,6	-4,0873	-33,73	-54,63
Ζαρός	500	1952-2003 52	826,4	1602,5	416,5	223,1	-0,1839	-1,16	-10,07
Καλύβια	200	1969-2003 35	595,5	1043,0	327,7	158,4	-4,7569	-27,96	-41,23
Καπετανιανά	800	1969-2003 35	694,5	1442,0	341,8	230,5	-8,4274	-42,47	-53,03
Κασσάνοι	320	1963-2003 41	587,5	946,4	271,4	151,0	-3,0139	-21,03	-21,38
Καστέλλι	350	1949-2003 55	735,8	1182,5	329,8	179,1	-1,4806	-11,07	-15,00
Κρουσσώνας	500	1965-2003 39	1002,9	1465,5	655,7	226,0	-7,5182	-29,23	-29,22

Λαγολιό	140	1969-2003	35	562,5	1235,1	344,8	176,1	-3,8987	-24,26	-41,05
Μεταξοχώρι	430	1968-2003	36	738,8	1392,1	470,2	186,9	1,2299	5,99	-7,17
Μορόνι	400	1969-2003	35	681,5	1339,9	363,0	201,4	1,6963	8,71	-7,70
Πάρπηρα	400	1969-2003	35	651,9	1155,8	390,6	171,0	0,1382	0,74	-13,12
Πόμπια	150	1945-2003	59	505,1	1135,4	218,5	147,7	-0,4577	-5,35	-9,87
Προφήτης Ηλίας	380	1965-2003	39	800,9	1578,9	467,9	220,5	3,243	15,79	-0,67
Πραιτώρια	225	1967-2003	37	551,0	970,7	324,6	145,1	-3,9041	-26,22	-33,02
Τεφέλι	360	1963-2003	41	677,9	1114,2	318,9	199,2	5,6112	33,94	26,34
Φοινικιά	40	1966-2003	38	745,9	1554,8	341,5	220,7	7,3881	37,64	7,41

Σταθμοί Ν.Ρεθύμνης

Περιοχή Όνομα Σταθμού	Υψόμετρο m	Χρονική Έτη Περίοδος	Μέσο Ετήσιο Ύψος Υετού	Μέγιστο Ετήσιο Ύψος Υετού	Ελάχιστο Ετήσιο Ύψος Υετού	Τυπική Απόκλιση	Τάση 10 έτη	Ποσοστό, % (2003)	Ποσοστό, % (2000)	
Ανώγεια	740	1950-1998	49	1075,5	1547,1	589,1	238,6	-7,2982	-33,25	-33,25
Αγία Γαλήνη	20	1969-2003	35	604,9	1209,8	365,3	177,0	-2,8633	-16,57	-35,55
Βολεώνες	260	1966-2003	38	1226,1	2166,2	716,0	325,2	3,993	12,37	-3,63
Βυζάρι	310	1969-2003	35	773,7	1435,7	327,6	203,4	-10,951	-49,54	-57,63
Γερακάρι	580	1967-2003	37	1340,0	2330,0	602,0	335,5	-3,5848	-9,90	-17,82
Καβούσι	580	1969-2003	35	983,1	2189,3	497,7	297,2	3,8114	13,57	-11,33
Λευκώγεια	90	1966-2003	38	824,3	1524,0	442,7	237,5	6,6535	30,67	16,34
Μέλαμπες	560	1964-2003	40	781,3	1318,3	485,3	202,9	-4,6312	-23,71	-27,82
Σπήλι	390	1965-2003	39	1174,4	1845,8	634,9	260,7	1,6473	5,47	1,66

Σταθμοί Ν. Χανίων

Περιοχή Όνομα Σταθμού	Υψόμετρο m	Χρονική Έτη Περίοδος	Μέσο Ετήσιο Ύψος Υετού	Μέγιστο Ετήσιο Ύψος Υετού	Ελάχιστο Ετήσιο Ύψος Υετού	Τυπική Απόκλιση	Τάση 10 έτη	Ποσοστό, % (2003)	Ποσοστό, % (2000)
Ασκήφου	740	1960-2003 44	2140,8	3146,5	1260,5	473,1	4,2701	8,78	-1,02
Καλύβες	24	1973-2003 31	716,6	1096,4	474,1	171,3	-10,298	-44,55	-
Μουρί	24	1963-2003 41	1107,5	1984,7	458,5	277,6	2,6053	9,65	1,16
Παλαιά Ρούματα	316	1960-2003 44	1331,8	2200,0	639,7	333,7	-10,703	-35,36	-41,23

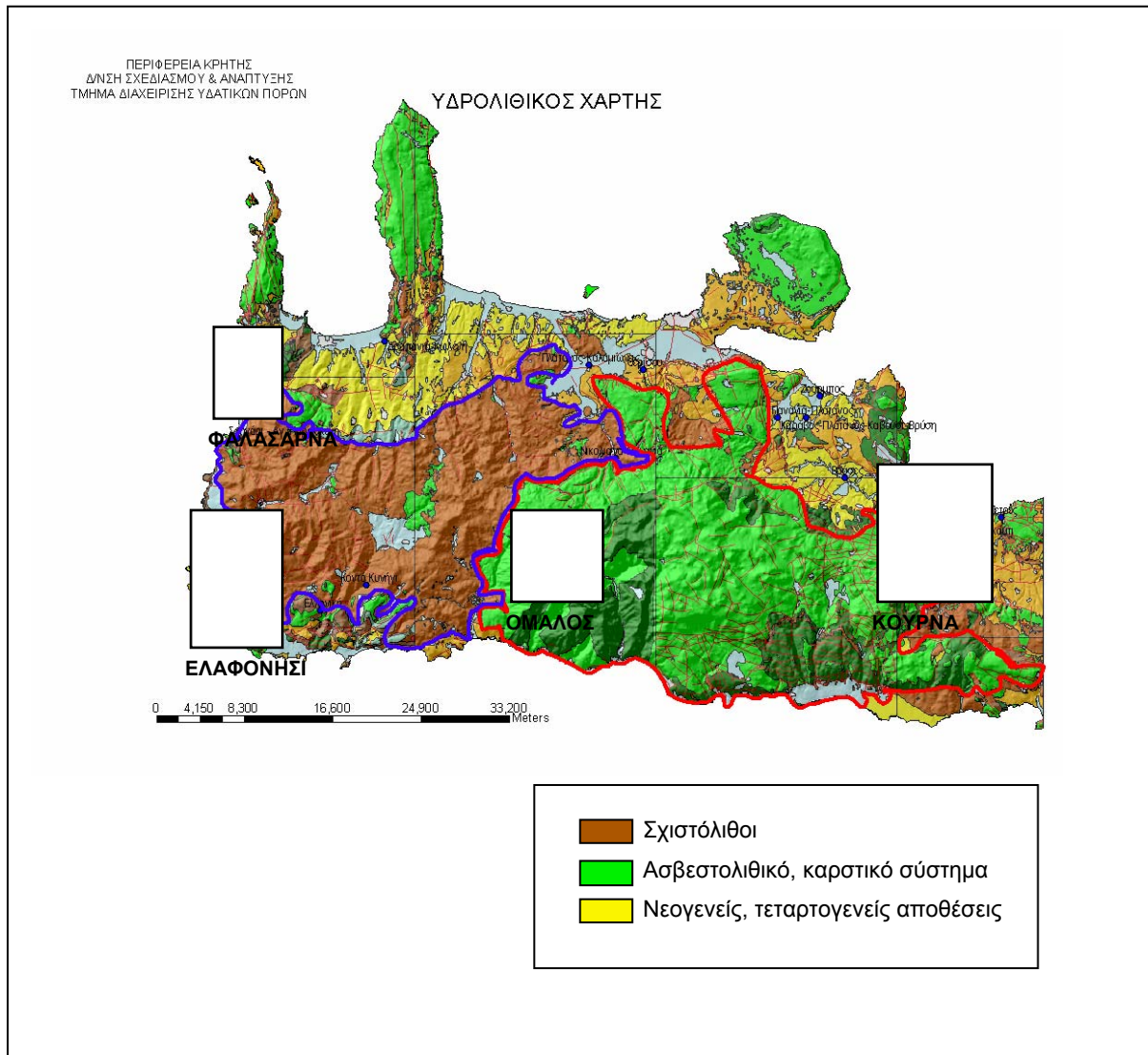
Παράρτημα 3.1

Φύλλα που χρησιμοποιήθηκαν από την Τράπεζα Στοιχείων για την Ελληνική Φύση -
ΦΙΛΟΤΗΣ, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
(<http://www.itia.ntua.gr/filotis/>)

Τόποι NATURA	
Όνομα τόπου	Κωδικός
ΔΡΑΠΑΝΟ (ΒΟΡΕΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΕΣ ΑΚΤΕΣ) - ΠΑΡΑΛΙΑ ΓΕΩΡΓΙΟΥΠΟΛΗΣ - ΛΙΜΝΗ ΚΟΥΡΝΑ	GR4340010
ΕΘΝΙΚΟΣ ΔΡΥΜΟΣ ΣΑΜΑΡΙΑΣ	GR4340014
ΗΜΕΡΗ ΚΑΙ ΑΓΡΙΑ ΓΡΑΜΒΟΥΣΑ - ΤΗΓΑΝΙ ΚΑΙ ΦΑΛΑΣΑΡΝΑ - ΠΟΝΤΙΚΟΝΗΣΙ	GR4340001
ΛΕΥΚΑ ΟΡΗ	GR4340008
ΝΗΣΟΣ ΕΛΑΦΟΝΗΣΟΣ - ΑΠΕΝΑΝΤΙ ΠΑΡΑΛΙΑ (ΑΠΟ ΧΡΥΣΟΣΚΑΛΙΤΙΣΣΑ ΜΕΧΡΙ ΑΚΡΩΤΗΡΙΟ ΚΡΙΟΣ)	GR4340002
Τόποι CORINE	
Όνομα τόπου	Κωδικός
Ελαφονήσι Κρήτης	AG0020029
Κορυφές Λευκών Ορέων, Εθνικός Δρυμός Σαμαριάς και γύρω φαράγγια	AG0040099
Λευκά Ορη	AG0010068
Λίμνη Κούρνα και γύρω βουνά	AG0030050
Πηγές και ποτάμι Αλμυρού, Γεωργιούπολης	AG0050037
Χερσόνησος Τηγάνι και Νήσοι Γραμβούσες	AG0050008
Τοπία Ιδιαίτερου Φυσικού Κάλλους	
Όνομα τόπου	Κωδικός
Λευκά Όρη (Ζώνη 2000 μ.)	AT6011007
Λίμνη Κουρνά	AT6020003
Μπάλος (Γραμβούσα)	AT6020012
Νήσοι Άγρια και Ήμερη Γραμβούσα	AT6020011
Νήσος Ελαφόνησος (Λαφονήσι) Κρήτης	AT6011066

Παράρτημα 3.Π

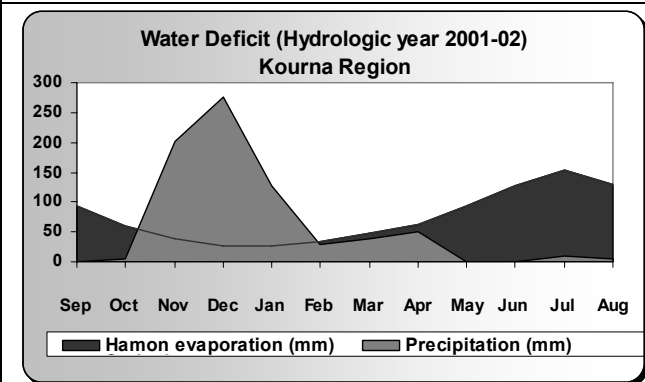
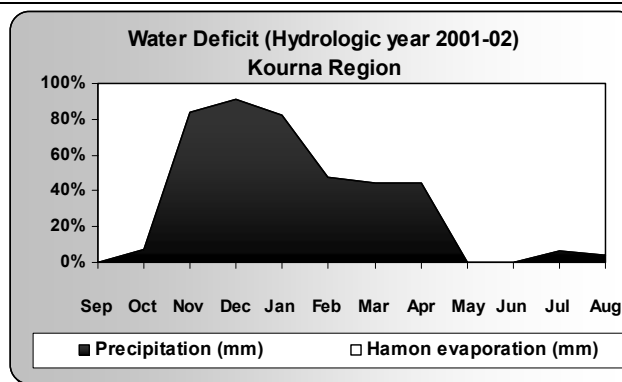
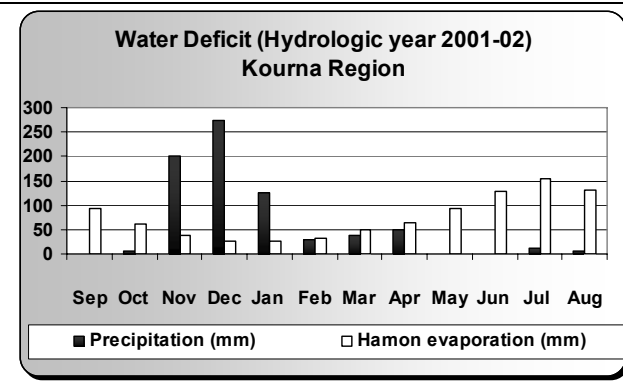
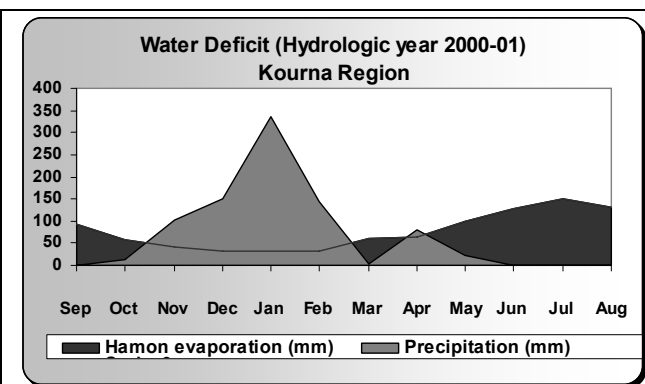
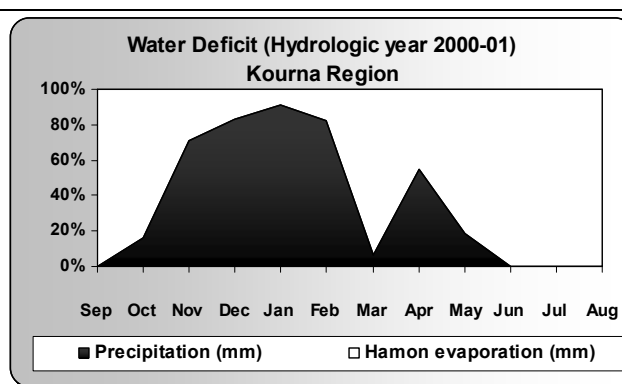
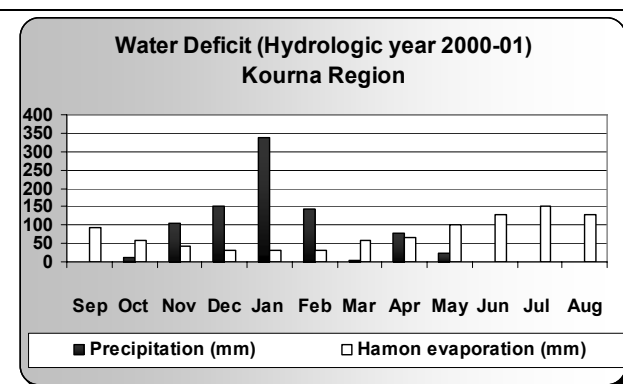
Γεωλογικός χάρτης του Νομού Χανίων



Παράρτημα 3.ΙΙΙ

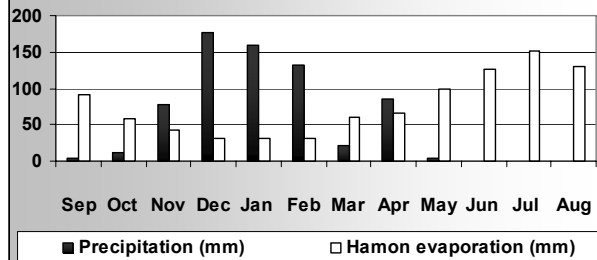
Υπολογισμός δυνητικού υδατικού ελλείμματος των περιοχών εμφάνισης ΜΕΛ στην Δ. Κρήτη

KOYRNAS REGION													
2000-2001	Σεπ.	Οκτ.	Νοε.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μαρ.	Απρ.	Μαϊ.	Ιουν.	Ιουλ.	Αυγ.	SUM
RAINFALL (Kalives)	0,00	11,40	103,90	150,00	336,80	144,70	4,00	79,60	22,00	0,00	0,00	0,00	852,4
EVAP_hamon (Souda)	91,89	57,94	42,82	31,14	32,03	31,17	59,49	65,08	99,11	127,00	150,60	129,67	917,9
DEFICIT	-91,89	-46,54	61,08	118,86	304,77	113,53	-55,49	14,52	-77,11	-127,00	-150,60	-129,67	-65,5
CUMMULATIVE DEFICIT	-91,89	-138,44	-77,36	41,50	346,28	459,81	404,31	418,83	341,72	214,72	64,12	-65,55	
2001-2002	Σεπ.	Οκτ.	Νοε.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μαρ.	Απρ.	Μαϊ.	Ιουν.	Ιουλ.	Αυγ.	SUM
RAINFALL (Kalives)	0,00	5,00	201,50	275,20	126,40	30,00	38,30	50,30	0,00	0,00	10,60	5,00	742,3
EVAP_hamon (Souda)	94,09	60,51	37,69	26,12	26,97	33,01	48,47	62,76	94,18	128,09	153,95	130,12	896,0
DEFICIT	-94,09	-55,51	163,81	249,08	99,43	-3,01	-10,17	-12,46	-94,18	-128,09	-143,35	-125,12	-153,7
CUMMULATIVE DEFICIT	-94,09	-149,60	14,21	263,29	362,72	359,71	349,54	337,09	242,90	114,81	-28,54	-153,66	

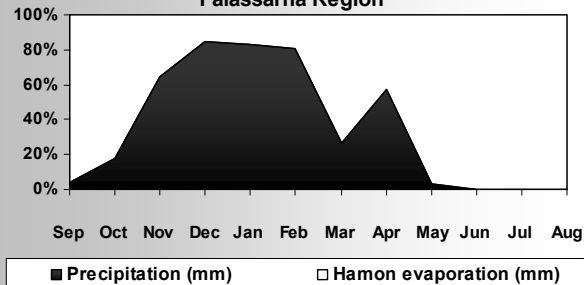


FALASSARNA REGION													
2000-2001	Σεπ.	Οκτ.	Νοε.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μαρ.	Απρ.	Μαϊ.	Ιουν.	Ιουλ.	Αυγ.	SUM
RAINFALL	3,80	12,20	77,20	177,40	160,00	133,00	22,00	86,00	3,00	0,00	0,00	0,00	674,6
EVAP_hamon (Souda)	91,89	57,94	42,82	31,14	32,03	31,17	59,49	65,08	99,11	127,00	150,60	129,67	917,9
DEFICIT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DEFICIT	88,09	-45,74	34,38	146,26	127,97	101,83	-37,49	20,92	-96,11	127,00	150,60	129,67	-243,3
CUMMULATIVE DEFICIT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CUMMULATIVE DEFICIT	88,09	133,84	-99,46	46,80	174,78	276,61	239,11	260,03	163,92	36,92	113,68	243,35	
2001-2002	Σεπ.	Οκτ.	Νοε.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μαρ.	Απρ.	Μαϊ.	Ιουν.	Ιουλ.	Αυγ.	SUM
RAINFALL	0,00	1,00	196,00	212,00	107,00	28,00	86,00	25,00	1,00	0,00	4,00	23,00	683,0
EVAP_hamon (Souda)	94,09	60,51	37,69	26,12	26,97	33,01	48,47	62,76	94,18	128,09	153,95	130,12	896,0
DEFICIT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DEFICIT	94,09	-59,51	158,31	185,88	80,03	-5,01	37,53	-37,76	-93,18	128,09	149,95	107,12	-213,0
CUMMULATIVE DEFICIT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CUMMULATIVE DEFICIT	94,09	153,60	4,71	190,59	270,62	265,61	303,14	265,39	172,20	44,11	105,84	212,96	
2002-03	Σεπ.	Οκτ.	Νοε.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μαρ.	Απρ.	Μαϊ.	Ιουν.	Ιουλ.	Αυγ.	SUM
RAINFALL	30,00	93,00	136,00	218,00	116,00	263,00	192,00	84,00	10,00	0,00	0,00	11,00	1153,0
EVAP_hamon (Souda)	90,11	60,70	39,42	29,02	32,63	25,50	40,43	57,32	99,97	132,92	151,36	129,46	888,9
DEFICIT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DEFICIT	60,11	32,30	96,58	188,98	83,37	237,50	151,57	26,68	-89,97	132,92	151,36	118,46	264,1
CUMMULATIVE DEFICIT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CUMMULATIVE DEFICIT	60,11	-27,81	68,76	257,74	341,11	578,61	730,18	756,86	666,88	533,96	382,61	264,14	
2003-2004	Σεπ.	Οκτ.	Νοε.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μαρ.	Απρ.	Μαϊ.	Ιουν.	Ιουλ.	Αυγ.	SUM
RAINFALL	1,00	4,00	136,00	226,00	184,00	32,00	11,00	13,00	3,00	0,00	0,00	0,00	610,0
EVAP_hamon (Souda)	87,61	69,55	40,18	29,31	32,63	32,83	47,41	63,83	92,67	129,59	142,82	129,24	897,7
DEFICIT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DEFICIT	86,61	-65,55	95,82	196,69	151,37	-0,83	-36,41	-50,83	-89,67	129,59	142,82	129,24	-287,7
CUMMULATIVE DEFICIT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CUMMULATIVE DEFICIT	86,61	152,16	-56,34	140,35	291,72	290,88	254,48	203,65	113,97	-15,62	158,44	287,68	

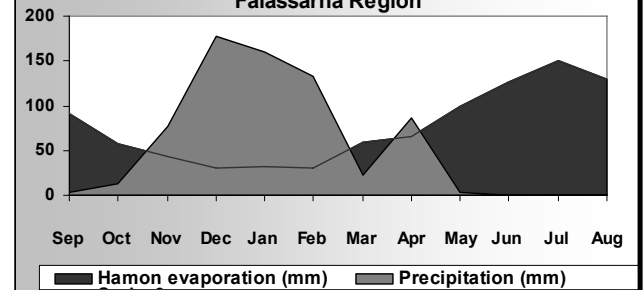
**Water Deficit (Hydrologic year 2000-01)
Falassarna Region**



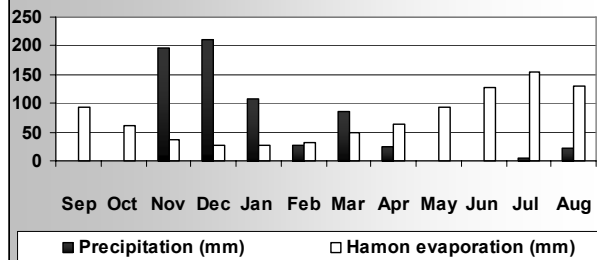
**Water Deficit (Hydrologic year 2000-01)
Falassarna Region**



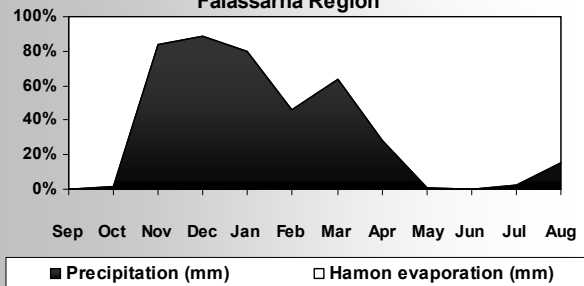
**Water Deficit (Hydrologic year 2000-01)
Falassarna Region**



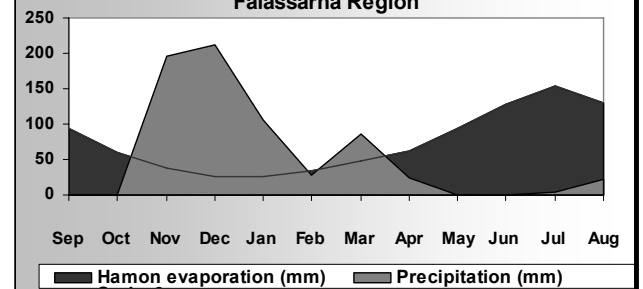
**Water Deficit (Hydrologic year 2001-02)
Falassarna Region**



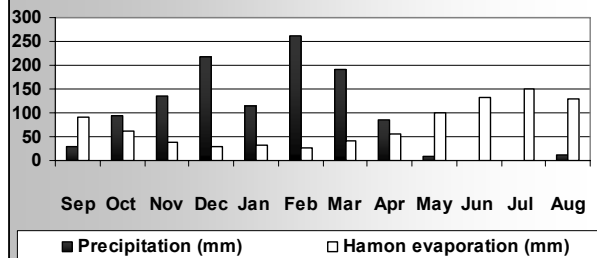
**Water Deficit (Hydrologic year 2001-02)
Falassarna Region**



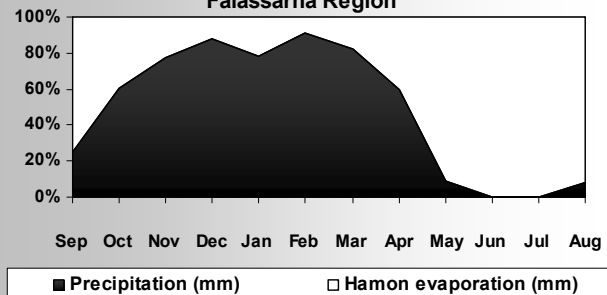
**Water Deficit (Hydrologic year 2001-02)
Falassarna Region**



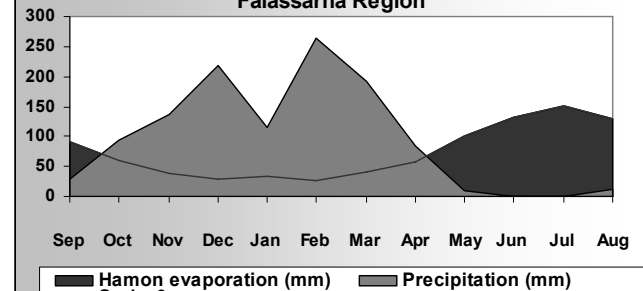
**Water Deficit (Hydrologic year 2002-03)
Falassarna Region**

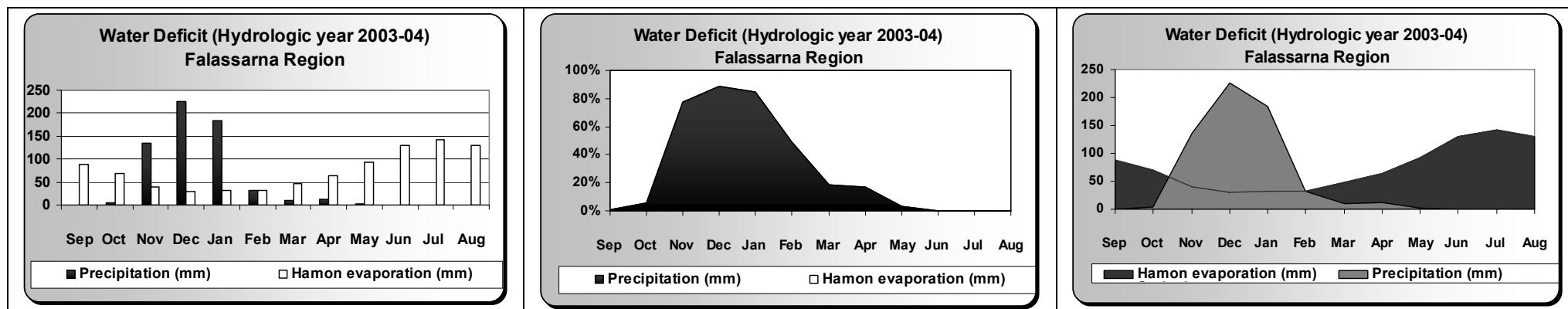


**Water Deficit (Hydrologic year 2002-03)
Falassarna Region**

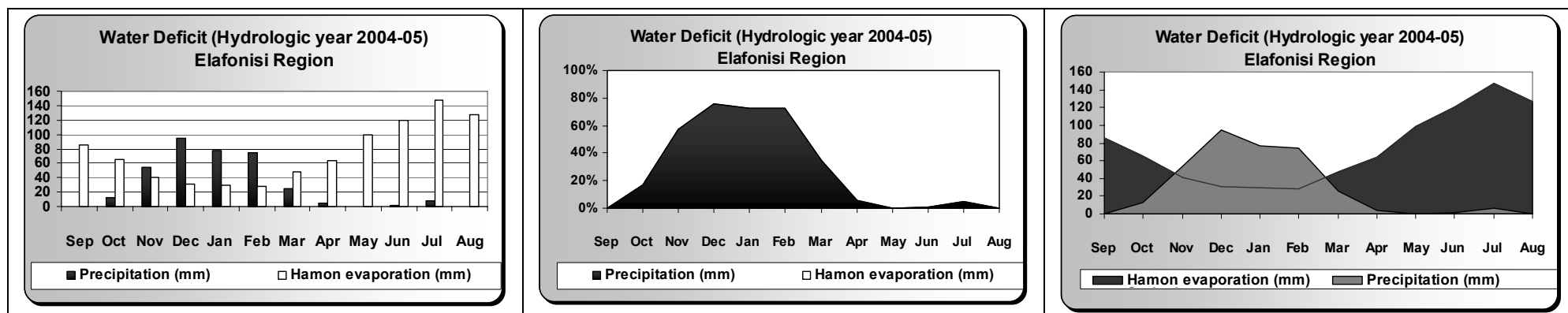


**Water Deficit (Hydrologic year 2002-03)
Falassarna Region**

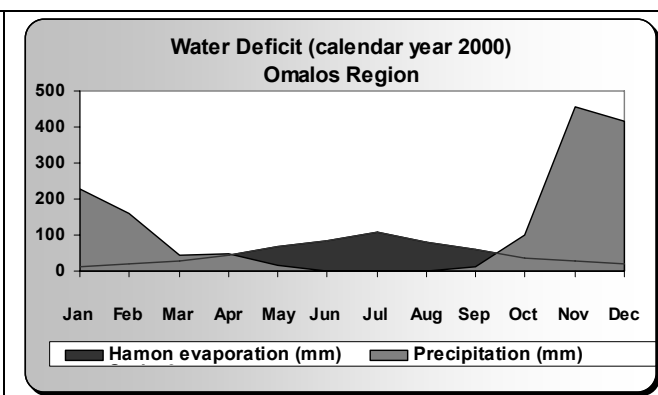
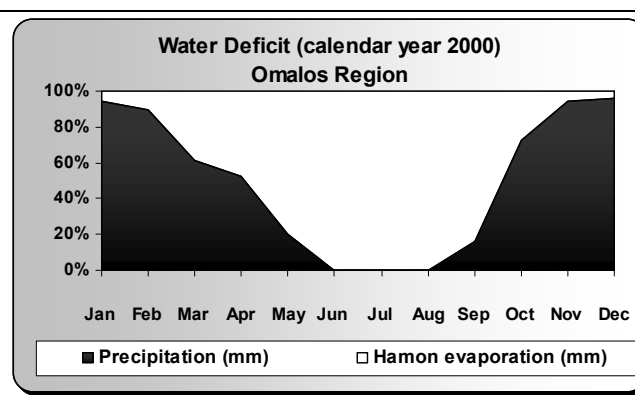
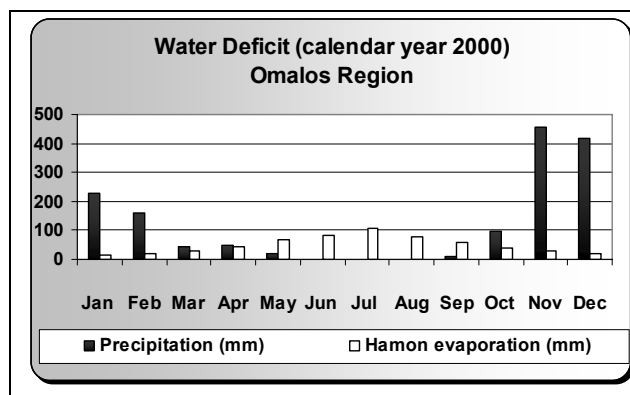




ELAFONISI REGION													
2004-2005	Σεπ.	Οκτ.	Νοε.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μαρ.	Απρ.	Μαϊ.	Ιουν.	Ιουλ.	Αυγ.	SUM
RAINFALL	0,00	13,00	54,00	95,00	77,00	74,00	25,00	4,00	0,00	1,00	7,00	0,00	350,0
EVAP_hamon (Souda)	85,74	65,39	40,33	30,53	29,03	28,52	47,75	63,47	98,68	119,99	147,29	126,92	883,7
DEFICIT	-85,74	-52,39	13,67	64,47	47,97	45,48	-22,75	-59,47	-98,68	-118,99	-140,29	-126,92	-533,7
CUMMULATIVE DEFICIT	-85,74	-138,13	-124,46	-59,99	-12,02	33,46	10,70	-48,76	-147,45	-266,43	-406,73	-533,65	



OMALOS REGION													
2000	Ιαν.	Φεβ.	Μαρ.	Απρ.	Μαϊ.	Ιουν.	Ιουλ.	Αυγ.	Σεπ.	Οκτ.	Νοε.	Δεκ.	SUM
RAINFALL	227,80	159,80	45,60	49,40	17,00	0,00	0,00	0,00	11,60	99,00	457,20	416,80	1484,2
EVAP_hamon	13,90	18,03	28,37	45,34	67,10	82,85	107,54	79,63	59,49	37,14	29,31	18,87	587,6
DEFICIT	213,90	141,77	17,23	4,06	-50,10	-82,85	-107,54	-79,63	-47,89	61,86	427,89	397,93	896,6
CUMMULATIVE DEFICIT	213,90	355,67	372,90	376,96	326,86	244,01	136,46	56,84	8,95	70,81	498,69	896,62	



Παράρτημα 4.1

Μεθοδολογία Προσδιορισμού Χαρακτηριστικών του Εδάφους

Πηγή:

‘Chheda P, Nikolaidis N, Carley R. 1996 **Manual of Standard Operating Procedures** The Development of Mobility-Based Unsaturated Zone Cleanup Standards for Heavy Metals’.

❖ Υγρασία του εδάφους

1. Σκοπός και εφαρμογή:

Η μέθοδος αυτή καλύπτει τον εργαστηριακό προσδιορισμό του περιεχόμενου νερού (υγρασίας) σε δείγματα εδάφους, πετρωμάτων και παρομοίων υλικών βάσει της μάζας τους και βασίζεται στην μέθοδο D2216 της American Society for Testing and Materials (ASTM).

Το περιεχόμενο υγρασίας του υλικού καθορίζεται από την μέθοδο αυτή σαν ο λόγος, εκφρασμένος σε ποσοστό, της μάζας του «ελεύθερου νερού» σε μία δοσμένη μάζα υλικού προς την μάζα του στερεού αυτού υλικού.

2. Περίληψη της μεθόδου:

Ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα του υλικού ξηραίνεται στους 110 °C σε φούρνο έως ότου σταθεροποιηθεί η μάζα του (πρακτικά για 12 ώρες). Η απώλεια μάζας του δείγματος μετά την ξήρανση θεωρείται ότι οφείλεται στην απώλεια ελεύθερου νερού. Το περιεχόμενο σε νερό υπολογίζεται από την διαφορά των μαζών των δειγμάτων πριν και μετά την ξήρανση.

3. Παρεμβολές:

- Υλικά που περιέχουν νερό με σημαντικά ποσά διαλυτών στερεών (όπως αλάτι στην περίπτωση θαλάσσιων ιζημάτων) όταν ελέγχονται με αυτήν την μέθοδο θα δώσουν την μάζα του στερεού που περιλαμβάνει προηγουμένως διαλυτά στερεά.
- Ο όρος στερεά σωματίδια όπως χρησιμοποιείται στην γεωτεχνολογία τυπικά θεωρείται ότι συμπεριλαμβάνει φυσικώς παρευρισκόμενα ορυκτά σωματίδια του εδάφους και των πετρωμάτων που δεν είναι άμεσα διαλυτά στον νερό. Για τον λόγο αυτό, υλικά που περιέχουν ξένο υλικό όπως το τσιμέντο μπορεί να απαιτούν ειδική επεξεργασία ή διαφορετικό ορισμό της περιεχόμενης υγρασίας.
- Κάποια οργανικά υλικά μπορεί να αποσυντεθούν με την ξήρανση στους 110 °C.
- Υλικά που περιέχουν γύψο (calcium sulfate dehydrate) ή άλλα συστατικά που περιλαμβάνουν σημαντικές ποσότητες ένυδρων ουσιών μπορεί να παρουσιάσουν ειδικά προβλήματα λόγω του ότι το υλικό θα αφυδρογονωθεί αργά στους 110 °C.

4. Μηχανισμός και υλικά:

- Ζυγαριά
- Φούρνος
- Ξηραντήρας

5. Χειρισμός δειγμάτων και διατήρησή τους:

- Τα δείγματα θα πρέπει να αποθηκεύονται σε γυάλινα σκεύη με ελάχιστο head space, ώστε να αποφευχθεί η συμπύκνωση στο τοίχωμα του σκεύους σε θερμοκρασία 4 °C.
- Η υγρασία θα πρέπει να προσδιορίζεται αμέσως μετά την δειγματοληψία.

6. Διαδικασία:

6.1 Προσδιορίστε και καταγράψτε την μάζα ενός καθαρού ξηρού σκεύους στο οποίο θα τοποθετηθεί το χώμα προς ξήρανση.

6.2 Επιλέξτε μία αντιπροσωπευτική ποσότητα δείγματος (Όταν η ποσότητα αυτή αποτελεί τμήμα μίας μεγάλης ποσότητας υλικού, η ποσότητα αυτή θα πρέπει να επιλεγεί έτσι ώστε να είναι αντιπροσωπευτική ολόκληρης της ποσότητας του υλικού. Για διαταραγμένο δείγμα, πέντε μέρη του υλικού θα πρέπει να συνδυαστούν για την δημιουργία ενός δείγματος).

- 6.3 Τοποθετήστε το υγρό δείγμα στο σκεύος που ζυγίστηκε στο προηγούμενο βήμα.
- 6.4 Προσδιορίστε την μάζα του σκεύους μαζί με το δείγμα.
- 6.5 Τοποθετήστε το σκεύος στο φούρνο για 16 ώρες. Διατηρήστε την θερμοκρασία στους $110 \pm 5^\circ \text{C}$.
- 6.6 Απομακρύνετε το σκεύος από τον φούρνο και αφήστε να κρυώσει σε θερμοκρασία δωματίου στον ξηραντήρα.
- 6.7 Προσδιορίστε την μάζα του ξηρού δείγματος.
- 6.8 $\text{Υγρασία} = \{((\text{Μάζα υγρού χώματος} + \text{σκεύος}) - (\text{Μάζα σκεύους})) - ((\text{Μάζα ξηρού χώματος} + \text{σκεύος}) - (\text{Μάζα σκεύους}))\} / ((\text{Μάζα υγρού χώματος} + \text{σκεύος}) - (\text{Μάζα σκεύους}))$

❖ pH

1. Σκοπός και εφαρμογή:

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην μέθοδο 9045A της EPA και είναι ηλεκτρομετρική διαδικασία που έχει γίνει αποδεκτή για την μέτρηση του pH σε ασβεστολιθικά και μη εδάφη.

2. Περίληψη της μεθόδου:

Το pH είναι ο αρνητικός δεκαδικός λογάριθμος της ενεργότητας των ιόντων υδρογόνου και καθορίζεται ποτενσιομετρικά κάνοντας χρήση είτε συνδυασμού ενός ηλεκτροδίου αναφοράς και ενός ενδεικτικού ηλεκτροδίου είτε ενός συνδυαστικού ηλεκτροδίου. Το ενδεικτικό ηλεκτρόδιο είναι συνήθως ένα γυάλινο ηλεκτρόδιο και η ηλεκτροκινητική δύναμη που παράγεται ανάμεσα στα δύο ηλεκτρόδια μεταβάλλεται γραμμικά με το pH. Τυπικά, το πεχάμετρο βαθμονομείται ποτενσιομετρικά με χρήση δύο διαλυμάτων αναφοράς με γνωστές τιμές pH.

3. Παρεμβολές:

- Δείγματα με πολύ χαμηλό ή πολύ υψηλό pH μπορεί να δίνουν λανθασμένες ενδείξεις στο πεχάμετρο. Για δείγματα με πραγματικό pH μεγαλύτερο του 10, το μετρούμενο pH μπορεί να είναι πιο χαμηλό από το πραγματικό. Το λάθος αυτό μπορεί να διορθωθεί με χρήση ενός low sodium error ηλεκτροδίου. Σε διαλύματα ισχυρών οξέων με πραγματικό pH μικρότερο από 1, το μετρούμενο pH μπορεί να είναι πιο υψηλό από το πραγματικό.
- Θερμοκρασιακές διακυμάνσεις μπορεί να προκαλέσουν σφάλματα στις μετρήσεις.
- Σφάλματα θα υπάρξουν όταν υπάρχουν επικαλύψεις πάνω στο ηλεκτρόδιο. Σε αυτήν την περίπτωση το ηλεκτρόδιο θα πρέπει να καθαρίζεται σε ultrasonic bath.

4. Μηχανισμός και υλικά:

- Πεχάμετρο (Orion Research, Expandable Ion Analyzer Model EA 920)
- Συνδυαστικό ηλεκτρόδιο (Accumet polymer-body Gel-filled combination electrode with Ag/Ag/Cl reference)
- Beakers των 50mL
- Ογκομετρικές φιάλες, 1L και 2L
- Αναλυτική ζυγαριά
- Αλουμινόχαρτο

5. Αντιδραστήρια:

- Απιονισμένο νερό
- Διαλύματα αναφοράς για βαθμονόμηση πεχάμετρου (Fisher Scientific Buffer solution pH 4 and pH 7)
- Διάλυμα CaCl_2 3,6M. Διαλύουμε 1059gr $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ σε απιονισμένο νερό σε μία ογκομετρική φιάλη 2L. Αφήνουμε το διάλυμα να κρυώσει, διαλύουμε στον τελικό όγκο και ανακατεύουμε καλά.
- CaCl_2 0,01M. Διαλύουμε 5mL από το προηγούμενο διάλυμα μέχρι όγκο 1,8L με απιονισμένο νερό. Αν το pH δεν είναι μεταξύ του 5 και του 6,5 το ρυθμίζουμε προσθέτοντας $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ή HCl. Για έλεγχο στην προετοιμασία του διαλύματος αυτού, μετράμε την ηλεκτρική αγωγιμότητά του. Η ειδική αγωγιμότητα θα πρέπει να είναι $2.32 \pm 0.08 \text{ mho/cm}$ στους 25°C .

6. Χειρισμός δειγμάτων και διατήρησή τους:

- Τα δείγματα πρέπει να αναλυθούν αμέσως μετά την συλλογή.

7. Διαδικασία:

7.1 Διαδικασία βαθμονόμησης

- 7.1.1 Καθαρίζουμε το ηλεκτρόδιο καταβρέχοντας το με απιονισμένο νερό και το σκουπίζουμε ελαφρά
- 7.1.2 Πατάμε το πλήκτρο 2nd και μετά cal.
- 7.1.3 Βάζουμε το ηλεκτρόδιο μέσα στο διάλυμα με pH 7.
- 7.1.4 Αφού σταθεροποιηθεί η μέτρηση, αυτόματα προσαρμόζεται στη σωστή τιμή. Μόλις δείξει 7.0 πατάμε το yes.
- 7.1.5 Καθαρίζουμε το ηλεκτρόδιο καταβρέχοντας το με απιονισμένο νερό και το σκουπίζουμε ελαφρά
- 7.1.6 Βάζουμε το ηλεκτρόδιο μέσα στο διάλυμα με pH 4.
- 7.1.7 Αφού σταθεροποιηθεί η μέτρηση, αυτόματα προσαρμόζεται στη σωστή τιμή. Μόλις δείξει 4.0 πατάμε το yes.
- 7.1.8 Τοποθετούμε το ηλεκτρόδιο μέσα σε απιονισμένο νερό, μέχρι να αρχίσουμε την επόμενη μέτρηση.
- 7.1.9 Μπορούμε για επιβεβαίωση να μετρήσουμε το pH των παραπάνω διαλυμάτων, και να δούμε αν όντως προκύπτουν οι τιμές 7 και 4 αντίστοιχα.

7.2 Προσδιορισμός καρστικών από μη καρστικά εδάφη.

- 7.2.1 Τοποθετούμε λιγότερο από 0,5gr από το δείγμα εδάφους (<60mesh) σε ένα κομμάτι αλουμινόχαρτο.
- 7.2.2 Προσθέτουμε μία ή δύο σταγόνες από 1:3 HCl στο δείγμα. Η παρουσία CaCO_3 υποδεικνύεται από φυσαλίδες ή από αναβρασμό του δείγματος.
- 7.2.3 Αν στο δείγμα δημιουργούνται φυσαλίδες ή αναβρασμός, το δείγμα εδάφους είναι καρστικό. Αν δεν εμφανίζονται φυσαλίδες το έδαφος δεν είναι καρστικό.

7.3 Προετοιμασία δείγματος και μέτρηση pH για μη καρστικά εδάφη.

- 7.3.1 Προσθέτουμε 20 gr από το δείγμα εδάφους σε ένα beaker ή σε πλαστικό φιαλίδιο 200 mL και προσθέτουμε 20mL απιονισμένο νερό. Αναδεύουμε το διάλυμα για 30 λεπτά.
- 7.3.2 Αφήνουμε το διάλυμα του εδάφους σε ηρεμία για περίπου 1 ώρα ώστε να καθιζάνει το σωματιδιακό υλικό από το διάλυμα.
- 7.3.3 Βυθίζοντας το ηλεκτρόδιο μέσα στο αιώρημα πάνω από το ίζημα, μετράμε το pH του δείγματος. Πρόκειται για το pH μετρούμενο στο νερό.

7.4 Προετοιμασία δείγματος και μέτρηση pH για καρστικά εδάφη.

- 7.3.4 Προσθέτουμε 10gr δείγματος εδάφους σε πλαστικό φιαλίδιο 200mL και προσθέτουμε 20mL από το διάλυμα 0,01M CaCl_2 . Αναδεύουμε το διάλυμα για 30 λεπτά.
- 7.3.5 Αναδεύουμε το διάλυμα για 30 λεπτά.
- 7.3.6 Βυθίζοντας το ηλεκτρόδιο μέσα στο αιώρημα πάνω από το ίζημα, μετράμε το pH του δείγματος. Πρόκειται για το pH μετρούμενο σε 0.01M CaCl_2 .

8. Έλεγχος ποιότητας:

- Από κάθε δείγμα εδάφους παίρνουμε 2 μετρήσεις pH. Δηλαδή από το ίδιο δείγμα εδάφους φτιάχνουμε 2 πλαστικά φιαλίδια. Αν οι τιμές του pH προκύπτουν παραπλήσιες παίρνουμε τον μέσο όρο τους.
- Κάθε 10 μετρήσεις θα πρέπει να γίνεται έλεγχος του πεχάμετρου με τα διαλύματα αναφοράς.
- Τα ηλεκτρόδια θα πρέπει να πλένονται με απιονισμένο νερό πολύ καλά μεταξύ των μετρήσεων.

❖ Πυκνότητα και πορώδες

1. Σκοπός και εφαρμογή:

Σκοπός της μεθόδου αυτής είναι ο προσδιορισμός της υγρής και ξηρής πυκνότητας, του ποσοστού κενών, του πορώδους και της ειδικής βαρύτητας ενός ακατέργαστους κοκκώδους υλικού. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στις ογκομετρικές και βαρυτικές σχέσεις (Bowles, 1986)

2. Περίληψη της μεθόδου:

Ο όγκος, το βάρος του ξηρού και υγρού δείγματος εδάφους μετρούνται. Από αυτές τις παραμέτρους υπολογίζονται η πυκνότητα, το πορώδες, και το ποσοστό των κενών.

3. Παρεμβολές:

- Δεν υπάρχουν

4. Συσκευές:

- Ζυγαριά
- Μεταλλικά δοχεία για τοποθέτηση χώματος
- Ογκομετρικοί κύλινδροι, 100mL
- Ογκομετρικές φιάλες, 200mL

5. Αντιδραστήρια:

- Νερό βρύσης

6. Χειρισμός δειγμάτων και διατήρησή τους:

- Η απαραίτητη ποσότητα υγρού εδαφικού δείγματος (όπως αυτό πάρθηκε από το πεδίο και αποθηκεύτηκε σε άζωτο στους 4 °C), ξηραίνεται στους 60 °C σε ένα φούρνο για 24 ώρες και κοσκινίζεται μέσω ενός κοσκίνου 2mm. Το κλάσμα κάτω από 2mm ομογενοποιείται με χρήση 4 δίσκων όπως περιγράφεται παρακάτω, ενώ το κλάσμα πάνω από 2mm απορρίπτεται.
- Παρατήρηση: Η ξήρανση μπορεί να γίνει και στους 110 °C με κίνδυνο όμως σε εδάφη με υψηλό ποσοστό οργανικών αυτά να εξατμιστούν με την θερμοκρασία.
- Ένα τμήμα από το κλάσμα εδάφους κάτω από 2mm τοποθετείται σε ένα 12” χ 8” ρηχό δίσκο και χειρονακτικά αναμειγνύεται πολλές φορές. Αφού δημιουργηθεί ένα ομοιόμορφο στρώμα, το χώμα χωρίζεται σε τέσσερα ίσα μέρη δημιουργώντας δύο γραμμές κάθετες μεταξύ τους. Τα απέναντι τεταρτημόρια μεταφέρονται σε άλλο δίσκο στον οποίο επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία τέσσερις φορές. Τα δείγματα εδάφους από τα απέναντι τεταρτημόρια του τέταρτου δίσκου αποθηκεύονται σε μπουκάλια πλυμένα με οξύ για περαιτέρω χρήση.
- Παρατήρηση: Η παραπάνω διαδικασία ακολουθείται κατά κύριο λόγο όταν τα δείγματα είναι πολύ μεγάλα σε ποσότητα. Η ομογενοποίηση μπορεί να γίνει και μόνο χειρονακτικά ανακατεύοντας πολύ καλά το δείγμα και φροντίζοντας έτσι ώστε να μην υπάρχουν συσσωματώματα εδάφους.

7. Διαδικασία:

- 7.1 Βαθμονομούμε ένα beaker σε γνωστό όγκο (200,100 ή 50mL) προσθέτοντας νερό το οποίο έχουμε μετρήσει πριν σε ογκομετρική φιάλη.
- 7.2 Ζυγίζουμε το beaker και καταγράφουμε το ξηρό βάρος του
- 7.3 Γεμίζουμε το beaker με έδαφος μέχρι τον όγκο που επιθυμούμε. Συνήθως τα 200mL είναι μεγάλος όγκος και καθιστά τις μετρήσεις χρονοβόρες.
- 7.4 Ζυγίζουμε και καταγράφουμε το ξηρό βάρος του εδάφους.
- 7.5 Προσθέτουμε νερό βρύσης στο beaker προσεκτικά ώστε να αποφευχθεί η συσσώρευση νερού στην επιφάνεια του χώματος ή η παγίδευση αέρα μέσα στο έδαφος.
- 7.6 Όταν επέλθει κορεσμός, γεμίζουν δηλαδή όλα τα κενά του εδάφους με νερό, σταματάμε να προσθέτουμε νερό. Πρακτικά, σταματάμε όταν δούμε το νερό να έχει καλύψει όλη την επιφάνεια του χώματος που είναι εμφανής από το beaker, και δεν απαιτούμε να είναι γεμάτοι νερό οι πόροι του χώματος γιατί σε αυτήν την περίπτωση το δείγμα γίνεται υπερκορεσμένο.
- 7.7 Καταγράφουμε τον όγκο του νερού που απαιτήθηκε για τον κορεσμό του δείγματος.
- 7.8 Ζυγίζουμε και καταγράφουμε το υγρό βάρος του δείγματος

8. Υπολογισμοί:

- **Ξηρή πυκνότητα** $= \frac{M_{dry\ soil}}{V_{bea\ ker}} \% = \frac{M_{dry\ soil+bea\ ker} - M_{bea\ ker}}{V_{bea\ ker}} \%$
- **Υγρή πυκνότητα** $= \frac{M_{wet\ soil}}{V_{bea\ ker}} \% = \frac{M_{wet\ soil+bea\ ker} - M_{bea\ ker}}{V_{bea\ ker}} \%$
- **Πορώδες** $= \frac{V_{water\ added}}{V_{bea\ ker}} \%$
- **Ποσοστό πόρων** $= \frac{V_{water\ added}}{V_{bea\ ker} - V_{water\ added}} \%$

❖ Κοκκομετρία

1. Ζυγίζουμε μία ποσότητα δείγματος περίπου 250gr.
2. Το δείγμα τοποθετείται σε κουβά μαζί με νερό και αναδεύεται μηχανικά. Η ποσότητα του νερού που προστίθεται δεν πρέπει να είναι συγκεκριμένη.
3. Όσο το δείγμα αναδεύεται, τοποθετούμε τα κόσκινα που επιθυμούμε το ένα πάνω στο άλλο σε αύξουσα σειρά. Για παράδειγμα μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τα κόσκινα, 2,1,0.5,0.25,0.125,0.063 mm.
4. Το μείγμα του νερού και χώματος το ρίχνουμε πάνω στα κόσκινα αργά, ώστε να αποφύγουμε φράξιμο των κοσκίων. Στη βάση των κοσκίων υπάρχει δοχείο με έξοδο από την οποία φεύγει το νερό μαζί με τους κόκκους του εδάφους <63μm. Το αιώρημα αυτό τοποθετείται σε κουβά και αφήνεται να ηρεμήσει, έως ότου το μεγαλύτερο ποσοστό των κόκκων καθιζήσουν και το νερό από επάνω είναι σχεδόν διαυγές.
5. Το περιεχόμενο του κάθε κοσκίνου μπαίνει σε μεταλλικό σκεύος και με την βοήθεια νερού υπό πίεση ρίχνουμε όσους κόκκους έχουν απομείνει στο κόσκινο. Στη συνέχεια γίνεται υπερχειλίση του νερού και τυχόντων επιπλέοντων σωματιδίων.
6. Στη συνέχεια το περιεχόμενο του σκεύους ξηραίνεται στους 110 °C για περίπου 1 ώρα και ζυγίζεται.
7. Όταν το κλάσμα <63μm έχει καθιζήσει, υπερχειλίζεται το αιώρημα και το υπόλοιπο ξηραίνεται ομοίως και ζυγίζεται.
8. Υπολογισμοί

$$8.1. \text{ Ποσοστό κλάσματος } d_1 < d < d_2 = \frac{M_d}{M_{total}} \%$$

Παράρτημα 4.Π

Πίνακες Υπολογισμών και Αποτελεσμάτων

❖ Υγρασία του ιζήματος

ΥΓΡΑΣΙΑ					
Ταυτότητα λιμνίου		Μάζα (σκεύος) (gr)	Μάζα (σκεύος+υγρό ίζημα) (gr)	Μάζα (σκεύος + ξηρό ίζημα) (gr)	Υγρασία, %
Ελαφονήσι	2	3,37	80,14	78,00	2,8
	8	3,27	61,10	59,52	2,7
	9	3,73	54,31	52,94	2,7
	11	2,97	60,98	59,44	2,7
	12	2,81	53,84	51,09	5,4
	15	3,29	59,53	57,88	2,9
	16	3,45	66,95	65,57	2,2
	17	3,53	58,57	57,29	2,3
Φαλάσσαρνα	1	3,92	77,08	69,26	10,7
	2	3,25	67,27	59,05	12,8
Ομαλός	κεντρικά	3,24	59,10	52,18	12,4
	περιφερειακά	3,55	65,57	63,19	3,8
Κουρνάς		3,49	61,36	60,76	1,0
(κλάσμα <2 mm)					
Ελαφονήσι	2	4,40	128,60	122,60	4,8
	8	4,40	116,30	111,70	4,1
	9	3,80	102,70	97,80	5,0
	11	4,30	109,90	105,30	4,4
	12	3,70	89,80	83,60	7,2
	15	4,00	110,70	105,50	4,9
	16	3,70	175,10	169,20	3,4
	17	4,10	122,00	117,70	3,6
Φαλάσσαρνα	1		130,20	119,50	8,2
	2	4,30	77,70	69,30	11,4
Ομαλός	κεντρικά	4,00	87,20	72,60	17,5
	περιφερειακά	3,10	97,30	92,40	5,2
		4,10	110,20	107,40	2,6

❖ pH

pH			
Ταυτότητα λιμνίου	1η μέτρηση	2η μέτρηση	pH (μέσος όρος)
Ελαφονήσι_2	7,34	7,41	7,38
Ελαφονήσι_11	7,11	7,45	7,28
Φαλάσσαρνα			
Ομαλός	5,58	6,07	5,83
Κουρνάς	7,41	7,42	7,42

❖ Πυκνότητα και πορώδες

Ταυτότητα λιμνίου		Μάζα (σκεύος)	Όγκος (σκεύος)	Μάζα (σκεύος + ξηρό ίζημα) (gr)	Όγκος (προστιθ.νερού) (ml)	Μάζα (σκεύος+υ γρό ίζημα) (gr)	Πυκνότητα επί ξηρού, %	Πυκνότητα επί υγρού, %	Πορώδες, %	Ποσοστό πόρων, %
		(gr)	(ml)							
Ελαφονήσι	2	51,4	50	106,0	24,0	128,5	109,2	154,2	48,0	50,6
	8	44,7	50	105,3	19,1	123,1	121,2	156,8	38,2	55,3
	9	51,1	50	109,5	20,0	129,2	116,8	156,2	40,0	65,0
	11	32,0	25	59,5	9,6	69,1	110,0	148,4	38,4	47,1
	12	32,8	25	62,0	9,3	71,3	116,8	154,0	37,2	59,2
	15	32,3	25	61,8	10,3	72,1	118,0	159,2	41,2	66,7
	16	32,8	25	63,5	11,0	74,5	122,8	166,8	44,0	68,9
	17	32,4	25	63,5	11,0	74,5	124,4	168,4	44,0	66,7
Φαλάσσαρνα	1	52,8	25	92,7	9,3	102,0	159,6	196,8	37,2	59,2
	2	49,6	25	86,4	9,1	95,5	147,2	183,6	36,4	57,2
Ομαλός	κεντρικά	32,6	25	55,9	10,0	67,6	93,2	140,0	40,0	66,7
	περιφερειακά	49,6	25	75,5	10,5	86,0	103,6	145,6	42,0	72,4
Κουρνάς		49,6	25	84,4	10,6	95,0	139,2	181,6	42,4	73,6

❖ Κοκκομετρία

ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑ										
Ελαφονήσι ταυτότητα λιμνίου 2	κλάσμα	Μάζα (σκεύος) (gr)	Μάζα (σκεύος+κλάσμα ιζήματος) (gr)	Μάζα (κλάσμα ιζήματος) (gr)	Ποσοστό κλάσματος, %	Αθροιστικό ποσοστό κλάσματος, %	d10 (mm)	d50 (mm)	d60 (mm)	U, συντελεστής ομοιομορφίας
	d < 0,063 mm	561,7	921	359,1	90,2	90,2	0,0012	0,0084	0,01	10,37
	0,063 < d < 0,125 mm	5,8	19,7	13,9	3,5	93,7				
	0,125 < d < 0,25 mm	5,2	17,6	12,4	3,1	96,8				
	0,25 < d < 0,5 mm	4,7	11,8	7,1	1,8	98,6				
	0,5 < d < 1 mm	1,6	5,2	3,6	0,9	99,5				
	1 < d < 2mm	1,7	3,7	2	0,5	100,0				
	d > 2 mm	-	-	-	-					
	Συνολική μάζα ιζήματος:				398,1					

Ελαφονήσι ταυτότητα λιμνίου 11	κλάσμα	Μάζα (σκεύος) (gr)	Μάζα (σκεύος+κλάσμα ιζήματος) (gr)	Μάζα (κλάσμα ιζήματος) (gr)	Ποσοστό κλάσματος, %	Αθροιστικό ποσοστό κλάσματος, %	d10 (mm)	d50 (mm)	d60 (mm)	U, συντελεστής ομοιομορφίας
	d < 0,063 mm	207,5	551	343,2	84,0	84,0	0,0021	0,02	0,03	12,74
	0,063 < d < 0,125 mm	5,3	29,1	23,8	5,8	89,9				
	0,125 < d < 0,25 mm	5,2	22,9	17,7	4,3	94,2				
	0,25 < d < 0,5 mm	4,6	15,2	10,6	2,6	96,8				
	0,5 < d < 1 mm	4,6	12,6	8	2,0	98,8				
	1 < d < 2mm	3,2	6,3	3,1	0,8	99,5				
	d > 2 mm	3,2	5,2	2	0,5	100,0				
	Συνολική μάζα ιζήματος:				408,4					

	κλάσμα	Μάζα (σκεύος) (gr)	Μάζα (σκεύος+κλάσμα ιζήματος) (gr)	Μάζα (κλάσμα ιζήματος) (gr)	Ποσοστό κλάσματος, %	Αθροιστικό ποσοστό κλάσματος, %	d10 (mm)	d50 (mm)	d60 (mm)	U, συντελεστής ομοιομορφίας
Ομαλός <2mm	d < 0,063 mm	258,6	385	126	48,7	48,7	0,0096	0,07	0,85	89,00
	0,063 < d < 0,125 mm	6,8	35,9	29,1	11,3	60,0				
	0,125 < d < 0,25 mm	6,3	34,8	28,5	11,0	71,0				
	0,25 < d < 0,5 mm	136	160	24	9,3	80,3				
	0,5 < d < 1 mm	4,8	28	23,2	9,0	89,2				
	1 < d < 2mm	5,1	32,9	27,8	10,8	100,0				
	d > 2 mm									
	Συνολική μάζα ιζήματος:				258,6					

	κλάσμα	Μάζα (σκεύος) (gr)	Μάζα (σκεύος+κλάσμα ιζήματος) (gr)	Μάζα (κλάσμα ιζήματος) (gr)	Ποσοστό κλάσματος, %	Αθροιστικό ποσοστό κλάσματος, %	d10 (mm)	d50 (mm)	d60 (mm)	U, συντελεστής ομοιομορφίας
Ομαλός περιφερειακά <2mm	d < 0,063 mm	398,6	635	236,3	68,3	68,3	0,006	0,04	0,05	8,79
	0,063 < d < 0,125 mm	5,9	42,6	36,7	10,6	78,9				
	0,125 < d < 0,25 mm	5,5	36,4	30,9	8,9	87,8				
	0,25 < d < 0,5 mm	5,5	27,1	21,6	6,2	94,1				
	0,5 < d < 1 mm	4,2	14,6	10,4	3,0	97,1				
	1 < d < 2mm	3,4	13,5	10,1	2,9	100,0				
	d > 2 mm									
	Συνολική μάζα ιζήματος:				346					

	κλάσμα	Μάζα (σκεύος) (gr)	Μάζα (σκεύος+κλάσμα ιζήματος) (gr)	Μάζα (κλάσμα ιζήματος) (gr)	Ποσοστό κλάσματος, %	Αθροιστικό ποσοστό κλάσματος, %	d10 (mm)	d50 (mm)	d60 (mm)	U, συντελεστής ομοιομορφίας
Κουρνάς	d < 0,063 mm	393,1	523	130	28,2	28,2	0,01	0,16	0,18	19,61
	0,063 < d < 0,125 mm	4,7	58,1	53,4	11,6	39,7				
	0,125 < d < 0,25 mm	4,7	201	196,2	42,5	82,3				
	0,25 < d < 0,5 mm	5,1	46,4	41,3	8,9	91,2				
	0,5 < d < 1 mm	4,3	21,3	17	3,7	94,9				
	1 < d < 2mm	4,6	14,8	10,2	2,2	97,1				
	d > 2 mm	4,3	17,7	13,4	2,9	100,0				
	Συνολική μάζα ιζήματος:			461,5						

	κλάσμα	Μάζα (σκεύος) (gr)	Μάζα (σκεύος+κλάσμα ιζήματος) (gr)	Μάζα (κλάσμα ιζήματος) (gr)	Ποσοστό κλάσματος, %	Αθροιστικό ποσοστό κλάσματος, %	d10 (mm)	d50 (mm)	d60 (mm)	U, συντελεστής ομοιομορφίας
Φαλάσσαρνα	d < 0,063 mm	656,7	691	33,9	6,4	6,4	0,22	0,61	0,71	3,20
	0,063 < d < 0,125 mm	3,7	8,8	5,1	1,0	7,4				
	0,125 < d < 0,25 mm	4,5	22,3	17,8	3,4	10,8				
	0,25 < d < 0,5 mm	4,7	150	144,9	27,6	38,4				
	0,5 < d < 1 mm	4,7	279	274,7	52,3	90,6				
	1 < d < 2mm	3,5	28,8	25,3	4,8	95,5				
	d > 2 mm	2,9	26,8	23,9	4,5	100,0				
	Συνολική μάζα ιζήματος:			525,6						

Παράρτημα 4.III

Αποτελέσματα (Laser Diffraction)

TECHNICAL UNIVERSITY OF CRETE Department of Mineral Resources Engineering Mineral Processing Laboratory

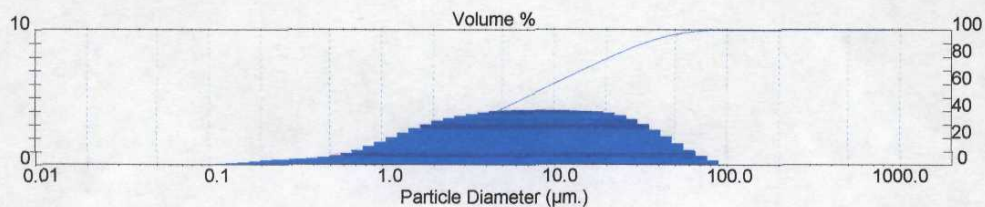
Laser Diffraction Size Analysis Report

Sample Details		
Sample ID: ELAF2	Run Number: 9	Measured: Sat, Mar 12, 2005 1:02AM
Sample File: A-	Record Number: 3	Analysed: Sat, Mar 12, 2005 1:02AM
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\		Result Source: Analysed
Sample Notes:		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS14	Obscuration: 24.6 %
Presentation: 3OJD	[Particle R.I. = (1.5295, 1.0000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	Residual: 0.515 %
Analysis Model: Polydisperse			
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0088 %Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 2.4044 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 1.14 um	D (v, 0.5) = 6.76 um	D (v, 0.9) = 32.82 um
D [4, 3] = 12.58 um	D [3, 2] = 2.50 um	Span = 4.684E+00	Uniformity = 1.439E+00

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	4.09	7.72	53.55
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	4.07	9.00	57.62
0.07	0.01	0.08	0.01	9.00	4.04	10.48	61.66
0.08	0.02	0.09	0.03	10.48	4.02	12.21	65.68
0.09	0.04	0.11	0.08	12.21	4.00	14.22	69.68
0.11	0.08	0.13	0.16	14.22	3.99	16.57	73.67
0.13	0.13	0.15	0.28	16.57	3.96	19.31	77.62
0.15	0.19	0.17	0.47	19.31	3.85	22.49	81.48
0.17	0.26	0.20	0.73	22.49	3.66	26.20	85.14
0.20	0.34	0.23	1.08	26.20	3.38	30.53	88.52
0.23	0.40	0.27	1.48	30.53	3.02	35.56	91.54
0.27	0.42	0.31	1.90	35.56	2.59	41.43	94.13
0.31	0.43	0.36	2.32	41.43	2.11	48.27	96.24
0.36	0.48	0.42	2.81	48.27	1.61	56.23	97.85
0.42	0.57	0.49	3.38	56.23	1.12	65.51	98.97
0.49	0.68	0.58	4.06	65.51	0.69	76.32	99.66
0.58	0.86	0.67	4.92	76.32	0.34	88.91	100.00
0.67	1.07	0.78	6.00	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	1.39	0.91	7.38	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	1.71	1.06	9.09	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	2.05	1.24	11.14	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	2.38	1.44	13.52	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	2.70	1.68	16.23	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	3.00	1.95	19.22	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	3.26	2.28	22.48	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	3.48	2.65	25.96	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	3.65	3.09	29.61	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	3.79	3.60	33.40	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	3.90	4.19	37.30	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	4.00	4.88	41.30	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	4.07	5.69	45.36	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	4.10	6.63	49.46	754.23	0.00	878.67	100.00



TECHNICAL UNIVERSITY OF CRETE
Department of Mineral Resources Engineering
Mineral Processing Laboratory

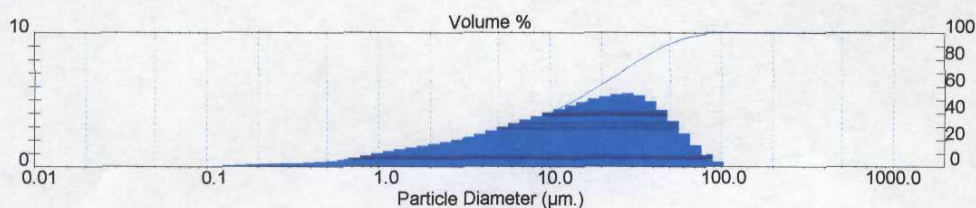
Laser Diffraction Size Analysis Report

Sample Details		
Sample ID: ELAF11	Run Number: 8	Measured: Sat, Mar 12, 2005 0:50AM
Sample File: A-	Record Number: 2	Analysed: Sat, Mar 12, 2005 0:50AM
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\		Result Source: Analysed
Sample Notes:		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS14	Obscuration: 16.5 %
Presentation: 3OJD	[Particle R.I. = (1.5295, 1.0000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	
Analysis Model: Polydisperse			Residual: 0.781 %
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0086 %Vol	Density = 1,000 g / cub. cm	Specific S.A. = 1.5930 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 1.74 um	D (v, 0.5) = 13.95 um	D (v, 0.9) = 46.26 um
D [4, 3] = 19.69 um	D [3, 2] = 3.77 um	Span = 3.191E+00	Uniformity = 1.000E+00

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	3.52	7.72	33.86
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	3.79	9.00	37.65
0.07	0.01	0.08	0.01	9.00	4.05	10.48	41.70
0.08	0.02	0.09	0.03	10.48	4.32	12.21	46.02
0.09	0.03	0.11	0.06	12.21	4.58	14.22	50.60
0.11	0.06	0.13	0.12	14.22	4.83	16.57	55.43
0.13	0.09	0.15	0.21	16.57	5.06	19.31	60.49
0.15	0.13	0.17	0.34	19.31	5.25	22.49	65.74
0.17	0.17	0.20	0.51	22.49	5.40	26.20	71.14
0.20	0.22	0.23	0.72	26.20	5.50	30.53	76.64
0.23	0.25	0.27	0.97	30.53	5.31	35.56	81.96
0.27	0.26	0.31	1.23	35.56	4.90	41.43	86.85
0.31	0.27	0.36	1.51	41.43	4.25	48.27	91.11
0.36	0.31	0.42	1.82	48.27	3.43	56.23	94.54
0.42	0.37	0.49	2.19	56.23	2.53	65.51	97.07
0.49	0.44	0.58	2.63	65.51	1.65	76.32	98.72
0.58	0.55	0.67	3.17	76.32	0.91	88.91	99.62
0.67	0.67	0.78	3.85	88.91	0.38	103.58	100.00
0.78	0.84	0.91	4.68	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	1.00	1.06	5.68	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	1.16	1.24	6.84	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	1.32	1.44	8.15	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	1.46	1.68	9.61	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	1.59	1.95	11.21	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	1.73	2.28	12.94	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	1.87	2.65	14.81	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	2.02	3.09	16.83	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	2.21	3.60	19.04	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	2.42	4.19	21.46	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	2.68	4.88	24.14	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	2.96	5.69	27.10	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	3.24	6.63	30.34	754.23	0.00	878.67	100.00



TECHNICAL UNIVERSITY OF CRETE
Department of Mineral Resources Engineering
Mineral Processing Laboratory

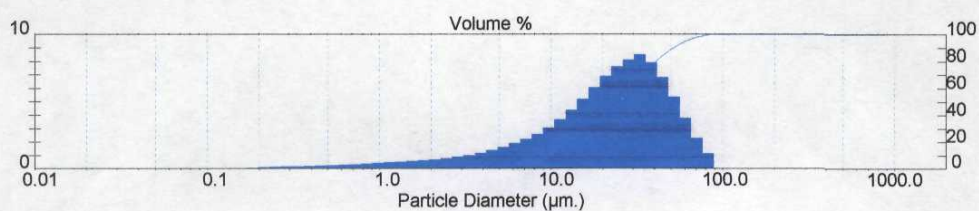
Laser Diffraction Size Analysis Report

Sample Details		
Sample ID: OM	Run Number: 11	Measured: Sat, Mar 12, 2005 1:20AM
Sample File: A-	Record Number: 5	Analysed: Sat, Mar 12, 2005 1:20AM
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\		Result Source: Analysed
Sample Notes:		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS14	Obscuration: 25.3 %
Presentation: 3OJD	[Particle R.I. = (1.5295, 1.0000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	
Analysis Model: Polydisperse			Residual: 0.515 %
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0251 %Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 0.8752 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 4.38 um	D (v, 0.5) = 23.20 um	D (v, 0.9) = 51.65 um
D [4, 3] = 26.09 um	D [3, 2] = 6.86 um	Span = 2.038E+00	Uniformity = 6.270E-01

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	2.20	7.72	16.71
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	2.58	9.00	19.29
0.07	0.00	0.08	0.00	9.00	3.06	10.48	22.35
0.08	0.00	0.09	0.00	10.48	3.65	12.21	26.01
0.09	0.00	0.11	0.01	12.21	4.37	14.22	30.38
0.11	0.01	0.13	0.02	14.22	5.19	16.57	35.57
0.13	0.02	0.15	0.04	16.57	6.06	19.31	41.63
0.15	0.04	0.17	0.08	19.31	6.89	22.49	48.52
0.17	0.07	0.20	0.15	22.49	7.59	26.20	56.11
0.20	0.11	0.23	0.26	26.20	8.12	30.53	64.22
0.23	0.15	0.27	0.42	30.53	8.49	35.56	72.71
0.27	0.17	0.31	0.58	35.56	7.91	41.43	80.62
0.31	0.18	0.36	0.76	41.43	6.81	48.27	87.44
0.36	0.20	0.42	0.96	48.27	5.36	56.23	92.79
0.42	0.24	0.49	1.20	56.23	3.77	65.51	96.57
0.49	0.26	0.58	1.46	65.51	2.30	76.32	98.87
0.58	0.30	0.67	1.76	76.32	1.13	88.91	100.00
0.67	0.34	0.78	2.10	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	0.38	0.91	2.48	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	0.43	1.06	2.91	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	0.48	1.24	3.39	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	0.52	1.44	3.91	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	0.57	1.68	4.48	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	0.62	1.95	5.10	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	0.69	2.28	5.79	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	0.77	2.65	6.56	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	0.88	3.09	7.44	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	1.01	3.60	8.45	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	1.16	4.19	9.63	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	1.38	4.88	11.00	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	1.62	5.69	12.62	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	1.89	6.63	14.51	754.23	0.00	878.67	100.00



TECHNICAL UNIVERSITY OF CRETE
Department of Mineral Resources Engineering
Mineral Processing Laboratory

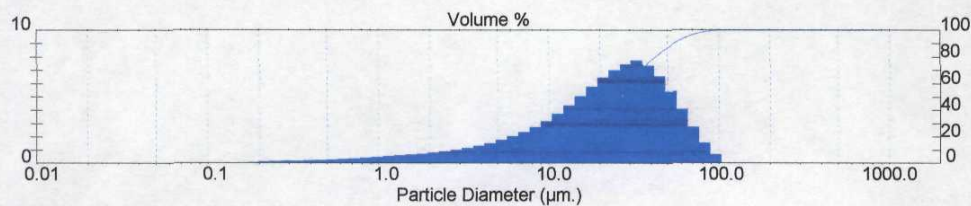
Laser Diffraction Size Analysis Report

Sample Details		
Sample ID: OM-P	Run Number: 10	Measured: Sat, Mar 12, 2005 1:06AM
Sample File: A-	Record Number: 4	Analysed: Sat, Mar 12, 2005 1:06AM
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\		Result Source: Analysed
Sample Notes:		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS14	Obscuration: 23.1 %
Presentation: 3QJD	[Particle R.I. = (1.5295, 1.0000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	
Analysis Model: Polydisperse			Residual: 0.484 %
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0214 %Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 0.9211 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 3.88 um	D (v, 0.5) = 22.72 um	D (v, 0.9) = 54.44 um
D [4, 3] = 26.54 um	D [3, 2] = 6.51 um	Span = 2.225E+00	Uniformity = 6.887E-01

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	2.34	7.72	18.32
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	2.72	9.00	21.04
0.07	0.00	0.08	0.00	9.00	3.17	10.48	24.21
0.08	0.00	0.09	0.00	10.48	3.72	12.21	27.93
0.09	0.01	0.11	0.01	12.21	4.35	14.22	32.28
0.11	0.01	0.13	0.02	14.22	5.06	16.57	37.33
0.13	0.02	0.15	0.04	16.57	5.77	19.31	43.11
0.15	0.04	0.17	0.09	19.31	6.44	22.49	49.55
0.17	0.07	0.20	0.16	22.49	7.00	26.20	56.55
0.20	0.11	0.23	0.27	26.20	7.42	30.53	63.97
0.23	0.15	0.27	0.43	30.53	7.74	35.56	71.71
0.27	0.17	0.31	0.60	35.56	7.36	41.43	79.07
0.31	0.18	0.36	0.78	41.43	6.56	48.27	85.63
0.36	0.21	0.42	0.99	48.27	5.42	56.23	91.04
0.42	0.25	0.49	1.24	56.23	4.07	65.51	95.11
0.49	0.27	0.58	1.51	65.51	2.71	76.32	97.82
0.58	0.32	0.67	1.84	76.32	1.53	88.91	99.35
0.67	0.36	0.78	2.20	88.91	0.65	103.58	100.00
0.78	0.42	0.91	2.62	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	0.48	1.06	3.10	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	0.54	1.24	3.63	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	0.59	1.44	4.23	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	0.65	1.68	4.87	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	0.71	1.95	5.59	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	0.79	2.28	6.38	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	0.88	2.65	7.26	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	1.00	3.09	8.26	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	1.13	3.60	9.39	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	1.30	4.19	10.69	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	1.51	4.88	12.20	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	1.75	5.69	13.95	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	2.03	6.63	15.98	754.23	0.00	878.67	100.00



TECHNICAL UNIVERSITY OF CRETE
Department of Mineral Resources Engineering
Mineral Processing Laboratory

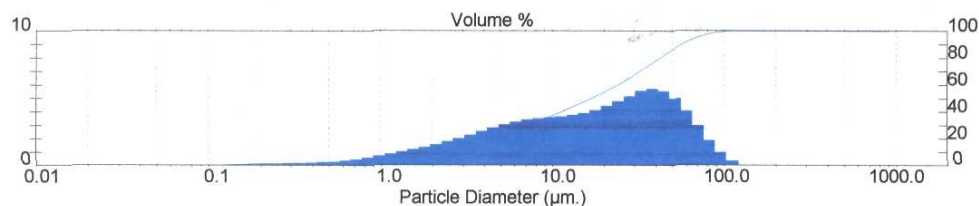
Laser Diffraction Size Analysis Report

Sample Details		
Sample ID: KOYR	Run Number: 12	Measured: Sat, Mar 12, 2005 1:29AM
Sample File: A-	Record Number: 6	Analysed: Sat, Mar 12, 2005 1:30AM
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\		Result Source: Analysed
Sample Notes:		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS14	Obscuration: 20.7 %
Presentation: 3OJD	[Particle R.I. = (1.5295, 1.0000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	
Analysis Model: Polydisperse			Residual: 0.732 %
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0136 %Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 1.3116 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 2.27 um	D (v, 0.5) = 16.90 um	D (v, 0.9) = 56.64 um
D [4, 3] = 24.08 um	D [3, 2] = 4.57 um	Span = 3.218E+00	Uniformity = 1.027E+00

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	3.40	7.72	31.14
0.06	0.01	0.07	0.01	7.72	3.51	9.00	34.64
0.07	0.01	0.08	0.02	9.00	3.58	10.48	38.22
0.08	0.02	0.09	0.04	10.48	3.64	12.21	41.86
0.09	0.03	0.11	0.07	12.21	3.74	14.22	45.60
0.11	0.05	0.13	0.13	14.22	3.89	16.57	49.49
0.13	0.07	0.15	0.20	16.57	4.12	19.31	53.61
0.15	0.09	0.17	0.29	19.31	4.42	22.49	58.02
0.17	0.12	0.20	0.41	22.49	4.78	26.20	62.80
0.20	0.14	0.23	0.55	26.20	5.17	30.53	67.97
0.23	0.16	0.27	0.72	30.53	5.57	35.56	73.54
0.27	0.18	0.31	0.89	35.56	5.72	41.43	79.27
0.31	0.19	0.36	1.08	41.43	5.54	48.27	84.81
0.36	0.22	0.42	1.30	48.27	4.98	56.23	89.79
0.42	0.26	0.49	1.55	56.23	4.07	65.51	93.85
0.49	0.30	0.58	1.86	65.51	2.96	76.32	96.82
0.58	0.38	0.67	2.23	76.32	1.87	88.91	98.68
0.67	0.47	0.78	2.70	88.91	0.96	103.58	99.64
0.78	0.59	0.91	3.29	103.58	0.36	120.67	100.00
0.91	0.73	1.06	4.02	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	0.87	1.24	4.89	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	1.02	1.44	5.92	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	1.19	1.68	7.11	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	1.37	1.95	8.47	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	1.57	2.28	10.04	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	1.78	2.65	11.82	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	2.01	3.09	13.83	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	2.27	3.60	16.10	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	2.53	4.19	18.63	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	2.80	4.88	21.43	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	3.05	5.69	24.48	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	3.26	6.63	27.73	754.23	0.00	878.67	100.00



TECHNICAL UNIVERSITY OF CRETE
Department of Mineral Resources Engineering
Mineral Processing Laboratory

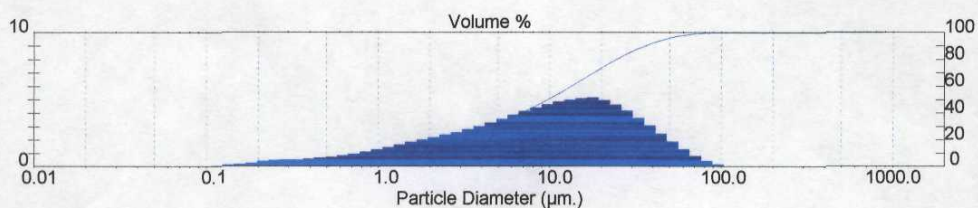
Laser Diffraction Size Analysis Report

Sample ID: FAL Sample File: A- Sample Path: C:\SIZERS\DATA\ Sample Notes:	Sample Details Run Number: 7 Record Number: 1	Measured: Sat, Mar 12, 2005 0:45AM Analysed: Sat, Mar 12, 2005 0:47AM Result Source: Analysed
--	--	--

System Details Range Lens: 300RF mm Presentation: 3OJD Analysis Model: Polydisperse Modifications: None	Beam Length: 2.40 mm [Particle R.I. = (1.5295, 1.0000); Dispersant R.I. = 1.3300]	Sampler: MS14 Obscuration: 25.5 % Residual: 0.587 %
--	---	--

Result Statistics Distribution Type: Volume Mean Diameters: D [4, 3] = 14.82 um	Concentration = 0.0101 %Vol D (v, 0.1) = 1.22 um D [3, 2] = 2.74 um	Density = 1.000 g / cub. cm D (v, 0.5) = 9.71 um Span = 3.557E+00
Specific S.A. = 2.1929 sq. m / g D (v, 0.9) = 35.76 um Uniformity = 1.116E+00		

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	4.13	7.72	43.30
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	4.40	9.00	47.70
0.07	0.00	0.08	0.01	9.00	4.64	10.48	52.35
0.08	0.01	0.09	0.02	10.48	4.85	12.21	57.19
0.09	0.03	0.11	0.05	12.21	5.00	14.22	62.19
0.11	0.07	0.13	0.12	14.22	5.10	16.57	67.29
0.13	0.11	0.15	0.23	16.57	5.16	19.31	72.45
0.15	0.18	0.17	0.42	19.31	4.97	22.49	77.41
0.17	0.28	0.20	0.70	22.49	4.63	26.20	82.05
0.20	0.39	0.23	1.09	26.20	4.18	30.53	86.23
0.23	0.49	0.27	1.58	30.53	3.65	35.56	89.88
0.27	0.52	0.31	2.10	35.56	3.07	41.43	92.95
0.31	0.53	0.36	2.63	41.43	2.46	48.27	95.41
0.36	0.59	0.42	3.22	48.27	1.87	56.23	97.27
0.42	0.65	0.49	3.87	56.23	1.30	65.51	98.58
0.49	0.71	0.58	4.58	65.51	0.81	76.32	99.39
0.58	0.82	0.67	5.40	76.32	0.43	88.91	99.82
0.67	0.93	0.78	6.32	88.91	0.18	103.58	100.00
0.78	1.10	0.91	7.42	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	1.27	1.06	8.70	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	1.46	1.24	10.16	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	1.65	1.44	11.80	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	1.83	1.68	13.63	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	2.01	1.95	15.64	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	2.19	2.28	17.83	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	2.37	2.65	20.19	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	2.55	3.09	22.75	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	2.76	3.60	25.50	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	2.99	4.19	28.49	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	3.26	4.88	31.75	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	3.56	5.69	35.31	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	3.86	6.63	39.17	754.23	0.00	878.67	100.00



Malvern Instruments Ltd.
 Malvern, UK
 Tel:01684 892456 Fax:01684 892789

Mastersizer S long bed Ver. 2.14
 Serial Number:

p.
 05 Oct 05 11:3

Παράρτημα 4.IV

Υδρολογικές Παρατηρήσεις

Πρωτόκολλο Υδρολογικών Παρατηρήσεων		
Τοποθεσία	Ελαφονήσι	
Ταυτότητα λιμνίου	<u>2</u>	
Ημερομηνία	Στάθμη	Παρατηρήσεις
21/7/2005	0 cm	Έγινε πείραμα διήθησης στα λιμνία με ID: 1,11
16/8/2005	0 cm	Έγινε πείραμα διήθησης και στο λιμνίο με ID: 2 Πάρθηκαν δείγματα για τον φυσικό χαρακτηρισμό και τα πειράματα.
1/9/2005	0 cm	Τοποθέτηση σταδίας στα λιμνία
11/10/2005	0 cm	Επίσκεψη στην περιοχή με το γυμνάσιο Καστελίου
16/10/2005	0 cm	Γεωφυσικά στα λιμνία 11 και 10
2/11/2005	0 cm	Επίσκεψη του ΕΛΚΕΘΕ με τους δασκάλους
6/11/2005	0 cm	Τοποθέτηση σταδίας στα λιμνία
28/12/2005	5 cm	Υγρή επιφάνεια (200x30 cm) Στάθμη υπόγειου νερού 37.07 από την επιφάνεια του εδάφους (η αντλία δεν δούλεψε)
27/1/2006	0 cm	
22/2/2006	0 cm	
2/3/2006	0 cm	Στάθμη υπόγειου νερού 37.01 (η αντλία δεν δούλεψε)

Πρωτόκολλο Υδρολογικών Παρατηρήσεων		
Τοποθεσία	Ελαφονήσι	
Ταυτότητα λιμνίου	<u>11</u>	
Ημερομηνία	Στάθμη	Παρατηρήσεις
21/7/2005	0 cm	Έγινε πείραμα διήθησης στα λιμνία με ID: 1,11
16/8/2005	0 cm	Έγινε πείραμα διήθησης και στο λιμνίο με ID: 2 Πάρθηκαν δείγματα για τον φυσικό χαρακτηρισμό και τα πειράματα.
1/9/2005	0 cm	Τοποθέτηση σταδίας στα λιμνία
11/10/2005	0 cm	Επίσκεψη στην περιοχή με το γυμνάσιο Καστελίου
16/10/2005	0 cm	Γεωφυσικά στα λιμνία 11 και 10
2/11/2005	0 cm	Επίσκεψη του ΕΛΚΕΘΕ με τους δασκάλους
6/11/2005	0 cm	Τοποθέτηση σταδίας στα λιμνία
28/12/2005	25 cm	Υγρή επιφάνεια (200x100 cm) Στάθμη υπόγειου νερού 37.07 (η αντλία δεν δούλεψε)
27/1/2006	0 cm	
22/2/2006	0 cm	
2/3/2006	0 cm	Στάθμη υπόγειου νερού 37.01 (η αντλία δεν δούλεψε)

Πρωτόκολλο Υδρολογικών Παρατηρήσεων		
Τοποθεσία	Ομαλός	
Ταυτότητα λιμνίου		
Ημερομηνία	Στάθμη	Παρατηρήσεις
26/7/2005	35 cm	Έγιναν 2 πειρ. διήθησης κοντά & περιφερειακά του λιμνίου Στάθμη υπόγειου νερού 18.07 από την επιφάνεια του εδάφους
20/8/2005	0 cm	Στάθμη υπόγειου νερού 18.0 από την επιφάνεια του εδάφους
13/9/2005	0 cm	Τοποθέτηση σταδίας στο κέντρο του λιμνίου Πάρθηκαν δείγματα για τον φυσικό χαρακτηρισμό και τα πειράματα. Στάθμη υπόγειου νερού 18.1 από την επιφάνεια του εδάφους
15/10/2005	60 cm	17,5 Στάθμη υπόγειου νερού 17.5 από την επιφάνεια του εδάφους
4/11/2005	60 cm	Γεωφυσικά Στάθμη υπόγειου νερού 17.2 από την επιφάνεια του εδάφους
6/12/2005	70 cm	Στάθμη υπόγειου νερού 16.8 από την επιφάνεια του εδάφους
17/1/2006	105 cm	Στάθμη υπόγειου νερού 16 από την επιφάνεια του εδάφους
19/2/2006	150 cm	Στάθμη υπόγειου νερού 3.83 από την επιφάνεια του εδάφους

[illegible]

Πρωτόκολλο Υδρολογικών Παρατηρήσεων		
Τοποθεσία	Φαλάσσαρνα	
Ταυτότητα λιμνίου	<u>1</u> (δίπλα στις αμμοθίνες)	
Ημερομηνία	Στάθμη	Παρατηρήσεις
27/7/2005	0 cm	Έγινε πείραμα διήθησης και στα δύο λιμνία
19/9/2005	0 cm	Πάρθηκαν δείγματα για τον φυσικό χαρακτηρισμό και τα πειράματα.
1/11/2005	0 cm	Τοποθέτηση σταδίας στο κέντρο του λιμνίου
18/01/2006	5 cm	
28/12/2005	0 cm	
2/3/2006	70 cm	

Πρωτόκολλο Υδρολογικών Παρατηρήσεων		
Τοποθεσία	Φαλάσσαρνα	
Ταυτότητα λιμνίου	<u>2</u> (πάνω από τον δρόμο)	
Ημερομηνία	Στάθμη	Παρατηρήσεις
27/7/2005	0 cm	Έγινε πείραμα διήθησης και στα δύο λιμνία
19/9/2005	0 cm	Πάρθηκαν δείγματα για τον φυσικό χαρακτηρισμό και τα πειράματα.
1/11/2005	0 cm	Τοποθέτηση σταδίας στο κέντρο του λιμνίου
18/01/2006	0 cm	
28/12/2005	0 cm	
2/3/2006	100 cm	

HELP FILE

% Hydro-Pond Model (HPM) is a model for the calculation of the hydroperiod of
% a pond. It is consists of two mfiles, the inputs mfile (input.m), in which
% one must insert the values of the parameters described in the following
% text AND the main model (HPM.m).

% INPUT PARAMETERS

% input parameters - calibrated parameters

% cs: Correction coefficient of snow (unitless)
% cm: Correction coefficient of snow melt (unitless)
% cp: Correction coefficient of percolation (unitless)
% ci: Correction coefficient of infiltration (unitless)
% cet: Correction coefficient of evapotranspiration (unitless)
% cpe: Correction coefficient of pan evaporation (unitless)
% k: coefficient1 of snowmelt function of temperature (unitless)
% n: coefficient2 of snowmelt function of temperature (unitless)
% Ts: Maximum Temperature snow begins, oC

% input parameters - GIS information, experinments

% N: Number of days of simulation
% dt: Step of simulation (days)
% Apf: Pond flat area, m2
% Atf: Terrestrial flat area, m2
% Ap: Pond area, m2
% At: Terrestrial area, m2
% Ac: Core area, m2
% Vpmax: Maximun volume of pond, m3
% Vtmax: Maximun volume of terrestrial soil, m3
% e: Porosity of terrestrial soil
% sm: Minimum soil moisture
% fc: velocity of infiltration/percolation
% (measurements from field experinments)

% INPUT TIMESERIES

% p: Precipitation, mm
% PE: Pan Evaporation, mm
% ET: Evapotranspiration, mm
% T: Mean Temperature, oC

% CALCULATED PARAMETERS

% Atotalf: Total flat area, m2
% Asf: Snow flat area, m2
% Atotal: Total area, m2
% As: Snow area, m2
% Vtev: porosity volume, m3
% Vtmin: minimum porosity volume, m3

% OUTPUTS

% output timeseries

% Vs: volume of snow, m3
% Vs: water volume of terrestrial, m3
% Vp: water volume of pond, m3
% stagep: average water stage of pond, m3
% Avp: wet area of pond

% output graphs

% 1. Vs&Vp with time
% 2. average water stage of pond with time

% NOTES

% equation $A=f(V_p)$ should be calculated from GIS information
% and inserted in the HPM mfile

inputs.m

```
% input values (calibrated)

% Correction coefficient of snow
cs=;
% Correction coefficient of snow melt
cm=;
% Correction coefficient of percolation
cp=;
% Correction coefficient of infiltration
ci=;
% Correction coefficient of evapotranspiration
cet=;
% Correction coefficient of pan evaporation
cpe=;
% coefficient1 of snowmelt function of temperature
k=;
% coefficient2 of snowmelt function of temperature
n=;
% Minimum Temperature snow begins
Ts=;

% input values

% Number of days of simulation
N=;
% Step of simulation (days)
dt=;
% Pond flat area,m2
Apf=;
% Terrestrial flat area,m2
Atf=;
% Pond area,m2
Ap=;
% Terrestrial area,m2
At=;
% Core area,m2
Ac=;
% Maximun volume of pond, m3
Vpmax=;
% Maximun volume of terrestrial soil, m3
Vtmax=;
% Porosity of terrestrial soil
e=;
% Minimum soil moisture
sm=;
```

```
% velocity of infiltration/percolation  
fc=;
```

```
% calculations
```

```
% Total flat area
```

```
Atotalf=Apf+Atf;
```

```
% Snow flat area
```

```
Asf=Atotalf;
```

```
% Total area
```

```
Atotal=Ap+At;
```

```
% Snow area
```

```
As=Atotal;
```

```
% Vtev
```

```
Vtev=e*Vtmax;
```

```
% Snow area
```

```
Vtmin=e*sm*Vtmax;
```

```
% input timeseries
```

```
% Precipitation, mm
```

```
P=[
```

```
];
```

```
% Pan Evaporation, mm
```

```
PE=[
```

```
];
```

```
% Evapotranspiration, mm
```

```
ET=[
```

```
];
```

```
% Mean Temperature, oC
```

```
T=[
```

```
];
```

```
% convert P, ET, PE from mm/day to m/day
```

```
P=P/1000;
```

```
ET=ET/1000;
```

```
PE=PE/1000;
```

```
% fc, m/day
```

```
f=zeros(N,1);
```

```
f(1,1)=fc;
```

```
for i=1:N-1
```

```
    f(i+1,1)=fc;
```

```
end
```

HPM.m

%HPM: Hydro-Pond Model

%snow

```
Ps=zeros(N,1);
Ms=zeros(N,1);
Vs=zeros(N,1);
Ps(1,1)=0;
Ms(1,1)=0;
Vs(1,1)=0;
```

```
for i=2:N
```

```
    if (T(i,1)<=Ts)
        Ps(i,1)=cs*P(i,1);
        Ms(i,1)=0;
```

```
    else
```

```
        if (Vs(i-1,1)>0)
            if (P(i,1)<=0)
```

%snowmelt function of temperature: $\kappa \cdot (1.8 \cdot T(i,1))^{n+1}$:degree day factor m/day

```
            Ms(i,1)= (((T(i,1)*1.8)^(0.25+1))*k)/1000;
```

```
        else
```

%snowmelt function of temperature and rainfall m/day

```
            Ms(i,1)=(((P(i,1)*0.007+0.074)*T(i,1)*1.8+0.05)*0.254)/1000;
```

```
        end
```

```
    else
```

```
        Ms(i,1)=0;
```

```
    end
```

```
    Ps(i,1)=0 ;
```

```
end
```

%1st calculation of dVsdt(i)

```
dVsdt(i,1)=Ps(i,1)*Asf-cm*Ms(i,1)*As;
```

```
Vs(i,1)=Vs(i-1,1)+ dVsdt(i,1)*dt;
```

```
if (Vs(i,1)<0)
```

```
    Ms(i,1)=Ms(i,1)+(Vs(i,1)/(cm*As));
```

```
else
```

```
    Ms(i,1)=Ms(i,1);
```

```
end
```

%2nd (final) calculation of dVsdt(i)

```
dVsdt(i,1)=Ps(i,1)*Asf-cm*Ms(i,1)*As;
```

```
Vs(i,1)=Vs(i-1,1)+ dVsdt(i,1)*dt;
```

```
end
```

%adjustment of Precipitation P if there is snow

```
for i=1:N
    if (Ps(i,1)>0)
        P(i,1)=0;
    else
        P(i,1)=P(i,1);
    end
end
```

% terrestrial

```
Pt=P*Atf;
Et=ET*cet*At;
PRt=f*cp*At;
Mst=Ms*At;
Ot=zeros(N,1);
Vt=zeros(N,1);
dVtdt=zeros(N,1);
Vt(1,1)=Vtmin;
Et(1,1)=0;
PRt(1,1)=0;
```

```
for i=2:N
    if ((P(i,1)+Ms(i,1))>f(i,1))
        Ot(i,1)=(P(i,1)*Atf)+(Ms(i,1)-f(i,1))*At;
        PRt(i,1)=PRt(i,1);
        Et(i,1)=Et(i,1);
    elseif (Ps(i,1)>0)||(((Pt(i,1)+Mst(i,1))<=0)&(Vt(i-1,1)<=Vtmin))
        Ot(i,1)=0;
        Et(i,1)=0;
        PRt(i,1)=0;
    elseif ((Pt(i,1)+Mst(i,1))<=0)&(Vt(i-1,1)>Vtmin)&(Vt(i-1,1)<(Et(i,1)+PRt(i,1)))
        Ot(i,1)=0;
        Et(i,1)=((Vt(i-1,1)-Vtmin)*Et(i,1))/(Et(i,1)+PRt(i,1));
        PRtp(i,1)=((Vt(i-1,1)-Vtmin)*PRt(i,1))/(Et(i,1)+PRt(i,1));
    else
        Ot(i,1)=0;
        PRt(i,1)=PRt(i,1);
        Et(i,1)=Et(i,1);
    end
end
```

%1st calculation of dVtdt(i)

```
dVtdt(i,1)=Pt(i,1)+Mst(i,1)-Et(i,1)-PRt(i,1)-Ot(i,1);
Vt(i,1)=Vt(i-1,1)+dVtdt(i,1)*dt;
```

```
if (Vt(i,1)<Vtmin)
    at=Et(i,1)/(Et(i,1)+PRt(i,1));
    bt=PRt(i,1)/(Et(i,1)+PRt(i,1));
    Et(i,1)=(Pt(i,1)+Mst(i,1)+Vt(i-1,1)-Vtmin)*at;
    PRt(i,1)=(Pt(i,1)+Mst(i,1)+Vt(i-1,1)-Vtmin)*bt;
```

```

elseif (Vt(i,1)>=Vtev)
    Ot(i,1)=Ot(i,1)+Vt(i,1)-Vtev;
    PRt(i,1)=PRt(i,1);
    Et(i,1)=Et(i,1);
else
    Ot(i,1)=Ot(i,1);
    PRt(i,1)=PRt(i,1);
    Et(i,1)=Et(i,1);
end

```

```

%2nd (final) calculation of dVtdt(i)
dVtdt(i,1)=Pt(i,1)+Mst(i,1)-Et(i,1)-PRt(i,1)-Ot(i,1);
Vt(i,1)=Vt(i-1,1)+dVtdt(i,1)*dt;

```

```

%adjustment of Vt for arithmetic errors

```

```

if (Vt(i,1)<Vtmin)
    Vt(i,1)=Vtmin;
else
    Vt(i,1)=Vt(i,1);
end
end

```

```

% pond

```

```

Pp=P*Apf;
Ep=PE*cpe*Ap;
Ip=f*ci*(Ap-Ac);
Msp=Ms*Ap;
Qp=zeros(N,1);
Vp=zeros(N,1);
dVpdt=zeros(N,1);
Vp(1,1)=0;
Ep(1,1)=0;
Ip(1,1)=0;
Qp(1,1)=0;

```

```

for i=2:N
    if (Ps(i,1)>0)
        Ep(i,1)=0;
        Ip(i,1)=0;
    else
        if ((Pp(i,1)+Msp(i,1)+Ot(i,1))<=0)&(Vp(i-1,1)<=0)
            Ep(i,1)=0;
            Ip(i,1)=0;
        elseif ((Pp(i,1)+Msp(i,1)+Ot(i,1))<=0)&(Vp(i-1,1)>0)
            if (Vp(i-1,1)<(Ep(i,1)+Ip(i,1)))
                Ep(i,1)=(Vp(i-1,1)*Ep(i,1))/(Ep(i,1)+Ip(i,1));
                Ip(i,1)=(Vp(i-1,1)*Ip(i,1))/(Ep(i,1)+Ip(i,1));
            else
                Ep(i,1)=Ep(i,1);
            end
        end
    end
end

```

```

        Ip(i,1)=Ip(i,1);
    end
else
    Ep(i,1)=Ep(i,1);
    Ip(i,1)=Ip(i,1);
end
end

```

%1st calculation of dVpdt(i)

```

dVpdt(i,1)=Ot(i,1)+Pp(i,1)+Msp(i,1)-Ep(i,1)-Ip(i,1);
Vp(i,1)=Vp(i-1,1)+dVpdt(i,1)*dt;

```

```

if (Vp(i,1)<0)
    Qp(i,1)=0;
    a=Ep(i,1)/(Ep(i,1)+Ip(i,1));
    b=Ip(i,1)/(Ep(i,1)+Ip(i,1));
    Ep(i,1)=(Vp(i-1,1)+Pp(i,1)+Ot(i,1)+Msp(i,1))*a;
    Ip(i,1)=(Vp(i-1,1)+Pp(i,1)+Ot(i,1)+Msp(i,1))*b;
elseif (Vp(i,1)>Vpmax)
    Qp(i,1)=Vp(i,1)-Vpmax;
    Ep(i,1)=Ep(i,1);
    Ip(i,1)=Ip(i,1);
else
    Qp(i,1)=0;
    Ep(i,1)=Ep(i,1);
    Ip(i,1)=Ip(i,1);
end

```

%2nd (final) calculation of dVpdt(i)

```

dVpdt(i,1)=Ot(i,1)+Pp(i,1)+Msp(i,1)-Ep(i,1)-Ip(i,1)-Qp(i,1);
Vp(i,1)=Vp(i-1,1)+dVpdt(i,1)*dt;

```

%adjustment of Vt for arithmetic errors

```

if (Vp(i,1)<=10e-016)
    Vp(i,1)=0;
else
    Vp(i,1)=Vp(i,1);
end
end

```

```

t=zeros(N,1);
t(1,1)=0;

```

```

for i=1:N-1
    t(i+1,1)=t(i,1)+dt;
end

```

```

h=0
for i=1:N
    if Vp(i,1)>0

```

```

        h=h+1;
    end
end

Avp=zeros(N,1)
stagep=zeros(N,1)

for i=1:N
    if (Vp(i,1)<=0)
        Avp(i,1)=0;
        stagep(i,1)=0;
    elseif (Vp(i,1)>=47.017)
        Avp(i,1)=3.5298*Vp(i,1)+1699.1;
        stagep(i,1)=Vp(i,1)/Avp(i,1);
    else
        Avp(i,1)=-0.1897*(Vp(i,1)^2)+28.322*Vp(i,1)-4.2918;
        stagep(i,1)=Vp(i,1)/Avp(i,1);
    end
end

%adjustment of stagep for arithmetic errors
for i=1:N
    if (stagep(i,1)<0)
        stagep(i,1)=0
    end
end

%adjustment of Avp for arithmetic errors
for i=1:N
    if (Avp(i,1)<0)
        Avp(i,1)=0
    end
end

% graphs
subplot (2,1,1);
plot(t,Vp,'b',t,Vt,'r')
box on
grid on
title("")
xlabel('day of simulation')
ylabel('water volumes of P and T, m3')

subplot (2,1,2);
plot(t,stagep,'b')
box on
grid on
title("")
xlabel('day of simulation')
ylabel('water stage of P, m')

```

Παράρτημα 7.1

Έλεγχος Ποιότητας – Έλεγχος Αξιοπιστίας

1) Βαθμονόμηση οργάνων:

Το όργανο πρέπει να βαθμονομείται καθημερινά ή μια φορά κάθε 24 ώρες. Κάθε φορά το όργανο πρέπει να βαθμονομείται με τουλάχιστον τρία πρότυπα βαθμονόμησης. Η ώρα και η ημερομηνία της βαθμονόμησης πρέπει να καταγράφονται στο αρχείο όπου κρατούνται τα δεδομένα των αναλύσεων. Τα πρότυπα βαθμονόμησης προετοιμάζονται με σταδιακή αραίωση ενός πρότυπου διαλύματος κατά την διάρκεια της ανάλυσης.

Εναλλακτικά: Κάθε φορά που χρησιμοποιείται το όργανο (συσκευή ανάλυσης Hach) πρέπει να αναλύονται αρχικά πρότυπα επαλήθευσης (Initial Verification Standard). Το ISV περιέχει μια γνωστή συγκέντρωση πρότυπης ουσίας και λαμβάνεται από ανεξάρτητη πηγή. Η ISV ανάκτηση πρέπει να είναι μεταξύ 90% και 110%. Εάν δεν είναι, η πηγή του σφάλματος πρέπει να βρεθεί και να διορθωθεί. Ένα ISV πρέπει να αναλυθεί πριν από την ανάλυση των δειγμάτων. Το ISV επίσης χρησιμεύει ως δείγμα για εργαστηριακό έλεγχο (laboratory control sample).

2) Αρχική επαλήθευση βαθμονόμησης και συνεχής επαλήθευση βαθμονόμησης:

➤ Αρχική επαλήθευση βαθμονόμησης: Αφότου έχει βαθμονομηθεί η συσκευή ανάλυσης, η ακρίβεια της βαθμονόμησης θα επαληθευτεί με την ανάλυση ενός εξωτερικού QC δείγματος.

➤ Συνεχής επαλήθευση βαθμονόμησης: Για να εξασφαλιστεί η ακρίβεια της βαθμονόμησης κατά τη διάρκεια της ανάλυσης, ένα εξωτερικό QC δείγμα πρέπει να αναλυθεί με συχνότητα 10%.

3) Αρχική βαθμονόμησης τυφλού δείγματος, συνεχής βαθμονόμηση τυφλού διαλύματος και προετοιμασία ανάλυσης τυφλού διαλύματος:

Αρχική βαθμονόμηση με τυφλό διάλυμα και συνεχής βαθμονόμηση με τυφλό διάλυμα: Από το σύνολο των δειγμάτων πρέπει να αναλυθεί ένα τυφλό διάλυμα βαθμονόμησης, στο μήκος κύματος που χρησιμοποιείται στην ανάλυση, αμέσως μετά από κάθε αρχική και συνεχή επαλήθευση βαθμονόμησης, με συχνότητα 10%. Το τυφλό πρέπει να αναλυθεί στην αρχή της ανάλυσης, πριν από οποιοδήποτε άλλο δείγμα και μετά από το τελευταίο δείγμα που αναλύεται.

Προετοιμασία του τυφλού διαλύματος: Τουλάχιστον ένα τυφλό διάλυμα που θα περιέχει υπερκάθαρο νερό πρέπει να προετοιμαστεί και να αναλυθεί με κάθε ομάδα δειγμάτων (Sample Delivery Group, SDG), ή με κάθε batch (ομάδα δειγμάτων που προετοιμάζονται συγχρόνως) δείγματα που αναλύονται.

4) Ανάκτηση Spike δειγμάτων:

Η spike ανάλυση δειγμάτων παρέχει πληροφορίες για την επίδραση της μήτρας (matrix) των δειγμάτων στη μεθοδολογία μέτρησης. Τουλάχιστον μια spike ανάλυση δειγμάτων πρέπει να πραγματοποιηθεί σε κάθε ομάδα με παρόμοιο τύπο δειγμάτων (συνήθως κάθε 10 δείγματα) και εύρος συγκέντρωσης ή για κάθε SDG.

$$R = \frac{C_s - C}{S} \times 100$$

όπου:

C_s: η συγκέντρωση του spike δείγματος μετά την ανάλυση

C: η συγκέντρωση του αρχικού δείγματος μετά την ανάλυση

S: ισοδύναμο συγκέντρωσης του προστιθέμενου spike.

Το spike πρέπει να αυξήσει τη συγκέντρωση της χημικής ένωσης που μελετάται στο spiked δείγμα κατά περίπου 50% με 200%. Ο όγκος του spike δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερος από 1% του όγκου

των δειγμάτων. Η ανάκτηση του spike πρέπει να είναι μέσα στο εύρος του 75% με 125%. Εάν η ανάκτηση του spike είναι εκτός του $\pm 25\%$, το πρόβλημα πρέπει να ερευνηθεί και να καθοριστεί η πιθανή αιτία.

Αν υπάρχει υποψία για παρεμβολή μέτρησης από τη μήτρα (matrix interference is suspected), ένα δεύτερο aliquot δείγμα πρέπει να γίνει spike για να επιβεβαιώσει την ανάκτηση του spike. Αν η ανάκτηση του spike είναι ακόμα εκτός του $\pm 25\%$, τότε αυτό το δείγμα και οποιοδήποτε δείγμα παρόμοιας σύνθεσης πρέπει να ποσοτικοποιηθεί με τη μέθοδο της τυποποιημένης προσθήκης standard υπό τον όρο ότι τα αποτελέσματα είναι μέσα στο 10% του επιπέδου ενδιαφέροντος.

5) Διπλή Ανάλυση δειγμάτων:

Ένα διπλό δείγμα πρέπει να αναλυθεί σε κάθε SDG (κάθε 10 δείγματα). Η σχετική διαφορά επί τοις εκατό (RPD) για κάθε συστατικό υπολογίζεται ως εξής:

$$RPD = \frac{(C - CD)}{(C + CD)/2} \times 100$$

όπου:

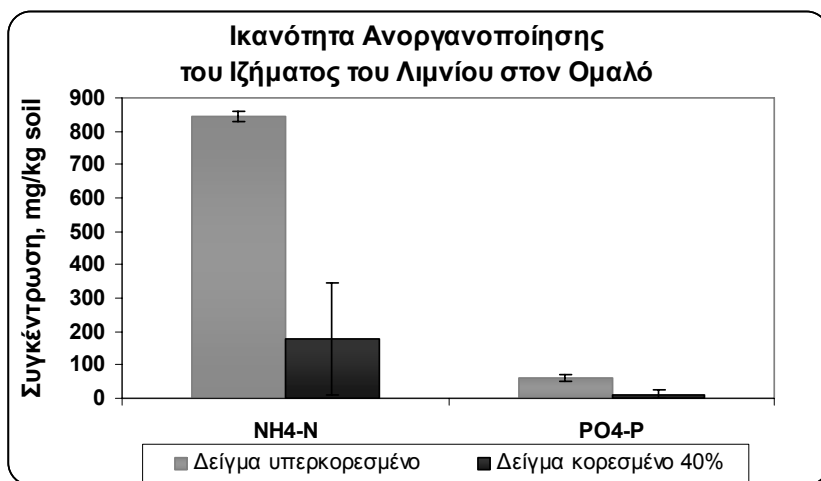
C: η συγκέντρωση του δείγματος που αναλύθηκε,

CD: η συγκέντρωση του αντιγράφου του δείγματος

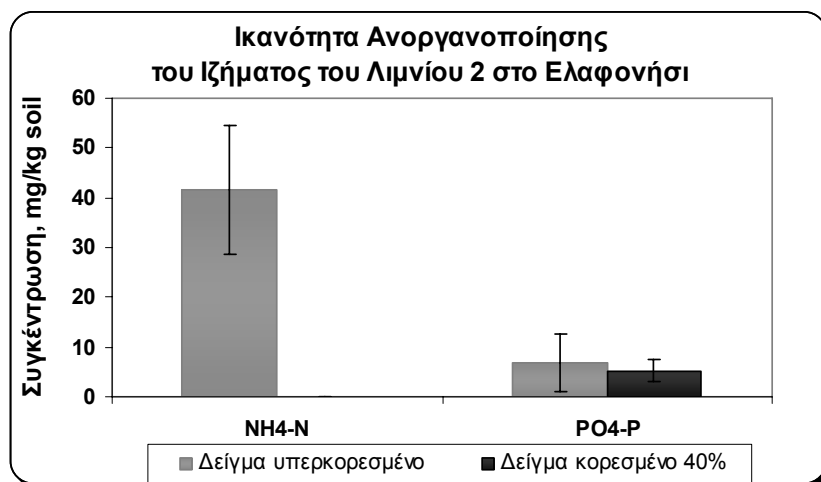
Ένα όριο ελέγχου 20% για το RPD θα χρησιμοποιηθεί για τα αρχικά και διπλά δείγματα.

Παράρτημα 8.1

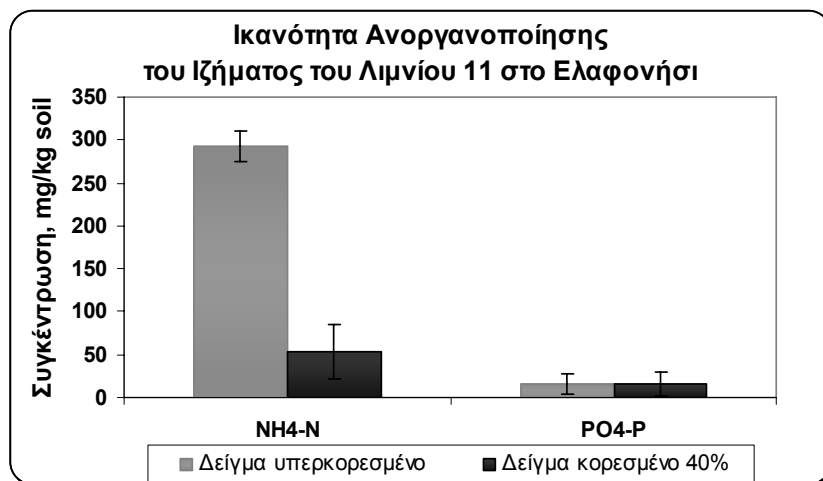
ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΑΝΟΡΓΑΝΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΙΖΗΜΑΤΟΣ ΤΩΝ ΜΕΛ



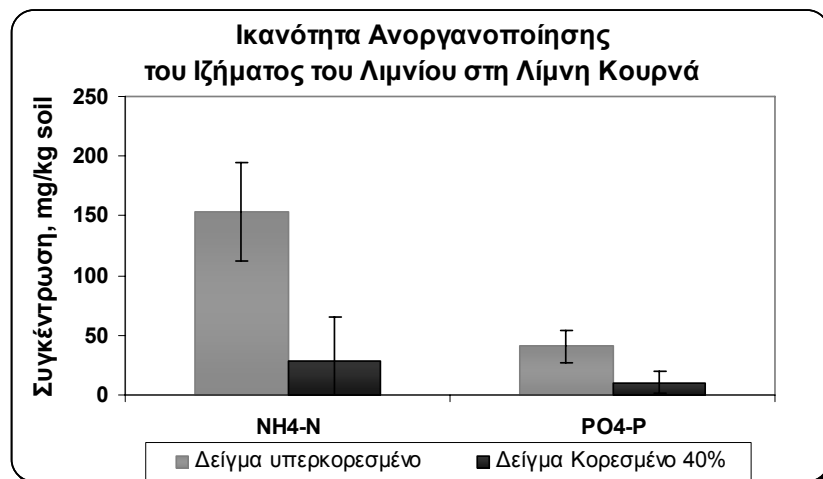
Διάγραμμα 8.1.1. Η ικανότητα ανοργανοποίησης των οργανικών μορφών του αζώτου και του φωσφόρου του ιζήματος του λιμνίου στον Ομαλό κατά την υγρή και την ξηρή περίοδο.



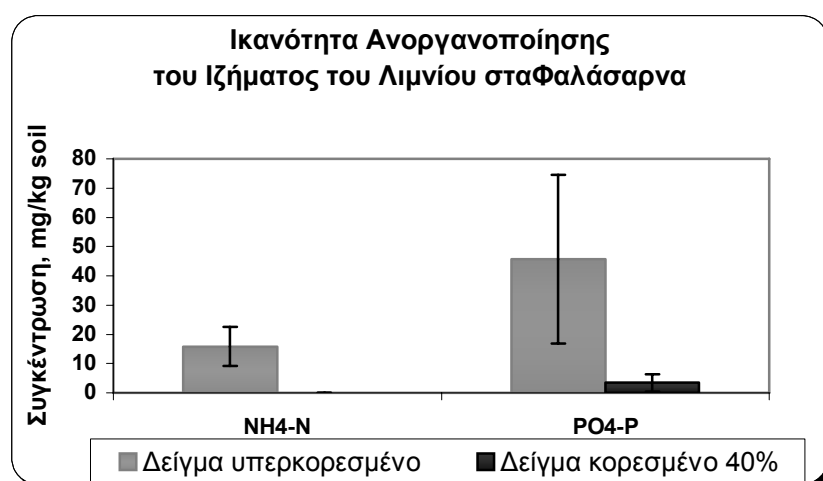
Διάγραμμα 8.1.2. Η ικανότητα ανοργανοποίησης των οργανικών μορφών του αζώτου και του φωσφόρου του ιζήματος του λιμνίου 2 στο Ελαφονήσι κατά την υγρή και την ξηρή περίοδο.



Διάγραμμα 8.Ι.3. Η ικανότητα ανοργανοποίησης των οργανικών μορφών του αζώτου και του φωσφόρου του ιζήματος του λιμνίου 11 στο Ελαφονήσι κατά την υγρή και την ξηρή περίοδο.

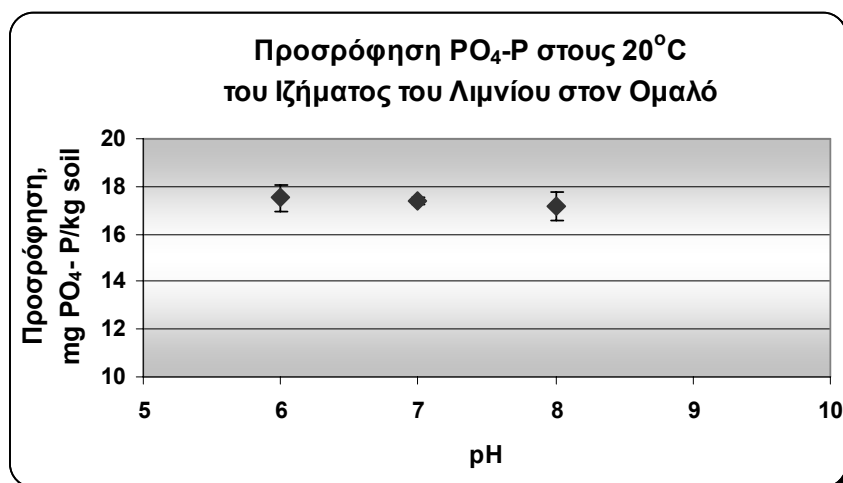


Διάγραμμα 8.Ι.4. Η ικανότητα ανοργανοποίησης των οργανικών μορφών του αζώτου και του φωσφόρου του ιζήματος του λιμνίου στην λίμνη Κουρνά κατά την υγρή και την ξηρή περίοδο.

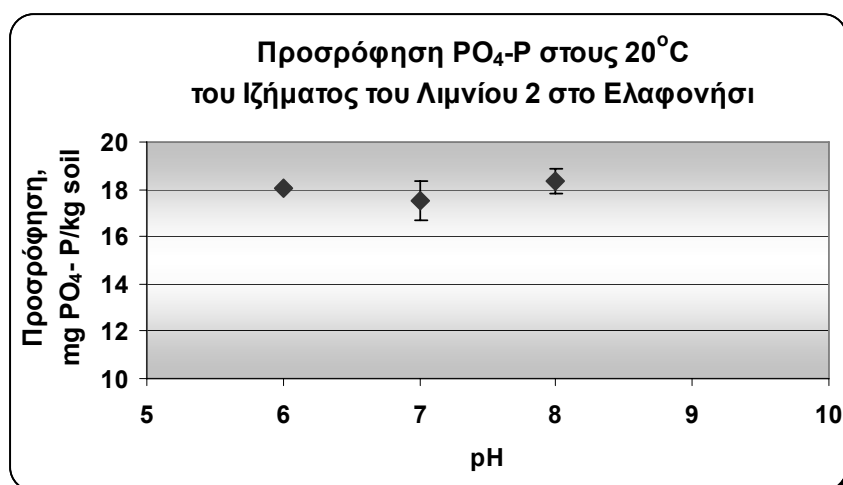


Διάγραμμα 8.Ι.5. Η ικανότητα ανοργανοποίησης των οργανικών μορφών του αζώτου και του φωσφόρου του ιζήματος του λιμνίου στα Φαλάσαρνα κατά την υγρή και την ξηρή περίοδο.

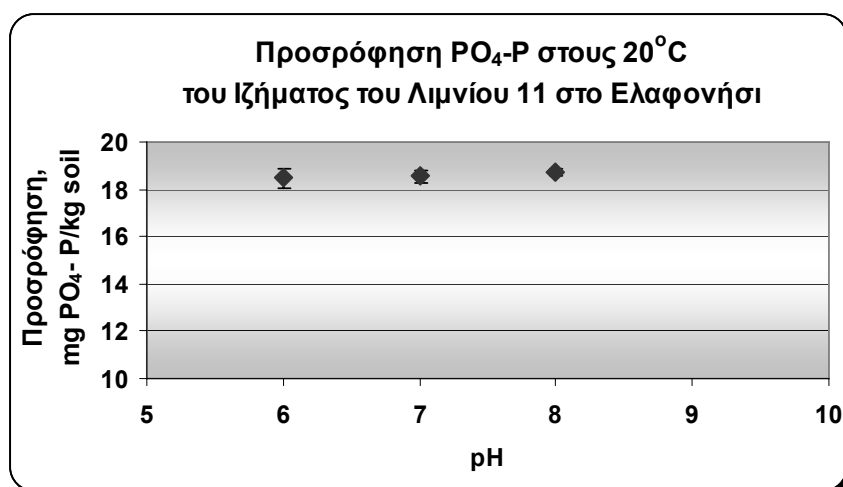
ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ ΦΩΣΦΟΡΟΥ ΤΟΥ ΙΖΗΜΑΤΟΣ ΤΩΝ ΜΕΛ



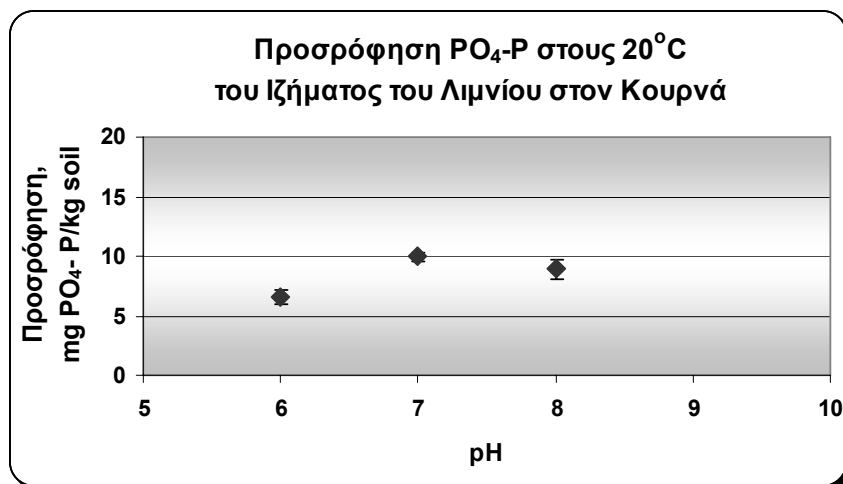
Διάγραμμα 8.1.6. Προσρόφηση φωσφορικών του ιζήματος του λιμνίου στον Ομαλό σε pH 6, 7 και 8.



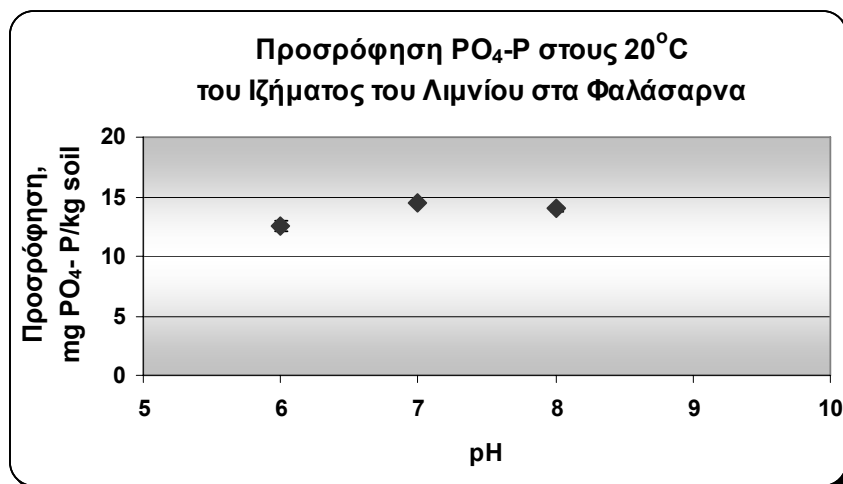
Διάγραμμα 8.1.7. Προσρόφηση φωσφορικών του ιζήματος του λιμνίου 2 στο Ελαφονήσι σε pH 6, 7 και 8.



Διάγραμμα 8.1.8. Προσρόφηση φωσφορικών του ιζήματος του λιμνίου 11 στο Ελαφονήσι σε pH 6, 7 και 8.

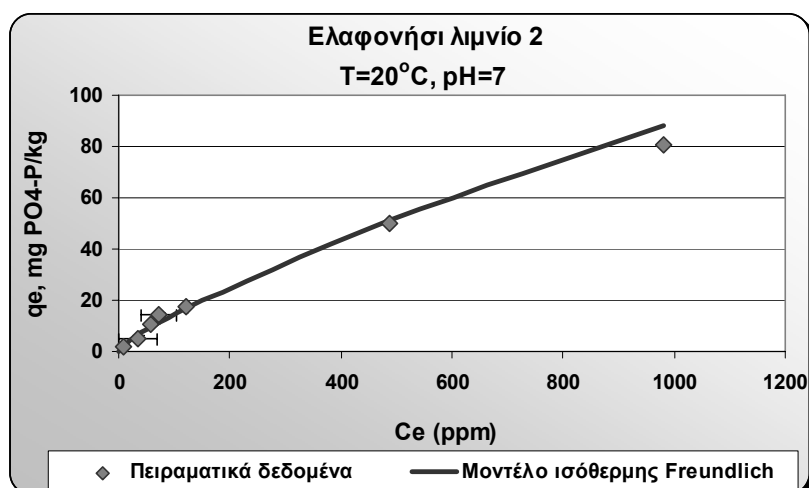


Διάγραμμα 8.1.9. Προσρόφηση φωσφορικών του ιζήματος του λιμνίου στον Κουρνά σε pH 6, 7 και 8.

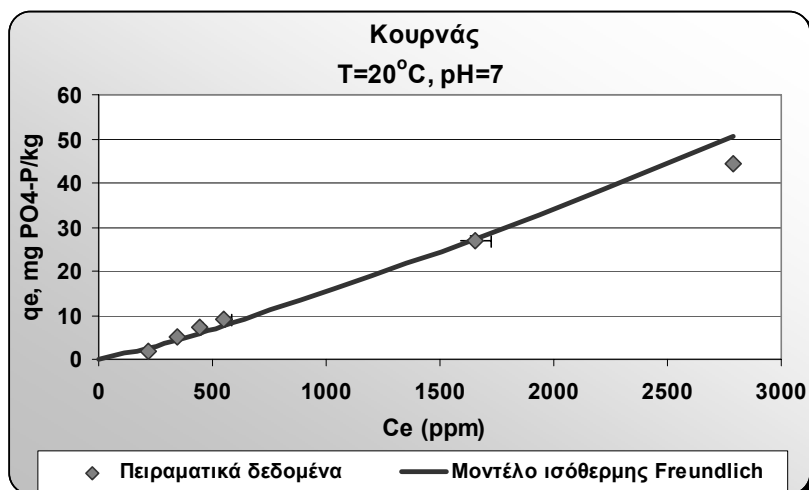


Διάγραμμα 8.1.10. Προσρόφηση φωσφορικών του ιζήματος του λιμνίου στα Φαλάσαρνα σε pH 6, 7 και 8.

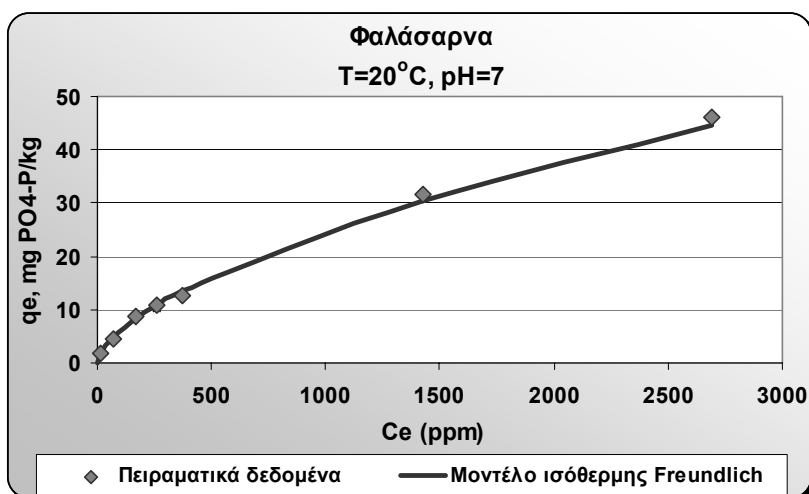
ΙΣΟΘΕΡΜΕΣ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ ΦΩΣΦΟΡΙΚΩΝ –ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ



Διάγραμμα 8.I.11. Σύγκριση μοντέλου ισόθερμης Freundlich και πειραματικών δεδομένων για την προσρόφηση φωσφορικών του ιζήματος του λιμνίου 2 στο Ελαφονήσι σε θερμοκρασία 20 °C.



Διάγραμμα 8.I.12. Σύγκριση μοντέλου ισόθερμης Freundlich και πειραματικών δεδομένων για την προσρόφηση φωσφορικών του ιζήματος του λιμνίου στον Κουρνά σε θερμοκρασία 20 °C.



Διάγραμμα 8.I.13. Σύγκριση μοντέλου ισόθερμης Freundlich και πειραματικών δεδομένων για την προσρόφηση φωσφορικών του ιζήματος του λιμνίου στα Φαλάσαρνα σε θερμοκρασία 20 °C