

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	Σελίδες
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>1</b>
<b>1. Γενικά περί Μεσογειακών Εποχικών Λιμνίων “ΜΕΛ”.....</b>	<b>1</b>
1.1 Χλωρίδα και Πανίδα των “ΜΕΛ” .....	2
1.2 Οφέλη από τα “ΜΕΛ” .....	3
1.3 Η Υδρολογία των Μεσογειακών Εποχικών Λιμνίων .....	4
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ “ΜΕΛ” ΚΑΙ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΠΙΕΣΕΩΝ.....</b>	<b>6</b>
2.1. Περιοχής της Λίμνης Κουρνά. Περιγραφή της Ευρύτερης Περιοχής.....	6
2.1.1 Γεωγραφική Τοποθέτηση και Γενικά Χαρακτηριστικά.....	6
2.1.2 Μορφολογία.....	6
2.1.3 Κλιματολογικές Συνθήκες .....	12
2.2. Περιγραφή της Ευρύτερης Περιοχής των Φαλάσσαρων .....	18
2.2.1 Γεωγραφική Τοποθέτηση και Γενικά Χαρακτηριστικά.....	18
2.2.2 Μορφολογία.....	18
2.2.5 Κλιματολογικές Συνθήκες .....	21
2.3. Περιγραφή της Περιοχής του Οροπεδίου του Ομαλού.....	25
2.3.1 Γεωγραφική Τοποθέτηση και Γενικά Χαρακτηριστικά.....	25
2.3.2 Μορφολογία.....	25
2.3.5 Κλιματολογικές Συνθήκες .....	27
2.4. Περιγραφή των Νήσων Γαύδος και Γαυδοπούλα .....	29
2.4.1 Γεωγραφική Τοποθέτηση και Γενικά Χαρακτηριστικά.....	29
2.4.2 Μορφολογία.....	29
2.4.5 Κλιματολογικές Συνθήκες .....	33
2.5. Περιγραφή της Ευρύτερης Περιοχής του Ελαφονησίου.....	36
2.5.1 Γεωγραφική Τοποθέτηση και Γενικά Χαρακτηριστικά.....	36
2.5.2 Μορφολογία.....	36
2.5.5 Κλιματολογικές Συνθήκες .....	41
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....</b>	<b>42</b>
3.1 Μαθηματικό ομοίωμα για το ΜΕΛ στη λίμνη Κουρνά.....	42
3.2 Μαθηματικό ομοίωμα για το ΜΕΛ στον Ομαλό.....	44
3.3 Μαθηματικό ομοίωμα για τα ΜΕΛ στο Ελαφονήσι.....	46
3.4 Μαθηματικό ομοίωμα για τα ΜΕΛ στη Γαύδο .....	46
3.5 Σενάρια .....	47
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>48</b>
4.1 Αποτελέσματα του χωρικά κατανεμημένου υδρολογικού ομοιώματος για το ΜΕΛ στη Λ. Κουρνά και εφαρμογή των κλιματικών σεναρίων IPCC .....	48
4.2 Αποτελέσματα της βαθμονόμησης και επαλήθευσης του μαθηματικού ομοιώματος (ΗΡΜ) του ΜΕΛ στον Ομαλό και εφαρμογή των κλιματικών σεναρίων IPCC .....	52
4.3 Αποτελέσματα της βαθμονόμησης του μαθηματικού ομοιώματος (ΗΡΜ) των ΜΕΛ EL2 και EL11 στο Ελαφονήσι και εφαρμογή των κλιματικών σεναρίων IPCC .....	55
4.3.1 Αποτελέσματα για το ΜΕΛ EL2 .....	55
4.3.2 Αποτελέσματα για το ΜΕΛ EL11 .....	58
4.4 Αποτελέσματα της βαθμονόμησης του μαθηματικού ομοιώματος των ΜΕΛ στη Γαύδο και εφαρμογή των κλιματικών σεναρίων IPCC.....	62
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>70</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>72</b>

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1. Γενικά περί Μεσογειακών Εποχικών Λιμνίων “ΜΕΛ”

Η μεγάλη οικονομική ανάπτυξη της Κρήτης τα τελευταία χρόνια τόσο στον τουριστικό όσο και στον γεωργικό τομέα είχε σαν αποτέλεσμα την διόγκωση των περιβαλλοντικών της προβλημάτων. Προβλήματα, όπως η έλλειψη νερού σε τουριστικές περιοχές κυρίως τους καλοκαιρινούς μήνες, η ρύπανση των υδατικών πόρων και του εδάφους είναι προβλήματα που επιδρούν αρνητικά στην περαιτέρω ορθολογική ανάπτυξη του νησιού.

Η τελευταία οδηγία πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης (2000/60) βάζει τους στόχους για την διαχείριση και προστασία των υδάτινων πόρων των λεκανών απορροής και των παράκτιων περιοχών, προβλέπει την παρακολούθηση των νερών από χημικής, βιολογικής και φυσικής κατάστασης, την εκπόνηση διαχειριστικών σχεδίων και ζητά την συνεργασία των διαφόρων κοινωνικών εταίρων.

Η έλλειψη στοιχείων, τόσο υδρολογικών όσο και γεωλογικών, καθώς και στοιχείων ποιότητας των υδάτων στις λεκάνες απορροής κάνουν αδύνατη την εφαρμογή των υπάρχοντων μαθηματικών μοντέλων για την εξαγωγή συμπερασμάτων της υφισταμένης κατάστασης και της πιθανής μελλοντικής εξέλιξής της, έτσι ώστε να ληφθούν έγκαιρα τα απαραίτητα διορθωτικά μέτρα.

Το πρόβλημα της διαχείρισης των στερεών αποβλήτων με την δημιουργία οριοθετημένων ΧΥΤΑ, η προώθηση της ανακύκλωσης των ανακυκλούμενων υλικών καθώς και η αποκατάσταση των υπάρχοντων χωματερών μαζί με τον περιορισμό της ανεξέλεγκτης απόρριψης αδρανών και άλλων υλικών σε μη οροθετημένες περιοχές αποτελεί θέμα πρωταρχικής σημασίας και απαιτεί την άμεση λύση του.

Τα αστικά λύματα αποτελούν επίσης ένα πρόβλημα για το νησί. Η σωστή λειτουργία των βιολογικών καθαρισμών όπου υπάρχουν, η δημιουργία νέων όπου αυτό είναι απαραίτητο, καθώς και η σωστή απόρριψη στο περιβάλλον των παραγομένων υποπροϊόντων του βιολογικού καθαρισμού αποτελεί και αυτό ένα θέμα που πρέπει να επιλυθεί με την συνεργασία των αρμοδίων φορέων.

Μέσα στα πλαίσια της προστασίας ευαίσθητων οικολογικά περιοχών σύμφωνα με τις κοινοτικές οδηγίες, είναι και τα “Μεσογειακά Εποχικά Λιμνία, ΜΕΛ” (Mediterranean Temporary Ponds, MTPs). Οι οικοτόποι αυτοί σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή νομοθεσία για τους οικοτόπους (92/43/EEC), είναι εξαιρετικής σημασίας και σπουδαιότητας και πρέπει να τύχουν μέριμνας και προστασίας διότι αποτελούν :

- προστατευόμενους οικοτόπους προτεραιότητας,
- ευαίσθητα και μοναδικά οικοσυστήματα που έχουν την ανάγκη προστασίας και διατήρησης και
- δείκτες οικολογικής ισορροπίας για την ευρύτερη περιοχή.

Τα λιμνία αυτά είναι συνήθως υγρότοποι μικρής έκτασης και φιλοξενούν ένα μεγάλο αριθμό ειδών πανίδας και χλωρίδας καθώς και σπάνια είδη ενδημικών ειδών. Συνήθως τα λιμνία εμφανίζονται ως βυθίσματα του εδάφους όπου το νερό συγκεντρώνεται κατά την διάρκεια του χειμώνα και αποξηραίνονται λόγω εξάτμισης κατά την διάρκεια της θερινής περιόδου. Καθένα από αυτά χαρακτηρίζεται με τα δικά του ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, όπως η υδροπερίοδος και η μοναδική χλωρίδα και πανίδα δίνοντας έτσι στο κάθε ένα μια ξεχωριστή οικολογική ταυτότητα. Δυστυχώς, η περιοδικότητα που έχει η υδροπερίοδος τους έχει σαν αποτέλεσμα να

υποβαθμίζεται η αξία τους και να υφίστανται πολυποίκιλες πιέσεις και έτσι να κινδυνεύουν πολλά από αυτά να εξαφανισθούν.

Εποχικά λιμνία βρίσκονται σε πολλές περιοχές της γης, όπως στην βόρεια Ευρώπη, την βόρεια Αμερική, την Αυστραλία και την νότια Αφρική. Ειδικότερα στην περιοχή της Μεσογείου τα “Μεσογειακά Εποχικά Λιμνία” απαντώνται, στην Πορτογαλία, την Ισπανία, την Ιταλία, την Γαλλία, και την Ελλάδα. Στον Ελληνικό χώρο μέχρι το 1996 είχαν καταγραφεί 48 θέσεις με “Εποχικά Λιμνία”, ενώ το 2002 τεκμηριώθηκε η παρουσία τους σε 23 μόνο περιοχές. Από τις περιοχές αυτές τέσσερις βρίσκονται στην περιοχή της δυτικής Κρήτης, όπως στη Γεωργούπολη – Κουρνά, στα Φαλάσαρνα, το Ελαφονήσι – Χρυσοσκαλίτισσα, και τη Γαύδο, που είναι και οι νοτιότερες περιοχές της Ευρωπαϊκής Ένωσης που απαντώνται τα Λιμνία αυτά .

Στα πλαίσια του προγράμματος LIFE/ Φύση 2004 προσετέθη και ένα ακόμη λιμνίο στην περιοχή του Ομαλού που είναι και το πλέον χαρακτηριστικό και τυπικό “Μεσογειακό Εποχικό Λιμνίο”. Τα συναντούμε ως βυθίσματα επιπέδων εδαφών, όπως στο Ελαφονήσι, στα Φαλάσαρνα και στον Ομαλό, ακόμη βυθίσματα βράχων όπως στην περιοχή της Γαύδου, ή ακόμη σε βυθίσματα σε γειννίαση με υδάτινα σώματα όπως στην περιοχή της λίμνης Κουρνά όπου και η παρουσία του νερού στο λιμνίο εξαρτάται άμεσα από την διακύμανση της στάθμη της λίμνης. Στις τοπικές διαλέκτους τα λιμνία αυτά χαρακτηρίζονται και με διαφορετικά ονόματα, όπως “*Αρόλιθοι*” στην νήσο Γαύδο, “*Ρουσιές*” στην περιοχή της Χρυσοσκαλίτισσας, ή ακόμα και “*Κολύμπες*” λόγω του ότι συγκρατείται το νερό.

Ο λόγος προστασίας των βρισκόμενων σε άμεσο κίνδυνο “Μεσογειακών Εποχικών Λιμνίων” είναι η υποστήριξη και η διατήρηση σπάνιας χλωρίδας και πανίδας παρά την περιοδικότητα της υδροπεριόδου τους και το μικρό μέγεθός τους, καθώς και ο διαρκώς αυξανόμενος κίνδυνος συρρίκνωσης ή ακόμα και η εξαφανισή τους (Boix et al. 2004, Eitam et al. 2004). Η βιοποικιλότητά των ΜΕΛ είναι μεγάλη σε φυτικούς οργανισμούς αλλά και αμφίβια, έντομα, διάφορους μικροοργανισμούς και μικροασπόνδυλα πολλά από τα οποία είναι ενδημικά, δηλαδή απαντώνται μόνο στην συγκεκριμένη περιοχή. Ένας επιπλέον λόγος προστασίας τους είναι η υποστήριξη που προσφέρουν στα μεταναστευτικά πουλιά που σταθμεύουν βρίσκοντας διαθέσιμο νερό και ενδιαιτήματα (Grillas et al. 2004). Πρέπει να τονισθεί ότι η οποιαδήποτε αλλαγή στο υδρολογικό καθεστώς των λιμνίων λόγω εξωγενών παρεμβάσεων θα επηρεάσει τόσο την αναπαραγωγή όσο και την ποικιλότητα των διαφόρων ειδών φθάνοντας και μέχρι του σημείου να μην επιτρέψει την αναπαραγωγή τους και ως εκ τούτου να ανατρέψει την υπάρχουσα ισορροπία του οικοτόπου.

### 1.1 Χλωρίδα και Πανίδα των “ΜΕΛ”

Τα ΜΕΛ φιλοξενούν σημαντικό αριθμό ειδών χλωρίδας και πανίδας, με σπάνια και ενδημικά είδη του φυσικού περιβάλλοντος της δυτικής Κρήτης.

Έτσι στη νήσο Γαύδο εμφανίζεται το ενδημικό φυτό η “*Καλλιτρίχη η ωραία*” αλλά και η “*Ζαννισέλια η ανθοφόρα*” και η “*Χάρα η κοινή*”, καθώς και ένα είδος χαμομηλιού, βορειο-αφρικάνικης εξάπλωσης, η “*Ματρικάρια η χρυσίζουσα*”. Επίσης βρίσκονται τα φυτά “*Τιλαία του Βαϊλλάντη*”, η “*Κρηπής η άτολμη*”, το “*Πολύγωνο το θαλασσινό*”, κ.ά.

Στο Ελαφονήσι-Χρυσοσκαλίτισσα λόγω της γεωλογικής δομής (καρστική) επικρατεί η ξηροφυτική βλάστηση που αποτελείται από σπάνιες και εξειδικευμένες

φυτικές κοινωνίες με κυρίαρχα είδη τα “*Κρηπίς η άτολμη*”, “*Τριφύλλι το ασφυκτικό*” κ.ά.

Στη λίμνη Κουρνά, η χλωρίδα τους, κατά την υγρή περίοδο, κυριαρχείται από τα είδη που υπάρχουν στη λίμνη.

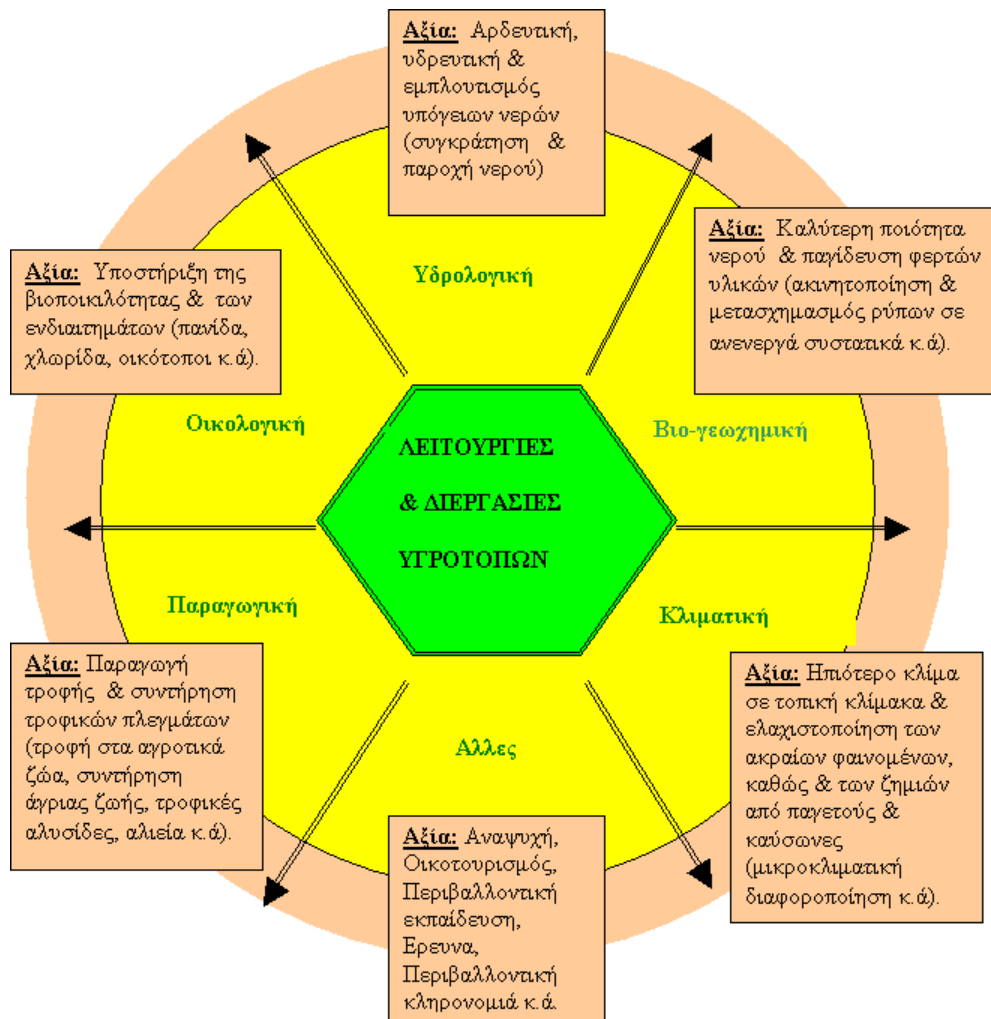
Στα Φαλάσαρνα υπάρχει μεγάλη ποικιλία υγρόφιλης βλάστησης, όπως είναι “*Ρανούγκουλος του Ριόνι*”, “*Σπαργάνιο το ευθυτενές*”, “*Ευφόρβια η χιρσούτα*”, “*Φύλλα η ανθοδέσμια*” και αρκετά είδη “*Γιούνκου*” που είναι σπάνια στην Κρήτη

Το έδαφος των λιμνίων χαρακτηρίζεται συνήθως ως “*τράπεζα σπόρων*” γιατί εδώ συγκρατούνται και “*διαχειμάζουν*” οι σπόροι των φυτών, για να ενεργοποιηθούν – βλαστήσουν και πάλι σε ευνοϊκά γι’ αυτούς συνθήκες. Η πανίδα των λιμνίων ποικίλει ανάλογα με υδροπερίοδο, το μέγεθος και τη γεωμορφολογία τους, αλλά και με τη γειτονία τους ή όχι με σώματα νερού που ποτέ δεν ξηραίνονται. Έτσι, σε σχετικά μεγάλα λιμνία που συγκρατούν νερό για μερικούς μήνες, όπως αυτά στον Ομαλό, στα Φαλάσαρνα και τον Κουρνά, εκτός από τα πτηνά που έρχονται για να βρουν τροφή, βρίσκουμε συνήθως βατράχια, νεροχελώνες και υδρόβια μικροασπόνδυλα (υδρόβιες νύμφες και προνύμφες εντόμων, μικροκαρκινοειδή και άλλα μικροσκοπικά ζώα), ενώ σε μικρότερα ΜΕΛ όπως στους “*αρόλιθους*” της Γαύδου και στις “*ρουσιές*” της Χρυσοκαλίτισσας, όπου το νερό είναι σπάνιο και όταν βρέξει μπορεί να διατηρηθεί μόνο για μερικές μέρες, εμφανίζονται κυρίως υδρόβια μικροκαρκινοειδή και νύμφες υδρόβιων εντόμων κατά την υγρή περίοδό τους.

## 1.2 Οφέλη από τα “ΜΕΛ”

Τα “Μεσογειακά Εποχικά Λιμνία” (ΜΕΛ) παρά το μικρό μέγεθός τους, δημιουργούν και παρέχουν οφέλη τα οποία μεταξύ των άλλων περιλαμβάνουν:

- 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 ζιμιές από παγετούς και καύσωνες (κλιματική σημασία).
- Πολυποίκιλες ευκαιρίες για έρευνα, εκπαίδευση, οικοτουρισμό, αναψυχή κ.ά.



**Εικόνα 1:** Οι Σημαντικότερες Λειτουργίες και Αξίες των Υγροτόπων.  
(πηγές: e.g. Zalewski, 2000, Grillas et al., 2004, προσαρμογή Θ. Κουσουρή, 2005).

### 1.3 Η Υδρολογία των Μεσογειακών Εποχικών Λιμνίων

Η υδρολογία των Μεσογειακών Εποχικών Λιμνίων μπορεί να χαρακτηριστεί ως αυτορυθμιζόμενη και παρουσιάζει σημαντική μεταβλητότητα τόσο στο μήκος της υδροπερίοδου των τελμάτων (το διάστημα στο οποίο υπάρχει νερό στα προσωρινά λιμνία), όσο και στην έναρξη της περιόδου κατακλυσμού τους. Οι εν λόγω οικοτόποι, εμφανίζονται συχνά σε μικρά βυθίσματα του εδάφους με αδιαπέρατο υπέδαφος και συνήθως ανήκουν σε μια σχετικά μικρή λεκάνη απορροής. Μπορούν επίσης να βρεθούν και σε καρστικές περιοχές, όπου οι προνομαϊκές ροές του υπόγειου νερού, δημιουργούνται έξω από την λεκάνη απορροής τους, το οποίο μπορεί να οδηγήσει στην άνοδο της στάθμης του ύδατος.

Η διαπερατότητα και η κλίση των υποστρωμάτων καθορίζουν την ποσότητα του ύδατος που μπορεί να φθάσει στο τέλμα 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 τελμάτων.

Σύμφωνα με τον D.D. Williams (Williams, 1996) υπάρχουν δύο διαφορετικοί τύποι προσωρινών τελμάτων:

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

Οι Grillas et al. (2004) και Jacob et al. (2003) ανέφεραν ότι οι εποχιακές και ετήσιες διαφορές στον όγκο του ύδατος σε ένα λιμνίο προκύπτουν από τις χρονικές διαφορές στο υδατικό ισοζύγιο των εισροών και των εκροών. Οι εισροές μπορούν να είναι η άμεση βροχή, η επιφανειακή απορροή, το λιωμένο χιόνι και εισροές του υπόγειου νερού. Οι εκροές μπορούν να είναι η διήθηση, η υπερχειλίση και η εξατμισοδιαπνοή.

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 τότε στη στάθμη του ύδατος στο λιμνίο, εμφανίζονται εισροές από το υπόγειο νερό (Grillas et al. 2004).

Οι Keely και Zedler (1996) και ο King (1996) 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*)

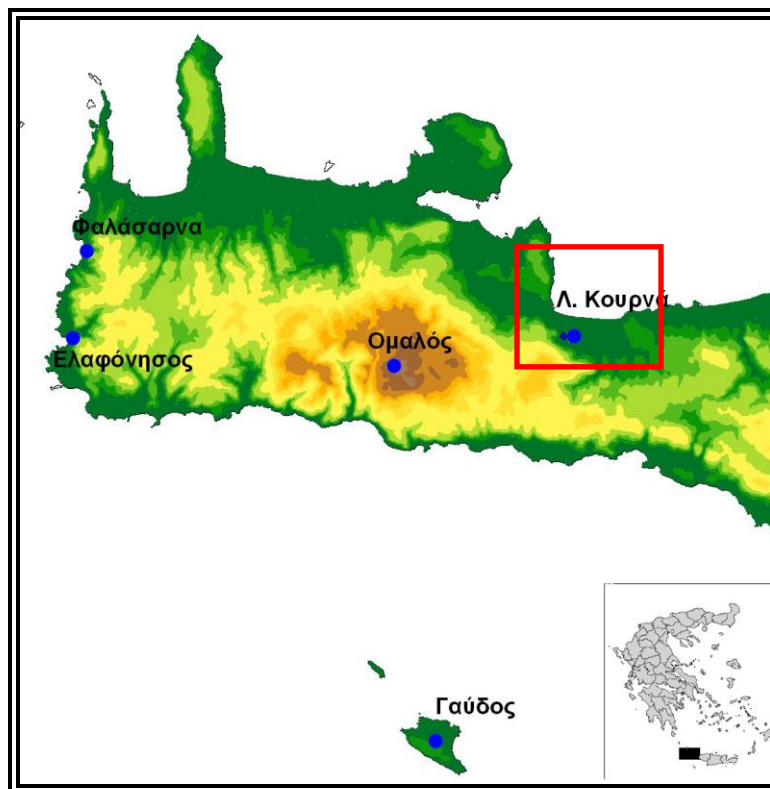
Το μήκος της υδροπεριόδου καθορίζει την αναπτυσσόμενη χλωρίδα και πανίδα (Grillas et al. 2004, King 1996, Warwick and Brock 2003). Αυτές οι υδρολογικές αλλαγές είναι απολύτως φυσικές και όπως αλλάζει η ποσότητα του ύδατος, αλλάζει και η υδρόβια αναπτυσσόμενη βλάστηση και τα ασπόνδυλα. Κατά τη διάρκεια του πλημμυρισμού του λιμνίου, 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 (Collinson et al. 1995, Grillas et al. 2004, Warwick and Brock 2003).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ “ΜΕΛ” ΚΑΙ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΠΙΕΣΕΩΝ

### 2.1. Περιοχής της Λίμνης Κουρνά. Περιγραφή της Ευρύτερης Περιοχής

#### 2.1.1 Γεωγραφική Τοποθέτηση και Γενικά Χαρακτηριστικά

Η λίμνη Κουρνά-περιοχή βρίσκεται στη βόρεια πλευρά της Κρήτης, στα όρια των νομών Χανίων και Ρεθύμνου. Απέχει περίπου 40 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.



Εικόνα 2: Χάρτης με τη γεωγραφική θέση του ΜΕΛ στη λίμνη Κουρνά.

#### 2.1.2 Μορφολογία

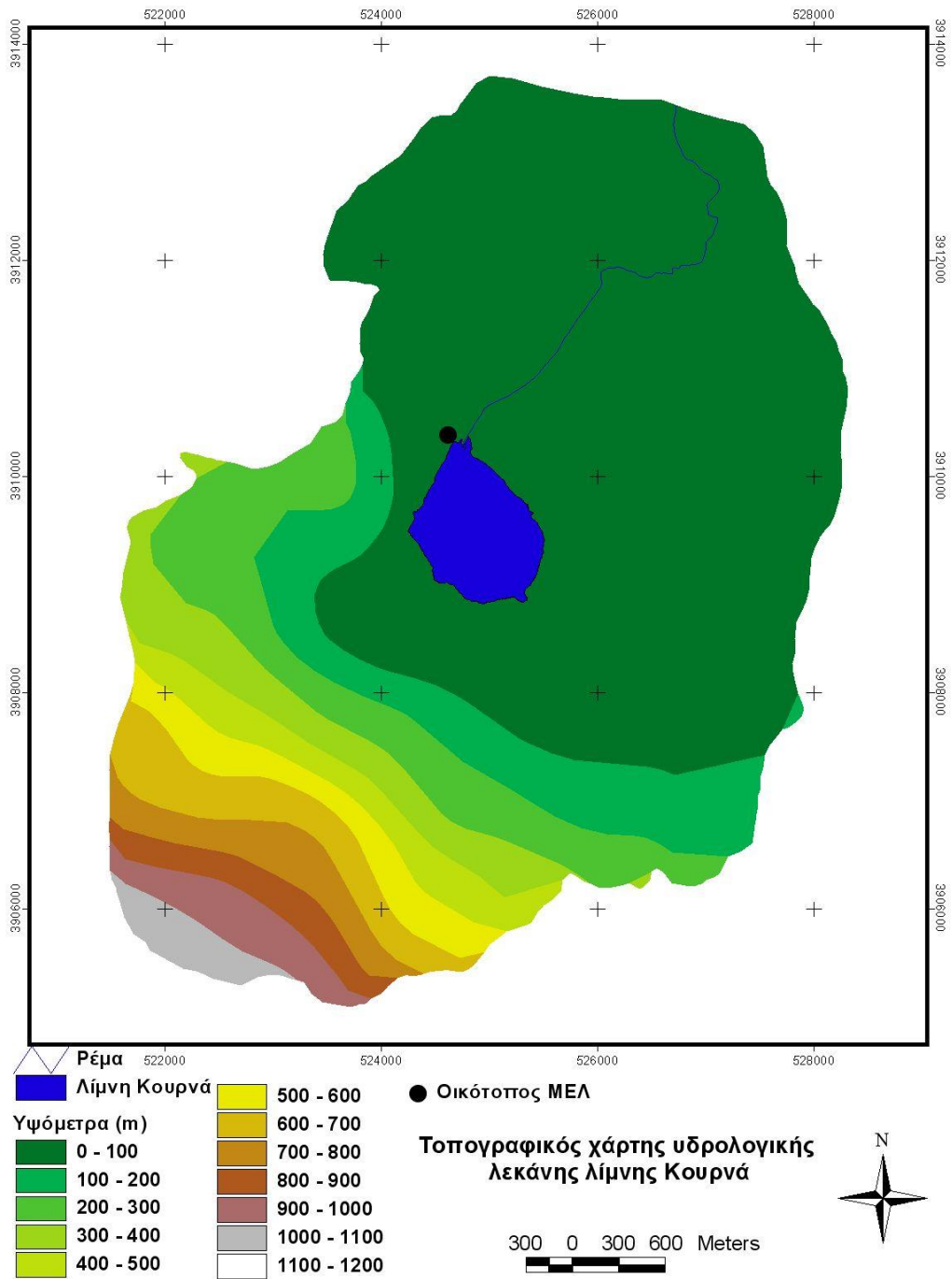
Η υδρολογική λεκάνη της λίμνης Κουρνά (εικόνα 3) έχει έκταση περίπου 17 km<sup>2</sup> και μέσο υψόμετρο 152m (πίνακας 1). Το βορειοανατολικό τμήμα της είναι πεδινό με υψόμετρα κάτω των 100 m και κλίσεις μικρότερες των 4% ενώ το νοτιοδυτικό τμήμα της εν λόγω υδρολογικής λεκάνης είναι ορεινό με υψόμετρα που φτάνουν τα 1200m και κλίσεις άνω του 10% (εικόνα 3). Η μέση κλίση της υδρολογικής λεκάνης είναι περίπου

10% ενώ η λίμνη Κουρνά βρίσκεται στο κέντρο αυτής και συγκεκριμένα στην πεδινή ζώνη. Ο οικότοπος των ΜΕΛ συναντάται πλησίον της βόρειας ακτογραμμής της λίμνης και σε απόσταση περίπου 50-100 m. Ανατολικότερα του οικότοπου ξεκινά ρέμα που εκφόρτιζε ποσοστό του νερού της λίμνης προς την θάλασσα παλαιότερα ενώ σήμερα λόγω και του φράγματος που έχει γίνει στην συγκεκριμένη θέση έχει αποκοπεί η επικοινωνία μεταξύ λίμνης και ρέματος με αποτέλεσμα να μην παρατηρείται ροή νερού στο τελευταίο. Το γεγονός αυτό δεν φαίνεται να επηρεάζει άμεσα τον οικότοπο αφού μεσολαβεί σημαντική απόσταση μεταξύ του ΜΕΛ και του φράγματος αλλά παρόλα αυτά η ομάδα εργασίας του προγράμματος LIFE είναι σε συνεργασία με τον Δήμο Γεωργιούπολης προσπαθώντας να συνεισφέρει στην αποκατάσταση του φυσικού υδρολογικού καθεστώτος στην περιοχή.

**Πίνακας 1:** Στοιχεία μορφομετρίας της υδρολογικής λεκάνης της λίμνης Κουρνά.

<b>Μορφομετρικά στοιχεία υδρολογικής λεκάνης λίμνης Κουρνά</b>	
Περίμετρος (m)	20720
Έκταση (m <sup>2</sup> )	17122400
Μέσο υψόμετρο (m)	152
Μέση κλίση (μοίρες)	9,65





**Εικόνα 3:** Τοπογραφικός χάρτης της υδρολογικής λεκάνης της λίμνης Κουρνά.

## 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 και έχει γεωγραφικές συντεταγμένες πλάτος 35ο 20' και μήκος 24° 16'. Τα βασικά στοιχεία είναι:

**Πίνακας 2:** Τοπογραφικά στοιχεία της Λίμνης Κουρνά.

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

Τα μεγαλύτερα βάθη παρατηρούνται κατά μήκος των ρηγμάτων και των ρηγματογενών ζωνών που έχουν συντελέσει σημαντικά στο σχηματισμό του βυθίσματος της λίμνης. Τα βάθη αυτά εντοπίζονται στη ΝΔ πλευρά της (σημείο συμβολής των ρηγματογενών ζωνών ΒΔ-ΝΑ κατεύθυνσης) και κατά μήκος ενός ρήγματος ΒΒΝ-ΝΝΑ κατεύθυνσης, που περνά και από το σημείο ανάβλυσης. Το βαθύτερο σημείο της λίμνης βρίσκεται 3,5m κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας. Η στάθμη του νερού της λίμνης κυμαίνεται ανάλογα με την εποχή. Την χειμερινή περίοδο και μέχρι την περίοδο της άνοιξης 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. Να σημειωθεί ότι δύο είδη πανίδας όπως η ποταμοσαλιάρια (*Blennius fluviatilis*) και η αθερίνα (*Atherina boyeri*) δεν υπάρχουν σε άλλα γλυκά νερά στη περιοχή της Κρήτης (ΟΑΔΥΚ, 2005).



**Εικόνα 4:** Πανοραμική άποψη της λίμνης Κουρνά.

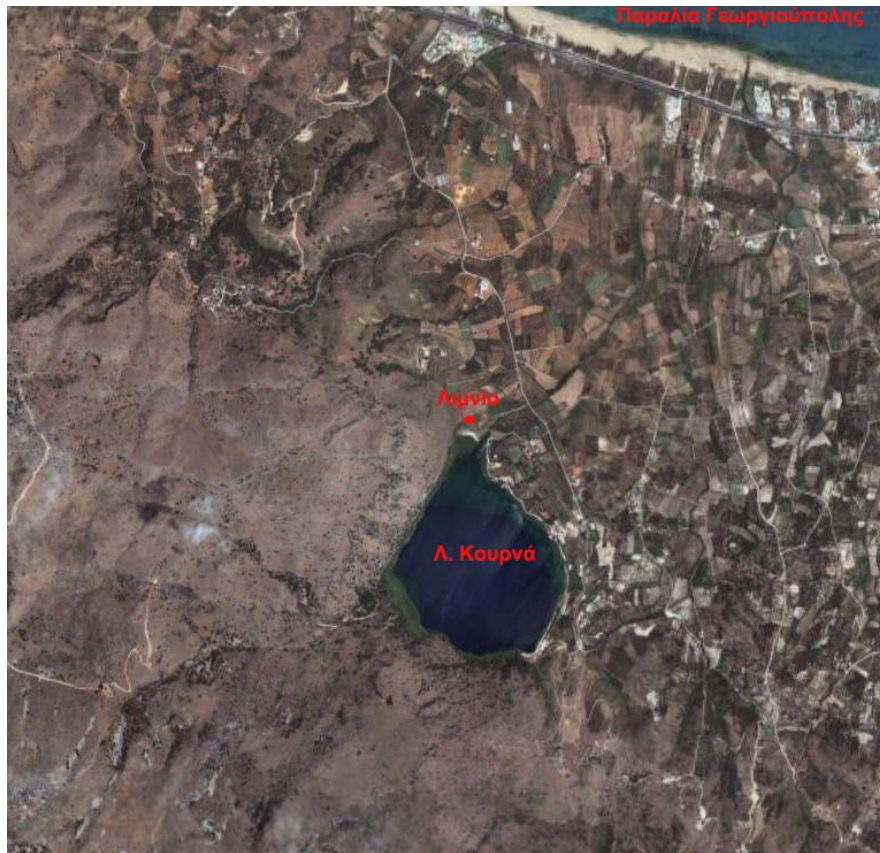


**Εικόνα 5:** Άποψη του ΜΕΛ και της λίμνης Κουρνά.





**Εικόνα 6:** Άποψη του ΜΕΛ στη λίμνη Κουρνά.



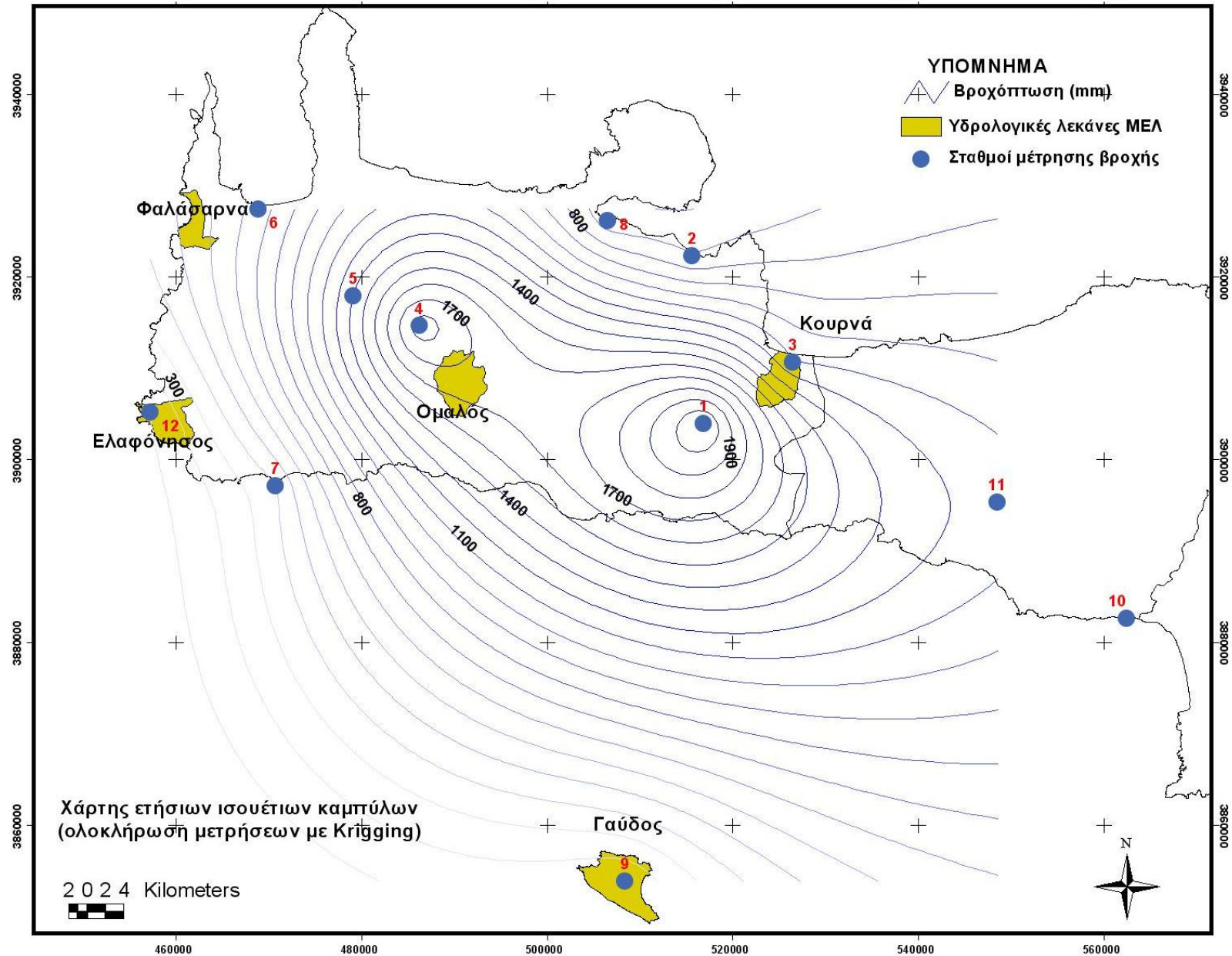
**Εικόνα 7:** Θέση του ΜΕΛ και της λίμνης Κουρνά από δορυφορική φωτογραφία.

### 2.1.3 Κλιματολογικές Συνθήκες

Το κλίμα της περιοχής είναι τυπικό μεσογειακό με ξηρή και θερμή καλοκαιρινή περίοδο και ήπια χειμερινή. Γενικότερα το κλίμα βρίσκεται αφενός υπό την επίδραση των ανέμων που πνέουν στο Κρητικό πέλαγος και είναι κυρίως βόρειοι και ισχυροί τον Χειμώνα και ασθενείς το Φθινόπωρο και το Καλοκαίρι και αφετέρου της υγρασίας που μεταφέρουν οι δυτικοί άνεμοι που πνέουν από την περιοχή του Ιονίου πελάγους. Ο Χειμώνας είναι μικρής διάρκειας (Νοέμβριος-Μάρτιος) με κύριο χαρακτηριστικό τις βροχοπτώσεις ενώ τα χιόνια περιορίζονται στην ορεινή ζώνη. Την Εαρινή και την Θερινή περίοδο οι βροχοπτώσεις είναι ελάχιστες.

Για την ανάλυση των κλιματολογικών συνθηκών χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από μετεωρολογικούς σταθμούς της Υπηρεσίας Εγγείων Βελτιώσεων Χανίων και Ρεθύμνου (Περιφέρεια Κρήτης, 2005), του Ινστιτούτου Ελιάς και Υποτροπικών Φυτών αλλά και από μετεωρολογικούς σταθμούς που εγκαταστάθηκαν στα πλαίσια του συγκεκριμένου προγράμματος LIFE.

Όπως φαίνεται από την εικόνα 8 οι ετήσιες βροχοπτώσεις στην Δυτική Κρήτη παρουσιάζουν έντονη διακύμανση στον άξονα Β-Ν και Α-Δ. Συγκεκριμένα, η επίδραση του υψομέτρου είναι καταλυτική αφού οι υψηλότερες τιμές βροχόπτωσης παρατηρούνται κατά μήκος του ορεινού όγκου των Λευκών Ορέων και ξεπερνούν τα 1900 mm ενώ μειώνονται αισθητά προς τις πεδινές και παράκτιες περιοχές όπου συναντώνται σχετικά χαμηλές τιμές (έως 700mm στον άξονα Β-Ν). Στο δυτικό τμήμα του νησιού παρατηρούνται επίσης χαμηλές τιμές βροχής που είναι κάτω από τα 400mm ετησίως ενώ στο ανατολικό τμήμα του Ν. Χανίων οι αντίστοιχες τιμές είναι πολύ υψηλότερες αφού φτάνουν τα 1200mm στην παράκτια ζώνη (εικόνα 8, πίνακας 3).

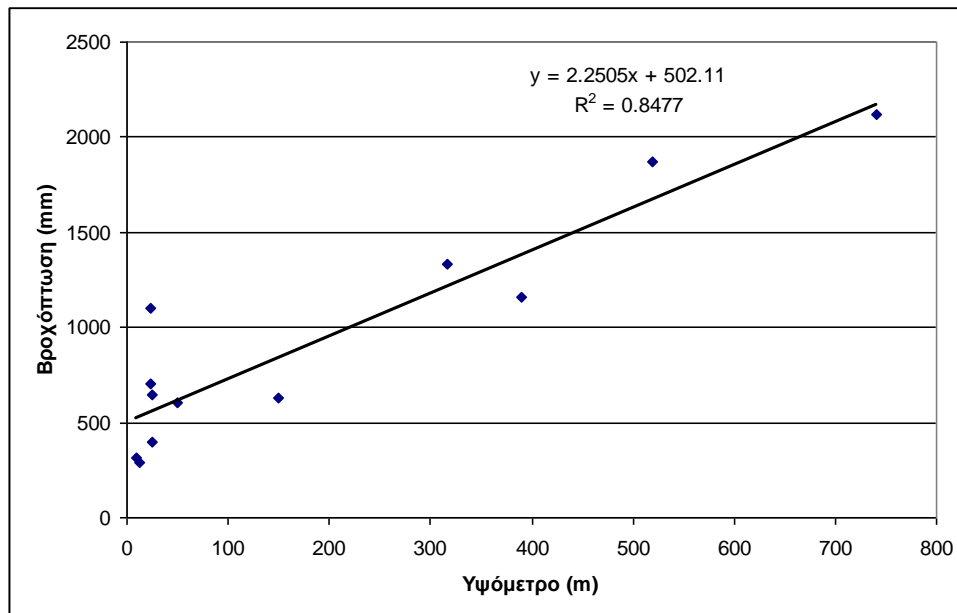


Εικόνα 8: Χάρτης αποτύπωσης της βροχόπτωσης στη Δ. Κρήτη.



**Πίνακας 3:** Στοιχεία από τους σταθμούς μέτρησης της βροχής στη Δ. Κρήτη.

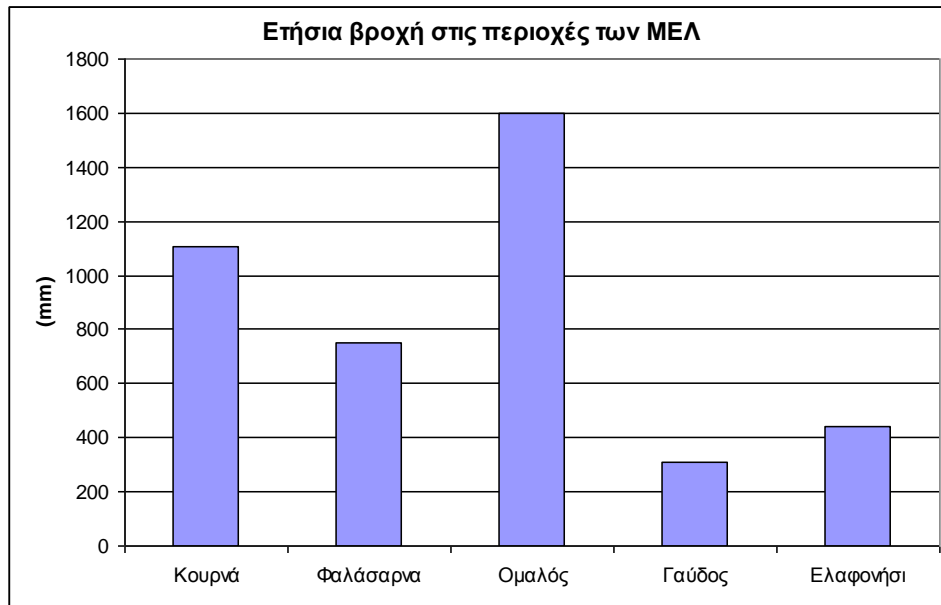
Κωδικός σταθμού	Όνομασία σταθμού	Υψόμετρο (m)	Βροχή (mm)
1	Ασκυφού	740	2123
2	Καλύβες	24	705
3	Μουρί	24	1102
4	Πρασσές	520	1871
5	Π. Ρούματα	316	1332
6	Καστέλι	25	643
7	Παλαιόχωρα	12	291
8	Σούδα	150	631
9	Γαύδος	10	311
10	Αγ. Γαλήνη	50	601
11	Σπηλί	390	1160
12	Ελαφόνησος	25	400



**Εικόνα 9:** Διάγραμμα συσχέτισης Υψομέτρου (m) – Βροχόπτωσης (mm).

Η σημαντική επίδραση του υψομέτρου στην μετρούμενη βροχόπτωση της Δ. Κρήτης γίνεται φανερή και από την Εικόνα 9 όπου παρουσιάζεται και η συσχέτιση των δύο αυτών παραμέτρων η οποία είναι αρκετά υψηλή ( $R^2=0,847$ ). Η αριθμητική σχέση που φαίνεται στο ανωτέρω διάγραμμα να συνδέει το υψόμετρο με την βροχόπτωση, ισχύει κυρίως για μέσα υψόμετρα (έως 600-700m), ενώ δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ορεινές περιοχές δεδομένης της έλλειψης σταθμών μετρήσεων σε αυτές και την επακόλουθη απουσία τέτοιων μετρήσεων από το σχετικό διάγραμμα. Επιπρόσθετα, τα σημεία που απέχουν σημαντικά από της ευθείας της ‘τάσης’ στην εικόνα 9 υποδεικνύουν την συμμετοχή και άλλων παραγόντων στην διαμόρφωση του υδρολογικού καθεστώτος της περιοχής, όπως η διεύθυνση των επικρατούντων ανέμων που μεταφέρουν υγρές μάζες.

Ως προς τις περιοχές μελέτης, η βροχόπτωση κυμαίνεται σημαντικά, αφού στον Ομαλό απαντάται η υψηλότερη τιμή που φτάνει τα 1600mm και στην Γαύδο η χαμηλότερη με 310mm ετησίως (εικόνα 10). Το Ελαφονήσι έχει την αμέσως υψηλότερη τιμή με περίπου 410mm ενώ ακολουθούν τα Φαλάσαρνα και η Κουρνά με 780mm και 1100mm αντίστοιχα. Έτσι, γίνεται φανερή και η σημαντική διακύμανση στο υδρολογικό καθεστώς της κάθε περιοχής μελέτης που δημιουργεί σημαντικά διαφορετικές υδροπεριόδους στα ΜΕΛ του Ν. Χανίων και επομένως καθορίζει και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους από θέση σε θέση.



**Εικόνα 10:** Διάγραμμα ετήσιας βροχόπτωσης σε κάθε περιοχή μελέτης των ΜΕΛ.

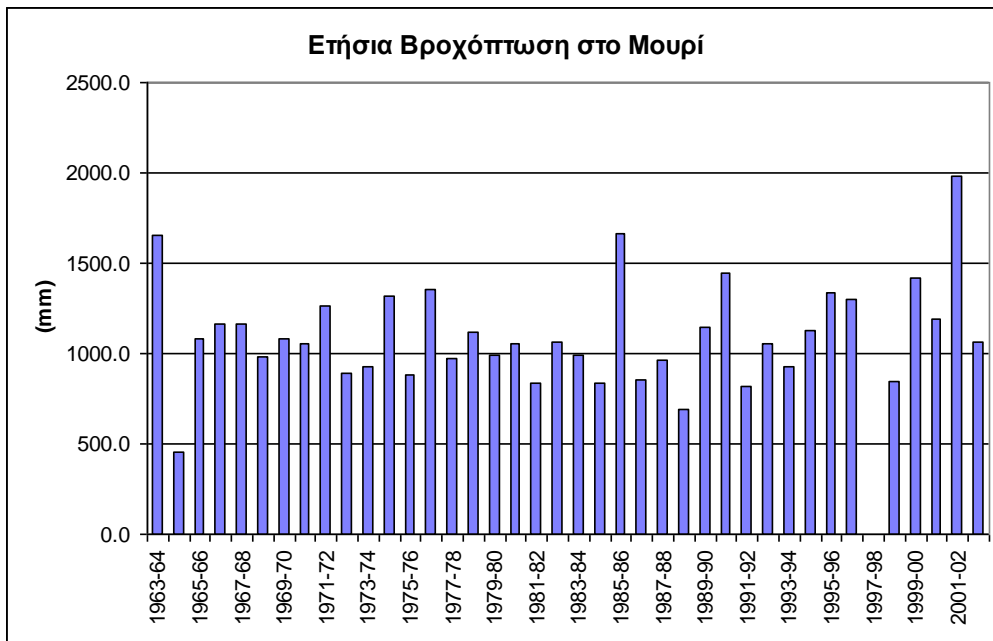
Για την περιοχή της Λ. Κουρνά χρησιμοποιήθηκαν ιστορικά δεδομένα από τον πλησιέστερο σταθμό της ΥΕΒ (Μουρί) που δείχνουν ότι τοπικά η βροχόπτωση είναι αρκετά αυξημένη με μέσο ετήσιο ύψος που φτάνει τα 1100mm (εικόνα 11) και ετήσια τιμές που κυμαίνονται από περίπου 700mm έως 1800mm (πίνακας 4, εικόνα 11).

Ο μήνας με την μεγαλύτερη βροχόπτωση είναι ο Ιανουάριος (19% της ετήσιας τιμής) και ακολουθεί ο Δεκέμβριος (18% της ετήσιας τιμής) ενώ η χαμηλότερη τιμή της βροχόπτωσης παρουσιάζεται την περίοδο Ιουλίου – Αυγούστου (0,4% της ετήσιας τιμής) (εικόνα 12).

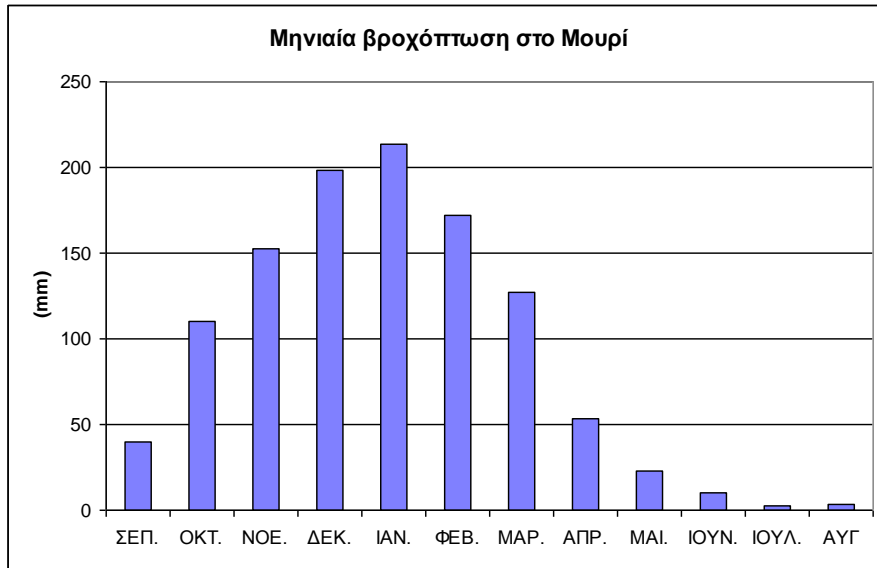


**Πίνακας 4:** Μηνιαία στοιχεία βροχόπτωσης.

Μήνες	Βροχόπτωση (mm)	%	Θερμοκρασία (°C)
<b>ΣΕΠ.</b>	39	4	24
<b>ΟΚΤ.</b>	110	10	20
<b>ΝΟΕ.</b>	152	14	17
<b>ΔΕΚ.</b>	198	18	14
<b>ΙΑΝ.</b>	213	19	12
<b>ΦΕΒ.</b>	172	16	12
<b>ΜΑΡ.</b>	127	12	14
<b>ΑΠΡ.</b>	53	5	17
<b>ΜΑΙ.</b>	23	2	20
<b>ΙΟΥΝ.</b>	10	1	24
<b>ΙΟΥΛ.</b>	2	0.2	27
<b>ΑΥΓ.</b>	3	0.2	26
<b>ΣΥΝ.</b>	<b>1105</b>		<b>19</b>



**Εικόνα 11:** Διάγραμμα ετήσιας βροχόπτωσης στη θέση Μουρί.



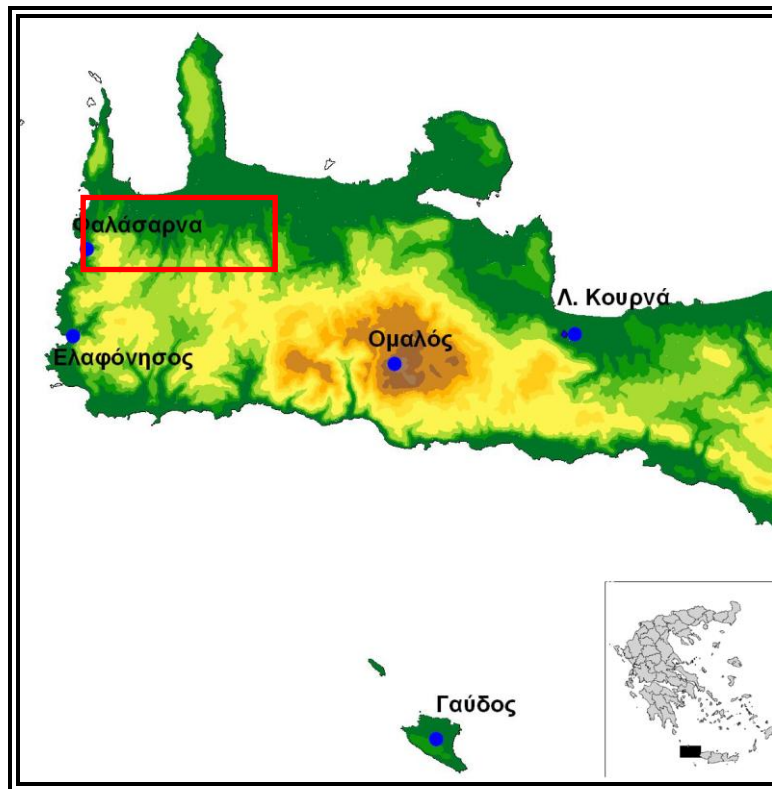
**Εικόνα 12:** Διάγραμμα μηνιαίας βροχόπτωσης στη θέση Μουρί .

Η θερμοκρασία στην περιοχή της Λ. Κουρνά είναι επίσης σχετικά υψηλή με τιμές που κυμαίνονται από 12°C έως 27°C (Ιανουάριος και Ιούλιος αντίστοιχα, πίνακας 4) ενώ η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι περίπου 19°C. Το γεγονός των υψηλών σχετικά θερμοκρασιών είναι αναμενόμενο στην εν λόγω περιοχή αφού πρόκειται για παράκτια, πεδινή έκταση που επηρεάζεται κυρίως από τις θερμές αέριες μάζες του Κρητικού Πελάγους.

## 2.2. Περιγραφή της Ευρύτερης Περιοχής των Φαλάσαρνων

### 2.2.1 Γεωγραφική Τοποθέτηση και Γενικά Χαρακτηριστικά

Τα Φαλάσαρνα βρίσκονται στη δυτική ακτή του νομού Χανίων, 25 Km δυτικά από το Καστέλλι Κισσάμου και απέχουν περίπου 40 Km από την πόλη των Χανίων (39). Η περιοχή διοικητικά υπάγεται στο Δήμο Κισσάμου (δημοτικό διαμέρισμα Πλατάνου).



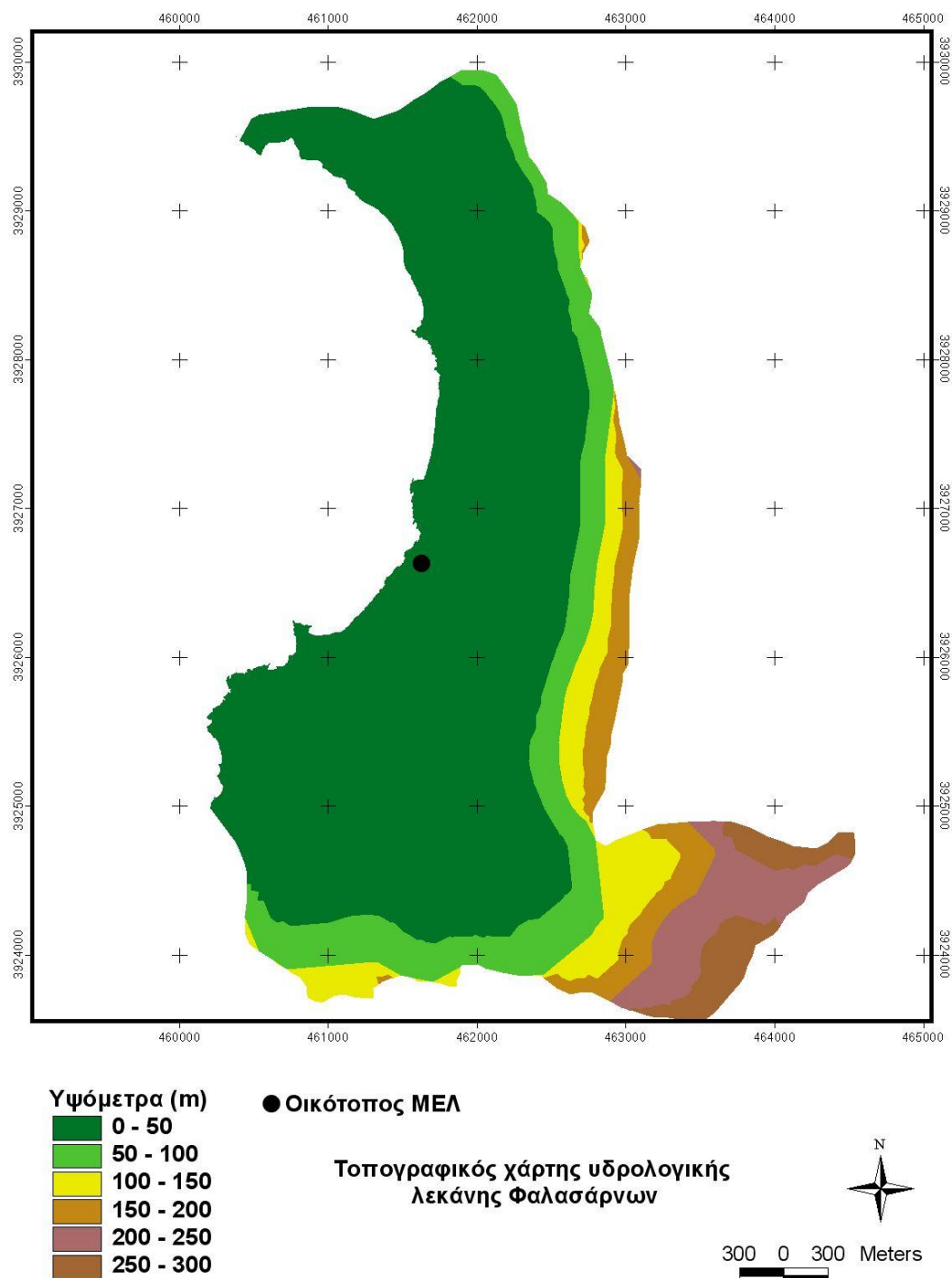
Εικόνα 13: Χάρτης με τη γεωγραφική θέση του ΜΕΛ στα Φαλάσαρνα.

### 2.2.2 Μορφολογία

Το τοπίο στην περιοχή είναι ιδιαίτερου φυσικού κάλους και παρουσιάζει έντονη πολυμορφία χαρακτηριστική του Κρητικού χώρου. Η δυτική πλευρά της περιοχής περιβάλλεται από την θάλασσα, όπου εκτείνεται μια επιμήκη ακτή μήκους περίπου 6 km. Οι παραλίες είναι αμμώδεις με μεγάλο βάθος παραλίας. 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 της περιοχής είναι καλυμμένες με χορτολιβαδικές εκτάσεις και δασικούς θαμνώνες.

Η υδρολογική λεκάνη Φαλασάρνων έχει έκταση 12,4km<sup>2</sup>, παρουσιάζει ιδιαίτερη ανάπτυξη κατά τον άξονα Β-Ν και το μεγαλύτερο τμήμα της είναι πεδινό, με υψόμετρα που δεν ξεπερνούν τα 50m. Οι κλίσεις της συγκεκριμένης περιοχής δεν ξεπερνούν τις 7° (πίνακας 5), ενώ το μέσο υψόμετρο είναι 50m και η μέγιστη τιμή του δεν ξεπερνά τα 300m (εικόνα 14). Ο οικότοπος των ΜΕΛ βρίσκεται στο μέσο

περίπου της υδρολογικής λεκάνης και στην παράκτια ζώνη (εικόνα 14) σε απόσταση περίπου 60m από την ακτογραμμή.



Εικόνα 14: Τοπογραφικός χάρτης της υδρολογικής λεκάνης Φαλασάρνων.

**Πίνακας 5:** Μορφομετρικά στοιχεία της υδρολογικής λεκάνης Φαλασάρνων.

<b>Μορφομετρικά στοιχεία υδρολογικής λεκάνης Φαλασάρνων</b>	
Περίμετρος (m)	27.880
Έκταση (m <sup>2</sup> )	12.384.800
Μέσο υψόμετρο (m)	50
Μέση κλίση (μοίρες)	6,8



**Εικόνα 15:** Πανοραμική άποψη της ακτής των Φαλασάρνων.



**Εικόνα 16:** Άποψη ΜΕΛ στη περιοχή των Φαλασάρνων.



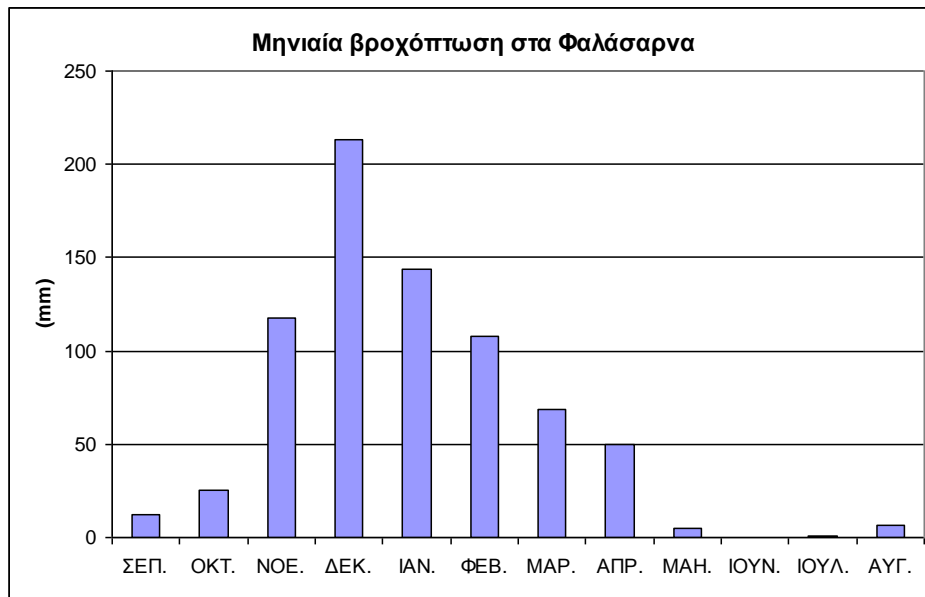


**Εικόνα 17:** Αποψη ΜΕΛ στη περιοχή των Φαλασάρνων.

### **2.2.5 Κλιματολογικές Συνθήκες**

Το κλίμα της περιοχής των Φαλασάρνων είναι μεσογειακό με έντονα θερμομεσογειακό χαρακτήρα και συμπίπτει με το συνολικό κλίμα του νομού Χανίων. Το κλίμα της περιοχής παρουσιάζει χαρακτηριστικά, όπως ήπιο χειμώνα, με αυξημένες βροχοπτώσεις που πέτουν κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου. Σημειώνουμε επίσης ότι ο αριθμός των βιολογικά ξηρών ημερών κατά την θερμή και ξηρά περίοδο κυμαίνεται ανάμεσα στις 125 και 150 ημέρες. Να σημειωθεί ότι η χειμερινή περίοδος είναι περιορισμένη και υπάρχει έντονη ηλιοφάνεια.

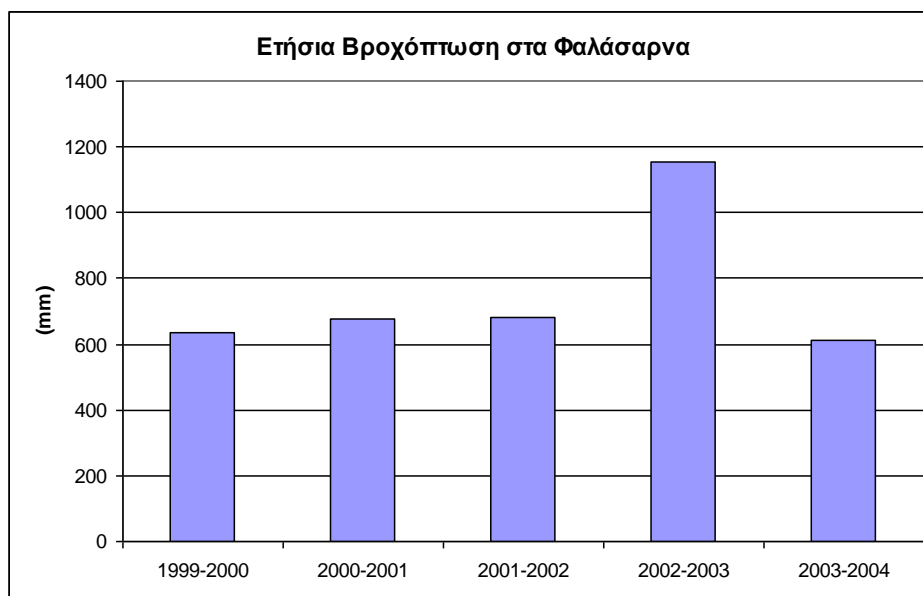
Η μέση ετήσια βροχόπτωση στα Φαλάσαρνα είναι 751mm ,ενώ οι μήνες με τις μεγαλύτερες τιμές βροχόπτωσης είναι ο Δεκέμβριος (28% της ετήσιας βροχής) και ο Ιανουάριος (19% της ετήσιας τιμής, πίνακας 6, εικόνα 18). Η υγρή περίοδο συμπίπτει με το χρονικό διάστημα Νοεμβρίου-Φεβρουαρίου κάθε έτους, όπου παρατηρείται το 77% της ετήσιας βροχόπτωσης, ενώ οι πιο άνυδροι μήνες είναι ο Ιούνιος και ο Ιούλιος (μόλις 1mm βροχής αθροιστικά).



**Εικόνα 18:** Διάγραμμα μηνιαίας βροχόπτωσης στη περιοχή Φαλασάρνων.

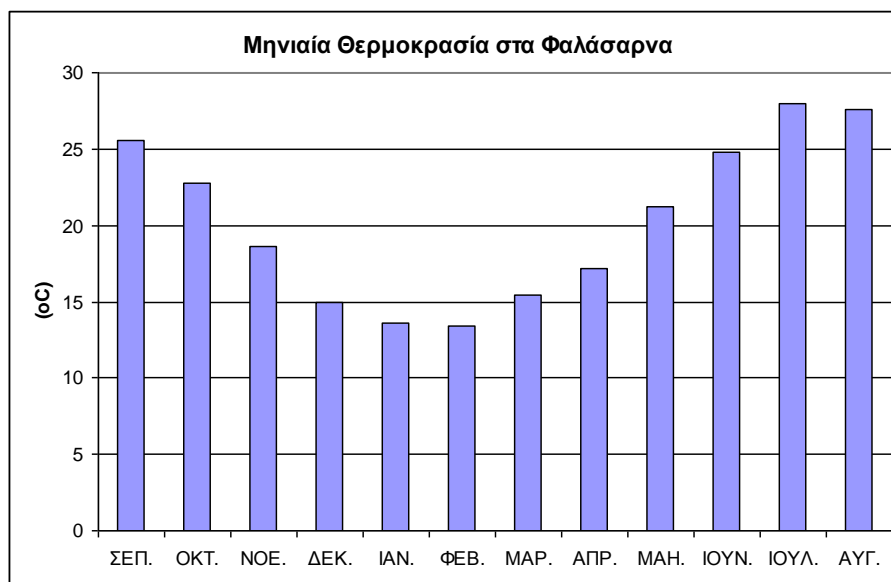
**Πίνακας 6:** Στοιχεία βροχόπτωσης (ανά μήνα) στη περιοχή Φαλασάρνων.

ΜΗΝΕΣ	ΒΡΟΧΗ		Θερμοκρασία (°C)
	mm	%	
ΣΕΠ.	13	2	26
ΟΚΤ.	25	3	23
ΝΟΕ.	117	16	19
ΔΕΚ.	213	28	15
ΙΑΝ.	143	19	14
ΦΕΒ.	108	14	13
ΜΑΡ.	69	9	15
ΑΠΡ.	50	7	17
ΜΑΗ.	5	1	21
ΙΟΥΝ.	0	0	25
ΙΟΥΛ.	1	0	28
ΑΥΓ.	7	1	28
<b>ΣΥΝ.</b>	<b>751</b>	<b>Μ.Ο.</b>	<b>20</b>



**Εικόνα 19:** Διάγραμμα βροχόπτωσης (για τα έτη 1999-2004) στη περιοχή Φαλασάρνων.

Η διακύμανση των ετήσιων τιμών βροχόπτωσης τα τελευταία 5 χρόνια δεν είναι σημαντική, αφού παρατηρείται μια σχετική σταθερότητα γύρω από τα 650mm με εξαίρεση το υδρολογικό έτος 2002-2003 όπου η βροχόπτωση ήταν ιδιαίτερα αυξημένη και έφτασε περίπου τα 1150mm (εικόνα 19).



**Εικόνα 20:** Διάγραμμα μηνιαίας θερμοκρασίας στη περιοχή Φαλασάρνων.

Ως προς την θερμοκρασία στα Φαλάσαρνα, η μέση μηνιαία τιμή είναι ιδιαίτερος υψηλή αφού φτάνει τους 20°C, ενώ η σχετική διακύμανση είναι μικρή αφού κυμαίνεται από τους 13°C τον μήνα Φεβρουάριο έως τους 28°C τους μήνες Ιούλιος και Αύγουστο (πίνακας 6, εικόνα 20). Ως εκ τούτου, στην συγκεκριμένη περιοχή ο συνδυασμός υψηλών θερμοκρασιών σχεδόν καθ' όλη την διάρκεια του

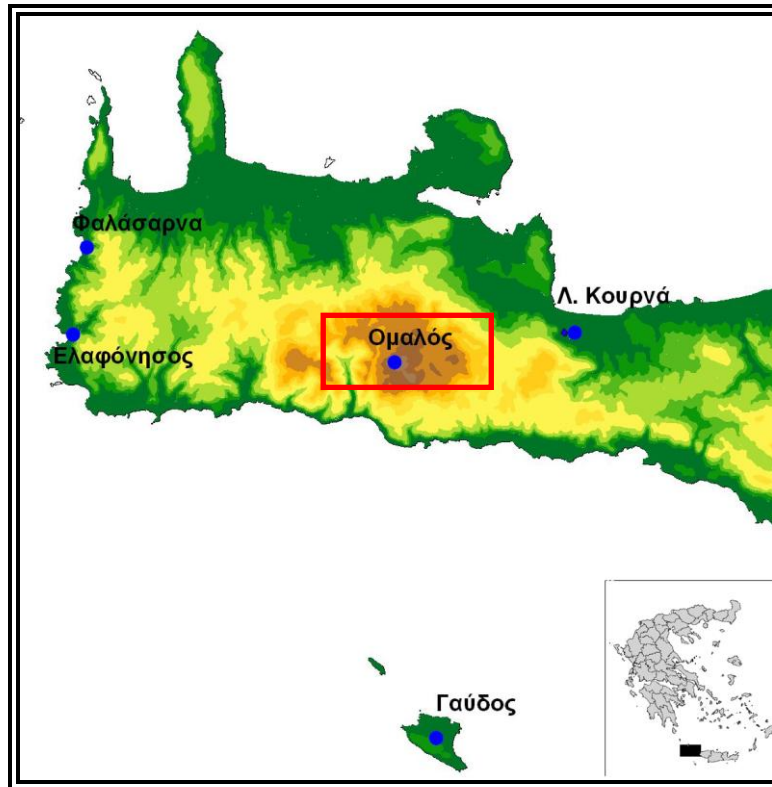


έτους και ισχυρών ανέμων δημιουργεί ευνοϊκές συνθήκες για αυξημένες τιμές εξάτμισης που αποτελούν και την κύρια εκροή νερού από τα ΜΕΛ.

## 2.3. Περιγραφή της Περιοχής του Οροπεδίου του Ομαλού

### 2.3.1 Γεωγραφική Τοποθέτηση και Γενικά Χαρακτηριστικά

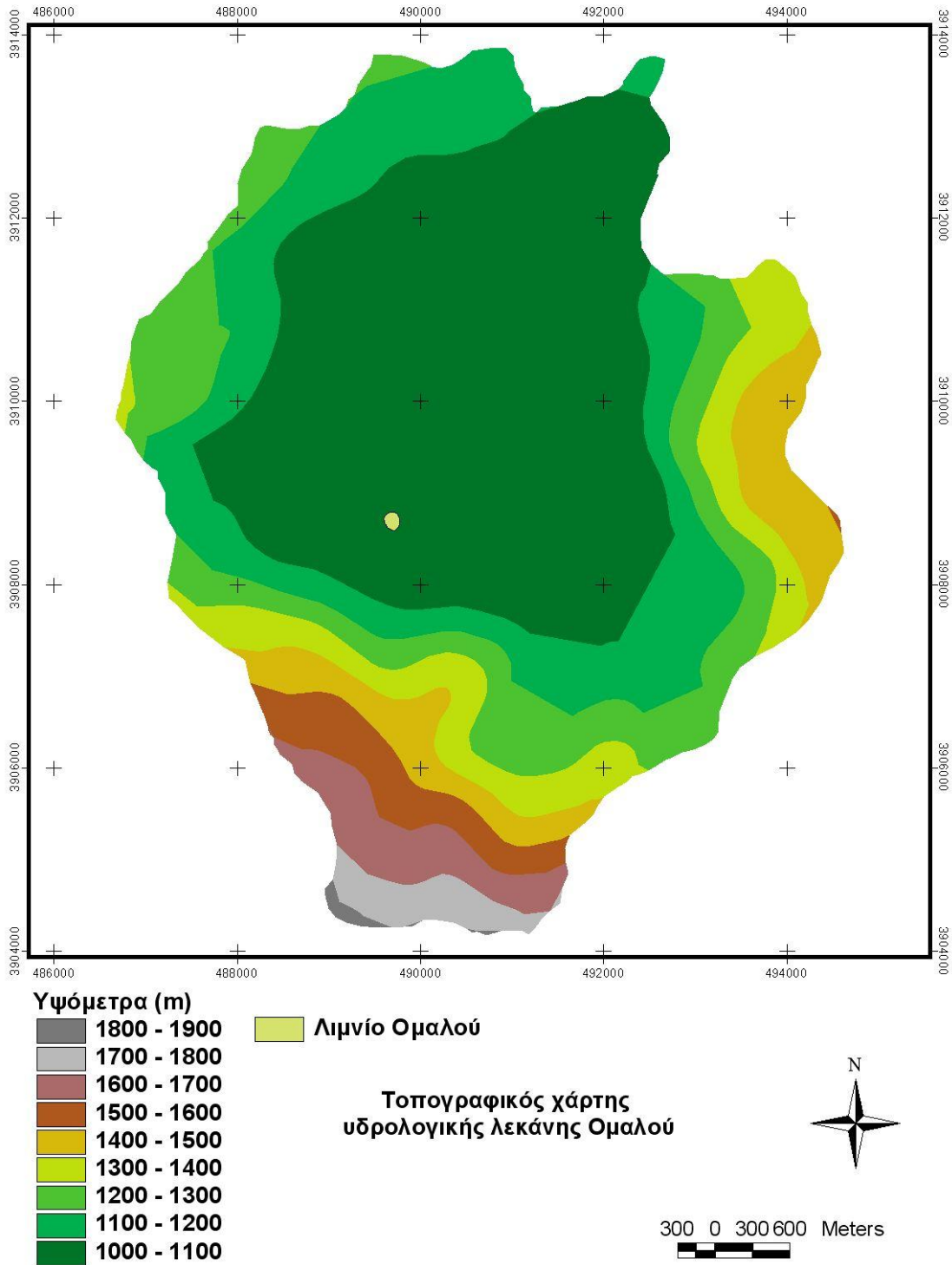
Το οροπέδιο του Ομαλού βρίσκεται στο κέντρο του νομού Χανίων και απέχει περίπου 38 Km από την ομώνυμη πόλη. Η περιοχή διοικητικά υπάγεται στους Δήμους Μουσούρων και Ανατολικού Σελίνου (Δήμος Χανίων, 2005).



Εικόνα 21: Χάρτης με τη γεωγραφική θέση του ΜΕΛ στη περιοχή του Ομαλού.

### 2.3.2 Μορφολογία

Το οροπέδιο του Ομαλού βρίσκεται στα Λευκά Όρη και είναι ένα από τα πιο γνωστά οροπέδια της Ελλάδας, δεδομένης και της ύπαρξης του Φαραγγιού της Σαμαριάς, που ξεκινά από το νοτιοδυτικό τμήμα του. Το βασικό πεδινό τμήμα του οροπεδίου βρίσκεται σε υψόμετρο 1060m περίπου, ενώ η έκταση και το μέσο υψόμετρο της υδρολογικής λεκάνης του Ομαλού είναι 26,7km<sup>2</sup> και 1183m αντίστοιχα (εικόνα 22, πίνακας 7). Η μέση κλίση της υδρολογικής λεκάνης είναι σημαντική, αφού φτάνει περίπου τις 11,7 μοίρες που όμως οφείλεται στις πολύ μεγάλες κλίσεις που έχουν οι κορυφές που περιβάλλουν το κεντρικό, πεδινό τμήμα του οροπεδίου. Το λιμνίο του Ομαλού βρίσκεται στο νότιο τμήμα της υδρολογικής λεκάνης πλησίον των πρσανών παρακείμενης κορυφής και έχει μέση έκταση 5900m<sup>2</sup>.



Εικόνα 22: Τοπογραφικός χάρτης της υδρολογικής λεκάνης του Ομαλού.

Πίνακας 7: Στοιχεία μορφομετρίας της υδρολογικής λεκάνης του Ομαλού.

<b>Μορφομετρικά στοιχεία υδρολογικής λεκάνης Ομαλού</b>	
Περίμετρος (m)	29160
Έκταση (m <sup>2</sup> )	26724400
Μέσο υψόμετρο (m)	1183,6
Μέση κλίση (μοίρες)	11,69



**Εικόνα 23:** Άποψη ΜΕΛ στη περιοχή του Ομαλού.

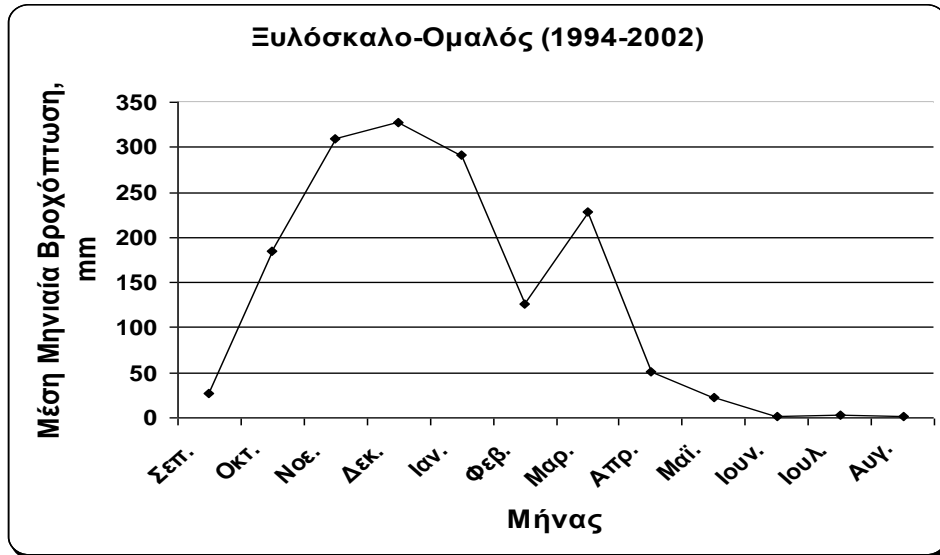


**Εικόνα 24:** Άποψη ΜΕΛ στην περιοχή του Ομαλού.

### 2.3.5 Κλιματολογικές Συνθήκες

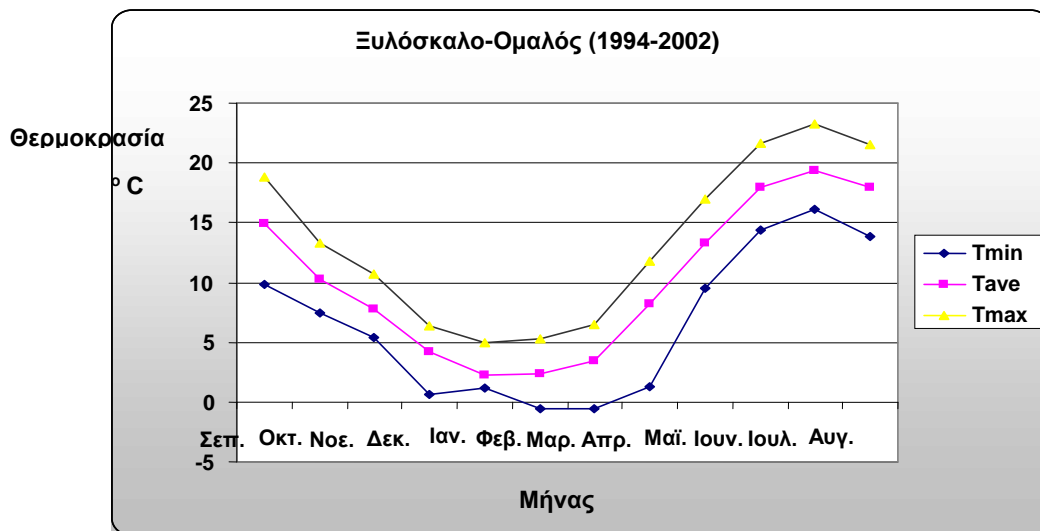
Η μέση βροχόπτωση στην περιοχή είναι 1600 mm ενώ οι μήνες με τις μεγαλύτερες μηνιαίες τιμές είναι ο Δεκέμβριος και ο Νοέμβριος (μεγαλύτερη από 300mm ανά μήνα, εικόνα 25). Η ξηρή περίοδο συμπίπτει με το διάστημα Μαΐου-Σεπτεμβρίου όπου η μηνιαία βροχόπτωση δεν ξεπερνά τα 25mm ενώ κατά τους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο η βροχή είναι σχεδόν μηδενική. Επίσης, να τονιστεί ότι στον Ομαλό κατά τους χειμερινούς μήνες εμφανίζονται έντονες χιονοπτώσεις, οι

οποίες δεν καταγράφονται, με αποτέλεσμα να γίνεται υποεκτίμηση της συνολικής ποσότητας νερού που πέφτει στην περιοχή. Η σημαντική ποσότητα βροχής που απαντάται στην συγκεκριμένη περιοχή οδηγεί στην παρατεταμένη υδροπερίοδο του λιμνίου που μπορεί να φτάσει και τους 10 μήνες.



Εικόνα 25: Διάγραμμα μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης στη περιοχή του Ομαλού.

Η θερμοκρασία στην περιοχή του Ομαλού είναι σχετικά χαμηλή λόγω και του υψομέτρου, που ξεπερνά τα 1000m. Ψυχρότεροι μήνες στην περιοχή είναι ο Φεβρουάριος και ο Μάρτιος με μέση ελάχιστη θερμοκρασία  $-0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$  και θερμότερος ο Ιούλιος με μέση μέγιστη θερμοκρασία  $23,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  (εικόνα 26). Οι σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες σε συνδυασμό με την έλλειψη ισχυρών ανέμων λόγω γεωμορφολογίας (οροπέδιο) οδηγεί σε μικρές τιμές εξάτμισης που συμβάλλουν στην παρατεταμένη περίοδο πλημμυρισμού του λιμνίου όπως προαναφέρθηκε.



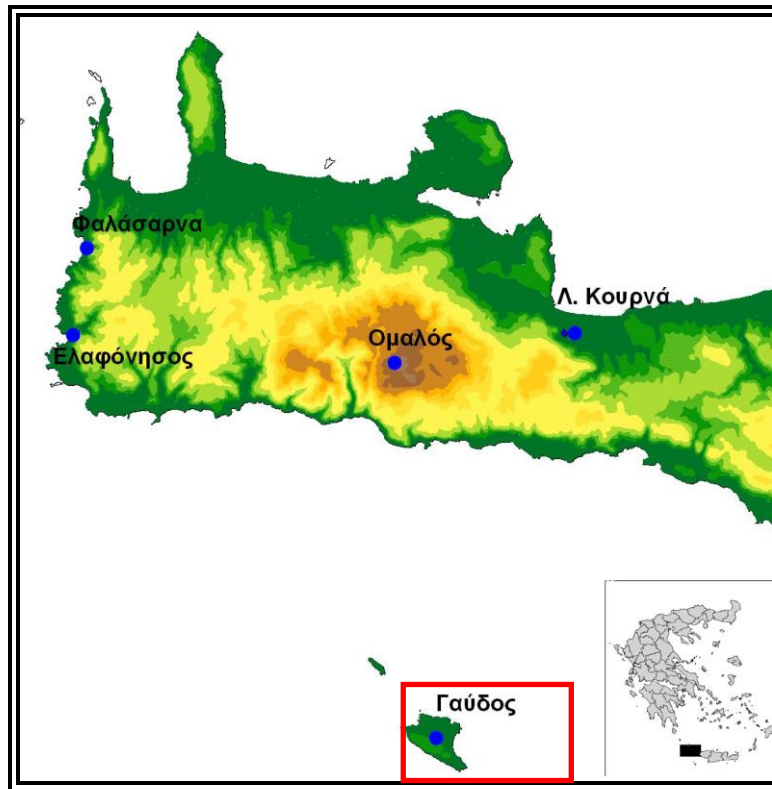
Εικόνα 26: Διάγραμμα μηνιαίων τιμών θερμοκρασίας στη περιοχή του Ομαλού.



## 2.4. Περιγραφή των Νήσων Γαύδος και Γαυδοπούλα

### 2.4.1 Γεωγραφική Τοποθέτηση και Γενικά Χαρακτηριστικά

Η νήσος Γαύδο αποτελεί το νοτιότερο άκρο της Ελλάδας αλλά και της Ευρώπης και απέχει από τα νότια παράλια της Κρήτης περίπου 21 ναυτικά μίλια. Ο πληθυσμός του νησιού δεν ξεπερνά τους 50 μόνιμους κατοίκους, ενώ το καλοκαίρι αυξάνεται σημαντικά λόγω του σημαντικού αριθμού των επισκεπτών.



Εικόνα 27: Χάρτης με τη γεωγραφική θέση του ΜΕΛ στη Νήσο Γαύδο.

### 2.4.2 Μορφολογία

Χαρακτηριστικό της βόρειας παραλίας της Γαύδου είναι οι όρμοι με τις εκτεταμένες αμμοθίνες που εκτείνονται ως την ενδοχώρα και καλύπτουν μέρος των λόφων που περιβάλλουν τους όρμους και που καλύπτονται από μακία αποτελούμενη κυρίως από κέδρους.

Η Γαύδος, έχει έκταση 33 km<sup>2</sup> και τριγωνικό σχήμα με μέγιστο 10 km και πλάτος 5 km. Το μέγιστο υψόμετρο του νησιού είναι τα 386 m και το μέσο υψόμετρο τα 50 m (εικόνα 28, πίνακας 8). Η μέση κλίση της Γαύδου είναι μόλις 4,7 μοίρες, ενώ η περίμετρος της φτάνει τα 44 km. Η βορειοδυτική ακτογραμμή του νησιού είναι ευθύγραμμη με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ και είναι πιθανότατα αποτέλεσμα ρηξιγενούς τεκτονισμού, ενώ το υπόλοιπο τμήμα του νησιού παρουσιάζει μια πολυπλοκότητα στις ακτογραμμές του που υποδεικνύει μικρή σχετικά επίδραση του τεκτονισμού και έντονες διαδικασίες διάβρωσης – απόθεσης υλικών. Το βόρειο τμήμα του νησιού παρουσιάζει χαμηλά υψόμετρα και μικρές κλίσεις, ενώ το νοτιοδυτικό τμήμα του

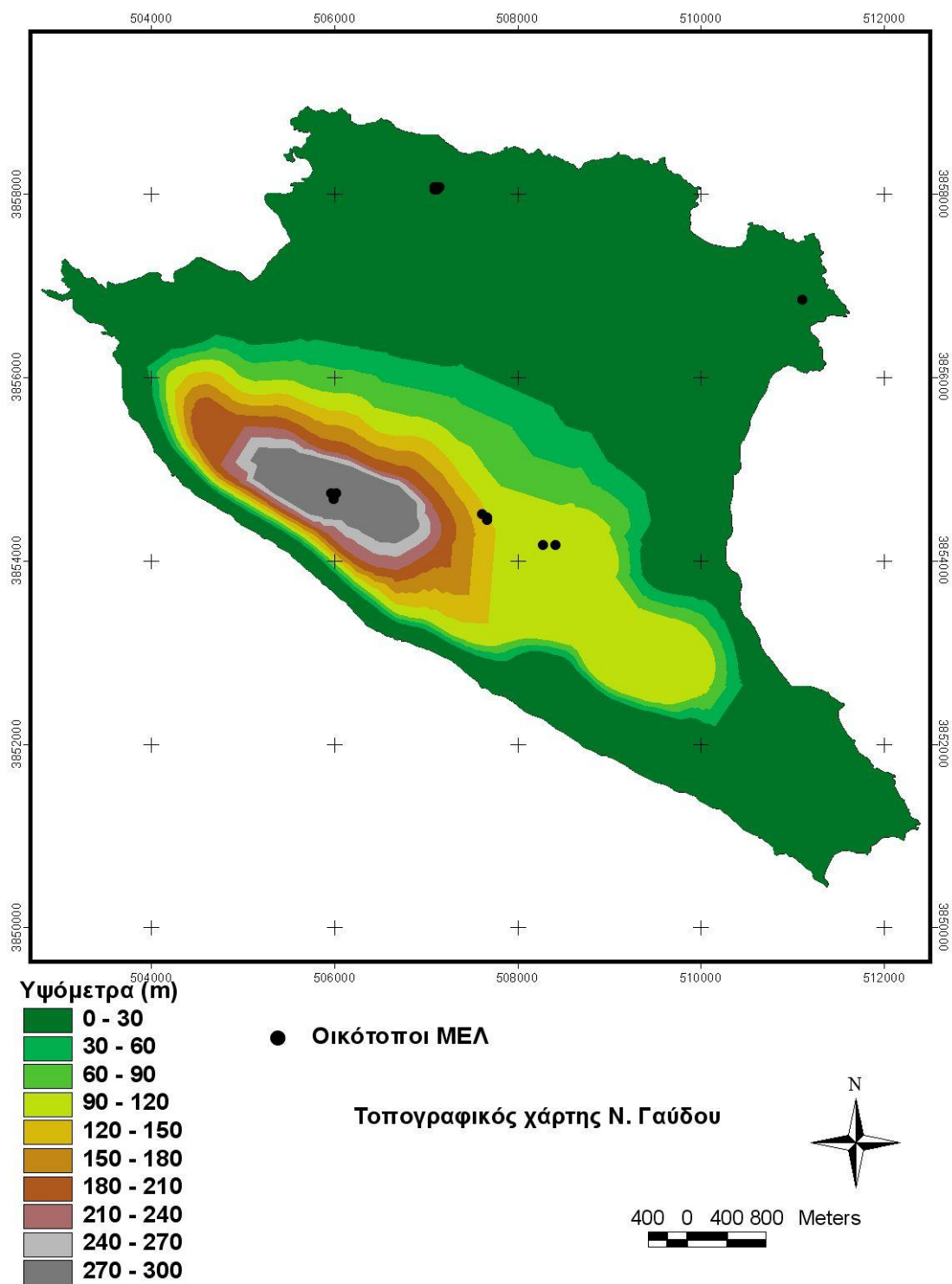
εμφανίζει σημαντικό ύψωμα που φτάνει τα 386m και έχει βασικό άξονα κατά μήκος του πιθανού ρήγματος που προαναφέρθηκε.

Οι θέσεις των ΜΕΛ είναι ομοιογενώς κατανομημένες σχεδόν σε ολόκληρη την επιφάνεια του νησιού και ιδιαίτερα εκεί όπου απαντώνται επιφανειακά τμήματα ασβεστολίθων. Είναι επίσης αξιοσημείωτο ότι τα ΜΕΛ συναντώνται πλησίον της ακτογραμμής καθώς και στα μεγαλύτερα υψόμετρα (εικόνα 28).

**Πίνακας 8:** Στοιχεία μορφομετρίας της Γαύδου.

<b>Μορφομετρικά στοιχεία Ν. Γαύδου</b>	
Περίμετρος (m)	43520
Έκταση (m <sup>2</sup> )	32678000
Μέσο υψόμετρο (m)	46,5
Μέση κλίση (μοίρες)	4,64

Τα ΜΕΛ της Γαύδου, που ονομάζονται και ‘*Αρόλιθοι*’ κατά την τοπική διάλεκτο, βρίσκονται σε μικρά συνήθως βυθίσματα εντός ασβεστολιθικών πετρωμάτων (*rock pools* – εικόνα 30). Η κατά βάθος και επιλεκτική διάβρωση των συγκεκριμένων πετρωμάτων είναι σημαντική, δημιουργώντας έτσι, μορφές με σημαντικό λόγο βάθους/ επιφάνειας. Τα εν λόγω βυθίσματα πληρώνονται, εν μέρει, με αργιλοαμμώδη ιζήματα, στα οποία αναπτύσσονται και οι βιοκοινωνίες των ΜΕΛ.



Εικόνα 28: Τοπογραφικός χάρτης της Γαύδου.





**Εικόνα 29:** Αποψη αρολίθων στη Γαύδο.



**Εικόνα 30:** Αποψη ΜΕΛ στη Γαύδο.

#### 2.4.5 Κλιματολογικές Συνθήκες

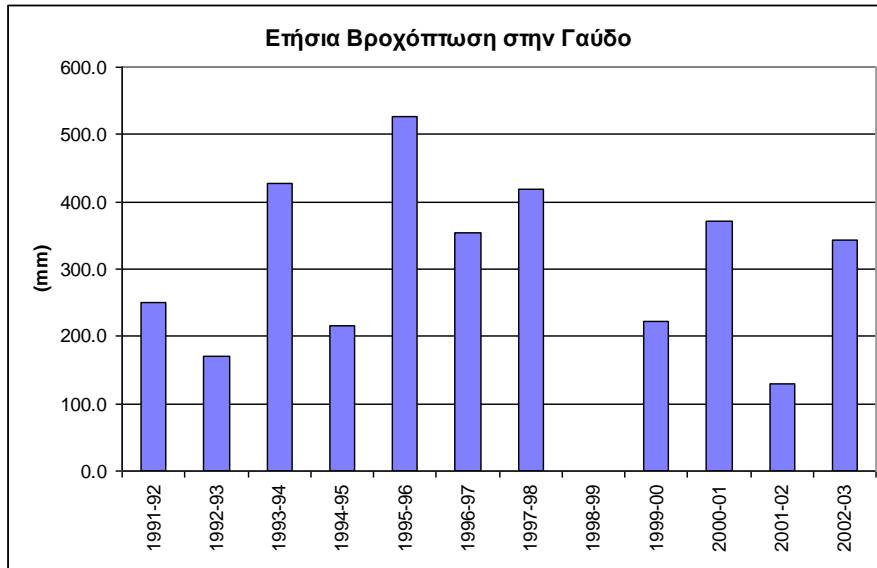
Η βροχόπτωση στην Γαύδο έχει την μικρότερη τιμή σε σχέση με όλες τις περιοχές μελέτης αφού η ετήσια τιμή της φτάνει μόλις τα 311mm (πίνακας 9). Επίσης, παρουσιάζει έντονες υπερετήσεις διακυμάνσεις αφού κατά το διάστημα 1992 έως το 2003 μετρήθηκαν τιμές από 130mm (2001-2002) μέχρι περίπου 550mm (1995-1996, εικόνα 31).

Η υγρή περίοδος του έτους είναι Νοέμβριος-Μάρτιος (87% της ετήσιας βροχόπτωσης) ενώ κατά τους 3 καλοκαιρινούς μήνες δεν παρατηρείται καθόλου βροχή (πίνακας 9, εικόνα 32). Ο Δεκέμβριος είναι ο πιο βροχερός μήνας και ακολουθούν ο Ιανουάριος και ο Νοέμβριος (πίνακας 9). Η παρατεταμένη ανομβρία που ξεπερνά συχνά τις 100 ημέρες σε συνδυασμό και με τις υψηλές θερμοκρασίες που συμβάλλουν στις απώλειες νερού λόγω εξάτμισης δημιουργούν πολύ μικρές υδροπεριόδους στα λιμνία της περιοχής, οι οποίες κυμαίνονται σημαντικά ανάλογα και με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά κάθε λιμνίου.

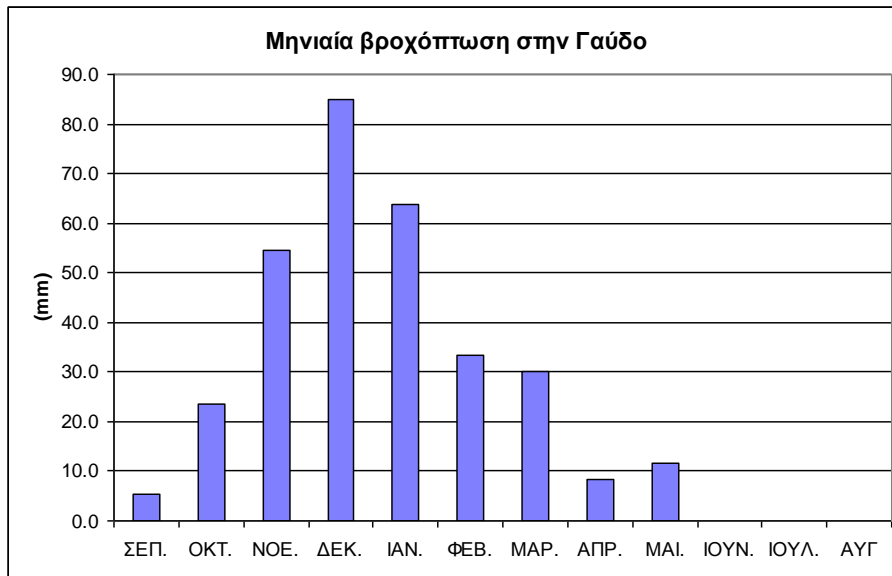
Η θερμοκρασία στην Γαύδο είναι ιδιαίτερος υψηλή σχεδόν καθ' όλη την διάρκεια του έτους και κυμαίνεται από 13°C (στους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο) έως 28°C στους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο (πίνακας 9, εικόνα 33). Η μέση μηνιαία τιμή πέφτει ελάχιστα κάτω από τους 15°C μόνο σε 3 μήνες το χρόνο (Ιανουάριος, Φεβρουάριος και Μάρτιος) ενώ για πάνω από 5 μήνες είναι υψηλότερη από 20°C.

**Πίνακας 9:** Μηνιαία στοιχεία βροχόπτωσης στη Ν. Γαύδο.

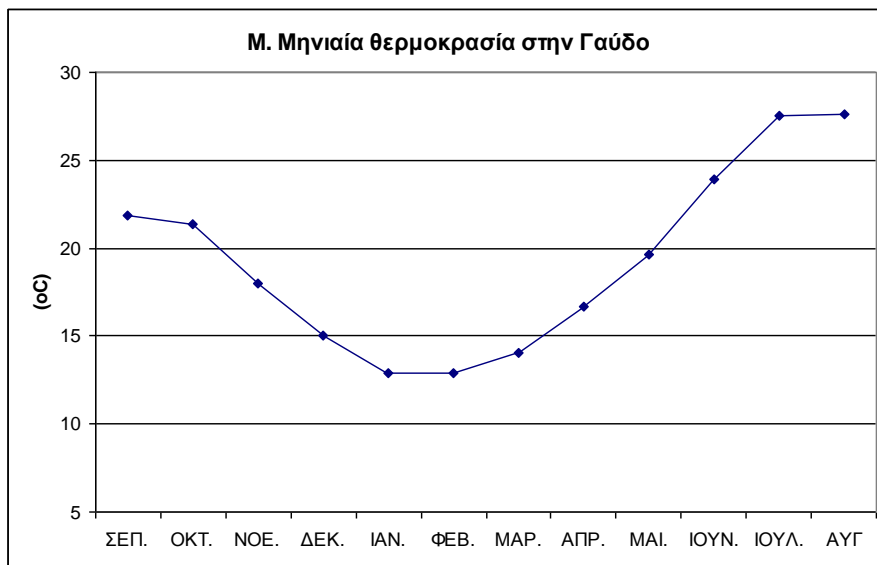
Μήνες	Βροχόπτωση (mm)	%	Θερμοκρασία
<b>ΣΕΠ.</b>	5	2	22
<b>ΟΚΤ.</b>	23	8	21
<b>ΝΟΕ.</b>	55	18	18
<b>ΔΕΚ.</b>	85	27	15
<b>ΙΑΝ.</b>	64	21	13
<b>ΦΕΒ.</b>	33	11	13
<b>ΜΑΡ.</b>	30	10	14
<b>ΑΠΡ.</b>	8	3	17
<b>ΜΑΙ.</b>	12	4	20
<b>ΙΟΥΝ.</b>	0	0	24
<b>ΙΟΥΛ.</b>	0	0	28
<b>ΑΥΓ.</b>	0	0	28
<b>ΣΥΝ.</b>	<b>311</b>	<b>Μ.Ο.</b>	<b>19</b>



**Εικόνα 31:** Διάγραμμα ετήσιας βροχόπτωσης στη Ν. Γαύδο (για τη χρονική περίοδο 1999-2003).



**Εικόνα 32:** Διάγραμμα μηνιαίας βροχόπτωσης στη Ν. Γαύδο.

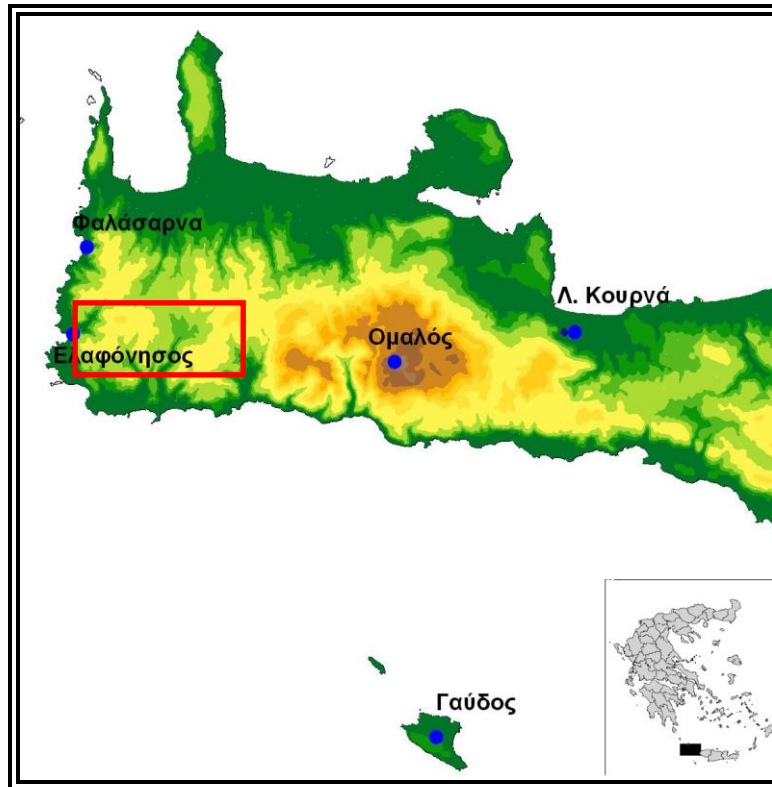


**Εικόνα 33:** Διάγραμμα μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας στη Ν. Γαύδο.

## 2.5. Περιγραφή της Ευρύτερης Περιοχής του Ελαφονησίου

### 2.5.1 Γεωγραφική Τοποθέτηση και Γενικά Χαρακτηριστικά

Η περιοχή του Ελαφονησίου βρίσκεται στη νοτιοδυτική πλευρά της Κρήτης και απέχει περίπου 51Km από την πόλη των Χανίων (σε ευθεία απόσταση). Η περιοχή διοικητικά υπάγεται στο Δήμο Ιναχωρίου και παρουσιάζει σημαντικό ιστορικό, οικολογικό, φυσιολατρικό και τουριστικό ενδιαφέρον.

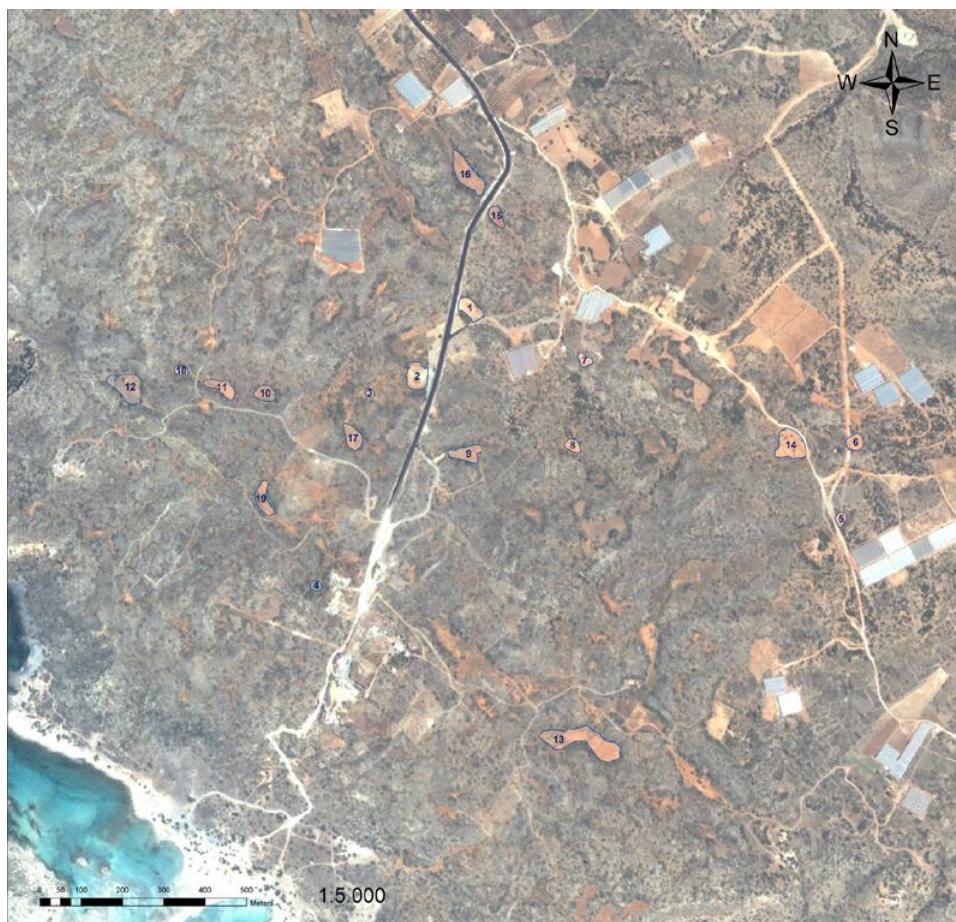


Εικόνα 34: Χάρτης της γεωγραφικής θέσης της περιοχής Ελαφονησίου.

### 2.5.2 Μορφολογία

Η υδρολογική λεκάνη του Ελαφονησίου αποτελείται από μια παράκτια πεδινή ζώνη με υψόμετρα έως 20m και από μια μικρότερη ημιορεινή ζώνη προς τα ανατολικά με υψόμετρα που φτάνουν τα 700m (εικόνα 36). Η έκταση της υδρολογικής λεκάνης είναι περίπου 20km και το μέσο υψόμετρο φτάνει τα 100m περίπου ενώ η μέση κλίση της λεκάνης δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλη αφού φτάνει τα 6,5 μοίρες (πίνακας 10). Το πεδινό τμήμα της υδρολογικής λεκάνης είναι αυτό που φιλοξενεί τον οικότοπο των ΜΕΛ, ο οποίος αναπτύσσεται σε αβαθή ασβεστολιθικά βυθίσματα που έχουν πληρωθεί από αργιλοαμμώδη ιζήματα και τοπικά ονομάζονται ‘Ρουσιές’ (εικόνα 39). Τα εν λόγω βυθίσματα δεν μοιάζουν με τους ‘αρόλιθους’ της Γαύδου αφού είναι μεγαλύτερης κλίμακας (έως και 60m, ενώ της Γαύδου δεν ξεπερνούν τα 3m), ενώ και η ποσότητα του ιζήματος που έχει γεμίσει τα βυθίσματα είναι διαφορετική (πάχος ιζήματος ΜΕΛ Ελαφονησίου: έως 8m ενώ στην Γαύδο δεν ξεπερνά τα 30cm).

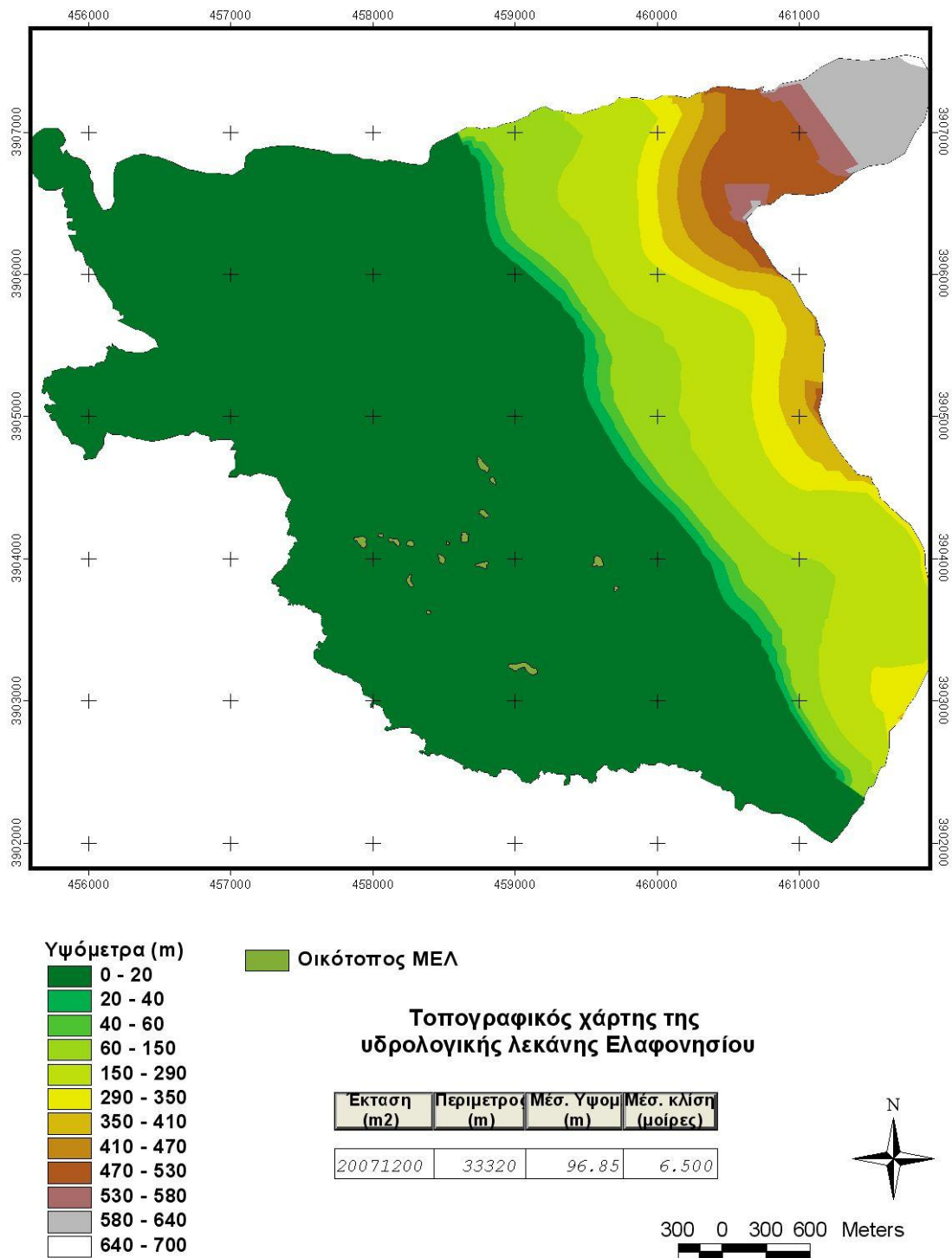




**Εικόνα 35:** Θέσεις ΜΕΛ στο Ελαφονήσι (δορυφορική εικόνα).

**Πίνακας 10:** Στοιχεία μορφομετρίας της υδρολογικής λεκάνης Ελαφονησίου.

<b>Μορφομετρικά στοιχεία υδρολογικής λεκάνης Ελαφονησίου</b>	
Περίμετρος (m)	33320
Έκταση (m <sup>2</sup> )	20071200
Μέσο υψόμετρο (m)	97
Μέση κλίση (μοίρες)	6,5



**Εικόνα 36:** Τοπογραφικός χάρτης της υδρολογικής λεκάνης Ελαφονησίου.



**Εικόνα 37:** Άποψη ΜΕΛ στο Ελαφονήσι.



**Εικόνα 38:** Άποψη ΜΕΛ στο Ελαφονήσι.





**Εικόνα 39:** Άποψη ΜΕΛ στο Ελαφονήσι.



**Εικόνα 40:** Άποψη ΜΕΛ στο Ελαφονήσι.

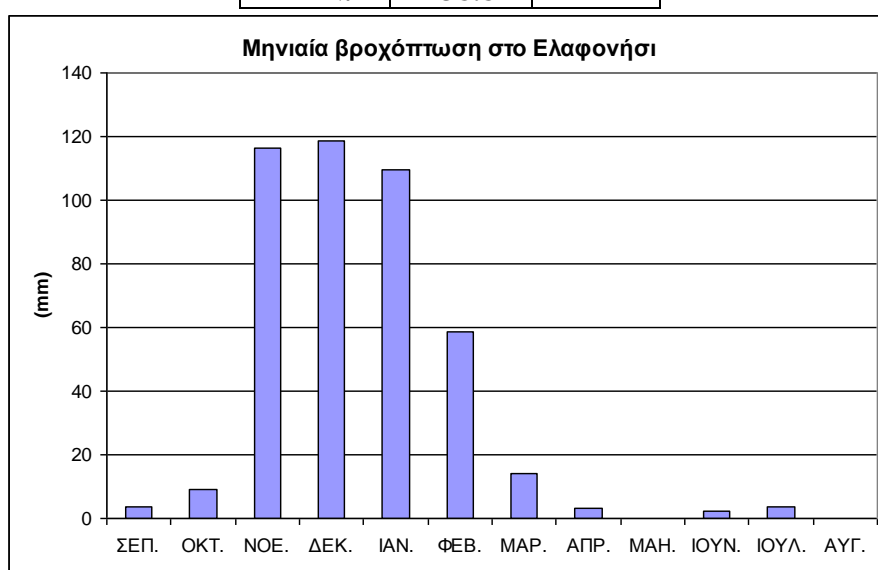
## 2.5.5 Κλιματολογικές Συνθήκες

Το Ελαφονήσι παρουσιάζει την δεύτερη χαμηλότερη ετήσια βροχόπτωση από τις περιοχές μελέτης μετά την Γαύδο (439mm ετησίως) γεγονός που επιβεβαιώνει τον χάρτη των ισοϋετιών καμπύλων που κατασκευάστηκε στην συγκεκριμένη μελέτη και υποδεικνύει μια τάση μείωσης της βροχόπτωσης κατά τον άξονα ΒΔ-ΝΑ με εξαίρεση τους ορεινούς όγκους των Λευκών Όρεων.

Σημαντικό ποσοστό της ετήσιας βροχόπτωσης πέφτει κατά την περίοδο Νοεμβρίου-Ιανουαρίου (77%) ενώ άνυδρο είναι το διάστημα Μαρτίου-Οκτωβρίου (9% της ετήσιας τιμής, πίνακας 11). Ο Μάιος και ο Ιούνιος είναι οι πιο ξηροί μήνες, αφού δεν παρατηρείται καθόλου βροχόπτωση ενώ και κατά τους υπόλοιπους μήνες της άνυδρης περιόδου οι μηνιαίες τιμές είναι χαμηλότερες από 10mm ανά μήνα (εικόνα 40).

**Πίνακας 11:** Στοιχεία μηνιαίας βροχόπτωσης στη περιοχή Ελαφονησίου.

ΜΗΝΕΣ	ΒΡΟΧΗ	
	mm	%
ΣΕΠ.	3.67	1
ΟΚΤ.	9.14	2
ΝΟΕ.	116.46	27
ΔΕΚ.	118.5	27
ΙΑΝ.	109.5	25
ΦΕΒ.	58.5	13
ΜΑΡ.	14	3
ΑΠΡ.	3	1
ΜΑΙ.	0	0
ΙΟΥΝ.	2.5	1
ΙΟΥΛ.	3.5	1
ΑΥΓ.	0	0
<b>ΣΥΝ.</b>	<b>438.8</b>	

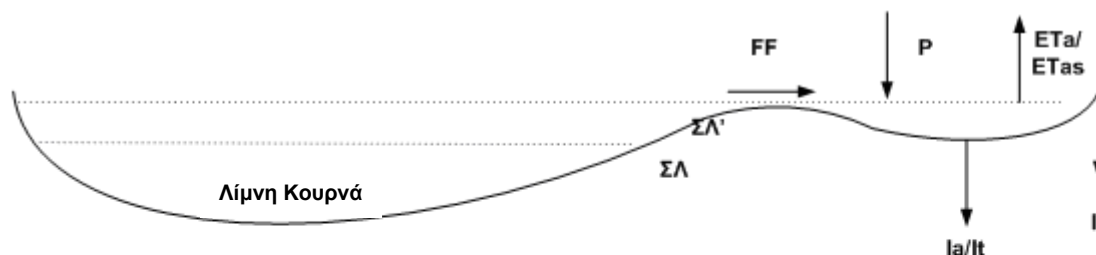


**Εικόνα 40:** Διάγραμμα μηνιαίας βροχόπτωσης στο Ελαφονήσι.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

### 3.1 Μαθηματικό ομοίωμα για το ΜΕΛ στη λίμνη Κουρνά

Το λιμνίο στην περιοχή της Κουρνά βρίσκεται στην ακτή της λίμνης και εξαρτάται σημαντικά από αυτή, καθώς τροφοδοτείται κυρίως από την πλημμυρική απορροή της λίμνης όταν αυξάνεται η στάθμη της λίμνης κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Το ίζημα στην περιοχή του λιμνίου παρουσιάζει περιορισμένη ικανότητα διήθησης, επομένως, οι κύριες υδρολογικές διεργασίες είναι η πλημμυρική απορροή από τη λίμνη, οι βροχοπτώσεις, η εξάτμιση και η διήθηση.



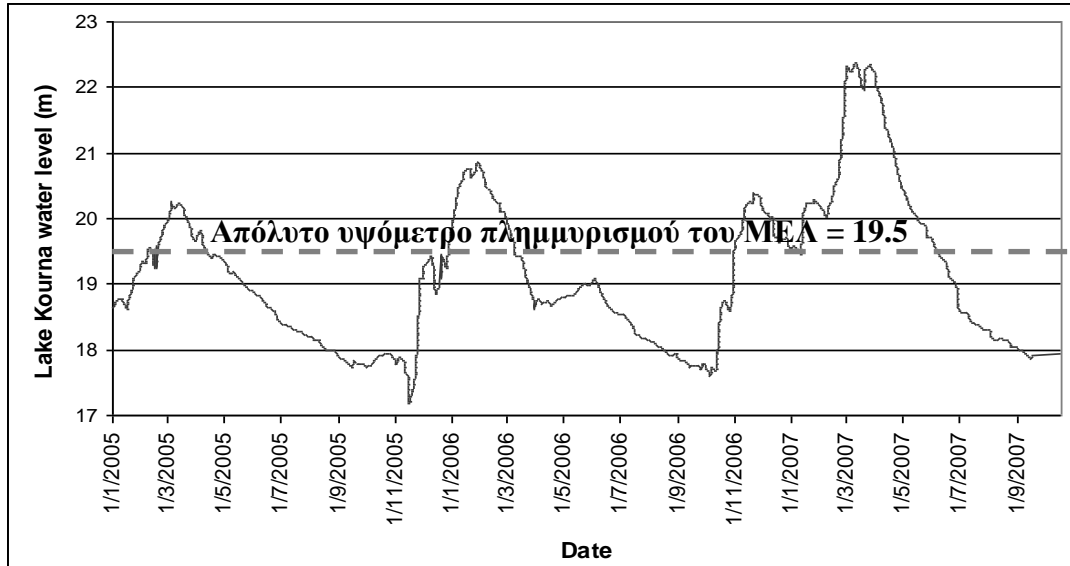
Υδροφόρος ορίζοντας

**Εικόνα 41:** Σχηματικό διάγραμμα του εννοιολογικού μοντέλου που περιγράφει τον υδρολογικό κύκλο του ΜΕΛ στη λίμνη Κουρνά (από Σταμάτη και Νικολαΐδης, 2006)

Η εικόνα 41 παρουσιάζει τις κύριες υδρολογικές διεργασίες που έχουν επιπτώσεις στην υδροπερίοδο του ΜΕΛ, όπου:

P: Ατμοσφαιρική κατακρήμνιση, ETa: Εξάτμιση - λιμνίο, ETS: Πραγματική εξατμισοδιαπνοή - χερσαία, Ia: Διήθηση - υδατική, It: Διήθηση - χερσαία, FF: Πλημμυρική απορροή

Επομένως, η υδροπερίοδος του ΜΕΛ στη λίμνη Κουρνά εξαρτάται κυρίως από τη διακύμανση της στάθμης της λίμνης, δεδομένου ότι η πλημμυρική απορροή της λίμνης αποτελεί την κύρια πηγή νερού για το ΜΕΛ. Επομένως θεωρήθηκε ότι όταν η στάθμη της λίμνης ήταν πάνω από το υψόμετρο ολοκληρωτικής κάλυψης του ΜΕΛ από το νερό (19.5 m), κατόπιν το ΜΕΛ ήταν σε πλημμυρική φάση (εικόνα 42).



**Εικόνα 42:** Διακύμανση στάθμης Λ. Κουρνά και η τιμή-κατώφλι της στάθμης πάνω από την οποία το ΜΕΛ είναι πλημμυρισμένο (υγρή φάση ΜΕΛ)

Για το λιμνίο στη λίμνη Κουρνά, έχει χρησιμοποιηθεί το λογισμικό προσομοίωσης MIKE SHE, που έχει αναπτυχθεί από Abbott κ.ά. (1986) και είναι ένα ενδεδειγμένο, ντετερμινιστικό, σε φυσική-βάση, χωρικά κατανομημένο υδρολογικό ομοίωμα που έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως για τη μελέτη ποικίλων υδατικών και περιβαλλοντικών προβλημάτων κάτω από διαφορετικά κλιματικά και υδρολογικά καθεστώτα (Refsgaard και Storm, 1995 σε Thompson κ.ά, 2004).

Η περίοδος προσομοίωσης κάλυψε ένα υδρολογικό έτος (2005-2006), για το οποίο υπήρξαν διαθέσιμα υδρολογικά (στάθμες ύδατος της λίμνης) και μετεωρολογικά στοιχεία. Για το υδρολογικό ομοίωμα εξετάστηκε η προσομοίωση σε ημερήσιο χρονικό βήμα. Η κατευθυντήρια αρχή για την παραμετροποίηση ήταν να κατασκευαστεί ένα απλό (κατά το δυνατόν) μαθηματικό ομοίωμα με όσο λιγότερες παραμέτρους βαθμονόμησης (Refsgaard, 1997). Τοπογραφικοί, εδοφικοί και γεωλογικοί χάρτες καθώς και χάρτες χρήσεων γης προεπεξεργάστηκαν σε λογισμικό GIS και κατόπιν εισήχθησαν στο ομοίωμα. Χρονοσειρές ατμοσφαιρικής κατακρήμνισης, εξάτμισης/εξατμισοδιαπνοής και αντλήσεων χρησιμοποιήθηκαν για να καθορίσουν τη χρονική μεταβλητότητα.

Η περιοχή επικράτειας της υδρολογικής λεκάνης στο ομοίωμα καθορίστηκε ομοιόμορφα σε λεπτομερές κανάβο μεγέθους 50 x 50 m. Το ψηφιακό μοντέλο βαθυμετρίας (DBM) της λίμνης έχει αναπτυχθεί με τη διαμόρφωση σε GIS των ισοβαθών της λίμνης (ισοδιάστασης 2 m, που ψηφιοποιήθηκαν από τους τοπογραφικούς χάρτες 1:5,000 της ΓΥΣ).

Για κάθε χρήση γης στην υδρολογική λεκάνη (που προέρχεται από τη βάση δεδομένων του CORINE, 2000) επιλέχθηκε από μια βάση δεδομένων ο κατάλληλος τύπος βλάστησης/καλλιέργειας/χρήσης γης μαζί με τη σχετική χρονοσειρά δείκτη έκτασης φυλλώματος φύλλων (LAI) και βάθους ριζώματος (RD).

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί ομαδοποιήθηκαν λαμβάνοντας υπόψιν τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά τους και ιδιαίτερα τη διαπερατότητά τους (υψηλή, μέση και χαμηλή) προκειμένου να παραμείνει το ομοίωμα όσο το δυνατόν απλούστερο. Η γεωμετρία των γεωλογικών σχηματισμών καθορίστηκε βάσει των διαθέσιμων γεωλογικών διατομών και γεωλογικών χαρτών.

Η στάθμη της λίμνης χρησιμοποιήθηκε ως “στόχος βαθμολόγησης”. Η βαθμονόμηση του ομοιώματος διεξήχθη με την αλλαγή των τιμών υδραυλικής αγωγιμότητας και αποθήκευσης έως ότου οι προσομοιωμένες στάθμες της λίμνης ταιριάζουν με τις παρατηρηθείσες. Δεκαπέντε σημεία αναφοράς που διανεμήθηκαν ομοιόμορφα (~200 m απόσταση) μέσα στη λίμνη (~1 σημείο / 3.8 εκτάρια) χρησιμοποιήθηκαν για τη βαθμονόμηση, δεδομένου ότι δεν ήταν δυνατό να γίνει έλεγχος της βαθμονόμησης σε κάθε κελί του κανάβου (230 κελιά στη λίμνη). Πρόσθετα σημεία ελέγχου χρησιμοποιήθηκαν για να εξετάσουν την απόδοση του ομοιώματος πέρα από το χερσαίο κομμάτι της υδρολογικής λεκάνης και καθόλη τη διαδικασία της βαθμονόμησης.

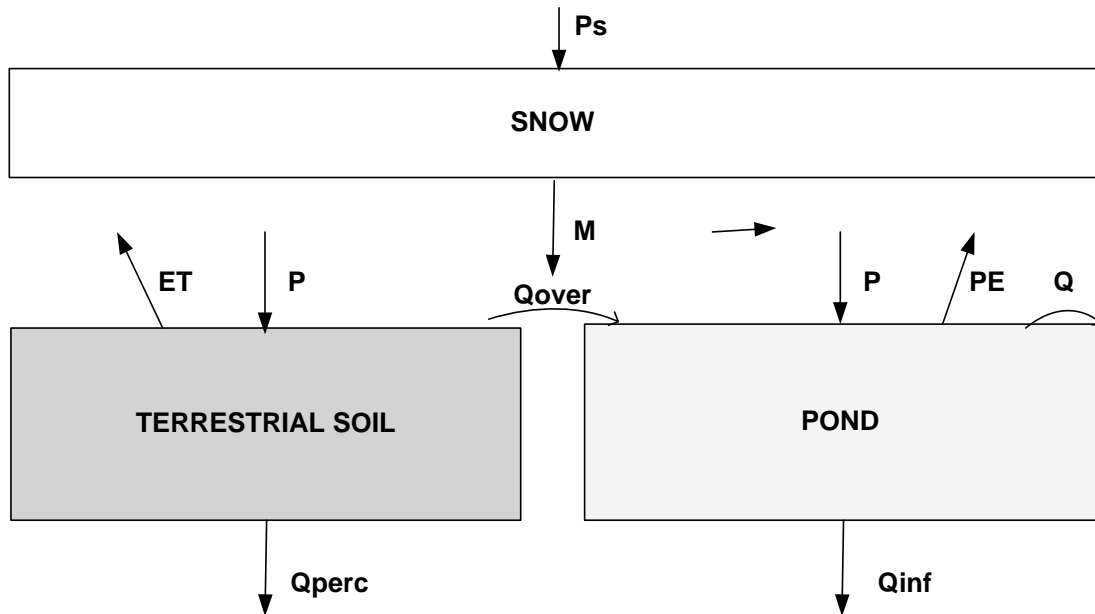
Το μαθηματικό ομοίωμα βαθμονομήθηκε για το υδρολογικό έτος 2005-2006 και επαληθεύθηκε χρονικά για δύο επιπλέον περιόδους (μέθοδος split sample test) (i) η περίοδος από τον Απρίλιο μέχρι το Σεπτέμβριο 2005 (έξι μήνες πριν από την έναρξη της αρχικής περιόδου βαθμολόγησης) και (ii) το επόμενο υδρολογικό έτος (2006-2007), και για τις οποίες υπήρχαν δεδομένα. Στατιστικά κριτήρια που βασίζονται σε συσχετίσεις και στο στατιστικό λάθος χρησιμοποιήθηκαν στη συνέχεια για να αξιολογήσουν τη βαθμονόμηση και επικύρωση του ομοιώματος.

### 3.2 Μαθηματικό ομοίωμα για το ΜΕΛ στον Ομαλό

Στην περιοχή του Ομαλού όπου βρίσκεται το λιμνίο, το βάθος του υδροφορέα κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού βρίσκεται περίπου σε 18 m από την επιφάνεια του εδάφους, ενώ κατά τη διάρκεια του χειμώνα σε 4 m. Κατά συνέπεια, δεν υφίσταται καμία άμεση αλληλεπίδραση μεταξύ των υπόγειων υδάτων και του επιφανειακού νερού της λίμνης. Η άμεση λεκάνη απορροής του λιμνίου χαρακτηρίζεται ως μικρή λόγω της τοπικής τοπογραφίας (χαμηλές κλίσεις) και επομένως η επιφανειακή εισροή αναμένεται να έχει ελάχιστη συμβολή στην αποθήκευση νερού του ΜΕΛ. Πειράματα ικανότητας διήθησης που πραγματοποιήθηκαν *in situ* από Σταμάτη και Νικολαΐδης (2006) έδειξαν ότι στην απόσταση 8 m από την υγρή περίμετρο του λιμνίου, η ταχύτητα διήθησης ήταν χαμηλή, της τάξεως των 0.014 cm/min, ενώ στην όχθη του λιμνίου η ταχύτητα διήθησης ήταν μηδενική. Το εύρημα αυτό δικαιολογεί τις παρατηρήσεις ότι το λιμνίο του Ομαλού διατηρεί νερό κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών (πιο μακρά υδροπερίοδο). Κατά συνέπεια, αν και οι διαδικασίες διήθησης/κατείδυσης δεν μπορούν να παραλειφθούν, οι κύριες υδρολογικές διεργασίες είναι η ατμοσφαιρική κατακρήμνιση/χιονοπτώσεις, η εξάτμιση, η εξατμισοδιαπνοή από το χερσαίο κομμάτι του λιμνίου και η επιφανειακή εισροή



(εικόνα 43). Κατά συνέπεια, το ομοίωμα υποθέτει τρία διαμερίσματα: αυτό του χιονιού, του χερσαίου ιζήματος (άμεση λεκάνη απορροής) και του λιμνίου.



**Εικόνα 43:** Σχηματικό διάγραμμα του εννοιολογικού μοντέλου που περιγράφει τον υδρολογικό κύκλο του ΜΕΛ στον Ομαλό (Σταμάτη και Νικολαΐδης, 2006)

Η εικόνα 42 παρουσιάζει τις κύριες υδρολογικές διεργασίες που έχουν επιπτώσεις στην υδροπερίοδο του ΜΕΛ, όπου:

P/Ps: Ατμοσφαιρική κατακρήμνιση / χιονόπτωση, M: Λιώσιμο χιονιού, ET: Εξάτμισοδιαπνοή - χερσαία, Qinf : Διήθηση – λιμνίο (κεντρικά ή περιφερειακά), Qperc: Διήθηση/κατεΐσδυση – χερσαία, Qover: Επιφανειακή εισροή, Q: Πλημμυρική παροχή

Η εννοιολογική προσέγγιση του υδρολογικού κύκλου του ΜΕΛ στον Ομαλό επέτρεψε την ανάπτυξη ενός μαθηματικού ομοιώματος σε λογισμικό Matlab, που ονομάστηκε HPM, για τον προσδιορισμό της υδροπεριόδου του ΜΕΛ.

Παράμετροι εισόδου στο ομοίωμα HPM, όπως η επιφανειακή έκταση και οι όγκοι του χερσαίου ιζήματος και το νερό του λιμνίου προέκυψε από το τρισδιάστατο μοντέλο βαθυμετρίας/τοπογραφίας που αναπτύχθηκε σε λογισμικό GIS από τους Σταμάτη και Νικολαΐδης (2006).

Το ομοίωμα επιλύει τα ισοζύγια αποθήκευσης νερού για τρία διαμερίσματα (χιόνι, χερσαίο ίζημα και λιμνίο) με τη μέθοδο Euler σε καθημερινό χρονικό βήμα.

Το υδατικό ισοζύγιο για το διαμέρισμα του λιμνίου δίδεται από την εξίσωση 8, ενώ οι εξισώσεις για τον υπολογισμό της αποθήκευσης της διήθησης και της εξάτμισης από την επιφάνεια του λιμνίου δίδονται από τις εξισώσεις 9 και 10, αντίστοιχα. Η μεταβολή της αποθήκευσης νερού του λιμνίου ( $V_p$ ) με το χρόνο είναι ίση με τη διαφορά της εξάτμισης, της διήθησης και της εκροής (πλημμυρική απορροή) από το σύνολο της ατμοσφαιρικής κατακρήμνισης και του λιώσιμου του χιονιού (Σταμάτη και Νικολαΐδης, 2006).

$$\frac{dV_p}{dt} = \underbrace{Mst}_{\text{snowmelt}} + \underbrace{Pp}_{\text{ra inf all}} + \underbrace{Qt}_{\text{overland inf low}} - \underbrace{Ep}_{\text{evapotranspiration}} - \underbrace{It}_{\text{inf iltration}} - \underbrace{Qp}_{\text{flood discharge}} \quad (8)$$

### 3.3 Μαθηματικό ομοίωμα για τα ΜΕΛ στο Ελαφονήσι

Όπως και για το λιμνίο στον Ομαλό, το εννοιολογικό μοντέλο και η λεπτομερής μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τον προσδιορισμό της υδροπεριόδου των λιμνίων στο Ελαφονήσι με τη χρήση του μοντέλου “HYDRO-POND MODEL” σε περιβάλλον MATLAB παρουσιάζεται από τους Σταμάτη και Νικολαΐδη (2006). Εν συντομία, το μοντέλο επιλύει τα ισοζύγια του όγκου νερού για τρία διαμερίσματα (χιόνι, χερσαίο ίζημα, λιμνίο) με τη μέθοδο Euler και με τη χρήση εξισώσεων που περιγράφουν τις υδρολογικές διαδικασίες κάθε διαμερίσματος, ενώ το χρονικό βήμα που χρησιμοποιήθηκε στις προσομοιώσεις είναι ημερήσιο. Για τις ανάγκες της βαθμονόμησης και προσομοίωσης χρησιμοποιήθηκαν υδρολογικά και μετεωρολογικά δεδομένα από μετεωρολογικούς σταθμούς στο Ελαφονήσι, στη Χρυσοκαλίτισσα και στην Παλαιόχωρα του Ν. Χανίων, η εξάτμιση υπολογίστηκε με τη μέθοδο Penman και η εξατμισοδιαπνοή με τη μέθοδο Hamon.

### 3.4 Μαθηματικό ομοίωμα για τα ΜΕΛ στη Γαύδο

Το εννοιολογικό μοντέλο και η λεπτομερής μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τον προσδιορισμό της υδροπεριόδου των λιμνίων στη Γαύδο με τη χρήση της εξίσωσης του απλού ισοζυγίου παρουσιάζεται από τους Σταμάτη και Νικολαΐδη (2006). Το χρονικό βήμα που χρησιμοποιήθηκε στις προσομοιώσεις είναι ημερήσιο. Για τις ανάγκες της προσομοίωσης χρησιμοποιήθηκαν υδρολογικά και μετεωρολογικά δεδομένα από μετεωρολογικούς σταθμούς στη Γαύδο, στο Ελαφονήσι και στην Παλαιόχωρα του Ν. Χανίων, ενώ η εξάτμιση υπολογίστηκε με τη μέθοδο Penman.

Όσον αφορά τα λιμνία στη Γαύδο έγινε εκτίμηση της υδροπεριόδου των λιμνίων για τα υδρολογικά έτη 1997-1998, 1999-2000, 2000-2001, 2006-2007 και 2007-2008 και για τρεις διαφορετικές κατηγορίες μεγέθους των λιμνίων (μικρότερα του 0.1 m<sup>3</sup>, μεταξύ 0.1 m<sup>3</sup> και 1 m<sup>3</sup> και για μεγαλύτερα του 1 m<sup>3</sup>).

### 3.5 Σενάρια

Προκειμένου να υπάρξει μια ένδειξη της επίπτωσης των κλιματικών αλλαγών στη στάθμη της Λ. Κουρνά (και συνεπώς στο παρακείμενο ΜΕΛ), και στη στάθμη του ΜΕΛ στον Ομαλό, δύο μελλοντικά κλιματικά σενάρια εφαρμόστηκαν σύμφωνα με τις προβλέψεις για το κλίμα του IPCC (2007):

- Ένα «απαισιόδοξο» σενάριο IPCC A2 για αύξηση της θερμοκρασίας κατά 3.5-4oC (με αντίστοιχη αύξηση της εξάτμισης και της εξατμισοδιαπνοής) και μείωση της ατμοσφαιρικής κατακρήμνισης κατά 0.25 mm/day ή 25% μέχρι το έτος 2090,
- ένα σενάριο IPCC A1B για αύξηση της θερμοκρασίας κατά 3oC (με αντίστοιχη αύξηση της εξάτμισης και της εξατμισοδιαπνοής) και μείωση της ατμοσφαιρικής κατακρήμνισης κατά 25% μέχρι το έτος 2090, και
- ένα περισσότερο «αισιόδοξο» σενάριο IPCC B2 ή B1 για αύξηση της θερμοκρασίας κατά 2.5oC (με αντίστοιχη αύξηση της εξάτμισης και της εξατμισοδιαπνοής) και μείωση της ατμοσφαιρικής κατακρήμνισης κατά 0.25 mm/day ή 25% μέχρι το έτος 2090.

Οι μόνες μεταβλητές που άλλαξαν στα ομοιώματα ήταν η ατμοσφαιρική κατακρήμνιση, η εξάτμιση και η εξατμισοδιαπνοή. Κατόπιν τα αποτελέσματα αξιολογήθηκαν με σύγκριση των προσομοιωμένων στάθμων με το σύγχρονο σενάριο (υφιστάμενη κατάσταση).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### 4.1 Αποτελέσματα του χωρικά κατανεμημένου υδρολογικού ομοιώματος για το ΜΕΛ στη Λ. Κουρνά και εφαρμογή των κλιματικών σεναρίων IPCC

Η μέση τιμή της υδροπεριόδου για το υδρολογικό έτος 2005-2006 είναι 72 ημέρες, ενώ για το επόμενο υδρολογικό έτος 2006-2007 υπολογίστηκε σε 213 ημέρες. Ο πίνακας 12 παρουσιάζει τιμές υδροπεριόδου για τα ημερολογιακά έτη 1996-1999 και για τα υδρολογικά έτη 2005-2006 και 2006-2007.

**Πίνακας 12:** Εκτίμηση της υδροπεριόδου του ΜΕΛ της Λ. Κουρνά

Περίοδος προσομοίωσης	Υδροπερίοδος (ημέρες)
1996*	70
1997*	77
1998*	21
1999*	76
2005-2006	72
2006-2007	213

\*Σταμάτη και Νικολαΐδης, 2006

Το μαθηματικό ομοίωμα εξετάστηκε επίσης σε ετήσια βάση για να εξασφαλίσει τη συνολική απόδοσή του σε όλη την επιφάνεια της λίμνης συγκρίνοντας την προσομοιωμένη μεταβολή της επιφανειακής αποθήκευσης (της λίμνης) όπως προέκυψε από το υδατικό ισοζύγιο με την αναμενόμενη μεταβολή της αποθήκευσης της λίμνης που υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας το μοντέλο τοπογραφίας/βαθυμετρίας της λίμνης σε λογισμικό GIS. Τα αποτελέσματα αυτής της προσέγγισης ήταν παρόμοια και επομένως επετεύχθη ικανοποιητική συμπεριφορά του υδρολογικού ομοιώματος για την επιφάνεια της Λ. Κουρνά.

Ο πίνακας 13 παρουσιάζει τη σύγκριση μεταξύ της μεταβολής της παρατηρημένης και της προσομοιωμένης στάθμης από την αρχή έως το τέλος της προσομοίωσης, καθώς και τις τιμές υδροπεριόδου για την περίοδο βαθμονόμησης 2005-2006 σε επιλεγμένα σημεία δέκτες βαθμονόμησης στη λίμνη. Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν προσέγγιση μεταξύ της μέσης τιμής υδροπεριόδου που προέκυψε από την προσομοίωση (67 ημέρες) και της παρατηρημένης (72 ημέρες).

**Πίνακας 13:** Σύγκριση της προσομοιωμένης και παρατηρηθείσας στάθμης και υδροπεριόδου για το ΜΕΛ στη Λ. Κουρνά και την περίοδο βαθμονόμησης (υδρολογικό έτος 2005-2006)

	Παρατηρημένη 2005-2006			Προσομοιωμένη 2005-2006		
	Στάθμη στο τέλος της προσομοίωσης (m)	Μεταβολή στάθμης από αρχή έως τέλος προσομοίωσης (m)	Υδροπερίοδος (ημέρες)	Στάθμη στο τέλος της προσομοίωσης (m)	Μεταβολή στάθμης από αρχή έως τέλος προσομοίωσης (m)	Υδροπερίοδος (ημέρες)
<b>M.O:</b>	<b>17.746</b>	<b>-0.013</b>	<b>72</b>	<b>17.48</b>	<b>-0.17</b>	<b>75</b>

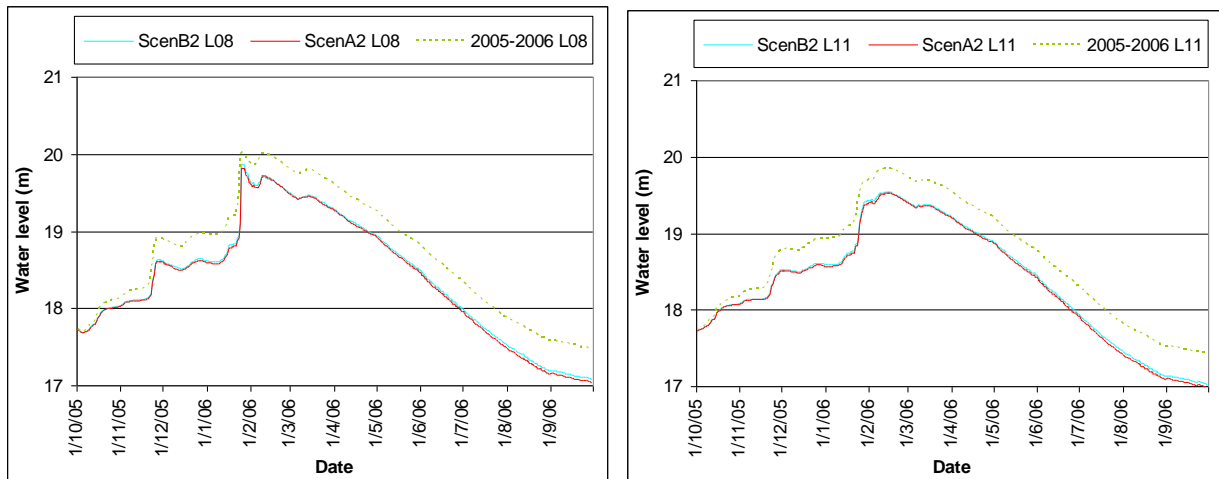
Ο πίνακας 14 παρουσιάζει σύγκριση μεταξύ της μεταβολής της παρατηρημένης και της προσομοιωμένης στάθμης από την αρχή έως το τέλος της προσομοίωσης, καθώς και τις τιμές υδροπεριόδου για την περίοδο επαλήθευσης 2006-2007 στα επιλεγμένα σημεία-δέκτες βαθμονόμησης στη λίμνη. Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν προσέγγιση μεταξύ της μέσης τιμής υδροπεριόδου που προέκυψε από την προσομοίωση (224 ημέρες) και της παρατηρημένης (213 ημέρες).

**Πίνακας 14:** Σύγκριση της προσομοιωμένης και της παρατηρηθείσας στάθμης και υδροπεριόδου του ΜΕΛ στη Λ. Κουρνά για την περίοδο επαλήθευσης (υδρολογικό έτος 2006-2007) στα σημεία βαθμονόμησης (L04, L07, L08, L09, L10)

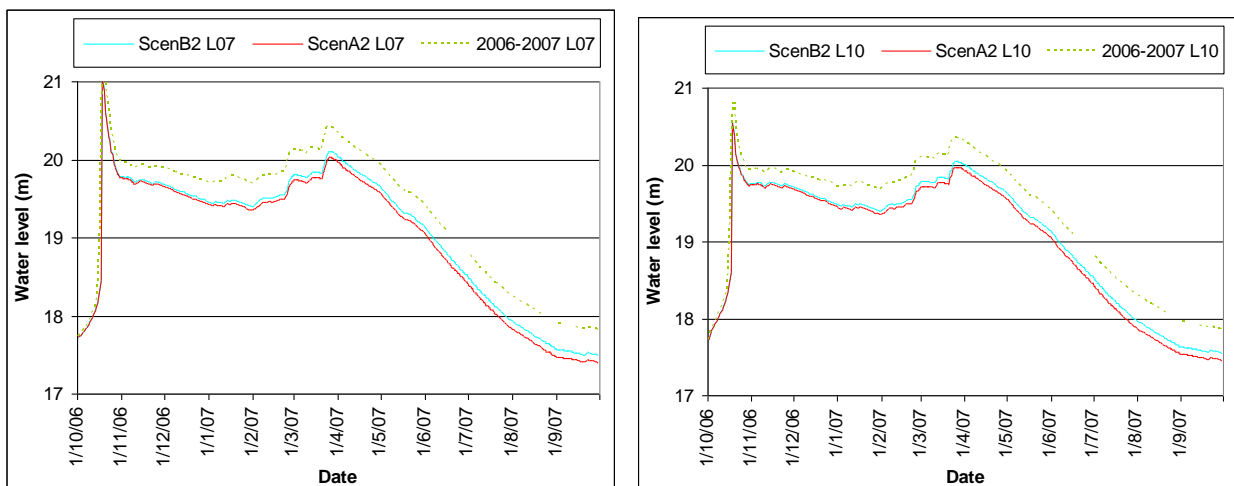
	Παρατηρημένη 2006-2007			Προσομοιωμένη 2006-2007		
	Στάθμη στο τέλος της προσομοίωσης (m)	Μεταβολή στάθμης από αρχή έως τέλος προσομοίωσης (m)	Υδροπερίοδος (ημέρες)	Στάθμη στο τέλος της προσομοίωσης (m)	Μεταβολή στάθμης από αρχή έως τέλος προσομοίωσης (m)	Υδροπερίοδος (ημέρες)
<b>Μ.Ο:</b>	<b>17.926</b>	<b>0.193</b>	<b>213</b>	<b>17.92</b>	<b>0.19</b>	<b>224</b>



Η επίπτωση των κλιματικών αλλαγών στη στάθμη της Λ. Κουρνά (και συνεπώς στο παρακείμενο ΜΕΛ) και στη στάθμη του ΜΕΛ στον Ομαλό, αξιολογήθηκε με την εφαρμογή δύο μελλοντικών κλιματικών σεναρίων (IPCC B2 και A2) τόσο στο βαθμονομημένο ομοίωμα για το 2005-2006 (σενάριο 1 υφιστάμενης κατάστασης) και το επαληθευμένο ομοίωμα για το 2006-2007 (σενάριο 2 βασικών γραμμών). Οι εικόνες 44 και 45 παρουσιάζουν γραφική άποψη των αποτελεσμάτων της εφαρμογής των σεναρίων στις στάθμες της Λ. Κουρνά για τις περιόδους 2005-2006 (σημεία βαθμονόμησης L08 και L11) και 2006-2007 (σημεία βαθμονόμησης L07 και L10), αντίστοιχα.



**Εικόνα 44:** Σύγκριση της προσομοιωμένης στάθμης της Λ. Κουρνά για την περίοδο βαθμονόμησης 2005-2006 με τις προβλέψεις IPCC για τα σενάρια B2 και A2 στους δέκτες βαθμονόμησης L08 και L11



**Εικόνα 45:** Σύγκριση της προσομοιωμένης στάθμης της Λ. Κουρνά για την περίοδο επαλήθευσης 2006-2007 με τις προβλέψεις IPCC για τα σενάρια B2 και A2 στους δέκτες βαθμονόμησης L07 και L10

Οι πίνακες 15 και 16 παρουσιάζουν σύγκριση μεταξύ των προβλεφθεισών στάθμων και της υδροπεριόδου για τα IPCC σενάρια B2 και A2 με τα σενάρια υφιστάμενης κατάστασης για τις περιόδους βαθμονόμησης και επαλήθευσης, 2005-2006 και 2006-2007, αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζουν και για τα δύο σενάρια υφιστάμενης κατάστασης που εφαρμόστηκαν, μείωση 52 ημερών για το

IPCC σενάριο B2, ενώ για το IPCC σενάριο A2, προβλέπεται μείωση 55 και 67 ημερών για τα σενάρια 1 και 2 υφιστάμενης κατάστασης, αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα επίσης καταδεικνύουν τη συμφωνία μεταξύ της μείωσης της στάθμης που προβλέπεται για το σενάριο IPCC B2 σε σχέση με τα σενάρια υφιστάμενης κατάστασης 1 (39 cm) και 2 (31 cm), καθώς επίσης και για το σενάριο IPCC A2 (43 cm και 41 cm, αντίστοιχα, για τα σενάρια 1 και 2 υφιστάμενης κατάστασης). Η μεγάλη διαφορά μεταξύ των τιμών υδροπεριόδου (ή στάθμης) για τα δύο σενάρια υφιστάμενης κατάστασης 1 και 2 και η συμφωνία της σχετικής προβλεφθείσας μείωσης των τιμών υδροπεριόδου (ή στάθμης) για τα σενάρια B2 και A2 παρέχουν μια ακόμα ένδειξη της ικανοποιητικής βαθμονόμησης και επαλήθευσης του μαθηματικού ομοιώματος.

**Πίνακας 15:** Σύγκριση της προσομοίωσης για το 2005-2006 και των προβλέψεων IPCC (σενάρια B2 και A2) για τη στάθμη του ΜΕΛ στη Λ. Κουρνά και την υδροπερίοδο στους δέκτες βαθμονόμησης L04, L07, L08, L09, L10, L11, L12, L13

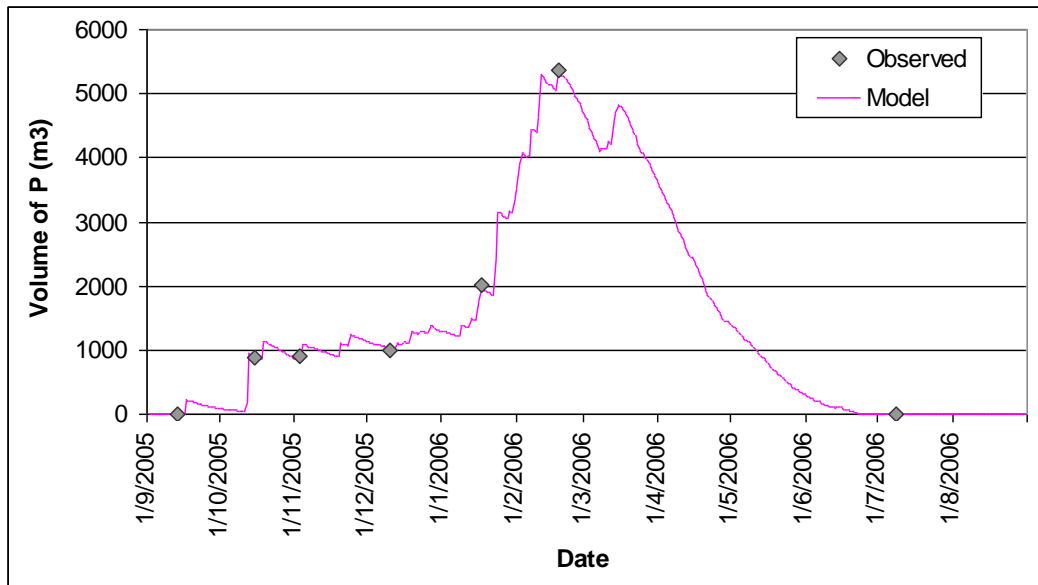
	B2			A2		
	Διαφορά στάθμης B2 - Υφιστάμενο σενάριο 1 στο τέλος της προσομοίωσης (m)	Υδροπερίοδος (ημέρες)	Μείωση της υδροπεριόδου από το υφιστάμενο σενάριο 1 (ημέρες)	Διαφορά στάθμης A2 - Υφιστάμενο σενάριο 1 στο τέλος της προσομοίωσης (m)	Υδροπερίοδος (ημέρες)	Μείωση της υδροπεριόδου από το υφιστάμενο σενάριο 1 (Ημέρες)
<b>M.O:</b>	-0.39	23	-52	-0.43	20	-55

**Πίνακας 16:** Σύγκριση της προσομοίωσης για το 2006-2007 και των προβλέψεων IPCC (σενάρια B2 και A2) για τη στάθμη του ΜΕΛ στη Λ. Κουρνά και την υδροπερίοδο στους δέκτες βαθμονόμησης L04, L07, L08, L09, L10

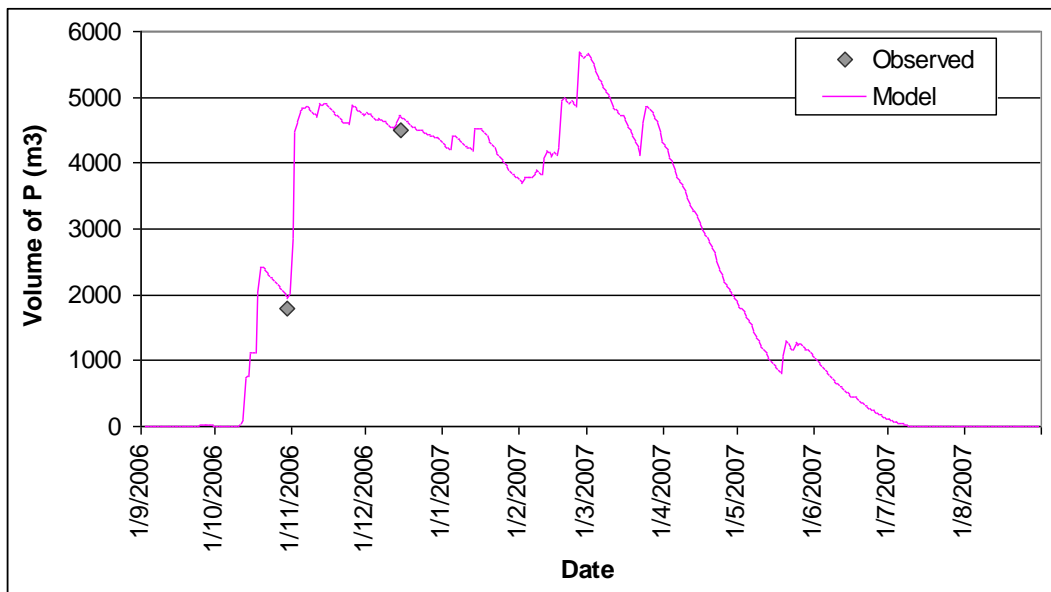
	B2			A2		
	Διαφορά στάθμης B2 - Υφιστάμενο σενάριο 2 στο τέλος της προσομοίωσης (m)	Υδροπερίοδος (ημέρες)	Μείωση της υδροπεριόδου από το υφιστάμενο σενάριο 2 (ημέρες)	Διαφορά στάθμης A2 - Υφιστάμενο σενάριο 1 στο τέλος της προσομοίωσης (m)	Υδροπερίοδος (ημέρες)	Μείωση της υδροπεριόδου από το υφιστάμενο σενάριο 2 (Ημέρες)
<b>M.O:</b>	-0.31	172	-52	-0.41	156	-67

## 4.2 Αποτελέσματα της βαθμονόμησης και επαλήθευσης του μαθηματικού ομοιώματος (HPM) του ΜΕΛ στον Ομαλό και εφαρμογή των κλιματικών σεναρίων IPCC

Οι εικόνες 46 και 47 παρουσιάζουν τον υδατικό όγκο στη λίμνη (στόχος βαθμονόμησης) που προσομοιώνεται από το μαθηματικό ομοίωμα HPM σε σύγκριση με αυτόν που παρατηρείται *in situ* κατά τη διάρκεια της περιόδου βαθμονόμησης (2005-2006) και επαλήθευσης (1/9/2006-31/12/2006), αντίστοιχα. Τα στατιστικά κριτήρια που εξετάστηκαν και για τις δύο περιόδους παρουσιάζουν καλό συσχετισμό του ομοιώματος με τις παρατηρηθείσες μετρήσεις, με τους συντελεστές συσχέτισης R και R2 (Nash-Sutcliffe) να προσεγγίζουν την απόλυτη τιμή 1, τόσο για τη βαθμονόμηση (99.9%) όσο και για την περίοδο επαλήθευσης (98.2%) (πίνακας 17).



**Εικόνα 46:** Προσομοιωμένος όγκος νερού στο ΜΕΛ στον Ομαλό σε σύγκριση με τον παρατηρηθέντα όγκο (που έχει υπολογιστεί χρησιμοποιώντας το τρισδιάστατο μοντέλο βαθυμετρίας/τοπογραφίας) για την περίοδο προσομοίωσης 1/9/05-31/8/06

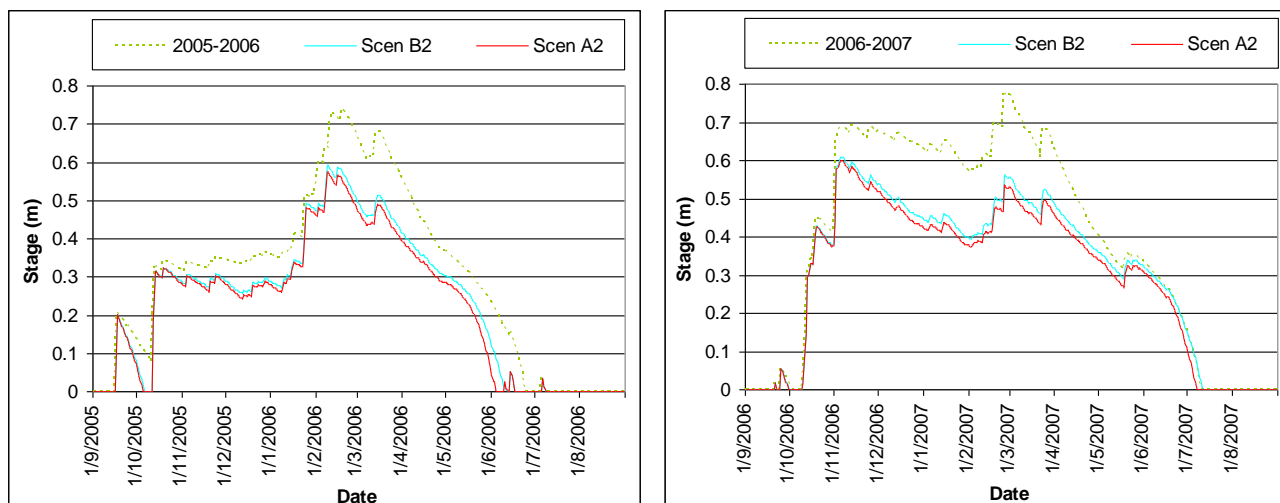


**Εικόνα 47:** Προσομοιωμένος όγκος νερού στο ΜΕΛ στον Ομαλό σε σύγκριση με τον παρατηρηθέντα όγκο (που έχει υπολογιστεί χρησιμοποιώντας το τρισδιάστατο μοντέλο βαθυμετρίας/τοπογραφίας) για την περίοδο επαλήθευσης 1/9/06-31/12/06

**Πίνακας 17:** Στατιστικά κριτήρια για τη βαθμονόμηση και επαλήθευση του ομοιώματος HPM για το υδρολογικό έτος 2005-2006 και την περίοδο 01/09/2006 - 31/12/2006, αντίστοιχα

Περίοδος	ME	MAE	RMSE	STDres	R(Correlation)	R2(Nash-Sutcliffe)
2005-2006	4.92	27.23	13.43	35.19	0.997	0.9996
09/2006-12/2006	-180.60	180.60	128.78	23.50	0.995	0.982

Σύγκριση μεταξύ των σεναρίων υφιστάμενης κατάστασης (2005-2006: περίοδος βαθμονόμησης και 2006-2007: περίοδος επαλήθευσης) και των σεναρίων IPCC παρουσιάζονται στην εικόνα 48. Τα αποτελέσματα για το 2005-2006 καταδεικνύουν ότι υπάρχει μείωση της στάθμης του λιμνίου, ειδικά των αιχμών από το Φεβρουάριο μέχρι τον Απρίλιο κατά 10-20 cm, και της υδροπεριόδου κατά περίπου 20 ημέρες. Τα αποτελέσματα για το υδρολογικό έτος 2006-2007 (αν και το μαθηματικό ομοίωμα επαληθεύτηκε μόνο για τους πρώτους τρεις μήνες) επίσης καταδεικνύουν μείωση της στάθμης στο λιμνίο, αν και η μείωση της υδροπεριόδου του λιμνίου είναι πολύ μικρότερη (πίνακας 18) ως αποτέλεσμα υψηλότερης ατμοσφαιρικής κατακρήμνισης.



**Εικόνα 48:** Σύγκριση της στάθμης του ΜΕΛ στον Ομαλό για την περίοδο βαθμονόμησης 2005-2006 με τις προβλέψεις IPCC για τα σενάρια B2 και A2

Ο πίνακας 18 παρουσιάζει αποτελέσματα του ομοιώματος για την υδροπερίοδο του ΜΕΛ στον Ομαλό. Το ΜΕΛ παρουσιάζει σταθερότητα στην υδροπερίοδο (281-282 ημέρες) μεταξύ της περιόδου βαθμονόμησης και επαλήθευσης (κάνοντας την υπόθεση ότι η εφαρμογή του επαληθευμένου ομοιώματος επεκτείνεται καθόλη τη διάρκεια του υδρολογικού έτους), αν και υπάρχει πολύ υψηλότερη ατμοσφαιρική κατακρήμνιση που παρατηρείται κατά τη διάρκεια της περιόδου επαλήθευσης. Η μείωση της υδροπεριόδου του ΜΕΛ είναι συγκριτικά μικρή (σε σχέση με το ΜΕΛ στη Λ. Κουρνά), με μόνο 16 και 24 ημέρες μείωση της υδροπεριόδου ως αποτέλεσμα της εφαρμογής των σεναρίων IPCC B2 και A2, αντίστοιχα.

**Πίνακας 18:** Σύγκριση των προσομοιώσεων (2005-2006 και 2006-2007) και των προβλέψεων IPCC (σενάρια B2 και A2) για την υδροπερίοδο του ΜΕΛ στον Ομαλό

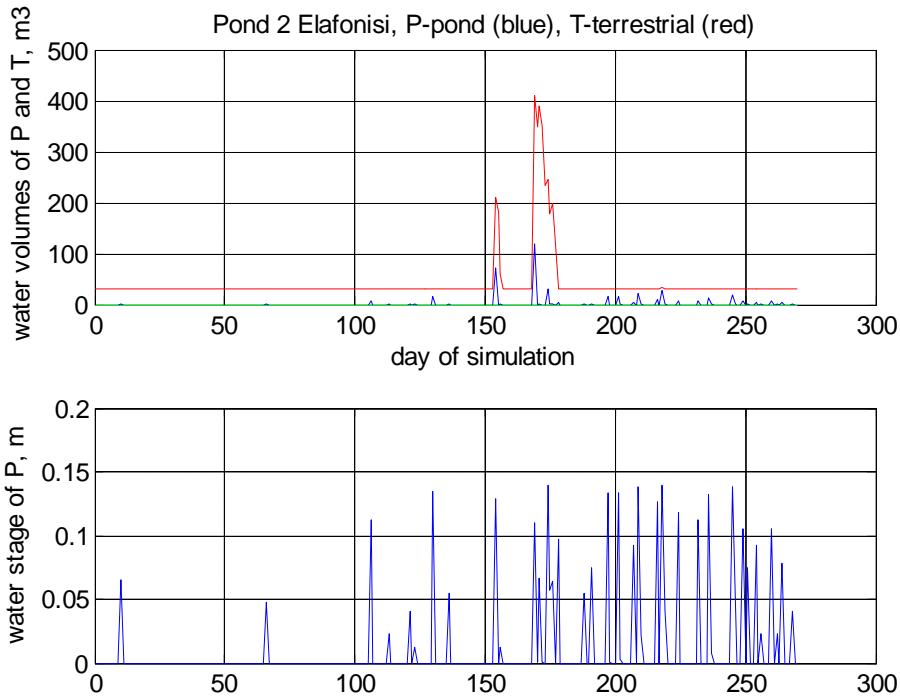
Περίοδος	Υδροπε- ρίοδος (ημέρες)	Υδροπερίοδος για το σενάριο IPCC B2 (ημέρες)	Μείωση υδροπεριόδου για το σενάριο B2 (ημέρες)	Υδροπερίοδος για το σενάριο IPCC A2 (ημέρες)	Μείωση υδροπεριόδου για το σενάριο A2 (ημέρες)
2005- 2006	281	265	-16	257	-24
2006- 2007	282	279	-3	274	-8



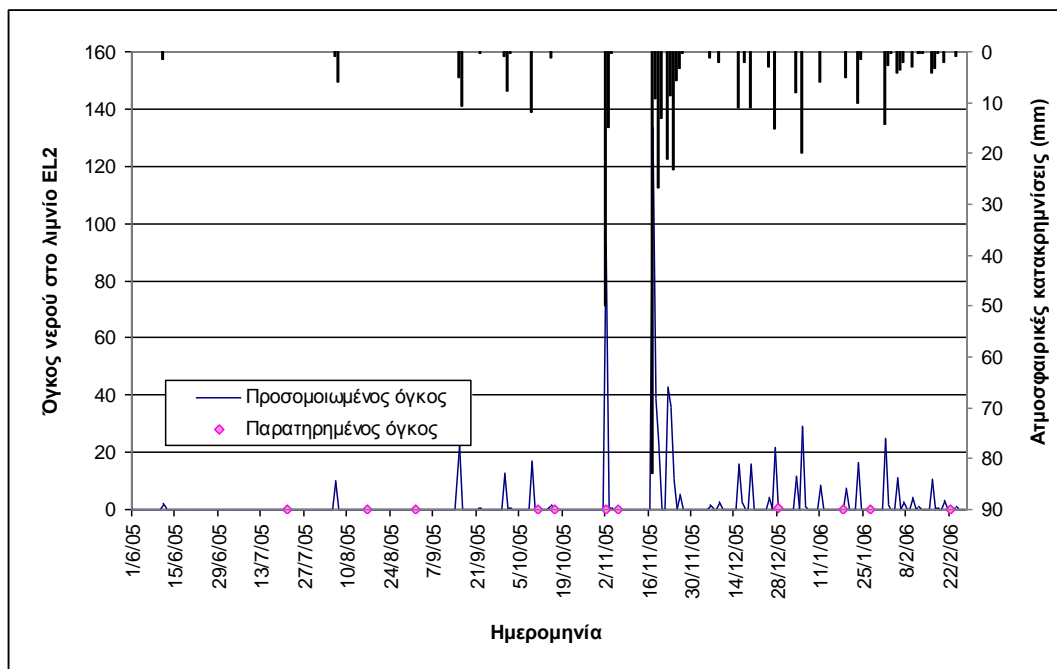
### 4.3 Αποτελέσματα της βαθμονόμησης του μαθηματικού ομοιώματος (ΗΡΜ) των ΜΕΛ EL2 και EL11 στο Ελαφονήσι και εφαρμογή των κλιματικών σεναρίων IPCC

#### 4.3.1 Αποτελέσματα για το ΜΕΛ EL2

Στην εικόνα 49 παρουσιάζεται η προσομοίωση του όγκου του νερού στο λιμνίο και στο ίζημα καθώς και του βάθους στάθμης του λιμνίου EL2 για την περίοδο βαθμονόμησης του μοντέλου από 1/6/2005 έως 27/2/2006. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 50 το λιμνίο EL2 αποθηκεύει νερό για ελάχιστες ημέρες μετά από μια δεδομένη βροχοπτώση.



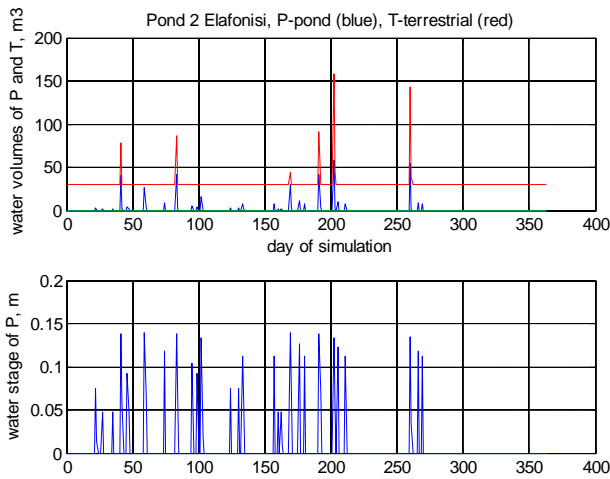
**Εικόνα 49:** Διακύμανση όγκου νερού (πάνω) και βάθους στάθμης (κάτω) στο λιμνίο EL2 για την περίοδο βαθμονόμησης 1/6/2005-27/2/2006



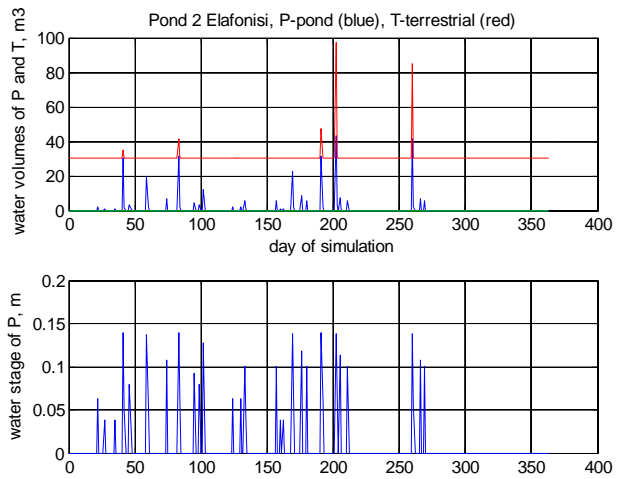
**Εικόνα 50:** Παρατηρημένος και προσομοιωμένος όγκος νερού στο λιμνίο EL2 για την περίοδο βαθμονόμησης 1/6/2005-27/2/2006 (κάτω) και αντίστοιχες βροχοπτώσεις (πάνω)

Μετά τη βαθμονόμηση του μοντέλου εφαρμόστηκε το μοντέλο με τις βαθμονομημένες παραμέτρους για το υδρολογικό έτος 2006-2007 (εικόνα 51) καθώς και τα κλιματικά σενάρια B1, A1B και A2 (Εικόνες 52, 53, 54, αντίστοιχα) σύμφωνα με τις προβλέψεις του IPCC, ώστε να συγκριθούν τα αποτελέσματα της υδροπερίοδου για το υδρολογικό έτος 2006-2007 με αυτά των κλιματικών σεναρίων.

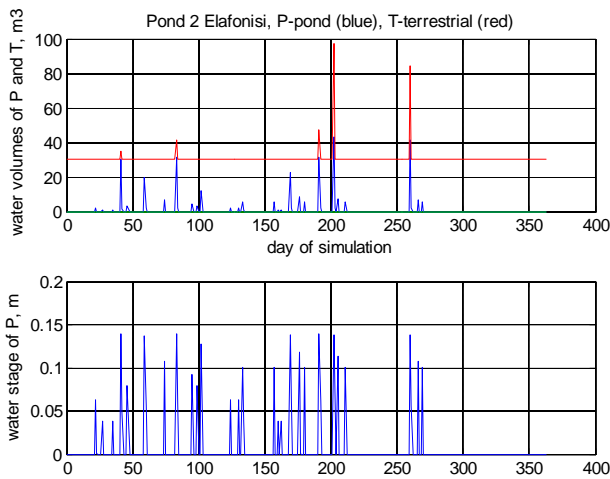
Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν ότι η εφαρμογή των κλιματικών σεναρίων B1, A1B και A2 στο υδρολογικό έτος 2006-2007 δεν έχει σημαντική επίπτωση στη διαμόρφωση της υδροπερίοδου, καθώς αυτή φαίνεται να επηρεάζεται περισσότερο από τον αριθμό των γεγονότων βροχόπτωσης παρά από την ποσότητα των βροχοπτώσεων. Ωστόσο φαίνεται ότι οι αιχμές του όγκου του νερού, στο ίζημα όσο και στο λιμνίο μειώνονται σημαντικά.



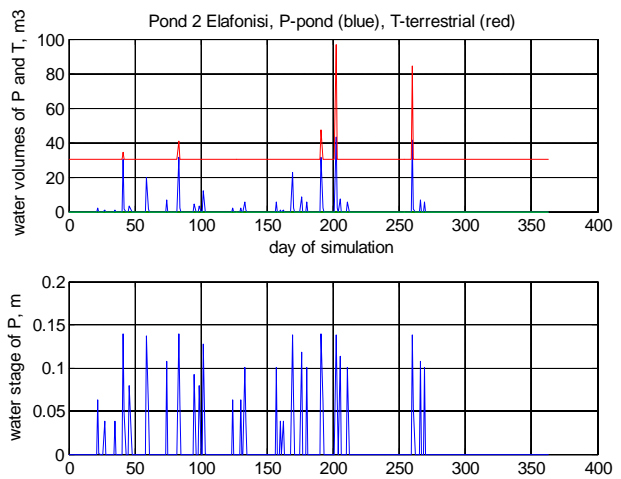
**Εικόνα 51:** Διακύμανση όγκου νερού (πάνω) και βάθους στάθμης (κάτω) στο λιμνίο EL2 για την περίοδο 2006-2007



**Εικόνα 52:** Διακύμανση όγκου νερού (πάνω) και βάθους στάθμης (κάτω) στο λιμνίο EL2 για το σενάριο IPCC B1

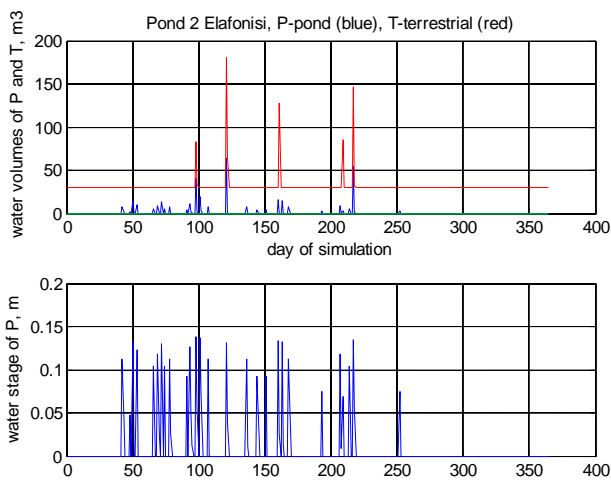


**Εικόνα 53:** Διακύμανση όγκου νερού (πάνω) και βάθους στάθμης (κάτω) στο λιμνίο EL2 για το σενάριο IPCC A1B

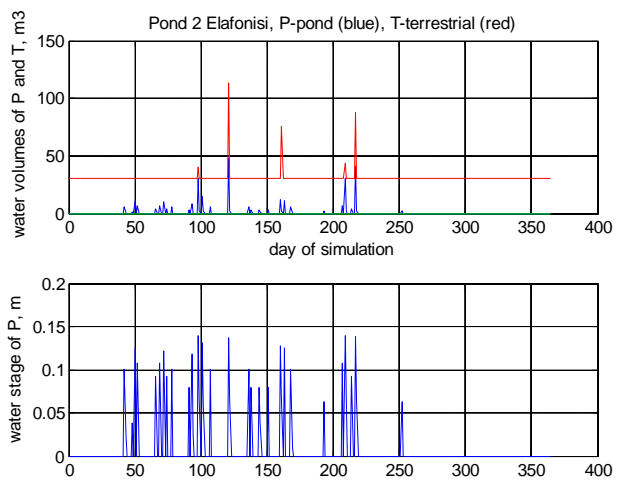


**Εικόνα 54:** Διακύμανση όγκου νερού (πάνω) και βάθους στάθμης (κάτω) στο λιμνίο EL2 για το σενάριο IPCC A2

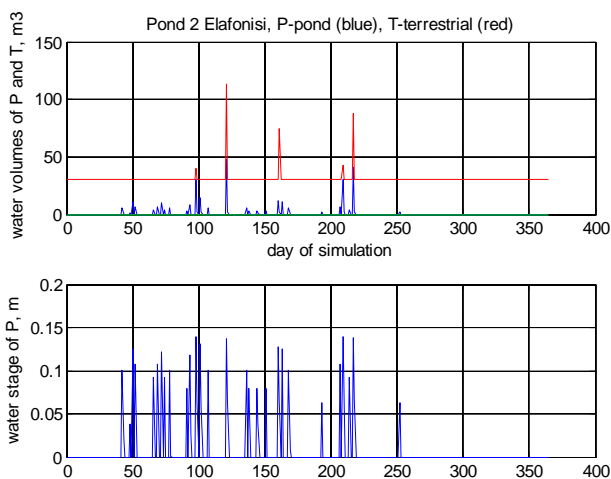
Κατόπιν εφαρμόστηκε το μοντέλο με τις βαθμονομημένες παραμέτρους για το υδρολογικό έτος 2007-2008 (Εικόνα 55) καθώς και τα κλιματικά σενάρια B1, A1B και A2 (Εικόνες 56, 57, 58, αντίστοιχα) σύμφωνα με τις προβλέψεις του IPCC, ώστε να συγκριθούν τα αποτελέσματα της υδροπερίοδου για το υδρολογικό έτος 2007-2008 με αυτά των κλιματικών σεναρίων. Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν ότι η εφαρμογή των κλιματικών σεναρίων B1, A1B και A2 στο υδρολογικό έτος 2007-2008, όπως και για το προηγούμενο έτος δεν έχει σημαντική επίπτωση στη διαμόρφωση της υδροπερίοδου, καθώς αυτή φαίνεται να επηρεάζεται περισσότερο από τον αριθμό των γεγονότων βροχόπτωσης παρά από την ποσότητα των βροχοπτώσεων. Ωστόσο φαίνεται και εδώ ότι οι αιχμές του όγκου του νερού στο ίζημα όσο και στο λιμνίο μειώνονται σημαντικά ( $>10 \text{ m}^3$  στο λιμνίο και  $>50 \text{ m}^3$  στο ίζημα). Επίσης φαίνεται τα τρία μελλοντικά σενάρια να μη διαφέρουν σημαντικά στην επίπτωση που αυτά έχουν στον όγκο του νερού, στο βάθος της στάθμης και στην υδροπερίοδο του λιμνίου και για τα δύο υδρολογικά έτη που εξετάστηκαν.



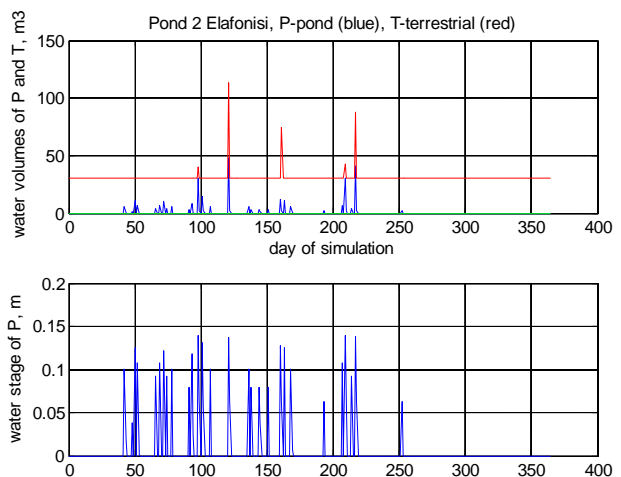
**Εικόνα 55:** Διακύμανση όγκου νερού (πάνω) και βάθους στάθμης (κάτω) στο λιμνίο EL2 για την περίοδο 2007-2008



**Εικόνα 56:** Διακύμανση όγκου νερού (πάνω) και βάθους στάθμης (κάτω) στο λιμνίο EL2 για το σενάριο IPCC B1



**Εικόνα 57:** Διακύμανση όγκου νερού (πάνω) και βάθους στάθμης (κάτω) στο λιμνίο EL2 για το σενάριο IPCC A1B



**Εικόνα 58:** Διακύμανση όγκου νερού (πάνω) και βάθους στάθμης (κάτω) στο λιμνίο EL2 για το σενάριο IPCC A2

Αναλυτικά τα αποτελέσματα της υδροπερίοδου για τα δύο υδρολογικά έτη και η επίπτωση των μελλοντικών κλιματικών σεναρίων παρουσιάζονται στον πίνακα 19. Έτσι παρατηρείται μικρή μείωση της υδροπερίοδου κατά τρεις (3) ημέρες σε σχέση με το υδρολογικό έτος 2006-2007 και κατά έξι (6) ημέρες σε σχέση με το υδρολογικό έτος 2007-2008.

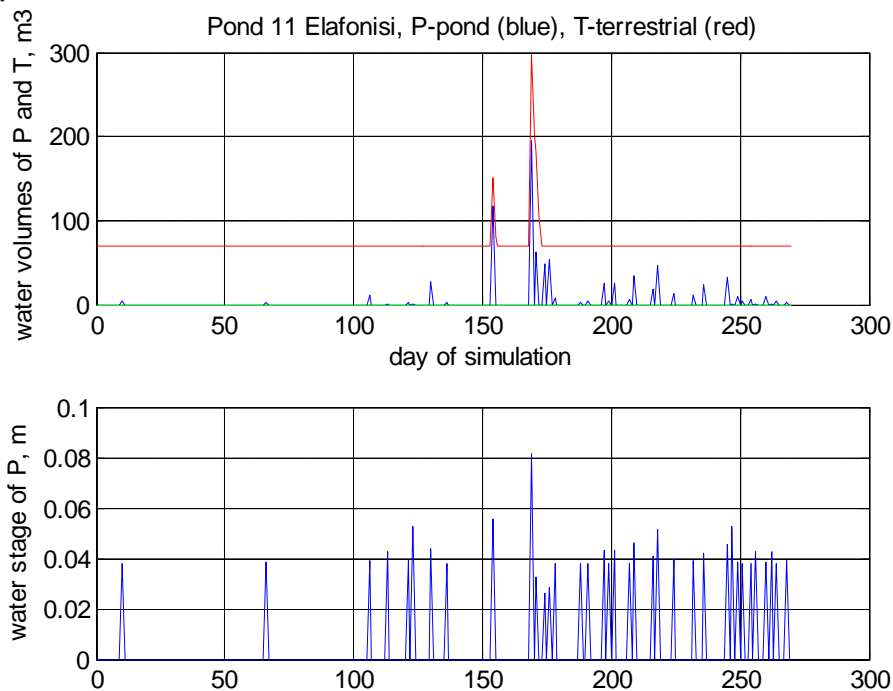
**Πίνακας 19:** Υπολογισμένη υδροπερίοδος για τα υδρολογικά έτη 2006-2007, 2007-2008 και μελλοντική πρόβλεψη για τα σενάρια B1, A1B και A2 στο λιμνίο EL2

Λιμνίο EL2	Υδροπερίοδος (ημέρες)	B1 υδροπερίοδος (ημέρες)	A1B υδροπερίοδος (ημέρες)	A2 υδροπερίοδος (ημέρες)	Ποσοστό (%) μεταβολή - σενάριο B1	Ποσοστό (%) μεταβολή - σενάριο A1B	Ποσοστό (%) μεταβολή - σενάριο A2
2006-2007	39	36	36	36	-7.7	-7.7	-7.7
2007-2008	44	38	38	38	-13.6	-13.6	-13.6

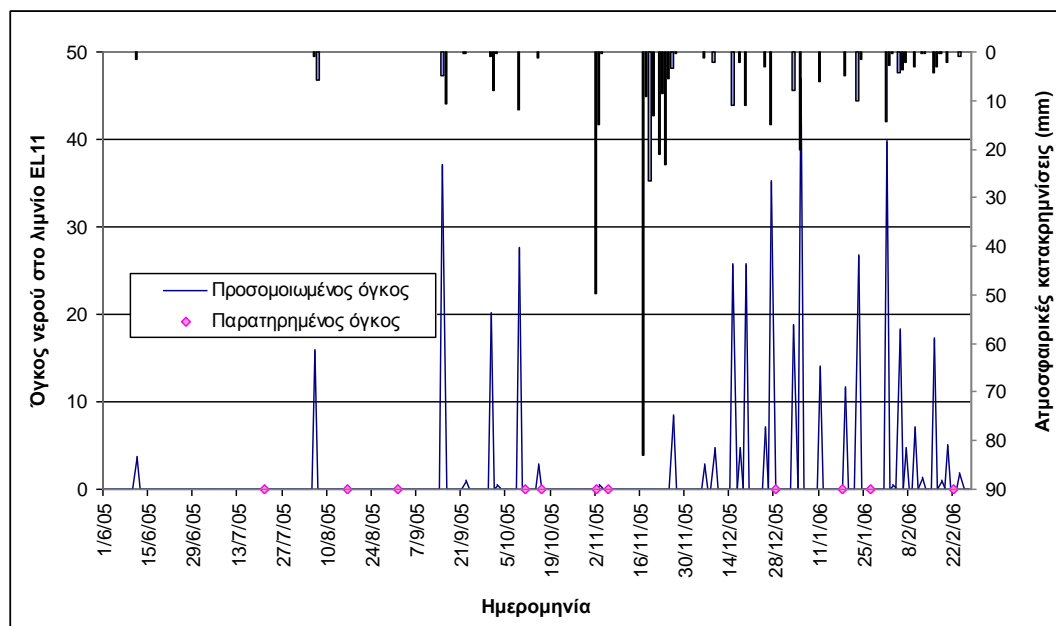
Συμπερασματικά, φαίνεται ότι η διακύμανση της υδροπερίοδου του λιμνίου EL2 εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη συχνότητα και λιγότερο από την ποσότητα των βροχοπτώσεων. Επίσης, από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων συμπεραίνεται ότι με βροχόπτωση σε μια δεδομένη ημέρα μικρότερη του 1 mm το λιμνίο δεν κατακρατεί νερό την ίδια ημέρα, ενώ μόνο με μεγαλύτερη βροχόπτωση από 10 mm το λιμνίο αποθηκεύει νερό για δεύτερη ημέρα.

#### 4.3.2 Αποτελέσματα για το ΜΕΛ EL11

Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και για τη διερεύνηση της υδροπερίοδου για το λιμνίο EL11. Στην εικόνα 59 παρουσιάζεται η προσομοίωση του όγκου του νερού στο λιμνίο και στο ίζημα καθώς και του βάθους στάθμης του λιμνίου EL11 για την περίοδο βαθμονόμησης του μοντέλου από 1/6/2005 έως 27/2/2006. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 60 το λιμνίο EL11 αποθηκεύει νερό για ελάχιστες ημέρες μετά από μια δεδομένη βροχόπτωση.

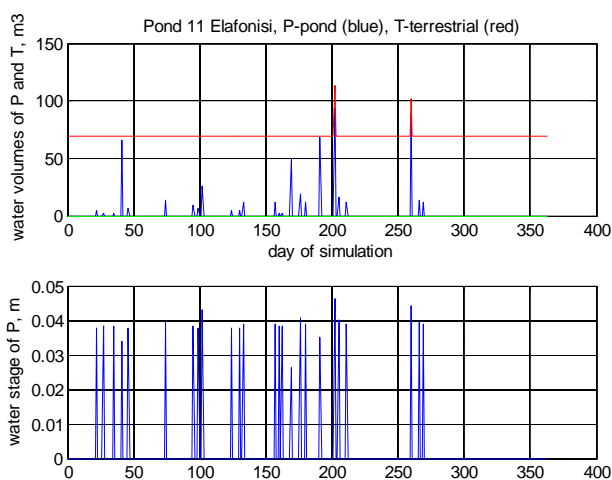


**Εικόνα 59:** Διακύμανση όγκου νερού (πάνω) και βάθους στάθμης (κάτω) στο λιμνίο EL11 για την περίοδο βαθμονόμησης 1/6/2005-27/2/2006

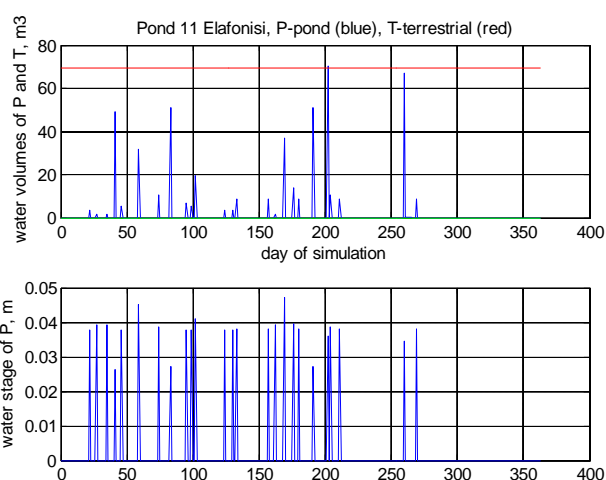


**Εικόνα 60:** Παρατηρημένος και προσομοιωμένος όγκου νερού στο λιμνίο EL11 για την περίοδο βαθμονόμησης 1/6/2005-27/2/2006 (κάτω) και αντίστοιχες βροχοπτώσεις (πάνω)

Μετά τη βαθμονόμηση του μοντέλου εφαρμόστηκε το μοντέλο με τις βαθμονομημένες παραμέτρους για το υδρολογικό έτος 2006-2007 (Εικόνα 61) καθώς και τα κλιματικά σενάρια B1, A1B και A2 (Εικόνες 62, 63, 64, αντίστοιχα) σύμφωνα με τις προβλέψεις του IPCC, ώστε να συγκριθούν τα αποτελέσματα της υδροπερίοδου για το υδρολογικό έτος 2006-2007 με αυτά των κλιματικών σεναρίων. Τα σενάρια B1, A1B και A2 προβλέπουν αύξηση της θερμοκρασίας κατά 2.5°C, 3°C και 4°C, αντίστοιχα με ανάλογη αύξηση της εξάτμιση/εξάτμισης και μείωση της ατμοσφαιρικής κατακρήμνιση κατά 25% μέχρι το έτος 2090. Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν ότι η εφαρμογή των κλιματικών σεναρίων B1, A1B και A2 στο υδρολογικό έτος 2006-2007 δεν έχει σημαντική επίπτωση στη διαμόρφωση της υδροπερίοδου, καθώς αυτή φαίνεται να επηρεάζεται περισσότερο από τον αριθμό των γεγονότων βροχόπτωσης παρά από την ποσότητα των βροχοπτώσεων. Ωστόσο φαίνεται ότι οι αιχμές του όγκου του νερού στο ίζημα όσο και στο λιμνίο μειώνονται σημαντικά.

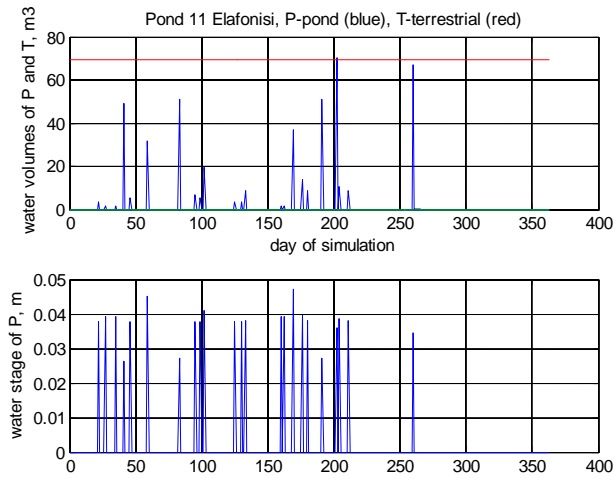


**Εικόνα 61:** Διακύμανση όγκου νερού (πάνω) και βάθους στάθμης (κάτω) στο λιμνίο EL11 για την περίοδο 2006-2007

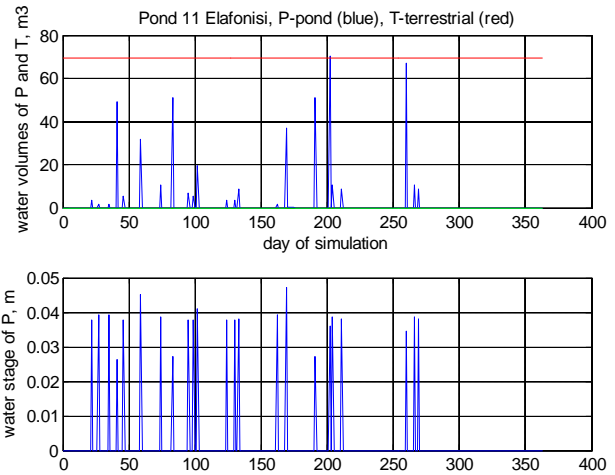


**Εικόνα 62:** Διακύμανση όγκου νερού (πάνω) και βάθους στάθμης (κάτω) στο λιμνίο EL11 για το σενάριο IPCC B1



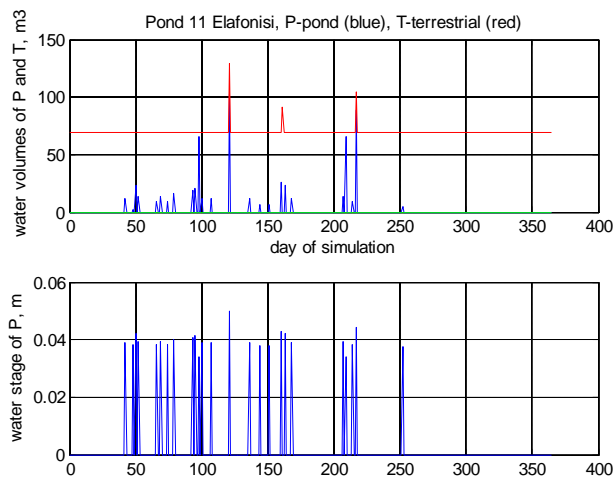


**Εικόνα 63:** Διακύμανση όγκου νερού (πάνω) και βάθους στάθμης (κάτω) στο λιμνίο EL11 για το σενάριο IPCC A1B

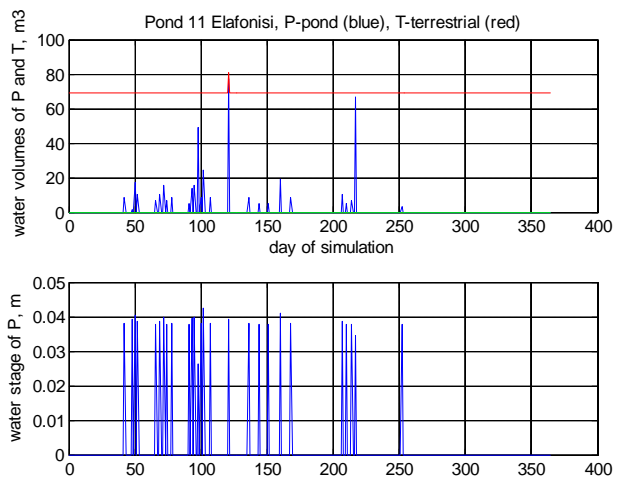


**Εικόνα 64:** Διακύμανση όγκου νερού (πάνω) και βάθους στάθμης (κάτω) στο λιμνίο EL11 για το σενάριο IPCC A2

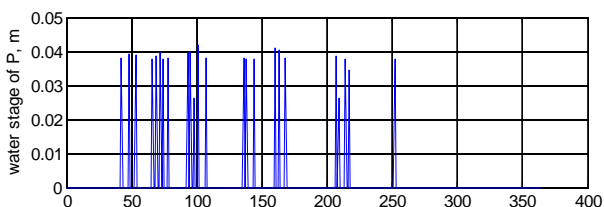
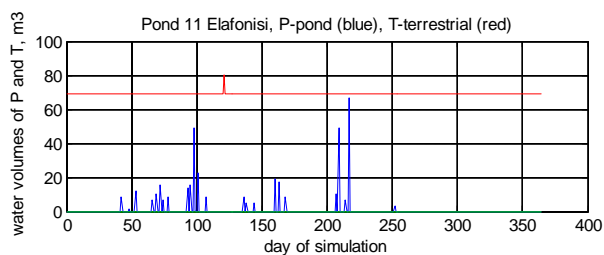
Κατόπιν εφαρμόστηκε το μοντέλο με τις βαθμονομημένες παραμέτρους για το υδρολογικό έτος 2007-2008 (Εικόνα 65) καθώς και τα κλιματικά σενάρια B1, A1B και A2 (Εικόνες 66, 67, 68, αντίστοιχα) σύμφωνα με τις προβλέψεις του IPCC, ώστε να συγκριθούν τα αποτελέσματα της υδροπερίοδου για το υδρολογικό έτος 2007-2008 με αυτά των κλιματικών σεναρίων. Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν ότι η εφαρμογή των κλιματικών σεναρίων B1, A1B και A2 στο υδρολογικό έτος 2007-2008, όπως και για το προηγούμενο έτος δεν έχει σημαντική επίπτωση στη διαμόρφωση της υδροπερίοδου, καθώς αυτή φαίνεται να επηρεάζεται περισσότερο από τον αριθμό των γεγονότων βροχόπτωσης παρά από την ποσότητα των βροχοπτώσεων. Ωστόσο φαίνεται και εδώ ότι οι αιχμές του όγκου του νερού στο ίζημα όσο και στο λιμνίο μειώνονται σημαντικά ( $>10 \text{ m}^3$  στο λιμνίο και  $>50 \text{ m}^3$  στο ίζημα). Επίσης φαίνεται τα τρία μελλοντικά σενάρια να μη διαφέρουν σημαντικά στην επίπτωση που αυτά έχουν στον όγκο του νερού, στο βάθος της στάθμης και στην υδροπερίοδο του λιμνίου και για τα δύο υδρολογικά έτη που εξετάστηκαν.



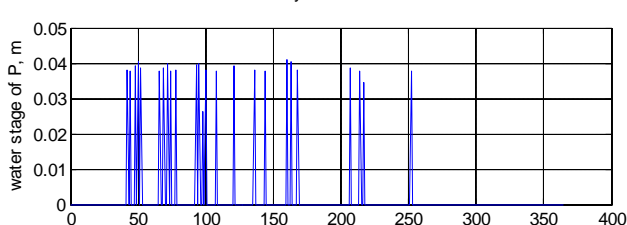
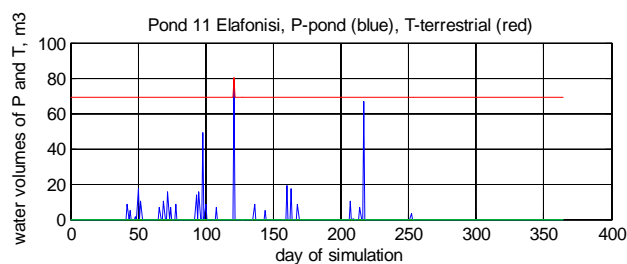
**Εικόνα 65:** Διακύμανση όγκου νερού (πάνω) και βάθους στάθμης (κάτω) στο λιμνίο EL11 για την περίοδο 2007-2008



**Εικόνα 66:** Διακύμανση όγκου νερού (πάνω) και βάθους στάθμης (κάτω) στο λιμνίο EL11 για το σενάριο IPCC B1



**Εικόνα 67:** Διακύμανση όγκου νερού (πάνω) και βάθους στάθμης (κάτω) στο λιμνίο EL11 για το σενάριο IPCC A1B



**Εικόνα 68:** Διακύμανση όγκου νερού (πάνω) και βάθους στάθμης (κάτω) στο λιμνίο EL11 για το σενάριο IPCC A2

Αναλυτικά τα αποτελέσματα της υδροπεριόδου για τα δύο υδρολογικά έτη και η επίπτωση των μελλοντικών κλιματικών σεναρίων παρουσιάζονται στον πίνακα 20. Έτσι παρατηρείται μικρή μείωση της υδροπεριόδου κατά δύο (2) ημέρες σε σχέση με το υδρολογικό έτος 2006-2007 ενώ σε σχέση με το υδρολογικό έτος 2007-2008 δεν παρατηρείται σαφής ανοδική ή καθοδική τάση της υδροπεριόδου.

**Πίνακας 20:** Υπολογισμένη υδροπερίοδος για τα υδρολογικά έτη 2006-2007, 2007-2008 και μελλοντική πρόβλεψη για τα σεναρία B1, A1B και A2 στο λιμνίο EL11

Λιμνίο EL11	Υδροπερίοδος (ημέρες)	B1 υδροπερίοδος (ημέρες)	A1B υδροπερίοδος (ημέρες)	A2 υδροπερίοδος (ημέρες)	Ποσοστό (%) μεταβολή - σενάριο B1	Ποσοστό (%) μεταβολή - σενάριο A1B	Ποσοστό (%) μεταβολή - σενάριο A2
2006-2007	25	25	23	23	0.0	-8.0	-8.0
2007-2008	25	27	24	25	+8.0	-4.0	0.0

Συμπερασματικά, όπως και για το λιμνίο EL2, φαίνεται ότι η διακύμανση της υδροπεριόδου του λιμνίου EL11 εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη συχνότητα και λιγότερο από την ποσότητα των βροχοπτώσεων. Επίσης, από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων συμπεραίνεται ότι με βροχόπτωση σε μια δεδομένη ημέρα μικρότερη του 0.2 mm το λιμνίο δεν κατακρατεί νερό την ίδια ημέρα, γεγονός που το χαρακτηρίζει πιο ευαίσθητο στα γεγονότα (ακόμη και ήπιας) βροχόπτωσης από το λιμνίο EL2. Παρόλ' αυτά, γενικά το λιμνίο δεν αποθηκεύει νερό για δεύτερη ημέρα ακόμη και με μεγάλες ποσότητες βροχόπτωσης.

Τα κλιματικά σεναρία που εφαρμόστηκαν για τα υδρολογικά έτη 2006-2007 και 2007-2008 δεν κατέδειξαν σημαντικές επιπτώσεις στην υδροπερίοδο των λιμνίων EL2 και EL11. Κλιματικά σεναρία που θα εμπειρεύσαν και προβλεπόμενες μεταβολές στη συχνότητα των γεγονότων βροχόπτωσης ίσως έδιναν πιο ολοκληρωμένη και ουσιαστική εικόνα των επιπτώσεων των κλιματικών αλλαγών στην υδροπερίοδο των συγκεκριμένων λιμνίων.

#### 4.4 Αποτελέσματα της βαθμονόμησης του μαθηματικού ομοιώματος των ΜΕΛ στη Γαύδο και εφαρμογή των κλιματικών σεναρίων IPCC

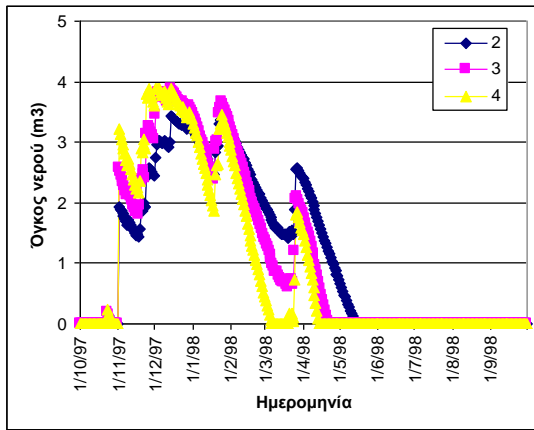
Στις εικόνες 69-83 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα διακύμανσης υδάτινου όγκου για τα λιμνία  $>1 \text{ m}^3$  (εικόνες 69-73), από  $0.1 \text{ m}^3$  έως  $1 \text{ m}^3$  (εικόνες 74-78) και  $<0.1 \text{ m}^3$  και για τα έτη 1997-1998, 1999-2000, 2000-2001, 2006-2007 και 2007-2008 και για διαφορετικούς συντελεστές απορροής (2, 3 και 4).

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 21 και καταδεικνύουν ως μέση υδροπερίοδο για όλα τα έτη τις 158 ημέρες. Όπως φαίνεται μεγαλύτερη υδροπερίοδο παρουσιάζουν τα μεγαλύτερα λιμνία με 172 ημέρες ενώ τα μικρά και μεσαίου μεγέθους παρουσιάζουν μικρότερη υδροπερίοδο με 146 και 154 ημέρες αντίστοιχα. Κατά το πιο υγρό έτος (2007-2008) παρουσιάζεται και η μεγαλύτερη υδροπερίοδος με μέσο όρο 200 ημέρες, ενώ το άνυδρο 2000-2001 παρατηρείται και η μικρότερη υδροπερίοδος με 113 ημέρες.

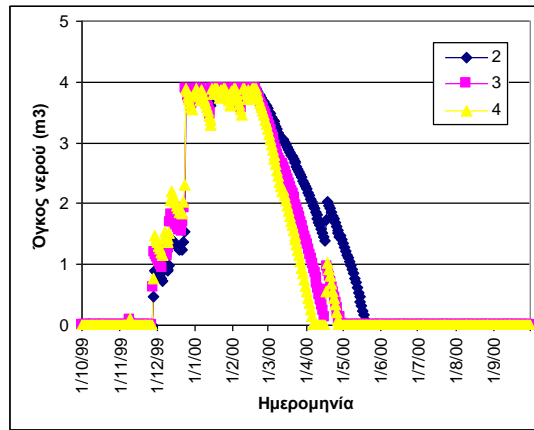
**Πίνακας 21:** Εκτίμηση υδροπεριόδου λιμνίων στη Γαύδο για τα υδρολογικά έτη 1997-1998, 1999-2000, 2000-2001, 2006-2007 και 2007-2008

Υδρολο- γικό έτος	Συντελεστής επιφανειακής απορροής	V > 1 m3	0.1 < V < 1 m3	V < 0.1 m3	Μ.Ο. Υδροπε- ριόδου	Επιφα- νειακές κατακρη- μνίσεις (mm)	Εξάτμιση (mm/day)
97/98	2	198	174	160	156	415	1642
	3	175	146	138			
	4	154	134	127			
99/00	2	179	153	144	144	488	1674
	3	159	137	130			
	4	145	126	120			
00/01	2	154	122	115	113	370	1511
	3	126	105	99			
	4	112	95	88			
06/07*	2	197	197	195	174	487	1713
	3	174	173	168			
	4	161	155	149			
07/08*	2	236	213	205	200	662	1701
	3	214	195	186			
	4	201	181	173			
<b>Μ.Ο. Υδροπεριόδου</b>		<b>172</b>	<b>154</b>	<b>146</b>	<b>158</b>	<b>484</b>	<b>1648</b>

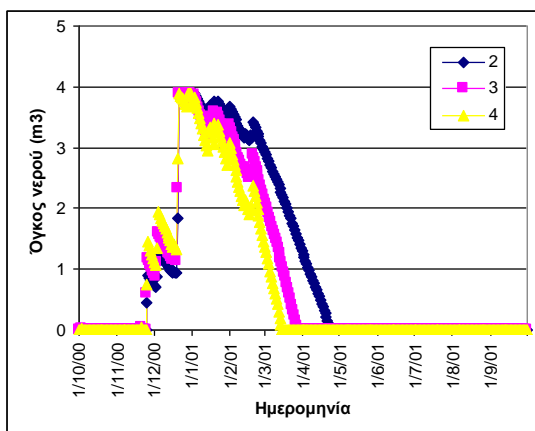
\*Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα μετεωρολογικού σταθμού στην Παλαιόχωρα



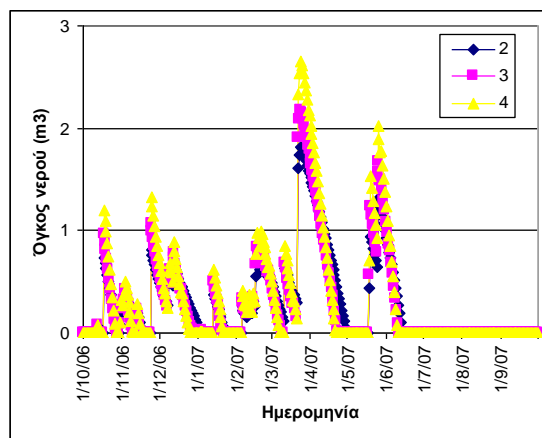
**Εικόνα 69:** Διακύμανση όγκου νερού στα λιμνία της Γαύδου με χωρητικότητα > 1 m<sup>3</sup> για το υδρολογικό έτος 1997-98



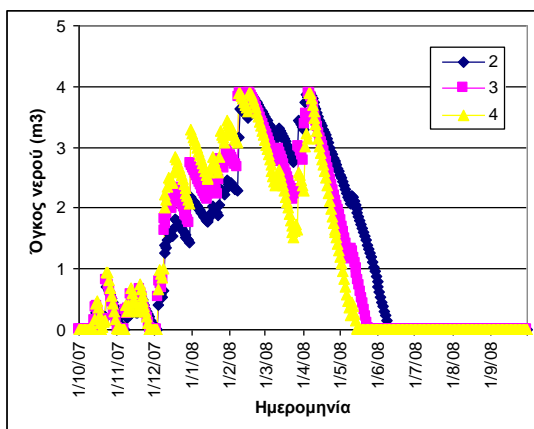
**Εικόνα 70:** Διακύμανση όγκου νερού στα λιμνία της Γαύδου με χωρητικότητα > 1 m<sup>3</sup> για το υδρολογικό έτος 1999-2000



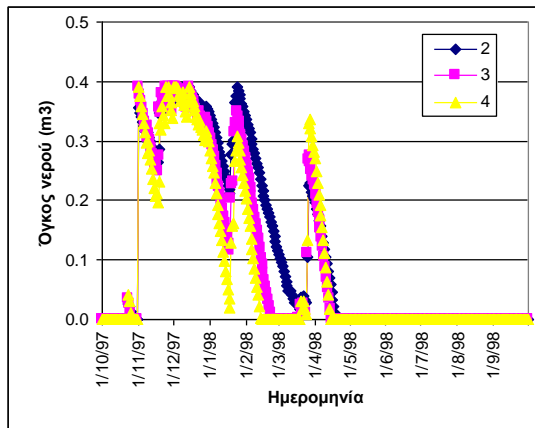
**Εικόνα 71:** Διακύμανση όγκου νερού στα λιμνία της Γαύδου με χωρητικότητα > 1 m<sup>3</sup> για το υδρολογικό έτος 2000-01



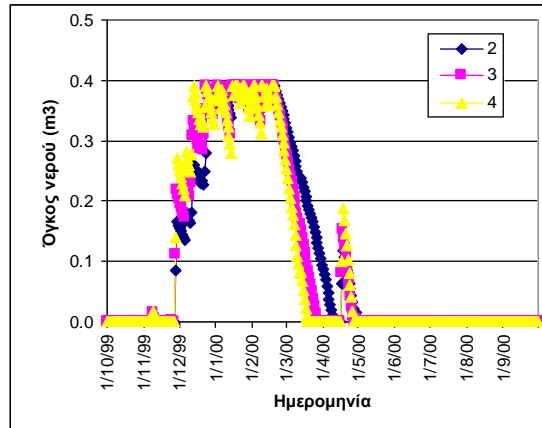
**Εικόνα 72:** Διακύμανση όγκου νερού στα λιμνία της Γαύδου με χωρητικότητα > 1 m<sup>3</sup> για το υδρολογικό έτος 2006-07



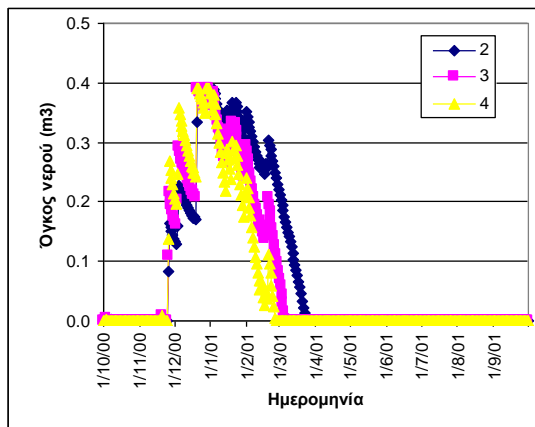
**Εικόνα 73:** Διακύμανση όγκου νερού στα λιμνία της Γαύδου με χωρητικότητα > 1 m<sup>3</sup> για το υδρολογικό έτος 2007-08



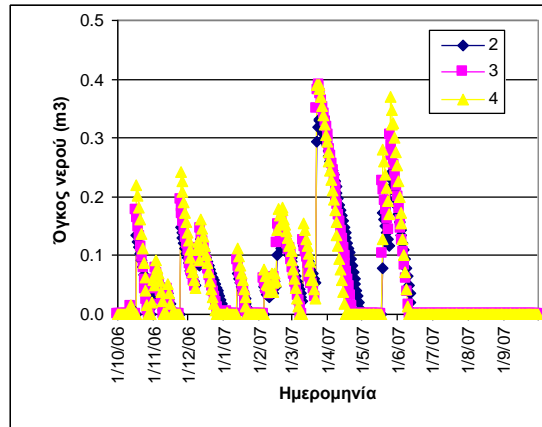
**Εικόνα 74:** Διακύμανση όγκου νερού στα λιμνία της Γαύδου με χωρητικότητα από 0.1 έως 1 m<sup>3</sup> για το έτος 1997-98



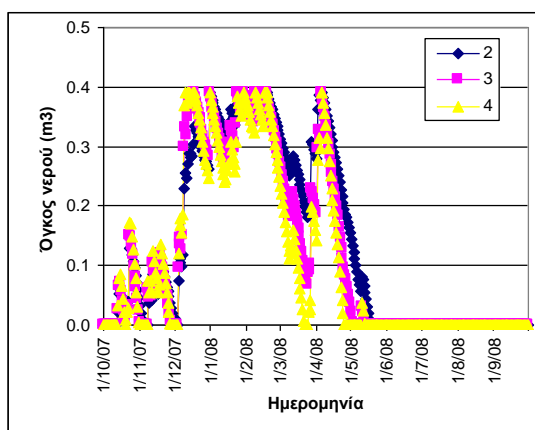
**Εικόνα 75:** Διακύμανση όγκου νερού στα λιμνία της Γαύδου με χωρητικότητα από 0.1 έως 1 m<sup>3</sup> για το έτος 1999-2000



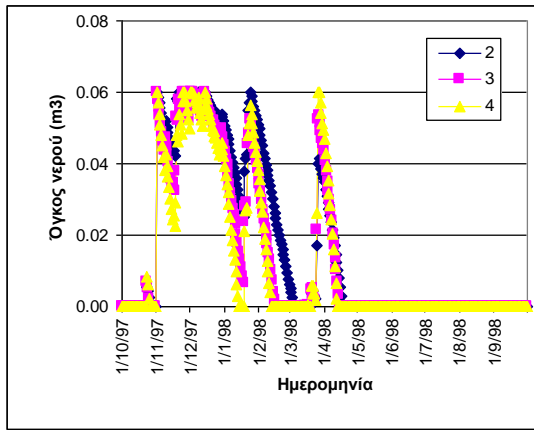
**Εικόνα 76:** Διακύμανση όγκου νερού στα λιμνία της Γαύδου με χωρητικότητα από 0.1 έως 1 m<sup>3</sup> για το έτος 2000-01



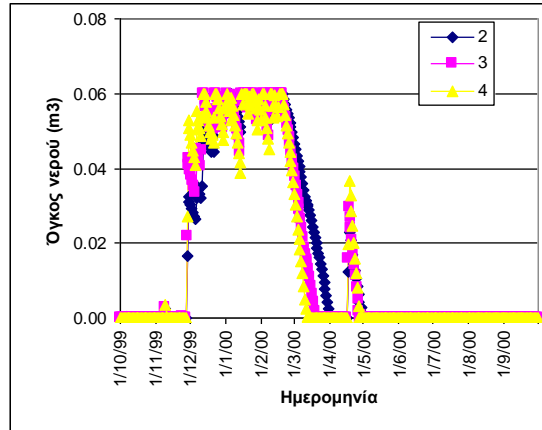
**Εικόνα 77:** Διακύμανση όγκου νερού στα λιμνία της Γαύδου με χωρητικότητα από 0.1 έως 1 m<sup>3</sup> για το έτος 2006-2007



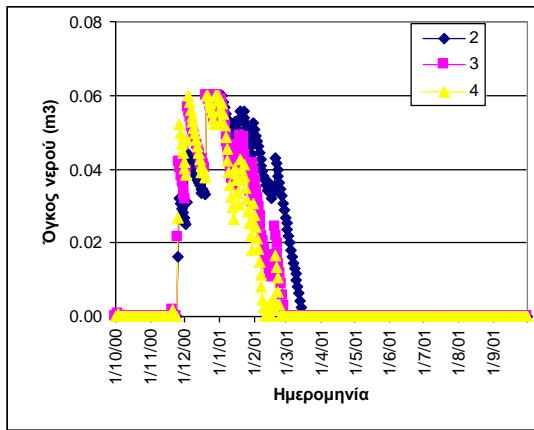
**Εικόνα 78:** Διακύμανση όγκου νερού στα λιμνία της Γαύδου με χωρητικότητα από 0.1 έως 1 m<sup>3</sup> για το έτος 2007-08



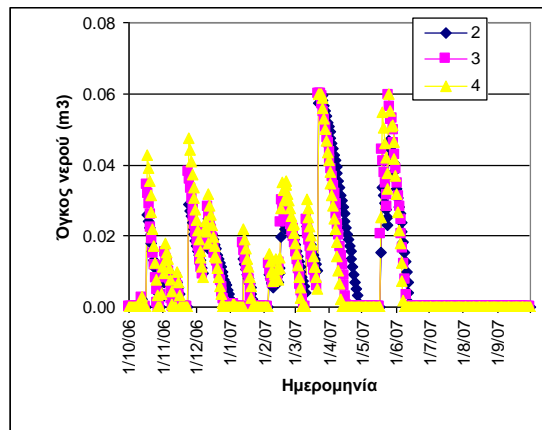
**Εικόνα 79:** Διακύμανση όγκου νερού στα λιμνία της Γαύδου με χωρητικότητα <math><0.1\text{m}^3</math> για το υδρολογικό έτος 1997-98



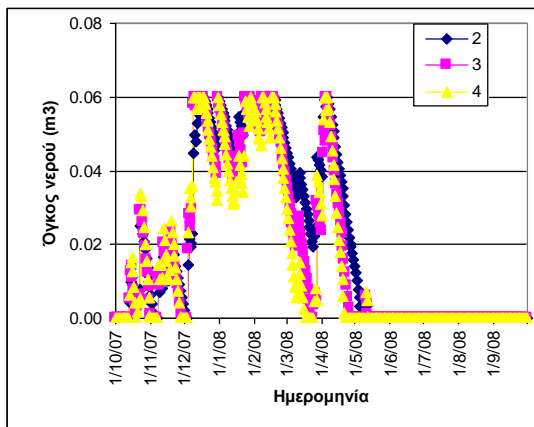
**Εικόνα 80:** Διακύμανση όγκου νερού στα λιμνία της Γαύδου με χωρητικότητα <math><0.1\text{m}^3</math> για το υδρολογικό έτος 1999-2000



**Εικόνα 81:** Διακύμανση όγκου νερού στα λιμνία της Γαύδου με χωρητικότητα <math><0.1\text{m}^3</math> για το υδρολογικό έτος 2000-01



**Εικόνα 82:** Διακύμανση όγκου νερού στα λιμνία της Γαύδου με χωρητικότητα <math><0.1\text{m}^3</math> για το υδρολογικό έτος 2006-07



**Εικόνα 83:** Διακύμανση όγκου νερού στα λιμνία της Γαύδου με χωρητικότητα <math><0.1\text{m}^3</math> για το υδρολογικό έτος 2007-08



Στον πίνακα 22 παρουσιάζεται η εκτίμηση της επίπτωσης του σεναρίου B1 στην υδροπερίοδο των λιμνίων στη Γαύδο για τα υδρολογικά έτη 1997-1998, 1999-2000, 2000-2001, 2006-2007 και 2007-2008. Όπως φαίνεται και στον πίνακα 23 παρουσιάζεται σημαντική μείωση της υδροπεριόδου κατά μέσο όρο 40 ημέρες / έτος για τα υδρολογικά έτη που εξετάστηκαν ως αποτέλεσμα της εφαρμογής του μελλοντικού κλιματικού σεναρίου B1. Μεγαλύτερη επίπτωση παρατηρείται στα μεγαλύτερα του 1 m<sup>3</sup> λιμνία (μείωση της υδροπεριόδου κατά 50 ημέρες).

**Πίνακας 22:** Εκτίμηση επίπτωσης του σεναρίου B1 στην υδροπερίοδο των λιμνίων στη Γαύδο για τα υδρολογικά έτη 1997-1998, 1999-2000, 2000-2001, 2006-2007 και 2007-2008

Υδρολογικό έτος	Συντελεστής επιφανειακής απορροής	V > 1 m <sup>3</sup>	0.1 < V < 1 m <sup>3</sup>	V < 0.1 m <sup>3</sup>	M.O. Υδροπεριόδου	Επιφανειακές κατακρημνίσεις (mm)	Εξάτμιση (mm/day)
97/98	2	114	114	114	100	311	1787
	3	100	100	95			
	4	92	89	83			
99/00	2	150	144	135	128	366	1900
	3	135	127	120			
	4	125	113	107			
00/01	2	109	103	94	91	278	2004
	3	98	102	75			
	4	91	84	65			
06/07*	2	115	115	115	103	365	1987
	3	101	101	101			
	4	93	93	92			
07/08*	2	184	181	173	163	497	1974
	3	166	160	155			
	4	156	148	143			
<b>M.O. Υδροπεριόδου</b>		<b>122</b>	<b>118</b>	<b>111</b>	<b>117</b>	<b>363</b>	<b>1930</b>

**Πίνακας 23:** Εκτίμηση μείωσης της υδροπεριόδου των λιμνίων στη Γαύδο κατά το σενάριο B1 σε σχέση με τα υδρολογικά έτη 1997-1998, 1999-2000, 2000-2001, 2006-2007 και 2007-2008

Υδρολογικό έτος	Συντελεστής επιφανειακής απορροής	V > 1 m <sup>3</sup>	0.1 < V < 1 m <sup>3</sup>	V < 0.1m <sup>3</sup>	M.O. Μείωσης Υδροπεριόδου
97/98	2	-84	-60	-46	-56
	3	-75	-46	-43	
	4	-62	-45	-44	
99/00	2	-29	-9	-9	-15
	3	-24	-10	-10	
	4	-20	-13	-13	
00/01	2	-45	-19	-21	-22
	3	-28	-3	-24	
	4	-21	-11	-23	
06/07*	2	-82	-82	-80	-71
	3	-73	-72	-67	
	4	-68	-62	-57	
07/08*	2	-52	-32	-32	-38
	3	-48	-35	-31	
	4	-45	-33	-30	
<b>M.O. Μείωσης Υδροπεριόδου</b>		<b>-50</b>	<b>-35</b>	<b>-35</b>	<b>-40</b>

Στον πίνακα 24 παρουσιάζεται η εκτίμηση της επίπτωσης του σεναρίου Α1Β στην υδροπερίοδο των λιμνίων στη Γαύδο για τα υδρολογικά έτη 1997-1998, 1999-2000, 2000-2001, 2006-2007 και 2007-2008. Όπως φαίνεται και στον πίνακα 25 παρουσιάζεται σημαντική μείωση της υδροπεριόδου κατά μέσο όρο 45 ημέρες / έτος για τα υδρολογικά έτη που εξετάστηκαν ως αποτέλεσμα της εφαρμογής του μελλοντικού κλιματικού σεναρίου Α1Β. Μεγαλύτερη επίπτωση παρατηρείται στα μεγαλύτερα του 1 m<sup>3</sup> λιμνία (μείωση της υδροπεριόδου κατά 55 ημέρες).

**Πίνακας 24:** Εκτίμηση επίπτωσης του σεναρίου Α1Β στην υδροπερίοδο των λιμνίων στη Γαύδο για τα υδρολογικά έτη 1997-1998, 1999-2001, 2006-2008

Υδρολο- γικό έτος	Συντελεστής επιφανειακής απορροής	V > 1 m <sup>3</sup>	0.1 < V < 1 m <sup>3</sup>	V < 0.1m <sup>3</sup>	Μ.Ο. Υδροπε- ριόδου	Επιφα- νειακές κατακρη- μνίσεις (mm)	Εξάτμιση (mm/day)
97/98	2	111	111	111	98	311	1830
	3	98	98	94			
	4	90	87	82			
99/00	2	145	141	133	125	366	1954
	3	131	125	118			
	4	120	107	103			
00/01	2	105	100	91	84	278	2059
	3	93	79	72			
	4	87	67	63			
06/07*	2	112	112	112	99	365	2041
	3	94	94	94			
	4	90	90	90			
07/08*	2	180	178	171	158	497	2029
	3	158	155	150			
	4	149	142	136			
<b>Μ.Ο. Υδροπεριόδου</b>		<b>118</b>	<b>112</b>	<b>108</b>	<b>113</b>	<b>363</b>	<b>1982</b>

**Πίνακας 25:** Εκτίμηση μείωσης της υδροπεριόδου των λιμνίων κατά το σενάριο Α1Β σε σχέση με τα υδρολογικά έτη 1997-1998, 1999-2001, 2006-2008

Υδρολογικό έτος	Συντελεστής επιφανειακής απορροής	V > 1 m <sup>3</sup>	0.1 < V < 1 m <sup>3</sup>	V < 0.1m <sup>3</sup>	Μ.Ο. Μείωσης Υδροπεριόδου
97/98	2	-87	-63	-49	-58
	3	-77	-48	-44	
	4	-64	-47	-45	
99/00	2	-34	-12	-11	-19
	3	-28	-12	-12	
	4	-25	-19	-17	
00/01	2	-49	-22	-24	-29
	3	-33	-26	-27	
	4	-25	-28	-25	
06/07*	2	-85	-85	-83	-76
	3	-80	-79	-74	
	4	-71	-65	-59	
07/08*	2	-56	-35	-34	-43
	3	-56	-40	-36	
	4	-52	-39	-37	
<b>Μ.Ο. Μείωσης Υδροπεριόδου</b>		<b>-55</b>	<b>-41</b>	<b>-38</b>	<b>-45</b>

Στον πίνακα 26 παρουσιάζεται η εκτίμηση της επίπτωσης του σεναρίου Α2 στην υδροπερίοδο των λιμνίων στη Γαύδο για τα υδρολογικά έτη 1997-1998, 1999-2000, 2000-2001, 2006-2007 και 2007-2008. Όπως φαίνεται και στον πίνακα 27 παρουσιάζεται σημαντική μείωση της υδροπεριόδου κατά μέσο όρο 53 ημέρες / έτος για τα υδρολογικά έτη που εξετάστηκαν ως αποτέλεσμα της εφαρμογής του μελλοντικού κλιματικού σεναρίου Α2. Μεγαλύτερη επίπτωση παρατηρείται στα μεγαλύτερα του 1 m<sup>3</sup> λιμνία (μείωση της υδροπεριόδου κατά 63 ημέρες).

**Πίνακας 26:** Εκτίμηση επίπτωσης του σεναρίου Α2 στην υδροπερίοδο των λιμνίων στη Γαύδο για τα υδρολογικά έτη 1997-1998, 1999-2000, 2000-2001, 2006-2007 και 2007-2008

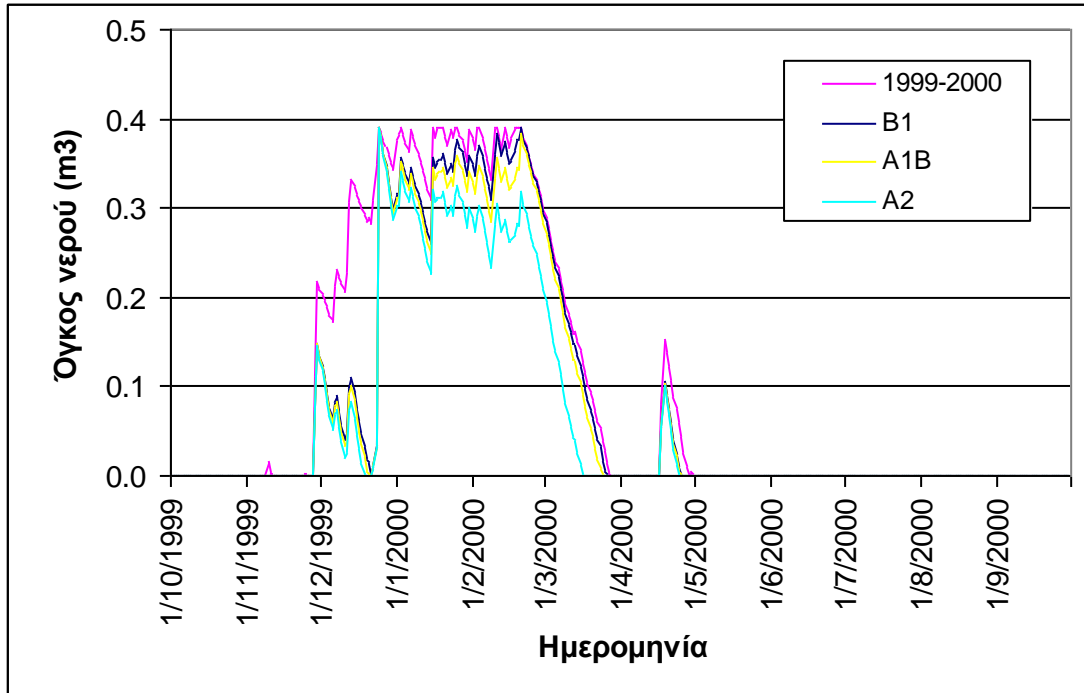
Υδρολογικό έτος	Συντελεστής επιφανειακής απορροής	V > 1 m <sup>3</sup>	0.1 < V < 1 m <sup>3</sup>	V < 0.1 m <sup>3</sup>	Μ.Ο. Υδροπεριόδου	Επιφανειακές κατακρημνίσεις (mm)	Εξάτμιση (mm/day)
97/98	2	104	104	104	91	311	1914
	3	91	91	88			
	4	83	80	76			
99/00	2	135	135	129	116	366	2064
	3	118	112	105			
	4	111	100	96			
00/01	2	98	92	85	78	278	2168
	3	87	72	66			
	4	81	62	58			
06/07*	2	101	101	101	91	365	2151
	3	91	91	91			
	4	82	82	82			
07/08*	2	170	170	166	148	497	2138
	3	149	146	141			
	4	137	129	125			
<b>Μ.Ο. Υδροπεριόδου</b>		<b>109</b>	<b>104</b>	<b>101</b>	<b>105</b>	<b>363</b>	<b>2087</b>

**Πίνακας 27:** Εκτίμηση μείωσης της υδροπεριόδου των λιμνίων στη Γαύδο κατά το σενάριο Α2 σε σχέση με τα υδρολογικά έτη 1997-1998, 1999-2000, 2000-2001, 2006-2007 και 2007-2008

Υδρολογικό έτος	Συντελεστής επιφανειακής απορροής	V > 1 m <sup>3</sup>	0.1 < V < 1 m <sup>3</sup>	V < 0.1 m <sup>3</sup>	Μ.Ο. Μείωσης Υδροπεριόδου
97/98	2	-94	-70	-56	-65
	3	-84	-55	-50	
	4	-71	-54	-51	
99/00	2	-44	-18	-15	-28
	3	-41	-25	-25	
	4	-34	-26	-24	
00/01	2	-56	-30	-30	-35
	3	-39	-33	-33	
	4	-31	-33	-30	
06/07*	2	-96	-96	-94	-83
	3	-83	-82	-77	
	4	-79	-73	-67	
07/08*	2	-66	-43	-39	-52
	3	-65	-49	-45	
	4	-64	-52	-48	
<b>Μ.Ο. Υδροπεριόδου</b>		<b>-63</b>	<b>-49</b>	<b>-46</b>	<b>-53</b>

Στην Εικόνα 84 παρουσιάζεται η διακύμανση του όγκου νερού στα λιμνία της Γαύδου με μέση χωρητικότητα από 0.1 m<sup>3</sup> έως 1 m<sup>3</sup> και με μέσο συντελεστή επιφανειακής

απορροής 3 κατά το υδρολογικό έτος 1999-2000 (έτος με μέση βροχόπτωση και υδροπερίοδο) και για τα μελλοντικά κλιματικά σενάρια που εφαρμόστηκαν B1, A1B και A2. Όπως φαίνεται η κατάταξη της επίπτωσης των κλιματικών σεναρίων από την εφαρμογή τους στο υδρολογικό έτος 1999-2000 ακολουθεί τη σειρά  $A2 > A1B > B1$  ενώ η μείωση του όγκου νερού φθάνει και τα 250 l. Μεγαλύτερη μείωση παρατηρείται το μήνα Δεκέμβριο δηλαδή στην αρχή της υγρής περιόδου οπότε η εξατμισοδιαπνοή είναι ακόμα υψηλή.



**Εικόνα 84:** Διακύμανση όγκου νερού στα λιμνία με χωρητικότητα από 0.1 m<sup>3</sup> έως 1 m<sup>3</sup> και με συντελεστή επιφανειακής απορροής 3 κατά το υδρολογικό έτος 1999-2000 και για τα μελλοντικά κλιματικά σενάρια που εφαρμόστηκαν B1, A1B και A2

Συμπερασματικά, τη μεγαλύτερη επίπτωση λόγω των κλιματικών αλλαγών στην υδροπερίοδο των λιμνίων προβλέπεται να υπάρξει για τα μεγαλύτερα λιμνία με χωρητικότητα άνω του 1 m<sup>3</sup>. Γενικά, φαίνεται ότι οι κλιματικές αλλαγές πρόκειται να επηρεάσουν σε σημαντικό βαθμό την υδροπερίοδο των λιμνίων στη Γαύδο, ώστε να τίθεται σε κίνδυνο η βιωσιμότητα της πανίδας και της χλωρίδας τους.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ένα φυσικής-βάσης κατανεμημένο ομοίωμα της λίμνης Κουρνά εφαρμόστηκε για τον υπολογισμό της υδροπεριόδου του ΜΕΛ. Ένας κρίσιμος παράγοντας στο στήσιμο του ομοιώματος ήταν η, όσο το δυνατόν ακριβέστερη, αναπαράσταση της οριακής συνθήκης των υπόγειων εισροών της υδρολογικής λεκάνης, ο οποίος επιτεύχθηκε χρησιμοποιώντας τους συντελεστές κατείσδυσης για τους γεωλογικούς σχηματισμούς της υπολεκάνης απορροής της λίμνης καθώς και το υδατικό ισοζύγιο της λίμνης. Τα αποτελέσματα παρουσιάζουν επίσης συμφωνία μεταξύ της προσομοιωμένης μέσης τιμής υδροπεριόδου των 75 ημερών και της παρατηρημένης τιμής των 72 ημερών. Τα στατιστικά κριτήρια που εξετάστηκαν στους δέκτες επαλήθευσης για την πρώτη περίοδο επαλήθευσης (split sample test) (Απριλίου-Σεπτεμβρίου 2005) κατέδειξαν καλή επαλήθευση του ομοιώματος με μέσο όρο 98% για το συντελεστή συσχέτισης R και 55% για το συντελεστή R2 (Nash-Sutcliffe).

Στην περίπτωση του Ομαλού ακολουθήθηκε μια “λιτή” προσέγγιση με την εφαρμογή της μαθηματικής αναπαράστασης του εννοιολογικού ομοιώματος του ΜΕΛ χρησιμοποιώντας το μαθηματικό λογισμικό Matlab, που αναπτύχθηκε από τους Σταμάτη και Νικολαΐδης (2006). Τα στατιστικά κριτήρια που εξετάστηκαν για τη βαθμονόμηση και την επαλήθευση (υδρολογικά έτη 2005-2006 και 2006-2007) παρουσιάζουν καλή συσχέτιση του ομοιώματος με τις παρατηρηθείσες μετρήσεις με συντελεστές συσχέτισης, R, 99.9% και R2(Nash-Sutcliffe) 98.2%.

Η επίπτωση των κλιματικών αλλαγών στη στάθμη της Λ. Κουρνά (και συνεπώς στο παρακείμενο ΜΕΛ) και στη στάθμη του ΜΕΛ στον Ομαλό, αξιολογήθηκε με την εφαρμογή δύο μελλοντικών κλιματικών σεναρίων. Τα αποτελέσματα για τα κλιματικά σενάρια IPCC B2 και A2 παρουσιάζουν μεγαλύτερη υδροπερίοδο και μικρότερη μείωση στο μέλλον για το ΜΕΛ στον Ομαλό από ότι στο ΜΕΛ της Λ. Κουρνά. Τα αποτελέσματα για το ΜΕΛ στη Λ. Κουρνά κατέδειξαν μείωση της υδροπεριόδου μεγαλύτερη των 52 ημερών μετά την εφαρμογή των σεναρίων IPCC. Το σενάριο A2 δεν παρουσιάζει σημαντικά διαφοροποιημένη-μεγαλύτερη επίπτωση στην υδροπερίοδο των ΜΕΛ. Συγκεκριμένα, μια διαφορά 3 έως 15 ημερών σε σύγκριση με τις προβλέψεις του σεναρίου IPCC B2 εκτιμήθηκε στην περίπτωση του ΜΕΛ της Λ. Κουρνά και 5 έως 8 ημερών, για το ΜΕΛ στον Ομαλό.

Κατά συνέπεια, τα πεδινά ΜΕΛ (Κουρνά) αποδείχθηκαν πολύ πιο τρωτά στην κλιματική αλλαγή σε σχέση με τα ορεινά (Ομαλό), δεδομένου ότι η ποσοστιαία (%) μείωση της υδροπεριόδου φθάνει το 68%, γεγονός που θα μπορούσε να αποβεί καταστρεπτικό για την πανίδα και τη χλωρίδα των λιμνίων.

Όσον αφορά τα ΜΕΛ στο Ελαφονήσι παρατηρείται μικρή μείωση της υδροπεριόδου κατά τρεις (3) ημέρες σε σχέση με το υδρολογικό έτος 2006-2007 και κατά έξι (6) ημέρες σε σχέση με το υδρολογικό έτος 2007-2008. Επίσης φαίνεται τα τρία μελλοντικά σενάρια να μη διαφέρουν σημαντικά στην επίπτωση που αυτά έχουν στον όγκο του νερού, στο βάθος της στάθμης και στην υδροπερίοδο του λιμνίου και για τα δύο υδρολογικά έτη που εξετάστηκαν.

Φαίνεται ότι η διακύμανση της υδροπεριόδου των λιμνίων στο Ελαφονήσι εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη συχνότητα και λιγότερο από την ποσότητα των

βροχοπτώσεων. Γενικά τα λιμνία δεν αποθηκεύουν νερό για πολλές ημέρες ακόμη και με μεγάλες ποσότητες βροχόπτωσης.

Συμπερασματικά, τα κλιματικά σενάρια που εφαρμόστηκαν στα ΜΕΛ στο Ελαφονήσι για τα υδρολογικά έτη 2006-2007 και 2007-2008 δεν κατέδειξαν σημαντικές επιπτώσεις στην υδροπερίοδο των λιμνίων EL2 και EL11. Κλιματικά σενάρια που θα εμπειρείχαν και προβλεπόμενες μεταβολές στη συχνότητα των γεγονότων βροχόπτωσης ίσως έδιναν πιο ολοκληρωμένη και ουσιαστική εικόνα των επιπτώσεων των κλιματικών αλλαγών στην υδροπερίοδο των συγκεκριμένων λιμνίων.

Σε σχέση με τα ΜΕΛ στη Γαύδο, τη μεγαλύτερη επίπτωση λόγω των κλιματικών αλλαγών στην υδροπερίοδο των λιμνίων προβλέπεται να υπάρξει για τα μεγαλύτερα λιμνία με χωρητικότητα άνω του 1 m<sup>3</sup>. Γενικά, φαίνεται ότι οι κλιματικές αλλαγές πρόκειται να επηρεάσουν σε σημαντικό βαθμό την υδροπερίοδο των λιμνίων στη Γαύδο, ώστε να τίθεται σε κίνδυνο η βιωσιμότητα της πανίδας και της χλωρίδας τους.

Πρέπει να τονιστεί ότι εφόσον τα κλιματικά σενάρια επαληθεφθούν και η υδροπερίοδος των λιμνίων αλλάξει σημαντικά σύμφωνα με τα ανωτέρω (στην Γαύδο και στην Κουρνά) θα πρέπει ο φορέας που είναι αρμόδιος για την διαχείριση των υδάτων (Δ/ση Υδάτων της Περιφέρειας Κρήτης) να λάβει μέτρα αποκατάστασης της υδροπεριόδου των λιμνίων. Συγκεκριμένα, **στην Α. Κουρνά, η στάθμη της πρέπει να διατηρείται σε υψόμετρο ανώτερο των +18,5 m για τουλάχιστον 70 μέρες κάθε έτος (από Ιανουάριο – Ιούνιο) και επομένως οι απολήψεις νερού πρέπει να ρυθμίζονται ανάλογα. Στην Ν. Γαύδο θα πρέπει να προγραμματιστούν και να γίνουν εντός της επόμενης 10ετίας έργα εκμετάλλευσης και διαχείρισης νερού.** Συγκεκριμένα πρέπει σταδιακά να μην χρησιμοποιούνται τα λιμνία (αρόλιθοι) για την ύδρευση των οικόσιτων ζώων αλλά θα πρέπει να εξασφαλισθούν ποσότητες νερού (με λιμνοδεξαμενές και γεωτρήσεις) που να εξυπηρετούν τις ολοένα αυξανόμενες ανάγκες των ανθρώπων και των οικόσιτων ζώων. Τα έργα αυτά είναι έτσι και αλλιώς άμεσα αναγκαία με δεδομένη την τουριστική ανάπτυξη του νησιού και την έλλειψη πόσιμου νερού που αντιμετωπίζει σήμερα.

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι δεν υπάρχουν παρόμοιες εφαρμογές για την προσομοίωση της υδροπεριόδου των Μεσογειακών Εποχικών Λιμνίων στη βιβλιογραφία δεδομένου ότι αυτός ο οικότοπος θεωρείται ότι δεν έχει μελετηθεί επαρκώς. Παρόλ' αυτά, οι προσεγγίσεις των μαθηματικών ομοιωμάτων που ακολουθήθηκαν σε αυτήν την προσπάθεια θα μπορούσαν να προσαρμοστούν εύκολα σε άλλες παρόμοιες εφαρμογές εποχικών υδατικών σωμάτων.



## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

Σταμάτη Φ και Νικολαΐδης Ν (2006) Τεχνική Έκθεση: Υδρολογία και Γεωχημεία των Μεσογειακών Εποχικών Λιμνίων (ΜΕΛ) της Δυτικής Κρήτης, Πολυτεχνείο Κρήτης, Εργαστήριο Υδρογεωχημικής Μηχανικής και Αποκατάστασης Εδαφών, Έργο: Life-Φύση 2004, Δράσεις Προστασίας των Μεσογειακών Εποχικών Λιμνίων στη Νήσο Κρήτη, Σεπτέμβριος 2006

Abbott M, Bathrust J, Cunge J, O'Connell P and Rasmussen J (1986) An introduction to the European Hydrological System-Systeme Hydrologique Europeen, "SHE", 2 : modelling system, Journal of Hydrology, 87, 61-77

Collinson N H, Biggs J, Corfield A, Hodson M J, Walker D, Whitfield M, Williams P J. (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

Dimitriou E and Zacharias I (2006) Quantifying The Rainfall-Water Level Fluctuation Process in a Geologically Complex Lake Catchment, Environmental Monitoring and Assessment, 119, 1-3, 491-506

Dimitriou E, Moussoulis E, Kolobari E and Diapoulis A (2006) Hydrological study of MTP catchments in Crete; In: Dimitriou E and Diapoulis A (Editors) (2006) Actions for the conservation of the Mediterranean Temporary Ponds in Crete, Final Report, Project Life-Nature 2004, HCMR

Grillas P, Gauthier P, Yavercovski N and Perennou C (2004) Mediterranean Temporary Pools; Volume 1 – Issues relating to conservation, functioning and management, Station biologique de la Tour du Valat, Technical Report

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007) Climate Change: Working Group I: The Scientific Basis. [Online] Retrieved from the web: [http://www.grida.no/climate/ipcc\\_tar/wg1/008.htm](http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/008.htm)

Kokkonen T S and Jakeman A J (2001) A comparison of metric and conceptual approaches in rainfall-runoff modeling and its implications, *Water Resources Research*, 37, 9, 2345-2352

Kristensen K J and Jensen S E (1975) A model for estimating actual evapotranspiration from potential evapotranspiration, *Nordic Hydrology*, 6, 70-88

MEPPW (Ministry for the Environment, Physical Planning and Public Works) (2004) Country Profile: Greece, National Reporting to the Twelfth Session of the COMMISSION on SUSTAINABLE DEVELOPMENT of the UNITED NATIONS (UN CSD 12), Athens, March 2004

Region of Crete (2007) Condition of groundwater aquifers in Crete, Observations for current hydrological year (1/11/2006 to 31/10/2007), Heraklio, October 2007

Thompson J R, Sørensen H R, Gavina H and Refsgaard A (2004) Application of the coupled MIKE SHE/MIKE 11 modelling system to a lowland wet grassland in southeast England, *Journal of Hydrology*, 293, 151-179

Ward R C and Robinson M (1990) *Principles of hydrology*, McGraw-Hill, New York

Warwick N W M and Brock M A. (2003) Plant reproduction in temporary wetlands: the effects of seasonal timing, depth, and duration of flooding. *Aquatic Botany* 77: 153–167.