

**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ  
ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ  
ΠΜΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ**

---

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΛΕΙΨΥΔΡΙΑΣ  
PALMER (PDSI) ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ**

**Αναστάσιος Τόπης**

**ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:**

**Σταύρος Αλεξάνδρης, Λέκτορας ΓΠΑ (επιβλέπων)**

Κων/ντίνος Κοσμάς, Καθηγητής ΓΠΑ

Χρίστος Καραβίτης, Επίκ. Καθηγητής ΓΠΑ

Αθήνα 2012

**ΠΜΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**  
**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ**



**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ**  
**ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ**  
**ΔΕΙΚΤΗ ΛΕΙΨΥΔΡΙΑΣ**  
**PALMER (PDSI) ΣΤΗΝ**  
**ΕΛΛΑΔΑ**



**Αναστάσιος Τόπης**

Αθήνα 2012

**Τριμελής Επιτροπή:**

Επιβλέπων: Σταύρος Αλεξανδρής, Λέκτορας Γ.Π.Α.

Μέλος: Κωνσταντίνος Κοσμάς, Καθηγητής Γ.Π.Α.

Μέλος: Χρίστος Καραβίτης, Επίκουρος Καθηγητής Γ.Π.Α

## Πρόλογος

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία με τίτλο «Εφαρμογή του PDSI στον Ελλαδικό χώρο για την ολοκληρωμένη διαχείριση των λειψυδριών» μου ανατέθηκε από τον κ. Σταύρο Αλεξανδρή Λέκτορα του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών του τμήματος Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής και πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής του τομέα Διαχείρισης Υδατικών Πόρων. Η μεταπτυχιακή εργασία περιλαμβάνει τη μελέτη των σημαντικών λειψυδριών τα τελευταία είκοσι χρόνια στον Ελλαδικό χώρο. Η εκτεταμένη αναφορά του τύπου για τα προβλήματα που δημιουργούσε η λειψυδρία όλα αυτά τα χρόνια έδωσε το έναυσμα για περαιτέρω μελέτη και ανάλυση των αποτελεσμάτων.

Το κλίμα της Ελλάδος είναι ευαίσθητο σε συχνά φαινόμενα λειψυδρίας, αυτό οφείλεται στην χωροχρονική κατανομή των κατακρημνισμάτων δηλαδή στις υγρές περιόδους (Οκτώβριος-Μάρτιος) και στις ξηρές περιόδους (Απρίλιος-Σεπτέμβριος). Αντιλαμβάνεται κανείς ότι αν δεν σημειωθούν βροχοπτώσεις στην περίοδο Οκτώβριος-Μάρτιος τότε θα δημιουργηθούν προβλήματα στη διαθεσιμότητα των υδατικών πόρων. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος χρειάζεται τακτική παρατήρηση και επεξεργασία των μετεωρολογικών δεδομένων αλλά και την ταυτόχρονη εφαρμογή προληπτικού σχεδιασμού. Ένας τρόπος πρόληψης είναι ο υπολογισμός δεικτών λειψυδρίας μιας περιοχής ή μιας χώρας για την έγκαιρη αναγνώριση του προβλήματος.

Ο δείκτης λειψυδρίας PDSI είναι ένας αξιόπιστος και διαδομένος δείκτης, αναγνωρίζει έγκαιρα την εμφάνιση του φαινομένου αλλά και την ένταση του. Τα δεδομένα που χρησιμοποιεί είναι η βροχόπτωση και η θερμοκρασία μηνιαία κλίμακα και την ικανότητα συγκράτησης του νερού στο έδαφος.

### Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Επιβλέποντα Καθηγητή κ. Σταύρο Αλεξανδρή Λέκτορα του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών του τμήματος Αξιοποίηση Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής για την πολύτιμη συμβολή, υποστήριξη και συμπαράστασή του με τα οποία κατέστη δυνατή η εκπόνηση αυτής της εργασίας. Παράλληλα θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, τον κ. Χρίστο Καραβίτη Επίκουρο Καθηγητή του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών του τμήματος Αξιοποίηση Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής για την πολύτιμη βοήθεια του σε σημαντικά προβλήματα όπου έδωσε λύσεις και συντέλεσε στην ολοκλήρωση της μελέτης και τον κ. Κωνσταντίνο Κοσμά, Καθηγητή του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών του τμήματος Αξιοποίηση Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, που συνετέλεσε στην κατανόηση βασικών εννοιών για την άριστη διεξαγωγή της παρούσας μελέτης.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους μου που με στήριξαν και με βοήθησαν τόσο ηθικά όσο και υλικά, ώστε να μπορέσω να ανταπεξέλθω στις απαιτήσεις για την πραγματοποίηση αυτής της εργασίας

## Περιεχόμενα

Περίληψη.....	2
Κεφάλαιο 1 <sup>ο</sup> Εισαγωγή.....	3
Κεφάλαιο 2 <sup>ο</sup> Βιβλιογραφική Ανασκόπηση.....	4
2.1 Υδατικοί πόροι στον Ελλαδικό χώρο.....	8
2.2 Κατακρημνίσματα.....	11
2.2.1 Βροχόπτωση.....	11
2.2.2 Χιόνι.....	14
2.2.3 Χαλάζι.....	17
2.3 Θερμοκρασία Αέρα.....	19
2.4 Ικανότητα συγκράτησης του νερού στο έδαφος.....	24
2.5 Λειψυδρία.....	25
2.6 Αίτια - Επιπτώσεις της λειψυδρίας.....	27
2.7 Δείκτες Λειψυδρίας.....	30
Κεφάλαιο 3 <sup>ο</sup> Μεθοδολογία της Μελέτης.....	46
Κεφάλαιο 4 <sup>ο</sup> Ανάπτυξη του PDSI & Γεωστατιστική.....	48
4.1 Διαδικασία υπολογισμού (PDSI).....	48
4.2 Δείκτης PDSI.....	51
4.2.1 Δυνητική εξατμισοδιαπνοή.....	51
4.2.2 Υπολογισμός του PDSI.....	51
4.3 Γεωστατιστική Μέθοδος (Kriging).....	55
Κεφάλαιο 5 <sup>ο</sup> Εφαρμογή του δείκτη PDSI.....	60
5.1 Περιοχή Μελέτης.....	60
5.2 Επεξεργασία Δεδομένων.....	64
5.3 Δημιουργία Χαρτών με την Βοήθεια Λογισμικού.....	69
Κεφάλαιο 6 <sup>ο</sup> Αποτελέσματα-Αξιολόγηση.....	73
Κεφάλαιο 7 <sup>ο</sup> Συμπεράσματα.....	82
Βιβλιογραφία.....	89
Παράρτημα I Βροχοπτώσεις.....	93
Παράρτημα II Θερμοκρασίες.....	106
Παράρτημα III Δείκτης PDSI.....	120
Παράρτημα IV Γεωστατιστικοί Χάρτες κατανομής PDSI.....	134

## **Περίληψη**

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία έχει τομέα μελέτης την λειψυδρία στον Ελλαδικό χώρο για τα τελευταία είκοσι χρόνια (1989-2009). Αυτό πραγματοποιήθηκε με την βοήθεια του δείκτη λειψυδρίας PDSI με τη χρήση του οποίου παρουσιάστηκαν τα έτη με τις ακραίες λειψυδρίες στους σαράντα (40) μετεωρολογικών σταθμών. Έπειτα δημιουργήθηκαν οι χάρτες τις λειψυδρίας για τα έτη 1989, 1990, 1992, 1993, 2000 και 2007 με την γεωστατιστική μέθοδο kriging για όλους τους μετεωρολογικούς σταθμούς. Δημιουργήθηκαν 40 διαγράμματα PDSI ένα για κάθε σταθμό και 72 χάρτες λειψυδρίας ένας κάθε μήνα για τα έτη που επιλέχθηκαν. Τέλος αναλύθηκαν τα αποτελέσματα από τους χάρτες και προτάθηκαν διαχειριστικά μέτρα για την αντιμετώπιση του φαινομένου.

## **Abstract**

This thesis has study drought in Greece for the last twenty years (1989-2009). This was done with the drought index PDSI by the use which occurred the years with extreme drought in the forty (40) meteorological stations. Then, drought maps were created for years 1989, 1990, 1992, 1993, 2000 and 2007 with the geostatistical method of kriging for all the meteorological stations. Forty diagrams of PDSI, one for every meteorological station, and seventy two maps, one for every month of the selected years, were created. Finally, the results of the maps were analyzed and management measures to fight the phenomenon were proposed.

# Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup>

## Εισαγωγή

Σκοπός του πρώτου κεφαλαίου είναι η περιληπτική περιγραφή του αντικειμένου που πραγματεύεται κάθε ενότητα. Συνολικά υπάρχουν επτά κεφαλαία και τέσσερα παραρτήματα. Στο δεύτερο κεφάλαιο δίνονται πληροφορίες σχετικά με τη βιβλιογραφική ανάλυση, όπως γενικά στοιχεία για το φαινόμενο της λειψυδρίας και διάφορες αιτίες που την προκαλούν. Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται η διαδικασία σχεδιασμού της παρούσας μελέτης, δηλαδή η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε, καθώς επίσης και τα στάδια εκπόνησης της.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μια λεπτομερής ανάλυση του δείκτη λειψυδρίας (PDSI). Επίσης αναλύεται η γεωστατιστική μέθοδο kriging που χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία των χαρτών της λειψυδρίας για τα επιλεγόμενα έτη. Στο πέμπτο κεφάλαιο δίνονται γενικές πληροφορίες σχετικά με την περιοχή μελέτης, όπως η γεωγραφική θέση, η θέση των μετεωρολογικών σταθμών που μελετήθηκαν, καθώς επίσης και το κλίμα της Ελλάδος. Επιπρόσθετα αναλύονται οι διαδικασίες υπολογισμού του δείκτη αλλά και δημιουργίας των χαρτών.

Στο έκτο κεφάλαιο περιγράφονται τα αποτελέσματα και η αξιολόγηση τους που προέκυψαν κατόπιν επεξεργασίας των μετεωρολογικών δεδομένων. Τέλος, στο έβδομο κεφάλαιο αναφέρονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από το σύνολο της εργασίας.



## Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>

### Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

#### *Γενικά*

Από πολύ παλιά ο άνθρωπος χρησιμοποιούσε το νερό για ζωτικές, ως προς την επιβίωσή του, παραδοσιακές χρήσεις. Όταν ο άνθρωπος ζούσε από το κυνήγι, κατοικούσε σε περιοχές κοντά στο νερό, στις οποίες πήγαιναν τα θηράματα του για να ξεδιψάσουν. Αργότερα με την καλλιέργεια του εδάφους, συνειδητοποίησε ότι το νερό είναι απόλυτα αναγκαίο για τις σοδειές του, γεγονός που μαρτυρείται από τα ερείπια παλαιών αρδευτικών δικτύων, που αξιοποιούσαν με κάθε δυνατό μέσο τη μέγιστη δυνατή χρήση του διαθέσιμου νερού. Με τη συγκρότηση των κοινωνικών ομάδων και την εγκαθίδρυση των μόνιμων οικισμών, δημιουργήθηκε ένας ανταγωνισμός για την κατοχή του επιθυμητού ζωτικού χώρου που χαρακτηριζόταν από την αφθονία του γλυκού νερού και επομένως από την επάρκεια της τροφής. Εξάλλου, το νερό ως μέσο μεταφοράς, καλύπτοντας την ανάγκη της ανταλλαγής των προϊόντων και του εμπορίου, μετέτρεψε την ανθρώπινη αυτή δραστηριότητα σε συντελεστή οικονομικής και πολιτιστικής προόδου. Όπως γνωρίζουμε, στην κοιλάδα του Νείλου, βάρκες και σχεδίες συνέδεαν τους ανθρώπινους καταυλισμούς για πολλούς αιώνες, ενώ η σημασία του νερού για τις μεταφορές φαίνεται και από τα αφιερώματα που βρίσκονται στους βασιλικούς τάφους της αρχαίας Αιγύπτου.

Οι αρχαιότεροι πολιτισμοί δημιουργήθηκαν στις πεδινές περιοχές της Β. Αφρικής και νοτιοδυτικής Ασίας, στις οποίες το νερό είναι πολύτιμο. Στις περιοχές αυτές, οι άνθρωποι αναγνωρίζοντας τη σημασία των υδατικών πόρων, αξιοποίησαν μεθοδολογικά τις χρήσιμες ιδιότητες τους και εφάρμοσαν τη γνώση και τη τεχνολογία της εποχής εκείνης στο περιβάλλον της περιοχής τους και ειδικότερα στις πρακτικές άρδευσης και αποστράγγισης των καλλιεργειών τους.

Προϋπόθεση αλλά και αποτέλεσμα της εμφάνισης μεγάλων πολιτισμών στην Αίγυπτο, στη Μεσοποταμία και στην Κίνα ήταν η ύπαρξη του νερού. Οι πρώτες ανθρώπινες κοινωνίες, από την 4η χιλιετία, δημιούργησαν σημαντικά τεχνικά έργα για τη χρήση και την αξιοποίηση του νερού. Επίσης, έργα ύδρευσης αναφέρονται τη δεύτερη χιλιετία στην Αίγυπτο, στην Κίνα, στην Περσία, στην Κρήτη, κ.ά. Γνωστά από τη μυθολογία είναι τα αρδευτικά έργα στην περιοχή της Κωπαΐδας, στον Αχελώο και στον Αλφειό, κατά την προϊστορική περίοδο στην Ελλάδα. Από το 1250 μέχρι το 800 π.χ., ακολούθησε μια αβέβαιη περίοδος κατά την οποία εμφανίζονται τα πρώτα συστηματικά έργα αξιοποίησης των υδατικών πόρων στην Αθήνα την περίοδο του Πεισίστρατου. Από το Σόλωνα το νομοθέτη, συντάσσονται σχετικοί Νόμοι για τη διαχείριση των νερών όπου απαγορευόταν η διάνοιξη πηγαδιού στην ίδια περιοχή όταν σε ορισμένη απόσταση προϋπήρχε άλλο πηγάδι.

Οι Ρωμαίοι, ως άριστοι μηχανικοί κατασκεύασαν σε ολόκληρη την αυτοκρατορία τους έργα μεγάλης κλίμακας και έτσι εξασφάλισαν υποδειγματικές για την εποχή τους συνθήκες υγιεινής και καθαριότητας. Αργότερα, ο Μεσαίωνας χαρακτηρίζεται από μεγάλη οπισθοδρόμηση με συνέπεια τις μεγάλες επιδημίες και την κατάρρευση του αναπτυξιακού και πολιτιστικού επιπέδου της εποχής. Τότε, χρησιμοποιούνταν τα ρυάκια στις πόλεις, ως αγωγοί για τα λύματα. Συνήθιζαν να ρίχνουν στο δρόμο τα σκουπίδια και τα ακάθαρτα νερά και να περιμένουν τις βροχές για να τα παρασύρουν μακρύτερα. Χολέρα, δυσεντερία και τύφος υπήρξαν οι συνέπειες, ενώ μόλις στα μέσα του προηγούμενου αιώνα άρχισαν να κατασκευάζονται αποχετευτικοί αγωγοί.

Με το πέρασμα πολλών αιώνων και φτάνοντας στη βιομηχανική επανάσταση, διαφοροποιούνται οι χρήσεις των υδατικών πόρων, εντατικοποιούνται οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες που σχετίζονται με αυτούς και αρχίζουν να εμφανίζονται κίνδυνοι που απειλούν και την ποιότητα και την επάρκειά του. Σ' αυτό συνέβαλε σημαντικά και η αυξημένη χρήση των επιφανειακών νερών, ιδιαίτερα των λιμνών και ποταμών, για ύδρευση, άρδευση, ενέργεια, υδατοκαλλιέργεια, αναψυχή, τουρισμό και για περιβαλλοντική χρήση.

Παλαιότερα, η φυσική-δυναμική λειτουργία του βιο-γεω-φυσικού χώρου κατόρθωνε να αντισταθμίζει (αυτοκαθαρισμός) και να εξισορροπεί τις ανθρώπινες επεμβάσεις και συμπεριφορές πάνω στο νερό και τους πόρους του. Η οργάνωση όμως του σύγχρονου παραγωγικού συστήματος, σε συνδυασμό με τις αυξημένες απαιτήσεις για καταναλωτικά αγαθά και νέες ανάγκες, οδήγησαν στην εντατικοποίηση των διαφόρων δραστηριοτήτων οι οποίες διατάραξαν την ισορροπία της φυσικής λειτουργίας των υδάτινων πόρων. Κάπως έτσι δημιουργήθηκαν τα προβλήματα της ρύπανσης των νερών. Σήμερα, στις σοβαρότερες μορφές ρύπανση των νερών συγκαταλέγονται η χημική ρύπανση, ρύπανση από βιομηχανικά απόβλητα, αστικά λύματα και γεωργοκτηνοτροφικές απορροές, η ραδιενεργός ρύπανση, η ρύπανση από πετρελαιοειδή, καθώς και η θερμική ρύπανση.

Πριν από λίγες δεκαετίες, οι απαιτήσεις ενός περισσότερο ευαισθητοποιημένου κοινού για καλύτερες συνθήκες ζωής και για αναβαθμισμένη ποιότητα νερού, καθώς και η ανάγκη κάλυψης πολλαπλών χρήσεων που προσφέρουν οι υδατικοί πόροι, ιδίως σε περιοχές με ανεπάρκεια νερού, δημιούργησαν την ανάγκη προστασίας του. Στις μέρες μας, προβάλλει επιτακτική η ανάγκη για συνετή διαχείριση των υδατικών πόρων, ώστε να εξασφαλίζεται η μόνιμη και καλή ποιότητα τους. Σημασία όμως έχει και η επαρκής ποσότητα σε επιφανειακούς και υπόγειους υδατικούς πόρους, γιατί είναι πλέον γνωστό ότι, το νερό είναι πολύτιμος φυσικός πόρος σε ανεπάρκεια.

Το νερό γενικά είναι βασικό στοιχείο όχι μόνο για τη διατήρησης και ανάπτυξης της ζωής στον πλανήτη μας, αλλά και πολιτικό όπλο. Δυστυχώς όμως, ενώ αυξάνονται σταθερά οι ανάγκες εκμετάλλευσης των υδατικών πόρων, μειώνονται όλο και περισσότερο τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματά τους. Παράλληλα, απειλείται η ποιότητά τους και δημιουργούνται προβλήματα λόγω και της εντατικής εκμετάλλευσης του εδάφους με τις γεωργικές καλλιέργειες. Έτσι, τα υπόγεια νερά, αποτελούν αποθεματικό φυσικό πόρο στρατηγικής σημασίας που πολύ δύσκολα ανανεώνονται.

Στο παρελθόν, σε πολλές περιοχές στην Ελλάδα το υπόγειο νερό ήταν ιδιαίτερα κατάλληλο για πόση. Σήμερα, οι πιθανότητες ρύπανσης των υπόγειων νερών

είναι πολλαπλές και συνδέονται με τις ανεξέλεγκτες απορρίψεις των απορριμμάτων, την υπέρ-χρήση των γεωργικών λιπασμάτων και φαρμάκων, τις απορρίψεις βιομηχανικών αποβλήτων, την απουσία αποχέτευσης, την αποθήκευση και μεταφορά επικίνδυνων χημικών ουσιών, τις εξορυκτικές δραστηριότητες, την υπεράντληση για αρδευτικούς κυρίως σκοπούς, την υπερβόσκηση, την ανεξέλεγκτη υλοτομία κ.ά. Επίσης, για τη χώρα μας είναι αρκετά επίκαιρο τα τελευταία έτη, η επείγουσα λήψη πρακτικών μέτρων, για το πρόβλημα που έχει αρχίσει να εμφανίζεται από την εισχώρηση-εισβολή του θαλασσινού νερού (υφαλμύρωση) προς τους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες, ιδιαίτερα στις παράκτιες πεδιάδες και στα νησιά. Εξάλλου, και οι εκτεταμένες πυρκαγιές διαφοροποιούν πλέον, περισσότερο ή λιγότερο το κλιματικό και υδατικό καθεστώς των περιοχών με συνέπεια να αναμένεται η εμφάνιση ακραίων φαινομένων, όπως πλημμύρες, ξηρασία, ερημοποίηση κλπ.

## 2.1 Υδατικοί πόροι στον Ελλαδικό χώρο

Η χώρα μας έκτασης 131.950 Km<sup>2</sup> περίπου έχει την ιδιομορφία να παρουσιάζει μια ακτογραμμή 16.000 Km που αναπτύσσεται στην ηπειρωτική χώρα και στα 3.000 περίπου νησιά μας (έκτασης 25.166 Km<sup>2</sup>). Το 5% της ακτογραμμής αντιστοιχεί σε υδροβιότοπους. Από τα 3.000 νησιά μας 63 είναι τα κυριότερα από άποψη μεγέθους. Σε αντιδιαστολή σημειώνεται ότι τα νησιά σε ολόκληρη τη Μεσόγειο αριθμούν περίπου τα 4.000.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό είναι ότι η βροχόπτωση η οποία ποικίλλει ιδιαίτερα, κατά μέσο όρο, στη Δυτική Ελλάδα (1.100 mm) είναι τριπλάσια περίπου από ότι στην Ανατολική Ελλάδα (350 mm). Χαρακτηριστικά αναφέρονται οι μέσες ετήσιες βροχοπτώσεις σε διάφορες πόλεις:

*Πίνακας 2.1. Ποικιλομορφία ετήσιας βροχόπτωσης στην ελληνικά επικράτεια.*

Περιοχή	Ετήσιο Ύψος Υετού
Νάξος	368 mm
Αθήνα	400 mm
Ιωάννινα	1088 mm
Χανιά	548 mm
Κέρκυρα	936 mm

Η μέση ετήσια τιμή των κατακρημνισμάτων στην Ελλάδα είναι 115 δις m<sup>3</sup> απ' όπου το 50-60% περίπου χάνεται με την εξατμισοδιαπνοή. Στη χώρα μας το 85-90% των αποθεμάτων του γλυκού νερού είναι επιφανειακά και το 10-15% υπόγεια, ενώ το 40% του νερού άρδευσης προέρχεται από υπόγειους υδροφορείς. Μια απλή εκτίμηση της ετήσιας κατανομής μπορεί να είναι η παρακάτω:

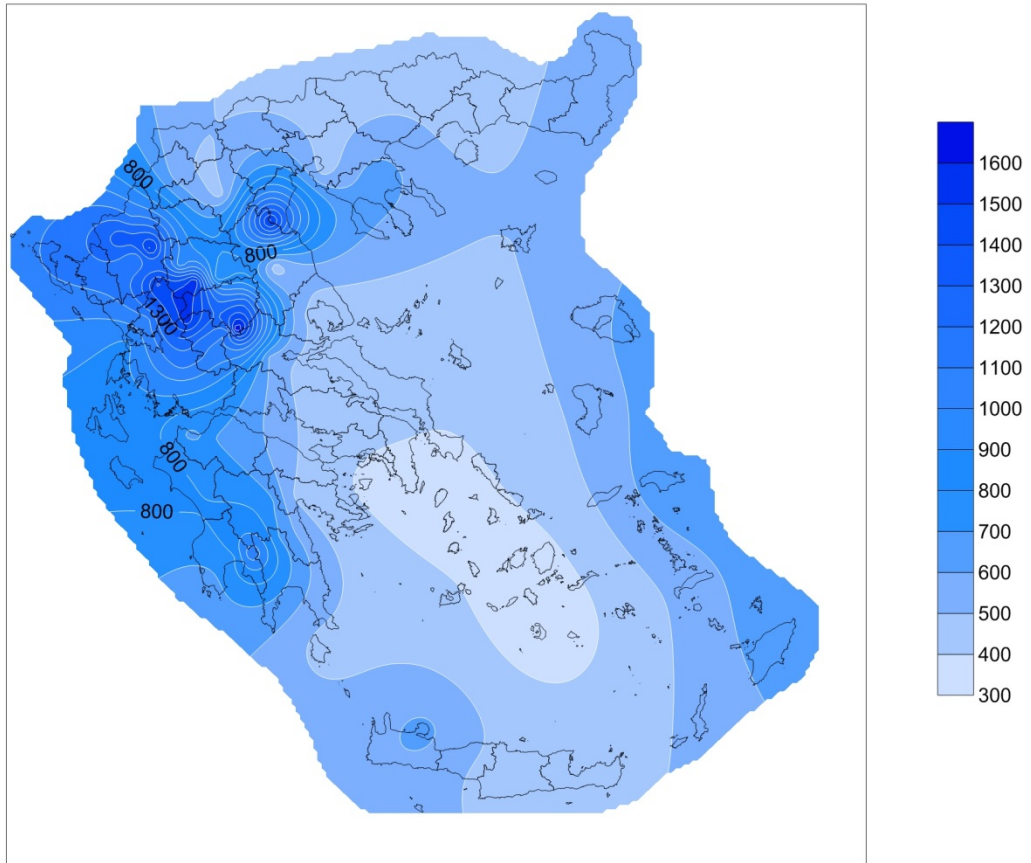
Η μέση κατανάλωση νερού στην Ελλάδα φθάνει τα 5.500 hm<sup>3</sup>/έτος, ήτοι περίπου 5.500 m<sup>3</sup>/yr ανά κάτοικο. Από αυτά η άρδευση καταναλώνει περίπου το 84-85 %, η ύδρευση το 13-15 % και η βιομηχανία το 2-4%.

Όσον αφορά στους υγροτόπους στην Ελλάδα τα  $\frac{3}{4}$  αυτών έχουν χαθεί μέσα στον τελευταίο αιώνα. Οι κύριοι παράγοντες που προκαλούν την υποβάθμιση των υγροτόπων είναι η κατασκευή αρδευτικών έργων και οι εκτροπές των ποταμών, η υπερβολική άντληση νερού, οι εκχερσώσεις, το παράνομο κυνήγι, οι εκροές από τις αγροτικές περιοχές, αστικά ή βιομηχανικά λύματα, η αστική ανάπτυξη και η επέκταση των καλλιεργούμενων εκτάσεων.

Εξάλλου τα τέσσερα μεγάλα διεθνή ποτάμια μας αποτελούν το 25% περίπου των ελληνικών επιφανειακών υδάτινων πόρων.

- Αξιός: 5,0 εκ. m<sup>3</sup>/έτος
- Νέστος: 1,8 εκ. m<sup>3</sup>/έτος
- Στρυμόνας: 3,4 εκ. m<sup>3</sup>/έτος
- Έβρος: 3,25 εκ. m<sup>3</sup>/έτος

Το ερευνητικό πρόγραμμα Κέντρο Διαχείρισης των Λειψυδριών της Νότιο-Ανατολικής Ευρώπης (DMCSEE) έχει δημιουργήσει χάρτες βροχόπτωσης, θερμοκρασίας αλλά και λειψυδριών, παρακάτω εμφανίζεται ο χάρτης με τις ισοϋέτιες στην Ελλάδα (χάρτης 2.1).



*Χάρτης 2.1. Ισοϋέτιες στον Ελλαδικό χώρο (DMCSEE project, [www.dmcsee.org/GISapp/](http://www.dmcsee.org/GISapp/))*

## 2.2 Κατακρημνίσματα

### 2.2.1 Βροχόπτωση

Είναι γνωστό ότι οι υδροσταγόνες, που δημιουργούνται μέσα στα νέφη, είναι το αποτέλεσμα της συνένωσης πολλών υδροσταγονιδίων ή και παγοκρυσταλλίων (Α. Φλόκα, 1997). Αν οι σταγόνες αυτές ή οι παγοκρυσταλλοί, στην κάθοδο τους (εξαιτίας του βάρους τους), περνούν από ατμοσφαιρικά στρώματα, που τις διατηρούν στην υγρή φάση ή τις τήκουν, και φθάνουν στο έδαφος προτού εξατμισθούν, τότε δημιουργείται το φαινόμενο της βροχής. Η ανάλυση ενός νέφους σε βροχή εξαρτάται, κυρίως, από τους παρακάτω τέσσερις παράγοντες, οι οποίοι είναι:

1. Η ύπαρξη διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ των γειτονικών στοιχείων του νέφους,
2. η συνύπαρξη των τριών φάσεων του νερού στο νέφος,
3. η ύπαρξη σχετικών αναταρακτικών κινήσεων και
4. η ύπαρξη ανομοιόμορφου ηλεκτρικού φορτίου στα στοιχεία του νέφους.

Οι συνθήκες αυτές συντελούν, σε μεγάλο βαθμό, στο σχηματισμό των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων. Οι βροχές, ανάλογα με τον τρόπο που ψύχονται οι αέριες μάζες για να γίνει συμπύκνωση των υδρατμών και στη συνέχεια σχηματισμός των νεφών, διαίρονται σε τρεις κατηγορίες:

1. Βροχές μεταφοράς. Αυτές σχηματίζονται από ισχυρές ανοδικές κινήσεις (κατακόρυφης μεταφοράς) ή από μεταφορά θερμών και υγρών αερίων μαζών, πάνω σε ψυχρότερες περιοχές (οριζόντια μεταφορά).
2. Υφειακές ή κυκλωνικές βροχές. Οι βροχές αυτές αποδίδονται στην ανάμιξη ή εκτόνωση αερίων μαζών που σημειώνεται κατά τις ανοδικές κινήσεις που δημιουργούνται κοντά στα θερμά και ψυχρά μέτωπα.
3. Ορογραφικές (ή ανάγλυφου) βροχές. Αυτές οφείλονται στην εκτόνωση της αέριας μάζας κατά τη διάρκεια των ανοδικών κινήσεων στις προσήνεμες



πλευρές των βουνών. Τα βουνά δεν προκαλούν άμεσα βροχόπτωση σε κάθε αέριο ρεύμα που αναρριχάται σ' αυτά. Η δράση της ορογραφίας καθορίζεται από τη διάταξη και το μέγεθος των οροσειρών και μπορεί, συνήθως, να ενεργοποιήσει ένα είδος ατμοσφαιρικής αστάθειας (κατά συνθήκη ή δυναμική), γιατί εξαναγκάζει τον αέρα σε μια ανοδική κίνηση.

Οι βροχές της κατηγορίας αυτής πέφτουν στην προσήνεμη πλευρά της οροσειράς (ομβροπλευρά) και η βροχόπτωση αυξάνει με το ύψος μέχρι τα 2.5 Km περίπου. Πάνω από το ύψος αυτό ελαττώνεται, λόγω ελάττωσης της αέριας μάζας σε υδρατμούς. Στην υπήνεμη πλευρά (ομβροσκιά) ο ουρανός γίνεται αίθριος, εξαιτίας της επικράτησης καθοδικών κινήσεων.

Είναι αυτονόητο ότι τα ποσά βροχής είναι μεγαλύτερα στην περίπτωση που ο κύριος άξονας μιας οροσειράς είναι κάθετος προς την κίνηση των υγρών αερίων μαζών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα, για τον ελλαδικό χώρο, αποτελεί η οροσειρά της Πίνδου, που στις δυτικές κλιτύς δέχεται μεγάλα ύψη βροχής, γιατί παρεμβάλλεται εγκάρσια στην κίνηση των υγρών δυτικών και ΝΔ ανέμων. Στις ανατολικές κλιτύς της Πίνδου τα ποσά βροχής ελαττώνονται σημαντικά, δηλαδή έχουμε ένα κλασικό παράδειγμα ομβροσκιάς.

Η βροχή αποτελεί μια από τις σπουδαιότερες μετεωρολογικές παραμέτρους. Η μελέτη της παρουσιάζει όχι μόνο θεωρητικό, αλλά και πρακτικό ενδιαφέρον. Στη βροχή, εκείνο που ενδιαφέρει περισσότερο, είναι η ποσότητα νερού που πέφτει σε μια επιφάνεια. Αυτή εκφράζεται με το ύψος βροχής που ορίζεται σαν εκείνο, στο οποίο θα έφτανε η στάθμη του νερού της βροχής, αν έπεφτε πάνω σε μια οριζόντια επιφάνεια (αποκλείοντας τους παράγοντες: διαρροή, απορρόφηση και εξάτμιση). Το ύψος βροχής προσδιορίζεται με τα βροχόμετρα και τους βροχογράφους. Μια άλλη χρήσιμη, κυρίως, στην Κλιματολογία βροχομετρική παράμετρος είναι η ένταση ή ραγδαιότητα της βροχής, που εκφράζεται με το ποσό της βροχής ανά μονάδα χρόνου.

Διεθνώς, μονάδα μέτρησης του ύψους βροχής είναι το mm ή cm. Στην πράξη, λέγοντας βροχή ύψους 1 mm, νοείται η βροχόπτωση εκείνη που αποδίδει ποσότητα νερού ίση με 1 Kgr πάνω σε επιφάνεια 1 m<sup>2</sup>. Επίσης, βροχή ύψους 10 mm, σημαίνει ποσότητα νερού ίση με 10 Kgr, σε επιφάνεια 1 m<sup>2</sup>.

Ανάλογα με το μέγεθος των σταγόνων και τον τρόπο πτώσης τους, η βροχή φέρει διάφορες ονομασίες, όπως όμβρος (shower), που προκαλείται από νέφη ανοδικών κινήσεων και χαρακτηρίζεται από απότομη έναρξη και λήξη, καθώς και από απότομες μεταβολές στην ένταση της, ψιχάλα (drizzle) χαρακτηρίζεται από πολύ μικρές και πολυάριθμες υδροσταγόνες, που αιωρούνται και ακολουθούν τα αέρια ρεύματα, κ.ά.

### 2.2.2 Χιόνι

Αυτό είναι ένα από τα στερεά ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα. Αν συμβεί οι παγοκρύσταλλοι, που δημιουργούνται μέσα σ' ένα νέφος, να μεγεθυνθούν, τότε αυτοί πέφτουν με μεγαλύτερη ταχύτητα και τελικά εγκαταλείπουν το νέφος. Στην περίπτωση που αυτοί προλάβουν να φθάσουν στην επιφάνεια του εδάφους, προτού λιώσουν, τότε δημιουργείται το φαινόμενο του χιονιού. Για το σκοπό αυτό απαραίτητη προϋπόθεση είναι το στρώμα του αέρα, που ορίζεται από τη βάση του νέφους μέχρι το έδαφος, να έχει θερμοκρασία μικρότερη από του 0°C.

Όταν η θερμοκρασία του αέρα (θερμοκρασία του περιβάλλοντος) είναι πολύ χαμηλή (από -8°C έως -10°C), τότε το χιόνι πέφτει με τη μορφή μικρών λευκών διαφανών ή αδιαφανών παγοκρυστάλλων (μακροσκοπικές ωραίες κρυσταλλικές μορφές, συνήθως εξαγωνικές), με διάμετρο που φθάνει και τα 3 mm. Απεναντίας, αν η θερμοκρασία του αέρα είναι μεγαλύτερη και μάλιστα αυτή ανήκει στην πρώτη αρνητική δεκάδα (0°C μέχρι -10°C), τότε οι παγοκρύσταλλοι του χιονιού παρουσιάζουν υγρή επιφάνεια και με τη σύγκρουση μεταξύ τους, κατά την πτώση, ενώνονται και σχηματίζουν τις γνωστές νιφάδες χιονιού. Η διάμετρος των νιφάδων, που αποτελούνται από σμήνος κρυστάλλων ή κρυσταλλικών θραυσμάτων, μπορεί να φθάσει τα 5-10 cm. Κάτω από συνθήκες άκρας νηνεμίας, παρατηρήθηκαν νιφάδες με διάμετρο μέχρι και 25 cm.

Το χιόνι μετριέται με το ύψος του χιονοστρώματος (μέγιστο ημερήσιο ύψος, ίσο με 1930.4 mm, σημειώθηκε στο Silver Lake Colorado. 14-15/4/1921) ή με το ισοδύναμο του σε βροχή (παίρνεται από το λιώσιμο της ποσότητας του χιονιού που έχει συλλέγει μέσα στο βροχόμετρο). Όταν το χιόνι λιώνει, κατά τη διέλευση του από ατμοσφαιρικό στρώμα με  $T > 0^{\circ}\text{C}$ , τότε αυτό φτάνει στο έδαφος με τη μορφή λεπτής και ψυχρής βροχής, γνωστής με την ονομασία «χιονόλυτος» ή «χιονόβροχος».

Αν συμβεί η θερμοκρασία του αέρα να είναι χαμηλότερη από τους -10°C περίπου (βόρεια πλάτη ή υψηλά βουνά), τότε δε σχηματίζονται νιφάδες με συγκόλληση και οι μικροί και ξηροί παγοκρύσταλλοι του χιονιού παρασύρονται

και μεταφέρονται από τον άνεμο σε υπήνεμες περιοχές ή χαράδρες (παρασυρόμενο χιόνι).

Στην περίπτωση που το χιόνι, σε μια περιοχή, δε λιώνει στο σύνολο του ακόμη και στη διάρκεια των θερινών μηνών, τότε λέμε ότι στην περιοχή αυτή παρουσιάζεται το φαινόμενο των αιωνίων χιόνων. Από κλιματικής πλευράς, η γραμμή των αιωνίων χιόνων (σε ορεινές ή πολικές περιοχές), δηλαδή η γραμμή που χωρίζει τις περιοχές με αιώνια χιόνια απ' εκείνες, στις οποίες δεν παρατηρείται το φαινόμενο αυτό, έχει μεγάλη σημασία, γιατί η μετακίνηση της σημαίνει αξιόλογη κλιματική μεταβολή.

Επίσης, μεγάλη κλιματική σημασία παρουσιάζει, για έναν τόπο, το μέγεθος της χιονοκάλυψης (μεγάλη λευκάγεια, δημιουργία θερμοκρασιακών αναστροφών, προστασία σπόρων και φύτρων από ισχυρούς παγετούς, κλπ.), η διάρκεια της χιονοκάλυψης, καθώς και η ημερομηνία της πρώτης και τελευταίας χιονόπτωσης. Εξάλλου, το έδαφος απορροφά από το χιονόστρωμα περισσότερη ποσότητα νερού απ' ότι συμβαίνει με τις βροχές. Τόσο η ημερήσια όσο και η ετήσια πορεία του φαινομένου, εξαρτάται από τις αντίστοιχες πορείες της θερμοκρασίας του αέρα, σε συνδυασμό, πάντοτε, με τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα.

Το χιόνι παρατηρείται σ' όλα τα γεωγραφικά πλάτη, από τον Ισημερινό μέχρι τους πόλους. Όμως, στις Ισημερινές και Τροπικές περιοχές πέφτει μόνο στα υψηλά βουνά, ενώ στις εύκρατες περιοχές, στη διάρκεια της ψυχρής εποχής, φθάνει μέχρι τη θάλασσα. Από το πλάτος των 40°C μέχρι τους πόλους, το χιόνι, ιδιαίτερα κατά τους ψυχρούς μήνες, είναι πυκνό σ' όλα τα υψόμετρα. Στις πολικές περιοχές σχηματίζει πυκνό στρώμα που σκεπάζει μεγάλες εκτάσεις.

Γενικότερα, το πιο χαρακτηριστικό γνώρισμα της γεωγραφικής διανομής του χιονιού είναι ότι το φαινόμενο είναι συνηθέστερο, η χιονοκάλυψη διαρκέστερη και το ύψος του χιονοστρώματος (εξαρτάται από την πυκνότητα του χιονιού κάθε φορά) μεγαλύτερο, όσο απομακρυνόμαστε από τον Ισημερινό προς τους πόλους και από την επιφάνεια της θάλασσας προς τα ενδότερα και καθ' ύψος. Στις ορεινές περιοχές του πλανήτη, και ιδιαίτερα των μέσων πλατών, το χιόνι αποτελεί σημαντικά υπερυψωμένες αποθήκες νερού. Έτσι, με την

έναρξη της θερμής περιόδου, αποδίδεται εκμεταλλεύσιμο νερό κατά πολλούς τρόπους. Γι' αυτό χρειάζεται μελέτη εκμετάλλευσης της υδατικής απορροής, εξαιτίας της τήξης του χιονιού.

Στην ελληνική περιοχή, η κύρια περίοδος, κατά την οποία σημειώνεται χιόνι, είναι η χειμερινή (Δεκέμβριος-Φεβρουάριος). Κατά το θέρος δε σημειώνεται χιονόπτωση, ούτε ακόμη και σ" αυτούς τους ορεινούς όγκους, εκτός ολίγων περιπτώσεων (στην κορυφή Αγίου Αντωνίου του Ολύμπου, υψόμετρο 2817 m, σημειώθηκαν χιονοπτώσεις κατά τον Αύγουστο).

Στον ελληνικό χώρο δεν υπάρχουν περιοχές με αιώνια χιόνια. Αυτά που γράφονται για αιώνια χιόνια στην ελληνική περιοχή μπορεί να θεωρηθούν πληροφορίες που προέρχονται από το χώρο ανεύθυνων ερασιτεχνών ορειβατών. Το συμπέρασμα αυτό προκύπτει από ειδικές παρατηρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο Επιστημονικό Κέντρο Ολύμπου (υψόμετρο 2817 m) από το έτος 1962 για μια δεκαπενταετία.

Οι μεγαλύτερες τιμές του μέσου ετήσιου αριθμού ημερών χιονιού σημειώνονται στη δυτική Μακεδονία, όπως στη Φλώρινα (25.2 ημέρες), στην Κοζάνη (17.8 ημέρες) και στην Πτολεμαΐδα 11.3 ημέρες). Στο σταθμό της Ρόδου δεν σημειώθηκε ούτε μια μέρα χιονιού κατά την περίοδο των τελευταίων 30 ετών.

### 2.2.3 Χαλάζι

Το φαινόμενο του χαλάζιου δημιουργείται πάντοτε σε νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης και κατά κανόνα, σε Cb. Σαν πιθανότερη άπονη σχηματισμού των χαλαζοκόκκων ή χαλαζολίθων, θα μπορούσε να δοθεί η παρακάτω:

Στις ανώτερες περιοχές των νεφών τύπου Cb, η θερμοκρασία είναι πολύ κάτω από τους 0 °C, με αποτέλεσμα να συμβαίνει αυτόματη πήξη των υδροσταγονιδίων του νέφους που βρίσκονται σε υπέρτηξη. Εξαιτίας των έντονων ανοδικών και καθοδικών κινήσεων, που επικρατούν μέσα στα νέφη αυτού του τύπου, οι αρχικοί παγοκρύσταλλοι (χαλαζόκοκκοι) συγκρούονται μ' άλλα υδροσταγονίδια ή μεταξύ τους και αυξάνουν, έτσι, το μέγεθος τους. Στην περίπτωση που οι χαλαζόκοκκοι αυτοί αποκτήσουν τέτοιο μέγεθος που τα ανοδικά ρεύματα να αδυνατούν τη συγκράτησή τους, τότε αυτοί εγκαταλείπουν το νέφος και πέφτουν στην επιφάνεια του εδάφους, προτού λιώσουν, δίνοντας, έτσι, το φαινόμενο του χαλάζιου, κατά την Άνοιξη. Ιδιαίτερα παρατηρήθηκε ότι οι μέσες τιμές του αριθμού ημερών χαλάζιου κατά το χειμώνα είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες της Άνοιξης στους σταθμούς της Ν. Ελλάδας και γενικά σ' όλους τους νησιωτικούς σταθμούς, ενώ το αντίθετο συμβαίνει στη Β. Ελλάδα και στα ορεινά.

Κατά τους τρεις καλοκαιρινούς μήνες, καθώς και κατά το Μάιο και Σεπτέμβριο, οι μεγαλύτερες τιμές της συχνότητας εμφάνισης του χαλάζιου σημειώνονται, κυρίως, στην ηπειρωτική Ελλάδα, ενώ κατά τους υπόλοιπους μήνες οι μεγαλύτερες τιμές της συχνότητας του εμφανίζονται, κυρίως, στα νησιωτικά και παραλιακά τμήματα της χώρας. Εξάλλου, σ' όλη σχεδόν τη χώρα, ο μέσος αριθμός ημερών χαλαζιού του χειμώνα υπερέχει του αντίστοιχου Φθινοπώρου. Το χαλάζι εμφανίζει ετήσιο μέγιστο συχνότητας στη Β. Ελλάδα και ελάχιστο στις Κι κλάδες. Οι μεγαλύτερες τιμές του μέσου ετήσιου αριθμού χαλαζιού, σημειώνονται στην Κέρκυρα (8.2 ημέρες), στον Πλάτανο Ν.(7.7 ημέρες) και στη Μεθώνη (5.9 ημέρες).

Στη χώρα μας είναι γνωστές οι τεράστιες καταστροφές στις καλλιέργειες από τις χαλαζοπτώσεις γι' αυτό τελευταία άρχισε να εφαρμόζονται από τον Ο.Γ.Α. μακρόπνοα προγράμματα χαλαζικής προστασίας.

## 2.3 Θερμοκρασία Αέρα

Με τον όρο «θερμότητα» εννοούμε μια μορφή ενέργειας που εξαρτάται από τη δομή της ύλης και που είναι δυνατό να μεταδοθεί σε διάφορα συστήματα ή σώματα με διάφορους τρόπους ή να μετατραπεί σ' άλλες μορφές ενέργειας (Ε. Μπαλτάς, 2006). Σα «θερμοκρασία» ενός υλικού χαρακτηρίζεται ο βαθμός της μοριακής δράσης ή της θερμότητας αυτού. Αυτή καθορίζεται από τη ροή θερμότητας από ένα σύστημα ή σώμα σ' ένα άλλο και γίνεται αισθητή ή μετριέται με τη βοήθεια ενός οργάνου.

Οι μορφές με τις οποίες η θερμική ενέργεια (θερμότητα) γίνεται αντιληπτή στο σύστημα γη-ατμόσφαιρα είναι α) η αισθητή θερμότητα της οποίας το αποτέλεσμα (αισθητή θερμοκρασία) μπορεί να μετρηθεί απευθείας με τη βοήθεια ενός οργάνου και β) η λανθάνουσα θερμότητα (αντίστοιχο αποτέλεσμα: λανθάνουσα θερμοκρασία) που διακινείται κατά τη διάρκεια ορισμένων φυσικών διεργασιών (εξάτμιση, συμπύκνωση, κ.ά.).

Η θερμοκρασία του αέρα αποτελεί το σημαντικότερο κλιματικό στοιχείο και τη βασικότερη παράμετρο σ' όλες τις κλιματικές κατατάξεις (Α.Φλόκα, 1997).. Η μετεωρολογία και η Κλιματολογία ενδιαφέρονται έμμεσα για τη θερμοκρασία του αέρα τόσο κοντά στην επιφάνεια του εδάφους όσο και σε ύψος μέσα στην ατμόσφαιρα. Με την αναφορά μας στη θερμοκρασία του αέρα, νοούμε, κυρίως, τη θερμοκρασία αυτού «υπό σκιά» μέσα σε ειδικό στέγαστρο (μετεωρολογικό κλωβό) και σε ύψος 1.5-2.0 m από το έδαφος.

Για τους κλιματολογικούς και μετεωρολογικούς σκοπούς, η θερμοκρασία του αέρα σ' ένα τόπο αποδίδεται με τις παρακάτω παραμέτρους:

1. Η απολύτως μέγιστη ( $T_{\max}$ ) και ελαχίστη ( $T_{\min}$ ) τιμή της θερμοκρασίας του αέρα που σημειώνεται στον τόπο αυτό στη διάρκεια της μελετώμενης χρονικής περιόδου (24ωρο, μήνας, έτος).
2. Η μέση ημερήσια τιμή της θερμοκρασίας ( $T_d$ ) που ορίζεται από τη σχέση:

$$\overline{T_d} = \frac{1}{24} \sum_{i=1}^{24} T_{h(i)} \quad (3.2.1)$$



όπου  $T_{h(i)}$  = ωριαία τιμή ( $i = 1, 2, \dots, 24$ ). Ο τύπος (3.2.1) εφαρμόζεται μόνον, όταν ο μετεωρολογικός σταθμός έχει τη δυνατότητα της καταγραφής των ωριαίων τιμών της θερμοκρασίας. Στην περίπτωση που διαθέτει μόνο τις μετρήσεις των παρατηρήσεων που πραγματοποιούνται στις 0800, 1400 και 2000 ώρες της ημέρας, τότε για τον υπολογισμό της  $T_d$  χρησιμοποιείται ένας από τους παρακάτω εμπειρικούς τύπους:

$$\bar{T}_d = \frac{1}{2}(T_{\max} + T_{\min}) \quad (3.2.2)$$

$$\bar{T}_d = \frac{1}{3}(T_8 + T_{14} + T_{20}) \quad (3.2.3)$$

$$\bar{T}_d = \frac{1}{4}(T_8 + T_{14} + 2T_{20}) \quad (3.2.4)$$

Ο τελευταίος τύπος εφαρμόζεται από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (Ε.Μ.Υ) για τον υπολογισμό του  $\bar{T}_d$  σ' ολόκληρο το δίκτυο των Μετεωρολογικών Σταθμών της.

Οι διαφορές των τιμών της  $\bar{T}_d$  που δίνονται από τους τύπους (3.2.2) -(3.2.4), από τις αντίστοιχες που υπολογίζονται από τον τύπο (3.2.1), δεν είναι σταθερές και ποικίλουν με την εποχή. Πάντως, οι πιο μικρές τιμές των διαφορών αυτών παίρνονται με την εφαρμογή του τύπου (3.2.4), γι αυτό και συνιστάται η χρησιμοποίησή του, όταν είναι διαθέσιμες οι μετρήσεις των παρατηρήσεων των ωρών 08.00, 14.00 και 20.00. Η εφαρμογή του τύπου (3.2.2) γίνεται στην περίπτωση που για ένα ορισμένο σταθμό υπάρχουν διαθέσιμες μόνον οι άκρες τιμές της θερμοκρασίας του αέρα.

3. Η μέση μηνιαία θερμοκρασία ( $T_{mo}$ ) που υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\bar{T}_{mo} = \frac{1}{v} \sum_{i=1}^v \bar{T}_{d(i)} \quad (3.2.5)$$

όπου  $v$  = πλήθος ημερών του θεωρούμενου μήνα.

4. Η μέση μηνιαία κανονική (normal) θερμοκρασία ( $\bar{T}_{mo \text{ (normal)}}$ )

$$\bar{T}_{mo(normal)} = \frac{1}{v} \sum_{i=1}^v \bar{T}_{mo(i)} \quad (3.2.6)$$

όπου  $v$  = πλήθος ετών παρατηρήσεων (τουλάχιστον 30 έτη).

5. Η μέση ετήσια θερμοκρασία ( $T_E$ ), που υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\bar{T}_E = \frac{1}{v} \sum_{i=1}^v \bar{T}_{mo(i)} \quad (3.2.7)$$

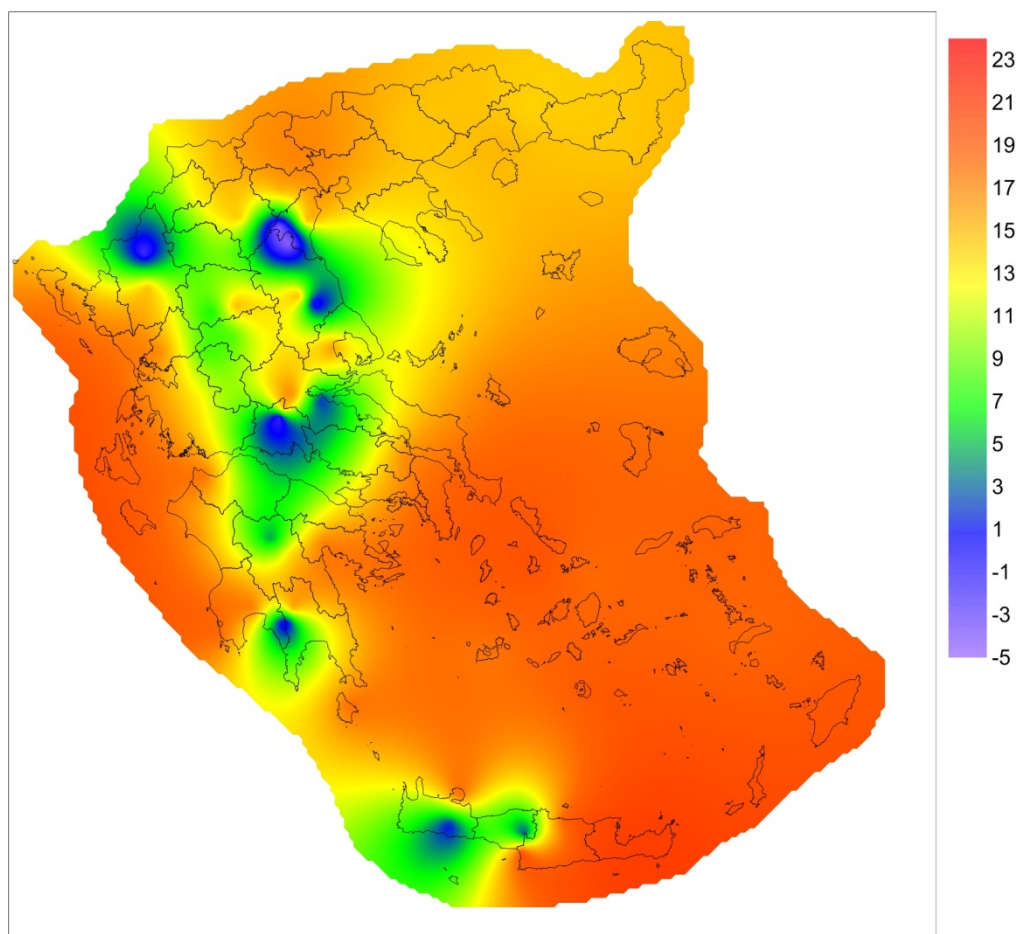
6. Ανάλογες στατιστικές παράμετροι της θερμοκρασίας του αέρα μ' αυτές που δίνονται από τους τύπους (3.2.5) - (3.2.7) ορίζονται και για τις άκρες τιμές ( $T_{max}$ ,  $T_{min}$ ) της θερμοκρασίας, δηλαδή έχουμε τη μέση μηνιαία μέγιστη, τη μέση μηνιαία ελάχιστη κλπ.
7. Το ημερήσιο θερμομετρικό εύρος (ΗΘΕ). Αυτό ορίζεται σαν η διαφορά ανάμεσα στη μέγιστη και ελάχιστη τιμή της θερμοκρασίας στο 24ωρο, δηλαδή

$$H.\Theta.E. = T_{max} - T_{min}$$

8. Το ετήσιο θερμομετρικό εύρος (ΕΘΕ). Αυτό ορίζεται σαν η διαφορά της μέσης θερμοκρασίας του αέρα του ψυχρότερου μήνα από τη μέση θερμοκρασία του θερμότερου μήνα, που σημειώνονται μέσα στο έτος, δηλαδή:

$$H.\Theta.E. = T_{mo(θερμoτ.)} - T_{mo(ψυχρoτ.)}$$

9. Ημέρα μερικού παγετού, που ορίζεται ως η ημέρα εκείνη για την οποία η τιμή της ελάχιστης θερμοκρασίας του αέρα είναι  $< 0$  °C. Αν συμβεί σε μια ημέρα η τιμή της μέγιστης θερμοκρασίας του αέρα να είναι  $< 0$  °C, τότε η ημέρα αυτή χαρακτηρίζεται σαν ημέρα ολικού παγετού. Επίσης μια πολύ χρήσιμη κλιματική παράμετρος είναι η περίοδος ελεύθερης παγετού, δηλαδή το πλήθος των διαδοχικών ημερών για τις οποίες η ελάχιστη θερμοκρασία του αέρα βρίσκεται συνεχώς πάνω από τους 0 °C.
10. Η ισόθερμη καμπύλη. Αυτή είναι μια γραμμή πάνω σ' ένα χάρτη που ενώνει τόπους (σημεία) ίσης θερμοκρασίας. Στο χάρτη 3.2.1 απεικονίζονται οι ισόθερμες καμπύλες στον Ελλαδικό χώρο.



**Χάρτης 2.3. Ισόθερμες καμπύλες (DMCSEE project, [www.dmcsee.org/GISapp/](http://www.dmcsee.org/GISapp/))**

Η μορφή της κατανομής αυτών μας επιτρέπουν να κάνουμε ευκολότερη τη μελέτη διαφόρων κλιματικών φαινομένων. Η μεταβολή της θερμοκρασίας κατά μια διεύθυνση κάθετη προς τις ισόθερμες λέγεται οριζόντια θερμοβαθμίδα. Για κλιματικούς, κυρίως, λόγους θα πρέπει, σε κάθε τόπο με μια σειρά παρατηρήσεων διάρκειας πολλών ετών, να σημειώνεται χωριστά για κάθε μήνα τόσο η μεγαλύτερη τιμή όσο και η μικρότερη μέση μηνιαία τιμή της θερμοκρασίας του αέρα.

Τέλος, οι θερμομετρικές κλίμακες, που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της θερμοκρασίας, είναι η εκατοντάβαθμη κλίμακα του Celsius, η κλίμακα του Fahrenheit, η κλίμακα του Reaumur και η απόλυτη κλίμακα ή κλίμακα του Kelvin. Στις κλίμακες αυτές, βασικές θερμοκρασίες είναι η θερμοκρασία του τηκόμενου πάγου και η θερμοκρασία των ατμών του νερού που βράζει. Στη θερμοκρασία του τηκόμενου πάγου αντιστοιχεί για την

εκατοντάβαθμη κλίμακα και του Reaumur το 0°, για την κλίμακα του Fahrenheit το 32° και για την απόλυτη κλίμακα το 273°. Στη θερμοκρασία των ατμών του νερού, που βράζει, αντιστοιχεί το 100° για την εκατοντάβαθμη, το 80° για την κλίμακα του Reaumur, το 212° για την κλίμακα Fahrenheit και το 373° για την απόλυτη. Δηλαδή 100° Celsius (C) αντιστοιχούν σε 80° του Reaumur (R) και 180° του Fahrenheit (F). Συνεπώς, ισχύει η σχέση:

$$\frac{C}{5} = \frac{R}{4} = \frac{F - 32}{9} \quad (3.2.8)$$

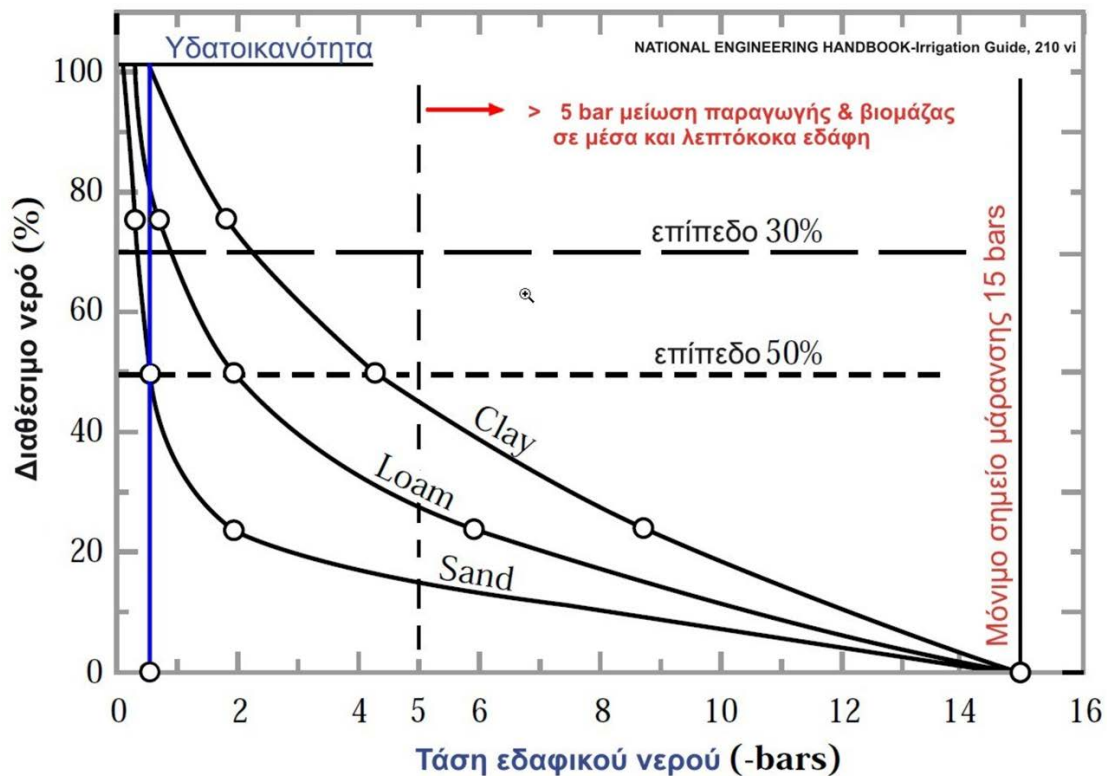
που χρησιμεύει για να μετατρέψουμε βαθμούς μιας κλίμακας σε βαθμούς άλλης, ενώ για την μετατροπή σε απόλυτους βαθμούς (t) χρησιμοποιείται η σχέση (Α.Φλόκα, Μαθήματα Μετεωρολογίας Κλιματολογίας,1997).

$$t = 273^\circ + C \quad (3.2.9)$$

## 2.4 Ικανότητα συγκράτησης του νερού στο έδαφος

Η διαθεσιμότητα του εδαφικού νερού αναφέρεται στην ικανότητα ενός εδάφους να διατηρεί το νερό διαθέσιμο στις καλλιέργειες (Σ. Αλεξανδρής, 2010). Μετά από έντονες βροχοπτώσεις ή μετά από άρδευση, το χώμα θα στραγγίξει έως ότου επιτευχθεί η Υδατοϊκανότητα του. Υδατοϊκανότητα FC (Field Capacity) είναι το ποσό νερού που συγκρατείται στο έδαφος ενάντια στις δυνάμεις βαρύτητας, δηλαδή με άλλα λόγια η Υδατοϊκανότητα χαρακτηρίζεται ως η υγρασιακή κατάσταση του εδάφους μετά από άρδευση (post-irrigation) ή μετά από βροχόπτωση κατά την οποία η ελεύθερη αποστράγγιση (free drainage) έχει σταματήσει.

Η τάση της εδαφικής υγρασίας στο σημείο αυτό είναι περίπου 0.1 bar. Μόνιμο σημείο Μάρανσης PWP (Permanent Wilting Point ), το σημείο αυτό αναφέρεται στην υγρασιακή κατάσταση του εδάφους κατά την οποία τα φυτά μαραίνονται μόνιμα (μη αντιστρέψιμη κατάσταση για το φυτό). Η τάση της εδαφικής υγρασίας στο σημείο αυτό είναι περίπου 15 bar.



Διάγραμμα 2.4. Τυπικές καμπύλες διαθεσιμότητας εδαφικού νερού για άργιλλο, ιλύ και άμμο

## 2.5 Λειψυδρία

Η δυσκολία του να δοθεί ένας ορισμός για την λειψυδρία αποτελεί ένα διαρκές εμπόδιο για την παρατήρηση και την ανάλυση της (McKee, B., et al, 1993). Το χαρακτηριστικό αυτό που ξεχωρίζει τη λειψυδρία από τα υπόλοιπα επικίνδυνα φαινόμενα είναι η έλλειψη παγκόσμιου ορισμού. Πρέπει να ορισθεί σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά κάθε κλιματικού συστήματος και τον συγκεκριμένο τομέα τον οποίο αφορά η επίδραση της. Ένας πολύπλοκος παράγοντας που παίζει ρόλο στο χαρακτηρισμό της, είναι ότι ποικίλει τόσο στη χωρική όσο και στη χρονική κλίμακα. Κάθε περιοχή ή λεκάνη απορροής είναι μοναδική και τα κοινωνικά χαρακτηριστικά της μπορούν και αλλάζουν δυναμικά σε σχέση με πολλαπλούς παράγοντες. Έτσι ένα φαινόμενο λειψυδρίας μπορεί να είναι της ίδιας έντασης και διάρκειας όπως ένα αντίστοιχο φαινόμενο στο παρελθόν, αλλά τα αποτελέσματα της να διαφέρουν εξαιτίας της κοινωνικής εξέλιξης (Wilhite, D., A., et al., 2007).

Η υπάρχουσα ένταση ανάμεσα στους ειδικούς, τους πολιτικούς και τον απλό πολίτη μας καλεί να αντιμετωπίσουμε την λειψυδρία σαν ένα φυσικό κίνδυνο, μια παραδοσιακή καταστροφή η οποία ανά πάσα στιγμή μπορεί να χρήζει επιτακτικής ανάγκης για δράση. Με το πέρασμα των χρόνων και από επιστημονικές έρευνες που έχουν διεξαχθεί τις τελευταίες δεκαετίες προκύπτει πως η επανεμφάνιση της λειψυδρίας είναι αναπόφευκτο γεγονός και πως η παρουσία της αποτελεί μόνιμο χαρακτηριστικό του παγκόσμιου κλίματος. Για αυτό το λόγο η λειψυδρία πρέπει να αναγνωριστεί και να λάβει χώρα στο σχεδιασμό και τη διαχείριση των υδατικών πόρων. Οι κατευθυντήριες γραμμές της λειψυδρίας περιλαμβάνουν τον ορισμό της, τις αιτίες και τα αποτελέσματα της (Karavitis, C., A., 1999).

Οι Wilhite και Glantz, 1985 , μετά από μια ολοκληρωμένη ανασκόπηση πάνω σε δεκάδες ορισμούς διέκριναν έξι γενικές κατηγορίες ανάλογα με το σκοπό ενδιαφέροντος: μετεωρολογικό, κλιματολογικό, ατμοσφαιρικό, αγροτικό, υδρολογικό και διαχείρισης υδάτων. Αυτό φυσικά προκαλεί σύγχυση στην απόδοση ενός αντικειμενικού ορισμού, ανάλογα δηλαδή με το πεδίο στο οποίο αναφέρεται.

Ένα δεύτερο πρόβλημα προκύπτει εξαιτίας του ότι ο ορισμός της λειψυδρίας είναι στενά συνυφασμένος με τη γεωργική, υδρολογική, γεωλογική, ιστορική και πολιτιστική κληρονομιά μιας περιοχής. Ένας τρίτος παράγοντας είναι η δυσκολία να τροποποιηθεί η ήδη δοσμένη ορολογία της λειψυδρίας σύμφωνα με τις σύγχρονες και ανανεωμένες τεχνικές και πρακτικές. (Drought Management, 1986, Salas, J.D., 1986,, Grigg, N.S. and Vlachos, E.C., 1990, Karavitis, C., A., 1992).

Γι' αυτό το λόγο ένας ευρύτερος ορισμός της λειψυδρίας Karavitis, C., A., (1992) θα μπορούσε να είναι η κατάσταση κατά την οποία εμφανίζονται, επικίνδυνες και ευρέως εκτεταμένες υδρολογικές, περιβαλλοντικές, κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις, λόγω των μικρότερων από των αναμενόμενων, ποσοτήτων νερού. Το έλλειμμα του νερού είναι δυνατό να προέρχεται από τη μείωση της βροχόπτωσης, τη φυσική και λειτουργική ανεπάρκεια στην παροχή νερού και στο δίκτυο άρδευσης όπως και από εσφαλμένη χρήση του νερού. Τότε η λειψυδρία θα αντιμετωπισθεί όχι μόνο ως η έλλειψη βροχόπτωσης, αλλά ως ένα πιο πολύπλοκο φαινόμενο που απαιτεί ολοκληρωμένη ανάλυση, αποτίμηση των ενεργειών και στοχευόμενες δράσεις (Karavitis, C., A., 1999).

Η λειψυδρία ορίζεται από τους Paulo, A., A., et al., 2005 σαν ένα φυσικό αλλά προσωρινό φαινόμενο της διαθεσιμότητας του νερού, το οποίο αποτελείται από συνεχή χαμηλή μέση βροχόπτωση, από αβέβαιη συχνότητα, διάρκεια και σοβαρότητα, από απρόβλεπτη εμφάνιση ή δύσκολη να προβλεφθεί. Έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση της διαθεσιμότητας των υδάτινων πόρων και τη μείωση της ικανότητας επαναφοράς του οικοσυστήματος.

Το συγκεκριμένο φαινόμενο ξεκινάει αργά και συνήθως αναγνωρίζεται όταν έχει ήδη διαμορφωθεί. Είναι μεγάλης διάρκειας και συνήθως επηρεάζει μεγάλες περιοχές. Οι επιπτώσεις είναι καθοριστικές όπως και η πρόβλεψη της αρχής και του τέλους του φαινομένου είναι εξαιρετικά δύσκολη υπόθεση (Paulo, A., A., et al., 2005).

## 2.6 Αίτια – Επιπτώσεις της λειψυδρίας

Τα αίτια εμφάνισης της λειψυδρίας σε μια περιοχή και η διατήρηση της για ορισμένο χρονικό διάστημα δεν είναι δυνατόν να καθοριστούν με βεβαιότητα, αλλά σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία διατυπώθηκαν διάφορες υποθέσεις (Bryant, 1991). Είναι πιθανό η εμφάνιση της λειψυδρίας να είναι αποτέλεσμα της συνδυασμένης δράσης ορισμένων παραμέτρων ή να μην ευθύνεται καμία από αυτές και να πρόκειται για ένα τυχαίο γεγονός. Οι κύριες θεωρίες που ερμηνεύουν την εμφάνιση κάποιων επεισοδίων λειψυδρίας είναι:

- Φαινόμενο El Niño
- Φαινόμενο La Nina
- Αστρονομικοί Παράγοντες
- Αεροχειμαρροι (Jetstream)
- Ανθρωπογενείς Παράγοντες (αύξηση πληθυσμού, χρήση γης, ποιότητα νερού, ζήτηση νερού κ.α.)

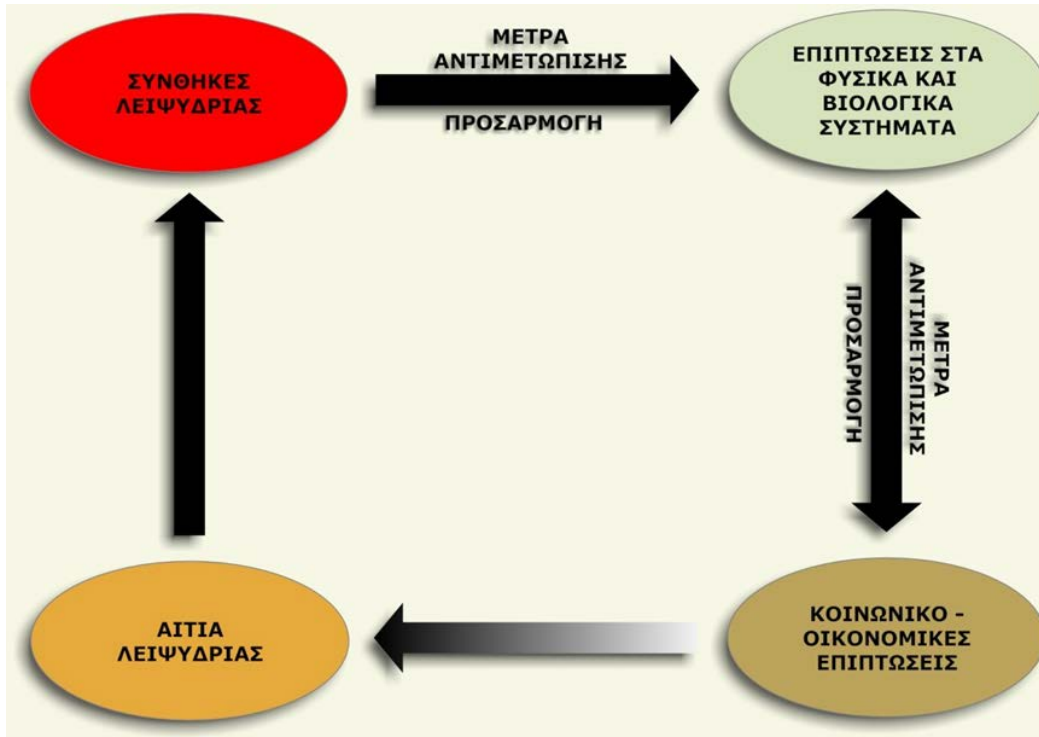
Τα αποτελέσματα του φαινομένου έχουν αθροιστική δράση σε όλες τις δραστηριότητες και σχετίζονται με την οικονομία του νερού και την κοινωνία. Οι Wilhite et al., (1987) περιέγραψαν δύο μεθόδους προσέγγισης των αποτελεσμάτων. Σαν πρώτη είναι η προσέγγιση του αιτίου- αιτιατού : η λειψυδρία είναι ένα κλιματικό φαινόμενο που λειτουργεί μοναδικά και έχει κάποιο αποτέλεσμα. Η δεύτερη είναι η προσέγγιση της αλληλεπίδρασης και υποστηρίζει πως ποικίλες διαδικασίες (φυσικές, οικονομικές, κοινωνικές) ίσως επηρεάζουν την μοναδική δράση του φαινομένου και επηρεάσουν και το αποτέλεσμα. Με άλλα λόγια εάν κοινωνικοπολιτικοί και περιβαλλοντικοί λόγοι συνδυαστούν αρνητικά με μια μοναδική λειτουργία ίσως να προκληθεί κρίση. Η δεύτερη προσέγγιση της αλληλεπίδρασης θεωρήθηκε πιο ρεαλιστική, παρουσιάζοντας τα αποτελέσματα του φαινομένου της λειψυδρίας σαν «βαθμούς αλληλεπίδρασης» (Wilhite, D.A. et al., 1987). Από αυτή την άποψη μια πρώτη κατηγοριοποίηση θα ήταν σε πρώτου, δευτέρου και τρίτου βαθμού αποτελέσματα (Changnon, S.A. and Easterling, W.E., 1989).



Τα αποτελέσματα πρώτου βαθμού σχετίζονται με αλλαγές στον υδρολογικό κύκλο (βροχόπτωση, απορροή, υπεδάφιο νερό, παροχή ποταμών). Τα αποτελέσματα δευτέρου βαθμού επηρεάζουν τις ανθρώπινες δραστηριότητες (γεωργία, βιομηχανία, μεταφορά, αστική χρήση). Τα αποτελέσματα τρίτου βαθμού μπορούν να θεωρηθούν οι ενέργειες για προσαρμογή απέναντι στα πρώτου και δευτέρου βαθμού αποτελέσματα (έλλειμμα εισοδήματος, ρυθμίσεις στον τρόπο ζωής, ορθολογική οργάνωση). Την ίδια στιγμή τα αποτελέσματα τη λειψυδρίας θα πρέπει να κατηγοριοποιηθούν σε ένα ενιαίο πλαίσιο εργασίας, λιτό και περιεκτικό, έτσι ώστε να οδηγηθούμε σε δυναμικές αντιδράσεις απέναντι στο φαινόμενο ( Yevjevich, V. Et al., 1983; Karavitis, C., A., 1999).

Οι Wheaton, E., et al., 2005 υποστηρίζουν πως η λειψυδρία επηρεάζει την κοινωνία έμμεσα ή άμεσα. Χρησιμοποίησαν για τη μελέτη τους ένα ενιαίο πλαίσιο εργασίας, αιτίου αιτιατού, στο οποίο οι παράγοντες που προκαλούν λειψυδρία οδηγούν σε λειψυδρίες διαφόρων χαρακτηριστικών. Οι λειψυδρίες αυτές έχουν βιολογικές και οργανικές επιπτώσεις, οι οποίες στη συνέχεια οδηγούν σε κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις. Οι προσαρμοσμένες αντιδράσεις στη λειψυδρία λαμβάνουν χώρα σε δύο χρονικές κλίμακες : μια βραχυπρόθεσμη χρονική κλίμακα που λαμβάνει χώρα νωρίς, στην αρχή της λειψυδρίας και μια μακροπρόθεσμη στρατηγική που λαμβάνει χώρα πριν ή μετά το φαινόμενο της λειψυδρίας με σκοπό την αντιμετώπιση αντίστοιχων μελλοντικών φαινομένων.

Στην παρακάτω εικόνα δίνεται σχηματικά ο σχεδιασμός. Η προσαρμοστικότητα (adaptation) ορίζεται ως η ρύθμιση- προσαρμογή στα φυσικά ή ανθρώπινα συστήματα, και προκύπτει σαν απάντηση στα πραγματικά ή αναμενόμενα κλιματικά ερεθίσματα (αίτια) ή στα αποτελέσματα τους. Η επιτυχία της προσαρμοστικότητας είναι να μετριάσει τη βλαβερή επίδραση ή να εκμεταλλευτεί τις ευκαιρίες που μπορούν να προκύψουν από ένα φαινόμενο λειψυδρίας (Watson et al., 2001).



**Σχήμα 2.5.** Ένα πλαίσιο αιτίου-αιτιατού ανάμεσα στη γένεση, τα χαρακτηριστικά, τις επιπτώσεις και τα μέτρα αντιμετώπισης της λειψυδρίας. (Wheaton, E. et al., 2005)

Ο Yevjevich ήταν από τους πρώτους που προσπάθησε να δώσει μια πρόβλεψη των ιδιοτήτων της λειψυδρίας, χρησιμοποιώντας την γεωμετρική πιθανολογική κατανομή, ορίζοντας μια λειψυδρία  $k$  χρόνων σαν  $k$  συνεχόμενα χρόνια κατά τα οποία δεν υπάρχουν επαρκείς υδατικοί πόροι (Yevjevich V., 1967). Χωρίς αμφιβολία ένας ακριβής και ξεκάθαρος ορισμός της λειψυδρίας παραμένει απατηλός (Yevjevich, et al 1983; and Grigg, N.S. 1996; Karavitis, C. A., 1992; 1999).

## 2.7 Δείκτες Λειψυδρίας

Το μεγάλο πλήθος ορισμών της λειψυδρίας, τα διαφορετικά χαρακτηριστικά που εμφανίζει σε σχέση με την τοπογραφία και το κλίμα της κάθε περιοχής και οι πολύπλοκες φυσικές διεργασίες που συνδέονται με την εμφάνιση της επέβαλλαν τη δημιουργία δεικτών λειψυδρίας, έτσι ώστε να είναι εφικτή η αναγνώριση, η καταγραφή της έντασης και έκτασης των επεισοδίων λειψυδρίας, καθώς επίσης και η δυνατότητα αξιολόγησης της λειψυδρίας, όχι μόνο σε τοπικό επίπεδο, αλλά και σε μία ευρύτερη περιοχή.

Οι διάφοροι δείκτες λειψυδρίας χρησιμοποιούν για τον υπολογισμό τους διάφορες παραμέτρους, όπως το ύψος βροχής, το πάχος του στρώματος του χιονιού, τα αποθέματα του υπόγειου νερού, κλπ. Η τιμή του δείκτη λειψυδρίας είναι ένας καθαρός αριθμός, που μπορεί να φανεί περισσότερο χρήσιμος σε σχέση με την ανάλυση της κάθε παραμέτρου χωριστά. Η ορθή χρήση και ερμηνεία των δεικτών μπορεί να δώσει τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του κάθε ξεχωριστού επεισοδίου λειψυδρίας, ενώ η μελέτη των τιμών του δείκτη στη διάρκεια του χρόνου μπορεί να δώσει την πιθανότητα επανεμφάνισης των επεισοδίων λειψυδρίας. Πρέπει να τονιστεί ωστόσο ότι η κακή χρήση των δεικτών, με τη μη σωστή εφαρμογή των περιορισμών του κάθε δείκτη, μπορεί να οδηγήσει σε παρερμηνεία των αποτελεσμάτων.

Παρά το γεγονός ότι κανένας δείκτης δεν είναι ο βέλτιστος για όλες τις περιοχές και για όλες τις περιπτώσεις, ορισμένοι δείκτες παρουσιάζουν καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με άλλους, για συγκεκριμένες καταστάσεις. Για παράδειγμα, ο δείκτης Palmer (Palmer Drought Severity Index) δημιουργήθηκε και εφαρμόστηκε σε μία περιοχή με ομαλό ανάγλυφο στις ΗΠΑ, με σκοπό τον καθορισμό της εμφάνισης λειψυδρίας. Σε περιοχές, όμως, όπου το ανάγλυφο είναι έντονο και υπάρχει σύνθετο τοποκλίμα, θεωρείται προτιμότερος ο συνδυασμός του δείκτη Palmer με άλλους δείκτες, όπως είναι ο δείκτης SWS1 (Surface Water Supply Index), οι οποίοι χρησιμοποιούν παραμέτρους που λαμβάνουν υπόψη τη διαφορετική τοπογραφία της κάθε περιοχής. Αναφορικά δείκτες λειψυδρίας οι οποίοι έχουν προταθεί και χρησιμοποιηθεί είναι :

- Palmer Drought Severity Index (PDSI- Palmer, 1965)
- Crop Moisture Index (CMI- Palmer, 1968)
- Deciles (Gibbs and Maher, 1967)
- FAO water satisfaction index (Frere and Popov, 1979), Agro- Hydro Potential (AHP- Petrasovits, 1990)
- Surface Water Supply Index (SWSI- Shafer and Dezman, 1982)
- Reclamation Drought Index (RDI- Bureau of Reclamation, 1988)
- Standardized Precipitation Index (SPI- McKee et al., 1993)
- Index of Moisture adequacy (IMA- Sastri, 1993)

Ο υπολογισμός περισσότεροι του ενός δείκτη λειψυδρίας είναι απαραίτητος πριν τη λήψη των τελικών αποφάσεων για τη διαχείριση των υδατικών πόρων μιας περιοχής. Βέβαια, με τον όρο διαχείριση υδατικών πόρων εννοούμε το σύνολο των μέτρων με τα οποία επιδιώκεται η κάλυψη των αναγκών σε νερό στην επιθυμητή ποσότητα και ποιότητα στον χώρο και στον χρόνο που απαιτείται (Χ. Καραβίτης, 2006).

Οι Δείκτες λειψυδρίας αφομοιώνουν χιλιάδες κομμάτια δεδομένων από τη βροχόπτωση, τη χιονόπτωση, την απορροή και άλλους δείκτες παροχής νερού σε μια μεγάλη κατανοητή εικόνα. Η τιμή του δείκτη λειψυδρίας είναι συνήθως ένας απλός αριθμός, πολύ πιο χρήσιμος από ό, τι τα ανεπεξέργαστα δεδομένα για τη λήψη αποφάσεων.

Υπάρχουν διάφοροι δείκτες που υπολογίζουν το κατά πόσο οι κατακρημνίσεις για μια δεδομένη χρονική περίοδο έχουν παρεκκλίνει από τα καθιερωμένα ιστορικά πρότυπα. Παρά το γεγονός ότι κανένας από τους σημαντικότερους δείκτες είναι εγγενώς ανώτερος από τους υπόλοιπους σε όλες τις περιπτώσεις, κάποιοι δείκτες είναι πιο κατάλληλοι από άλλους για ορισμένες χρήσεις. Για παράδειγμα, ο Δείκτης λειψυδρίας Palmer έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως από το Υπουργείο Γεωργίας των Η.Π.Α. για να προσδιορίσει πότε θα χορηγήσει βοήθεια έκτακτης ανάγκης κατά της λειψυδρίας, αλλά ο Δείκτης

Palmer είναι καλύτερος όταν χρησιμοποιείται σε μεγάλες περιοχές με ενιαία τοπογραφία. Στις Δυτικές πολιτείες, με ορεινό έδαφος και το αποτέλεσμα πολύπλοκων τοπικών μικροκλίματων, θεωρούν χρήσιμο να συμπληρώσουν τις τιμές του Palmer με άλλους δείκτες, όπως το Δείκτη Surface Water Supply, ο οποίος λαμβάνει υπόψη του τη χιονόπτωση και άλλες ιδιαίτερες συνθήκες.

Το Εθνικό Κέντρο για την αντιμετώπιση της λειψυδρίας χρησιμοποιεί ένα νέο δείκτη, τον Standardized Precipitation Index, για να παρακολουθεί τις συνθήκες ανεφοδιασμού της υγρασίας. Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά αυτού του δείκτη είναι ότι εντοπίζει τους μήνες με λειψυδρία νωρίτερα από το Δείκτη Palmer και ότι υπολογίζεται σε διάφορες χρονικές κλίμακες.

Οι περισσότεροι επιστήμονες θεωρούν χρήσιμο να συμβουλευτούν έναν ή περισσότερους δείκτες πριν από τη λήψη μιας απόφασης. Αυτό που ακολουθεί είναι μια εισαγωγή σε κάθε ένα από τους σημαντικότερους δείκτες λειψυδρίας που χρησιμοποιούνται στις Ηνωμένες Πολιτείες και στην Αυστραλία.

### **Percent of Normal**

Επισκόπηση: Ο δείκτης Percent of Normal είναι ένας απλός υπολογισμός καλά προσαρμοσμένος στις ανάγκες των δελτίων καιρού της τηλεόρασης και του ευρέος κοινού.

Πλεονεκτήματα: Πολύ αποτελεσματικός για τη σύγκριση μίας περιοχής ή εποχής.

Μειονεκτήματα: Εύκολα «παρεξηγήσιμος», ως συνήθως είναι ένα μαθηματικό κατασκεύασμα το οποίο δεν αντιστοιχεί αναγκαστικά με αυτό που περιμένουμε να είναι οι καιρικές συνθήκες.

Το Percent of Normal (ποσοστό της κανονικής βροχόπτωσης) είναι μια από τις απλούστερες μετρήσεις βροχόπτωσης σε μια θέση. Αναλύσεις που χρησιμοποιούν Percent of Normal είναι πολύ αποτελεσματικές όταν χρησιμοποιούνται για μία μόνο περιοχή ή μια ενιαία εποχή. Ο Percent of Normal γίνεται εύκολα δυσνόητος και δίνει διαφορετικές ενδείξεις των συνθηκών, ανάλογα με την τοποθεσία και την εποχή. Υπολογίζεται διαιρώντας την πραγματική βροχόπτωση με τη κανονική βροχόπτωση ( ο μέσος όρος 30 ετών)

και πολλαπλασιάζοντας επί 100%. Αυτό μπορεί να υπολογιστεί για ποικίλες χρονικές κλίμακες. Συνήθως αυτές οι χρονικές κλίμακες κυμαίνονται από ένα μήνα σε μια ομάδα μηνών που αντιπροσωπεύουν μια συγκεκριμένη εποχή, σε ένα έτος ή έτος νερού. Η κανονική βροχόπτωση για μια συγκεκριμένη θέση θεωρείται ότι είναι 100%.

Ένα από τα μειονεκτήματα της χρήσης του Percent of Normal είναι ότι η μέση τιμή ή ο μέσος όρος της κατακρήμνισης δεν είναι συχνά ίδιο με τη διάμεση βροχόπτωση, που είναι τιμή που υπερβαίνει το 50% των περιστατικών βροχόπτωση σε μια μακροπρόθεσμη καταγραφή κλίματος. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι επειδή οι βροχοπτώσεις σε μηνιαία ή εποχιακή κλίμακα δεν έχουν κανονική κατανομή. Η χρήση του Percent of Normal συνεπάγεται ύπαρξη κανονικής κατανομής, όπου η μέση και η διάμεση τιμή θεωρούνται ίσες. Ένα παράδειγμα της σύγχυσης που αυτό θα μπορούσε να δημιουργήσει μπορεί να εξηγηθεί πολύ εύκολα από τη μακροχρόνια καταγραφή βροχοπτώσεων στη Μελβούρνη της Αυστραλίας, για το μήνα Ιανουάριο.

Η διάμεσος της βροχόπτωσης Ιανουαρίου είναι 36 χιλιοστά (1,4 ίντσες), που σημαίνει ότι στα μισά χρόνια λιγότερο από 36 χιλιοστά κατεγράφησαν ενώ στα μισά χρόνια κατεγράφησαν πάνω από 36 χιλιοστά βροχόπτωσης. Ωστόσο, ένα μηνιαίο συνολικό βροχόπτωσης Ιανουαρίου της τάξης των 36 χιλιοστών θα είναι μόνο το 75% της κανονικής, σε σύγκριση με τη μέση τιμή, η οποία συχνά θεωρείται ότι είναι αρκετά ξηρή (dry). Λόγω της ποικιλίας στα αρχεία βροχόπτωση με την πάροδο του χρόνου και τη θέση, δεν υπάρχει κανένας τρόπος να καθοριστεί η συχνότητα των παρεκκλίσεων από το κανονικό ή συγκριθούν διαφορετικές τοποθεσίες. Αυτό το καθιστά δύσκολο να συνδεθεί μια παρεκκλίνουσα τιμή με ειδική επίπτωση επέρχεται ως αποτέλεσμα απόκλισης, αναστέλλοντας τόσο τις προσπάθειες για μείωση των κινδύνων λειψυδρίας με βάση τις παρεκκλίσεις από το κανονικό όσο και τη δημιουργία ενός σχεδίου αντίδρασης (Willeke et al., 1994).

### **Standardized Precipitation Index (SPI)**

Επισκόπηση: ο SPI είναι ένας δείκτης που βασίζεται στην πιθανότητα βροχόπτωσης για κάθε χρονική κλίμακα

Πλεονεκτήματα: Ο SPI μπορεί να υπολογιστεί για διαφορετικές χρονικές κλίμακες, μπορεί να παρέχει έγκαιρη προειδοποίηση για τη λειψυδρία και θα συμβάλει στην εκτίμηση της σοβαρότητας της λειψυδρίας, και είναι λιγότερο πολύπλοκος από τον Palmer. Πολλοί αναλυτές της λειψυδρίας εκτιμούν την ευελιξία του SPI.

Μειονεκτήματα: Οι τιμές που βασίζονται σε αρχικά δεδομένα μπορούν να αλλάξουν.

Η κατανόηση ότι το έλλειμμα των κατακρημνισμάτων έχει διαφορετικές επιπτώσεις στα υπόγεια ύδατα, στη δεξαμενή αποθήκευσης, την υγρασία του εδάφους, τη χιονόπτωση και τα υδατορεύματα οδήγησε τους McKee, Doesken, Kleist να αναπτύξουν τον SPI το 1993. Ο SPI έχει σχεδιαστεί για την ποσοτικοποίηση του ελλείμματος βροχοπτώσεων για πολλαπλές χρονικές κλίμακες. Αυτές οι χρονικές κλίμακες αντανakλούν τις επιπτώσεις της λειψυδρίας στη διαθεσιμότητα των διαφόρων υδάτινων πόρων. Συνθήκες υγρασίας του εδάφους ανταποκρίνονται στις μεταβολές της βροχόπτωσης σε μια σχετικά μικρή κλίμακα. Τα υπόγεια ύδατα, η ροή του ποταμού και η δεξαμενή αποθήκευσης αντανakλούν τις μακροπρόθεσμες μεταβολές των κατακρημνισμάτων. Για αυτούς τους λόγους ο McKee et al. (1993) υπολόγισε αρχικά τον SPI για 3 -, 6 -, 12 -, 24 -, και 48μηνες χρονικές κλίμακες.

Ο υπολογισμός του SPI σε οποιαδήποτε θέση βασίζεται στη μακροχρόνια καταγραφή βροχόπτωσης για την επιθυμητή περίοδο. Αυτή η μακροπρόθεσμη καταγραφή έχει προσαρμοστεί σε μια κατανομή πιθανοτήτων, η οποία στη συνέχεια μετατρέπεται σε κανονική κατανομή, έτσι ώστε η μέση τιμή του SPI για τη θέση και το επιθυμητό χρονικό διάστημα να είναι μηδέν (Edwards και McKee, 1997). Θετικές τιμές του SPI υποδεικνύουν μεγαλύτερη από ό, τι τη διάμεση τιμή βροχόπτωσης και οι αρνητικές τιμές σημαίνουν λιγότερο από το τη διάμεση τιμή βροχόπτωσης. Επειδή ο SPI κανονικοποιείται, τα πιο βροχερά και ξηρότερα κλίματα μπορούν να παρουσιάζονται με τον ίδιο τρόπο και οι υγρές περιόδους μπορεί επίσης να παρακολουθούνται με χρήση του SPI.

Ο McKee et al. (1993) χρησιμοποίησε το σύστημα ταξινόμησης που παρατίθεται στον πίνακα με τις τιμές του SPI για τον καθορισμό της έντασης λειψυδρίας όπως αυτή προκύπτει από τη χρήση του SPI. Ο McKee et al. (1993) όρισε επίσης τα κριτήρια για εκδήλωση της λειψυδρίας για οποιαδήποτε από τις χρονικές κλίμακες. Λειψυδρία εμφανίζεται κάθε φορά που το SPI είναι συνεχώς αρνητικός και είναι ίσο ή μικρότερο του -1,0. Η εκδήλωση λειψυδρίας τελειώνει όταν ο SPI γίνεται θετικός. Κάθε περίπτωση λειψυδρίας, ως εκ τούτου, έχει χρονική διάρκεια που καθορίζεται από την αρχή και το τέλος της, και μια τιμή έντασης για κάθε μήνα που το φαινόμενο συνεχίζεται. Το θετικό άθροισμα των τιμών του SPI για όλους τους μήνες σε μια περίπτωση λειψυδρίας μπορεί να ονομαστεί «μέγεθος» της λειψυδρίας.

Με βάση την ανάλυση των σταθμών σε όλο το Κολοράντο, ο McKee διαπίστωσε ότι ο SPI είναι ήπια λειψυδρία 24% του χρόνου, μέτρια λειψυδρία 9,2% του χρόνου, σοβαρή λειψυδρία 4,4% του χρόνου και σε ακραίες συνθήκες λειψυδρίας 2,3% του χρόνου (McKee et al., 1993). Επειδή ο SPI είναι κανονικοποιημένος, αυτά τα ποσοστά εξάγονται από κανονική κατανομή του SPI. Το 2,3% των τιμών SPI στο πλαίσιο της κατηγορίας "ακραία λειψυδρία" είναι ένα ποσοστό που συνήθως αναμένεται για μια «ακραία» περίπτωση (Wilhite 1995). Αντίθετα, ο δείκτης Palmer φτάνει στην «ακραία» κατηγορία πάνω από το 10% του χρόνου σε τμήματα της κεντρικής Great Plains. Αυτή η κανονικοποίηση επιτρέπει στον SPI να προσδιορίζει τη σπανιότητα της τρέχουσας λειψυδρίας, καθώς και τη πιθανότητα της απαραίτητης βροχόπτωσης για να τερματιστεί η τρέχουσα λειψυδρίας (McKee et al., 1993).

Ανάπτυξη: T.B. McKee, NJ Doesken, και J. Kleist, Colorado State University, 1993.

### **Δείκτης Palmer Drought Severity (PDSI)**

Επισκόπηση: Ο Palmer είναι ένας αλγόριθμος εδαφικής υγρασίας βαθμονομημένος για σχετικά ομοιογενείς περιοχές.

Ποιος το χρησιμοποιεί: Πολλές κρατικές υπηρεσίες και πολιτείες των ΗΠΑ βασίζονται στον Palmer για την ενεργοποίηση των προγραμμάτων αντιμετώπισης της λειψυδρίας.



Πλεονεκτήματα: Ο πρώτος ολοκληρωμένος δείκτης λειψυδρίας που αναπτύχθηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες.

Μειονεκτήματα: Οι τιμές του δείκτη Palmer ενδέχεται να αποκλίνουν στην πρόβλεψη ξηρασίας κατά αρκετούς μήνες. Είναι λιγότερο κατάλληλος για τις ορεινές περιοχές της γης ή για περιοχές με συχνά ακραία κλιματικά φαινόμενα. Έχει μια απροσδιόριστη, ενσωματωμένη χρονική κλίμακα που μπορεί να είναι παραπλανητική.

Ανάπτυξη: W.C. Palmer, 1965

Το 1965, ο W.C. Palmer ανέπτυξε ένα δείκτη για τη μέτρηση της απόκλισης του ανεφοδιασμού σε υγρασία (Palmer, 1965). Ο Palmer βάσισε τον δείκτη του στην έννοια του ανεφοδιασμού και της ζήτησης της εξίσωσης υδατικού ισοζυγίου, λαμβάνοντας υπόψη περισσότερα από ό, τι μόνο το έλλειμμα βροχοπτώσεων σε συγκεκριμένες θέσεις. Ο στόχος του (PDSI) ήταν να προσφέρει μετρήσεις της υγρασίας που ήταν κανονικοποιημένες, έτσι ώστε οι συγκρίσεις με τη χρήση του δείκτη θα μπορούσε να γίνουν μεταξύ τοποθεσιών και μηνών (Palmer 1965).

Ο PDSI είναι ένας μετεωρολογικός δείκτης λειψυδρίας, και ανταποκρίνεται στις καιρικές συνθήκες που χαρακτηρίζονται ασυνήθιστα ξηρές ή υγρές. Όταν οι συνθήκες αλλάζουν, από ξηρές σε κανονικές ή υγρές, για παράδειγμα, η λειψυδρία που μετράται από τον PDSI τελειώνει χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η απορροή, η στάθμη της λίμνης και της αποθηκευτικής δεξαμενής και άλλες μακροπρόθεσμες επιπτώσεις υδρολογικών επιπτώσεων (Karl και Knight, 1985).

Ο PDSI υπολογίζεται με βάση τη βροχοπτώση και τα δεδομένα της θερμοκρασίας, καθώς και την εδαφική τοπική διαθέσιμη περιεκτικότητα σε νερό (AWC). Από τα δεδομένα που εισάγουμε μπορούν να προσδιοριστούν όλοι οι βασικοί όροι της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου, συμπεριλαμβανομένων της εξατμισοδιαπνοής, της επαναφόρτισης του εδάφους, της απορροής και της απώλειας υγρασίας από το επιφανειακό στρώμα. Οι ανθρώπινες επιπτώσεις στο υδατικό ισοζύγιο, όπως η άρδευση, δεν λαμβάνονται υπόψη. Πλήρεις

περιγραφές των εξισώσεων αναφέρονται στην αρχική μελέτη Palmer (1965) και στην πιο πρόσφατη ανάλυση Alley (1984).

Ο Palmer ανέπτυξε τον PDSI ώστε να περιλαμβάνει τη διάρκεια μιας λειψυδρίας (wet spell). Κίνητρό του ήταν τα εξής: ένας ασυνήθιστα υγρός μήνας στα μέσα μιας μακροχρόνιας λειψυδρίας δεν θα πρέπει να έχει σημαντική επίπτωση στο δείκτη, ή μια σειρά από μήνες με σχεδόν φυσιολογική βροχόπτωση μετά από σοβαρή λειψυδρία δεν σημαίνει ότι η λειψυδρία έχει τελειώσει. Ως εκ τούτου, ο Palmer ανέπτυξε τα κριτήρια για να προσδιορίσει πότε μια λειψυδρία ή υγρή περίοδος αρχίζει και πότε τελειώνει, τα οποία προσαρμόζουν τον PDSI αναλόγως. Ο Palmer (1965) περιέγραψε την προσπάθεια αυτή και έδωσε παραδείγματα, καθώς επίσης περιγράφεται λεπτομερώς από τον Alley (1984). Σε σχεδόν πραγματικό χρόνο, ο δείκτης Palmer δεν είναι πλέον ένας μετεωρολογικός δείκτης, αλλά γίνεται ένας υδρολογικός δείκτης που αναφέρεται ως ο Palmer Hydrological Drought δείκτης (PHDI), επειδή βασίζεται στην εισροή υγρασίας (βροχοπτώσεις), εκροή, αποθήκευση και δεν λαμβάνει υπόψη τη μακροπρόθεσμη τάση (Karl και Knight, 1985).

Το 1989, μια τροποποιημένη μέθοδος για τον υπολογισμό του PDSI ξεκίνησε (Heddinghaus και Sabol, 1991). Αυτός ο τροποποιημένος PDSI διαφέρει από τον PDSI κατά τη διάρκεια μεταβατικών περιόδων μεταξύ ξηρών και υγρών περιόδων (dry and wet spells). Λόγω των ομοιοτήτων μεταξύ αυτών των δεικτών Palmer, οι όροι Palmer Δείκτης και Palmer Drought Δείκτης έχουν χρησιμοποιηθεί για να περιγράψουν τα γενικά χαρακτηριστικά των δύο δεικτών.

Ο Δείκτης Palmer κυμαίνεται περίπου μεταξύ -6,0 και 6,0. Ο Palmer επιλεγεί αυθαίρετα την κλίμακα ταξινόμησης των συνθηκών υγρασίας βασισμένος στις αρχικές περιοχές μελέτης στην κεντρική Αϊόβα και το δυτικό Κάνσας (Palmer, 1965). Ιδανικά ο δείκτης Palmer είναι σχεδιασμένος έτσι ώστε ένα -4,0 στη Νότια Καρολίνα να έχει την ίδια έννοια, όσον αφορά την μείωση της υγρασίας υπό κανονικές κλιματολογικές συνθήκες, όπως ένα -4,0 στο Idaho (Alley, 1984). Ο Δείκτης Palmer συνήθως υπολογιζόταν σε μηνιαία βάση, με αποτέλεσμα να υπάρχουν στο National Climatic Data Center σε αρχεία μηνιαίων

τιμών PDSI, για κάθε τμήμα του κλίματος στις Ηνωμένες Πολιτείες, από το 1895 μέχρι και σήμερα. Επιπλέον, οι εβδομαδιαίες τιμές του Δείκτη Palmer (στην πραγματικότητα τροποποιημένες PDSI τιμές) υπολογίζονται για τα τμήματα του κλίματος κατά τη διάρκεια κάθε καλλιεργητικής περιόδου και είναι διαθέσιμα στο Εβδομαδιαίο Δελτίο Καιρού και των καλλιεργειών.

Ο Δείκτης Palmer είναι δημοφιλής και έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως για μια ποικιλία εφαρμογών σε όλες τις Ηνωμένες Πολιτείες. Είναι πιο αποτελεσματικός στη μέτρηση των επιπτώσεων ευαίσθητων στις συνθήκες υγρασίας του εδάφους, όπως είναι η γεωργία (Willeke et al., 1994). Είναι επίσης χρήσιμο ως εργαλείο παρακολούθησης της λειψυδρίας και έχει χρησιμοποιηθεί για να ξεκινήσουν ενέργειες που σχετίζονται σχέδια έκτακτης ανάγκης για την αντιμετώπιση της λειψυδρίας (Willeke et al., 1994). Ο Alley (1984) προσδιόρισε τρία θετικά χαρακτηριστικά του Δείκτη Palmer που συμβάλλουν στη δημοτικότητά του: (1) παρέχει στους υπευθύνους λήψης αποφάσεων, μια μέτρηση της μεταβολής των καιρικών συνθηκών σε μια περιοχή (2) παρέχει μια ευκαιρία να τοποθετηθούν οι τρέχουσες συνθήκες σε ιστορική προοπτική και (3) παρέχει χωρικές και χρονικές απεικονίσεις της λειψυδρίας ιστορικά. Αρκετές πολιτείες, συμπεριλαμβανομένων της Νέας Υόρκης, Κολοράντο, Αϊντάχο και Γιούτα, χρησιμοποιούν το Δείκτη Palmer ως μέρος των συστημάτων παρακολούθησης της λειψυδρίας τους.

Υπάρχουν σημαντικοί περιορισμοί κατά τη χρήση του Δείκτη Palmer, οι οποίοι περιγράφονται λεπτομερώς από Alley (1984) και Karl και Knight (1985). Στα Μειονεκτήματα του Δείκτη Palmer περιλαμβάνονται:

- Οι τιμές ποσοτικοποίησης της έντασης της λειψυδρίας και σηματοδότησης της έναρξης και του τέλος μιας λειψυδρίας ή υγρής περιόδου επιλέχθηκαν αυθαίρετα με βάση τη μελέτη του Palmer στην κεντρική Αϊόβα και δυτικό Κάνσας και έχουν μειωμένη επιστημονική έννοια.
- Ο Δείκτης Palmer είναι ευαίσθητος στην περιεκτικότητα σε νερό του τύπου του εδάφους. Έτσι, η εφαρμογή του δείκτη για ένα τμήμα του κλίματος μπορεί να είναι πολύ γενική.

- Τα δύο εδαφικά στρώματα εντός των υπολογισμών του υδατικού ισοζυγίου είναι απλοποιημένα και μπορεί να μην είναι αντιπροσωπευτικά για μια θέση
- Χιονόπτωση, χιονοκάλυψη και παγωμένο έδαφος δεν περιλαμβάνονται στο δείκτη. Όλες οι κατακρημνίσεις αντιμετωπίζονται ως βροχή, έτσι ώστε η χρονική στιγμή των PDSI ή PHDI τιμών ενδέχεται να είναι ανακριβείς κατά τους χειμερινούς και ανοιξιάτικους μήνες στις περιοχές όπου εμφανίζεται χιόνι.
- Η φυσική υστέρηση από τη στιγμή της βροχόπτωσης μέχρι να προκύψει απορροή δεν συμπεριλαμβάνεται. Επιπλέον, δεν επιτρέπεται να λάβει χώρα στο μοντέλο απορροή μέχρι τα επιφανειακά και υπόγεια στρώματα του εδάφους είναι πλήρη σε νερό, αυτό έχει ως αποτέλεσμα να οδηγούμαστε σε υποτίμηση των απορροών.

Δυνητική εξαμυσοδιαπνοή υπολογίζεται με τη μέθοδο Thornthwaite. Η τεχνική αυτή έχει ευρεία αποδοχή, αλλά εξακολουθεί να είναι μόνο μια προσέγγιση.

Αρκετοί άλλοι ερευνητές έχουν υποβάλει επιπλέον περιορισμούς του Δείκτη Palmer. Ο McKee et al. (1995) πρότεινε ότι ο PDSI έχει σχεδιαστεί για τη γεωργία, αλλά δεν αντιπροσωπεύει με ακρίβεια τις υδρολογικές επιπτώσεις που προκύπτουν από μεγάλες ξηρασίες. Επίσης, ο δείκτης Palmer εφαρμόζεται εντός των Ηνωμένων Πολιτειών, αλλά δεν έχει μεγάλη αποδοχή αλλού (Kogan, 1995). Μια εξήγηση για αυτό δόθηκε από τον Smith et al. (1993), ο οποίος πρότεινε ότι ο Palmer δείκτης δεν ανταποκρίνεται καλά σε περιοχές όπου υπάρχουν ακραίες μεταβολές της βροχόπτωσης και της απορροής. Παραδείγματα στην Αυστραλία και τη Νότιο Αφρική δόθηκαν. Μια άλλη αδυναμία του Δείκτη Palmer είναι ότι η ταξινόμηση της λειψυδρίας ως «ακραία» και «σοβαρή» εμφανίζεται με μεγαλύτερη συχνότητα σε ορισμένες περιοχές της χώρας από ό, τι σε άλλες (Willeke et al., 1994). Οι ακραίες λειψυδρίες στην Great Plains εμφανίζονται με συχνότητα μεγαλύτερη από 10%. Το γεγονός αυτό περιορίζει την ακρίβεια της σύγκρισης της έντασης των ξηρασιών μεταξύ των δύο περιοχών και δυσχεραίνει τον προγραμματισμό δράσεων κατά της λειψυδρίας.

## **Crop Moisture Index (CMI)**

Ένα παράγωγο του Palmer, ο CMI αντανakλά τον ανεφοδιασμό υγρασίας σε σύντομο χρονικό διάστημα σε μεγάλες καλλιεργητικές περιοχές και δεν έχει σκοπό να αξιολογήσει τη μακροπρόθεσμη λειψυδρία.

Πλεονεκτήματα: Προσδιορίζει πιθανές γεωργικές λειψυδρίες

Ανάπτυξη: W.C. Palmer, 1968.

Ο Δείκτης CMI χρησιμοποιεί μια μετεωρολογική προσέγγιση για την παρακολούθηση των εβδομαδιαίων συνθηκών καλλιέργειας. Αναπτύχθηκε από τον Palmer (1968) από διαδικασίες στο πλαίσιο του υπολογισμού του PDSI. Ενώ ο PDSI παρακολουθεί μακροχρόνια μετεωρολογικά υγρές και ξηρές περιόδους, ο CMI σχεδιάστηκε για να αξιολογήσει τις βραχυπρόθεσμες συνθήκες υγρασίας σε όλες τις κύριες καλλιεργητικές περιοχές. Βασίζεται στη μέση θερμοκρασία και συνολική βροχόπτωση κάθε εβδομάδας μέσα σε ένα τμήμα του κλίματος, καθώς και στην τιμή του CMI από την προηγούμενη εβδομάδα. Ο CMI ανταποκρίνεται γρήγορα στις μεταβαλλόμενες συνθήκες και είναι σταθμισμένος με βάση την τοποθεσία και την ώρα, έτσι ώστε χάρτες, που εμφανίζουν συνήθως την εβδομαδιαία τιμή CMI στις Ηνωμένες Πολιτείες, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να συγκρίνουν τις συνθήκες υγρασίας σε διαφορετικές θέσεις.

Επειδή έχει σχεδιαστεί για να παρακολουθούν τις βραχυπρόθεσμες συνθήκες υγρασίας που επηρεάζουν την ανάπτυξη των καλλιεργειών, ο CMI δεν είναι ένα καλό μακροπρόθεσμο εργαλείο παρακολούθησης της λειψυδρίας. Η άμεση αντίδραση του CMI στις αλλαγές των βραχυπρόθεσμων συνθηκών μπορεί να οδηγήσει σε παραπλανητικές πληροφορίες σχετικά με τις μακροπρόθεσμες συνθήκες. Για παράδειγμα, μια ευεργετική βροχόπτωση κατά τη διάρκεια μιας λειψυδρίας μπορεί να επιτρέψει στην τιμή του CMI να υποδείξει κατάλληλες συνθήκες υγρασίας, ενώ η μακροχρόνια λειψυδρία σε αυτή τη θέση εξακολουθεί να υφίσταται. Ένα άλλο χαρακτηριστικό του CMI που περιορίζει τη χρήση του ως ένα μακροπρόθεσμο εργαλείο παρακολούθησης της λειψυδρίας είναι ότι ο CMI συνήθως ξεκινά και τελειώνει κάθε καλλιεργητική περίοδο με τιμή κοντά στο μηδέν. Αυτός ο περιορισμός εμποδίζει τον CMI από το να χρησιμοποιηθεί για να παρακολουθεί τις συνθήκες υγρασίας εκτός της γενικής καλλιεργητικής

περιόδου, ιδιαίτερα σε ξηρασίες που εκτείνονται σε διάστημα πολλών ετών. Ο CMI, επίσης, μπορεί να μην είναι εφαρμόσιμος κατά τη διάρκεια βλάστησης των σπόρων στην έναρξη της καλλιεργητικής περιόδου.

### **Surface Water Supply**

Ο SWSI έχει σχεδιαστεί για να συμπληρώσει τον Palmer στην πολιτεία του Κολοράντο, όπου η ορεινή χιονοκάλυψη αποτελεί βασικό στοιχείο της ύδρευσης. Υπολογίζεται ανά λεκάνη απορροής ποταμού, με βάση τη χιονοκάλυψη, την απορροή, τη βροχόπτωση και το διαθέσιμο αποθηκευμένο νερό.

Πλεονεκτήματα: Αντιπροσωπεύει μοναδικές συνθήκες ύδρευσης για κάθε λεκάνη απορροής.

Μειονεκτήματα: Η αλλαγή σταθμού συλλογής δεδομένων ή διαχείρισης των υδάτων απαιτεί τον υπολογισμό νέων αλγορίθμων, επιπλέον ο δείκτης είναι μοναδικός για κάθε λεκάνη απορροής γεγονός που περιορίζει τις συγκρίσεις εσωτερικά της λεκάνης.

Ο Δείκτης SWSI αναπτύχθηκε από τους Shafer και Dezman (1982) για να συμπληρώσει το δείκτη Palmer για τις συνθήκες υγρασίας σε ολόκληρη την πολιτεία του Κολοράντο. Ο Δείκτης Palmer είναι βασικά ένας αλγόριθμος υγρασίας του εδάφους βαθμονομημένος για σχετικά ομοιογενείς περιοχές, αλλά δεν έχει σχεδιαστεί για μεγάλες τοπογραφικές διαφορές που πιθανόν να υπάρχουν σε μια περιοχή και δεν συνυπολογίζει τη συσσώρευση του χιονιού και τα ακόλουθα φαινόμενα απορροής. Οι Shafer και Dezman σχεδίασαν τον SWSI να είναι ένας δείκτης των συνθηκών των επιφανειακών υδάτων και περιγράφεται ως ο δείκτης διαθεσιμότητας νερού σε ορεινές περιοχές, στον οποίο η χιονοκάλυψη είναι ένας σημαντικός παράγοντας.

Ο στόχος του SWSI ήταν να ενσωματώσει τόσο τα υδρολογικά όσο και τα κλιματολογικά χαρακτηριστικά σε μια ενιαία τιμή του δείκτη που μοιάζει με το Δείκτη Palmer για κάθε μεγάλη λεκάνη απορροής ποταμού στην πολιτεία του Κολοράντο (Shafer και Dezman 1982). Οι τιμές αυτές θα κανονικοποιηθούν ώστε να επιτρέπουν τη σύγκριση μεταξύ των λεκανών απορροής. Τέσσερα

δεδομένα εισόδου απαιτούνται για τον SWSI: χιονοκάλυψη, απορροή, βροχόπτωση και η αποθήκευτική δεξαμενή (reservoir storage). Επειδή εξαρτάται από την εποχή, ο SWSI κατά τη διάρκεια του χειμώνα υπολογίζεται χρησιμοποιώντας μόνο τη χιονοκάλυψη, τη κατακρήμνιση και τη δεξαμενή αποθήκευσης. Κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών τα υδατορεύματα αντικαθιστούν τον παράγοντα χιονοκάλυψης στην εξίσωση του SWSI.

Η διαδικασία για τον καθορισμό του SWSI για μια συγκεκριμένη λεκάνη απορροής έχει ως εξής: τα μηνιαία στοιχεία συλλέγονται και αθροίζονται από όλους τους σταθμούς κατακρήμνισης, δεξαμενές, και σταθμούς μέτρησης χιονοκάλυψης / υδατορευμάτων της λεκάνης. Κάθε άθροισμα κανονικοποιείται χρησιμοποιώντας μια ανάλυση συχνοτήτων που συλλέχτηκε από μια μακροπρόθεσμη σειρά δεδομένων. Η πιθανότητα της μη υπέρβασης - η πιθανότητα ότι τα μελλοντικά αθροίσματα αυτής της συνιστώσας δεν θα είναι μεγαλύτερα από το τρέχον άθροισμα - καθορίζεται για κάθε συνιστώσα με βάση την ανάλυση συχνοτήτων. Αυτό επιτρέπει να πραγματοποιηθεί η σύγκριση πιθανοτήτων μεταξύ των συνιστωσών. Σε κάθε συνιστώσα έχει δοθεί ένα βάρος, ανάλογα με τη συμβολή της στα επιφανειακά ύδατα εντός της λεκάνης, και αυτές οι σταθμισμένες συνιστώσες αθροίζονται για να καθορίσουν μια SWSI τιμή που αντιπροσωπεύει ολόκληρη τη λεκάνη. Όπως και ο Δείκτης Palmer έτσι και ο SWSI παίρνει τιμές κοντά στο μηδέν και έχει ένα εύρος μεταξύ -4,2 και 4,2.

Ο SWSI έχει χρησιμοποιηθεί, μαζί με το Δείκτη Palmer για την ενεργοποίηση και απενεργοποίηση του Σχεδίου Λειψυδρίας στο Κολοράντο. Ένα από τα πλεονεκτήματά του είναι ότι είναι απλό να υπολογιστεί και να δίνει μια αντιπροσωπευτική μέτρηση των ανεφοδιασμών των επιφανειακών υδάτων σε ολόκληρη την πολιτεία. Έχει τροποποιηθεί και εφαρμοστεί και σε άλλες δυτικές πολιτείες, όπως το Όρεγκον, Μοντάνα, Αϊντάχο και Γιούτα.

Αρκετά χαρακτηριστικά του SWSI περιορίζουν την εφαρμογή του. Επειδή ο υπολογισμός SWSI είναι μοναδικός για κάθε λεκάνη απορροής ή περιοχή, είναι δύσκολο να συγκριθούν οι SWSI τιμές μεταξύ λεκανών ή περιοχών (Doesken et al., 1991). Μέσα σε μια συγκεκριμένη λεκάνη απορροής ή περιοχή, τη διακοπή οποιουδήποτε σταθμού σημαίνει ότι οι νέοι σταθμοί θα πρέπει να προστεθούν

στο σύστημα και νέες κατανομές συχνοτήτων πρέπει να καθοριστούν για τη συγκεκριμένη συνιστώσα. Πρόσθετες αλλαγές στη διαχείριση του νερού μέσα σε μια λεκάνη, όπως οι εκτροπές της ροής ή νέων δεξαμενών, σημαίνει ότι το όλος ο SWSI αλγόριθμος για την εν λόγω λεκάνη, χρειάζεται να επανασχεδιασθεί για να ληφθούν υπόψη οι αλλαγές στο βάρος κάθε συνιστώσας. Επομένως, είναι δύσκολο να διατηρηθεί μία ομοιογενή χρονοσειρά του δείκτη (Heddinghaus και Sabol, 1991). Ακραία φαινόμενα μπορούν επίσης να προκαλέσουν κάποιο πρόβλημα, αν τα γεγονότα είναι πέρα από τις ιστορικές χρονοσειρές, και ο δείκτης θα πρέπει να επαναξιολογηθεί για να συμπεριλάβει αυτά τα γεγονότα στην κατανομή συχνοτήτων μιας συνιστώσας της λεκάνης.

### **Reclamation Drought Index**

Επισκόπηση: Όπως και το SWSI, το RDI υπολογίζεται σε επίπεδο λεκάνης απορροής ποταμού, που ενσωματώνει τη θερμοκρασία καθώς και την καθίζηση, τη χιονοκάλυψη, την απορροή σε βάση δεδομένων εισόδου.

Πλεονεκτήματα: περιλαμβάνοντας τιμές θερμοκρασίας, αντιπροσωπεύει κατά κάποιο τρόπο και την εξάτμιση

Μειονεκτήματα: Επειδή ο δείκτης είναι μοναδικός για κάθε λεκάνη απορροής ποταμού, είναι περιορισμένες οι συγκρίσεις μεταξύ λεκανών.

Ο RDI πρόσφατα αναπτύχθηκε ως ένα εργαλείο για τον καθορισμό της σοβαρότητας και διάρκειας της ξηρασίας, καθώς και για την πρόβλεψη της έναρξης και λήξης των περιόδων ξηρασίας. Η ώθηση για την εκπόνηση του RDI έγινε το 1988 και επιτρέπει στα κράτη να ζητήσουν βοήθεια από το Προεδρείο του Βελτιώσεων για την άμβλυση των επιπτώσεων της ξηρασίας.

Όπως και το SWSI, το RDI υπολογίζεται σε επίπεδο λεκάνης απορροής ποταμού, και ενσωματώνει τη βροχόπτωση, τη χιονοκάλυψη, την απορροή και τα επίπεδα στους ταμιευτήρες. Ο RDI διαφέρει από το SWSI δεδομένου ότι χτίζει μια θερμοκρασία που βασίζεται με συνιστώσα τη ζήτηση και τη διάρκεια στο δείκτη, επιπλέον ο RDI μπορεί να προσαρμοστεί σε κάθε συγκεκριμένη περιοχή και η ικανότητά του είναι να λαμβάνει υπόψη το κλίμα σε συνδυασμό με τη διαθεσιμότητα σε νερό.



## Deciles

Επισκόπηση: Ομαδοποιημένες μηνιαίες βροχοπτώσεις που βασίζονται σε δεκατημόρια και εξ'ορισμού δεν είναι αντιπροσωπευτικές και δε μπορεί να συμβεί συχνότερα από το 20% του χρόνου.

Πλεονεκτήματα: Παρέχει μια ακριβή στατιστική μέτρηση της βροχόπτωσης.

Μειονεκτήματα: Ακριβείς υπολογισμοί απαιτούν μια μακρά βάση δεδομένων όσον αφορά το κλίμα.

Η καταγραφή μηνιαίων στοιχείων βροχοπτώσεων σε δεκατημόρια είναι μια από τις τεχνικές παρακολούθησης της ξηρασίας. Αυτό αναπτύχθηκε από τους Gibbs και Maher (1967) για να αποφευχθούν μερικές από τις αδυναμίες στο πλαίσιο της προσέγγισης "επί τοις εκατό των κανονικών». Η τεχνική που αναπτύχθηκε καταγράφει την κατανομή των περιστατικών κατά τη διάρκεια μιας μακροχρόνιας περιόδου υψηλών βροχοπτώσεων σε δέκατα της διανομής. Ονόμασαν κάθε μία από αυτές τις κατηγορίες δεκατημόριο. Το πρώτο δεκατημόριο είναι το σύνολο των βροχοπτώσεων και δεν υπερβαίνει το χαμηλότερο 10% των περιστατικών βροχόπτωσης. Το δεύτερο δεκατημόριο είναι η συνολική βροχόπτωση που δεν υπερβαίνει το χαμηλότερο 20% των περιστατικών. Αυτά τα δεκατημόρια συνεχίζονται μέχρι το σύνολο της βροχόπτωσης που προσδιορίζονται από το δέκατο δεκατημόριο και είναι το μεγαλύτερο ποσό βροχοπτώσεων. Εξ ορισμού, το πέμπτο δεκατημόριο είναι το μεσαίο, και αυτό είναι η συνολική βροχόπτωση που δεν υπερβαίνει το 50% των περιστατικών κατά τη διάρκεια της καταγραφής. Ομαδοποιούνται σε πέντε ταξινομήσεις.

Η μέθοδος αυτή επιλέχθηκε ως η μετεωρολογική μέτρηση της ξηρασίας στην Αυστραλία επειδή είναι σχετικά απλό να υπολογίσει και να απαιτεί λιγότερα δεδομένα και λιγότερες υποθέσεις από ό, τι ο Δείκτης Palmer (Smith et al., 1993). Σε αυτό το σύστημα, οι γεωργοί και κτηνοτρόφοι μπορούν να ζητήσουν μόνο τη βοήθεια της κυβέρνησης, εάν η ξηρασία έχει αποδειχθεί ότι είναι ένα γεγονός που συμβαίνει μόνο μια φορά σε 20-25 χρόνια (δεκατημόρια 1 και 2 πάνω από ένα 100-έτος ρεκόρ) και έχει διαρκέσει περισσότερο από 12

μήνες (White and O’Meagher, 1995)). Αυτή η ομοιομορφία στις ταξινομήσεις της ξηρασίας, σε αντίθεση με ένα σύστημα που βασίζεται στην τοις εκατό των κανονικών βροχοπτώσεων, έχει βοηθήσει τις αρχές της Αυστραλίας για τον προσδιορισμό κατάλληλων απαντήσεων στην αντιμετώπιση της ξηρασίας. Ένα μειονέκτημα συστήματος είναι ότι μια μεγάλη κλιματολογική εγγραφή είναι απαραίτητη για τον υπολογισμό της με ακρίβεια.

Η χρήση των δεικτών είναι σημαντικό εργαλείο για την παρακολούθηση, την πρόβλεψη της λειψυδρίας και την επαγρύπνηση απέναντι στο φαινόμενο (Sivakumar, M.V.K., et al., 2002, Rossi, 2003). Βέβαια, με τον όρο διαχείριση υδατικών πόρων εννοούμε το σύνολο των μέτρων με τα οποία επιδιώκεται η κάλυψη των αναγκών σε νερό στην επιθυμητή ποσότητα και ποιότητα στον χώρο και στον χρόνο που απαιτείται (Χ. Καραβίτης, 2008).

## Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>

### Μεθοδολογία της Μελέτης

Το αρχικό στάδιο της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη των σημαντικών λειψυδριών τα τελευταία είκοσι χρόνια στον Ελλαδικό χώρο. Η εκτεταμένη αναφορά του τύπου για τα προβλήματα που δημιουργούσε η λειψυδρία όλα αυτά τα χρόνια έδωσε το έναυσμα για περαιτέρω μελέτη και ανάλυση των αποτελεσμάτων. Εν συντομία τα βήματα που ακολουθήθηκαν ήταν τα εξής:

1. Πραγματοποιήθηκε η συλλογή και καταχώρηση μετεωρολογικών – εδαφολογικών δεδομένων. Συγκεκριμένα της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας για σαράντα έξι (40) μετεωρολογικούς σταθμούς όπως επίσης της ικανότητας συγκράτησης του νερού του έδαφος (water holding capacity) στις θέσεις των μετεωρολογικών σταθμών. Στη συνέχεια επεξεργάστηκαν για να είναι εφικτή η εισαγωγή τους στο «μαύρο κουτί» (DSS). Για τα μετεωρολογικά δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν μηνιαίες τιμές.
2. Έπειτα πραγματοποιήθηκε η εισαγωγή τους στη γλώσσα προγραμματισμού όπου υπολογίστηκε ο δείκτης PDSI (Palmer drought severity index) των μετεωρολογικών σταθμών που ήταν το σημαντικότερο κομμάτι της μελέτης.
3. Για να αποδοθούν με τον βέλτιστο τρόπο τα αποτελέσματα του δείκτη και να κατανεμηθεί ομοιόμορφα η κατάσταση των φαινομένων λειψυδρίας για τα έτη 1990, 1993, 2000 και 2007 όπου προέκυψαν προβλήματα σε τοπικό επίπεδο έγινε η χαρτογράφηση με τη βοήθεια της γεωστατιστικής μεθόδου kriging.
4. Τέλος, ακολουθεί ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων όπως αυτά προέκυψαν μετά την ανάλυση και επεξεργασία των δεδομένων. Στο σχήμα 3.1 αναπαρίσταται η διαδικασία σχεδιασμού της παρούσας μελέτης με τα βήματα που ακολουθήθηκαν ώστε να ολοκληρωθεί.



*Σχήμα 3.1. Διαδικασία σχεδιασμού της παρούσας μελέτης.*

## Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>

### Ανάπτυξη του PDSI & Γεωστατιστική

#### 4.1 Διαδικασία υπολογισμού (PDSI)

Ο Palmer (1965) στον αλγόριθμο που υπολογίζει την υγρασία του εδάφους, ενσωματώνει την ποσότητα των κατακρημνισμάτων, τη θερμοκρασία και το διαθέσιμο νερό στο έδαφος. Η επαναφόρτιση των υπογείων υδάτων είναι μια παράμετρος του μοντέλου που πρέπει να οριστεί κατά την έναρξη της διαδικασίας υπολογισμού. Το PDSI αντιπροσωπεύει τυποποιημένες (σύμφωνα με τοπικές κλιματικές ιδιότητες) συνθήκες υγρασίας και επιτρέπει τη σύγκριση μεταξύ διαφορετικών περιοχών και μηνών (ή άλλων χρονικών περιόδων).

Αρχή του Palmer, όταν προέκυπταν εξισώσεις, ήταν ότι ένας πολύ υγρός μήνας στα μέσα ενός μεγάλου σε διάρκεια επεισοδίου λειψυδρίας δεν τελειώνει απαραίτητα με λειψυδρία και δεν θα πρέπει να έχει σημαντικές επιπτώσεις στην τιμή του δείκτη. Ως εκ τούτου, ο Palmer ανέπτυξε κριτήρια για τον προσδιορισμό της έναρξης ή της λήξης μιας υγρής ή ξηρής περιόδου, που προσαρμόζει το PDSI αναλόγως.

Σε σχεδόν πραγματικό χρόνο, ο δείκτης Palmer δεν είναι πλέον ένας μετεωρολογικός δείκτης, αλλά γίνεται ένας υδρολογικός δείκτης, ο οποίος αναφέρεται ως ο Δείκτης Υδρολογικής Λειψυδρίας Palmer (Palmer Hydrological Drought Index - PHDI), επειδή βασίζεται στην εισροή υγρασίας (κατακρημνίσματα), την εκροή, την αποθήκευση και δεν λαμβάνει υπόψη τη μακροπρόθεσμη τάση (Karl και Knight, 1985).

Ο Δείκτης Palmer κυμαίνεται περίπου μεταξύ -4,0 και 4,0 (Πίνακας 4.1). Ο Palmer επιλεγεί αυθαίρετα την κλίμακα ταξινόμησης των συνθηκών υγρασίας με βάση τις περιοχές μελέτης του στην κεντρική Αϊόβα και το δυτικό Κάνσας (Palmer, 1965).

**Πίνακας 4.1: Ταξινόμηση λειψυδρίας με τιμές PDSI**

Τιμές PDSI	Κατηγοριοποίηση	Χρώμα
4.0 ή περισσότερο	Εξαιρετικά υγρή	
3.0 έως 3.99	Πολύ υγρή	
2.0 έως 2.99	Μέτρια υγρή	
1.0 έως 1.99	Ήπια υγρή	
0.5 έως 0.99	Αρχή υγρής περιόδου	
0.49 έως -0.49	Σχεδόν φυσιολογική	
-0.5 έως -0.99	Αρχή ξηρής περιόδου	
-1.0 έως -1.99	Ήπια λειψυδρία	
-2.0 έως -2.99	Μέτρια λειψυδρία	
-3.0 έως -3.99	Σοβαρή λειψυδρία	
- 4.0 ή λιγότερο	Ακραία λειψυδρία	

Το PDSI είναι πιο αποτελεσματικό κατά τη μέτρηση επιπτώσεων, ευαίσθητων σε συνθήκες υγρασίας εδάφους, όπως είναι η γεωργία (Willeke et al., 1994). Είναι, επίσης, χρήσιμο εργαλείο παρακολούθησης της λειψυδρίας και έχει χρησιμοποιηθεί για να προκαλέσει ενέργειες που σχετίζονται με τα σχέδια έκτακτης ανάγκης λειψυδρία (Willeke et al., 1994). Ο Alley (1984) προσδιόρισε τρία θετικά χαρακτηριστικά του Δείκτη Palmer που συμβάλλουν στη δημοτικότητά του: (1) παρέχει στους υπευθύνους λήψης αποφάσεων, μια μέτρηση της ανωμαλίας των πρόσφατων καιρικών συνθηκών σε μια περιοχή (2), παρέχει μια ευκαιρία να τοποθετηθούν οι τρέχουσες συνθήκες στην ιστορική προοπτική και (3) παρέχει χωρικές και χρονικές αναπαραστάσεις των ιστορικών λειψυδριών. Αρκετές πολιτείες, συμπεριλαμβανομένης της Νέας Υόρκης, του Κολοράντο, του Αϊντάχο, και της Γιούτα, χρησιμοποιούν τον Δείκτη Palmer ως μέρος των συστημάτων παρακολούθησης της λειψυδρίας τους.

Υπάρχουν σημαντικοί περιορισμοί κατά τη χρήση του Δείκτη Palmer, οι οποίοι και περιγράφονται λεπτομερώς από τους Alley (1984) και Karl και ο Knight (1985). Στα μειονεκτήματα του Δείκτη Palmer συμπεριλαμβάνονται:

- Οι τιμές που ποσοτικοποιούν την ένταση της λειψυδρίας και σηματοδοτούν την έναρξη και το τέλος μιας ξηρής ή υγρής περιόδου ήταν αυθαίρετα και επιλέχθηκαν με βάση τη μελέτη

Palmer στην κεντρική Αϊόβα και το δυτικό Κάνσας και έχουν μικρή επιστημονική σημασία.

- Ο Δείκτης Palmer είναι ευαίσθητος στο AWC ενός τύπου του εδάφους. Έτσι, η εφαρμογή του δείκτη για την ταξινόμηση του κλίματος μπορεί να είναι πολύ γενική. Τα δύο στρώματα του εδάφους στον υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου είναι απλοποιημένα και μπορεί να μην είναι αντιπροσωπευτικά της περιοχής.
- Η χιονόπτωση, η χιονοκάλυψη, και το παγωμένο έδαφος δεν συμπεριλαμβάνονται στο δείκτη. Όλα τα κατακρημνίσματα θεωρούνται βροχή, έτσι οι τιμές του PDSI ή του PHDI ενδέχεται να είναι ανακριβείς κατά τους χειμερινούς μήνες και την άνοιξη στις περιοχές όπου υπάρχει χιονόπτωση.
- Δεν υπολογίζεται η φυσική καθυστέρηση από τη στιγμή της πτώσης των κατακρημνισμάτων μέχρι την προκύπτουσα απορροή. Επιπλέον, καμία απορροή δεν λαμβάνεται υπόψη στο μοντέλο μέχρι η ικανότητα συγκράτησης νερού του εδάφους των επιφανειακών και υπόγειων στρωμάτων του εδάφους να είναι πλήρης, κάτι που οδηγεί σε υποτίμηση των απορροών.
- Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή υπολογίζεται με τη μέθοδο Thornthwaite. Η τεχνική αυτή έχει ευρεία αποδοχή, αλλά εξακολουθεί να είναι μόνο μια προσέγγιση.

## 4.2 Δείκτης PDSI

### 4.2.1 Δυνητική εξατμισοδιαπνοή

Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Thorntwaite (Thorntwaite, 1948). Η μέθοδος λαμβάνει υπόψη τη μέση μηνιαία θερμοκρασία, τη μακροπρόθεσμη μέση μηνιαία θερμοκρασία και την ηλιοφάνεια:

$$PET = 16 \cdot \left[ \frac{10T_a}{I} \right]^a \cdot \left[ \frac{N}{12} \right] \cdot \left[ \frac{1}{30} \right],$$

όπου PET είναι η δυνητική μηνιαία εξατμισοδιαπνοή (cm/μην),  $T_a$  η μέση μηνιαία θερμοκρασία (°C), N είναι ο αριθμός των ωρών της ηλιοφάνειας και I είναι η ετήσια θερμική αξία. Η μέθοδος Thorntwaite χρησιμοποιείται ευρέως, λόγω της μικρής ποσότητας των απαραίτητων στοιχείων. Ο Mintz στο Walker (1993) κατέληξε στο συμπέρασμα, ότι αυτή η μέθοδος υπερεκτιμά το PET στις ξηρές περιοχές και το υποτιμά στις υγρές περιοχές.

### 4.2.2 Υπολογισμός του PDSI

Ο Palmer δημιούργησε το μοντέλο του, λαμβάνοντας υπόψη τις επιδράσεις των υπογείων υδάτων. Επίσης, το μοντέλο χρησιμοποιεί μια προσέγγιση δύο επιπέδων. Πολύ σημαντική παράμετρος είναι η διαθέσιμη ικανότητα συγκράτησης νερού (AWC), που αντιπροσωπεύει την ποσότητα του νερού, που είναι σε θέση να συγκρατήσει το έδαφος. Αυτή η ποσότητα του νερού εξαρτάται από την ικανότητα διατήρησης του ανώτερου και κατώτερου στρώματος του εδάφους.

Η πιθανή ποσότητα νερού που κατακρατείται (PR) ορίζεται ως η ποσότητα του νερού, που θα μπορούσε να απορροφηθεί από το έδαφος:

$$PR = AWC - (S_u + S_s),$$

όπου  $S_u$  και  $S_s$  αντιπροσωπεύουν τη βασική περιεκτικότητα σε υγρασία του εδάφους και των επιφανειακή υγρασία του εδάφους, αντίστοιχα. Η πιθανή



απορροή (PRO) υπολογίζεται θεωρώντας ότι κάθε κατακρήμνισμα που πέφτει, απορροφάται μέχρι να κορεστεί το έδαφος και το υπόλοιπο νερό που απορρέει.

Το PDSI χρησιμοποιεί μια προσέγγιση δύο επιπέδων για τη συγκράτηση της εδαφικής υγρασίας. Το ανώτερο επίπεδο (φυτική γη) μπορεί να χάσει όλη την υγρασία του. Μόνο όταν η επιφάνεια του εδάφους έχει χάσει όλη την υγρασία της, το υπόγειο/ υποκείμενο έδαφος χάνει και εκείνο με τη σειρά του τη δική του υγρασία. Είναι σαν η επιφάνεια του εδάφους να είναι ο τρεχούμενος λογαριασμός τραπεζίης και το υπόγειο έδαφος ο λογαριασμός ταμιευτηρίου.

Το ανώτερο στρώμα θεωρείται ότι είναι σε θέση να κρατήσει 2,54 εκατοστά υγρασίας. Η υγρασία αυτού του στρώματος είναι η πρώτη που θα εξαντληθεί, όταν η ζήτηση είναι μεγαλύτερη από την προσφορά και η πρώτη που θα επανατροφοδοτηθεί, όταν υπάρχει πλεόνασμα. Το κατώτερο επίπεδο του εδάφους μπορεί στη συνέχεια να χωρέσει μέχρι και (AWC-2.54) εκατοστά νερού. Όταν το χώμα είναι εξαντλημένο, μόνο ένα μέρος της υγρασίας στο κατώτερο επίπεδο μπορεί να αφαιρεθεί σε ένα χρόνο.

Η διαθέσιμη υγρασία ( $d$ ) είναι ουσιαστικά το έλλειμμα ή το πλεόνασμα υγρασίας για μια δεδομένη χρονική κλίμακα υπολογισμού. Υπολογίζεται ως εξής:

$$d = P - \hat{P},$$

όπου  $P$  είναι τα κατακρημνίσματα και  $\hat{P}$  είναι τα CAFEC (Climatically Appropriate for Existing Conditions) κατακρημνίσματα. Η εξίσωση αυτή αντιπροσωπεύει τη διαφορά μεταξύ της υγρασίας που προστίθενται στο περιβάλλον ( $P$ ) και της υγρασίας που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί λόγω των συνθηκών του κλίματος  $\hat{P}$ . Η  $\hat{P}$  υπολογίζεται ως εξής:

$$\hat{P}_i = \alpha_i PE + \beta_i PR + \gamma_i PRO - \delta_i PL,$$

όπου ο δείκτης  $i$  αναφέρεται στην κλίμακα του χρόνου. Οι συντελεστές είναι η μέση της αναλογίας καθεμιάς από τις πραγματικές τιμές (ET - εξατμισοδιαπνοή, R - επαναφόρτιση, RO - απορροή, L - απώλειες) προς τις αντίστοιχες πιθανές τιμές. Αυτοί οι συντελεστές ονομάζονται επίσης

συντελεστές υδατικού ισοζυγίου. Θα έχουν ως αποτέλεσμα την προσαρμογή των πιθανών τιμών για να ληφθούν υπόψη οι αλλαγές στην εποχή.

Η διαθέσιμη υγρασία από μόνη της δεν δίνει καμία πληροφορία για τη σχέση του ελλείμματος ή πλεονάσματος υγρασίας με το τοπικό κλίμα. Προκειμένου να λαμβάνονται υπόψη η σοβαρότητα της διαθέσιμης υγρασίας, η τελευταία προσαρμόζεται και πάλι ώστε να δημιουργήσει υγρασίας ανωμαλίας  $Z$ , το οποίο δείχνει πόσο υγρό ή ξηρό είναι σε σχέση με την τρέχουσα σεζόν και το τοπικό κλίμα. Αυτό γίνεται απλά με τον πολλαπλασιασμό της διαθέσιμης υγρασίας με το συντελεστή κλιματικού χαρακτηριστικού  $K$ :

$$Z = d \cdot K$$

Η τιμή του  $K$  αλλάζουν ανάλογα με την τοποθεσία και την εποχή του χρόνου. αυτό φαίνεται στον ακόλουθο τύπο, που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του  $K$ :

$$K_i = \left( \frac{17.6}{\sum_{j=1}^{12} \overline{D}_j K_i'} \right) K_i'$$

όπου

$$K_i' = 1.5 \log_{10} \left[ \left( \frac{\overline{PET}_i + R_i + \overline{RO}_i}{\overline{P}_i + \overline{L}_i} + 2.8 \right) \overline{D}_i^{-1} \right] + 0.5$$

Η τιμή 17,6 στην παραπάνω εξίσωση είναι μια εμπειρική αξία που ο Palmer άντλησε από ένα περιορισμένο σύνολο δεδομένων. Η συντομογραφία  $\overline{D}_i$  ορίζεται ως εξής:

$$\overline{D}_i = \frac{\sum |d_i|}{N}$$

Έχοντας υπολογίσει τη διαφοροποίηση της υγρασίας, μπορεί πλέον να υπολογιστεί η PDSI. Υπάρχουν τρεις ενδιάμεσοι δείκτες:

1. X1 είναι η σοβαρότητα μιας υγρής περιόδου που μπορεί ή όχι να είναι εξελίξιμη,
2. X2 είναι η σοβαρότητα μιας ξηρής περιόδου που μπορεί ή όχι να είναι εξελίξιμη,
3. X3 είναι η σοβαρότητα της σημερινής, που καθιερώθηκε.

Η πραγματική αξία του PDSI καθορίζεται επιλέγοντας έναν από τους τρεις δείκτες, σύμφωνα με τους κανόνες.

Κάθε ένας από τους τρεις δείκτες υπολογίζεται με τον ίδιο τρόπο, για παράδειγμα ο X3 υπολογίζεται ως εξής:

$$X3_i = 0.897 \cdot X3_{i-1} + \frac{1}{3} Z_i$$

Ο ίδιος τύπος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό των X1 και X2. Οι τιμές 0.897 και  $1 / 3$  είναι εμπειρικές σταθερές που ο Palmer άντλησε χρησιμοποιώντας δεδομένα από δύο τμήματα του κλίματος. Είναι επίσης γνώστες ως παράγοντες διάρκειας, επειδή καθορίζουν πόσο διαρκεί μία περίοδος. Ο Palmer χρησιμοποιούσε συγκεκριμένους παράγοντες διάρκειας, παρότι η ευαισθησία στα κατακρημνίσματα αλλάζει συνήθως από περιοχή σε περιοχή. Το αυτοβαθμονομημένο PDSI αναλύει το κλίμα του κάθε τόπου και προσαρμόζει τους παράγοντες διάρκειας αναλόγως.

### 4.3 Γεωστατιστική Μέθοδος (Kriging)

Η μέθοδος kriging αναπτύχθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 50 από το μηχανικό ορυχείων Krige (1951) με σκοπό την πρόγνωση της περιεκτικότητας σε μέταλλευμα μιας περιοχής εξόρυξης αξιοποιώντας μεμονωμένες μετρήσεις περιεκτικότητας σε συγκεκριμένα σημεία. Η περιεκτικότητα αυτή μοντελοποιείται ως μια στοχαστική συνάρτηση στις τρεις διαστάσεις, δηλαδή ως ένα τυχαίο πεδίο (random field) σύμφωνα με τη πιο σύγχρονη ορολογία.

Ο γενικότερος χαρακτήρας του kriging ως μεθόδου πρόγνωσης ενός τυχαίου πεδίου αναγνωρίστηκε από τον Matheron (1962) ο οποίος μελέτησε τα λεπτά μαθηματικά προβλήματα που σχετίζονται με τον απειροδιάστατο χαρακτήρα του άγνωστου τυχαίου πεδίου. Έτσι αργότερα η μέθοδος βρήκε εφαρμογή και σε άλλα προβλήματα πρόγνωσης όπως αυτά της υδρολογίας. Όμως παρόμοια προβλήματα πρόγνωσης τυχαίων πεδίων ή στοχαστικών συναρτήσεων (stochastic processes), όρος που επεκράτησε για συναρτήσεις του χρόνου, είχε ήδη μελετηθεί ανεξάρτητα τόσο από τον Kolmogorov (1941) όσο και από τον Wiener (1949), ώστε να μπορούμε να μιλούμε για μία συγκροτημένη θεωρία πρόγνωσης τυχαίων πεδίων των Wiener - Kolmogorov.

Στην γεωδαισία μια παρόμοια μέθοδος εισήχθη από τον Moritz (Heiskanen & Moritz, 1967) για την πρόγνωση του πεδίου βαρύτητας αλλά αναλύθηκε διεξοδικά από τον Krarup (1969), ο οποίος επιπλέον κατέδειξε τη σχέση με το ντετερμινιστικό πρόβλημα παρεμβολής μιας αρμονικής συνάρτησης δυναμικού έλξης η οποία ανήκει σε ένα χώρο συναρτήσεων Hilbert με αναπαραγωγό πυρήνα (reproducing kernel). Η σχετική μεθοδολογία ονομάστηκε σημειακή προσαρμογή (collocation).

Παρά την παρουσία ενός απειροδιάστατου πεδίου σε κάθε εφαρμογή, το πρόβλημα μπορεί να αναχθεί σε ένα κλασσικό πρόβλημα στατιστικής πρόγνωσης, με πεπερασμένες διαστάσεις, στα πλαίσια του λεγομένου μοντέλου τυχαίων επιδράσεων (random effects model), επειδή ο αριθμός των δεδομένων είναι πεπερασμένος αλλά και η ίδια η πρόγνωση του άγνωστου τυχαίου πεδίου μπορεί να αντιμετωπισθεί ως πρόβλημα πρόγνωσης μίας τιμής του σε οποιοδήποτε σημείο του πεδίου ορισμού του.

Παρ' όλες τις ομοιότητες με τη γενικότερη θεωρία πρόγνωσης των Wiener - Kolmogorov η μέθοδος kriging έχει μια σημαντική διαφορά, στο ότι χρησιμοποιεί τη συνάρτηση του μεταβολογράμματος (variogram) στη θέση της συνάρτησης συμμεταβλητότητας (covariance function) του σχετικού τυχαίου πεδίου. Από θεωρητική σκοπιά η επιλογή αυτή επεκτείνει την εφαρμοσιμότητα του kriging και σε τυχαία πεδία τα οποία διαθέτουν μεταβολόγραμμα αλλά όχι συνάρτηση συμμεταβλητότητας. Η ευρύτητα αυτή του πεδίου εφαρμογής είναι όμως ασήμαντη από πρακτική σκοπιά, όπου πλέον σημαντική είναι η δυνατότητα πρόγνωσης όταν το τυχαίο πεδίο έχει σταθερή μεν αλλά άγνωστη συνάρτηση μέσης τιμής, ενώ οι άλλες μέθοδοι προϋποθέτουν γνώση της σταθερής μέσης τιμής.

Περιοριζόμαστε εδώ λόγω του περιορισμένου χώρου στο λεγόμενο κοινό kriging (ordinary kriging) με άγνωστη σταθερή μέση τιμή. Το πρόβλημα του «παγκόσμιου» kriging (universal kriging) όπου η άγνωστη μέση συνάρτηση είναι γραμμικός συνδυασμός γνωστών συναρτήσεων με άγνωστους συντελεστές, αντιμετωπίζεται και αυτό στα πλαίσια της κλασσικής πεπερασμένων διαστάσεων στατιστικής μεθοδολογίας εκτίμησης-πρόγνωσης στα πλαίσια του λεγομένου μοντέλου μικτών επιδράσεων (mixed effects model). Η ουσία όμως των εδώ συγκρίσεων και συμπερασμάτων δεν χρειάζεται τη γενίκευση του «παγκόσμιου» kriging (universal kriging), το οποίο απλά οδηγεί σε κάπως πολυπλοκότερους αλγορίθμους, οι οποίοι όμως (συνήθως) χρησιμοποιούν τη συνάρτηση συμμεταβλητότητας αντί του μεταβολογράμματος.

Περισσότερο δραστική είναι η γενίκευση του intrinsic kriging, το οποίο οδηγεί σε λύσεις ανεξάρτητες της άγνωστης συνάρτησης μέσης τιμής αξιοποιώντας τη λεγόμενη γενικευμένη συνάρτηση συμμεταβλητότητας. Τέλος μια πρόσφατη γενίκευση είναι το γενικευμένο kriging (generalized kriging) των Reguazzoni et al. (2005), το οποίο επιτρέπει τη χρήση οποιωνδήποτε σχεδόν πραγματικών τιμών που σχετίζονται με το άγνωστο πεδίο, τόσο ως παρατηρήσεων όσο και ως ποσοτήτων προς πρόγνωση, αρκεί αυτές να μπορούν να εκφραστούν ως γραμμικά συναρτησιακά του σχετικού πεδίου (γραμμικές απεικονίσεις συναρτήσεων σε πραγματικές τιμές). Από την εδώ σύγκριση στα

πλαίσια του στατιστικού μοντέλου τυχαίων επιδράσεων, προκύπτει μια ακόμη γενίκευση, το «επηρεασμένο kriging» (biased kriging) η οποία έχει ήδη προταθεί από τους Dermanis & Sansò (2007).

Σημειακό kriging: είναι η απλούστερη από τις μεθόδους kriging. Αυτό χρησιμοποιεί αδιάστατα σημεία που εκτιμά άλλα αδιάστατα σημεία, π.χ. ισοϋψείς (Gallier, J., 2000). Στο σημειακό kriging οι περιφερειακές μεταβλητές είναι θεωρούνται στατικές, η μεταβολή δεν υφίσταται. Αυτή η υπόθεση επιτρέπει για μια εκτίμηση σε μια άγνωστη τιμή του σημείου  $p$ ,  $Y_{E,p}$ , που υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας σταθμισμένο μέσο όρο από τις γνωστές τιμές  $Y_i$  από τα σημεία ελέγχου:

$$Y_{E,p} = \sum W_i Y_i \quad (4.12)$$

Αυτή η εκτιμώμενη τιμή μπορεί να είναι διαφορετική από την πραγματική τιμή του σημείου  $p$ ,  $Y_{A,p}$ , και αυτή η διαφορά καλείται λάθος εκτίμησης:

$$E_p = (Y_{E,p} - Y_{A,p}) \quad (4.13)$$

Αν δεν υφίσταται η μεταβολή και ο σταθμισμένος μέσος όρος χρησιμοποιείται στην εκτίμηση του αθροίσματος του ενός, τότε η εκτιμώμενη τιμή αναμένεται να είναι ανεπηρέαστη. Η διασπορά των εκτιμήσεων για τις πραγματικές τιμές ονομάζεται σφάλμα ή εκτιμώμενη τυπική απόκλιση,

$$s_z^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{E,p} - Y_{A,p})_i^2}{n} \quad (4.14)$$

ή ως τετραγωνική ρίζα του, γνωστή ως τυπικό σφάλμα της εκτίμησης

$$s_z = \sqrt{s_z^2} \quad (4.15)$$

Η εκτίμηση και το εκτιμώμενο σφάλμα εξαρτάται από οι επιλεγόμενοι σταθμισμένοι μέσοι όροι. Θεωρητικά, η μέθοδος kriging προσπαθεί να επιλέξει τους μικρότερους σταθμισμένους μέσους όρους αυτό παράγει το ελάχιστο σφάλμα εκτίμησης. Μικροί σταθμισμένοι μέσοι όροι, παράγουν ανεπηρέαστες

εκτιμήσεις και έχουν ελάχιστη διακύμανση εκτίμησης, αυτά λαμβάνονται με την επίλυση μιας σειράς ταυτόχρονων εξισώσεων. Για απλότητα και για να τονίσει τη μεθοδολογία του kriging, τρεις άγνωστες τιμές  $Y_1$ ,  $Y_2$  και  $Y_3$ , θα χρησιμοποιηθούν για να εκτιμηθεί μια άγνωστη τιμή του σημείου  $p$ ,  $Y_{E,p}$ . Τρεις σταθμισμένοι μέσοι όροι πρέπει να καθοριστούν  $W_1$ ,  $W_2$  και  $W_3$ , δημιουργούν μια εκτίμηση. Η διαδικασία kriging ξεκινά μαζί με τις ακόλουθες τρεις ταυτόχρονες εξισώσεις:

$$\begin{aligned} W_1\gamma(h_{11}) + W_2\gamma(h_{12}) + W_3\gamma(h_{13}) &= \gamma(h_{1p}) \\ W_1\gamma(h_{21}) + W_2\gamma(h_{22}) + W_3\gamma(h_{23}) &= \gamma(h_{2p}) \\ W_1\gamma(h_{31}) + W_2\gamma(h_{32}) + W_3\gamma(h_{33}) &= \gamma(h_{3p}) \end{aligned} \quad (4.16)$$

Όπου  $\gamma(h_{ij})$  είναι η μέση διακύμανση ανάμεσα στο σημείο ελέγχου  $i$  και  $j$  ανάλογα με την απόσταση ανάμεσα της,  $h$ . Αφού  $h_{ij} = h_{ji}$ , η αριστερή πλευρά του πίνακα είναι συμμετρική, με μηδενικά κατά μήκους της διαγωνίου καθώς η απόσταση από το καθεαυτό σημείο είναι μηδέν. Οι τιμές της μέσης διακύμανσης παίρνονται από γνωστές ή εκτιμώμενες μέσες διακυμάνσεις.

$$W_1 + W_2 + W_3 = 1 \quad (4.17)$$

Επιπλέον, μια τέταρτη μεταβλητή είναι εισαγωγική και καλείται πολλαπλασιαστής **Lagrange**,  $\lambda$ , ώστε να διασφαλίσει ότι το ελάχιστο δυνατό σφάλμα εκτίμησης επιτυγχάνεται. Ως εκ τούτου, το πλήρες σύνολο των ταυτόχρονων εξισώσεων είναι:

$$\begin{aligned} W_1\gamma(h_{11}) + W_2\gamma(h_{12}) + W_3\gamma(h_{13}) + \lambda &= \gamma(h_{1p}) \\ W_1\gamma(h_{21}) + W_2\gamma(h_{22}) + W_3\gamma(h_{23}) + \lambda &= \gamma(h_{2p}) \\ W_1\gamma(h_{31}) + W_2\gamma(h_{32}) + W_3\gamma(h_{33}) + \lambda &= \gamma(h_{3p}) \\ W_1 + W_2 + W_3 + 0 &= 1 \end{aligned} \quad (4.18)$$

Ο διαχωρισμός των εξισώσεων αυτών σε πίνακα αποδόσεων έχει τη μορφή:

$$\begin{bmatrix} \gamma(h_{11}) & \gamma(h_{12}) & \gamma(h_{13}) & 1 \\ \gamma(h_{21}) & \gamma(h_{22}) & \gamma(h_{23}) & 1 \\ \gamma(h_{31}) & \gamma(h_{32}) & \gamma(h_{33}) & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ W_3 \\ \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma(h_{1p}) \\ \gamma(h_{2p}) \\ \gamma(h_{3p}) \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4.19)$$

ή με γενική σχέση,

$$[A] * [W] = [B] \quad (4.20)$$

Αυτή η εξίσωση του πίνακα επιλύεται για τους άγνωστους συντελεστές  $[W]$ . Οι τιμές του πίνακα  $A$  και  $B$  λαμβάνονται από τη μέση διακύμανση ή από μαθηματικές εκφράσεις που περιγράφουν τη μορφή τους. Όταν τα μεμονωμένα βάρη είναι γνωστά, μια εκτίμηση μπορεί να γίνει από

$$Y_{E,p} = W_1 Y_1 + W_2 Y_2 + W_3 Y_3 \quad (4.21)$$

και μια εκτίμηση της διακύμανσης μπορεί να υπολογιστεί από:

$$s_z^2 = W_1 \gamma(h_{1p}) + W_2 \gamma(h_{2p}) + W_3 \gamma(h_{3p}) + \lambda \quad (4.22)$$

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στο kriging του επιτρέπουν να έχει ένα πλεονέκτημα από άλλες διαδικασίες εκτίμησης στο ότι οι εκτιμώμενες τιμές έχουν ελάχιστο σφάλμα που σχετίζεται με αυτές και το σφάλμα αυτό είναι μετρήσιμο.



## Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup>

### Εφαρμογή του δείκτη PDSI

#### 5.1 Περιοχή Μελέτης

Η Ελλάδα βρίσκεται στο νοτιοανατολικό τμήμα της Ευρώπης και ειδικότερα στη νοτιότερη απόληξη της Βαλκανικής χερσονήσου (ή χερσονήσου του Αίμου), στο μεταίχμιο μεταξύ της ευρωπαϊκής, ασιατικής και αφρικανικής ηπείρου. Συνορεύει βόρεια με την Πρώην Γιουγκοσλαβική Δημοκρατία της Μακεδονίας (Π.Γ.Δ.Μ.) και την Βουλγαρία, βορειοδυτικά με την Αλβανία και ανατολικά με την Τουρκία. Ανατολικά βρέχεται από το Αιγαίο Πέλαγος, δυτικά από το Ιόνιο και νότια από την Μεσόγειο Θάλασσα. Στον πίνακα 5.1 αναφέρονται τα σύνορα της Ελλάδος και στην εικόνα 5.1 εμφανίζεται ο χάρτης της Ελλάδος.

*Πίνακας 5.1. Γεωγραφικά όρια της Ελλάδος*



Η συνολική της έκταση είναι 131.957 Km<sup>2</sup>, και κατανέμεται σε τρεις «κύριες» γεωγραφικές ενότητες:

- το ηπειρωτικό τμήμα (από την περιοχή της Στερεάς Ελλάδας στο νότο ως την περιοχή της Θράκης στο βορειοανατολικό άκρο), που αποτελεί και το μεγαλύτερο της χώρας,
- την Πελοπόννησο η οποία ενώνεται με το ηπειρωτικό τμήμα μέσω του Ισθμού της Κορίνθου, και
- τα περίπου 6.000 μεγαλύτερα και μικρότερα νησιά και νησίδες, που βρίσκονται διάσπαρτα σε ολόκληρη τη θαλάσσια περιοχή της χώρας, είτε μόνα τους, είτε ενταγμένα σε νησιωτικά συμπλέγματα, συγκροτώντας έτσι το μοναδικό στην ευρωπαϊκή ήπειρο ελληνικό Αρχιπέλαγος. Μερικά από τα γνωστότερα και δημοφιλέστερα ελληνικά νησιά ή συμπλέγματα είναι η Κρήτη, η Ρόδος, η Κέρκυρα, τα Δωδεκάνησα και οι Κυκλάδες.

Το 80% του εδάφους της Ελλάδας είναι ορεινό ή ημιορεινό, γεγονός που την καθιστά ως μία από τις ορεινότερες χώρες στην Ευρώπη, ενώ ταυτόχρονα το συνολικό μήκος της ακτογραμμής της είναι περίπου 16.000 Km., εκ των οποίων τα 7.500 Km. βρίσκονται στα νησιά του ελληνικού αρχιπελάγους, κάτι που προσδίδει ένα σπάνιο γεωμορφολογικό χαρακτηριστικό για ολόκληρη την ευρωπαϊκή ήπειρο.

Το κλίμα της Ελλάδας είναι τυπικά μεσογειακό: ήπιοι και υγροί χειμώνες, σχετικά θερμά και ξηρά καλοκαίρια και, γενικά, μακρές περίοδοι ηλιοφάνειας κατά την μεγαλύτερη διάρκεια του έτους ([www.hnms.gr](http://www.hnms.gr)). Η Ελλάδα βρίσκεται μεταξύ των παραλλήλων 340 και 420 του Βορείου ημισφαιρίου και βρέχεται από την Ανατολική Μεσόγειο. Το κλίμα της έχει σε γενικές γραμμές τα χαρακτηριστικά του Μεσογειακού κλίματος, δηλαδή ήπιους και βροχερούς χειμώνες, σχετικώς θερμά και ξηρά καλοκαίρια και μεγάλη ηλιοφάνεια όλο σχεδόν το χρόνο. Λεπτομερέστερα στις διάφορες περιοχές της Ελλάδας παρουσιάζεται μια μεγάλη ποικιλία κλιματικών τύπων, πάντα βέβαια μέσα στα πλαίσια του Μεσογειακού κλίματος. Αυτό οφείλεται στην τοπογραφική διαμόρφωση της χώρας που έχει μεγάλες διαφορές υψομέτρου ( υπάρχουν μεγάλες οροσειρές κατά μήκος της κεντρικής χώρας και άλλοι ορεινοί όγκοι) και

εναλλαγή ξηράς και θάλασσας. Έτσι από το ξηρό κλίμα της Αττικής και γενικά της Ανατολικής Ελλάδας μεταπίπτουμε στο υγρό της Βόρειας και Δυτικής Ελλάδας. Τέτοιες κλιματικές διαφορές συναντώνται ακόμη και σε τόπους που βρίσκονται σε μικρή απόσταση μεταξύ τους , πράγμα που παρουσιάζεται σε λίγες μόνο χώρες σε όλο τον κόσμο. Από κλιματολογικής πλευράς το έτος μπορεί να χωριστεί κυρίως σε δύο εποχές: Την ψυχρή και βροχερή χειμερινή περίοδο που διαρκεί από τα μέσα του Οκτωβρίου και μέχρι το τέλος Μαρτίου και τη θερμή και άνομβρη εποχή που διαρκεί από τον Απρίλιο έως τον Οκτώβριο.

Κατά την πρώτη περίοδο οι ψυχρότεροι μήνες είναι ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος, όπου κατά μέσον όρο η μέση ελάχιστη θερμοκρασία κυμαίνεται από 5-10 °C στις παραθαλάσσιες περιοχές, από 0 - 5 °C στις ηπειρωτικές περιοχές και με χαμηλότερες τιμές κάτω από το μηδέν στις βόρειες περιοχές. Οι βροχές στη χώρα μας ακόμη και τη χειμερινή περίοδο δεν διαρκούν για πολλές ημέρες και ο ουρανός της Ελλάδας δεν μένει συννεφιασμένος για αρκετές συνεχόμενες ημέρες, όπως συμβαίνει σε άλλες περιοχές της γης. Οι χειμερινές κακοκαιρίες διακόπτονται συχνά κατά τον Ιανουάριο και το πρώτο δεκαπενθήμερο του Φεβρουαρίου από ηλιόλουστες ημέρες, τις γνωστές από την αρχαιότητα “ Αλκυονίδες ημέρες”. Η χειμερινή εποχή είναι γλυκύτερη στα νησιά του Αιγαίου και του Ιονίου από ότι στη Βόρεια και Ανατολική Ελλάδα.

Κατά τη θερμή και άνομβρη εποχή ο καιρός είναι σταθερός , ο ουρανός σχεδόν αίθριος, ο ήλιος λαμπερός και δεν βρέχει εκτός από σπάνια διαλείμματα με ραγδαίες βροχές ή καταιγίδες μικρής όμως διάρκειας. Η θερμότερη περίοδος είναι το τελευταίο δεκαήμερο του Ιουλίου και το πρώτο του Αυγούστου οπότε η μέση μέγιστη θερμοκρασία κυμαίνεται από 29 °C μέχρι 35 °C. Κατά τη θερμή εποχή οι υψηλές θερμοκρασίες μετριάζονται από τη δροσερή θάλασσα αύρα στις παράκτιες περιοχές της χώρας και από τους βόρειους ανέμους ( ετήσιες ) που φυσούν κυρίως στο Αιγαίο. Η Άνοιξη έχει μικρή διάρκεια , διότι ο μεν Χειμώνας είναι όψιμος, το δε καλοκαίρι αρχίζει πρώιμα. Το Φθινόπωρο είναι μακρύ και θερμό και πολλές φορές παρατείνεται στη Νότια Ελλάδα και μέχρι τα μισά του Δεκεμβρίου.



*Εικόνα 5.1. Χάρτης της Ελλάδος χωρισμένος στα υδατικά διαμερίσματα.*

## 5.2 Επεξεργασία Δεδομένων

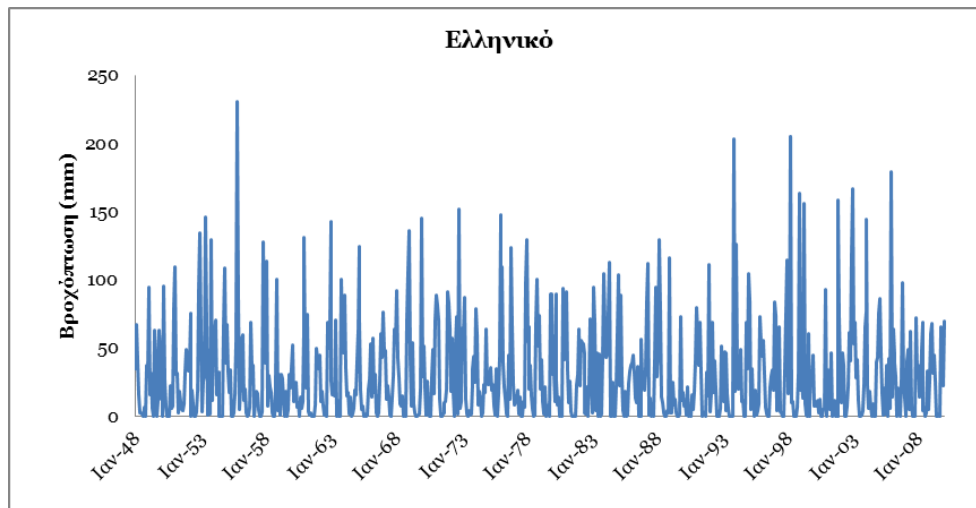
Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μεταπτυχιακή μελέτη είναι από 40 μετεωρολογικούς σταθμούς της ΕΜΥ (Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία). Ως επί τω πλείστων στους μετεωρολογικούς σταθμούς δεν υπάρχουν μεγάλα προβλήματα στις χρονοσειρές. Το λογισμικό μπορεί και υπολογίζει τον δείκτη PDSI όταν υπάρχουν κενές τιμές θέτοντάς την τιμή -99. Γι αυτόν τον λόγο επιλέχθηκε να μην γίνει επέμβαση στις χρονοσειρές και υπολογίστηκε ο δείκτης με τις κενές τιμές.

Ο πίνακας 5.2 εμφανίζει τους σταθμούς, την θέση τους και την χρονοσειρά τους. Ενδεικτικά στο διάγραμμα 5.1 εμφανίζεται η χρονοσειρά της βροχόπτωσης για τον σταθμό του Ελληνικού (1948-2009). Τα διαγράμματα της βροχόπτωσης όλων των σταθμών βρίσκονται στο παράρτημα Ι της παρούσας μελέτης.

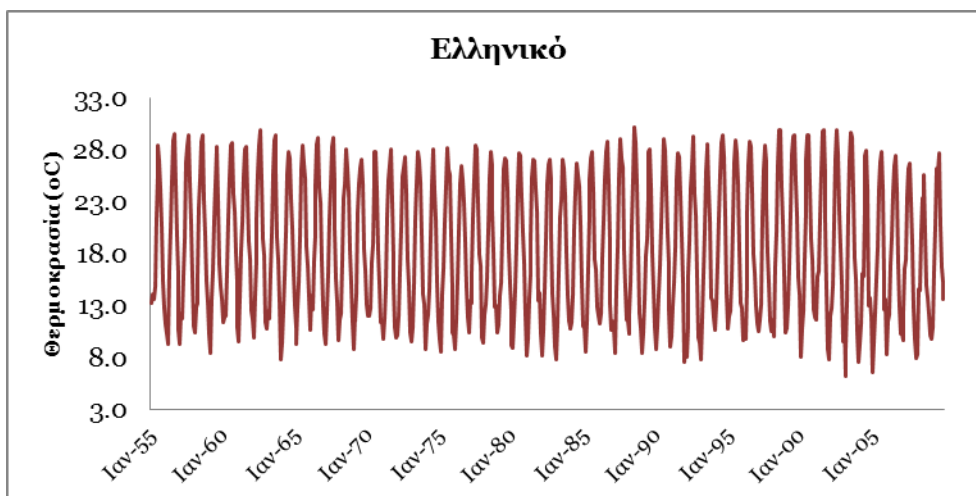
*Πίνακας 5.2. Λίστα μετεωρολογικών σταθμών.*

Σταθμός	X	Y	Χρονοσειρά
Aktion	219283.86	4312709.01	1973-2009
Alexandroupoli	662821.24	4523618.93	1947-2009
Anchialos	396082.70	4342228.76	1956-2009
Andravida	261465.38	4199167.76	1967-2009
Araxos	279911.59	4225147.38	1949-2009
Argos	388373.27	4164292.45	1981-2009
Arta	240224.50	4338878.73	1976-2009
Chania	512901.68	3932269.85	1959-2009
Chios	687028.85	4245693.86	1974-2009
Chrysoupoli	552539.07	4530084.08	1985-2008
Elefsina	460596.35	4212082.66	1948-2009
Filadelphia	469041.92	4209286.43	1948-2009
Hellinicon	476989.70	4193354.66	1948-2009
Heraklion	607395.45	3910363.07	1947-2009
Ierapetra	658162.62	3875193.64	1964-2009
Ioannina	227392.02	4398141.29	1950-2009
kalamata	324360.97	4102811.24	1971-2009
Kastoria	269220.67	4480918.49	1981-2009
Kerkyra	147783.91	4391112.67	1949-2009
Kos	775821.87	4076770.28	1982-2006
Kozane	311408.64	4461260.03	1955-2009
Kythira	411309.62	4014666.13	1964-2009
Lamia	360383.21	4300968.99	1956-2009
Larissa	366008.76	4389788.05	1949-2009
Lesvos	725179.25	4325645.06	1955-2009
Lymnos	605166.73	4419248.05	1968-2009

Melos	538541.95	4065090.13	1950-2009
Methone	295151.20	4077583.50	1967-2009
Naxos	622879.70	4106184.40	1955-2009
Pyrgos	273464.99	4171636.48	1948-2009
Rhodes	866517.69	4035914.60	1955-2009
Samos	756986.43	4175249.62	1978-2009
Santorini	632478.91	4029392.55	1961-2009
Serres	463452.85	4547812.89	1957-2009
Skyros	541787.38	4312174.03	1970-2009
Tanagra	461951.48	4243016.32	1960-2009
Thessaloniki	412412.02	4485367.97	1960-2009
Trikala	308723.25	4380419.84	1952-2009
Tripoli	358423.25	4154541.74	1967-2009
Tympaki	570227.09	3880381.63	1959-2009

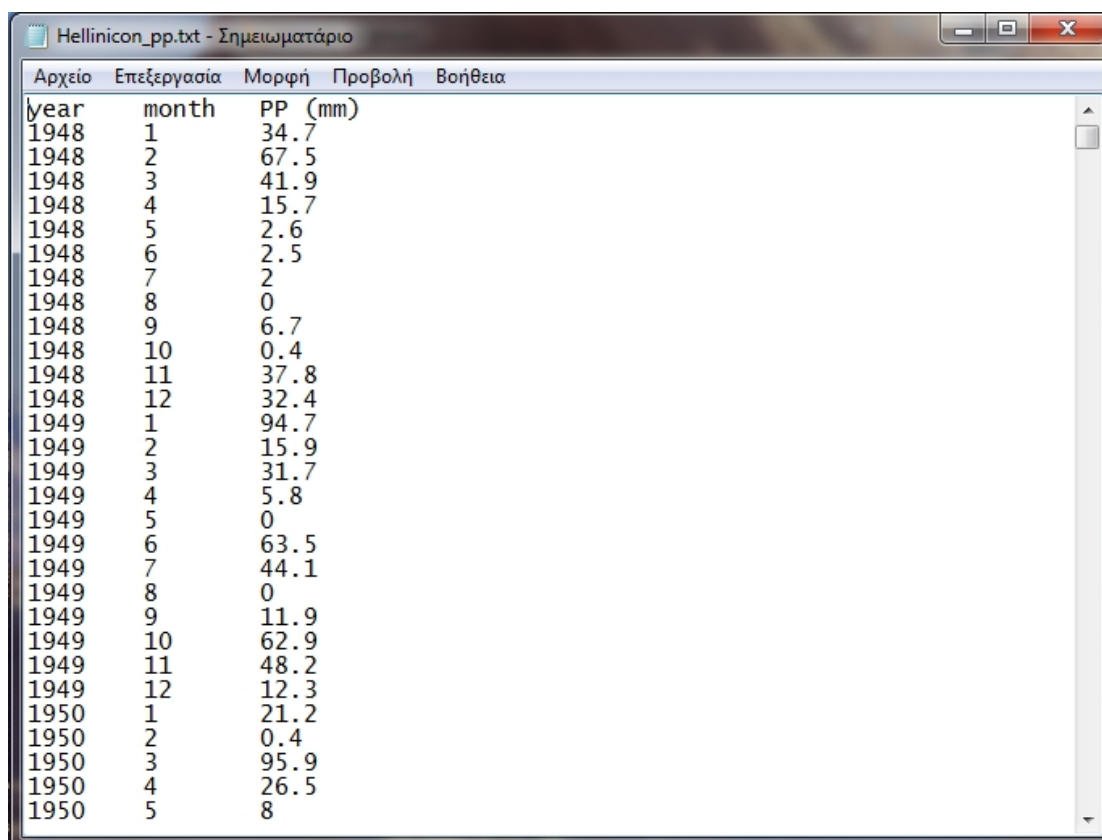


Διάγραμμα 5.1. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Ελληνικού



Διάγραμμα 5.2. Θερμοκρασία για τον σταθμό του Ελληνικού

Για να υπολογιστεί ο μηνιαίος δείκτης PDSI των μετεωρολογικών σταθμών αρχικά έγινε λήψη του προγράμματος από το Κέντρο Διαχείρισης της Λειψυδρίας για την Νότιο Ανατολική Ευρώπη (Drought Management Center for Southeastern Europe–DMCSEE, 2009) Έχοντας τα δεδομένα της βροχόπτωσης, της θερμοκρασίας και της ικανότητας συγκράτησης υγρασίας του εδάφους (water holding capacity) δημιουργήθηκαν τα αρχεία για την εισαγωγή στο λογισμικό (μορφής txt) για τον κάθε ένα σταθμό ξεχωριστά. Στις παρακάτω εικόνες απεικονίζονται τα αρχεία εισαγωγής (input) βροχόπτωσης, θερμοκρασίας και ικανότητας συγκράτησης υγρασίας του εδάφους στο συγκεκριμένο γεωγραφικό σημείο (εικόνες 5.3, 5.4 & 5.5).



The image shows a screenshot of a text editor window titled "Hellinicon\_pp.txt - Σημειωματάριο". The window contains a table with three columns: "year", "month", and "PP (mm)". The data is organized by year, with months 1 through 12 for each year from 1948 to 1950. The values represent monthly precipitation in millimeters.

year	month	PP (mm)
1948	1	34.7
1948	2	67.5
1948	3	41.9
1948	4	15.7
1948	5	2.6
1948	6	2.5
1948	7	2
1948	8	0
1948	9	6.7
1948	10	0.4
1948	11	37.8
1948	12	32.4
1949	1	94.7
1949	2	15.9
1949	3	31.7
1949	4	5.8
1949	5	0
1949	6	63.5
1949	7	44.1
1949	8	0
1949	9	11.9
1949	10	62.9
1949	11	48.2
1949	12	12.3
1950	1	21.2
1950	2	0.4
1950	3	95.9
1950	4	26.5
1950	5	8

**Εικόνα 5.3. Αρχείο εισαγωγής βροχόπτωσης για τον υπολογισμό του δείκτη PDSI.**

year	month	T (oC)
1955	1	13.3
1955	2	14.2
1955	3	13.6
1955	4	14.9
1955	5	21.6
1955	6	25.7
1955	7	28.4
1955	8	27.0
1955	9	24.3
1955	10	20.7
1955	11	15.4
1955	12	12.8
1956	1	11.2
1956	2	10.3
1956	3	9.3
1956	4	16.5
1956	5	20.4
1956	6	25.1
1956	7	28.9
1956	8	29.6
1956	9	24.6
1956	10	19.7
1956	11	16.0
1956	12	10.7
1957	1	9.3
1957	2	12.3
1957	3	11.8
1957	4	16.0
1957	5	19.4

*Εικόνα 5.4. Αρχείο εισαγωγής θερμοκρασίας για τον υπολογισμό του δείκτη PDSI.*

120	37.898551
-----	-----------

*Εικόνα 5.5. Αρχείο εισαγωγής παραμέτρων για τον υπολογισμό του δείκτη PDSI.*

Στην συνέχεια δημιουργήθηκε ένα άλλο αρχείο (txt) όπου θα έχει τα μηνιαία αποτελέσματα του δείκτη. Τρέχοντας το πρόγραμμα που είναι σε περιβάλλον Fortran ζητούνται τα αρχεία εισαγωγής όπου προέρχεται από το σταθμό του Ελληνικού και τέλος το αρχείο όπου θα περιέχει τα αποτελέσματα. Στην εικόνα 5.6 αποτυπώνεται το πρόγραμμα το οποίο έχουν γίνει τα δεδομένα εισαγωγής.



```

K:\Thesis Tasos\Run PDSI\input\Hellenicon\PDSI.exe
Program for calculation of self-calibrated Palmer Drought Severity Index
Time scale for PDSI calculation: 1 - monthly, 2 - weekly):
1
Input files format (1 - original, 2 - [year month/week prec/temp])
2
Input file with precipitation data: Hellenicon_pp.txt
Input file with temperature data: Hellenicon_t.txt
Beginning of calibration period:
1955
End of calibration period:
2009
* Monthly PDSI written to ./monthly/original/
* Self-Calibrated Monthly PDSI written to ./monthly/self_cal/
Πιέστε ένα πλήκτρο για συνέχεια. . . _

```

Εικόνα 5.6. Υπολογισμός δείκτη PDSI

Έπειτα ανοίγοντας το αρχείο output.txt εμφανίζονται τα αποτελέσματα των μηνιαίων τιμών του PDSI. Στην εικόνα 5.7 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα.

Αρχείο	Επεξεργασία	Μορφή	Προβολή	Βοήθεια					
1955	0.35	-0.23	-0.71	0.32	0.36	-0.60	-0.74	0.53	1.90
5.04	4.94	-0.69							
1956	-1.04	0.39	0.84	0.57	0.84	0.87	-0.32	-0.60	-0.92
-1.50	-1.27	-1.48							
1957	-1.55	-2.25	-2.63	-2.84	-3.03	-3.22	-3.20	-3.18	-3.17
1.46	1.06	0.70							
1958	1.82	-0.63	-0.84	-0.78	-0.62	-0.94	-1.16	-1.35	0.31
0.01	0.64	-0.90							
1959	-1.25	-1.83	-2.02	-2.15	-2.68	-3.01	-2.13	-2.19	-2.18
-2.04	-2.46	-2.84							
1960	-2.78	-3.22	-3.30	-3.43	-4.22	-4.25	-4.13	-3.31	-3.17
-3.61	-3.40	-2.24							
1961	-1.87	-1.86	-1.18	-1.52	-1.75	-2.06	-2.16	-2.23	-2.40
-2.77	-2.83	-3.04							
1962	-3.24	-2.91	-3.30	-3.62	-4.22	-4.50	-4.32	-4.19	1.92
1.84	1.58	2.71							
1963	2.20	1.54	1.05	0.79	2.05	2.70	2.65	2.07	1.38
2.27	1.88	1.38							
1964	2.05	1.91	-0.49	-0.52	-0.62	-0.48	-0.74	-0.86	-0.97
-1.37	-2.04	-2.36							
1965	0.04	1.66	1.94	1.78	1.77	1.71	-0.32	-0.45	-0.86
-1.49	-2.11	-2.70							
1966	-2.64	-3.17	-2.71	-2.93	-3.00	-3.19	-3.18	-3.05	-2.31
-1.99	-2.23	-1.95							
1967	-1.82	-1.40	-1.77	-1.71	-1.36	-0.97	-1.12	-1.31	-1.11
-1.29	-1.13	-1.23							
1968	0.76	0.77	-0.22	-0.49	-0.70	-0.95	-1.16	-1.08	-1.37
0.58	1.29	2.53							
1969	2.43	-0.58	-0.27	-0.36	-0.22	-0.80	-0.99	-1.17	-1.47
-2.01	-2.56	1.14							
1970	0.77	0.95	-0.38	-0.84	-0.58	-0.32	-0.59	-0.82	0.59
0.71	-0.71	0.05							
1971	0.64	1.52	1.92	-0.09	-0.04	-0.58	-0.70	-0.80	-0.75
-1.16	-1.69	0.41							
1972	1.03	1.53	0.99	1.66	2.09	2.31	4.23	7.02	5.95

Εικόνα 5.7. Αρχείο αποτελεσμάτων του δείκτη PDSI.

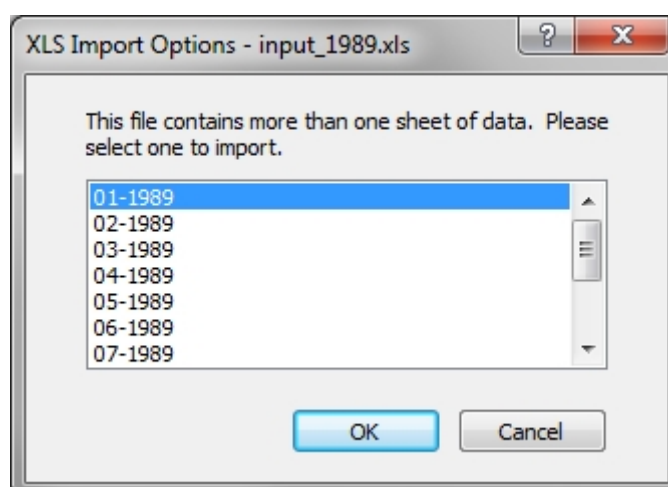
### 5.3 Δημιουργία Χαρτών με την Βοήθεια Λογισμικού

Για να απεικονιστούν οι τιμές των δεικτών πρέπει να δημιουργηθεί ένα αρχείο excel όπου θα εμπεριέχουν δώδεκα φύλλα επεξεργασίας όσοι και οι μήνες ενός έτους. Τα αρχεία αυτά θα περιέχουν τα ζητούμενα του λογισμικού ώστε να δημιουργηθούν οι χάρτες. Το ειδικό λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε είναι το Surfer 10 της Golden. Στην πρώτη στήλη υπάρχει το όνομα του μετεωρολογικού σταθμού, στην δεύτερη και τρίτη στήλη βρίσκονται οι συντεταγμένες τους σε ΕΓΣΑ87 (X), (Y) και στην τέταρτη ο PDSI. Στην εικόνα 5.8 εμφανίζεται η δομή ενός υπολογιστικού φύλλου excel και συγκεκριμένα για τον μήνα Ιανουάριο του 1989.

1	Station	X	Y	PDSI
2	Aktion	219283.86	4312709.01	1.18
3	Alexandroupoli	662821.24	4523618.93	-0.81
4	Anchialos	396082.70	4342228.76	-0.48
5	Andravida	261465.38	4199167.76	-2.31
6	Araxos	279911.59	4225147.38	-2
7	Argos	388373.27	4164292.45	-1.12
8	Arta	240224.50	4338878.73	-2.56
9	Chania	512901.68	3932269.85	-1.76
10	Chios	687028.85	4245693.86	-1.13
11	Chrysoupoli	552539.07	4530084.08	-0.69
12	Elefsina	460596.35	4212082.66	-1.1
13	Filadelphia	469041.92	4209286.43	-0.78
14	Hellinicon	476989.70	4193354.66	-0.52
15	Heraklion	607395.45	3910363.07	-1.19
16	Ierapetra	658162.62	3875193.64	-0.46
17	Ioannina	227392.02	4398141.29	-3.39
18	kalamata	324360.97	4102811.24	-1.48
19	Kastoria	269220.67	4480918.49	-0.59
20	Kerkyra	147783.91	4391112.67	-3.93
21	Kos	775821.87	4076770.28	-1.87
22	Kozane	311408.64	4461260.03	-0.46
23	Kythira	411309.62	4014666.13	-0.67
24	Lamia	360383.21	4300968.99	-1.44
25	Larissa	366008.76	4389788.05	-0.38
26	Lesvos	725179.25	4325645.06	-1
27	Lymnos	605166.73	4419248.05	-0.61
28	Melos	538541.95	4065090.13	-0.98
29	Methone	295151.20	4077583.50	-0.89
30	Naxos	622879.70	4106184.40	-1.03
31	Pyrgos	273464.99	4171636.48	-2.56
32	Rhodes	866517.69	4035914.60	-1.61
33	Samos	756986.43	4175249.62	-0.94
34	Santorini	632478.91	4029392.55	-2.5
35	Serres	463452.85	4547812.89	-0.33
36	Skyros	541787.38	4312174.03	0.54
37	Tanagra	461951.48	4243016.32	-0.69
38	Thessaloniki	412412.02	4485367.97	-0.58
39	Trikala	308723.25	4380419.84	-2.28
40	Tripoli	358423.25	4154541.74	-1.46
41	Tympaki	570227.09	3880381.63	-2.29
42				
43				
44				
45				
46				
47				
48				

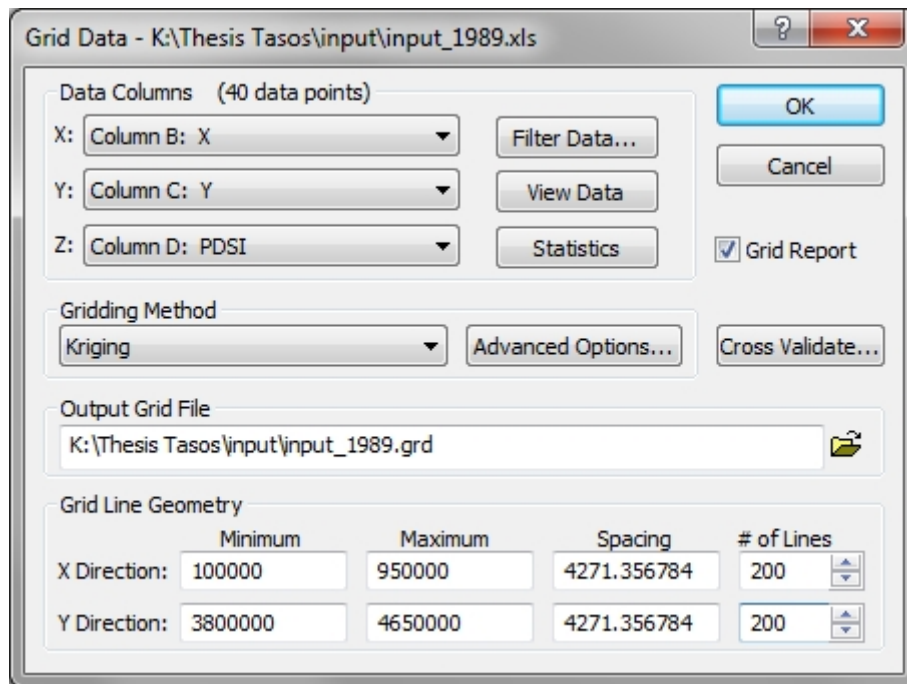
Εικόνα 5.8. Υπολογιστικό φύλλο excel με για την εισαγωγή στο λογισμικό.

Μετά την ολοκλήρωση των αρχείων έγινε επεξεργασία στον χάρτη της Ελλάδος ώστε να μπορεί να εισαχθεί το ειδικό λογισμικό. Επίσης δημιουργήθηκαν τα όρια στα οποία θα γίνει η μέθοδος Kriging. Συγκεντρώνοντας όλα τα παραπάνω άρχισε η εισαγωγή των δεδομένα, αρχικά εισήχθησαν τα δεδομένα των δεικτών αλλά και οι συντεταγμένες των μετεωρολογικών σταθμών για κάθε μήνα και κάθε δείκτη ξεχωριστά, όπως φαίνεται στην εικόνα 5.9.



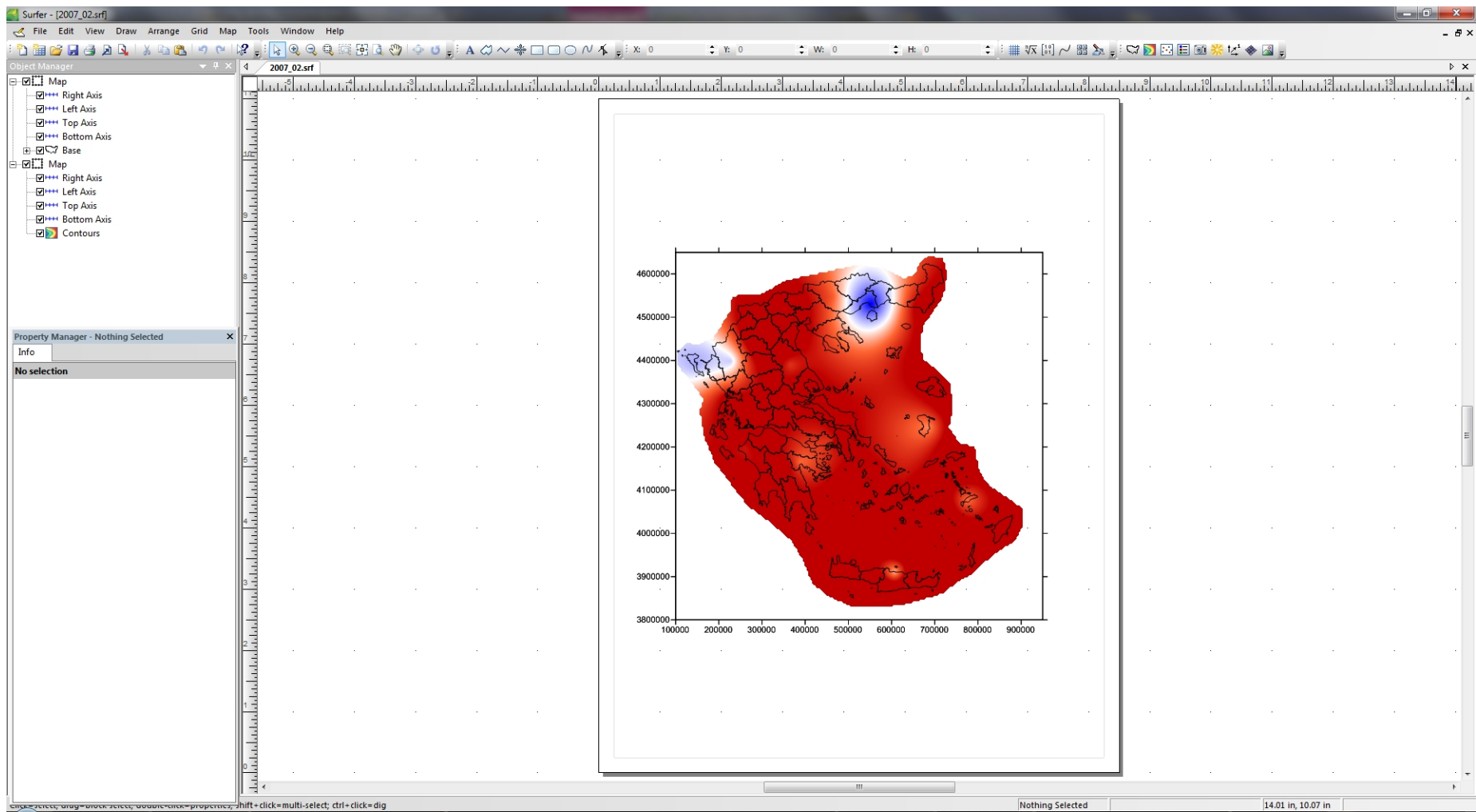
**Εικόνα 5.9. Εισαγωγή δεδομένων στο λογισμικό.**

Στην εικόνα 5.10 γίνεται το σημαντικότερο βήμα για την δημιουργία των χαρτών. Γίνεται η δημιουργία αρχείου όπου θα περιέχει για το συγκεκριμένο μήνα του έτους που στην περίπτωση αυτή είναι ο Ιανουάριο του 1989. Η διαδικασία αυτή θα υπολογίσει τις υπόλοιπες τιμές του δείκτη ώστε να δημιουργηθεί ο χάρτης του μήνα αυτού. Επίσης ρυθμίζονται τα ακριβές όρια μέσα στα οποία θα γίνει ο υπολογισμός. Η παραπάνω διαδικασία πραγματοποιήθηκε για όλους τους μήνες και των έξι ετών.



*Εικόνα 5.10. Αρχείο με τα δεδομένα μεθόδου Kriging με τα όρια που τέθηκαν.*

Το επόμενο βήμα είναι η εισαγωγή του χάρτη της περιοχής μελέτης δηλαδή της Ελλάδος. Επιπλέον εισάγεται το αρχείο όπου δημιουργήσαμε με τις παραμέτρους και έτσι εμφανίζεται ο χάρτης (εικόνα 5.11). Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε για όλους τους μήνες των πέντε ετών, έτσι δημιουργήθηκαν εβδομήντα δύο (72) χάρτες λειψυδρίας, που υπάρχουν στο παράρτημα III.



Εικόνα 5.11. Δημιουργία του χάρτη με την αποτύπωση του δείκτη με την μέθοδο Kriging.

## Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup>

### Αποτελέσματα-Αξιολόγηση

Στην παρούσα μεταπτυχιακή μελέτη υπολογίσθηκε ο PDSI για τον εντοπισμό των λειψυδριών στον Ελλαδικό χώρο. Η διεξοδική ανάλυση και των σαράντα (40) διαγραμμάτων (Διάγραμμα 6.1.) από όλους τους μετεωρολογικούς σταθμούς και για όλα τα χρόνια των μετεωρολογικών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν είναι ατελέσφορη. Για αυτό το λόγο με την γεωστατιστική μέθοδο Kriging και συγκεκριμένα με το λογισμικό SURFER 10 δημιουργήθηκαν ψηφιακοί χάρτες οι οποίοι απεικονίζουν το φαινόμενο της λειψυδρίας. Κατόπιν λεπτομερούς ανάλυσης των στοιχείων, τα έτη που επιλέχθηκαν να παρουσιαστούν μέσω χαρτών στην παρούσα μελέτη αφορούν τα έτη 1989, 1990, 1992, 1993, 2000, 2007. Τα συγκεκριμένα έτη αποτυπώνουν τις σημαντικότερες λειψυδρίες που εμφανίστηκαν τα τελευταία είκοσι πέντε χρόνια στην ελληνική επικράτεια.

Οι χάρτες λειψυδρίας που προέκυψαν και απεικονίζουν το δείκτη PDSI για κάθε έτος ήταν δώδεκα, ένας για κάθε μήνα. Παρακάτω εμφανίζονται οι χάρτες όπου το φαινόμενο της λειψυδρίας που παρατηρήθηκε ήταν εντονότερο. Αναλυτικότερα για το έτος 1989 ο μήνας κατά τον οποίο το φαινόμενο της λειψυδρίας ήταν εντονότερο ήταν ο Δεκέμβριος ακολουθούμενος από το Μάρτιο 1990 ο οποίος ήταν ο μήνας που χαρακτηρίζεται από την εντονότερη λειψυδρία για αυτό το έτος. Το 1992 το φαινόμενο της λειψυδρίας ήταν εντονότερο κατά το μήνα Νοέμβριο, για να ακολουθήσει ο Ιανουάριος του 1993 όπου η λειψυδρία σύμφωνα με το δείκτη PDSI έφτασε στη μέγιστη τιμή της για το συγκεκριμένο έτος. Ο μήνας με την εντονότερη λειψυδρία για το έτος 2000 ήταν ο Απρίλιος ενώ το 2007 το φαινόμενο ήταν εντονότερο κατά το μήνα Ιανουάριο.

Τα χρώματα τα οποία επιλέχθηκαν για να αποτυπώσουν τις τιμές του PDSI στους χάρτες είναι για την τιμή από 4 και πάνω βαθύ μπλε με βαθμιαία εξασθένηση ως την τιμή 0 όπου αναπαριστάται με λευκό χρώμα. Αντίθετα για

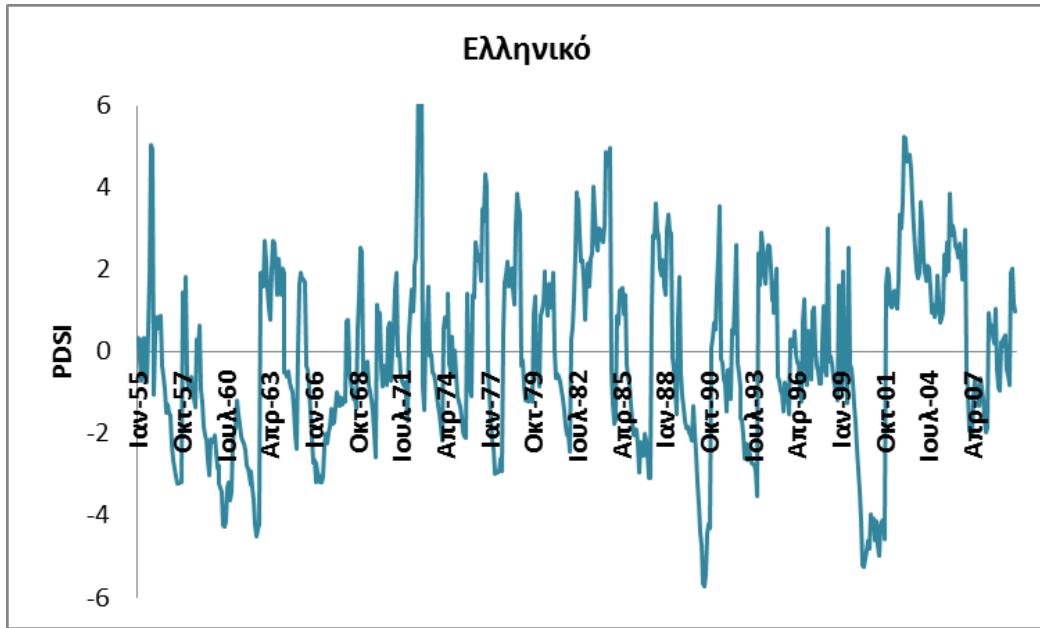
την τιμή -4 και κάτω επιλέχθηκε το βαθύ κόκκινο χρώμα με βαθμιαία εξασθένιση ως την τιμή 0 όπου αναπαριστάται όπως και πριν με το λευκό χρώμα. Τα επιλεγθέντα χρώματα θεωρούνται αντιπροσωπευτικά της ξηρής και υγρής κατάστασης που αντιπροσωπεύουν και συμφωνούν με τον πίνακα 4.1 του τέταρτου κεφαλαίου.

Η λειψυδρία του 1989 – 1990 πρώτο-εμφανίζεται το Φεβρουάριο του 1989 σε σχεδόν όλο τον ελλαδικό χώρο με μέτρια ένταση μέχρι το Νοέμβριο του ίδιου έτους. Το φαινόμενο γίνεται εντονότερο το Δεκέμβριο του 1989 (Εικόνα 6.1.) και στη συνέχεια επιδεινώνεται κατά τους μήνες Ιανουάριο έως Ιούλιο του 1990 με αποκορύφωμα το Μάρτιο του 1990 (Εικόνα 6.2.) . Τέλος το φαινόμενο παρουσιάζει βαθμιαία εξασθένιση κατά το μήνα Ιούλιο από την περιοχή του βορείου Αιγαίου (Λήμνος) μέχρι το μήνα Δεκέμβριο του ίδιου έτους όπου έχει υποχωρήσει σχεδόν σε ολόκληρη την ελληνική επικράτεια.

Κατά τα έτη 1992, 1993 σύμφωνα με την αποτύπωση των τιμών του PDSI σημειώθηκε άλλη μία λειψυδρία. Η συγκεκριμένη λειψυδρία ξεκινάει τον Αύγουστο του 1992 και κορυφώνεται κατά το μήνα Νοέμβριο του 1992 (Εικόνα 6.3.) ενώ συνεχίζεται σχεδόν καθ' όλη τη διάρκεια του 1993, από τον Ιανουάριο όπου και παρουσιάζεται η μέγιστη τιμή της (Εικόνα 6.4.) έως τον Οκτώβριο του 1993, εμφανίζοντας σημάδια σαφούς υποχώρησης το Νοέμβριο.

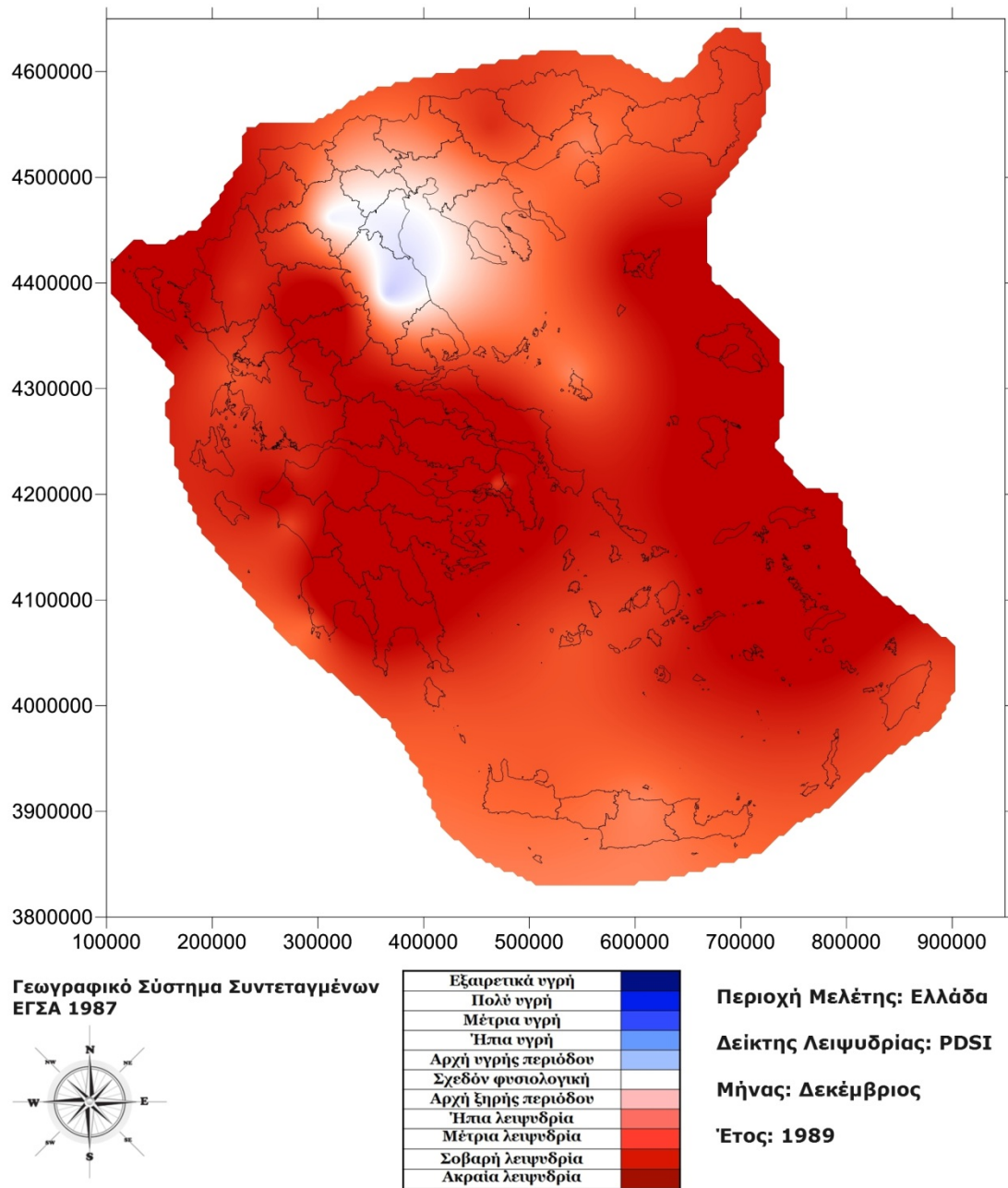
Το έτος 2000 σημαδεύτηκε από άλλη μία μεγάλη λειψυδρία κατά την οποία το φαινόμενο έπληξε το μεγαλύτερο μέρος της ελληνικής επικράτειας. Η λειψυδρία του 2000 έκανε την εμφάνισή της τον Ιανουάριο, μεγιστοποιήθηκε τον Απρίλιο (Εικόνα 6.5.) και συνεχίστηκε για όλη τη διάρκεια του έτους, ενώ υποχώρησε στο τέλος του έτους - αρχές του επόμενου (2001).

Τέλος το 2007 άλλη μία αξιοσημείωτη λειψυδρία έκανε την εμφάνισή της στις περισσότερες περιοχές της Ελλάδας, όχι βέβαια τόσο μεγάλης έκτασης, έντασης και διάρκειας όσο των προηγούμενων ετών. Συγκεκριμένα το φαινόμενο ξεκίνησε τον Ιανουάριο και εντάθηκε τον Απρίλιο (Εικόνα 6.6.) ενώ εξακολούθησε να πλήττει τις περισσότερες περιοχές της χώρας έως το τέλος του έτους με την άμβλυνση του φαινομένου και την επικράτηση κανονικών συνθηκών στις αρχές του 2008.

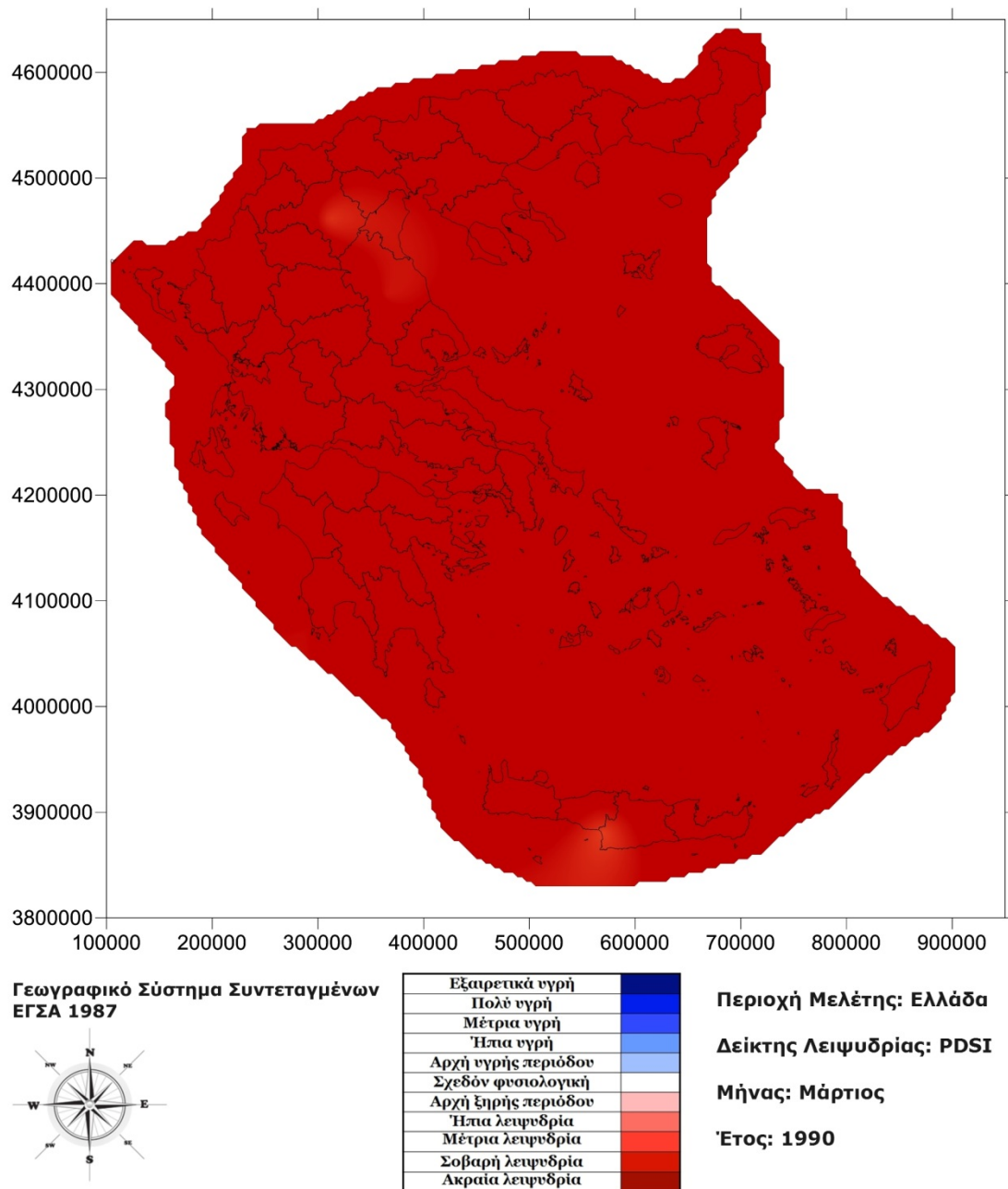


Διάγραμμα 6.1. Ο δείκτης PDSI για το σταθμό του Ελληνικού.

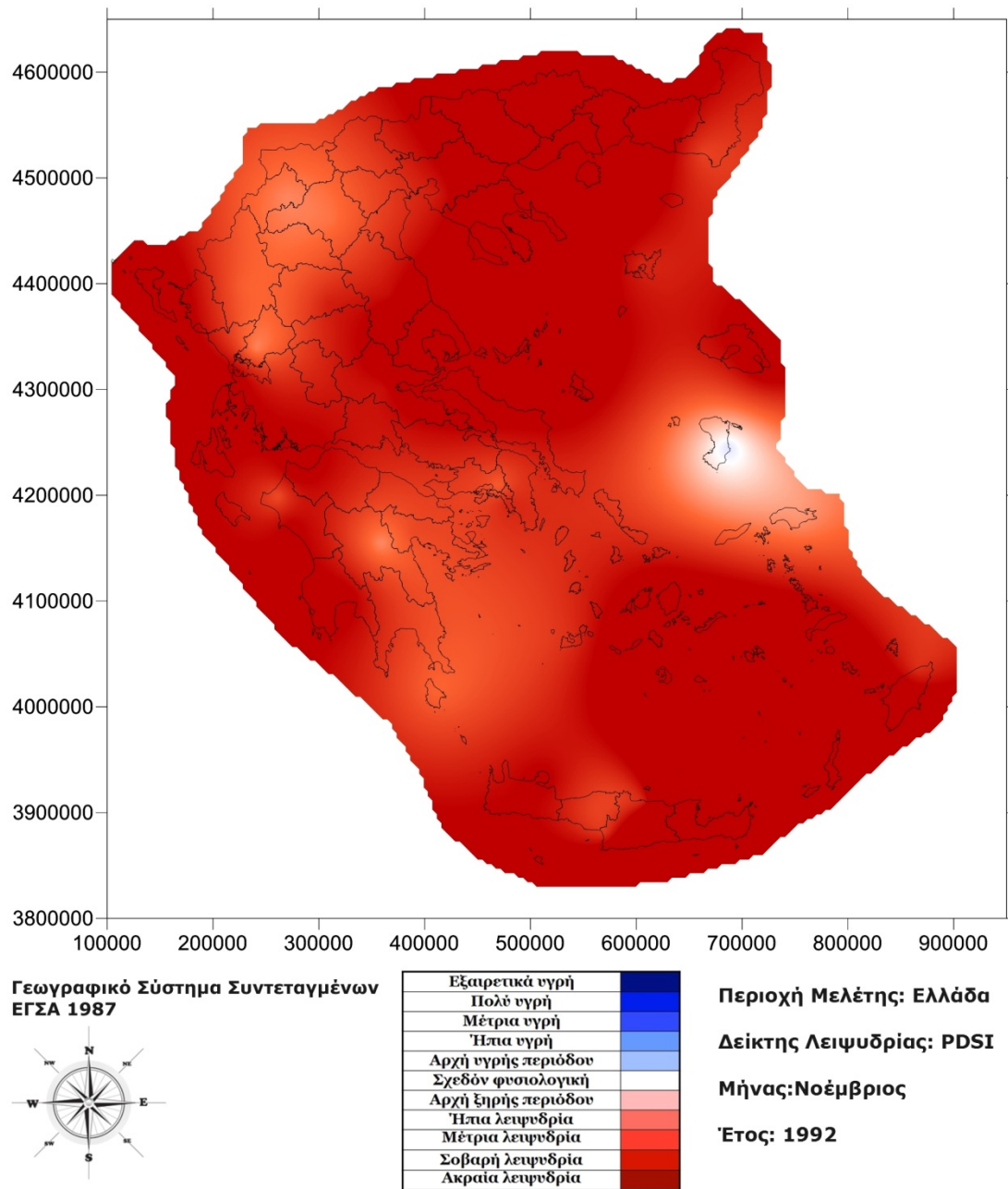




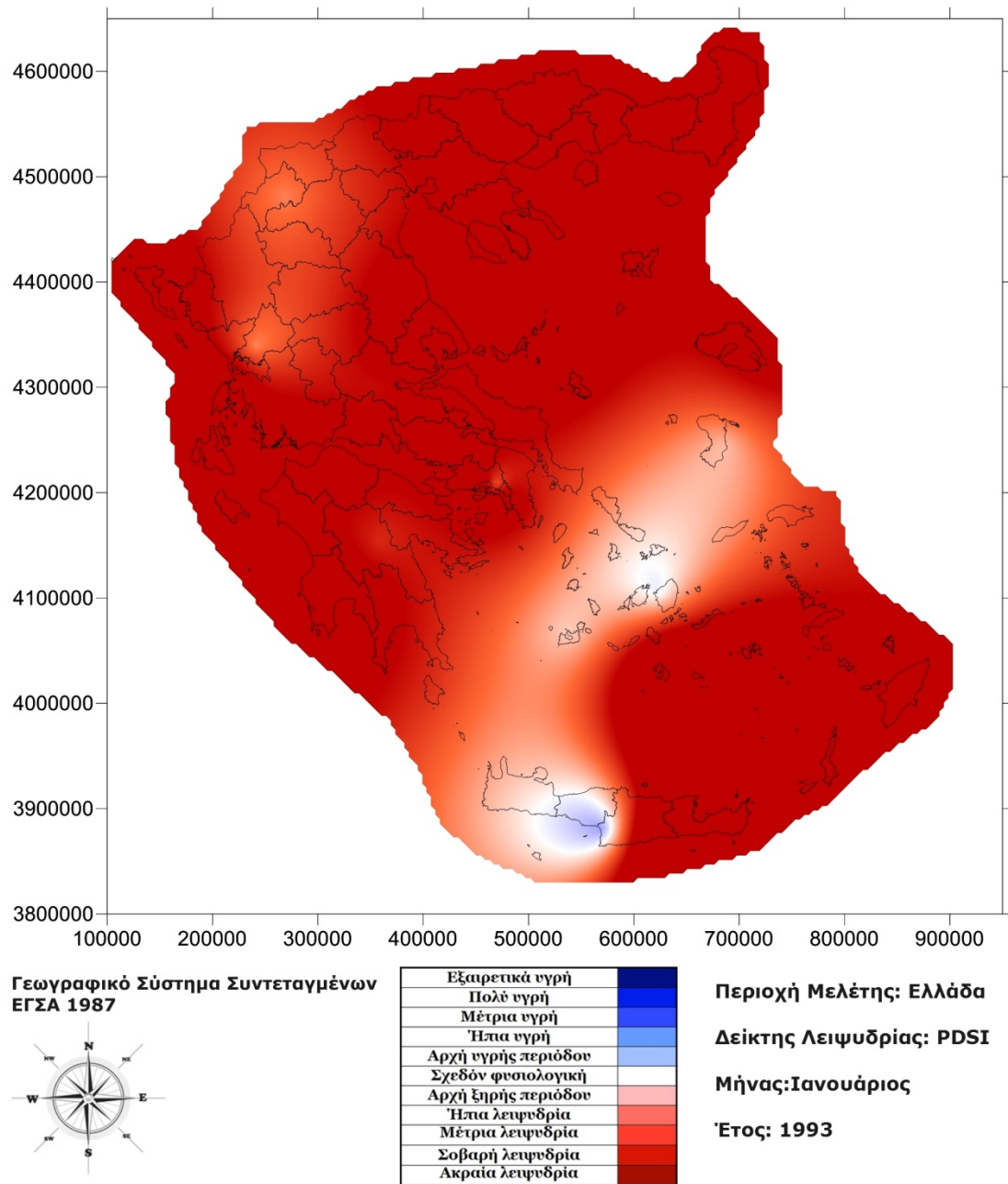
Εικόνα 6.1. Χάρτης PDSI για το μήνα Δεκέμβριο του 1989 (kriging)



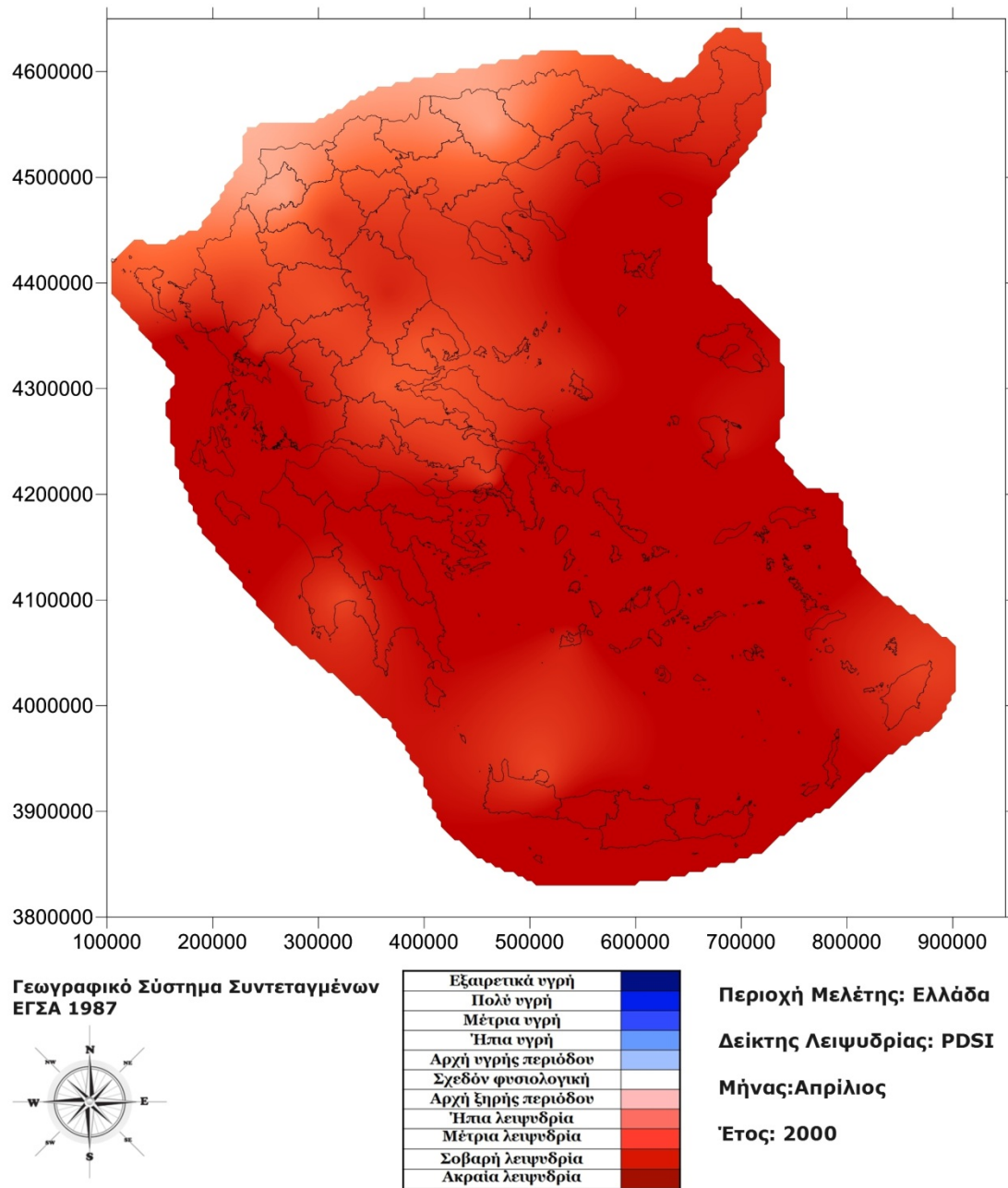
Εικόνα 6.2. Χάρτης PDSI για το μήνα Μάρτιος του 1990 (kriging)



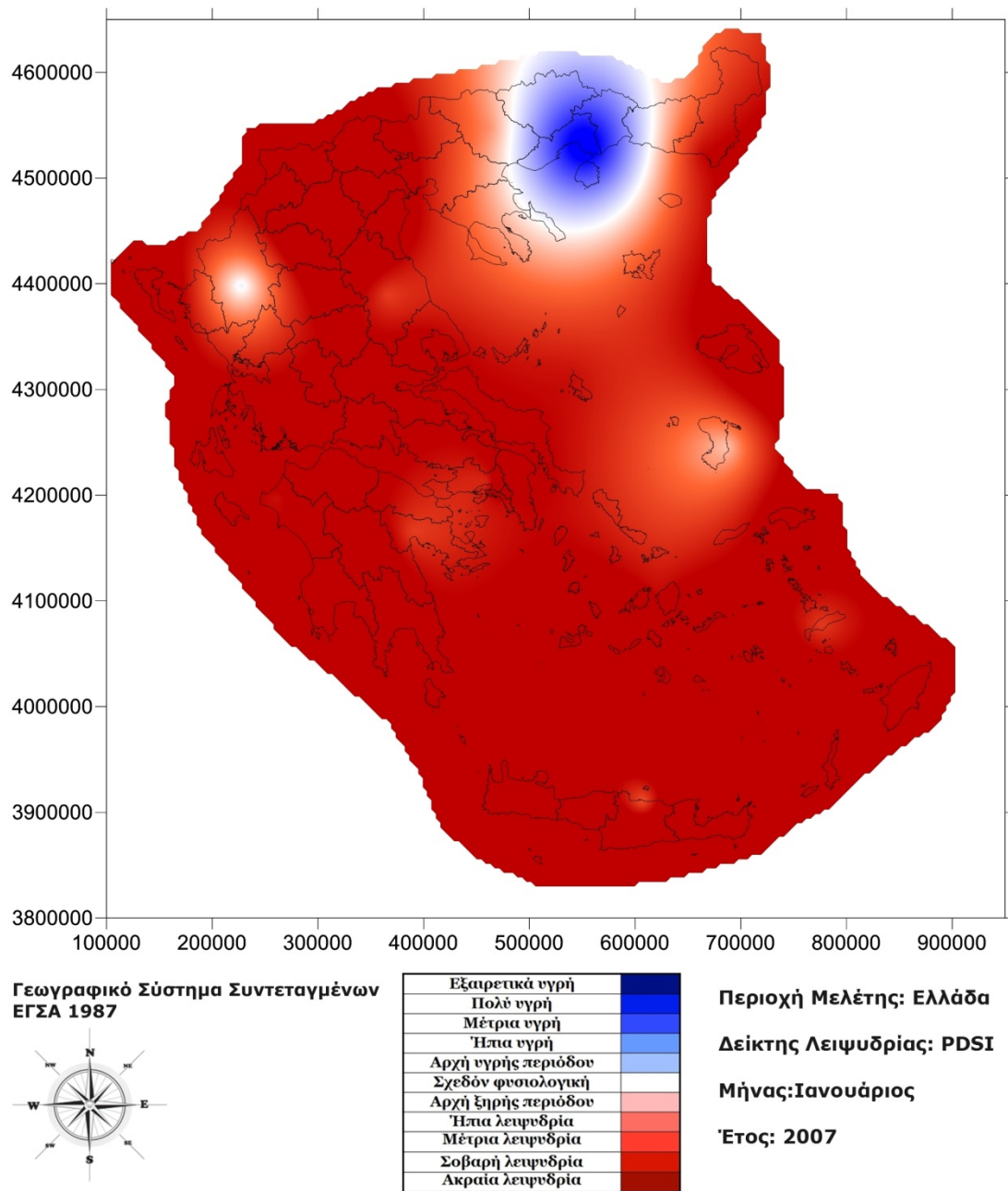
Εικόνα 6.3. Χάρτης PDSI για το μήνα Νοέμβριο του 1992 (kriging)



Εικόνα 6.4. Χάρτης PDSI για το μήνα Ιανουάριο του 1993 (kriging)



Εικόνα 6.5. Χάρτης PDSI για το μήνα Απρίλιο του 2000 (kriging)



Εικόνα 6.6. Χάρτης PDSI για το μήνα Ιανουάριο του 2007 (kriging)

## Κεφάλαιο 7<sup>ο</sup>

### Συμπεράσματα

Κύριος στόχος της συγκεκριμένης μεταπτυχιακής μελέτης ήταν η διερεύνηση των σημαντικότερων λειψυδριών οι οποίες συνέβησαν στην ελληνική επικράτεια την τελευταία εικοσιπενταετία. Όπως αναφέρθηκε και στα προηγούμενα κεφάλαια τα έτη που μελετήθηκαν ως χαρακτηριστικά για ένα φαινόμενο όπως η λειψυδρία ήταν τα 1989, 1990, 1993, 2000 και 2007. Το σύνολο του ελλαδικού χώρου καθώς και η ευρύτερη μητροπολιτική περιοχή Αθηνών υπέστησαν σοβαρές συνέπειες τα χρόνια κατά τα οποία πλήττονταν από ακραία φαινόμενα λειψυδρίας.

Κατά τη διετία 1989-1990 παρουσιάστηκε η μεγαλύτερης διάρκειας λειψυδρία των τελευταίων εικοσιπέντε ετών. Το Φεβρουάριο του 1989 παρουσιάστηκαν τα πρώτα σημάδια της λειψυδρίας η οποία συνεχίστηκε με μεγάλη ένταση μέχρι το Νοέμβριο του 1990. Το 1989-1990 καταγράφηκε, μείωση κατά 43% στην μέση ετήσια βροχόπτωση της Ελλάδος. Ως αποτέλεσμα της μείωσης των βροχοπτώσεων, οι εισροές σε λίμνες, ποτάμια, δεξαμενές και υπόγειους υδροφόρους ήταν μειωμένες αντίστοιχα, σε όλη την Ελλάδα. Οι καλλιέργειες, η κτηνοτροφία και η άγρια πανίδα επηρεάστηκαν σοβαρά κατά τη διάρκεια της λειψυδρίας. Η βιομηχανία και οι οικονομικές δραστηριότητες αντιμετώπισαν ανάλογη ύφεση. Οι οικονομικές απώλειες για το 1990 κυμάνθηκαν περίπου σε 1,5 δισ. δολάρια (\$). Οι επιπτώσεις της λειψυδρίας στο σύστημα υδροδότησης της Αθήνας ήταν επίσης σημαντικές. Η εισροή στην παροχή των ταμιευτήρων είχε φτάσει στα χαμηλότερα επίπεδα και για την περιοχή της Αθήνας τον Οκτώβριο του 1990 τα αποθέματα του νερού επαρκούσαν μόνο για 56 ημέρες.

Η λειψυδρία του 1992-1993 έκανε την εμφάνισή της τον Αύγουστο του 1992 ενώ δεν υποχώρησε μέχρι τον Οκτώβριο του 1993. Το 1992-1993, η παρουσία της λειψυδρίας άρχισε να εκδηλώνεται τον Δεκέμβριο του 1992, όταν

οι εισροές σε ταμειυτήρα του Μόρνου ήταν περίπου  $30 \times 10^6 \text{m}^3$ , όταν ο μέσος όρος είναι της τάξης των  $80 \times 10^6 \text{m}^3$ . Έτσι με δεδομένη τη λειψυδρία που εξακολούθησε να πλήττει την συγκεκριμένη περιοχή ,και ταυτόχρονα όλη σχεδόν τη χώρα, τον Αύγουστο του 1993 ανακοινώθηκε ότι η περιοχή της Αθήνας είχε αποθέματα νερού μέχρι την 3η Οκτωβρίου, του ιδίου έτους. Στο πλαίσιο αυτό, η μητροπολιτική Αθήνα παρέχει μια μοναδική ευκαιρία για τη μελέτη του φαινομένου της λειψυδρίας και των τρόπων αντιμετώπισης της διαχείρισης της λειψυδρίας σε δυσμενείς φυσικές και κοινωνικο-οικονομικές συνθήκες καθώς και σε διαφορετικά πολιτιστικά περιβάλλοντα.

Το έτος 2000 ήταν άλλο ένα έτος κατά το οποίο η Ελλάδα χτυπήθηκε από το φαινόμενο της λειψυδρίας. Η λειψυδρία πρωτοεμφανίστηκε τον Ιανουάριο του 2000 και εξακολούθησε να πλήττει πολλές περιοχές τη χώρας μέχρι το τέλος του έτους. Το φαινόμενο δεν επέφερε μεγάλα προβλήματα στην Ηπειρωτική Ελλάδα αντιθέτως η μεγαλύτερη έντασή του καταγράφηκε στα νησιά του κεντρικού Αιγαίου και την Κρήτη.

Η τελευταία καταγεγραμμένη λειψυδρία εμφανίστηκε το 2007. Η λειψυδρία ξεκίνησε τον Ιανουάριο του 2007 συνεχίστηκε έως το Δεκέμβριο του ιδίου έτους και χαρακτηρίστηκε από μεγάλη ένταση αλλά μικρότερη έκταση από τις προηγούμενες. Σχεδόν όλη η Ελλάδα πλήγηκε από την λειψυδρία αλλά κυρίως η κεντρική ηπειρωτική Ελλάδα, και ιδιαίτερα η περιοχή της Θεσσαλίας , οι Κυκλάδες και η Κρήτη.

Το σημαντικότερο πρόβλημα στην περίπτωση της Αθήνας και γενικά της Ελλάδος δεν ήταν η έλλειψη των ειδικών τεχνικών για το σχεδιασμό και τη διαχείριση της λειψυδρίας, αλλά περισσότερο η έλλειψη ολιστικών στρατηγικών, μέσω των οποίων η λειψυδρία λήψης αποφάσεων και των τρόπων αντιμετώπισης θα μπορούσε να είναι πιο αποτελεσματική και κοινωνικά δίκαιη. Σε αυτά τα πλαίσια το Σεπτέμβριο του 2007 παραδόθηκε από το Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών το εθνικό σχέδιο αντιμετώπισης των λειψυδριών.



Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω είναι σαφές πως το φαινόμενο της λειψυδρίας είναι πολυδιάστατο και ιδιαίτερα σημαντικό για μια χώρα σαν την Ελλάδα. Η λειψυδρία ορίζεται διαφορετικά από περιοχή σε περιοχή, αλλά και σύμφωνα με το στόχο του κάθε ερευνητή. Ο καταστροφικός χαρακτήρας της εξαρτάται και από άλλους παράγοντες, όπως είναι οι υψηλές θερμοκρασίες, οι ισχυροί άνεμοι και η χαμηλή σχετική υγρασία (Oladipo, 1985). Επίσης, η λειψυδρία σχετίζεται με το χρόνο εμφάνισης της (καθυστέρηση στην έναρξης της υγρής περιόδου, απουσία βροχόπτωσης κατά τα στάδια ανάπτυξης των φυτών), αλλά και την αποτελεσματικότητα των βροχοπτώσεων (π.χ. ένταση βροχόπτωσης, αριθμός επεισόδιο βροχής). Έτσι, κάθε επεισόδιο λειψυδρίας μπορεί να θεωρηθεί μοναδικό με δικά του κλιματικά χαρακτηριστικά και επιπτώσεις.

Οι λειψυδρίες προκύπτουν από το συνδυασμό πολλών φυσικών παραγόντων, που ενισχύονται από ανθρωπογενείς επιρροές. Η πρωταρχική αιτία κάθε λειψυδρίας είναι η ανεπάρκεια των βροχοπτώσεων και συγκεκριμένα η χρονική στιγμή, η κατανομή και η ένταση αυτής της ανεπάρκειας σε σχέση με την υπάρχουσα αποθηκευμένη ποσότητα νερού, την παροχή και τη ζήτηση. Η ανεπάρκεια αυτή έχει ως αποτέλεσμα την έλλειψη του απαραίτητου νερού για τη λειτουργία του φυσικού οικοσυστήματος και/ή για τις απαραίτητες ανθρώπινες δραστηριότητες.

Υψηλές τιμές θερμοκρασιών αέρα και υψηλά ποσοστά εξατμισοδιαπνοής συνδράμουν στην έλλειψη της βροχόπτωσης επιδεινώνοντας την δριμύτητα και τη διάρκεια της περιόδου λειψυδρίας. Οι υψηλές θερμοκρασίες αέρα το καλοκαίρι, όταν συνδέονται με τον καθαρό ουρανό και την ηλιοφάνεια, αυξάνουν την εξατμισοδιαπνοή στο σημείο που είναι ελάχιστη ή μηδαμινή η διαθέσιμη βροχόπτωση και για την επαναφόρτιση των υπόγειων νερών ή των υδατορευμάτων των ποταμών.

Λειψυδρίες μπορούν να εμφανιστούν και το χειμώνα όταν οι κατακρημνίσεις αποθηκεύονται στη λεκάνη απορροής με τη μορφή πάγου και χιονιού, εμποδίζοντας την επαναφόρτιση των ποταμών και των υδροφόρων οριζόντων, μέχρι να ανέβει η θερμοκρασία του αέρα και να αρχίσει το λιώσιμο

του χιονιού. Οι κατακρημνίσεις και η θερμοκρασία του αέρα εξαρτώνται από τα πρότυπα κυκλοφορίας της ατμόσφαιρας (atmospheric circulation patterns). Κατά συνέπεια κάθε αλλαγή στη θέση, στη διάρκεια και στην ένταση των αντικυκλώνων οδηγεί σε αλλαγές της επικρατούσας ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας και προκαλεί ανωμαλίες στις κατακρημνίσεις και τις θερμοκρασίες.

Η λειψυδρία σχετίζεται επίσης με τη χρονική στιγμή (πχ εποχή του περιστατικού, καθυστερήσεις στην έναρξη της περιόδου βροχών, περιστατικό των βροχών σε σχέση με τα κύρια στάδια ανάπτυξης των καλλιεργειών) και την αποτελεσματικότητα (πχ ένταση βροχοπτώσεων, αριθμός βροχοπτώσεων) των κατακρημνίσεων. Άλλοι κλιματικοί παράγοντες που συνδέονται με τα περιστατικά λειψυδριών και επιδεινώνουν την δριμύτητά τους σε πολλές περιοχές του κόσμου, είναι η μεγάλη ταχύτητα του ανέμου και τα χαμηλά ποσοστά της υγρασίας της ατμόσφαιρας.

Οι λειψυδρίες και οι συνέπειες τους, πρέπει να αναγνωρίζονται και να λαμβάνονται υπ' όψιν, από τα αρχικά ακόμα στάδια, των προσπαθειών σχεδιασμού και διαχείρισης των υδατικών πόρων. Κάτω από αυτό το πρίσμα, τα μέτρα και οι προσπάθειες αντιμετώπισης των λειψυδριών πρέπει να ξεκινήσουν αρχικά από τη μελέτη των διαστάσεων του φαινομένου. Οι διαστάσεις περιλαμβάνουν θεωρητικά τον ορισμό, τα αίτια και τις επιπτώσεις των λειψυδριών.

Οι λειτουργικοί ορισμοί επιτρέπουν τον προσδιορισμό της αρχής και του τέλους καθώς επίσης και του βαθμού δριμύτητας μιας λειψυδρίας. Αυτοί οι ορισμοί κατηγοριοποιούνται από την άποψη τεσσάρων βασικών προσεγγίσεων για να προσδιορίσουν και να περιγράψουν τα γεγονότα λειψυδρίας: μετεωρολογική, υδρολογική, γεωργική, και κοινωνικοοικονομική λειψυδρία. Οι τρεις πρώτες προσεγγίσεις θεωρούν τη λειψυδρία ως ένα φυσικό φαινόμενο. Η τελευταία εξετάζει ένα γεγονός λειψυδρίας σε σχέση με την ανθρωποκεντρική ζήτηση και εφοδιασμό, ακολουθώντας τα αποτελέσματα της έλλειψης νερού μέσω του κοινωνικοοικονομικού συστήματος.

Συγκεκριμένα, για ένα μετεωρολόγο μπορεί να είναι μία περίοδος ανώμαλα ξηρού καιρού ή η έλλειψη κατακρημνισμάτων, για έναν υδρολόγο μπορεί να λεχθεί ότι είναι μία έντονη έλλειψη υδάτων που προκαλεί σημαντική υδρολογική αστάθεια σε μία περιοχή (συμπεριλαμβανομένων των κατακρημνισμάτων και των απορροών). Για ένα μηχανικό υδατικών πόρων μπορεί να σηματοδοτεί ένα πρόβλημα ζήτησης και προσφοράς νερού, δηλαδή δεν υπάρχει λειψυδρία χωρίς μία συγκεκριμένη ζήτηση ανεξάρτητα από τις υδρολογικές αστάθειες. Για έναν γεωπόνο η λειψυδρία είναι δυνατό να εκφρασθεί σαν την έλλειψη επαρκούς υγρασίας σε σχέση με συγκεκριμένη καλλιέργεια. Για έναν οικονομολόγο η λειψυδρία μπορεί να σημαίνει σημαντικές οικονομικές επιπτώσεις, και τέλος σε ένα κοινωνιολόγο μπορεί να υπονοεί πιέσεις και παραμορφώσεις σε ένα δεδομένο κοινωνικό οικοδόμημα.

Μία πηγή δυσκολιών στον ορισμό των λειψυδριών ξεκινά από τον συνδυασμό τους με τις υπάρχουσες γεωγραφικές, υδρολογικές, γεωλογικές, ιστορικές και πολιτιστικές συνθήκες ενός τόπου. Άλλη μία πηγή δυσκολιών ξεπηδά από την ανάμειξη των συνεπειών και του φυσικού φαινομένου αυτού καθ' αυτού, στους διάφορους ορισμούς. Τελικά πάντως, ένα κεντρικό πρόβλημα σε όλες τις έρευνες και τους ορισμούς φαίνεται να είναι ο καθορισμός της αρχής και του τέλους μίας λειψυδρίας.

Είναι σημαντικό να διαφοροποιείται η λειψυδρία, που περιορίζεται σε περιοχές με χαμηλές βροχοπτώσεις, ως μακροπρόθεσμο χαρακτηριστικό γνώρισμα από τη λειψυδρία που δείχνει μια απόκλιση από τη μέση κατάσταση, αλλά βρίσκεται ακόμα μέσα στη φυσική μεταβλητότητα του οικοσυστήματος. Επίσης πρέπει να διακρίνεται μεταξύ των παροδικών περιόδων ανεπάρκειας ύδατος, η αιτία των εξαιρετικών λειψυδριών και των μακροπρόθεσμων δυσαναλογιών των διαθέσιμων υδατικών πόρων και της ζήτησης, όπως απεικονίζεται στο σχήμα 7.1.



Σχήμα 7.1. Τυπολογία των καταστάσεων έλλειψης νερού (Vlachos, 1983)

Για να καθοριστεί η αρχή ενός γεγονότος λειψυδρίας, οι λειτουργικοί ορισμοί συνήθως διευκρινίζουν το βαθμό απόκλισης από το μέσο όρο της υπό εξέταση κλιματολογικής μεταβλητής κατά τη διάρκεια κάποιου χρονικού διαστήματος. Αυτό γίνεται συγκρίνοντας την τρέχουσα κατάσταση με τον ιστορικό μέσο όρο που προκύπτει από μετρήσεις των τελευταίων 30 ετών. Το κατώτερο όριο που προσδιορίζεται ως αρχή της λειψυδρίας (π.χ. 75% της μέσης πτώσης κατά τη διάρκεια ενός καθορισμένου χρονικού διαστήματος) ορίζεται συνήθως αυθαίρετα και όχι βάσει της ακριβούς σχέσης του με συγκεκριμένες επιπτώσεις.

Οι λειτουργικοί ορισμοί μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για να αναλύσουν τη συχνότητα, τη δριμύτητα και τη διάρκεια λειψυδρίας σε μια δεδομένη ιστορική περίοδο. Τέτοιοι ορισμοί απαιτούν λεπτομερή μετεωρολογικά δεδομένα και δεδομένα που ανταποκρίνονται στις επιπτώσεις, που εξαρτώνται από τη φύση του ορισμού που εφαρμόστηκε. Η ανάπτυξη της κλιματολογίας σε μία περιοχή παρέχει μεγαλύτερη κατανόηση των

χαρακτηριστικών της και της πιθανότητας επανάληψης της λειψυδρίας στα διάφορα επίπεδα δριμύτητας. Πληροφορίες τέτοιου τύπου είναι εξαιρετικά ευεργετικές στην ανάπτυξη των στρατηγικών αντιμετώπισης και μετριασμού της λειψυδρίας και στην προετοιμασία του σχεδίου διαχείρισής της.

## Βιβλιογραφία

1. **Barraque, B., Karavitis, C., A. and P. Katsiardi, 2008.** Water resources management strategies in WSM case studies, in: Coping with Water Deficiencies: from research to Policy making, pp. 45- 112, Springer-Verlag Gmbh, Heidelberg,Germany.
2. **Bryant, 1991.** Integrated Responses of Plants to Stress.
3. **Cesar N., 2001.** El Nino in History: Storming Through the Ages.
4. **Changnon, S.A. and Easterling, W.E., 1989.** Measuring drought impacts: The Illinois case. Water Resources Bulletin, 25 (1), pp. 27-42.
5. **Currie, 1981, 1984.** On bistable phasing of 18,6 years nodal-induced flood in India, Geophysical Research Letters, 11: 50-53
6. **Dermanis, A. and Sansò, F., 2007.** On the Feasibility of Biased Kriging. Presented at the XXIV IUGG Congress, Perugia X-X July 2007.
7. **Gallier, J., 2000.** Curves and Surfaces in Geometric Modeling. Morgan Kaufmann, San Fancisco, CA USA.
8. **Hayes M., 2004.** Drought Indices. NE: National Drought Mitigation Center University of Nebrask- Lincoln.
9. **Karavitis, C., A., 1992.** Drought Management Strategies for Urban Water Supplies: The Case of Metropolitan Athens. Ph.D. Dissertation, Department of Civil Engineering, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
10. **Karavitis, C., A., 1999.** Drought and Urban Water Supplies: the Case of Metropolitan Athens, Water Policy, Vol. 1, Iss. 5, pp. 505- 524, Elsevier Science.

11. **Karavitis, C., A., 1999.** Decision Support Systems for Drought Management Strategies in Metropolitan Athens, *Water International*, Vol. 24, No. 1, pp. 10-21.
12. **McKee et al., 1993.** Developed the Standardized Precipitation Index (SPI) for the purpose of defining and monitoring drought.
13. **Milankovitch, Milutin (1998) [1941].** Canon of Insolation and the Ice Age Problem. Belgrade: Zavod za Udžbenike i Nastavna Sredstva. ISBN 8617066199.; see also "Astronomical Theory of Climate Change".
14. **Oladipo, 1985.** A comparative performance analysis of three meteorological drought indices. *International Journal of Climatology*, 5: 655–664.
15. **Philander & S. George, 1990.** El Niño, La Niña and the Southern Oscillation. San Diego: Academic Press.
16. **Tannehill, I.R. 1947.** Drought and Its Causes and Effects. Princeton University Press.
17. **Watson, R.T. and the Core Writing Team, 2001.** Climate Change 2001: Synthesis Report. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK. Pp. 397.
18. **Werrick, W.J. and W. Whipple, 1994.** National Study of Water Management During Drought: Managing Water for Drought. IWR Report 94-NDS-8. U.S. Army Corps of Engineers. Water Resources Support Center. Institute for Water Resources. Alexandria, VA.
19. **Wheaton, E., Wittrock V., Kulshreshtha, S., Koshida, G., Grant, C., Chipanshi, A., Bonsal, B., with the rest of the Canadian drought Study Steering Committee, Adkins, P., Bell, G., Brown, G., Howard, A., MacGregor, R., 2005.** Lessons Learned From the Canadian Drought Years of 2001 and 2002, SRC Publication No. 11602- 46E03, Canada
20. **Wilhite, D.A. and M.H. Glantz. 1985.** Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. *Water International* 10.

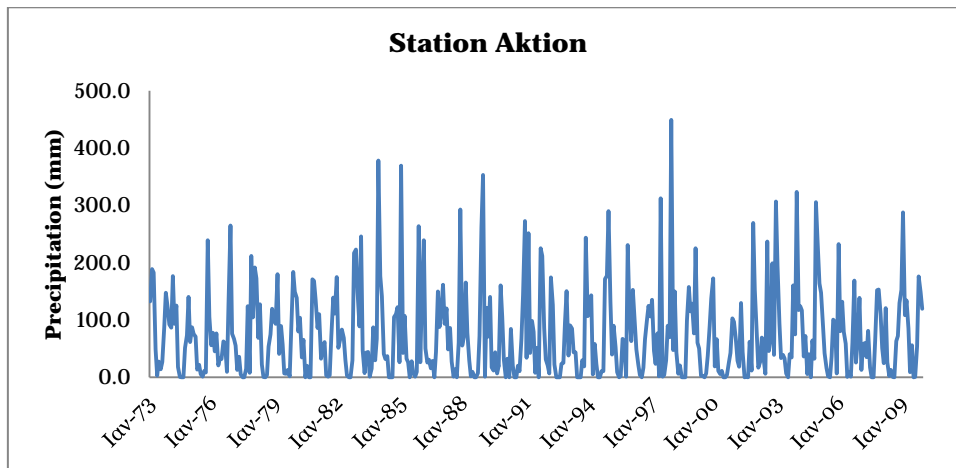
21. **Yevjevich, V., da Cuncha, L., and Vlachos, E.C., 1983.** Coping with Droughts, editors, Water Resources Publications, Littleton, CO.
22. **Yevjevich, V., 1967.** An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts. Hydrol Papers Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
23. **Αλεξανδρής Στ., 2007.** Σημειώσεις Γεωργικής Μετεωρολογίας - Εισαγωγή στη Μικρομετεωρολογία.
24. **Αλεξανδρής Στ., 2011.** Σημειώσεις υδρατμοί στην ατμόσφαιρα & εξατμισοδιαπνοή.
25. **Καραβίτης Χρ., Αλεξανδρής Σ., Οικονόμου Π., Τσεσμελής Δ., Φασούλη Β. και Χορταριά Χ., 2007.** Τεχνική Υποστήριξη της Κεντρικής Υπηρεσίας Υδάτων για την κατάρτιση των στρατηγικών διαχείρισης λειψυδριών και ενός βραχυπρόθεσμου σχεδίου αντιμετώπισης κινδύνου λειψυδρίας.
26. **Καραβίτης Χρ., 2008.** Σημειώσεις Διαχείρισης Υδατικών Πόρων.
27. **Κουτσογιάννη Δ. & Ξανθόπουλος Θ., 1999.** Στατιστική Υδρολογία 3η έκδοση.
28. **Κουτσογιάννη Δ. & Ξανθόπουλος Θ., 1999.** Τεχνική Υδρολογία 3η έκδοση.
29. **Τσεσμελής Δ., 2010.** Εφαρμογή του SPI στον Ελλαδικό χώρο για την ολοκληρωμένη διαχείριση των λειψυδριών.
30. **Φλόκας Α., 1997.** Μαθήματα Μετεωρολογίας Κλιματολογίας.
31. **Αεροπορική Μετεωρολογία, <http://www.aviamet.gr>**
32. **Drought Management Center for Southeastern Europe (DMCSEE), <http://www.dmcsee.eu/>**
33. **Drought Management Center for Southeastern Europe (DMCSEE), <http://www.dmcsee.org/>**
34. **European soil Database Map [http://eussoils.jrc.ec.europa.eu/ESDB Archive/raster archive/sgdbe\\_display\\_attributes.html#](http://eussoils.jrc.ec.europa.eu/ESDB Archive/raster archive/sgdbe_display_attributes.html#)**



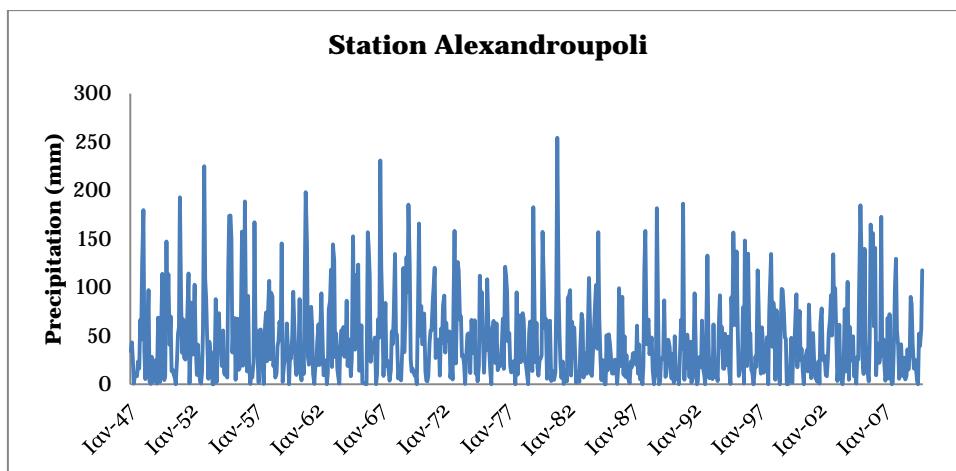
35. **Hellenic National Meteorological Service**  
(HNMS) <http://www.hnms.gr/hnms/greek/climatology/climatology.html>
36. **National Mitigation Drought Center** <http://www.drought.unl.edu/>
37. **Serving Meteorologist & the Geosciences** <http://www.meted.ucar.edu/>
38. **U.S. Geological Survey (USGS)** <http://www.usgs.gov/>
39. **World Meteorological Organization**  
(WMO), [http://www.wmo.int/pages/index\\_en.html](http://www.wmo.int/pages/index_en.html)

# Παράρτημα Ι

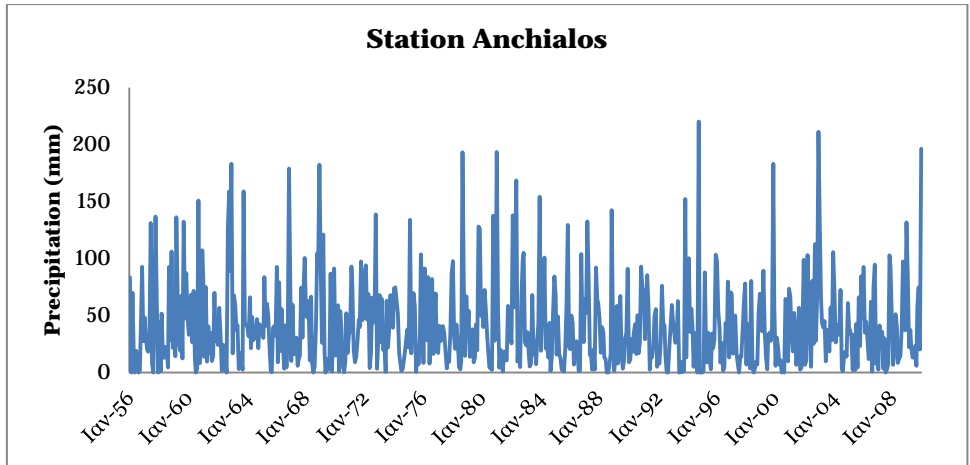
## Βροχοπτώσεις



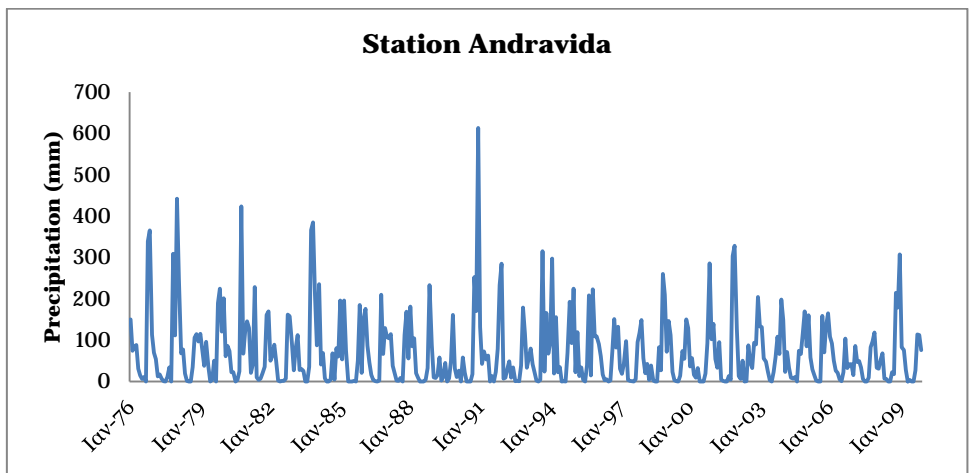
Διάγραμμα Ι.1. Βροχόπτωση για το σταθμό του Ακτίου



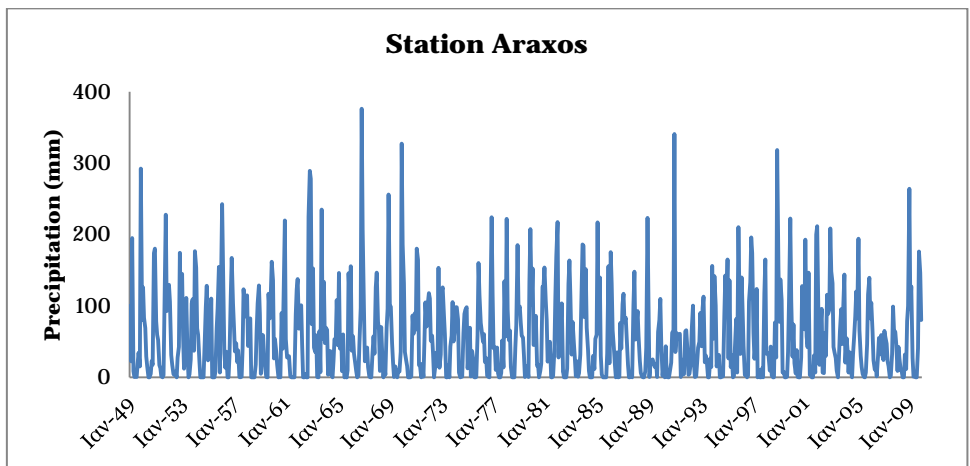
Διάγραμμα Ι.2. Βροχόπτωση για το σταθμό της Αλεξανδρούπολης



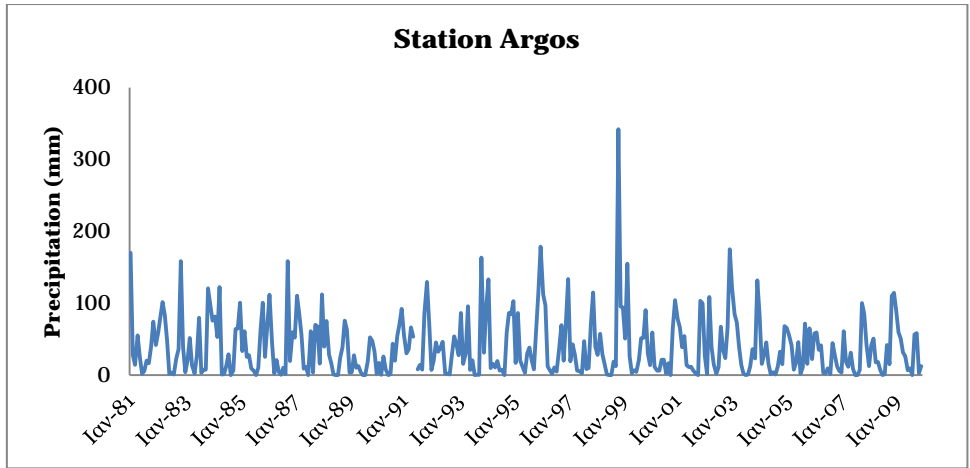
*Διάγραμμα 1.3. Βροχόπτωση για το σταθμό της Αγκιάλου*



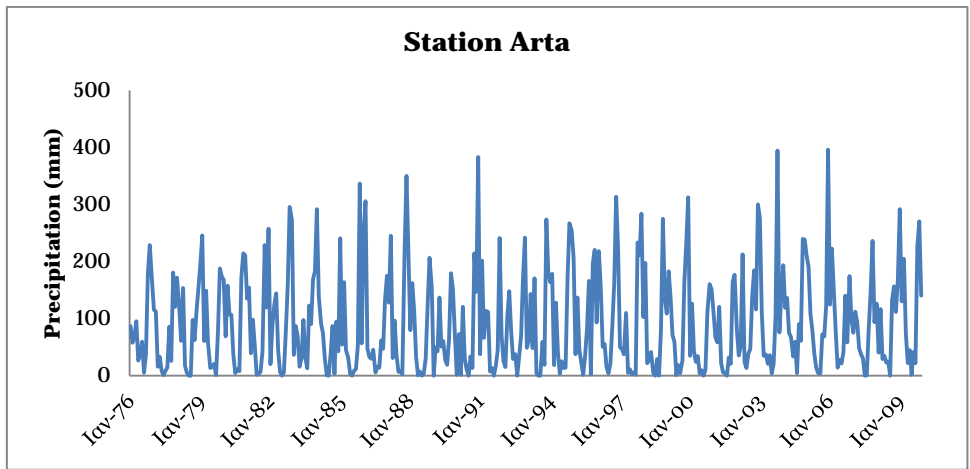
*Διάγραμμα 1.4. Βροχόπτωση για το σταθμό της Ανδραβίδας*



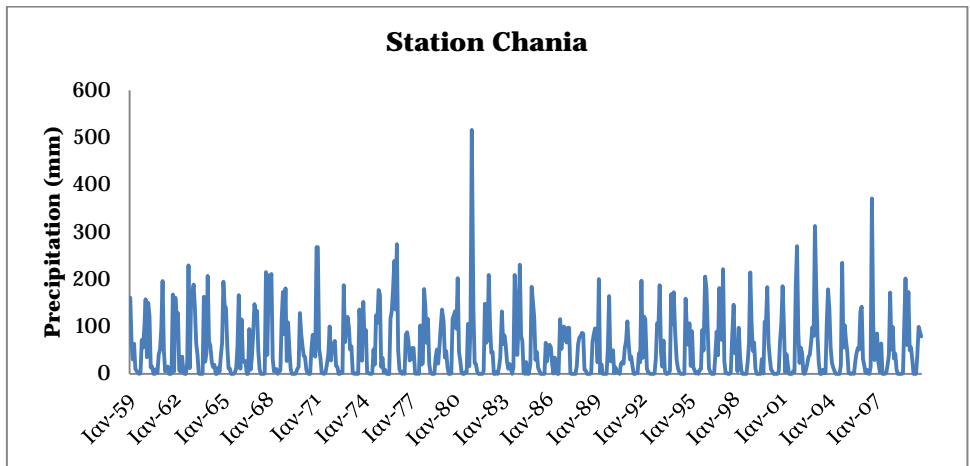
*Διάγραμμα 1.5. Βροχόπτωση για το σταθμό του Άραξου*



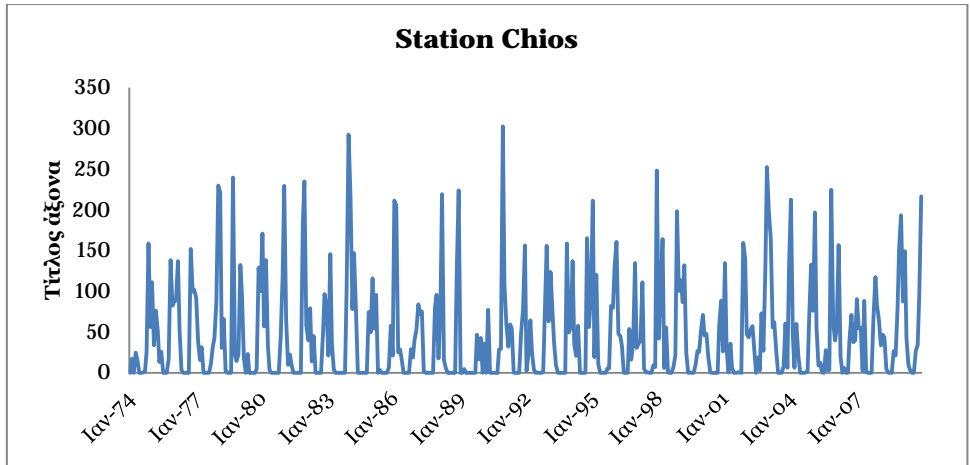
*Διάγραμμα 1.6. Βροχόπτωση για το σταθμό του Άργους*



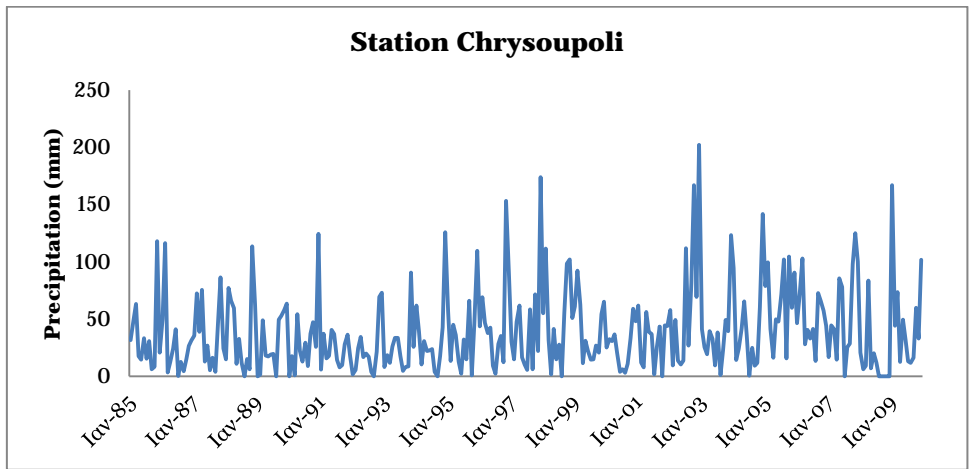
*Διάγραμμα 1.7. Βροχόπτωση για το σταθμό της Άρτας*



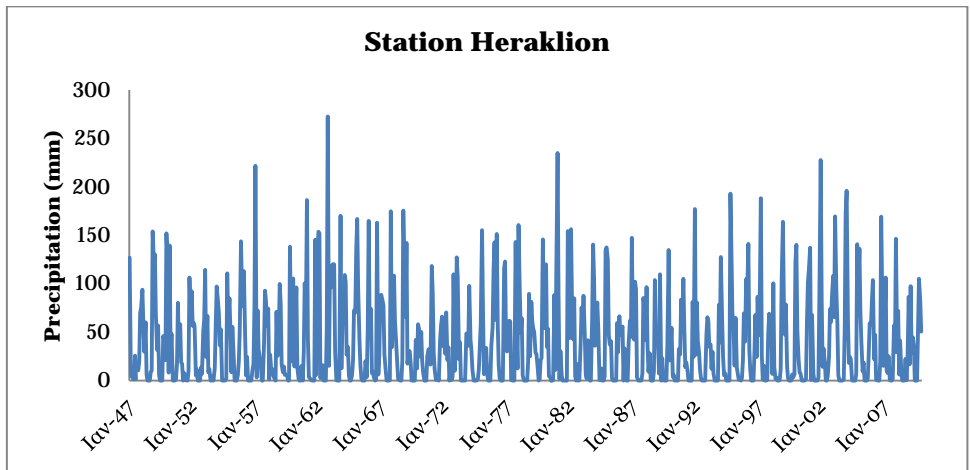
*Διάγραμμα 1.8. Βροχόπτωση για το σταθμό των Χανίων*



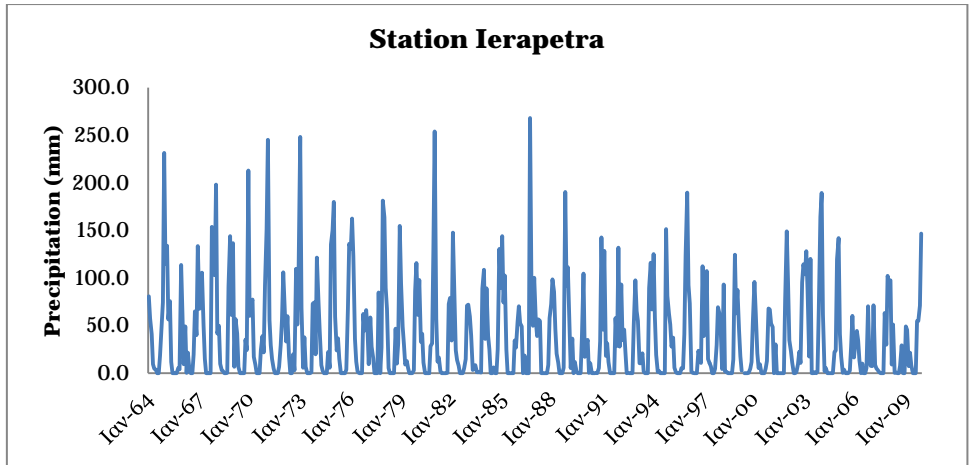
Διάγραμμα I.9. Βροχόπτωση για το σταθμό της Χίου



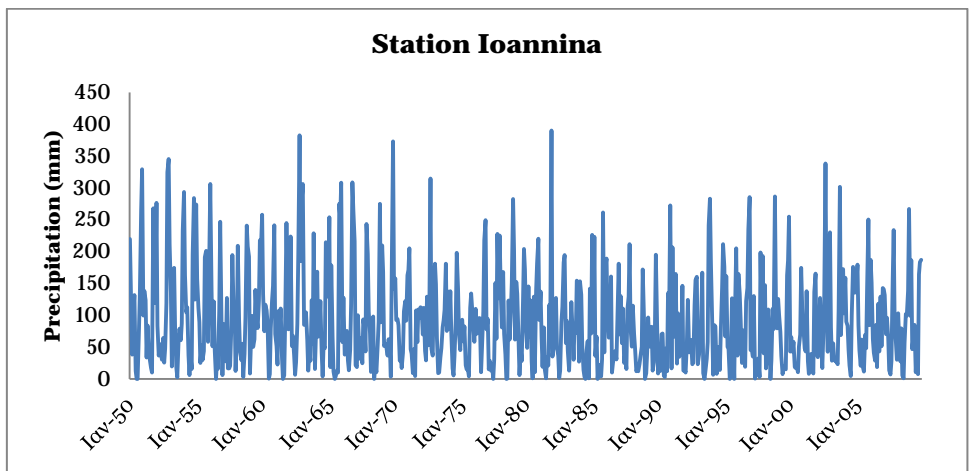
Διάγραμμα I.10. Βροχόπτωση για το σταθμό της Χρυσούπολης



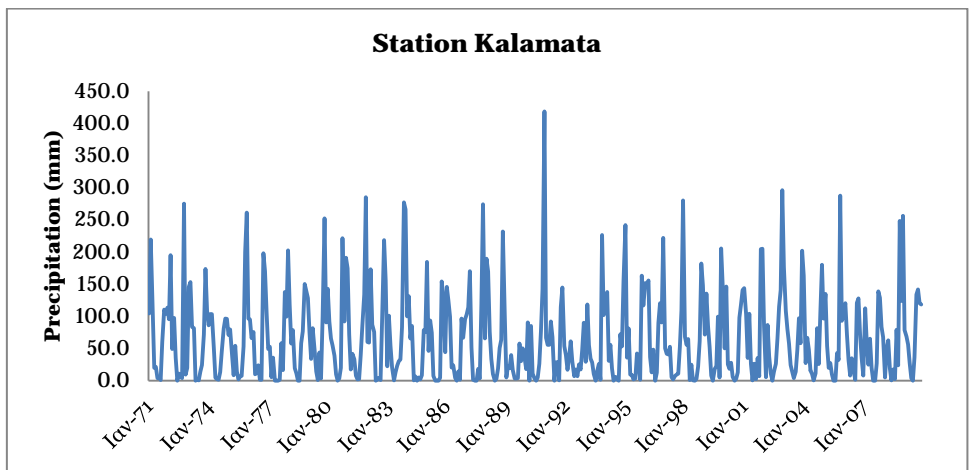
Διάγραμμα I.13. Βροχόπτωση για το σταθμό του Ηρακλείου



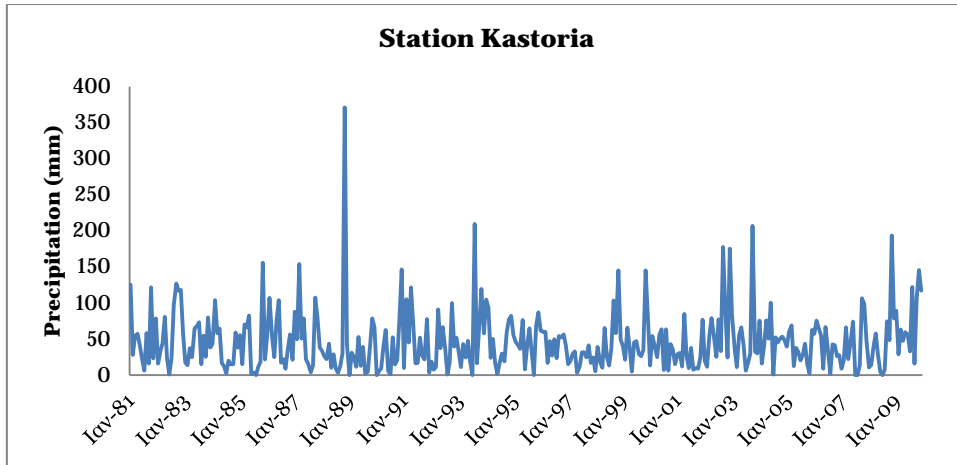
*Διάγραμμα I.14. Βροχόπτωση για το σταθμό της Ιεράπετρας*



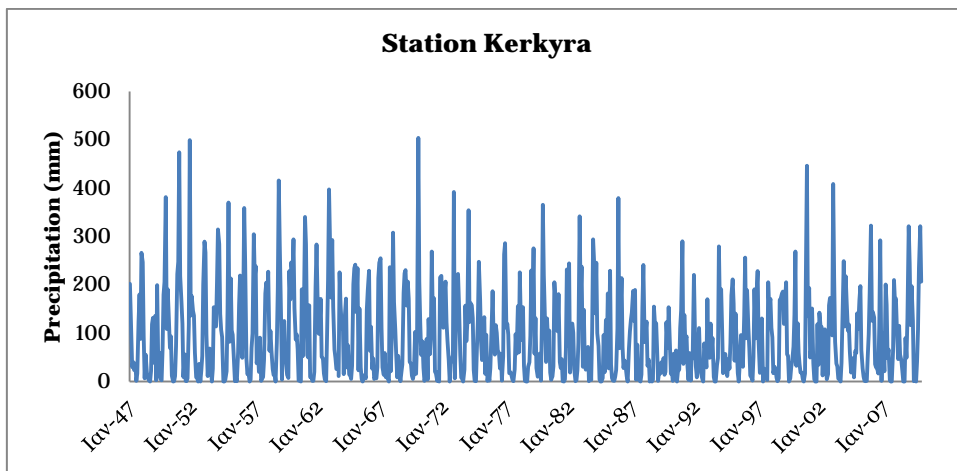
*Διάγραμμα I.15. Βροχόπτωση για το σταθμό των Ιωαννίνων*



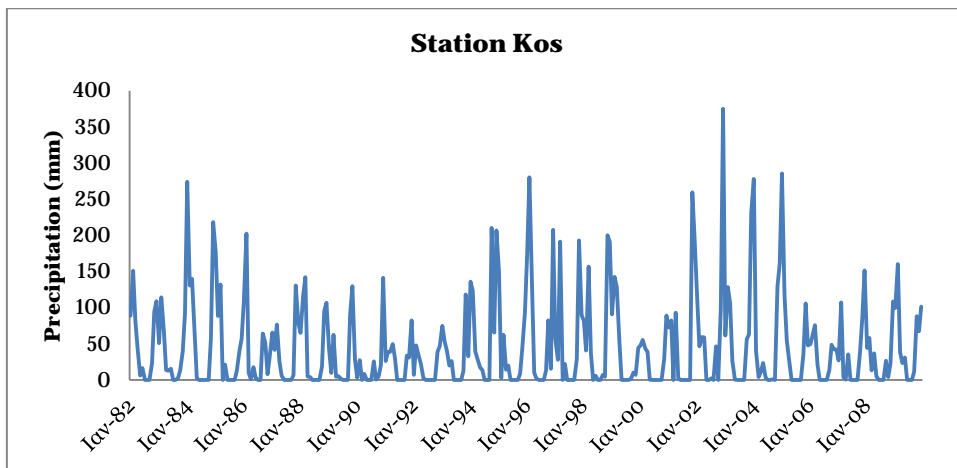
*Διάγραμμα I.16. Βροχόπτωση για το σταθμό της Καλαμάτας*



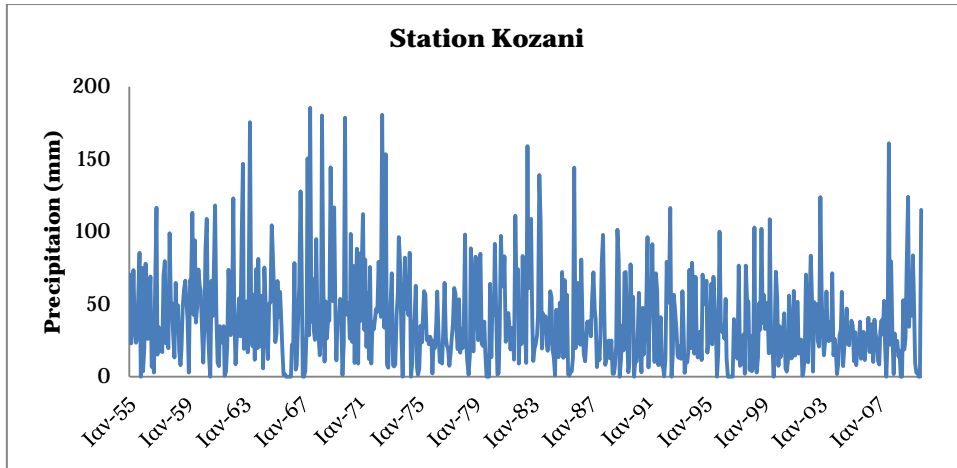
Διάγραμμα I.17. Βροχόπτωση για το σταθμό της Καστοριάς



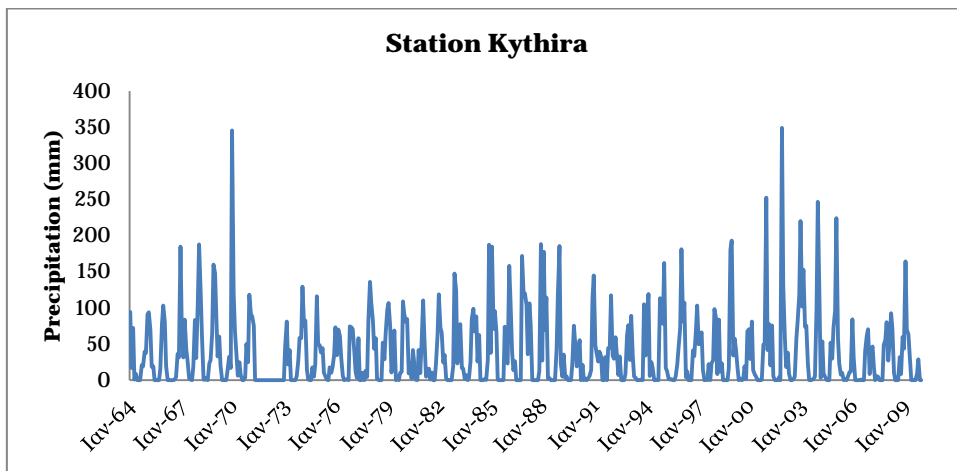
Διάγραμμα I.19. Βροχόπτωση για το σταθμό της Κέρκυρας



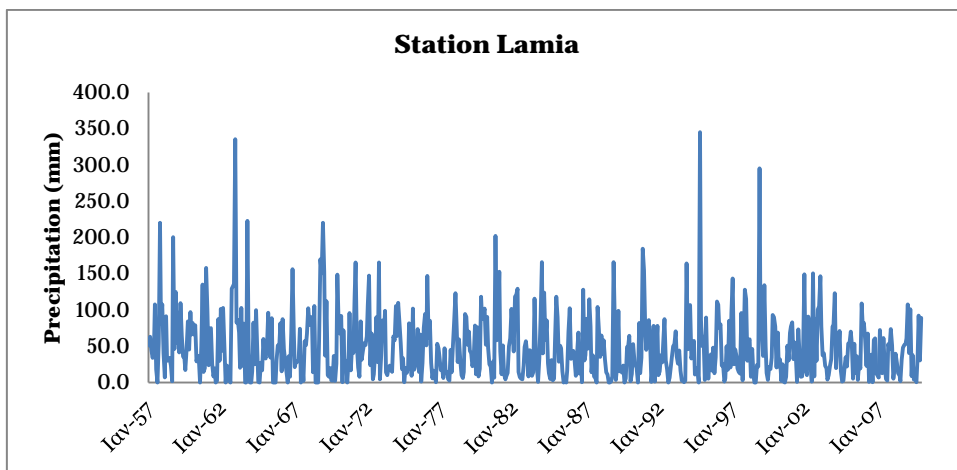
Διάγραμμα I.20. Βροχόπτωση για το σταθμό της Κω



Διάγραμμα 1.21. Βροχόπτωση για το σταθμό της Κοζάνης

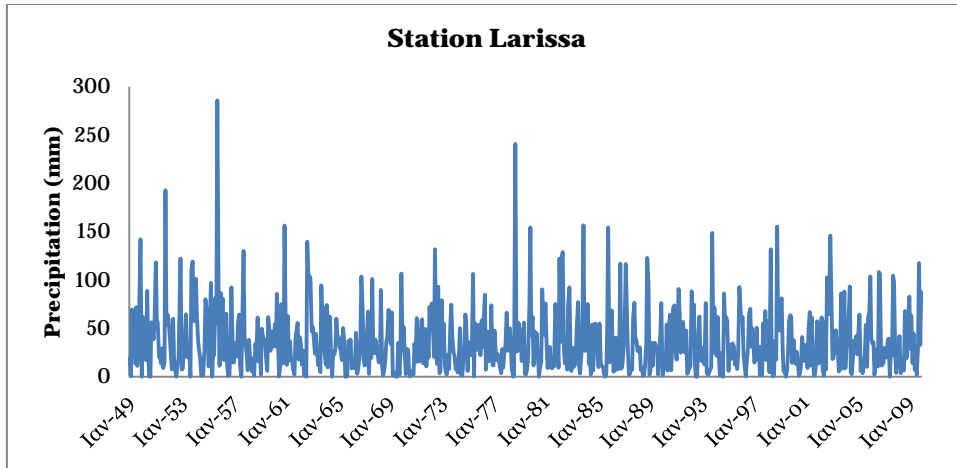


Διάγραμμα 1.22. Βροχόπτωση για το σταθμό των Κυθήρων

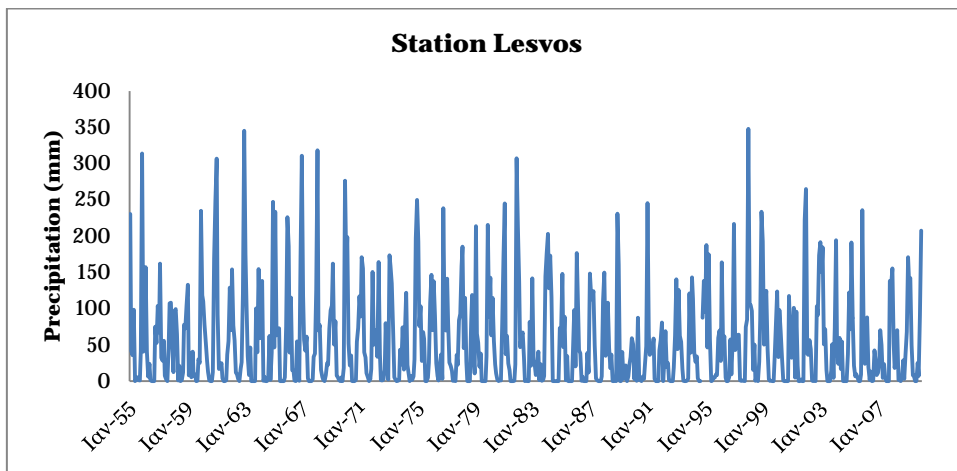


Διάγραμμα 1.23. Βροχόπτωση για το σταθμό της Λαμίας

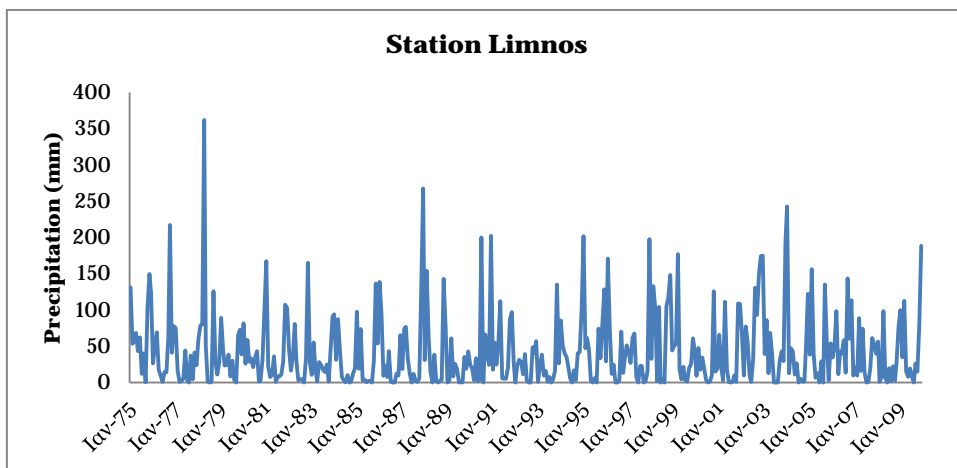




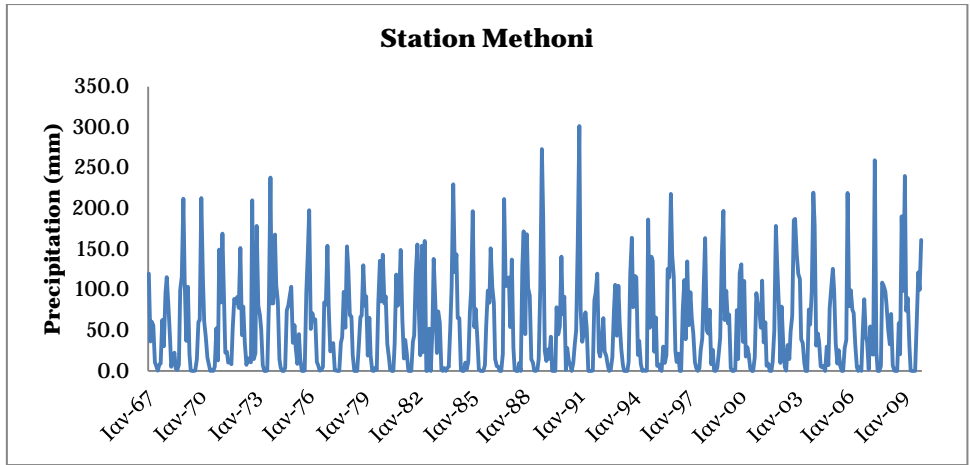
Διάγραμμα I.24. Βροχόπτωση για το σταθμό της Λάρισας



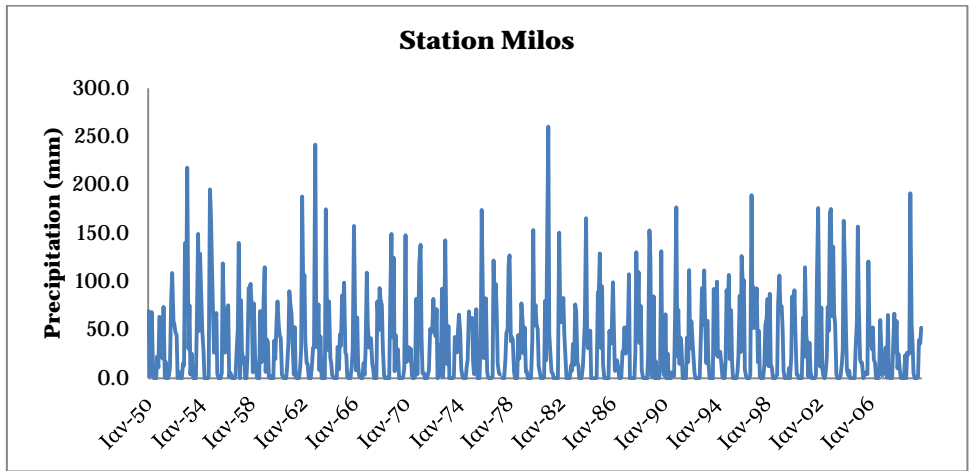
Διάγραμμα I.25. Βροχόπτωση για το σταθμό της Λέσβου



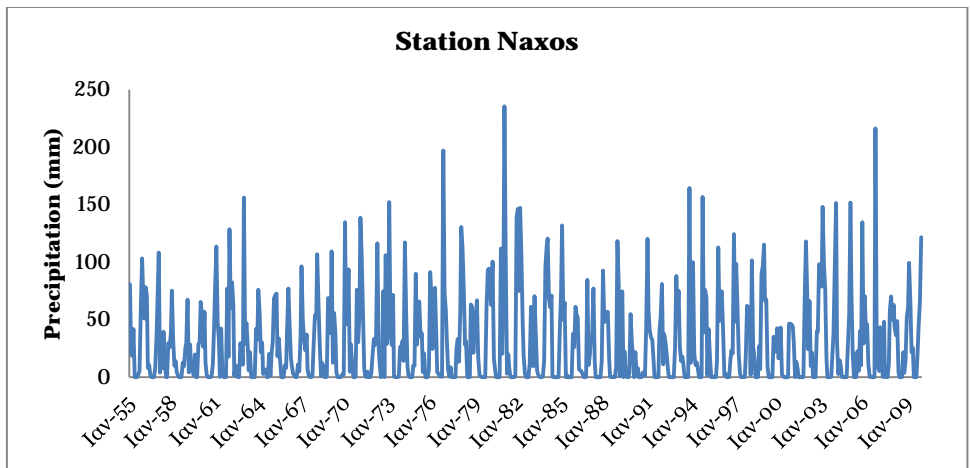
Διάγραμμα I.26. Βροχόπτωση για το σταθμό της Λήμνου



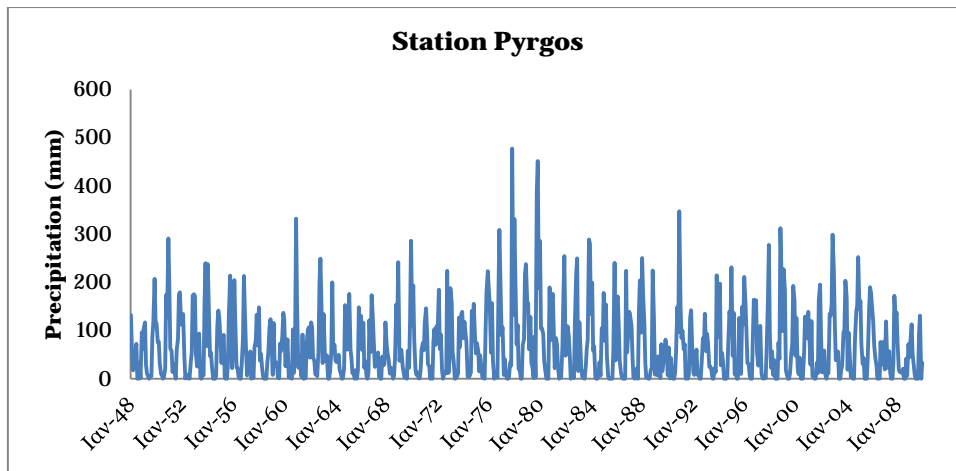
*Διάγραμμα I.27. Βροχόπτωση για το σταθμό της Μεθώνης*



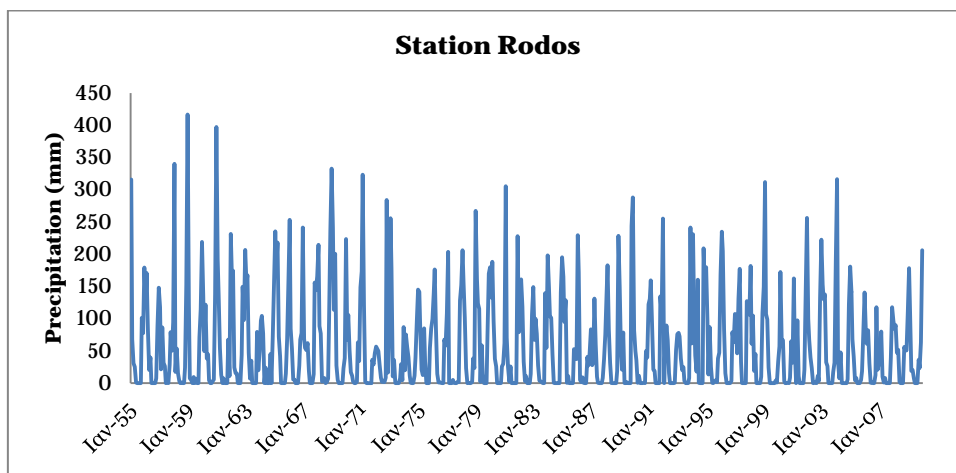
*Διάγραμμα I.28. Βροχόπτωση για το σταθμό της Μήλου*



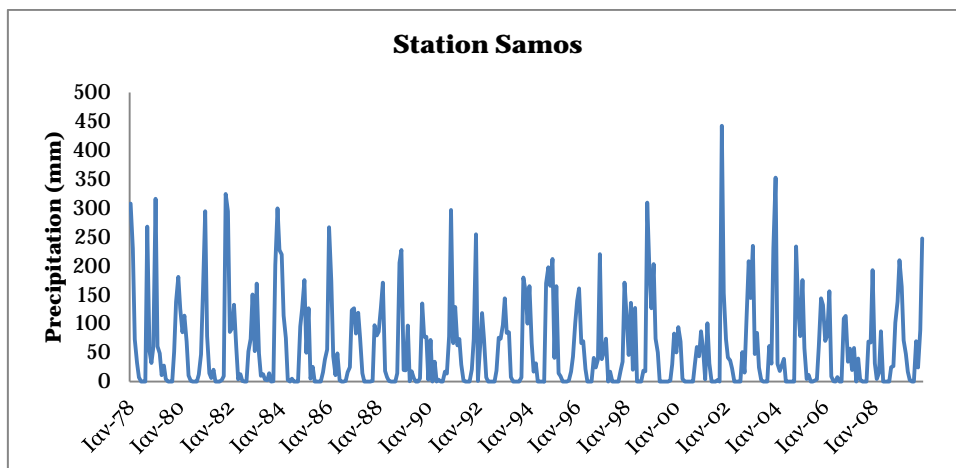
*Διάγραμμα I.29. Βροχόπτωση για το σταθμό της Νάξου*



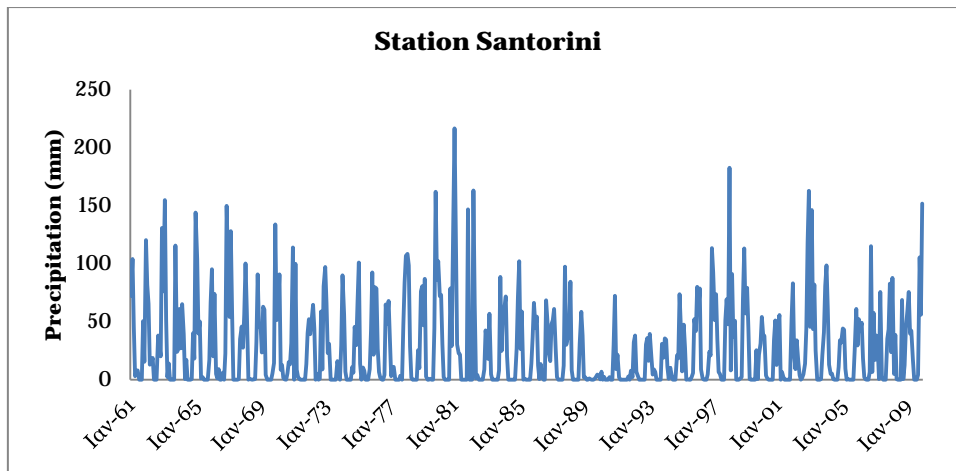
Διάγραμμα I.30. Βροχόπτωση για το σταθμό του Πύργου



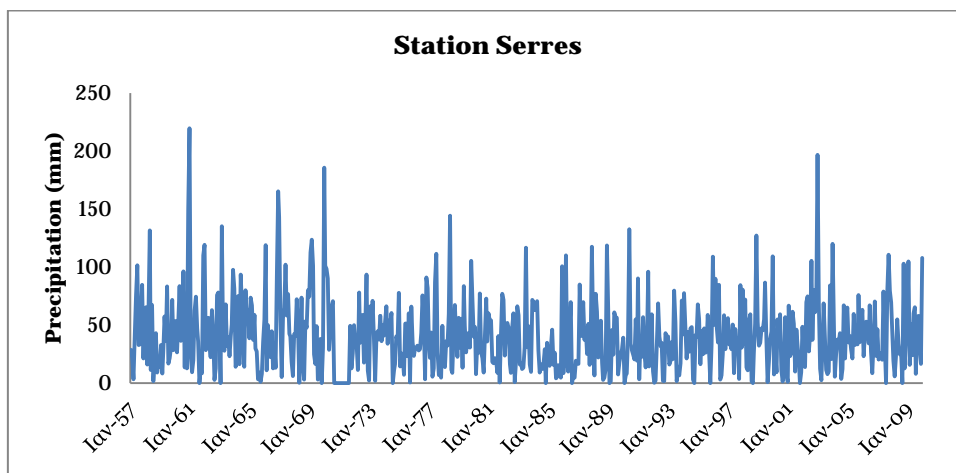
Διάγραμμα I.31. Βροχόπτωση για το σταθμό της Ρόδου



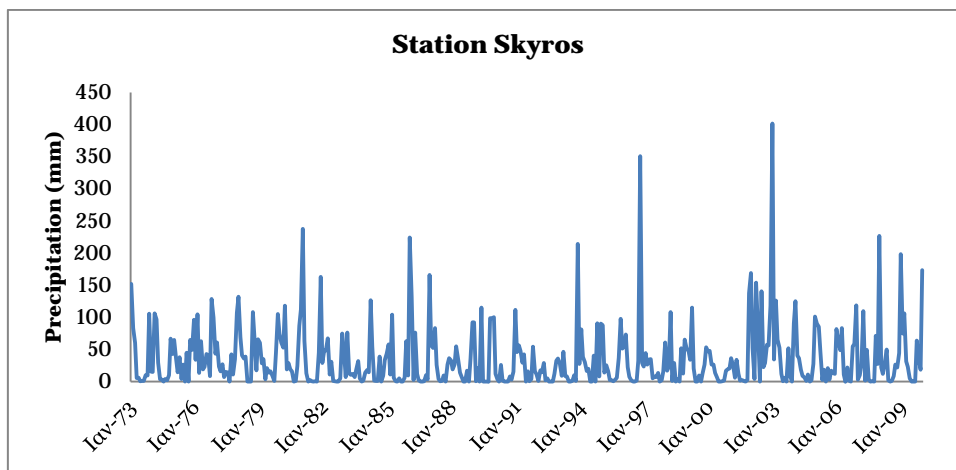
Διάγραμμα I.32. Βροχόπτωση για το σταθμό της Σάμου



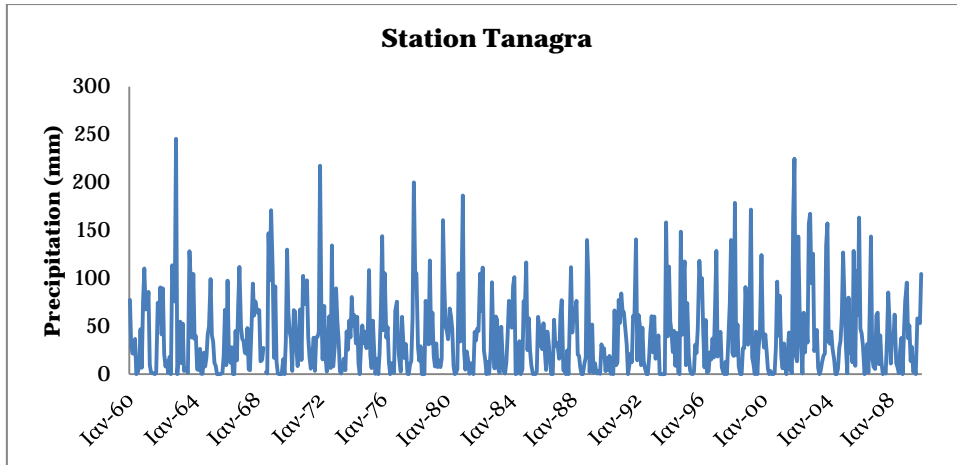
*Διάγραμμα 1.33. Βροχόπτωση για το σταθμό της Σαντορίνης*



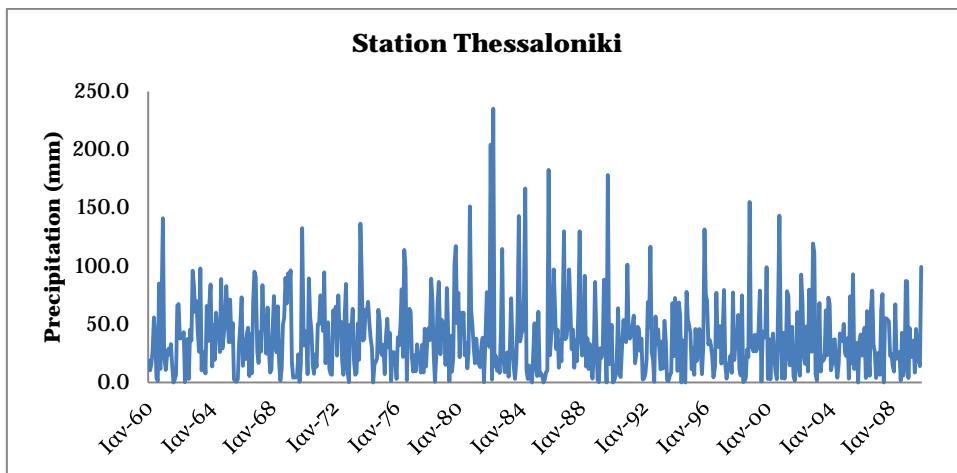
*Διάγραμμα 1.34. Βροχόπτωση για το σταθμό των Σερρών*



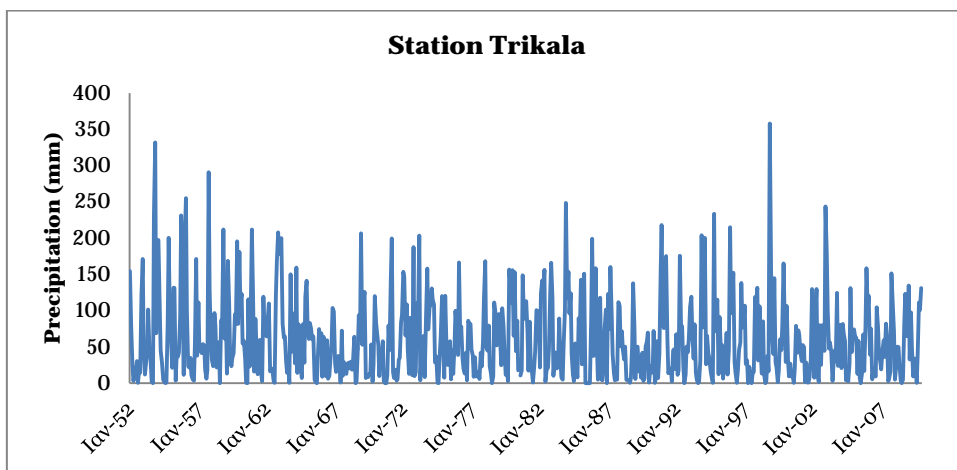
*Διάγραμμα 1.35. Βροχόπτωση για το σταθμό της Σκύρου*



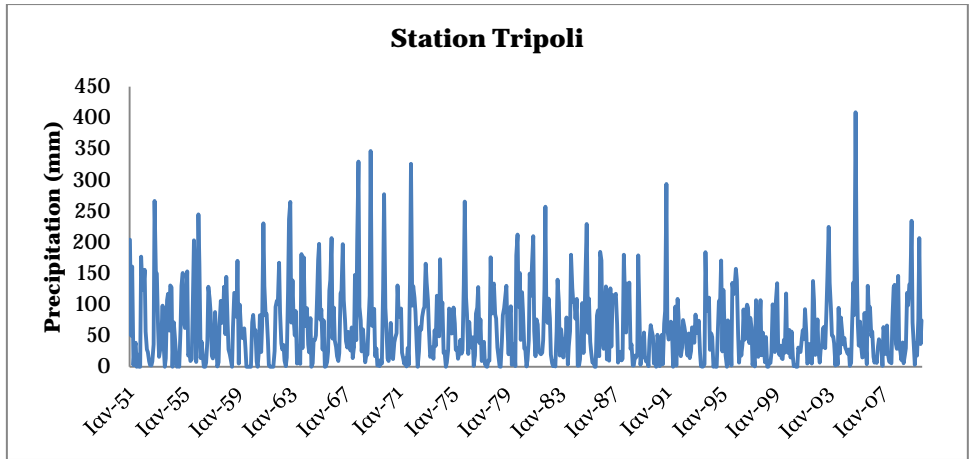
Διάγραμμα I.36. Βροχόπτωση για το σταθμό της Τανάγρας



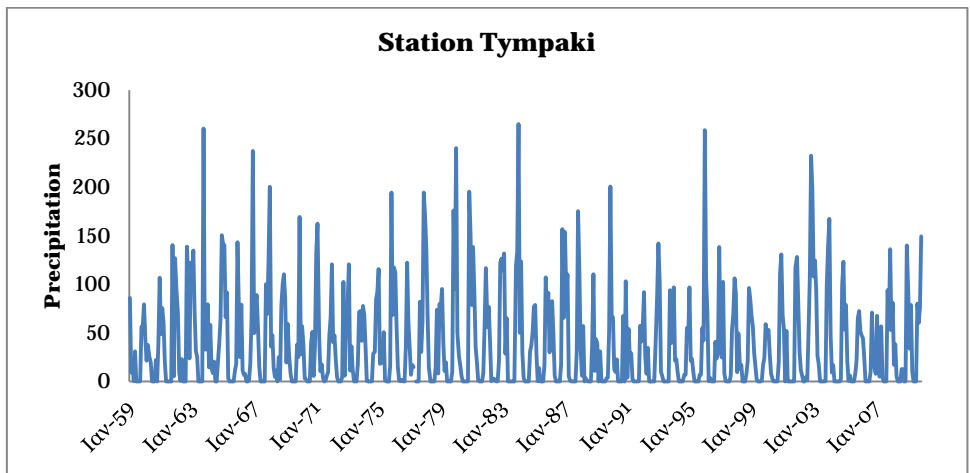
Διάγραμμα I.37. Βροχόπτωση για το σταθμό της Θεσσαλονίκης



Διάγραμμα I.38. Βροχόπτωση για το σταθμό των Τρικάλων



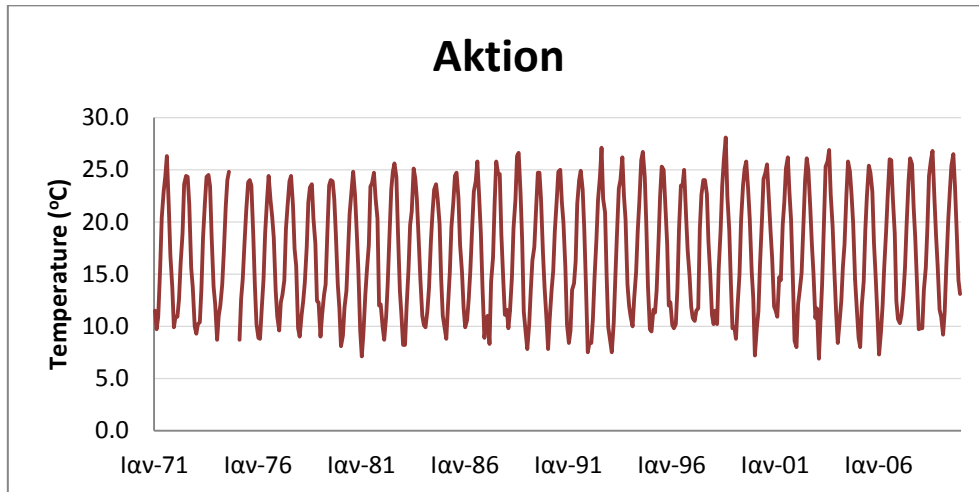
*Διάγραμμα I.39. Βροχόπτωση για το σταθμό της Τρίπολης*



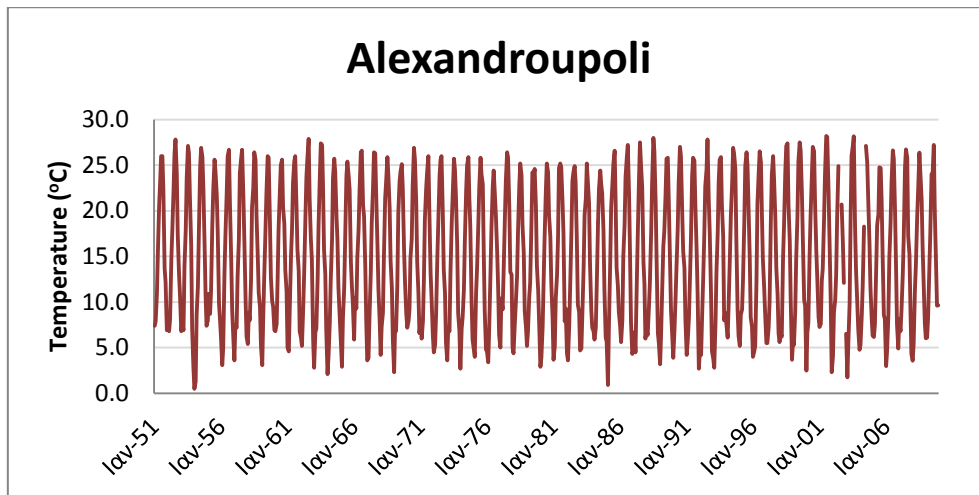
*Διάγραμμα I.40. Βροχόπτωση για το σταθμό του Τυμπακίου*

## Παράρτημα II

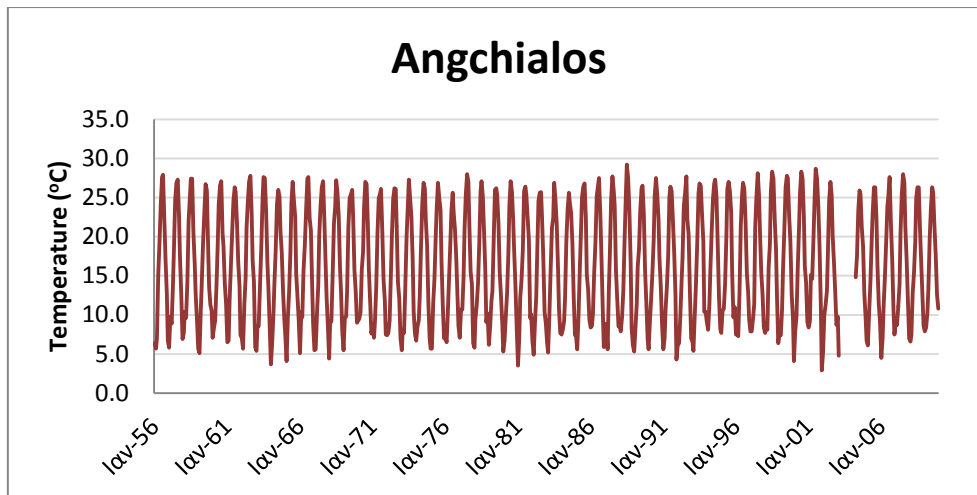
### Θερμοκρασίες



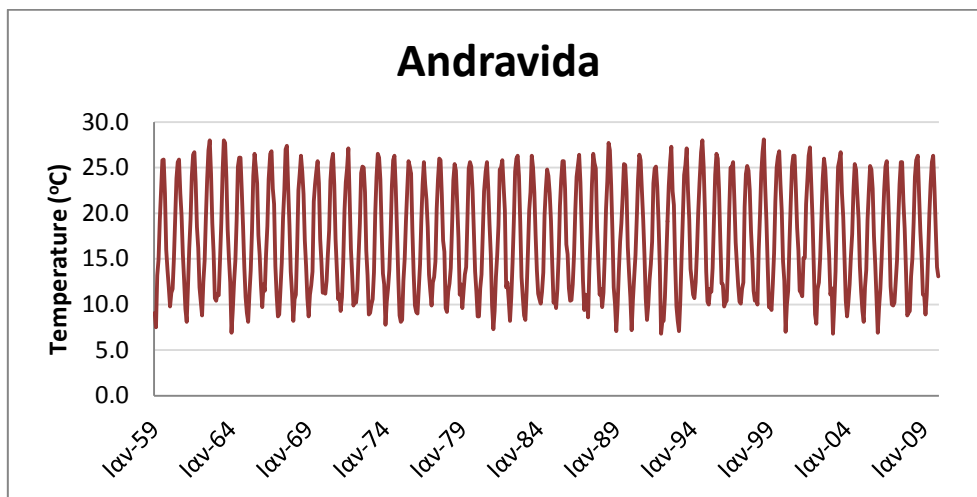
Διάγραμμα I.1. Θερμοκρασία για το σταθμό του Ακτίου



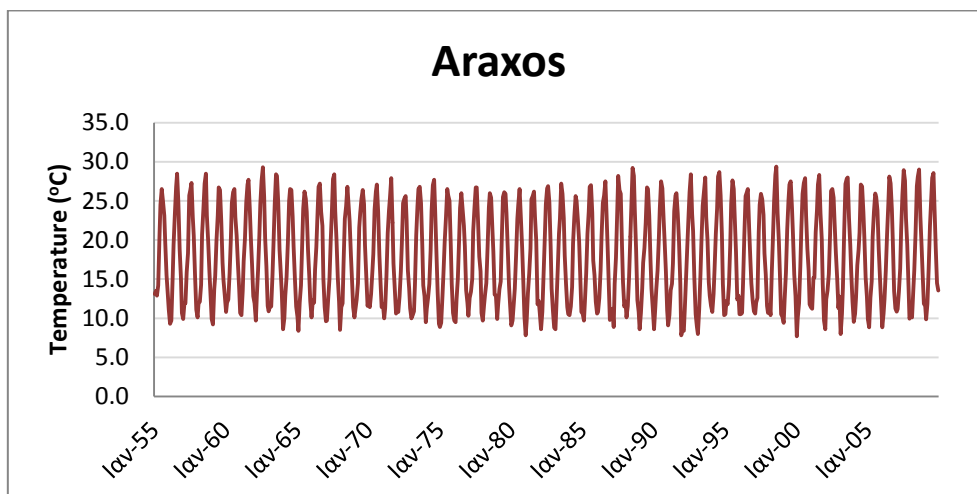
Διάγραμμα I.2. Θερμοκρασία για το σταθμό της Αλεξανδρούπολης



*Διάγραμμα 1.3. Θερμοκρασία για το σταθμό της Αγκιάλου*

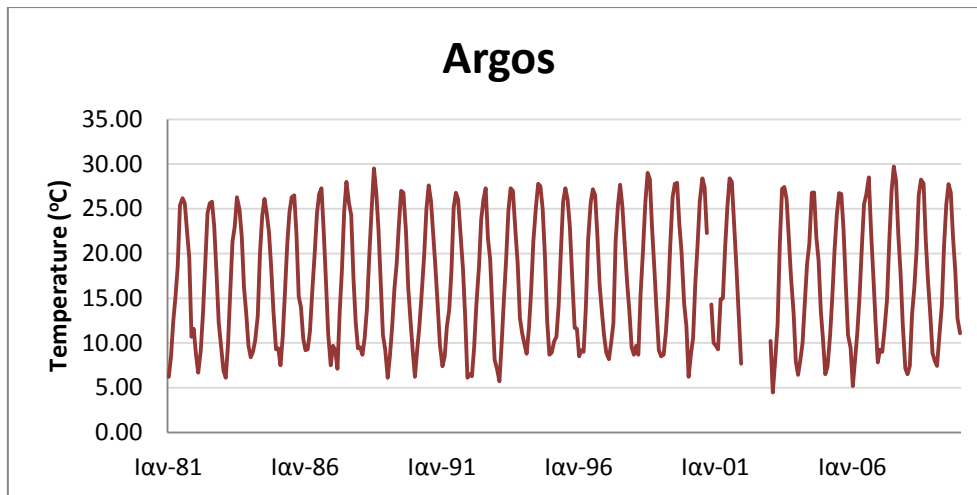


*Διάγραμμα 1.4. Θερμοκρασία για το σταθμό της Ανδραβίδας*

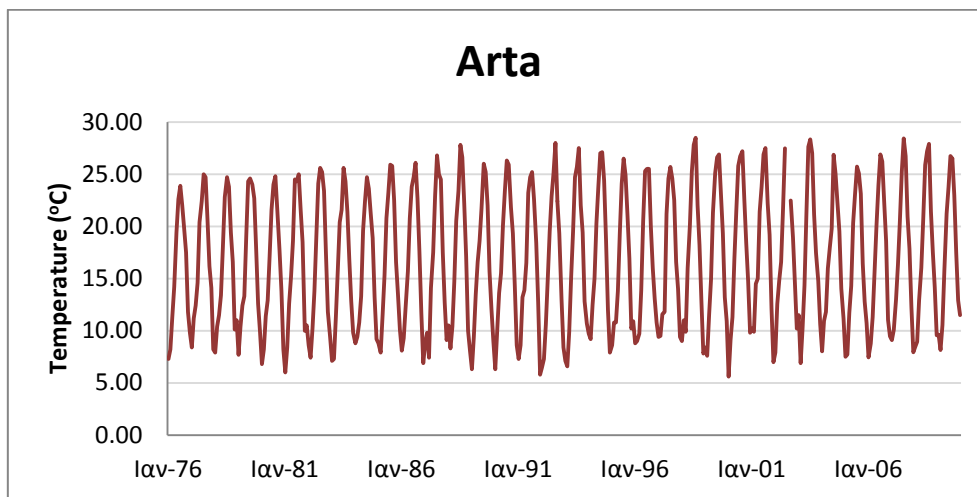


*Διάγραμμα 1.5. Θερμοκρασία για το σταθμό του Αραξου*

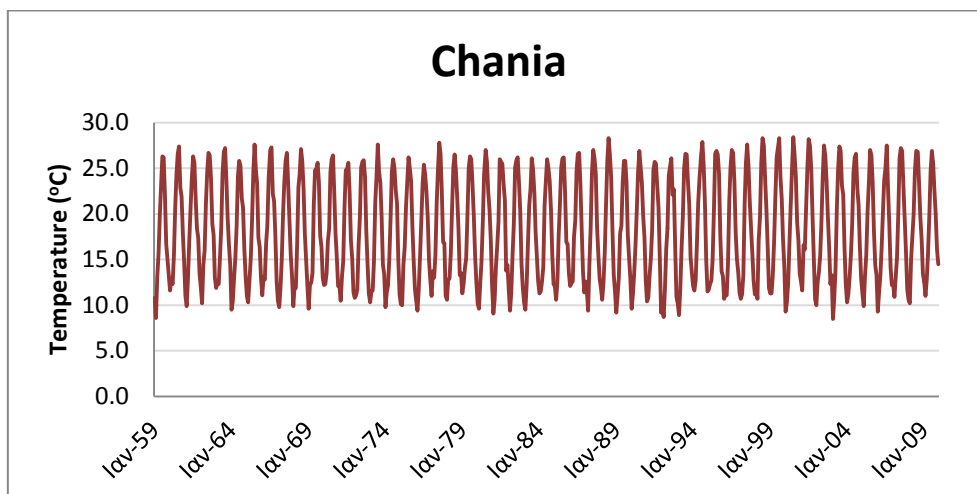




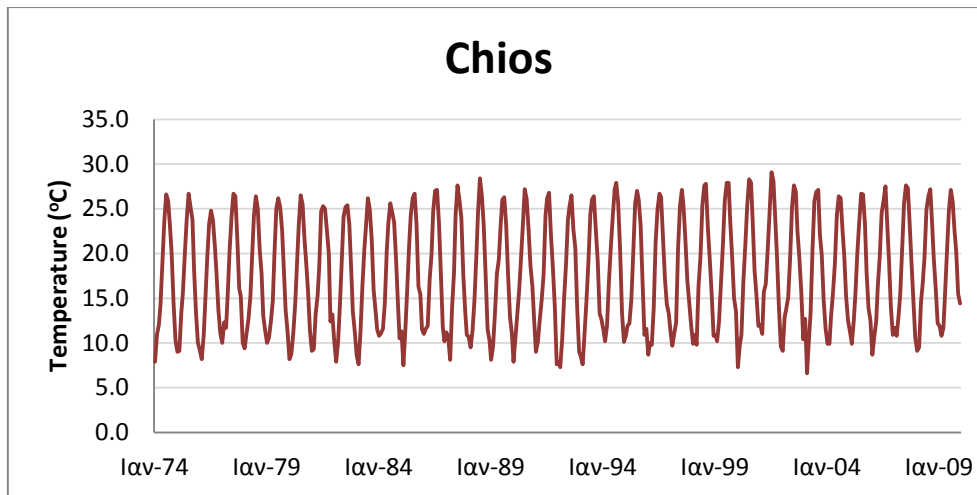
*Διάγραμμα 1.6. Θερμοκρασία για το σταθμό του Άργους*



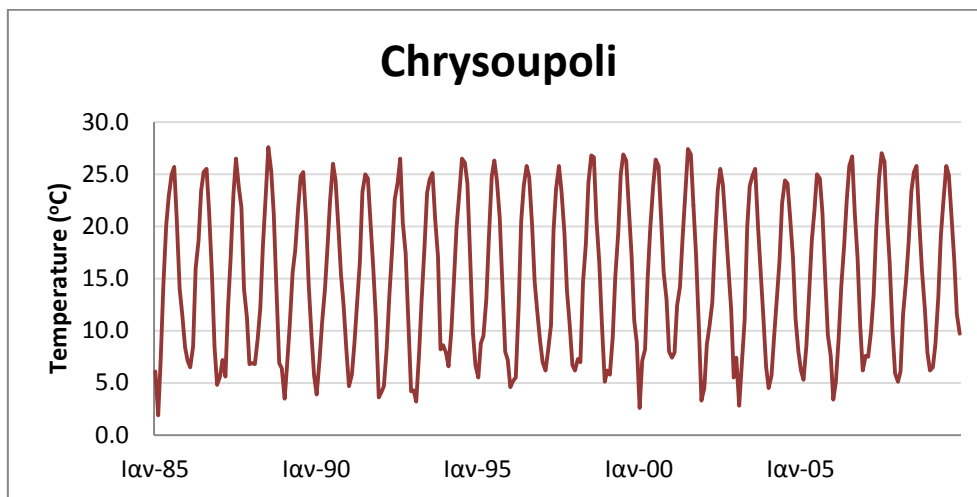
*Διάγραμμα 1.7. Θερμοκρασία για το σταθμό της Άρτας*



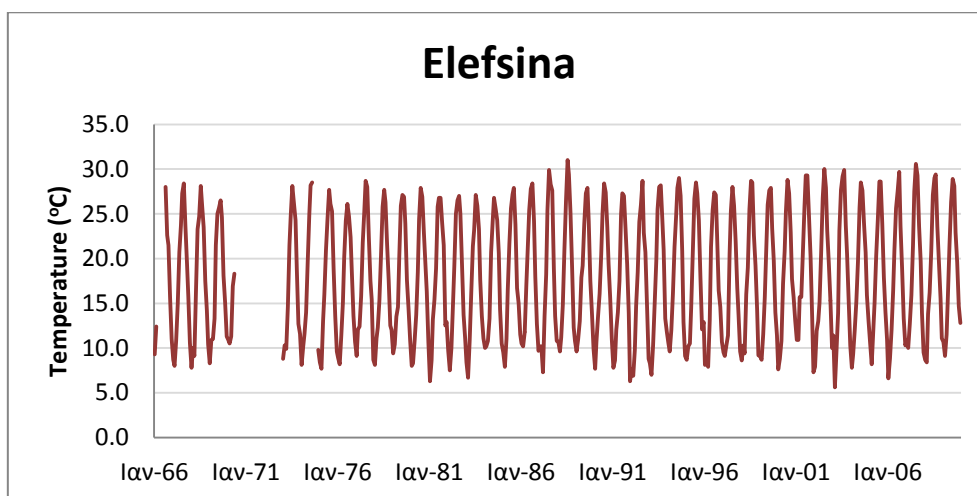
*Διάγραμμα 1.8. Θερμοκρασία για το σταθμό των Χανίων*



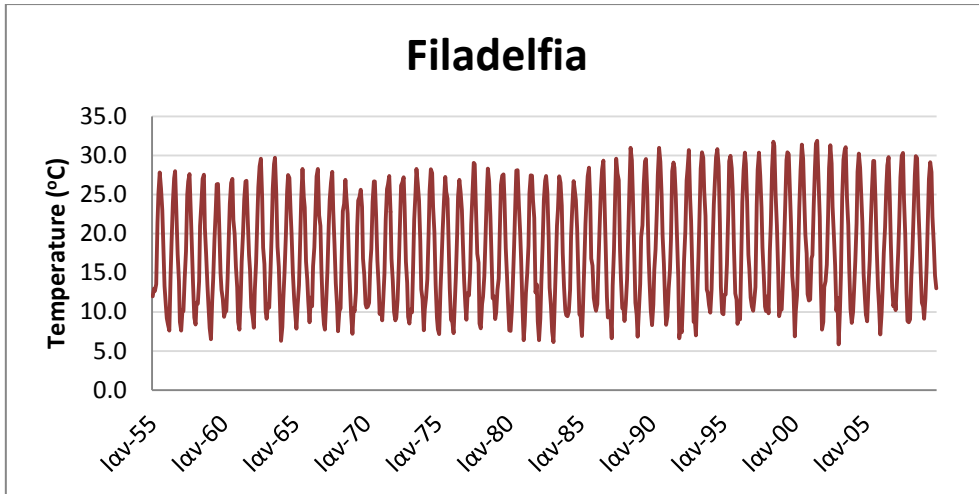
*Διάγραμμα I.9. Θερμοκρασία για το σταθμό της Χίου*



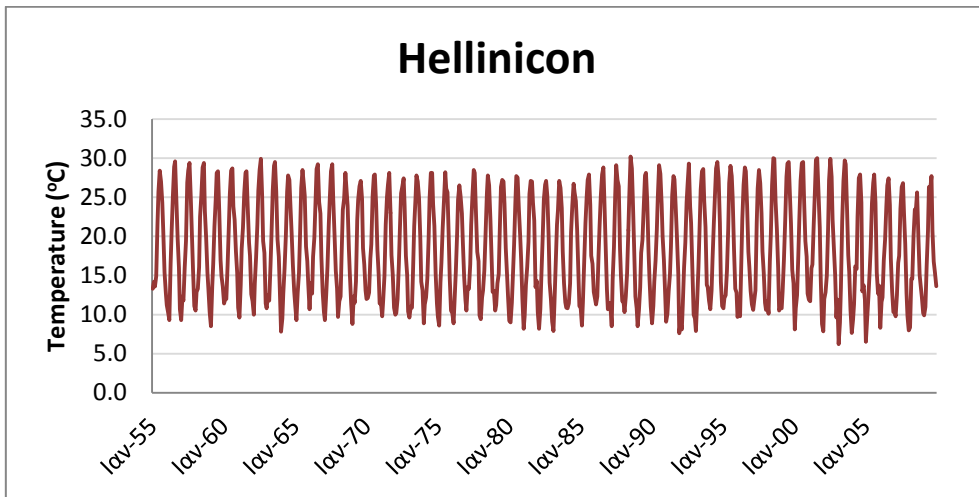
*Διάγραμμα I.10. Θερμοκρασία για το σταθμό της Χρυσούπολης*



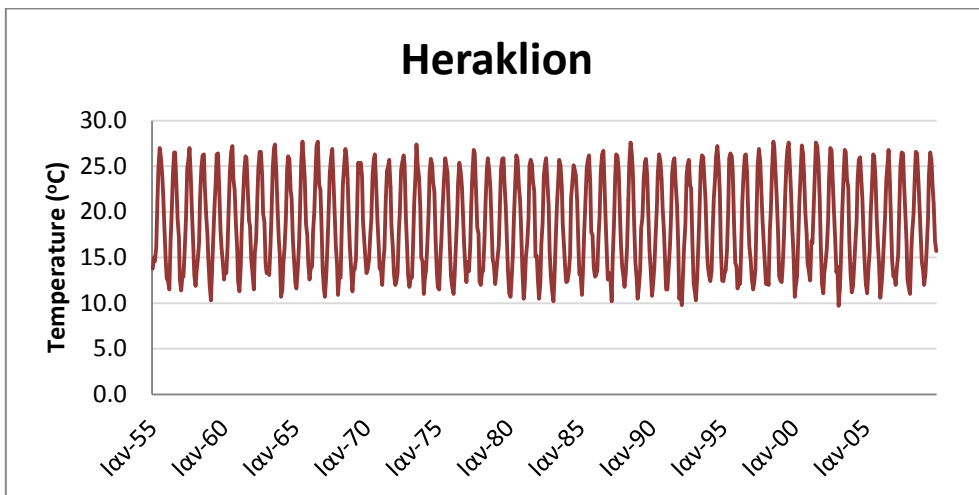
*Διάγραμμα I.11. Θερμοκρασία για το σταθμό της Ελευσίνας*



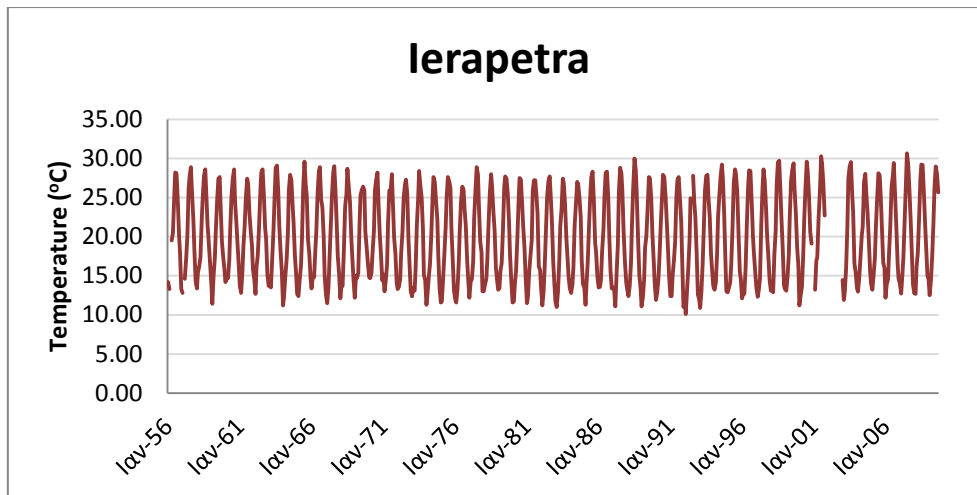
*Διάγραμμα I.12. Θερμοκρασία για το σταθμό της Φιλαδέλφειας*



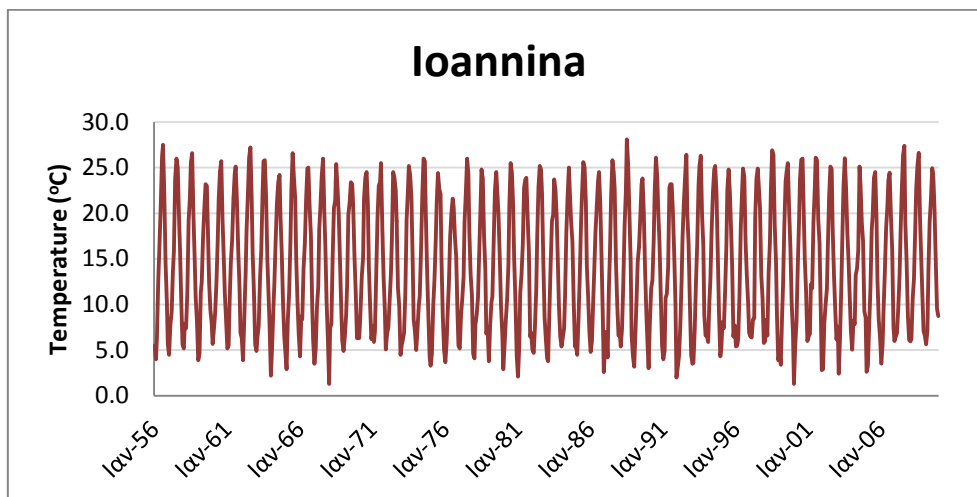
*Διάγραμμα I.13. Θερμοκρασία για το σταθμό του Ελευσίνιας*



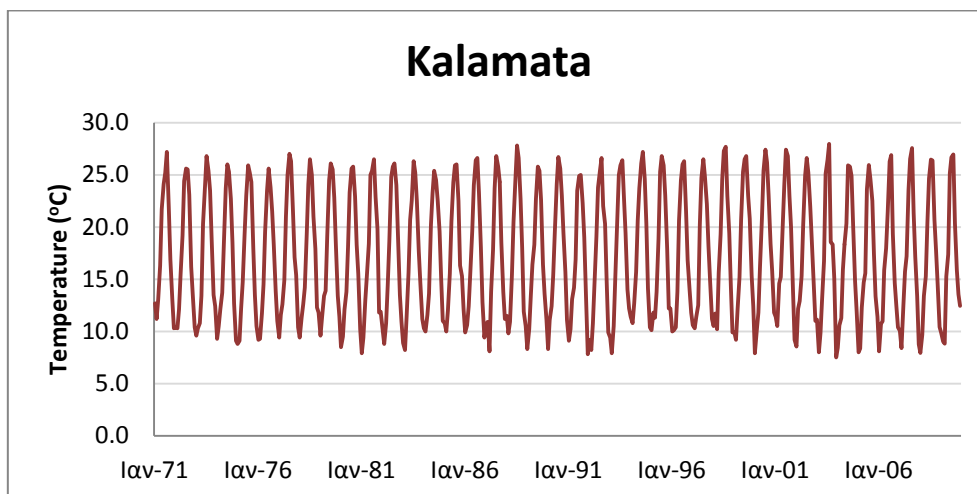
*Διάγραμμα I.14. Θερμοκρασία για το σταθμό του Ηρακλείου*



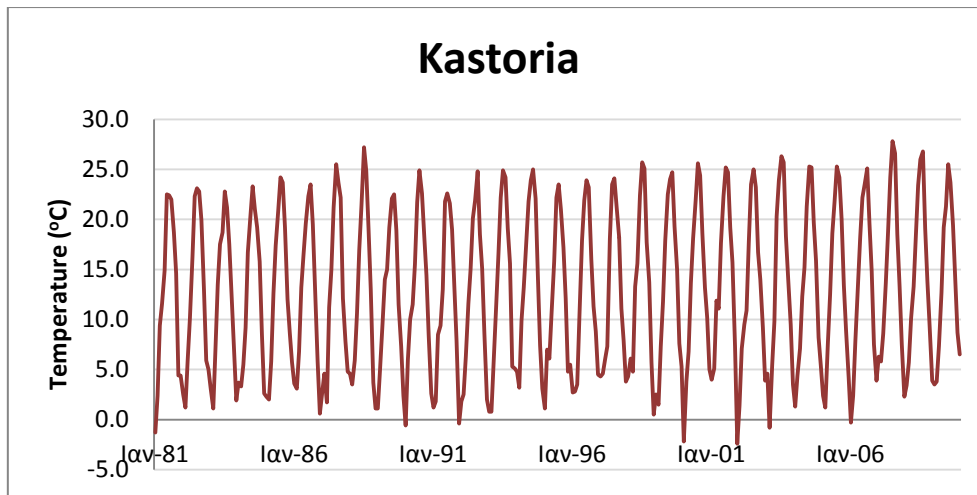
*Διάγραμμα I.15. Θερμοκρασία για το σταθμό της Ιεράπετρας*



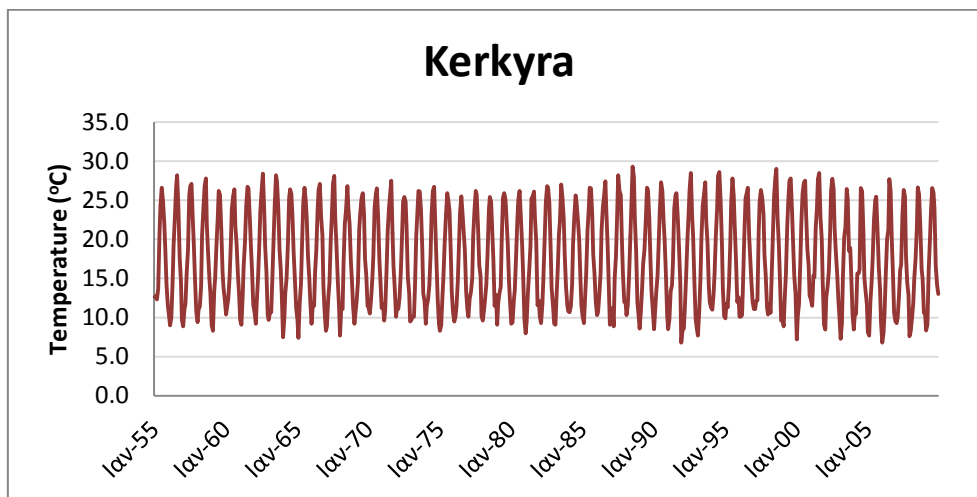
*Διάγραμμα I.16. Θερμοκρασία για το σταθμό των Ιωαννίνων*



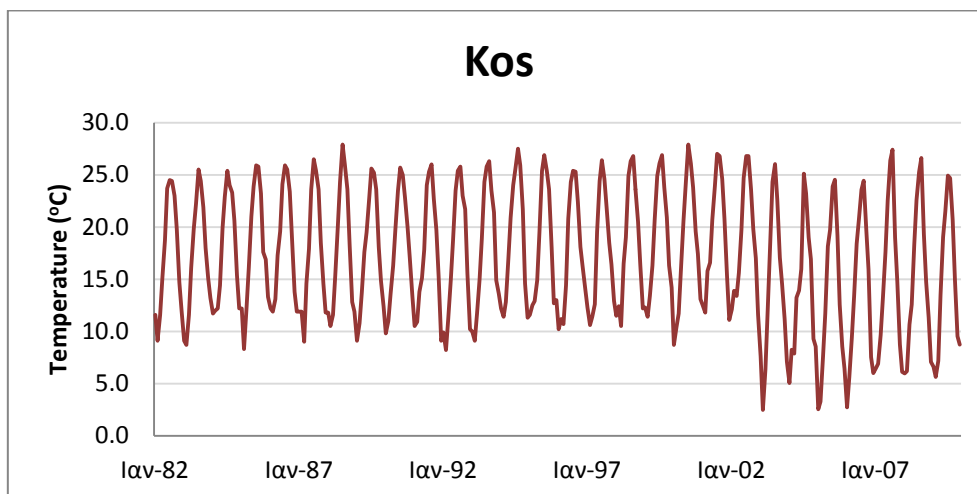
*Διάγραμμα I.17. Θερμοκρασία για το σταθμό της Καλαμάτας*



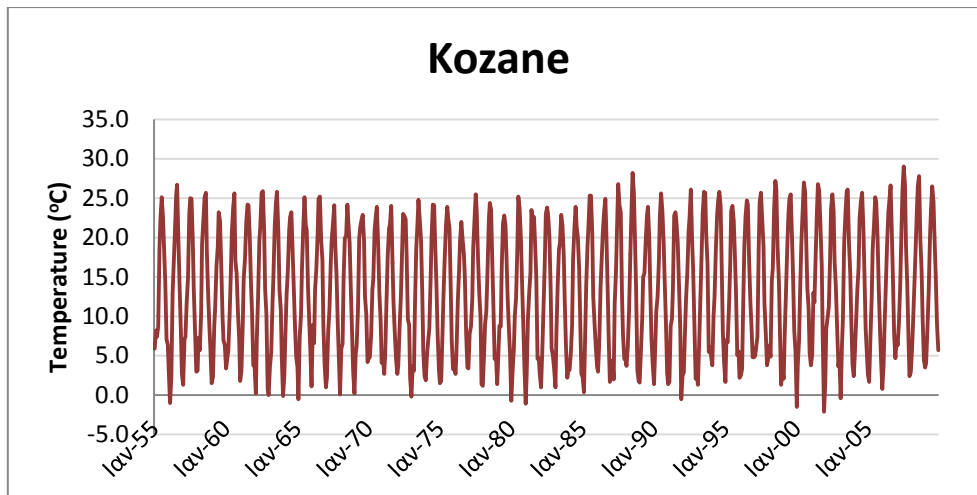
*Διάγραμμα I.18. Θερμοκρασία για το σταθμό της Καστοριάς*



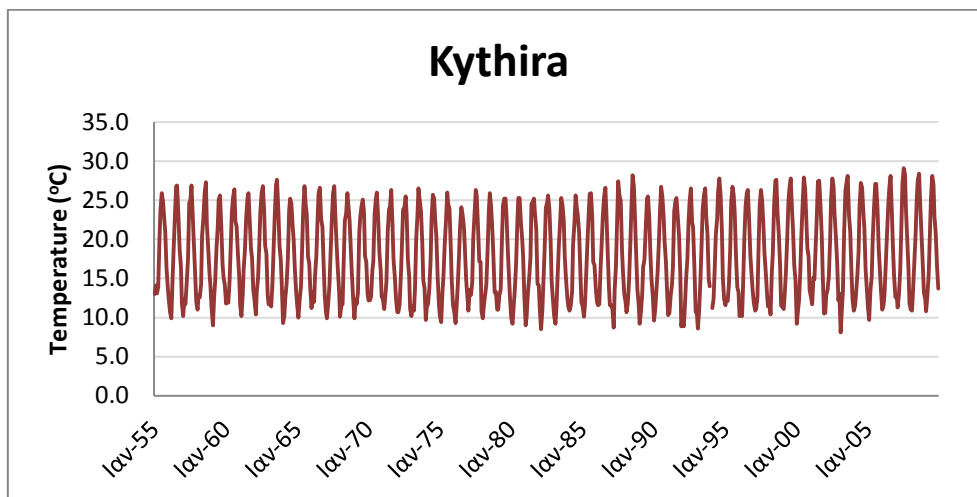
*Διάγραμμα I.19. Θερμοκρασία για το σταθμό της Κέρκυρας*



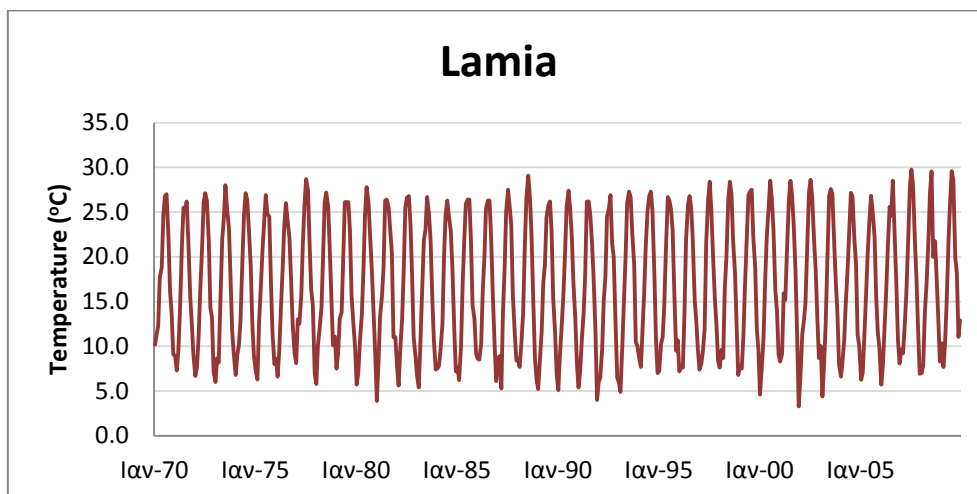
*Διάγραμμα I.20. Θερμοκρασία για το σταθμό της Κω*



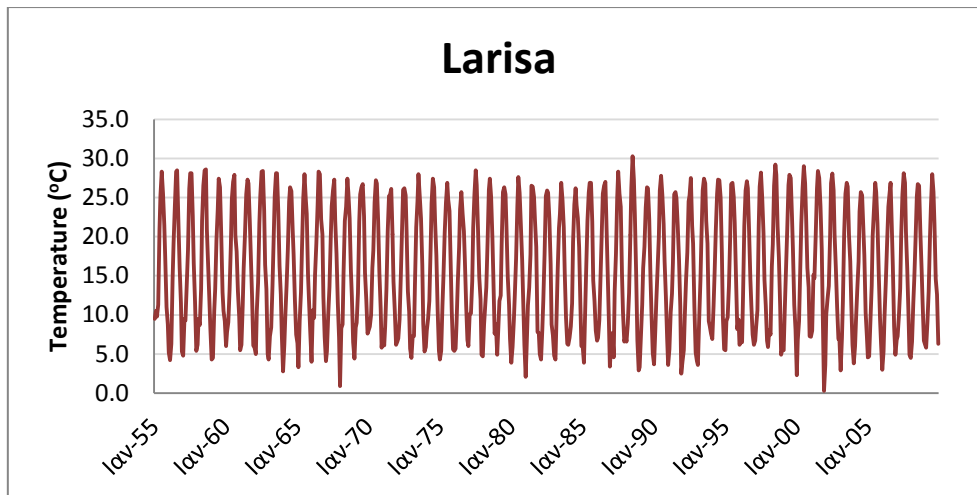
*Διάγραμμα I.21. Θερμοκρασία για το σταθμό της Κοζάνης*



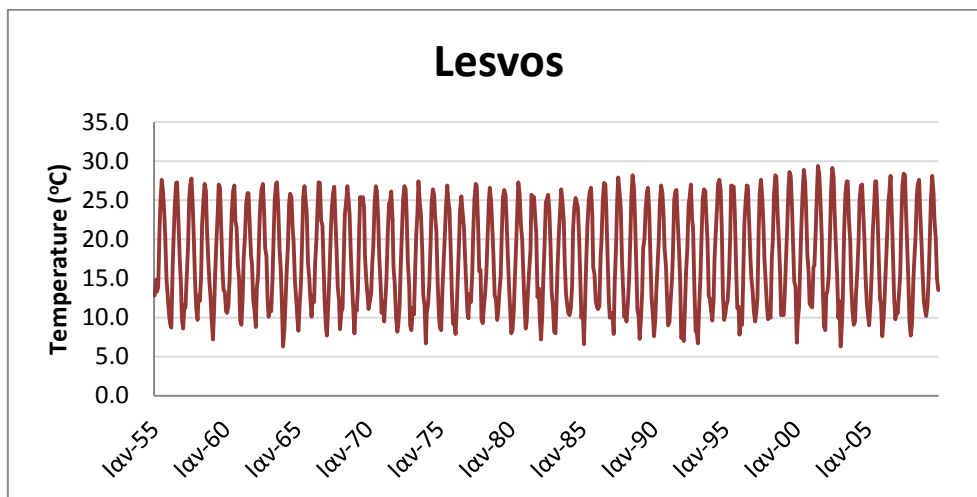
*Διάγραμμα I.22. Θερμοκρασία για το σταθμό των Κυθήρων*



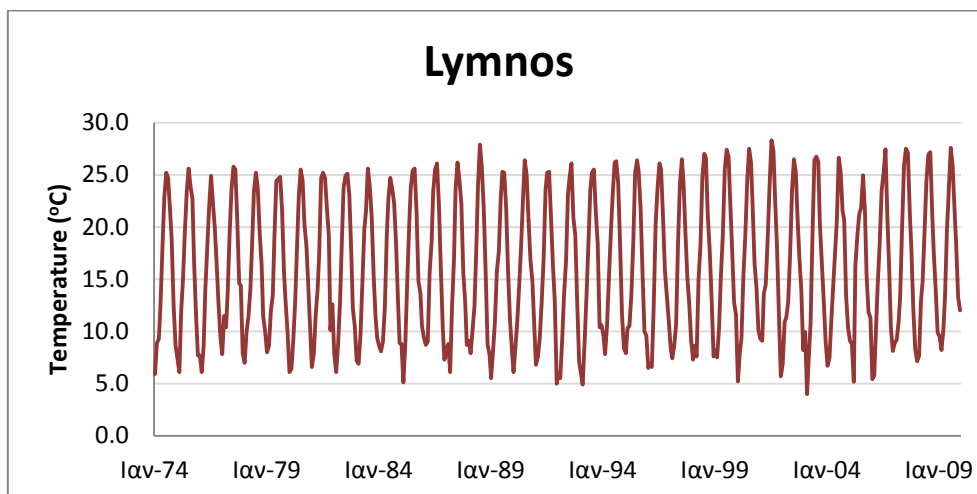
*Διάγραμμα I.23. Θερμοκρασία για το σταθμό της Λαμίας*



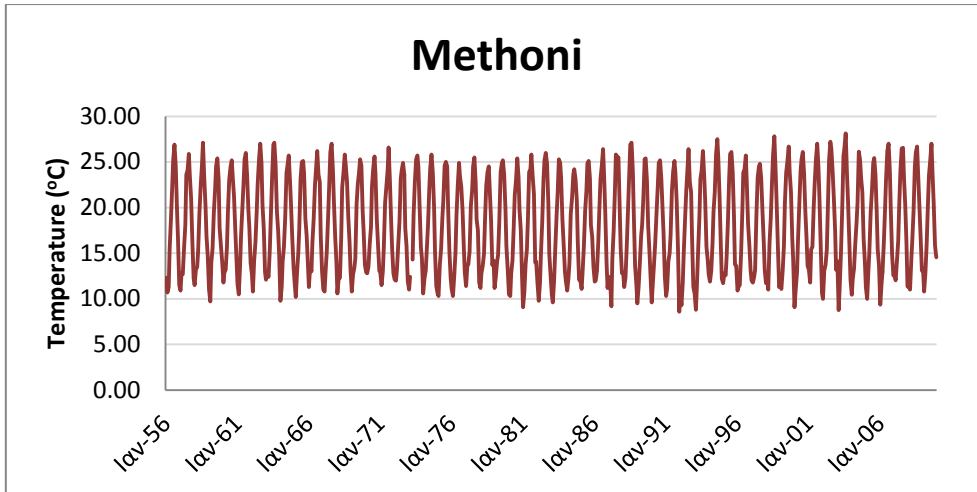
*Διάγραμμα 1.24. Θερμοκρασία για το σταθμό της Λάρισας*



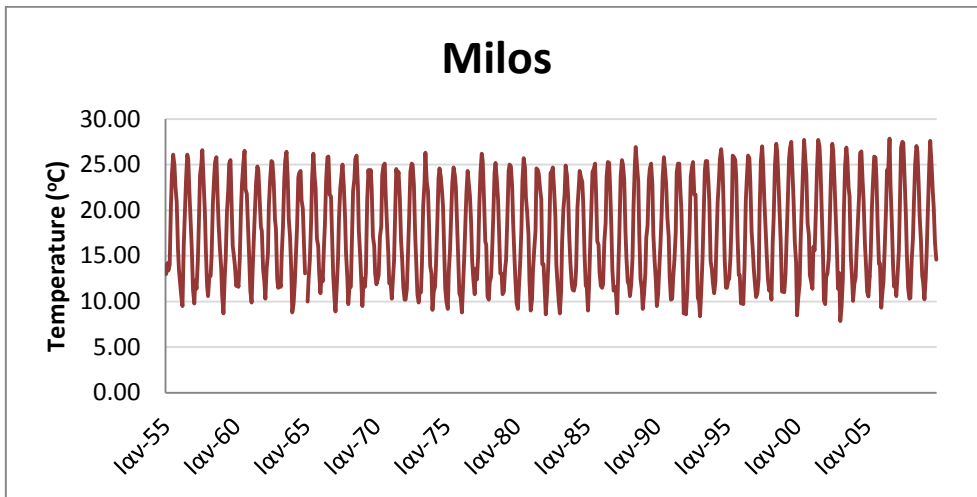
*Διάγραμμα 1.25. Θερμοκρασία για το σταθμό της Λέσβου*



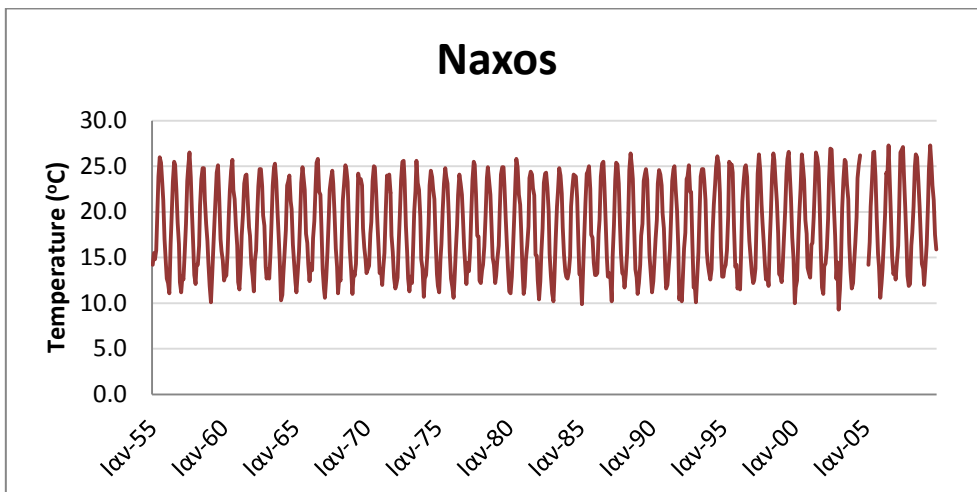
*Διάγραμμα 1.26. Θερμοκρασία για το σταθμό της Λήμνου*



*Διάγραμμα I.27. Θερμοκρασία για το σταθμό της Μεθώνης*

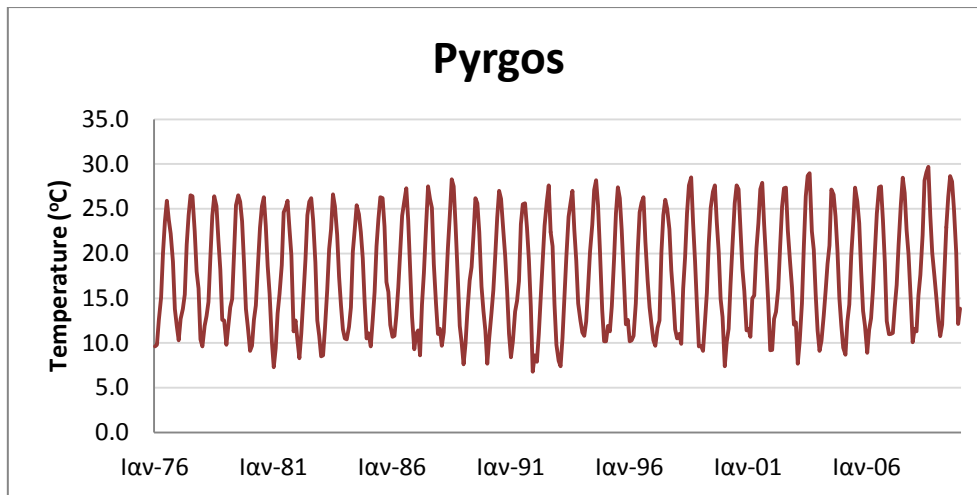


*Διάγραμμα I.28. Θερμοκρασία για το σταθμό της Μήλου*

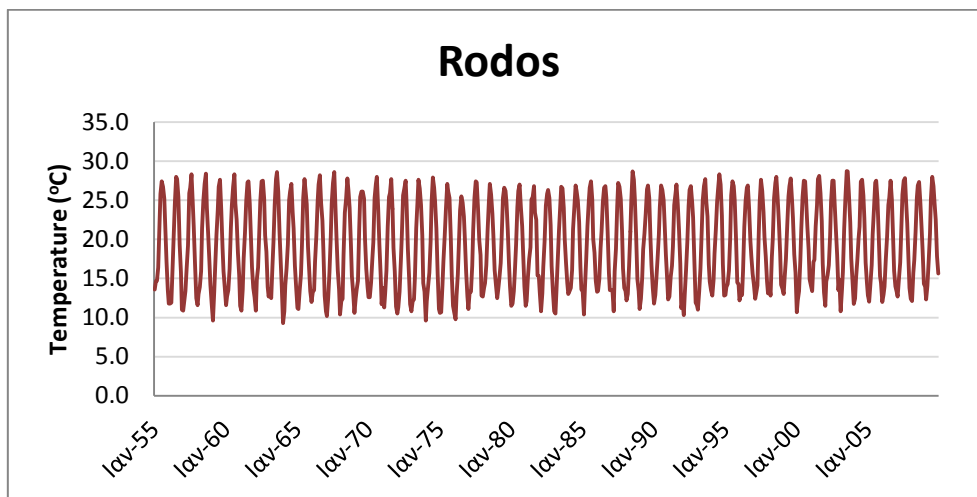


*Διάγραμμα I.29. Θερμοκρασία για το σταθμό της Νάξου*

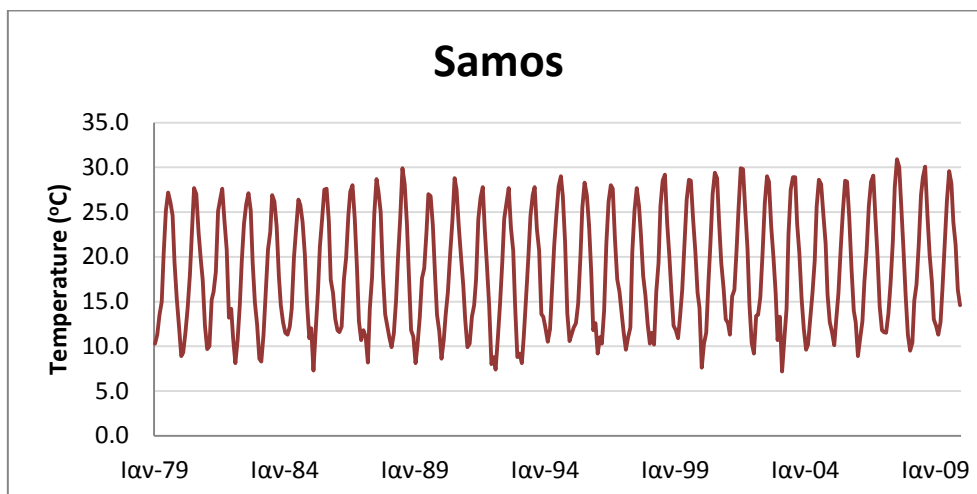




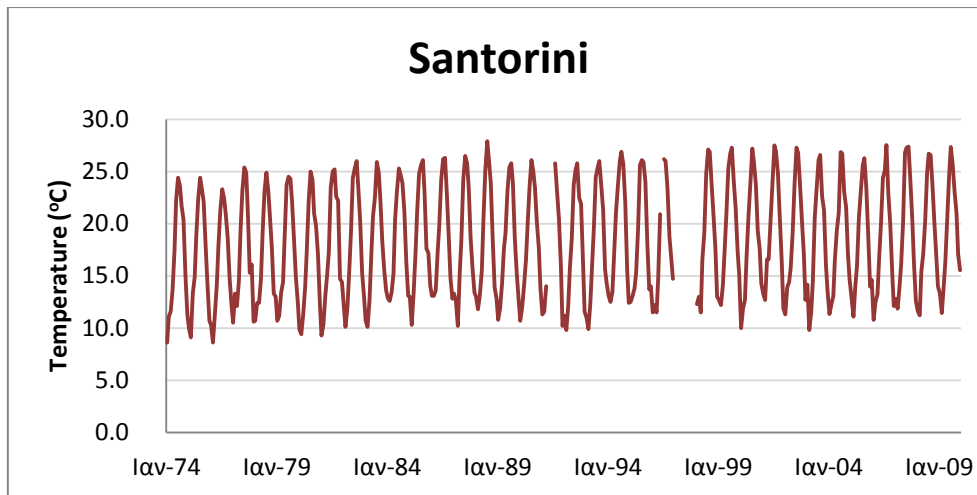
*Διάγραμμα I.30. Θερμοκρασία για το σταθμό του Πύργου*



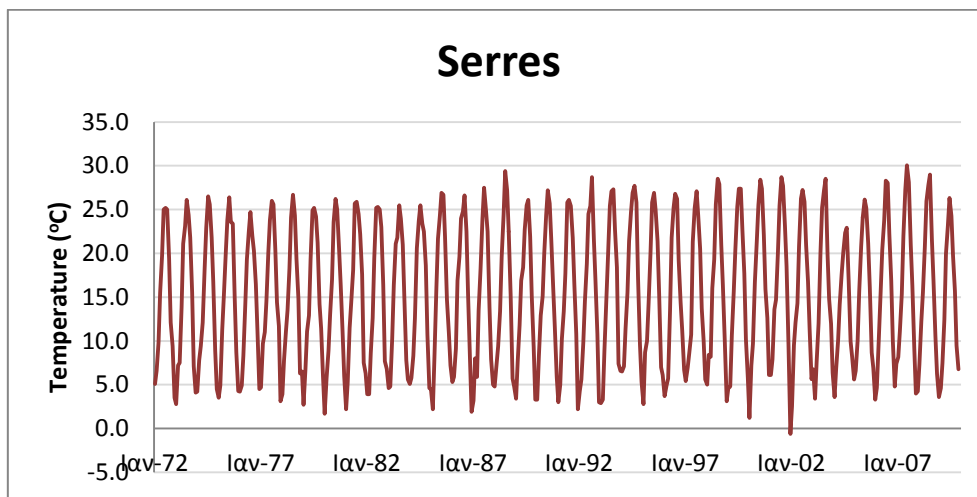
*Διάγραμμα I.31. Θερμοκρασία για το σταθμό της Ρόδου*



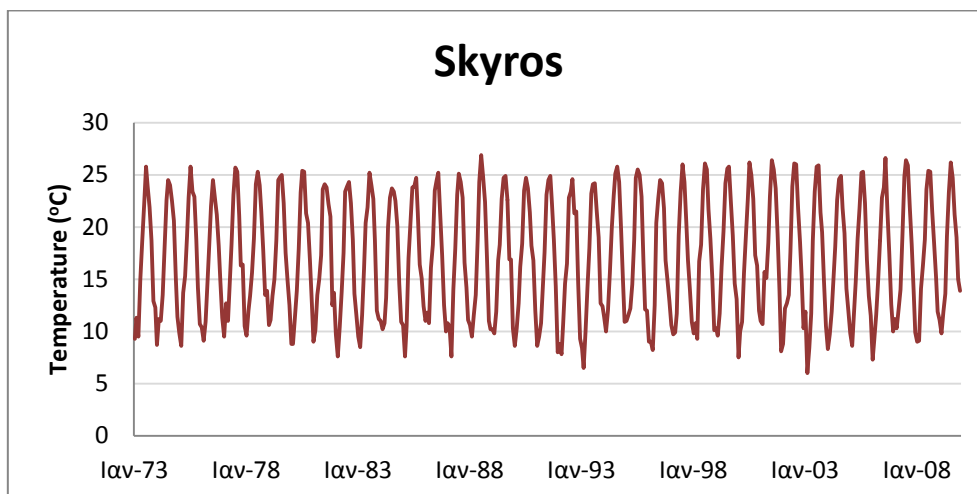
*Διάγραμμα I.32. Θερμοκρασία για το σταθμό της Σάμου*



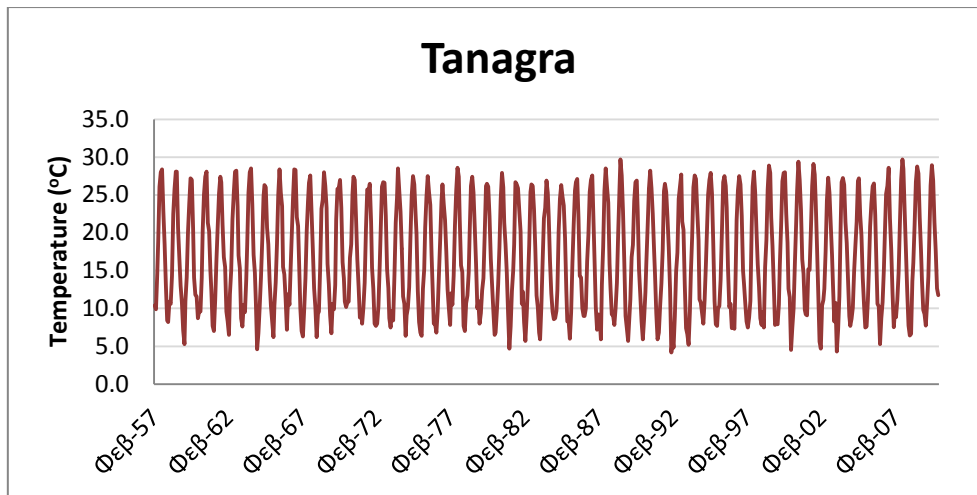
*Διάγραμμα I.33. Θερμοκρασία για το σταθμό της Σαντορίνης*



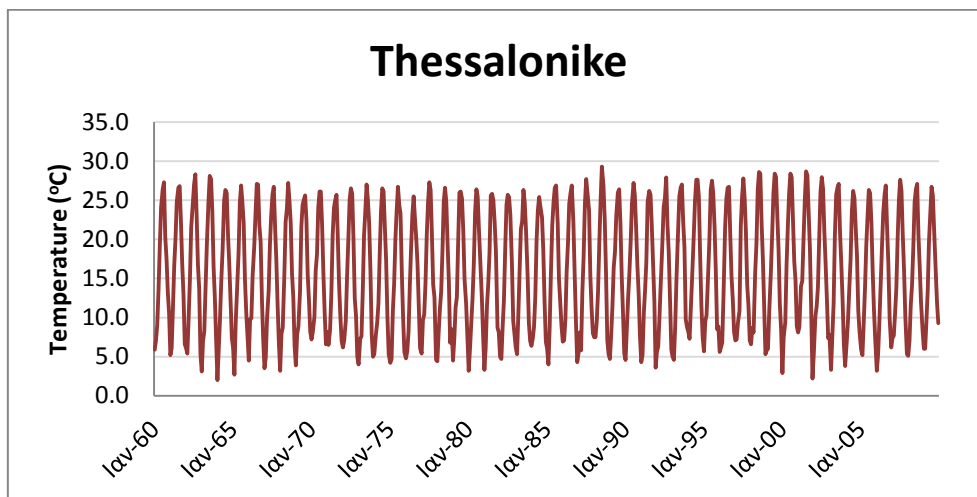
*Διάγραμμα I.34. Θερμοκρασία για το σταθμό των Σερρών*



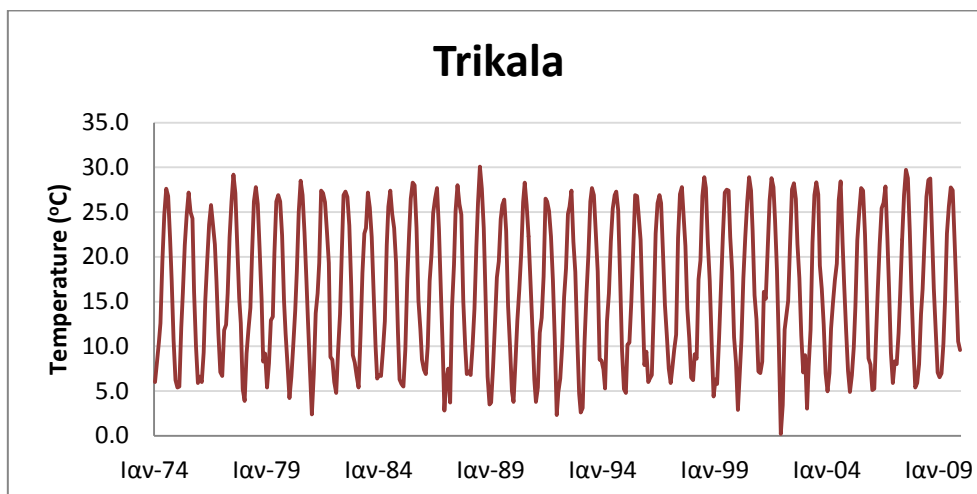
*Διάγραμμα I.35. Θερμοκρασία για το σταθμό της Σκύρου*



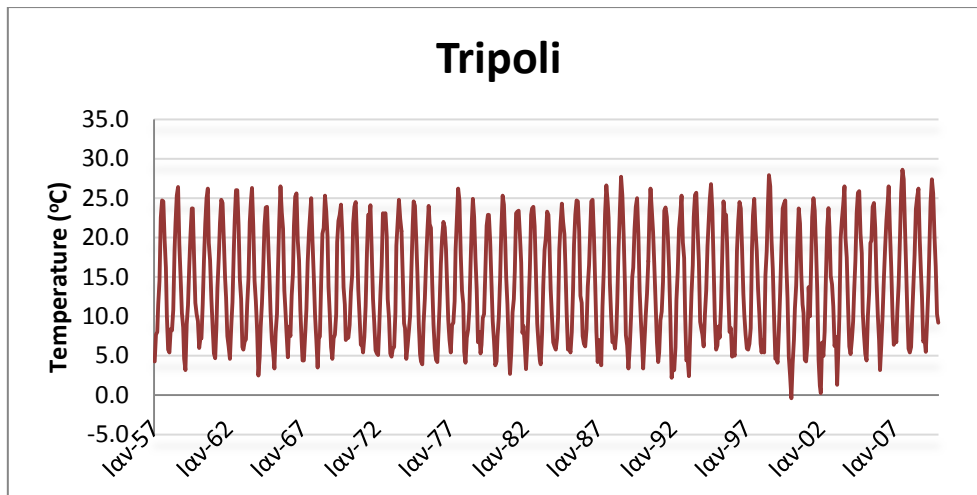
*Διάγραμμα 1.36. Θερμοκρασία για το σταθμό της Τανάγρας*



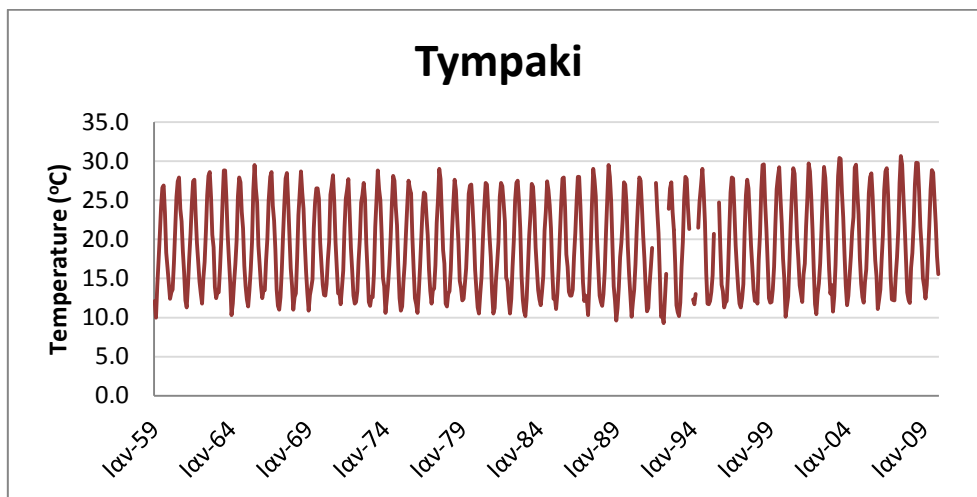
*Διάγραμμα 1.37. Θερμοκρασία για το σταθμό της Θεσσαλονίκης*



*Διάγραμμα 1.38. Θερμοκρασία για το σταθμό των Τρικάλων*



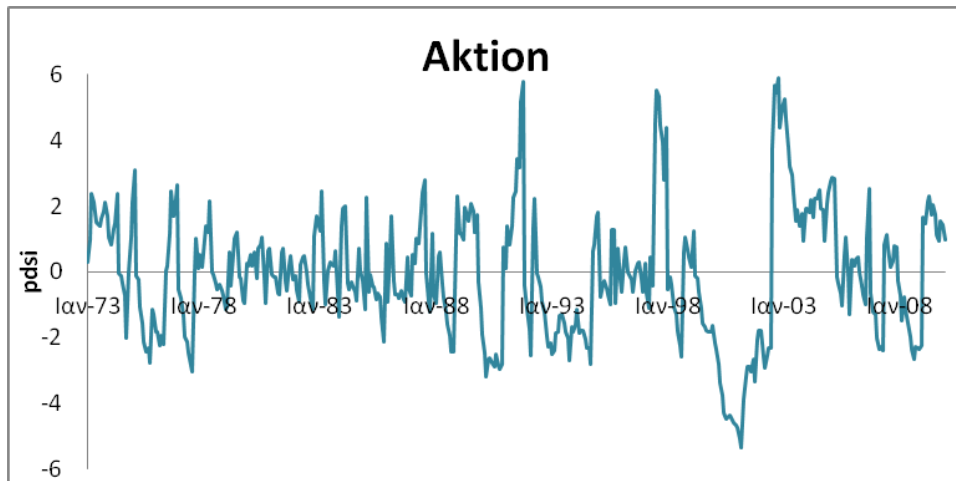
*Διάγραμμα I.39. Θερμοκρασία για το σταθμό της Τρίπολης*



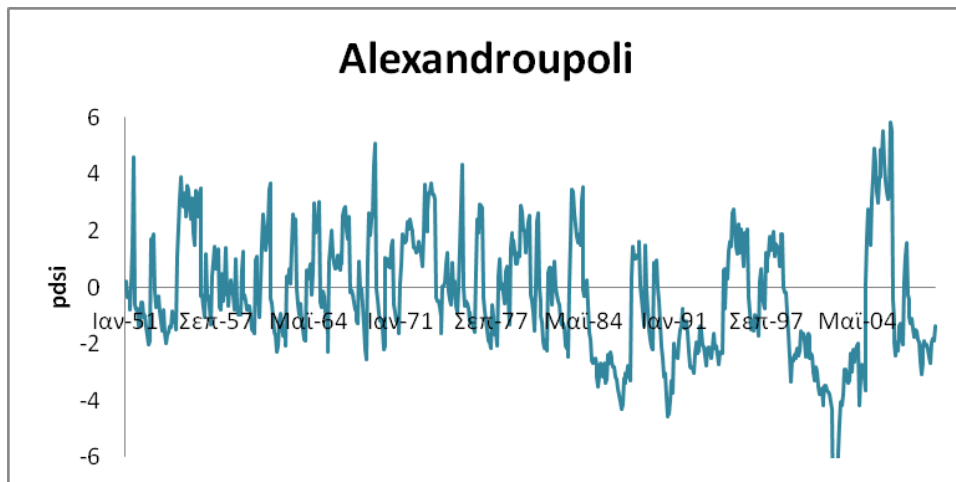
*Διάγραμμα I.40. Θερμοκρασία για το σταθμό του Τυμπακίου*

## Παράρτημα III

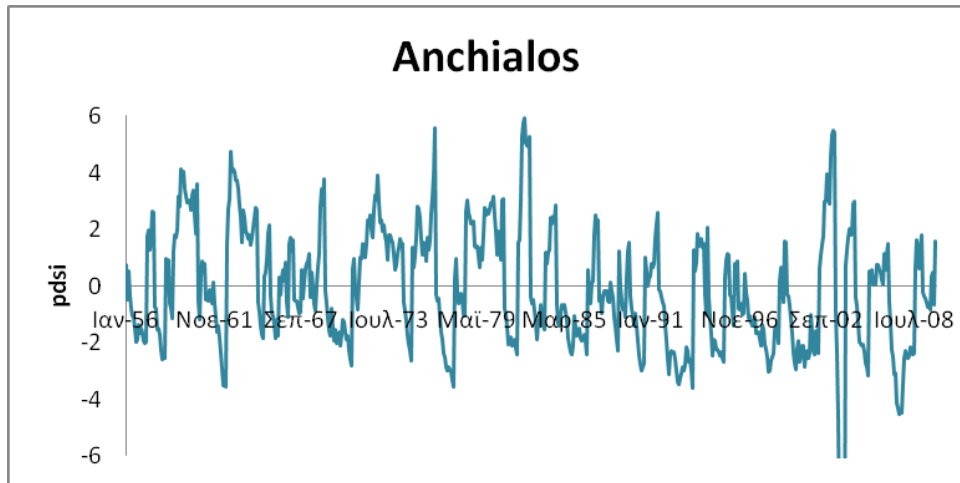
### Δείκτης PDSI



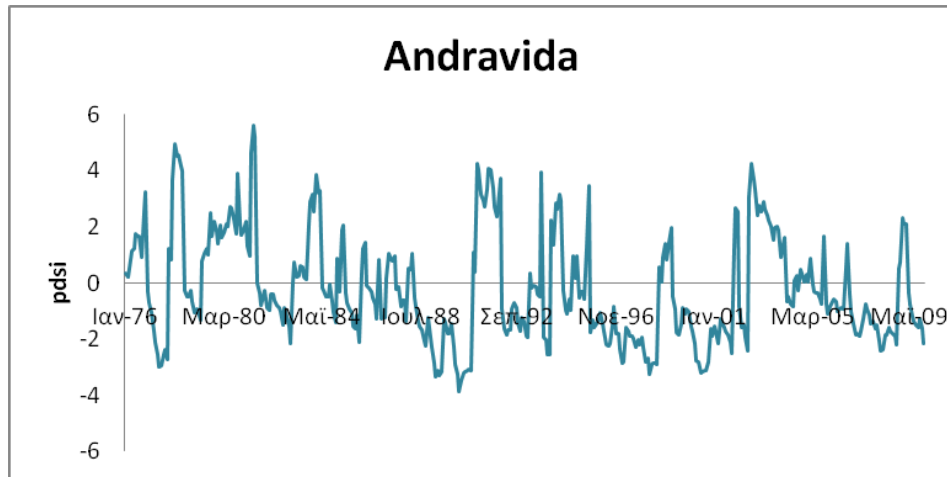
*Διάγραμμα III.1. Ο δείκτης PDSI για το σταθμό του Ακτίου*



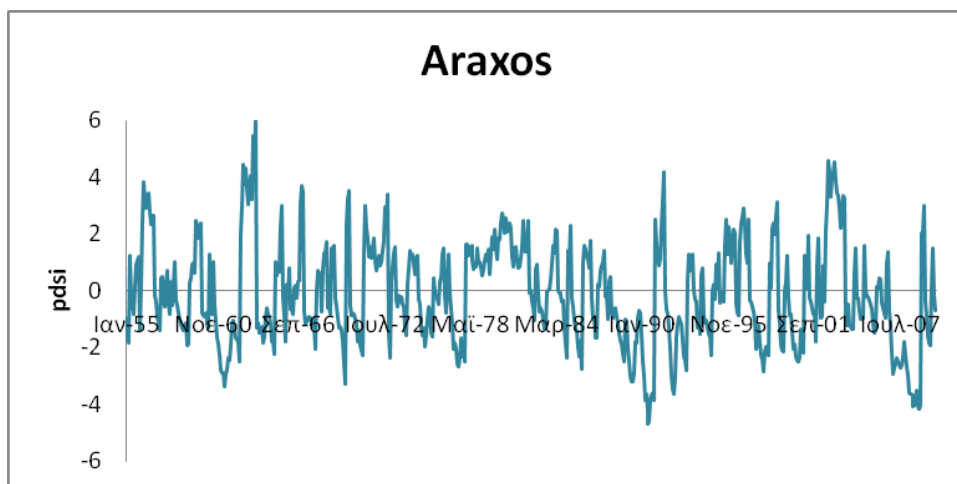
*Διάγραμμα III.2. Ο δείκτης PDSI για το σταθμό της Αλεξανδρούπολης*



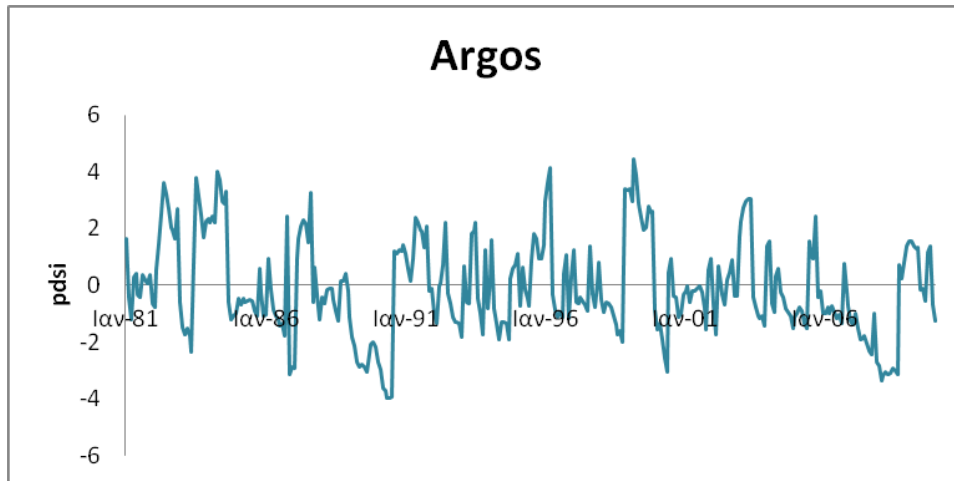
*Διάγραμμα III.3. Ο δείκτης PDSI για το σταθμό της Αγκιάλου*



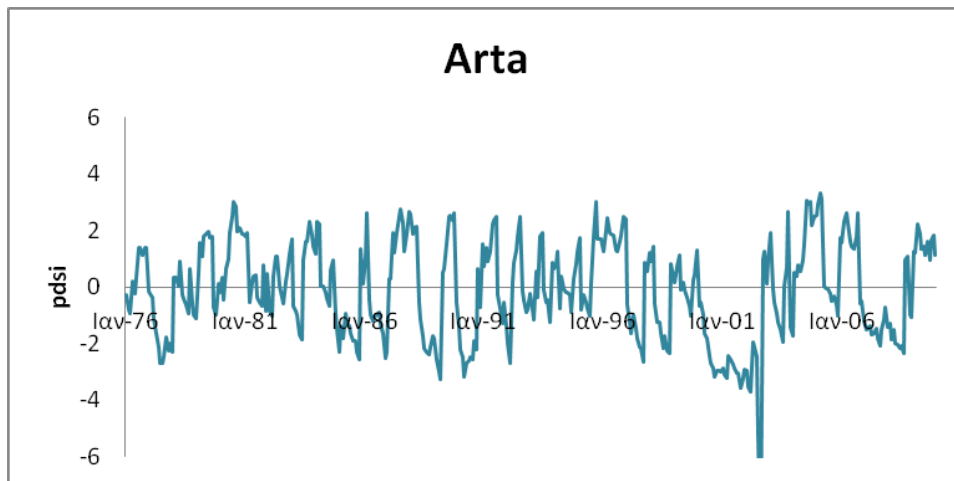
*Διάγραμμα III.4. Ο δείκτης PDSI για το σταθμό της Ανδραβίδας*



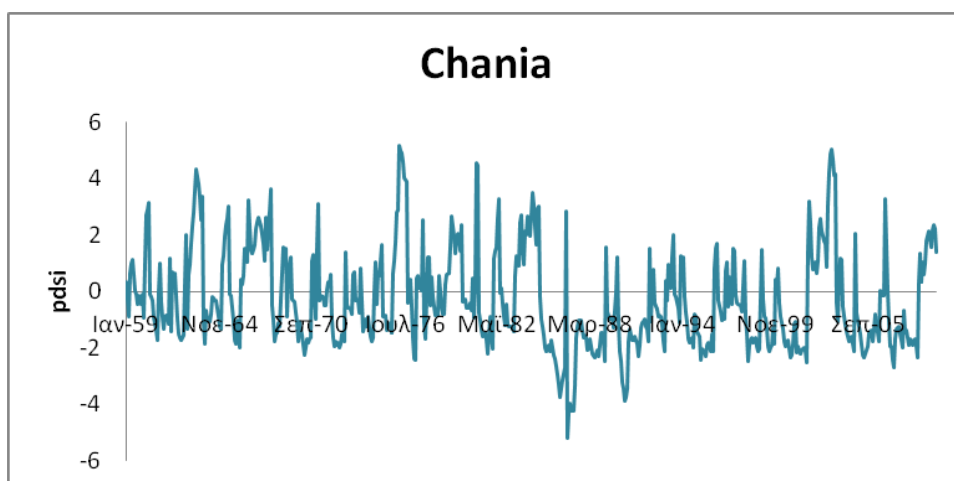
*Διάγραμμα III.5. Ο δείκτης PDSI για το σταθμό του Άραξου*



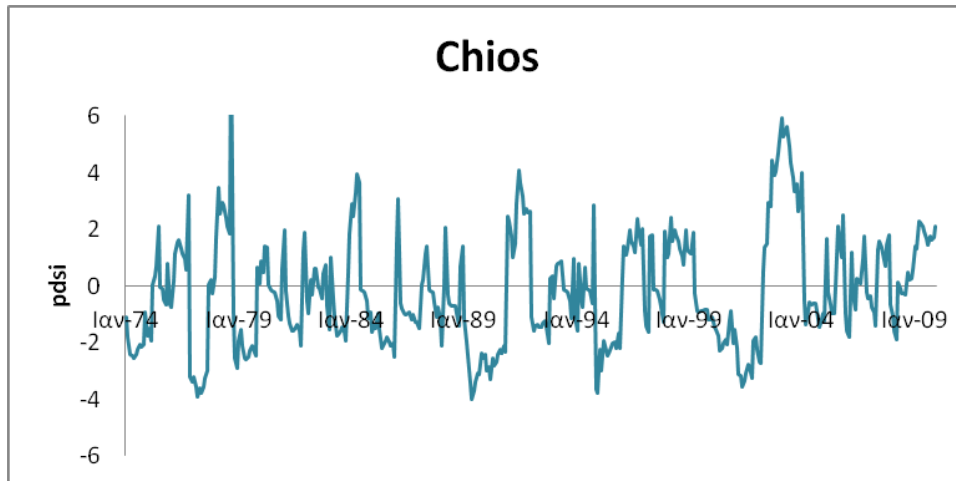
*Διάγραμμα III.6. Ο δείκτης PDSI για το σταθμό του Άργους*



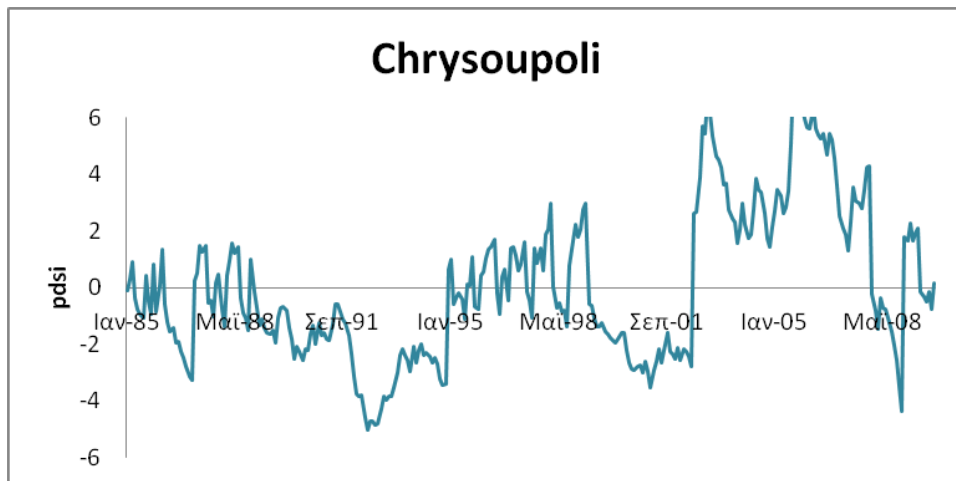
*Διάγραμμα III.7. Ο δείκτης PDSI για το σταθμό της Άρτας*



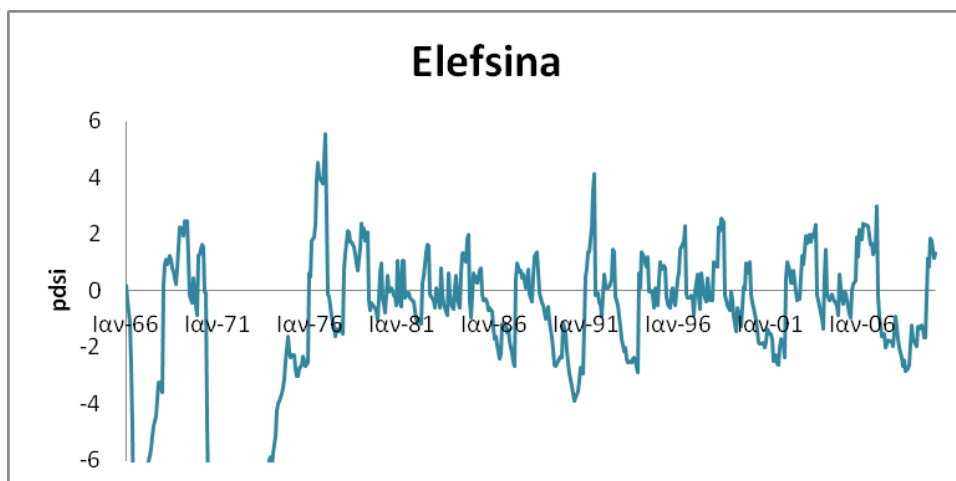
*Διάγραμμα III.8. Ο δείκτης PDSI για το σταθμό των Χανίων*



*Διάγραμμα III.9. Ο δείκτης PDSI για το σταθμό της Χίου*

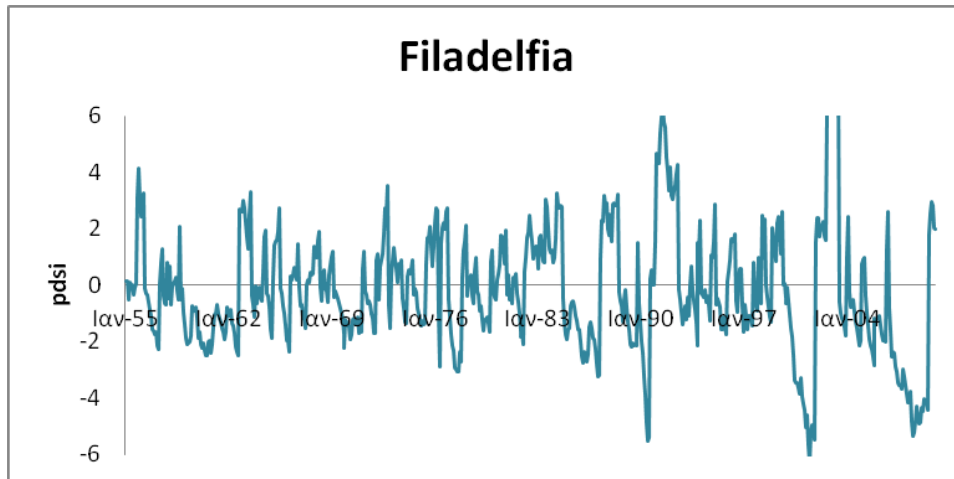


*Διάγραμμα III.10. Ο δείκτης PDSI για το σταθμό της Χρυσούπολης*

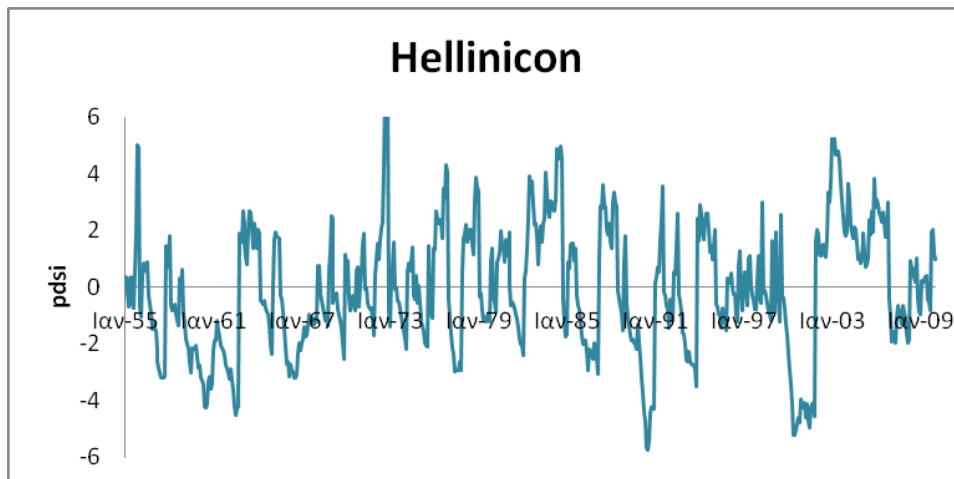


*Διάγραμμα III.11. Ο δείκτης PDSI για το σταθμό της Ελευσίνας*

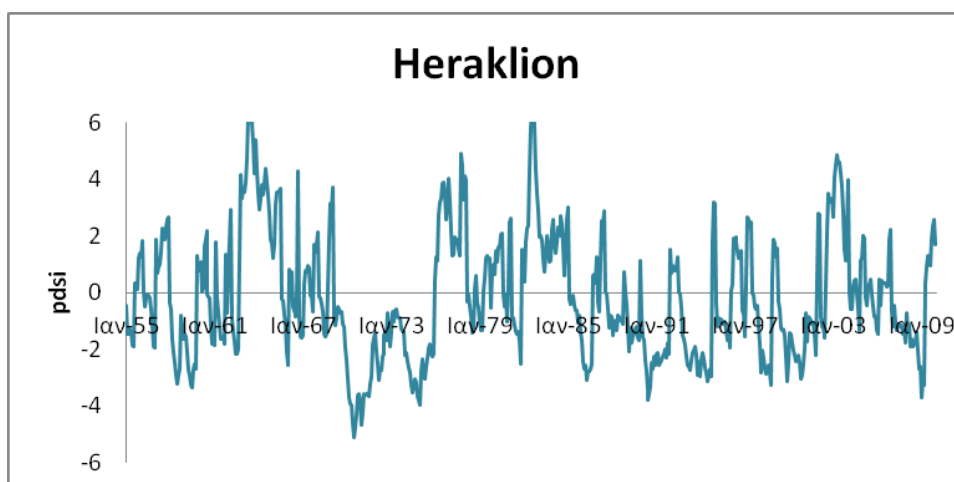




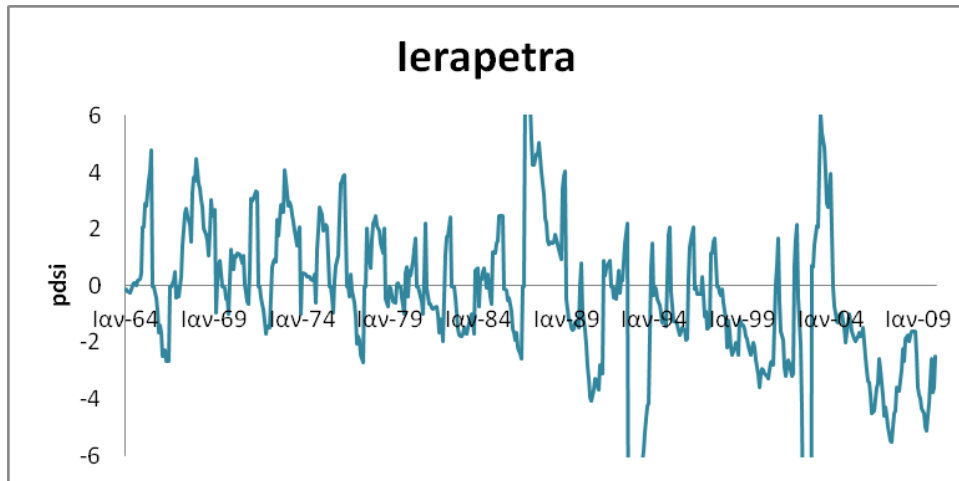
*Διάγραμμα III.12. Ο δείκτης PDSI για το σταθμό της Φιλαδέλφειας*



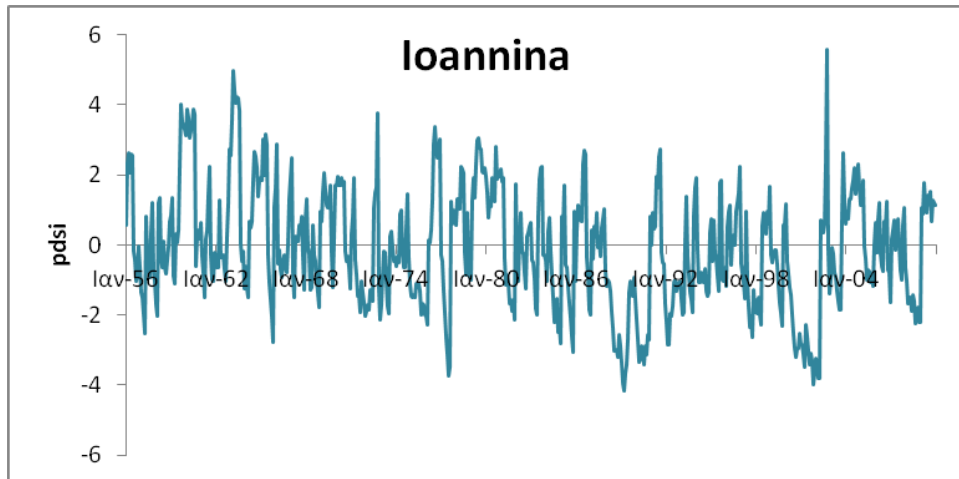
*Διάγραμμα III.13. Ο δείκτης PDSI για το σταθμό του Ελληνικού*



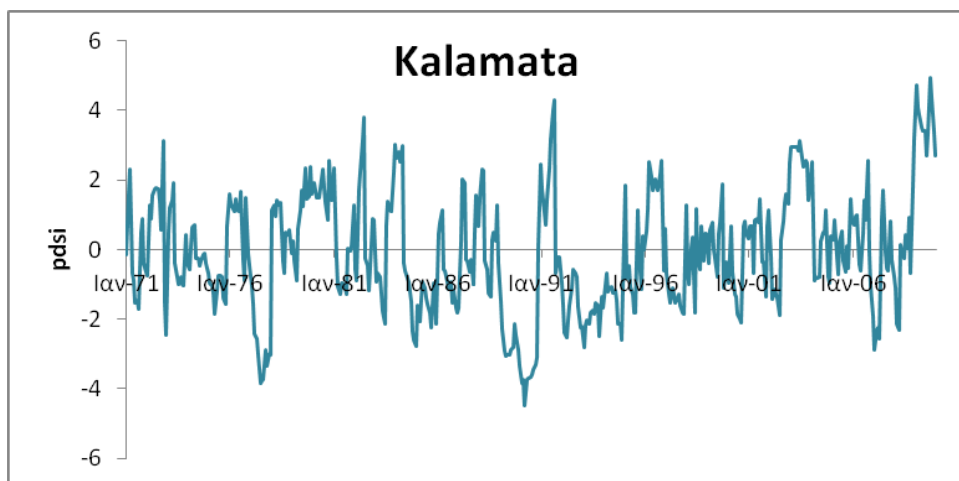
*Διάγραμμα III.14. Ο δείκτης PDSI για το σταθμό του Ηρακλείου*



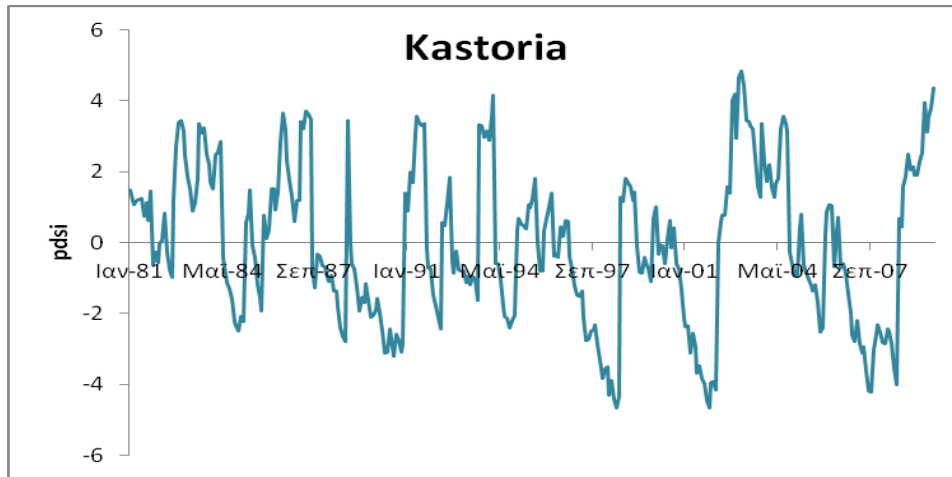
*Διάγραμμα III.15. Ο δείκτης PDSI για το σταθμό της Ιεράπετρας*



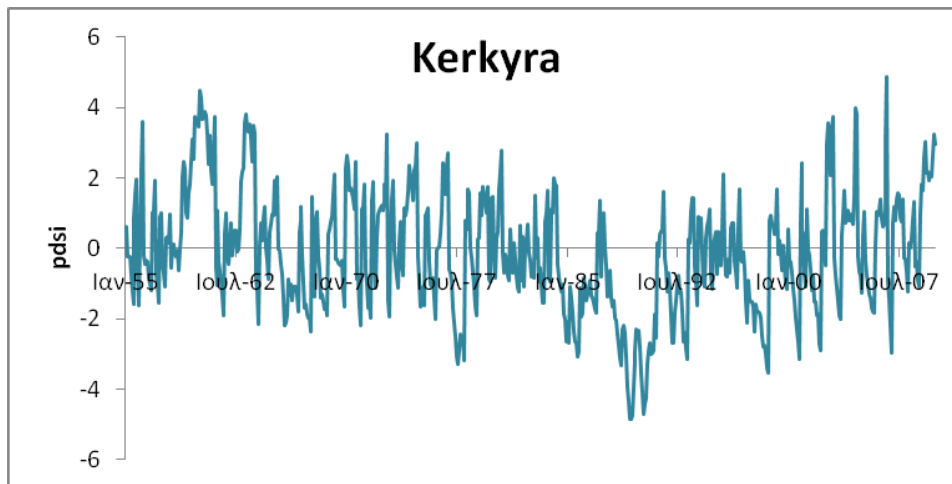
*Διάγραμμα III.16. Ο δείκτης PDSI για το σταθμό των Ιωαννίνων*



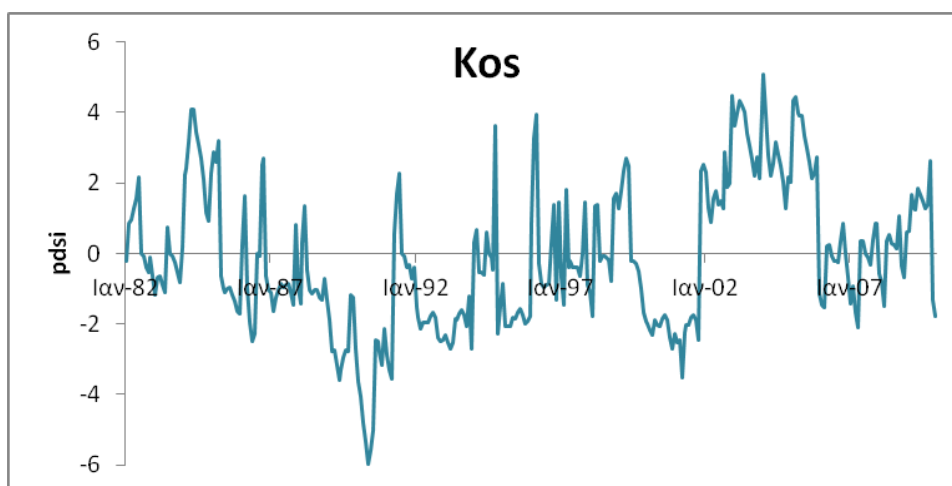
*Διάγραμμα III.17. Ο δείκτης PDSI για το σταθμό της Καλαμάτας*



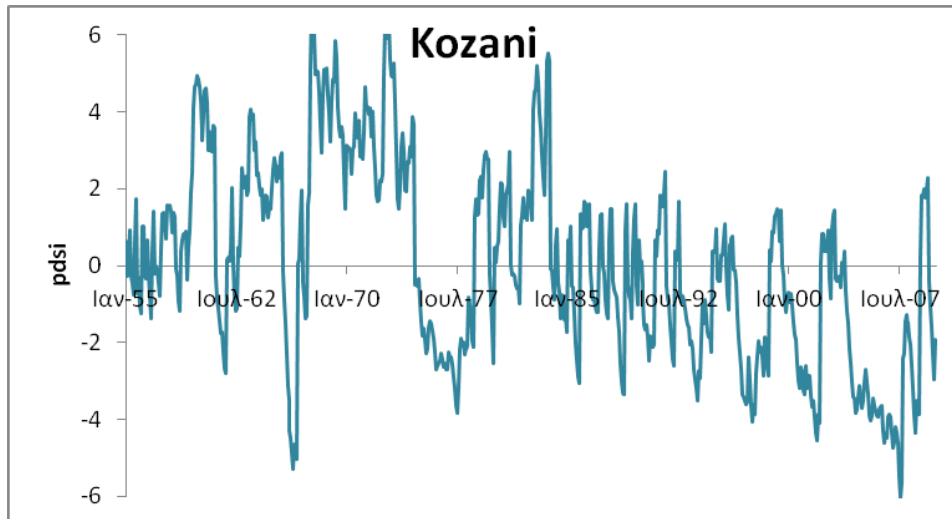
*Διάγραμμα III.18. Ο δείκτης PDSI για το σταθμό της Καστοριάς*



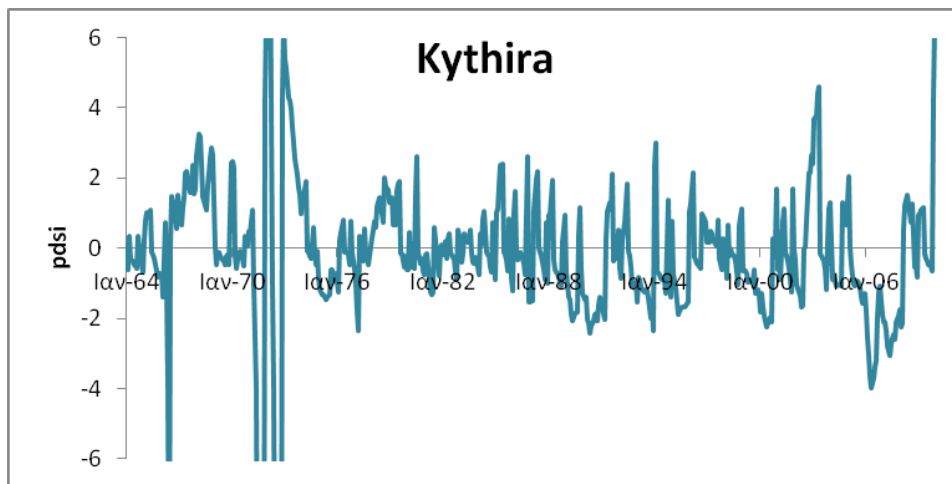
*Διάγραμμα III.19. Ο δείκτης PDSI για το σταθμό της Κέρκυρας*



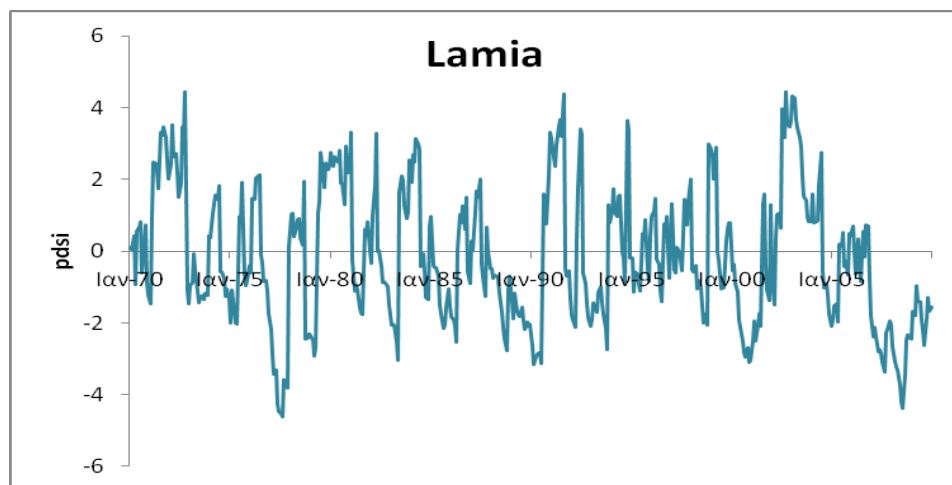
*Διάγραμμα III.20. Ο δείκτης PDSI για το σταθμό της Κω*



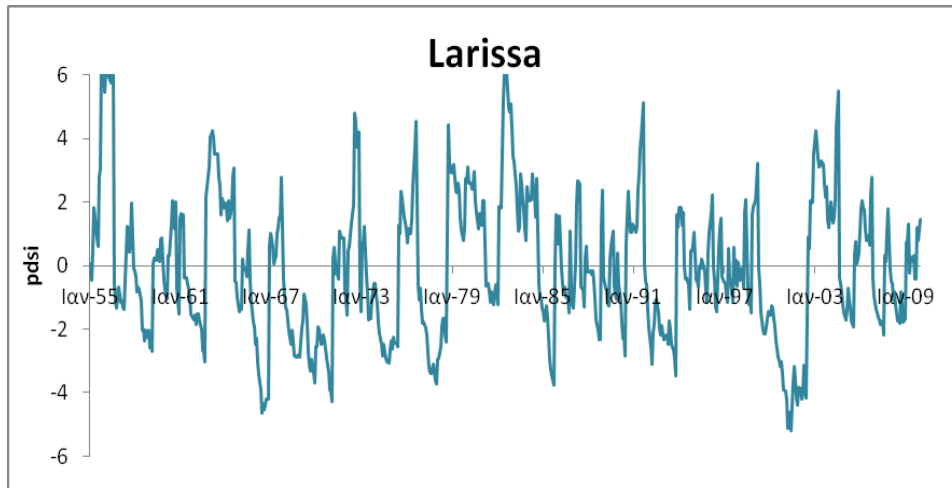
*Διάγραμμα III.21. Ο δείκτης PDSI για το σταθμό της Κοζάνης*



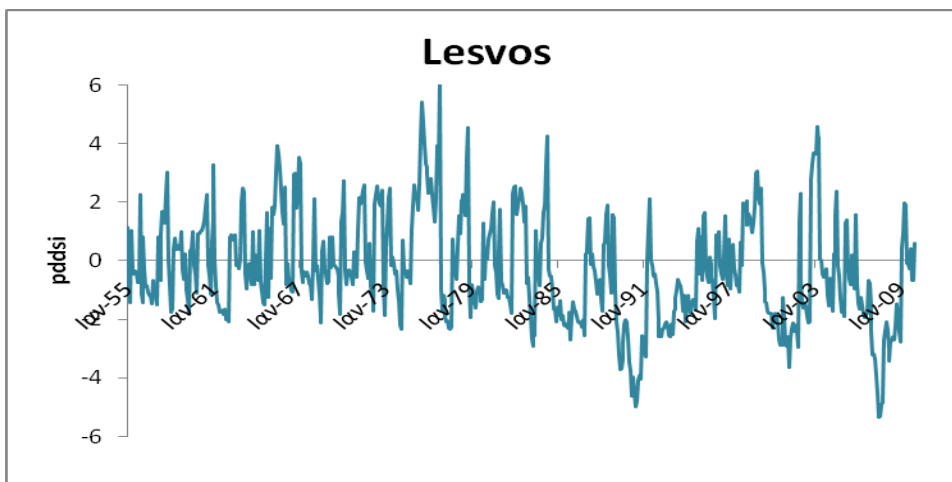
*Διάγραμμα III.22. Ο δείκτης PDSI για το σταθμό των Κυθήρων*



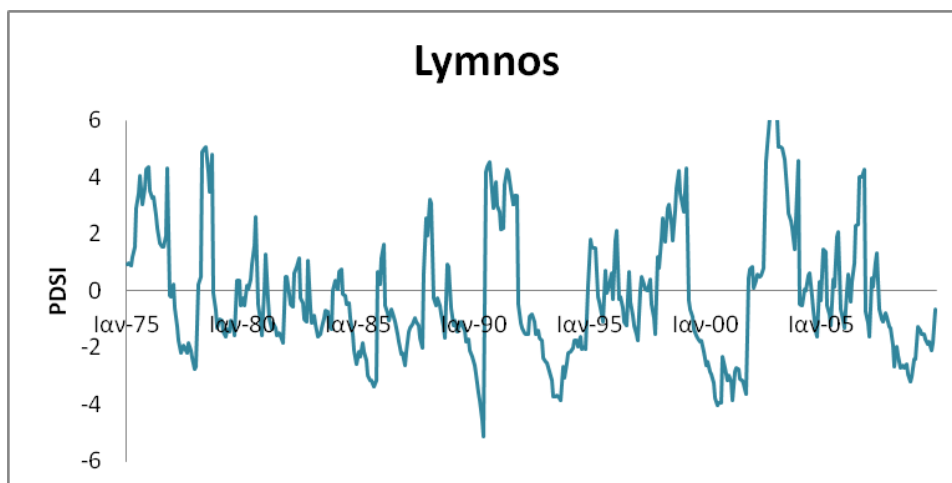
*Διάγραμμα III.23. Ο δείκτης PDSI για το σταθμό της Λαμίας*



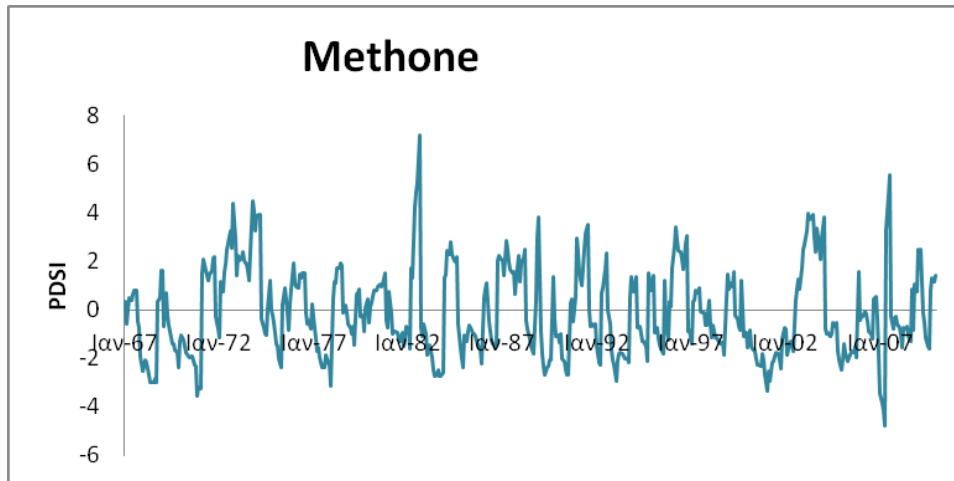
*Διάγραμμα III.24. Ο δείκτης PDSI για το σταθμό της Λάρισας*



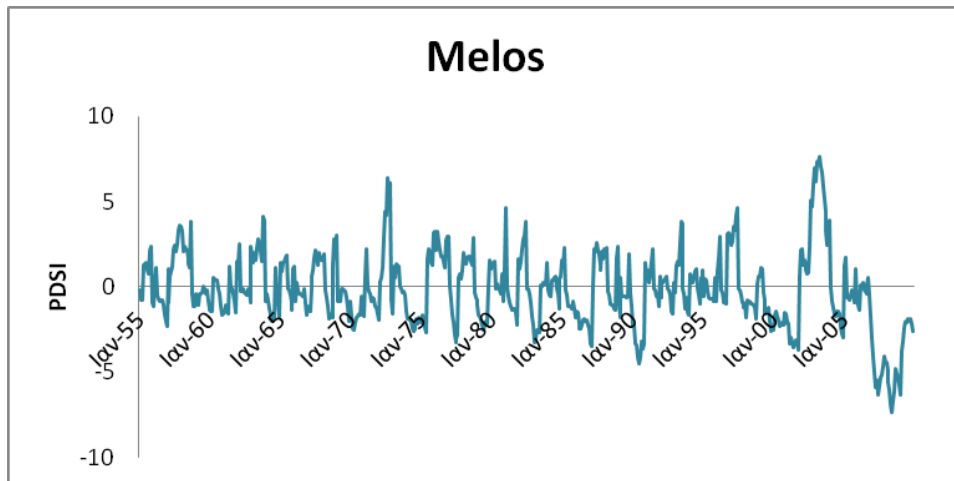
*Διάγραμμα III.25. Ο δείκτης PDSI για το σταθμό της Λέσβου*



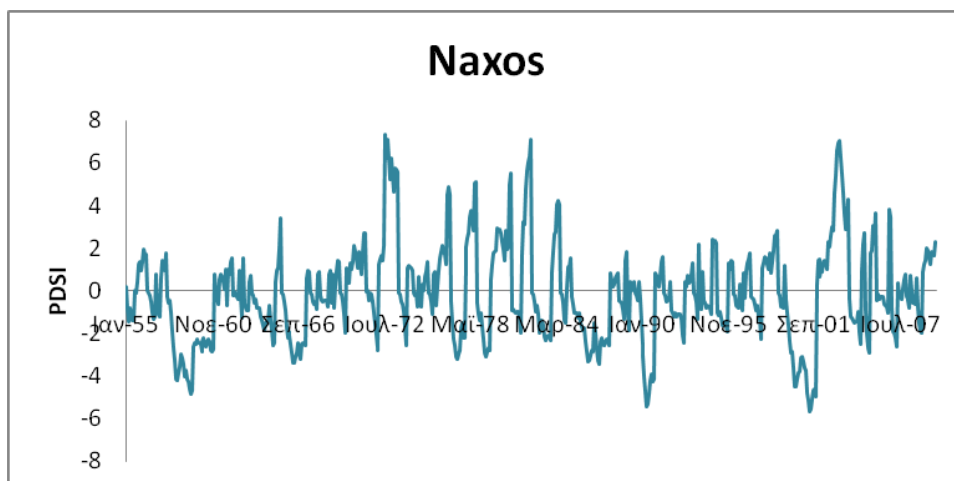
*Διάγραμμα III.26. Ο δείκτης PDSI για το σταθμό της Λήμνου*



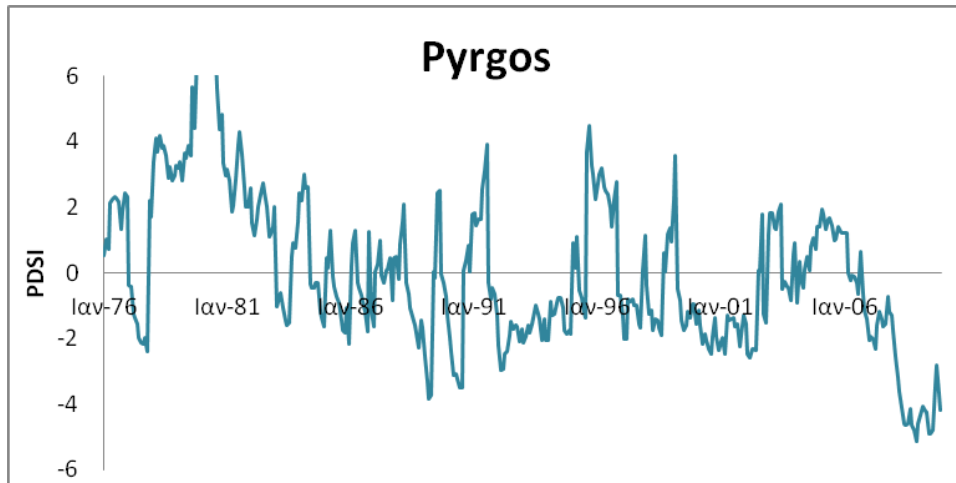
*Διάγραμμα III.27. Ο δείκτης PDSI για το σταθμό της Μεθώνης*



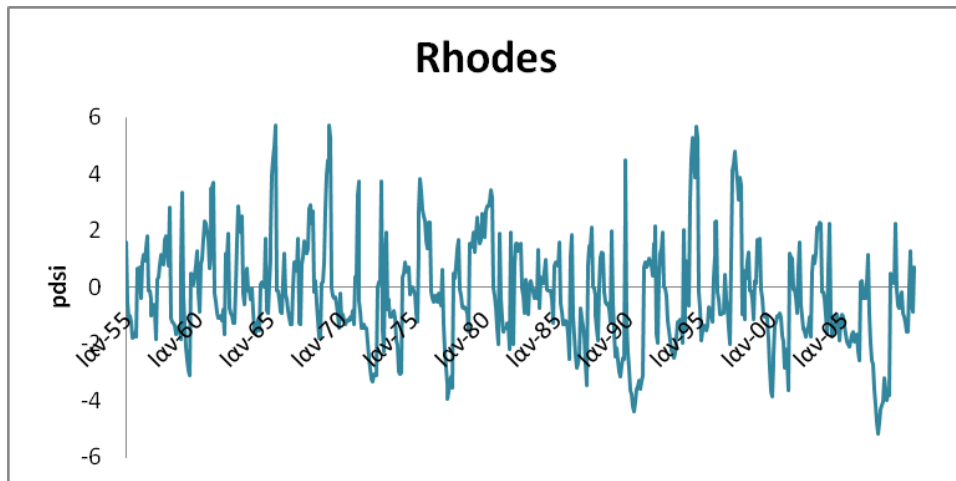
*Διάγραμμα III.28. Ο δείκτης PDSI για το σταθμό της Μήλου*



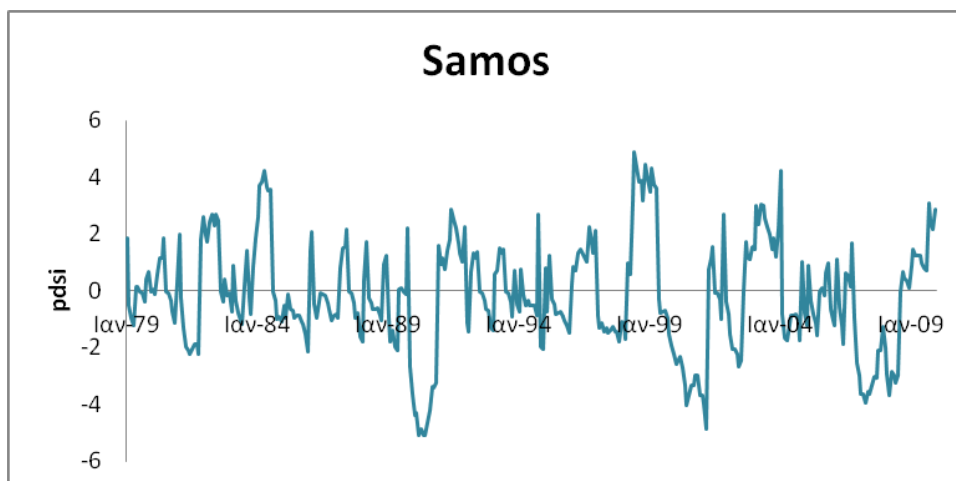
*Διάγραμμα III.29. Ο δείκτης PDSI για το σταθμό της Νάξου*



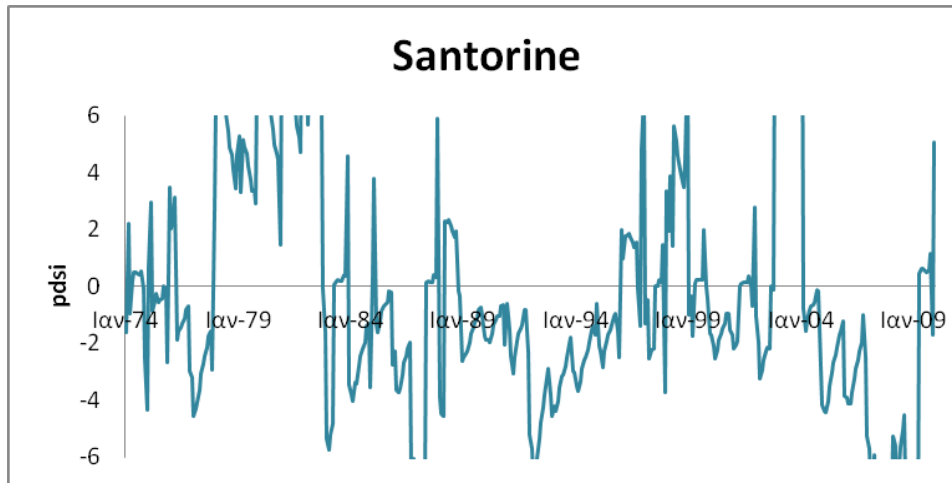
*Διάγραμμα III.30. Ο δείκτης PDSI για το σταθμό του Πύργου*



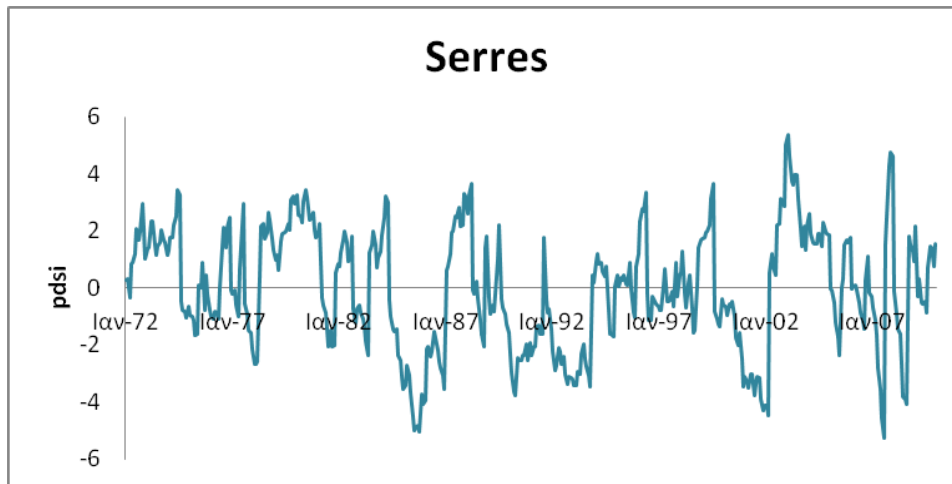
*Διάγραμμα III.31. Ο δείκτης PDSI για το σταθμό της Ρόδου*



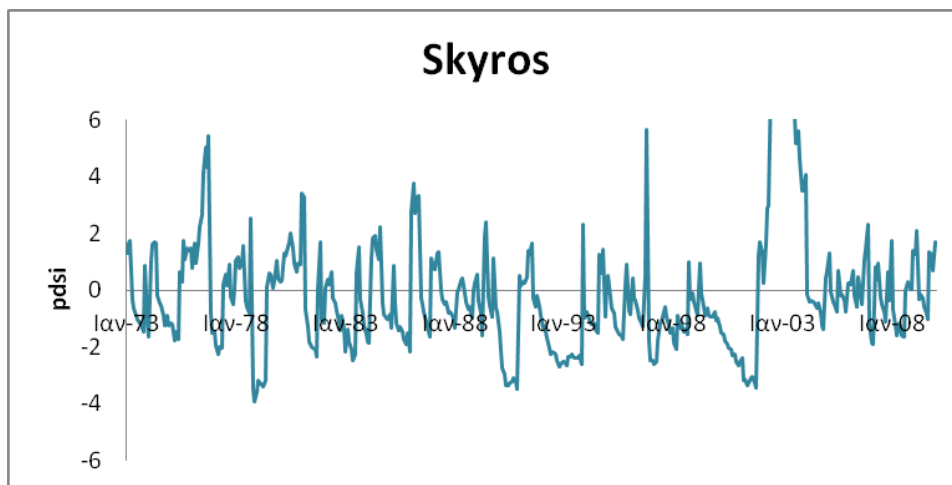
*Διάγραμμα III.32. Ο δείκτης PDSI για το σταθμό της Σάμου*



*Διάγραμμα III.33. Ο δείκτης PDSI για το σταθμό της Σαντορίνης*

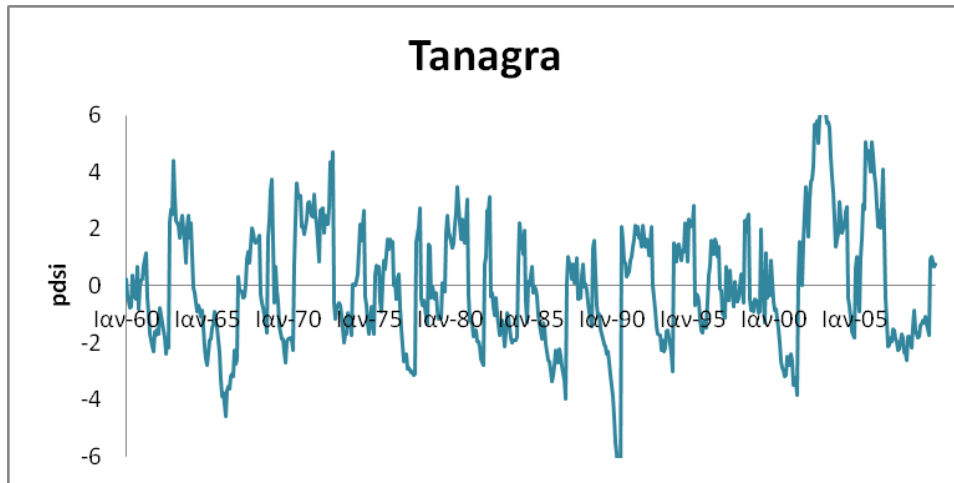


*Διάγραμμα III.34. Ο δείκτης PDSI για το σταθμό των Σερρών*

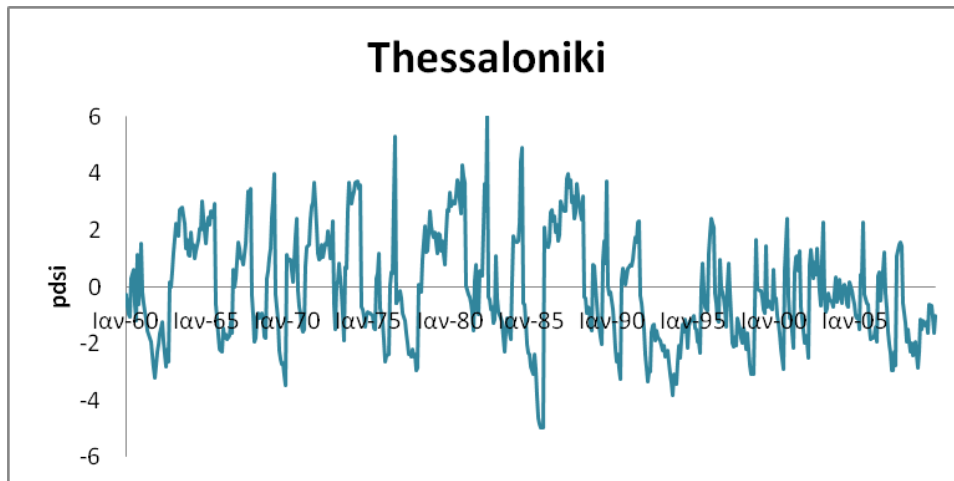


*Διάγραμμα III.35. Ο δείκτης PDSI για το σταθμό της Σκύρου*

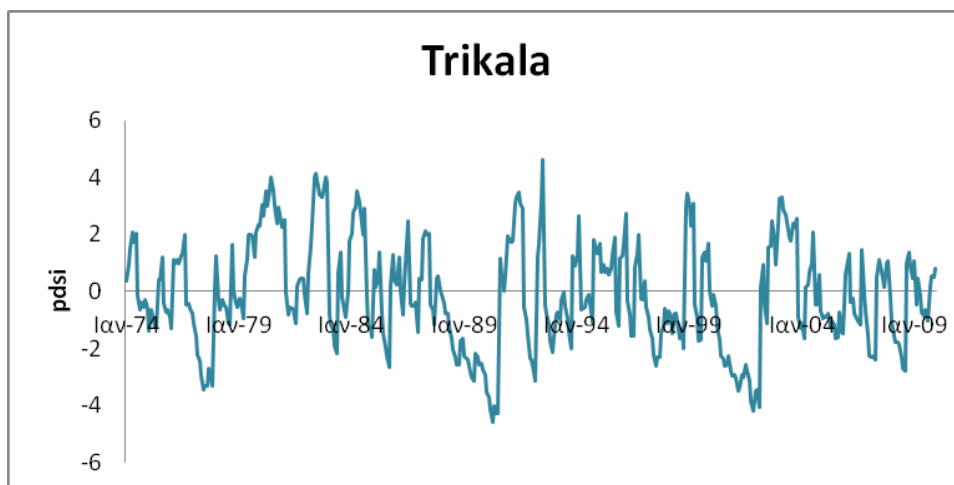




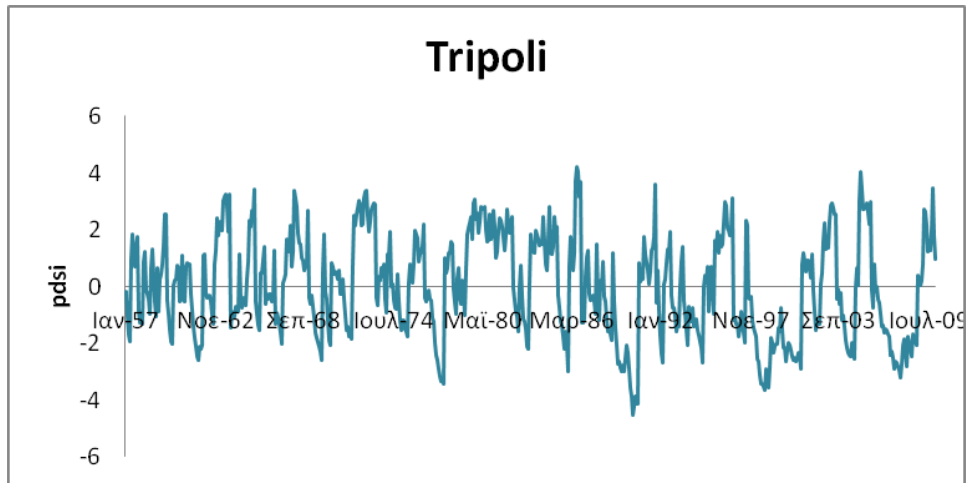
*Διάγραμμα III.36. Ο δείκτης PDSI για το σταθμό της Τανάγρας*



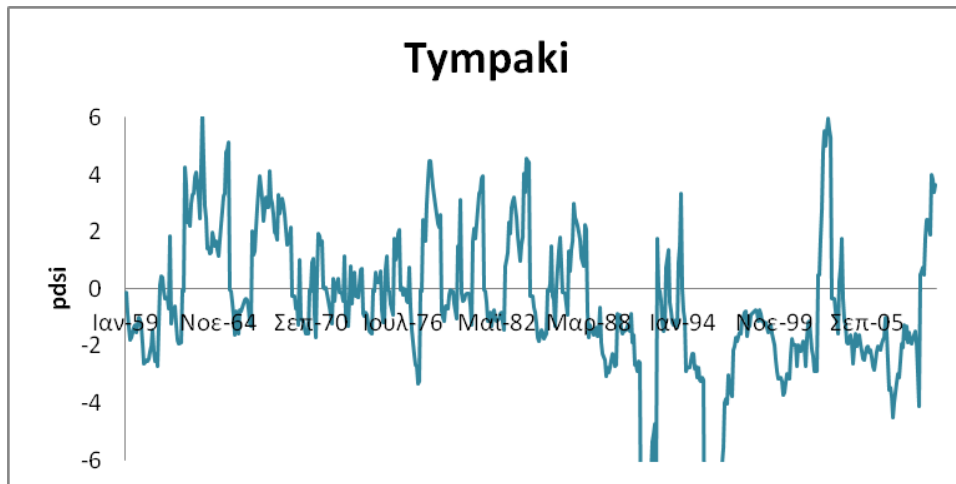
*Διάγραμμα III.37. Ο δείκτης PDSI για το σταθμό της Θεσσαλονίκης*



*Διάγραμμα III.38. Ο δείκτης PDSI για το σταθμό των Τρικάλων*



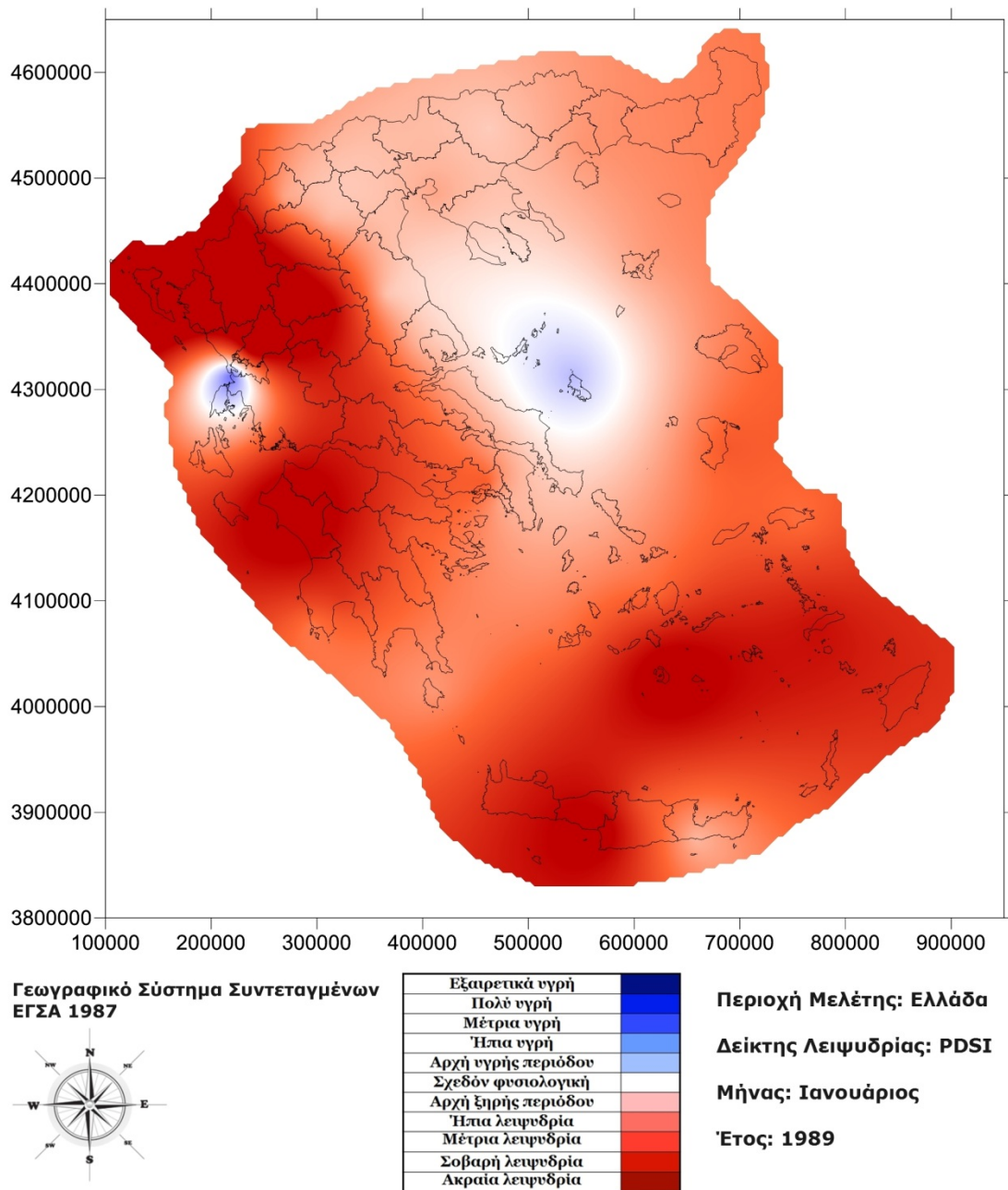
*Διάγραμμα III.39. Ο δείκτης PDSI για το σταθμό της Τρίπολης*



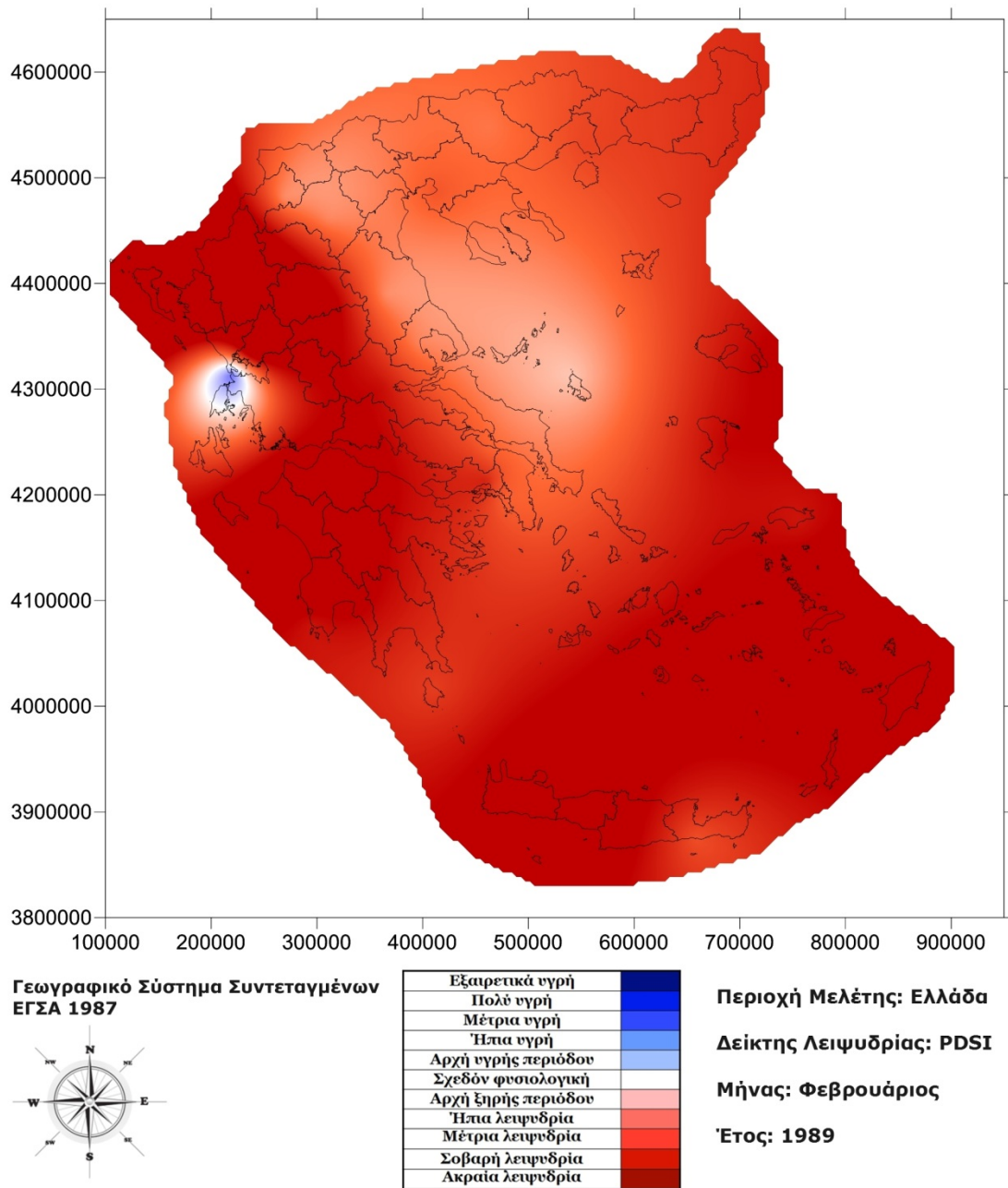
*Διάγραμμα III.40. Ο δείκτης PDSI για το σταθμό του Τυμπάκιου*

## Παράρτημα IV

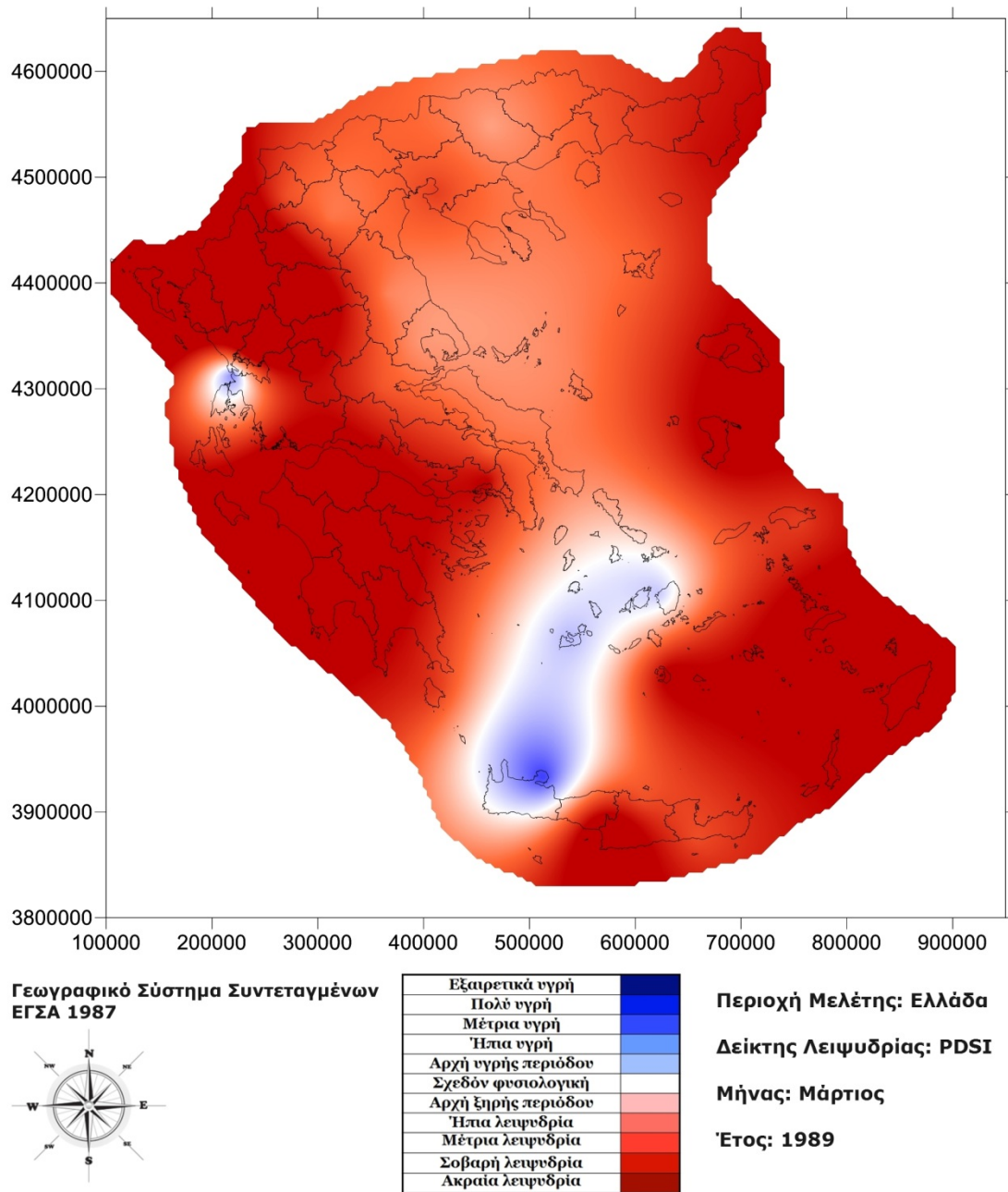
### Γεωστατιστικοί Χάρτες κατανομής PDSI



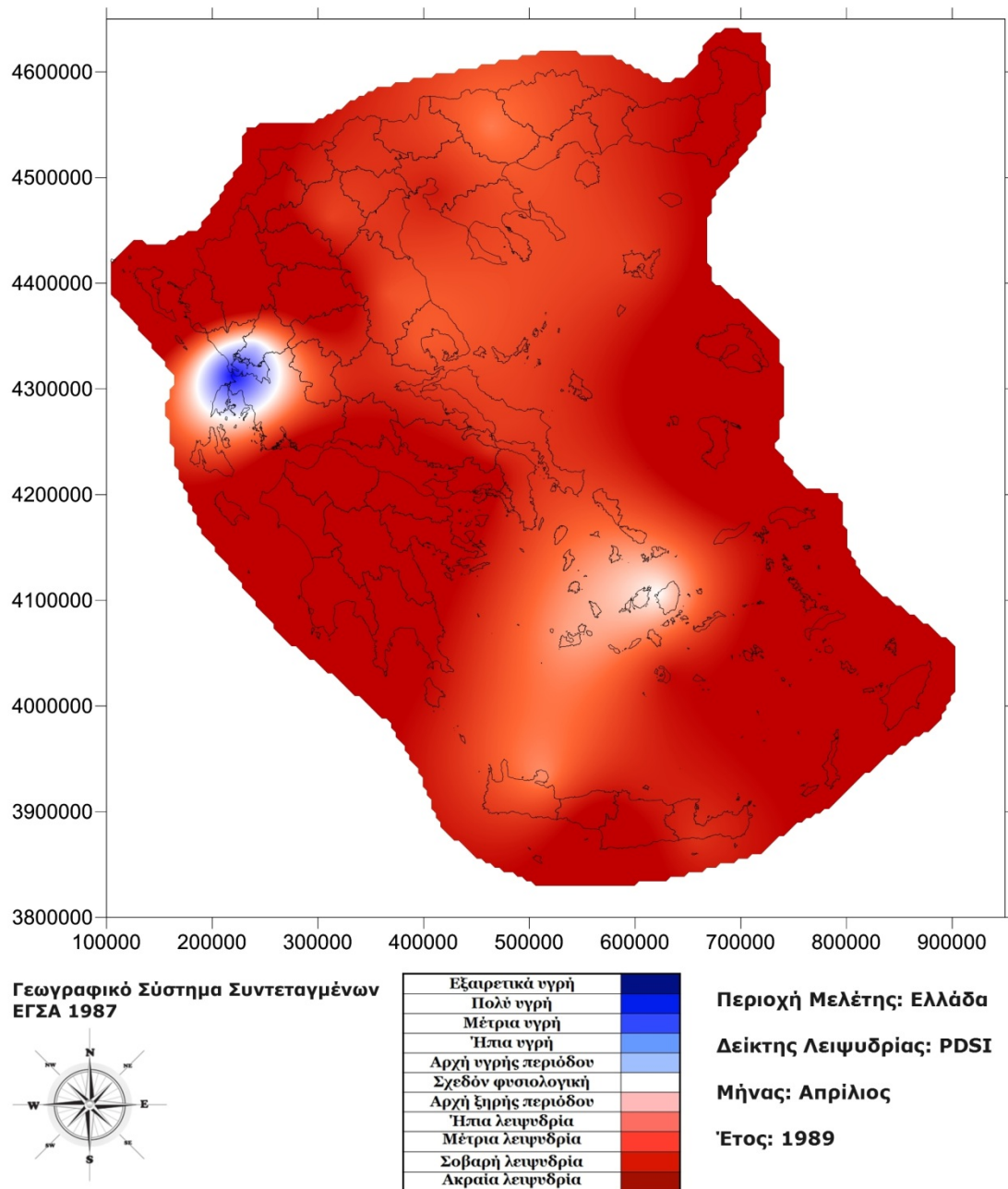
*Εικόνα IV.1. Χάρτης PDSI για τον μήνα Ιανουάριο του 1989 (kriging)*



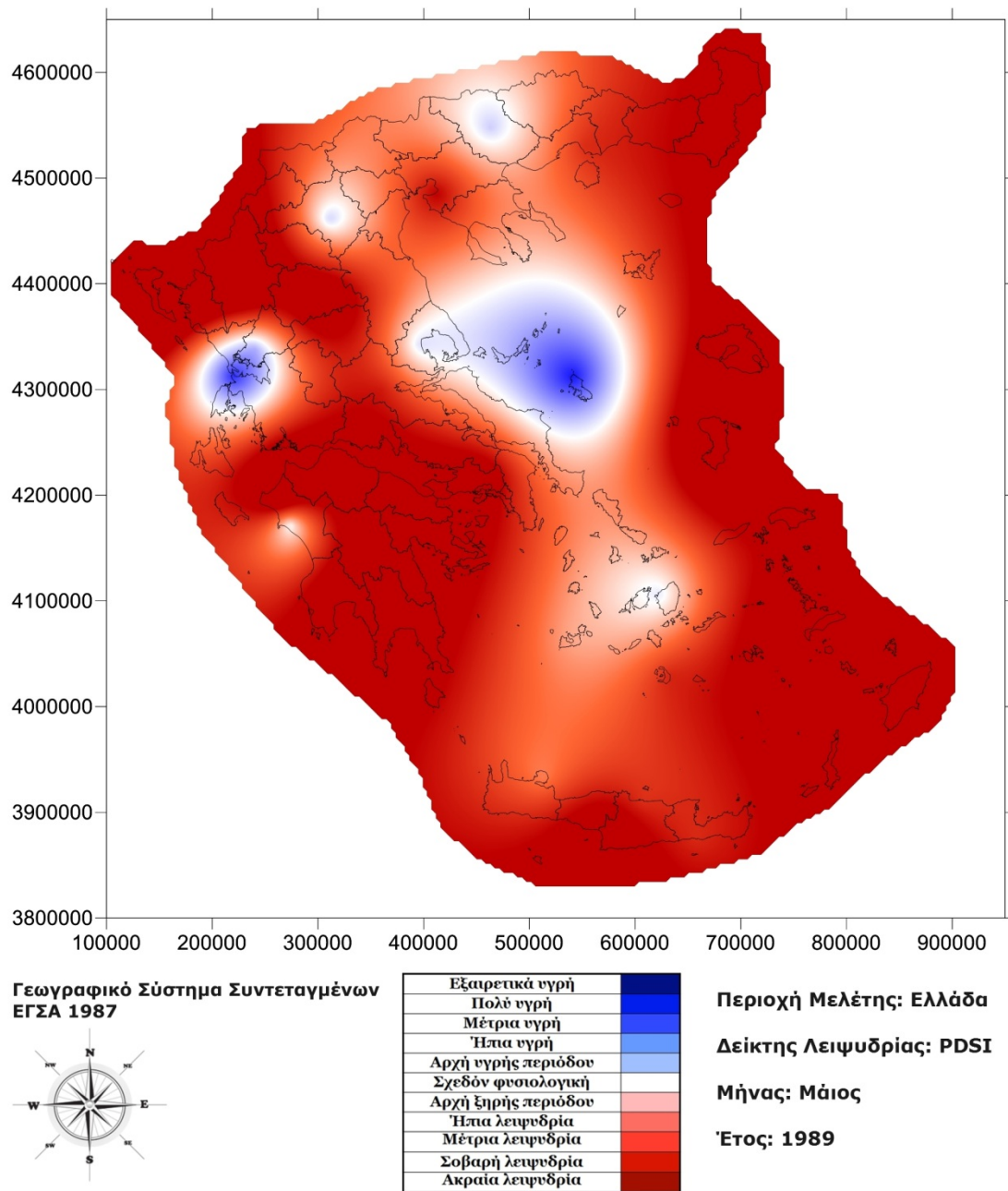
*Εικόνα IV.2. Χάρτης PDSI για τον μήνα Φεβρουάριο του 1989 (kriging)*



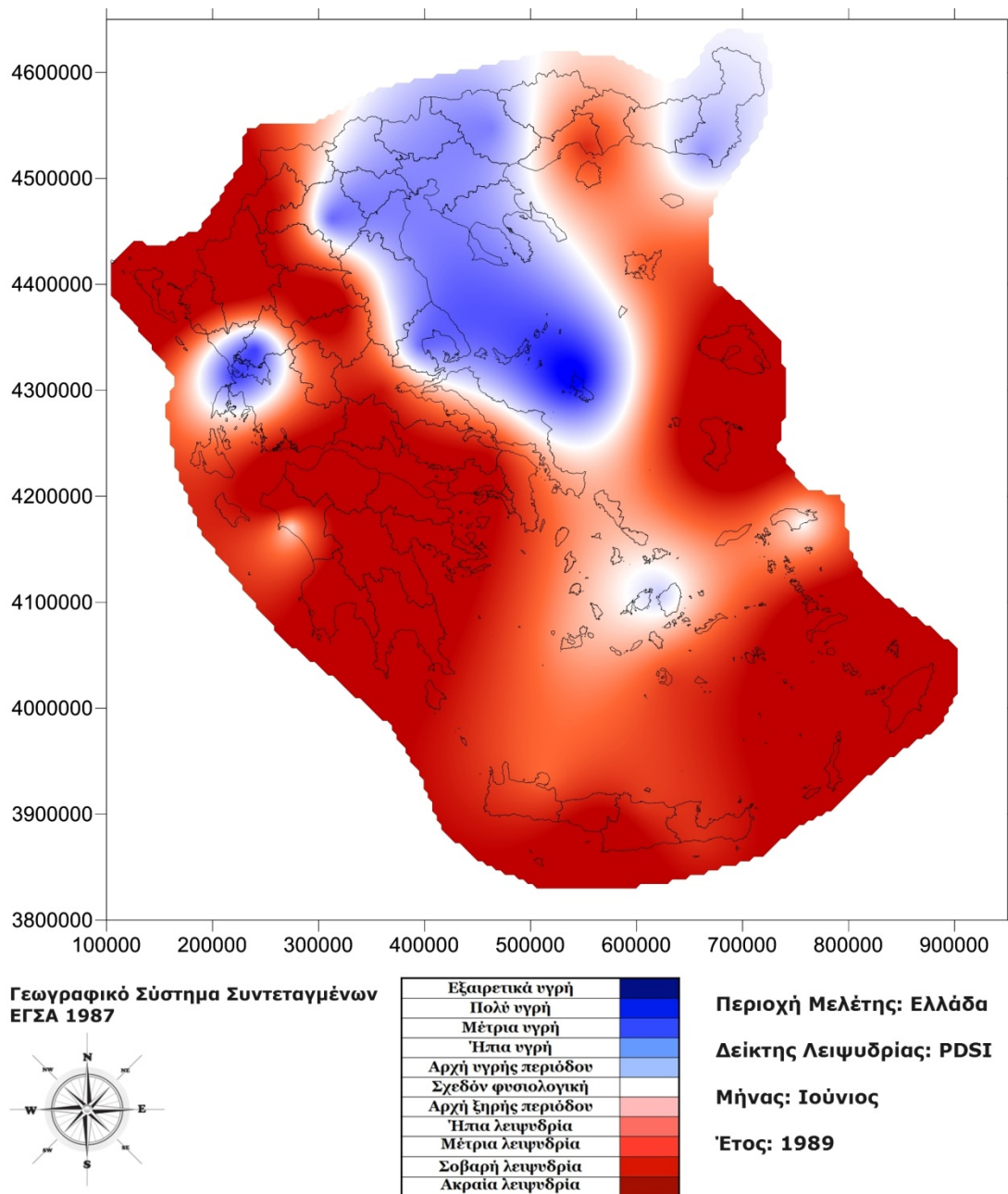
Εικόνα IV.3. Χάρτης PDSI για τον μήνα Μάρτιο του 1989 (kriging)



Εικόνα IV.4. Χάρτης PDSI για τον μήνα Απρίλιο του 1989 (kriging)

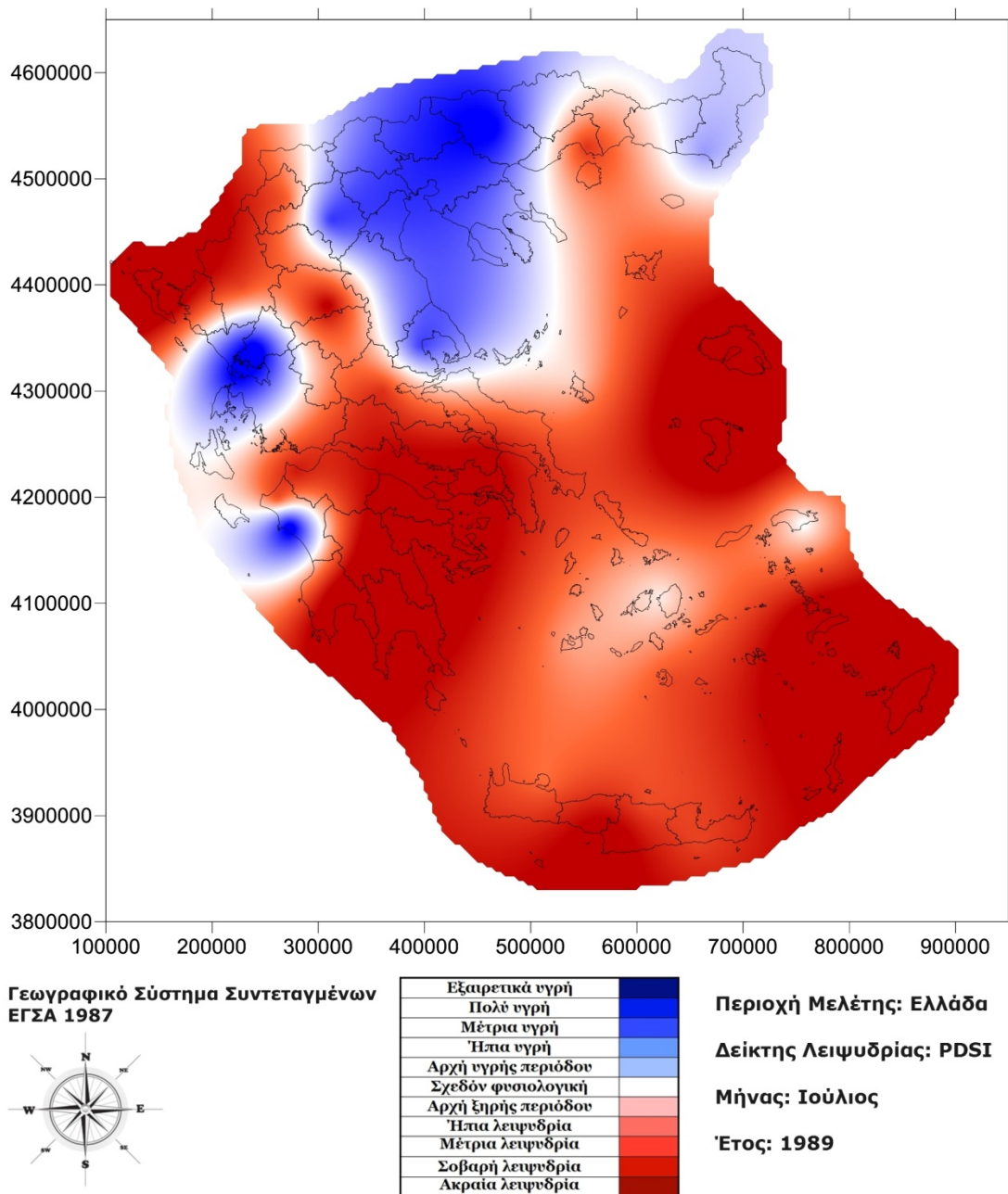


Εικόνα IV.5. Χάρτης PDSI για τον μήνα Μάιο του 1989 (kriging)

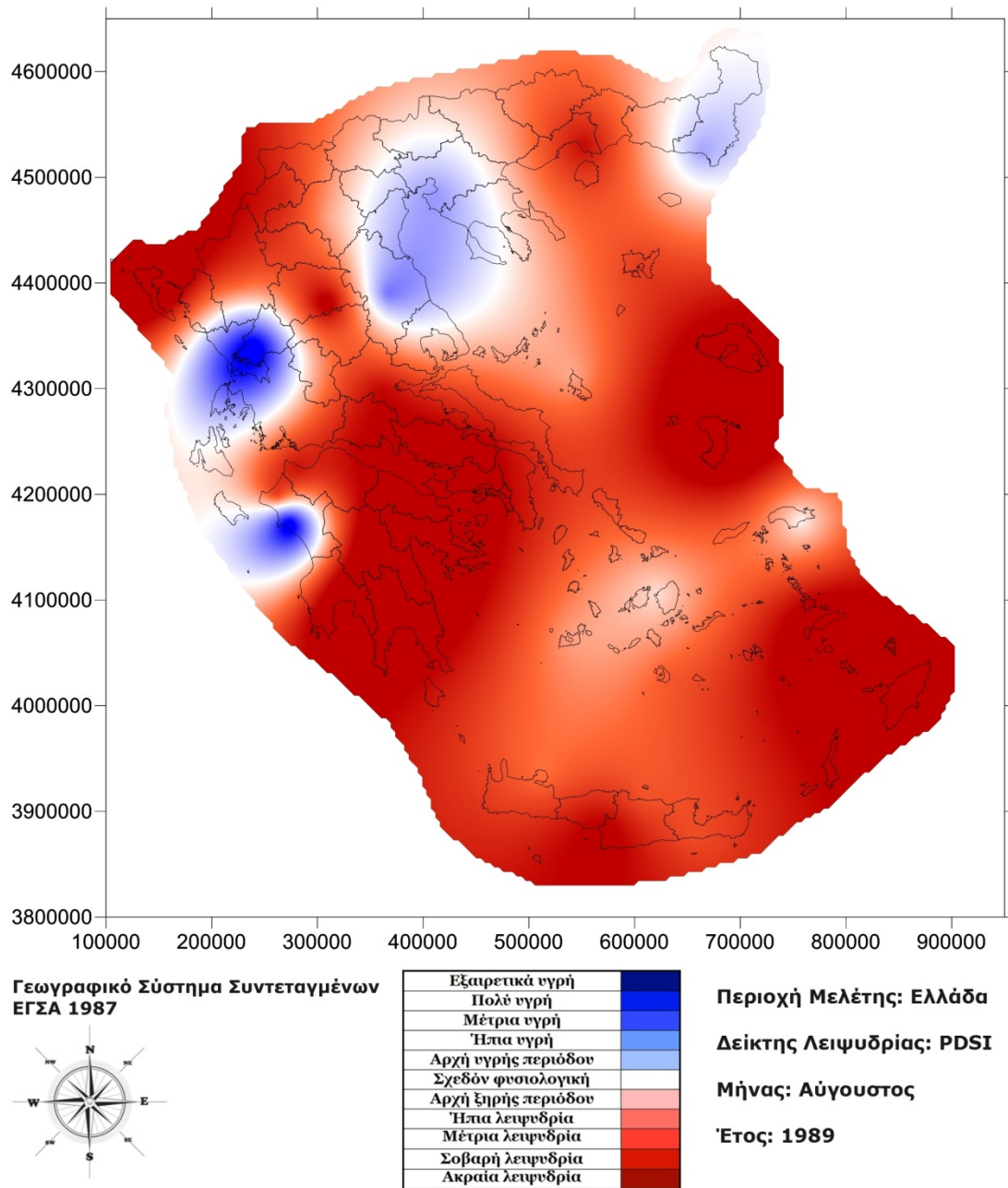


*Εικόνα IV.6. Χάρτης PDSI για τον μήνα Ιούνιο του 1989 (kriging)*

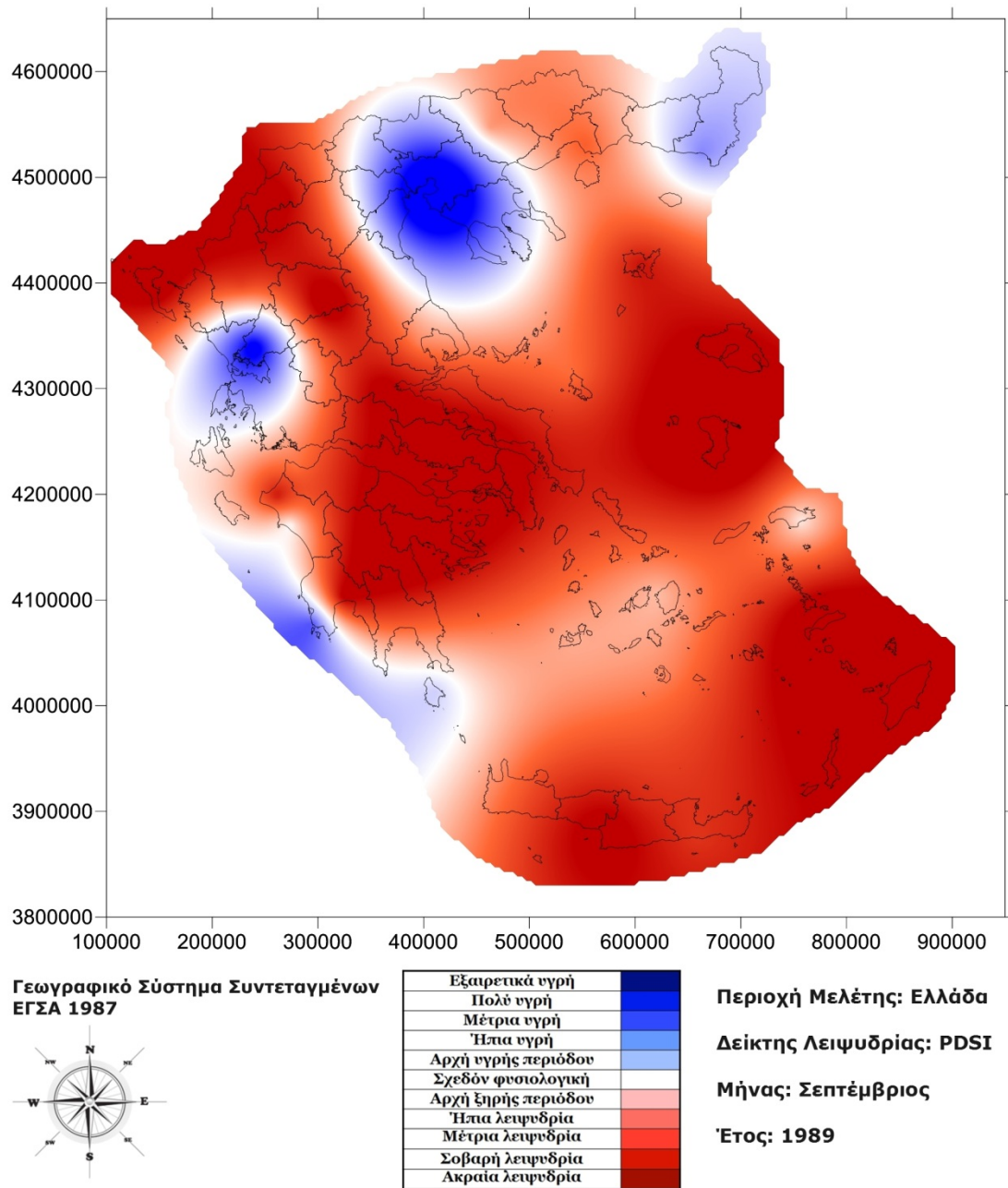




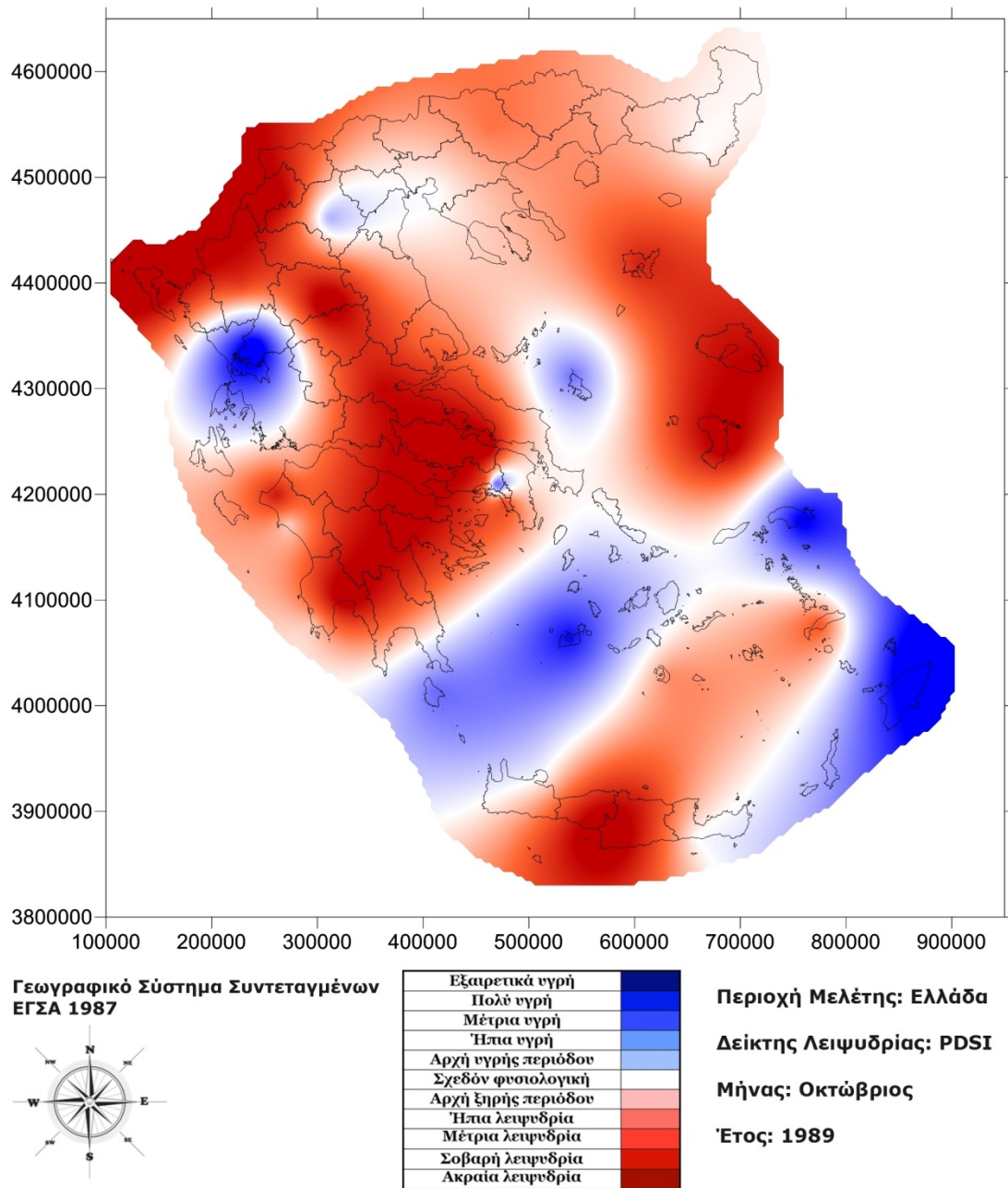
*Εικόνα IV.7. Χάρτης PDSI για τον μήνα Ιούλιο του 1989 (kriging)*



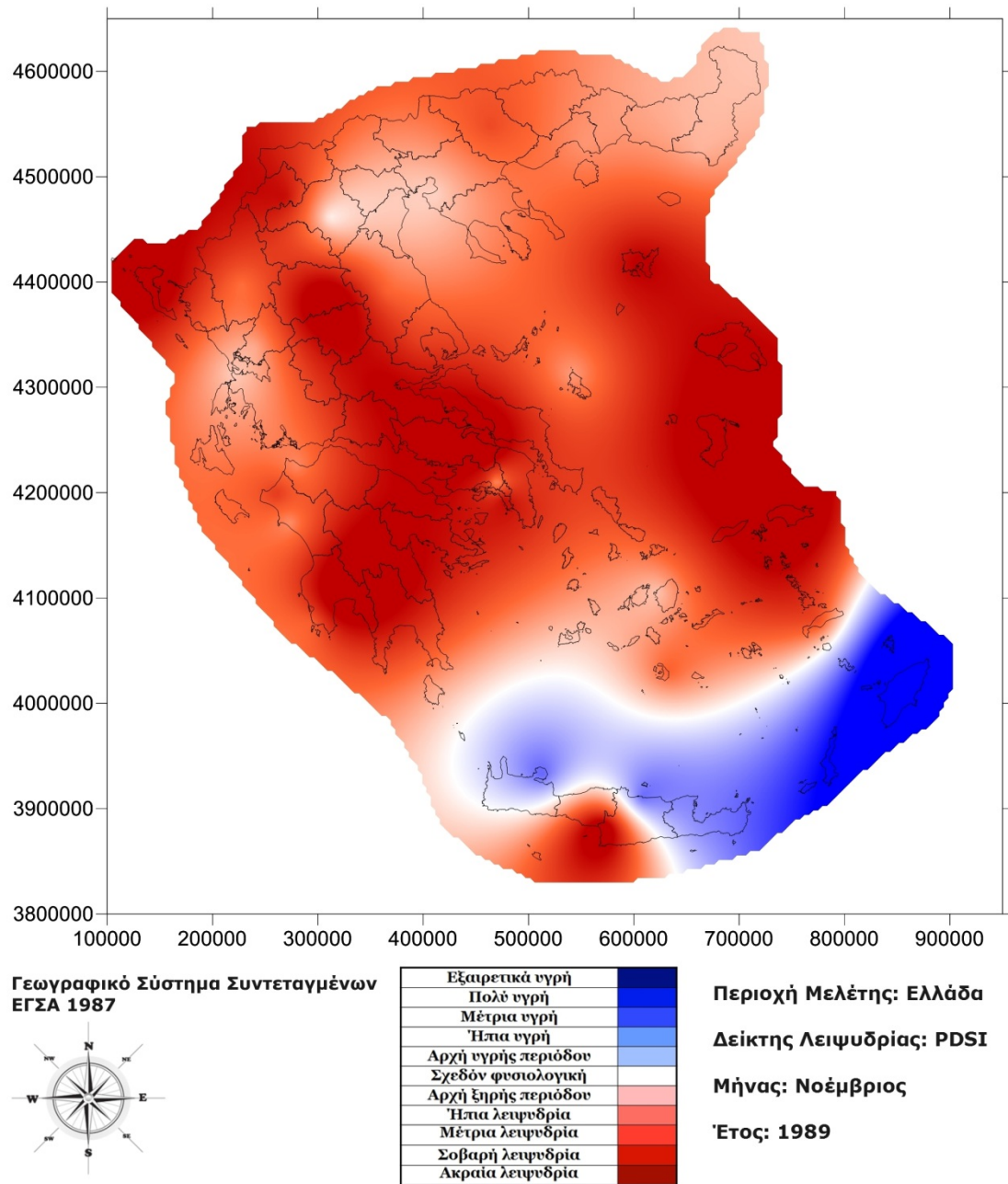
**Εικόνα IV.8. Χάρτης PDSI για τον μήνα Αύγουστο του 1989 (kriging)**



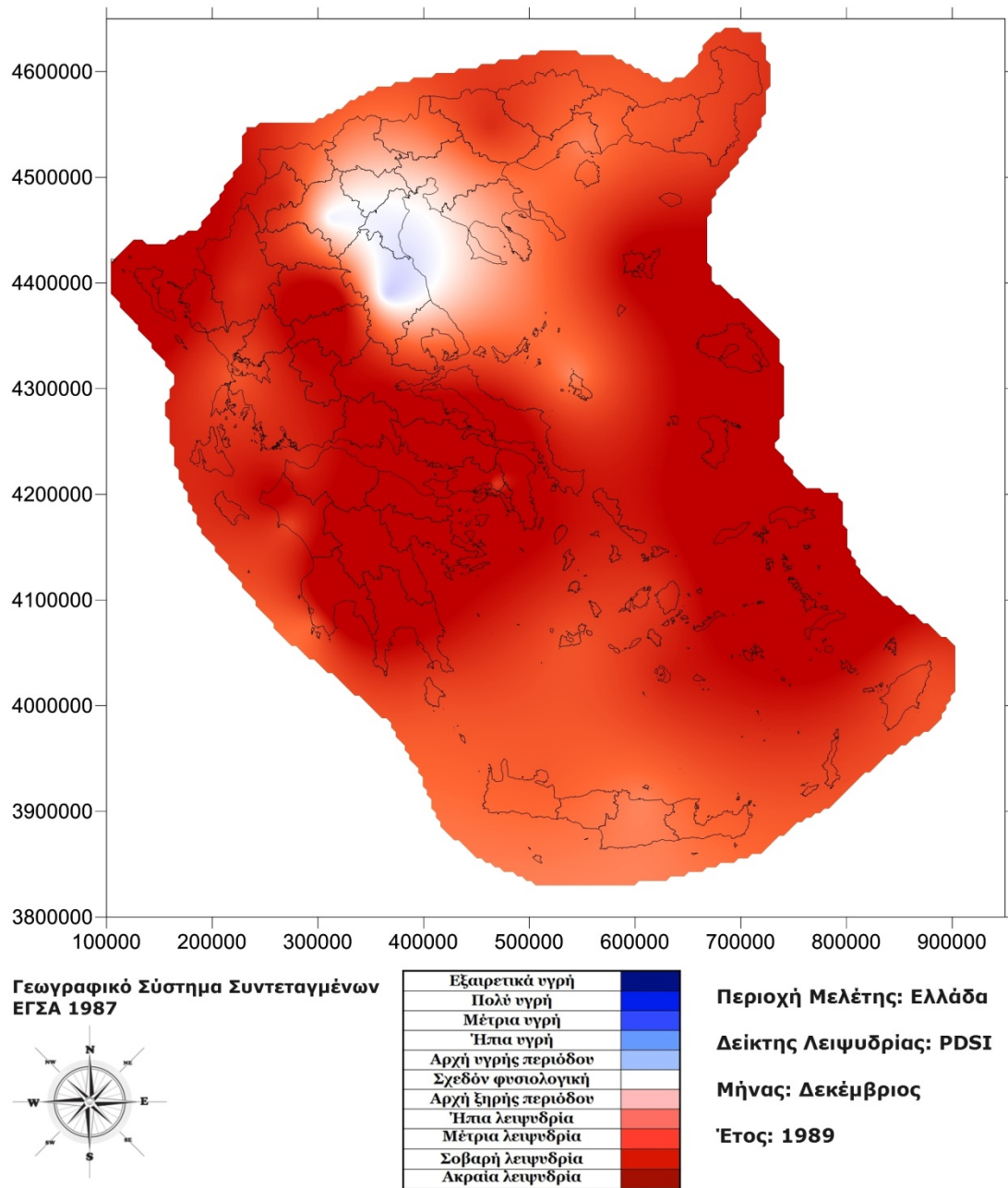
*Εικόνα IV.9. Χάρτης PDSI για τον μήνα Σεπτέμβριο του 1989 (kriging)*



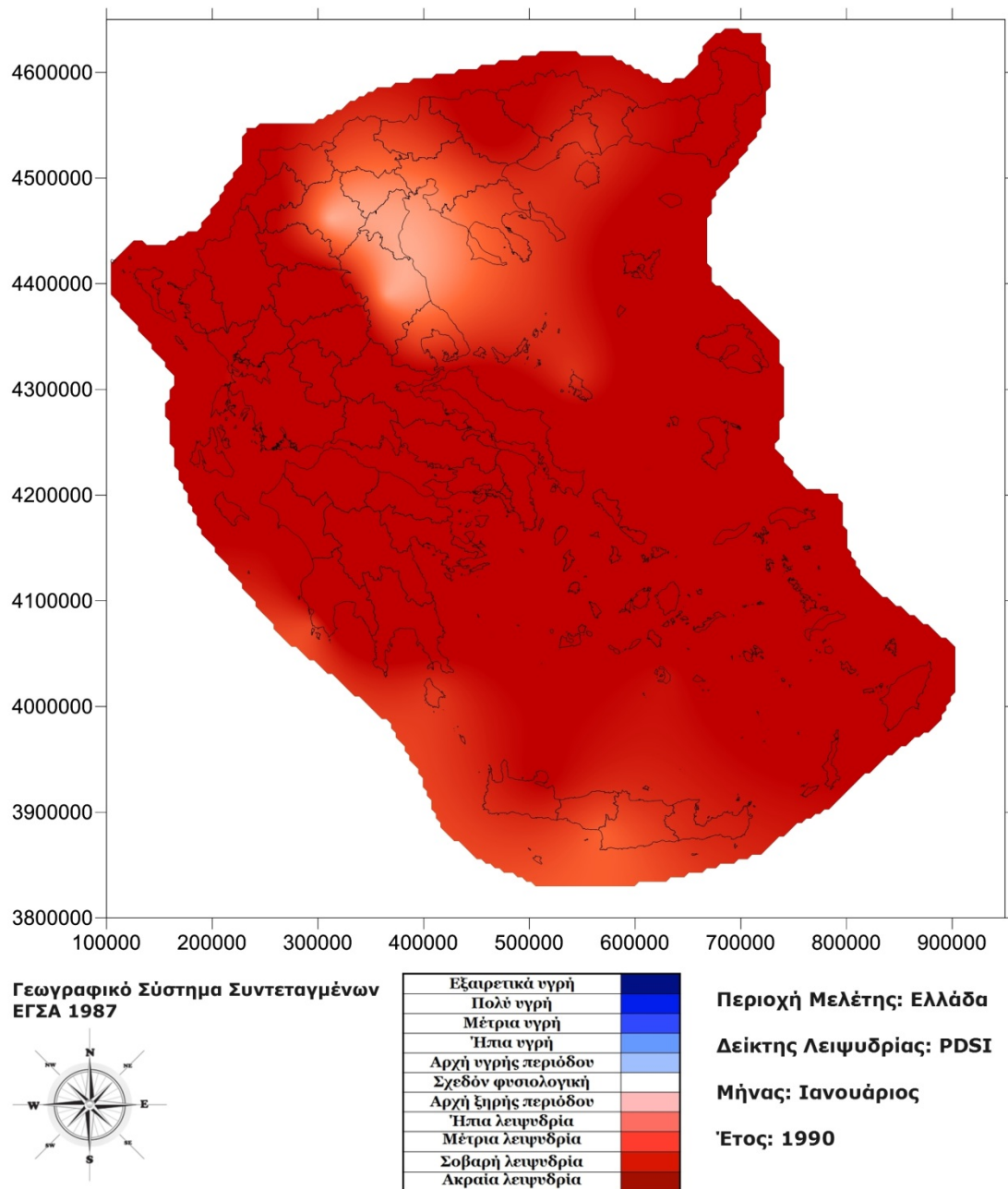
Εικόνα IV.10. Χάρτης PDSI για τον μήνα Οκτώβριο του 1989 (kriging)



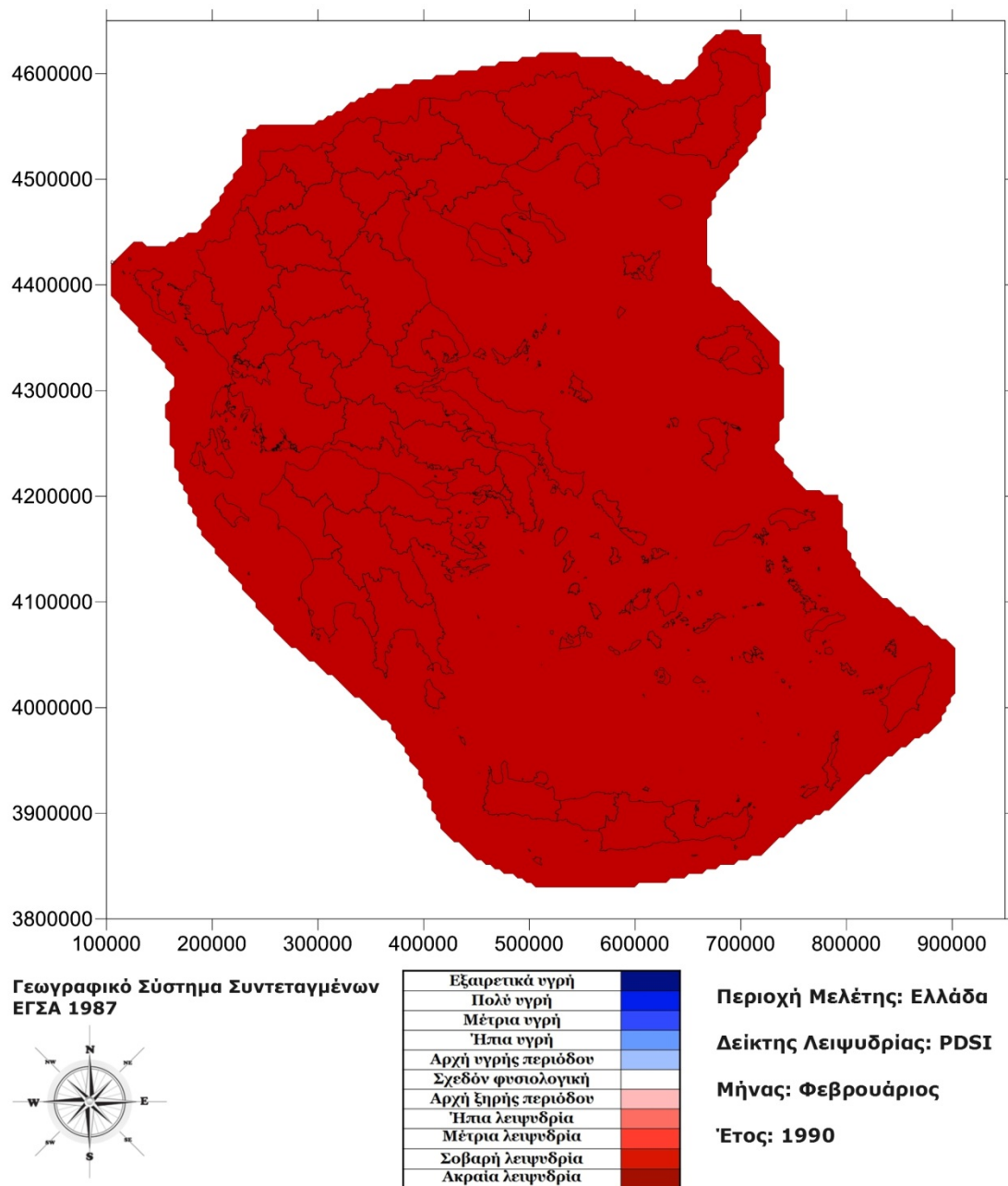
Εικόνα IV.11. Χάρτης PDSI για τον μήνα Νοέμβριο του 1989 (kriging)



*Εικόνα IV.12. Χάρτης PDSI για τον μήνα Δεκέμβριο του 1989 (kriging)*

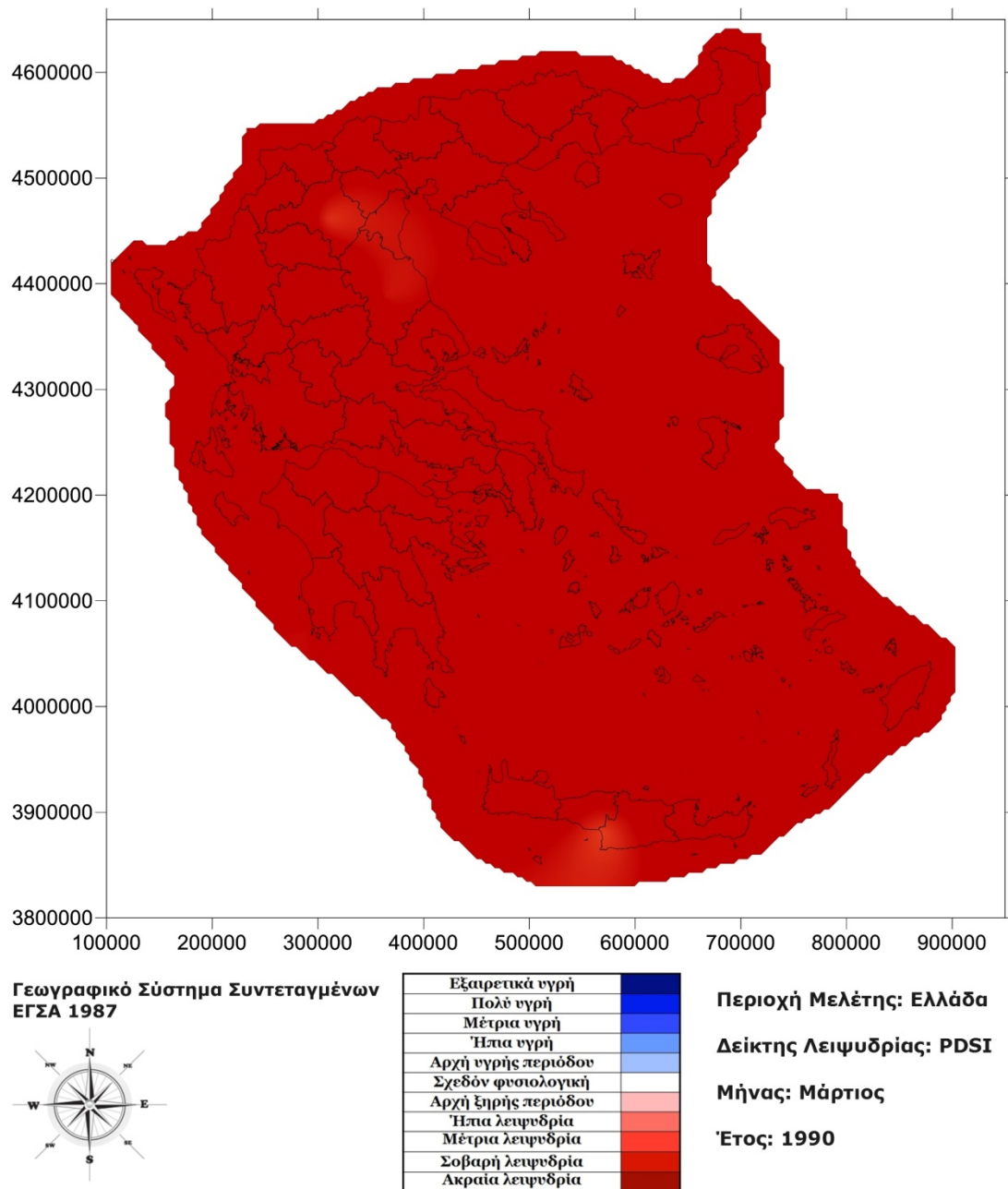


Εικόνα IV.13. Χάρτης PDSI για τον μήνα Ιανουάριο του 1990 (kriging)

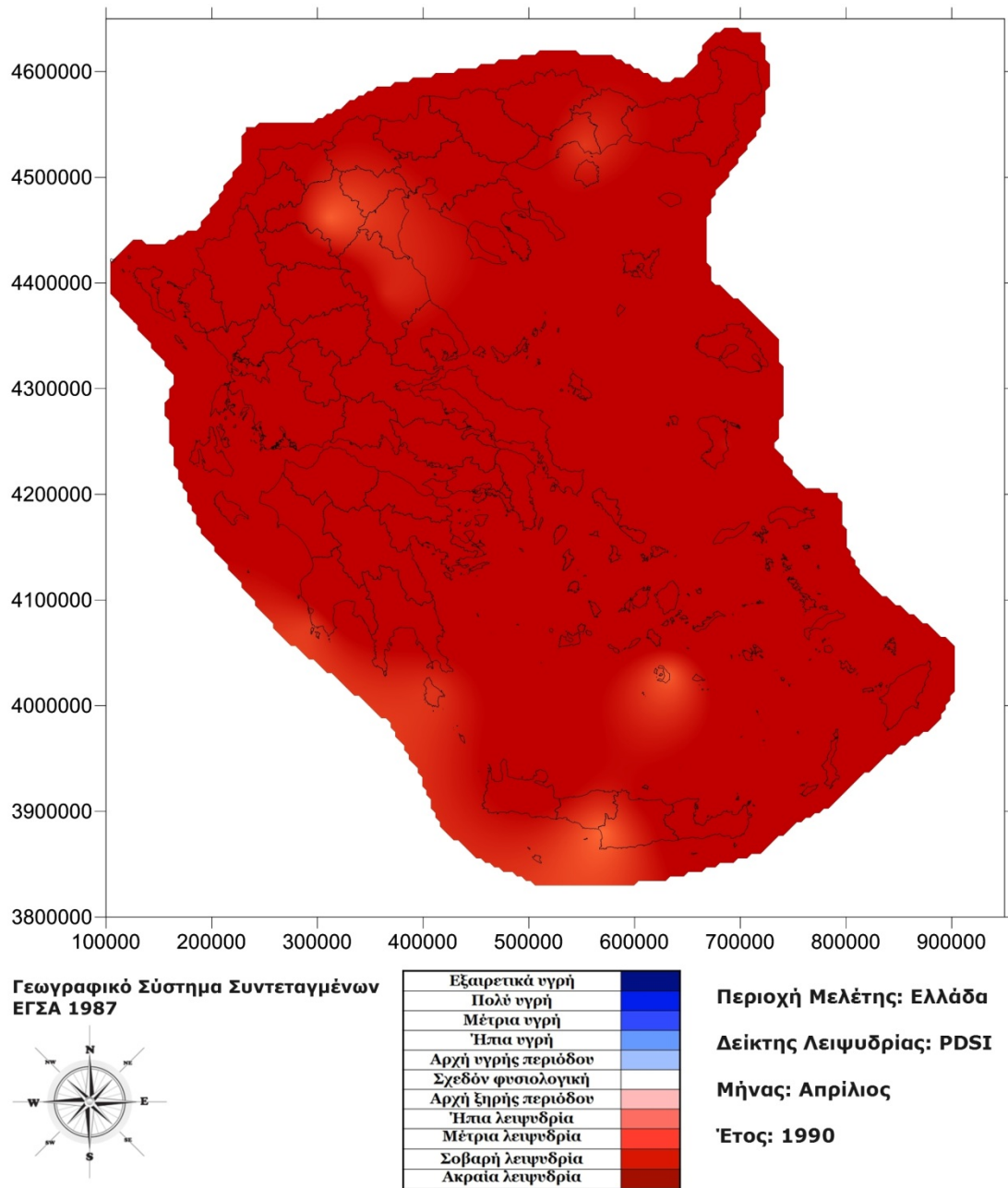


*Εικόνα IV.14. Χάρτης PDSI για τον μήνα Φεβρουάριο του 1990 (kriging)*

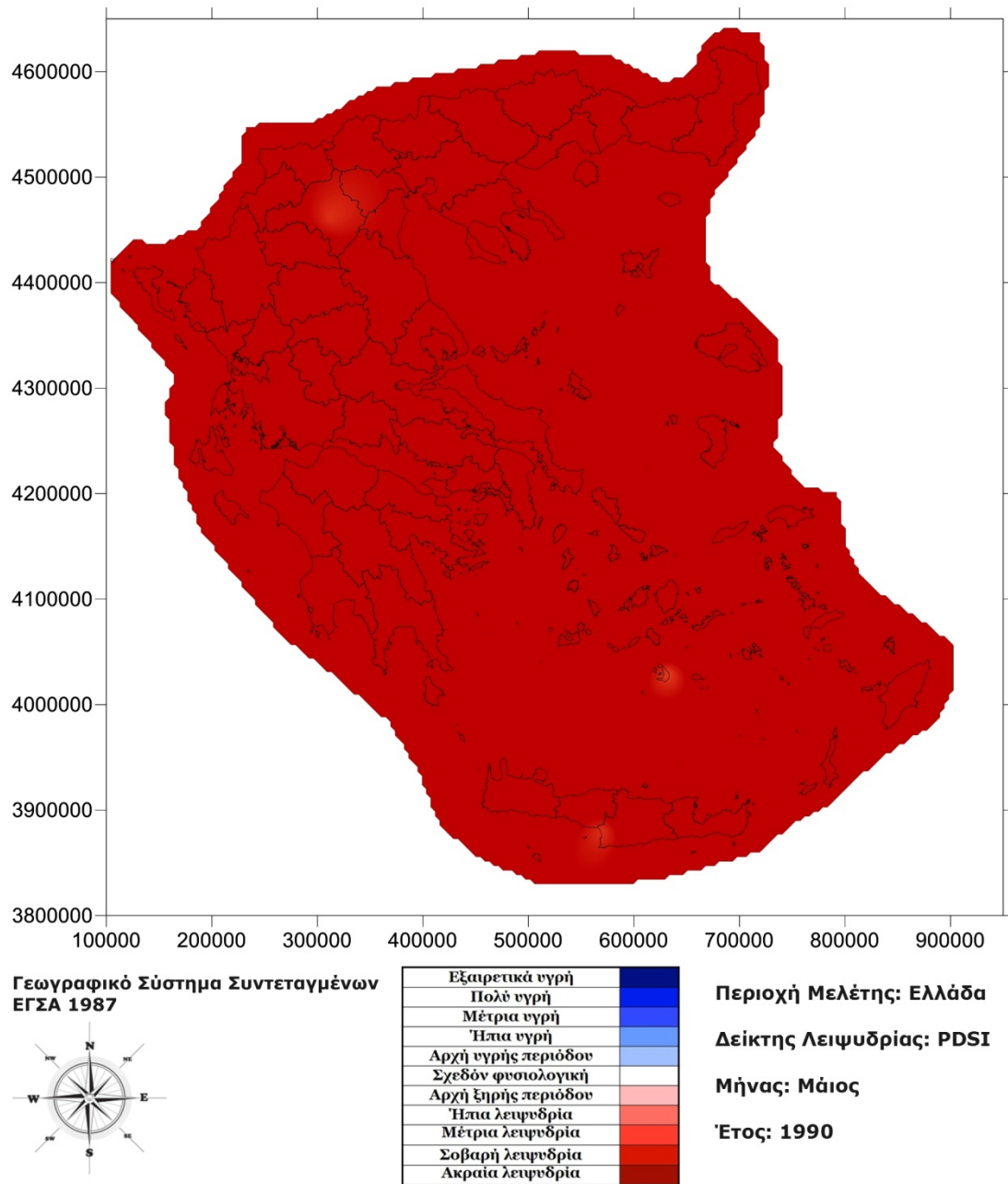




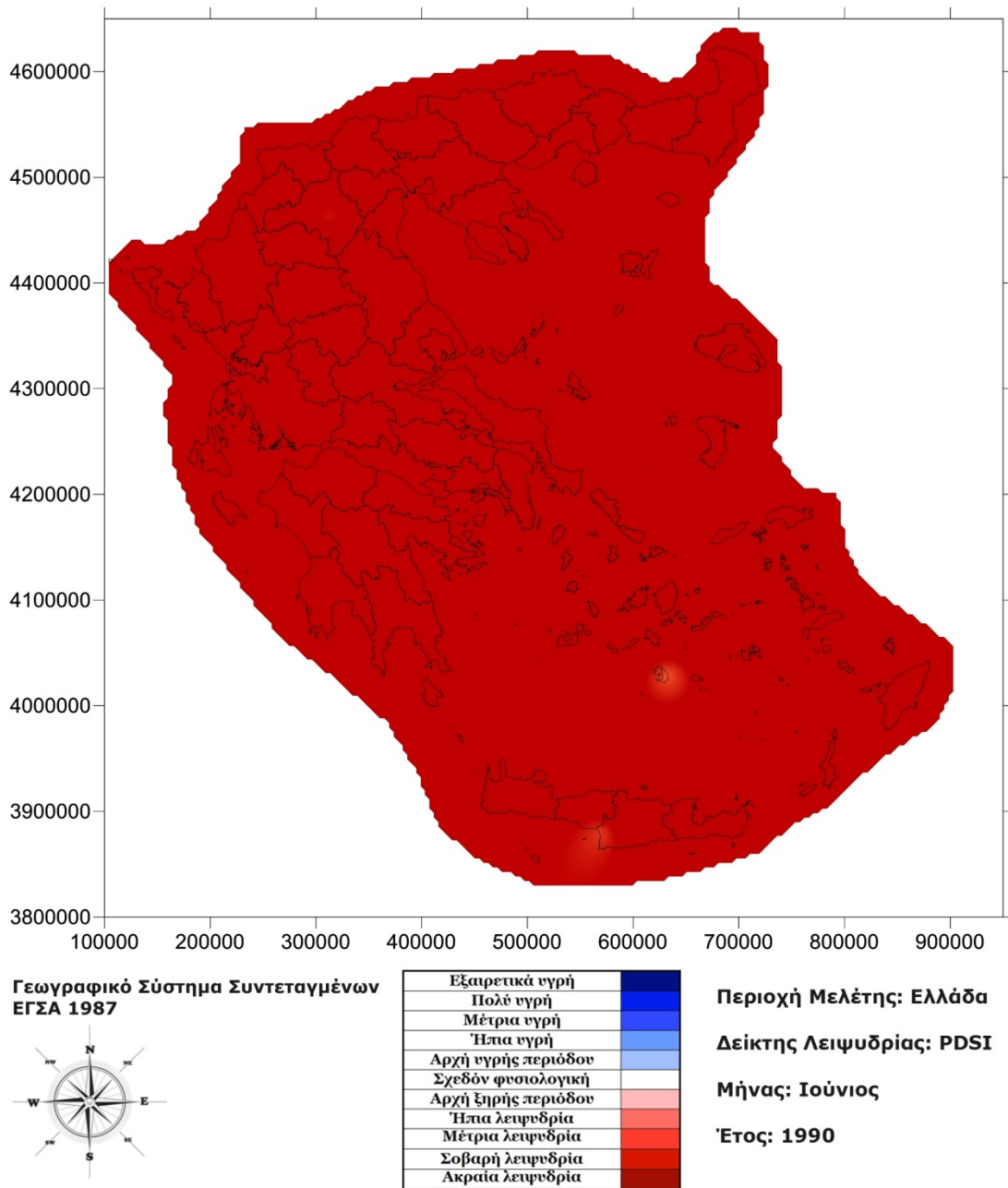
Εικόνα IV.15. Χάρτης PDSI για τον μήνα Μάρτιο του 1990 (kriging)



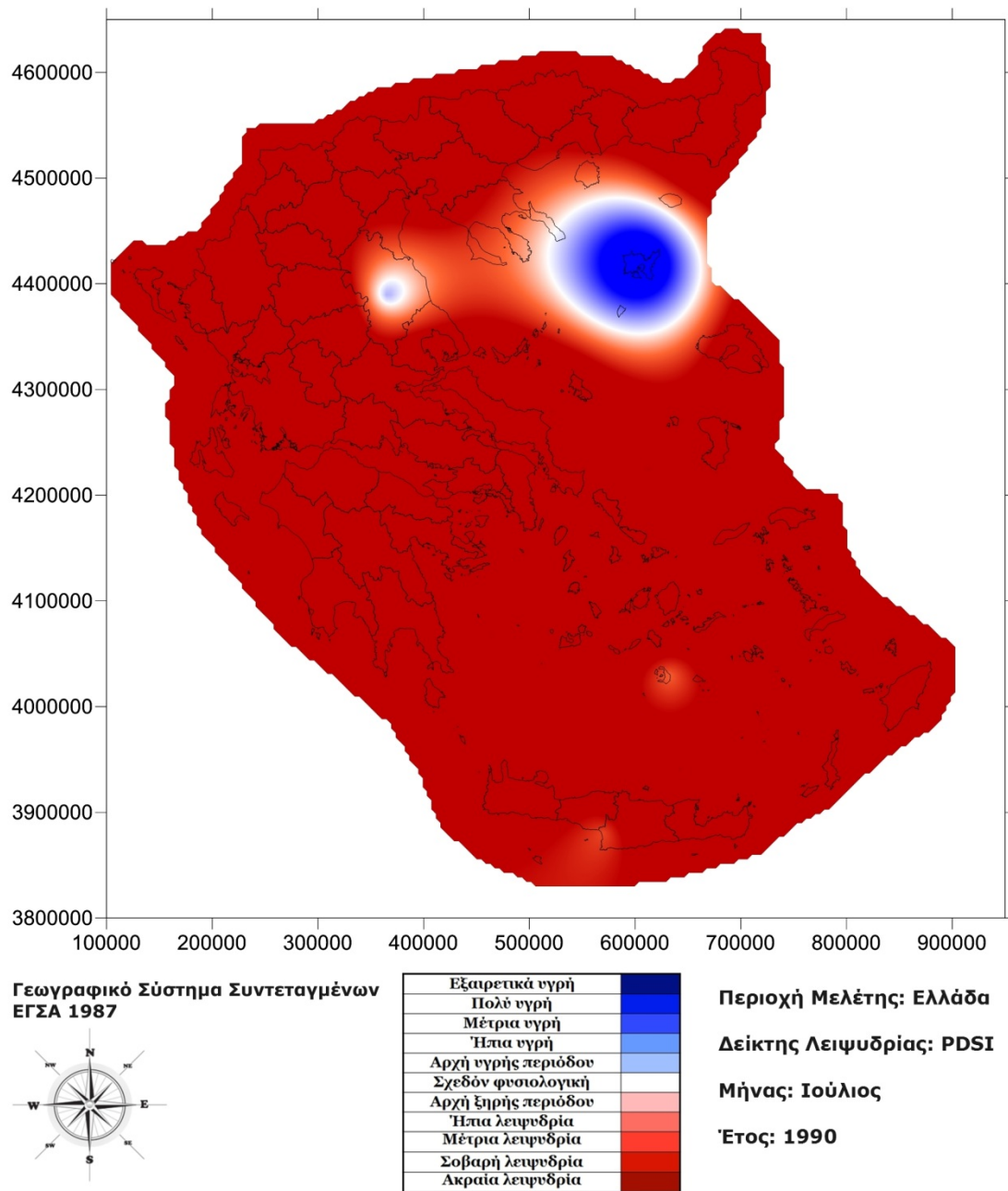
*Εικόνα IV.16. Χάρτης PDSI για τον μήνα Απρίλιο του 1990 (kriging)*



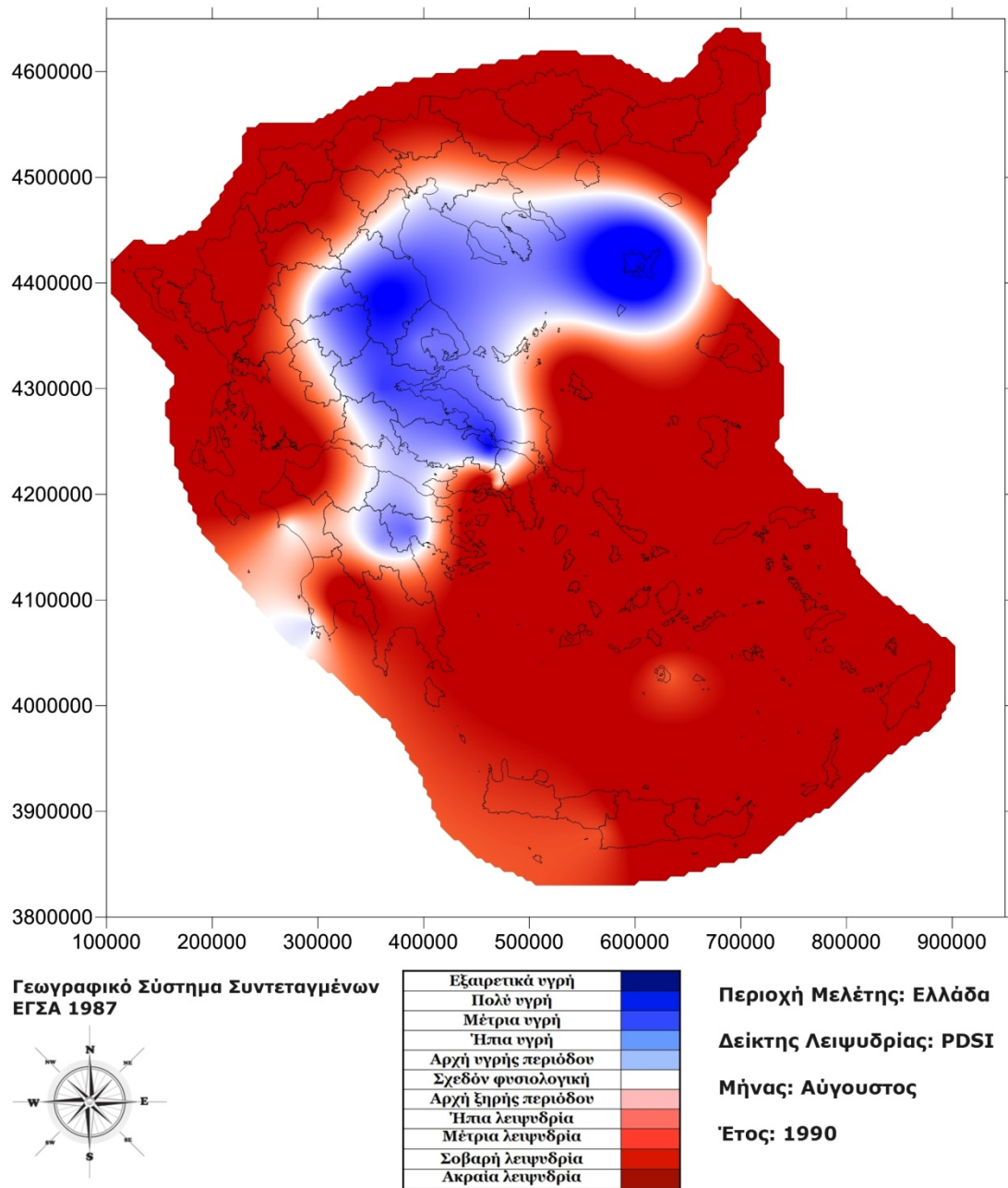
*Εικόνα IV.17. Χάρτης PDSI για τον μήνα Μάιο του 1990 (kriging)*



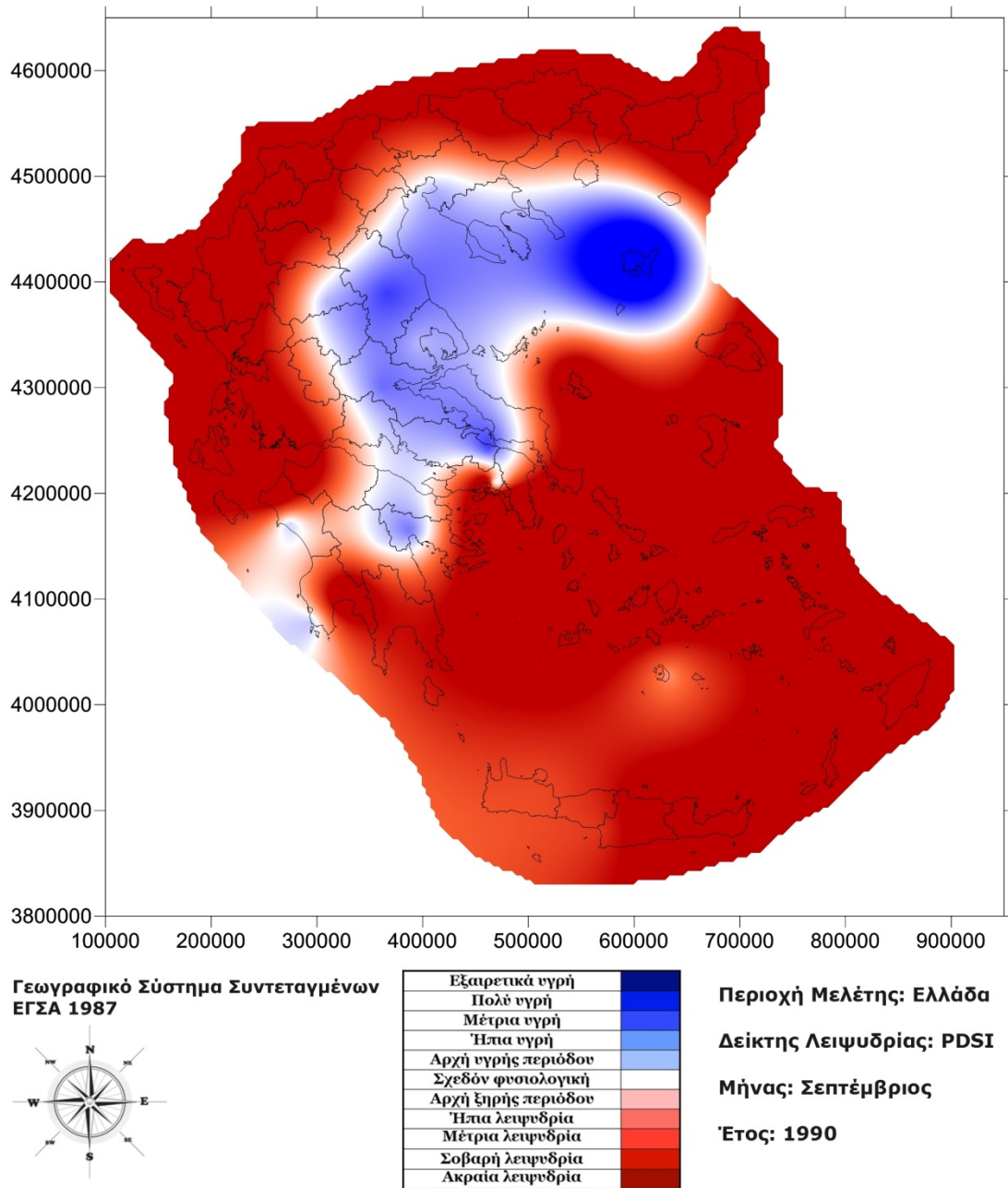
*Εικόνα IV18. Χάρτης PDSI για τον μήνα Ιούνιο του 1990 (kriging)*



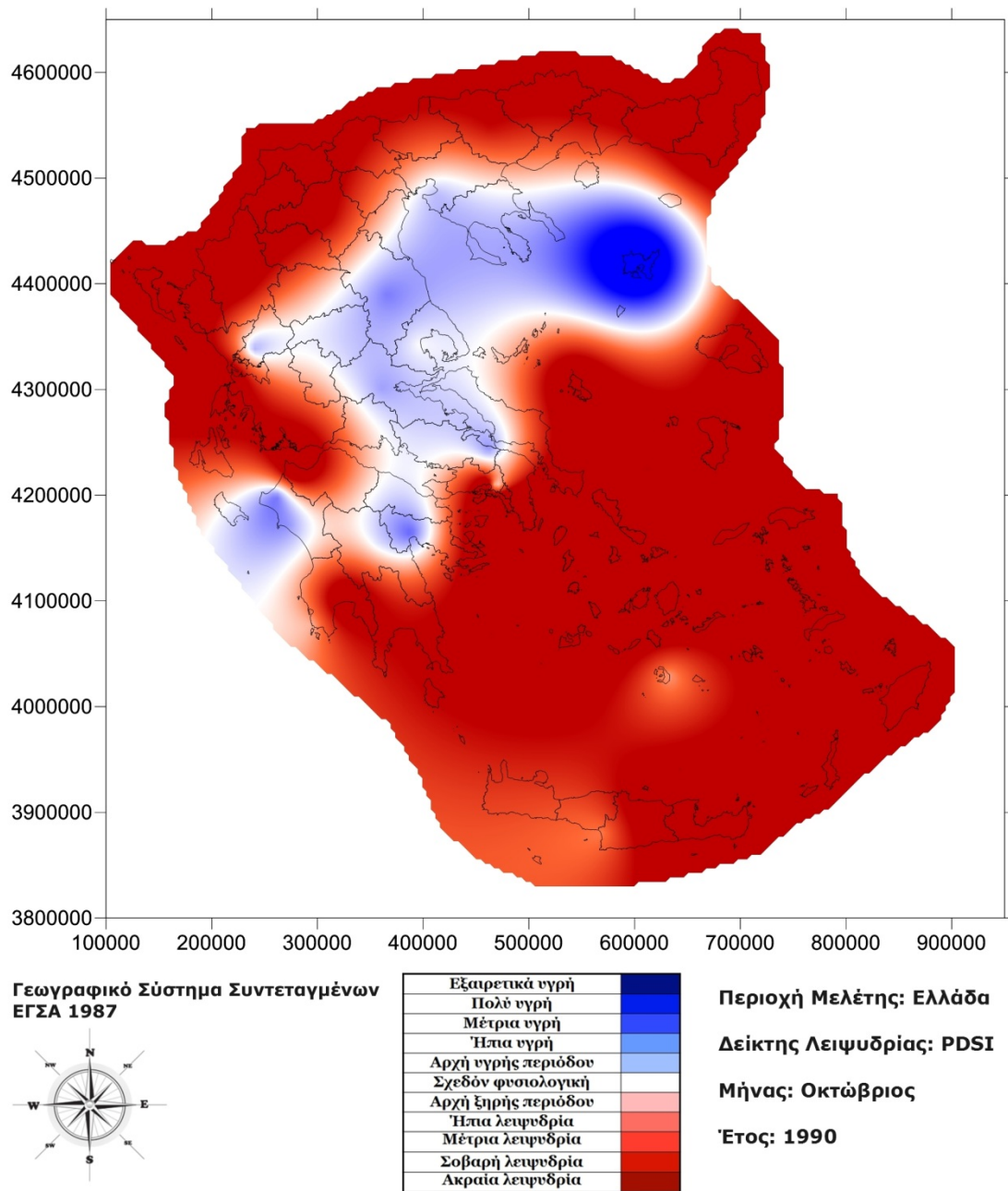
*Εικόνα IV.19. Χάρτης PDSI για τον μήνα Ιούλιο του 1990 (kriging)*



Εικόνα IV.20. Χάρτης PDSI για τον μήνα Αύγουστο του 1990 (kriging)

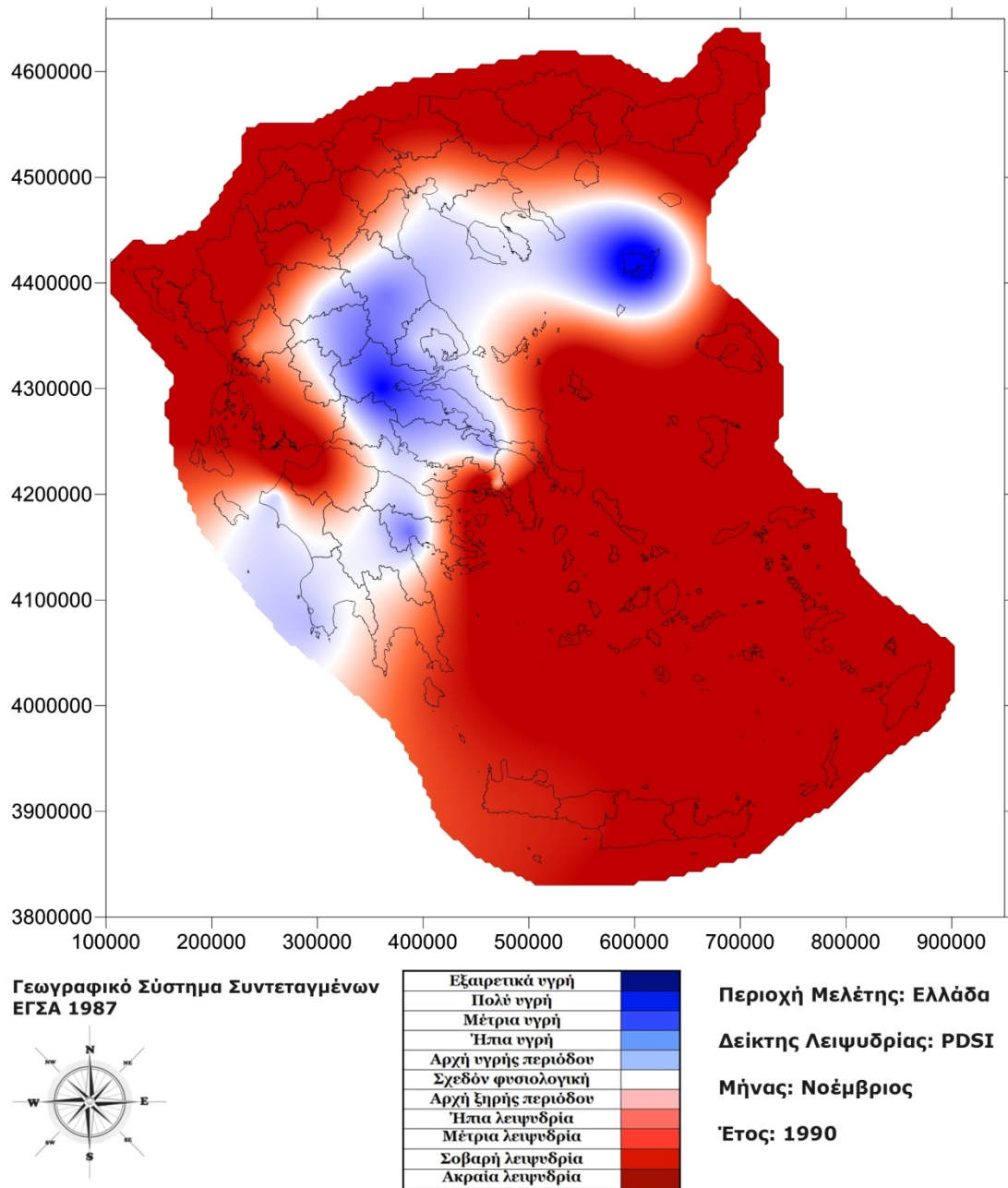


*Εικόνα IV.21. Χάρτης PDSI για τον μήνα Σεπτέμβριο του 1990 (kriging)*

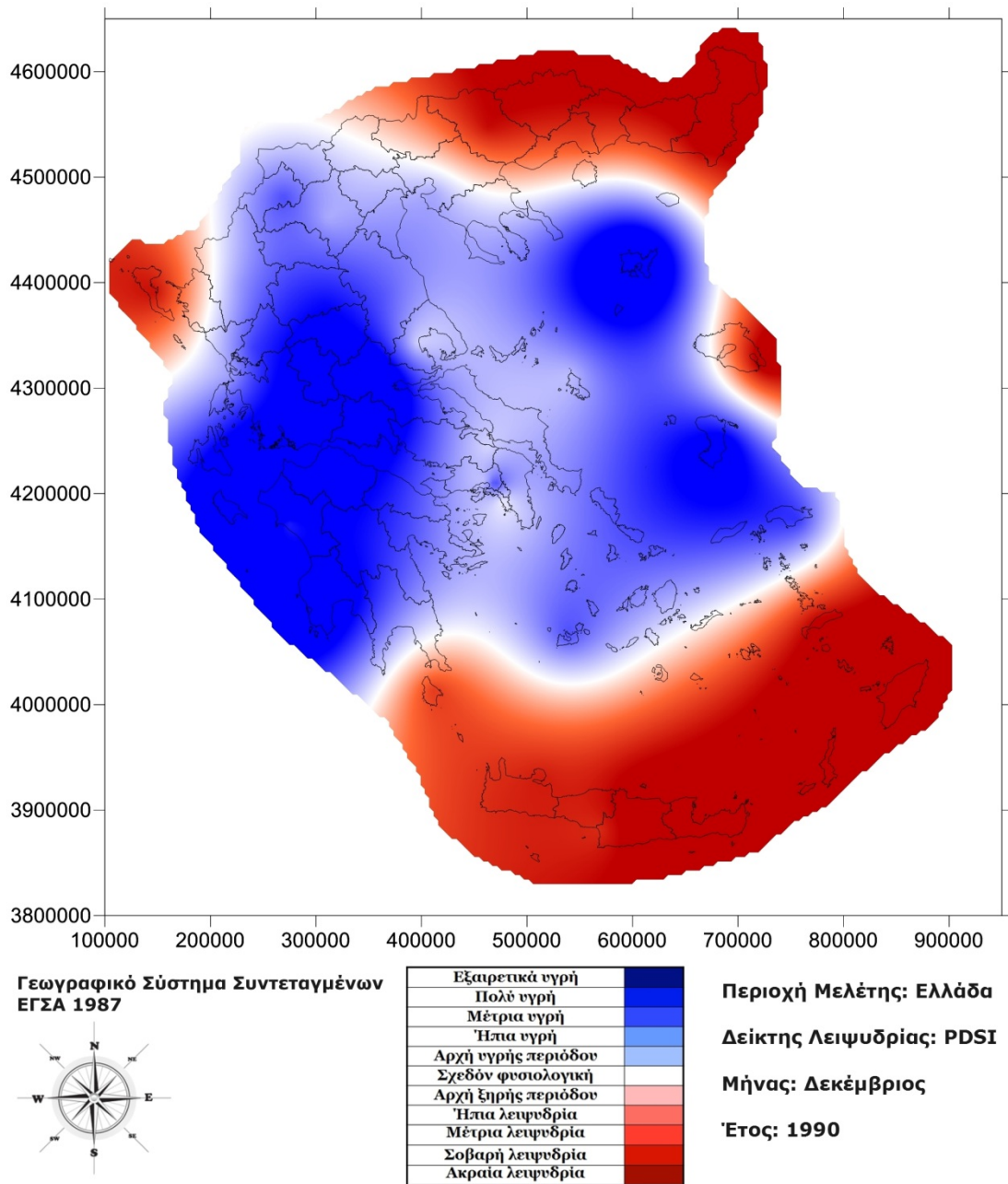


Εικόνα IV.22. Χάρτης PDSI για τον μήνα Οκτώβριο του 1990 (kriging)

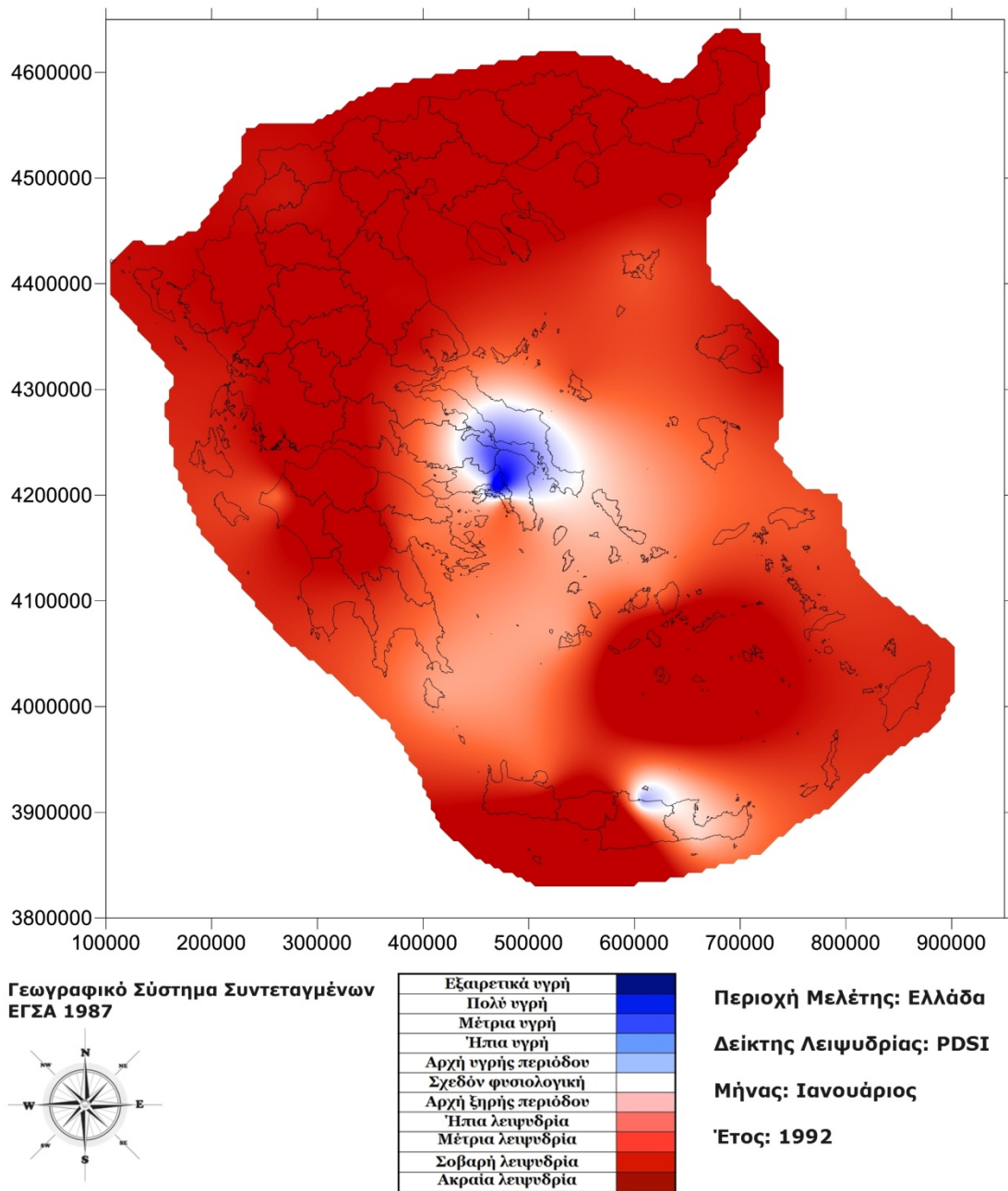




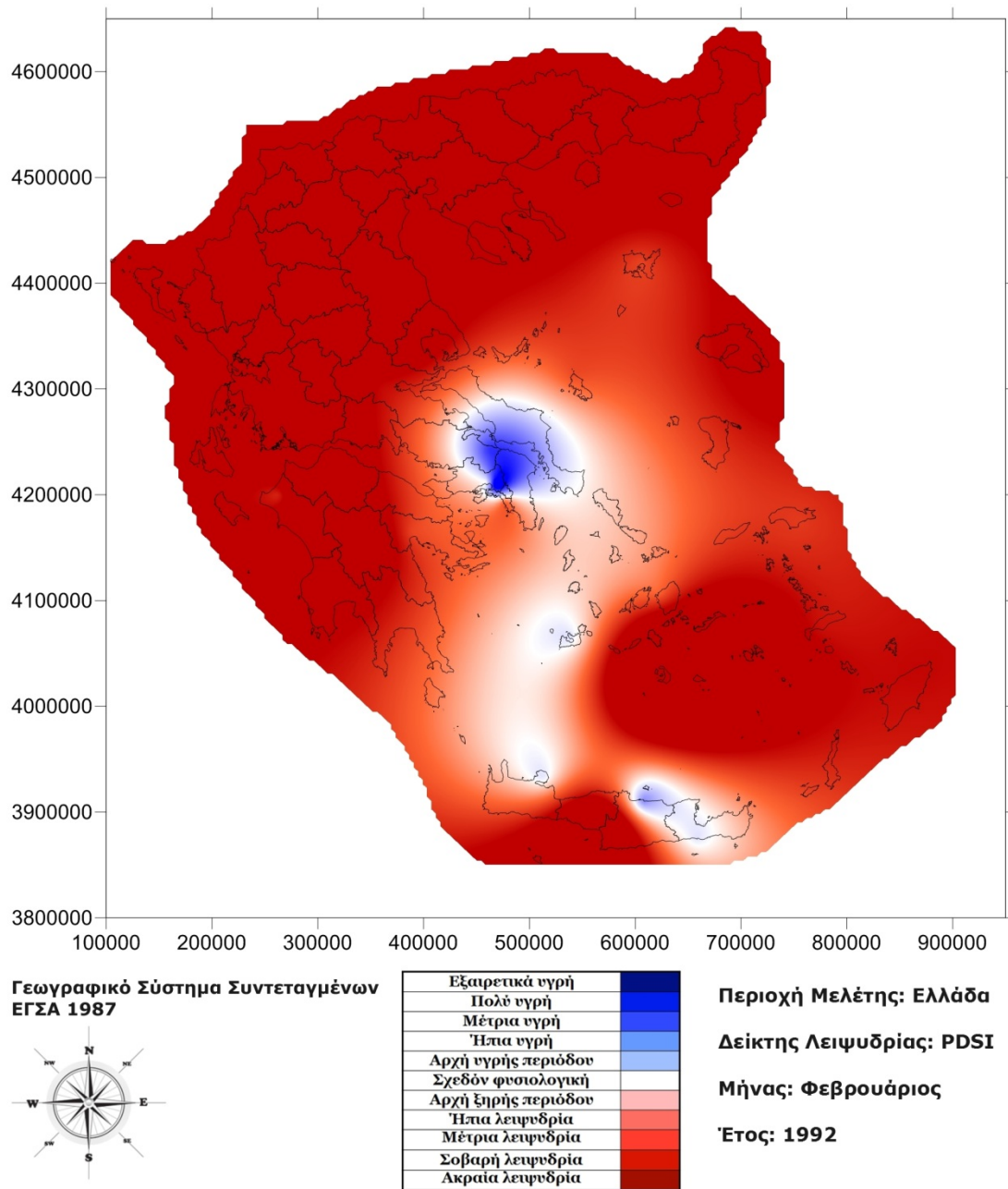
Εικόνα IV.23. Χάρτης PDSI για τον μήνα Νοέμβριο του 1990 (kriging)



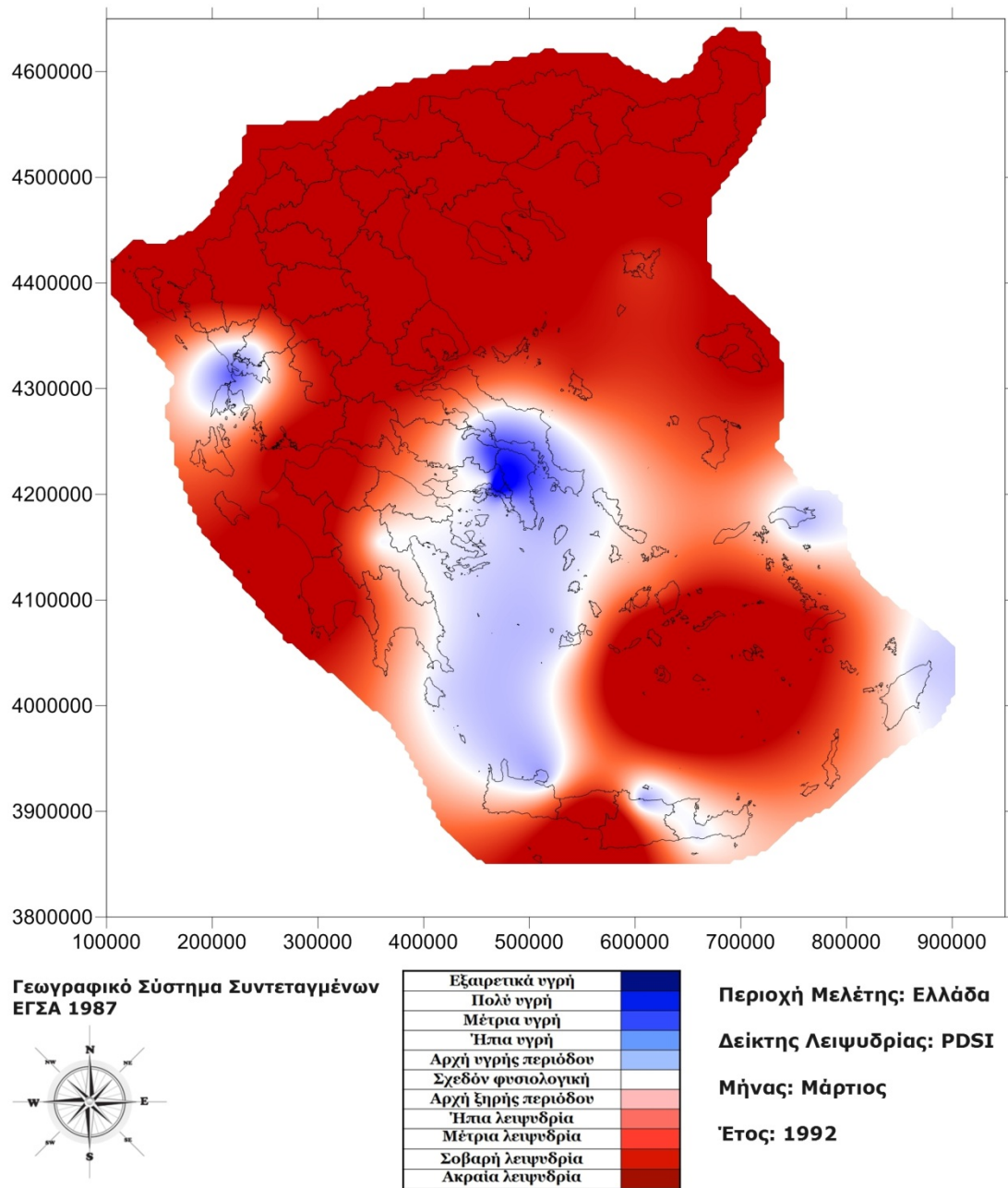
*Εικόνα IV.24. Χάρτης PDSI για τον μήνα Δεκέμβριο του 1990 (kriging)*



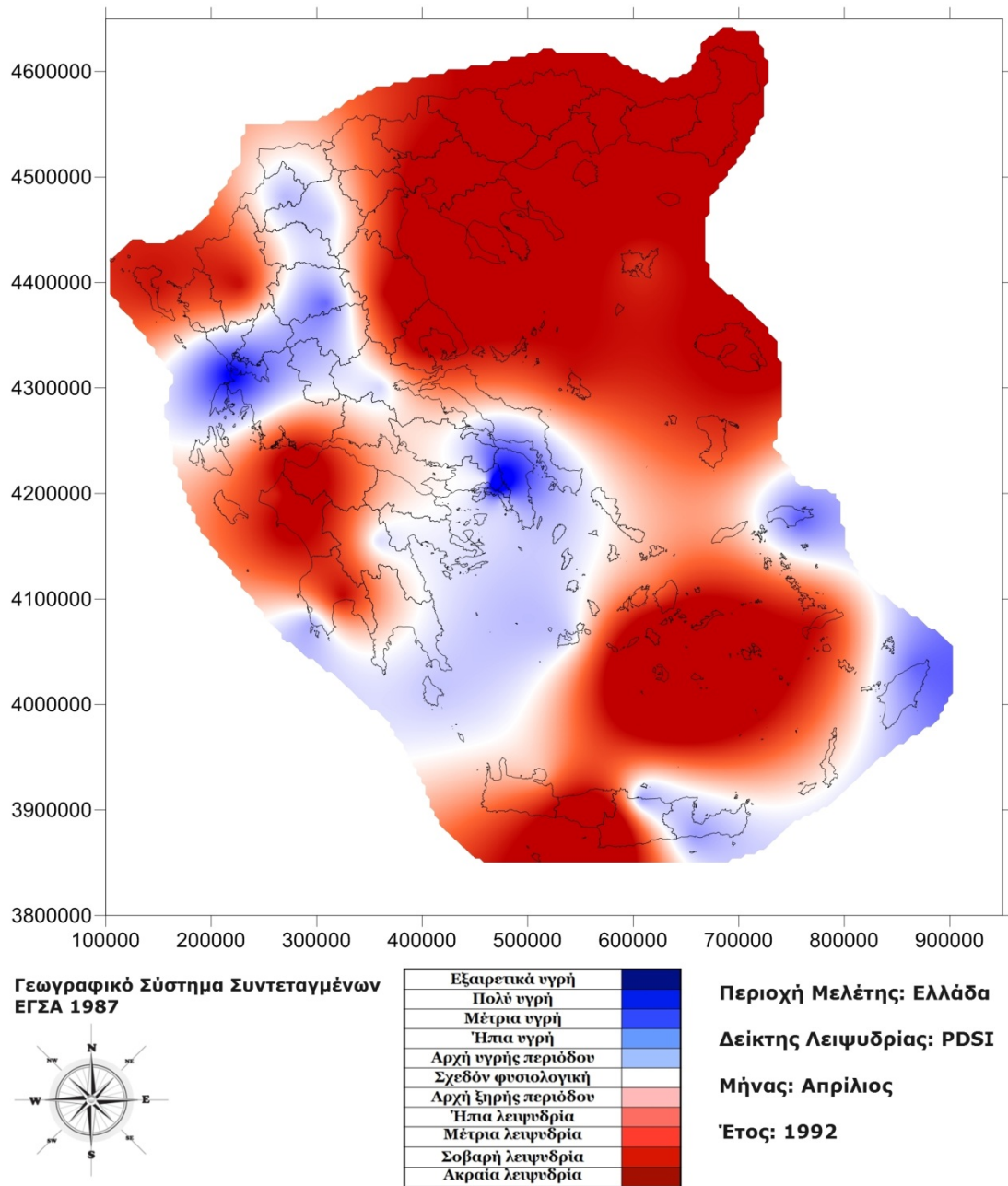
Εικόνα IV.25. Χάρτης PDSI για τον μήνα Ιανουάριο του 1992 (kriging)



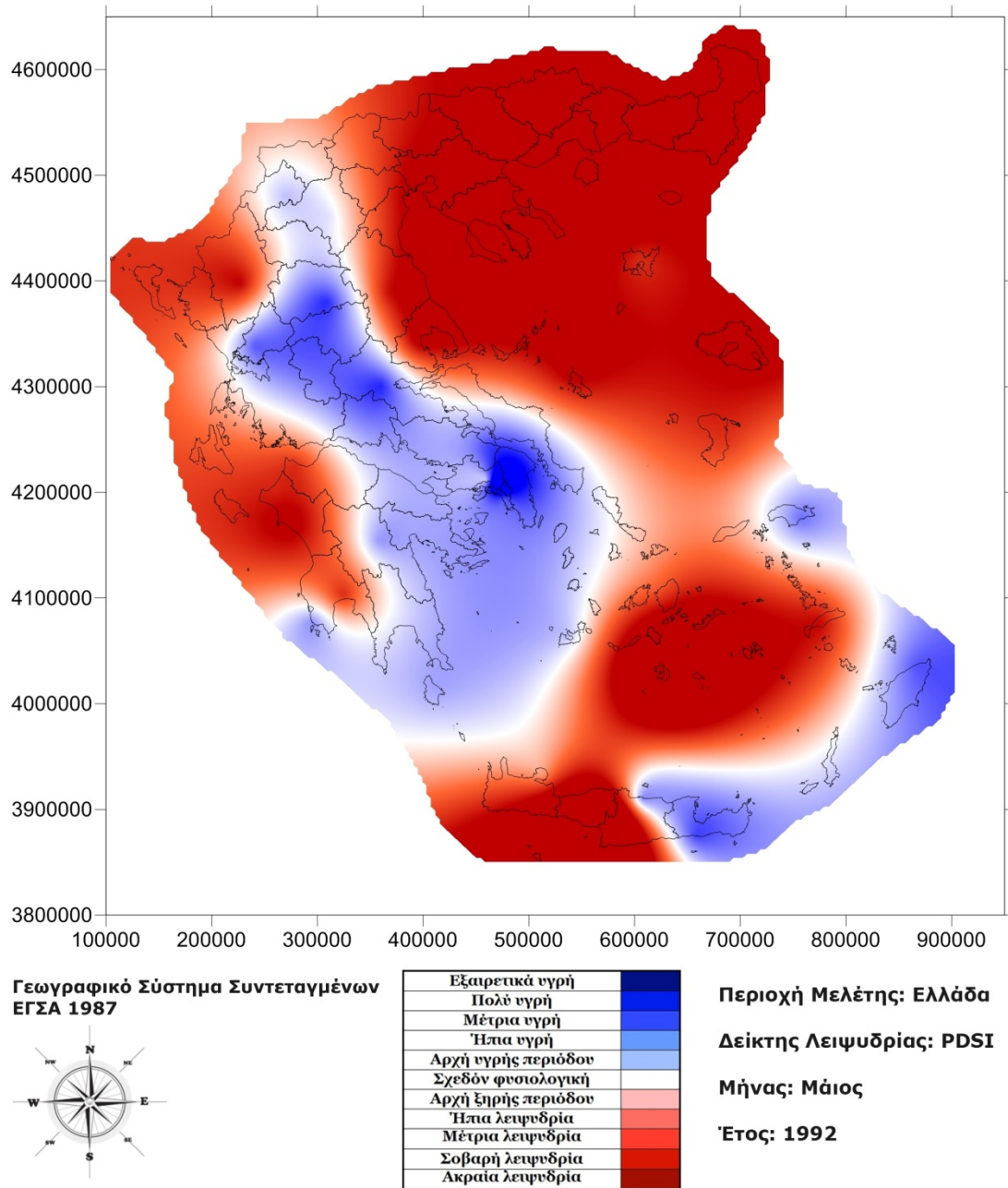
Εικόνα IV.26. Χάρτης PDSI για τον μήνα Φεβρουάριο του 1992 (kriging)



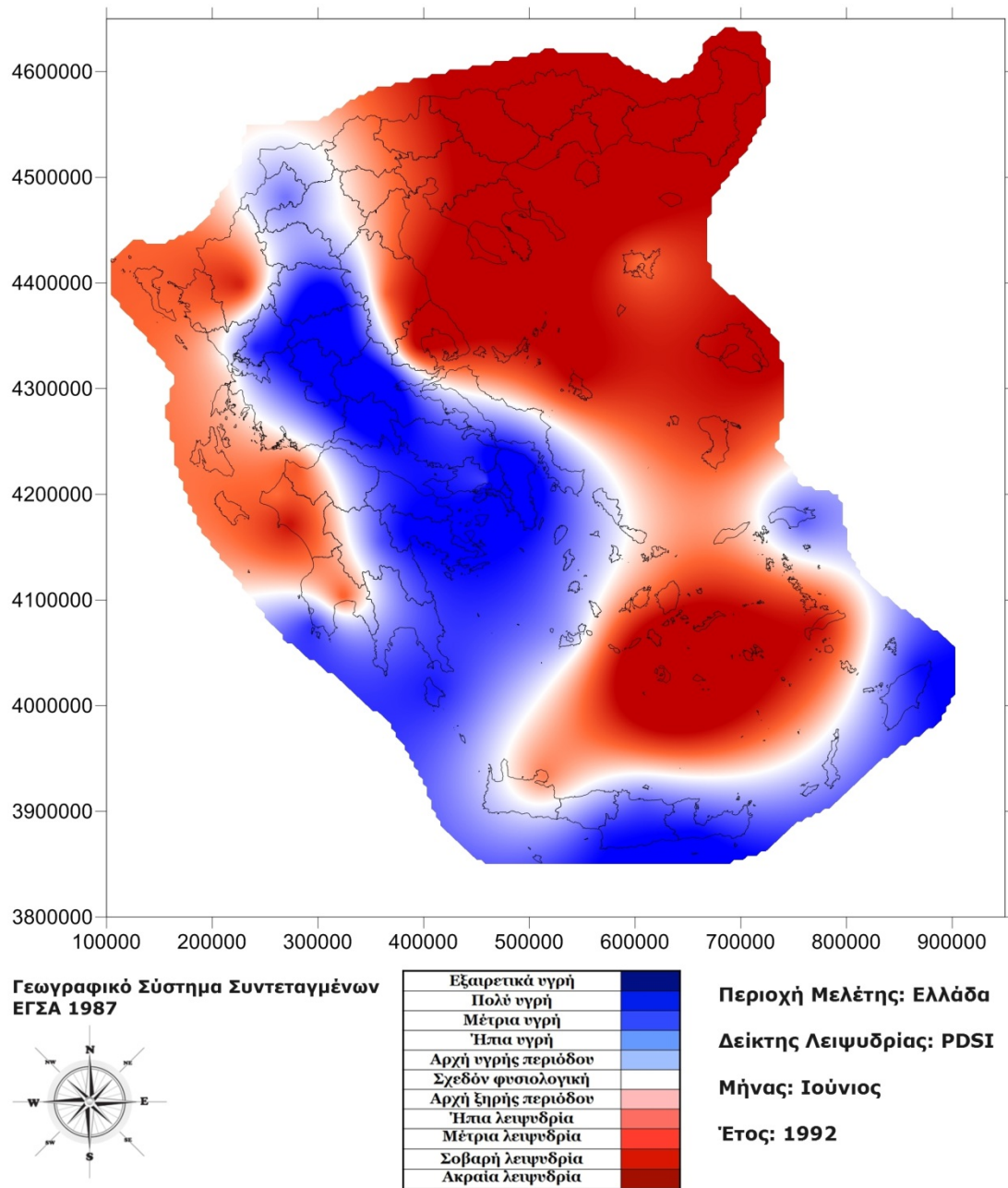
*Εικόνα IV.27. Χάρτης PDSI για τον μήνα Μάρτιο του 1992 (kriging)*



*Εικόνα IV.28. Χάρτης PDSI για τον μήνα Απρίλιο του 1992 (kriging)*

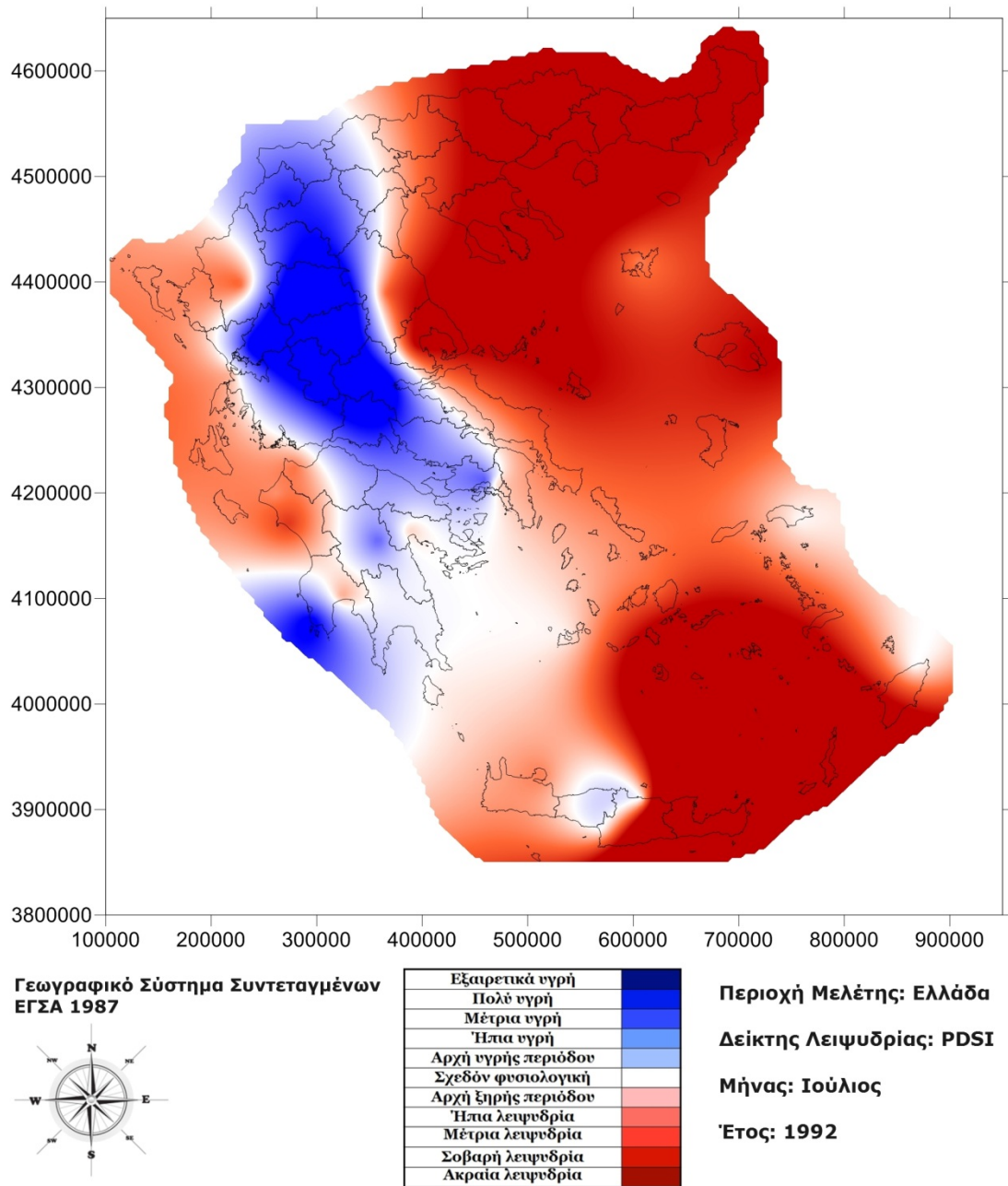


Εικόνα IV.29. Χάρτης PDSI για τον μήνα Μάιο του 1992 (kriging)

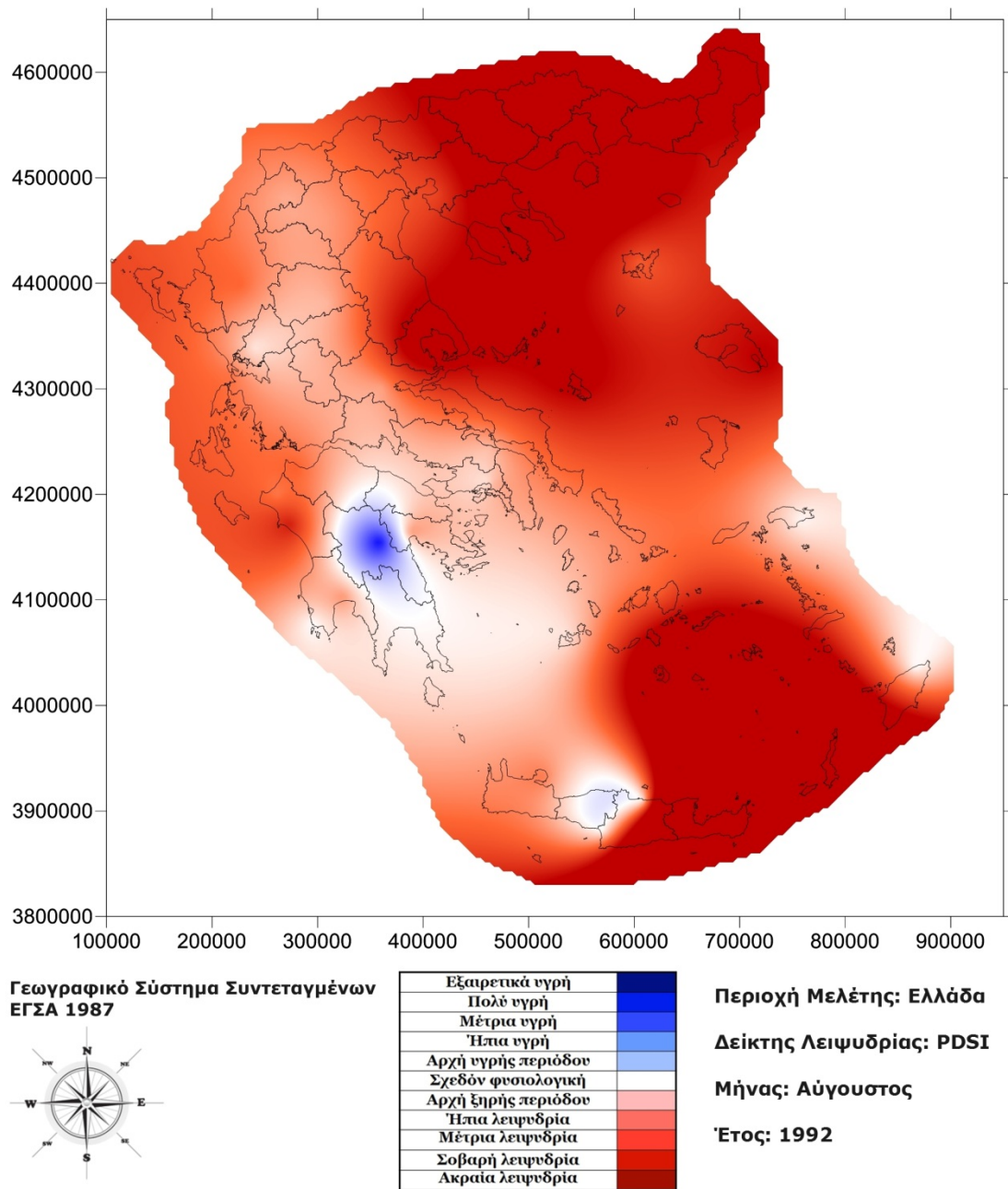


*Εικόνα IV.30. Χάρτης PDSI για τον μήνα Ιούνιο του 1992 (kriging)*

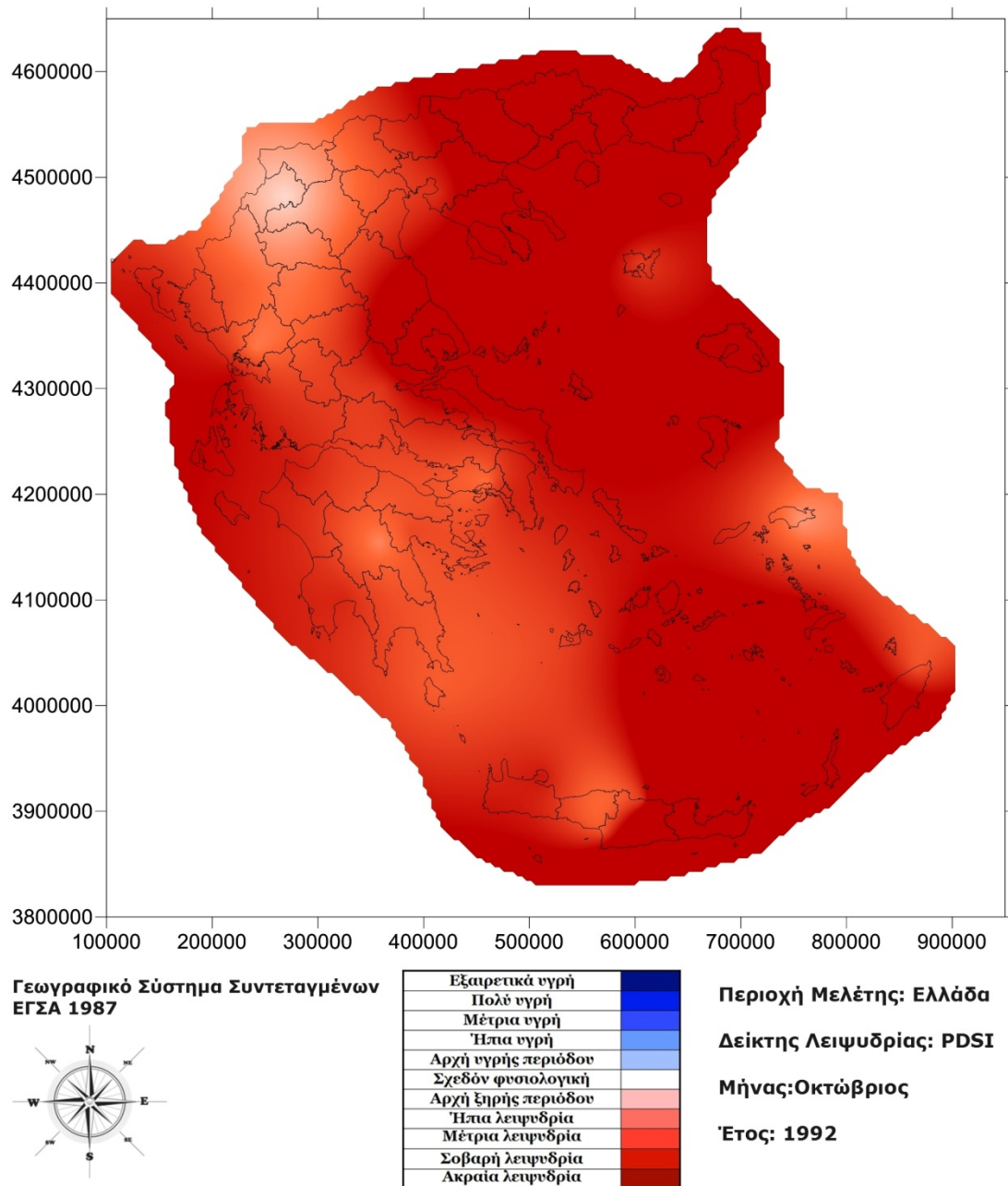




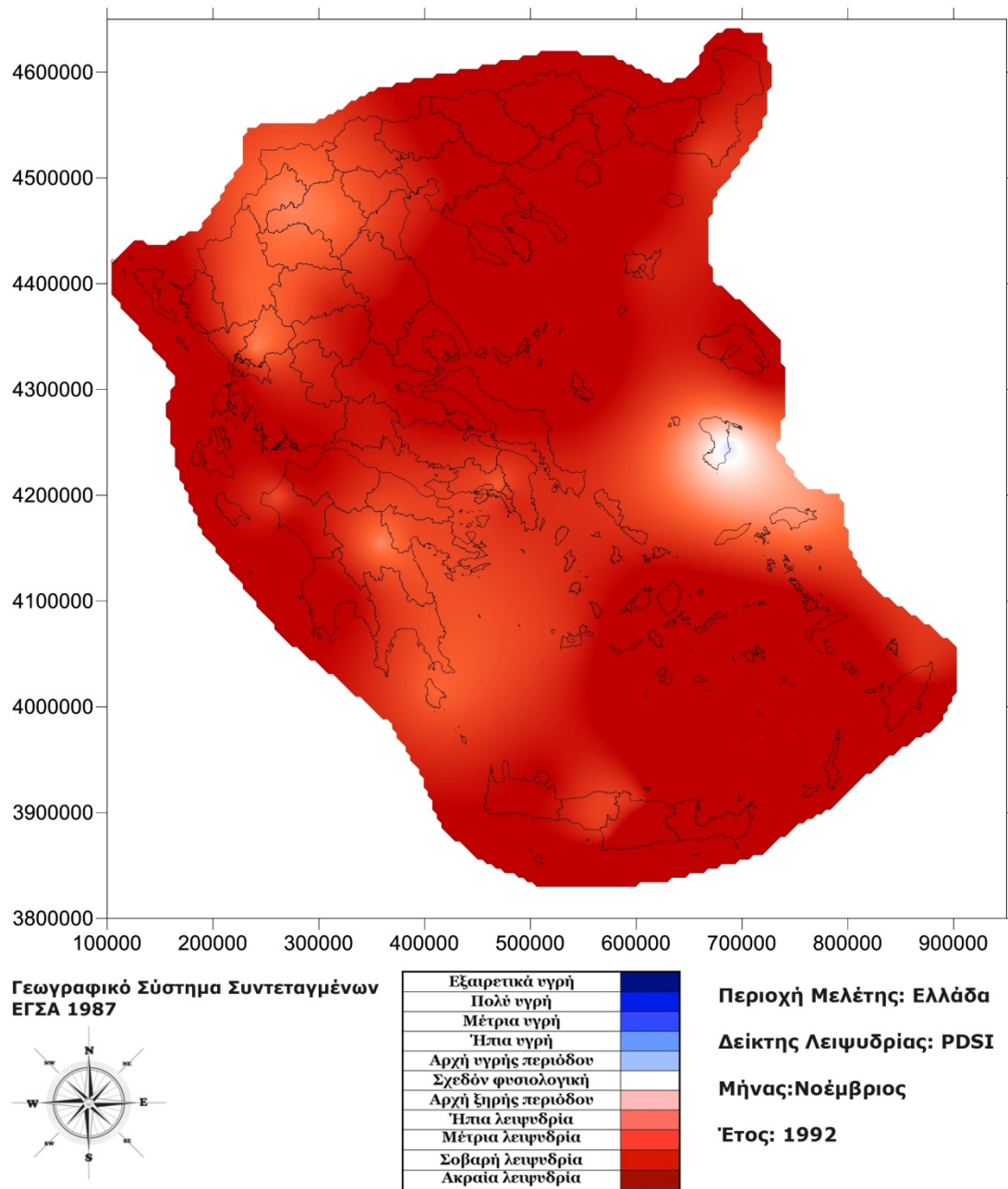
Εικόνα IV.31. Χάρτης PDSI για τον μήνα Ιούλιο του 1992 (kriging)



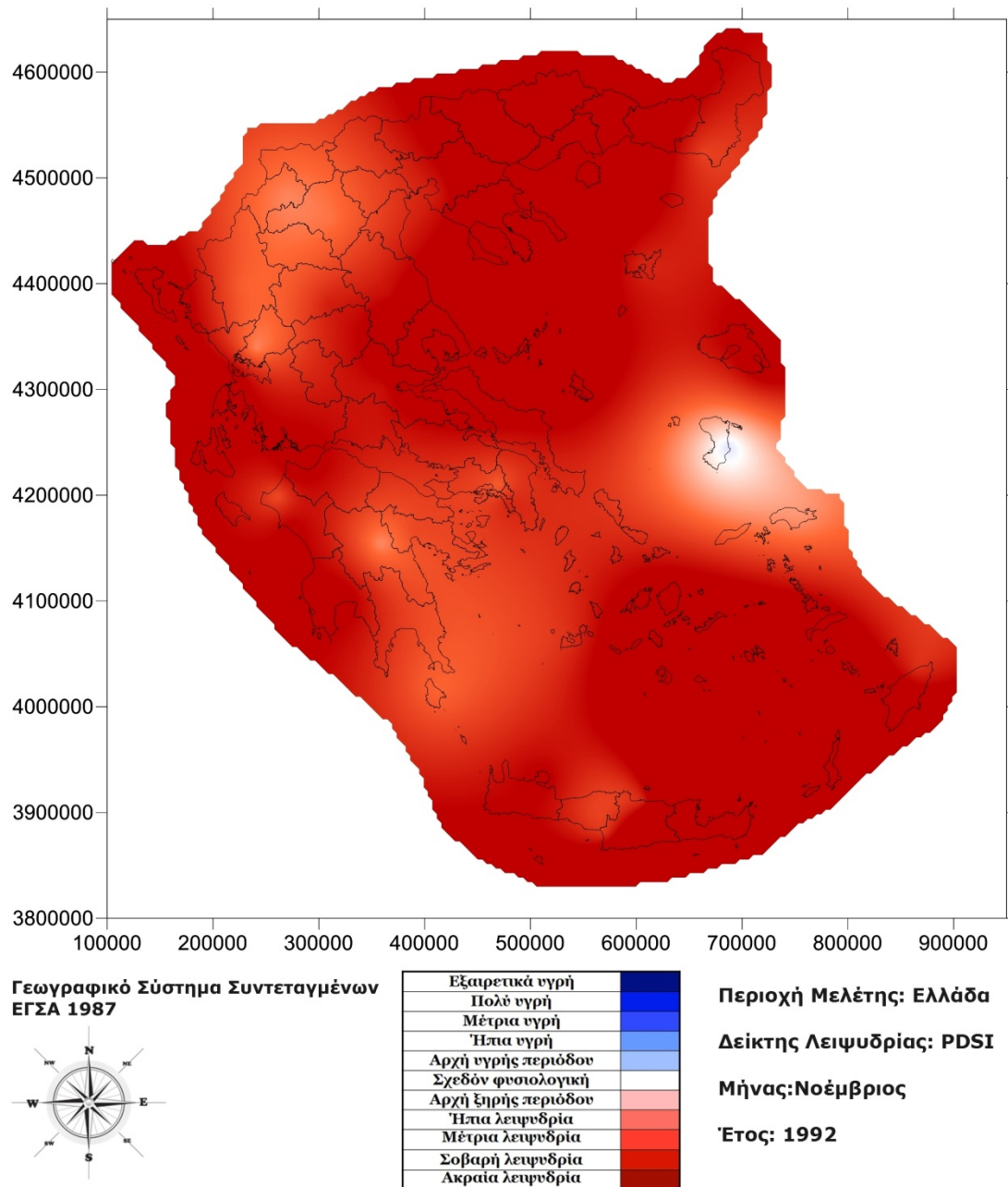
*Εικόνα IV.32. Χάρτης PDSI για τον μήνα Αύγουστο του 1992 (kriging)*



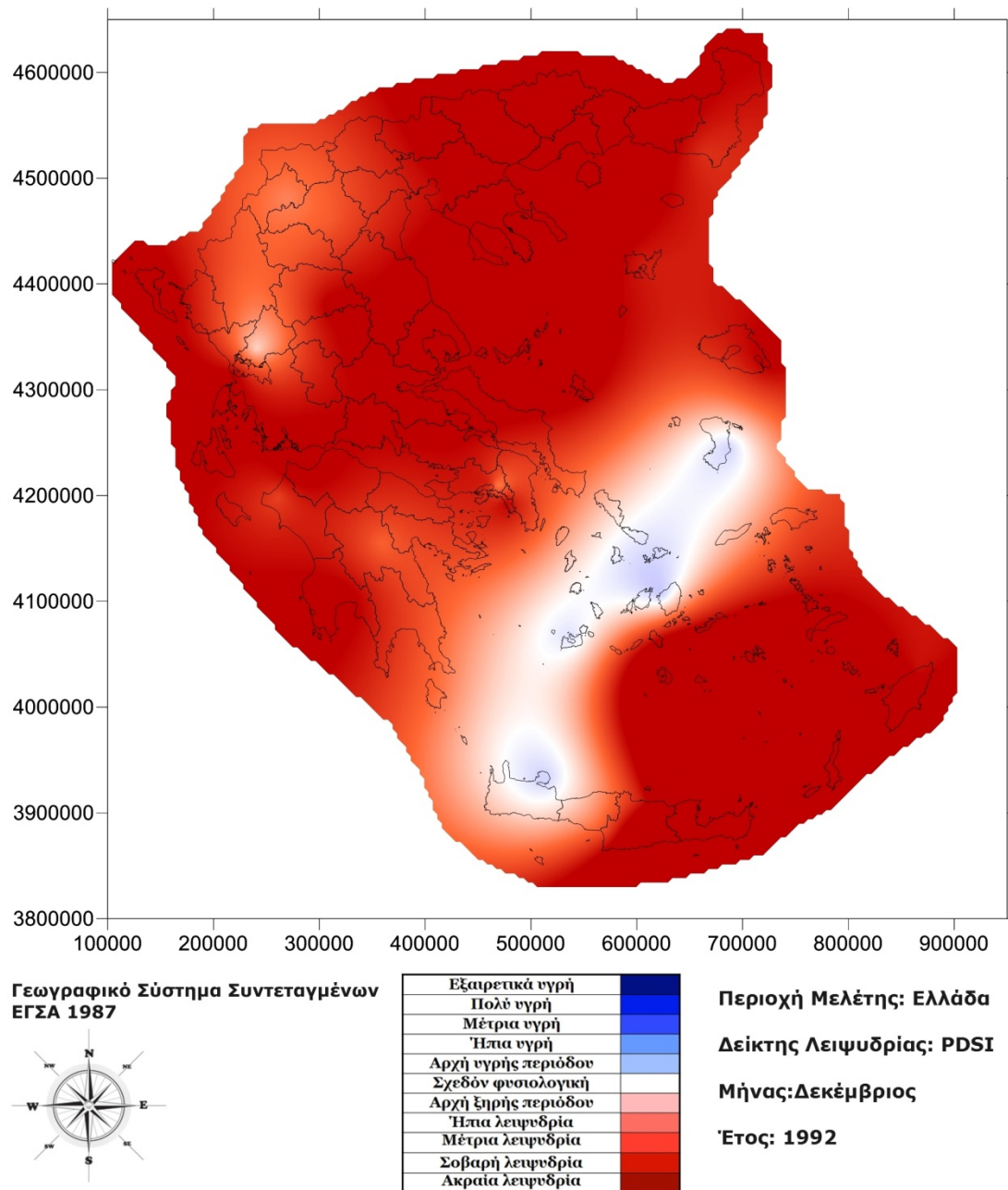
*Εικόνα IV.33. Χάρτης PDSI για τον μήνα Σεπτέμβριο του 1992 (kriging)*



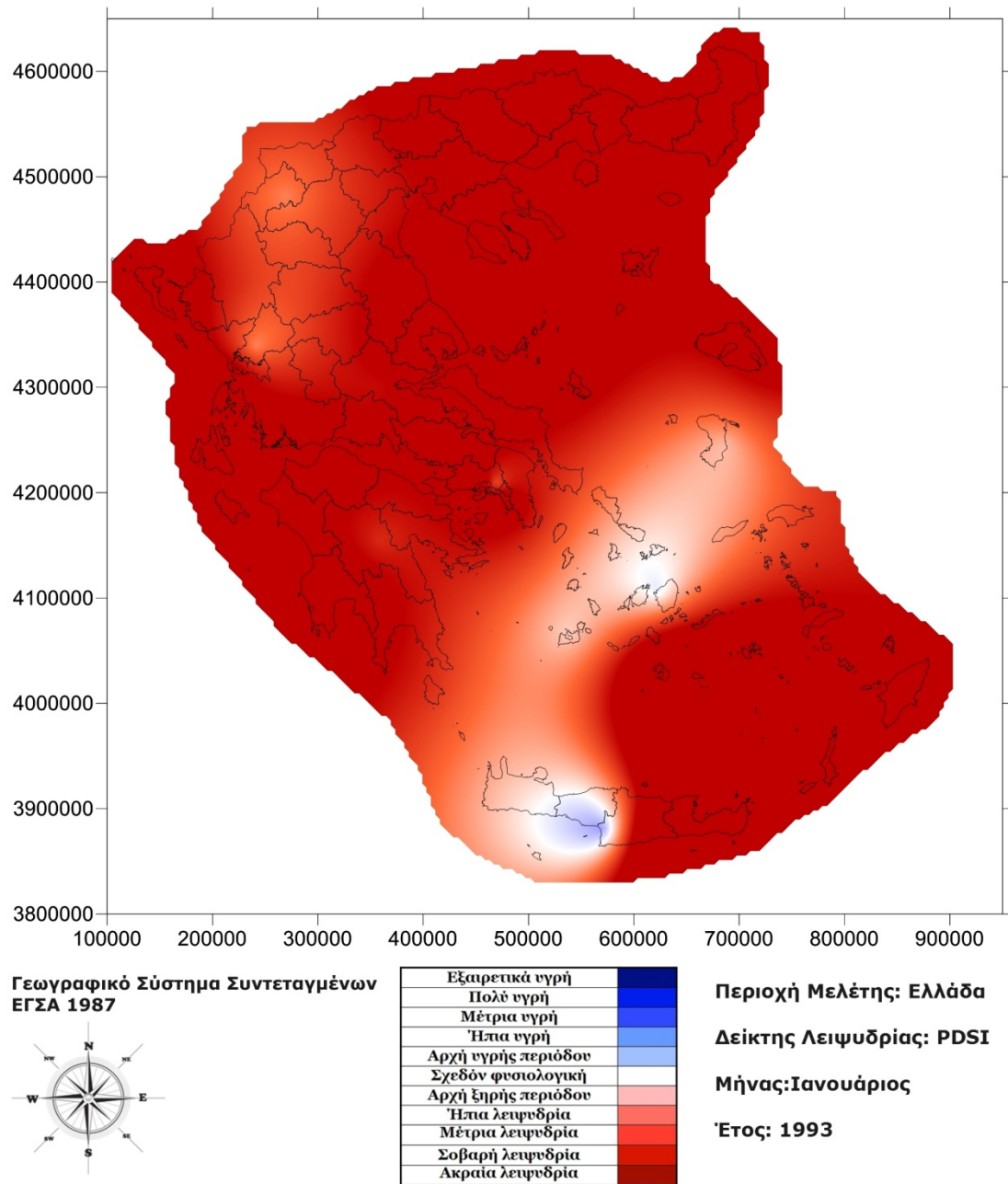
Εικόνα IV.34. Χάρτης PDSI για τον μήνα Οκτώβριο του 1992 (kriging)



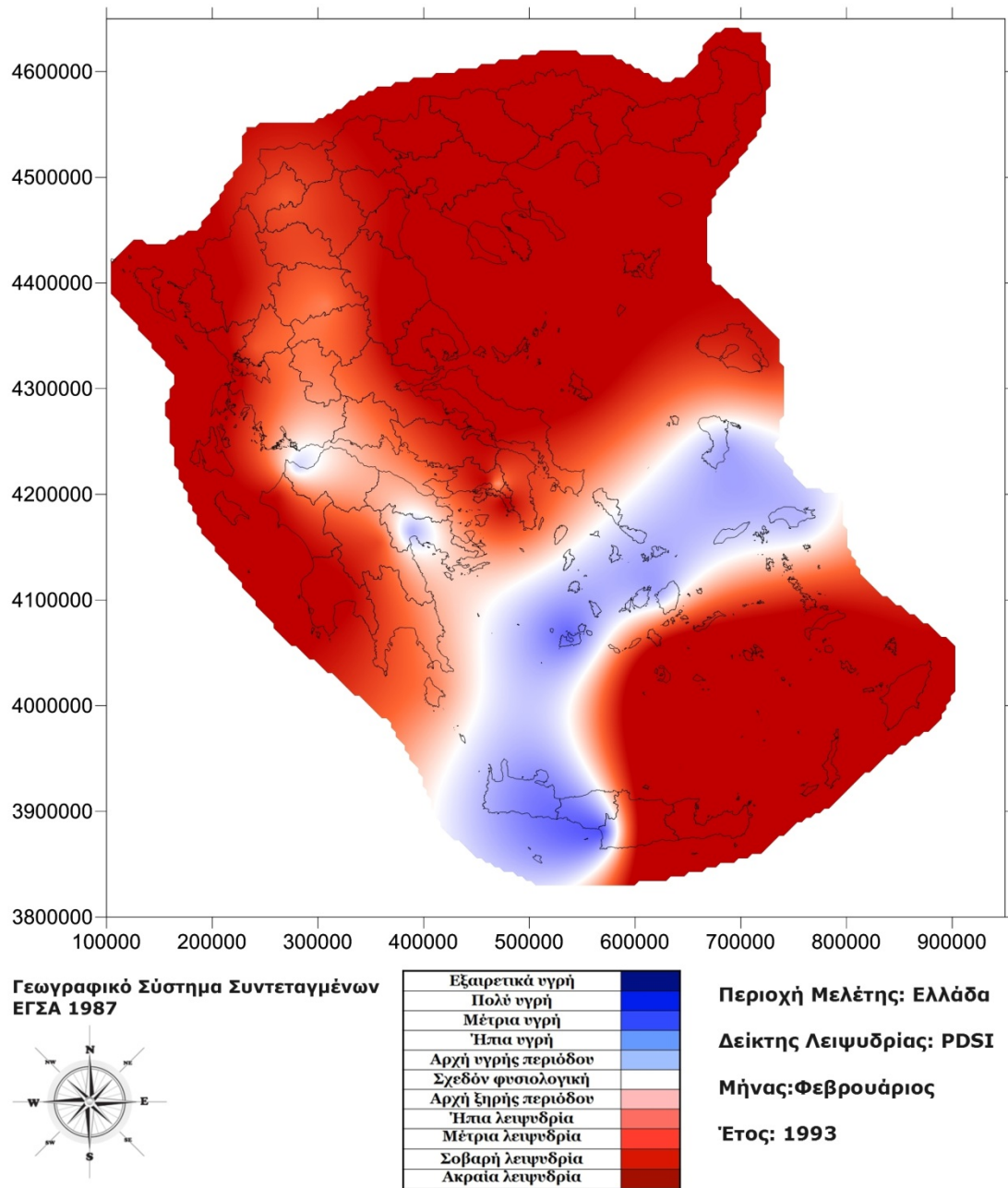
Εικόνα IV.35. Χάρτης PDSI για τον μήνα Νοέμβριο του 1992 (kriging)



*Εικόνα IV.36. Χάρτης PDSI για τον μήνα Δεκέμβριο του 1992 (kriging)*

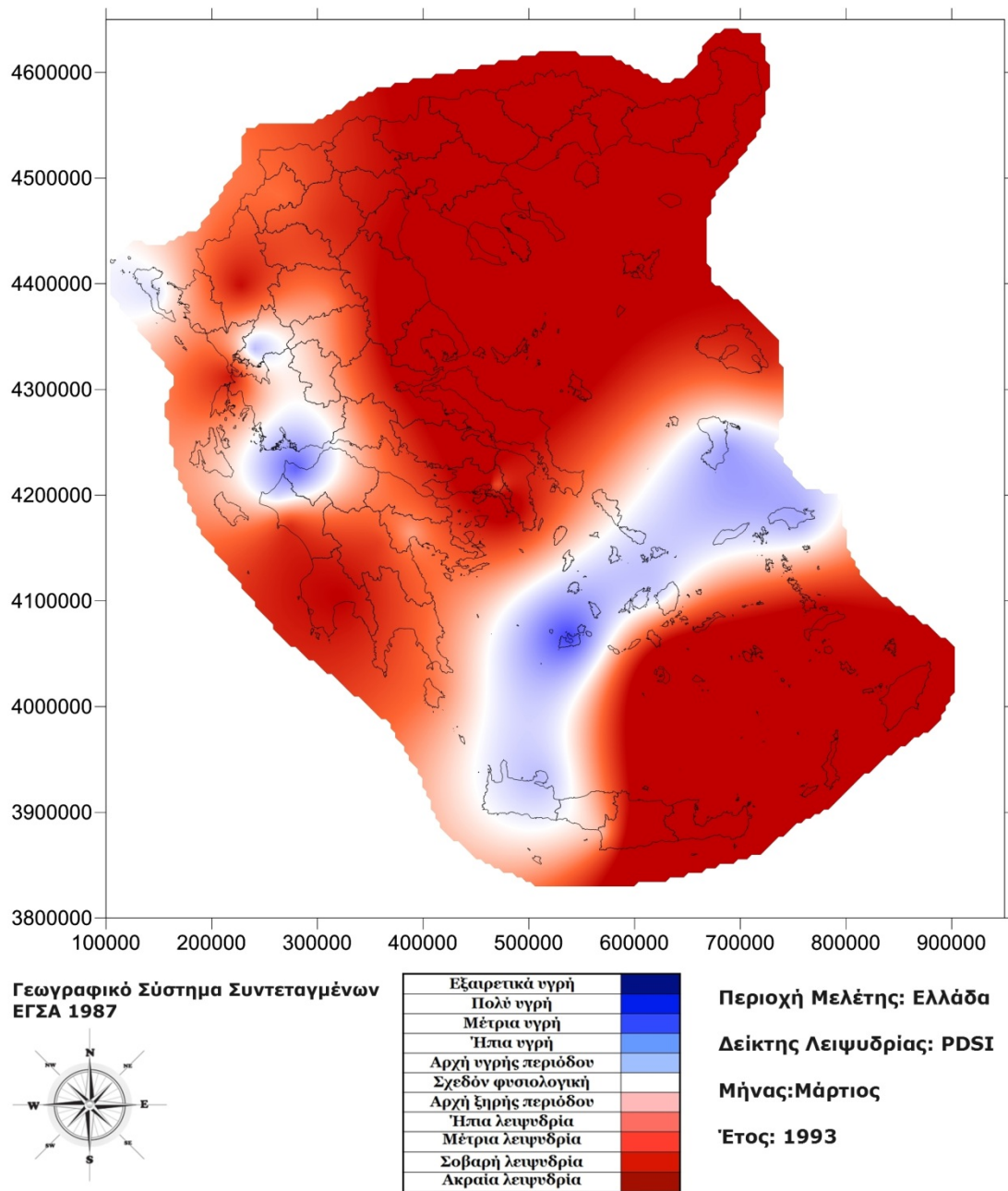


*Εικόνα IV.37. Χάρτης PDSI για τον μήνα Ιανουάριο του 1993 (kriging)*

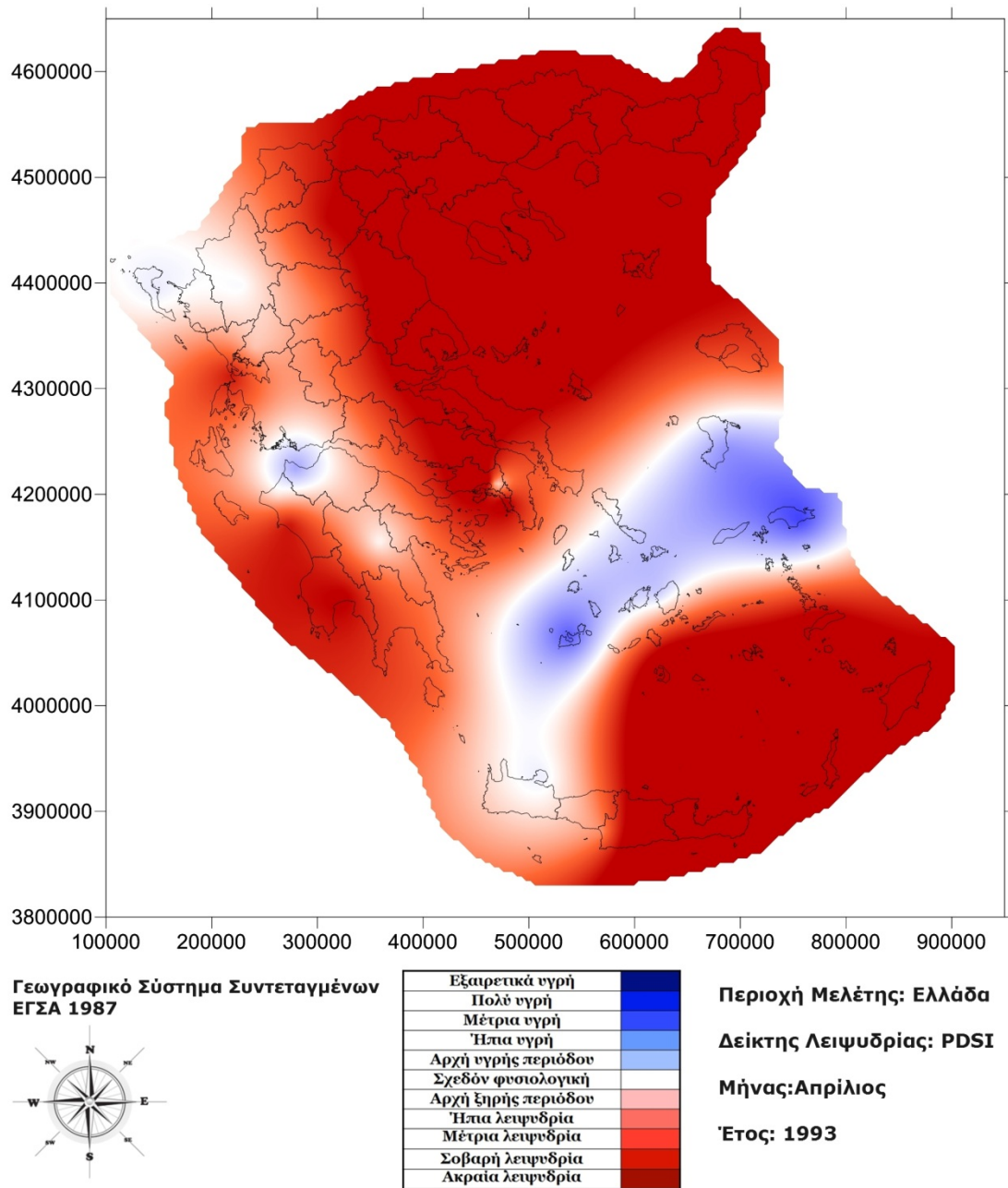


*Εικόνα IV.38. Χάρτης PDSI για τον μήνα Φεβρουάριο του 1993 (kriging)*

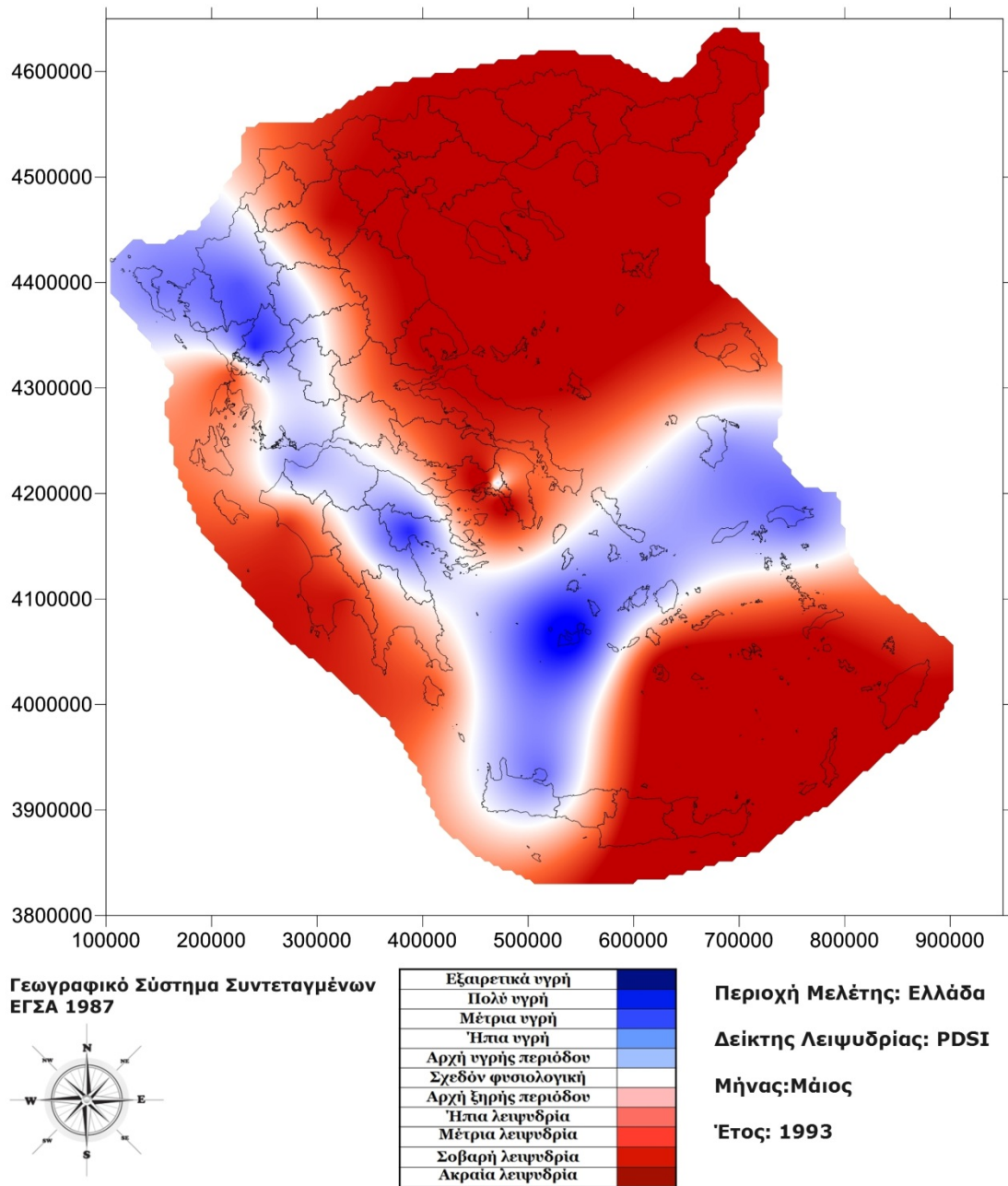




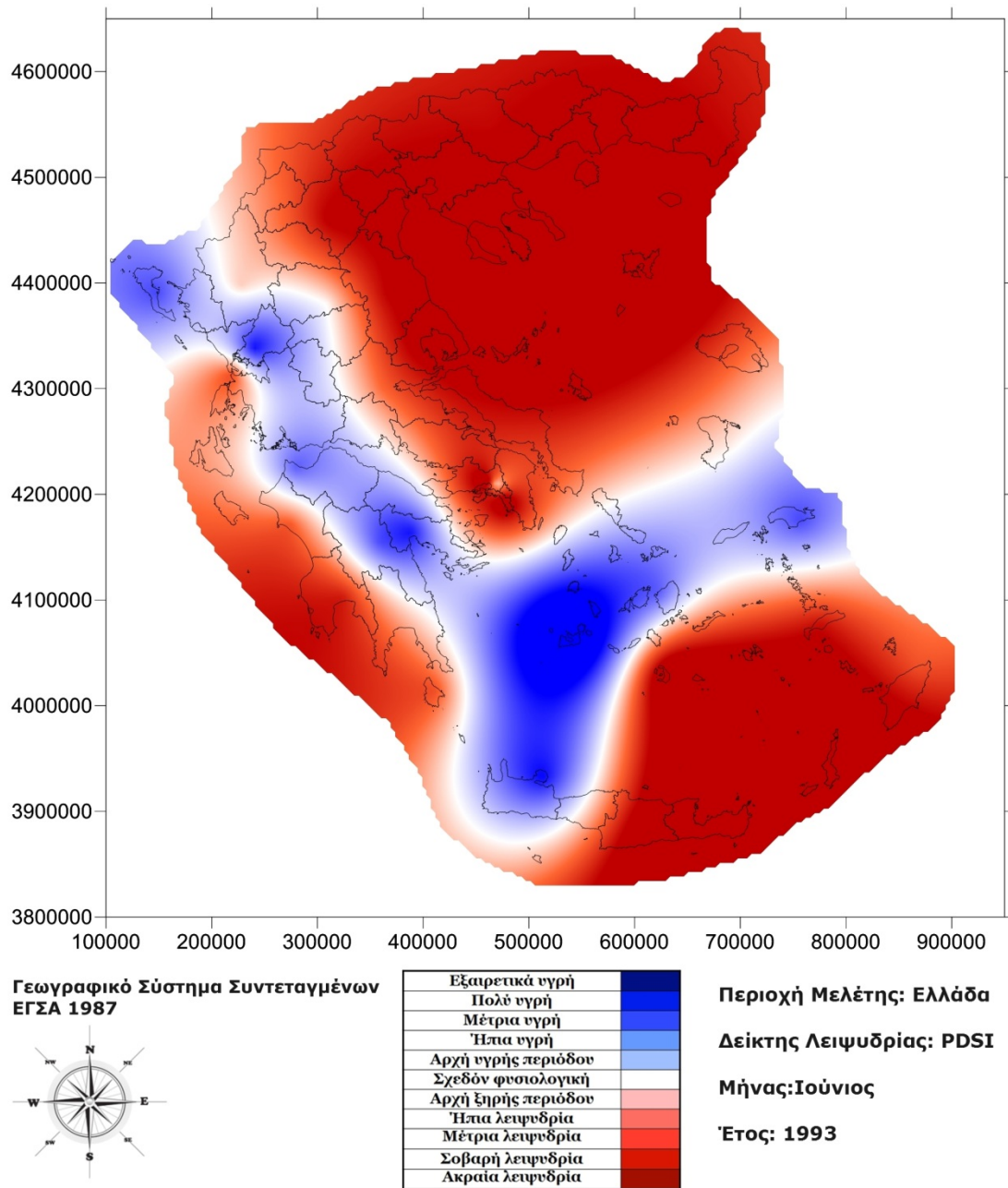
*Εικόνα IV.39. Χάρτης PDSI για τον μήνα Μάρτιο του 1993 (kriging)*



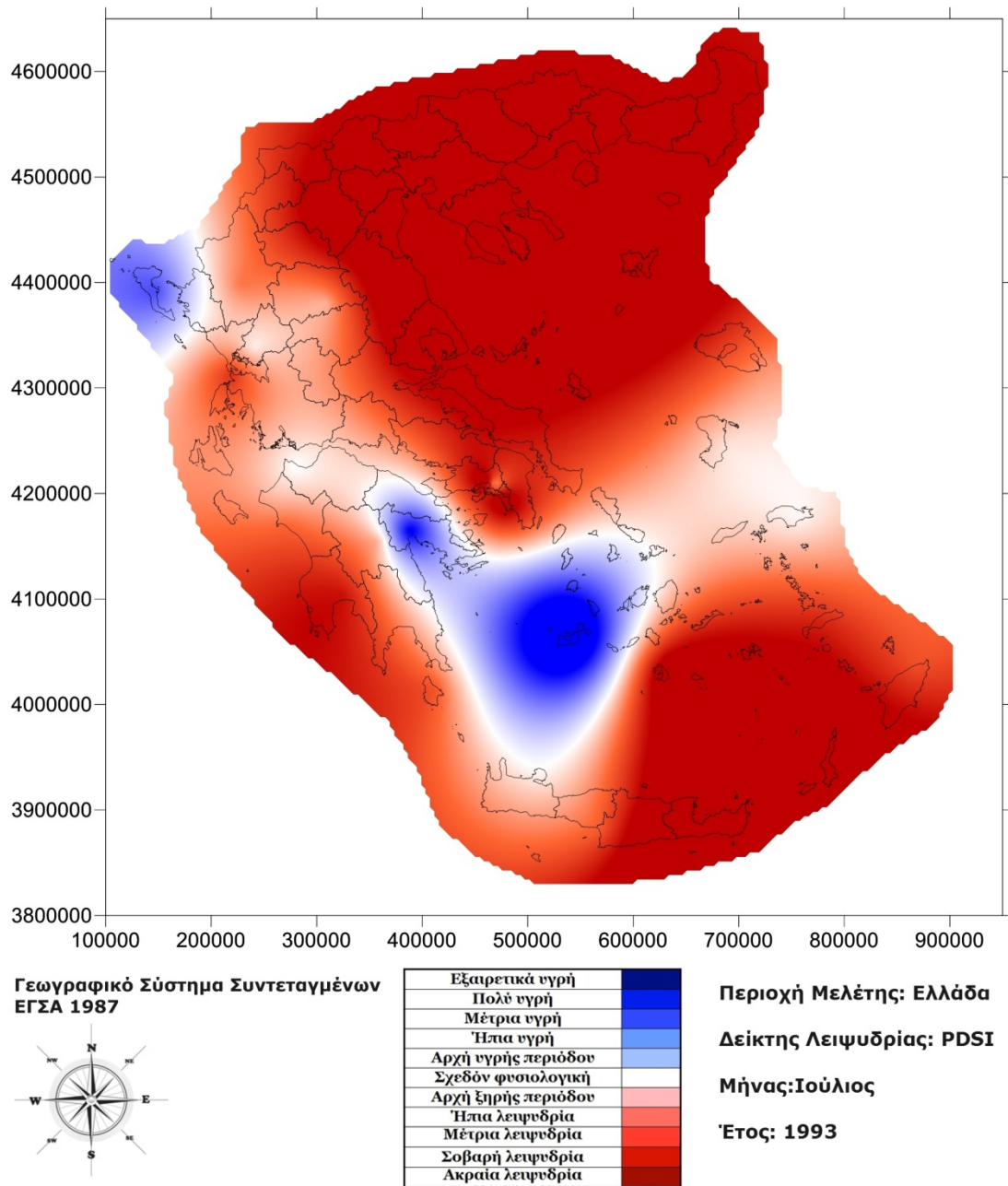
Εικόνα IV.40. Χάρτης PDSI για τον μήνα Απρίλιο του 1993 (kriging)



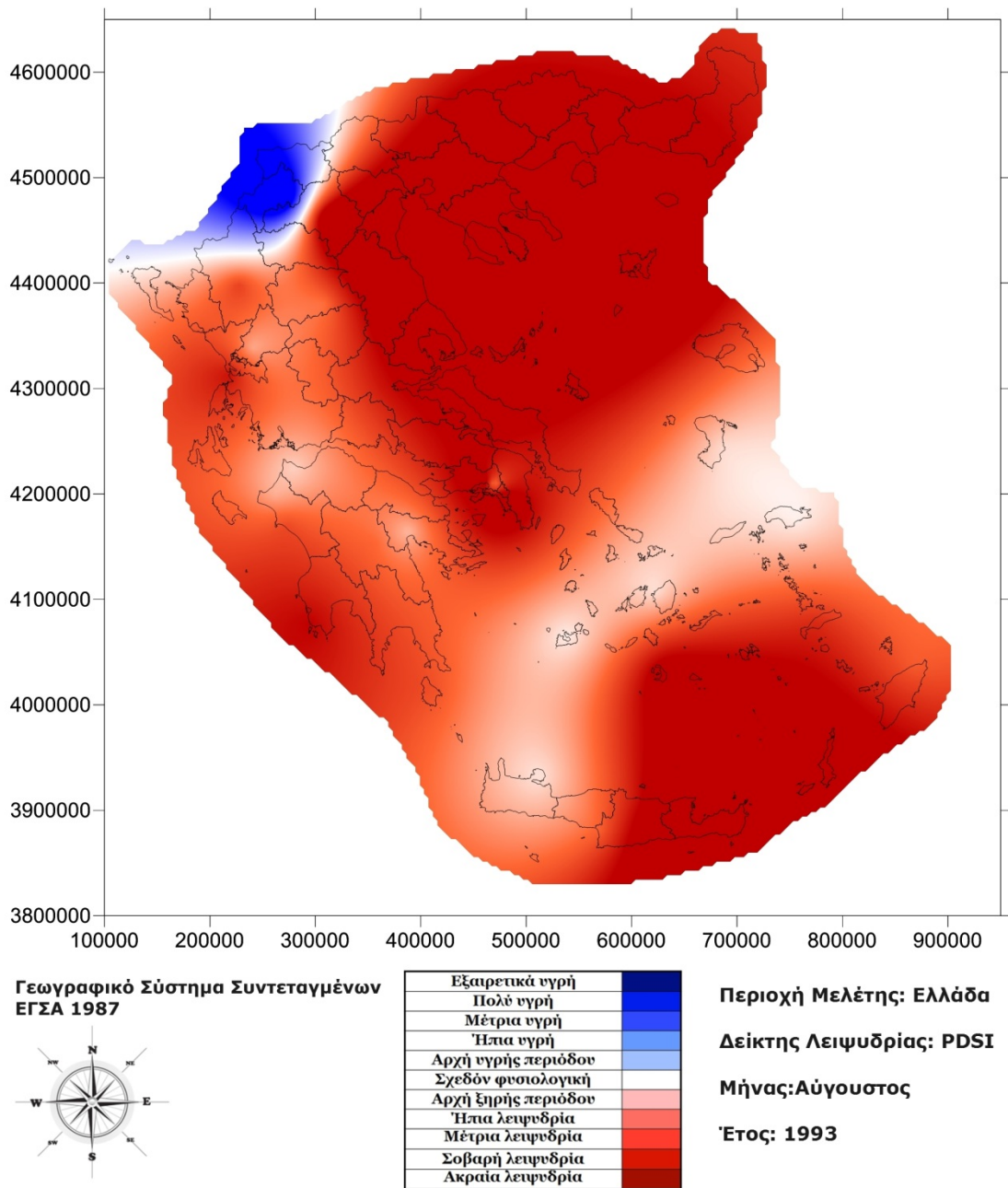
*Εικόνα IV.41. Χάρτης PDSI για τον μήνα Μάιο του 1993 (kriging)*



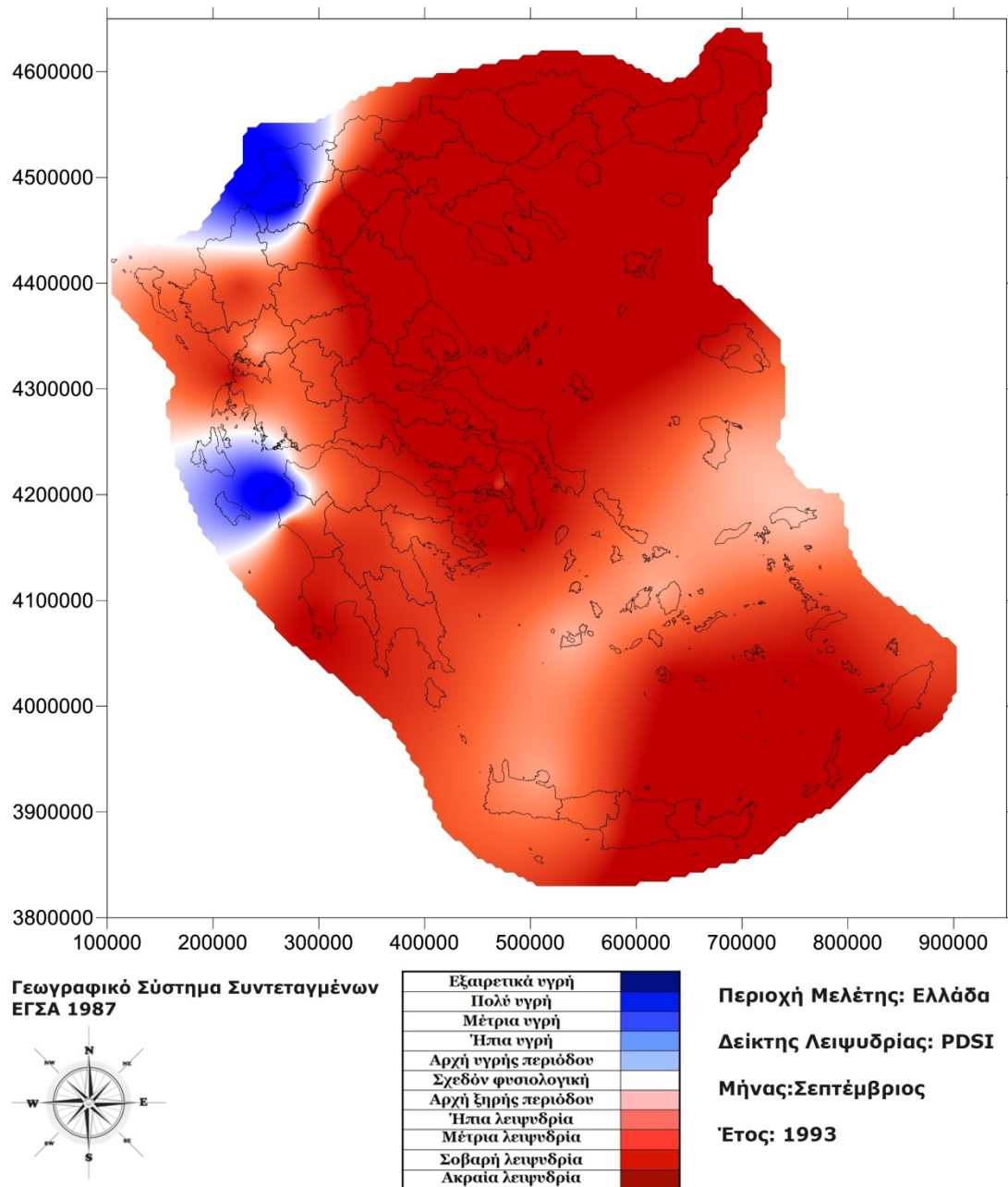
Εικόνα IV.42. Χάρτης PDSI για τον μήνα Ιούνιο του 1993 (kriging)



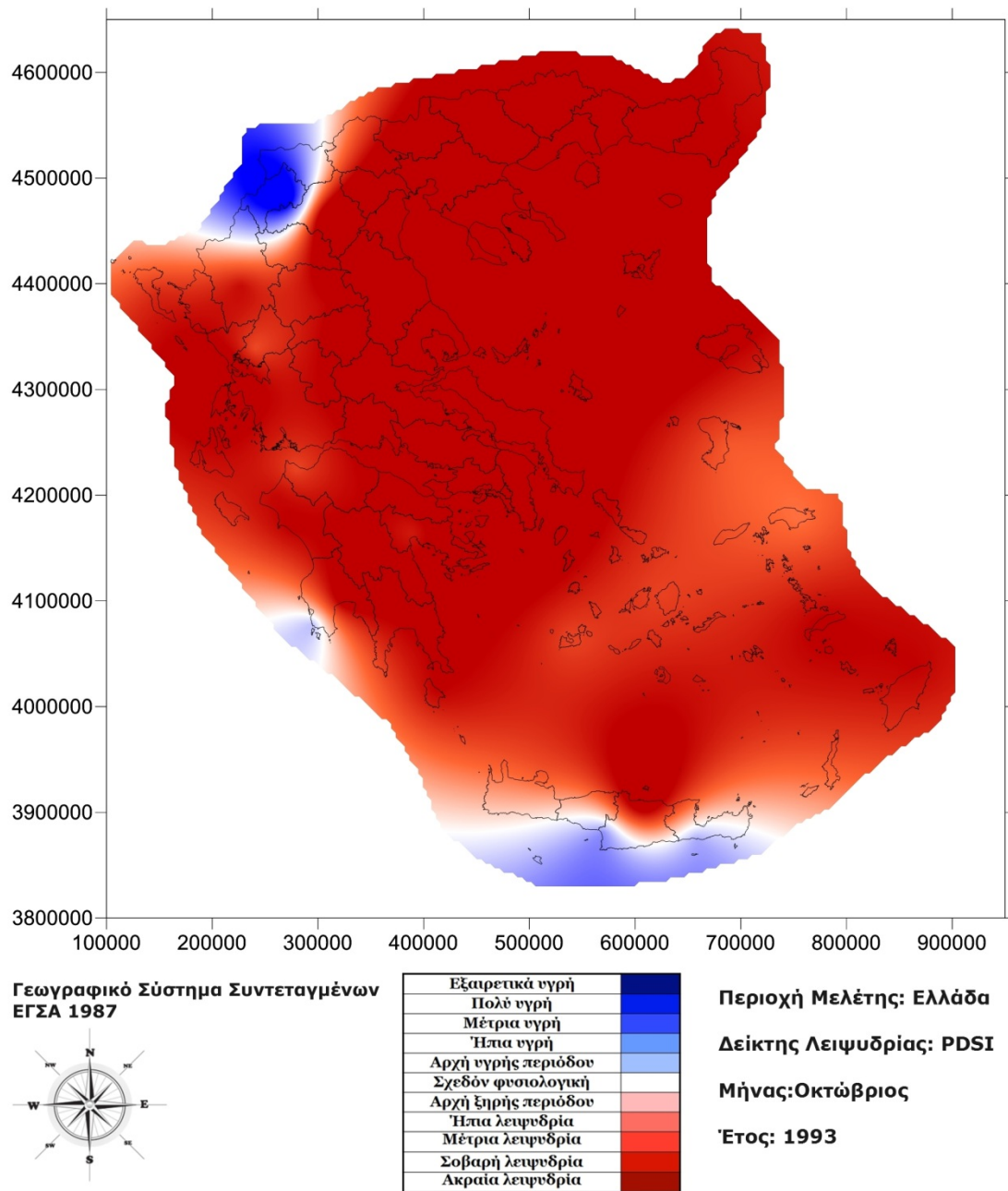
Εικόνα IV.43. Χάρτης PDSI για τον μήνα Ιούλιο του 1993 (kriging)



*Εικόνα IV.44. Χάρτης PDSI για τον μήνα Αύγουστο του 1993 (kriging)*

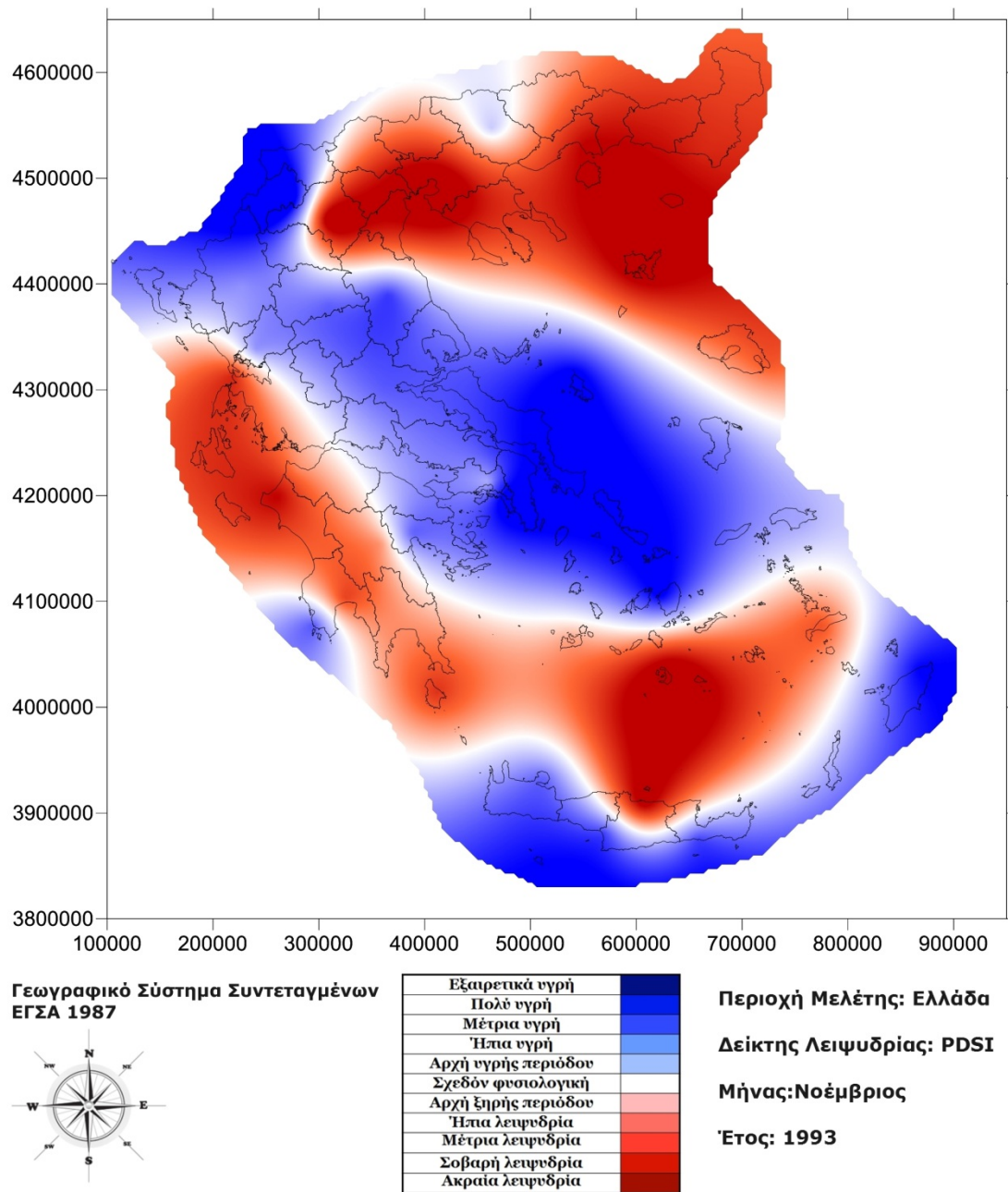


*Εικόνα IV.45. Χάρτης PDSI για τον μήνα Σεπτέμβριο του 1993 (kriging)*

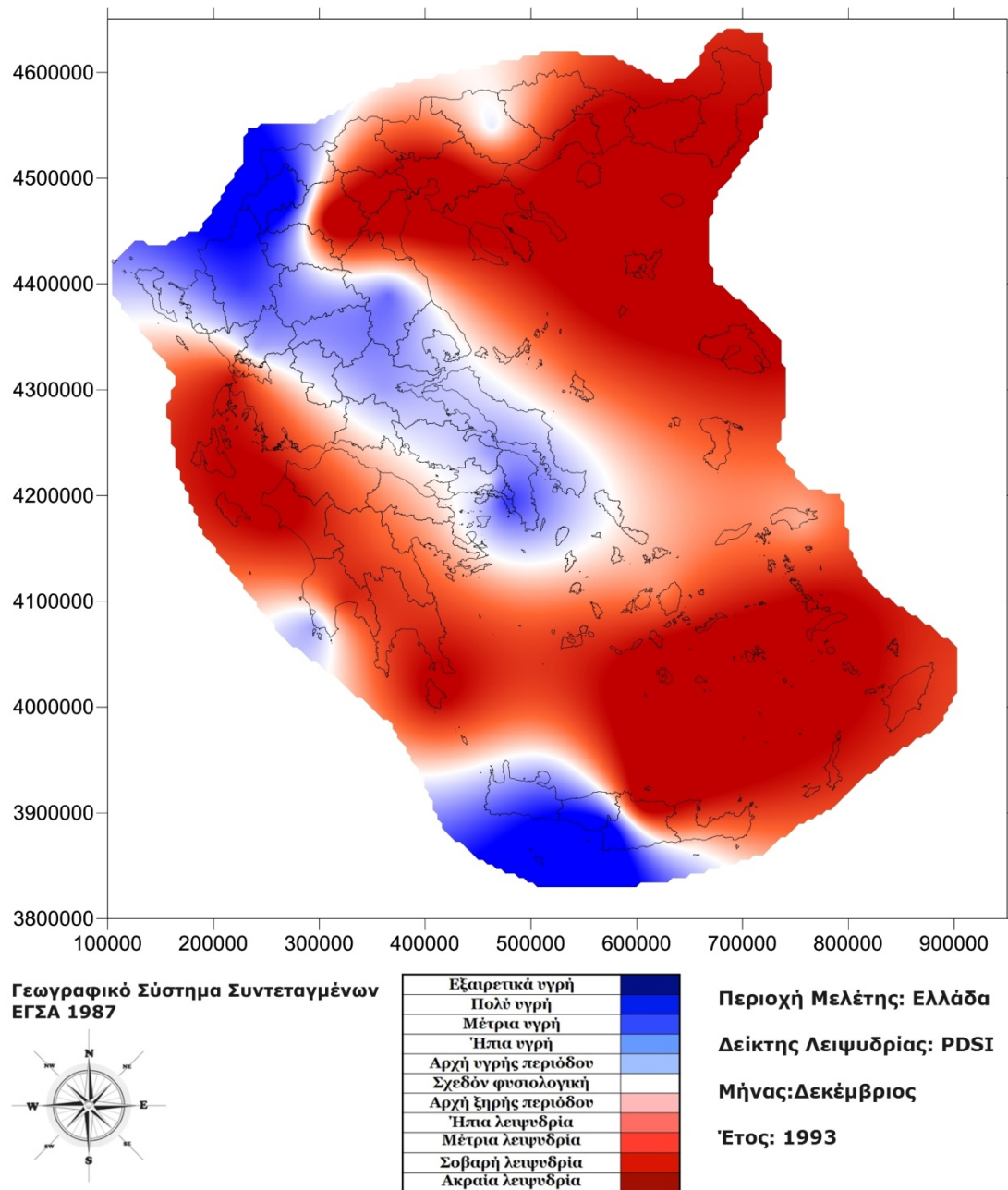


Εικόνα IV.46. Χάρτης PDSI για τον μήνα Οκτώβριο του 1993 (kriging)

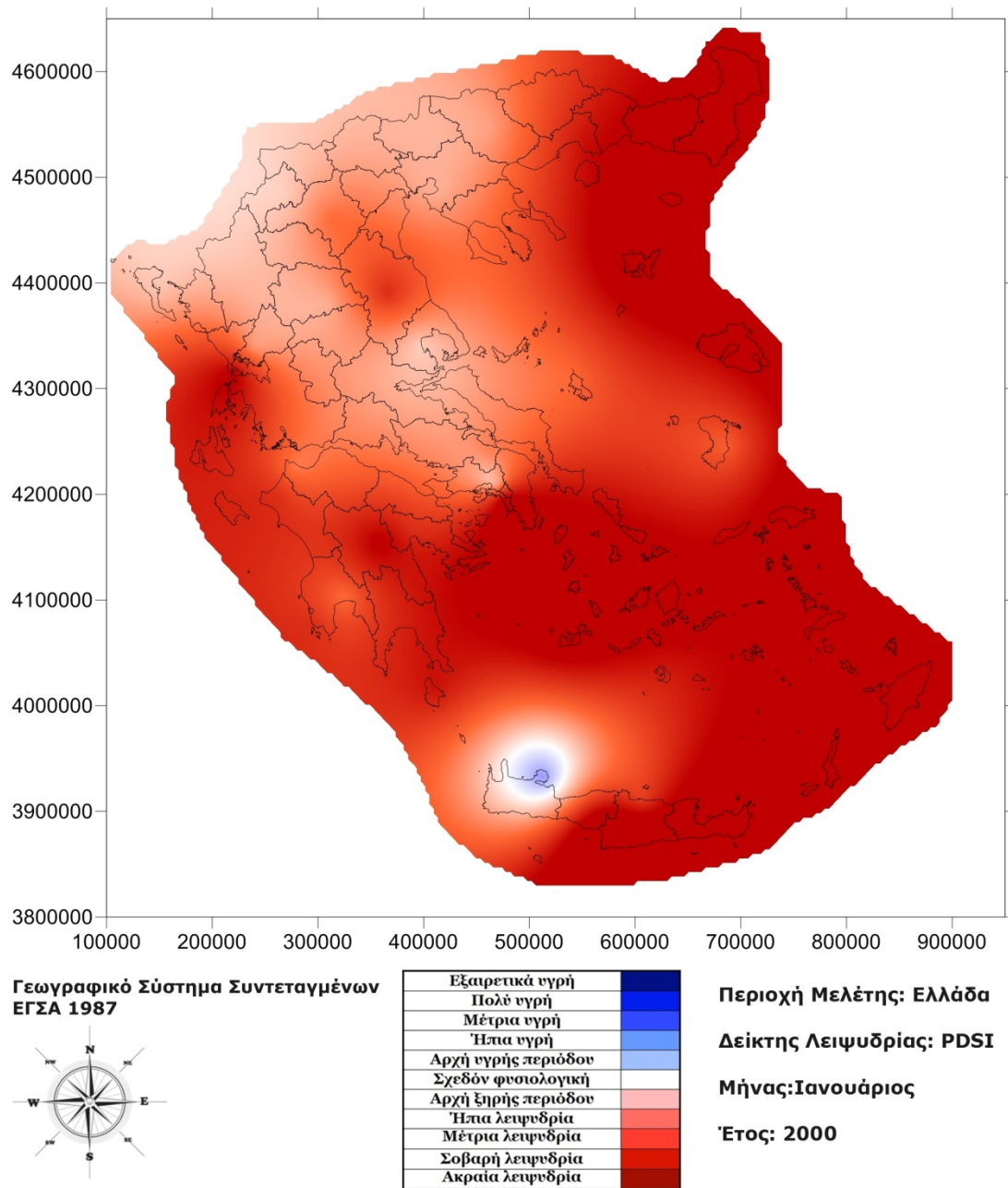




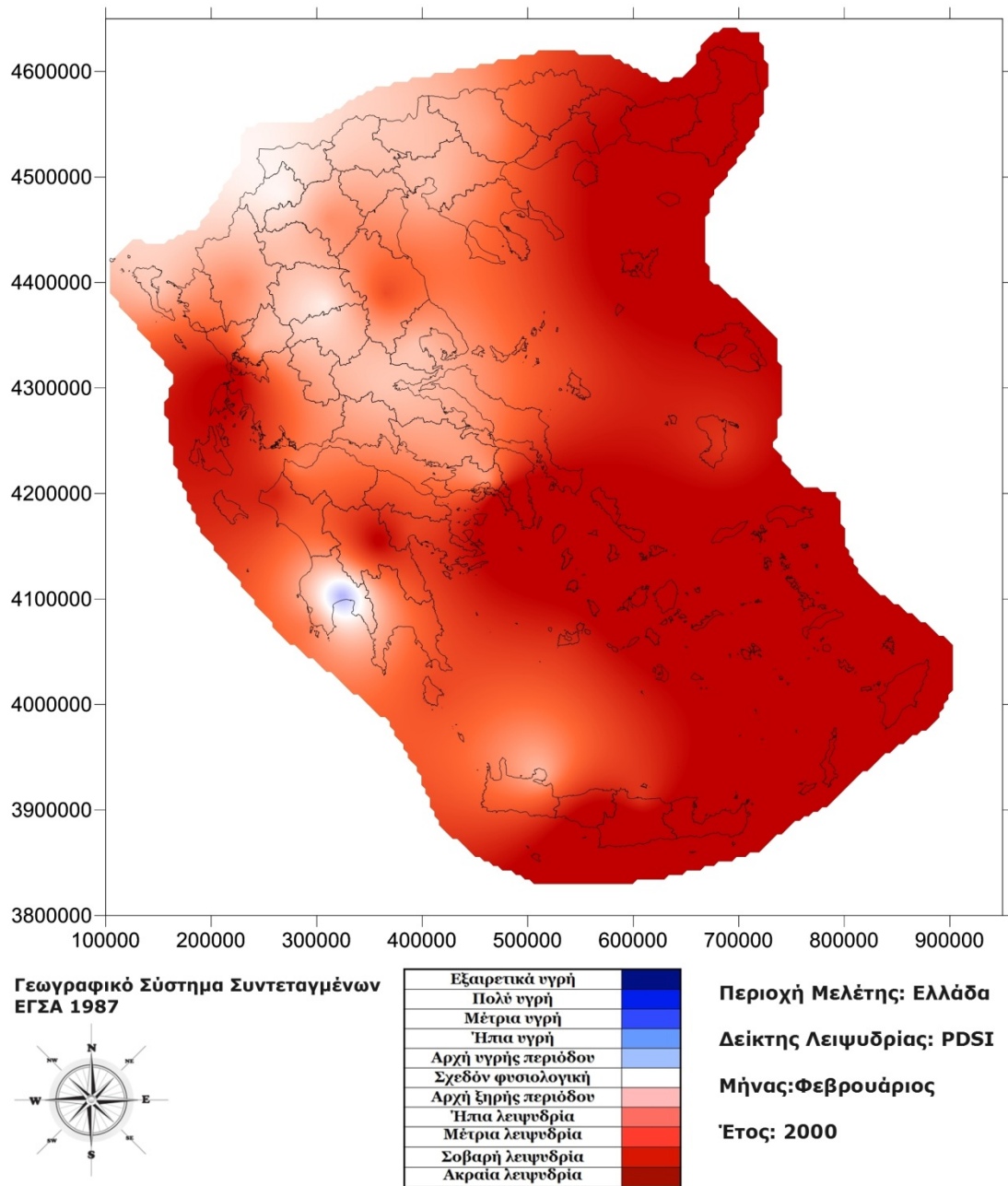
*Εικόνα IV.47. Χάρτης PDSI για τον μήνα Νοέμβριο του 1993 (kriging)*



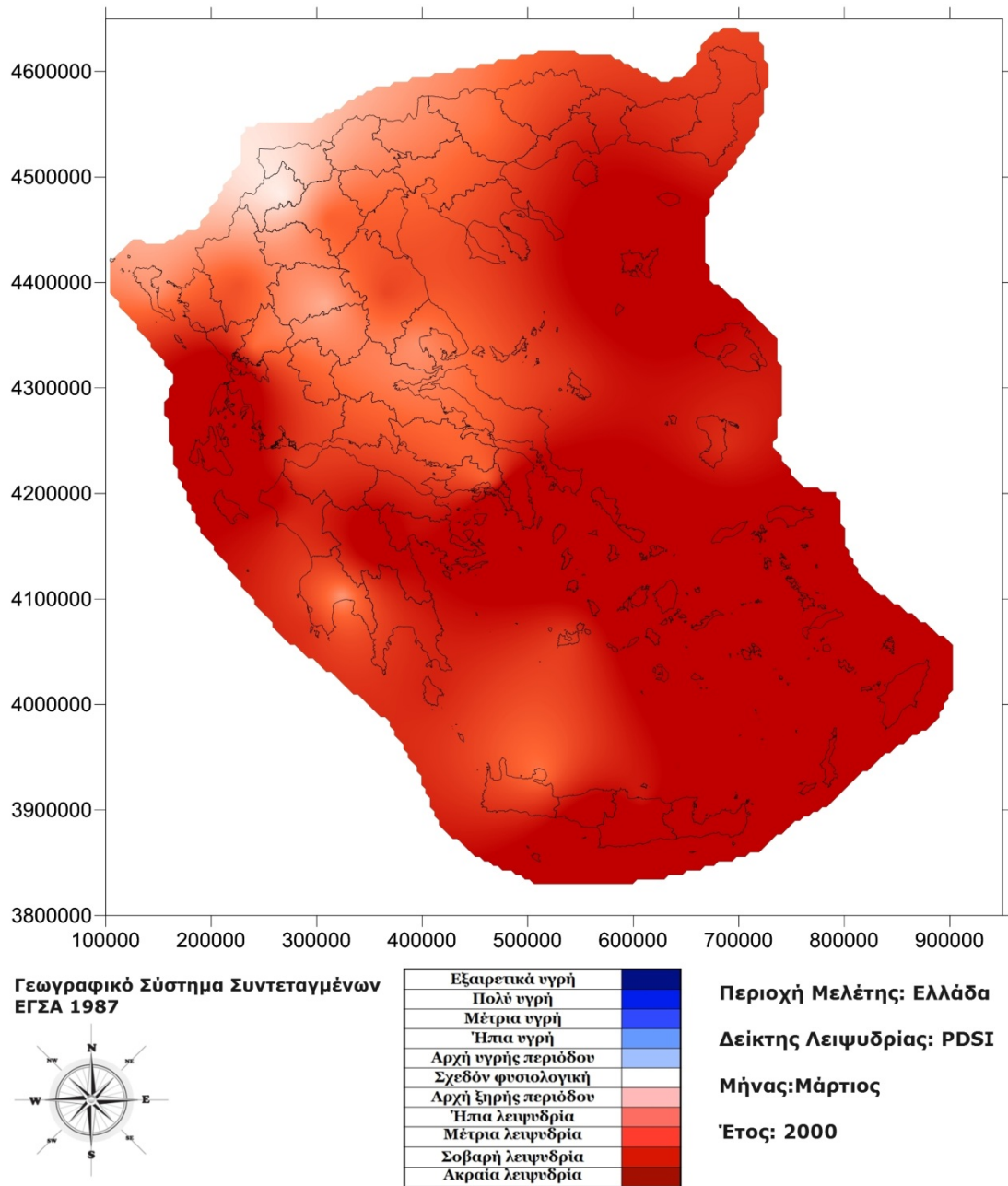
*Εικόνα IV.48. Χάρτης PDSI για τον μήνα Δεκέμβριο του 1993 (kriging)*



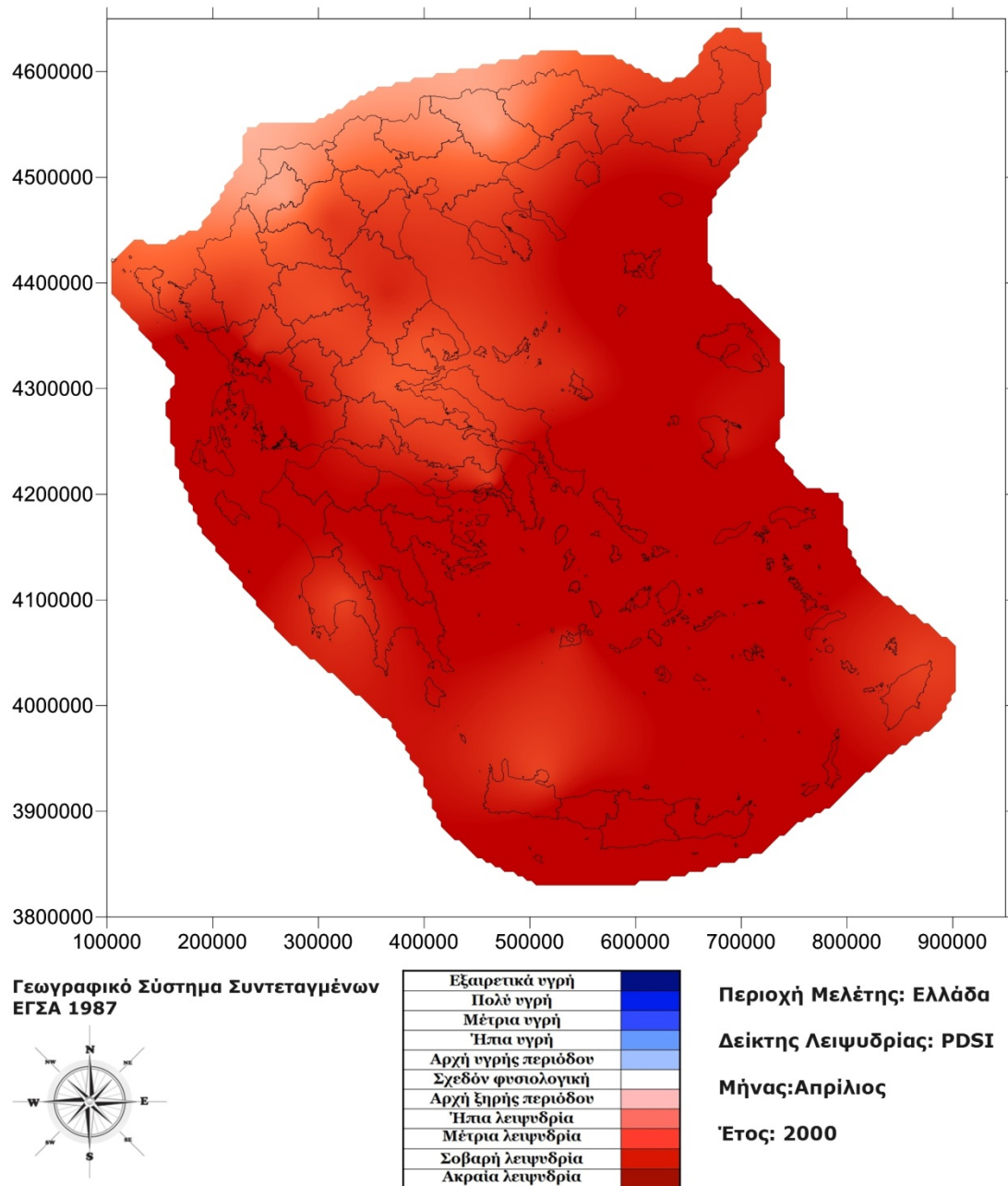
*Εικόνα IV.49. Χάρτης PDSI για τον μήνα Ιανουάριο του 2000 (kriging)*



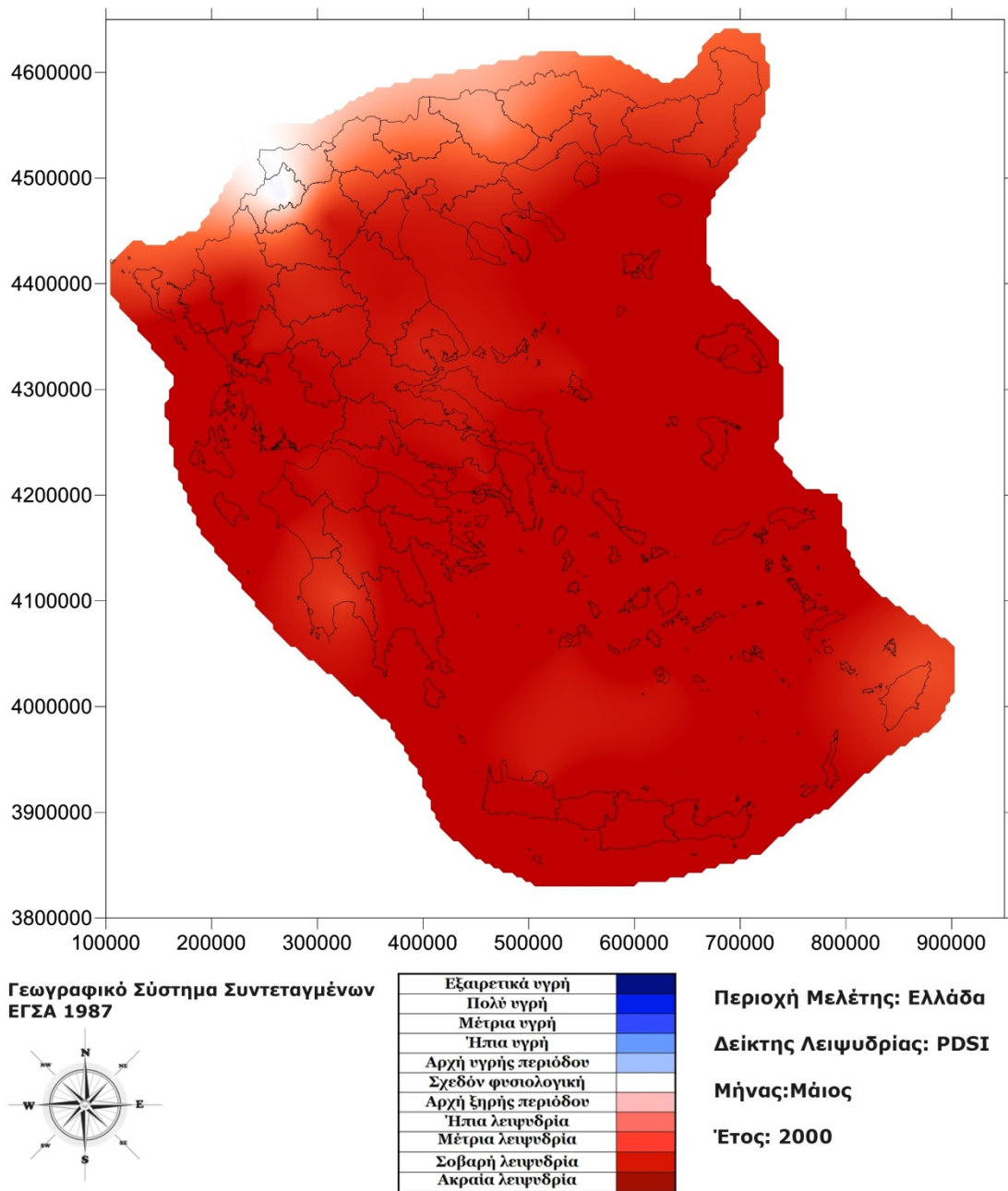
*Εικόνα IV.50. Χάρτης PDSI για τον μήνα Φεβρουάριο του 2000 (kriging)*



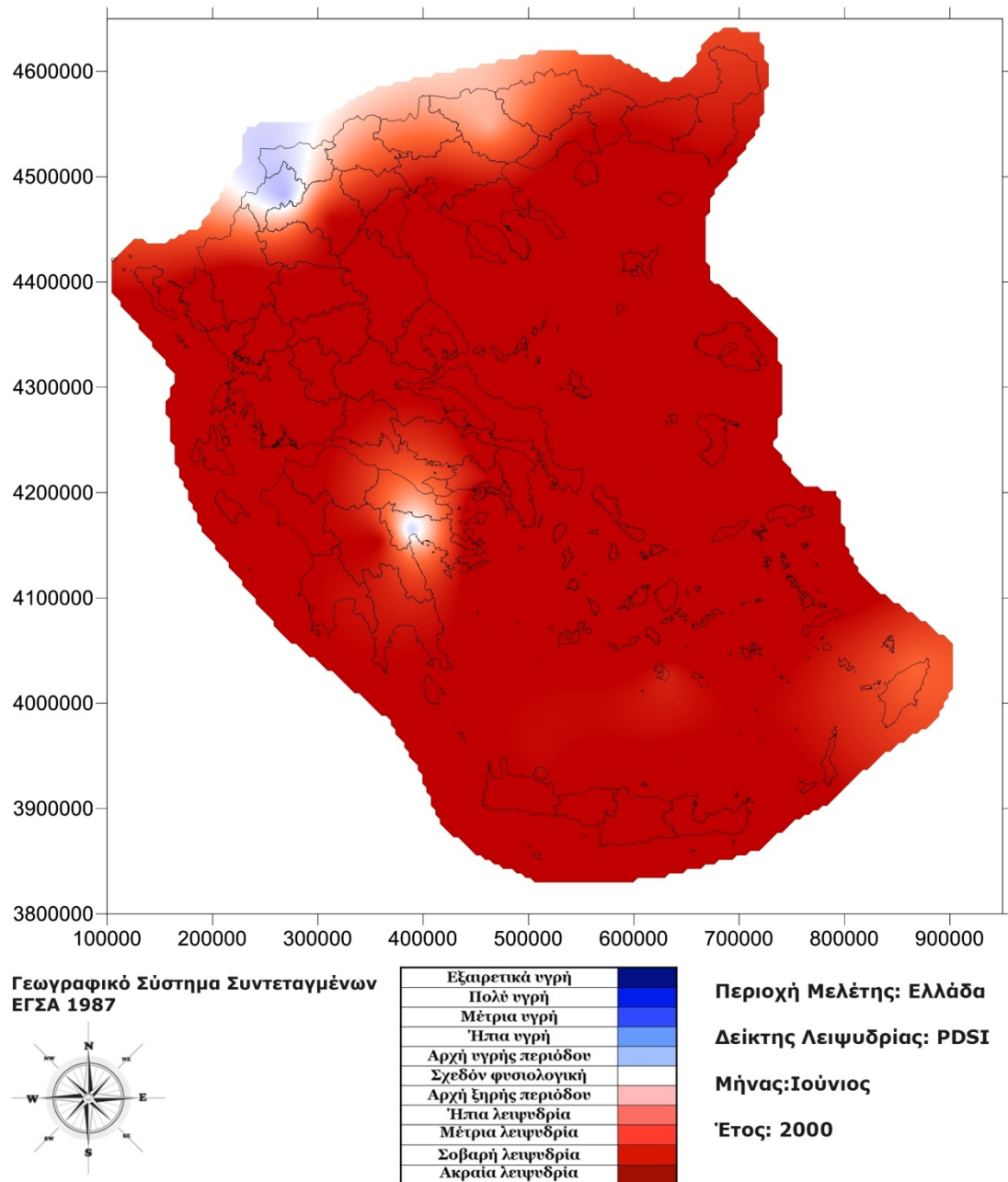
*Εικόνα IV.51. Χάρτης PDSI για τον μήνα Μάρτιο του 2000 (kriging)*



*Εικόνα IV.52. Χάρτης PDSI για τον μήνα Απρίλιο του 2000 (kriging)*

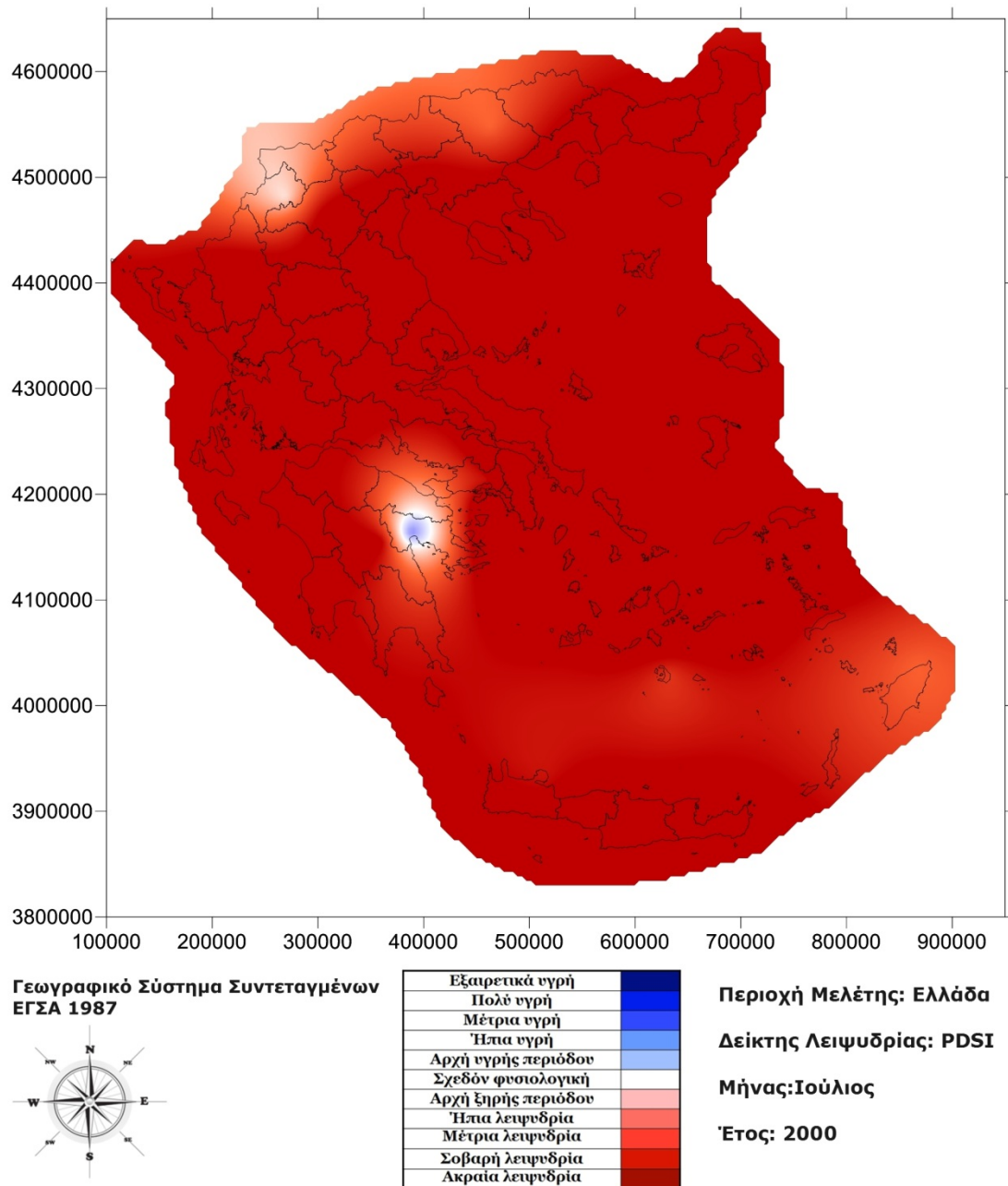


*Εικόνα IV.53. Χάρτης PDSI για τον μήνα Μάιο του 2000 (kriging)*

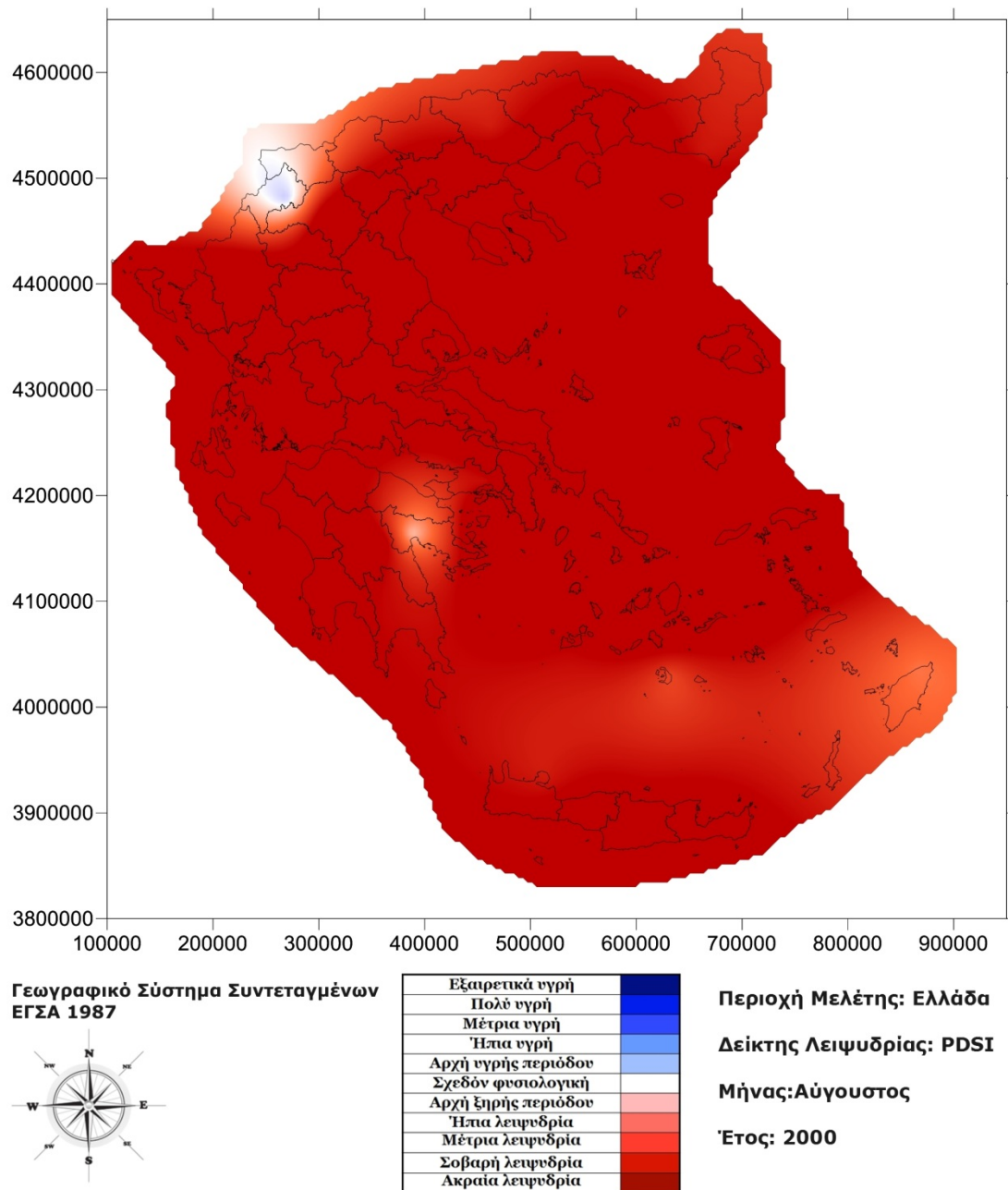


*Εικόνα IV.54. Χάρτης PDSI για τον μήνα Ιούνιο του 2000 (kriging)*

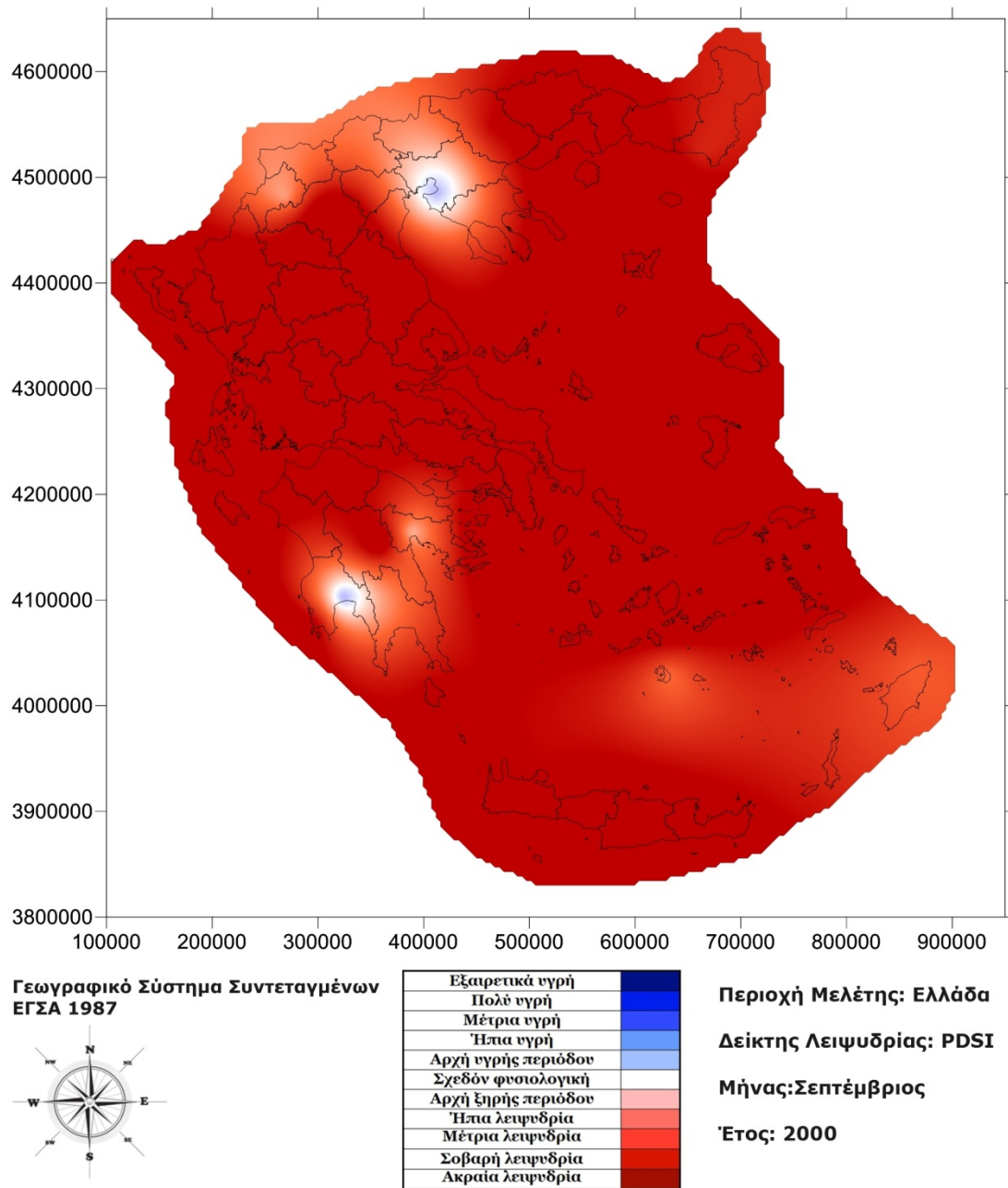




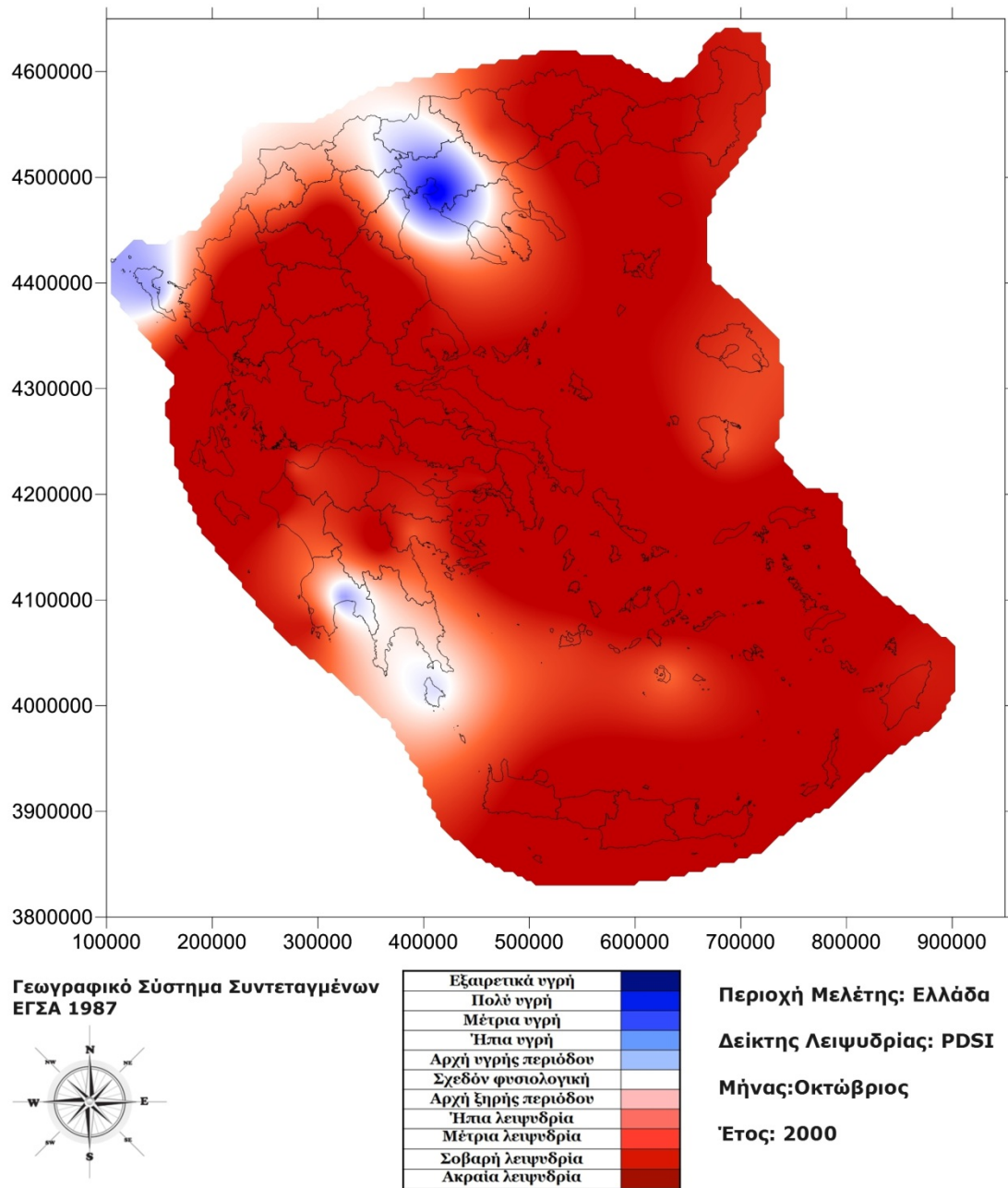
Εικόνα IV.55. Χάρτης PDSI για τον μήνα Ιούλιο του 2000 (kriging)



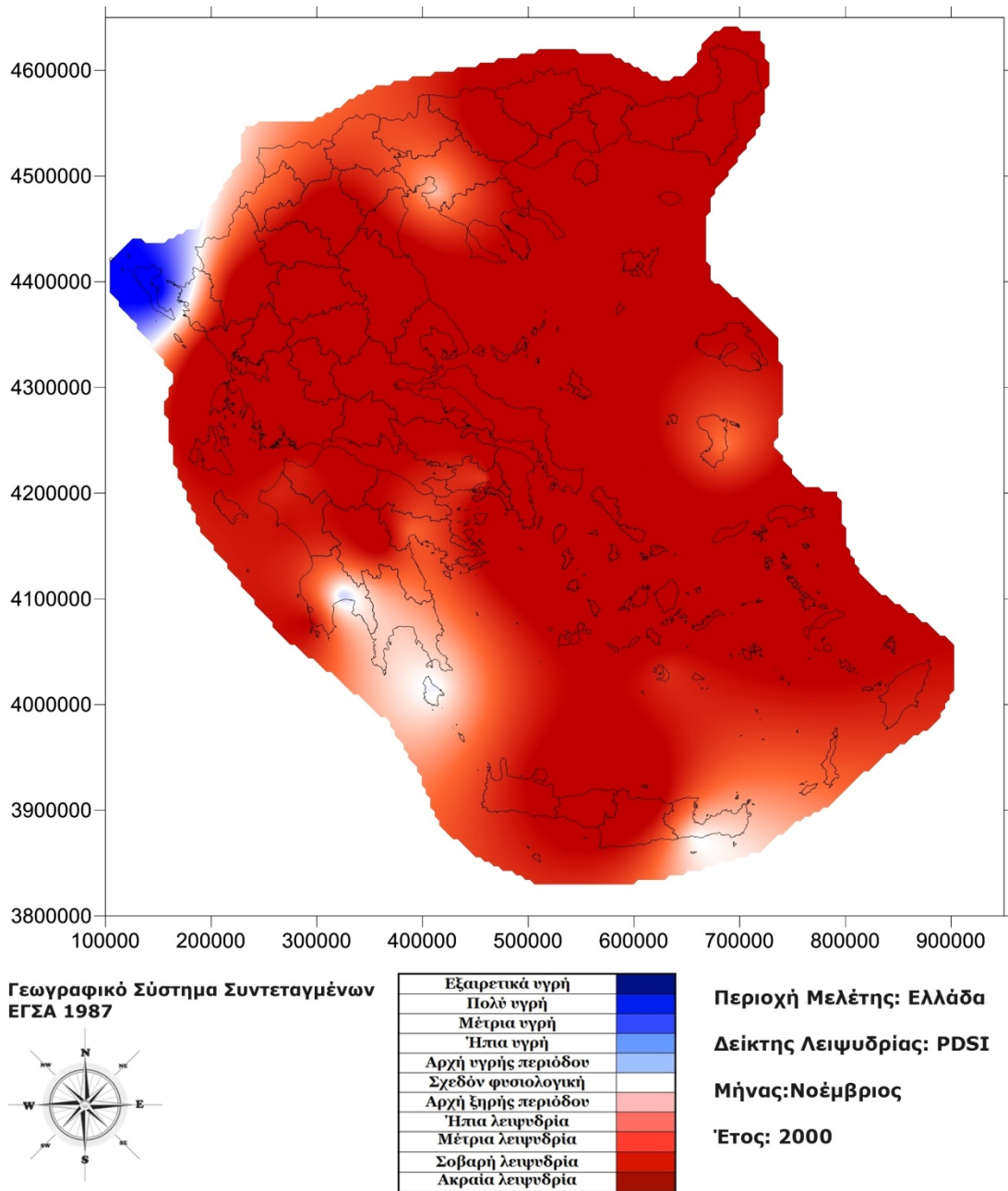
*Εικόνα IV.56. Χάρτης PDSI για τον μήνα Αύγουστο του 2000 (kriging)*



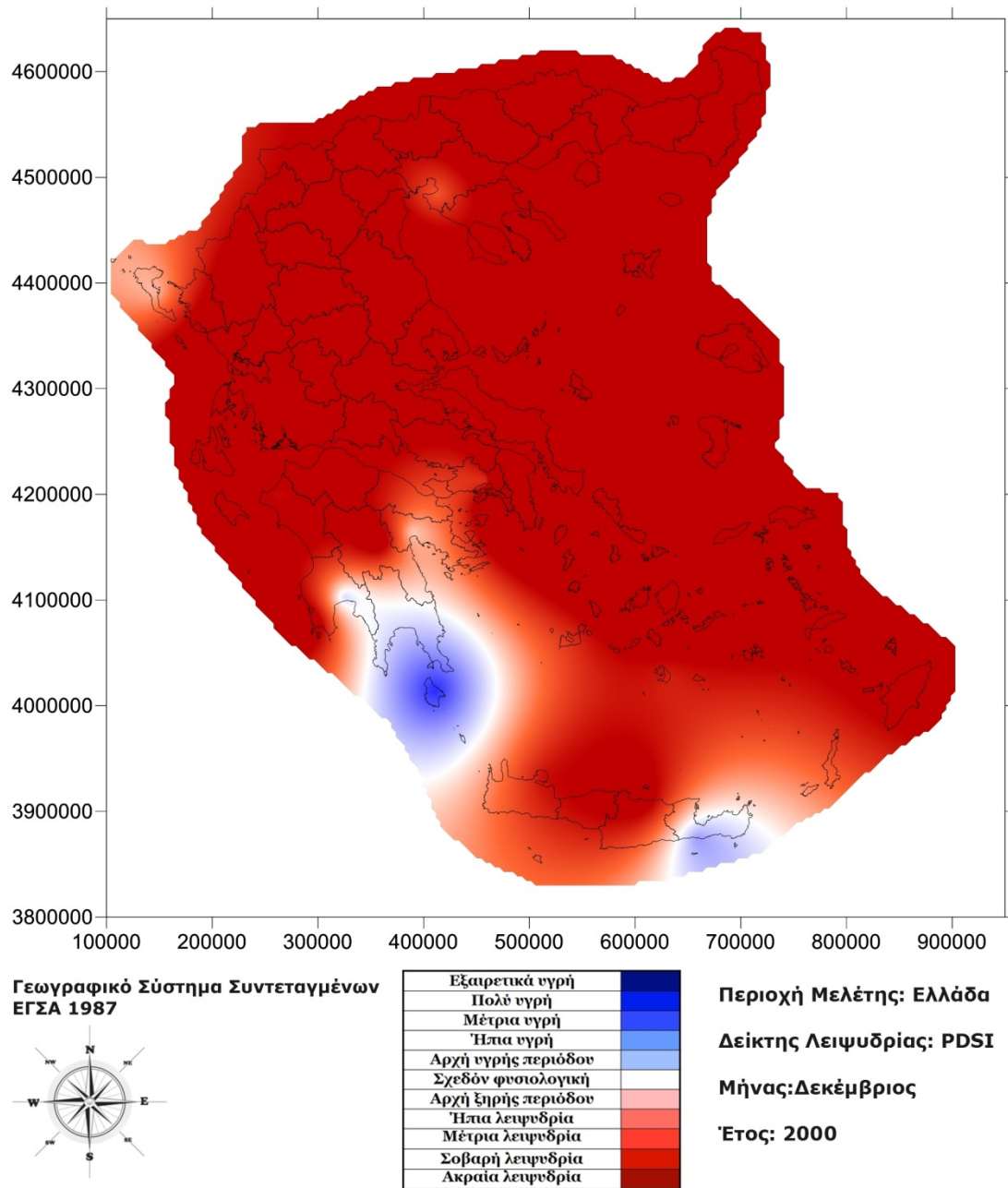
*Εικόνα IV.57. Χάρτης PDSI για τον μήνα Σεπτέμβριο του 2000 (kriging)*



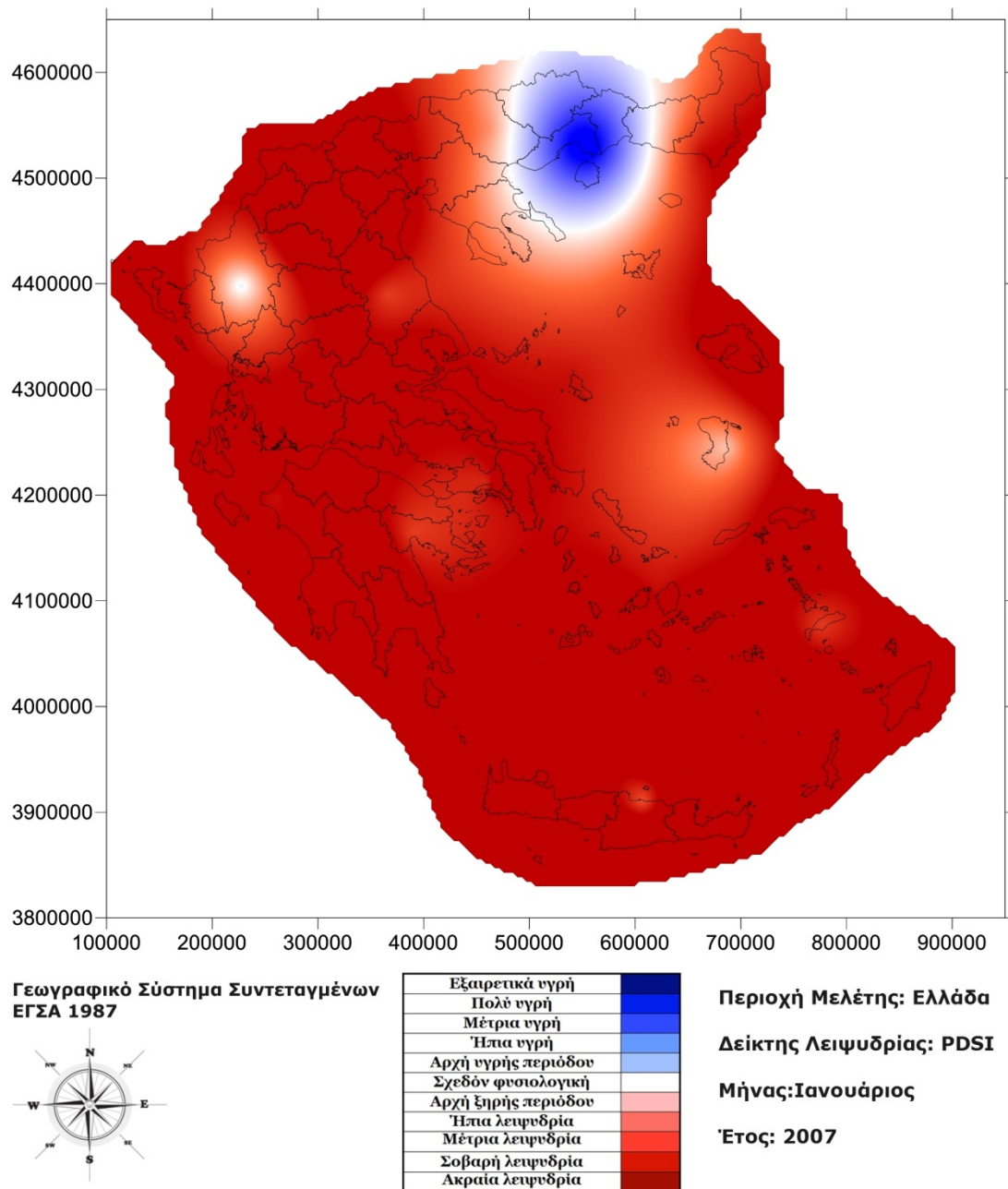
Εικόνα IV.58. Χάρτης PDSI για τον μήνα Οκτώβριο του 2000 (kriging)



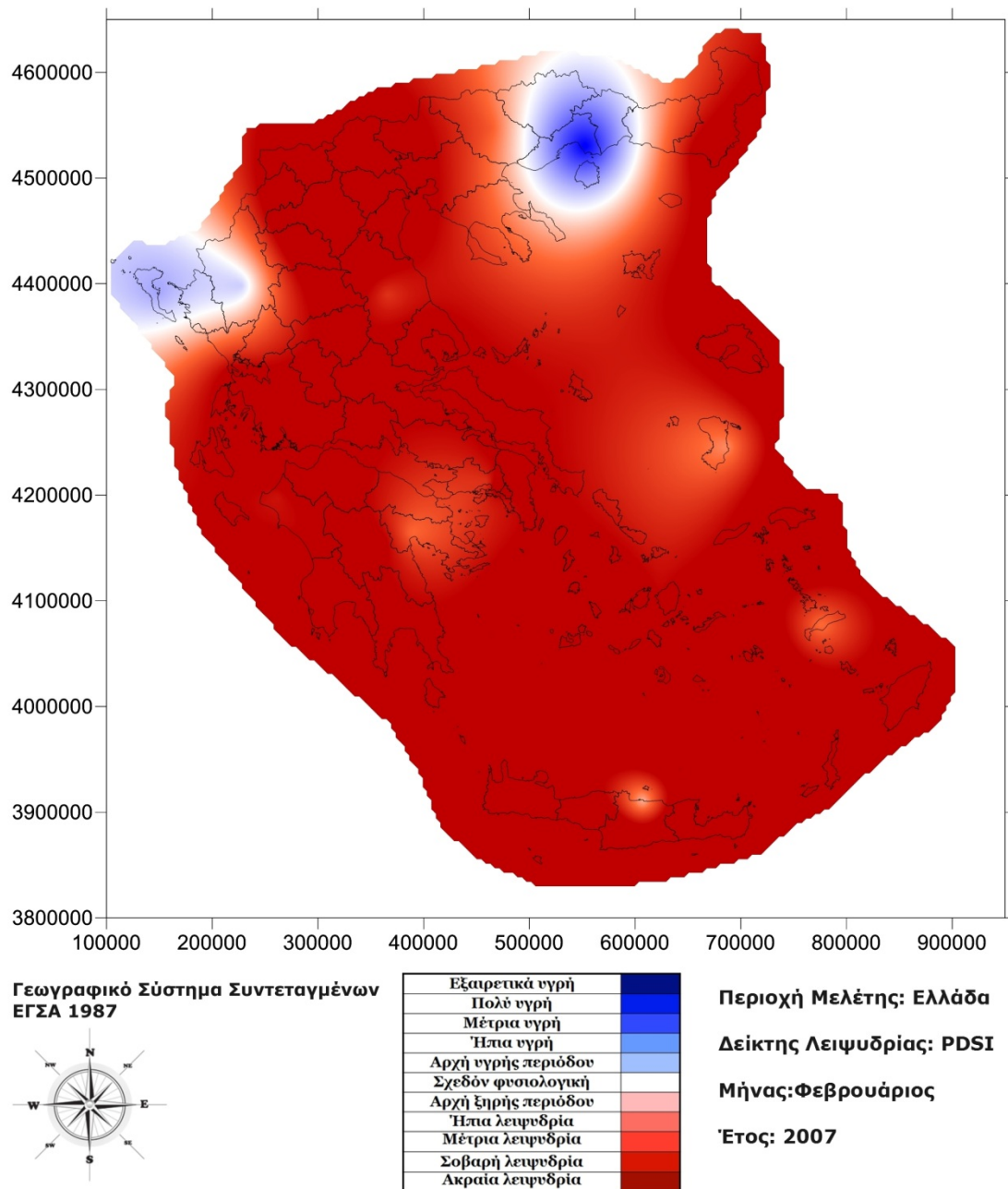
Εικόνα IV.59. Χάρτης PDSI για τον μήνα Νοέμβριο του 2000 (kriging)



Εικόνα IV.60. Χάρτης PDSI για τον μήνα Δεκέμβριο του 2000 (kriging)

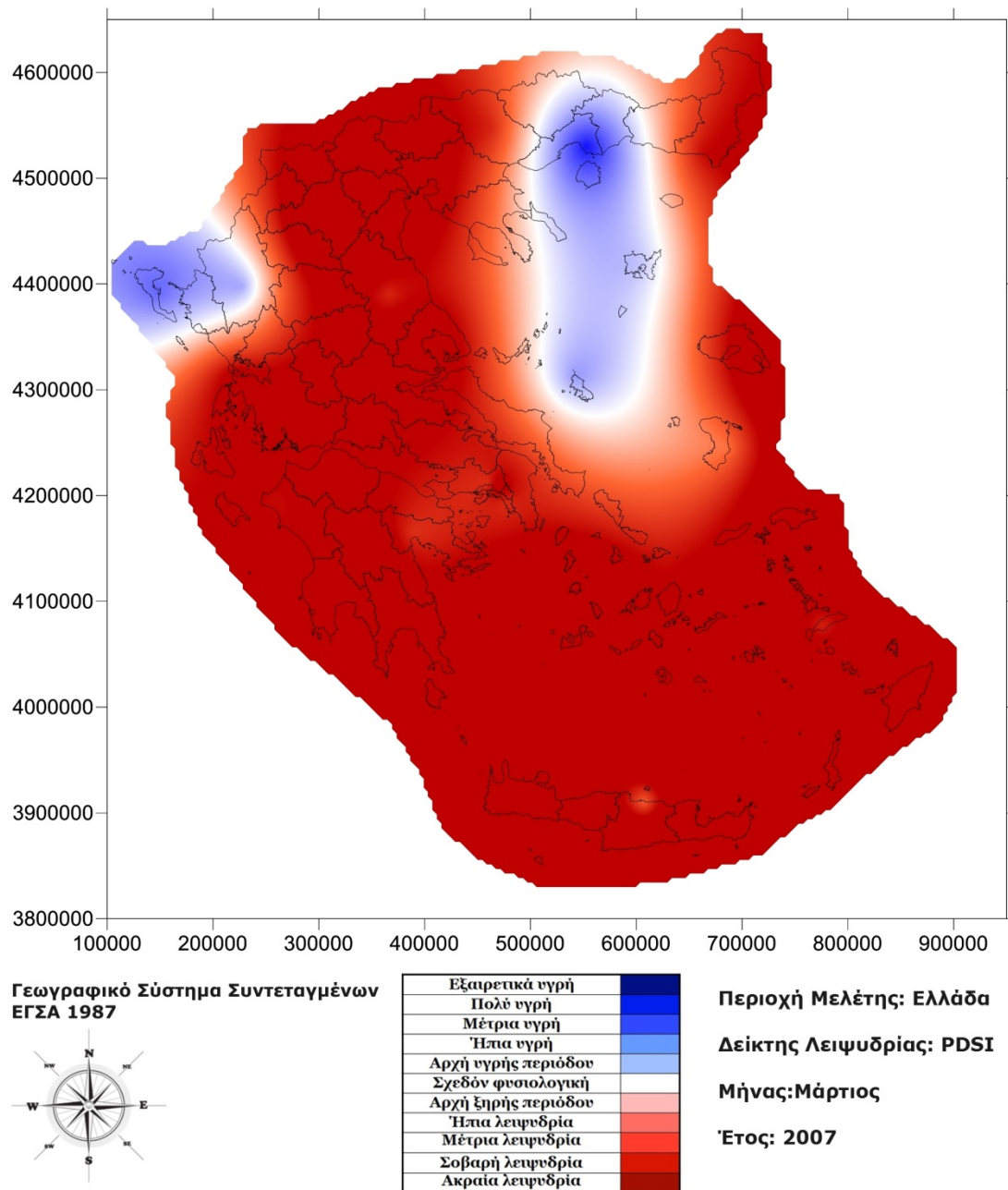


*Εικόνα IV.61. Χάρτης PDSI για τον μήνα Ιανουάριο του 2007 (kriging)*

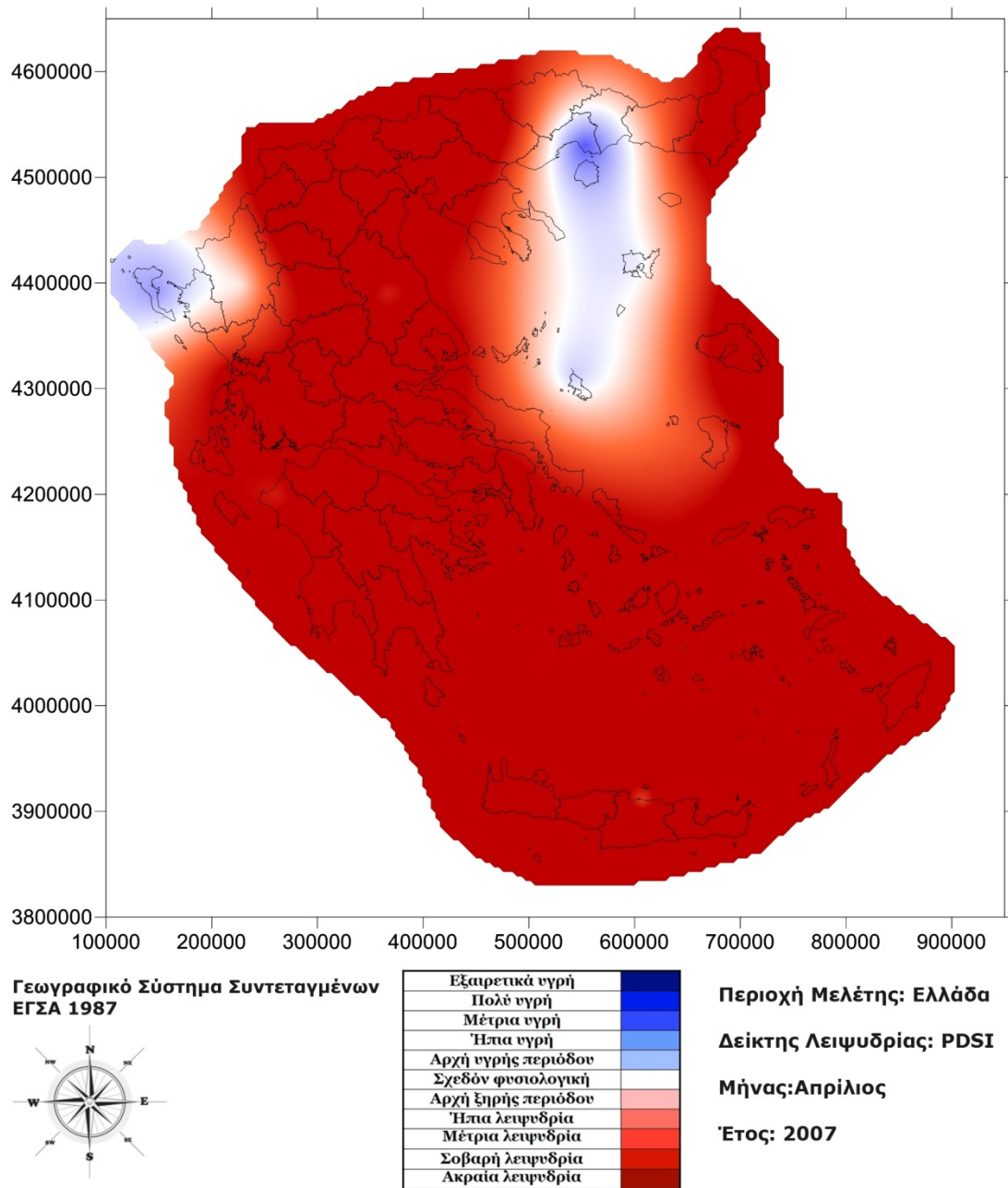


Εικόνα IV.62. Χάρτης PDSI για τον μήνα Φεβρουάριο του 2007 (kriging)

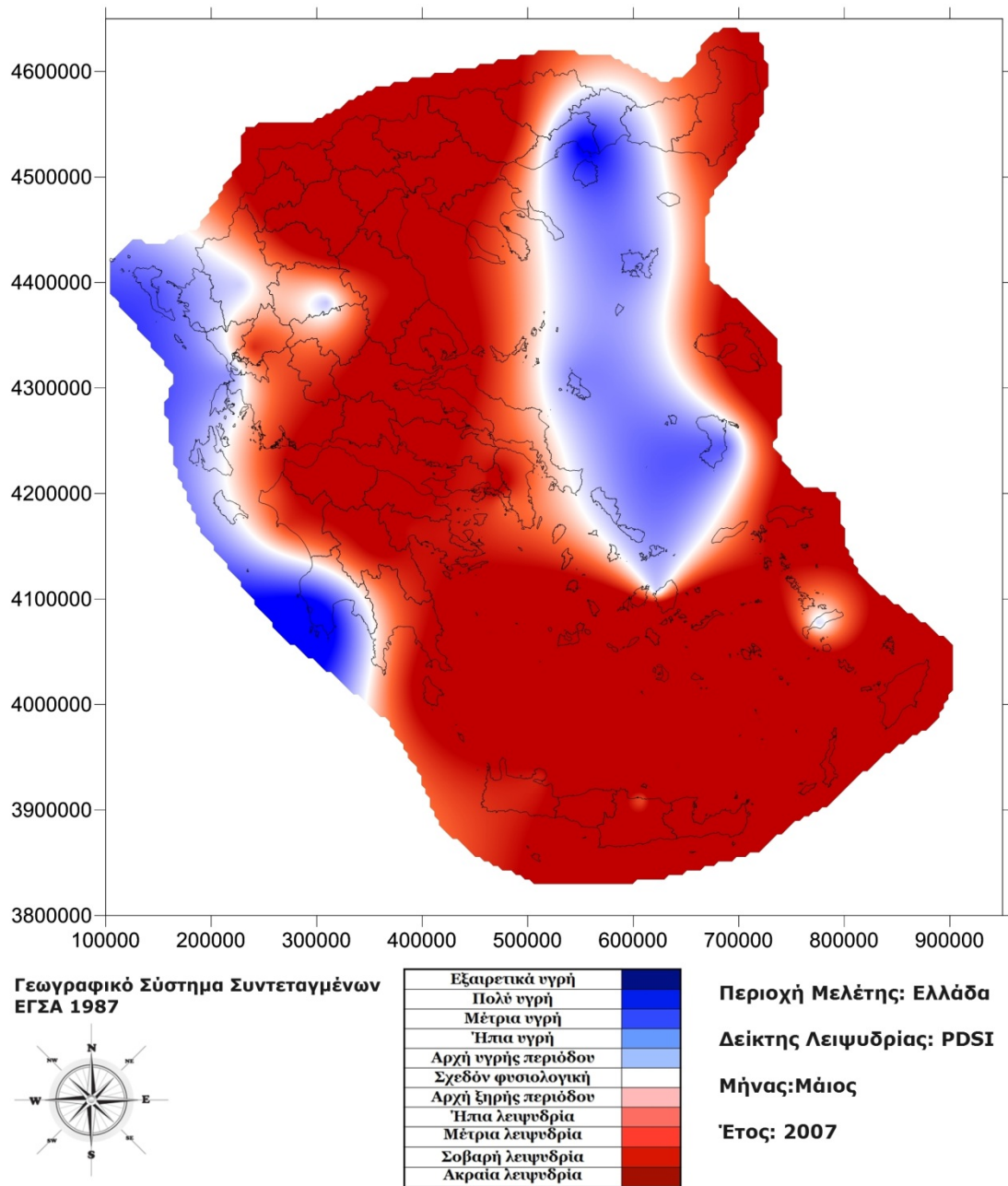




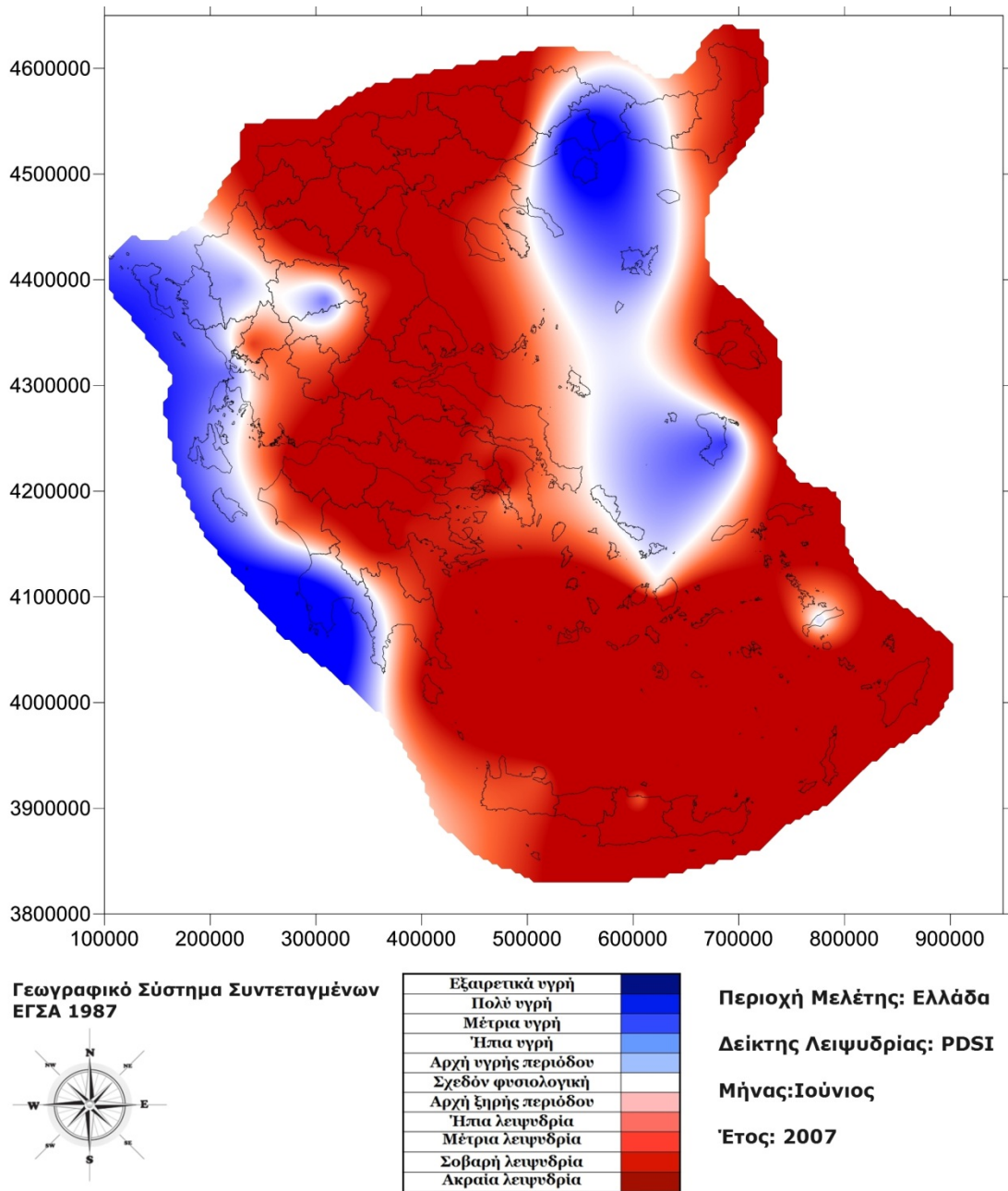
*Εικόνα IV.63. Χάρτης PDSI για τον μήνα Μάρτιο του 2007 (kriging)*



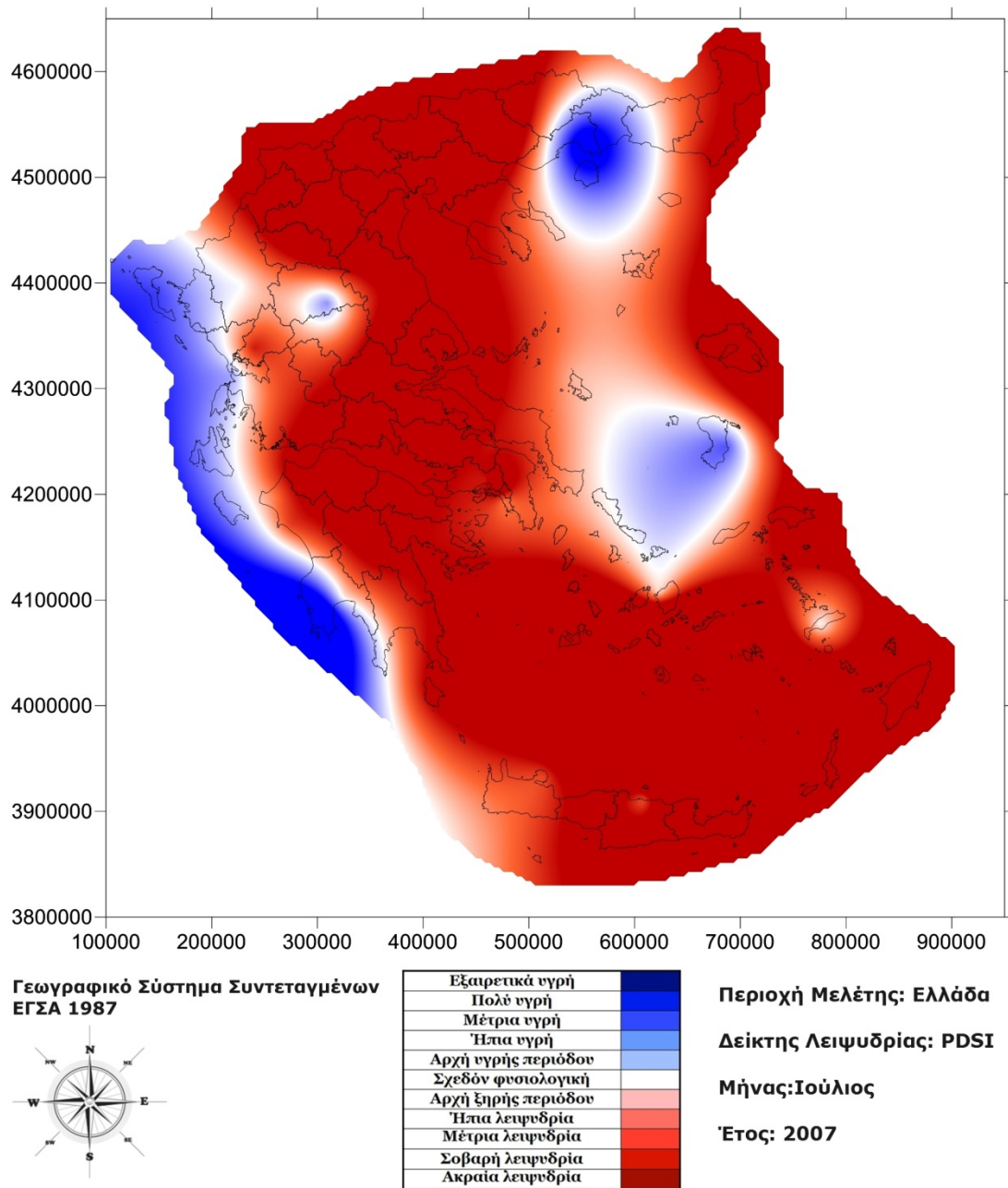
*Εικόνα IV.64. Χάρτης PDSI για τον μήνα Απρίλιο του 2007 (kriging)*



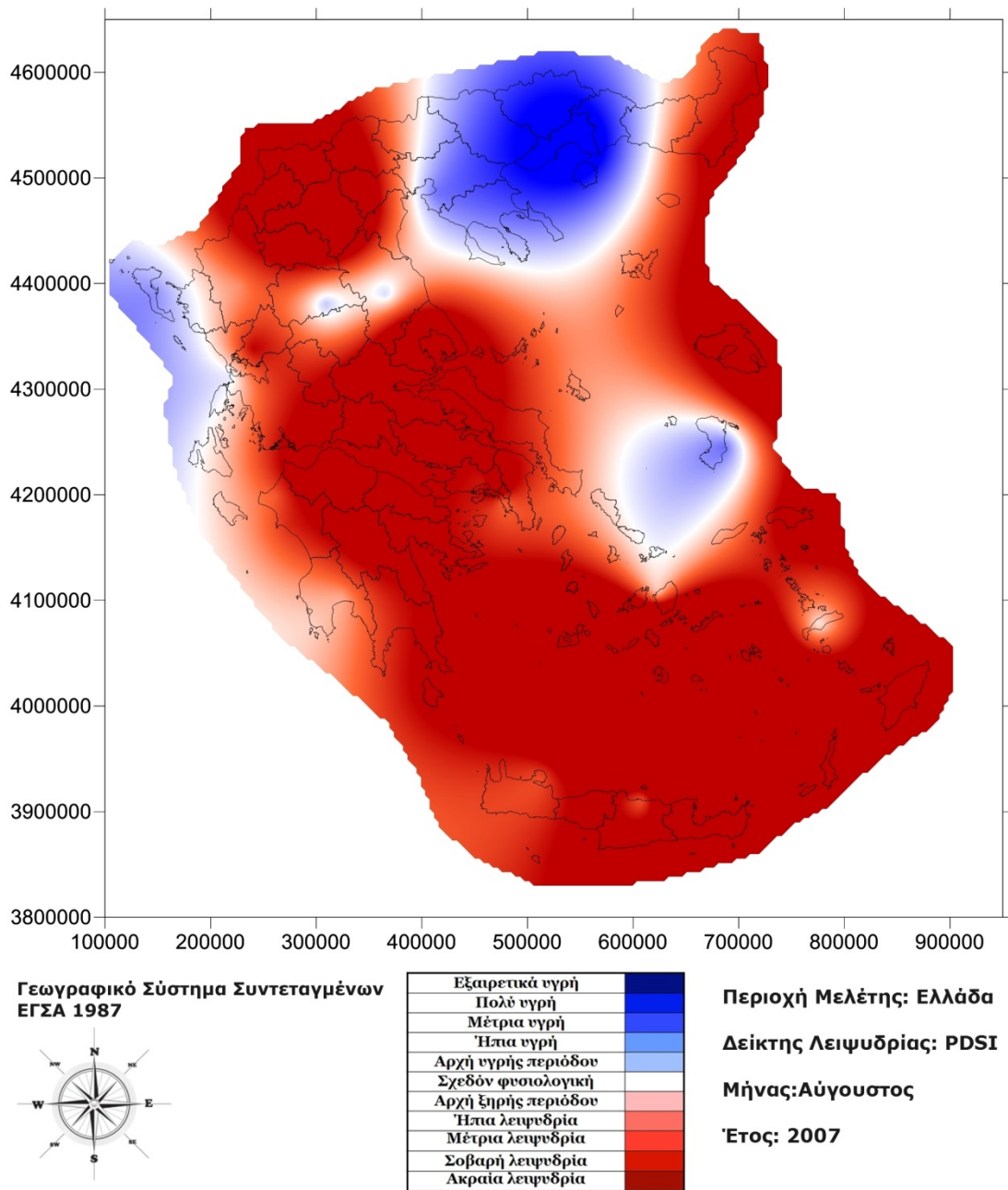
*Εικόνα IV.65. Χάρτης PDSI για τον μήνα Μάιο του 2007 (kriging)*



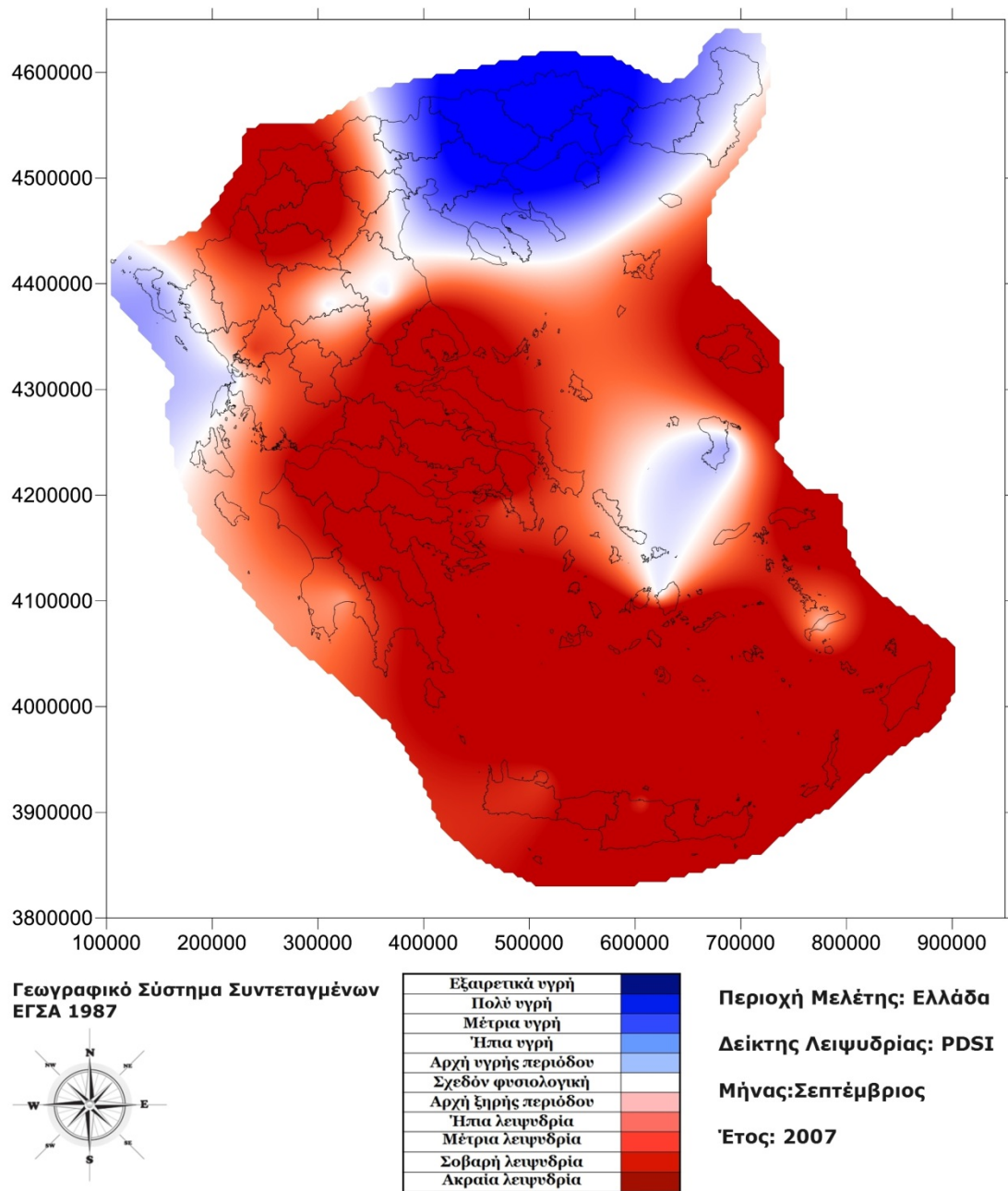
*Εικόνα IV.66. Χάρτης PDSI για τον μήνα Ιούνιο του 2007 (kriging)*



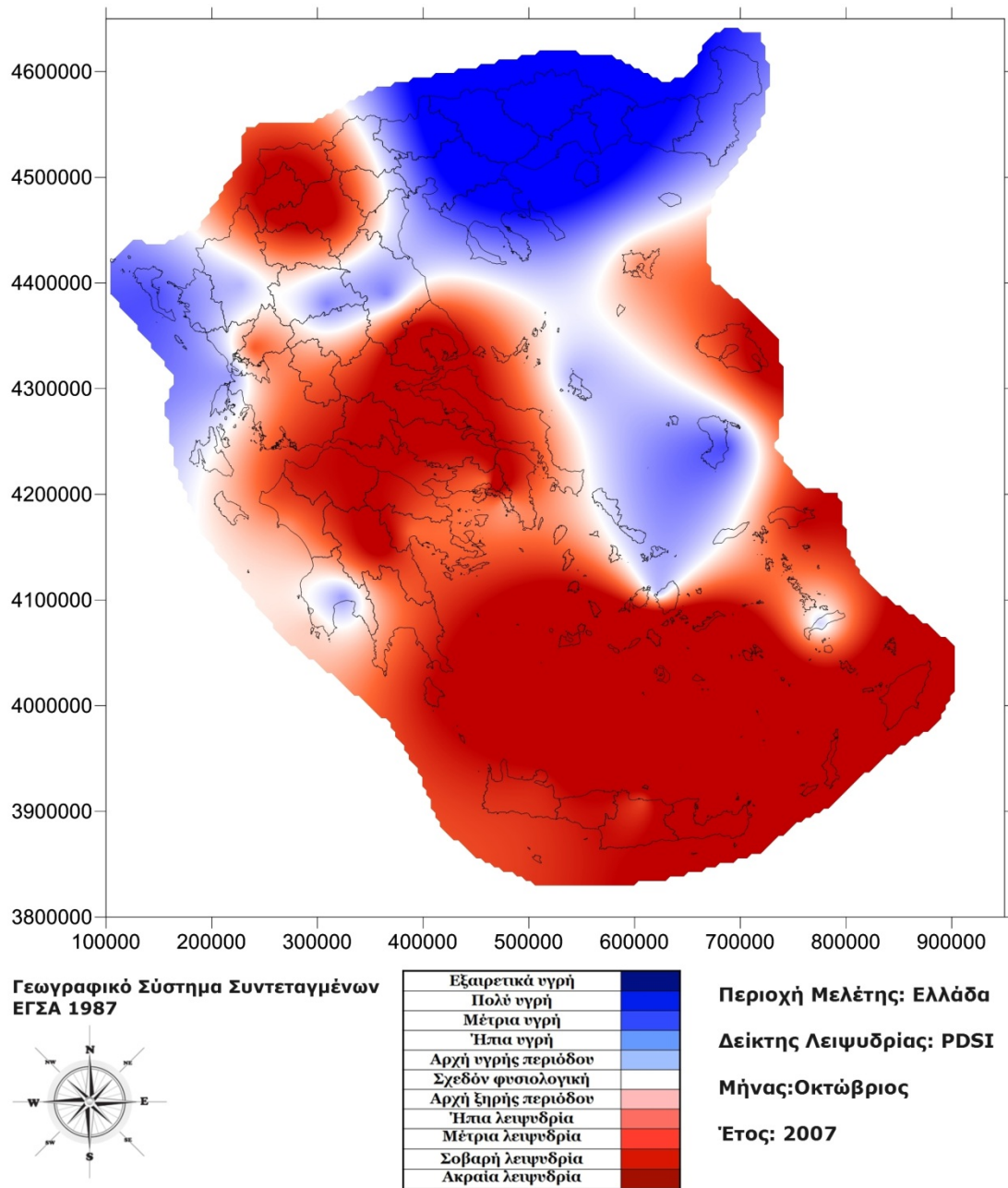
*Εικόνα IV.67. Χάρτης PDSI για τον μήνα Ιούλιο του 2007 (kriging)*



*Εικόνα IV.68. Χάρτης PDSI για τον μήνα Αύγουστο του 2007 (kriging)*

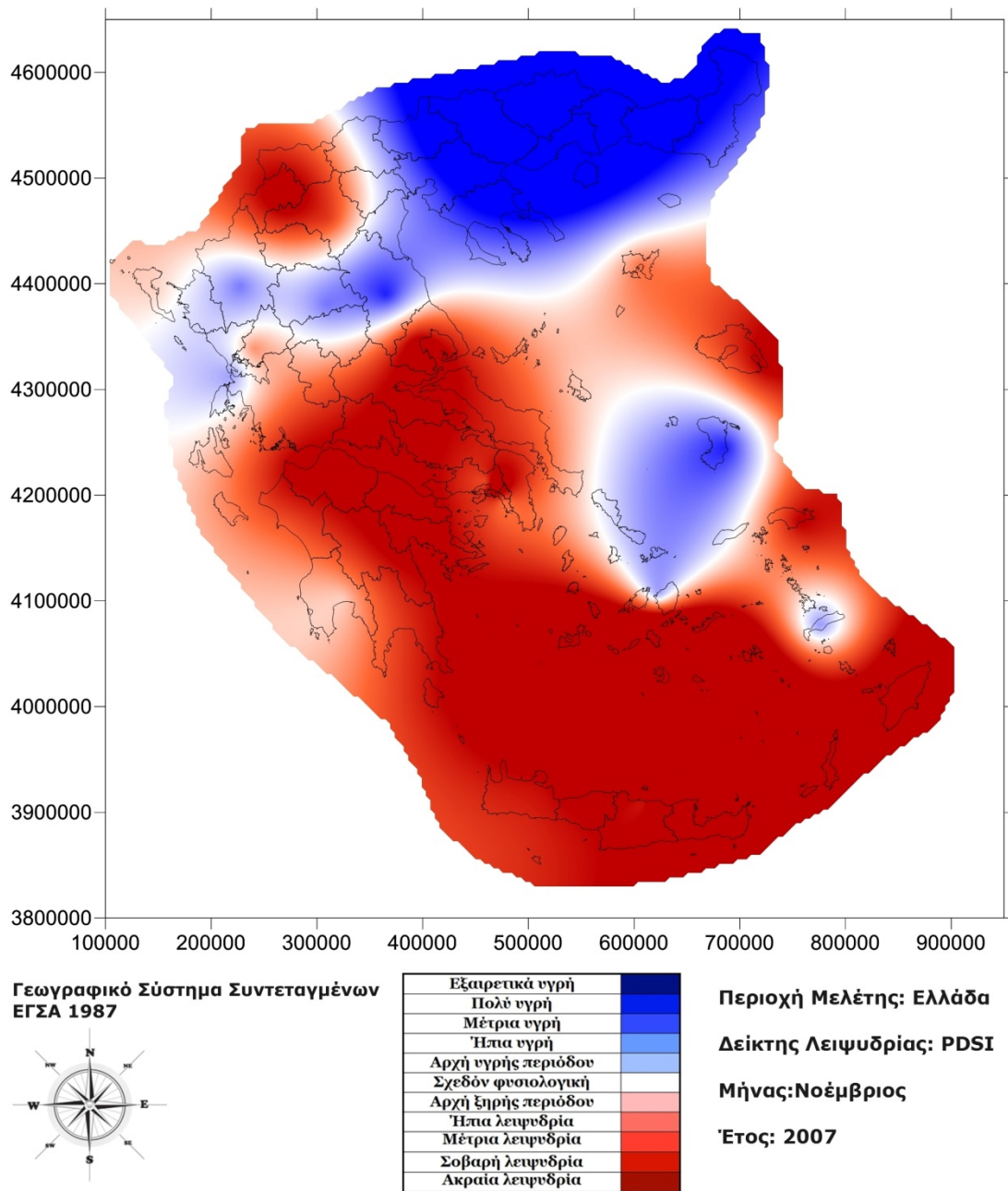


*Εικόνα IV.69. Χάρτης PDSI για τον μήνα Σεπτέμβριο του 2007 (kriging)*

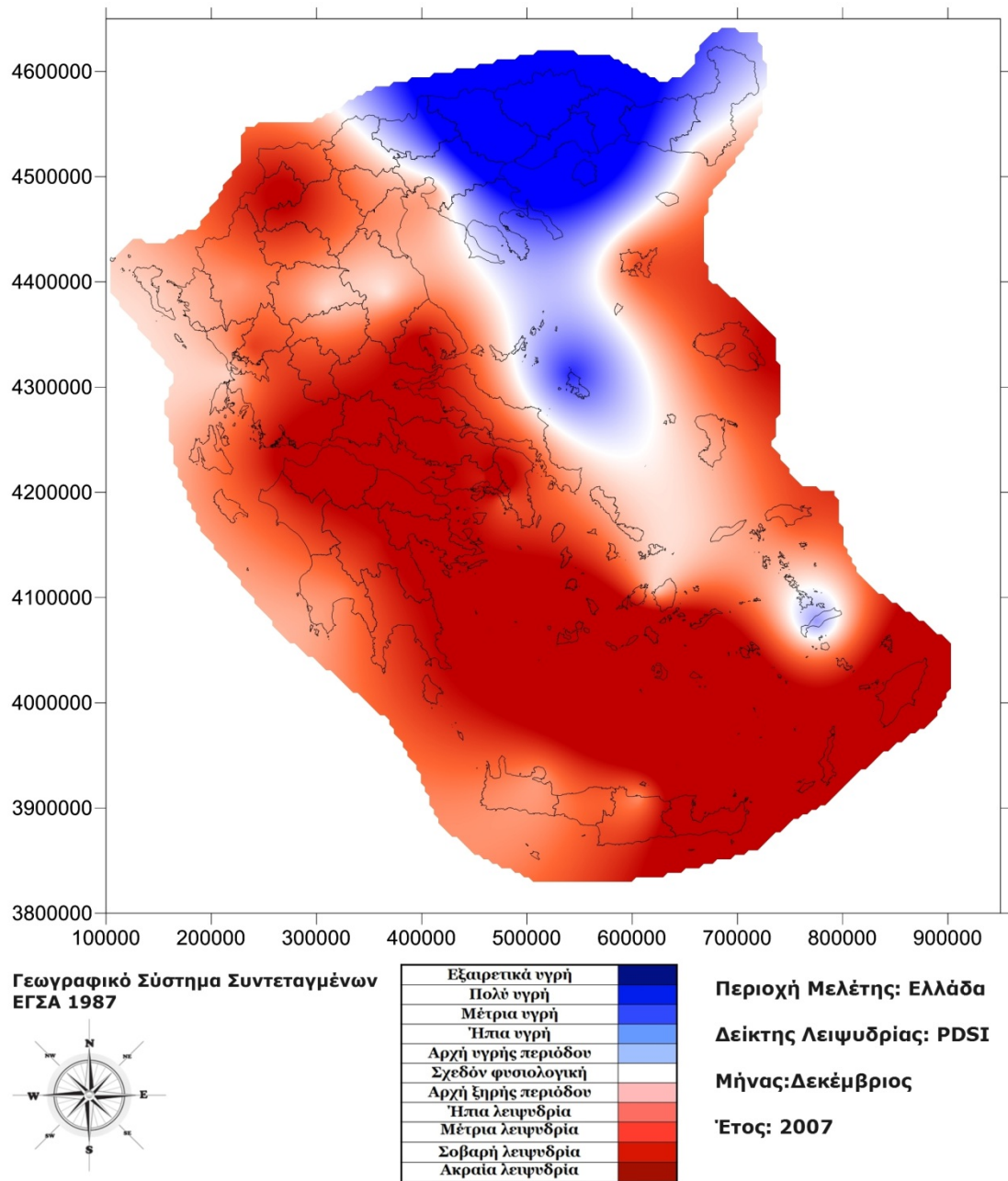


*Εικόνα IV.70. Χάρτης PDSI για τον μήνα Οκτώβριο του 2007 (kriging)*





*Εικόνα IV.71. Χάρτης PDSI για τον μήνα Νοέμβριο του 2007 (kriging)*



*Εικόνα IV.72. Χάρτης PDSI για τον μήνα Δεκέμβριο του 2007 (kriging)*