

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής
Τομέας Διαχείρισης Υδατικών Πόρων
Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Διαχείριση Περιβάλλοντος»

***Εφαρμογή του Δείκτη PDSI για την Ολοκληρωμένη
Διαχείριση των Λειψυδριών στην Κύπρο.***



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ
Αναστασίας Μαρτίκα.

Αθήνα 2013

Τριμελής Επιτροπή:

Επιβλέπων: Πέτρος Κερκίδης. Καθηγητής Γ.Π.Α

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

Μέλος: Σταύρος Αλεξανδρής, Επίκουρος Καθηγητής Γ.Π.Α.

Πρόλογος

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία με τίτλο «Εφαρμογή του PDSI για την ολοκληρωμένη διαχείριση των λειψυδριών στην Κύπρο» μου ανατέθηκε από τον κ. Πέτρο Κερκίδη Καθηγητή 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 δεκαεπτά χρόνια στην Κύπρο. 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 Κύπρου είναι ευαίσθητο με συχνά φαινόμενα λειψυδρίας, γεγονός που οφείλεται τόσο στην γεωγραφική της θέση, όσο και στη μορφολογία του εδάφους της. Για την αντιμετώπιση τέτοιου είδους προβλημάτων 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 διαδεδομένος δείκτης, αναγνωρίζει έγκαιρα την εμφάνιση του φαινομένου αλλά και την ένταση του. Τα δεδομένα που χρησιμοποιεί είναι η βροχόπτωση και η θερμοκρασία σε μηνιαία κλίμακα και την ικανότητα συγκράτησης του νερού στο έδαφος.

Ευχαριστίες

Ευτυχώς για εμένα, κανένας δε θα μπορούσε να επινοήσει, να δημιουργήσει και να ολοκληρώσει ένα εγχείρημα εντελώς μόνος. Η περίπτωση της διπλωματικής μου εργασίας δε θα μπορούσε να αποτελεί εξαίρεση και είμαι σήμερα στην ευχάριστη θέση να μπορώ να ευχαριστήσω θερμά τους ανθρώπους στους οποίους βασίστηκα για να ολοκληρώσω την εργασία αυτή.

Κατ' αρχήν θέλω να ευχαριστήσω κ. Κερκίδη Πέτρο Καθηγητή του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών για τη σημαντικότερη συμβολή του στην διπλωματική μου εργασία. Με τις γνώσεις και την εμπειρία του σε θέματα υδρολογίας μου έδωσε σημαντικότερες κατευθυντήριες οδηγίες όσον αφορούσε την εξέλιξή της.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Χρίστο Καραβίτη Επίκουρο Καθηγητή του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε. Ο ρόλος του ήταν καθοριστικός για κάθε θέμα που αφορούσε την έκβαση της εργασίας και με τις συμβουλές του και την αμέριστη βοήθειά και υποστήριξή του με βοήθησε να φέρω εις πέρας το συγκεκριμένο έργο.

Επίσης, ένα βασικότατο συντελεστή στην εργασία μου αποτέλεσε ο κ. Αλεξανδρής Σταύρος Επίκουρος Καθηγητής του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, ο οποίος συντέλεσε στην κατανόηση βασικών εννοιών, καθώς επίσης βοήθησε με τις απόψεις του σε θέματα που προέκυπταν κατά την πρόοδο της εργασίας.

Στη συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους διδακτορικούς φοιτητές του εργαστηρίου των Υδατίνων Πόρων, κ. Τσεσμελή Δημήτρη και κ. Σταματάκο Δημήτρη, για την ανιδιοτελή τους βοήθεια καθ' όλη τη διάρκεια της μεταπτυχιακής μου εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους και την οικογένειά μου που με ανέχτηκαν και με ανέχονται όλα αυτά τα χρόνια, που με βοηθούν και μου συμπαραστέκονται σε κάθε εγχείρημά μου και συνέβαλαν και αυτοί, με όποιο τρόπο, στην ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας.

Περιεχόμενα

Περίληψη	9
Κεφάλαιο 1 ^ο	10
Εισαγωγή.....	10
Κεφάλαιο 2 ^ο	11
Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	11
2.1 Γενικά Στοιχεία για την Κύπρο	15
2.1.1 Γεωλογικοί σχηματισμοί στον Κυπριακό χώρο.....	16
2.2 Κλιματικά Δεδομένα	20
2.3 Υδρολογικός Κύκλος.....	20
2.3.1.Υδρολογικό καθεστώς και Υδατικό Ισοζύγιο	22
2.4 Επιφανειακοί Υδατικοί Πόροι	25
2.4.1 Ποταμοί	26
2.4.2 Πηγές.....	28
2.4.3 Λίμνες.....	29
2.4.4 Φράγματα	30
2.5 Πλημμύρες στην Κύπρο.....	32
2.6 Υδατικό Πρόβλημα.....	34
2.7 Λειψυδρία	35
2.8 Αίτια της Λειψυδρίας	36
2.9 Δείκτες Λειψυδρίας	37
2.10 Αποτελέσματα Λειψυδρίας.....	51
2.11 Λειψυδρία στην Κύπρο	52
Κεφάλαιο 3 ^ο	59
Μεθοδολογία Μελέτης.....	59

Κεφάλαιο 4 ^ο	61
Ανάπτυξη του SPI & Γεωστατιστική	61
4.1 Διαδικασία Υπολογισμού (P.D.S.I).....	61
4.2 Δείκτης Λειψυδρίας (P.D.S.I).....	64
4.2.1 Δυνητική εξατμισοδιαπνοή.....	64
4.2.2 Υπολογισμός του PDSI.....	64
4.3 Γεωστατιστική Μέθοδος (Kriging).....	68
Κεφάλαιο 5 ^ο	75
5.1 Περιοχή Μελέτης.....	75
5.2 Επεξεργασία Δεδομένων	76
5.3 Δημιουργία Χαρτών με τη χρήση Λογισμικού.	79
Κεφάλαιο 6.....	83
Αποτελέσματα – Αξιολόγηση	84
Κεφάλαιο 7.....	97
Συμπεράσματα	97
Παράρτημα Ι	101
Χάρτες Βροχόπτωσης.....	101
Παράρτημα ΙΙ	110
Γεωστατιστικοί Χάρτες κατανομής PDSI	110
Βιβλιογραφία.....	194

Περιεχόμενα εικόνων

Εικόνα 2.1: Γεωφυσικός χάρτης Κύπρου.	19
Εικόνα 2.2: Ο υδρολογικός κύκλος (USGS, 2006).....	22
Εικόνα 2.3: Υδατικό ισοζύγιο (hm3) (Παπααρηγορίου Σ., 2007)	23
Εικόνα 2.4: Υδατικό ισοζύγιο της Κύπρου (Ιστοσελίδα Τμήματος Αναπτύξεως Υδάτων) 24	
Εικόνα 2.5: Υδάτινα ποτάμια σώματα και Σταθμοί παρακολούθησης (Κοτσαγεώργης, 2007)	28
Εικόνα 2.6: Λιμναία υδάτινα συστήματα (Κοτσαγεώργης, 2007)	30
Εικόνα 2.7: Κατασκευή φραγμάτων στην περίοδο 1961-2001 (Σωκράτους κ.ά., 2001) .	31
Εικόνα 2.8: Φράγματα της Κύπρου (Ιστοσελίδα Τμήματος Αναπτύξεως Υδάτων)	32
Εικόνα 2.9: Ετήσια βροχόπτωση της Κύπρου και κινούμενος μέσος όρος 30 ετών για τις ελεύθερες περιοχές (Σωκράτους κ.ά., 2001).....	34
Εικόνα 3.1 : Διαδικασία σχεδιασμού της παρούσας μελέτης.	60
Εικόνα 5.1: Η θέση της Κύπρου στη Μεσόγειο.	75
Εικόνα 5.2 Αρχείο εισαγωγής βροχόπτωσης για τον υπολογισμό του δείκτη PDSI.	78
Εικόνα 5.3 Αρχείο αποτελεσμάτων του δείκτη PDSI.	79
Εικόνα 5.4. Υπολογιστικό φύλλο excel με για την εισαγωγή στο λογισμικό.	80
Εικόνα 5.5. Εισαγωγή του χάρτη της Κύπρου.	81
Εικόνα 5.6: Εισαγωγή δεδομένων στο λογισμικό	81
Εικόνα 5.7: Χάρτης της Κύπρου με τα σημεία μετρήσεων.	82
Εικόνα 5.8. Δημιουργία του χάρτη με την αποτύπωση του δείκτη με την μέθοδο Kriging.	82
Εικόνα 5.9: Τελική μορφή χάρτη.....	83
Εικόνα 6.1: Χάρτης PDSI Ιούνιος του 1991 (kriging).	85
Εικόνα 6.2: Χάρτης PDSI Ιανουάριος του 2000 (kriging).	86
Εικόνα 6.3: Χάρτης PDSI Ιανουάριος του 2007 (kriging).	87
Εικόνα 6.4: Χάρτης PDSI Μάιος του 2008 (kriging).	88
Εικόνα 6.5: Χάρτης PDSI Ιούνιος του 2008 (kriging).	89
Εικόνα 6.6: Χάρτης PDSI Ιούλιος του 2008 (kriging).	90
Εικόνα 6.7: Χάρτης PDSI Αύγουστος του 2008 (kriging).	91
Εικόνα 6.8: Χάρτης PDSI Ιούλιος του 1992 (kriging).	92

Εικόνα 6.9: Χάρτης PDSI Αύγουστος του 1992 (kriging).	93
Εικόνα 6.10: Χάρτης PDSI Σεπτέμβριος του 1992 (kriging).	94
Εικόνα 6.11: Χάρτης PDSI Νοέμβριος του 1992 (kriging).	95
Εικόνα 6.12: Χάρτης PDSI Δεκέμβριο του 1992 (kriging).	96

Περιεχόμενα πινάκων

Πίνακας 2.1: Κατάταξη της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης με βάση την κανονική βροχόπτωση	25
Πίνακας 2.2: Ισχυρότερα πλημμυρικά φαινόμενα για τη χρονική περίοδο 1971-1994 (Νικολαΐδου Μ. κ.ά., 1995)	33
Πίνακας 5.1: Λίστα μετεωρολογικών σταθμών.	77
Πίνακας 2.4: Ετήσια βροχόπτωση της εικοσαετίας (1991-2011).	56
Πίνακας 4.1: Ταξινόμηση λειψυδρίας με τιμές PDSI.	62
Πίνακας 2.3: Μέση ετήσια βροχόπτωση στις ελεύθερες περιοχές. Κατάταξη των ετών με βάση την κανονική βροχόπτωση (1961 – 1990)	55

Περίληψη

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία έχει τομέα μελέτης την λειψυδρία στο νησί της Κύπρου για τα τελευταία δεκαεπτά χρόνια (1991-2008). Αυτό πραγματοποιήθηκε με την βοήθεια του δείκτη λειψυδρίας PDSI με τη χρήση του οποίου παρουσιάστηκαν τα έτη με τις ακραίες λειψυδρίες στους δεκαεννιά (19) μετεωρολογικών σταθμών. Έπειτα δημιουργήθηκαν οι χάρτες τις λειψυδρίας για τα έτη 1991, 2000, 2001, 2007 και 2008 με την γεωστατιστική μέθοδο kriging για όλους τους μετεωρολογικούς σταθμούς. Επιπλέον, δημιουργήθηκαν και χάρτες για τα υγρά έτη 1992 και 1993. Συνολικά δημιουργήθηκαν 84 χάρτες 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 studies the drought in Cyprus for the last seventeen years (1991-2008). This was accomplished with the help of the drought index PDSI with the use of which, were visualized the years with the extreme drought for the nineteen (19) meteorological stations. Moreover, the drought maps presenting PDSI were created for years 1991, 2000, 2001, 2007 and 2008 using the geostatistical method of kriging for all the meteorological stations. In addition, maps were created for the wet years 1992 and 1993. A total of 84 maps were produced, one for every month of the selected years. Finally, the results of the maps were analyzed and management measures were proposed to confront the phenomenon.

Κεφάλαιο 1^ο

Εισαγωγή

Σκοπός του πρώτου κεφαλαίου είναι η περιληπτική περιγραφή του αντικειμένου που πραγματεύεται κάθε ενότητα. Συνολικά υπάρχουν επτά κεφαλαία και δύο παραρτήματα.

Στο δεύτερο κεφάλαιο δίνονται πληροφορίες σχετικά με τη βιβλιογραφική ανάλυση, όπως γενικά στοιχεία, τόσο για το νησί της Κύπρου, όσο και για το φαινόμενο της λειψυδρίας, καθώς και για τις 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 χώρας. 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°

Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Γενικά

Η διαχείριση του ύδατος υπήρξε κεντρικός πυλώνας του ανθρώπινου πολιτισμού από τις απαρχές του πριν από 4.000 χρόνια. Η άρδευση μετέτρεψε τις καλλιέργειες σε ένα σίγουρο και ασφαλή τρόπο παραγωγής τροφίμων, που με τη σειρά της κατάφερε να θρέψει τον πληθυσμό και να συντελέσει στην ανάπτυξη των πόλεων. Οι πρώτοι νομικοί κώδικες βασίζονταν στην υποχρέωση των βασιλέων να παρέχουν νερό, με αντάλλαγμα την υπακοή των υπηκόων τους. Από τους Φαραώ έως τον Στάλιν, τα κράτη και οι ηγέτες τους είχαν μια ιδιαίτερη εμμονή με το νερό, το οποίο ανέκαθεν συμβόλιζε ένα είδος παράδεισου.

Ιστορικά, η σχέση ανθρώπου-νερού διερράγη μόνο όταν η οικονομική και πολιτική ισχύς πέρασε στα χέρια του υγρού Βορρά. Τον 18ο και 19ο αιώνα, η Βρετανία, η Γερμανία, η Ολλανδία και η Γαλλία είχαν μόνο ένα πρόβλημα σχετικά με το νερό. Διέθεταν υπερβολικά αποθέματα του. Οι πρώιμες φάσεις της βιομηχανικής και αγροτικής επανάστασης, εστίασαν κυρίως στην αποστράγγιση γης και στη βελτίωση των ροών των ποταμών. Οι οικονομίες των χωρών αυτών βασίστηκαν στο νερό, το οποίο και θεωρούσαν ως κάτι το δεδομένο.

Το νερό έχει από χρόνια κυριαρχήσει στη κουλτούρα αλλά και στην ανθρώπινη ιστορία. Το να υπάρχει άφθονο νερό, σημαίνει και σχέδια για το μέλλον. Σημαίνει ελευθερία. Μόνο οι περιοχές που το διαθέτουν μπορούν να σχεδιάζουν για το μέλλον τους και να βελτιώνουν τις συνθήκες τους. Η λειψυδρία, ή το μολυσμένο νερό, υποσκάπτουν την έννοια της ελευθερίας και μπορεί να οδηγήσουν μια χώρα ακόμη και σε πολιτική αστάθεια. (Managenergy.net/, 2012)

Οι πιο σφοδρές συγκρούσεις των επόμενων 50 χρόνων δεν θα γίνουν για το πετρέλαιο. Το μήλο της έριδος θα είναι αυτό που αποτελεί την ουσία της ζωής. Το νερό.

Το πώς θα το διαχειριστούμε, θα καθορίσει και το αν θα επιβιώσουμε ή όχι. Όταν αντικρίζεις τα πεντακάθαρα νερά μιας πισίνας στη Κύπρο, η απειλή της λειψυδρίας φαντάζει απόμακρη. Η Κύπρος αποτελούσε κάποτε το διαμάντι της κάθε αυτοκρατορίας. Σήμερα όμως αντιμετωπίζει προβλήματα υδροδότησης. Τα ίδια προβλήματα που πολύ σύντομα θα αντιμετωπίσουν και οι υπόλοιπες ευρωπαϊκές χώρες. Από τη δεκαετία του 1970, οι βροχοπτώσεις στη Κύπρο έχουν μειωθεί κατά 15%. Ένα νησί που κάποτε ήταν γεμάτο από ποτάμια και λίμνες, σήμερα διαθέτει μόνο μισογεμάτες τεχνητές δεξαμενές και ταμιευτήρες. Η ευρωπαϊκή Κομισιόν βλέπει με ανησυχία την αποξηραμένη κυπριακή γη και τα εγκαταλειμμένα αγροκτήματα, και τα θεωρεί προπομπό του τι μέλλει γενέσθαι στην Ιταλία, την Ελλάδα και την Ισπανία. Τα περισσότερα κλιματικά μοντέλα συμφωνούν πως οι βροχοπτώσεις θα μειωθούν ακόμη 20% , έως το 2050. (Managenergy.net/, 2012)

Ενώ η μέση ετήσια βροχόπτωση την πρώτη 30ετία του αιώνα ήταν 560mm την τελευταία έχει ελαττωθεί στα 465 mm , δηλαδή έχει μειωθεί κατά 17%. Ιδιαίτερα χαμηλή ήταν η βροχόπτωση της τελευταίας δεκαετίας όπου ο μέσος όρος ήταν 435 mm (IPPC). Η λειψυδρία ήταν πάντοτε ένα σοβαρό πρόβλημα για το νησί της Κύπρου και μέσα από τους αιώνες, οι κάτοικοί της αντιμετώπισαν κατά καιρούς μακροχρόνιες ανομβρίες με σοβαρές επιπτώσεις. Το πρόβλημα έλλειψης νερού επιδεινώνεται συνεχώς λόγω της αυξημένης ζήτησης για νερό και της μειωμένης βροχόπτωσης, που οφείλεται στις κλιματικές αλλαγές. Γενικότερα η κλιματική αλλαγή, οι αυξημένες ανάγκες άρδευσης, η αντιστοίχια και ανεξέλεγκτη βιομηχανική δραστηριότητα αποτελούν βασικούς παράγοντες για τη δημιουργία του επικίνδυνου φαινομένου, της μείωσης των υδάτινων πόρων.

Η Κύπρος έχει φτάσει στα όρια της. Βρίσκεται σε κατάσταση peak water. Αυτός είναι ο όρος που οι γεωγράφοι χρησιμοποιούν για να περιγράψουν το σημείο όπου η ζήτηση για νερό συναντά, και μετά ξεπερνά, τη προσφορά. (Gleick, P.H., M. Palaniappan,2010). Η Κύπρος μαστίζεται από σοβαρά προβλήματα λειψυδρίας και το 2008 αναγκάστηκε να προχωρήσει σε εισαγωγές νερού από την Ελλάδα. Για να αντιμετωπίσει τα προβλήματα λειψυδρίας η Κύπρος διαθέτει τέσσερις μονάδες αφαλάτωσης, ενώ άλλες δυο μονάδες βρίσκονται σε στάδιο κατασκευής.

Αυτό συμβαίνει λόγω της τεράστιας δίψας που χαρακτηρίζει τη σύγχρονη ζωή. Πριν από τη βιομηχανική επανάσταση, η κατά κεφαλή κατανάλωση νερού στην Αγγλία παρέμενε η ίδια επί χιλιετίες. Η αστική όμως ζωή, και η εντατικοποίηση της γεωργίας απαιτούν πολύ νερό. Αυτό δεν αποτελεί πρόβλημα για την πάντα «μουσκεμένη» Αγγλία, όμως σημαίνει καταστροφή για τις άνυδρες χώρες όπως είναι η Κύπρος, οι δυτικές ΗΠΑ, η Ινδία και η νότια Αφρική. Για να ικανοποιηθεί η ζήτηση σε αυτές τις περιοχές, οι άνθρωποι αντλούν νερό από το υπέδαφος. Υπάρχουν όμως και όρια στους υδροφόρους ορίζοντες. Αυτοί της Κύπρου είναι πλέον τόσο στεγνοί, που το θαλασσινό νερό άρχισε να τους ποτίζει, εξαντλώντας το πόσιμο νερό.

Η λειψυδρία βρίσκεται ανάμεσα στα σημαντικότερα προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν από πολλές κοινωνίες και από τον «Κόσμο» του 21ου αιώνα. Η λειψυδρία συμβαίνει όταν δεν υπάρχουν επαρκείς υδάτινους πόρους για να ικανοποιήσουν το μακροχρόνιο μέσο όρο των απαιτήσεων. Αναφέρεται σε μακροπρόθεσμες ανισορροπίες νερό, συνδυάζοντας χαμηλή διαθεσιμότητα νερού με ένα επίπεδο της ζήτησης σε νερό που υπερβαίνει την ικανότητα παροχής του φυσικού συστήματος.

Προβλήματα διαθεσιμότητας νερού συχνά εμφανίζονται σε περιοχές με χαμηλές βροχοπτώσεις, αλλά και σε περιοχές με υψηλή πυκνότητα πληθυσμού, η εντατική άρδευση και / ή βιομηχανική δραστηριότητα. Οι μεγάλες χωρικές και χρονικές διαφορές στην ποσότητα του διαθέσιμου νερού παρατηρήθηκε σε όλη τον κόσμο. Πέρα από την ποσότητα νερού, μια κατάσταση λειψυδρίας μπορεί επίσης να προκύψει από οξεία θέματα της ποιότητας του νερού (π.χ. πηγή ρύπανσης διάχυτη ή σημειακή), η οποία να οδηγήσει στη μείωση φρέσκου / καθαρού νερό σε διαθεσιμότητα.

Η λειψυδρία είναι μια σχετική κατάσταση, εφόσον η εμφάνιση της είναι συνάρτηση πολλών παραμέτρων και διαφέρει από τις άλλες ακραίες μετεωρολογικές καταστάσεις σε πολλά σημεία. Πρώτον, είναι δύσκολο να οριστεί η έναρξη και η λήξη ενός επεισοδίου λειψυδρίας και αυτό γιατί παρουσιάζει υστέρηση στην εμφάνιση από τη στιγμή που θα παρατηρηθεί απουσία βροχοπτώσεων, ενώ τα καταστροφικά της αποτελέσματα μπορούν να συνεχιστούν και μετά την εμφάνιση κάποιων βροχοπτώσεων - για το λόγο αυτό θεωρείται ως «έρπον φαινόμενο» (Tannehill, 1947). Δεύτερον, δεν μπορεί να υπάρξει ένας κοινός παγκόσμιος επιστημονικός ορισμός για

την λειψυδρία - κάθε περιοχή πρέπει να έχει το δικό της ορισμό ανάλογα με την κλιματολογία και την τοπογραφία που τη χαρακτηρίζει. Αυτό εξηγεί και το πλήθος των ορισμών που έχουν καταγραφεί στη διάρκεια των τελευταίων χρόνων (WMO, 1975; Meteorological Office, 1991; Wilhite and Glantz, 1985).

Τεράστιες εκτάσεις γης σε Αυστραλία, Ινδία, Κίνα και ΗΠΑ επισημαίνονται ως περιοχές υψηλού κινδύνου από μια νέα έκθεση της συμβουλευτικής εταιρείας Maplecroft. Ο δείκτης λειψυδρίας υπολογίζεται με την αξιολόγηση της συνολικής χρήσης υδάτων μιας χώρας, από την εγχώρια βιομηχανική και γεωργική χρήση, έναντι των ανανεώσιμων πηγών προμήθειας νερού από βροχόπτωση, ρυάκια, ποτάμια και υπόγεια ύδατα.

Ο δείκτης συνοδεύεται από έναν υπο-εθνικό χάρτη, που χρησιμοποιεί GIS (Geographic Information System) για να εντοπίσει την παγκόσμια έλλειψη του νερού μέχρι 50 τ.χλμ. σε όλο τον κόσμο.

Σε εθνικό επίπεδο, ο δείκτης λειψυδρίας εντοπίζει τη Μέση Ανατολή και χώρες της Βορείου Αφρικής, την Αίγυπτο, το Κουβέιτ, τα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα, τη Λιβύη και τη Σαουδική Αραβία ως περιοχές που εκτίθενται σε μεγάλο κίνδυνο. Οι οικονομίες της Αυστραλίας, της Ινδίας, της Κίνας και των ΗΠΑ έχουν βαθμολογηθεί ως υψηλού κινδύνου.

Σύμφωνα με την Maplecroft (2009), με την επέκταση του πληθυσμού, όπως συμβαίνει στην Ινδία, όπου σημειώθηκε αύξηση 1,3% το 2009, σε συνδυασμό με την άνοδο της παγκόσμιας θερμοκρασίας, αυξάνεται ο κίνδυνος για το νερό αποτελώντας πρόκληση για τις κυβερνήσεις, τις επιχειρήσεις και την κοινωνία. Η πρόσβαση στο νερό είναι ζωτικής σημασίας για τη διαβίωση και η έλλειψη έρχεται πιο γρήγορα κυρίως λόγω των αναγκών της γεωργίας. Τόσο οι κυβερνήσεις όσο και οι επιχειρήσεις έχουν την ευθύνη να διερευνήσουν και να αναπτύξουν τρόπους εξοικονόμησης

Σε όλες τις ΗΠΑ υπάρχει ένα ευρύ φάσμα της ποικιλομορφίας που δέχεται πίεσεις από τον περιορισμό των υδάτινων πόρων με τις μεγάλες πεδιάδες και τις περιοχές στα νοτιοδυτικά της χώρας να πλήττονται σοβαρά λόγω της εντατικής καλλιέργειας και των χαμηλών βροχοπτώσεων ενώ στα βορειοδυτικά και τα βορειοανατολικά τα κράτη έχουν υψηλά ποσοστά βροχοπτώσεων και χαμηλά επίπεδα πίεσης στους υδάτινους πόρους. (<http://maplecroft.com/>, 2009)

Στην Ελλάδα υπάρχει ένα ιδιόμορφο υδρολογικό καθεστώς. Η Δυτική Ελλάδα δέχεται το μεγαλύτερο μέρος των βροχοπτώσεων, ενώ στα νησιά του Αιγαίου και την Κρήτη παρατηρούνται σημαντικά μικρότερες βροχοπτώσεις π.χ. στην Αττική πέφτουν περίπου 400 χιλιοστά σε μέση ετήσια βάση.

Έτσι, οι νότιες και ανατολικές περιοχές της χώρας παρουσιάζουν σοβαρή έλλειψη φυσικών διαθεσίμων νερού. Παράλληλα, η ζήτηση σε νερό είναι αντιστρόφως ανάλογη. Στις περιοχές με έντονες βροχές, η ζήτηση για νερό είναι μειωμένη, ενώ στην ανατολική Ελλάδα, όπου οι βροχοπτώσεις είναι σπανιότερες, η ζήτηση σχεδόν τριπλασιάζεται.

Όπως αναφέρεται σε έκθεση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, για την πρόοδο που σημειώνουν τα κράτη-μέλη όσον αφορά την αντιμετώπιση της λειψυδρίας και των ξηρασιών σε πολλές περιοχές της Ευρώπης η ισορροπία μεταξύ ζήτησης και διαθεσιμότητας νερού, έχει φτάσει σε κρίσιμο σημείο. Τριάντα τρεις λεκάνες ποταμών που επηρεάζονται από την έλλειψη νερού έχουν προσδιοριστεί μέχρι σήμερα. Αντιπροσωπεύουν μία συνολική έκταση 460.000 τετραγωνικών χιλιομέτρων (περίπου το 10% της συνολικής έκτασης της ΕΕ) και φιλοξενούν έναν συνολικό πληθυσμό 82 εκατομμυρίων ανθρώπων (περίπου το 16,5% του συνολικού πληθυσμού της Ε.Ε.).

Από το 2000 ως το 2006 κατά μέσο όρο το 15% της συνολικής έκτασης της ΕΕ και κατά μέσο όρο το 17% του συνολικού πληθυσμού της Ευρωπαϊκής Ένωσης επηρεάστηκαν από τις ξηρασίες..

Επίσης, ορισμένα κράτη μέλη αντιμετωπίζουν ήδη προβλήματα μόνιμης λειψυδρίας σε ολόκληρη την επικράτεια τους. Η Τσέχικη Δημοκρατία ανέφερε την ύπαρξη περιοχών με συχνή λειψυδρία, ενώ η Γαλλία και το Βέλγιο επισήμαναν την υπερεκμετάλλευση των υδροφόρων οριζόντων.

2.1 Γενικά Στοιχεία για την Κύπρο

Η Κύπρος, είναι το μεγαλύτερο νησί της μεσογείου (έκταση 9.254 km²) και γεωγραφικά μπορεί να θεωρηθεί ότι ανήκει στην Νοτιοανατολική Ευρώπη ή στην Νοτιοδυτική Ασία, εξαιτίας όμως των ιδιαίτερων δεσμών της με την Ελλάδα (ιστορικά,

πολιτικά και οικονομικά) η Κύπρος θεωρείται μέρος μόνο της Ευρώπης (Galounia E. , 2010). Το νησί βρίσκεται στο σταυροδρόμι τριών ηπείρων (Ευρώπης, Ασίας και Αφρικής) γεγονός το οποίο καθιστά τη θέση του στρατηγικής σημασίας.

Μετά την Τουρκική εισβολή του 1974, η Κύπρος διχοτομήθηκε. Στο νότιο τμήμα διαμένουν εκ' τότε οι Ελληνοκύπριοι, ενώ στο βόρειο τμήμα διαμένουν οι Τουρκοκύπριοι καθώς και έποικοι οι οποίοι κατέφθασαν από την Τουρκία. Σήμερα η Λευκωσία, η πρωτεύουσα της Κύπρου, είναι η μοναδική διχοτομημένη πρωτεύουσα στην Ευρώπη.

Διοικητικά, το νησί υποδιαιρείται σε 6 επαρχίες οι οποίες κατά σειρά έκτασης (φθίνουσα σειρά) είναι οι επαρχίες Λευκωσίας, Αμμοχώστου, Πάφου, Λεμεσού, Λάρνακας, και Κερύνειας με τις επαρχίες Αμμοχώστου και Κερύνειας να είναι πλέον εξ' ολοκλήρου κατεχόμενες.

2.1.1 Γεωλογικοί σχηματισμοί στον Κυπριακό χώρο

Από μορφολογική άποψη η Κύπρος μπορεί να υποδιαιρεθεί στις ακόλουθες μορφολογικές περιφέρειες (About Cyprus, 2012)

1. Το ορεινό σύμπλεγμα Τροόδους.

Ο ορεινός όγκος καταλαμβάνει το κεντρικό-δυτικό τμήμα του νησιού. Καλύπτει έκταση ~ 3.200 km² και αποτελείται αποκλειστικά από πυριγενή πετρώματα, τα οποία αποτελούν το γνωστό Οφιολιθικό Σύμπλεγμα του Τροόδους. Τα πετρώματα της οροσειράς είναι αδιαπέρατα, εκτός από τις περιπτώσεις ρηγμάτων τα οποία αφθονούν στην περιοχή. Στην περιοχή του Τροόδους παρατηρείται το μεγαλύτερο ποσοστό βροχής του νησιού. Το αδιαπέρατο των πετρωμάτων και η μεγάλη κλίση των πλαγιών συντελούν ώστε το μεγαλύτερο μέρος της βροχόπτωσης να μετατρέπεται σε επιφανειακή απορροή και να καταλήγει στους ποταμούς.

Πάνω απ' όλα όμως το Οφιολιθικό Σύμπλεγμα του Τροόδους είναι το "θεμέλιο" πάνω στο οποίο έχει κτιστεί το νησί. Είναι η γεωλογική και μορφολογική σπονδυλική στήλη της Κύπρου. Το πυριγενές σύμπλεγμα του Τροόδους μπορεί να υποδιαιρεθεί σε

τρεις χαρακτηριστικές ζώνες, τη ζώνη των πλουτωνίων πετρωμάτων, τη ζώνη των φλεβικών πετρωμάτων και τη ζώνη των προσκεφαλοιδών λαβών.

2. Τη βόρεια οροσειρά (Πενταδάκτυλος και Καρπασία) Πενταδάκτυλος.

Είναι μια στενή επιμήκης τοξοειδής οροσειρά στο βόρειο τμήμα του νησιού. Έχει μήκος ~90 km και το πλάτος της δεν ξεπερνά τα 4 km. Αποτελείται από ένα πυρήνα συμπαγών διερρηγμένων ασβεστόλιθων και από στρώματα κρητίδων που περιβάλλονται από στρώματα της διάπλασης του φλύσχη.

Η οροσειρά, βρίσκεται σε μικρή απόσταση από τη θάλασσα και χαρακτηρίζεται από ψηλές απόκρημνες βουνοκορφές (σε υψόμετρο μεταξύ 700 και 1024 m), κάθετες πλαγιές, βαθιά φαράγγια, διάσελα και μικρές κοιλάδες στις οποίες ρέουν μικροί ποταμοί. Τα καρστικά φαινόμενα που χαρακτηρίζουν τα ασβεστολιθικά πετρώματα της οροσειράς, δημιούργησαν υπόγειες σπηλιές με σταλακτίτες και σταλαγμίτες, κατακρημνίσεις και κουφώματα.

Καρπασία: Η χερσόνησος της Καρπασίας καταλαμβάνει το βορειοανατολικότερο τμήμα του νησιού, ανατολικά της οροσειράς του Πενταδακτύλου. Είναι προέκταση της οροσειράς του Πενταδακτύλου αλλά δεν παρουσιάζει τις πτυχώσεις και άλλες τεκτονικές κινήσεις που επηρέασαν τον Πενταδάκτυλο. Το τοπίο χαρακτηρίζεται από μια εναλλαγή λόφων, πλαγιών, χαμηλών οροπεδίων, κοιλάδων και μικρών λεκανοπεδίων. Από τα διάφορα υψώματα της Καρπασίας πηγάζουν μικρά ρυάκια που εκβάλουν στη θάλασσα περιοχή της χερσονήσου.

Τα κυριότερα πετρώματα στην Καρπασία είναι οι αποθέσεις του φλύσχη της Κυθρέας, οι αποθέσεις του σχηματισμού Αθαλάσσας (ασβεστολιθικοί ψαμμίτες, άμμοι και αμμώδεις μάργες) και οι αποθέσεις των αναβαθμίδων (ασβεστολιθικοί ψαμμίτες, άμμοι και χαλίκια). Οι πρόσφατες αλλουβιακές αποθέσεις απαντώνται στις παράκτιες περιοχές.

3. Τη κεντρική πεδιάδα.

Βρίσκεται μεταξύ των οροσειρών του Τροόδους και του Πενταδακτύλου και πρόκειται για μια αρκετά ομαλή πεδιάδα.

Τα πετρώματα της κεντρικής πεδιάδας είναι από τα πιο πρόσφατα της Κύπρου. Είναι ιζηματογενούς προέλευσης τα οποία μεταφέρθηκαν από τον Πενταδάκτυλο και το Τρόοδος και εναποτέθηκαν στη θάλασσα, ακριβώς εκεί που βρίσκεται σήμερα η κεντρική πεδιάδα.

Η κεντρική πεδιάδα μπορεί να υποδιαιρεθεί σε τρεις υποπεριοχές:

- τη δυτική κεντρική πεδιάδα (πεδιάδα της Μόρφου)
- την ανατολική κεντρική πεδιάδα (Μεσαορία) και
- το οροπέδιο των Κοκκinoχωριών.

4. Τη λοφώδη περιοχή γύρω από το ορεινό σύμπλεγμα Τροόδους.

Οι λόφοι που περιβάλλουν το πυριγενές σύμπλεγμα του Τροόδους αποτελούν ξεχωριστή μορφολογική περιφέρεια, η οποία εκτείνεται ανατολικά, νότια και δυτικά της Οροσειράς. Η περιφέρεια αυτή αποτελείται από ιζηματογενή πετρώματα, κυρίως των γεωλογικών σχηματισμών Πάχνας (εναλλασσόμενες στρώσεις κιμωλιών, μαργών και ψαμμιτών) και Λευκάρων (κρητίδες, μάργες και μαργαϊκές κρητίδες). Τα περισσότερα των πετρωμάτων αυτών επικάθονται των λαβών. Στην επαρχία Πάφου εκτός από τα πετρώματα αυτά απαντώνται και οι άργιλοι των σχηματισμών Μονής και Κανναβιούς, οι υφαλογενείς ασβεστόλιθοι του σχηματισμού Τέρα, οι αποθέσεις του σχηματισμού Λευκωσίας (ασβεστολιθικοί ψαμμίτες, άμμοι, χαλίκια, μάργες και ψαμμιτικές μάργες) και οι αποθέσεις του σχηματισμού των Μαμωνιών.

Η λοφώδης περιφέρεια χαρακτηρίζεται από αποστρογγυλωμένους κιμωλιούχους λόφους, καρστικά φαινόμενα, ξερές κοιλάδες, μικρά διαμελισμένα οροπέδια και μερικούς τραπεζοειδείς λόφους. Στο τοπίο κυριαρχεί το άσπρο χρώμα των κρητίδων ή το μπεζ χρώμα των μαργών και των μαργαϊκών κρητίδων.

5. Τις παράκτιες πεδιάδες.

[illegible]

19

2.2 Κλιματικά Δεδομένα

Η Κύπρος βρίσκεται κατά μέσο όρο σε γεωγραφικό πλάτος 350 Βόρειο και γεωγραφικό μήκος 330 Ανατολικά και περιβάλλεται από την Μεσόγειο θάλασσα (Theophilus K, 2009).

Τα κύρια χαρακτηριστικά του μεσογειακού κλίματος της Κύπρου είναι τα ζεστά και ξηρά καλοκαίρια (μέσα Μαΐου έως μέσα Σεπτέμβρη), οι βροχεροί αλλά ήπιοι χειμώνες (μέσα Νοέμβρη έως μέσα Μαρτίου) και οι δύο ενδιάμεσες μεταβατικές εποχές. Στη διάρκεια του καλοκαιριού, η Κύπρος βρίσκεται κάτω από την επίδραση του εποχιακού αντικυκλώνα (βαρομετρικό υψηλό), που έχει το κέντρο του στη νοτιοδυτική Ασία. Αποτέλεσμα της επίδρασης αυτής είναι οι ψηλές θερμοκρασίες και ο καθαρός ουρανός. Η βροχόπτωση είναι πολύ χαμηλή με μέση τιμή που δεν ξεπερνά το 5% της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης.

Στη διάρκεια του χειμώνα, το νησί επηρεάζεται από το πέρασμα μικρών υφέσεων και μετώπων που κινούνται στη Μεσόγειο με κατεύθυνση από τα δυτικά προς τα ανατολικά. Οι καιρικές αυτές διαταραχές διαρκούν συνήθως από μια μέχρι τρεις μέρες και δίνουν τις μεγαλύτερες ποσότητες βροχής. Η συνολική μέση βροχόπτωση στους μήνες Δεκέμβριο, Ιανουάριο και Φεβρουάριο αντιστοιχεί περίπου με το 60% της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης.

Στη διαμόρφωση του κλίματος του νησιού, σημαντική επίδραση έχει η παρουσία των δύο οροσειρών, του Τροόδους και σε μικρότερο βαθμό του Πενταδακτύλου καθώς και η παρουσία της θάλασσας.

2.3 Υδρολογικός Κύκλος

Ο υδρολογικός κύκλος, ή αλλιώς ο κύκλος του νερού, περιγράφει την παρουσία και την κυκλοφορία του νερού στην επιφάνεια της Γης, καθώς και κάτω και πάνω απ' αυτή. Το νερό της Γης είναι πάντα σε κίνηση και πάντα σε αλλαγή, από την υγρή μορφή στην αέρια ή σε πάγο και αντίστροφα. Ο κύκλος του νερού λειτουργεί εδώ και δισεκατομμύρια χρόνια. Η ζωή στη Γη εξαρτάται απ' αυτόν. Η Γη θα ήταν πολύ

αφιλόξενο μέρος για τη ζωή χωρίς τον υδρολογικό κύκλο. Ο ήλιος κινεί τον κύκλο του νερού, συγκεκριμένα θερμαίνει το νερό στη θάλασσα (στους ωκεανούς) το οποίο εν μέρει εξατμίζεται και ανυψώνεται με τη μορφή ατμού στον αέρα. Νερό εξατμίζεται ακόμα από τις λίμνες, τα ποτάμια και το έδαφος. Η διαπνοή των φυτών είναι μια ακόμη λειτουργία που αποδίδει υδρατμούς στην ατμόσφαιρα. Η εξάτμιση και διαπνοή από την ξηρά συχνά δεν διακρίνονται και έτσι μιλούμε για εξατμισοδιαπνοή. Μια μικρή ποσότητα υδρατμών στην ατμόσφαιρα προέρχεται από την εξάχνωση, μέσω της οποίας μόρια από πάγους και χιόνια μετατρέπονται απευθείας σε υδρατμούς χωρίς να περάσουν από την υγρή μορφή. Ανοδικά ρεύματα αέρα ανεβάζουν τους υδρατμούς στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, όπου οι μικρότερες πιέσεις που επικρατούν έχουν αποτέλεσμα τη μείωση της θερμοκρασίας. Επειδή όμως σε χαμηλή θερμοκρασία ο αέρας δεν μπορεί πια να συγκρατεί όλη τη μάζα των υδρατμών, ένα μέρος τους συμπυκνώνεται και σχηματίζει τα σύννεφα. Τα ρεύματα του αέρα κινούν τα σύννεφα γύρω απ' την υδρόγειο. Παράλληλα τα σταγονίδια νερού που σχηματίζουν τα σύννεφα συγκρούονται και μεγαλώνουν, και τελικά πέφτουν απ' τον ουρανό ως κατακρημνίσματα, η συχνότερη μορφή των οποίων είναι η βροχή. Μια μορφή κατακρημνίσματος είναι το χιόνι, το οποίο όταν συσσωρεύεται σχηματίζει πάγους και παγετώνες.

Σε σχετικά θερμότερα κλίματα, όταν έρχεται η άνοιξη, το χιόνι λιώνει και το ξεπαγωμένο νερό ρέει, σχηματίζοντας την απορροή από λιώσιμο του χιονιού. Η μεγαλύτερη ποσότητα κατακρημνισμάτων πέφτει απευθείας στους ωκεανούς. Από την ποσότητα που πέφτει στη στεριά, ένα σημαντικό μέρος καταλήγει και πάλι στους ωκεανούς ρέοντας υπό την επίδραση της βαρύτητας, ως επιφανειακή απορροή. (Ο υδρολογικός κύκλος, USGS, 2006)



Εικόνα 2.2: Ο υδρολογικός κύκλος (USGS, 2006).

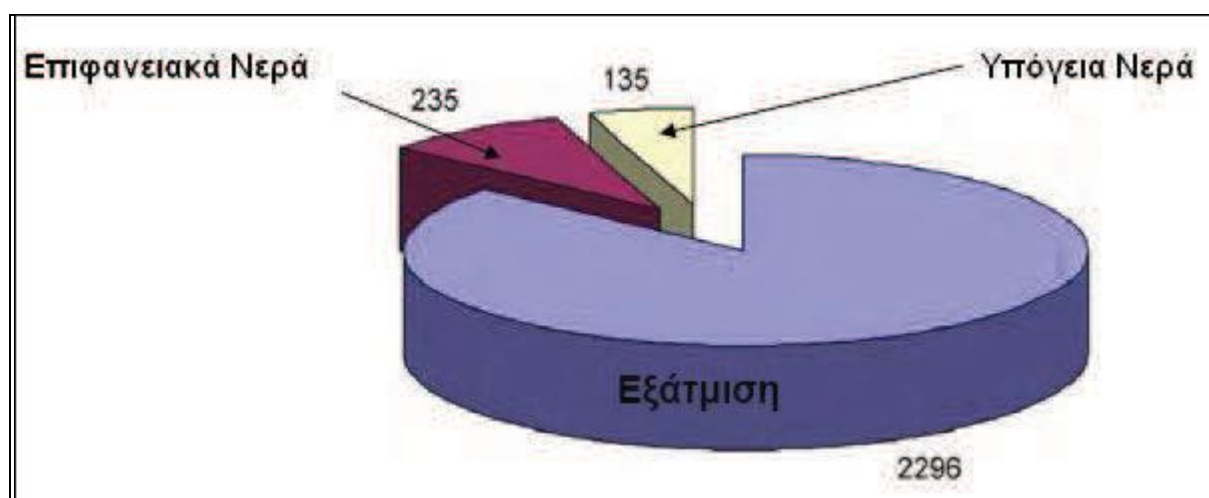
2.3.1. Υδρολογικό καθεστώς και Υδατικό Ισοζύγιο

Όλοι οι υδάτινοι πόροι που διαθέτει η Κύπρος τα τελευταία χρόνια προέρχονται από τη βροχόπτωση. Σύμφωνα με μια μακρά σειρά παρατηρήσεων η μέση ετήσια κατακρήμνιση, από το 2000 μέχρι σήμερα, ανέρχεται στα 460 mm, ενώ για τα παλαιότερα 30 έτη ανερχόταν στα 503 mm. Σύμφωνα με τα μέχρι σήμερα στοιχεία η χαμηλότερη βροχόπτωση παρατηρήθηκε το υδρολογικό έτος 1972-1973 με 182 mm και η υψηλότερη το υδρολογικό έτος 1968-1969 με 759 mm (Meteorological Service, 2012).

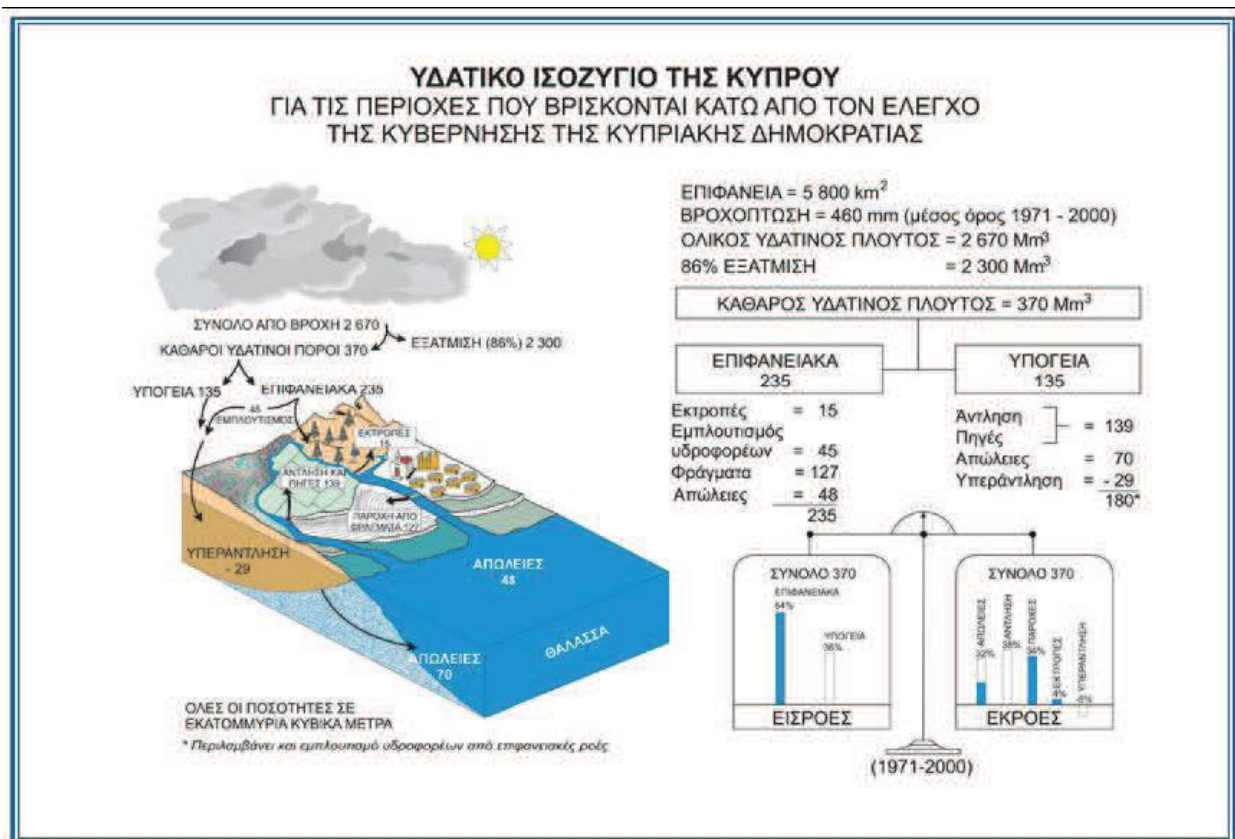
Γενικά η ποσότητα της βροχής που δέχεται η Κύπρος είναι χαμηλή και η εξάτμιση μεγάλη, πράγμα που περιορίζει σοβαρά τους υδάτινους πόρους του νησιού. Επιπλέον η ανομοιόμορφη χωρική κατανομή των κατακρημνίσεων (από ~300 mm στην πεδιάδα της Μεσαορίας έως ~1.100 mm στις ορεινές περιοχές του Τροόδους) δυσχεραίνει

ακόμη περισσότερο την κατάσταση. Η ποσότητα νερού που αντιστοιχεί στην ολική επιφάνεια της ελεύθερης περιοχής της Κύπρου ανέρχεται περίπου στα 2.700 hm^3 , αλλά μόνο το 14% περίπου ή 370 hm^3 προσφέρεται για ανάπτυξη, αφού το υπόλοιπο 86% περίπου επιστρέφει στην ατμόσφαιρα ως απευθείας εξάτμιση. Η μέση ετήσια ποσότητα των 2.700 hm^3 νερού κατανέμεται σε επιφανειακή (9%) και υπόγεια αποθήκευση (5%). Από την υπόγεια αποθήκευση περίπου το 1/4 καταλήγει στη θάλασσα. Χαρακτηριστική είναι η Εικόνα 2.3 στην οποία δίνεται σχηματικά όλο το υδρολογικό καθεστώς της Κύπρου όπως περιγράφηκε παραπάνω.

Οι περιορισμένοι υδατικοί πόροι της Κύπρου, οφείλονται στο ξηροθερμικό της κλίμα, το ανάγλυφο, τη γεωλογία, τη μικρή έκταση του νησιού και την ανομοιόμορφη κατανομή της βροχόπτωσης στις διάφορες περιοχές της (Karagianni M., 2009).



Εικόνα 2.3: Υδατικό ισοζύγιο (hm^3) (Papagrigoriou S., 2007)



Εικόνα 2.4: Υδατικό ισοζύγιο της Κύπρου (Meteorological Service, 2012)

Στην Κύπρο, η βροχόπτωση είναι γεωγραφικά ομοιόμορφα κατανομημένη με τη μέγιστη βροχή να εμφανίζεται στους δύο ορεινούς όγκους, του Τροόδους και του Πενταδακτύλου, και την ελάχιστη στις ανατολικές πεδινές και παράλιες περιοχές, των κοκκινοχωριών. Επιπρόσθετα υπάρχει μεγάλη χρονική διακύμανση της βροχόπτωσης με συχνές συνεχείς ανομβρίες δύο και τριών χρόνων. Ο παρακάτω πίνακας δίνει ενδεικτικά την κατάταξη της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης (ελεύθερες περιοχές) με βάση την κανονική βροχόπτωση για την περίοδο 1961-1990 (Meteorological Service, 2012).

Πίνακας 2.1: Κατάταξη της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης με βάση την κανονική βροχόπτωση

A/A	Σοβαρή Ανομβρία	Ανομβρία	Ολιγο- βρία	Περίπου Κανονική	Περίπου Κανονική	Πολυομ- βρία	Μεγάλη Πολυομβρία	Εξαιρετική Πολυομβρία
	≤170%	71-80%	81-90%	91-100%	101-110%	111-120%	121-130%	>130%
1	1901-02	1916-17	1915-16	1902-03	1903-04	1909-10	1913-14	1904-05
2	1931-32	1933-34	1927-28	1907-08	1905-06	1918-19	1922-23	1906-07
3	1932-33	1940-41	1956-57	1908-09	1910-11	1920-21	1928-29	1911-12
4	1963-64	1950-51	1959-60	1917-18	1912-13	1936-37	1930-31	1919-20
5	1972-73	1958-59	1971-72	1924-25	1914-15	1937-38	1938-39	1925-26
6	1990-91	1969-70	1978-79	1960-61	1921-22	1941-42	1942-43	1929-30
7		1973-74	1981-82	1967-68	1923-24	1947-48	1944-45	1934-35
8		1989-90	1982-83	1970-71	1926-27	1949-50	1951-52	1952-53
9		1995-96	1983-84	1976-77	1935-36	1975-76	1961-62	1966-67
10		1996-97	1985-86	1977-78	1939-40	1979-80	1962-63	1968-69
11		1997-98	1993-94	1984-85	1943-44	1980-81	1974-75	
12		1999-00		1988-89	1945-46		1987-88	
13				1994-95	1946-47		1991-92	
14				1998-99	1948-49			
15				2000-01	1953-54			
16					1954-55			
17					1955-56			
18					1957-58			
19					1964-65			
20					1965-66			
21					1986-87			
22					1992-93			

2.4 Επιφανειακοί Υδατικοί Πόροι

Αφορά στο σύνολο των νερών των ποταμών, των λιμνών, των ελών, των πηγών κλπ καθώς και το σύνολο των νερών που αποθηκεύεται στα φράγματα. Ένα μεγάλο μέρος των επιφανειακών υδατικών πόρων χρησιμοποιείται για αρδεύσεις και ένα άλλο μέρος, με κατάλληλη επεξεργασία, χρησιμοποιείται για οικιακές και βιομηχανικές

χρήσεις. Επίσης ένα άλλο μέρος εισχωρεί στο έδαφος και εμπλουτίζει τα υπόγεια υδροφόρα στρώματα, πολύ μικρό μέρος διαπνέεται από τα φυτά που βρίσκονται κοντά στην κοίτη των ποταμών ή εξατμίζεται κατευθείαν από την ελεύθερη επιφάνεια του νερού των ποταμών. Το υπόλοιπο αποτελεί τη ροή των ποταμών (Galounia E., 2010).

2.4.1 Ποταμοί

Οι περισσότεροι ποταμοί πηγάζουν από την περιοχή του Τροόδους. Η εποχική κατανομή της επιφανειακής απορροής ακολουθεί την εποχική κατανομή των κατακρημνισμάτων (ελάχιστες τιμές κατά τους θερινούς μήνες και μέγιστες τιμές κατά τους χειμερινούς μήνες). Ως αποτέλεσμα του Ανατολικού Μεσογειακού κλίματος (ζεστό θέρος μεγάλης διάρκειας και χαμηλής μέσης ετήσιας βροχόπτωσης) εμφανίζεται η απουσία ποταμών με συνεχή ροή σε όλο τους το μήκος. Πρόκειται συνεπώς για χείμαρρους οι οποίοι ρέουν 3 με 4 μήνες το χρόνο, από Δεκέμβρη μέχρι τα τέλη Μαΐου, και στερεύουν για το υπόλοιπο έτος. Μόνο τμήματα κάποιων ποταμών, σε υψόμετρο πάνω από 1.000 m, τα οποία βρίσκονται ανάντη της περιοχής του Τροόδους έχουν συνεχή ροή (ποταμοί: Ξερός, Διαρίζος, Καργώτης Μαραθάσας, Κούρης και Γερμασόγειας). Γενικότερα, τα περισσότερα ποτάμια έχουν μάλλον απότομη κλίση εκτός από αυτά που βρίσκονται στις πεδινές εκτάσεις κατά μήκος της νότιας ακτής του νησιού. Τα πιο πολλά τμήματα των ποταμών, ωστόσο, βρίσκονται σε ενδιάμεσο υψόμετρο (Meteorological Service, 2012).

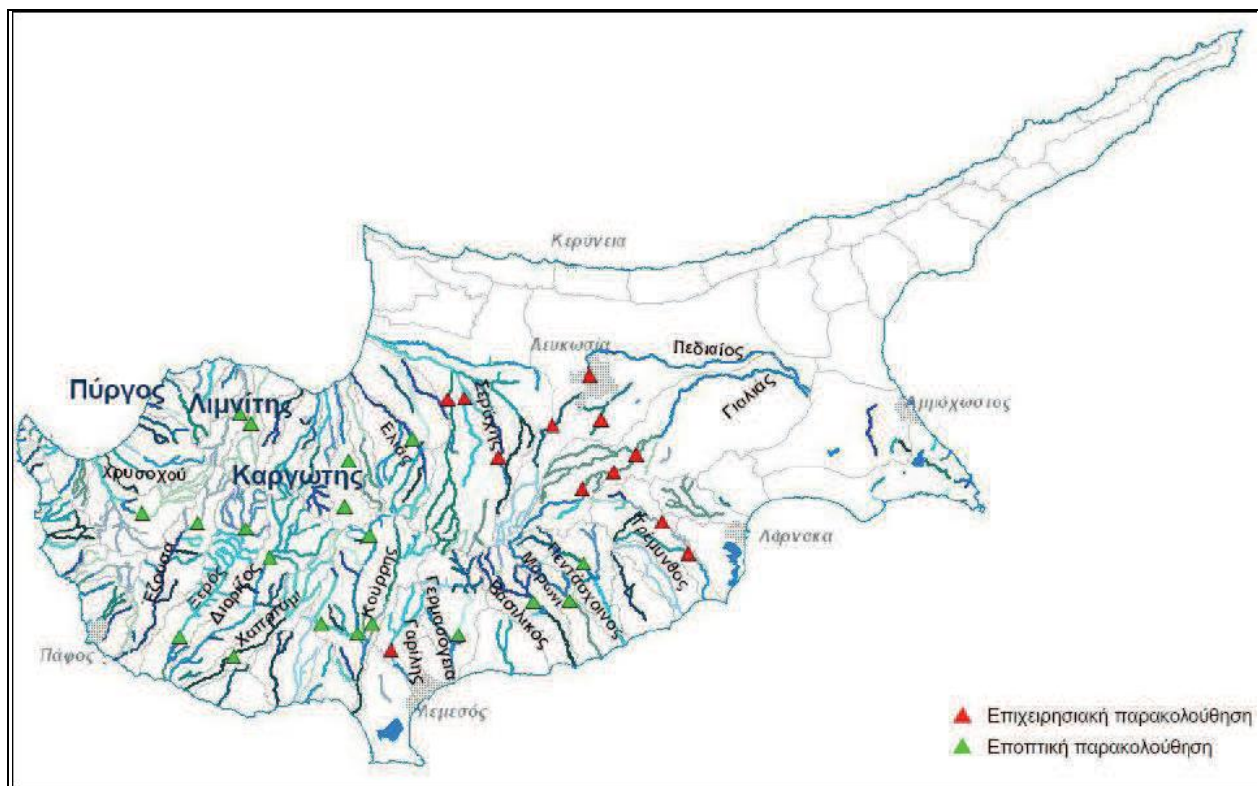
Η ποσότητα του νερού που ρέει κάθε χρόνο στους ποταμούς, ο τρόπος και η διάρκεια της ροής, η κατανομή της στο χρόνο, η μέγιστη παροχή και το ποσοστό σε κάθε μια από τις χρήσεις, υπολογίζονται με τις κατάλληλες υδρομετρήσεις και παρατηρήσεις που διενεργεί τακτικά το Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων. Επίσης γίνονται τακτικές μετρήσεις των μεταφερομένων ιζημάτων και της ποιότητας του νερού των ποταμών. Οι μετρήσεις αυτές είναι πρωταρχικής σημασίας, γιατί πάνω σ' αυτές στηρίζεται πλήθος μελετών για τον προγραμματισμό και την αξιοποίηση των επιφανειακών νερών με την κατασκευή των κατάλληλων υδατικών έργων.

Το ποσοστό νερού που χάνεται κάθε χρόνο στη θάλασσα μειώνεται σταθερά, σαν αποτέλεσμα της πολιτικής για ανάπτυξη των υδάτινων πόρων του νησιού. Το βασικότερο μέτρο της πολιτικής αυτής αποτέλεσε η κατασκευή μεγάλων υδατοφρακτών, στα πλαίσια υδατικών σχεδίων, στους οποίους διοχετεύονται τα νερά των μεγάλων ποταμών (Karagianni M., 2009).

Τα βασικότερα υδάτινα σώματα της Κύπρου παρουσιάζονται στην Εικόνα 2.5 όπου ως σταθμοί εποπτικής παρακολούθησης ορίζονται οι σταθμοί παροχής πληροφοριών για την εκτίμηση μακροπρόθεσμων τάσεων που οφείλονται σε φυσικές ή ανθρωπογενείς μεταβολές ενώ ως επιχειρησιακοί σταθμοί ορίζονται οι σταθμοί που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της χημικής κατάστασης των σωμάτων καθώς και για τον έλεγχο της συγκέντρωσης ρύπων από ανθρωπογενείς δραστηριότητες (Kotzageorgis G., 2007).

Οι μεγαλύτεροι ποταμοί της είναι οι ακόλουθοι:

1.Πηδιάς (98 km) 2.Γιαλιάς (88 km) 3.Σερράχης (55 km) 4.Διαρίζος (42 km) 5.Ξερός ποταμός (41,5 km) 6.Έζουσα (41 km) 7.Κούρης 8.Ακάκι 9.Χαποτάμι 10.Περιστερώννα 11.Οβγός 12.Τρέμιθος 13.Ελιά 14.Σταυρός της Ψώκας 15.Πεντάσχοινος 16.Καρκώτης 17.Βασιλικός 18.Μαρώνι 19.Γερμασόγεια 20.Ατσάς 21.Λιμνάτης 22.Κρυός 23.Αλυκός 24.Γαρύλλης 25.Σέτραχος 26.Λιμνίτης 27.Ξερός



Εικόνα 2.5: Υδάτινα ποτάμια σώματα και Σταθμοί παρακολούθησης (Kotzageorgis G., 2007)

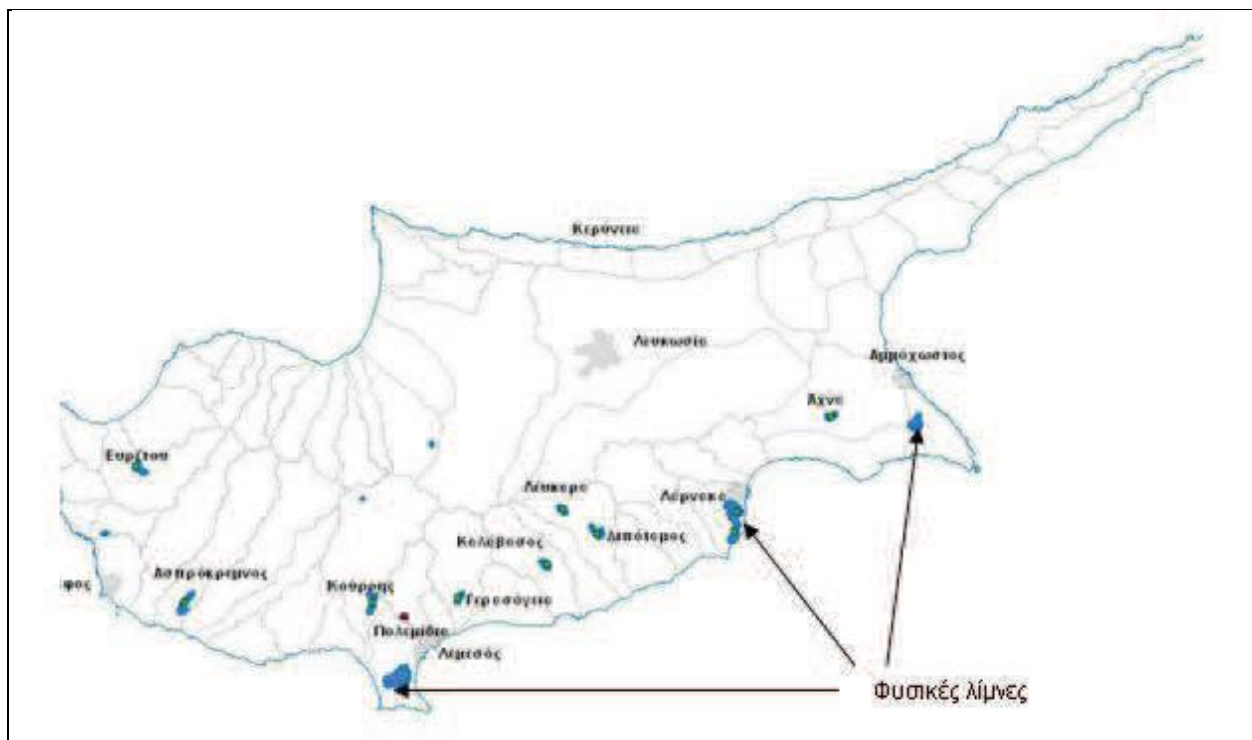
2.4.2 Πηγές

Οι πηγές είναι ζωτικής σημασίας για το νησί διότι σε αυτές στηρίζεται η υδατοπρομήθεια μεγάλου αριθμού χωριών, ακόμη και πόλεων, καθώς και η άρδευση σημαντικών εκτάσεων γης. Υπάρχουν εκατοντάδες πηγές στην Κύπρο και βρίσκονται διασκορπισμένες σε όλη της την έκταση ενώ οι μεγάλες πηγές είναι περίπου 300. Μετρούνται τακτικά ογκομετρικώς, εκτός από ορισμένες στις οποίες υπάρχουν εγκατεστημένοι αυτόματοι μετρητές και ταυτόχρονα γίνονται και δειγματοληψίες για να εξεταστεί χημικός και βιολογικός τους χαρακτήρας. Οι μεγάλες πηγές ονομάζονται κεφαλόβρυσα και συχνά κοντά σ' αυτές βρίσκονται και άλλες μικρότερες. Τα κυριότερα κεφαλόβρυσα της Κύπρου είναι της Κυθρέας, της Λαπήθου και του Καραβά, που βρίσκονται στην κατεχόμενη, από τα τουρκικά στρατεύματα, περιοχή της Κύπρου. Τα τρία αυτά κεφαλόβρυσα δημιουργήθηκαν στην περιοχή του υδροφόρου στρώματος των ασβεστόλιθων του Πενταδακτύλου οι οποίοι περιβάλλονται από αδιαπέρατους

σχηματισμούς φλύσχη και μαργαϊκών κρητίδων. Λόγω της τεκτονικής δομής στο υδροφόρο στρώμα των ασβεστόλιθων δημιουργούνται υπόγειες δεξαμενές όπου συσσωρεύονται τα νερά της βροχής και ακολούθως τροφοδοτούν τις μεγάλες πηγές της οροσειράς.

2.4.3 Λίμνες

Οι βασικές φυσικές λίμνες της Κύπρου είναι η αλυκή της Λάρνακας και η αλυκή της Λεμεσού ενώ εμφανίζεται και μια τρίτη μικρότερη λίμνη, εκείνη του Παραλιμνίου, η οποία βρίσκεται στα δυτικά του ομώνυμου οικισμού. Η πρώτη λίμνη βρίσκεται στα νότια της πόλης της Λάρνακας και η δεύτερη στη χερσόνησο του Ακρωτηρίου, στα νοτιοδυτικά της πόλης της Λεμεσού. Όλα τα λιμναία υδάτινα σώματα του νησιού δίνονται στην Εικόνα 2.6. Πρόκειται για σχετικά αβαθείς λίμνες στις οποίες συλλέγονται τα νερά της βροχής και των μικρών ρυακιών. Οι λίμνες αυτές για το μεγαλύτερο διάστημα του χρόνου εμφανίζονται ξερές και με αυξημένη αλμυρότητα, ο οποία οφείλεται στα άλατα που βρίσκονται στις αργίλους καθώς και στη μεγάλη εξάτμιση που επικρατεί. Τα άλλα λιμναία συστήματα, που εμφανίζονται στο νησί είναι τεχνητές, ως αποτέλεσμα της κατασκευής φραγμάτων σε ποτάμια ή της δημιουργίας αποθηκευτικών δεξαμενών (Meteorological Service, 2012)



Εικόνα 2.6: Λιμναία υδάτινα συστήματα (Kotzageorgis G., 2007)

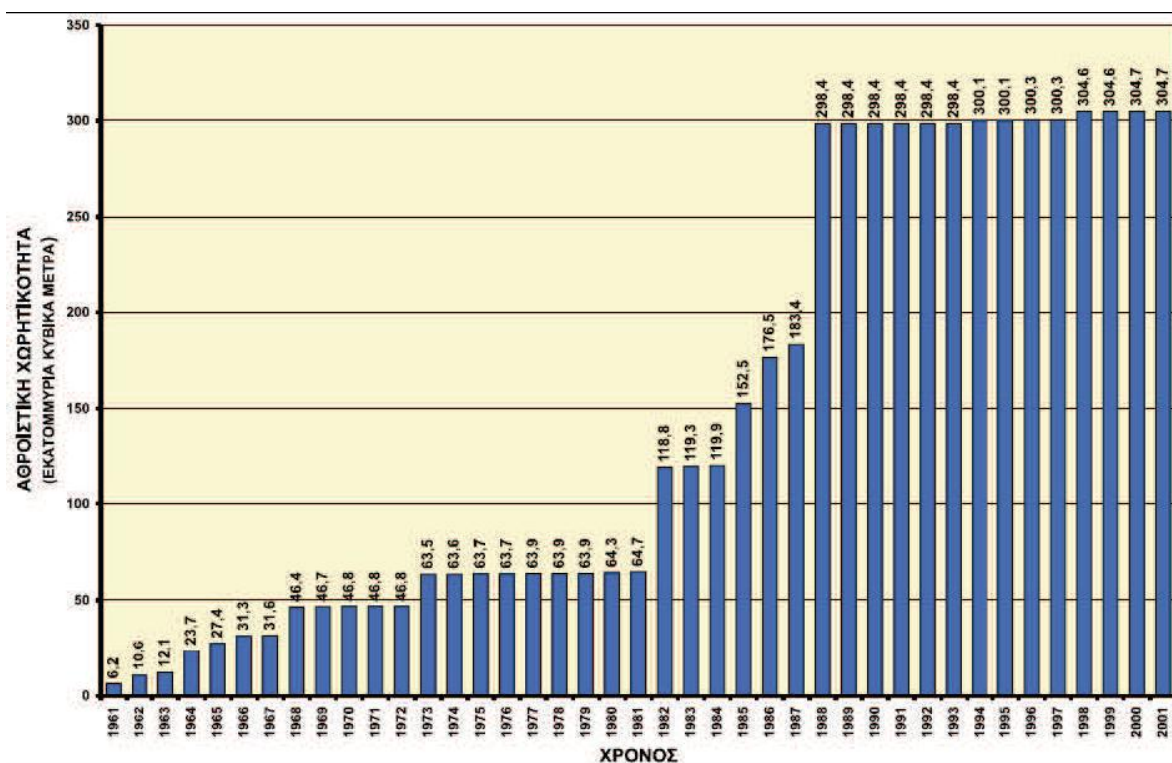
2.4.4 Φράγματα

Οι περιορισμένοι υδατικοί πόροι του νησιού και οι αυξανόμενες υδάτινες ανάγκες για αρδευτικούς, οικιστικούς, βιομηχανικούς και τουριστικούς σκοπούς, οδήγησε κατ' αρχήν στην κατασκευή υδατοφρακτών για αύξηση των υδατικών αποθεμάτων και επιπλέον συνέβαλαν στην προώθηση της ορθολογιστικής τους διαχείρισης.

Στην Κύπρο έχουν κατασκευαστεί συνολικά 108 φράγματα, τα κυριότερα από αυτά παρουσιάζονται στην Εικόνα 2.8, με αποτέλεσμα το νησί να κατατάσσεται πρώτο στην Ευρώπη αναφορικά με τον αριθμό και τη χωρητικότητα μεγάλων φραγμάτων σε σχέση με την έκτασή της, ενώ 56 από αυτά χαρακτηρίζονται ως μεγάλα φράγματα και είναι εγγεγραμμένα στον κατάλογο της Διεθνούς Επιτροπής Μεγάλων Φραγμάτων (ICOLD). Τα πέντε μεγαλύτερα φράγματα της Κύπρου είναι του "Κούρρη" στη Λεμεσό (115 hm^3), του "Ασπρόκρεμμου" στην Πάφο, του "Ευρέτου" στην Πάφο, της Κανναβιού" στην Πάφο και της "Καλαβασσού" στη Λάρνακα (Meteorological Service, 2012). Το πρώτο μεγάλο έργο φράγματος στην Κύπρο κατασκευάστηκε το 1900 στο χωριό

Κούκλια, της επαρχίας Αμμοχώστου, με χωρητικότητα $4,55 \text{ hm}^3$. Μέχρι το 1980 η συνολική χωρητικότητα των φραγμάτων της Κύπρου ήταν $\sim 65 \text{ hm}^3$, ενώ το 1985 έφτασε τα 151 hm^3 . Σήμερα η συνολική χωρητικότητα των 108 φραγμάτων ανέρχεται περίπου στα 327 hm^3 (Meteorological Service, 2012).

Η χρονική εξέλιξη ως προς την κατασκευή φραγμάτων στο νησί δείχνεται στην Εικόνα 2.7. Το μεγαλύτερο φράγμα της Κύπρου βρίσκεται στον ποταμό Κούρη, είναι χωρητικότητας 115 hm^3 και η κατασκευή του συμπληρώθηκε το 1988. Το φράγμα κατασκευάστηκε στα πλαίσια της πρώτης φάσης του αρδευτικού σχεδίου του Νότιου Αγωγού. Άλλα αξιόλογα φράγματα κατασκευάστηκαν επίσης, στα πλαίσια μεγάλων υδατικών και αναπτυξιακών έργων. Το παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζει την εξελικτική πορεία κατασκευής φραγμάτων στην Κύπρο ως προς τη συνολική χωρητικότητά τους της περιόδου 1961 – 2001.



Εικόνα 2.7: Κατασκευή φραγμάτων στην περίοδο 1961-2001 (Socrates G., et al, 2001)



Εικόνα 2.8: Φράγματα της Κύπρου (Ιοαννου Em., 2006)

2.5 Πλημμύρες στην Κύπρο

Στην Κύπρο, εξαιτίας της γεωγραφικής της θέσης οι βροχοπτώσεις είναι ελάχιστες προκαλώντας σοβαρά υδατικά προβλήματα στους κατοίκους του νησιού. Ωστόσο, παρά τα έντονα προβλήματα ξηρασίας, μεγαλύτερο πρόβλημα για το νησί αποτελούν τα φαινόμενα πλημμύρας εξαιτίας των οποίων θρηνούνται ακόμα και ανθρώπινα θύματα (πλημμύρα 30/10/2006 – 2 ανθρώπινα θύματα). Οι πλημμύρες αυτές είναι συνήθως τοπικού – στιγμιαίου χαρακτήρα (flash floods) και προκαλούν υπερχειλίση οχενών, καταστροφή δρόμων και υπογείων κλπ.

Οι περιοχές που εμφανίζονται πιο ευπαθείς στην πλημμύρα είναι, τις περισσότερες φορές, περιοχές αστικού ιστού. Ωστόσο πλημμύρες εμφανίζονται και σε πολλές αγροτικές περιοχές κυρίως εξαιτίας των μικρών κλίσεων του εδάφους. Παρακάτω, στον Πίνακα 2-2, παρουσιάζονται επιγραμματικά τα ισχυρότερα πλημμυρικά φαινόμενα για τη χρονική περίοδο 1971 – 1994, ωστόσο σημειώνεται ότι οι ισχυρότερες

βροχοπτώσεις που έχουν καταγραφεί στο νησί, τόσο από πλευράς συνολικού ύψους βροχής (βάση καταγραφών των ημερήσιων υψών βροχής από τη Μετεωρολογική Υπηρεσία) όσο και από πλευράς απορροής (βάση των καταγραφών των μέγιστων μηνιαίων παροχών από το Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων), σημειώθηκαν το Δεκέμβριο του 1968 (ανήμερα των Χριστουγέννων).

Πίνακας 2.2: Ισχυρότερα πλημμυρικά φαινόμενα για τη χρονική περίοδο 1971-1994 (Nicolaidou M.; E. Chatzichristou, 19995.)

Ημ/νία/πλημμύρας	Τοποθεσία	Ημ/νία/πλημμύρας	Τοποθεσία
5/8/1971	Λευκωσία	29/1/1981	Λεμεσός, Λάρνακα
7/2/1973	Αμμόχωστος	25/3/1981	Παλιομέτοχο
7 – 11/6/1973	Αμμόχωστος	16/6/1981	Δυτικά χωριά της Λάρνακας
8 – 11/10/1973	Αμμόχωστος	27 – 28/11/1981	Αμμόχωστος, Λάρνακα
30 – 31/10/1973	Αμμόχωστος	15/2/1988	Κοκκινοχώρια
23/9/1975	Λευκωσία	1/12/1991	Λάρνακα, Κοκκινοχώρια
8/12/1977	Λεμεσός	16/6/1992	Λευκωσία
11/12/1978	Λάρνακα	3/11/1994	Λευκωσία, Λεμεσός
7/2/1979	Λευκωσία	21/11/1994	Λευκωσία, Λεμεσός, Λάρνακα
2 – 4/10/1979	Λευκωσία		

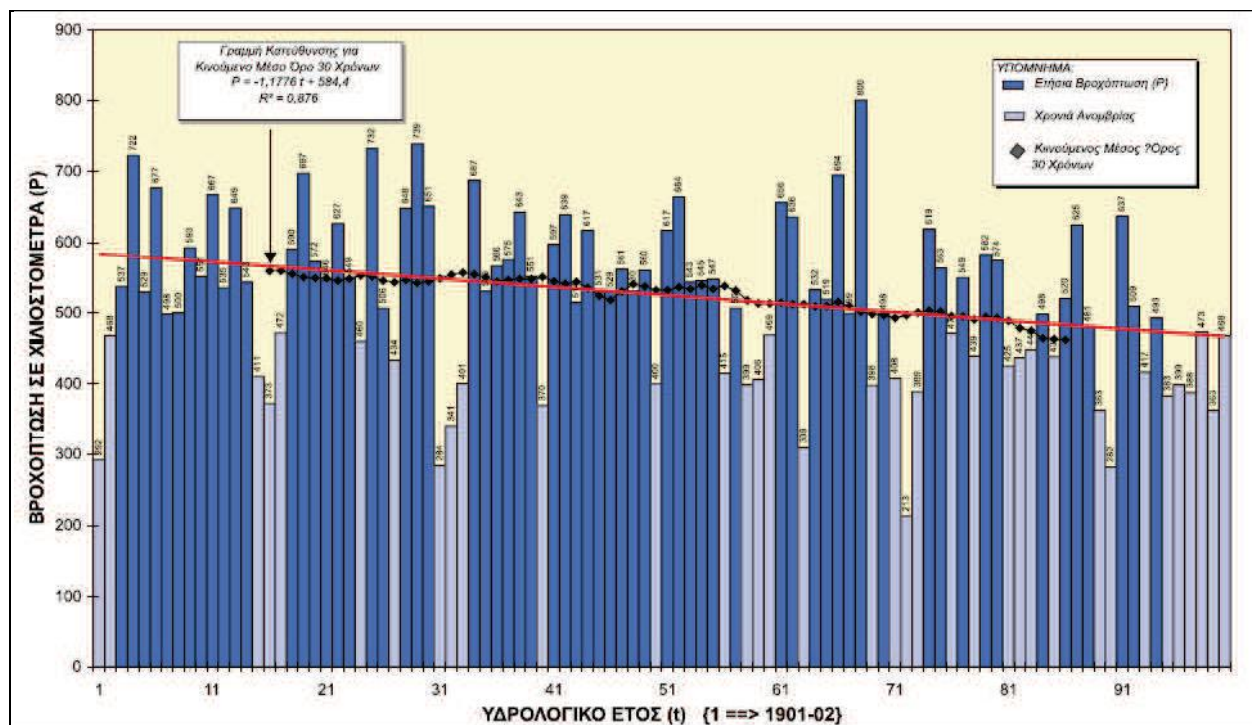
Πιο πρόσφατα έντονα καιρικά φαινόμενα με καταρρακτώδης βροχές παρουσιάστηκαν στην Κύπρο στα τέλη Οκτωβρίου του 2006 (30/10/2006) στην επαρχία Πάφου (Ραφαίου Η.Μ, 2010) καθώς και τον Οκτώβριο του 2009 (27/10/2009) στις επαρχίες Λευκωσίας και Λάρνακας. Αποτέλεσμα της πλημμύρας του Οκτωβρίου 2006 ήταν δύο νεκροί, ενώ τα αποτελέσματα της πλημμύρας του Οκτωβρίου 2009 ήταν να πλημμυρίσουν δρόμοι, υπόγειοι χώροι, υποστατικά, να εγκλωβιστούν άνθρωποι στα αυτοκίνητά τους και να παρασυρθούν αυτοκίνητα.

Αντίστοιχα προβλήματα πλημμυρών αντιμετωπίζει και το κατεχόμενο τμήμα του νησιού. Σύμφωνα με τελευταία δημοσιεύματα (εφημερίδα «Καθημερινή», 2/3/2010) η Τουρκοκυπριακή κοινωνία αντιμετώπισε τεράστιες υλικές ζημιές από καταιγίδα που σημειώθηκε στις 27-28/3/2010 σε περιοχές των επαρχιών Λευκωσία και Κερύνειας. Τα

προβλήματα που προέκυψαν, στο κατεχόμενο τμήμα του νησιού, έχουν αφορούν τις απαρχαιωμένες κατασκευές και τα οδοστρώματα, αλλά και τα δίκτυα ηλεκτροδότησης και επικοινωνιών.

2.6 Υδατικό Πρόβλημα

Οι κλιματικές διακυμάνσεις, η πτώση της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης και οι ανομβρίες συνέβαλαν στην υδατική κρίση που βιώνει το νησί. Οι έρευνες δείχνουν ότι τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρείται μια μείωση της βροχόπτωσης της τάξης του 20% (βλέπε Εικόνα 2.9) , η οποία επέφερε μείωση στο υδατικό εισόδημα της τάξης του 40% (Γαλιούνα, 2010). Τα τελευταία 50 περίπου χρόνια η προσφορά νερού γίνεται όλο και μικρότερη σε σχέση με τις ζητούμενες ποσότητες. Μέχρι πρόσφατα, τα ελλείμματα που δημιουργούνταν καλύπτονταν με υπεράντληση από τα υπόγεια υδατικά αποθέματα, τα οποία όμως έχουν πλέον εξαντληθεί. Υπολογίζεται ότι από το 1960 αντλήθηκαν 1.5 έως 2 δισ. m³ υπόγειου νερού.



Εικόνα 2.9: Ετήσια βροχόπτωση της Κύπρου και κινούμενος μέσος όρος 30 ετών για τις ελεύθερες περιοχές (Socrates G. et al, 2001)

2.7 Λειψυδρία

Η λειψυδρία έχει οριστεί ως η κατάσταση κατά την οποία η διαθεσιμότητα νερού σε μια χώρα ή μια περιοχή είναι κάτω των $1000 \text{ m}^3/\text{person}/\text{year}$. Ωστόσο, υπάρχουν αρκετές περιοχές στον κόσμο που βιώνουν πολύ μεγαλύτερη έλλειψη, ζώντας με λιγότερο από 500 m^3 ανά άτομο ανά έτος. Λειψυδρία σημειώνεται όταν οι ποσότητες του νερού που αφαιρούνται από τις λίμνες, τα ποτάμια ή το υπέδαφος, είναι τόσο μεγάλες, ώστε οι προμήθειες νερού δεν επαρκούν πλέον στην ικανοποίηση όλων των ανθρωπίνων αναγκών ή των αναγκών του οικοσυστήματος, επιφέροντας αυξημένο ανταγωνισμό ανάμεσα στις πιθανές απαιτήσεις.

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. Ο ακριβής ορισμός των λειψυδριών παρουσιάζει πολλές δυσκολίες για μία αντικειμενική παραδοχή του (Yevjenich V. et al 1983; 22 Vlachos, E.C. and Grigg, N.S. 1990; Karavitis, C.A., 1999α).

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.

Η υπάρχουσα ένταση ανάμεσα στους ειδικούς, τους πολιτικούς και τον απλό πολίτη μας καλεί να αντιμετωπίσουμε την λειψυδρία σαν ένα φυσικό κίνδυνο, μια φυσική 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, τις αιτίες και τα αποτελέσματα της. (Karavitis, C., A., 1999)

Η λειψυδρία ορίζεται 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 (Cordero, I. & McCall, M., 2000).

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 (Cordero, I. & McCall, M., 2000).

2.8 Αίτια της Λειψυδρίας

Τα αίτια που προκαλούν την αρνητική διαφορά στο ισοζύγιο μεταξύ του προσφερόμενου και του ζητούμενου νερού σε μια συγκεκριμένη περιοχή και για μια συγκεκριμένη περίοδο ποικίλουν. Τα αίτια αυτά 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).

Οι παράγοντες αυτοί που οδηγούν στην εμφάνιση της λειψυδρίας είναι:

- *Η ανομοιόμορφη δόση της μορφής στο χρόνο*
- *Η έντονη διακύμανση του ετήσιου ύψους βροχής*
- *Οι συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις*
- *Φαινόμενα El Niño και La Nina*
- *Αστρονομικοί παράγοντες*

- *Αεροχείμαρροι*
- *Ανθρωπογενείς παράγοντες, όπως αύξηση του πληθυσμού, οι χρήσεις της γης, η ποιότητα και η ζήτηση του νερού, η νομοθεσία και η διαχείριση των υδατικών πόρων καθώς και πολιτικοκοινωνικά ζητήματα.*

2.9 Δείκτες Λειψυδρίας

Οι δείκτες παρακολούθησης του φαινομένου της λειψυδρίας είναι σημαντικοί όχι μόνο για την παρακολούθηση αλλά και την διαχείριση των Υδρολογικών Λεκανών. Μέχρι σήμερα έχει γίνει σημαντική εργασία και έχει αποκτηθεί εμπειρία από πιλοτικές μελέτες στο συγκεκριμένο θέμα με αποτέλεσμα να έχουν συνταχθεί και σχετικοί πανευρωπαϊκοί χάρτες με βάση αυτούς τους δείκτες. 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. 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 (Karavitis C., 2008).

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 μικροκλιμάτων, 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. Στη συνέχεια ακολουθεί 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 βροχόπτωσης 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 mm (1,4 ίντσες), που σημαίνει ότι στα μισά χρόνια λιγότερο από 36 mm κατεγράφησαν ενώ στα μισά χρόνια κατεγράφησαν πάνω από 36 mm βροχόπτωσης. Ωστόσο, ένα μηνιαίο συνολικό

βροχόπτωσης Ιανουαρίου της τάξης των 36 mm 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 βροχόπτωσης 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 (Trachanis C., 2012).

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 συμβάλλει 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 περίοδοι 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 1985). 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 λειψυδρία (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 ευαισθητών 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 τέλους 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 εξατμισοδιαπνοή 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 αντανακλά 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 άμβλυνση 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 (Καραβίτης Χ., 2008).

2.10 Αποτελέσματα Λειψυδρίας

Τα αποτελέσματα του φαινομένου έχουν αθροιστική δράση σε όλες τις δραστηριότητες και σχετίζονται με την οικονομία και την κοινωνία. Οι Wilhite et al., (1987) περιέγραψαν δύο μεθόδους προσέγγισης των αποτελεσμάτων. Σαν πρώτη είναι η προσέγγιση του αίτιου- 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 θεωρήθηκε πιο ρεαλιστική, παρουσιάζοντας το αποτέλεσμα του φαινομένου της λειψυδρίας σαν «βαθμούς αλληλεπίδρασης» (Wilhite, D. A. et al. , 1987). 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, αίτιου – 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 κοινωνικοπολιτικές επιπτώσεις. Οι προσαρμοσμένες αντιδράσεις στη λειψυδρία λαμβάνουν χώρα σε δύο χρονικές κλίμακες: μια βραχυπρόθεσμη χρονική κλίμακα, η

οποία λαμβάνει χώρα νωρίς, στην αρχή της λειψυδρίας και μια μακροπρόθεσμη στρατηγική, η οποία λαμβάνει χώρα πριν ή μετά το φαινόμενο της λειψυδρίας με σκοπό την αντιμετώπιση αντίστοιχων μελλοντικών φαινομένων.

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)

2.11 Λειψυδρία στην Κύπρο

Σύμφωνα με τη Μετεωρολογική Υπηρεσία της Κύπρου (2012) κατά τη διάρκεια του 20ού αιώνα το κλίμα της Κύπρου, και ιδιαίτερα οι δύο βασικές κλιματικές παράμετροι, η βροχόπτωση και η θερμοκρασία, έχουν παρουσιάσει σημαντικές διακυμάνσεις και τάσεις. Παρόμοιες διακυμάνσεις και τάσεις στο κλίμα έχουν παρατηρηθεί και σε χώρες της Ανατολικής Μεσογείου και της Μέσης Ανατολής, κατάσταση που υποδηλώνει διαφοροποίηση στη γενική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας στην περιοχή. Στην Κύπρο η βροχόπτωση παρουσίασε πτωτική τάση και η θερμοκρασία ανοδική τάση. Οι ρυθμοί μεταβολής της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας είναι μεγαλύτεροι στο δεύτερο μισό του αιώνα σε σύγκριση με την κατάσταση στο πρώτο μισό του αιώνα. Στις τελευταίες δεκαετίες ο αριθμός των ετών με ολιγομβρία και ανομβρία είναι μεγαλύτερος και οι ξηροθερμικές συνθήκες τόσο στην Κύπρο όσο και στην Ανατολική Μεσόγειο έχουν επιδεινωθεί. Επίσης, τα περισσότερα από τα πιο θερμά χρόνια του αιώνα έχουν παρατηρηθεί στα τελευταία 20 χρόνια. Η μέση βροχόπτωση στην Κύπρο στη διάρκεια του 20ού αιώνα εμφανίζει πτωτική τάση με μέσο ρυθμό ένα χιλιοστόμετρο τον χρόνο. Παρόμοια εικόνα δίνουν και οι μέσες τιμές της βροχόπτωσης σε διάφορες τριακονταετίες: 1901-1930: 559 mm, 1931-1960: 524 mm, 1961-1990: 503 mm, 1971-2000: 462 mm.

Το Ινστιτούτο της Κύπρου προβλέπει ότι μέχρι το 2050 η θερμοκρασία θα κυμαίνεται πάνω από τους 35°C για τουλάχιστον τέσσερις μήνες του χρόνου. Αυτό μεταφράζεται σε αύξηση των ημερών με υψηλή θερμοκρασία κατά 50%. Στην Κύπρο, ήδη, εφαρμόζεται σύστημα επιβολής προστίμων σε περιπτώσεις ανεξέλεγκτης κατανάλωσης νερού, το οποίο όμως δεν έχει αποφέρει εμφανή αποτελέσματα. Η κυπριακή κυβέρνηση για να αντιμετωπίσει το πρόβλημα, το οποίο αναμένεται να ενταθεί τους καλοκαιρινούς μήνες - καθώς οι βροχοπτώσεις αναμένεται να σταματήσουν από τον Απρίλιο ως τον Οκτώβριο - θα προχωρήσει στην κατασκευή νέων μονάδων αφαλάτωσης και στη μέγιστη εκμετάλλευση των ήδη υπάρχοντων εγκαταστάσεων.

Η Κύπρος χαρακτηρίζεται από εύκρατο μεσογειακό κλίμα με ήπιο χειμώνα, μακρύ ζεστό καλοκαίρι και πολύ περιορισμένο φθινόπωρο και άνοιξη. Η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι περίπου 468 mm με εύρος από 300 mm στις κεντρικές πεδιάδες και τα νοτιοανατολικά παράλια, μέχρι 1100 mm στην οροσειρά του Τρόδους, και 550 mm στην οροσειρά του Πενταδάκτυλου. Η ανομοιομορφία στην κατανομή της βροχόπτωσης δεν είναι μόνο γεωγραφική αλλά και διαχρονική, συχνά δε παρατηρούνται συνεχείς ανομβρίες δύο και τριών χρόνων.

Η ηλιοφάνεια είναι μεγάλη σε όλη τη διάρκεια του χρόνου, με 11,5 ώρες κατά μέσο όρο την ημέρα το καλοκαίρι και 5,5 ώρες το χειμώνα. Η μέση μέγιστη θερμοκρασία τον Ιούλιο-Αύγουστο φθάνει τους 36°C στις κεντρικές πεδιάδες και τους 27°C στο Τρόδο. Κατά τον Ιανουάριο η μέση ελάχιστη θερμοκρασία πέφτει στους 5°C στις πεδιάδες και 0°C στο Τρόδο. Η μεγάλη διάρκεια της ηλιοφάνειας, η σχετική ξηρασία και η διαρκής κίνηση του αέρα έχουν ως αποτέλεσμα την εξατμισοδιαπνοή μεγάλων ποσοτήτων νερού που σε ετήσια βάση, αντιστοιχεί στο 80% της βροχόπτωσης.

Στη διάρκεια του 20ού αιώνα και στις αρχές του 21ου το κλίμα της Κύπρου, και ιδιαίτερα οι δύο βασικές κλιματικές παράμετροι, η βροχόπτωση και η θερμοκρασία, έχουν παρουσιάσει σημαντικές διακυμάνσεις και τάσεις. Παρόμοιες διακυμάνσεις και τάσεις στο κλίμα έχουν παρατηρηθεί και σε χώρες της Ανατολικής Μεσογείου και της Μέσης Ανατολής, κατάσταση που υποδηλώνει διαφοροποίηση στη γενική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας στην περιοχή.

Στην Κύπρο η βροχόπτωση παρουσίασε πτωτική τάση και η θερμοκρασία ανοδική τάση. Οι ρυθμοί μεταβολής της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας είναι

μεγαλύτεροι στο δεύτερο μισό του αιώνα σε σύγκριση με την κατάσταση στο πρώτο μισό του αιώνα. Στις τελευταίες δεκαετίες ο αριθμός των ετών με ολιγομβρία και ανομβρία είναι μεγαλύτερος και οι ξηροθερμικές συνθήκες τόσο στην Κύπρο όσο και στην Ανατολική Μεσόγειο έχουν επιδεινωθεί. Επίσης τα περισσότερα από τα πιο θερμά χρόνια του αιώνα έχουν παρατηρηθεί στα τελευταία 20 χρόνια.

Η ελάττωση στην ποσότητα της βροχόπτωσης ήταν σημαντική. Ενώ η μέση ετήσια βροχόπτωση στην πρώτη τριακονταετία του αιώνα ήταν 559 mm, στην τελευταία τριακονταετία έχει ελαττωθεί στα 462 mm, δηλαδή κατά 17% πιο χαμηλή απ' ότι στην αρχή του αιώνα.

Αντίθετα η μέση ετήσια θερμοκρασία στην Κύπρο, τόσο στις πόλεις όσο και στην ύπαιθρο παρουσίασε ανοδική τάση. Η αύξηση της θερμοκρασίας ήταν μεγαλύτερη στις πόλεις λόγω αστικοποίησης, όμως το γεγονός ότι αύξηση της θερμοκρασίας παρουσιάζεται και στην ύπαιθρο, είναι ενδεικτικό της γενικής αύξησης της θερμοκρασίας στην περιοχή μας όπως και παγκόσμια. Στη Λευκωσία η μέση ετήσια θερμοκρασία αυξήθηκε από 18.9°C στην πρώτη τριακονταετία του αιώνα σε 19.7°C στην τελευταία τριακονταετία, αυξήθηκε δηλαδή κατά 0.8°C.

Η μέση βροχόπτωση στην Κύπρο στη διάρκεια του 20ού αιώνα και στις αρχές του 21ου εμφανίζει πτωτική τάση με μέσο ρυθμό ένα χιλιοστόμετρο το χρόνο. Η μείωση της βροχόπτωσης εντοπίζεται κυρίως στο δεύτερο μισό του αιώνα, οπότε η συχνότητα ολιγομβρίας και ανομβρίας παρουσιάζεται αυξημένη σε σχέση με το πρώτο μισό του αιώνα. Αυτό φαίνεται στον Πίνακα 1 με την κατάταξη των υδρομετεωρολογικών ετών από το 1901-02 σε σχέση με την κανονική βροχόπτωση της περιόδου 1961-1990.

Πίνακας 2.3: Μέση ετήσια βροχόπτωση στις ελεύθερες περιοχές. Κατάταξη των ετών με βάση την κανονική βροχόπτωση (1961 – 1990)

A/A	Σοβαρή Ανομβρία	Ανομβρία	Ολιγομβρία	Περίπου Κανονική	Περίπου Κανονική	Πολυομβρία	Μεγάλη Πολυομβρία	Εξαιρετική Πολυομβρία
	≤ 70%	71-80%	81-90%	91-100%	101- 110%	111-120%	121-130%	>130%
1	1901-02	1916-17	1915-16	1902-03	1903-04	1909-10	1913-14	1904-05
2	1931-32	1933-34	1927-28	1907-08	1905-06	1918-19	1922-23	1906-07
3	1932-33	1940-41	1956-57	1908-09	1910-11	1920-21	1928-29	1911-12
4	1963-64	1950-51	1959-60	1917-18	1912-13	1936-37	1930-31	1919-20
5	1972-73	1958-59	1971-72	1924-25	1914-15	1937-38	1938-39	1925-26
6	1990-91	1969-70	1978-79	1960-61	1921-22	1941-42	1942-43	1929-30
7	2007-08	1973-74	1981-82	1967-68	1923-24	1947-48	1944-45	1934-35
8		1989-90	1982-83	1970-71	1926-27	1949-50	1951-52	1952-53
9		1995-96	1983-84	1976-77	1935-36	1975-76	1961-62	1966-67
10		1996-97	1985-86	1977-78	1939-40	1979-80	1962-63	1968-69
11		1997-98	1993-94	1984-85	1943-44	1980-81	1974-75	
12		1999-00	2004-05	1988-89	1945-46		1987-88	
13		2005-06		1994-95	1946-47		1991-92	
14				1998-99	1948-49			
15				2000-01	1953-54			
16				2006-07	1954-55			
17				2010-11	1955-56			
18					1957-58			
19					1964-65			
20					1965-66			
21					1986-87			
22					1992-93			
23					2003-04			
24					2008-09			
25					2009-10			

Παρόμοια εικόνα δίνουν και οι μέσες τιμές της βροχόπτωσης σε διάφορες τριακονταετίες: 1901-1930: 559 mm, 1931-1960: 524 mm, 1961-1990: 503 mm, 1971-2000: 462 mm. Η βροχόπτωση για την τελευταία τριακονταετία είναι κατά 17% χαμηλότερη από τη βροχόπτωση στην τριακονταετία 1901-1930. Η μέση βροχόπτωση στην εικοσαετία του αιώνα είναι επίσης μεταξύ των χαμηλότερων τιμών για τις διάφορες δεκαετίες του αιώνα.

Πίνακας 2.4: Ετήσια βροχόπτωση της εικοσαετίας (1991-2011).

Υδρομετεωρολογικό Έτος	Ετήσια Βροχόπτωση (mm)	% Κανονικής (1961 – 1990)
1991-1992	637	127
1992-1993	509	101
1993-1994	417	83
1994-1995	493	98
1995-1996	383	76
1996-1997	399	79
1997-1998	388	77
1998-1999	473	94
1999-2000	363	72
2000-2001	468	93
2001 -2002	604	120
2002-2003	561	112
2003-2004	545	108
2004-2005	412	82
2005-2006	360	72
2006-2007	479	95
2007-2008	272	54
2008-2009	527	105
2009-2010	546	109
2010-2011	465	92
Μέση τιμή για τη δεκαετία	465	92

Τον Ιούνιο του 2007, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δημοσίευσε λεπτομερή ανάλυση σχετικά με τη λειψυδρία και την ξηρασία σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Η ανάλυση βασίζεται σε πληροφορίες που διέθεσαν τα κράτη μέλη και ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος (ΕΟΠ), και εντοπίζει τις λεκάνες απορροής ποταμών που πλήττονται από τη λειψυδρία. Σύμφωνα με την έκθεση ο δείκτης εκμετάλλευσης υδάτων (ο οποίος αναφέρεται στην πίεση που δέχονται οι υδάτινοι πόροι) στην Κύπρο ξεπερνά το 50 %. Αυτό σημαίνει ότι η ζήτηση νερού υπερβαίνει σημαντικά την παροχή του σε συνθήκες αειφορία. Η ανακοίνωση αυτή προσδιορίζει σειρά επιλογών πολιτικής σε ευρωπαϊκό, εθνικό και περιφερειακό επίπεδο με σκοπό να μετριαστεί και να αντιμετωπιστεί η πρόκληση που αποτελεί το φαινόμενο της λειψυδρίας και της ξηρασίας. Τρεις είναι οι βασικές κατευθύνσεις που προωθούνται από την ανακοίνωση: (1) να προχωρήσει η πλήρης εφαρμογή της οδηγίας-πλαισίου για τους υδάτινους πόρους (Οδηγία 2000/60/ΕΚ), συμπεριλαμβανομένης της χάραξης αποτελεσματικών πολιτικών τιμολόγησης του νερού, (2) να δοθεί προτεραιότητα στην εξοικονόμηση νερού και σε όλες τις δυνατότητες για βελτίωση της ορθολογικής χρήσης του νερού, (3) να ενσωματωθούν περαιτέρω οι προβληματισμοί που σχετίζονται με το νερό στους υδροβόρους κλάδους. Πρόσθετα μέτρα αφορούν την αναγκαία βελτίωση της διαχείρισης κινδύνων ξηρασίας. Υπό την έννοια αυτή, αποτελεί αρμοδιότητα των κρατών μελών να λαμβάνουν υπόψη τα ζητήματα ξηρασίας στην κατάρτιση σχεδίων διαχείρισης των λεκανών απορροής ποταμών, καθώς ένας από τους στόχους της οδηγίας-πλαισίου για τους υδάτινους πόρους είναι ο μετριασμός των συνεπειών της ξηρασίας.

Η πληρότητα του 2010 στα φράγματα ανερχόταν στο 49% της συνολικής χωρητικότητάς τους σε σχέση με 25,6% της προηγούμενης χρονιάς. Τα αποθέματα αυτά, συν όποια εισέρευσαν χειμώνα του 2010 έστω και με συνθήκες ανομβρίας και η ποσότητα από τις υφιστάμενες αφαλατώσεις, ήταν αρκετά για ύδρευση μέχρι το τέλος του 2011, όπου και ολοκληρώθηκαν οι εργασίες κατασκευής των τριών επιπρόσθετων μονάδων αφαλάτωσης, για οριστική επίλυση του προβλήματος της εξάρτησης της ύδρευσης από τις καιρικές συνθήκες. Η συνολική πλέον δυναμικότητα των μονάδων αφαλάτωσης σε πανκύπριο επίπεδο ανέρχεται στα 251000 m³ νερού την ημέρα, ποσότητα επαρκής για απεξάρτηση των αναγκών σε ύδρευση από τις βροχοπτώσεις

Η Κύπρος προστίθεται σε μια σειρά χωρών που αντιμετωπίζουν σοβαρότατα προβλήματα λειψυδρίας και η ανάγκη ενημέρωσης του κοινού και συνεργασίας της πολιτείας με τους εμπλεκόμενους φορείς για την αναζήτηση αποτελεσματικών λύσεων γίνεται ολοένα και πιο επιτακτική.

Λύσεις εισαγωγής νερού από το γειτονικό Λίβανο αναζητά ο Υπουργός Γεωργίας της Κύπρου μετά τα συνεχόμενα κύματα ξηρασίας που πλήττουν το νησί. Η διαδικασία μεταφοράς νερού μέσω τάνκερ προτιμάται από την επιβολή περιορισμών στη χρήση του νερού, καθώς ο Λίβανος προτίθεται να διαθέσει δωρεάν το νερό, με αποτέλεσμα το μόνο κόστος για την κυπριακή κυβέρνηση να είναι το κόστος μεταφοράς του νερού. Ωστόσο, η εναλλακτική λύση της επιβολής δελτίου νερού σε κάθε οικογένεια, ίσως βοηθούσε τους πολίτες να συνειδητοποιήσουν το συνεχώς αυξανόμενο πρόβλημα της λειψυδρίας.

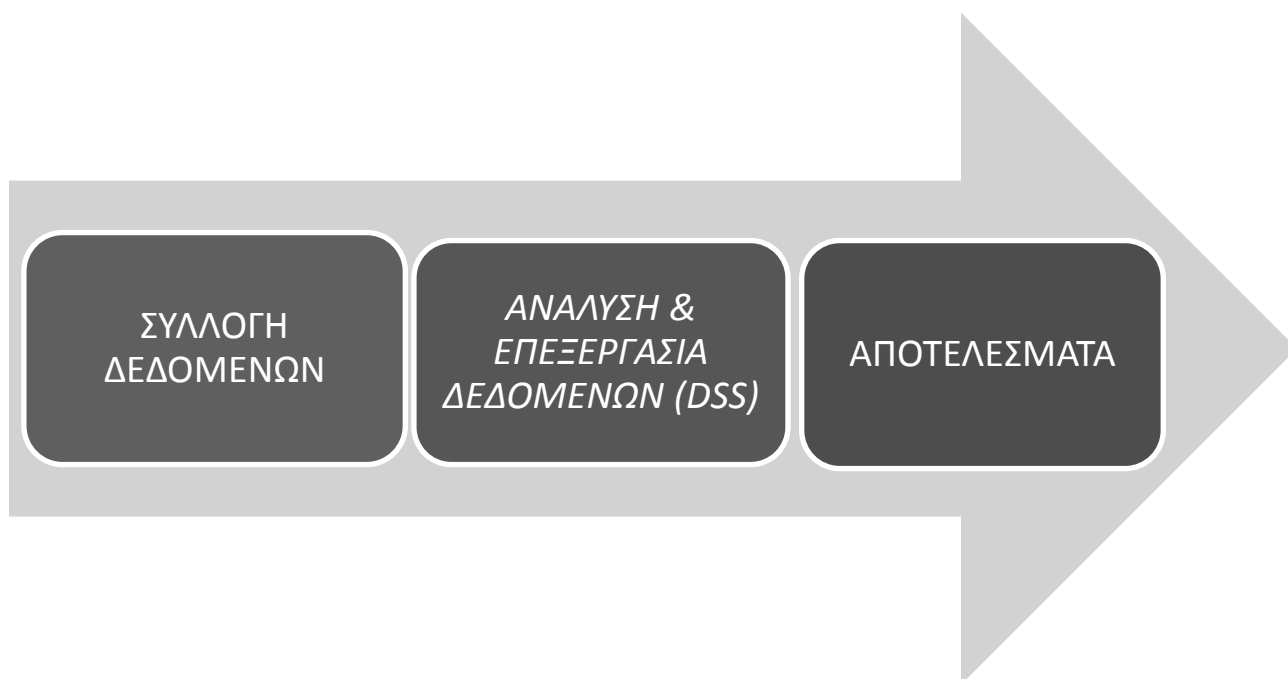
Παρά το άσχημο ιστορικό της Κύπρου στην ανομβρία, το φράγμα του Κούρη, το μεγαλύτερο της Κύπρου, που κατασκευάστηκε το 1988, υπερχείλισε στις 7/4/2012 για δεύτερη φορά μετά το 2004. Το φράγμα, που βρίσκεται στην επαρχία Λεμεσού, είναι χωρητικότητας 115 εκ. m³ νερού. Το Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων είχε προχωρήσει σε ελεγχόμενη εκροή σημαντικών ποσοτήτων νερού από το φράγμα, με στόχο τον καλύτερο δυνατό εμπλουτισμό του υδροφορέα Ακρωτηρίου. Μέχρι σήμερα έχουν εμπλουτίσει τον υδροφορέα Ακρωτηρίου με δύο εκατομμύρια κυβικά μέτρα νερού. Τον υδροφορέα διασχίζει και εμπλουτίζει το τμήμα του ποταμού Κούρη, μέχρι την εκβολή του ποταμού στη θάλασσα, στην περιοχή Επισκοπής. Φέτος υπερχείλισαν τα περισσότερα φράγματα της Κύπρου, γεγονός που έχει προκαλέσει ευφορία, μετά από χρόνια ανομβρίας.

Κεφάλαιο 3^ο

Μεθοδολογία Μελέτης

Το αρχικό στάδιο της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη των σημαντικών λειψυδριών τα τελευταία περίπου είκοσι χρόνια στην Κύπρο. 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. Αρχικά, πραγματοποιήθηκε η συλλογή και καταχώρηση μετεωρολογικών – εδαφολογικών δεδομένων. Συγκεκριμένα της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας για σαράντα επτά (47) μετεωρολογικούς σταθμούς στην Κύπρο. Στη συνέχεια επεξεργάστηκαν για να είναι εφικτή η εισαγωγή τους στο «μαύρο κουτί» (DSS). Για τα μετεωρολογικά δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν μηνιαίες τιμές της βροχόπτωσης στην Κύπρο για τη χρονική διάρκεια 1990-2008. Ο τελικός αριθμός των σταθμών διαμορφώθηκε στους δεκαεννιά (19) λόγω μη παραλληλίας των χρονοσειρών βροχόπτωσης και θερμοκρασίας.
2. Έπειτα πραγματοποιήθηκε η εισαγωγή τους στη γλώσσα προγραμματισμού όπου υπολογίσθηκε ο δείκτης PDSI (Palmer Drought Severity Index) των δεκαεννιά (19) επιλεγθέντων μετεωρολογικών σταθμών, που ήταν και 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 1991, 2000, 2001, 2007 και 2008 καθώς και των υγρών ετών 1992 και 1993, όπου προέκυψαν προβλήματα σε τοπικό επίπεδο, έγινε η χαρτογράφηση με τη βοήθεια της γεωστατιστικής μεθόδου kriging.
4. Τέλος, ακολουθεί ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων τα οποία προέκυψαν μετά την ανάλυση και επεξεργασία των δεδομένων όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 3-1. Σχηματικά η διαδικασία αναπαρίσταται ως εξής :



Εικόνα 3.1 : Διαδικασία σχεδιασμού της παρούσας μελέτης.

Κεφάλαιο 4^ο

Ανάπτυξη του SPI & Γεωστατιστική

4.1 Διαδικασία Υπολογισμού (P.D.S.I)

Η δυσκολία στη μελέτη των υδάτινων πόρων περιλαμβάνει όχι μόνο την εκτίμηση της φυσικής κατάστασής τους, την εδαφική διανομή, και τις διακυμάνσεις στο χρόνο, αλλά και την εξάρτηση από τις ανθρώπινες κοινωνικο-οικονομικές δραστηριότητες στις πρόσφατες δεκαετίες, την εντατικοποίηση της εκμετάλλευσης των υδάτινων πόρων για αστική, γεωργική και βιομηχανική χρήση, την ανακατανομή του πληθυσμού και την ανάπτυξή του, καθώς και ανησυχητικές ενδείξεις σχετικά με τις κλιματικές αλλαγές (φαινόμενο του θερμοκηπίου, οι ξηρασίες, κλπ.) έχουν αρχίσει να προκαλούν σημαντικές επιπτώσεις για την κατάσταση της διαθέσιμο γλυκού νερού, παρά την ικανότητα του ρεύματος και τη ροή των υπογείων υδάτων για την ανανέωση και εμπλουτισμό του. (Kerkides P., C. A. Karavitis, 2002.)

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 *Thorntwaite*. Η τεχνική αυτή έχει ευρεία αποδοχή, αλλά εξακολουθεί να είναι μόνο μια προσέγγιση.

4.2 Δείκτης Λειψυδρίας (P.D.S.I)

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:

$$PET = 16 \cdot \left[\frac{10T_a}{I} \right]^a \cdot \left[\frac{N}{12} \right] \cdot \left[\frac{1}{30} \right], \quad (4.1)$$

όπου PET είναι η δυνητική μηνιαία εξατμισοδιαπνοή (cm/μην), η μέση μηνιαία θερμοκρασία (°C), N είναι ο αριθμός των ωρών της ηλιοφάνειας και 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:

$$PR = AWC - (Su + Ss) , \quad (4.2)$$

όπου Su και Ss 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 τραπέζης και το υπόγειο έδαφος ο λογαριασμός ταμειευτηρίου.

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:

$$d = P - \hat{P} , \quad (4.3)$$

όπου P είναι τα κατακρημνίσματα και \hat{P} είναι τα AFEC (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:

$$\hat{P}_i = \alpha_i PE + \beta_i PR + \gamma_i PRO - \delta_i PL, \quad (4.4)$$

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:

$$Z = d \cdot K. \quad (4.5)$$

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:

$$K_i = \left(\frac{17.6}{\sum_{j=1}^{12} \overline{D}_i K_i'} \right) K_i' , \quad (4.6)$$

όπου

$$K_i' = 1.5 \log_{10} \left[\left(\frac{\overline{PET}_i + R_i + \overline{RO}_i}{\overline{P}_i + \overline{L}_i} + 2.8 \right) \overline{D}_i^{-1} \right] + 0.5 . \quad (4.7)$$

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:

$$\overline{D}_i = \frac{\sum |d_i|}{N} \quad (4.8)$$

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

$$X3_i = 0.897 \cdot X3_{i-1} + \frac{1}{3} Z_i . \quad (4.9)$$

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 εισήχθηκε 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 μέση 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 «επηηρεασμένο 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 ή από τα σημεία ελέγχου:

$$Y_{E,P} = \sum W_i Y_i$$

(4.10)

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:

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

(4.11)

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,

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

(4.12)

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

$$s_z = \sqrt{s_z^2}$$

(4.13)

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 Y1, Y2 και Y3, θα χρησιμοποιηθούν για να εκτιμηθεί μια άγνωστη τιμή του σημείου p, YE,P. Τρεις σταθμισμένοι μέσοι όροι πρέπει να καθοριστούν W1, W2 και W3, δημιουργούν μια εκτίμηση. Η διαδικασία kriging ξεκινά μαζί με τις ακόλουθες τρεις ταυτόχρονες εξισώσεις:

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

(4.14)

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.

$$W_1 + W_2 + W_3 = 1$$

(4.15)

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

$$\begin{aligned}
W_1\gamma(h_{11}) + W_2\gamma(h_{12}) + W_3\gamma(h_{13}) + \lambda &= \gamma(h_{1p}) \\
W_1\gamma(h_{21}) + W_2\gamma(h_{22}) + W_3\gamma(h_{23}) + \lambda &= \gamma(h_{2p}) \\
W_1\gamma(h_{31}) + W_2\gamma(h_{32}) + W_3\gamma(h_{33}) + \lambda &= \gamma(h_{3p}) \\
W_1 + W_2 + W_3 + 0 &= 1
\end{aligned}
\tag{4.16}$$

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

$$\begin{bmatrix} \gamma(h_{11}) & \gamma(h_{12}) & \gamma(h_{13}) & 1 \\ \gamma(h_{21}) & \gamma(h_{22}) & \gamma(h_{23}) & 1 \\ \gamma(h_{31}) & \gamma(h_{32}) & \gamma(h_{33}) & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ W_3 \\ \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma(h_{1p}) \\ \gamma(h_{2p}) \\ \gamma(h_{3p}) \\ 1 \end{bmatrix}
\tag{4.17}$$

ή με γενική σχέση,

$$[A]^* [W] = [B]
\tag{4.18}$$

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

$$Y_{E,p} = W_1 Y_1 + W_2 Y_2 + W_3 Y_3
\tag{4.19}$$

και μια εκτίμηση της διακύμανσης μπορεί να υπολογιστεί από:

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

(4.20)

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°

5.1 Περιοχή Μελέτης

Η Κύπρος είναι νησί που βρίσκεται στο βορειοανατολικό άκρο της Μεσογείου. Καταλαμβάνει έκταση 9.254 km² και είναι το τρίτο σε μέγεθος νησί της Μεσογείου μετά τη Σικελία και τη Σαρδηνία. Το συνολικό μήκος των ακτών του είναι 782 km. Η πλησιέστερη χώρα προς την Κύπρο είναι η Τουρκία, της οποίας τα νότια παράλια απέχουν μόνο 70 km από τα βόρεια παράλια της Κύπρου. Στα ανατολικά οι ακτές της Συρίας απέχουν περί τα 100 km, ενώ στα νότια οι ακτές της Αφρικής (Αίγυπτος) απέχουν 350 km περίπου. Η Ελλάδα που βρίσκεται στα βορειοδυτικά είναι η πλησιέστερη προς την Κύπρο Ευρωπαϊκή χώρα. Το ανατολικότερο τμήμα της Ελλάδας, το νησί Καστελόριζο, απέχει περίπου 270 km, ενώ η απόσταση μεταξύ Κύπρου και Ρόδου είναι 400 km.



Εικόνα 5.1: Η θέση της Κύπρου στη Μεσόγειο.

Η Κύπρος διαθέτει ένα θαυμάσιο μεσογειακό κλίμα. Το ήπιο κλίμα της Κύπρου οφείλεται τόσο στα διάφορα καιρικά συστήματα που την επηρεάζουν, όσο και στη μορφολογία του εδάφους της. Η παρουσία επίσης της θάλασσας που την περιβάλλει είναι η αιτία δημιουργίας τοπικών φαινομένων στις παράλιες περιοχές.

5.2 Επεξεργασία Δεδομένων

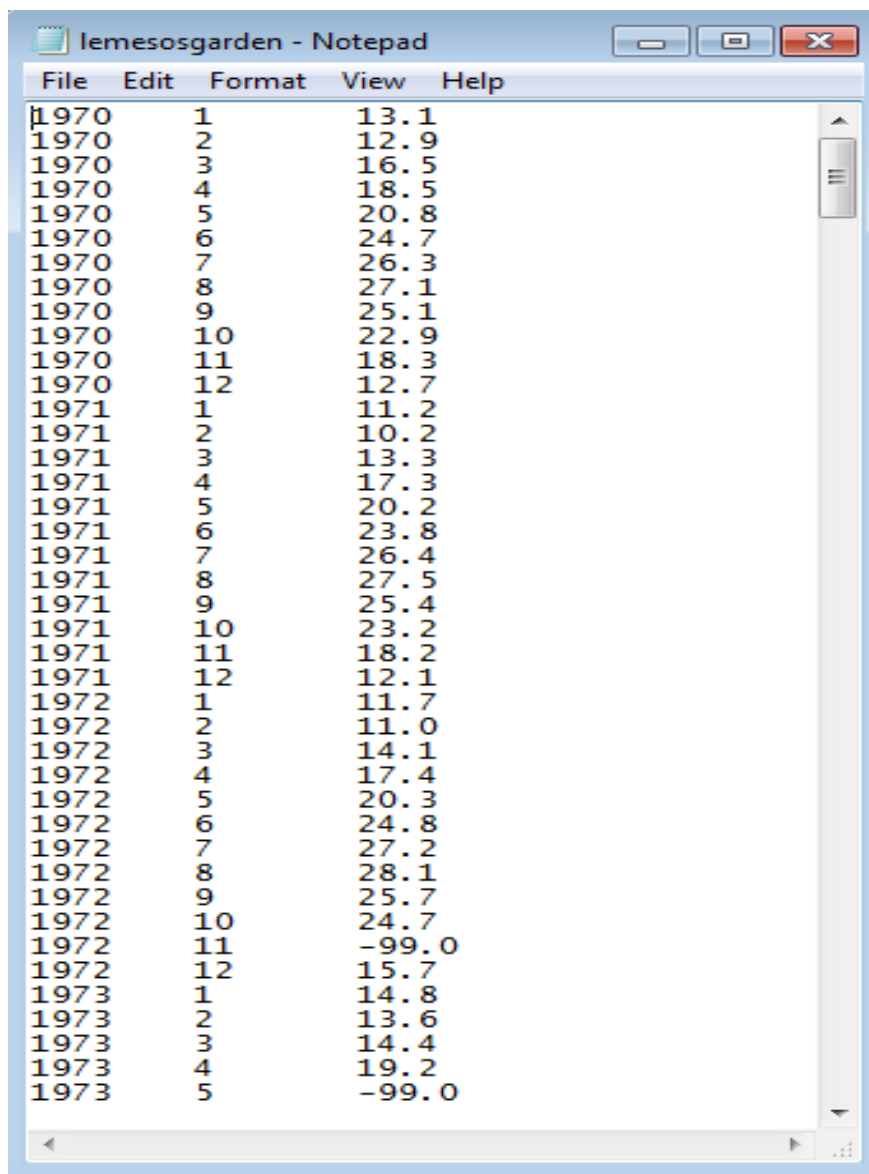
Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη είναι από 19 μετεωρολογικούς σταθμούς υπό την ευθύνη του Τμήματος Αναπτύξεως Υδάτων της Κύπρου. Ως επί τω πλείστων στους μετεωρολογικούς σταθμούς δεν υπάρχουν μεγάλα προβλήματα στις χρονοσειρές. Κενές τιμές εμφανίζουν οι σταθμοί των οποίων τα δεδομένα προέρχονται από τη Δ.Ε.Η. και ελάχιστοι από αυτούς εκ των οποίων προέρχονται από την Ε.Μ.Υ. 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 5.1 εμφανίζει τους σταθμούς και τη θέση τους.

Πίνακας 5.1: Κατάλογος μετεωρολογικών σταθμών.

Station	X	Y
Agios Ioannis	33,02	34,90
Asprokremmos	32,56	34,73
Astromeritis	33,03	35,13
Athalassa	33,39	35,13
Athienou	33,53	35,07
Dasaki	33,78	35,06
Ervetou	32,48	34,96
Germasogeia	33,09	34,72
Galia	32,53	35,10
Kalavassos	33,30	34,77
Kathikas	32,43	34,92
Kornos	33,40	34,92
Kouris	32,92	34,73
Lemesos Garden	33,02	34,71
Malia	32,78	34,82
Pafos	32,75	34,79
Panopanagia	32,63	34,92
Paralimni	33,98	35,03
Zygi	33,33	34,73

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 (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, όπου θα έχει στην πρώτη στήλη το έτος, στη δεύτερη ο μήνας και στην τρίτη τη βροχόπτωση σε χιλιοστά (mm).

Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται το αρχείο εισαγωγής της βροχόπτωσης (input).

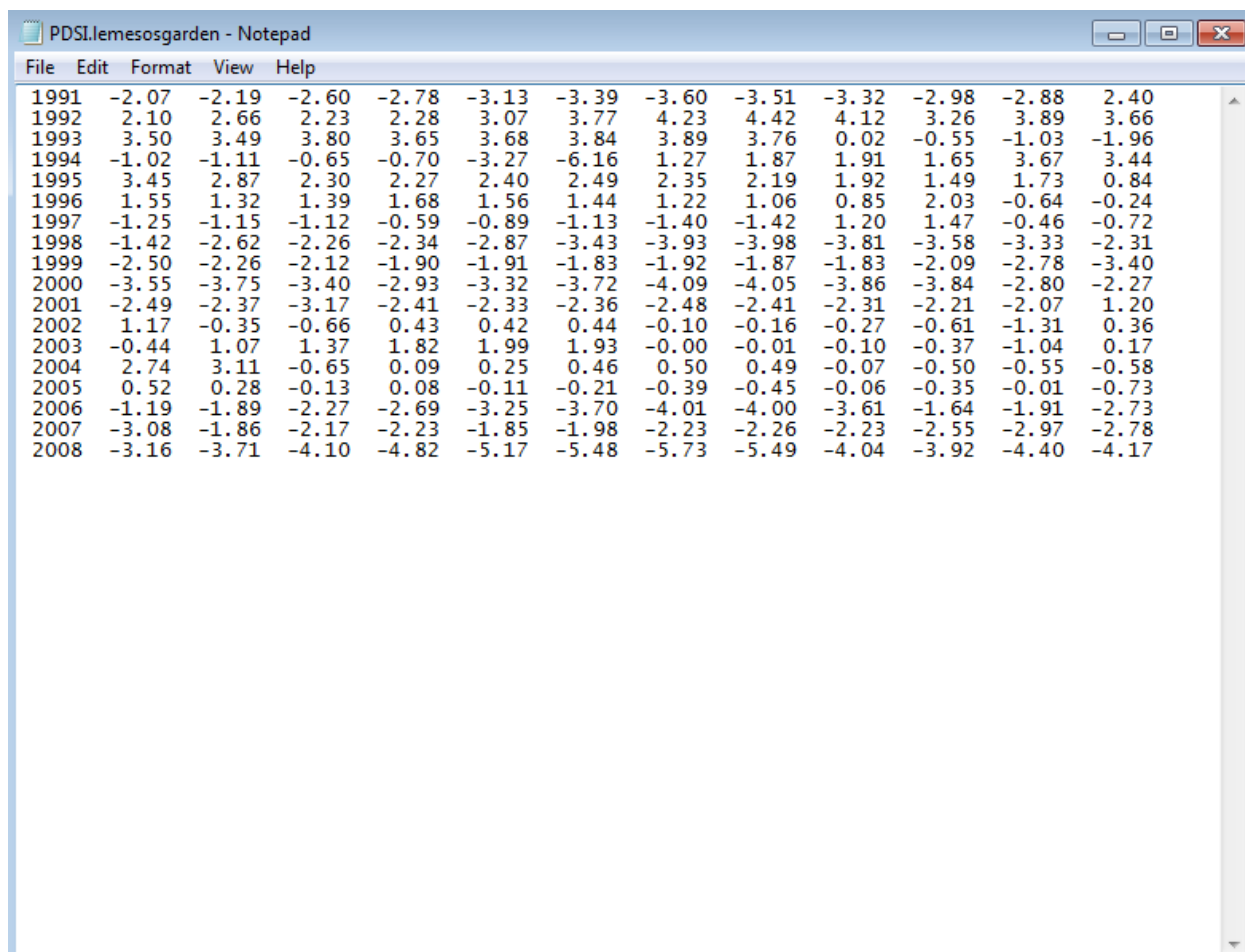


File	Edit	Format	View	Help
1970	1	13.1		
1970	2	12.9		
1970	3	16.5		
1970	4	18.5		
1970	5	20.8		
1970	6	24.7		
1970	7	26.3		
1970	8	27.1		
1970	9	25.1		
1970	10	22.9		
1970	11	18.3		
1970	12	12.7		
1971	1	11.2		
1971	2	10.2		
1971	3	13.3		
1971	4	17.3		
1971	5	20.2		
1971	6	23.8		
1971	7	26.4		
1971	8	27.5		
1971	9	25.4		
1971	10	23.2		
1971	11	18.2		
1971	12	12.1		
1972	1	11.7		
1972	2	11.0		
1972	3	14.1		
1972	4	17.4		
1972	5	20.3		
1972	6	24.8		
1972	7	27.2		
1972	8	28.1		
1972	9	25.7		
1972	10	24.7		
1972	11	-99.0		
1972	12	15.7		
1973	1	14.8		
1973	2	13.6		
1973	3	14.4		
1973	4	19.2		
1973	5	-99.0		

Εικόνα 5.2 Αρχείο εισαγωγής βροχόπτωσης 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 τον κάθε σταθμό ξεχωριστά και τέλος το αρχείο όπου θα περιέχει τα αποτελέσματα. Στην εικόνα 5.3 αποτυπώνεται το πρόγραμμα το οποίο έχουν γίνει τα δεδομένα εισαγωγής.

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



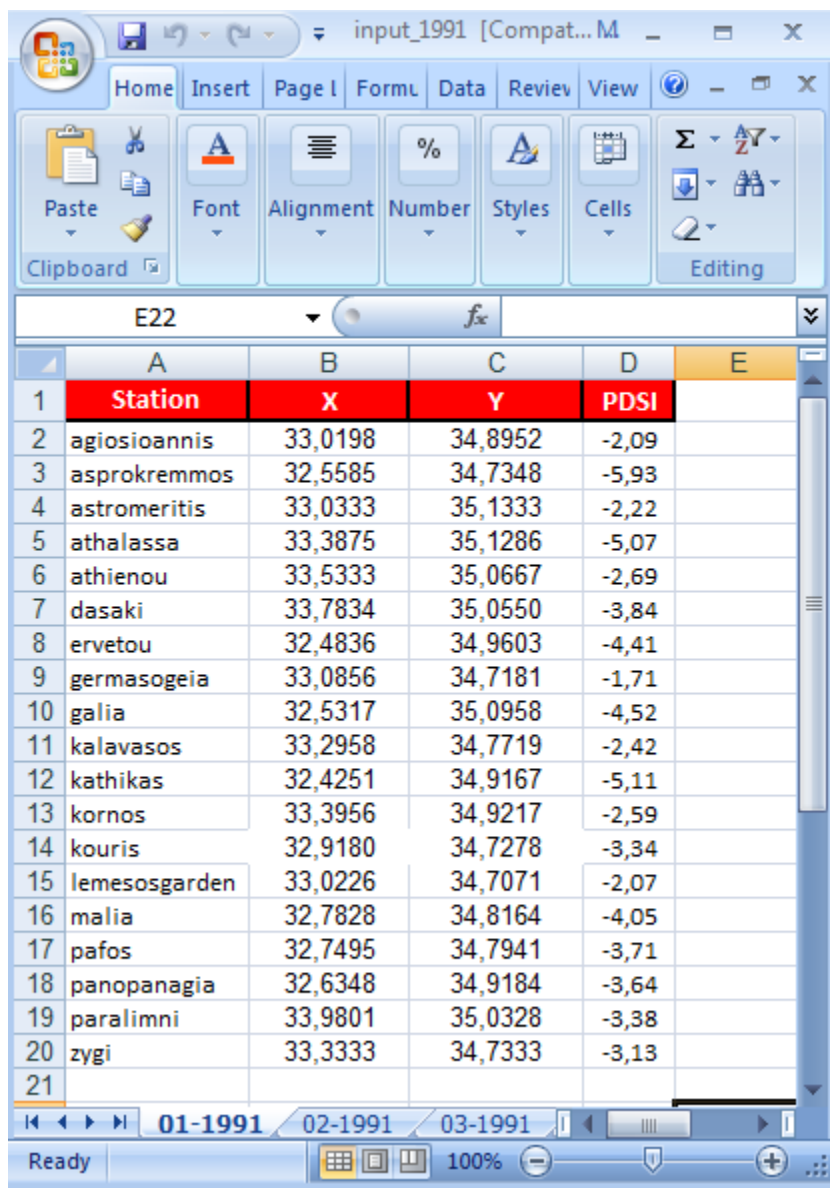
Year	Col 1	Col 2	Col 3	Col 4	Col 5	Col 6	Col 7	Col 8	Col 9	Col 10	Col 11	Col 12
1991	-2.07	-2.19	-2.60	-2.78	-3.13	-3.39	-3.60	-3.51	-3.32	-2.98	-2.88	2.40
1992	2.10	2.66	2.23	2.28	3.07	3.77	4.23	4.42	4.12	3.26	3.89	3.66
1993	3.50	3.49	3.80	3.65	3.68	3.84	3.89	3.76	0.02	-0.55	-1.03	-1.96
1994	-1.02	-1.11	-0.65	-0.70	-3.27	-6.16	1.27	1.87	1.91	1.65	3.67	3.44
1995	3.45	2.87	2.30	2.27	2.40	2.49	2.35	2.19	1.92	1.49	1.73	0.84
1996	1.55	1.32	1.39	1.68	1.56	1.44	1.22	1.06	0.85	2.03	-0.64	-0.24
1997	-1.25	-1.15	-1.12	-0.59	-0.89	-1.13	-1.40	-1.42	1.20	1.47	-0.46	-0.72
1998	-1.42	-2.62	-2.26	-2.34	-2.87	-3.43	-3.93	-3.98	-3.81	-3.58	-3.33	-2.31
1999	-2.50	-2.26	-2.12	-1.90	-1.91	-1.83	-1.92	-1.87	-1.83	-2.09	-2.78	-3.40
2000	-3.55	-3.75	-3.40	-2.93	-3.32	-3.72	-4.09	-4.05	-3.86	-3.84	-2.80	-2.27
2001	-2.49	-2.37	-3.17	-2.41	-2.33	-2.36	-2.48	-2.41	-2.31	-2.21	-2.07	1.20
2002	1.17	-0.35	-0.66	0.43	0.42	0.44	-0.10	-0.16	-0.27	-0.61	-1.31	0.36
2003	-0.44	1.07	1.37	1.82	1.99	1.93	-0.00	-0.01	-0.10	-0.37	-1.04	0.17
2004	2.74	3.11	-0.65	0.09	0.25	0.46	0.50	0.49	-0.07	-0.50	-0.55	-0.58
2005	0.52	0.28	-0.13	0.08	-0.11	-0.21	-0.39	-0.45	-0.06	-0.35	-0.01	-0.73
2006	-1.19	-1.89	-2.27	-2.69	-3.25	-3.70	-4.01	-4.00	-3.61	-1.64	-1.91	-2.73
2007	-3.08	-1.86	-2.17	-2.23	-1.85	-1.98	-2.23	-2.26	-2.23	-2.55	-2.97	-2.78
2008	-3.16	-3.71	-4.10	-4.82	-5.17	-5.48	-5.73	-5.49	-4.04	-3.92	-4.40	-4.17

Εικόνα 5.3 Αρχείο αποτελεσμάτων του δείκτη PDSI.

5.3 Δημιουργία Χαρτών με τη χρήση 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 Arc GIS 10 της Esri . 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 η τιμή του

PDSI. Στην εικόνα 5.4 εμφανίζεται η δομή ενός υπολογιστικού φύλλου excel και συγκεκριμένα για τον μήνα Ιανουάριο του 1991.

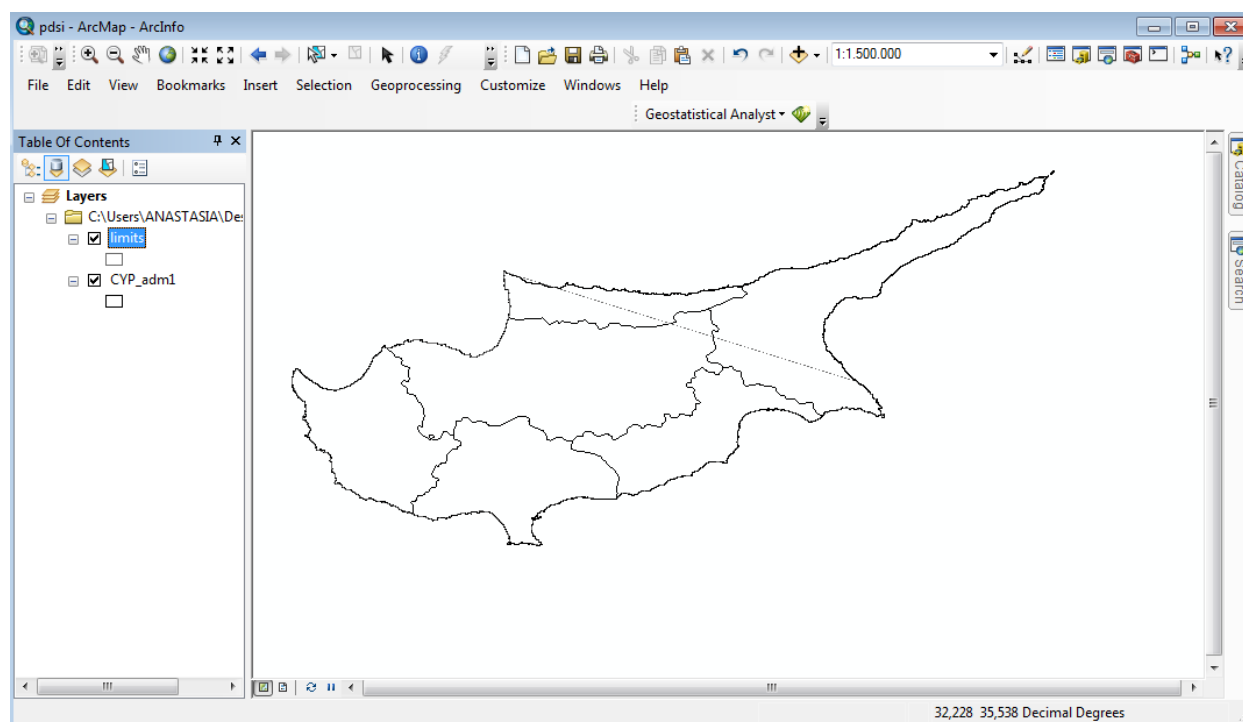


	A	B	C	D	E
1	Station	X	Y	PDSI	
2	agiosioannis	33,0198	34,8952	-2,09	
3	asprokremmos	32,5585	34,7348	-5,93	
4	astromeritis	33,0333	35,1333	-2,22	
5	athalassa	33,3875	35,1286	-5,07	
6	athienou	33,5333	35,0667	-2,69	
7	dasaki	33,7834	35,0550	-3,84	
8	ervetou	32,4836	34,9603	-4,41	
9	germasogeia	33,0856	34,7181	-1,71	
10	galia	32,5317	35,0958	-4,52	
11	kalavasos	33,2958	34,7719	-2,42	
12	kathikas	32,4251	34,9167	-5,11	
13	kornos	33,3956	34,9217	-2,59	
14	kouris	32,9180	34,7278	-3,34	
15	lemesosgarden	33,0226	34,7071	-2,07	
16	malia	32,7828	34,8164	-4,05	
17	pafos	32,7495	34,7941	-3,71	
18	panopanagia	32,6348	34,9184	-3,64	
19	paralimni	33,9801	35,0328	-3,38	
20	zygi	33,3333	34,7333	-3,13	
21					

Εικόνα 5.4. Υπολογιστικό φύλλο excel με για την εισαγωγή στο λογισμικό.

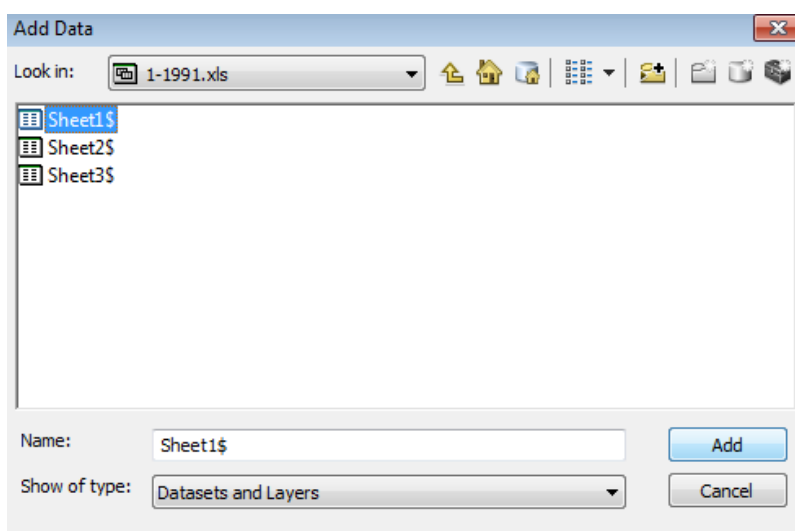
Μετά την ολοκλήρωση των αρχείων έγινε επεξεργασία στον χάρτη της Κύπρου ώστε να μπορεί να εισαχθεί το ειδικό λογισμικό. Επίσης δημιουργήθηκαν τα όριο στα οποία θα γίνει η μέθοδος Kriging. Συγκεντρώνοντας όλα τα παραπάνω άρχισε η

εισαγωγή των δεδομένων. Αρχικά φορτώνεται στο πρόγραμμα ο χάρτης της Κύπρου, όπως φαίνεται και στην εικόνα 5.5.

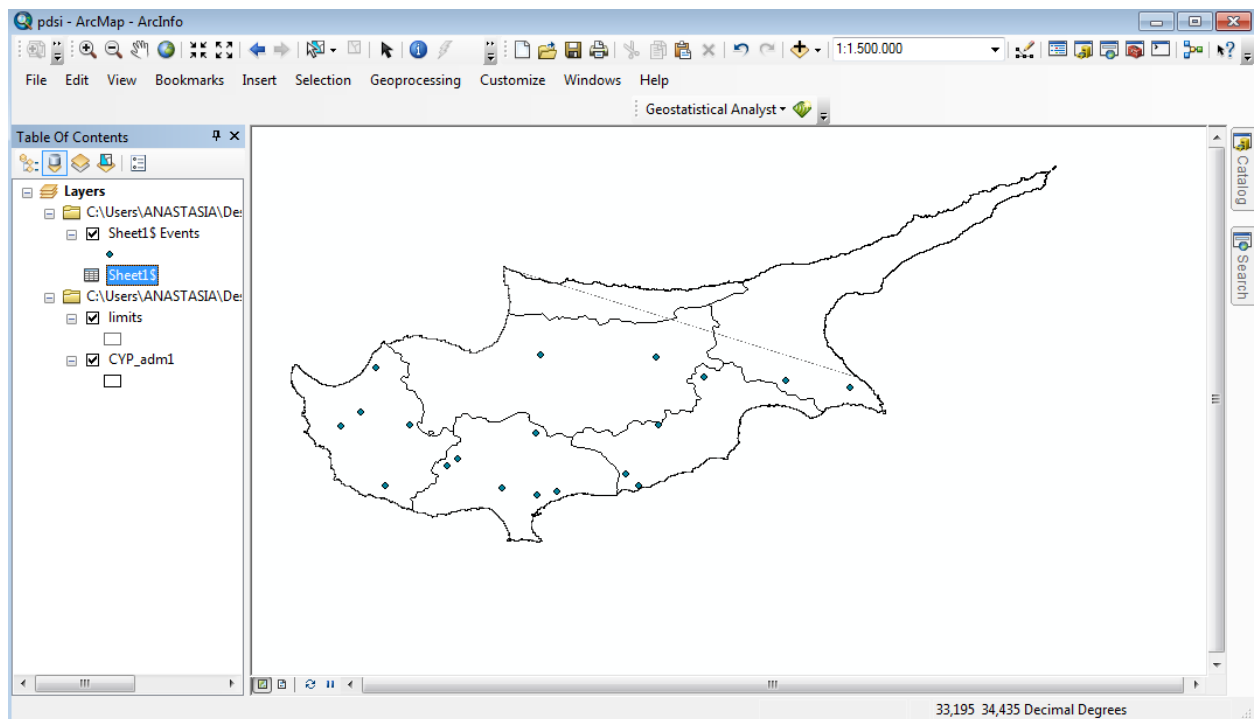


Εικόνα 5.5. Εισαγωγή του χάρτη της Κύπρου.

Στην συνέχεια γίνεται εισαγωγή των δεδομένων για κάθε μήνα του έτους ξεχωριστά και έχουμε σαν αποτέλεσμα τη μορφή του χάρτη στην εικόνα 5.7.

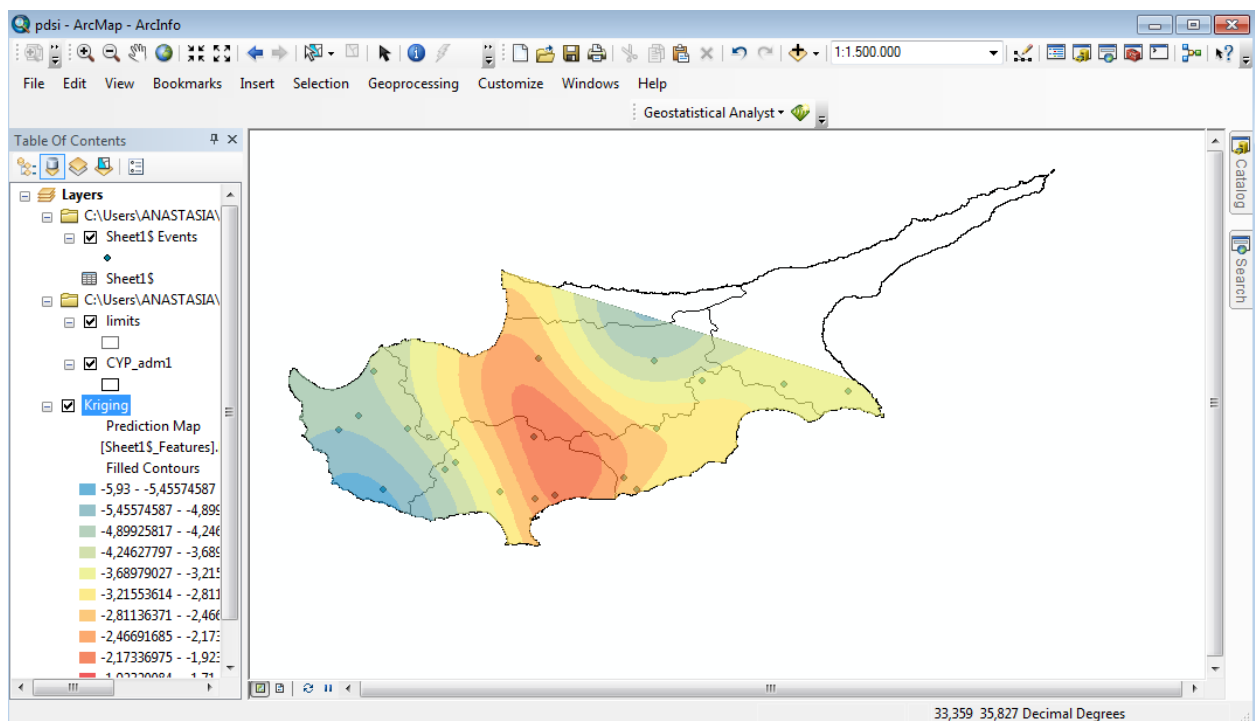


Εικόνα 5.6: Εισαγωγή δεδομένων στο λογισμικό .



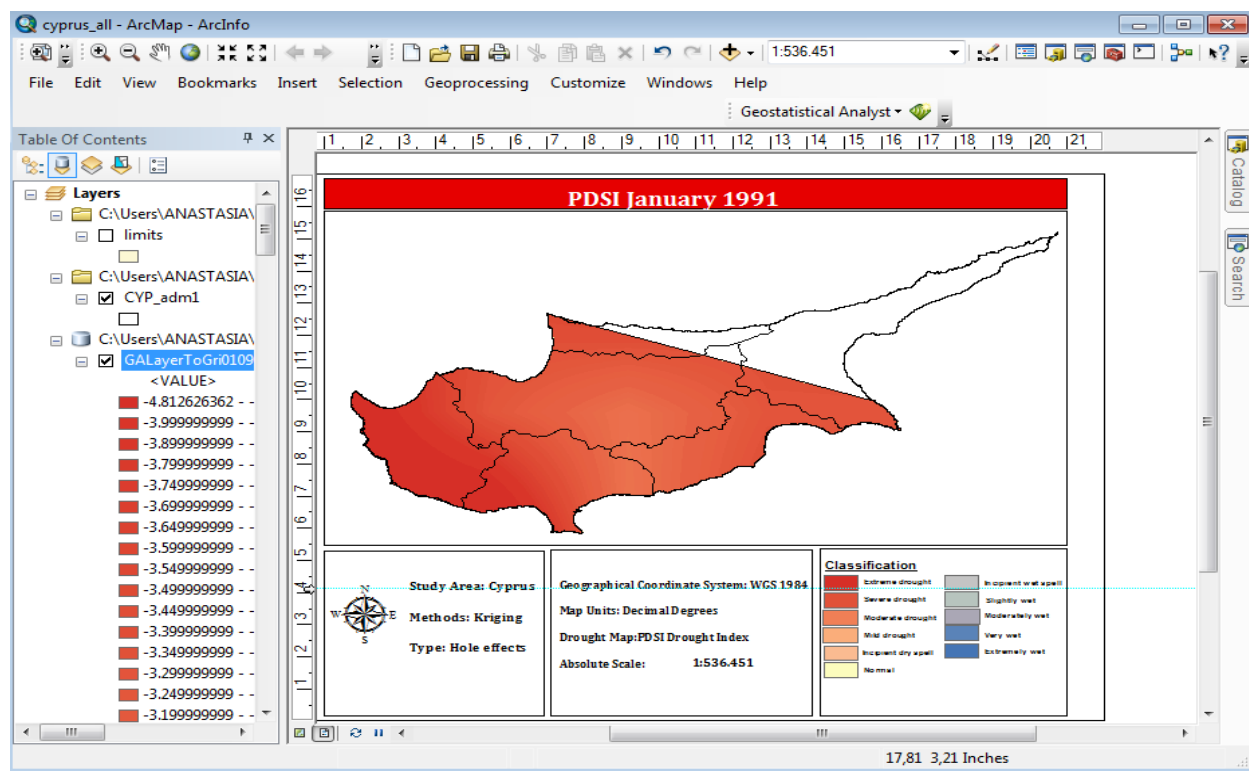
Εικόνα 5.7: Χάρτης της Κύπρου με τα σημεία μετρήσεων.

Ακολουθεί η εφαρμογή της μεθόδου Kriging, οπότε και καταλήγουμε στον επόμενο χάρτη.



Εικόνα 5.8. Δημιουργία του χάρτη με την αποτύπωση του δείκτη με την μέθοδο Kriging.

Τέλος κάνουμε εισαγωγή τις κλάσεις και προκύπτει η τελική μορφή του χάρτη.



Εικόνα 5.9: Τελική μορφή χάρτη

Κεφάλαιο 6

Αποτελέσματα – Αξιολόγηση

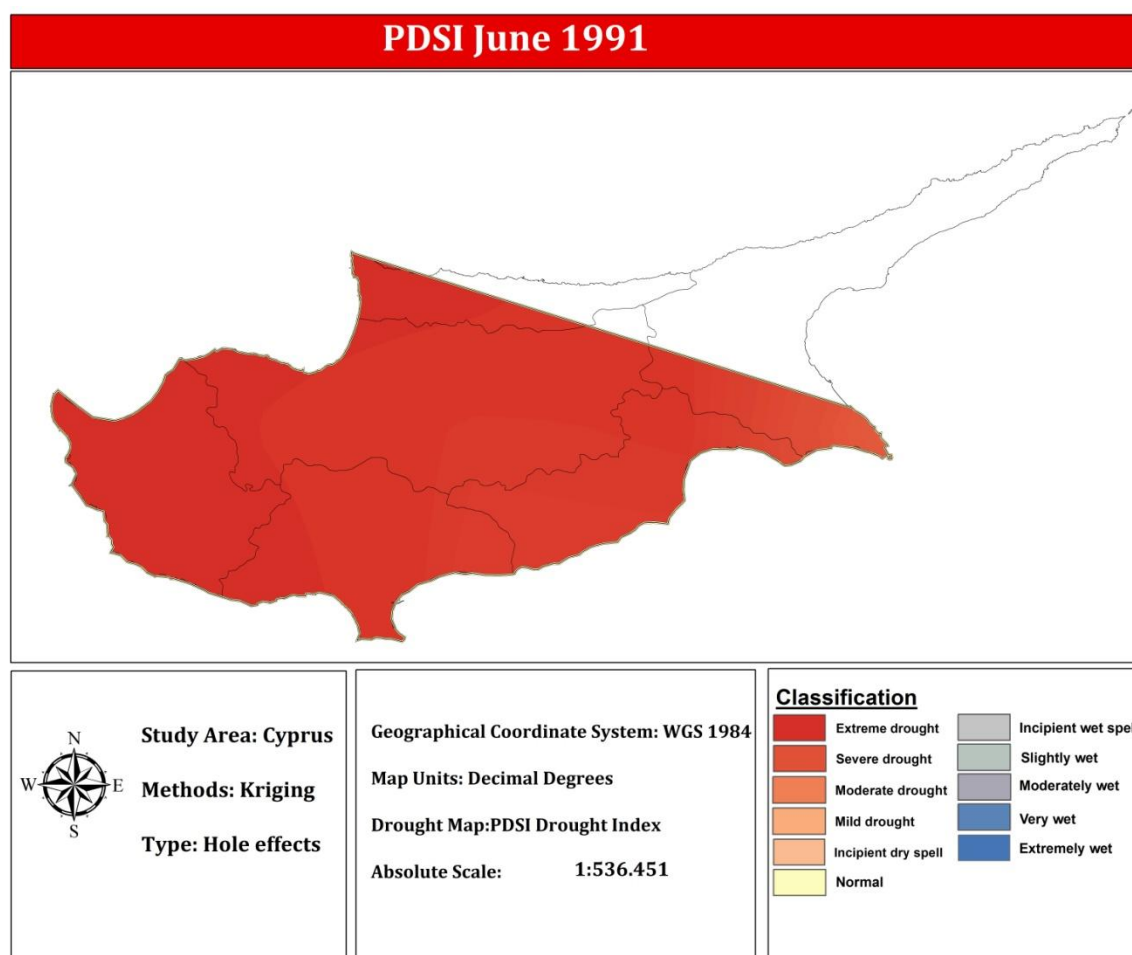
Στην παρούσα μεταπτυχιακή μελέτη υπολογίσθηκε ο PDSI για τον εντοπισμό των λειψυδριών στην Κύπρο. Με τη βοήθεια της γεωστατικής μεθόδου που εφαρμόστηκε και για τους δεκαεννέα (19) σταθμούς και για όλα τα χρόνια των μετεωρολογικών δεδομένων παρατηρήθηκε, μέσα από τους ογδόντα τέσσερεις (84) χάρτες, ότι η λειψυδρία είναι ένα φαινόμενο που χαρακτηρίζει την Κύπρο πολλές δεκαετίες τώρα. Για αυτό το λόγο με την γεωστατιστική μέθοδο Kriging και συγκεκριμένα με το λογισμικό ArcGIS 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 1991, 2000, 2001, 2007 και 2008. Τα συγκεκριμένα έτη αποτυπώνουν τις σημαντικότερες λειψυδρίες που εμφανίστηκαν τα τελευταία είκοσι χρόνια στην κυπριακή 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 1991 ο μήνας κατά τον οποίο το φαινόμενο της λειψυδρίας ήταν εντονότερο ήταν ο Ιούλιος και ακολουθεί ο Ιούνιος (Εικόνα 6.1). Το 2000 το φαινόμενο της λειψυδρίας ήταν εντονότερο κατά το μήνα Ιανουάριο (Εικόνα 6.2), αλλά γενικά η χρονιά κινήθηκε σε μέτριο βαθμό λειψυδρίας, για να ακολουθήσει το έτος 1991 όπου η λειψυδρία σύμφωνα με το δείκτη PDSI έφτασε ακραίες τιμές για το μεγαλύτερο μέρος του έτους. Ο μήνας με την εντονότερη λειψυδρία για το έτος 2007 ήταν ο Ιανουάριος (Εικόνα 6.3). ενώ το 2008 το φαινόμενο τους μήνες Μάιο έως και Αύγουστο (Εικόνες 6.4-6.7) παρουσίασε τιμές ακραίας λειψυδρίας.

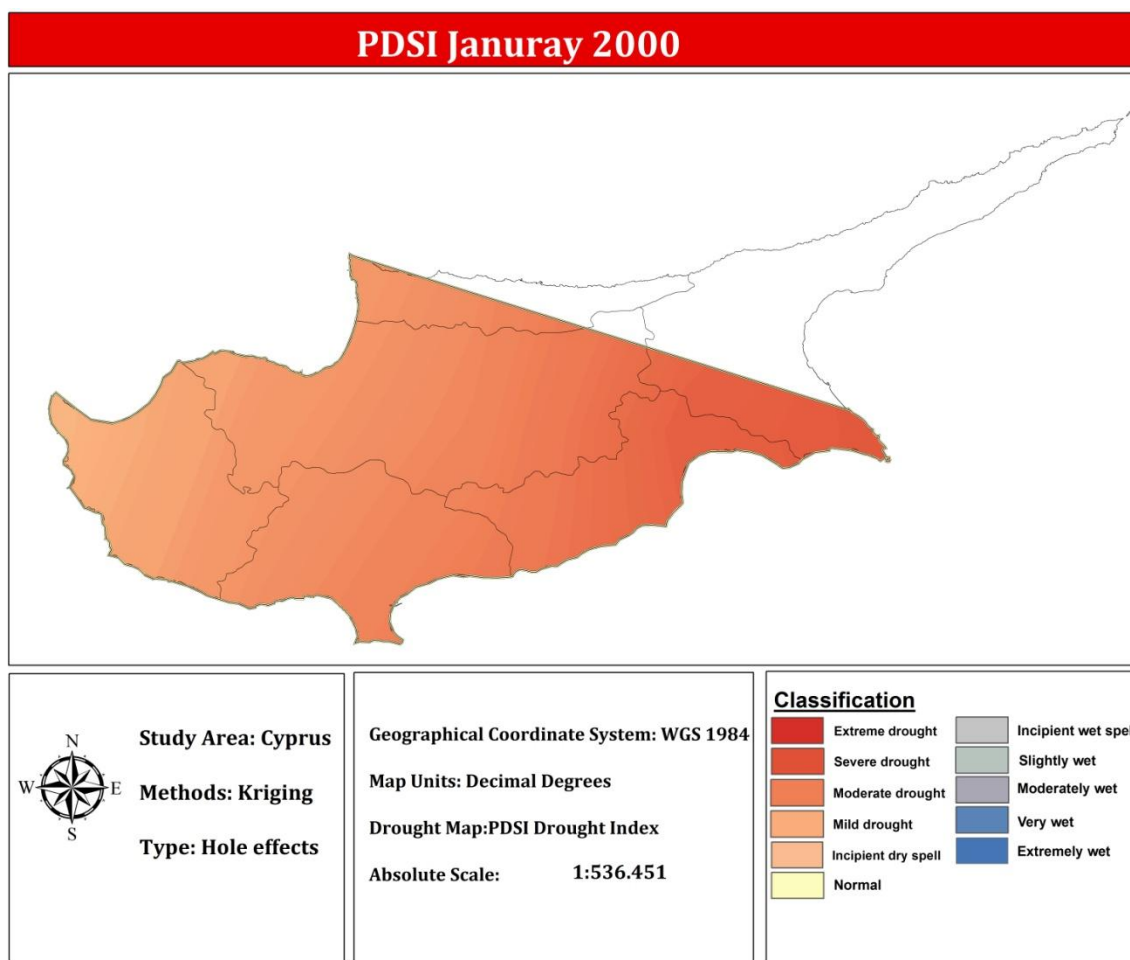
Τα χρώματα τα οποία επιλέχθηκαν για να αποτυπώσουν τις τιμές του PDSI στους χάρτες είναι για την τιμή από 4 και πάνω βαθύ μπλε με βαθμιαία εξασθένηση ως την τιμή 0 όπου αναπαριστάται με λευκό χρώμα. Αντίθετα για την τιμή -4 και κάτω

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

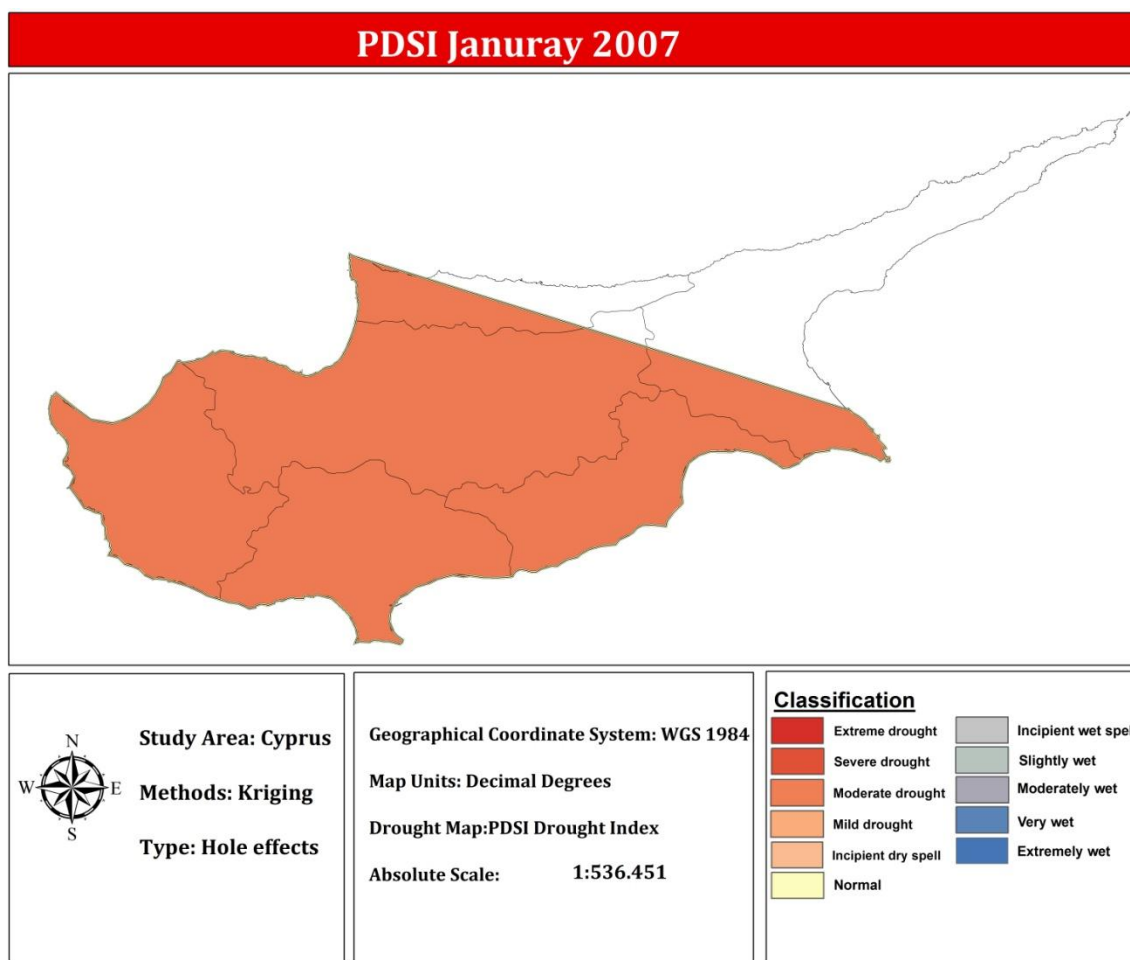
Σε αντίθεση των παραπάνω, τα έτη 1992 και 1993 χαρακτηρίστηκαν από μεγάλο ύψος βροχών. Συγκεκριμένα, από τον Ιούλιο του 1992 έως και το Δεκέμβριο του ιδίου έτους, με εξαίρεση των Οκτώβριο, η Κύπρος παρουσιάζεται ως εξαιρετικά υγρή στο μεγαλύτερο μέρος της (Εικόνες 6.8-6.12). Το γεγονός αυτό δεν ακυρώνει το φαινόμενο, αλλά μας επιβεβαιώνει τη φύση του. Ότι είναι ένα φαινόμενο με σταθερή παρουσία μέσα στο πέρασμα των χρόνων, ακόμα και όταν η επέμβαση του ανθρώπου στη φύση ήταν περιορισμένη.



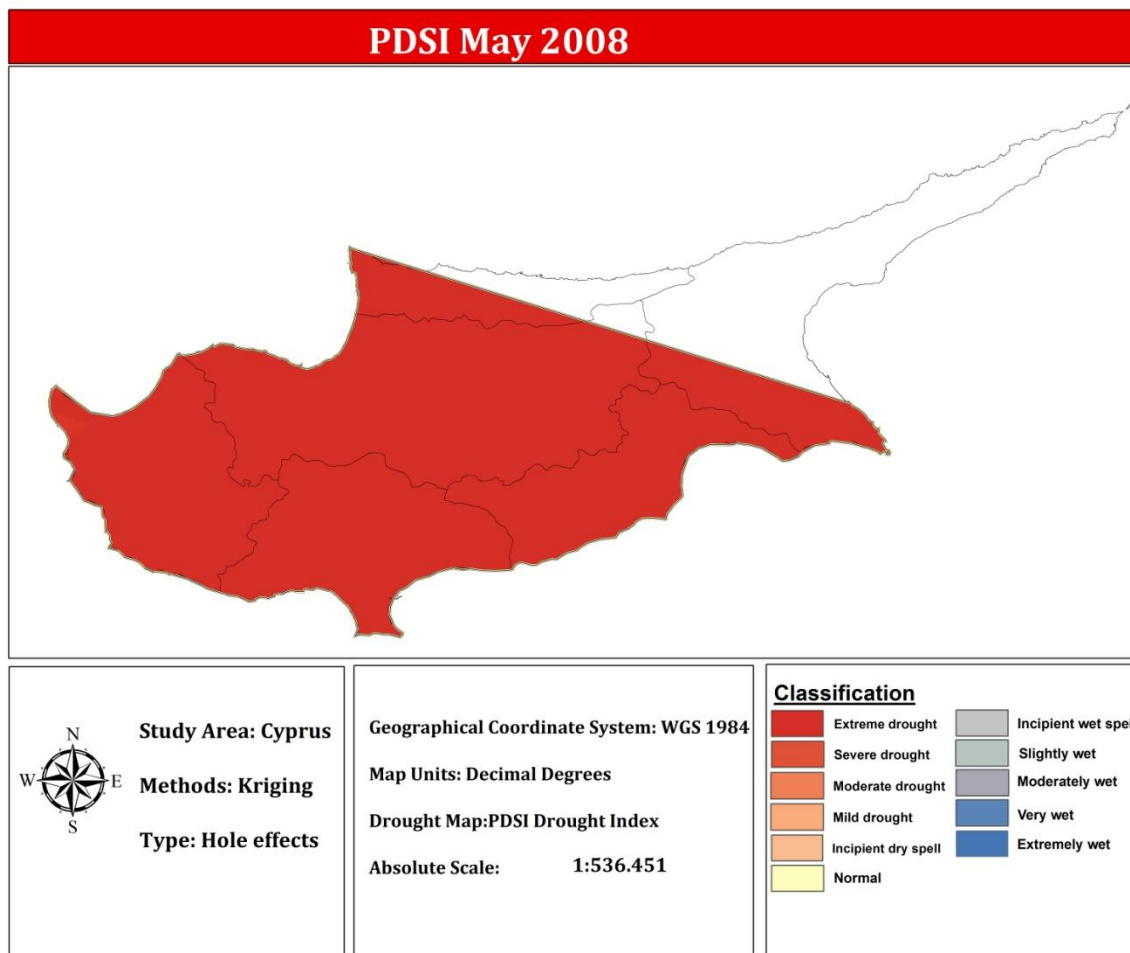
Εικόνα 6.1: Χάρτης PDSI Ιούνιος του 1991 (kriging).



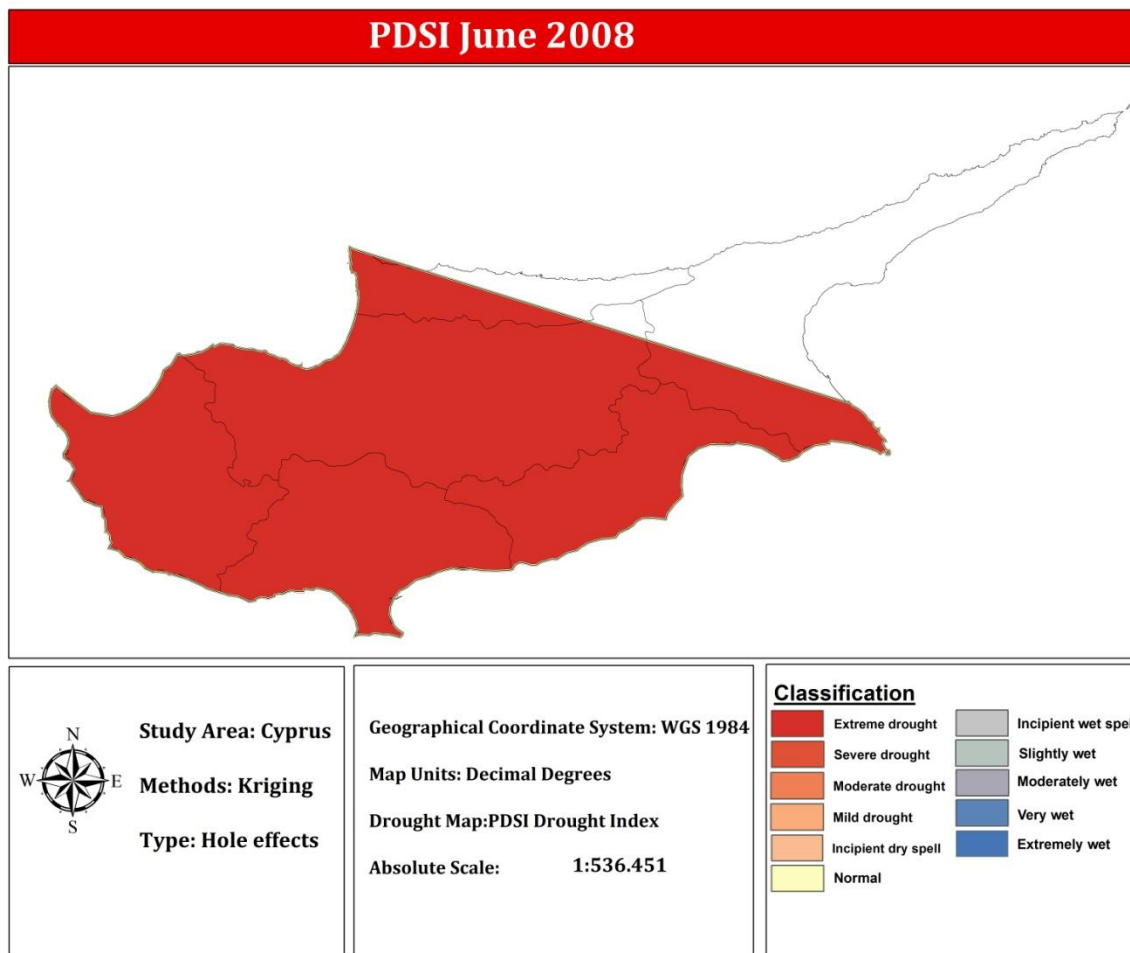
Εικόνα 6.2: Χάρτης PDSI Ιανουάριος του 2000 (kriging).



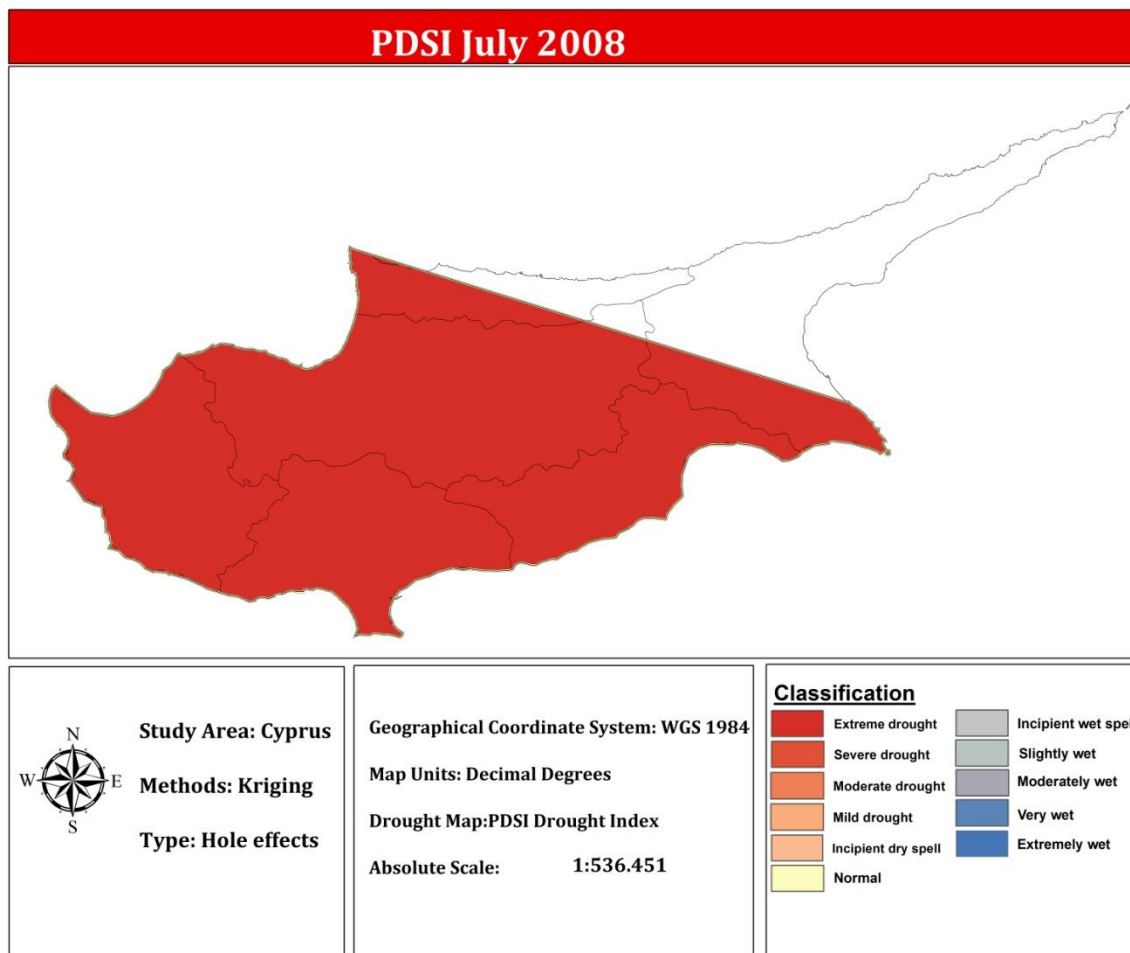
Εικόνα 6.3: Χάρτης PDSI Ιανουάριος του 2007 (kriging).



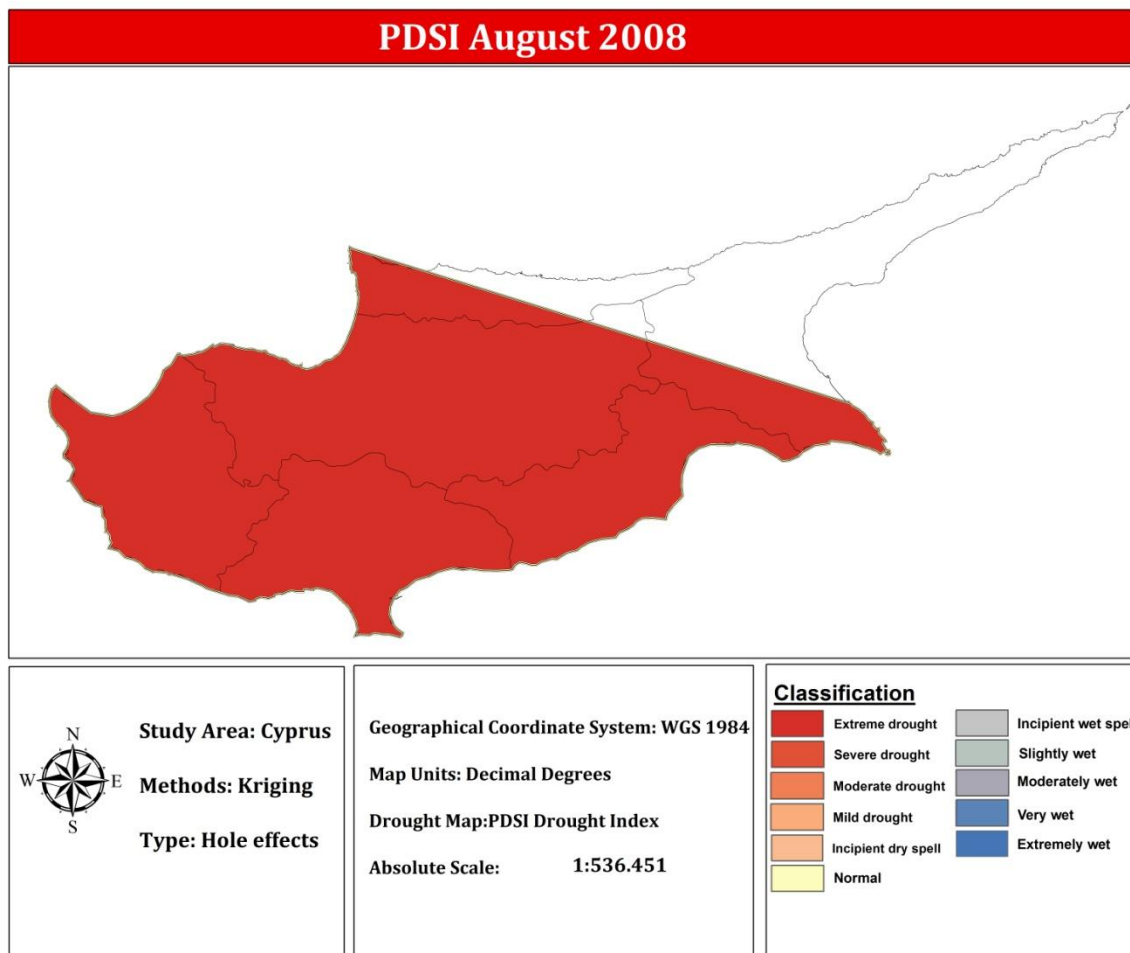
Εικόνα 6.4: Χάρτης PDSI Μάιος του 2008 (kriging).



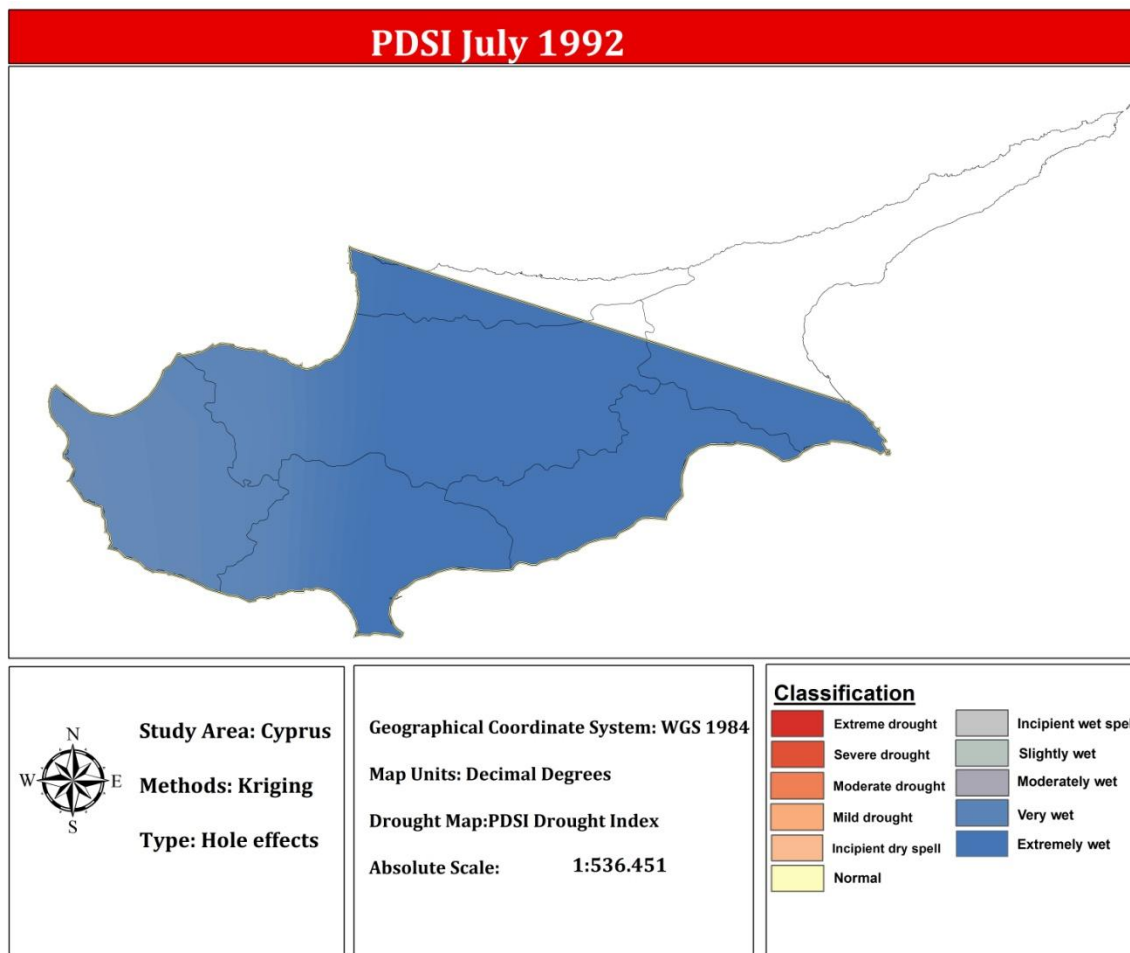
Εικόνα 6.5: Χάρτης PDSI Ιούνιος του 2008 (kriging).



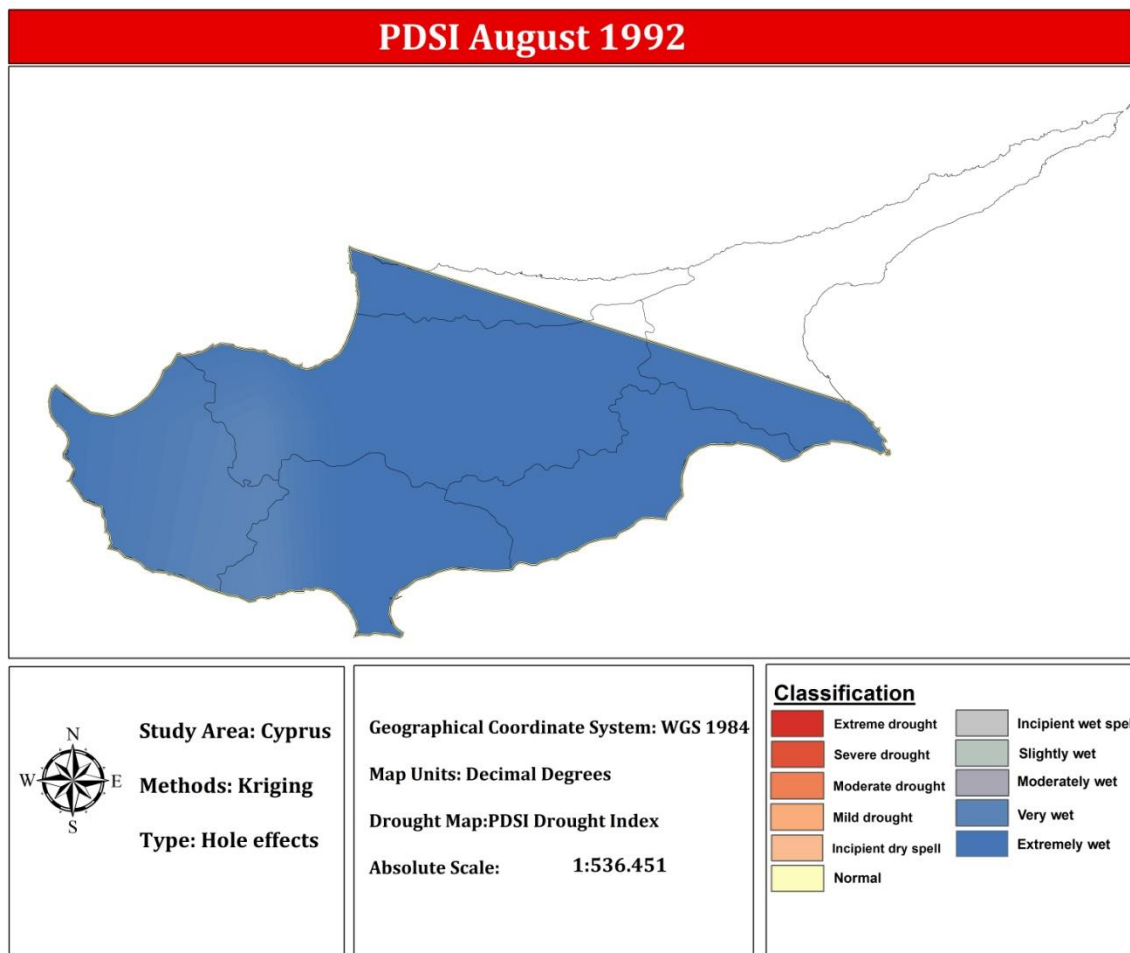
Εικόνα 6.6: Χάρτης PDSI Ιούλιος του 2008 (kriging).



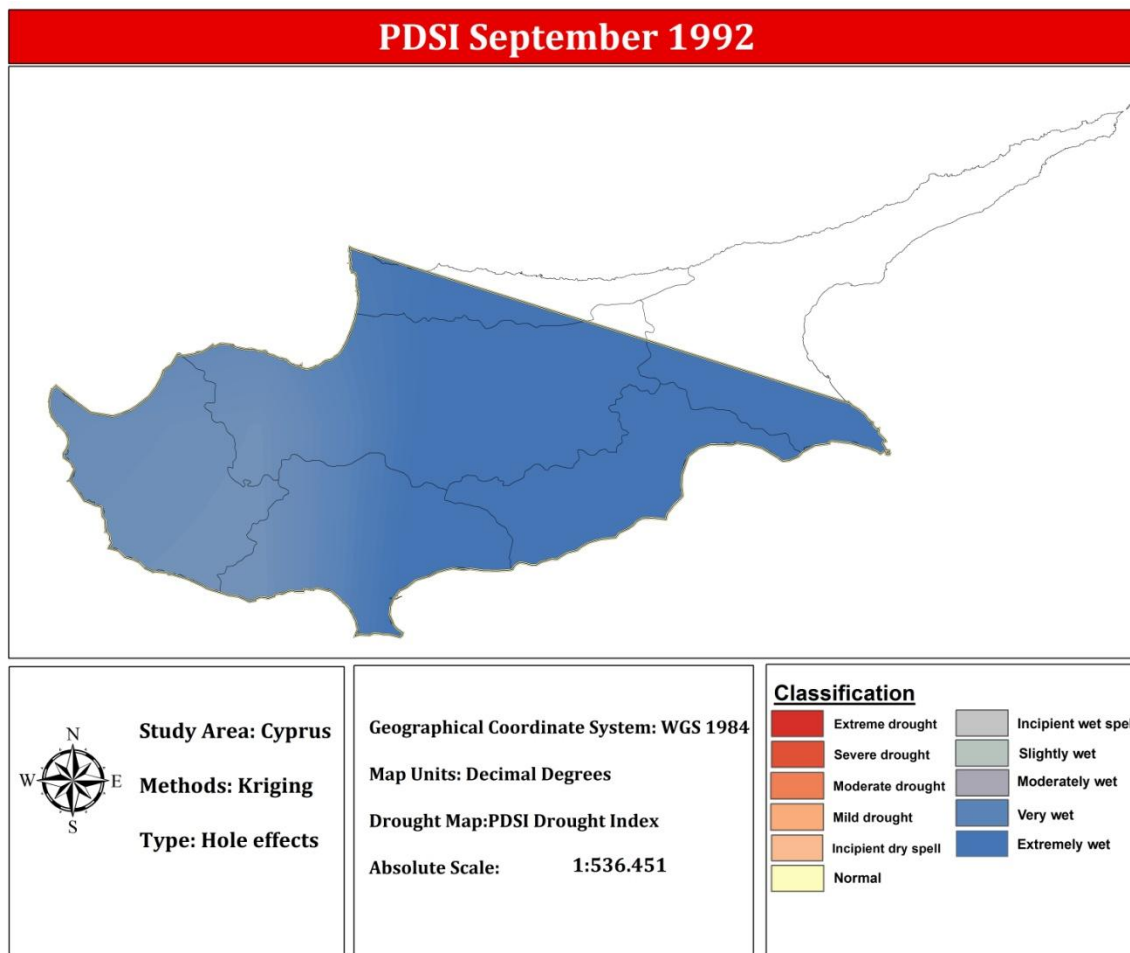
Εικόνα 6.7: Χάρτης PDSI Αύγουστος του 2008 (kriging).



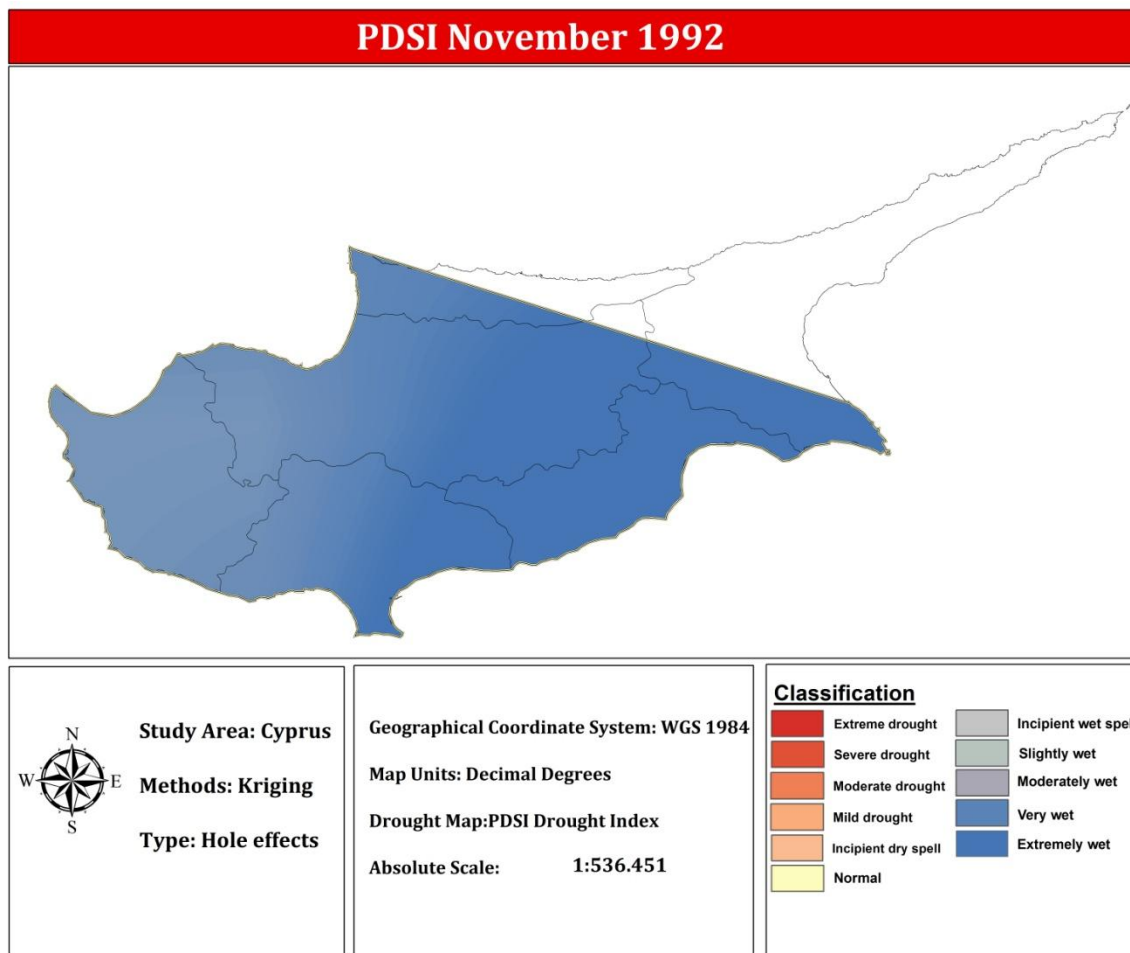
Εικόνα 6.8: Χάρτης PDSI Ιούλιος του 1992 (kriging).



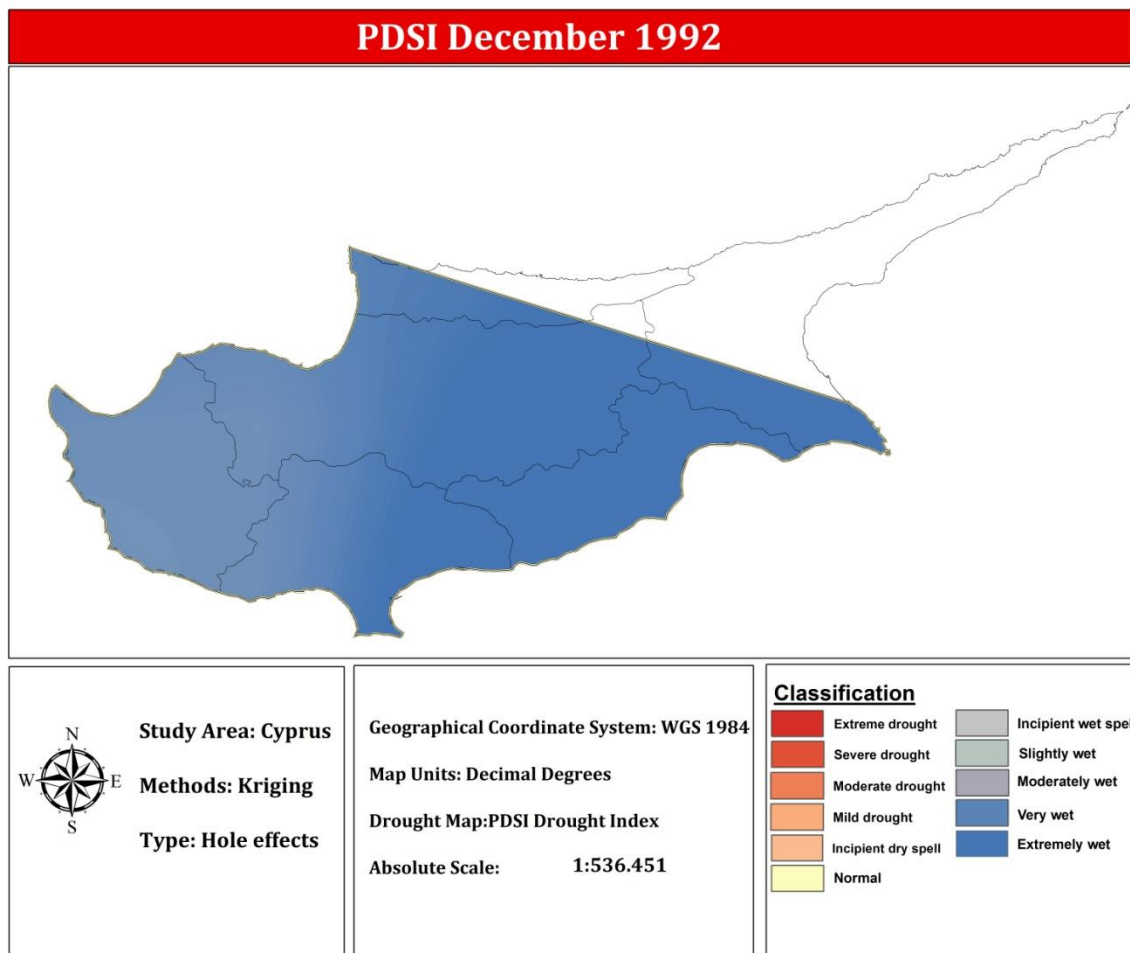
Εικόνα 6.9: Χάρτης PDSI Αύγουστος του 1992 (kriging).



Εικόνα 6.10: Χάρτης PDSI Σεπτέμβριος του 1992 (kriging).



Εικόνα 6.11: Χάρτης PDSI Νοέμβριος του 1992 (kriging).



Εικόνα 6.12: Χάρτης PDSI Δεκέμβριο του 1992 (kriging).

Κεφάλαιο 7

Συμπεράσματα

Η δυσκολία στη μελέτη των υδάτινων πόρων εν γένει περιλαμβάνει όχι μόνο την εκτίμηση της φυσικής κατάστασης τους, την εδαφική διανομή, και τις διακυμάνσεις στο χρόνο, αλλά και την εξάρτηση από τις ανθρώπινες κοινωνικο-οικονομικές δραστηριότητες. Στην πρόσφατη δεκαετία, η εντατικοποίηση της εκμετάλλευσης των υδάτινων πόρων για αστική, γεωργική και βιομηχανική χρήση, η ανακατανομή του πληθυσμού και η ανάπτυξή του, καθώς και ανησυχητικές ενδείξεις σχετικά με τις κλιματικές αλλαγές (φαινόμενο του θερμοκηπίου, οι ξηρασίες, κλπ.) έχουν αρχίσει να προκαλούν σημαντικές επιπτώσεις για την κατάσταση της διαθέσιμο γλυκού νερού, παρά την ικανότητα του ρεύματος και ροή των υπογείων υδάτων για την ανανέωση και εμπλουτισμό (Kerkides P., Karavitis C., 2002).

Στην παρούσας μεταπτυχιακής μελέτης εξετάστηκαν οι σημαντικότερες λειψυδρίες τα τελευταία είκοσι χρόνια στην Κύπρο. Όπως έχει αναφερθεί και στα προηγούμενα κεφάλαια τα έτη που η λειψυδρία έπληξε την Κύπρο ήταν το 1991, 2000, 2001, 2007 και το 2008. Η μεγαλύτερη λειψυδρία ήταν αυτή του 2008 και σε διάρκεια και σε ένταση. Αρχικά δημιούργησε σοβαρά προβλήματα στην άρδευση των καλλιεργειών και την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας στην αρχή του έτους και συγκεκριμένα το μήνα Μάρτιο, που στην ουσία ξεκινά η άρδευση των καλλιεργειών. Οι βροχοπτώσεις κατά την διάρκεια του χειμώνα ήταν μειωμένες φτάνοντας μόλις το 50% αυτών του προηγούμενου έτους.

Οι βροχοπτώσεις ποικίλουν με μία μέση τιμή έντασης της τάξεως των 500 χιλιοστών το χρόνο. Οι συνεχείς ξηρασίες γίνονται ολοένα και πιο συχνές, ενώ τα τελευταία 30 χρόνια η μέση βροχόπτωση έχει μειωθεί. Στην Κύπρο δεν υπάρχουν ποτάμια με ροή όλο το χρόνο. Υπάρχουν αρκετά εποχιακά ποτάμια, που ρέουν μετά από βροχοπτώσεις.

Ο κυριότερος πόρος νερού στην Κύπρο είναι η βροχόπτωση, η οποία είναι περιορισμένη, λόγω των κλιματικών συνθηκών, κατά τους μήνες Νοέμβριο μέχρι

Μάρτιο, ενώ τους υπολοίπους μήνες επικρατεί ξηρασία. Η βροχόπτωση στο νησί γεωγραφικά είναι ανομοιόμορφα κατανομημένη: υπάρχει αυξημένη βροχόπτωση στους δυο ορεινούς όγκους (Τρόδος και Πενταδάκτυλος) και μειωμένη στη Μεσαορία και τις ανατολικές περιοχές. Επίσης υπάρχει μεγάλη διαχρονική διακύμανση της βροχόπτωσης με συχνές συνεχείς ανομβρίες δυο και τριών χρονών. Λόγω των συνθηκών αυτών που επικρατούσαν στην Κύπρο κτίστηκαν φράγματα συγκέντρωσης νερού.

Τεράστια υδατικά έργα άρχισαν να γίνονται σε περιοχές που δέχονται μεγάλη βροχόπτωση και σε περιοχές με ποταμούς ή θάλασσες που είχαν τη μεγαλύτερη ροή.

Μερικά παραδείγματα:

1. *Αρδευτικό έργο Πάφου (1976-1982) με το φράγμα του Ασπρόκρεμμου*
2. *Σχέδιο ενιαίας ανάπτυξης Πιτσιλιάς (1978-1984) με το φράγμα Ξυλιάτου*
3. *Σχέδιο Βασιλικού – Πεντάσχινου (1980-1984) με στόχο την δημιουργία νέων αρδευομένων περιοχών 1429 εκταρίων, και ενίσχυση της υδατοπρομήθειας Λευκωσίας –Λάρνακας – ελεύθερης Αμμοχώστου*
4. *Αρδευτικό έργο Χρυσοχούς με το φράγμα Ευρέτου και τέλος*
5. *Το μεγαλύτερο έργο υδατικής ανάπτυξης είναι αυτό του Νότιου Αγωγού του οποίου ο στόχος είναι να καλύψει τις ανάγκες περιοχών με λειψυδρία κατά μήκος των νοτίων ακτών της κεντρικής πεδιάδας.*

Η παρατεταμένη ανομβρία που παρατηρήθηκε στον τόπο μας κατά την τελευταία δεκαετία του 20ου αιώνα, που είχε ως αποτέλεσμα την μη ικανοποιητική αποθήκευση νερού στα φράγματα που είχαν ήδη κατασκευαστεί, επέβαλε τη δημιουργία των Μονάδων Αφαλάτωσης Θαλασσίου Νερού, με σκοπό την απεξάρτηση από τη βροχόπτωση της παροχής πόσιμου νερού στα μεγάλα αστικά και τουριστικά κέντρα.

Αρχικά, κατασκευάστηκε η Μονάδα Αφαλάτωσης Δεκέλειας η οποία λειτούργησε τον Απρίλιο του 1997 και είχε δυναμικότητα 40.000 κυβικά μέτρα νερού την ημέρα. Η Μονάδα αυτή εξυπηρετεί τις υδρευτικές ανάγκες της Ελεύθερης περιοχής Αμμοχώστου και μέρος των αναγκών της Λάρνακας και της Λευκωσίας. Η Μονάδα από τον Ιούλιο του 2008 επεκτάθηκε κατά 10.000 m³/ημέρα και από τον Απρίλιο 2009 κατά ακόμα 10.000m³/day, ούτως ώστε η συνολική παραγωγή να είναι σήμερα 60.000 m³/day. Η Μονάδα Αφαλάτωσης Λάρνακας λειτούργησε τον Ιούνιο 2001 και είχε δυναμικότητα 52.000 m³ νερού την ημέρα. Η Μονάδα επεκτάθηκε κατά 10.000 m³/day και από τον

Ιανουάριο 2009 η δυναμικότητα της έφτασε στις 62.000 m³/day. Η Μονάδα Αφαλάτωσης Λάρνακας μαζί με τη Μονάδα Αφαλάτωσης της Δεκέλειας καλύπτουν σε μεγάλο βαθμό τις ανάγκες των Επαρχιών Λευκωσίας, Λάρνακας και Αμμοχώστου.

Τον Δεκέμβριο του 2008 ολοκληρώθηκε η κατασκευή της Κινητής Μονάδας Αφαλάτωσης Μονής η οποία παράγει 20.000 m³/day. Η Μονάδα αυτή θα εξυπηρετεί τις ανάγκες της Λεμεσού μέχρι το τέλος του 2011. Επίσης, τον Ιανουάριο 2009 ξεκίνησε τη λειτουργία της η Κινητή Μονάδα Επεξεργασίας νερού του Υδροφορέα του ποταμού Γαρύλλη δυναμικότητας 10.000 m³/day για τις υδρευτικές ανάγκες της Λεμεσού. Η διάρκεια του Συμβολαίου είναι πέντε χρόνια. Για την κάλυψη των αναγκών της Επαρχίας Λεμεσού για τα επόμενα είκοσι χρόνια αποφασίστηκε η κατασκευή μόνιμης

Μονάδας στην περιοχή Ακρωτηρίου- Επισκοπής δυναμικότητας 40.000 m³/day με δυνατότητα επέκτασης στα 60.000 m³/day. Η Μονάδα είναι υπό κατασκευή και αναμένεται να λειτουργήσει πριν το Καλοκαίρι του 2012.

Για κάλυψη των αναγκών της Επαρχίας Πάφου έχει κατασκευαστεί στην περιοχή Κουκλιών Κινητή Μονάδα Αφαλάτωσης δυναμικότητας 30.000 m³/day. Η Μονάδα τέθηκε σε λειτουργία το Νοέμβριο 2010 και η διάρκεια του Συμβολαίου είναι τρία χρόνια. Η κατασκευή μόνιμης Μονάδας στην Πάφο βρίσκεται υπό μελέτη.

Έχει υπογραφεί συμφωνία για την αγορά αφαλατωμένου νερού από μονάδα αφαλάτωσης στην περιοχή Βασιλικού, η οποία αναμένεται να λειτουργήσει τον Φεβρουάριο 2012 και θα είναι δυναμικότητας 60.000 m³/day.

Αν και η Κύπρος φημίζεται για το πρόβλημα λειψυδρίας, δεν υπήρχαν θάνατοι που να σχετίζονται με την ξηρασία τα τελευταία χρόνια, ενώ σημειώθηκαν δύο απώλειες ανθρώπινων ζώων το 2006 λόγω πλημμύρων. Οι πλημμύρες δεν εξαρτώνται από τη μέση βροχόπτωση αλλά από την ένταση των ακραίων καταιγίδων. Έτσι στο μέλλον θα αντιμετωπίζουμε ταυτόχρονα τόσο προβλήματα ανομβρίας, όσο και προβλήματα εντονότερων βροχοπτώσεων. Η Κύπρος είναι μία από τις πρώτες Ευρωπαϊκές χώρες που βιώνει την επίδραση της κλιματικής αλλαγής μέσω της έλλειψης νερού και των πλημμύρων που γίνονται ολοένα και πιο έντονες.

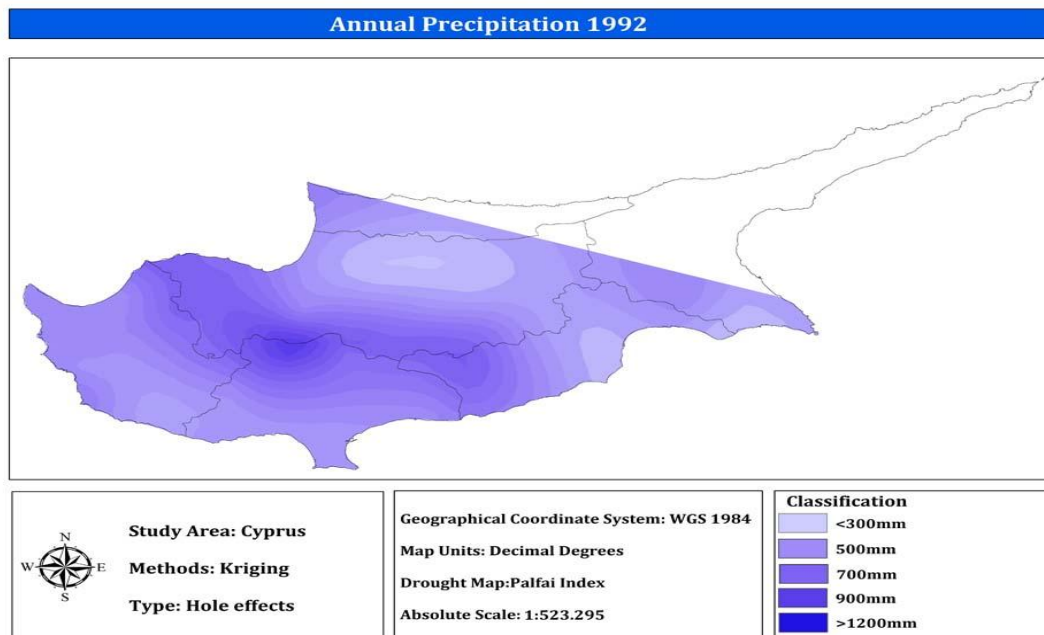
Τα αποθέματα νερού στην Κύπρο δεν είναι ανεξάντλητα για αυτό επιβάλλεται η σωστή χρήση και η εξοικονόμησή του. Πρέπει να γίνει συνείδηση όλων ότι το νερό, το βασικό αυτό στοιχείο της ζωής, είναι λιγιστό όχι μόνο στην Κύπρο, αλλά και σε πολλές

άλλες χώρες του κόσμου και έχουμε ευθύνη και υποχρέωση να το διαχειριζόμαστε σωστά και να καταβάλλουμε κάθε δυνατή προσπάθεια για εξοικονόμηση του.

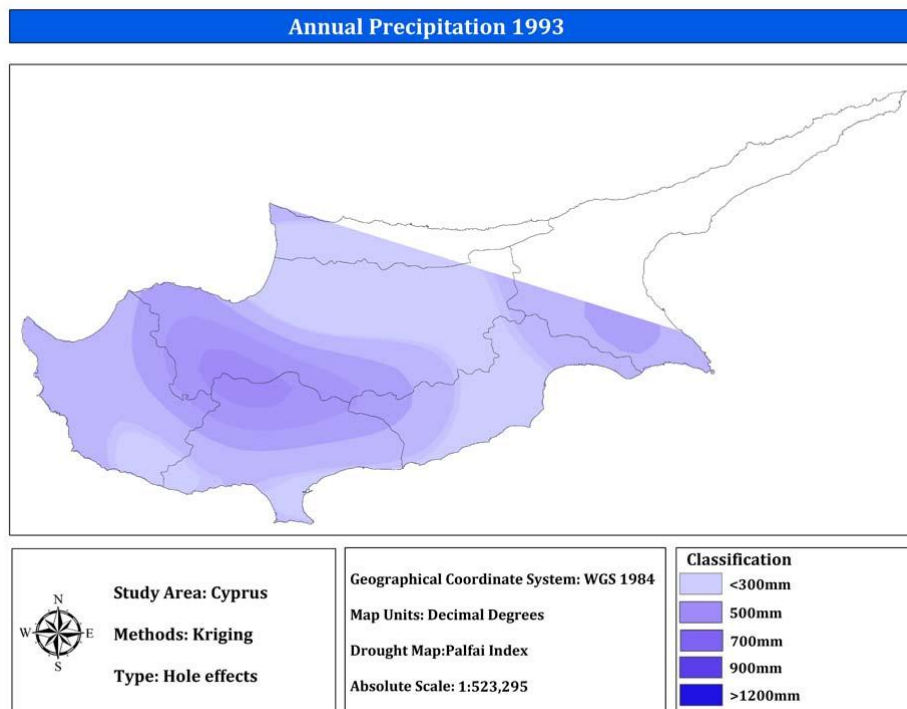
Για να εξασφαλίσει την υδροδότηση των κατοικημένων της περιοχών, η Κύπρος θα πρέπει να βασιστεί σε μονάδες αφαλάτωσης. Με αυτές όμως, μπορεί να γεμίζει τις πισίνες της αλλά δεν μπορεί να αναπληρώσει τα υδάτινα αποθέματα. Το οδυνηρό αποτέλεσμα της παραπάνω κατάστασης μπορεί να είναι η μετατροπή των τουριστικών προορισμών της Πάφου και άλλων περιοχών σε τσιμεντένιες οάσεις, μέσα σε αποξηραμένα και άνυδρα τοπία.

Παράρτημα Ι

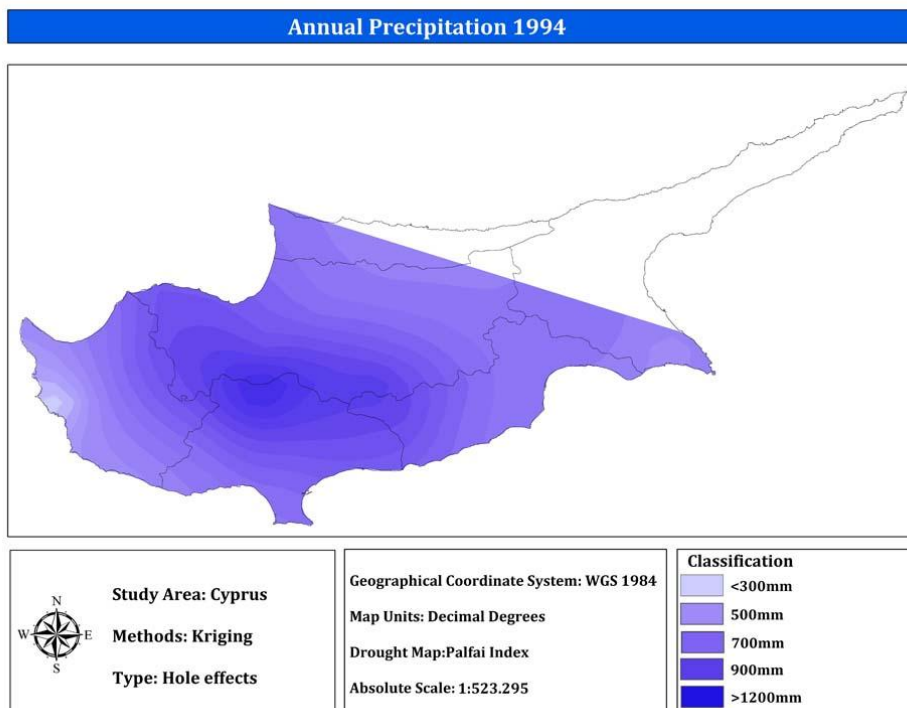
Χάρτες Βροχόπτωσης



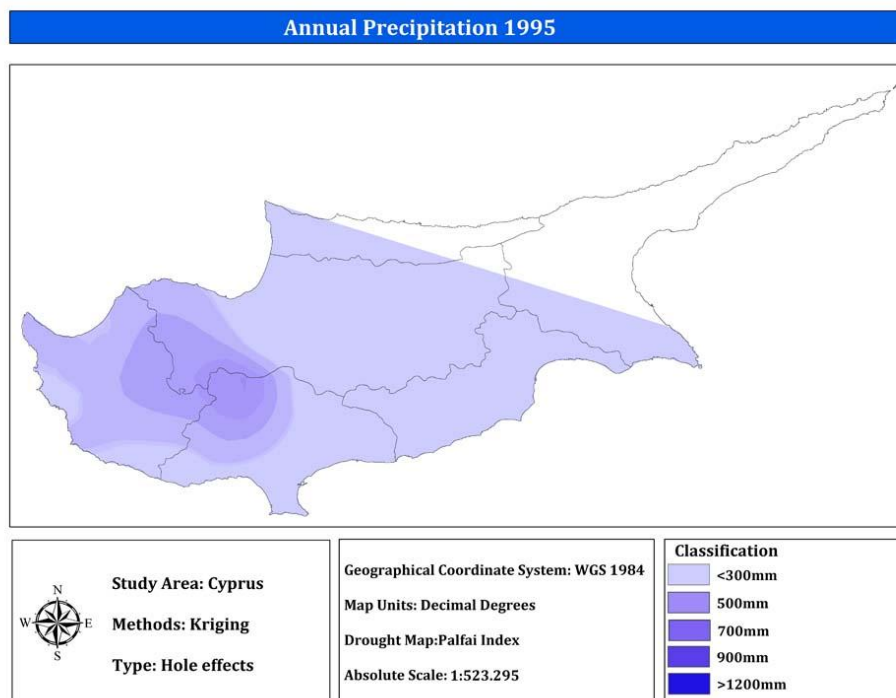
Εικόνα 1: Χάρτης Βροχόπτωσης για το έτος 1992 (kriging)



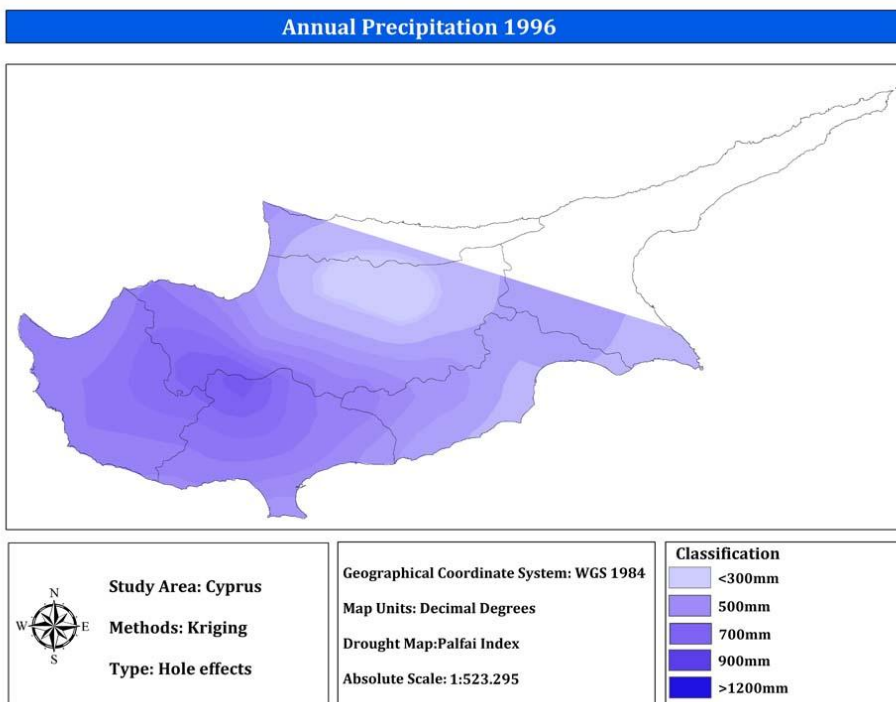
Εικόνα 2: Χάρτης Βροχόπτωσης για το έτος 1993 (kriging)



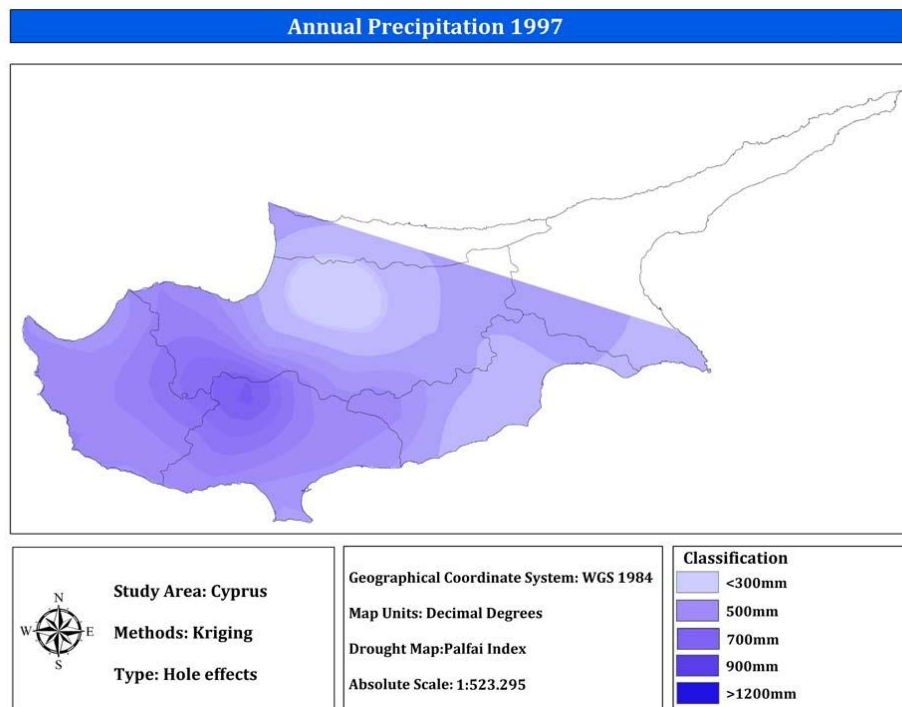
Εικόνα 3: Χάρτης Βροχόπτωσης για το έτος 1994 (kriging)



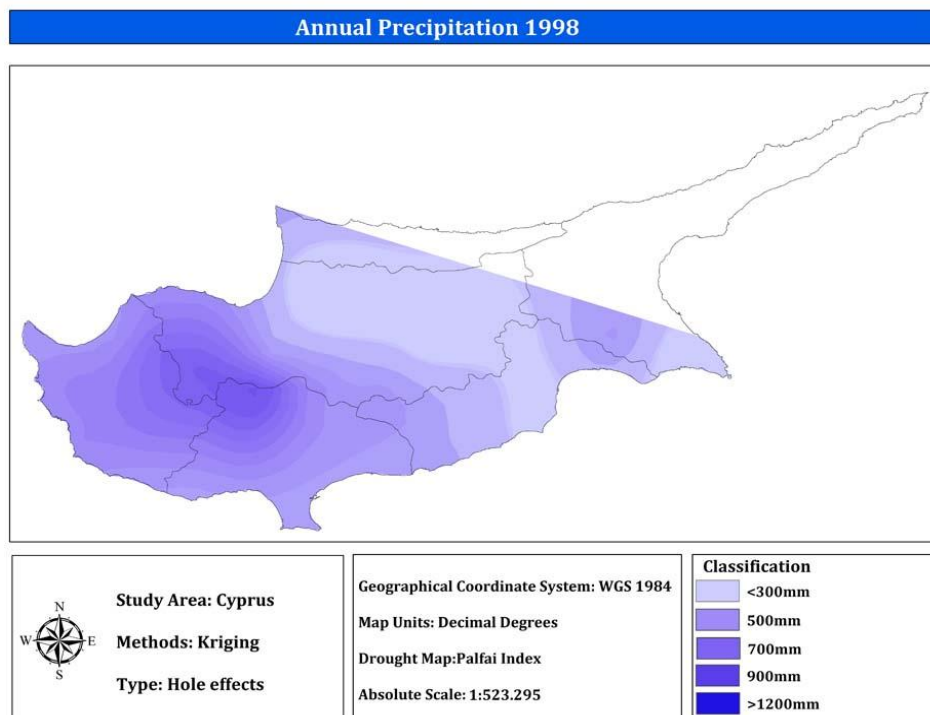
Εικόνα 4: Χάρτης Βροχόπτωσης για το έτος 1995 (kriging)



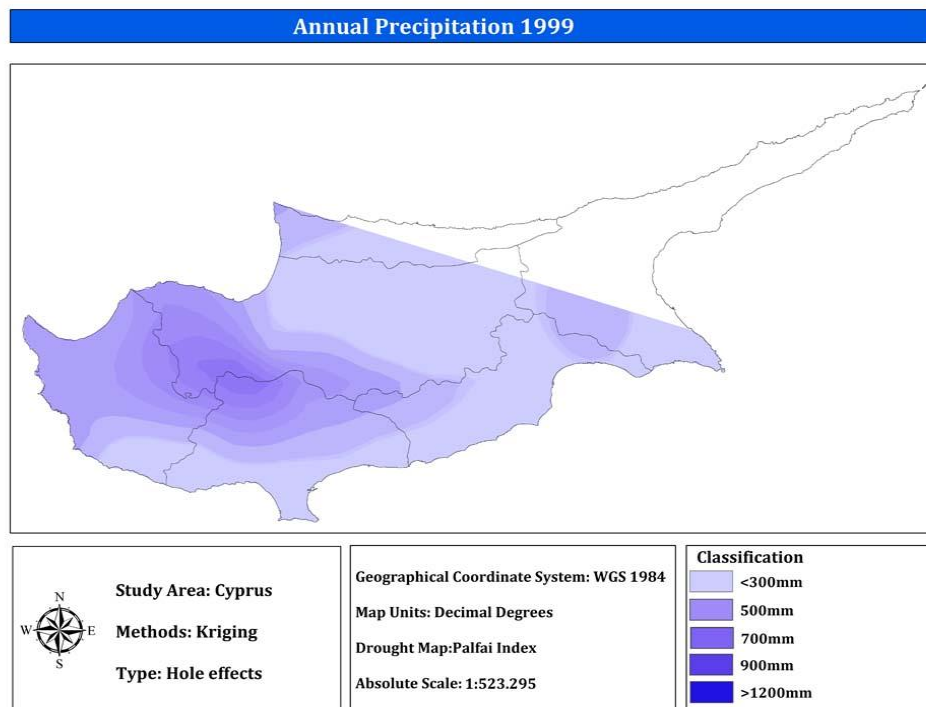
Εικόνα 5: Χάρτης Βροχόπτωσης για το έτος 1996 (kriging)



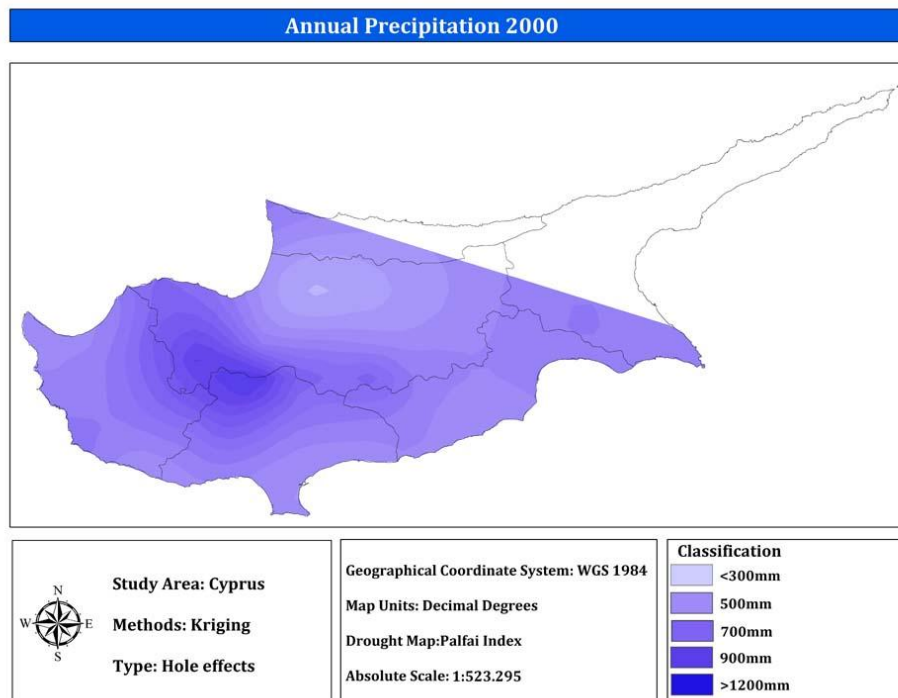
Εικόνα 6: Χάρτης Βροχόπτωσης για το έτος 1997 (kriging)



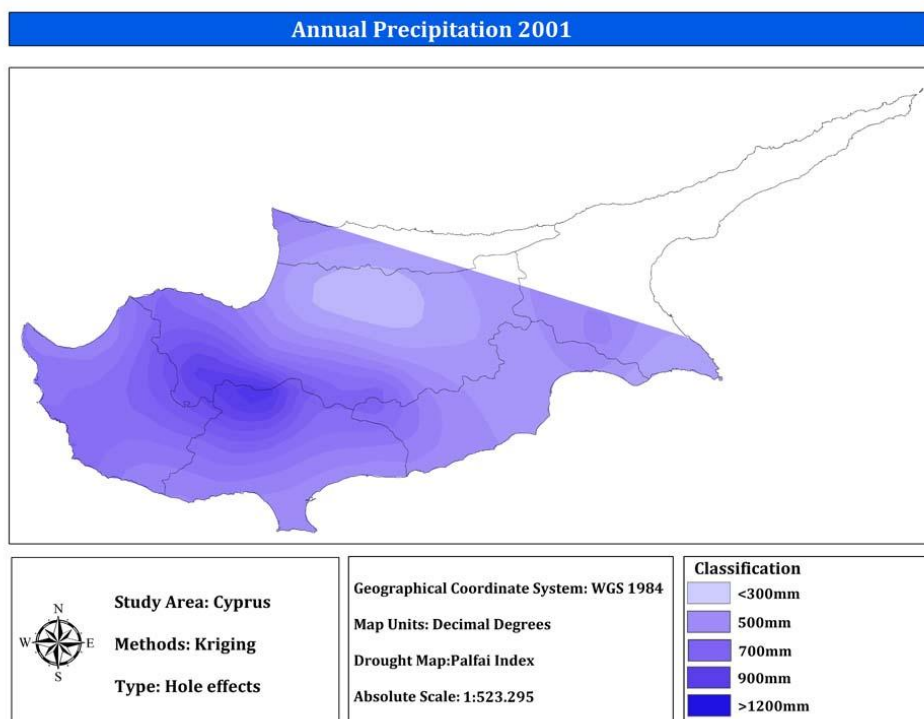
Εικόνα 7: Χάρτης Βροχόπτωσης για το έτος 1998 (kriging)



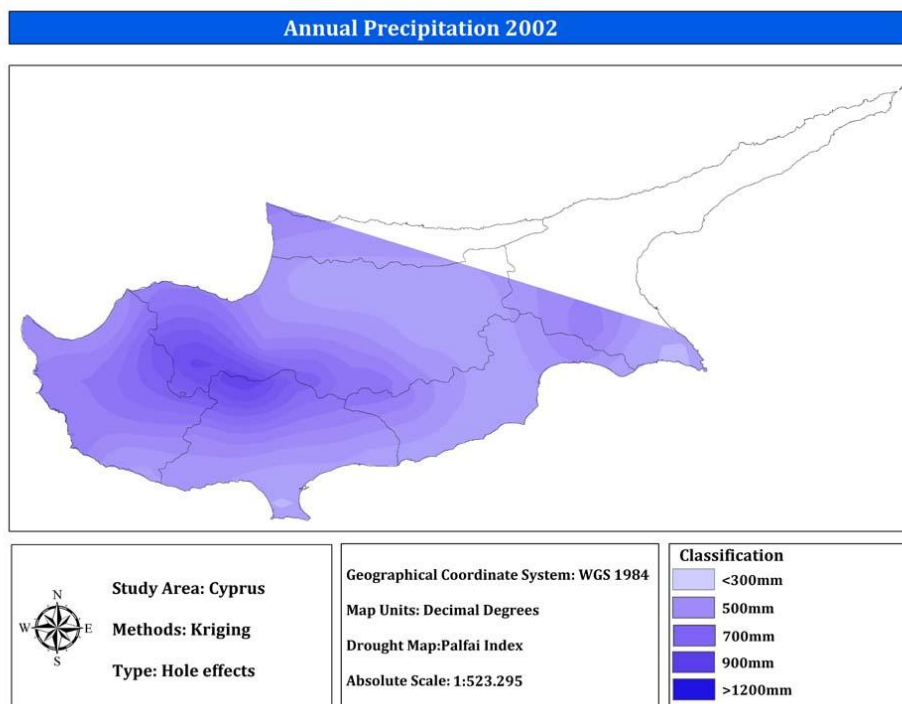
Εικόνα 8: Χάρτης Βροχόπτωσης για το έτος 1999 (kriging)



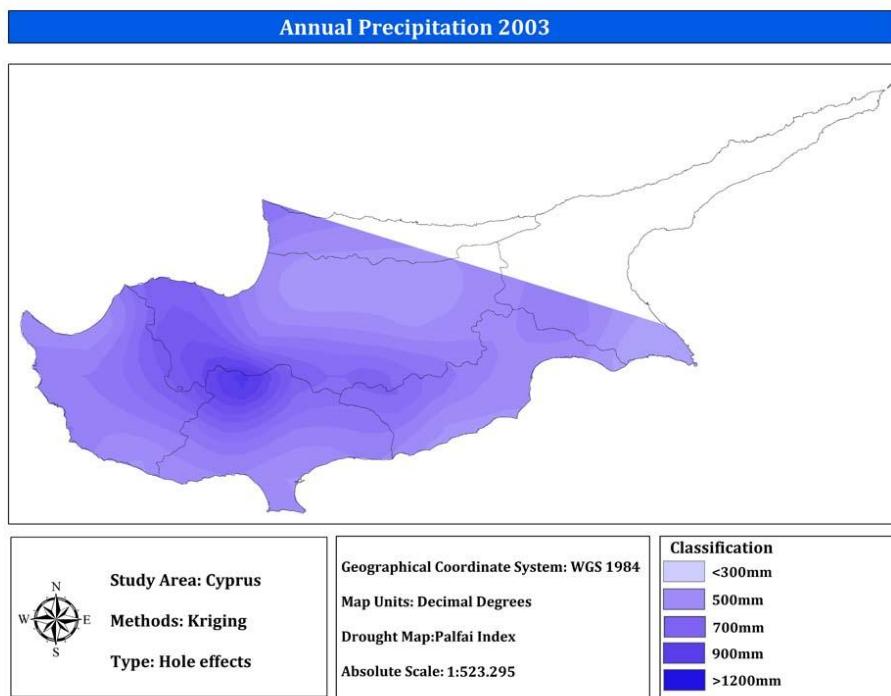
Εικόνα 9: Χάρτης Βροχόπτωσης για το έτος 200 (kriging)



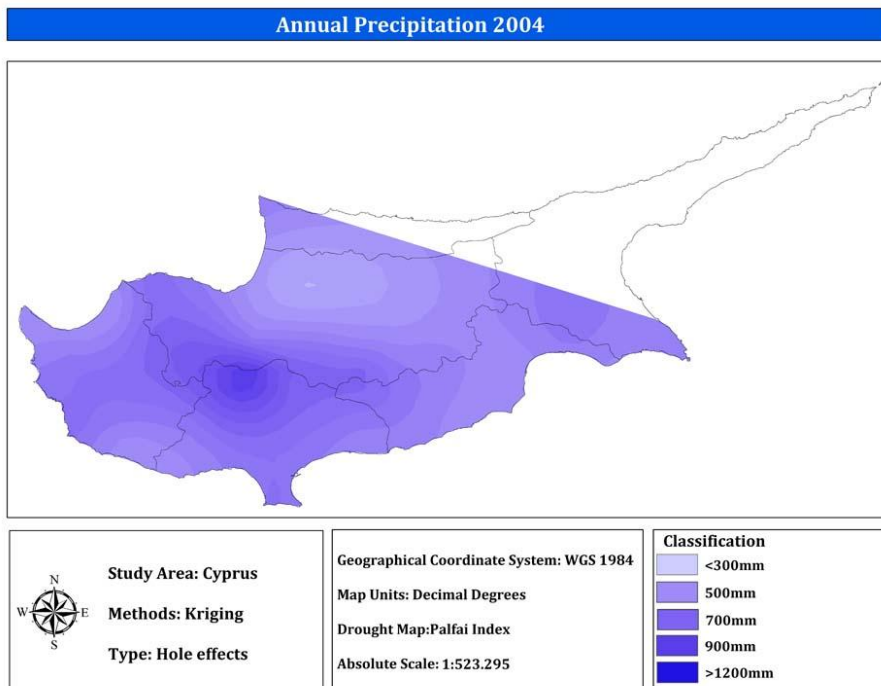
Εικόνα 10: Χάρτης Βροχόπτωσης για το έτος 2001 (kriging)



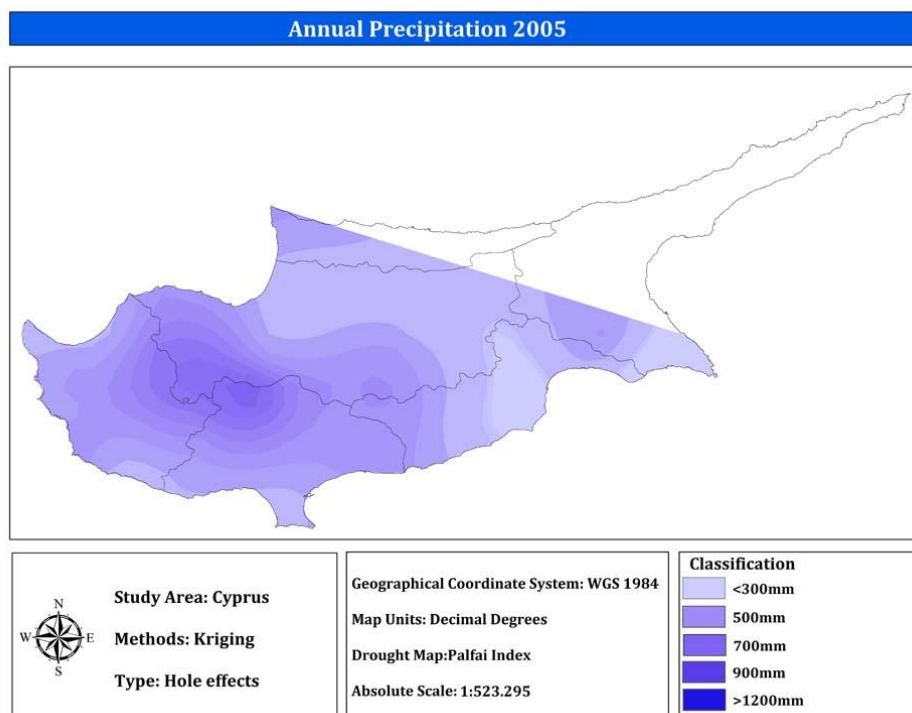
Εικόνα 11: Χάρτης Βροχόπτωσης για το έτος 2002 (kriging)



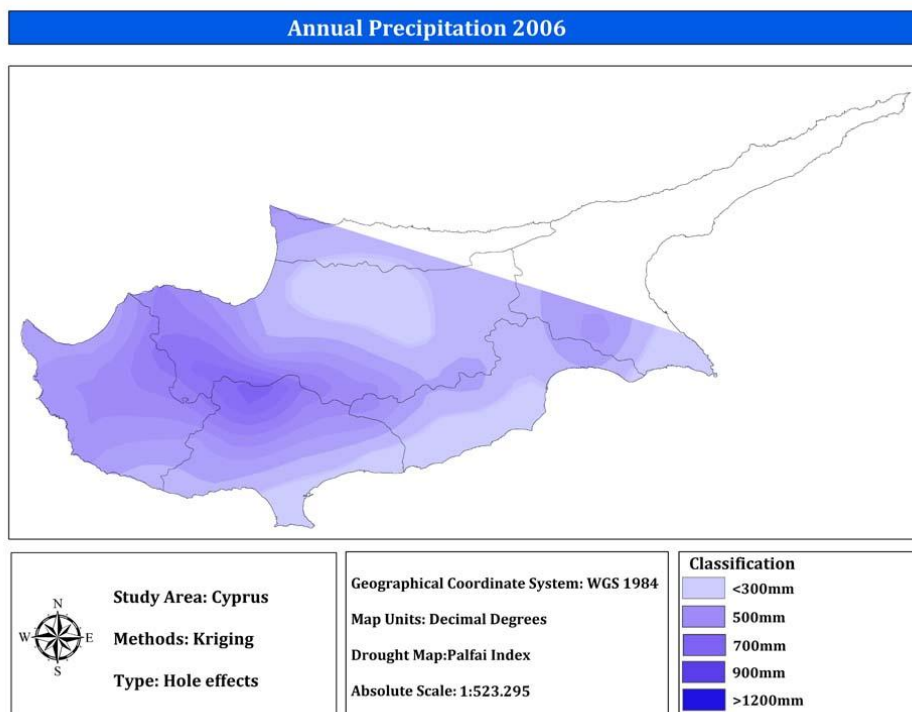
Εικόνα 12: Χάρτης Βροχόπτωσης για το έτος 2003 (kriging)



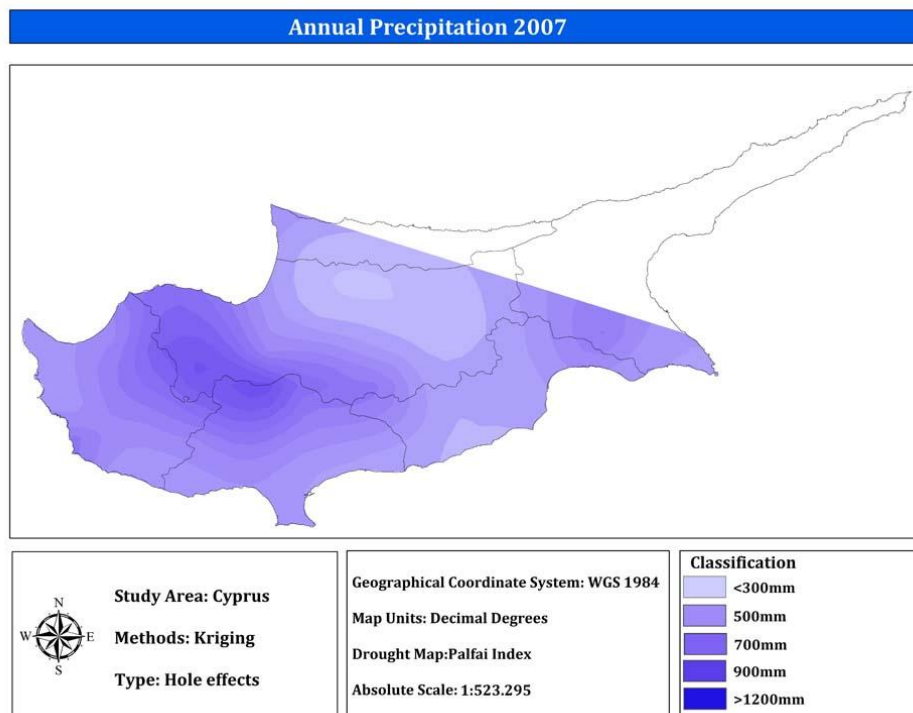
Εικόνα 13: Χάρτης Βροχόπτωσης για το έτος 2004 (kriging)



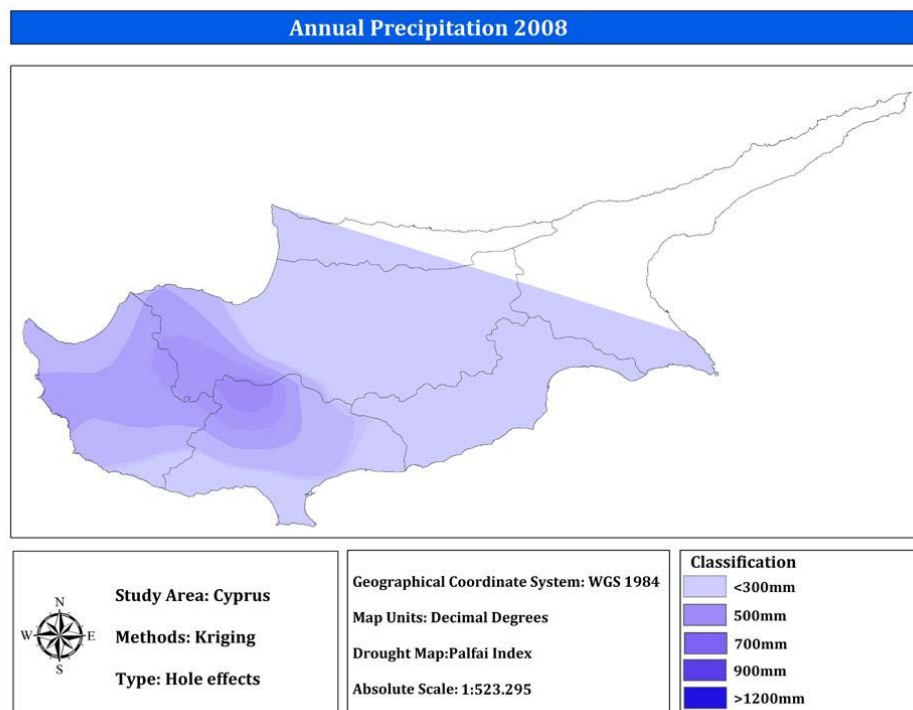
Εικόνα 14: Χάρτης Βροχόπτωσης για το έτος 2005 (kriging)



Εικόνα 15: Χάρτης Βροχόπτωσης για το έτος 2006 (kriging)



Εικόνα 16: Χάρτης Βροχόπτωσης για το έτος 2007 (kriging)

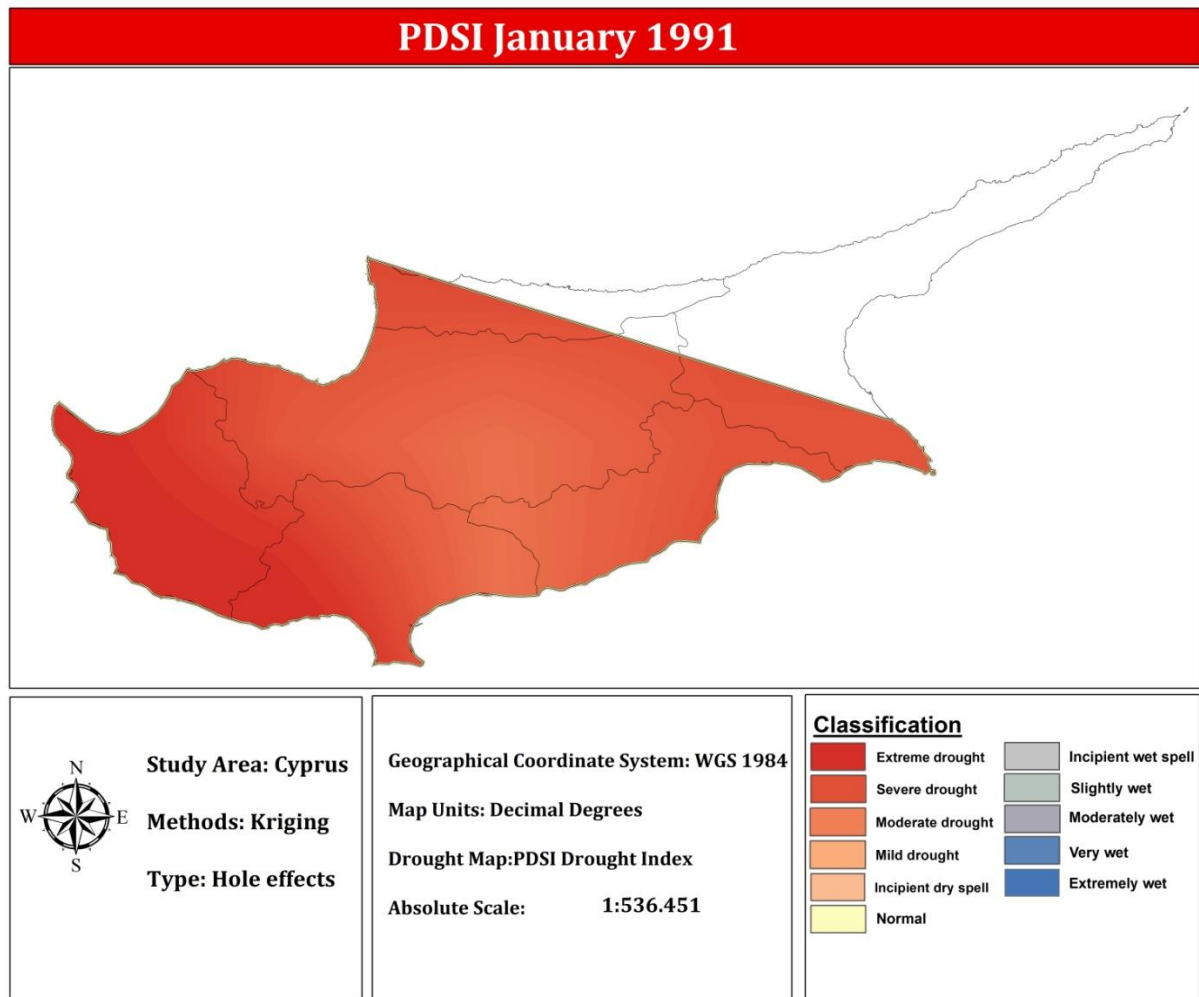


Εικόνα 17: Χάρτης Βροχόπτωσης για το έτος 2008 (kriging)

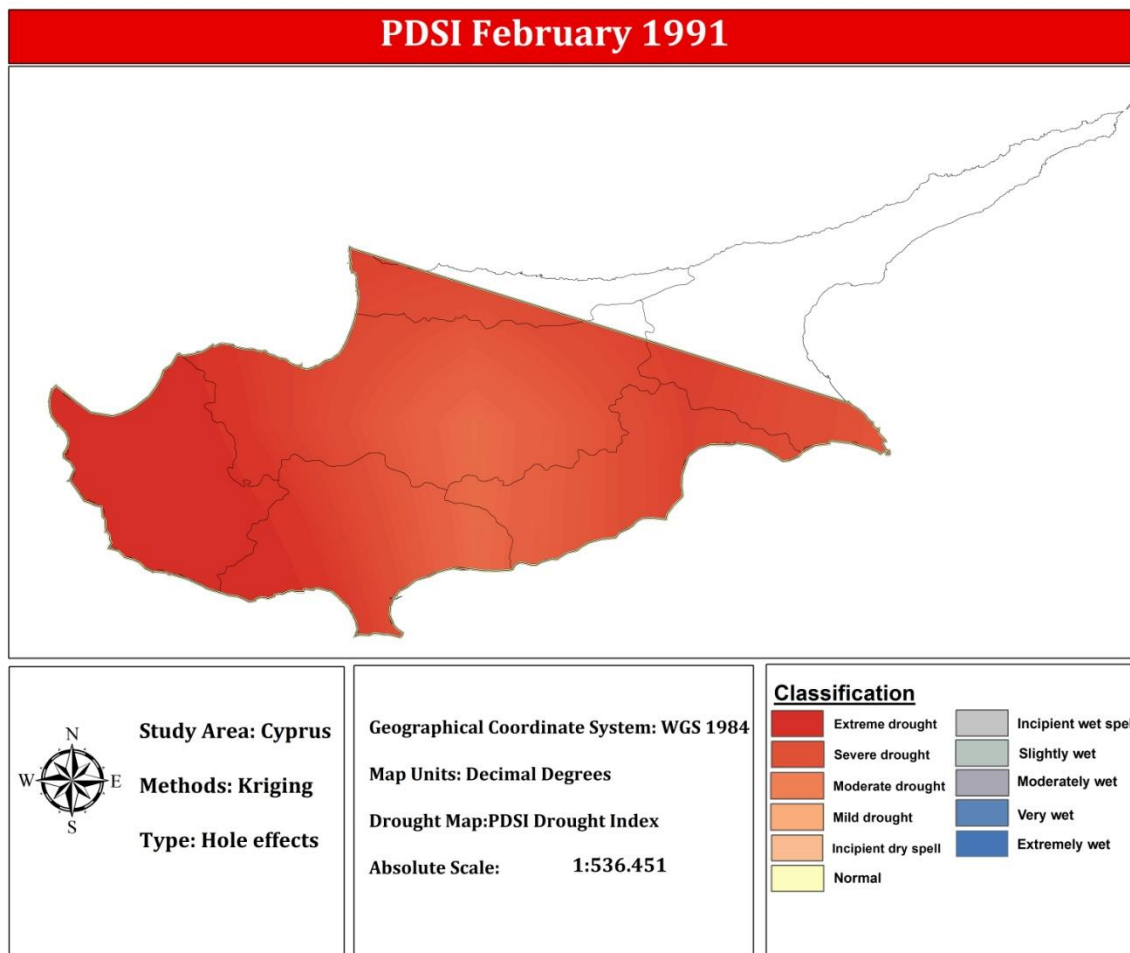
Παράρτημα II

Γεωστατιστικοί Χάρτες κατανομής PDSI

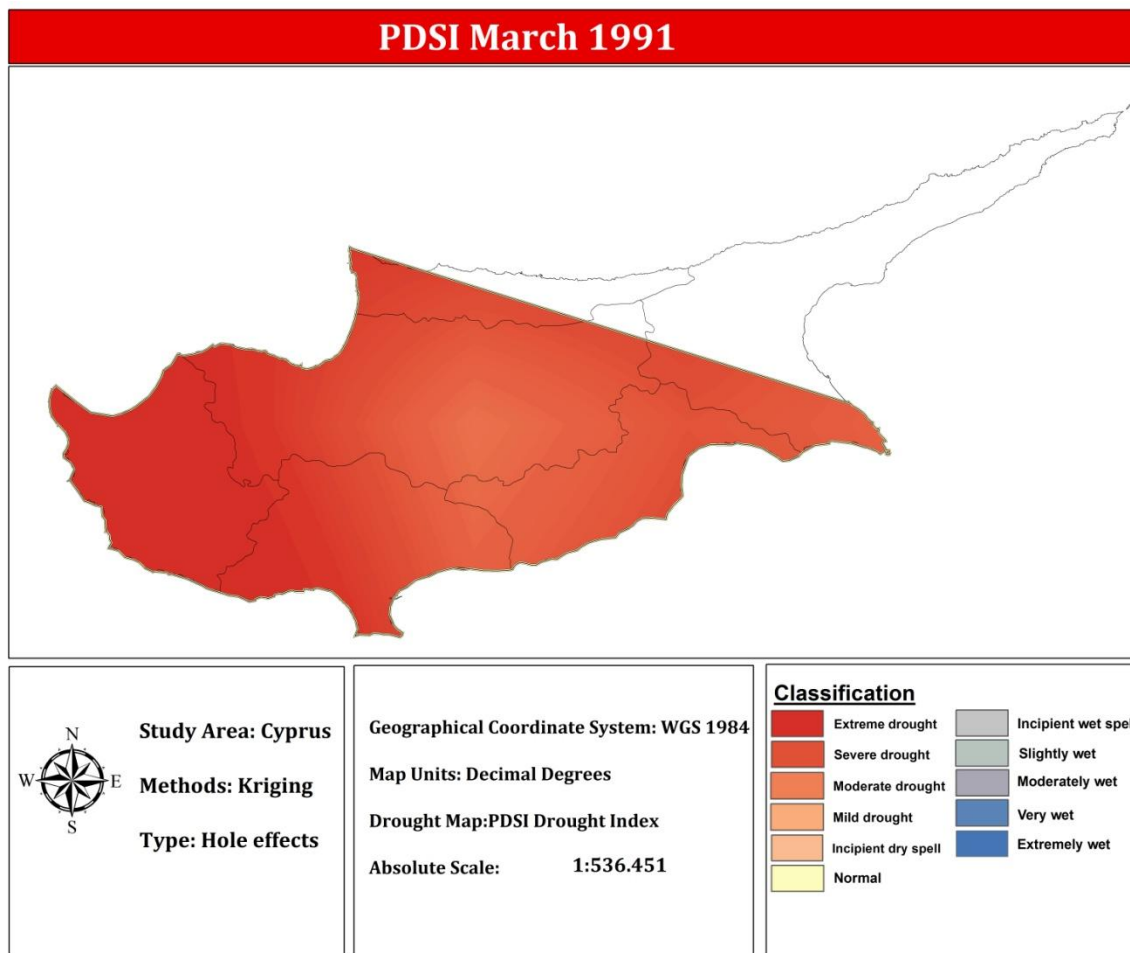
Χάρτες Λειψυδρίας Άνυδρων Ετών



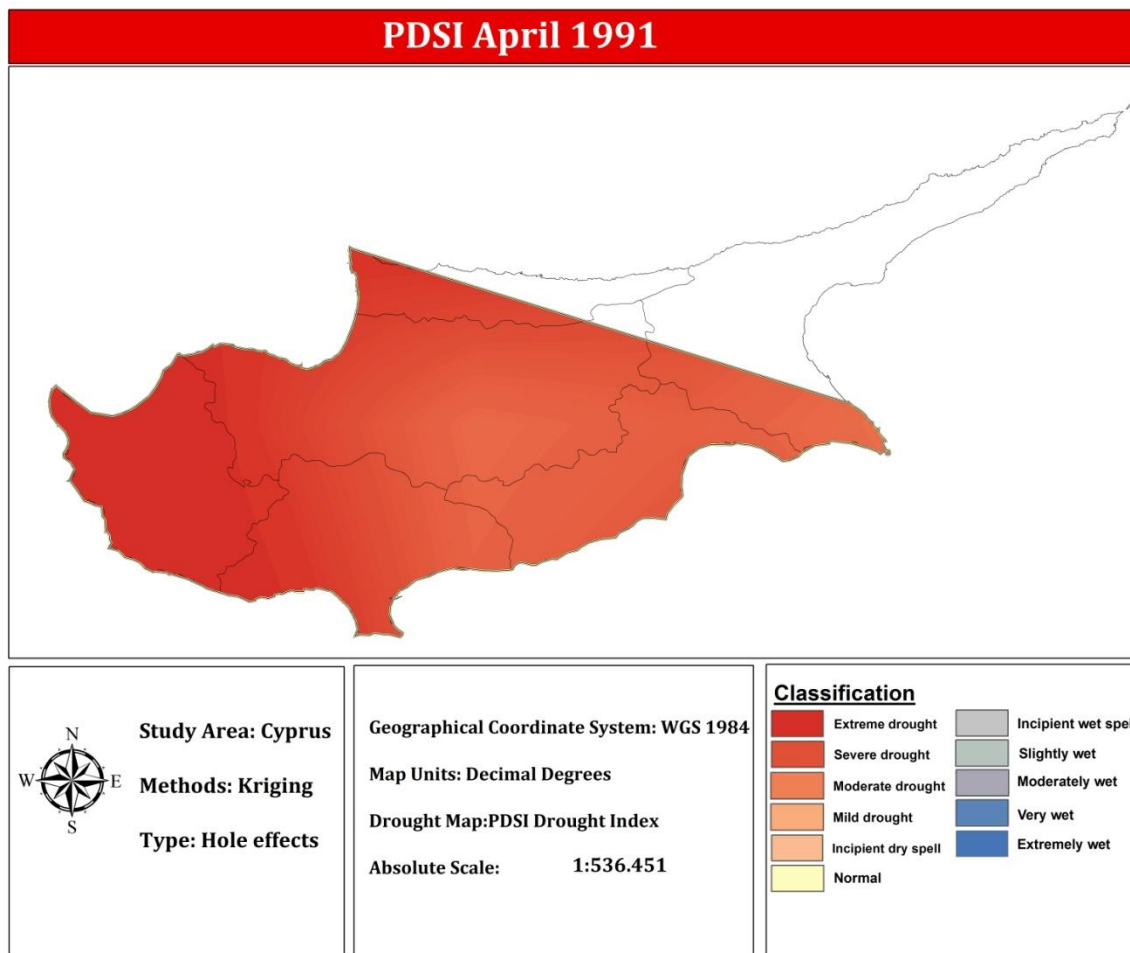
Εικόνα 1: Χάρτης PDSI για το μήνα Ιανουάριο του 1991 (kriging)



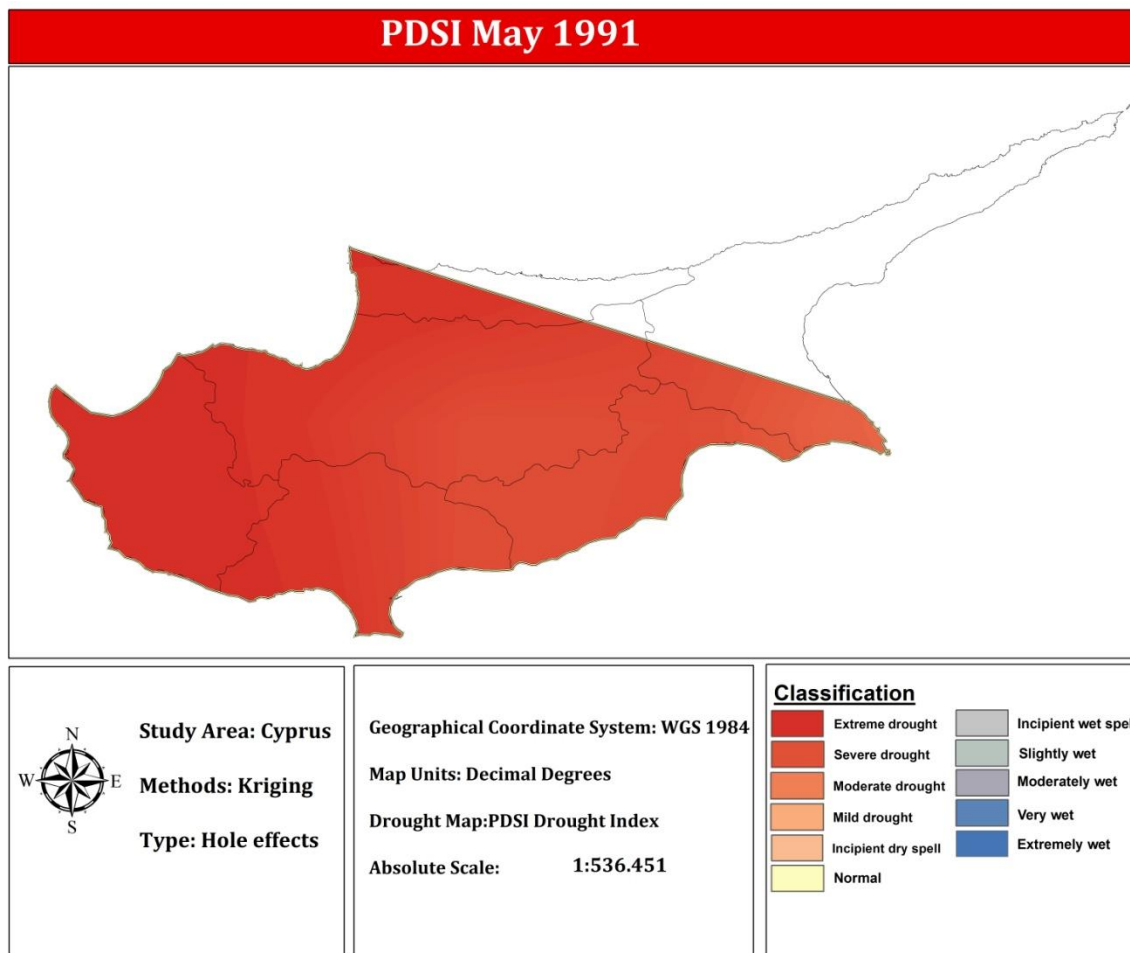
Εικόνα 2: Χάρτης PDSI για το μήνα Φεβρουάριο του 1991 (kriging)



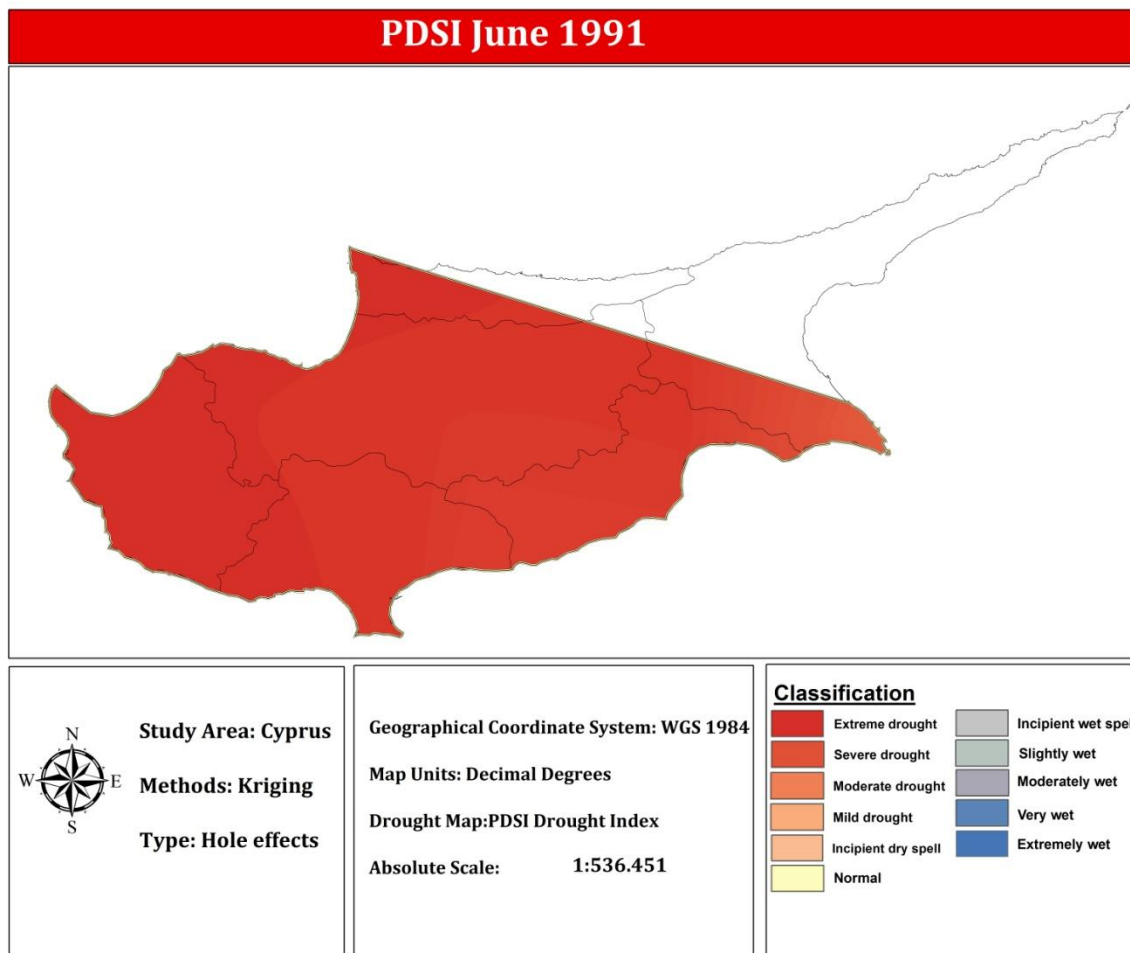
Εικόνα 3: Χάρτης PDSI για το μήνα Μάρτιο του 1991 (kriging)



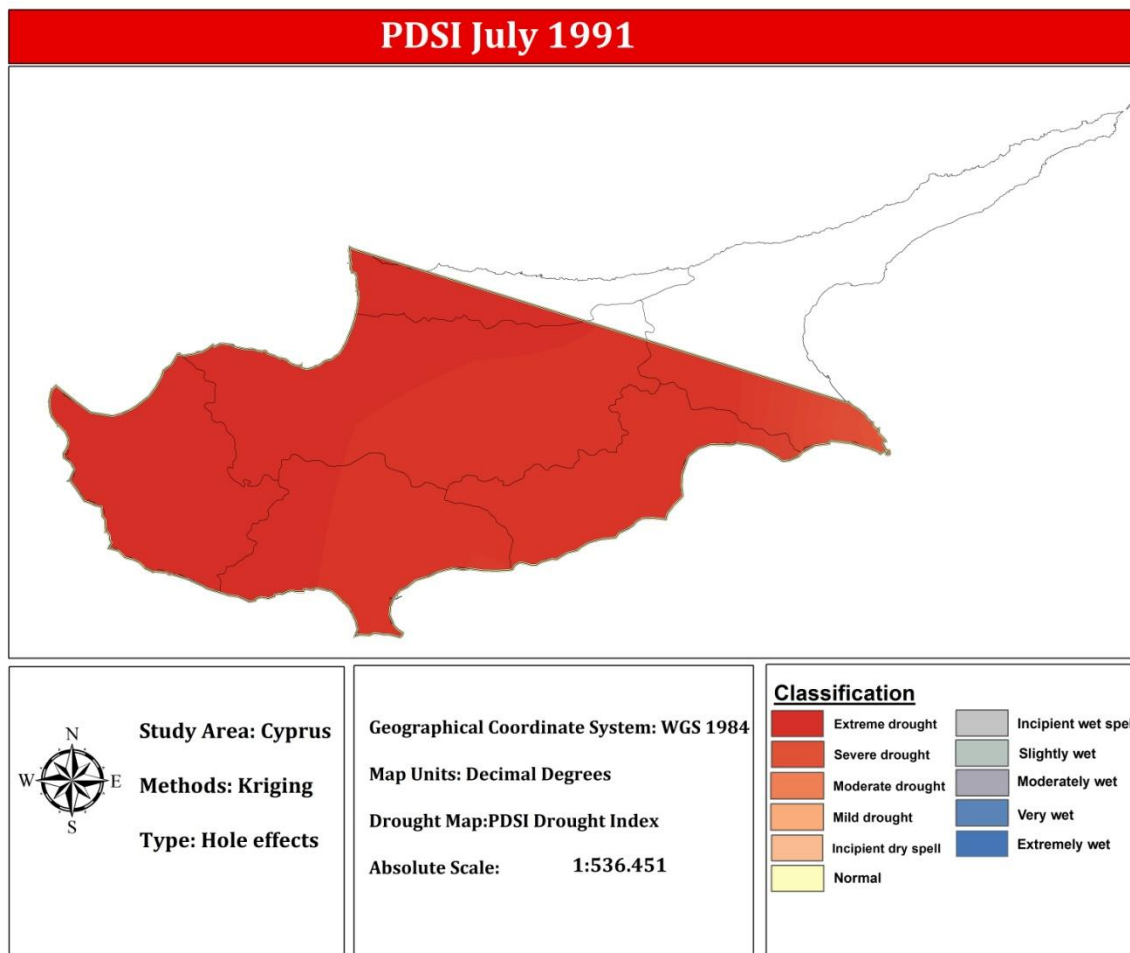
Εικόνα 4: Χάρτης PDSI για το μήνα Απρίλιο του 1991 (kriging)



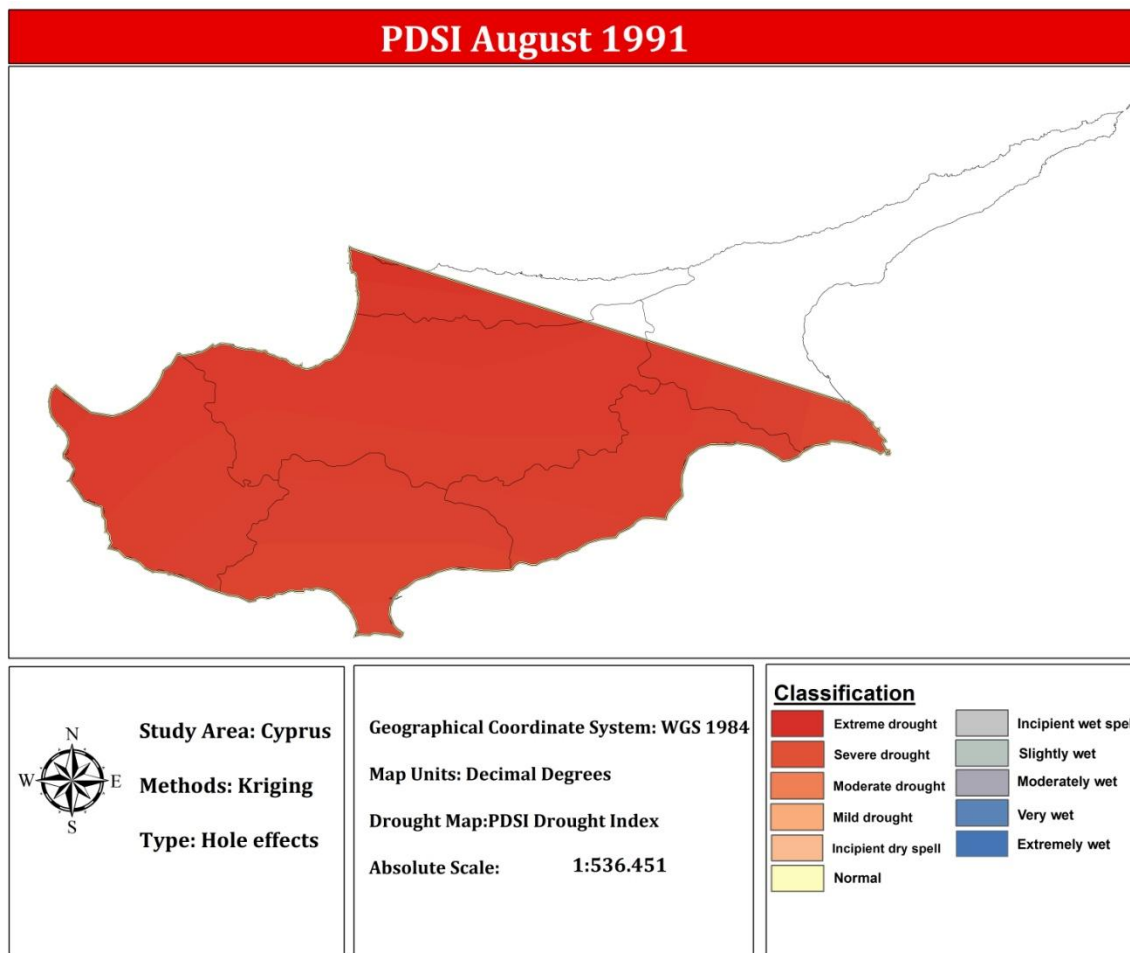
Εικόνα 5: Χάρτης PDSI για το μήνα Μάιο του 1991 (kriging)



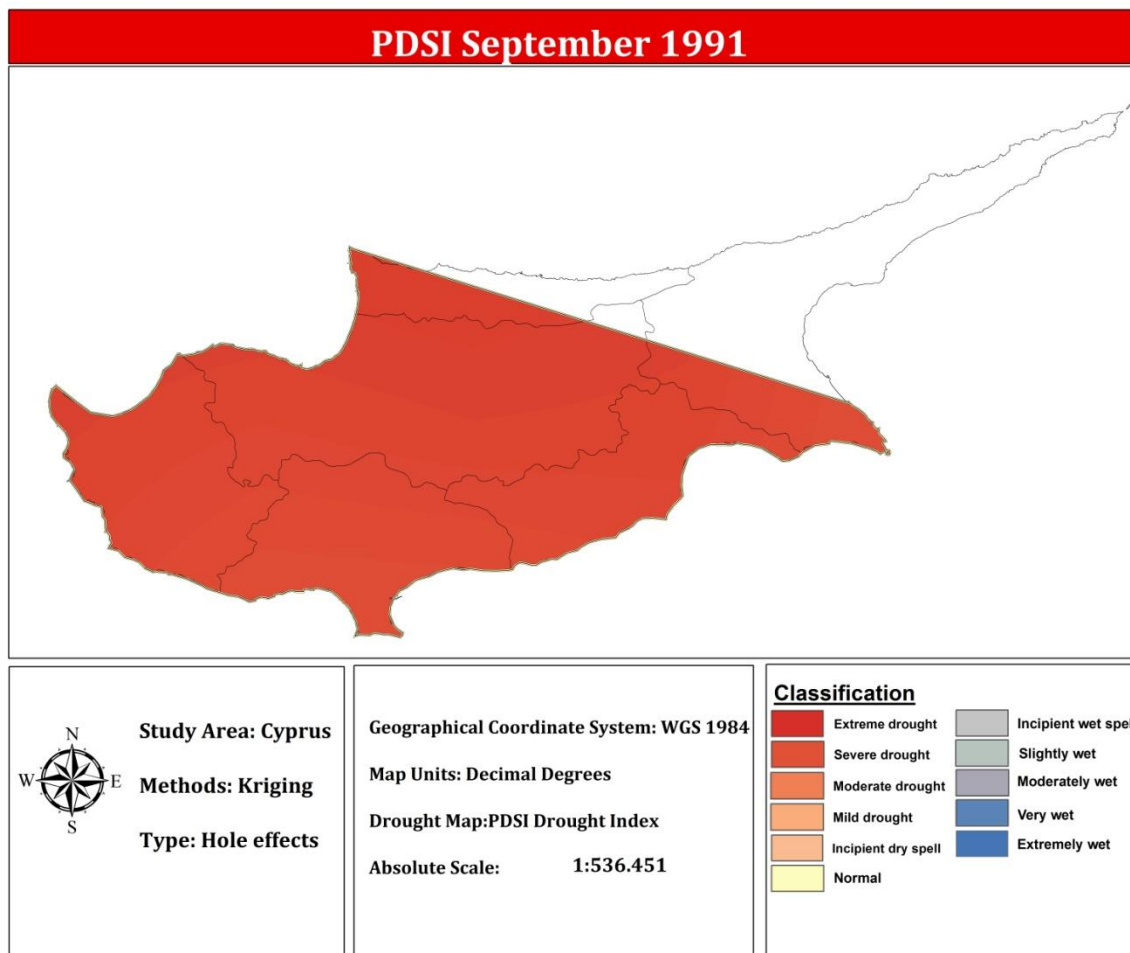
Εικόνα 6: Χάρτης PDSI για το μήνα Ιούνιο του 1991 (kriging)



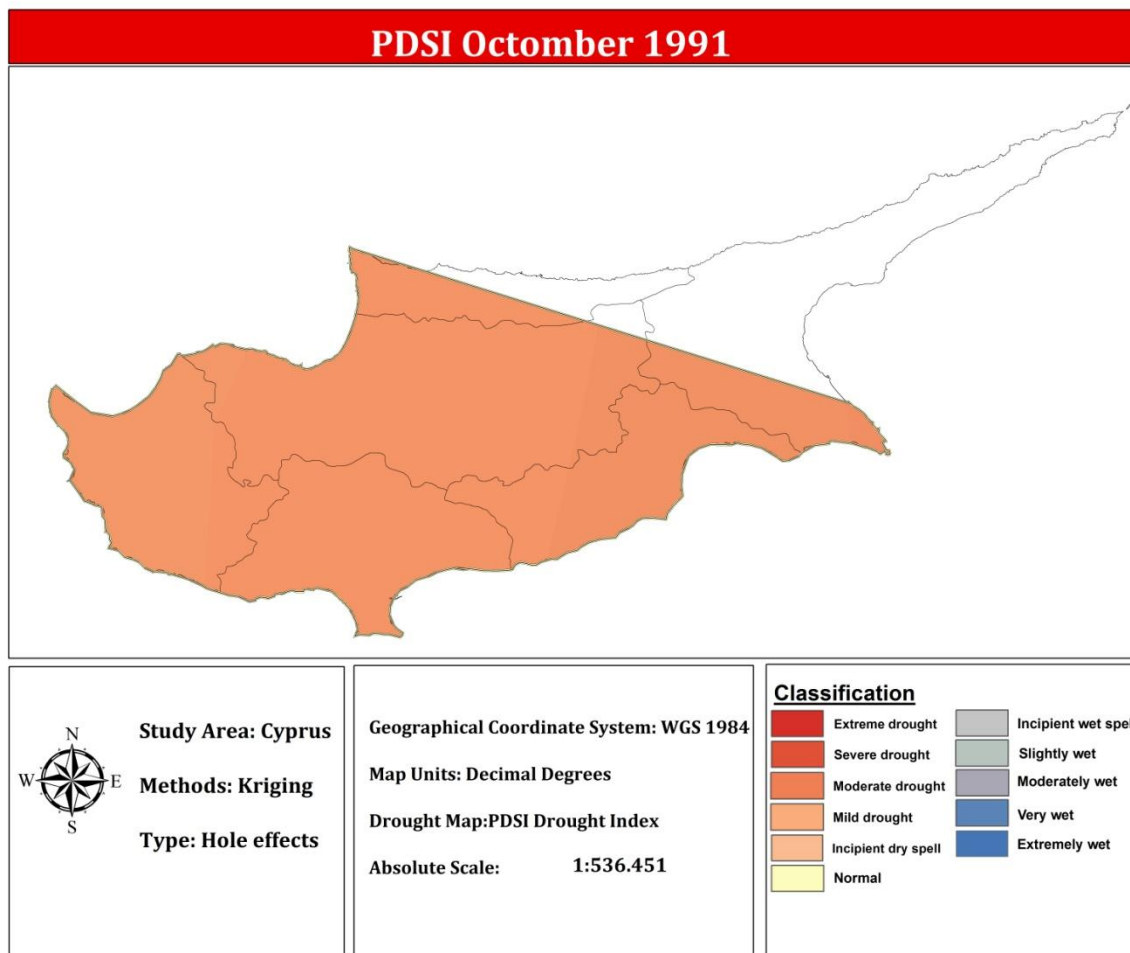
Εικόνα 7: Χάρτης PDSI για το μήνα Ιούλιο του 1991 (kriging)



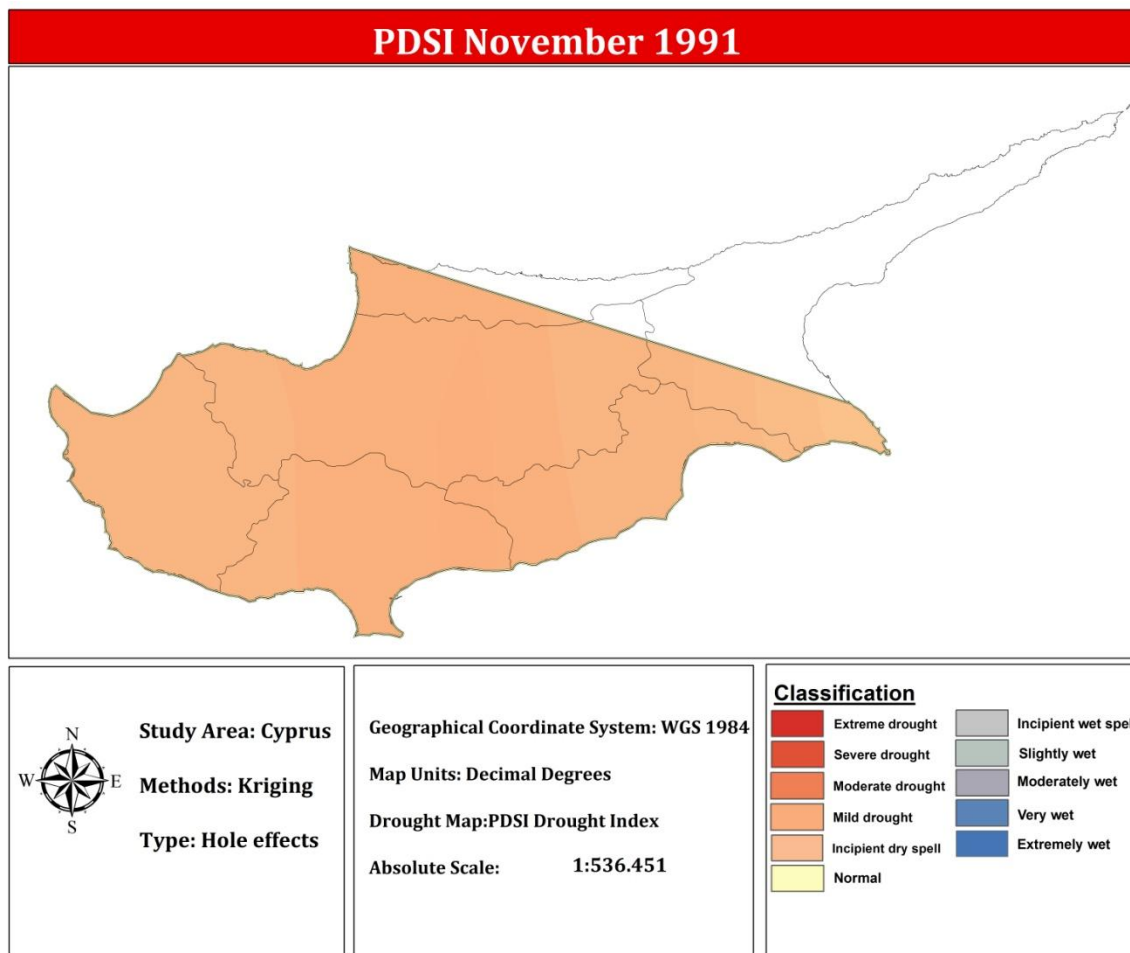
Εικόνα 8: Χάρτης PDSI για το μήνα Αύγουστο του 1991 (kriging)



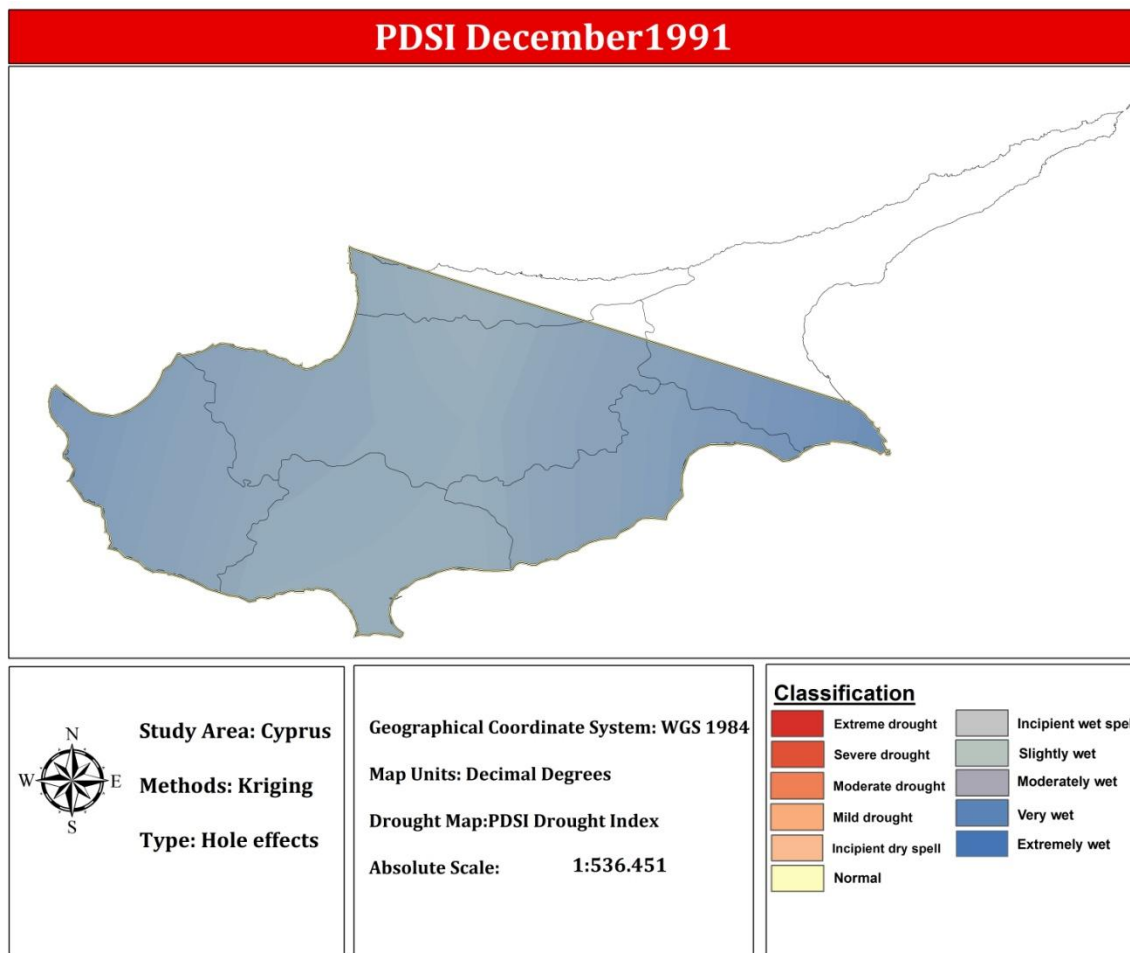
Εικόνα 9: Χάρτης PDSI για το μήνα Σεπτέμβριο του 1991 (kriging)



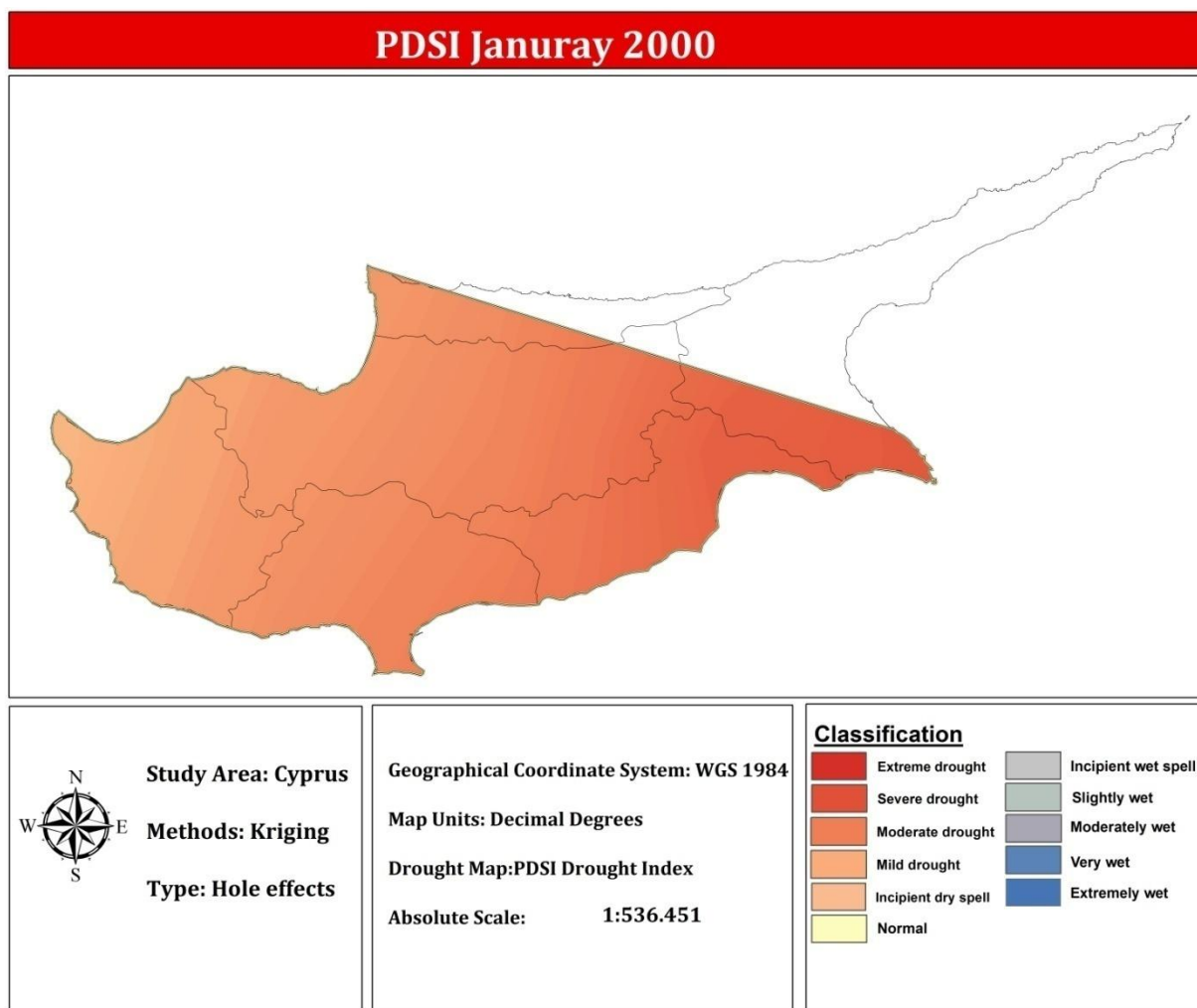
Εικόνα 10: Χάρτης PDSI για το μήνα Οκτώβριο του 1991 (kriging)



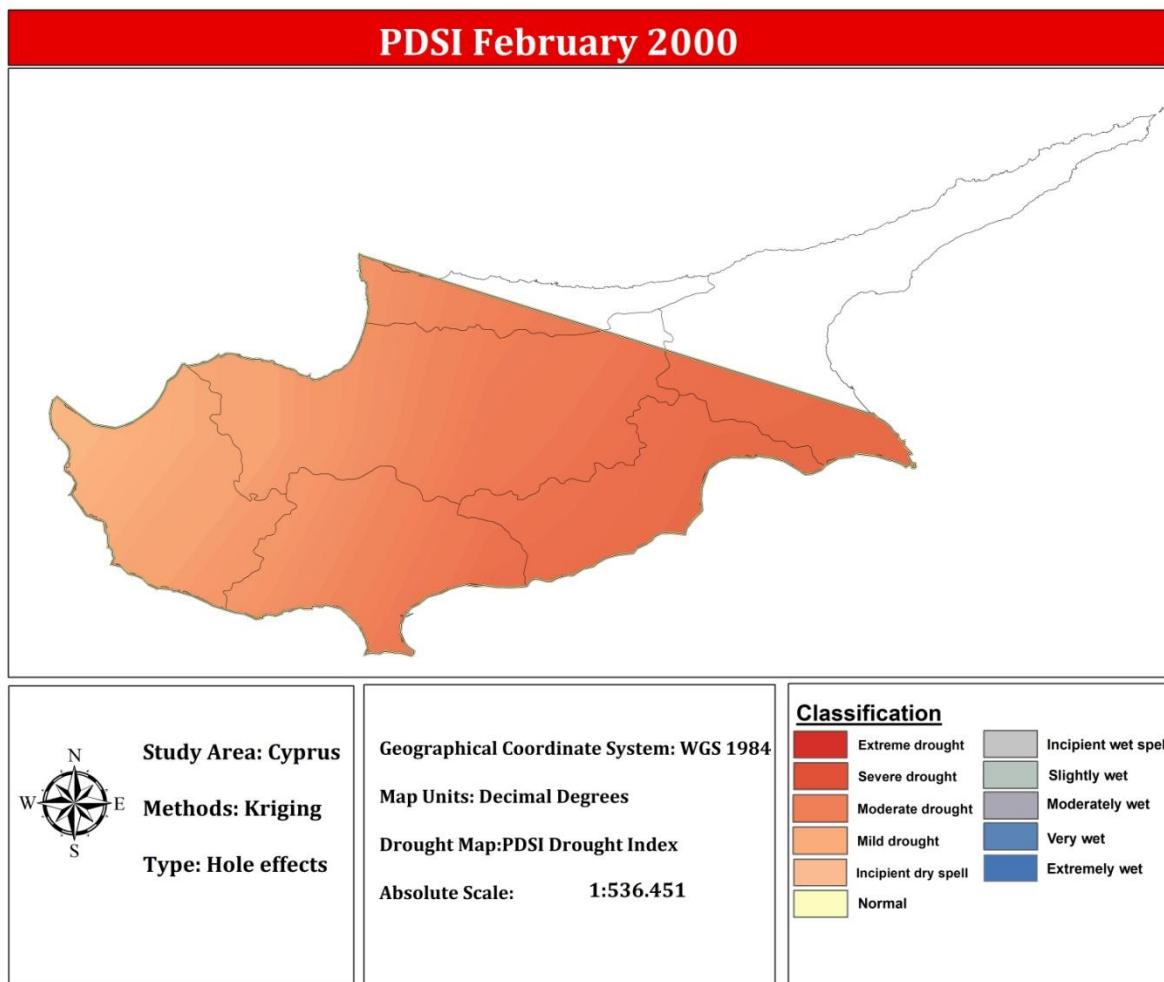
Εικόνα 11: Χάρτης PDSI για το μήνα Νοέμβριο του 1991 (kriging)



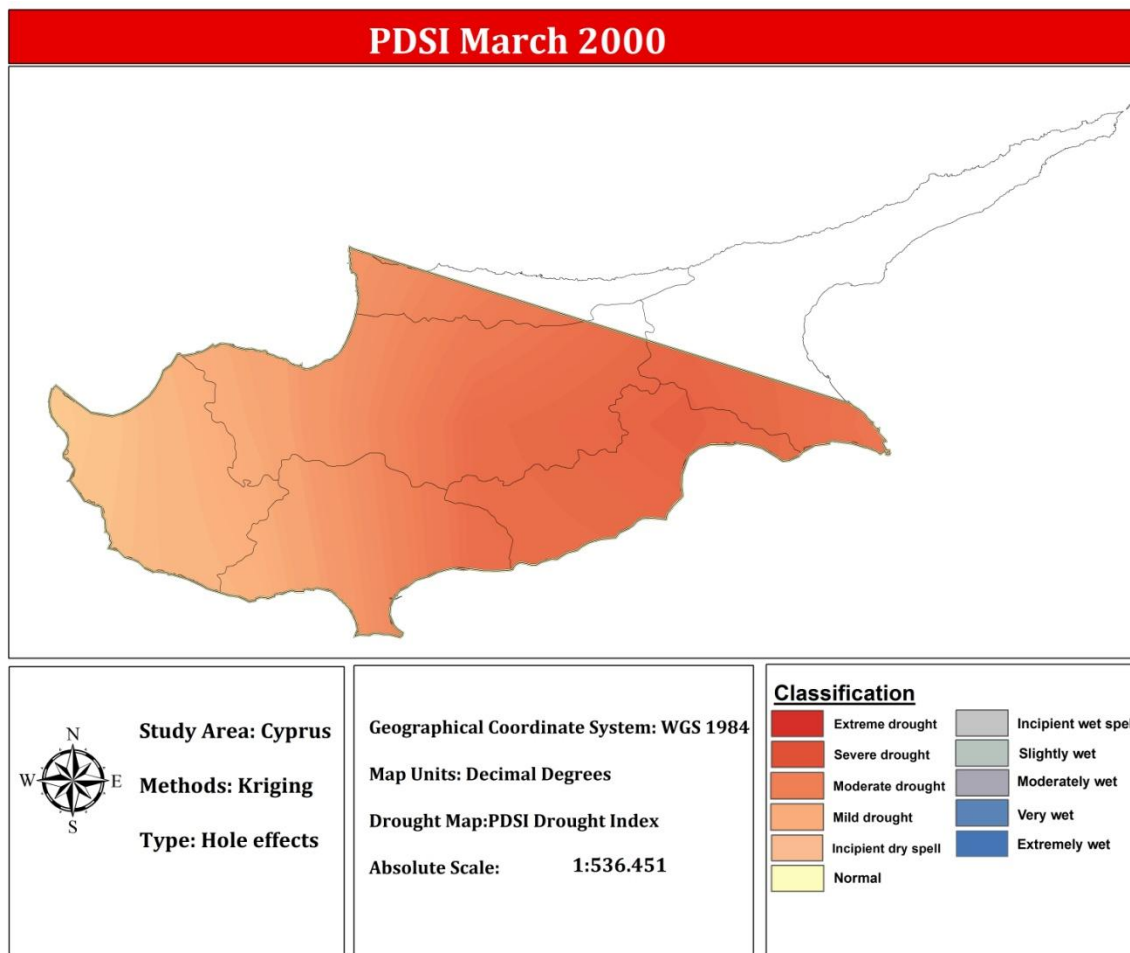
Εικόνα 12: Χάρτης PDSI για το μήνα Δεκέμβριο του 1991 (kriging)



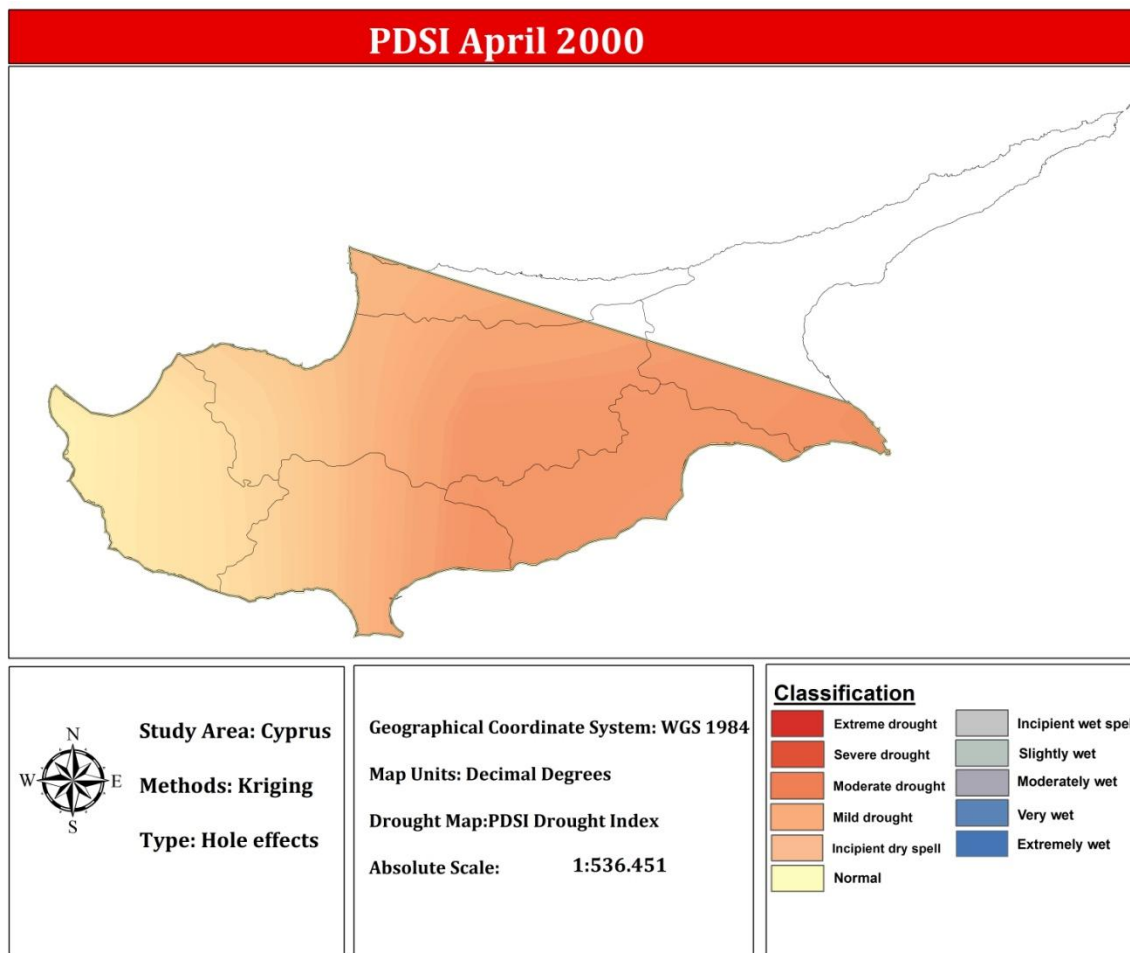
Εικόνα 13: Χάρτης PDSI για το μήνα Ιανουάριο του 2000 (kriging)



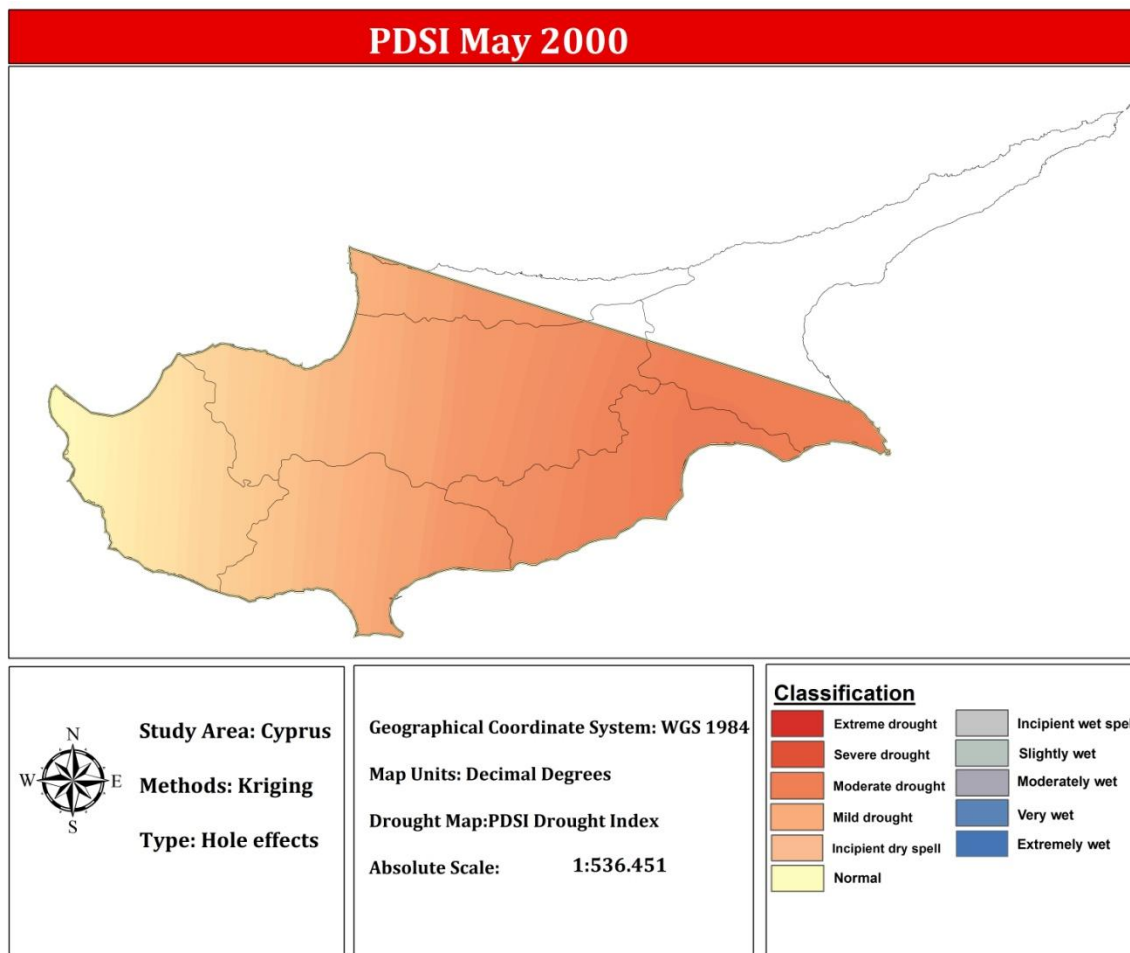
Εικόνα 14: Χάρτης PDSI για το μήνα Φεβρουάριο του 2000 (kriging)



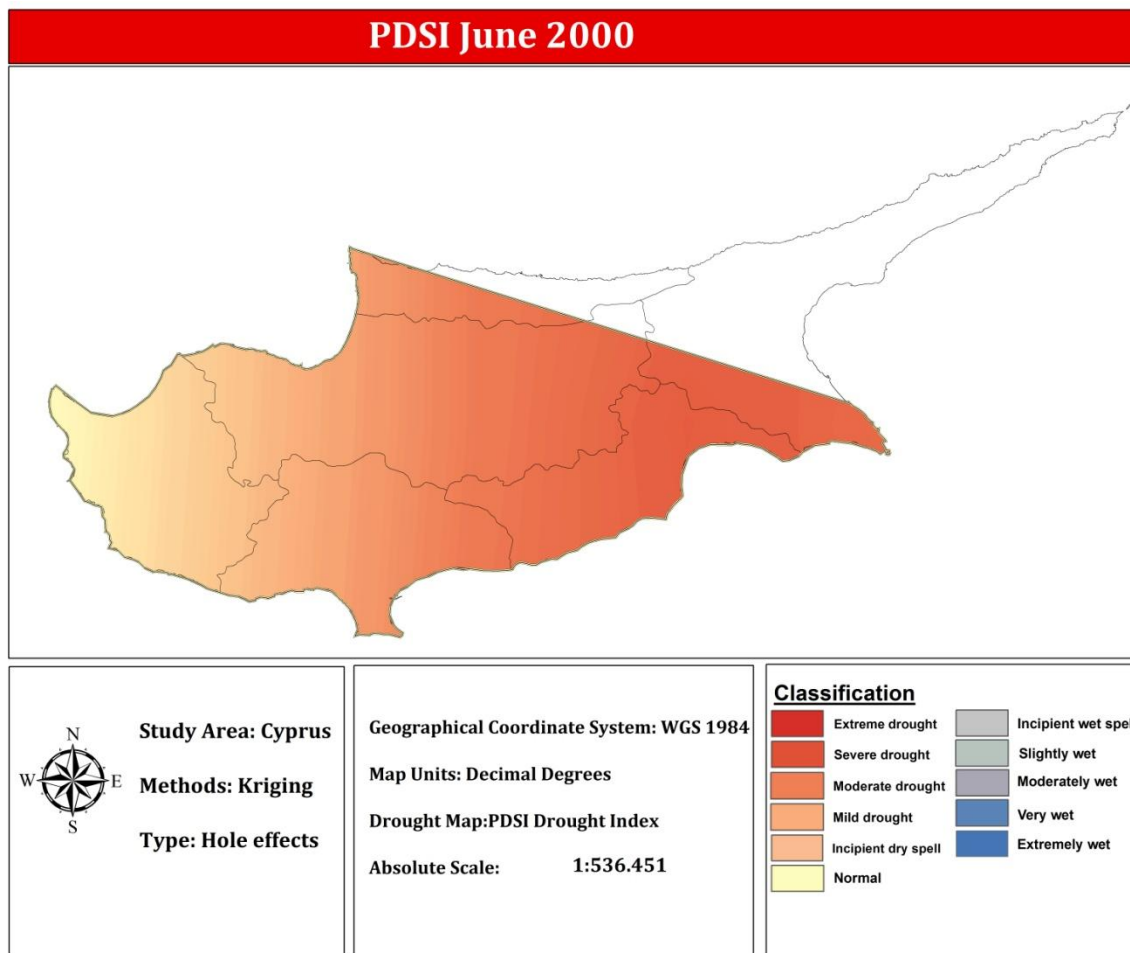
Εικόνα 15: Χάρτης PDSI για το μήνα Μάρτιο του 2000 (kriging)



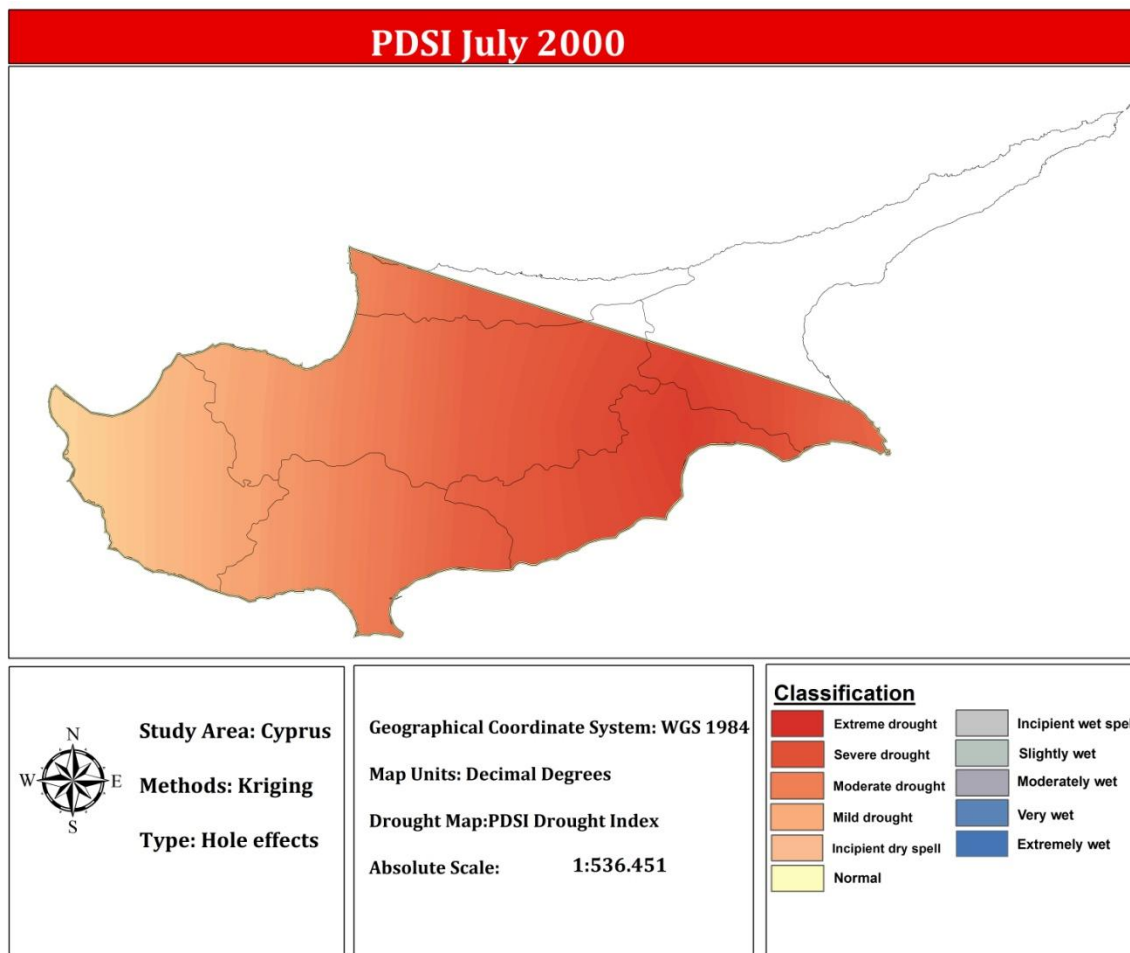
Εικόνα 16: Χάρτης PDSI για το μήνα Απρίλιο του 2000 (kriging)



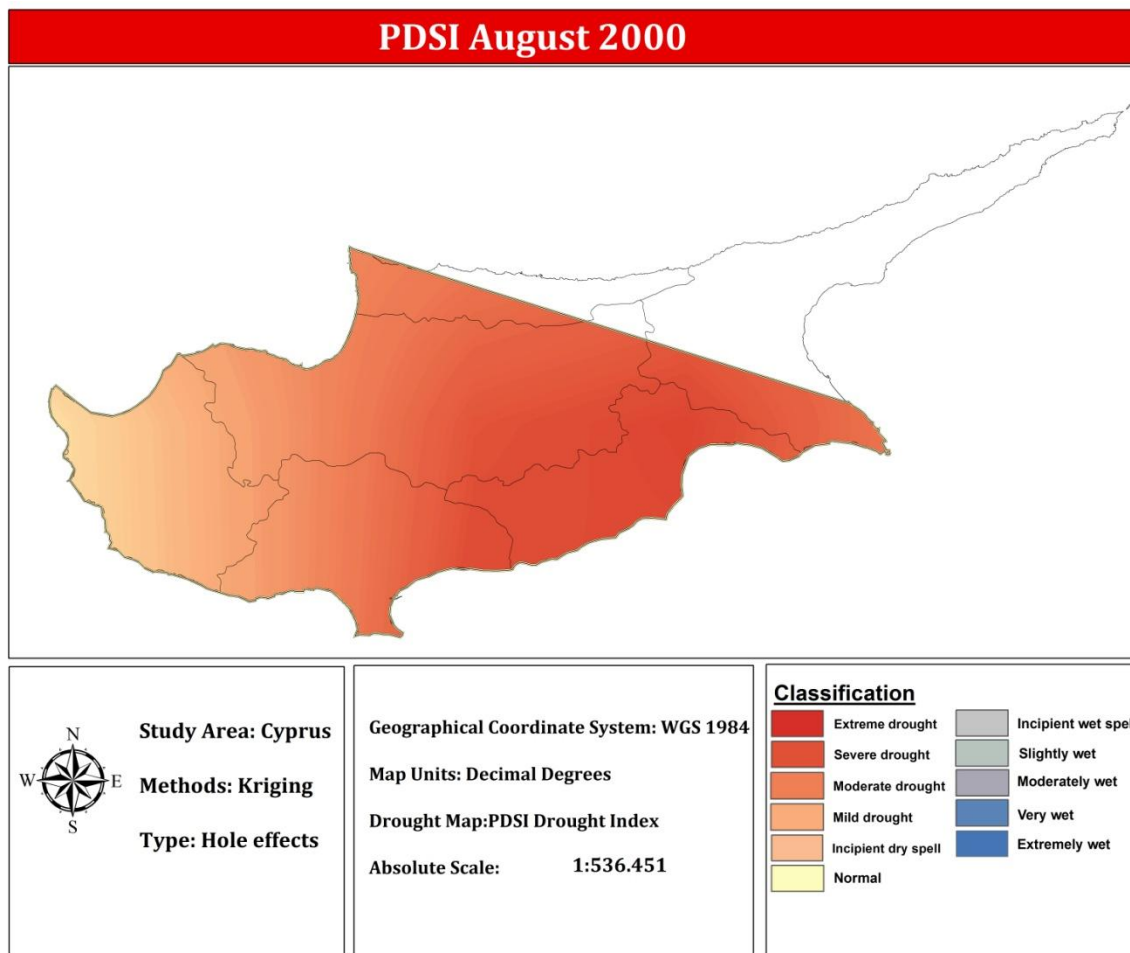
Εικόνα 17: Χάρτης PDSI για το μήνα Μάιο του 2000 (kriging)



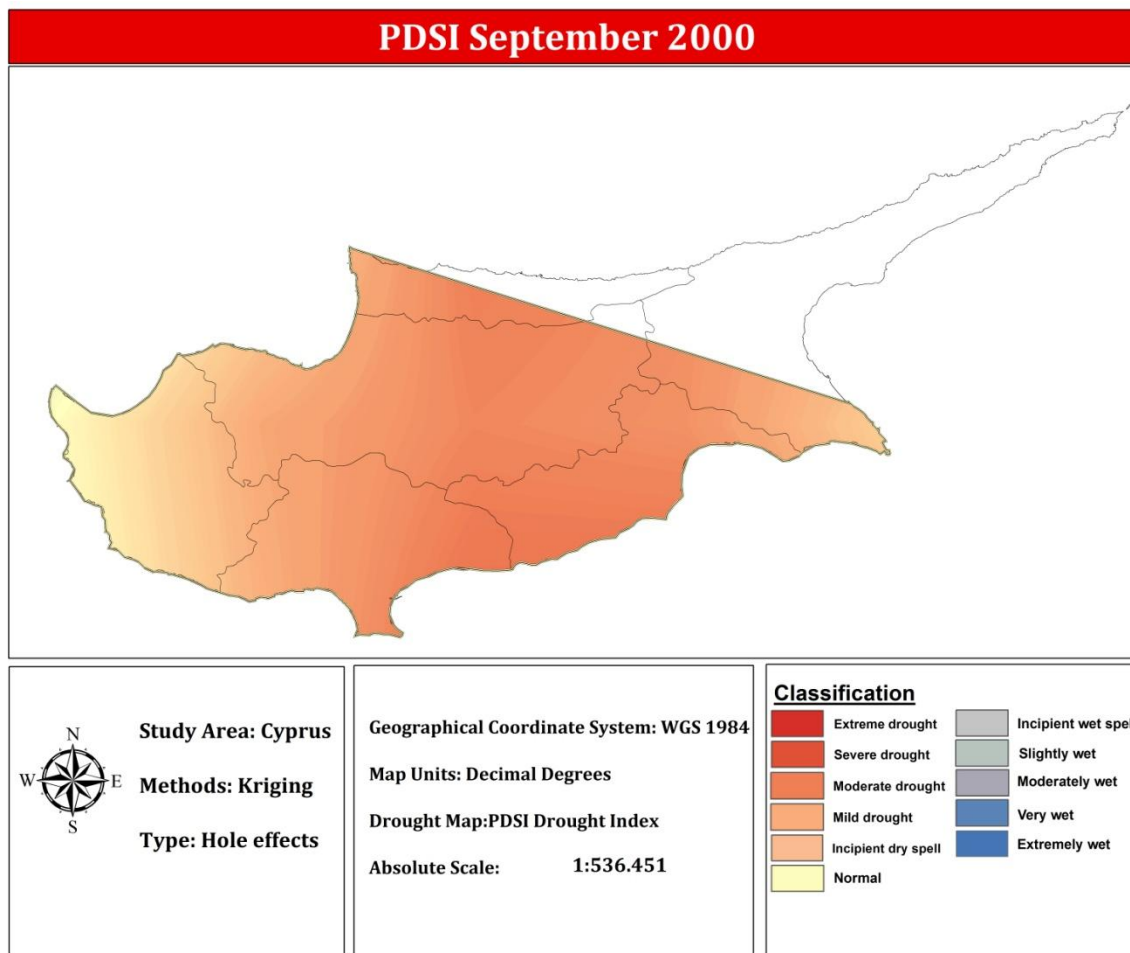
Εικόνα 18: Χάρτης PDSI για το μήνα Ιούνιο του 2000 (kriging)



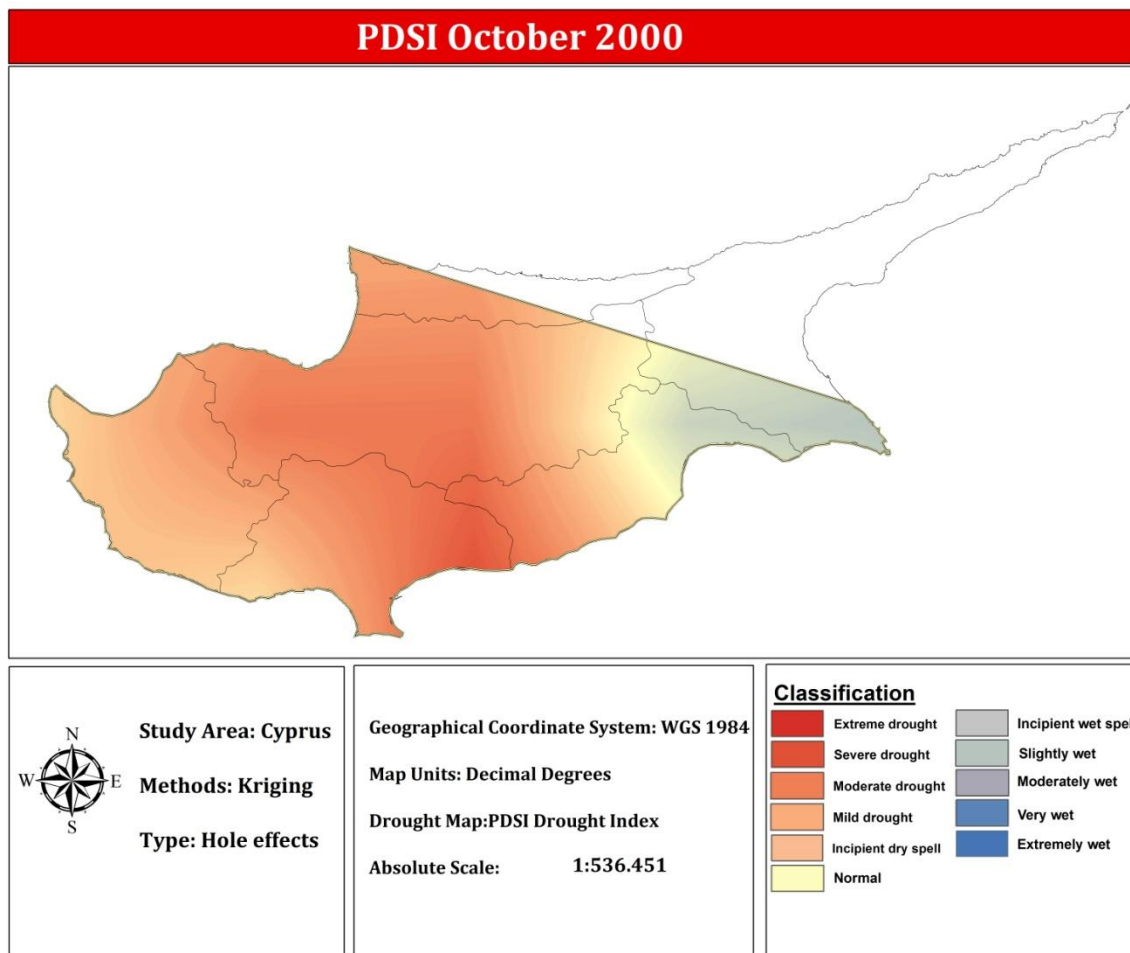
Εικόνα 19: Χάρτης PDSI για το μήνα Ιούλιο του 2000 (kriging)



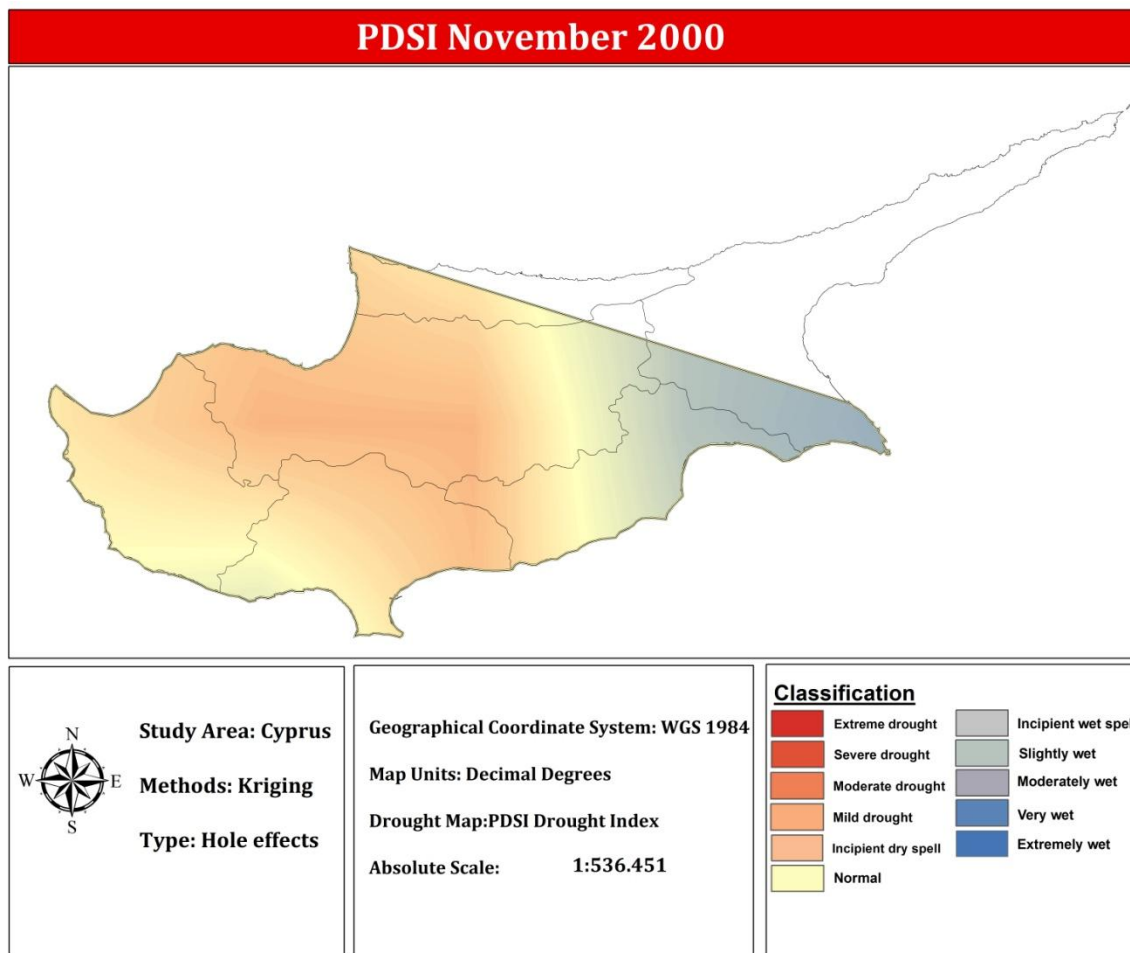
Εικόνα 20: Χάρτης PDSI για το μήνα Αύγουστο του 2000 (kriging)



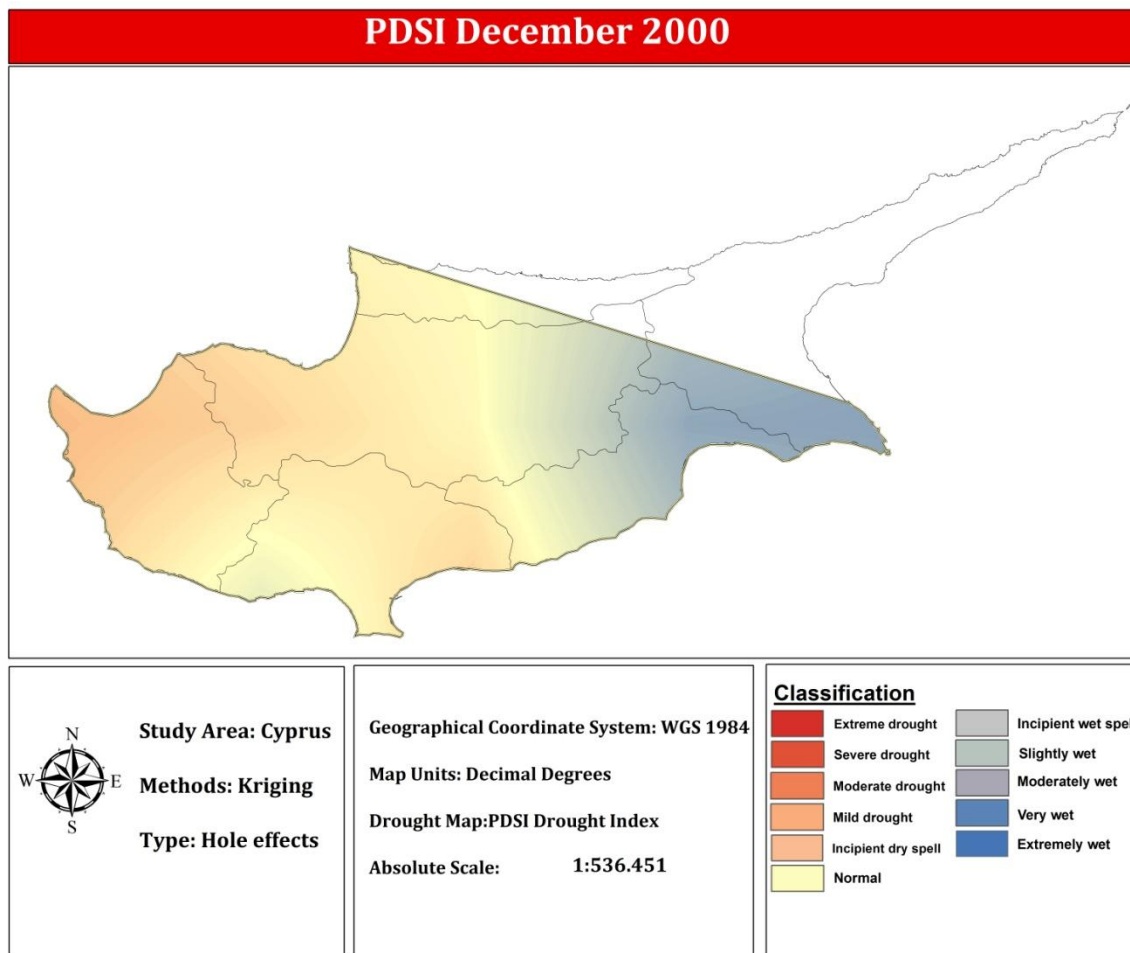
Εικόνα 21: Χάρτης PDSI για το μήνα Σεπτέμβριο του 2000 (kriging)



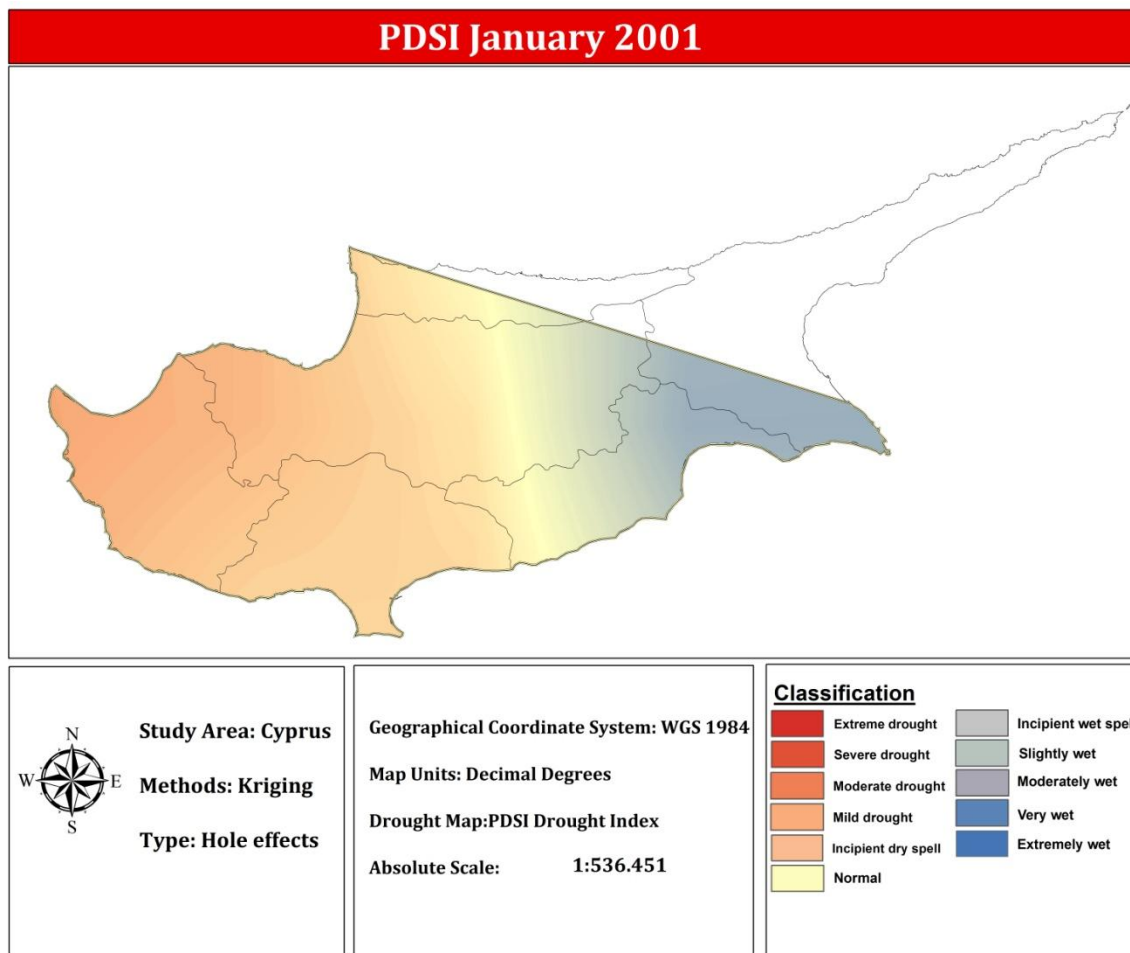
Εικόνα 22: Χάρτης PDSI για το μήνα Οκτώβριο του 2000 (kriging)



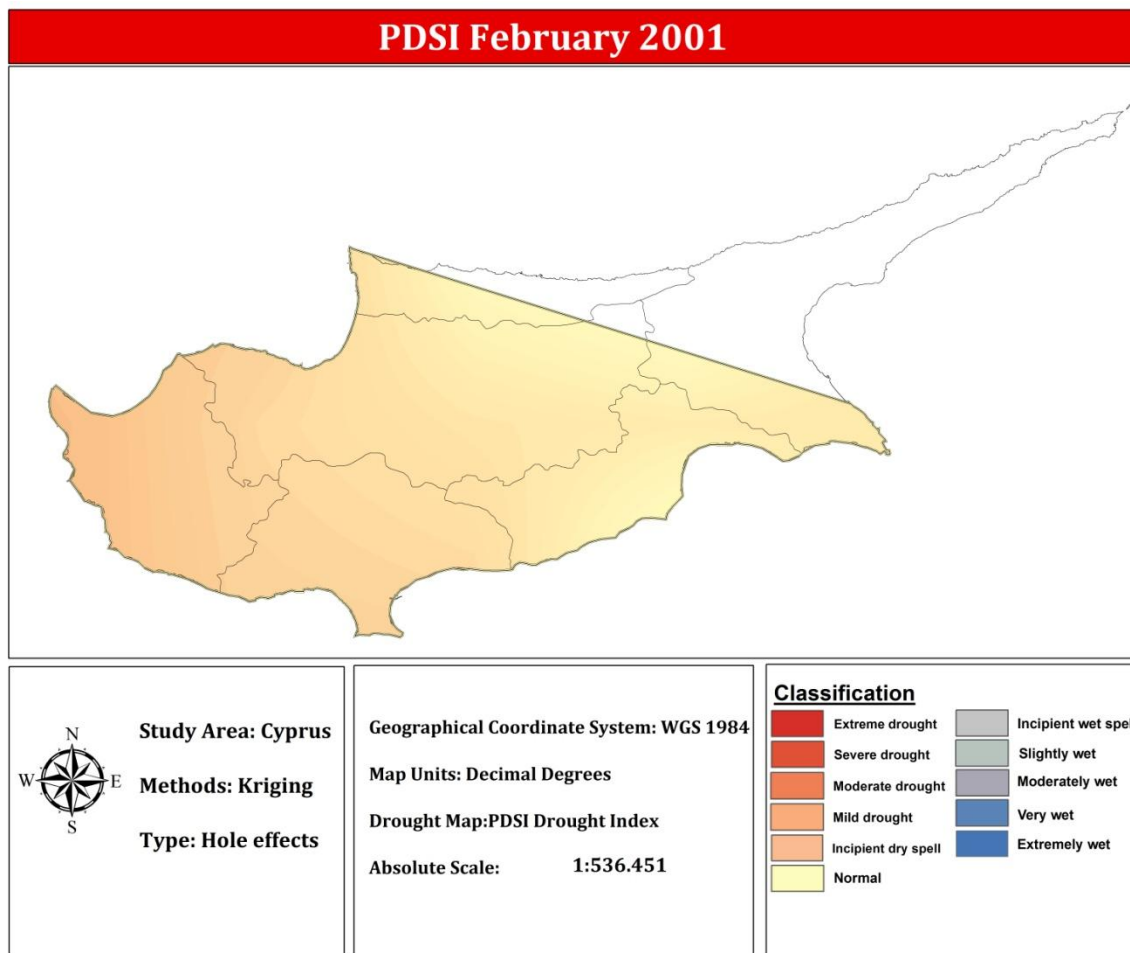
Εικόνα 23: Χάρτης PDSI για το μήνα Νοέμβριο του 2000 (kriging)



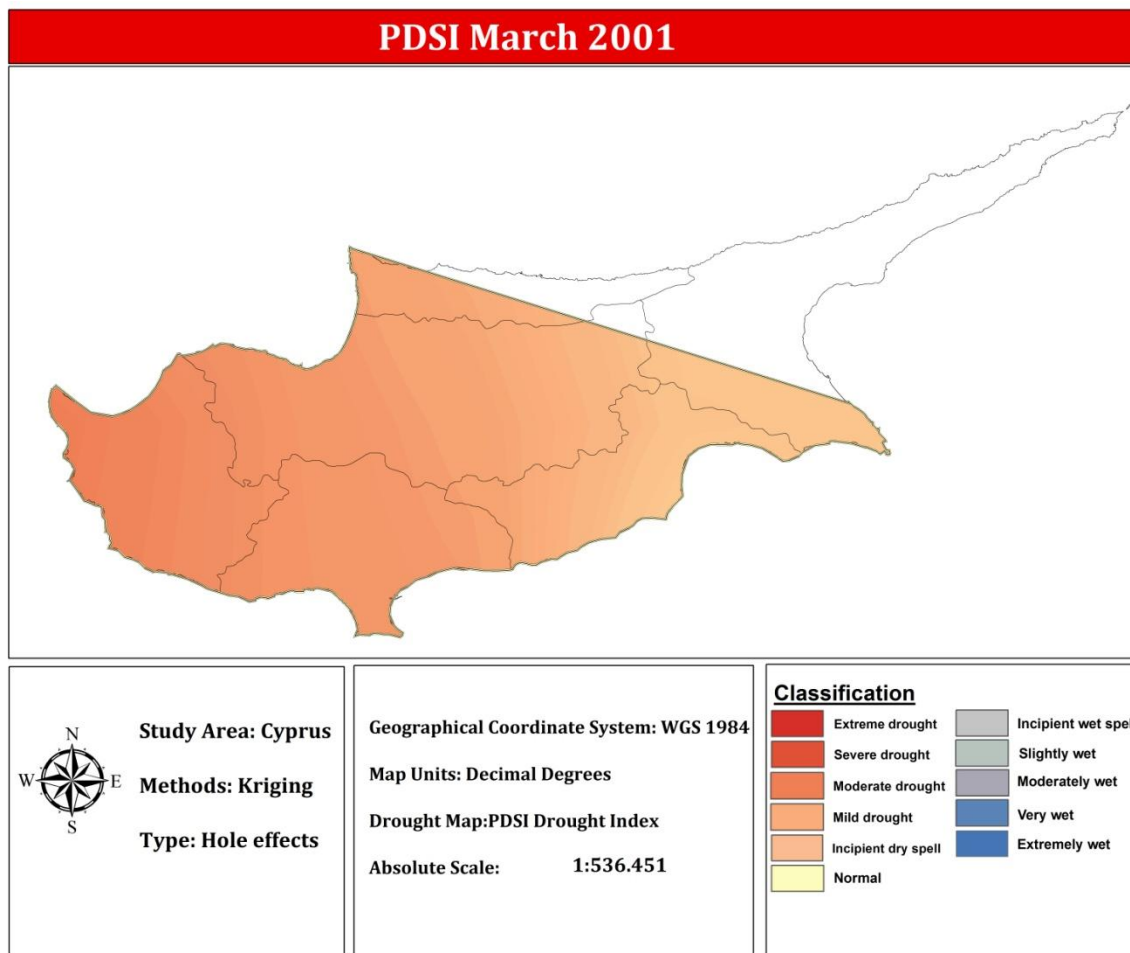
Εικόνα 24: Χάρτης PDSI για το μήνα Δεκέμβριο του 2000 (kriging)



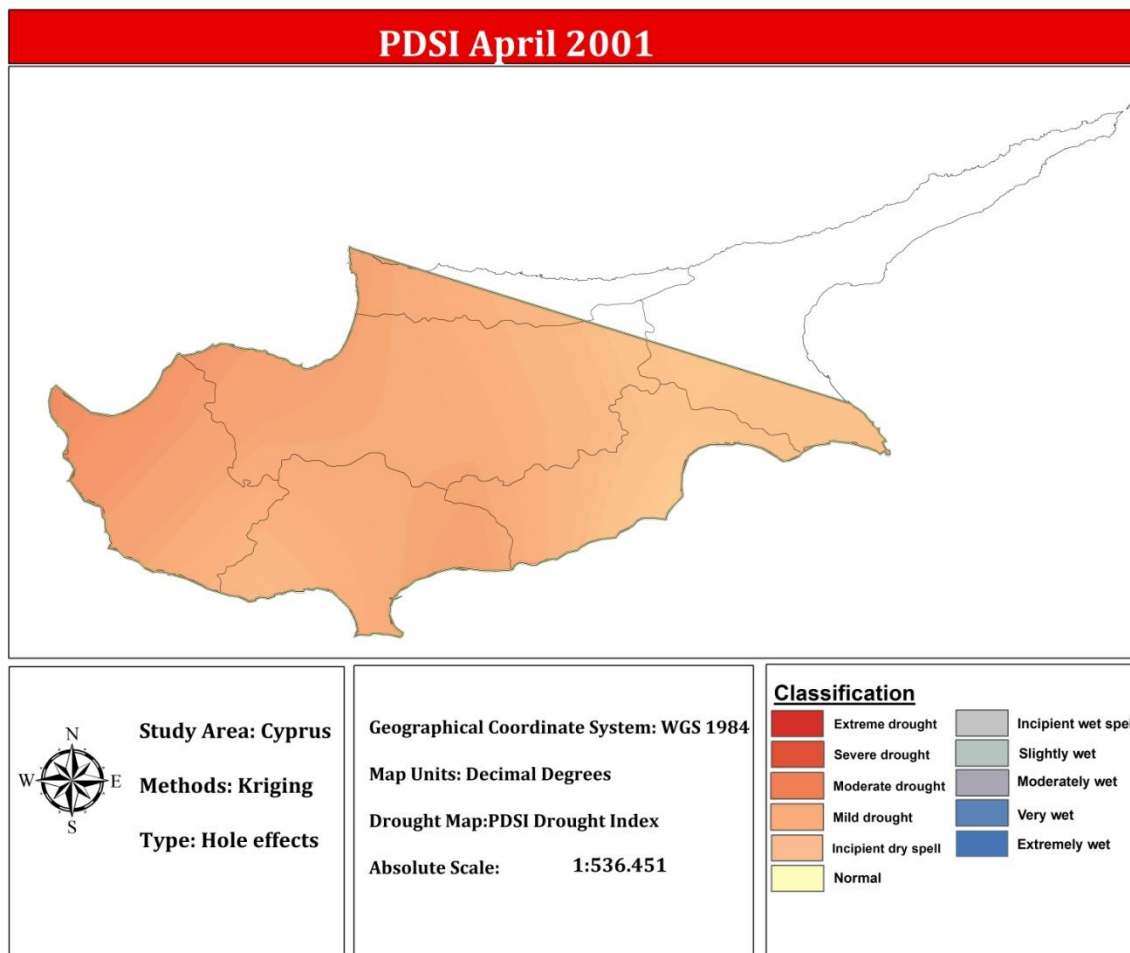
Εικόνα 25: Χάρτης PDSI για το μήνα Ιανουάριο του 2001 (kriging)



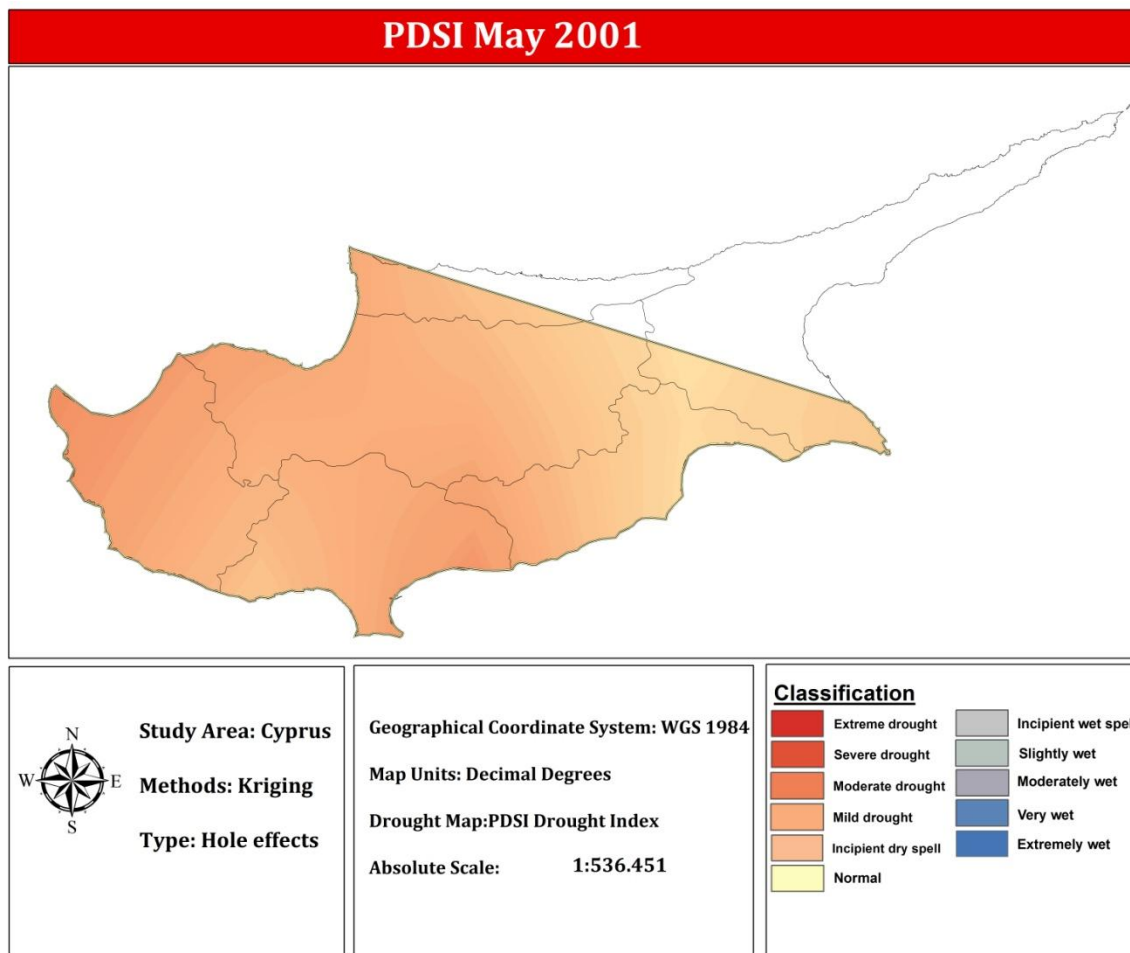
Εικόνα 26: Χάρτης PDSI για το μήνα Φεβρουάριο του 2001 (kriging)



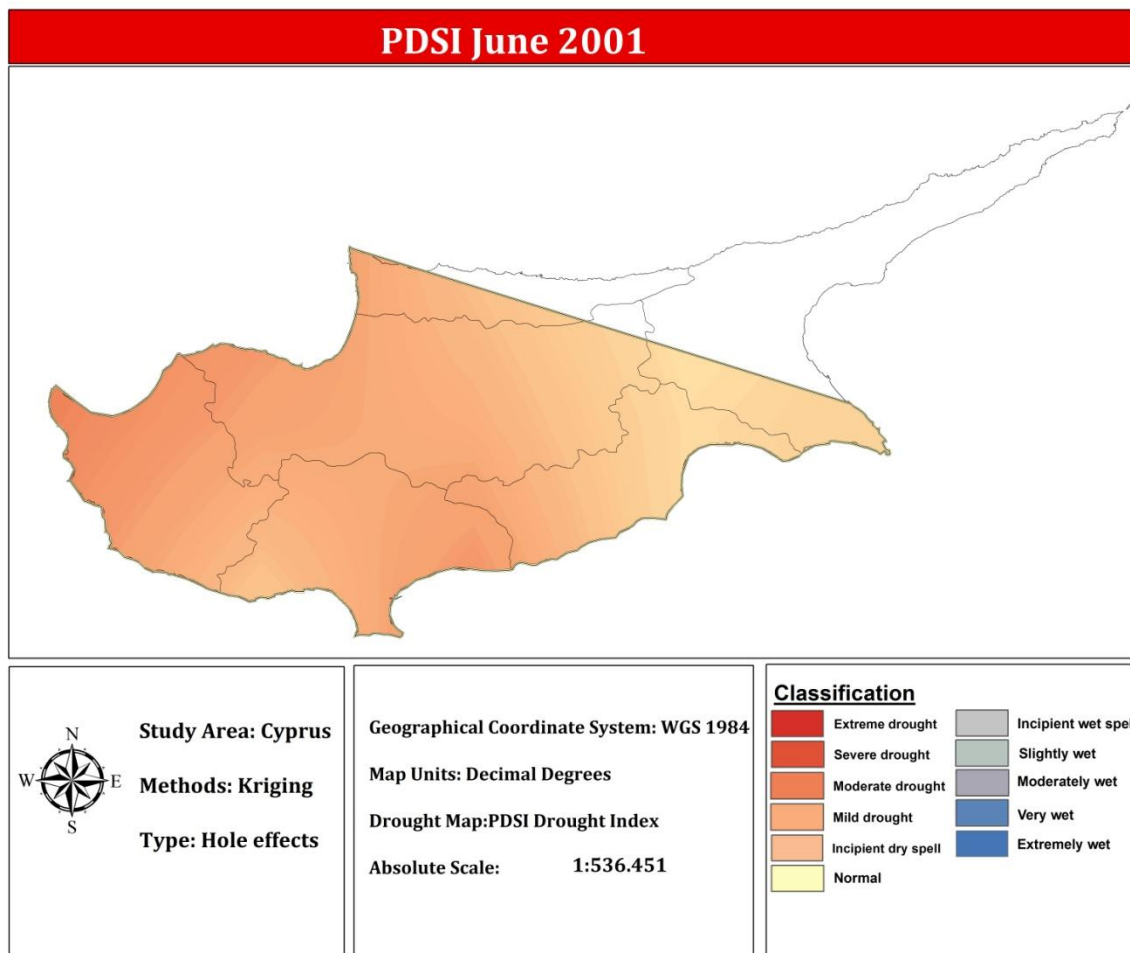
Εικόνα 27: Χάρτης PDSI για το μήνα Μάρτιο του 2001 (kriging)



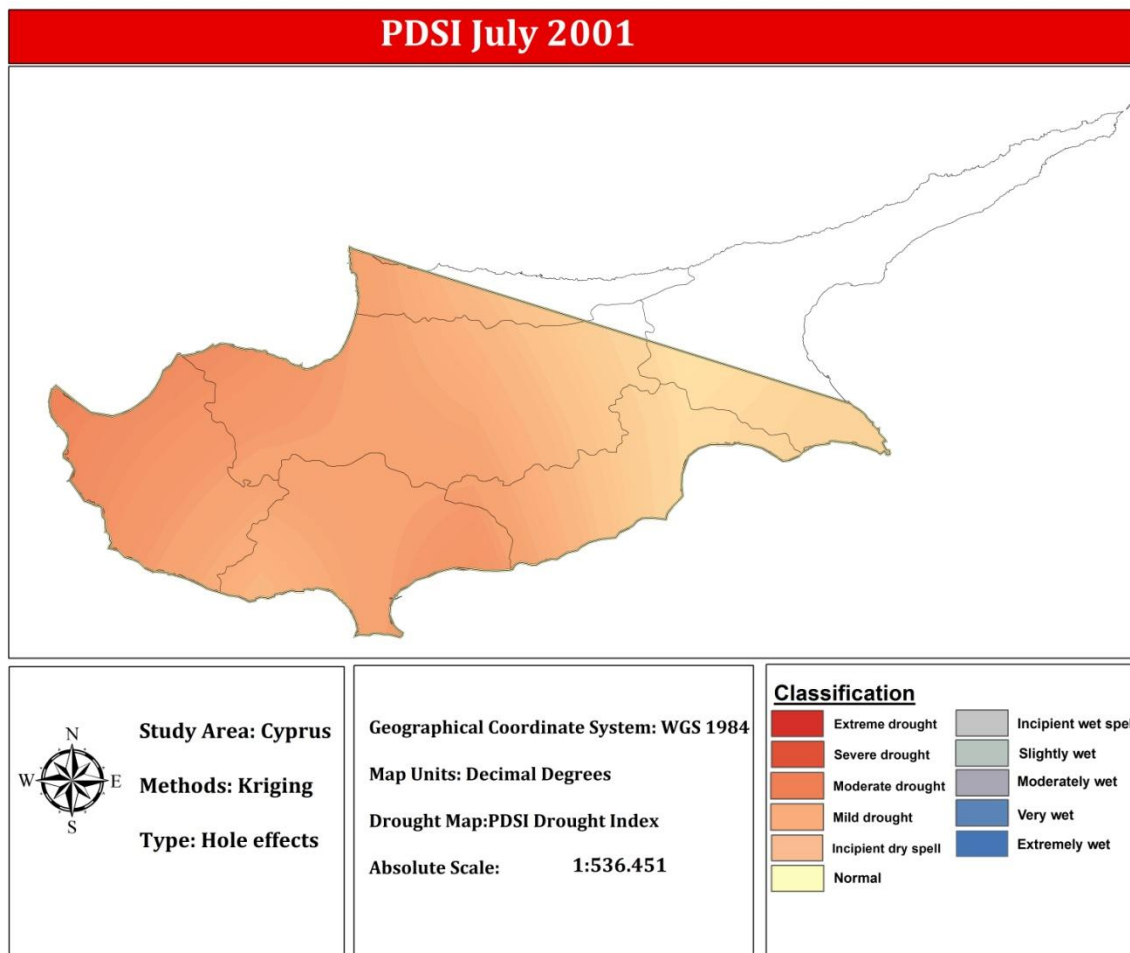
Εικόνα 28: Χάρτης PDSI για το μήνα Απρίλιο του 2001 (kriging)



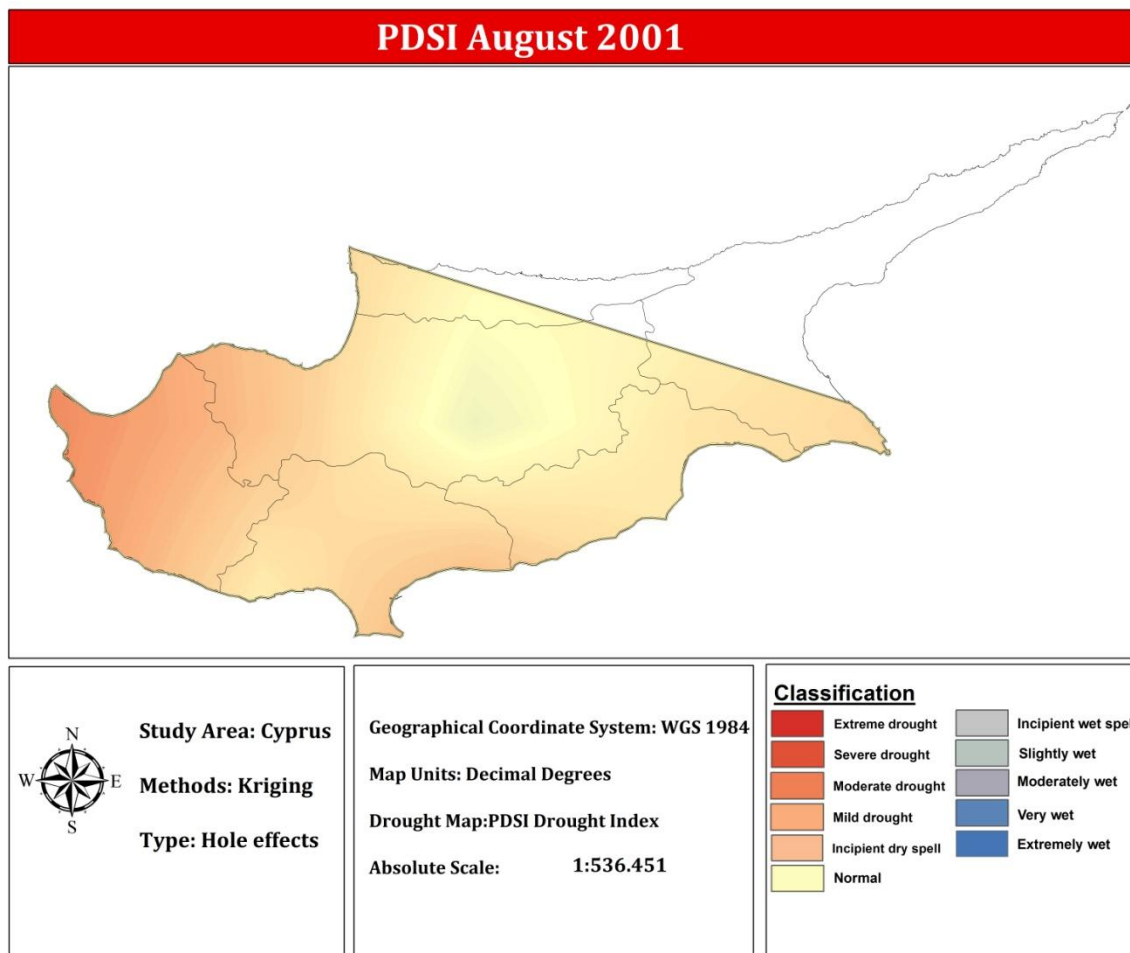
Εικόνα 29: Χάρτης PDSI για το μήνα Μάιο του 2001 (kriging)



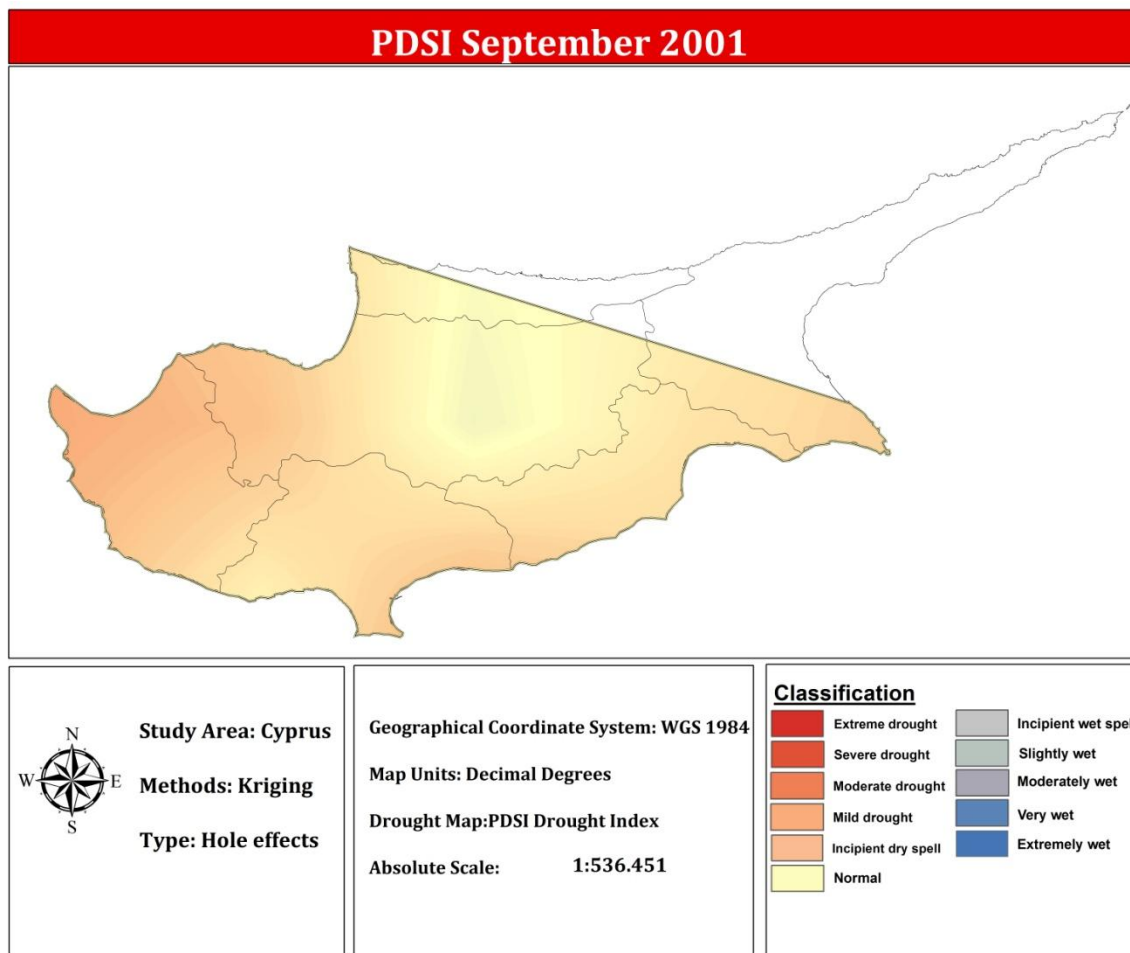
Εικόνα 30: Χάρτης PDSI για το μήνα Ιούνιο του 2001 (kriging)



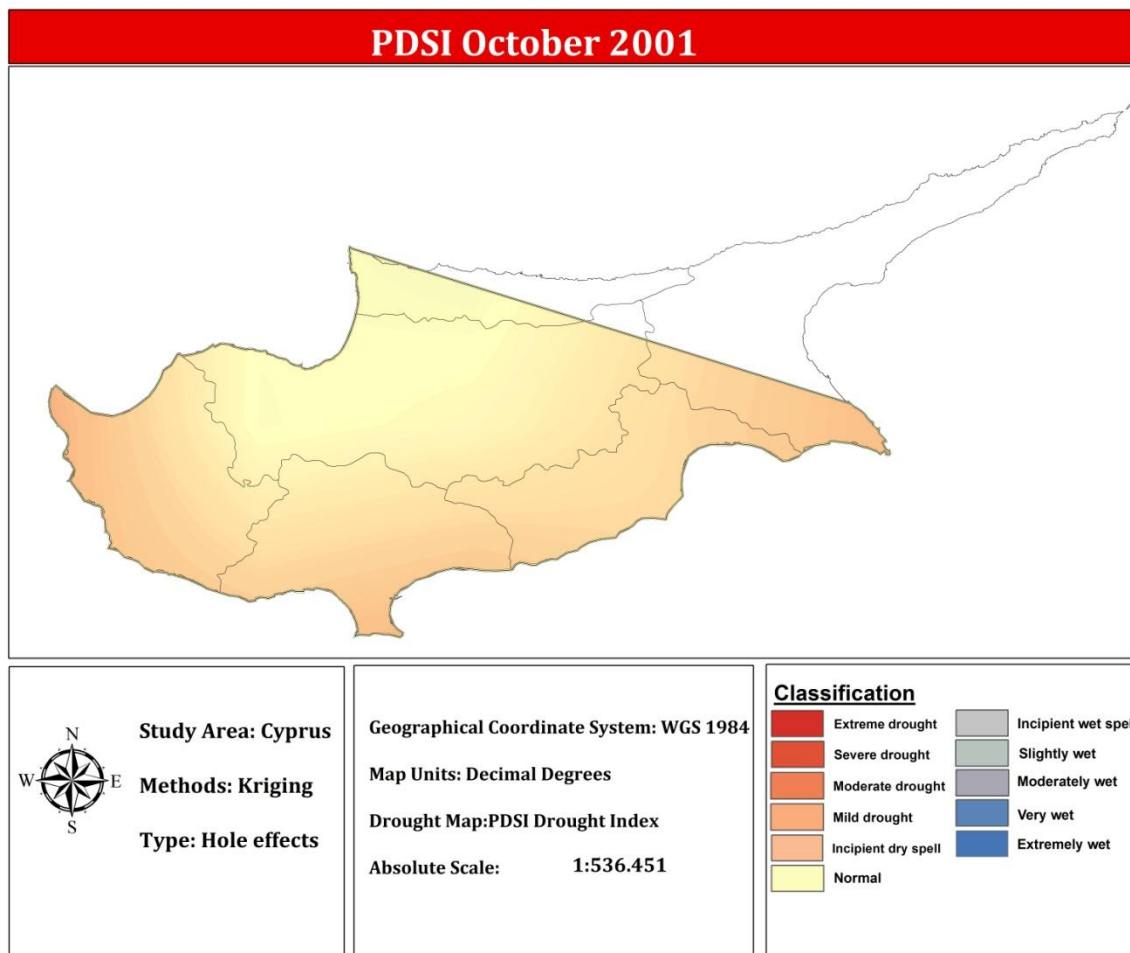
Εικόνα 31: Χάρτης PDSI για το μήνα Ιούλιο του 2001 (kriging)



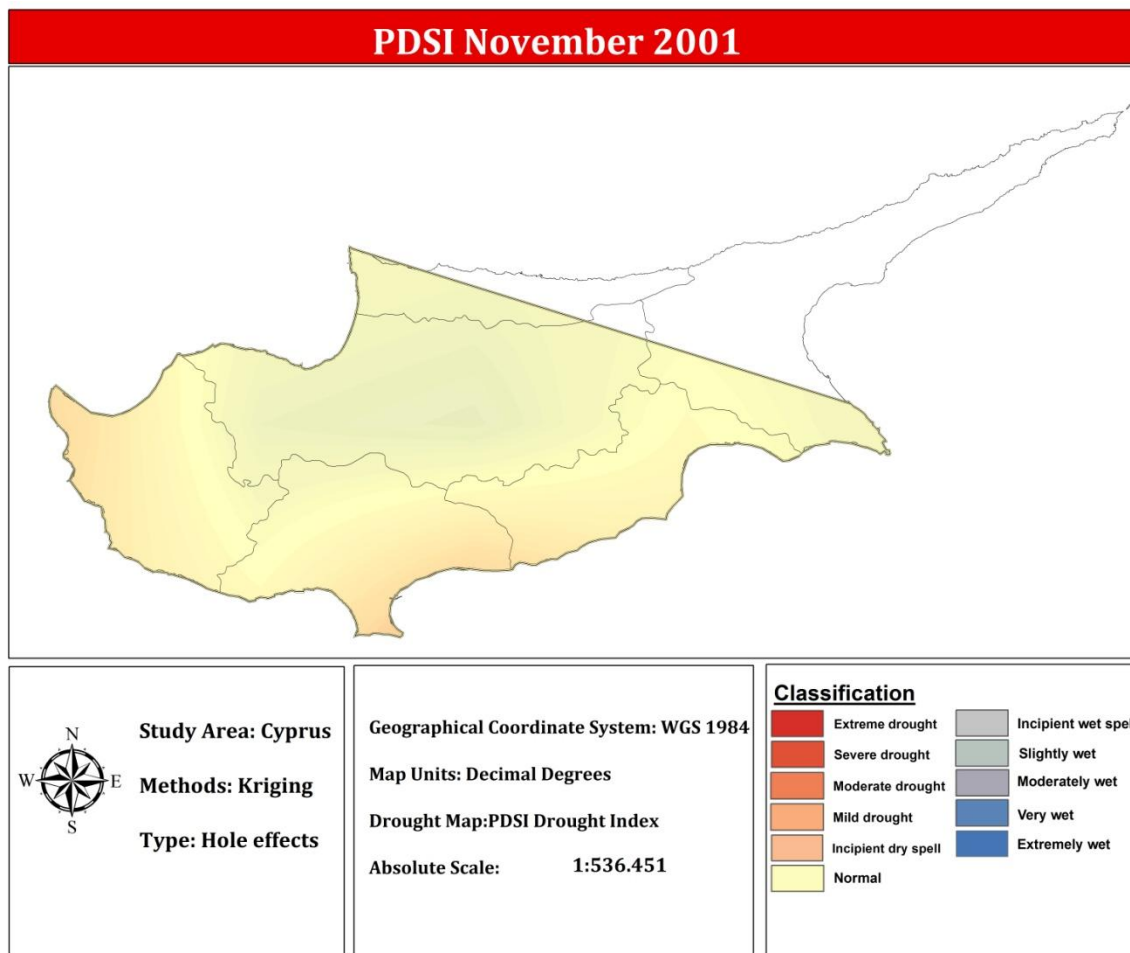
Εικόνα 32: Χάρτης PDSI για το μήνα Αύγουστο του 2001 (kriging)



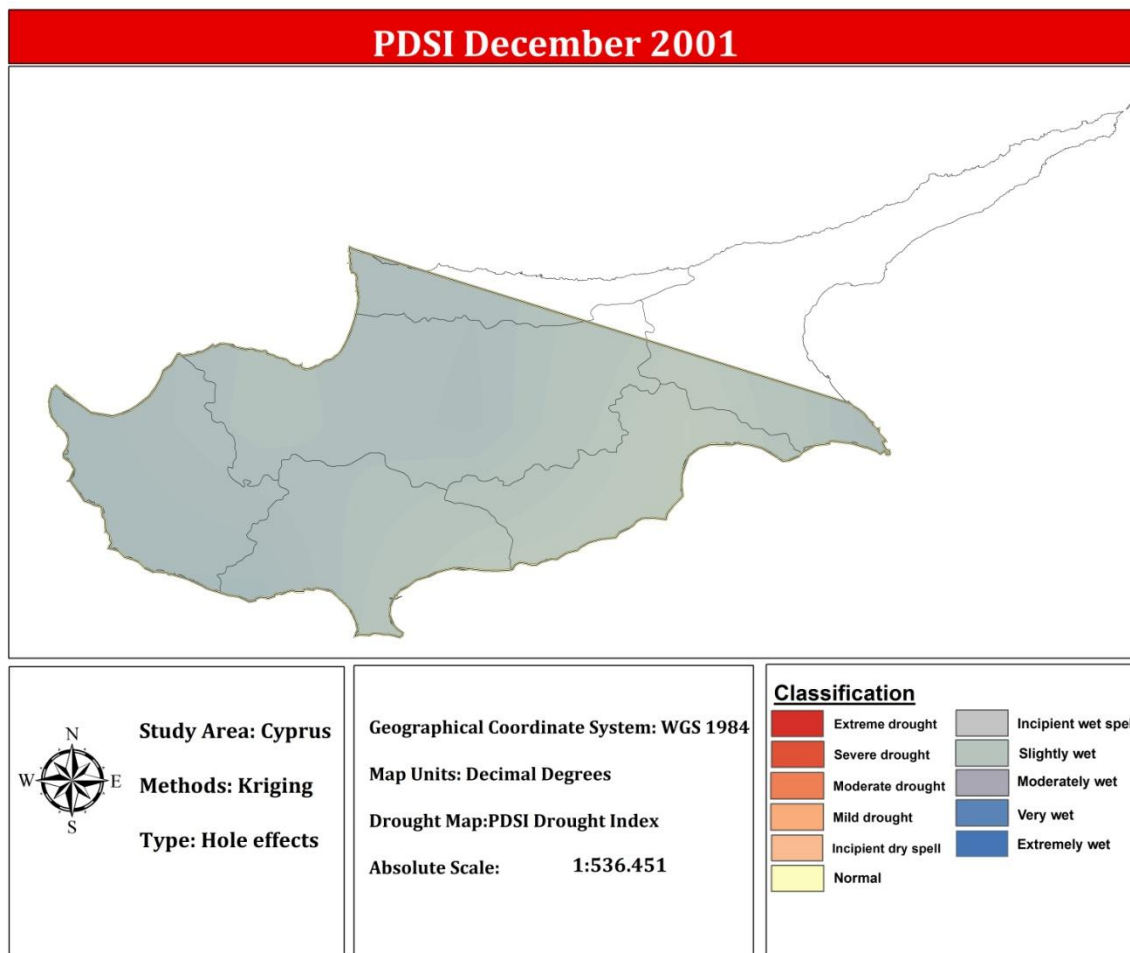
Εικόνα 33: Χάρτης PDSI για το μήνα Σεπτέμβριο του 2001 (kriging)



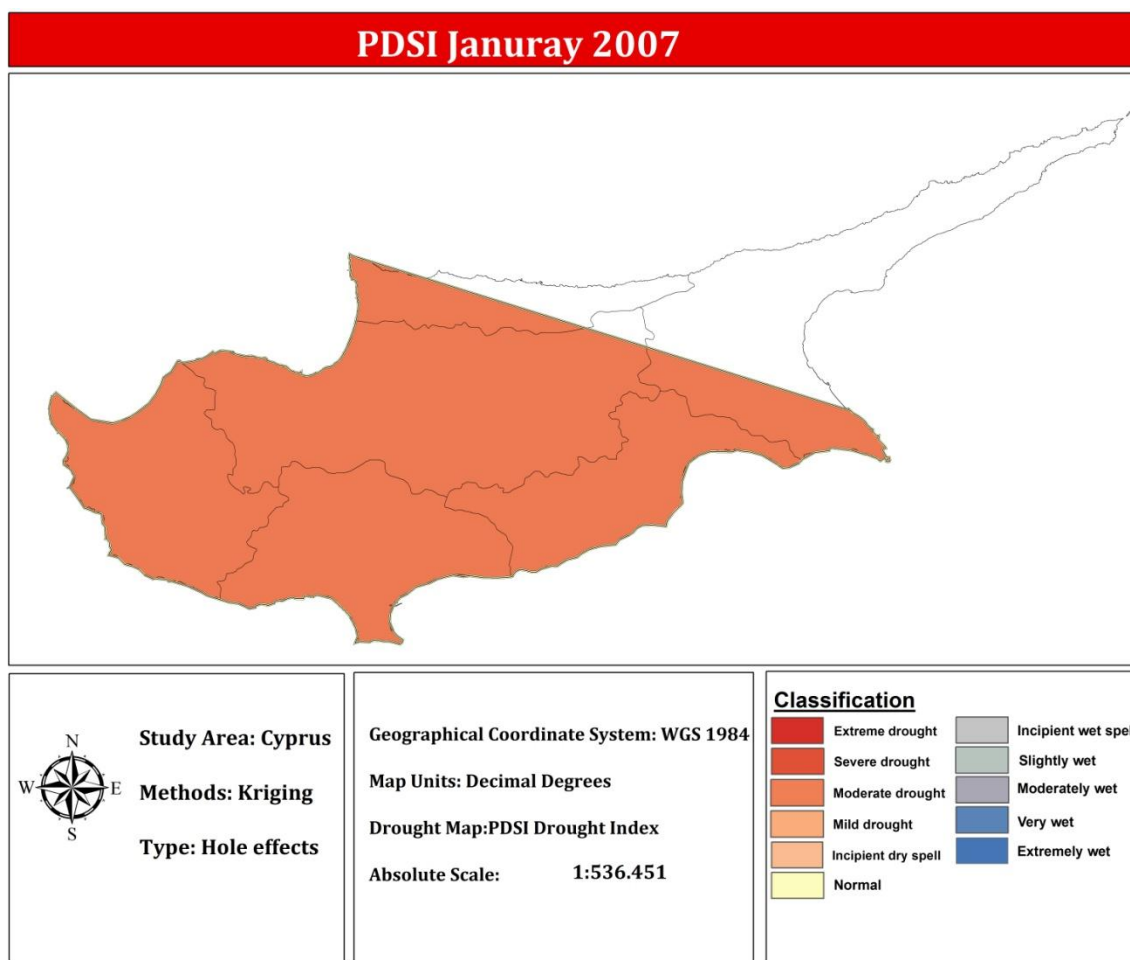
Εικόνα 34: Χάρτης PDSI για το μήνα Οκτώβριο του 2001 (kriging)



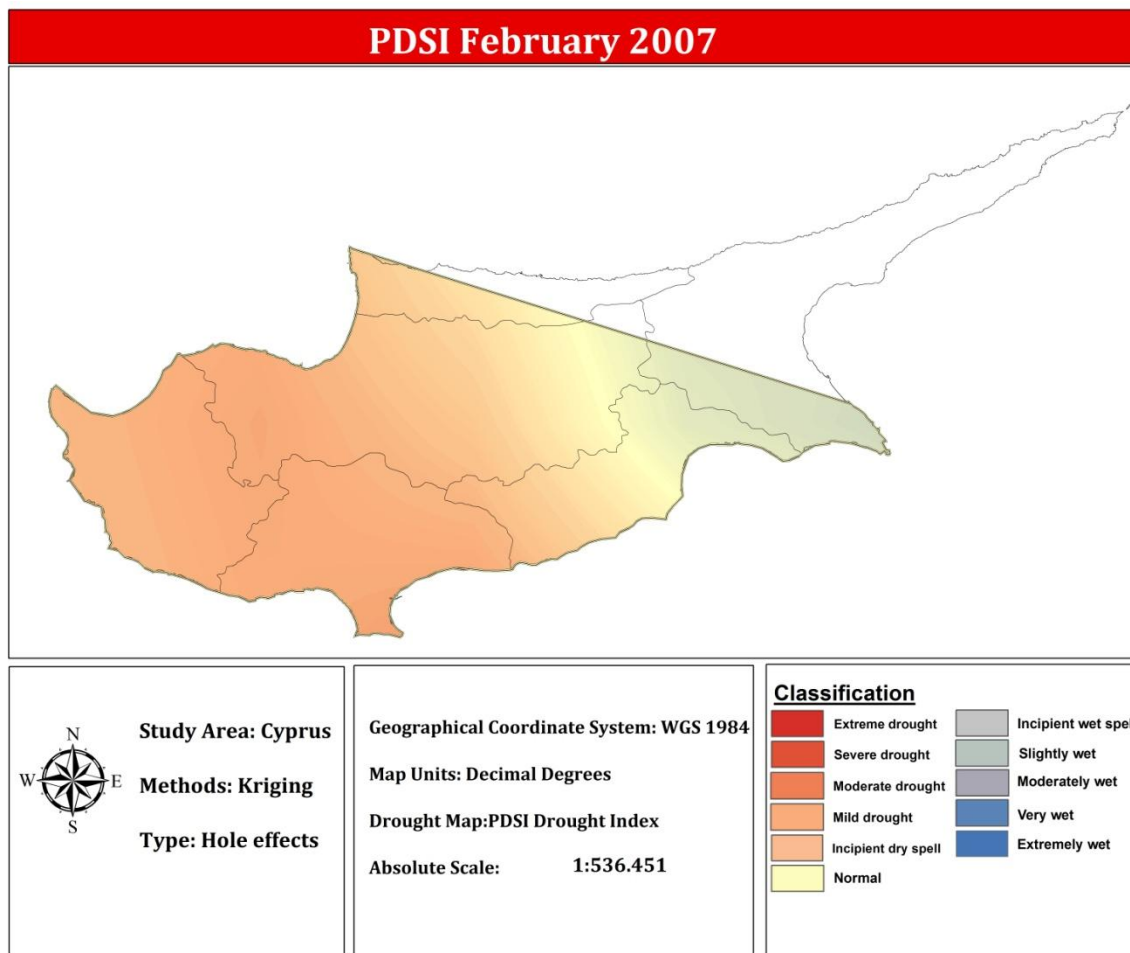
Εικόνα 35: Χάρτης PDSI για το μήνα Νοέμβριο του 2001 (kriging)



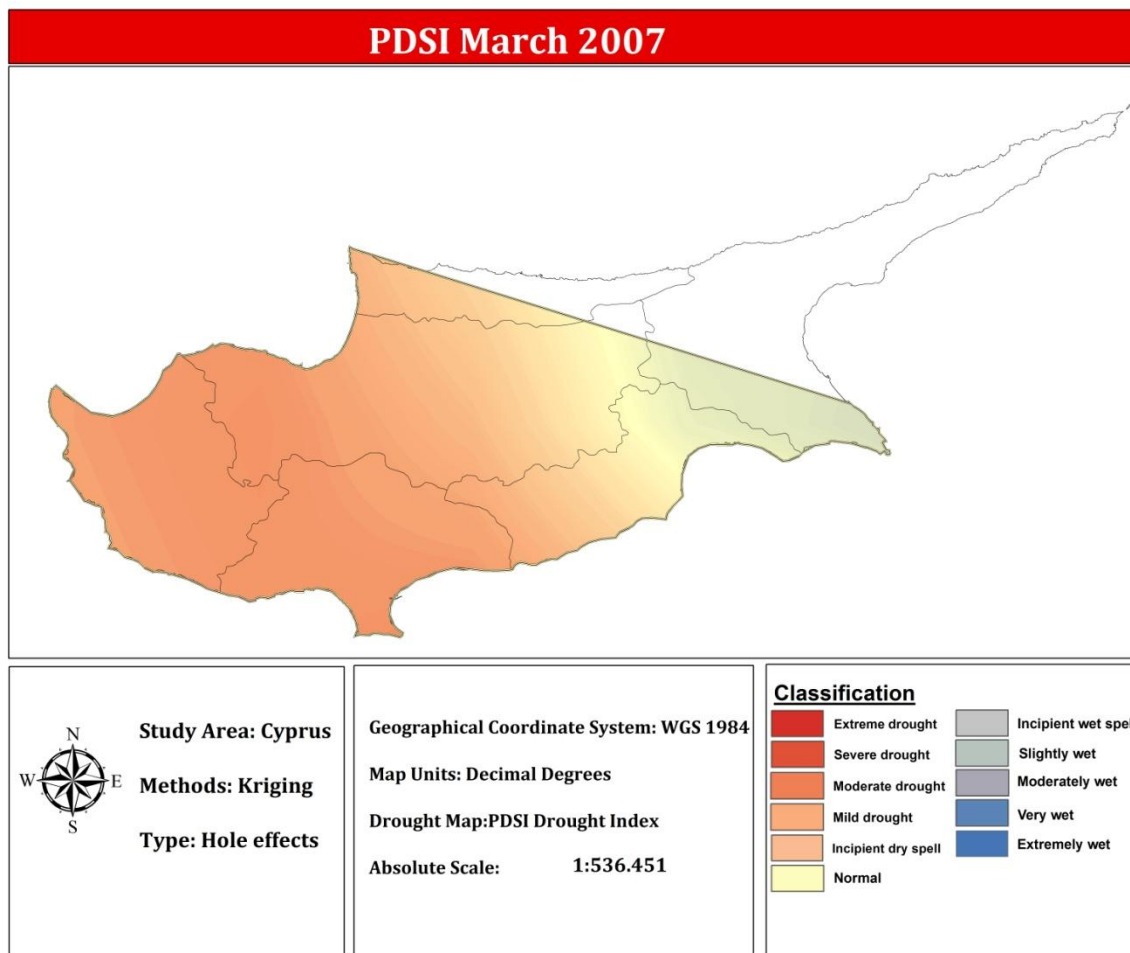
Εικόνα 36: Χάρτης PDSI για το μήνα Δεκέμβριο του 2001 (kriging)



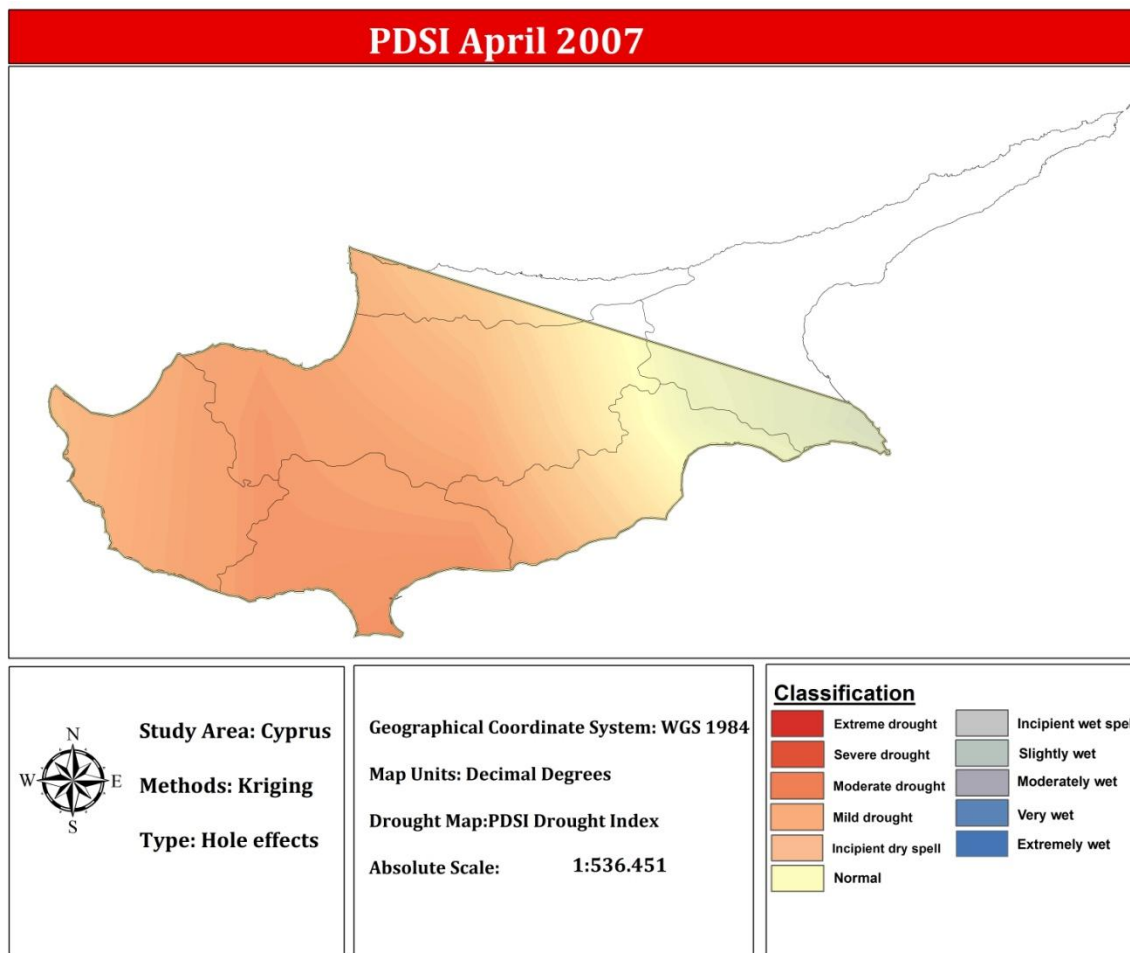
Εικόνα 37: Χάρτης PDSI για το μήνα Ιανουάριο του 2007 (kriging)



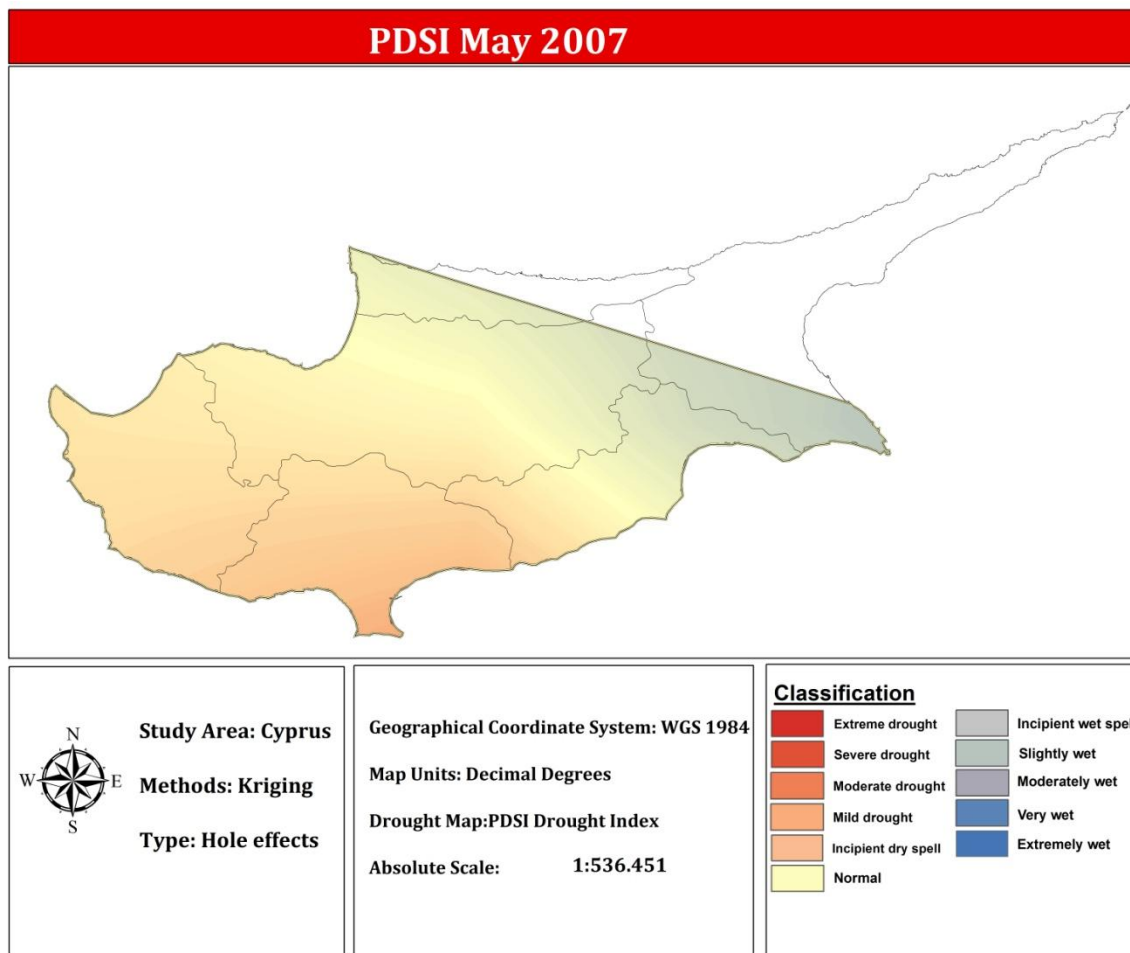
Εικόνα 38: Χάρτης PDSI για το μήνα Φεβρουάριο του 2007 (kriging)



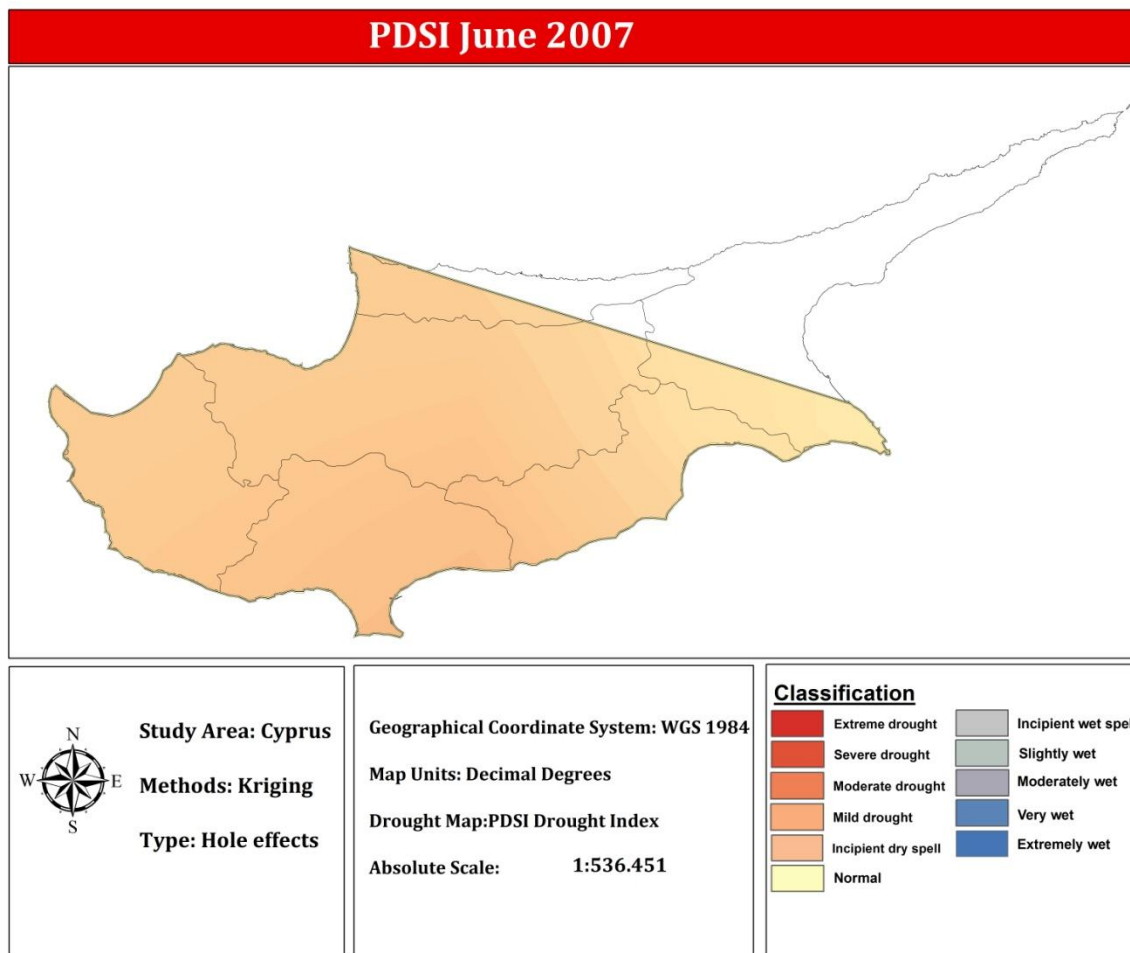
Εικόνα 39: Χάρτης PDSI για το μήνα Μάρτιο του 2007 (kriging)



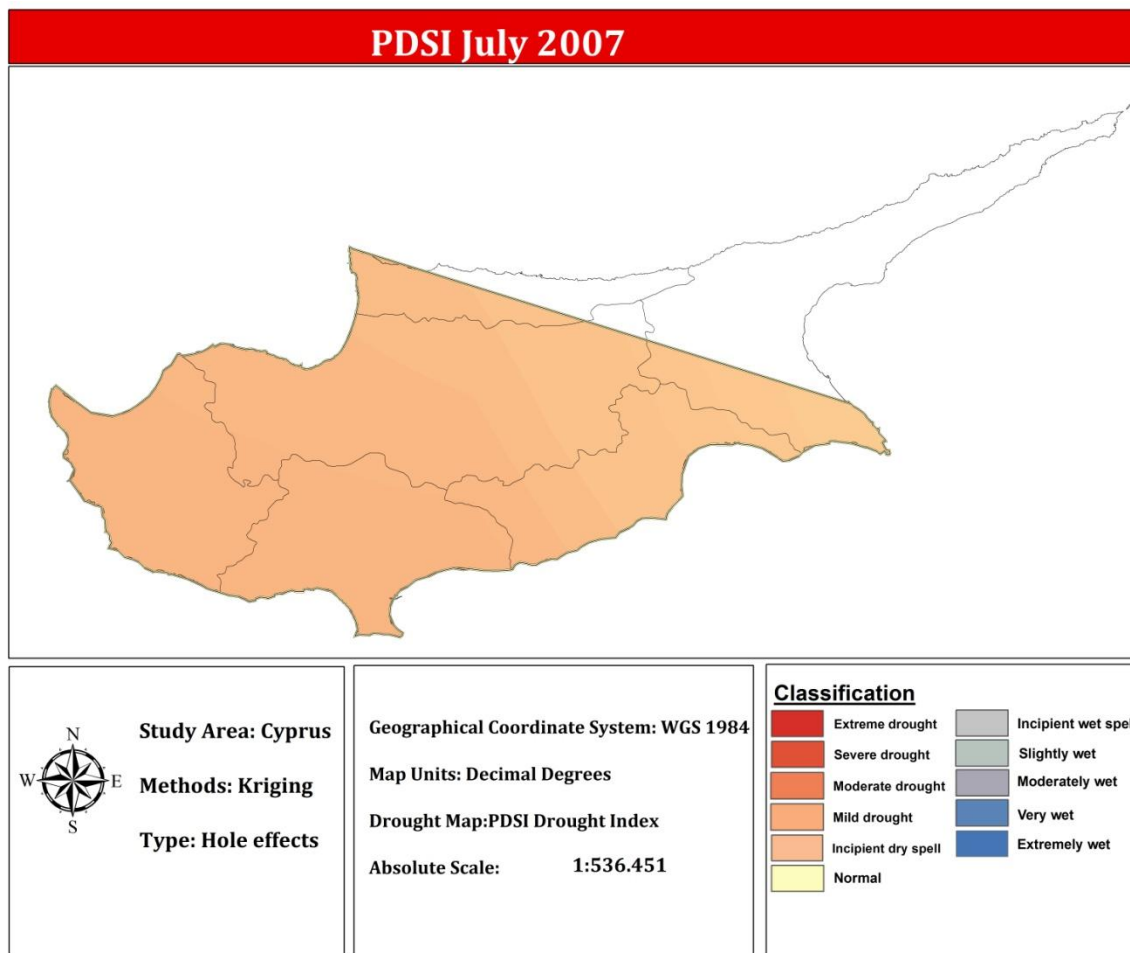
Εικόνα 40: Χάρτης PDSI για το μήνα Απρίλιο του 2007 (kriging)



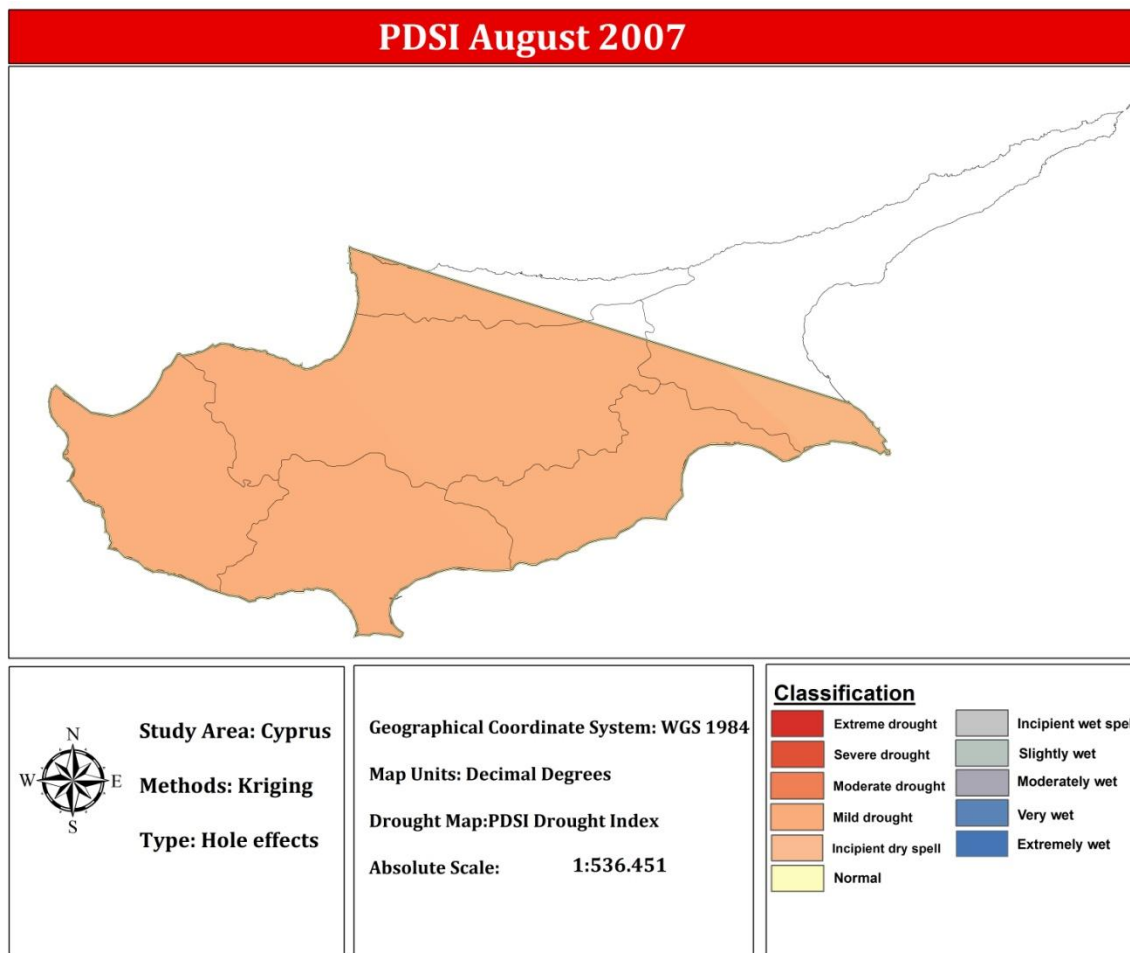
Εικόνα 41: Χάρτης PDSI για το μήνα Μάιο του 2007 (kriging)



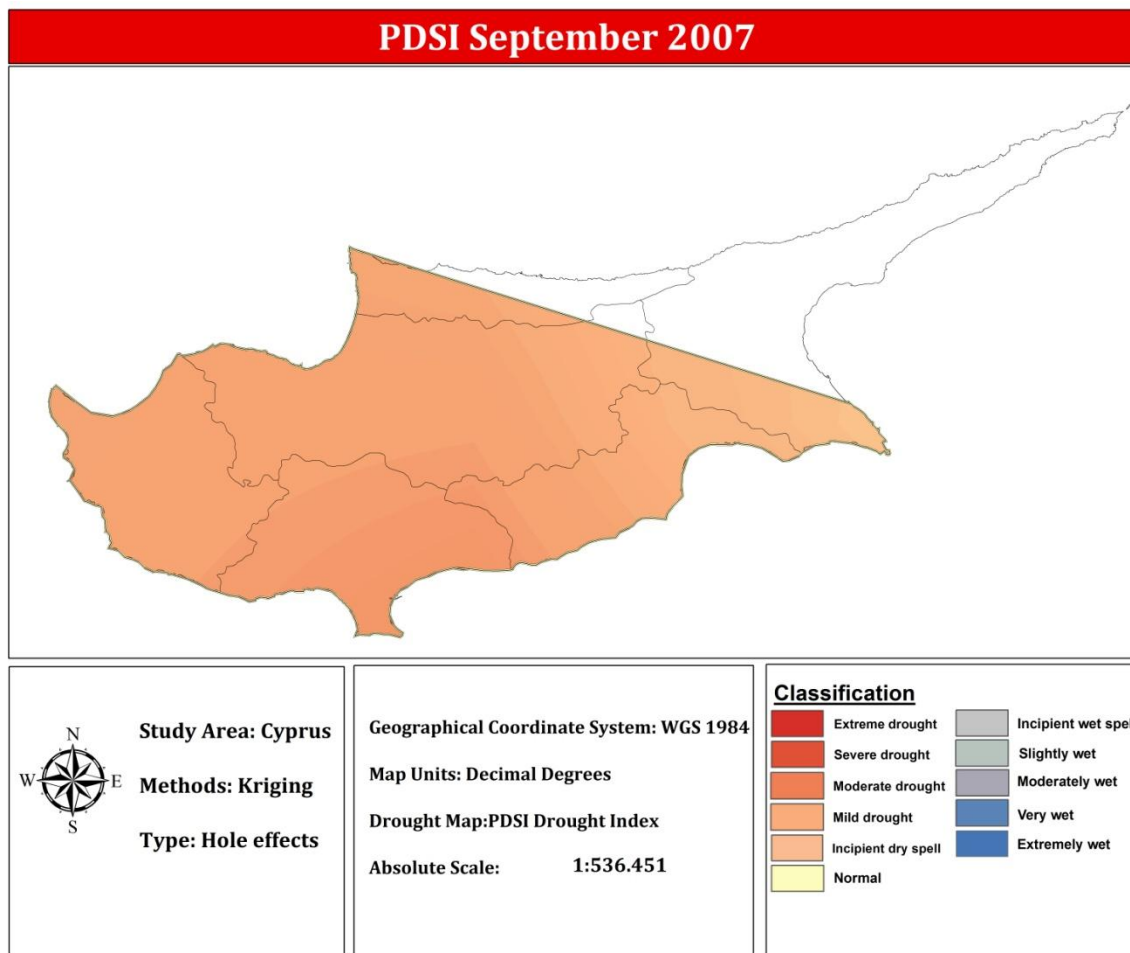
Εικόνα 42: Χάρτης PDSI για το μήνα Ιούνιο του 2007 (kriging)



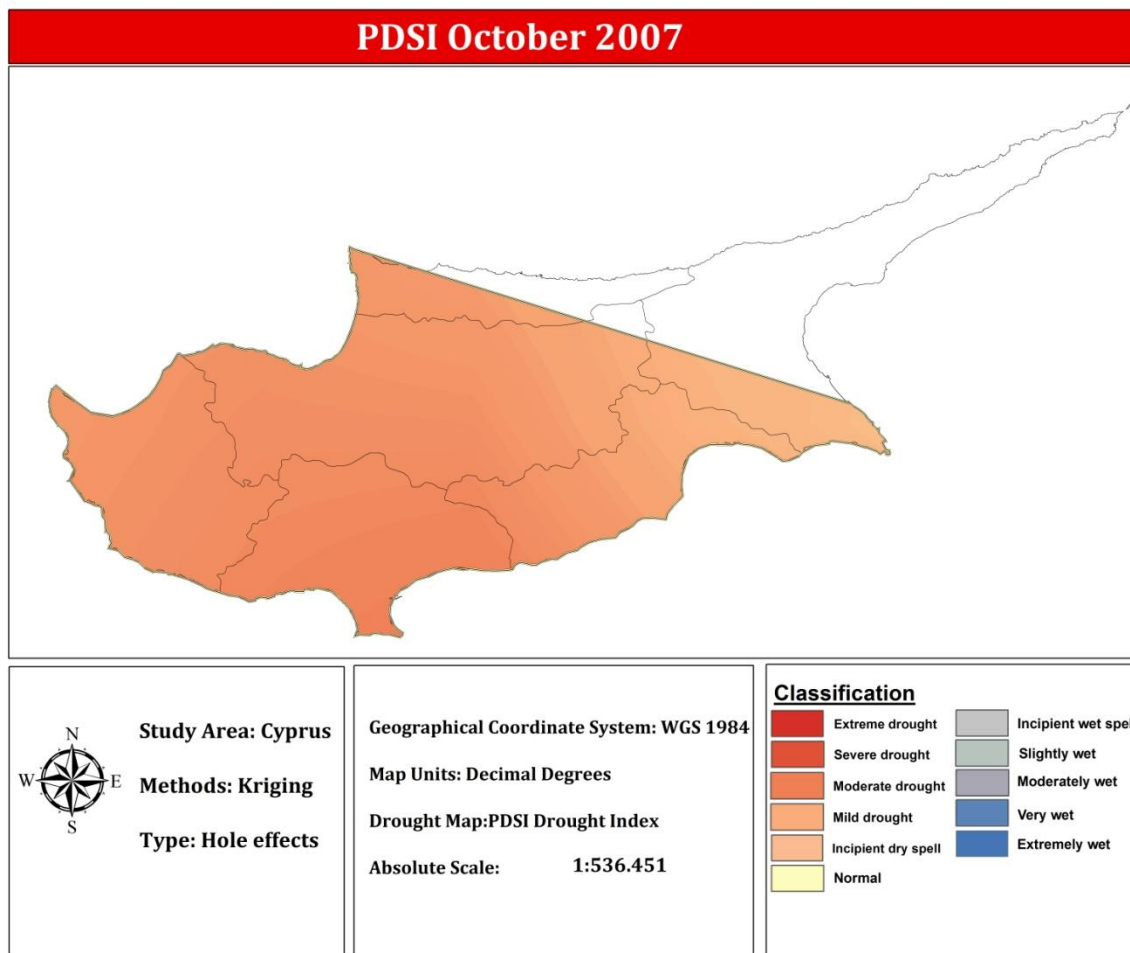
Εικόνα 43: Χάρτης PDSI για το μήνα Ιούλιο του 2007 (kriging)



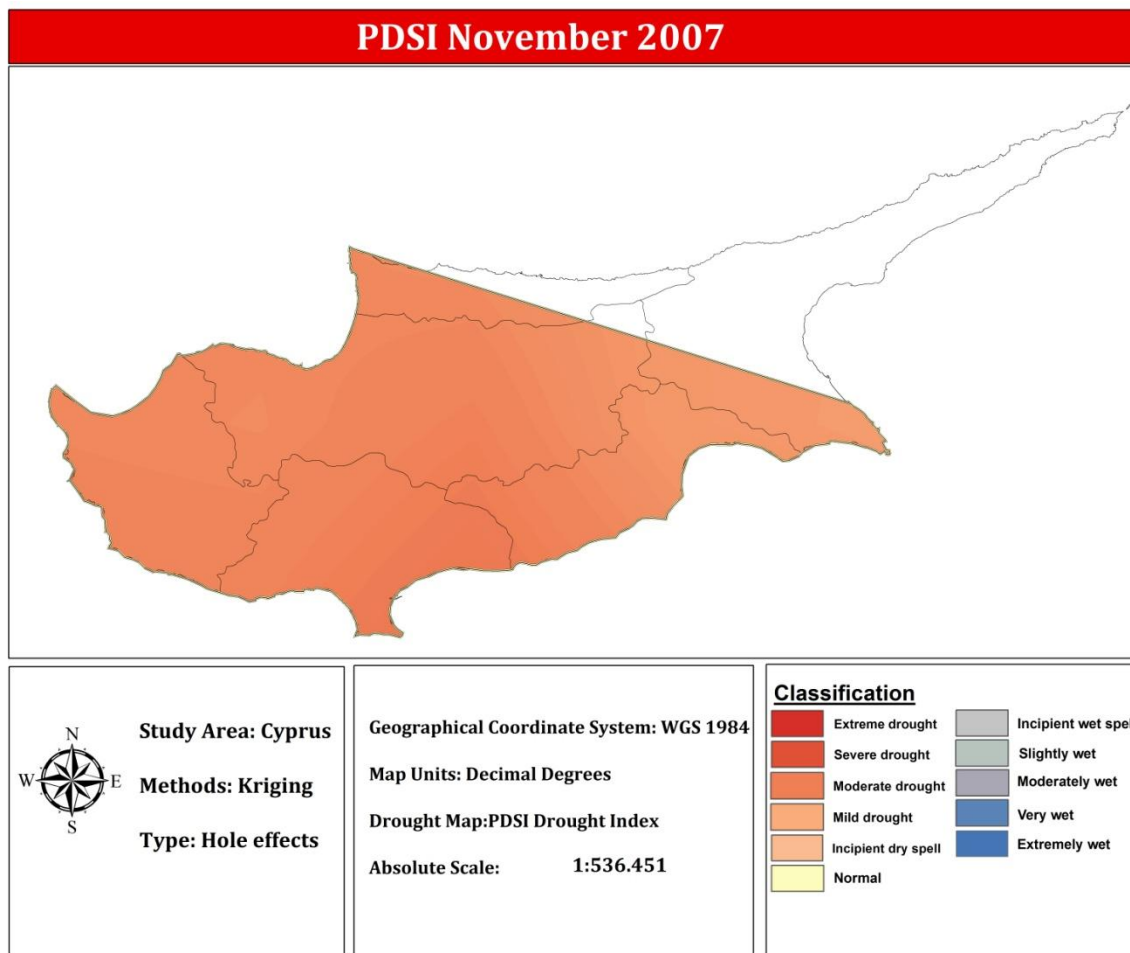
Εικόνα 44: Χάρτης PDSI για το μήνα Αύγουστο του 2007 (kriging)



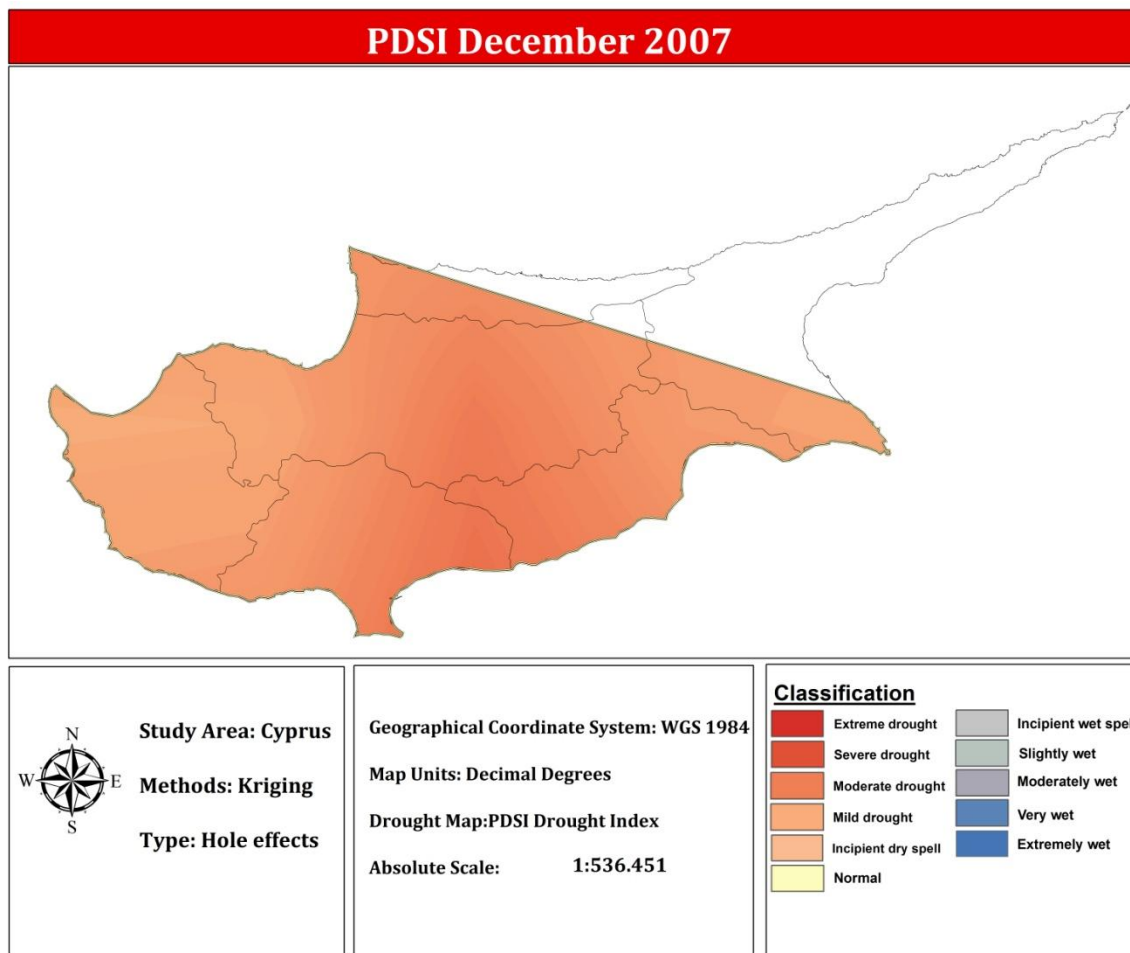
Εικόνα 45: Χάρτης PDSI για το μήνα Σεπτέμβριο του 2007 (kriging)



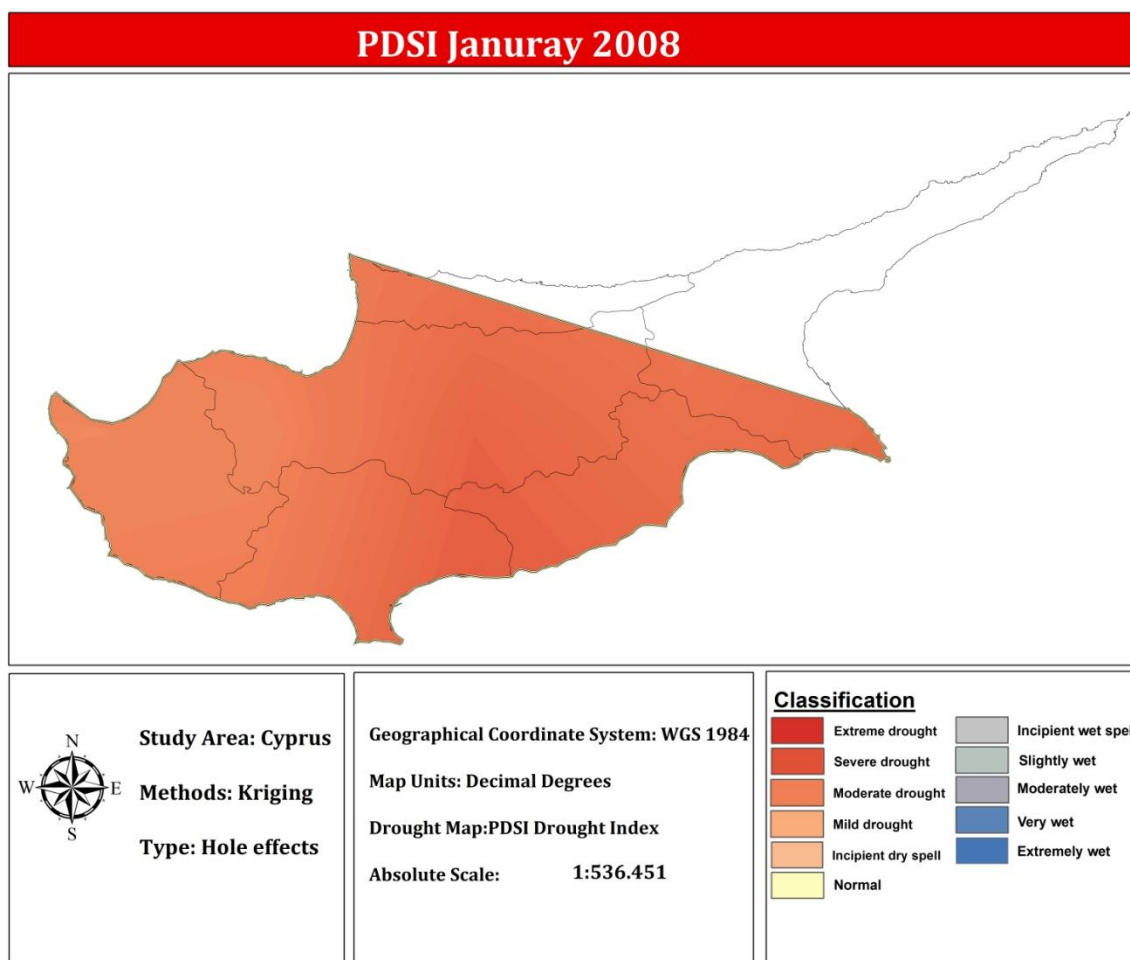
Εικόνα 46: Χάρτης PDSI για το μήνα Οκτώβριο του 2007 (kriging)



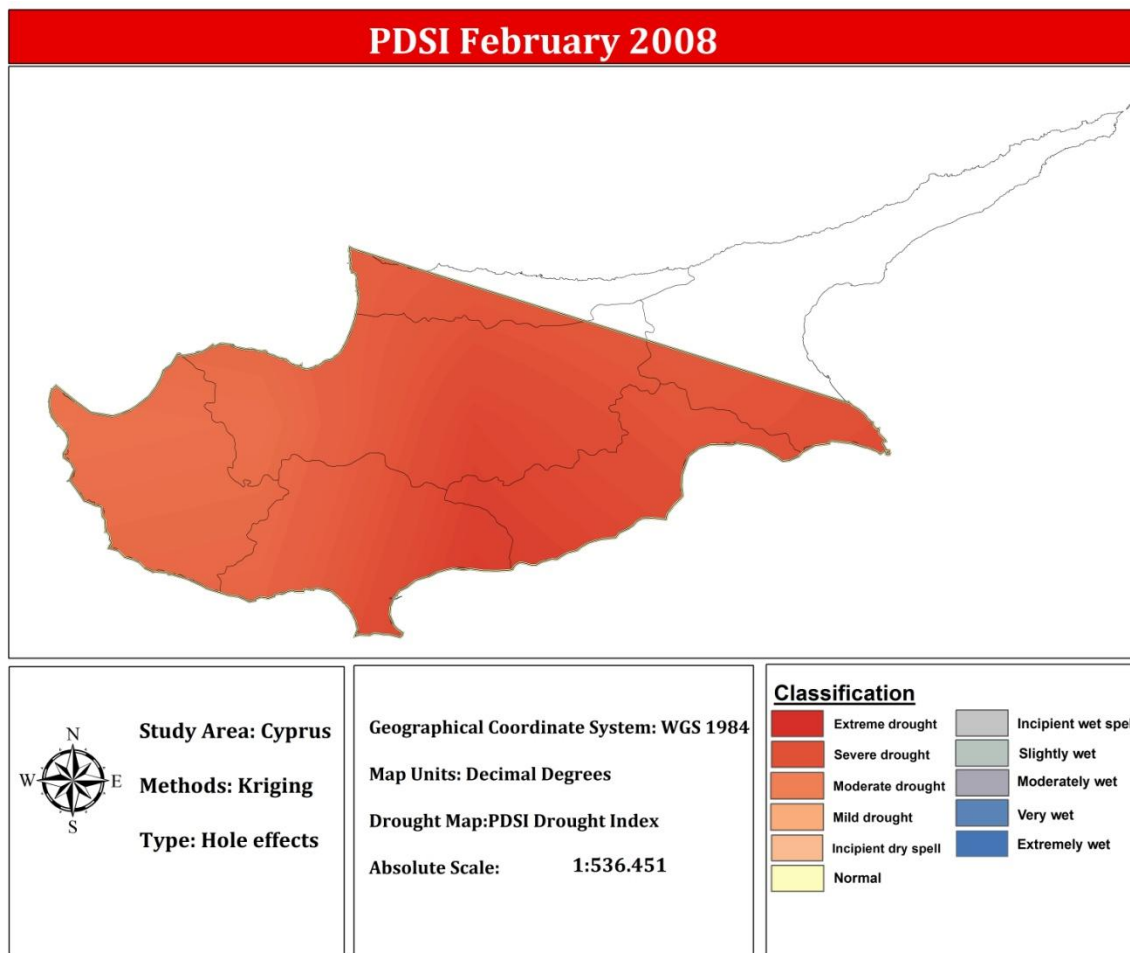
Εικόνα 47: Χάρτης PDSI για το μήνα Νοέμβριο του 2007 (kriging)



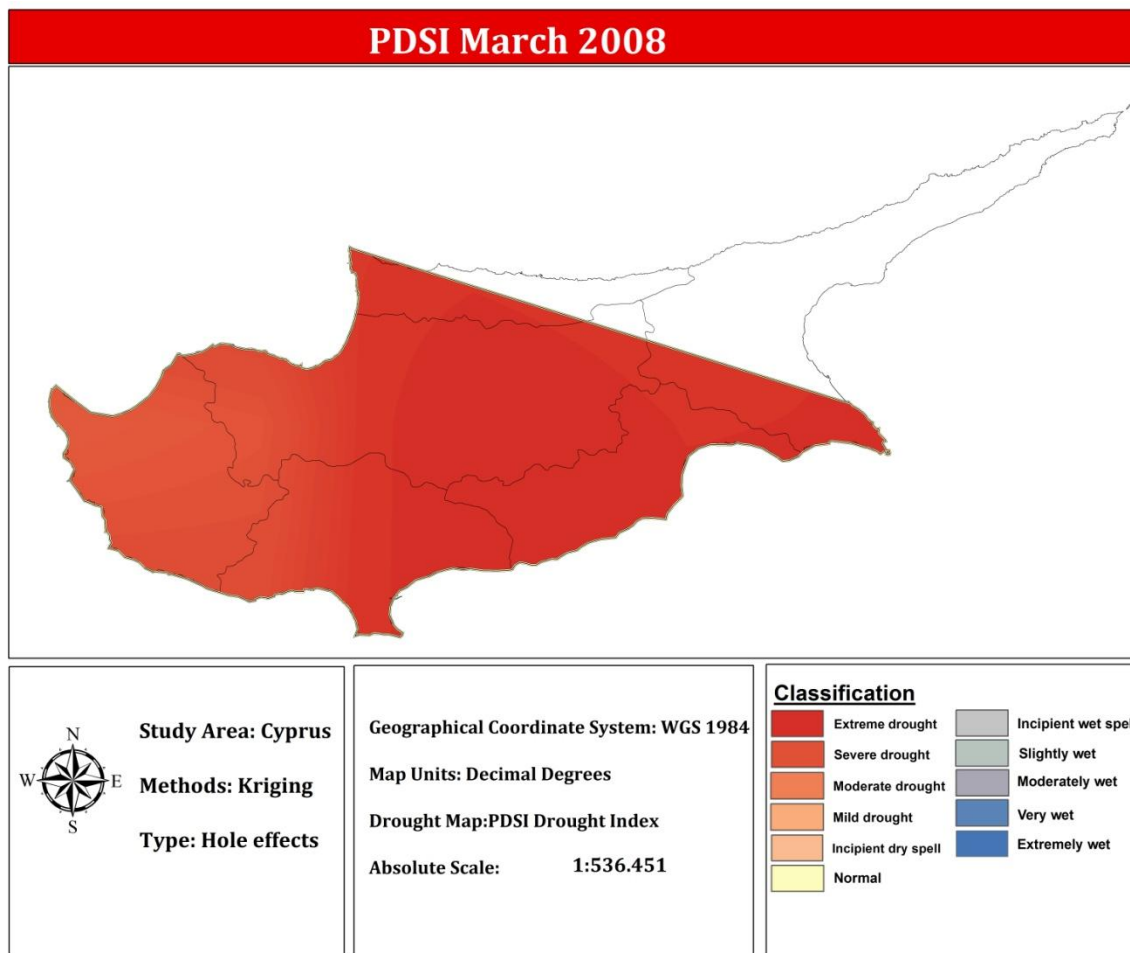
Εικόνα 48: Χάρτης PDSI για το μήνα Δεκέμβριο του 2007 (kriging)



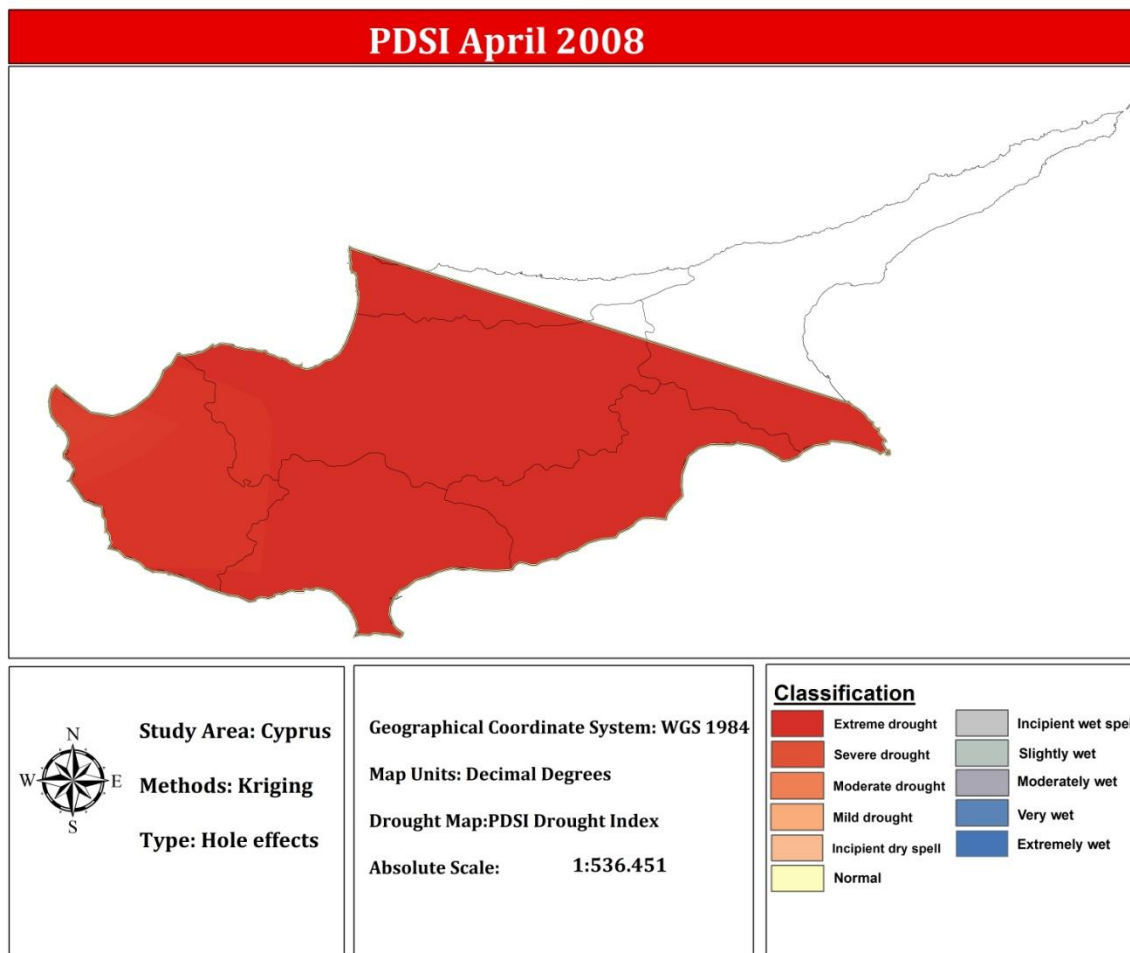
Εικόνα 49: Χάρτης PDSI για το μήνα Ιανουάριο του 2008 (kriging)



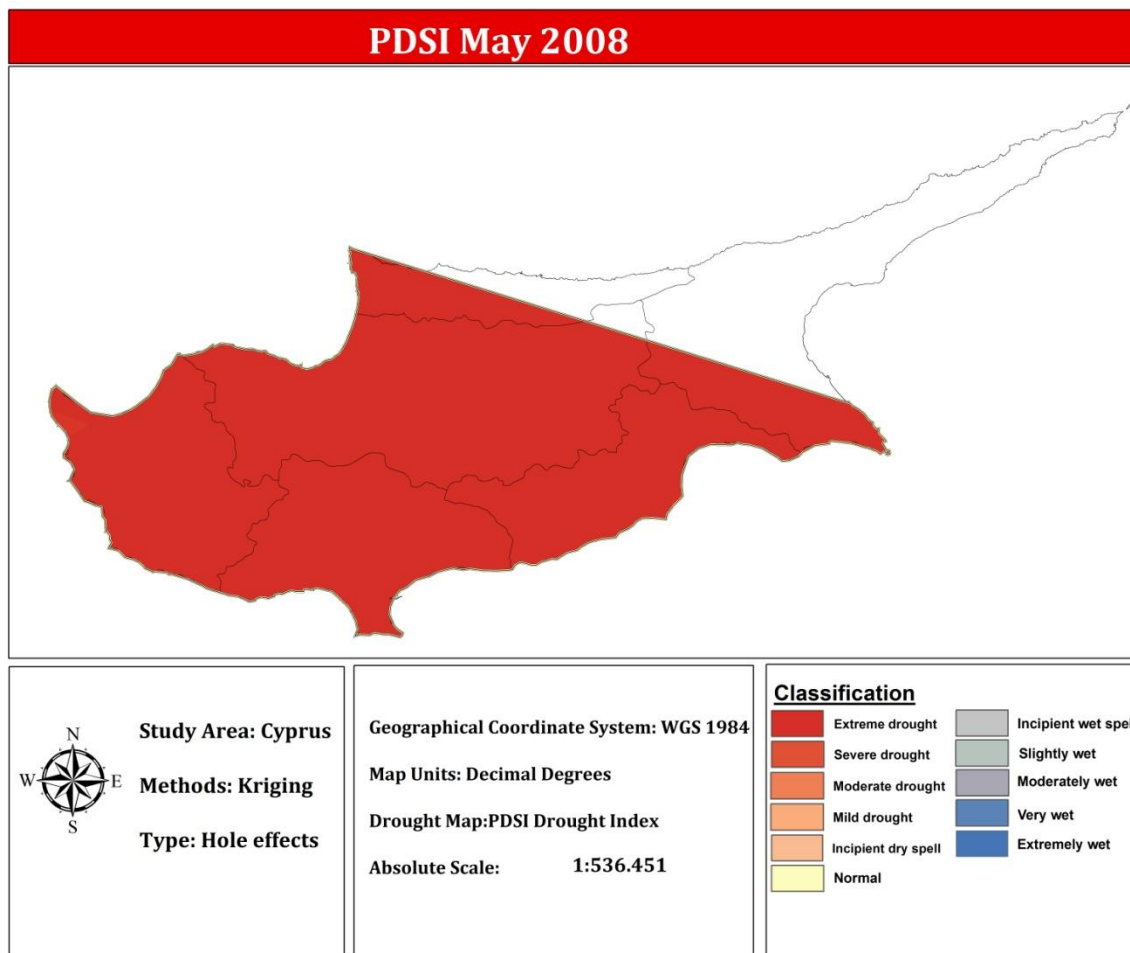
Εικόνα 50: Χάρτης PDSI για το μήνα Φεβρουάριο του 2008 (kriging)



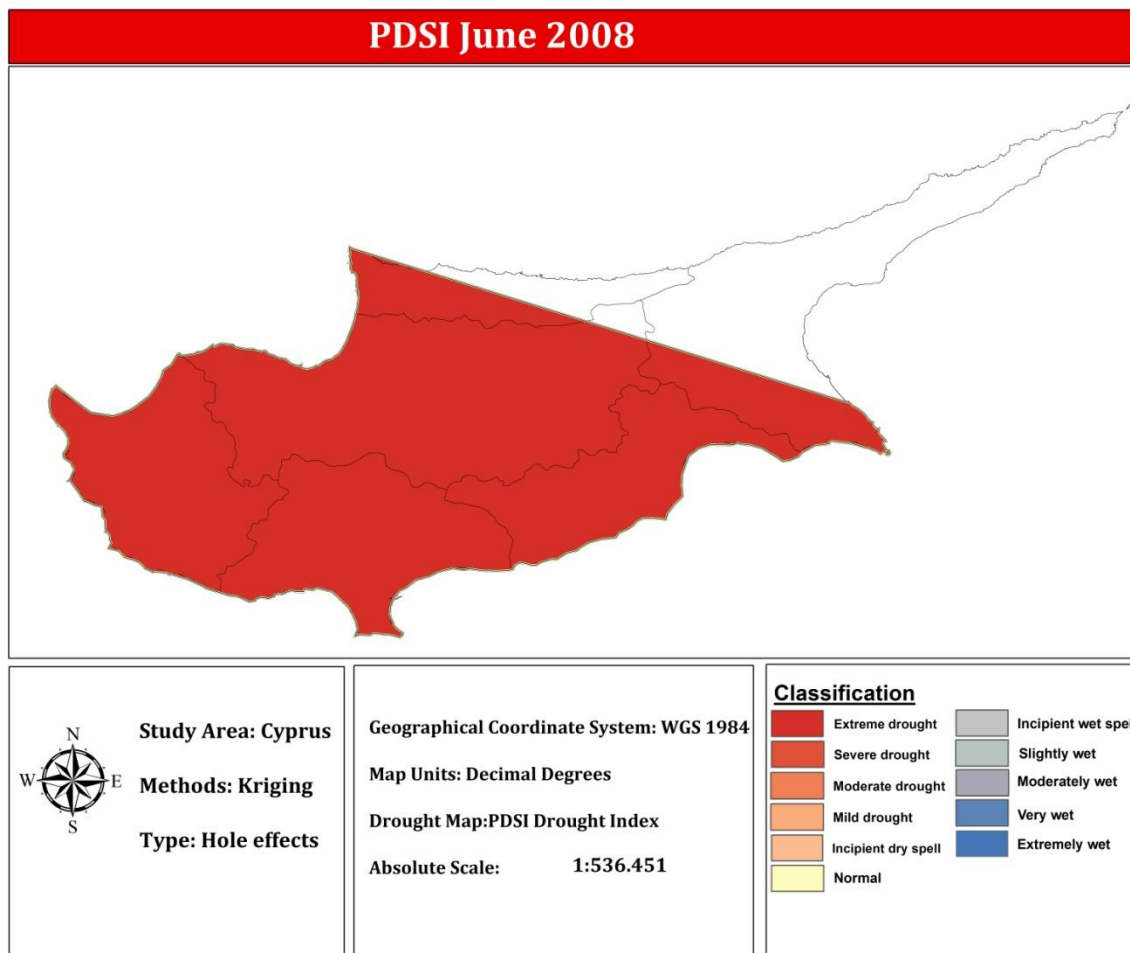
Εικόνα 51: Χάρτης PDSI για το μήνα Μάρτιο του 2008 (kriging)



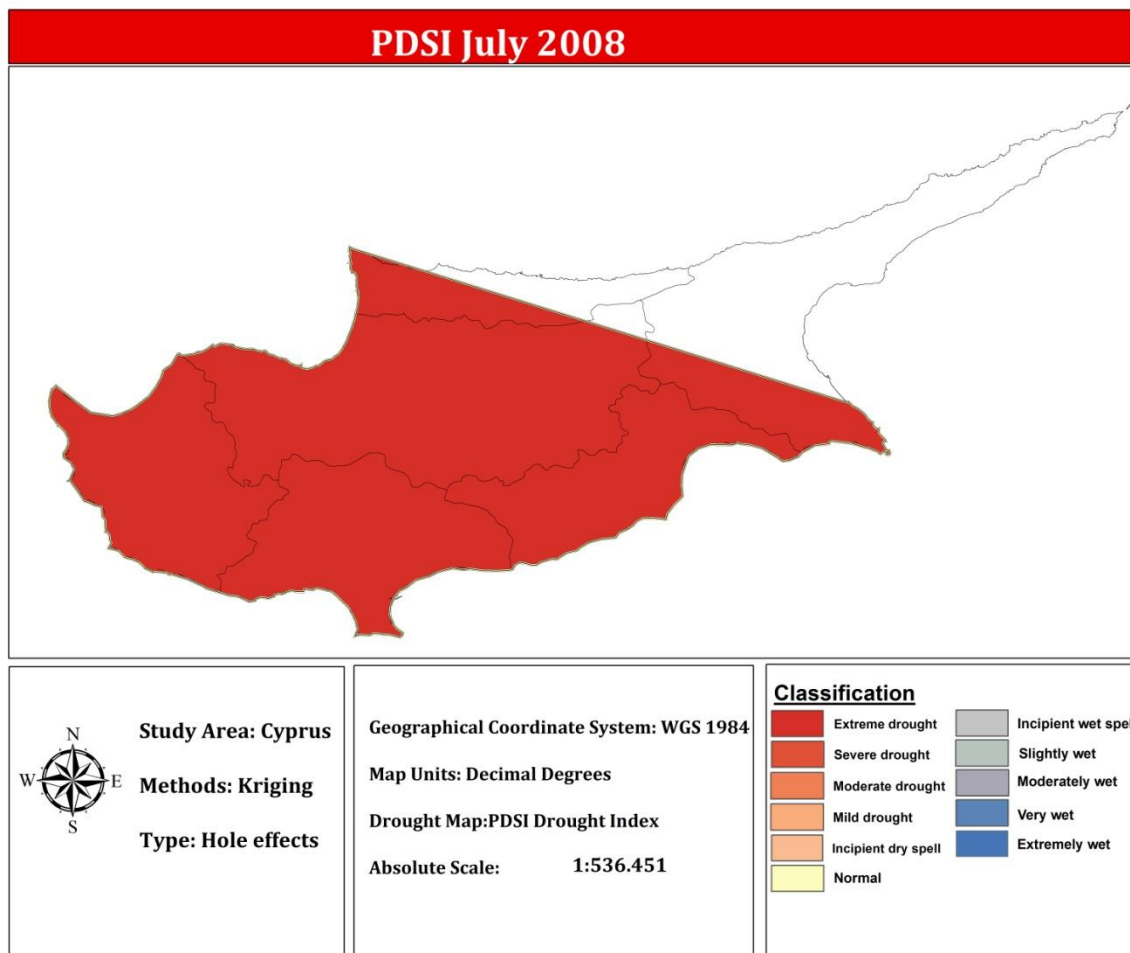
Εικόνα 52: Χάρτης PDSI για το μήνα Απρίλιο του 2008 (kriging)



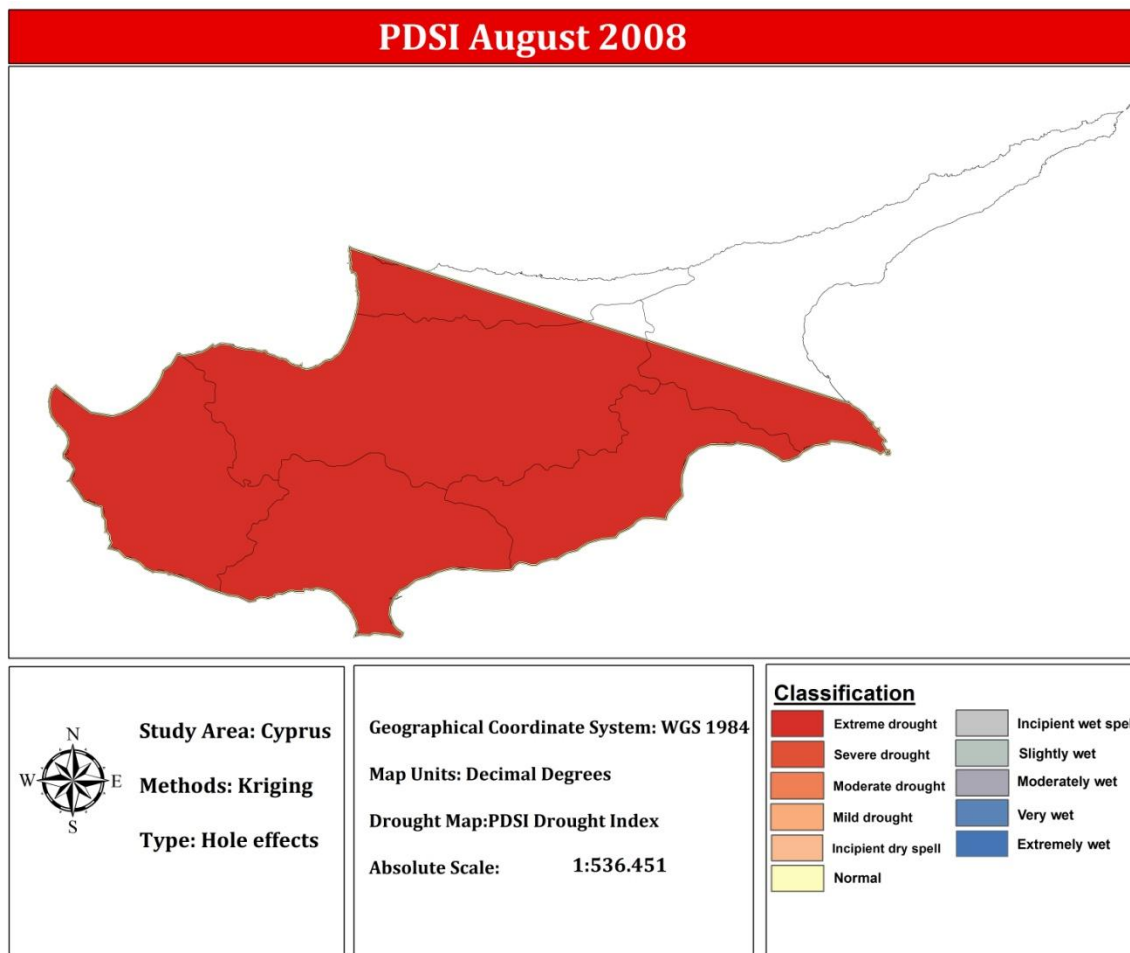
Εικόνα 53: Χάρτης PDSI για το μήνα Μάιο του 2008 (kriging)



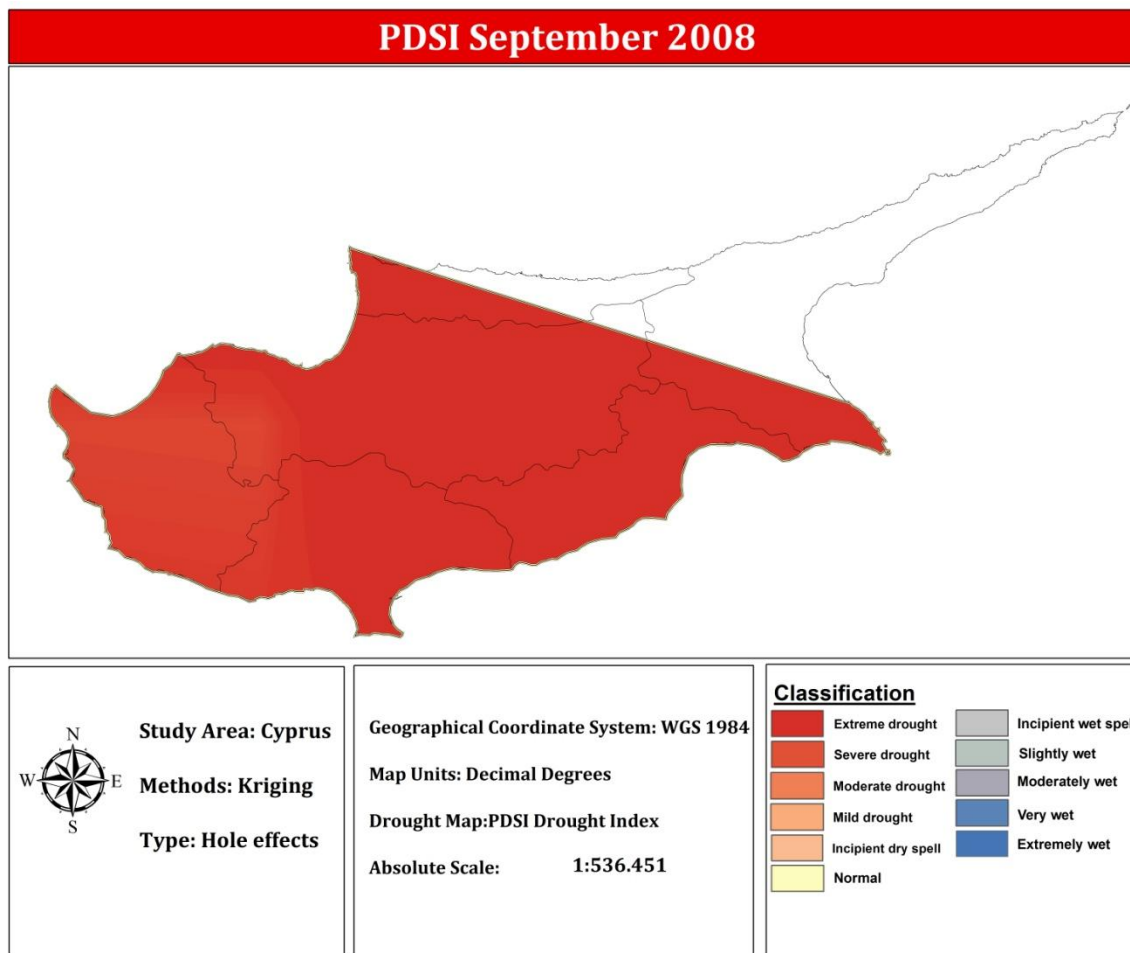
Εικόνα 54: Χάρτης PDSI για το μήνα Ιούνιο του 2008 (kriging)



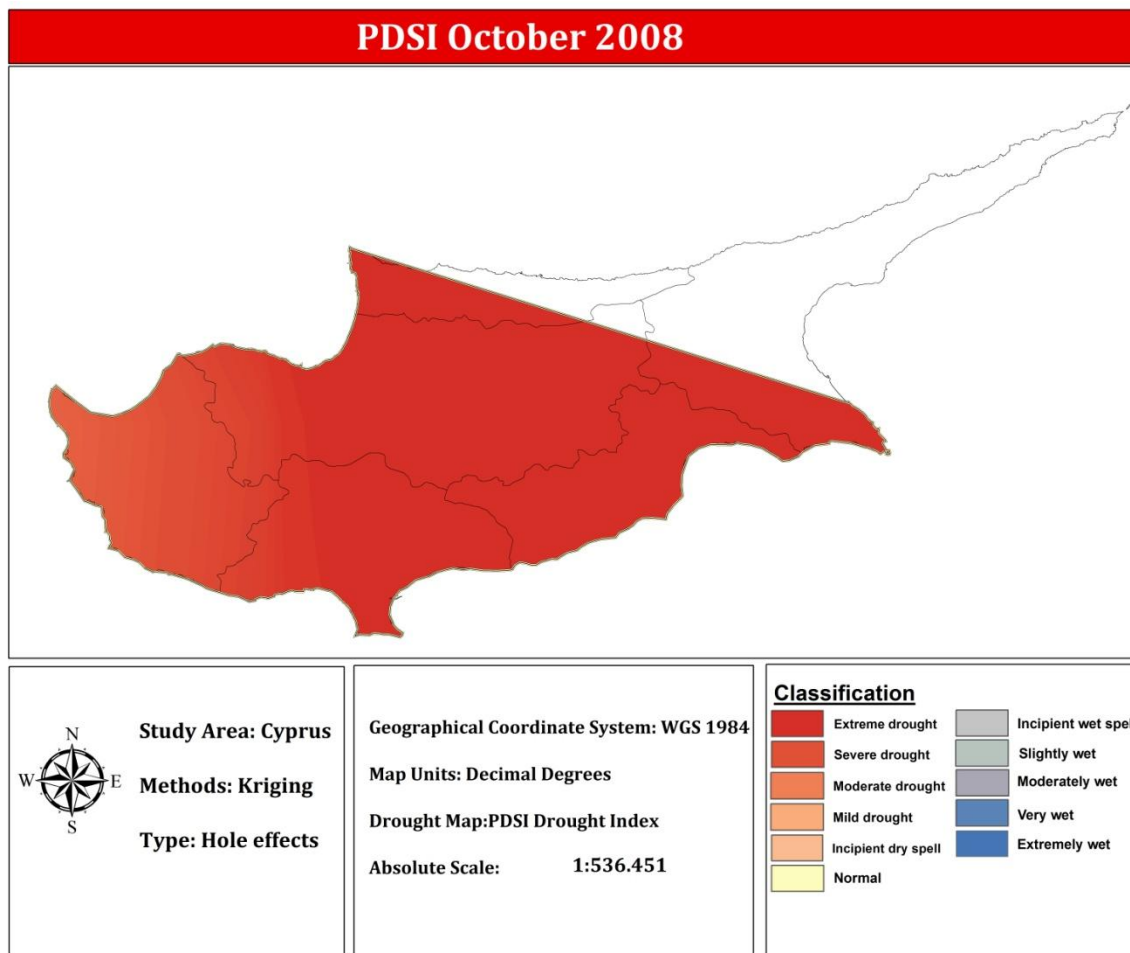
Εικόνα 55: Χάρτης PDSI για το μήνα Ιούλιο του 2008 (kriging)



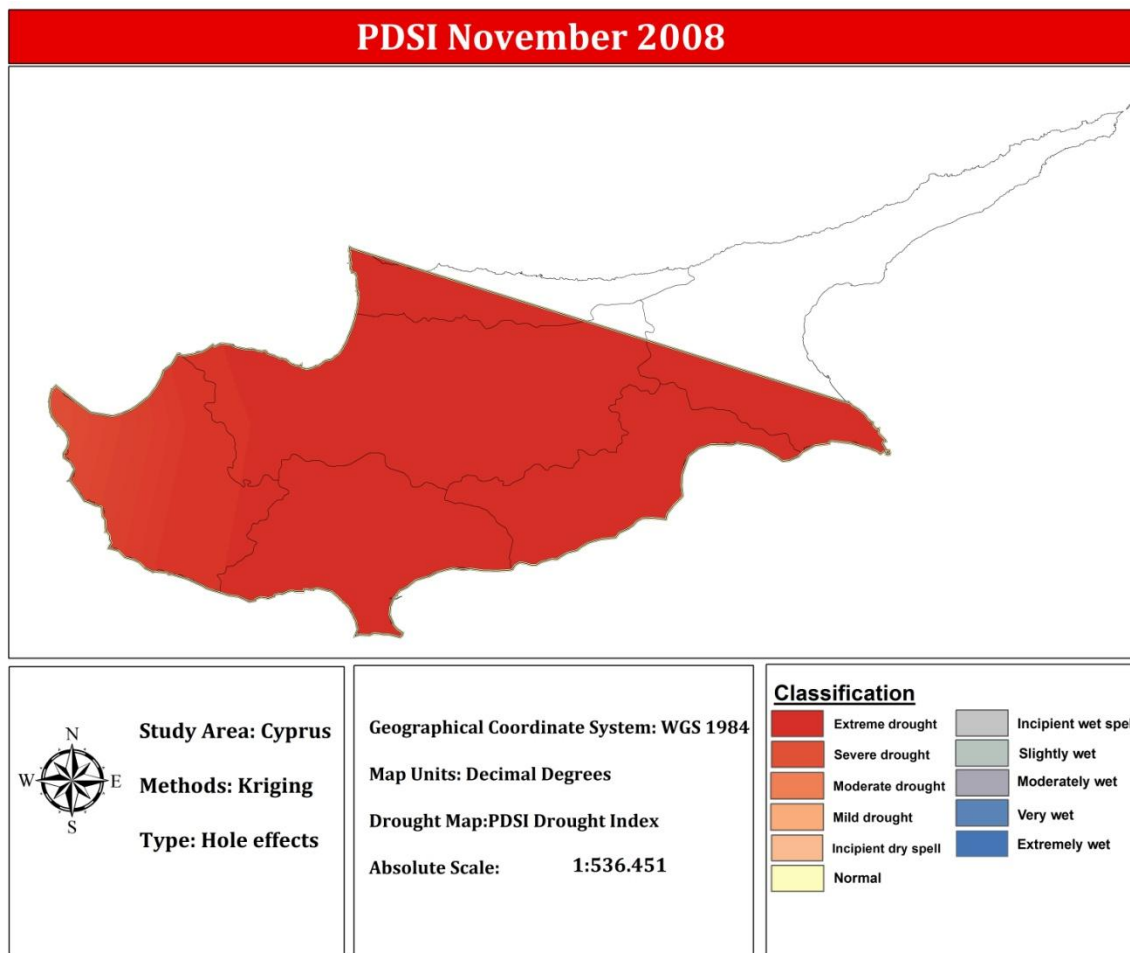
Εικόνα 56: Χάρτης PDSI για το μήνα Αύγουστο του 2008 (kriging)



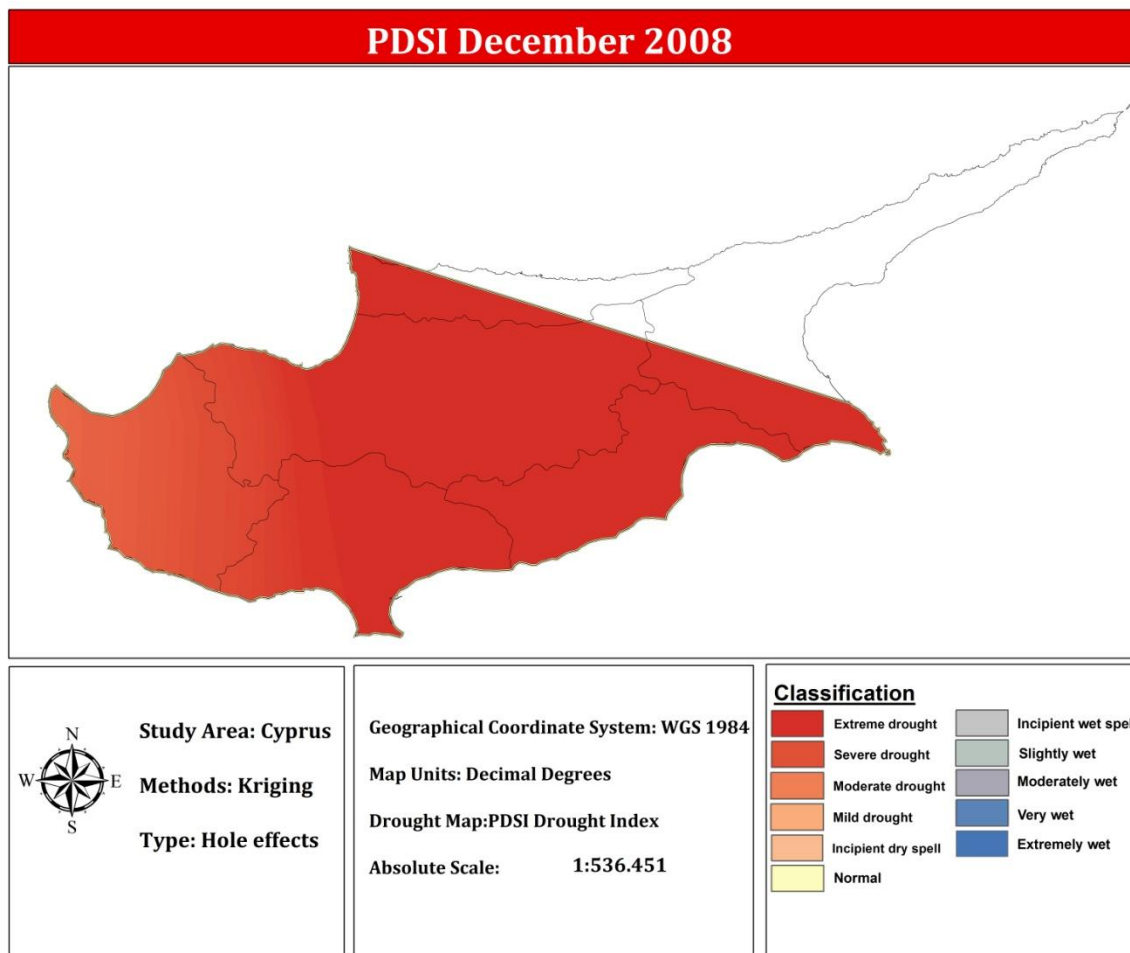
Εικόνα 57: Χάρτης PDSI για το μήνα Σεπτέμβριο του 2008 (kriging)



Εικόνα 58: Χάρτης PDSI για το μήνα Οκτώβριο του 2008 (kriging)

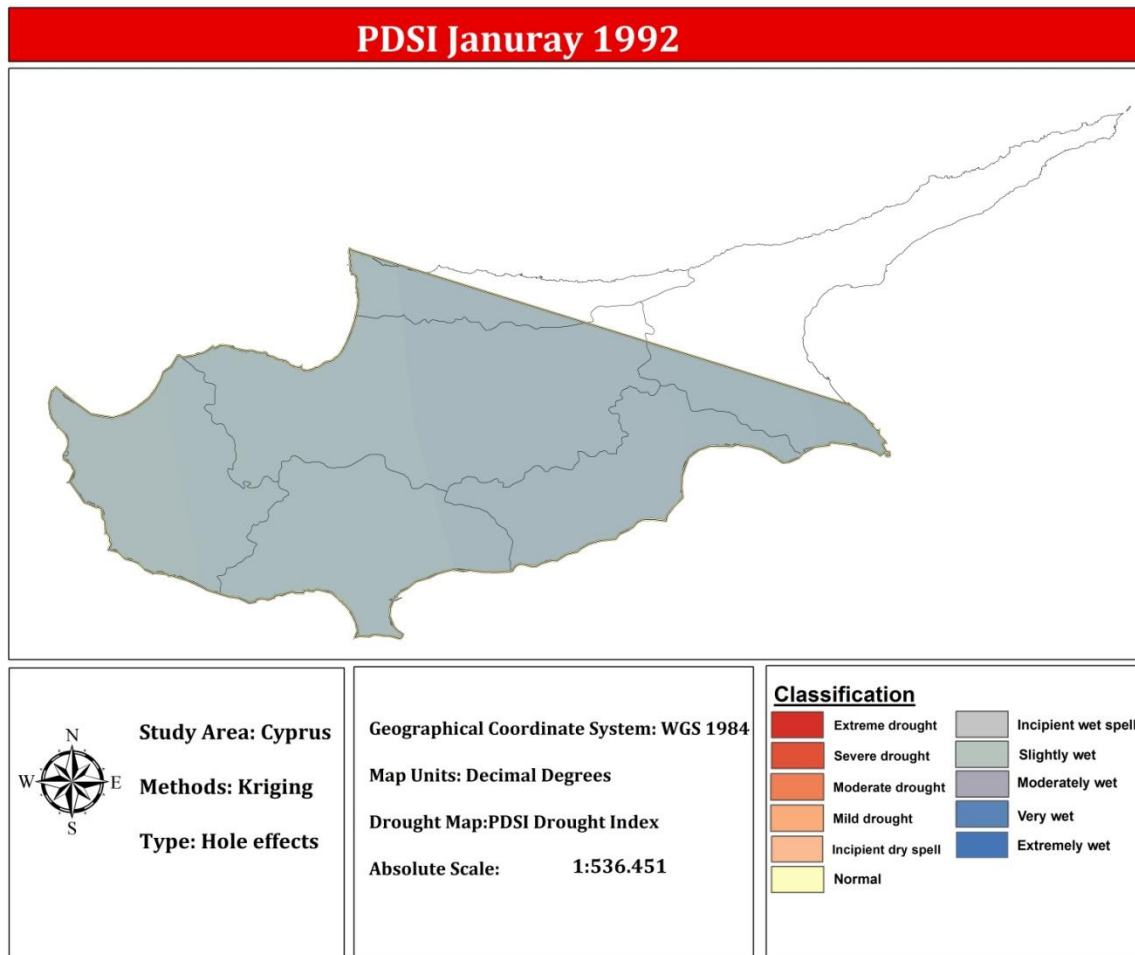


Εικόνα 59: Χάρτης PDSI για το μήνα Νοέμβριο του 2008 (kriging)

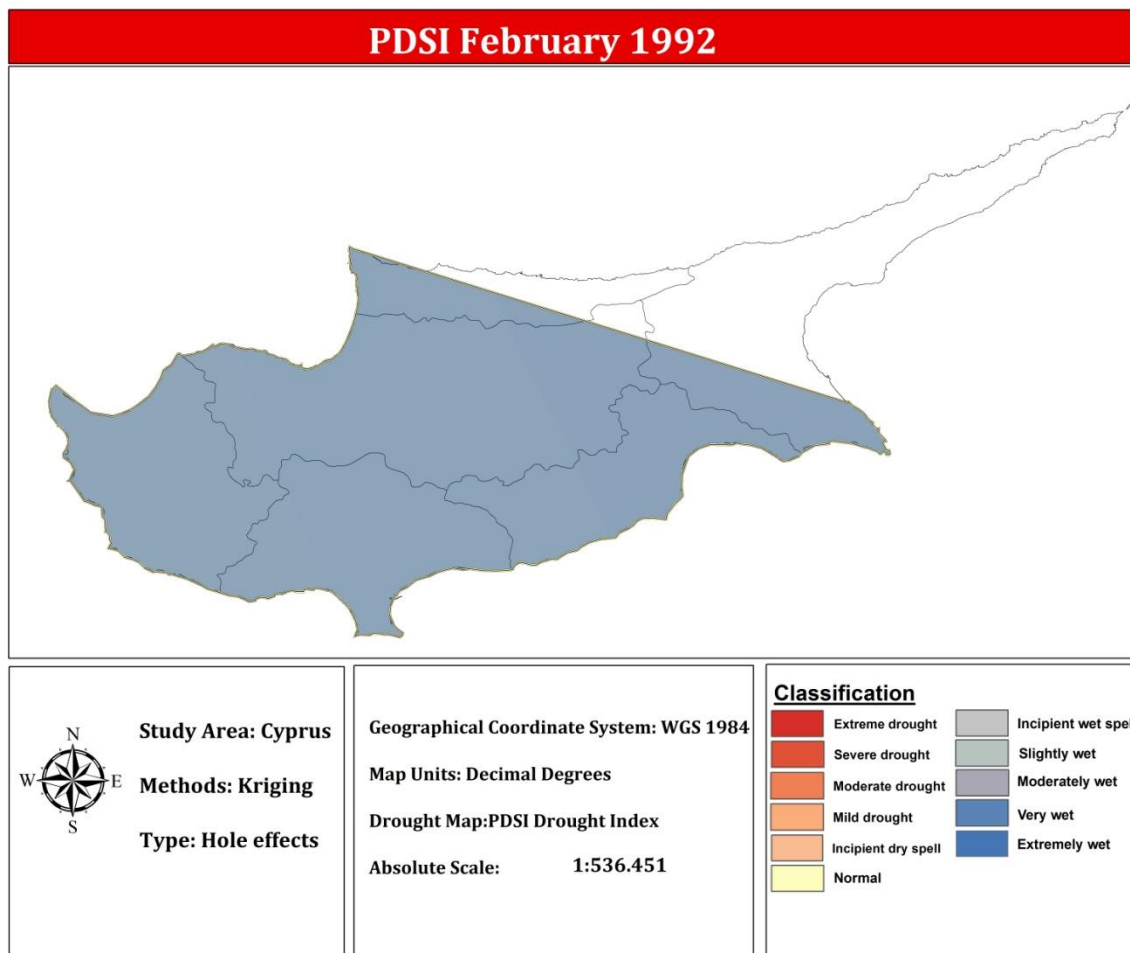


Εικόνα 60: Χάρτης PDSI για το μήνα Δεκέμβριο του 2008 (kriging)

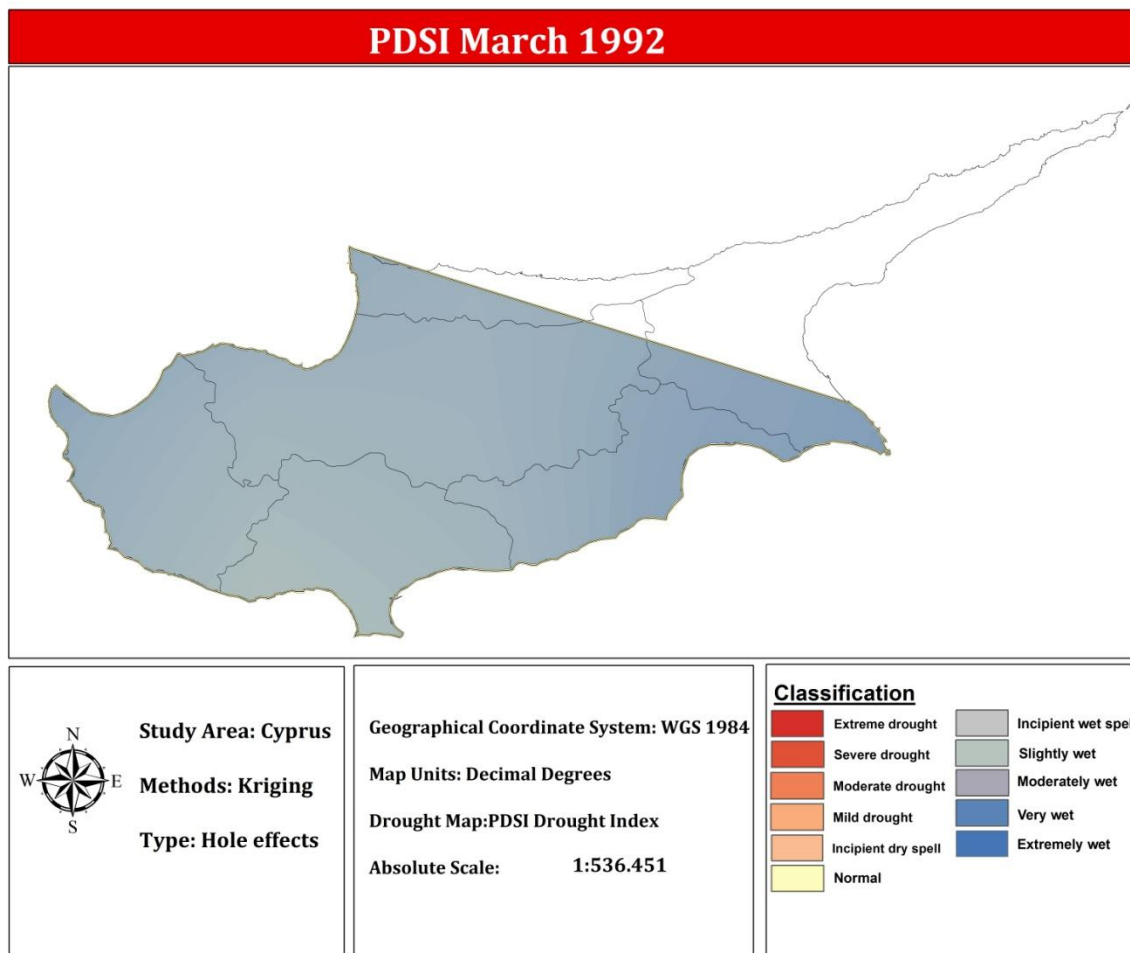
Χάρτες Λειψυδρίας Υγρών Ετών



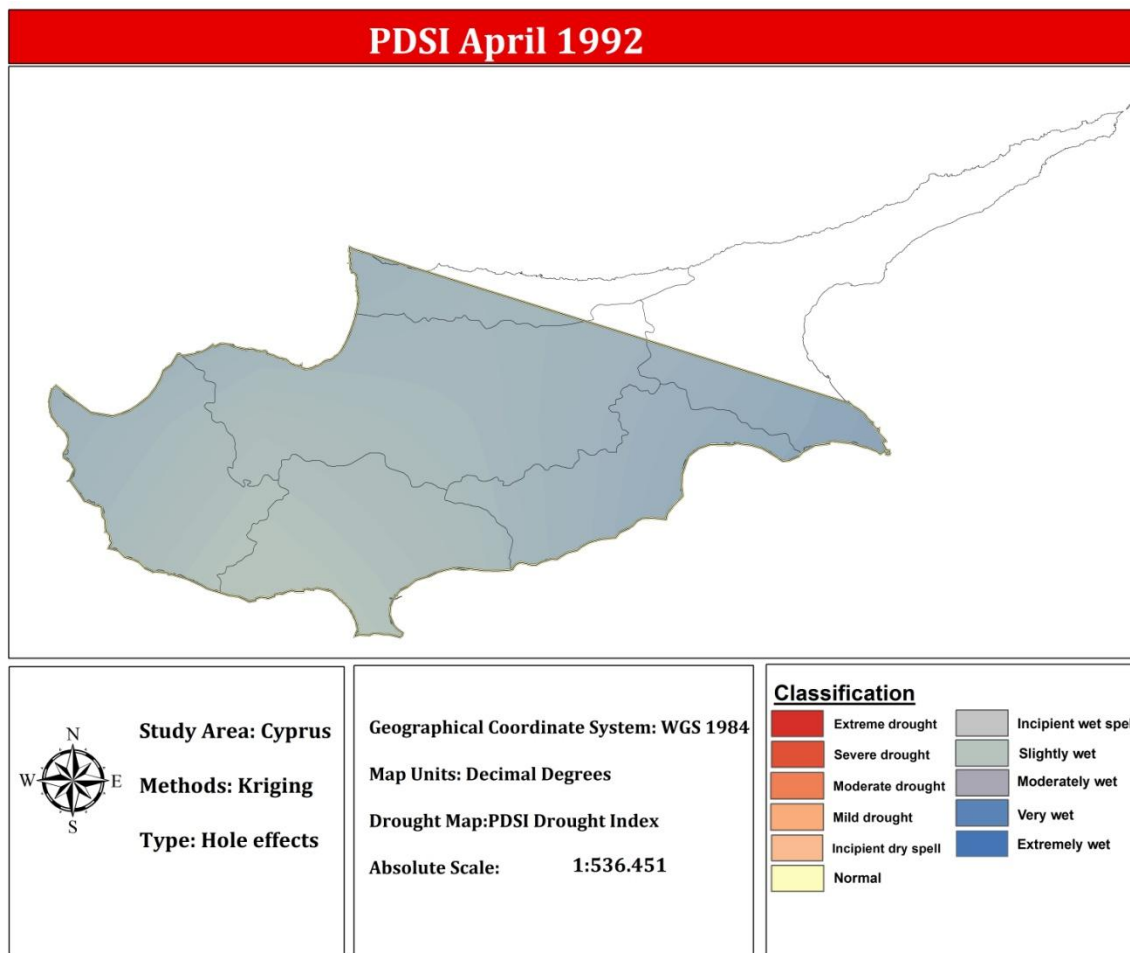
Εικόνα 61: Χάρτης PDSI για το μήνα Ιανουάριο του 1992 (kriging)



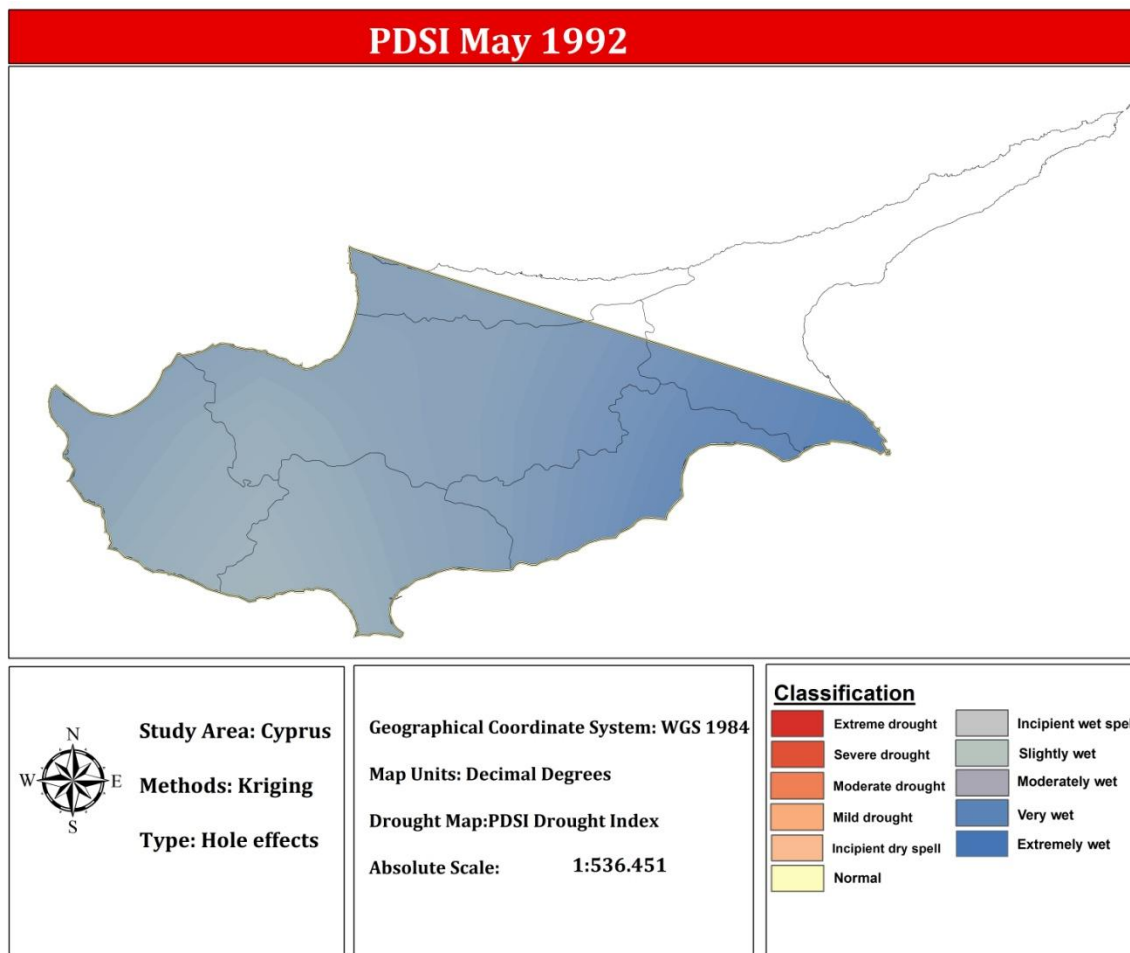
Εικόνα 62: Χάρτης PDSI για το μήνα Φεβρουάριο του 1992 (kriging)



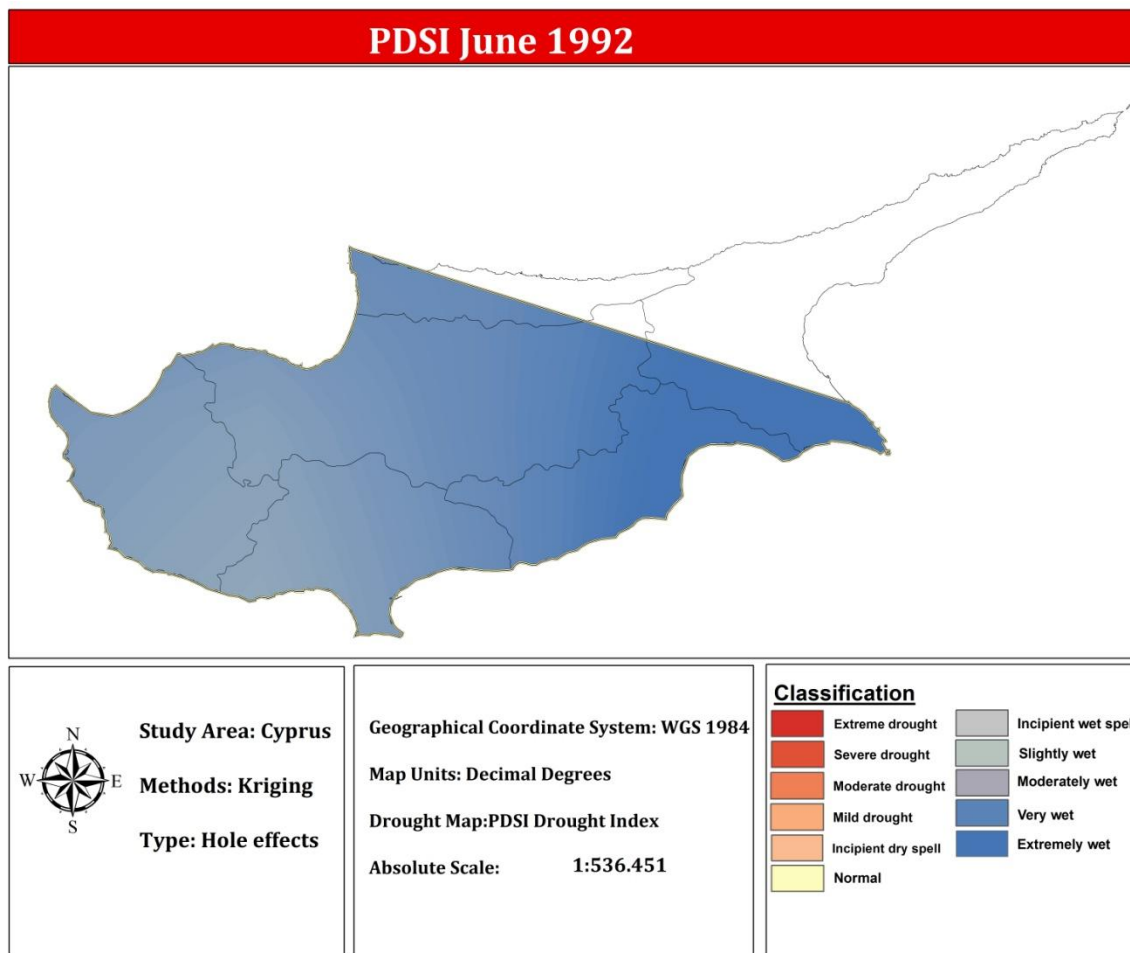
Εικόνα 63: Χάρτης PDSI για το μήνα Μάρτιο του 1992 (kriging)



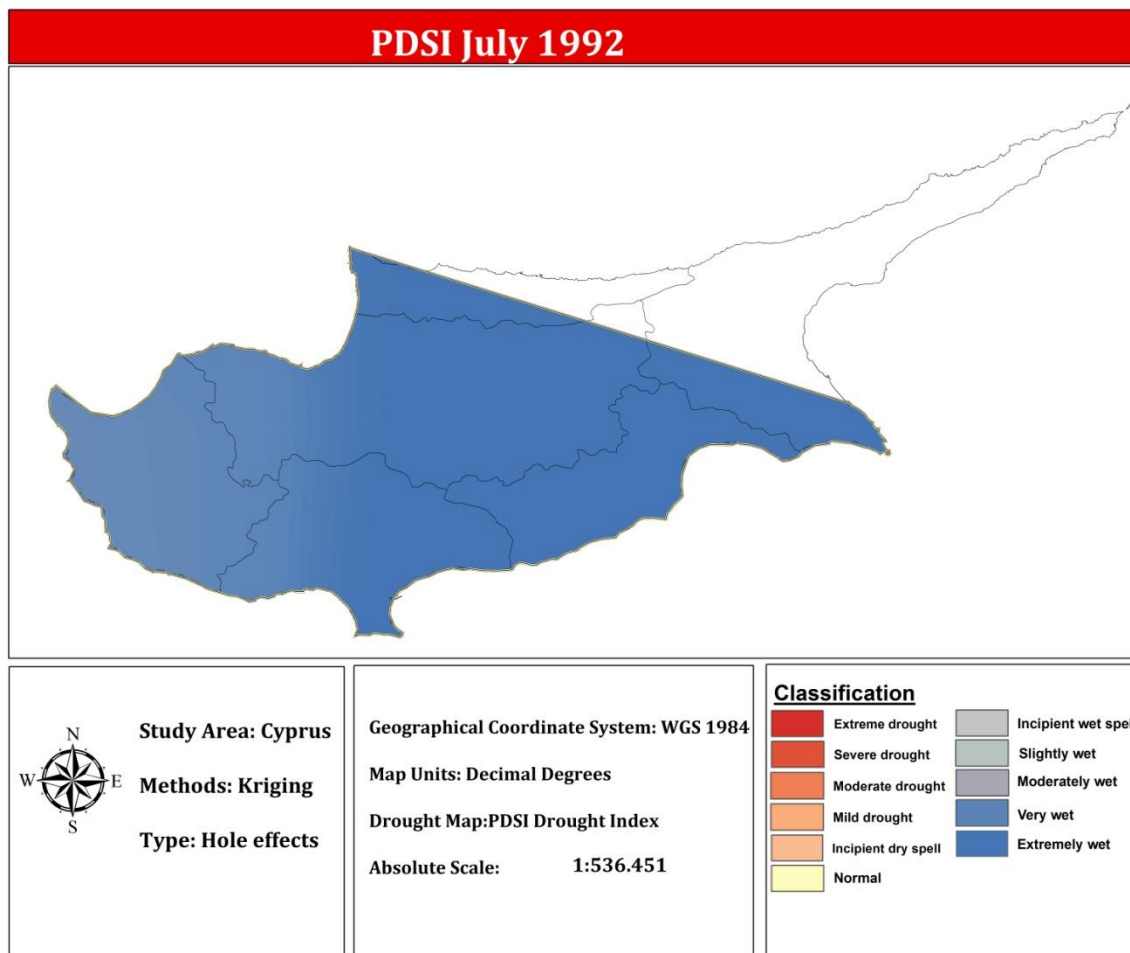
Εικόνα 64: Χάρτης PDSI για το μήνα Απρίλιο του 1992 (kriging)



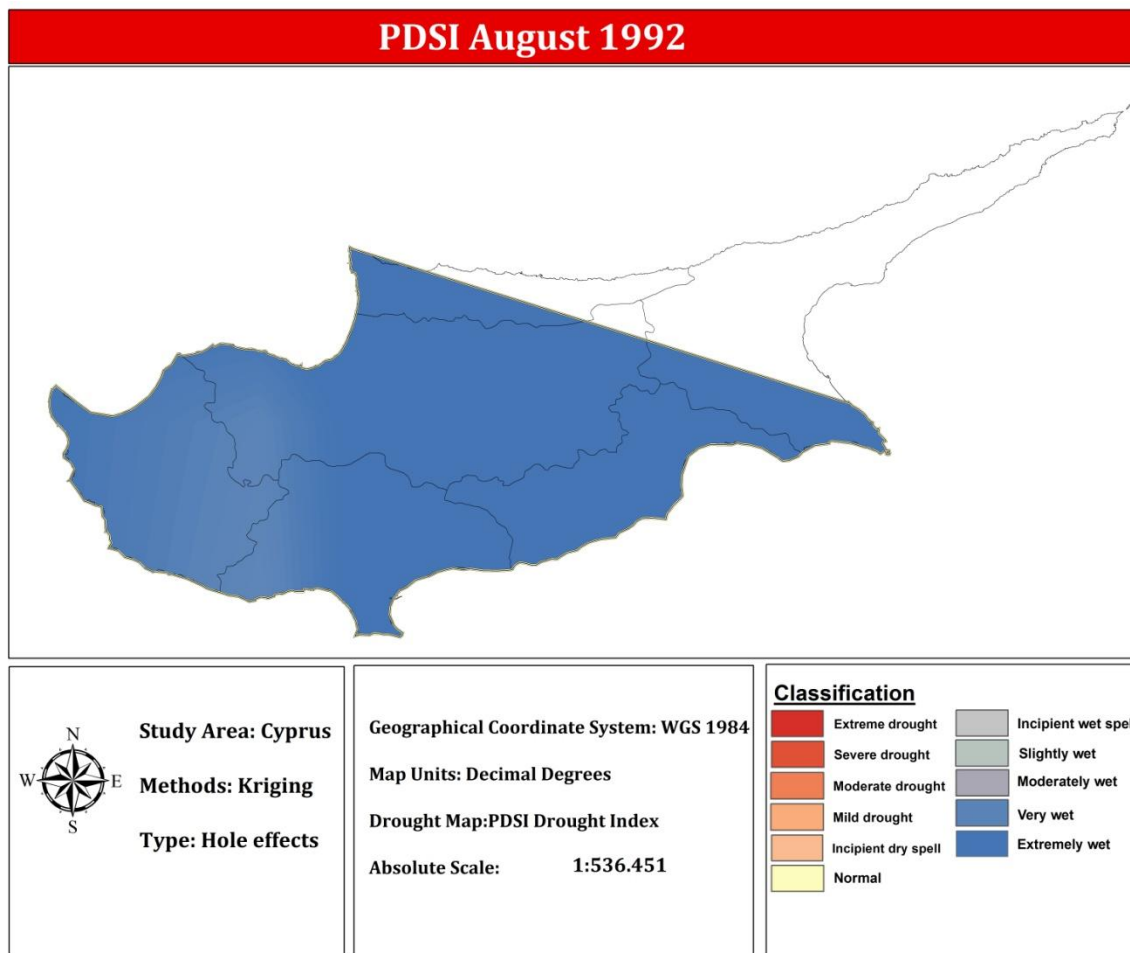
Εικόνα 65: Χάρτης PDSI για το μήνα Μάιο του 1992 (kriging)



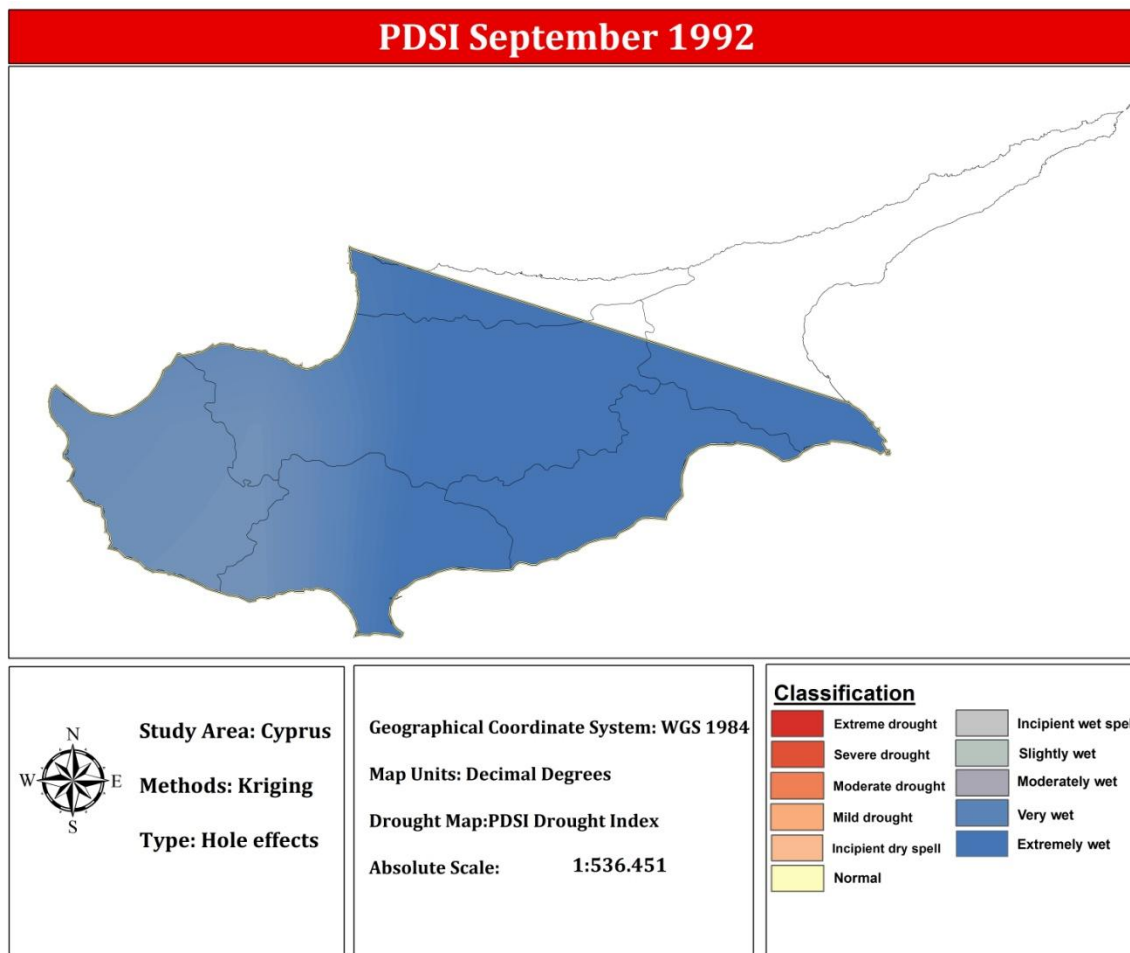
Εικόνα 66: Χάρτης PDSI για το μήνα Ιούνιο του 1992 (kriging)



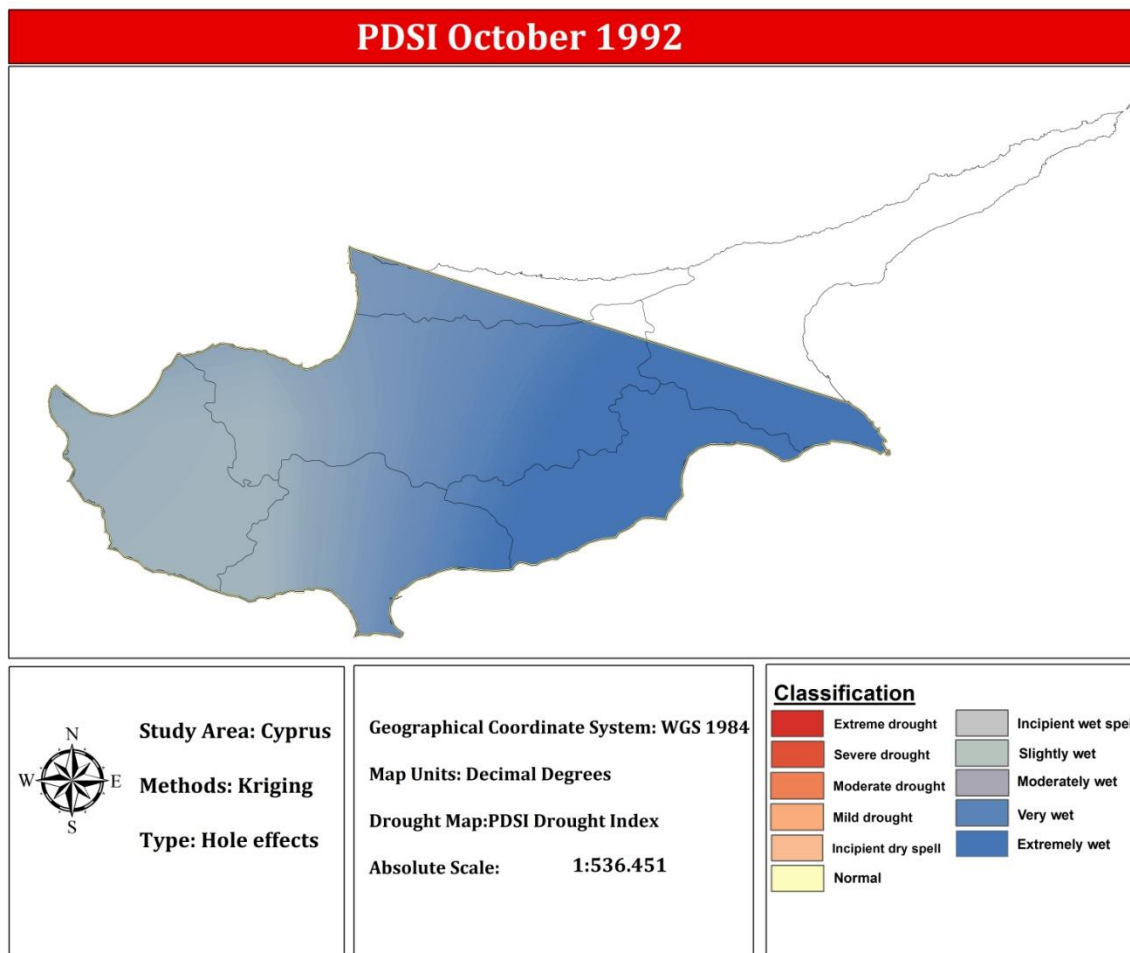
Εικόνα 67: Χάρτης PDSI για το μήνα Ιούλιο του 1992 (kriging)



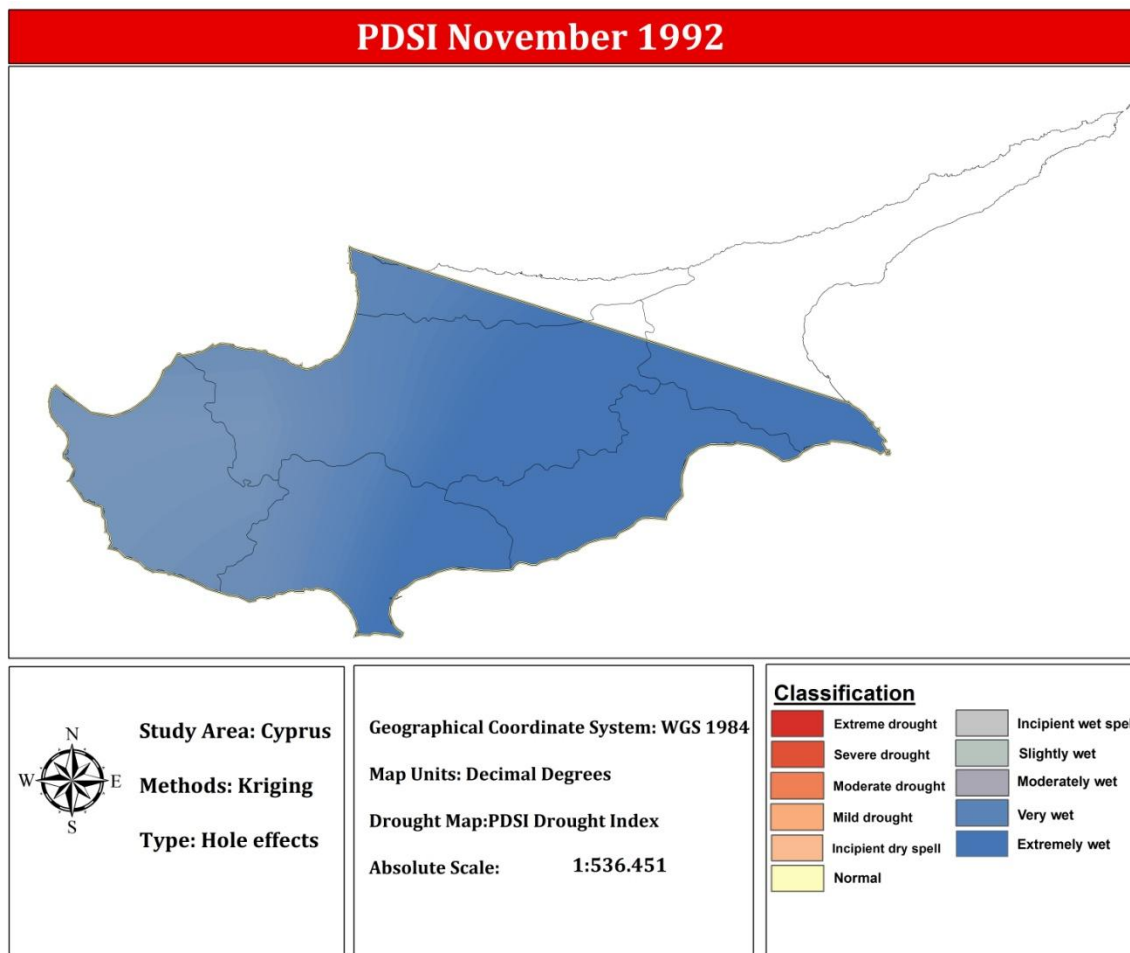
Εικόνα 68: Χάρτης PDSI για το μήνα Αύγουστο του 1992 (kriging)



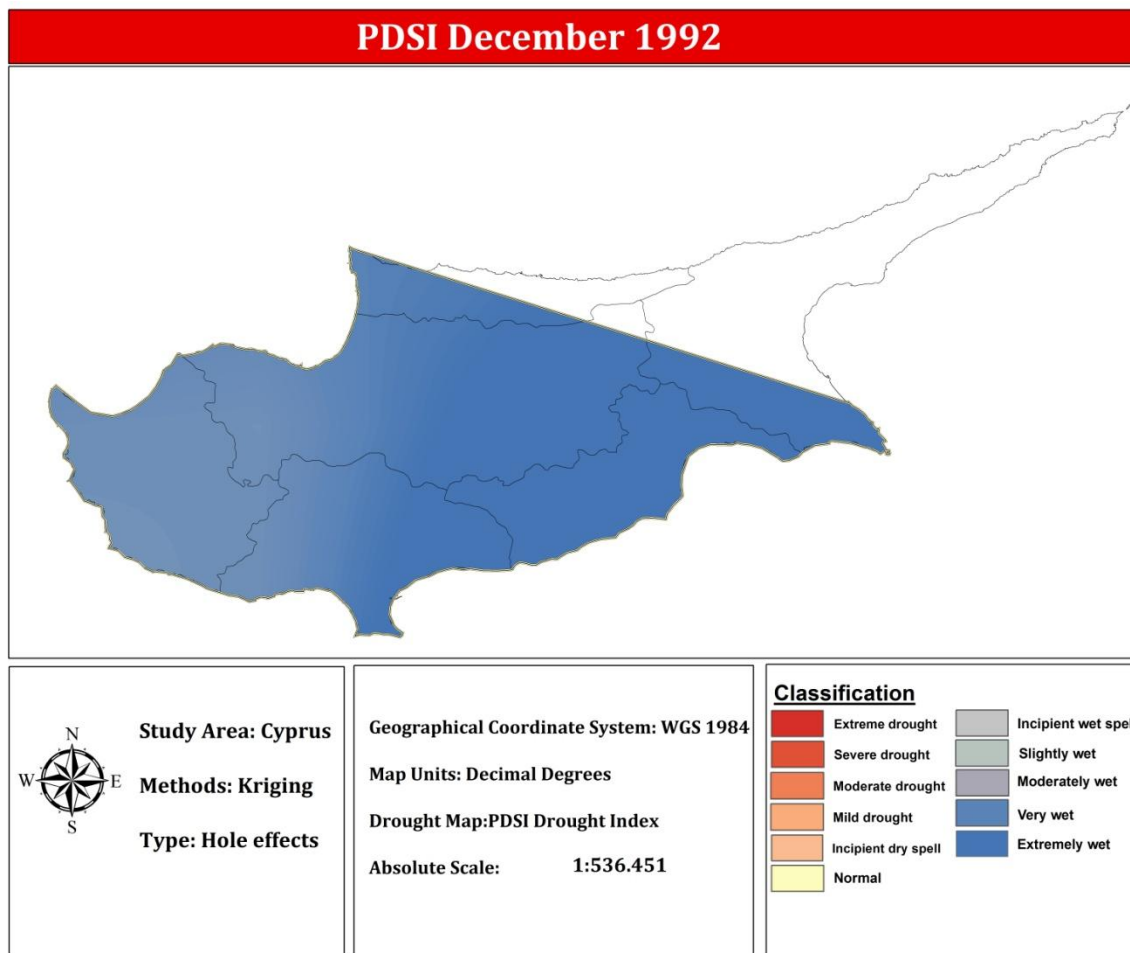
Εικόνα 69: Χάρτης PDSI για το μήνα Σεπτέμβριο του 1992 (kriging)



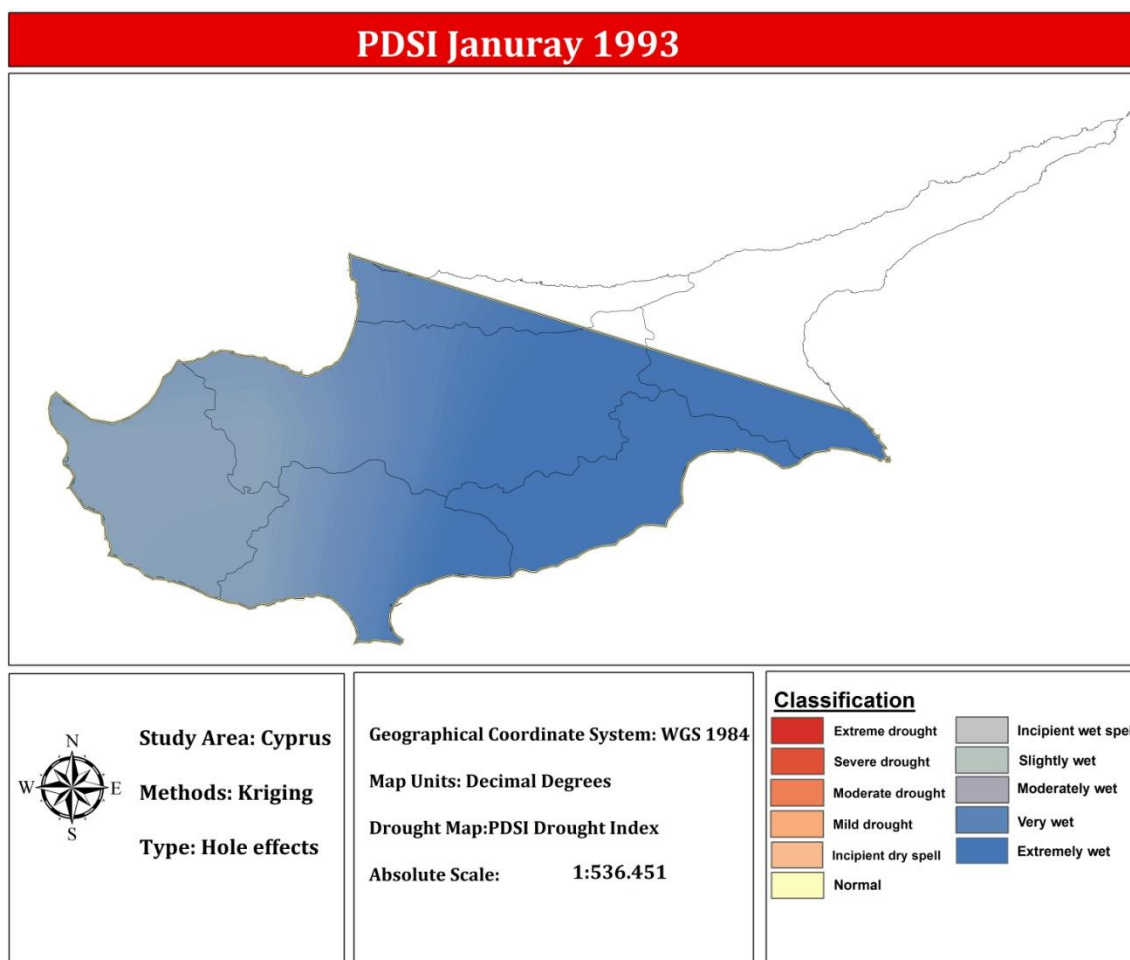
Εικόνα 70: Χάρτης PDSI για το μήνα Οκτώβριο του 1992 (kriging)



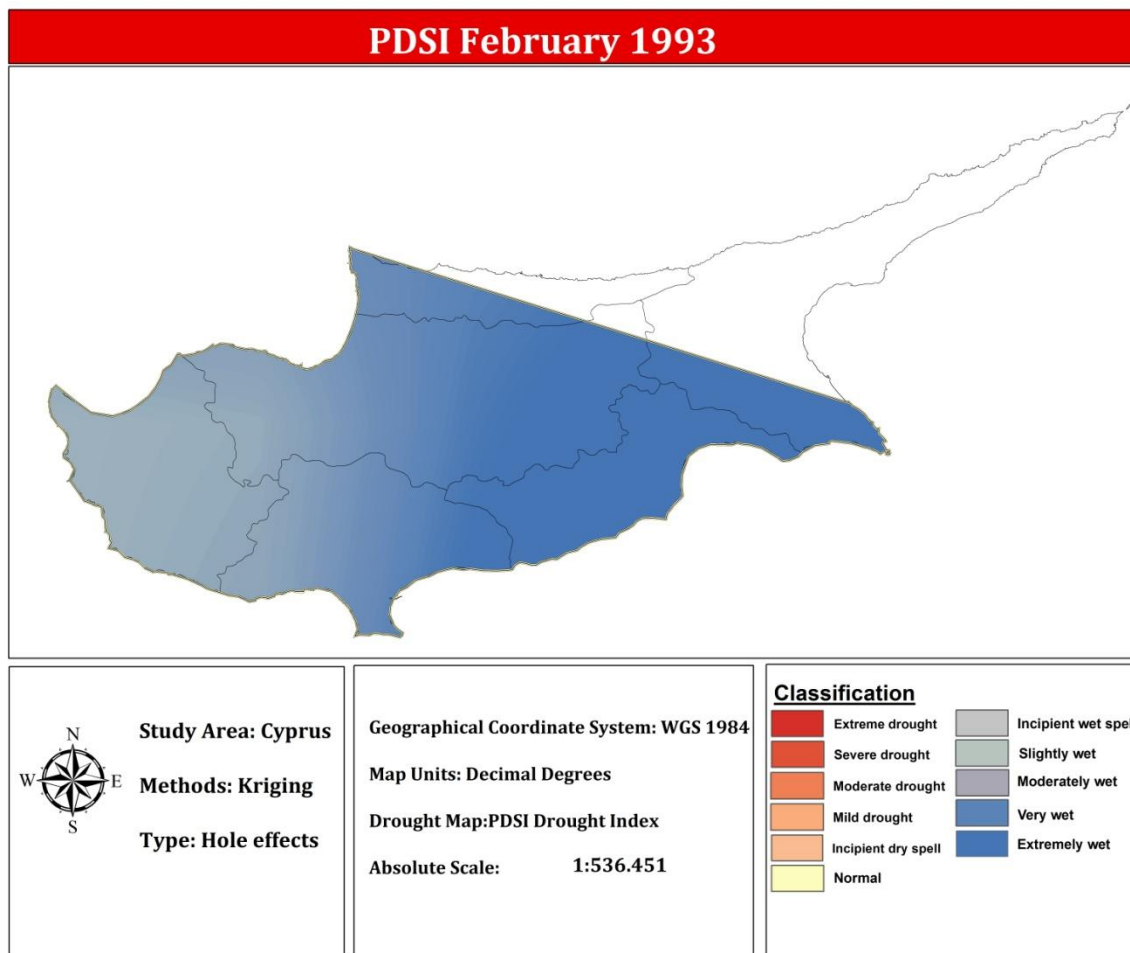
Εικόνα 71: Χάρτης PDSI για το μήνα Νοέμβριο του 1992 (kriging)



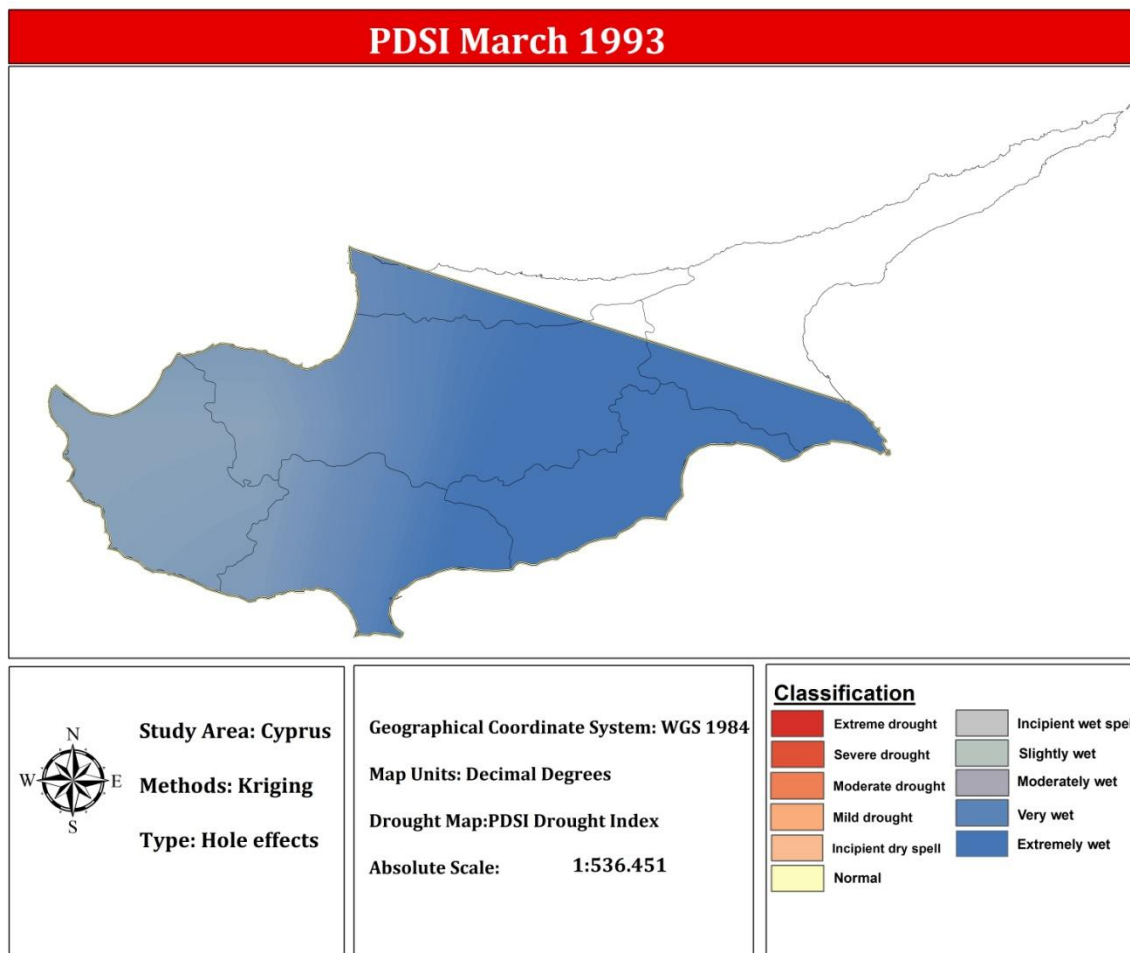
Εικόνα 72: Χάρτης PDSI για το μήνα Δεκέμβριο του 1992 (kriging)



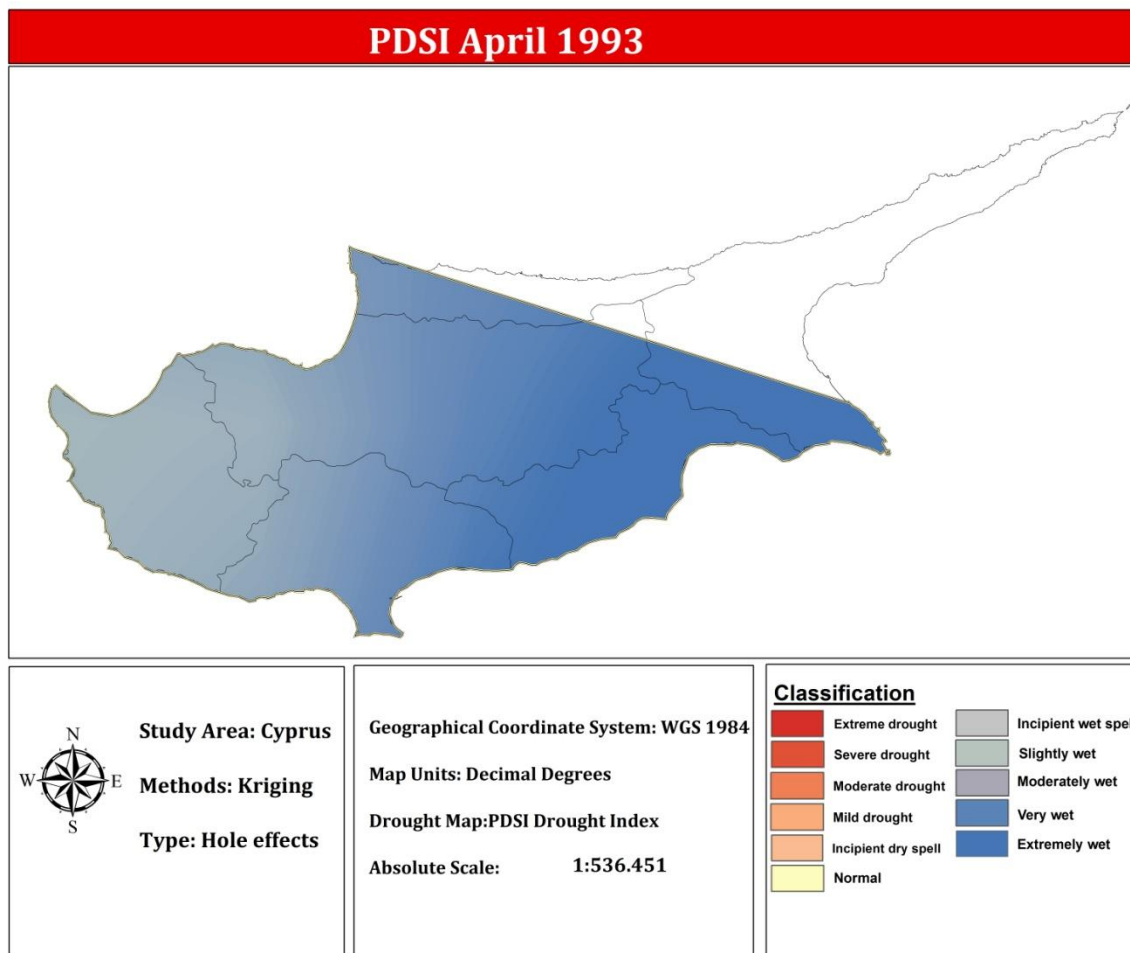
Εικόνα 73: Χάρτης PDSI για το μήνα Ιανουάριο του 1993 (kriging)



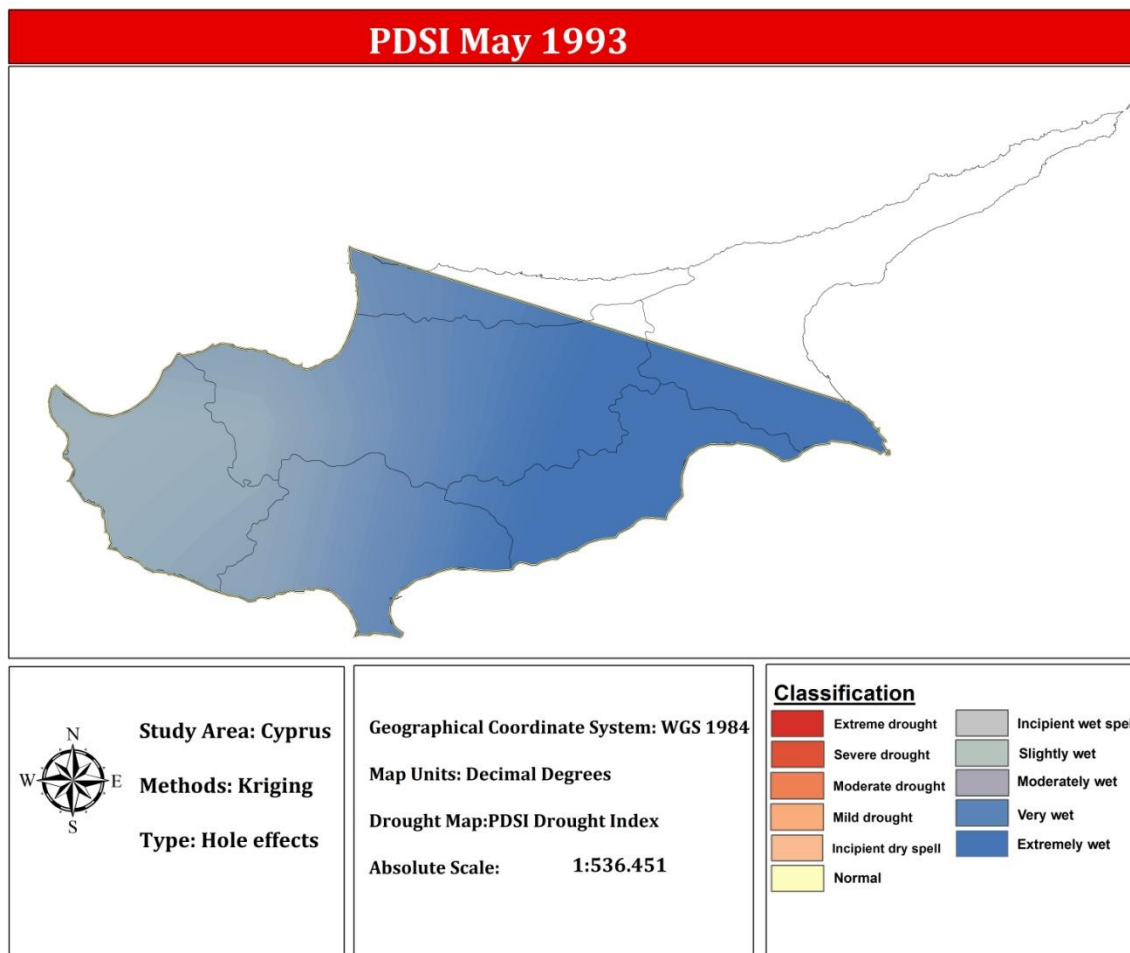
Εικόνα 74: Χάρτης PDSI για το μήνα Φεβρουάριο του 1993 (kriging)



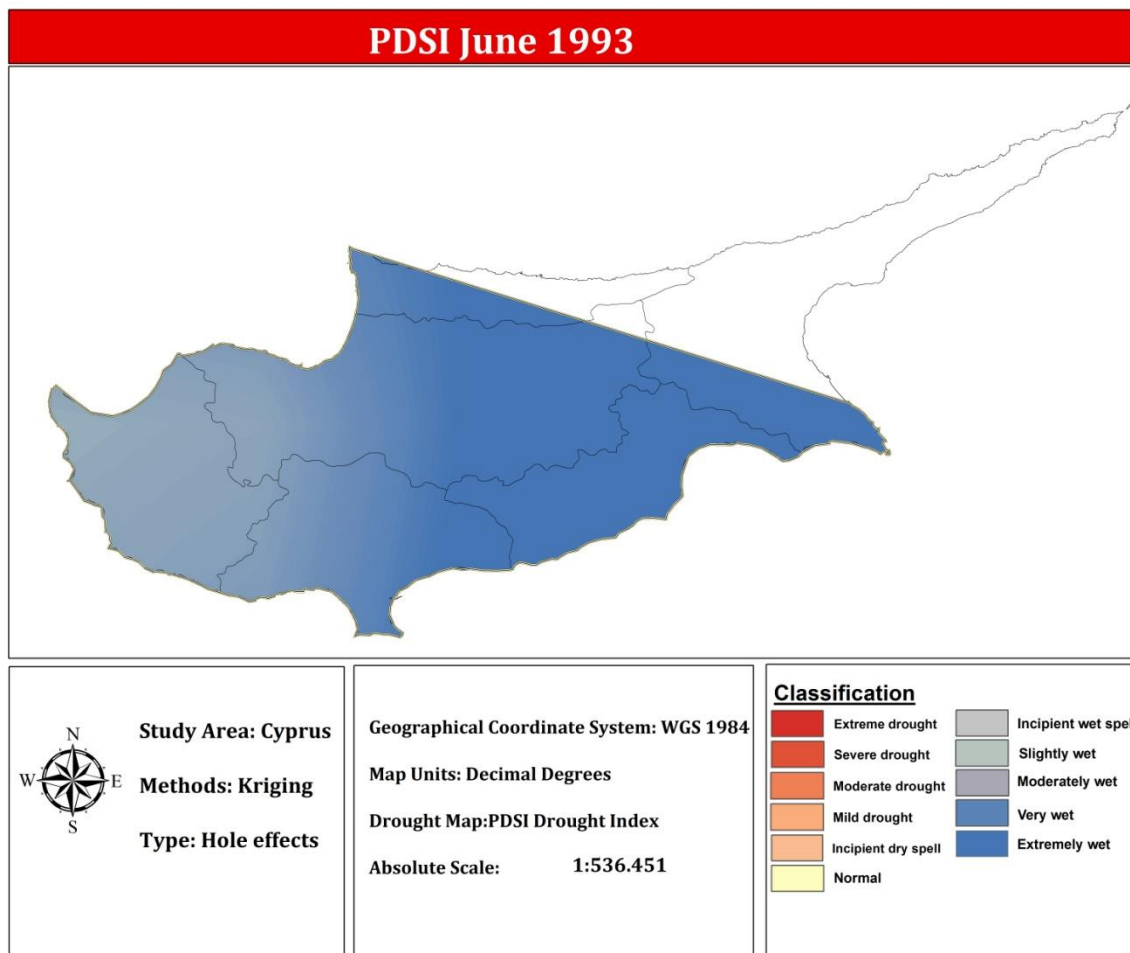
Εικόνα 75: Χάρτης PDSI για το μήνα Μάρτιο του 1993 (kriging)



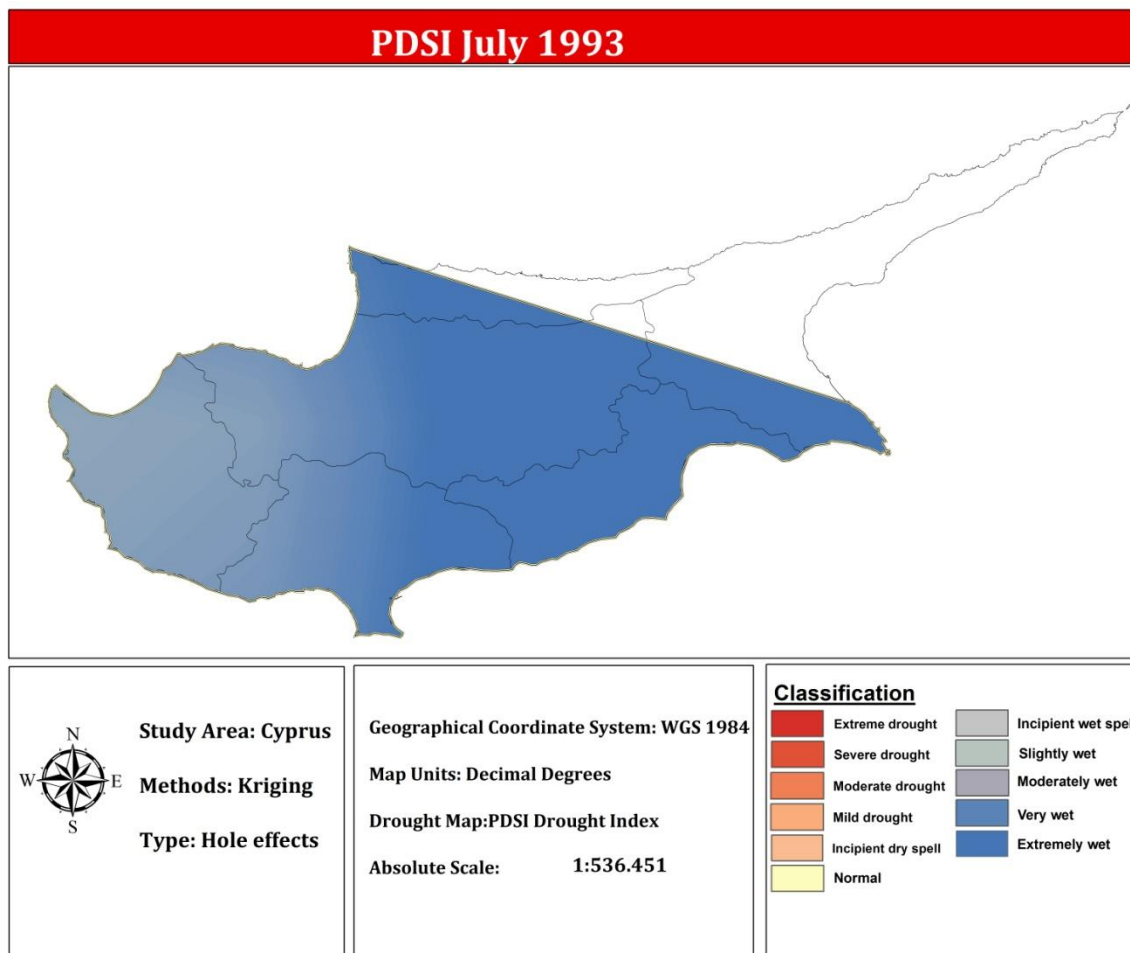
Εικόνα 76: Χάρτης PDSI για το μήνα Απρίλιο του 1993 (kriging)



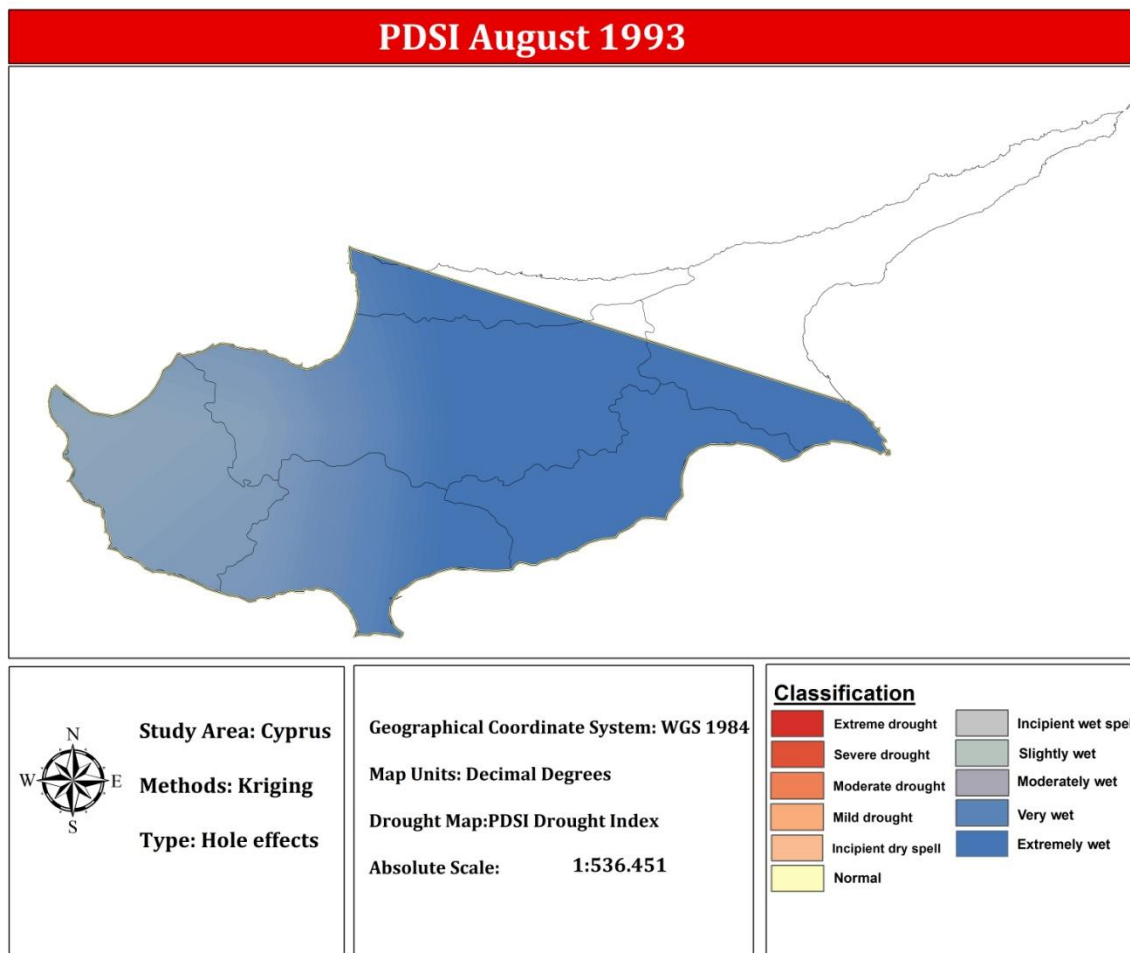
Εικόνα 77: Χάρτης PDSI για το μήνα Μάιο του 1993 (kriging)



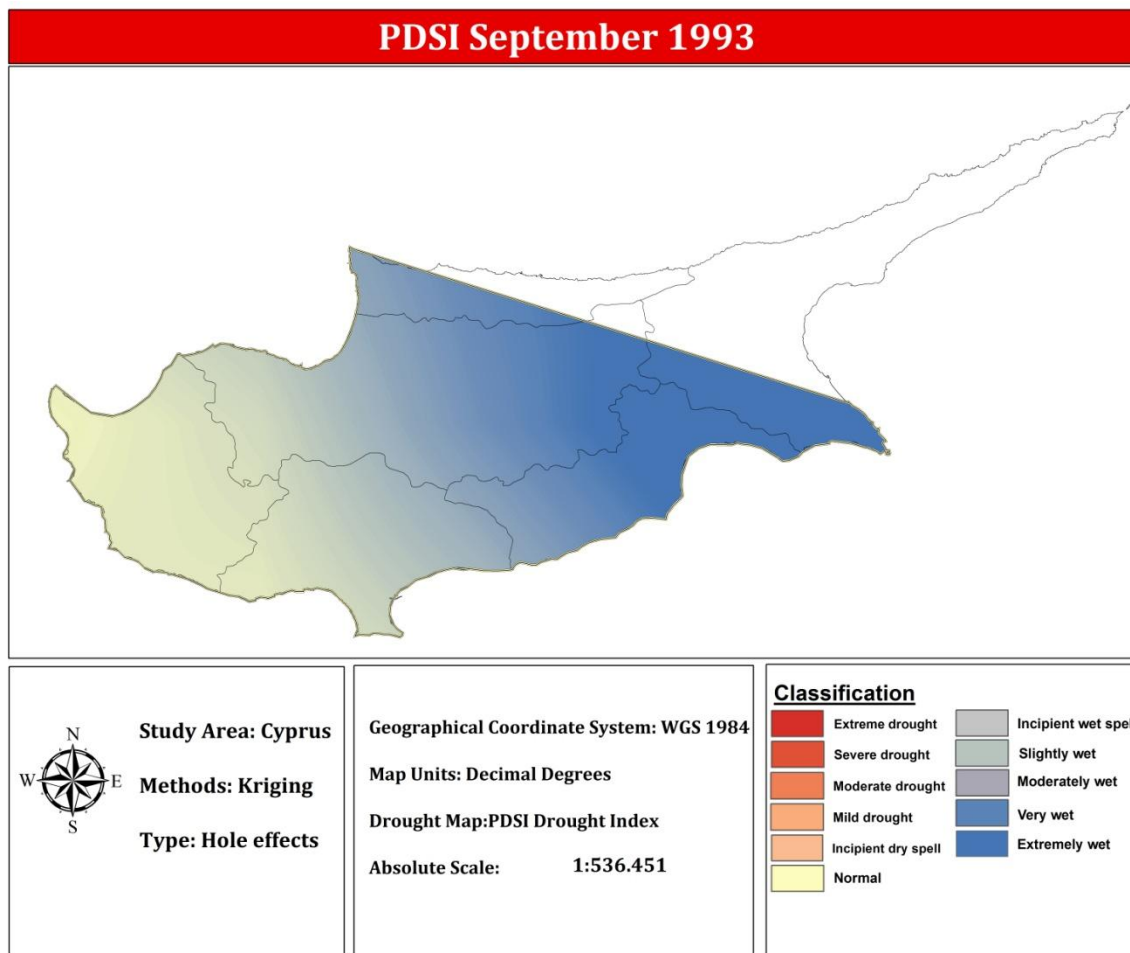
Εικόνα 78: Χάρτης PDSI για το μήνα Ιούνιο του 1993 (kriging)



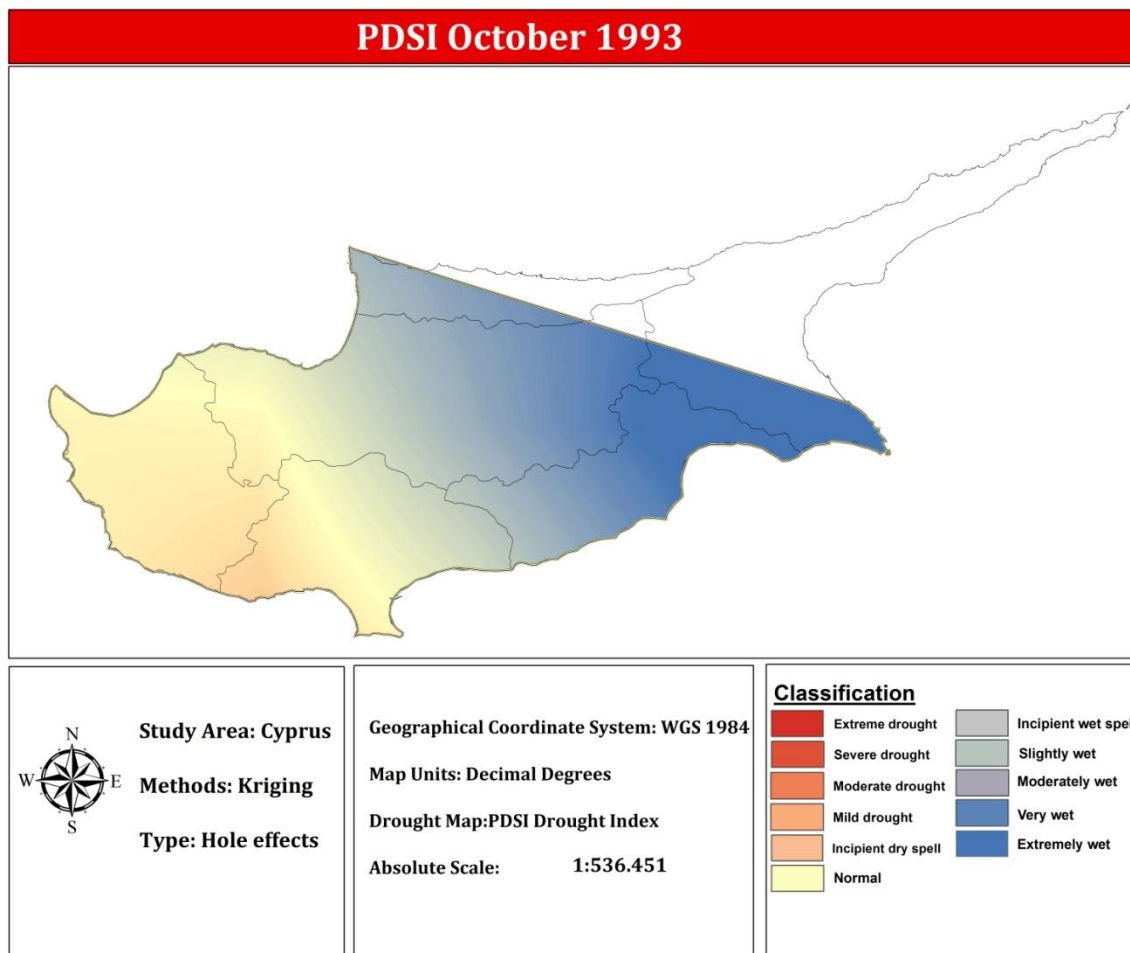
Εικόνα 79: Χάρτης PDSI για το μήνα Ιούλιο του 1993 (kriging)



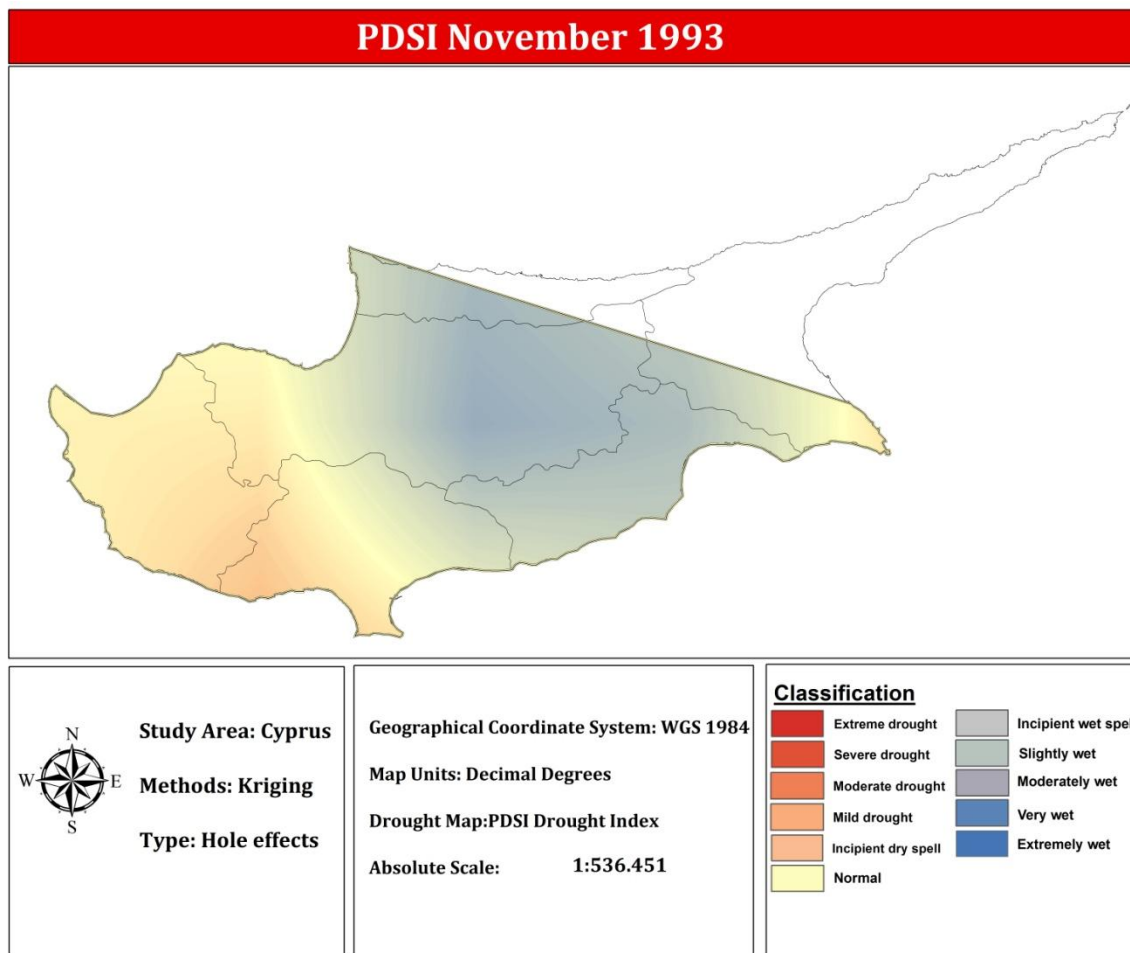
Εικόνα 80: Χάρτης PDSI για το μήνα Αύγουστο του 1993 (kriging)



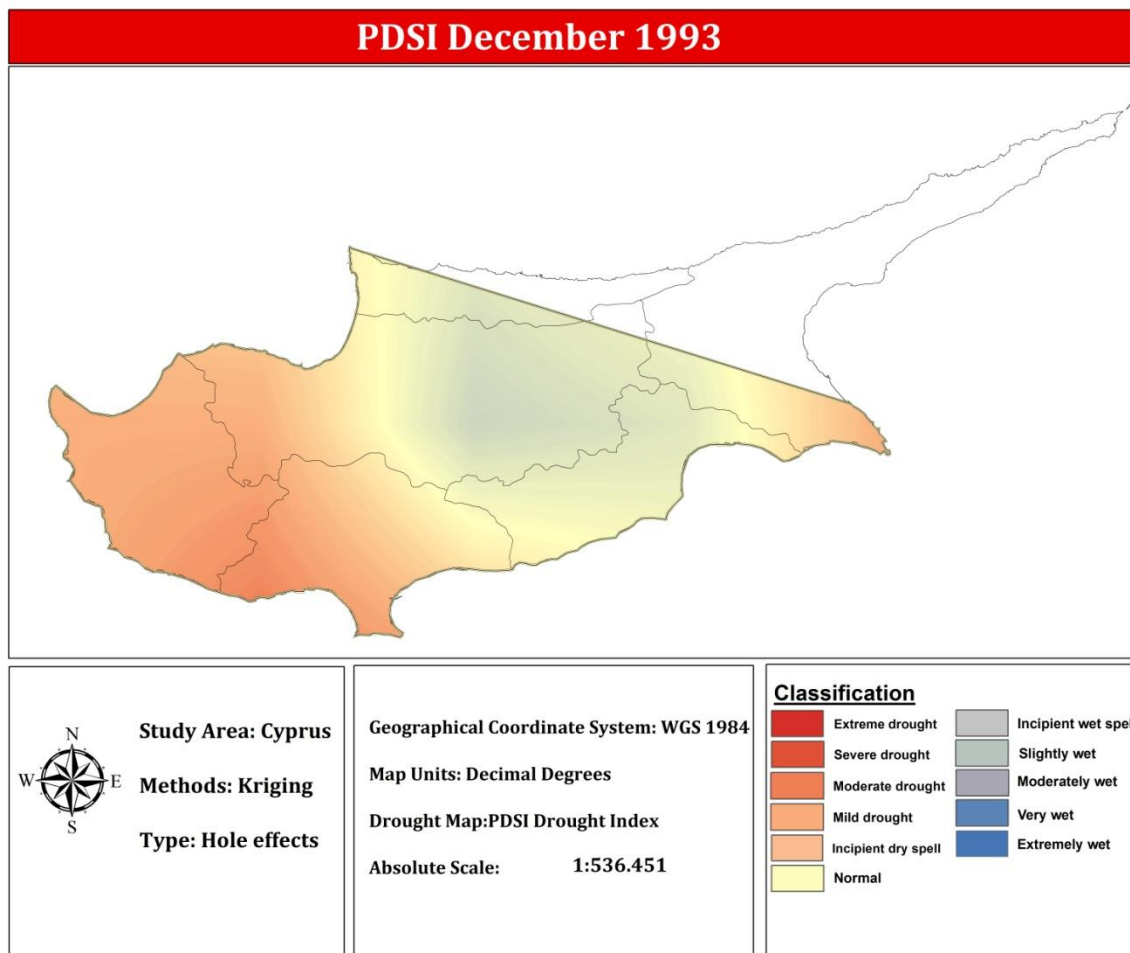
Εικόνα 81: Χάρτης PDSI για το μήνα Σεπτέμβριο του 1993 (kriging)



Εικόνα 82: Χάρτης PDSI για το μήνα Οκτώβριο του 1993 (kriging)



Εικόνα 83: Χάρτης PDSI για το μήνα Νοέμβριο του 1993 (kriging)



Εικόνα 84: Χάρτης PDSI για το μήνα Δεκέμβριο του 1993 (kriging)

Βιβλιογραφία

About Cyprus., 2012. Web portal of the Republic of Cyprus.

Available: <http://www.aboutcyprus.org.cy/gr/about-cyprus/history> Last accessed 18th Oct. 2012.

Bryant, 1991. Integrated Responses of Plants to Stress.

Cordery, I. and McCall, M., 2000. "A model for forecasting drought from teleconnections". Water Resources Research, 36:763-768.

Directive 2000/60/EC. Directive of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy, OJ L 327 of 22.12.2000.

DIS4ME, 2004. Available: http://www.unibas.it/desertnet/dis4me/index_gr.htm. Last accessed 10th June 2012.

DMCSEE Project proposal., 2007. Available: <http://www.dmcsee.org/>. Last accessed 25th June 2012

Drought Program. Available: <http://www.dmcsee.eu/>. Last accessed 2012.

Galiouna E., 2010. "Cyprus: Water Supplies, Enrichment and Water Resources Management", Workshop on the environment, "Water Resources: Obligation to Maintain and Protect", Athens Greece. (in Greek).

Gleick, P.H., M. Palaniappan. (2010-6). "Peak Water: Conceptual and Practical Limits to Freshwater Withdrawal and Use." Proceedings of the National Academy of Sciences.

Ioannou Em., 2006. Water Development Department. Available:http://www.moa.gov.cy/moa/wdd/wdd.nsf/index_gr/index_gr?OpenDocument. Last accessed 22th Sept. 2012.

Karagianni M., 2009. Water Scarcity in Cyprus-Consumers. Impacts and Responses

Karavitis C., A., 2008. Notes on Water Resources Management. (in Greek).

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.

- Karavitis, C., A., 1999. Decision Support Systems for Drought Management Strategies in Metropolitan Athens, Water International, Vol. 24, No. 1, pp. 10- 21.
- Kerkides P., Christos A. Karavitis, 2002. " Estimation of the Water Resources Potential in the Island System of the Aegean Archipelago, Greece", International Water Resources Association Water International, Volume 27, Number 2, Pages
- Kotzageorgis G., 2007. "Development of an Integrated Monitoring Programme for Water and Development Program of relevant databases that support the implementation of the Water Framework Directive 2000/60 in Cyprus", ENVECO SA, 2007. (in Greek).
- Managenergy.net, 2012 Available: <http://www.managenergy.net/publications.html>. Last accessed 17th Sept. 2012.
- McKee et al., 1993. Developed the Standardized Precipitation Index (SPI) for the purpose of defining and monitoring drought.
- Meteorological Service, Republic of Cyprus, 2012
Available:http://www.moa.gov.cy/moa/ms.nsf/DMLcyclimate_gr/DMLcyclimate_gr?OpenDocument. Last accessed 20th Oct. 2012.
- Nicolaidou M.; E. Chatzichristou, 19995. Inventory and Assessment of Flood Disaster in Greece and Cyprus (in Greek).
- Papaioannou H.M, 2010. "Exploring the Use of Rainwater in Cyprus", Workshop on Sustainable Rainwater Management, March 2010, Nicosia, Cyprus.
- Socrates G.; Chr. Omorfos; Em.loannou, 2001. 'Dams of Cyprus ', Water Development Department.
- Sustainable Energy Index, 2009.
Available: <http://www.managenergy.net/publications.html>. Last accessed 7th Dec. 2012.
- Tannehill, I.R. 1947. Drought and Its Causes and Effects. Princeton University Press.
- Theophilus K., 2009. "The Conditions of Cyprus and the Mediterranean region," Water Symposium in March 2007, Nicosia, Cyprus. (in Greek).
- Topis A., 2012. "Implementation of PDSI for the Integrated Management of Water Scarcity in Greece."

- Trahanis C., 2012. "Implementation of SPI for the Integrated Management of Water Scarcity in Cyprus."
- USGS, Available: <http://www.usgs.gov/>. Last accessed 10th June 2012
- Wilhite, D.A. and M.H. Glantz. 1985. Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. Water International 10.
- World Meteorological Organization, 2012
Available: http://www.wmo.int/pages/index_en.html. Last accessed 12th June 2012.
- Yevjevich, V., da Cunha, L., and Vlachos, E.C., 1983. Coping with Droughts, editors, Water Resources Publications, Littleton, CO.
- Yevjevich, V., 1967. An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts. Hydrol Papers Colorado State University, Fort Collins, Colorado.