

**ΚΑΤΑΡΤΙΣΗ ΣΧΕΔΙΟΥ ΔΡΑΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΞΗΡΑΣΙΑΣ – ΛΕΙΨΥΔΡΙΑΣ
ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΚΡΗΤΗΣ**

ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ 1

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΞΗΡΑΣΙΑΣ-ΛΕΙΨΥΔΡΙΑΣ, Η ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥΣ ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ, ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΚΑΙ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ	7
1.1 Εισαγωγή	7
1.2 Ομάδα μελέτης.....	9
1.3 Ιστορική αναδρομή φαινομένων ξηρασίας-λειψυδρίας.....	9
1.4 Καθορισμός ομάδων υπολεκανών απορροής για την αντιμετώπιση των γεγονότων ξηρασίας.....	11
2. ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ ΣΕ ΝΕΡΟ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ ΜΕΧΡΙ ΤΟ 2021..	16
2.1 Ετήσια ζήτηση σε νερό και απολήψεις.....	16
2.2 Απολήψεις από επιφανειακά υδατικά συστήματα.....	18
2.3 Απολήψεις από υπόγεια υδατικά συστήματα	20
2.4 Εκτίμηση Ζήτησης Νερού.....	24
3. ΙΣΟΖΥΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	30
3.1 Υπόγεια Υδατικά Συστήματα	30
3.2 Κατείδυση.....	31
3.3 Δείκτης Rex	43
3.4 Ευάλωτες στη λειψυδρία υδρογεωλογικές λεκάνες.....	44
3.5 Εκτίμηση της ποιοτικής και ποσοτικής κατάστασης των υπόγειων υδατικών συστημάτων του ΥΔ Κρήτης.....	66
4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΞΗΡΑΣΙΑΣ - ΛΕΙΨΥΔΡΙΑΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΥΣ ΔΕΙΚΤΕΣ	75
4.1 Το φαινόμενο της ξηρασίας.....	75
4.2 Ορισμοί της ξηρασίας.....	76
4.3 Αναγνώριση - Ταυτοποίηση της ξηρασίας.....	79
4.4 Εκτίμηση της ξηρασίας	82
4.4.1 Standardised Precipitation Index (SPI)	84
4.4.2 Reconnaissance Drought Index (RDI)	86
4.4.3 Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index (SPEI)	87
4.4.4 Precipitation Deciles	88
4.4.5 Agricultural Standardised Precipitation Index (aSPI)	89
4.4.6 Effective Reconnaissance Drought Index (eRDI)	89
4.5 Προσδιορισμός ξηρασίας βάσει της θεωρίας ‘runs’	90
4.6 Επιλογή δεικτών ξηρασίας για επιχειρησιακή χρήση	91
4.7 Επιλογή κατάλληλων περιόδων αναφοράς και χρονικού βήματος.....	92
4.8 Υπολογισμός δεικτών ξηρασίας στην Κρήτη	94
5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΛΕΙΨΥΔΡΙΑΣ	223
5.1 Γενικά.....	223
5.2 Δείκτες Λειψυδρίας	225
5.2.1 Δείκτης Έκμετάλευσης Νερού WEI (Water Exploitation Index)	225
5.2.2 Δείκτης WEI*	226
5.2.3 Water Poverty Index (WPI)	228
5.2.4 Δείκτης Rex.....	228
6. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ	230
6.1 Εισαγωγή	230
6.2 Παρακολούθηση της ξηρασίας (Drought monitoring).....	230
6.3 Σχεδιασμός ενός δικτύου παρακολούθησης της ξηρασίας	233
6.4 Συστήματα παρακολούθησης ξηρασίας και διεθνείς πρακτικές.....	237

6.4.1	Παρακολούθηση ξηρασίας στις Η.Π.Α.	237
6.4.2	Σύστημα παρακολούθησης ξηρασίας στην Αυστραλία	239
6.4.3	Παρακολούθηση της ξηρασίας στη Βραζιλία	241
6.4.4	Κέντρο παρακολούθησης ξηρασίας της Νοτιοαφρικανικής Αναπτυξιακής Κοινότητας	242
6.4.5	Ευρωπαϊκό Παρατηρητήριο Ξηρασίας.....	243
6.5	Συμπερασματικά Σχόλια - Σύνοψη.....	245
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		269
ΥΠΟΓΡΑΦΕΣ - ΘΕΩΡΗΣΕΙΣ.....		273

1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΞΗΡΑΣΙΑΣ-ΛΕΙΨΥΔΡΙΑΣ, Η ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥΣ ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ, ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΚΑΙ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ

1.1 Εισαγωγή

Η μελέτη «Κατάρτιση Σχεδίου δράσης για την Αντιμετώπιση Ξηρασίας - Λειψυδρίας στην Περιφέρεια Κρήτης» ανατέθηκε με την υπογραφή της σχετικής σύμβασης στις 11/9/2019. Η συνολική χρονική διάρκεια εκπόνησης της μελέτης/έργου είναι 14 μήνες από την υπογραφή της σύμβασης και το έργο χωρίζεται σε τρία στάδια (πακέτα εργασιών) που καλύπτουν τρεις περιόδους και καταλήγουν σε 3 παραδοτέα αντίστοιχα.

Του τεύχους αυτού έχει προηγηθεί η υποβολή και η έγκριση της Σύνοψης Τεχνικής Έκθεσης στην οποία αποτυπώθηκαν η μεθοδολογική προσέγγιση, ο σχεδιασμός και ο τρόπος υλοποίησης του έργου, τα διαθέσιμα μέσα και ανθρωπίνοι πόροι, και το χρονοδιάγραμμα των εργασιών του έργου.

Η μεθοδολογική προσέγγιση αναφέρεται σε 5 βασικά βήματα ως ακολούθως.

1. Αρχικά, η περιοχή μελέτης χωρίζεται σε ομάδες υπολεκανών απορροής προκειμένου να επιτευχθεί ανάλυση σε πιο λεπτομερή χωρική κλίμακα σε σύγκριση με τις λεκάνες απορροής ποταμού, όπως αυτές έχουν καθοριστεί στην 1^η Αναθεώρηση του Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Υδατικού Διαμερίσματος Κρήτης (EL 1339, EL 1340, EL 1341). *Σημειώνεται ότι οι ομάδες των υπολεκανών απορροής συνδιαμορφώθηκαν και επανακαθορίστηκαν μετά από εμπεριστατωμένη πρόταση της ομάδας μελέτης κατά τη διάρκεια του πρώτου σταδίου εκπόνησης της μελέτης.*
2. Με βάση τη διεξοδική υδρολογική ανάλυση κάθε ομάδας υπολεκανών απορροής, θα υπολογιστούν για κάθε πρόσφορη χρονική διάρκεια κατάλληλοι δείκτες εκτίμησης της ξηρασίας για το σύνολο των ετών του ιστορικού δείγματος. Επιπρόσθετα, λαμβάνοντας υπόψη τις υφιστάμενες αλλά και τις μελλοντικές ανάγκες σε νερό για τις διάφορες χρήσεις, με κατάλληλα εργαλεία θα αξιολογηθούν οι συνθήκες λειψυδρίας και οι σχετικές επιπτώσεις ανά ομάδα υπολεκανών σε ανάλογες χρονικές κλίμακες.
3. Ως προς το σύστημα παρακολούθησης θα διαμορφωθεί αναλυτικό σχέδιο που θα περιλαμβάνει τους σταθμούς που θα επιλεγούν, τις διαδικασίες

ανάλυσης, τα κριτήρια αξιολόγησης του κινδύνου ξηρασίας και λειψυδρίας καθώς και τους φορείς που θα επωμιστούν το έργο αυτό.

4. Με βάση την συνολική ανάλυση που θα πραγματοποιηθεί και το υφιστάμενο θεσμικό πλαίσιο θα υπάρξει συνολική πρόταση για τους φορείς που θα αναλάβουν επιχειρησιακή δράση ανά ομάδα υδρολογικών υπολεκανών.
5. Τέλος, ο ανάδοχος θα συντάξει τεύχος αναλυτικών οδηγιών για κάθε κύριο φορέα διαχείρισης υδατικών πόρων, για την ανάληψη επιχειρησιακής δράσης.

Σύμφωνα με το χρονοδιάγραμμα της Σύνοπτης Τεχνικής Έκθεσης που εγκρίθηκε από τους επιβλέποντες, ο ανάδοχος σε 5 μήνες από την υπογραφή της σύμβασης, υποχρεούται να υποβάλει στην Διευθύνουσα Υπηρεσία το 1^ο Παραδοτέο στο οποίο συμπυκνώνονται τα αποτελέσματα των εργασιών της Μελετητικής ομάδας για τις πρώτες 6 δράσεις/εργασίες του έργου που αναλυτικά αναφέρονται παρακάτω.

Το παρόν τεύχος αποτελεί το 1^ο Παραδοτέο του έργου που υποβάλλεται από τον Ανάδοχο εμπρόθεσμα στη Διευθύνουσα Υπηρεσία για έγκριση.

Οι εργασίες που καλύπτονται από το 1^ο Παραδοτέο και αναφέρονται στο τεύχος των Τεχνικών Δεδομένων του έργου είναι συνοπτικά οι ακόλουθες:

1. Ιστορική αναδρομή φαινομένων ξηρασίας-λειψυδρίας, η διαχείριση τους και οι επιπτώσεις στο οικονομικό, περιβαλλοντικό και κοινωνικό επίπεδο.
2. Πρόβλεψη της ζήτησης σε νερό για διάφορες χρήσεις μέχρι το 2021 για κάθε ομάδα υπολεκανών.
3. Καταγραφή του ισοζυγίου κάθε υδατικού συστήματος (υπόγειου ή επιφανειακού) και έργου (ταμιευτήρες, λιμνοδεξαμενές, πεδία γεωτρήσεων κλπ).
4. Αποτύπωση των σχέσεων ζήτησης και διαθεσιμότητας υδατικών πόρων για κάθε ομάδα υπολεκανών
5. Ανάλυση και καθορισμός φαινομένων ξηρασίας και λειψυδρίας με τη χρήση κατάλληλων δεικτών.
6. Σχεδιασμός δικτύου παρακολούθησης της ξηρασίας με βάση την υπάρχουσα υποδομή.

Σημειώνεται ότι στο χρονοδιάγραμμα δεν περιλαμβάνονται χρόνοι υλοποίησης των απαιτούμενων ενεργειών (π.χ. εγκρίσεων) από την Διευθύνουσα Υπηρεσία. Συνεπώς ο ανάδοχος υποχρεούται να υποβάλει το δεύτερο παραδοτέο 4 μήνες μετά την υποβολή του 1^{ου} παραδοτέου δηλαδή στις 4/6/2020.

1.2 Ομάδα μελέτης

Η ομάδα που συγκροτήθηκε για την εκπόνηση της παρούσας μελέτης αποτελείται από τους παρακάτω επιστήμονες:

- Γεώργιος Κόλλιας Αγρ. & Τοπ. Μηχανικός ΕΜΠ, MSc Modena & Reggio Emilia
- Βασίλης Τσακίρης Αγρ. & Τοπογράφος Μηχανικός ΕΜΠ, MSc Imperial College London
- Σάββας Παρίτσης Γεωλόγος, PhD
- Γεώργιος Κοψιαύτης Γεωλόγος, Αγρ. & Τοπ. Μηχ. ΕΜΠ, MSc, Υποψ. Διδάκτωρ ΕΜΠ
- Βασίλης Μπέλλος Πολιτικός Μηχανικός, PhD
- Ιωάννης Κούρτης Αγρ. & Τοπογράφος Μηχανικός ΕΜΠ, MSc ΕΜΠ
- Παναγιώτης Τσακίρης Οικονομολόγος, MBA, MSc ΕΜΠ

Την ομάδα μελέτης υποστήριξαν επιστημονικά οι:

Γ. Τσακίρης, Ομότιμος Καθηγητής ΕΜΠ

Χ. Βαγγέλης, PhD, ΕΕΔΙΠ ΕΜΠ

Δ. Τίγκας, PhD

1.3 Ιστορική αναδρομή φαινομένων ξηρασίας-λειψυδρίας

Η πρώτη εργασία του 1^{ου} Παραδοτέου του έργου αναφέρεται στην ιστορική αναδρομή φαινομένων ξηρασίας και λειψυδρίας που έπληξαν την Κρήτη στο παρελθόν και στις επιπτώσεις στο οικονομικό, περιβαλλοντικό και κοινωνικό επίπεδο.

Η αναδρομή σε ιστορικά γεγονότα ξηρασίας και λειψυδρίας έχει σκοπό να προσεγγίσει τις αντίστοιχες συνθήκες και να εκτιμήσει τις συνέπειες αυτών των γεγονότων. Μια τέτοια αναδρομή έχει βεβαίως μεγάλο ενδιαφέρον όχι μόνο από την πλευρά των υδατικών πόρων αλλά και από ιστορική, οικονομική και κοινωνική σκοπιά. Όμως μια σε βάθος ανάλυση αυτών των συνθηκών θα απαιτούσε διεύρυνση του αντικειμένου της μελέτης σε πεδία άλλων ειδικοτήτων (ιστορικών, κοινωνιολόγων, οικονομολόγων, πολιτικών επιστημόνων κ.α.) γεγονός που εκφεύγει του στόχου και της αποτελεσματικότητας του έργου αυτού.

Για την ιστορική αναδρομή η ομάδα μελέτης του έργου με τη χρήση ενός εύρους πηγών και εργαλείων εντόπισε μια σειρά ετών με δυσμενείς συνθήκες ξηρασίας και ελλειμματικών συνθηκών νερού σε περιοχές της Κρήτης τις τελευταίες δεκαετίες που υπάρχουν μετρήσεις των σχετικών μεγεθών. Με βάση τις πηγές τα φαινόμενα ξηρασίας μπορούν να αναφέρονται στην Ανατολική ή στη Δυτική Κρήτη ή στην καλύτερη περίπτωση σε κάθε νομό της Κρήτης.

Τα φαινόμενα που αναφέρονται πιο κάτω είναι κυρίως γεγονότα ξηρασίας και λιγότερο λειψυδρίας σύμφωνα με τους ορισμούς που δίνονται στα επόμενα κεφάλαια του τεύχους αυτού. Γεγονότα που οφείλονται αποκλειστικά στην κακή διαχείριση των

υδατικών πόρων δεν περιλαμβάνονται στη λίστα των γεγονότων ξηρασίας που ακολουθούν. Ως βήμα χρόνου επιλέγεται το έτος και συνεπώς οι εμμένουσες ξηρασίες για σειρά ετών φαίνονται με τα διαδοχικά έτη που χαρακτηρίζονται ως ξηρά.

Τέλος έγινε προσπάθεια τα έτη ξηρασίας να χαρακτηρίζονται σε σχέση με τον βαθμό ξηρασίας ως «έντονη ξηρασία» ή «μέτρια ξηρασία».

Σημειώνεται ότι μια περισσότερο ενδελεχής αποτύπωση των φαινομένων ξηρασίας σε διάφορες περιοχές της Κρήτης παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 4 αυτού του τεύχους και στο Αναλυτικό Παράρτημα που αναφέρεται σε δεδομένα συγκεκριμένων μετεωρολογικών σταθμών με τη βοήθεια κατάλληλων δεικτών ξηρασίας. Στους πίνακες του Κεφαλαίου 4 χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από 10 σταθμούς στο Ν. Λασιθίου, 30 στο Ν. Ηρακλείου, 10 στο Ν. Ρεθύμνου και 12 στο Ν. Χανίων.

Με βάση τις πηγές που χρησιμοποιήθηκαν για το Ν. Λασιθίου είχαμε:

- Έντονες ξηρασίες: τα έτη 89/90, 92/93, 99/00 και 2000/01
- Μέτριες ξηρασίες: τα έτη 74/75, 76/77, 82/83, 93/94 και 97/98

Για το Ν. Ηρακλείου:

- Έντονες ξηρασίες: τα έτη 73/74, 87/88, 88/89, 89/90, 92/93, 99/00 και 08/09
- Μέτριες ξηρασίες: 77/78, 78/79, 79/80 και 80/81

Για το Ν. Ρεθύμνου:

- Έντονες ξηρασίες: τα έτη 82/83, 84/85, 99/00 και 03/04
- Μέτριες ξηρασίες: 85/86, 89/90, 90/91, 91/92, 92/93, 2006/07

Για το Ν. Χανίων:

- Έντονες ξηρασίες: τα έτη 73/74, 82/83, 87/88, 89/90, 90/91
- Μέτριες ξηρασίες: 77/78, 93/94, 94/95, 97/98, 99/2000, 2001/02, 2005/06 και 2007/08

Από τα παραπάνω στοιχεία προκύπτει ότι η περίοδος με τα μεγαλύτερα προβλήματα και επιπτώσεις από τα γεγονότα ξηρασίας ήταν η περίοδος 1987- 1993 που συμπίπτει με την παρατεταμένη περίοδο ξηρασίας που έπληξε σχεδόν όλη τη χώρα. Έντυπα της εποχής αντανakλούν την ανάδειξη του θέματος ως του πιο σημαντικού τοπικού προβλήματος για τη μακρά αυτή περίοδο.

Τα μέτρα αντιμετώπισης της ξηρασίας αυτής της περιόδου ήταν στην κατεύθυνση ενημέρωσης του κοινού με απαγορεύσεις κάποιων καταναλωτικών χρήσεων και την επιβολή περιορισμών στην κατανάλωση κυρίως των αστικών καταναλώσεων και αλλά και των καταναλώσεων στη γεωργία. Τα μέτρα αυτά λαμβάνονταν για τις αστικές καταναλώσεις από τις ΔΕΥΑ ή δήμους και για την κατανάλωση στη γεωργία από την Αποκεντρωμένη Διοίκηση της Κρήτης ή τους αντίστοιχους οργανισμούς ανάπτυξης Δυτικής και Ανατολικής Κρήτης.

Τα προβλήματα έλλειψης νερού αναφέρονται σε πολλά δημοσιεύματα της εποχής με έξαρση την περίοδο μετά το 1991/92.

Εντελώς συνοπτικά τα προβλήματα την περίοδο αυτή αντιμετωπίστηκαν μερικώς αφήνοντας σημαντικό αρνητικό οικονομικό και κοινωνικό αποτύπωμα για τις περισσότερες περιοχές της Κρήτης για τη περίοδο μεγαλύτερη των 7 περίπου ετών. Βασική κατεύθυνση στην αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων ήταν η ανόρυξη πολλών νέων γεωτρήσεων για την αύξηση των διαθέσιμων ποσοτήτων νερού για κατανάλωση. Το γεγονός αυτό παρά το θετικό του ρόλο στο ισοζύγιο διαθεσιμότητας- ζήτησης για κάποιο διάστημα είχε σε πολλές περιπτώσεις ως αποτέλεσμα την υπεράντληση των υπόγειων υδροφορέων και σε ορισμένους παράκτιους υδροφορείς συνέβαλε στην σταδιακή υφαλμύρωση τους.

Δευτερευόντως η διαπίστωση ότι η Κρήτη γίνεται ολοένα και περισσότερο ελλειμματική σε υδατικούς πόρους βοήθησε στην υιοθέτηση δημιουργίας επιφανειακών ταμιευτήρων για την εκμετάλλευση των επιφανειακών απορροών.

1.4 Καθορισμός ομάδων υπολεκανών απορροής για την αντιμετώπιση των γεγονότων ξηρασίας

Σύμφωνα με το χρονοδιάγραμμα υλοποίησης της μελέτης σε πρώτη φάση έπρεπε η γεωγραφική επιφάνεια της Κρήτης να χωρισθεί σε περιοχές για την λεπτομερειακή απεικόνιση των γεγονότων ξηρασίας καθώς και την ανάδειξη των τοπικών φορέων που θα συνεργασθούν με την Κεντρική Διοίκηση της Κρήτης για τον προσδιορισμό του βαθμού σοβαρότητας του κάθε γεγονότος ξηρασίας και την εφαρμογή των αναγκαίων μέτρων για την αντιμετώπιση της.

Για προφανείς λόγους οι επιμέρους γεωγραφικές ενότητες που έπρεπε να επιλεγούν ώστε να περιέχουν στοιχεία που αφορούν στον κύκλο του νερού και από την άλλη διοικητικά ώστε να μπορούν να παίρνονται αποφάσεις και να υπάρχουν φορείς που να είναι υπεύθυνοι για την υλοποίηση τους.

Κρίθηκε ότι η επιλογή των λεκανών απορροής ποταμών του Σχεδίου Διαχείρισης Υδατικών Πόρων του υδατικού διαμερίσματος της Κρήτης δεν παρέχει τη χωρική βάση για την λεπτομερή περιγραφή των φαινομένων ξηρασίας και λειψυδρίας.

Επομένως έπρεπε να ορίσουμε μικρότερες εκτάσεις που θα αντιπροσωπεύουν ομάδες μικρών γειτονικών λεκανών ή καλύτερα ομάδες υπολεκανών (για αντιδιαστολή με τις λεκάνες απορροής ποταμών της Οδηγίας).

Τα κριτήρια για την επιλογή των ομάδων των υπολεκανών που θα αντιμετωπίζονται ως ενιαίες γεωγραφικές ενότητες για την ανάλυση και διαχείριση της ξηρασίας και της λειψυδρίας (εφόσον είναι δυνατόν), είναι:

- 1) Οι ομάδες υπολεκανών πρέπει να ανήκουν στην ίδια λεκάνη απορροής του ΣΛΑΠ
- 2) Οι ομάδες υπολεκανών πρέπει να περιλαμβάνουν τα κέντρα κατανάλωσης και τους διαθέσιμους υδατικούς πόρους
- 3) Θα πρέπει να αποτελούν σύμπλεγμα όμορων υπολεκανών με κατά το δυνατόν όμοια χαρακτηριστικά (γεωμορφολογικά, κλιματικά, διαχειριστικά)
- 4) Κάθε ομάδα υπολεκανών να ανήκει σε ένα νομό (σήμερα ΠΕ).
- 5) Οι υπολεκάνες που συνενώνονται να έχουν κατά το δυνατόν ανάγκες σε νερό παρόμοιας φύσης

Είναι προφανές ότι στην επιλογή των ομάδων δεν μπορούσαν να ικανοποιηθούν όλα τα παραπάνω κριτήρια. Η ικανοποίηση των κριτηρίων γίνεται με τη σειρά σπουδαιότητας που παρουσιάζεται παραπάνω. Μικρές αποκλίσεις παρουσιάζονται ακόμη σε επιλογές με βάση και στα δύο πρώτα κριτήρια.

Στους χάρτες που ακολουθούν παρουσιάζονται οι επιλεγείσες ομάδες υπολεκανών που προτάθηκαν από τη μελετητική ομάδα και έγιναν αποδεκτές μετά από σχετικές συζητήσεις από τους επιβλέποντες σε αρχική φάση.

Όπως θα εξηγηθεί αναλυτικά στο κεφάλαιο που αναφέρεται στη λειψυδρία οι ομάδες υπολεκανών (που παρουσιάζονται στο χάρτη 1.1 που ακολουθεί) δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για τη λειψυδρία γιατί οι διαθέσιμοι υδατικοί πόροι μπορεί να προέρχονται από υπόγειο υδροφόρα με πολύ μεγαλύτερες διαστάσεις από την έκταση που καλύπτει η ομάδα υπολεκανών της ξηρασίας.

Παρά την παρατήρηση αυτή που είναι βάσιμη σε πολλές περιπτώσεις, επιλέχθηκαν 9 ομάδες υπολεκανών ως εξής:

ΟΜΑΔΑ 1: ΧΑΝΙΑ - ΚΙΣΑΜΟΣ - ΕΛΑΦΟΝΗΣΙ - ΚΑΛΑΜΙ

ΟΜΑΔΑ 2: ΠΑΛΑΙΟΧΩΡΑ - ΣΦΑΚΙΑ - ΠΛΑΚΙΑΣ

ΟΜΑΔΑ 3: ΡΕΘΥΜΝΟ - ΓΕΩΡΓΟΥΠΟΛΗ

ΟΜΑΔΑ 4: ΓΕΡΟΠΟΤΑΜΟΣ - ΠΛΑΤΥΣ

ΟΜΑΔΑ 5: ΗΡΑΚΛΕΙΟ - ΜΑΛΙΑ

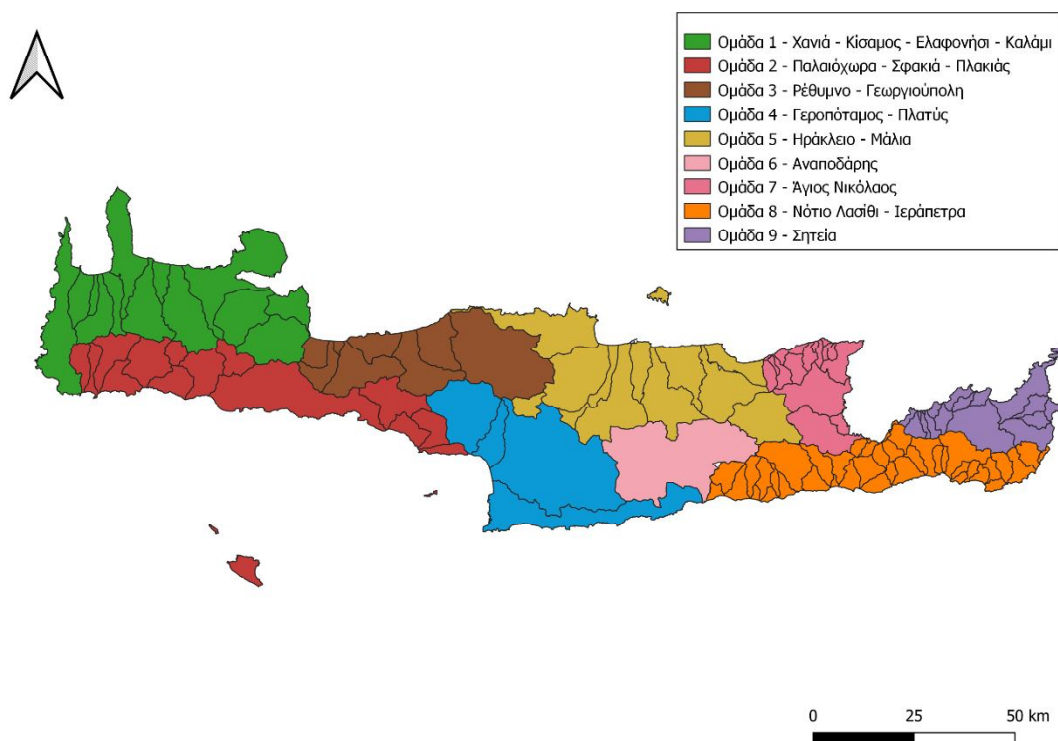
ΟΜΑΔΑ 6: ΑΝΑΠΟΔΑΡΗΣ

ΟΜΑΔΑ 7: ΑΓΙΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΟΜΑΔΑ 8: ΝΟΤΙΟ ΛΑΣΙΘΙ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ

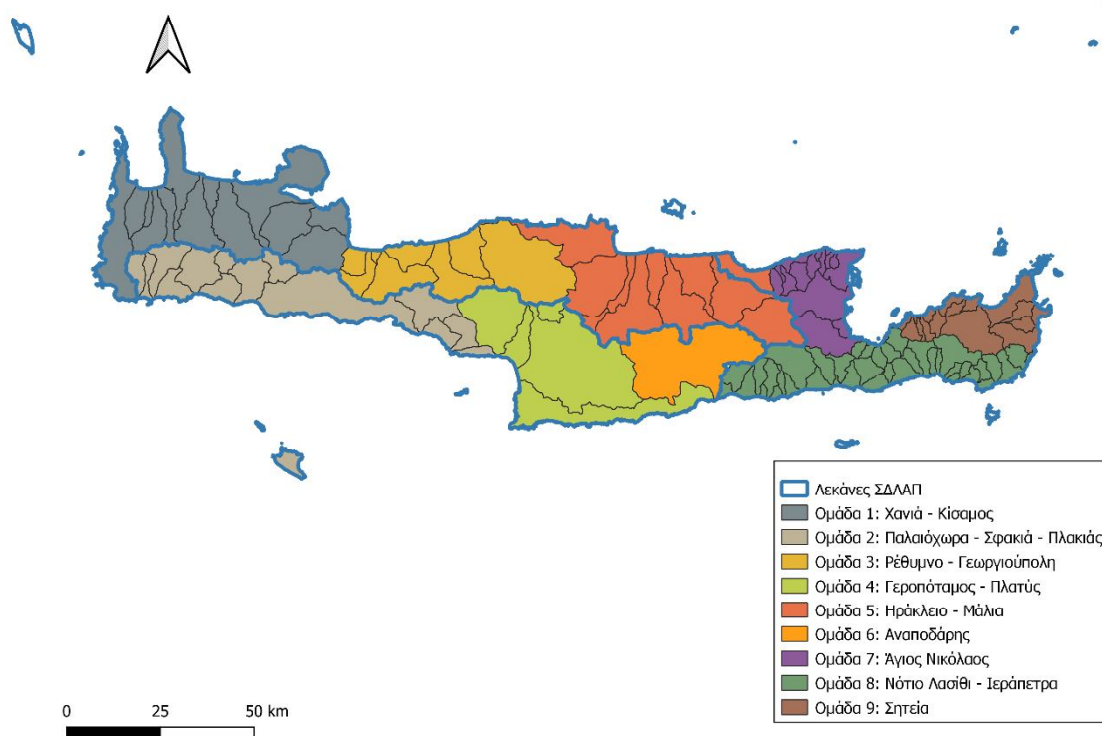
ΟΜΑΔΑ 9: ΣΗΤΕΙΑ

Οι ομάδες υπολεκανών παρουσιάζονται με διαφορετικά χρώματα στους χάρτες που ακολουθούν (Χάρτης 1.1, 1.2 και 1.3). Στον χάρτη 1.2 οι ομάδες υπολεκανών παρουσιάζονται σε σχέση με τις λεκάνες του Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών (ΣΔΛΑΠ), ενώ στον χάρτη 1.3 σε σχέση με τα όρια των Καλλικρατικών Δήμων.



Χάρτης 1.1

Προτεινόμενες ομάδες υπολεκανών διαχείρισης ξηρασίας



Χάρτης 1.2 Προτεινόμενες ομάδες υπολεκανών διαχείρισης ξηρασίας και λεκάνες του Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών (ΣΔΛΑΠ)

2. ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ ΣΕ ΝΕΡΟ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ ΜΕΧΡΙ ΤΟ 2021

2.1 Ετήσια ζήτηση σε νερό και απολήψεις

Ο όρος ζήτηση σε νερό για συγκεκριμένη χρήση διακρίνεται για την αβεβαιότητα ως προς την ικανοποίηση της συγκεκριμένης απαίτησης αλλά και την ελαστικότητα ως μέγεθος που μπορεί να υποστεί πιέσεις ανάλογα με τις οικονομικές και άλλες παραμέτρους. Στη σύγχρονη ορολογία ο όρος ζήτηση σε νερό έχει αντικαταστήσει τον παλαιότερο όρο «ανάγκες σε νερό» που αναφέρεται σε απόλυτα μεγέθη που παραμένουν αμετάβλητα ανεξαρτήτως των συνθηκών.

Άμεσα συναρτημένη με τη ζήτηση είναι και η πραγματική απόληψη από ένα ή περισσότερα υδατικά συστήματα (water bodies). Η αρνητική απόκλιση της πραγματοποιούμενης απόληψης από τη ζήτηση χαρακτηρίζεται ως υδατικό έλλειμμα. Στην περίπτωση που το υδατικό έλλειμμα είναι σημαντικό για μεγάλη χρονική διάρκεια και χωρική έκταση, το φαινόμενο χαρακτηρίζεται ως λειψυδρία. Το φαινόμενο της λειψυδρίας μπορεί να είναι προσωρινό ή μόνιμο για ένα σύστημα διαχείρισης υδατικών πόρων ή μια ευρύτερη περιοχή. Μπορεί επίσης να οφείλεται σε γεγονός ξηρασίας ή κακοδιαχείρισης ή και στα δύο. Τέλος μόνιμη λειψυδρία μπορεί να έχει ένα σύστημα διαχείρισης υδατικών πόρων ή μια γεωγραφική περιοχή η οποία να οφείλεται στις κλιματικές συνθήκες της περιοχής (ξηρότητα στο κλίμα).

Για τον προσδιορισμό του ελλείμματος της ζήτησης, κρίσιμο μέγεθος αποτελεί η πραγματική διαθεσιμότητα πόρων που εξασφαλίζει το επίπεδο των πραγματικών απολήψεων. Στην περίπτωση που η λειψυδρία εκτιμάται με αφετηρία τους διαθέσιμους υδατικούς πόρους τότε η ζήτηση αντικαθίσταται από τις διαθέσιμες ποσότητες υδατικών πόρων στους αντίστοιχους δείκτες (οι πιο δημοφιλείς αναφέρονται στο κεφάλαιο για τους δείκτες αυτού του τεύχους).

Μία επίσης σημαντική παράμετρος είναι η περίοδος αναφοράς στην οποία βασίζονται τόσο οι απολήψεις όσο και η ζήτηση (αλλά και η διαθεσιμότητα των πόρων). Η περίοδος αναφοράς ποικίλει αναλόγως του κύκλου της ανανέωσης των αποθεμάτων, αλλά και άλλων παραγόντων. Η πιο συνήθης περίοδος αναφοράς είναι το υδρολογικό έτος δηλ. η περίοδος από Οκτώβριο μέχρι Σεπτέμβριο. Εναλλακτικά μπορεί να είναι και το ημερολογιακό έτος αν και δεν ενδείκνυται λόγω της διάιτας των βροχοπτώσεων στο Μεσογειακό κλίμα.

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται οι συνολικές ετήσιες απολήψεις νερού για όλες τις χρήσεις. Οι αναλυτικοί υπολογισμοί ζήτησης και απολήψεων νερού έχουν γίνει στο πλαίσιο της 1^{ης} Εγκεκριμένης Αναθεώρησης του Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος της Κρήτης (EL 13). Ιδιαίτερα οι αντίστοιχοι υπολογισμοί βρίσκονται στο αναλυτικό κείμενο τεκμηρίωσης

«Ανάλυση ανθρωπογενών πιέσεων και των επιπτώσεών τους στα επιφανειακά και στα υπόγεια υδατικά συστήματα» του εν λόγω σχεδίου.

Οι κατηγορίες χρήσεων που εξετάστηκαν είναι:

- Ύδρευση
- Άρδευση
- Κτηνοτροφία
- Βιομηχανία
- Άλλες χρήσεις

Από τις ανωτέρω επιμέρους κατηγορίες προκύπτουν τα συγκεντρωτικά στοιχεία για τις απολήψεις νερού που πραγματοποιούνται στο Υδατικό Διαμέρισμα της Κρήτης. Στον ακόλουθο πίνακα και στο σχετικό σχήμα, παρουσιάζονται οι συνολικές απολήψεις νερού για την ικανοποίηση των χρήσεων ύδρευσης, άρδευσης, κτηνοτροφίας και βιομηχανίας, ανά Λεκάνη Αποροής Ποταμού του ΥΔ Κρήτης.

Το ύψος των συνολικών ετήσιων απολήψεων φτάνει για το Υδατικό Διαμέρισμα της Κρήτης στα 610,95 εκ. m³. Το μεγαλύτερο μέρος των απολήψεων αφορά στην άρδευση γεωργικών εκτάσεων, που ανέρχεται στο 78% των συνολικών απολήψεων, και ακολουθεί η ύδρευση που φτάνει στο 21%. Οι απολήψεις που αφορούν την κτηνοτροφία και τη βιομηχανία είναι 0.7% και 0.1% αντίστοιχα.

Σύμφωνα με τον πίνακα 2.1 το μεγαλύτερο ύψος ετήσιων απολήψεων πραγματοποιείται στην βόρεια λεκάνη απορροής (EL1339) στην οποία βρίσκονται οι κύριοι οικισμοί του νησιού δηλ. 289,35 εκ. m³. Τό ύψος αυτό αντιπροσωπεύει σχεδόν το μισό του συνόλου των ετήσιων απολήψεων.

Πίνακας 2.1 Ετήσιες Απολήψεις ανά Λεκάνη Απορροής Ποταμού ανά κατηγορία χρήσης στο ΥΔ Κρήτης (EL13)

Λεκάνη Απορροής Ποταμών (ΛΑΠ)	Ύδρευση (εκ. m ³)	Άρδευση (εκ. m ³)	Κτηνοτροφία (εκ. m ³)	Βιομηχανία (εκ. m ³)
EL1339	84,35	202,88	1,84	0,28
EL1340	13,46	152,91	1,08	0,29
EL1341	24,09	119,29	0,40	0,08
Εκτός υδρ. λεκανών ΕΥΣ στο σύνολο του ΥΔ	5,75	3,31	0,83	0,10
Σύνολο ΥΔ	127,65	478,39	4,16	0,75

2.2 Απολήψεις από επιφανειακά υδατικά συστήματα

Στους πίνακες που ακολουθούν δίδονται ανά ΛΑΠ τα αναλυτικά στοιχεία ετήσιων απολήψεων ανά επιφανειακό υδατικό σύστημα. Σε κάποιες περιπτώσεις υδατικών συστημάτων που δεν δίνονται στοιχεία, αυτό δεν σημαίνει απαραίτητα ότι δεν υπάρχουν απολήψεις στα συγκεκριμένα υδατικά συστήματα αλλά ότι δεν είναι καταγεγραμμένες. Οι απολήψεις αυτές στην μεγάλη τους πλειοψηφία αφορούν την άρδευση ιδιωτικών εκτάσεων.

Στα επιφανειακά Υδατικά Συστήματα οι περισσότερες απολήψεις γίνονται για υδρευτικούς και αρδευτικούς σκοπούς (Πιν. 2.2 και Σχ. 2.1). Οι απολήψεις για την ύδρευση να ανέρχονται στο 51,6% ενώ για την άρδευση στο 45,3%. Όσον αφορά στις άλλες δύο χρήσεις οι απολήψεις για την κτηνοτροφία αντιστοιχούν στο 2,7%, ενώ για τη βιομηχανία στο 0,4% του συνόλου των ετήσεων απολήψεων. Στον χάρτη 2.1 φαίνονται οι θέσεις των απολήψεων από επιφανειακά υδατικά συστήματα.

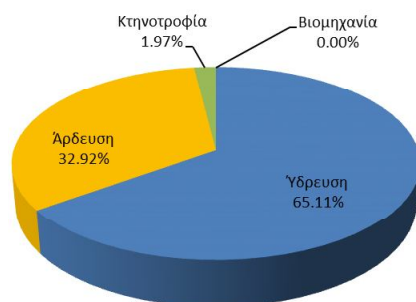


Χάρτης 2.1 Θέσεις υδροληψιών από τα επιφανειακά ΥΣ για ύδρευση και άρδευση

Πίνακας 2.2 Ετήσιες Απολήψεις από επιφανειακά Υδατικά Συστήματα ανά χρήση στο ΥΔ Κρήτης (EL13)*

ΛΑΠ	Απολήψεις (10 ⁶ m ³)			
	Υδρευση	Άρδευση	Κτηνοτροφία	Βιομηχανία
EL1339	25,0	12,7	0,8	0,00
EL1340	7,5	7,5	0,4	0,20
EL1341	1,2	11,1	0,1	0,00
Εκτός υδρ. λεκανών ΕΥΣ στο σύνολο του ΥΔ	5,7	3,3	0,8	0,07
Σύνολο	39,44	34,59	2,08	0,27
*οι ποσότητες συμπεριλαμβάνουν και τις απολήψεις από πηγές				

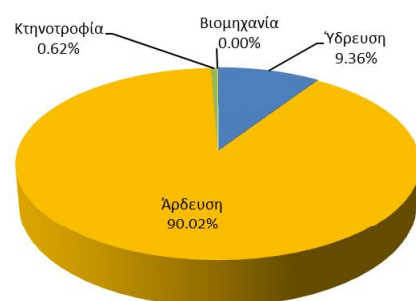
Απολήψεις από τα ΕΥΣ - EL1339



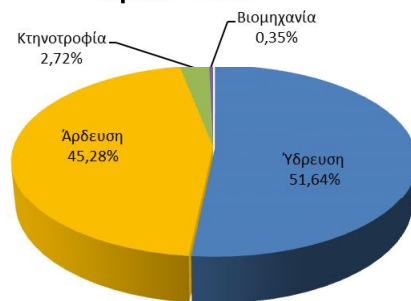
Απολήψεις από τα ΕΥΣ - EL1340



Απολήψεις από τα ΕΥΣ - EL1341



Απολήψεις επιφανειακών νερών - EL13



Σχήμα 2.1 Ετήσιες απολήψεις από τα επιφανειακά υδατικά συστήματα για κάθε κατηγορία χρήσης (ανά λεκάνη απορροής και στο σύνολο)

Στον χάρτη 2.2 παρουσιάζεται το σύνολο των ετήσιων απολήψεων από τις λεκάνες των επιφανειακών Υδατικών Συστημάτων. Παρατηρείται ότι οι μεγαλύτερες απολήψεις πραγματοποιούνται από ταμιευτήρες και οι υπόλοιπες κυρίως αφορούν σε νερά πηγών.



Χάρτης 2.2 Κατανομή συνολικών απολήψεων ανά επιφανειακό υδατικό σύστημα

2.3 Απολήψεις από υπόγεια υδατικά συστήματα

Η ανάλυση των υφιστάμενων δεδομένων αντλήσεων παρουσιάζεται στο Αναλυτικό Κείμενο Τεκμηρίωσης «Ανάλυση ανθρωπογενών πιέσεων και των επιπτώσεών τους στα επιφανειακά και στα υπόγεια υδατικά συστήματα» καθώς και στο Αναλυτικό Κείμενο Τεκμηρίωσης «Χαρακτηρισμός και αξιολόγηση/ταξινόμηση της κατάστασης των υπόγειων υδατικών συστημάτων» της εγκεκριμένης 1^{ης} Αναθεώρησης Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Κρήτης (EL 13).

Στο ΥΔ Κρήτης (EL13) οι κυριότερες απολήψεις από τα υπόγεια νερά γίνονται για ύδρευση οικισμών και άρδευση γεωργικών εκτάσεων (Πιν. 2.3). Όσον αφορά στην ύδρευση αυτή αντιστοιχεί περίπου στο 16,5% των απολήψεων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.2. Επιπλέον, όπως φαίνεται στον χάρτη 2.3, οι περισσότερες υδροληψίες ύδρευσης εντοπίζονται κυρίως στο βόρειο τμήμα του νησιού, όπου και βρίσκονται οι μεγαλύτεροι οικισμοί και λειτουργούν μεγάλες ξενοδοχειακές μονάδες, καθώς επίσης (αλλά σε μικρότερο βαθμό) και στο νότιο τμήμα της ΠΕ Ηρακλείου, στην ευρύτερη περιοχή της Μεσσαράς.



Χάρτης 2.3 Θέσεις υδροληψιών από τα Υπόγεια Υδατικά Συστήματα για ύδρευση

Αντίστοιχα για την άρδευση, οι αυξημένες απολήψεις από τα Υπόγεια Υδατικά Συστήματα (ΥΥΣ) φτάνουν στο 83% των απολήψεων και εντοπίζονται κυρίως σε περιοχές καλλιεργούμενων γεωργικών εκτάσεων που αναπτύσσονται στα Υπόγεια Υδατικά Συστήματα, όπως φαίνεται και στον παρακάτω χάρτη 2.4.



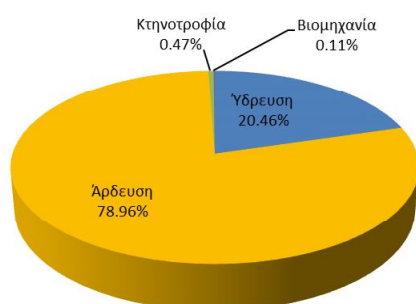
Χάρτης 2.4 Κατανομή καλλιεργήσιμων εκτάσεων σε σχέση με τα Υπόγεια Υδατικά Συστήματα

Σημαντικά μικρότερες είναι οι απολήψεις από τα Υπόγεια Υδατικά Συστήματα που σχετίζονται με την κτηνοτροφία και τη βιομηχανία, με ποσοστά 0,39% και 0,09% , αντίστοιχα. Όσον αφορά στις απολήψεις για τη βιομηχανία αυτές αφορούν κυρίως σε νερό εμφιάλωσης και νερό που καταναλώνεται στην ΒΙΠΕ Ηρακλείου. Οι απολήψεις από τα ΥΥΣ ανά χρήση στο ΥΔ Κρήτης παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.3 και στο Σχήμα 2.2.

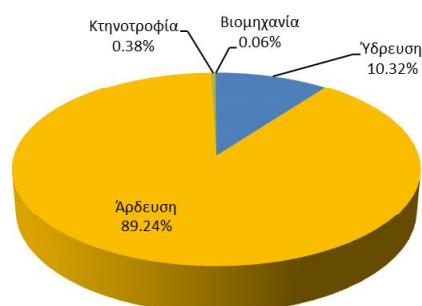
Πίνακας 2.3 Απολήψεις από τα ΥΥΣ ανά χρήση στο ΥΔ Κρήτης (ΕΛ13)

ΛΑΠ	Απολήψεις (10 ⁶ m ³)			
	Υδρευση	Άρδευση	Κτηνοτροφία	Βιομηχανία
ΕΛ1339	47,79	184,43	1,09	0,28
ΕΛ1340	17,49	151,22	0,66	0,12
ΕΛ1341	22,93	108,16	0,33	0,08
Σύνολο	88,21	443,81	2,08	0,48

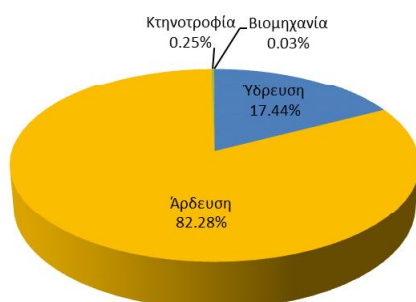
Απολήψεις από τα ΥΥΣ - ΕΛ1339



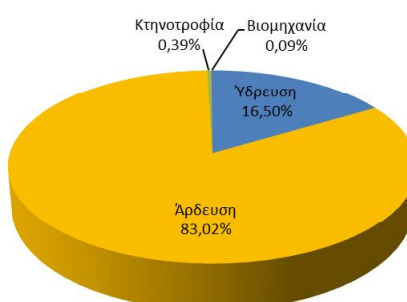
Απολήψεις από τα ΥΥΣ - ΕΛ1340



Απολήψεις από τα ΥΥΣ - ΕΛ1341



Απολήψεις από τα ΥΥΣ - ΕΛ13



Σχήμα 2.2 Κατανομή απολήψεων νερού από τα Υπόγεια Υδατικά Συστήματα ΥΥΣ, ανά χρήση και ανά Λεκάνη Απορροής Ποταμού για το ΥΔ Κρήτης (ΕΛ13)

Με βάση τον παραπάνω πίνακα και σε συνδυασμό με το γεγονός ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των απολήψεων (83%) από τα ΥΥΣ γίνεται για αρδευτικούς σκοπούς, στον χάρτη που ακολουθεί, φαίνεται η κατανομή των υπόγειων απολήψεων ανά υπόγειο υδατικό σύστημα. Γίνεται φανερό ότι το μέγεθος των απολήψεων δείχνει ότι ακολουθεί την κατανομή των καλλιεργούμενων γεωργικών εκτάσεων (Χάρτης 2.5).



Χάρτης 2.5 Κατανομή συνολικών απολήψεων ανά Υπόγειο Υδατικό Σύστημα του ΥΔ Κρήτης (EL13)

Συμπερασματικά, με βάση τα στοιχεία που παρουσιάζονται στην 1^η εγκεκριμένη αναθεώρηση του ΣΔΛΑΠ Υδατικού Διαμερίσματος Κρήτης, οι συνολικές ετήσιες απολήψεις υπολογίστηκαν για όλες τις χρήσεις σε 610,95 εκ. m³/έτος. Επειδή, έχουν καταγραφεί πολλά υδατικά συστήματα που δέχονται πιέσεις λόγω μεγαλύτερης ζήτησης, έχει εκτιμηθεί ότι η ανεμπόδιστη ζήτηση νερού για τις διάφορες χρήσεις φτάνει σε επίπεδα μεγαλύτερα των καταγεγραμμένων απολήψεων κατά 10% περίπου, λαμβάνοντας υπόψη ότι η εκτίμηση γίνεται για το έτος 2021, έτος αναθεώρησης του Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών του ΥΔ Κρήτης. Δηλαδή, το συνολικό ετήσιο ύψος ζήτησης νερού για όλο το υδατικό διαμέρισμα μπορεί να φτάσει για το 2021 περίπου σε 672 εκ. m³/έτος. Στην επόμενη παράγραφο γίνεται μια άλλη προσέγγιση για τον προσδιορισμό του πιο πιθανού μέσου ύψους ετήσιας ζήτησης σε νερό για το ΥΔ της Κρήτης για τον χρονικό ορίζοντα του 2021.

2.4 Εκτίμηση Ζήτησης Νερού

Όπως έχει αναφερθεί η ζήτηση σε νερό για διάφορες χρήσεις δεν είναι ένα σταθερό και προσδιορίσιμο μέγεθος με ακρίβεια επειδή εξαρτάται από ένα αριθμό παραμέτρων που μπορούν να μεταβάλλονται στο χρόνο ανάλογα με τις συνθήκες. Είναι λοιπόν ένα μέγεθος που χαρακτηρίζεται από σημαντικό βαθμό αβεβαιότητας και ελαστικότητας.

Επιπλέον, η ζήτηση δεν είναι ένα αντικειμενικό μέγεθος για τις διάφορες χρήσεις. Για παράδειγμα, η ζήτηση νερού για ανθρώπινη κατανάλωση διαφέρει σημαντικά από χώρα σε χώρα αλλά και από πόλη σε πόλη ή ακόμα και από τμήμα μιας πόλης σε σύγκριση με άλλο τμήμα της ίδιας πόλης.

Πέραν όμως από αυτές τις παρατηρήσεις, η ζήτηση αποτελεί ένα μέγεθος προς το οποίο πρέπει να τείνουν (συγκλίνουν) οι καταναλώσεις εφόσον δεν υπάρχει στενότητα στη διαθεσιμότητα των πόρων. Η παρατηρούμενη σε ορισμένα έτη απόκλιση των δύο μεγεθών (κατανάλωσης και ζήτησης) δείχνει στις πιο πολλές περιπτώσεις χαρακτηριστικά ανεπάρκειας του συστήματος για την ικανοποίηση της ζήτησης.

Επίσης, η ζήτηση αποτελεί ένα βασικό μέγεθος σχεδιασμού των απαραίτητων έργων προμήθειας και διανομής του νερού. Επομένως, είναι χρήσιμο να γίνει κατά το δυνατόν μια αξιόπιστη εκτίμηση της ζήτησης ανεξάρτητα από το επίπεδο των καταγεγραμμένων καταναλώσεων/απολήψεων.

Προσπάθειες για την εκτίμηση της ζήτησης για διάφορες χρήσεις έχουν γίνει στις μελέτες για το σύστημα διαχείρισης υδατικών πόρων της Κρήτης, που αν και ολοκληρώθηκε σχεδόν 20 έτη πριν από το χρόνο σύνταξης της παρούσας μελέτης, προσφέρει μία αρκετά καλή ένδειξη της ζήτησης στο διαμέρισμα της Κρήτης, αλλά και στις επιμέρους γεωγραφικές περιοχές που τότε αντιπροσώπευαν τους «Καποδιστριακούς» Δήμους.

Η πλήρης καταγραφή της ζήτησης ανά μήνα του έτους στους παραπάνω Δήμους περιλαμβάνεται στο αντίστοιχο παράρτημα αυτής της έκθεσης.

Στον αμέσως επόμενο πίνακα (Πιν. 2.4), έγινε η αναγωγή των μεγεθών ζήτησης των Καποδιστριακών Δήμων στις γεωγραφικές εκτάσεις των ομάδων υπολεκανών που έχουν αρχικά προταθεί για την εκτίμηση και τη διαχείριση της ξηρασίας στο Υδατικό Διαμέρισμα της Κρήτης.

Πίνακας 2.4 Ετήσια ζήτηση νερού ανά χρήση στις προτεινόμενες ομάδες υπολεκανών διαχείρισης ξηρασίας στο ΥΔ Κρήτης (σε m³/έτος)

ΟΜΑΔΑ ΥΠΟΛΕΚΑΝΩΝ	"ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟΣ" ΔΗΜΟΣ	ΥΔΡΕΥΣΗ	ΑΡΔΕΥΣΗ	ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΑ	ΕΛΑΙΟΥΡΓΕΙΑ	ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ	ΣΥΝΟΛΟ
1: Χανίων - Κισάμου	Δ. ΑΚΡΩΤΗΡΙΟΥ	871000	4581938	50165	6648	0	5509751
	Δ. ΑΡΜΕΝΙΩΝ	365000	4309913	64467	9468	636000	5384848
	Δ. ΒΑΜΟΥ	235000	1668495	61605	7302	0	1972402
	Δ. ΒΟΥΚΟΛΙΩΝ	238000	7587415	145194	18050	0	7988659
	Δ. ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΥ ΒΕΝΙΖΕΛΟΥ	854000	6235760	15884	4788	0	7110432
	Δ. ΘΕΡΙΣΟΥ	634000	8663275	50436	7965	149500	9505176
	Δ. ΙΝΝΑΧΩΡΙΟΥ	125000	3014050	60451	12759	0	3212260
	Δ. ΚΕΡΑΜΙΩΝ	145000	454188	133646	8331	0	741165
	Δ. ΚΙΣΣΑΜΟΥ	601000	7551133	83697	22041	0	8257871
	Δ. ΚΟΛΥΜΠΑΡΙΟΥ	532000	8573175	74640	22160	0	9201975
	Δ. ΚΡΥΟΝΕΡΙΔΑΣ	143000	1456800	125269	8218	96000	1829287
	Δ. ΜΟΥΣΟΥΡΩΝ	350000	11106472	108545	25289	0	11590306
	Δ. ΜΥΘΗΜΝΗΣ	247000	9509438	43254	16195	5000	9820887
	Δ. ΝΕΑΣ ΚΥΔΩΝΙΑΣ	1763000	4383340	32602	5943	0	6184885
	Δ. ΠΛΑΤΑΝΙΑ	800000	14522589	26649	18562	0	15367800
	Δ. ΣΟΥΔΑΣ	894000	1176203	13403	1965	0	2085571
	Δ. ΦΡΕ	90000	306850	44792	4022	0	445664
	Δ. ΧΑΝΙΩΝ	7150000	101563	19825	0	572000	7843388
	Σύνολο	16037000	95202597	1154524	199706	1458500	114052327
2: Παλαιόχωρας - Σφακίων - Πλακιά							
	Δ. ΑΝΑΤΟΛΙΚΟΥ ΣΕΛΙΝΟΥ	165000	1021188	68085	7716	0	1261989
	Δ. ΚΑΝΤΑΝΟΥ	122000	3142750	61507	8485	0	3334742
	Δ. ΛΑΜΠΗΣ	743000	3697188	101527	19984	0	4561699
	Δ. ΠΕΛΕΚΑΝΟΥ	514000	2148675	54286	10129	0	2727090

ΟΜΑΔΑ ΥΠΟΛΕΚΑΝΩΝ	"ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟΣ" ΔΗΜΟΣ	ΥΔΡΕΥΣΗ	ΑΡΔΕΥΣΗ	ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΑ	ΕΛΑΙΟΥΡΓΕΙΑ	ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ	ΣΥΝΟΛΟ
3: Ρεθύμνου - Γεωργιούπολης	Δ. ΣΦΑΚΙΩΝ	239000	2689303	254128	4365	0	3186796
	Δ. ΦΟΙΝΙΚΑ	500000	4667355	84374	9909	0	5261638
	Σύνολο	2283000	17366459	623907	60588	0	20333954
	Δ. ΑΝΩΓΕΙΩΝ	317000	128250	470648	3042	0	918940
	Δ. ΑΡΚΑΔΙΟΥ	900000	4922063	133307	17408	0	5972778
	Δ. ΑΣΗ ΓΩΝΙΑΣ	39000	4250	51060	624	0	94934
	Δ. ΓΕΡΟΠΟΤΑΜΟΥ	882000	10937063	240135	33182	0	12092380
	Δ. ΓΕΩΡΓΙΟΥΠΟΛΕΩΣ	345000	4650600	58716	5237	0	5059553
	Δ. ΚΟΥΛΟΥΚΩΝΑ	431000	4062188	256778	15834	0	4765800
4: Γεροπόταμου - Πλατύ	Δ. ΛΑΠΠΑΙΩΝ	365000	3499750	74683	2233	0	3941666
	Δ. ΝΙΚΗΦΟΡΟΥ ΦΩΚΑ	470000	2629500	179361	8049	0	3286910
	Δ. ΡΕΘΥΜΝΗΣ	3365000	1502000	93241	9982	269200	5239423
	Σύνολο	7114000	32335664	1557929	95591	269200	41372384
	Δ. ΓΟΡΤΥΝΑΣ	570000	18422835	67862	27286	0	19087983
	Δ. ΖΑΡΟΥ	330000	5238688	72892	11675	35000	5688255
	Δ. ΚΟΥΡΗΤΩΝ	190000	1620615	107317	7721	0	1925653
	Δ. ΚΟΦΙΝΑ	505000	14820125	143596	24308	0	15493029
	Δ. ΜΟΙΡΩΝ	815000	25722263	189654	23585	0	26750502
	Δ. ΡΟΥΒΑ	202000	3994500	29240	8504	36000	4270244
	Δ. ΣΥΒΡΙΤΟΥ	264000	1477188	101047	8869	0	1851104
	Δ. ΤΥΜΠΑΚΙΟΥ	1180000	18615520	91121	29123	0	19915764
	Σύνολο	4056000	89911734	802729	141071	71000	94982534

ΟΜΑΔΑ ΥΠΟΛΕΚΑΝΩΝ	"ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟΣ" ΔΗΜΟΣ	ΥΔΡΕΥΣΗ	ΑΡΔΕΥΣΗ	ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΑ	ΕΛΑΙΟΥΡΓΕΙΑ	ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ	ΣΥΝΟΛΟ
5: Ηρακλείου - Μαλίων	Δ. ΑΓΙΑΣ ΒΑΡΒΑΡΑΣ	369000	2659625	125715	14971	0	3169311
	Δ. ΑΡΧΑΝΩΝ	361000	2170500	15403	4638	0	2551541
	Δ. ΓΑΖΙΟΥ	1282000	4126500	50722	8235	0	5467457
	Δ. ΓΟΡΓΟΛΑΙΝΗ	223000	4217778	32559	7128	140000	4620465
	Δ. ΓΟΥΒΩΝ	900000	5619000	40994	13473	0	6573467
	Δ. ΕΠΙΣΚΟΠΗΣ	250000	5933885	41109	7479	0	6232473
	Δ. ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	13341000	9121375	152284	18732	1067280	23700671
	Δ. ΘΡΑΨΑΝΟΥ	173000	2855100	9722	6538	0	3044360
	Δ. ΚΑΣΤΕΛΛΙΟΥ	560000	5279563	56794	23476	20000	5939833
	Δ. ΚΡΟΥΣΩΝΑ	391000	2853380	52015	6448	0	3302843
	Δ. ΜΑΛΛΙΩΝ	1160000	1889375	38904	5252	30000	3123531
	Δ. ΝΕΑΣ ΑΛΙΚΑΡΝΑΣΣΟΥ	1030000	697125	3528	1167	0	1731820
	Δ. ΝΙΚΟΥ ΚΑΖΑΝΤΖΑΚΗ	536000	2837125	90266	17756	0	3481147
	Δ. ΤΕΜΕΝΟΥΣ	230000	7676750	52642	7946	0	7967338
	Δ. ΤΕΤΡΑΧΩΡΙΟΥ	152000	1598845	14506	3801	0	1769152
	Δ. ΤΥΛΙΣΟΥ	367000	2700063	92605	12188	0	3171856
	Δ. ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΥ	2785000	2017188	22584	10711	0	4835483
	Σύνολο	24110000	64253177	892352	169939	1257280	90682748
6: Αναποδάρη	Δ. ΑΡΚΑΛΟΧΩΡΙΟΥ	1100000	12239100	164629	54781	0	13558510
	Δ. ΑΣΤΕΡΟΥΣΙΩΝ	652000	21860500	147081	30859	6000	22696440
	Σύνολο	1752000	34099600	311710	85640	6000	36254950
7: Αγίου Νικολάου	Δ. ΑΓΙΟΥ ΝΙΚΟΛΑΟΥ	3304500	7057555	141859	29598	0	10533512
	Δ. ΝΕΑΠΟΛΗΣ	771000	4426285	112494	18194	10000	5337973

ΟΜΑΔΑ ΥΠΟΛΕΚΑΝΩΝ	"ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟΣ" ΔΗΜΟΣ	ΥΔΡΕΥΣΗ	ΑΡΔΕΥΣΗ	ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΑ	ΕΛΑΙΟΥΡΓΕΙΑ	ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ	ΣΥΝΟΛΟ
	Δ. ΟΡΟΠΕΔΙΟΥ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	304000	8682375	71883	316	0	9058574
	Σύνολο	4379500	20166215	326236	48108	10000	24930059
8: Νοτίου Λασιθίου - Ιεράπετρας	Δ. ΒΙΑΝΝΟΥ	688000	17746875	121710	34447	0	18591032
	Δ. ΙΕΡΑΠΕΤΡΑΣ	2402000	35418974	173540	40971	0	38035485
	Δ. ΛΕΥΚΗΣ	215000	5065650	26240	6014	0	5312904
	Δ. ΜΑΚΡΥ ΓΙΑΛΟΥ	734000	7751563	43949	13946	0	8543458
	Σύνολο	4039000	65983062	365439	95378	0	70482879
9: Σητείας	Δ. ΙΤΑΝΟΥ	261000	7308238	58621	9347	0	7637206
	Δ. ΣΗΤΕΙΑΣ	1299000	12953530	75795	24578	103920	14456823
	Σύνολο	1560000	20261768	134416	33925	103920	22094029

Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 2.4 το σύνολο της ζήτησης στο Υδατικό Διαμέρισμα Κρήτης για όλες τις χρήσεις για το χρονικό ορίζοντα 2000 είναι 515,19 εκ. m³.

Με δεδομένο ότι η αύξηση της ζήτησης ακολουθεί την αύξηση του πληθυσμού, την αύξηση του τουρισμού και την αύξηση των αρδευόμενων γεωργικών εκτάσεων, εκτιμάται ότι η σταθμισμένη αυτή μέση αύξηση κυμαίνεται από 0,5 – 1,5 % ετησίως. Συνεπώς, το ύψος ζήτησης για το συνολικό Υδατικό Διαμέρισμα της Κρήτης για το 2021 εκτιμάται ότι μπορεί να προκύψει με πρόβλεψη μελλοντικής ζήτησης με τη μέθοδο της σταθερής σχετικής μεταβολής ανά έτος (γεωμετρική αύξηση).

Σύμφωνα με τη μέθοδο η αναδρομική σχέση για $i = 1$ (1) ν και δύο διαδοχικά έτη $i-1$ και i γράφεται:

$$V_i = \alpha V_{i-1}$$

Όπου $\alpha = 1 + \gamma$ και $\gamma = (V_i - V_{i-1}) / V_{i-1}$

Η παραπάνω εξίσωση για γ σταθερό (ετήσια αύξηση) δίνει τη λύση:

$$V_n = \alpha^n V_0 \quad \text{που είναι μονότονη για } \alpha > 0.$$

Στην περίπτωση μας για μέση ετήσια αύξηση της ζήτησης του νερού 1% (δηλ. $\gamma = 1\%$ ετησίως) και $n = 21$ έτη, έχουμε:

$$\gamma = 0.01 \text{ και } \alpha = 1.01$$

$$V_n = 1.01^{21} \times 515,19 = 634,92 \text{ εκ. m}^3$$

Με βάση αυτούς τους προσεγγιστικούς υπολογισμούς το αναμενόμενο «πιθανότερο» ετήσιο ύψος της ζήτησης στο Υδατικό Διαμέρισμα της Κρήτης για τον χρονικό ορίζοντα του 2021 είναι περίπου 635 εκ. m³.

Επειδή το μέγεθος χαρακτηρίζεται από σημαντική αβεβαιότητα είναι χρήσιμο εκτός από τη μέση («πιθανότερη») τιμή να υπολογίζεται και το εύρος διακύμανσης αυτού του μεγέθους. Τα κάτω όρια αυτού του εύρους μπορούν να προκύψουν με την ίδια μεθοδολογία υιοθετώντας σταθερή ετήσια αύξηση 0,5 %. Με βάση τους αντίστοιχους υπολογισμούς τα κάτω όρια αυτού του εύρους για το πιθανό συνολικό ετήσιο ύψος ζήτησης είναι 572 εκ. m³.

Με βάση και τις δύο προσεγγίσεις και με δεδομένη την αβεβαιότητα εκτίμησης, το ύψος των μέσης ετήσιας ζήτησης για όλες τις χρήσεις στο διαμέρισμα της Κρήτης εκτιμάται σε ένα μέγεθος περί τα 635 εκ. m³ και άνω και κάτω απόκλιση 12%.

Σημειώνεται ότι στις προσεγγίσεις που προηγήθηκαν και βασίζονται σε προηγούμενες μελέτες για το Υδατικό διαμέρισμα δεν έχει ληφθεί υπόψη ο παράγοντας ποιότητα νερού για κάθε χρήση που μπορεί να επιφέρει διαφοροποιήσεις στα θέματα επάρκειας υδατικών πόρων για την κάλυψη της ζήτησης.

3. ΙΣΟΖΥΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

3.1 Υπόγεια Υδατικά Συστήματα

Ως γνωστόν το ισοζύγιο ενός διακεκριμένου υδροφορέα αποτελείται από:

- Εισόδους: Κατείσδυση από βροχοπτώσεις, πλευρική τροφοδοσία, διήθηση από ρέματα/ποταμούς και επιστροφές από άρδευση.
- Εξόδους: Αντλήσεις, πηγές και έξοδοι προς τη θάλασσα ή/και παρακείμενο υδροφορέα.

Η διαθεσιμότητα όλων των παραπάνω δεδομένων είναι απαραίτητη για τον προσδιορισμό ενός ισοζυγίου. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι στον παράκτιο υδροφορέα των Μαλίων η πλευρική τροφοδοσία από το υδροσύστημα Δίκτη είναι πολλαπλάσια της τροφοδοσίας από βροχοπτώσεις, ενώ στον μικρό υδροφορέα της Φοινικιάς Ηρακλείου η διήθηση από τον ποταμό Γιόφυρο αντιπροσωπεύει τον κύριο τροφοδότη του υδροφορέα. Ανάλογες συνθήκες επικρατούν σε πολλές άλλες υδρογεωλογικές λεκάνες όπως Μεσσαράς, Τυμπακίου, Αγίου Νικολάου κλπ.

Όσον αφορά στις υδρογεωλογικές λεκάνες του υδατικού διαμερίσματος της Κρήτης, με ελάχιστες εξαιρέσεις, τα παραπάνω στοιχεία δεν είναι διαθέσιμα. Επιπροσθέτως οι λεκάνες που μέχρι τώρα έχουν προταθεί για την παρούσα μελέτη δεν είναι απόλυτα συμβατές με τις υδρογεωλογικές λεκάνες της Κρήτης (Σχήμα 3.1), τις οποίες συχνά τέμνουν. Δεδομένου δε ότι οι υπό εκμετάλλευση επιφανειακοί υδατικοί πόροι αντιπροσωπεύουν ένα μικρό ποσοστό του συνόλου των υδατικών πόρων, η υποδιαίρεση σε λεκάνες της παρούσας μελέτης θα έπρεπε να έχει κυρίως υδρογεωλογικό προσανατολισμό.

Για την ανάδειξη των υδρογεωλογικών λεκανών στις οποίες τα επίπεδα εκμετάλλευσης των υπόγειων υδατικών πόρων τις καθιστά ευάλωτες σε συνθήκες λειψυδρίας, επιχειρήθηκε μια απλή προσέγγιση της σύγκρισης της μέσης ετήσιας τροφοδοσίας από βροχοπτώσεις με την αντίστοιχη μέση ετήσια εκμετάλλευση από γεωτρήσεις όπως προκύπτει από την σχετική βάση δεδομένων που δημιουργήθηκε πρόσφατα από την Διεύθυνση Υδάτων της Αποκεντρωμένης Διοίκησης Κρήτης. Τα δεδομένα αυτά περιλαμβάνονται στον πίνακα 3.1.

Κατά τη διαμόρφωση του Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών Απορροής του ΥΔ της Κρήτης η μέση ετήσια τροφοδοσία από βροχοπτώσεις υπολογίστηκε κατά προσέγγιση ως ποσοστό της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης ανά υδρογεωλογική λεκάνη, όπως καθορίζεται από αντίστοιχο συντελεστή κατείσδυσης που συναρτάται από την λιθολογία της λεκάνης. Τα δεδομένα ελήφθησαν από σχετική μελέτη του ΙΓΜΕ (1995) και την Μελέτη Διαχείρισης Υδατικών Πόρων Κρήτης (2002). Όπως εξηγείται παρακάτω, ανάλογα με τις επικρατούσες γεωλογικές συνθήκες διαμορφώθηκε

εμπειρικά το ποσοστό της βροχόπτωσης που κατείσδύει στον υδροφόρο ορίζοντα της κάθε υδρογεωλογικής λεκάνης. Η πρακτική αυτή όμως δεν εδράζεται σε επιστημονική βάση.

3.2 Κατείσδυση

Κατείσδυση ορίζεται ως η ποσότητα επιφανειακού νερού που φθάνει στην μόνιμη επιφάνεια του υδροφόρου ορίζοντα (permanent water table - Hiscock 2005). Είναι βασικός συντελεστής του υδρολογικού κύκλου και ο προσδιορισμός της είναι απαραίτητος για την διατηρήσιμη διαχείριση των υπόγειων υδατικών πόρων. Αποτελεί δε ένα από τις κύριες οριακές συνθήκες για τους περισσότερους αν όχι όλους, υδρογεωλογικούς υπολογισμούς και αριθμητικά μοντέλα. Εκτός από τη γεωλογία, η κατείσδυση εξαρτάται από γεωμορφολογικές, υδρολογικές και κλιματολογικές συνθήκες. Οι γεωμορφολογικές συνθήκες περιλαμβάνουν τοπογραφία, εδαφολογία και βλάστηση.

Δυστυχώς δεν είναι δυνατή η απευθείας μέτρηση της κατείσδυσης και ο προσδιορισμός της αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις στην υδρογεωλογία.

Από την πρωτοποριακή εργασία του Horton (1933), έχουν προταθεί πολλές μέθοδοι προσδιορισμού της κατείσδυσης. Αυτές ομαδοποιούνται σε:

- Μεθόδους υδατικού ισοζυγίου
- Μεθόδους που βασίζονται στο νόμο του Darcy
- Μεθόδους ιχνηθετήσεων
- Μεθόδους εφαρμογής αριθμητικών μοντέλων
- Εμπειρικές μεθόδους
- Επονομαζόμενες «απευθείας» μεθόδους

Οι παραπάνω προσεγγίσεις συνδέονται με διαφορετικές κλιματικές και υδρογεωλογικές συνθήκες είναι συνήθως μη συγκρίσιμες ειδικά όσον αφορά στις χωρικές και χρονικές κλίμακες. Η παράλληλη χρήση δύο ή περισσότερων μεθόδων θεωρείται χρήσιμη για την επιβεβαίωση της πιστότητας των αποτελεσμάτων.

Οι παραπάνω προσεγγίσεις προσδιορισμού της κατείσδυσης μπορούν να καταταγούν σε τρεις ομάδες ανάλογα με τις ζώνες που παρέχουν τα σχετικά δεδομένα ήτοι:

- Τεχνικές επιφανειακών νερών
- Τεχνικές ακόρεστης ζώνης
- Τεχνικές κορεσμένης ζώνης

Κάθε μία από αυτές τις ομάδες υποδιαιρείται σε φυσικές, ιχνηθετήσεις και τεχνικές αριθμητικών μοντέλων (Scanlon 2002, De Vries and Simmers 2002, Jie et al. 2011).

Αρκετές από τις τεχνικές που αφορούν τις παραπάνω ζώνες βασίζονται στην εξίσωση του υδατικού ισοζυγίου. Το υδατικό ισοζύγιο μια λεκάνης μπορεί να οριστεί ως:

$$P + Q_{on} = ET + Q_{off} \pm \Delta S$$

όπου

P βροχόπτωση (και άρδευση); Q_{on} και Q_{off} εισροές και εκροές αντίστοιχα; ET εξατμισοδιαπνοή; και ΔS μεταβολή στην αποθήκευση (τιμές σε mm/day ή mm/year). Οι εισροές και εκροές είναι το σύνολο της επιφανειακής ροής, υπόγειας ροής και πλευρικής υπόγειας ροής. Αποθήκευση υπάρχει στο χιόνι, ταμιευτήρες επιφανειακού νερού καθώς και στην ακόρεστη και κορεσμένη ζώνη.

Η κατείσδυση, R , ορίζεται ως (Schicht and Walton, 1961):

$$R = Q_{off}^{gw} - Q_{on}^{gw} + Q^{bf} + ET^{gw} + \Delta S^{gw}$$

Με κατάλληλες αντικαταστάσεις προκύπτει η παρακάτω εξίσωση υδατικού ισοζυγίου:

$$R = P + Q_{on}^{sw} - R_0 - ET^{sw} - ET^{uz} - \Delta S^{snow} - \Delta S^{sw} - \Delta S^{uz}$$

Όπου R_0 επιφανειακή απορροή, και uz ακόρεστη ζώνη

Οι μέθοδοι υδατικού ισοζυγίου περιλαμβάνουν τα περισσότερα μοντέλα βροχής απορροής και υπόγειας ροής. Προφανώς η ακρίβεια των αποτελεσμάτων των μεθόδων υδατικού ισοζυγίου εξαρτάται από την ακρίβεια προσδιορισμού των λοιπών συντελεστών της εξίσωσης ιδιαίτερα όταν η κατείσδυση είναι μικρή σε σχέση με τις άλλες μεταβλητές όπως η εξατμισοδιαπνοή. Για τον λόγο αυτό οι τεχνικές αυτές θεωρούνται από ορισμένους ερευνητές αμφιβόλου αξίας για περιοχές με ξηρά ή ημίξηρα κλίματα.

Οι τεχνικές επιφανειακών νερών συνήθως αφορούν περιοχές μεγάλης κλίμακας και δεν επικεντρώνονται σε συγκεκριμένους γεωλογικούς σχηματισμούς, με τα μοντέλα βροχής – απορροής - κατείσδυσης ενδεχομένως να αποτελούν την πιο διαδεδομένη μέθοδο εκτίμησης κατείσδυσης.

Από τις τεχνικές ακόρεστης ή κορεσμένης ζώνης με κριτήριο την ευκολία χρήσης και συχνότητα εφαρμογής διακρίνονται οι μέθοδοι

- Διακύμανσης υδροστατικής στάθμης (water-table fluctuation - WTF)
- Νόμου Darcy

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι περισσότερες τεχνικές ακόρεστης ζώνης παρέχουν σημειακές εκτιμήσεις κατείσδυσης και εφαρμόζονται κυρίως σε ξηρές ή ημίξηρες περιοχές, όπου η ακόρεστη ζώνη είναι σχετικά μεγάλου πάχους. Αντίθετα οι περισσότερες τεχνικές κορεσμένης ζώνης αφορούν τοπικές και όχι σημειακές εκτιμήσεις.

Η μέθοδος διακύμανσης υδροστατικής στάθμης (water-table fluctuation - WTF)

Βασίζεται στην παραδοχή ότι αυξήσεις της στάθμης ενός ελεύθερου υδροφορέα οφείλονται σε κατεισδύον νερό. Η κατεισδύση υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$R = S_y dh/dt = S_y \Delta h / \Delta t$$

όπου S_y ειδική απόδοση, h ύψος της υδροστατικής στάθμης και t χρόνος. Η μέθοδος αυτή περιγράφεται δε λεπτομερώς από τους Healy and Cook (2002).

Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική σε συστήματα υπόγειων νερών με σχετικά αβαθείς υδροστατικές στάθμες και απότομες διακυμάνσεις της στάθμης. Είναι δε εξαιρετικά ελκυστική δεδομένης της απλότητας και σαφήνειας της. Παρουσιάζει όμως δύο εν δυνάμει δυσκολίες:

- Απαιτεί σχετικά ακριβή προσδιορισμό της ειδικής απόδοσης (S_y)
- Είναι συχνά δύσκολος ο διαχωρισμός της διακύμανσης της στάθμης λόγω κατείσδυσης από την διακύμανση λόγω άλλων αιτίων όπως αντλήσεις ή μεταβολές λόγω υδραυλικής κλίσης (Healy and Cook 2002)

Μέθοδος Νόμου Darcy

Η μέθοδος αυτή προϋποθέτει σταθερή ροή χωρίς αντλήσεις. Η ροή του υπόγειου νερού (q) υπολογίζεται από το γινόμενο της υδραυλικής αγωγιμότητας επί την υδραυλική κλίση. Ο όγκος του νερού που ρέει μέσω μιας κάθετης τομής ενός υδροφορέα (A), ισούται με το γινόμενο του ρυθμού κατείσδυσης (R) επί την επιφάνεια της ροής (S):

$$qA = RS$$

Εννοείται ότι η κάθετη τομή πρέπει να είναι παράλληλη της ισοδυναμικής γραμμής φορτίου (Theis 1937, Belan & Matlock 1973). Η μέθοδος είναι απλή εφόσον τα απαραίτητα δεδομένα είναι διαθέσιμα και μπορεί να εφαρμοστεί σε κλίμακες από ~ 1 έως $\geq 10,000 \text{ km}^2$ και χρονικές περιόδους που κυμαίνονται από έτος έως μερικές εκατοντάδες έτη.

Προτεινόμενες τεχνικές περιλαμβάνουν χρήση ιχνηθετών όπως Cl (CMB – ισορροπία μάζας χλωρίου) προφανώς απαγορευτική για εφαρμογή σε παράκτιους υδροφορείς και τη χρήση αριθμητικών μοντέλων. Μοντέλα υπόγειων νερών μπορούν με τη βαθμονόμηση ή αναστροφή (inversion) με δεδομένα όπως υδραυλική αγωγιμότητα, υδραυλικά φορτία και άλλες απαραίτητες παραμέτρους, να υπολογίσουν ρυθμούς κατείσδυσης (Sanford 2002).

Συντελεστές κατείσδυσης σε Μεσογειακούς καρστικούς σχηματισμούς

Τα διαθέσιμα αποτελέσματα προσδιορισμού συντελεστών κατείσδυσης (λόγος όγκου κατείσδυσης προς αντίστοιχες βροχοπτώσεις) σε καρστικούς σχηματισμούς της Ισπανίας, Ιταλίας και Σλοβενίας κυρίως με μεθόδους υδατικού ισοζυγίου συνοψίζονται ως εξής:

- Ορεινό καρστ ΝΑ Ισπανίας (Sierra de Gador), οι συντελεστές κατείσδυσης κυμαίνονται από 0.41 έως 0.94 κατά τη μεγαλύτερη βροχόπτωση (Li et al, 2011).

- Στο Διναρικό καρστ οι συντελεστές κατείδυσης κυμαίνονται από 0.356 έως 0.763 με μέσο όρο 0.57 (Bonacci 2001).
- Στην Σλοβενία οι συντελεστές κατείδυσης σε καρστικούς σχηματισμούς κυμαίνονται από 0.50 έως 0.60 (Andjelovet al 2016).
- Στους καρστικούς σχηματισμούς των νότιων Απέννινων στη Ιταλία οι υπολογισθέντες συντελεστές κατείδυσης κυμαίνονται από 0.50 έως 0.79 (Allocca et al, 2014).

Αναφορικά με τον Ελλαδικό χώρο μελέτες προσδιορισμού κατείδυσης είναι σχεδόν ανύπαρκτες (Zagana et al 2007, 2011). Οι εμπειρικοί συντελεστές κατείδυσης που χρησιμοποιήθηκαν στην Μελέτη Διαχείρισης Υδατικών Πόρων Κρήτης (2002) (Περλέρους κ.α. 2004) καθώς και στην παρούσα μελέτη, δίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

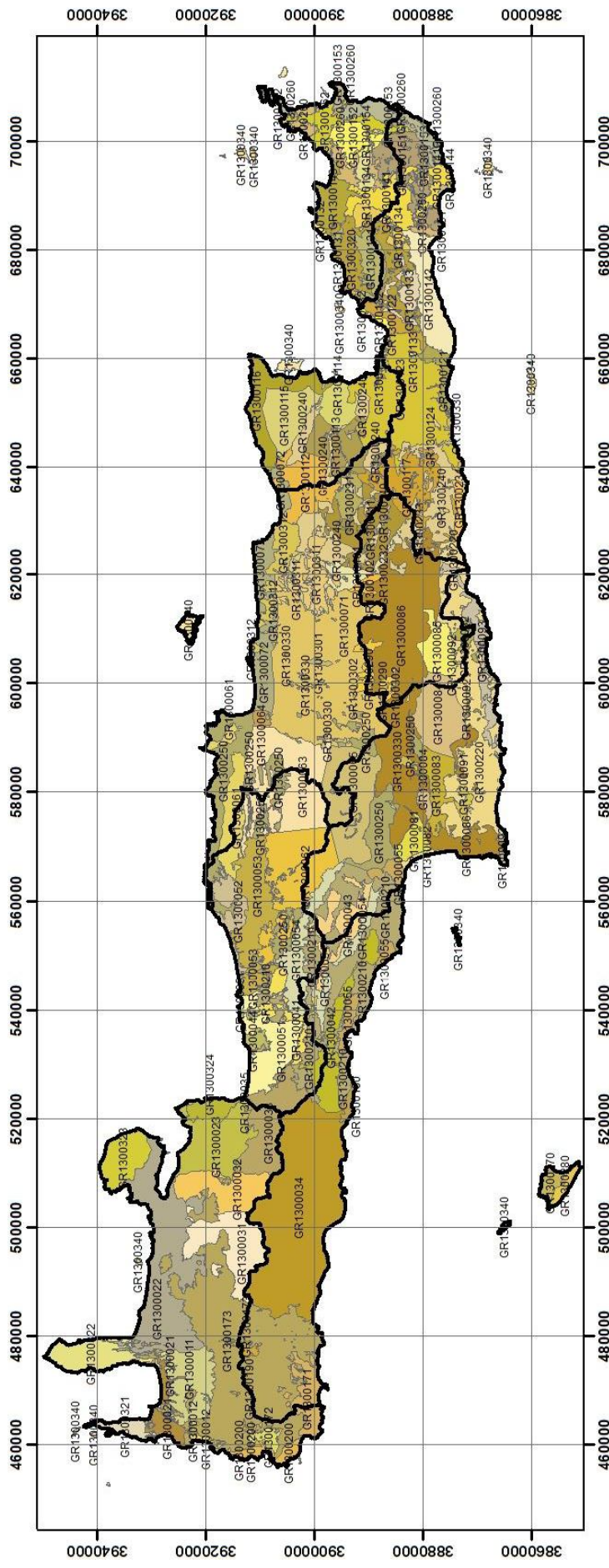
ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΤΑΤΑΞΗ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗΣ
ΑΝΘΡΑΚΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΙΣΜΟΙ	
Καρστικοί σχηματισμοί υψηλής έως μέτριας υδροπερατότητας	55% (δυτικά) - 50% (ανατ/κά)
Μειοκαινικά ασβεστολιθικά λατυποκροκαλοπαγή Τοπολιών, μέτριας έως υψηλής υδροπερατότητας	55%
Καρστικοί σχηματισμοί μέτριας έως μικρής υδροπερατότητας	45% (δυτικά) - 40% (ανατ/κά)
ΠΟΡΩΔΕΙΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ	
Κοκκώδεις προσχωματικές κυρίως αποθέσεις κυμαινόμενης υδροπερατότητας	20%
Μειοκαινικές και πλειοκαινικές αποθέσεις μέτριας έως μικρής υδροπερατότητας	25%
Κοκκώδεις μη προσχωματικές αποθέσεις μικρής έως πολύ μικρής υδροπερατότητας -	10%
ΑΔΙΑΠΕΡΑΤΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ	
Πρακτικά αδιαπεράτοι σχηματισμοί μικρής έως πολύ μικρής υδροπερατότητας (A1)	5%
Πρακτικά αδιαπεράτοι ή εκλεκτικής κυκλοφορίας σχηματισμοί μικρής έως πολύ μικρής διαπερατότητας (A2)	5%-8%

Οι παραπάνω τιμές συντελεστή κατείδυσης τουλάχιστον όσον αφορά στους καρστικούς σχηματισμούς που απαντώνται στην πλειονότητα των υδροφορέων της Κρήτης είναι ρεαλιστικές σύμφωνα με την παραπάνω βιβλιογραφία. Αυτό έχει επιβεβαιωθεί και από τις μελέτες βροχής-απορροής των κύριων λεκανών της Ανατολικής Κρήτης (Ο.ΑΝ.Α.Κ - Εργαστήριο Αγροτικής Τεχνολογίας Ε.Μ.Π., 1994) αλλά και μελέτες προσομοίωσης υπόγειας ροής υδροφορέων όπως ανατολικού Ψηλορείτη, βόρειου Δίκτη κλπ (Παρίτσης 2001, 2002, 2003).

Το γεγονός όμως ότι οι χρησιμοποιηθέντες συντελεστές κατείδυσης της εγκεκριμένης 1^{ης} Αναθεώρησης του Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών Απορροής ΥΔ Κρήτης είναι εκτιμήσεις και όχι αποτελέσματα εφαρμογής αποδεκτών μεθοδολογιών, σημαίνει ότι μεταξύ άλλων τα αναμενόμενα σφάλματα είναι τουλάχιστον της τάξης του 20% (συντηρητική εκτίμηση). Το γεγονός αυτό είναι κατά αναλογία αντίστοιχο με τη χρησιμοποίηση τιμών βροχόπτωσης από εκτιμήσεις και όχι από μετρήσεις.

Είναι αξιοπρόσεκτο ότι στην Μελέτη Διαχείρισης Υδατικών Πόρων Κρήτης (2000) τουλάχιστον υπάρχει αναφορά στους συντελεστές κατείδυσης που

χρησιμοποιήθηκαν, ενώ στο ΣΔΛΑΠ (2017) αυτό δεν θεωρήθηκε θέμα άξιο σχολιασμού. Με δεδομένη την προφανή σημασία της κατείδυσης στον υδρολογικό κύκλο, στοιχεία της φύσης αυτής πρέπει να τύχουν ιδιαίτερης προσοχής κατά την επόμενη αναθεώρηση του ΣΔΛΑΠ του Υδατικού Διαμερίσματος Κρήτης.



Πίνακας 3.1 Δεδομένα υδρογεωλογικών λεκανών του ΥΔ Κρήτης

Οι ετήσιες αντλήσεις ανά λεκάνη εκτιμήθηκαν από δεδομένα της πρόσφατης απογραφής γεωτρήσεων της Διεύθυνσης Υδάτων της Αποκεντρωμένης Διοίκησης Κρήτης (Σχήμα 3.2)

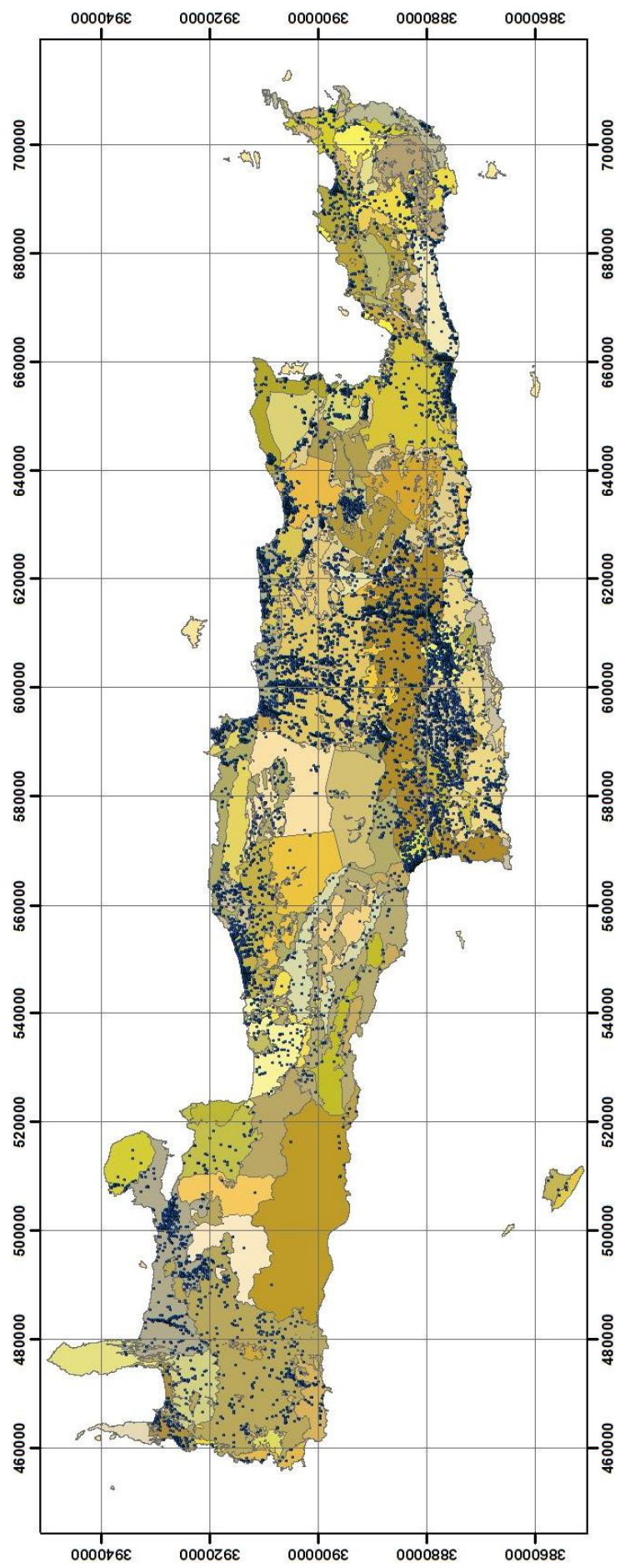
EU_CD_GW	ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΛΕΚΑΝΗ	ΕΚΤΑΣΗ m ²	ΑΝΤΛΗΣΙΣ m ³ /έτος	ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ mm/έτος	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗΣ	ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗ m ³ /έτος	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗΣ ΣΔΛΑΠ	ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗ ΣΔΛΑΠ m ³ /έτος
GR1300011	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΤΟΠΟΛΙΩΝ	97,115,981	4,390,305	907	55	48,446,307	20	17,490,000
GR1300012	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΣΦΗΝΑΡΙΟΥ	6,990,873	4,100	907	40	2,536,289	20	1,240,000
GR1300021	ΠΟΡΩΔΕΣ ΚΙΣΣΑΜΟΥ	38,400,922	5,499,178	907	12	4,179,556	15	5,340,000
GR1300022	ΠΟΡΩΔΕΣ ΚΑΜΠΟΥ ΧΑΝΙΩΝ	279,573,505	47,200,483	670	19	35,589,707	27	49,900,000
GR1300023	ΠΟΡΩΔΕΣ ΑΠΟΚΟΡΩΝΟΥ	124,078,458	21,978,680	670	16	13,301,211	26	21,450,000
GR1300031	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΒΔ. ΛΕΥΚΩΝ ΟΡΕΩΝ (ΑΓΙΑΣ)	122,827,108	4,926,489	1851	54	122,770,608	32	72,810,000
GR1300032	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΒΟΡΕΙΩΝ ΛΕΥΚΩΝ ΟΡΕΩΝ (ΣΤΥΛΟΥ-ΑΡΜΕΝΩΝ)	93,161,015	267,761	1851	54	93,118,161	29	50,170,000
GR1300033	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΒΑ. ΛΕΥΚΩΝ ΟΡΕΩΝ (ΚΟΥΡΝΑ-ΓΕΩΡΓΙΟΥΠΟΛΗΣ)	124,999,618	1,319,276	1851	54	124,942,118	41	95,000,000
GR1300034	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΝΟΤΙΩΝ ΛΕΥΚΩΝ ΟΡΕΩΝ	481,645,348	710,030	1851	54	481,423,791	33	290,350,000
GR1300035	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΓΕΩΡΓΙΟΥΠΟΛΗΣ	2,036,257	91,150	854	48	834,702	29	500,000
GR1300041	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΑΡΜΕΝΩΝ - ΜΟΥΝΤΡΟΥ-ΑΡΓΥΡΟΥΠΟΛΗΣ	40,833,160	1,920,302	1281	55	28,769,003	27	14,010,000
GR1300042	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΚΑΛΙΚΡΑΤΗ-ΑΣΙΔΕΡΩΤΑ	93,096,890	5,434,205	915	51	43,443,664	40	34,260,000
GR1300043	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΚΕΔΡΟΥ	72,663,945	160,780	1281	51	47,472,082	42	39,440,000
GR1300044	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΠΑΡΑΚΤΙΟ ΓΕΡΑΝΙΟΥ	15,119,896	15,595	880	45	5,987,479	45	6,040,000
GR1300051	ΠΟΡΩΔΕΣ ΒΔ. ΡΕΘΥΜΝΟΥ	102,106,711	2,086,004	881	23	20,689,883	22	19,470,000
GR1300052	ΠΟΡΩΔΕΣ ΚΑΜΠΟΥ ΡΕΘΥΜΝΟΥ	49,217,402	5,578,637	761	25	9,363,611	28	10,620,000
GR1300053	ΠΟΡΩΔΕΣ ΒΑ.ΡΕΘΥΜΝΟΥ	137,169,489	5,585,720	761	20	20,877,196	33	34,550,000
GR1300054	ΠΟΡΩΔΕΣ ΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΡΕΘΥΜΝΟΥ	123,991,965	1,321,940	881	20	21,847,384	26	28,300,000
GR1300055	ΠΟΡΩΔΕΣ ΝΟΤΙΟΥ ΡΕΘΥΜΝΟΥ	49,417,630	312,575	915	25	11,304,283	23	10,180,000

EU_CD_GW	ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΛΕΚΑΝΗ	ΕΚΤΑΣΗ m ²	ΑΝΤΛΗΣΕΙΣ m ³ /έτος	ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ mm/έτος	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗΣ	ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗ m ³ /έτος	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗΣ ΣΔΛΑΠ	ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗ ΣΔΛΑΠ m ³ /έτος
GR1300061	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΤΑΛΛΙΩΝ	83,882,900	993,763	1470	45	55,488,538	34	41,700,000
GR1300062	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΒΔ. ΨΗΛΟΡΕΙΤΗ	173,426,589	85,200	1470	55	140,215,397	42	105,960,000
GR1300063	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΒΑ. ΨΗΛΟΡΕΙΤΗ	217,913,561	1,320,490	1470	55	176,183,114	35	110,770,000
GR1300064	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΚΕΡΗΣ-ΤΥΛΙΣΣΟΥ	8,269,853	23,300	725	55	3,297,604	32	1,900,000
GR1300065	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΝΑ. ΨΗΛΟΡΕΙΤΗ	167,451,602	4,781,429	1470	55	135,384,620	42	103,940,000
GR1300071	ΠΟΡΩΔΕΣ ΒΟΡΕΙΟ-ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	434,756,007	20,735,450	725	18	56,735,659	21	67,720,000
GR1300072	ΠΟΡΩΔΕΣ ΠΑΡΑΚΤΙΟ ΒΟΡΕΙΟΥ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	111,643,867	6,349,512	725	18	14,569,525	11	8,980,000
GR1300081	ΠΟΡΩΔΕΣ ΤΥΜΠΑΚΙΟΥ	28,691,167	13,148,688	553	25	3,966,554	41	6,530,000
GR1300082	ΠΟΡΩΔΕΣ ΠΑΡΑΚΤΙΟ ΤΥΜΠΑΚΙΟΥ	6,303,932	803,240	553	25	871,519	18	630,000
GR1300083	ΠΟΡΩΔΕΣ ΜΟΙΡΩΝ	55,889,715	14,834,399	553	23	7,108,613	33	10,060,000
GR1300084	ΠΟΡΩΔΕΣ ΓΑΛΙΑΣ-ΒΑΓΙΩΝΙΑΣ-ΑΣΗΜΙΟΥ	115,628,203	8,017,334	553	20	12,788,479	47	30,060,000
GR1300085	ΠΟΡΩΔΕΣ ΜΕΣΟΧΩΡΙΟΥ	50,991,166	6,188,893	656	29	9,700,559	28	9,480,000
GR1300086	ΠΟΡΩΔΕΣ ΜΕΣΑΡΑΣ-ΝΟΤΙΟΥ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	508,106,038	41,172,366	725	19	69,991,607	17	64,010,000
GR1300091	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΠΟΜΠΙΑΣ-ΑΛΗΘΙΝΗΣ	12,785,769	500,100	553	20	1,414,106	41	2,880,000
GR1300092	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΠΥΡΓΟΥ-ΧΑΡΑΚΑ-ΦΟΥΡΝΟΦΑΡΑΓΓΟΥ	20,816,170	316,211	553	45	5,180,104	50	5,750,000
GR1300093	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΠΑΡΑΚΤΙΟ ΑΣΤΕΡΟΥΣΙΩΝ	69,510,796	1,063,382	553	45	17,297,762	51	19,640,000
GR1300101	ΠΟΡΩΔΕΣ ΚΑΣΤΕΛΙΟΥ	25,054,028	1,483,377	725	18	3,269,551	16	2,890,000
GR1300102	ΠΟΡΩΔΕΣ ΡΟΥΣΟΧΩΡΙΩΝ	9,671,450	937,170	725	20	1,402,360	14	950,000
GR1300111	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΔΙΚΤΗΣ	111,559,419	1,870,237	1270	48	68,006,622	38	53,710,000
GR1300112	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΜΑΛΙΩΝ-ΣΕΛΕΝΑΣ	92,473,482	2,735,748	1270	48	56,371,835	38	44,270,000
GR1300113	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΒΑ. ΔΙΚΤΗΣ	86,727,301	3,126,095	1270	40	44,057,469	40	44,330,000
GR1300114	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΛΑΚΚΩΝΙΩΝ-ΑΛΜΥΡΟΥ ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΥ	43,563,439	5,411,885	724	40	12,615,972	50	15,880,000
GR1300115	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΦΟΥΡΝΗΣ-ΕΛΟΥΝΤΑΣ	80,962,074	717,785	724	40	23,446,617	44	25,720,000
GR1300116	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΠΑΡΑΚΤΙΟ ΣΙΣΙΟΥ-ΜΙΛΑΤΟΥ-ΕΛΟΥΝΤΑΣ	90,163,948	1,523,439	724	40	26,111,479	39	25,460,000

EU_CD_GW	ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΛΕΚΑΝΗ	ΕΚΤΑΣΗ m ²	ΑΝΤΛΗΣΕΙΣ m ³ /έτος	ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ mm/έτος	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗΣ	ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗ m ³ /έτος	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗΣ ΣΔΛΑΠ	ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗ ΣΔΛΑΠ m ³ /έτος
GR1300117	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ-ΝΟΤΙΑΣ ΔΙΚΤΗΣ	116,371,110	3,990,455	917	40	42,684,923	45	48,480,000
GR1300121	ΠΟΡΩΔΕΣ ΙΕΡΑΠΕΤΡΑΣ-ΚΕΝΤΡΙΟΥ	27,828,047	1,590,100	601	20	3,344,931	38	6,310,000
GR1300122	ΠΟΡΩΔΕΣ ΠΑΧΕΙΑΣ ΑΜΜΟΥ-ΚΑΛΟΥ ΧΩΡΙΟΥ	27,073,034	2,479,717	600	20	3,248,764	31	5,060,000
GR1300123	ΠΟΡΩΔΕΣ ΙΕΡΑΠΕΤΡΑΣ-ΚΑΛΟΥ ΧΩΡΙΟΥ	260,895,916	19,566,598	601	20	31,359,689	21	32,580,000
GR1300124	ΠΟΡΩΔΕΣ ΜΥΡΤΟΥ	2,585,687	219,690	601	20	310,800	37	570,000
GR1300131	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΟΡΝΟΥ	51,866,163	813,000	770	40	15,974,778	43	17,130,000
GR1300132	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΠΑΡΑΚΤΙΟ ΜΑΛΑΥΡΑΣ-ΠΑΧΕΙΑΣ ΑΜΜΟΥ	15,851,397	6,421,470	695	50	5,508,360	53	5,810,000
GR1300133	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΘΡΥΠΤΗΣ	35,413,764	1,562,590	695	40	9,845,026	55	13,590,000
GR1300134	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΠΕΥΚΩΝ - ΜΑΡΩΝΙΑΣ	28,924,169	797,226	695	40	8,040,919	50	10,120,000
GR1300141	ΠΟΡΩΔΕΣ ΣΗΤΕΙΑΣ-ΠΑΠΑΓΙΑΝΝΑΔΩΝ-ΑΓΙΑΣ ΤΡΙΑΔΑΣ	94,101,987	5,447,958	695	15	9,810,132	20	13,010,000
GR1300142	ΠΟΡΩΔΕΣ ΚΟΥΤΣΟΥΡΑ-ΜΑΚΡΥΓΙΑΛΟΥ	93,659,250	2,945,534	601	20	11,257,842	23	13,040,000
GR1300143	ΠΟΡΩΔΕΣ ΣΚΟΠΗΣ-ΣΗΤΕΙΑΣ	52,564,644	3,401,368	591	20	6,213,141	24	7,330,000
GR1300144	ΠΟΡΩΔΕΣ ΓΟΥΔΟΥΡΑ	2,282,134	93,698	694	20	316,760	20	320,000
GR1300151	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΟΡΕΩΝ ΖΑΚΡΟΥ	93,206,935	519,273	695	48	31,093,834	56	36,570,000
GR1300152	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΒΑ. ΑΠΟΛΗΞΕΩΝ ΟΡΕΩΝ ΖΑΚΡΟΥ	44,280,766	2,454,450	895	48	19,023,017	36	14,210,000
GR1300153	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΠΑΡΑΚΤΙΟ ΑΝΑΤΟΛΙΚΩΝ ΑΠΟΛΗΞΕΩΝ ΖΑΚΡΟΥ	71,846,184	306,474	695	48	23,967,887	43	21,510,000
GR1300154	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΟΡΕΩΝ ΠΗΓΗΣ ΖΟΥ	15,591,288	8,650	695	48	5,201,254	52	5,680,000
GR1300161	ΠΟΡΩΔΕΣ ΦΟΙΝΙΚΟΔΑΣΟΥΣ ΒΑΪ	1,663,372	158,497	591	16	157,288	25	250,000
GR1300162	ΠΟΡΩΔΕΣ ΜΟΝΗΣ ΤΟΠΛΟΥ-ΠΑΛΑΙΚΑΣΤΡΟΥ-ΞΗΡΟΚΑΜΠΟΥ	64,564,977	2,512,251	591	16	6,105,264	23	8,790,000
GR1300171	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΠΑΛΑΙΟΧΩΡΑΣ	62,039,530	1,772,898	907	36	20,257,147	17	9,590,000
GR1300172	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΧΡΥΣΟΣΚΑΛΠΙΣΣΑΣ	14,836,618	50,000	907	55	7,401,247	33	4,450,000
GR1300173	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΚΑΝΤΑΝΟΥ	10,789,724	0	907	45	4,403,826	67	6,570,000
GR1300180	ΠΟΡΩΔΕΣ ΦΡΑΓΚΟΚΑΣΤΕΛΛΟΥ	11,002,223	276,680	881	16	1,550,873	9	840,000

EU_CD_GW	ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΛΕΚΑΝΗ	ΕΚΤΑΣΗ m ²	ΑΝΤΛΗΣΕΙΣ m ³ /έτος	ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ mm/έτος	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗΣ	ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗ m ³ /έτος	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗΣ ΣΔΛΑΠ	ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗ ΣΔΛΑΠ m ³ /έτος
GR1300190	ΡΩΓΜΩΔΕΣ ΧΑΝΙΩΝ	581,593,631	12,298,552	907	5	26,375,271	10	54,260,000
GR1300200	ΠΟΡΩΔΕΣ ΧΡΥΣΟΣΚΑΛΙΤΙΣΣΑΣ	27,979,246	290,770	907	18	4,567,892	10	2,650,000
GR1300210	ΡΩΓΜΩΔΕΣ ΡΕΘΥΜΝΟΥ	307,631,175	11,414,118	1280	5	19,688,395	5	20,680,000
GR1300220	ΡΩΓΜΩΔΕΣ ΑΣΤΕΡΟΥΣΙΩΝ	280,882,732	6,213,735	574	5	8,061,334	12	18,570,000
GR1300231	ΠΟΡΩΔΕΣ ΟΡΟΠΕΔΙΟΥ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	27,008,748	305,870	1124	20	6,071,567	29	8,910,000
GR1300232	ΠΟΡΩΔΕΣ ΕΜΠΑΡΟΥ-ΠΑΝΑΓΙΑΣ	8,002,474	2,285,268	725	20	1,160,359	26	1,520,000
GR1300233	ΠΟΡΩΔΕΣ ΑΝΩ ΒΙΑΝΝΟΥ	979,257	108,000	917	20	179,596	37	330,000
GR1300234	ΠΟΡΩΔΕΣ ΚΕΡΑΤΟΚΑΜΠΟΥ-ΑΡΒΗΣ	18,028,531	601,298	917	11	1,818,538	18	3,030,000
GR1300240	ΡΩΓΜΩΔΕΣ ΔΙΚΤΗΣ	269,262,056	36,507,177	1270	10	34,196,281	8	28,610,000
GR1300250	ΡΩΓΜΩΔΕΣ ΨΗΛΟΡΕΙΤΗ	297,415,577	20,685,155	1473	10	43,809,314	7	30,460,000
GR1300260	ΡΩΓΜΩΔΕΣ ΟΡΕΩΝ ΖΑΚΡΟΥ	78,254,702	772,672	695	10	5,438,702	11	5,760,000
GR1300270	ΠΟΡΩΔΕΣ ΓΑΥΔΟΥ	17,254,645	20,285	508	20	1,753,072	2	150,000
GR1300280	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΓΑΥΔΟΥ	14,342,176	24,000	508	40	2,914,330	19	1,350,000
GR1300290	ΡΩΓΜΩΔΕΣ ΠΟΥΧΤΑΣ-ΟΕΥ ΚΕΦΑΛΙ (ΔΑΜΑΝΙΩΝ-ΛΑΡΑΝΙΟΥ)	30,949,682	366,961	725	10	2,243,852	11	2,480,000
GR1300301	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΓΙΟΥΧΤΑ	3,881,011	2,088	725	50	1,406,866	50	1,420,000
GR1300302	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΔΑΜΑΝΙΩΝ-ΛΑΡΑΝΙΟΥ	2,081,610	0	725	20	301,833	53	800,000
GR1300311	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΚΑΙΝΟΥΡΓΙΟΥ ΧΩΡΙΟΥ-ΣΜΑΡΙΟΥ	69,098,840	799,343	725	43	21,541,563	47	23,480,000
GR1300312	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΠΑΡΑΚΤΙΟ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ-ΓΟΥΒΩΝ-ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΥ	57,652,134	1,544,347	728	50	20,985,377	18	7,760,000
GR1300320	ΡΩΓΜΩΔΕΣ ΟΡΝΟΥ-ΦΡΥΓΓΗΣ	125,929,919	3,806,231	695	10	8,752,129	11	9,550,000
GR1300321	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΠΑΡΑΚΤΙΟ ΓΡΑΜΒΟΥΣΑΣ	25,419,193	28,043	670	49	8,345,121	35	5,880,000
GR1300322	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΠΑΡΑΚΤΙΟ ΣΠΑΘΑΣ (ΡΟΔΩΠΟΥ)	79,233,794	9,500	670	53	28,135,920	35	18,800,000
GR1300323	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΠΑΡΑΚΤΙΟ ΑΚΡΩΤΗΡΙΟΥ (ΣΟΥΔΑΣ)	69,829,739	238,325	670	52	24,328,681	35	16,250,000
GR1300324	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΠΑΡΑΚΤΙΟ ΑΠΟΚΟΡΩΝΑ	30,475,567	0	854	48	12,492,544	43	11,250,000

EU_CD_GW	ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΛΕΚΑΝΗ	ΕΚΤΑΣΗ m ²	ΑΝΤΛΗΣΕΙΣ m ³ /έτος	ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ mm/έτος	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗΣ	ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗ m ³ /έτος	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗΣ ΣΔΛΑΠ	ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗ ΣΔΛΑΠ m ³ /έτος
GR1300330	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΓΥΨΟΝ ΚΡΗΤΗΣ	17,858,488	299,335	670	50	5,982,593	53	6,320,000
GR1300340	ΝΗΣΙΔΕΣ ΚΡΗΤΗΣ	43,406,824	0	508	50	11,025,333	27	5,890,000
			402,952,352			2,651,026,868		2,172,310,000



Σχήμα 3.2 Κατανομή των γεωτρήσεων που απογράφησαν από την Διεύθυνση Υδάτων της Αποκεντρωμένης Διοίκησης Κρήτης στις υδρογεωλογικές λεκάνες της Κρήτης

3.3 Δείκτης Rex

Για την επεξεργασία των πληροφοριών αυτών δημιουργήθηκε σχετική βάση δεδομένων σε Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών που μεταξύ άλλων κατένημε τις απογραφείσες γεωτρήσεις και ετήσιες ετήσιες αντλήσεις της πρόσφατης απογραφής γεωτρήσεων της Διεύθυνσης Υδάτων της Αποκεντρωμένης Διοίκησης Κρήτης (Σχήμα 3.2) στις 91 υδρογεωλογικές λεκάνες Κρήτης.

Για τις ανάγκες του παρόντος κεφαλαίου από τα αποτελέσματα των υπολογισμών και της σχετικής επεξεργασίας προσδιορίστηκε για κάθε υδρογεωλογική λεκάνη ένας δείκτης που ισούται με τον λόγο της ετήσιας απόληψης (αντλήσεις) προς τη μέση ετήσια τροφοδοσία από βροχοπτώσεις της κάθε υδρογεωλογικής λεκάνης.

Ο δείκτης αυτός (Rex) αν και προσεγγιστικός δείχνει την ποσοστιαία αξιοποίηση της μέσης ετήσιας τροφοδοσίας των υπόγειων υδροφορέων, σύμφωνα με την εξίσωση:

$$Rex = \frac{D}{eP}$$

Όπου

D: ο μέσος όρος των ετήσιων απολήψεων από τον υδροφόρα (m³)

e: ο λόγος του τμήματος του ετήσιου ύψους βροχής που καταλήγει στον υδροφόρο ορίζοντα μέσω της κατακόρυφης διήθησης στην υδρογεωλογική λεκάνη

P: ο μέσος όρος των συνολικών ετήσιων όγκων βροχής στην επιφάνεια της υδρογεωλογικής λεκάνης (m³).

Τα αποτελέσματα περιλαμβάνονται στον Πίνακες 3.1 & 3.2 και απεικονίζονται στα Σχήματα 3.3 & 3.4 με τις επιφυλάξεις που διατυπώθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο σχετικά με την ορθότητα των υιοθετηθέντων συντελεστών κατείσδυσης.

Οι παραπάνω πίνακες περιλαμβάνουν και τους συντελεστές κατείσδυσης όπως αυτοί υπολογίστηκαν από τις κατεισδύσεις των υδρογεωλογικών λεκανών που αναφέρονται στο ΣΔΛΑΠ. Παρά το ότι στο ΣΔΛΑΠ αναφέρεται ότι οι συντελεστές αυτοί βασίστηκαν στις ίδιες πηγές με αυτές της παρούσας μελέτης, παρουσιάζουν τιμές που συχνά διαφορετικές που όχι μόνο δεν αιτιολογούνται αλλά και δεν επιδέχονται λογικής εξήγησης με αποτέλεσμα να μην μπορούν να γίνουν αποδεκτές.

Πρέπει να σημειωθεί ότι με την υιοθέτηση ενός σφάλματος στις τιμές του συντελεστή συντηρητικά της τάξης του 20% το σύνολο της κατείσδυσης για την Κρήτη όπως υπολογίστηκε από την παρούσα μελέτη διαμορφώνεται σε 2.6 δις. κυβικά μέτρα ετησίως ± 520 εκ.κυβικά μέτρα.

3.4 Ευάλωτες στη λειψυδρία υδρογεωλογικές λεκάνες

Από τα αποτελέσματα της προσεγγιστικής αυτής διαδικασίας συνάγεται ότι οι υδρογεωλογικές λεκάνες περισσότερο ευάλωτες σε συνθήκες λειψυδρίας είναι αυτές που περιλαμβάνονται στον Πίνακα 3.3 και το Σχήμα 3.5.

Στον Πίνακα 3.3 και στο Σχήμα 3.6 παρατίθεται επίσης και η κατανομή των υδρογεωλογικών λεκανών αυτών στις επιλεγείσες ομάδες υπολεκανών «Ξηρασίας» που προτάθηκαν στην παρούσα μελέτη.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι σε μερικές λεκάνες η προκύπτουσα από τα παραπάνω αποτελέσματα υψηλή επικινδυνότητα μερικών υδρογεωλογικών λεκανών θεωρείται μάλλον υπερβολική ή/και πλασματική λόγω της μη θεώρησης πλευρικής τροφοδοσίας, όπως στην περίπτωση της λεκάνης Αποκορώνου.

Επιπροσθέτως θεωρείται ότι η ύπαρξη διακεκριμένων «ρωγμωδών» λεκανών όπως αυτές του Ψηλορείτη και Δίκτη αντίστοιχα, είναι εσφαλμένη. Για τον ακριβέστερο προσδιορισμό των υδρογεωλογικών λεκανών (και κατ'επέκταση των ομάδων υπολεκανών ξηρασίας) κρίνεται απαραίτητη η αναλυτική προσομοίωση κάθε υπόγειου υδροφορέα που προφανώς θα περιλαμβάνει και υπολογισμό της κατείσδυσης με χρήση αποδεκτής μρθοδολογίας προσδιορισμού. Με βάση αυτή την αναλυτική πληροφορία ενδέχεται να υπάρξουν αλλαγές στον τελικό προσδιορισμό των ομάδων υπολεκανών διαχείρισης της ξηρασίας/λειψυδρίας.

Από τα μέχρι τώρα αποτελέσματα οι υπολεκάνες που περιλαμβάνουν υδρογεωλογικές λεκάνες με τιμή συντελεστή $Rex \geq 0.4$ είναι οι ακόλουθες:

1. Χανίων - Κισάμου
2. Παλαιόχωρας – Σφακίων – Πλακιά
3. Ρεθύμνου - Γεωργιούπολης
4. Γεροποτάμου - Πλατύ
5. Αναποδάρη
6. Ηρακλείου Μαλίων
7. Αγίου Νικολάου
8. Νότιου Λασιθίου - Ιεράπετρας
9. Σητείας

που αντιπροσωπεύουν το σύνολο των προταθέντων υπολεκανών, γεγονός που δεν αντανakλά την πραγματική εικόνα. Πρέπει να σημειωθεί ότι η επιλογή της τιμής $Rex \geq 0.4$ είναι αυθαίρετη και έγινε για καθαρά πρακτικούς λόγους. Ουσιαστικά, όπως είναι φανερό από το Σχήμα 3.6 οι περιοχές που παρουσιάζουν υψηλή επικινδυνότητα διαθεσιμότητας υπόγειων υδατικών πόρων είναι:

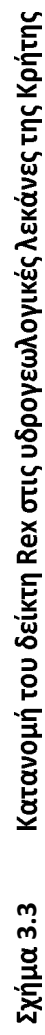
1. Βόρειο τμήμα Νομού Χανίων
2. Νότιο τμήμα Νομού Ηρακλείου
3. Νότιο - Δυτικό τμήμα Νομού Λασιθίου

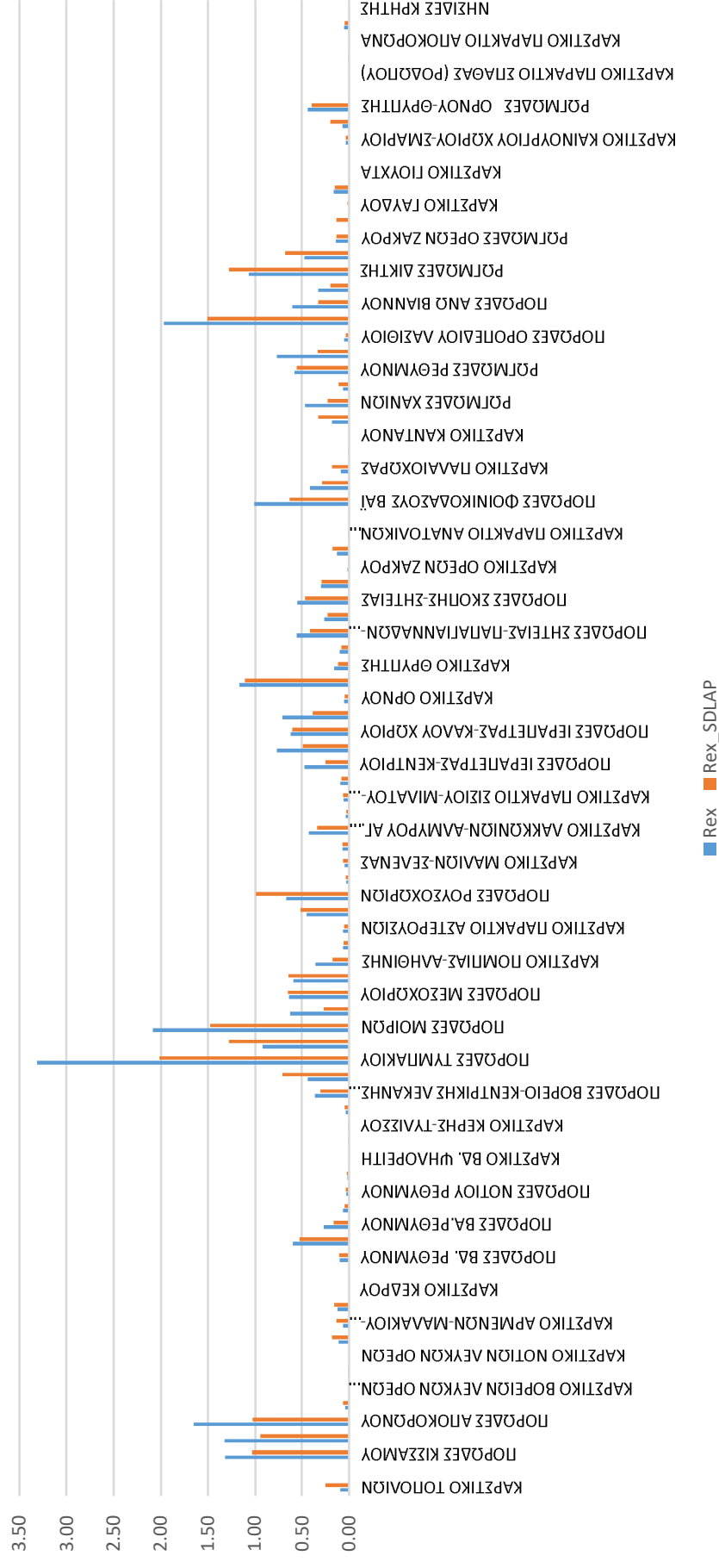
Πίνακας 3.2 Υπολογισθείσες τιμές του δείκτη Rex των υδρογεωλογικών λεκανών καθώς και οι τιμές του δείκτη Rex ΣΔΛΑΠ που υπολογίστηκε από τα δεδομένα ΣΔΛΑΠ

EU_CD_GW	ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΛΕΚΑΝΗ	Rex	Rex ΣΔΛΑΠ
GR1300011	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΤΟΠΟΛΙΩΝ	0.09	0.25
GR1300012	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΣΦΗΝΑΡΙΟΥ	0.00	0.00
GR1300021	ΠΟΡΩΔΕΣ ΚΙΣΣΑΜΟΥ	1.32	1.03
GR1300022	ΠΟΡΩΔΕΣ ΚΑΜΠΟΥ ΧΑΝΙΩΝ	1.33	0.95
GR1300023	ΠΟΡΩΔΕΣ ΑΠΟΚΟΡΩΝΟΥ	1.65	1.02
GR1300031	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΒΔ. ΛΕΥΚΩΝ ΟΡΕΩΝ (ΑΓΙΑΣ)	0.04	0.07
GR1300032	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΒΟΡΕΙΩΝ ΛΕΥΚΩΝ ΟΡΕΩΝ (ΣΤΥΛΟΥ-ΑΡΜΕΝΩΝ)	0.00	0.01
GR1300033	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΒΑ. ΛΕΥΚΩΝ ΟΡΕΩΝ (ΚΟΥΡΝΑ-ΓΕΩΡΓΙΟΥΠΟΛΗΣ)	0.01	0.01
GR1300034	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΝΟΤΙΩΝ ΛΕΥΚΩΝ ΟΡΕΩΝ	0.00	0.00
GR1300035	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΓΕΩΡΓΙΟΥΠΟΛΗΣ	0.11	0.18
GR1300041	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΑΡΜΕΝΩΝ-ΜΑΛΑΚΙΟΥ- ΜΟΥΝΤΡΟΥ-ΑΡΓΥΡΟΥΠΟΛΗΣ	0.07	0.14
GR1300042	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΚΑΛΛΙΚΡΑΤΗ-ΑΣΙΔΕΡΩΤΑ	0.13	0.16
GR1300043	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΚΕΔΡΟΥ	0.00	0.00
GR1300044	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΠΑΡΑΚΤΙΟ ΓΕΡΑΝΙΟΥ	0.00	0.00
GR1300051	ΠΟΡΩΔΕΣ ΒΔ. ΡΕΘΥΜΝΟΥ	0.10	0.11
GR1300052	ΠΟΡΩΔΕΣ ΒΑ. ΠΑΡΑΚΤΙΟΥ ΡΕΘΥΜΝΟΥ (ΚΑΜΠΟΥ ΡΕΘΥΜΝΟΥ-ΠΡ	0.60	0.53
GR1300053	ΠΟΡΩΔΕΣ ΒΑ.ΡΕΘΥΜΝΟΥ	0.27	0.16
GR1300054	ΠΟΡΩΔΕΣ ΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΡΕΘΥΜΝΟΥ	0.06	0.05
GR1300055	ΠΟΡΩΔΕΣ ΝΟΤΙΟΥ ΡΕΘΥΜΝΟΥ	0.03	0.03
GR1300061	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΤΑΛΑΙΩΝ	0.02	0.02
GR1300062	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΒΔ. ΨΗΛΟΡΕΙΤΗ	0.00	0.00
GR1300063	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΒΑ. ΨΗΛΟΡΕΙΤΗ	0.01	0.01
GR1300064	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΚΕΡΗΣ-ΤΥΛΙΣΣΟΥ	0.01	0.01
GR1300065	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΝΑ. ΨΗΛΟΡΕΙΤΗ	0.04	0.05
GR1300071	ΠΟΡΩΔΕΣ ΒΟΡΕΙΟ-ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	0.37	0.31
GR1300072	ΠΟΡΩΔΕΣ ΠΑΡΑΚΤΙΟ ΒΟΡΕΙΟΥ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	0.44	0.71
GR1300081	ΠΟΡΩΔΕΣ ΤΥΜΠΑΚΙΟΥ	3.31	2.01
GR1300082	ΠΟΡΩΔΕΣ ΠΑΡΑΚΤΙΟ ΤΥΜΠΑΚΙΟΥ	0.92	1.27
GR1300083	ΠΟΡΩΔΕΣ ΜΟΙΡΩΝ	2.09	1.47

EU_CD_GW	ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΛΕΚΑΝΗ	Rex	Rex ΣΔΛΑΠ
GR1300084	ΠΟΡΩΔΕΣ ΓΑΛΙΑΣ-ΒΑΓΙΩΝΙΑΣ-ΑΣΗΜΙΟΥ	0.63	0.27
GR1300085	ΠΟΡΩΔΕΣ ΜΕΣΟΧΩΡΙΟΥ	0.64	0.65
GR1300086	ΠΟΡΩΔΕΣ ΜΕΣΑΡΑΣ-ΝΟΤΙΟΥ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	0.59	0.64
GR1300091	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΠΟΜΠΙΑΣ-ΑΛΗΘΙΝΗΣ	0.35	0.17
GR1300092	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΠΥΡΓΟΥ-ΧΑΡΑΚΑ-ΦΟΥΡΝΟΦΑΡΑΓΓΟΥ	0.06	0.05
GR1300093	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΠΑΡΑΚΤΙΟ ΑΣΤΕΡΟΥΣΙΩΝ	0.06	0.05
GR1300101	ΠΟΡΩΔΕΣ ΚΑΣΤΕΛΙΟΥ	0.45	0.51
GR1300102	ΠΟΡΩΔΕΣ ΡΟΥΣΟΧΩΡΙΩΝ	0.67	0.99
GR1300111	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΔΙΚΤΗΣ	0.03	0.03
GR1300112	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΜΑΛΙΩΝ-ΣΕΛΕΝΑΣ	0.05	0.06
GR1300113	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΒΑ. ΔΙΚΤΗΣ	0.07	0.07
GR1300114	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΛΑΚΚΩΝΙΩΝ-ΑΛΜΥΡΟΥ ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΥ	0.43	0.34
GR1300115	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΦΟΥΡΝΗΣ-ΕΛΟΥΝΤΑΣ	0.03	0.03
GR1300116	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΠΑΡΑΚΤΙΟ ΣΙΣΙΟΥ-ΜΙΛΑΤΟΥ-ΕΛΟΥΝΤΑΣ	0.06	0.06
GR1300117	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ-ΝΟΤΙΑΣ ΔΙΚΤΗΣ	0.09	0.08
GR1300121	ΠΟΡΩΔΕΣ ΙΕΡΑΠΕΤΡΑΣ-ΚΕΝΤΡΙΟΥ	0.48	0.25
GR1300122	ΠΟΡΩΔΕΣ ΠΑΧΕΙΑΣ ΑΜΜΟΥ-ΚΑΛΟΥ ΧΩΡΙΟΥ	0.76	0.49
GR1300123	ΠΟΡΩΔΕΣ ΙΕΡΑΠΕΤΡΑΣ-ΚΑΛΟΥ ΧΩΡΙΟΥ	0.62	0.60
GR1300124	ΠΟΡΩΔΕΣ ΜΥΡΤΟΥ	0.71	0.39
GR1300131	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΟΡΝΟΥ	0.05	0.05
GR1300132	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΠΑΡΑΚΤΙΟ ΜΑΛΑΥΡΑΣ-ΠΑΧΕΙΑΣ ΑΜΜΟΥ	1.17	1.11
GR1300133	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΘΡΥΠΤΗΣ	0.16	0.11
GR1300134	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΠΕΥΚΩΝ - ΜΑΡΩΝΙΑΣ	0.10	0.08
GR1300141	ΠΟΡΩΔΕΣ ΣΗΤΕΙΑΣ-ΠΑΠΑΓΙΑΝΝΑΔΩΝ-ΑΓΙΑΣ ΤΡΙΑΔΑΣ	0.56	0.42
GR1300142	ΠΟΡΩΔΕΣ ΚΟΥΤΣΟΥΡΑ-ΜΑΚΡΥΓΙΑΛΟΥ	0.26	0.23
GR1300143	ΠΟΡΩΔΕΣ ΣΚΟΠΗΣ-ΣΗΤΕΙΑΣ	0.55	0.46
GR1300144	ΠΟΡΩΔΕΣ ΓΟΥΔΟΥΡΑ	0.30	0.29
GR1300151	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΟΡΕΩΝ ΖΑΚΡΟΥ	0.02	0.01
GR1300152	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΒΑ. ΑΠΟΛΗΞΕΩΝ ΟΡΕΩΝ ΖΑΚΡΟΥ	0.13	0.17
GR1300153	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΠΑΡΑΚΤΙΟ ΑΝΑΤΟΛΙΚΩΝ ΑΠΟΛΗΞΕΩΝ ΖΑΚΡΟΥ	0.01	0.01
GR1300154	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΟΡΕΩΝ ΠΗΓΗΣ ΖΟΥ	0.00	0.00

EU_CD_GW	ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΛΕΚΑΝΗ	Rex	Rex ΣΔΛΑΠ
GR1300161	ΠΟΡΩΔΕΣ ΦΟΙΝΙΚΟΔΑΣΟΥΣ ΒΑΪ	1.01	0.63
GR1300162	ΠΟΡΩΔΕΣ ΜΟΝΗΣ ΤΟΠΛΟΥ-ΠΑΛΑΙΚΑΣΤΡΟΥ-ΞΗΡΟΚΑΜΠΟΥ	0.41	0.29
GR1300171	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΠΑΛΑΙΟΧΩΡΑΣ	0.09	0.18
GR1300172	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΧΡΥΣΟΣΚΑΛΙΤΙΣΣΑΣ	0.01	0.01
GR1300173	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΚΑΝΤΑΝΟΥ	0.00	0.00
GR1300180	ΠΟΡΩΔΕΣ ΦΡΑΓΚΟΚΑΣΤΕΛΛΟΥ	0.18	0.33
GR1300190	ΡΩΓΜΩΔΕΣ ΧΑΝΙΩΝ	0.47	0.23
GR1300200	ΠΟΡΩΔΕΣ ΧΡΥΣΟΣΚΑΛΙΤΙΣΣΑΣ	0.06	0.11
GR1300210	ΡΩΓΜΩΔΕΣ ΡΕΘΥΜΝΟΥ	0.58	0.55
GR1300220	ΡΩΓΜΩΔΕΣ ΑΣΤΕΡΟΥΣΙΩΝ	0.77	0.33
GR1300231	ΠΟΡΩΔΕΣ ΟΡΟΠΕΔΙΟΥ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	0.05	0.03
GR1300232	ΠΟΡΩΔΕΣ ΕΜΠΑΡΟΥ-ΠΑΝΑΓΙΑΣ	1.97	1.50
GR1300233	ΠΟΡΩΔΕΣ ΑΝΩ ΒΙΑΝΝΟΥ	0.60	0.33
GR1300234	ΠΟΡΩΔΕΣ ΚΕΡΑΤΟΚΑΜΠΟΥ-ΑΡΒΗΣ	0.33	0.20
GR1300240	ΡΩΓΜΩΔΕΣ ΔΙΚΤΗΣ	1.07	1.28
GR1300250	ΡΩΓΜΩΔΕΣ ΨΗΛΟΡΕΙΤΗ	0.47	0.68
GR1300260	ΡΩΓΜΩΔΕΣ ΟΡΕΩΝ ΖΑΚΡΟΥ	0.14	0.13
GR1300270	ΠΟΡΩΔΕΣ ΓΑΥΔΟΥ	0.01	0.14
GR1300280	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΓΑΥΔΟΥ	0.01	0.02
GR1300290	ΡΩΓΜΩΔΕΣ ΓΙΟΥΧΤΑΣ-ΟΞΥ ΚΕΦΑΛΙ (ΔΑΜΑΝΙΩΝ-ΛΑΡΑΝΙΟΥ)	0.16	0.15
GR1300301	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΓΙΟΥΧΤΑ	0.00	0.00
GR1300302	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΔΑΜΑΝΙΩΝ-ΛΑΡΑΝΙΟΥ	0.00	0.00
GR1300311	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΚΑΙΝΟΥΡΓΙΟΥ ΧΩΡΙΟΥ-ΣΜΑΡΙΟΥ	0.04	0.03
GR1300312	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΠΑΡΑΚΤΙΟ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ-ΓΟΥΒΩΝ-ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΥ	0.07	0.20
GR1300320	ΡΩΓΜΩΔΕΣ ΟΡΝΟΥ-ΘΡΥΠΤΗΣ	0.43	0.40
GR1300321	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΠΑΡΑΚΤΙΟ ΓΡΑΜΒΟΥΣΑΣ	0.00	0.00
GR1300322	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΠΑΡΑΚΤΙΟ ΣΠΑΘΑΣ (ΡΟΔΩΠΟΥ)	0.00	0.00
GR1300323	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΠΑΡΑΚΤΙΟ ΑΚΡΩΤΗΡΙΟΥ (ΣΟΥΔΑΣ)	0.01	0.01
GR1300324	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΠΑΡΑΚΤΙΟ ΑΠΟΚΟΡΩΝΑ	0.00	0.00
GR1300330	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΓΥΨΩΝ ΚΡΗΤΗΣ	0.05	0.05
GR1300340	ΝΗΣΙΔΕΣ ΚΡΗΤΗΣ	0.00	0.00



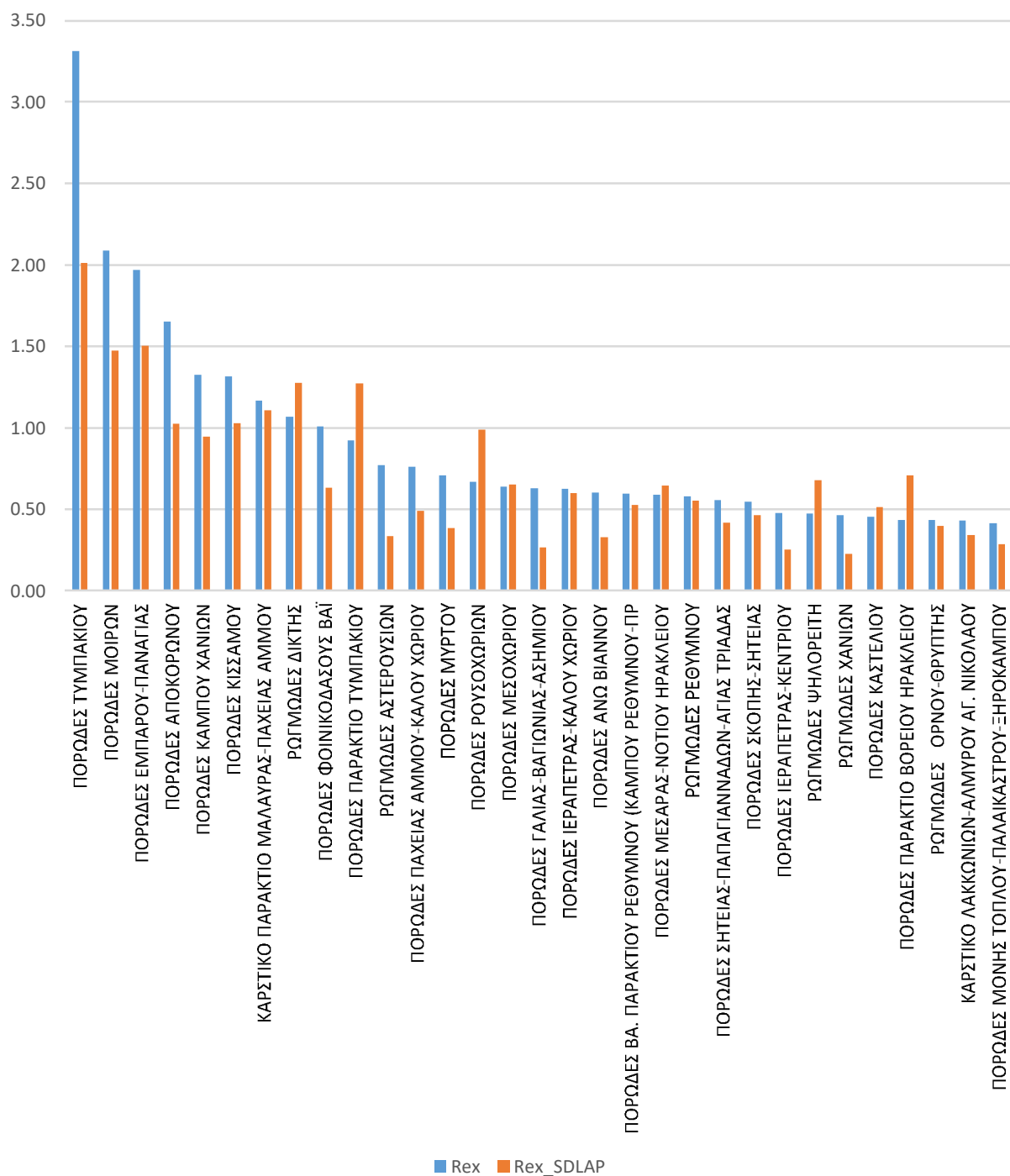


Σχήμα 3.4 Κατανομή του δείκτη Rex στις υδρογεωλογικές λεκάνες της Κρήτης

Πίνακας 3.3 Υδρογεωλογικές λεκάνες με υψηλό δείκτη Rex

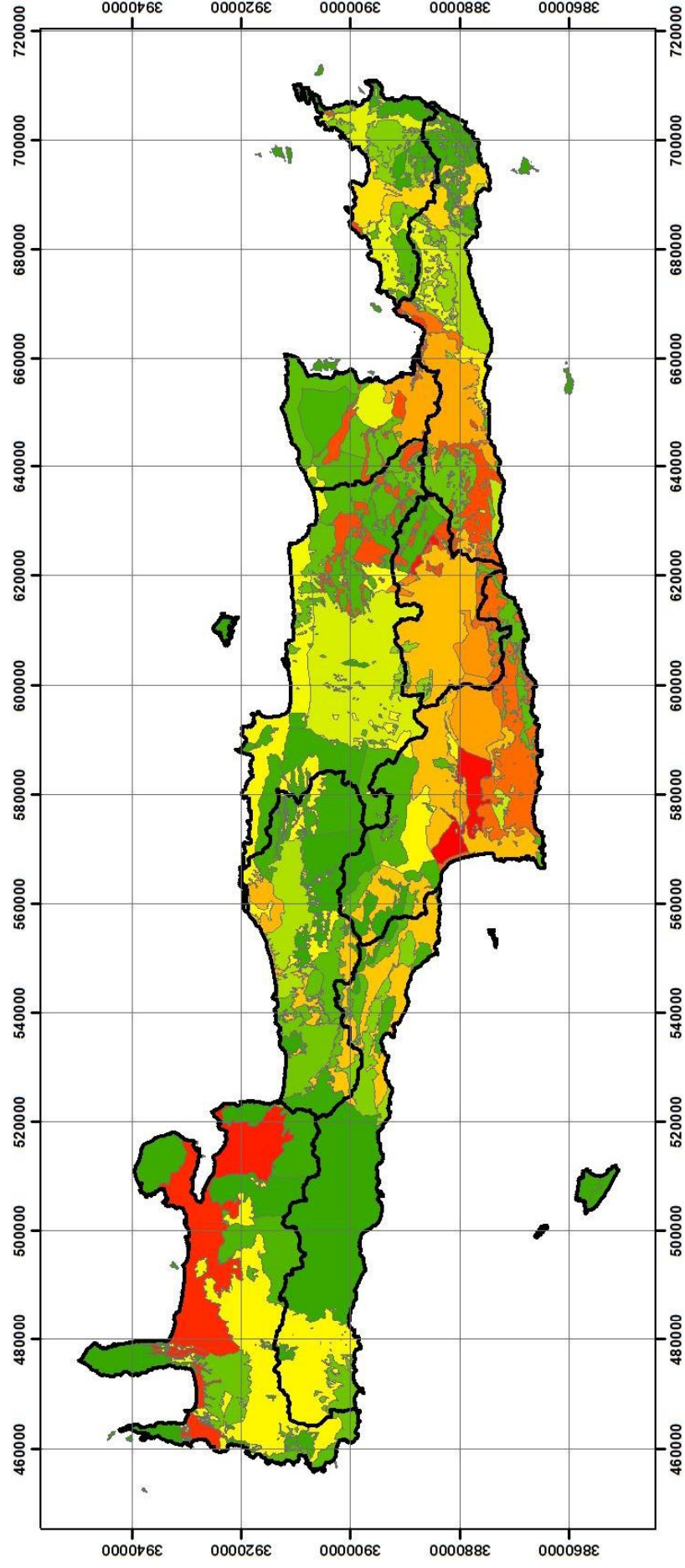
EU_CD_GW	ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΛΑΚΑΝΗ	Rex	Rex ΣΔΛΑΠ	ΥΠΟΛΕΚΑΝΕΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ
GR1300081	ΠΟΡΩΔΕΣ ΤΥΜΠΑΚΙΟΥ	3.31	2.01	Γεροποτάμου - Πλατύ
GR1300083	ΠΟΡΩΔΕΣ ΜΟΙΡΩΝ	2.09	1.47	Γεροποτάμου - Πλατύ
GR1300232	ΠΟΡΩΔΕΣ ΕΜΠΑΡΟΥ-ΠΑΝΑΓΙΑΣ	1.97	1.50	Αναποδάρη
GR1300023	ΠΟΡΩΔΕΣ ΑΠΟΚΟΡΩΝΟΥ	1.65	1.02	Χανίων - Κισάμου
GR1300022	ΠΟΡΩΔΕΣ ΚΑΜΠΟΥ ΧΑΝΙΩΝ	1.33	0.95	Χανίων - Κισάμου
GR1300021	ΠΟΡΩΔΕΣ ΚΙΣΣΑΜΟΥ	1.32	1.03	Νότιο Λασιθι - Ιεράπετρα
GR1300132	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΠΑΡΑΚΤΙΟ ΜΑΛΛΥΡΑΣ-ΠΑΧΕΙΑΣ ΑΜΜΟΥ	1.17	1.11	Αγίου Νικολάου / Ηρακλείου Μαλίων/ Νότιου Λασιθίου - Ιεράπετρας / Αναποδάρη
GR1300240	ΡΩΓΜΩΔΕΣ ΔΙΚΤΗΣ	1.07	1.28	Γεροποτάμου - Πλατύ
GR1300161	ΠΟΡΩΔΕΣ ΦΟΙΝΙΚΟΔΑΣΟΥΣ ΒΑΪ	1.01	0.63	Σητείας
GR1300082	ΠΟΡΩΔΕΣ ΠΑΡΑΚΤΙΟ ΤΥΜΠΑΚΙΟΥ	0.92	1.27	Γεροποτάμου - Πλατύ
GR1300220	ΡΩΓΜΩΔΕΣ ΑΣΤΕΡΟΥΣΙΩΝ	0.77	0.33	Γεροποτάμου – Πλατύ / Αναποδάρη
GR1300122	ΠΟΡΩΔΕΣ ΠΑΧΕΙΑΣ ΑΜΜΟΥ-ΚΑΛΟΥ ΧΩΡΙΟΥ	0.76	0.49	Νότιου Λασιθίου - Ιεράπετρας / Αγίου Νικολάου
GR1300124	ΠΟΡΩΔΕΣ ΜΥΡΤΟΥ	0.71	0.39	Νότιο Λασιθι - Ιεράπετρα
GR1300102	ΠΟΡΩΔΕΣ ΡΟΥΣΟΧΩΡΙΩΝ	0.67	0.99	Ηρακλείου Μαλίων/ Αναποδάρη
GR1300085	ΠΟΡΩΔΕΣ ΜΕΣΟΧΩΡΙΟΥ	0.64	0.65	Αναποδάρη
GR1300084	ΠΟΡΩΔΕΣ ΓΑΛΙΑΣ-ΒΑΓΙΩΝΙΑΣ-ΑΣΗΜΙΟΥ	0.63	0.27	Γεροποτάμου – Πλατύ / Αναποδάρη
GR1300123	ΠΟΡΩΔΕΣ ΙΕΡΑΠΕΤΡΑΣ-ΚΑΛΟΥ ΧΩΡΙΟΥ	0.62	0.60	Νότιου Λασιθίου - Ιεράπετρας
GR1300233	ΠΟΡΩΔΕΣ ΑΝΩ ΒΙΑΝΝΟΥ	0.60	0.33	Νότιου Λασιθίου - Ιεράπετρας
GR1300052	ΠΟΡΩΔΕΣ ΚΑΜΠΟΥ ΡΕΘΥΜΝΟΥ	0.60	0.53	Ρεθύμνου - Γεωργιούπολης
GR1300086	ΠΟΡΩΔΕΣ ΜΕΣΑΡΑΣ-ΝΟΤΙΟΥ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	0.59	0.64	Γεροποτάμου – Πλατύ / Αναποδάρη
GR1300210	ΡΩΓΜΩΔΕΣ ΡΕΘΥΜΝΟΥ	0.58	0.55	Παλαιόχωρας – Σφακιών – Πλακιά / Γεροποτάμου - Πλατύ
GR1300141	ΠΟΡΩΔΕΣ ΣΗΤΕΙΑΣ-ΠΑΠΑΓΙΑΝΝΑΔΩΝ-ΑΓΙΑΣ ΤΡΙΑΔΑΣ	0.56	0.42	Σητείας / Νότιου Λασιθίου - Ιεράπετρας
GR1300143	ΠΟΡΩΔΕΣ ΣΚΟΠΗΣ-ΣΗΤΕΙΑΣ	0.55	0.46	Σητείας

EU_CD_GW	ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΛΑΚΑΝΗ	Rex	Rex ΣΔΛΑΠ	ΥΠΟΛΕΚΑΝΕΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ
GR1300121	ΠΟΡΩΔΕΣ ΙΕΡΑΠΕΤΡΑΣ-ΚΕΝΤΡΙΟΥ	0.48	0.25	Νότιου Λασιθίου - Ιεράπετρας
GR1300250	ΡΩΓΜΩΔΕΣ ΨΗΛΟΡΕΙΤΗ	0.47	0.68	Ηρακλείου Μαλίων/ Ρεθύμνου - Γεωργιούπολης
GR1300190	ΡΩΓΜΩΔΕΣ ΧΑΝΙΩΝ	0.47	0.23	Χανίων – Κισάμου / Παλαιόχωρας – Σφακίων – Πλακιά
GR1300101	ΠΟΡΩΔΕΣ ΚΑΣΤΕΛΙΟΥ	0.45	0.51	Ηρακλείου Μαλίων/ Αναποδάρη
GR1300072	ΠΟΡΩΔΕΣ ΠΑΡΑΚΤΙΟΥ ΒΟΡΕΙΟΥ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	0.44	0.71	Ηρακλείου Μαλίων
GR1300320	ΡΩΓΜΩΔΕΣ ΟΡΝΟΥ-ΘΡΥΠΤΗΣ	0.43	0.40	Σητείας / Νότιου Λασιθίου - Ιεράπετρας
GR1300114	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΛΑΚΚΩΝΙΩΝ-ΑΛΜΥΡΟΥ ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΥ	0.43	0.34	Αγίου Νικολάου
GR1300162	ΠΟΡΩΔΕΣ ΜΟΝΗΣ ΤΟΠΛΟΥ-ΠΑΛΑΙΚΑΣΤΡΟΥ	0.41	0.29	Σητείας



Σχήμα 3.5

Υδρογεωλογικές λεκάνες ευάλωτες σε συνθήκες λειψυδρίας με βάση τις τιμές του δείκτη Rex



Σχήμα 3.6 Χωρική Κατανομή του δείκτη Rex σε σχέση με τις ομάδες υπολεκανών Ξηρασίας που μέχρι τώρα έχουν προταθεί στην παρούσα μελέτη (μαύρο περίγραμμα)

Πίνακας 3.4 Χαρακτηρισμός των υπόγειων υδατικών συστημάτων του ΥΔ Κρήτης (Κριτωτάκης Μ., Παυλίδου Σ., 2013. Κατάσταση υπόγειων υδροφόρων Κρήτης. Αποκεντρωμένη Διοίκηση Κρήτης).

A/A	Κωδικός συστήματος	Ονομασία συστήματος	Γεωλογία (κύριο υδροφόρο)	Υπερκείμενα στρώματα	Τύπος υδροφόρου	Έκταση (km ²)	Ποιοτική κατάσταση	Ποσοτική κατάσταση	Παραπέρα χαρ/σμός	Παρατηρήσεις
1	GR1300011	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΤΟΠΟΛΙΩΝ	Λατυποκρακαλοπαγή	Λατυποκρακαλοπαγή μέτριας περατότητας. Νεογενείς αποθέσεις χαμηλής περατότητας	Καρστικός	97.19	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	OXI	
2	GR1300012	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΣΦΗΝΑΡΙΟΥ	Τριαδικοί έως Ηνωμένοι ασβεστόλιθοι Ζώνης Πίνδου	Τεταρτογενείς αποθέσεις μέτριας περατότητας	Καρστικός	7.00	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	OXI	
3	GR1300021	ΠΟΡΩΔΕΣ ΚΙΣΣΑΜΟΥ	Νεογενείς αποθέσεις	Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις μέτριας περατότητας	Πορώδες	38.43	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	OXI	Τοπικά καταγράφεται υφολύμνηση στην παράκτια ζώνη
4	GR1300022	ΠΟΡΩΔΕΣ ΚΑΜΠΟΥ ΧΑΝΙΩΝ	Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις	Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις έως υψηλής περατότητας	Πορώδες	279.78	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	OXI	
5	GR1300023	ΠΟΡΩΔΕΣ ΑΠΟΚΟΡΩΝΟΥ	Νεογενείς αποθέσεις	Νεογενείς αποθέσεις υψηλής περατότητας	Πορώδες	124.17	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	OXI	
6	GR1300031	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΒΔ. ΛΕΥΚΩΝ ΟΡΕΩΝ (ΑΓΙΑΣ)	Τριαδικοί έως Ηνωμένοι ασβεστόλιθοι Ζώνης Τρίτολης	Ασβεστόλιθοι υψηλής περατότητας. Φυλλίτες - Χαλαζίτες πολύ χαμηλής περατότητας	Καρστικός	122.92	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	OXI	
7	GR1300032	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΒΟΡΕΙΩΝ ΛΕΥΚΩΝ ΟΡΕΩΝ (ΣΤΥΛΟΥ-ΑΡΜΕΝΩΝ)	Τριαδικοί έως Ηνωμένοι ασβεστόλιθοι Ζώνης Τρίτολης	Ασβεστόλιθοι υψηλής περατότητας	Καρστικός	93.23	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	OXI	
8	GR1300033	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΒΑ. ΛΕΥΚΩΝ ΟΡΕΩΝ (ΚΟΥΡΝΑ-ΓΕΩΡΓΙΟΥΠΟΛΗΣ)	Τριαδικοί έως Ηνωμένοι ασβεστόλιθοι Ζωνών Ιονίου και Τρίτολης	Νεογενείς αποθέσεις μέτριας περατότητας	Καρστικός	125.10	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	OXI	
9	GR1300035	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΓΕΩΡΓΙΟΥΠΟΛΗΣ	Τριαδικοί έως Ηνωμένοι ασβεστόλιθοι Ζωνών Ιονίου και Τρίτολης	Τεταρτογενείς αποθέσεις	Καρστικός	2.04	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	OXI	αυξημένες τιμές υποβάθρου λόγω φυσικής υφολύμνησης

A/A	Κωδικός συστήματος	Ονομασία συστή-ματος	Γεωλογία (κύριο υδροφόρο)	Υπερκείμενα στρώματα	Τύπος υδροφορέα	Έκταση (km2)	Ποιοτική κατάσταση	Ποσοτική κατάσταση	Περαιτέρω χαρ/σμός	Παρατηρήσεις
10	GR1300041	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΑΡΜΕΝΩΝ-ΜΑΛΑΚΙΟΥ-ΜΟΥΝΤΡΟΥ-ΑΡΤΥΡΟΥΠΟΛΗΣ	Τριαδικοί έως Ηωκαινικοί ασβεστόλιθοι Ζώνης Τρίτο-λης	Φυλλίτες - Χαλαζίτες πολύ χαμηλής περατότητας	Καρστικός	40.86	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	ΟΧΙ	
11	GR1300044	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΠΑΡΑΚΤΙΟ ΓΕΡΑΝΙΟΥ	Τριαδικοί έως Ηωκαινικοί ασβεστόλιθοι Ζώνης Τρίτο-λης	Ασβεστόλιθοι υψηλής περα-τότητας και Φυλλίτες - Χαλα-ζίτες πολύ χαμηλής περατό-τητας	Καρστικός	15.13	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	ΟΧΙ	τοπικά καταγράφε-ται υφαλμύρυνση στην παράκτια ζώνη
12	GR1300051	ΠΟΡΩΔΕΣ ΒΔ. ΡΕΘΥΜΝΟΥ	Νεογενείς αποθέσεις	Τεταρτογενείς αποθέσεις μέτριας περατότητας	Πορώδες	102.19	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	ΟΧΙ	
13	GR1300052	ΠΟΡΩΔΕΣ ΒΔ. ΠΑΡΑΚΤΙΟΥ ΡΕΘΥΜΝΟΥ (ΚΑΜΠΟΥ ΡΕΘΥΜΝΟΥ-ΠΡΙΝΟΥ-ΠΕΡΑΜΑΤΟΣ)	Τεταρτογενείς αποθέσεις	Τεταρτογενείς αποθέσεις υψηλής περατότητας	Πορώδες	49.25	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	ΟΧΙ	τοπικά καταγράφε-ται υπερεκμετάλ-λευση και υφαλμύ-ρυνση (φυσική και ανθρωπογενής)
14	GR1300053	ΠΟΡΩΔΕΣ ΒΔ.ΡΕΘΥΜΝΟΥ	Νεογενείς αποθέσεις	Τεταρτογενείς αποθέσεις υψηλής έως μέτριας περατό-τητας	Πορώδες	137.27	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	ΟΧΙ	
15	GR1300054	ΠΟΡΩΔΕΣ ΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΡΕΘΥΜΝΟΥ	Νεογενείς αποθέσεις	Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις μέτριας έως χαμηλής περατότητας	Πορώδες	124.09	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	ΟΧΙ	
16	GR1300061	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΤΑΛΛΙΩΝ	Τριαδικοί έως Ηωκαινικοί ασβεστόλιθοι Ιονίου Ζώνης	Ασβεστόλιθοι χαμηλής περα-τότητας	Καρστικός	83.94	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	ΟΧΙ	
17	GR1300062	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΒΔ. ΨΗΛΟΡΕΙΤΗ	Τριαδικοί έως Ηωκαινικοί ασβεστόλιθοι Ιονίου Ζώνης	Ασβεστόλιθοι χαμηλής περα-τότητας	Καρστικός	173.55	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	ΟΧΙ	

A/A	Κωδικός συστήματος	Ονομασία συστήματος	Γεωλογία (κύριο υδροφόρο)	Υπερέκμενα στρώματα	Τύπος υδροφορέα	Έκταση (km2)	Ποιοτική κατάσταση	Ποσοτική κατάσταση	Περαιτέρω χάρ/σμός	Παρατηρήσεις
18	GR1300063	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΒΑ. ΨΗΛΟΡΕΙΤΗ	Τριαδικοί έως Ηωκανικοί αβεστούλθοι Ιονίου Ζώνης	Αβεστούλθοι χαμηλής περατότητας	Καρστικός	218.05	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	OXI	
19	GR1300064	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΚΕΡΗΣ-ΤΥΛΙΣΣΟΥ	Τριαδικοί έως Ιουραικοί αβεστούλθοι Ζώνης Τρίτολης	Φυλλίτες – Χαλαζίτες πολύ χαμηλής περατότητας	Καρστικός	8.27	ΚΑΚΗ	ΚΑΚΗ	NAI	υπερεκμετάλλευση, υφαλμύριση
20	GR1300071	ΠΟΡΩΔΕΣ ΒΟΡΕΙΟ-ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	Νεογενείς αποθέσεις	Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις μέτριας περατότητας	Πορώδες	435.00	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	OXI	τοπικά μικρά υ-δροφόρα υπερεκμεταλλεύονται- τοπικά καταγράφεται υψηλή περικτικότητα σε θετικά ιόντα λόγω γύψων
21	GR1300072	ΠΟΡΩΔΕΣ ΠΑΡΑΚΤΙΟ ΒΟΡΕΙΟΥ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	Τεταρτογενείς αποθέσεις	Τεταρτογενείς αποθέσεις μέτριας περατότητας	Πορώδες	111.70	ΚΑΚΗ	ΚΑΚΗ	NAI	υπερεκμετάλλευση, υφαλμύριση
22	GR1300172	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΧΡΥΣΟΣΚΑΛΙΤΙΣΣΑΣ	Τριαδικοί έως Ηωκανικοί αβεστούλθοι Ζώνης Ιονίου	Φυλλίτες - Χαλαζίτες πολύ χαμηλής περατότητας	Καρστικός	14.85	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	OXI	
23	GR1300190	ΡΩΤΙΜΩΔΕΣ ΧΑΝΙΩΝ	Φλύσχης Ζωνών Πίνδου και Τρίτολης, Φυλλίτες - Χαλαζίτες και Αργιλικόι σχιστόλιθοι	Αβεστούλθοι μέτριας περατότητας	Ρωγμώδες	582.04	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	OXI	τοπικά μικρή δυ-ναμικότητας υδρο-φόρα υπερεκμεταλλεύονται
24	GR1300200	ΠΟΡΩΔΕΣ ΧΡΥΣΟΣΚΑΛΙΤΙΣΣΑΣ	Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις	Τεταρτογενείς αποθέσεις υψηλής περατότητας	Πορώδες	28.00	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	OXI	
25	GR1300231	ΠΟΡΩΔΕΣ ΟΡΟΠΕΔΙΟΥ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	Τεταρτογενείς αποθέσεις	Τεταρτογενείς αποθέσεις υψηλής περατότητας	Πορώδες	27.02	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	OXI	τοπικά μικρή δυ-ναμικότητας υδρο-φόρα υπερεκμεταλλεύονται
26	GR1300250	ΡΩΤΙΜΩΔΕΣ ΨΗΛΟΡΕΙΤΗ	Φυλλίτες - Χαλαζίτες	Αβεστούλθοι μέτριας περατότητας	Ρωγμώδες	297.61	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	OXI	τοπικά μικρή δυ-ναμικότητας υδρο-φόρα υπερεκμεταλλεύονται
27	GR1300301	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΠΟΥΧΤΑ	Κρητιδικοί Αβεστούλθοι Ζώνης Τρίτολης	Καρστικός	3.88	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	OXI	27	

A/A	Κωδικός συστήματος	Ονομασία συστήματος	Γεωλογία (κύριο υδροφόρο)	Υπερκεείμενα στρώματα	Τύπος υδροφόρου	Έκταση (km ²)	Ποιοτική κατάσταση	Ποσοτική κατάσταση	Περαιτέρω χαρ/σμός	Παρατηρήσεις
28	GR1300311	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΚΑΙΝΟΥΡΓΙΟΥ ΧΩΡΙΟΥ- ΣΜΑΡΙΟΥ	Κρητιδικό έως Ηωκαινικοί Ασβεστόλιθοι Ζώνης Πίνδου	Ασβεστόλιθοι μέτριας περατότητας	Καρστικός	69.13	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	ΟΧΙ	
29	GR1300312	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΠΑΡΑΚΤΙΟ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ- ΓΟΥΒΩΝ- ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΥ	Τριαδικό έως Κρητιδικό Ασβεστόλιθοι Ζώνης Τρίτο-λης	Ασβεστόλιθοι μέτριας περατότητας	Καρστικός	57.68	ΚΑΚΗ	ΚΑΚΗ	ΝΑΙ	υπερεκμετάλλευση, υφαλμύριση
30	GR1300321	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΠΑΡΑΚΤΙΟ ΓΡΑΜΒΟΥΣΑΣ	Τριαδικό έως Κρητιδικό Ασβεστόλιθοι Ζώνης Τρίτο-λης	Ασβεστόλιθοι μέτριας περατότητας	Καρστικός	25.44	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	ΟΧΙ	αυξημένες τιμές υποβάθρου λόγω φυσικής υφαλμύρισης
31	GR1300322	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΠΑΡΑΚΤΙΟ ΣΠΑΘΑΣ (ΡΟΔΩΠΟΥ)	Τριαδικό έως Κρητιδικό Ασβεστόλιθοι Ζώνης Τρίτο-λης	Ασβεστόλιθοι μέτριας περατότητας	Καρστικός	79.29	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	ΟΧΙ	αυξημένες τιμές υποβάθρου λόγω φυσικής υφαλμύρισης
32	GR1300323	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΠΑΡΑΚΤΙΟ ΑΚΡΩΤΗΡΙΟΥ (ΣΟΥΔΑΣ)	Τριαδικό έως Κρητιδικό Ασβεστόλιθοι Ζώνης Τρίτο-λης και Ιονίου	Ασβεστόλιθοι μέτριας περατότητας	Καρστικός	69.88	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	ΟΧΙ	αυξημένες τιμές υποβάθρου λόγω φυσικής υφαλμύρισης
33	GR1300324	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΠΑΡΑΚΤΙΟ ΑΠΟΚΟΡΩΝΑ	Τριαδικό έως Κρητιδικό Ασβεστόλιθοι Ζώνης Τρίτο-λης	Ασβεστόλιθοι μέτριας περατότητας	Καρστικός	30.50	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	ΟΧΙ	αυξημένες τιμές υποβάθρου λόγω φυσικής υφαλμύρισης
34	GR1300101	ΠΟΡΩΔΕΣ ΚΑΣΤΕΛΙΟΥ	Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις	Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις μέτριας έως χαμηλής περατότητας	Πορώδες	25.07	ΚΑΛΗ	ΚΑΚΗ	ΝΑΙ	υπερεκμετάλλευση, τοπικά καταγράφεται υπέρβαση σε νιτρικά ιόντα
35	GR1300034	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΝΟΤΙΩΝ ΛΕΥΚΩΝ ΟΡΕΩΝ	Τριαδικό έως Ηωκαινικοί ασβεστόλιθοι Ζώνης Ιονίου	Καρστικός	482.03	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	ΟΧΙ	35	
36	GR1300042	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΚΑΛΛΙΚΡΑΤΗ-ΑΣΙΕΡΩΤΑ	Τριαδικό έως Ηωκαινικοί ασβεστόλιθοι Ζώνης Τρίτο-λης	Φυλλίτες - Χαλαζίτες πολύ χαμηλής περατότητας	Καρστικός	93.17	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	ΟΧΙ	

A/A	Κωδικός συστήματος	Ονομασία συστήματος	Γεωλογία (κύριο υδροφόρο)	Υπερκείμενα στρώματα	Τύπος υδροφόρα	Έκταση (km ²)	Ποιοτική κατάσταση	Ποσοτική κατάσταση	Περαιτέρω χαρ/ομός	Παρατηρήσεις
37	GR1300043	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΚΕΔΡΟΥ	Τριαδικό έως Ηωκαινικοί ασβεστόλιθοι Ζωνών Πίν-δου και Τρίτολης	Φλύαχης Ζώνης Πίνδου πολύ χαμηλής περατότητας	Καρστικός	72.72	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	ΟΧΙ	
38	GR1300055	ΠΟΡΩΔΕΣ ΝΟΤΙΟΥ ΡΕΘΥΜΝΙΟΥ	Νεογενείς αποθέσεις	Νεογενείς αποθέσεις υψηλής περατότητας	Πορώδες	49.46	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	ΟΧΙ	
39	GR1300065	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΝΑ. ΨΗΛΟΡΕΙΤΗ	Τριαδικό έως Ιουρασικοί ασβεστόλιθοι Ζώνης Τρίτολης	Ασβεστόλιθοι μέτριας έως χαμηλής περατότητας	Καρστικός	167.56	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	ΟΧΙ	
40	GR1300081	ΠΟΡΩΔΕΣ ΤΥΜΠΑΚΙΟΥ	Τεταρτογενείς αποθέσεις	Τεταρτογενείς αποθέσεις υψηλής περατότητας	Πορώδες	28.71	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	ΟΧΙ	
41	GR1300082	ΠΟΡΩΔΕΣ ΠΑΡΑΚΤΙΟ ΤΥΜΠΑΚΙΟΥ	Τεταρτογενείς αποθέσεις	Τεταρτογενείς αποθέσεις υψηλής περατότητας	Πορώδες	6.31	ΚΑΚΗ	ΚΑΚΗ	ΝΑΙ	υπερεκμετάλλευση, υφαλμύριση
42	GR1300083	ΠΟΡΩΔΕΣ ΜΟΙΡΩΝ	Τεταρτογενείς αποθέσεις	Τεταρτογενείς αποθέσεις υψηλής περατότητας	Πορώδες	55.93	ΚΑΚΗ	ΚΑΚΗ	ΝΑΙ	υπερεκμετάλλευση, τοπικά καταγράφεται υπέρβαση σε νιτρικά και θειικά ιόντα
43	GR1300084	ΠΟΡΩΔΕΣ ΓΑΛΙΑΣ-ΒΑΠΩΝΙΑΣ-ΑΣΗΜΙΟΥ	Τεταρτογενείς αποθέσεις	Τεταρτογενείς αποθέσεις υψηλής περατότητας	Πορώδες	115.70	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	ΟΧΙ	ο επιφανειακός προσχωματικός υδροφόρος υπε-ρεκμεταλλεύεται, ενώ ο κύριος κρο-καλοπαγής- ψαμμι-τικός είναι σε οριακή κατάσταση
44	GR1300085	ΠΟΡΩΔΕΣ ΜΕΣΟΧΩΡΙΟΥ	Τεταρτογενείς αποθέσεις	Τεταρτογενείς αποθέσεις υψηλής περατότητας	Πορώδες	51.02	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	ΟΧΙ	σε οριακή κατά-σταση, τα ξηρά έτη υπερεκμεταλλεύε-ται, τοπικά κατα-γράφεται υπέρβαση σε νιτρικά ιόντα
45	GR1300086	ΠΟΡΩΔΕΣ ΜΕΣΑΡΑΣ-ΝΟΤΙΟΥ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	Νεογενείς αποθέσεις	Νεογενείς αποθέσεις χαμηλής περατότητας	Πορώδες	508.41	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	ΟΧΙ	τοπικά μικρής δυ-ναμικότητας υδρο-φόρα υπερεκμε-ταλλεύονται, τοπι-κά καταγράφεται υπέρβαση σε θειικά ιόντα (γύψος) και χλωριόντα (αλίτης), τοπικά αυξημένες περιεκτικότητες σε νιτρικά ιόντα

A/A	Κωδικός συστήματος	Ονομασία συστήματος	Γεωλογία (κύριο υδροφόρο)	Υπερκείμενα στρώματα	Τύπος υδροφόρου	Έκταση (km ²)	Ποιοτική κατάσταση	Ποσοτική κατάσταση	Περαιτέρω χαρ/σμός	Παρατηρήσεις
46	GR1300091	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΠΟΜΠΙΑΣ-ΑΛΗΘΙΝΗΣ	Ιουρασικοί έως Ηωκαινικοί ασβεστόλιθοι Ζώνης Πίνδου	Φλύσχης Ζώνης Πίνδου πολύ χαμηλής περατότητας	Καρστικός	12.79	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	OXI	
47	GR1300092	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΠΥΡΓΟΥ-ΧΑΡΑΚΑ-ΦΟΥΡΝΟΦΑΡΑΓΓΟΥ	Τριαδικοί έως Ιουρασικοί ασβεστόλιθοι Ζώνης Πίνδου	Φλύσχης Ζώνης Πίνδου πολύ χαμηλής περατότητας	Καρστικός	20.83	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	OXI	
48	GR1300093	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΠΑΡΑΚΤΙΟ ΑΣΤΕΡΟΥΣΙΩΝ	Τριαδικοί έως Ηωκαινικοί ασβεστόλιθοι Ζώνης Τρίτολης	Ασβεστόλιθοι μέτριας περατότητας. Φλύσχης και οφίολιθοι πολύ χαμηλής περατότητας	Καρστικός	69.55	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	OXI	τοπικά μικρά υ-δροφόρα υπερεκμεταλλεύονται- τοπικά καταγράφεται υψηλή περιε-κτικότητα σε θεϊκά ιόντα (γύψου) και υφαλμύριση στην παράκτια ζώνη, υδροφόρο σε ορια-κή κατάσταση
49	GR1300111	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΔΙΚΤΗΣ	Ιουρασικοί έως Ηωκαινικοί ασβεστόλιθοι Ζώνης Ιονίου	Φυλλίτες - Χαλαζίτες πολύ χαμηλής περατότητας	Καρστικός	111.61	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	OXI	
50	GR1300171	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΠΑΛΑΙΟΧΩΡΑΣ	Τριαδικοί έως Ηωκαινικοί ασβεστόλιθοι Ζωνών Πίνδου και Τρίτολης	Ασβεστόλιθοι μέτριας περα-τότητας	Καρστικός	62.09	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	OXI	
51	GR1300173	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΚΑΝΤΑΝΟΥ	Τριαδικοί έως Ηωκαινικοί ασβεστόλιθοι Ζώνης Τρίτολης	Φυλλίτες - Χαλαζίτες πολύ χαμηλής περατότητας	Καρστικός	10.80	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	OXI	
52	GR1300180	ΠΟΡΩΔΕΣ ΦΡΑΓΓΟΚΑΣΤΕΛΟΥ	Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις	Τεταρτογενείς αποθέσεις υψηλής περατότητας	Πορώδες	11.01	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	OXI	
53	GR1300210	ΡΩΓΜΩΔΕΣ ΡΕΘΥΜΙΝΟΥ	Οφίολιθοι, Φλύσχης Ζωνών Πίνδου και Τρίτολης και Φυλλίτες - Χαλαζίτες	Ασβεστόλιθοι μέτριας περα-τότητας	Ρωγμώδες	307.87	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	OXI	τοπικά μικρές δυ-ναμικότητας υδρο-φόρα υπερεκμεταλλεύονται

A/A	Κωδικός συστήματος	Ονομασία συστήματος	Γεωλογία (κύριο υδροφόρο)	Υπερκεείμενα στρώματα	Τύπος υδροφόρεα	Έκταση (km ²)	Ποιτική κατάσταση	Ποσοτική κατάσταση	Περαιτέρω χαρ/σμός	Παρατηρήσεις
54	GR1300220	ΡΟΓΓΙΩΔΕΣ ΑΣΤΕΡΟΥΣΙΩΝ	Οφιόλιθοι και Φλύσχης Ζωνών Πίνδου και Τρίτολης	Ασβεστόλιθοι μέτριας περατότητας	Ρωγμώδες	281.06	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	OXI	τοπικά μικρής δυναμικότητας υδρο-φόρα υπερεκμει-ταλλεύονται
55	GR1300232	ΠΟΡΩΔΕΣ ΕΜΠΑΡΟΥ-ΠΑΝΑΓΙΑΣ	Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις	Τεταρτογενείς αποθέσεις υψηλής περατότητας	Πορώδες	8.01	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	OXI	οριακή εκμετάλ-λευση
56	GR1300270	ΠΟΡΩΔΕΣ ΓΑΥΔΟΥ	Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις	Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις μέτριας περατότη-τας	Πορώδες	17.27	ΚΑΚΗ	ΚΑΚΗ	NAI	υπερεκμετάλλευση, τοπικά υφαλμύριν-ση
57	GR1300280	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΓΑΥΔΟΥ	Ιουραικοί έως Ασβεστόλιθοι Ζώνης Πίνδου	Ασβεστόλιθοι μέτριας περατότητας	Καρστικός	14.36	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	OXI	οριακή εκμετάλ-λευση
58	GR1300290	ΡΟΓΓΙΩΔΕΣ ΓΙΟΥΧΤΑΣ-ΟΞΥ ΚΕΦΑΛΙ (ΔΑΜΑΝΙΩΝ - ΛΑΡΑΝΙΟΥ)	Οφιόλιθοι και Φλύσχης Ζωνών Πίνδου και Τρίτολης	Ασβεστόλιθοι μέτριας περατότητας	Ρωγμώδες	30.97	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	OXI	τοπικά μικρής δυναμικότητας υδρο-φόρα υπερεκμει-ταλλεύονται
59	GR1300302	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΔΑΜΑΝΙΩΝ-ΛΑΡΑΝΙΟΥ	Κρητιδικό έως Ηνωκαϊνικοί Ασβεστόλιθοι Ζώνης Τρίτο-λης	Ασβεστόλιθοι μέτριας περατότητας	Καρστικός	2.08	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	OXI	
60	GR1300330	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΓΥΨΩΝ ΚΡΗΤΗΣ	Φυλλίτες - Χαλαζίτες, Φλύ-σχης Ζώνης Πίνδου και Νεογενείς αποθέσεις	Φυλλίτες - Χαλαζίτες, Φλύ-σχης μέτριας περατότητας και Νεογενείς αποθέσεις μέτριας περατότητας	Γύψοι	17.87	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	OXI	αυξημένες τιμές υποβάθρου λόγω στρωμάτων γύψων
61	GR1300102	ΠΟΡΩΔΕΣ ΡΟΥΣΟΧΩΡΙΩΝ	Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις	Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις μέτριας έως χαμη-λής περατότητας	Πορώδες	9.68	ΚΑΚΗ	ΚΑΚΗ	NAI	υπερεκμετάλλευση, τοπικά καταγράφε-ται υπέρβαση σε νιτρικά ιόντα
62	GR1300112	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΜΑΛΙΩΝ-ΣΕΛΕΝΑΣ	Τριαδικοί έως Κρητιδικοί Ασβεστόλιθοι Ζώνης Τρίτολης	Ασβεστόλιθοι μέτριας περατότητας	Καρστικός	92.51	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	OXI	τοπικά την καλο-καιρινή περίοδο υπερεκμεταλλεύε-ται το παράκτιο τμήμα
63	GR1300113	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΒΑ. ΔΙΚΤΗΣ	Τριαδικοί έως Ηνωκαϊνικοί ασβεστόλιθοι Ζώνης Τρίτολης	Ασβεστόλιθοι μέτριας περατότητας. Φυλλίτες - Χαλαζίτες πολύ χαμηλής περατότητας.	Καρστικός	86.75	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	OXI	

A/A	Κωδικός συστήματος	Ονομασία συστήματος	Γεωλογία (κύριο υδροφόρο)	Υπερκείμενα στρώματα	Τύπος υδροφόρα	Έκταση (km ²)	Ποιοτική κατάσταση	Ποσοτική κατάσταση	Περαιτέρω χαρ/σμός	Παρατηρήσεις
64	GR1300114	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΛΑΚΚΩΣΙΩΝ-ΑΛΜΥΡΟΥ ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΥ	Τριαδικοί έως Ηωκαινικοί ασβεστόλιθοι Ζώνης Τρίτολης	Αρβεστόλιθοι μέτριας περατότητας. Φυλλίτες - Χαλαζίτες πολύ χαμηλής περατότητας.	Καρστικός	43.57	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	ΟΧΙ	αυξημένες τιμές υποβάθρου λόγω φυσικής υφαλμύρισης
65	GR1300115	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΦΟΥΡΝΗΣ-ΕΛΟΥΝΤΑΣ	Ιουρασικοί έως Ηωκαινικοί ασβεστόλιθοι Ζώνης Ιονίου	Αρβεστόλιθοι μέτριας περατότητας	Καρστικός	80.98	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	ΟΧΙ	τοπικά καταγράφεται οριακή εκμετάλλευση
66	GR1300116	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΠΑΡΑΚΤΙΟ ΣΙΣΙΟΥ-ΜΙΛΑΤΟΥ-ΕΛΟΥΝΤΑΣ	Ιουρασικοί έως Ηωκαινικοί ασβεστόλιθοι Ζώνης Ιονίου	Αρβεστόλιθοι μέτριας περατότητας	Καρστικός	90.18	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	ΟΧΙ	αυξημένες τιμές υποβάθρου λόγω φυσικής υφαλμύρισης
67	GR1300117	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ-ΝΟΤΙΑΣ ΔΙΚΤΗΣ	Τριαδικοί έως Ηωκαινικοί ασβεστόλιθοι Ζωνών Τρίτολης και Ιονίου	Αρβεστόλιθοι μέτριας περατότητας	Καρστικός	116.42	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	ΟΧΙ	
68	GR1300122	ΠΟΡΩΔΕΣ ΠΑΧΕΙΑΣ ΑΜΜΟΥ-ΚΑΛΟΥ ΧΟΡΙΟΥ	Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις	Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις υψηλής περατότητας	Πορώδες	27.08	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	ΟΧΙ	οριακή εκμετάλλευση
69	GR1300123	ΠΟΡΩΔΕΣ ΙΕΡΑΠΕΤΡΑΣ-ΚΑΛΟΥ ΧΩΡΙΟΥ	Νεογενείς αποθέσεις	Νεογενείς αποθέσεις μέτριας έως χαμηλής περατότητας	Πορώδες	260.97	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	ΟΧΙ	τοπικά την καλο-καιρινή περίοδο καταγράφεται υπερεκμετάλλευση στην παράκτια ζώνη
70	GR1300132	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΠΑΡΑΚΤΙΟ ΜΑΛΑΥΡΑΣ-ΠΑΧΕΙΑΣ ΑΜΜΟΥ	Περμοτριαδικοί ασβεστόλιθοι Ζώνης Τρίτολης και Πλακώδεις		Καρστικός	15.85	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	ΟΧΙ	αυξημένες τιμές υποβάθρου λόγω φυσικής υφαλμύρισης
71	GR1300141	ΠΟΡΩΔΕΣ ΣΗΤΕΙΑΣ-ΠΑΠΑΓΙΑΝΝΑΔΩΝ-ΑΓΙΑΣ ΤΡΙΑΔΑΣ	Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις	Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις μέτριας περατότητας	Πορώδες	94.10	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	ΟΧΙ	οριακή εκμετάλλευση
72	GR1300142	ΠΟΡΩΔΕΣ ΚΟΥΤΣΟΥΡΑ-ΜΑΚΡΥΓΙΑΛΟΥ	Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις	Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις μέτριας περατότητας	Πορώδες	93.67	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	ΟΧΙ	
73	GR1300143	ΠΟΡΩΔΕΣ ΣΚΟΠΗΣ-ΣΗΤΕΙΑΣ	Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις	Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις υψηλής περατότητας	Πορώδες	52.56	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	ΝΑΙ	υπερεκμετάλλευση

A/A	Κωδικός συστήματος	Ονομασία συστή-ματος	Γεωλογία (κύριο υδροφόρο)	Υπερκείμενα στρώματα	Τύπος υδροφόρεα	Έκταση (km ²)	Ποιοτική κατάσταση	Ποσοτική κατάσταση	Περαιτέρω χαρ/σιμός	Παρατηρήσεις
74	GR1300144	ΠΟΡΩΔΕΣ ΓΟΥΔΟΥΡΑ	Τεταρτογενείς αποθέσεις	Τεταρτογενείς αποθέσεις υψηλής περατότητας	Πορώδες	2.28	ΚΑΚΗ	ΚΑΚΗ	ΝΑΙ	υπερεκμετάλλευση, υφαλμύριση
75	GR1300152	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΒΑ. ΑΠΟΛΗΞΕΩΝ ΟΡΕΩΝ ΖΑΚΡΟΥ	Τριαδικοί Ασβεστόλιθοι Τρίτολης	Ασβεστόλιθοι μέτριας περατότητας	Καρστικός	44.27	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	ΟΧΙ	
76	GR1300153	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΠΑΡΑΚΤΙΟ ΑΝΑΤΟΛΙΚΩΝ ΑΠΟΛΗΞΕΩΝ ΟΡΕΩΝ ΖΑΚΡΟΥ	Τριαδικοί έως Ησκανικικοί Ασβεστόλιθοι Τρίτολης	Ασβεστόλιθοι μέτριας περατότητας	Καρστικός	71.83	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	ΟΧΙ	αυξημένες τιμές υποβάθρου λόγω φυσικής υφαλμύ-ρισης στην παρα-κτα ζώνη
77	GR1300161	ΠΟΡΩΔΕΣ ΦΟΙΝΙΚΟΔΑΣΟΥΣ ΒΑΪ	Τεταρτογενείς και Νεογενείς Αποθέσεις	Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις μέτριας έως υψηλής περατότητας	Πορώδες	1.66	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	ΟΧΙ	
78	GR1300162	ΠΟΡΩΔΕΣ ΜΟΝΗΣ ΤΟΠΛΟΥ-ΠΑΛΑΙΚΑΣΤΡΟΥ-ΞΗΡΟΚΑΜΠΟΥ	Τεταρτογενείς και Νεογενείς Αποθέσεις	Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις μέτριας περατότη-τας	Πορώδες	64.55	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	ΟΧΙ	
79	GR1300233	ΠΟΡΩΔΕΣ ΑΝΩ ΒΙΑΝΝΟΥ	Τεταρτογενείς αποθέσεις	Τεταρτογενείς αποθέσεις χαμηλής περατότητας	Πορώδες	0.98	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	ΟΧΙ	οριακή εκμετάλ-ευση
80	GR1300234	ΠΟΡΩΔΕΣ ΚΕΡΑΤΟΚΑΜΠΟΥ-ΑΡΒΗΣ	Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις	Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις υψηλής περατότη-τας	Πορώδες	18.04	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	ΟΧΙ	τοπικά αυξημένες τιμές υποβάθρου λόγω στρωμάτων γύψων
81	GR1300240	ΡΩΓΜΩΔΕΣ ΔΙΚΤΗΣ	Φλύσσης Ζωνών Πίνδου και Τρίτολης και Φυλλίτες - Χαλαζίτες	Ασβεστόλιθοι μέτριας περα-τότητας	Ρωγμώδες	269.37	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	ΟΧΙ	τοπικά μικρής δυ-ναμικότητας υδρο-φόρα υπερεκμε-ταλλεύονται
82	GR1300260	ΡΩΓΜΩΔΕΣ ΟΡΕΩΝ ΖΑΚΡΟΥ	Φυλλίτες - Χαλαζίτες	Ασβεστόλιθοι μέτριας περα-τότητας	Ρωγμώδες	78.25	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	ΟΧΙ	τοπικά μικρής δυ-ναμικότητας υδρο-φόρα υπερεκμε-ταλλεύονται
83	GR1300320	ΡΩΓΜΩΔΕΣ ΟΡΝΟΥ-ΘΡΥΠΤΗΣ	Φυλλίτες - Χαλαζίτες		Ρωγμώδες	125.94	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	ΟΧΙ	
84	GR1300340	ΝΗΣΙΔΕΣ ΚΡΗΤΗΣ	Τριαδικοί έως Ιουρασικοί Ασβεστόλιθοι Ζωνών Τρίτολης και Πίνδου και Νεογενείς αποθέσεις	Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις χαμηλής περατό-τητας και Ασβεστόλιθοι μέ-τριας περατότητας	Καρστικός	43.42	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	ΟΧΙ	αυξημένες τιμές υποβάθρου λόγω φυσικής υφαλμύ-ρισης
85	GR1300121	ΠΟΡΩΔΕΣ ΙΕΡΑΠΕΤΡΑΣ-ΚΕΝΤΡΙΟΥ	Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις	Νεογενείς αποθέσεις υψηλής περατότητας	Πορώδες	27.84	ΚΑΚΗ	ΚΑΛΗ	ΝΑΙ	Αυξημένα νιτρικά ιόντα

A/A	Κωδικός συστήματος	Ονομασία συστήματος	Γεωλογία (κύριο υδροφόρο)	Υπερκείμενα στρώματα	Τύπος υδροφόρα	Έκταση (km ²)	Ποιοτική κατάσταση	Ποσοτική κατάσταση	Περατέρω χαρ/σμός	Παρατηρήσεις
86	GR1300124	ΠΟΡΩΔΕΣ ΜΥΡΤΟΥ	Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις	Νεογενείς αποθέσεις υψηλής περατότητας	Πορώδες	2.59	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	OXI	
87	GR1300151	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΟΡΕΩΝ ΖΑΚΡΟΥ	Τριαδικοί έως Ηνωκανικοί αββεστόλιθοι Ζώνης Τρίτο- λης	Αββεστόλιθοι υψηλής περα- τότητας και Νεογενείς αποθέσεις χαμηλής περατότητας	Καρστικός	93.20	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	OXI	
88	GR1300154	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΟΡΕΩΝ ΠΗΓΗΣ ΖΟΥ	Τριαδικοί έως Ηνωκανικοί αββεστόλιθοι Ζώνης Τρίτο- λης	Αββεστόλιθοι υψηλής περα- τότητας και Νεογενείς αποθέσεις χαμηλής περατότητας	Καρστικός	15.59	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	OXI	
89	GR1300131	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΟΡΝΟΥ	Αββεστόλιθοι Ζώνης Ιονίου	Φυλλίτες -Χαλαζίτες πολύ χαμηλής περατότητας	Καρστικός	51.87	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	OXI	
90	GR1300134	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΠΕΥΚΩΝ - ΜΑΡΩΝΙΑΣ	Περμοτριαδικοί Αββεστόλι- θοι Ζώνης Τρίτολης		Καρστικός	28.92	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	OXI	
91	GR1300133	ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΘΡΥΠΤΗΣ	Περμοτριαδικοί Αββεστόλι- θοι Ζώνης Τρίτολης		Καρστικός	35.42	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	OXI	

3.5 Εκτίμηση της ποιοτικής και ποσοτικής κατάστασης των υπόγειων υδατικών συστημάτων του ΥΔ Κρήτης¹

Στον Πίνακα 3.4 συνοψίζονται τα αποτελέσματα από τον αρχικό χαρακτηρισμό των υπόγειων υδατικών συστημάτων (ΥΥΣ), με βάση την χημική και ποσοτική αξιολόγησή τους. Από τα 91 υπόγεια υδατικά συστήματα του ΥΔ Κρήτης, τα 11 χαρακτηρίστηκαν σε κακή κατάσταση που οφείλεται σε ανθρωπογενή επίδραση.

Αναλυτικότερα, από τα 91 υπόγεια υδατικά συστήματα, τα 82 εμφανίζουν καλή ποιοτική κατάσταση και τα 9 κακή ποιοτική κατάσταση. Στο υδατικό διαμέρισμα της Κρήτης (Υ.Δ.) σήμερα εκτιμάται ότι η χρησιμοποιούμενη ετήσια ποσότητα ύδατος ανέρχεται στα 420 εκατ. κ.μ., ποσότητα που αντιστοιχεί στο 5,5% των μέσων κατακρημνισμάτων που δέχεται, και αναλύεται σε 78 εκατ. κ.μ. για ύδρευση (18,5%) και 342 εκατ. κ.μ. για άρδευση (81,5%). Από αυτά τα 27 εκατ. κ.μ. προέρχονται από επιφανειακά νερά (φράγματα- λιμνοδεξαμενές 6,4%) και τα υπόλοιπα 393 εκατ. κ.μ. από υπόγεια (93,6%).

Η μέση ετήσια προσφορά (θεωρητικά ετήσια ανανεώσιμα ύδατα) επιφανειακών και υπόγειων υδατικών πόρων ανέρχεται σε 2,86 δισ. κ.μ. νερού ενώ η επιθυμητή ζήτηση (κάλυψη των υδρευτικών αναγκών και άρδευση του 42% των καλλιεργούμενων εκτάσεων δηλ. των περιοχών που έχουν κατασκευασθεί δίκτυα) εκτιμάται ότι ανέρχεται μόλις στα 0,52 δισ. κ.μ.

Όμως η ιδιαίτερη γεωλογία, η γεωμορφολογία και οι κλιματολογικές συνθήκες του νησιού μετατρέπουν αυτό το θεωρητικά ισχυρό πλεόνασμα σε μικρότερο, λόγω της μη τεχνικοοικονομικής δυνατότητας για την αξιοποίησή του, το οποίο σε συνδυασμό με την έντονη εποχικότητα της προσφοράς και τη χωρική ανισοκατανομή των πόρων, έχει ως αποτέλεσμα κατά τόπους να εμφανίζονται αδυναμίες κάλυψης της υφιστάμενης ζήτησης. Ενδεικτικό των ιδιαιτεροτήτων της Κρήτης είναι το γεγονός ότι οι τρεις μεγάλες υφάλμυρες καρστικές πηγές της νήσου (Αλμυρός Γεωργιούπολης, Αλμυρός Ηρακλείου και Αλμυρός Αγίου Νικολάου) εκφορτίζουν σε μέση ετήσια βάση περί τα 450 εκατ. κ.μ., δηλαδή το 86% της συνολικής επιθυμητής ζήτησης και το 110% της πραγματικής σημερινής κατανάλωσης.

Η Δυτική Κρήτη εμφανίζει κατά μέσο ετήσιο όρο 11,9% μεγαλύτερη προσφορά νερού απ' ότι η Ανατολική, αλλά οι υδατικοί της πόροι είναι, για γεωλογικούς κυρίως λόγους, αξιοποιήσιμοι σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό (καρστικές πηγές με καλής ποιότητας νερό). Ωστόσο, προβλήματα διαθεσιμότητας νερού εμφανίζονται κατά τόπους και στη Δυτική Κρήτη.

Τώρα, ένα γενικό συμπέρασμα από την κατάσταση των υδροφόρων, όπως αυτοί αναλύονται στην παρούσα έκθεση, είναι ότι οι προσχωματικοί υδροφορείς εμφανίζουν υπερεκμετάλλευση με συνεχή και σημαντική πτώση στάθμης κατά τις καλοκαιρινές περιόδους των τελευταίων υδρολογικών ετών. Παρατηρούμε ότι οι αντλούμενες ποσότητες είναι μεγαλύτερες, ή στην καλύτερη περίπτωση ίσες, με τις ποσότητες που αναπληρώνουν τους υδροφορείς.

Αυτό το αρνητικό ισοζύγιο εισροών-εκροών έχει ως αποτέλεσμα την εκμετάλλευση των μόνιμων αποθεμάτων τους. Η συνέχιση αυτής της κατάστασης στην περίπτωση που θα ακολουθήσει πολύ ξηρό έτος ή αλληλουχία ξηρών ή μέσων υδρολογικών ετών θα έχει ως επίπτωση τη σημαντική

¹ Κριτωτάκης Μ., Παυλίδου Σ., 2013. Κατάσταση υπόγειων υδροφόρων Κρήτης. Αποκεντρωμένη Διοίκηση Κρήτης

μείωση των διαθέσιμων αντλούμενων ποσοτήτων νερού, με συνεπακόλουθες αρνητικές επιπτώσεις στο φυτικό κεφάλαιο και στην οικονομία της περιοχής. Αντίθετα, οι υδροφορείς των καρστικών συστημάτων εμφανίζουν καλή αναπλήρωση με εξαίρεση του παράκτιους υδροφορείς της ανατολικής Κρήτης.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Allocca, V. Manna, F. De Vita, P. 2014. Estimating annual groundwater recharge coefficient for karst aquifers of the southern Apennines (Italy). *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 18, 803–817,
- Andjelov, M., Mikulič, Z., Tetzlaff, B., ože Uhan J., rank Wendland, F., 2016. Groundwater recharge in Slovenia Results of a bilateral German-Slovenian Research project. *Energie & Umwelt / Energy & Environment*, Band/ Volume 339
- Belan, R.A. & Matlock, W.G., 1973, Groundwater recharge from a portion of the Santa Catalina Mountains, in Boster, R.S., ed., *Hydrology and water resources in Arizona and the Southwest*, V. 3: American Water Resources Association, Arizona Section, and Arizona Academy of Science, Hydrology Section, Annual Meeting, Tucson, Ariz., 1973, Proceedings, 33-40.
- Bonacci, O., 2001. Monthly and annual effective infiltration coefficients in Dinaric karst: example of the Gradole karst spring catchment *Hydrological Sciences-J'ournal-des Sciences Hydrologiques*, 46(2) April 2001
- De Vries, J.J. and Simmers, I., 2002. Groundwater Recharge: An Overview of Processes and Challenges. *Hydrogeology Journal*, 10, 5-17.
- Healy, R.W., Cook, P.G., 2002. Using groundwater levels to estimate recharge. *Hydrogeology Journal* 10, 91–109).
- Horton, R. E., 1933. The Rôle of infiltration in the hydrologic cycle, *Eos Trans. AGU*, 14(1), 446– 460
- Jie, Z., van Heyden, J., Bendel, D., & Barthel, R., 2011. Combination of soil-water balance models and water-table fluctuation methods for evaluation and improvement of groundwater recharge calculations. *Hydrogeol J* 19, 1487–1502 (2011).
- Li, X. Y., Contreras, S., Solé-Benet, A., Cantón, Y., Domingo, D., Lázaro, R., Lin, H., Van Wesemael, B. and Puigdefábregas, J., 2010. Controls of infiltration–runoff processes in Mediterranean karst rangelands in SE Spain. *Catena* 86 (2011) 98–109
- Sanford, W., 2002. Recharge and groundwater models: an overview. *Hydrogeology Journal* 10, 110–120.
- Scanlon B. R., Healy R., W. Cook, P., G., 2002 Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. *Hydrogeology Journal* (2002) 10:18–39
- Theis, C. V., 1935. The Relation between the Lowering of the Piezometric Surface and the Rate and Duration of Discharge of a Well Using Ground-Water Storage. The American Geophysical Union,
- Theis, C. V., 1937. Amount of ground-water recharge in the southern High Plains, *Eos Trans. AGU*, 18(2), 564– 568

Zagana E., Tserolas P., Floros G., Katsanou K., Andreo B., 2011. First outcomes from groundwater recharge estimation in evaporate aquifer in Greece with the use of APLIS method. In: Lambrakis N., Stournaras G., Katsanou K. (eds) *Advances in the Research of Aquatic Environment*. Environmental Earth Sciences. Springer, Berlin, Heidelberg

Zagana, E., Kuells Ch., Udluft P., and Constantinou C, 2007. Methods of groundwater recharge estimation in eastern Mediterranean—a water balance model application in Greece, Cyprus and Jordan *Hydrol. Process.* 21, 2405–2414.

ΕΓΥ, 2015. Σχέδιο διαχείρισης λεκανών απορροής ποταμών υδατικού διαμερίσματος Κρήτης (GR13), ΕΓΥ.

Κριτσωτάκης, Μ., Παυλίδου, Σ. 2013. Κατάσταση υπόγειων υδροφόρων Κρήτης. Αποκεντρωμένη Διοίκηση Κρήτης.

Ο.ΑΝ.Α.Κ - Εργαστήριο Αγροτικής Τεχνολογίας Ε.Μ.Π., 1994. Ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης υδατικών πόρων Αν. Κρήτης.

Παπαγρηγορίου Σ., Καϊμάκη Σ., Παπαγεωργίου-Τορτοπίδη, Ν., Περλέρος Β., Λαζαρίδης & Σ/τες, 2001. Μελέτη Διαχείρισης υδατικών πόρων Κρήτης. Περιφέρεια Κρήτης.

Παρίσης Σ. 2001. Υδρογεωλογική διερεύνηση και μελέτη διαχείρισης υδατικών πόρων του Δήμου Μαλίων. Οργανισμός Ανάπτυξης Ανατολικής Κρήτης.

Παρίσης Σ. 2002. Προκαταρκτική θεώρηση των υδρογεωλογικών επιπτώσεων του Φράγματος Αποσελέμη στην υδρογεωλογική λεκάνη Γουβών – Χερσονήσου (Αδημοσίευτη έκθεση).

Παρίσης Σ. 2003. Μελέτη Διαχείρισης των Πεδίων Εκμετάλλευσης της ΔΕΥΑΗ. Μέρος 2^ο προσωοίση υπόγειων υδροφορέων. ΔΕΥΑΗ - Οργανισμός Ανάπτυξης Ανατολικής Κρήτης.

Περλέρος, Β., Παπαμαστοράκης, Δ., Κριτσωτάκης, Μ., Δρακοπούλου, Ε., & Παναγόπουλος, Α., 2004. GROUNDWATER POTENTIAL OF THE ISLAND OF CRETE. PROBLEMS AND PERSPECTIVES. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 36(4), 2048-2056

ΥΠΑΠΕ, 2017. Καινοτόμες Μεθοδολογίες Διαχείρισης Υδατικών Πόρων για την Προσαρμογή της Κλιματικής Αλλαγής και Διακυβέρνησης της Περιφέρειας Κρήτης (Aquamap). Τελική Έκθεση.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 3

Στοιχεία Μελέτης Διαχείρισης Υδατικών Πόρων Κρήτης (2000-2001)

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΥΝΟΛΙΚΩΝ ΕΤΗΣΙΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ - ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΝΟΜΟΣ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ

		Υδρευση	Κτηνοτροφία	Άρδευση	Ελαιουργεία	Βιομηχανίες & Βιοτεχνίες	Σύνολο
Α/Α	Δήμος	m ³ /year	m ³ /year	m ³ /year	m ³ /year	m ³ /year	m ³ /year
1	Αγίας Βαρβάρας	369,000	125,715	2,659,625	14,971		3,169,312
2	Αρκαλοχωρίου	1,100,000	164,629	12,239,100	54,781		13,558,509
3	Αρχανών	361,000	15,403	2,170,500	4,638		2,551,541
4	Αστερουσιών	652,000	147,081	21,860,500	30,859	6,000	22,696,440
5	Βιάννου	688,000	121,710	17,746,875	34,447		18,591,031
6	Γαζίου	1,282,000	50,722	4,126,500	8,235		5,467,457
7	Γοργοαίνης	223,000	32,559	4,217,778	7,128	140,000	4,620,465
8	Γόρτυνας	570,000	67,862	18,422,835	27,286		19,087,983
9	Γουβών	900,000	40,994	5,619,000	13,473		6,573,466
10	Επισκοπής	250,000	41,109	5,933,885	7,479		6,232,473
11	Ζαρού	330,000	72,892	5,238,688	11,675	35,000	5,688,255
12	Ηρακλείου	13,341,000	152,284	9,121,375	18,732	1,067,280	23,700,671
13	Θραψανού	173,000	9,722	2,855,100	6,538		3,044,360
14	Καστελλίου	560,000	56,794	5,279,563	23,476	20,000	5,939,833
15	Κόφινα	505,000	143,596	14,820,125	24,308		15,493,029
16	Κρουσώνα	391,000	52,015	2,853,380	6,448		3,302,844
17	Μαλίων	1,160,000	38,904	1,889,375	5,252	30,000	3,123,531
18	Μοιρών	815,000	189,654	25,722,263	23,585		26,750,502
19	Νέας Αλικαρνασσοῦ	1,030,000	3,528	697,125	1,167		1,731,820
20	Νίκου Καζαντζάκη	536,000	90,266	2,837,125	17,756		3,481,147

**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΥΝΟΛΙΚΩΝ ΕΤΗΣΙΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ - ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ
ΝΟΜΟΣ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ**

		Υδρευση	Κτηνοτροφία	Άρδευση	Ελαιουργεία	Βιομηχανίες & Βιοτεχνίες	Σύνολο
A/A	Δήμος	m ³ /year	m ³ /year	m ³ /year	m ³ /year	m ³ /year	m ³ /year
21	Ρούβα	202,000	29,240	3,994,500	8,504	36,000	4,270,243
22	Τεμένους	230,000	52,642	7,676,750	7,946		7,967,338
23	Τετραχωρίου	152,000	14,506	1,598,845	3,801		1,769,152
24	Τυλίσου	367,000	92,605	2,700,063	12,188		3,171,855
25	Τυμπακίου	1,180,000	91,121	18,615,520	29,123		19,915,764
26	Χερσονήσου	2,785,000	22,584	2,017,188	10,711		4,835,483
	ΣΥΝΟΛΟ	30,152,000	1,920,135	202,913,581	414,508	1,334,280	236,734,503

**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΥΝΟΛΙΚΩΝ ΕΤΗΣΙΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ - ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ
ΝΟΜΟΣ ΧΑΝΙΩΝ**

		Υδρευση	Κτηνοτροφία	Άρδευση	Ελαιουργεία	Βιομηχανίες & Βιοτεχνίες	Σύνολο
A/A	Δήμος	m ³ /year	m ³ /year	m ³ /year	m ³ /year	m ³ /year	m ³ /year
1	Ακρωτηρίου	871,000	50,165	4,581,938	6,648		5,509,750
2	Ανατολικού Σελίνου	165,000	68,085	1,021,188	7,716		1,261,988
3	Αρμένων	365,000	64,467	4,309,913	9,468	636,000	5,384,848
4	Βάμου	235,000	61,605	1,668,495	7,302		1,972,402
5	Βουκολιών	238,000	145,194	7,587,415	18,050		7,988,659
6	Γεωργιουπόλεως	345,000	58,716	4,650,600	5,237		5,059,553
7	Ελευθερίου Βενιζέλου	854,000	15,884	6,235,760	4,788		7,110,431
8	Θερίσου	634,000	50,436	8,663,275	7,965	149,500	9,505,176
9	Ινναχωρίου	125,000	60,451	3,014,050	12,759		3,212,260

**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΥΝΟΛΙΚΩΝ ΕΤΗΣΙΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ - ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ
ΝΟΜΟΣ ΧΑΝΙΩΝ**

A/A	Δήμος	Υδρευση m ³ /year	Κτηνοτροφία m ³ /year	Άρδευση m ³ /year	Ελαιουργεία m ³ /year	Βιομηχανίες & Βιοτεχνίες m ³ /year	Σύνολο m ³ /year
10	Κανιάνου	122,000	61,507	3,142,750	8,485		3,334,743
11	Κεραμίων	145,000	133,646	454,188	8,331		741,165
12	Κισσάμου	601,000	83,697	7,551,133	22,041		8,257,870
13	Κολυμπιπάριου	532,000	74,640	8,573,175	22,160		9,201,976
14	Κρυονερίδας	143,000	125,269	1,456,800	8,218	96,000	1,829,287
15	Μουσούρων	350,000	108,545	11,106,472	25,289		11,590,307
16	Μυθήμνης	247,000	43,254	9,509,438	16,195	5,000	9,820,886
17	Νέας Κυδωνίας	1,763,000	32,602	4,383,340	5,943		6,184,885
18	Πελεκάνου	514,000	54,286	2,148,675	10,129		2,727,090
19	Πλατανιά	800,000	26,649	14,522,589	18,562		15,367,800
20	Σούδας	894,000	13,403	1,176,203	1,965		2,085,571
21	Σφακίων	239,000	254,128	2,689,303	4,365		3,186,796
22	Φρε	90,000	44,792	306,850	4,022		445,664
23	Χανίων	7,150,000	19,825	101,563		572,000	7,843,387
24	Κ.Αση Γωνιάς	39,000	51,060	4,250	624		94,934
25	Κ.Γαύδου	8,000	4,224	38,125			50,349
	ΣΥΝΟΛΟ	17,469,000	1,706,531	108,897,484	236,261	1,458,500	129,767,776

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΥΝΟΛΙΚΩΝ ΕΤΗΣΙΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ - ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ
ΝΟΜΟΣ ΛΑΣΙΘΙΟΥ

A/A	Δήμος	Υδρευση m ³ /year	Κτηνοτροφία m ³ /year	Άρδευση m ³ /year	Ελαιουργεία m ³ /year	Βιομηχανίες & Βιοτεχνίες m ³ /year	Σύνολο m ³ /year
1	Αγίου Νικολάου	3,304,500	141,859	7,057,555	29,598		10,533,512
2	Ιεράπετρας	2,402,000	173,540	35,418,974	40,971		38,035,485
3	Ιτάνου	261,000	58,621	7,308,238	9,347		7,637,205
4	Λεύκης	215,000	26,240	5,065,650	6,014		5,312,904
5	Μακρού Γιαλού	734,000	43,949	7,751,563	13,946		8,543,457
6	Νεάπολης	771,000	112,494	4,426,285	18,194	10,000	5,337,973
7	Οροπεδίου Λασιθίου	304,000	71,883	8,682,375	316		9,058,574
8	Σητείας	1,299,000	75,795	12,953,530	24,578	103,920	14,456,823
	ΣΥΝΟΛΟ	9,290,500	704,380	88,664,169	142,965	113,920	98,915,934

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΥΝΟΛΙΚΩΝ ΕΤΗΣΙΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ - ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ
ΝΟΜΟΣ ΡΕΘΥΜΝΗΣ

		Υδρευση	Κτηνοτροφία	Άρδευση	Ελαιουργεία	Βιομηχανίες & Βιοτεχνίες	Σύνολο
A/A	Δήμος	m ³ /year	m ³ /year	m ³ /year	m ³ /year	m ³ /year	m ³ /year
1	Ανωγείων	317,000	470,648	128,250	3,042		918,940
2	Αρκαδίου	900,000	133,307	4,922,063	17,408		5,972,778
3	Γεροποτάμου	882,000	240,135	10,937,063	33,182		12,092,380
4	Κουλούκωνα	431,000	256,778	4,062,188	15,834		4,765,800
5	Κουρητών	190,000	107,317	1,620,615	7,721		1,925,653
6	Λάμπης	743,000	101,527	3,697,188	19,984		4,561,699
7	Λαππαίων	365,000	74,683	3,499,750	2,233		3,941,666
8	Νικηφόρου Φωκά	470,000	179,361	2,629,500	8,049		3,286,909
9	Ρεθύμνης	3,365,000	93,241	1,502,000	9,982	269,200	5,239,423
10	Συβρίτου	264,000	101,047	1,477,188	8,869		1,851,104
11	Φοίνικα	500,000	84,374	4,667,355	9,909		5,261,638
	ΣΥΝΟΛΟ	8,427,000	1,842,417	39,143,159	136,214	269,200	49,817,990

4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΞΗΡΑΣΙΑΣ - ΛΕΙΨΥΔΡΙΑΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΥΣ ΔΕΙΚΤΕΣ

4.1 Το φαινόμενο της ξηρασίας

Η ξηρασία είναι ένα από τα φυσικά φαινόμενα που συνδέονται άμεσα με τη μείωση του διαθέσιμου καθαρού νερού στο περιβάλλον. Οι επιπτώσεις της στο περιβάλλον γενικά, αλλά και στη ζωή των ανθρώπων ειδικότερα, μπορεί να είναι εξαιρετικά σημαντικές. Αυτό οδηγεί συχνά στην αντιμετώπιση της ξηρασίας ως «φυσικού κινδύνου» παρά ως φαινομένου. Από την ανθρώπινη σκοπιά, η ξηρασία εμπίπτει απόλυτα στον συνήθη ορισμό του φυσικού κινδύνου, που θεωρείται ως «η κατάσταση που έχει τη δυνατότητα να δημιουργήσει γεγονός το οποίο θα έχει επικίνδυνη επίδραση στους ανθρώπους, προερχόμενη από τις φυσικές διαδικασίες του περιβάλλοντος, που μπορεί να συσχετίζεται ή και να προέρχεται από άλλους φυσικούς κινδύνους». Η φυσική καταστροφή, που αποτελεί το επακόλουθο του φυσικού κινδύνου, μπορεί στην περίπτωση της ξηρασίας να παρουσιαστεί με την υποβάθμιση του περιβάλλοντος, την κοινωνική και οικονομική αποδιοργάνωση μιας περιοχής, την απώλεια περιουσίας, αλλά κόμη και τον τραυματισμό ή το θάνατο των ανθρώπων.

Η ξηρασία είναι μια ιδιαίτερη φυσική καταστροφή. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι δεν επηρεάζει άμεσα τις τεχνικές υποδομές, με αποτέλεσμα οι επιπτώσεις της να μην είναι άμεσα αντιληπτές ή εμφανείς σε μικρό χρονικό διάστημα από την έναρξη του φαινομένου. Το αποτέλεσμα είναι οι άνθρωποι να μην αντιλαμβάνονται τις επιπτώσεις της ξηρασίας, τουλάχιστον στις περιπτώσεις που δεν ακολουθεί κάποια άλλη σημαντική καταστροφή, όπως ο λιμός στην Αφρικανική Ήπειρο ή οι μεγάλες πυρκαγιές (wild fires). Ήδη από το 1947, ο Ivan Ray Tannehill προσπάθησε να αποδώσει αυτή την ιδιαιτερότητα της ξηρασίας γράφοντας χαρακτηριστικά: «σέρνεται προς τα πάνω μας σταδιακά, σχεδόν μυστηριωδώς, αλλά οι επιπτώσεις της είναι μια τραγική πραγματικότητα. Η ξηρασία είναι το καλύτερο παράδειγμα της ανικανότητας της ανθρωπότητας μπροστά στα ευρείας κλίμακας φυσικά φαινόμενα» (Tannehill, 1947). Η «υφέρπουσα» ξηρασία καθιερώθηκε ως όρος στην επιστημονική κοινότητα της ξηρασίας (π.χ. Vlachos, 1982; Wilhite, 1993; Tsakiris *et al.*, 2013) και όχι μόνο (Prud'homme, 2011), ως η πιο χαρακτηριστική λέξη που περιγράφει το φαινόμενο.

Μια άλλη παράμετρος που συμβάλλει στην ιδιαιτερότητα της, είναι η μεγάλη σχετικά διάρκεια των γεγονότων ξηρασίας με αποτέλεσμα να μην είναι εύκολα διακριτά τα διάφορα γεγονότα μεταξύ τους, δημιουργώντας έτσι την αντίληψη ότι πρόκειται για σπάνια φαινόμενα σε σχέση με άλλες καταστροφές που συμβαίνουν με μεγαλύτερη συχνότητα. Για παράδειγμα, τη δεκαετία του 1990, που παρατηρήθηκαν έντονα

φαινόμενα ξηρασίας τουλάχιστον στις χώρες της Νότιας Ευρώπης, η ξηρασία εμφανίζεται στις χώρες αυτές σε ποσοστό μικρότερο του 10% του συνόλου των φυσικών καταστροφών που καταγράφηκαν τη συγκεκριμένη περίοδο.

Παρά όμως τον μικρό αριθμό καταγεγραμμένων γεγονότων ξηρασίας, η ξηρασία αποτελεί τη δυσμενέστερη καταστροφή τόσο σε οικονομικό επίπεδο όσο και από την πλευρά του αριθμού ανθρώπων που υφίστανται την καταστροφή. Η συνήθης σύγκριση γίνεται με τα πλημμυρικά γεγονότα, που αποτελούν τη φυσική καταστροφή στο «αντιδιαμετρικό» άκρο των κλιματικών συνθηκών. Ενδεικτικά, για τη δεκαετία του 1990 στη Νότια Ευρώπη έχουν καταγραφεί 8 γεγονότα ξηρασίας (περίπου 10% του συνόλου των φυσικών καταστροφών) και 22 γεγονότα πλημμύρας (περίπου 25% του συνόλου των φυσικών καταστροφών). Αν και τα γεγονότα πλημμύρας είναι 2.5 φορές περισσότερα από αυτά της ξηρασίας, η οικονομική ζημιά που έχει καταγραφεί είναι της ίδιας τάξης (περίπου 30% του συνόλου των ζημιών από φυσικές καταστροφές τόσο για το σύνολο των γεγονότων πλημμύρας όσο και για το σύνολο των γεγονότων ξηρασίας), ενώ στην περίπτωση των ανθρώπων που επηρεάζονται τα μεγέθη είναι εντυπωσιακά. Τα γεγονότα ξηρασίας επηρέασαν τη ζωή του 95% περίπου του πληθυσμού, με τις πλημμύρες να επηρεάζουν μόλις το 2% περίπου. Αξίζει να σημειωθεί ότι η χειρότερη ξηρασία του 20^{ου} αιώνα έχει καταγραφεί στη Λαϊκή Δημοκρατία της Κίνας το 1928, η οποία στέρησε τη ζωή σε περίπου τρία εκατομμύρια ανθρώπους (Guha-Sapir *et al.*, 2004).

Η ξηρασία αποτελεί και στον Ελληνικό χώρο μια από τις πιο δαπανηρές καταστροφές, με τα στατιστικά στοιχεία να ακολουθούν σε γενικές γραμμές αυτά της Νότιας Ευρώπης. Για την ξηρασία 1987- 1993 οι ζημιές εκτιμήθηκαν σε περίπου ένα εκατομμύριο δολάρια, όταν η δεύτερη πιο δαπανηρή καταστροφή ήταν οι πυρκαγιές με περίπου τριακόσια σαράντα χιλιάδες δολάρια ανά γεγονός και φυσικά οι σεισμοί με περίπου διακόσιες σαράντα χιλιάδες δολάρια ανά γεγονός. Τα στοιχεία αυτά δύσκολα γίνονται αντιληπτά στο ευρύ κοινό, αφού η ξηρασία δεν αποτελεί μια «θεαματική» καταστροφή και συνήθως δεν έλκει τα φώτα της δημοσιότητας.

4.2 Ορισμοί της ξηρασίας

Μοναδικός και καθολικά αποδεκτός ορισμός της ξηρασίας δεν υπάρχει. Η ξηρασία αποτελεί ίσως το πιο δύσκολο στην κατανόησή του φυσικό φαινόμενο. Από τη μέση σχεδόν του 20^{ου} αιώνα η επιστημονική κοινότητα έχει εκφράσει τις δυσκολίες που εμφανίζονται ακόμη και στη διατύπωση ενός επαρκούς ορισμού για την περιγραφή του φαινομένου. Είναι χαρακτηριστικό, όπως αναφέρει ο Palmer (1965), ότι στις πρώτες περιόδους ενασχόλησης των επιστημόνων με την ξηρασία υπήρχαν διαφωνίες όχι μόνο σε σχέση με τη σημασία τις ίδιας της (αγγλικής) λέξης “drought”, αλλά ακόμη και σε σχέση με την προφορά και την ορθογραφία της. Ο Yevjevich (1967)

αναφέρει ότι η έλλειψη ενός γενικά αποδεκτού και ταυτόχρονα ακριβούς και αντικειμενικού ορισμού της ξηρασίας αποτελεί το μεγαλύτερο εμπόδιο τόσο στην έρευνα όσο και στο σχεδιασμό αντιμετώπισής της. Αξίζει να σημειωθεί ότι το πλήθος των καταγεγραμμένων στη βιβλιογραφία ορισμών που συγκέντρωσαν οι Wilhite & Glantz (1985) ξεπερνά τους 150.

Συχνά το ευρύ κοινό και ο περιοδικός τύπος (κυρίως λόγω της αδιαφορίας τους για το φαινόμενο) χρησιμοποιούν τον όρο ξηρασία με ποιο συνεπή τρόπο σε σχέση με τους επιστήμονες που εργάζονται στο συγκεκριμένο αντικείμενο. Ο όρος ξηρασία δεν εμφανίζεται συνήθως στον ημερήσιο τύπο έως ότου μια περιοχή έχει πλέον υποστεί μια ασυνήθιστα έντονη μείωση της εδαφικής υγρασίας για μια παρατεταμένη χρονική περίοδο. Παρά τις διαφορές που υπάρχουν, φαίνεται ότι οι άνθρωποι στις περιοχές με υγρό κλίμα εννοούν το ίδιο, όταν αναφέρονται στην ξηρασία, με τους ανθρώπους που κατοικούν σε ξηρές ή ημίξηρες περιοχές, δηλαδή ότι το έλλειμμα εδαφικής υγρασίας έχει αρχίσει να επηρεάζει αισθητά την υπάρχουσα οικονομία της περιοχής τους. Λαμβάνοντας υπόψη αυτές τις προσεγγίσεις, ένας ορισμός που μπορεί να διατυπωθεί ως μια αρχική προσέγγιση για γενική χρήση του όρου θα περιέγραφε την ξηρασία ως μια παρατεταμένη μη φυσιολογική ανεπάρκεια υγρασίας.

Η ξηρασία εξαρτάται σημαντικά από τον τόπο και τον χρόνο εμφάνισής της. Ο ορισμός της ξηρασίας υπό αυτό το πρίσμα θα πρέπει να συνδέεται με την υπό μελέτη γεωγραφική περιοχή και να συσχετίζεται με συγκεκριμένη εφαρμογή του φαινομένου (Tate and Gustard, 2000). Στη διεθνή βιβλιογραφία ωστόσο, συναντώνται αρκετοί γενικοί ορισμοί για το φαινόμενο της ξηρασίας. Ένας από τους περιεκτικότερους χαρακτηρίζει την ξηρασία ως μια «ελάττωση της διαθεσιμότητας νερού σε συγκεκριμένη περιοχή κατά τη διάρκεια συγκεκριμένης χρονικής περιόδου» (Beran and Rodier, 1985). Ένας ορισμός της ξηρασίας πιο εστιασμένος στα υδατικά συστήματα παρουσιάζει την ξηρασία ως το φαινόμενο κατά τη διάρκεια εμφάνισης του οποίου το υδατικό σύστημα βρίσκεται κάτω από ένα κρίσιμο επίπεδο σε σχέση με την κανονική του λειτουργία (Correia et al., 1991). Ενδιαφέρον παρουσιάζουν επίσης και οι ορισμοί που υιοθετούνται από μεγάλους οργανισμούς. Σύμφωνα με τους Mishra and Singh (2010), ο Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός (World Meteorological Organisation, WMO) ορίζει την ξηρασία ως μια «συνεχή, εκτεταμένη ανεπάρκεια βροχόπτωσης». Ο Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών (σύμφωνα με τη Συνθήκη για την Καταπολέμηση της Ερημοποίησης) ορίζει την ξηρασία ως «το φυσικό φαινόμενο που υπάρχει όταν οι βροχοπτώσεις βρίσκονται σημαντικά κάτω από τα κανονικά επίπεδα που έχουν καταγραφεί, προκαλώντας σοβαρές υδρολογικές ανισορροπίες που επηρεάζουν δυσμενώς τα συστήματα παραγωγής χερσαίων πόρων». Ο Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας (Food and Agriculture Organization, FAO) των Ηνωμένων Εθνών ορίζει την ξηρασία ως «το ποσοστό των ετών, κατά το οποίο οι καλλιέργειες αποτυγχάνουν από την έλλειψη υγρασίας». Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι οι ορισμοί της ξηρασία ποικίλουν και ανάλογα με τη μεταβλητή που

χρησιμοποιείται για να περιγράψει την ξηρασία. Για παράδειγμα, οι Paulo and Pereira (2009) περιγράφουν την ξηρασία ως «μια φυσική, αλλά προσωρινή ανισορροπία της διαθεσιμότητας νερού».

Η ξηρασία γίνεται πιο κατανοητή μέσα από τις επιπτώσεις της. Θεωρείται επομένως πιο εύκολο να οριστεί, συνδεόμενη με τους διαφορετικούς χώρους και καταστάσεις που επηρεάζει. Είναι προφανές ότι η ξηρασία σημαίνει διαφορετικά πράγματα σε διαφορετικούς ανθρώπους. Για τον αγρότη, ξηρασία είναι ανεπάρκεια υγρασίας στη ζώνη του ριζοστρώματος των καλλιεργειών του. Για τον υδρολόγο, σημαίνει επίπεδα νερού κάτω του μέσου όρου στα ποτάμια, τις λίμνες και τους ταμιευτήρες. Για τον οικονομολόγο, σημαίνει την κατάσταση έλλειψης νερού που μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις στην υπάρχουσα οικονομία. Από αυτή την οπτική γωνία η ξηρασία μπορεί να διαχωριστεί σε τέσσερις βασικούς τύπους, τη μετεωρολογική, την υδρολογική, τη γεωργική (ή ξηρασία της βλάστησης) και την κοινωνικο-οικονομική ξηρασία. Είναι γνωστό ότι η τελευταία προστέθηκε σχετικά αργότερα. Οι επιπτώσεις του φαινομένου συχνά θεωρούνται πιο έντονες όταν καταλήγουν να είναι δυσάρεστες για τους ανθρώπους επηρεάζοντας τις κοινωνικές δομές και την οικονομική τους ισορροπία, παρά όταν επηρεάζουν μόνο το φυσικό περιβάλλον. Φυσικά, σύμφωνα με την αντίληψη ότι η ξηρασία είναι φυσικό φαινόμενο, η κοινωνικο-οικονομική ξηρασία δεν μπορεί να αποτελεί τύπο ξηρασίας και συχνά παραλείπεται.

Κατά την προσπάθεια διατύπωσης του ορισμού της ξηρασίας είναι σημαντικό να διαχωρίσουμε τους ορισμούς σε δύο είδη: τους εννοιολογικούς ορισμούς και τους διαχειριστικούς ορισμούς (Wilhite and Glantz, 1985). Εννοιολογικοί αποκαλούνται οι ορισμοί που προσδιορίζουν τα όρια στα οποία κινείται η ουσία της ξηρασίας και παρουσιάζουν μια γενικευμένη περιγραφή του φαινομένου. Είναι οι ορισμοί που συνήθως δίνονται από τα ερμηνευτικά λεξικά, όπως εκφράσεις του τύπου «ξηρασία είναι μια μεγάλη περίοδος χωρίς βροχή κυρίως κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου». Από την άλλη πλευρά, οι διαχειριστικοί ορισμοί προσπαθούν να προσδιορίσουν την έναρξη, τη λήξη και τη σφοδρότητα των περιόδων ξηρασίας (NDMC, 1995). Οι ορισμοί αυτοί χρησιμοποιούνται επίσης στην ανάλυση της συχνότητας, της διάρκειας και της έντασης της ξηρασίας. Οι διαχειριστικοί ορισμοί είναι συχνά προσαρμοσμένοι σε συγκεκριμένες μορφές ξηρασίας και σε συγκεκριμένες μορφές αντιμετώπισής της.

Για να ξεπεραστεί το εμπόδιο της έλλειψης ορισμού και καθώς το κύριο αντικείμενο της παρούσας μελέτης είναι η «κατάρτιση σχεδίου δράσης για την αντιμετώπιση της ξηρασίας», θα χρησιμοποιηθεί στη συγκεκριμένη περίπτωση ένας διαχειριστικός ορισμός σύμφωνα με τον οποίο «ξηρασία είναι μια παροδική «τυχαία» κατάσταση σημαντικής μείωσης της διαθεσιμότητας καθαρού νερού (σε σύγκριση με τη μέση τιμή), που διατηρείται για σημαντικό χρονικό διάστημα σε μια εκτεταμένη γεωγραφική περιοχή».

4.3 Αναγνώριση - Ταυτοποίηση της ξηρασίας

«Πότε μια ξηρασία είναι ξηρασία» αναρωτιούνται οι Glantz & Katz (1977), στην προσπάθειά τους να επισημάνουν τη δυσκολία στην αναγνώριση της ξηρασίας. Είναι αλήθεια ότι η εμφάνιση του φαινομένου ακολουθείται συχνά από σύγχυση, τόσο των επιστημόνων όσο κυρίως των υπευθύνων για τη λήψη αποφάσεων και τη χάραξη πολιτικής, σχετικά με το κατά πόσο η συγκεκριμένη περίπτωση εμπίπτει ή όχι σε κάποιον αποδεκτό ορισμό της ξηρασίας, καθώς και πόσο έντονη είναι η συγκεκριμένη ξηρασία. Αυτό οφείλεται, όπως έχει ήδη αναφερθεί, σε μεγάλο βαθμό στην έλλειψη ενός επαρκούς ορισμού του φαινομένου με κατανοητούς όρους. Ωστόσο η ξηρασία είναι μια περίπλοκη φυσική καταστροφή. Οι επιπτώσεις της συσσωρεύονται αργά για μια μεγάλη χρονική περίοδο και συχνά παραμένουν για μεγάλο χρονικό διάστημα μετά τον τερματισμό του φαινομένου, κάνοντας πολύ δύσκολο τον ακριβή προσδιορισμό της έναρξης και λήξης του φαινομένου. Επίσης, είναι λιγότερο εμφανείς σε σχέση με τις επιπτώσεις άλλων φυσικών καταστροφών (π.χ. πλημμυρών) και εκτείνονται σε πολύ μεγάλης έκτασης περιοχές. Το γεγονός δε ότι σπάνια οι ξηρασίες επηρεάζουν δομικές κατασκευές και υποδομές, κάνει τους πολίτες να κατανοούν ακόμη πιο δύσκολα τις επιπτώσεις της ξηρασίας και τους ειδικούς να δυσκολεύονται τόσο στην έγκυρη και έγκαιρη εκτίμηση της δριμύτητας αλλά και των επιπτώσεων της ξηρασίας, όσο και στο σχεδιασμό μέτρων και έργων προληπτικής αντιμετώπισης ή μετριασμού των επιπτώσεων.

Η ξηρασία είναι επίσης μια φυσική διακύμανση του κλίματος, που παρουσιάζεται σχεδόν σε όλους τους κλιματικούς τύπους. Συμβαίνει τόσο σε υψηλής όσο και σε χαμηλής βροχόπτωσης περιοχές. Για τους περισσότερους ανθρώπους είναι πολύ δύσκολο να φανταστούν φαινόμενα ξηρασίας στην κεντρική και βόρεια Ευρώπη, τη Βραζιλία ή τη νοτιοανατολική Ασία, ενώ συνδέουν την ξηρασία με την κατάσταση που παρουσιάζεται στην Αφρική, την Ινδία και την Αυστραλία. Η διαφορά ωστόσο ανάμεσα στην ξηρασία και την ξηρότητα, που αποτελεί σταθερό χαρακτηριστικό του κλίματος των περιοχών με χαμηλή βροχόπτωση, είναι από τα σημαντικότερα σημεία που πρέπει να αποσαφηνιστούν. Η ξηρασία είναι ένα φαινόμενο που μπορεί να παρουσιαστεί ακόμη και σε περιοχές με πολύ υγρό κλίμα, αν και οι άνθρωποι των περιοχών αυτών συνήθως αποκαλούν το φαινόμενο «πράσινη ξηρασία», καθώς τη συνδέουν με την ελάττωση της αγροτικής παραγωγής τόσο εξαιτίας της μείωσης της βροχόπτωσης όσο κυρίως λόγω της εμφάνισης της βροχής σε χρονικές στιγμές που δεν βοηθούν τις καλλιέργειες.

Είναι τέλος σημαντικό να γίνει ξεκάθαρη η διαφορά αλλά και η σχέση της ξηρασίας με άλλες σχετικές καταστάσεις ή φυσικά φαινόμενα τα οποία συχνά συγχέονται με αυτή. Οι συνηθέστερες φυσικές ή ανθρωπογενείς διεργασίες που εξαιτίας της σύνδεσής τους με την διαθεσιμότητα των υδατικών πόρων συγχέονται μερικώς επικαλύπτονται με την ξηρασία είναι η ξηρότητα (aridity), η ερημοποίηση

(desertification), την λειψυδρία (water scarcity) και την υδατική ανεπάρκεια (water shortage). Αξίζει να σημειωθεί ότι ο όρος λειψυδρία χρησιμοποιείται συχνά για να περιγράψει όλες τις διεργασίες που σχετίζονται με το έλλειμμα σε νερό, ενώ μια πιο ακριβής προσέγγιση χαρακτηρίζει τη λειψυδρία ως μόνιμη (water scarcity) ή παροδική (water shortage).

Η ξηρότητα είναι ένα φυσικό μόνιμο χαρακτηριστικό του κλίματος μιας περιοχής, που χαρακτηρίζεται κυρίως από τα πολύ χαμηλά μέσα ετήσια ή εποχιακά κατακρημνίσματα, με υψηλή χωρική και χρονική διακύμανση. Η ξηρότητα επιφέρει χαμηλή συνολική υγρασία και υποβαθμίζει την ικανότητα ενός οικοσυστήματος. Σε συνθήκες ξηρότητας παρατηρούνται ακραίες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και το υδρολογικό καθεστώς χαρακτηρίζεται από μεγάλες διακυμάνσεις στις απορροές, αιφνίδιες πλημμύρες (flash floods) και μεγάλες περιόδους με πολύ χαμηλές ή μηδενικές απορροές. Η λειψυδρία (ή ακριβέστερα η μόνιμη λειψυδρία) αποτελεί μια επίσης μόνιμη κατάσταση ανισορροπίας μεταξύ της διαθεσιμότητας υδατικών πόρων και ζήτησης νερού σε μια περιοχή ή ένα υδατικό σύστημα που χαρακτηρίζεται από ξηρό κλίμα ή/και ραγδαία αύξηση της ζήτησης σε νερό, που σχετίζεται με διαδικασίες όπως η αύξηση του πληθυσμού, η επέκταση των αρδευόμενων καλλιεργειών κλπ. Η υδατική ανεπάρκεια (ή ακριβέστερα παροδική λειψυδρία) από την άλλη πλευρά είναι μια προσωρινή, κυρίως ανθρωπογενής ανισορροπία του υδατικού συστήματος. Η ανεπάρκεια σε ένα σύστημα υδροδότησης για παράδειγμα, είναι το έλλειμμα προσφερόμενου νερού σε σχέση με τη ζήτηση, που μπορεί να προκύψει από κάποιο φυσικό φαινόμενο όπως η ξηρασία, αλλά εμφανίζεται κυρίως λόγω της κακής διαχείρισης των υδατικών πόρων, της κακής ποιότητας του προσφερόμενου νερού, των προβληματικών υπηρεσιών παροχής νερού κλπ. Τέλος, ερημοποίηση είναι η μόνιμη υποβάθμιση των εδαφών σε περιοχές με κυρίως ξηρό ή ημί-ξηρο κλίμα, που προκαλείται κυρίως από την υπερεκμετάλλευση ή την ακατάλληλη χρήση των εδαφών των περιοχών αυτών σε συνάρτηση με τις κλιματικές μεταβολές. Η διάβρωση του εδάφους και αύξηση της αλατότητας συνήθως συνδέονται με την ερημοποίηση. Η ξηρασία επιδεινώνει σημαντικά τη διαδικασία της ερημοποίησης, αυξάνοντας την πίεση στους ήδη μειωμένους επιφανειακούς και υπόγειους υδατικούς πόρους.

Σημαντικό στοιχείο για την κατανόηση των διεργασιών που σχετίζονται με τη διαθεσιμότητα νερού είναι ο διαχωρισμός τους αφενός σε μόνιμες ή προσωρινές και αφετέρου σε φυσικές ή ανθρωπογενείς. Η ξηρασία και η υδατική ανεπάρκεια είναι προσωρινές διεργασίες με την ξηρασία να κατατάσσεται στα φυσικά φαινόμενα ενώ η υδατική ανεπάρκεια στα ανθρωπογενή. Από την άλλη πλευρά τόσο η ξηρότητα όσο και η λειψυδρία και η ερημοποίηση είναι μόνιμες καταστάσεις, με την ξηρότητα να κατατάσσεται στις φυσικές διεργασίες, ενώ η ερημοποίηση και η λειψυδρία θεωρούνται κυρίως ανθρωπογενείς.

Σύμφωνα με τον διαχειριστικό ορισμό που διατυπώθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, οι λέξεις κλειδιά για την αναγνώριση της ξηρασίας είναι «σημαντική

μείωση διαθεσιμότητας» σε «σημαντικό χρονικό διάστημα» και «εκτεταμένη περιοχή». Είναι προφανές ότι η ερμηνεία αυτών των χαρακτηριστικών είναι υποκειμενική. Η συστηματική ωστόσο ανάλυση του φαινομένου απαιτεί μια πιο ξεκάθαρη προσέγγιση των χαρακτηριστικών της ξηρασίας. Τόσο για τη διαχείριση της ξηρασίας, όσο και για τη σύνταξη των σχεδίων ετοιμότητας με στόχο τόσο την λήψη προληπτικών μέτρων όσο και για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων του φαινομένου, απαιτείται η αναγνώριση τουλάχιστον τριών βασικών χαρακτηριστικών, γνωστών ως διαστάσεων της ξηρασίας: της έντασης, της διάρκειας και της χωρικής έκτασης.

Η ένταση αναφέρεται στο βαθμό του ελλείμματος βροχόπτωσης ή αντίστοιχα στη δριμύτητα των επιδράσεων λόγω της έλλειψης αυτής. Μπορεί να μετρηθεί με σημείο αναφοράς κάποια μέση ή συνήθη τιμή. Η επιλογή αυτής της τιμής, του κατωφλιού δηλαδή, κάτω από την οποία θα πρέπει να πέσει η βροχόπτωση για να θεωρήσουμε ότι παρουσιάζεται το φαινόμενο της ξηρασίας συνήθως επιλέγεται αυθαίρετα, αν και ουσιαστικά θα έπρεπε να συνδέεται με τις επιπτώσεις. Η ανάπτυξη των «δεικτών ξηρασίας» που θα αναπτυχθούν σε επόμενη παράγραφο αντιμετωπίζει με τον καλύτερο τρόπο το συγκεκριμένο πρόβλημα.

Η διάρκεια, ορίζεται ως ο αριθμός των συνεχόμενων χρονικών περιόδων κατά τα οποία παρουσιάζεται το φαινόμενο της ξηρασίας. Η ξηρασία συνήθως χρειάζεται δύο με τρεις μήνες για να εγκατασταθεί, αλλά στη συνέχεια μπορεί να συνεχιστεί ακόμη και για αρκετά συνεχόμενα χρόνια (Tsakiris *et al.*, 2010). Η σπουδαιότητα των επιδράσεων της ξηρασίας έχει άμεση σχέση με τη χρονική στιγμή της έναρξης του φαινομένου, αλλά και τη χρονική κατανομή της μείωσης των βροχοπτώσεων. Διαφορετικό σημείο έναρξης και χρονική κατανομή μπορεί να οδηγήσει σε διαφορετικές επιπτώσεις και διαφορετικούς τύπους ξηρασίας. Ο προσδιορισμός της διάρκειας ενός φαινομένου ξηρασίας παραμένει σημαντικό πρόβλημα, καθώς δεν υπάρχει ευρέως αποδεκτή μέθοδος αντικειμενικού προσδιορισμού της διάρκειας. Η χρήση «περιόδων αναφοράς» της ξηρασίας φαίνεται να είναι η καλύτερη λύση του συγκεκριμένου προβλήματος (Tsakiris *et al.*, 2007).

Η χωρική έκταση της ξηρασίας είναι ένα ακόμη χαρακτηριστικό που διαφοροποιεί τις ξηρασίες. Τα φαινόμενα ξηρασίας που μπορούν να χαρακτηριστούν σημαντικά, συχνά αναπτύσσονται σε χωρικό επίπεδο σταδιακά με την πάροδο του χρόνου, με τις περιοχές μέγιστης ξηρασίας να διαφέρουν από εποχή σε εποχή. Σε χώρες με μεγάλη έκταση είναι πολύ δύσκολο οι περιοχές που πλήττονται από ξηρασία να περιλαμβάνουν ολόκληρη τη χώρα. Σε σχετικά μικρές χώρες, όπως και η Ελλάδα, είναι πιθανό ολόκληρη η χώρα να επηρεαστεί σε μια περίπτωση ακραίας ξηρασίας. Εναλλακτικές λύσεις για την εκτίμηση της χωρικής έκτασης αποτελούν η διακριτοποίηση σταθερού βήματος (Tsakiris *et al.*, 2007) και η χρήση των λεκανών απορροής (Tsakiris, 2008).

Εκτός από τον προσδιορισμό των κύριων χαρακτηριστικών της ξηρασίας είναι σημαντικό να εκτιμηθεί και η δυνατότητα του συστήματος που πλήττεται από ξηρασία με τα συγκεκριμένα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά, να αντεπεξέλθει στον κίνδυνο. Καθώς η δυνατότητα αυτή του συστήματος σχετίζεται άμεσα με την ένταση των επιπτώσεων του φαινομένου, η εικόνα ενός συστήματος που πλήττεται από ξηρασία μπορεί να παρουσιάζεται διαφορετική σε κάθε περιοχή, παρά το γεγονός ότι οι διαστάσεις της ξηρασίας εμφανίζουν ίδιας τάξης τιμές στα διαφορετικά συστήματα. Για το σκοπό αυτό μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες έννοιες που σχετίζονται με τη διακινδύνευση (risk). Οι πιο συνηθισμένες από αυτές είναι η αξιοπιστία (reliability), η διάρκεια επαναφοράς (resilience) και η τρωτότητα (vulnerability) του συστήματος (Hashimoto *et al.*, 1982; Jino, 1995; Rossi *et al.*, 2005). Η αξιοπιστία αποτελεί μέτρο του κατά πόσο το σύστημα βρίσκεται σε ικανοποιητική κατάσταση, η διάρκεια επαναφοράς αφορά στην ταχύτητα με την οποία το σύστημα επανέρχεται σε ικανοποιητική κατάσταση μετά από κάποια αστοχία, ενώ η τρωτότητα σχετίζεται με το πόσο ευάλωτο είναι ένα σύστημα στον κίνδυνο «ξηρασία».

4.4 Εκτίμηση της ξηρασίας

Η εκτίμηση της ξηρασίας γίνεται δυνατή μέσα από την ποσοτικοποίηση των χαρακτηριστικών της, δηλαδή της έντασης, της διάρκειας και της χωρικής έκτασης. Τα εργαλεία (μέθοδοι) που οδηγούν σε αυτή την ποσοτικοποίηση είναι γνωστά στην επιστημονική κοινότητα με τον όρο «δείκτες ξηρασίας». Οι δείκτες ξηρασίας, φυσικά, δεν χρησιμοποιούνται μόνο για ερευνητικούς σκοπούς, αλλά και για επιχειρησιακούς. Για να μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι δείκτες από τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων πρέπει να συνδεθούν με επίπεδα ενδεχόμενου κινδύνου, τα οποία συχνά είναι ενσωματωμένα στη μεθοδολογία που πρέπει να ακολουθηθεί.

Η ενασχόληση των επιστημόνων με το θέμα έχει αποδώσει ένα μεγάλο αριθμό δεικτών, ενώ η εμφάνιση νέων δεικτών ή παραλλαγών σε υπάρχοντες δείκτες παραμένει σταθερά μια συνεχής διαδικασία. Πολλοί ερευνητές έχουν προσπαθήσει να συγκεντρώσουν, να κατατάξουν και να ομαδοποιήσουν τους δείκτες που έχουν προταθεί. Η ομαδοποίηση στηρίζεται κυρίως στον τύπο της ξηρασίας που είναι υπό διερεύνηση αλλά και τις ειδικές συνθήκες (κλιματολογικές, οργανωτικές κλπ.) της περιοχής στην οποία εμφανίζεται το φαινόμενο. Οι δείκτες ομαδοποιούνται επίσης ανάλογα με τις παραμέτρους που χρησιμοποιούν, καθώς άλλοι δείκτες χρησιμοποιούν λίγες παραμέτρους (π.χ. βροχόπτωση, θερμοκρασία) ώστε να είναι πιο εύχρηστοι, ενώ άλλοι ένα πλήθος παραμέτρων που τους καθιστούν ακριβέστερους, αλλά και πολύπλοκους στην εφαρμογή με μεγάλες δυσκολίες στον υπολογισμό του τελικού αποτελέσματός τους. Η ανασκόπηση των δεικτών, που εμφανίζεται πλέον σε τακτά διαστήματα, φαίνεται να αναγνωρίζει πάνω από 100

δείκτες ξηρασίας. Ενδιαφέρον πάνω στην ανασκόπηση των δεικτών παρουσιάζουν, μεταξύ άλλων, οι εργασίες των Heim (2002), Hayes *et al.* (2007), Niemeyer (2008) και Clorpet (2011). Η νέα τάση στην ανασκόπηση των δεικτών ξηρασίας είναι η καταγραφή μικρού αριθμού βασικών δεικτών, που συνοδεύεται από οδηγίες προς τους χρήστες για την επιλογή του κατάλληλου δείκτη για κάθε συγκεκριμένη εφαρμογή. Η τάση αυτή φαίνεται να υιοθετείται και από τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (WMO & GWP, 2016). Μια εκτεταμένη καταγραφή των δεικτών σε ελληνική βιβλιογραφία παρουσιάζεται από τους Τσακίρης & Βαγγέλης (2013).

Η διαθεσιμότητα των δεδομένων έπαιξε βασικό ρόλο στην ανάπτυξη των πρώτων δεικτών, με αποτέλεσμα οι δείκτες αυτοί να αξιοποιούν κυρίως μετεωρολογικές παραμέτρους. Οι δείκτες αυτής της κατηγορίας, που εξακολουθούν να γνωρίζουν ευρεία εφαρμογή και στις μέρες μας, έγιναν γνωστοί ως μετεωρολογικοί δείκτες. Παραδείγματα δεικτών της κατηγορίας αυτής αποτελούν ο Rainfall Anomaly Index (RAI; van Rooy, 1965), ο Bhalme and Mooley Drought Index (BMDI; Bhalme & Mooley, 1980), ο Standardised Anomaly Index (SAI; Katz and Glantz, 1986) και φυσικά ο δημοφιλέστερος ίσως δείκτης ξηρασίας, Standardised Precipitation Index (SPI; McKee *et al.*, 1993), που έχει χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα από ερευνητές παγκοσμίως (Hayes *et al.*, 1999; Tsakiris & Vangelis, 2004; Edossa *et al.*, 2010; Zhai *et al.*, 2010).

Οι υδρολογικοί δείκτες ξηρασίας, με άμεση αναφορά στην κατηγορία της υδρολογικής ξηρασίας, αποτελούν τη δεύτερη μεγάλη ομάδα δεικτών. Αναπτύχθηκαν από την ανάγκη να αποδοθεί το υδατικό ισοζύγιο ενός υδατικού συστήματος ή μιας λεκάνης απορροής μέσα από την οπτική του συνολικού υδρολογικού κύκλου με έναν κατανοητό και συνεκτικό τρόπο. Ο Palmer Hydrological Drought Index (PHDI) αποτελεί τον πιο δημοφιλή και με την ευρύτερη χρήση παγκοσμίως δείκτη της κατηγορίας αυτής. Δείκτες που έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί σημαντικά είναι μεταξύ άλλων ο Surface Water Supply Index (SWSI; Shafer & Dezman, 1982), ο Regional Streamflow Deficiency Index (Stahl, 2001) και ο Streamflow Drought Index (SDI; Nalbantis & Tsakiris, 2009).

Κύριες παράμετροι των γεωργικών δεικτών ξηρασίας είναι η εξατμισοδιαπνοή και η εδαφική υγρασία. Αν και η γεωργική ξηρασία προσελκύει το ενδιαφέρον καθώς ένα πλήθος δραστηριοτήτων εξαρτάται από την πορεία και την απόδοση των καλλιεργειών, οι γεωργικοί δείκτες καταλήγουν να είναι συνήθως πολύπλοκοι και ακατάλληλοι για επιχειρησιακή χρήση. Εκτός από τον δημοφιλέστατο στην κατηγορία αυτή δείκτη Palmer Drought Severity Index (PDSI; Palmer, 1965), που παρουσιάζει μια κατανοητή εικόνα του υδρολογικού κύκλου και των επιμέρους στοιχείων του βασιζόμενος στην εδαφική υγρασία και την πραγματική εξατμισοδιαπνοή, άλλοι γνωστοί δείκτες της κατηγορίας είναι ο Crop Moisture Index (CMI; Palmer, 1968), ο Soil Moisture Drought Index (SMDI; Hollinger *et al.*, 1993) και ο Crop Specific Drought Index (CSDI; Meyer *et al.*, 1993), ο Soil Moisture Deficit Index (SMDI) και ο

Evapotranspiration Deficit Index (ETDI) (Narasimhan & Srinivasan, 2005). Πρόσφατα, προτάθηκαν δύο νέοι δείκτες σε αυτή την κατηγορία, ο Agricultural Standardised Precipitation Index (aSPI) και ο Effective Reconnaissance Drought Index (eRDI), οι οποίοι βασίζονται στην ενεργό βροχόπτωση (Tigkas et al., 2017, 2019).

Η αξιοποίηση των νέων τεχνολογιών δημιούργησε μια νέα κατηγορία δεικτών που έγινε γνωστή με τον ευρύτερο όρο τηλεπισκοπικοί (ή δορυφορικοί) δείκτες ξηρασίας. Οι δείκτες της κατηγορίας αυτής στηρίζονται κυρίως στον Normalised Difference Vegetation Index (NDVI; Tucker, 1979) και περιγράφουν την κατάσταση της επιφάνειας της γης και κυρίως της βλάστησης, μέσα από την οποία δίνεται η δυνατότητα να ανιχνευθούν κλιματολογικές ανωμαλίες όπως η ξηρασία.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται μία σύντομη ανασκόπηση ορισμένων από τους ευρύτερα χρησιμοποιούμενους δείκτες, καθώς και κάποιοι που έχουν πρόσφατα προταθεί. Σημειώνεται ότι οι ονομασίες των δεικτών δεν θα αποδοθούν στα ελληνικά, καθώς η μετάφρασή τους μόνο σύγχυση μπορεί να δημιουργήσει στον αναγνώστη, αφού οι δείκτες συνήθως αναφέρονται μόνο με το αρκτικόλεξό τους.

4.4.1 Standardised Precipitation Index (SPI)

Ο δημοφιλέστερος ίσως δείκτης ξηρασίας ακούει στο όνομα Standardised Precipitation Index και είναι γνωστότερος με το αρκτικόλεξο SPI. Ο McKee και οι συνεργάτες του στο Πανεπιστήμιο της Πολιτείας του Colorado, προσπάθησαν να ξεπεράσουν τα μειονεκτήματα του δείκτη του Palmer, αναπτύσσοντας μια μέθοδο εκτίμησης της ξηρασίας που θα ήταν σχετικά απλή, θα έχει εφαρμογή σε ετήσια βάση πάνω στις συνθήκες τροφοδοσίας σε νερό που είναι ιδιαίτερα σημαντικές στο Colorado, αλλά και θα συμπλήρωνε τις πληροφορίες που παρέχει ο Δείκτης του Palmer (McKee et al., 1993).

Ο SPI βασίζεται μόνο στα κατακρημνίσματα. Η θεμελιώδης δύναμή του έγκειται στο γεγονός ότι μπορεί να υπολογιστεί για ποικιλία χρονικών κλιμάκων (π.χ. 1, 3, 6, 9, 12, ... μήνες). Βασίζεται στη χρονοσειρά αθροιστικής βροχόπτωσης για συγκεκριμένη χρονική κλίμακα ενδιαφέροντος, στην οποία προσαρμόζεται μια κατανομή πιθανότητας, η οποία στη συνέχεια μετατρέπεται σε κανονική κατανομή, έτσι ώστε η μέση τιμή του SPI για τη συγκεκριμένη τοποθεσία και την επιθυμητή περίοδο να είναι μηδέν (Edwards & McKee, 1997). Η κατανομή που τελικά επιλέγεται για χρήση με τον SPI είναι η κατανομή γάμα, που έχει παρατηρηθεί ότι προσαρμόζεται ικανοποιητικά στις χρονοσειρές βροχόπτωσης. Ο υπολογισμός του SPI για συγκεκριμένη χρονική περίοδο σε οποιαδήποτε περιοχή απαιτεί μηνιαίες χρονοσειρές βροχόπτωσης με δεδομένα τριάντα ή και περισσότερων χρόνων.

Επειδή ο SPI είναι κανονικοποιημένος, το υγρότερο και ξηρότερο κλίμα παρουσιάζεται με τον παρόμοιο τρόπο και υγρές περίοδοι μπορούν επίσης να παρακολουθούνται με τη χρήση του SPI. Θετικές τιμές του SPI υποδεικνύουν βροχόπτωση μεγαλύτερη από το μέσο όρο, ενώ οι αρνητικές τιμές υποδεικνύουν βροχόπτωση μικρότερη από το μέσο όρο. Η κανονικοποίηση και η ευελιξία στη χρήση διαφορετικών χρονικών κλιμάκων επιτρέπει τη χρήση του SPI στην παρακολούθηση τόσο βραχυπρόθεσμης τροφοδοσίας του εδάφους σε νερό, όπως η εδαφική υγρασία για την αγροτική παραγωγή, όσο και μακροπρόθεσμης τροφοδοσίας υδατικών πόρων, όπως τα αποθέματα υπόγειου νερού, η ποτάμια ροή και η στάθμη των λιμνών και των ταμιευτήρων. Η ικανότητα της εξέτασης μικρών χρονικών κλιμάκων επιτρέπει ακόμη τον άμεσο προσδιορισμό της ξηρασίας και την παρακολούθησή της κατά τη διάρκειά εξέλιξης ενός γεγονότος (Wilhite et al., 2000).

Η κανονικοποίηση του SPI βοηθά στην εύκολη κατανόηση της ξηρασίας, καθώς το μέγεθος της αποχής από το μηδέν αντιπροσωπεύει την πιθανότητα εμφάνισης του φαινομένου. Επειδή οι τιμές του SPI ακολουθούν την τυπική κανονική κατανομή, θα περίμενε κανείς να συναντά τα σταθερά ποσοστά (68%, 95%, 99%) της κανονικής κατανομής για αποχές ίση, διπλάσια και τριπλάσια της τυπικής απόκλισης. Ο C.T. Agnew (2000), απέδειξε χρησιμοποιώντας δεδομένα για την περίοδο 1961-1990 ότι τα ποσοστά αυτά είναι λίγο μικρότερα από τα αναμενόμενα, με την πιθανότητα να συμβεί μια ακραία ξηρασία να είναι 2.3%, ενώ η πιθανότητα να συμβεί σημαντική ξηρασία είναι περίπου 6.7%.

Βασικό πλεονέκτημα της κανονικοποιημένης μορφής του δείκτη, αντίστοιχα και με άλλους κανονικοποιημένους δείκτες που θα εξεταστούν στη συνέχεια, είναι ο άμεσος προσδιορισμός της έντασης των επεισοδίων ξηρασίας, βάσει συγκεκριμένων κατηγοριών. Μία τυπική κατηγοριοποίηση των συνθηκών ανάλογα με την τιμή του δείκτη παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1 Κατηγορίες έντασης ξηρασίας βάσει κανονικοποιημένων τιμών δεικτών ξηρασίας

Τιμή δείκτη ξηρασίας	Κατηγορία συνθηκών
> 2.00	Εξαιρετικά υγρό
1.50 έως 1.99	Έντονα υγρό
1.00 έως 1.49	Μέτρια υγρό
-0.99 έως 0.49	Κανονικές συνθήκες
-0.50 έως -0.99	Ήπια ξηρό
-1.00 έως -1.49	Μέτρια ξηρό
-1.50 έως -1.99	Έντονα ξηρό
< -2	Εξαιρετικά ξηρό

Παρά το γεγονός ότι ο δείκτης SPI αναπτύχθηκε για χρήση στο Colorado, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οποιαδήποτε περιοχή αρκεί να υπάρχουν επαρκή δεδομένα. Τα τελευταία χρόνια έχει χρησιμοποιηθεί σε μελέτες περίπτωσης σε όλο σχεδόν τον κόσμο, ενώ πολλοί οργανισμοί μεταξύ των οποίων το European Drought Observatory

(EDO) και ο World Meteorological Organization (WMO) προτείνουν τον SPI ως τυπικό δείκτη για τη διερεύνηση της ξηρασίας.

4.4.2 Reconnaissance Drought Index (RDI)

Η αδυναμία του SPI να περιγράψει τον υδρολογικό κύκλο όπως ο δείκτης του Palmer, οδήγησε τους Tsakiris & Vangelis (2005), στην υπόθεση ότι η ξηρασία, αντιπροσωπεύοντας την ελλειμματική διαθεσιμότητα νερού, θα πρέπει να προσεγγιστεί μέσα από κάποιας μορφής ισοζύγιο μεταξύ «εισροών» και «εκροών». Η χρήση μόνο του ελλείμματος εισροών που ακολουθείται από τον SPI, δεν είναι βάσιμη σε όλες τις περιπτώσεις. Η υπόθεση αυτή οδήγησε στη δημιουργία του Reconnaissance Drought Index γνωστού ως δείκτη RDI. Ο RDI ενσωματώνει τον πιο καθοριστικό παράγοντα απωλειών του υδρολογικού κύκλου, που ταυτόχρονα είναι και ο απλούστερος στην προσέγγισή του καθώς έχει ερευνηθεί σε βάθος, δηλαδή τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή. Προφανώς η πραγματική και όχι η δυνητική εξατμισοδιαπνοή είναι η πραγματική εκροή από το σύστημα, η χρήση όμως της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής θα δημιουργούσε μεγάλη πολυπλοκότητα και αβεβαιότητα στην εκτίμηση της ξηρασίας, ακυρώνοντας στην πράξη τη θεωρητική προσέγγιση που δημιούργησε τον δείκτη RDI.

Για την εκτίμηση του δείκτη απαιτείται ο υπολογισμός της αρχικής τιμής a_k του RDI, που βασίζεται στο λόγο δύο αθροιστικών ποσοτήτων, της βροχόπτωσης και της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής. Η αρχική έκφραση του δείκτη για μία ορισμένη περίοδο προσδιορίζεται από ένα συγκεκριμένο μήνα (k) του υδρολογικού έτους και υπολογίζεται με την ακόλουθη εξίσωση:

$$a_k = \frac{\sum_{j=1}^{j=k} P_j}{\sum_{j=1}^{j=k} PET_j}$$

όπου P_j και PET_j είναι η βροχόπτωση και η δυνητική εξατμισοδιαπνοή, αντίστοιχα, για τον μήνα j του υδρολογικού έτους, το οποίο θεωρείται ότι ξεκινά από τον Οκτώβριο ($k=1$), για τις συνθήκες της Μεσογείου.

Η τιμή a_k του RDI δεν μπορεί όμως να δώσει άμεση απάντηση σχετικά με την ύπαρξη ή όχι ξηρασίας σε μια περιοχή. Για να δοθεί η απάντηση στο ερώτημα αυτό, θα πρέπει η τιμή a_k για κάθε έτος να συγκριθεί με τη μέση τιμή a_k , που είναι ίση με τον δείκτη ξηρότητας της περιοχής που εξετάζεται. Η διαφορά μάλιστα της ετήσιας τιμής από τη μέση τιμή αποτελεί μέτρο της έντασης της ξηρασίας.

Για να ξεπεραστεί το πρόβλημα αυτό αναπτύχθηκαν δύο εκφράσεις του δείκτη ικανές να παρουσιάζουν τόσο την ύπαρξη της ξηρασίας όσο και την έντασή της, χωρίς να

απαιτείται η σύγκριση του δείκτη με κάποια άλλη ποσότητα. Οι δύο αυτές εκφράσεις ονομάζονται Normalised RDI και Standardised RDI. Η εκτίμηση του Standardised RDI (RDI_{st}) στηρίζεται στην υπόθεση ότι οι τιμές του α_k ακολουθούν τη λογαριθμοκανονική κατανομή, ενώ η διαδικασία υπολογισμού είναι ανάλογη με αυτή που ακολουθείται και για τον δείκτη SPI. Επειδή μάλιστα η γενική συμπεριφορά του RDI είναι παρόμοια με αυτή του SPI και η ερμηνεία των αποτελεσμάτων τους μπορεί να γίνει με παρόμοιο τρόπο, οι δύο δείκτες είναι άμεσα συγκρίσιμοι και συχνά τα αποτελέσματά τους αντιπαραβάλλονται. Τα επίπεδα της ποιοτικής διαφοροποίησης της έντασης της ξηρασίας σύμφωνα με τον RDI_{st} είναι παρόμοια με αυτά του SPI.

Έχει ωστόσο αποδειχθεί ότι οι τιμές του α_k ακολουθούν ικανοποιητικά και την γάμα κατανομή. Στην περίπτωση αυτή ο RDI_{st} μπορεί να εκτιμηθεί με τη χρήση της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας της γάμα κατανομής. Για μικρές χρονικές κλίμακες (π.χ. μηνιαία κλίμακα) στις οποίες μπορεί να εμφανίζονται μηδενικές τιμές της βροχόπτωσης ($\alpha_k = 0$), ο RDI_{st} μπορεί να εκτιμηθεί με τη χρήση της σύνθετης συνάρτησης αθροιστικής πιθανότητας, που περιλαμβάνει: α) την πιθανότητα μηδενικών βροχοπτώσεων, και β) την αθροιστική πιθανότητα της γάμα κατανομής.

Αντίστοιχα με τον δείκτη SPI, η ένταση της ξηρασίας προσδιορίζεται βάσει των τιμών του RDI_{st} , χρησιμοποιώντας την κατηγοριοποίηση του Πίνακα 1.

4.4.3 Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index (SPEI)

Ο Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index (SPEI) προτάθηκε από τους Vicente-Serrano et al. (2010), με κύριο σκοπό την καλύτερη διερεύνηση της επίδρασης της κλιματικής αλλαγής στην ένταση της ξηρασίας. Ως βάση του δείκτη χρησιμοποιείται η διαφορά μεταξύ βροχόπτωσης και δυνητικής εξατμισοδιαπνοής σύμφωνα με την εξίσωση:

$$D_i = P_i - PET_i$$

όπου P_i και PET_i οι τιμές της βροχόπτωσης και της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, αντίστοιχα, για τον μήνα i .

Οι αθροιστικές τιμές των διαφορών D_i , για επιλεγμένες περιόδους αναφοράς, προσαρμόζονται σε μία κατανομή πιθανοτήτων προκειμένου να μετασχηματιστούν σε κανονικοποιημένες τιμές, ακολουθώντας μία διαδικασία αντίστοιχη με αυτή των δεικτών SPI και RDI. Έτσι, τα αποτελέσματα που προκύπτουν μπορούν να είναι συγκρίσιμα χωρικά και χρονικά (Begueria et al. 2014). Ενώ στην κανονικοποίηση των SPI και RDI μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατανομές δύο παραμέτρων, για τον υπολογισμό του SPEI είναι απαραίτητη η χρήση κατανομής τριών παραμέτρων, δεδομένου ότι οι διαφορές D μπορεί να παίρνουν και αρνητικές τιμές. Μετά από

διερεύνηση σχετικά με την καταλληλότερη στατιστική κατανομή για τη μοντελοποίηση των χρονοσειρών της D, επιλέχθηκε η κατανομή log-logistic, εξετάζοντας κυρίως τη συμπεριφορά της στις πιο ακραίες τιμές (Vicente-Serrano et al. 2010).

Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων του SPEI είναι παρόμοια με ό,τι ισχύει για τους δείκτες SPI και RDI.

4.4.4 Precipitation Deciles

Στην προσπάθεια να ξεπεράσουν τα μειονεκτήματα της μεθόδου Percent of Normal Precipitation των Hayes et al. (2007), οι Gibbs & Maher (1967) ανέπτυξαν το δείκτη Precipitation Deciles. Ο δείκτης έγινε ιδιαίτερα δημοφιλής κυρίως λόγω της εύκολης εφαρμογής του και των χαμηλών απαιτήσεών του σε δεδομένα. Η μέθοδος χωρίζει την κατανομή μιας μεγάλης διάρκειας χρονοσειράς βροχοπτώσεων σε δέκατα της κατανομής. Κάθε μία από αυτές τις κατηγορίες ονομάστηκε decile (δεκατημόριο). Το πρώτο δεκατημόριο είναι αυτό στο οποίο το ύψος των βροχοπτώσεων δεν υπερβαίνει το χαμηλότερο 10% βροχόπτωσης. Το δεύτερο δεκατημόριο είναι αυτό κατά το οποίο η βροχόπτωση δεν υπερβαίνει το χαμηλότερο 20% και ούτω καθ' εξής, μέχρι το ποσό βροχής στο δέκατο δεκατημόριο να είναι το μεγαλύτερο ποσό βροχοπτώσεων κατά την μακρά χρονοσειρά. Εξ ορισμού, το πέμπτο δεκατημόριο είναι η διάμεσος, κατά το οποίο η βροχόπτωση δεν υπερβαίνει το 50% του συνόλου για την περίοδο που αξιοποιείται. Σύμφωνα με το δείκτη, τα deciles ομαδοποιούνται τελικά σε πέντε κλάσεις ανά δύο, με αποτέλεσμα η χαμηλότερη κατηγορία, που χαρακτηρίζεται ως «σημαντικά κάτω του φυσιολογικού», να είναι από 0-20% (Πίνακας 4.2). Είναι προφανές ότι όσο μεγαλύτερη είναι η διαθέσιμη χρονοσειρά βροχόπτωσης, τόσο ακριβέστερα είναι τα αποτελέσματα της μεθόδου.

Πίνακας 4.2 Περιγραφή των συνθηκών ξηρασίας σύμφωνα με την κατηγορία των Precipitation Deciles

Κατηγορία Precipitation Deciles	Περιγραφή
deciles 1-2: χαμηλότερο 20%	σημαντικά κάτω του φυσιολογικού
deciles 3-4: επόμενο χαμηλότερο 20%	κάτω του φυσιολογικού
deciles 5-6: μέσο 20%	κοντά στο φυσιολογικό
deciles 7-8: επόμενο υψηλότερο 20%	άνω του φυσιολογικού
deciles 9-10: υψηλότερο 20%	σημαντικά άνω του φυσιολογικού

4.4.5 Agricultural Standardised Precipitation Index (aSPI)

Πρόσφατα, αναπτύχθηκε ένας νέος δείκτης ξηρασίας, ο Agricultural Standardised Precipitation Index (aSPI), ο οποίος αποτελεί μία τροποποίηση του SPI και ενσωματώνει στον υπολογισμό του την ενεργό βροχόπτωση, αποσκοπώντας στην ακριβέστερη αποτύπωση της φυτικής – γεωργικής ξηρασίας (Tigkas et al. 2019). Στον aSPI, η επιλογή των περιόδων αναφοράς δίνει έμφαση στις καλλιεργητικές περιόδους ή σε κρίσιμα στάδια ανάπτυξης των καλλιεργειών ενδιαφέροντος ή της αντιπροσωπευτικής καλλιέργειας μιας περιοχής (Kumar and Panu 1997, Tigkas and Tsakiris 2015).

Προκειμένου να διατηρηθούν χαμηλές οι απαιτήσεις σε δεδομένα, η εκτίμηση της ενεργού βροχόπτωσης πραγματοποιείται μέσω μεθόδων που βασίζονται στα μηνιαία δεδομένα της συνολικής βροχόπτωσης (Tigkas et al. 2019), όπως η μέθοδος του U.S. Bureau of Reclamation (USBR), η μέθοδος του U.S. Department of Agriculture (USDA) και η μέθοδος του Food and Agriculture Organisation (FAO). Σημειώνεται ότι οι κλάσεις του Πίνακα 1 ισχύουν και για τον aSPI.

4.4.6 Effective Reconnaissance Drought Index (eRDI)

Ένας ακόμα νέος δείκτης ξηρασίας είναι ο Effective Reconnaissance Drought Index (eRDI), ο οποίος αποτελεί μία τροποποίηση του RDI, αξιοποιώντας την ενεργό βροχόπτωση για τον χαρακτηρισμό της φυτικής – γεωργικής ξηρασίας (Tigkas et al., 2017). Ο eRDI υπολογίζεται βάσει του λόγου της αθροιστικής ενεργού βροχόπτωσης προς την αθροιστική δυνητική εξατμισοδιαπνοή, για προσδιορισμένες περιόδους αναφοράς k μηνών. Ο λόγος αυτός αποτελεί την αρχική τιμή του δείκτη (α_e). Αντίστοιχα με τον aSPI, η επιλογή των περιόδων αναφοράς στον eRDI δίνει έμφαση στις καλλιεργητικές περιόδους ή σε κρίσιμα στάδια ανάπτυξης των καλλιεργειών.

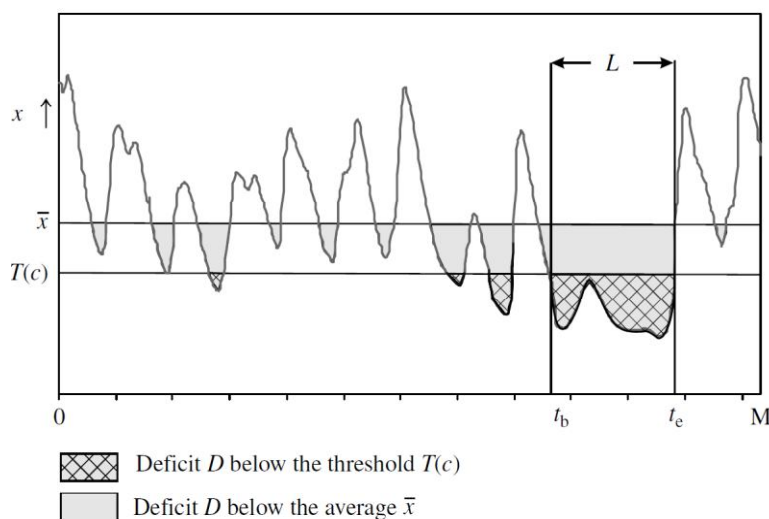
Η χρονοσειρά των τιμών α_e τυποποιείται μέσω της προσαρμογής κατάλληλης στατιστικής κατανομής (λογαριθμοκανονική ή γάμμα), που στη συνέχεια μετατρέπεται στην κανονική κατανομή, ώστε η τελική τιμή του δείκτη να παρέχει αποτελέσματα με ενιαία ερμηνεία ως προς το επίπεδο έντασης της ξηρασίας, ανεξαρτήτως περιοχής (Tigkas et al. 2017). Από τις τελικές κανονικοποιημένες (standardised) τιμές του δείκτη ($eRDI_{st}$) μπορεί να γίνει ο χαρακτηρισμός του επιπέδου έντασης της ξηρασίας, σύμφωνα με τον Πίνακα 1.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η ενεργός βροχόπτωση μπορεί να υπολογιστεί βάσει μεθόδων που χρησιμοποιούν δεδομένα βροχόπτωσης, ενώ για τον υπολογισμό του δείκτη θεωρείται επαρκής η χρήση θερμοκρασιακών μεθόδων, όπως η μέθοδος Hargreaves (Hargreaves and Samani, 1985), για την εκτίμηση της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (Vangelis et al., 2013).

4.5 Προσδιορισμός ξηρασίας βάσει της θεωρίας ‘runs’

Ο Yevjevich (1967) πραγματοποίησε μία διεξοδική διερεύνηση των χαρακτηριστικών της υδρολογικής ξηρασίας, επισημαίνοντας διάφορα ζητήματα που καθιστούν δύσκολο τον ακριβή προσδιορισμό της. Στο πλαίσιο αυτής της διερεύνησης, διατύπωσε την άποψη ότι η στατιστική θεωρία ‘runs’, που αφορά στις χωρικές και χρονικές ακολουθίες, αποτελεί τη βέλτιστη προσέγγιση προκειμένου να προσδιοριστεί ένα επεισόδιο ξηρασίας με αντικειμενικό τρόπο.

Σύμφωνα με αυτή τη μεθοδολογία, η αναγνώριση των επεισοδίων ξηρασίας βασίζεται στη διερεύνηση κάποιας υδρολογικής ή μετεωρολογικής μεταβλητής, η οποία διατηρεί τιμές κάτω από κάποιο συγκεκριμένο επίπεδο (κατώφλι), για έναν αριθμό διαδοχικών χρονικών διαστημάτων (αρνητικές περιόδους). Έτσι, τα βασικά χαρακτηριστικά της ξηρασίας προσδιορίζονται από τη διάρκεια (L), δηλαδή το διάστημα μεταξύ του χρόνου έναρξης (t_b) και λήξης (t_e) του επεισοδίου, και την ένταση, που εκφράζεται ως το αντίστοιχο σύνολο τιμών ελλείμματος (D) κάτω από την τιμή κατωφλίου $T(c)$ (Bonaccorso et al., 2003). Ο ορισμός του επιπέδου κατωφλίου μπορεί να γίνει βάσει διαφόρων κριτηρίων, ανάλογα με το αντικείμενο κάθε μελέτης. Συνήθως, λαμβάνεται ως η μέση τιμή (ή η διάμεσος) της εξεταζόμενης μεταβλητής, όπως προκύπτει από δείγμα επαρκούς χρονικής διάρκειας (Dracup et al. 1980). Σε κάθε περίπτωση, η τιμή του κατωφλίου πρέπει να επιλέγεται λαμβάνοντας υπόψη ένα αντιπροσωπευτικό επίπεδο των υδατικών απαιτήσεων (Rossi et al., 1992). Ενδεικτικό παράδειγμα εφαρμογής αυτής της μεθόδου παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.1.



Σχήμα 4.1 Παράδειγμα εφαρμογής της θεωρίας runs, όπου εξετάζεται μία μεταβλητή x για χρονοσειρά M ετών και ως κατώφλι για τον ορισμό ενός επεισοδίου ξηρασίας καθορίζεται η τιμή $T(c)$ (Peters et al. 2003)

Το πλεονέκτημα αυτής της προσέγγισης συνίσταται στη δυνατότητα εξαγωγής των πιθανοτικών χαρακτηριστικών της ξηρασίας, εφόσον είναι γνωστά τα στοχαστικά

χαρακτηριστικά της εξεταζόμενης παραμέτρου. Αυτή η δυνατότητα δεν περιορίζεται μόνο σε απλές περιπτώσεις, όπου η χρονική εξάρτηση των συνεχόμενων τιμών μπορεί να αμεληθεί, αλλά και όταν εξετάζονται αλυσίδες Markov που αφορούν στην εν λόγω μεταβλητή (Fernandez and Salas, 1999).

4.6 Επιλογή δεικτών ξηρασίας για επιχειρησιακή χρήση

Όπως προαναφέρθηκε, οι δείκτες ξηρασίας είναι σημαντικά και χρήσιμα εργαλεία για τον χαρακτηρισμό και την παρακολούθηση της ξηρασίας, καθώς απλοποιούν τις σύνθετες σχέσεις που διέπουν αρκετές κλιματικές, αλλά και σχετιζόμενες με το κλίμα, παραμέτρους. Με τον τρόπο αυτό είναι ευκολότερη και αποτελεσματικότερη η επικοινωνία της πληροφορίας που αφορά σε κλιματικές ανωμαλίες, ιδιαίτερα μάλιστα εάν η πληροφορία αυτή απευθύνεται σε ευρύ κοινό με διαφορετικό γνωστικό υπόβαθρο. Επίσης, μέσω των δεικτών είναι εφικτή η ποσοτικοποίηση των κλιματικών ανωμαλιών ως προς την ένταση, τη διάρκεια, την έκταση και τη συχνότητά τους, επιτρέποντας την ανάλυση των ιστορικών συμβάντων και της πιθανότητας επανεμφάνισής τους (Tsakiris et al. 2007a).

Έτσι, οι δείκτες ξηρασίας αποτελούν βασικό εργαλείο για την πρόληψη και την αντιμετώπιση των κινδύνων της ξηρασίας, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για έρευνα, μελέτες, κλπ., αλλά και από άτομα ή φορείς που σχετίζονται με τη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Είναι προφανές ότι κάθε δείκτης δεν μπορεί να είναι κατάλληλος ή εφαρμόσιμος για κάθε περίπτωση ή σκοπό, έτσι στις περισσότερες περιπτώσεις ενδείκνυται η συνδυαστική χρήση περισσότερων δεικτών, για την πληρέστερη κατανόηση των χαρακτηριστικών της ξηρασίας και τη δημιουργία αξιόπιστων συστημάτων παρακολούθησης (Wilhite 2005, Morid et al. 2006).

Η επιλογή του καταλληλότερου δείκτη αποτελεί στις μέρες μας ένα από τα δυσκολότερα προβλήματα στο σχεδιασμό για την αντιμετώπιση της ξηρασίας. Στην ιδανική περίπτωση, η επιθυμητή κύρια ιδιότητα οποιουδήποτε δείκτη ξηρασίας είναι ότι πρέπει να είναι αρκετά γενικός ώστε να μπορεί να μοντελοποιήσει την εμφάνιση ξηρασίας σε διαφορετικές κλιματικές περιοχές. Μια καλή προσέγγιση για την επιλογή δεικτών προτείνεται από τους Keyantash & Dracup (2002), οι οποίοι χρησιμοποίησαν ένα σύνολο έξι σταθμισμένων κριτηρίων για την αξιολόγηση των δεικτών. Τα κριτήρια αυτά στηρίχθηκαν στις επιθυμητές ιδιότητες που ένας δείκτης ξηρασίας θα έπρεπε να ακολουθεί στην ιδανική περίπτωση, όπως προτάθηκαν από προηγούμενες έρευνες (π.χ. Redmond, 1991) και είναι: η σταθερότητα (robustness), η ευχρηστία (tractability), η διαφάνεια (transparency), η επιτήδευση (sophistication), η επεκτασιμότητα (extendability) και η διαστατικότητα (dimensionality). Η σταθερότητα υποδηλώνει τη δυνατότητα χρήσης του δείκτη σε ένα ευρύ φάσμα φυσικών συνθηκών. Η ευχρηστία αντιπροσωπεύει την πρακτική πλευρά της χρήσης ενός δείκτη. Η διαφάνεια σχετίζεται με τη σαφήνεια και την ορθολογικότητα του δείκτη

ξηρασίας. Η επιτήδευση (δηλαδή η περιπλοκότητα), αν και στην πραγματικότητα έρχεται σε αντίθεση με τη διαφάνεια, αντικατοπτρίζει την εννοιολογική προσέγγιση και επομένως θεωρείται απαραίτητη. Επεκτασιμότητα είναι ο βαθμός στον οποίο ο δείκτης μπορεί να επεκταθεί προκειμένου να καλύψει εναλλακτικά σενάρια ξηρασίας. Η διαστατικότητα αναφέρεται στη σύνδεση του δείκτη με τη φυσική πραγματικότητα. Η συμμετοχή των κριτηρίων αυτών στην τελική αναγνώριση ενός δείκτη γίνεται με τη χρήση βαρών, που είναι πολύ δύσκολο να προσδιοριστούν και βασίζονται κυρίως στην επαγγελματική εμπειρία του χρήστη, αλλά και στην προσωπική του εκτίμηση. Σε γενικές γραμμές, το σημαντικότερο κριτήριο για ένα δείκτη θεωρείται η σταθερότητά του (Βαγγέλης, 2012).

Ουσιαστικά σημεία που καθορίζουν την ευχρηστία ενός δείκτη και τη δυνατότητα εφαρμογής του σε επιχειρησιακό επίπεδο είναι η απλή δομή, η ευκολία στον υπολογισμό του, αλλά και η εξαγωγή κατανοητών και πρακτικά ερμηνεύσιμων αποτελεσμάτων. Επίσης, σημαντικό χαρακτηριστικό αποτελεί η ικανότητά του να περιγράφει τις υφιστάμενες συνθήκες ξηρασίας με τρόπο ώστε να επιτυγχάνεται η αξιόπιστη εκτίμηση των επιπτώσεων του φαινομένου σε διάφορους τομείς (WMO, 2012). Έτσι, βασικά κριτήρια για την επιλογή δεικτών για επιχειρησιακή χρήση είναι (Tigkas et al., 2015):

α) να έχουν σχετικά μικρές απαιτήσεις σε δεδομένα, επιτρέποντας την απρόσκοπτη εφαρμογή τους στο σύνολο της εξεταζόμενης περιοχής, με επαρκές δίκτυο κάλυψης.

β) τα εξαγόμενα αποτελέσματα να έχουν σαφή, καταληπτή και ενιαία ερμηνεία, ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα και αποτελεσματικά σε επιχειρησιακό επίπεδο.

Βάσει των παραπάνω, οι δείκτες που επιλέχθηκαν για την περιοχή της Κρήτης είναι ο SPI, ο Precipitation Deciles και ο aSPI. Οι συγκεκριμένοι δείκτες βασίζονται σε δεδομένα βροχόπτωσης, για την οποία υπάρχει εκτενές δίκτυο κάλυψης. Επίσης, οι δείκτες αυτοί μπορούν να αξιοποιηθούν άμεσα για τον προσδιορισμό της μετεωρολογικής και γεωργικής ξηρασίας, καθώς και για την εκτίμηση της υδρολογικής ξηρασίας.

4.7 Επιλογή κατάλληλων περιόδων αναφοράς και χρονικού βήματος

Η αποτελεσματική αξιοποίηση των δεικτών ξηρασίας, τόσο σε επιχειρησιακό επίπεδο, προϋποθέτει τη σαφή εννοιολογική κατανόησή τους, προκειμένου να είναι δυνατή η αξιολόγηση και περαιτέρω αξιοποίησή τους. Ο δείκτης αποτελεί υποστηρικτικό εργαλείο λήψης αποφάσεων, συνεπώς πρέπει να εκφράζει με σαφήνεια τους λόγους για τους οποίους πρέπει να ληφθεί η κάθε απόφαση. Δύο βασικά σημεία που μπορούν να συντελέσουν στη βέλτιστη αξιοποίηση των δεικτών ξηρασίας σε

επιχειρησιακό επίπεδο είναι η επιλογή των εκάστοτε κατάλληλων περιόδων αναφοράς και του τρόπου αποτύπωσης των αποτελεσμάτων.

Μέσω ενός δείκτη ξηρασίας θα πρέπει να είναι δυνατή η ποσοτικοποίηση της ξηρασίας για διαφορετικές περιόδους αναφοράς, όταν υπάρχει διαθέσιμη χρονοσειρά επαρκούς μεγέθους. Οι περίοδοι αναφοράς που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι η ετήσια και η μηνιαία (Mishra and Singh 2010). Η ετήσια περίοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εξαγωγή συμπερασμάτων όσον αφορά στη συμπεριφορά των επεισοδίων ξηρασίας σε μία περιοχή. Η μηνιαία περίοδος είναι καταλληλότερη για την παρακολούθηση των επιπτώσεων της ξηρασίας π.χ. στη γεωργία ή στην επάρκεια νερού σε υδατικά συστήματα και σε υπόγειους υδροφορείς (Panu and Sharma 2002). Επίσης, άλλες περίοδοι (3-μηνο, 6-μηνο κλπ.) εφαρμόζονται συχνά για την εξέταση συγκεκριμένων θεμάτων, όπως θα εξεταστεί αναλυτικότερα στη συνέχεια.

Για την αποσαφήνιση των εννοιών, ως χρονικό βήμα ορίζεται η χρονική απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών μετρήσεων – αποτελεσμάτων (π.χ. ημερήσιο, εβδομαδιαίο, δεκαπενθημέρου, μηνιαίο, ετήσιο). Η χρονική κλίμακα και η περίοδος αναφοράς αφορούν στο χρονικό διάστημα στο οποίο αναφέρεται μία μέτρηση – αποτέλεσμα (π.χ. 1-, 3-, 6-, 12-μηνο) και η συγκεκριμένη περίοδος (π.χ. Οκτώβριος – Μάρτιος).

Οι περίοδοι αναφοράς αντικατοπτρίζουν τις δυνητικές επιπτώσεις της ξηρασίας στη διαθεσιμότητα νερού σε διαφορετικά υδατικά συστήματα. Οι συνθήκες εδαφικής υγρασίας ανταποκρίνονται σε ανωμαλίες που παρατηρούνται στη βροχόπτωση ή/και στη δυνητική εξατμισοδιαπνοή, σε σχετικά μικρά χρονικά διάστημα. Οι αντιδράσεις των υπόγειων υδροφορέων, της επιφανειακής απορροής και του δυναμικού των ταμιευτήρων εξετάζονται αποτελεσματικότερα με την εξέταση σχετικά μεγαλύτερων περιόδων (WMO 2012). Έτσι, αντίστοιχα με τον τομέα ή το αντικείμενο ενδιαφέροντος, πρέπει να επιλέγεται η κατάλληλη περίοδος αναφοράς, που περιγράφει με σαφέστερο τρόπο την επίδραση της ξηρασίας στο υπό διερεύνηση σύστημα. Ακόμα, μπορεί να γίνει χρήση προεπιλεγμένων περιόδων (3-, 6-, 9- και 12-μήνες).

Όσον αφορά στον τρόπο υπολογισμού και αποτύπωσης των δεικτών, η κατάλληλη για κάθε περίπτωση παρουσίαση μπορεί να συμβάλει σημαντικά στην κατανόηση και αξιολόγηση του φαινομένου. Σύμφωνα με την προσέγγιση που εφαρμόστηκε από τους McKee et al. (1993) και στη συνέχεια από αρκετούς ερευνητές, ο υπολογισμός του SPI γίνεται με μηνιαίο χρονικό βήμα και τα παραγόμενα αποτελέσματα παρουσιάζονται με σειριακό τρόπο (μία τιμή ανά μήνα). Η αποτύπωση αυτή είναι χρήσιμη για την εμφάνιση της χρονικής εξέλιξης του φαινομένου ανά μήνα, με σταθερή περίοδο αναφοράς. Μπορεί να εφαρμοστεί σε περιπτώσεις συστημάτων που έχουν συνεχή λειτουργία καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και μπορούν να

συνδεθούν αποτελεσματικά με μία ή περισσότερες περιόδους αναφοράς (π.χ. συστήματα υδροδότησης).

Άλλη προσέγγιση που μπορεί να εφαρμοστεί είναι ο υπολογισμός και αποτύπωση των αποτελεσμάτων ενός δείκτη για συγκεκριμένες περιόδους αναφοράς σε ετήσιο χρονικό βήμα (π.χ. Tsakiris et al. 2007). Με αυτόν τον τρόπο παρουσιάζονται με μεγαλύτερη σαφήνεια τα στοιχεία που αφορούν στην περίοδο αναφοράς για συγκεκριμένους μήνες ενδιαφέροντος ανά έτος, χωρίς να περιλαμβάνεται υπερβολικό ποσό πληροφορίας που μπορεί να αποπροσανατολίσει από τα αντικείμενο διερεύνησης. Αυτή η απεικόνιση μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν επιχειρείται η μελέτη της ξηρασίας με ετήσια ή εποχικά συστήματα, όπως η διερεύνηση της διασύνδεσης με την απορροή (π.χ. επιλογή ετήσιας περιόδου αναφοράς, με βάση το υδρολογικό έτος) ή η συσχέτιση με την γεωργική παραγωγή (π.χ. επιλογή εποχικής περιόδου αναφοράς αντίστοιχης της καλλιεργητικής περιόδου, με αφετηρία το μήνα σποράς).

4.8 Υπολογισμός δεικτών ξηρασίας στην Κρήτη

Ο υπολογισμός των επιλεγμένων δεικτών για την Κρήτη βασίζεται σε δεδομένα από 60 μετεωρολογικούς σταθμούς σε ολόκληρο το νησί και αφορούν στην περίοδο 1973 (Σεπτέμβριος) - 2010 (Αύγουστος), κατά την οποία έχει γίνει έλεγχος των υφιστάμενων δεδομένων, διόρθωση σφαλμάτων στις τιμές και συμπλήρωση των κενών με επιλεγμένη μέθοδο, δημιουργώντας έτσι μία ολοκληρωμένη βάση δεδομένων για την ανάλυση της κατάστασης στην Κρήτη (πρόγραμμα ΕΕΑ-AquaMap Project, Νικολαΐδης κ.α. 2017). Οι σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.3.

Πίνακας 4.3 Μετεωρολογικοί σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των δεικτών ξηρασίας.

Περιφερειακή Ενότητα	Σταθμός
Χανιά	Askifou
Χανιά	Kalives
Χανιά	Alikianos
Χανιά	Palaia Roumata
Χανιά	Mouri
Χανιά	Prasses
Χανιά	Psichro Pigadi
Χανιά	Samonas
Χανιά	Agrokipio
Χανιά	Tavronitis
Χανιά	Kandanos
Χανιά	Zymvragos
Ηράκλειο	Avdou
Ηράκλειο	Agia Barbara
Ηράκλειο	Agios Kyrillos
Ηράκλειο	Armacha

Περιφερειακή Ενότητα	Σταθμός
Ηράκλειο	Asimi
Ηράκλειο	Achentria
Ηράκλειο	Vagionia
Ηράκλειο	Voni
Ηράκλειο	Vorizia
Ηράκλειο	Gergeri
Ηράκλειο	Gortis
Ηράκλειο	Demati
Ηράκλειο	Zaros
Ηράκλειο	Kalivia
Ηράκλειο	Kapetaniana
Ηράκλειο	Kassanoi
Ηράκλειο	Kasteli
Ηράκλειο	Kapsali
Ηράκλειο	Kroussonas
Ηράκλειο	Lagolio
Ηράκλειο	Metaxochori
Ηράκλειο	Moroni
Ηράκλειο	Partira
Ηράκλειο	Pompia
Ηράκλειο	Pretoria
Ηράκλειο	Profitis Ilias
Ηράκλειο	Sternes
Ηράκλειο	Tefeli
Ηράκλειο	Tympaki
Ηράκλειο	Foinikia
Ρέθυμνο	Agia Galini
Ρέθυμνο	Anogia
Ρέθυμνο	Garazo
Ρέθυμνο	Gerakari
Ρέθυμνο	Kavousi
Ρέθυμνο	Lefkogia
Ρέθυμνο	Melabes
Ρέθυμνο	Spili
Λασιίθι	Sitia
Λασιίθι	Katsidoni
Λασιίθι	Neapoli
Λασιίθι	Ekso Potami
Λασιίθι	Kalo Chorio
Λασιίθι	Malles
Λασιίθι	Maronia
Λασιίθι	Mithi
Λασιίθι	Palekastro
Λασιίθι	Pachia Ammos

Για τον υπολογισμό των δεικτών χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό DrinC – Drought Indices Calculator (Tigkas et al. 2015). Το DrinC είναι ένα εξειδικευμένο λογισμικό για τον χαρακτηρισμό και την ανάλυση της ξηρασίας, το οποίο χρησιμοποιείται σε περισσότερες από 110 χώρες, τόσο σε ερευνητικές όσο και σε επιχειρησιακές εφαρμογές.

Ο υπολογογισμός κάθε δείκτη γίνεται για διάφορες περιόδους αναφοράς / χρονικές κλίμακες, σε ετήσιο και μηνιαίο βήμα υπολογισμού. Συγκεκριμένα, οι δείκτες SPI και aSPI υπολογίζονται για χρονικές κλίμακες 3-μήνου, 6-μήνου, 9-μήνου και 12-μήνου, ενώ ο δείκτης Precipitation Deciles υπολογίζεται για χρονική κλίμακα 12-μήνου.

Σύμφωνα με τα προαναφερθέντα, οι δείκτες ξηρασίας πρέπει να παρέχουν μία σαφή εικόνα της κατάστασης, παρέχοντας τη δυνατότητα ορθού σχεδιασμού και λήψης αποφάσεων με διαφάνεια και αποτελεσματικότητα. Σε αυτό το πλαίσιο, στο Παράρτημα παρουσιάζονται ενδεικτικά αποτελέσματα των δεικτών, σε διάφορα χρονικά βήματα και περιόδους αναφοράς, που απεικονίζουν την κατάσταση ξηρασίας σε όλους τους εξεταζόμενους σταθμούς, με έμφαση στα ακόλουθα:

[Παράρτημα Α]

Δείκτης SPI - μηνιαίο χρονικό βήμα, 12-μηνιαία χρονική κλίμακα: Η 12-μηνιαία χρονική κλίμακα είναι κατάλληλη για τον προσδιορισμό της γενικής υδρολογικής κατάστασης της περιοχής. Το μηνιαίο βήμα υπολογισμού δίνει μία εικόνα της πορείας του φαινομένου της ξηρασίας, παρέχοντας στοιχεία για τη διάρκεια των ξηρών περιόδων (έναρξη και λήξη), καθώς επίσης και για την έντασή τους. Στα διαγράμματα που παρουσιάζονται, με μπλε χρώμα εμφανίζονται οι υγρές περίοδοι, ενώ με κόκκινο οι ξηρές περίοδοι, εμφανίζοντας με σαφή τρόπο τόσο την περίοδο της ξηρασίας, όσο και της έντασής της. Η προσέγγιση αυτή είναι κατάλληλη για την διαρκή παρακολούθηση του φαινομένου, χωρίς να δίνει όμως έμφαση σε συγκεκριμένες περιόδους του έτους.

[Παράρτημα Β]

Δείκτης SPI - ετήσιο χρονικό βήμα, 12-μηνιαία χρονική κλίμακα (περίοδος αναφοράς Οκτ. - Σεπτ.): Με το ετήσιο χρονικό βήμα υπολογισμού δίνεται έμφαση στη συγκεκριμένη περίοδο αναφοράς (Οκτ. - Σεπτ.) που αντιστοιχεί στο υδρολογικό έτος. Με αυτόν τον τρόπο η διαθέσιμη πληροφορία εντοπίζεται στις συνθήκες που επικρατούν κατά το σύνολο του συγκεκριμένου υδρολογικού έτους, χαρακτηρίζοντάς ως υγρό ή ξηρό, χωρίς να παρέχεται υπερβολική πληροφορία (όπως με το μηνιαίο χρονικό βήμα) που ενδέχεται να αποπροσανατολίσει τον χρήστη. Το επίπεδο έντασης της ξηρασίας εμφανίζεται με διακριτά χρώματα (σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση του Πίνακα 1), παρέχοντας άμεση εικόνα των συνθηκών για κάθε έτος.

[Παράρτημα Γ]

Δείκτης Precipitation Deciles - ετήσιο χρονικό βήμα, 12-μηνιαία χρονική κλίμακα (περίοδος αναφοράς Οκτ. - Σεπτ.): Αντίστοιχα με την προηγούμενη περίπτωση, εξετάζονται οι συνθήκες κάθε υδρολογικού έτους βάσει του δείκτη Precipitation Deciles, παρέχοντας συμπληρωματικές πληροφορίες σε σχέση με τον SPI. Οι

κατηγοριοποίηση γίνεται επίσης με διακριτά χρώματα, ανάλογα με τις κλάσεις του Πίνακα 2.

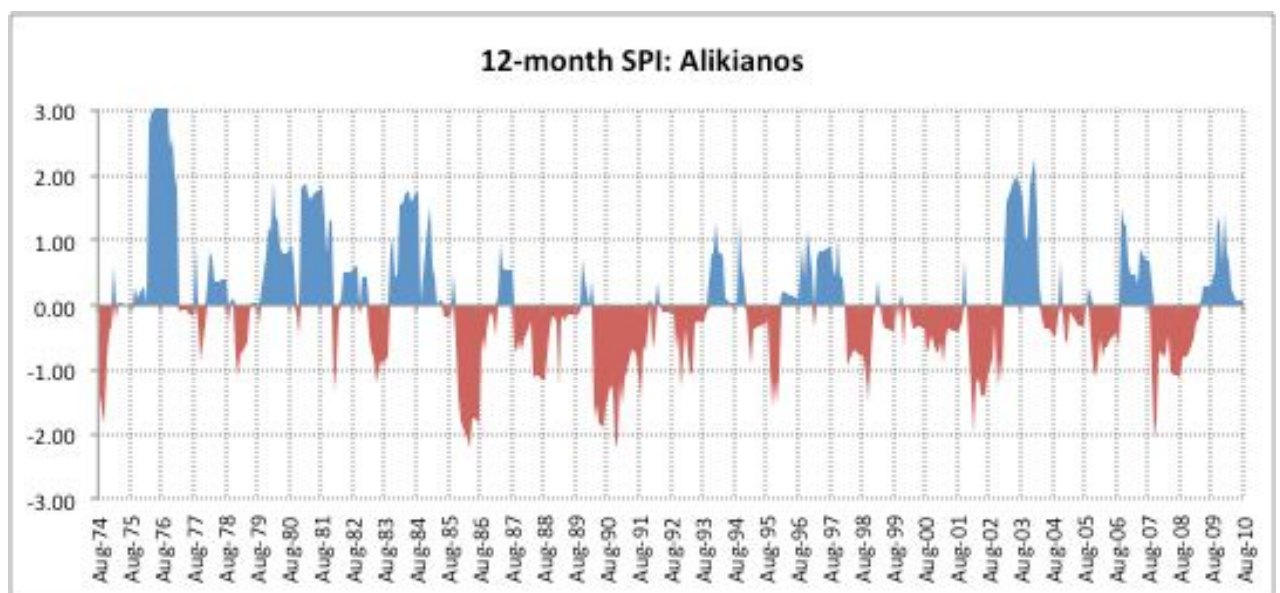
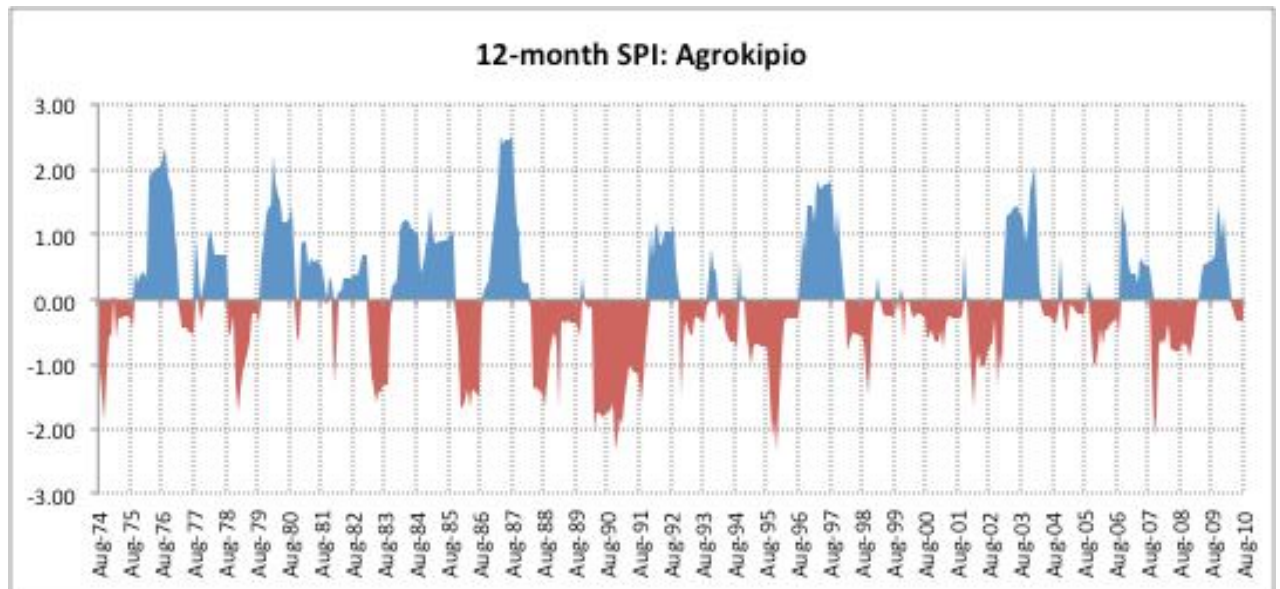
[Παράρτημα Δ]

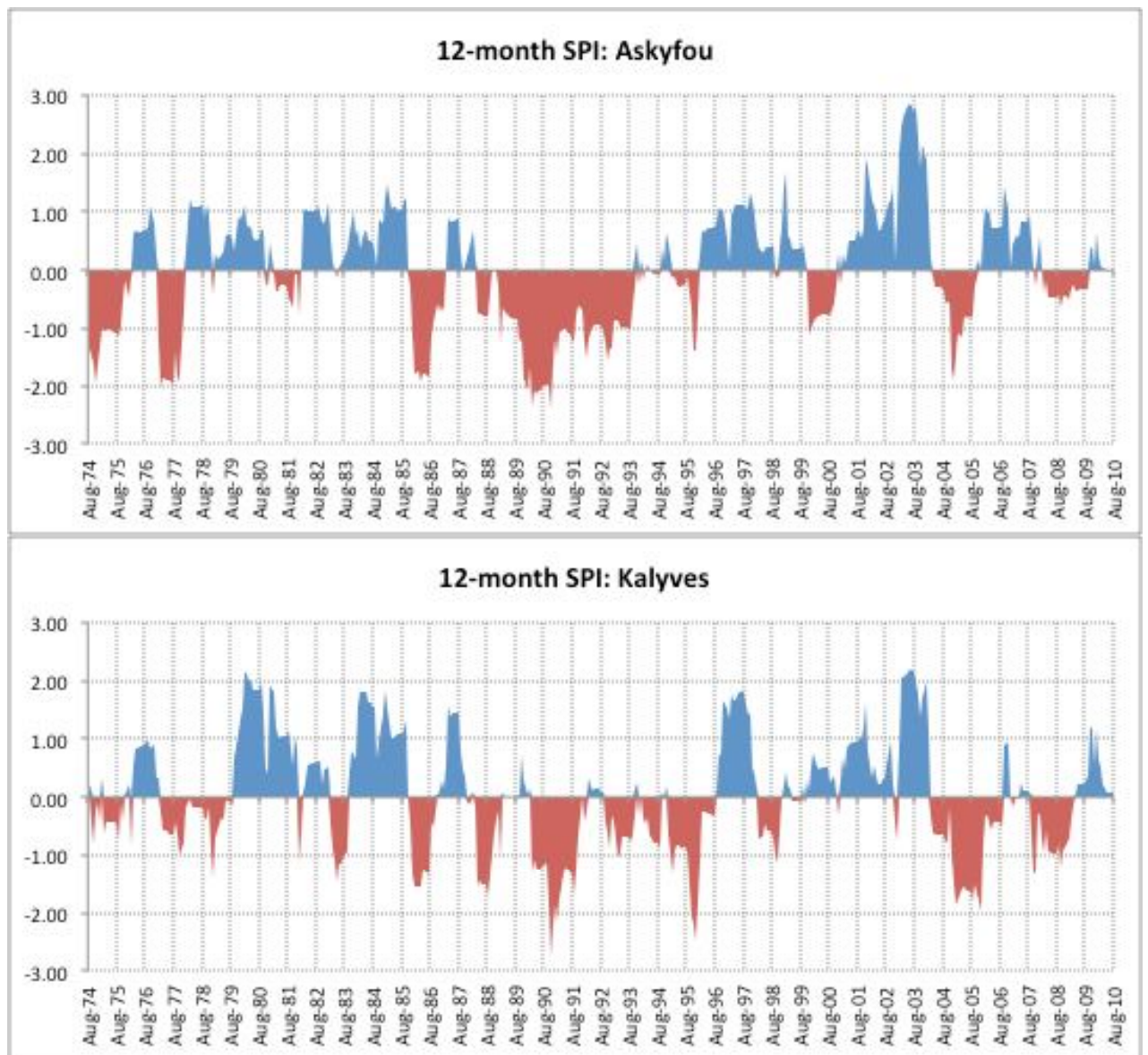
Δείκτης aSPI - ετήσιο χρονικό βήμα, 6-μηνιαία χρονική κλίμακα (περίοδος αναφοράς Δεκ. - Μάιος): Για τον προσδιορισμό της γεωργικής ξηρασίας, παρουσιάζεται ο δείκτης aSPI, σε ετήσιο χρονικό βήμα, με περίοδο αναφοράς Δεκέμβριος – Μάιος, που αντιστοιχεί στα κρίσιμότερα στάδια ανάπτυξης μιας τυπικής ξηρικής καλλιέργειας χειμερινών σιτηρών. Η ερμηνεία και το επίπεδο έντασης της ξηρασίας γίνεται κατ' αντίστοιχο τρόπο με τον δείκτη SPI (ετήσιο χρονικό βήμα).

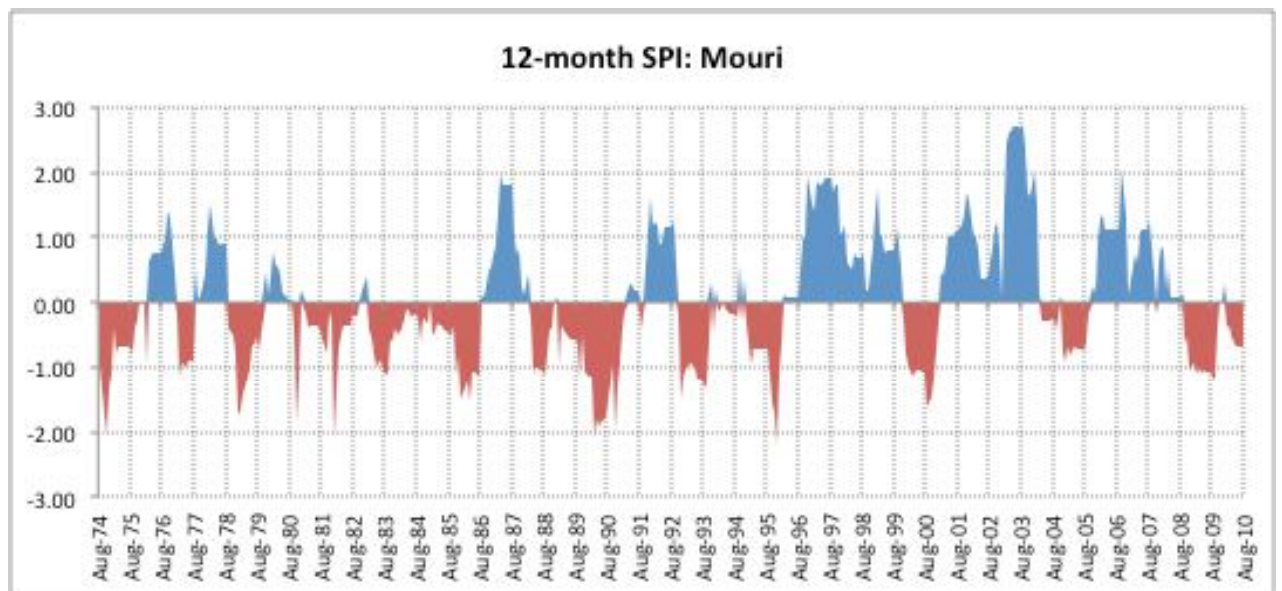
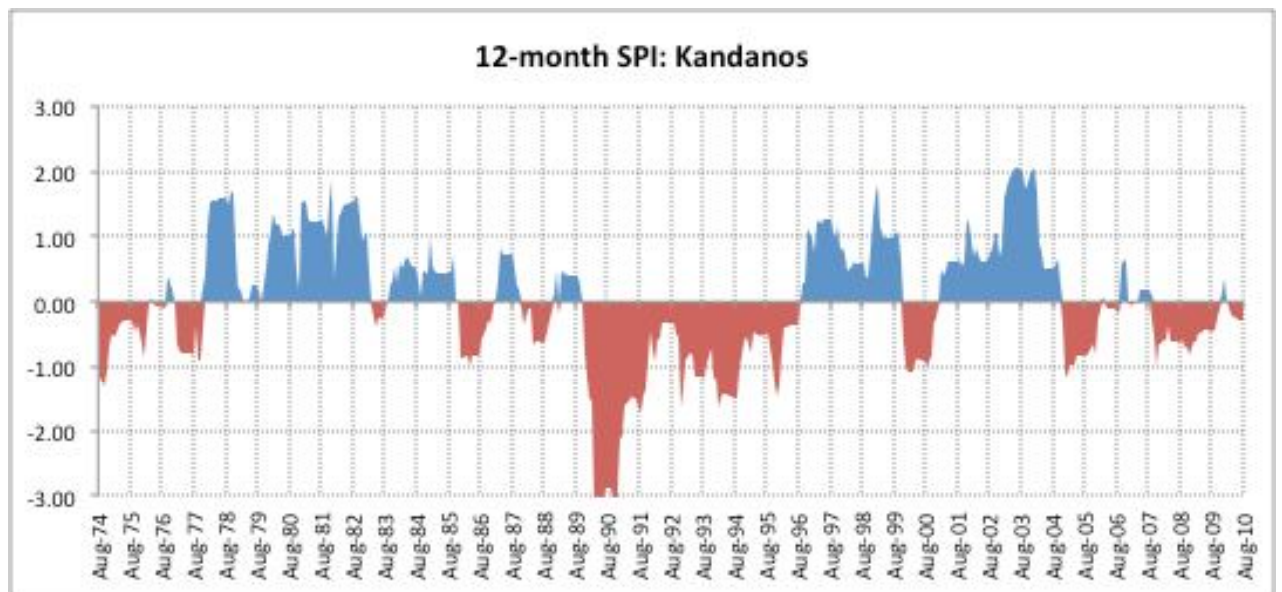
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Δείκτης SPI - μηνιαίο χρονικό βήμα, 12-μηνια χρονική κλίμακα

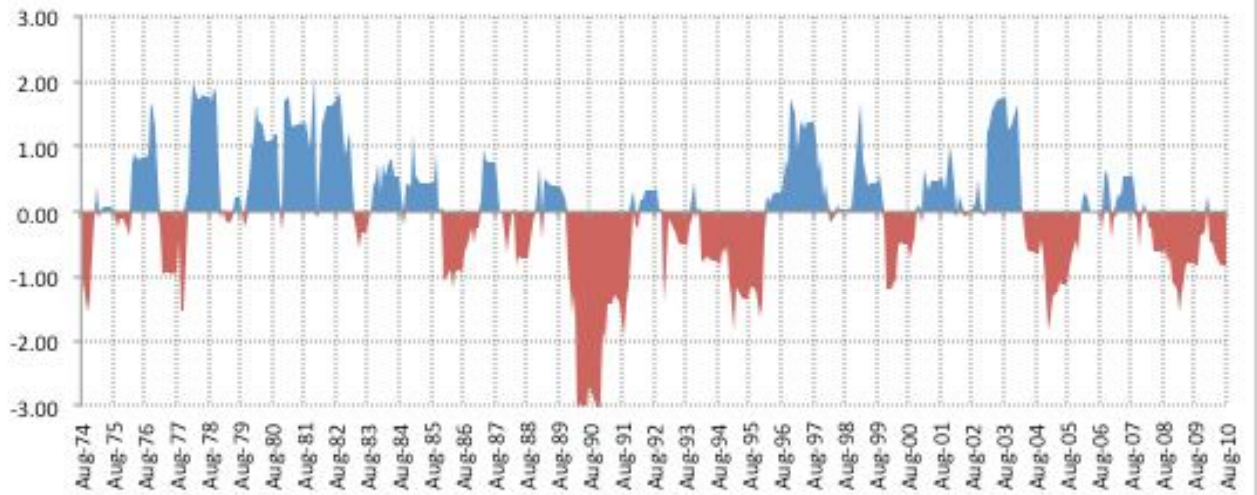
Χανιά



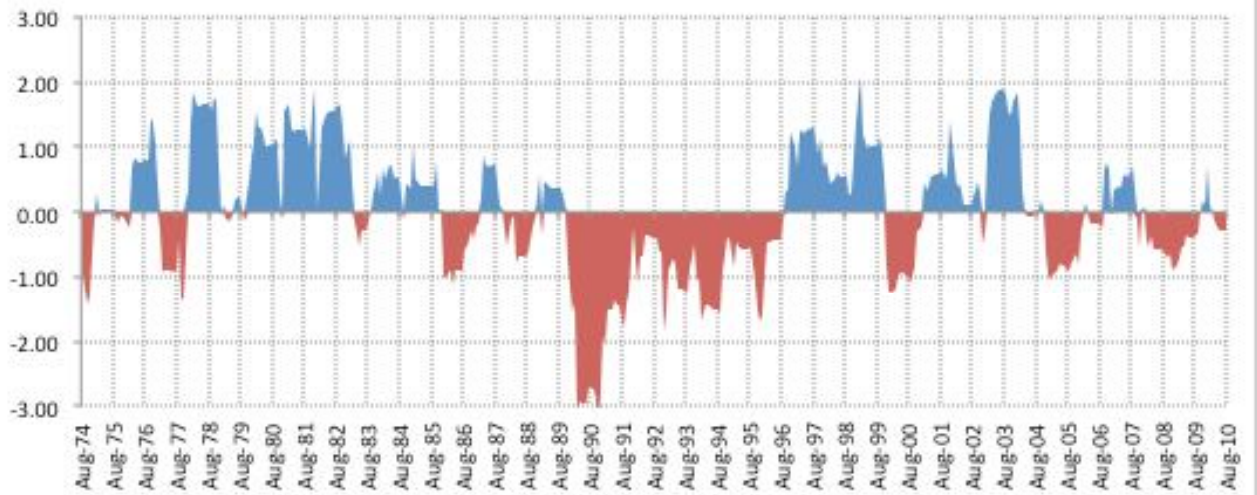


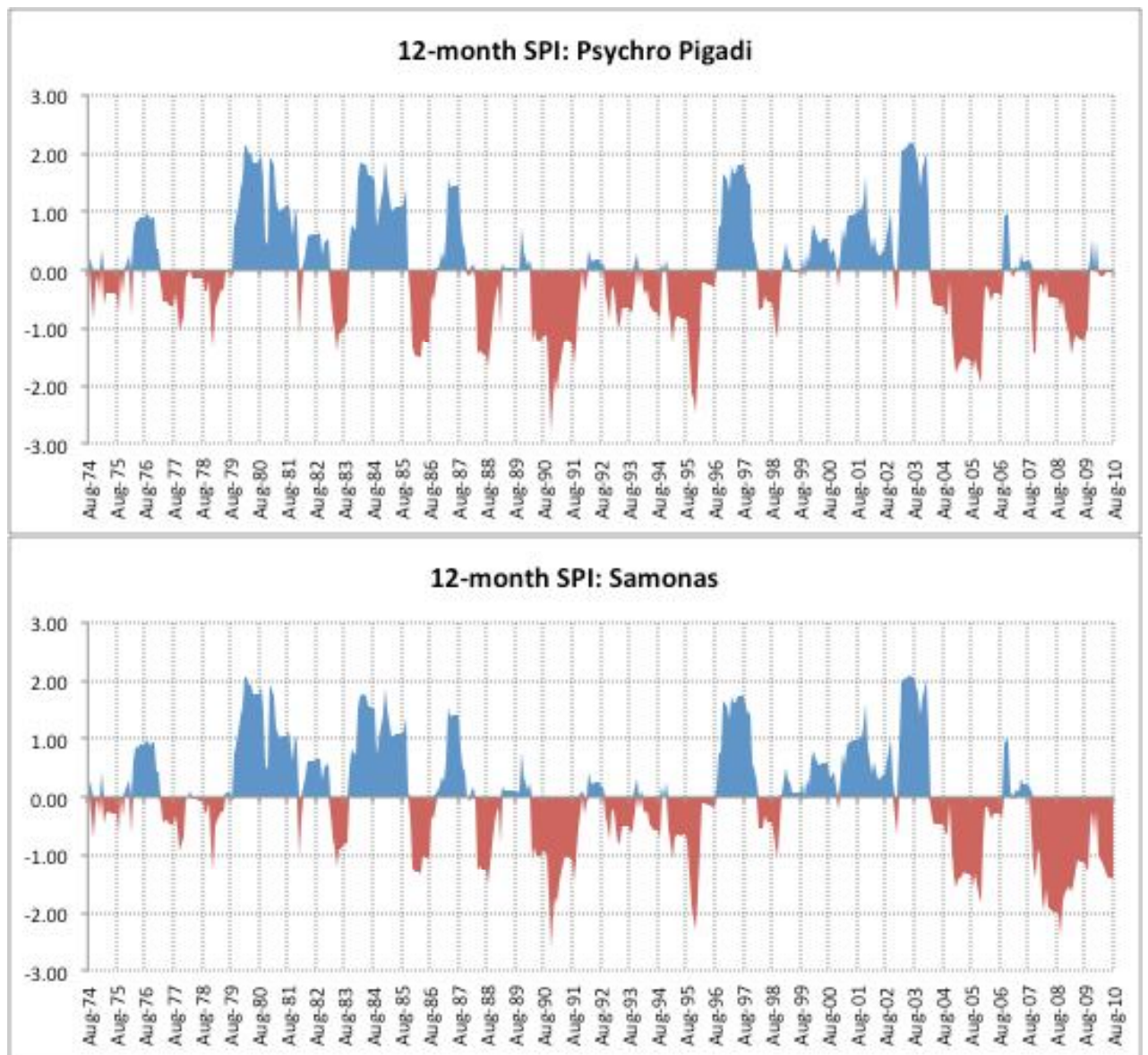


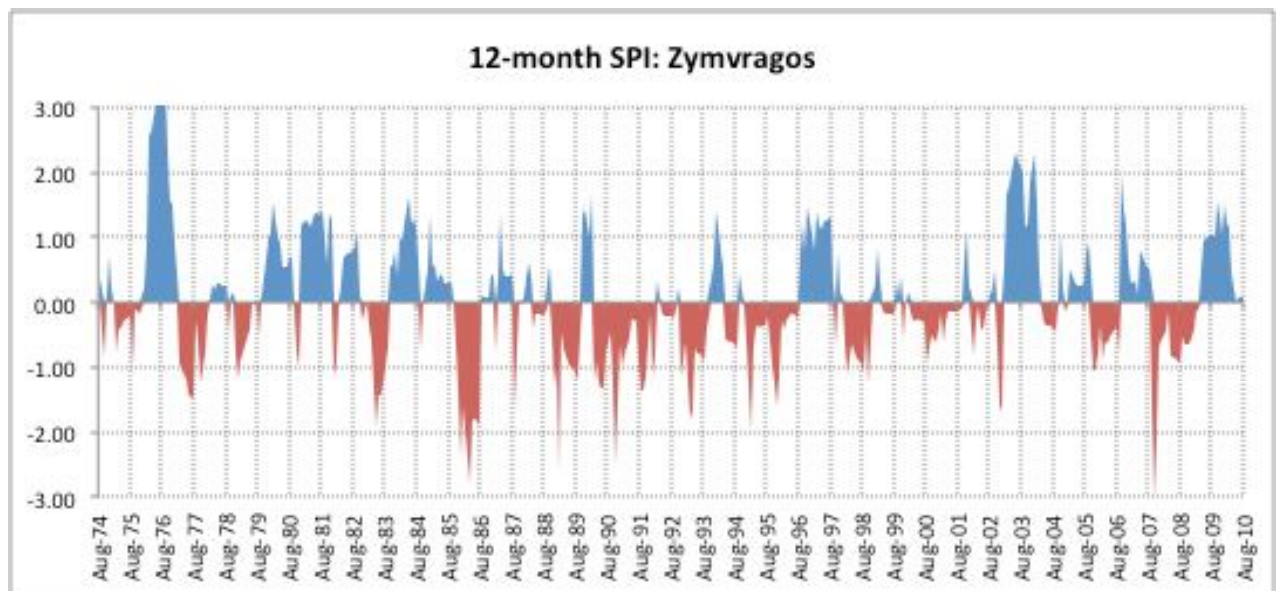
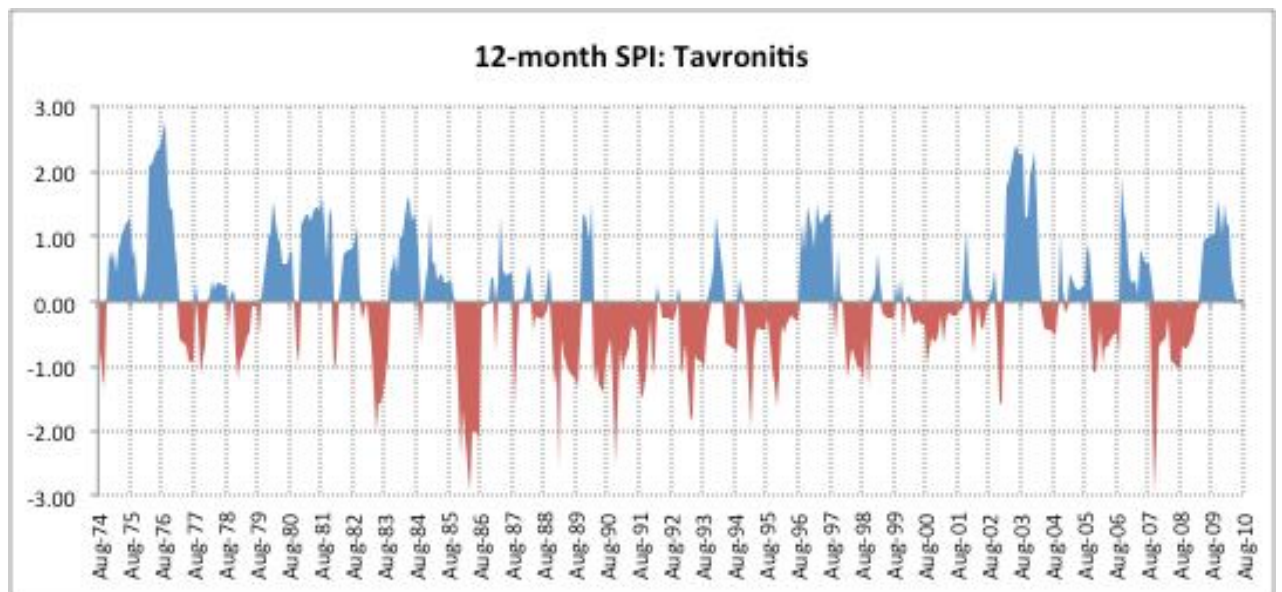
12-month SPI: Palaia Roumata



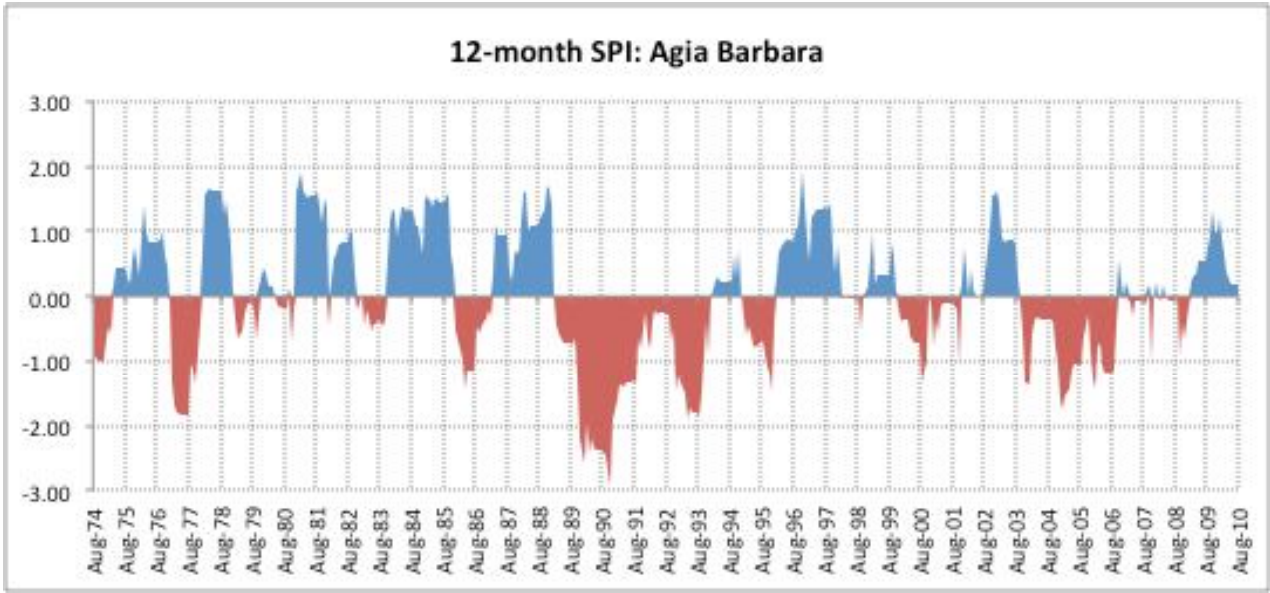
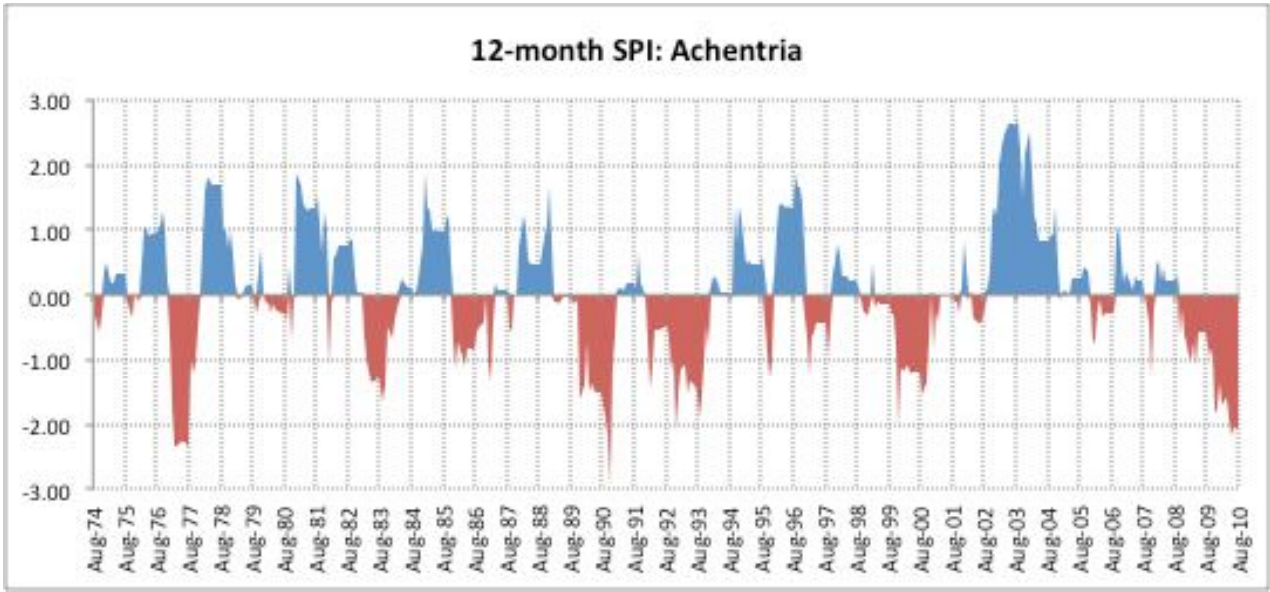
12-month SPI: Prasses



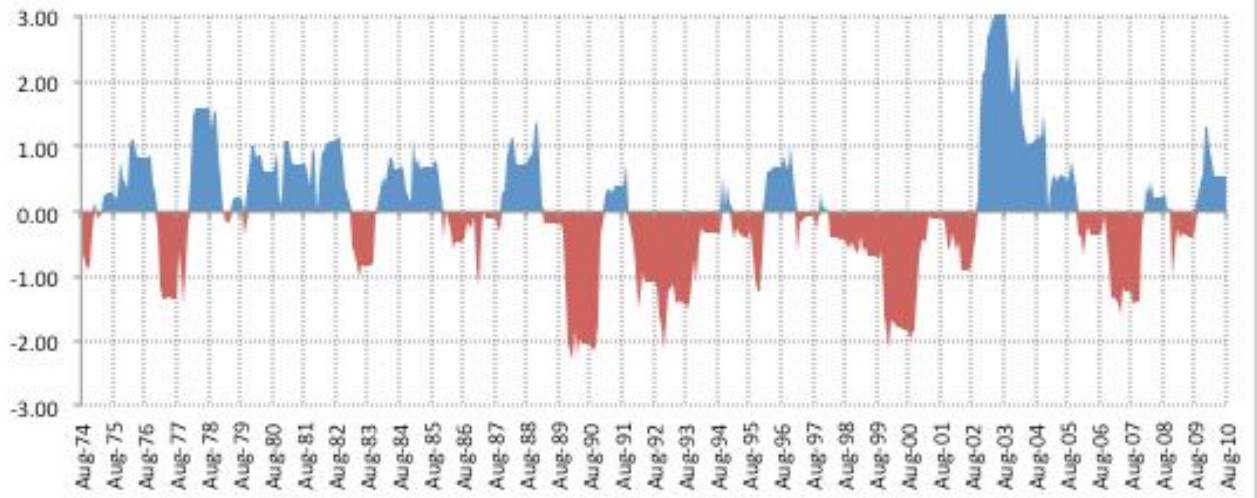




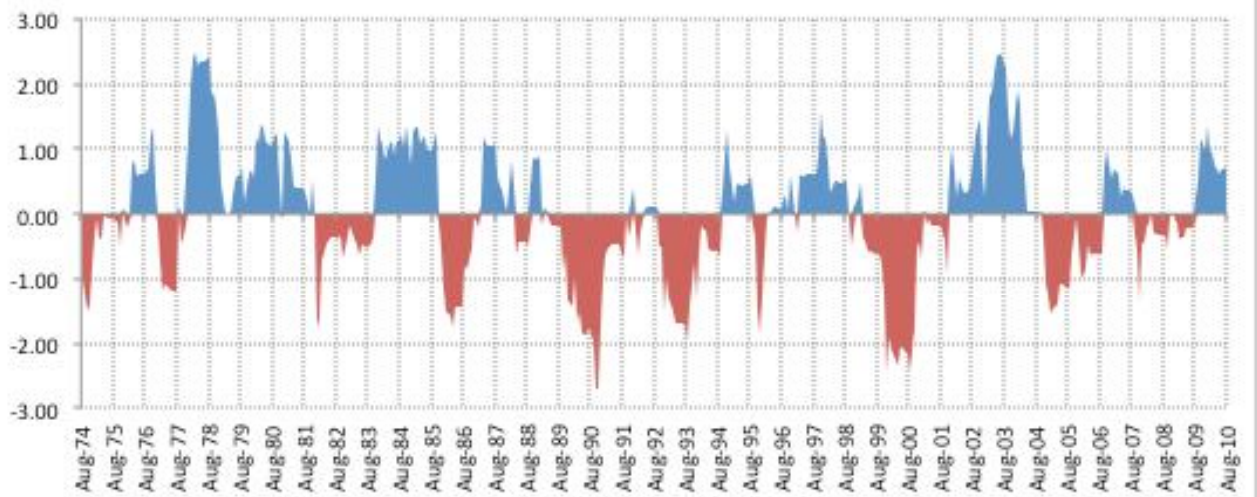
Ηράκλειο

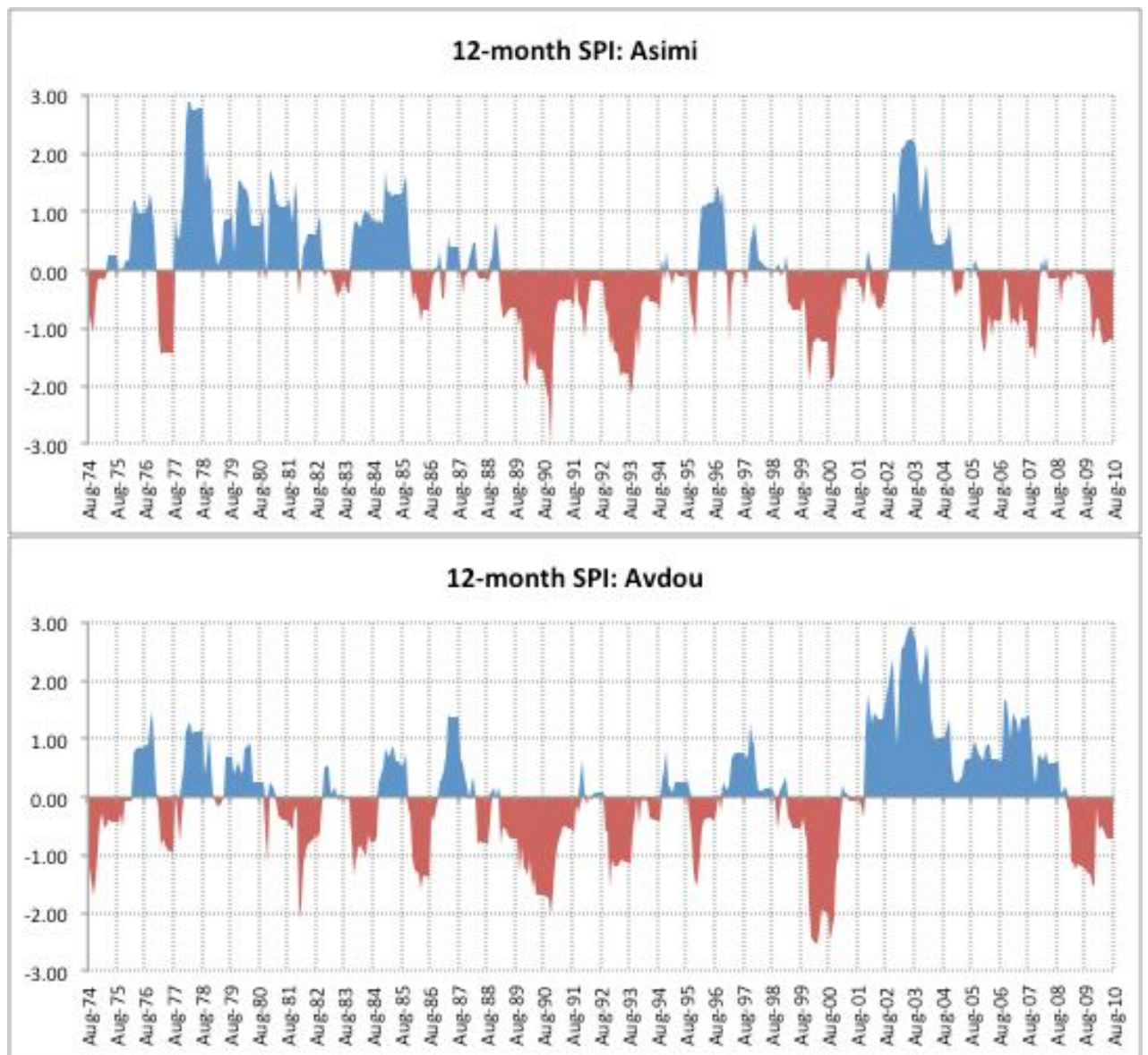


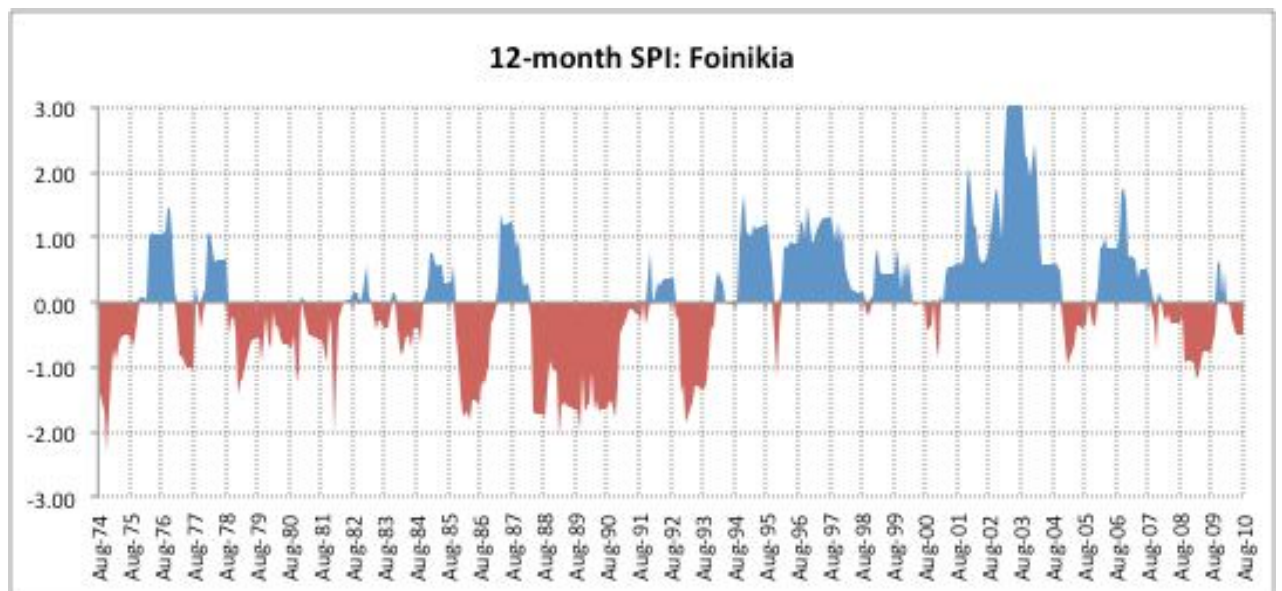
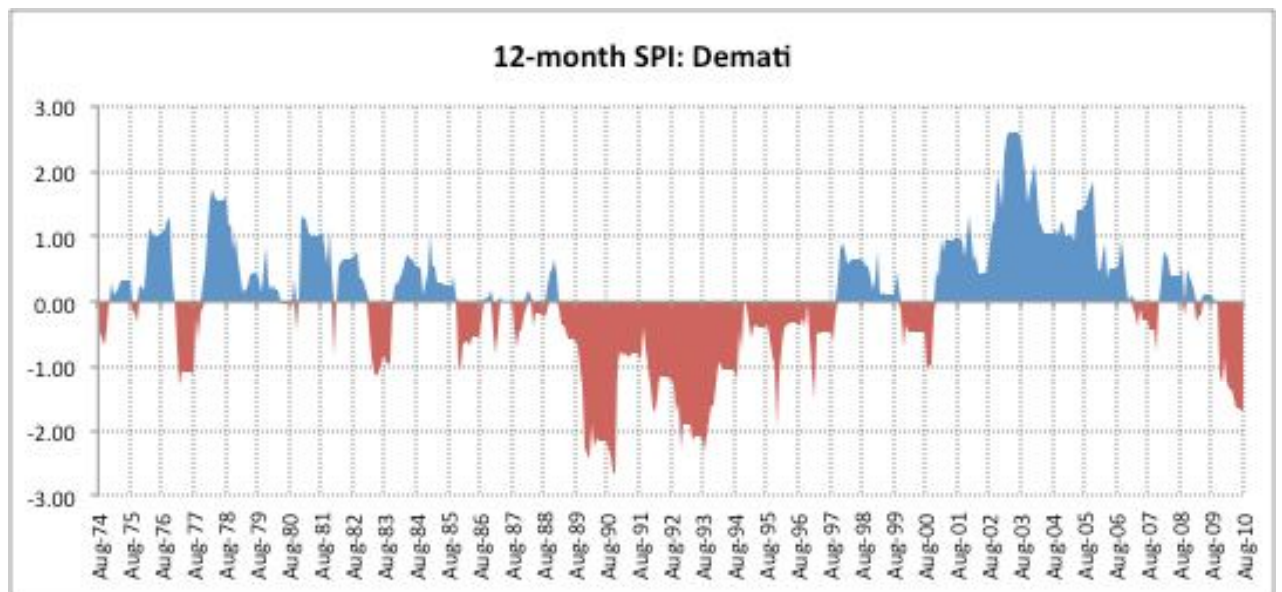
12-month SPI: Agios Kyrillos

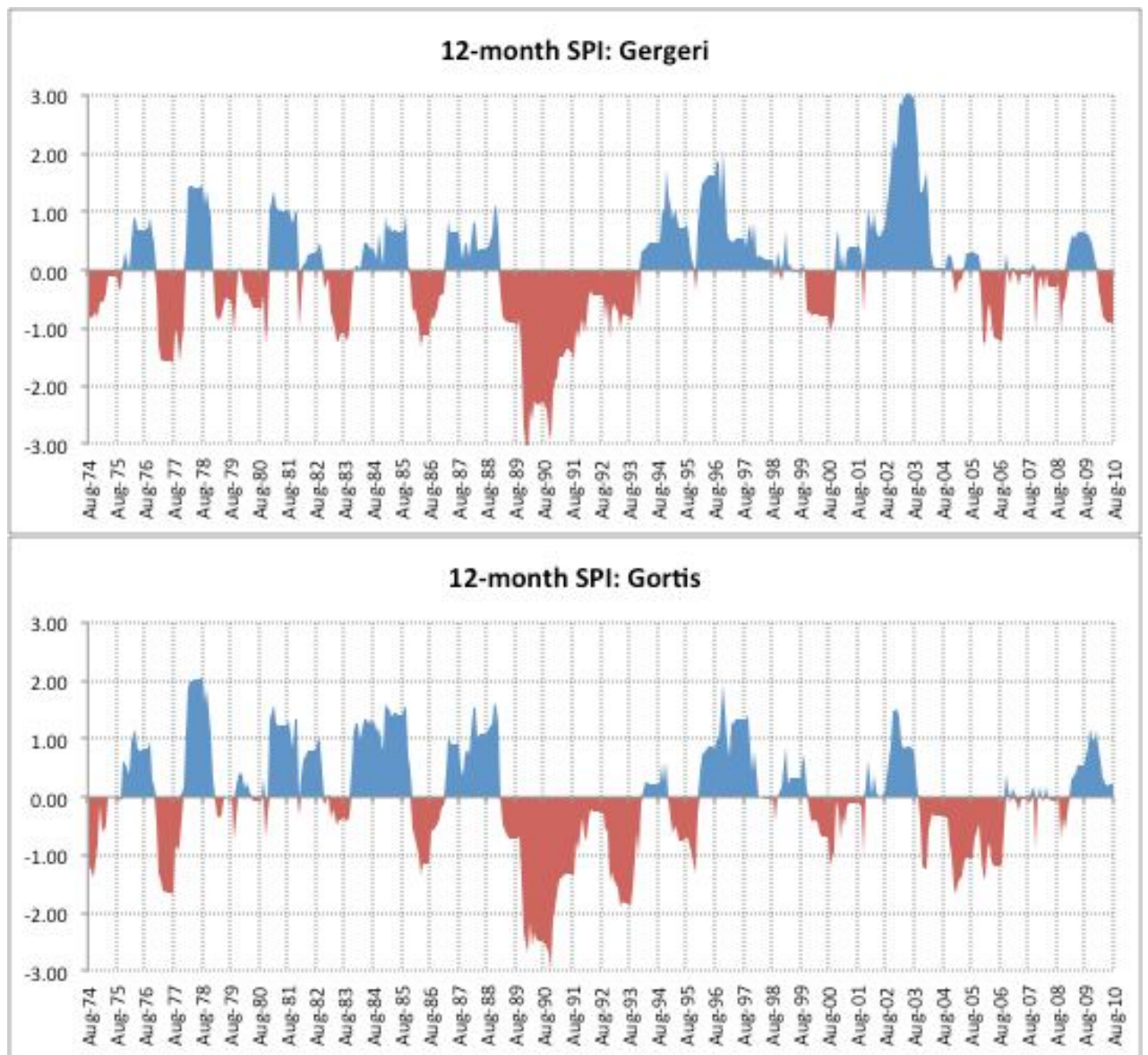


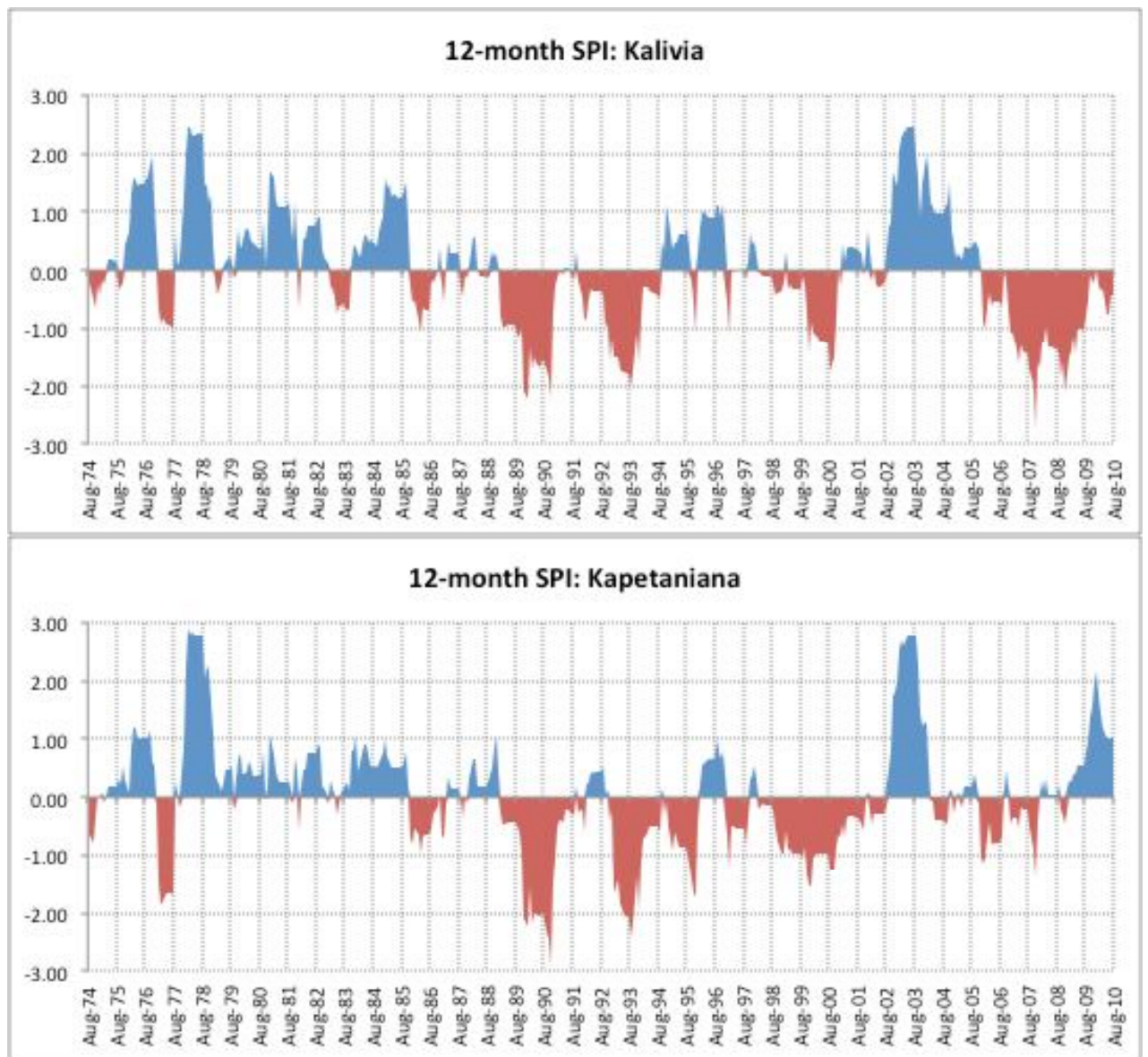
12-month SPI: Armacha



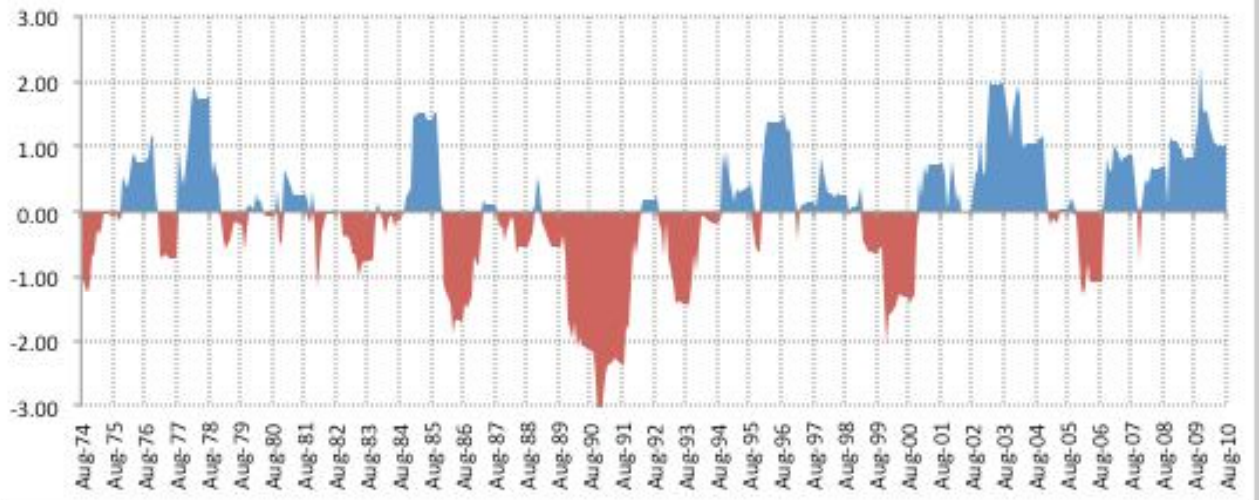




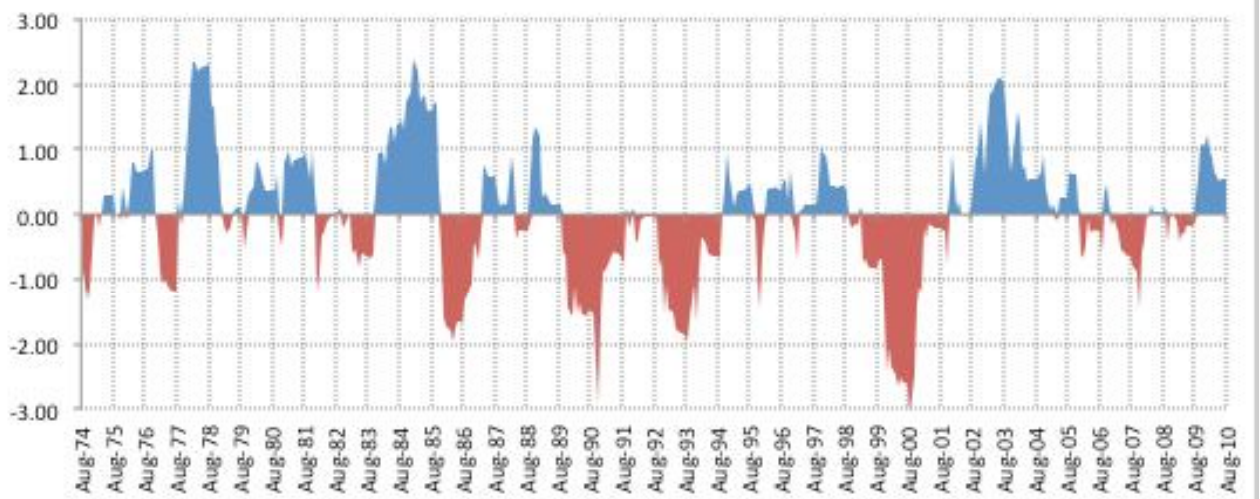


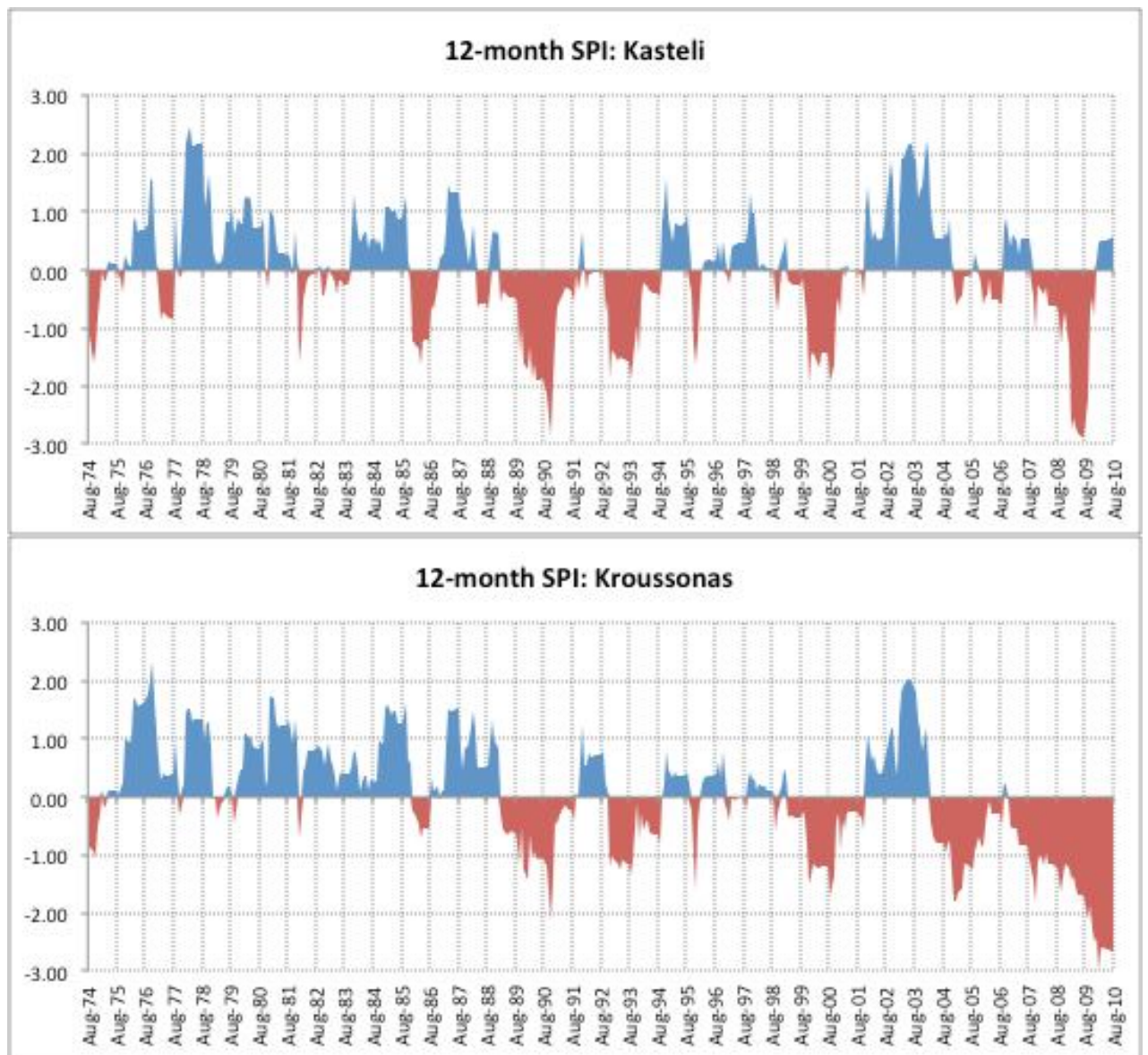


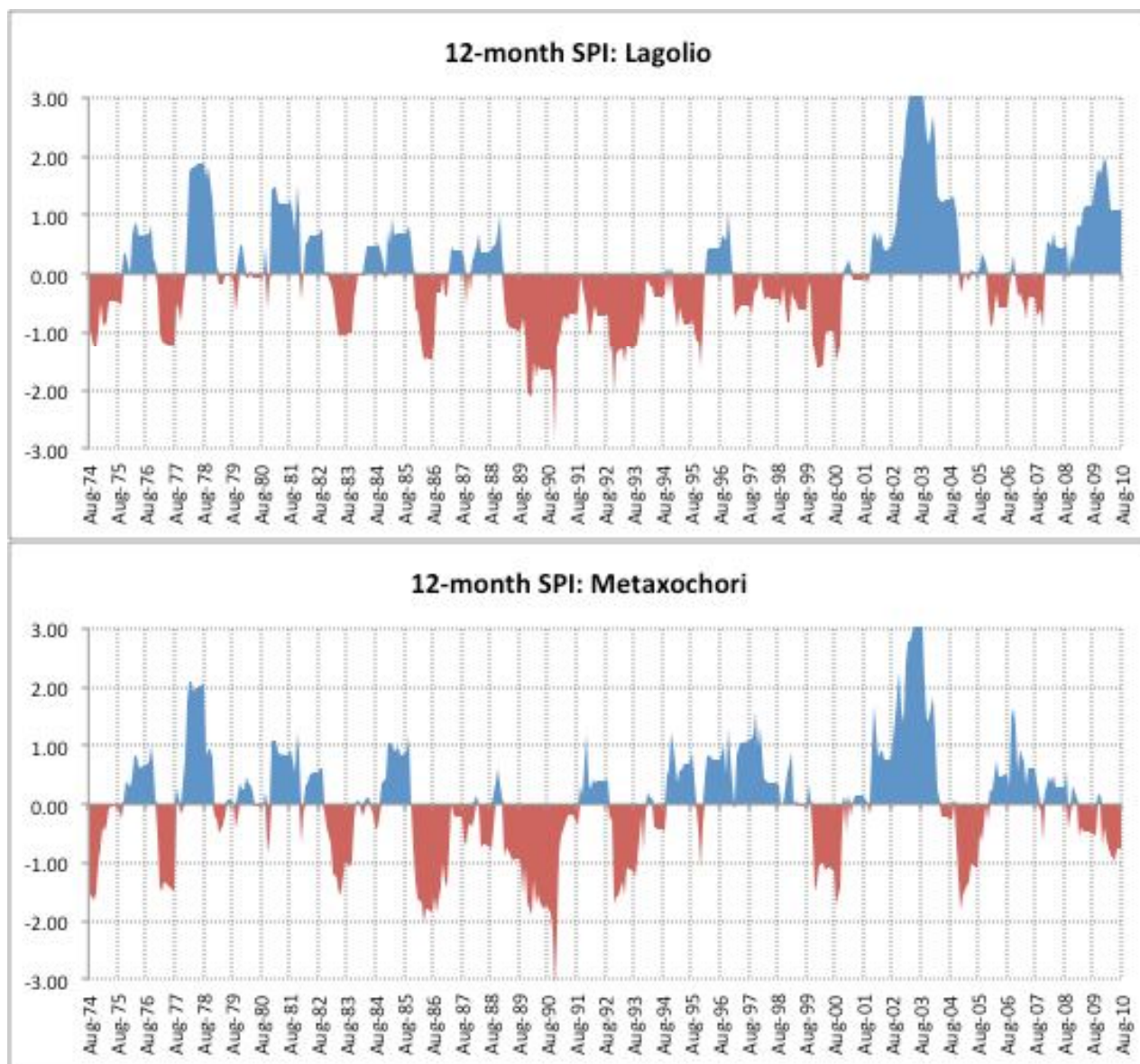
12-month SPI: Kapsali

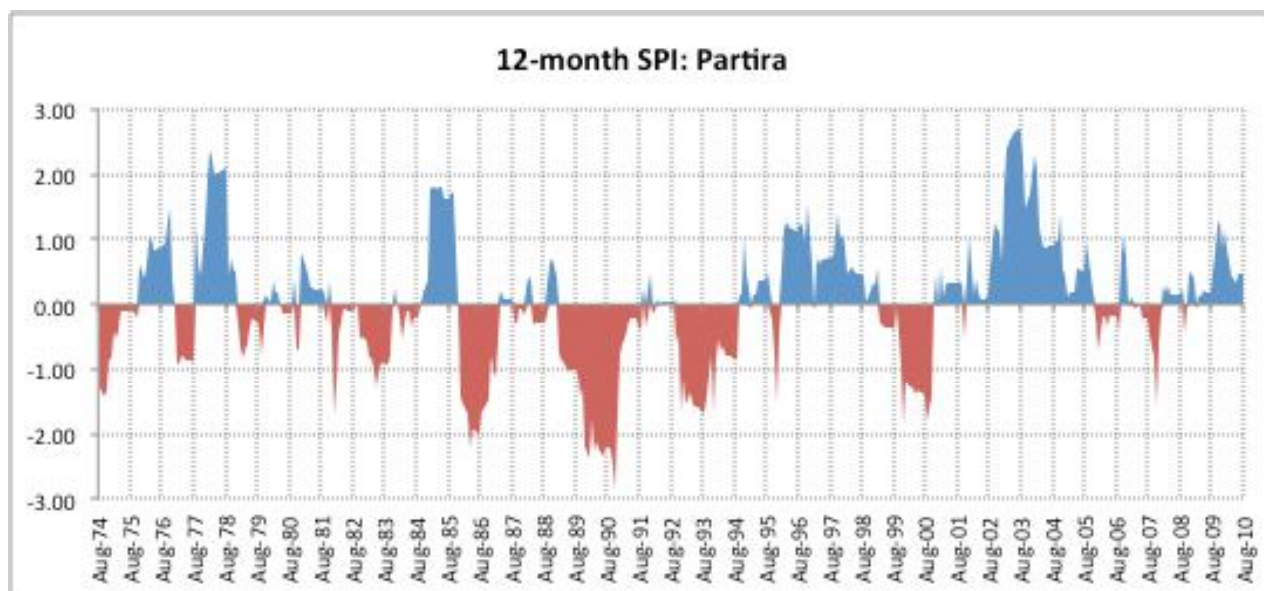
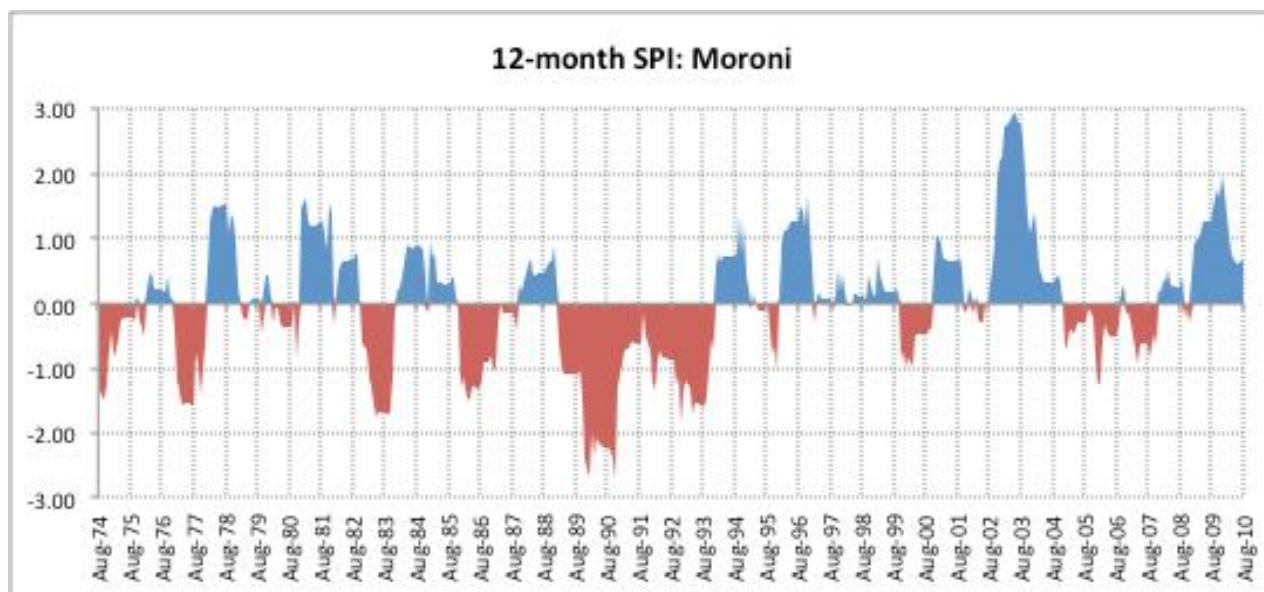


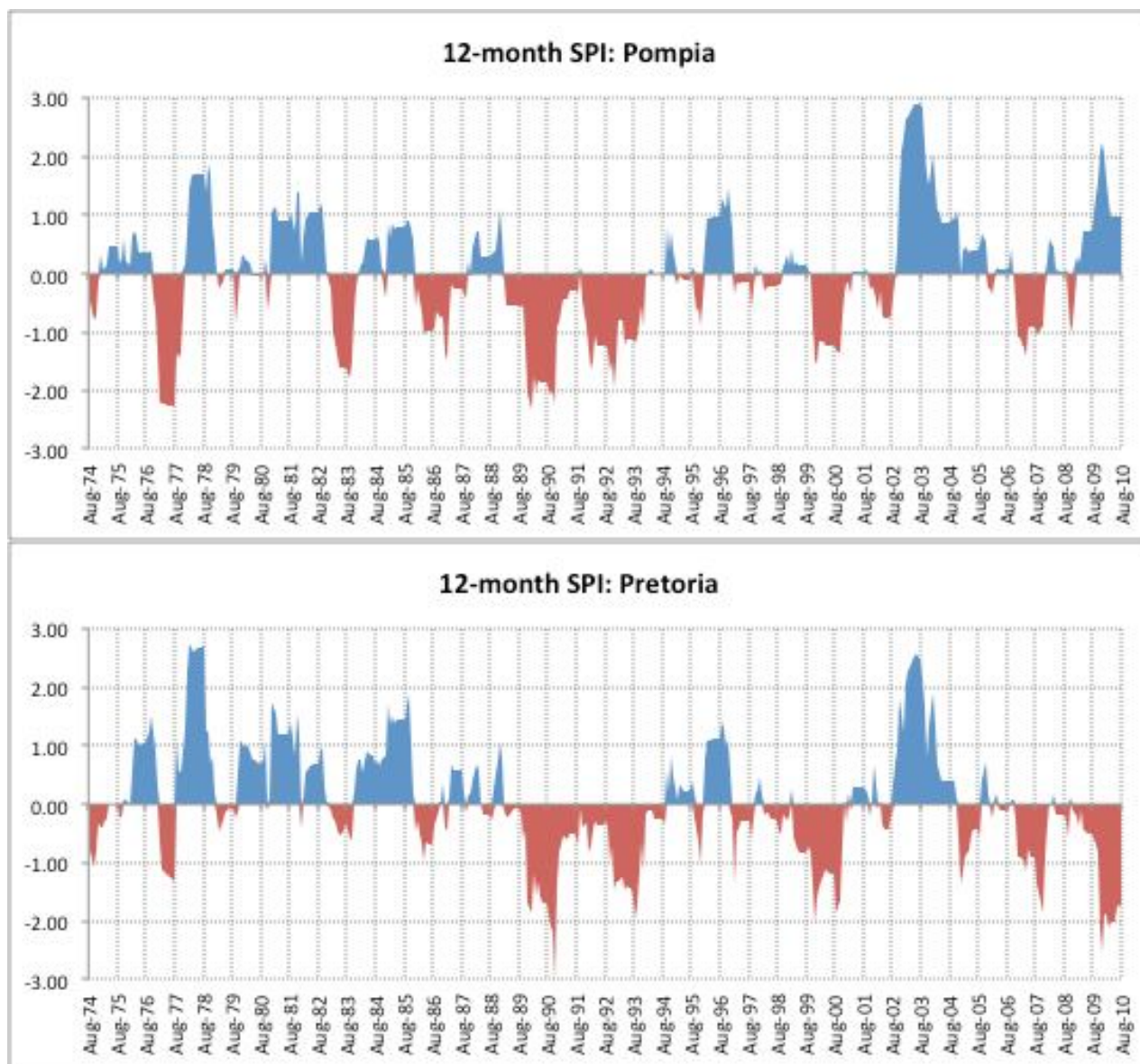
12-month SPI: Kassanoi



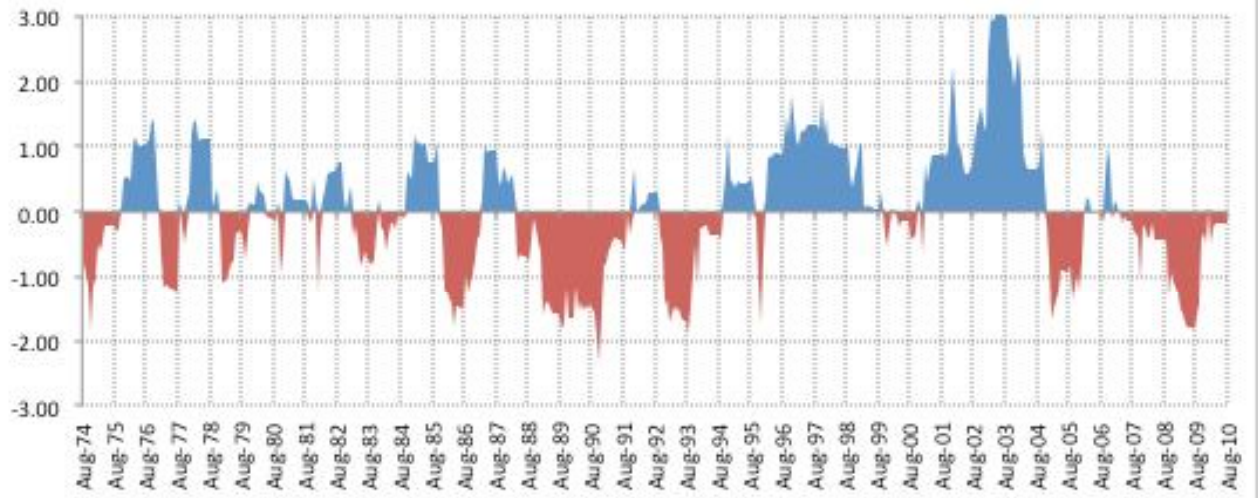




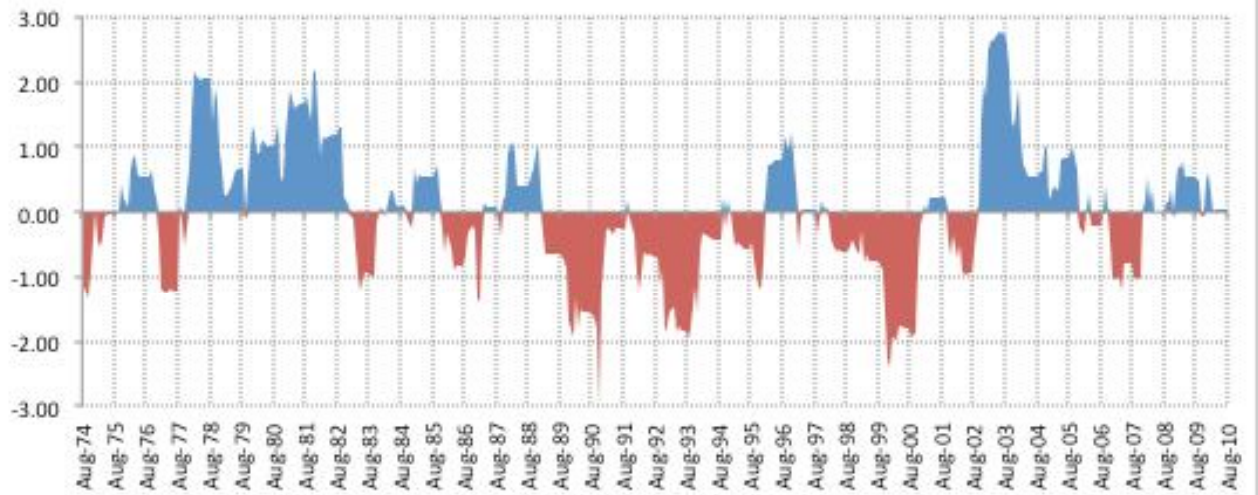


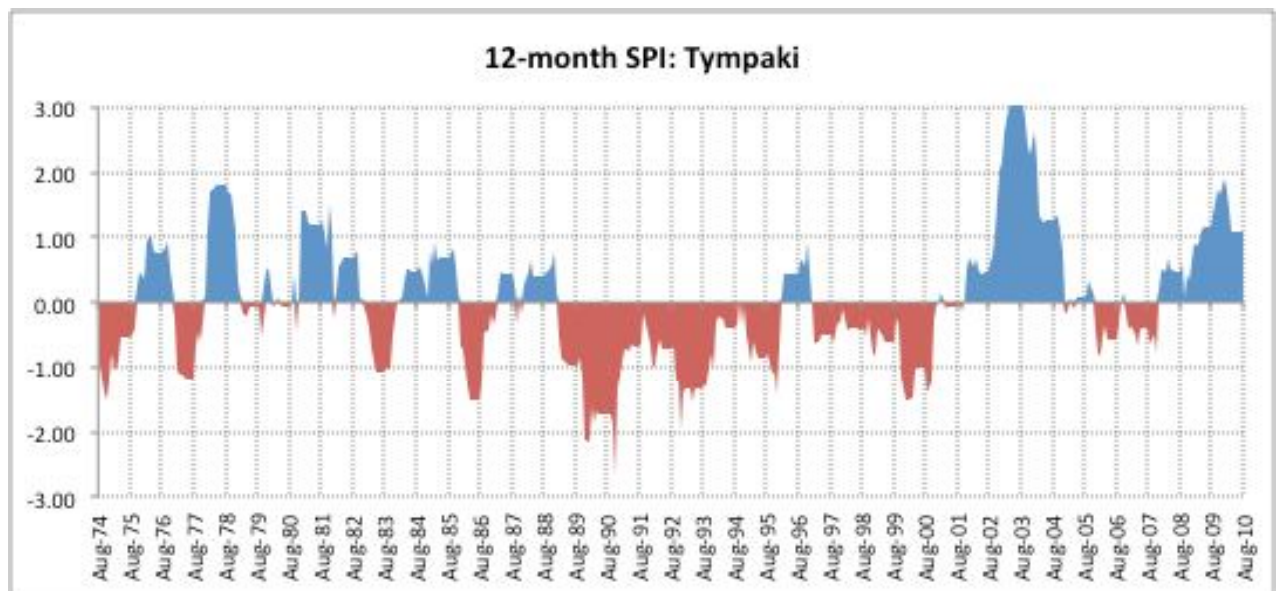
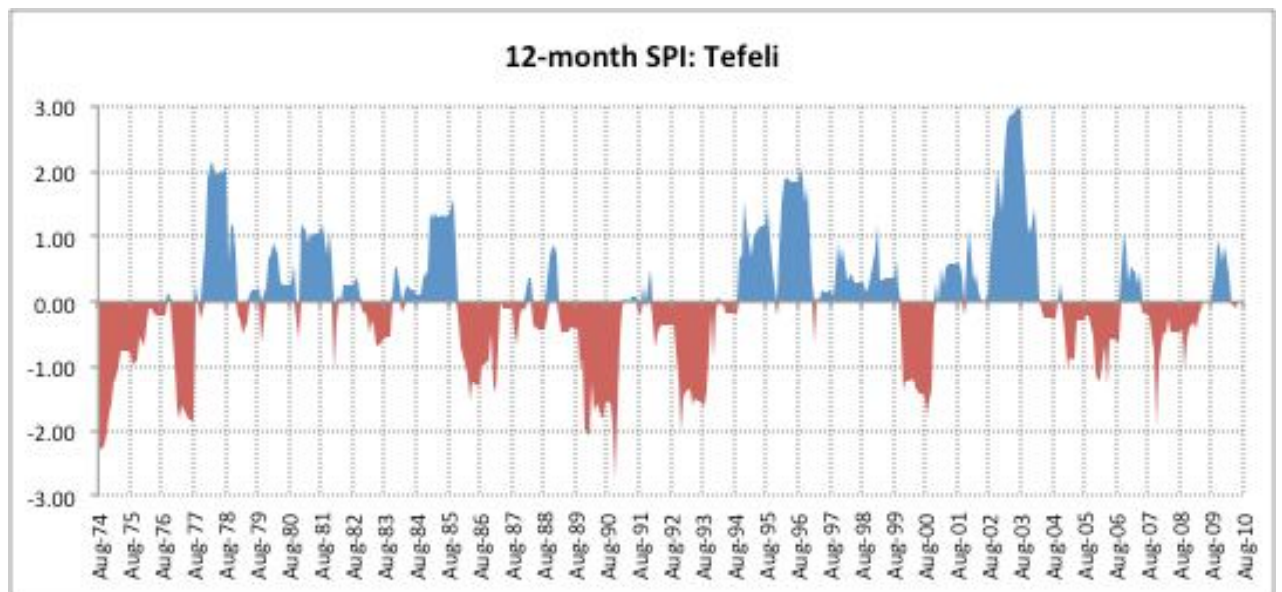


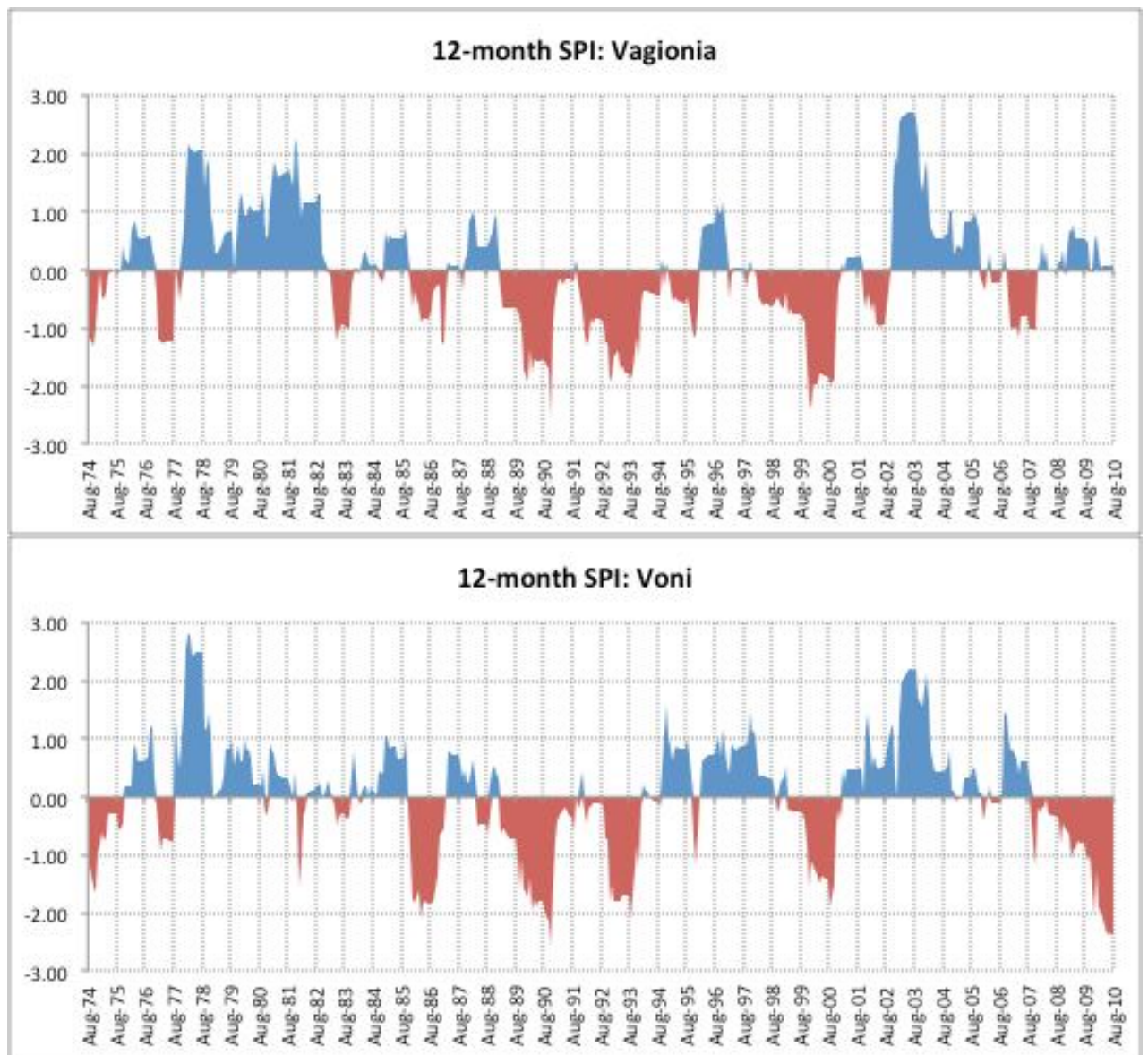
12-month SPI: Profitis Ilias

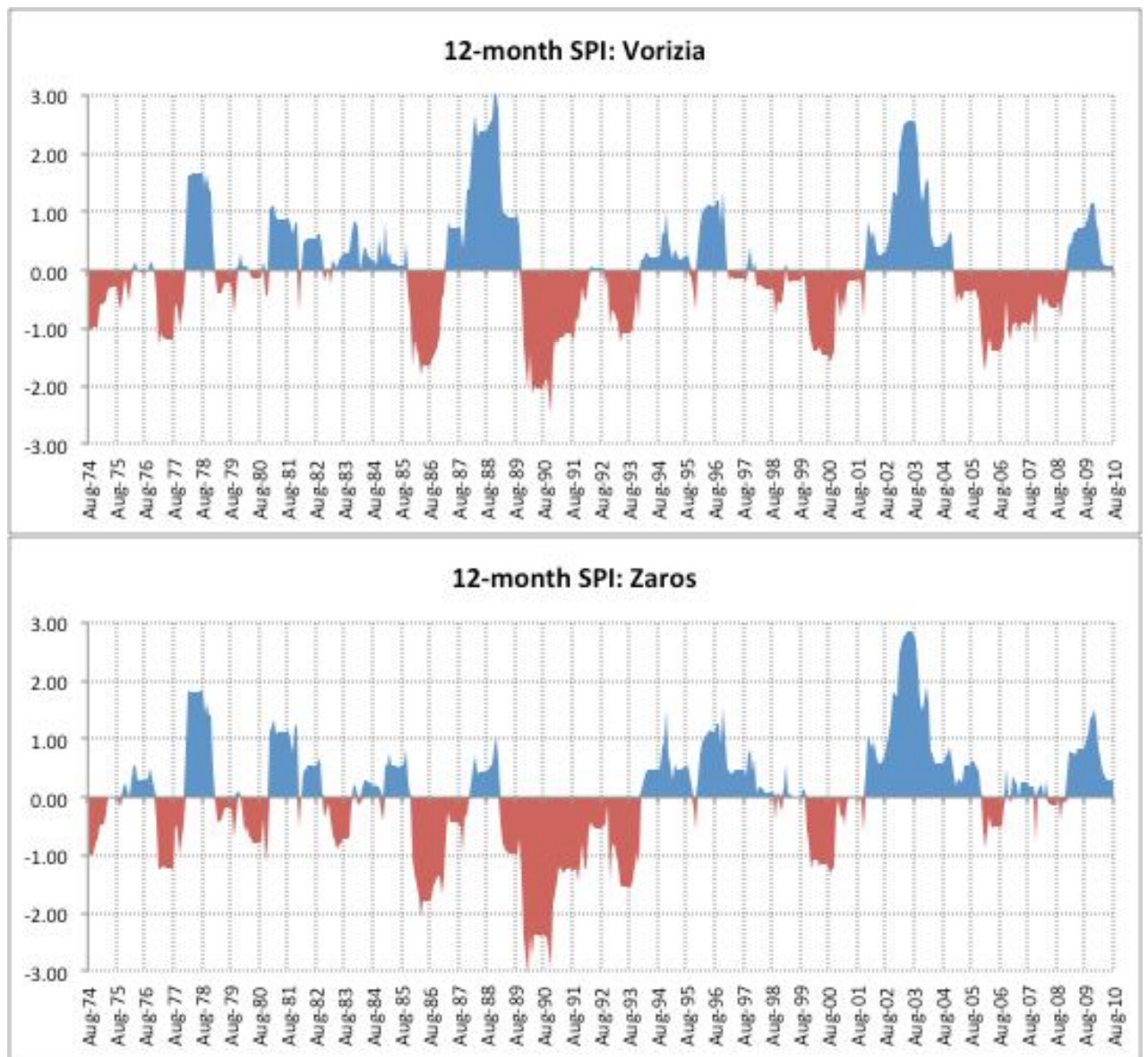


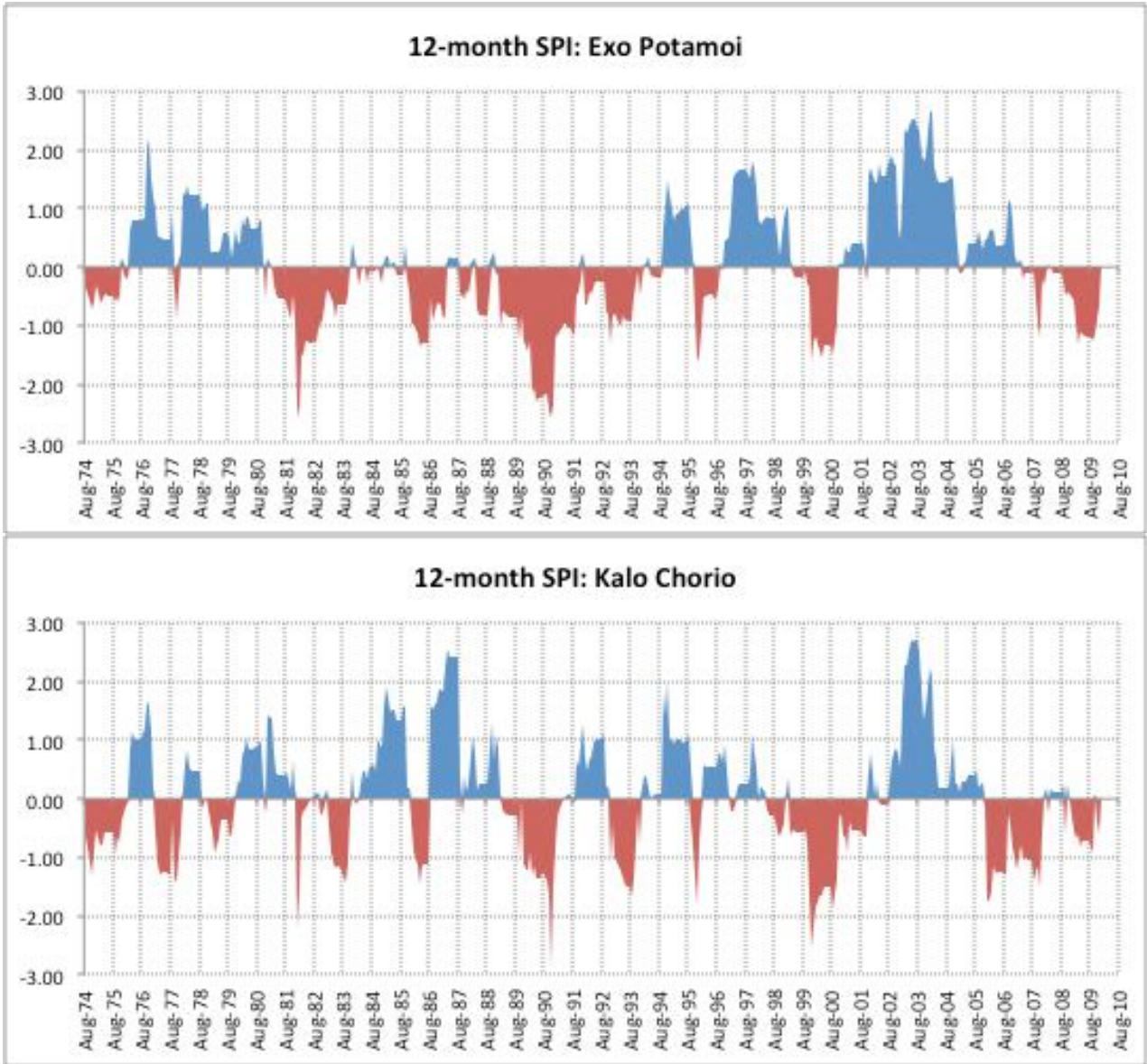
12-month SPI: Sternes

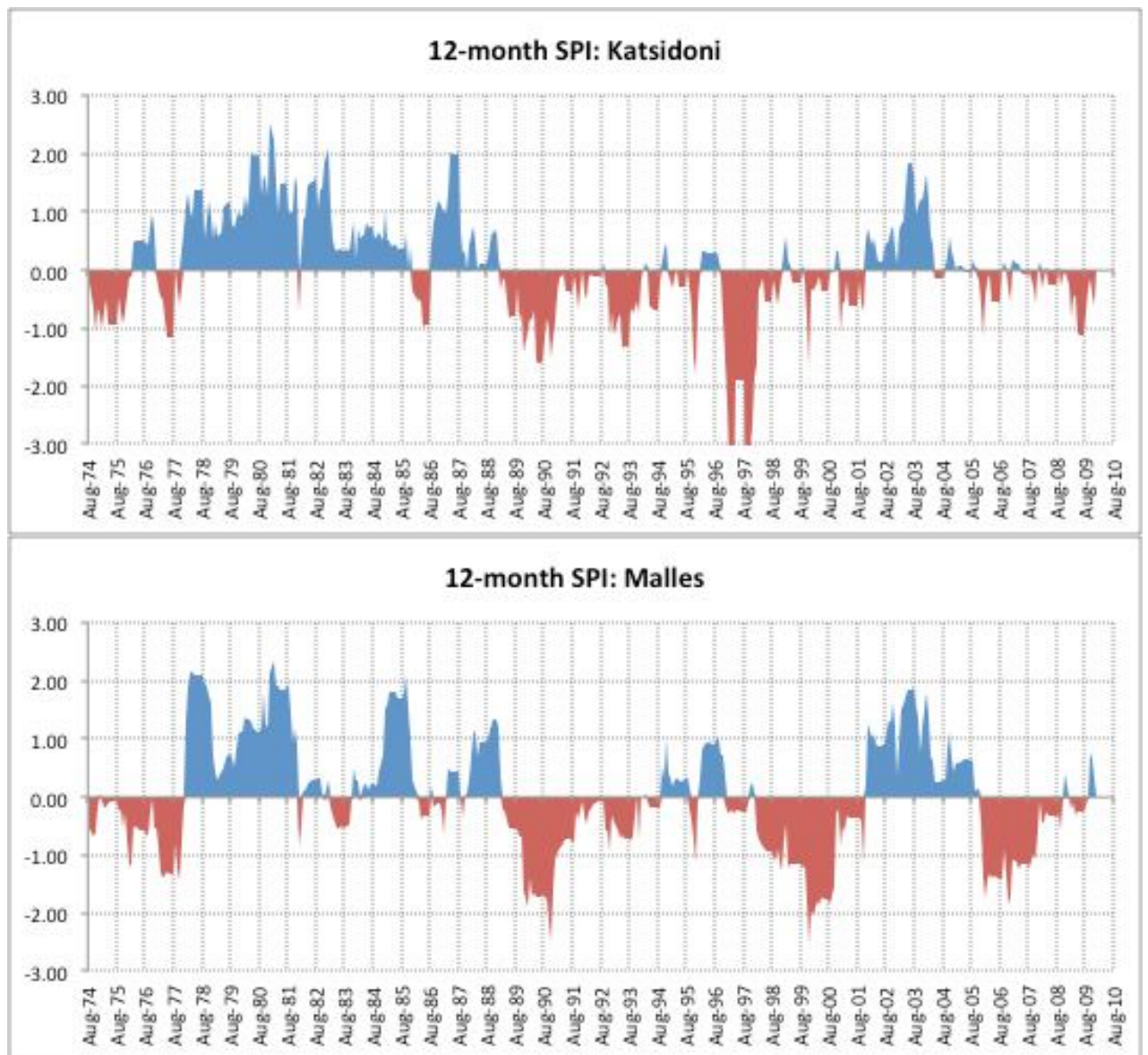


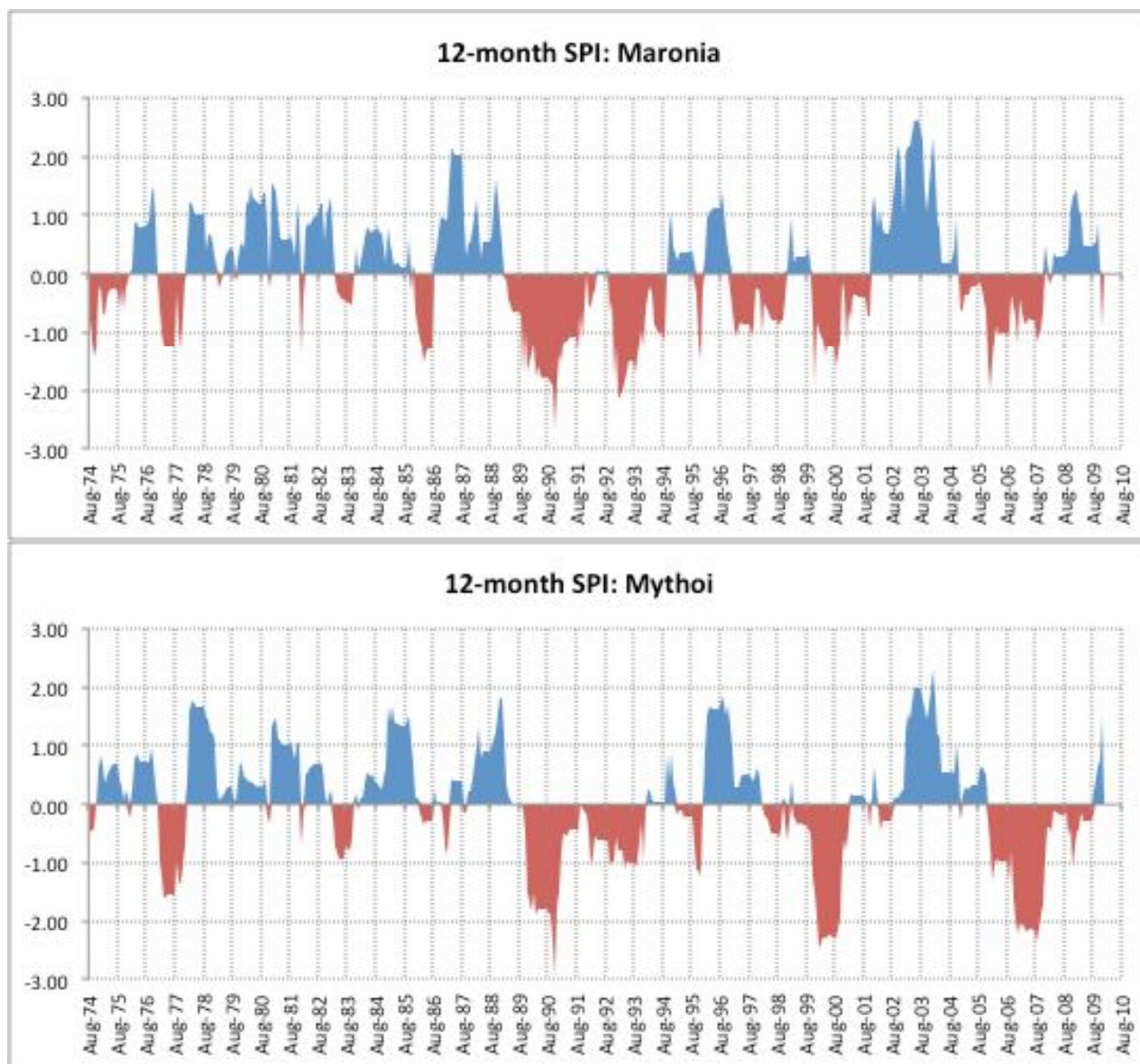


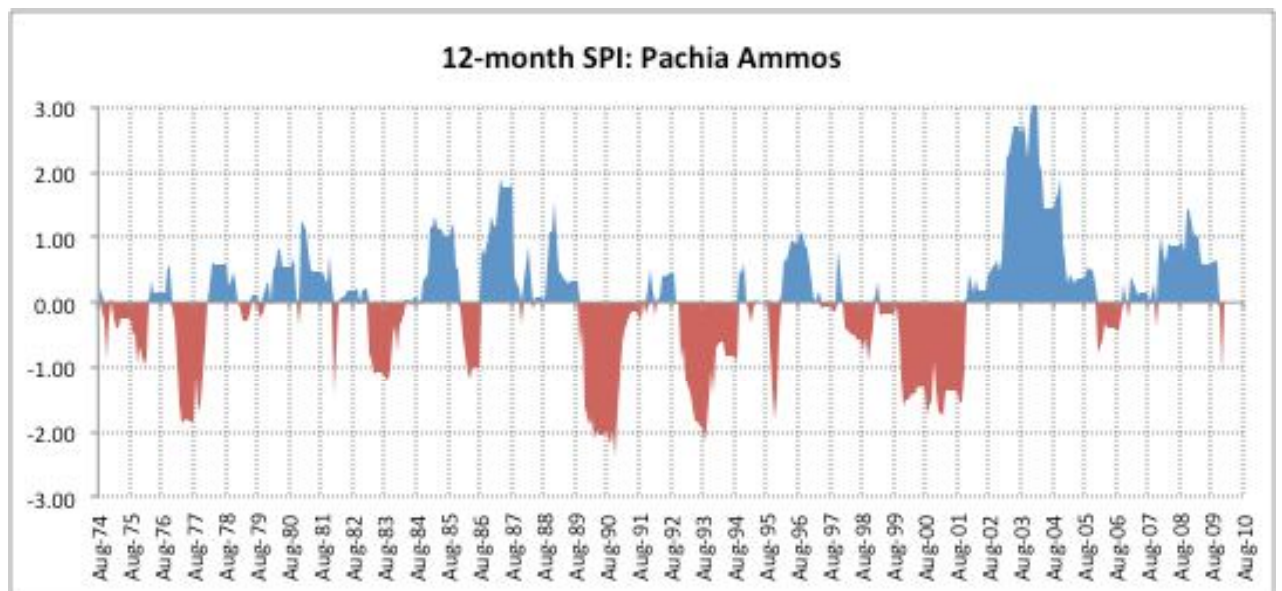
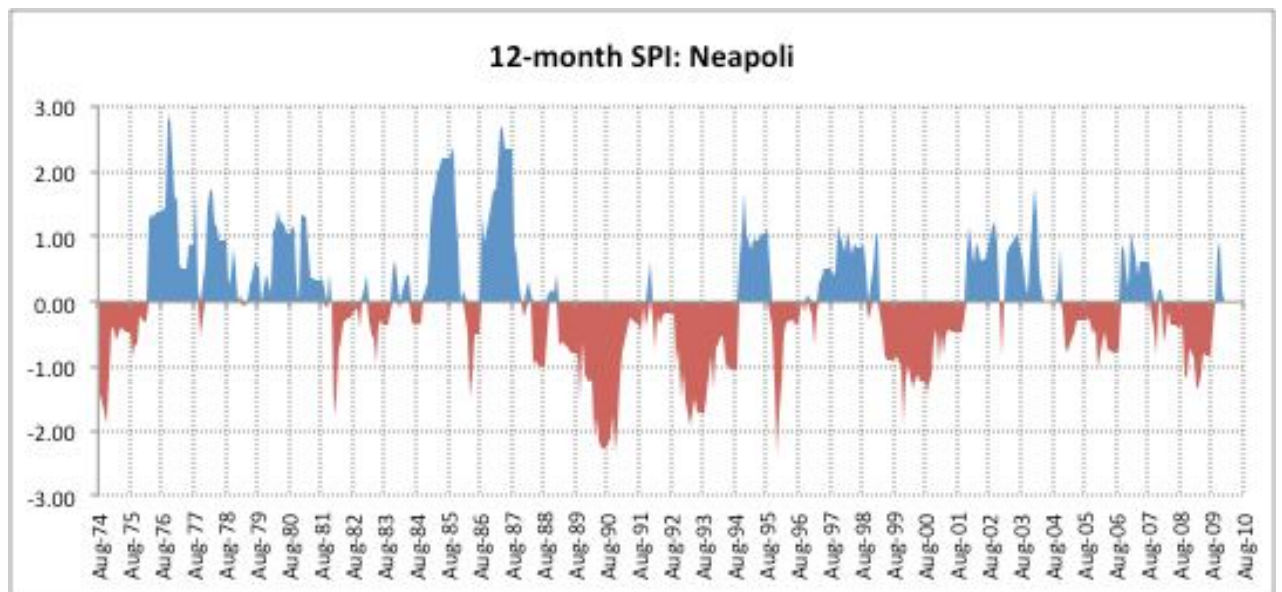




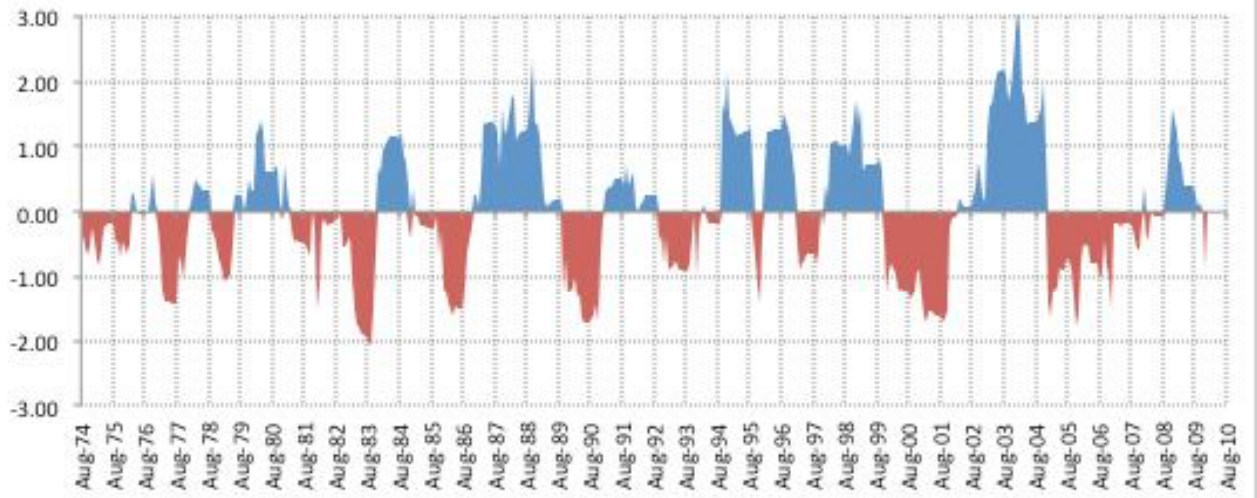




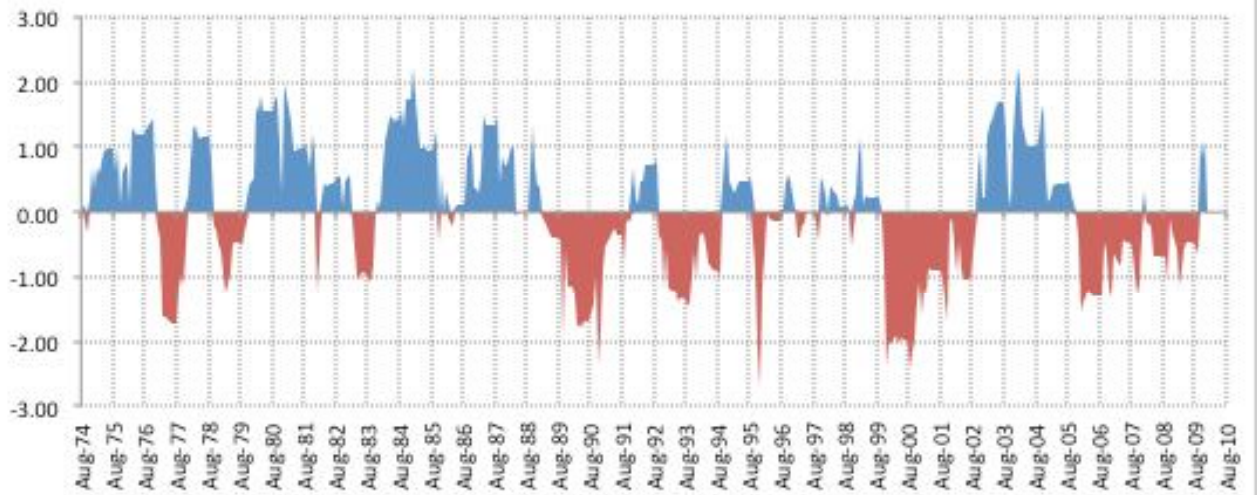




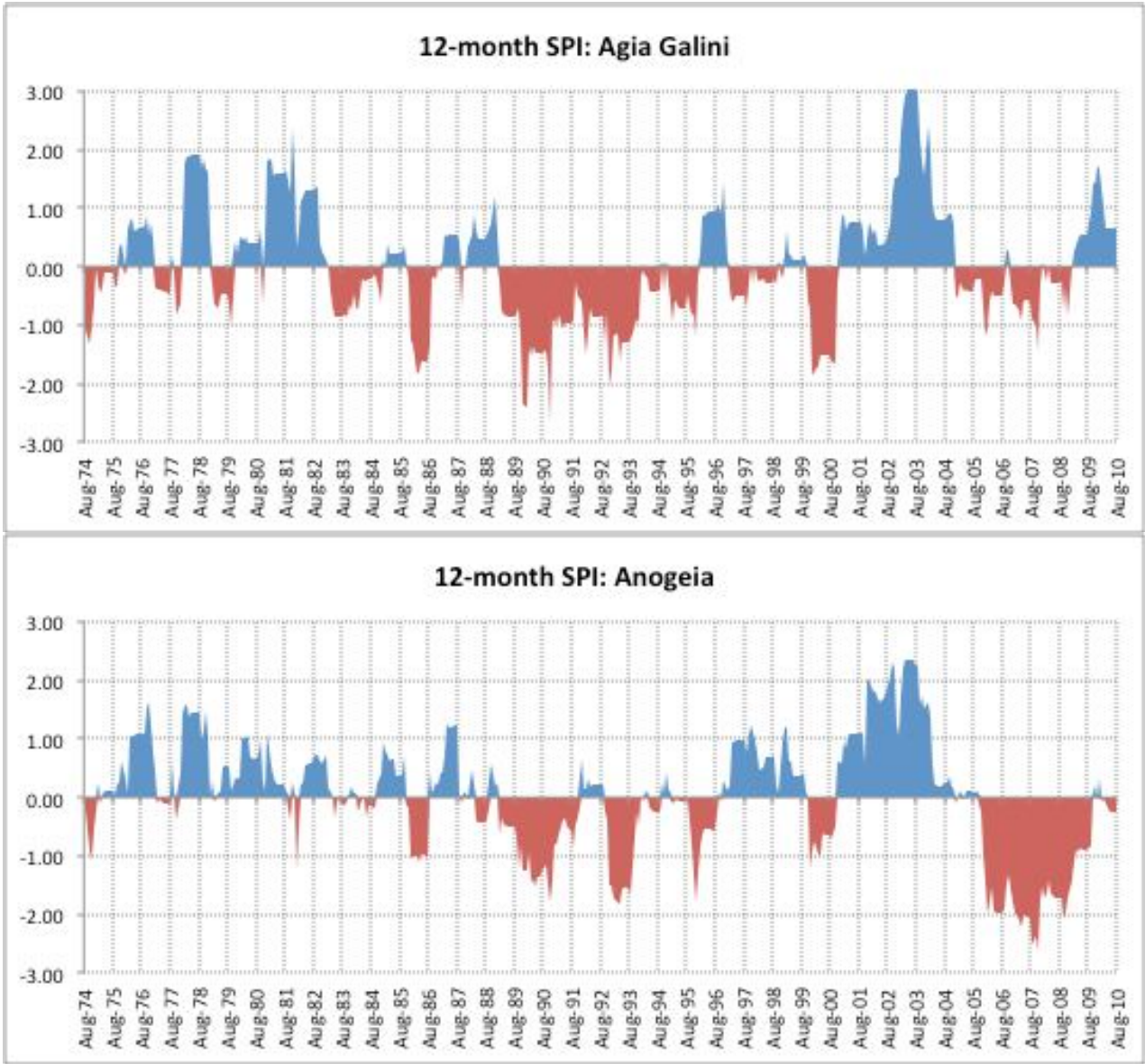
12-month SPI: Palaiokastro

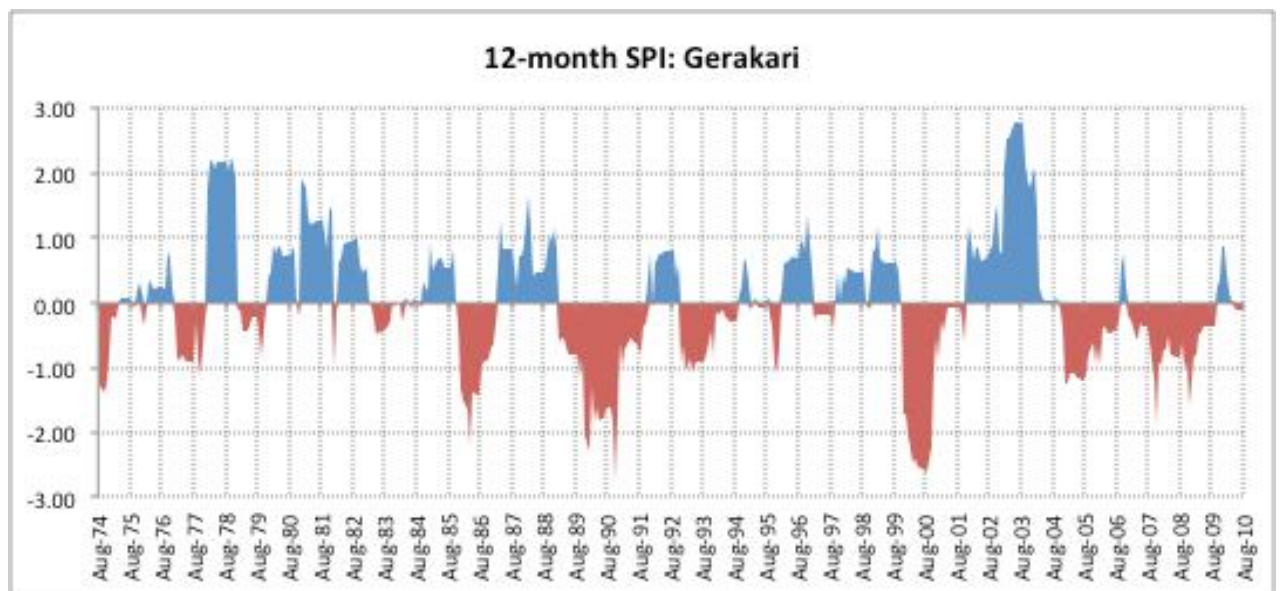
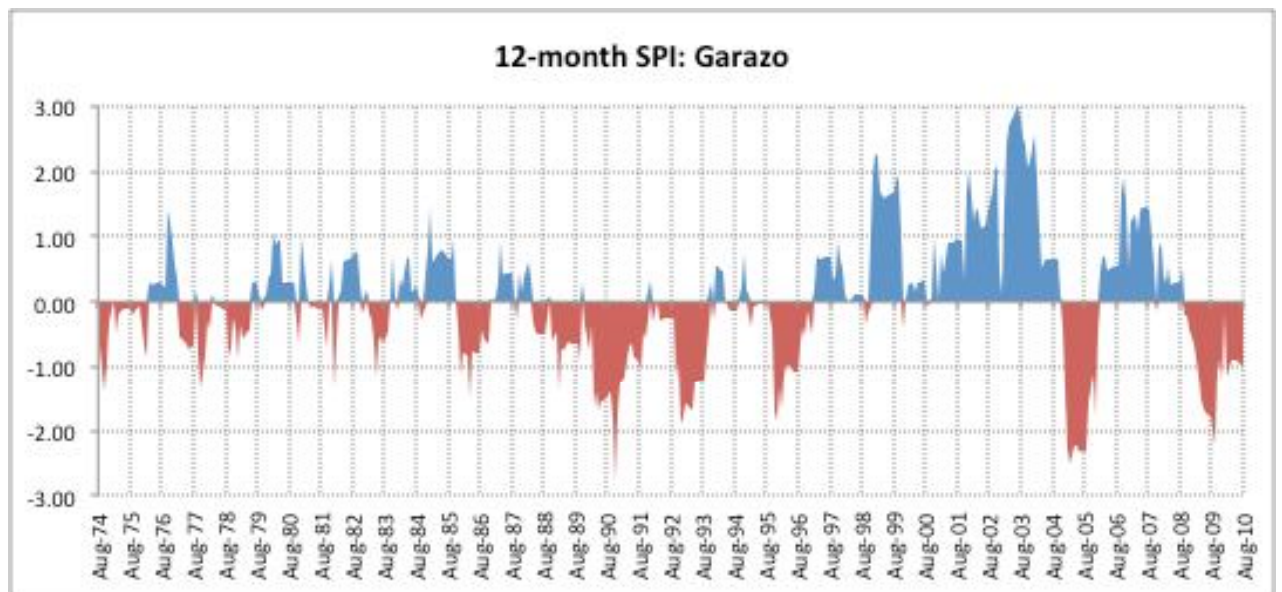


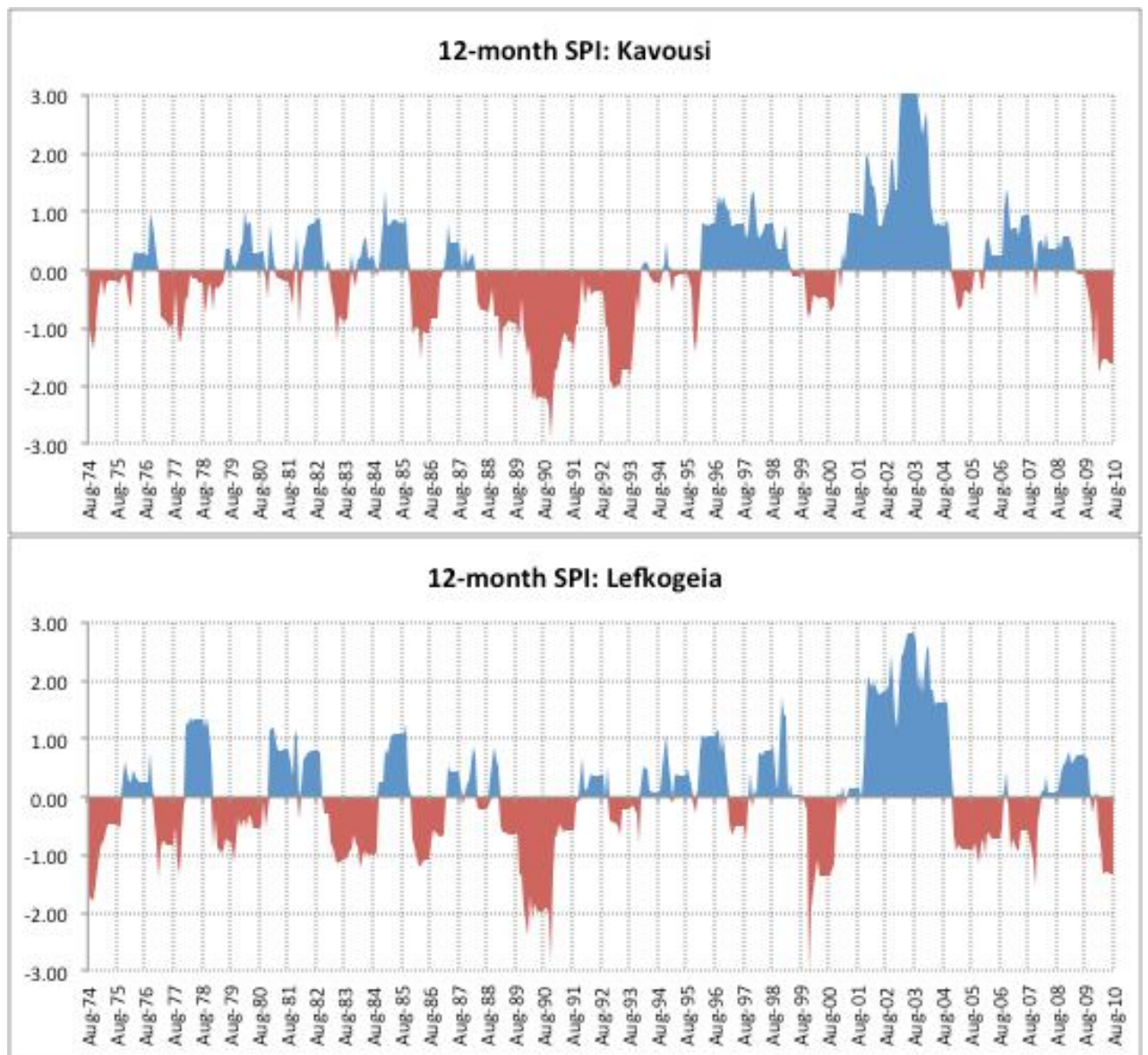
12-month SPI: Siteia

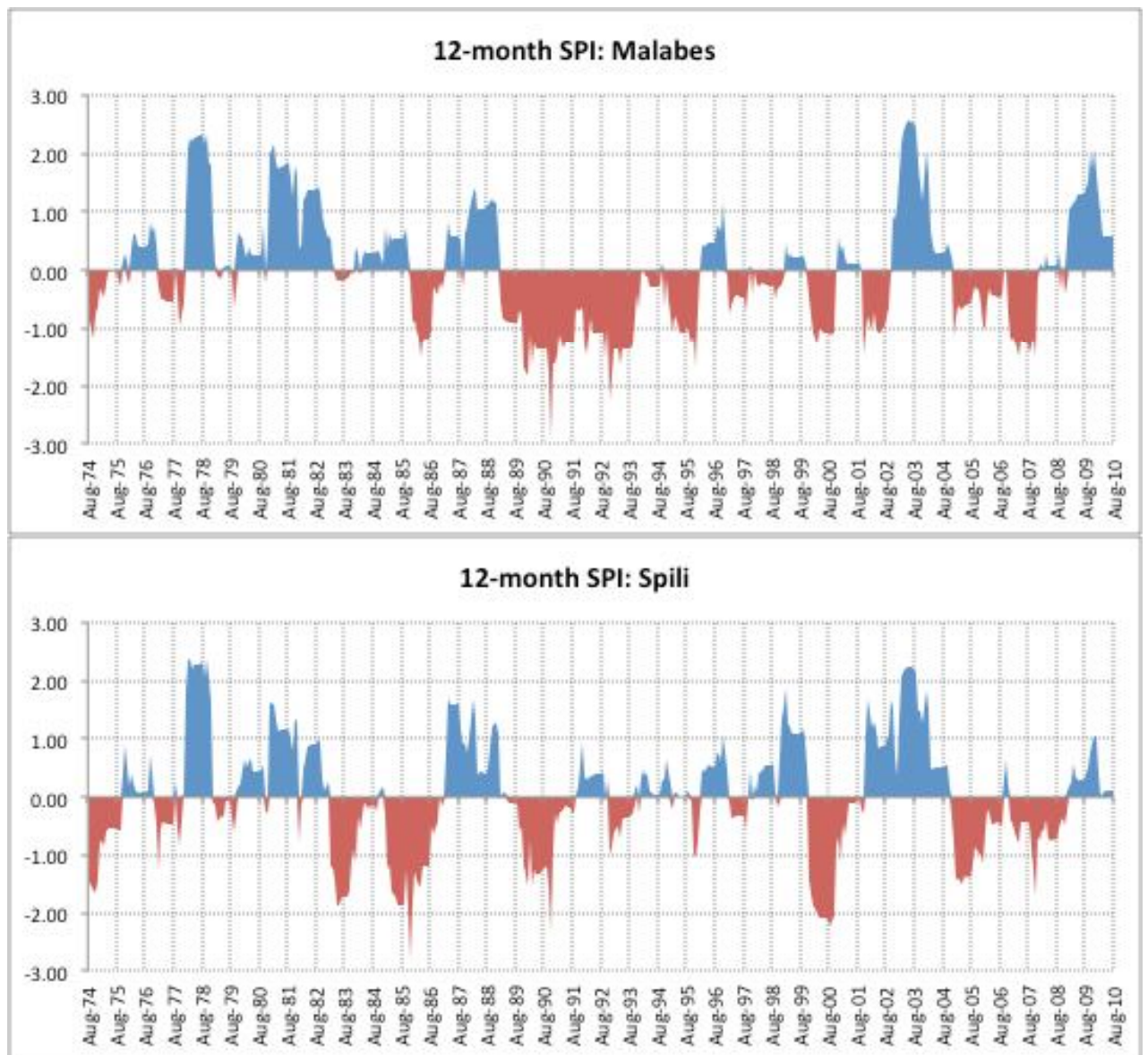


Ρέθυμνο





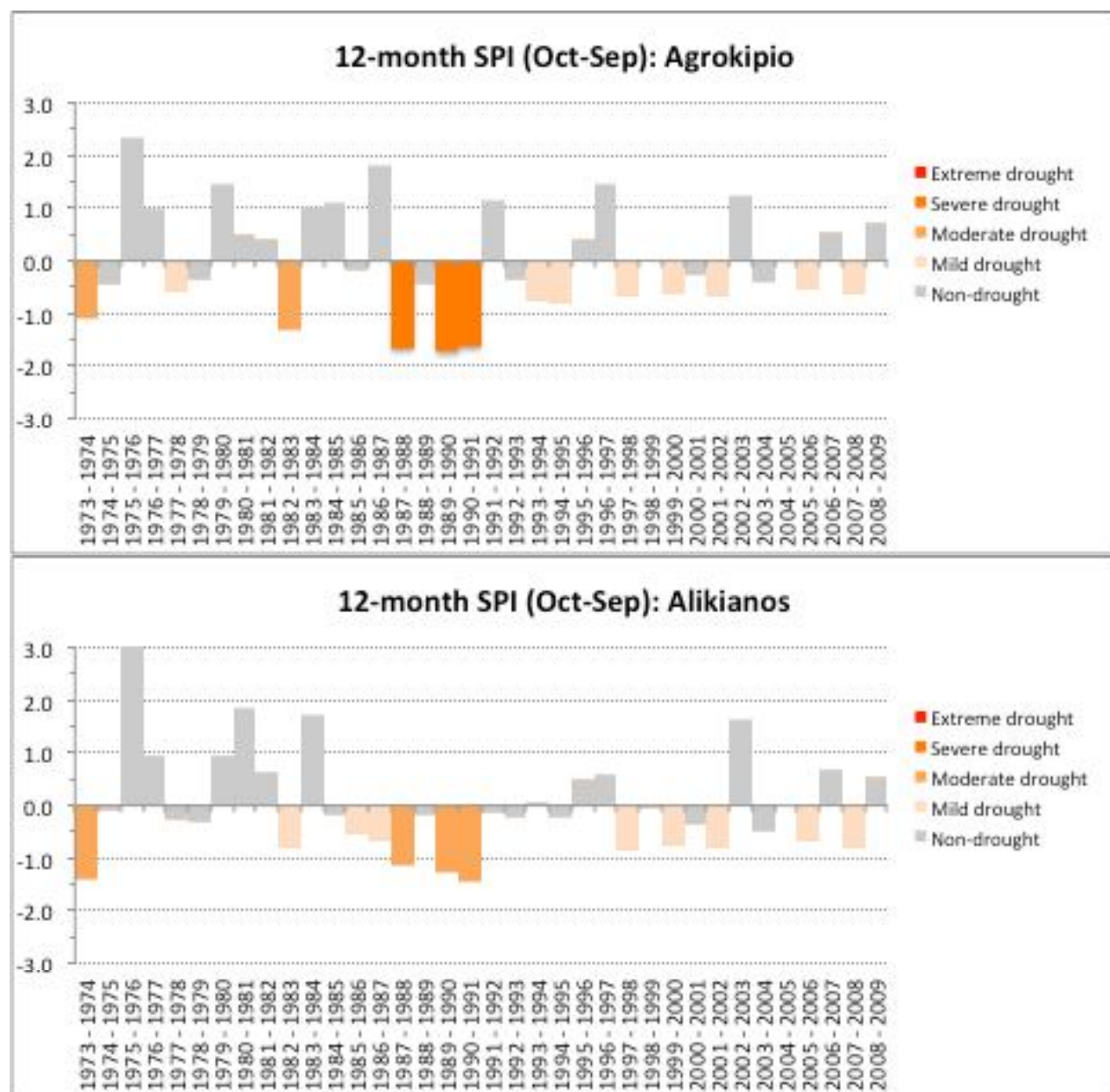


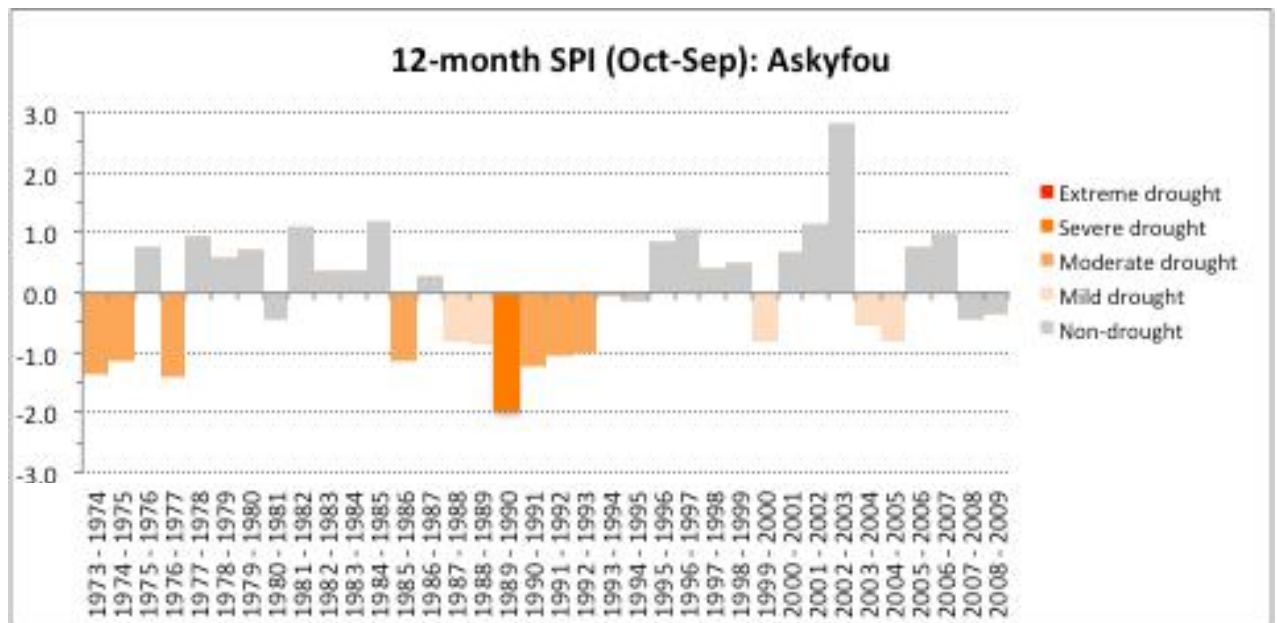


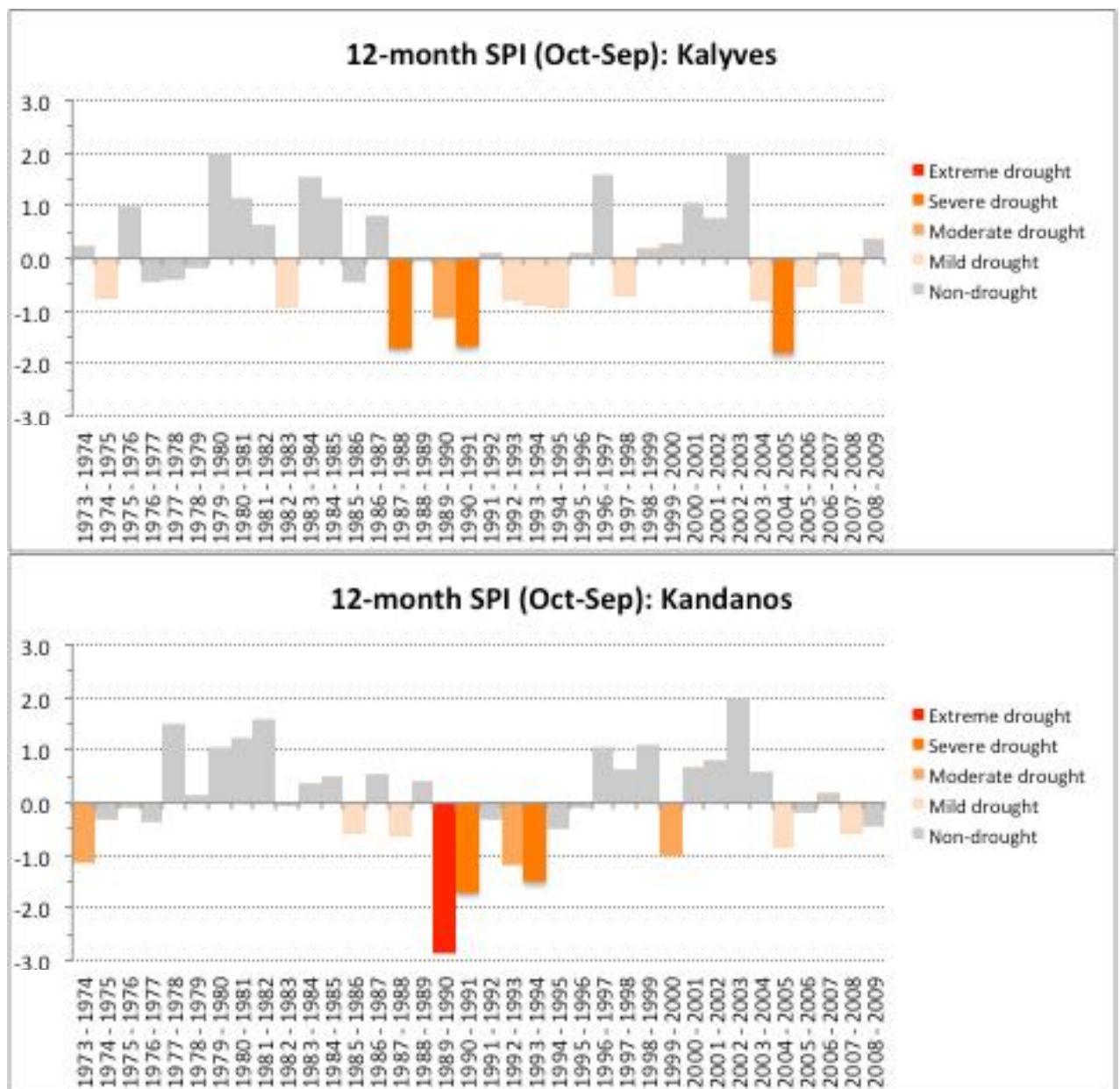
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

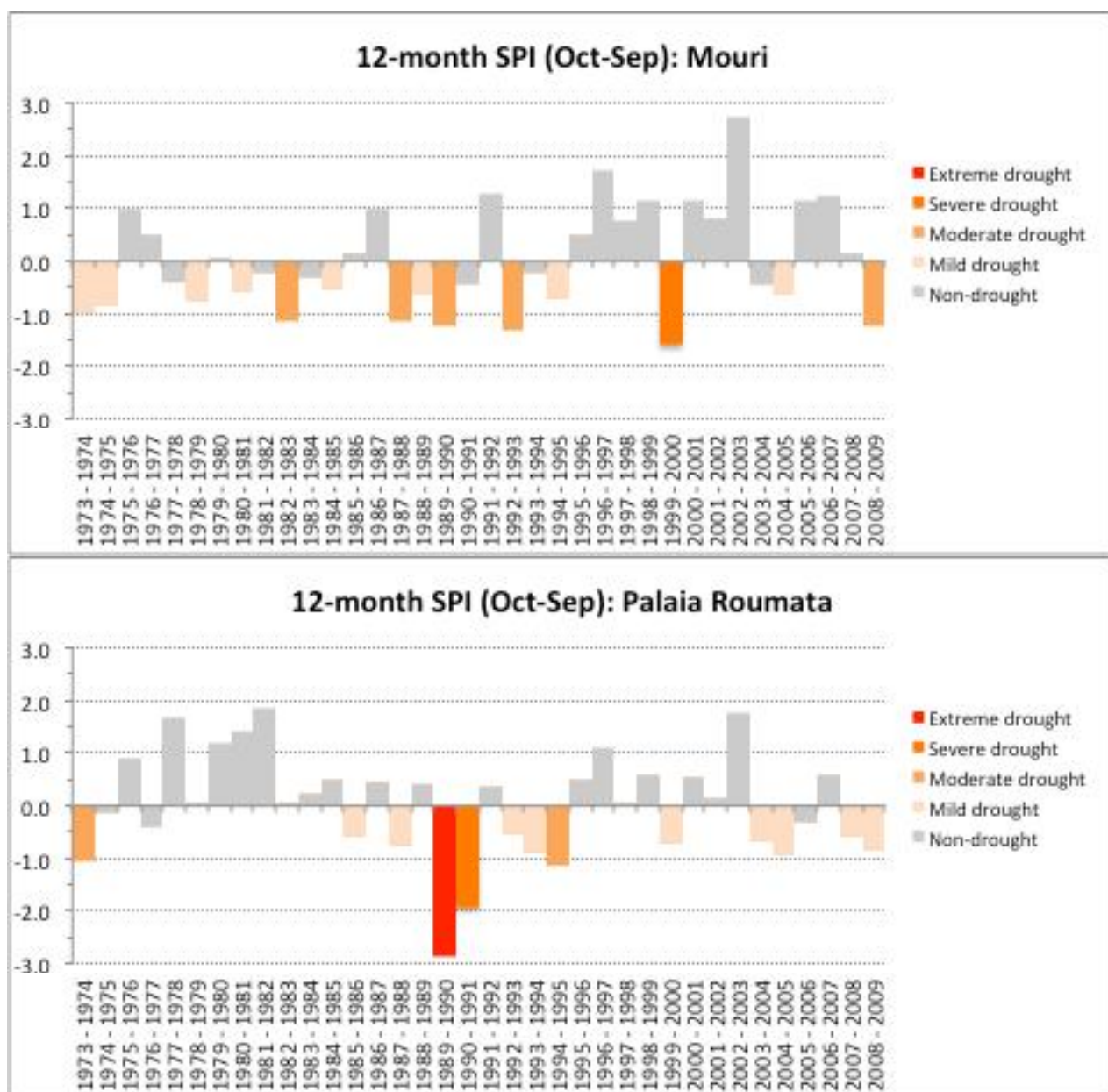
Δείκτης SPI - ετήσιο χρονικό βήμα, 12-μηνια χρονική κλίμακα (περίοδος αναφοράς Οκτ. - Σεπτ.)

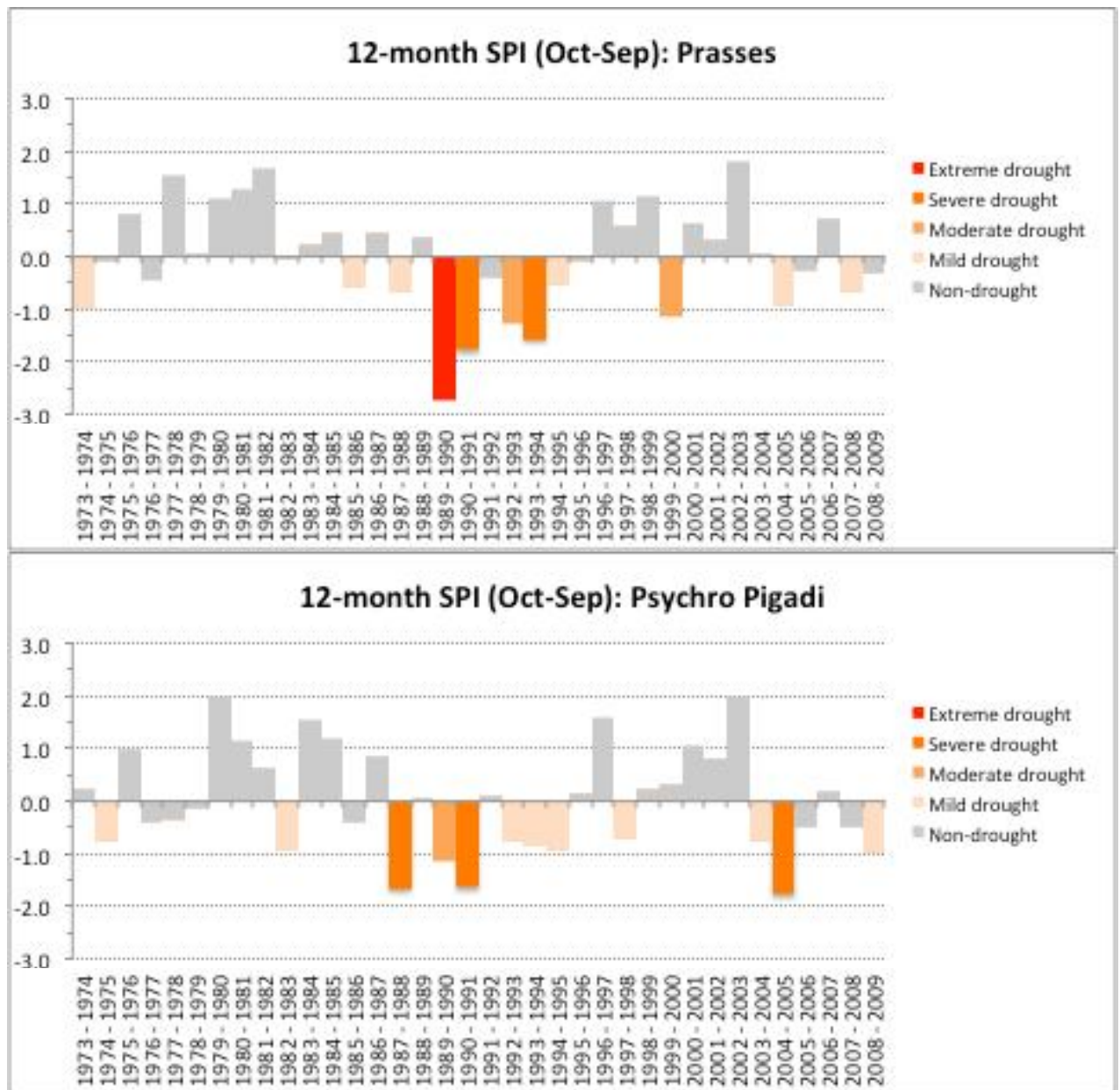
Χανιά

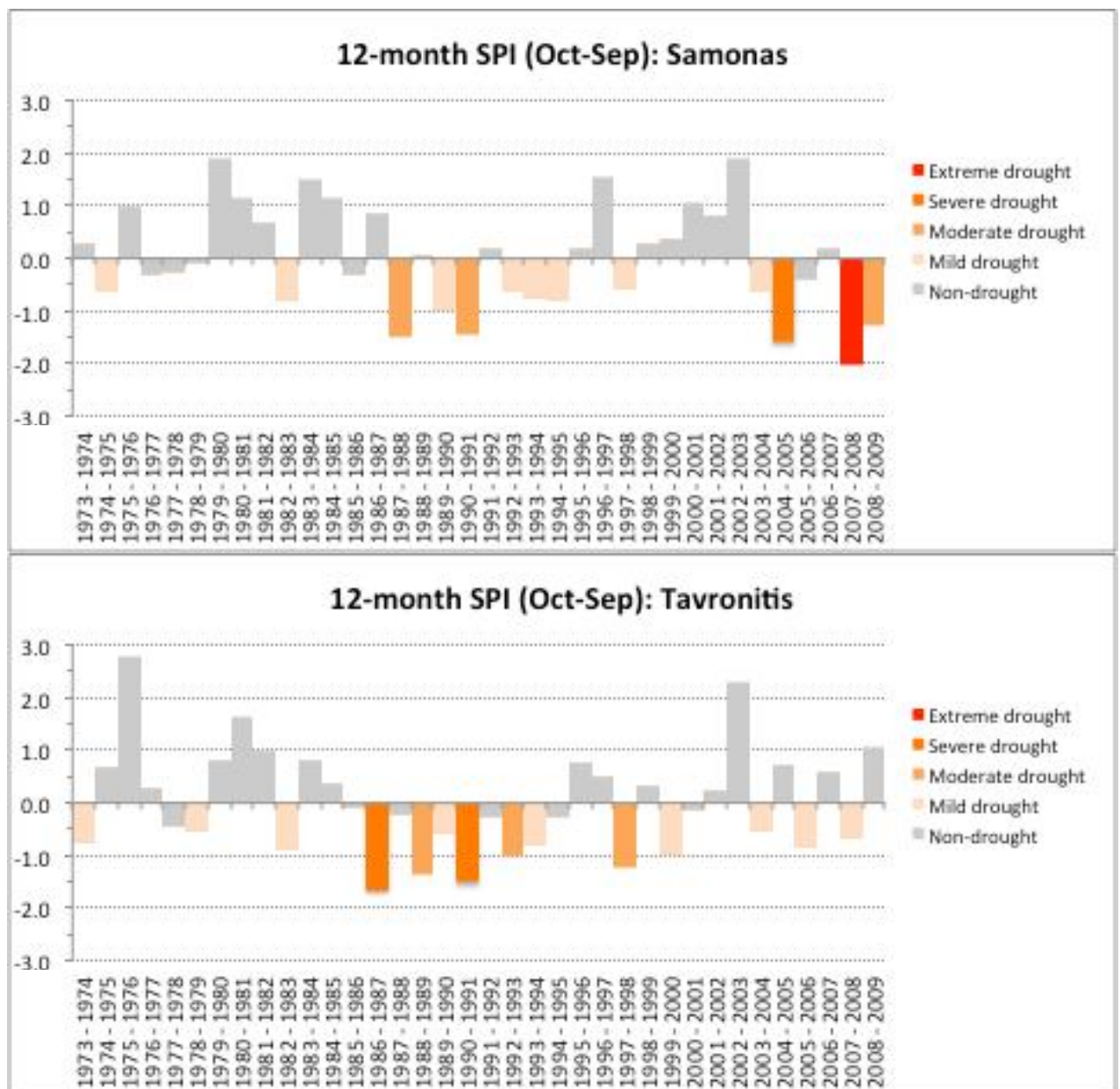


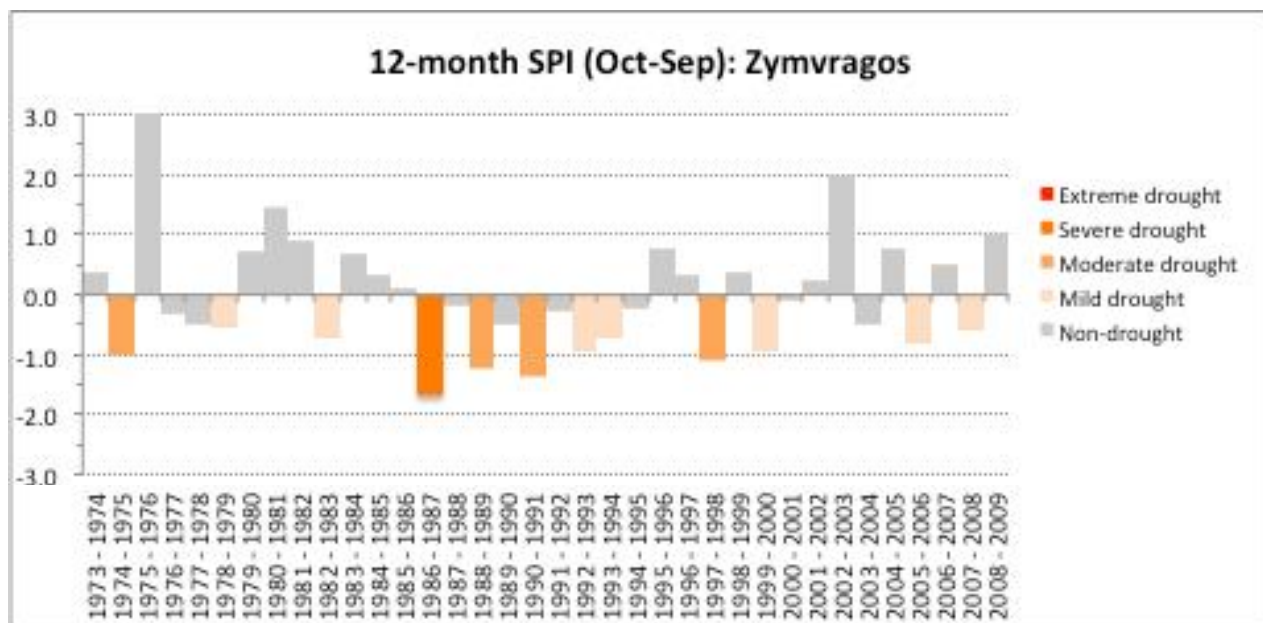




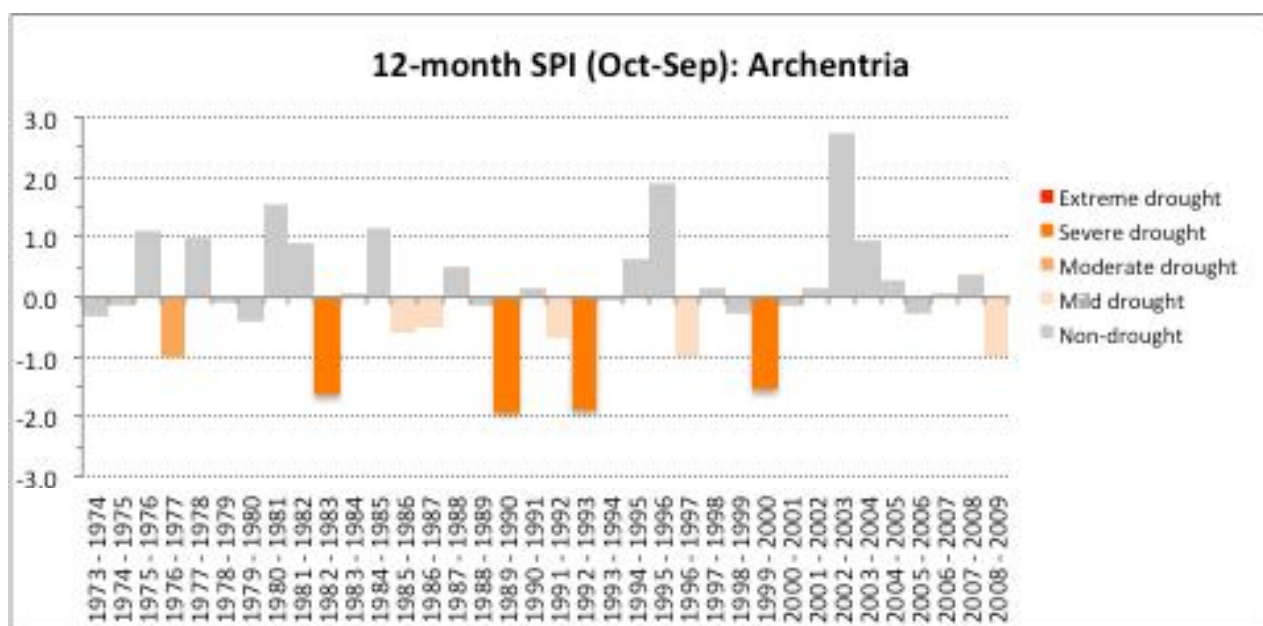


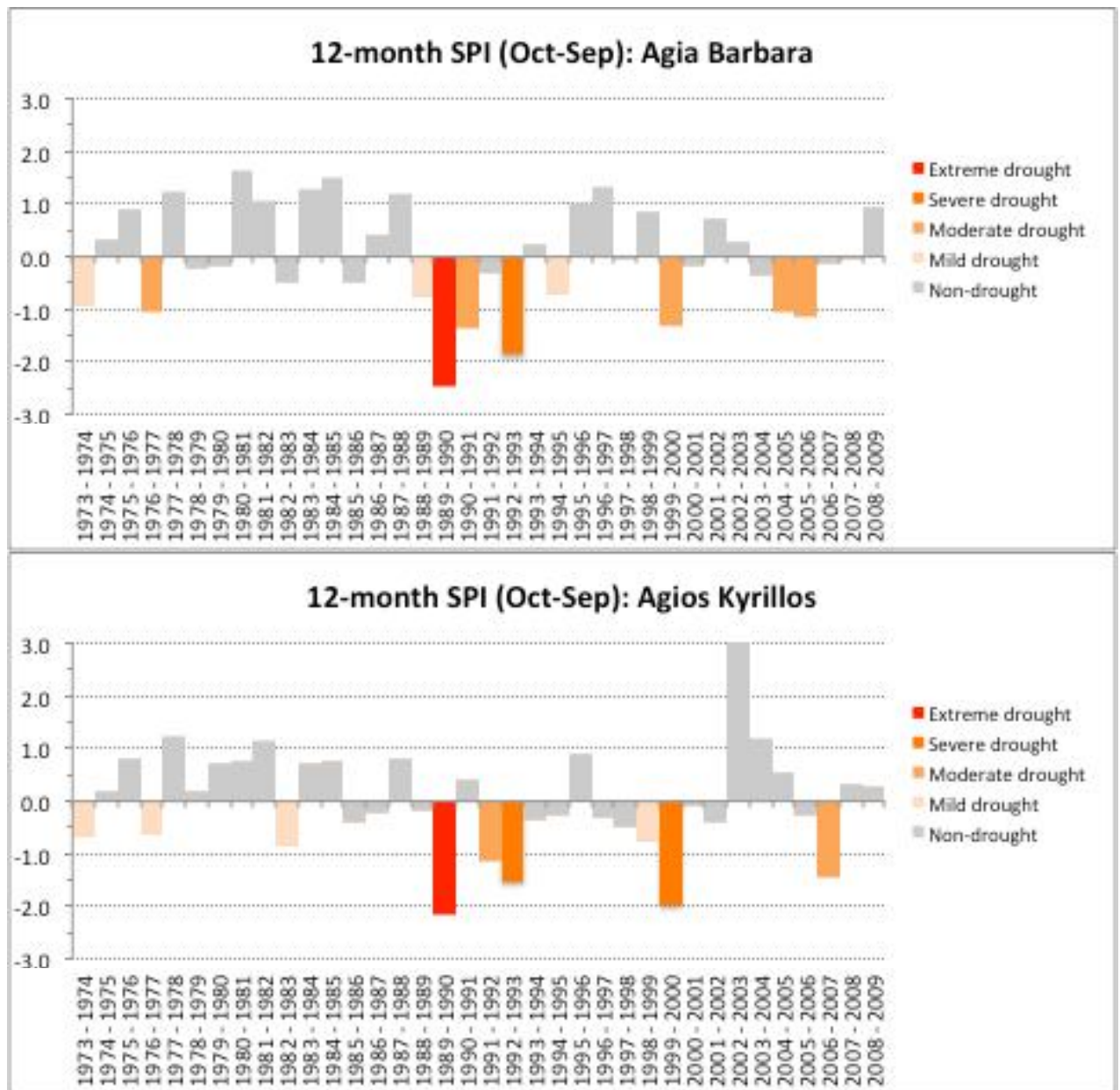


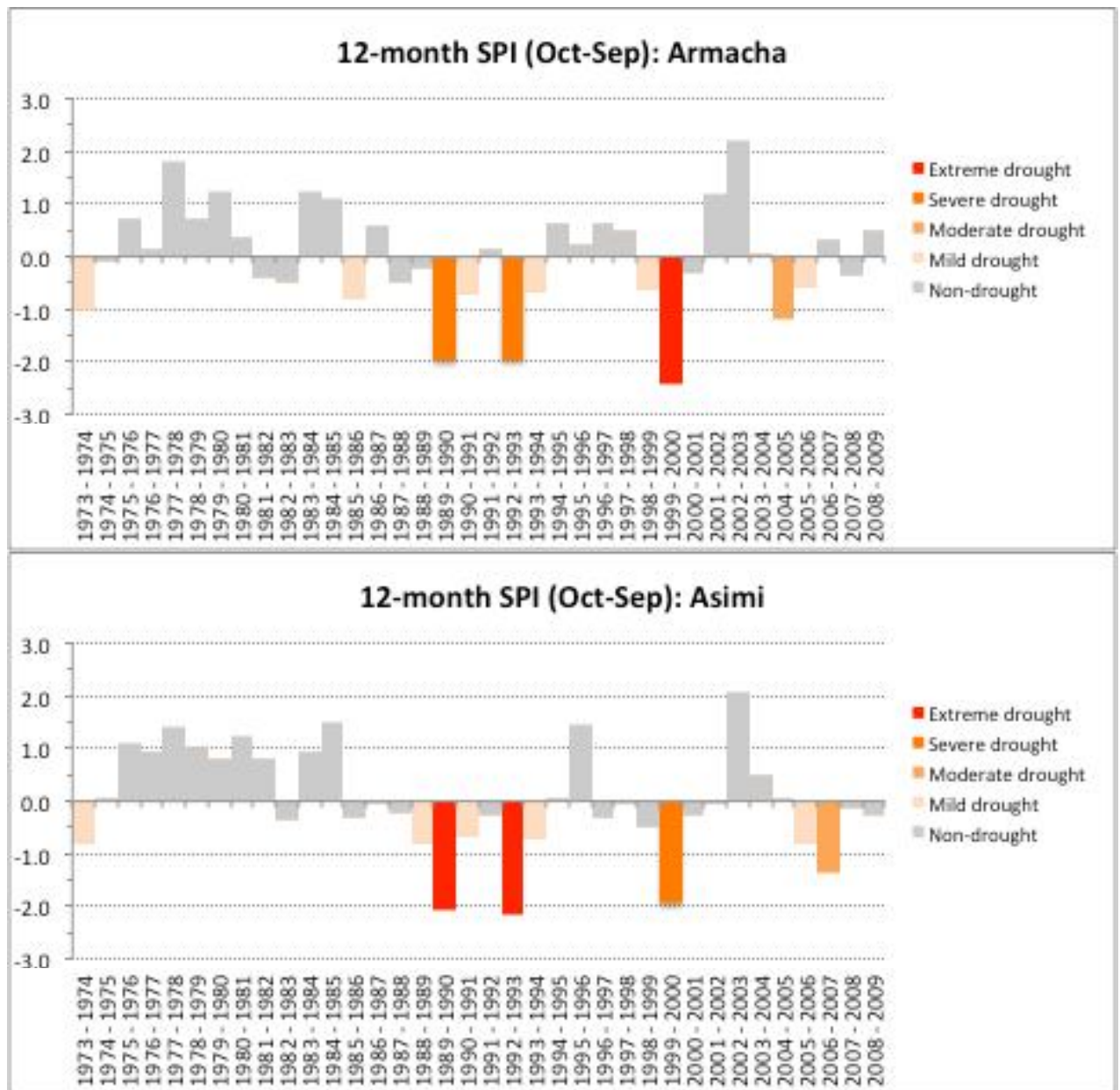


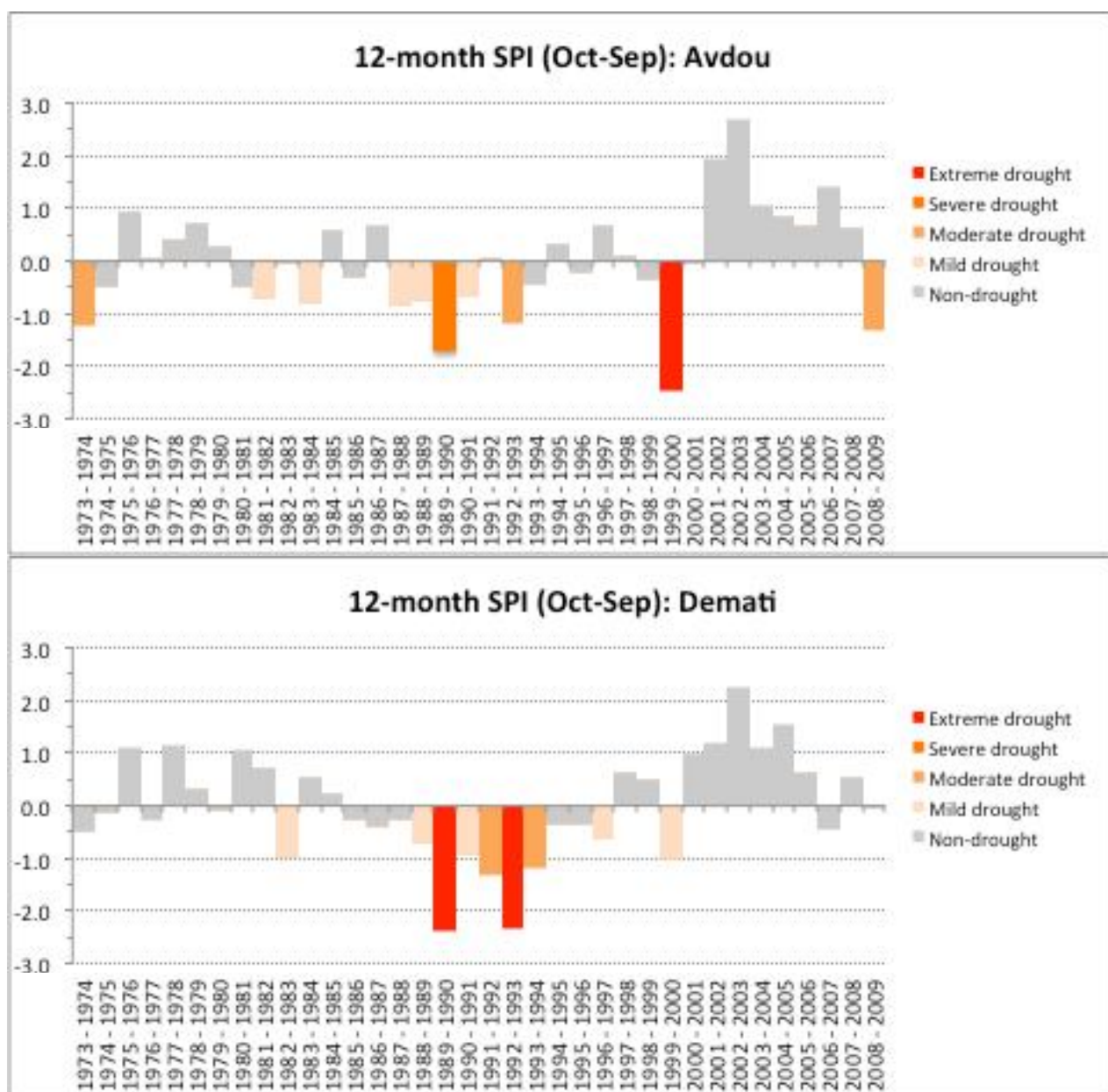


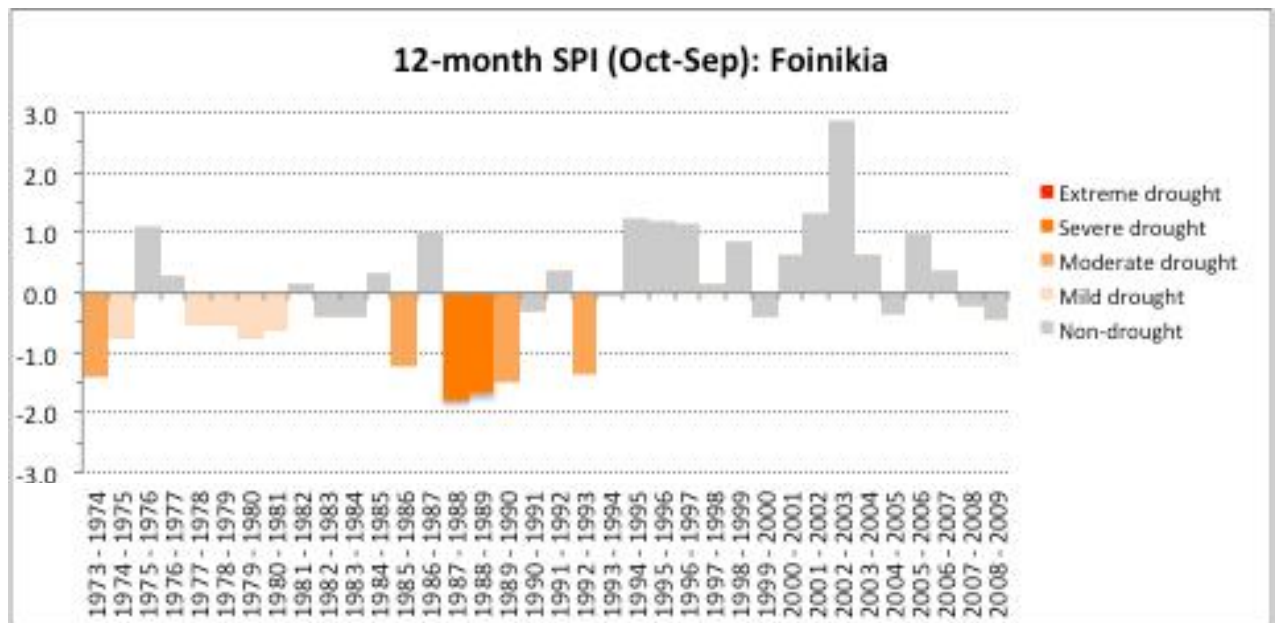
Ηράκλειο

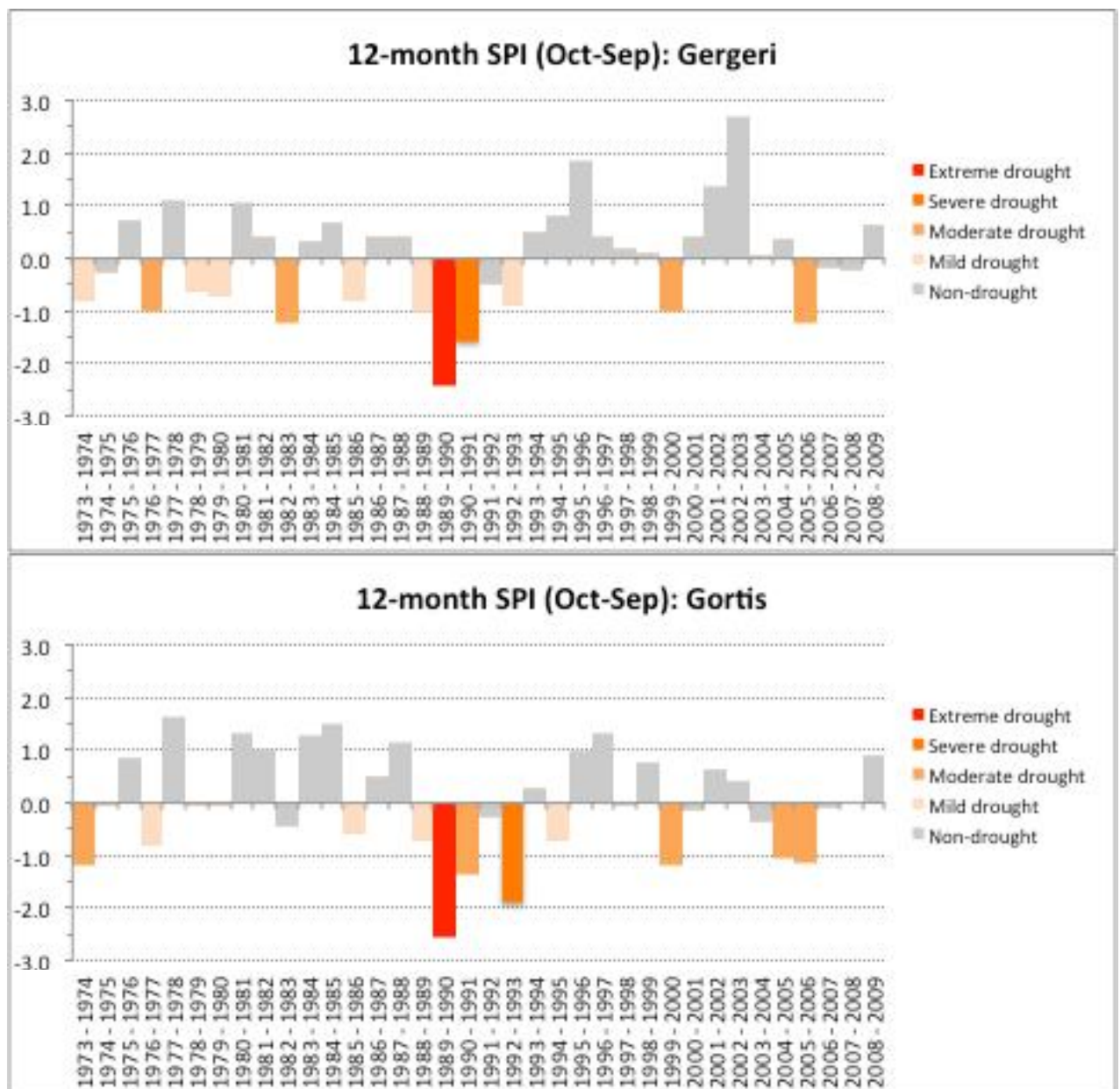


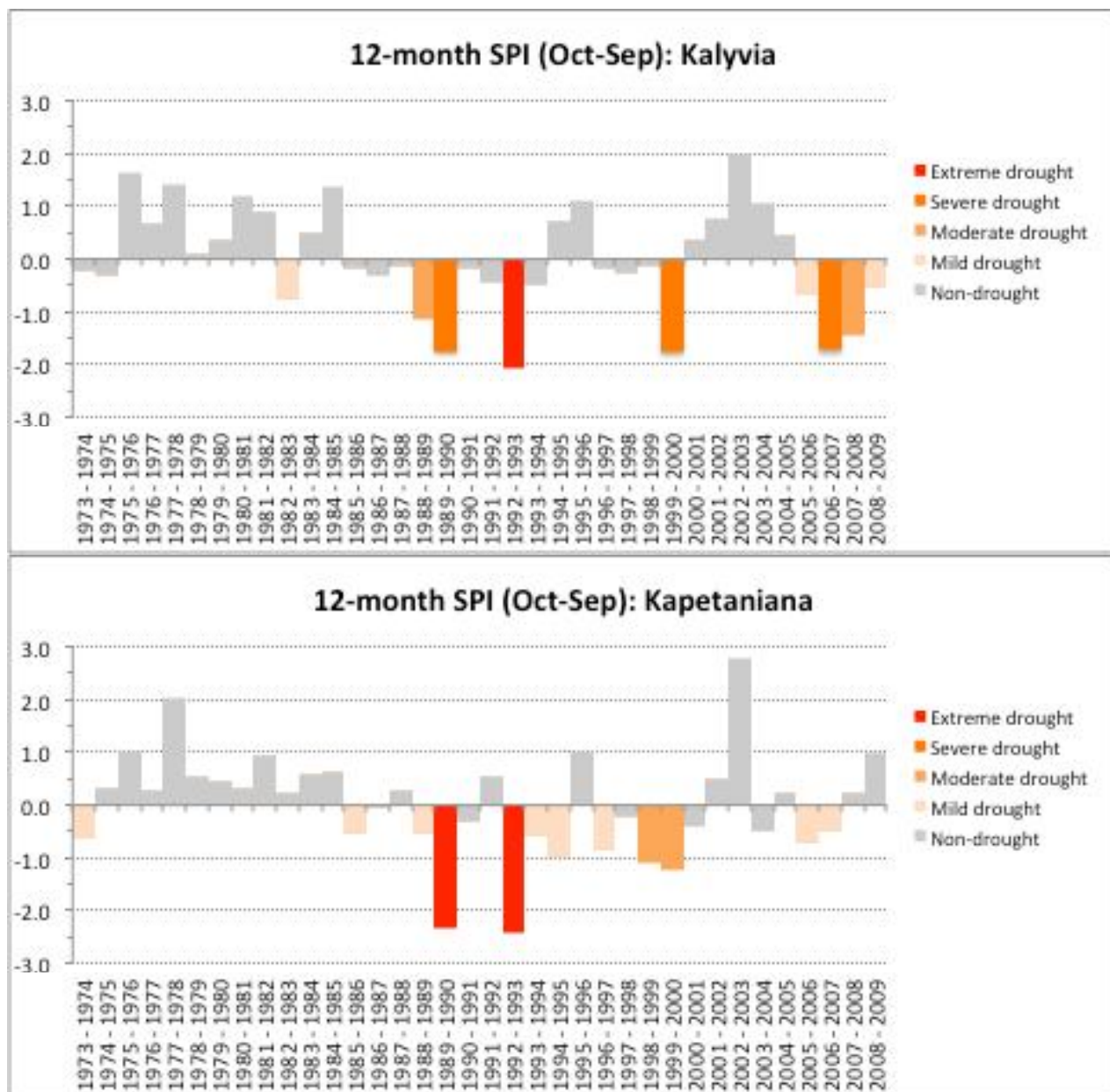


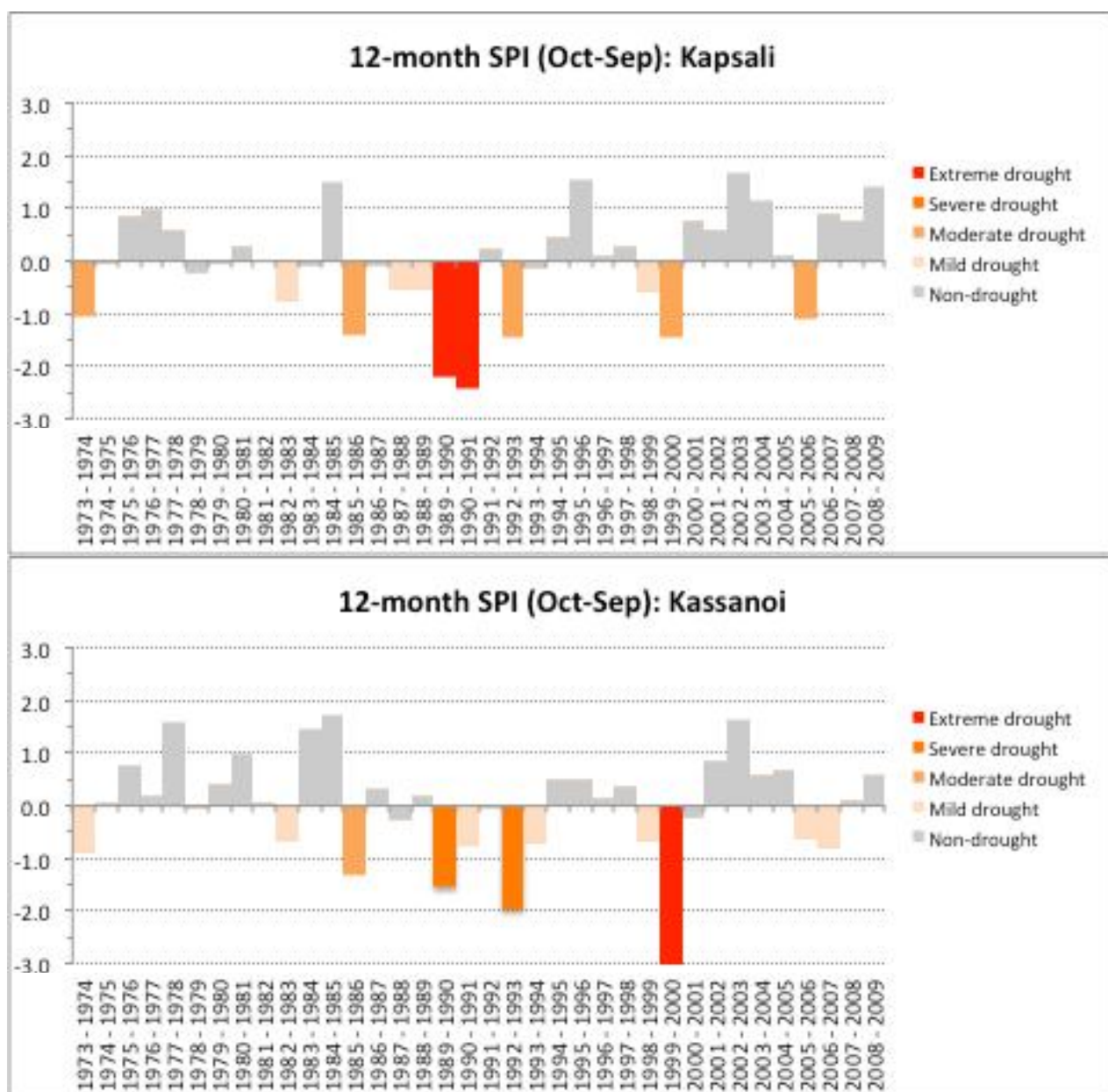


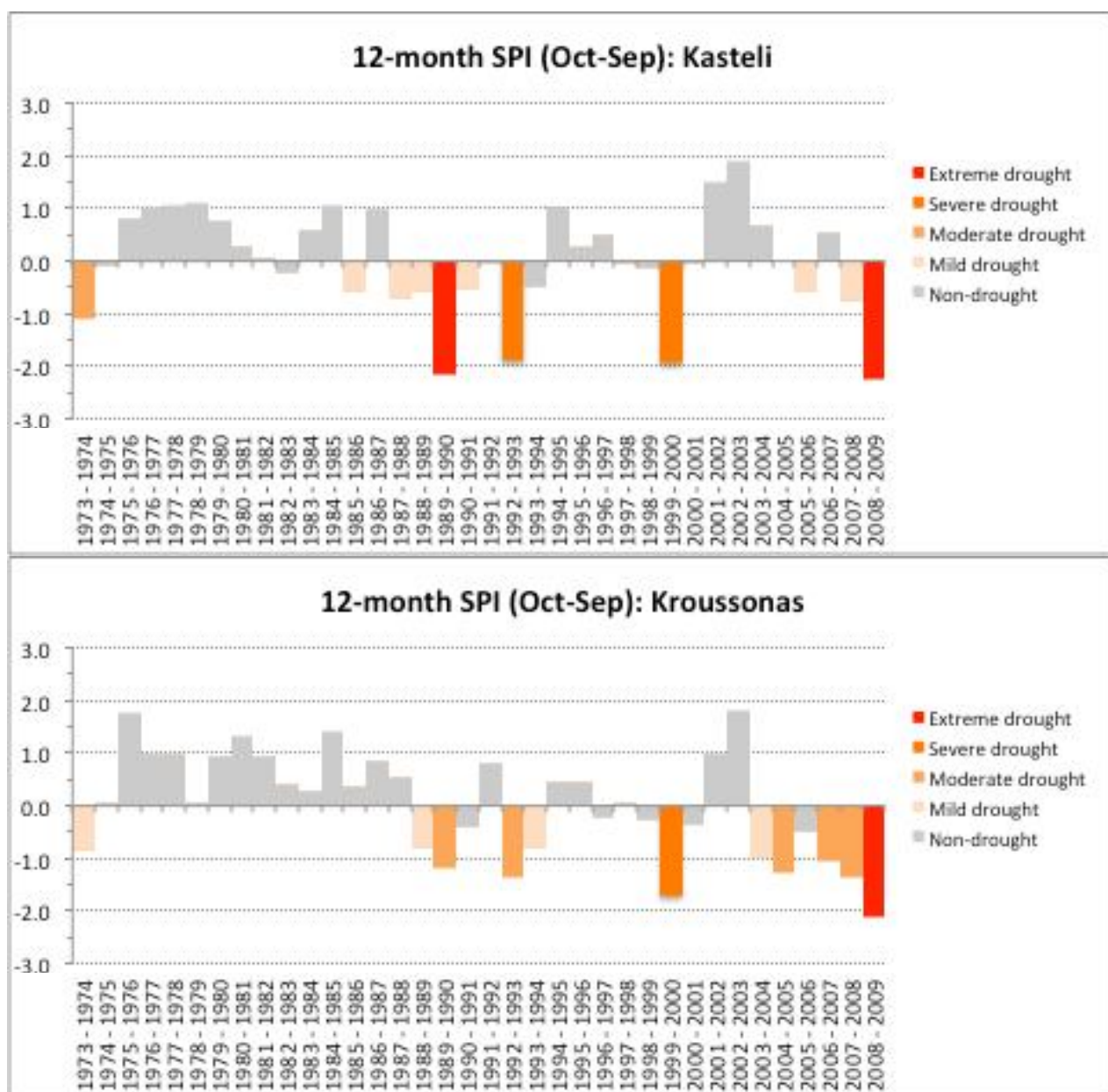


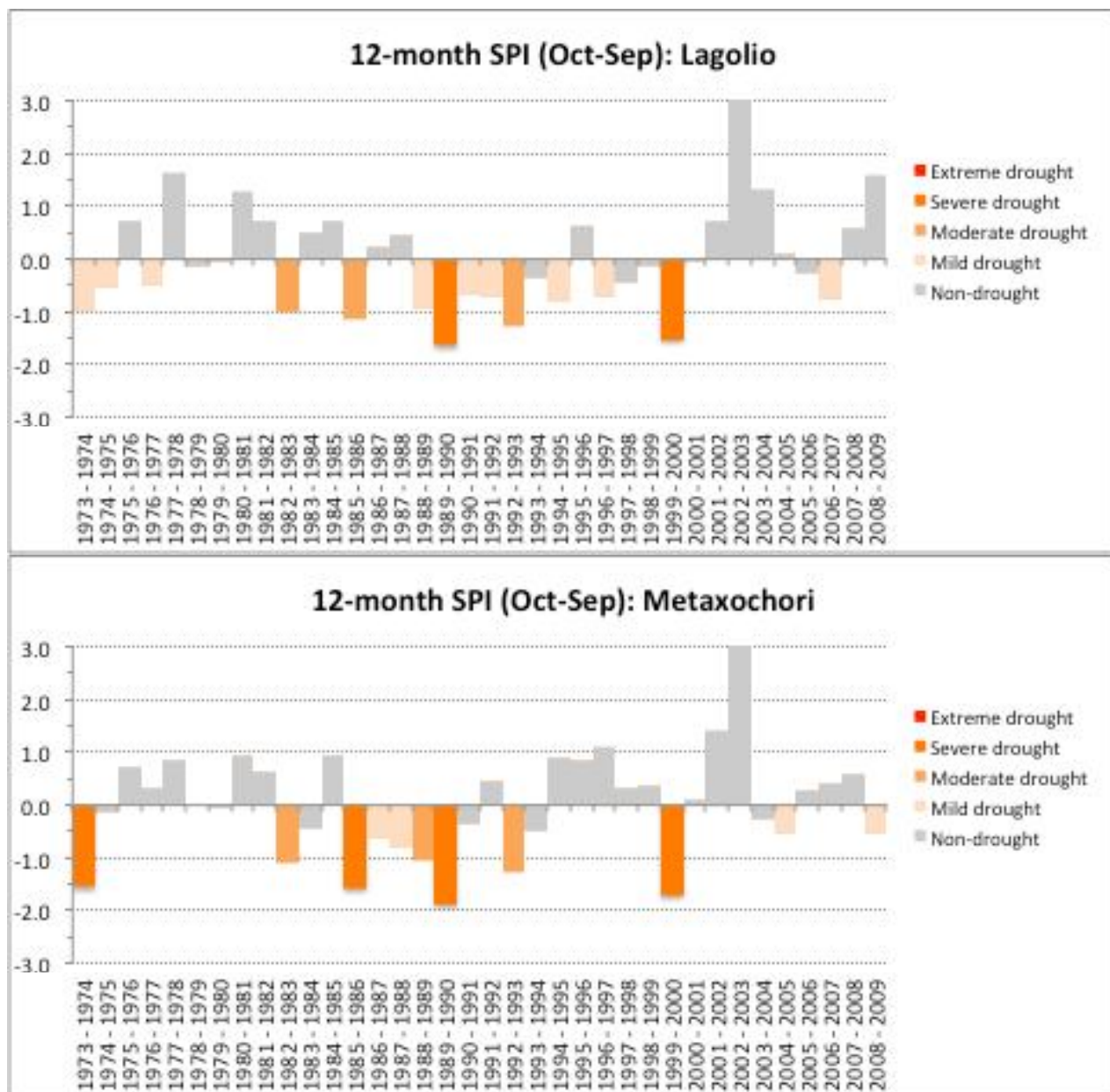


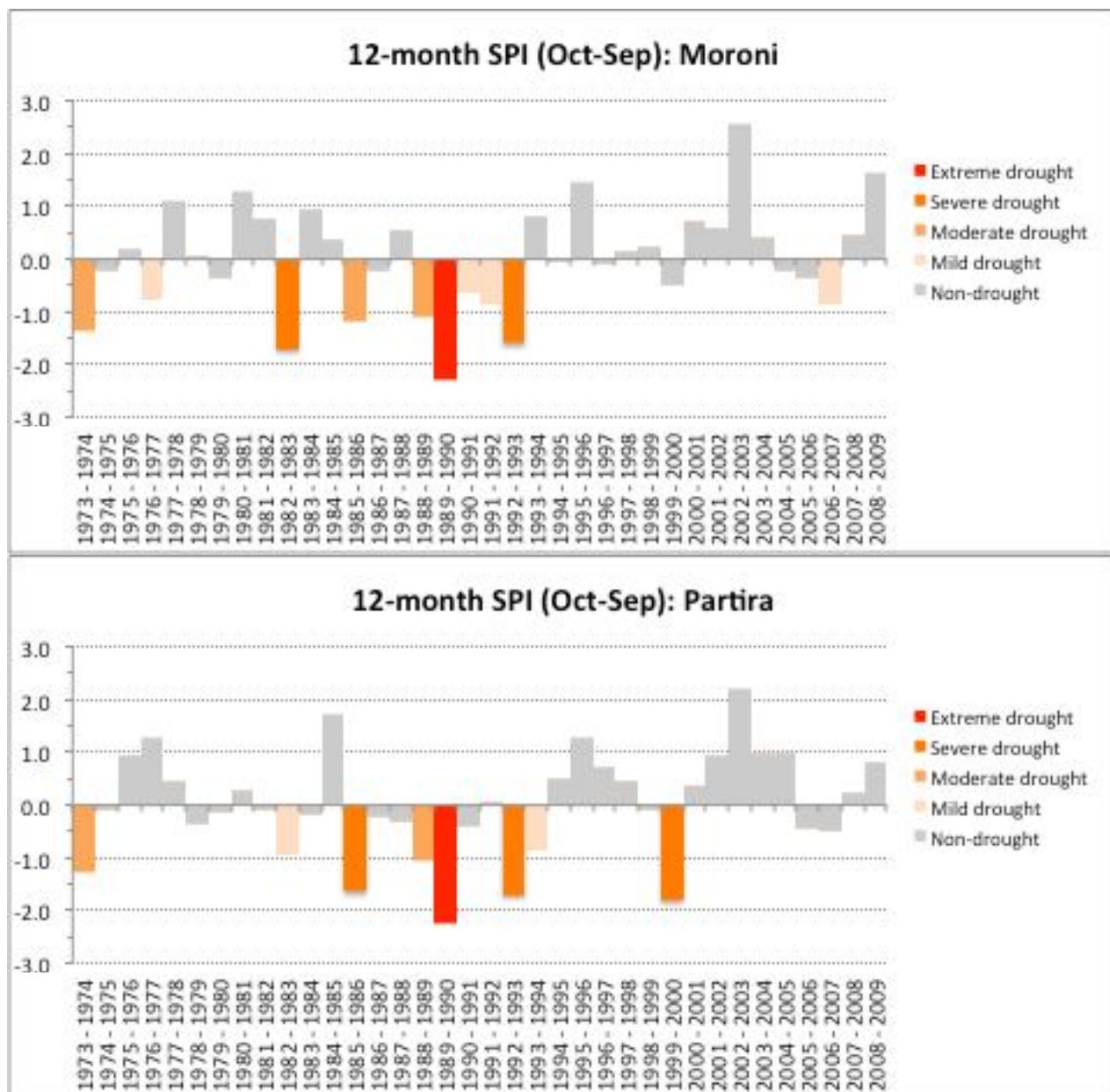


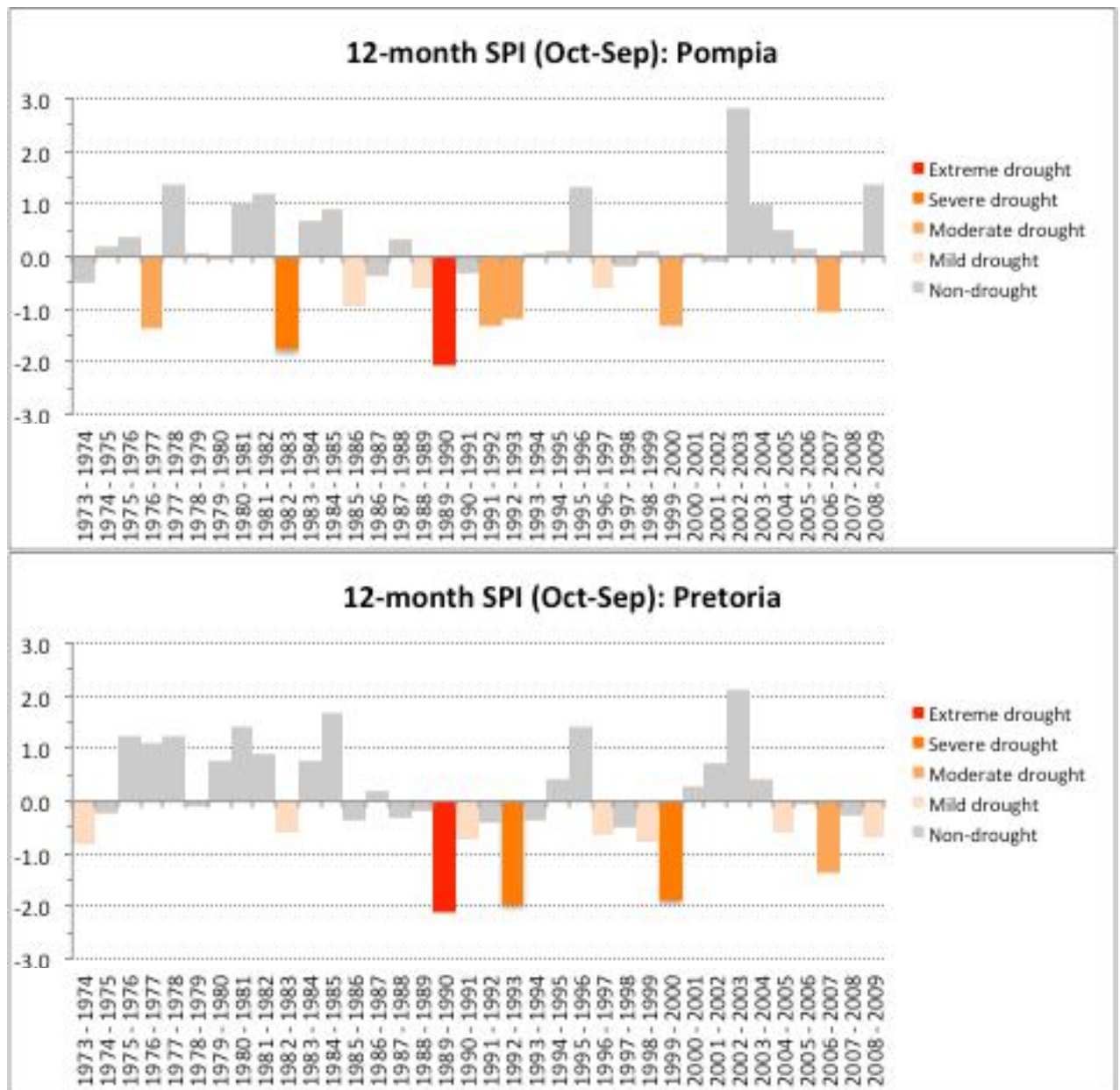


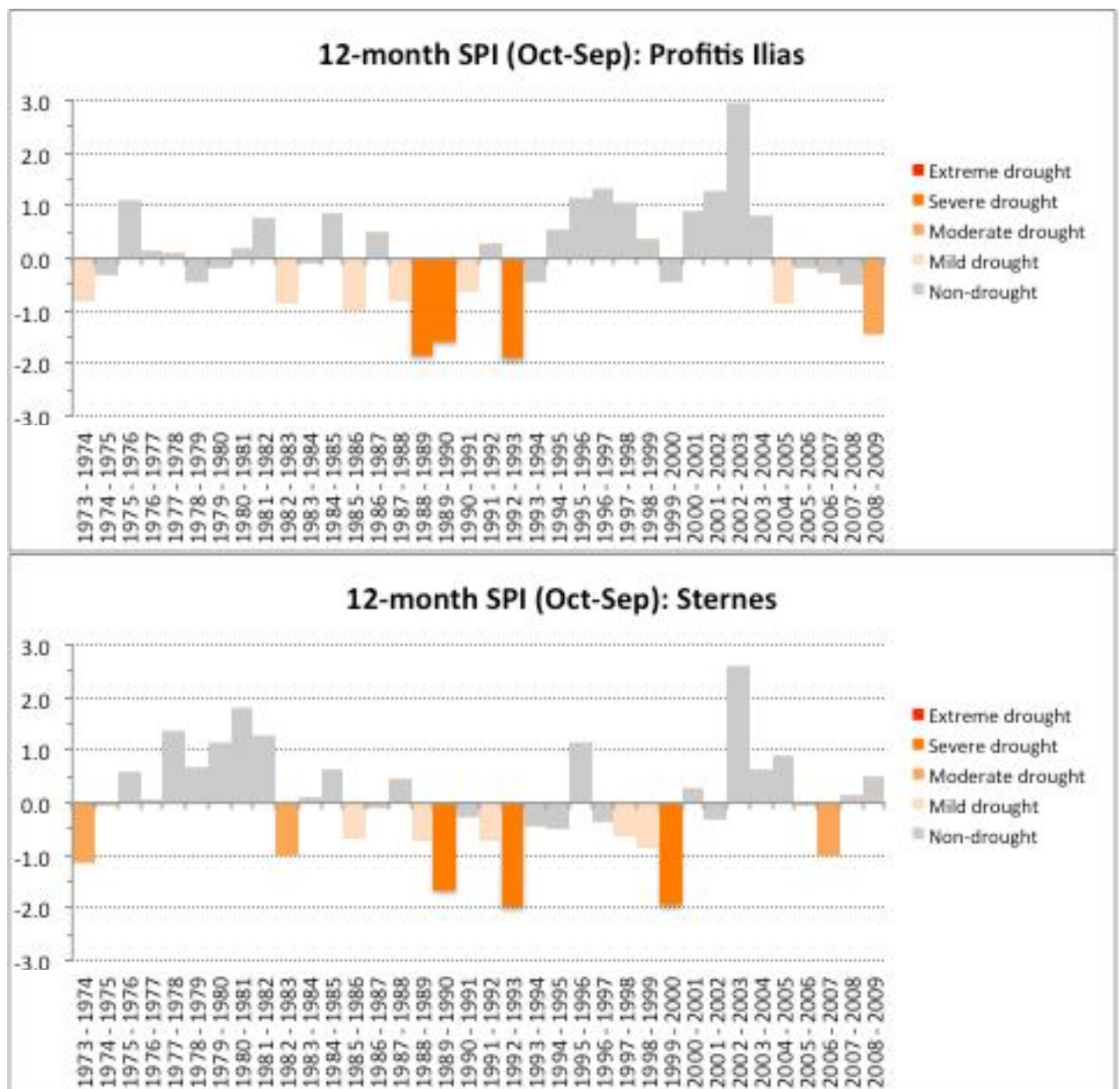


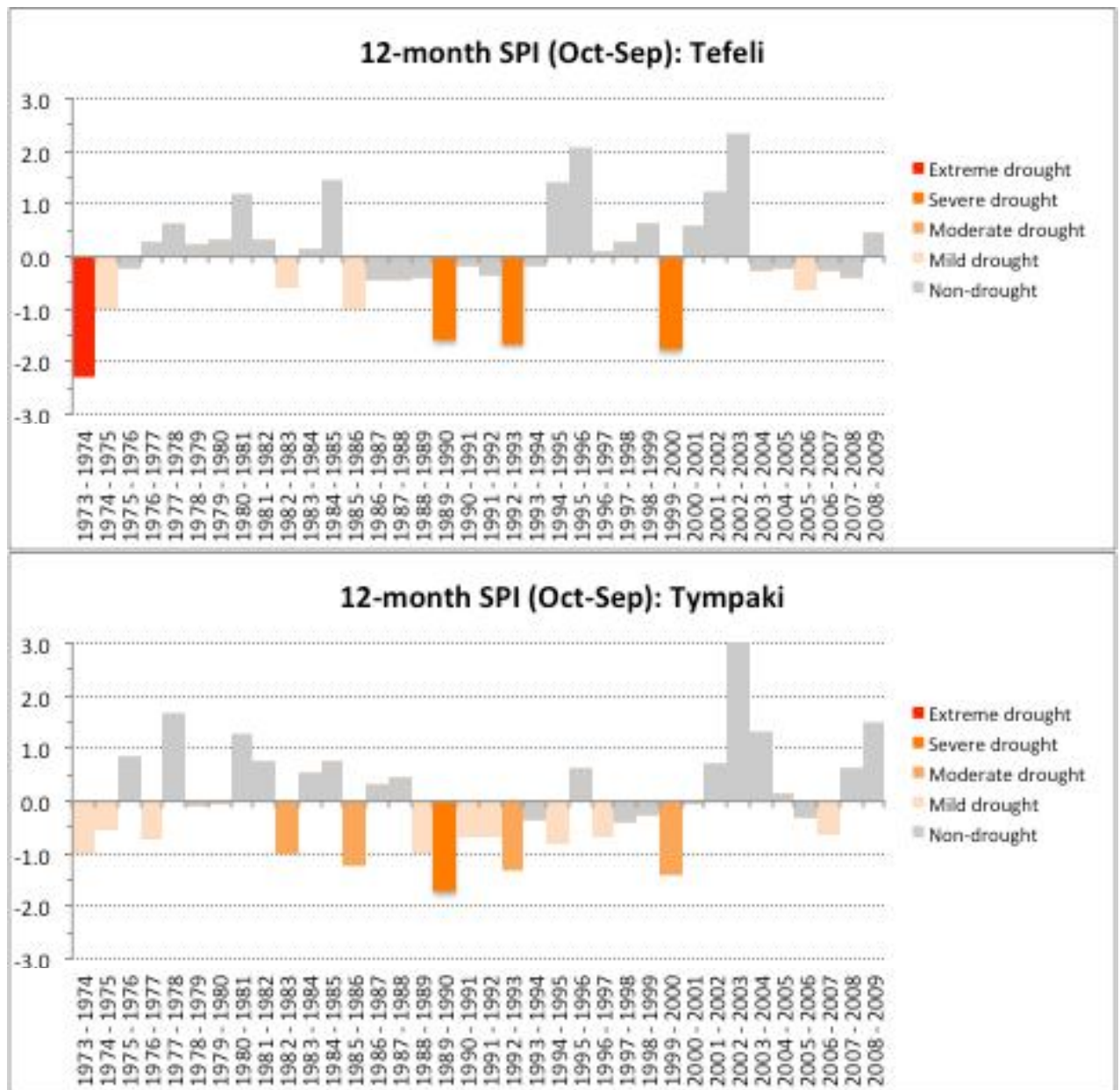


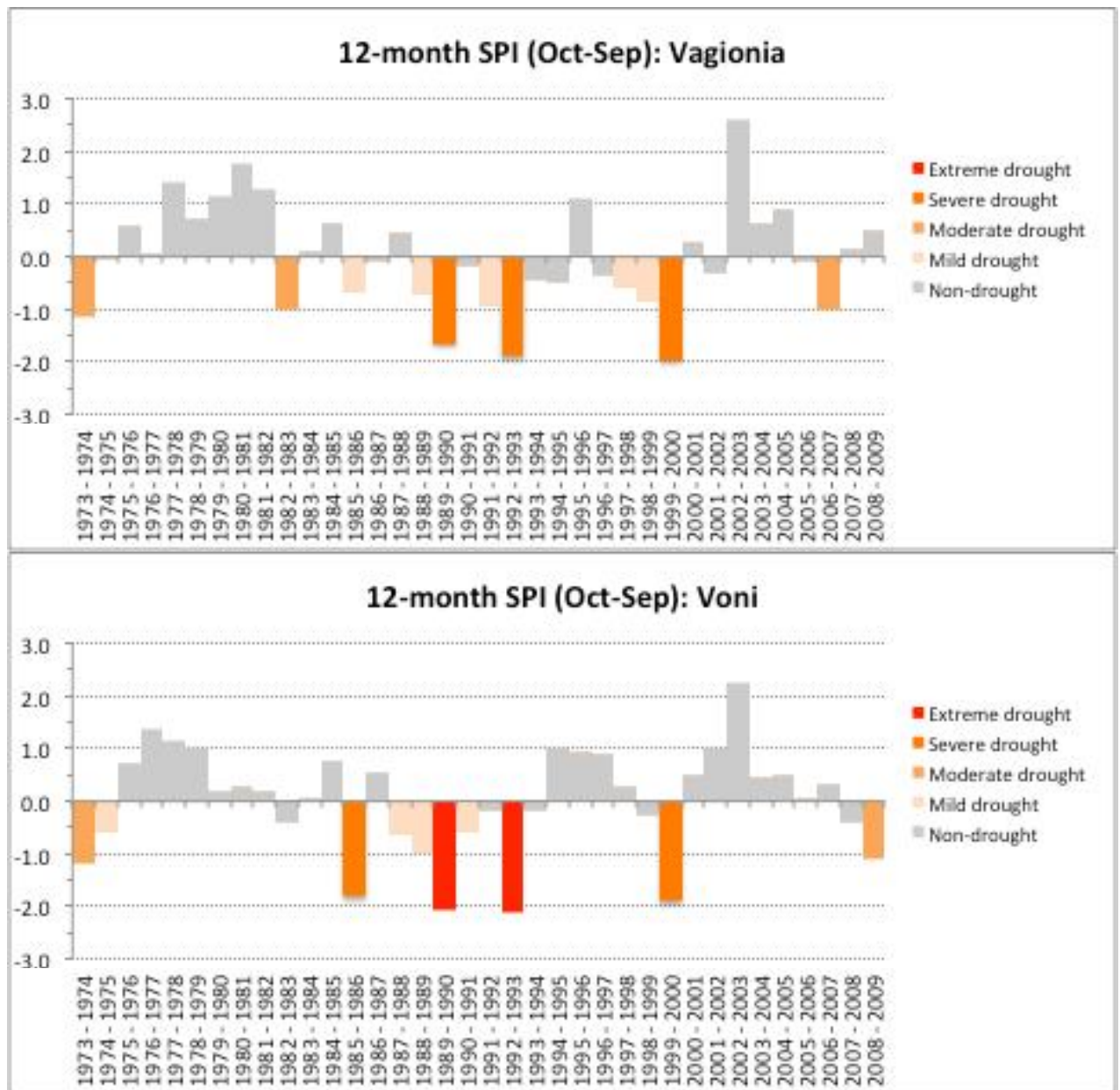


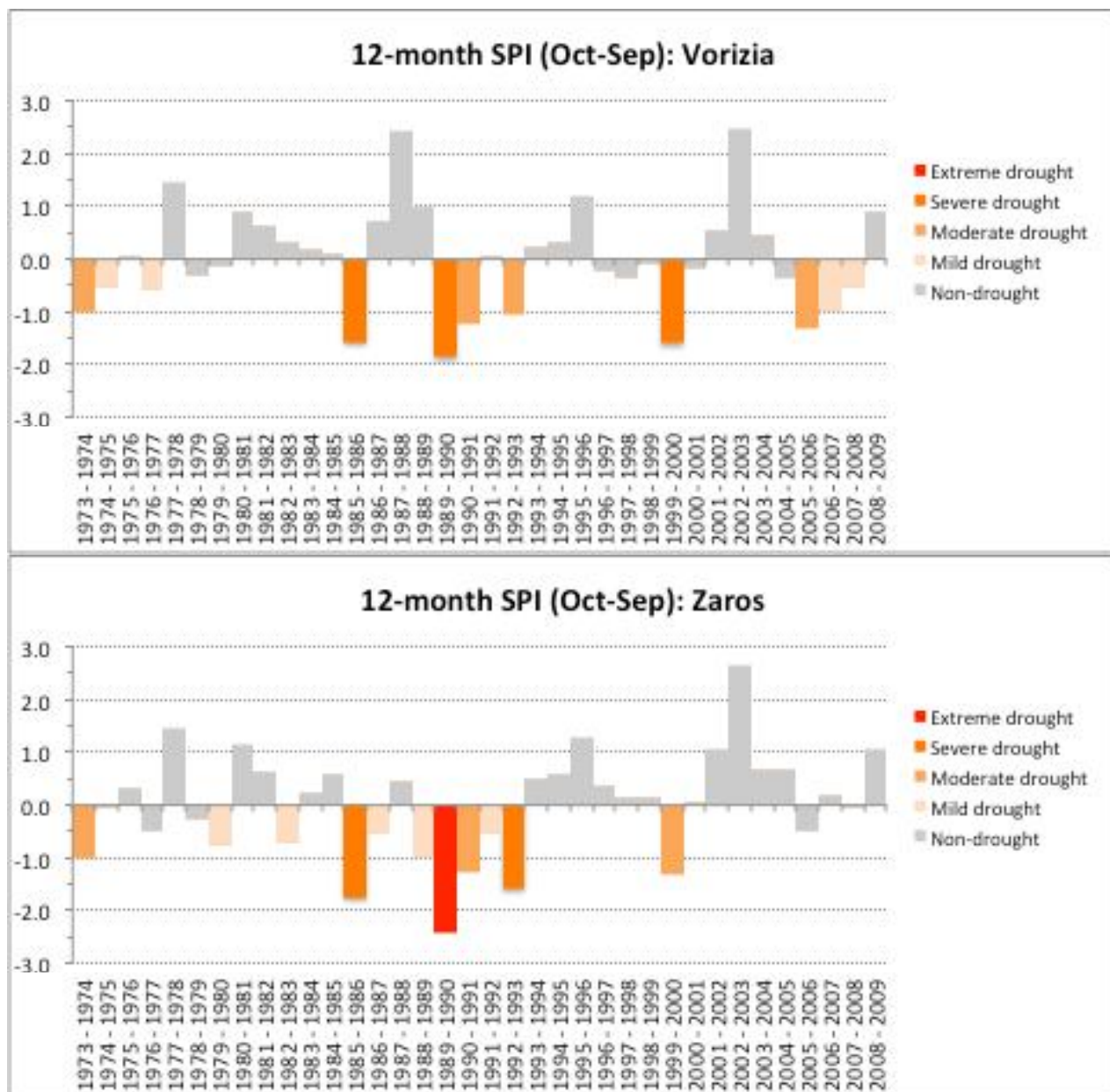




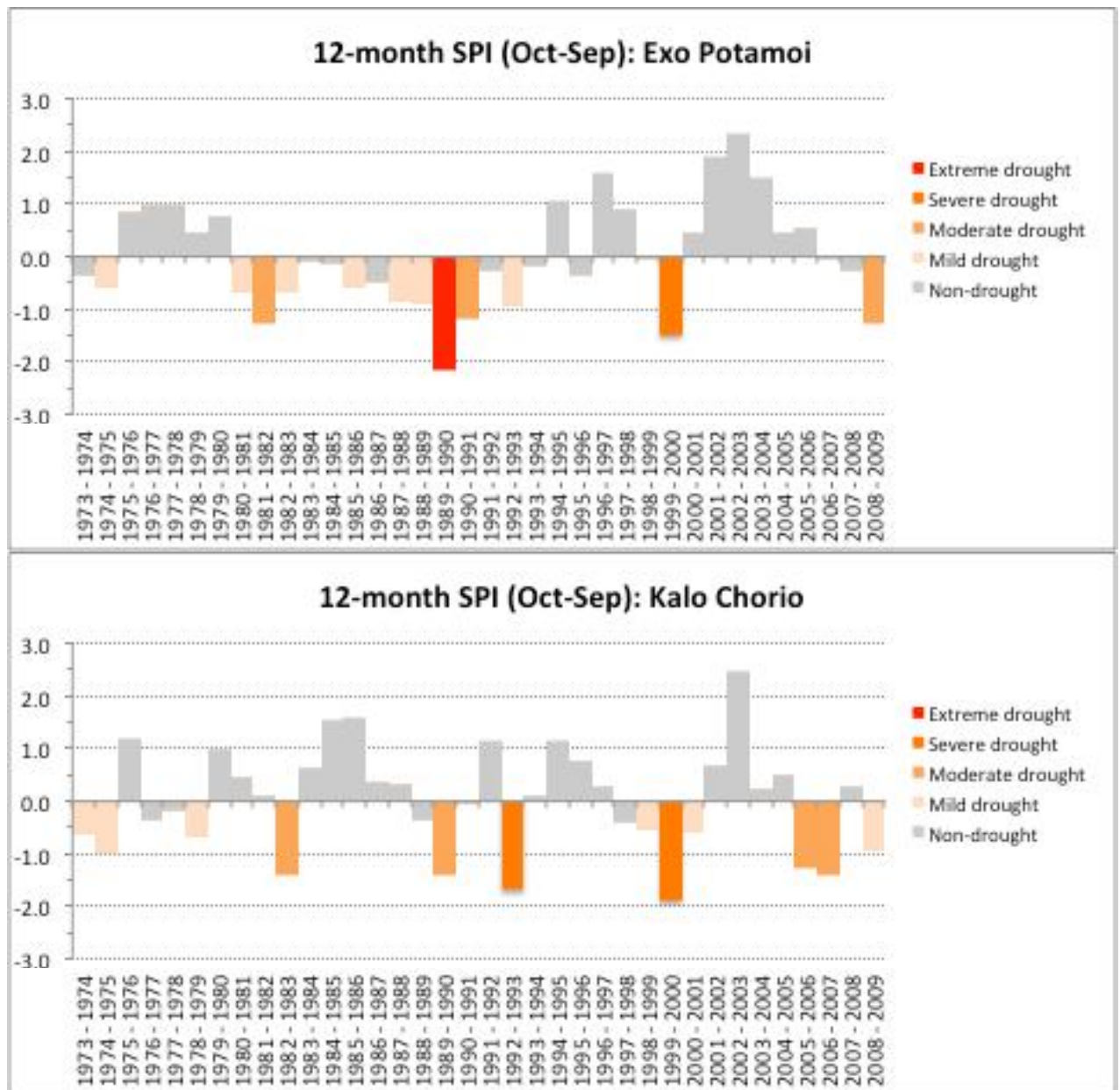


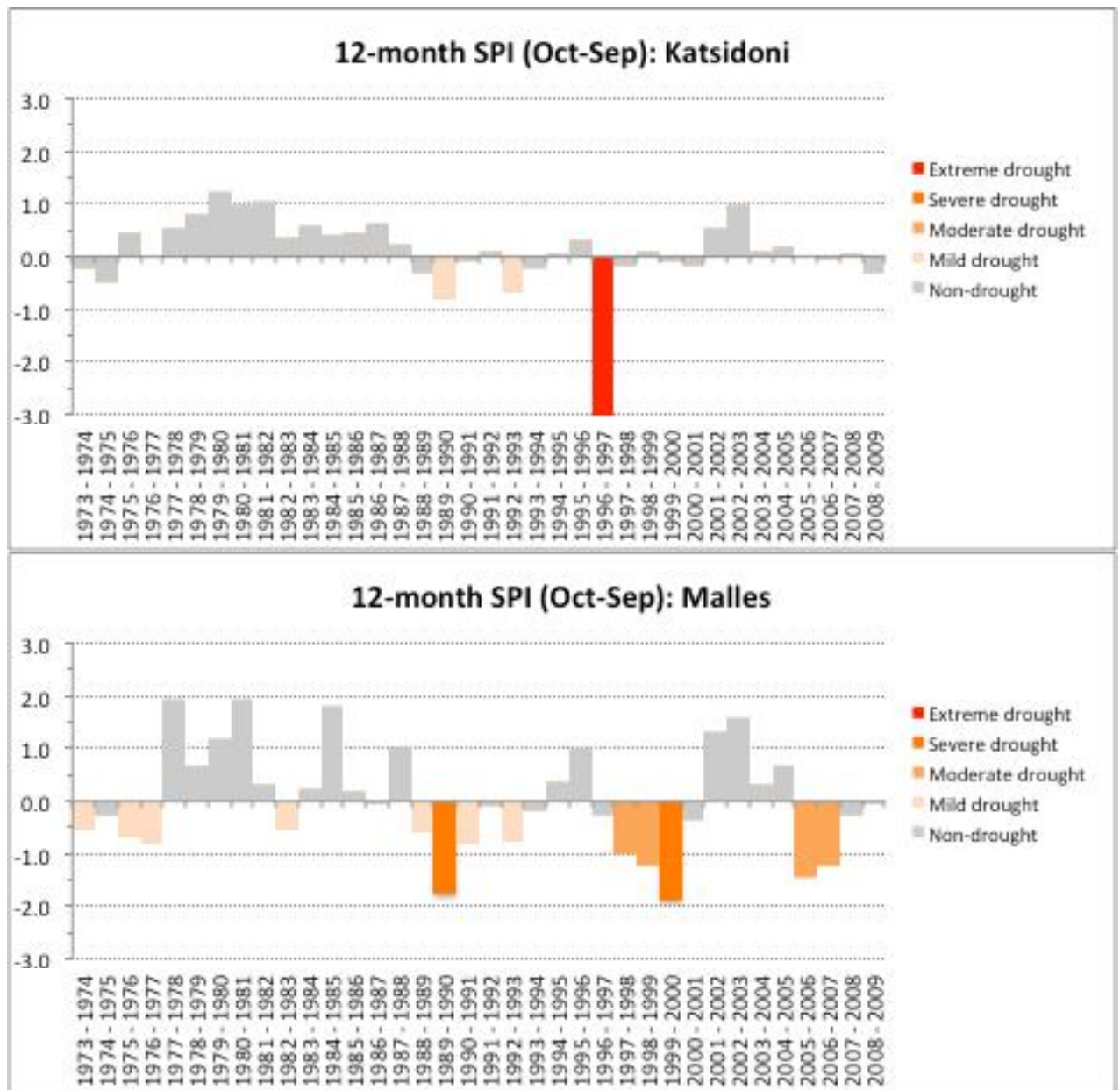


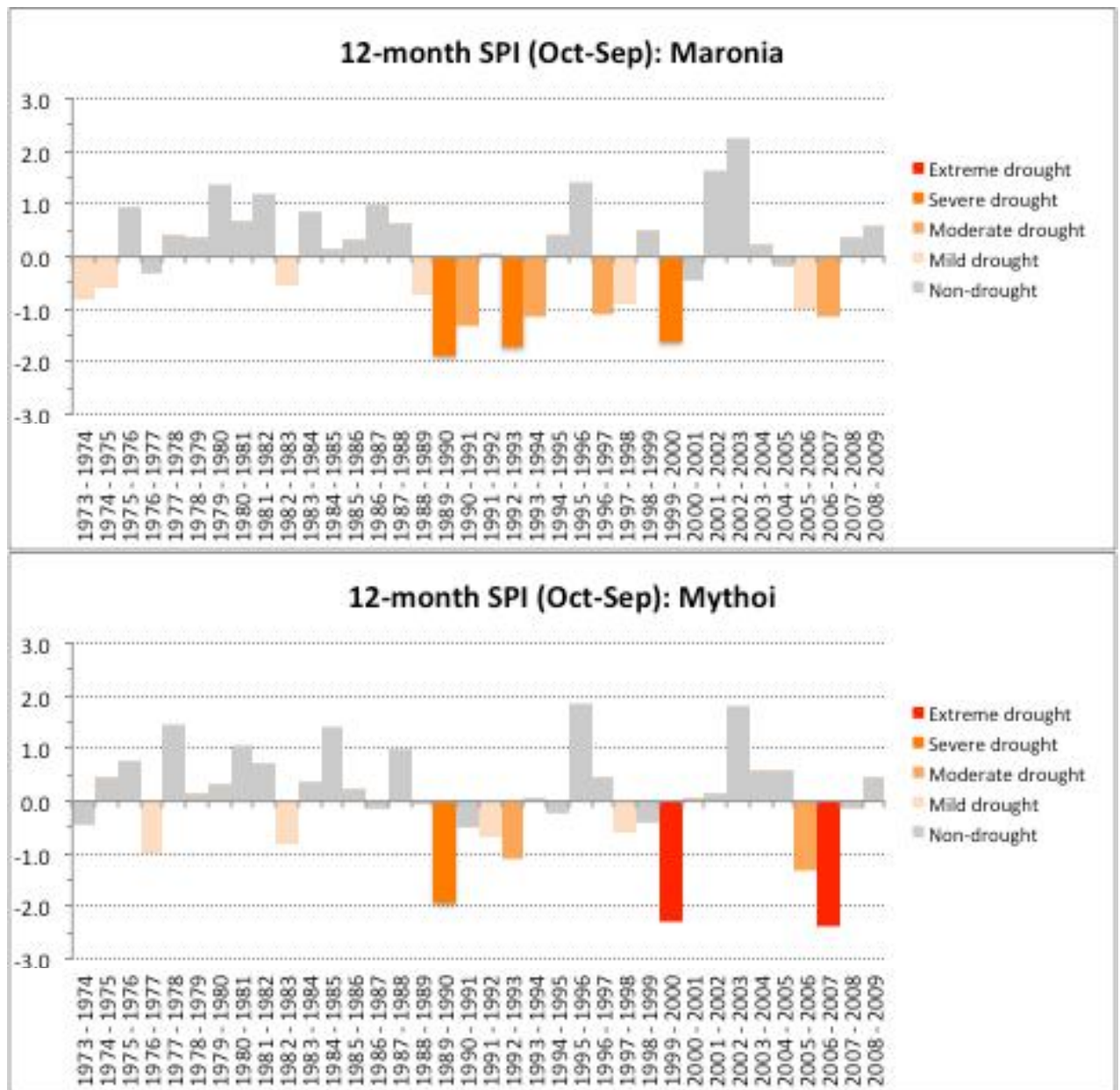


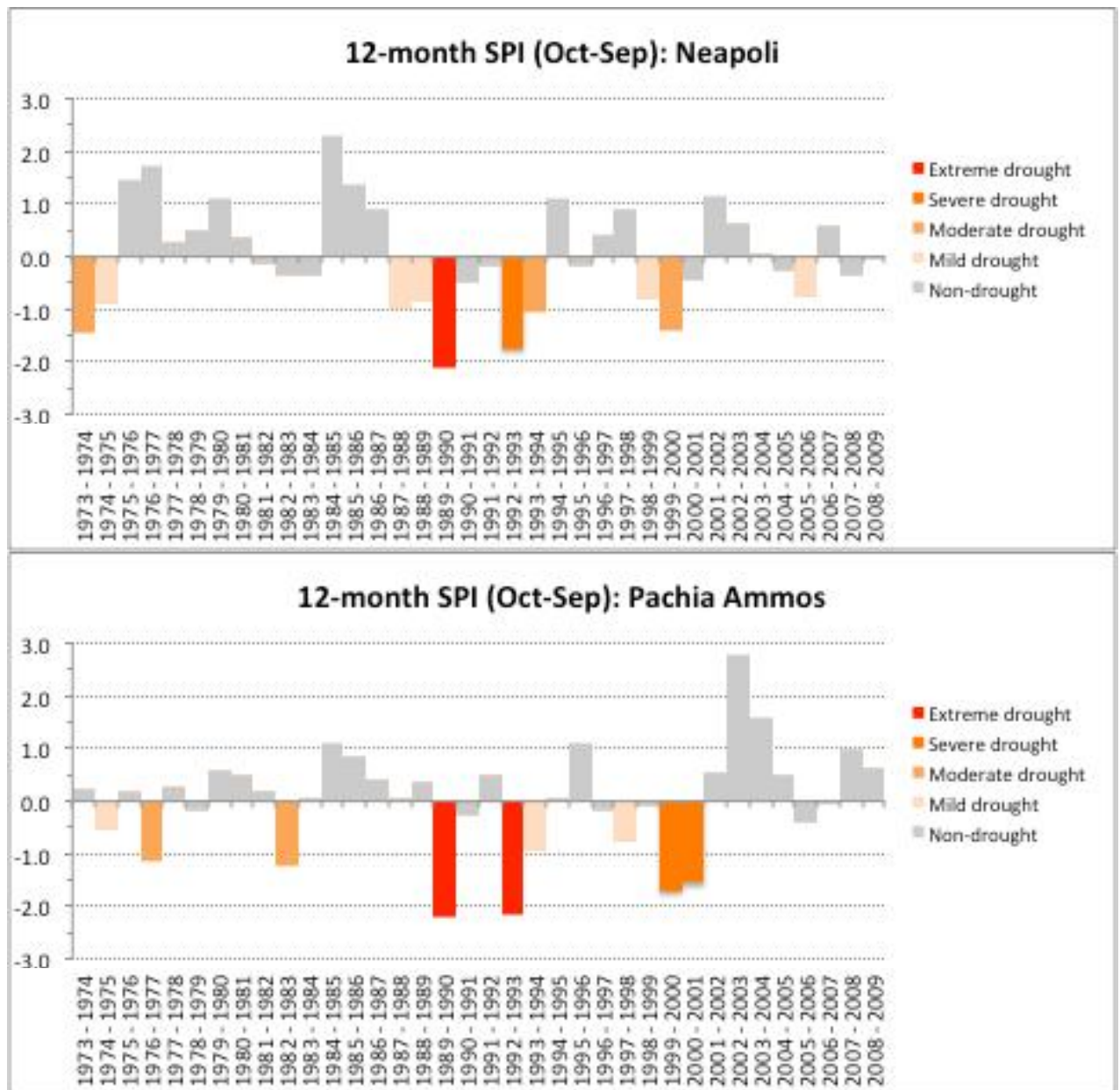


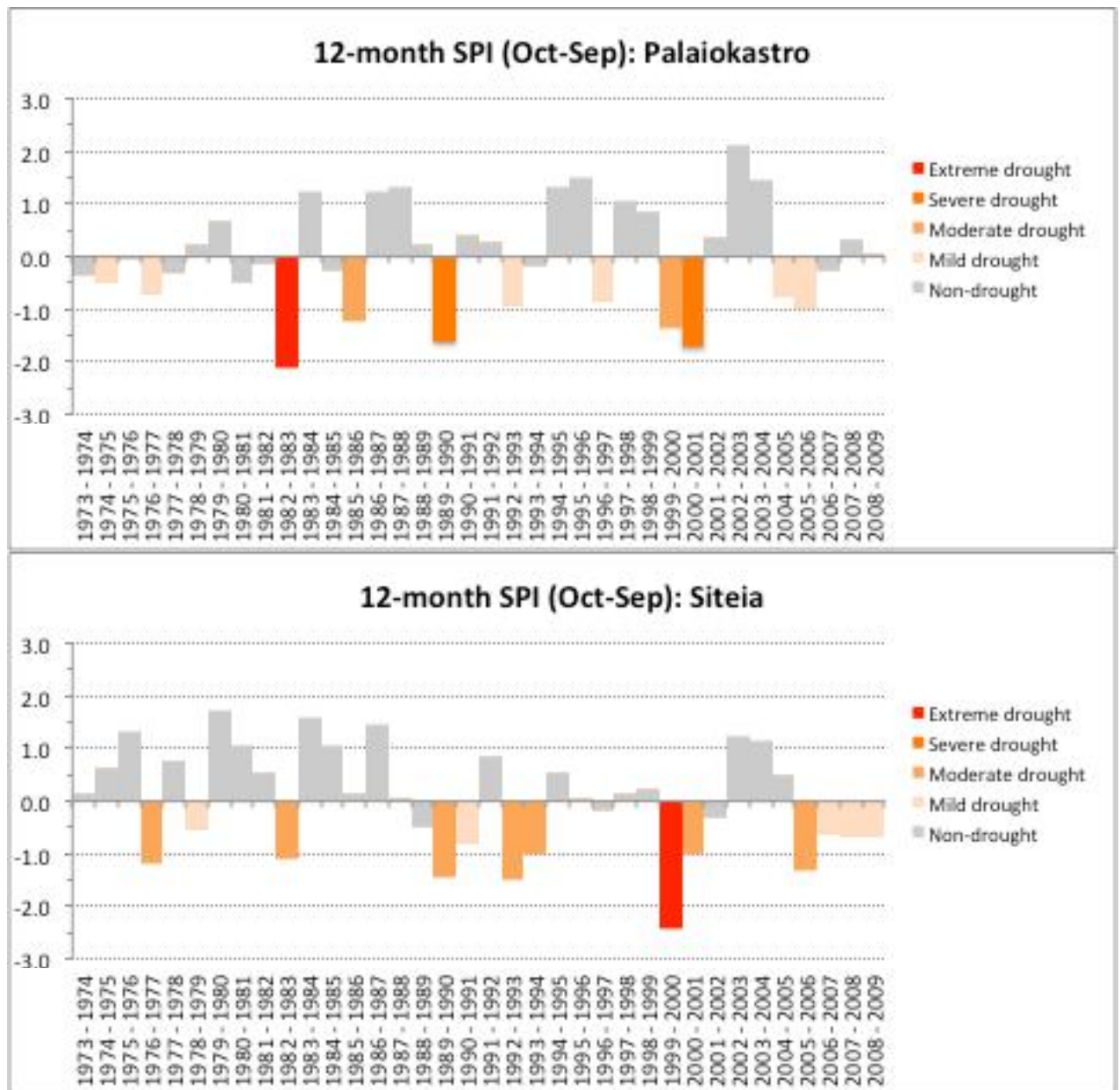
Λαοίθι



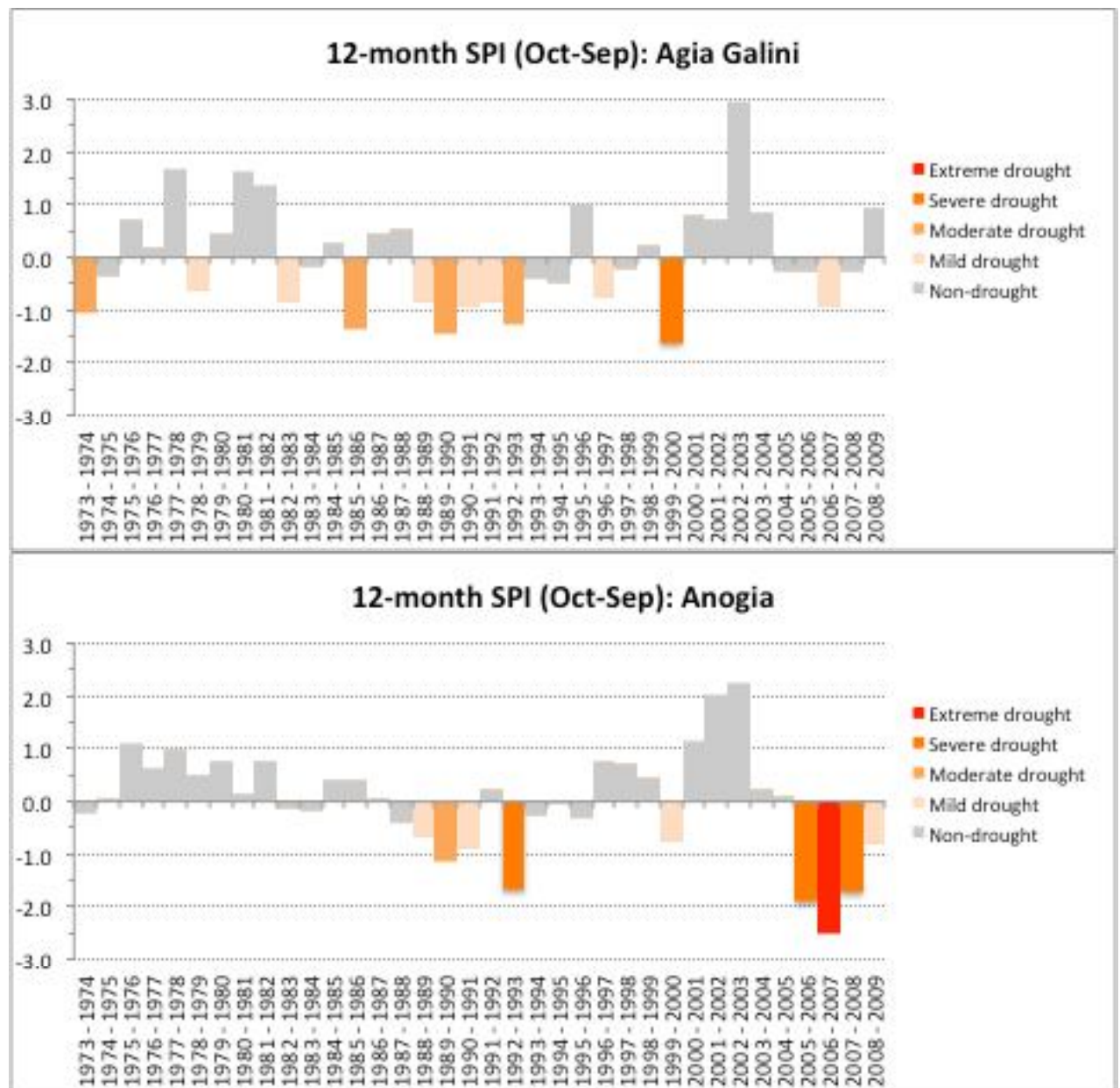


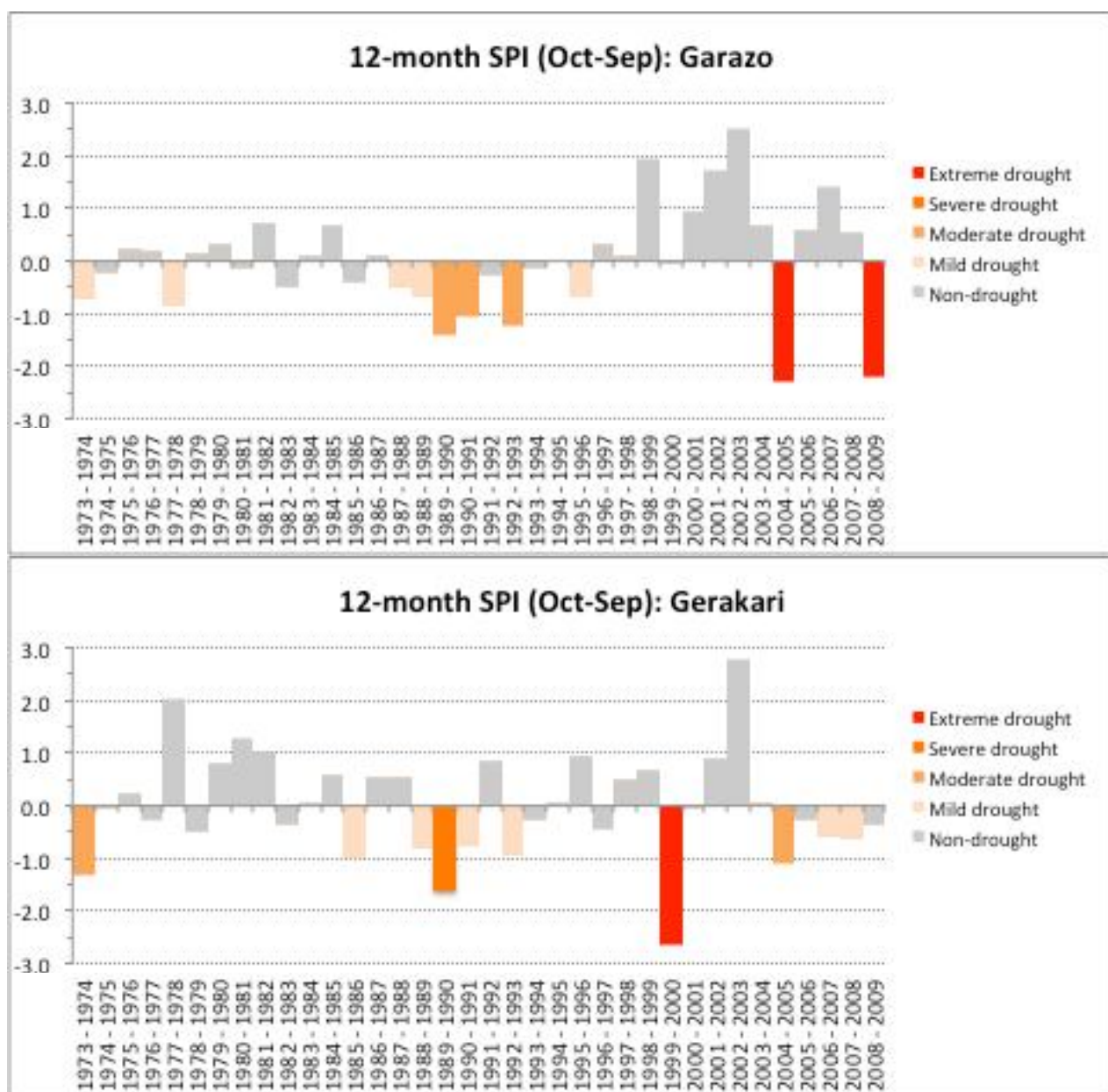


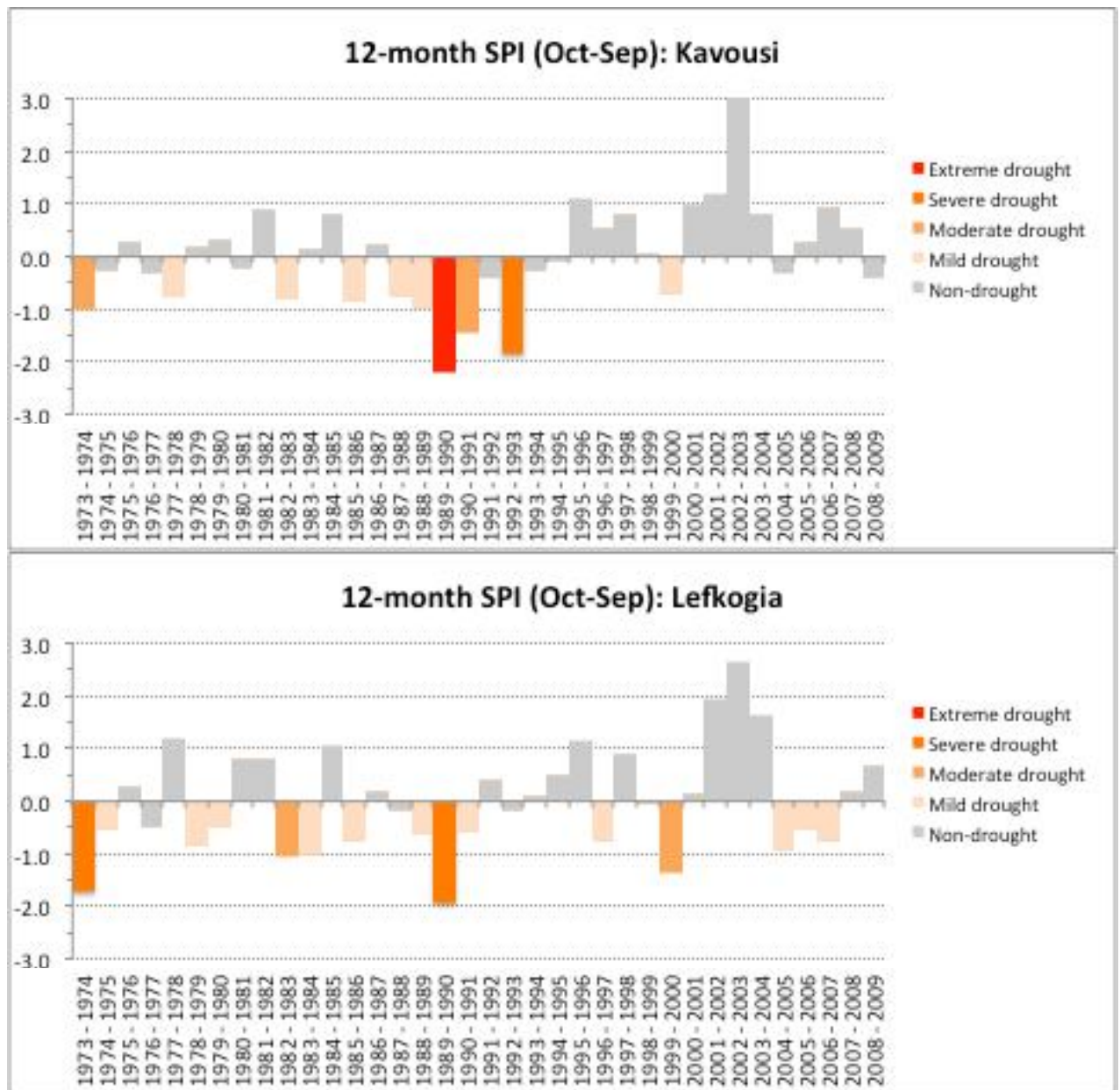


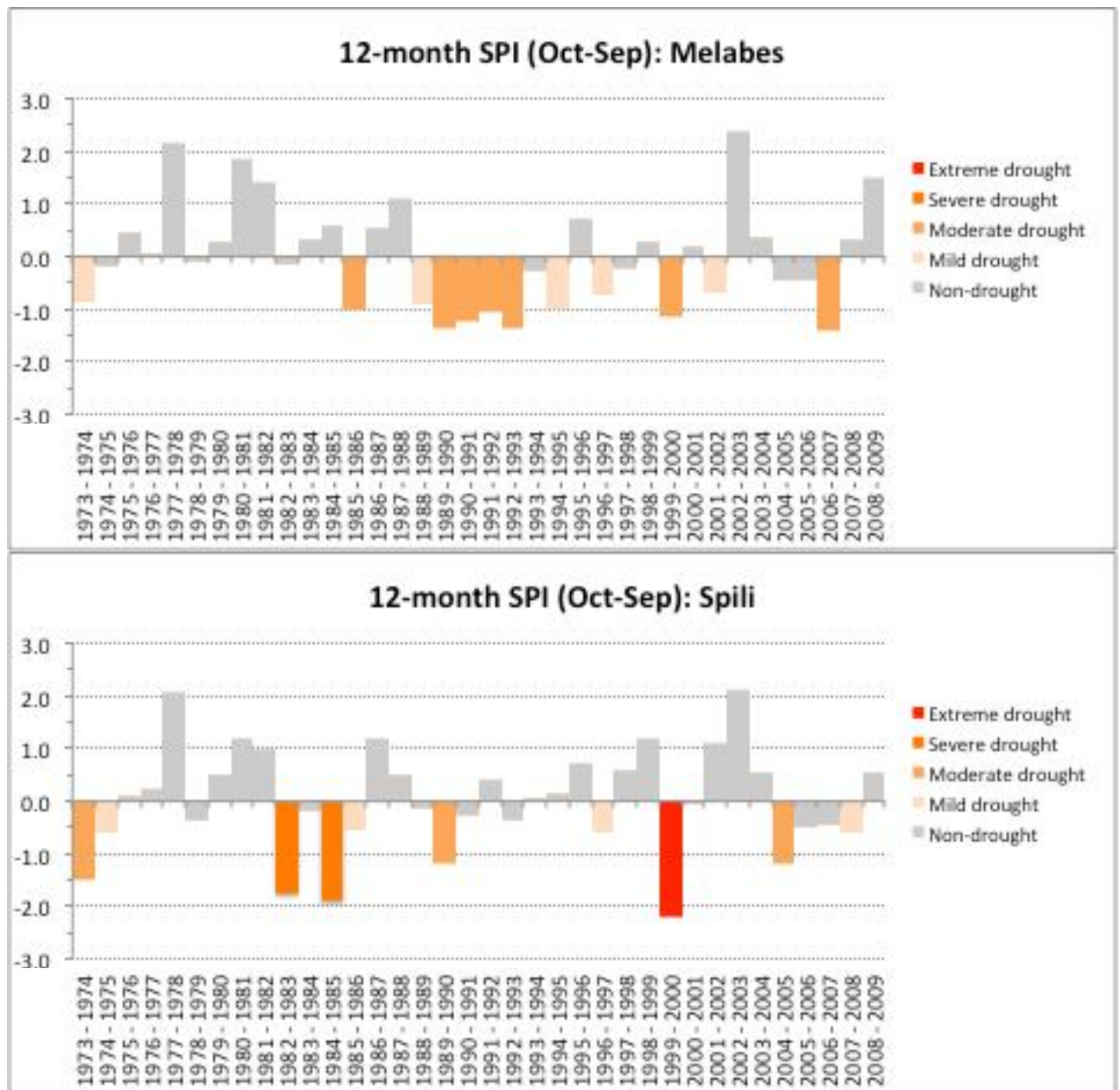


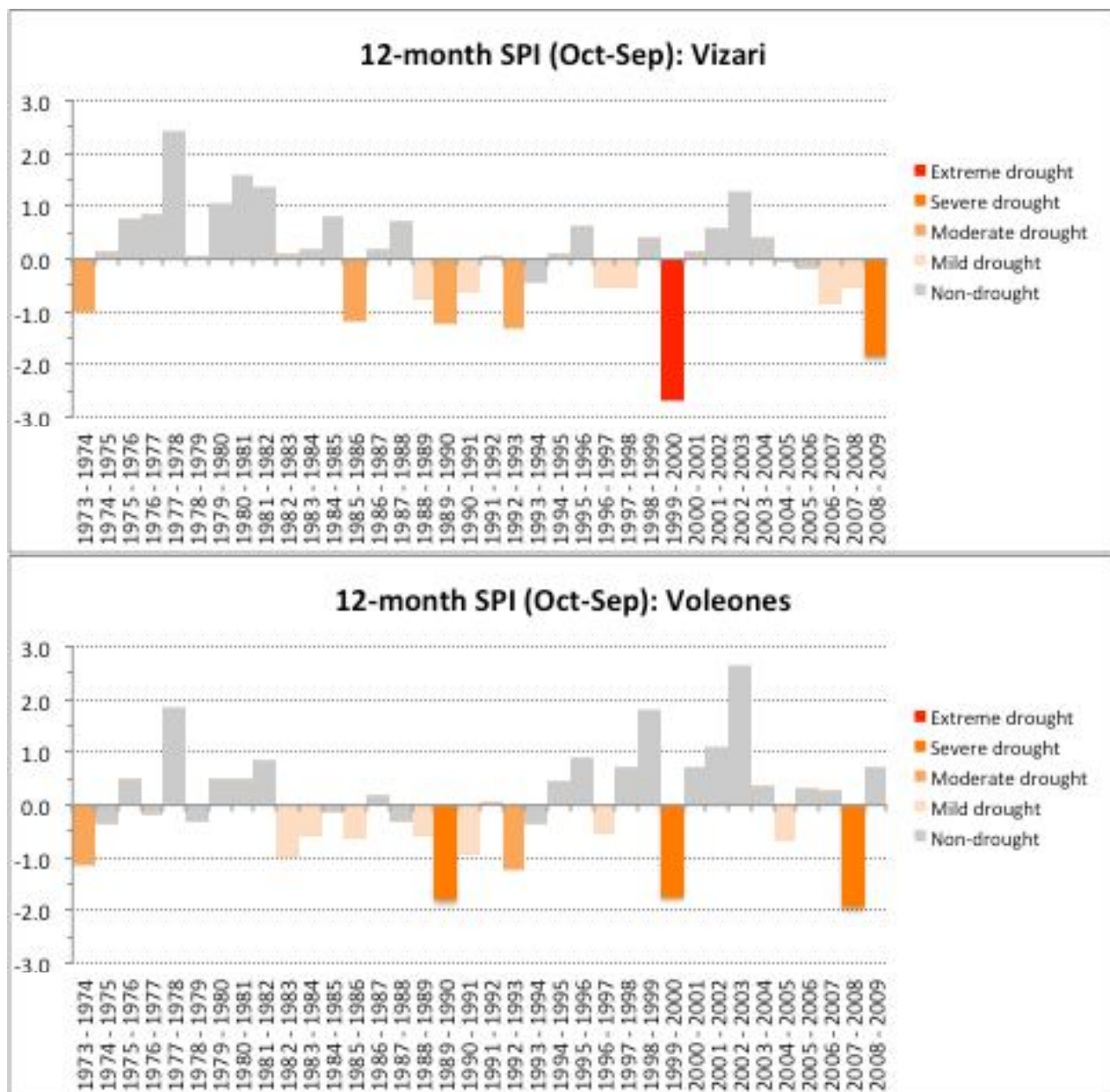
Ρέθυμνο







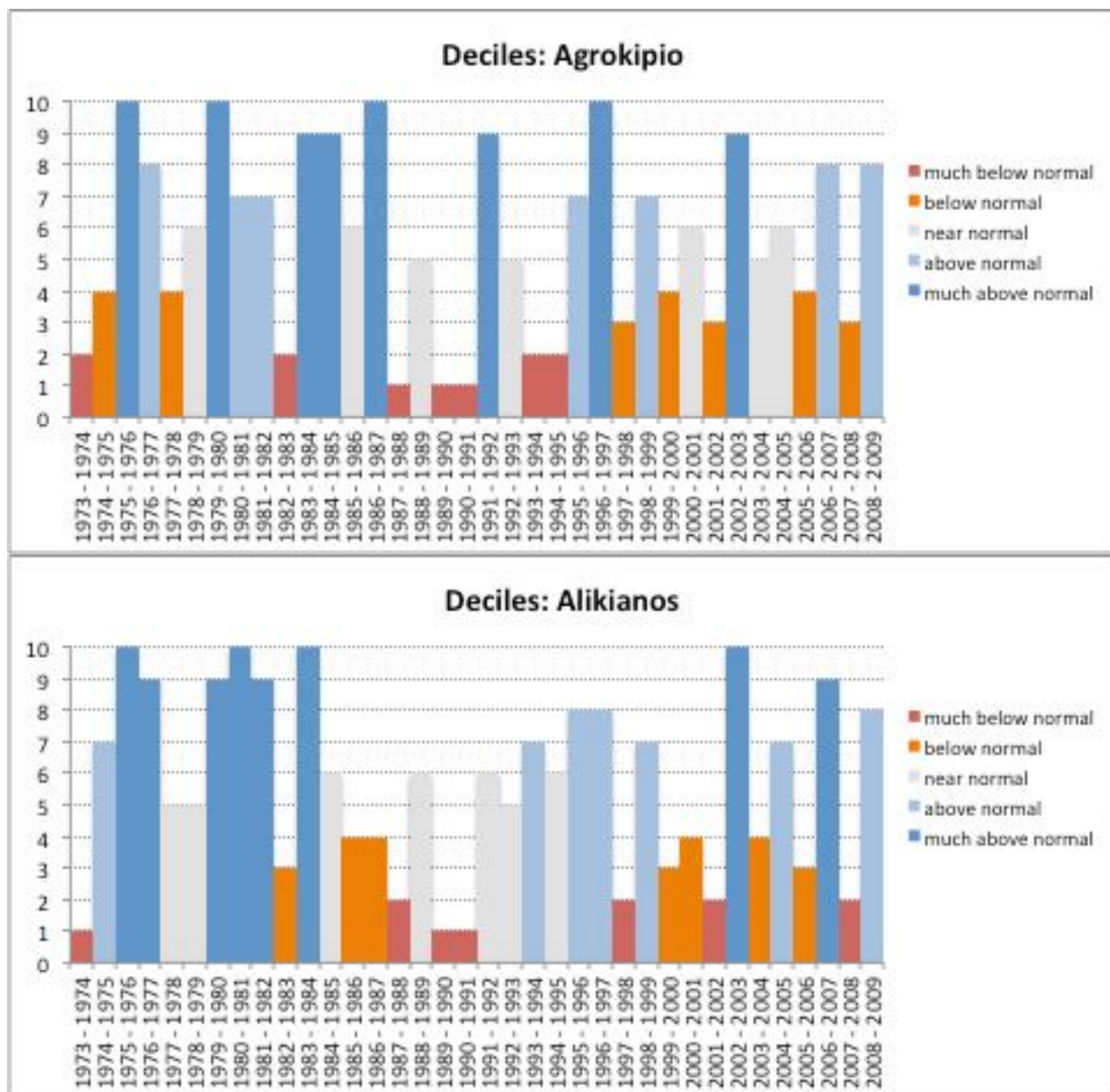


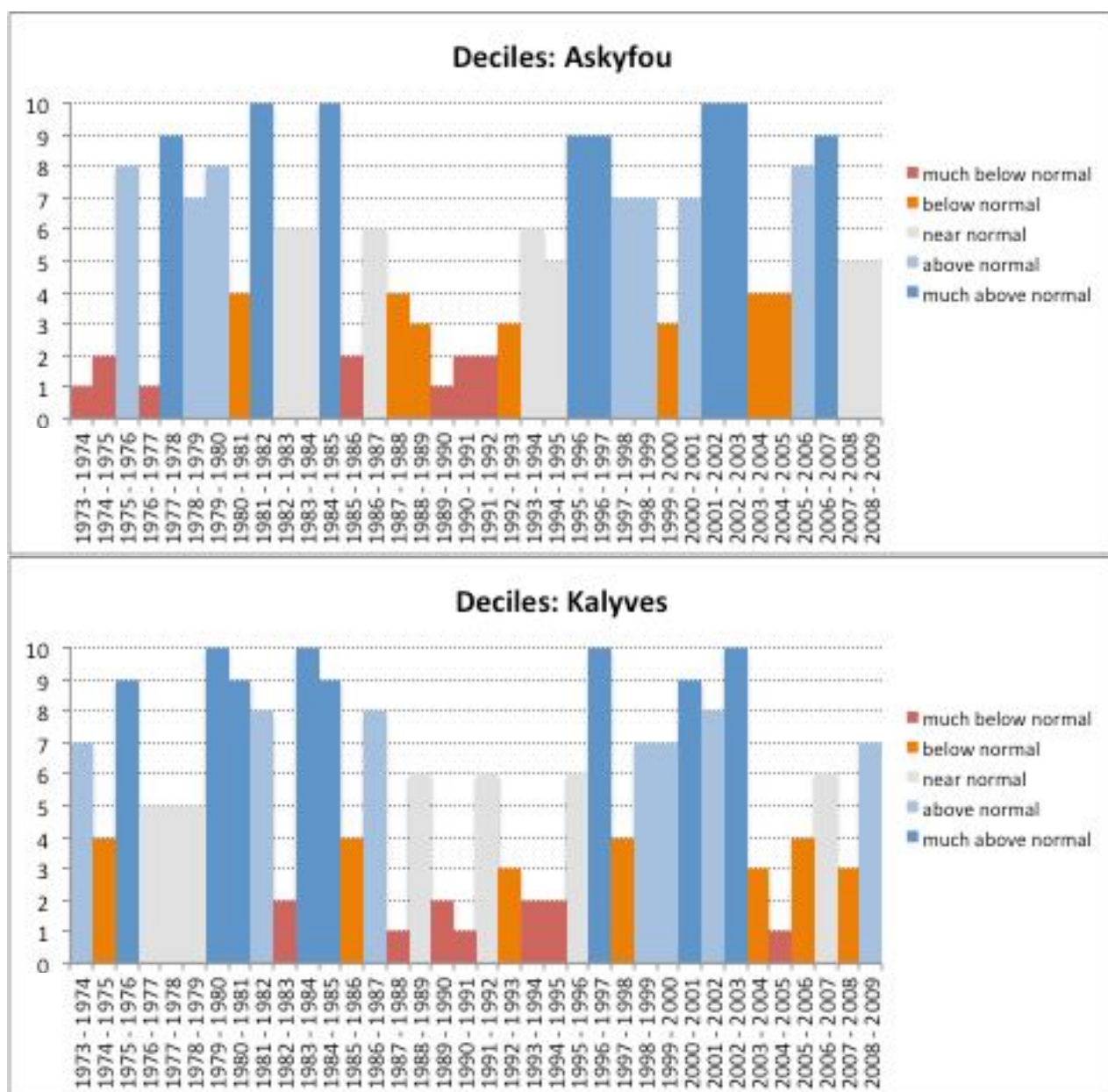


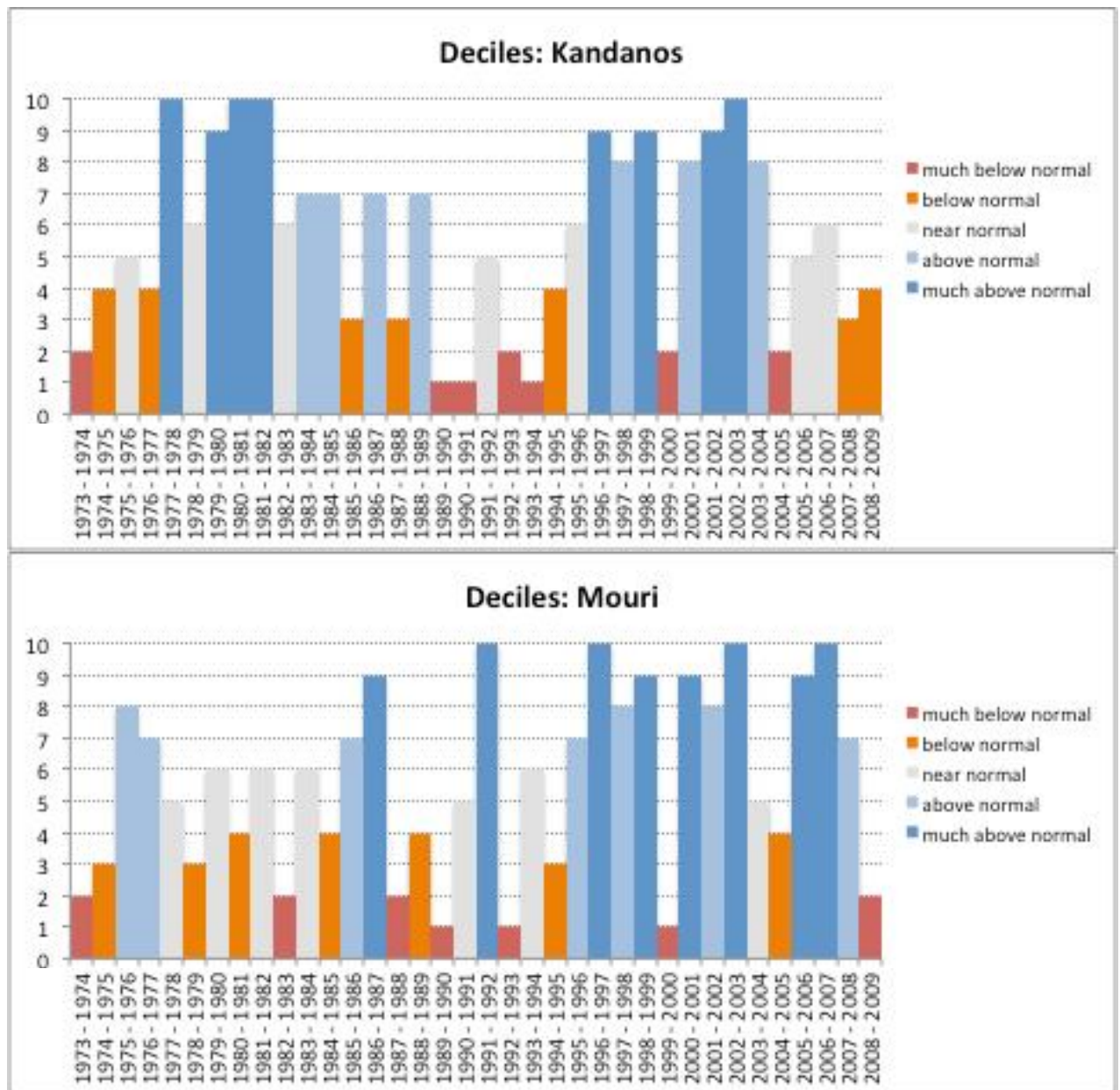
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

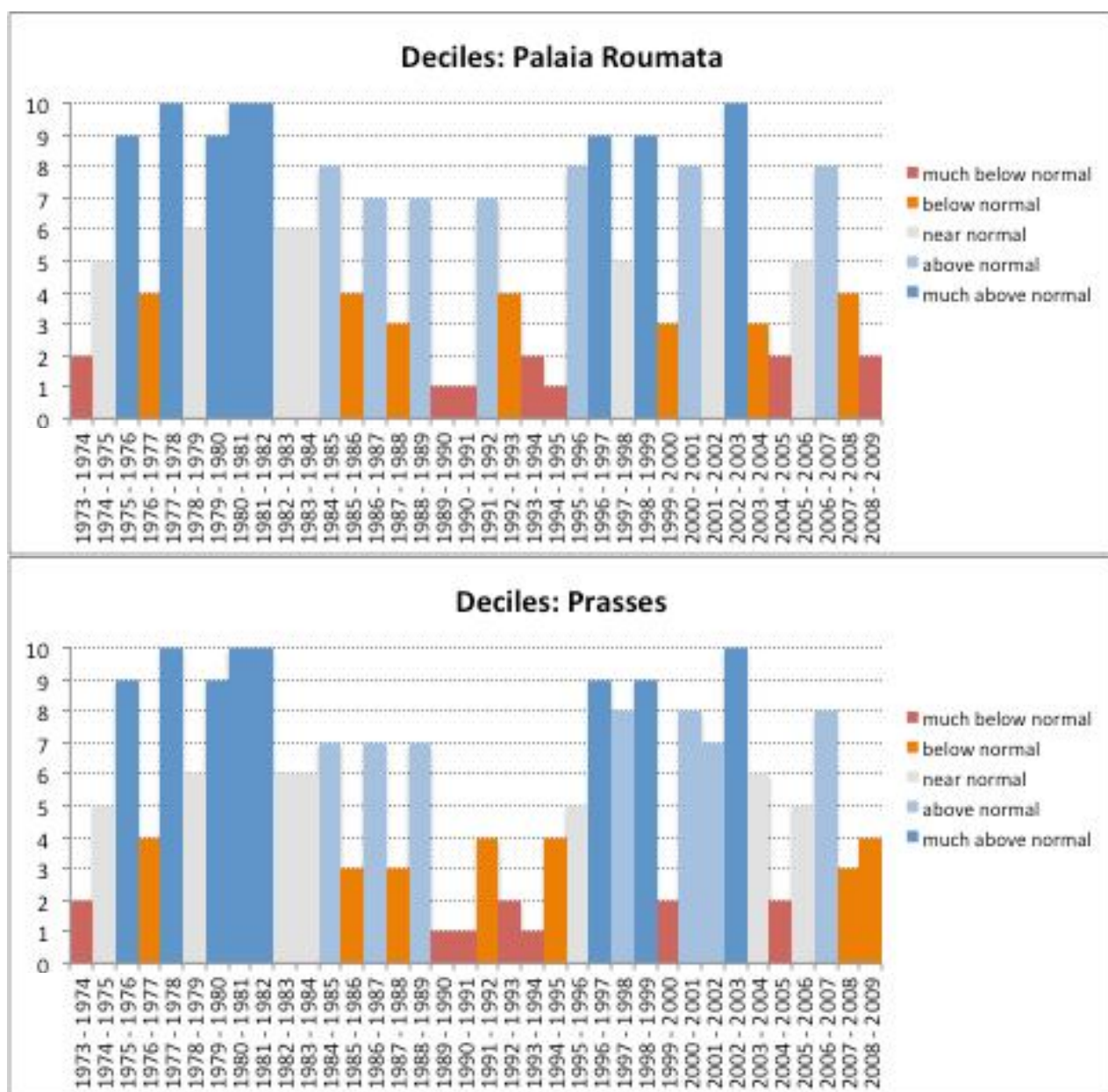
Δείκτης *Precipitation Deciles* - ετήσιο χρονικό βήμα, 12-μηνια χρονική κλίμακα
(περίοδος αναφοράς Οκτ. - Σεπτ.)

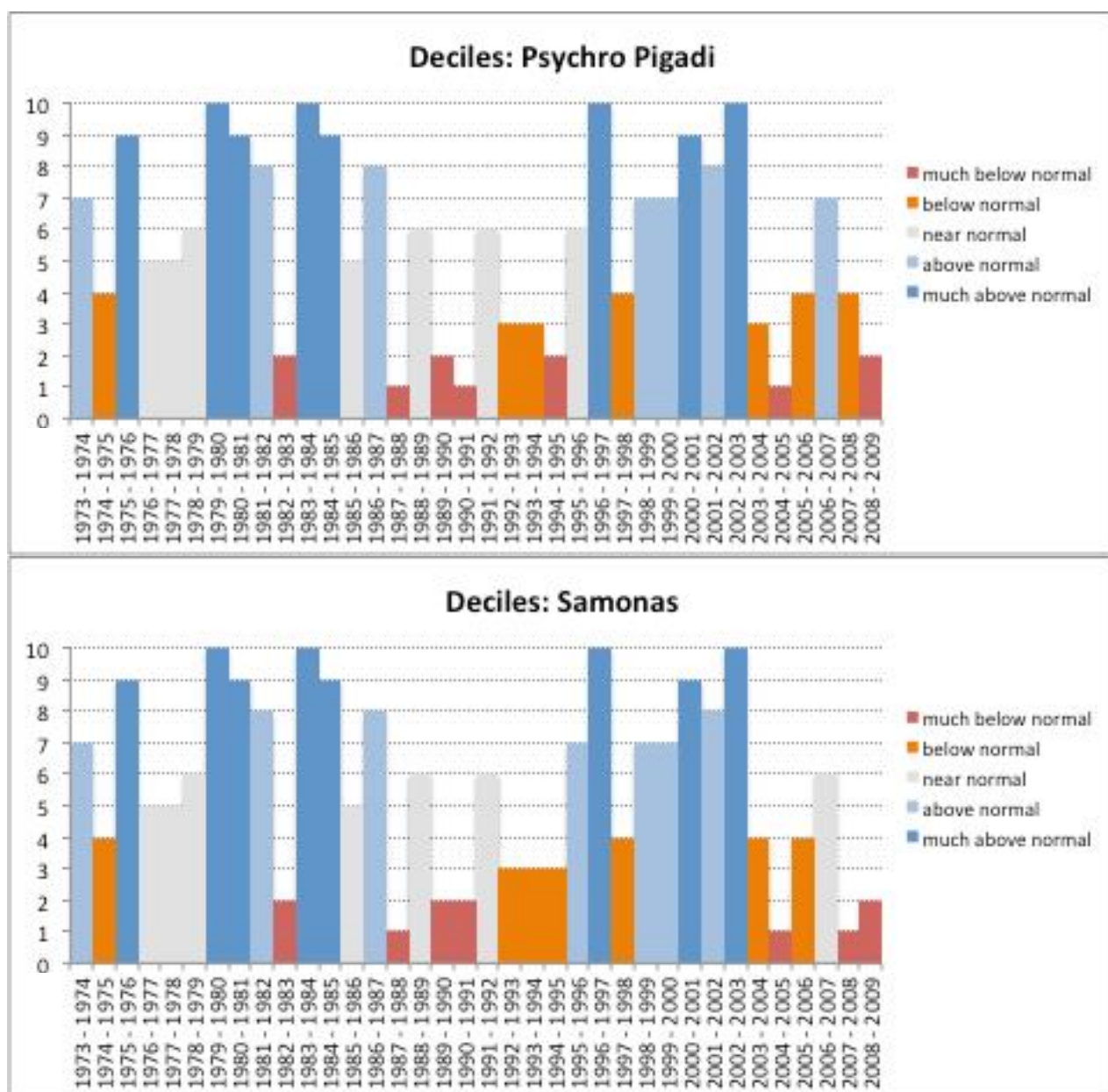
Χανιά

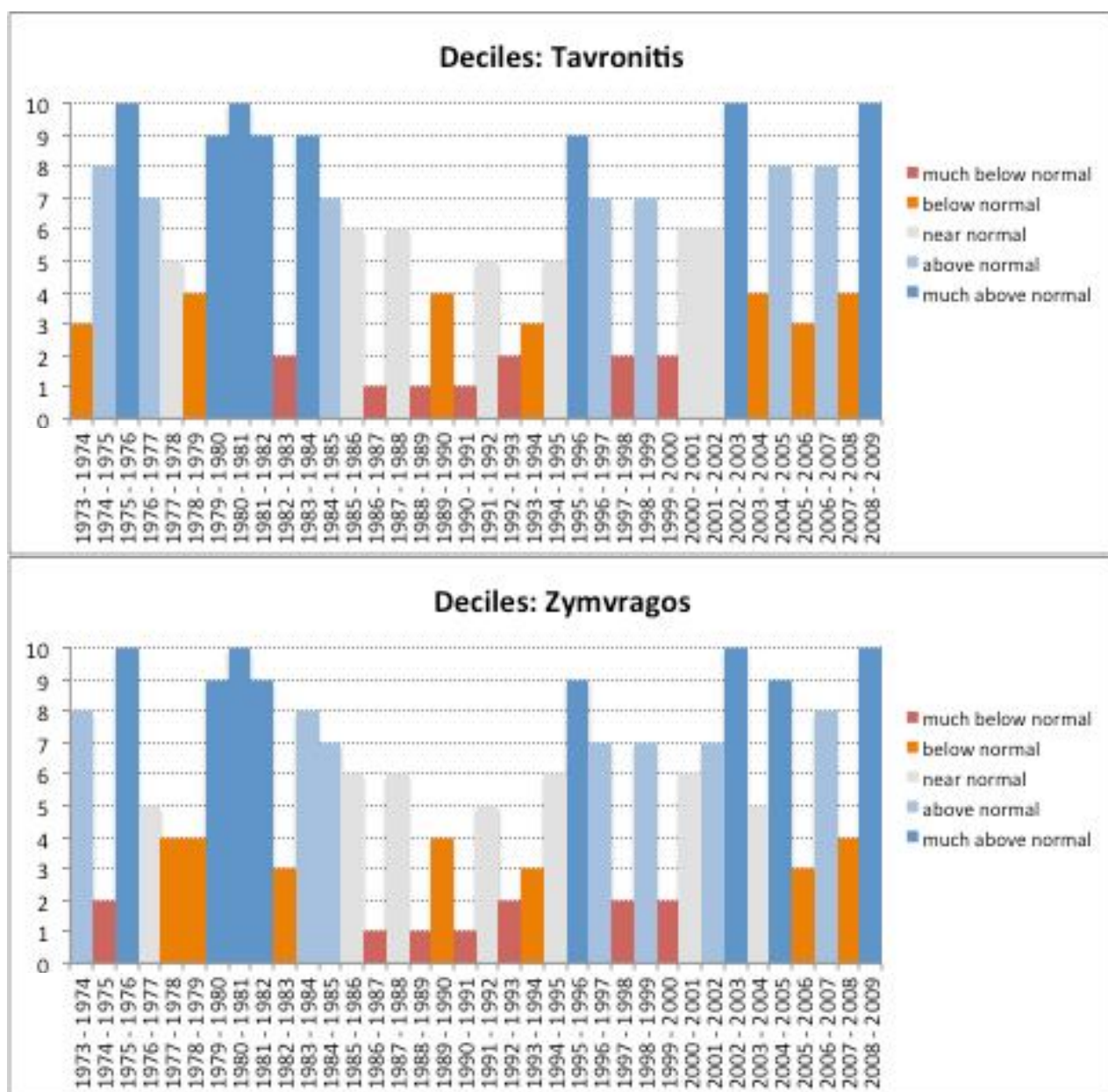




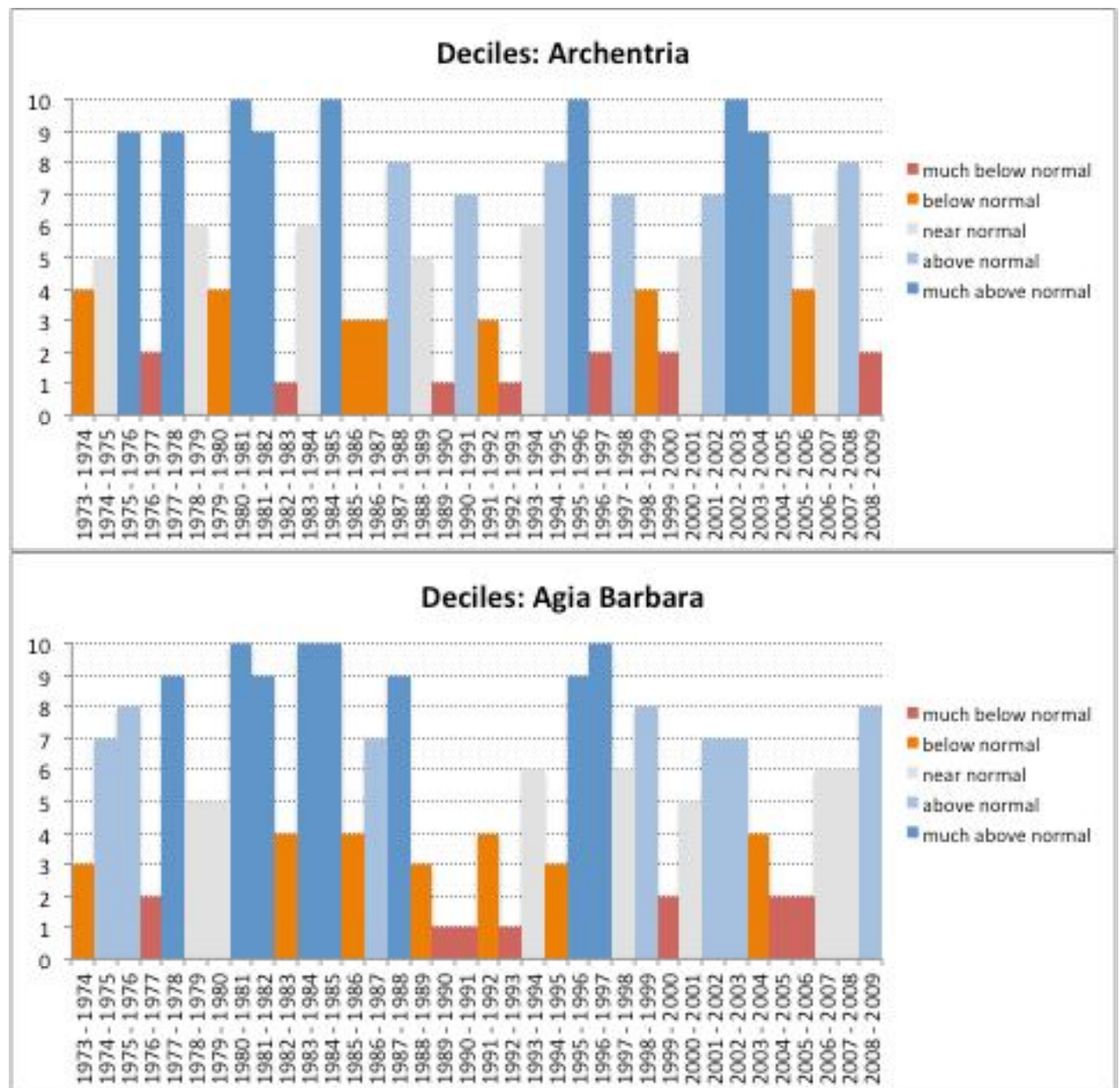


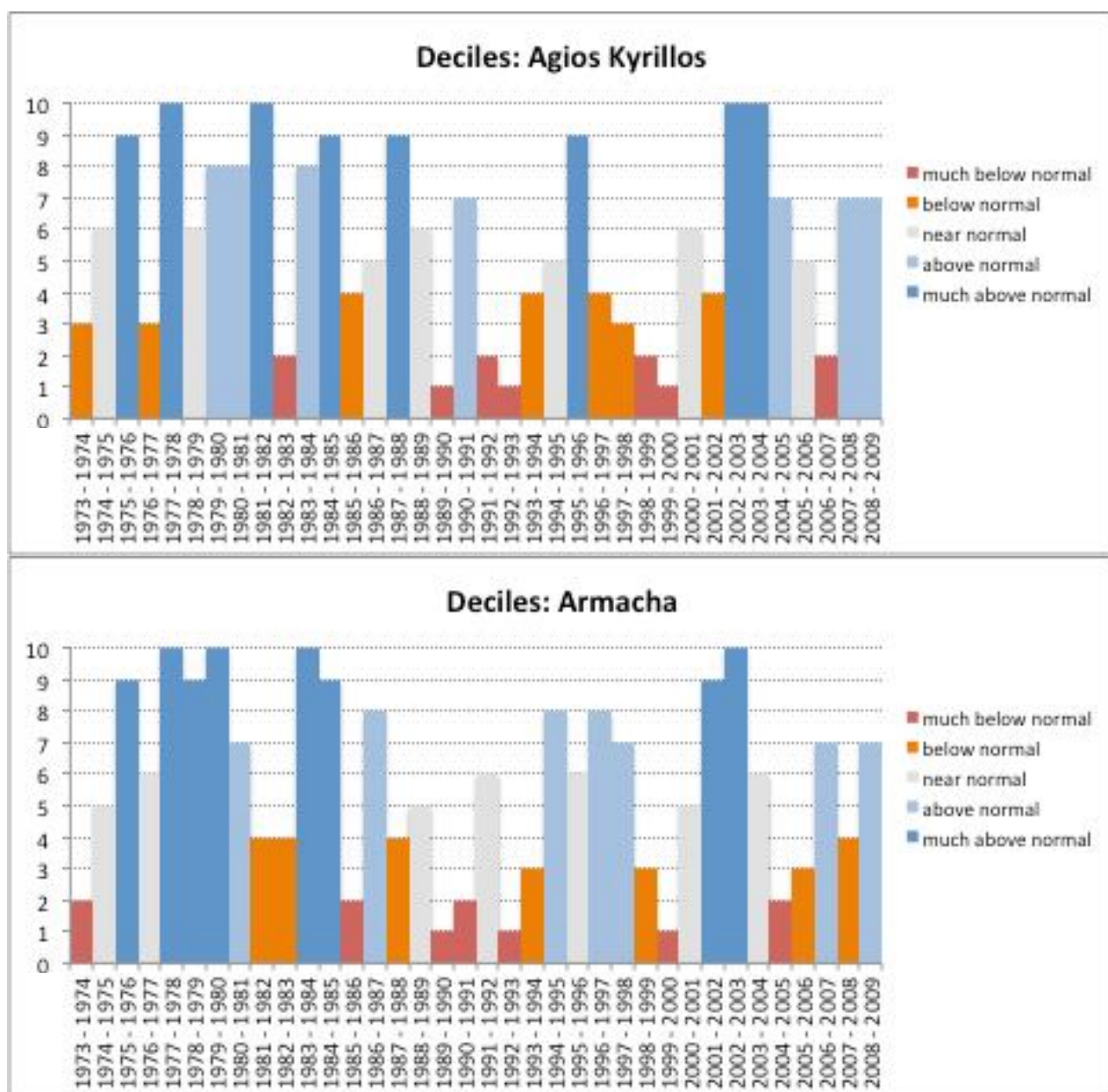


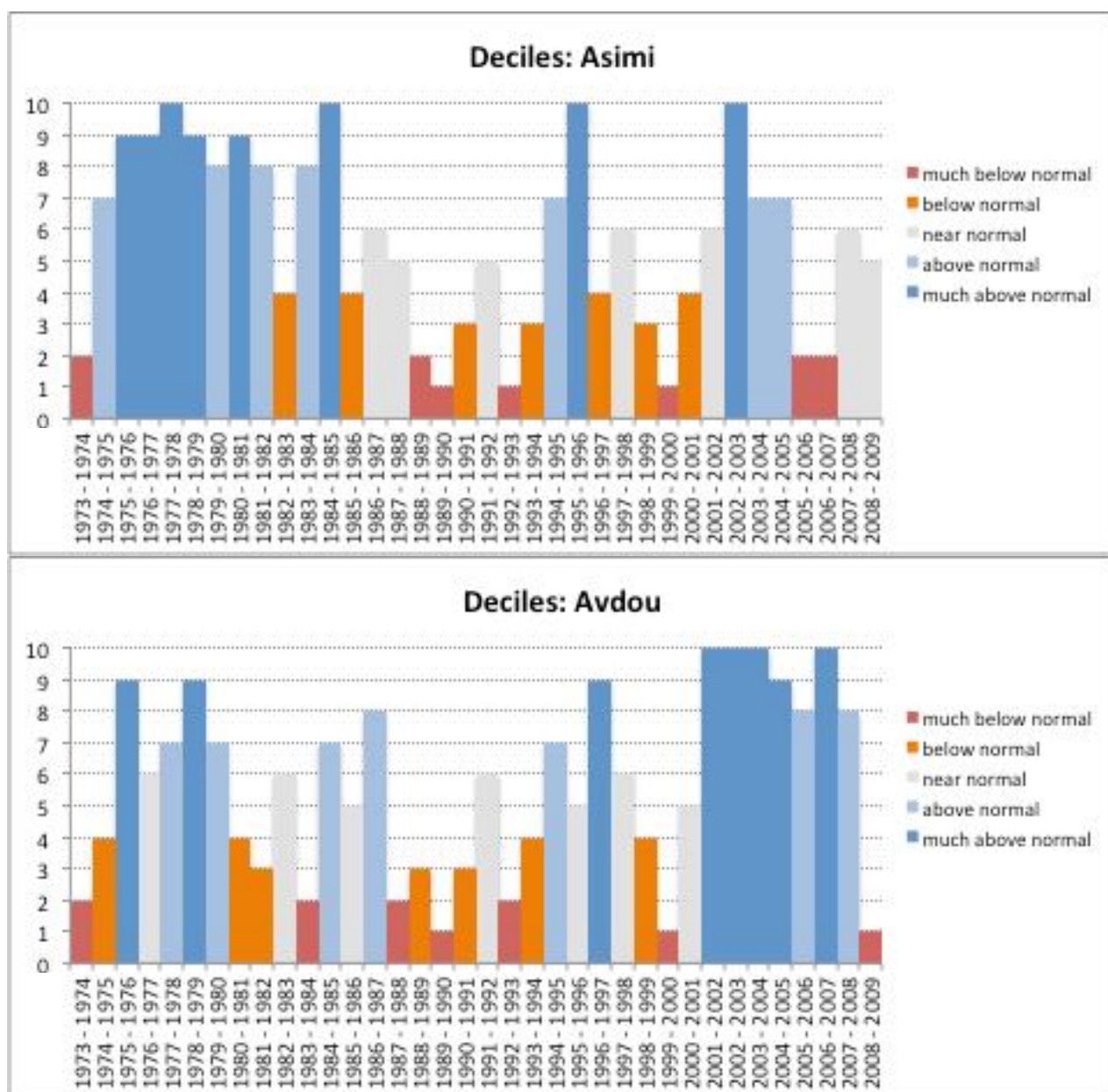


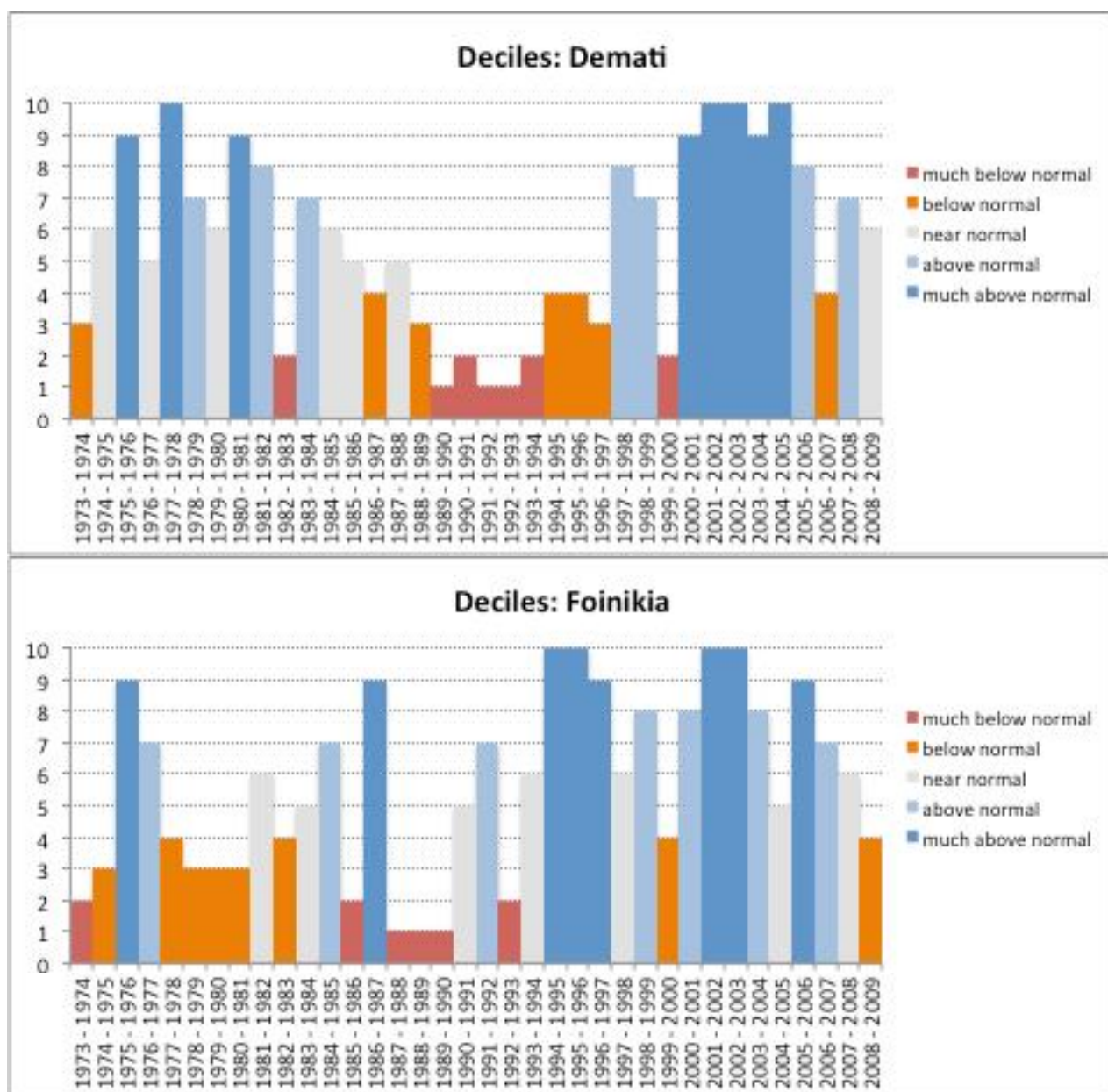


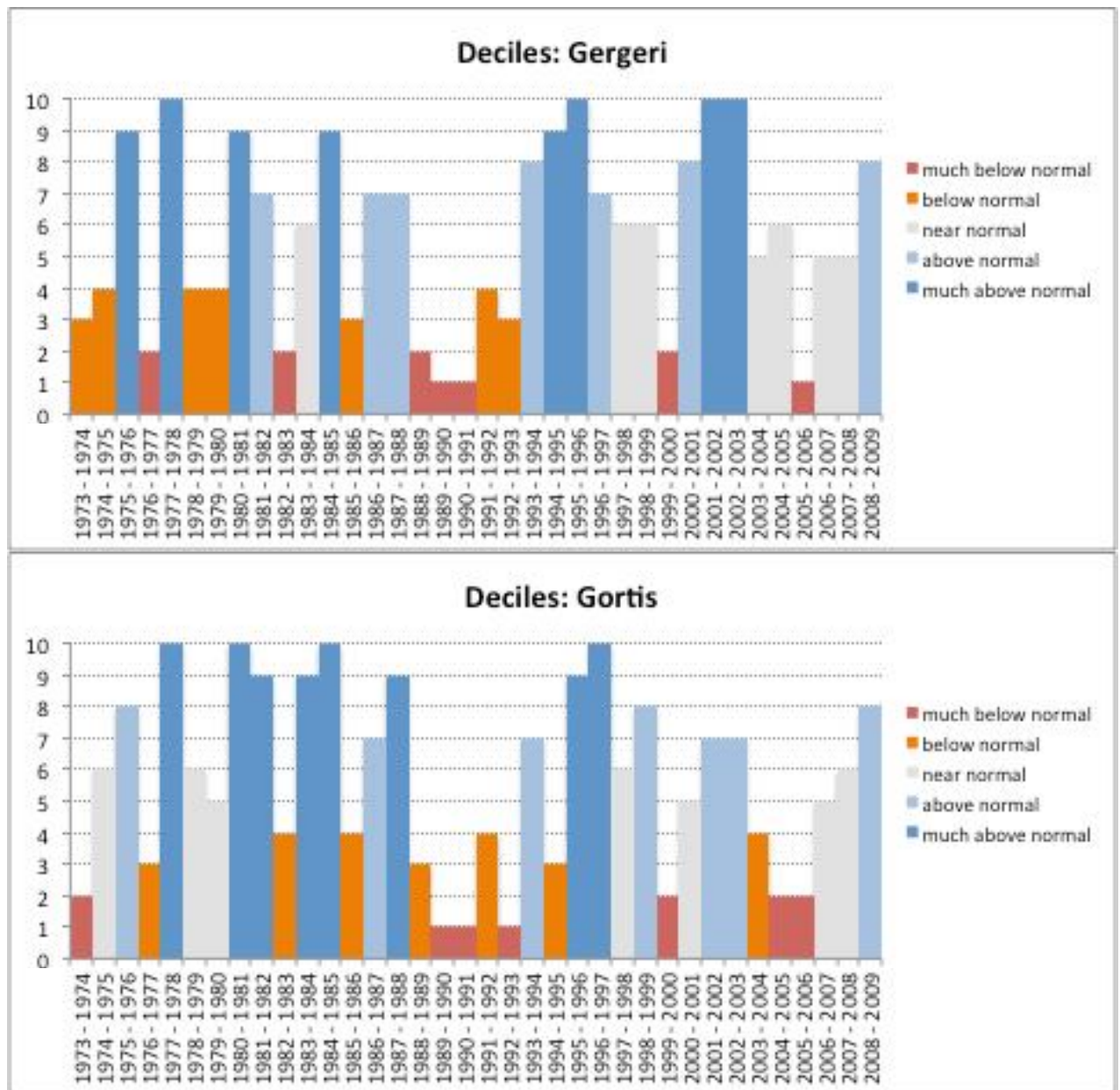
Ηράκλειο

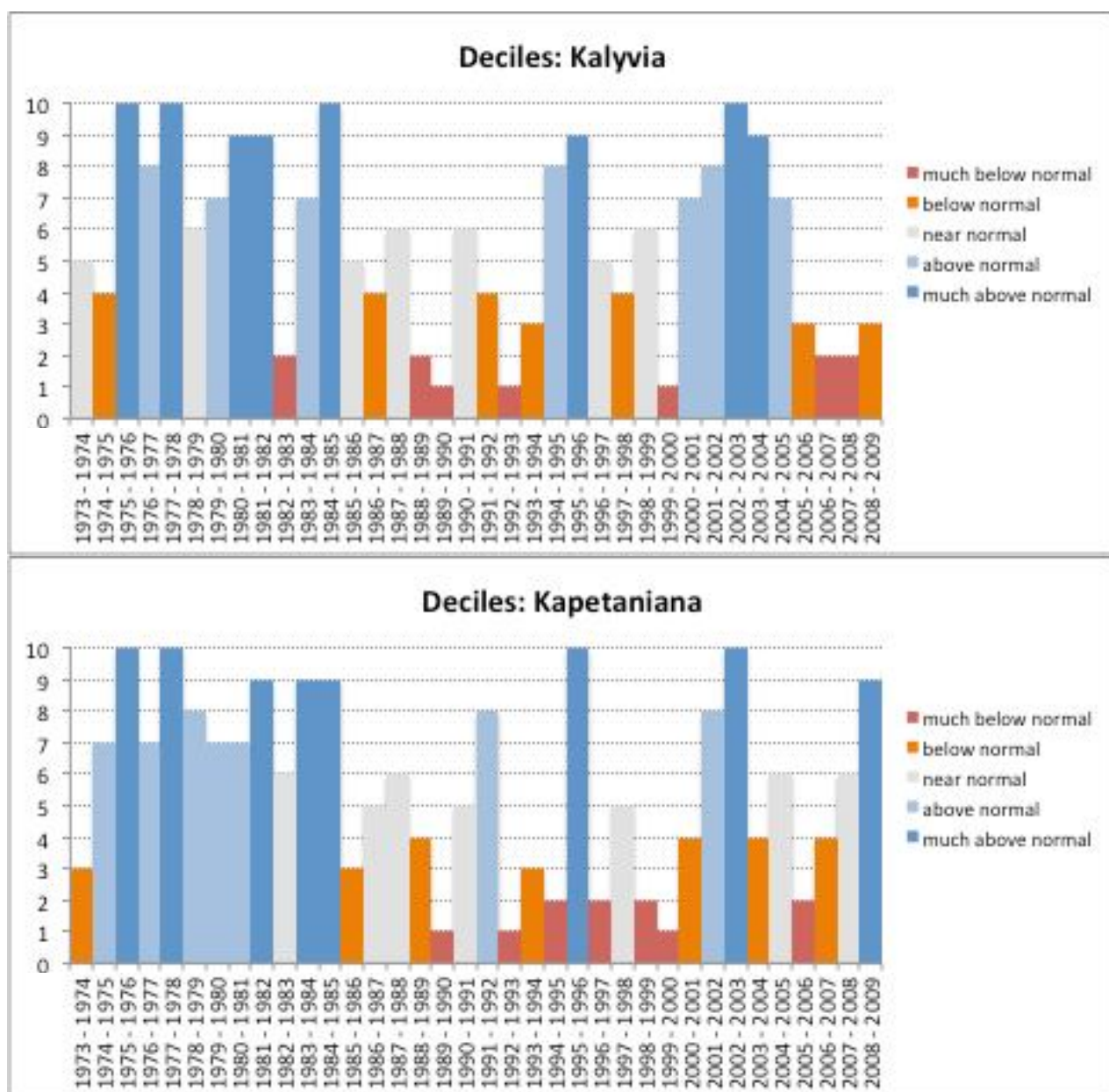


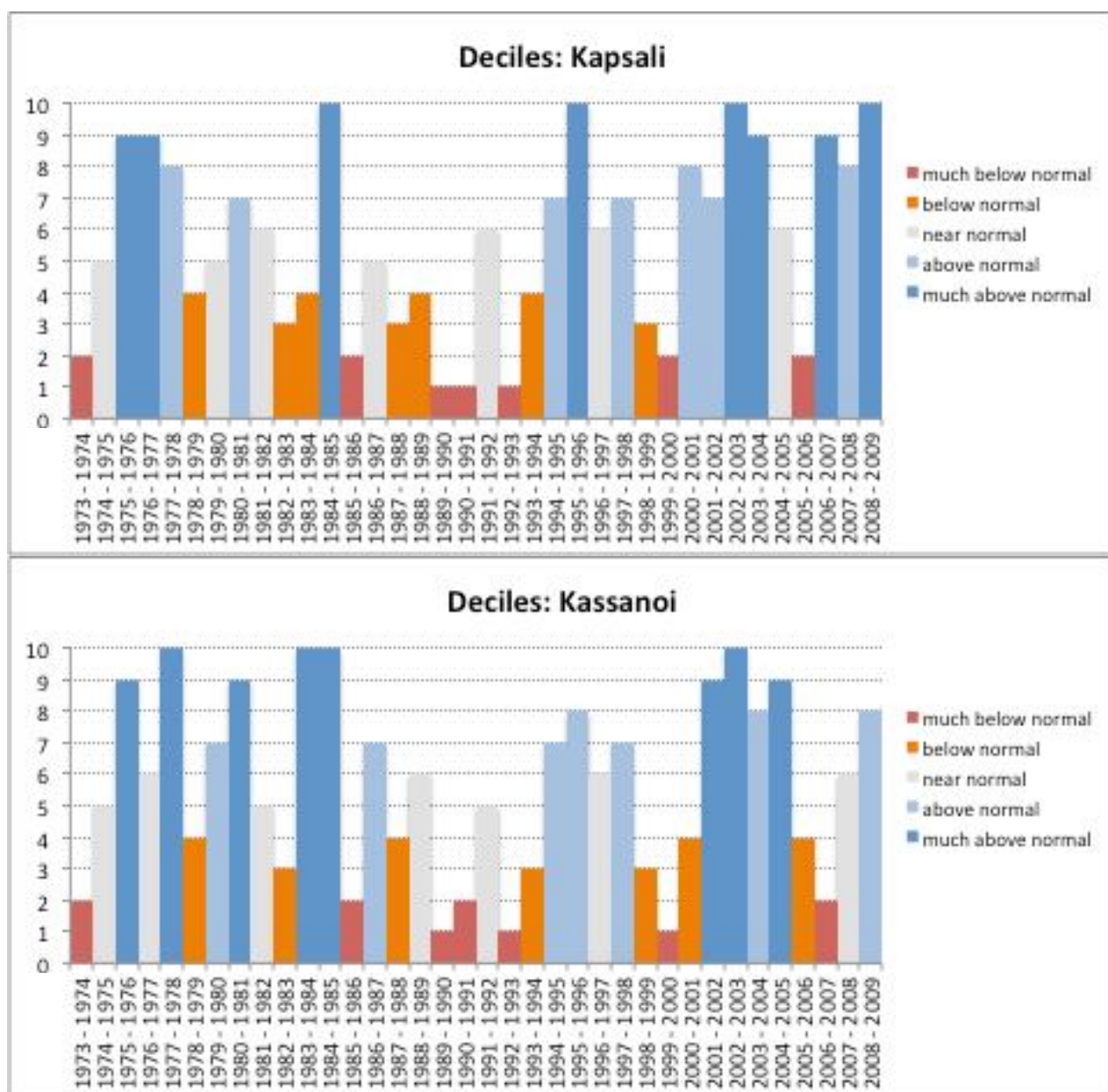


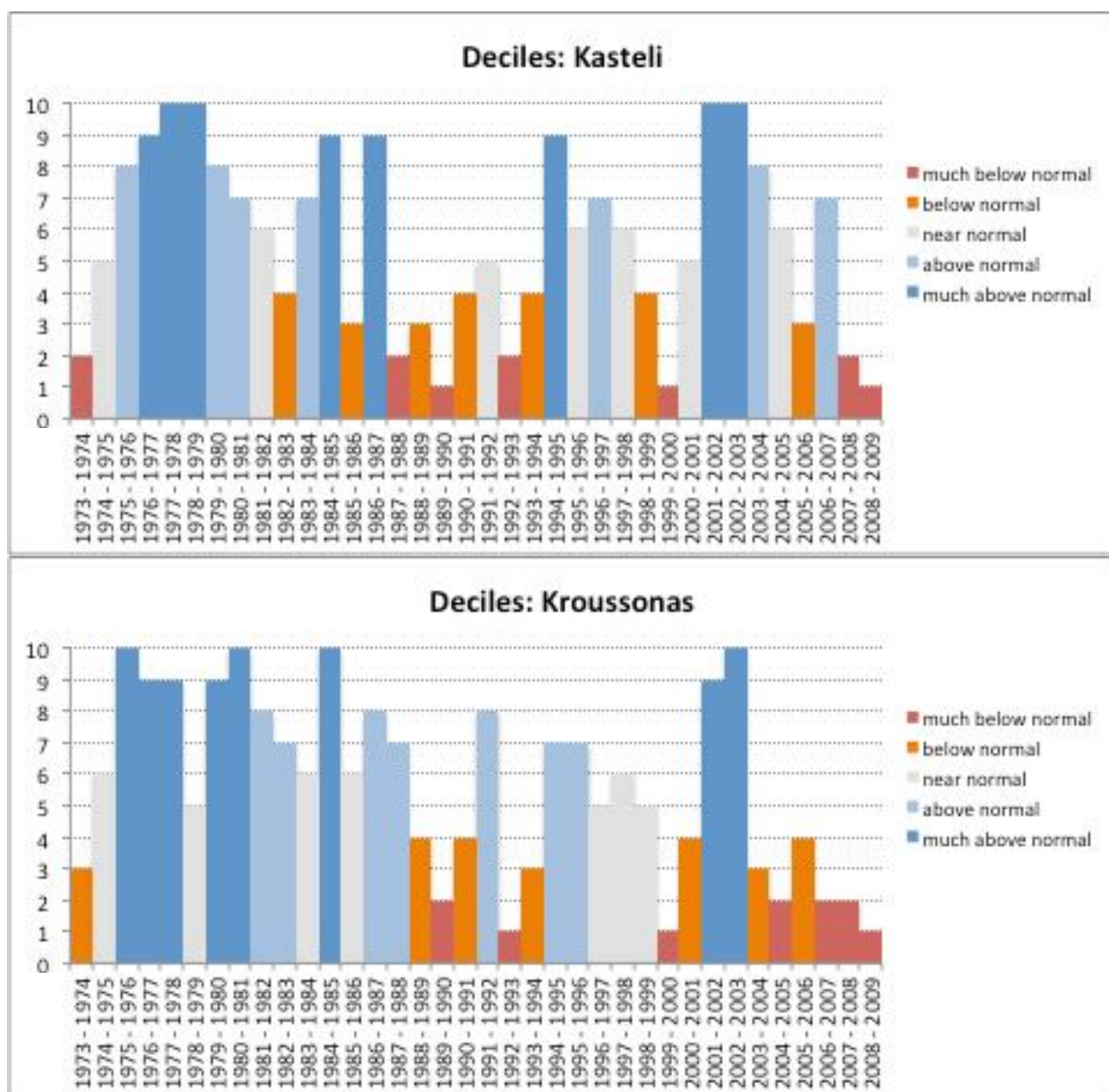


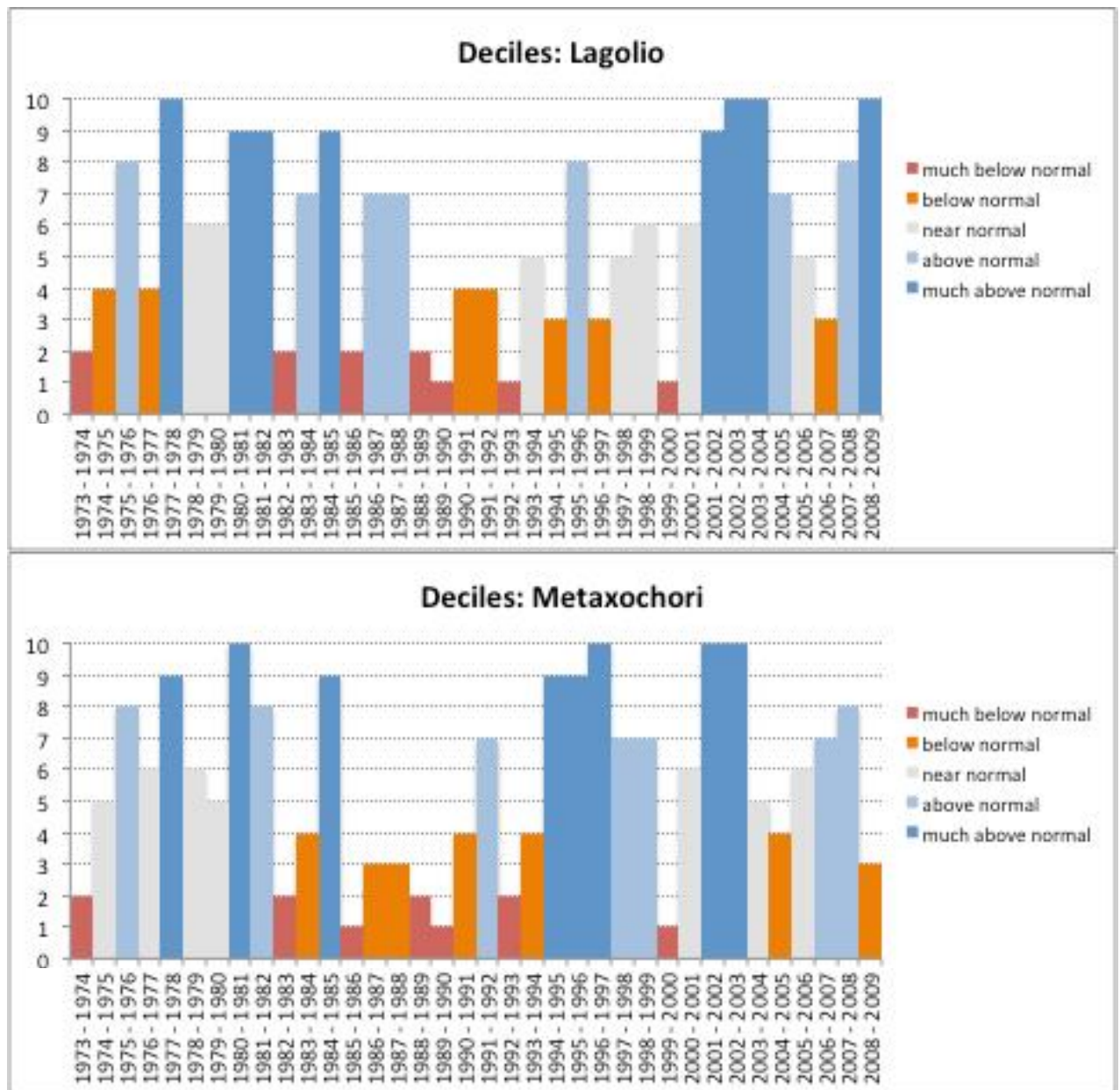


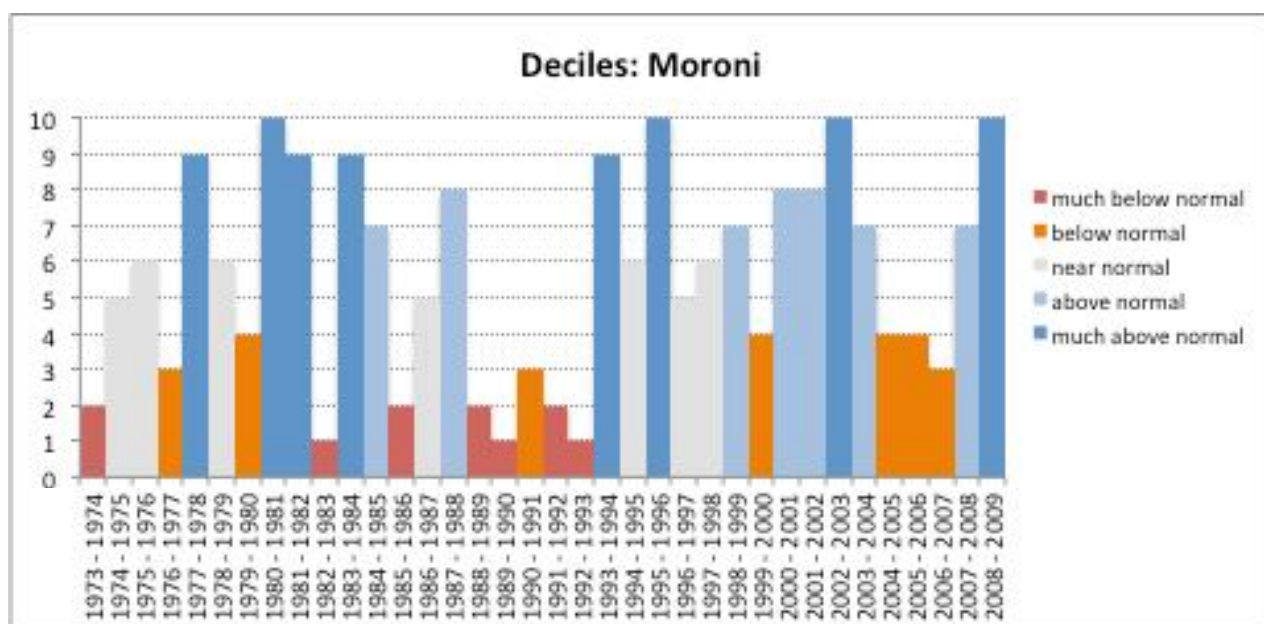


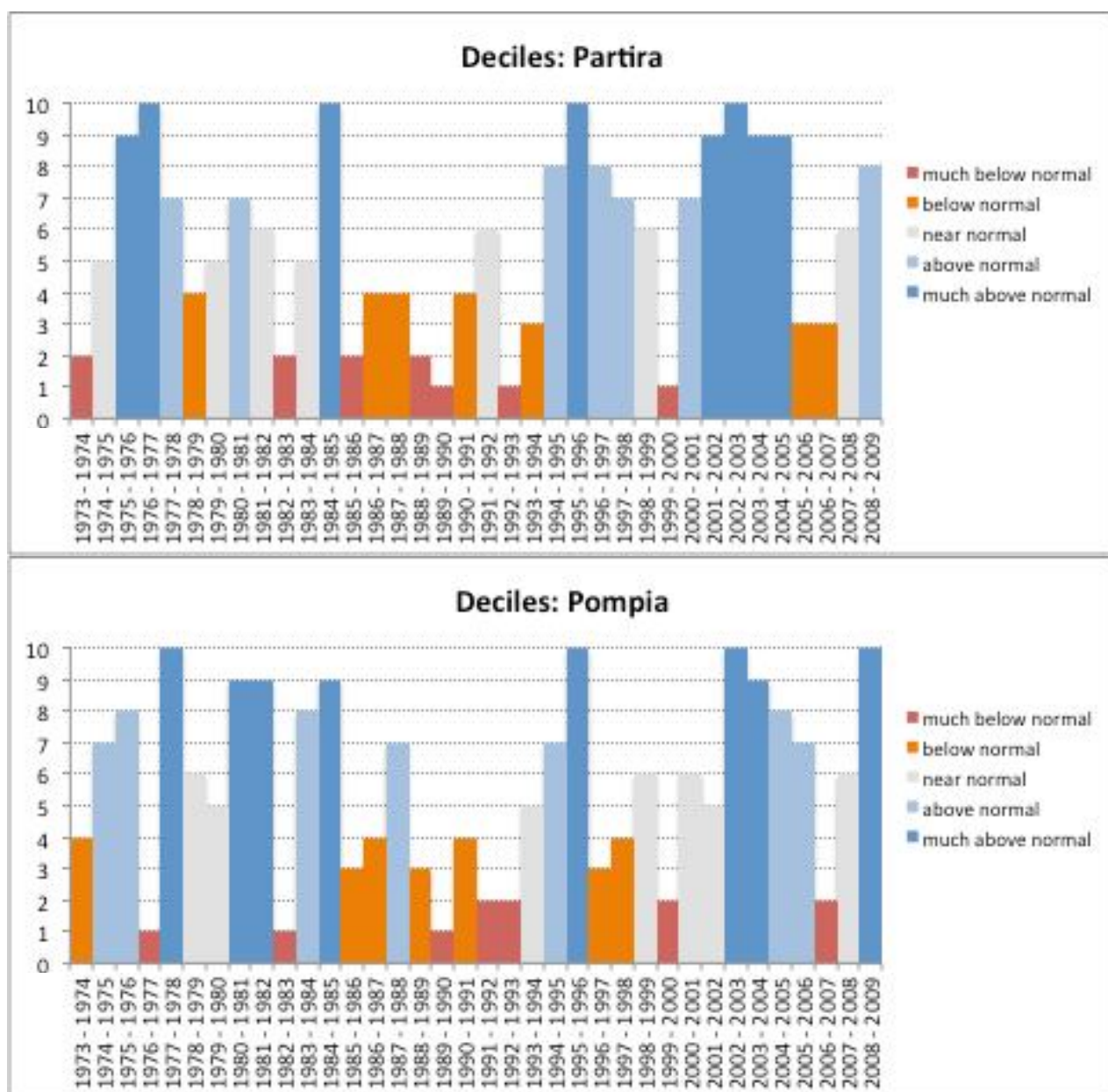


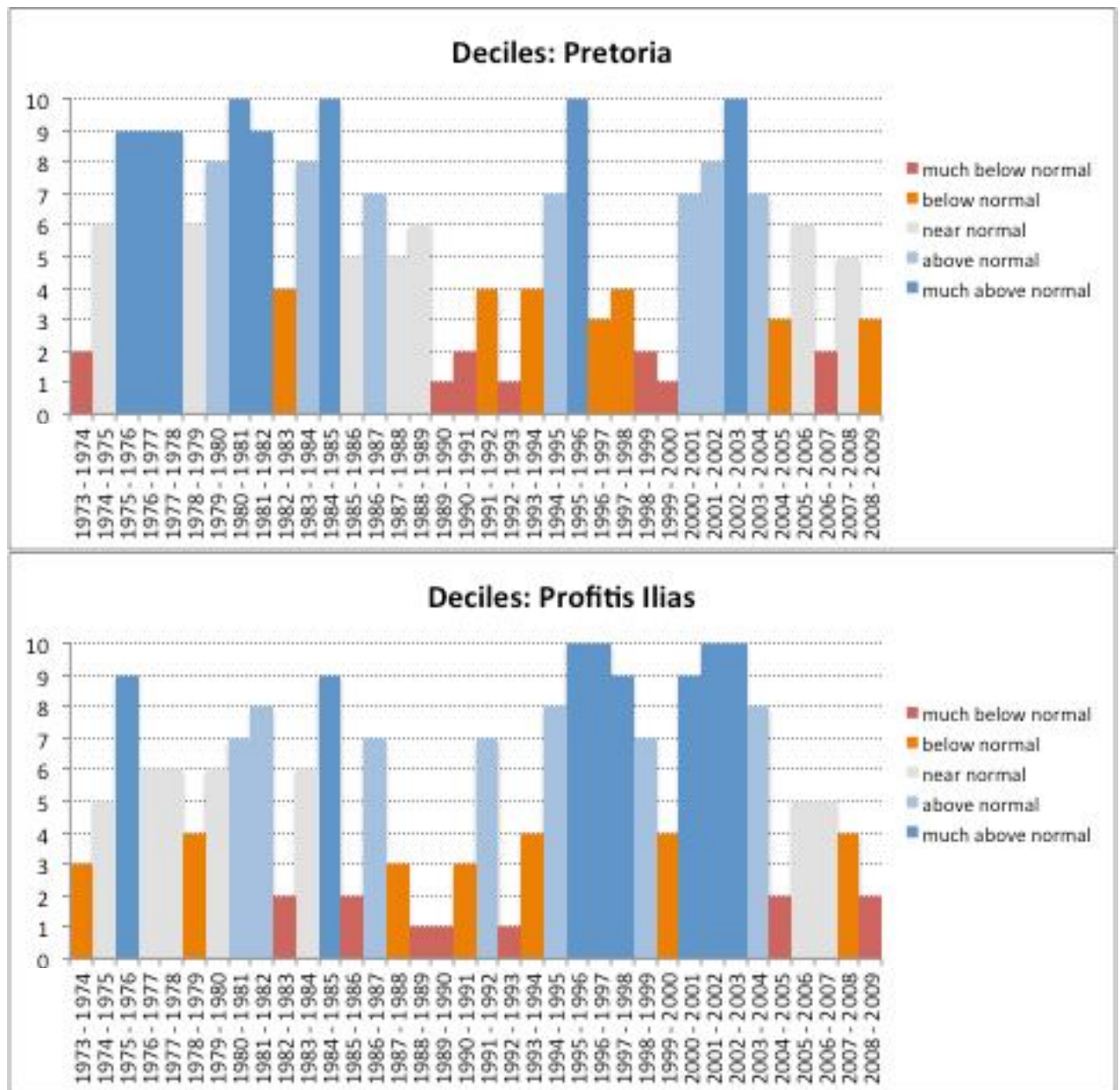


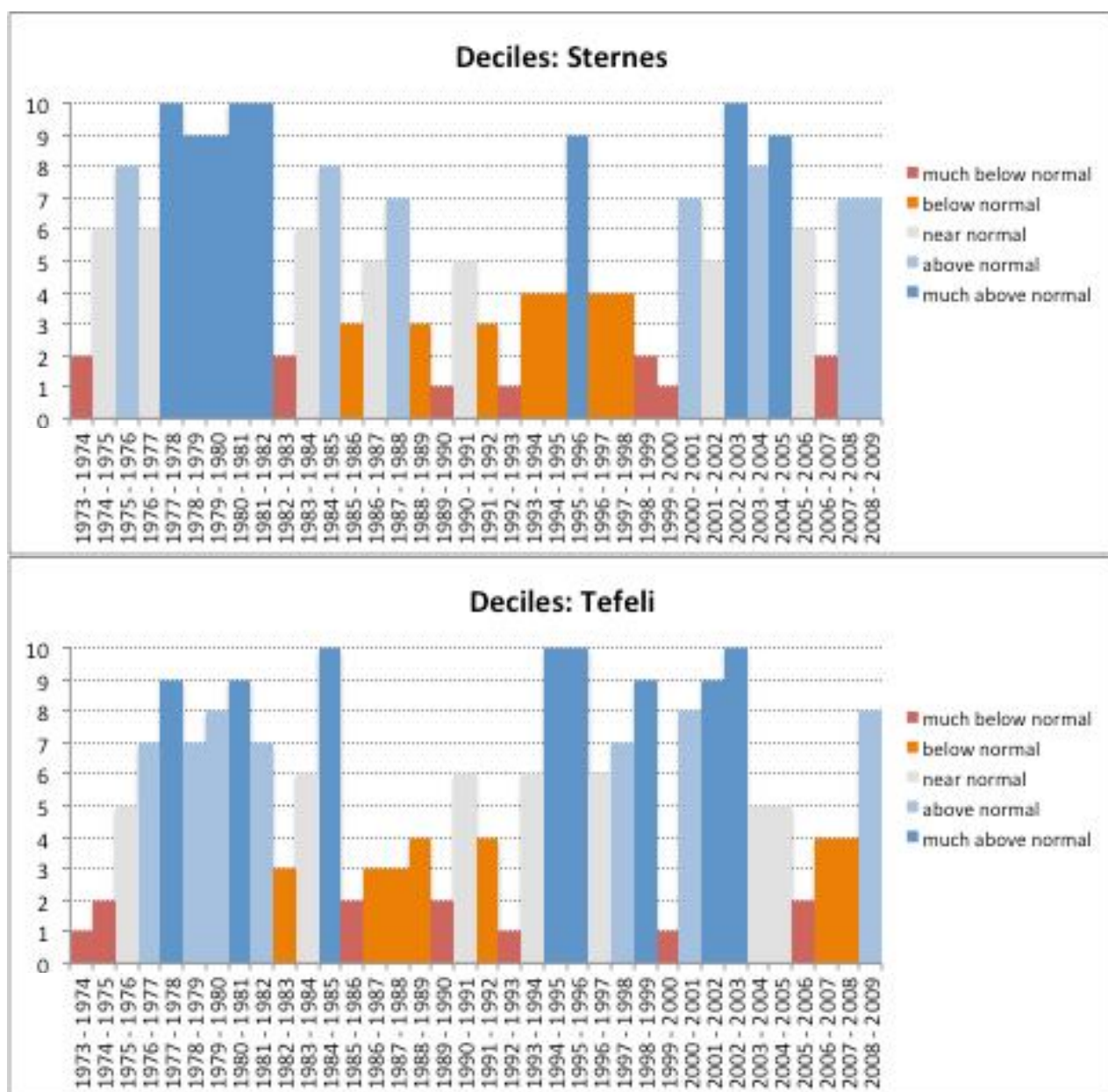


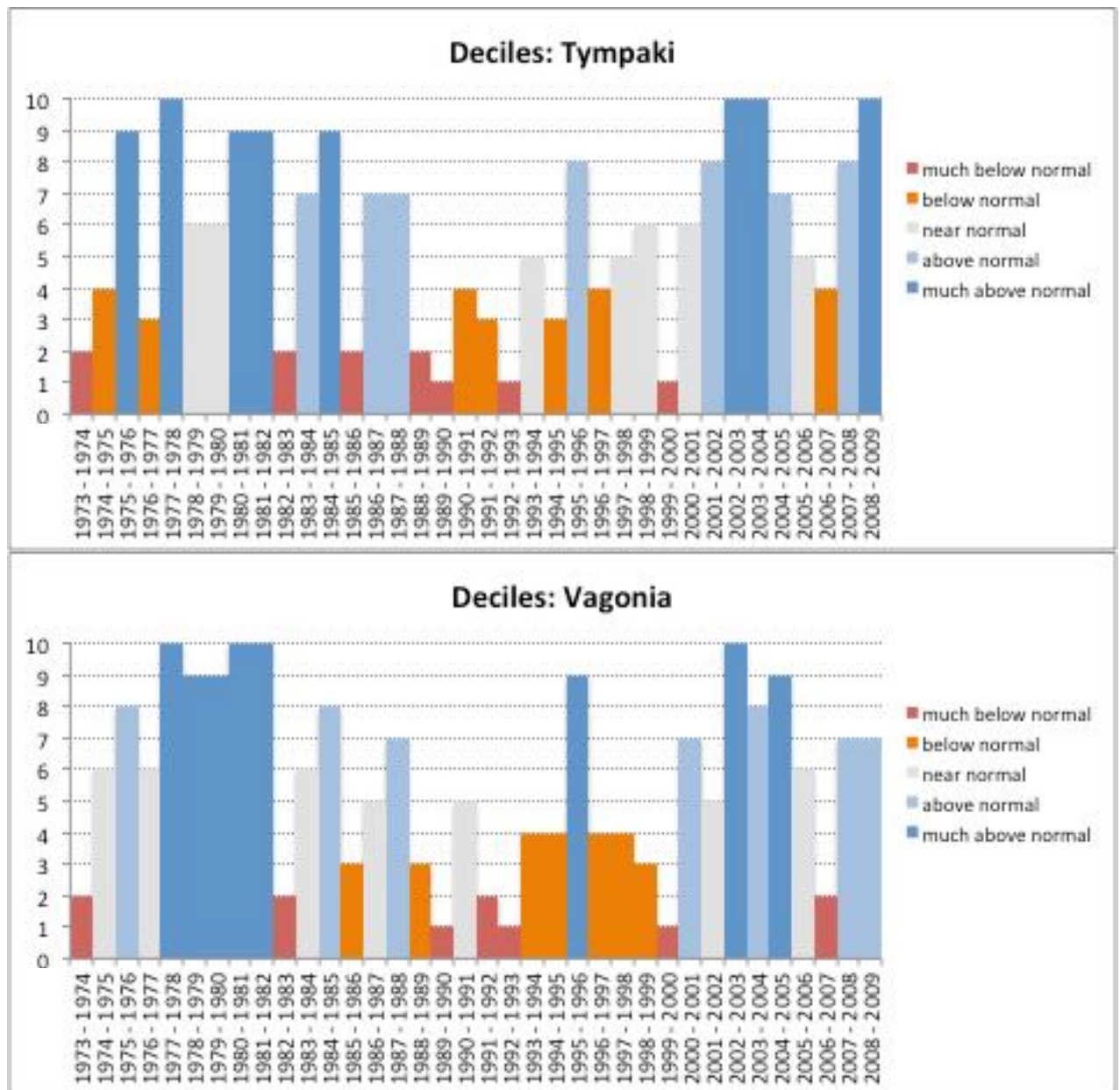


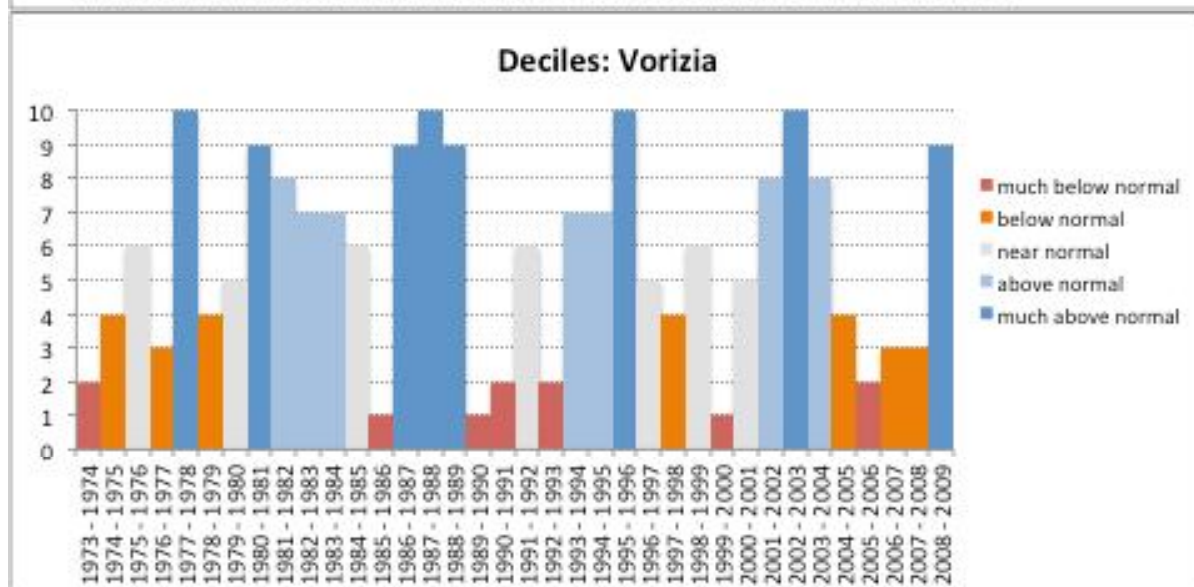
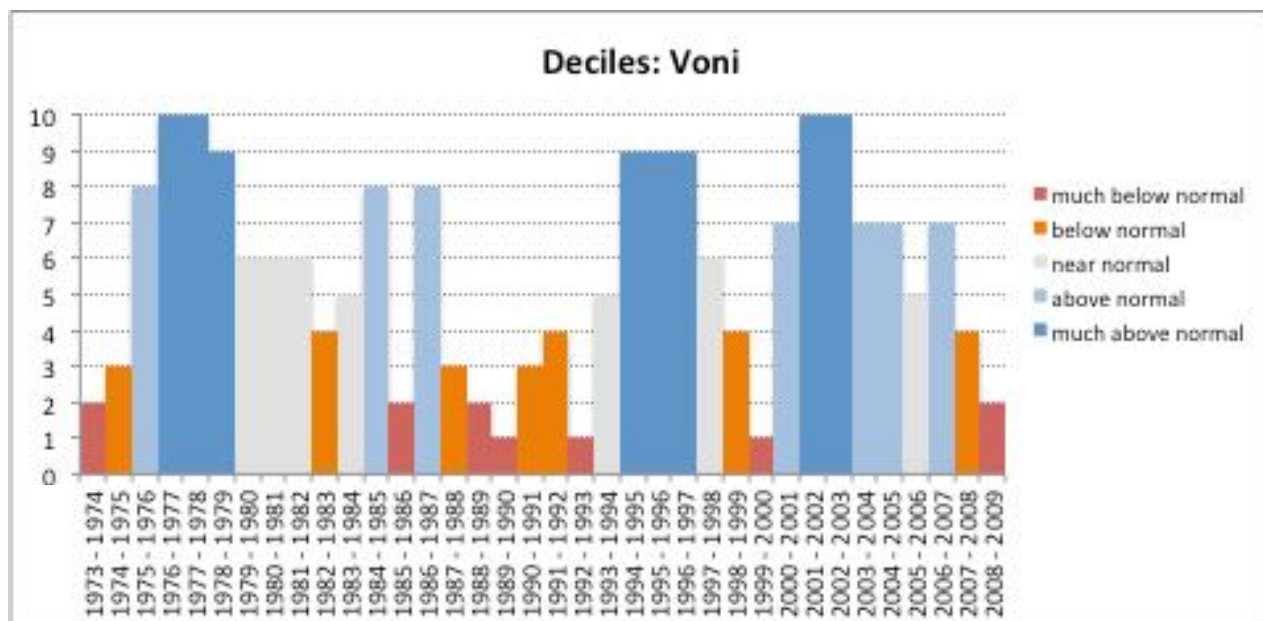


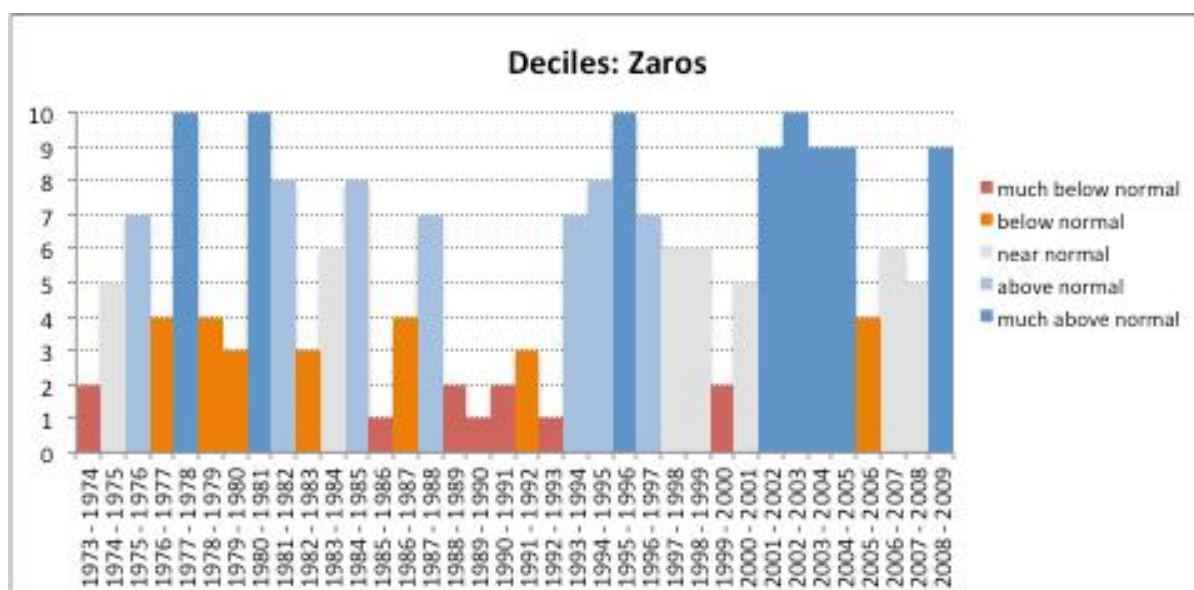




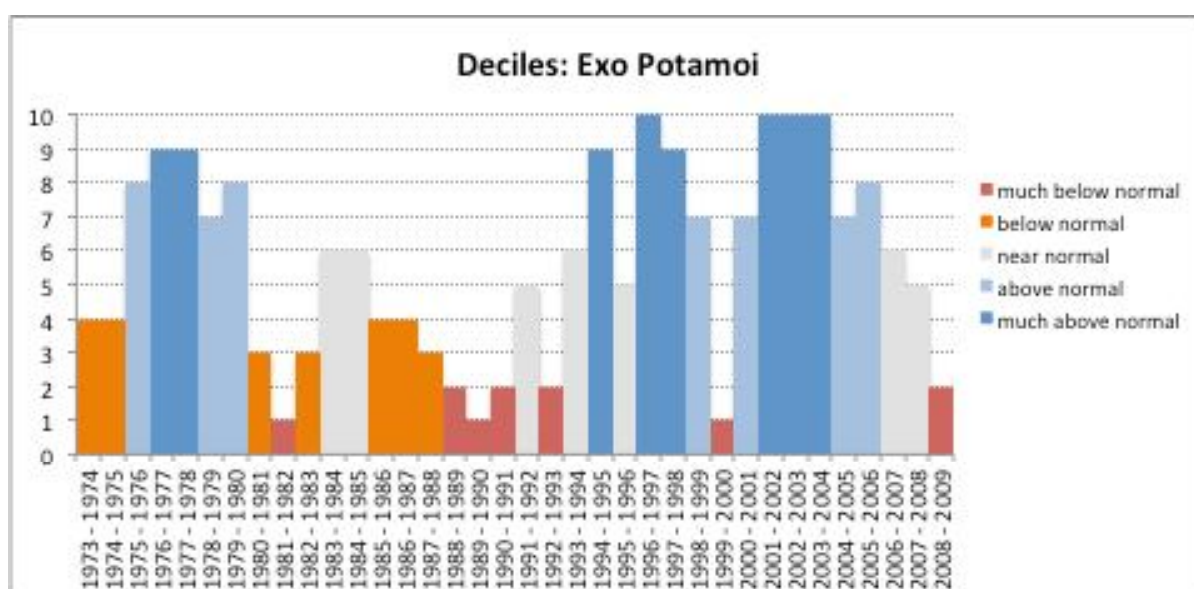


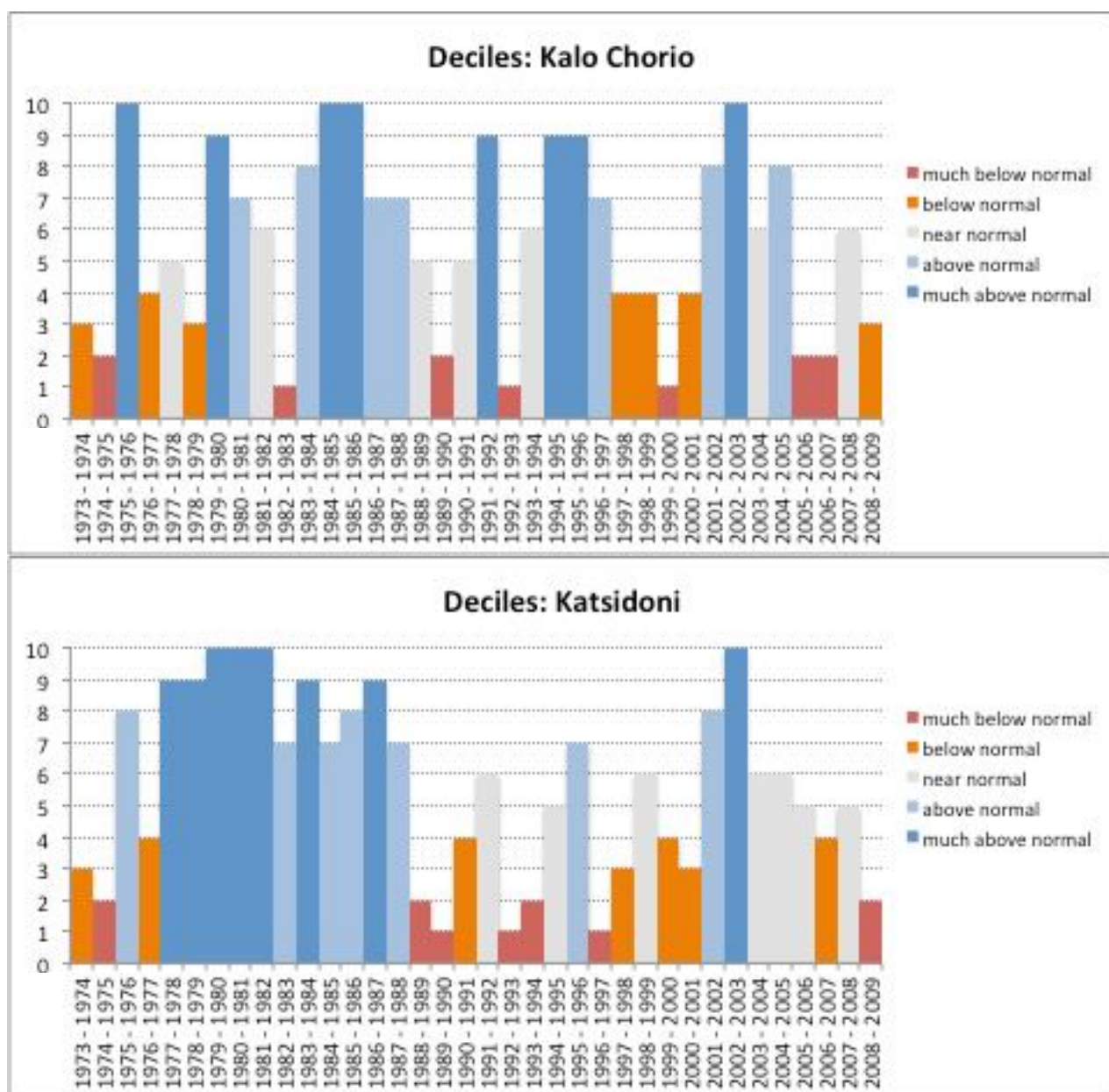


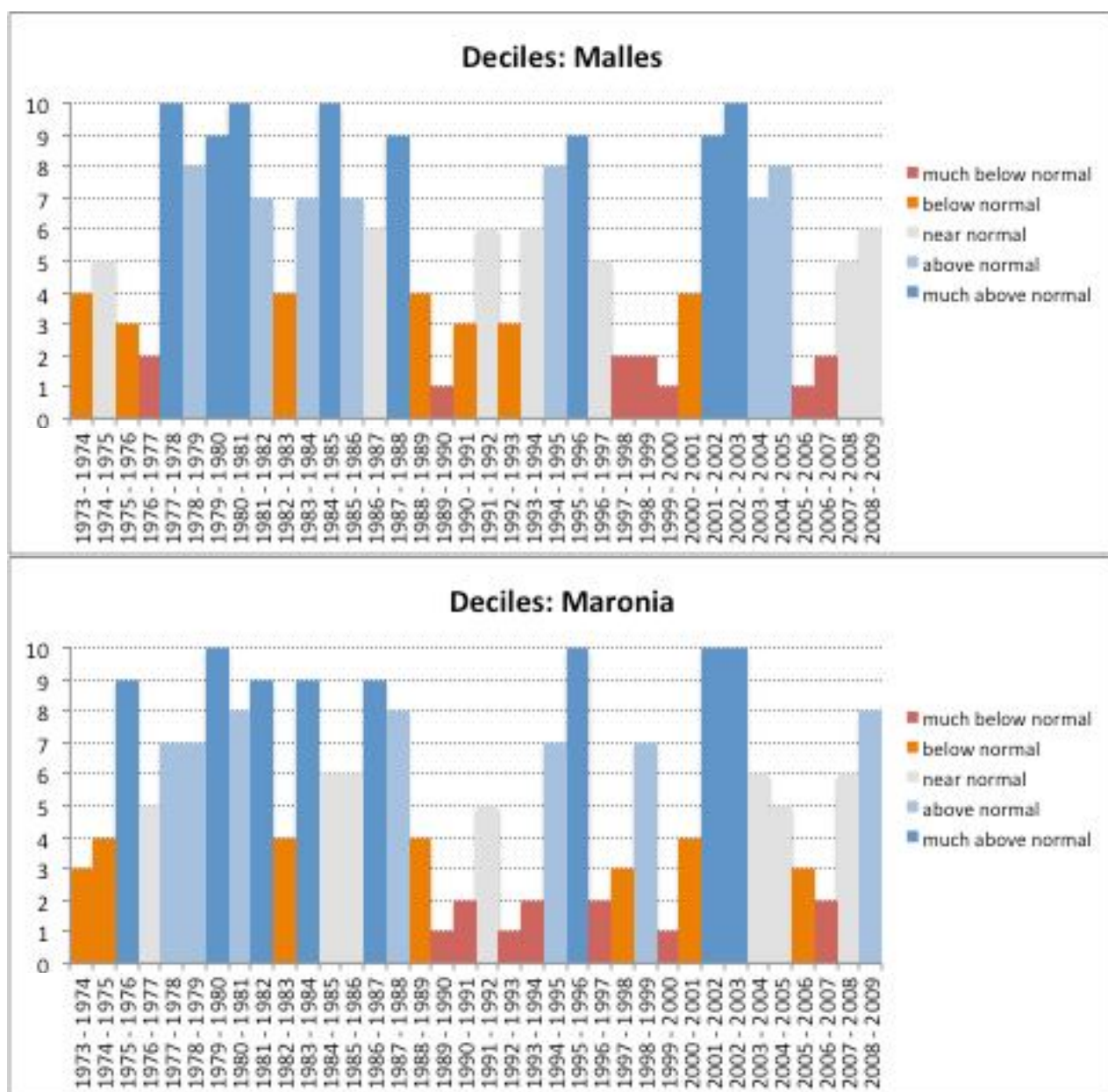


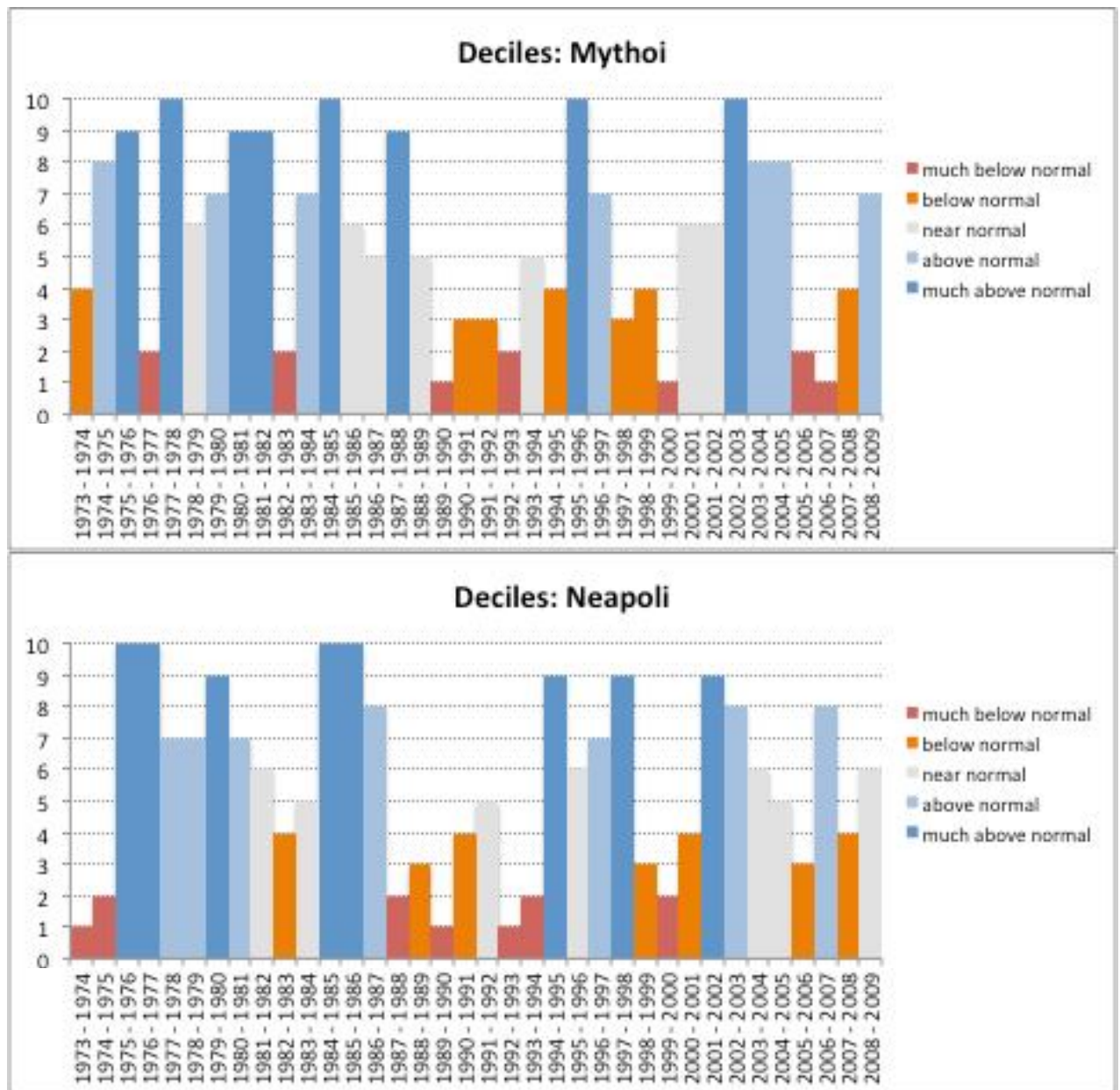


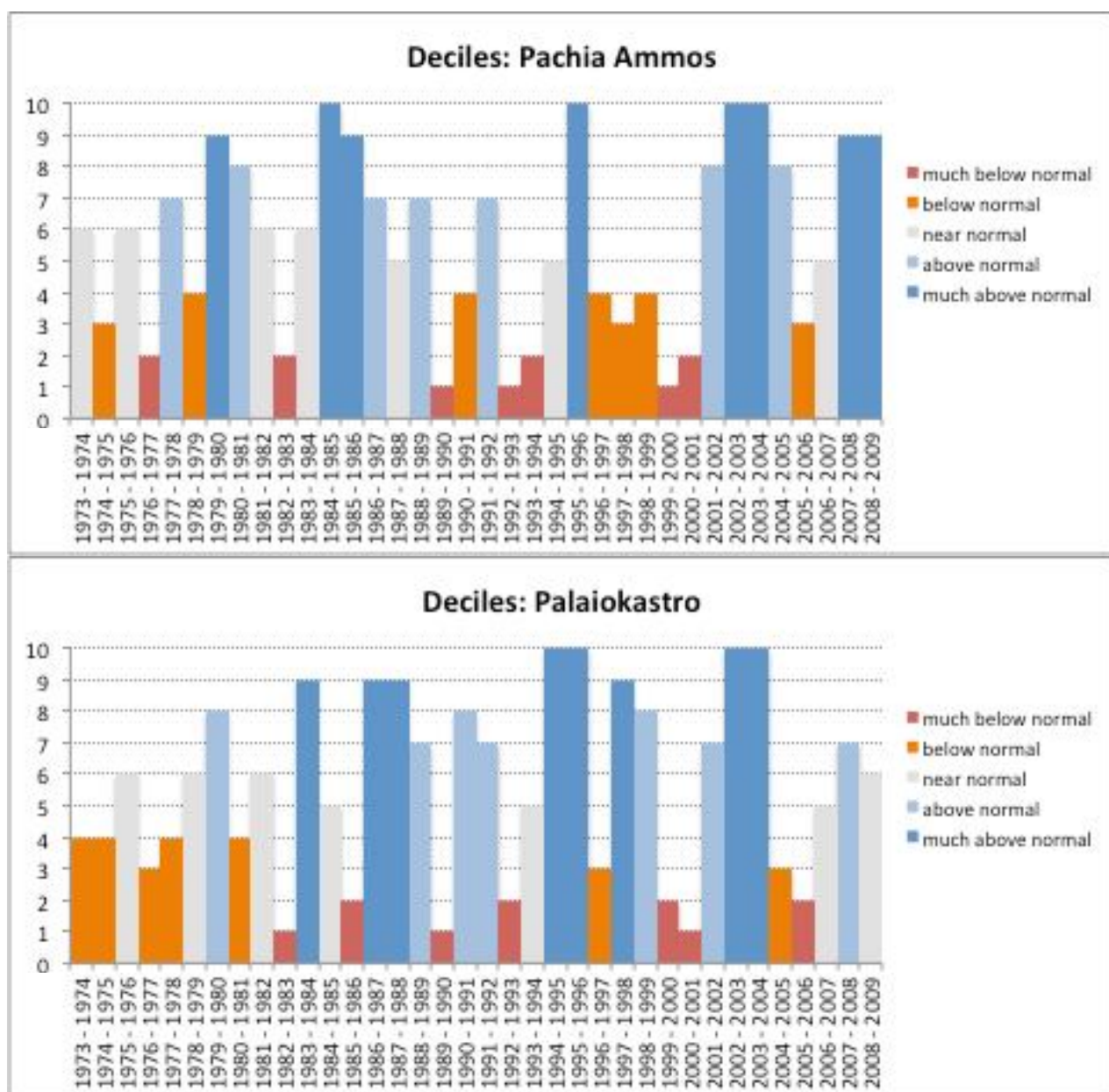
Λασιθι

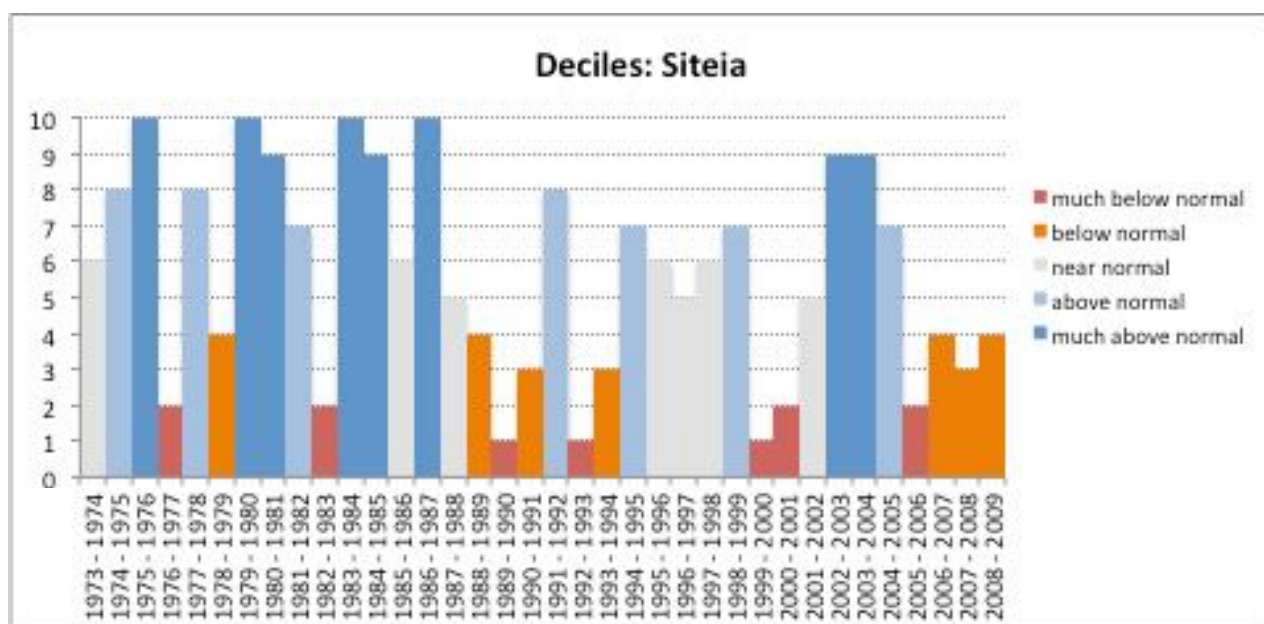




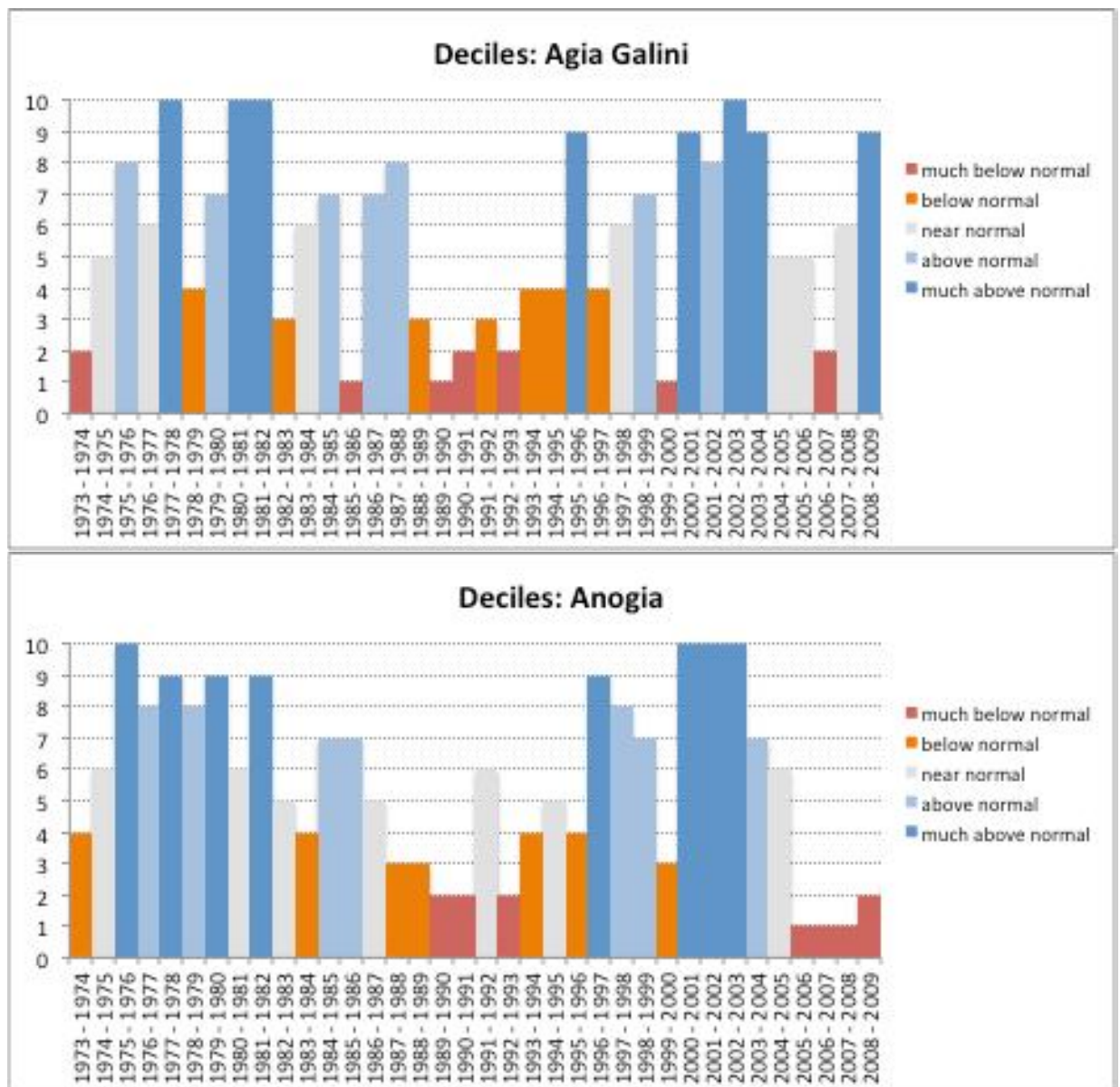


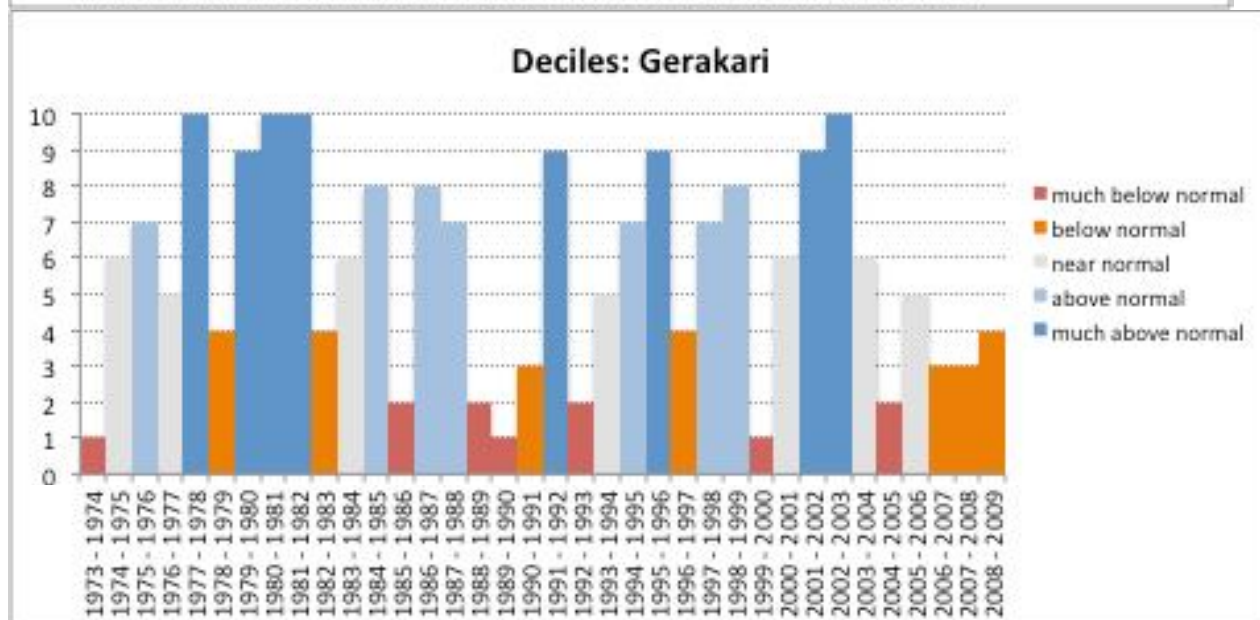
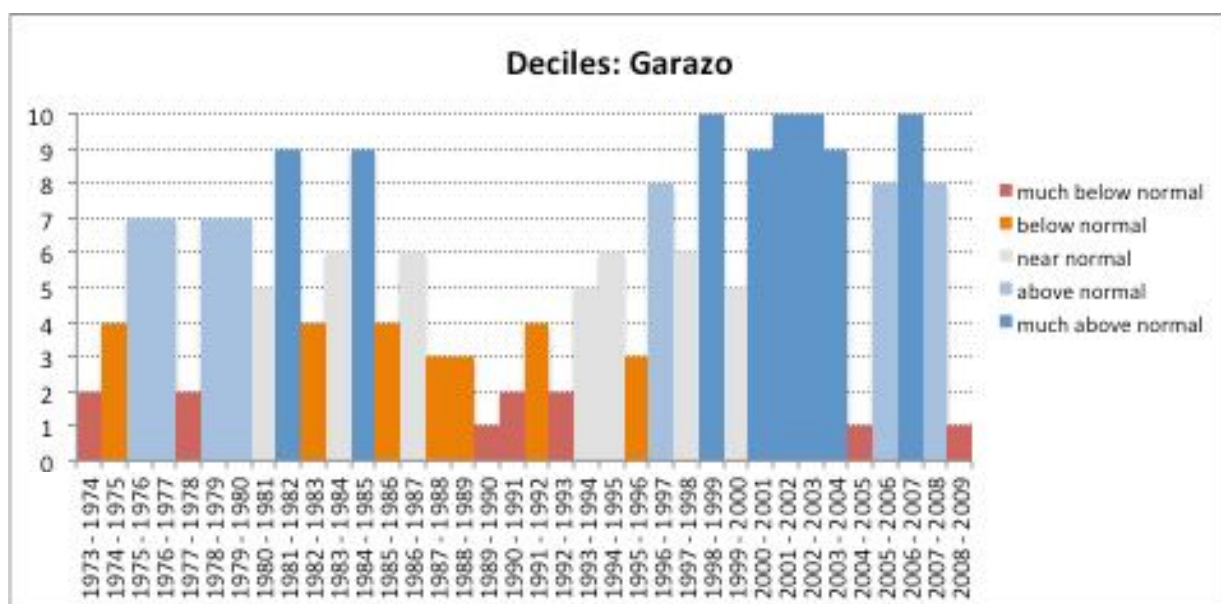


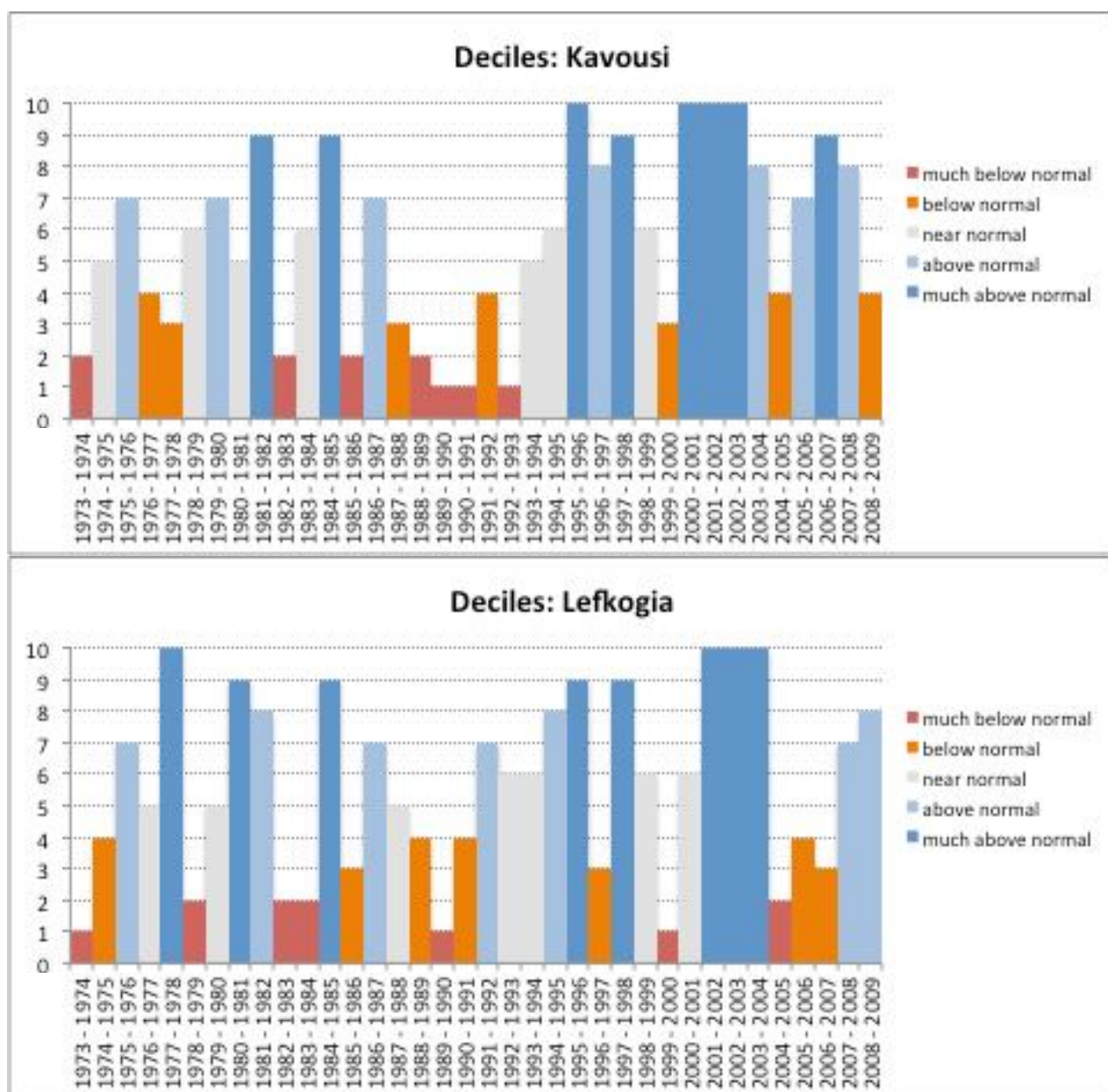


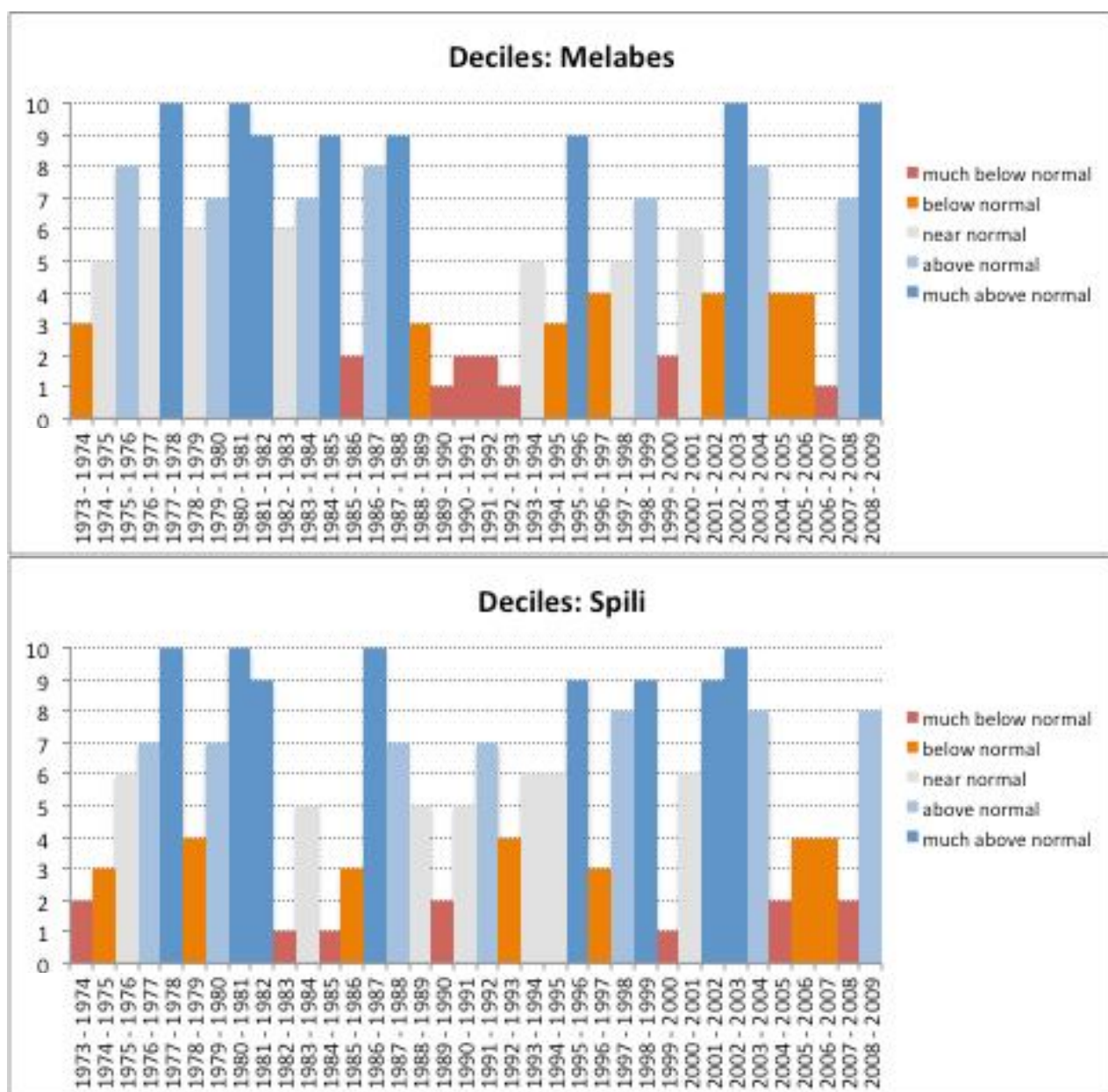


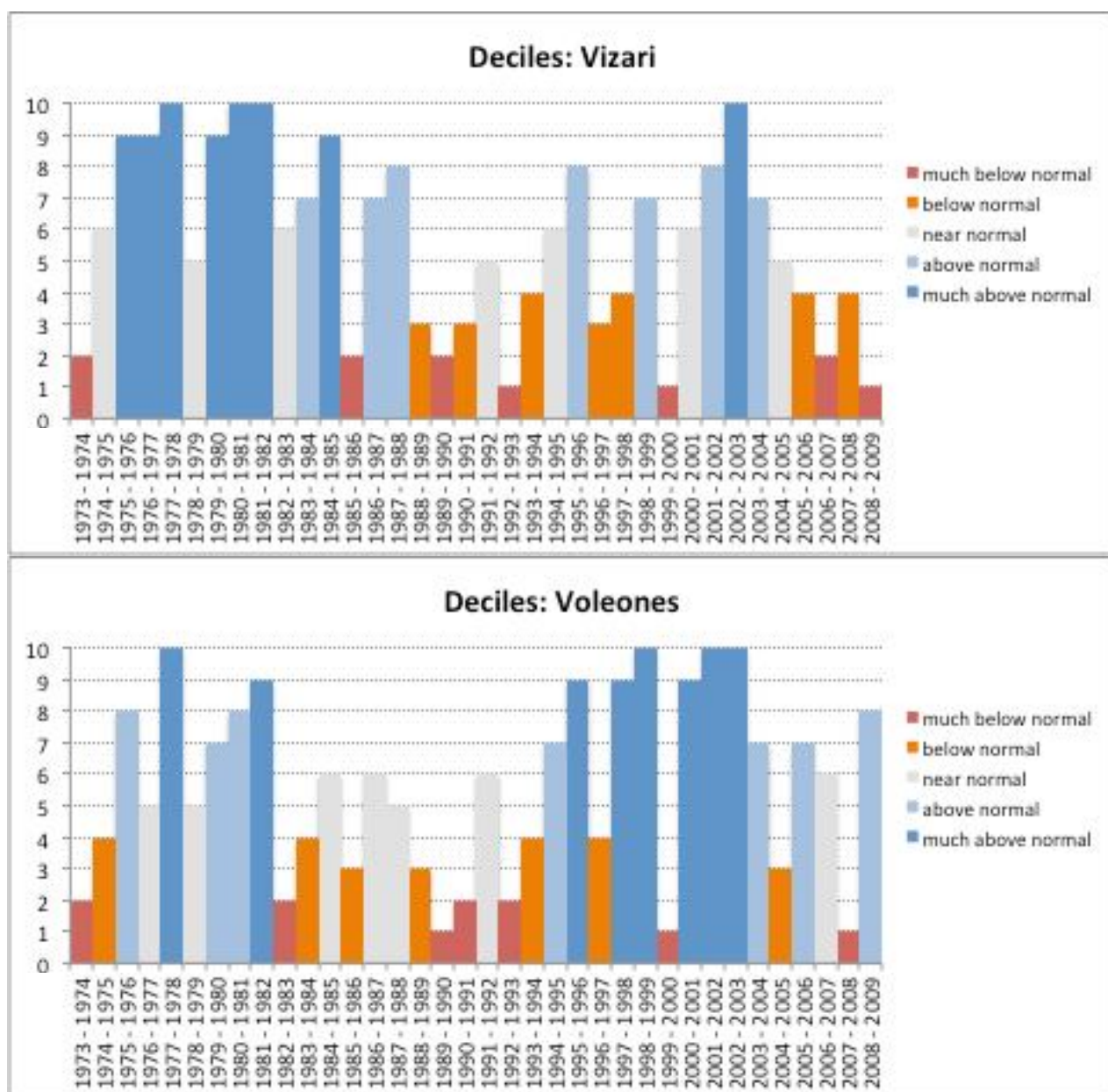
Ρέθυμνο







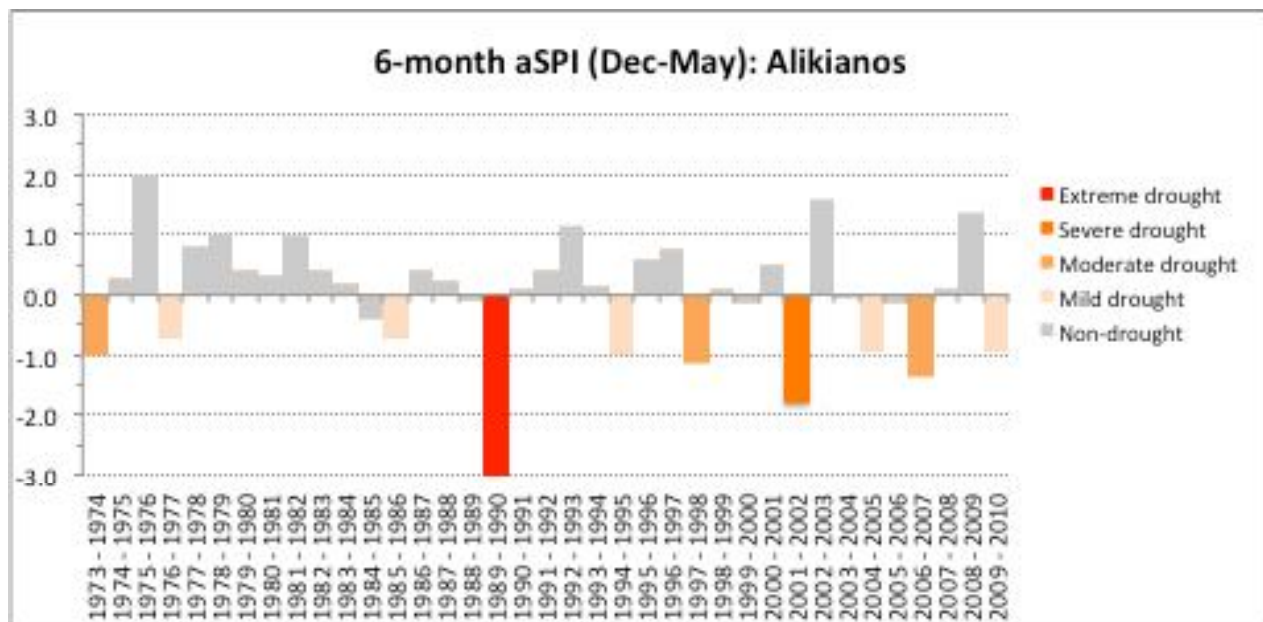
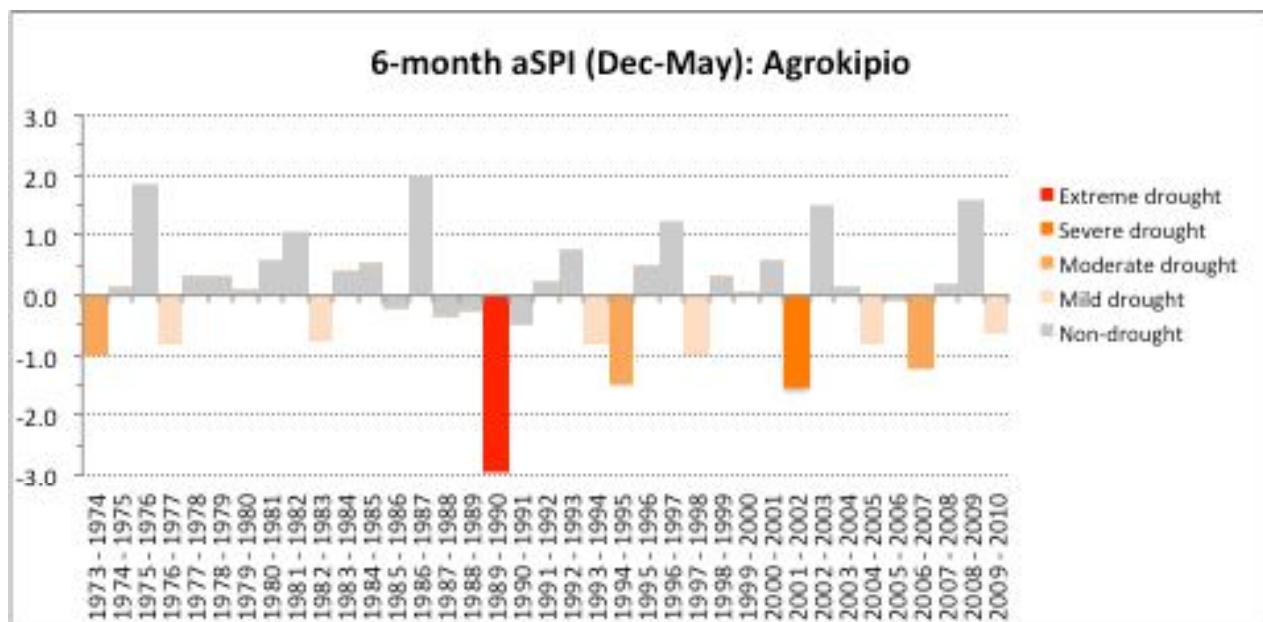


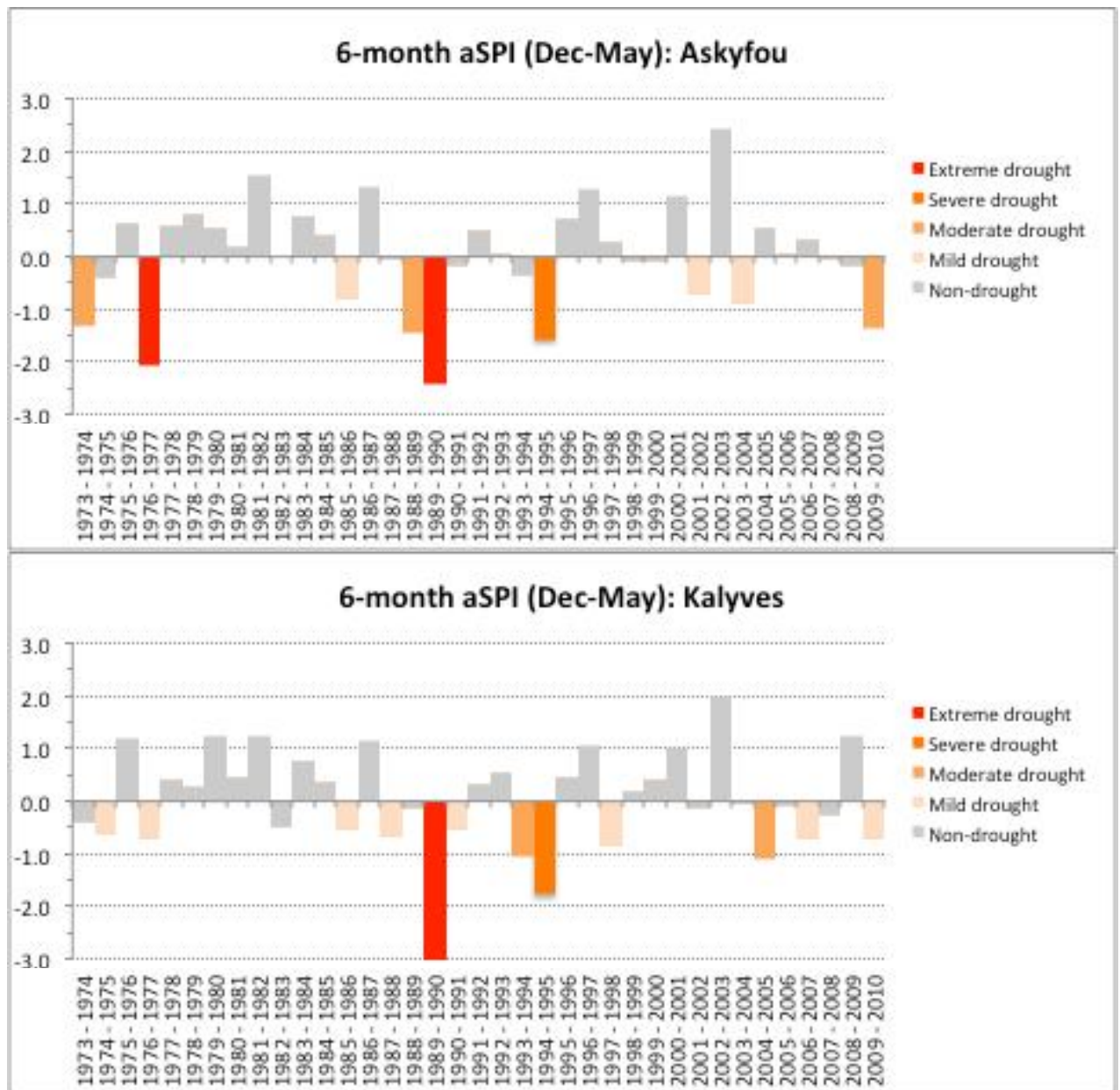


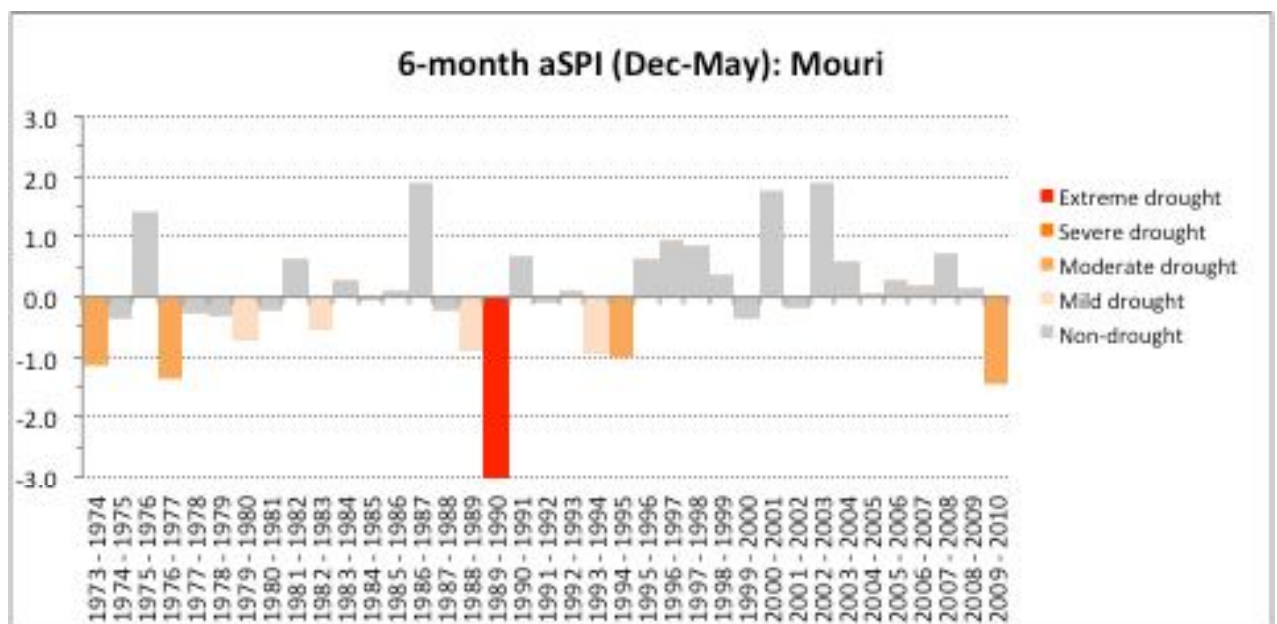
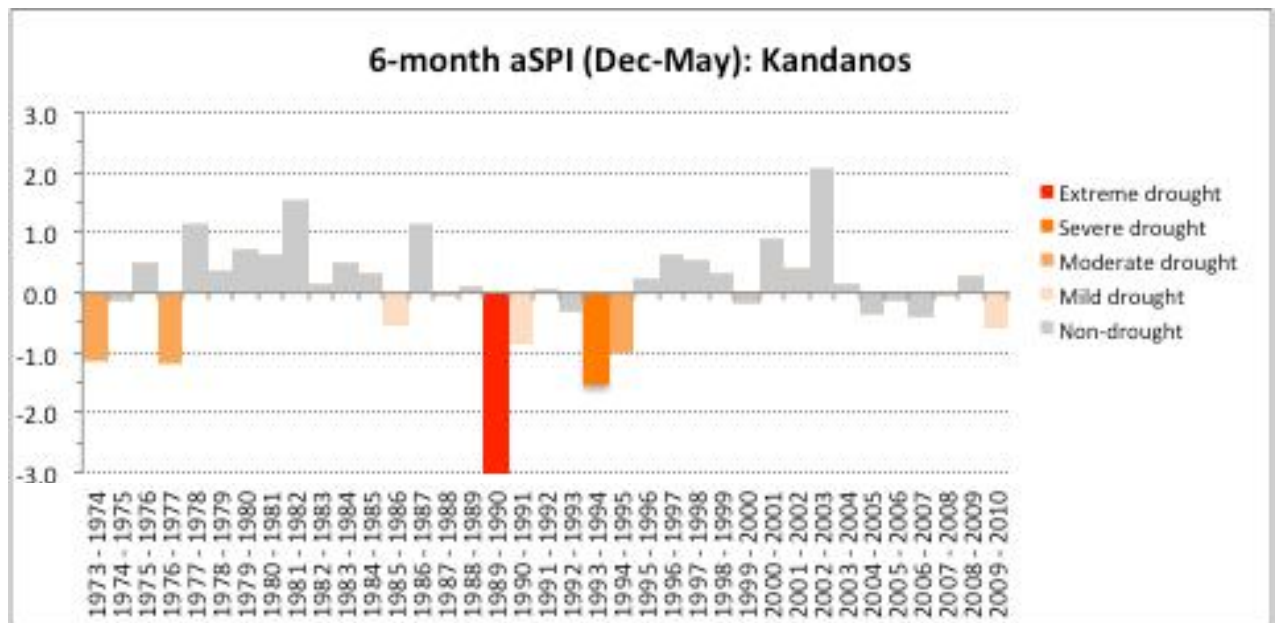
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ

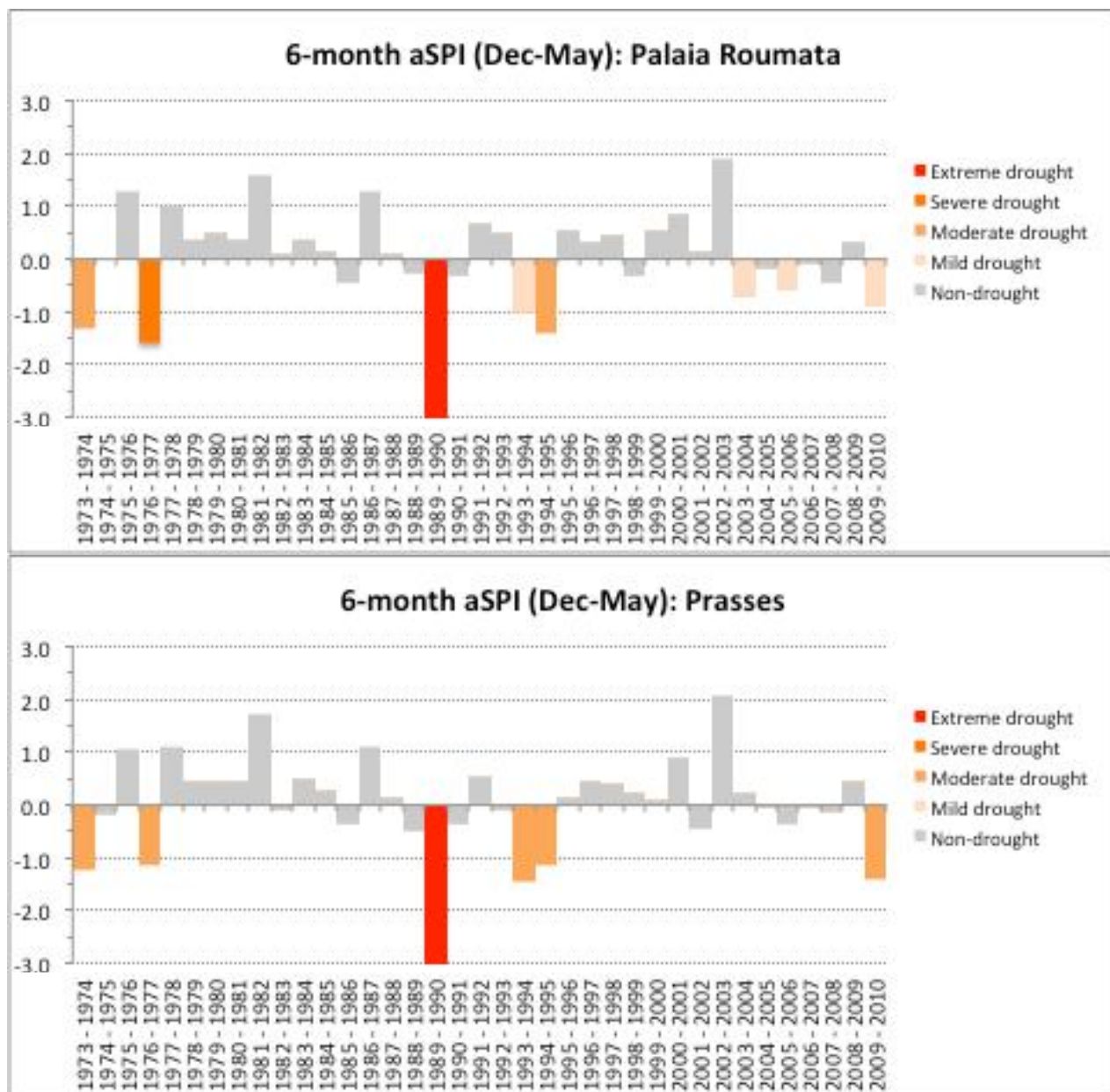
Δείκτης aSPI - ετήσιο χρονικό βήμα, 6-μηνια χρονική κλίμακα (περίοδος αναφοράς Δεκ. - Μάιος)

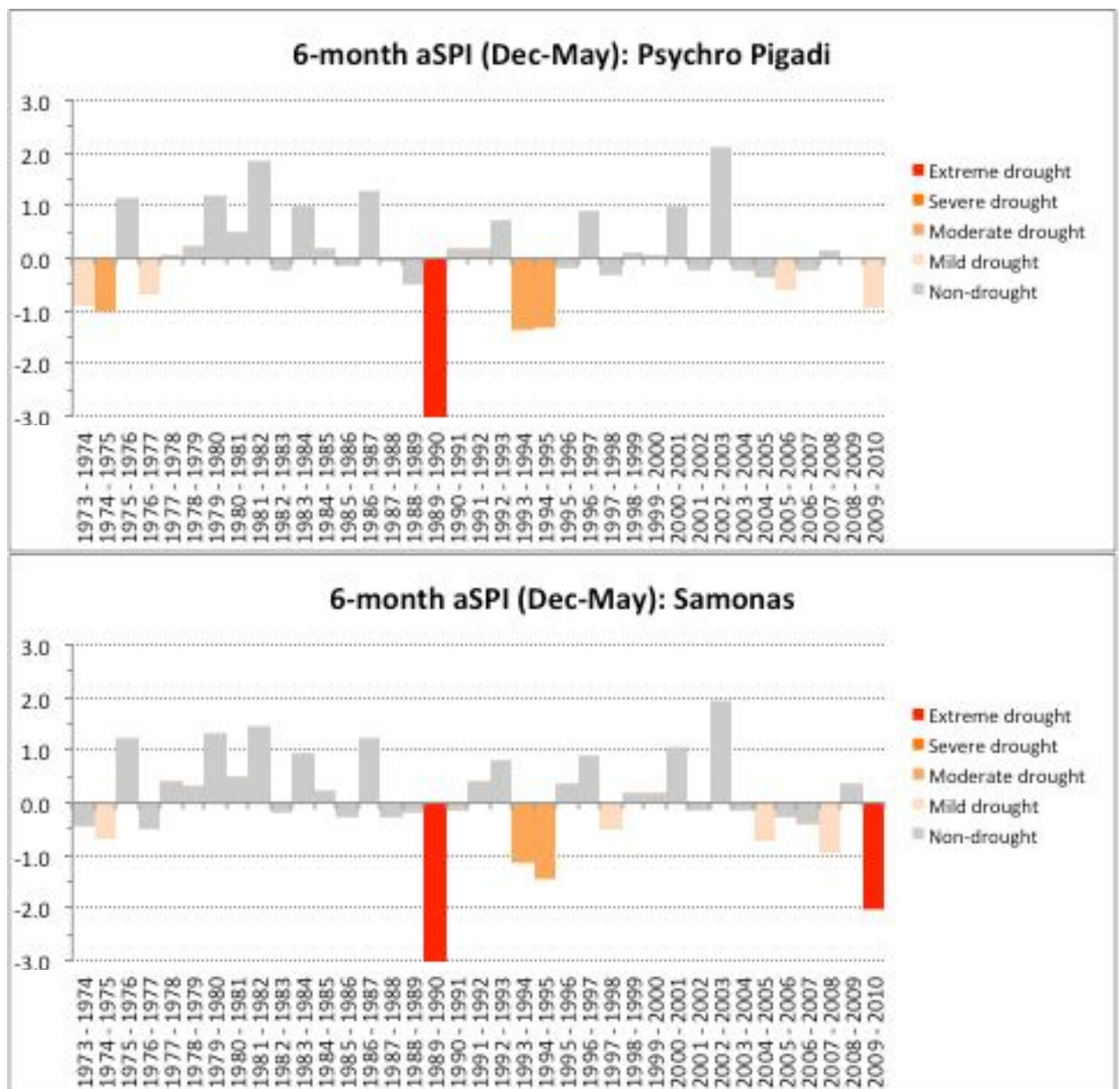
Χανιά

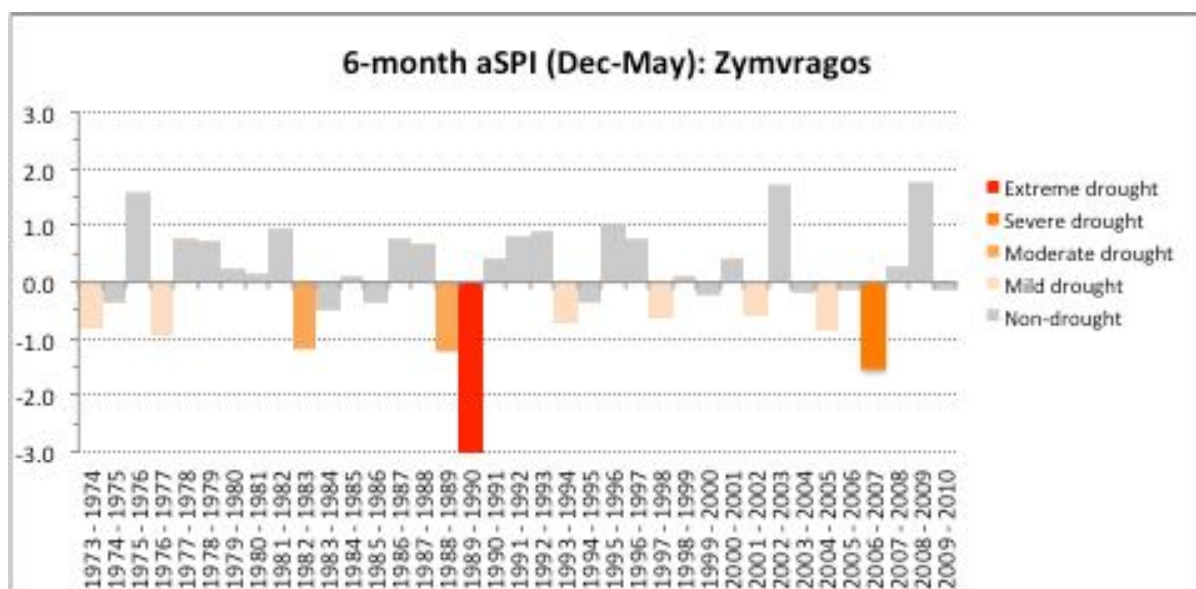
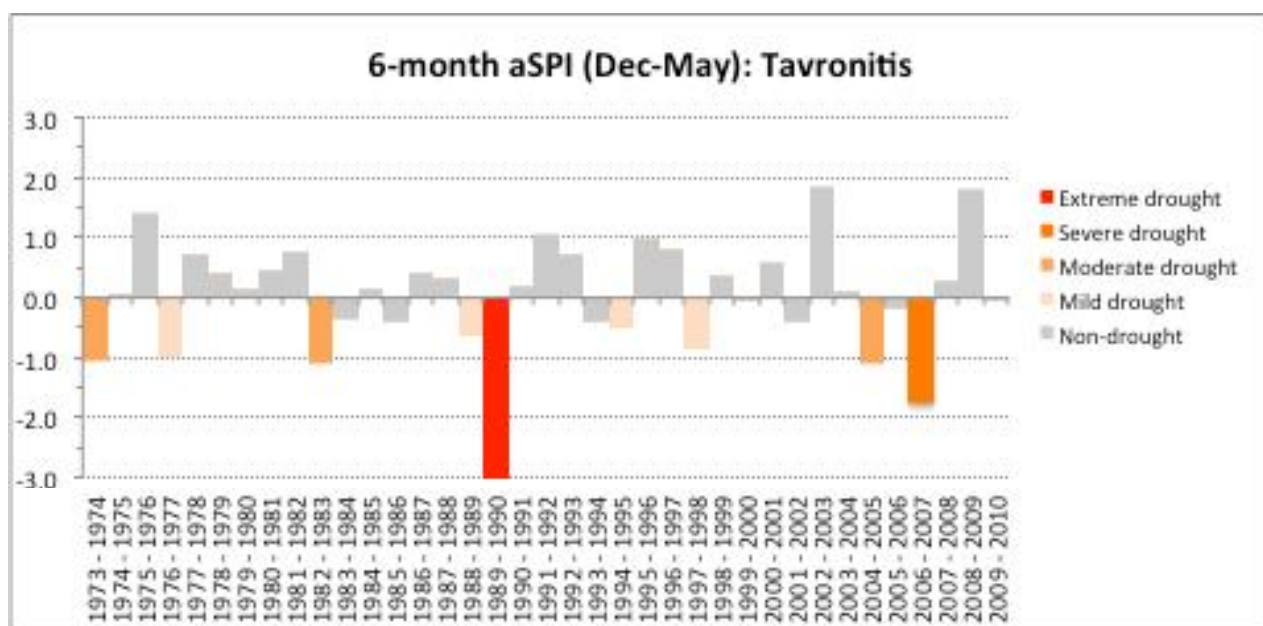




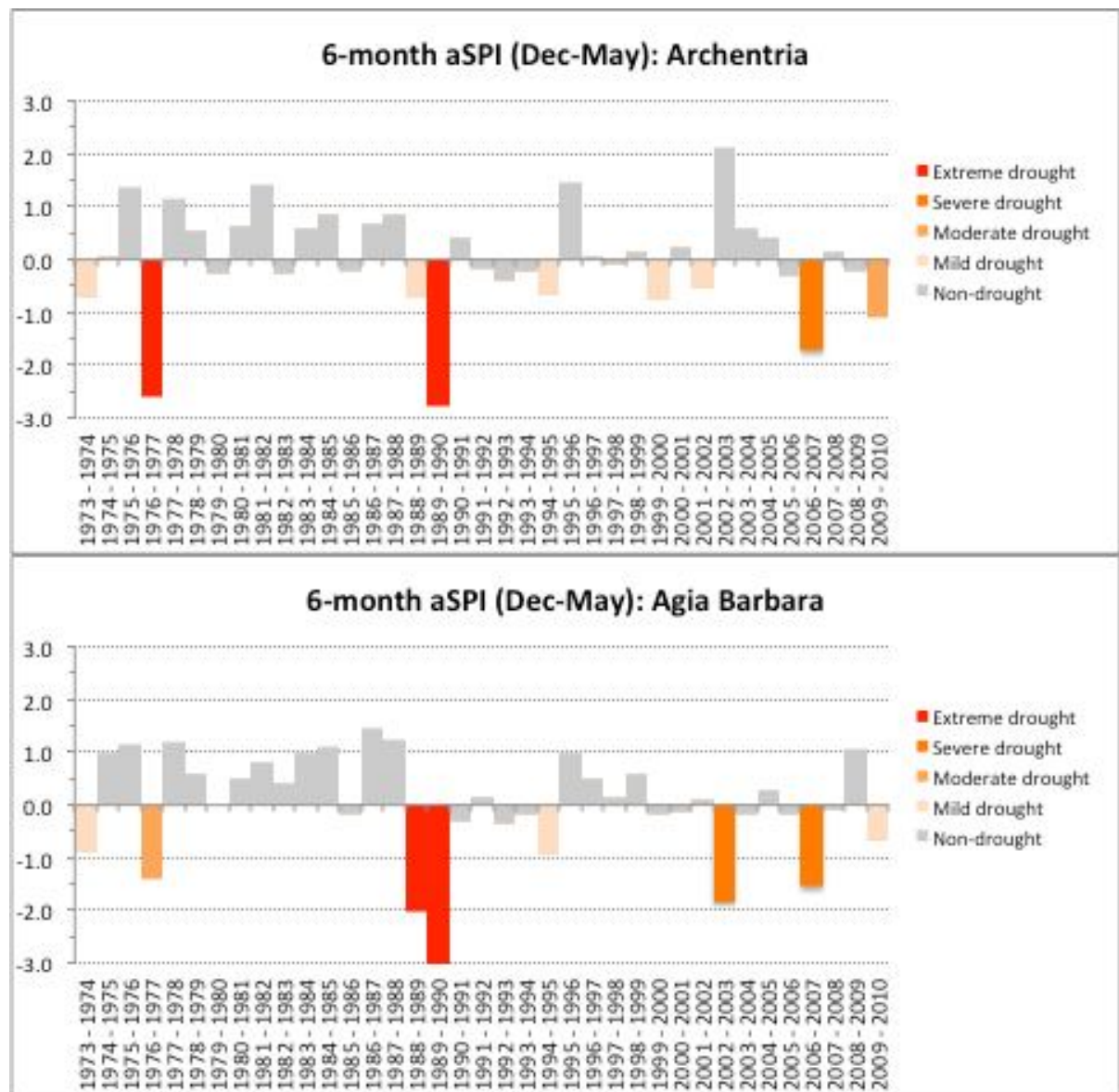


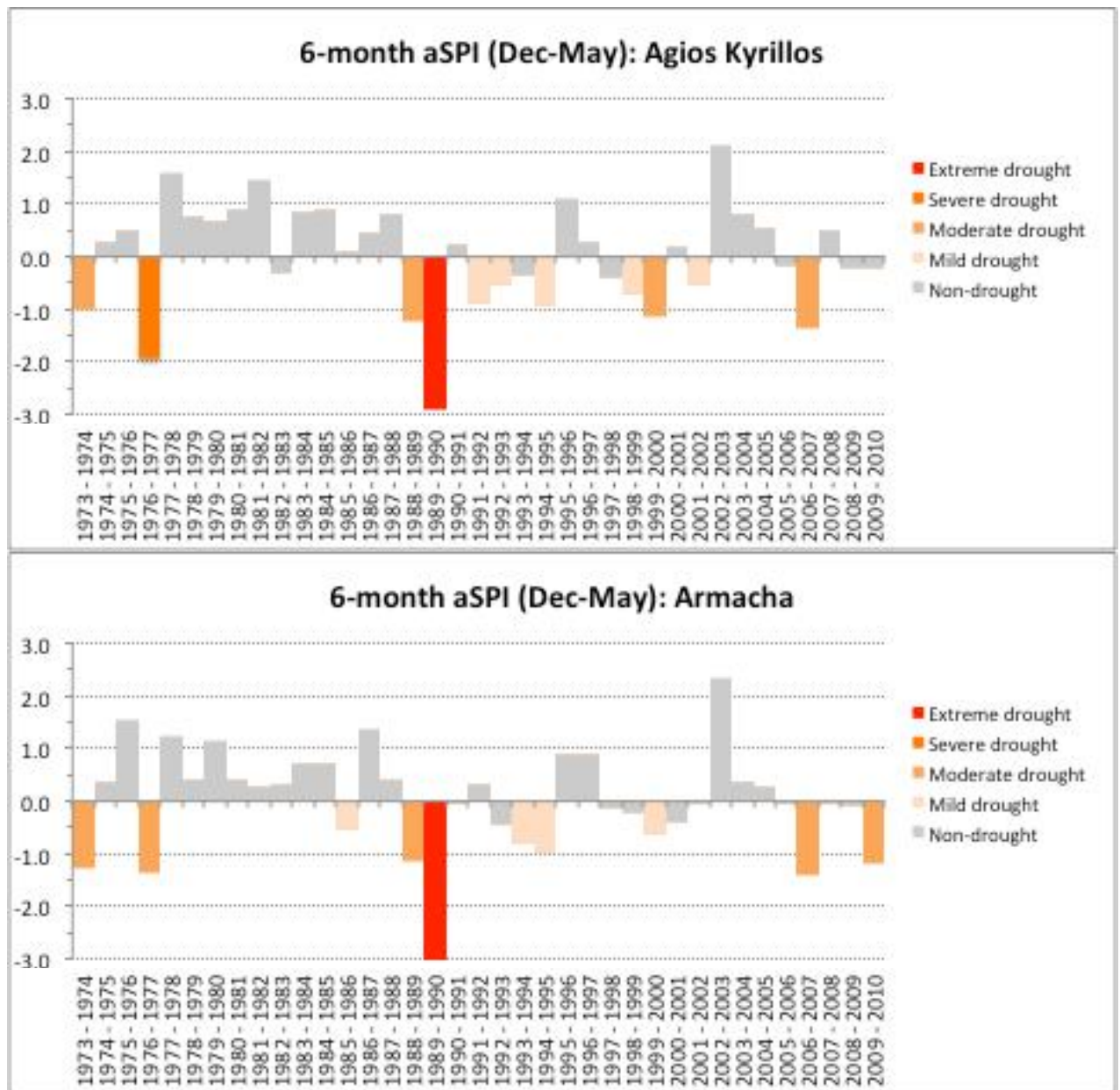


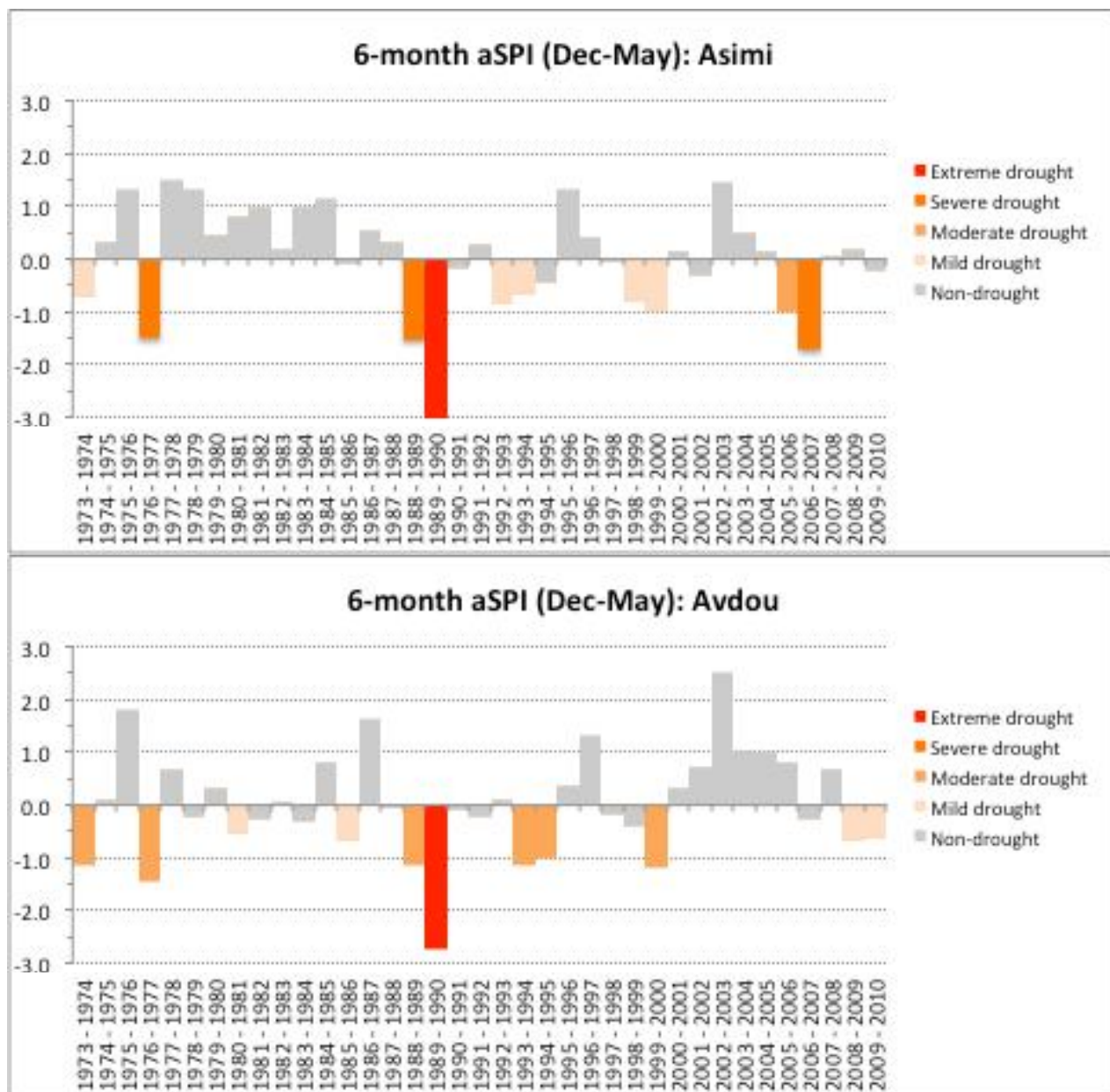


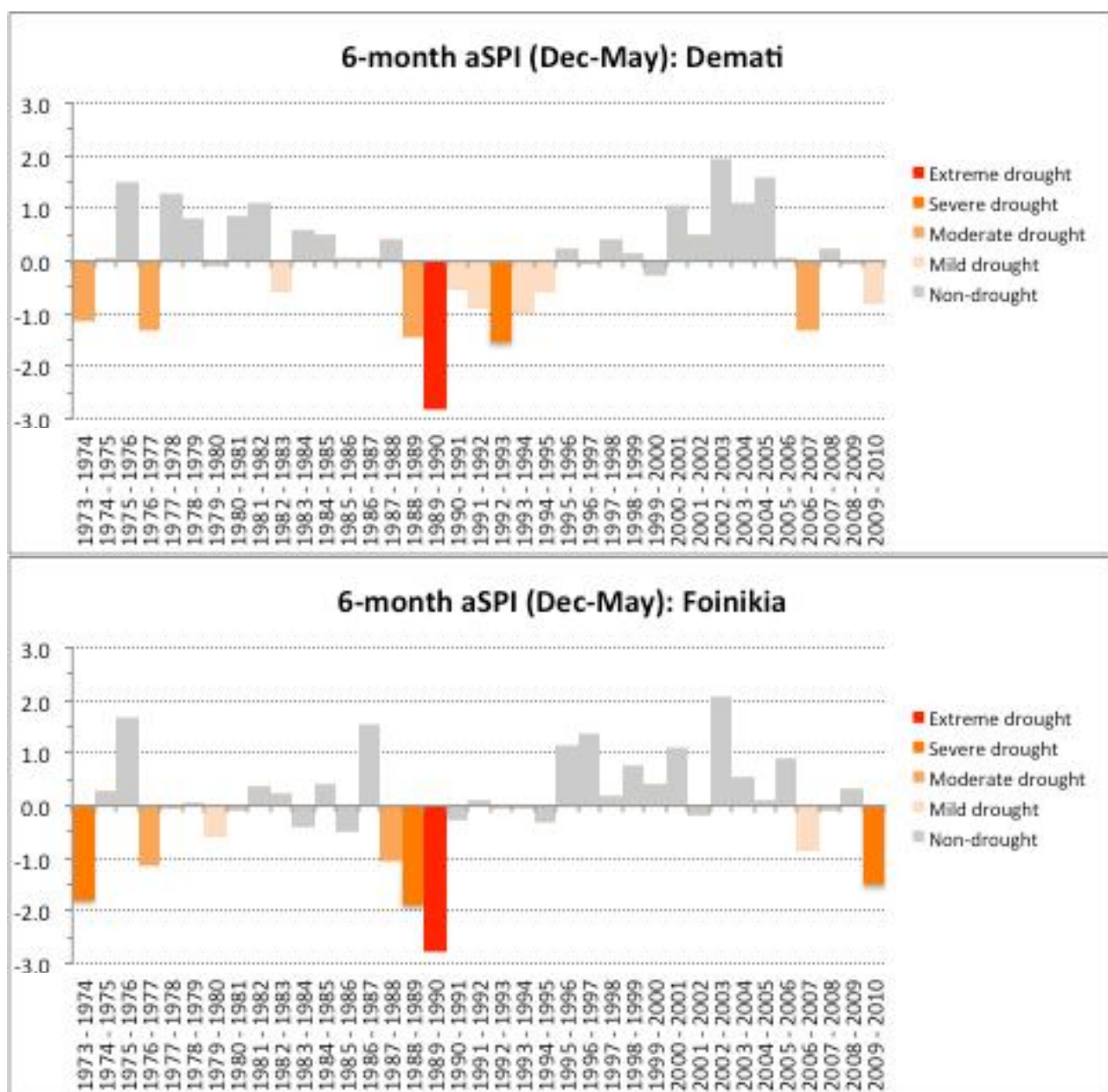


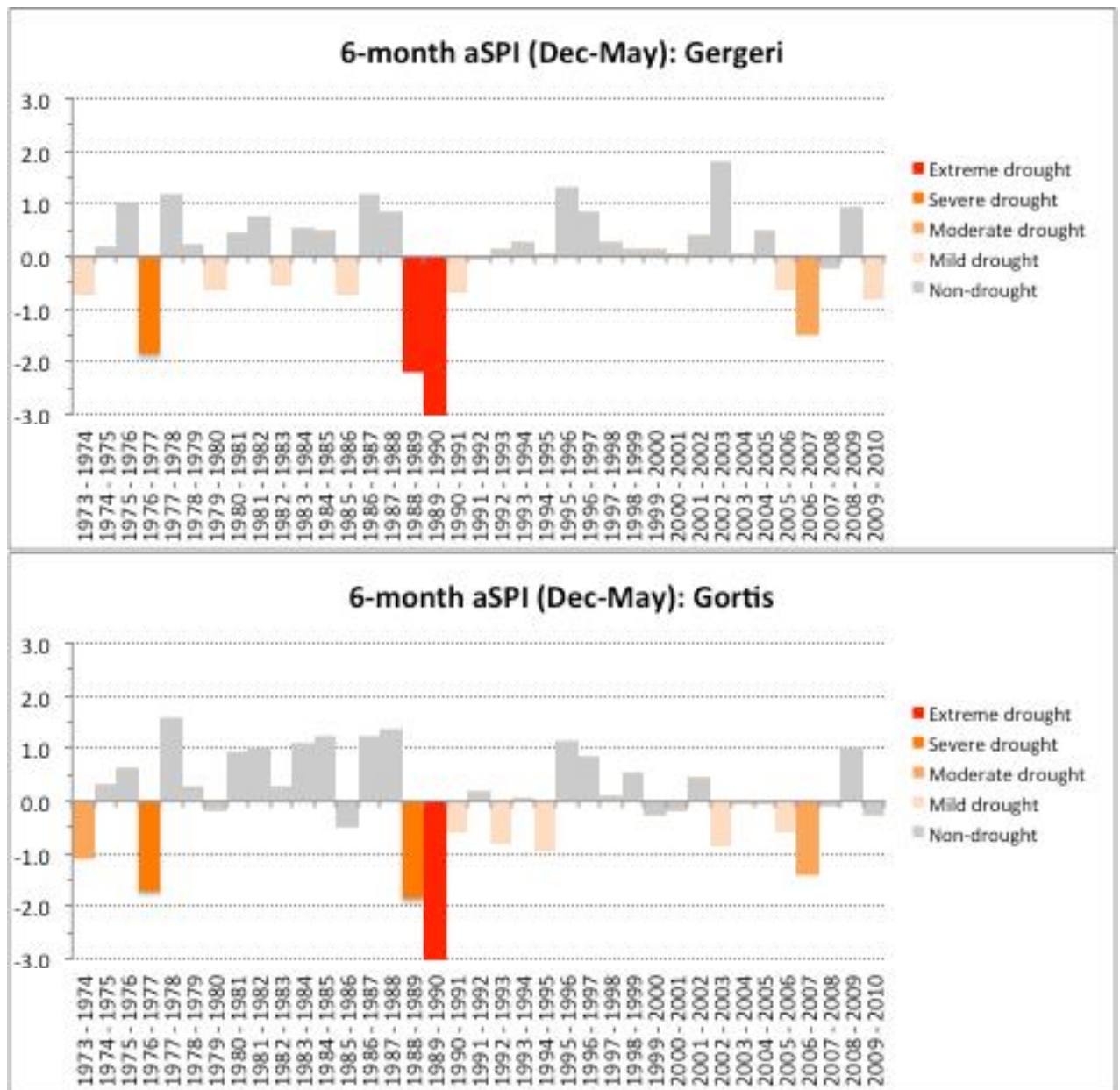
Ηράκλειο

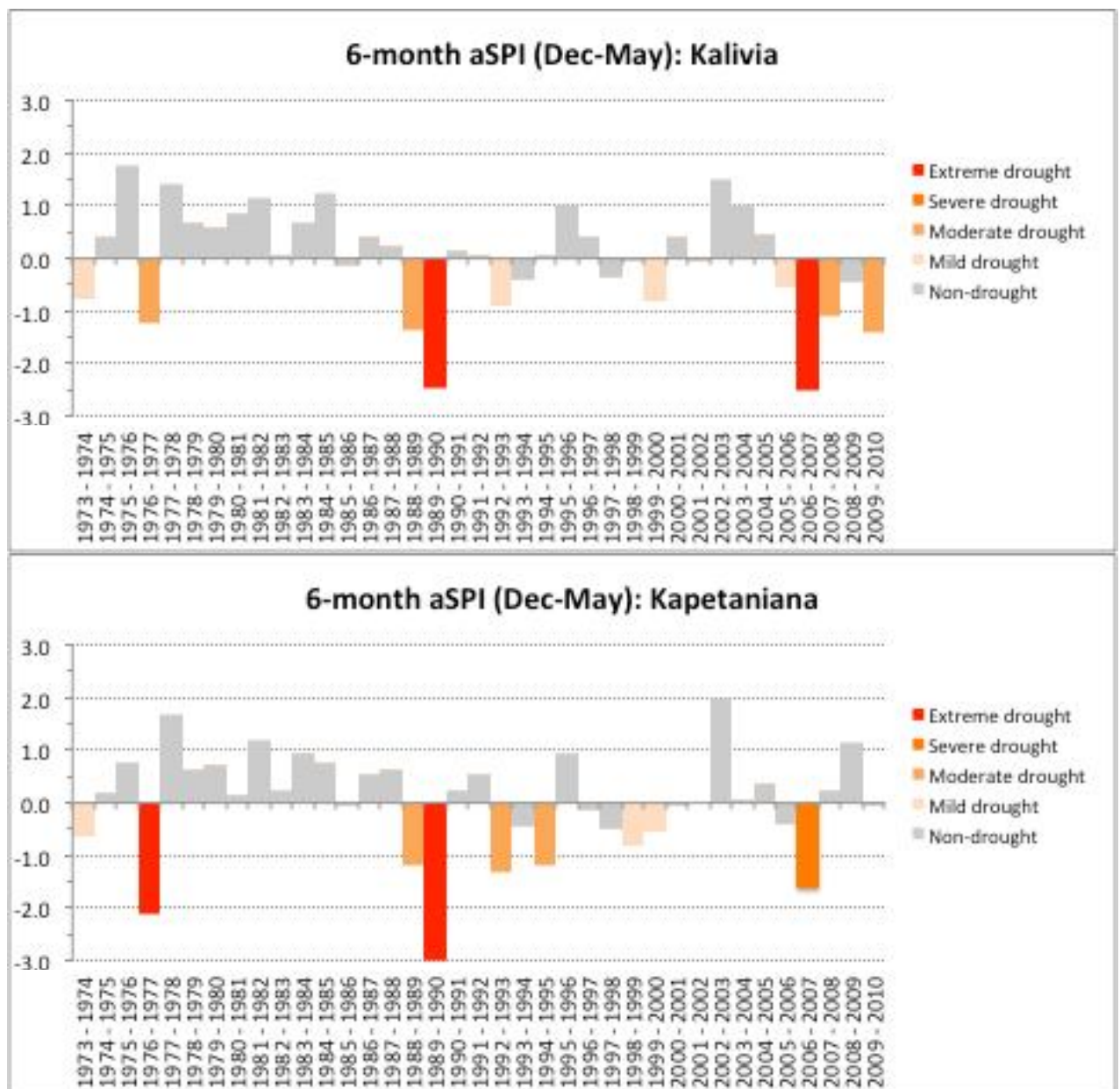


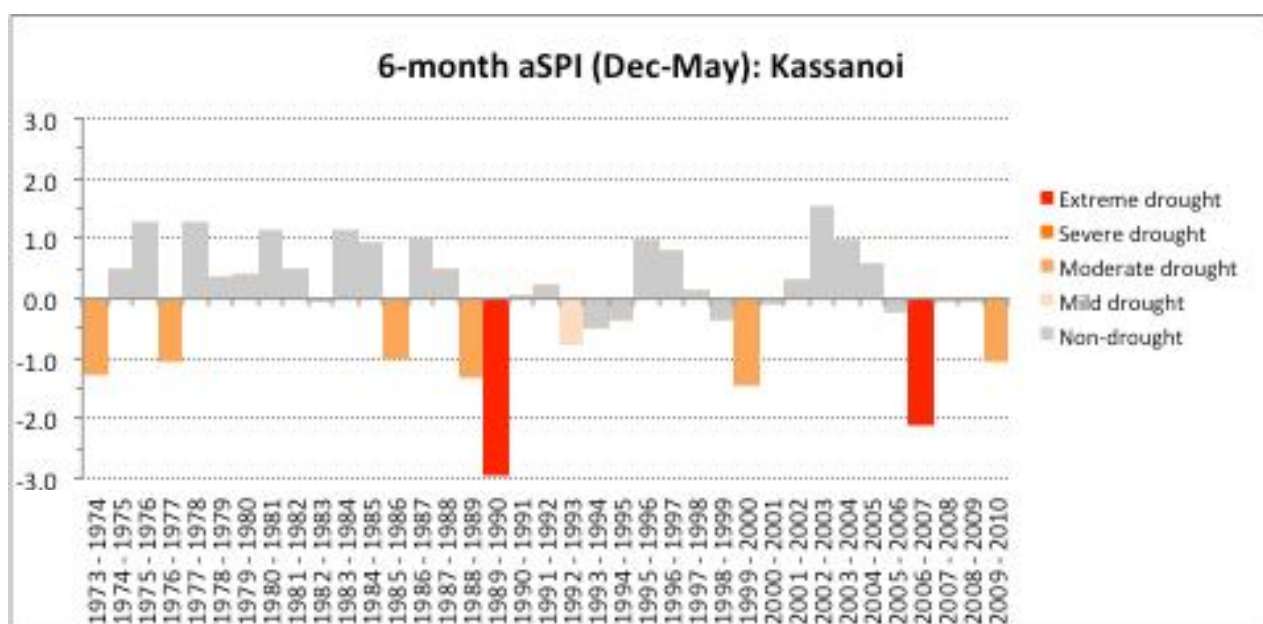
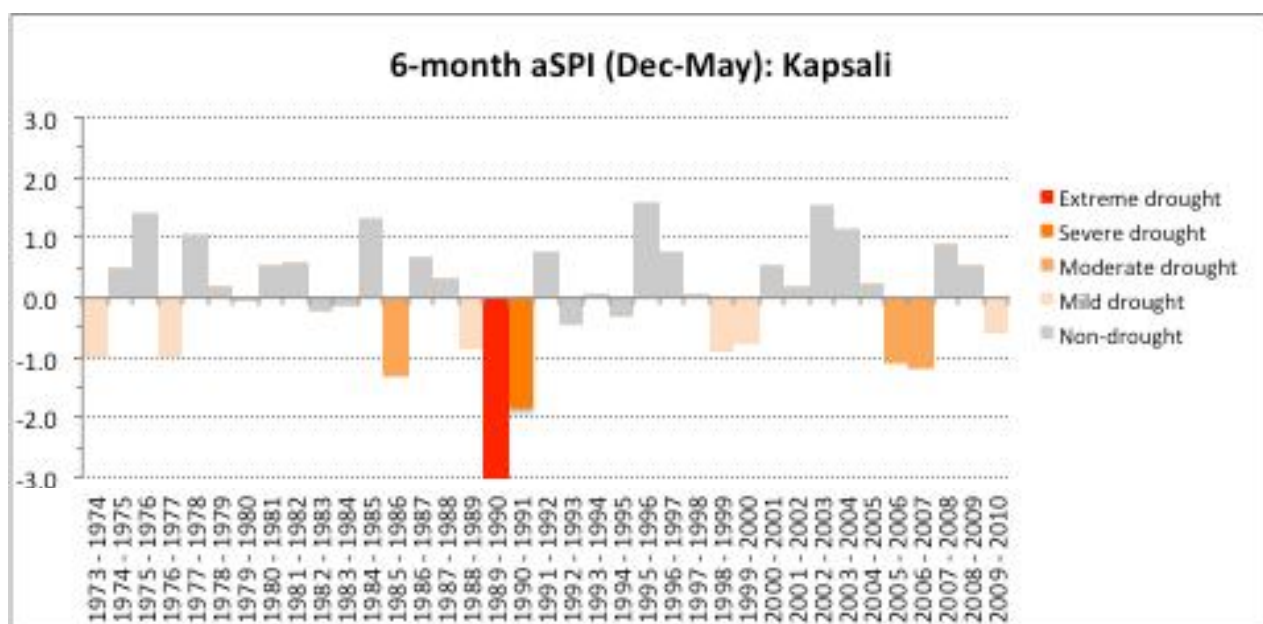


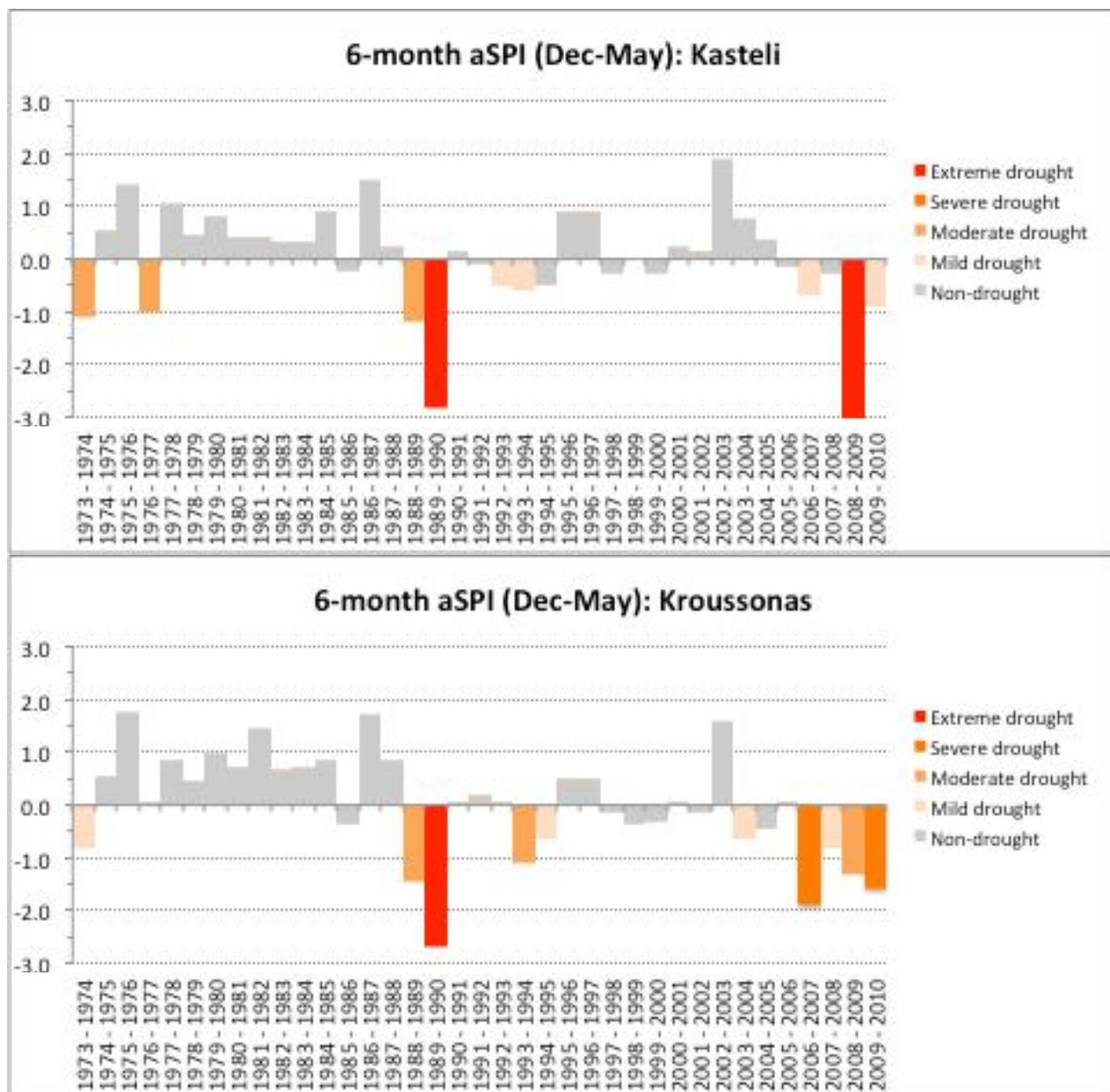


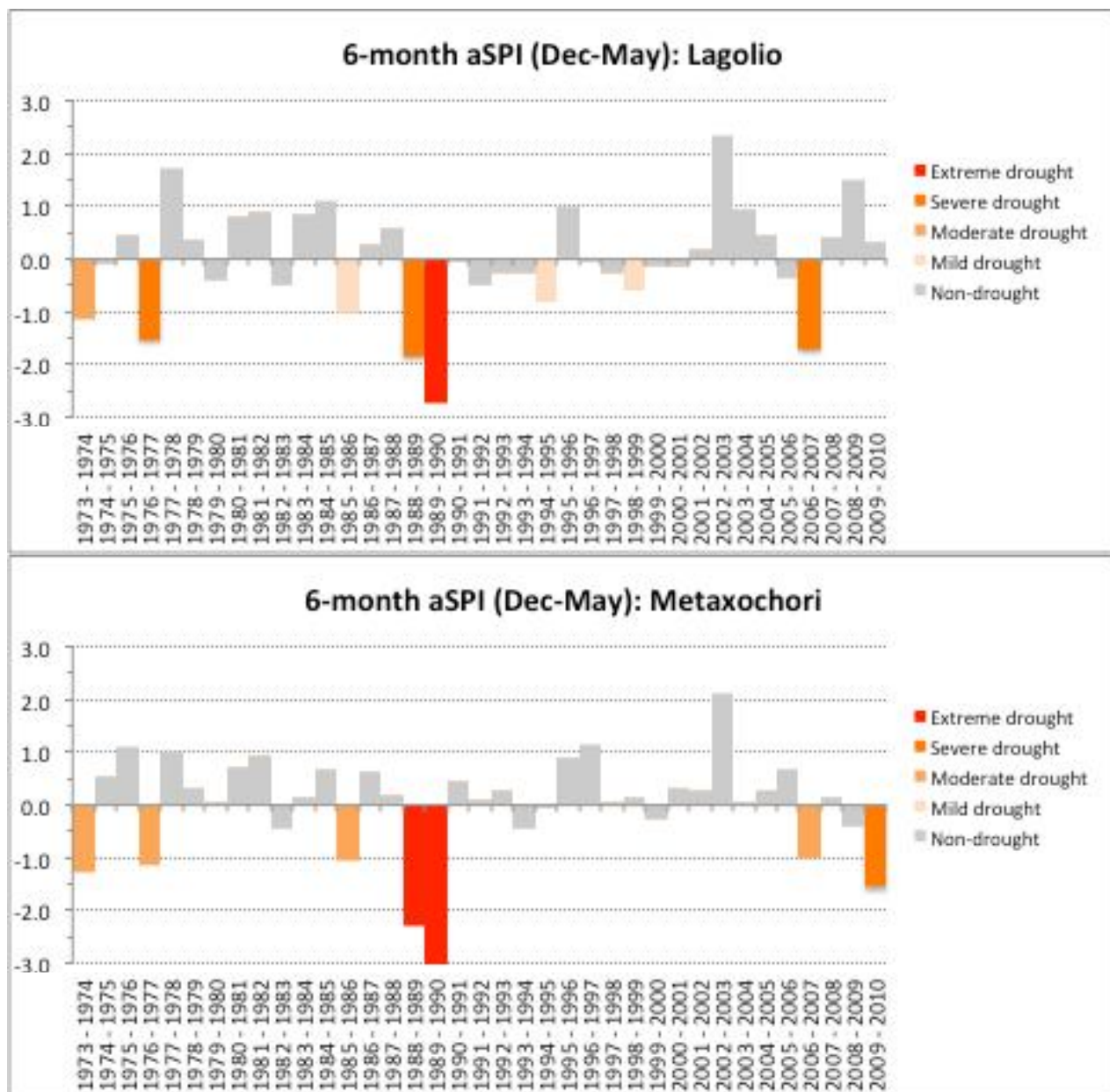


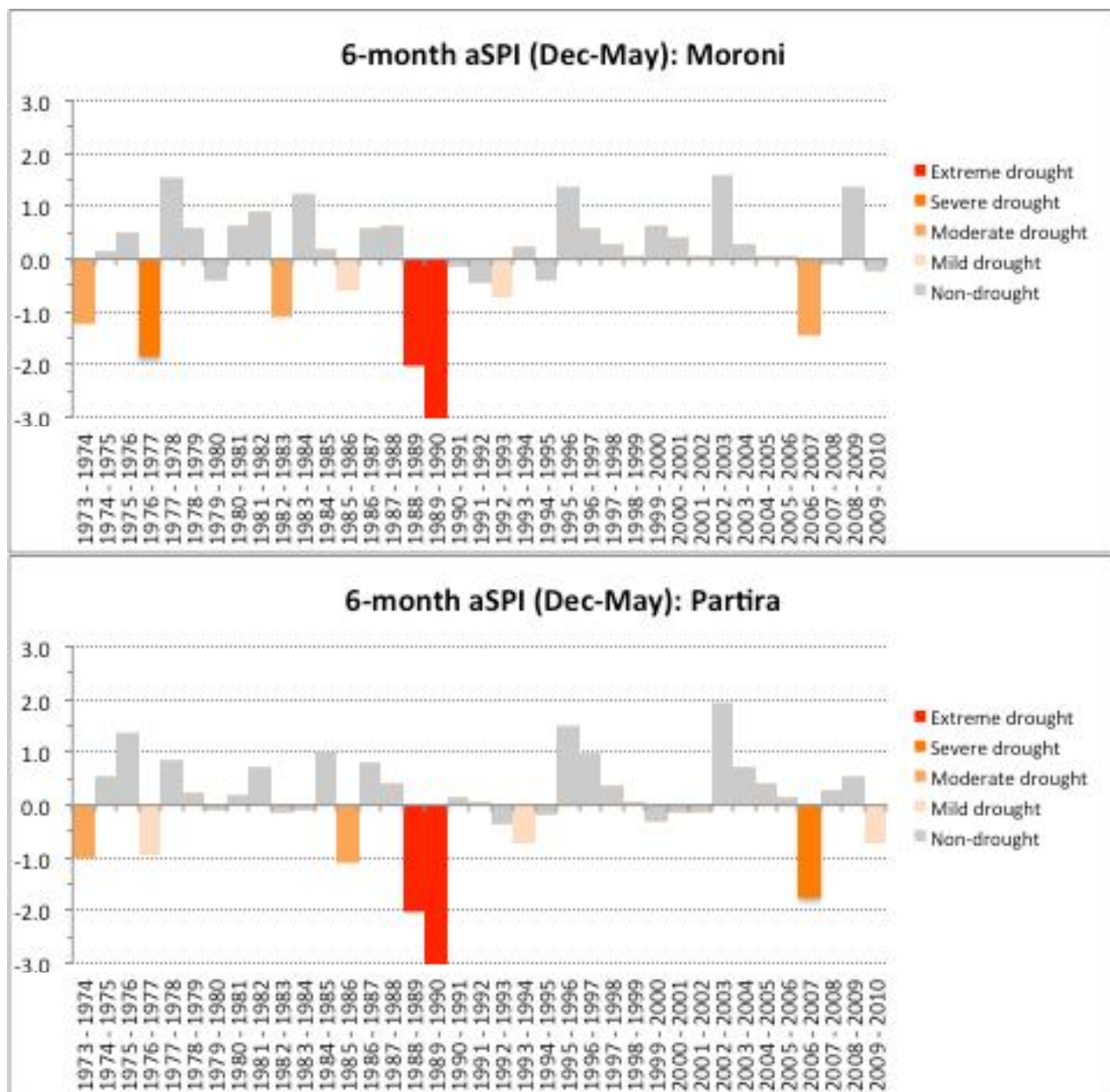


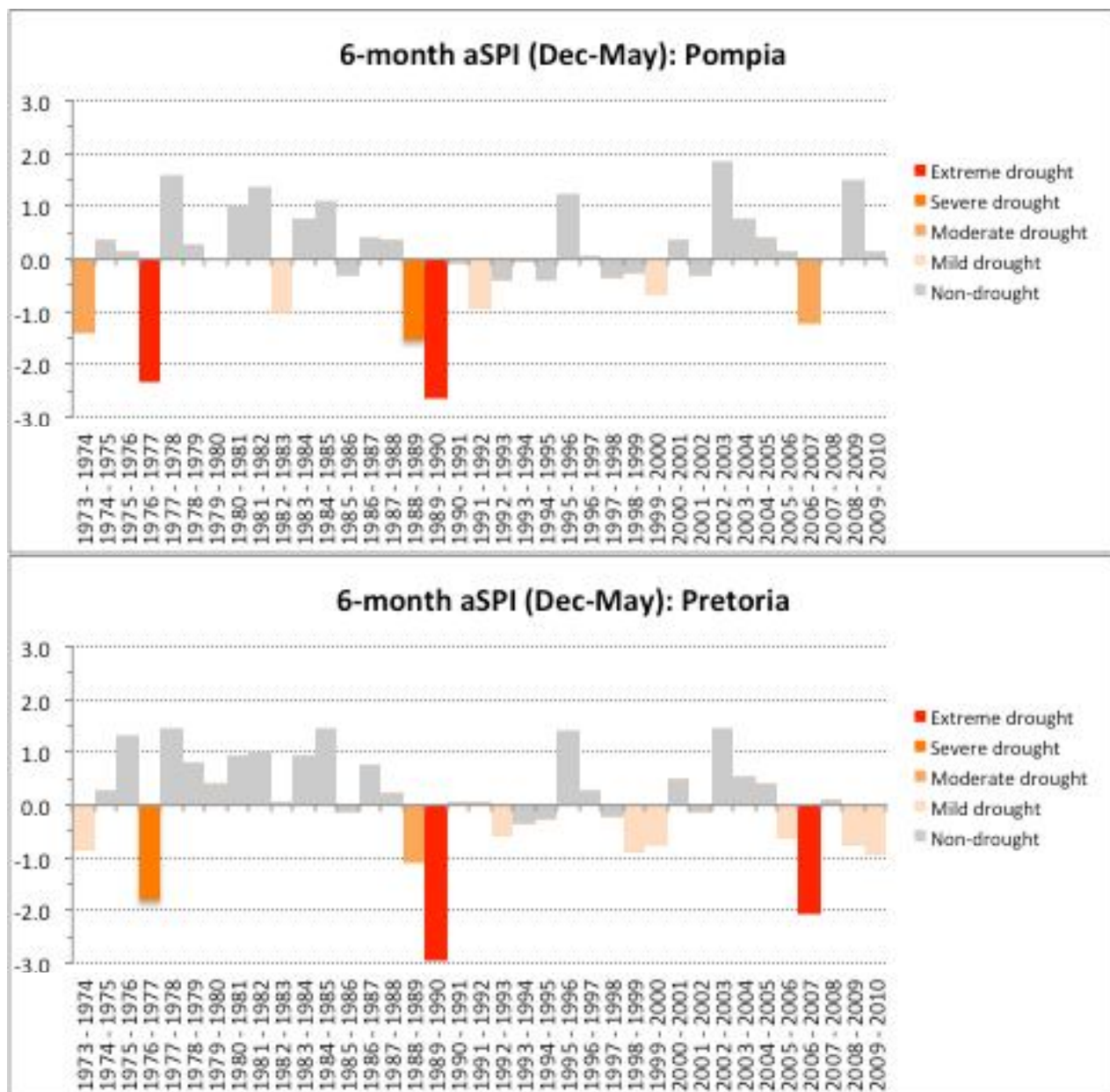


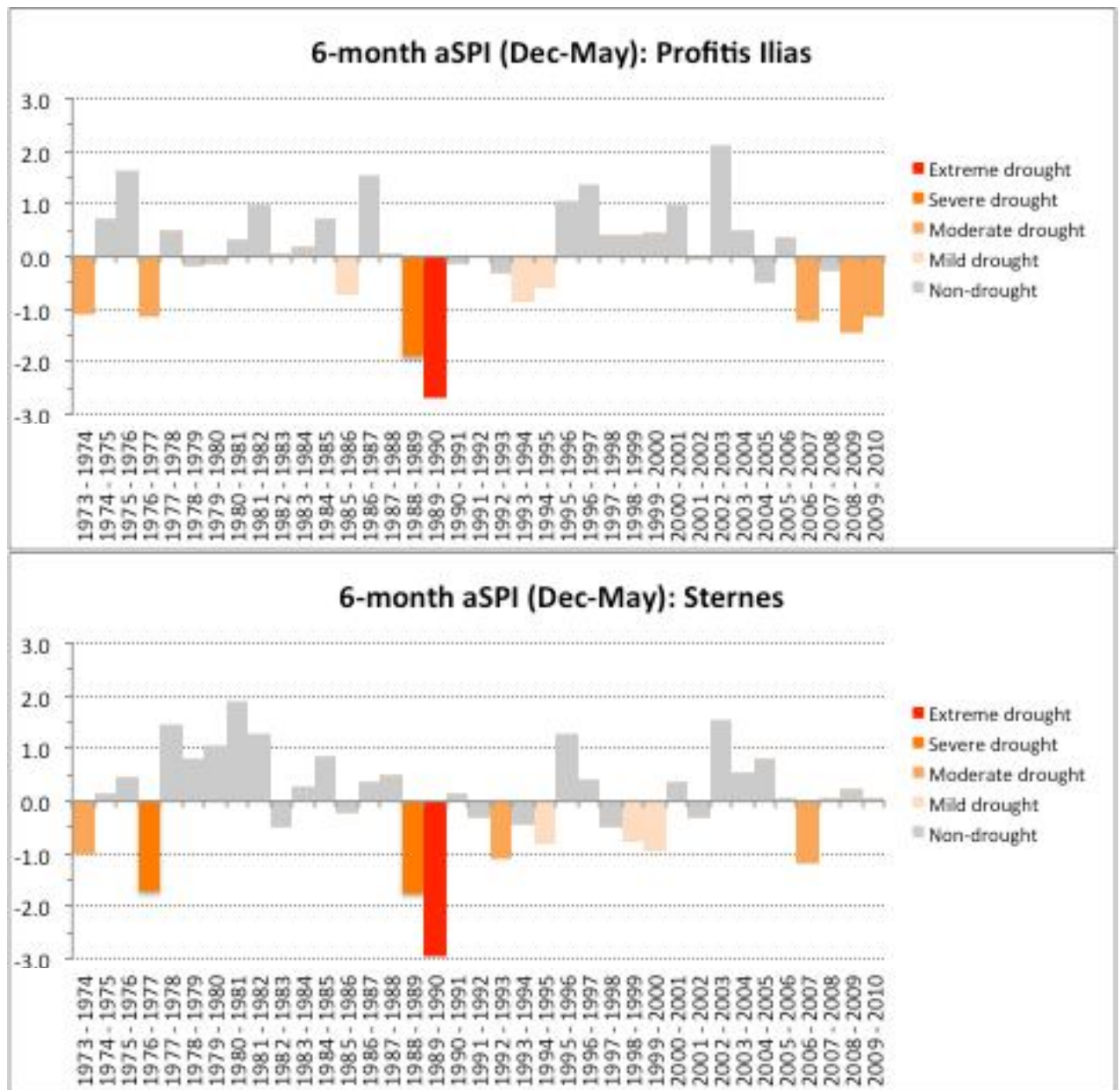


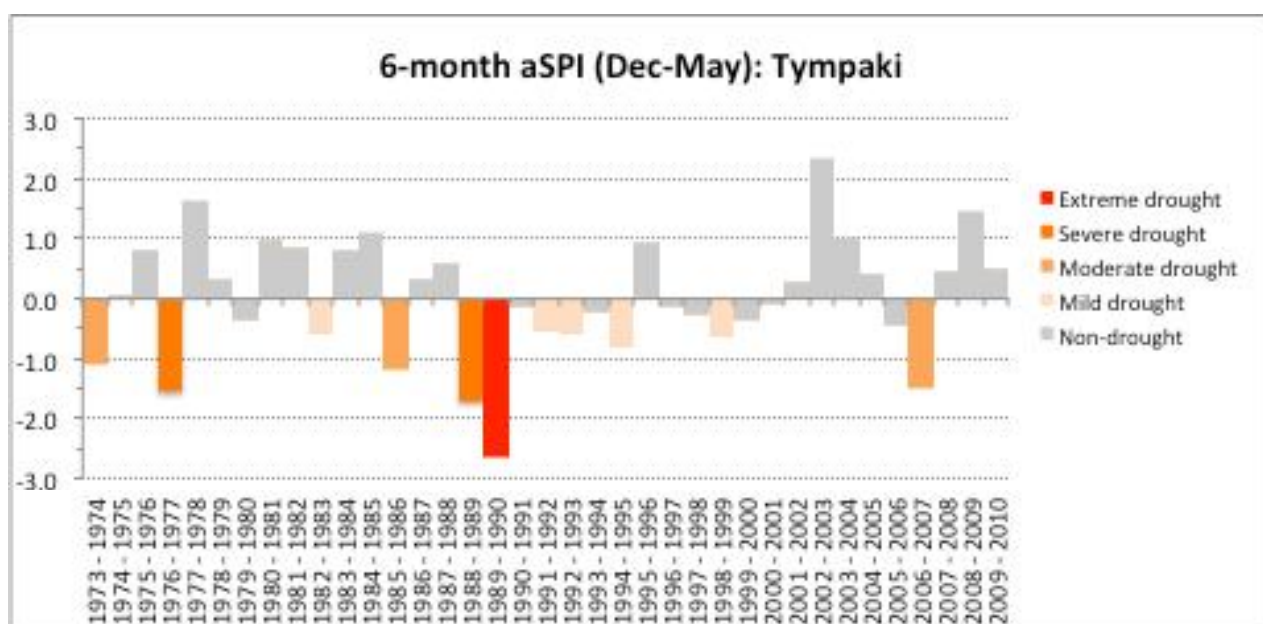
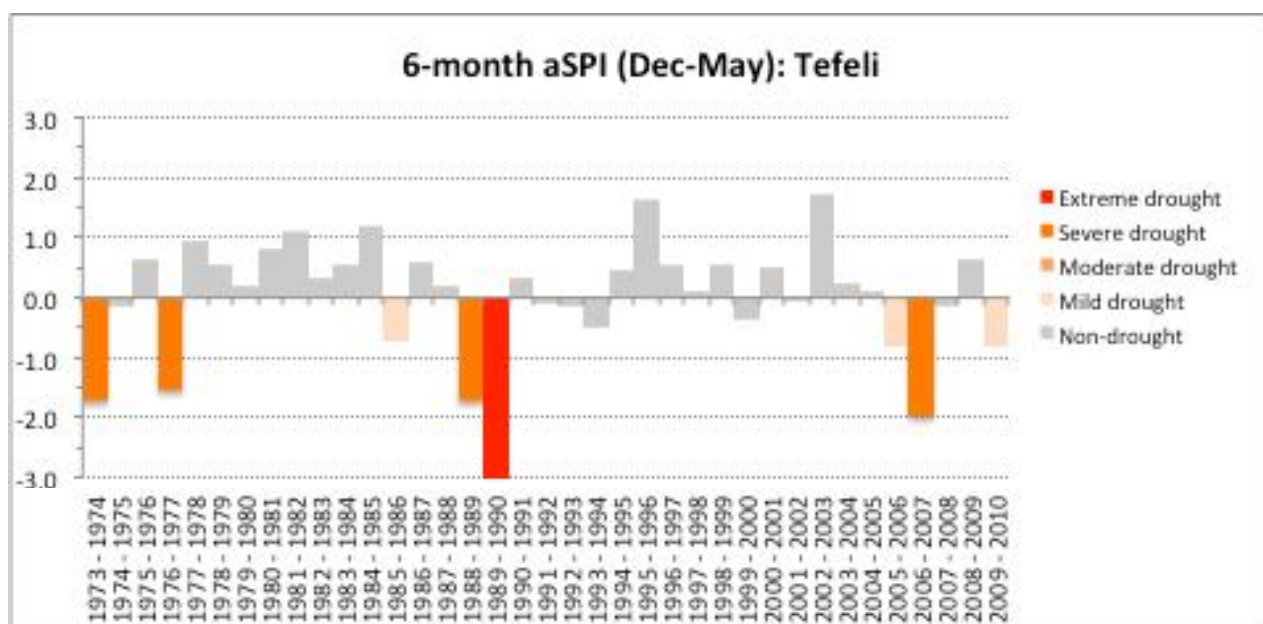


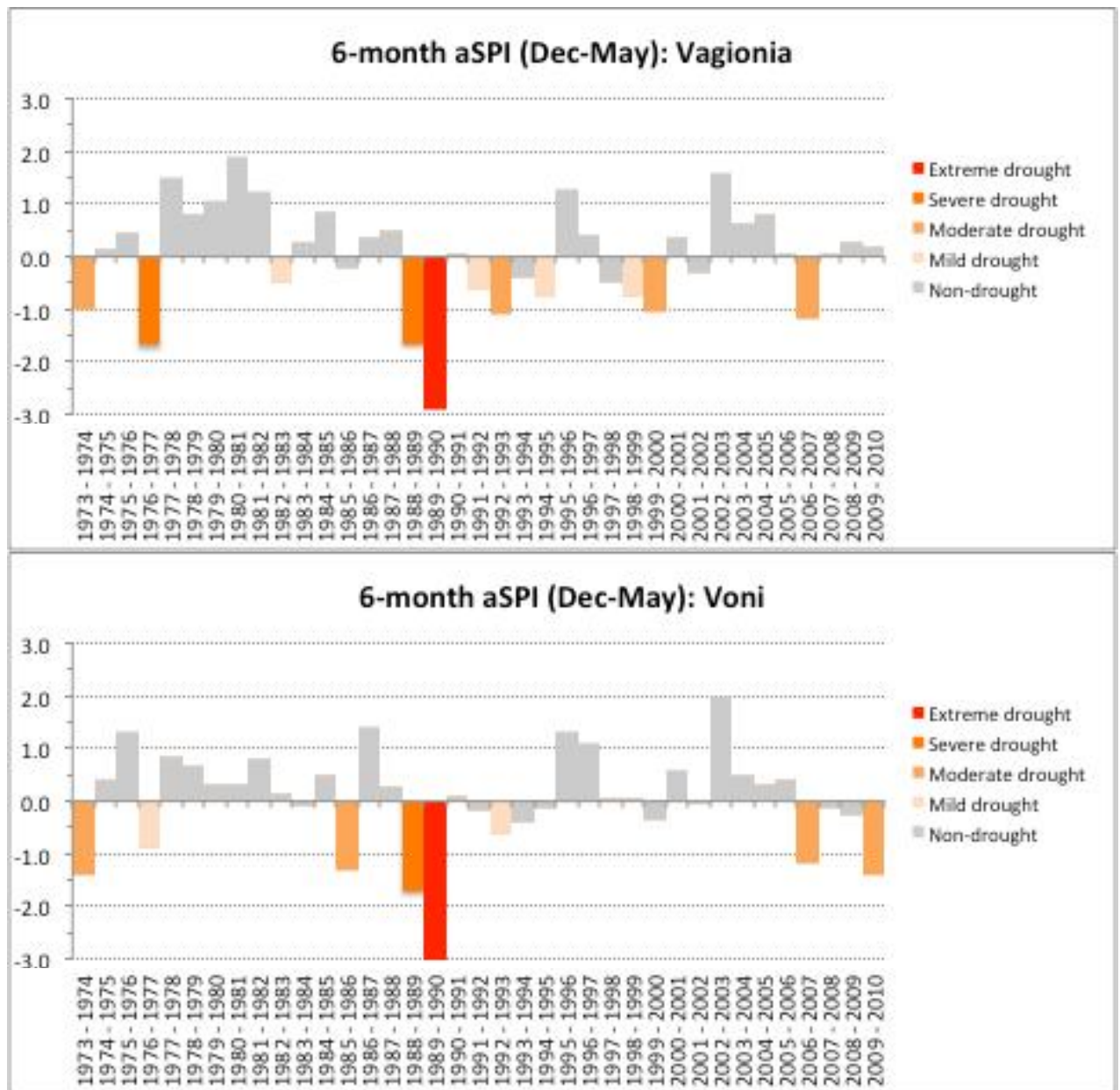


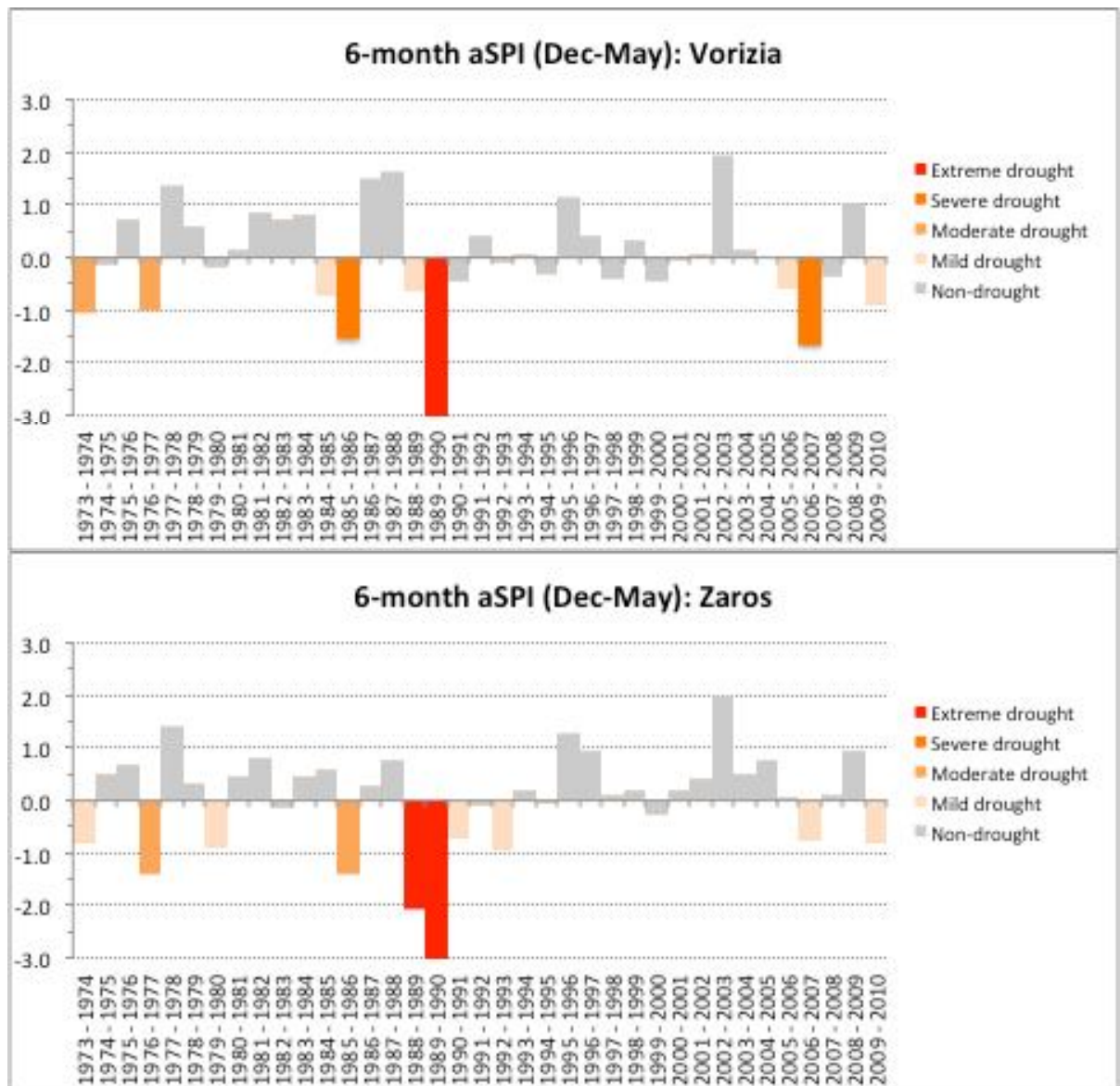




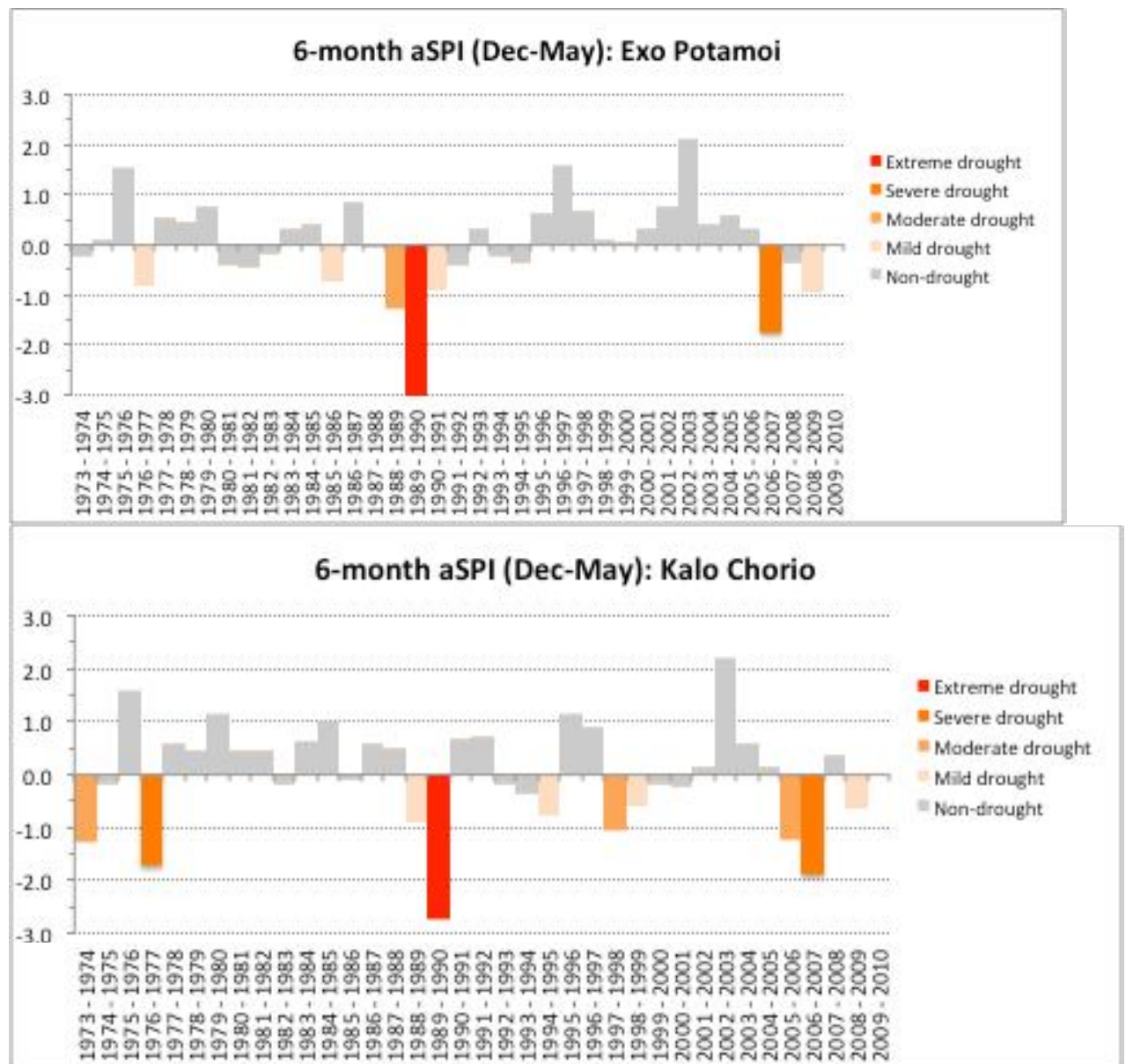


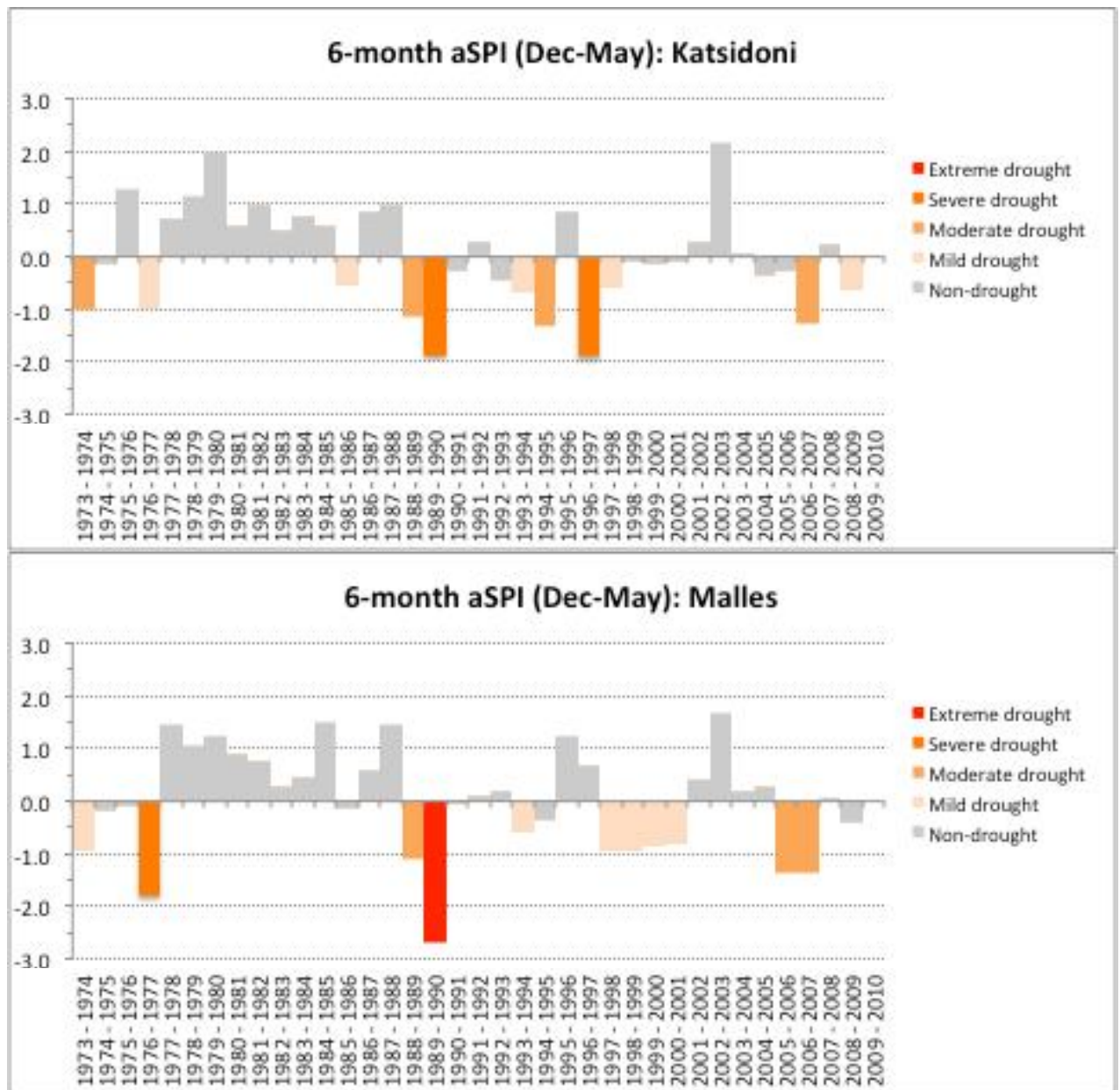


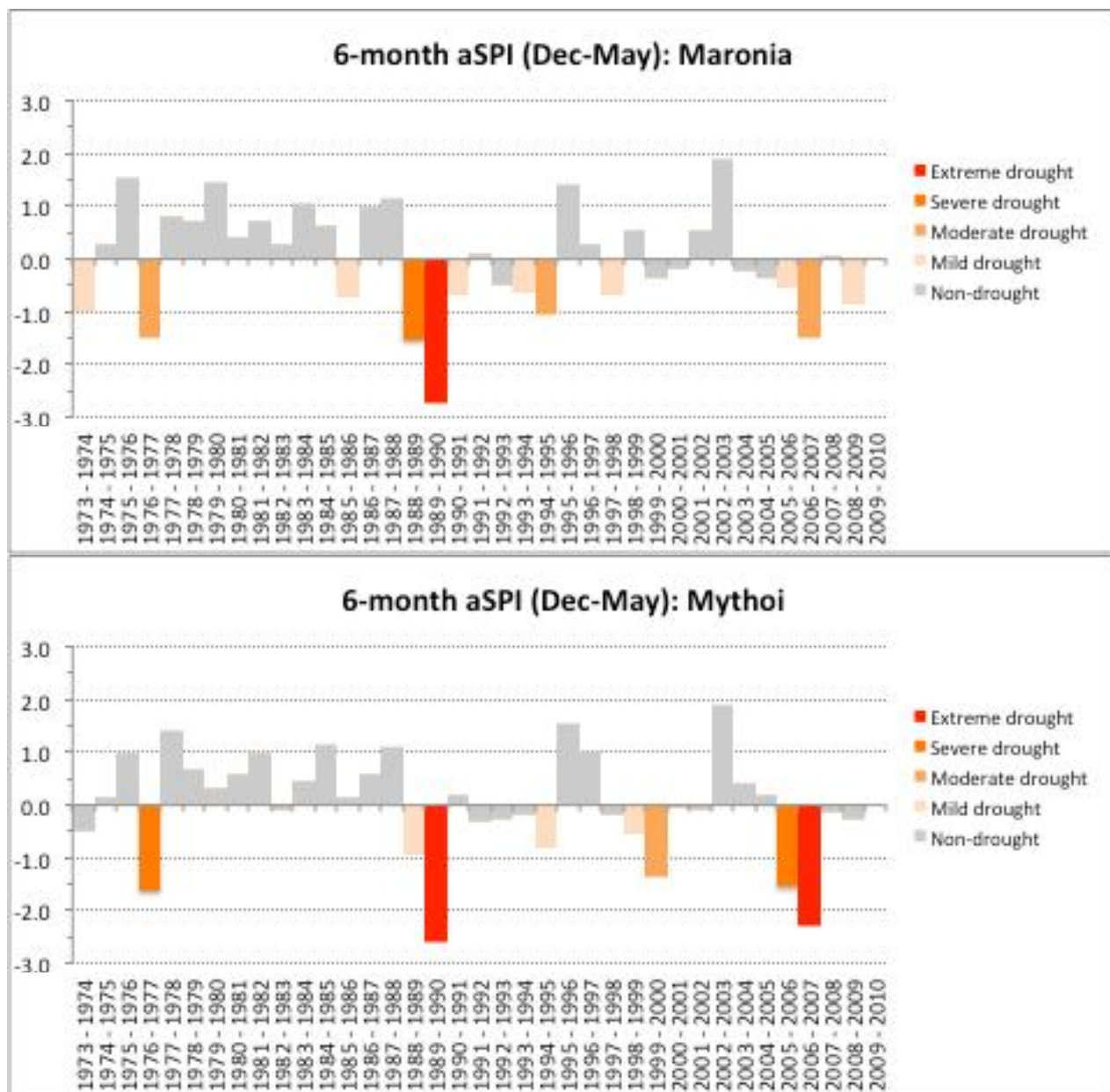


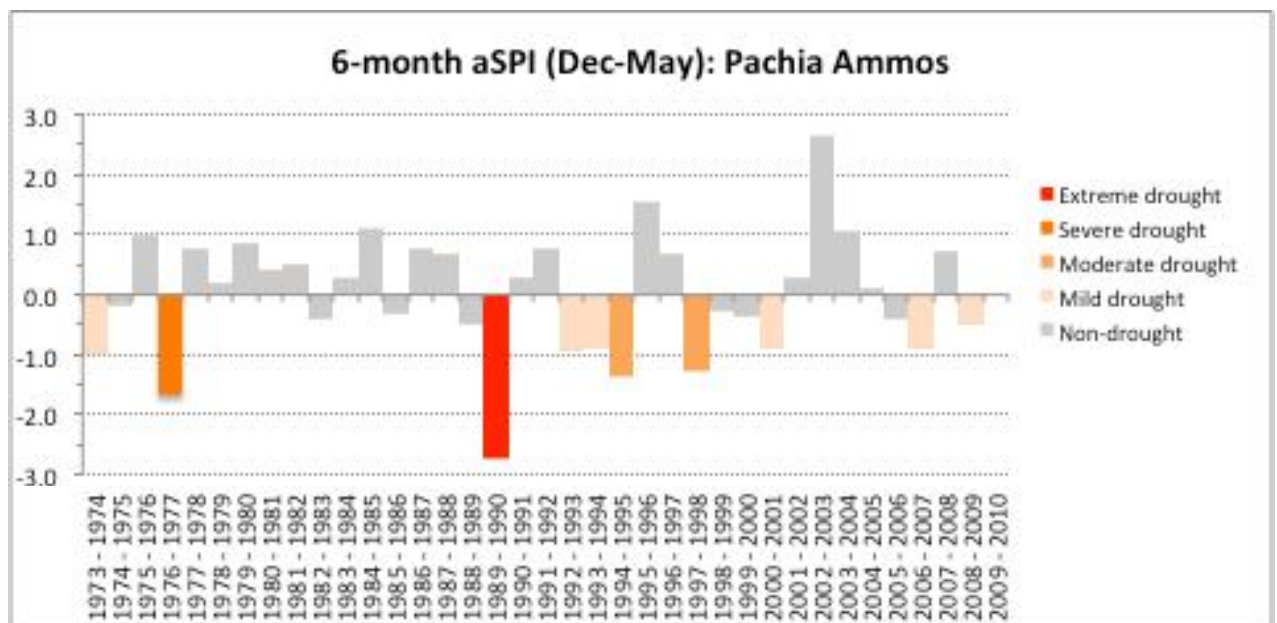
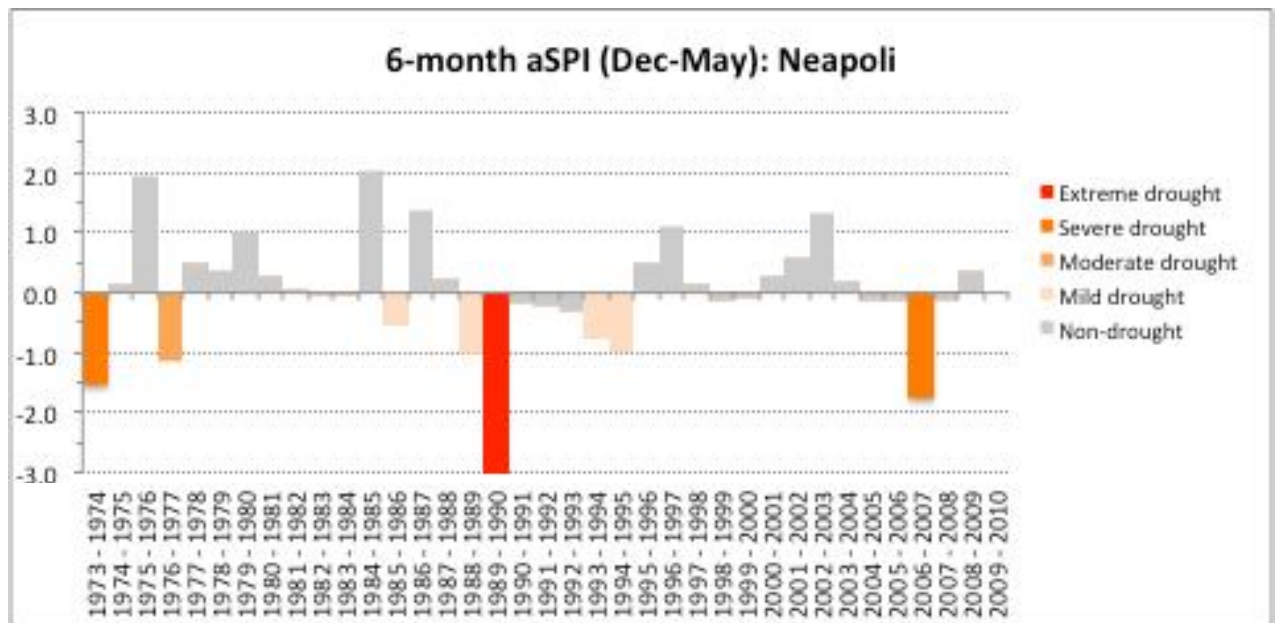


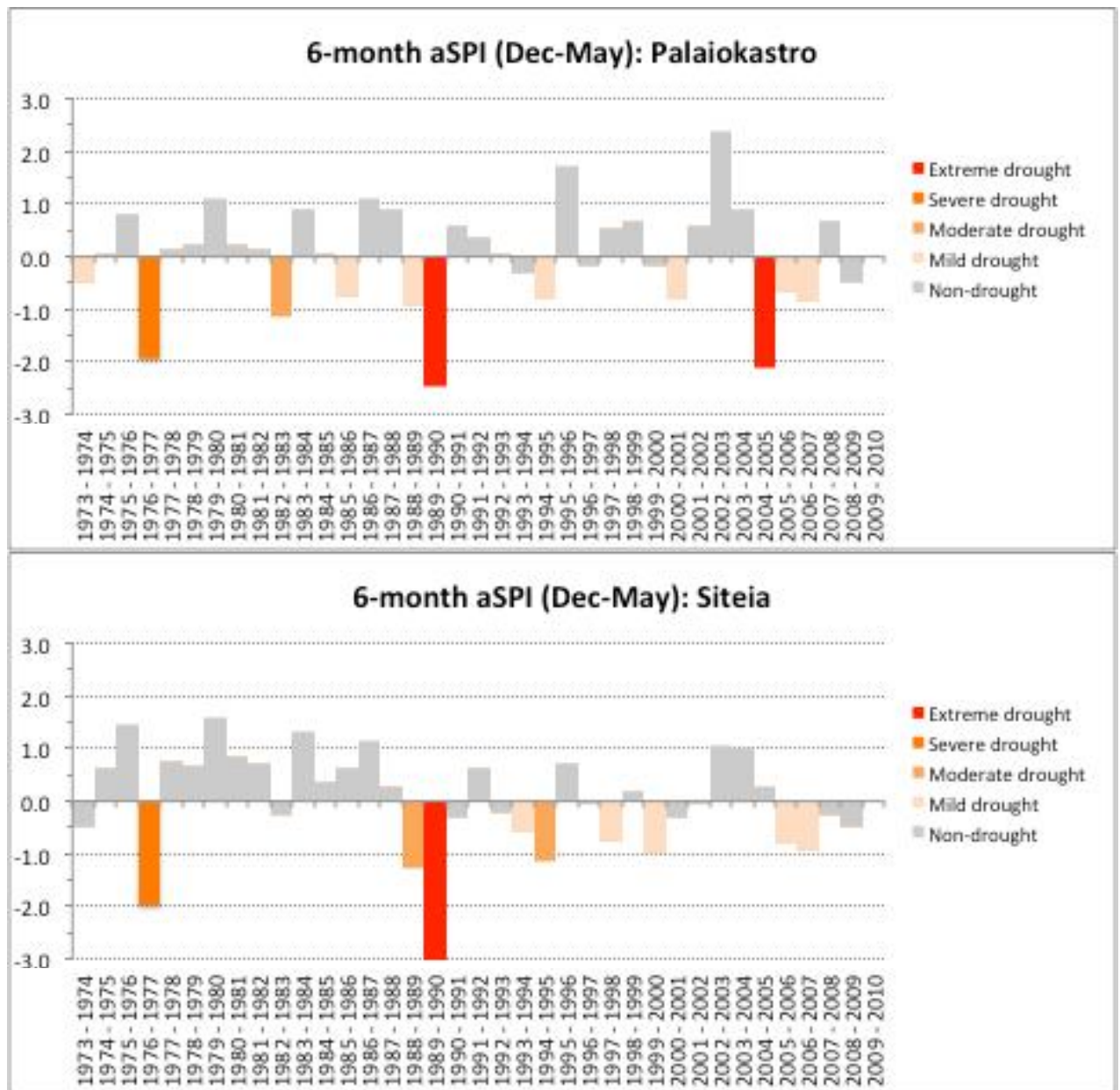
Λαοίθι



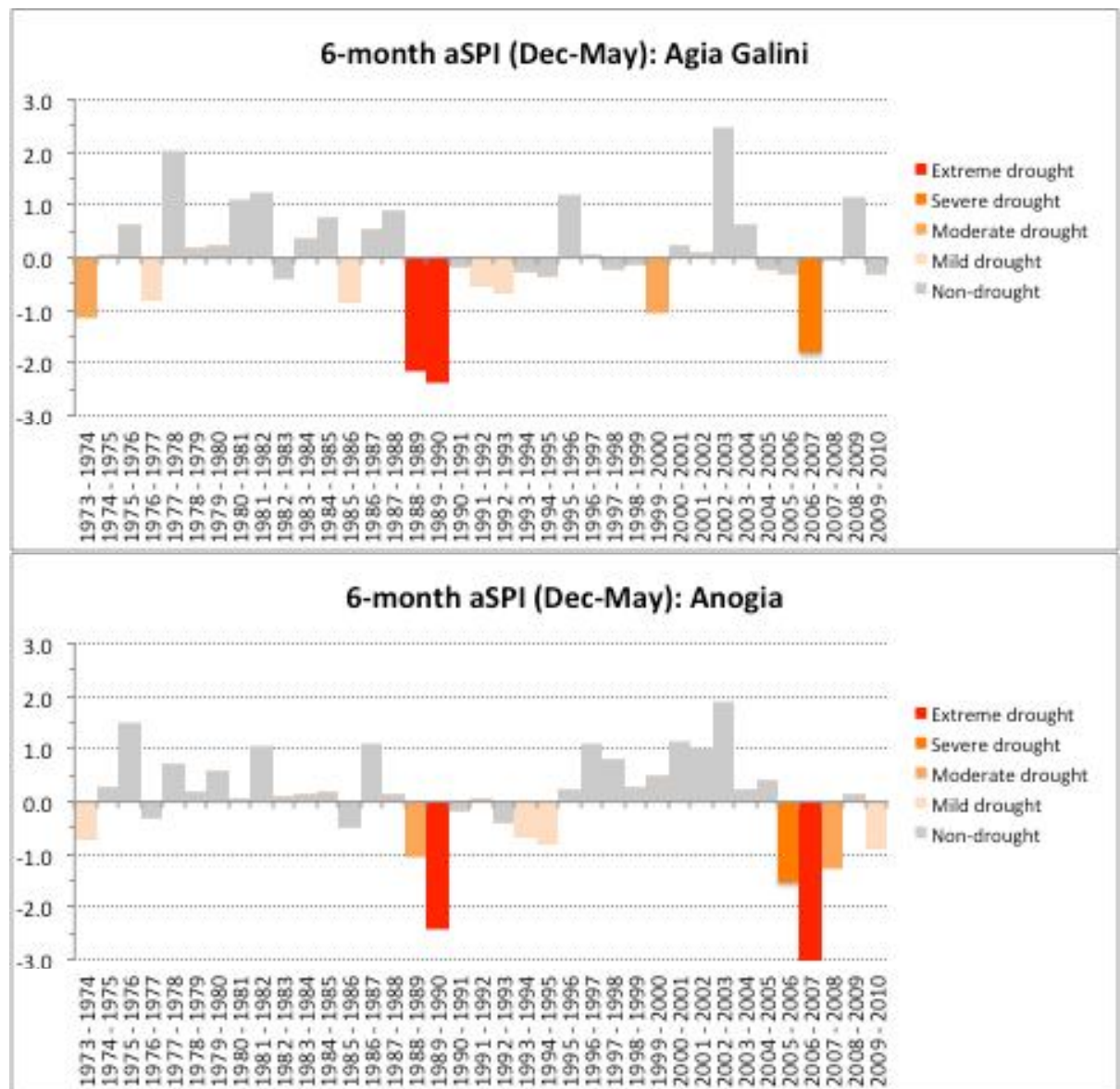


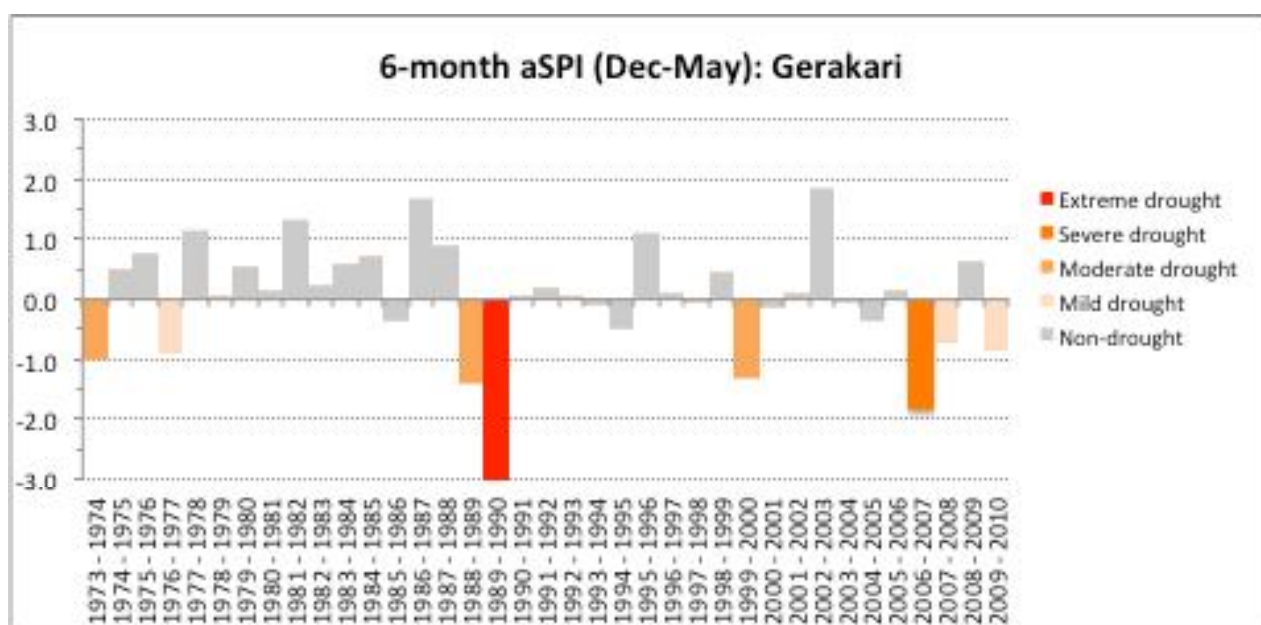
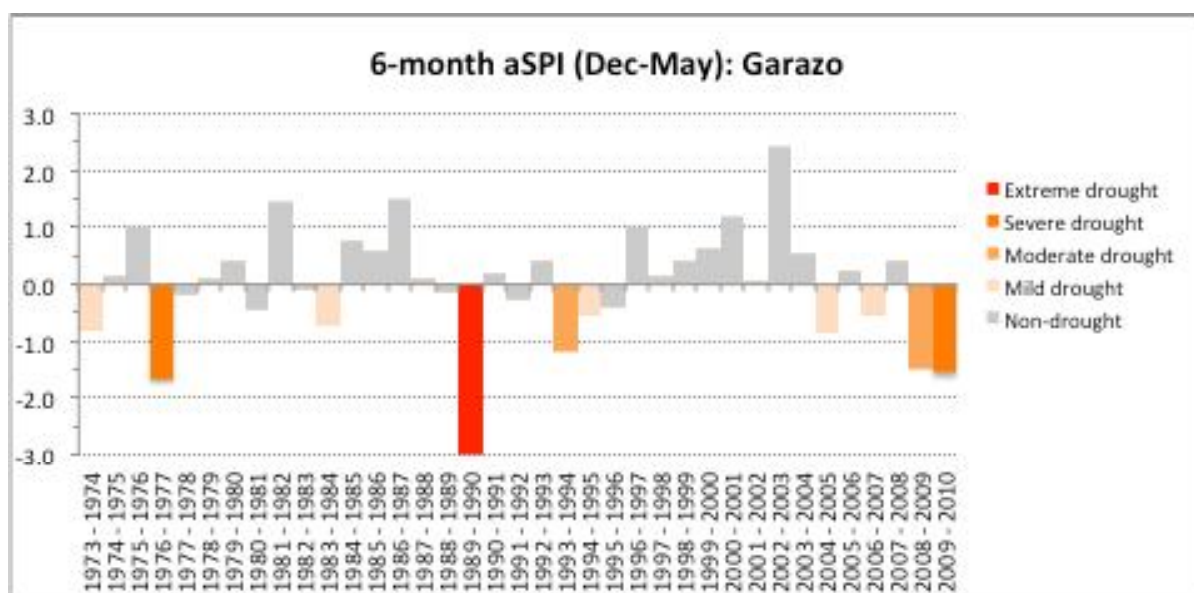


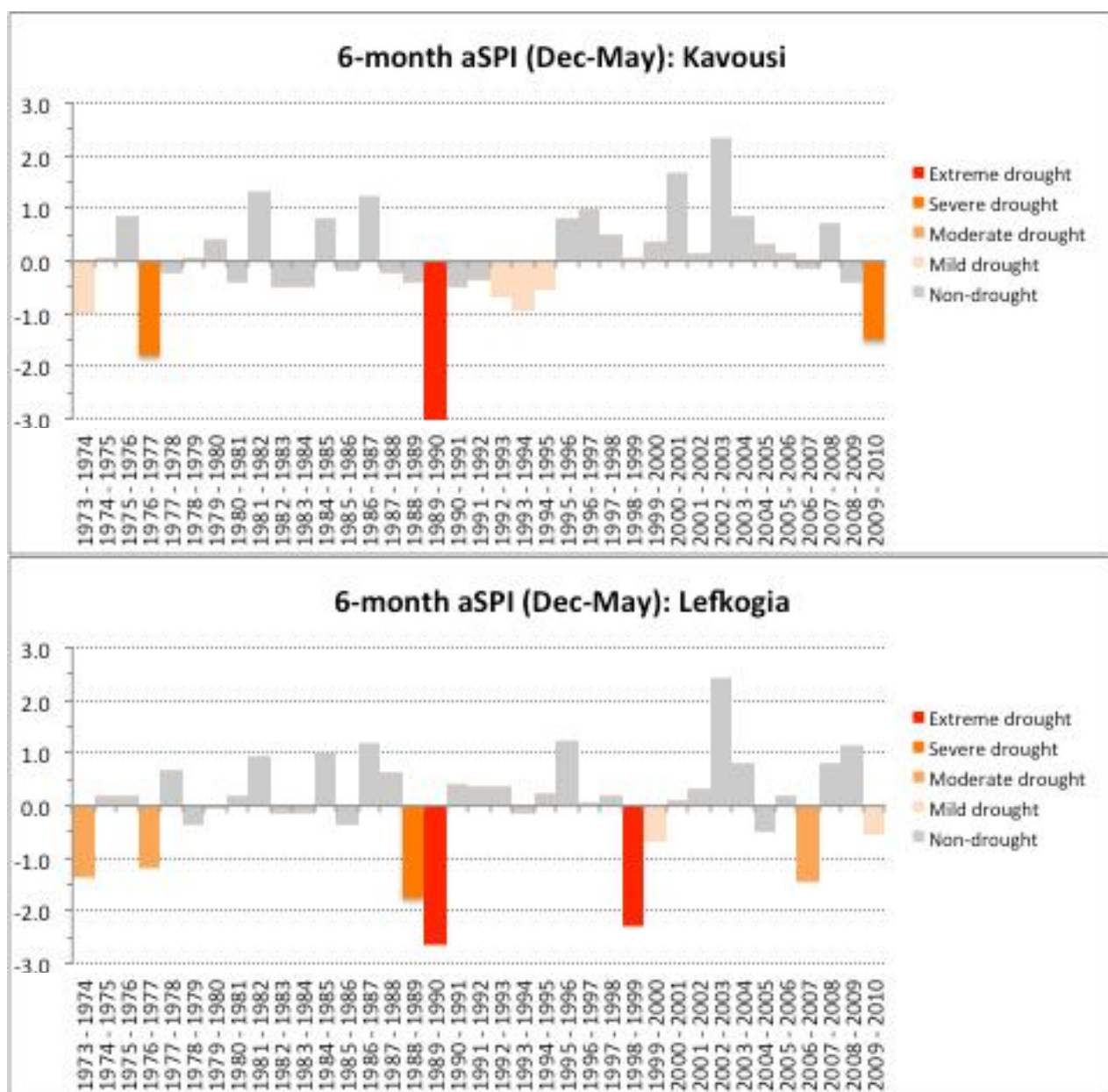


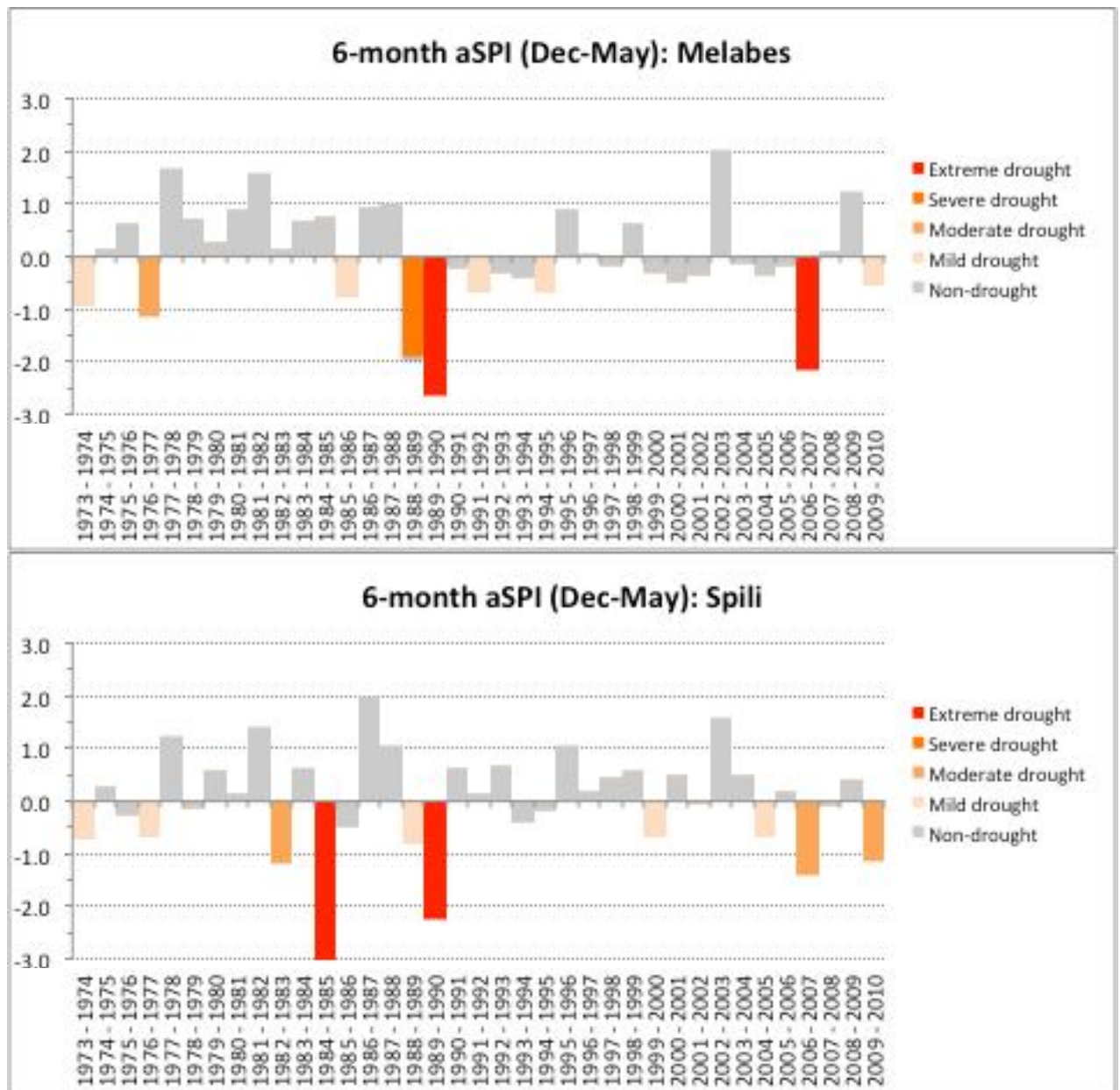


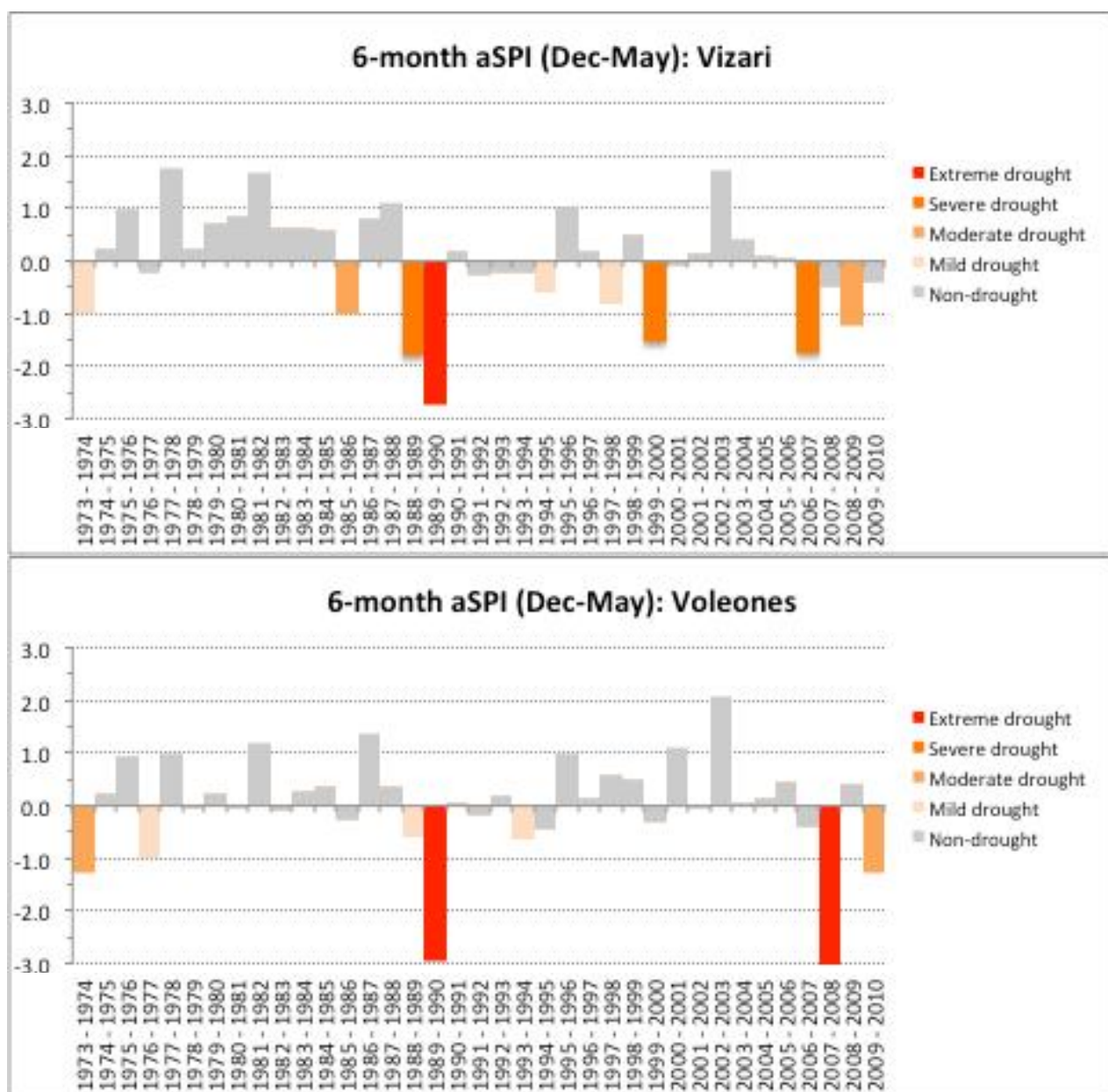
Ρέθυμνο











5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΛΕΙΨΥΔΡΙΑΣ

5.1 Γενικά

Τα θέματα έλλειψης νερού για διάφορες καταναλώσεις που συνεχώς αυξάνονται λόγω της αύξησης του πληθυσμού στις πόλεις και του υψηλότερου επιπέδου διαβίωσης αλλά και των αναγκών σε νερό για άρδευση γεωργικών εκτάσεων και των αναγκών για τουρισμό που επίσης αυξάνει τις τελευταίες δεκαετίες, έχουν αποτελέσει αντικείμενο εγρήγορσης της διεθνούς κοινότητας. Το γεγονός αυτό αποτελεί κυρίαρχο θέμα στις συνδιασκέψεις του ΟΗΕ και της Ευρωπαϊκής Ένωσης με έξαρση τελευταία των θεμάτων αυτών λόγω της κλιματικής αλλαγής.

Ήδη από το 1977 στη συνδιάσκεψη στην Mar del Plata και λίγα χρόνια αργότερα στο Rio de Janeiro η έλλειψη νερού και η διαχείριση της με ολοκληρωμένο και διατηρήσιμο τρόπο, ήταν το κεντρικό θέμα ανάμεσα σε άλλα σημαντικά για τον πλανήτη θέματα.

Σύμφωνα με τον ΟΗΕ μια χώρα (και επομένως η γεωγραφική της περιοχή) θεωρείται ότι δέχεται πιέσεις (stress) αν δεν διαθέτει τουλάχιστον 1000 m³ ανά άτομο και έτος (1000m³/c/y). Ως εντονα ελλειμματικές σε υδατικούς πόρους (έντονη λειψυδρία - severe water scarcity) χαρακτηρίζονται οι χώρες που διαθέτουν λιγότερο από 500 m³/c/y).

Τα όρια και οι διαπιστώσεις των διεθνών οργανισμών απεικονίζονται καλύτερα στον πίνακα που ακολουθεί που προτάθηκε από την Falkenmark et al το 1989 και υιοθετήθηκε σε μεγάλο βαθμό για την ταξινόμηση των χωρών όσον αφορά στην κατάσταση τους σε σχέση με την έλλειψη νερού (Πιν. 5.1).

Πίνακας 5.1 Όρια κατάταξης των χωρών σε σχέση με τους διαθέσιμους υδατικούς πόρους

Διαθεσιμότητα (m ³ /c/y)	Επίπεδο πίεσης (stress level)
>1700	Χωρίς πίεση
1000- 1700	Μέτρια πίεση
500- 1000	Υψηλή πίεση
< 500	Ακραία πίεση

5.2 Χωρική και Χρονική Βάση Ανάλυσης Λειψυδρίας

Όπως έχει ήδη αναφερθεί λειψυδρία είναι το φαινόμενο της ύπαρξης ενός σημαντικού ελλείμματος για την κάλυψη της ζήτησης νερού για διάφορες χρήσεις για σημαντικό χρονικό διάστημα που επηρεάζει μια σημαντική χωρική ενότητα.

Γίνεται φανερό ότι η λειψυδρία μπορεί να είναι ένα μόνιμο ή παροδικό (ή και επαναλαμβανόμενο) φαινόμενο για μια περιοχή που περιγράφεται από τους διεθνείς όρους «water scarcity» και «water shortage», αντίστοιχα.

Για την καλύτερη κατανόηση και αξιολόγηση του φαινομένου της λειψυδρίας πρέπει να καθορίζονται τόσο η έκταση (χωρική βάση) όσο και η χρονική περίοδος που εξετάζεται. Στις περισσότερες περιπτώσεις (εκτός ειδικών απαιτήσεων), η χωρική βάση της λειψυδρίας είναι το σύστημα διαχείρισης υδατικών πόρων (water system) που περιλαμβάνει τους διαθέσιμους υδατικούς πόρους, τις καταναλώσεις και τα σημαντικά σημεία περιβάλλοντος. Όσον αφορά στην χρονική περίοδο αυτή στις πλείστες των περιπτώσεων συνήθως λαμβάνεται το υδρολογικό έτος που περιλαμβάνει ένα διακριτό στο χρόνο κύκλο του νερού. Η περίοδος αυτή ενδέχεται να είναι μεγαλύτερη του έτους σε περίπτωση ύπαρξης μεγάλων υπόγειων υδροφορέων ή μεγάλων επιφανειακών ταμιευτήρων αποθήκευσης υπερετήσιας ρύθμισης.

Αναλύοντας περαιτέρω το θέμα της χωρικής βάσης, αυτή μπορεί να είναι μια μεγάλη έκταση που αντιστοιχεί σε μια υδρογεωλογική λεκάνη. Όπως προηγούμενα αναφέρθηκε στην περίπτωση της αξιολόγησης και της διαχείρισης της ξηρασίας, η χωρική βάση που προτάθηκε βασίστηκε στην υιοθέτηση της ομάδας υπολεκανών που αποτελείται από ένα αριθμό γειτονικών υπολεκανών στην οποία μπορούν με ικανοποιητικό βαθμό αξιοπιστίας να μεταφέρονται τα απαραίτητα μετεωρολογικά στοιχεία που χαρακτηρίζουν τα φαινόμενα ξηρασίας. Στην περίπτωση όμως της αξιολόγησης και της διαχείρισης της λειψυδρίας οι ομάδες αυτές δεν μπορούν πάντα να συμπεριλαμβάνουν τους διαθέσιμους υδατικούς πόρους οι οποίοι μπορούν να αναφέρονται σε ευρύτερους υπόγειους υδροφορείς που εκτείνονται (αλλά και αξιοποιούνται από) χωρικά σε πολύ μεγαλύτερες γεωγραφικές εκτάσεις.

Ως συμπέρασμα και ιδίως για την Κρήτη όπου σημαντικοί υδατικοί πόροι προέρχονται από μεγάλους υπόγειους υδροφορείς, είναι πολύ δύσκολο αν όχι αδύνατο, η χωρική βάση των φαινομένων ξηρασίας να συμπίπτει με τη χωρική βάση των φαινομένων λειψυδρίας.

Το θέμα αυτό θα απασχολήσει τη μελετητική ομάδα και στο δεύτερο στάδιο της μελέτης για τη διαμόρφωση των συστημάτων διαχείρισης ξηρασίας και λειψυδρίας. Σημειώνεται ότι τα δύο φαινόμενα (ξηρασία και λειψυδρία) έχουν άμεση ιεραρχική σχέση αφού η ξηρασία είναι συνήθως η κύρια πρόκληση φαινομένων λειψυδρίας. Δεν πρέπει όμως να λησμονείται ότι η λειψυδρία σε μια περιοχή μπορεί να προέρχεται από την ξηρότητα του κλίματος (aridity) ή από την κακή διαχείριση των διαθέσιμων υδατικών πόρων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η λειτουργία ενός ταμιευτήρα νερού που έχει σχεδιασθεί για υπερετήσια ρύθμιση και συγκεκριμένη εγγυημένη ετήσια απόληψη, που λόγω μιας πλούσιας σε βροχοπτώσεις χρονιάς, δίνει τη δυνατότητα πολύ μεγαλύτερων απολήψεων κατά τη χρονιά αυτή. Αν

αυτό πραγματοποιηθεί είναι πολύ πιθανόν τα επόμενα χρόνια ο ταμιευτήρας να μην μπορεί να αποδώσει την εγγυημένη ετήσια απόληψη (με τη συγκεκριμένη πιθανότητα αστοχίας) σύμφωνα με τον σχεδιασμό του ταμιευτήρα.

5.2 Δείκτες Λειψυδρίας

Για την αξιολόγηση των συνθηκών λειψυδρίας μιας χωρικής ενότητας έχουν κατά καιρούς προταθεί διάφοροι δείκτες τόσο για τις συνθήκες μόνιμης όσο και για τις συνθήκες παροδικής λειψυδρίας. Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται οι πιο δημοφιλείς δείκτες λειψυδρίας.

5.2.1 Δείκτης Έκμετάλλευσης Νερού WEI (Water Exploitation Index)

Ο Δείκτης Έκμετάλλευσης Νερού [Water Exploitation Index (WEI)], υπολογίζεται για μεγάλη χρονική περίοδο (π.χ. 20ετία) σε επίπεδο λεκάνης απορροής ποταμού ως ο λόγος της συνολικής ετήσιας απόληξης νερού [Total Water Abstraction (TWA)] προς τη μέση υπερετήσια διαθεσιμότητα υδατικών πόρων της ίδιας χρονικής περιόδου [MWA (Mean Water Availability)]:

$$WEI = TWA / MWA$$

Ο δείκτης WEI ουσιαστικά δείχνει το βαθμό που η συνολική ζήτηση νερού ασκεί πίεση στους διαθέσιμους υδατικούς πόρους μιας ευρείας περιοχής ή χώρας. Δηλαδή ο δείκτης WEI αναδεικνύει εκείνες τις περιοχές μιας χώρας στις οποίες η ζήτηση νερού καλύπτει μεγάλο ποσοστό των διαθέσιμων υδατικών πόρων.

Ως γεωγραφική ενότητα στην οποία μπορεί να εφαρμόζεται ο WEI, θεωρείται το υδατικό διαμέρισμα (water district) ή ολόκληρη χώρα. Όμως ο δείκτης μπορεί να εφαρμόζεται και σε μικρότερες γεωγραφικές εκτάσεις όπως οι λεκάνες απορροής του Σχεδίου Διαχείρισης Υδατικών Πόρων (ΣΛΑΠ) ή ακόμη και σε ομάδες υπολεκανών της λεκάνης απορροής. Στην τελευταία περίπτωση κρίσιμο στοιχείο για την αξιοπιστία της μεθόδου είναι ο αξιόπιστος καθορισμός των μεγεθών της συγκεκριμένης ομάδας υπολεκανών που απομονώνονται από τις γειτονικές υπολεκάνες. Με άλλα λόγια ο Δείκτης WEI ενδείκνυται να εφαρμόζεται σε υδατικά συστήματα όπου όλες οι εισοδοί και οι έξοδοι μετρώνται ή εκτιμώνται αξιόπιστα.

Με βάση τον δείκτη αυτό καθορίζονται επίπεδα εγρήγορσης ως εξής:

- για τιμές του WEI κάτω από 20% υπάρχει επάρκεια στη διαθεσιμότητα υδατικών πόρων σε σχέση με τη ζήτηση (no water stress),
- για τιμές του WEI μεταξύ 20% και 40%, υπάρχει σχετική ανεπάρκεια στη διαθεσιμότητα υδατικών πόρων (water stress)

- και για τιμές του WEI άνω του 40% υπάρχει σοβαρή ανεπάρκεια στη προσφορά διαθεσιμότητα υδατικών πόρων (severe water stress).

Η Ελλάδα (ως ενιαία γεωγραφική ενότητα) με βάση τα στοιχεία της EUROSTAT βρίσκεται περίπου στη μέση της κατάταξης μεταξύ των χωρών που έχουν μελετηθεί, με τιμή του δείκτη WEI ίση με 13,25% και σε επίπεδο εγγήγορσης για το οποίο υπάρχει επάρκεια στην προσφορά υδατικών πόρων (no water stress).

Όπως γίνεται φανερό η ανάλυση των συνθηκών διαθεσιμότητας υδατικών πόρων σε επίπεδο χώρας είναι αδρομερής και αποκρύπτει την ανομοιομορφία των συνθηκών που επικρατούν σε διάφορες περιοχές της χώρας.

Είναι δηλαδή προφανές ότι ο δείκτης εφαρμοζόμενος σε τέτοια χωρική κλίμακα δεν μπορεί να αναδείξει ενδεχόμενες υψηλές πιέσεις της ζήτησης νερού στους διαθέσιμους υδατικούς πόρους που αναπτύσσονται τοπικά όπως για παράδειγμα σε χωρικό επίπεδο λεκάνης απορροής ποταμού. Επίσης, δεν λαμβάνει υπόψη τις ποσότητες νερού που απαιτούνται για τη διατήρηση του περιβάλλοντος, ούτε και τις επιστροφές νερού στο σύστημα από τις διάφορες χρήσεις του.

5.2.2 Δείκτης WEI⁺

Τα τελευταία χρόνια κυρίως σε ερευνητικό επίπεδο διαμορφώνονται δείκτες λειψυδρίας που βασίζονται σε παραλλαγές του δείκτη WEI. Ο πιο διαδεδομένος από αυτούς είναι ο δείκτης WEI⁺, ο οποίος βρίσκεται σε διαδικασία ενσωμάτωσης στα κείμενα εφαρμογής της Οδηγίας για τη διαχείριση των Υδατικών Πόρων της Ε.Ε.(Guidance documents) που καλύπτει την ευρωπαϊκή πολιτική σε θέματα αντιμετώπισης ξηρασιών. Ειδικότερα ο δείκτης WEI⁺ έχει εφαρμοστεί σε διάφορες πιλοτικές λεκάνες απορροής ποταμών και τα αποτελέσματα της άσκησης οδήγησαν την Ομάδα των Εμπειρογνομόνων για την Ανάπτυξη Δεικτών Ξηρασίας και Λειψυδρίας (Expert Group on Water Scarcity and Drought Indicators) στην απόφαση να συμπεριληφθεί ο δείκτης στο προτεινόμενο σύστημα δεικτών.

Η μορφή του δείκτη WEI⁺ είναι ο λόγος της συνολικής απόληψης νερού προς τους συνολικά διαθέσιμους υδατικούς πόρους σε συγκεκριμένο χρονικό βήμα (π.χ. ετήσιο):

$$WEI^{+} = TWA / RWA$$

- TWA (Total Water Abstraction): Συνολική ποσότητα απόληψης νερού για όλες τις χρήσεις (ύδρευση, βιομηχανία, γεωργία κ.λ.π.) και από όλα τα υδατικά συστήματα (υπόγεια και επιφανειακά) στην περιοχή αναφοράς (π.χ. λεκάνη απορροής, περιοχή λεκάνης απορροής)
- RWA (Renewable Water Availability): Συνολική ανανεώσιμη ποσότητα υδατικών πόρων που είναι διαθέσιμη και εκφράζεται ως

$$RWA = D + I - WR + R$$

Όπου:

D (internal flow): Συνολική φυσική εισροή στη λεκάνη απορροής που εκφράζεται ως η διαφορά του ύψους των κατακρημνισμάτων μείον την πραγματική εξατμισοδιαπνοή της λεκάνης απορροής,

I (external inflow): Συνολική απορροή που εισέρχεται από γειτονικές λεκάνες (επιφανειακά ή υπόγεια) ή και παραγωγή ποσοτήτων νερού με αφαλάτωση, που συνεισφέρουν στο υδατικό δυναμικό (θετική για εισροή από γειτονικές λεκάνες και αρνητική για εκροές προς γειτονικές λεκάνες),

WR (water requirements): Απαιτούμενος όγκος νερού για διατήρηση της καλής κατάστασης των υδάτινων σωμάτων σύμφωνα με την Οδηγία 2000/60/EK, τη ναυσιπλοΐα, καθώς και για την εκπλήρωση διεθνών συνθηκών εφόσον υπάρχουν,

R (returned water): Όγκος νερού που επιστρέφει στο συνολικό σύστημα (π.χ. νερό που χρησιμοποιείται για ψύξη στη βιομηχανία – cooling water, νερό για παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας, νερό από επεξεργασμένα λύματα κ.λ.π.)

Ο δείκτης αυτός αποτελεί μια βελτιωμένη μορφή του WEI με στόχο να ληφθεί υπόψη η απαιτούμενη ποσότητα νερού για την προστασία του περιβάλλοντος καθώς και οι επιστροφές ποσοτήτων νερού στο σύστημα για κατανάλωση.

Τέλος, το χρονικό βήμα υπολογισμού του δείκτη αποτελεί ένα επιπλέον σημείο που απαιτεί προσοχή. Στην περίπτωση που θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η ταμίευση του νερού σε υπόγειους υδροφορείς, ταμιευτήρες και χιόνι, το χρονικό βήμα θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο του έτους. Σε κάθε περίπτωση εάν ληφθεί υπόψη ως χρονικό βήμα υπολογισμού το έτος, αυτό θα πρέπει να είναι το υδρολογικό που για το Μεσογειακό κλίμα που ξεκινά την 1^η Οκτωβρίου. Επομένως, η εφαρμογή του δείκτη σε λεκάνες απορροής στις οποίες τα υπόγεια ανανεώσιμα αποθέματα δεν είναι πλήρως εκμεταλλεύσιμα οδηγεί σε υποτίμηση των συνθηκών λειψυδρίας.

Σε ότι αφορά τον προσδιορισμό των απαιτήσεων σε οικολογική παροχή, θεωρείται ότι η ελάχιστη αυτή παροχή υπολογίζεται ανά λεκάνη απορροής (ή ομάδα υπολεκανών) με βάση την ακόλουθη σειρά βημάτων: Με καθορισμένη την ελάχιστη οικολογική παροχή για μια λεκάνη απορροής με έγκριση περιβαλλοντικών όρων, η προτεινόμενη παροχή υιοθετείται (ως ετήσια ποσότητα). Αυτό είναι απαραίτητο ώστε η προσέγγιση να είναι συνεπής σε σχέση με άλλους τομείς των Σχεδίων Διαχείρισης. Το ίδιο ισχύει και στην περίπτωση που υπάρχει προτεινόμενη οικολογική παροχή μέσω τεκμηριωμένης μελέτης, η οποία βρίσκεται ακόμα στο στάδιο της περιβαλλοντικής αδειοδότησης.

Τέλος, όπου τα παραπάνω δεν εφαρμόζονται διότι δεν έχει προσδιορισθεί ή προταθεί το ύψος της οικολογικής παροχής για τη λεκάνη απορροής ή την ομάδα υπολεκανών

απορροής, για την εκτίμηση της οικολογικής παροχής αξιοποιείται η μεθοδολογία που υιοθετείται συνήθως στα Σχέδια Διαχείρισης για την αξιολόγηση της έντασης της πίεσης απόληψης από ποτάμια υδάτινα σώματα. Πιο συγκεκριμένα ως αποδεκτή τιμή απόληψης για να ικανοποιούνται οι περιβαλλοντικές απαιτήσεις θεωρείται το 50% του λόγου της θερινής απόληψης προς τη μέση τιμή του θερινού όγκου απορροής υπό φυσικές συνθήκες. Ως θερινή απορροή διευκρινίζεται ότι λαμβάνεται η μέση τιμή της απορροής του τριμήνου Ιουλίου – Σεπτεμβρίου.

5.2.3 Water Poverty Index (WPI)

Ένας λεπτομερής δείκτης που αποτυπώνει με ένα ολοκληρωμένο τρόπο τη σχέση διαθεσιμότητας νερού και αξιοποίησης του για κατανάλωση είναι ο Δείκτης Υδατικής Φτώχειας (water Poverty Index) που προτάθηκε από τους Sullivan et al το 2002.

Ο Δείκτης WPI προκύπτει από τον σταθμισμένο μέσο όρο 5 μεγεθών: Διαθεσιμότητας υδατικών πόρων (Resource - R), Βαθμού ανάπτυξης υποδομών μεταφοράς και διανομής (Access- A), Ικανότητα αξιοποίησης που στηρίζεται στο ανθρώπινο δυναμικόν και την οικονομική δυνατότητα (Capacity- C), Χρήση και επιπτώσεις στην οικονομία (Use- U), και Περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε σχέση με τη διατηρήσιμη οικολογική κατάσταση (Environmental- E).

Η εξίσωση του δείκτη WPI είναι:

$$WPI = \frac{W_1 R + W_2 A + W_3 C + W_4 U + W_5 E}{W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5}$$

Όπου W_i , με i ακέραιο που ανήκει 1(1)5 είναι τα βάρη σπουδαιότητας κάθε μεγέθους (από το 0 (ελάχιστο) μέχρι το 100 (μέγιστο)).

Λεπτομέρειες υπολογισμού του δείκτη βρίσκονται στο αρχικό άρθρο των Sullivan et al (2002) και σε πολλά άλλα άρθρα και εγχειρίδια (π.χ. Sullivan & Meigh, 2007).

5.2.4 Δείκτης Rex

Για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης (όπως παρουσιάσθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο), με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία και τη σχετική επεξεργασία προσδιορίστηκε για κάθε υδρογεωλογική λεκάνη ένας δείκτης που ισούται με τον

λόγο της ετήσιας απόληψης (αντλήσεις) προς τη μέση ετήσια τροφοδοσία από βροχοπτώσεις της κάθε υδρογεωλογικής λεκάνης.

Ο δείκτης αυτός (Rex) ορίζεται με την ακόλουθη εξίσωση και αποτελεί ενδεικτικό μέτρο λειψυδρίας:

$$Rex = \frac{D}{eP}$$

Όπου D ο μέσος όρος των ετήσιων απολήψεων από τον υδροφορέα (m^3)

e = ο λόγος του τμήματος του ετήσιου ύψους βροχής που καταλήγει στον υδροφόρο ορίζοντα μέσω της κατακόρυφης διήθησης στην υδρογεωλογική λεκάνη διά του ετήσιου ύψους βροχής (-)

P = ο μέσος όρος των συνολικών ετήσιων όγκων βροχής στην επιφάνεια της υδρογεωλογικής λεκάνης (m^3).

6. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ

6.1 Εισαγωγή

Μετά την ανάλυση των χαρακτηριστικών της ξηρασίας και την εκτίμηση της με βάση μια σειρά δεικτών, σημαντικό κεφάλαιο αποτελεί ο Σχεδιασμός ενός αξιόπιστου συστήματος παρακολούθησης της ξηρασίας σε μια γεωγραφική περιοχή όπως η Κρήτη.

Για το σχεδιασμό ενός τέτοιου συστήματος εκτός της θεωρητικής ανάλυσης χρήσιμες πληροφορίες μπορούν να αντληθούν από συστήματα παρακολούθησης της ξηρασίας άλλων κρατών σε άλλες γεωγραφικές περιοχές. Ιδιαίτερη σημασία έχει εδώ η συμβατότητα του συστήματος παρακολούθησης της ξηρασίας στην Κρήτη κυρίως με αυτό της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Για τον σκοπό αυτό σε αυτό στο Κεφάλαιο παρουσιάζονται πληροφορίες από Συστήματα άλλων χωρών που βρίσκονται σε λειτουργία ή σε φάση ολοκλήρωσης.

Σημαντικές ακόμη πληροφορίες μπορούν να αντληθούν από τις προσπάθειες των κρατών μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης να αντιμετωπίσουν τα θέματα ξηρασίας και λειψυδρίας μέσα στο πλαίσιο των υποχρεώσεων εφαρμογής της Οδηγίας 2000/60 και κυρίως κατά τη δεύτερη φάση εφαρμογής της (αναθεωρημένα σχέδια διαχείρισης). Κατά την πρώτη φάση εφαρμογής της Οδηγίας τα θέματα ξηρασίας και λειψυδρίας αντιμετωπίστηκαν επιφανειακά και χωρίς ουσιαστικά αποτελέσματα για τη πλειονότητα των κρατών μελών της ΕΕ.

Αξίζει να σημειωθεί ότι το Σύστημα παρακολούθησης τη ξηρασίας σχετίζεται άμεσα με το σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης ώστε προληπτικά να λαμβάνονται όλα τα απαραίτητα μέτρα για την αντιμετώπιση των δυσμενών συνθηκών που προκαλούνται από την έλλειψη νερού για τις διάφορες χρήσεις. Συνεπώς το Κεφάλαιο αυτό ασχολείται με το Σύστημα παρακολούθησης έχοντας ως στόχο αυτό το σύστημα να οδηγεί μετά τις αναγκαίες προσθήκες με το Σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης.

6.2 Παρακολούθηση της ξηρασίας (Drought monitoring)

Η παρακολούθηση της ξηρασίας (drought monitoring) αποτελεί τη βασική δράση για τη διαμόρφωση των προϋποθέσεων πρόβλεψης ενός πιθανού επεισοδίου ξηρασίας και την κατάρτιση του κατάλληλου πλαισίου προστασίας (Bordi and Sutera 2007). Κύριος στόχος ενός συστήματος παρακολούθησης της ξηρασίας είναι η παροχή υποστηρικτικών εργαλείων στα κέντρα λήψης αποφάσεων, ώστε να μπορούν να

αναγνωριστούν τα πιθανά επεισόδια ξηρασίας και να ληφθούν μέτρα αντιμετώπισης (Rossi 2003).

Τα κέντρα λήψης αποφάσεων χρειάζονται έγκαιρη και ακριβή πληροφόρηση σχετικά με την εξέλιξη των συνθηκών ξηρασίας, προκειμένου να προβούν στις απαραίτητες ενέργειες μόλις γίνει αντιληπτή η έναρξη του φαινομένου. Επίσης, είναι απαραίτητη η τροφοδότηση στοιχείων που αφορούν στο επίπεδο έντασης της ξηρασίας, ώστε να εφαρμοστούν τα αντίστοιχα σχέδια αντιμετώπισης των επιπτώσεων. Προκειμένου να έχει αποτελεσματικότητα, λαμβάνοντας υπόψη και την αργή εξέλιξη του φαινομένου, η παρακολούθηση της ξηρασίας πρέπει να αποτελεί μία αδιάλειπτη διαδικασία, ώστε να μην αφήνει περιθώρια σώρευσης των επιπτώσεων του φαινομένου.

Για να δημιουργηθούν οι προϋποθέσεις λήψης των απαραίτητων αποφάσεων για επιχειρησιακή δράση, η παρακολούθηση της ξηρασίας πρέπει να εντάσσεται σε ένα ευρύτερο σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης. Γενικότερα, κατά τον σχεδιασμό ενός συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης για φυσικές καταστροφές πρέπει να λαμβάνεται ουσιαστικά υπόψη ο ανθρώπινος παράγοντας. Τέσσερα βασικά στοιχεία που μπορούν να ενισχύσουν την αποδοτικότητα ενός τέτοιου συστήματος είναι (UN 2006):

- η γνώση της υφιστάμενης διακινδύνευσης
- η ύπαρξη υπηρεσιών τεχνικής παρακολούθησης και προειδοποίησης
- η παροχή πρακτικά χρήσιμης πληροφόρησης στις επηρεαζόμενες πληθυσμιακές ομάδες
- η επαγρύπνηση του κοινού και η ετοιμότητα για δράση.

Ο σημαντικός ρόλος που μπορεί να παίξει ένα σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων της ξηρασίας έχει συζητηθεί αρκετά κατά τα τελευταία χρόνια στην επιστημονική κοινότητα. Παρόλα αυτά, ο αριθμός των συστημάτων που βρίσκονται σήμερα σε λειτουργία είναι περιορισμένος και ακόμα λιγότερα είναι αυτά που λειτουργούν επιχειρησιακά. Βασικές αιτίες που φαίνεται να συντελούν στη δυσκολία ανάπτυξης αυτών των συστημάτων είναι :

- η ανεπάρκεια, σε πολλές χώρες, δικτύων μετεωρολογικών και υδρολογικών σταθμών (πυκνότητα σταθμών, ποιότητα και πληρότητα των δεδομένων, κλπ.)
- τα προβλήματα ανταλλαγής και διάθεσης δεδομένων μεταξύ διαφορετικών υπηρεσιών και το υψηλό κόστος των δεδομένων

- το γεγονός ότι η διαδικασία μόνιμης παρακολούθησης των υδρο-μετεωρολογικών συνθηκών και της κατάστασης των υδατικών αποθεμάτων αποτελεί συνήθως αντικείμενο αρκετών φορέων, με διαφορετικά αντικείμενα και στόχους, συνεπώς απαιτείται ιδιαίτερη προσπάθεια για να υπάρξει συνεργασία και συντονισμός
- η έλλειψη μακροχρόνιων χρονοσειρών δεδομένων για τον προσδιορισμό των ιστορικών χαρακτηριστικών της ξηρασίας
- οι δυσκολίες στην έγκαιρη λήψη δεδομένων για διάφορους λόγους (έλλειψη συστημάτων απομακρυσμένης λήψης στοιχείων, ελλιπής συντονισμός - συνεργασία μεταξύ φορέων, ανεπάρκεια καθορισμένων διαδικασιών λήψης και επεξεργασίας των δεδομένων, κλπ.)
- οι καθυστερήσεις στην έγκαιρη επικοινωνία των αποτελεσμάτων προς τους τελικούς χρήστες
- η έλλειψη διεθνώς καθορισμένων προτύπων για τον υπολογισμό δεικτών ξηρασίας, εξαιτίας των διαφορετικών ορισμών του φαινομένου
- τα αποτελέσματα των συστημάτων έγκαιρης πρόβλεψης μπορεί να παρουσιάζονται σε μορφή που δεν είναι κατανοητή στους αρμόδιους φορείς για τη λήψη αποφάσεων
- η έλλειψη μεθοδολογίας για τον προσδιορισμό των επιπτώσεων δυσχεραίνει την εξαγωγή αξιόπιστων εκτιμήσεων και την ενεργοποίηση των κατάλληλων μέτρων ή προγραμμάτων αντιμετώπισης

Επειδή ο προσδιορισμός των συνθηκών ξηρασίας απαιτεί τη συλλογή, μετάδοση, αποθήκευση, επεξεργασία και διάχυση ενός σημαντικού όγκου πληροφοριών, η επιλογή των κατάλληλων δεδομένων και ο συντονισμός διαφόρων πηγών πληροφορίας αποτελούν κρίσιμα θέματα για την ανάπτυξη ενός αποτελεσματικού συστήματος παρακολούθησης. Σύμφωνα με τον Rossi (2003), για τη διαμόρφωση του συστήματος χρειάζεται να εξεταστούν τα ακόλουθα ζητήματα:

- Η επιλογή των κατάλληλων δεικτών για τον προσδιορισμό των συνθηκών ξηρασίας, καθώς και το επίπεδο διακινδύνευσης. Αυτοί οι δείκτες πρέπει να χρησιμοποιούν λίγες παραμέτρους και να επιτρέπουν την απεικόνιση, των χωρικών και χρονικών διακυμάνσεων της ξηρασίας. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να απλοποιηθεί η επικοινωνία με τα κέντρα λήψης αποφάσεων.
- Ο προσδιορισμός των δικτύων σταθμών μέτρησης που μπορούν να παρέχουν

επαρκείς πληροφορίες (χωρικά και χρονικά) για τις απαραίτητες παραμέτρους (μετεωρολογικές, υδρολογικές κλπ.). Οι φορείς διαχείρισης και λειτουργίας των σταθμών είναι ένας παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη για την εξέταση των δυνατοτήτων διασύνδεσης των σταθμών και τη διαμόρφωση του δικτύου.

- Ο ορισμός των σταθμών – δικτύων μέτρησης για την παρακολούθηση της κατάστασης των υδατικών πόρων (ταμιευτήρες, υδροφορείς)
- Ο ορισμός των ελάχιστων δεδομένων σχετικά με την κατανάλωση νερού και την αναμενόμενη ζήτηση (περιοδική πληροφόρηση από τις αρμόδιες υπηρεσίες παροχής νερού) και ο ορισμός του βασικού δικτύου για την συλλογή και επεξεργασία αυτής της πληροφορίας.
- Η δημιουργία της οργανωτικής δομής και του συστήματος πληροφοριών με δυνατότητα να αντλεί σε πραγματικό χρόνο τα απαραίτητα δεδομένα (μετεωρολογικά, υδρολογικά κλπ.) και να αποστέλλει εγκαίρως τις απαραίτητες πληροφορίες σχετικά με τις συνθήκες ξηρασίας στα αρμόδια κέντρα λήψης αποφάσεων.
- Ο ορισμός των μοντέλων αξιολόγησης των συνθηκών ξηρασίας και προσδιορισμός του επιπέδου των διαθέσιμων υδατικών αποθεμάτων κάτω από το οποίο θα κηρύσσεται κατάσταση επαγρύπνησης (alert conditions) ή κατάσταση έκτακτης ανάγκης (emergency conditions).

6.3 Σχεδιασμός ενός δικτύου παρακολούθησης της ξηρασίας

Όπως ήδη αναφέρθηκε, το δίκτυο των σταθμών που θα χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση της ξηρασίας αποτελεί βασικό στοιχείο για την άρτια και αποτελεσματική λειτουργία ενός συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης. Σύμφωνα με τον Wilhite (2005), η βελτίωση των υφιστάμενων μετεωρολογικών δικτύων και η δημιουργία νέων αποτελεί τομέα προτεραιότητας για την υποστήριξη της διαδικασίας παρακολούθησης της ξηρασίας. Στη συνέχεια αναπτύσσονται οι βασικές αρχές σχεδιασμού ενός μετεωρολογικού δικτύου παρακολούθησης της ξηρασίας, με έμφαση στη χρήση δεικτών όπως ο SPI και ο RDI.

Η κύρια μετεωρολογική παράμετρος που χρησιμοποιείται στους δείκτες ξηρασίας είναι τα *ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (precipitation)* σε κάθε μορφή (βροχόπτωση, χιονόπτωση, κλπ.). Η δεύτερη σημαντική παράμετρος είναι η *δυναμική εξατμισοδιαπνοή*, η οποία προσδιορίζεται έμμεσα /από μετρήσεις άλλων μεταβλητών, όπως η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία, η ταχύτητα ανέμου, κλπ. Ο

υπολογισμός της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής μπορεί να γίνει με διάφορες μεθόδους, ανάλογα και με τη διαθεσιμότητα των σχετικών μετεωρολογικών δεδομένων, αν και οι μέθοδοι που απαιτούν μόνο θερμοκρασιακά δεδομένα μπορεί κατά περίπτωση να θεωρηθούν επαρκείς. Οι περισσότεροι δείκτες ξηρασίας χρησιμοποιούν μηνιαίες, εποχικές και ετήσιες περιόδους αναφοράς, βάσει των αθροιστικών τιμών των μετεωρολογικών παραμέτρων. Έτσι, το ελάχιστο χρονικό βήμα στο οποίο θα πρέπει να διατίθενται τα δεδομένα μπορεί να είναι μηνιαίο.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, οι ελάχιστες απαιτήσεις για το σχεδιασμό ενός μετεωρολογικού δικτύου παρακολούθησης της ξηρασίας αφορούν σε ένα δίκτυο μηνιαίων βροχομετρικών και θερμοκρασιακών παρατηρήσεων. Δεδομένου ότι ο σχεδιασμός - κατασκευή των μετεωρολογικών δικτύων εξυπηρετεί συνήθως πολλαπλούς σκοπούς, εστιάζοντας στον προσδιορισμό της ξηρασίας μπορούν να επισημανθούν οι παρακάτω περιορισμοί:

- Η επιλογή των μετεωρολογικών σταθμών πρέπει να γίνει κατά κύριο λόγο από το υφιστάμενο δίκτυο.
- Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των σταθμών δεν μπορούν να καθοριστούν αποκλειστικά βάσει των απαιτήσεων για τις ανάγκες προσδιορισμού της ξηρασίας.
- Η βελτιστοποίηση του σχεδιασμού του δικτύου βάσει οικονομικών κριτηρίων δεν μπορεί να εφαρμοστεί πρακτικά.

Επειδή η χωρική διακύμανση της βροχόπτωσης είναι γενικά αρκετά μεγαλύτερη της θερμοκρασίας, ως κύρια παράμετρος για το σχεδιασμό του δικτύου μπορεί να θεωρηθεί η βροχόπτωση, περιορίζοντας το πρόβλημα στον σχεδιασμό του βροχομετρικού δικτύου. Το κρίσιμο σημείο στο σχεδιασμό του βροχομετρικού δικτύου είναι η επιλογή της χωρικής κλίμακας. Η ανάλυση της ξηρασίας μπορεί να γίνει σε χωρικές κλίμακες από μερικά km^2 έως μερικές εκατοντάδες km^2 . Επομένως, η βασική μεταβλητή είναι η μέση χωρική βροχόπτωση (*Mean Areal Precipitation – MAP*) σε αυτές τις κλίμακες.

Ο σχεδιασμός του δικτύου αποτελεί ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης, στο οποίο επιδιώκεται η μεγιστοποίηση του καθαρού οφέλους. Το καθαρό όφελος εκτιμάται από τη μείωση της ζημιάς λόγω της έγκαιρης αποτύπωσης των συνθηκών ξηρασίας, και από το κόστος της κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης του δικτύου. Το καθαρό όφελος αυξάνει συναρτήσει της ακρίβειας υπολογισμού της MAP. Δεδομένου όμως ότι τα περισσότερα δίκτυα λειτουργούν ως πολλαπλού σκοπού, δεν είναι

δυνατή η βελτιστοποίηση μέσω της άμεσης συσχέτισης του οφέλους και της ακρίβειας της MAP. Το κριτήριο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον σχεδιασμό του δικτύου μπορεί να είναι η διατήρηση μίας ελάχιστης απαιτούμενης ακρίβειας. Κάτι τέτοιο απαιτεί δύο υπολογιστικά βήματα: την εκτίμηση της ακρίβειας της MAP για ένα δοκιμαστικό δίκτυο και τον ορισμό των απαιτήσεων ακρίβειας για τον σκοπό της εκτίμησης της ξηρασίας (Nalbantis et al. 2006).

Οι Nalbantis et al. (2006) πραγματοποίησαν ανασκόπηση διαφόρων μεθοδολογιών για την εκτίμηση της ακρίβειας της MAP, προκειμένου να επιλεγεί η καταλληλότερη για τον συγκεκριμένο σκοπό. Η προσέγγιση που επιλέχθηκε έχει αναπτυχθεί στο National Polytechnic Institute της Grenoble (Γαλλία) από τους Lebel et al. (1987). Για τον σχεδιασμό του δικτύου εφαρμόζονται εργαλεία της γεωστατιστικής, όπως η μέθοδος kriging. Ο έλεγχος της μεθοδολογίας είχε πραγματοποιηθεί βάσει στοιχείων από μία πειραματική λεκάνη της νότιας Γαλλίας και από μία εφαρμογή ευρείας κλίμακας στο πλαίσιο του πειράματος HAPEX-Sahel στη δυτική Αφρική (Lebel and Le Barbe 1997).

Τα κύρια βήματα που ακολουθούνται για την εφαρμογή της μεθοδολογίας είναι (Nalbantis et al. 2006):

1. Εκτίμηση του εμπειρικού διαγράμματος ημιδιασποράς βάσει των διαθέσιμων δεδομένων
2. Προσαρμογή ενός μοντέλου στο εμπειρικό διάγραμμα ημιδιασποράς
3. Επιλογή ενός υποδικτύου ως υποψήφιο δίκτυο
4. Εκτίμηση του MSE της MAP.
5. Σύγκριση του MSE με την επιθυμητή ακρίβεια: εάν δεν πληρούνται οι προϋποθέσεις επαναλαμβάνεται η διαδικασία από το βήμα 3, ειδάλλως ο σχεδιασμός του δικτύου γίνεται αποδεκτός.

Το διάγραμμα ημιδιασποράς $\gamma(x_i - x_j)$ ορίζεται ως το ήμισυ της διασποράς των αποκλίσεων εντός του πεδίου μελέτης από ένα σημείο x_i σε ένα άλλο σημείο x_j . Η MAP υπολογίζεται ως γραμμική συνάρτηση των σημειακών βροχοπτώσεων, ενώ το MSE της MAP προσδιορίζεται με αναλυτικό τρόπο.

Για τον έλεγχο ενός υποψήφιου δικτύου, μπορούν να ακολουθηθούν τα ακόλουθα τυπικά βήματα υπολογισμού:

1. γίνεται εκτίμηση των παραμέτρων των εξισώσεων του συστήματος kriging για το υπό κλίμακα κλιματολογικό διάγραμμα ημιδιασποράς

2. προσδιορίζεται η υπό κλίμακα διακύμανση του σφάλματος της MAP και
3. η διακύμανση αυτή πολλαπλασιάζεται με τη διακύμανση του πεδίου για τον προσδιορισμό του MSE της MAP

Τα παραπάνω βήματα μπορούν να απλοποιηθούν ως εξής (Lebel and Le Barbe 1997):

1. εκτίμηση του εμπειρικού διαγράμματος ημιδιασποράς βάσει των δεδομένων από το υπάρχον δίκτυο
2. προσαρμογή ενός αναλυτικού μοντέλου στο εμπειρικό διάγραμμα ημιδιασποράς και εκτίμηση της απόστασης αποσυσχέτισης, η οποία ισούται με το εύρος του διαγράμματος ημιδιασποράς
3. επιλογή θέσεων σταθμών για το υποψήφιο δίκτυο
4. εκτίμηση της μέγιστης απόστασης μεταξύ των σταθμών
5. εάν αυτή η απόσταση είναι μικρότερη από το ήμισυ της απόστασης αποσυσχέτισης, ο σχεδιασμός του υποψήφιου δικτύου γίνεται αποδεκτός, ειδάλλως επαναλαμβάνεται η διαδικασία από το βήμα 3.

Σημειώνεται ότι η εφαρμογή της προαναφερθείσας μεθοδολογίας προϋποθέτει τις παραδοχές: α) ότι η μέση σημειακή βροχόπτωση έχει σταθερή συμπεριφορά σε χωρικό επίπεδο και β) ότι η βροχόπτωση παρουσιάζει ισοτροπία. Οι παραδοχές αυτές μπορεί να μην ισχύουν σε περιοχές με έντονο ανάγλυφο και σημαντική χωρική διακύμανση στις κλιματικές συνθήκες. Κατάλληλες τροποποιήσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αυτές τις περιπτώσεις έχουν προταθεί και εφαρμοστεί σε μεσογειακές συνθήκες από τους Nalbantis and Tsakiris (2006).

Στο παράρτημα αυτού του Κεφαλαίου περιλαμβάνεται τμήμα της ανάλυσης για το Σχεδιασμό ενός αξιόπιστου δικτύου παρακολούθησης της ξηρασίας για την Κρήτη που είχε γίνει ως συμβολή στο Ευρωπαϊκό ερευνητικό πρόγραμμα SEDEMED II.

6.4 Συστήματα παρακολούθησης ξηρασίας και διεθνείς πρακτικές

Η ανάπτυξη συστημάτων παρακολούθησης της ξηρασίας κατά κανόνα συνδέεται με σχέδια διαχείρισης των επιπτώσεών της, που έχουν εκπονηθεί σε περιφερειακό ή εθνικό επίπεδο. Οι σύγχρονες εξελίξεις στην τεχνολογία συλλογής δεδομένων (αυτόματοι σταθμοί μέτρησης, δορυφορικά δεδομένα, κλπ.), αλλά και οι δυνατότητες που προσφέρει το διαδίκτυο για την άμεση και αποτελεσματική ενημέρωση όλων των ενδιαφερόμενων, αποτελούν βασικά εργαλεία για την περαιτέρω ανάπτυξη και αξιοποίηση των συστημάτων παρακολούθησης.

Ορισμένες χώρες, όπως η Η.Π.Α. και η Αυστραλία, έχουν αναπτύξει συστήματα παρακολούθησης τα οποία λειτουργούν επιχειρησιακά επί αρκετά χρόνια. Αντίστοιχες προσπάθειες έχουν γίνει και σε άλλες περιοχές, όπως η Βραζιλία και η Ν. Αφρική, με διαφορετικά επίπεδα επιχειρησιακής επιτυχίας. Επίσης, μετεωρολογικές υπηρεσίες και άλλοι οργανισμοί διαφόρων χωρών χρησιμοποιούν κλιματικούς δείκτες, όπως οι αποκλίσεις της βροχόπτωσης ή της θερμοκρασίας από τις μέσες τιμές, προκειμένου να επισημάνουν ακραία φαινόμενα. Συνήθως όμως, τέτοιες προσεγγίσεις δεν μπορούν να βοηθήσουν αποτελεσματικά τα κέντρα λήψης αποφάσεων στον εντοπισμό και την έγκαιρη αντιμετώπιση των επιπτώσεων της ξηρασίας (WMO 2006).

Στη συνέχεια παρουσιάζονται ορισμένα παραδείγματα διεθνών πρακτικών για την ανάπτυξη συστημάτων παρακολούθησης της ξηρασίας.

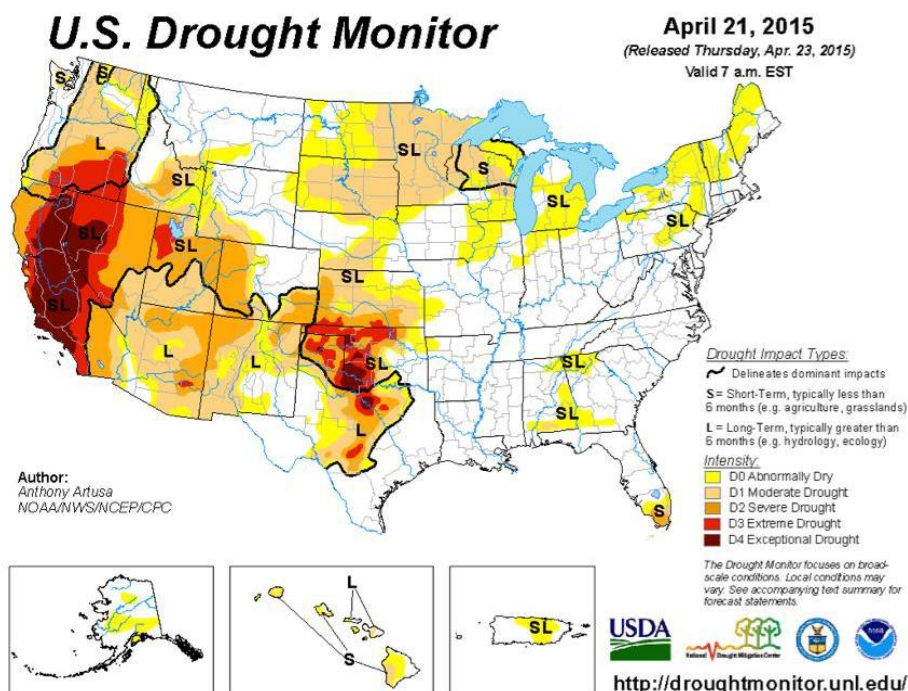
6.4.1 Παρακολούθηση ξηρασίας στις Η.Π.Α.

Το σύστημα παρακολούθησης που εφαρμόζεται στις Η.Π.Α. αποτελεί επιχειρησιακό πρόγραμμα που εφαρμόζεται από το 1999 με συνεργασία του Εθνικού Κέντρου Αντιμετώπισης Ξηρασίας (*National Drought Mitigation Center - NDMC*), με το Τμήμα Γεωργίας των Η.Π.Α. (*United States Department of Agriculture*) και τον Εθνικό Φορέα Ωκεανών και Ατμόσφαιρας (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) (USDM 2014). Το NDMC δημιουργήθηκε το 1995 με σκοπό την πληροφόρηση και την παροχή βοήθειας προς το κοινό και τους αρμόδιους φορείς ως προς την ανάπτυξη και την εφαρμογή μέτρων μείωσης της τρωτότητας των συστημάτων στην ξηρασία (NDMC 2014a).

Το σύστημα παρακολούθησης βασίζεται στην παραγωγή χαρτών ξηρασίας, με εβδομαδιαία συχνότητα, που καλύπτουν χωρικά το σύνολο των Η.Π.Α. Οι χάρτες βασίζονται στη μέτρηση κλιματικών, υδρολογικών και εδαφικών συνθηκών, αλλά και σε αναφορές και παρατηρήσεις ως προς τις επιπτώσεις της ξηρασίας. Οι πληροφορίες

αυτές παρέχονται από 350 πηγές σε εθνικό επίπεδο και αναλύονται από τους αρμόδιους επιστήμονες, οι οποίοι συνεκτιμούν τα διαθέσιμα στοιχεία, λαμβάνοντας υπόψη την αξιοπιστία κάθε πηγής (USDM 2014).

Ο χάρτης παρακολούθησης παρέχει πληροφορίες για το τρέχον επίπεδο ξηρασίας σε κάθε περιοχή. Η πληροφορία αυτή εξάγεται με συνδυασμό αρκετών δεικτών και χρησιμοποιείται από τα κέντρα λήψης αποφάσεων και τα μέσα πληροφόρησης, προκειμένου να υπάρχει διάλογος για τις υφιστάμενες συνθήκες ξηρασίας και την κατανομή κονδυλίων για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων. Ενδεικτικά, με βάση τα αποτελέσματα του συστήματος παρακολούθησης, το Τμήμα Γεωργίας των Η.Π.Α. παρείχε βοήθεια της τάξεως των 1.6 δις δολαρίων για το διάστημα 2008-2011 για την αντιμετώπιση των απωλειών της αγροτικής παραγωγής. Επίσης, το 2012 κατά το οποίο επλήγησαν από επεισόδια ξηρασίας αρκετές περιοχές των Η.Π.Α., το σύστημα χρησιμοποιήθηκε για τον εξορθολογισμό της διαδικασίας έκδοσης δελτίων τύπου, με αποτέλεσμα να εκδίδονται σχετικά ανακοινωθέντα σε άμεση απόκριση των αποτελεσμάτων της παρακολούθησης για συνεχόμενο διάστημα οχτώ εβδομάδων (USDM 2014). Ενδεικτικά, στο Σχήμα 6.1 παρουσιάζεται ο χάρτης ξηρασίας του συστήματος παρακολούθησης για τον Απρίλιο του 2015.



Σχήμα 6.1 Χάρτης του συστήματος παρακολούθησης της ξηρασίας των Η.Π.Α. (Απρίλιος 2015)
(πηγή: <http://droughtmonitor.unl.edu>)

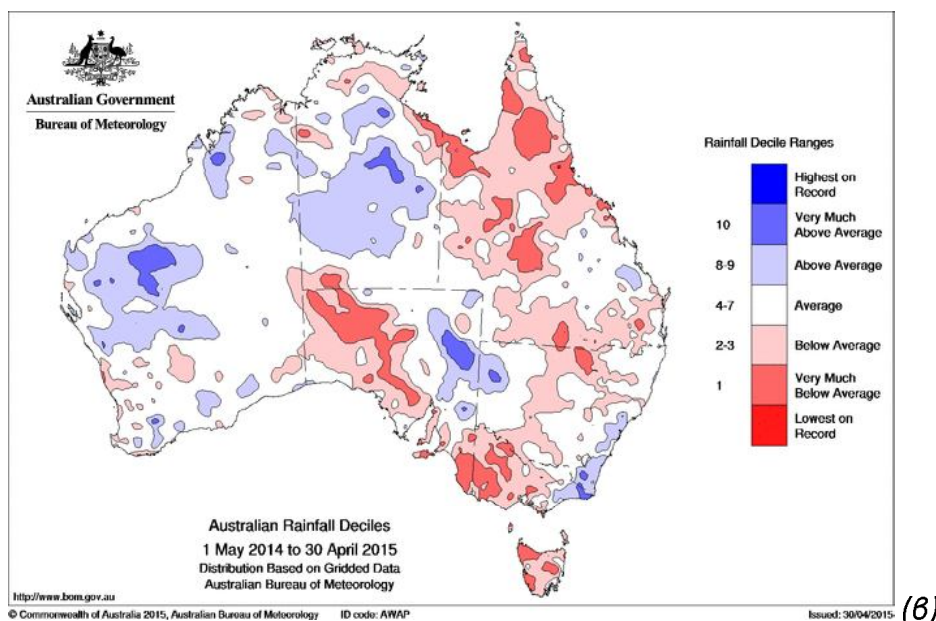
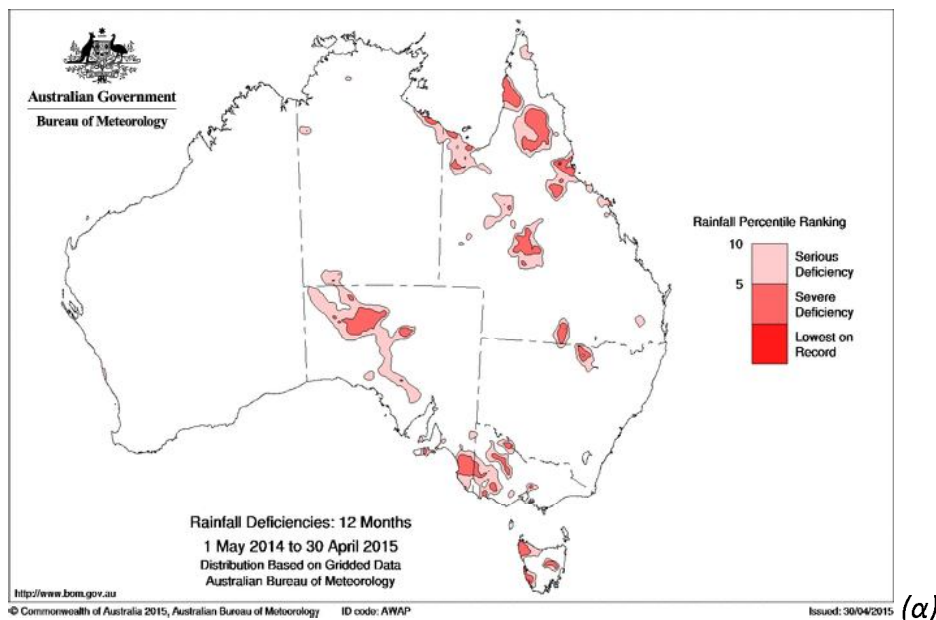
6.4.2 Σύστημα παρακολούθησης ξηρασίας στην Αυστραλία

Το σύστημα παρακολούθησης ξηρασίας στην Αυστραλία αποτελεί μία από τις πρώτες συστηματικές προσπάθειες που έγιναν για αυτό το σκοπό. Δημιουργήθηκε το 1992 από την Κοινοπολιτεία της Αυστραλίας και κυβερνήσεις επιμέρους πολιτειών, στο πλαίσιο της διαμόρφωσης εθνικής πολιτικής για την ξηρασία. Οι τρεις αρχές της πολιτικής αυτής ήταν (Botterill 2005):

- Η ενθάρρυνση του πρωτογενούς τομέα και άλλων τομέων της αγροτικής περιφέρειας της Αυστραλίας, προκειμένου να υιοθετήσουν μέτρα για την προστασία και διαχείριση των επιπτώσεων των κλιματικών διακυμάνσεων.
- Η διατήρηση και προστασία του υφιστάμενου γεωργικού και περιβαλλοντικού πλούτου της Αυστραλίας κατά τη διάρκεια ακραίων κλιματικών πιέσεων.
- Η διασφάλιση της ταχείας αποκατάστασης συστημάτων και υποδομών σε μακροπρόθεσμα επίπεδα βιωσιμότητας.

Η παρακολούθηση της ξηρασίας πραγματοποιείται από τη Μετεωρολογική Υπηρεσία της Αυστραλίας, μέσω της έκδοσης επικαιροποιημένων αναφορών για την υφιστάμενη κατάσταση και την παραγωγή χαρτών με διάφορους δείκτες (έλλειμμα

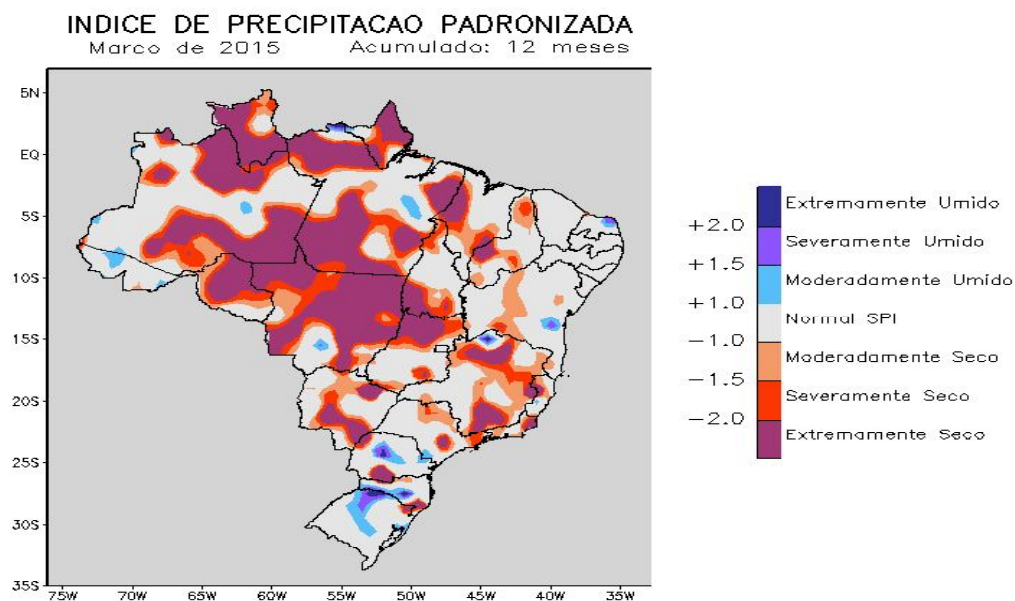
βροχόπτωσης, rainfall deciles, κλπ.), που βασίζονται κυρίως στα στοιχεία βροχόπτωσης διαφόρων περιόδων αναφοράς (Σχήμα 6.2). Τα αποτελέσματα αξιοποιούνται από την κυβέρνηση της Αυστραλίας για την υποστήριξη των αγροτικών επιχειρήσεων και των πληττόμενων οικογενειών.



Σχήμα 6.2 Χάρτες παρακολούθησης της ξηρασίας στην Αυστραλία με περίοδο αναφοράς 12-μήνου (Μάιος 2014 – Απρίλιος 2015) για (α) το έλλειμμα βροχόπτωσης και (β) τον δείκτη Rainfall Deciles (πηγή: <http://www.bom.gov.au/climate/drought>)

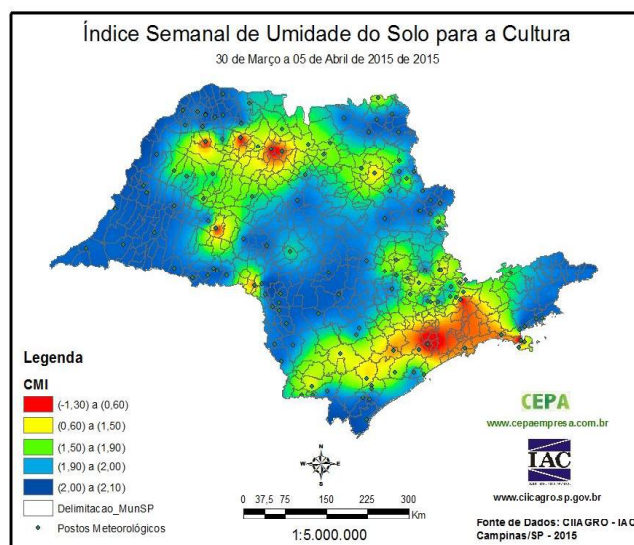
6.4.3 Παρακολούθηση της ξηρασίας στη Βραζιλία

Το Εθνικό Ινστιτούτο Μετεωρολογίας (*Instituto Nacional de Meteorologia*) της Βραζιλίας παρακολουθεί σε μηνιαία βάση την εξέλιξη διαφόρων κλιματικών δεικτών, μέσω των οποίων είναι δυνατή και η παρακολούθηση της ξηρασίας σε εθνική κλίμακα. Οι δείκτες που χρησιμοποιούνται είναι οι αποκλίσεις από τη μέση μηνιαία ή τριμηνιαία αθροιστική βροχόπτωση, οι αποκλίσεις από τη μέση μηνιαία ή τριμηνιαία θερμοκρασία, ο Deciles και ο SPI για διάφορες περιόδους αναφοράς (Σχήμα 6.3).



Σχήμα 6.3 Τιμές του δείκτη SPI 12-μήνου στη Βραζιλία (Μάρτιος 2015)
(πηγή: <http://www.inmet.gov.br>)

Επίσης, υπάρχουν φορείς που εφαρμόζουν προγράμματα παρακολούθησης της ξηρασίας σε τοπική κλίμακα, όπως το Κέντρο Παρακολούθησης και Αντιμετώπισης Ξηρασίας και Υδρο-Μετεωρολογικών Ανωμαλιών (*Centro de Monitoramento, Mitigação da Seca e Adversidades Hidro-Meteorológicas - INFOSECA*) της περιφέρειας του Sao Paulo. Το κέντρο αυτό έχει στόχο την παροχή άμεσης πληροφόρησης για τις συνθήκες ξηρασίας, προκειμένου να λαμβάνονται εγκαίρως μέτρα αντιμετώπισης, ιδίως για την προστασία της αγροτικής παραγωγής, η οποία αποτελεί τη βασική οικονομική δραστηριότητα στη συγκεκριμένη περιοχή. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται διάφοροι δείκτες ξηρασίας, όπως ο PDSI, ο SPI, ο CMI, κ.α. (Σχήμα 6.4).



Σχήμα 6.4 Τιμές του δείκτη CMI για την περιοχή του Sao Paulo στη Βραζιλία (περίοδος 30/03 - 05/04/2015) (πηγή: <http://www.infoseca.sp.gov>)

6.4.4 Κέντρο παρακολούθησης ξηρασίας της Νοτιοαφρικανικής Αναπτυξιακής Κοινότητας

Η Νοτιοαφρικανική Αναπτυξιακή Κοινότητα (*Southern African Development Community* - SADC) δημιουργήθηκε το 1992 και απαρτίζεται από 14 κράτη-μέλη, με περισσότερους από 250 εκατ. κατοίκους (Σχήμα 6.5). Έχει ως κύριους στόχους την επίτευξη οικονομικής ανάπτυξης, ειρήνης και ασφάλειας, ανακούφιση της φτώχειας και αναβάθμιση της ποιότητας ζωής των λαών της περιοχής και την υποστήριξη των κοινωνικά αδύναμων, μέσω της περιφερειακής ολοκλήρωσης (SADC 2014). Στο πλαίσιο επίτευξης αυτών των στόχων, δημιουργήθηκαν αρκετά περιφερειακά κέντρα, μεταξύ των οποίων το Κέντρο Παρακολούθησης Ξηρασίας (*Drought Monitoring Centre* - DMC). Η περιοχή της SADC χαρακτηρίζεται κυρίως από ξηρό ή ημίξηρο κλίμα και τα επεισόδια ξηρασίας, τα οποία παρατηρούνταν σε ευρεία διασυνοριακή χωρική κλίμακα, προκαλούσαν συχνά και έντονα προβλήματα. Από την εμπειρία των χωρών της περιοχής καταδείχθηκε ότι η αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών μπορεί να είναι αποτελεσματικότερη όταν γίνεται σε περιφερειακή κλίμακα (Garanganga 2007).

Έτσι, το DMC, με την καθοδήγηση του Παγκόσμιου Μετεωρολογικού Οργανισμού (*World Meteorological Organization* – WMO), αποτέλεσε μία από τις πρώτες οργανωμένες προσπάθειες παρακολούθησης της ξηρασίας. Η κύρια δράση του είναι η σύνταξη αναφορών για τις εποχικές διακυμάνσεις της βροχόπτωσης, καθώς και βραχυχρόνιες προβλέψεις για ακραία συμβάντα. Παράλληλα, εκδίδει προειδοποιήσεις και ενημερώνει τους αρμόδιους φορείς για τη λήψη των αναγκαιών

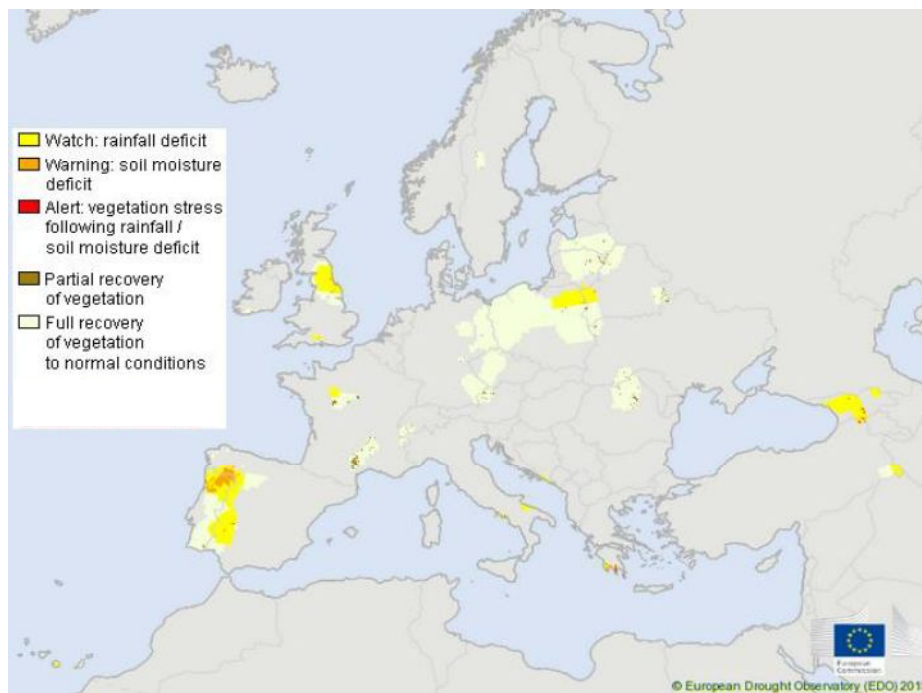
μέτρων (Zeidler and Chunga 2007). Αξίζει όμως να σημειωθεί ότι το κοινωνικο-οικονομικό επίπεδο των επιμέρους χωρών αποτελεί συχνά περιοριστικό παράγοντα για την αξιοποίηση των αποτελεσμάτων και την ουσιαστική αντιμετώπιση των επιπτώσεων του φαινομένου (Garanganga 2007).



Σχήμα 6.5 Περιοχή που περιλαμβάνει τις χώρες μέλη της Νοτιοαφρικανικής Αναπτυξιακής Κοινότητας (πηγή: <http://www.sadc.int>)

6.4.5 Ευρωπαϊκό Παρατηρητήριο Ξηρασίας

Το Ευρωπαϊκό Παρατηρητήριο Ξηρασίας (*European Drought Observatory - EDO*) έχει αναπτυχθεί από το Κοινό Κέντρο Ερευνών της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (*European Commission's Joint Research Centre - JRC*). Σκοπός του παρατηρητηρίου είναι η παροχή επικαιροποιημένης πληροφόρησης σχετικά με την ξηρασία σε πανευρωπαϊκή κλίμακα (Σχήμα 6.6), προκειμένου να αποτελέσει συμπληρωματικό βοήθημα στις εθνικές και περιφερειακές προσπάθειες αντιμετώπισης των επιπτώσεων του φαινομένου. Η διαδικτυακή βάση του συστήματος περιλαμβάνει αρχείο χαρτών, κατάλογο δεδομένων και εργαλεία ανάλυσης. Ως απώτεροι στόχοι του συστήματος, είναι η ανάπτυξη προϊόντων πρόβλεψης της ξηρασίας σε ευρεία κλίμακα, η ανάλυση της διακινδύνευσης και η παρακολούθηση των επιπτώσεων της ξηρασίας (Vogt et al. 2013).



Σχήμα 6.6 Κατάσταση ξηρασίας σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Παρατηρητήριο Ξηρασίας (Μάρτιος 2015) (πηγή: <http://edo.jrc.ec.europa.eu>)

Ορισμένοι από τους δείκτες που χρησιμοποιεί το σύστημα είναι ο Combined Drought Indicator (CDI), η εδαφική υγρασία και ο SPI για διάφορες περιόδους αναφοράς. Ανάλογα με το είδος της πληροφορίας, η αποτύπωση μπορεί να γίνεται είτε σε χωρικό κλίμακα είτε τοπικά, στα σημεία όπου βρίσκεται ο σταθμός παρατήρησης.

Τέλος στο πλαίσιο των Σχεδίων Διαχείρισης Υδατικών Πόρων σε Λεκάνες Απορροής εκπονήθηκαν Σχέδια Διαχείρισης της Ξηρασίας από τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Τα σχέδια αυτά αν στις περισσότερες περιπτώσεις θεωρούνται ως αρχικές προσπάθειες των κρατών – μελών να αντιμετωπίσουν τα θέματα ξηρασίας. Είναι προφανές ότι κάθε χώρα επιλέγει διαφορετικά εργαλεία και στόχους γεγονός που προκύπτει από τις ιδιαίτερες συνθήκες κάθε χώρας και την υπάρχουσα υποδομή.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τη μελέτη αυτή αποτελεί το Σχέδιο Διαχείρισης της Ξηρασίας της Κύπρου μιας χώρας που υποφέρει από έντονα προβλήματα ξηρασίας και γιαυτό έχει επενδύσει σημαντικά στον τομέα αυτόν με κατασκευή φραγμάτων (ήδη η συνολική χωρητικότητα των ταμιευτήρων της Κύπρου είναι της τάξης των 300 εκατ. κυβ. μέτρων) (60 φράγματα ανά 10000 km²) και την κατασκευή εργοστασίων αφαλάτωσης (συνολικής ετήσιας παραγωγής 70 εκατ. κυβ. μέτρων).

6.5 Συμπερασματικά Σχόλια - Σύνοψη

Ο Σχεδιασμός ενός αξιόπιστου συστήματος εκτίμησης/αξιολόγησης της ξηρασίας εξαρτάται άμεσα από τη μετεωρολογικές –υδρολογικές παραμέτρους που συνδέονται άμεσα ή έμμεσα με τα φαινόμενα ξηρασίας.

Όπως είναι γνωστό η ξηρασία μιας περιοχής να χαρακτηρίζεται ως;

- Μετεωρολογική, όταν μετεωρολογικές μεταβλητές (όπως η βροχόπτωση) βρίσκονται σε σημαντική απόκλιση από τον μέσο όρο,
- Υδρολογική, όταν υδρολογικές μεταβλητές (όπως η επιφανειακή απορροή ή ο εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφορέων) αποκλίνουν σημαντικά από τον μέσο όρο,
- Γεωργική, όταν η εδαφική υγρασία αποκλίνει σημαντικά από τις κανονικές για την εποχή συνθήκες.

Είναι προφανές ότι η υδρολογική και η γεωργική ξηρασία έπονται χρονικά της μετεωρολογικής. Συνεπώς ένα Σύστημα διακρίβωσης και εκτίμησης της ξηρασίας πρέπει να στηρίζεται στην μετεωρολογική ξηρασία η οποία αποτελεί και τη γεννεσιουργό έκφραση σε σχέση με τις δύο επόμενες.

Όπως έχει εξηγηθεί στη μετεωρολογική ξηρασία βασικές παράμετροι του υδατικού ισοζυγίου στην επιφάνεια του αναγλύφου είναι η βροχόπτωση και η εξατμισοδιαπνοή. Η άμεσα μετρούμενη παράμετρος είναι η βροχόπτωση η οποία παρουσιάζει μεγάλη χωρική και χρονική μεταβλητότητα πολύ μεγαλύτερη από αυτήν της εξατμισοδιαπνοής. Λόγω της μεγαλύτερης μεταβλητότητας στον χώρο και τον χρόνο της βροχόπτωσης, η παράμετρος αυτή καθορίζει και τις απαιτούμενες προδιαγραφές/απαιτήσεις του συστήματος παρακολούθησης της ξηρασίας.

Καθοριστικός παράγοντας σχεδιασμού ενός βροχομετρικού δικτύου είναι η πυκνότητα του δικτύου που καθορίζεται κυρίως από την απόσταση (ισαποχή) μεταξύ των σταθμών.

Ερευνητικές εργασίες για τον σχεδιασμό των βροχομετρικών δικτύων έχουν διεξαχθεί από ερευνητικά κέντρα τις προηγούμενες δεκαετίες. Ιδιαίτερα για το σχεδιασμό ενός αξιόπιστου δικτύου εκτίμησης της ξηρασίας πρέπει να αναφερθούν οι εργασίες του Εργαστηρίου Εγγειοβελτιωτικών Έργων και Διαχείρισης Υδατικών Πόρων του ΕΜΠ στο πλαίσιο Ευρωπαϊκών Ερευνητικών Προγραμμάτων για την ξηρασία στην Ευρώπη και κυρίως στη Μεσόγειο (πχ MEDROPLAN, SEDEMED, PRODIM κ.α.).

Ιδιαίτερα για τις συνθήκες και τα δεδομένα της Κρήτης οι ερευνητικές εργασίες κατέληξαν να προτείνουν ένα σύστημα από βροχομετρικούς σταθμούς που δεν απέχουν μεταξύ τους περισσότερο από 17 Km. Με το δεδομένο ότι η Κρήτη διαθέτει ένα ιδιαίτερα πυκνό δίκτυο βροχομετρικών σταθμών δεν υπάρχει ανάγκη για

εγκατάσταση νέων σταθμών για την παρακολούθηση της ξηρασίας. Στο Παράρτημα αυτού του Κεφαλαίου περιλαμβάνεται η ανάλυση για το σχεδιασμό του δικτύου της Κρήτης που αποτελεί εργασία των καθηγητών Ι. Ναλμπάντη και Γ. Τσακίρη του ΕΜΠ ως συμβολή στο Ευρωπαϊκό Ερευνητικό Πρόγραμμα SEDEMED II.

Παράρτημα κεφαλαίου 6

Designing a drought monitoring network

I. Nalbantis and G. Tsakiris

National Technical University of Athens

Laboratory of Reclamation works and Water Resources Management

1 Introduction

1.1 Information needs

In-depth description of drought indices as this is given in other articles of the project show that the main variables involved in drought assessments are the following:

Precipitation in all its forms (rainfall, snowfall etc.)

Potential evapotranspiration

The second variable is assessed only indirectly through measuring other variables such as air temperature, air humidity, wind speed, surface roughness etc.

The time scale of measurement varies from a few minutes for modern electronic sensors to one day for conventional manual practices. The time scales of interest in this study are monthly, seasonal –no matter how season is defined- and annual. Consequently, processed aggregated data are expected to be used. The lowest time scale being one month, the hydrological variables of interest are:

1. Total monthly precipitation (mm)
2. Total monthly potential evapotranspiration (mm)

The latter is calculated through the Penman method or its extensions. In cases of lack of the necessary data, one could accept the Thornthwaite method which makes use of the mean monthly air temperature only. Consequently, in the worst case the

analyst will have to design a meteorological network for monthly precipitation and monthly air temperature.

1.2 The problem of designing networks for drought assessments

Design of meteorological networks has long been a field of active research. It involves both technological and economic aspects. Traditionally, meteorological networks have been multi-purpose ones. First, weather forecasting has guided network design towards serving special needs such as aviation and agriculture, or informing the general public. Second, climatic studies are served for two purposes: research and information to be disseminated to wide audiences. Here the focus is on drought assessments in a context which implies the following constraints:

3. No new meteorological stations are allowed to be installed; thus, selection from the existing meteorological network will be the only alternative.
4. The meteorological stations serve multiple purposes so that their features and operation cannot be fully dictated by drought assessments.
5. Due to the above complexities, no economic optimisation is possible.
6. The type of any station in regard to its technical features cannot explicitly be taken into account since this factor cannot be modified within the frame of drought assessments.

Since spatial variability of precipitation generally exceeds that of temperature, the key variable for network design is precipitation. This is the reason why we have restricted our research to the design of precipitation networks.

2 Methodologies for designing precipitation networks

2.1 Background - Definitions

In section 1 we concluded that monthly precipitation is our variable of interest. At this point, the problem of choosing the spatial scale becomes critical. We start from the idea that drought assessments are needed at spatial scales from a few km^2 to a few hundreds km^2 . Hence, mean areal precipitation (referred to as MAP) will be our key variable. To help posing the problem of designing a precipitation network for assessing MAP we define some quantities:

7. K is the number of stations in network,
8. $B(K)$ is the benefit from network operation which is an increasing function of the accuracy of MAP,

9. $C(K)$ is the cost of the network (installation, operation, etc.),

10. $NB(K)$ is the net benefit given as $B(K) - C(K)$

Naturally, the network design problem is reduced to the optimisation problem

$$\text{Maximise } NB(K) \quad (1)$$

s.t.

$$\text{accuracy of MAP} \geq \text{required accuracy} \quad (2)$$

However, such optimisation is impossible since:

11. Most networks are designed –or become later- as multi-purpose ones.

12. No direct relation between benefits and the accuracy of MAP can be established for many of the purposes served.

13. Even if this were possible the question how to aggregate those relations remains open.

Obviously, the above preclude estimating net benefits. Then only equation 2 is left and the network design problem is reduced to two computational steps:

14. Estimation of MAP accuracy of a trial network.

15. Definition of the MAP accuracy requirement by the user (here the analyst performing drought assessments).

The problem of estimating the MAP accuracy has been extensively studied in the last three decades of the past century. We examined only well tested methodologies which at the same time rely on rigorous mathematical; treatment of the spatial variability of precipitation. These requirements precluded early empirical approaches such as pure trial-and-error ones based on Thiessen polygons. Methods with clear and reproducible analytical solutions are only selected. Among methodologies meeting this criterion we preferred to search the related literature for the first appearance of the each methodology without considering later extensions as separate methodologies. Finally, we selected three methodologies which meet the entire set of criteria:

Methodology A: Researchers from the MIT, USA were the first to pose the problem of MAP estimation within a rigorous mathematical framework (Bras and Rodriguez-Iturbe, 1976). Undoubtedly, the contribution of this research was catalytic for later developments.

Methodology B: Based on research results of methodology A, researchers from the Institute of Hydrology, UK (Jones et al., 1979) formulated the problem of

network design in a more application-oriented context before applying the methodology developed to an extensive study aiming at restructuring the whole precipitation network in the UK.

Methodology C: Based on the above research results and the power of new geostatistical tools, a research team from the National Polytechnic Institute at Grenoble, France (Lebel et al, 1987) developed a methodology for network design based on data from a French experimental basin before attempting a large-scale application within the global-scale experiment HAPEX-Sahel in West Africa.

The basic features of the above methodologies are outlined next.

2.2 Methodology A

The central idea in this methodology consists in the following:

16. The problem of network design is posed as an optimisation problem with an objective function which trades off the MAP accuracy and the network costs.
17. MAP is estimated in two stages: first the true integral of precipitation over the area of interest is approached by a sum of point precipitation values at a finite set of specified points; second, the precipitation at these points is estimated as a linear function of point precipitation measurements possessing measurement errors also.
18. As shown below, MAP accuracy is represented by the mean square error of estimation from all estimation steps.
19. The MAP estimation problem requires a measure of the spatial variability of point precipitation which is chosen to be the field covariance.
20. A theoretical model for covariance is required.
21. Systematic research on idealised networks was performed.

Next, the main features of the methodology are discussed by keeping rigorous mathematical treatments to a strict minimum.

First, the network design is reduced to an optimisation problem completely analogous to that given in equations 1 and 2. The benefit is taken as the mean square error (MSE) of MAP estimate and the cost is transformed into a quantity commensurate with MSE through a trade-off sensitivity parameter.

The region of interest with an area A is discretised into n rectangular cells or a grid of n points (centres of cells). At some of these points stations are assumed to exist (K in number). For each station j measured point precipitation is Z_j . No reference

to time is needed. At each point i ($i = 1, 2, \dots, n$) we define the true point precipitation Y_i , and the estimated point precipitation X_i based on erroneous point precipitation measurements. A linear model is assumed, i.e.

$$Z_j = \sum_{i=1}^n h_{ij} X_i + V_j \quad (3)$$

where V_j is the measurement error and h_{ij} are coefficients (zero or unknown).

The estimated MAP PE is obtained as

$$PE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (4)$$

the approximate MAP PA is

$$PA = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i \quad (5)$$

while the true MAP is given as

$$P = \frac{1}{A} \int_A Y(\mathbf{x}) d\mathbf{x} \quad (6)$$

where \mathbf{x} are coordinates in two dimensions.

In passing from P to PE we commit two errors: first, model error defined as

$$e_2 = PA - P \quad (7)$$

and second, the estimation error given by

$$e_1 = PE - PA \quad (8)$$

Analytical treatment allowed for decomposing the mean square error (MSE) of the MAP estimate into three terms as

$$MSE = E[e_1^2] + E[e_2^2] + 2\text{cov}(e_1, e_2) \quad (9)$$

where terms 1, 2 and 3 are numbered according to their order of appearance in the above equation. These are defined as follows:

22. Term 1 is due to estimation error related to estimating point precipitation throughout the whole grid based on erroneous point measurements.
23. Term 2 is due to model error or else the replacement of the continuous spatial integral with a finite summation.
24. Term 3 is due to the linear dependence of the above two errors.

Extensive studies on idealised but realistic network problems showed that:

25. Term 1 is generally dominant and accounts for almost the total MSE with the exception of cases with very high density of stations.

26. Terms 2 and 3 remain always smaller than term 1 being of the same order of magnitude and of opposite sign.

The above conclusions allow ignoring model error and estimating MAP as a linear combination of measured point precipitations only. In Figure 1 we depicted an example where the three terms of MSE and the total MSE are compared for a broad spectrum of the number of stations. We observe that Term 1 accounts for almost the totality of the MSE.

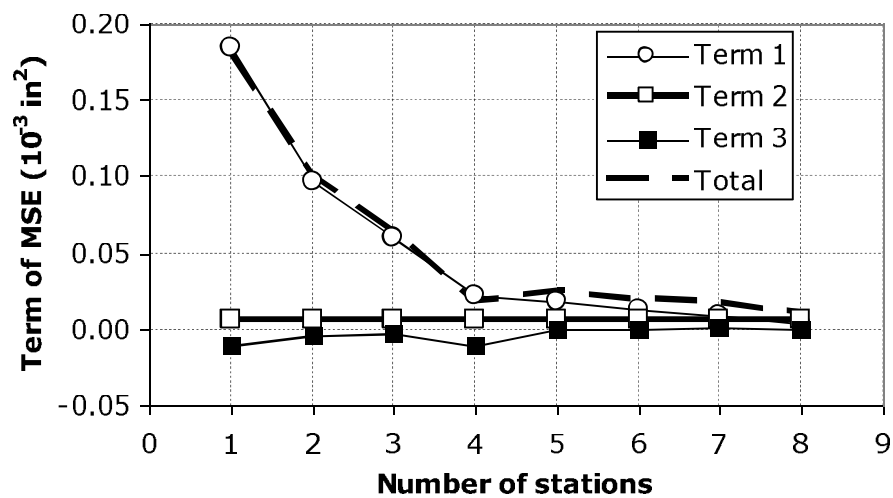


Figure 1: Terms of MAP MSE from a trial network of 30 grid points (Bras and Rodriguez-Iturbe, 1976).

The representation of the spatial variability of the precipitation field through covariance leads to very complex analytical expressions for the MSE terms. These will not be given here.

2.3 Methodology B

Research results of methodology A have been exploited by the Institute of Hydrology (IH), UK to formulate a methodology which is more practicable than methodology A. Many assumptions remain the same as in methodology A while others are modified to increase applicability. The modified assumptions are the following:

27. The problem is not posed as an optimisation problem since MAP accuracy and the network costs are non-commensurate quantities. As mentioned in subsection 2.1, this leads to estimating MAP accuracy only.

28. Opposite to methodology A, MAP is estimated in a single stage: the true integral of point precipitation over the area of interest is estimated as a linear function of point precipitation measurements which possess measurement errors also.

The two dimensional space is considered continuous without any discretisation. At each point \mathbf{x} with coordinates (x_1, x_2) the true point precipitation $Y(\mathbf{x})$ is defined together with measurements $Z(\mathbf{x})$ at some points. The number of measurement points is K . The true MAP is given by equation 6 and the estimated MAP by

$$PE = \sum_{i=1}^K \lambda_i Z_i \quad (10)$$

where λ_i are unknown coefficients.

The mean square error of MAP estimate is defined as

$$MSE = E[(PE - P)^2] \quad (11)$$

while the bias of estimation is defined as

$$Bias = E[PE] - P \quad (12)$$

The following optimisation problem is solved

$$\begin{aligned} &\text{minimise MSE} \\ &\text{s.t.} \\ &Bias = 0 \end{aligned} \quad (13)$$

This allows for estimating parameters λ_i and μ (Lagrange multiplier) through the system of equations

$$\begin{aligned} \text{For } i = 1, \dots, K \quad \sum_{j=1}^K \lambda_j \text{cov}(\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j) + \mu &= \frac{1}{A} \int_A \text{cov}(\mathbf{x} - \mathbf{x}_i) d\mathbf{x} \\ \sum_{j=1}^K \lambda_j &= 1 \end{aligned} \quad (14)$$

where $\text{cov}(\cdot)$ is the covariance of the true precipitation field.

At the same time MSE is obtained analytically as

$$MSE = \frac{1}{A^2} \iint_A \text{cov}(\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j) d\mathbf{x}_i d\mathbf{x}_j - \frac{1}{A} \int_A \sum_{j=1}^K \lambda_j \text{cov}(\mathbf{x} - \mathbf{x}_j) d\mathbf{x} - \mu \quad (15)$$

To keep homogeneity in presenting all methodologies the above equations are somewhat simplified in respect to those given by Jones et al. (1979).

Covariance of the true precipitation field is defined as

$$\text{cov}(\mathbf{x} - \mathbf{x}') = \int_A (Y(\mathbf{x}) - m(\mathbf{x}))(Y(\mathbf{x}') - m(\mathbf{x}')) \quad (16)$$

where \mathbf{x} and \mathbf{x}' are two points in the area A , $(\mathbf{x} - \mathbf{x}')$ is Euclidean distance thereof and $m(\mathbf{x})$, $m(\mathbf{x}')$ are mean values (drift).

An analytical expression or model of covariance is calibrated based on data. The IH team applied the exponential model enhanced with anisotropy

$$\begin{aligned} \text{cov}(\mathbf{x} - \mathbf{x}') &= \sigma^2(a + (1 - a - \varepsilon)\exp(-bv)) \\ \text{where } v &= ((x_1 - x'_1 + c_1(x_2 - x'_2))^2 + c_2(x_2 - x'_2)^2)^{1/2} \end{aligned} \quad (17)$$

with σ^2 the field variance, and a , b , c_1 , c_2 and ε parameters.

The problem of network design in an area with a pre-existing dense network is posed as follows:

29. First, a candidate network is selected based on an arbitrary criterion.
30. The MSE of MAP is estimated.
31. The MSE estimate is compared to a minimum required.
32. If the network is not satisfactory another network is selected in a predefined way and the procedure restarts from point 1.

As an example among numerous applications by the IH team in the UK we give that from the Bristol Avon water basin in Wessex Water Authority, UK with an area of 2200 km² and time scale equal to one month. The existing network comprised of 51 stations. Various reduced networks were evaluated following two steps:

33. For a fixed number of stations K a random selection of stations was performed.
34. The root mean square error (RMSE) of MAP estimation for the whole area is calculated based on the methodology outlined above.

Results are shown in Figure 2 in terms of root mean square error (RMSE) of MAP estimate as a function of the number of stations in network. From this figure it becomes clear that networks with more than 20 stations would not add much information in regard to MAP. Also, a test with 20 stations and regular spacing

showed a slight improvement in regard to the case with 20 stations randomly selected.

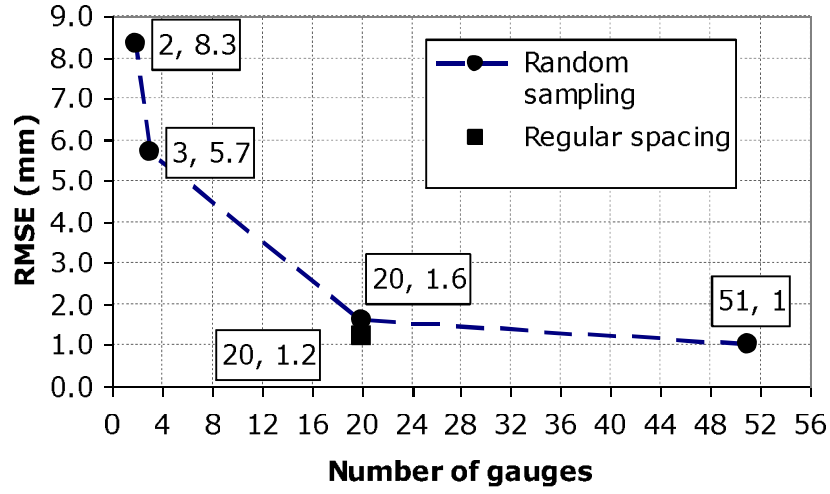


Figure 2: Root mean square error of MAP estimate (RMSE) versus number of stations in network for the study in the Bristol Avon water basin, UK (adapted from O'Connell, 1978).

2.4 Methodology C

Methodology C exploits advancements made in geostatistics by researchers from the School of Mines, at Fontainebleau, Paris, France. More precisely, the kriging method and its variants formed the basis for studying precipitation fields.

The spatial structure of the precipitation field is represented by the semi-variogram defined as

$$\gamma(\mathbf{x} - \mathbf{x}') = \frac{1}{2} \text{Var}[Y(\mathbf{x}) - Y(\mathbf{x}')] \quad (18)$$

where $\text{Var}[\cdot]$ means variance and \mathbf{x} and \mathbf{x}' are two distinct points in 2-D space.

Introducing semi-variogram leads to adopting assumptions on precipitation which are fundamentally different from those of the case of using covariance. With the exception of these assumptions the rest of the features of methodology B remain unchanged.

MAP is estimated through the kriging system

$$\begin{aligned} \text{For } i = 1, \dots, K \quad \sum_{j=1}^K \lambda_j \gamma(\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j) + \mu &= \frac{1}{A} \int_A \gamma(\mathbf{x} - \mathbf{x}_i) d\mathbf{x} \\ \sum_{j=1}^K \lambda_j &= 1 \end{aligned} \quad (19)$$

where λ_i and μ are the unknown parameters.

At the same time MSE of MAP estimate is obtained analytically as

$$\text{MSE} = -\frac{1}{A^2} \iint_A \gamma(\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j) d\mathbf{x}_i d\mathbf{x}_j + \frac{1}{A} \int_A \sum_{j=1}^K \lambda_j \gamma(\mathbf{x} - \mathbf{x}_j) d\mathbf{x} + \mu \quad (20)$$

Dividing the semi-variogram of each realisation by the variance of the field the scaled semi-variogram is obtained. The average of the scaled semi-variograms over the total number of field realisations is defined as the scaled climatological semi-variogram (Lebel and Bastin, 1985). Applying kriging with the scaled climatological semi-variogram yields the scaled variance of MAP error which is the key criterion for network design since: (a) it depends on the average behaviour of the precipitation field in the area of interest, and (b) it is linked to the configuration of the network only.

For testing a specific network, the following steps are involved:

- 35. Equation 19 gives parameters for the scaled climatological semi-variogram.
- 36. MSE of equation 20 now represents the scaled variance of the MAP error.
- 37. The latter is multiplied by the field variance to yield the MSE of MAP

As in methodology B, analyses start with fitting a theoretical model to the "empirical" scaled climatological semi-variogram obtained from data. A variety of such models can be found in textbooks on kriging.

The methodology has been tested in a heavily equipped region of Southern France, the region of Cevennes. The principal water basin is the Gardon d'Anduze basin with 34 recording rain gauges. Results in the Cevennes region for a small sub-basin are given in Figure 3. Figure 4 shows analogous results for the whole Gardon d'Anduze basin. Time scale was one hour.

At a later stage, the methodology was extensively tested within the frame of the Hydrologic-Atmospheric Pilot Experiment in Sahel (HAPEX – Sahel) in West Africa. This was carried out in a domain of $1^\circ \times 1^\circ$ equipped with 107 stations in total. The main time scale was the rainy event (up to a few hours) while larger time scales were used also. An example of results at the event time scale is given in Figure 5

where the scaled standard deviation of MAP is the square root of the scaled variance of MAP.

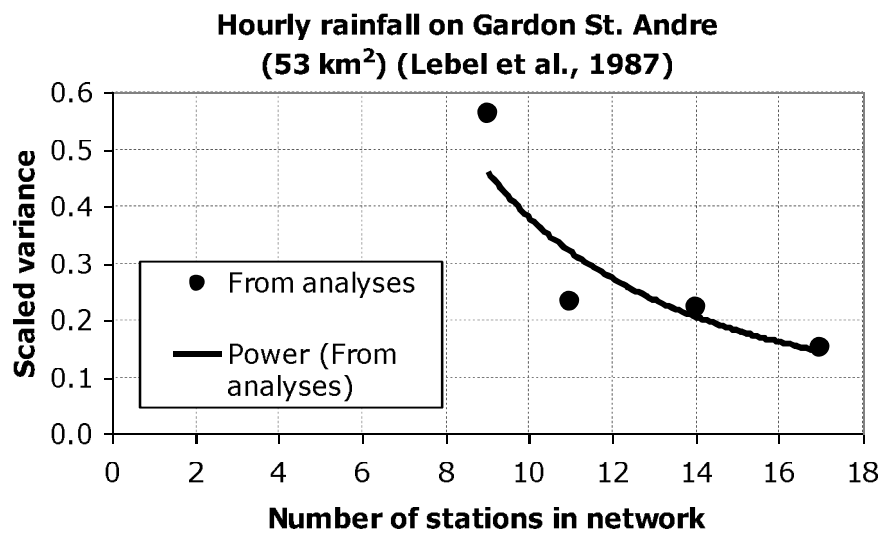


Figure 3: Scaled variance of MAP as a function of number of stations in network for the 1-h time scale of the Cevennes study (adapted from Lebel et al., 1987)

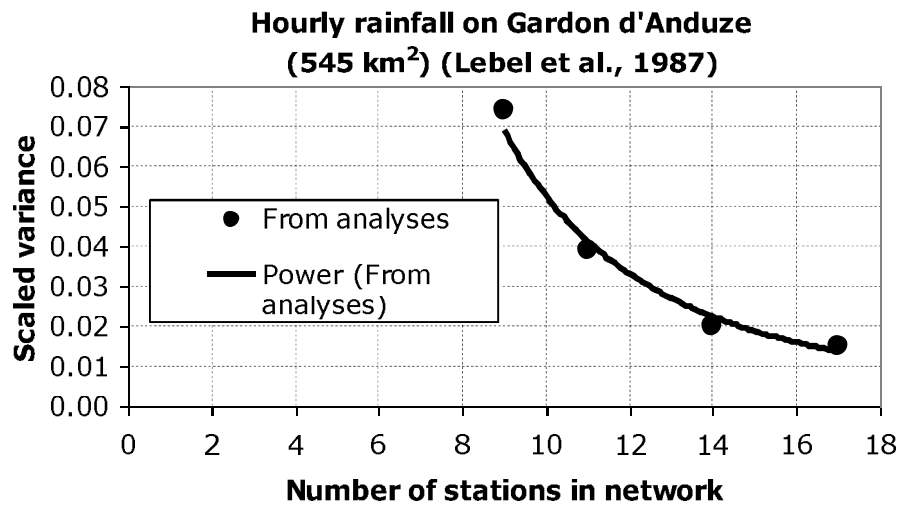


Figure 4: Scaled variance of MAP as a function of number of stations in network for the 1-h time scale of the Cevennes study (adapted from Lebel et al., 1987)

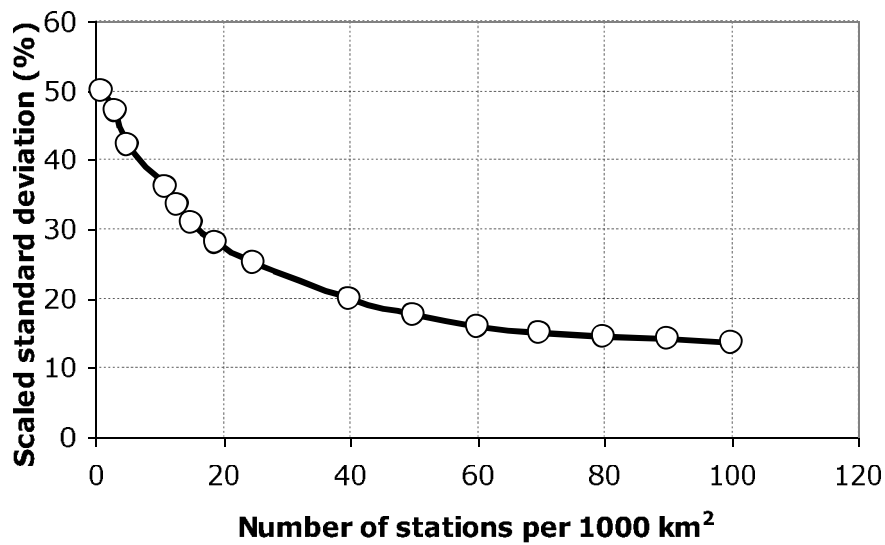


Figure 5: Scaled standard deviation of MAP as a function of number of stations in network for the event time scale of the HAPEX-Sahel experiment and an area of 100 km² (adapted from Lebel and Le Barbe, 1997)

3 Methodology proposed

3.1 Conclusions from previous work

In Section 2 three existing methodologies for designing precipitation networks were analysed. They possess common methodological steps which are:

Fitting theoretical models for the spatial structure of precipitation fields, MAP estimation through a linear combination of point precipitations, and analytical estimation of the MSE of MAP.

We believe that any of the methodologies tested would do.

Methodology A involves a procedure of discretising the domain of interest which is tedious and is shown to be unnecessary. Methodology B could be fully satisfactory for our needs. Nevertheless, difficulties in its use arise from: (a) the lack of related software, (b) the high complexity of the covariance model utilised, (c) the lack of published research results in areas close to the Mediterranean, and (d) the consideration of measurement errors which in our case of monthly time scale is unnecessary.

We believe that, for our needs, Methodology C is equivalent to Methodology B as far as the desired output and the computational effort involved. We preferred keeping Methodology C for a number of reasons:

- 38. It is based on the kriging method which is included in many general-purpose software packages.
- 39. It can exploit a wide variety of extensions of the kriging method.
- 40. Published results of its application exist for areas close to the Mediterranean.
- 41. No measurement errors are considered which is absolutely realistic for time scales used in this work.
- 42. It has been more intensively applied to wide spectrum of spatial and temporal scales such as the domain of the HAPEX – Sahel experiment.

Typical methodological steps for network design via Methodology C would be:

- 43. Estimation of empirical semi-variogram based on data from a pre-existing network
- 44. Fitting a theoretical analytical model to the empirical semi-variogram.
- 45. Selection of station sites for a candidate network.
- 46. Estimation of the MSE of MAP.
- 47. If this is not adequate return to step 3, else accept the network design

To obtain an “average” performance of the network under design the concept of scaled climatological semi-variogram is applied as exposed in subsection 2.4.

However, at the first stage of network design no estimates of MAP are required. Consequently, Methodology C need not be applied as is. The necessary network density (number of stations per km²) is sufficient for network design and the methodological steps can be simplified. This is discussed next.

3.2 Adaptation of existing methodology

Experience from applications of Methodology C in France and West Africa is summarised by Lebel and Le Barbe (1987) as follows:

“For areas down to 1000 km², or so, the same number of gauges (ten) is needed, meaning that as long as the gauge spacing is larger than half the decorrelation length the prime criterion to consider is the absolute number of gauges present in the surface of estimation rather than the network density. For still smaller areas the number of gauges in the surface of estimation can be assessed by imposing a gauge spacing of half the decorrelation length, that is one gauge every 15 km.

However, below 10 km² the spatial variability linked to the convective cells is no longer smoothed out by the spatial averaging...” .

In light of these findings, typical methodological steps 1 to 5 of sub-section 3.1 were simplified into:

48. Estimation of empirical semi-variogram based on data from a pre-existing network
49. Fitting a theoretical analytical model to the empirical semi-variogram and estimation of the decorrelation length which is typically equal to the range of the semi-variogram.
50. Selection of station sites for a candidate network.
51. Estimate the maximum inter-stations' spacing.
52. If this is less than half the decorrelation length, then accept the network design, else return to step 3.

The spherical model was used. This is given by

$$\gamma(u) = \begin{cases} c_0 + c(1.5u/a - 0.5(u/a)^3) & u \leq a \\ c_0 + c & u > a \end{cases} \quad (21)$$

where c_0 is the nugget, $c+c_0$ is the sill, a is the range and u is distance. The model has three parameters (c , c_0 and a).

The methodology proposed is based on two drastic assumptions

The average point precipitation does not vary in space.

The precipitation field is isotropic,

These assumptions, although very useful, should be put in question when dealing with geographical areas such as the Mediterranean since:

wild variation of elevation due to rugged topography is expected to induce variation into the average point precipitation also which is called the drift, and.

persistence in the occurrence of moisture carrying weather patterns with specific trajectories can lead to anisotropic behaviour of precipitation fields.

The problems of drift and anisotropy were tackled with the aid of pre-existing methodologies which are not analysed in detail.

The problem of drift was tackled via “detrending” point precipitation through a simple procedure which involved:

Calibrating a linear regression model with time-averaged precipitation depth as the dependent variable and elevation as the independent variable.

Detrending all data by reducing them to a common reference elevation H_0 (e.g., the sea level) using the above regression model.

Applying the methodological steps 1 to 5 above based on detrended data.

The problem of anisotropy was tackled via modifying methodological step 2 as follows:

The circle around each station is divided into four sectors each corresponding to one prevailing direction (1 = West-East, 2 = Southwest-Northeast, 3 = Northwest-Southeast, 4 = North-South).

A specific direction is selected.

All calculations on semi-variograms are limited to station pairs satisfying the definition of the direction selected.

To avoid confusion, application of all the above methodological variants needs systematic definition of tests. So:

A series of tests without detrending is first performed based on the isotropy assumption

This is followed by a series of tests on detrended data again with the isotropy assumption.

o test anisotropy both series were repeated for each one of basic directions.

4 Case study

4.1 The study area

The study area was the eastern part of the island of Crete which covers the areas of two out of four prefectures of the island (Heraklion and Lasithi). A more detailed description of the area is given elsewhere in this series of papers. What is interesting for our analyses is that the existing network for measuring precipitation in the area is comprised of 44 stations which are more or less uniformly spaced. Unfortunately, the network does not fully cover high-altitude areas where snow is not infrequent. Forty stations are owned by the Ministry of Agricultural Development and Food while the remaining four belong to the National Meteorological Service. The latter are situated in the coastal zone. A map of the existing precipitation network is presented in Figure 6.

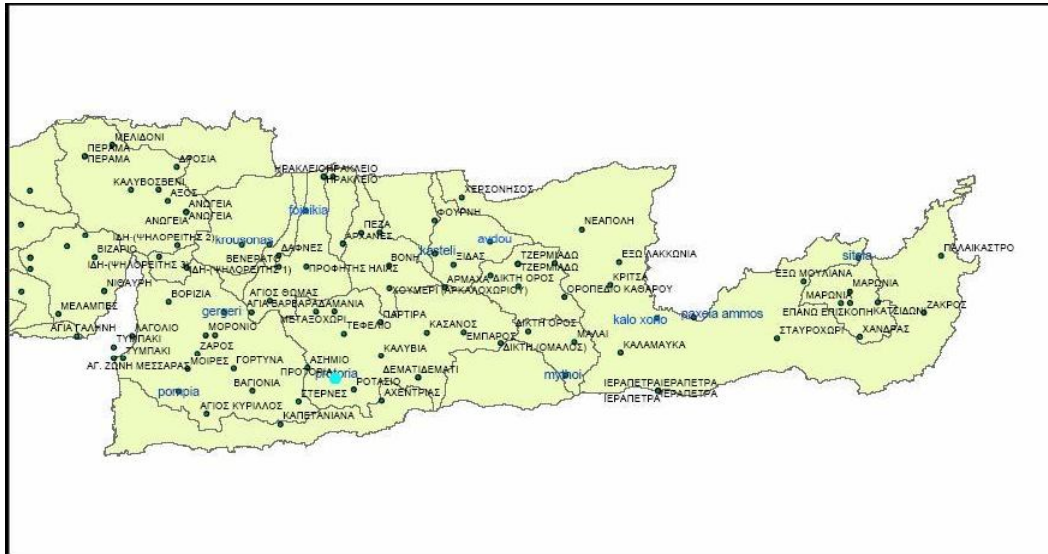


Figure 6: Network of existing precipitation stations in Eastern Crete.

4.2 Data collection and pre-processing

Raw daily precipitation depths were aggregated to yield monthly and annual totals which were checked for data quality. After initial checks (e.g., range checks) data are checked for consistency through the following four-step procedure

53. The whole study area was divided into sub-areas (Northern Heraklion, Southern Heraklion, Western Lasithi, Eastern Lasithi).
54. Within each sub-area all cross-correlations are calculated between annual totals of point precipitation; this helped selecting a base station per sub-area which possesses most reliable data.
55. Double mass curves of all stations in relation to their base stations are constructed for each sub-area.
56. Slope changes in these curves helped identifying inconsistencies.

Application of the above methodology did not reveal significant inconsistencies in the data of Eastern Crete. Only in six cases slope changes are encountered in double mass curves. This allowed us to disregard these inconsistencies in general and avoid data corrections. An example with a well discernible change in the slope of the double mass curve is shown in Figure 7.

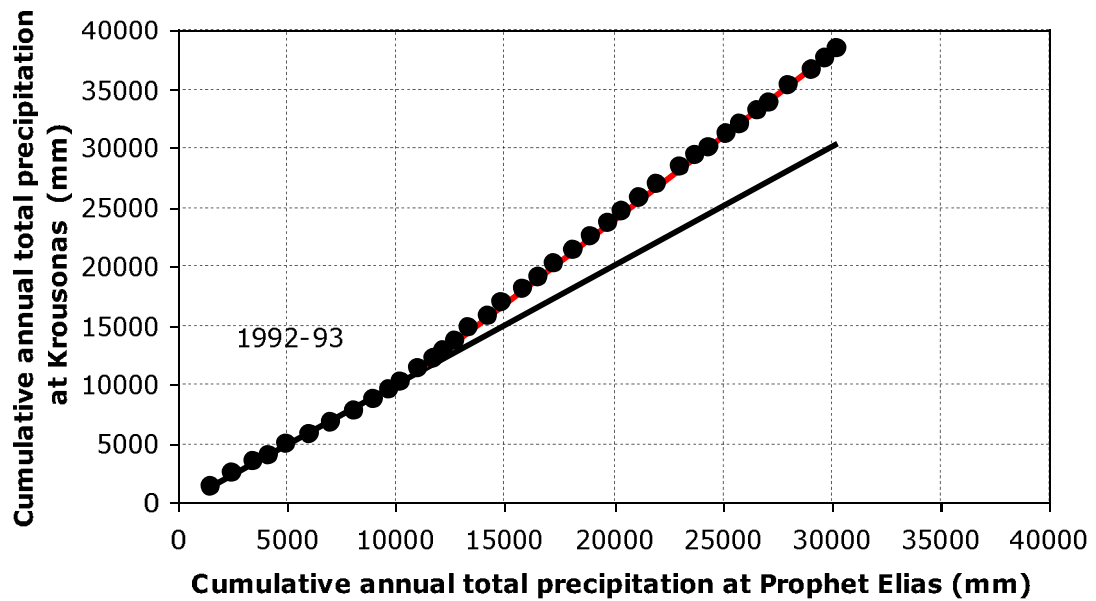


Figure 7: Example of double mass curve with slope change in hydrological year 1992-93.

4.3 Results

The proposed methodology given in section 3.2 was applied at various time scales. First, the annual time scale was chosen. This is expected to yield the most reliable results since annual totals are closer to being normally distributed than totals at any smaller time scale. The fact that in the Mediterranean, the distinction between a dry and a wet season is clear led to selecting wet period totals as well. For this a six-month time scale was used comprising totals from October to March. In moving to a three-month scale, the wet period was divided into two three-month periods (October to December and January to March). Finally, the monthly scale was tested where we kept months of the wet season only (October to March). In summary, the following time periods within the hydrological year were examined.

- 57. Annual
- 58. Wet season (October to March)
- 59. October to December
- 60. January to March
- 61. October
- 62. November
- 63. December

64. January

65. February

66. March

First, a series of numerical tests was based on data without detrending. For each time period the semi-variogram range was estimated. The results are depicted in Figure 8. For large time scales (annual to three-month) the range (parameter a of equation 21) is found slightly below 30 km while for the monthly time scale it fluctuates around 30 km.

When passing to detrended data the range increases to values slightly higher than 35 km for annual and six-month scales and starts fluctuating for smaller scales. These fluctuations are rather mild for the three-month scale but become wild for monthly data. This is the reason why in Figure 8 only scales from annual to three-month are shown.

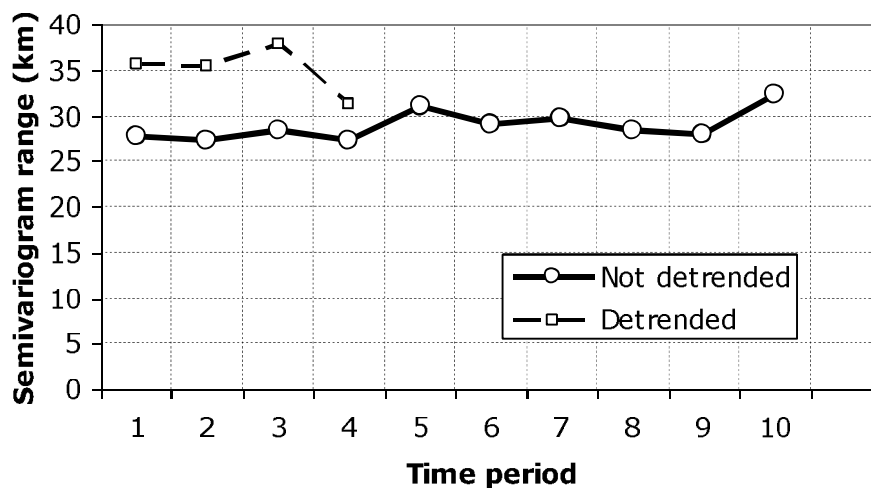


Figure 8: Semi-variogram range (km) for various time periods (1 = Annual, 2 = Wet season from October to March, 3 = October to December, 4 = January to March, 5 = October, 6 = November, 7 = December, 8 = January, 9 = February, 10 = March) and isotropic precipitation fields.

Checks for anisotropy in precipitation fields following the methodology of subsection 3.2 revealed large variations in semi-variogram range between different directions. The uncertainty of the results is high due to two reasons:

The number of station pairs used in calculations is significantly restricted for any specific direction as compared to taking all pairs.

The shape of the study area (elongated in the East-West direction and of small dimension in the North-South direction) proved very restrictive in obtaining any reliable estimation of the empirical semi-variogram.

Results with the smallest variation between directions correspond to the annual time scale. For not detrended data the range of 28 km for all directions rises to 55 km for the West-East direction and further to 76 km for the Southwest-Northeast direction. Conversely, it drops to 24 km for the Northwest-Southeast direction and further to 15 km for the North-South direction. Ranges based on detrended data are generally higher.

High uncertainty in the results of anisotropy tests led us accept these results only for qualitative statements about network design. Hence, we adopted the case with the isotropy assumption as the basis for network design. We preferred considering large time scales (annual and six-month) for which the methodological assumptions are better suited. We also preferred keeping results of detrended data since the orographic effect is expected to undoubtedly play a role in Eastern Crete. Based on the above assumptions the semi-variogram range for network design is 35.5 km for the annual scale and 35.3 km for the six-month scale. These two values being practically equal to each other, the maximum station distance for network design is $(35.3/2) \approx 17.6$ km. The related fitted semi-variogram for the annual time scale is given in Figure 9. Having in mind the final design criterion various networks were numerically constructed via random spatial sampling. Random selection of "precise" station sites was followed by selection of the nearby existing station site which becomes the "approximate". station site. Remembering results on anisotropy checks one could say that stations' spacing could be larger in the East-West direction. This is, however, not taken into account in designing networks within the frame of this project. An example of a network with 10 stations is given in Figure 10. The maximum stations' spacing in this network is 15.2 km.

Last, a final network was selected based on other criteria also: the accessibility to stations, the data quality, and the coverage of hypsometric zones.

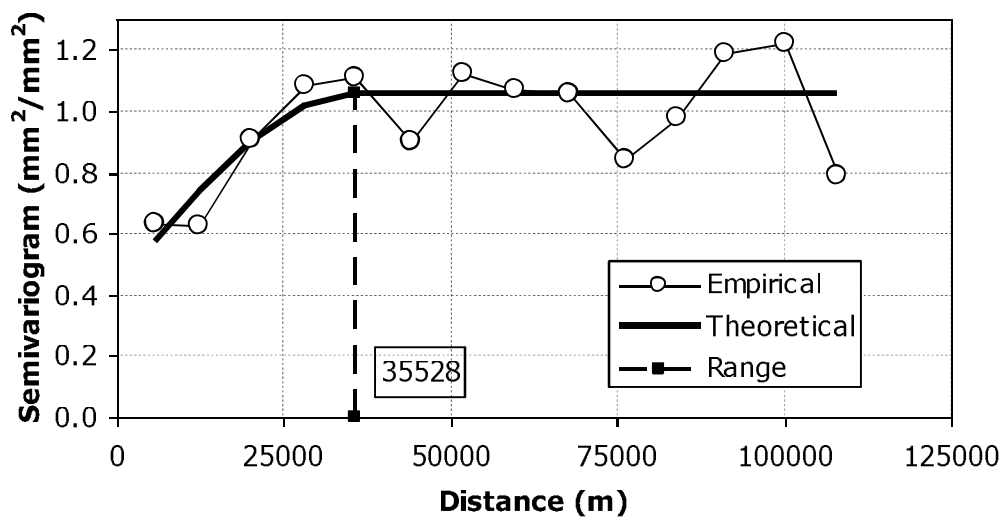


Figure 9: Fitting of theoretical semi-variogram to the empirical one for detrended data, all directions and the annual time scale.

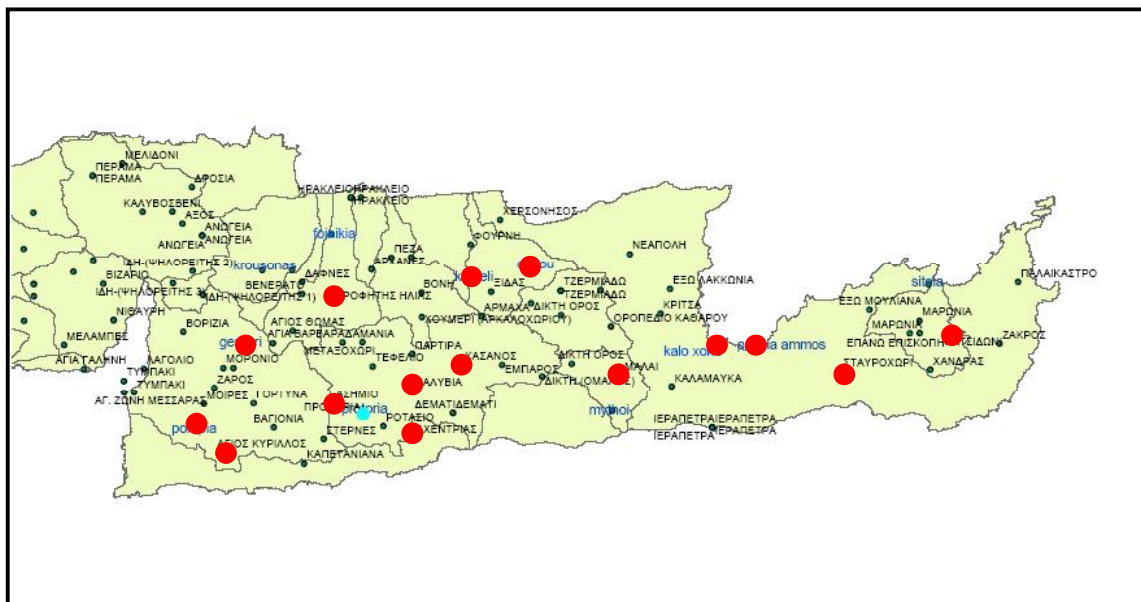


Figure 10: Example of a precipitation network in Eastern Crete with 10 stations which is designed through random spatial sampling.

Concluding remarks

Analysis of information needs for drought assessments allowed posing the monitoring problem as a design problem for precipitation networks. Related methodologies were reviewed with the aim to select some of them for further

analysis. Rigorous criteria were applied for this selection. Three methodologies (A, B and C) fulfilled those criteria. These possess common features which are:

67. They are based on the theory of random fields.
68. The spatial structure of precipitation fields is represented through the field covariance or the semi-variogram.
69. Mean areal precipitation (or MAP) is the key variable whose estimation accuracy is the sole criterion for design.
70. MAP accuracy is represented by the Mean Square Error (MSE) of MAP estimate through a linear model.
71. The estimation problem is solved analytically.
72. Also, analytical estimation of MSE of MAP is obtained.
73. Analytical treatment requires modelling of the spatial structure of precipitation fields.

Close examination of all three methodologies showed that anyone would do. Methodology C was finally chosen mainly because: (a) it is based on kriging which is a well-known and thoroughly tested method, and (b) it has been developed through application in areas close to the Mediterranean.

Methodology C was adapted to our needs. To this end, we first took advantage of the idea of using the scaled climatological semi-variogram and, second, we exploited results from previous studies which allowed limiting our analyses to the estimation of the range of the theoretical semi-variogram thus avoiding the estimation of MSE.

Also, the adapted methodology was enhanced to cope with the problems of drift and anisotropy in the precipitation fields.

Application to Eastern Crete showed that:

The maximum allowed stations' spacing is of the order of 17 km.

Based on this design criterion the existing 44-station network is too dense.

A subset of stations should be used in drought assessments.

Candidate networks fulfilling the design criterion and numerically constructed via random spatial sampling showed that the required number of stations is in the order of 10 to 15.

References

- Bras, R. L., and I. Rodriguez-Iturbe, Network design for the estimation of area mean of rainfall events, *Water Resour. Res.*, 12(6), 1185-95, 1976.
- Jones, D. A., R. J. Gourney, and P. E. O'Connell, Network design using optimal estimation procedures, *Water Resour. Res.*, 15(6), 1801-1812, 1979.
- Le Barbe, L., and T. Lebel, Rainfall climatology of the HAPEX-Sahel region during the years 1950-1990. *J. Hydrol.*, 188-189, 43-73, 1997.
- Lebel, T., and G. Bastin, Variogram identification by the mean-square interpolation error method with application to hydrologic fields. *J. Hydrol.*, 77, 31-56, 1985.
- Lebel, T., G. Bastin, C. Obled, and J. D. Creutin, On the accuracy of areal rainfall estimation: a case study, *Water Resour. Res.*, 23(11): 2123-2138, 1987.
- Lebel, T., and L. Le Barbe, Rainfall monitoring during HAPEX-Sahel: 2. Point and areal estimation at the event and seasonal scales, *J. Hydrol.*, 188-189, 97-122, 1997.
- O'Connell, P. E., Rationalisation of the Wessex Water Authority rain gauge network, Institute of Hydrology, Wallingford, report no 51, 1978.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξενόγλωση

- Beguería S., Vicente-Serrano S.M., Reig F., Latorre B., 2014. Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) revisited: parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets and drought monitoring. *International Journal of Climatology*, 34(10): 3001-3023.
- Beran, M.A., Rodier, J.A., 1985. *Hydrological Aspects of Drought. Studies and Reports in Hydrology 39*, Unesco-WMO, ISBN: 92-3-102288-1, France, 151 pp.
- Bhalme, H.N., Mooley, D.A., 1980. Large scale droughts/floods and monsoon circulation. *Monthly Weather Review*, 108:8, 1197-1211.
- Bonaccorso B., Cancelliere A., Rossi G., 2003. An analytical formulation of return period of drought severity. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 17(3): 157-174.
- Correia, F.N., Santos, M.A., Rodrigues, R.R., 1991. Reliability in Regional Drought Studies. In: *Water Resources Engineering Risk Assessment*, Jacques Ganoulis (ed.), NATO ASI Series, Vol. G 29, Berlin, 43-62.
- Dracup J.A., Lee K.S., Paulson E.G., 1980. On the statistical characteristics of drought events. *Water Resources Research*, 16(2): 289-296.
- Edossa, D.C., Babel, M.S., Guota, A.D., 2010. Drought Analysis in the Awash River Basin, Ethiopia. *Water Resources Management*, 24:7, 1441-1460.
- Edwards, D.C., McKee, T.B., 1997. Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. *Climatology Report No. 97-2 (Atmospheric Science Paper No. 634)*, Department of Atmospheric Science, Colorado State University, Fort Collins (CO), May 1997, 155 p.
- Fernández B., Salas J., 1999. Return period and risk of hydrologic events. I. Mathematical formulation. *Journal of Hydrologic Engineering*, 4(4): 297-307.
- Gibbs, W.J., Maher, J.V., 1967. Rainfall deciles as drought indicators. *Bureau of Meteorology Bulletin 48*, Commonwealth of Australia, Melbourne, Australia, 84 p.
- Glantz, M.H., Katz, R.W., 1977. When is a drought a drought? *Nature*, 267: 192-193.
- Guha-Sapir, D., Hargitt, D., Hoyois, P., 2004. *Thirty Years of Natural Disasters 1974-2003: The Numbers*. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, Presses Universitaires de Louvain (UCL), Brussels, 188 pp.
- Gumbel, E.J., 1963. Statistical Forecast of Droughts. *International Association of Scientific Hydrology. Bulletin*, 8:1, 5-23.
- Hargreaves G.H., Samani Z.A., 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. *Transaction of ASAE*, 1(2): 96-99.
- Hashimoto, T., Stedinger, J.R., Loucks, D.P., 1982. Reliability, resiliency, and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation. *Water Resources Research*, 18:1, 14-20.
- Hayes, M.J., Alvord, C., Lowrey J., 2007. Drought Indices. *Feature Article, Intermountain West Climate Summary*, 3:6, 2-6.
- Hayes, M.J., Svoboda, M.D., Wilhite, D.A., Vanyarkho, O.V., 1999. Monitoring the 1996 Drought Using the Standardized Precipitation Index. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 80:3, 429-438.
- Heim R.R., 2002. A Review of Twentieth-Century Drought Indices Used in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83:8, 1149-1165.

- Hollinger, S.E., Isard, S.A., Welford, M.R., 1993. A new soil moisture drought index for predicting crop yields. *Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Anaheim (CA), 17-22 January 1993, AMS*, pp 187-190.
- Jinno, K., 1995. Risk Assessment of a Water Supply System during Drought. *International Journal of Water Resources Development*, 11:2, 185-204.
- Katz, R.W., Glantz, M.H., 1986. Anatomy of a rainfall index. *Monthly Weather Review*, 114:4, 764-771.
- Keyantash, J., Dracup, J.A., 2002. The Quantification of Drought: An Evaluation of Drought Indices. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83:8, 1167-1180.
- Kumar V, Panu U, 1997. Predictive assessment of severity of agricultural droughts based on agro-climatic factors. *Journal of the American Water Resources Association* 33: 1255-1264
- McKee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J., 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scale. *Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Anaheim (CA), 17-22 January 1993, AMS*, pp. 179-184.
- Meyer, S.J., Hubbard, K.G., Wilhite, D.A., 1993. A crop specific drought index for corn: I. Modern development and validation. *Agronomy Journal*, 85:2, 388-395.
- Mishra, A.K., Singh, V.P., 2010. A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391:1-2, 202-216.
- Nalbantis, I., Tsakiris, G., 2009. Assessment of hydrological drought revisited. *Water Resources Management*, 23:5, 881-897.
- Narasimhan, B., Srinivasan, R., 2005. Development and evaluation of Soil Moisture Deficit Index (SMDI) and Evapotranspiration Deficit Index (ETDI) for Agricultural Drought Monitoring. *Agricultural and Forest Meteorology*, 133:1-4, 69-88.
- NDMC, 1995. Understanding and Defining Drought. Categories of Drought Definition, <http://enso.unl.edu/ndmc/enigma/def2.htm>, First published: November 15, 1995.
- Niemeyer, S., 2008. New drought indices. *Proceedings of the 1st International Conference "Drought management: Scientific and technological innovations" (Option Méditerranéennes, Series A, No. 80), 12-14 June 2008, Zaragoza (Spain)*, pp. 267-274.
- Palmer, W.C., 1965. Meteorological Drought. US Department of Commerce, Weather Bureau, Research Paper No. 45, Washington D.C., 58 pp.
- Palmer, W.C., 1968. Keeping track of crop moisture conditions, nationwide: The new Crop Moisture Index. *Weatherwise*, 21:4, 156-161.
- Paulo, A.A., Pereira, L.S., 2009. Drought Concepts and Characterization: Comparing Drought Indices Applied at Local and Regional Scales. *Water International*, 31:1, 37-49.
- Peters E., Torfs P.J.J.F., Van Lanen H.A.J., Bier G., 2003. Propagation of drought through groundwater - a new approach using linear reservoir theory. *Hydrological Processes*, 17(15): 3023-3040.
- Prud'homme, A. 2011. Drought: A Creeping Disaster. *The New York Times*. July 17: SR3.
- Redmond, K., 1991. Climate monitoring and indices. *Proceedings of the Drought Management and Planning Seminar and Workshop*, D.A. Wilhite, D.A. Wood and P.A. Kay (Eds.), Lincoln, NE, University of Nebraska, Lincoln, pp. 29-33.
- Rossi G., Benedini M., Tsakiris G., Giakoumakis S., 1992. On regional drought estimation and analysis. *Water Resources Management*, 6: 249-277.
- Rossi, G., Cancelliere, A., Giuliano, G., 2005. Case Study: Multicriteria Assessment of Drought Mitigation Measures. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 131:6, 449-457.

- Shafer, B.A., Dezman, L.E., 1982. Development of a Surface Water Supply Index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snowpack runoff areas. *Proceedings of the Western Snow Conference*, Reno (NV), 19-23 April 1982, Colorado State University, Fort Collins (CO), pp. 164-175.
- Stahl, K., 2001. Hydrological drought – A study across Europe. Dissertation, Albert-Ludwigs Universitat Freiburg, Freiburg, 122 p.
- Sullivan, C. A., & Meigh, J., 2007. Integration of the biophysical and social sciences using an indicator approach: addressing water problems at different scales. *Water resources management*, 21(1), 111-128.
- Sullivan, C., 2002. Calculating a water poverty index. *World development*, 30(7), 1195-1210.
- Tannehill, I.R., 1947. Drought, Its Causes and Effects. Princeton, N.Y.: Princeton University Press, New Jersey, U.S.A., 264 pp.
- Tate, E.L., Gustard A., 2000. Drought Definition: A Hydrological Perspective. In: J.V. Voght and F. Somma (eds.), *Drought and Drought Mitigation in Europe (Advances in Natural and Technological Hazard Research)*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht 2000, The Netherlands, ISBN: 0-7923-6589-5, pp. 23-48.
- Tigkas, D, Tsakiris G, 2015. Early estimation of drought impacts on rainfed wheat yield in Mediterranean climate. *Environmental Processes* 2(1): 97-114
- Tigkas, D, Vangelis H, Tsakiris G, 2015. DrinC: a software for drought analysis based on drought indices. *Earth Science Informatics* 8(3): 697-709
- Tigkas, D, Vangelis H, Tsakiris G, 2019. Drought characterisation based on an agriculture-oriented standardised precipitation index. *Theoretical and Applied Climatology*, 135(3–4): 1435–1447
- Tigkas, D., Vangelis, H., Tsakiris, G., 2017. An enhanced effective reconnaissance drought index for the characterisation of agricultural drought. *Environmental Processes*, 4(suppl. 1): 137-148.
- Tsakiris, G., 2008. Uni-dimensional analysis of droughts for management decisions. *European Water*, 23/24, 3-11.
- Tsakiris, G., Loukas, A., Pangalou, D., Vangelis, H., Tigkas, D., Rossi, G., & Cancelliere, A. (2007). Drought characterization. *Drought management guidelines technical annex*, 85-102.
- Tsakiris, G., Nalbantis, I., Vangelis, H., Verbeiren, B., Huysmans, M., Tychon, B., Jacquemin, I., Canters, F., Vanderhaegen, S., Engelen, G., Poelmans, L., De Becker, P., Batelaan, O., 2013. A System-based Paradigm of Drought Analysis for Operational Management. *Water Recourses Management* 27, 5281–5297.
- Tsakiris, G., Pangalou, D., Vangelis, H., 2017. Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI). *Water Resources Management*, 21:5, 821-833.
- Tsakiris, G., Tigkas, D., Vangelis, H., Pangalou, D., 2007. Regional Drought Identification and Assessment. Case Study in Crete. In: Rossi G., Vega T., Bonaccorso B. (eds) *Methods and Tools for Drought Analysis and Management*. Water Science and Technology Library, vol 62. Springer, Dordrecht, pp. 169-191.
- Tsakiris, G., Vangelis, H., 2004. Towards a Drought Watch System based on Spatial SPI. *Water Resources Management*, 18:1, 1-12.
- Tsakiris, G., Vangelis, H., Tigkas, D., 2010. Assessing Water System Vulnerability to Multi-year Droughts. *European Water* 29, 21-29.
- Tucker, C.J., 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8:2, 127-150.
- van Rooy, M.P., 1965. A rainfall anomaly index independent of time and space. *Notos, Weather Bureau of South Africa*, 14, 43-48.

- Vangelis H., Tigkas D., Tsakiris G., 2013. The effect of PET method on Reconnaissance Drought Index (RDI) calculation. *Journal of Arid Environments*, 88: 130-140.
- Vicente-Serrano S.M., Beguería S., López-Moreno J.I., 2010. A Multi-scalar drought index sensitive to global warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index - SPEI. *Journal of Climate*, 23: 1696-1718.
- Vlachos, E.C., 1982. Drought management interfaces. In: Annual ASCE Conference, Las Vegas, Nevada, 15 pp.
- Wilhite, D.A., 1993. The Enigma of Drought. In: Wilhite D.A. (eds) *Drought Assessment, Management, and Planning: Theory and Case Studies. Natural Resource Management and Policy*, vol 2. Springer, Boston, MA, p. 3-15.
- Wilhite, D.A., Glantz, M.H., 1985. Understanding: the Drought Phenomenon: The Role of Definitions, *Water International*, 10:3, 111-120.
- Wilhite, D.A., Hayes, M.J., Svoboda, M.D., 2000. Drought Monitoring and Assessment: Status and Trends in the United States. In: J.V. Voght and F. Somma (eds.), *Drought and Drought Mitigation in Europe (Advances in Natural and Technological Hazard Research)*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht 2000, The Netherlands, ISBN: 0-7923-6589-5, pp. 149-160.
- WMO & GWP, 2016. World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP), 2016: *Handbook of Drought Indicators and Indices* (M. Svoboda and B.A. Fuchs). Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series 2. Geneva, 49 pp.
- WMO (World Meteorological Organization), 2012. *Standardized Precipitation Index User Guide* (M. Svoboda, M. Hayes and D. Wood). (WMO-No. 1090), Geneva, Switzerland.
- Yevjevich, V., 1967. An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts. *Hydrology Papers*, No. 23.
- Zhai, J., Su, B., Krysanova, V., Vetter, T., Gao, C., Jiang T., 2010. Spatial Variation and Trends in PDSI and SPI Indices and their Relation to Streamflow in 10 Large Regions of China. *Journal of Climate*, 23:3, 649-663.

Ελληνική

- Βαγγέλης, Χ. 2012. Εκτίμηση και Προληπτικός Σχεδιασμός Αντιμετώπισης της Ξηρασίας. Διδακτορική Διατριβή, Χ. Βαγγέλης, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 356 σ.
- ΕΓΥ, 2015. Σχέδιο διαχείρισης λεκανών απορροής ποταμών υδατικού διαμερίσματος Κρήτης (GR13), ΕΓΥ.
- Κριτσωτάκης Μ., Παυλίδου Σ., 2013. Κατάσταση υπόγειων υδροφόρων Κρήτης. Αποκεντρωμένη Διοίκηση Κρήτης.
- Νικολαΐδης Ν. κ.α. (2017) Τελική Έκθεση Προγράμματος AQUAMAN. EEA - Aquaman Project, https://aquaman.tuc.gr/images/users/sotiria/Aquaman_Final_Report.pdf
- Παπαγγελιορίου Σ., Καϊμάκη Σ., Παπαγεωργίου-Τορτοπίδη, Ν., Πετλέρος Β., Λαζαρίδης & Σ/τες, 2001. Μελέτη Διαχείρισης υδατικών πόρων Κρήτης. Περιφέρεια Κρήτης.
- Τσακίρης & Βαγγέλης, 2013. Κεφάλαιο 13: Ξηρασία. Γ. Τσακίρης και Χ. Βαγγέλης. ΥΔΑΤΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ: Ι. Τεχνική Υδρολογία & Εισαγωγή στη Διαχείριση Υδατικών Πόρων (σελίδες 704). Υπεύθυνος Έκδοσης: Γ. Τσακίρης. Εκδόσεις Συμμετρία, ISBN: 978-960-266-380-6, Αθήνα 2013, σ. 473-522.
- ΥΠΑΠΕ, 2017. Καινοτόμες Μεθοδολογίες Διαχείρισης Υδατικών Πόρων για την Προσαρμογή της Κλιματικής Αλλαγής και Διακυβέρνησης της Περιφέρειας Κρήτης (Aquaman).