

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**

**ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**

**ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ
«Περιοχική Εκτίμηση Ξηρασίας»**

Ευφροσύνη Χριστοφόρου Κανέλλου

ΒΟΛΟΣ 2010

«Περιοχική Εκτίμηση Ξηρασίας»

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

1. Νικόλαος Ρ. Δαλέζιος, Καθηγητής Αγρομετεωρολογίας, Δορυφορικής Μετεωρολογίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Επιβλέπων.
2. Στέργιος Τζώρτζιος, Καθηγητής Βιομετρίας, Στατιστικής, Πληροφορικής στις Γεωπονικές Επιστήμες, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Μέλος.
3. Νικόλαος Δαναλάτος, Καθηγητής Γεωργίας, Οικολογίας Φυτών Μεγάλης Καλλιέργειας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Μέλος.

Επταμελής Εξεταστική Επιτροπή

1. Νικόλαος Ρ. Δαλέζιος, Καθηγητής, Αγρομετεωρολογία, Δορυφορική Μετεωρολογία, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
2. Στέργιος Τζώρτζιος, Καθηγητής, Βιομετρία με έμφαση στις εφαρμογές Στατιστικής στις Γεωπονικές Επιστήμες και στη χρήση Πληροφορικής σε Βιολογικά συστήματα, Τμήμα Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
3. Νικόλαος Δαναλάτος, Καθηγητής, Γεωργία, Οικολογία Φυτών Μεγάλης Καλλιέργειας, Τμήμα Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
4. Γεώργιος Τσακίρης, Καθηγητής, Εγγειοβελτιωτικά και Υδραυλικά έργα, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
5. Γεώργιος Καραντούνιας, Καθηγητής, Υδραυλικά έργα στη Γεωργία, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
6. Σπύρος Ραψομανίκης, Καθηγητής, Αέρια Ρύπανση και Αντιρρυπαντική Τεχνολογία, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο.
7. Σπύρος Βάλμης, Καθηγητής, Διαβρώσεις- Συντήρηση Εδαφών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Ευφροσύνη Χριστοφόρου Κανέλλου

«Περιοχική Εκτίμηση Ξηρασίας»

ISBN

v

Ευφροσύνη Κανέλλου, 2010: «Περιοχική Εκτίμηση Ξηρασίας», Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Ν. Ιωνία Μαγνησίας, Βόλος.

Αριθμός προκαταρκτικών σελίδων: 20

Συνολικός αριθμός σελίδων: 229

Αριθμός Πινάκων: 31

Αριθμός Εικόνων: 50

Αριθμός Σχημάτων: 6

Αριθμός Παραρτημάτων: 8

Αριθμός Βιβλιογραφικών Αναφορών: 183

ΠΡΟΛΟΓΟΣ – ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα Διδακτορική Διατριβή πραγματεύεται την εκτίμηση και παρακολούθηση του φαινομένου της ξηρασίας στην Ελλάδα, με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων και τεχνικών Τηλεπισκόπησης και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Η ξηρασία απασχολεί, ανάκαθεν, τον Ελλαδικό χώρο καθώς οι επιπτώσεις είναι ιδιαίτερα σημαντικές για μια κατ' εξοχήν αγροτική περιοχή όπως η συγκεκριμένη.

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών, με τίτλο «Σύγχρονα Συστήματα Αγροτικής Παραγωγής στο Μεσογειακό Χώρο με Έμφαση στην Αειφορική Παραγωγή και τη Χρησιμοποίηση Νέων Τεχνολογιών», και συγκεκριμένα στο Εργαστήριο Αγρομετεωρολογίας, υπό την επίβλεψη του Καθηγητή Νικόλαου Ρ. Δαλέζιου.

Ευχαριστώ θερμά τον Επιβλέποντα Καθηγητή μου, Νικόλαο Ρ. Δαλέζιο, του οποίου η συμβολή, η υποστήριξη, η καθοδήγηση και το αμέριστο ενδιαφέρον του ήταν καθοριστικά για την υλοποίηση της Διδακτορικής μου Διατριβής. Του είμαι υπόχρεη για τη δυνατότητα πρόσβασης σε πληροφορίες και βάσεις δεδομένων, για την παροχή του εργαστηριακού εξοπλισμού και του χώρου, καθώς και για την καλλιέργεια ενός ιδανικού κλίματος ανεμπόδιστης εργασίας και έρευνας.

Θα ήθελα, επίσης, να ευχαριστήσω τα μέλη της Τριμελούς μου επιτροπής, Καθηγητή Στέργιο Τζώρτζιο και τον Καθηγητή Νικόλαο Δαναλάτο, για τις γνώσεις, τη συμπαράσταση και τη βοήθεια που μου προσέφεραν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου και ιδιαίτερα της έρευνας αυτής.

Θα ήθελα να εκφράσω τη βαθύτατη εκτίμηση μου στο πρόσωπο του Καθηγητή Γεώργιου Τσακίρη, Διευθυντή του Εργαστηρίου Εγγειοβελτιωτικών Έργων και Διαχείρισης Υδατικών Πόρων του Μετσόβιου Πολυτεχνείου Αθηνών, για την προσφορά δεδομένων και λογισμικού για την ανάπτυξη της εργασίας μου.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στο Δρ. Χρήστο Δομενικιώτη, ο οποίος ήταν παρών σε κάθε βήμα της έρευνάς μου, προσφέροντας αμέριστα τη βοήθειά του, τις γνώσεις του και το χρόνο του σε κάθε στάδιο ανάπτυξης της Διδακτορικής Διατριβής.

Επιπλέον, ευχαριστώ θερμά τις συναδέλφους και στενές μου φίλες Άννα Μπλάντα και Ευανθία Χονδρονίκου, οι οποίες ήταν πάντα δίπλα μου προσφέροντας σημαντική βοήθεια και συμπαράσταση, καθώς και τους πολύ αγαπητούς συναδέλφους μου Νικόλαο Γκιτσάκη και Νικόλαο Σπυρόπουλο για την ιδιαίτερος σημαντική συμβολή τους σε κρίσιμα σημεία της έρευνας μου.

Τέλος, ευχαριστώ ιδιαίτερος την οικογένεια μου, τη Μητέρα μου, τον Σταύρο και τον Γιάννη, για την υπομονή, την υποστήριξη, την αντοχή και την ανοχή τους κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Η χρηματοδότηση του έργου αυτού πραγματοποιήθηκε μέσω υποτροφίας στο πλαίσιο του Μέτρου 8.3, του Ε.Π. Ανταγωνιστικότητα, Πράξη «ΠΕΝΕΔ 2003», Γ΄ Κοινοτικό Πλαίσιο Στήριξης, σε ποσοστό κατά:

A) 88% Δημόσια Δαπάνη:

- 75% Ευρωπαϊκή Ένωση- Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο,
- 25% Ελληνικό δημόσιο, Υπουργείο Ανάπτυξης, Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας (ΓΕΓΕΤ), και

B) 12 % Ιδιωτικό τομέα: ΓΕΩΑΝΑΛΥΣΗ ΑΕ

Ευχαριστώ ολόθερμα τους παραπάνω φορείς χρηματοδότησης της Διδακτορικής μου Διατριβής.

Ευφροσύνη Κανέλλου

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η μελέτη της ξηρασίας παίζει σημαντικό ρόλο στην αντιμετώπιση του φαινομένου αυτού και στη λήψη μέτρων είτε προληπτικών είτε κατασταλτικών. Ιδιαίτερα, η εκτίμησή της στις Μεσογειακές χώρες είναι πολύ σημαντική καθώς η ανάπτυξη της Γεωργίας στις περιοχές αυτές είναι αυξημένη. Η έξαρση ακραίων φαινομένων, όπως η ξηρασία, και η συχνή επανεμφάνισή τους προκαλεί επιπλοκές στις γεωργικές και διάφορες άλλες δραστηριότητες, με σοβαρές επιπτώσεις στην παραγωγή και κατά συνέπεια στον ευρύτερο οικονομικό τομέα μιας χώρας.

Η ξηρασία ως φαινόμενο καθώς και η σύνδεσή της με άλλους τομείς και δραστηριότητες (π.χ. παραγωγή) στην Ελλάδα, μελετάται εδώ και πολλές δεκαετίες, με τη χρήση επίγειων αλλά και δορυφορικών στοιχείων. Το κυριότερο, όμως, πρόβλημα έγκειται στην ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης μεθοδολογίας, όσον το δυνατόν απλής και εύχρηστης, η οποία θα κάλυπτε χωρικά όλη την περιοχή, χρησιμοποιώντας ευρέως διαθέσιμα δεδομένα ενός μεγάλου μέρους των παραμέτρων που επηρεάζουν το φαινόμενο (μετεωρολογικών, υδρολογικών, γεωργικών) και μειώνοντας το κόστος της εφαρμογής. Τα εμπόδια αυτά είναι δυνατόν να παραμεριστούν με την επιλογή μιας κατάλληλης μεθοδολογίας για την ξηρασία.

Η παρούσα έρευνα περιλαμβάνει όλα τα στοιχεία αυτά για μια ολοκληρωμένη εκτίμηση και παρακολούθηση του φαινομένου της ξηρασίας. Βασίζεται σε μια εκτεταμένη σειρά δορυφορικών δεδομένων θερμοκρασίας επιφανείας εδάφους και δείκτη βλάστησης του δορυφόρου NOAA/ AVHRR, 20 υδρολογικών ετών, από το 1981 έως και το 2001, δίνοντας τη δυνατότητα ανάλυσης της χωρικής αλλά και χρονικής εξέλιξης της ξηρασίας. Ιδιαίτερα σημαντική είναι, επίσης, η επιλογή του Αναγνωριστικού δείκτη ξηρασίας (Reconnaissance Drought Index- RDI), ο οποίος είναι ένας εύχρηστος και ολοκληρωμένος δείκτης, και εκτιμά το φαινόμενο αυτό χωρίς αυξημένες απαιτήσεις σε δεδομένα. Επίσης, η δομή του δείκτη αυτού περιλαμβάνει μετεωρολογικές και υδρολογικές παραμέτρους, δίνοντας τη δυνατότητα της

επιπρόσθετης χρήσης γεωργικών μεταβλητών, εφόσον υπολογιστεί με την εφαρμογή ανάλογης εξαμυσοδιαπνοής. Στην παρούσα εργασία, ο δείκτης RDI υπολογίζεται με χρήση των δορυφορικών δεδομένων και της δυνητικής εξαμυσοδιαπνοής Blaney- Criddle, βασιζόμενος σε μετεωρολογικά, υδρολογικά και γεωργικά στοιχεία της περιοχής. Ο υπολογισμός του δείκτη πραγματοποιείται ανά μήνα, 3, 6, 9 και 12 μήνες για όλη την Ελλάδα. Τα χαρακτηριστικά της ξηρασίας που εκτιμούνται βάσει του δείκτη αυτού συγκρίνονται με τα αποτελέσματα δεικτών ξηρασίας, οι οποίοι υπολογίζονται με επίγειες μετρήσεις, σε επιλεγμένες περιοχές του Ελλαδικού χώρου.

Στο τελικό στάδιο της μεθοδολογίας αναπτύσσεται η Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών (Principal Components Analysis–PCA) καθώς και η Ανάλυση κατά συστάδες (Cluster Analysis) των τιμών του δείκτη RDI με δορυφορικά δεδομένα. Οι στατιστικές αυτές μέθοδοι συμβάλλουν στην ταξινόμηση και ομαδοποίηση των αποτελεσμάτων του RDI, προσδιορίζοντας περιοχές με παρόμοια χαρακτηριστικά και συμπεριφορά, όσον αφορά στο φαινόμενο της ξηρασίας.

Η μεθοδολογία, όπως αναπτύσσεται στην Διδακτορική Διατριβή αυτή, παρουσιάζει καινοτομία και πληρότητα, και παρέχει τη δυνατότητα της ολοκληρωμένης παρακολούθησης της ξηρασίας στην Ελλάδα. Επιπλέον, παρουσιάζει δυνατότητα γενίκευσης καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κάθε περιοχή και κάθε χρονοσειρά δεδομένων, για την εκτίμηση του φαινομένου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο:	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο:	Η ΞΗΡΑΣΙΑ ΚΑΙ ΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ	7
	<i>2.1. Γενικά</i>	7
	<i>2.2 Ορισμοί της ξηρασίας</i>	8
	<i>2.3. Χαρακτηριστικά της ξηρασίας</i>	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο:	ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ	17
	<i>3.1. Ποσοστό της κανονικής βροχόπτωσης</i>	18
	<i>3.2. Διακριτές και αθροιστικές ανωμαλίες βροχόπτωσης</i>	19
	<i>3.3. Δεκατημόρια Βροχόπτωσης</i>	20
	<i>3.4. Δείκτης Περιοχής Ξηρασίας (DAI)</i>	22
	<i>3.5. Δείκτης ανωμαλιών βροχόπτωσης (RAI)</i>	23
	<i>3.6. Δείκτης Κανονικοποιημένης Βροχόπτωσης (SPI)</i>	24
	<i>3.7. Δείκτης Αποτελεσματικής Ξηρασίας (EDI)</i>	26
	<i>3.8. Δείκτης ξηρασίας Palmer</i>	29
	<i>3.8.1. Δείκτης Δριμύτητας Ξηρασίας Palmer (PDSI)</i>	29
	<i>3.8.2. Δείκτης Υδρολογικής Ξηρασίας Palmer (PHDI)</i>	36
	<i>3.8.3. Δείκτης ανωμαλιών υγρασίας Palmer (Z-Index)</i>	37
	<i>3.9. Δείκτης υγρασίας καλλιεργειών (CMI)</i>	37
	<i>3.10. Δείκτης ξηρασίας Bhalme-Mooley (BMDI)</i>	39
	<i>3.11. Δείκτης παροχής επιφανειακού νερού (SWSI)</i>	41
	<i>3.12. Δείκτης ανάκτησης ξηρασίας (RDI)</i>	44

	<i>3.13. Συνολικό υδατικό έλλειμμα</i>	45
	<i>3.14. Αθροιστική ανωμαλία υδατορροής</i>	45
	<i>3.15. Υπολογισμένη εδαφική υγρασία</i>	45
	<i>3.16. Δείκτης ανωμαλίας εδαφικής υγρασίας</i>	46
	<i>3.17. Δείκτες ξηρασίας δεδομένων ροής</i>	46
	<i>3.18. Δείκτης αγρο - υδρολογικού δυναμικού (AHP)</i>	47
	<i>3.19. Δείκτης κανονικοποιημένης στάθμης νερού (SWI)</i>	49
	<i>3.20. Αναγνωριστικός δείκτης ξηρασίας (RDI)</i>	50
	<i>3.21. Δείκτης ξηρασίας ρευματορροής (SDI)</i>	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο:	ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ	55
	<i>4.1. Αρχές Τηλεπισκόπησης</i>	55
	<i>4.2. Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και Τηλεπισκόπηση</i>	56
	<i>4.3. Χαρακτηριστικά των δορυφορικών συστημάτων</i>	58
	<i>4.4. Εφαρμογές τηλεπισκόπησης στο φαινόμενο της ξηρασίας</i>	62
	<i>4.5. Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS)</i>	64
	<i>4.6. Δείκτες ξηρασίας με χρήση δεδομένων Τηλεπισκόπησης</i>	65
	<i>4.6.1. Δείκτης βλάστησης κανονικοποιημένης διαφοράς (NDVI)</i>	67
	<i>4.6.2. Δείκτης απόκλισης του NDVI (DEV_{NDVI})</i>	68
	<i>4.6.3. Δείκτης ενισχυμένης βλάστησης (EVI)</i>	69
	<i>4.6.4. Δείκτης κατάστασης βλάστησης (VCI)</i>	69
	<i>4.6.5. Μηνιαίος δείκτης κατάστασης βλάστησης (MVCI)</i>	70
	<i>4.6.6. Δείκτης κατάστασης θερμοκρασίας (TCI)</i>	71

	<i>4.6.7. Δείκτης υγιούς βλάστησης (VHI)</i>	72
	<i>4.6.8. Δείκτης θερμοκρασίας κανονικοποιημένης διαφοράς (NDTI)</i>	73
	<i>4.6.9. Δείκτης υδατικού στρες καλλιέργειας (CWSI)</i>	74
	<i>4.6.10. Δείκτης δριμύτητας ξηρασίας (DSI)</i>	75
	<i>4.6.11. Δείκτης ξήρανσης θερμοκρασίας - βλάστησης (TVDI)</i>	76
	<i>4.6.12. Δείκτης νερού κανονικοποιημένης διαφοράς (NDWI)</i>	78
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο :	ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	79
	<i>5.1. Περιοχή μελέτης</i>	79
	<i>5.2. Βάση δεδομένων</i>	82
	<i>5.2.1. Επίγεια βάση δεδομένων</i>	82
	<i>5.2.2. Δορυφορικά δεδομένα</i>	83
	<i>5.2.3. Στοιχεία χρήσεων γης του Corine Hellas</i>	86
	<i>5.2.4 Πίνακες φυτικών συντελεστών</i>	87
	<i>5.2.5. Ποσοστά ωρών ηλιοφάνειας και Διορθωτικός συντελεστής εξατμισοδιαπνοής</i>	90
	<i>5.2.7. Χάρτες βροχομετρικών στοιχείων Ελλάδας</i>	91
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο:	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	94
	<i>6.1. Εκτίμηση ξηρασίας με χρήση δορυφορικών δεδομένων</i>	95
	<i>6.1.1. Προεπεξεργασία δορυφορικών εικόνων</i>	95
	<i>6.1.2. Υπολογισμός θερμοκρασίας επιφανείας εδάφους</i>	97
	<i>6.1.3. Εκτίμηση δυννητικής εξατμισοδιαπνοής με χρήση δορυφορικών δεδομένων</i>	100
	<i>6.1.4. Εξαγωγή χαρτών βροχόπτωσης</i>	106

6.1.5.Χωρική εκτίμηση του δείκτη ξηρασίας RDI	108
6.2.Πιστοποίηση μεθοδολογίας με επίγειες μεθόδους	110
6.2.1.Επεξεργασία επίγειων δεδομένων και δημιουργία ενιαίας βάσης	110
6.2.2.Εκτίμηση δυνητικής εξατμισοδιαπνοής με χρήση επίγειων δεδομένων	110
6.2.3. Σύγκριση RDI με δείκτες ξηρασίας επίγειων δεδομένων	113
6.3. Στατιστική ανάλυση του δείκτη RDI με δορυφορικά δεδομένα	117
6.3.1. Ανάλυση κυρίων συνιστωσών (PCA) δείκτη RDI με δορυφορικά δεδομένα	117
6.3.2.Ανάλυση κατά συστάδες (Cluster Analysis)	119
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο: ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	121
7.1. Αποτελέσματα δείκτη ξηρασίας RDI με δορυφορικά δεδομένα	121
7.2. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων RDI με δορυφορικά δεδομένα	134
7.3. Αποτελέσματα ανάλυσης κυρίων συνιστωσών (PCA) του δείκτη ξηρασίας RDI	142
7.4. Αποτελέσματα της ανάλυσης κατά συστάδες (Cluster Analysis) του δείκτη RDI	149
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	155
8.1. Συμπεράσματα	155
8.2. Προτάσεις	160
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ Ελληνική Βιβλιογραφία	162
Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία	163
EXTENDED ABSTRACT	179
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	182

<i>Παράρτημα 1</i>	183
<i>Παράρτημα 2</i>	188
<i>Παράρτημα 3</i>	193
<i>Παράρτημα 4</i>	198
<i>Παράρτημα 5</i>	203
<i>Παράρτημα 6</i>	213
<i>Παράρτημα 7</i>	222
<i>Παράρτημα 8</i>	226

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

- Πίνακας 3.1:** Συμβατικοί δείκτες ξηρασίας με χρήση επίγειων δεδομένων
- Πίνακας 3.2:** Κλιματολογικές συνθήκες περιοχής σύμφωνα με τα Δεκατημόρια Βροχόπτωσης
- Πίνακας 3.3:** Κατηγορίες ξηρασίας σύμφωνα με το δείκτη SPI
- Πίνακας 3.4:** Κλάσεις της ξηρασίας σύμφωνα με το δείκτη EDI
- Πίνακας 3.5:** Κατηγοριοποίηση ξηρασίας σύμφωνα με το δείκτη Δριμύτητας Ξηρασίας Palmer (Palmer, 1965)
- Πίνακας 3.6:** Κατηγοριοποίηση κλιματικών συνθηκών βάσει του δείκτη CMI
- Πίνακας 3.7:** Κλιματικές συνθήκες σύμφωνα με το δείκτη ξηρασίας BMDI
- Πίνακας 3.8:** Κατηγορίες ξηρασίας βάσει του δείκτη SWSI
- Πίνακας 3.9:** Κλάσεις ξηρασίας σύμφωνα με το δείκτη RDI (Hayes, 2000)
- Πίνακας 3.10:** Κατάσταση καλλιέργειας βάσει των τιμών του δείκτη AHP
- Πίνακας 3.11:** Κατηγοριοποίηση ξηρασίας σύμφωνα με το δείκτη SWI
- Πίνακας 3.12:** Κατηγορίες ξηρασίας σύμφωνα με το δείκτη ξηρασίας RDI (Tsakiris and Vangelis, 2005)
- Πίνακας 3.13:** Κατηγορίες ξηρασίας σύμφωνα με το δείκτη ξηρασίας SDI
- Πίνακας 4.1:** Δείκτες ξηρασίας δορυφορικών δεδομένων
- Πίνακας 4.2:** Είδος εδαφοκάλυψης σύμφωνα με τις τιμές του δείκτη NDVI
- Πίνακας 4.3:** Κατηγοριοποίηση ξηρασίας σύμφωνα με το δείκτη VHI
- Πίνακας 4.4:** Κλιματικές συνθήκες σύμφωνα με το δείκτη CWSI
- Πίνακας 5.1:** Χρονοσειρά διαθέσιμων δορυφορικών δεδομένων
- Πίνακας 5.2:** Εποχικοί φυτικοί συντελεστές διαφόρων καλλιεργειών που χρησιμοποιούνται στην κλασική μέθοδο Blaney- Criddle (Παπαζαφειρίου, 1999)
- Πίνακας 5.3:** Μηνιαίοι φυτικοί συντελεστές αρδευομένων καλλιεργειών, μεθόδου εξαμυσοδιαπνοής Blaney- Criddle (Κωτούλας, 2001)
- Πίνακας 5.4:** Μηνιαία ποσοστά ωρών ηλιοφάνειας για το Βόρειο Γεωγραφικό Πλάτος μεθόδου Blaney- Criddle

- Πίνακας 5.5:** Μηνιαίος διορθωτικός συντελεστής μεθόδου Thornthwaite για επιλεγμένα Βόρεια Γεωγραφικά Πλάτη
- Πίνακας 6.1:** Τιμές μηνιαίων φυτικών συντελεστών Kc δυνητικής εξατμισοδιαπνοής Blaney- Criddle, σε κύριες κατηγορίες τύπους εδάφους
- Πίνακας 6.2:** Τιμές του συντελεστή L_d της μεθόδου Thornthwaite για κάθε περιοχή μελέτης της εφαρμογής
- Πίνακας 6.3:** Μηνιαία ποσοστά ηλιοφάνειας (p) της μεθόδου Blaney-Criddle για το γεωγραφικό πλάτος των τεσσάρων επιλεγμένων περιοχών
- Πίνακας 7.1:** Σύγκριση των χαρακτηριστικών της ξηρασίας σύμφωνα με τους δείκτες PDSI, RDI_{thorn} , RDI_{Bl-Cr} με χρήση επίγειων δεδομένων για το σύνολο της χρονοσειράς στην περιοχή του Ελληνικού Αττικής
- Πίνακας 7.2:** Διακύμανση κάθε συνιστώσας της ανάλυσης κυρίων συνιστωσών
- Πίνακας 7.3:** Πίνακας συνδιακύμανσης συνιστωσών ανάλυσης κυρίων συνιστωσών
- Πίνακας 7.4:** Βασικά στατιστικά στοιχεία ανάλυσης κατά συστάδες με τρεις κλάσεις
- Πίνακας 7.5:** Βασικά στατιστικά στοιχεία ανάλυσης κατά συστάδες με τέσσερις κλάσεις
- Πίνακας 7.6:** Βασικά στατιστικά στοιχεία ανάλυσης κατά συστάδες με πέντε κλάσεις

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

- Εικόνα 4.1:** Το φάσμα της Ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας
- Εικόνα 4.2:** Ποσοστό ανάκλασης (α) βασικών στοιχείων της γήινης επιφάνειας και οι φασματικές υπογραφές τους κατά μήκος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος
- Εικόνα 4.3:** Δορυφόρος METEOSAT
- Εικόνα 4.4:** Δορυφόρος NOAA
- Εικόνα 4.5:** Περιβαλλοντικός δορυφόρος Ikonos σε τροχιά
- Εικόνα 5.1:** Γεωγραφική θέση της Ελλάδας
- Εικόνα 5.2:** Μετεωρολογικοί σταθμοί των δεδομένων συμβατικών δεικτών ξηρασίας: Λάρισας (Larisa), Ελληνικό (Elliniko), Νάξος (Naxos) και Ηράκλειο (Heraklion)
- Εικόνα 5.3:** Αντιπροσωπευτική εικόνα από τα κανάλια 4 και 5 του δορυφόρου NOAA/ AVHRR, για το 2^ο δεκαήμερο Ιουλίου 1981
- Εικόνα 5.4:** Αντιπροσωπευτική δορυφορική εικόνα του δείκτη βλάστησης NDVI, του 1^{ου} δεκαημέρου Δεκεμβρίου 1981, από το δορυφόρο NOAA/AVHRR
- Εικόνα 5.5:** Κατηγορίες χρήσεων γης με βάση το Corine Hellas 2000
- Εικόνα 5.6:** Χάρτης βροχόπτωσης Απριλίου 2001 σε χωρική ανάλυση 50 x 50 km²
- Εικόνα 6.1:** Δορυφορική μη γεωμετρικά διορθωμένη εικόνα της Ελλάδας (Ιούλιος, 1981)
- Εικόνα 6.2:** Δορυφορική γεωμετρικά διορθωμένη εικόνα της Ελλάδας (Ιούλιος, 1981)
- Εικόνα 6.3:** Χάρτης μηνιαίας δορυφορικής θερμοκρασίας επιφανείας εδάφους (LST) σε °C της Ελλάδας για το μήνα Οκτώβριο του 1981
- Εικόνα 6.4:** Χάρτης Φυτικών συντελεστών (K_c) μηνός Απριλίου για όλο τον Ελλαδικό χώρο
- Εικόνα 6.5:** Χάρτης ποσοστών μηνιαίας ηλιοφάνειας (p) Απριλίου για όλο τον Ελλαδικό χώρο και ανά δύο μοίρες Γεωγραφικό Πλάτος
- Εικόνα 6.6:** Διάγραμμα παλινδρόμησης επίγειας θερμοκρασίας αέρα και δορυφορικής θερμοκρασίας επιφανείας εδάφους για όλη την Ελλάδα
- Εικόνα 6.7:** Χάρτης δυνητικής εξατμισοδιαπνοής Blaney-Criddle σε mm για τον Αυγούστο 1981

- Εικόνα 6.8:** Χάρτης μηνιαίας αθροιστικής βροχόπτωσης σε mm μηνός Απριλίου 2001
- Εικόνα 6.9:** Χάρτης RDI υδρολογικού έτους 1989-1990 για όλη την Ελλάδα
- Εικόνα 6.10:** Διάγραμμα δείκτη ξηρασίας PDSI περιοχής Ηρακλείου Κρήτης (Kanellou *et al.*, 2008b)
- Εικόνα 6.11:** Ετήσιος δείκτης ξηρασίας RDI με χρήση δυνητικής εξατμισοδιαπνοής Blaney – Criddle για την περιοχή της Λάρισας (Kanellou *et al.*, 2008b)
- Εικόνα 6.12:** Μηνιαίος δείκτης ξηρασίας RDI με χρήση δυνητικής εξατμισοδιαπνοής Thornthwaite για την περιοχή της Λάρισας (Kanellou *et al.*, 2008b)
- Εικόνα 7.1:** Χάρτης μηνιαίου δείκτη ξηρασίας RDI όλης της Ελλάδας για το μήνα Οκτώβριο του 1989
- Εικόνα 7.2:** Χάρτης μηνιαίου δείκτη ξηρασίας RDI όλης της Ελλάδας για το μήνα Νοέμβριο του 1989
- Εικόνα 7.3:** Χάρτης μηνιαίου δείκτη ξηρασίας RDI όλης της Ελλάδας για το μήνα Δεκέμβριο του 1989
- Εικόνα 7.4** Χάρτης μηνιαίου δείκτη ξηρασίας RDI όλης της Ελλάδας για το μήνα Ιανουάριο του 1990
- Εικόνα 7.5:** Χάρτης μηνιαίου δείκτη ξηρασίας RDI όλης της Ελλάδας για το μήνα Φεβρουάριο του 1990
- Εικόνα 7.6:** Χάρτης μηνιαίου δείκτη ξηρασίας RDI όλης της Ελλάδας για το μήνα Μάρτιο του 1990
- Εικόνα 7.7:** Χάρτης μηνιαίου δείκτη ξηρασίας RDI όλης της Ελλάδας για το μήνα Απρίλιο του 1990
- Εικόνα 7.8:** Χάρτης μηνιαίου δείκτη ξηρασίας RDI όλης της Ελλάδας για το μήνα Μάιο του 1990
- Εικόνα 7.9:** Χάρτης μηνιαίου δείκτη ξηρασίας RDI όλης της Ελλάδας για το μήνα Ιούνιο του 1990
- Εικόνα 7.10:** Χάρτης μηνιαίου δείκτη ξηρασίας RDI όλης της Ελλάδας για το μήνα Ιούλιο του 1990
- Εικόνα 7.11:** Χάρτης μηνιαίου δείκτη ξηρασίας RDI όλης της Ελλάδας για το μήνα Αύγουστο του 1990
- Εικόνα 7.12:** Χάρτης μηνιαίου δείκτη ξηρασίας RDI όλης της Ελλάδας για το μήνα Σεπτέμβριο του 1990

- Εικόνα 7.13:** Χάρτης του δείκτη ξηρασίας RDI όλης της Ελλάδας για το ά τρίμηνο του υδρολογικού έτους 2000 – 2001
- Εικόνα 7.14:** Χάρτης του δείκτη ξηρασίας RDI όλης της Ελλάδας για το ά εξάμηνο του υδρολογικού έτους 2000 – 2001
- Εικόνα 7.15:** Χάρτης του δείκτη ξηρασίας RDI όλης της Ελλάδας των εννέα πρώτων μηνών του υδρολογικού έτους 2000 - 2001
- Εικόνα 7.16:** Χάρτης του δείκτη ξηρασίας RDI όλης της Ελλάδας για το σύνολο του υδρολογικού έτους 2000 - 2001
- Εικόνα 7.17:** Διάγραμμα σύγκρισης δείκτη RDI με επίγεια και δορυφορικά δεδομένα υπολογισμένου σε ετήσια βάση (ένα υδρολογικό έτος) για την περιοχή της Λάρισας
- Εικόνα 7.18:** Διάγραμμα σύγκρισης δείκτη RDI με επίγεια και δορυφορικά δεδομένα υπολογισμένου σε ετήσια βάση (ένα υδρολογικό έτος) για την περιοχή του Ελληνικού Αττικής
- Εικόνα 7.19:** Διάγραμμα σύγκρισης δείκτη RDI με επίγεια και δορυφορικά δεδομένα υπολογισμένου σε ετήσια βάση (ένα υδρολογικό έτος) για την περιοχή της Νάξου
- Εικόνα 7.20:** Διάγραμμα σύγκρισης δείκτη RDI με επίγεια και δορυφορικά δεδομένα υπολογισμένου σε ετήσια βάση (ένα υδρολογικό έτος) για την περιοχή του Ηρακλείου Κρήτης
- Εικόνα 7.21:** Χάρτης της PC2 συνιστώσας της ανάλυσης κυρίων συνιστωσών
- Εικόνα 7.22:** Χάρτης της PC3 συνιστώσας της ανάλυσης κυρίων συνιστωσών
- Εικόνα 7.23:** Χάρτης της PC4 συνιστώσας της ανάλυσης κυρίων συνιστωσών
- Εικόνα 7.24:** Χάρτης της PC5 συνιστώσας της ανάλυσης κυρίων συνιστωσών
- Εικόνα 7.25:** Ανάλυση κατά συστάδες (Cluster Analysis) τριών κλάσεων
- Εικόνα 7.26:** Ανάλυση κατά συστάδες (Cluster Analysis) τεσσάρων κλάσεων
- Εικόνα 7.27:** Ανάλυση κατά συστάδες (Cluster Analysis) πέντε κλάσεων

ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

- Σχήμα 2.1:** Ο "υδρο-παράλογος" κύκλος της ξηρασίας (Τσακίρης, 1995)
- Σχήμα 2.2:** Βασικοί τύποι ξηρασίας (Wilhite, 2005)
- Σχήμα 4.1:** Σύνολα «τριγώνου» τιμών του λόγου $T_s/NDVI$ για ακραίες συνθήκες ξηρασίας (Dry edge) και υγρασίας (Wet edge) και είδους φυτοκάλυψης
- Σχήμα 4.2** Ο δείκτης TVDI για ένα δεδομένο pixel ($T_s/NDVI$) υπολογίζεται ως αναλογία μεταξύ των καμπύλων A και B (Lambin and Ehrlich, 1996)
- Σχήμα 6.1:** Σχηματική απεικόνιση μοντέλου υπολογισμού δυναμικής εξατμισοδιαπνοής Blaney-Criddle με τη χρήση του προγράμματος Erdas Imagine 9.1
- Σχήμα 6.2:** Μοντέλο εκτίμησης δείκτη ξηρασίας RDI προγράμματος επεξεργασίας δορυφορικών εικόνων Erdas Imagine 9.1

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τις τελευταίες δεκαετίες η μελέτη και η έρευνα των περιβαλλοντικών κινδύνων παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον λόγω της συχνής επανεμφάνισής τους και μάλιστα στις ακραίες τους μορφές. Στους κινδύνους αυτούς συμπεριλαμβάνεται και το φαινόμενο της ξηρασίας, η οποία προβληματίζει σημαντικά ένα μεγάλο ποσοστό του πλανήτη, καθώς το ενδιαφέρον για το σχεδιασμό αντιμετώπισής της έχει αυξηθεί σε όλα τα επίπεδα. Στις αρχές του 1980, μόνο 3 πολιτείες των ΗΠΑ (Νέα Υόρκη, Νότια Ντακότα, και Κολοράντο) είχαν σχέδια αντιμετώπισης της ξηρασίας. Σήμερα, οι περισσότερες πολιτείες έχουν ήδη αναπτύξει σχέδια ή βρίσκονται στη διαδικασία ανάπτυξης σχεδίου. Ένας από τους κυριότερους λόγους ανάπτυξης των σχεδίων αυτών είναι το τεράστιο κόστος (οικονομικό, κοινωνικό και περιβαλλοντικό), που συνδέεται με τις επιπτώσεις του φαινομένου αυτού.

Η ξηρασία είναι αναμφισβήτητα η σημαντικότερη όλων των φυσικών καταστροφών. Από το 1991 έως το 2000 και μόνο, η ξηρασία ήταν υπεύθυνη για πάνω από 280.000 θανάτους και έχει στοιχίσει δεκάδες εκατομμύρια δολάρια σε ζημιές. Οι περιοχές που έχουν κατά καιρούς πληγεί περισσότερο από το φαινόμενο αυτό είναι η Νότια Ευρώπη, η Βόρεια Αμερική, η Αφρική (νοτίως της Σαχάρας) καθώς και η Νοτιοανατολική και η Κεντρική Ασία. Οι επιπτώσεις του φαινομένου είναι πολυάριθμες και σημαντικές επηρεάζοντας ένα ευρύ φάσμα δραστηριοτήτων στις περιοχές στις οποίες εμφανίζεται. Για παράδειγμα, εξαιτίας της εμφάνισης ξηρασίας, έχουν παρατηρηθεί σοβαρές επιπτώσεις με σημαντική μείωση της βλάστησης κυρίως κατά την εαρινή περίοδο, περιφερειακά της Κασπίας Θάλασσας, δυτικά της Ινδίας, στο μεγαλύτερο μέρος της Μογγολίας, και σε γειτονικές περιοχές της Κίνας. Από το 1991, σχεδόν 15 εκατομμύρια άνθρωποι στην Αιθιοπία καθώς και το 60% της έκτασης της Κένυας επλήγησαν από δριμεία ξηρασία. Στο Αφγανιστάν και στο Πακιστάν η έλλειψη βροχοπτώσεων σε συνδυασμό με την αύξηση της θερμοκρασίας προκάλεσε σοβαρή μείωση της

βλάβστησης ακόμα και σε χειμερινή περίοδο. Στις ΗΠΑ, η εμφάνιση ξηρασίας είναι υπεύθυνη για τη μείωση της παραγωγής στις καλλιέργειες, την εξαφάνιση βοσκοτόπων καθώς και για την εξάπλωση εντόνων πυρκαγιών σε πολλές περιοχές (Πηγή: ISDR- International Strategy for Disaster Reduction, 2005).

Λαμβάνοντας υπόψη τα παγκόσμια στοιχεία για την ξηρασία και τις επιπτώσεις που αυτή επιφέρει, αντιλαμβάνεται κανείς τη σπουδαιότητα της μελέτης του φαινομένου και την εντατική έρευνα που διεξάγεται σε διεθνές επίπεδο. Ένα μεγάλο πλήθος κρατικών οργανισμών έχει αναπτυχθεί εδώ και αρκετές δεκαετίες, καθώς και ένα διακρατικό δίκτυο με επικεφαλής τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (World Meteorological Organization- WMO), με σκοπό τη διαρκή παρακολούθηση της ξηρασίας και την προσπάθεια διαχείρισης μιας ενδεχόμενης εμφάνισής της, με τη λήψη μέτρων για την αντιμετώπισή της. Σε περιοχικό ή και τοπικό επίπεδο, η ξηρασία είναι αρκετά συχνή στις Μεσογειακές χώρες και κατ' επέκταση στον Ελλαδικό χώρο. Για το λόγο αυτό, είναι πολύ συχνή η διοργάνωση διεθνών συνεδρίων ή ακόμα και ημερίδων (Τσακίρης, 2007; Rossi, 2007; Tsakiris, 2008a) για την ανταλλαγή πληροφοριών και την επίγνωση της υπάρχουσας κατάστασης, όσον αφορά στο φαινόμενο της ξηρασίας και την ορθολογική διαχείριση των υδάτινων πόρων, καθώς και η υλοποίηση στοχευμένων ερευνητικών προγραμμάτων (Tsakiris, 2008b) για την εκτίμηση του φαινομένου στην περιοχή.

Τα συμπεράσματα όλων των μελετών αυτών παρουσιάζουν μια ιδιαίτερος ανησυχητική διάσταση του θέματος, τα τελευταία κυρίως χρόνια. Η ξηρασία εμφανίζεται με πολύ μεγαλύτερη δριμύτητα και εμμένει για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα στις περιοχές που παρουσιάζεται (McVicar and Jupp 1998). Σημαντικό, επίσης, είναι το γεγονός της εμφάνισής της σε μεγαλύτερη συχνότητα, περιορίζοντας το χρόνο επανεμφάνισής της κάθε δύο ή τρία έτη. Η ολοκληρωμένη αντιμετώπιση της προϋποθέτει την όσο το δυνατόν πιο έγκαιρη εκτίμηση και παρακολούθησή της και σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερη έκταση.

Η παρούσα έρευνα συμβάλλει στην εκτίμηση του φαινομένου αυτού καθώς και στη διαχρονική παρακολούθησή του σε μια ευρύτερη περιοχή (π.χ. Ελλάδα),

επιδιώκοντας ταυτόχρονα και τον προσδιορισμό της χωρικής του διάστασης. Η προσέγγιση αυτή στηρίζεται σε δύο καινοτομίες. Πρώτον, πραγματοποιήθηκε η χωρική εκτίμηση της ξηρασίας, σε όλο τον Ελλαδικό χώρο, με τη χρήση του νέου Αναγνωριστικού δείκτη ξηρασίας (RDI) υπολογισμένο με δορυφορικά δεδομένα, και δεύτερον, έγινε η ομαδοποίηση των τιμών του δείκτη με τη βοήθεια των μεθόδων ανάλυσης πρώτων συνιστωσών και συσταδοποίησης (Principal Components Analysis- PCA, Cluster Analysis). Τα δορυφορικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν καλύπτουν ένα εκτεταμένο χρονικό διάστημα 20 ετών, από το 1981 έως και το 2001, παρέχοντας έτσι την ευκαιρία για την παρακολούθηση της διαχρονικής εξέλιξης της ξηρασίας στην περιοχή. Οι εικόνες ανακτήθηκαν μέσω του εξελεγμένου ραδιόμετρου AVHRR του δορυφόρου NOAA με χωρική διακριτική ικανότητα $8 \times 8 \text{ km}^2$, ικανοποιητική για τη συγκεκριμένη εφαρμογή.

Η εκτίμησης της ξηρασίας βασίζεται στο δείκτη RDI, ο οποίος έχει εφαρμοστεί πρόσφατα για την εκτίμηση της ξηρασίας σε περιοχές της Μεσογείου, χρησιμοποιώντας δεδομένα επίγειων μετεωρολογικών σταθμών και παρουσιάζει εξαιρετικά αποτελέσματα, συγκρινόμενος με ευρέως διαδεδομένους δείκτες ξηρασίας (Tsakiris and Vangelis, 2005; Tsakiris *et al.*, 2007; Kanellou *et al.*, 2008b; 2008c; 2008d). Ο δείκτης RDI επιλέχθηκε διότι παρουσιάζει μια ολοκληρωμένη εκτίμηση της ξηρασίας, χρησιμοποιώντας μετεωρολογικά και υδρολογικά στοιχεία, όπως βροχόπτωση και εξατμισοδιαπνοή, και επιπλέον είναι κατανοητός στην εφαρμογή του χωρίς υπερβολικές απαιτήσεις σε πρωτογενή δεδομένα. Στη συγκεκριμένη εργασία, η μεθοδολογία βάσει του δείκτη RDI αναπτύχθηκε σε περιβάλλον Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, καθώς και με πρόγραμμα επεξεργασίας δορυφορικών εικόνων, με σκοπό την περιοχική εκτίμηση της ξηρασίας σε όλη την Ελλάδα. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν αφορούν χάρτες του δείκτη RDI για όλη την περιοχή, οι οποίοι προσδιορίζουν επιτυχώς το φαινόμενο και παρέχουν πληροφορίες για την εξέλιξη αυτού χωρικά αλλά και χρονικά. Στο τελικό στάδιο, οι τιμές του δείκτη χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση κυρίων συνιστωσών (Principal Components Analysis- PCA) καθώς και στην ανάλυση κατά συστάδες (Cluster Analysis) με σκοπό την ομαδοποίηση και

ταξινόμηση του δείκτη ξηρασίας σε κλάσεις και τη γενίκευση του ως μέθοδος εκτίμησης του φαινομένου. Ο απώτερος στόχος της μεθόδου αυτής είναι η χρήση του συγκεκριμένου δείκτη για κάθε σειρά δεδομένων και σε οποιαδήποτε περιοχή μελέτης.

Η εκτίμηση και παρακολούθηση της ξηρασίας με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων είναι ευρέως διαδεδομένη τις τελευταίες δεκαετίες. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας και η χρήση της Τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών έχει διευρύνει το πεδίο έρευνας και εφαρμογών σε πολλούς επιστημονικούς τομείς και προσφέρει ένα μεγάλο αριθμό πληροφοριών, οι οποίες δεν είναι δυνατό να ανακτηθούν με τις συμβατικές μεθοδολογίες. Στην ξηρασία, η Τηλεπισκόπηση συμβάλλει σημαντικά στον προσδιορισμό ενός εξαιρετικά σημαντικού χαρακτηριστικού της, της έκτασης. Οι παραδοσιακές, συμβατικές μέθοδοι με τη χρήση επίγειων και μόνο δεδομένων δεν είναι σε θέση να καθορίσουν χωρικά το φαινόμενο, καθώς πραγματοποιούν υπολογισμούς μόνο σε σημειακό επίπεδο.

Οι περισσότερες μέθοδοι ξηρασίας με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων προσδιορίζουν κυρίως τη γεωργική ξηρασία, καθώς η ανακλώμενη ακτινοβολία που καταγράφεται από τους αισθητήρες των δορυφόρων είναι ενδεικτική της κατάστασης και της πυκνότητας της βλάστησης σε μια περιοχή. Έχουν αναπτυχθεί αρκετές μέθοδοι για τον προσδιορισμό του υδατικού ελλείμματος (στρες) στις καλλιέργειες, και κατά συνέπεια της γεωργικής ξηρασίας, με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων δεικτών βλάστησης (Domenikiotis *et al.*, 2004a; 2004b; 2005; Kogan, 2002, Tsiros *et al.*, 2004). Ωστόσο, ο Αναγνωριστικός δείκτης ξηρασίας RDI προσφέρει τη δυνατότητα εκτίμησης της υδρο-μετεωρολογικής ξηρασίας, καθώς χρησιμοποιεί μετεωρολογικά στοιχεία και παραμέτρους του υδρολογικού κύκλου. Για το λόγο αυτό θεωρείται αρκετά ολοκληρωμένος δείκτης, που σε συνδυασμό με την απλότητα της χρήσης του θεωρείται πολύ ικανοποιητικός για την εκτίμηση και την παρακολούθηση του φαινομένου αυτού.

Στο κεφάλαιο 2^ο παρουσιάζονται οι βασικοί ορισμοί και τύποι της ξηρασίας και αναφέρονται οι τρόποι εκτίμησής της. Επιπλέον, αναλύονται τα κυριότερα

χαρακτηριστικά που προσδιορίζουν και καθορίζουν το φαινόμενο, δίνοντας έμφαση στη βαρύτητα που αυτά έχουν κατά την εκδήλωση του.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφονται οι σπουδαιότεροι και ευρέως διαδεδομένοι δείκτες ξηρασίας, οι οποίοι βασίζονται σε επίγεια δεδομένα και συμβατικές μετρήσεις. Στις παραγράφους του κεφαλαίου αυτού περιγράφεται αναλυτικά η δομή του κάθε δείκτη, οι εξισώσεις που το διέπουν, η κλίμακα στην οποία κατηγοριοποιεί τη δριμύτητα της ξηρασίας καθώς και τα χαρακτηριστικά του φαινομένου που ο κάθε δείκτης υπολογίζει.

Το τέταρτο κεφάλαιο αναφέρεται στην εκτίμηση της ξηρασίας με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων και τους αντίστοιχους δείκτες. Επιπλέον, περιγράφεται η μεθοδολογία υπολογισμού των δεικτών αυτών, οι αλγόριθμοι με τους οποίους υπολογίζονται και οι συγκεκριμένες συχνότητες (bands) των δορυφόρων από τις οποίες ανακτούν τα απαιτούμενα δεδομένα. Στο ίδιο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι αρχές της Τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, οι τύποι των δορυφόρων και η χρήση του καθενός από αυτούς, καθώς και τα πλεονεκτήματα που οι τεχνολογίες αυτές προσφέρουν στην έρευνα.

Η περιοχή μελέτης και τα διαθέσιμα δεδομένα παρουσιάζονται στο πέμπτο κεφάλαιο. Αρχικά, περιγράφονται τα γεωγραφικά και κλιματικά χαρακτηριστικά της Ελλάδας που έχουν προκύψει από προγενέστερες έρευνες. Αν και για την παρούσα εφαρμογή επιλέχτηκε μια συγκεκριμένη περιοχή μελέτης, δηλαδή η Ελλάδα, εντούτοις, η μεθοδολογία αυτή δεν περιορίζεται στα πλαίσια μιας και μόνο περιοχής αλλά είναι δυνατόν να γενικευτεί σε οποιαδήποτε περιοχή ακόμα και διαφορετικών χαρακτηριστικών. Επίσης, περιγράφονται και συγκεκριμένες υποπεριοχές ή σταθμοί στις οποίες εφαρμόζεται μέρος της μεθοδολογίας. Στη συνέχεια του κεφαλαίου, αναλύονται τα επίγεια και δορυφορικά πρωτογενή δεδομένα και αναφέρονται οι πηγές, το είδος των μεταβλητών καθώς και το χρονικό διάστημα που τα δεδομένα αυτά καλύπτουν.

Στο έκτο κεφάλαιο περιγράφεται η μεθοδολογία της περιοχικής εκτίμησης της ξηρασίας με τη χρήση του δείκτη RDI και των δορυφορικών δεδομένων. Τα βήματα της μεθοδολογίας παρουσιάζονται αναλυτικά από την επεξεργασία των

αρχικών δεδομένων έως και την τελική παραγωγή των χαρτών του δείκτη. Μέρος της μεθοδολογίας αποτελεί και η μέθοδος πιστοποίησης των αποτελεσμάτων του δείκτη RDI που υπολογίστηκε με τα δορυφορικά δεδομένα, μέσω σύγκρισης με το δείκτη του Palmer PDSI και του RDI με τη χρήση επίγειων στοιχείων. Τέλος η μεθοδολογία ολοκληρώνεται με την παρουσίαση της μεθόδου ανάλυσης κυρίων συνιστωσών (PCA) καθώς και της μεθόδου συσταδοποίησης (Cluster analysis), οι οποίες χρησιμοποιούνται για την τελική περιοχική ομαδοποίηση και ταξινόμηση της ξηρασίας.

Στο 7^ο κεφάλαιο αναλύονται τα αποτελέσματα του δείκτη RDI που υπολογίστηκε με δορυφορικά δεδομένα και επισημαίνονται τα συμπεράσματα βάσει των χαρτών του δείκτη για ολόκληρη την Ελλάδα και για κάθε χρονική διάρκεια υπολογισμού του δείκτη από το σύνολο της χρονοσειράς. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της σύγκρισης των χαρακτηριστικών της ξηρασίας, τα οποία υπολογίστηκαν βάσει του δείκτη αυτού με εκείνα που προέκυψαν από τους δείκτες ξηρασίας με επίγεια δεδομένα, και εντοπίζονται οι ομοιότητες και οι διαφορές. Παραθέτονται και αναλύονται, ακόμα, τα αποτελέσματα της ανάλυσης κυρίων συνιστωσών και της ανάλυσης κατά συστάδες υπό μορφή χαρτών της Ελλάδας για τις επιλεγμένες συνιστώσες που προέκυψαν από την ανάλυση και θεωρήθηκαν κατάλληλες για την ερμηνεία της μεθοδολογίας.

Τα συμπεράσματα της παρούσας διατριβής παραθέτονται στο όγδοο και τελευταίο κεφάλαιο. Τα συμπεράσματα αφορούν στην ανάπτυξη και εφαρμογή της μεθοδολογίας υπολογισμού του δείκτη αλλά και στα αποτελέσματα που προέκυψαν από όλα τα στάδια αυτής. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με προτάσεις, οι οποίες προσφέρουν τη δυνατότητα περαιτέρω βελτίωσης της υπάρχουσας μεθοδολογίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

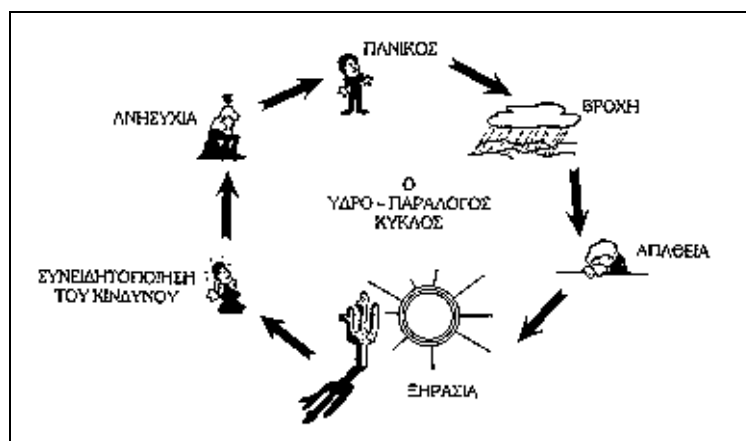
Η ΞΗΡΑΣΙΑ ΚΑΙ ΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ

2.1. Γενικά

Η ξηρασία είναι ένα ακραίο περιβαλλοντικό φαινόμενο, το οποίο παρουσιάζει διαφορετικές μορφές και χαρακτηριστικά ανάλογα με το κλίμα της περιοχής στην οποία εμφανίζεται και την παράμετρο με την οποία εκφράζεται ή επηρεάζει. Θεωρείται ως η πιο δαπανηρή φυσική καταστροφή σε παγκόσμιο επίπεδο, και συνολικά επηρεάζει περισσότερους ανθρώπους από οποιαδήποτε άλλη μορφή φυσικών καταστροφών (Keyantash and Dracup, 2002). Η ξηρασία είναι το πιο δυσνόητο φαινόμενο, διότι είναι δυνατόν να εμφανιστεί σε οποιαδήποτε περιοχή και με οποιαδήποτε διάρκεια ή δριμύτητα, χωρίς την εμφάνιση ιδιαιτέρων ενδείξεων προτού εκδηλωθεί. Ένα επεισόδιο ξηρασίας εξαρτάται από πολλούς και διαφορετικούς παράγοντες και εκδηλώνεται συνήθως με αργό ρυθμό, για αυτό και παρουσιάζει σημαντικές διαφορές σε σχέση με άλλα ακραία γεγονότα, όπως πλημμύρες, καταιγίδες κλπ. Η έναρξη του φαινομένου της ξηρασίας είναι δύσκολο να προσδιοριστεί, καθώς εμφανίζει χρονική υστέρηση από την περίοδο έλλειψης βροχόπτωσης, ενώ οι αρνητικές του συνέπειες είναι δυνατόν να επιμένουν για μεγάλο χρονικό διάστημα μετά την επανεμφάνιση βροχής.

Οι επιπτώσεις της ξηρασίας είναι ποικίλες και σημαντικές επηρεάζοντας αρνητικά τους φυσικούς οικότοπους και τα οικοσυστήματα, καθώς και πολλούς οικονομικούς και κοινωνικούς τομείς, από τη γεωργία, την ενέργεια, τις μεταφορές, τον τουρισμό, μέχρι την παροχή ύδατος, και τη σύγχρονη βιομηχανία (Heim, 2002). Η εμφάνιση μιας παρατεταμένης ξηρασίας δημιουργεί ιδιαιτέρως σημαντικά προβλήματα, επιβαρύνοντας σε μεγάλο βαθμό τα διαθέσιμα υδατικά αποθέματα της περιοχής στην οποία εμφανίζεται, στο περιβάλλον και σε όλους τους τομείς της κοινωνίας και της οικονομίας γενικότερα (Τσακίρης, 1995). Για το λόγο αυτό, οι κυβερνήσεις είναι σε επιφυλακή και διαρκή ανάπτυξη μηχανισμών πρόβλεψης και

αντιμετώπισής της, αναπτύσσοντας διαχειριστικά σχέδια του κινδύνου αυτού. Επιπλέον, ανακοινώνουν ποικίλα μέτρα για τον περιορισμό της κατανάλωσης των υδάτων, αλλά και εξαγγέλλουν νέα έργα για την ορθολογική αξιοποίηση και διαχείριση των υδατικών πόρων. Δυστυχώς όμως, ακόμα και η παροδική εμφάνιση ορισμένων βροχοπτώσεων είναι ικανή να προκαλέσει εφησυχασμό καθώς και μια αναβλητικότητα εκτέλεσης των έργων αυτών. Το γεγονός αυτό εμπίπτει στη γενικότερη ανθρώπινη ψυχολογία και παρουσιάζεται σχεδόν πάντα κατά την εμφάνιση περιβαλλοντικών κινδύνων (π.χ. σεισμών, πλημμυρών, πυρκαγιών). Στην περίπτωση της ξηρασίας, η αντιφατική αυτή συμπεριφορά, αναφέρεται ως ο «υδρο-παράλογος» κύκλος της ξηρασίας και παρουσιάζεται χαρακτηριστικά στο Σχήμα 2.1.



Σχήμα 2.1: Ο "υδρο-παράλογος" κύκλος της ξηρασίας (Τσακίρης, 1995)

2.2 Ορισμοί της ξηρασίας

Σε παγκόσμιο επίπεδο, δεν υπάρχει ένας γενικά αποδεκτός ορισμός της ξηρασίας, λόγω αυτής της πολύπλευρης διάστασής της και της ποικιλομορφίας στον τρόπο εμφάνισής της καθώς και στη γεωγραφική και χρονική κατανομή της (Heim, 2002.) Η ξηρασία ορίζεται διαφορετικά από περιοχή σε περιοχή ανάλογα με τα αίτια εμφάνισής της και, επιπλέον, σύμφωνα με το στόχο του ερευνητή και του επιστημονικού πεδίου που αυτός μελέτα. Εντούτοις, έχουν επικρατήσει τρεις

βασικές κατηγορίες της, τα όρια των οποίων δεν είναι μεταξύ τους απόλυτα. Οι διαφορετικές μορφές της δεν παρουσιάζονται πάντα ευδιάκριτα, ενώ μπορεί να συνδυάζονται ή να διαδέχονται η μία την άλλη. Ως εκ τούτου η ξηρασία διακρίνεται σε Μετεωρολογική ή Κλιματολογική, Υδρολογική και Γεωργική, με μια επιπλέον παράμετρο, αυτή των Κοινωνικο-οικονομικών επιπτώσεων της (Σχήμα 2.2) (WMO, 1975; Alley, 1984, 1985; Wilhite and Glantz, 1985; White, 1990; Wilhite, 2005). Οι τρεις βασικοί τύποι ξηρασίας θα μπορούσαν να συμπεριληφθούν στον όρο Περιβαλλοντική ξηρασία, ενώ η τελευταία παράμετρος αναφέρεται κυρίως στη διαθεσιμότητα των υδάτινων πόρων (Loukas *et al.*, 2002b). Οι ορισμοί των μορφών ξηρασίας παρουσιάζονται αναλυτικά παρακάτω.



Σχήμα 2.2: Βασικοί τύποι ξηρασίας (Wilhite, 2005)

i. Η **Μετεωρολογική ή Κλιματολογική** ξηρασία θεωρείται μία παρατεταμένη, μη κανονική έλλειψη υγρασίας, χαμηλότερη δηλαδή από το μέσο όρο ενός μεγάλου αριθμού παρατηρήσεων (Palmer, 1965; Dalezios *et al.*, 1991). Εκφράζεται συνήθως δια μέσου της σύγκρισης των βροχοπτώσεων σε μια περιοχή

με τις κανονικές ή μέσες τιμές βροχόπτωσης, οι οποίες προκύπτουν από τα κλιματικά δεδομένα της συγκεκριμένης περιοχής. Ο Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός (World Meteorological Organization- WMO) προσδιορίζει ως όριο για την εμφάνιση της μετεωρολογικής ξηρασίας το έλλειμμα του 40% ή μεγαλύτερου ποσοστού βροχόπτωσης, για διάρκεια μεγαλύτερη των δύο διαδοχικών ετών και για χωρική εξάπλωση περισσότερη του 50% της συνολικής έκτασης της περιοχής στην οποία εμφανίζεται (WMO, 1986). Εντούτοις, η κατανομή της βροχόπτωσης παρουσιάζει χωρική μεταβλητότητα καθώς και εποχική διακύμανση κατά τη διάρκεια ενός έτους. Επομένως, ο ορισμός της μετεωρολογικής ξηρασίας εμφανίζει και αυτός τοπικό ή περιοχικό χαρακτήρα καθόσον η ατμοσφαιρική κυκλοφορία και οι κλιματικές συνθήκες, που επηρεάζουν τη βροχόπτωση, είναι και αυτές περιοχικής κλίμακας.

ii. Η **Υδρολογική** ξηρασία χαρακτηρίζεται από μία περίοδο υδρολογικού ελλείμματος, κατά την οποία η παροχή νερού είναι μικρότερη από την ελάχιστη που απαιτείται για την ικανοποίηση των αναγκών μιας περιοχής. Επηρεάζεται γενικά από ένα συνδυασμό παραγόντων, όπως η ροή των ρευμάτων, οι υδατοσυλλογές και τα υπόγεια ύδατα. Εκφράζεται ως μια περίοδος χαμηλού νερού, σε σχέση με τις κανονικές τιμές της περιοχής, η οποία συμπίπτει με χαμηλά αποθέματα σε επιφανειακά και υπόγεια ύδατα. Η υδρολογική ξηρασία παρουσιάζει συνήθως χρονική υστέρηση στην εμφάνισή της σε σχέση με τη μετεωρολογική, διότι εξαρτάται σημαντικά και από την εδαφική υγρασία. Ένα έτος μπορεί να χαρακτηριστεί ως υδρολογικά ξηρό έτος, όταν η συνολική απορροή σε μια λεκάνη απορροής είναι κάτω ενός ορίου (Whipple, 1996). Το όριο αυτό είναι διαφορετικό για κάθε λεκάνη απορροής και για κάθε υδατικό μέσο, καθώς επηρεάζεται από την παροχή νερού, η οποία επικρατεί στην περιοχή, αλλά και από τη ζήτηση ύδατος για την κάλυψη των αναγκών ανάλογα με την εποχή.

iii. Η **Γεωργική** ξηρασία προσδιορίζεται από τη μη κανονική ανάπτυξη των καλλιεργειών ως συνέπεια της περιορισμένης διαθεσιμότητας νερού. Συμβαίνει στην περίπτωση που η διαθέσιμη ποσότητα νερού στο έδαφος μέσω της διήθησης, πέφτει κάτω από ένα κρίσιμο όριο, το σημείο μααρασμού (Wilting point),

που απαιτείται για τις λειτουργίες και κατά συνέπεια την ανάπτυξη των φυτών. Επιπλέον, συνδέει τη μετεωρολογική και την υδρολογική ξηρασία με τις επιπτώσεις στη γεωργία, καθώς δίνει έμφαση στην έλλειψη υετού, στη διαφορά μεταξύ πραγματικής και δυνητικής εξατμισοδιαπνοής στις καλλιέργειες, στο έλλειμμα εδαφικής υγρασίας κ.α. Ο τύπος της ξηρασίας αυτής οδηγεί σε χαμηλές αποδόσεις στη Γεωργία και επηρεάζει σημαντικά τον κλάδο ειδικότερα εάν παρουσιαστεί σε περιόδους κρίσιμες για την παραγωγή (καλλιεργητική περίοδος), κατά τις οποίες οι ανάγκες σε νερό των φυτών είναι αυξημένες. Η εμφάνιση γεωργικής ξηρασίας κατά τη χειμερινή περίοδο ίσως επιφέρει ελάχιστες ή ακόμη και μηδενικές απώλειες, αλλά αν το φαινόμενο επιμένει και κατά την περίοδο σποράς και ανάπτυξης της καλλιέργειας οι επιπτώσεις μπορεί να είναι δραματικές. Η χαμηλή εδαφική υγρασία, αποτέλεσμα της ξηρασίας της χειμερινής περιόδου, σε συνδυασμό με την απουσία βροχόπτωσης οδηγούν σε εξαιρετικά αρνητικά αποτελέσματα όσον αφορά στην ανάπτυξη των φυτών.

iv. Οι **Κοινωνικο-οικονομικές** επιπτώσεις της ξηρασίας αναφέρονται σε ελλείμματα υδατικών πόρων που συνήθως οφείλονται στην υπερκατανάλωση αυτών και την ανεπαρκή υποδομή των κοινωνιών. Η αύξηση των αναγκών των αγαθών, σε ορισμένες περιπτώσεις, είναι ιδιαίτερα έντονη, η οποία σε συνδυασμό με τη μείωση των αποθεμάτων, προκαλεί σοβαρές επιπτώσεις στην κοινωνική και οικονομική δραστηριότητα μιας περιοχής. Οι επιπτώσεις αυτές είναι συνήθως δύσκολο να εκτιμηθούν άμεσα, καθώς δεν είναι συγκεντρωμένες σε ένα τμήμα της περιοχής αλλά επηρεάζουν μια ευρύτερη περιφέρεια. Η κοινωνικο-οικονομική διάσταση της ξηρασίας είναι δυνατόν να ποσοτικοποιηθεί με τη βοήθεια κοινωνικών και οικονομικών δεικτών ανάπτυξης (McVicar and Jupp, 1998).

Η σχέση μεταξύ των διαφόρων μορφών της ξηρασίας είναι πολύπλοκη. Για παράδειγμα, η μείωση της ροής ενός ποταμού, η οποία είναι παράγοντας της υδρολογικής ξηρασίας, μπορεί να επηρεάσει άμεσα και τις άλλες κατηγορίες της ξηρασίας, καθώς συνδέεται με πολλές άλλες δραστηριότητες παροχής ύδατος, όπως την ύδρευση αστικών περιοχών, την άρδευση καλλιεργειών, την υδροηλεκτρική παραγωγή, την ψυχαγωγία, καθώς και να επιφέρει μεταβολές στο

μικροκλίμα της περιοχής (Heim, 2002). Επίσης, μια μειωμένη ποσότητα βροχόπτωσης (μεταβλητή της μετεωρολογικής ξηρασίας) θα οδηγούσε σε μειωμένη παροχή ύδατος στις υδατοσυλλογές με συνέπεια την εμφάνιση υδρολογικής, και κατά συνέπεια, γεωργικής ξηρασίας, οδηγώντας σε κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις.

Η σειρά των επιπτώσεων που σχετίζεται με την εμφάνιση μετεωρολογικής, υδρολογικής και γεωργικής ξηρασίας είναι σε θέση να επισημάνει και τις περαιτέρω διαφορές τους. Όταν εμφανίζεται ένα επεισόδιο ξηρασίας, ο γεωργικός τομέας επηρεάζεται συνήθως κατά προτεραιότητα, εξαιτίας της άμεσης εξάρτησης του από το έδαφος και ειδικότερα από τη διαθεσιμότητα του εδαφικού ύδατος. Το εδαφικό νερό εξαντλείται με γρήγορους ρυθμούς σε περιόδους παρατεταμένης έλλειψης βροχόπτωσης με δυσμενείς επιπτώσεις στις γεωργικές δραστηριότητες. Τα επιφανειακά ύδατα (ταμιευτήρες, ποτάμια, λίμνες) καθώς και τα υπόγεια νερά επηρεάζονται σε μεταγενέστερη φάση. Μια μικρής διάρκειας ξηρασίας, με διάρκεια τριών έως έξι μηνών, μπορεί να εμφανίσει περιορισμένο αντίκτυπο στους τομείς αυτούς, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του υδρολογικού συστήματος και τις απαιτήσεις στη χρήση του νερού. Με την επιστροφή της βροχόπτωσης σε ομαλά επίπεδα, τα συμπτώματα της ξηρασίας μειώνονται, τα αποθέματα του νερού αυξάνονται πρώτα στο έδαφος και στη συνέχεια στα επιφανειακά και στα υπόγεια ύδατα. Η διάρκεια της περιόδου ανάκτησης είναι συνάρτηση της δριμύτητας της ξηρασίας, της διάρκειάς της καθώς επίσης και του ύψους βροχόπτωσης που έλαβε χώρα κατά τη λήξη του επεισοδίου.

Αν και το κλίμα μιας περιοχής καθώς και τα ακραία καιρικά φαινόμενα είναι ο βασικός παράγοντας για την εμφάνιση της ξηρασίας, οι αλλαγές στο τοπίο και στις χρήσεις γης, η κατασκευή φραγμάτων και γενικά οι ανθρώπινες δραστηριότητες και επεμβάσεις έχουν σημαντικές επιπτώσεις στο φαινόμενο. Τέτοιες αλλαγές δεν έχουν μόνο επίδραση στο άμεσο περιβάλλον αλλά και στην ευρύτερη περιοχή. Αλλαγές στις χρήσεις γης και του νερού μεταβάλλουν τα υδρολογικά χαρακτηριστικά των υδάτινων όγκων, όπως η επιφανειακή απορροή ή

η υπόγεια ροή, τα οποία με τη σειρά τους και κάτω από συγκεκριμένες κλιματικές συνθήκες θα μπορούσαν να προκαλέσουν ξηρασία στην περιοχή. Η υπερβόσκηση εδαφών, η ανεξέλεγκτη υλοτομία, οι πυρκαγιές, η διάβρωση, η ρύπανση καθώς και η μεταβολή του κλίματος που αυτή επιφέρει, είναι μερικές ακόμη από τις ανθρωπογενείς αιτίες εκδήλωσης επεισοδίων ξηρασίας, διότι συντελούν στην αύξηση της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας και επιπρόσθετα στη μείωση των υδατικών αποθεμάτων στους υδάτινους αποδέκτες.

2.3. Χαρακτηριστικά της ξηρασίας

Το φαινόμενο της ξηρασίας διέπεται από βασικά χαρακτηριστικά, τα οποία το καθορίζουν και διαφοροποιούν το ένα επεισόδιο από το άλλο. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά του φαινομένου είναι η έναρξη, η λήξη, η δριμύτητα ή ένταση, η συχνότητα, η διάρκεια, η χρονική και χωρική εξάπλωσή του, καθώς και η ανάπτυξη και εξέλιξη του (Dalezios *et al.*, 2000; Piechota and Dracup, 1996).

Η **έναρξη** της ξηρασίας καθορίζεται από την εμφάνιση ενός επεισοδίου ξηρασίας. Συνήθως, η έναρξη ενός επεισοδίου εκτιμάται με τη βοήθεια κάποιου δείκτη και προσδιορίζεται από την κλίμακα αυτού. Η έναρξη του φαινομένου έχει νόημα στην περίπτωση που η ξηρασία επιμένει για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο του ενός μηνός.

Η **λήξη** της ξηρασίας αναφέρεται στη λήξη των επεισοδίων του φαινομένου με την εμφάνιση βροχοπτώσεων. Η ξηρασία θεωρείται ότι έχει λήξει στην περίπτωση που οι βροχοπτώσεις επιμένουν για ορισμένο διάστημα και οι τιμές του δείκτη υπολογισμού της είναι εκτός της κλίμακας ξηρότητας.

Η **δριμύτητα ή ένταση** είναι η διαβάθμιση της ξηρασίας από τη μέτρια ένταση της έως και την ακραία της μορφή. Μεταφράζεται μέσω του ελλείμματος της βροχόπτωσης και των επιπτώσεων που αυτό επιφέρει. Η δριμύτητα συνήθως προσδιορίζεται με τον υπολογισμό κλιματολογικών δεικτών, οι οποίοι εξετάζονται σύμφωνα με τις κανονικές τιμές βροχόπτωσης σε μια περιοχή.

Διάρκεια ενός επεισοδίου ξηρασίας ονομάζεται το χρονικό διάστημα εμφάνισης της ξηρασίας. Συνήθως, υπολογίζεται με τον αριθμός των μηνών που αυτή παρουσιάζεται. Μια ξηρασία μπορεί να διαρκέσει από ένα μικρό χρονικό διάστημα ως και αρκετά έτη. Βάσει της διάρκειας της η ξηρασία μπορεί να χαρακτηριστεί ως μόνιμη, αν το φαινόμενο παρουσιάζει εμμονή ορισμένων ετών σε μια συγκεκριμένη περιοχή (π.χ. έρημος), ως εποχική, αν εξαρτάται από τις ιδιαίτερες κλιματολογικές συνθήκες μιας περιοχής σε μια συγκεκριμένη εποχή του έτους, και τυχαία στην περίπτωση που εμφανίζεται χωρίς συγκεκριμένο πρότυπο και κάτω από αδιευκρίνιστα αίτια.

Ως **ανάπτυξη ή εξέλιξη** μιας ξηρασίας ορίζεται η κλιμάκωση που παρουσιάζει το φαινόμενο κατά τη διάρκεια του, δηλαδή το διάστημα από την έναρξη έως και τη λήξη αυτής. Περιλαμβάνει, τις περισσότερες φορές, όλες τις κατηγορίες ξηρασίας όσον αφορά τη δριμύτητα της. Αρχικά, εκδηλώνεται με τη μέτρια κατάσταση του φαινομένου, κλιμακώνεται στη συνέχεια στο ζενίθ της έντασης του επεισοδίου, και καταλήγει με τη μείωση της δριμύτητας της ξηρασίας έως ότου το φαινόμενο παρέλθει. Ο ρυθμός εξέλιξης μιας ξηρασίας καθορίζεται και από τη διάρκεια του φαινομένου αυτού.

Με τον όρο **συχνότητα** της ξηρασίας ορίζεται η περίοδος επανεμφάνισης του φαινομένου σε μια περιοχή. Η περίοδος αυτή ποικίλει και εξαρτάται από τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής, τη γεωγραφική της θέση και κατανομή καθώς και από εξωγενείς παράγοντες (π.χ. ανθρώπινη δραστηριότητα).

Η **χωρική κατανομή** της ξηρασίας αναφέρεται στην έκταση που αυτή επηρεάζει. Μια μικρή σχετικά περιοχή (π.χ. λεκάνη απορροής) είναι πιθανόν να εμφανίζει ξηρασία πολύ συχνά λόγω των ιδιαίτερων μετεωρολογικών συνθηκών που απαντώνται εκεί. Η ξηρασία όμως πολλές φορές επηρεάζει πολύ μεγαλύτερες περιοχές ακόμα και σε επίπεδο κρατών. Η γνώση, επομένως, της χωρικής κατανομή της ξηρασίας έχει ιδιαίτερη σημασία λόγω των σημαντικών επιπτώσεων στις κοινωνικοοικονομικές δραστηριότητες της ευρύτερης περιοχής. Η ξηρασία, ανάλογα με τη χωρική της εξάπλωση, διακρίνεται σε σημειακή και επιφανειακή. Η

σημειακή μορφή μιας ξηρασίας θεωρείται η εμφάνιση του φαινομένου σε ένα και μόνο συγκεκριμένο σημείο (πχ. περιορισμένο τμήμα μιας λεκάνης απορροής) ενώ η επιφανειακή ξηρασία αναφέρεται σε μεγαλύτερη έκταση (πχ. ολόκληρη τη λεκάνη απορροής ή ακόμα και σε ευρύτερη περιοχή).

Χρονική κατανομή της ξηρασίας ονομάζεται η διαχρονική εξέλιξη αυτής σε μια περιοχή, κατά τη διάρκεια μιας εκτεταμένης χρονικής περιόδου. Η εμφάνιση του φαινομένου σε μια περιοχή είναι δυνατό να παρουσιάζει εμμονή μια συγκεκριμένη εποχή ή ευρύτερο χρονικό διάστημα κάθε έτους. Μια τέτοια πιθανή κατάσταση χαρακτηρίζει την περιοχή που απαντάται ως κατά βάση ξηρή, και δημιουργεί την αναμονή εμφάνισης ξηρασίας τη συγκεκριμένη εποχή ή χρονική περίοδο. Έγκυρος προσδιορισμός της χρονικής κατανομής μιας ξηρασίας προϋποθέτει μεγάλη σειρά μετρήσεων ώστε να αποκλειστεί η πιθανότητα της τυχαιότητας.

Η **παρακολούθηση** και περισσότερο η **πρόγνωση** της ξηρασίας είναι μια εξαιρετικά δύσκολη διαδικασία. Οι διαδικασίες αυτές όμως θεωρούνται ιδιαίτερα σημαντικές και αναγκαίες, διότι παρέχουν τη δυνατότητα αντιμετώπισης του φαινομένου και της άμβλυνσης των επιπτώσεων του. Πρωταρχικό ρόλο διαδραματίζει η κατανόηση του φαινομένου αυτού καθ' αυτού, καθώς και των αιτιών που το προκαλούν, αλλά και της σύνδεσης του με τη κλιματική μεταβλητότητα. Γενικά, υπάρχει μια πληθώρα μεθοδολογιών εκτίμησης και παρακολούθησης της ξηρασίας στη διεθνή βιβλιογραφία, οι οποίες διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες, τις Μετεωρολογικές ή Συνοπτικές μεθόδους και τις Στατιστικές ή Στοχαστικές (Τσακίρης, 1995; Δαλέζιος, 1999). Οι μέθοδοι αυτές περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, την ανάλυση συχνοτήτων των ελαχίστων τιμών των μεταβλητών για μεγάλο χρονικό διάστημα, που επηρεάζουν το φαινόμενο (βροχόπτωση, απορροή κλπ.), τη χρήση μοντέλων υδατικού ισοζυγίου για την εκτίμηση των υδατικών αποθεμάτων, και τον υπολογισμό δεικτών ξηρασίας, οι οποίοι προσφέρουν ποσοτική και ποιοτική εκτίμηση βασικών χαρακτηριστικών του φαινομένου, όπως την έναρξη και τη λήξη, τη διάρκεια, τη δριμύτητα, τη

συχνότητα κ.α. Οι δείκτες αυτοί, τις περισσότερες φορές, συσχετίζονται και εξαρτώνται από συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης.

Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός δεικτών ξηρασίας που χρησιμοποιούνται σε παγκόσμιο επίπεδο για την εκτίμηση, παρακολούθηση και πρόβλεψη του φαινομένου. Από τους πλέον χρησιμοποιούμενους δείκτες είναι ο Δείκτης Δριμύτητας Ξηρασίας Palmer (Palmer Drought Severity Index- PDSI) και ο Κανονικοποιημένος Δείκτης Βροχόπτωσης (Standardized Precipitation Index- SPI). Τα τελευταία χρόνια όμως έχει αναπτυχθεί ένα πλήθος νέων δεικτών εκτίμησης ξηρασίας, οι οποίοι χρησιμοποιούν είτε επίγειες μετρήσεις είτε δορυφορικά δεδομένα (Αναγνωριστικός Δείκτης Ξηρασίας- Reconnaissance Drought Index, Δείκτης Υγιούς Βλάστησης- Vegetation Health Index, κ.α.).

Δεν υπάρχει μια ενιαία τεχνική για την ποσοτική εκτίμηση της ξηρασίας. Ακόμη και μέσα σε μια μεμονωμένη κατηγορία ξηρασίας, η υπεροχή ενός συγκεκριμένου δείκτη δεν είναι απόλυτη (Keyantash και Dracup, 2002). Για την αξιολόγηση της συνολικής χρηστικότητας των δεικτών, αναπτύχθηκε ένα σύνολο έξι σταθμισμένων κριτηρίων τα οποία αποδίδουν τις τιμές από 1 τη χαμηλότερη ως 5 5 την υψηλότερη, με σκοπό να βοηθήσο στην απόφαση επιλογής του κατάλληλου δείκτη. Τα κριτήρια αυτά βασίζονται στις επιθυμητές ιδιότητες ενός δείκτη που θα πρέπει ιδανικά να διαθέτει: ανθεκτικότητα, πρακτικότητα, σαφήνεια, εξειδίκευση, γενικό και φυσικό χαρακτήρα (Keyantash and Dracup, 2002; Redmond, 1991) Ένας δείκτης δηλαδή θα πρέπει να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα ευρύ φάσμα φυσικών συνθηκών, να είναι σχετικά εύκολος στη χρήση του, να μπορεί να ερμηνευτεί με σαφήνεια, να εξηγεί ακριβώς το συγκεκριμένο φαινόμενο για το οποίο χρησιμοποιείται, να έχει τη δυνατότητα επέκτασης σε μεγαλύτερη χρονοσειρά δεδομένων καθώς και σε άλλη περιοχή ώστε να μην περιορίζεται από τα κλιματικά χαρακτηριστικά και να είναι συγκρίσιμος με άλλους δείκτες της ίδιας ή παρεμφερούς κατηγορίας. Κάθε ερευνητής διαχειρίζεται και χρησιμοποιεί διαφορετικά τα κριτήρια αυτά ανάλογα με την κατηγορία της ξηρασίας που μελετά, την περιοχή μελέτης, καθώς και την ακρίβεια των αποτελεσμάτων που θεωρεί

ικανοποιητική για τη συγκεκριμένη έρευνα. Σε αυτή την απόφαση, το ζητούμενο αποτέλεσμα, η εμπειρία και η προσωπική κρίση παίζουν σημαντικό ρόλο.

Οι μέχρι τώρα παραδοσιακές μέθοδοι εκτίμησης της ξηρασίας και της παρακολούθησής της, βασίζονται σε δεδομένα κυρίως των τιμών βροχόπτωσης και θερμοκρασίας, αλλά και των υπολοίπων μεταβλητών του υδατικού ισοζυγίου. Οι περισσότερες μέθοδοι αυτές αν και είναι επιτυχώς δοκιμασμένες και έχουν προσφέρει σημαντικά αποτελέσματα στην προσπάθεια αντιμετώπισης της ξηρασίας, εντούτοις παρουσιάζουν και αρκετά μειονεκτήματα. Τις περισσότερες φορές τα δεδομένα αυτά είναι ελλιπή και με περιορισμένο μέγεθος. Επιπλέον, εφαρμόζονται μόνο σε συγκεκριμένες περιοχές, όπου δηλαδή υπάρχουν μετεωρολογικοί σταθμοί. Ακόμη, είναι πιθανόν να εμφανίζουν συχνά ανακρίβειες, λόγω βλάβης ή κακής συντήρησης των σταθμών αυτών, και το σημαντικότερο, είναι δύσκολο να βρεθούν σε σχεδόν πραγματικό χρόνο (Thenkabail *et al.*, 2004).

Στον αντίποδα βρίσκονται τα δορυφορικά δεδομένα τα οποία είναι συνεχώς διαθέσιμα, καλύπτουν μεγαλύτερη εδαφική έκταση, καθιστώντας δυνατή τη χωρική εκτίμηση του φαινομένου, και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό των βασικών χαρακτηριστικών του (Thiruvengadachari and Gopalkrishna, 1993). Με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων και την εξέλιξη των μεθόδων της Τηλεπισκόπησης είναι δυνατή, ακόμη και η πρόβλεψη των επιπτώσεων ενός συμβάντος ξηρασίας στην απόδοση των καλλιεργειών 5 έως 13 εβδομάδες πριν από την συγκομιδή τους (Ungan i and Kogan, 1998), με όλο και περισσότερο αυξανόμενη αξιοπιστία. Δεδομένα θερμοκρασίας, βροχόπτωσης αλλά και της κατάστασης της βλάστησης σε μια περιοχή είναι διαθέσιμα στο διαδίκτυο από Αμερικανικές και Ευρωπαϊκές Υπηρεσίες, προερχόμενα από μια πληθώρα δορυφόρων και σε διαφορετικές κλίμακες χωρικής ανάλυσης. Η πιο διαδεδομένη πηγή δορυφορικών δεδομένων θεωρείται το ραδιόμετρο (αισθητήρας) των δορυφόρων της σειράς NOAA (NOAA/ AVHRR- Advanced Very High Resolution Radiometer) (Kogan, 2000).

Μια ολοκληρωμένη μεθοδολογία εκτίμησης της ξηρασίας περιλαμβάνει το συνδυασμό δορυφορικών και επίγειων δεδομένων, διότι προσφέρει τη δυνατότητα της εμπειριστατωμένης αξιολόγησης και πιστοποίησης των μεθόδων, καθώς και τον προσδιορισμό περισσότερων χαρακτηριστικών του φαινομένου και της αλληλοσυσχέτισης αυτών (δριμύτητα, διάρκεια, συχνότητα, χωρική και χρονική εξάπλωση). Η επιλογή της κατάλληλης μεθοδολογίας εκτίμησης της ξηρασίας είναι ανάλογη του στόχου της έρευνας και της μελέτης του φαινομένου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ

Οι κλασικοί δείκτες ξηρασίας, που από το παρελθόν ως και σήμερα είναι ευρέως διαδεδομένοι, είναι οι δείκτες εκείνοι που εκτιμούν το φαινόμενο χρησιμοποιώντας επίγειες μετρήσεις μετεωρολογικών και υδρολογικών μεταβλητών των μετεωρολογικών και υδρομετρικών σταθμών. Τέτοιες μεταβλητές του υδρολογικού κύκλου είναι η βροχόπτωση, η θερμοκρασία αέρα, η ροή των υδατορρευμάτων, η εδαφική υγρασία, η εξαμισοδιαπνοή και η στάθμη του υπόγειου υδροφορέα (Steinemann *et al.*, 2005). Η τιμή ενός δείκτη είναι ένας αδιάστατος αριθμός, ο οποίος μπορεί να αναλυθεί και να εξηγηθεί πολύ πιο εύκολα σε σχέση με την ανάλυση της κάθε παραμέτρου ξεχωριστά. Επιπλέον, ένας δείκτης δίνει τη δυνατότητα αναγνώρισης του φαινομένου, καταγραφής της έντασης και της έκτασής του, καθώς και αξιολόγησής του τόσο σε τοπικό επίπεδο όσο και σε μια ευρύτερη περιοχή. Ωστόσο, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι περιορισμοί στη χρήση του κάθε δείκτη, ώστε να αποφεύγεται πιθανώς λανθασμένη ερμηνεία του. Υπάρχει μια πληθώρα συμβατικών δεικτών ξηρασίας στη διεθνή και παγκόσμια βιβλιογραφία. Στον Πίνακα 3.1. αναγράφονται οι δείκτες που απαντώνται και χρησιμοποιούνται με μεγαλύτερη συχνότητα. Στη συνέχεια του κεφαλαίου περιγράφονται οι δείκτες του Πίνακα 3.1 με τα χαρακτηριστικά τους.

Αν και στην πράξη κανένας δείκτης δεν είναι ο βέλτιστος για όλες τις περιοχές και όλες τις περιπτώσεις, εντούτοις κάποιοι δείκτες παρουσιάζουν καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με άλλους. Οι δείκτες που χρησιμοποιούνται ιδιαίτερα για την μελέτη της μετεωρολογικής κυρίως ξηρασίας είναι οι δείκτες Palmer, και συγκεκριμένα ο Δείκτης Δριμύτητας Ξηρασίας Palmer (Palmer Drought Severity Index- PDSI), καθώς και ο δείκτης κανονικοποιημένης βροχόπτωσης (Standardized Precipitation Index- SPI). Αξιολόγηση εκτίμηση της

μετεωρολογικής ξηρασίας, όμως, πραγματοποιείται και μέσω του Αναγνωριστικού Δείκτη Ξηρασίας (RDI), ο οποίος εκτιμά το φαινόμενο με τη χρήση συμβατικών δεδομένων βροχόπτωσης και εξατμισοδιαπνοής, και έχει τη δυνατότητα εκτίμησης της περιοχικής ξηρασίας χρησιμοποιώντας δορυφορικά στοιχεία. Οι δείκτες αυτοί μπορούν να εκτιμήσουν ένα επεισόδιο ξηρασίας σε μια περιοχή, να εντοπίσουν την έναρξη και τη λήξη του, να παρακολουθούν την πρόοδο του φαινομένου και να αξιολογήσουν την έντασή του αρκετά αποτελεσματικά. Άλλοι δείκτες, για παράδειγμα οι CMI, AHP, εστιάζουν στην απαιτούμενη υγρασία για τις καλλιέργειες και στην έλλειψη αυτής, και άλλοι όπως ο SWSI εκτιμούν την έλλειψη συνολικής διαθεσιμότητας νερού σε μια περιοχή ή μια λεκάνη απορροής (Smakhtin, 2001).

Πίνακας 3.1: Συμβατικοί δείκτες ξηρασίας με χρήση επίγειων δεδομένων

1. Ποσοστό της κανονικής βροχόπτωσης (Percent of normal)	12. Δείκτης ανάκτησης ξηρασίας (Reclamation Drought Index)
2. Διακριτές και αθροιστικές ανωμαλίες βροχόπτωσης (Discrete and cumulative precipitation anomalies)	13. Συνολικό υδατικό έλλειμμα (Total water deficit)
3. Δεκατημόρια βροχόπτωσης (Rainfall deciles)	14. Αθροιστική ανωμαλία υδατορροής (Cumulative streamflow anomaly)
4. Δείκτης περιοχής ξηρασίας (Drought Area Index)	15. Υπολογισμένη εδαφική υγρασία (Computed soil moisture)
5. Δείκτης ανωμαλιών βροχόπτωσης (Rainfall Anomaly Index)	16. Δείκτης ανωμαλίας εδαφικής υγρασίας (Soil Moisture Anomaly Index)
6. Δείκτης κανονικοποιημένης βροχόπτωσης	17. Δείκτες ξηρασίας δεδομένων ροής (Drought Indices derived from flow data)

(Standardized Precipitation Index)	
7. Δείκτης αποτελεσματικής ξηρασίας (Effective Drought Index)	18. Δείκτης αγρο - υδρολογικού δυναμικού (Agro-Hydro Potential)
8. Δείκτης δριμύτητας ξηρασίας Palmer (Palmer Drought Severity Index)	19. Δείκτης κανονικοποιημένης στάθμης νερού (Standardised Water-Level Index)
9. Δείκτης υγρασίας καλλιεργειών (Crop Moisture Index)	20. Αναγνωριστικός δείκτης ξηρασίας (Reconnaissance Drought Index)
10. Δείκτης ξηρασίας Bhalme- Mooley (Bhalme- Mooley Drought Index)	21. Δείκτης ξηρασίας ρευματορροής (Streamflow Drought Index)
11. Δείκτης παροχής επιφανειακού νερού (Surface Water Supply Index)	

3.1. Ποσοστό της κανονικής βροχόπτωσης

Ο δείκτης αυτός ενώ θα μπορούσε να είναι χρήσιμος για την ανάλυση μίας μόνο περιοχής ή μίας μόνο εποχής του έτους, εντούτοις, είναι εύκολο να παρερμηνευθεί καθώς δίνει διαφορετικές τιμές ανάλογα με τη θέση της υπό μελέτης περιοχής και τη χρονική περίοδο. Το ποσοστό της κανονικής βροχόπτωσης (Percent of normal) υπολογίζεται διαιρώντας την πραγματική βροχόπτωση με τη μέση βροχόπτωση (κατά κανόνα θεωρείται ο μέσος όρος 30 ετών) και πολλαπλασιάζοντας επί 100. Ο δείκτης αυτός μπορεί να υπολογιστεί για διαφορετικές χρονικές κλίμακες, συνήθως όμως εκτιμάται για μήνα ή μια ομάδα μηνών που αντιπροσωπεύει μια συγκεκριμένη εποχή, καθώς και σε ετήσια βάση υδρολογικού έτους. Κανονικές συνθήκες βροχόπτωσης, σύμφωνα με το δείκτη, για μια συγκεκριμένη περιοχή θεωρούνται όταν το ποσοστό είναι 100% (Hayes, 2000).

Ο μέσος όρος της βροχόπτωσης μιας χρονοσειράς διαφέρει συνήθως από τη μέση βροχόπτωση, η οποία είναι το ποσό το οποίο αντιστοιχεί στο 50% των τιμών. Αυτό συμβαίνει επειδή η βροχόπτωση είναι ένα ρεαλιστικό μέγεθος και όχι αποτέλεσμα μιας συμμετρικής ταξινόμησης ή κατανομής των τιμών αυτού. Σε μια θετικά ασύμμετρη κατανομή των βροχοπτώσεων, η διάμεσος των τιμών είναι μικρότερη της μέσης τιμής, έτσι αυξάνει η πιθανότητα εμφάνισης τιμών βροχόπτωσης κάτω του κανονικού σε σχέση με αυτές που εμφανίζονται πάνω από το μέσο όρο (Steinemann *et al.*, 2005). Στην περίπτωση αυτή η περιοχές χαρακτηρίζονται ως γενικά ξηρές. Επιπλέον, ο δείκτης του ποσοστού κανονικής βροχόπτωσης δεν είναι σε θέση να καθορίσει με σαφήνεια τη σχέση μεταξύ της έναρξης ενός επεισοδίου ξηρασίας με ένα συγκεκριμένο αίτιο και συνεπώς τη χάραξη κατάλληλων μεθόδων αντιμετώπισης και στρατηγικής πρόληψης του φαινομένου. (Willeke *et al.*, 1994).

3.2. Διακριτές και αθροιστικές ανωμαλίες βροχόπτωσης

Ο δείκτης διακριτών ανωμαλιών βροχόπτωσης (Discrete and cumulative precipitation anomalies) μετρά άμεσα την έλλειψη βροχοπτώσεων σε μια περιοχή και είναι η διαφορά μεταξύ των παρατηρούμενων τιμών βροχόπτωσης και του κλιματικού μέσου όρου της περιοχής που προέκυψε από μακροχρόνια δεδομένα. Ο δείκτης ανωμαλιών είναι ένας απλός δείκτης της ξηρασίας, και δεν είναι ιδιαίτερα κατατοπιστικός, δεδομένου ότι η σημασία της ανωμαλίας εξαρτάται από το κλίμα της εκάστοτε περιοχής. Ένα μηνιαίο έλλειμμα βροχόπτωσης ενός εκατοστού είναι σαφώς πιο σημαντικό για την Έρημο σε σύγκριση με ένα ορεινό δάσος.

Εναλλακτικά, περισσότερο σωστό είναι να εξετάζονται οι αθροιστικές ανωμαλίες της βροχόπτωσης. Ο Foley (1957) ήσυχασε μια τέτοια τεχνική που μελετά τις αποκλίσεις μηνιαίων μετρήσεων από τους μηνιαίους μέσους όρους μιας μεγάλης χρονοσειράς δεδομένων. Αυτό δείχνει καθαρά το συνολικό ποσό και τη διάρκεια του πλεονάσματος ή του ελλείμματος νερού. Ο δείκτης αθροιστικών

ανωμαλιών βροχόπτωσης, όπως και ο διακριτός, εξαρτάται από το μέγεθος των ανωμαλιών της βροχόπτωσης σε σχέση με τις κανονικές συνθήκες στην περιοχή. Για να ληφθεί υπόψη αυτό το αποτέλεσμα, η προσέγγιση του Foley ομαλοποιεί κάθε ανωμαλία σε σχέση με τον ετήσιο μέσο όρο βροχοπτώσεων, με τις αθροιστικές ανωμαλίες να εκφράζονται σε χιλιοστά της ετήσιας βροχόπτωσης (Keyantash and Dracup, 2002). Δυστυχώς, η απλότητα του δείκτη των ανωμαλιών βροχόπτωσης παρουσιάζει δύο κύριες αδυναμίες. Η μέθοδος δεν παρέχει τη δυνατότητα εύρεσης της έναρξης της ξηρασίας, η οποία είναι κρίσιμη παράμετρος για τον υπολογισμό των αθροιστικών ανωμαλιών. Αντιθέτως, η έναρξη του φαινομένου προσδιορίζεται ως το σημείο εκείνο όπου οι αθροιστικές ανωμαλίες παρουσιάζουν σημαντική μείωση, η οποία όμως καθορίζεται υποκειμενικά. Δεύτερον, η σημασία των ανωμαλιών, διακριτών ή αθροιστικών, εξαρτάται από το μέγεθος αυτών σε σχέση με κάποιο πρότυπο μέτρο τυπικών ανωμαλιών (π.χ., η τυπική απόκλιση).

3.3. Δεκατημόρια Βροχόπτωσης

Ο μέσος όρος των μετρήσεων βροχόπτωσης είναι, συνήθως, μια φτωχή αναφορά των τυπικών κανονικών συνθηκών της παραμέτρου σε μια περιοχή. Για την εκτίμηση της κεντρικής τάσης των δεδομένων όμως, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η διάμεσος αντί για τη μέση τιμή. Κλιματολογικές παρατηρήσεις μπορεί να διακρίνουν τις τιμές σε 10 κατηγορίες, ή δεκατημόρια (Keyantash and Dracup, 2002). Ένα τέτοιο σύστημα, που βασίζεται στα δεκατημόρια (Rainfall Deciles) για την παρακολούθηση της μετεωρολογικής ξηρασίας είχε προταθεί από τους Gibbs και Maher (1967).

Οι δύο ερευνητές κατένειμαν τις μηνιαίες βροχοπτώσεις μιας μακροχρόνιας σειράς δεδομένων από τις υψηλότερες έως τις χαμηλότερες τιμές της παραμέτρου με σκοπό την δημιουργία μια αθροιστικής κατανομής συχνοτήτων. Η κατανομή αυτή στη συνέχεια διακρίθηκε σε δέκα κατηγορίες (δέκατα κατανομής ή

δεκατημόρια). Στο πρώτο δεκατημόριο ταξινομήθηκαν οι τιμές βροχόπτωσης, οι οποίες ήταν χαμηλότερες από 10 % όλων των τιμών των βροχοπτώσεων της χρονοσειράς. Το δεύτερο δεκατημόριο περιελάμβανε τις τιμές μεταξύ 10 και 20% κ.λπ. Κάθε τιμή βροχόπτωσης (τρέχουσας ή προηγούμενης περιόδου) μπορεί να συγκριθεί και να ερμηνευτεί σε σχέση με αυτά τα δεκατημόρια. Για την προσέγγιση αυτή απαιτείται ένα αρκετά μεγάλο εύρος δεδομένων βροχόπτωσης (30-50 έτη). Αυτό δεν αποτελεί μειονέκτημα της μεθόδου, αλλά θεωρείται απαίτηση της στατιστικής ανάλυσης της μεθόδου.

Τα δεκατημόρια βροχόπτωσης η αλλιώς όπως αποκαλούνται δείκτης δεκατημορίων (Deciles Index: DI) ομαδοποιούνται σε πέντε κατηγορίες, δύο δεκατημόρια ανά κλάση, οι οποίες παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.2. Ο δείκτης αυτός είναι σχετικά απλός στον υπολογισμό του, καθώς απαιτεί μόνο δεδομένα βροχόπτωσης και λιγότερες παραδοχές σε σχέση με άλλους δείκτες (όπως π.χ. PDSI ή SWSI).

Πίνακας 3.2: Κλιματολογικές συνθήκες περιοχής σύμφωνα με τα Δεκατημόρια Βροχόπτωσης

Δεκατημόρια Βροχόπτωσης	Κλάσεις	Χαρακτηρισμός συνθηκών
1-2	<20%	Ιδιαίτερος κάτω του κανονικού
3-4	20%-40%	Κάτω του κανονικού
5-6	40%-60%	Κανονικές συνθήκες
7-8	60%-80%	Πάνω του κανονικού
9-10	80%-100%	Ιδιαίτερος πάνω του κανονικού

Ο χαρακτηρισμός των συνθηκών της περιοχής, όπως παρουσιάζεται και στον Πίνακα 3.2, προκύπτει συγκρινόμενος με τις συνήθεις συνθήκες βροχόπτωσης

της εκάστοτε περιοχής προερχόμενες από κλιματολογικά δεδομένα μιας μεγάλης χρονοσειράς. Βάσει της συγκεκριμένης μεθόδου, ιδιαίτερα ξηρή χαρακτηρίζεται η περιοχή που παρουσιάζει τιμές βροχόπτωσης στο πρώτο και δεύτερο δεκατημόριο, στο οποίο οι τιμές εμφανίζονται «Ιδιαίτερος κάτω του κανονικού». Το τρίτο και τέταρτο δεκατημόριο περιλαμβάνει τις ξηρές συνθήκες καθώς το πέμπτο και έκτο αντιστοιχεί στις κανονικές συνθήκες βροχόπτωσης. Από το έβδομο ως και το δέκατο δεκατημόριο οι συνθήκες θεωρούνται υγρές με την αντίστοιχη διαβάθμιση που φαίνεται στον Πίνακα 3.2.

Ο απλός και εύκολος υπολογισμός της μεθόδου θεωρείται και το μεγάλο πλεονέκτημα του. Εντορίς, αυτή η απλόητα μπορεί να οδηγήσει σε εννοιολογικές δυσχέρειες. Για παράδειγμα, είναι λογικό να θεωρηθεί πως ένα επεισόδιο ξηρασίας έχει λήξει από τη στιγμή που παρατηρείται βροχόπτωση κοντά ή πάνω από τις κανονικές συνθήκες. Όμως μικρές ποσότητες βροχόπτωσης, ενδιάμεσα ξηρών περιόδων, μπορεί να παρουσιαστούν ως λήξη του φαινομένου της ξηρασίας, παρότι η ποσότητα αυτή είναι ασήμαντη και δε μειώνει ουσιαστικά το έλλειμμα νερού στη συγκεκριμένη περιοχή τη συγκεκριμένη περίοδο. Ως εκ τούτου, η προσέγγιση αυτή δεν εφαρμόζεται επιτυχώς σε περιοχές που παρουσιάζουν υψηλή εποχική βροχόπτωση. Για την αποφυγή του εμποδίου της εποχικής βροχόπτωσης και των επιπτώσεων στη μέθοδο των δεκατημορίων μπορεί να τεθεί σε εφαρμογή ένα συμπληρωματικό κριτήριο, το οποίο χρησιμοποιείται από την Υπηρεσία Παρακολούθησης Ξηρασίας της Αυστραλίας. Το κριτήριο αυτό προσδιορίζει το συνολικό ποσό βροχόπτωσης έως ότου εμφανιστεί ξηρασία. Εάν το άθροισμα αυτό υπερβαίνει το πρώτο δεκατημόριο για το σύνολο αυτών των μηνών, τότε η μετεωρολογική ξηρασία μπορεί να θεωρηθεί ότι έληξε (Keyantash and Dracup, 2002).

Δεκατημόρια βροχόπτωσης χρησιμοποιούνται ευρέως στην Αυστραλία (Coughlan, 1987; Smith *et al.*, 1993; White και O' Meagher, 1995) λόγω της απλότητας, της συνέπειας και της κατανοητής φύσης τους έναντι το υ ευρέως διαδεδομένου Δείκτη ξηρασίας Palmer (PDSI). Η μέθοδος έχει επίσης δοκιμαστεί

στην Νοτιοδυτική Ασία (Morig *et al.*, 2006) και εμφανίζεται να είναι κατάλληλη για την κατάσταση αυτής της περιοχής, με την προϋπόθεση της ύπαρξης αντιπροσωπευτικών μετεωρολογικών σταθμών με μακροχρόνιες και καλής ποιότητας παρατηρήσεις. Τα δεκατημόρια βροχόπτωσης παρουσιάζουν δυσκολία στην εφαρμογή όπως και στην κατανόηση στην περίπτωση που οι ερευνητές καθώς και οι αρμόδιες για την Ξηρασία Υπηρεσίες δεν είναι εξοικειωμένοι με το σύστημα αυτό (Steinemann *et al.*, 2005).

3.4. Δείκτης Περιοχής Ξηρασίας (DAI)

Όπως και ο δείκτης Δριμύτητας Ξηρασίας PDSI, ο δείκτης Περιοχής Ξηρασίας (Drought Area Index - DAI) είναι εξαρτώμενος από προηγούμενες μετρήσεις των μεταβλητών που χρησιμοποιεί, καθώς ο υπολογισμός του δείκτη για κάθε νέα διάρκεια (εβδομάδα, μήνα ή έτος) εξαρτάται από την τιμή της προηγούμενης αντίστοιχης διάρκειας. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατό να προσδιορισθεί και η εμμονή της ξηρασίας. Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε για την εκτίμηση της υγρασίας κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών ινδικών μουσώνων, όταν συγκεκριμένες περιοχές κατακλύζονταν από μεγάλη ποσότητα βροχόπτωσης, η οποία κατά περιόδους ξεπερνούσε ακόμα και 75% των ετήσιων βροχοπτώσεων (Bhalme and Mooley 1980; Keyantash and Dracup, 2002).

Η εξίσωση υπολογισμού του δείκτη Περιοχής Ξηρασίας είναι:

$$I_k = 0.5I_{k-1} + \frac{1}{48.55} \frac{P_k - \overline{P}_k}{\sigma_k} \quad (3.1)$$

όπου I είναι η ένταση της ξηρασίας (αδιάστατο μέγεθος), k είναι ο αριθμός μηνών, P είναι η μηνιαία βροχόπτωση (mm), \overline{P}_k είναι ο μέσος όρος των βροχοπτώσεων (mm), και σ_k είναι η τυπική απόκλιση βροχόπτωσης (mm).

Η μέθοδος αυτή, όπως αναφέρθηκε, έχει αναπτυχθεί ειδικά για την Ινδία, αλλά είναι σε θέση να εφαρμοστεί και σε άλλες περιοχές του κόσμου (Oladipo, 1985). Μετά από σύγκριση μεταξύ του PDSI και του δείκτη Περιοχής Ξηρασίας (DAI) που πραγματοποιήθηκε στη Νεμπράσκα των ΗΠΑ διαπιστώθηκε ότι και οι δύο μέθοδοι εκτελούνται με συνέπεια στην περιοχή και δίνουν όμοια αποτελέσματα. Η μέθοδος του δείκτη Περιοχής Ξηρασίας είναι λιγότερο περίπλοκη από εκείνη του PDSI επειδή απαιτεί μόνο δεδομένα βροχόπτωσης και όχι περισσότερες παραμέτρους του υδατικού ισοζυγίου (Bhalme and Mooley, 1980).

3.5. Δείκτης ανωμαλιών βροχόπτωσης (RAI)

Ο Δείκτης ανωμαλιών βροχόπτωσης (Rainfall Anomaly Index - RAI) αναπτύχθηκε από τον Van Rooy (1965), και ενσωματώνει μια διαδικασία κατάταξης του μεγέθους σε θετικές και αρνητικές τιμές ανωμαλιών βροχόπτωσης. Η μορφή του δείκτη είναι:

$$RAI = \pm 3 \frac{P - \bar{P}}{E - \bar{P}} \quad (3.2)$$

όπου P είναι η παρατηρούμενη βροχόπτωση, \bar{P} είναι ο μέσος όρος των βροχοπτώσεων, και \bar{E} είναι ο μέσος όρος των 10 ακραίων θετικών ή αρνητικών τιμών.

Για τις θετικές ανωμαλίες της βροχόπτωσης (μεγαλύτερο ποσό βροχόπτωσης ως προς το μέσο όρο), το πρόσημο είναι θετικό και η παράμετρος \bar{E} είναι ο μέσος όρος των 10 υψηλότερων τιμών των βροχοπτώσεων που έχουν καταγραφεί. Για τις αρνητικές ανωμαλίες (βροχόπτωση κάτω του μέσου όρου), το πρόσημο είναι αρνητικό και η παράμετρος \bar{E} προκύπτει από τις 10 χαμηλότερες μετρήσεις. Οι τιμές του δείκτη κατανέμονται σε 9 κλάσεις που κυμαίνονται από πολύ υγρές συνθήκες σε εξαιρετικά ξηρές (Van Rooy, 1965). Ο Oladipo (1985)

διαπίστωσε ότι οι διαφορές μεταξύ της μεθόδου αυτής και των πιο περίπλοκων δεικτών Palmer και Bhalme-Mooley ήταν αμελητέες.

3.6. Δείκτης Κανονικοποιημένης Βροχόπτωσης (SPI)

Ο Δείκτης Κανονικοποιημένης Βροχόπτωσης (Standardized Precipitation Index - SPI) αναπτύχθηκε από τους McKee, Doesken, και Kleist (1993), και ποσοτικοποιεί το έλλειμμα της βροχόπτωσης υπολογισμένο σε πολλαπλές χρονικές κλίμακες, όπως 3, 6, 9, και 12 μήνες (Steinemann *et al.*, 2005). Βασίζεται σε μια μακροσκελή σειρά δεδομένων βροχόπτωσης, τυπικά τουλάχιστον 30 ετών, μιας καθορισμένης περιοχής. Στις καταγραφές της βροχόπτωσης όλης της χρονοσειράς εφαρμόζεται η κατανομή γ . Αυτό γίνεται μέσω της εκτίμησης της μεγίστου πιθανότητας των παραμέτρων β και γ της γ κατανομής (εξ. 3.3):

$$P(x) = \frac{x^{\gamma-1} \exp(-x/\beta)}{\beta^\gamma \Gamma(\gamma)} \quad \gamma > 0 \quad (3.3)$$

όπου, $P(x)$ είναι η εξίσωση της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας (pdf) και το x είναι η μεταβλητή (Τσακίρης, 1995).

Με απλά λόγια, η διαδικασία αυτή επιτρέπει την κατανομή των βροχοπτώσεων στο σταθμό, που θα εκπροσωπούνται αποτελεσματικά από μια μαθηματική συνάρτηση αθροιστικής πιθανότητας. Επομένως, με βάση τα ιστορικά δεδομένα των βροχοπτώσεων στην περιοχή, ο αναλυτής στη συνέχεια θα μπορεί να προσδιορίσει την πιθανότητα η βροχόπτωση να είναι μικρότερη ή ίση με ένα συγκεκριμένο μέγεθος. Εάν ένα συγκεκριμένο επεισόδιο βροχόπτωσης εμφανίζει μικρή πιθανότητα στην εξίσωση αθροιστικής πιθανότητας της μεθόδου, τότε αυτό είναι ένδειξη μιας αναμενόμενης ξηρασίας ανάλογα με τη χρονική κλίμακα. Αντιθέτως, ένα υψηλό ποσό βροχόπτωσης με μεγάλη πιθανότητα στην εξίσωση αθροιστικής πιθανότητας θεωρείται περίπτωση εξαιρετικά υγρών συνθηκών. Ως εκ τούτου, ο δείκτης ξηρασίας SPI αντιπροσωπεύει πραγματικά το ύψος της

βροχόπτωσης σε μια δεδομένη χρονική κλίμακα, με το πλεονέκτημα ότι δεν παρέχει μόνο πληροφορίες για το ύψος, αλλά δίνει και μια ένδειξη του ύψους αυτού σε σχέση με τις κανονικές συνθήκες (Trnka, 2003).

Οι McKee *et al.* (1993), χρησιμοποίησαν ένα σύστημα ταξινόμησης για τον καθορισμό των εντάσεων ξηρασίας σύμφωνα με το δείκτη SPI. Επίσης, καθόρισαν τα κριτήρια για τον προσδιορισμό των επεισοδίων ξηρασίας για κάθε χρονική περίοδο. Το SPI υπολογίζεται διαιρώντας τη διαφορά μεταξύ της κανονικής εποχικής βροχόπτωσης και της αντίστοιχης μέσης εποχικής βροχόπτωσης, προς την τυπική απόκλιση (εξ. 3.4):

$$SPI = \frac{X_{ij} - X_{im}}{\sigma} \quad (3.4)$$

όπου, X_{ij} είναι η εποχική βροχόπτωση σε ένα συγκεκριμένο σταθμό μετρήσεων, X_{im} η μέση εποχική βροχόπτωση και σ είναι η τυπική απόκλιση (Bhuiyan *et al.*, 2006).

Ένα επεισόδιο ξηρασίας συμβαίνει όταν ο SPI παίρνει συνεχώς αρνητικές τιμές για ένα διάστημα, ίσες με -1 ή μικρότερες. Η ξηρασία τελειώνει όταν ο SPI εμφανίζει θετικές τιμές και πάλι. Κάθε επεισόδιο ξηρασίας, έχει μια διάρκεια, που ορίζεται από την αρχή και το τέλος του φαινομένου, και ένταση για κάθε μήνα που εξακολουθεί η τιμή του δείκτη να είναι αρνητική. Το άθροισμα των αρνητικών τιμών του SPI για όλους τους μήνες ξηρασίας χαρακτηρίζει το μέγεθος του φαινομένου. Παρομοίως με τον PDSI, ο δείκτης ξηρασίας SPI μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση τόσο των ξηρών όσο και των υγρών συνθηκών. Οι κατηγορίες των συνθηκών ξηρασίας ή υγρασίας σύμφωνα με τον δείκτη SPI παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.3.

Ο δείκτης ξηρασίας SPI έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία για την περιγραφή των συνθηκών ξηρασίας στο Τέξας και στην Οκλαχόμα (Hayes *et al.* 1999; Hayes 2000). Επιπλέον, επειδή ο SPI στηρίζεται αποκλειστικά σε μετρήσεις βροχόπτωσης και μπορεί να περιγράψει το έλλειμμα βροχής σε οποιαδήποτε επιθυμητή χρονική

κλίμακα, το Western Regional Climate Center (WRCC) των ΗΠΑ τοποθετεί τον SPI πάνω από το παραδοσιακό PDSI (Redmond, 2000). Ο SPI μέχρι σήμερα έχει βρει μεγαλύτερο πεδίο εφαρμογής στη νοτιοδυτική Ασία από οποιονδήποτε άλλο δείκτη ξηρασίας, λόγω της περιορισμένης απαίτησης του σε δεδομένα, την ευελιξία και την απλότητα των υπολογισμών του.

Πίνακας 3.3: Κατηγορίες ξηρασίας σύμφωνα με τον δείκτη SPI

Κατηγορίες Ξηρασίας	Τιμές δείκτη SPI (McKee <i>et al.</i> , 1993)
Εξαιρετικά υγρές	>2.00
Πολύ υγρές	1.50 to 1.99
Μέτρια υγρές	1.00 to 1.49
Κανονικές συνθήκες	-0.99 to 0.99
Μέτρια ξηρές	-1.00 to -1.49
Έντονα ξηρές	-1.50 to -1.99
Ακραία ξηρές	<-2.00

3.7. Δείκτης Αποτελεσματικής Ξηρασίας (EDI)

Σε αντίθεση με πολλούς άλλους δείκτες ξηρασίας, ο Δείκτης αποτελεσματικής ξηρασίας (Effective Drought Index - EDI) στην αρχική του μορφή (Byun and Wilhite, 1999) υπολογίζεται σε ημερήσιο χρονικό βήμα. Ο EDI είναι συνάρτηση της βροχόπτωσης που απαιτείται για την προσέγγιση, «επιστροφή», στις κανονικές συνθήκες βροχής (Precipitation Return Normal ή PRN). Η PRN είναι το ποσό της βροχόπτωσης, που είναι αναγκαίο για την ανάκαμψη του συστήματος από την ξηρασία λόγω συσσωρευμένου υδατικού ελλείμματος. Η PRN ουσιαστικά πηγάζει από την καθημερινή αποτελεσματική βροχόπτωση (Effective Precipitation) και την απόκλιση της από το μέσο όρο για

κάθε μέρα (Smakhtin and Hughes, 2006). Ο υπολογισμός του δείκτη αυτού περιλαμβάνει τέσσερα στάδια.

Βήμα 1: Υπολογισμός της καθημερινής αποτελεσματικής βροχόπτωσης (EP)

Ο υπολογισμός της ημερήσιας αποτελεσματικής βροχόπτωσης ορίζεται ως η συνάρτηση της βροχόπτωσης της τρέχουσας ημέρας και των βροχοπτώσεων των προηγούμενων ημερών. Η διάρκεια της προηγουμένης περιόδου n για την οποία υπολογίζεται η EP, μπορεί να διαφέρει, αλλά για την απλότητα της εφαρμογής της μεθόδου ορίζεται σε 365 ημέρες.

$$EP_j = \sum_{n=1}^i [(\sum_{m=1}^n P_m) / n] \quad (3.5)$$

όπου j είναι ο δείκτης της τρέχουσας ημέρας, i = διάρκεια για την οποία υπολογίζεται η EP και P_m είναι η βροχόπτωση $m-1$ ημέρες πριν από την σημερινή ημέρα. Για παράδειγμα, εάν $i = 3$ τότε η καθημερινή EP ισούται $(P_1 + (P_1 + P_2) / 2 + (P_1 + P_2 + P_3) / 3)$. Αν $i = 365$, η διαδικασία υπολογισμού θα ξεκινάει από την πρώτη ημέρα του δεύτερου έτους (π.χ. εάν υπάρχουν στοιχεία 30 ετών, θα πρέπει να υπολογιστούν 365×29 EP). Όπου n , ο συνολικός αριθμός ημερών του έτους.

Βήμα 2: Υπολογισμός της μέσης EP

Το επόμενο βήμα περιλαμβάνει τον υπολογισμό της μέσης EP για κάθε ημέρα του έτους (MEP_j). Εάν υπάρχουν 30 χρόνια καταγραφών δεδομένων, υπάρχουν 30 παρόμοια ημέρες (π.χ. κάθε χρόνο την 25 Ιανουαρίου). Στη συνέχεια υπολογίζονται οι ημερήσιες αποκλίσεις της EP από τη μέση ημερήσια EP (DEP), οι τυπικές αποκλίσεις ($ST(EP)$) για κάθε ημερολογιακή ημέρα, και η τυποποιημένη ημερήσια τιμή των αποκλίσεων (SEP), η οποία επιτρέπει τη σύγκριση της έντασης της ξηρασίας σε δύο ή περισσότερες θέσεις, ανεξάρτητα από τις κλιματολογικές διαφορές μεταξύ τους.

$$SEP = \frac{DEP}{ST(EP)} \quad (3.6)$$

Η διάρκεια της ξηρασίας ορίζεται, όπως και στο δείκτη SPI, ως μια περίοδο όπου η SEP είναι σταθερά αρνητική.

Βήμα 3: Υπολογισμός των τιμών PRN

Μετά τον υπολογισμό των τιμών της ημερήσιας DEP, είναι δυνατόν να υπολογιστεί η βροχόπτωση, που απαιτείται για την επιστροφή στις κανονικές συνθήκες (PRN) της περιοχής. Οι ημερήσιες τιμές της PRN θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη την πραγματική διάρκεια για την οποία έχουν υπολογιστεί οι τιμές DEP:

$$PRN_j = \frac{DEP_j}{\sum_{N=1}^j (1/N)} \quad (3.7)$$

όπου j είναι η πραγματική διάρκεια.

Βήμα 4: Υπολογισμός του δείκτη EDI

Τέλος, ο δείκτης EDI υπολογίζεται ως οι κανονικοποιημένες PRN τιμές:

$$EDI_j = \frac{PRN_j}{ST(PRN_j)} \quad (3.8)$$

όπου ST(PRN) είναι η τυπική απόκλιση των τιμών PRN για κάθε ημέρα.

Ο δείκτης ξηρασίας EDI κυμαίνεται από -2 έως 2. Όπως, ο PDSI και ο SPI, ο EDI διακρίνεται σε κλάσεις καλύπτοντας όλο το φάσμα των συνθηκών σε μια περιοχή, από τις εξαιρετικά υγρές στις εξαιρετικά ξηρές συνθήκες. Οι κλάσεις της ξηρασίας βάσει του δείκτη EDI παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.4.

Πίνακας 3.4: Κλάσεις της ξηρασίας σύμφωνα με τον δείκτη EDI

Κλάσεις Ξηρασίας	Τιμές δείκτη EDI
Εξαιρετικά υγρές	>2.00
Πολύ υγρές	1.50 to 1.99
Μέτρια υγρές	1.00 to 1.49
Κανονικές συνθήκες	-0.99 to 0.99
Μέτρια ξηρές	-1.00 to -1.49
Έντονα ξηρές	-1.50 to -1.99
Ακραία ξηρές	<-2.00

Ο EDI, καταρχήν, εφαρμόστηκε για την παρακολούθηση της ξηρασίας σε μεγάλες περιοχές. Οι Morigid *et al.* (2006) χρησιμοποίησαν το δείκτη αυτό για την εκτίμηση της ξηρασίας σε μια από τις επαρχίες του Ιράν. Το μεγάλο πρόβλημα που προκύπτει από το δείκτη EDI, είναι ότι βασίζεται σε ημερήσια δεδομένα βροχόπτωσης. Τα στοιχεία αυτά, αν και φυσικά υπάρχουν, είναι λιγότερο διαθέσιμα και μεγαλύτερα σε όγκο. Εναλλακτικά, ο δείκτης ξηρασίας EDI μπορεί να υπολογιστεί σε μηνιαία βάση και με τον τρόπο αυτό να είναι συγκρίσιμος με τα αποτελέσματα άλλων δεικτών ξηρασίας, που χρησιμοποιούν τιμές μηνιαίας βροχόπτωσης ως αρχικά δεδομένα.

3.8. Δείκτης ξηρασίας Palmer

Το 1965 ο W. Palmer προτείνει ένα μοντέλο (δείκτη) ξηρασίας, ο οποίος κατά τον υπολογισμό του ενσωματώνει δεδομένα βροχόπτωσης, εδαφικής υγρασίας και εξατμισοδιαπνοής σε ένα υδρολογικό σύστημα. Ο όρος «Δείκτης

ξηρασίας Palmer» ουσιαστικά αναφέρεται σε τρεις δείκτες: στο δείκτη Δριμύτητας Ξηρασίας Palmer (Palmer Drought Severity Index- PDSI), στο δείκτη Δριμύτητας Υδρολογικής Ξηρασίας Palmer (Palmer Hydrological Drought Severity Index - PHDI), και στο δείκτη ανωμαλιών υγρασίας Palmer γνωστός και ως Z-index (Dalezios *et al.*, 1991; Heim, 2002).

3.8.1. Δείκτης Δριμύτητας Ξηρασίας Palmer (PDSI)

Αν και ο PDSI αναφέρεται κυρίως ως δείκτης εκτίμησης της μετεωρολογικής ξηρασίας, ωστόσο, λαμβάνει υπόψη συνιστώσες του υδρολογικού κύκλου (π.χ. βροχόπτωση, υγρασία, απορροή) οι οποίες είναι καθοριστικοί παράγοντες της υδρολογικής ξηρασίας (Dalezios, 1994; Loukas *et al.*, 2002a). Ο δείκτης αυτός βασίζεται στη θεώρηση παροχών- αναγκών της εξίσωσης υδατικού ισοζυγίου και λαμβάνει υπόψη τις παρούσες καιρικές συνθήκες, τις συνθήκες υγρασίας του εδάφους καθώς και τις κανονικές κλιματικές συνθήκες της περιοχής (Ζαραγκότας, 2005; Dalezios *et al.*, 2000). Ένα μεγάλο πλεονέκτημα του δείκτη PDSI είναι η τυποποιημένη του μορφή η οποία διευκολύνει τις άμεσες συγκρίσεις του δείκτη μεταξύ διαφορετικών περιοχών και χρονικών περιόδων (Guttman *et al.*, 1992).

Ο Palmer χρησιμοποίησε ένα μοντέλο δύο επιπέδων για τον υπολογισμό της εδαφικής υγρασίας υιοθετώντας ορισμένες παραδοχές που αφορούν στη μεταφορά υγρασίας μεταξύ των δυο στρωμάτων εδάφους. Αυτές οι παραδοχές περιλαμβάνουν τα εξής: αρχικά, το επιφανειακό στρώμα (στρώμα άροσης) θεωρείται ότι έχει υδατοχωρητικότητα 25 mm (1 in.), η υγρασία δε μεταφέρεται προς το κάτω στρώμα (ριζική ζώνη) μέχρι το ανώτερο στρώμα να φτάσει σε σημείο κορεσμού, δεν υπάρχει απορροή μεταξύ των δυο στρωμάτων του εδάφους μέχρι αυτά να καθιστούν κορεσμένα, και τέλος, το σύνολο των βροχοπτώσεων που σημειώνονται σε ένα μήνα χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια του μήνα αυτού για την κάλυψη των απαιτήσεων σε εξατμισοδιαπνοή και υγρασία του εδάφους, ενώ το

πλεόνασμα αυτού χάνεται μέσω της απορροής (Heim, 2002). Ο δείκτης PDSI κυμαίνεται περίπου μεταξύ -6 (ξηρασία) και 6 (υγρές περιόδους) για ακραίες συνθήκες (Loukas *et al.*, 2002b). Σύμφωνα με την αρχική κλίμακα του Palmer, οι τιμές του PDSI παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.5.

Πίνακας 3.5: Κατηγοριοποίηση ξηρασίας σύμφωνα με το δείκτη Δριμύτητας Ξηρασίας Palmer (Palmer, 1965)

Τιμές δείκτη PDSI	Κλιματικές συνθήκες
≥ 4.0	Ακραία υγρές
3.0 ως 3.99	Πολύ υγρές
2.0 ως 2.99	Μέτρια υγρές
1.0 ως 1.99	Ελαφρώς υγρές
0.5 ως 0.99	Ίχνη υγρασίας
0.49 ως -0.49	Κανονικές συνθήκες
-0.5 ως -0.99	Ίχνη ξηρασίας
-1.0 ως -1.99	Ελαφρώς ξηρές
-2.0 ως -2.99	Μέτρια ξηρές
-3.0 ως -3.99	Έντονα ξηρές
≤ -4.0	Ακραία ξηρές

Ο Palmer στη μέθοδό του εφάρμοσε αυτό που αποκάλεσε κλιματολογικά κατάλληλες τιμές για τις υφιστάμενες συνθήκες (Climatologically Appropriate for Existing Conditions - CAFEC) για την κανονικοποίηση των αποτελεσμάτων των υπολογισμών, ώστε ο δείκτης να είναι αδιάστατος και να είναι σε θέση να συγκριθεί στο χώρο και το χρόνο. Η διαδικασία αυτή επιτρέπει στο δείκτη τη

μέτρηση των ακραίων υγρών (θετικές τιμές) και ξηρών (αρνητικές τιμές) συνθηκών, καθώς και των κανονικών συνθηκών θερμοκρασίας και βροχόπτωσης κατά τις οποίες ο δείκτης παίρνει την τιμή μηδέν, σε όλες τις εποχές του χρόνου και σε όλα τα κλίματα.

Τα βασικά βήματα τα οποία είναι απαραίτητα για τον υπολογισμό του δείκτη PDSI παρουσιάζονται αναλυτικά ως εξής:

A) Υπολογισμός υδρολογικών παραμέτρων: Όλοι οι βασικοί όροι της εξίσωσης υδατικού ισοζυγίου, συμπεριλαμβανομένης της εξατμισοδιαπνοής της εδαφικής παρακράτησης, της απορροής και των απωλειών στο επιφανειακό στρώμα του εδάφους, μπορούν να καθοριστούν από τα αρχικά δεδομένα (βροχόπτωση, θερμοκρασία). Στον υπολογισμό του ισοζυγίου υγρασίας, θεωρείται ότι η εξατμισοδιαπνοή γίνεται κατά δυναμικό τρόπο από το επιφανειακό στρώμα μέχρις ότου χαθεί όλη η διαθέσιμη υγρασία και τότε μόλις συμμετέχει και η υγρασία του κατώτερου στρώματος. Οι απώλειες από τα βαθύτερα στρώματα (L_U), εξαρτώνται από την περιεχόμενη υγρασία, τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή και τη διαθέσιμη υδατοϊκανότητα του εδαφικού συστήματος.

Οι απώλειες λόγω εξάτμισης από το επιφανειακό στρώμα (L_S) εκτιμούνται με τη μέθοδο του Thornthwaite, η οποία υπολογίζει τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή (PE). Είναι όμως δυνατή η χρήση και άλλων μεθόδων εκτίμησης δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (π.χ. Blaney- Criddle). Για τα εφαρμόσιμα αποτελέσματα εισάγεται στους υπολογισμούς η πραγματική εξατμισοδιαπνοή (ET) που θεωρείται συνάρτηση της PE και της υγρασιακής κατάστασης του εδάφους. Από την ανάλυση των παραμέτρων, όπως αναφέρθηκαν παραπάνω, προκύπτουν δύο εξισώσεις:

Αν $PE > P$, τότε

$$L_S = \min [S_S (PE - P)] \quad (3.9)$$

$$L_U = [(PE - P) - L_S] S_U / AWC, L_U < S_U \quad (3.10)$$

όπου L_S είναι η απώλεια υγρασίας του επιφανειακού στρώματος, L_U η απώλεια υγρασίας του κατώτερου στρώματος, S_S και S_U οι ποσότητες της διαθέσιμης αποθηκευμένης υγρασίας στην αρχή κάθε μήνα για το επιφανειακό και το κατώτερο στρώμα αντίστοιχα, PE η δυνητική εξατμισοδιαπνοή του μήνα, P η μηνιαία βροχόπτωση και AWC η διαθέσιμη υδατοχωρητικότητα ή υδατοϊκανότητα και των δύο στρώσεων.

Συμπληρωματικά στον μηνιαίο υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου χρησιμοποιούνται τρεις επιπλέον μεταβλητές, οι οποίες καθορίζονται ως εξής:

1. Δυναμικός ανεφοδιασμός ή δυνητική επαναφόρτιση (Potential Recharge, PR): είναι η ποσότητα της υγρασίας που απαιτείται για να φθάσει η υγρασία του εδάφους στην υδατοϊκανότητα και δίνεται από τη σχέση:

$$PR = AWC - (S_S + S_U) \quad (3.11)$$

2. Δυνητική απώλεια (Potential Loss, PL): είναι η ποσότητα της υγρασίας η οποία θα μπορούσε να χαθεί από το έδαφος λόγω εξατμισοδιαπνοής, εφόσον η μηνιαία βροχόπτωση είναι μηδέν. Η δυνητική απώλεια υπολογίζεται από τη σχέση:

$$PL = PL_S + PL_U \quad (3.12)$$

όπου PL_S , PL_U είναι η δυνητική απώλεια υγρασίας του επιφανειακού και του κατώτερου στρώματος, αντίστοιχα, και καθορίζονται από τις σχέσεις:

$$PL_S = \min [PE, S_S] \quad (3.13)$$

$$PL_U = [PE - PL_S] S_U / AWC, \quad PL_U < S_U \quad (3.14)$$

3. Δυνητική επιφανειακή απορροή (Potential Runoff, PRO): Καθορίζεται από τη διαφορά μεταξύ της δυνητικής βροχόπτωσης και της δυνητικής επαναφόρτισης. Η δυνητική βροχόπτωση ισούται με την AWC , άρα η σχέση που διέπει την PRO είναι η εξής:

$$PRO = AWC - PR = S' \quad (3.15)$$

όπου S' είναι η διαθέσιμη υγρασία και των δύο στρωμάτων στην αρχή του μήνα.

Για τον αναλυτικό μηνιαίο υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου, χρησιμοποιούνται επιπλέον και οι ακόλουθες σχέσεις:

$$S = S_S + S_U \quad (3.16)$$

$$L = L_S + L_U \quad (3.17)$$

$$ET = P + L \quad (3.18)$$

όπου S είναι η διαθέσιμη υγρασία και των δύο στρωμάτων στο τέλος του μήνα, L η απώλεια υγρασίας και για τα δύο εδαφικά στρώματα και ET η πραγματική εξατμισοδιαπνοή του μήνα.

B) Υπολογισμός συντελεστών κλίματος: Είναι απαραίτητη η προσομοίωση του μοντέλου σε περίοδο με διαθέσιμα ιστορικά δεδομένα θερμοκρασίας και βροχόπτωσης, ώστε να υπολογιστεί η υδατοχωρητικότητα των κατώτερων εδαφικών στρωμάτων, καθώς και τέσσερις συντελεστές που αφορούν στην περιοχή μελέτης. Οι ακόλουθοι τέσσερις μηνιαίοι συντελεστές (a_j , b_j , c_j , d_j) υπολογίζονται χρησιμοποιώντας τους τέσσερις δυναμικούς όρους PE , PR , PRO και PL , και δίνονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$a_j = \frac{\overline{ET_j}}{\overline{PE_j}} \quad (3.19)$$

$$b_j = \frac{\overline{R_j}}{\overline{PR_j}} \quad (3.20)$$

$$c_j = \frac{\overline{RO_j}}{\overline{PRO_j}} \quad (3.21)$$

$$d_j = \frac{\overline{L_j}}{PL_j} \quad (3.22)$$

όπου ET είναι η εξατμισοδιαπνοή, R η επαναφόρτιση του εδαφικού νερού, RO η απορροή και L η συνολική απώλεια νερού από το έδαφος. Η υπεργράμμιση στους όρους των εξισώσεων υποδηλώνει τις μέσες τιμές αυτών για κάθε μήνα j.

Γ) Τιμές CAFEC: Υπολογίζονται οι Κλιματικά Κατάλληλες για τις Υπάρχουσες Συνθήκες τιμές (Climatically Appropriate For Existing Conditions) και συμβολίζονται με (^). Ως παράδειγμα αναφέρεται η τιμή CAFEC για την εξατμισοδιαπνοή ET του μήνα j, η οποία δίνεται από τη σχέση:

$$\hat{ET}_j = \alpha_j \cdot PE_j \quad (3.23)$$

όπου PE_j είναι η δυνητική εξατμισοδιαπνοή του τρέχοντος μήνα j. Ως εκ τούτου η τιμή CAFEC της βροχόπτωσης P μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$\hat{P} = \alpha_j \cdot PE + b_j \cdot PR + c_j \cdot PRO - d_j \cdot PL \quad (3.24)$$

Δ) Δείκτης ανωμαλιών υγρασίας: Υπολογίζεται η διαφορά μεταξύ της πραγματικής βροχόπτωσης και της τιμής CAFEC για τη βροχόπτωση. Η διαφορά αυτή, η οποία συμβολίζεται με D, εκφράζεται από τη σχέση $D = P - \hat{P}$ (Dalezios *et al.*, 2000). Οι διαφορές D μετατρέπονται σε δείκτη ανωμαλίας υγρασίας (Z), γνωστός ως δείκτης Palmer Z ή Z-index, σύμφωνα με τη σχέση:

$$Z = K_j \cdot D \quad (3.25)$$

όπου K_j είναι ο συντελεστής βαρύτητας για το μήνα j, ο οποίος λαμβάνει υπόψη τη χωρική μεταβλητότητα των διαφορών D, έτσι ώστε ο δείκτης να είναι χρονικά και χωρικά ανεξάρτητος.

Ε) Δριμύτητα ξηρασίας: Τελικά, οι χρονοσειρές που προκύπτουν από το δείκτη Z , αναλύονται με σκοπό την ανάπτυξη κριτηρίων, τα οποία θα καθορίσουν την έναρξη και τη λήξη της περιόδου υ ξηρασίας, καθώς και ενός τύπου προσδιορισμού της δριμύτητας του φαινομένου (Ζαραγκότας, 2005). Σύμφωνα με τη μεθοδολογία του Palmer, υπολογίζονται τρεις ενδιάμεσοι δείκτες X_1 , X_2 , X_3 , για κάθε μήνα και ένας παράγοντας πιθανότητας. Η έναρξη και η λήξη της ξηρασίας εκφράζονται με ποσοστά πιθανότητας. Οι τρεις ενδιάμεσοι δείκτες υπολογίζονται από την εμπειρική σχέση:

$$X_j = 0.897 \cdot X_{j-1} + \frac{Z_j}{3} \quad (3.26)$$

όπου το Z_j αντιπροσωπεύει τις συσσωρευμένες τιμές του δείκτη ανωμαλίας υγρασίας Z για τα διαστήματα με έντονη ξηρασία, και X_j είναι η τιμή του PDSI για το μήνα j . Το μω νέλο του Palmer επιλέγει την τιμή για καθένα από τους ενδιάμεσους δείκτες και τη χρησιμοποιεί στον υπολογισμό του PDSI ανάλογα με την τιμή του παράγοντα πιθανότητας.

Η μέθοδος Palmer που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των δεικτών PDSI και Z- index, παρουσιάζει έναν αριθμό περιορισμών και μειονεκτημάτων (Alley, 1984). Οι περιορισμοί αυτοί μπορούν να διακριθούν σε δύο γενικά κατηγορίες, στα μειονεκτήματα του μοντέλου υδατικού ισοζυγίου και στα ίδια τα χαρακτηριστικά του δείκτη PDSI (Dalezios *et al.*, 2000).

Η πρώτη κατηγορία των περιορισμών της μεθόδου περιλαμβάνει:

- Τη χρήση της μεθόδου Thornthwaite (Thornthwaite and Mather, 1955) για τον υπολογισμό της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, αν και άλλες μέθοδοι θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν (όπως για παράδειγμα η Blaney- Criddle, 1950).
- Την αυθαίρετη θεώρηση των 25 mm όσον αφορά στην υδατοϊκανότητα του επιφανειακού στρώματος του εδάφους. Η υδατοϊκανότητα είναι δυνατόν να μεταβληθεί σημαντικά, καθώς εξαρτάται από το κλίμα, την υφή του εδάφους και τη φυτοκάλυψη της περιοχής.

- Την υπόθεση ότι η απορροή εκτιμάται χωρίς καμία υστέρηση στη χρονική της κατανομή. Οι Thornthwaite και Mather (1955) καθώς και ο Mather (1981) πρότειναν ότι το 50%-70% της απορροής θα πρέπει να υστερεί κάθε μήνα, ώστε να αναπαραχθούν οι μηνιαίοι όγκοι ροής, οι οποίοι παρατηρούνται στα υδατορεύματα. Το τμήμα της απορροής που παρουσιάζει υστέρηση ποικίλλει σημαντικά και εξαρτάται από το βάθος και την υφή του εδάφους, τη γεωμορφολογία και το μέγεθος της λεκάνης απορροής, και τη φύση του υπεδάφιου υδρολογικού συστήματος.

- Ο χαρακτήρας της μεθόδου του Palmer, ως μοντέλο «τύπου υ καταωφλίου», υποθέτει ότι δεν υπάρχει απορροή έως ότου πληρωθεί η υδατοϊκανότητα του ανώτερου και του κατώτερου στρώματος του εδάφους. Η υπόθεση αυτή έχει την τάση να υποεκτιμά την επαναφόρτιση κατά τη διάρκεια των θερινών και των πρώτων φθινοπωρινών μηνών.

- Τέλος, δεν λαμβάνεται υπόψη η επίδραση της τήξεως του χιονιού ή του παγωμένου εδάφους, αλλά αυτό δεν δημιουργεί ιδιαίτερο πρόβλημα κατά την εφαρμογή της μεθόδου σε περιοχές με Μεσογειακό κλίμα, στις οποίες παρατηρείται χιονόπτωση κυρίως σε υψηλότερα υψόμετρα.

Οι περιορισμοί των χαρακτηριστικών του δείκτη PDSI, συνοψίζονται στα εξής:

- Στον αυθαίρετο καθορισμό των κλάσεων του PDSI. Οι κλάσεις αυτές έχουν καθοριστεί από δεδομένα της Κεντρικής Αιόβα και του Κάνσας των ΗΠΑ.

- Στην ευαισθησία των τιμών του PDSI όσον αφορά στο συντελεστή K_j , ενώ η πλειοψηφία των διαρκειών των ξηρασιών σε διαφορετικές περιοχές, παραμένει ανεπηρέαστη από τη μεταβολή του παράγοντα K_j .

- Στην ευαισθησία των τιμών του PDSI σε σχέση με το κλίμα κατά την περίοδο της βαθμονόμησης.

Εντούτοις, παρά τη χρήση αρκετών υποθέσεων για τον υπολογισμό των παραμέτρων του υδατικού ισοζυγίου, την ύπαρξη μειονεκτημάτων και περιορισμών, καθώς και την εμπειρική φύση μερικών συντελεστών, ο δείκτης PDSI μπορεί να αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο τόσο σε ερευνητικές όσο και σε

λειτουργικές προσεγγίσεις, αν χρησιμοποιηθεί σωστά, με επίγνωση των περιορισμών και με καλή γνώση των χαρακτηριστικών της περιοχής που μελετάται (Rao and Voeller, 1997).

Ο δείκτης PDSI έχει χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν με επιτυχία, κυρίως στην Αμερική, σε πολλές ερευνητικές εφαρμογές (π.χ. World Meteorological Organization, 1975; Karl, 1986; Karl *et al.*, 1987; Kogan, 1995a; Kothavala, 1997; Pienchota and Dracup, 1996; Hu and Willson, 2000; Pongracz *et al.*, 1999; Dai *et al.*, 2004, Tadesse *et al.*, 2004), καθώς και σε επιχειρησιακή βάση (π.χ. Lohani and Loganathan, 1997). Επίσης έχει εφαρμοστεί στον Καναδά (Louie, 1986), στην Αυστραλία (Kothavala, 1999), Αργεντινή (Scian and Donnari, 1997) και Ουγγαρία (Szinell *et al.*, 1998). Ο PDSI, ακόμη, έχει αποδειχθεί ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί επιτυχώς ως εργαλείο για τη μελέτη της ξηρασίας και της δριμύτητας αυτής στην Ελλάδα (Dalezios *et al.*, 1991; Dalezios *et al.*, 2000; Δαλέζιος και Πρίνος, 2004; Kanellou *et al.*, 2008a, Kanellou *et al.*, 2008b).

3.8.2. Δείκτης Υδρολογικής Ξηρασίας Palmer (PHDI)

Ο δείκτης υδρολογικής ξηρασίας Palmer (Palmer Hydrological Drought Index - PHDI) μοιάζει πολύ με το δείκτη PDSI, χρησιμοποιώντας το ίδιο μοντέλο εκτίμησης του υδατικού ύψους σε δύο στρώματα εδάφους. Η κυριότερη διάκριση του με τον PDSI έγκειται στο γεγονός ότι ο PHDI έχει πιο αυστηρό κριτήριο για την εκτίμηση της λήξης μιας ξηρής ή μιας υγρής περιόδου, γεγονός που συνεπάγεται να παρουσιάζεται σταδιακά και πιο αργά η ανάκαμψη προς τις κανονικές συνθήκες, σε σχέση με τον PDSI. Συγκεκριμένα, ο PDSI θεωρεί πως ένα επεισόδιο ξηρασίας έχει τελειώσει όταν οι συνθήκες υγρασίας παρουσιάζουν συνεχή άνοδο μέχρις ότου ελαχιστοποιηθεί το έλλειμμα του νερού, ενώ ο PHDI θεωρεί ότι η ξηρασία λήγει όταν το έλλειμμα υγρασίας έχει πραγματικά μηδενιστεί (Heim, 2000.) Αυτή η χρονική υστέρηση θεωρείται κατάλληλη για την εκτίμηση

της υδρολογικής ξηρασίας, η οποία αναπτύσσεται πιο αργά σε σχέση με τη μετεωρολογική ξηρασία (Keyantash and Dracup, 2002).

Στο πλαίσιο μελέτης του δείκτη PHDI για την ανάκαμψη μετά από σοβαρό επεισόδιο ξηρασίας, οι Karl και συνεργάτες (Karl, 1986; Karl *et al.*, 1987) υπολόγισαν την απαιτούμενη βροχόπτωση για τη λήξη μιας υφιστάμενης ξηρασίας και τη βελτίωση της υπάρχουσας ακραίας κατάστασης, καθώς και την κλιματολογική πιθανότητα να τύχουν τουλάχιστον αυτού του απαιτούμενου ποσού της βροχόπτωσης, για 344 κλιματικές ζώνες στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής.

3.8.3. Δείκτης ανωμαλιών υγρασίας Palmer (Z-Index)

Ο δείκτης ανωμαλιών υγρασίας Palmer (δείκτης Z) είναι ουσιαστικά ένας ενδιάμεσος όρος στον υπολογισμό του PDSI. Παρουσιάζεται ως η ανωμαλία υγρασίας του τρέχοντος μηνός χωρίς να εξετάζει τις προηγούμενες συνθήκες, όπως χαρακτηριστικά συμβαίνει κατά τον υπολογισμό του PDSI. Ο δείκτης Z μπορεί να εκτιμήσει τη γεωργική ξηρασία, καθώς αποκρίνεται άμεσα στις αλλαγές της υγρασίας του εδάφους. Ο Karl (1986) διαπίστωσε ότι ο δείκτης Z είναι προτιμότερος για την ποσοτικοποίηση της γεωργικής ξηρασίας σε σχέση με τον αρκετά διαδεδομένο δείκτη γεωργικής ξηρασίας CMI (Crop Moisture Index). Ωστόσο, όπως και το σύνολο των δεικτών Palmer, πάσχει από μια αρκετά πολύπλοκη εφαρμογή κατά τον υπολογισμό του, όντας κατά το ελάχιστο απλούστερος από τον ίδιο τον PDSI (Keyantash and Dracup, 2002).

3.9. Δείκτης υγρασίας καλλιεργειών (CMI)

Τρία χρόνια μετά την εισαγωγή του δείκτη ξηρασίας PDSI, ο Palmer (1968) εισήγαγε ένα νέο δείκτη ξηρασίας, ο οποίος βασίζεται σε μέσες εβδομαδιαίες τιμές θερμοκρασίας αέρα και αθροιστικές τιμές βροχόπτωσης κάθε εβδομάδας. Επίσης λαμβάνει υπόψη τις τιμές του ίδιου δείκτη της προηγούμενης εβδομάδας. Ο δείκτης

αυτός με την ονομασία Δείκτης υγρασίας καλλιεργειών (Crop Moisture Index - CMI) είναι ειδικά σχεδιασμένος ως δείκτης γεωργικής ξηρασίας και εξαρτάται από τη δριμύτητα της ξηρασίας στις αρχές μιας εβδομάδας και στο έλλειμμα της εξατμισοδιαπνοής ή την επαναφόρτιση της υγρασίας του εδάφους κατά τη διάρκεια της εβδομάδας (Heim, 2002). Ο CMI είναι σε θέση να εκτιμήσει το έλλειμμα της εξατμισοδιαπνοής που εμφανίζει μια καλλιέργεια, το οποίο εκφράζει και ως ένδειξη ξηρασίας, καθώς και την ακραία υγρασία της περιοχής, στην περίπτωση που το ποσό της βροχόπτωσης στην περιοχή αυτή είναι ικανό να καλύψει τη ζήτηση της καλλιέργειας για εξατμισοδιαπνοή και επαναφόρτιση του εδάφους. Επιπλέον, υπολογίζει και το βαθμό στον οποίο πληρούνται οι απαιτήσεις της καλλιέργειας σε υγρασία.

Ο δείκτης CMI ανταποκρίνεται άμεσα στις βραχυπρόθεσμες αλλαγές στις συνθήκες υγρασίας σε μια καλλιέργεια και δεν προορίζεται για την αξιολόγηση μιας μακροχρόνιας ξηρασίας. Η ταχεία αντίδραση του δείκτη στις βραχυπρόθεσμα μεταβαλλόμενες συνθήκες υγρασίας μπορεί να παρέχει παραπλανητικές πληροφορίες εάν χρησιμοποιηθεί να εξηγήσει τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής σε μακροπρόθεσμη κλίμακα. Για παράδειγμα, μια ευεργετική βροχόπτωση κατά τη διάρκεια μιας ξηρασίας αυξάνει τις τιμές του CMI με αποτέλεσμα ο δείκτης να παρουσιάζει επαρκείς συνθήκες υγρασίας στην περιοχή, ενώ ουσιαστικά η ξηρασία στον τόπο αυτό παραμένει. Ένα άλλο χαρακτηριστικό του δείκτη CMI, το οποίο περιορίζει τη χρήση του ως μακροπρόθεσμο εργαλείο παρακολούθησης της ξηρασίας, είναι ότι συνήθως οι τιμές του δείκτη κατά την αρχή και το τέλος της κάθε καλλιεργητικής περιόδου εμφανίζονται κοντά στο μηδέν. Αυτός ο περιορισμός εμποδίζει το CMI να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση των συνθηκών ξηρασίας και υγρασίας εκτός της καλλιεργητικής περιόδου, ιδίως στην περίπτωση της ξηρασίας η οποία μπορεί να εκτείνεται ακόμα και για πολλά έτη (Hayes, 2000).

Ο δείκτης CMI θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με το δείκτη PDSI για την παρακολούθηση της ξηρασίας, δίνοντας περισσότερο ολοκληρωμένα

και έγκυρα αποτελέσματα. Η επιπρόσθετη χρήση του PDSI θα λειτουργούσε ως ένα εργαλείο μακροπρόθεσμης παρακολούθησης της ξηρασίας, λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές του CMI συμπληρωματικά, ο οποίος θα προσέθετε πληροφορίες για την εποχική εξέλιξη του υδατικού ελλείμματος κατά τη διάρκεια μιας καλλιεργειας, στο στάδιο ανάπτυξης. Οι κλιματικές συνθήκες σύμφωνα με το δείκτη CMI παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.6.

Πίνακας 3.6: Κατηγοριοποίηση κλιματικών συνθηκών βάσει του δείκτη CMI

Κλιματικές συνθήκες	Τιμές του δείκτη CMI
Εξαιρετικά υγρές	≥ 3.0
Υγρές	2.0 έως 2.9
Μη ομαλή υγρασία	1.0 έως 1.9
Ελαφρώς ξηρές	-0.9 έως 0.9
Μη ομαλή ξηρασία	-1.0 έως -1.9
Εξαιρετικά ξηρές	-2.0 έως -2.9
Δριμεία ξηρές	≤ -3.0

Ο δείκτης CMI χρησιμοποιείται στις εφαρμογές του Υπουργείου Γεωργίας των ΗΠΑ για τη βραχυπρόθεσμη εκτίμηση των υδατικών αναγκών των καλλιεργειών, ως δείκτης εκτίμησης της εδαφικής υγρασίας (Wilhite and Glantz, 1985). Θεωρείται επίσης ως ένας από τους πιο αποτελεσματικούς δείκτες γεωργικής ξηρασίας κατά τη διάρκεια μιας καλλιεργητικής περιόδου (Heim, 2002).

3.10. Δείκτης ξηρασίας *Bhalme-Mooley (BMDI)*

Ο δείκτης ξηρασίας Bhalme-Mooley (Bhalme-Mooley Drought Index - BMDI) αποτελεί ένα καλό μέτρο της τρέχουσας κατάστασης της ξηρασίας, η οποία είναι αποτέλεσμα σύντομων περιόδων ξηρού καιρού, σε αντίθεση με τον PDSI, ο οποίος έχει σχεδιαστεί για τον προσδιορισμό της έντασης και της συχνότητας των ασυνήθιστα παρατεταμένων περιόδων συνθηκών ξηρασίας (Loukas *et al*, 2002a) . Ο δείκτης αυτός είναι απλούστερος και λιγότερο περίπλοκος από τον PDSI, διότι βασίζεται μόνο σε τιμές μηνιαίας βροχόπτωσης και δεν περιλαμβάνει όρους εξατμισοδιαπνοής ή υδατοχωρητικότητας του εδάφους, παράμετροι οι οποίες είναι ιδιαίτερα δύσκολο να υπολογιστούν. Τα βασικά βήματα για τον υπολογισμό του δείκτη BMDI έχουν ως εξής (Oladipo, 1985; Loukas *et al*, 2002a):

- Υπολογίζονται η μέση μηνιαία βροχόπτωση \bar{P} , η τυπική απόκλιση s και οι συντελεστές διακύμανσης για κάθε σταθμό.
- Στη συνέχεια χρησιμοποιείται το ποσοστό των μηνιαίων βροχοπτώσεων από το μέσο όρο των τιμών της βροχόπτωσης της χρονοσειράς, για τον υπολογισμό ενός δείκτη υγρασίας M , ο οποίος δίνεται από τη σχέση: $M = 100 (P - \bar{P}) / s$.
- Κατόπιν, λαμβάνονται υπόψη οι μέσοι όροι των υψηλότερων αθροιστικών αρνητικών τιμών του δείκτη υγρασίας σε διάφορα χρονικά διαστήματα μηνών. Η προσέγγιση αυτή παρέχει σχετικές τιμές περιοχικών ανωμαλιών υγρασίας, διότι επιτρέπει τον αριθμητικό προσδιορισμό των ακραίων συνθηκών ξηρασίας σε τμήματα της περιοχής μελέτης.
- Οι ακραίες συνθήκες ξηρασίας των υψηλότερων μηνιαίων αθροιστικών αρνητικών τιμών του δείκτη υγρασίας M υπολογίζονται από την εξίσωση (3.27):

$$\sum_{t=1}^k M_t = a + bk \quad (3.27)$$

όπου M_t είναι οι αθροιστικές τιμές του δείκτη υγρασίας M για διάρκεια μεγαλύτερη του ενός μηνός (k), k είναι ο αριθμός των μηνών και τα a , b είναι σταθερές.

▪ Η γενική εξίσωση που αντιστοιχεί στις τέσσερις κατηγορίες ξηρασίας είναι:

$$I_{l,k} = l \sum_{t=1}^k \frac{M_t}{(a + bk)} \quad (3.28)$$

όπου I_k είναι η ένταση της ξηρασίας για τον μήνα t και το $l \in \mathbb{Z}$, $l \in [-4, 4]$. Για την κατηγορία της ακραίας ξηρασίας ($l = -4$), η εξίσωση παίρνει τη μορφή:

$$I_{-4,k} = 4 \sum_{t=1}^k \frac{M_t}{(a + bk)} \quad (3.29)$$

▪ Σε διαδοχικούς μήνες, μια αρνητική τιμή του M έχει ως αποτέλεσμα περισσότερο αρνητικές τιμές του I_k και τη διατήρηση των υφιστάμενων συνθηκών στρες. Έτσι, για όλους τους μήνες που έπονται ενός αρχικού ξηρού μήνα, εισάγεται ένας επιπλέον όρος υπολογισμού της οποιασδήποτε μεταφοράς της κατάστασης που επικρατούσε στον προηγούμενο μήνα. Ο όρος αυτός μετατρέπει την προηγούμενη εξίσωση ως εξής:

$$\Delta I_k = I_k - I_{k-1} = \frac{4M_k}{a+b} + cI_{k-1} \quad (3.30)$$

όπου c είναι μια σταθερά που εξαρτάται από τη συγκεκριμένη περιοχή και υποδηλώνει την επίδραση της κατάστασης του προηγούμενου μήνα. Ως εκ τούτου, ο τελικός δείκτης δριμύτητας ξηρασίας για ένα συγκεκριμένο μήνα k , δίνεται από τη σχέση:

$$I_k = \frac{4M_k}{a+b} + (1+c)I_{k-1} \quad (3.31)$$

Οι μηνιαίες τιμές του δείκτη, στη συνέχεια, κατατάσσονται σε εννέα κατηγορίες (Πίνακα 3.7), στις ίδιες κλάσεις όπως και ο PDSI του Palmer. Ο

δείκτης BMDI κυμαίνεται περίπου μεταξύ -4 (ξηρασία) και 4 (υγρή περίοδος), ενώ η μηδενική τιμή αναφέρεται στις κανονικές κλιματικές συνθήκες (Loukas *et al*, 2002a). Ο δείκτης BMDI θα μπορούσε να θεωρηθεί ως μια απλοποιημένη έκδοση του δείκτη PDSI. Τα συγκριτικά αποτελέσματα μεταξύ του απλούστερου δείκτη BMDI και του PDSI έχουν παρουσιαστεί από τον Oladipo (1985), για την περιοχή των Μεγάλων Πεδιάδων (Great Plains) της Βορείου Αμερικής και από τους Farago *et al*. (1989) για τη Μεγάλη Πεδιάδα της Ουγγαρίας.

Πίνακας 3.7: Κλιματικές συνθήκες σύμφωνα με το δείκτη ξηρασίας BMDI

Τιμές του δείκτη BMDI	Κλιματικές συνθήκες
≥ 4.0	Ακραία υγρές
3.0 ως 3.99	Πολύ υγρές
2.0 ως 2.99	Μέτρια υγρές
1.0 ως 1.99	Ελαφρώς υγρές
0.5 ως 0.99	Ίχνη υγρασίας
0.49 ως -0.49	Κανονικές συνθήκες
-0.5 ως -0.99	Ίχνη ξηρασίας
-1.0 ως -1.99	Ελαφρώς ξηρές
-2.0 ως -2.99	Μέτρια ξηρές
-3.0 ως -3.99	Έντονα ξηρές
≤ -4.0	Ακραία ξηρές

3.11. Δείκτης παροχής επιφανειακού νερού (SWSI)

Ο δείκτης παροχής επιφανειακού νερού (Surface Water Supply Index - SWSI) είναι ένας εμπειρικός δείκτης υδρολογικής ξηρασίας που αναπτύχθηκε στο

Κολοράντο το 1981. Ο δείκτης αυτός έχει ως σκοπό να συμπληρώσει το δείκτη PDSI με την ενσωμάτωση τιμών χιονοκάλυψης, αποθήκευσης νερού στο έδαφος, υδατορροής και βροχόπτωσης σε υψηλό υψόμετρο, ως μέτρο της κατάστασης των επιφανειακών υδάτων στην περιοχή (Wilhite and Glantz, 1985; Doesken *et al.*, 1991; Garen, 1993).

Ο SWSI αναπτύχθηκε από τους Shafer και Dezman (1982) συμπληρωματικά του δείκτη Palmer για συνθήκες υγρασίας σε όλο το Κολοράντο. Ο δείκτης Palmer είναι κατά βάση ένας δείκτης υγρασίας εδάφους βαθμονομημένος για σχετικώς ομοιογενείς περιοχές, αλλά δεν έχει σχεδιαστεί για μεγάλες τοπογραφικές διαφορές σε μια περιοχή και δεν είναι σε θέση να υπολογίσει τη χιονοκάλυψη ούτε και την επακόλουθη απορροή. Οι Shafer και Dezman σχεδίασαν το δείκτη SWSI με τέτοιο τρόπο ώστε να αποτελεί ένδειξη της κατάστασης των επιφανειακών υδάτων της υπό μελέτη περιοχής και τον χαρακτήρισαν ως δείκτη «εξαρτώμενο από τα ορεινά ύδατα» στα οποία η ορεινή χιονοκάλυψη είναι βασική συνιστώσα. Ο απώτερος στόχος του δείκτη SWSI ήταν η ενσωμάτωση των υδρολογικών και των κλιματολογικών χαρακτηριστικών μιας περιοχής σε ένα ενιαίο δείκτη, παρόμοιο με το δείκτη Palmer, που να εφαρμόζεται σε κάθε λεκάνη απορροής ποταμού στην πολιτεία του Κολοράντο (Shafer and Dezman, 1982). Οι τιμές του δείκτη τυποποιήθηκαν ώστε τα αποτελέσματα του σε κάθε λεκάνη απορροής να είναι σε θέση να συγκριθούν.

Για τον υπολογισμό του δείκτη SWSI είναι απαραίτητες τέσσερις μεταβλητές: η χιονοκάλυψη, η υδατορροή, η βροχόπτωση και η αποθήκευση ύδατος. Η μορφή του δείκτη εξαρτάται από την εποχή του έτους. Κατά τους χειμερινούς μήνες ο SWSI υπολογίζεται μόνο με τιμές χιονοκάλυψης, βροχόπτωσης και αποθήκευσης ύδατος, ενώ κατά τη θερινή περίοδο, η υδατορροή αντικαθιστά τη χιονοκάλυψη στην εξίσωση:

$$SWSI = \frac{aP_{snow} + bP_{prec} + cP_{strm} + dP_{resv} - 50}{12} \quad (3.32)$$

όπου a , b , c και d είναι τα βάρη του χιονιού, της βροχής, της υδατορροής και της αποθήκευσης, αντίστοιχα. Το άθροισμα των βαρών αυτών ισούται με 1. P_i είναι η πιθανότητα (%) της μη υπέρβασης για κάθε ένα από αυτά τα τέσσερα συστατικά του υδατικού ισοζυγίου.

Η διαδικασία για τον προσδιορισμό του SWSI για μια συγκεκριμένη λεκάνη απορροής έχει ως εξής: μηνιαία στοιχεία και των τεσσάρων μεταβλητών που συμμετέχουν στην εξίσωση (3.3.2) συλλέγονται και αθροίζονται για όλους τους σταθμούς μέτρησης της λεκάνης απορροής. Κάθε στοιχείο κανονικοποιείται χρησιμοποιώντας μια ανάλυση συχνότητας ενός μεγάλου αριθμού δεδομένων. Η πιθανότητα της μη υπέρβασης, δηλαδή η πιθανότητα ότι τα επόμενα αθροίσματα της κάθε παραμέτρου δε θα υπερβαίνει τα τρέχοντα, προσδιορίζεται για κάθε συνιστώσα βάσει της ανάλυσης συχνότητας. Αυτό επιτρέπει τη σύγκριση των πιθανοτήτων μεταξύ των συνιστωσών. Κάθε παράμετρος έχει ένα βάρος, ανάλογα με τη συμβολή της κάθε μιας στα επιφανειακά ύδατα της λεκάνης απορροής. Οι σταθμισμένες αυτές παράμετροι αθροίζονται για να προσδιορίσουν τις τιμές του δείκτη SWSI, οι οποίες αντιπροσωπεύουν το σύνολο της λεκάνης. Τόσο ο δείκτης SWSI όσο και ο δείκτης PDSI χρησιμοποιούνται από κοινού για την εκτίμηση και αξιολόγηση της ξηρασίας στο Κολοράντο, καθώς και για την ενεργοποίηση ενός σχεδίου αντίδρασης και αντιμετώπισης. Ο SWSI έχει τροποποιηθεί και εφαρμοστεί και σε άλλες περιοχές στις δυτικές πολιτείες των ΗΠΑ και υπολογίζεται πρωτίστως για λεκάνες απορροής.

Σημειώνεται πως αν και ο δείκτης SWSI είναι πολύ χρήσιμος για την εκτίμηση και την πρόβλεψη της κατάστασης των επιφανειακών υδάτων, εντούτοις, οι Doesken *et al.* (1991) και Doesken and Garen (1991) εξέφρασαν επιφυλάξεις σχετικά με αυτόν, συμπεριλαμβανομένων των εξής: παρουσιάζεται μια έλλειψη γενικής συμφωνίας στον καθορισμό του ορισμού των επιφανειακών υδατικών αποθεμάτων· τα σταθμισμένα βάρη των παραμέτρων ποικίλλουν αναλόγως την περιοχή και, σε ορισμένες περιπτώσεις, ακόμ και το μήνα του έτους,

παρουσιάζοντας διαφορετικά κάθε φορά αποτελέσματα του δείκτη· τέλος, οι υδροκλιματικές διαφορές που χαρακτηρίζουν τις λεκάνες απορροής των ποταμών στις δυτικές Ηνωμένες Πολιτείες, οι οποίες εμφανίζονται ως αποτέλεσμα του δείκτη SWSI, δεν έχουν την ίδια έννοια και σημασία σε όλες τις περιοχές και για κάθε χρονική στιγμή εφαρμογής του (Heim, 2002).

Ο δείκτης SWSI, όπως και ο δείκτης Palmer, αντιστοιχεί τις κανονικές συνθήκες σε μια περιοχή στην τιμή μηδέν και κυμαίνεται μεταξύ του -4,2 και του 4,2. Ο τροποποιημένος δείκτης SWSI (Garen, 1993) εμφανίζεται στατιστικώς ισχυρότερος, του οποίου οι κατηγορίες ξηρασίας και οι αντίστοιχες αθροιστικές συχνότητες εμφανίζονται στον Πίνακα 3.8 (Steinemann *et al.*, 2005).

Πίνακας 3.8: Κατηγορίες ξηρασίας βάσει του δείκτη SWSI

Τιμές δείκτη SWSI	Κατηγορίες ξηρασίας	Αθροιστική συχνότητα
-2.00 έως 0.00	Ελαφριά ξηρασία	26%-50%
-3.00 έως -2.00	Μέτρια ξηρασία	14%-26%
-4.00 έως -3.00	Έντονη ξηρασία	2%-14%
< -4.00	Δριμεία ξηρασία	< 2%

Πολλά χαρακτηριστικά του δείκτη SWSI περιορίζουν την ευρύτερη εφαρμογή του. Ο υπολογισμός του SWSI είναι μοναδικός για κάθε λεκάνη απορροής ή περιοχή, και για το λόγο αυτό η σύγκριση τιμών του δείκτη μεταξύ διαφορετικών λεκανών απορροής καθίσταται δύσκολη (Doesken *et al.*, 1991). Μέσα σε μια συγκεκριμένη λεκάνη απορροής το δίκτυο των σταθμών μέτρησης των παραμέτρων δεν είναι συνεχές ούτε πυκνό, γεγονός που υποδηλώνει την ανάγκη τοποθέτησης περισσότερων σταθμών στο υπάρχον σύστημα και τον εκ νέου προσδιορισμό της συχνότητας κατανομής αυτών. Επιπρόσθετες αλλαγές στη

διαχείριση των υδάτων μέσα σε μια λεκάνη απορροής, όπως π.χ. η εκτροπή της ροής ή η προσθήκη νέων δεξαμενών ύδατος ως αποτέλεσμα τον επαναπροσδιορισμό του δείκτη SWSI για τη συγκεκριμένη λεκάνη, καθώς και των σταθμισμένων βαρών της κάθε παραμέτρου. Λόγω αυτού, η διατήρηση μιας ομοιογενούς χρονοσειράς του δείκτη είναι δύσκολη (Heddinghaus and Sabol, 1991). Επιπλέον, ακραία συμβάντα είναι δυνατόν να προκαλέσουν επιπλοκές, ειδικά αν τα γεγονότα αυτά υπερβαίνουν τις τιμές των ιστορικών δεδομένων της περιοχής, και να επιφέρουν την επανεξέταση του δείκτη συμπεριλαμβάνοντας αυτά τα ακραία γεγονότα κατά την κατανομή των συχνοτήτων μιας συνιστώσας της συγκεκριμένης λεκάνη απορροής (Hayes, 2000).

3.12. Δείκτης ανάκτησης ξηρασίας (RDI)

Μια τροποποιημένη μορφή του δείκτη SWSI είναι γνωστή ως δείκτης ανάκτησης ξηρασίας (Reclamation Drought Index - RDI), ο οποίος χρησιμοποιείται στην Οκλαχόμα των ΗΠΑ, ως μέρος του σχεδίου διαχείρισης της ξηρασίας. Ο τρόπος υπολογισμού του παρομοιάζει με εκείνον του δείκτη SWSI, αλλά περιλαμβάνει μια επιπλέον συνιστώσα, που βασίζεται σε τιμές θερμοκρασίας (Hayes, 2000).

Ο δείκτης RDI παρουσιάζει παραπλήσιο εύρος τιμών με το δείκτη SWSI και οι κατηγορίες της ξηρασίας που διακρίνει παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.9. Η ομοιότητα μεταξύ RDI και SWSI υποδηλώνει ότι και αυτός ο δείκτης έγκειται στους ίδιους περιορισμούς με το SWSI, αν και ο RDI έχει τη δυνατότητα προσαρμογής σε κάθε περιοχή, δεδομένου ότι λαμβάνει υπόψη τόσο τους κλιματικούς παράγοντες της περιοχής όσο και τις συνιστώσες των υδατικών αποθεμάτων.

Πίνακας 3.9: Κλάσεις ξηρασίας σύμφωνα με το δείκτη RDI (Hayes, 2000)

Κλάσεις ξηρασίας	Τιμές δείκτη RDI
Κανονικές συνθήκες - Ελαφριά ξηρασία	0.0 έως -1.5
Μέτρια ξηρασία	-1.5 έως - 4.0.
Έντονη ξηρασία	< -4.0

Ο δείκτης ανάκτησης ξηρασίας αναπτύχθηκε με σκοπό τον προσδιορισμό της έντασης και της διάρκειας της ξηρασίας, καθώς και για την πρόβλεψη της έναρξης και λήξης του φαινομένου. Ο δείκτης αυτός χρησιμοποιείται ευρέως στην Οκλαχόμα ως εργαλείο στο πλαίσιο του συστήματος παρακολούθησης που έχει αναπτύξει η πολιτεία (Hayes, 2000).

3.13. Συνολικό υδατικό έλλειμμα

Ο προσδιορισμός του συνολικού υδατικού ελλείμματος (Total water deficit), S , συνώνυμο της δριμύτητας της ξηρασίας, θεωρείται ως ένας παραδοσιακός τρόπος εκτίμησης της υδρολογικής ξηρασίας. Η δριμύτητα της ξηρασίας προκύπτει από το χρόνο (διάρκεια) κατά τον οποίο η ροή του ύδατος είναι σταθερά χαμηλότερη από ένα ορισμένο επίπεδο (π.χ. κάτω του υδροκλιματικού μέσου όρου), καθώς και από το μέγεθος M , το οποίο εκφράζεται ως η μέση απόκλιση της υδατορροής από το συγκεκριμένο επίπεδο κατά την περίοδο εμφάνισης του φαινομένου (Dracup *et al.*, 1980). Μετά τη λήξη της ξηρασίας το συνολικό έλλειμμα του νερού επανέρχεται στην τιμή 0.

Η προσέγγιση του συνολικού ελλείμματος νερού αθροίζει τη συνολική ροή σε ένα συγκεκριμένο σημείο ενός δεδομένου υδάτινου σώματος. Εντούτοις, η εκπροσώπηση μιας μεγάλης σε έκταση περιοχής με εκτεταμένη ανάλυση

προϋποθέτει τη λεπτομερή εξέταση και μελέτη των επί μέρους λεκανών απορροής της περιοχής αυτής. Η εμφάνιση ξηρασίας στην ευρύτερη περιοχή δεν κατανέμεται με την ίδια ένταση και μορφή σε όλες τις υπολεκάνες, με αποτέλεσμα, μια γενικευμένη εκπροσώπηση της περιοχής βασισμένη στο κυρίως υδάτινο σώμα που τη διαρρέει, να οδηγήσει σε απώλεια πληροφοριών και ενδεχομένως σε σφάλματα.

3.14. Αθροιστική ανωμαλία υδατορροής

Η αθροιστική ανωμαλία της ροής ενός υδάτινου σώματος (Cumulative Streamflow Anomaly) από τις μέσες υδατικές συνθήκες μιας περιοχής είναι μια ένδειξη της τάσης της διαθεσιμότητας του νερού μακροπρόθεσμα. Όπως και στην περίπτωση των αθροιστικών ανωμαλιών της βροχόπτωσης, μια απότομη πτώση της αθροιστικής ροής σε ένα ποταμό ή σε οποιοδήποτε υδάτινο σώμα οδηγεί στο συμπέρασμα εμφάνισης ξηρασίας (Keyantash and Dracup, 2002).

3.15. Υπολογισμένη εδαφική υγρασία

Η υγρασία του εδάφους κατά τη ζώνη ανάπτυξης των φυτών μπορεί να μετρηθεί από μια ποικιλία μεθόδων, αλλά δυστυχώς δεν υπάρχει μια καθολική ευρείας κλίμακας μέθοδος για την παρακολούθηση της υγρασίας εντός του εδάφους.

Ωστόσο, η εδαφική υγρασία μπορεί να υπολογιστεί μέσω αριθμητικών μοντέλων (Computed Soil Moisture), τα οποία προσομοιώνουν τις παραμέτρους του υδατικού ισοζυγίου εντός της στήλης του εδάφους, με τη χρήση μεταβλητών, όπως της βροχόπτωσης, της θερμοκρασίας του αέρα, της θερμοκρασίας εδάφους, του πορώδους του εδάφους, και της διείσδυσης (Keyantash and Dracup, 2002). Το κέντρο πρόβλεψης κλίματος (CPC: Climate Prediction Center) της Αμερικανικής Μετεωρολογικής και Ωκεανογραφικής Υπηρεσίας (NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administrator) διαθέτει υπολογισμένα στοιχεία εδαφικής υγρασίας

για κάθε κλιματική ζώνη, σε μηνιαία χρονική κλίμακα από το 1931 ως και σήμερα (CPC 2000). Οι λεπτομέρειες σχετικά με το αριθμητικό μοντέλο που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της υγρασίας του εδάφους παρουσιάζονται σε σχετική έρευνα των Huang *et al.* (1996).

3.16. Δείκτης ανωμαλίας εδαφικής υγρασίας

Ο δείκτης ανωμαλιών εδαφικής υγρασίας (Soil Moisture Anomaly Index) αναπτύχθηκε από τους Bergman *et al.* (1988) για τον προσδιορισμό της ξηρασίας σε παγκόσμια βάση. Η μέθοδος αυτή ουσιαστικά επικαλείται τη μέθοδο υπολογισμού υγρασίας του Thornthwaite και λειτουργεί με την εφαρμογή ενός μοντέλου υγρασίας δύο στρωμάτων εδάφους για την παρακολούθηση της κίνησης του νερού, αποβλέποντας τελικά στην εκτίμηση του ποσοστού κορεσμού του εδάφους. Λεπτομερής ανάλυση της διαδικασίας υπολογισμού της μεθόδου αυτής δίνεται από τους Bergman *et al.* (1988). Έρευνες έδειξαν ότι οι τιμές του δείκτη ανωμαλιών εδαφικής υγρασίας κυμαίνονται μεταξύ των τιμών του δείκτη CMI και του δείκτη PDSI (Bergman *et al.*, 1988).

3.17. Δείκτες ξηρασίας δεδομένων ροής

Το φαινόμενο της ξηρασίας μπορεί επίσης να παρακολουθείται με τη χρήση και άλλων παραμέτρων εκτός από αυτές που αναφέρθηκαν (π.χ. της ροής ενός ποταμού). Κατά την επιφανειακή υδρολογία η ξηρασία αναφέρεται συχνά ως περίοδος χαμηλής ροής. Η Υδρολογία, στη διεθνή ορολογία, ορίζει ως χαμηλή ροή τη ροή του νερού σε ένα υδατό ρεύμα κατά τη διάρκεια μιας παρατεταμένης ξηρασίας. Ο ορισμός αυτός δεν κάνει σαφή διάκριση μεταξύ των χαμηλών ροών και των ξηρασιών. Η χαμηλή ροή είναι ένα εποχικό φαινόμενο και αποτελεί αναπόσπαστο στοιχείο του υδατικού συστήματος κάθε ποταμού. Η ξηρασία, από την άλλη πλευρά, είναι ένα φυσικό γεγονός, το οποίο εμφανίζεται λόγω μειωμένου ύψους βροχόπτωσης, το οποίο αποκλίνει από τις κανονικές συνθήκες της περιοχής,

για μεγάλο χρονικό διάστημα και οι επιπτώσεις του είναι πολύ πιο σημαντικές σε σχέση με μια απλή χαμηλή ροή ενός ποταμού. Οι περίοδοι ξηρασίας περιλαμβάνουν περιόδους χαμηλής ροής, αλλά μια συνεχής εποχική χαμηλή ροή δεν συνιστά και απαραίτητα εμφάνιση ξηρασίας. Εντούτοις, πολλοί ερευνητές αναφέρουν μια συνεχή περίοδο χαμηλής ροής μέσα σε ένα χρόνο ως "ετήσια ξηρασία" (π.χ. Zelenhasic and Salvai, 1987; Clausen and Pearson, 1995; Tallaksen *et al*, 1997).

Ο Smakhtin (2001), στην έρευνά του, συγκεντρώνει τους περισσότερους και τους κυριότερους δείκτες ξηρασίας οι οποίοι στηρίζονται στην ανάλυση της χαμηλής ροής ενός ποταμού (Drought Indices derived from flow data). Ορισμένες από αυτές τις αναλύσεις επικεντρώνονται στη συχνότητα των ελαχίστων τιμών ροής ή στο ρυθμό μείωσης της ροής ενός ποταμού σε περίπτωση έλλειψης βροχόπτωσης. Άλλες μέθοδοι, όπως π.χ. οι καμπύλες διάρκειας ροής, ομοιάζουν με τη μέθοδο των δεκατημορίων που έχει ήδη περιγραφεί σε προηγούμενο εδάφιο. Κατά κανόνα, οι αναλύσεις αυτές δεν προσδιορίζουν την έναρξη και τη λήξη των ξηρών περιόδων άμεσα. Όσον αφορά στην ξηρασία, μια υδρολογική μέθοδος που θεωρείται σχετική είναι η ανάλυση της συνεχούς διάρκειας κατά την οποία η ποτάμια ροή παραμένει χαμηλότερη ενός συγκεκριμένου κατωφλίου (Yevjevich, 1967; Dracup *et al.*, 1980; Zelenhasic and Salvai, 1987; Bonacci, 1993).

3.18. Δείκτης αγρο - υδρολογικού δυναμικού (AHP)

Ο δείκτης γεωργικού και υδρολογικού δυναμικού (Agro-Hydro Potential - AHP) εκτιμά τη γεωργική ξηρασία και εκφράζεται από το λόγο της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής μιας καλλιέργειας (ET_{actual}) προς τη βέλτιστη εξατμισοδιαπνοή της ίδιας καλλιέργειας ($ET_{optimal}$). Σύμφωνα με τον Petrasovits (1984), ο δείκτης αυτός δείχνει σε ποιο βαθμό και για πόσο χρονικό διάστημα ένα συγκεκριμένο εδαφικό σύστημα είναι σε θέση να καλύψει τις ανάγκες σε νερό μιας δεδομένης καλλιέργειας. Ως εκ τούτου, ο δείκτης AHP θεωρείται μια

ικανοποιητική ένδειξη της εμφάνισης ξηρασίας και των διαφόρων επιπέδων υδατικού ελλείμματος. Οι Palfai *et al.* (1995) παρέχουν στην έρευνα τους περαιτέρω ανάλυση του συγκεκριμένου δείκτη. Εξ ορισμού, ο δείκτης AHP κυμαίνεται μεταξύ 0 και 1. Ο Πίνακας 3.10 ερμηνεύει το δείκτη σύμφωνα με το εύρος των τιμών του.

Η ένταση της ξηρασίας, βάσει του δείκτη AHP, καθορίζεται από τον αριθμό των ημερών στις οποίες η καλλιέργεια βρίσκεται υπό καθεστώς στρες λόγω υδατικού ελλείμματος. Ημέρες υπό καθεστώς υδατικού στρες λαμβάνονται εκείνες στις οποίες ο δείκτης AHP εμφανίζει τιμές κάτω του 0.5 (δηλαδή όταν τα υδατικά αποθέματα της καλλιέργειας είναι χαμηλότερα του 50 % των απαιτούμενων αποθεμάτων για την ανάπτυξη της). Όσο μεγαλύτερος σε μέγεθος είναι ο αριθμός των ημερών υπό καθεστώς υδατικού στρες τόσο ισχυρότερη είναι η ένταση της ξηρασίας που εμφανίζεται στην καλλιεργούμενη περιοχή.

Πίνακας 3.10: Κατάσταση καλλιέργειας βάσει των τιμών του δείκτη AHP

Εύρος τιμών δείκτη AHP	Ερμηνεία των συνθηκών εντός της καλλιέργειας
1.0 - 0.8	Το υδατικό έλλειμμα στη συγκεκριμένη καλλιέργεια είναι μόνο θεωρητικό καθώς τα υδατικά αποθέματα είναι ικανοποιητικά
0.8 - 0.5	Η ζήτηση του νερού που απαιτείται για την ανάπτυξη της καλλιέργειας καλύπτεται προσωρινώς αλλά τα υδατικά αποθέματα είναι περιορισμένα
0.5 - 0.3	Εμφανίζεται αυξημένο έλλειμμα νερού, η παροχή νερού στην καλλιέργεια είναι περιοδική και αναπτύσσονται συνθήκες υδατικού στρες
< 0.3	Εμφάνιση έντονου υδατικού στρες στην καλλιέργεια, μείωση ανάπτυξης των φυτών, βιομάζας και απόδοσης. Η παράταση αυτών των συνθηκών οδηγεί σε θάνατο των φυτών της καλλιέργειας.

Ο δείκτης AHP ανήκει σε μια ευρύτερη ομάδα δεικτών, οι οποίοι αναπτύχθηκαν με σκοπό τη μελέτη της διαθεσιμότητας του νερού στο έδαφος και της επάρκειας αυτού για τις καλλιέργειες. Κατά κανόνα, αυτές οι μέθοδοι υπολογίζουν το ισοζύγιο της εδαφικής υγρασίας με χρονικό βήμα 1, 5, 7 ή 10 ημερών και στη συνέχεια, υπό τη μορφή ενός δείκτη, εκτιμούν το βαθμό κάλυψης των αναγκών σε νερό των καλλιεργειών. Η ομάδα αυτή των δεικτών περιλαμβάνει, επίσης, τους δείκτες του FAO (Water satisfaction index), το δείκτη επάρκειας υγρασίας (Index of Moisture Adequacy), το δείκτη διαθεσιμότητας υγρασίας (Moisture Availability Index) καθώς και μια λίστα άλλων δεικτών με την ίδια δομή (Rao *et al.*, 1981; Sastri, 1993; Heddinghaus, 1991; Tate *et al.* 2000; Fere and Popon, 1979). Οι δείκτες αυτοί συνήθως χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση της γεωργικής ξηρασίας και την πρόβλεψη της απόδοσης της καλλιέργειας.

3.19. Δείκτης κανονικοποιημένης στάθμης νερού (SWI)

Ο δείκτης κανονικοποιημένης στάθμης νερού (Standardised Water-Level Index - SWI) έχει προταθεί για την παρακολούθηση της ανωμαλίας στη στάθμη των υπόγειων υδάτων, η οποία εμφανίζεται ως απόρροια του στρες του υδροφόρου ορίζοντα (Bhuiyan, 2004). Ο δείκτης SWI υπολογίζεται από το λόγο της διαφοράς μεταξύ της στάθμης των υδάτων και της εποχικής μέσης τιμής προς την τυπική απόκλιση (Bhuiyan *et al.*, 2006) την κανονικοποίηση των τιμών χρησιμοποιείται η γ κατανομή, που υπολογίζεται όπως και στο δείκτη SPI. Η σχέση υπολογισμού του δείκτη SWI είναι η εξής:

$$SWI = \frac{W_{ij} - W_m}{\sigma} \quad (3.33)$$

όπου W_{ij} είναι η εποχική στάθμη νερού σε κάθε i th πηγάδι και j th παρατήρηση, W_m είναι ο εποχικός μέσος όρος και σ είναι η τυπική απόκλιση.

Ο δείκτης SWI αποτελεί ένδειξη της μείωσης των υπόγειων υδάτων καθώς και ένα έμμεσο μέτρο του ρυθμού επαναφόρτισης του υδροφορέα. Επομένως, θεωρείται και ως ένας έμμεσος τρόπος εκτίμησης της ξηρασίας. Δεδομένου ότι η στάθμη των υπόγειων υδάτων μετράται από την επιφάνεια του εδάφους σε πηγάδια παρατήρησης, οι τιμές του δείκτη εμφανίζουν αντίθετα πρόσημα για την υγρασία και την ξηρασία σε σχέση με άλλους δείκτες που παρουσιάστηκαν. Θετικές ανωμαλίες (θετικές τιμές του δείκτη SWI) αντιστοιχούν σε στρες νερού, και επομένως ξηρασία, ενώ αρνητικές ανωμαλίες (αρνητικές τιμές του δείκτη SWI) αντιπροσωπεύουν κανονικές συνθήκες (Πίνακας 3.11).

Πίνακας 3.11: Κατηγοριοποίηση ξηρασίας σύμφωνα με το δείκτη SWI

Κλάσεις ξηρασίας	Τιμές του δείκτη SWI (Bhuiyan, 2004)
Ακραία ξηρασία	>2.0
Έντονη ξηρασία	>1.5
Μέτρια ξηρασία	>1.0
Ελαφριά ξηρασία	>0.0
Καθόλου ξηρασία (Κανονικές συνθήκες)	<0.0

3.20. Αναγνωριστικός δείκτης ξηρασίας (RDI)

Ο αναγνωριστικός δείκτης ξηρασίας RDI (Reconnaissance Drought Index - RDI) θεωρείται ένας νέος δείκτης ξηρασίας, ο οποίος εφαρμόστηκε πρόσφατα στον Ελλαδικό χώρο καθώς και σε περιοχές της Μεσογειακής ζώνης (Tsakiris and Vangelis, 2005; Tsakiris *et.al.*, 2007; Kanellou *et al.*, 2008c). Τα πρωτογενή

δεδομένα που απαιτούνται για τον υπολογισμό του δείκτη είναι η μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα καθώς και η μηνιαία αθροιστική βροχόπτωση. Αν και ο δείκτης αυτός αναφέρεται στην εκτίμηση της μετεωρολογικής ξηρασίας λόγω της χρήσης μετεωρολογικών μεταβλητών, εντούτοις, έχει τη δυνατότητα να προσφέρει πληροφορίες και για την υδρολογική ξηρασία, καθόσον κατά την ανάπτυξη του χρησιμοποιεί συνιστώσες του υδρολογικού κύκλου. Η αρχική τιμή του δείκτη a_k υπολογίζεται από το λόγο της συνολικής βροχόπτωσης σε μια περιοχή προς τη συνολική δυνητική εξατμισοδιαπνοή, για κάθε συνεχόμενη περίοδο μηνών κατά τη διάρκεια ενός έτους. (εξ. 3.34). Στις πρώτες εφαρμογές του δείκτη χρησιμοποιήθηκε η δυνητική εξατμισοδιαπνοή της μεθόδου Thornthwaite (1948).

$$a_k = \frac{\sum_{j=1}^{j=k} P_j}{\sum_{j=1}^{j=k} PET_j} \quad (3.34)$$

όπου P_j και PET_j είναι η βροχόπτωση και η δυνητική εξατμισοδιαπνοή, αντίστοιχα, για κάθε μήνα j .

Η τιμή a_k μπορεί να υπολογιστεί για κάθε διάρκεια του έτος. Το k υποδηλώνει τη συνεχόμενη περίοδο μηνών του έτους, της οποίας υπολογίζεται η τιμή a . Στην περίπτωση που υπολογίζεται το a ενός και μόνο μηνός το $k=1$, για δύο συνεχείς μήνες $k=2$ κ.ο.κ. Εάν η τιμή a υπολογίζεται συνολικά για όλο το έτος, ο συντελεστής k ισούται με 12 (a_{12}). Μήνας έναρξης θεωρείται ο πρώτος μήνας κάθε υδρολογικού έτους. Στις Μεσογειακές περιοχές, ως έναρξη ενός υδρολογικού έτους συνήθως, θεωρείται ο μήνας Οκτώβριος (όπου $k = 1$). Εναλλακτικά, μπορεί να θεωρηθεί ως έναρξη και οποιοσδήποτε άλλος μήνας αν χρειαστεί.

Στις επιχειρησιακές εφαρμογές, για την εκτίμηση της ξηρασίας, η αρχική τιμή a_k του δείκτη υπολογίζεται για 3, 6, 9 και 12 μήνες, καθώς και σε μηνιαία βάση. Το ετήσιο a_k θα μπορούσε να συγκριθεί και με το δείκτη ξηρασίας AI (Aridity Index) ο οποίος θα είχε υπολογιστεί για την ίδια περιοχή μελέτης. Αν ο a_{12}

εμφανίζει μικρότερες τιμές του AI για ένα συγκεκριμένο έτος, τότε θεωρείται πως η περιοχή υποφέρει από ξηρασία (UNEP, 1992).

Ο δείκτης RDI παρουσιάζεται με δύο διαφορετικές μορφές έκφρασης: Ο Normalised RDI (RDI_n), ο οποίος εμφανίζεται στην εξίσωση 3.35, καθώς επίσης και ο Standardised RDI (RDI_{st}), που υπολογίζεται από τη σχέση 3.36:

$$RDI_n(k) = \frac{a_k}{\bar{a}_k} - 1 \quad (3.35)$$

$$RDI_{st}(k) = \frac{y_k - \bar{y}_k}{\hat{\sigma}_k} \quad (3.36)$$

όπου, a_k είναι η αρχική τιμή του δείκτη για κάθε διάρκεια, \bar{a}_k είναι ο μέσος όρος των a_k , y_k είναι ο νεπέριος λογάριθμος (ln) του a_k , \bar{y}_k και $\hat{\sigma}_k$ είναι ο αριθμητικός μέσος όρος και η τυπική απόκλιση, αντίστοιχα, των y_k .

Ο RDI κυμαίνεται μεταξύ -2 (συνθήκες ξηρασίας) και 2 (συνθήκες υγρασίας). Οι κατηγορίες που διακρίνει βάσει του εύρους τιμών του, είναι αντίστοιχες με αυτές του δείκτη SPI και παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.12.

Πίνακας 3.12: Κατηγορίες ξηρασίας σύμφωνα με το δείκτη ξηρασίας RDI (Tsakiris and Vangelis, 2005)

Κατηγορίες ξηρασίας	Τιμές δείκτη RDI
Εξαιρετικά υγρές	>2.00
Πολύ υγρές	1.50 έως 1.99
Μέτρια υγρές	1.00 έως 1.49
Κανονικές συνθήκες	-0.99 έως 0.99
Μέτρια ξηρές	-1.00 έως -1.49

Έντονα ξηρές	-1.50 έως -1.99
Ακραία ξηρές	<-2.00

Ο δείκτης αυτός παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα έναντι άλλων δεικτών ξηρασίας. Οι κανονικοποιημένες τιμές του δίνουν τη δυνατότητα σύγκρισης του με άλλους δείκτες για κάθε διάρκεια του έτους και για κάθε περιοχή ανεξάρτητα. Η σύγκριση των χαρακτηριστικών της ξηρασίας βάσει των τιμών του RDI με εκείνα που προσδιορίστηκαν από τις τιμές των πλέον διαδεδομένων δεικτών SPI και PDSI απέδειξε την εγκυρότητα του δείκτη, καθόσον και οι τρεις δείκτες προσδιόρισαν τις ίδιες κατηγορίες ξηρασίας στις ίδιες χρονικές περιόδους και στις ίδιες περιοχές. Επιπλέον, ο RDI υπερτερεί σε σχέση με το δείκτη SPI, ο οποίος χρησιμοποιεί μόνο δεδομένα βροχόπτωσης, καθόσον προσφέρει περισσότερο ολοκληρωμένες πληροφορίες για τις συνθήκες της περιοχής, χρησιμοποιώντας επιπλέον και τη δυναμική εξατμισοδιαπνοή. Επίσης, πλεονεκτεί και έναντι του δείκτη PDSI του Palmer, διότι παρέχει τις ίδιες πληροφορίες με πολύ πιο απλούς μεθόδους υπολογισμού.

Ο δείκτης ξηρασίας RDI έχει εφαρμοστεί με επιτυχία με τη χρήση επίγειων μετεωρολογικών δεδομένων σε αρκετές περιοχές της Ελλάδας (Θεσσαλία, Αττική, Κυκλάδες, Πελοπόννησος, Κρήτη), αλλά και σε άλλες Μεσογειακές χώρες όπως στην Κύπρο, στην Ιταλία και στη Μάλτα (Tsakiris, 2008b).

3.21. Δείκτης ξηρασίας ρευματορροής (SDI)

Ο δείκτης ξηρασίας ρευματορροής (Streamflow Drought Index - SDI) προκύπτει αθροιστικά από τις μηνιαίες τιμές του όγκου της απορροής ενός

υδατορεύματος, ενός υδρολογικού έτους (Nalbantis, 2008). Οι αθροιστικοί όγκοι της απορροής υπολογίζονται από τη σχέση 3.37:

$$V_{i,k} = \sum_{j=1}^{3k} Q_{i,j} \quad i = 1,2,\dots \quad j = 1,2,\dots,12 \quad k = 1,2,3,4 \quad (3.37)$$

όπου, $V_{i,k}$ είναι ο αθροιστικός όγκος απορροής ενός υδρολογικού έτους (i) και συγκεκριμένης χρονικής περιόδου (k). Το $k=1$ για το πρώτο τρίμηνο το υδρολογικού έτους (Οκτώβριος- Δεκέμβριος), $k=2$ για το πρώτο εξάμηνο του υδρολογικού έτους (Οκτώβριος- Μάρτιος), $k=3$ για τους πρώτους εννέα μήνες του υδρολογικού έτους (Οκτώβριος- Ιούνιο) και $k=4$ για το σύνολο των μηνών το υδρολογικού έτους (Οκτώβριος- Σεπτέμβριος).

$$SDI_{i,k} = \frac{V_{i,k} - \bar{V}_k}{s_k} \quad i = 1,2,\dots \quad k = 1,2,3,4 \quad (3.38)$$

όπου, \bar{V}_k και s_k είναι ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση των αθροιστικών όγκων απορροής, αντίστοιχα.

Οι κατηγορίες δριμύτητας της ξηρασίας (Πίνακας 3.13), σύμφωνα με το δείκτη αυτό, καθορίζονται παρόμοια με εκείνες που προκύπτουν από τους δείκτες SPI και RDI_{st}. Ο δείκτης SDI καθορίζει πέντε στάδια εξέλιξης της ξηρασίας, τα οποία κυμαίνονται από το 0 (μη ξηρασία) έως το 4 (ακραία ξηρασία) και προσδιορίζονται από την κλίμακα των τιμών του δείκτη.

Ο δείκτης ξηρασίας SDI εφαρμόστηκε επιτυχώς στην περιοχή της λεκάνης απορροής του Εύηνου ποταμού (Δυτική Στερεά Ελλάδα), καθώς και στην περιοχή της λεκάνης απορροής του Βοιωτικού Κηφισού ποταμού (Ανατολική Στερεά Ελλάδα) (Nalbantis, 2008).

Πίνακας 3.13: Κατηγορίες ξηρασίας σύμφωνα με το δείκτη ξηρασίας SDI

Στάδια εξέλιξης ξηρασίας	Κατηγορίες ξηρασίας	Τιμές δείκτη SDI
0	Μη ξηρασία	≥ 0.00
1	Ελάχιστη ξηρασία	0.00 έως -1.00
2	Μέτρια ξηρασία	-1.00 έως -1.50
3	Έντονη ξηρασία	-1.50 έως -2.00
4	Ακραία ξηρασία	< -2.00

Η ανάλυση των παραπάνω δεικτών ξηρασίας, οι οποίοι υπολογίζονται με βάση επίγεια δεδομένα και μετρήσεις, παρουσιάζει μια ενδεικτική κατάσταση των μεθόδων εκτίμησης του υφαινομένου που έχουν αναπτυχθεί παγκοσμίως. Οι περισσότεροι από τους δείκτες αυτούς (δεκατημόρια βροχόπτωσης, SPI, DAI, EDI) προσδιορίζουν ικανοποιητικά τα βασικά χαρακτηριστικά της ξηρασίας, όπως την έναρξη, τη λήξη, τη δριμύτητα, τη διάρκεια, τη συχνότητα, βασισμένοι σε μετεωρολογικά και υδρολογικά δεδομένα (θερμοκρασία, βροχόπτωση). Εντούτοις, ορισμένοι από αυτούς (PDSI, SWSI, RDI) είναι περισσότερο πολύπλοκοι και ακριβείς, λαμβάνοντας υπόψη μεγαλύτερο αριθμό παραμέτρων του υδατικού ισοζυγίου (π.χ. αποθηκευμένη εδαφική υγρασία, απορροή, εξατμισοδιαπνοή, χιονοκάλυψη) και παρέχοντας πληροφορίες και για τη διαχρονική εξέλιξη της ξηρασίας κατά τη διάρκεια ενός υδρολογικού έτους. Κανένας όμως από τους παραπάνω δείκτες, με τη μορφή που εφαρμόζονται, δεν είναι σε θέση να εκτιμήσει τη χωρική εξάπλωση και έκταση του φαινομένου.

Στην παρούσα διδακτορική διατριβή πραγματοποιείται η χωρική εκτίμηση της ξηρασίας σε ολόκληρο το ελληνικό χώρο, με την εφαρμογή του αναγνωριστικού δείκτη ξηρασίας RDI, ο οποίος αναπτύσσεται για πρώτη φορά με

τη χρήση δορυφορικών δεδομένων. Ο δείκτης RDI επιλέχθηκε για τα πλεονεκτήματά του (αποτελεσματική εκτίμηση της ξηρασίας), και επιπλέον, διότι σε σχέση με τους περισσότερο ολοκληρωμένους δείκτες (π.χ. PDSI, SWSI), είναι πιο εύχρηστος και παρουσιάζει λογική απαίτηση σε δεδομένα, τα οποία μπορούν εύκολα να ανακτηθούν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ

Στο προηγούμενο κεφάλαιο αναπτύχθηκαν οι πιο ευρέως διαδεδομένοι δείκτες εκτίμησης ξηρασίας, οι οποίοι βασίζονται σε επίγειες μετρήσεις μεταβλητών από τους μετεωρολογικο ή σταθμούς κάθε περιοχής. Με την εφαρμογή των δεικτών αυτών προσδιορίζεται το μέγεθος της ξηρασίας, η δριμύτητα της, η διάρκεια της καθώς και η έναρξη και η λήξη του φαινομένου. Ένα εξίσου σημαντικό, όμως, χαρακτηριστικό της ξηρασίας είναι και η χωρική της εξάπλωση, καθώς αυτή καθορίζει το μέγεθος της έκτασης που το φαινόμενο επηρεάζει, και το βαθμό σημαντικότητας των επιπτώσεων του (κοινωνικές και οικονομικές). Η χωρική εξάπλωση της ξηρασίας προσδιορίζεται με τη χρήση δεικτών Τηλεπισκόπησης, οι οποίοι βασίζονται σε δορυφορικά δεδομένα των παραμέτρων (δορυφορικές εικόνες). Στις εφαρμογές αυτές σημαντικό ρόλο παίζουν και τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS), το περιβάλλον των οποίων δίνει τη δυνατότητα ανάπτυξης και επεξεργασίας των χωρικών δεδομένων.

4.1. Αρχές Τηλεπισκόπησης

Ο όρος Τηλεπισκόπηση αναφέρεται στη διαδικασία λήψης δεδομένων και πληροφοριών για μια παράμετρο ενός φαινομένου, ένα αντικείμενο ή μια ευρύτερη περιοχή, από απόσταση χωρίς την επαφή, δηλαδή, του δέκτη και του υπό μελέτη αντικειμένου. Προϊόντα Τηλεπισκόπησης θεωρούνται οι αεροφωτογραφίες, οι εικόνες των ραντάρ και τα δεδομένα που προέρχονται από τους αισθητήρες των δορυφόρων, τα οποία είναι και τα περισσότερο διαδεδομένα.

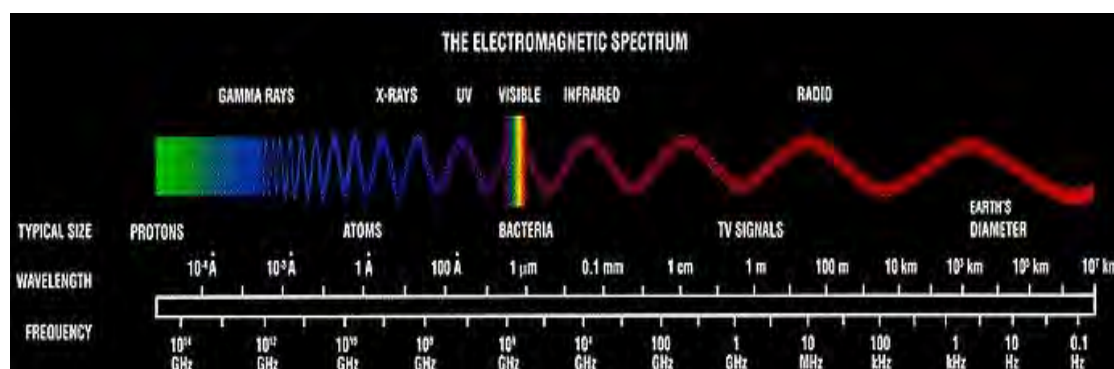
Η δορυφορική Τηλεπισκόπηση παρέχει μεγάλη χωρική κάλυψη και δίνει τη δυνατότητα μελέτης παραμέτρων, όπως θερμοκρασίας εδάφους, ηλιακής

ακτινοβολίας, βροχόπτωσης, εδαφικής υγρασίας, ανέμου, κατάστασης βλάστησης, καθώς και της ανάπτυξης και παραγωγής των καλλιεργειών, μετρώντας ανακλώμενη και εκπεμπόμενη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία από την επιφάνεια και την περιβάλλουσα ατμόσφαιρα της γης (Δαλέζιος, 2002).

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι τύπος κυμάτων σε μορφή ακτινοβολίας, με συνιστώσες ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου, που διαδίδονται στην [ύλη](#) και στο [κενό](#). Περιλαμβάνει τις μορφές ενέργειας που κινούνται με την ταχύτητα του φωτός υπό μορφή αρμονικών κυμάτων (Ηλεκτρομαγνητική Ενέργεια - ΗΜΕ). Η σχέση μεταξύ της ταχύτητας της ΗΜΕ (c), του μήκους κύματος (λ) και της συχνότητας της (f) δίνεται από την εξίσωση (4.1):

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (4.1)$$

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία κατανέμεται στις περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος αναλόγως της θέσεως του μήκους κύματος της. Το εύρος τιμών του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος εκτείνεται από μερικά nm έως και km και διακρίνεται σε τέσσερις κύριες περιοχές, υπεριώδες, ορατό, υπέρυθρο και ραδιοκύματα (Εικόνα 4.1), οι οποίες διακρίνονται και σε επί μέρους κλάσεις.



Εικόνα 4.1: Το φάσμα της Ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

Η λήψη δορυφορικών δεδομένων είναι δυνατή σε ορισμένες περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, όπως στο ορατό(VIS), στο κοντινό υπέρυθρο (NIR), μέσο υπέρυθρο (MIR), θερμικό υπέρυθρο (TIR) και στα μικροκύματα (MV). Τα στοιχεία αυτά μπορούν να εισαχθούν σε μετεωρολογικά ή υδρολογικά μοντέλα ή να συνδυαστούν με άλλες περιγραφικές πληροφορίες για την εξαγωγή συμπερασμάτων.

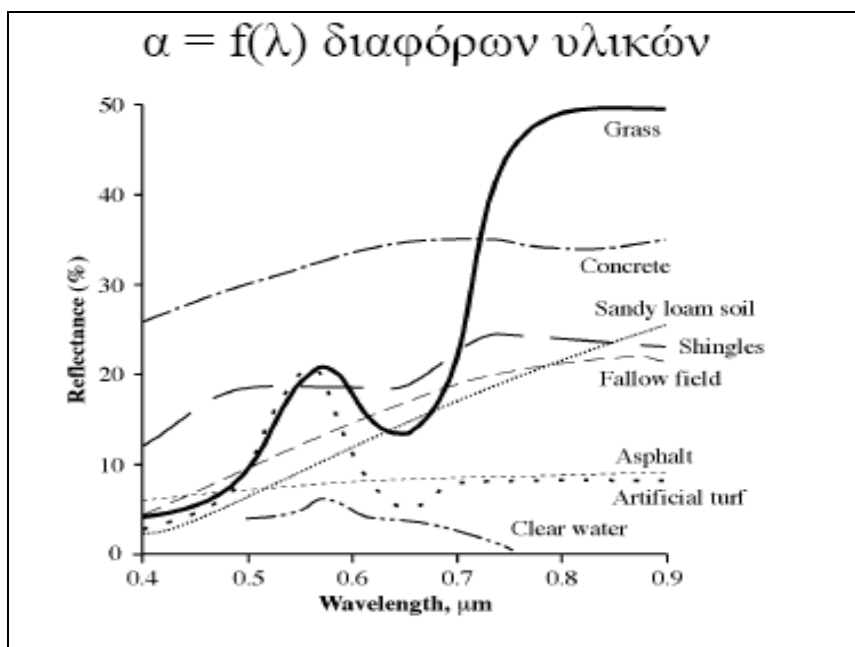
4.2. Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και Τηλεπισκόπηση

Η τηλεπισκόπηση ως μέσο παρατήρησης του συστήματος ατμόσφαιρα - Γη βασίζεται στη μέτρηση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, που εκπέμπονται από την επιφάνεια της Γης και την ατμόσφαιρα. Τα σωματίδια της ύλης του συστήματος αυτού επηρεάζουν την ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος (που προέρχεται από τον ήλιο) και τη μεγάλη μήκους κύματος (γήινη ακτινοβολία) με αποτέλεσμα αυτή να υφίσταται σκέδαση (scattering) ή διασπορά, ανάκλαση (reflection) και απορρόφηση (absorption).

Η απορρόφηση είναι η σημαντικότερη παράμετρος της ακτινοβολίας που σχετίζεται με τη δορυφορική Τηλεπισκόπηση. Οι αισθητήρες των δορυφόρων σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να αποφεύγονται εκείνες οι περιοχές του φάσματος, τα μήκη κύματος των οποίων απορροφούνται από τα αέρια της ατμόσφαιρας. Εκτός, όμως, από την απορρόφηση, τα σωματίδια της ατμόσφαιρας επηρεάζουν τη διάδοση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας διασπείροντας της. Η σκέδαση της ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος είναι μεγαλύτερη από ότι στα μεγάλα μήκη κύματος. Η διάχυση (σκέδαση) διακρίνεται στη σκέδαση Raleigh (προκαλείται από μόρια αερίων μικρότερα του μήκους κύματος του φωτός) και στη σκέδαση Mie (αποτέλεσμα σωματιδίων με μήκος κύματος όμοιο με του φωτός) (Δαλέζιος, 1999).

Οι δορυφορικοί αισθητήρες λαμβάνουν τη μικρού μήκους κύματος σκεδαζόμενη ή ανακλώμενη ακτινοβολία και τη μεγάλο μήκους κύματος

ακτινοβολία, που προσπίπτει στη γήινη επιφάνεια καθώς και στα σωματίδια της ατμόσφαιρας. Ως ανακλαστικότητα μιας επιφάνειας ορίζεται το ποσοστό της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος που ανακλάται σε ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος (Δαλέζιος, 2002). Κάθε υλικό ανακλά την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με διαφορετικό τρόπο και χαρακτηρίζεται από τις συγκεκριμένες τιμές που εκπέμπει στις περιοχές του φάσματος. Το σήμα κάθε αντικειμένου, δηλαδή, που καταγράφεται στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα (φασματική απόκριση) είναι μοναδικό και ονομάζεται φασματική υπογραφή αυτού. Οι φασματικές υπογραφές των στοιχείων υποδηλώνουν το ποσοστό ανάκλασης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας του κάθε στοιχείου κατά μήκος του φάσματος και επιτρέπουν την ανίχνευση των αντικειμένων αυτών στο χώρο κατά την επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων. Στην Εικόνα 4.2 παρουσιάζεται η αλληλεπίδραση βασικών στοιχείων της γήινης επιφάνειας (π.χ. έδαφος, βλάστηση, νερό, άσφαλτος κλπ.), με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και διακρίνονται οι φασματικές υπογραφές κάθε αντικειμένου.



Εικόνα 4.2: Ποσοστό ανάκλασης (α) βασικών στοιχείων της γήινης επιφάνειας και οι φασματικές υπογραφές τους κατά μήκος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος

4.3. Χαρακτηριστικά των δορυφορικών συστημάτων

Τα δεδομένα των τηλεπισκοπικών εφαρμογών προέρχονται από δορυφόρους, οι οποίοι φέρουν σύγχρονα καταγραφικά όργανα (αισθητήρες) που δειγματοληπτούν σε διαφορετικά τμήματα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Μια βασική τους διάκριση έγκειται στο είδος του μήκους κύματος που οι αισθητήρες τους καταγράφουν. Άλλοι είναι ευαίσθητοι στην ορατή περιοχή του φάσματος, άλλοι στην υπέρυθη και άλλοι στα μικροκύματα.

Τα δορυφορικά συστήματα διακρίνονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες, στα ενεργητικά και στα παθητικά. Τα ενεργητικά συστήματα ή ενεργητικοί ανιχνευτές διαθέτουν δική τους πηγή ακτινοβολίας, εκπέμπουν ενέργεια προς ένα αντικείμενο και στη συνέχεια καταγράφουν την ανακλώμενη ακτινοβολία. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα μετεωρολογικά και δορυφορικά Radar, καθώς και ο περιβαλλοντικός δορυφόρος Radarsat. Η ακτινοβολία που καταγράφουν τα ενεργητικά συστήματα είναι μεταξύ 1cm και 1m στη φασματική περιοχή, και είναι σε θέση να διαπεράσει τα σύννεφα, την ισχυρή βροχόπτωση και την ομίχλη. Για το λόγο αυτό η επιχειρησιακή τους δυνατότητα είναι μεγάλη με την προϋπόθεση ότι ο δορυφόρος διέρχεται συχνά πάνω από τις ίδιες περιοχές. Τα παθητικά συστήματα τηλεπισκόπησης (ραδιόμετρα) εξαρτώνται από το ηλιακό φως για την καταγραφή της ανακλώμενης και εκπεμπόμενης ακτινοβολίας. Επηρεάζονται όμως από την παρουσία νεφών, ομίχλης, καπνού και σκότους (Δαλέζιος, 2002). Τα συστήματα αυτά έχουν τη δυνατότητα καταγραφής από το υπεριώδες τμήμα του φάσματος έως και το μακρινό υπέρυθρο (Φείδας, 1999).

Χαρακτηριστικό των δορυφόρων είναι η διακριτική τους ικανότητα, η οποία διακρίνεται σε τέσσερις κατηγορίες:

- Χωρική διακριτική ικανότητα: θεωρείται η ικανότητα του εκάστοτε ανιχνευτή να διακρίνει δυο διαφορετικά αντικείμενα και μετράται με τη μικρότερη απόσταση μεταξύ των αντικειμένων αυτών η οποία είναι απαραίτητη στον αισθητήρα για να τα διαχωρίσει. Πρακτικά, η χωρική διακριτική ικανότητα ισούται

με το μέγεθος του εικονοστοιχείου (picture element: pixel) της δορυφορικής εικόνας.

- Φασματική διακριτική ικανότητα: υποδηλώνει τις περιοχές του φάσματος που ο κάθε αισθητήρας καταγράφει. Πρακτικά, μετράται με τον αριθμό των καναλιών (bands) όπως λέγονται, του δορυφόρου.

- Χρονική διακριτική ικανότητα: προσδιορίζεται με το χρονικό διάστημα που χρειάζεται ένας δορυφόρος για να σαρώσει την ίδια περιοχή. Υποδηλώνει, δηλαδή, τη συχνότητα με την οποία ο δορυφόρος παρέχει πληροφορίες για ένα συγκεκριμένο σημείο.

- Ραδιομετρική διακριτική ικανότητα: εξαρτάται από την ευαισθησία του αισθητήρα του δορυφόρου να καταγράφει τις διαφορές στην ισχύ του σήματος.

Οι κυριότεροι δορυφόροι που χρησιμοποιούνται σήμερα, στις περιβαλλοντικές εφαρμογές, είναι μετεωρολογικοί και περιβαλλοντικοί. Στους μετεωρολογικούς δορυφόρους ανήκουν οι γεωστάσιμοι δορυφόροι METEOSAT και οι πολικής τροχιάς NOAA. Οι μετεωρολογικοί δορυφόροι λαμβάνουν διαρκώς πληροφορίες και μεταδίδουν σε επίγειους μετεωρολογικούς σταθμούς, παρέχοντας δεδομένα για ολόκληρη την επιφάνεια της γης, την ατμόσφαιρα και τα νεφικά συστήματα.

Ο δορυφόρος METEOSAT (Εικόνα 4.3) βρίσκεται σε απόσταση 36.000 χλμ. από τον Ισημερινό της Γης και παρέχει πληροφορίες κάθε 30 λεπτά, σε τρεις περιοχές του φάσματος (τρία κανάλια: ορατό, υπέρυθρο και θερμικό υπέρυθρο). Η χωρική διακριτική ικανότητα του είναι $2.4 \times 2.4 \text{ km}^2$.

Οι δορυφόροι της σειράς NOAA (Εικόνα 4.4) προήλθαν από τη μετονομασία των δορυφόρων TIROS. Η τροχιά των δορυφόρων αυτών βρίσκεται σε απόσταση 850 χλμ. από την επιφάνεια της γης, είναι σχεδόν πολικής τροχιάς και με περίοδο περιστροφής γύρω από τη γη 102 λεπτά (Δαλέζιος, 2002). Ένα από τα βασικότερα συστήματα που μεταφέρονται στους δορυφόρους αυτούς είναι το προηγμένο ραδιόμετρο πολύ υψηλής ραδιομετρικής διακριτικής ικανότητας, που ονομάζεται AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer).



Εικόνα 4.3: Δορυφόρος METEOSAT



Εικόνα 4.4: Δορυφόρος NOAA

Ο ανιχνευτής AVHRR έχει χωρική διακριτική ικανότητα 1,1 Km στο ναδίρ και μπορεί να σαρώσει ταυτόχρονα περιοχή 2400 Km. Η χρονική διακριτική του ικανότητα είναι 6 ώρες. Ο συγκεκριμένος δέκτης καταγράφει την ακτινοβολία που φτάνει σ' αυτόν σε πέντε φασματικές περιοχές (κανάλια): α) κανάλι 1: ορατό, β) κανάλι 2: πολύ κοντινό υπέρυθρο, γ) κανάλι 3: μέσο υπέρυθρο, δ) κανάλια 4 και 5: θερμικό υπέρυθρο.

Οι περιβαλλοντικοί δορυφόροι συλλέγουν εικόνες και στοιχεία, τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν για την αντιμετώπιση της ρύπανσης του περιβάλλοντος, την πρόληψη και τον εντοπισμό πυρκαγιών, την παρακολούθηση καλλιεργειών, την αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών, καθώς και για την έρευνα, με απώτερο στόχο τη βελτίωση της ζωής σε όλο τον πλανήτη. Από τους πιο γνωστούς περιβαλλοντικούς δορυφόρους είναι οι Landsat, SPOT και Ikonos.

Οι δορυφόροι της γενιάς Landsat είναι οι πρώτοι περιβαλλοντικοί δορυφόροι που τέθηκαν σε τροχιά. Ένα από τα όργανα που διαθέτουν είναι ο θεματικός χαρτογράφος (Thematic Mapper: TM), ο οποίος καταγράφει την ακτινοβολία σε ποικίλες περιοχές του φάσματος (τρεις στο ορατό, μια στο κοντινό υπέρυθρο, δύο στο μέσο υπέρυθρο και μια στο θερμικό υπέρυθρο) και έχει χωρική

διακριτική ικανότητα 3 0 μέτρων. Οι δορυφόροι αυτοί καλύπτουν το 9 5 %της επιφάνειας της γης κάθε 18 ημέρες.

Ο δορυφόρος SPOT καταγράφει την ακτινοβολία στο ορατό και στο κοντινό υπέρυθρο και αποτελείται από δύο συστήματα: το πολυφασματικό με 20 μέτρα χωρική ανάλυση και το παγχρωματικό με 10 μέτρα χωρική διακριτική ικανότητα. Ο SPOT καλύπτει τη γη σε 26 ημέρες και παρουσιάζει χρονική διακριτική ικανότητα 3 έως 7 ημέρες.

Ο δορυφόρος Ikonos (το όνομα του οποίου προέρχεται από την ελληνική λέξη «εικόνα») λειτουργεί από τον Σεπτέμβριο του 1999, αποτελώντας τον πρώτο δορυφόρο που λάμβανε εμπορικά διαθέσιμα δεδομένα χωρικής ανάλυσης 1m (Εικόνα 4.5). Λόγω της υψηλής διακριτικής ικανότητας (1m στα παγχρωματικά, 4m στα πολυφασματικά), τα δεδομένα του μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πλήθος εφαρμογών. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα να συνδυαστούν τα παγχρωματικά με τα πολυφασματικά δεδομένα, δίνοντας έτσι έγχρωμα δεδομένα διακριτικής ικανότητας 1m.



Εικόνα 4.5: Περιβαλλοντικός δορυφόρος Ikonos σε τροχιά

Η ραγδαία εξέλιξη τα τελευταία χρόνια στο χώρο της Τηλεπισκόπησης, λόγω της εκτόξευσης νέων δορυφόρων στο διάστημα, των οποίων η χωρική

διακριτική ανάλυση ξεπερνάει το 1 m, και η αύξηση της ταχύτητας των ηλεκτρονικών υπολογιστών, έδωσε τεράστια ώθηση στις γεωεπιστήμες, στη μελέτη του περιβάλλοντος και στην αξιοποίηση των φυσικών πόρων. Συγκεκριμένα, οι τομείς εφαρμογής αφορούν στη μελέτη της ατμόσφαιρας, της λιθόσφαιρας (γεωλογία, γεωμορφομετρία, υδρολογία), της βιόσφαιρας (βλάστηση, καλλιέργειες, εδάφη), της υδρόσφαιρας καθώς και της χαρτογράφησης των χρήσεων και κάλυψης γης (Δαλέζιος, 2002).

Οι εφαρμογές της τηλεπισκόπησης είναι πάρα πολλές. Επιγραμματικά αναφέρονται οι ακόλουθες:

- Χαρτογράφηση κάλυψης γης και χρήσεων γης.
- Προσδιορισμός εδαφικής υγρασίας, προσδιορισμός δεικτών συνθηκών βλάστησης, προσδιορισμός υδατικού ισοζυγίου.
- Ταξινομήσεις καλλιεργειών, εκτίμηση παραγωγής.
- Παρακολούθηση, εκτίμηση και αντιμετώπιση καταστροφών (φωτιές, πλημμύρες, ξηρασία, κλπ).
- Χαρτογράφηση γεωλογικών σχηματισμών, γεωμορφολογική - μορφομετρική ανάλυση ανάγλυφου.
- Προσδιορισμός μικρομετακινήσεων (mm) και ψηφιακών μοντέλων αναγλύφου (DTM) με μετρήσεις radar και DTMs μεγάλων περιοχών.
- Εντοπισμός αρχαιολογικών χώρων - κτισμάτων.
- Παρακολούθηση θαλάσσιας ρύπανσης.

4.4. Εφαρμογές τηλεπισκόπησης στο φαινόμενο της ξηρασίας

Η ξηρασία ως φαινόμενο συνδέεται άμεσα με την έλλειψη υδατικών αποθεμάτων καθώς και με γεωγραφικούς παράγοντες, όπως η βλάστηση, η εδαφική υγρασία (soil water) και η κατάσταση παραγωγικότητας του εδάφους.

Η έλλειψη νερού επηρεάζει σημαντικά την ανάπτυξη, την παραγωγικότητα και την επιβίωση των φυτών. Οι εφαρμογές της τηλεπισκόπησης παρέχουν τη δυνατότητα εκτίμησης του υδατικού ελλείμματος με την ανάπτυξη νέων αισθητήρων με μεγαλύτερη φασματική διακριτική ικανότητα. Από τις μεθόδους αυτές, οι πλέον άμεσα διαθέσιμες είναι εκείνες που βασίζονται στην φυσιολογία των φυτών. Δείκτες βλάστησης που χρησιμοποιούν το υπέρυθρο (R) και το κοντινό υπέρυθρο (NIR) έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία για εξαγωγή συμπερασμάτων που αφορούν στην παραγωγικότητα των φυτών (Thompson and Wehmane, 1980, Walsh, 1987; Justice, and Townshend, 2002).

Επίσης, πλεονέκτημα παρουσιάζουν και οι μέθοδοι που συνδυάζουν τα θερμικά δεδομένα του υπέρυθρου και του κοντινού υπέρυθρου για τον εντοπισμό περιοχών βλάστησης με έλλειμμα νερού (Hope, 1988; Nemani and Running, 1989). Η περιεκτικότητα του νερού στα φύλλα ελαττώνεται καθώς η ανάκλαση αυξάνει (Lillesand and Kiefer, 1979; Carlson *et al.* 1971; Ripple, 1986). Εντούτοις, οι διαφορές στην ανάκλαση της βλάστησης, που βρίσκεται σε κατάσταση έλλειψης νερού, από τη βλάστηση σε κανονικές συνθήκες, μπορούν να εντοπιστούν μόνο αν είναι μεγάλες και το φαινόμενο έχει ταυτοποιηθεί με επίγειες μετρήσεις. Οι φασματικές υπογραφές που διακρίνονται περισσότερο εύκολα με τις τηλεπισκοπικές μεθόδους είναι αυτές των κωνοφόρων με σημαντική καταπόνηση λόγω έλλειψης νερού.

Για την εκτίμηση της ξηρασίας στις διάφορες μορφές της έχουν αναπτυχθεί, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη παράγραφο, ποικίλοι δείκτες οι οποίοι χρησιμοποιούν επίγειες μετρήσεις. Κανένας, όμως, από τους δείκτες αυτούς δεν παρέχει πληροφορίες της χωρικής εξάπλωσης του φαινομένου. Το αραιό δίκτυο μετεωρολογικών σταθμών, η μη κανονική γεωγραφική κατανομή των μετεωρολογικών σταθμών καθώς και η μη άμεση διάθεση των επεξεργασμένων δεδομένων αυτών μειώνουν την πρακτικότητα των συμβατικών δεικτών.

Τα δορυφορικά δεδομένα, απεναντίας, παρέχουν πληροφορίες για την κατάσταση της βλάστησης, της υγρασίας και των υδατικών αποθεμάτων μιας

ευρύτερης περιοχής με αποτέλεσμα να προσδιορίζουν ολοκληρωμένα την δριμύτητα, τη διάρκεια και τη χωρική κατανομή της ξηρασίας. Τα δορυφορικά δεδομένα μπορούν, επίσης, να παράσχουν συμπληρωματικές μετρήσεις των φυσικών μεταβλητών που χαρακτηρίζουν τις κλιματικές συνθήκες μιας περιοχής, καθώς και τις αποκλίσεις των μεταβλητών από τις μέσες τιμές. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται και η παρακολούθηση του φαινομένου.

Συνοψίζοντας, προκύπτει το συμπέρασμα πως η χρήση των δεδομένων τηλεπισκόπησης προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα. Επιτρέπει μεγάλη έως και πλανητική χωρική κάλυψη. Προσφέρει πληροφορίες σε περιοχές που δεν είναι προσβάσιμες για διάφορους λόγους (ιδιαίτερα υψηλές θερμοκρασίες, ραδιενέργεια κ.λ.π.), καθιστώντας δυνατή τη μέτρηση μεταβλητών και την παρατήρηση φαινομένων. Επιπλέον, μειώνει το κόστος των μετρήσεων, ελαττώνοντας τον απαιτούμενο χρόνο εκτέλεσης κάποιων παρατηρήσεων ή μετρήσεων. Τέλος είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί όταν δεν υπάρχει άλλη εναλλακτική μέθοδος.

4.5. Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS)

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Geographical Information Systems: GIS) είναι ένα σύστημα το οποίο διαχειρίζεται χωρικά (γεωγραφικές πληροφορίες) και σημειακά δεδομένα καθώς και περιγραφικές πληροφορίες μεταβλητών. Τα GIS έχουν αποδειχτεί ένα ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο για διάφορους επιστημονικούς χώρους, καθώς παρέχουν τη δυνατότητα επεξεργασίας μεγάλου όγκου χωρικής πληροφορίας, και τη σύνδεση της με σημειακά δεδομένα ή χαρακτηριστικά κάποιας μεταβλητής ή περιοχής μέσω μιας βάσης δεδομένων. Επιπλέον, έχουν τη δυνατότητα επεξεργασίας και ανάλυσης υψομετρικών δεδομένων δημιουργώντας τρισδιάστατα μοντέλα αναγλύφου, αναπαριστώντας το ανάγλυφο της επιφάνειας του εδάφους μιας περιοχής. Διαχειρίζονται, ακόμα και σύνθετες πληροφορίες συνδυάζοντας δεδομένα δυο ή και περισσότερων επιπέδων μιας περιοχής, προσφέροντας πολυδιάστατα στοιχεία. Τα GIS συνεργάζονται

αρμονικά με άλλα επιστημονικά πεδία, όπως τη Γεωγραφία, τη Χαρτογραφία, τη Φωτογραμμετρία, την Τηλεπισκόπηση, την Τοπογραφία, τη Στατιστική, την Επιχειρησιακή έρευνα κλπ.

Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων της επεξεργασίας των δεδομένων αυτών συνήθως πραγματοποιείται με τη μορφή χαρτών ή πινάκων. Οι πληροφορίες που προκύπτουν χρησιμοποιούνται, είτε για να αναγνωρίσουν και να επισημάνουν την ύπαρξη και τη θέση ενός προβλήματος, είτε για να ανιχνεύσουν και να αναλύσουν τις διάφορες εναλλακτικές λύσεις ή και για να βοηθήσουν στην εκτέλεση μιας απόφασης.

Οι χρήσεις των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών μπορούν να είναι άπειρες και πολύπλευρες, και παρουσιάζουν ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών από τη βελτίωση της ποιότητας ζωής έως και επιστημονικές εφαρμογές με βαρύτατη σημασία. Αναφέρονται επιγραμματικά κάποιες από αυτές:

- *Περιβαλλοντική διαχείριση και διαχείριση φυσικών πόρων*: καταγραφή πληθυσμών και των φυσικών πόρων, προσδιορισμός της γεωγραφικής του εξάπλωσης, αναλύσεις περιβαλλοντικών επιπτώσεων ανθρωπογενών δραστηριοτήτων, παρακολούθηση περιβαλλοντικών/ φυσικών κινδύνων, προσομοίωση περιβαλλοντικών προβλημάτων και υπόδειξη της βέλτιστης λύσης κ.α

- *Πολεοδομικός και χωροταξικός σχεδιασμός*: προγραμματισμός οικισμών, οδικού δικτύου, αερολιμένων, λιμανιών, κατανομή στρατιωτικών εγκαταστάσεων, Τοπολογία (ανάλυση χωρικών δικτύων με τη χρήση κατάλληλων αλγορίθμων) κα.

- *Υγειονομικές εφαρμογές*: σχεδιασμός βέλτιστης χωροθέτησης νοσοκομείων και σταθμών άμεσης επέμβασης ασθενοφόρων σε σχέση με την κατανομή του πληθυσμού, παρακολούθηση επιδημιών και ασθενειών.

- *Διαχείριση δημοσίων υπηρεσιών*: παροχή άμεσης πληροφόρησης πολιτών, καταγραφή ιδιοκτησιών (κτηματολόγιο), δημιουργία χαρτών δασικών εκτάσεων,

αρχαιολογικών χώρων, παραδοσιακών οικισμών, διαχείριση και στατιστική ανάλυση οικονομικών στοιχείων, διαχείριση δημογραφικών στοιχείων κα.

- Επίγειες και θαλάσσιες μεταφορές: μετάδοση πληροφοριών μέσω τηλεπικοινωνιακών δικτύων, συνδυασμός με συστήματα ραντάρ, σχεδιασμός ασφαλών οδών στη ναυσιπλοΐα και στις οδικές μεταφορές, εντοπισμός επικίνδυνων σημείων και αποφυγή ατυχημάτων, επιλογή βέλτιστων δρομολογίων για τη μεταφορά αγαθών και συνεισφορά στην αύξηση κέρδους επιχειρήσεων κα.

Στην παρακολούθηση του φαινομένου της ξηρασίας, τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, μπορούν να συμβάλουν άμεσα στη χαρτογράφηση της χωρικής κατανομής της. Επιπλέον, έχουν τη δυνατότητα να προβάλλουν τις επιπτώσεις του φαινομένου αυτού και της εξάπλωσης του στις καλλιέργειες, στα δασικά οικοσυστήματα, στα υδατικά αποθέματα, ακόμα και στα αστικά κέντρα, συνδέοντας την κατανομή του με ανάλογες βάσεις δεδομένων. Τα αποτελέσματα αυτών των εφαρμογών, με την κατάλληλη χρήση τους, οδηγούν σε στρατηγικές λήψεις αποφάσεων για την ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων σε μια περιοχή, που υποφέρει από μακροχρόνιες ξηρασίες και στην αποφυγή περιβαλλοντικών και οικονομικών επιπτώσεων.

4.6. Δείκτες ξηρασίας με χρήση δεδομένων τηλεπισκόπησης

Αρκετοί δείκτες, που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν, μεταξύ των άλλων, για την παρακολούθηση της ξηρασίας, έχουν αναπτυχθεί κατά τις τελευταίες δεκαετίες με τη χρήση δεδομένων τηλεπισκόπησης. Υπολογίζονται μέσω της ανάκλασης της ακτινοβολίας σε ποικίλα δορυφορικά κανάλια, και παρέχουν τιμές των μεταβλητών που μετρούν για κάθε εικονοστοιχείο (pixel) της δορυφορικής εικόνας (το μέγεθος ενός pixel εξαρτάται από τη χωρική ανάλυση του εκάστοτε αισθητήρα). Οι δείκτες αυτοί εμφανίζουν πλεονεκτήματα συγκριτικά με τους συμβατικούς δείκτες ξηρασίας (επίγειων δεδομένων), καθώς καλύπτουν

μεγάλες περιοχές και είναι σε θέση να εκτιμήσουν την εξέλιξη της ξηρασίας στο χώρο και στο χρόνο.

Οι δείκτες παρακολούθησης ξηρασίας βασίζονται σε δορυφορικά δεδομένα ενός μεγάλου αριθμού δορυφόρων (π.χ. NOAA/ AVHRR, MODIS, METEOSAT). Συνήθως, τα δεδομένα αυτά αφορούν ραδιομετρικές μετρήσεις της κατάστασης και της ποιότητας της βλάστησης σύμφωνα με τον τύπο βλάστησης και το στάδιο ανάπτυξης, χρησιμοποιώντας τις φασματικές υπογραφές των φυτών, κυρίως στο υπέρυθρο (R) και στο κοντινό υπέρυθρο (NIR). (Huete *et al.*, 1997, 2002; Clevers and Verhoef, 1993; Thenkabail, 2003; Thenkabail *et al.*, 2004). Καταγράφουν, όμως, και άλλες απαραίτητες για την ξηρασία μεταβλητές (π.χ. θερμοκρασία εδάφους). Στον Πίνακα 4.1. παρουσιάζονται οι περισσότερο διαδεδομένοι δείκτες εκτίμησης και παρακολούθησης ξηρασίας που χρησιμοποιούν δεδομένα τηλεπισκόπησης.

Πίνακας 4.1: Δείκτες ξηρασίας δορυφορικών δεδομένων

1. Δείκτης βλάστησης κανονικοποιημένης διαφοράς (Normalized Difference Vegetation Index- NDVI)	7. Δείκτης υγιούς βλάστησης (Vegetation Health Index)
2. Δείκτης απόκλισης του NDVI (Deviation NDVI index- DEV_{NDVI})	8. Δείκτης θερμοκρασίας κανονικοποιημένης διαφοράς (Normalized Difference Temperature Index- NDTI)
3. Δείκτης ενισχυμένης βλάστησης (Enhanced Vegetation Index- EVI)	9. Δείκτης υδατικού στρες καλλιέργειας (Crop Water Stress Index- CWSI)
4. Δείκτης κατάστασης βλάστησης (Vegetation Condition Index- VCI)	10. Δείκτης δριμύτητας ξηρασίας (Drought Severity Index- DSI)

5. Μηνιαίος δείκτης κατάστασης βλάστησης (Monthly Vegetation Condition Index- MVCI)	11. Δείκτης ξήρανσης θερμοκρασίας- βλάστησης (Temperature- Vegetation Dryness Index TVDI)
6. Δείκτης κατάστασης θερμοκρασίας (Temperature Condition Index- TCI)	12. Δείκτης νερού κανονικοποιημένης διαφοράς (Normalized Difference Water Index- NDWI)

4.6.1. Δείκτης βλάστησης κανονικοποιημένης διαφοράς (NDVI)

Ο δείκτης βλάστησης κανονικοποιημένης διαφοράς (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI) προτάθηκε για πρώτη φορά από τον Tucker (1979) ως ένας δείκτης που προσδιορίζει την υγεία και την πυκνότητα της βλάστησης. Ο NDVI υπολογίζεται ως εξής:

$$NDVI = \frac{\lambda_{NIR} - \lambda_{red}}{\lambda_{NIR} + \lambda_{red}} \quad (4.2)$$

όπου λ_{NIR} και λ_{red} είναι η ανάκλαση στο κοντινό υπέρυθρο και στο υπέρυθρο αντίστοιχα.

Ο NDVI είναι ο πιο ευρέως χρησιμοποιούμενος δείκτης βλάστησης (Jensen, 1996; Jordan, 1969; Deering, 1978; Tucker, 1979). Κυμαίνεται από -1 έως +1 και διακρίνεται σε επτά κατηγορίες είδους εδαφοκάλυψης (Πίνακας 4.2), καθώς παρέχει πληροφορίες όχι μόνο για τη βλάστηση αλλά και για το γυμνό έδαφος, το νερό και το χιόνι. Στον ίδιο Πίνακα εμφανίζεται και το εύρος τιμών του δείκτη (0-255), σε μια δορυφορική εικόνα, πριν την κανονικοποίησή τους.

Πίνακας 4.2: Είδος εδαφοκάλυψης σύμφωνα με τις τιμές του δείκτη NDVI

Είδος εδαφοκάλυψης	NDVI (-1, +1)	NDVI (0-255)
Πυκνή βλάστηση	$0.500 \leq \text{NDVI} \leq 1$	$210 \leq \text{NDVI} \leq 255$
Μέτρια βλάστηση	$0.140 \leq \text{NDVI} < 0.500$	$118 \leq \text{NDVI} < 210$
Αραιή βλάστηση	$0.090 \leq \text{NDVI} < 0.140$	$105 \leq \text{NDVI} < 118$
Γυμνό έδαφος	$0.025 \leq \text{NDVI} < 0.090$	$88 \leq \text{NDVI} < 105$
Νέφη	$0.002 \leq \text{NDVI} < 0.025$	$83 \leq \text{NDVI} < 88$
Χιόνι και πάγος	$-0.046 \leq \text{NDVI} < 0.002$	$70 \leq \text{NDVI} < 83$
Νερό	$-1 \leq \text{NDVI} < -0.046$	$0 \leq \text{NDVI} < 70$

Ο NDVI, ωστόσο, παρουσιάζει δύο μειονεκτήματα: α) χρησιμοποιεί μόνο δύο δορυφορικά κανάλια και δεν είναι ιδιαίτερα ευαίσθητος στις επιδράσεις της ανάκλασης του εδάφους σε περιπτώσεις μικρής έκτασης φυτοκάλυψης και β) παρουσιάζει μια υστέρηση απόκρισης στην ξηρασία (Reed, 1993; Rundquist and Harrington, 2000; Wang *et al.*, 2001), λόγω της χρονικής υστέρησης επίδρασης του ελλείμματος της βροχόπτωσης στη βλάστηση, εξαιτίας της αποθηκευμένης εδαφικής υγρασίας. Προηγούμενες μελέτες έχουν δείξει ότι η υστέρηση αυτή μπορεί να φτάσει μέχρι και τους 3 μήνες (Justice *et al.*, 1986; Farrar *et al.*, 1994; Wang, 2000; Wang *et al.*, 2001) και εξαρτάται από τον τρόπο και το ρυθμό άρδευσης της περιοχής (μη αρδευόμενη, μερικώς αρδευόμενη ή πλήρως αρδευόμενη). Όσο λιγότερο αρδεύεται μια περιοχή τόσο μικρότερη είναι η χρονική υστέρηση εμφάνισης μιας ξηρασίας.

4.6.2. Δείκτης απόκλισης του NDVI (DEV_{NDVI})

Ο δείκτης NDVI, αυτούσιος, δεν αντικατοπτρίζει τις συνθήκες ξηρασίας ή υγρασίας. Όμως, η δριμύτητα μιας ξηρασίας (ή η έκταση της υγρασίας) μπορεί να οριστεί ως η απόκλιση των τιμών NDVI από το μέσο όρο μιας μακροχρόνιας

σειράς τιμών του ίδιου δείκτη (Deviation NDVI index - DEV_{NDVI}). Η απόκλιση αυτή υπολογίζεται ως η διαφορά μεταξύ των τιμών του δείκτη για το τρέχον χρονικό βήμα (π.χ., τον Ιανουάριο του 1995) και του μέσου όρου των τιμών NDVI για τον μήνα αυτό (π.χ., μέσος όρος Ιανουαρίων 18 διαδοχικών) για κάθε pixel:

$$DEV_{NDVI} = NDVI_i - NDVI_{mean,m} \quad (4.3)$$

όπου, $NDVI_i$ είναι η τρέχουσα τιμή NDVI (π.χ μήνα) και $NDVI_{mean,m}$ είναι ο μέσος όρος NDVI για τον ίδιο μήνα.

Οι αρνητικές τιμές του δείκτη DEV_{NDVI} , υποδηλώνουν κατάσταση βλάστησης κάτω των κανονικών συνθηκών και ως εκ τούτου, εμφάνιση ξηρασίας, της οποίας το μέγεθος αυξάνει όσον αυξάνει και η αρνητική απόκλιση. Σε γενικές γραμμές, η απόκλιση αυτή παρέχει περισσότερες πληροφορίες για την κατάσταση της περιοχής από έναν απλό δείκτη ξηρασίας, καθώς αντικατοπτρίζει την απόκλιση από τις κανονικές συνθήκες υγιούς βλάστησης, που επικρατούν στις υγρές χρονικές περιόδους (Thenkabail *et al.*, 2004).

Αν και ο δείκτης αυτός χρησιμοποιείται ευρέως σε μελέτες ξηρασίας (π.χ., Johnson *et al.*, 1993), εντούτοις, εμφανίζει περιορισμούς κατά την ερμηνεία του. Η απόκλιση από το μέσο όρο, δεν λαμβάνει υπόψη την τυπική απόκλιση και, συνεπώς, μπορεί να παρερμηνευθεί, όταν η μεταβλητότητα των συνθηκών βλάστησης σε μια περιοχή είναι πολύ υψηλή σε ένα δεδομένο έτος.

4.6.3. Δείκτης ενισχυμένης βλάστησης (EVI)

Ο δείκτης ενισχυμένης βλάστησης (Enhanced Vegetation Index - EVI) αναπτύχθηκε από τους Huete *et al.* (2002) με τη χρήση δεδομένων του δορυφόρου MODIS. Το πλεονέκτημά του σε σχέση με το δείκτη NDVI έγκειται στο ότι λαμβάνει δεδομένα από περισσότερα δορυφορικά κανάλια. Ο δείκτης EVI υπολογίζεται ως εξής:

$$EVI = G * \frac{\rho_{NIR} - \rho_{Red}}{\rho_{NIR} + C_1 * \rho_{Red} - C_2 * \rho_{Blue} + L} \quad (4.4)$$

όπου ρ_{NIR} , ρ_{Red} , ρ_{Blue} είναι η ανάκλαση στο κοντινό υπέρυθρο, στο υπέρυθρο και στο υπεριώδες του φάσματος, αντίστοιχα, C_1 , C_2 είναι οι συντελεστές διόρθωσης ατμοσφαιρικής αντίστασης για το υπέρυθρο και το υπεριώδες, αντίστοιχα, L είναι ο συντελεστής διόρθωσης της φωτεινότητας της φυτοκάλυψης, και G ο παράγοντας κέρδους.

Οι συντελεστές που χρησιμοποιήθηκαν κατά την εφαρμογή του EVI είναι: $L = 1$, $C_1 = 6$, $C_2 = 7.5$, και $G = 2.5$. Ο δείκτης EVI παρουσιάζει ευαισθησία στην υψηλή βιομάζα των περιοχών και διασφαλίζει τη βέλτιστη παρακολούθηση της βλάστησης μέσω της μείωσης των ατμοσφαιρικών επιρροών (Hu & 2002). Οι σύνθετοι, όμως, υπολογισμοί κατά την εφαρμογή του κατέστησαν τη χρήση του περιορισμένη.

4.6.4. Δείκτης κατάστασης βλάστησης (VCI)

Ο δείκτης αυτός (Vegetation Condition Index - VCI) εφαρμόστηκε για πρώτη φορά από τον Kogan (1995a, 1997). Πρακτικά, υπολογίζει την απόκλιση της τρέχουσας τιμής του NDVI από την ελάχιστη τιμή μιας χρονοσειράς δορυφορικών δεδομένων του ίδιου δείκτη (Thenkabail *et al.*, 2004).

$$VCI_j = \frac{(NDVI_j - NDVI_{\min}) * 100}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}} \quad (4.5)$$

όπου, $NDVI_{\max}$ και $NDVI_{\min}$ είναι η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή του δείκτη NDVI, αντίστοιχα, που υπολογίζονται από ένα μεγάλο πλήθος δεδομένων δορυφορικών εικόνων (π.χ., 20 χρόνια) για μια συγκεκριμένη διάρκεια (πχ. μήνα ή εβδομάδα), και $NDVI_j$ είναι η τρέχουσα τιμή του δείκτη της ίδιας χρονικής διάρκειας.

Ο δείκτης VCI εκτιμά την κατάσταση της βλάστησης σε ποσοστό επί τοις 100 και μπορεί να χρησιμεύσει, κατά προσέγγιση, ως μέτρο της ξηρασίας του τρέχοντος μηνός (ή εβδομάδας). Σε περίπτωση εξαιρετικά ξηρών συνθηκών, δεν υφίσταται υγιής κατάσταση βλάστησης και οι τιμές του VCI τείνουν στο μηδέν. Τιμές του VCI κοντά στο 50% αντανακλούν ικανοποιητικές συνθήκες βλάστησης, οι οποίες θεωρούνται βέλτιστες για τιμές του δείκτη μεταξύ 50% και 100%. Στο 100% του δείκτη η κατάσταση της βλάστησης ορίζεται ως άριστη. Σε αυτήν την περίπτωση, ο NDVI για το τρέχον χρονικό βήμα (μήνας, εβδομάδα) είναι ίσος με τη μέγιστη τιμή του ($NDVI_{max}$). Ο Kogan (1995a) καθόρισε την τιμή 35% του VCI ως το όριο που προσδιορίζει τις ακραίες συνθήκες ξηρασίας, ενώ τόνισε ότι χρειάζεται περαιτέρω έρευνα για να την κατηγοριοποίηση της δριμύτητας της ξηρασίας στις κλάσεις από 0 έως 35% του VCI.

Ο πρωταρχικός στόχος της ανάπτυξης του VCI ήταν η αξιολόγηση των μεταβολών που παρατηρούνταν στο σήμα του NDVI με την πάροδο του χρόνου λόγω καιρικών συνθηκών. Αφαιρώντας την επίδραση των ακραίων τιμών του δείκτη NDVI, ο VCI μειώνει την επιρροή του γεωγραφικού ανάγλυφου, του οικοσυστήματος και της τοπογραφίας της περιοχής (Kogan, 1990; Kogan, 1995a), καθώς και την επίδραση του κλίματος, του εδάφους και του είδους βλάστησης. Ο τρόπος αυτός παρέχει έναν ασφαλή μηχανισμό της σύγκρισης των τιμών του δείκτη μεταξύ διαφορετικών περιοχών και λαμβάνει υπόψη τις μεταβολές του NDVI, που οφείλονται μόνο στις επικρατούσες καιρικές συνθήκες.

4.6.5. Μηνιαίος δείκτης κατάστασης βλάστησης (MVCI)

Μια διαφορετική προσέγγιση του δείκτη κατάστασης βλάστησης είναι ο μηνιαίος δείκτης κατάστασης βλάστησης (Monthly Vegetation Condition Index - MVCI), ο οποίος προσδιορίζει τις μεταβολές του NDVI χρησιμοποιώντας δεδομένα χρονοσειράς ίδιων μηνών διαδοχικών ετών (π.χ. όλων των Ιανουαρίων

μιας σειράς ετών). Η εξίσωση 4.6 ορίζει τον τρόπο υπολογισμού του δείκτη αυτού χρησιμοποιώντας ως παράδειγμα το μήνα Ιανουάριο:

$$MVCI_{j,Jan} = \frac{NDVI_{j,Jan} - NDVI_{\min,Jan}}{NDVI_{\max,Jan} - NDVI_{\min,Jan}} \quad (4.6)$$

όπου $MVCI_{j,Jan}$ είναι η εικόνα των τιμών του μηνιαίου δείκτη κατάστασης βλάστησης για μια χρονική στιγμή j , η οποία εμπίπτει εντός του μηνός Ιανουαρίου, $NDVI_{j,Jan}$ είναι η εικόνα του δείκτη NDVI του συγκεκριμένου μήνα, $NDVI_{\max,Jan}$ είναι η εικόνα των μεγίστων τιμών NDVI που προέκυψαν από όλες τις εικόνες των Ιανουαρίων της χρονοσειράς και $NDVI_{\min,Jan}$ είναι η εικόνα των ελαχίστων τιμών NDVI που προέκυψαν από όλες τις εικόνες των Ιανουαρίων της χρονοσειράς.

Ο δείκτης αυτός υπολογίζεται για κάθε μήνα, ή εποχή, μέσα σε ένα σύνολο στοιχείων και επιτρέπει τη σύγκριση των τιμών NDVI ενός μηνός με όλες τις τιμές των NDVI των αντίστοιχων μηνών όλων των ετών της χρονοσειράς (McVicar and Jupp, 1998).

4.6.6. Δείκτης κατάστασης θερμοκρασίας (TCI)

Ο δείκτης κατάστασης θερμοκρασίας (Temperature Condition Index - TCI) προτάθηκε, επίσης, από τον Kogan (1995a, 1997) και υπολογίζεται ομοίως με το δείκτη VCI με τη διαφορά ότι υπολογίζει την απόκριση της βλάστησης στη μεταβολή της θερμοκρασίας. Οι ξηρές συνθήκες βάσει του δείκτη αυτού είναι εντονότερες καθώς οι τιμές της θερμοκρασίας αυξάνουν. Ο TCI βασίζεται σε δορυφορικά δεδομένα θερμοκρασίας λαμπρότητας (Brightness Temperature), όπως ονομάζεται, και αντιπροσωπεύει την απόκλιση του τρέχοντος μηνός (ή εβδομάδας) από τη μέγιστη τιμή που καταγράφηκε (Thenkabail *et al.*, 2004).

$$TCI_j = \frac{(BT_{\max} - BT_j)}{BT_{\max} - BT_{\min}} * 100 \quad (4.7)$$

όπου η BT είναι η θερμοκρασία λαμπρότητας (κανάλι 4 του δορυφόρου NOAA/AVHRR). Η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή της BT υπολογίζονται από μια εκτεταμένη χρονοσειρά δορυφορικών εικόνων (π.χ. 20 ετών) για κάθε εβδομάδα ή μήνα j.

Τιμές του δείκτη TCI της τάξης του 50% υποδηλώνουν κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας. Όταν ο TCI προσεγγίζει το 100%, η θερμοκρασία λαμπρότητας για αυτόν τον μήνα, BT_j , είναι ίση με την ελάχιστη θερμοκρασία όλων των pixel όλης της χρονοσειράς των εικόνων. Οι χαμηλές τιμές του TCI (κοντά στο 0%) αντιστοιχούν σε αυξημένες συνθήκες ξηρασίας κατά το μήνα αυτό ή την εβδομάδα. Όταν ο δείκτης TCI είναι ίσος με το μηδέν, η θερμοκρασία λαμπρότητας για αυτόν τον μήνα, BT_j , είναι ίση με τη μέγιστη θερμοκρασία όλων των pixel όλης της χρονοσειράς των εικόνων. Σταθερά χαμηλές τιμές του TCI επί μεγάλα διαδοχικά χρονικά διαστήματα επισημαίνουν την ανάπτυξη ξηρασίας στην περιοχή.

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι απαιτεί μόνο ημερήσιες εικόνες θερμοκρασίας. Εντούτοις, η μέθοδος παρουσιάζει μειονεκτήματα καθώς δεν παρέχει τη δυνατότητα εκτίμησης της επίδρασης άλλων μετεωρολογικών συνθηκών (καθαρής ακτινοβολίας, θερμοκρασίας αέρα, ταχύτητας ανέμου, υγρασίας) στις ημερήσιες τιμές της θερμοκρασίας λαμπρότητας. Επιπλέον, δεν λαμβάνει υπόψη τις εποχικές διακυμάνσεις στη μέτρηση της θερμοκρασίας επιφάνειας της γης. Για το λόγο αυτό, η χρήση ενός μηνιαίου ή εποχικού TCI ίσως είναι προτιμότερη. Ο Kogan (1995b, 1997) χρησιμοποίησε τον TCI, σε συνδυασμό με τον VCI, για τον προσδιορισμό περιοχών που έχουν πληγεί από την ξηρασία. Τα αποτελέσματα ήταν ποιοτικώς καλύτερα σε σχέση με αυτά που έχουν προκύψει από παραδοσιακές μεθόδους εκτίμησης του φαινομένου (McVicar and Jupp, 1998).

4.6.7. Δείκτης υγιούς βλάστησης (VHI)

Ο συνδυασμός των δεικτών VCI και TCI από τον Kogan (2001) οδήγησε στην ανάπτυξη ενός νέου δείκτη ξηρασίας, του δείκτη υγιούς βλάστησης (Vegetation Health Index - VHI). Ο δείκτης αυτός εφαρμόζεται για την παρακολούθηση της υγείας, της υγρασίας και των συνθηκών θερμοκρασίας της βλάστησης, καθώς και για τον προσδιορισμό των περιοχών που εμφανίζουν συνθήκες ξηρασίας (Bayarjargal *et al.*, 2006). Για τον υπολογισμό του δείκτη VHI, ο Kogan χρησιμοποίησε το ίδιο ποσοστό βαρύτητας των δεικτών VCI και TCI, καθώς το ακριβές ποσοστό της συμβολής της υγρασίας και της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της βλαστητικής περιόδου δεν είναι γνωστό. Ο VHI υπολογίζεται και εκφράζεται ως:

$$VHI = 0.5(VCI) + 0.5(TCI) \quad (4.8)$$

Ενώ ο VCI και ο TCI χαρακτηρίζουν ο καθένας με διαφορετικό τρόπο τις συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας, αντίστοιχα, της βλάστησης, ο VHI αντιπροσωπεύει τη συνολική υγεία της βλάστησης και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ολοκληρωμένη χαρτογράφηση της ξηρασίας. Σύμφωνα με το δείκτη αυτό, οι συνθήκες ξηρασίας σε μια περιοχή διακρίνονται σε πέντε (Πίνακας 4.3).

Πίνακας 4.3: Κατηγοριοποίηση ξηρασίας σύμφωνα με το δείκτη VHI

Κατηγορίες ξηρασίας	Τιμές του δείκτη VHI
Ακραία ξηρασία	<10.0
Έντονη ξηρασία	<20.0
Μέτρια ξηρασία	<30.0
Ελαφριά ξηρασία	<40.0
Καθόλου ξηρασία	>40.0

4.6.8. Δείκτης θερμοκρασίας κανονικοποιημένης διαφοράς (NDTI)

Οι McVicar *et al.* (1992) και Jupp *et al.* (1998) ανέπτυξαν από κοινού το δείκτη θερμοκρασίας κανονικοποιημένης διαφοράς (Normalized Difference Temperature Index - NDTI), για να αφαιρέσει την εποχική τάση από την ανάλυση των ημερήσιων εικόνων θερμοκρασίας εδάφους, που προκύπτουν από τον αισθητήρα AVHRR. Ο δείκτης NDTI έχει τη μορφή:

$$NDTI = \frac{T_{\infty} - T_s}{T_{\infty} - T_0} \quad (4.9)$$

όπου T_{∞} είναι η θερμοκρασία εδάφους που αντιστοιχεί σε άπειρη επιφανειακή αντίσταση (π.χ. η εξατμισο διαπνοή ET είναι μηδέν), T_s είναι η θερμοκρασία εδάφους του αισθητήρα AVHRR και T_0 είναι η θερμοκρασία για μηδενική επιφανειακή αντίσταση (η εξατμισοδιαπνοή ET ισούται με τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή ET_p).

Οι παράμετροι T_{∞} και T_0 θεωρούνται ως το ανώτερο και κατώτερο φυσικό όριο, αντίστοιχα, της θερμοκρασίας για δεδομένες μετεωρολογικές επιφανειακές αντιστάσεις, και υπολογίζονται μέσω ενός μοντέλου ενεργειακού ισοζυγίου. Για την προσέγγιση αυτή απαιτούνται μετεωρολογικοί παράμετροι (θερμοκρασία, ηλιακή ακτινοβολία, σχετική υγρασία και ταχύτητα ανέμου) και παράμετροι βλάστησης από τον αισθητήρα του δορυφόρου. Ωστόσο, οι μόνες παράμετροι που καταγράφονται καθημερινά από τους περισσότερους μετεωρολογικούς σταθμούς είναι η θερμοκρασία του αέρα και η βροχόπτωση (McVicar and Jupp, 1998).

4.6.9. Δείκτης υδατικού στρες καλλιέργειας (CWSI)

Οι Idso *et al.* (1981) ανέπτυξαν μια εμπειρική μέθοδο για την ποσοτικοποίηση του υδατικού στρες στις ξηρές περιοχές, την οποία ονόμασαν δείκτη υδατικού στρες καλλιέργειας (Crop Water Stress Index - CWSI). Η μέθοδος αυτή εξαρτάται από τον προσδιορισμό των μη-στρες συνθηκών. Η βασική αυτή

αρχή διευκολύνει την κανονικοποίηση των μεταβολών στις τιμές της θερμοκρασίας, σύμφωνα με τις συνθήκες του περιβάλλοντος της περιοχής. Η εν λόγω βάση είναι, ωστόσο, εξειδικευμένη για κάθε καλλιέργεια και εν μέρει επηρεάζεται από το κλίμα (Bucks *et al.* 1985). Ο δείκτης CWSI έχει τη μορφή:

$$CWSI = \frac{T_c - T_{cmin}}{T_{cmax} - T_{cmin}} = 1 - \frac{E_d}{E_{pd}} \quad (4.10)$$

$$\frac{E_d}{E_{pd}} = m_{ad} \quad (4.11)$$

όπου T_c είναι η παρατηρούμενη θερμοκρασία μιας περιοχής υπό υδατικό στρες (αντιστοιχεί μια τιμή σε κάθε pixel), T_{cmin} είναι η παρατηρούμενη θερμοκρασία μιας πλήρως αρδευόμενης περιοχής, T_{cmax} είναι μια υποθετική τιμή θερμοκρασίας που εκτιμάται βάσει της παραδοχής ότι η καθαρή ακτινοβολία μεταφράζεται σε θερμοκρασία (Katergi *et al.*, 1988), E_d είναι η ημερήσια πραγματική εξατμισοδιαπνοή, E_{pd} είναι η ημερήσια δυνητική εξατμισοδιαπνοή και m_{ad} είναι το διαθέσιμο ποσοστό υγρασίας, το οποίο προκύπτει από το λόγο της ημερήσιας πραγματικής εξατμισοδιαπνοής προς τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή. Οι κλάσεις της ξηρασίας, σύμφωνα με το δείκτη CWSI παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.4.

Οι Jackson *et al.* (1981) τροποποίησαν τη μορφή του δείκτη CWSI έτσι ώστε να περιλαμβάνει περισσότερο μια θεωρητική πρόβλεψη της επίδρασης του κλίματος στις μεταβολές της θερμοκρασίας, εισάγοντας στη μέθοδο νέες μεταβλητές (καθαρή ακτινοβολία, έλλειμμα της πίεσης των υδρατμών και αεροδυναμική αντίσταση). Η νέα θεωρητική προσέγγιση προσδιορισμού του υδατικού στρες χρησιμοποιώντας το δείκτη CWSI παρουσιάζει καλύτερα αποτελέσματα από την πρώτη εμπειρική προσέγγιση, κυρίως σε περιοχές με ιδιαίτερα υψηλές συνθήκες υγρασίας (Keener and Kircher, 1983).

Πίνακας 4.4: Κλιματικές συνθήκες σύμφωνα με το δείκτη CWSI

Κλιματικές συνθήκες	Τιμές δείκτη CWSI
Έντονη ξηρασία	> 0.913
Μέτρια ξηρασία	0.912 to 0.765
Ελαφριά ξηρασία	0.764 to 0.617
Κανονικές συνθήκες	0.616 to 0.322
Συνθήκες υγρασίας	< 0.321

Ο δείκτης CWSI εμφανίζει μεγάλη πρακτική στον προγραμματισμό της άρδευσης των καλλιεργειών σε ξηρές και ημίξηρες περιοχές, εντοπίζοντας τα σημεία εκείνα της καλλιέργειας που υποφέρουν από υδατικό στρες. Ο στόχος της προσέγγισης αυτής είναι η ορθολογική χρήση του νερού, που είναι ένας βασικός παράγοντας ανάπτυξης των καλλιεργειών, αλλά και ιδιαίτερα δαπανηρός, στις περιοχές που το έχουν πραγματικά ανάγκη. Η εφαρμογή του δείκτη CWSI σε καλλιέργεια γρασιδιού σε θερμοκήπιο έδειξε πολύ καλή προσομοίωση των συνθηκών υδατικού στρες στην καλλιέργεια (Stangehellini and De Lorenzi, 1994). Η έρευνα κατέληξε στο συμπέρασμα ότι ο CWSI παρουσίασε μεγαλύτερη αξιοπιστία σε σχέση με τους δείκτες που βασίζονται στο σύστημα νερό- έδαφος. Στην Αριζόνα ο δείκτης CWSI εφαρμόστηκε με τη χρήση θερμικών στοιχείων του θεματικού χαρτογράφου του δορυφόρου Landsat TM για τη μελέτη του υδατικού στρες της περιοχής. Επιπλέον, υπολογίστηκε με δεδομένα των θερμικών καναλιών του δορυφόρου NOAA/ AVHRR για την εκτίμηση της περιοχικής εδαφικής υγρασίας και την παρακολούθηση της ξηρασίας στη Βόρεια πεδιάδα της Κίνας (Tian *et al.*, 1989).

4.6.10. Δείκτης δριμύτητας ξηρασίας (DSI)

Ένας νέος δείκτης, γνωστός ως δείκτης δριμύτητας ξηρασίας (Drought Severity Index - DSI), εφαρμόστηκε τους από Bayarjargal *et al.* (2006), με σκοπό τη σύγκρισή του με άλλους δείκτες ξηρασίας. Ο DSI υπολογίζεται από τη διαφορά των κανονικοποιημένων τιμών θερμοκρασίας επιφάνειας εδάφους (LST) και δείκτη βλάστησης (NDVI) για ένα συγκεκριμένο μήνα, με βάση την προσέγγιση που είχε προταθεί από τους Bayarjargal *et al.* (2000), η οποία εκφράζει τις τιμές των μεταβλητών σε ίδια κλίμακα και τις καθιστά συγκρίσιμες. Η μορφή της εξίσωσης υπολογισμού του δείκτη DSI είναι:

$$DSI_{ijk} = \Delta LST_{ijk} - \Delta NDVI_{ijk} \quad (4.12)$$

όπου, DSI_{ijk} είναι η τιμή του DSI για ένα pixel i και μήνα j , έτους k , και

$$\Delta LST_{ijk} = \frac{\overline{LST}_{ij} - LST_{ijk}}{\sigma LST_{ij}} \quad (4.13)$$

$$\Delta NDVI_{ijk} = \frac{\overline{NDVI}_{ij} - NDVI_{ijk}}{\sigma NDVI_{ij}} \quad (4.14)$$

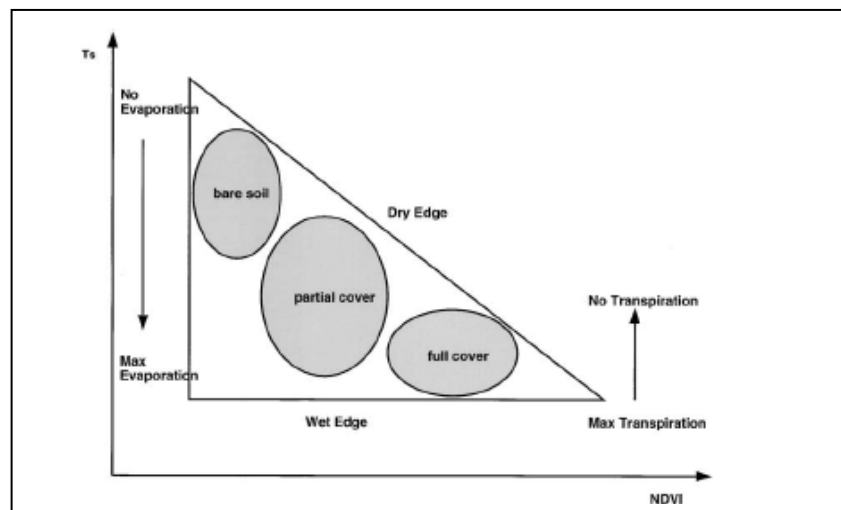
όπου, \overline{LST}_{ij} και \overline{NDVI}_{ij} είναι οι μέσοι όροι θερμοκρασίας επιφάνειας εδάφους (LST) και δείκτη βλάστησης (NDVI), αντίστοιχα, μιας μεγάλης χρονοσειράς ετών για ένα pixel i και μήνα j , LST_{ijk} και $NDVI_{ijk}$ είναι οι τιμές της LST και του NDVI, αντίστοιχα, για ένα pixel i και μήνα j , έτους k , και σLST_{ij} , $\sigma NDVI_{ij}$ είναι οι τυπικές αποκλίσεις της LST και του NDVI, αντίστοιχα, για pixel i και μήνα j .

4.6.11. Δείκτης ξήρανσης θερμοκρασίας - βλάστησης (TVDI)

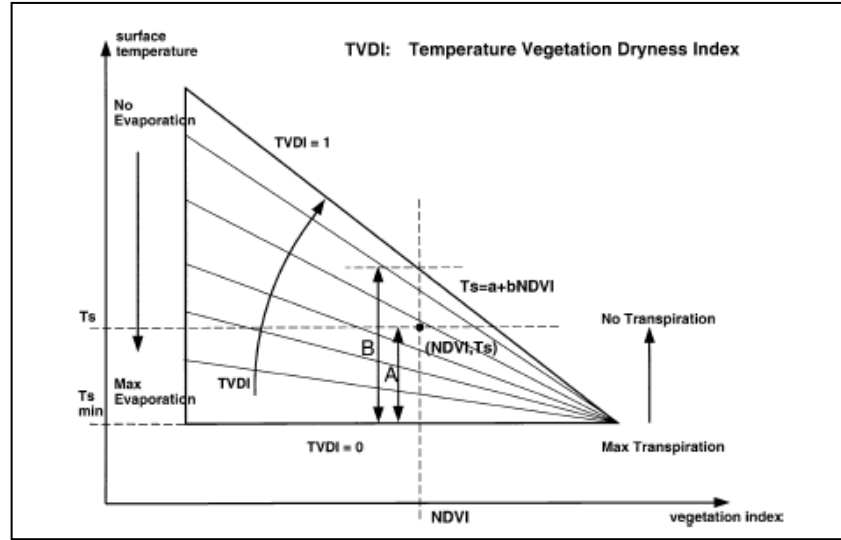
Ο δείκτης ξήρανσης θερμοκρασίας - βλάστησης (Temperature - Vegetation Dryness Index- TVDI) είναι μια πρώτη προσέγγιση της εκτίμησης της υγρασίας

στην επιφάνεια του εδάφους. Ο δείκτης αυτός κυμαίνεται μεταξύ της τιμής 1 (ακραία ξηρασία και περιορισμένη διαθεσιμότητα νερού) και της τιμής 0 στο άλλο άκρο (ακραία υγρασία) στο οποίο παρουσιάζεται έντονη εξατμισοδιαπνοή αλλά και απεριόριστη διαθεσιμότητα νερού.

Σύμφωνα με τα Σχήματα 4.1 και 4.2, εξάγονται σύνολα που καθορίζουν ένα «τρίγωνο» τιμών του λόγου της θερμοκρασίας T_s προς το δείκτη βλάστησης NDVI ($T_s/NDVI$). Ως εκ τούτου, ο δείκτης TVDI ορίζεται από τις σχέσεις (4.15) και (4.16).



Σχήμα 4.1: Σύνολα «τρίγωνου» τιμών του λόγου $T_s/NDVI$ για ακραίες συνθήκες ξηρασίας (Dry edge) και υγρασίας (Wet edge) και είδους φυτοκάλυψης



Σχήμα 4.2: Ο δείκτης TVDI για ένα δεδομένο pixel ($T_s / NDVI$) υπολογίζεται ως αναλογία μεταξύ των καμπύλων A και B (Lambin and Ehrlich, 1996)

$$TVDI = \frac{T_s - T_{s\min}}{T_{s\max} - T_{s\min}} \quad (4.15)$$

$$T_{s\max} = a + bNDVI \quad (4.16)$$

όπου $T_{s\min}$ είναι η ελάχιστη θερμοκρασία επιφάνειας εδάφους στο τρίγωνο τιμών (Σχήμα 4.1), η οποία καθορίζει την ακραία τιμή των υγρών συνθηκών, T_s είναι η παρατηρούμενη θερμοκρασία επιφάνειας εδάφους σε συγκεκριμένο pixel, NDVI είναι η παρατηρούμενη τιμή του δείκτη βλάστησης, $T_{s\max}$ είναι η μέγιστη θερμοκρασία επιφάνειας εδάφους που παρατηρείται για μια συγκεκριμένη τιμή NDVI, και a , b είναι συντελεστές της γραμμικής εξίσωσης (4.16), οι οποίοι καθορίζουν την ακραία τιμή των συνθηκών ξηρασίας.

Οι παράμετροι a και b υπολογίζονται βάσει των εικονοστοιχείων (pixels) μιας εκτεταμένης περιοχής, ώστε να είναι αντιπροσωπευτικοί ολόκληρου του φάσματος των συνθηκών στην περιοχή, από τις ακραίες ξηρές στις ακραίες υγρές

συνθήκες και από το γυμνό έδαφος στην πλήρη φυτοκαλυμμένη επιφάνεια. Η ακρίβεια της προσέγγισης μειώνεται για μεγαλύτερες τιμές NDVI, όπου οι καμπύλες της εξίσωσης του δείκτη TVDI πλησιάζουν αρκετά (Σχήμα 4.2) (Sandholt *et al.*, 2002).

4.6.12. Δείκτης νερού κανονικοποιημένης διαφοράς (NDWI)

Ο δείκτης νερού κανονικοποιημένης διαφοράς (Normalized Difference Water Index - NDWI) χρησιμοποιεί δύο κανάλια στην περιοχή του κοντινού υπέρυθρου του φάσματος (περιοχές των 0,86 μm και 1,24 μm). Υπολογίζεται παρόμοια με το δείκτη NDVI, ως ακολούθως (Delbart *et al.*, 2005):

$$NDWI = \frac{\rho(0.86\mu m) - \rho(1.24\mu m)}{\rho(0.86\mu m) + \rho(1.24\mu m)} \quad (4.17)$$

όπου, $\rho(\lambda)$ είναι η ανάκλαση στα συγκεκριμένα μήκη κύματος, λ είναι το μήκος κύματος και $\rho(\lambda)$ ισούται με:

$$\rho(\lambda) = \frac{\pi L(\lambda)}{\cos(\theta_0) E_0(\lambda)} \quad (4.18)$$

όπου, $L(\lambda)$, θ_0 και $E_0(\lambda)$ είναι η μετρημένη ακτινοβολία, η ζενίθεια γωνία του ηλίου και η ηλιακή ακτινοβολία στο ανώτατο όριο της ατμόσφαιρας, αντίστοιχα.

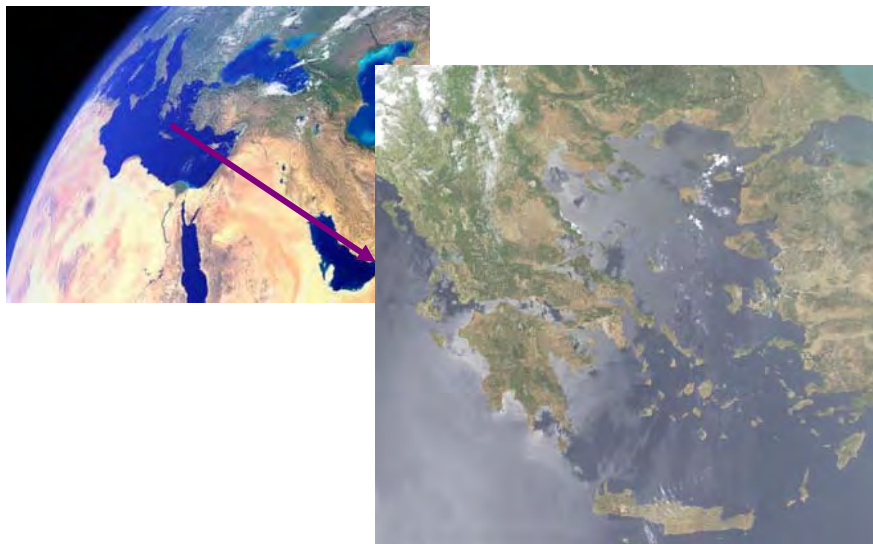
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Η συγκεκριμένη μεθοδολογία εκτίμησης της χωρικής κατανομής της ξηρασίας με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων και του δείκτη RDI, παρουσιάζει γενίκευση και δεν περιορίζεται σε μια και μόνο περιοχή μελέτης ούτε σε μια συγκεκριμένη χρονοσειρά δεδομένων. Για τις ανάγκες, εντούτοις, της παρούσας έρευνας, ο δείκτης αναπτύχθηκε στην περιοχή της Ελλάδας αξιοποιώντας τα δορυφορικά δεδομένα συγκεκριμένης χρονοσειράς.

5.1. Περιοχή μελέτης

Η περιοχή μελέτης, στην παρούσα εφαρμογή, είναι ολόκληρος ο Ελλαδικός χώρος. Η Ελλάδα ανήκει στη βόρεια εύκρατη ζώνη, και εκτείνεται μεταξύ των 34° 48' και 41° 45' μοιρών βόρειου γεωγραφικού πλάτους (Εικόνα 5.1). Ανήκει στη Μεσογειακή λεκάνη και βρέχεται από την ανατολική Μεσόγειο θάλασσα για αυτό και το κλίμα της θεωρείται τυπικά μεσογειακό (Μαριολόπουλος, 1938).

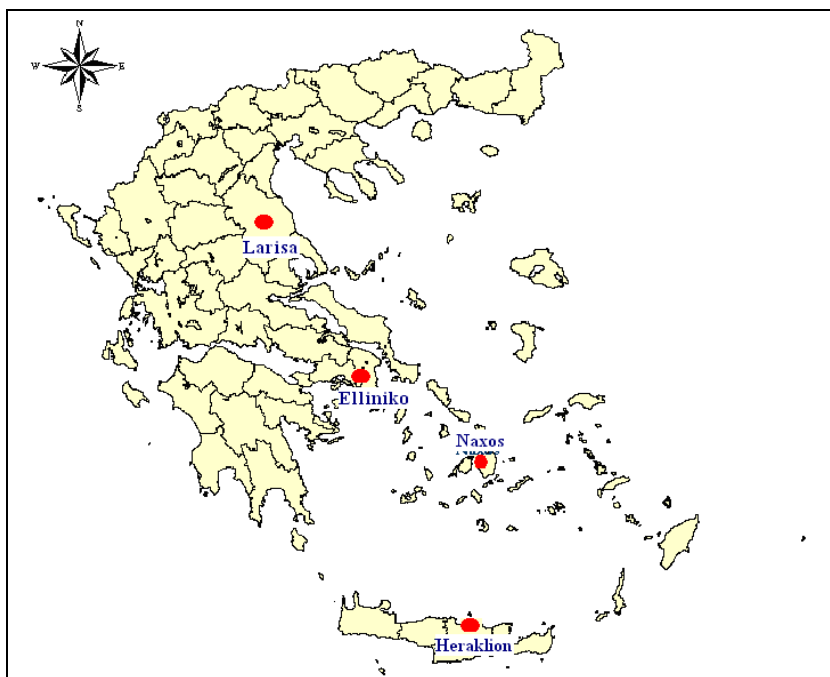


Εικόνα 5.1: Γεωγραφική θέση της Ελλάδας

Τα κλιματικά χαρακτηριστικά της Ελλάδας παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία, πάντα βέβαια μέσα στα πλαίσια του Μεσογειακού κλίματος, λόγω του ιδιαίτερου ανάγλυφου της περιοχής. Η τοπογραφική διαμόρφωση της χώρας εμφανίζει μεγάλες διαφορές υψομέτρου (μεγάλες οροσειρές κατά μήκος της κεντρικής χώρας και άλλοι ορεινοί όγκοι) και εναλλαγή ξηράς και θάλασσας. Εξαιτίας αυτού, παρατηρείται μεγάλη διαφοροποίηση μεταξύ του κλίματος της Ανατολικής Ελλάδας (γενικά ξηρό) και σε εκείνο της Βόρειας και Δυτικής Ελλάδας (υγρό). Οι κλιματικές διαφορές αυτές, μέσα στα γεωγραφικά όρια της χώρας, εμφανίζονται ακόμη και σε περιοχές, που απέχουν μικρή απόσταση μεταξύ τους, γεγονός που χαρακτηρίζει λίγες μόνο χώρες σε όλο τον κόσμο. Η διακύμανση από το βορρά προς το νότο είναι μικρότερης έντασης, παρουσιάζοντας περισσότερες βροχοπτώσεις κυρίως στα βορειοδυτικά διαμερίσματα.

Το έτος, κλιματικά, στην Ελλάδα μπορεί να διακριθεί σε δύο βασικές εποχές. Τη χειμερινή περίοδο, η οποία διαρκεί περίπου από τον Οκτώβριο έως και το Μάρτιο, και τη θερινή περίοδο που καλύπτει το υπόλοιπο εξάμηνο (Απρίλιο έως και Σεπτέμβριο). Ο χειμώνας στην Ελλάδα είναι ήπιος και παρουσιάζει αυξημένες βροχοπτώσεις. Από τους ψυχρότερους μήνες θεωρείται ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος, όπου κατά μέσον όρο η μέση ελάχιστη θερμοκρασία κυμαίνεται από 5-10 ° C στις παραθαλάσσιες περιοχές, από 0 - 5 ° C στις ηπειρωτικές περιοχές και με τιμές θερμοκρασίας κάτω του μηδενός στις βόρειες και ορεινές περιοχές. Ακόμη όμως, και στην περίοδο αυτή δεν εμφανίζονται μόνιμες βροχοπτώσεις διότι οι κακοκαιρία διακόπτεται από διαδοχικές ημέρες ηλιοφάνειας (π.χ. Αλκυονίδες ημέρες). Κατά τη θερινή περίοδο οι καιρικές συνθήκες παρουσιάζουν μεγαλύτερη σταθερότητα. Ο ουρανός, σχεδόν καθ' όλη τη διάρκεια, είναι αίθριος, με μόνιμη ηλιοφάνεια, η οποία διακόπτεται σε ορισμένες περιπτώσεις από ραγδαίες καταιγίδες μικρής διάρκειας. Κατά την περίοδο αυτή, οι θερμότεροι μήνες είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος όπου η μέση μέγιστη θερμοκρασία κυμαίνεται από 29° C μέχρι 35° C.

Στη συγκεκριμένη διατριβή, τέσσερις περιοχές της Ελλάδας, χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των συμβατικών δεικτών ξηρασίας, οι οποίες διέθεταν δεδομένα από τους αντίστοιχους μετεωρολογικούς σταθμούς τους. Οι περιοχές αυτές είναι η Αττική, η Θεσσαλία, η Κρήτη και οι Κυκλάδες, οι οποίες κατατάσσονται σε δύο ευρύτερες κλιματικές ζώνες. Οι περιοχές της Αττικής (μετεωρολογικός σταθμός Ελληνικού), της Θεσσαλίας (μετεωρολογικός σταθμός Λαρίσης) και των Κυκλάδων (μετεωρολογικός σταθμός Νάξου) ανήκουν στη λεγόμενη ημίξηρη ζώνη, η οποία χαρακτηρίζεται από χαμηλές θερμοκρασίες κατά τη χειμερινή περίοδο και σύντομες περιόδους ξηρασίας. Στη δεύτερη κλιματική ζώνη, με το όνομα Μεσογειακή ζώνη τύπου ερήμου, ανήκει η περιοχή της Κρήτης (μετεωρολογικός σταθμός Ηρακλείου), η οποία παρουσιάζει χαμηλό ποσό ετήσιας βροχόπτωσης και μεγάλες περιόδους ξηρασίας (Μαριολόπουλος, 1938; Dalezios, 1994). Οι τοποθεσίες των μετεωρολογικών σταθμών των περιοχών αυτών παρουσιάζονται στην Εικόνα 5.2.



Εικόνα 5.2: Μετεωρολογικοί σταθμοί των δεδομένων συμβατικών δεικτών ξηρασίας: Λάρισα (Larisa), Ελληνικό (Elliniko), Νάξος (Naxos) και Ηράκλειο (Heraklion)

5.2. Βάση δεδομένων

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στη διατριβή αυτή διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες. Στα επίγεια δεδομένα που προέρχονται από μετεωρολογικούς σταθμούς ανά την Ελλάδα και στα δορυφορικά δεδομένα που ανακτήθηκαν από δορυφορικές εικόνες της περιοχής. Τα δεδομένα αυτά καθώς και επιπλέον πληροφορίες μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη μεθοδολογία, αναλύονται στα εξής:

- Επίγειες μετρήσεις παραμέτρων.
- Δορυφορικές εικόνες μεταβλητών.
- Στοιχεία χρήσεων γης του Ελλαδικού χώρου σύμφωνα με το Corine Hellas
- Πίνακες τιμών φυτικών συντελεστών (K_c) για κάθε είδος καλλιέργειας και τύπο χρήσεως γης, της μεθόδου δυνητικής εξατμισοδιαπνοής Blaney-Criddle, από βιβλιογραφία.
- Πίνακες των ποσοστών ηλιοφάνειας (p) της μεθόδου δυνητικής εξατμισοδιαπνοής Blaney-Criddle, για κάθε Γεωγραφικό πλάτος, από βιβλιογραφία.
- Πίνακες του διορθωτικού συντελεστή της μεθόδου δυνητικής εξατμισοδιαπνοής Thornthwaite για κάθε Γεωγραφικό πλάτος, από βιβλιογραφία.
- Χάρτες βροχομετρικών στοιχείων όλης της Ελλάδας σε μέγεθος φατνίου 50 x 50 km², από την Ευρωπαϊκή βάση δεδομένων του ISPRA (Varese, Italy).

5.2.1. Επίγεια βάση δεδομένων

Αρχικά, πραγματοποιήθηκε η συλλογή επίγειων παρατηρήσεων των μεταβλητών που ήταν απαραίτητες για την ανάπτυξη της μεθοδολογίας υπολογισμού των συμβατικών δεικτών ξηρασίας. Συνοπτικά, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας αέρα και μηνιαίας αθροιστικής βροχόπτωσης από τους μετεωρολογικούς σταθμούς (EMY) των επί μέρους

περιοχών μελέτης (Ελληνικό, Λάρισα, Νάξος και Ηράκλειο), για το χρονικό διάστημα των υδρολογικών ετών από το 1955 έως και το 2002. Τα πρωτογενή δεδομένα των σταθμών δίνονται σε ημερήσια βάση και μετατρέπονται σε μηνιαία κλίμακα για τις ανάγκες της μεθοδολογίας. Τα δεδομένα αυτά της θερμοκρασίας χρησιμοποιήθηκαν και για τον υπολογισμό της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής όπου ήταν απαραίτητη. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκαν τιμές μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας αέρα από ένα ευρύ σύνολο μετεωρολογικών σταθμών της Ελλάδας από το 1955 έως και το 2008 για την δημιουργία ενιαίας χρονοσειράς, με σκοπό τη σύγκριση της με τη χρονοσειρά της δορυφορικής θερμοκρασίας επιφάνειας εδάφους.

5.2.2. Δορυφορικά δεδομένα

Οι δορυφορικές εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν στη συγκεκριμένη εφαρμογή προέρχονται από το δορυφόρο NOAA/ AVHRR με διακριτική χωρική ικανότητα $8 \times 8 \text{ km}^2$, που κρίθηκε ικανοποιητική για την εφαρμογή της μεθοδολογίας. Μέσες τιμές δεκαήμερου θερμοκρασίας λαμπρότητας (BT) και δείκτη βλάστησης NDVI συγκεντρώθηκαν για μια σειρά ετών από το 1981 έως και το 2008 για όλη την Ελλάδα, με σκοπό τον προσδιορισμό της θερμοκρασίας επιφάνειας εδάφους (LST), της εξατμισοδιαπνοής και της κατάστασης της βλάστησης στην περιοχή. Η δορυφορική θερμοκρασία προήλθε από το συνδυασμό των θερμικών καναλιών (4 και 5) του δορυφόρου, ενώ οι τιμές του δείκτη βλάστησης NDVI, προέκυψαν από το συνδυασμό των καναλιών 1 και 2 του ίδιου δορυφόρου (NDVI, κεφάλαιο 4^ο). Αναλυτικά, χρησιμοποιήθηκαν 717 εικόνες δεκαήμερου για κάθε θερμικό κανάλι (4 και 5), και, επίσης, 717 εικόνες του δείκτη βλάστησης, δηλαδή 2151 εικόνες δεκαήμερου για το σύνολο της χρονοσειράς των 20 ετών. Η κάθε δορυφορική εικόνα αποτελείται από 119 στήλες και 101 σειρές pixels (σύνολο 12.019 pixels), που καλύπτουν ολόκληρη την περιοχή της Ελλάδας.

Τα δορυφορικά δεδομένα και για τις δύο μεταβλητές (θερμοκρασία,

NDVI), παρουσίαζαν ορισμένες ελλείψεις λόγω τεχνικών προβλημάτων. Συγκεκριμένα, η εικόνα του 2^{ου} δεκαήμερου του Ιουλίου για το έτος 1981 ήταν η πρώτη διαθέσιμη δορυφορική εικόνα ενώ το 3^ο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου για το έτος 2001 ολοκλήρωνε το σετ των δεδομένων. Επιπλέον, η χρονοσειρά του έτους 1994 δεν ήταν ολοκληρωμένη καθώς παρείχε δεδομένα έως το 1^ο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου. Οι ελλείψεις αυτές παρουσιάστηκαν για το ίδιο χρονικό διάστημα και στα δύο θερμικά κανάλια του δορυφόρου και στα δεδομένα του NDVI. Η χρονοσειρά των δορυφορικών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν, παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.1.

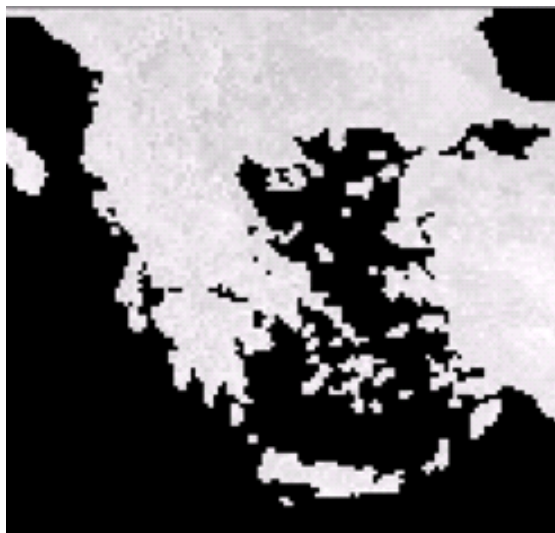
Πίνακας 5.1: Χρονοσειρά διαθέσιμων δορυφορικών δεδομένων

Έτη	Κανάλι 4 NOAA	Κανάλι 5 NOAA	NDVI
1981	17 δεκαήμερα (2 ^ο Ιουλίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)	17 δεκαήμερα (2 ^ο Ιουλίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)	17 δεκαήμερα (2 ^ο Ιουλίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)
1982	36 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)	36 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)	36 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)
1983	36 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)	36 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)	36 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)
1984	36 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)	36 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)	36 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)
1985	36 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)	36 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)	36 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)
1986	36 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)	36 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)	36 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)
1987	36 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)	36 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)	36 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)
1988	36 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)	36 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)	36 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)

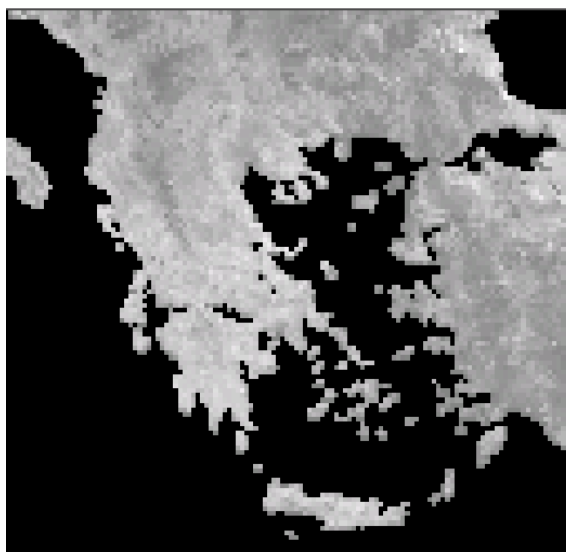
1989	36 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)	36 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)	36 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)
1990	36 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)	36 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)	36 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)
1991	36 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)	36 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)	36 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)
1992	36 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)	36 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)	36 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)
1993	36 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)	36 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)	36 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)
1994	25 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-1 ^ο Σεπτεμβρίου)	25 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-1 ^ο Σεπτεμβρίου)	25 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-1 ^ο Σεπτεμβρίου)
1995	36 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)	36 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)	36 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)
1996	36 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)	36 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)	36 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)
1997	36 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)	36 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)	36 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)
1998	36 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)	36 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)	36 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)
1999	36 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)	36 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)	36 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)
2000	36 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)	36 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)	36 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Δεκεμβρίου)
2001	27 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Σεπτεμβρίου)	27 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Σεπτεμβρίου)	27 δεκαήμερα (1 ^ο Ιανουαρίου-3 ^ο Σεπτεμβρίου)

Στην Εικόνα 5.3. παρουσιάζεται ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα μιας δορυφορικής εικόνας προερχόμενης από ένα εκ των δύο θερμικών καναλιών του δορυφόρου, και στην Εικόνα 5.4. εμφανίζεται μια εκ των 717 δορυφορικών

εικόνων του δείκτη βλάστησης NDVI που χρησιμοποιήθηκαν.



Εικόνα 5.3: Αντιπροσωπευτική εικόνα από τα κανάλια 4 και 5 του δορυφόρου NOAA/ AVHRR, για το 2^ο δεκαήμερο Ιουλίου 1981



Εικόνα 5.4: Αντιπροσωπευτική δορυφορική εικόνα του δείκτη βλάστησης NDVI, του 1^{ου} δεκαημέρου Δεκεμβρίου 1981, από το δορυφόρο NOAA/AVHRR

5.2.3. Στοιχεία χρήσεων γης του Corine Hellas

Για τον καθορισμό των φυτικών συντελεστών, οι οποίοι είναι απαραίτητοι για την εκτίμηση της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής σύμφωνα με τη μέθοδο Blaney-Criddle, χρησιμοποιήθηκε η βάση δεδομένων του Corine Hellas 2000 (European Topic Center on Land use and Spatial Information). Οι πληροφορίες της βάσης αυτής αφορούν στις χρήσεις γης του Ελλαδικού χώρου, καθώς και τους τύπους βλάστησης που επικρατούν σε αυτές. Τα στοιχεία εμφανίζονται υπό τη μορφή χάρτη στον οποίο διακρίνονται οι περιοχές με τις συγκεκριμένες χρήσεις και τύπους γης. Στην Εικόνα 5.5 παρουσιάζονται οι κατηγορίες γης του Corine Hellas 2000 για όλη την Ελλάδα.



Εικόνα 5.5: Κατηγορίες χρήσεων γης με βάση το Corine Hellas 2000

5.2.4 Πίνακες φυτικών συντελεστών

Οι φυτικοί συντελεστές που χρησιμοποιεί η εξίσωση εκτίμησης της εξατμισοδιαπνοής της μεθόδου Blaney-Criddle, δίνονται από βιβλιογραφία (Κωτούλας, 2001). Ο φυτικός συντελεστής k της μεθόδου εξαρτάται από την εποχή ή το μήνα του έτους (εποχικός είτε μηνιαίος) και είναι διαφορετικός για κάθε καλλιέργεια. Ο μηνιαίος φυτικός συντελεστής υπολογίζεται για κάθε μήνα του έτους, ανάλογα με τις καλλιέργειες που ευδοκούν στην εκάστοτε περιοχή. Ο εποχικός φυτικός συντελεστής για διάφορες καλλιέργειες υγρού και ξηρού κλίματος, στα Γεωγραφικά Πλάτη της Ελλάδας, εμφανίζεται στον Πίνακα 5.2 (Παπαζαφειρίου, 1999), ενώ οι τιμές του μηνιαίου φυτικού συντελεστή, οι οποίες προσδιορίστηκαν σε καλλιέργειες των ΗΠΑ, παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.3 (Κωτούλας, 2001).

Πίνακας 5.2: Εποχικοί φυτικοί συντελεστές διαφόρων καλλιεργειών που χρησιμοποιούνται στην κλασική μέθοδο Blaney- Criddle (Παπαζαφειρίου, 1999)

Καλλιέργεια	Βλαστική περίοδος	k κλίμα υγρό	k κλίμα ξηρό
Μηδική	Μεταξύ παγετών	0,80	0,90
Αραβόσιτος	4-5 μήνες	0,65	0,75
Δημητριακά	2 μήνες	0,60	0,70
Τεύτλα	6 μήνες	0,65	0,75
Ρύζι	3-5 μήνες	1,00	1,10
Πατάτες	3-5 μήνες	0,65	0,75
Ντομάτες	4 μήνες	0,65	0,70
Φασόλια	3 μήνες	0,60	0,70
Βαμβάκι	7 μήνες	0,60	0,70

Καπνός	4 μήνες	0,70	0,80
Φυλλοβ.Οπωροφόρα	Μεταξύ παγετών	0,60	0,70
Εσπεριδοειδή	Μεταξύ παγετών	0,45	0,55
Αμπέλια	5-7 μήνες	0,50	0,60
Λιβάδια	Μεταξύ παγετών	0,70	0,80

Πίνακας 5.3: Μηνιαίοι φυτικοί συντελεστές αρδευομένων καλλιεργειών, μεθόδου εξατμισοδιαπνοής Blaney- Criddle
(Κωτούλας, 2001)

Είδος καλλιέργειας	Περιοχή	I	Φ	M	A	M	I	I	A	Σ	O	N	Δ
Μηδική	Θερμή πεδινή	0,35	0,45	0,60	0,70	0,85	0,95	1,00	1,00	0,95	0,80	0,55	0,30
«	Παραθαλάσσια, υψηλή	-	-	-	0,37	0,56	0,75	0,92	1,00	1,03	0,98	0,82	-
«	Εσωτερική πεδινή	-	-	0,57	0,78	0,93	1,02	1,01	0,95	0,84	0,63	0,42	-
Αβοκάντο	Παραθαλάσσια	0,15	0,25	0,40	0,52	0,63	0,73	0,75	0,69	0,60	0,48	0,32	0,19
Αραβόσιτος	Πεδινή εσωτερική	-	-	-	-	0,12	0,40	0,60	0,62	0,45	-	-	-
Βαμβάκι	Πεδινή εσωτερική	-	-	-	-	0,30	0,45	0,90	1,00	1,00	-	-	-

Γκαζόν	Παραθαλάσσια	0,24	0,38	0,55	0,70	0,88	0,92	0,94	0,92	0,80	0,72	0,54	0,35
Πεπόνια	-	-	-	-	-	-	0,45	0,70	0,74	0,64	-	-	-
Οπωροφόρα Φυλλοβόλα	-	-	-	0,23	0,45	0,70	0,85	0,88	0,85	0,47	0,20	-	-
Λεμονιές	-	-	-	0,40	0,40	0,50	0,55	0,60	0,60	0,60	0,50	0,40	-
Πορτοκαλιές	Παραθαλάσσια	0,27	0,34	0,40	0,46	0,50	0,53	0,54	0,54	0,52	0,48	0,43	0,30
«	Ενδιάμεση	0,33	0,39	0,45	0,50	0,54	0,56	0,57	0,57	0,56	0,53	0,47	0,38
«	Εσωτερική	0,37	0,44	0,49	0,54	0,57	0,60	0,62	0,62	0,60	0,57	0,51	0,43
Καρυδιά	Εσωτερική	-	-	0,13	0,30	0,55	0,84	0,98	0,88	0,60	0,37	0,20	-
Βοσκές	Εσωτερική	-	-	0,10	0,27	0,42	0,52	0,57	0,55	0,35	0,15	-	-
«	Εσωτερική, υψηλή	-	-	0,16	0,45	0,65	0,75	0,78	0,74	0,55	0,20	-	-
Πατάτες	Εσωτερική	-	-	-	0,45	0,80	0,95	0,90	-	-	-	-	-

Σόργο	Εσωτερική, ξηρή	-	-	-	-	-	0,40	1,00	0,85	0,70	-	-	-
-------	--------------------	---	---	---	---	---	------	------	------	------	---	---	---

Πίνακας 5.3: Μηνιαίοι φυτικοί συντελεστές αρδευομένων καλλιεργειών, μεθόδου εξατμισοδιαπνοής Blaney- Criddle
(Κωτούλας, 2001)

Είδος καλλιέργειας	Περιοχή	I	Φ	M	A	M	I	I	A	Σ	O	N	Δ
Σακχαρότευτλα	Εσωτερική	-	-	-	0,31	0,69	0,96	1,01	0,83	-	-	-	-
«	Ενδιάμεση	-	-	-	-	0,40	0,67	0,76	0,70	0,50	0,29	-	-
«	Παραθαλάσσια	-	-	-	0,37	0,42	0,43	0,44	0,43	0,38	-	-	-
Κριθάρι	-	0,32	0,60	0,98	1,08	0,45	-	-	-	-	-	-	0,15
Σιτάρι	Εσωτερική, ξηρή	0,20	0,40	0,80	1,10	0,60	-	-	-	-	-	-	-

Τομάτα	ξηρή	-	-	-	-	0,41	0,74	0,93	0,98	0,89	-	-	-
Λαχανικά	Παραθαλάσσια	-	-	-	0,23	0,49	0,67	0,78	0,78	0,64	0,40	-	-

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές των μηνιαίων φυτικών συντελεστών αρδευομένων καλλιεργειών του Πίνακα 5.3, οι οποίες θεωρούνται κατάλληλες για την περιοχή της Μεσογείου, εφόσον αναπτύχθηκαν σε περιοχή με παρόμοια κλιματικά χαρακτηριστικά (Δυτικές ΗΠΑ). Οι μηνιαίοι φυτικοί συντελεστές χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της μηνιαίας δυνητικής εξατμισοδιαπνοής Blaney-Criddle σε mm, με χρήση της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας αέρα σε °C.

5.2.5. Ποσοστά ωρών ηλιοφάνειας και Διορθωτικός συντελεστής εξατμισοδιαπνοής

Η μέθοδος Blaney- Criddle εκτίμησης της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής χρησιμοποιεί τιμές των ποσοστών ηλιοφάνειας μιας περιοχής σε μηνιαία βάση. Οι τιμές της παραμέτρου αυτής (p) δίνονται από βιβλιογραφία (Κωτούλας, 2001) και διαφοροποιούνται ανά δύο μοίρες Γεωγραφικού Πλάτους και ανάλογα το μήνα του έτους (Πίνακας 5.4).

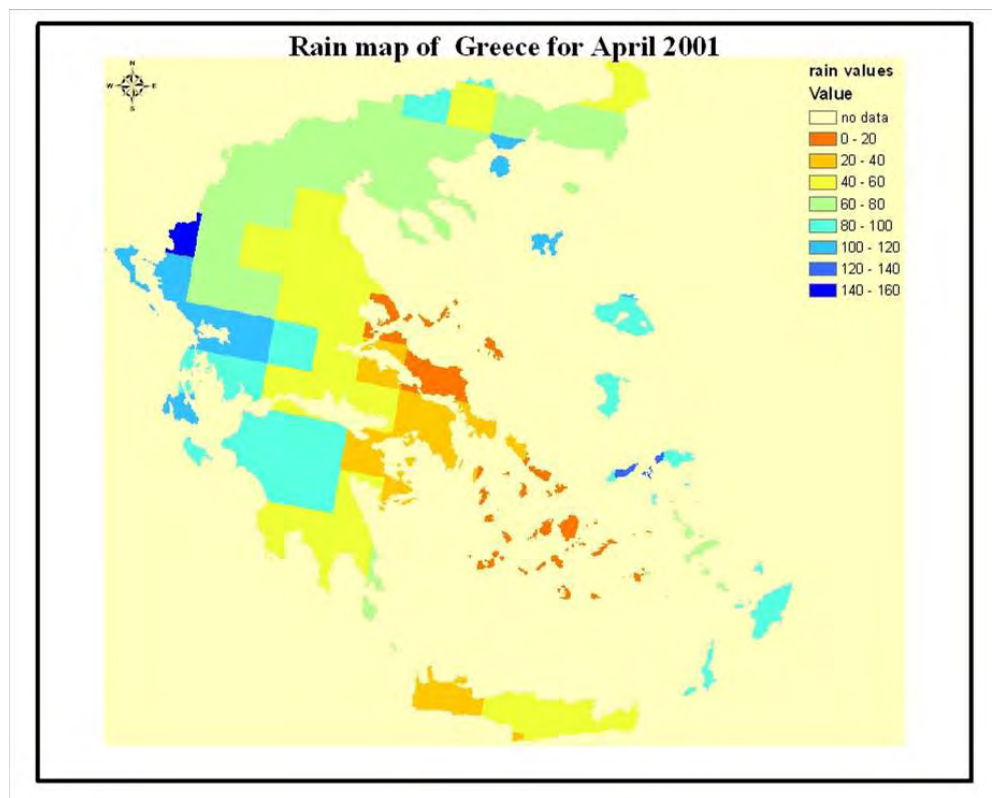
Ορισμένοι δείκτες ξηρασίας στη μελέτη αυτή εκτιμήθηκαν και με τη χρήση της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής της μεθόδου Thornthwaite. Η μέθοδος αυτή υπολογίζεται με τη βοήθεια του διορθωτικού συντελεστή L_d , ο οποίος εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος και το μήνα του έτους. Οι τιμές του διορθωτικού συντελεστή της μεθόδου, για κάθε μήνα και για τα Βόρεια Γεωγραφικά Πλάτη παραθέτονται από βιβλιογραφία (Φλόκας, 1997), στον Πίνακα 5.5.

Στη συγκεκριμένη εφαρμογή χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές των μηνιαίων ποσοστών ηλιοφάνειας της μεθόδου Blaney- Criddle καθώς και οι τιμές του διορθωτικού συντελεστή, ο οποίος χρησιμοποιείται στη μέθοδο Thornthwaite, για ένα εύρος Βόρειου Γεωγραφικού Πλάτους μεταξύ των 34° και 42°, το οποίο καλύπτει όλη την επικράτεια του Ελλαδικού χώρου.

5.2.6. Χάρτες βροχομετρικών στοιχείων Ελλάδας

Για τον υπολογισμό των δεικτών ξηρασίας, χωρικά, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα βροχόπτωσης για όλη την Ελλάδα. Τα δεδομένα αυτά προέκυψαν μέσω γραμμικής παρεμβολής τιμών βροχόπτωσης των μετεωρολογικών σταθμών για όλη την περιοχή μελέτης, από το 1975 έως και το 2005, με χωρική ανάλυση 50 x 50 km².

Τα πρωτογενή δεδομένα βροχόπτωσης προέρχονται από το ερευνητικό κέντρο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, Joint Research Center (JRC), ISPRA, Italy. Στην Εικόνα 5.6 παρουσιάζεται ενδεικτικά ο χάρτης της βροχόπτωσης όλης της Ελλάδας για το μήνα Απρίλιο του 2001.



Εικόνα 5.6: Χάρτης βροχόπτωσης Απριλίου 2001 σε χωρική ανάλυση 50 x 50 km²

Πίνακας 5.4: Μηνιαία ποσοστά ωρών ηλιοφάνειας για το Βόρειο Γεωγραφικό Πλάτος μεθόδου Blaney- Criddle

Β. Γεωγραφικό Πλάτος	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ
24	7,58	7,17	8,40	8,60	9,30	9,20	9,41	9,05	8,31	8,09	7,43	7,46
26	7,49	7,12	8,40	8,64	9,36	9,49	9,10	8,31	8,06	9,30	7,36	7,35
28	7,40	7,07	8,39	8,68	9,46	9,38	9,58	9,16	8,32	8,02	7,27	7,27
30	7,30	7,03	8,38	8,72	9,53	9,49	9,67	9,22	8,34	7,99	7,19	7,14
32	7,20	6,97	8,37	8,75	9,63	9,60	9,77	9,28	8,34	7,93	9,11	7,05
34	7,10	6,91	8,36	8,80	9,72	9,70	9,88	9,33	8,36	7,90	7,02	6,92
36	6,99	6,86	8,35	8,85	9,81	9,83	9,99	9,40	8,36	7,85	6,92	6,79

38	6,87	6,79	8,34	8,90	9,92	9,95	10,10	9,47	8,38	7,80	6,82	6,66
40	6,76	6,73	8,33	8,95	10,02	10,08	10,22	9,54	8,38	7,75	6,72	6,52
42	6,62	6,65	8,31	9,00	10,14	10,21	10,35	9,62	8,40	7,70	6,62	6,38
44	6,40	6,58	8,30	9,05	10,26	10,38	10,49	9,70	8,41	7,63	6,49	6,22
46	6,33	6,50	8,29	9,12	10,39	10,54	10,64	9,79	8,42	7,58	6,36	6,04
48	6,17	6,42	8,27	9,18	10,53	10,71	10,80	9,89	8,44	7,51	6,22	5,86
50	5,98	6,32	8,25	9,25	10,69	10,93	10,99	10,00	8,44	7,43	6,07	5,65

Πίνακας 5.5: Μηνιαίος διορθωτικός συντελεστής μεθόδου Thornthwaite για επιλεγμένα Βόρεια Γεωγραφικά Πλάτη

Β. Γεωγραφικό Πλάτος	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ
20	0.95	0.90	1.03	1.05	1.13	1.11	1.14	1.11	1.02	1.00	0.93	0.94
30	0.90	0.87	1.03	1.08	1.18	1.17	1.20	1.14	1.03	0.98	0.89	0.88
35	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	1.03	0.97	0.86	0.85
39	0.85	0.84	1.03	1.11	1.23	1.24	1.26	1.18	1.04	0.96	0.84	0.82
40	0.84	0.83	1.03	1.11	1.24	1.25	1.27	1.18	1.04	0.96	0.83	0.81
41	0.83	0.83	1.03	1.11	1.25	1.26	1.27	1.19	1.04	0.96	0.82	0.80

45	0.80	0.81	1.02	1.13	1.28	1.29	1.31	1.21	1.04	0.94	0.79	0.75
----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στην εργασία αυτή, η χωρική εκτίμηση του φαινομένου της ξηρασίας στην περιοχή της Ελλάδας πραγματοποιείται με τη χρήση ενός νέου δείκτη, ο οποίος έχει εφαρμοστεί σε πρόσφατη έρευνα, βασισμένος σε επίγεια στοιχεία (Tsakiris and Vangelis, 2005; Tsakiris *et al.*, 2007; Kanellou *et al.*, 2008c). Ο δείκτης αυτός ονομάζεται Αναγνωριστικός δείκτης ξηρασίας (RDI - Reconnaissance Drought Index) και παρέχει πληροφορίες για πολλά από τα κυριότερα χαρακτηριστικά της ξηρασίας, όπως την έναρξη και τη λήξη, τη δριμύτητα, τη διάρκεια και τη συχνότητα του φαινομένου. Το καινοτόμο στοιχείο στη συγκεκριμένη έρευνα είναι η εφαρμογή του δείκτη με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων. Η περιοχή εφαρμογής καλύπτει ολόκληρη την Ελλάδα. Το συγκεκριμένο εγχείρημα έχει ως σκοπό τη διερεύνηση της χρήσης ενός ευέλικτου, ολοκληρωμένου αλλά και εύχρηστου δείκτη, όπως ο RDI, για τον προσδιορισμό της χωρικής εξάπλωσης και εξέλιξης του φαινομένου σε μια εκτεταμένη περιοχή μελέτης, καθώς και τη γενίκευση του δείκτη αυτού σε οποιαδήποτε περιοχή και σε οποιαδήποτε σειρά δεδομένων.

Η μεθοδολογία που ακολουθείται διακρίνεται σε δύο βασικά στάδια. Αρχικά, ιδιαίτερη βάση δίνεται στον τρόπο ανάπτυξης του δείκτη, ώστε να εφαρμοστεί χρησιμοποιώντας δορυφορικά δεδομένα των παραμέτρων, και στη συνέχεια, πραγματοποιείται η πιστοποίηση των αποτελεσμάτων της μεθόδου. Ένας βασικός τρόπος αξιολόγησης των τιμών του RDI με δορυφορικά δεδομένα είναι η σύγκρισή του με τον ίδιο δείκτη, που έχει εξαχθεί με επίγεια δεδομένα, καθώς και με ένα καταξιωμένου και ευρείας χρήσης δείκτη ξηρασίας, όπως ο PDSI του Palmer. Συγκεκριμένα η σύγκριση αφορά στα χαρακτηριστικά της ξηρασίας όπως αυτά προκύπτουν από τους δείκτες αυτούς. Επιπλέον, εφαρμόζεται συνδυαστικά ανάλυση κυρίων συνιστωσών (Principal Components Analysis - PCA) των τιμών του δείκτη RDI με δορυφορικά δεδομένα, καθώς και ανάλυση κατά συστάδες (Cluster Analysis), με σκοπό τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων και την ταξινόμηση και ομαδοποίηση (συσταδοποίηση) αυτών σε χαρακτηριστικές κατηγορίες.

Τα βήματα που ακολουθούνται για την ολοκλήρωση της χωρικής (δορυφορικά δεδομένα) και σημειακής (επίγεια δεδομένα) εκτίμησης της ξηρασίας καθώς για τη στατιστική ανάλυση, αναλύονται παρακάτω και είναι τα εξής:

- ***Εκτίμηση ξηρασίας με χρήση δορυφορικών δεδομένων***
 - Προεπεξεργασία δορυφορικών εικόνων
 - Υπολογισμός θερμοκρασίας επιφανείας εδάφους
 - Εκτίμηση δυνητικής εξατμισοδιαπνοής με χρήση δορυφορικών δεδομένων
 - Εξαγωγή χαρτών βροχόπτωσης
 - Χωρική εκτίμηση του δείκτη ξηρασίας RDI

- ***Πιστοποίηση μεθοδολογίας με επίγειες μεθόδους***
 - Επεξεργασία επίγειων δεδομένων και δημιουργία ενιαίας βάσης
 - Εκτίμηση δυνητικής εξατμισοδιαπνοής με χρήση επίγειων δεδομένων
 - Υπολογισμός δεικτών ξηρασίας με επίγεια δεδομένα
 - Σύγκριση χαρακτηριστικών ξηρασίας βάσει του δείκτη RDI με δορυφορικά και επίγεια δεδομένα

- ***Στατιστική χωρική ανάλυση***
 - Ανάλυση κυρίων συνιστωσών (PCA) δείκτη RDI με δορυφορικά δεδομένα
 - Ανάλυση κατά συστάδες (Cluster Analysis)

6.1. Εκτίμηση ξηρασίας με χρήση δορυφορικών δεδομένων

Για τη χωρική εκτίμηση της ξηρασίας σε όλη την Ελλάδα χρησιμοποιείται ο δείκτης RDI. Τα κριτήρια επιλογής του δείκτη καθώς και τα βήματα υπολογισμού του περιγράφονται αναλυτικά στις παραγράφους που ακολουθούν.

6.1.1. Προεπεξεργασία δορυφορικών εικόνων

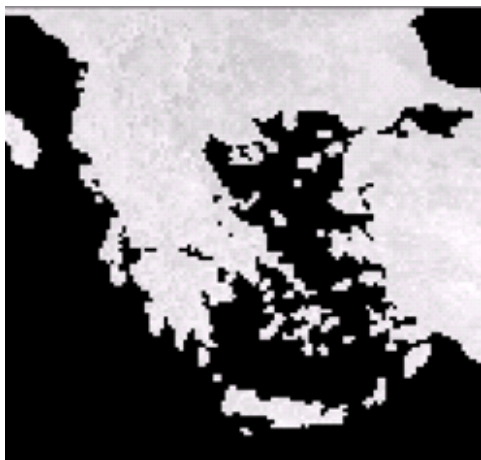
Τα δορυφορικά δεδομένα που απαιτούνται για την ολοκλήρωση της μεθόδου ανακτήθηκαν από το δορυφόρο NOAA/ AVHRR και παρουσιάζουν χωρική διακριτική ικανότητα $8 \times 8 \text{ km}^2$. Η συγκεκριμένη ανάλυση των δορυφορικών εικόνων κρίνεται ικανοποιητική για την εκτίμηση του φαινομένου της ξηρασίας χωρικά σε όλη την Ελλάδα. Επιπλέον, οι εικόνες αυτές είναι διαθέσιμες για μια εκτεταμένη ενιαία χρονοσειρά είκοσι (20) υδρολογικών ετών (Οκτώβριος 1981 - Σεπτέμβριος, 2001), γεγονός που δίνει τη δυνατότητα της καλύτερης προσαρμογής του δείκτη και της περισσότερο ολοκληρωμένης παρακολούθησης της εξέλιξης της ξηρασίας στην περιοχή.

Οι μεταβλητές που ανακτήθηκαν από τις εικόνες αυτές ήταν η θερμοκρασία λαμπρότητας (Brightness Temperature - BT) καθώς και ο δείκτης βλάστησης (NDVI) σε μηνιαίο χρονικό βήμα. Οι αρχικές τιμές των δορυφορικών εικόνων των μεταβλητών αντιστοιχούν σε τιμές δεκαημέρου για το σύνολο των είκοσι (20) υδρολογικών ετών. Από τις τιμές δεκαημέρου προήλθαν μηνιαίες τιμές για την κάθε μία μεταβλητή και για το ίδιο χρονικό διάστημα. Στις περιπτώσεις όπου παρατηρείται έλλειψη στοιχείων (έτος 1994), όπως αναφέρθηκε και στο 5^ο κεφάλαιο, οι τιμές αυτές συμπληρώνονται με τις κλιματικές τιμές της εκάστοτε περιοχής και για τους αντίστοιχους μήνες που λείπουν. Με τον τρόπο αυτό δημιουργούνται δύο ενιαίες χρονοσειρές δεδομένων, μια για τη δορυφορική θερμοκρασία λαμπρότητας BT και μια για το δείκτη βλάστησης NDVI.

Στη συνέχεια, οι εικόνες εισάγονται με την κατάλληλη μορφή στο πρόγραμμα επεξεργασίας δορυφορικών εικόνων Erdas Imagine (Erdas Imagine 9.1), όπου γίνεται η γεωμετρική διόρθωσή τους. Με τη διαδικασία αυτή πραγματοποιείται η προβολή των δεδομένων σε ένα επίπεδο και εισάγεται σε αυτά ένα προβολικό σύστημα συντεταγμένων (rectification and registration). Η εισαγωγή χαρτικών συντεταγμένων στα δεδομένα της εικόνας ονομάζεται και γεωαναφορά (georeferencing). Έτσι, αφού όλα τα προβολικά συστήματα χαρτών σχετίζονται με συντεταγμένες, στη διόρθωση εμπεριέχεται και η διαδικασία της γεωαναφοράς.

Οι συγκεκριμένες δορυφορικές εικόνες (BT και NDVI) προσαρμόζονται στο ελληνικό γεωγραφικό σύστημα συντεταγμένων (EGSA' 87). Η διαδικασία της

γεωμετρικής διόρθωσης πραγματοποιείται σε μία δορυφορική εικόνα της χρονοσειράς με τη χρήση ενός πολυωνυμικού γεωμετρικού μοντέλου 2^{ας} τάξης και με την εισαγωγή 16 σημείων ελέγχου (GCP: Ground Control Points), εκ των οποίων τα τρία τίθενται ως σημεία επαλήθευσης (check points) για τη μείωση του ολικού γεωμετρικού σφάλματος. Οι παράμετροι της διαδικασίας αποθηκεύονται και χρησιμοποιούνται και στις υπόλοιπες δορυφορικές εικόνες με τα ίδια τεχνικά χαρακτηριστικά. Στις Εικόνες 6.1 και 6.2 παρουσιάζονται δορυφορικές εικόνες της χρονοσειράς πριν και μετά τη γεωμετρική διόρθωση.



Εικόνα 6.1: Δορυφορική μη γεωμετρικά διορθωμένη εικόνα της Ελλάδας (Ιούλιος, 1981)



Εικόνα 6.2: Δορυφορική γεωμετρικά διορθωμένη εικόνα της Ελλάδας (Ιούλιος, 1981)

6.1.2. Υπολογισμός θερμοκρασίας επιφανείας εδάφους

Η θερμοκρασία λαμπρότητας (BT), η οποία ανακτάται από τις δορυφορικές εικόνες, υποβάλλεται σε περαιτέρω επεξεργασία ώστε οι τιμές της να εκφραστούν σε τιμές θερμοκρασίας επιφανείας εδάφους (LST). Τα πρωτογενή δορυφορικά δεδομένα θερμοκρασίας, προέρχονται από τα θερμικά κανάλια 4 και 5 του δορυφόρου NOAA/AVHRR. Σε αυτά τα δεδομένα εφαρμόζονται αλγόριθμοι που εξάγουν τη θερμοκρασία επιφανείας εδάφους, η οποία είναι απαραίτητη μεταβλητή στις εξισώσεις εκτίμησης ξηρασίας μέσω των διαφόρων δεικτών.

Η μεθοδολογία εξαγωγής της θερμοκρασίας επιφανείας προβλέπει, αρχικά, τη μετατροπή των τιμών των θερμικών καναλιών σε τιμές θερμοκρασίας Kelvin, σύμφωνα με την εξίσωση (6.1), και στη συνέχεια την αναγωγή των τιμών αυτών σε τιμές θερμοκρασίας °C.

$$T = (\text{pixel εικόνας} + 31990) * 0,005 \quad (6.1)$$

Ωστόσο, κατά την εξαγωγή της θερμοκρασίας επιφανείας εδάφους (LST) από τις δορυφορικές εικόνες παρατηρούνται δύο σημαντικές δυσκολίες. Η πρώτη παρατηρείται στην ατμοσφαιρική επίδραση τμήματος της υπέρυθρης ακτινοβολίας από τους υδρατμούς, και η δεύτερη στην ακτινοβολία που εκπέμπεται από την επιφάνεια, η οποία δεν μπορεί να εκτιμηθεί. Και για τις δύο αυτές περιπτώσεις έχουν προταθεί διάφορες λύσεις.

Για την εξαγωγή της θερμοκρασίας επιφανείας εδάφους, στην παρούσα μελέτη, χρησιμοποιείται η μέθοδος αλγορίθμων “split window” των Becker and Li (1990). Η μέθοδος αυτή επιτυγχάνει την ατμοσφαιρική διόρθωση των δορυφορικών εικόνων λαμβάνοντας υπόψη την απορρόφηση από τους υδρατμούς. Επίσης, χρησιμοποιείται η σχέση των Van de Griend and Owe (1993), η οποία εκτιμά και την εκπομπή της υπέρυθρης ακτινοβολίας από την επιφάνεια. Οι σχέσεις αυτές συνδυάζουν τα θερμικά κανάλια 4 και 5 καθώς και τις τιμές του δείκτη βλάστησης (NDVI). Η σχέση των Becker and Li έχει τη μορφή της εξίσωσης (6.2):

$$T = 1,274 + (T_4+T_5)/2 [1+0,15616\{(1-e)/e\} - 0.482de/e^{**2}] + (T_4-T_5)/2[6.26+3.989\{(1-e)/e\} + 38.33de/e^{**2}] \quad (6.2)$$

όπου T η θερμοκρασία επιφανείας εδάφους (LST), T₄ και T₅ η τιμές των θερμικών καναλιών 4 και 5 του δορυφόρου. Οι μεταβλητές e και de ορίζονται από τις παρακάτω εξισώσεις:

$$e = (e_4 + e_5)/2 \quad (6.3)$$

$$de = e_4 - e_5 \quad (6.4)$$

όπου e_4 , e_5 οι τιμές ανάκλασης των καναλιών 4 και 5, αντίστοιχα, οι οποίες δίνονται από τις εξισώσεις των Van de Griend and Owe:

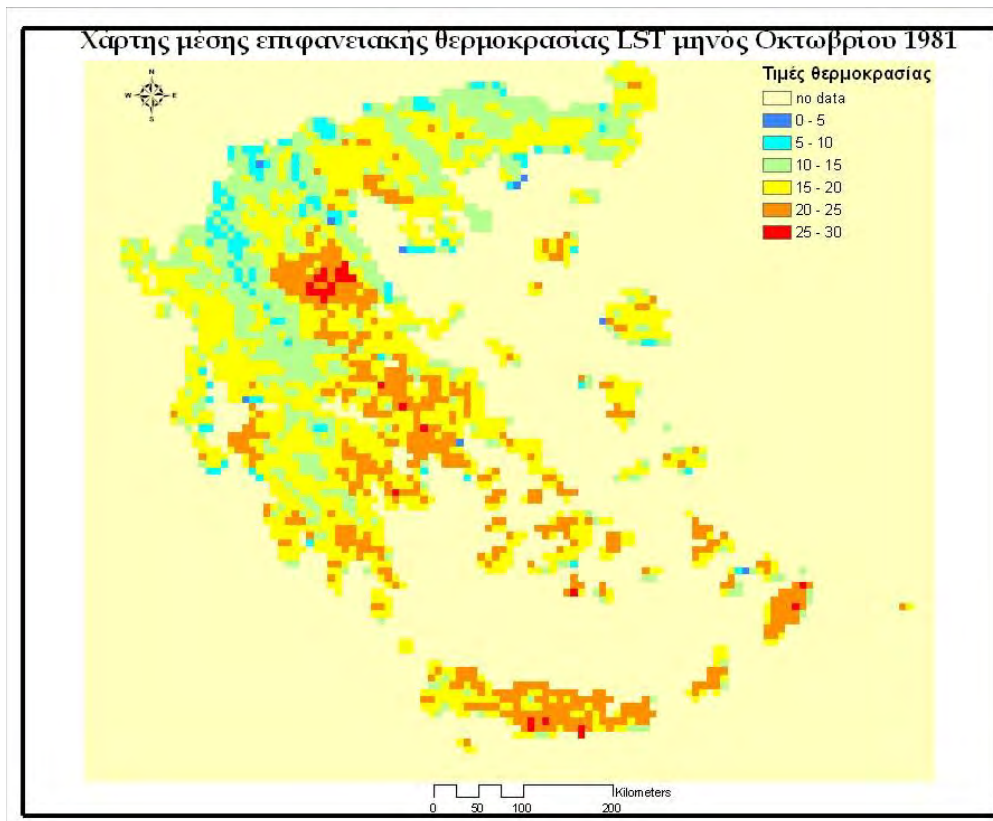
$$e_4 = 1.0094 + 0.047 \ln(\text{NDVI}) \quad (6.5)$$

$$e_5 = e_4 + 0,01 \quad (6.6)$$

όπου NDVI οι τιμές του δείκτη βλάστησης για κάθε έτος της εκάστοτε χρονοσειράς.

Οι εξισώσεις 6.1 έως και 6.6 εφαρμόζονται σε κάθε εικόνα δεκαημέρου όλης της χρονοσειράς των δορυφορικών εικόνων και παράγουν χάρτες θερμοκρασίας επιφανείας εδάφους για όλη την Ελλάδα. Οι τιμές της θερμοκρασίας επιφανείας εδάφους κάθε δεκαημέρου, χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή τιμών μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας (τρία δεκαήμερα ανά μήνα), για όλη τη χρονοσειρά των 20 υδρολογικών ετών (Εικόνα 6.3). Τελικά οι τιμές της θερμοκρασίας επιφανείας εδάφους υπολογίζονται στην ολοκληρωμένη τους μορφή όπως σε παρόμοια εργασία (Τσίρος, 2009).

Στο τελικό στάδιο αυτού του σημείου ν της έρευνας, πραγματοποιείται μια ακόμα διάκριση των τιμών αρνητικής θερμοκρασίας που παρατηρήθηκαν. Τιμές θερμοκρασίας χαμηλότερες των -20°C θεωρούνται τιμές θερμοκρασίας νεφών, βάσει παλαιότερης έρευνας που είχε διεξαχθεί (Γαλάκου, 2004). Για το λόγο αυτό αναπτύσσεται μοντέλο στο πρόγραμμα Erdas Imagine, το οποίο εξαιρεί τιμές χαμηλότερες των -20°C , χρησιμοποιώντας την τιμή αυτή ως τιμή κατωφλίου. Τα εικονοστοιχεία (pixel) κάτω της τιμής κατωφλίου αντικαθιστώνται στις τελικές εικόνες θερμοκρασίας επιφανείας εδάφους, από την ενδεικτική τιμή 1000.



Εικόνα 6.3: Χάρτης μηνιαίας δορυφορικής θερμοκρασίας επιφανείας εδάφους (LST) σε °C της Ελλάδας για μήνα Οκτώβριο του 1981

Το υπό μνημα του χάρτη (Εικόνα 6.3) καλύπτει όλο το εύρος των τιμών θερμοκρασίας που παρατηρήθηκαν, από τις πιο χαμηλές τιμές (απόχρωση του μπλε) έως και τις υψηλότερες θερμοκρασίες (απόχρωση του κόκκινου). Οι κατηγορίες και τα εύρη τιμών του υπομνήματος του συγκεκριμένου χάρτη διατηρούνται σε όλους τους υπόλοιπους χάρτες θερμοκρασίας με σκοπό την άμεση σύγκρισή των τιμών τους διαχρονικά και χωρικά.

6.1.3. Εκτίμηση δυνητικής εξατμισοδιαπνοής με χρήση δορυφορικών δεδομένων

Ο δείκτης ξηρασίας RDI, όπως και οι περισσότεροι ολοκληρωμένοι δείκτες εκτίμησης ξηρασίας, χρησιμοποιεί κατά τον υπολογισμό του την παράμετρο της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής. Κατά την αρχική εφαρμογή του δείκτη σε επίγεια δεδομένα χρησιμοποιήθηκε η δυνητική εξατμισοδιαπνοή της μεθόδου Thornthwaite.

Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε η φόρμουλα εκτίμησης δυνητικής εξατμισοδιαπνοής των Blaney – Criddle.

Η μέθοδος δυνητικής εξατμισοδιαπνοής των Blaney-Criddle (1950) χρησιμοποιείται ευρέως σε παγκόσμιο επίπεδο. Είναι περισσότερο αντιπροσωπευτική για μεσογειακά κλίματα όπου επικρατούν ξηροθερμικές συνθήκες κατά τη διάρκεια του θέρου η (π.χ. Δυτικές ΗΠΑ, Ελλάδα). Οι Blaney-Criddle διατύπωσαν μια εμπειρική σχέση, η οποία εκτιμά την παράμετρο που οι ίδιοι ονόμασαν «καταναλωτική χρήση» c_u , πρακτικώς δηλαδή τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή E_p . Στην αρχική της διατύπωση η σχέση των δύο ερευνητών εκτιμά την εποχική εξατμισοδιαπνοή (από το φύτρωμα έως και τη συγκομιδή των καλλιεργειών), χρησιμοποιώντας τις μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας αέρα, το ποσοστό ηλιοφάνειας κατά τη διάρκεια της ημέρας (p) και ένα φυτικό συντελεστή, διαφορετικό για κάθε καλλιέργεια (Παπαζαφειρίου, 1984). Η αρχική αυτή σχέση έχει τη μορφή:

$$ET = K * F \quad (6.7)$$

όπου ET η εποχική εξατμισοδιαπνοή σε ίντσες, K ο φυτικός συντελεστής και F ένας κλιματικός παράγοντας που δίνεται από τη σχέση:

$$F = \sum_{j=1}^n \left[\frac{T_j p_j}{100} \right] \quad (6.8)$$

όπου n οι μήνες διάρκειας της βλαστικής περιόδου, T_j η μέση θερμοκρασία σε F και p_j το ποσοστό ηλιοφάνειας του εκάστοτε μήνα j .

Οι Blaney-Criddle, αναπτύσσοντας την αρχική μεθοδό τους, κατέληξαν στη σχέση (6.9) βάσει της οποίας εκτιμάται η μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή σε mm, με τη χρήση της θερμοκρασίας αέρα σε $^{\circ}C$.

$$ET_m = K_c * [0.46T + 8.16] * p \quad (6.9)$$

όπου ET_m η μηνιαία ET σε mm, K_c ο μηνιαίος φυτικός συντελεστής, T η μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα και p το ποσοστό ηλιοφάνειας του κάθε μήνα.

Ο φυτικός συντελεστής, K_c , εξαρτάται από τις κλιματικές συνθήκες της εκάστοτε περιοχής μελέτης, καθώς και από τον τύπο βλάστησης και το είδος της χρήσης γης που επικρατεί στην περιοχή αυτή. Για το λόγο αυτό υπολογίζεται για κάθε περιοχή και κάθε τύπο βλάστησης χωριστά, βάσει βιβλιογραφίας. Τα μηνιαία ποσοστά ηλιοφάνειας (p) για κάθε περιοχή, δίνονται επίσης από τη βιβλιογραφία, και εξαρτώνται από το γεωγραφικό πλάτος στο οποίο βρίσκεται η περιοχή μελέτης.

Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή Blaney-Criddle έχει εκτιμηθεί επιτυχώς, σε προγενέστερη έρευνα, στον Ελλαδικό χώρο με τη χρήση επίγειων τιμών θερμοκρασίας από μετεωρολογικούς σταθμούς, καθώς και με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων για την περιοχή της Θεσσαλίας (Κανέλλου, 2006). Στη συγκεκριμένη έρευνα, υπολογίζεται μηνιαίως για ολόκληρη την Ελλάδα με τη χρήση των εικόνων της δορυφορικής θερμοκρασίας επιφανείας εδάφους και για ολόκληρη τη χρονοσειρά των δεδομένων. Τα απαραίτητα βήματα που πραγματοποιούνται για τον υπολογισμό της παραμέτρου είναι τα εξής:

I) Εξαγωγή χαρτών των μηνιαίων φυτικών συντελεστών K_c για όλη την Ελλάδα.

II) Υπολογισμός των ποσοστών ηλιοφάνειας p όλης της περιοχής για κάθε γεωγραφικό πλάτος.

III) Αναγωγή εικόνων θερμοκρασίας επιφανείας εδάφους όλης της Ελλάδας για κάθε μήνα των 20 υδρολογικών ετών.

Τα στάδια εκτίμησης των παραμέτρων της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής περιγράφονται αναλυτικά ως εξής:

I) Οι φυτικοί συντελεστές της συγκεκριμένης μεθόδου δυνητικής εξατμισοδιαπνοής εξαρτώνται από το n τύπο βλάστησης και τη χρήση γης που συναντάται σε κάθε περιοχή. Για να υπολογιστούν οι συντελεστές αυτοί για ολόκληρη την Ελλάδα χρησιμοποιούνται οι πληροφορίες του Corine Hellas 2000. Με τον τρόπο αυτό διακρίνονται οι αρδευόμενες και μη αρδευόμενες καλλιέργειες καθώς και οι δασικές, ημιδασικές ή άγονες περιοχές. Για κάθε τύπο εδάφους και βλάστησης η βιβλιογραφία δίνει μια συγκεκριμένη τιμή του συντελεστή αυτού ανά μήνα. Για τις κατηγορίες των αρδευόμενων και μη αρδευόμενων καλλιεργειών οι τιμές του

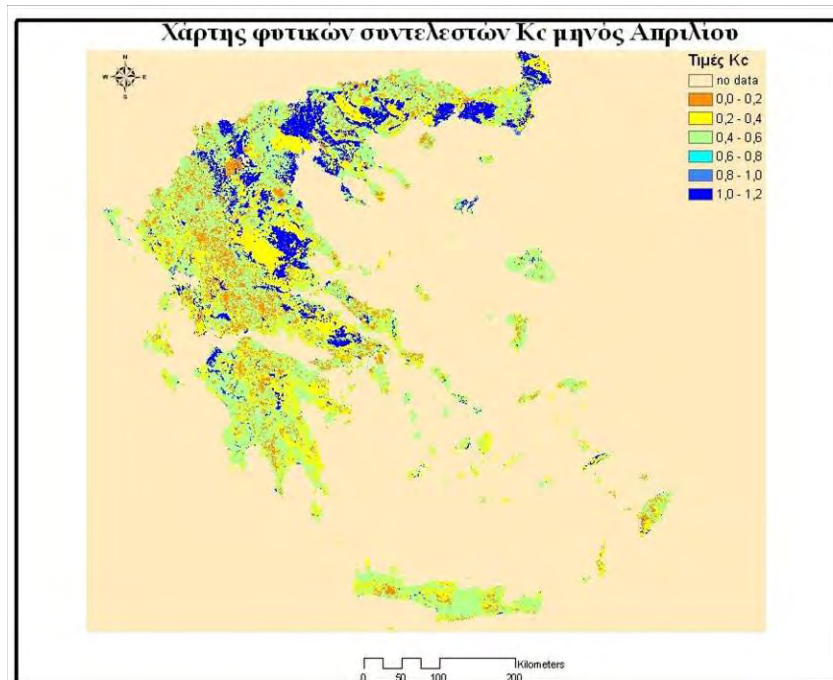
συντελεστή υπολογίζονται ως σταθμισμένοι μέσοι όροι των κυριότερων αντιπροσωπευτικών καλλιεργειών και της αναλογίας αυτών στην περιοχή. Στον Πίνακα 6.1. παρουσιάζονται ενδεικτικά κάποιες από τις τιμές των μηνιαίων φυτικών συντελεστών στις πιο κύριες κατηγορίες χρήσεων γης, οι οποίες υπολογίζονται στο στάδιο αυτό και χρησιμοποιούνται κατά την εκτίμηση της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής. Οι τιμές του συντελεστή του Πίνακα 6 1 . αντιστοιχο ύ σε καλλιέργειες στα Γεωγραφικά Πλάτη της Ελλάδας.

Πίνακας 6.1: Τιμές μηνιαίων φυτικών συντελεστών Kc δυνητικής εξατμισοδιαπνοής Blaney- Criddle, σε κύριες κατηγορίες τύπους εδάφους

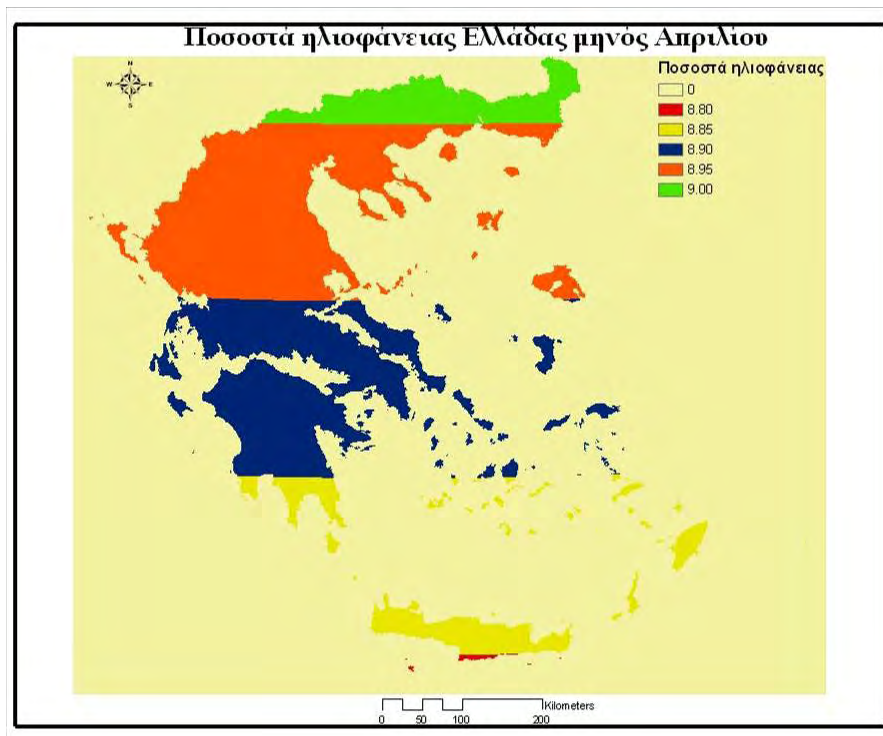
Χρήσεις γης	I	Φ	M	A	M	I	I	A	Σ	O	N	Δ
Μη Αρδευόμενες εκτάσεις	0,26	0,5	0,89	1,09	0,53	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Αρδευόμενες εκτάσεις	0,1	0,1	0,1	0,23	0,33	0,54	0,78	0,82	0,72	0,4	0,1	0,1
Αμπέλια	0,1	0,1	0,1	0,47	0,55	0,67	0,67	0,67	0,67	0,55	0,37	0,1
Οπωροφόρα Δέντρα	0,32	0,39	0,4	0,47	0,56	0,62	0,64	0,65	0,55	0,46	0,45	0,37
Βοσκότοποι	0,1	0,1	0,11	0,26	0,48	0,68	0,78	0,72	0,47	0,26	0,2	0,1
Δάση	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,65	0,6	0,55	0,4	0,35	0,35
Αραιή βλάστηση	0,16	0,19	0,23	0,29	0,38	0,45	0,49	0,48	0,4	0,31	0,23	0,15
Σποραδική βλάστηση	0,1	0,1	0,1	0,17	0,28	0,38	0,44	0,4	0,28	0,17	0,15	0,1
Ετήσιες καλλιέργειες	0,23	0,33	0,46	0,47	0,47	0,48	0,5	0,52	0,46	0,32	0,22	0,2

Η εξαγωγή των χαρτών των φυτικών συντελεστών για κάθε μήνα του υδρολογικού έτους πραγματοποιείται σε περιβάλλον Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) σε μέγεθος φατνίου 500 x 500 m². Οι χάρτες αυτοί, οι οποίοι καλύπτουν ολόκληρη την Ελλάδα, χρησιμοποιούνται για τη χωρική εκτίμηση της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής με τη μέθοδο Blaney-Criddle σε όλη την περιοχή. Παράδειγμα των χαρτών αυτών παρουσιάζεται στην Εικόνα 6.4.

II) Οι μηνιαίες τιμές των ποσοστών ηλιοφάνειας p , οι οποίοι αναφέρονται σε πίνακες στη διεθνή βιβλιογραφία, μεταβάλλονται ανά δύο μοίρες γεωγραφικού πλάτους. Για να εκτιμηθεί η δυνητική εξατμισοδιαπνοή Blaney-Criddle σε όλη την Ελλάδα, ήταν απαραίτητο να υπολογισθούν τα ποσοστά ηλιοφάνειας για ένα εύρος γεωγραφικού πλάτους οκτώ μοιρών, από τις 34° έως και τις 42°, το οποίο καλύπτει όλη την επιφάνεια της περιοχής. Για την εφαρμογή της μεθοδολογίας, δημιουργούνται μηνιαίοι χάρτες ποσοστών ηλιοφάνειας όλης της Ελλάδας, σε περιβάλλον GIS, στους οποίους οι τιμές προσδιορίζονται ανά δύο μοίρες και ανά μήνα του έτους (χωρικά και χρονικά). Στην Εικόνα 6.5 εμφανίζεται ενδεικτικά χάρτης ποσοστών ηλιοφάνειας την Ελλάδας για το μήνα Απρίλιο.



Εικόνα 6.4: Χάρτης Φυτικών συντελεστών (Kc) μηνός Απριλίου για όλο τον Ελλαδικό χώρο



Εικόνα 6.5: Χάρτης ποσοστών μηνιαίας ηλιοφάνειας (p) Απριλίου για όλο τον Ελλαδικό χώρο και ανά δύο μοίρες Γεωγραφικό Πλάτος

III) Η μέθοδος Blaney- Criddle χρησιμοποιεί κατά τον υπολογισμό της τη μηνιαία θερμοκρασία αέρα της εκάστοτε περιοχής. Επομένως, για τη χωρική εκτίμηση της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής πραγματοποιείται η αναγωγή της μηνιαίας δορυφορικής θερμοκρασίας επιφανείας εδάφους (LST) όλης της χρονοσειράς σε θερμοκρασία αέρα. Η αναγωγή αυτή υλοποιείται με τη βοήθεια εμπειρικών σχέσεων και συγκεκριμένα με την εξαγωγή κοινής σχέσης παλινδρόμησης μεταξύ των δυο μεταβλητών της θερμοκρασίας. Η σχέση αυτή προκύπτει από τη συσχέτιση των μέσων μηνιαίων τιμών θερμοκρασίας αέρα των μετεωρολογικών σταθμών όλης της Ελλάδας με τις μέσες μηνιαίες τιμές της θερμοκρασίας επιφανείας εδάφους, που παρατηρούνται στα αντίστοιχα εικονοστοιχεία (pixel) πάνω από τη θέση του κάθε μετεωρολογικού σταθμού.

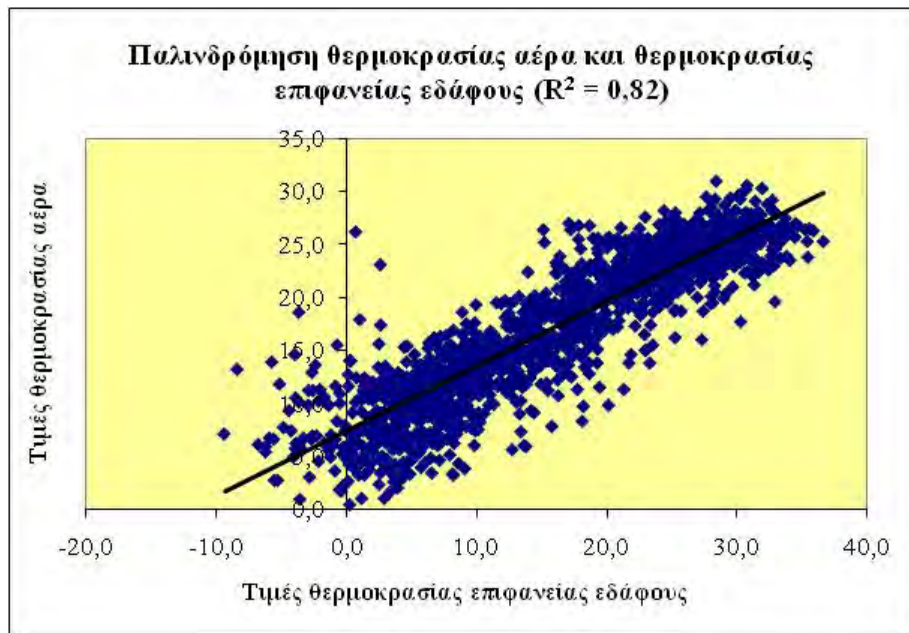
Οι μετεωρολογικοί σταθμοί που εμφανίζουν επαρκή και διαθέσιμα δεδομένα είναι οι εξής: Αλεξανδρούπολη, Άραξος, Ελληνικό, Ιωάννινα, Ηράκλειο, Θεσσαλονίκη, Κέρκυρα, Κοζάνη, Λάρισα, Μεθώνη, Μήλος, Μυτιλήνη, Νάξος,

Πάτρα, Σητεία, Θεσσαλονίκη, Τρίπολη και Βόλος. Η σχέση παλινδρόμησης που προκύπτει υπολογίζει τη θερμοκρασία αέρα σύμφωνα με την εξίσωση:

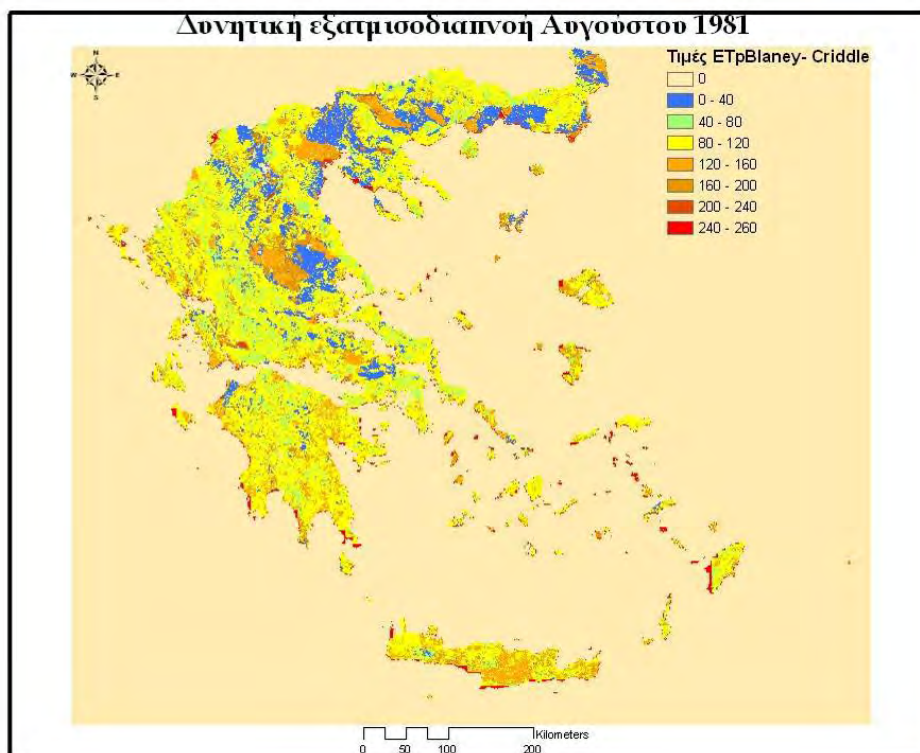
$$T_{\text{αέρα}} = 0,6143 T_{\text{εδάφους}} + 7,3674 \quad (6.10)$$

Το ποσοστό του συντελεστή προσδιορισμού της παλινδρόμησης είναι περίπου 82%. Στην Εικόνα 6.6 παρουσιάζεται το διάγραμμα παλινδρόμησης των δυο μεταβλητών θερμοκρασίας.

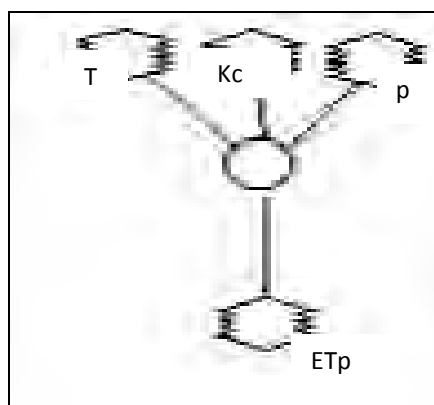
Η συγκεκριμένη σχέση θερμοκρασίας αέρα και επιφανείας εδάφους χρησιμοποιείται για την αναγωγή των τιμών της δορυφορικής θερμοκρασίας σε τιμές θερμοκρασίας αέρα, καλύπτοντας χωρικά όλη την Ελλάδα και παράγοντας χάρτες μηνιαίας θερμοκρασίας αέρα όλης της σειράς των δεδομένων (20 υδρολογικά έτη). Οι παραπάνω χάρτες σε συνδυασμό με τους μηνιαίους χάρτες των φυτικών συντελεστών και των ποσοστών μηνιαίας ηλιοφάνειας, οδηγούν στη χωρική εκτίμηση της μηνιαίας δυνητικής εξατμισοδιαπνοής όλης της περιοχής, με τη χρήση μοντέλων που κατασκευάζονται στο πρόγραμμα επεξεργασίας εικόνων Erdas Imagine 9.1. Παράδειγμα τμήματος μοντέλου εκτίμησης δυνητικής εξατμισοδιαπνοής Blaney-Criddle, το οποίο δημιουργήθηκε για τις ανάγκες της παρούσας έρευνας παρουσιάζεται στο Σχήμα 6.1. Αν και οι εικόνες της δορυφορικής θερμοκρασίας είναι σε μέγεθος φατνίου $8 \times 8 \text{ km}^2$, η δυνητική εξατμισοδιαπνοή υπολογίζεται για κάθε $500 \times 500 \text{ m}^2$ καθώς επηρεάζεται από τη λεπτομερέστερη ανάλυση των χαρτών των φυτικών συντελεστών, παρέχοντας με τον τρόπο αυτό περισσότερες και ακριβέστερες πληροφορίες. Στην εικόνα 6.7 παρουσιάζεται ενδεικτικά χάρτης δυνητικής εξατμισοδιαπνοής Blaney-Criddle του Αυγούστου 1981.



Εικόνα 6.6: Διάγραμμα παλινδρόμησης επίγειας θερμοκρασίας αέρα και δορυφορικής θερμοκρασίας επιφανείας εδάφους για όλη την Ελλάδα



Εικόνα 6.7: Χάρτης δυνητικής εξατμισοδιαπνοής Blaney-Criddle σε mm για τον Αύγουστο 1981



Σχήμα 6.1: Σχηματική απεικόνιση μοντέλου υπολογισμού δυνητικής εξατμισοδιαπνοής Blaney-Criddle με τη χρήση του προγράμματος Erdas Imagine 9.1

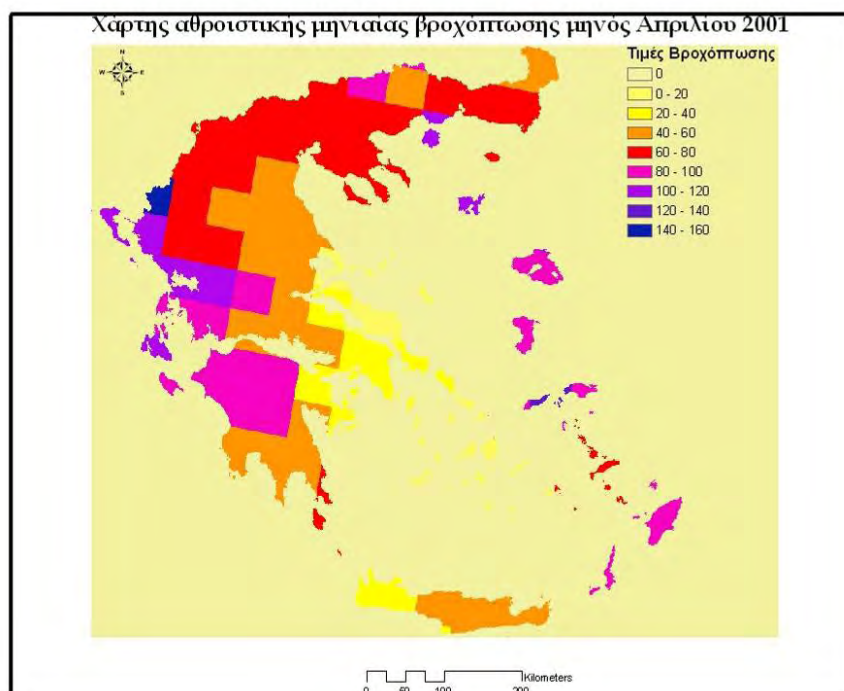
Το διάγραμμα ροής του Σχήματος 6.1 υπολογίζει τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή Blaney- Criddle (ET_p) για ένα μήνα, χρησιμοποιώντας τη μέση μηνιαία θερμοκρασία (T) ενός μηνός, το φυτικό συντελεστή του αντίστοιχου μήνα (K_c) και το μηνιαίο ποσοστό ηλιοφάνειας (p) για το μήνα αυτό. Αντίστοιχα μοντέλα κατασκευάστηκαν για κάθε μήνα των 20 υδρολογικών ετών.

6.1.4. Εξαγωγή χαρτών βροχόπτωσης

Για τον υπολογισμό του δείκτη ξηρασίας RDI είναι απαραίτητη η συλλογή δεδομένων βροχόπτωσης της περιοχής. Κυριότερος στόχος της παρούσας διδακτορικής διατριβής είναι η χωρική εκτίμηση του φαινομένου της ξηρασίας για κάθε περιοχή της Ελλάδας με τη χρήση χωρικών και όχι σημειακών δεδομένων. Για το λόγο αυτό πραγματοποιείται επιπρόσθετη έρευνα με σκοπό την εύρεση βάσεων δορυφορικών δεδομένων βροχόπτωσης. Η συλλογή δορυφορικών δεδομένων βροχόπτωσης από τον δορυφόρο METEOSAT παρουσιάζει τεχνικές δυσκολίες λόγω της έλλειψης εικόνων για ένα τόσο μεγάλο χρονικό διάστημα. Επομένως, η χωρική απεικόνιση της βροχόπτωσης στην περιοχή πραγματοποιείται με τη βοήθεια της βάσης δεδομένων του JRC, ISPRA. Τα συγκεκριμένα δεδομένα προσφέρουν πληροφορίες για μια εκτεταμένη σειρά ετών από το 1975 έως και το 2005

καλύπτοντας τον Ελλαδικό χώρο ανά 50 x 50 km², διακρίνοντας την Ελλάδα σε φατνία. Οι τιμές αυτές προκύπτουν μετά από γραμμική παρεμβολή τιμών βροχόπτωσης μεταξύ των μετεωρολογικών σταθμών που διαθέτει το JRC (κυρίως της ΕΜΥ) και κατανέμονται σε όλη την επικράτεια. Από τις ημερήσιες τιμές όλης της χρονοσειράς υπολογίζεται η μηνιαία αθροιστική βροχόπτωση κάθε υδρολογικού έτους από το 1975 έως και το 2005 και για όλα τα φατνία της Ελλάδας. Οι τιμές της μηνιαίας βροχόπτωσης εκφράζονται υπό μορφή χάρτη όλης της περιοχής, σε περιβάλλον GIS, για κάθε μήνα των 20 υδρολογικών ετών. Στην Εικόνα 6.8 παρουσιάζεται ενδεικτικά χάρτης μηνιαίας βροχόπτωσης για όλη την Ελλάδα, όπως προέκυψε από την επεξεργασία των στοιχείων του JRC, ISPRA.

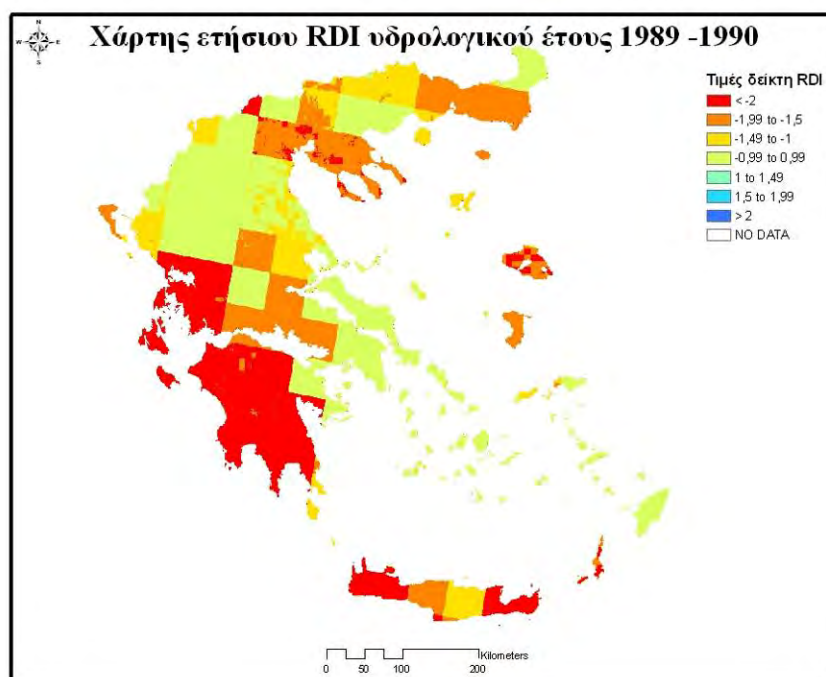
Ανάλογες νέες βάσεις δεδομένων εκτίμησης βροχόπτωσης, που συνδυάζουν επίγεια και δορυφορικά στοιχεία, έχουν αναπτυχθεί πρόσφατα σε παγκόσμια κλίμακα και διατίθενται ελεύθερα στο διαδίκτυο (<http://gpcc.dwd.de> και <http://www.cdc.noaa.gov>).



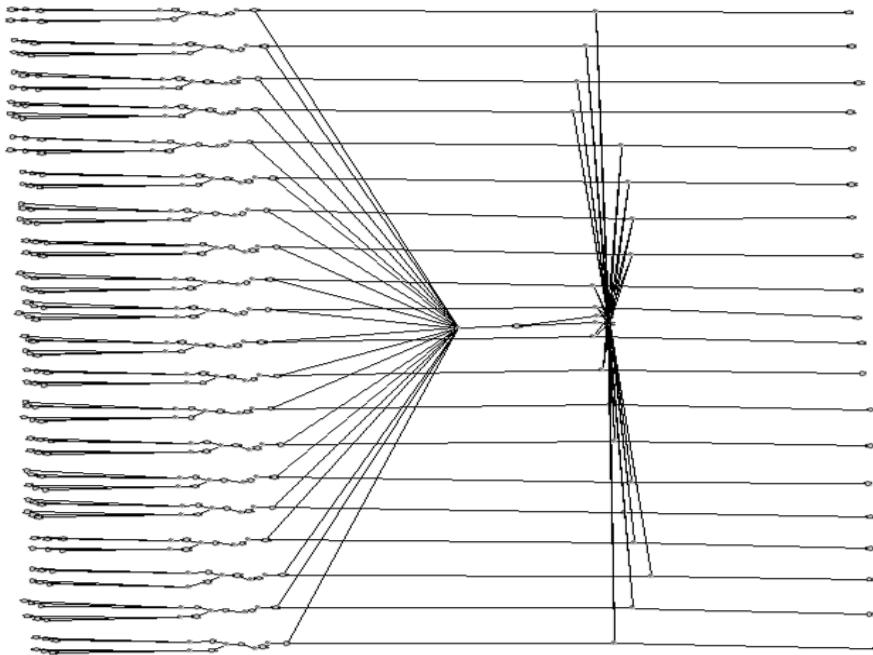
Εικόνα 6.8: Χάρτης μηνιαίας αθροιστικής βροχόπτωσης σε mm μηνός Απριλίου 2001

6.1.5. Χωρική εκτίμηση του δείκτη ξηρασίας RDI

Η μεγαλύτερη καινοτομία στη συγκεκριμένη διδακτορική διατριβή είναι η χωρική εκτίμηση της ξηρασίας με τη χρήση του δείκτη RDI και των δορυφορικών δεδομένων των μεταβλητών. Ο υπολογισμός του δείκτη προκύπτει από το συνδυασμό των μεταβλητών που ανακτηθήκαν στα προηγούμενα στάδια της μεθοδολογίας. Ο δείκτης RDI υπολογίζεται για ολόκληρη την Ελλάδα ανά 500 x 500 km², και για διαφορετικές χρονικές διάρκειες (μηνιαίος, τριών- έξι- εννέα μηνών και ετήσιος) του συνόλου της χρονοσειράς των 20 υδρολογικών ετών (Οκτώβριος 1981 έως Σεπτέμβριο 2001). Η μεθοδολογία υπολογισμού του δείκτη, όπως αναλύθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο (Κεφάλαιο 3^ο), αναπτύσσεται στο περιβάλλον του εξειδικευμένου προγράμματος επεξεργασίας δορυφορικών εικόνων Erdas Imagine 9.1. Η τελική εκτίμηση του δείκτη πραγματοποιείται με τη χρήση μοντέλων, που αναπτύχθηκαν στο πρόγραμμα αυτό (Σχήμα 6.2), στα οποία χρησιμοποιούνται οι μηνιαίοι χάρτες θερμοκρασίας, φυτικών συντελεστών (Kc), ηλιοφάνειας (p), δυναμικής εξατμισοδιαπνοής Blaney- Criddle (ETp) και βροχόπτωσης (P), δημιουργώντας χάρτες του δείκτη RDI όλης της περιοχής για κάθε χρονικό βήμα. Στην Εικόνα 6.9 παρουσιάζεται ενδεικτικά ετήσιος χάρτης του δείκτη RDI όλης της Ελλάδας, για το υδρολογικό έτος 1989- 1990.



Εικόνα 6.9: Χάρτης RDI υδρολογικού έτους 1989-1990 για όλη την Ελλάδα



Σχήμα 6.2: Μοντέλο εκτίμησης δείκτη ξηρασίας RDI προγράμματος επεξεργασίας δορυφορικών εικόνων Erdas Imagine 9.1

Στο Σχήμα 6.2 παρουσιάζεται η μορφή του διαγράμματος ροής ενός μοντέλου που δημιουργήθηκε για την εκτίμηση του ετήσιου δείκτη RDI. Κάθε γραμμή είναι και ένα υδρολογικό έτος της χρονοσειράς, από το 1981 έως και το 2001. Αριστερά όπως φαίνεται στο Σχήμα, εισάγονται τα απαραίτητα δεδομένα για τον υπολογισμό του δείκτη (βροχόπτωση και εξατμισοδιαπνοή) για κάθε μήνα του εκάστοτε υδρολογικού έτους, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με τις εξισώσεις που διέπουν το δείκτη. Δεξιά του Σχήματος παράγονται τα αποτελέσματα, δηλαδή οι χάρτες του δείκτη RDI για κάθε υδρολογικό έτος. Ανάλογα μοντέλα κατασκευάστηκαν για τον υπολογισμό του μηνιαίου, 3μηνου, 6μηνου και 9 μηνών RDI.

6.2. Πιστοποίηση μεθοδολογίας με επίγειες μεθόδους

Για την ολοκλήρωση της μεθοδολογίας κρίνεται απαραίτητη η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του δείκτη RDI. Η αξιολόγηση αυτή πραγματοποιείται μέσω της σύγκρισης των χαρακτηριστικών της ξηρασίας που εκτιμήθηκαν μέσω του RDI με δορυφορικά δεδομένα και του ίδιου δείκτη βάσει επίγειων δεδομένων, καθώς και με το δείκτη ξηρασίας PDSI, σε επιλεγμένες περιοχές του Ελλαδικού χώρου. Για το σκοπό αυτό είναι αναγκαίος ο υπολογισμός των δεικτών RDI και PDSI με τη χρήση επίγειων μετρήσεων των περιοχών αυτών. Τα βήματα υπολογισμού των δεικτών ξηρασίας με επίγεια δεδομένα των μεταβλητών, καθώς και η διαδικασία αξιολόγησης των αποτελεσμάτων της μεθοδολογίας αναλύεται στα εδάφια που ακολουθούν.

6.2.1. Επεξεργασία επίγειων δεδομένων και δημιουργία ενιαίας βάσης

Οι επίγειες μεταβλητές που χρησιμοποιούνται σε αυτό το στάδιο της μεθοδολογίας για την εκτίμηση των δεικτών ξηρασίας συνοψίζονται στις τιμές θερμοκρασίας αέρα και βροχόπτωσης. Τέσσερις περιοχές επιλέγονται (Λάρισα, Ελληνικό Αττικής, Νάξος και Ηράκλειο Κρήτης) (Εικόνα 5.2) από το σύνολο των μετεωρολογικών σταθμών της Ελλάδας, οι οποίες παρουσιάζουν διαθέσιμα δεδομένα των συγκεκριμένων μεταβλητών από το 1955 έως και το 2002. Για τις περιοχές μελέτης συγκεντρώνονται τιμές μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας αέρα και αθροιστικής μηνιαίας βροχόπτωσης για ολόκληρη τη χρονοσειρά. Στην περίπτωση όπου οι μηνιαίες τιμές των μεταβλητών δεν είναι άμεσα διαθέσιμες, συλλέγονται ημερήσια στοιχεία των περιοχών από τα οποία προκύπτουν στη συνέχεια μηνιαίες τιμές των δεδομένων. Οι τιμές της μηνιαίας θερμοκρασίας αέρα της χρονοσειράς αυτής χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, τα αποτελέσματα της οποίας σε συνδυασμό με τις τιμές της μηνιαίας αθροιστικής βροχόπτωσης οδηγούν στην εκτίμηση των επιλεγμένων δεικτών ξηρασίας (PDSI και RDI).

6.2.2. Εκτίμηση δυνητικής εξατμισοδιαπνοής με χρήση επίγειων δεδομένων

Για τον υπολογισμό των δεικτών ξηρασίας PDSI και RDI με επίγεια δεδομένα είναι απαραίτητη η εκτίμηση της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής στις τέσσερις επιλεγμένες περιοχές. Ο δείκτης PDSI υπολογίζεται με τη βοήθεια λογισμικού διαθέσιμου στο διαδίκτυο, το οποίο υπολογίζει το συγκεκριμένο δείκτη βάσει της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής Thornthwaite (1948), καθώς ο τρόπος αυτός είναι διεθνώς διαδεδομένος ακολουθώντας τη μεθοδολογία που ο ίδιος ο ερευνητής πρότεινε. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται τα επίγεια δεδομένα θερμοκρασίας αέρα των τεσσάρων περιοχών για τον υπολογισμό της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής Thornthwaite.

Η μέθοδος Thornthwaite (1948) υπολογίζει μηνιαίες τιμές της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής ET_p , σύμφωνα με τη σχέση (6.11) (Φλόκας, 1997).

$$ET_m = 1.6 * L_d * \left(\frac{10 \bar{T}_k}{I} \right)^a \quad (6.11)$$

όπου, ET_m είναι η δυνητική εξατμισοδιαπνοή σε cm, L_d είναι ο διορθωτικός συντελεστής της μεθόδου, ο οποίος εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής, \bar{T}_k είναι η μέση μηνιαία θερμοκρασία του αέρα (σε °C), I είναι ένας δείκτης θερμότητας, σταθερός για κάθε περιοχή, ίσος με το άθροισμα των 12 μηνιαίων δεικτών του δείκτη i (εξ. 6.12) και το a είναι συντελεστής, ο οποίος εξαρτάται από το I και ορίζεται από την εξίσωση (6.13).

$$i_k = \left(\frac{\bar{T}_k}{5} \right)^{1.514} \quad (6.12)$$

$$a = (6.75 * 10^{-7}) I^3 - (7.714 * 10^{-5}) I^2 + (1.792 * 10^{-2}) I + 0.49239 \quad (6.13)$$

Ο διορθωτικός συντελεστής L_d δίνεται από βιβλιογραφία (Κεφάλαιο 5^ο) και είναι διαφορετικός για κάθε μήνα του έτους και ανάλογος του γεωγραφικού πλάτους κάθε περιοχής.

Στη συγκεκριμένη εφαρμογή για την εκτίμηση της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής χρησιμοποιούνται οι τιμές της μηνιαίας θερμοκρασίας αέρα των μετεωρολογικών σταθμών των τεσσάρων επιλεγμένων περιοχών από το 1955 έως και το 2002 (Λάρισα, Ελληνικό, Νάξος, και Ηράκλειο), καθώς και οι τιμές του δείκτη L_d , που αντιστοιχούν στο γεωγραφικό πλάτος κάθε περιοχής. Οι τιμές του δείκτη για κάθε περιοχή εμφανίζονται στον Πίνακα 6.2.

Η μέθοδος Thornthwaite, σύμφωνα με έρευνες, υποεκτιμά την ET_p ιδιαίτερα κατά το καλοκαίρι και τις αρχές φθινοπώρου. Ο κυριότερος λόγος είναι η εμφάνιση μιας χρονικής υστέρησης της θερμοκρασίας σε σχέση με την ακτινοβολία την εποχή αυτή. Παρόμοια αποτελέσματα παρουσιάζει, επίσης, σε ξηρά και ημίξηρα κλίματα (Παπαϊωάννου, 1995), ενώ εμφανίζει πολύ καλύτερα αποτελέσματα για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα.

Πίνακας 6.2: Τιμές του συντελεστή L_d της μεθόδου Thornthwaite για κάθε περιοχή μελέτης της εφαρμογής

Περιοχή	Γ.Π.	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ
Ηράκλειο	35°	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	1,03	0,97	0,86	0,85
Νάξος	37°	0,86	0,84	1,03	1,1	1,22	1,23	1,25	1,17	1,03	0,97	0,85	0,83
Ελληνικό	38°	0,85	0,84	1,03	1,1	1,23	1,24	1,25	1,17	1,04	0,96	0,84	0,83
Λάρισα	39°	0,85	0,84	1,03	1,11	1,23	1,24	1,26	1,18	1,04	0,96	0,84	0,82

Ο τύπος της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής του Thornthwaite εφαρμόζεται στις ανατολικές ΗΠΑ όπου το θέρος είναι θερμό και υγρό. Οι ξηροθερμικές συνθήκες κατά το θέρος στην Ελλάδα, όμως, ομοιάζουν περισσότερο με το κλίμα στις Δυτικές ΗΠΑ. Για το λόγο αυτό υπολογίζεται επιπλέον η δυνητική εξατμισοδιαπνοή με τη μέθοδο των Blaney- Criddle, η οποία αναπτύσσεται σε ξηροθερμικά κλίματα, όπως η Καλιφόρνια (Παπαζαφειρίου, 1984).

Η μέθοδος δυνητικής εξατμισοδιαπνοής των Blaney-Criddle (1950) χρησιμοποιείται, επίσης, ευρέως σε παγκόσμιο επίπεδο. Είναι, όπως αναφέρθηκε, περισσότερο αντιπροσωπευτική για μεσογειακά κλίματα, όπου επικρατούν ξηροθερμικές συνθήκες κατά τη διάρκεια του θέρους (π.χ. Δυτικές ΗΠΑ, Ελλάδα). Η μεθοδολογία των δύο ερευνητών παρουσιάζεται αναλυτικά κατά τον υπολογισμό της με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων (παραγ. 6.1.3). Στο στάδιο αυτό η δυνητική εξατμισοδιαπνοή σύμφωνα με τους Blaney-Criddle υπολογίζεται εκ νέου χρησιμοποιώντας τα επίγεια δεδομένα των περιοχών μελέτης.

Για την εκτίμηση της Blaney-Criddle δυνητικής εξατμισοδιαπνοής χρησιμοποιούνται οι τιμές της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας αέρα των τεσσάρων μετεωρολογικών σταθμών, καθώς και τα μηνιαία ποσοστά ηλιοφάνειας, που αντιστοιχούν σε κάθε περιοχή σύμφωνα με το γεωγραφικό της πλάτος. Όσον αφορά στους φυτικούς συντελεστές, λόγω της σημειακής εφαρμογής τους, γίνεται χρήση των γενικών τιμών που αντιστοιχούν σε κάθε γεωγραφικό διαμέρισμα της Ελλάδας, οι οποίοι προκύπτουν από προηγούμενη έρευνα (Papadopoulou *et al.*, 2003). Οι τιμές αυτές, σύμφωνα με τους συγκεκριμένους ερευνητές, υπολογίζονται ως σταθμισμένοι μέσοι όροι των επιμέρους συντελεστών, λαμβάνοντας υπόψη το είδος της βλάστησης στην περιοχή, και τις ανάγκες σε νερό των καλλιεργειών, οδηγώντας σε ενιαίους φυτικούς συντελεστές ανά περιοχή. Για παράδειγμα, στο σταθμό της Λάρισας χρησιμοποιείται ο ενιαίος φυτικός συντελεστής, K_c , της Θεσσαλίας, ο οποίος ισούται με 0,68. Οι τιμές των ποσοστών ηλιοφάνειας, που χρησιμοποιούνται στην εφαρμογή, για κάθε μήνα και κάθε περιοχή παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.3. Για τις περιοχές όπου δεν αναφέρονταν τιμές του p στις αντίστοιχες μοίρες του γεωγραφικού πλάτους, τα ποσοστά ηλιοφάνειας προκύπτουν μετά από γραμμική παρεμβολή.

Πίνακας 6.3: Μηνιαία ποσοστά ηλιοφάνειας (p) της μεθόδου Blaney-Criddle για το γεωγραφικό πλάτος το τεσσάρων επιλεγμένων περιοχών

Περιοχή	Γ.Π.	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ
Ηράκλειο	35°	7,05	6,88	8,36	8,83	9,77	9,78	9,94	9,36	8,36	7,87	6,97	6,85
Νάξος	37°	6,93	6,83	8,35	8,88	9,87	9,89	10,05	9,46	8,37	7,83	6,87	6,73

Ελληνικό	38°	6,87	6,79	8,34	8,90	9,92	9,95	10,10	9,47	8,38	7,80	6,82	6,66
Λάρισα	39°	6,82	6,76	8,33	8,92	9,97	10,01	10,16	9,50	8,38	7,77	6,77	6,59

Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή που υπολογίζεται με τη μέθοδο Thornthwaite χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του δείκτη ξηρασίας PDSI, καθώς και του RDI, ώστε να είναι δυνατή η άμεση σύγκρισή τους. Επιπρόσθετα, θεωρείται, απαραίτητος ο υπολογισμός του επίγειου δείκτη ξηρασίας RDI και με τη χρήση της μεθόδου δυνητικής εξατμισοδιαπνοής των Blaney- Criddle, με σκοπό τη χρήση του για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του RDI με δορυφορικά δεδομένα.

6.2.3. Σύγκριση RDI με δείκτες ξηρασίας επίγειων δεδομένων

Στο στάδιο αυτό πραγματοποιείται ο υπολογισμός των δεικτών ξηρασίας PDSI και RDI με τη χρήση επίγειων σημειακών μετρήσεων των τεσσάρων επιλεγμένων περιοχών στην Ελλάδα. Η μεθοδολογία υπολογισμού των δεικτών αν και στη γενική τους δομή ακολουθούν την ίδια προσέγγιση, εντούτοις, παρουσιάζουν επιμέρους διαφορές.

Ο δείκτης δριμύτητας ξηρασίας του Palmer (PDSI) βασίζεται σε τιμές θερμοκρασίας αέρα, βροχόπτωσης, δυνητικής εξατμισοδιαπνοής και εδαφικής υγρασίας (Κεφάλαιο 3^ο). Η εκτίμηση του δείκτη υλοποιείται με τη βοήθεια προγράμματος στο οποίο έγινε η εισαγωγή των παραπάνω μεταβλητών σε μηνιαία βάση. Οι μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας της εκάστοτε περιοχής χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής σύμφωνα με τη μέθοδο Thornthwaite. Επιπλέον, για τον υπολογισμό του δείκτη χρησιμοποιούνται οι τιμές μηνιαίας αθροιστικής βροχόπτωσης όλης της χρονοσειράς (1955-2002), οι κλιματικές τιμές θερμοκρασίας της κάθε περιοχής, οι οποίες προκύπτουν από μια μακροχρόνια σειρά ετών για τον κάθε μετεωρολογικό σταθμό, καθώς και οι τιμές διαθέσιμης εδαφικής υγρασίας (AWC), οι οποίες χαρακτηρίζουν την υγρασία των δύο εδαφικών στρωμάτων στην περιοχή μελέτης κατά τον Palmer. Οι τιμές AWC διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή και εξαρτώνται από τα εδαφικά χαρακτηριστικά. Για τους σκοπούς της έρευνας όμως, είναι δυνατή η χρήση αντιπροσωπευτικών τιμών

της συγκεκριμένης παραμέτρου, οι οποίες χαρακτηρίζουν την περιοχή. Οι τιμές αυτές για την Ελλάδα έχουν προκύψει από προγενέστερες έρευνες (Dalezios *et al.*, 1991; Dalezios *et al.*, 2000; Loukas *et al.*, 2002b). Στην Εικόνα 6.10 παρουσιάζεται, ως παράδειγμα, διάγραμμα του δείκτη PDSI για την περιοχή του Ηρακλείου Κρήτης.

Η εκτίμηση του δείκτη RDI με τη χρήση επίγειων δεδομένων πραγματοποιείται με τις σημειακές μετρήσεις θερμοκρασίας και βροχόπτωσης των μετεωρολογικών σταθμών που επιλέχθηκαν (Λάρισα, Ελληνικό, Νάξος και Ηράκλειο). Τα επίγεια δεδομένα θερμοκρασίας αέρα χρησιμοποιούνται ως βάση για την εκτίμηση της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, η οποία είναι απαραίτητη παράμετρος κατά τον υπολογισμό του δείκτη. Ο δείκτης αυτός, όπως αναφέρθηκε, υπολογίζεται δύο φορές, μια με τη βοήθεια της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής των Blaney - Criddle (RDI_{BI-Cr}) και τη δεύτερη φορά με τη χρήση της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής του Thornthwaite ($RDI_{thornth}$). Το πρόγραμμα εκτίμησης του δείκτη RDI, με την ονομασία DrinC, αναπτύχθηκε από το Κέντρο Εκτίμησης Φυσικών Καταστροφών και Σχεδιασμού του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (Tsakiris, 2008b). Με τη βοήθεια του προγράμματος αυτού, υπολογίζονται οι δείκτες RDI_{BI-Cr} και $RDI_{thornth}$ σε μηνιαία βάση καθώς και για τις χρονικές διάρκειες των 3, 6, 9 και 12 μηνών, για τις τέσσερις περιοχές μελέτης και για το σύνολο της χρονοσειράς (1955 έως και το 2002). Ενδεικτικά παρουσιάζονται διαγράμματα ετήσιου δείκτη RDI_{BI-Cr} και μηνιαίου δείκτη $RDI_{thornth}$, για την περιοχή της Λάρισας στις Εικόνες 6.11 και 6.12, αντίστοιχα.

Ο υπολογισμός των δεικτών αυτών αποσκοπεί στη σύγκριση των χαρακτηριστικών των επεισοδίων ξηρασίας, που προσδιορίζονται μέσω των δεικτών σε διαφορετικές περιοχές μελέτης, καθώς και στη σύγκριση των αποτελεσμάτων της μεθοδολογίας με τη χρήση επίγειων και δορυφορικών δεδομένων. Τα αποτελέσματα του παρόντος σταδίου της μεθοδολογίας παρουσιάζονται υπό μορφή πινάκων και αναλύονται στο επόμενο κεφάλαιο (Κεφάλαιο 7^ο). Στους πίνακες αυτούς βαρύτητα δίνεται στα αποτελέσματα των δεικτών, όσον αφορά στα κυριότερα χαρακτηριστικά της ξηρασίας (έναρξη, λήξη, διάρκεια, δριμύτητα του φαινομένου). Η σύγκριση, επομένως, εστιάζει στον προσδιορισμό της σύμπτωσης ή μη των περιόδων ξηρασίας, της διάρκειας και της δριμύτητάς τους, όπως αυτές προκύπτουν μέσω της εκτίμησης των διαφορετικών δεικτών, στην περιοχή μελέτης και στα χρονικά πλαίσια της σειράς των δεδομένων (20 υδρολογικά έτη).

6.3. Στατιστική ανάλυση του δείκτη RDI με δορυφορικά δεδομένα

Τα αποτελέσματα του δείκτη ξηρασίας RDI, ο οποίος υπολογίζεται με δορυφορικά δεδομένα, χρησιμοποιούνται στην ανάλυση κυρίων συνιστωσών (PCA) και στη συνέχεια στη συσταδοποίηση τους (clustering) σε ομάδες με κοινά χαρακτηριστικά.

6.3.1. Ανάλυση κυρίων συνιστωσών (PCA) δείκτη RDI με δορυφορικά δεδομένα

Η Ανάλυση κυρίων συνιστωσών (PCA) είναι στατιστική μέθοδος, η οποία χρησιμοποιείται ευρέως σε διαφορετικούς επιστημονικούς κλάδους, για την ερμηνεία της εσωτερικής δομής ενός συστήματος. Η μαθηματική διατύπωση της μεθόδου Ανάλυσης κυρίων συνιστωσών αναπτύχθηκε αρχικά από τον Guttman (1941) και στη συνέχεια τροποποιήθηκε και παρουσιάστηκε με τη σημερινή της μορφή από τον Benzecri (1973). Γενικά, η PCA έχει τη δυνατότητα γραμμικού μετασχηματισμού μιας σειράς δεδομένων ορισμένης μεταβλητής, τα οποία και ανάγει σε ένα μικρότερο σε όγκο σύνολο δεδομένων (Singh and Harrison, 1985; Richards and Jia, 1999). Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται πολύ συχνά για την αναγνώριση «προτύπων» σε έναν ευρύ όγκο δεδομένων (Lilesand and Kiefer, 2000; Rogerson, 2001; Genç and Smith, 2005; Razieli *et al.*, 2009).

Η μέθοδος αυτή, βασίζεται στην επεξεργασία των τιμών υπό μορφή πίνακα διακύμανσης - συνδιακύμανσης των δεδομένων (variance-covariance) (Τζανετοπούλου, 1998). Από τον Πίνακα των αλληλοσυσχετιζομένων μεταβλητών εξάγονται κοινοί παράγοντες ή συνιστώσες, οι οποίοι δηλώνουν το βαθμό αλληλεπίδρασης μεταξύ των τιμών που εξετάζονται (Σταματοπούλου, 1996). Ο βαθμός αλληλοσυσχέτισης μεταξύ των μεταβλητών καθορίζει τη μορφή της πρώτης κύριας συνιστώσας, ενώ ο κάθετος, προς τον άξονα της πρώτης κύριας συνιστώσας, άξονας προσδιορίζει τη δεύτερη κύρια συνιστώσα της ανάλυσης. Κάθε νέα κύρια συνιστώσα, που προκύπτει, εξηγεί μεγαλύτερο ποσοστό της διακύμανσης των αρχικών δεδομένων. Η συνολική διακύμανση των τιμών εκφράζεται μέσω του αθροίσματος των επιμέρους διακυμάνσεων και συγκεκριμένα της κοινής

διακύμανσης, της ειδικής διακύμανσης και της διακύμανσης σφάλματος. Η κοινή διακύμανση είναι τμήμα της ολικής διακύμανσης, που σχετίζεται με τις άλλες μεταβλητές, ενώ η ειδική διακύμανση είναι το τμήμα εκείνο της διακύμανσης που δε σχετίζεται με τις άλλες μεταβλητές. Τέλος, η διακύμανση σφάλματος είναι η τυχαία διακύμανση που προκύπτει λόγω ενδεχομένων σφαλμάτων (Τζανετοπούλου, 1998).

Η βασική μαθηματική επεξεργασία της μεθόδου αυτής βασίζεται στην ανάλυση των κυρίων συνιστωσών (Principal Component Analysis - PCA), η οποία θεωρείται η παλαιότερη μορφή ανάλυσης δεδομένων. Η PCA εφαρμόζεται σε πίνακες δεδομένων που προκύπτουν από μετρήσεις ή αναλύσεις ανομοιογενών μεταβλητών. Το πλήθος των δεδομένων αναλύεται σε κύριες συνιστώσες με σκοπό την εύρεση νέων μη συσχετισμένων μεταβλητών και την καλύτερη περιγραφή των αρχικών τιμών με όσο το δυνατό ν λιγότερους άξονες. Επιπλέον, η μέθοδος προσφέρει και το πλεονέκτημα του προσδιορισμού ορισμένων χαρακτηριστικών των δεδομένων, τα οποία δεν ήταν ευδιάκριτα στην αρχική τους μορφή (Καραπιστόλης, 2001).

Το κριτήριο που είναι περισσότερο διαδεδομένο για την εύρεση των κυρίων συνιστωσών της μεθόδου είναι το κριτήριο του K Pearson (Τζώτρτζιος, 2002; Καραπιστόλης, 2001). Οι τιμές κάθε μεταβλητής περιγράφονται από μια γραμμή (διάνυσμα), ενώ το σύνολο των διανυσμάτων αυτών δημιουργεί ένα νέφος τιμών ν συντεταγμένων. Σκοπός είναι η γραφική αναπαράσταση των διανυσμάτων σε ένα κατάλληλο επίπεδο προβολής, ώστε οι αρχικές αποστάσεις μεταξύ των τιμών του νέφους να διατηρούνται όσο το δυνατόν καλύτερα. Το κριτήριο Pearson μεγιστοποιεί το μέσο των τετραγώνων των αποστάσεων μεταξύ των προβολών σε ένα επίπεδο, το οποίο ονομάζεται παραγοντικό, και προσδιορίζεται από δύο κάθετες μεταξύ τους ευθείες, τους παραγοντικούς άξονες. Οι αρχικές συντεταγμένες των διανυσμάτων μεταβάλλονται και οδηγούν στη δημιουργία νέων μεταβλητών, οι οποίες ονομάζονται κύριες συνιστώσες.

Η διαδικασία της PCA δίνει τη δυνατότητα ερμηνείας του υπό μελέτη φαινομένου με τη χρήση των πρώτων κύριων συνιστωσών, ανακατασκευάζοντας προσεγγιστικά τα αρχικά δεδομένα (Richards, 1986a). Για την επίτευξη του στόχου, εντοπίζονται οι μεταβλητές που εμφανίζουν υψηλή συσχέτιση μεταξύ τους και περιγράφουν περισσότερο το υπό εξέταση φαινόμενο. Οι υπόλοιπες μεταβλητές

μπορούν να εξαιρεθούν. Η ερμηνεία του φαινομένου επιτυγχάνεται με τη βοήθεια των πρώτων κύριων συνιστωσών λαμβάνοντας υπόψη και το ποσοστό της πληροφορίας που χάθηκε με την εξαίρεση των υπόλοιπων μεταβλητών. Επιτυχής θεωρείται η ερμηνεία των αρχικών δεδομένων όταν το μεγαλύτερο ποσοστό αυτών (συνήθως μεγαλύτερο του 70%) αντιπροσωπεύονται από τις πρώτες κύριες συνιστώσες. Στην τελική τους μορφή τα δεδομένα που αναλύονται ομαδοποιούνται με τέτοιο τρόπο ώστε κάθε κλάση να περιλαμβάνει στοιχεία με κοινά ή παρεμφερή χαρακτηριστικά (Καραπιστόλης, 2001).

Στο στάδιο αυτό της παρούσας μελέτης πραγματοποιείται η ανάλυση κυρίων συνιστωσών του δείκτη RDI με δορυφορικά δεδομένα. Ο σκοπός της διαδικασίας αυτής είναι η διερεύνηση της ενδοσυσχέτισης των τιμών του δείκτη και ο προσδιορισμός των περιοχών που εμφανίζουν κοινά χαρακτηριστικά, όσον αφορά στο φαινόμενο της ξηρασίας. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται στις τιμές του δείκτη ξηρασίας για όλη την περιοχή μελέτης και ενδεικτικά στον ετήσιο RDI (12μηνιαία βάση υπολογισμού), ο οποίος συγκεντρώνει τις πληροφορίες όλων των επιμέρους χρονικών διαρκειών για τις οποίες υπολογίστηκε ο δείκτης (3-6-9- και μηνιαία). Από το σύνολο της χρονοσειράς εξαιρέθηκε το υδρολογικό έτος 1981-1982, το οποίο παρουσίασε προβλήματα κατά τη χωρική ανάλυση, εξαιτίας της διαφορετικής επεξεργασίας των πρωτογενών δεδομένων του.

Για την ανάλυση σε κύριες συνιστώσες, επομένως, χρησιμοποιούνται 19 υδρολογικά έτη του ετήσιου δείκτη RDI, από τον Οκτώβριο του 1982 έως και το Σεπτέμβριο του 2001. Με τη βοήθεια του προγράμματος Geomatica 10.3 επιτυγχάνεται η ανάλυση σε κάθε εικόνα του δείκτη. Η PCA υπολογίζεται για 19 συνιστώσες, όσα και τα υδρολογικά έτη των δεδομένων εισόδου. Για κάθε μια συνιστώσα προσδιορίζονται οι ιδιοτιμές (eigenvalues), οι οποίες καθορίζουν την περιστροφή, την κατεύθυνση και τη γωνία του ιδιοδιανύσματος (eigenvectors), καθώς και η απόκλιση και η διακύμανση των δεδομένων γύρω από τους νέους άξονες (συνιστώσες). Στη συνέχεια, υπολογίζεται ο πίνακας συνδιακύμανσης, ο οποίος περιλαμβάνει τα ιδιοδιανύσματα για κάθε συνιστώσα και κάθε υδρολογικό έτος των δεδομένων. Τα αποτελέσματα της μεθόδου της PCA στις ετήσιες τιμές του δείκτη RDI παρουσιάζονται και αναλύονται στο επόμενο κεφάλαιο (Κεφάλαιο 7^ο).

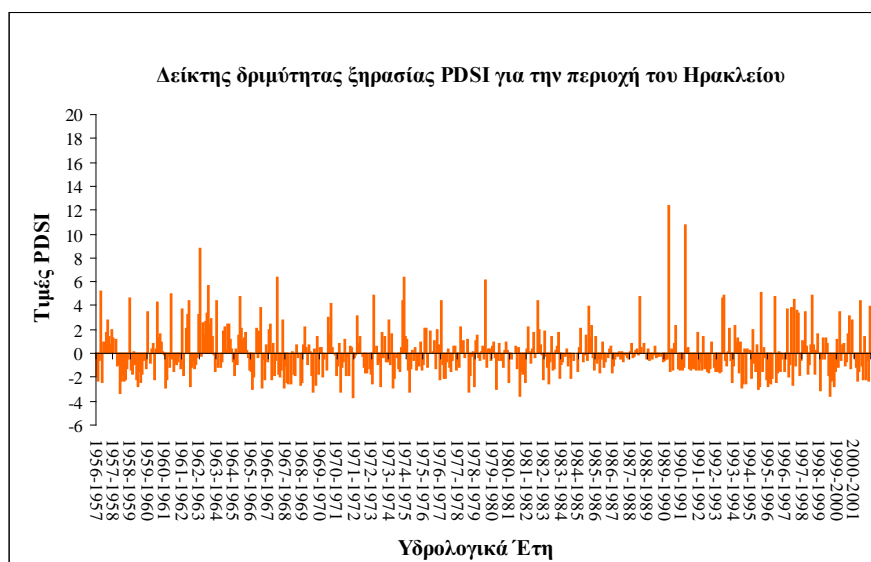
6.3.2. Ανάλυση κατά συστάδες (Cluster Analysis)

Στη συνέχεια, τα αποτελέσματα της PCA χρησιμοποιούνται για τη συσταδοποίηση (clustering), δηλαδή την ομαδοποίηση των υποπεριοχών της περιοχής μελέτης, που εμφανίζουν παρόμοια χαρακτηριστικά σχετικά με το φαινόμενο της ξηρασίας. Η ανάλυση κατά συστάδες (cluster analysis) είναι κατάλληλη για την ομαδοποίηση των δεδομένων και την κατάταξή τους σε υποομάδες, για τον αριθμό και τα μέλη των οποίων υπάρχει μια υπόνοια ή είναι εντελώς άγνωστες (Richards, 1986b). Η ανάλυση κατά τον τρόπο αυτό βοηθά σημαντικά στην ευκολότερη διαχείριση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων (Τζώτρζιος, 2002).

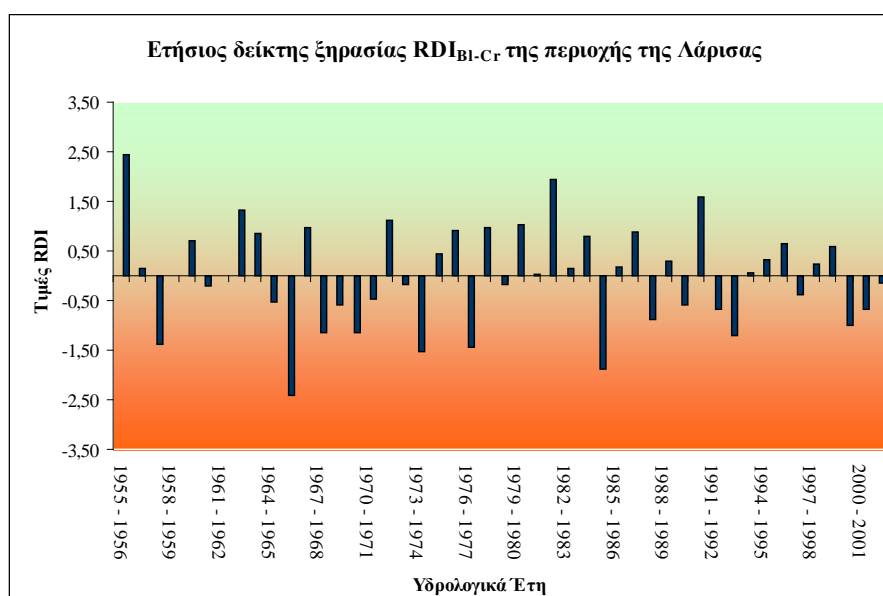
Η πιο διαδεδομένη μέθοδος διάκρισης συστάδων θεωρείται η μέθοδος της Ευκλείδειας απόστασης (Euclidean distance). Η μέθοδος αυτή διερευνά το βέλτιστο τρόπο διακριτοποίησης των αντικειμένων (αποτελεσμάτων) σε διαφορετικές κλάσεις, στις οποίες αρχικά καταμερίζονται τα χαρακτηριστικά, βασικά αντικείμενα (πρότυπα) και στη συνέχεια προσαρτώνται σε αυτές τα υπόλοιπα στοιχεία. Ως πρώτη προσέγγιση, προσδιορίζεται ο αριθμός των κλάσεων, ανάλογα με το υπό εξέταση φαινόμενο και τα χρησιμοποιούμενα δεδομένα. Υπολογίζεται ο μέσος όρος των τιμών της κάθε συστάδας και η απόσταση των τιμών των δεδομένων από το μέσο όρο αυτό. Ο καταμερισμός των αντικειμένων στις κλάσεις καθορίζεται από τη μικρότερη απόσταση της τιμής αυτού σε σχέση με το μέσο όρο της κλάσης (Richards, 1986b). Το κριτήριο αυτό αναφέρεται στη διεθνή βιβλιογραφία ως κριτήριο των K- means.

Ο ελάχιστος αριθμός των διαφορετικών συστάδων που απαιτείται για τη διακριτοποίηση αντικειμένων είναι τρεις (Richards, 1986b). Στην παρούσα έρευνα, σύμφωνα με την ανάλυση κατά συστάδες (cluster analysis) του προγράμματος Geomatika 10.3, οι τιμές του δείκτη RDI κατηγοριοποιούνται, αρχικά, σε τρεις κλάσεις, ώστε να προσδιοριστούν τα βασικά διαφορετικά πρότυπα των συστάδων αυτών. Εν συνεχεία, η μέθοδος εφαρμόζεται με τη συσταδοποίηση σε τέσσερις και πέντε κλάσεις, και εξετάζονται οι μεταξύ τους διαφορές. Η συσταδοποίηση για κάθε μια από τις προσεγγίσεις αυτές υλοποιείται με τη χρήση των 2, 3, 4, 5, 6 συνιστωσών της PCA (PC2 έως PC6). Η διαδικασία πραγματοποιείται με χρήση του κριτηρίου K-means και την επιλογή δέκα επαναλήψεων (iterations) για κάθε κλάση. Εντούτοις, κατά το διαχωρισμό των δεδομένων σε τέσσερις συστάδες, η συγκεκριμένη διαδικασία απέτυχε και για το λόγο αυτό επαναλήφθηκε με επιλογή περισσότερων

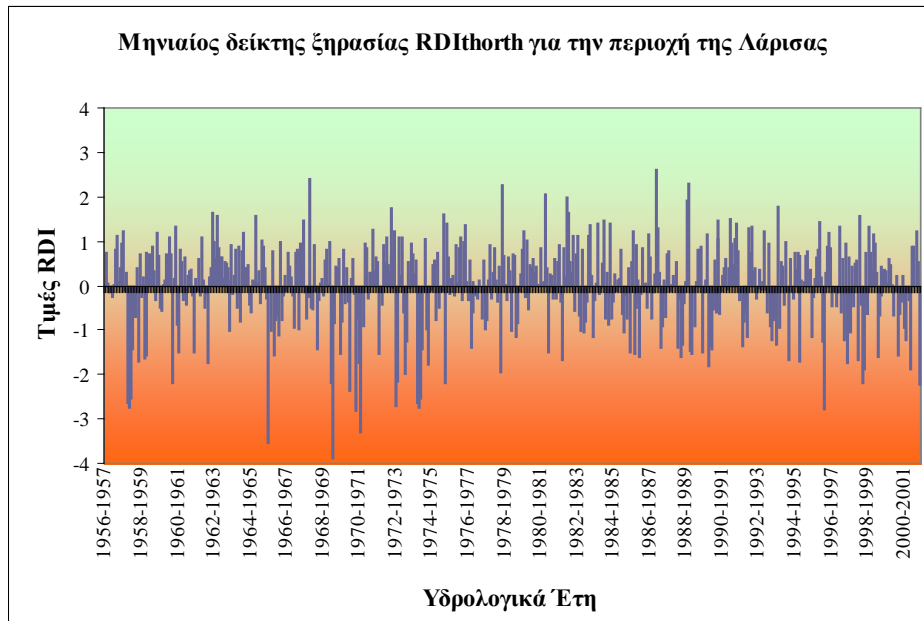
επαναλήψεων (δέκα έξι). Για κάθε διαφορετική συσταδοποίηση (3, 4, και 5) υπολογίζονται και τα κύρια στατιστικά της, τα οποία παρουσιάζουν τον αριθμό των κλάσεων, τον αριθμό των εικονοστοιχείων, το μέσο όρο και την τυπική απόκλιση. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης κατά συστάδες υπό μορφή χαρτών, καθώς και οι πίνακες των βασικών χαρακτηριστικών τους, αναλύονται στο 7^ο κεφάλαιο.



Εικόνα 6.10: Διάγραμμα δείκτη ξηρασίας PDSI περιοχής Ηρακλείου Κρήτης (Kanellou *et al.*, 2008b)



Εικόνα 6.11: Ετήσιος δείκτης ξηρασίας RDI με χρήση δυνητικής εξατμισοδιαπνοής Blaney - Criddle για την περιοχή της Λάρισας (Kanellou *et al.*, 2008b)



Εικόνα 6.12: Μηνιαίος δείκτης ξηρασίας RDI με χρήση δυνητικής εξατμισοδιαπνοής Thornthwaite για την περιοχή της Λάρισας (Kanellou *et al.*, 2008b)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο

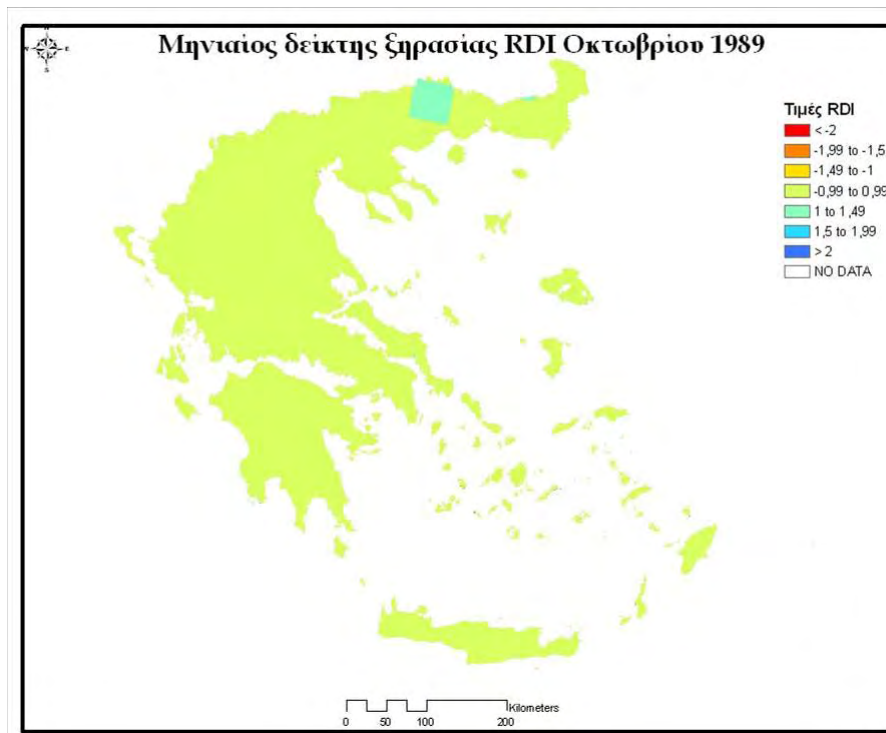
ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στην παρούσα έρευνα μελετάται χωρικά το φαινόμενο της ξηρασίας στον Ελλαδικό χώρο με τη βοήθεια του αναγνωριστικού δείκτη ξηρασίας RDI. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα της μεθοδολογίας εκτίμησης του φαινομένου με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων σε ολόκληρη την Ελλάδα.

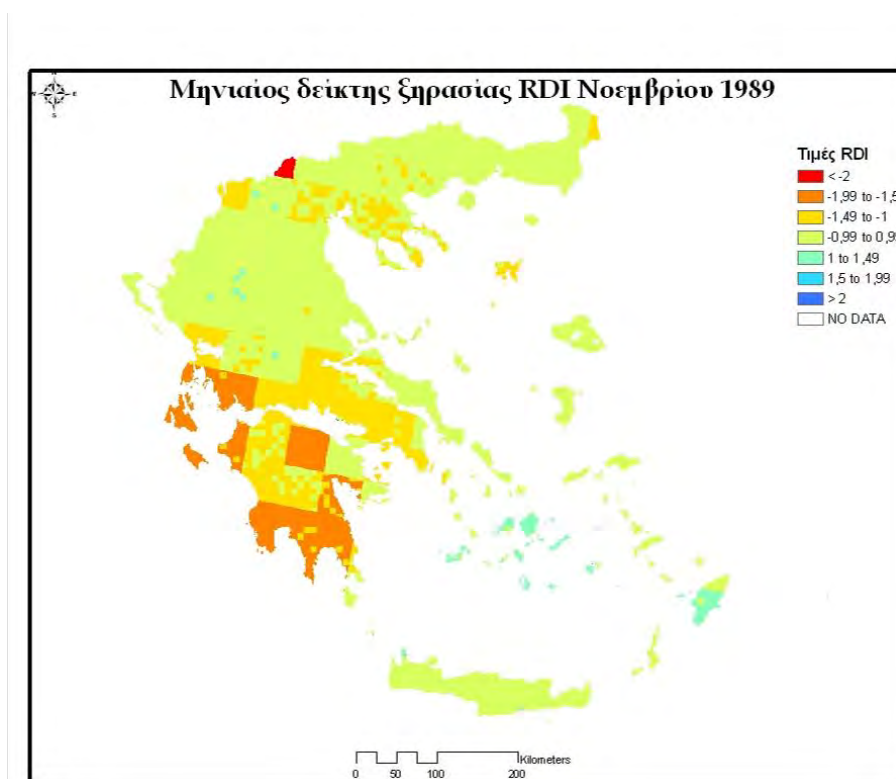
7.1. Αποτελέσματα δείκτη ξηρασίας RDI με δορυφορικά δεδομένα

Αρχικά, ο RDI υπολογίζεται για κάθε μήνα της χρονο σειράς των 20 υδρολογικών ετών. Επομένως, δημιουργούνται 240 χάρτες μηνιαίου δείκτη, ένας για κάθε μήνα. Οι χάρτες αυτοί, περιέχουν τις τιμές του δείκτη κατηγοριοποιημένες ανά κλάση του εύρους τιμών του (Tsakiris and Vangelis, 2005; Tsakiris *et al.*, 2007). Στις Εικόνες 7.1 έως και 7.12 παρουσιάζεται η μηνιαία μεταβολή των τιμών του δείκτη RDI, ενδεικτικά, κατά τη διάρκεια ενός υδρολογικού έτους (1989-90).

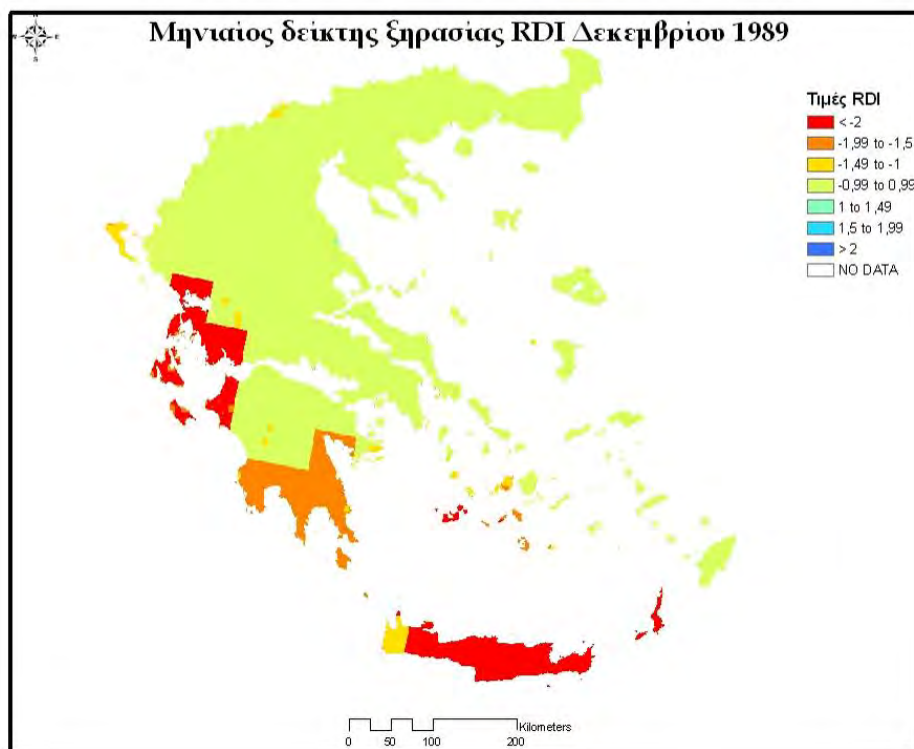
Το συγκεκριμένο υδρολογικό έτος (1989-1990), όπως προκύπτει και από τα συνολικά αποτελέσματα, είναι από τα πιο ξηρά έτη σε όλη τη χρονοσειρά των δεδομένων. Μελετώντας τη μηνιαία μεταβολή του δείκτη ξηρασίας, για το παραπάνω υδρολογικό έτος (1989-90), παρατηρείται μια έξαρση του φαινομένου της ξηρασίας από το Νοέμβριο έως και το Μάρτιο μήνα, μήνες κατά τους οποίους ο δείκτης εμφανίζει τις μεγαλύτερες ακραίες αρνητικές του τιμές. Λόγω της δομής του συγκεκριμένου δείκτη, μπορεί κανείς να συμπεράνει πως κατά τη χειμερινή περίοδο του έτους αυτού, παρουσιάζονται υψηλές για την εποχή θερμοκρασίες και χαμηλό ύψος βροχόπτωσης. Επομένως, η υψηλότερη θερμοκρασία από τη μέση κλιματική τιμή οδηγεί σε υψηλότερα ποσοστά δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, η οποία σε συνδυασμό με τη χαμηλότερη βροχόπτωση μεγιστοποιεί την ξηρασία στην περιοχή.



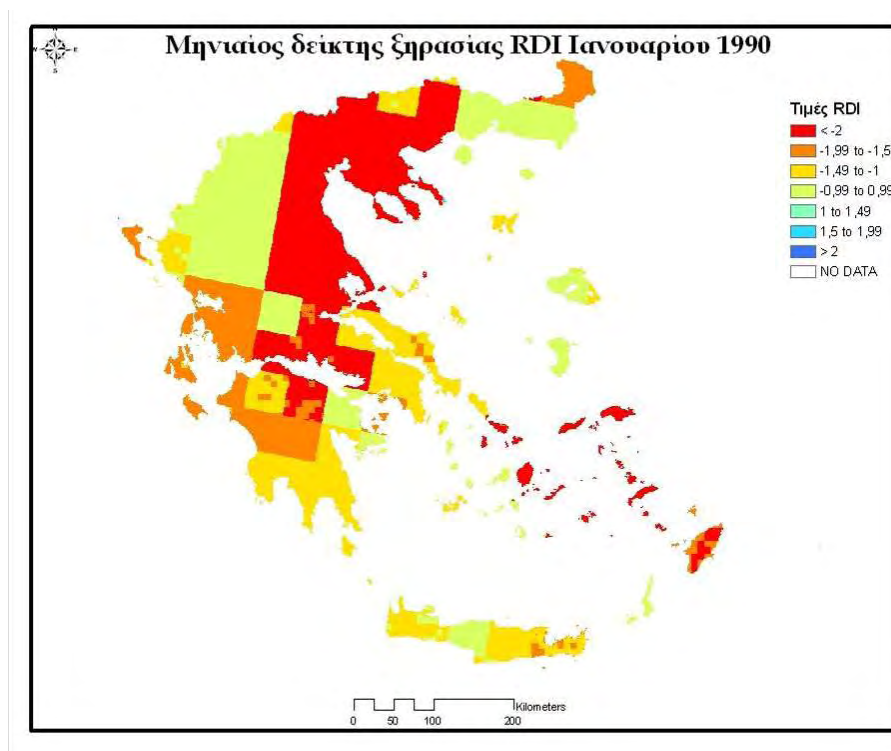
Εικόνα 7.1: Χάρτης μηνιαίου δείκτη ξηρασίας RDI όλης της Ελλάδας για το μήνα Οκτώβριο του 1989



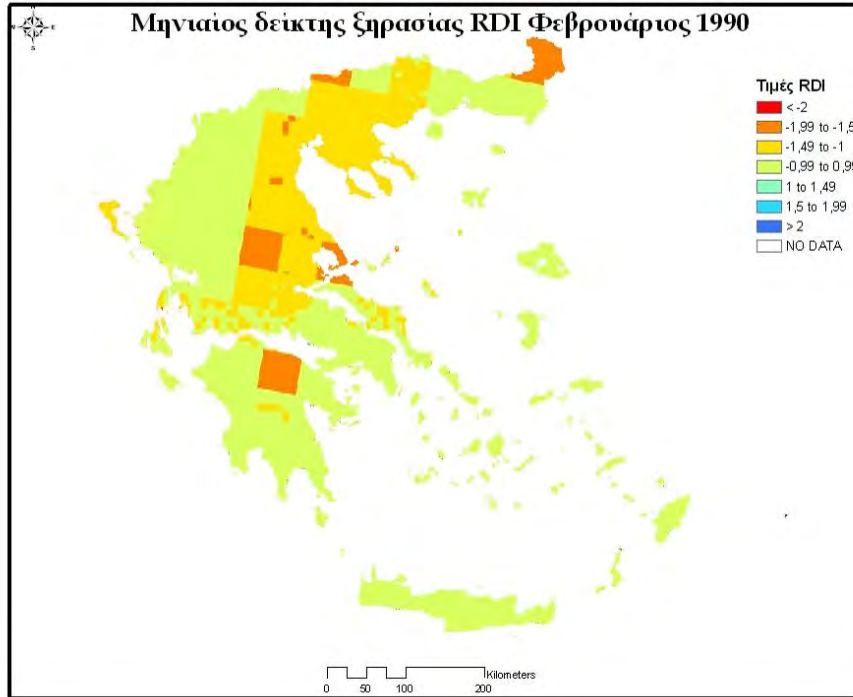
Εικόνα 7.2: Χάρτης μηνιαίου δείκτη ξηρασίας RDI όλης της Ελλάδας για το μήνα Νοέμβριο του 1989



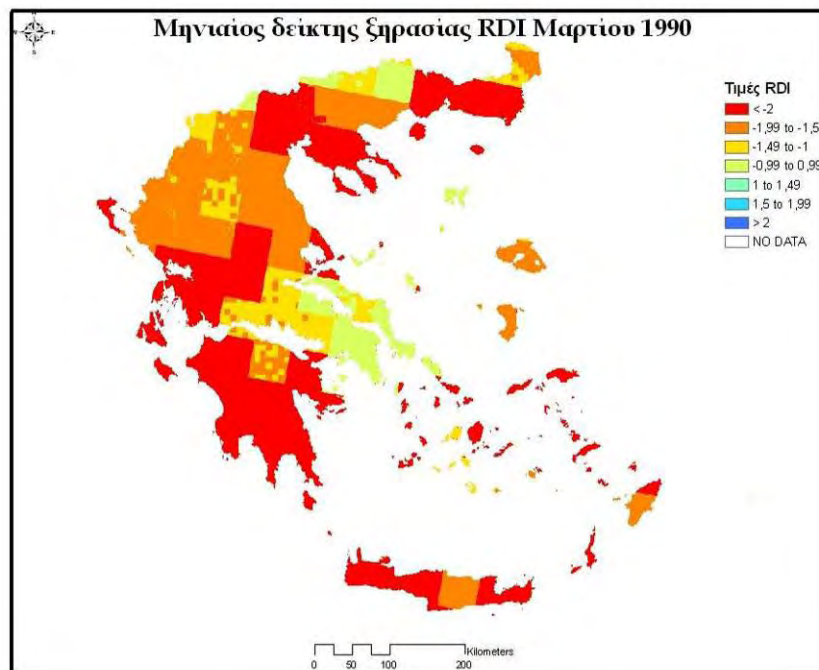
Εικόνα 7.3: Χάρτης μηνιαίου δείκτη ξηρασίας RDI όλης της Ελλάδας για το μήνα Δεκέμβριο του 1989



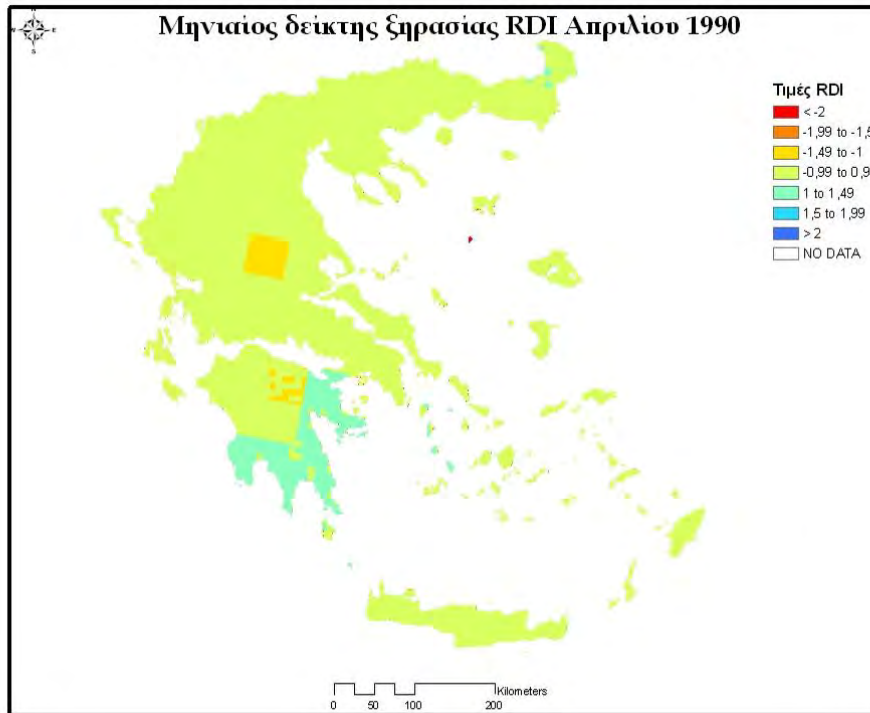
Εικόνα 7.4: Χάρτης μηνιαίου δείκτη ξηρασίας RDI όλης της Ελλάδας για το μήνα Ιανουάριο του 1990



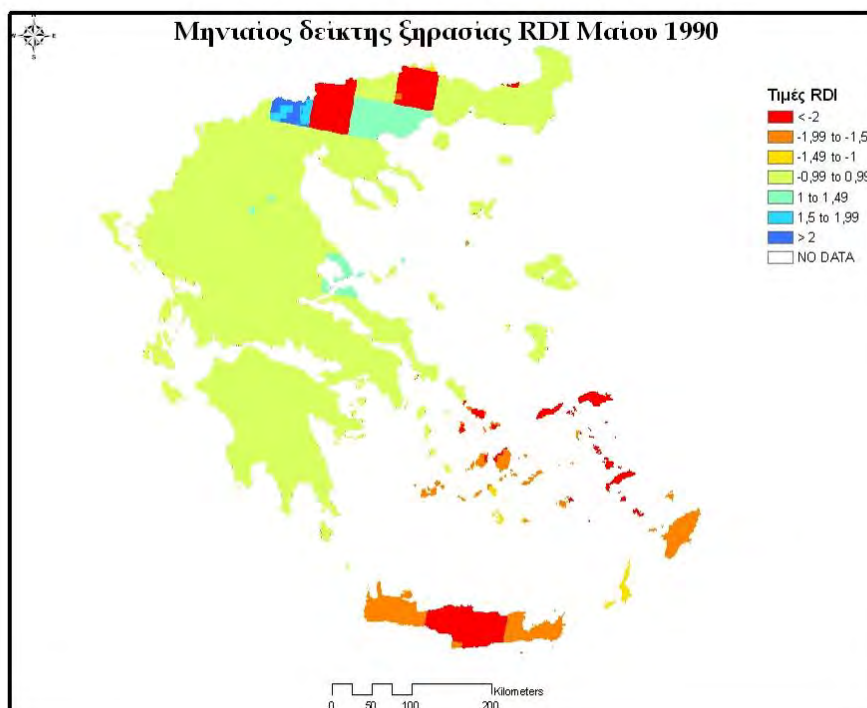
Εικόνα 7.5: Χάρτης μηνιαίου δείκτη ξηρασίας RDI όλης της Ελλάδας για το μήνα Φεβρουάριο του 1990



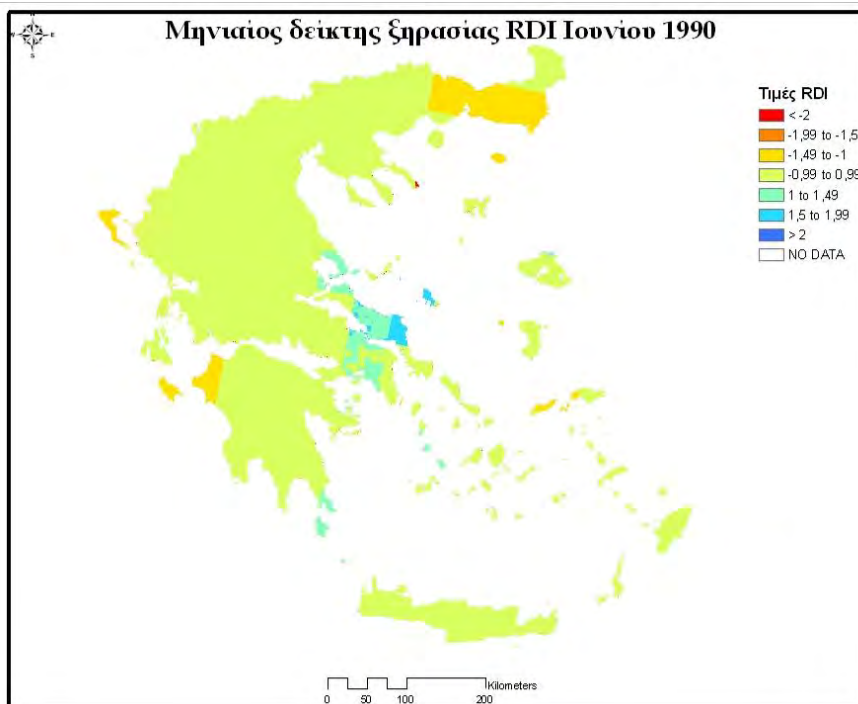
Εικόνα 7.6: Χάρτης μηνιαίου δείκτη ξηρασίας RDI όλης της Ελλάδας για το μήνα Μάρτιο του 1990



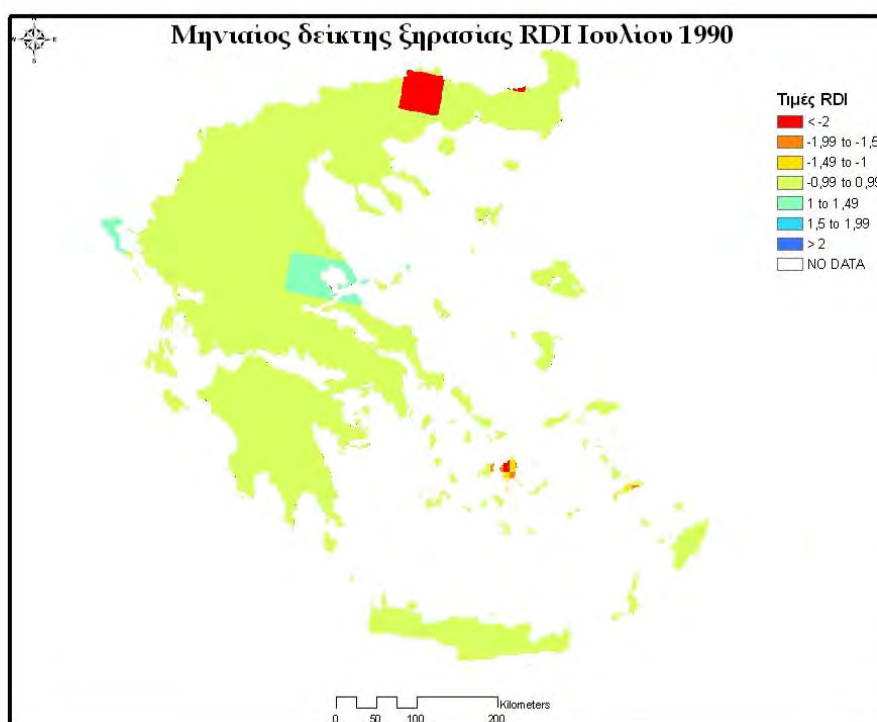
Εικόνα 7.7: Χάρτης μηνιαίου δείκτη ξηρασίας RDI όλης της Ελλάδας για το μήνα Απρίλιο του 1990



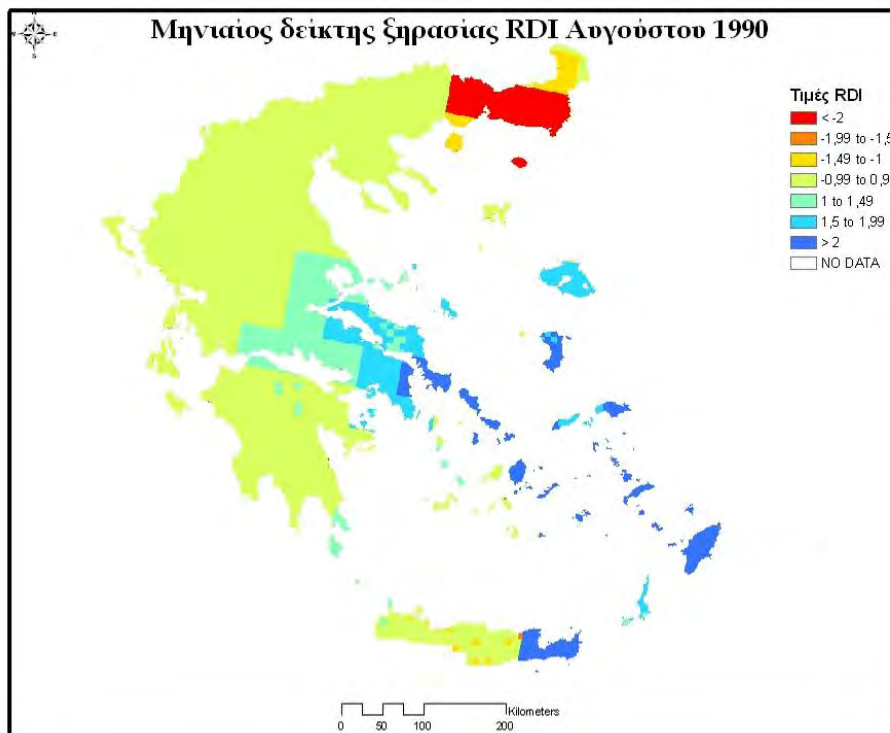
Εικόνα 7.8: Χάρτης μηνιαίου δείκτη ξηρασίας RDI όλης της Ελλάδας για το μήνα Μάιο του 1990



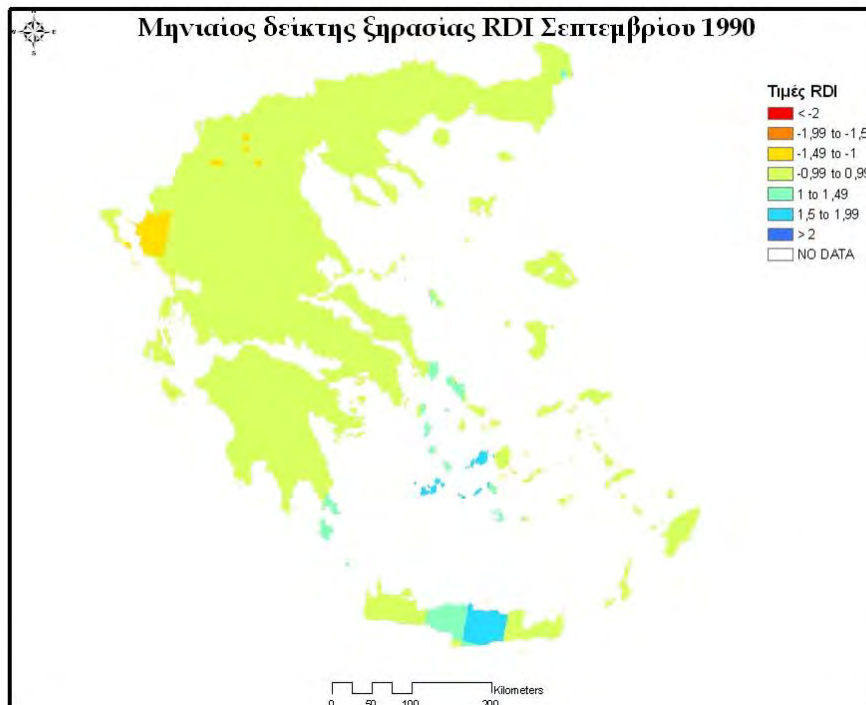
Εικόνα 7.9: Χάρτης μηνιαίου δείκτη ξηρασίας RDI όλης της Ελλάδας για το μήνα Ιούνιο του 1990



Εικόνα 7.10: Χάρτης μηνιαίου δείκτη ξηρασίας RDI όλης της Ελλάδας για το μήνα Ιούλιο του 1990



Εικόνα 7.11: Χάρτης μηνιαίου δείκτη ξηρασίας RDI όλης της Ελλάδας για το μήνα Αύγουστο του 1990



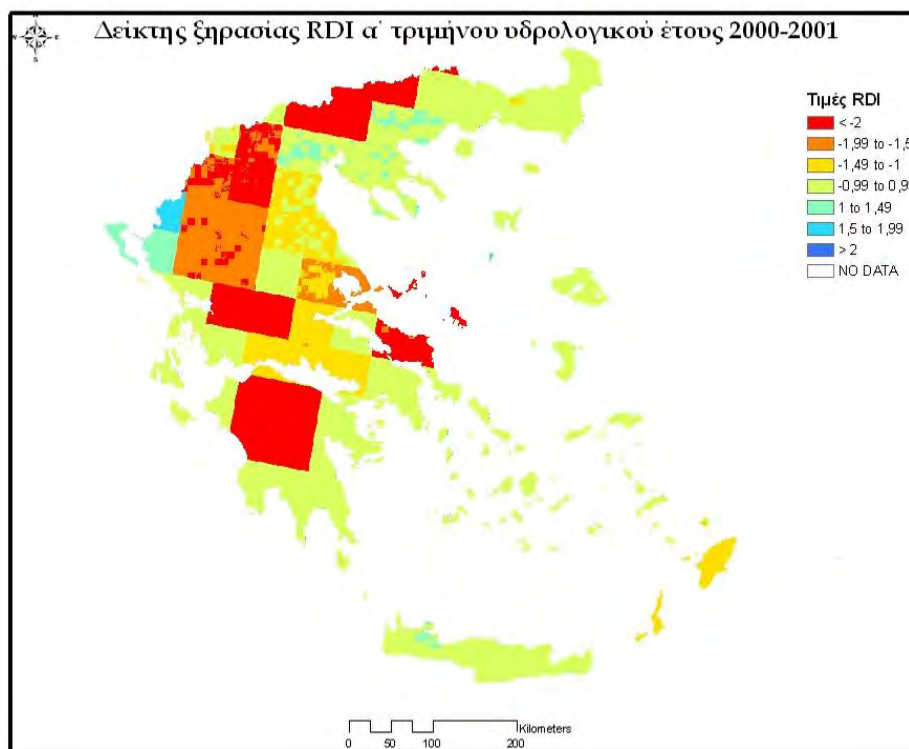
Εικόνα 7.12: Χάρτης μηνιαίου δείκτη ξηρασίας RDI όλης της Ελλάδας για το μήνα Σεπτέμβριο του 1990

Οι μήνες που εμφανίζουν μεγαλύτερη ξηρασία κατά το υδρολογικό έτος 1989-1990 είναι ο Ιανουάριος και ο Μάρτιος, όπου σχεδόν όλος ο Ελλαδικός χώρος παρουσιάζει ακραίες τιμές του δείκτη RDI ($< -1,5$). Η χρωματική απεικόνιση των χαρτών του δείκτη αναπαριστά με κατανοητό τρόπο τις διαβαθμίσεις της κλίμακας του φαινομένου για κάθε περιοχή της Ελλάδας. Σημαντικά, όμως, επεισόδια ξηρασίας (κόκκινο και έντονο πορτοκαλί χρώμα) παρουσιάζονται, κυρίως στο Νότιο τμήμα της χώρας, και κατά τους μήνες Δεκέμβριο και Μάιο, καθώς μέτρια ξηρασία (κίτρινο και ανοιχτό πράσινο χρώμα) εμφανίζονται σε διάφορες περιοχές κατά τους μήνες Νοέμβριο και Φεβρουάριο. Σε γενικές γραμμές, τα αποτελέσματα δείχνουν μια ένταση του φαινομένου, κυρίως, στο Ανατολικό και Νότιο τμήμα της Ελλάδας, όπου και υπάρχει μεγαλύτερο έλλειμμα βροχόπτωσης σε σχέση με τις υπόλοιπες περιοχές. Οι υπόλοιποι χάρτες του μηνιαίου δορυφορικού RDI δεν παρουσιάζονται αναλυτικά, παρότι έχουν υπολογιστεί, διότι καταλαμβάνουν σημαντικό χώρο και επιπλέον οι μήνες αυτοί εμπεριέχονται στις επόμενες χρονικές διάρκειες υπολογισμού του δείκτη (3, 6, 9 και 12 μήνες).

Ο υπολογισμός του δείκτη πραγματοποιείται σε διάφορες χρονικές διάρκειες (3, 6, 9 και 12 μηνών) με σκοπό τη μελέτη της μεταβολής της ξηρασίας μεταξύ των διαφορετικών εποχών του έτους, αλλά και της ίδιας εποχής μεταξύ των διαφορετικών ετών της χρο υσειράς. Από τη προσέγγιση αυτή προκύπτουν χάρτες τριμήνου, εξαμήνου, εννέα και δώδεκα μηνών (ετήσιοι) του δείκτη RDI για κάθε υδρολογικό έτος, οι οποίοι καλύπτουν όλη την περιοχή και συμβάλλουν σημαντικά στη μελέτη της μεταβολής αυτής. Στις Εικόνες 7.13 έως και 7.16 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα των χαρτών αυτών, για ένα συγκεκριμένο υδρολογικό έτος (2000-2001).

Στην πρώτη Εικόνα (Εικ. 7.13) εμφανίζεται η κατανομή των τιμών του δείκτη για το πρώτο τρίμηνο (Οκτώβριο έως Δεκέμβριο) του υδρολογικού έτους 2000-2001. Παρατηρείται, πως για το διάστημα αυτό, ο δείκτης RDI παίρνει ακραίες αρνητικές τιμές (ένδειξη ακραίας ξηρασίας), σε ένα μεγάλο ποσοστό της επικράτειας, ενώ γενικά και οι υπόλοιπες περιοχές παρουσιάζουν μέτρια ως δριμεία ξηρασία. Εξαιρεση αποτελούν περιοχές της Δυτικής Ελλάδας, όπου εμφανίζονται αρκούντως υγρές στο χρονικό διάστημα αυτό. Με την προσθήκη, όμως, και των χειμερινών μηνών (Ιανουάριο έως Μάρτιο), ο δείκτης υπολογίζεται για το πρώτο εξάμηνο του υδρολογικού έτους. Οι συνθήκες στο διάστημα αυτό φαίνονται να εξομαλύνονται και

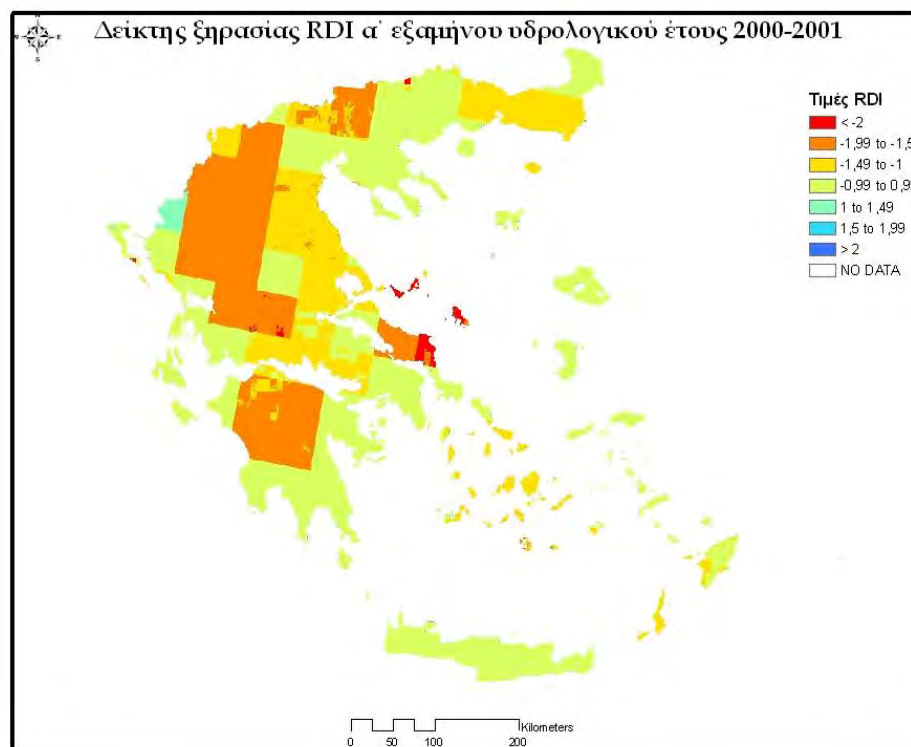
η ξηρασία να υποχωρεί (Εικ. 7.14) Το γεγονός αυτό ενισχύεται και με τη σταδιακή προσθήκη των υπόλοιπων μηνών κατά τον υπολογισμό του δείκτη (Εικ. 7.15 και 7.16) με αποτέλεσμα τον περιορισμό της ξηρασίας στο Δυτικό τμήμα της χώρας, καθώς και την εξασθένηση της δριμύτητάς της, εφόσον από ακραία μεταβάλλεται σε μέτρια ή έντονη ξηρασία. Αυτό υποδηλώνει πως η βροχόπτωση κατά τους χειμερινούς και εαρινούς μήνες του έτους αυτού είναι σε ικανοποιητικά επίπεδα, καθώς και η θερμοκρασία δεν εμφανίζει ιδιαίτερα ακραίες τιμές κατά τη θερινή περίοδο. Η ξηρασία που επιμένει, σύμφωνα με τους χάρτες, σε τμήματα της περιοχής μελέτης στο σύνολο του υδρολογικού έτους, οφείλεται κατά κύριο λόγο στη χαμηλή σε σχέση με τις κλιματικές τιμές βροχόπτωση που παρουσιάζουν οι περιοχές αυτές κατά τη συγκεκριμένη περίοδο.



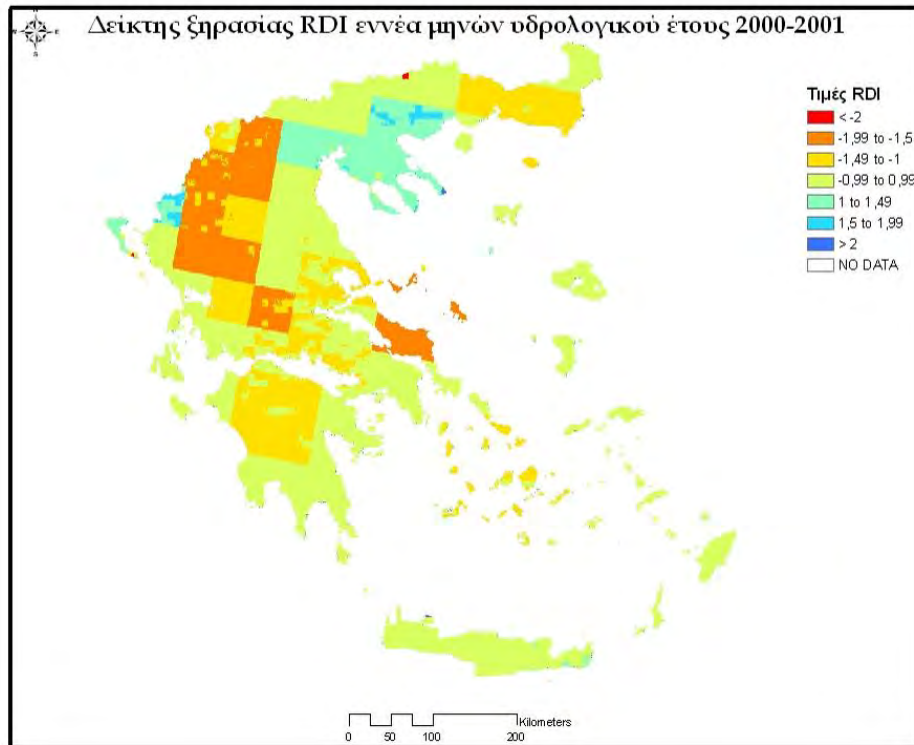
Εικόνα 7.13: Χάρτης του δείκτη ξηρασίας RDI όλης της Ελλάδας για το ά τρίμηνο του υδρολογικού έτους 2000 – 2001

Από το σύνολο των αποτελεσμάτων διακρίνονται τα υδρολογικά έτη 1984-1985, 1989-1990, 1992-1993, 1999-2000 και 2000-2001 ως τα περισσότερο ξηρά έτη της χρονοσειράς, στα οποία η ξηρασία, σε αρκετές περιοχές της Ελλάδας, αγγίζει τις

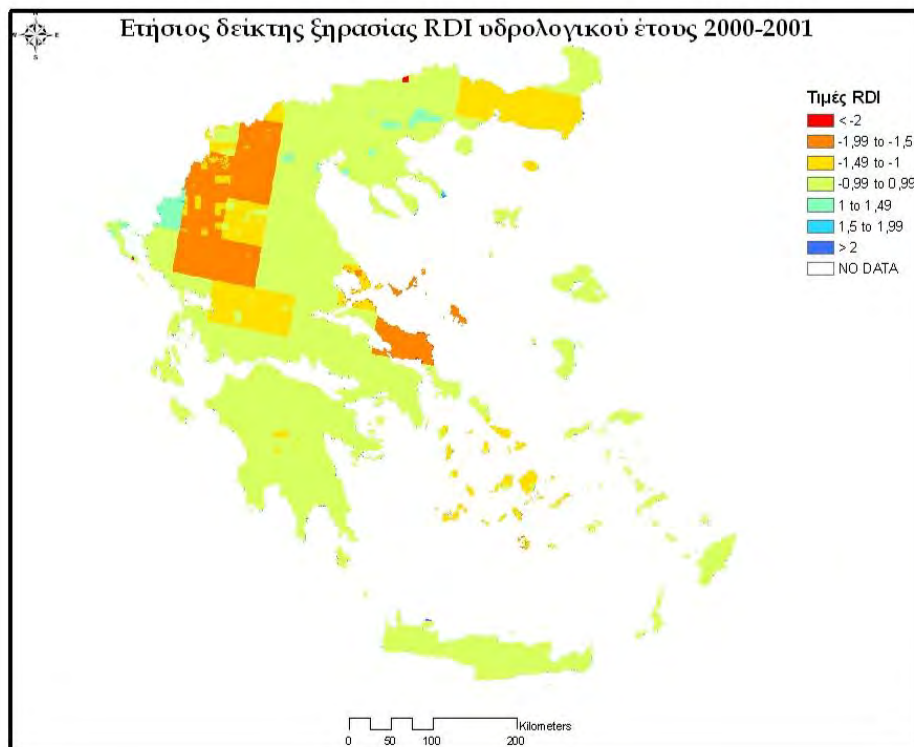
ακραίες τιμές της. Ορισμένες διαφοροποιήσεις στη δριμύτητα ή στην κατανομή του φαινομένου που παρατηρούνται, εξαρτώνται από τη χρονική διάρκεια στην οποία υπολογίζεται ο δείκτης RDI (ποιοί μήνες δηλαδή ενσωματώνονται στη διαδικασία), καθώς και στο μορφολογικό ανάγλυφο της εκάστοτε περιοχής ανά τον Ελλαδικό χώρο. Για την καλύτερη κατανόηση βασικών επισημάνσεων των αποτελεσμάτων, αναλύονται οι χρονικές διάρκειες υπολογισμού του δείκτη σε επιλεγμένες περιοχές της Ελλάδας (Λάρισα, Ελληνικό, Νάξος και Ηράκλειο).



Εικόνα 7.14: Χάρτης του δείκτη ξηρασίας RDI όλης της Ελλάδας για το ά εξάμηνο του υδρολογικού έτους 2000 – 2001



Εικόνα 7.15: Χάρτης του δείκτη ξηρασίας RDI όλης της Ελλάδας των εννέα πρώτων μηνών του υδρολογικού έτους 2000 - 2001



Εικόνα 7.16: Χάρτης του δείκτη ξηρασίας RDI όλης της Ελλάδας για το σύνολο του υδρολογικού έτους 2000 - 2001

Κατά τον υπολογισμό του δείκτη RDI σε τρίμηνη βάση (πρώτο τρίμηνο κάθε υδρολογικού έτους της χρονοσειράς), τα αποτελέσματα της περιοχής της Λάρισας εμφανίζουν μέτρια ξηρασία στα υδρολογικά έτη 1984-1985 και 1992-1993, ενώ έντονη ξηρασία κατά τα υδρολογικά έτη 1991-1992 και 2000-2001. Για την ίδια χρονική διάρκεια, η περιοχή του Ελληνικού παρουσιάζει συχνότερη επανεμφάνιση του φαινομένου και με μεγαλύτερη δριμύτητα. Μέτρια ξηρασία παρουσιάζουν τα υδρολογικά έτη 1984-1985, 1985-1986, 1989-1990 και 2000-2001, ενώ ακραίες τιμές του φαινομένου έχουν τα έτη 1992-1993 και 1999-2000. Η περιοχή της Νάξου, κατά το πρώτο τρίμηνο υπολογισμού του δείκτη, παρουσιάζει πιο ήπια αποτελέσματα, με μέτρια ξηρασία κατά το υδρολογικό έτος 1986-1987 και έντονη ξηρασία το 1999-2000. Τέλος, το Ηράκλειο εμφανίζει μέτρια ξηρασία το 1982-1983 και 1993-1994, ενώ πιο έντονο γίνεται το φαινόμενο κατά τα υδρολογικά έτη 1992-1993, 1995-1996 και 1999-2000. Οι χάρτες του δείκτη ξηρασίας RDI για την τρίμηνη διάρκεια υπολογισμού του και για ολόκληρη τη χρονοσειρά των δεδομένων παρουσιάζονται αναλυτικά στο Παράρτημα 1.

Ο δείκτης RDI για το πρώτο εξάμηνο των υδρολογικών ετών της σειράς των δεδομένων, διαφοροποιεί ελαφρώς τα προηγούμενα αποτελέσματα (τριμήνου) λόγω της προσθήκης των χειμερινών μηνών στη μεθοδολογία. Έτσι, για την περιοχή της Λάρισας, η μέτρια ξηρασία περιορίζεται στο έτος 1992-1993, ενώ τα υδρολογικά έτη 1989-1990, 1991-1992 και 2000-2001 παρουσιάζουν έντονη ως ακραία ξηρασία. Στην περιοχή του Ελληνικού, τα υδρολογικά έτη 1985-1986, 1996-1997 και 2000-2001 εμφανίζουν μέτρια ξηρασία, καθώς στα έτη ακραίας ξηρασίας (1992-1993 και 1999-2000) προστίθεται και το 1989-1990, κατά το οποίο το φαινόμενο φαίνεται ιδιαίτερα έντονο στην περιοχή αυτή. Για την ίδια χρονική περίοδο, η περιοχή της Νάξου εμφανίζει μεγαλύτερη ξηρασία σε σχέση με την προηγούμενη περίοδο υπολογισμού, χωρίς ιδιαίτερες μεταβολές όσον αφορά στη μέτρια δριμύτητα του φαινομένου, αλλά παρουσιάζει έντονη ξηρασία το 2000-2001 και ακραίες τιμές κατά τα υδρολογικά έτη 1989-1990 και 1999-2000. Το Ηράκλειο, στο στάδιο αυτό, εμφανίζει μέτρια ξηρασία τα έτη 1982-1983, 1985-1986 και 1993-1994, ενώ εντονότερο γίνεται το φαινόμενο κατά το υδρολογικό έτος 1989-1990 πλησιάζοντας τις ακραίες τιμές του δείκτη στο έτος 1992-1993. Ο δείκτης RDI για το πρώτο εξάμηνο των υδρολογικών ετών της χρονοσειράς παρουσιάζεται στο Παράρτημα 2.

Οι εαρινοί μήνες των ετών 1984-1985 και 1989-1990, παρουσιάζουν ιδιαίτερη ξηρότητα στην περιοχή της Λάρισας, κατά τον υπολογισμό του δείκτη για τους εννέα πρώτους μήνες του υδρολογικού έτους. Τα έτη αυτά, σύμφωνα με τα αποτελέσματα, είναι τα πλέον ξηρότερα σε όλη τη χρονοσειρά της περιοχής. Τα υδρολογικά έτη 1992-1993 και 2000-2001 εμφανίζουν μέτρια ξηρασία, στο στάδιο αυτό. Το Ελληνικό, για τη συγκεκριμένη χρονική διάρκεια, δεν παρουσιάζει σημαντικές μεταβολές σε σχέση με την προηγούμενη διάρκεια υπολογισμού του δείκτη, παραμένοντας στις ίδιες εντάσεις του φαινομένου κατά τα ίδια υδρολογικά έτη. Η περιοχή της Νάξου, για το ίδιο χρονικό διάστημα υπολογισμού του δείκτη, παρουσιάζεται ελαφρώς ξηρότερη, αλλά μέτριας δριμύτητας όσον αφορά στο φαινόμενο. Μέτρια ξηρασία εμφανίζεται στα υδρολογικά έτη 1982-1983, 1985-1986 και 1986-1987, ενώ κατά το έτος 2000-2001 το φαινόμενο εμφανίζεται με αυξημένη δριμύτητα. Ακραίες τιμές ξηρασίας στην περιοχή αυτή παρουσιάζονται τα έτη 1989-1990 και 1999-2000. Τέλος, στο Ηράκλειο, κατά τον υπολογισμό του δείκτη για τους πρώτους εννέα μήνες των υδρολογικών ετών, τα έτη με μέτρια ξηρασία εντοπίζονται κυρίως σε πέντε περιπτώσεις, 1982-1983, 1985-1986, 1993-1994, 1997-1998 και 1999-2000, όταν τα υδρολογικά έτη 1989-1990 και 1992-1993 παραμένουν στην κατηγορία της έντονης προς ακραίας ξηρασίας. Οι χάρτες του δείκτη ξηρασίας RDI για τη χρονική διάρκεια των εννέα μηνών παραθέτονται στο Παράρτημα 3.

Η τελευταία χρονική διάρκεια στην οποία υπολογίζεται ο δείκτης RDI είναι αυτή των δώδεκα μηνών, δηλαδή του ενός υδρολογικού έτους. Το στάδιο αυτό περιλαμβάνει τα δεδομένα στο σύνολό του εμφανίζοντας μια περισσότερο ολοκληρωμένη προσέγγιση του δείκτη για το σύνολο της χρονοσειράς.

Στην περιοχή της Λάρισας παρουσιάζεται μια σημαντική μεταβολή των περιπτώσεων ακραίας ξηρασίας, σύμφωνα με την προηγούμενη διάρκεια υπολογισμού. Το έτος 1989-1990, το οποίο προηγουμένως εμφάνιζε ακραία ξηρασία, στη χρονική διάρκεια του έτους φαίνεται λιγότερο ξηρό με τιμές που αντιστοιχούν σε μέτρια ξηρασία. Η μεταβολή αυτή εξηγείται από το γεγονός του φυσιολογικού εύρους των τιμών της θερμοκρασίας, κατά τη διάρκεια του θέρους στο έτος αυτό, σε συνδυασμό με την αυξημένη βροχόπτωση για την εποχή. Για το υδρολογικό έτος 1984-1985, όμως, η ξηρασία παραμένει σε υψηλά επίπεδα. Έντονη ξηρασία

παρουσιάζει το έτος 1992-1993 ενώ μέτρια δριμύτητα του φαινομένου εμφανίζεται στα έτη 1987-1988, 1991-1992 και 1999-2000.

Τα υδρολογικά έτη 1989-1990 και 1999-2000, για την περιοχή του Ελληνικού, παραμένουν σε ιδιαίτερα υψηλές τιμές ξηρασίας (ακραία). Ελαφρώς ηπιότερη κατάσταση παρουσιάζεται στο έτος 1992-1993 (έντονη ξηρασία), ενώ τα έτη 1985-1986, 1996-1997 και 2000-2001 δεν παρουσιάζουν μεταβολές σε σχέση με τις προηγούμενες διάρκειες υπολογισμού τους, εμμένοντας σε επεισόδια μέτριας ξηρασίας.

Για την περιοχή της Νάξου, ο ετήσιος δείκτης RDI δεν παρουσιάζει μεταβολές συγκρινόμενος με εκείνο των εννέα μηνών υπολογισμού. Έτσι, παραμένει η μέτρια ξηρασία στα υδρολογικά έτη 1982-1983, 1985-1986 και 1986-1987, οι τιμές έντονης ξηρασίας το έτος 2000-2001 και η ακραία δριμύτητα του φαινομένου στα έτη 1989-1990 και 1999-2000.

Την ίδια περίπου κατάσταση με τη χρονική διάρκεια των εννέα μηνών παρουσιάζει ο δείκτης RDI για το σύνολο των υδρολογικών ετών και στην περιοχή του Ηρακλείου. Σε γενικές γραμμές εμφανίζονται ίδιες εντάσεις του φαινομένου στα ίδια υδρολογικά έτη (μέτρια ξηρασία: 1982-1983, 1985-1986, 1993-1994, 1997-1998 και 1999-2000, έντονη προς ακραία ξηρασία: 1989-1990 και 1992-1993) με τη μόνη διαφορά πως οι τιμές του δείκτη είναι κάπως χαμηλότερες (περισσότερο αρνητικές) παρουσιάζοντας τάση για αύξηση της ξηρασίας στην περιοχή. Στο Παράρτημα 4 παρουσιάζονται οι χάρτες του δείκτη ξηρασίας για όλη την Ελλάδα, με ετήσιο βήμα υπολογισμού.

7.2. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων RDI με δορυφορικά δεδομένα

Στο στάδιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της αξιολόγησης του δείκτη RDI για ολόκληρη την Ελλάδα. Η αξιολόγηση αυτή, αρχικά, πραγματοποιείται μέσω της σύγκρισης μεταξύ του δείκτη RDI που υπολογίζεται με επίγεια δεδομένα στις τέσσερις επιλεγμένες περιοχές και του δείκτη δριμύτητας ξηρασίας PDSI του Palmer, ο οποίος χρησιμοποιείται ευρέως και σε διεθνές επίπεδο. Το στάδιο αυτό εστιάζει στη σύγκριση των χαρακτηριστικών της ξηρασίας, τα οποία εκτιμούνται από

τους συγκεκριμένους δείκτες σε κάθε περιοχή. Για την άμεση σύγκριση αυτών των δεικτών, ο δείκτης RDI υπολογίζεται με τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή του Thornthwaite (RDI_{thorn}), καθώς ο PDSI χρησιμοποιεί επίσης την εξατμισοδιαπνοή της μεθόδου Thornthwaite. Επιπλέον, τα αποτελέσματα των δύο αυτών δεικτών συγκρίνονται με τα αποτελέσματα του δείκτη RDI, που έχει υπολογιστεί με επίγεια δεδομένα και με τη μέθοδο δυνητικής εξατμισοδιαπνοής Blaney-Criddle (RDI_{Bl-Cr}). Η σύγκριση πραγματοποιείται μεταξύ των δεικτών, που υπολογίζονται σε μηνιαία βάση για όλη τη χρονοσειρά των επίγειων δεδομένων (1955-2002) και για τις τέσσερις περιοχές ελέγχου.

Από τη σύγκριση των χαρακτηριστικών της ξηρασίας και από τους τρεις δείκτες, προκύπτουν συγκεντρωτικοί πίνακες για το σύνολο της σειράς των ετών, στους οποίους παρουσιάζονται οι μήνες έναρξης και λήξης των επεισοδίων ξηρασίας σε κάθε περιοχή, η χρονική τους διάρκεια, καθώς και η συνολική δριμύτητα του φαινομένου για τους μήνες αυτούς. Αν και η τιμή ενός δείκτη είναι αδιάστατο μέγεθος, εντούτοις, προσδιορίζεται η μέση ένταση της ξηρασίας για κάθε επεισόδιο, με σκοπό να συμβάλει στην κατάταξη του φαινομένου σε κάποια από τις κατηγορίες ξηρασίας του δείκτη που εξετάζεται. Η τελευταία στήλη του κάθε πίνακα (σύνολο τέσσερις πίνακες, ένας για κάθε περιοχή) παρουσιάζει τη μέση ένταση (MO έντασης) του κάθε επεισοδίου ξηρασίας για κάθε δείκτη.

Στον Πίνακα 7.1 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των ξηρών περιόδων της περιοχής του Ελληνικού. Οι πίνακες για τις υπόλοιπες περιοχές παραθέτονται στο Παράρτημα 5.1. Κατά τη σειρά εμφάνισης στον Πίνακα, ο πρώτος δείκτης αντιστοιχεί στο δείκτη δριμύτητας ξηρασίας PDSI του Palmer, ο δεύτερος είναι ο δείκτης RDI_{thorn} και τελευταίος εμφανίζεται ο δείκτης RDI_{Bl-Cr} . Η σύγκριση των αποτελεσμάτων του δείκτη αυτού (RDI_{Bl-Cr}) με εκείνα των προηγούμενων δεικτών θεωρείται απαραίτητη, διότι και ο RDI με δορυφορικά δεδομένα, προκύπτει από τη χρήση της συγκεκριμένης δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (Blaney-Criddle). Η προσέγγιση αυτή έχει ως στόχο να μελετήσει την προσαρμογή των δεικτών RDI με επίγεια δεδομένα, σε σχέση με το δείκτη PDSI, και να διερευνήσει τη δυνατότητα χρήσης του RDI_{Bl-Cr} για τη σύγκρισή του με το RDI με δορυφορικά δεδομένα.

Πίνακας 7.1: Σύγκριση των χαρακτηριστικών της ξηρασίας σύμφωνα με τους δείκτες PDSI, RDI_{thorn} , RDI_{BI-Cr} με χρήση επίγειων δεδομένων για το σύνολο της χρονοσειράς στην περιοχή του Ελληνικού

Περιοχή Ελληνικού															
	Δείκτης PDSI					Δείκτης RDI_{thorn}					Δείκτης RDI_{BI-Cr}				
A/ A	Έναρξη ξηρασίας	Λήξη ξηρασίας	Μήνες	Σ PDSI	MO έντασης	Έναρξη ξηρασίας	Λήξη ξηρασίας	Μήνες	Σ RDI Th	MO έντασης	Έναρξη ξηρασίας	Λήξη ξηρασίας	Μήνες	Σ RDI BI- Cr	MO έντασης
1	Oct 1956	Sep 1957	12	-17,77	-1,48	Oct 1956	Sep 1957	12	-4,58	-0,38	Oct 1956	Sep 1957	12	-4,59	-0,38
2	Feb 1958	Aug 1958	7	-4,06	-0,58	Feb 1958	Jun 1958	5	-1,63	-0,33	Feb 1958	Jun 1958	5	-1,5	-0,30
3	Dec 1958	Jul 1960	20	-33,05	-1,65	Dec 1958	Mar 1960	16	-14,00	-0,88	Dec 1958	Mar 1960	16	-14,48	-0,91
4	Apr 1961	Aug 1962	17	-24,06	-1,42	Apr 1961	Jul 1962	16	-8,63	-0,54	Apr 1961	Jul 1962	16	-8,06	-0,50
5	Jan 1963	Apr 1963	4	-3,02	-0,76	Jan 1963	Apr 1963	4	-1,18	-0,30	Jan 1963	Apr 1963	4	-1,08	-0,27
6	Jul 1964	Dec 1964	6	-6,97	-1,16	Jul 1964	Dec 1964	6	-3,43	-0,57	Jul 1964	Dec 1964	6	-3,19	-0,53
7	Aug 1965	Aug 1966	13	-20,03	-1,54	Aug 1965	Aug 1966	13	-8,03	-0,62	Aug 1965	Aug 1966	13	-7,49	-0,58
8	Aug 1968	Sep 1968	2	-1,40	-0,70	Aug 1968	Sep 1968	2	-2,55	-1,28	Aug 1968	Sep 1968	2	-2,47	-1,24
9	Feb 1969	Nov 1969	10	-7,14	-0,71	Feb 1969	Nov 1969	10	-8,96	-0,90	Feb 1969	Nov 1969	10	-8,77	-0,88
10	Mar 1970	Apr 1970	2	-2,51	-1,26	Mar 1970	Apr 1970	2	-3,49	-1,75	Mar 1970	Apr 1970	2	-3,46	-1,73
11	Jul 1971	Nov 1971	5	-3,75	-0,75	Jul 1971	Nov 1971	5	-3,21	-0,64	Jul 1971	Nov 1971	5	-3,76	-0,75
12	Nov 1972	Dec 1972	2	-3,50	-1,75	Nov 1972	Dec 1972	2	-4,07	-2,04	Nov 1972	Dec 1972	2	-4,25	-2,13
13	Apr 1973	Jan 1974	10	-6,54	-0,65	Apr 1973	Jan 1974	10	-6,84	-0,68	Apr 1973	Jan 1974	10	-6,69	-0,67

A/A	Έναρξη ξηρασίας	Λήξη ξηρασίας	Μήνες	Σ PDSI	MO έντασης	Έναρξη ξηρασίας	Λήξη ξηρασίας	Μήνες	Σ RDI Th	MO έντασης	Έναρξη ξηρασίας	Λήξη ξηρασίας	Μήνες	Σ RDI BI- Cr	MO έντασης
14	Oct 1974	Jul 1975	10	-13,79	-1,38	Oct 1974	Jul 1975	10	-2,89	-0,29	Oct 1974	Jul 1975	10	-2,84	-0,28
15	Sep 1975	Nov 1975	3	-3,25	-1,08	Oct 1975	Nov 1975	2	-0,44	-0,22	Oct 1975	Nov 1975	2	-0,3	-0,15
16	Dec 1976	Oct 1977	11	-16,83	-1,53	Dec 1976	Oct 1977	11	-6,11	-0,56	Dec 1976	Oct 1977	11	-5,76	-0,52
17	Jan 1979	Sep 1979	9	-7,27	-0,81	Jan 1979	Sep 1979	9	-6,96	-0,77	Jan 1979	Sep 1979	9	-6,72	-0,75
18	Dec 1979	Feb 1980	3	-2,73	-0,91	Dec 1979	Feb 1980	3	-1,23	-0,41	Dec 1979	Feb 1980	3	-1,12	-0,37
19	Sep 1980	Nov 1980	3	-1,91	-0,64	Sep 1980	Nov 1980	3	-2,50	-0,83	Sep 1980	Nov 1980	3	-2,28	-0,76
20	Mar 1981	Jan 1982	11	-9,25	-0,84	Mar 1981	Jan 1982	11	-2,69	-0,24	Mar 1981	Jan 1982	11	-2,7	-0,25
21	Oct 1982	Jan 1983	4	-5,16	-1,29	Oct 1982	Jan 1983	4	-3,11	-0,78	Oct 1982	Jan 1983	4	-3,01	-0,75
22	Aug 1984	Dec 1984	7	-5,90	-0,84	May 1984	Nov 1984	7	-8,01	-1,14	May 1984	Nov 1984	7	-8,18	-1,17
23	Sep 1985	Feb 1987	18	-23,44	-1,30	Sep 1985	Feb 1987	18	-4,72	-0,26	Sep 1985	Feb 1987	18	-4,42	-0,25
24	Jul 1988	Oct 1988	4	-3,69	-0,92	Jun 1988	Oct 1988	5	-2,57	-0,51	Jun 1988	Oct 1988	5	-2,5	-0,50
25	Jan 1989	Nov 1990	23	-35,02	-1,52	Jan 1989	Nov 1990	23	-18,74	-0,81	Jan 1989	Nov 1990	23	-18,82	-0,82
26	Jul 1991	Feb 1992	8	-6,71	-0,84	Jul 1991	Feb 1992	8	-5,61	-0,70	Jul 1991	Feb 1992	8	-5,62	-0,70
27	Jul 1992	Oct 1993	16	-21,37	-1,34	Jul 1992	Oct 1993	16	-7,35	-0,46	Jul 1992	Oct 1993	16	-7,83	-0,49
28	Feb 1995	Jul 1996	18	-10,99	-0,61	Feb 1995	May 1996	16	-8,49	-0,53	Feb 1995	May 1996	16	-8,79	-0,55
29	Oct 1996	Nov 1996	2	-2,33	-1,17	Oct 1996	Nov 1996	2	-1,27	-0,64	Oct 1996	Nov 1996	2	-1,22	-0,61
30	Feb 1997	Mar 1997	2	-3,56	-1,78	Feb 1997	Mar 1997	2	-2,54	-1,27	Feb 1997	Mar 1997	2	-2,78	-1,39

A/ A	Έναρξη ξηρασίας	Λήξη ξηρασίας	Μήνες	Σ PDSI	MO έντασης	Έναρξη ξηρασίας	Λήξη ξηρασίας	Μήνες	Σ RDI Th	MO έντασης	Έναρξη ξηρασίας	Λήξη ξηρασίας	Μήνες	Σ RDI BI- Cr	MO έντασης
31	May 1997	Sep 1997	5	-4,12	-0,82	May 1997	Sep 1997	5	-4,39	-0,88	May 1997	Sep 1997	5	-4,41	-0,88
32	Dec 1998	Feb 1999	3	-2,42	-0,81	Dec 1998	Feb 1999	3	-1,28	-0,43	Dec 1998	Feb 1999	3	-1,75	-0,58
33	Apr 1999	Jun 1999	3	-0,15	-0,05	Apr 1999	May 1999	2	-1,57	-0,79	Apr 1999	May 1999	2	-2,42	-1,21
34	Aug 1999	Sep 2001	26	-46,31	-1,78	Sep 1999	Sep 2001	25	-14,14	-0,57	Sep 1999	Sep 2001	25	-14,61	-0,58

Τα αποτελέσματα του Πίνακα 7.1, για την περιοχή του Ελληνικού αφορούν στα υδρολογικά έτη από το 1955 έως και το 2002. Στο χρονικό διάστημα αυτό παρατηρούνται 34 συνολικά επεισόδια ξηρασίας στην περιοχή, που το κάθε ένα καθορίζεται από μια συγκεκριμένη διάρκεια μηνών. Σε αρκετές των περιπτώσεων η ξηρασία ξεφεύγει από τα όρια ενός υδρολογικού έτους, εμφανίζοντας εμμονή στην περιοχή για μεγαλύτερο διάστημα, ακόμη και αυτό των 26 μηνών (Αύγουστος 1999 με Σεπτέμβριο του 2001). Ο μήνας έναρξης και λήξης του επεισοδίου καθορίζεται από την εμφάνιση της πρώτης και της τελευταίας αρνητικής τιμής του κάθε δείκτη, αντίστοιχα. Η διάρκεια του ενός επεισοδίου ισούται με το σύνολο των διαδοχικών μηνών εμφάνισης του φαινομένου, ενώ το άθροισμα των αρνητικών τιμών των μηνών αντιστοιχεί στο σύνολο (Σ) για κάθε δείκτη ξεχωριστά και αποτελεί ένδειξη της συνολικής δριμύτητας της ξηρασίας. Ο μέσος όρος της έντασης της ξηρασίας για κάθε δείκτη προκύπτει από το λόγο της συνολικής έντασης προς το σύνολο των μηνών της διάρκειας του φαινομένου ψ αποτελεί δε ένδειξη της μέσης μηνιαίας δριμύτητας της ξηρασίας για κάθε επεισόδιο.

Η σύγκριση και των τριών δεικτών ξηρασίας στην περιοχή δίνει επιτυχή αποτελέσματα, καθόσον και οι τρεις δείκτες προσδιορίζουν με τον ίδιο τρόπο τα επεισόδια ξηρασίας, εμφανίζοντας ως επί το πλείστον τις ίδιες χρονικές διάρκειες μηνών μέσα στα ίδια υδρολογικά έτη και την ίδια περίπου μέση δριμύτητα. Συγκεκριμένα, οι δύο δείκτες RDI ($RDI_{I_{thorn}}$ και RDI_{BI-CF}) σχεδόν ταυτίζονται στα αποτελέσματα τους υποδηλώνοντας την αποτελεσματική εκτίμηση του φαινομένου ακόμη και με τη χρήση διαφορετικής μεθόδου για τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή (Kanellou *et al.*, 2008e). Οι διαφορές που παρατηρούνται, όσον αφορά τη δριμύτητα, μεταξύ των δεικτών RDI και PDSI εξηγούνται λόγω της διαφορετικής φύσης και δομής των δεικτών αυτών. Ο δείκτης RDI κυμαίνεται μεταξύ +3 (υγρές συνθήκες) και -3 (ξηρές συνθήκες), ενώ ο δείκτης PDSI μεταξύ +4 (υγρές συνθήκες) και -4 (ξηρές συνθήκες) με αποτέλεσμα οι κατηγορίες δριμύτητας, στις οποίες ο κάθε δείκτης κατηγοριοποιεί το φαινόμενο, να μη συμπίπτουν απόλυτα. Εντούτοις, η μέση τιμή της έντασης του κάθε επεισοδίου ψ όπως προκύπτει από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων του Πίνακα 7.1, κατατάσσει την ξηρασία στην ίδια ή γειτονική κατηγορία (μέτρια, έντονη, ακραία), και για τους τρεις δείκτες, λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορετική διαβάθμιση των τιμών τους. Ανάλογα αποτελέσματα παρουσιάζει η

σύγκριση των τριών αυτών δεικτών και στις υπόλοιπες περιοχές (Λάρισα, Νάξος, Ηράκλειο) (Παράρτημα 5).

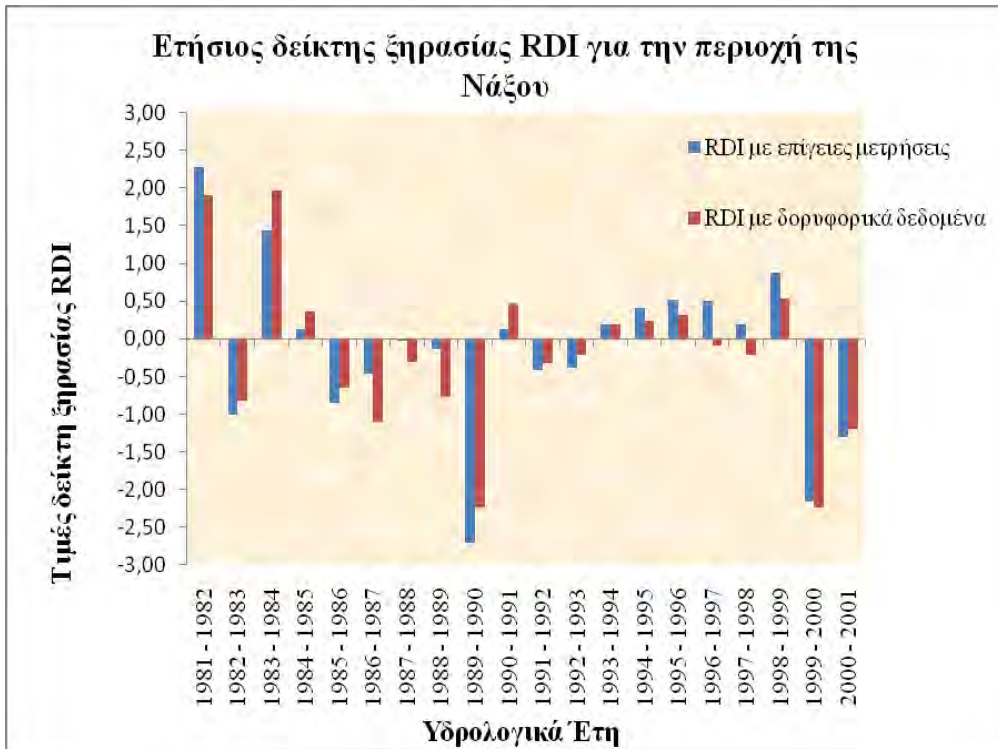
Μετά τη θετική αξιολόγηση RDI με επίγεια δεδομένα, υπολογισμένου με τη μέθοδο δυνητικής εξατμισοδιαπνοής Blaney- Criddle, μέσω της σύγκρισης των αποτελεσμάτων του με τους άλλους δύο επίγειους δείκτες, ο δείκτης αυτός χρησιμοποιείται για την πιστοποίηση των αποτελεσμάτων του RDI, που εκτιμήθηκε με δορυφορικά δεδομένα. Η σύγκριση αυτή πραγματοποιείται στις τέσσερις επιλεγμένες περιοχές ελέγχου (Λάρισα, Ελληνικό, Νάξος και Ηράκλειο), όπου ο επίγειος RDI έχει υπολογιστεί με δεδομένα των μετεωρολογικών σταθμών. Ο συγκεκριμένος δείκτης RDI_{Bl-Cr} επιλέγεται για το λόγο ότι η εκτίμηση του υλοποιείται με χρήση της ίδιας δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (Blaney- Criddle), την οποία χρησιμοποιεί και ο δείκτης που υπολογίστηκε με δορυφορικά δεδομένα. Τα αποτελέσματα της σύγκρισης του RDI με επίγεια και δορυφορικά δεδομένα παρουσιάζονται με τη μορφή διαγραμμάτων για κάθε περιοχή ξεχωριστά και για κάθε διαφορετική χρονική διάρκεια υπολογισμού (3,6,9 και 12 μηνών). Στις Εικόνες 7.17 έως και 7.20 παρουσιάζονται ενδεικτικά τα διαγράμματα σύγκρισης των δύο RDI σε ετήσια βάση για κάθε μια από τις τέσσερις περιοχές και για το σύνολο της χρονοσειράς. Τα συνολικά αποτελέσματα της σύγκρισης των δύο δεικτών για κάθε χρονική διάρκεια υπολογισμού (3, 6, 9, 12) και για κάθε περιοχή παρουσιάζονται στο Παράρτημα 6 (6.1 έως 6.4).



Εικόνα 7.17: Διάγραμμα σύγκρισης δείκτη RDI με επίγεια και δορυφορικά δεδομένα υπολογισμένου σε ετήσια βάση (ένα υδρολογικό έτος) για την περιοχή της Λάρισας



Εικόνα 7.18: Διάγραμμα σύγκρισης δείκτη RDI με επίγεια και δορυφορικά δεδομένα υπολογισμένου σε ετήσια βάση (ένα υδρολογικό έτος) για την περιοχή του Ελληνικού Αττικής



Εικόνα 7.19: Διάγραμμα σύγκρισης δείκτη RDI με επίγεια και δορυφορικά δεδομένα υπολογισμένου σε ετήσια βάση (ένα υδρολογικό έτος) για την περιοχή της Νάξου



Εικόνα 7.20: Διάγραμμα σύγκρισης δείκτη RDI με επίγεια και δορυφορικά δεδομένα υπολογισμένου σε ετήσια βάση (ένα υδρολογικό έτος) για την περιοχή του Ηρακλείου Κρήτης

Από τα διαγράμματα φαίνεται η ιδιαίτερα καλή προσαρμογή μεταξύ των δύο δεικτών RDI (δορυφορικού και επίγειου) στο σύνολο των αποτελεσμάτων. Οι δύο δείκτες εκτιμούν το φαινόμενο της ξηρασίας σε κάθε περιοχή με τον ίδιο τρόπο και κατατάσσουν το κάθε υδρολογικό έτος στην ίδια κατηγορία δριμύτητας του φαινομένου. Περισσότερο εμφανής είναι η σύγκλιση στις ακραίες τιμές του δείκτη (υγρές ή ξηρές), όπου φαίνεται σε σημαντικό βαθμό η ταύτιση του RDI τόσο με δορυφορικές όσο και με επίγειες τιμές. Το γεγονός αυτό αποδεικνύει την επιτυχή χωρική εκτίμηση της ξηρασίας με τη χρήση των δορυφορικών δεδομένων και τονίζει την εξέλιξη του συγκεκριμένου δείκτη, καθώς και τη δυνατή ανάπτυξη του σε εφαρμογές ευρύτερης κλίμακας.

Παρουσιάζονται, εντούτοις, ορισμένες διαφοροποιήσεις μεταξύ των τιμών των δύο δεικτών, οι οποίες όμως θεωρούνται αμελητέες και δε μεταβάλλουν σε καμία περίπτωση την τάξη μεγέθους του φαινομένου. Οι μεταβολές αυτές ανάμεσα στις τιμές των δύο δεικτών κινούνται εντός των ορίων της κάθε κλάσης της ξηρασίας (μέτρια, έντονη, ακραία), και εξηγούνται βάσει της διαφορετικής φύσης των δεδομένων που εισήχθησαν κατά τη διαδικασία υπολογισμού τους. Ο RDI με επίγεια δεδομένα εστιάζει στη σημειακή εκτίμηση της ξηρασίας, καθώς δέχεται δεδομένα ενός σημείου μιας περιοχής, και στην παρούσα φάση των μετεωρολογικών σταθμών των τεσσάρων περιοχών ελέγχου. Σε αντίθεση, ο δείκτης RDI με δορυφορικά δεδομένα λαμβάνει υπόψη ένα μεγαλύτερο πλήθος τιμών, καθώς υπολογίζεται χωρικά για μια ολόκληρη περιοχή. Επιπλέον, εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από το μέγεθος του εικονοστοιχείου (pixel) των πρωτογενών δορυφορικών δεδομένων. Στην παρούσα εργασία τα διαθέσιμα δορυφορικά δεδομένα της θερμοκρασίας και του δείκτη βλάστησης αφορούν εικόνες των $8 \times 8 \text{ km}^2$ για ολόκληρη την περιοχή μελέτης (Ελλάδα). Επίσης, τα δεδομένα της βροχόπτωσης απεικονίζονται υπό μορφή φατίου μεγέθους $50 \times 50 \text{ km}^2$. Το μέγεθος του κάθε εικονοστοιχείου βελτιώνεται ιδιαίτερα με την προσθήκη των χαρτών του φυτικού συντελεστή της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής υπολογισμένου ανά $500 \times 500 \text{ m}^2$, ελαττώνοντας τη χωρική μονάδα (έκταση) στην οποία αντιστοιχεί κάθε διαφορετική τιμή. Με τον τρόπο αυτό οι τιμές του δείκτη RDI διαφοροποιούνται ακόμα και μέσα στα όρια του αρχικού εικονοστοιχείου (pixel) αναλόγως του τύπου βλάστησης ή της χρήσης γης της περιοχής. Η τεχνική αυτή οδηγεί σε περισσότερο ακριβή αποτελέσματα, όσον αφορά στο RDI με δορυφορικά

στοιχεία, και παρουσιάζει ευκρινέστερα τις μεταβολές του δείκτη μέσα στο ίδιο το εικονοστοιχείο των αρχικών δεδομένων. Επομένως, οι λόγοι που αναφέρονται παραπάνω, αιτιολογούν τη μερική απόκλιση στις τιμές μεταξύ των δύο δεικτών και αξιολογούν θετικά τη μεθοδολογία χωρικής εκτίμησης της ξηρασίας με τη χρήση του συγκεκριμένου δείκτη, καθώς και της Τηλεπισκόπησης.

7.3. Αποτελέσματα ανάλυσης κυρίων συνιστωσών (PCA) του δείκτη ξηρασίας RDI

Η μεθοδολογία που αναπτύσσεται στην παρούσα μελέτη οδηγεί στην εκτίμηση της περιοχικής ξηρασίας σε όλη την Ελλάδα με τη βοήθεια του δείκτη ξηρασίας RDI. Οι τιμές του δείκτη καθορίζουν ξηρές και υγρές περιοχές σε όλη την περιοχή μελέτης και για κάθε μια από τις χρονικές διάρκειες υπολογισμού του. Η ανάλυση σε κύριες συνιστώσες (PCA) των τιμών του RDI έχει ως σκοπό να αναδείξει τη χωρική και ταυτόχρονα τη χρονική κατανομή του δείκτη σε όλο τον Ελλαδικό χώρο, αποσυσχετίζοντας τα δεδομένα και ομαδοποιώντας τα σε βασικές κατηγορίες.

Η αποσυσχέτιση των τιμών του RDI επιτυγχάνεται με δύο τρόπους. Αρχικά, πραγματοποιείται η ανάλυση σε κύριες συνιστώσες, σχεδόν στο σύνολο των δεδομένων του ετήσιου RDI (RDI annual), για τα υδρολογικά έτη από το 1982 έως και το 2001 (19 έτη). Η ανάλυση αυτή γίνεται με τον ορθογωνικό μετασχηματισμό των αξόνων της αρχικής πληροφορίας (τιμές του δείκτη), καθώς και με την ανάλυση και κατάτμηση της συνολικής διακύμανσης των δεδομένων. Προκύπτουν 19 συνιστώσες όσα και τα έτη τιμών του δείκτη τα οποία χρησιμοποιούνται ως δεδομένα εισόδου στη διαδικασία. Στη συνέχεια, μελετούνται και αξιολογούνται τα αποτελέσματα της ανάλυσης κυρίων συνιστωσών, βάσει των οποίων προσδιορίζονται και επιλέγονται εκείνες οι συνιστώσες, οι οποίες προσφέρουν σημαντικές πληροφορίες και εξηγούν το μεγαλύτερο ποσοστό της διακύμανσης των δεδομένων, και αυτές χρησιμοποιούνται για την ταξινόμηση και την ομαδοποίηση των τιμών του δείκτη σε κατηγορίες.

Το κριτήριο επιλογής των κυρίων συνιστωσών, όσον αφορά στις ιδιοτιμές (eigenvalues) που προκύπτουν από την επεξεργασία δορυφορικών εικόνων, καθορίζει

κατάλληλες εκείνες τις συνιστώσες με ιδιοτιμές μεγαλύτερες της μονάδας (>1) (Schepers *et al.*, 2004). Ο κυριότερος λόγος έγκειται στην ενδεχόμενη εμφάνιση θορύβου ή σφάλματος στις υπόλοιπες συνιστώσες (<1), εξ αιτίας των ατμοσφαιρικών επιδράσεων κατά τη λήψη του σήματος από τον αισθητήρα του δορυφόρου. Στη συγκεκριμένη εργασία, όμως, τα αρχικά δεδομένα της ανάλυσης (τιμές RDI) δεν αφορούν δεδομένα δορυφορικών αισθητήρων και επομένως δεν παρουσιάζουν κίνδυνο ύπαρξης θορύβου. Τελικά, επιλέγονται οι πέντε πρώτες συνιστώσες της ανάλυσης, παρότι η πέμπτη συνιστώσα είναι μικρότερη της μονάδας, διότι εμφανίζουν σημαντικές χωρικές και χρονικές πληροφορίες για το δείκτη στην περιοχή μελέτης. Όπως φαίνεται και από τα αποτελέσματα της PCA (Πίνακας 7.2), το μεγαλύτερο ποσοστό της διακύμανσης (Variance) συγκεντρώνεται στην πρώτη κύρια συνιστώσα (Eigenchannel) και μειώνεται σταδιακά στις επόμενες συνιστώσες. Το σύνολο της διακύμανσης των δεδομένων για τις πέντε πρώτες συνιστώσες αγγίζει το ποσοστό του 92% (91,68%), το οποίο θεωρείται ιδιαίτερος αξιόλογος καθώς περιέχει το μεγαλύτερο τμήμα της πληροφορίας των αρχικών τιμών του δείκτη. Στον ίδιο Πίνακα παρουσιάζονται και τα αποτελέσματα όλων των συνιστωσών, όσον αφορά τις ιδιοτιμές τους (Eigenvalue) και την απόκλιση τους (Deviation), μετά την αντιστροφή τους (rotation).

Στον Πίνακα 7.3 (πίνακας συνδιακύμανσης) παρουσιάζονται οι τιμές των διανυσμάτων (eigenvectors) της ανάλυσης κυρίων συνιστωσών (rotated) για τις πέντε επιλεγμένες συνιστώσες (PC1 έως και PC5) και για κάθε υδρολογικό έτος τιμών του δείκτη (1982 έως και 2001). Ο ολοκληρωμένος πίνακας, βάσει του προγράμματος Geomatica 103, των διανυσμάτων και για τις 19 συνιστώσες που υπολογίστηκαν, παραθέτονται στο Παράρτημα 7, για κάθε υδρολογικό έτος της επιλεγμένης χρονοσειράς.

Πίνακας 7.2: Διακύμανση κάθε συνιστώσας της ανάλυσης κυρίων συνιστωσών

Eigenchannel	Eigenvalue	Deviation	Variance (%)
1	25,0778	5,0078	71,46%
2	3,4257	1,8509	9,76%
3	1,8011	1,3421	5,13%
4	1,1064	1,0518	3,15%
5	0,7666	0,8755	2,18%
6	0,5786	0,7606	1,65%
7	0,4694	0,6851	1,34%
8	0,4	0,6325	1,14%
9	0,3314	0,5757	0,94%
10	0,2403	0,4902	0,68%
11	0,1931	0,4395	0,55%
12	0,158	0,3975	0,45%
13	0,1278	0,3574	0,36%
14	0,1157	0,3402	0,33%
15	0,085	0,2915	0,24%
16	0,0754	0,2746	0,21%
17	0,0595	0,2439	0,17%
18	0,0492	0,2219	0,14%
19	0,031	0,1761	0,09%

Η μελέτη του Πίνακα 7.3 οδηγεί στο σαφές συμπέρασμα πως η πρώτη συνιστώσα (PC1) της ανάλυσης κυρίων συνιστωσών του δείκτη ξηρασίας συγκεντρώνει όλη τη διακύμανση των δεδομένων, καθώς τα διανύσματα της για ολόκληρη τη χρονοσειρά είναι ομόσημα (παρουσιάζουν ίδιο πρόσημο). Η κάθε μια

από τις άλλες τέσσερις συνιστώσες εμφανίζει διαφοροποιήσεις στο πρόσημο των διανυσμάτων της, οι οποίες ερμηνεύονται ως πληροφορία για το φαινόμενο της ξηρασίας στην περιοχή μελέτης. Το είδος της πληροφορίας που παρέχει η κάθε συνιστώσα διαφέρει και εξαρτάται από τη φύση των δεδομένων εισόδου της ανάλυσης, δηλαδή των τιμών του ετήσιου δείκτη ξηρασίας RDI. Η ερμηνεία τους βασίζεται στα στατιστικά που εξάγονται από την ανάλυση, στους αντίστοιχους χάρτες των συνιστωσών αυτών, καθώς και στους χάρτες του ετήσιου RDI για κάθε υδρολογικό έτος.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, η δεύτερη συνιστώσα (PC2) παρέχει κυρίως χρονική πληροφορία καθώς επισημαίνει το υδρολογικό εκείνο έτος (1992-93), το οποίο ήταν ιδιαίτερος ξηρό σε σχέση με τα υπόλοιπα υδρολογικά έτη της σειράς των δεδομένων. Παρατηρείται στον Πίνακα 7.3 η αλλαγή του πρόσημου στο συγκεκριμένο έτος. Επιπλέον, συνεισφέρει και σε χωρικές πληροφορίες καθώς υποδηλώνει έντονη ξηρασία σε ένα μεγάλο ποσοστό της περιοχής μελέτης. Ο χάρτης της συνιστώσας αυτής (Εικόνα 7.21) εμφανίζει με σκούρο χρώμα τις περιοχές όπου το έτος αυτό παρουσιάζει έντονη ξηρασία, σε αντίθεση με εκείνες οι οποίες είναι λιγότερο ξηρές (λευκό χρώμα). Ιδιαίτερη έμφαση, δίνεται στην περιοχή της Πίνδου η οποία παρουσιάζεται έντονα ξηρή κατά το έτος αυτό, επιδεικνύοντας μια μη αναμενόμενη συμπεριφορά. Το γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως στο σημαντικό έλλειμμα βροχόπτωσης στην περιοχή αυτή κατά το συγκεκριμένο υδρολογικό έτος σε σχέση με την μέση κλιματική τιμή βροχής της περιοχής.

Πίνακας 7.3: Πίνακας συνδιακύμανσης συνιστωσών ανάλυσης κυρίων συνιστωσών

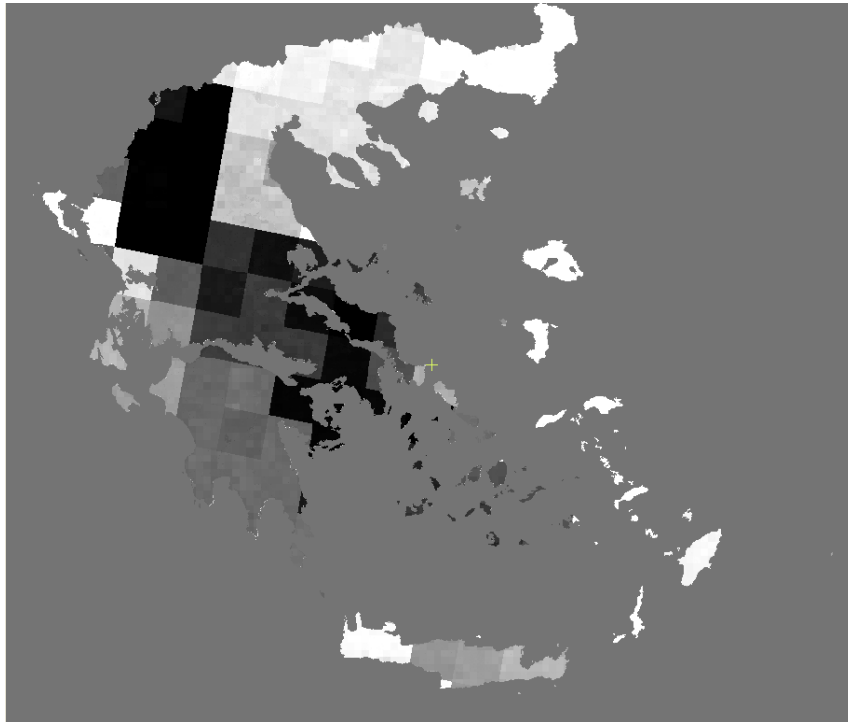
A/A	Υδρολογικά έτη	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
1	1982-83	0,21719	-0,21139	-0,22244	-0,18778	-0,11119
2	1983-84	0,19979	-0,22228	0,07336	-0,07204	0,11776
3	1984-85	0,23201	-0,44866	0,71884	0,16171	-0,13312
4	1985-86	0,21595	-0,33443	-0,20252	0,11995	0,17003
5	1986-87	0,21771	-0,25736	-0,28833	0,43902	-0,04028
6	1987-88	0,2147	-0,12307	-0,12829	0,11744	-0,05293
7	1988-89	0,23724	-0,04329	-0,17156	0,01515	-0,38073
8	1989-90	0,26058	-0,13881	-0,15949	-0,34753	-0,42039
9	1990-91	0,20961	-0,24184	-0,19323	-0,25575	0,58459
10	1991-92	0,24226	-0,01305	0,21853	-0,1029	0,13123
11	1992-93	0,25576	0,14511	0,19944	-0,30419	0,18401
12	1993-94	0,22658	0,1591	-0,00192	-0,05055	-0,13086
13	1994-95	0,22157	0,23894	0,0869	-0,02185	0,1666
14	1995-96	0,2204	0,20834	-0,02509	0,25025	0,31172
15	1996-97	0,23905	0,23797	0,25419	0,18274	-0,05605
16	1997-98	0,23325	0,26682	0,05564	-0,35986	-0,13429
17	1998-99	0,22002	0,24548	-0,07565	0,1331	0,14908
18	1999-00	0,2468	0,17241	-0,15359	-0,05289	-0,08453
19	2000-01	0,23843	0,25867	-0,05343	0,41701	-0,1249

Μελετώντας τα ιδιοδιανύσματα της τρίτης συνιστώσας (PC3) παρατηρούνται σημαντικές διαφοροποιήσεις στα πρόσημα τους. Συμπεραίνεται, επομένως, πως η συνιστώσα αυτή παρέχει ένα μεγάλο όγκο πληροφορίας όσον αφορά στο φαινόμενο στην περιοχή μελέτης. Βάσει του χάρτη της PC3 (Εικόνα 7.22) και των δεδομένων του ετήσιου δείκτη ξηρασίας (RDI annual), εξάγεται το συμπέρασμα πως η τρίτη συνιστώσα προσφέρει χωρικές κυρίως πληροφορίες, καθώς ομαδοποιεί τη συμπεριφορά των νησιών του Αιγαίου με εκείνης του βόρειου τμήματος του Έβρου και της Κρήτης. Επιπρόσθετα, παρέχει και χρονικές πληροφορίες εφόσον παρουσιάζει εναλλαγές στα πρόσημα των διανυσμάτων της (Πίνακας 7.3) σε συγκεκριμένα έτη στα οποία οι ξηρές συνθήκες διαδέχονται τις υγρές και αντίστροφα.

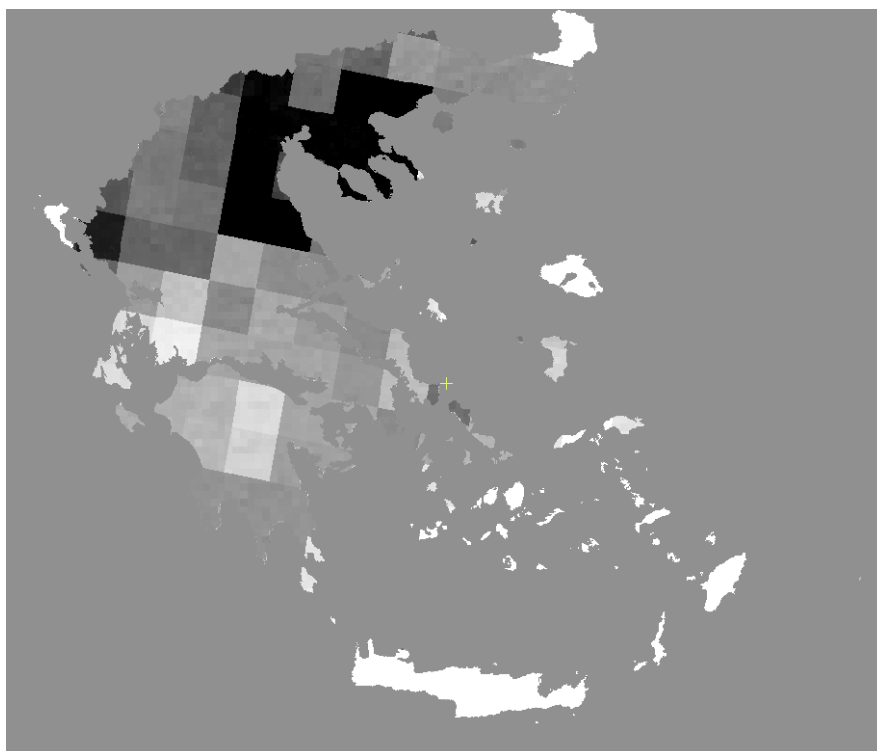
Η τέταρτη κατά σειρά συνιστώσα της ανάλυσης (PC4) παρέχει επίσης πρόσθετες χωρικές και χρονικές πληροφορίες, δίνοντας μεγαλύτερη έμφαση στις λεπτομέρειες σε ορισμένες υποπεριοχές της περιοχής μελέτης. Οι εντονότερες διαφορές στα πρόσημα των διανυσμάτων του Πίνακα συνδιακύμανσης παρουσιάζονται στα υδρολογικά έτη 1984-85 και 1989-90. Τα αποτελέσματα αυτά θεωρούνται σημαντικά και οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η συνιστώσα αυτή εντοπίζει τα έντονα επεισόδια ξηρασίας σε μικρότερα τμήματα της περιοχής μελέτης (υποπεριοχές), καθώς επίσης και τα έτη στα οποία αυτές εμφανίζονται. Ο χάρτης της PC4 παρουσιάζεται στην Εικόνα 7.23.

Τέλος, η πέμπτη συνιστώσα (PC5) παρέχει κυρίως χρονική πληροφορία εστιάζοντας σε μικρές αλλά έντονες διαφορές σε συγκεκριμένα υδρολογικά έτη, όπου σε αυτά ορισμένες περιοχές παρουσιάζουν παρόμοια συμπεριφορά. Έτσι, παρατηρούνται διαφορές ανάμεσα στα υδρολογικά έτη 1982-83 και 1983-84, 1990-91 και 1992-93 για τις περιοχές της Πίνδο ν της δυτικής Στερεάς Ελλάδας και Πελοποννήσου, στα υδρολογικά έτη 1984-85 και 1985-86 για τις περιοχές της Κρήτης, της ανατολικής Στερεάς Ελλάδας και της Θεσσαλίας, και στα υδρολογικά έτη 1994-95 και 1996-97 για τις περιοχές των νησιών του Αιγαίου και του βόρειου Έβρου. Οι διαφορές αυτές απεικονίζονται και στο χάρτη της PC5 στην Εικόνα 7.24. Οι χάρτες και των πέντε επιλεγμένων κύριων συνιστωσών της ανάλυσης παρουσιάζονται στο Παράρτημα 8.

Συνοψίζοντας, τα αποτελέσματα της ανάλυσης κυρίων συνιστωσών παρουσιάζονται σαφή και με ιδιαίτερη καθαρότητα. Η PC1 συγκεντρώνει το μεγαλύτερο μέρος της διακύμανσης, ενώ κάθε μια από τις επόμενες συνιστώσες προσφέρει σε πληροφορία και εστιάζει σε περισσότερες λεπτομέρειες όσον αφορά στο φαινόμενο, εμφανίζοντας θετική κλιμάκωση της προστιθέμενης αυτής πληροφορίας.



Εικόνα 7.21: Χάρτης της PC2 συνιστώσας της ανάλυσης κυρίων συνιστωσών



Εικόνα 7.22: Χάρτης της PC3 συνιστώσας της ανάλυσης κυρίων συνιστωσών



Εικόνα 7.23: Χάρτης της PC4 συνιστώσας της ανάλυσης κυρίων συνιστωσών



Εικόνα 7.24: Χάρτης της PC5 συνιστώσας της ανάλυσης κυρίων συνιστωσών

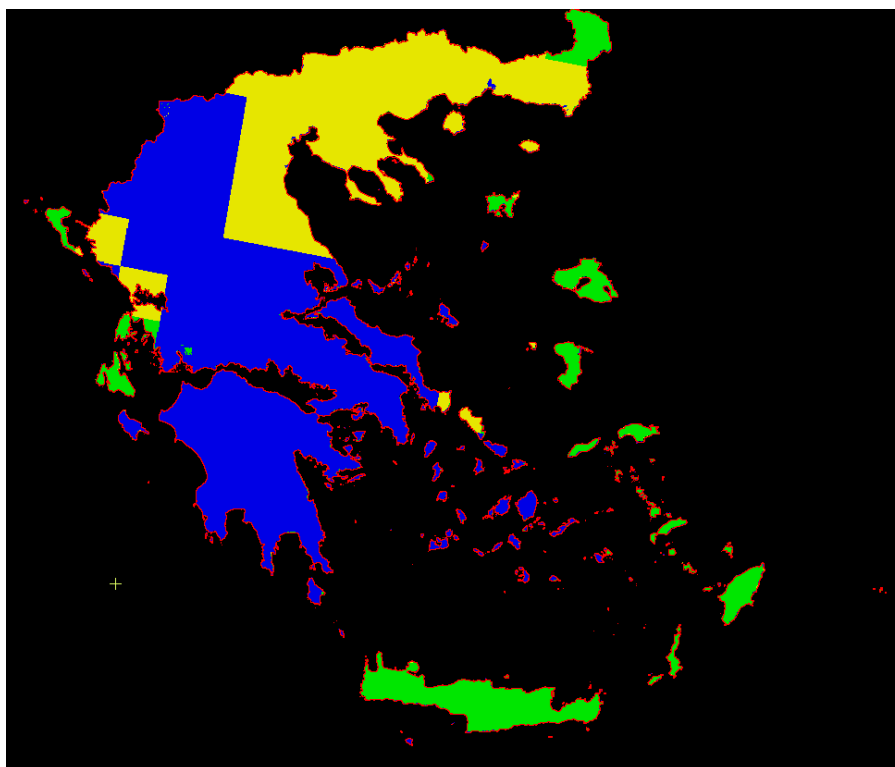
7.4. Αποτελέσματα της Ανάλυσης κατά συστάδες (Cluster Analysis) του δείκτη RDI

Για τη συσταδοποίηση (clustering) των αποτελεσμάτων της ανάλυσης κυρίων συνιστωσών, τελικά, επιλέγονται οι έξι πρώτες συνιστώσες, οι οποίες εμφανίζουν σημαντικά στοιχεία. Μεγάλο όγκο πληροφορίας, κυρίως, παρέχουν οι πέντε πρώτες συνιστώσες, αλλά για την ανάπτυξη της ανάλυσης κατά συστάδες (cluster analysis), επιλέγεται και η έκτη, εφόσον από τους πίνακες της PCA φαίνεται πως και η PC6 προσφέρει πληροφορίες. Η ανάλυση κατά συστάδες πραγματοποιείται με χρήση του αλγόριθμου της Ευκλείδειας απόστασης των κλάσεων, οποίος κατηγοριοποιεί χωρικά τις περιοχές, που εμφανίζουν παρεμφερή συμπεριφορά. Ο αριθμός και το είδος των κλάσεων δεν είναι εκ των προτέρων γνωστός και για το λόγο αυτό πραγματοποιούνται ορισμένες δοκιμαστικές εφαρμογές της διαδικασίας, με διαφορετικό αριθμό ομάδων και επαναλήψεων του αλγορίθμου. Ως μια πρώτη προσέγγιση, η περιοχή ταξινομείται σε 3 κλάσεις, με τη συμβολή των συνιστωσών 2,

3, 4, 5 και 6, χρησιμοποιώντας το κριτήριο K-means και με την επιλογή των δέκα επαναλήψεων του αλγορίθμου της ανάλυσης, οδηγώντας στο χάρτη της Εικόνας 7.25.

Τα στατιστικά που προκύπτουν από τη προσέγγιση αυτή παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.4, τα οποία υποδηλώνουν μεγάλη διαχωριστικότητα μεταξύ των κλάσεων, εφόσον στις περισσότερες περιπτώσεις τα πρόσημα για κάθε συνιστώσα σε κάθε κλάση είναι αντίστροφα. Ακόμη και όταν οι τιμές του μέσου όρου της ίδιας συνιστώσας έχουν το ίδιο πρόσημο μεταξύ των κλάσεων, η διακριτοποίηση δε χάνεται καθόσον η διαφορά μεταξύ των τυπικών αποκλίσεων τους είναι μεγάλη.

Η συσταδοποίηση του χάρτη συνοψίζει σε γενικές γραμμές τα αποτελέσματα της ανάλυσης κυρίων συνιστωσών, που έχει προηγηθεί, και κατηγοριοποιεί την περιοχή μελέτης σε τρεις μεγάλες βασικές κατηγορίες, η κάθε μια εκ των οποίων περιλαμβάνει περιοχές με ομοιότητες στη συμπεριφορά τους, όσον αφορά στο φαινόμενο της ξηρασίας για τα υδρολογικά έτη της χρονοσειράς. Παρατηρείται πως η συγκεκριμένη κατηγοριοποίηση εμφανίζει καλή προσαρμογή σε σχέση με τη γενική κλιματική κατηγοριοποίηση της Ελλάδας, που έχει επικρατήσει βάσει προγενέστερης έρευνας (Μαριολόπουλος, 1938), όσον αφορά στα νησιά του κεντρικού και νότιου Αιγαίου πελάγους. Δε συμπίπτει, όμως, με τον ίδιο τρόπο και για τις υπόλοιπες περιοχές.



Εικόνα 7.25: Ανάλυση κατά συστάδες (Cluster Analysis) τριών κλάσεων

Πίνακας 7.4: Βασικά στατιστικά στοιχεία ανάλυσης κατά συστάδες με τρεις κλάσεις

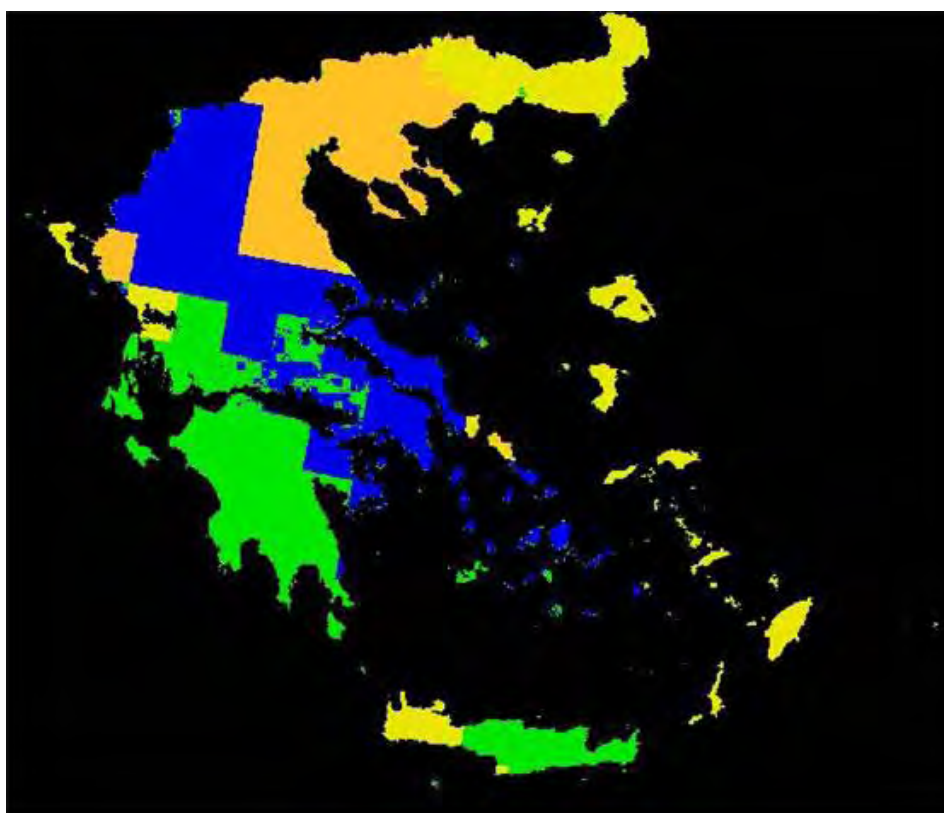
Classification Algorithm: K-Means

Number of Clusters: 3

Cluster	Pixels	Mean Position	Std Dev
(1) (Πράσινο)	74844	1.93380	1.23748
		2.18327	0.68340
		0.00458	1.65674
		-0.17735	0.75501
		-0.48133	0.50031
(2) (Μπλε)	293674	-1.45711	0.93687
		0.15749	0.58671
		0.00487	0.72908
		0.17670	0.84415

		0.04756	0.64409
(3)	159663	1.77362	0.44305
(Κίτρινο)		-1.31312	1.04966
		-0.01110	1.18127
		-0.24187	0.90957
		0.13816	0.94959
Σύνολο	528181		

Στη συνέχεια, η ανάλυση κατά συστάδες εφαρμόζεται με το διαχωρισμό των αποτελεσμάτων σε τέσσερις κατηγορίες, με τη χρήση των ίδιων συνιστωσών με την προηγούμενη συσταδοποίηση. Το κριτήριο των K-means δε λειτούργησε για αυτόν τον αριθμό των κλάσεων, με την επιλογή των δέκα επαναλήψεων, και για το λόγο αυτό ο αριθμός των επαναλήψεων ανέβηκε στις 16. Τα αποτελέσματα της κατηγοριοποίησης εμφανίζονται στην Εικόνα 7.26, ενώ τα βασικά στατιστικά που προκύπτουν παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.5.



Εικόνα 7.26: Ανάλυση κατά συστάδες (Cluster Analysis) τεσσάρων κλάσεων

Από το χάρτη της συσταδοποίησης με τέσσερις κλάσεις, παρατηρείται η ομαδοποίηση κοινής συμπεριφοράς της Ανατολικής Ελλάδας με τη Δυτική Κρήτη, της Πελοποννήσου μαζί με την υπόλοιπη Κρήτη, της Ηπείρου με την Ανατολική Στερεά Ελλάδα, και της Κεντρικής Θεσσαλίας με τη Κεντρική Μακεδονία. Μελετώντας τα αποτελέσματα του δείκτη RDI με δορυφορικά δεδομένα, συμπεραίνεται πως η κατηγοριοποίηση αυτή δεν συγκεντρώνει μόνο τη χωρική κατανομή του φαινομένου, αλλά επιπλέον εμφανίζει και τη χρονική κατανομή της ακραίας ξηρασίας κατά τα πιο ξηρά έτη της χρονοσειράς. Συγκεκριμένα, κατά το υδρολογικό έτος 1992-93, η ξηρασία παρουσιάζει παρόμοια κατανομή με αυτή την κατηγοριοποίηση, ομαδοποιώντας τις περιοχές, ανάλογα με τη δριμύτητα του φαινομένου, περίπου κατά τον ίδιο τρόπο. Ο Πίνακας των βασικών στατιστικών της ανάλυσης αυτής (Πίνακας 7.5) εμφανίζει μια εξίσου καλή διαχωριστικότητα μεταξύ των κλάσεων, για κάθε συνιστώσα, υποδηλώνοντας σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις τέσσερις κατηγορίες που παρήχθησαν.

Πίνακας 7.5: Βασικά στατιστικά στοιχεία ανάλυσης κατά συστάδες με τέσσερις κλάσεις

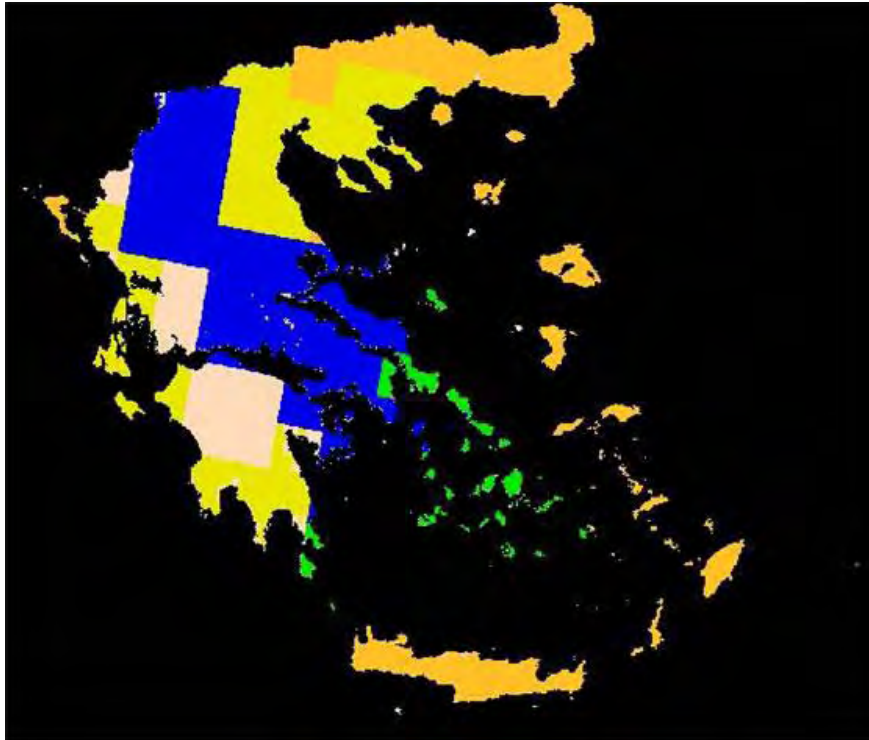
Classification Algorithm: K-Means

Number of Clusters: 4

Cluster	Pixels	Mean Position	Std Dev
(1) (Πράσινο)	148586	-0.29488	0.61744
		0.84105	0.83436
		0.81213	0.58597
		0.71149	0.86006
		0.09346	0.46404
(2) (Μπλε)	174320	-2.09829	0.57613
		-0.08697	0.53772
		-0.43216	0.58964
		-0.37444	0.50373

		-0.07003	0.74620
(3)	92446	2.40555	0.72515
(Κίτρινο)		1.07933	1.20064
		-1.09431	1.21752
		-0.22128	0.87315
		0.15103	0.98652
(4)	112829	1.65920	0.42380
(Πορτοκαλί)		-1.85757	0.73381
		0.49479	0.76952
		-0.17715	0.80181
		-0.13863	0.84272
Σύνολο	528181		

Τέλος, η ανάλυση κατά συστάδες, πραγματοποιείται με τον καθορισμό πέντε κλάσεων (Εικόνα 7.27) και την επιλογή δέκα επαναλήψεων. Η κατηγοριοποίηση γίνεται σύμφωνα με τις ίδιες συνιστώσες με αυτές των προηγούμενων προσεγγίσεων (2,3,4,5 και 6). Παρατηρείται, πως διαχωρίζει με περισσότερη λεπτομέρεια και ευκρίνεια τη χωρική κατανομή των γενικών κλιματικών χαρακτηριστικών της Ελλάδας, ομαδοποιώντας τις Κυκλάδες με τα Κύθηρα, την Ανατολική Ελλάδα, τη Δυτική Ελλάδα, τη Κεντρική Ελλάδα, καθώς και το τόξο της Ηπείρου με την Ανατολική Στερεά Ελλάδα. Η κατηγοριοποίηση δεν φαίνεται να λειτουργεί επιτυχώς στην Κρήτη, όπου παρουσιάζεται παρόμοια συμπεριφορά με εκείνη της Ανατολικής Ελλάδας. Τα στατιστικά της συσταδοποίησης αυτής παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.6.



Εικόνα 7.27: Ανάλυση κατά συστάδες (Cluster Analysis) πέντε κλάσεων

Ο Πίνακας 7.6 εμφανίζει σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ των πέντε κλάσεων. Τα πρόσημα για κάθε συνιστώσα σε κάθε κλάση είναι ως επί το πλείστον αντίστροφα, και οι διαφορές ανάμεσα στην τυπική απόκλιση τους είναι αισθητές. Περισσότερο έντονη είναι η διακριτοποίηση μεταξύ της τέταρτης και της πέμπτης κατηγορίας.

Εν κατακλείδι, η τελευταία προσέγγιση της ανάλυσης κατά συστάδες θεωρείται η περισσότερο ολοκληρωμένη και αντιπροσωπευτική για την περιοχή της Ελλάδας, όσον αφορά στην κατηγοριοποίηση της ξηρασίας για τη συγκεκριμένη σειρά ετών των 19 υδρολογικών ετών.

Πίνακας 7.6: Βασικά στατιστικά στοιχεία ανάλυσης κατά συστάδες με πέντε κλάσεις

Classification Algorithm: K-Means

Number of Clusters: 5

Cluster	Pixels	Mean Position	Std Dev
(1) (Πράσινο)	16995	-0.67833 1.10584 -1.00775 -0.36391 -1.56960	0.69443 0.92025 0.83688 0.47800 0.71886
(2) (Μπλε)	174981	-2.13519 -0.11323 -0.30957 -0.31793 0.06497	0.48922 0.37351 0.57103 0.49690 0.63969
(3) (Κίτρινο)	134515	1.12885 -1.40127 0.41680 0.51331 -0.27162	0.87375 1.18055 0.66005 0.65848 0.44462
(4) (Πορτοκαλί)	127582	2.07536 1.14424 -0.24135 -0.64019 0.26072	0.92346 1.32112 1.65165 0.80808 0.98020
(5) (Ροζ)	74108	-0.42478 0.58734 0.62099 1.00455 0.25075	0.32742 0.55217 0.45512 0.67445 0.37038
Σύνολο	528181		

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ- ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται περιληπτικά τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθόδου εκτίμησης της περιοχικής ξηρασίας στην Ελλάδα. Επίσης, προτείνονται ορισμένοι τρόποι και τεχνικές βελτίωσης της υπάρχουσας μεθοδολογίας.

8.1. Συμπεράσματα

Τα συμπεράσματα της παρούσας διατριβής αναφέρονται σε δύο βασικές κατηγορίες. Σε αυτά που αφορούν στη δομή της μεθοδολογίας που αναπτύσσεται και σε αυτά που προκύπτουν από την εφαρμογή της.

Ο στόχος της διδακτορικής διατριβής είναι η εκτίμηση του φαινομένου της ξηρασίας, χωρικά (περιοχική εκτίμηση), με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων. Όπως επισημαίνεται και σε προηγούμενο κεφάλαιο (Κεφάλαιο 4^ο), υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός δεικτών ξηρασίας, οι οποίοι υπολογίζουν χωρικά το φαινόμενο και χρησιμοποιούν δεδομένα από ένα πλήθος δορυφόρων, ανάλογα με τις απαιτήσεις της εκάστοτε έρευνας. Ο απώτερος σκοπός, εντούτοις, της συγκεκριμένης έρευνας, είναι η χρήση ενός δείκτη, όσο το δυνατόν περισσότερο ολοκληρωμένου, αλλά επίσης εύχρηστου και με λογική απαίτηση σε δεδομένα. Ο δείκτης που επιλέχθηκε και παρουσιάζει τα χαρακτηριστικά αυτά είναι ο αναγνωριστικός δείκτης ξηρασίας RDI.

Ο RDI έχει εφαρμοστεί επιτυχώς σε περιοχές της Μεσογείου, χρησιμοποιώντας επίγειες μετρήσεις θερμοκρασίας και βροχόπτωσης. Το καινοτόμο στοιχείο, στην παρούσα έρευνα, είναι η ανάπτυξη του δείκτη αυτού με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων (εικόνων) ολόκληρου του Ελλαδικού χώρου. Μέχρι την παρούσα εφαρμογή, ο δείκτης RDI υπολογίζονταν με τη βοήθεια της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής της μεθόδου Thornthwaite. Στη συγκεκριμένη εργασία, όμως, ο δείκτης υπολογίζεται με τη χρήση της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής των Blaney-Criddle, η οποία λαμβάνει υπόψη κατά τον υπολογισμό της την κατανομή και την κατάσταση της βλάστησης σε μια περιοχή καθώς και τις χρήσεις γης. Η Blaney-Criddle δυνητική εξατμισοδιαπνοή θεωρείται καταλληλότερη για τις Μεσογειακές περιοχές, διότι είχε αναπτυχθεί για πρώτη φορά σε παρόμοιες κλιματικές συνθήκες.

Επιπλέον, στο τελευταίο στάδιο της έρευνας αυτής, γίνεται η προσπάθεια γενίκευσης του δείκτη, με την ανάλογη στατιστική επεξεργασία, με σκοπό τη δυνατότητα εφαρμογής του σε οποιαδήποτε περιοχή μελέτης.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται κατά την ανάπτυξη της μεθοδολογίας περιλαμβάνουν δορυφορικές εικόνες του δορυφόρου NOAA/ AVHRR, χωρικής διακριτικής ικανότητας $8 \times 8 \text{ km}^2$, των παραμέτρων της θερμοκρασίας επιφανείας εδάφους, καθώς και του δείκτη βλάστησης NDVI, για κάθε δεκαήμερο από τον Οκτώβριο του 1981 έως και το Σεπτέμβριο του 2001. Επίσης, χρησιμοποιούνται στοιχεία των φυτικών συντελεστών, των ποσοστών ηλιοφάνειας και των χρήσεων γης της Ελλάδας, από τη διεθνή βιβλιογραφία, τα οποία είναι απαραίτητα για τον υπολογισμό της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, καθώς και ημερήσια επίγεια δεδομένα βροχόπτωσης, κατανεμημένα στον Ελλαδικό χώρο, με μέγεθος φατνίου $50 \times 50 \text{ km}^2$ (JRC, Ispra), από το 1975 έως και το 2005. Τα δεδομένα βροχόπτωσης χρησιμοποιούνται στην τελική διαδικασία χωρικής εκτίμησης του δείκτη. Για τον έλεγχο της αξιοπιστίας του δείκτη RDI με δορυφορικά δεδομένα, πραγματοποιείται η εκτίμηση της σημειακής ξηρασίας με τον ίδιο δείκτη (RDI), καθώς και με το δείκτη δριμύτητας ξηρασίας (PDSI) του Palmer, χρησιμοποιώντας επίγειες μετρήσεις δεδομένων σε επιλεγμένες περιοχές της Ελλάδας.

Η μεθοδολογία εκτίμησης του δείκτη με δορυφορικά δεδομένα αναπτύσσεται με τη βοήθεια του προγράμματος επεξεργασίας εικόνων Erdas Imagine 9.1 καθώς και σε περιβάλλον Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ArcMap 9.1). Η δυσκολία που παρουσιάζεται κατά την εφαρμογή, αφορά την κατανομή των φυτικών συντελεστών των καλλιεργειών σε όλη την Ελλάδα, με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη λεπτομέρεια. Το πρόβλημα της κατανομής αυτής ξεπεράστηκε με τη χρήση της βάσης δεδομένων του Corine Hellas 2000 (European Topic Centre on Land use and Spatial Information). Επίσης, οι τιμές της βροχόπτωσης των $50 \times 50 \text{ km}^2$, παρουσιάζουν μεγάλο μέγεθος φατνίου, μειώνοντας τη λεπτομέρεια στα τελικά αποτελέσματα, και επηρεάζοντας την τελική απεικόνιση των χαρτών του δείκτη RDI. Οι τιμές, όμως, αυτές δεν δημιουργούν ιδιαίτερο πρόβλημα στην εκτέλεση της μεθοδολογίας, διότι το μέγεθος του κάθε φατνίου των χαρτών βροχόπτωσης ελαττώνεται σημαντικά, κατά το συγκερασμό του με τα εικονοστοιχεία των χαρτών του φυτικού συντελεστή της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, τα οποία έχουν υπολογιστεί ανά $500 \times 500 \text{ m}^2$, προσφέροντας μεγαλύτερη λεπτομέρεια εντός κάθε

pixel του δείκτη RDI. Σε γενικές γραμμές, η μέθοδος εκτίμησης της χωρικής ξηρασίας με το συγκεκριμένο δείκτη αναπτύσσεται ικανοποιητικά, λαμβάνοντας υπόψη τις τυχόν παραμέτρους που θα μπορούσαν να επηρεάσουν τα αποτελέσματα του RDI.

Ο δείκτης RDI, με δορυφορικά δεδομένα, υπολογίζεται για διάφορες χρονικές διάρκειες (3, 6, 9, 12 μήνες), καθώς και σε μηνιαία βάση. Ο υπολογισμός του δείκτη για κάθε διάρκεια οδηγεί στη δημιουργία 320 συνολικά χαρτών RDI (240 μηνιαίους, και από 20 για κάθε χρονική περίοδο των άλλων υπολογισμένων διαρκειών), στους οποίους η ξηρασία κατηγοριοποιείται ανάλογα της δριμύτητας της και της κλίμακας τιμών του δείκτη. Η μηνιαία εκτίμηση του RDI προσφέρει τη δυνατότητα μελέτης της χρονικής μεταβολής του φαινομένου ακόμα και μέσα στη διάρκεια ενός υδρολογικού έτους, ενώ η εκτίμηση του δείκτη για τις υπόλοιπες χρονικές περιόδους (3, 6, 9, 12 μήνες), συντελεί στην παρακολούθηση της εποχικής διακύμανσης της ξηρασίας, για κάθε διαφορετική εποχή (χειμερινή, εαρινή, θερινή και φθινοπωρινή περίοδο), για το σύνολο της σειράς των δεδομένων.

Οι τιμές του δείκτη για το πρώτο τρίμηνο (Οκτώβριο έως Δεκέμβριο) όλης της χρονοσειράς, επισημαίνουν ως πιο ακραία ξηρό υδρολογικό έτος, το έτος 1999-2000 στις περισσότερες περιοχές της επικράτειας. Με την προσθήκη και των τριών επόμενων μηνών (Ιανουάριο έως και Μάρτιο) συμπληρώνονται τα πρώτα εξάμηνα των ετών, στα οποία η ξηρασία εμφανίζει έντονα επεισόδια (εκτός από το 1999-2000) και στο έτος 1992-1993. Για τους πρώτους εννέα μήνες, στα πιο ξηρά υδρολογικά έτη προστίθεται και το έτος 1989-1990 ενώ κατά την ετήσια εκτίμηση του δείκτη (12 μήνες), στα έτη με ακραία επεισόδια ξηρασίας έρχεται να προστεθεί και το υδρολογικό έτος 1984-85, όπου φαίνεται έξαρση του φαινομένου σε αρκετές περιοχές. Γενικά, τα πέντε αυτά υδρολογικά έτη (1984-1985, 1989-1990, 1992-1993, 1999-2000 και 2000-2001), διακρίνονται από το σύνολο των δεδομένων ως τα έτη όπου η ξηρασία παρουσιάζει ιδιαίτερη δριμύτητα σε μεγάλο τμήμα της Ελλάδας. Η κατανομή των ακραίων τιμών του φαινομένου, καθώς και οι μεταβολές στη δριμύτητα του, ανά περιοχή, έχουν άμεση σχέση με το γεωγραφικό ανάγλυφο κάθε περιοχής και την χρονική περίοδο (π.χ. εποχή) για την οποία υπολογίζεται ο δείκτης RDI.

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του δείκτη RDI με δορυφορικά δεδομένα υλοποιείται μέσω της σύγκρισης των χαρακτηριστικών της ξηρασίας, τα οποία

προσδιορίζονται με τον ίδιο δείκτη (RDI), καθώς και με το δείκτη δριμύτητας ξηρασίας PDSI, οι οποίοι έχουν εκτιμηθεί με χρήση επίγειων στοιχείων σε επιλεγμένες περιοχές της Ελλάδας (Λάρισα, Ελληνικό, Νάξος και Ηράκλειο). Η σύγκριση αυτών των τριών δεικτών ξηρασίας στην περιοχή παρουσιάζει εξαιρετικά αποτελέσματα. Τα επεισόδια ξηρασίας, η διάρκεια καθώς και η δριμύτητα τους επισημαίνονται και από τους τρεις δείκτες (δύο με επίγεια δεδομένα και ένα με δορυφορικά) με τον ίδιο τρόπο. Η σύγκριση του RDI με επίγεια δεδομένα και του PDSI είναι ιδιαίτερα επιτυχής, με τον προσδιορισμό των ίδιων επεισοδίων ξηρασίας και την κατάταξή τους στην ίδια ή γειτονική κατηγορία (μέτρια, έντονη, ακραία), σε όλες τις περιοχές ελέγχου. Στη συνέχεια, τα διαγράμματα σύγκρισης των δύο δεικτών RDI (δορυφορικού και επίγειου) παρουσιάζουν και σχηματικά την πολύ καλή μεταξύ τους προσαρμογή, σε ολόκληρη τη χρονοσειρά των αποτελεσμάτων και στις τέσσερις επιλεγμένες περιοχές, με περισσότερες ομοιότητες στις ακραίες τιμές του δείκτη (υγρές ή ξηρές), όπου οι δύο δείκτες RDI φαίνονται σχεδόν να ταυτίζονται. Ορισμένες επιμέρους διαφορές μεταξύ του RDI με επίγεια δεδομένα και του RDI με δορυφορικά δεδομένα, είναι κατανοητές και μπορούν να ερμηνευτούν λόγω της διαφορετικής μορφής των δεδομένων εισόδου (επίγεια, δορυφορικά). Επιπλέον, οι αποκλίσεις αυτές δεν επηρεάζουν σημαντικά τα αποτελέσματα ώστε να μεταβάλλουν τη δριμύτητα της ξηρασίας που εκτιμάται από τους δύο δείκτες.

Η ανάλυση κυρίων συνιστωσών (PCA) καθώς και η ανάλυση κατά συστάδες (Cluster Analysis), που πραγματοποιείται στο τελικό στάδιο της επεξεργασίας των τιμών του δείκτη RDI, έχει ως αποτέλεσμα τη γενίκευση του συγκεκριμένου δείκτη και παρέχει τη δυνατότητα χρήσης του σε οποιαδήποτε περιοχή και βάση δεδομένων. Το σημαντικότερο όγκο πληροφορίας παρέχουν οι πέντε πρώτες συνιστώσες της PCA. Η πρώτη συνιστώσα (PC1) των τιμών του RDI, συγκεντρώνει το μεγαλύτερο μέρος της διακύμανσης, ενώ κάθε μια από τις άλλες τέσσερις συνιστώσες εστιάζει σε διαφορετική πληροφορία για το φαινόμενο. Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι η PC2 προσφέρει κυρίως πληροφορίες για το χρονικό σημείο εμφάνισης του πιο ξηρού έτους μιας συγκεκριμένης χρονοσειράς. Σημαντικά στοιχεία για τη χωρική εξάπλωση του φαινομένου εξάγονται από τη συνιστώσα PC3, ενώ η PC4 επικεντρώνεται στις λεπτομέρειες, παρέχοντας χωρικές και χρονικές πληροφορίες όσον αφορά στην έξαρση της ξηρασίας, για υποπεριοχές της ευρύτερης περιοχής που μελετάται. Τέλος, σημαντικές χρονικές πληροφορίες παρουσιάζει η πέμπτη συνιστώσα (PC5), η οποία

εστιάζει στις χρονικές περιόδους της σειράς των δεδομένων, όπου ορισμένα τμήματα της περιοχής συμπεριφέρονται με παρόμοιο τρόπο.

Η τελική κατηγοριοποίηση (συσταδοποίηση) των τιμών του δείκτη RDI υλοποιείται με τη μέθοδο της ανάλυσης κατά συστάδες (Cluster) και συγκεκριμένα με χρήση του αλγόριθμου της Ευκλείδειας απόστασης. Οι τιμές ταξινομούνται, με βάση τη συμπεριφορά που παρουσιάζουν, σε ανάλογες κλάσεις με παρεμφερή χαρακτηριστικά. Η συσταδοποίηση σε τρεις κλάσεις παρουσιάζει σημαντική διαχωριστικότητα, και διακρίνει επιτυχώς τις νησιωτικές περιοχές της Ελλάδας. Η εφαρμογή της ανάλυσης κατά συστάδες για τέσσερις κατηγορίες, παρουσιάζει απαίτηση σε μεγαλύτερο αριθμό επαναλήψεων του αλγορίθμου διακριτοποίησης. Εντούτοις, εμφανίζει ικανοποιητική προσαρμογή στην κατηγοριοποίηση περιοχών της ηπειρωτικής Ελλάδας, όχι μόνο χωρικά αλλά και χρονικά όσον αφορά στα ακραία επεισόδια ξηρασίας στις περιοχές αυτές. Η τελευταία προσέγγιση της ανάλυσης κατά συστάδες, διαχωρίζει με περισσότερη λεπτομέρεια και ευκρίνεια τις περιοχές που εμφανίζουν κοινά κλιματικά χαρακτηριστικά, όπως αυτά έχουν επικρατήσει από προγενέστερη έρευνα στον Ελλαδικό χώρο, και εμφανίζεται ως η περισσότερο αντιπροσωπευτική για την κατηγοριοποίηση της ξηρασίας.

Εν κατακλείδι, τα αποτελέσματα της συνολικής μεθοδολογίας και επεξεργασίας των τιμών του δείκτη RDI με δορυφορικά δεδομένα, αξιολογούνται θετικά και αποδεικνύουν τη δυνατότητα χρήσης του δείκτη αυτού για την περιοχική εκτίμηση της ξηρασίας καθώς και την παρακολούθηση της χωρικής και χρονικής εξέλιξης του φαινομένου. Η εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθοδολογίας παρουσιάζει καινοτομία, καθόσον αναπτύσσεται για πρώτη φορά. Επιπλέον, η δυνατότητα χρήσης της σε οποιαδήποτε περιοχή και βάση δεδομένων καθιστά τη μεθοδολογία αυτή ένα σημαντικό εργαλείο για γενικευμένη εφαρμογή χωρικής εκτίμησης της ξηρασίας. Σημαντικό ρόλο στη χωρική εκτίμηση της ξηρασίας έχει η χρήση της Τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Τις τελευταίες δεκαετίες και κυρίως μετά το 1990, παρουσιάζεται μια σημαντική ανάπτυξη της τεχνολογίας και της τεχνογνωσίας, η οποία καθιστά τις μεθόδους αυτές περισσότερο αξιόπιστες όχι μόνο στην ταξινόμηση και στην απεικόνιση δεδομένων, αλλά και στην εκτίμηση παραμέτρων (π.χ. ξηρασία, βροχόπτωση). Επίσης, η καλύτερη χωρική διακριτική ικανότητα των δορυφορικών δεδομένων των δορυφόρων νέας γενιάς συμβάλλει στη βελτίωση της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων.

8.2. Προτάσεις

Η χωρική διακριτική ικανότητα των δορυφορικών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν, κρίνεται ικανοποιητική για τις ανάγκες της παρούσας εφαρμογής. Η πιθανή χρήση, όμως, χρονοσειράς δορυφορικών εικόνων με μεγαλύτερη χωρική διακριτική ικανότητα (π.χ. 1 x 1 km²), θα περιόριζε κατά πολύ την έκταση της χωρικής μονάδας διάκρισης αντικειμένων, παρέχοντας μεγαλύτερη λεπτομέρεια στις τιμές των μεταβλητών εισόδου, και κατά συνέπεια στα αποτελέσματα του δείκτη ξηρασίας.

Επιπλέον, η χρήση ενός πιο πυκνού υδρομετρικού δικτύου της περιοχής θα προσέφερε μεγαλύτερου όγκου πληροφορία, όσον αφορά στην κατανομή των τιμών βροχόπτωσης στην Ελλάδα. Βέλτιστη θεωρείται η χρήση διεθνών βάσεων δεδομένων συνδυασμού δορυφορικών εικόνων βροχόπτωσης και επίγειων μετρήσεων, η οποία θα κατανέμει απευθείας τις τιμές της παραμέτρου σε όλη την περιοχή και θα παρέχει συνολικό ποσοστό κάλυψης. Στην παρούσα εργασία, δε χρησιμοποιήθηκε δορυφορική βάση βροχόπτωσης κυρίως λόγω της πολύ πρόσφατης δημιουργίας της με αβέβαιη ακόμα τη διαθεσιμότητα και του κόστους της.

Η κατανομή των φυτικών συντελεστών της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής προκύπτει βάσει των δεδομένων του Corine Hellas 2000, το οποίο, αν και παρέχει τεράστιο ποσοστό πληροφορίας, δεν διαχωρίζει με τόση λεπτομέρεια όλους τους τύπους καλλιεργειών. Η χρήση μιας περισσότερο εξειδικευμένης γεωργικής βάσης δεδομένων, θα συνεισέφερε στον υπολογισμό του δείκτη ξηρασίας λαμβάνοντας υπόψη ακόμα και τις ελάχιστες διαφοροποιήσεις στις καλλιέργειες και στις χρήσεις γης της περιοχής.

Επίσης, η χρήση ενός διαφορετικού δείκτη ξηρασίας ή ακόμα και ο συνδυασμός περισσότερων δεικτών θα μπορούσε να προσφέρει πληροφορίες με περισσότερες λεπτομέρειες για το φαινόμενο και τα χαρακτηριστικά του.

Τέλος, η συσταδοποίηση των τιμών του δείκτη RDI, θα μπορούσε να προσφέρει μεγαλύτερο όγκο πληροφορίας, με τη διακριτοποίηση σε περισσότερες κατηγορίες (clusters) ή ακόμα και με την επιλογή μεγαλύτερου αριθμού επαναλήψεων (iterations) του αλγορίθμου. Πιθανώς, ακόμα και η χρήση ενός διαφορετικού αλγορίθμου να έδινε περαιτέρω στοιχεία για την εξέλιξη του φαινομένου στην περιοχή.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Α. Ελληνική Βιβλιογραφία

1. Γαλάκου, Ε. (2004). Εκτίμηση βροχόπτωσης με χρήση METEOSAT και επίγειων βροχομετρικών στοιχείων. Διπλωματική εργασία, Τμήμα Διαχείρισης Αγροτικού Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.
2. Δαλέζιος, Ρ.Ν. (1999). Περιβαλλοντική εκπαίδευση. Πρόγραμμα επιμόρφωσης εκπαιδευτικών της πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.
3. Δαλέζιος, Ρ.Ν. (2002). Περιβαλλοντική Τηλεπισκόπηση. Πανεπιστημιακές εκδόσεις. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.
4. Δαλέζιος, Ρ.Ν. και Π. Πρίνος (2004.) Ένταση και έκταση της ξηρασίας στην κεντρική και βόρεια Ελλάδα με τη χρήση του δείκτη Palmer (PDSI). Ερημοποίηση – Επιστημονικές εργασίες Ελλήνων συγγραφέων, 732 p.
5. Ζαραγκότας, Χ. (2005). Πιθανοθεωρητική χρονική και χωρική ανάλυση ξηρασίας και διερεύνηση της σχέσης μετεωρολογικής και υδρολογικής ξηρασίας στη Θεσσαλία. Διπλωματική εργασία, Τμήμα Διαχείρισης Αγροτικού Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.
6. Κανέλλου, Ε. (2006). Εκτίμηση περιοχικής δυνητικής εξατμισοδιαπνοής με χρήση Τηλεπισκόπησης και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Μεταπτυχιακή διατριβή, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.
7. Καραπιστόλης, Δ. (2001). Ανάλυση δεδομένων και έρευνα αγοράς. Β' έκδοση, εκδόσεις Ανικούλα, Θεσσαλονίκη.
8. Κωτούλας, Δ. (2001). Υδρολογία και υδραυλική φυσικού περιβάλλοντος. Πανεπιστημιακές εκδόσεις. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.
9. Μαριολόπουλος, Ε. (1938). Το κλίμα της Ελλάδος. Πανεπιστήμιο Αθηνών.
10. Παπαζαφειρίου, Ζ. (1984). Αρχές και Πρακτική των Αρδεύσεων. Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη, 471 p.

11. Παπαζαφειρίου, Ζ. (1999). Οι ανάγκες σε νερό των καλλιεργειών. Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη, 335 p.
12. Παπαϊωάννου, Γ. (1995). Εξάτμιση και Διαπνοή. Στο: Υδατικοί Πόροι: Ι. Τεχνική Υδρολογία, Τσακίρης, 1995, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα, pp. 167-221.
13. Σταματοπούλου, Ι. (1996). Η σημασία των μετεωρολογικών δεικτών στην εξέλιξη της καλλιέργειας του αραβόσιτου. Πτυχιακή διατριβή, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής και Ζωικής Παραγωγής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.
14. Τζανετοπούλου Ι. (1998). Η σημασία των μετεωρολογικών δεικτών στην εξέλιξη της καλλιέργειας του σιταριού. Πτυχιακή διατριβή, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής και Ζωικής Παραγωγής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.
15. Τζώρτζιος, Σ. (2002). Βασικά στοιχεία Βελτιστοποίησης και Προγραμματισμού Έρευνας. Πανεπιστημιακές παραδόσεις, 131 p.
16. Τσακίρης, Γ. (1995). Ανάλυση της Υδρολογικής Πληροφορίας. Στο: Υδατικοί Πόροι: Ι. Τεχνική Υδρολογία, Τσακίρης, 1995, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα, pp. 27-68.
17. Τσακίρης, Γ. (2007). Ολοκληρωμένη διαχείριση υδάτινων πόρων με βάση τη λεκάνη απορροής. Πρακτικά 6^{ου} Εθνικού Συνεδρίου Ελληνικής Επιτροπής Διαχείρισης Υδάτινων Πόρων (ΕΕΔΥΠ), 14-16 Ιουνίου 2007, Χανιά, Κρήτη.
18. Τσίρος, Ε. (2009). Δορυφορικές μεθοδολογίες αγροκλιματικής – υδροκλιματικής ζωνοποίησης για γεωργική παραγωγή. Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.
19. Φειδάς, Χ. (1999). Συμβολή στη ραδιομετρική ανίχνευση καταγιδοφόρων νεφικών συστημάτων και στην ποιοτική και ποσοτική παρακολούθηση των χαρακτηριστικών τους με τη χρήση δορυφορικών εικόνων και επίγειων δεδομένων. Διδακτορική Διατριβή, Φυσικό Τμήμα, Πανεπιστήμιο Αθηνών.
20. Φλόκας, Α.Α., (1999) νερό στην ατμόσφαιρα. Στο: Μαθήματα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας, Β΄ έκδοση, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη, pp. 189-261.

B. Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

21. Alley, W. M. (1984). The Palmer Drought Severity Index: Limitations and assumptions. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, Vol. 23, pp. 1100-1109.
22. Alley, W. M. (1985). The Palmer Drought Severity Index as a measure of hydrologic drought. *Water Resources Bulletin*, No. 21, pp. 105-114.
23. Bayarjargal, Y., T. Adyasuren and S. Munkhtuya (2000). Drought and vegetation monitoring in the arid and semi-arid regions of the Mongolia using remote sensing and ground data. *Proceedings of 21st Asian Conference on Remote Sensing*, Taipei, Taiwan, Vol. 1, pp. 372-377, Available online at <http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/2000/ts8/index.shtml>
24. Bayarjargal, Y., A. Karnieli, M. Bayasgalan, S. Khudulmur, C. Gandush and C.J. Tucker (2006). A comparative study of NOAA–AVHRR derived drought indices using change vector analysis. *Remote Sensing of Environment*, [Available online at www.sciencedirect.com], 14 p.
25. Becker, F. and Z.L. Li (1990). Towards a local “split window” method over land surface. *International Journal of Remote Sensing*, No 3, pp. 369-393.
26. Benzécri, J.P. (1973). *L'analyse des données. II L'analyse des correspondances*. Bordas, Paris.
27. Bergman, K. H., P. Sabol and D. Miskus (1988). Experimental indices for monitoring global drought conditions. *Proceedings of the 13th Annual Climate Diagnostics Workshop*, Cambridge, MA, U.S. Dept. of Commerce, pp. 190-197.
28. Bhalme, H. N., and D. A. Mooley (1980). Large-scale droughts/floods and monsoon circulation. *Monthly Weather Review*, No. 108, pp. 1197-1211.
29. Bhuiyan, C. (2004). Various drought indices for monitoring drought condition in Aravalli terrain of India. In: *Proceedings of the XXth ISPRS Conference*, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Istanbul, 6 p.,
30. [Available at <http://www.isprs.org/istanbul2004/comm7/papers/>].
31. Bhuiyan, C., R.P. Singh and F.N. Kogan (2006). Monitoring drought dynamics in the Aravalli region (India) using different indices based on ground and

- remote sensing data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 14 p.
32. Blaney, H.F. and W.D.Criddle (1950). Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data. USDA Soil Conservation Service, Technical Paper, No. 96, 48p.
 33. Bonacci, O. (1993). Hydrological identification of drought. *Hydrological Processes*, No. 7, pp. 249-262.
 34. Bucks, D. A., F. S. Nakayamma, O. F. French, W. W. Regard and W. L. Alexander (1985). Irrigated guayule evapotranspiration and plant water stress. *Agricultural water management*, Vol. 10, pp. 61-79.
 35. Byun, H. and D.A. Wilhite (1999). Objective quantification of drought severity and duration. *Journal of Climate*, Vol. 12, pp. 2.747-2.756.
 36. Carlson, R.E., D.N. Yarger, and R.H. Shaw (1971). Factors affecting the spectral properties of leaves with special emphasis on leaf water status. *Agronomy Journal*, Vol. 63, pp. 486-489.
 37. Clausen, B. and C.P Pearson (1995). Regional frequency analysis of annual maximum streamflow drought. *Journal of Hydrology*, Vol. 173, pp. 111-130.
 38. Clevers, J. G. P. W., W. Verhoef (1993). LAI estimation by means of the WDVI: A sensitivity analysis with a combined PROSPECT-SAIL model. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 7, pp. 43-64.
 39. Condra, G. E. (1944). Drought: Its effect and measures of control in Nebraska. *Nebraska Conservation Bulletin*, No. 25, Conservation and Survey Division, University of Nebraska, Lincoln, NE, 43 pp.
 40. Coughlan, M.J. (1987). Monitoring drought in Australia. In *Planning for Drought: Toward a Reduction of Societal Vulnerability*. (D. A. Wilhite and W. E. Easterling, ed.), West view Press, Boulder, Colorado, pp. 131-144.
 41. CPC, cited (2000). U.S. soil moisture monitoring. [Available online at <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/soilmst/>.].
 42. Dai, A., K. Trenberth and T. Qian (2004). A global dataset of Palmer Drought Severity Index for 1870–2002: Relationship with soil moisture and effects of surface warming. *Journal of Hydrometeorology*, Vol.5, pp. 1117-1130.

43. Dalezios, N.R., Z.G. Papazafiriou, D.M. Papamichail and T.S. Karacostas (1991). Drought assessment for the potential of precipitation enhancement in Northern Greece. *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. 44, pp. 75-88.
44. Dalezios, N.R. (ed.) (1994). *Climate and agroclimatic variability in central and southeastern Europe*. European Union DC XII/B, COST program/ Final Report, Dept. of Agriculture, Univ. of Thessaly, Volos, 111 pp.
45. Dalezios, N.R., A., Loukas L. Vasiliades and H. Liakopoulos (2000). Severity-Duration- Frequency analysis of droughts and wet periods in Greece. *Journal of Hydrological Sciences*, Vol. 45 (5), pp. 751-770.
46. Deering, D. W. (1978). *Rangeland reflectance characteristics measured by aircraft and spacecraft sensors*. Ph.D. Dissertation, Texas A & M University, College Station, TX, 338 p.
47. Delbart, N., L. Kergoat, T. L. Toan, J. Lhermitte and G. Picard (2005). Determination of phenological dates in boreal regions using normalized difference water index. *Journal of Remote Sensing of Environment*, Vol. 97, pp. 26-38.
48. Doesken, N. J. and D. Garen (1991). Drought monitoring in the western United States using a Surface Water Supply Index. *Preprints, Seventh Conf. on Applied Climatology*, Salt Lake City, UT, Amer. Meteor. Soc., pp. 266-269.
49. Doesken, N. J., T. B. McKee and J. Kleist (1991). Development of a Surface Water Supply Index for the western United States. *Climatology Rep.* 91-3, Colorado Climate Center, Dept. of Atmospheric Science, Colorado State University, Fort Collins, CO, 76 p.
50. Domenikiotis, C., M. Spiliotopoulos, A. Loukas, S. Sarakatsanos, and N.R. Dalezios (2004a). Early cotton production assessment in Greece based on the combination of the Drought Vegetation Condition Index (VCI) and Bhalme and Mooley Drought Index (BMDI). *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 25 (23), pp. 5373-5388.
51. Domenikiotis, C., M. Spiliotopoulos, E. Tsiros and N.R. Dalezios (2004b). Early cotton yield assessment by the use of the NOAA/AVHRR derived Drought Vegetation Condition Index in Greece. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 25(14), pp. 2807-2819.

52. Domenikiotis, C., E. Tsiros, M. Spiliotopoulos and N.R. Dalezios (2005). Zoning of cotton production areas based on NOAA/AVHRR images. International Symposium in GIS and Remote Sensing: Environmental Applications, Volos, Greece, 7-9 November 2003, pp. 119-132.
53. Dracup, J. A., K. S. Lee, and E. G. Paulson Jr. (1980). On the statistical characteristics of drought events. *Water Resources Research*, Vol. 16, pp. 289-296.
54. Farago, T., E. Kozma, C. Nemes (1989). Drought indices in meteorology. Idojaras, Budapest, Vol. 93, pp. 9-17.
55. Farrar, T. J., S.E Nicholson, A.R. Lare (1994). The influence of soil type on the relationships between NDVI, rainfall, and soil moisture in semiarid Botswana. II. NDVI response to soil moisture. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 50, pp. 121-133.
56. Fere, M. and G.F. Popov (1979). Agro meteorological crop monitoring and forecasting. Plant Production and Protection Paper 17, FAO, Rome.
57. Foley, J. C. (1957). Droughts in Australia: Review of Records from Earliest Years of Settlement to 1955. Australian Bureau of Meteorology, Bull. 43, 281 p.
58. Garen, D. C. (1993). Revised Surface-Water Supply Index for western United States. *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 119, pp. 437-454.
59. Genç, L. and S. Smith (2005). Assessment of Principal Component Analysis (PCA) for Moderate and High Resolution Satellite Data. *Trakya University Journal of Science*, Vol. 6(2), pp. 29-48.
60. Gibbs, W. J., and J. V. Maher (1967). Rainfall Deciles as Drought Indicators. Australian Bureau of Meteorology, Bull. 48, 37 p.
61. Guttman, L. (1941). The Quantification of a Class of Attributes: A Theory and Method of Scale Construction. In P. Horst, editor, *The Prediction of Personal Adjustment*. Social Science Research Council, New York.
62. Guttman, N.B., J.R. Wallis and J.R.M. Hosking (1992). Spatial Comparability of the Palmer Drought Severity Index. *Water Resources Bulletin*, Vol. 28, pp. 1111-1119.
63. Hayes, M. J., (cited 2000). Drought indices. [Available online at <http://enso.unl.edu/ndmc/enigma/indices.htm>.]

64. Hayes, M. J., M. D. Svoboda, D. A. Wilhite and O. V. Vanyranko (1999). Monitoring the 1996 drought using the Standardized Precipitation Index. *Bulletin of the American Meteorological Society*, No. 80, pp. 429-438.
65. Heddinghaus, T.R. (1991). Monitoring and dissemination of drought conditions at the joint agricultural weather facility. In D.A.Wilhite, D.A.Wood, and P.A.Kay (eds.), *Proceedings of the Seminar and Workshop on Drought Management and Planning*, Institute of Agriculture and Natural Resources, University of Nebraska-Lincoln, pp. 67- 72.
66. Heddinghaus, T. R., and P. Sabol (1991). A review of the Palmer Drought Severity Index and where do we go from here? Preprints, Seventh Conf. on Applied Climatology, Salt Lake City, UT, American Meteorological Society, pp. 242-246.
67. Heim, R. R., Jr. (2000). Drought indices: A review. *Drought: A Global Assessment*, D. A. Wilhite, Ed., Routledge, pp. 159-167.
68. Heim, R.R. Jr. (2002). A review of twentieth- century drought indices used in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 83(8), pp. 1149-1165.
69. Hope, A.S. (1988). Estimation of wheat canopy resistance using combined remotely sensed spectral reflectance and thermal observations. *Remote Sensing of Environment*, 24, pp. 369-383.
70. Hu, Q. and G. D. Willson (2000). Effects of temperature anomalies on the Palmer Drought Severity Index in the central United States. *International Journal of Climatology*, Vol. 20, pp. 1899-1911.
71. Huang, J., H. Van den Dool and K. P. Georgakakos (1996). Analysis of model-calculated soil moisture over the United States (1931-93) and application to long-range temperature forecasts. *Journal of Climate*, Vol. 9, pp. 1350-1362.
72. Huete, A.R. (2002). Soil-plant spectral mixtures. In: Lal, R. (ed.), *Encyclopedia of Soil Science*, 352, Marcel Dekker, Inc. (online and print versions pp. 1247-1249).
73. Huete, A. R., H. Q Liu,. K. Batchily and W. Van Leeuwen, (1997). A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 59, pp. 440-451.

74. Huete, A., K. Didan, T. Miura, E. P. Rodriguez, X. Gao and L. G. Ferreira (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 83, pp. 195-213.
75. Idso, S. B., R. D. Jackson, P. J., Jr. Pinter, R. J. Reginato, and J. L. Hatfield (1981). Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. *Agricultural Meteorology*, Vol. 24, pp. 45-55.
76. Jackson, R. D., S. B. Idso, R. J. Reginato, and P. J., Jr Pinter (1981). Canopy temperature as a crop water stress indicator. *Water Resources Research*, No. 17, pp. 1133-1138.
77. Jensen, J. R. (1996). *Introductory digital image processing: A remote sensing perspective*. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall.
78. Johnson, G. E., V. R. Achutuni, S.Thiruvengadachari, and F. N. Kogan (1993). The role of NOAA satellite data in drought early warning and monitoring: Selected case studies. Chapter 3. In *Drought assessment, management, and planning: Theory and case studies*, ed. D. A. Wilhite, pp. 31-48. New York, NY: Kluwer Academic Publishers.
79. Jordan, C. F. (1969). Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor. *Ecology*, No. 50, pp. 663-666.
80. Jupp, D. L. B., G. Tian, T. R. McVicar, Y. Qin and F. Li, (1998). *Monitoring Soil Moisture and Drought Using AVHRR Satellite Data I: Theory*. CSIRO Earth Observation Centre Technical Report, 98.1, Canberra, ACT.
81. Justice, C.O., B. N. Holben, and M. D. Gwynne (1986). Monitoring East Africa vegetation using AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 7, pp. 1453-1474.
82. Justice, C. and J. Townshend (2002). Special issue on the moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS): A new generation of land surface monitoring. *Remote Sensing of Environment*, No 83, pp. 1-2.
83. Kanellou, E., C. Domenikiotis and N.R. Dalezios (2008a). Description of Conventional and Satellite Drought Indices. Report of PRODIM (Proactive Management of Water Systems to Face Drought and Water Scarcity in Islands and Coastal Areas of the Mediterranean, pp. 23-57.

84. Kanellou, E., C. Domenikiotis, A. Blanta, E. Hondronikou and N. R. Dalezios (2008b). Intercomparison of drought indices in semi-arid areas of Greece using conventional data. Proceedings of the International Symposium of Water Shortage Management, Athens, 20 June 2008, pp. 167-179.
85. Kanellou, E., C. Domenikiotis, A. Blanta, E. Hondronikou and N. R. Dalezios (2008c). Index-based Drought Assessment in Semi-Arid Areas of Greece based on Conventional Data. *European Water (EWRA)* 23/24, pp. 87-98.
86. Kanellou, E., E. Tsiros, C. Domenikiotis and N.R. Dalezios, (2008d). Drought monitoring using several indices. 4th International Conference on Information and Communication Technologies in Bio and Earth Sciences HAICTA 2008, 18-20 September 2008, Athens, Greece, pp. 32-37.
87. Kanellou, E., C. Domenikiotis, E. Tsiros and N.R. Dalezios, (2008e). Satellite-based drought estimation in Thessaly. *European Water (EWRA)* 23/24, pp. 111-122.
88. Karl, T. R. (1986). The sensitivity of the Palmer Drought Severity Index and Palmer's Z-Index to their calibration coefficients including potential evapotranspiration. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, Vol. 25, pp. 77-86.
89. Karl, T. R., F. Quinlan, and D. S. Ezell (1987). Drought termination and amelioration: Its climatological probability. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, Vol. 26, pp. 1198-1209.
90. Katergi, N., B. Itier and I. Ferreira (1988). Etude de quelques critères indicateurs de l'état hydrique d'une culture de tomate en région semi-aride. *Agronomie (Paris)*, Vol. 8, pp. 425-433.
91. Keener, M. E., and P. L. Kircher (1983). The use of canopy temperature as an indicator of drought stress in humid regions. *Agricultural meteorology* Vol. 28, pp. 339-349.
92. Keyantash, J. and J. A. Dracup (2002). The quantification of drought: An evaluation of drought indices. *Bulletin of American Meteorological Society*, pp. 1167-1180.
93. Kogan, F. N. (1990). Remote sensing of weather impacts on vegetation in nonhomogeneous areas. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 11, pp. 1405-1420.

94. Kogan, F. N. (1995a). Droughts of the late 1980s in the United States as derived from NOAA polar-orbiting satellite data. *Bulletin of American Meteorological Society*, Vol. 76, pp. 655-668.
95. Kogan, F. N. (1995b). Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. *Advances in Space Research* 15, pp. 91-100.
96. Kogan, F. N. (1997). Global drought watch from space. *Bulletin of American Meteorological Society*, No. 78, pp. 621-636.
97. Kogan, F. N. (2000). Contribution of remote sensing to drought early warning. In *Early warning systems for drought preparedness and drought management*, ed. D.A. Wilhite and D.A. Wood. Geneva: World Meteorological Organization, pp. 75-87.
98. Kogan, F. N. (2001). Operational space technology for global vegetation assessment. *Bulletin of American Meteorological Society*, 82 (9), pp. 1949-1964.
99. Kogan, F.N. (2002). World droughts in the new millennium from AVHRR-based Vegetation Health Indices. *EOS Transaction, American Geophysics Union*, No. 83 (48), pp. 562-563.
100. Kothavala, Z. (1997). Extreme precipitation events and the applicability of global climate models to the study of floods and droughts. *Mathematics and Computers in Simulation*, Vol. 43, pp. 261-268.
101. Kothavala, Z. (1999). The duration and the severity of drought over eastern Australia simulated by a coupled ocean-atmosphere GCM with a transient increase in CO₂. *Environmental Modeling and Software*, Vol. 14, pp. 243-252.
102. Lambin, E. F. and D. Ehrlich (1996). The Surface Temperature-Vegetation Index space for land cover and land-cover change analysis. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 17, pp. 463- 487.
103. Lillesand, T.M. and R.W. Kiefer (1979). *Remote sensing and image interpretation*. New York, John Wiley and Sons, 612 p.
104. Lillesand, T.M. and R.W. Kiefer (2000). *Remote sensing and Image Interpretation*. 4th Edition, John Wiley and Sons, New York, pp. 572-596.
105. Lohani, V.K. and G.V. Loganathan (1997). An early warning system for drought management using the Palmer Drought Index. *Journal of the American Water Resources Association*, Vol. 33 (6), pp. 1375-1386.

- 106.Louie, P.Y.T. (1986). An operational Palmer Drought Severity Index. Program for Canadian Synoptic Stations. Proceedings, Can. Hydrology Symposium (CHS86), Regina, Sask., 3-6 June, pp. 101-112.
- 107.Loukas A., L. Vasiliades, M. Spiliotopoulos, D. Bampzelis, C. Domenikiotis and N.R. Dalezios (2002a). An assessment of regional droughts in Greece using two meteorological drought indices. 6th Hellenic Conference in Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics, 25-28 September 2002 Ioannina, Greece, pp. 708-716.
- 108.Loukas A., L. Vasiliades and N.R. Dalezios (2002b). Hydroclimatic variability of regional droughts in Greece using the Palmer Moisture Anomaly Index. *Nordic Hydrology*, Vol. 33 (5), pp. 425-442.
- 109.Mather, J.R. (1981). Using computed stream flow in watershed analysis. *Bulletin of Water Resources*, Vol. 17, pp. 474-482.
- 110.McKee, T.B., N.J. Doesken and J. Kleist (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scale. Preprints, Eighth Conference on Applied Climatology, Anaheim, CA, pp 179-184.
- 111.McVicar, T. R., D. L. B. Jupp, X. Yang and G.Tian (1992). Linking regional water balance models with remote sensing. In Proceedings of the 13th Asian Conference on Remote Sensing, Ulaanbaatar, Mongolia, 7-11 October, pp. B.6.1-B.6.6.
- 112.McVicar, T. R. and D.L.B. Jupp (1998). The current and potential operational uses of remote sensing to aid decisions on drought exceptional circumstances in Australia: a Review. *Agricultural Systems*, Vol. 57, No. 3, pp. 399-468.
- 113.Morid, S., V. Smakhtin and M. Moghaddasi (2006). Comparison of seven meteorological indices for drought monitoring in Iran. *International Journal of Climatology*, Vol. 26, pp. 971-985.
- 114.Nalbantis, I. (2008). Drought and streamflow. Proceedings of the International Symposium of Water Shortage Management, 20 June 2008, Athens, Greece, pp. 53-64.
- 115.Nemani, R.R. and S.W. Running (1989). Estimation of regional surface resistance to evapotranspiration from NDVI and Thermal-IR AVHRR data". *Journal of Applied Meteorology*, Vol 28, pp. 276-284.

- 116.Oladipo, E. O. (1985). A comparative performance analysis of three meteorological drought indices. *Journal of Climatology*, Vol. 5, pp. 655-664.
- 117.Palfai, I., I. Petrasovits and L Vermes (1995). Some methodological questions of the European drought sensitivity map. *Drought in the Carpathians region, Budapest-Alsogod*.
- 118.Palmer, W.C. (1965). Meteorological drought. Research Paper No. 45, U.S. Department of Commerce, Weather Bureau, Washington, D.C.
- 119.Palmer, W. C. (1968). Keeping track of crop moisture conditions, nationwide: The new Crop Moisture Index. *Weatherwise*, Vol. 21, pp. 156-161.
- 120.Papadopoulou, E., E. Varanou, E. Baltas, A. Dassaklis and M. Mimikou (2003). Estimating evapotranspiration and its spatial distribution in Greece using empirical methods. 8th International Conference on Environmental Science and Technology, 8-10 September 2003, Lemnos island, Greece.
- 121.Petrasovits, I. (1984). *Agrohidropotenciál (Agrohidropotencial)*. Tudomány és Mezőgazdaság, 1.
- 122.Piechota, T.C. and J.A. Dracup (1996). Drought and regional hydrology variation in the United States: associations with the El Nino- Southern Oscillation. *Water Resources Research*, Vol. 32(5), pp. 1359-1373.
- 123.Pongracz, R., I. Bogardi and L. Duckstein (1999). Application of fuzzy rule-based modeling technique to regional drought. *Journal of Hydrology*, Vol. 224, pp. 100-114.
- 124.Rao, R.B.V., A.S.R.A.S. Sastri, and R.Y.S. Krishna (1981). An integrated scheme of drought classification as applicable to Indian arid region. *Idojaras*, Vol. 85, pp. 317-22.
- 125.Rao, A.R. and T. L. Voeller (1997). Development and testing of drought indicators. *Water Resources Management*, Vol. 11 (2), pp. 119-136.
- 126.Raziei, T., I. Bordi and L.S. Pereira (2009). An application of GPCC and NCEP/ NCAR datasets for drought monitoring in Iran. *Proceedings of the EWRA Seventh International Conference: Water Resources Conservancy and Risk Reduction under Climatic Uncertainty*, 25- 27 June 2009, Limassol, Cyprus, pp. 349-356.

- 127.Redmond, K. (1991). Climate monitoring and indices. Proceedings of Drought Management and Planning Seminar and Workshop, Denver, CO, International Drought Information Center, University of Nebraska, pp. 29-33.
- 128.Redmond, K. (2000). Integrated climate monitoring for drought detection. Chapter 10 in Drought, Volume 1: A Global Assessment (D.A. Wilhite, ed.), London, Routledge, pp. 145-158.
- 129.Reed, B. C. (1993). Using remote sensing and Geographic Information Systems for analyzing landscape/drought interaction. International Journal of Remote Sensing Vol. 14, pp. 3489-3503.
- 130.Richards, J.A (ed) (1986a). Multispectral transformations of image data. Chapter 6, in: Remote Sensing Digital Image Analysis, An Introduction, pp. 127-147.
131. Richards, J.A (ed) (1986b). Clustering and unsupervised classification. Chapter 9, in: Remote Sensing Digital Image Analysis, An Introduction, pp. 190-205.
- 132.Richards, J.A. and X. Jia (1999). Digital Image Processing. Springer-Verlag, New York, pp. 133-143.
- 133.Ripple, W.J. (1986). Spectral reflectance relationships to leaf water stress. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 52, pp. 1669-1675.
- 134.Rogerson, A.P. (2001). Statistical Methods for Geography, SAGE publication, Thousand Oaks, California, pp. 194-197.
- 135.Rossi, G., T. Vega and Br. Bonaccorco (eds) (2007). Methods and tools for drought analysis and management, Springer publications, 418 p.
- 136.Rundquist, B. C., J. A. Jr. Harrington (2000). The effects of climatic factors on vegetation dynamics of tallgrass and shortgrass cover. GeoCarto International Vol. 15, pp. 31–36.
- 137.Sandholt, I., K. Rasmussen and J. Andersen (2002). A simple interpretation of the surface temperature/ vegetation index space for assessment of surface moisture status. Remote Sensing of Environment, Vol. 79, pp. 213-224.
- 138.Sastri, A.S.R.A.S. (1993). Agricultural Drought Management Strategies to Alleviate Impacts: Examples from the Arid and Sub humid Regions of the Indian. Subcontinent, in D.A. Wilhite (ed.), Drought Assessment, Management, and Planning: Theory and Case Studies, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 65-86.

- 139.Schepers, A., J. Shanahan, M. Liebig, J. Schepers, S. Johnson and A. Luchiari Jr. (2004). Appropriateness of management zones for characterizing spatial variability of soil properties and irrigated corn yields across years. *Agronomy Journal*, Vol.96, pp. 195-203.
- 140.Scian, B. and M. Donnari (1997). Retrospective analysis of the Palmer Drought Severity Index in the semi-arid pampas region, Argentina. *International Journal of Climatology*, Vol. 17 (3), pp. 313-322.
- 141.Shafer, B.A. and L.E. Dezman (1982). Development of a Surface Water Supply Index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snowpack runoff areas. In *Proceedings of the Western Snow Conference*, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, pp. 164-175.
- 142.Singh, A. and A. Harisson (1985). Standardized Principal Components. *International Journal of Remote Sensing*, No. 6, pp. 883-896.
- 143.Smakhtin, V.U. (2001). Low-flow hydrology: a review. *Journal of Hydrology*, Vol. 240, pp. 147-186.
- 144.Smakhtin, V.U. and D.A. Hughes (2006). Automated estimation and analyses of meteorological drought characteristics from monthly rainfall data. [Available online at www.sciencedirect.com].
- 145.Smith, D.I., M.F. Hutchinson and R.J. McArthur (1993). Australian climatic and agricultural drought: Payments and policy. *Drought Network News*, Vol. 5(3), pp. 11-12.
- 146.Stangehellini, C., and F. De-Lorenzi (1994). A comparison of soil and canopy temperature- based methods for the early detection of water stress in a simulated patch of pasture. *Irrigation Science*, Vol. 14, pp. 141-146.
- 147.Steinemann, A., M.J. Hayes and L.Cavalcanti (2005). Drought indicators and triggers. In Wilhite D. (ed.) *Drought and Water Crises*, Science Technology and Management Issues, Marcer Dekker Publ., pp 71-90.
- 148.Steven, M.D. and K.W. Jaggard (1995). Advances in crop monitoring by remote sensing. In: Danson, F. M., Plummer, S. E.(Eds), *Advances in Environmental Remote Sensing*, Wiley, pp. 143-156.
- 149.Szinell, C.S., A. Bussay and T. Szentimrey (1998). Drought tendencies in Hungary. *International Journal of Climatology*, Vol. 18 (3), pp. 1479-1491.

150. Tadesse, T. D. Wilhite, S. Harms, M. Hayes and S. Goddard (2004). Drought monitoring using data mining techniques: A case study for Nebraska, USA. *Natural Hazards*, Vol. 33, pp. 137-159.
151. Tallaksen, L.M., H. Madsen and B. Clausen (1997). On the definition and modelling of streamflow drought duration and deficit volume. *Journal of Hydrological Sciences*, Vol. 42(1), pp. 15-33.
152. Tate, E.L., J.R. Meigh, C. Prudhomme and M.P. McCartney (2000). Drought assessment in Southern Africa using river flow data. DFID report 00/4. London, UK.
153. Thenkabail, P. S. (2003). Biophysical and yield information for precision farming from near-real-time and historical Landsat TM images. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 24, pp. 839-877.
154. Thenkabail, P. S., M. S. D. N. Gamage and V. U. Smakhtin (2004). The use of remote sensing data for drought assessment and monitoring in southwest Asia. Research Report, International Water Management Institute, No. 85, pp. 1-25.
155. Thiruvengadachari, S and H. R. Gopalkrishna (1993). An Integrated PC Environment for Assessment of Drought. *International Journal of Remote Sensing*, No. 14, pp. 3201-3208.
156. Thompson, D. R. and O. A. Wehmanen (1980). Using Landsat digital data to detect moisture stress in corn-soybean growing regions. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, No. 46, pp. 1087-1093.
157. Thornthwaite, C.W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geography Review*, No 38, pp. 55-94.
158. Thornthwaite, C. W. and J. R. Mather (1955). The water budget and its use in irrigation. *Water-Yearbook of Agriculture 1955*, A. Stefferud, Ed., U.S. Dept. of Agriculture, pp. 346-358.
159. Tian, G., F. Li, H. Sui and K. Zheng (1989). Estimating of evapotranspiration and soil moisture using NOAA-AVHRR image and ground based meteorological data. In *Proceedings of the 10th Asian Conference on Remote Sensing*, Kuala Lumpur, Malaysia, 23-29 November, pp. A.I.8.1-A.I.8.6.
160. Trnka, M., D. Semerádová, J. Eitzinger, M. Dubrovský, D. Wilhite, M. Svoboda, M. Hayes and Z. Žalud (2003). Selected methods of drought evaluation in south Moravia and upper Austria". In: *Institute of Hydrology SAV*

- Bratislava (IH-SAS/GPI-SAS): 11th International Poster Day “Transport of Water, Chemicals and Energy in the System Soil-CropCanopy-Atmosphere”, Bratislava, Slovakia.
161. Tsakiris, G. (ed.) (2008a). Water shortage management. Proceedings of International Symposium for the Water Shortage Management, 20 June 2008, Athens, Greece, 209 p.
 162. Tsakiris, G. (ed.) (2008b). Final Report of Proactive Management of Water Systems to Face Drought and Water Scarcity in Islands and Coastal Areas of the Mediterranean (PRODIM), Athens, Greece, 445 p.
 163. Tsakiris, G. and H. Vangelis (2005). Establishing a drought index incorporating evapotranspiration. *European Water*, 9/10, pp. 3-11.
 164. Tsakiris, G., D. Pangalou and H. Vangelis (2007). Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI). *Water Resources Management*, Vol. 21 (5), pp. 821-833.
 165. Tsiros, E., C. Domenikiotis, M. Spiliotopoulos and N.R. Dalezios (2004). Use of NOAA/AVHRR-based vegetation condition index (VCI) and temperature condition index (TCI) for drought monitoring in Thessaly, Greece. EWRA Symposium on water resources management: risks and challenges for the 21st century, Izmir, Turkey, 2-4 September 2004, pp. 769-782
 166. Tucker, C. J. (1979). “Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation”. *Remote Sensing of Environment* Vol. 8, pp. 127-150.
 167. UNEP, (1992). *World Atlas of Desertification*. Edward Arnold, London.
 168. Ungani, L.S. and F. N. Kogan (1998). Drought monitoring and corn yield estimation in Southern Africa from AVHRR data. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 63, pp. 219-232.
 169. Van de Griend, A.A. and M. Owe (1993). On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surfaces. *International Journal of Remote Sensing*, No 14, pp. 1119-1137.
 170. Van Rooy, M. P. (1965). A rainfall anomaly index independent of time and space. *Notos*, 14, pp. 43-48.
 171. Walsh, J. S. (1987). Comparison of NOAA AVHRR data to meteorological drought indices. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 53(8), pp. 1069-1074.

172. Wang, J. (2000). Relations between productivity, climate, and Normalized Difference Vegetation Index in the central Great Plains. Lawrence: University of Kansas (Ph.D. Dissertation).
173. Wang, J., K. P. Price and P. M. Rich (2001). Spatial patterns of NDVI in response to precipitation and temperature in the central Great Plains. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 22, pp. 3827-3844.
174. White, D. H. (1990). A study of the feasibility of using simulation models and mathematical programs as aids to drought monitoring and management information. Paper No. IP/2/90, Bureau of Rural Resources, Canberra. ACT.
175. White, D.H. and B. O’Meagher (1995). Coping with exceptional droughts in Australia. *Drought Network News*, Vol. 7(2), pp. 13-17.
176. Wilhite, D.A. (ed.). 2005. *Drought and Water Crises: Science, Technology, and Management Issues*. CRC Press. Boca Raton, FL.
177. Wilhite, D. A. and M. H. Glantz (1985). Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. *Water International*, Vol. 10, pp. 111-120.
178. Willeke, G., J.R.M. Hosking, J.R. Wallis and N.B. Guttman (1994). The national drought atlas. Institute for Water Resources Report 94-NDS-4, U.S. Army Corps of Engineers.
179. Whipple, W. (1996). Integration of water resources planning and environmental regulation. *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 122, No. 3, pp. 189-196.
180. World Meteorological Organization (1986): Report on Drought and countries affected by drought during 1974–1985. World Climate Programme 118. WMO, Geneva.
181. World Meteorological Organization (1975). Drought and agriculture. WMO, Note 138, Publ. WMO-392, Geneva, Switzerland, 127 p.
182. Yevjevich, V. (1967). An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts. *Hydrology Paper 23*, Colorado State University, Fort Collins, CO, 18 p.
183. Zelenhasic, E. and A. Salvai (1987). A method of streamflow drought analysis. *Water Resources Research*, Vol. 23(1), pp. 156-168.

Προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν:

1. Erdas Imagine 9.1: Leica Geosystems Geospatial Imaging, 2006.
2. ArcMap 9.1: ArcGIS Network Analyst, ESRI (Environmental Systems Research Institute), 2004.
3. Geomatika 10.3: PCI Geomatics, 2009.

EXTENDED ABSTRACT

In the last decades the study and investigation of environmental hazards has particularly increased due to the frequent recurrence of their extreme forms. Drought, which is included into those risks, causes great concern in a large part of the world population and for that reason the plans of its management are increased at all levels. In early 1980's, only 3 states in the U.S.A. (New York, South Dakota and Colorado) had drought plans. Today, most states have already developed plans or are in the process of developing a plan. One of the main reasons for developing such plans is the enormous cost (financial, social and environmental) associated with the impact of this phenomenon.

Drought is a complex natural phenomenon. It is acknowledged that the major cause of drought is lower than average rainfall. The rainfall deficit will have different impacts depending on other factors, including meteorological conditions, ecosystem type, and social and economic circumstances. A universally accepted definition of drought does not exist. Currently, there are four major types of drought (Meteorological, Agricultural, Hydrological and Socioeconomic drought impacts), which are broadly defined and agreed upon in the scientific literature (WMO, 1975; Alley, 1984, 1985; Wilhite and Glantz, 1985; White, 1990).

Drought is certainly the costliest of all natural disasters. From 1991 to 2000, drought was responsible for more than 280,000 deaths and has costed tens of millions of dollars in damages. The areas, which are occasionally suffered from drought worst dry-spell, are the Southern Europe, North America, Africa (Sub Sahara) and the South East and Central Asia. The implications of this phenomenon are numerous and significant influencing a wide range of activities in areas where it occurs. For example, drought has serious consequences in the vegetation, causing significant reduction in its density and condition, mainly during the spring, in the region of Caspian Sea, in the West of India and in the most of the regions of Mongolia and China. Since 1991, nearly 15 million people in Ethiopia and 60% of the area of Kenya were hit by severe drought. In Afghanistan and Pakistan, the lack of rainfall in addition with the increase of temperature caused a significant reduction of vegetation, even in the winter period. In the U.S.A., the occurrence of drought is responsible for

the reduction of crops production, pasture disappearance and the intense of fire in many areas (Source: ISDR-International Strategy for Disaster Reduction).

For drought assessment several studies have been carried out, which mainly estimate the precipitation shortage and the water supply deficit (Keyantash and Dracup, 2002). These studies have focused on the development of drought indices for drought identification and quantification. There are several drought indices, based on ground measurements that measure how much precipitation for a given period of time has deviated from historically established norms. Although none of the major indices is inherently superior to the rest in all circumstances, some indices are better suited than others for certain uses. The traditional, conventional methods using surface data are normally readily available throughout the world (compared to other data types) and they are used to describe most of the basic drought characteristics (as magnitude, duration, frequency, severity), but they are unable to determine the spatial variability of drought, since they calculate drought only at a point level (weather station). With the development of remote sensing, spatial drought monitoring and assessment becomes possible. Remote sensing is an important tool for the detection of the spatial and temporal drought distribution at different scales. Satellite data can significantly contribute to monitor drought. The development of technology and the use of Remote Sensing and Geographical Information Systems expand the range of applications and research in many fields of science and offered a large amount of information, which could not be recovered by conventional methodologies.

In Remote Sensing methods, special emphasis is given to agricultural drought, as the reflected radiation recorded by satellite sensors provides an indication of the vegetation conditions, type and density (Domenikiotis *et al.*, 2004a). Steven and Jaggard (1995) classified the application of remote sensing to agriculture into three categories: a) land classification, b) mapping and monitoring of crop production and c) identification of stress in crops and vegetation. In most cases, vegetation stress is identified and monitored by the use of vegetation indices. A number of satellite drought-monitoring indices are developed based on Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) of NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) polar-orbiting satellite series, MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) and other satellite data. These indices are normally radiometric measures of vegetation condition and dynamics, exploiting the unique spectral

signatures of canopy elements, particularly in the red and near-infrared (NIR) portions of the spectrum (e.g., Huete *et al.*, 1997; 2002). Many surveys have been developed for the determination of water stress on crops, and thus agricultural drought, using satellite data of vegetation indices (Domenikiotis *et al.*, 2004a; 2004b; 2005; Kogan, 2002, Tsiros *et al.*, 2004). However, the identification of drought based on RDI index computed by satellite data, enables the assessment of hydro-meteorological drought, since it uses meteorological and hydrological parameters. For this reason, RDI is a fairly comprehensive index as it combines the simplicity of use and the successfully assessment and monitoring of the phenomenon.

In this dissertation, RDI drought index is applied in the whole country of Greece based on Remote Sensing and GIS techniques, for the estimation of the drought spatial extent. This approach relies on two basic and very important innovations. First, a spatial drought assessment of Greece is carried out, the new drought index RDI is based on satellite data, and secondly, a classification and a generalization of this index is held, using Principal Components Analysis (PCA) and Cluster Analysis methods. The satellite data used are extracted from NOAA/ AVHRR satellite images every 10days with a spatial resolution of 8 x 8 km², and they cover an extended period of 20 years, from 1981 to 2001, providing the opportunity to monitor the temporal and spatial drought variability in the region. RDI is estimated on monthly, 3-, 6-, 9-month and annual basis using Blaney-Criddle potential evapotranspiration, which seems more appropriate for the Mediterranean regions. The RDI results are successfully compared, in selected areas in Greece, with the PDSI Palmer index as well as RDI computed with conventional data, which are estimated in previous researches (Tsakiris and Vangelis, 2005; Tsakiris *et al.* , 2007; Kanellou *et al.*, 2008b; 2008c; 2008d). In the final stage, the index values are analyzed using principal components and are categorized into basic classes using cluster analysis. This process leads into ultimate goal of this research, the use of this RDI index with satellite data for any data set and any study area, i.e. for any spatial and temporal coverage.

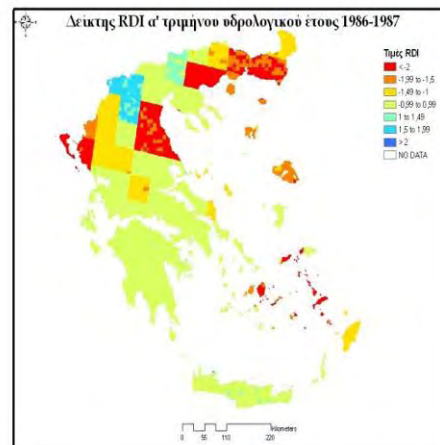
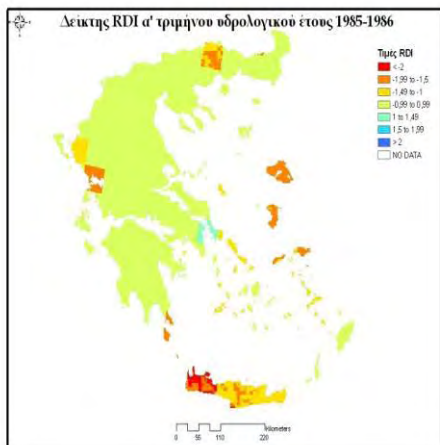
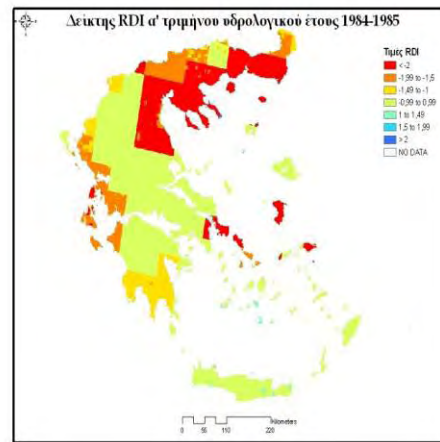
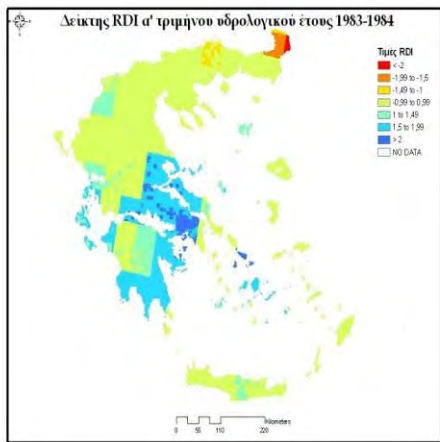
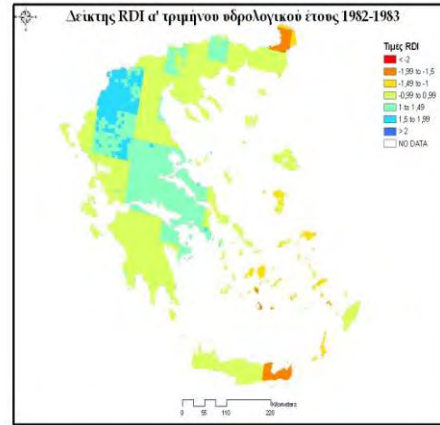
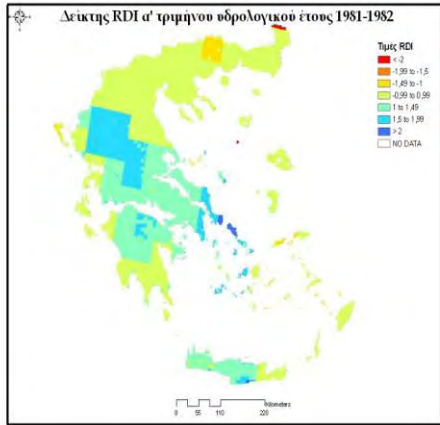
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

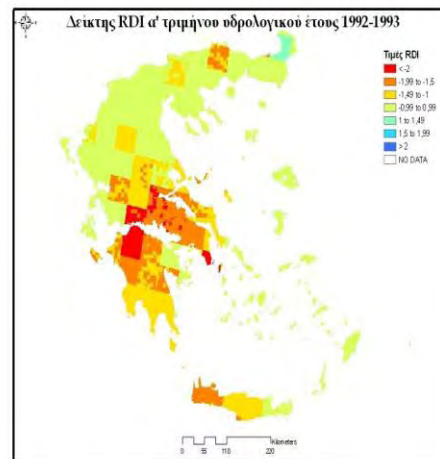
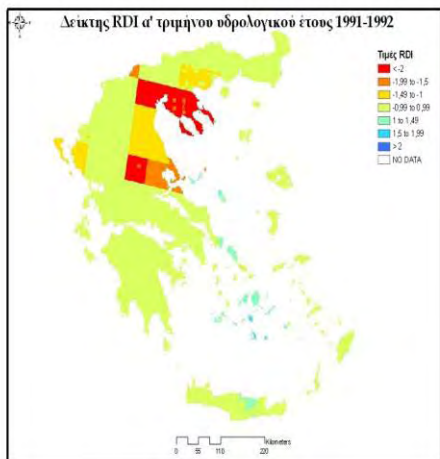
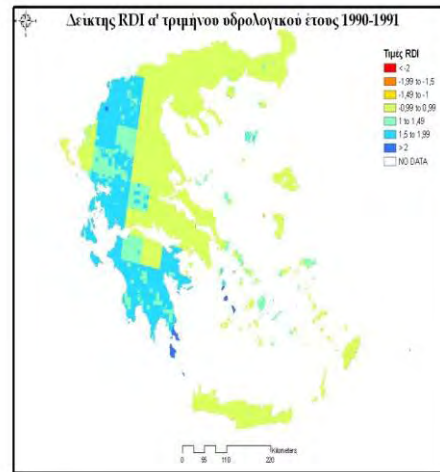
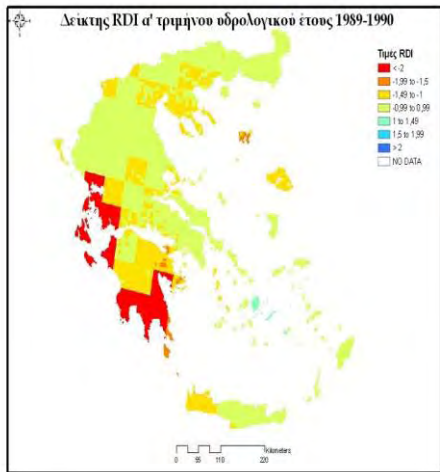
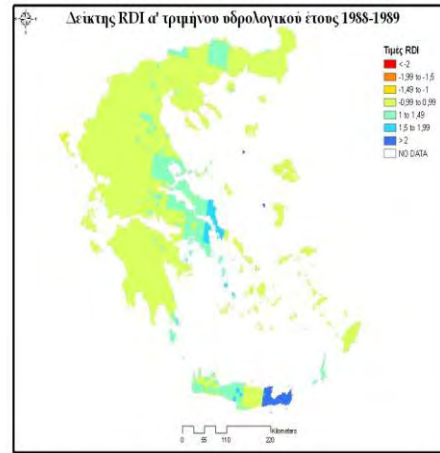
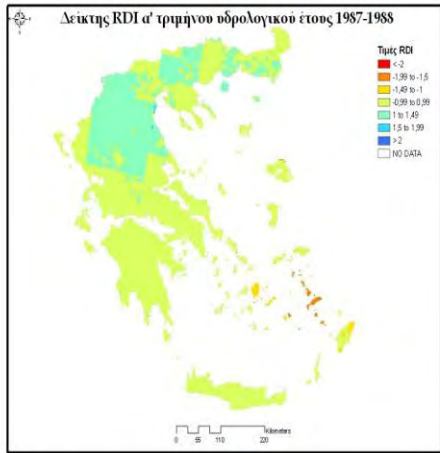
- **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: Χάρτες του δείκτη ξηρασίας RDI για το πρώτο τρίμηνο κάθε υδρολογικού έτους από το 1981 έως και το 2001**
- **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2: Χάρτες του δείκτη ξηρασίας RDI για το πρώτο εξάμηνο κάθε υδρολογικού έτους από το 1981 έως και το 2001**
- **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3: Χάρτες του δείκτη ξηρασίας RDI για τους πρώτους εννέα μήνες κάθε υδρολογικού έτους από το 1981 έως και το 2001**
- **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4: Χάρτες (ετήσιοι) του δείκτη ξηρασίας RDI για το κάθε υδρολογικό έτος από το 1981 έως και το 2001**
- **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5: Πίνακες σύγκρισης επίγειων και δορυφορικών δεικτών ξηρασίας**
- **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 6: Διαγράμματα σύγκρισης δείκτη ξηρασίας RDI με επίγεια και δορυφορικά δεδομένα**
- **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 7: Πίνακας συνδιακύμανσης όλων των συνιστωσών της ανάλυσης σε κύριες συνιστώσες (PCA) του ετήσιου δείκτη ξηρασίας RDI**
- **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 8: Χάρτες των συνιστωσών της ανάλυσης κυρίων συνιστωσών (PCA) του ετήσιου δείκτη ξηρασίας RDI**

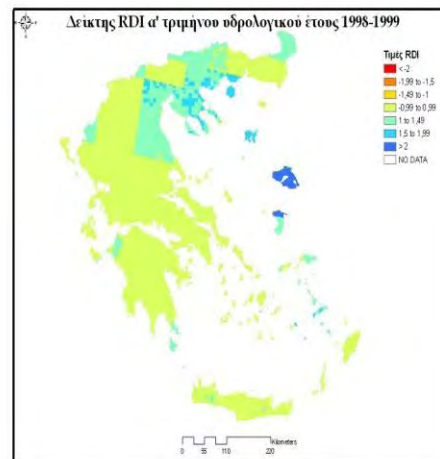
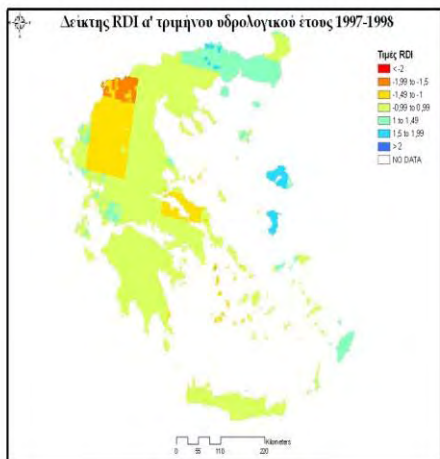
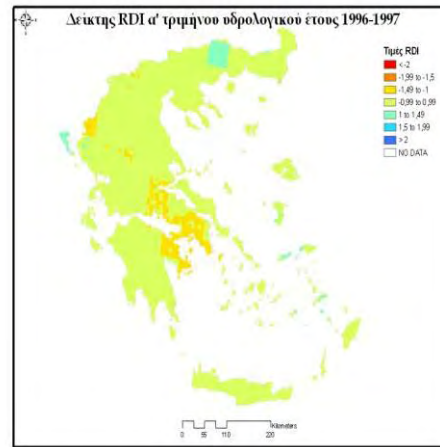
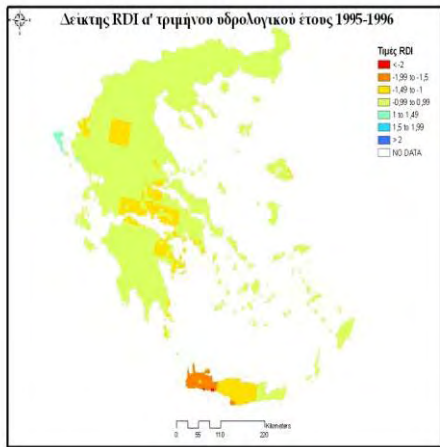
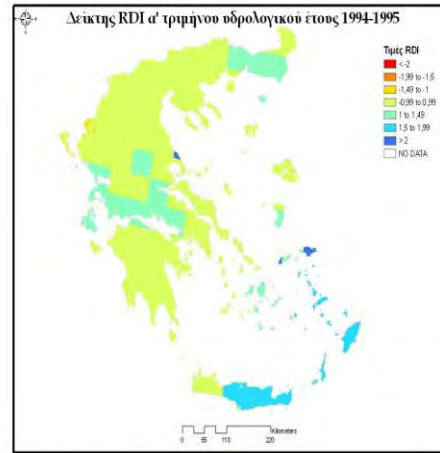
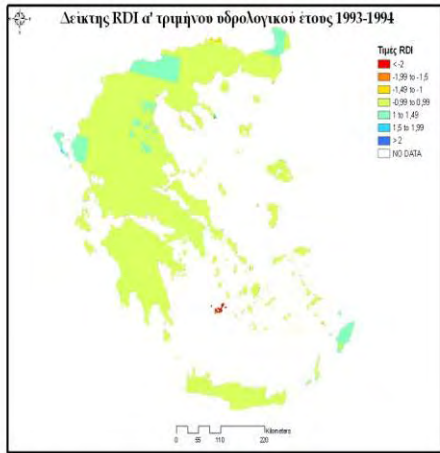
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

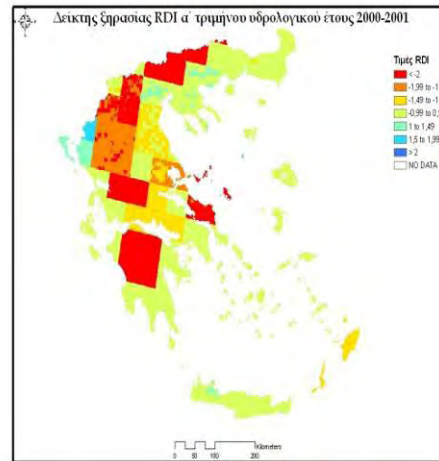
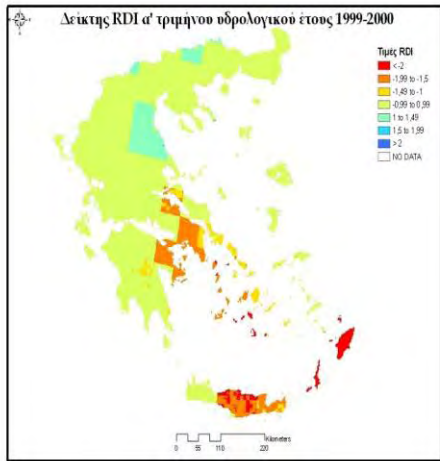
Χάρτες του δείκτη ξηρασίας RDI για το πρώτο τρίμηνο κάθε υδρολογικού έτους από το 1981 έως και το 2001

1. Δείκτης RDI α' τριμήνου υδρολογικού έτους 1981-1982
2. Δείκτης RDI α' τριμήνου υδρολογικού έτους 1982-1983
3. Δείκτης RDI α' τριμήνου υδρολογικού έτους 1983-1984
4. Δείκτης RDI α' τριμήνου υδρολογικού έτους 1984-1985
5. Δείκτης RDI α' τριμήνου υδρολογικού έτους 1985-1986
6. Δείκτης RDI α' τριμήνου υδρολογικού έτους 1986-1987
7. Δείκτης RDI α' τριμήνου υδρολογικού έτους 1987-1988
8. Δείκτης RDI α' τριμήνου υδρολογικού έτους 1988-1989
9. Δείκτης RDI α' τριμήνου υδρολογικού έτους 1989-1990
10. Δείκτης RDI α' τριμήνου υδρολογικού έτους 1990-1991
11. Δείκτης RDI α' τριμήνου υδρολογικού έτους 1991-1992
12. Δείκτης RDI α' τριμήνου υδρολογικού έτους 1992-1993
13. Δείκτης RDI α' τριμήνου υδρολογικού έτους 1993-1994
14. Δείκτης RDI α' τριμήνου υδρολογικού έτους 1994-1995
15. Δείκτης RDI α' τριμήνου υδρολογικού έτους 1995-1996
16. Δείκτης RDI α' τριμήνου υδρολογικού έτους 1996-1997
17. Δείκτης RDI α' τριμήνου υδρολογικού έτους 1997-1998
18. Δείκτης RDI α' τριμήνου υδρολογικού έτους 1998-1999
19. Δείκτης RDI α' τριμήνου υδρολογικού έτους 1999-2000
20. Δείκτης RDI α' τριμήνου υδρολογικού έτους 2000-2001





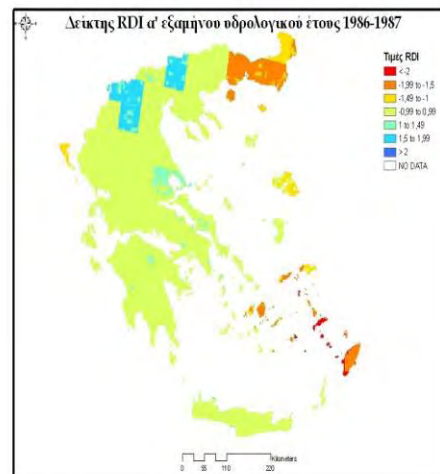
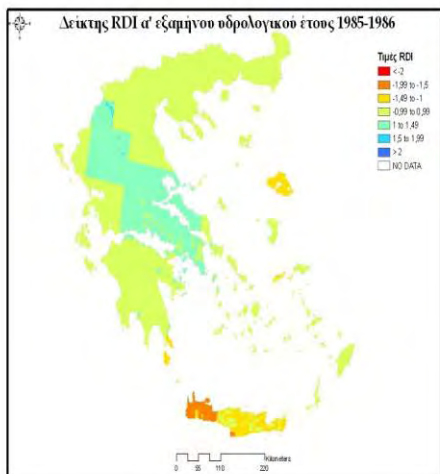
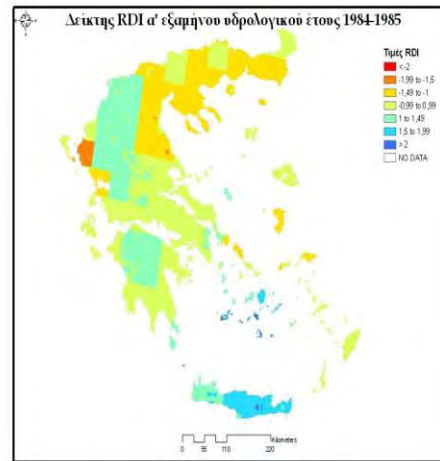
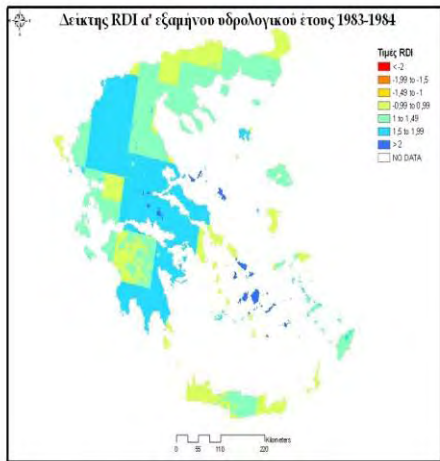
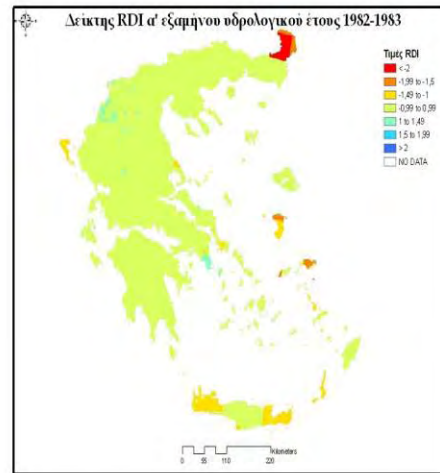
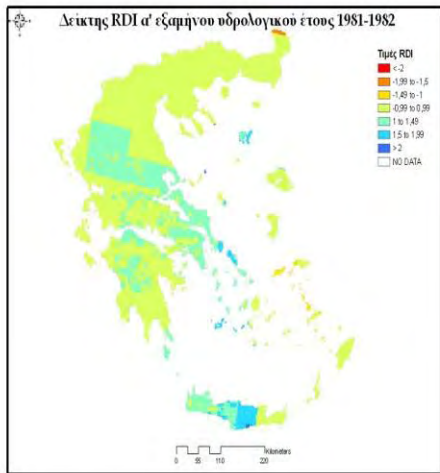


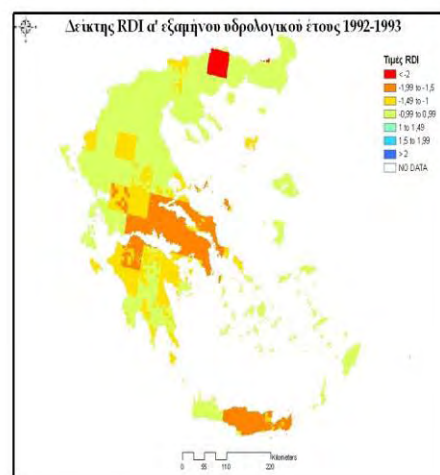
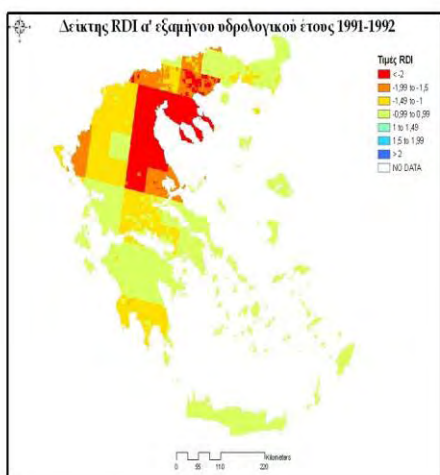
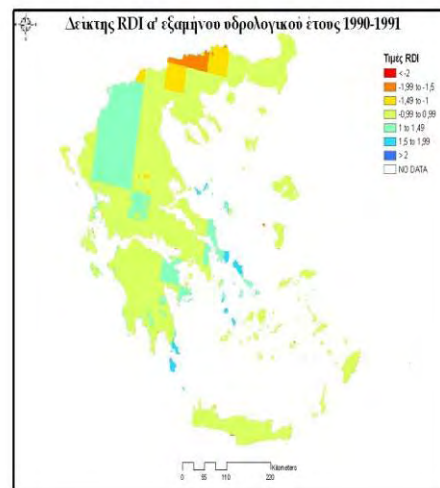
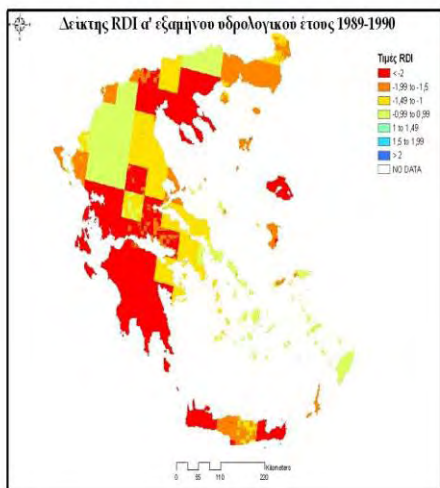
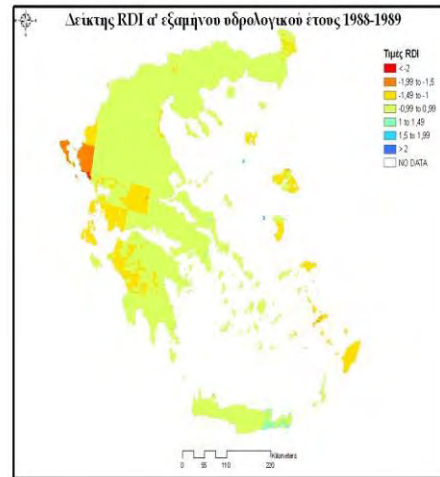
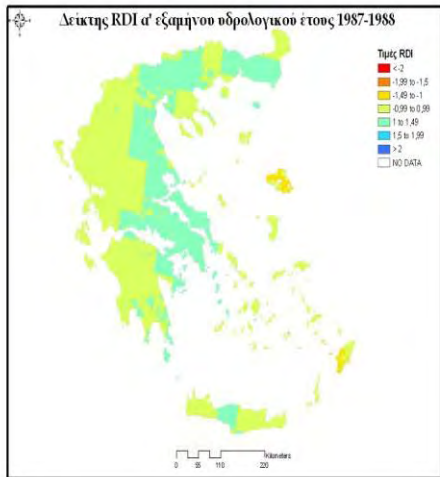


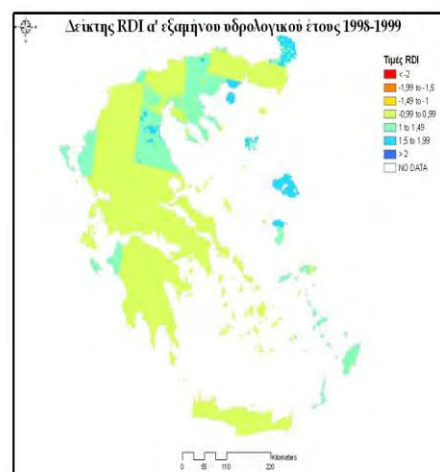
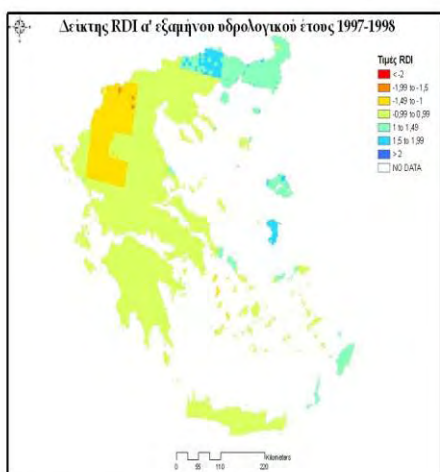
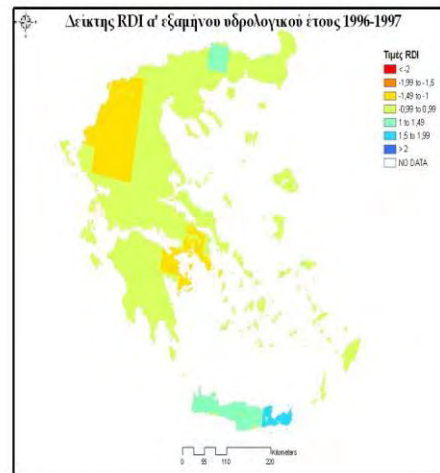
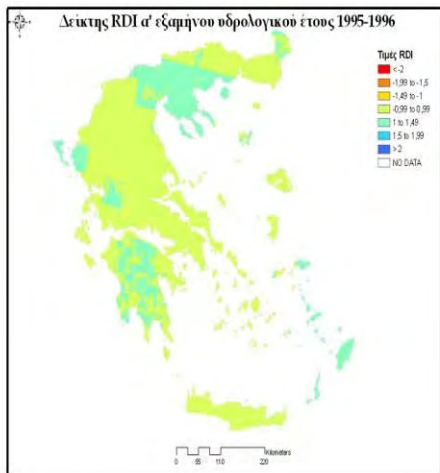
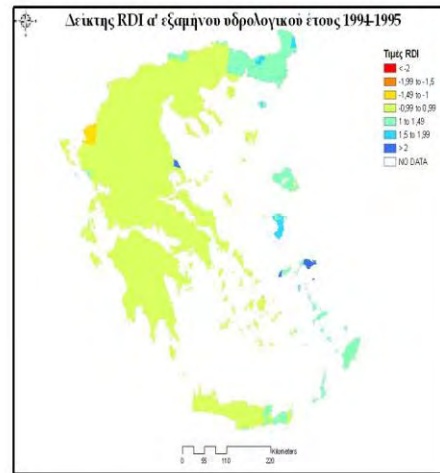
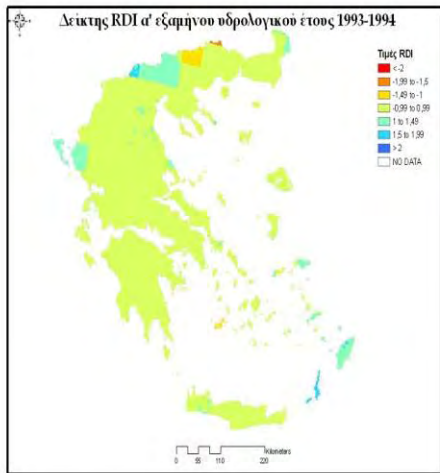
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

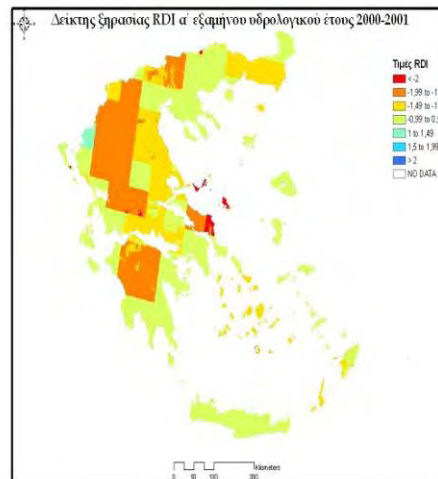
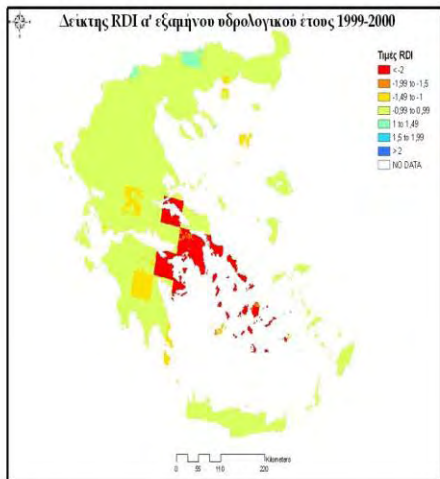
Χάρτες του δείκτη ξηρασίας RDI για το πρώτο εξάμηνο κάθε υδρολογικού έτους από το 1981 έως και το 2001

1. Δείκτης RDI α' εξαμήνου υδρολογικού έτους 1981-1982
2. Δείκτης RDI α' εξαμήνου υδρολογικού έτους 1982-1983
3. Δείκτης RDI α' εξαμήνου υδρολογικού έτους 1983-1984
4. Δείκτης RDI α' εξαμήνου υδρολογικού έτους 1984-1985
5. Δείκτης RDI α' εξαμήνου υδρολογικού έτους 1985-1986
6. Δείκτης RDI α' εξαμήνου υδρολογικού έτους 1986-1987
7. Δείκτης RDI α' εξαμήνου υδρολογικού έτους 1987-1988
8. Δείκτης RDI α' εξαμήνου υδρολογικού έτους 1988-1989
9. Δείκτης RDI α' εξαμήνου υδρολογικού έτους 1989-1990
10. Δείκτης RDI α' εξαμήνου υδρολογικού έτους 1990-1991
11. Δείκτης RDI α' εξαμήνου υδρολογικού έτους 1991-1992
12. Δείκτης RDI α' εξαμήνου υδρολογικού έτους 1992-1993
13. Δείκτης RDI α' εξαμήνου υδρολογικού έτους 1993-1994
14. Δείκτης RDI α' εξαμήνου υδρολογικού έτους 1994-1995
15. Δείκτης RDI α' εξαμήνου υδρολογικού έτους 1995-1996
16. Δείκτης RDI α' εξαμήνου υδρολογικού έτους 1996-1997
17. Δείκτης RDI α' εξαμήνου υδρολογικού έτους 1997-1998
18. Δείκτης RDI α' εξαμήνου υδρολογικού έτους 1998-1999
19. Δείκτης RDI α' εξαμήνου υδρολογικού έτους 1999-2000
20. Δείκτης RDI α' εξαμήνου υδρολογικού έτους 2000-2001





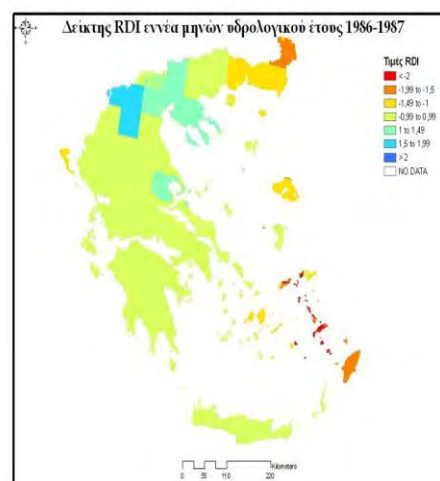
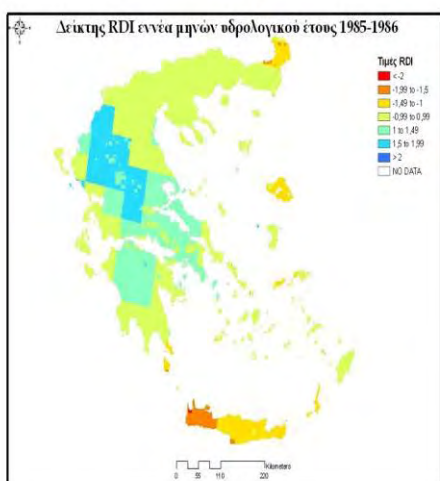
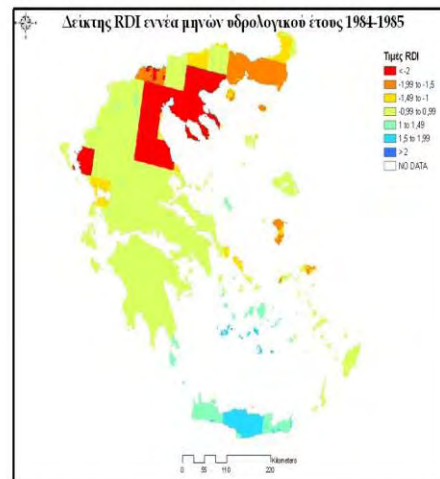
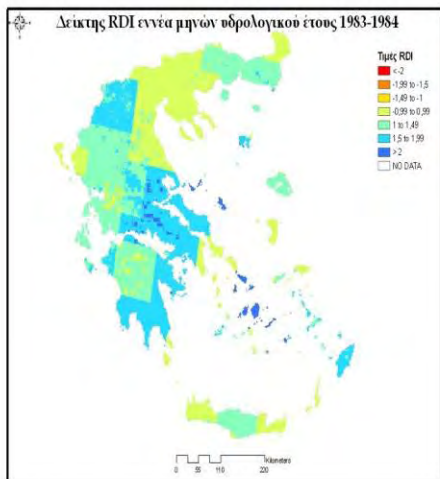
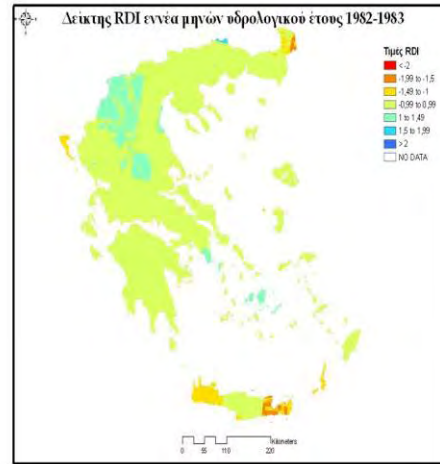
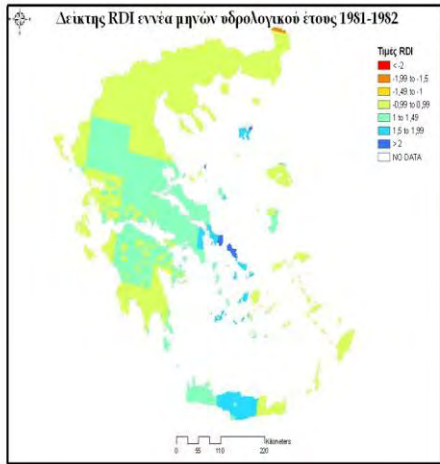


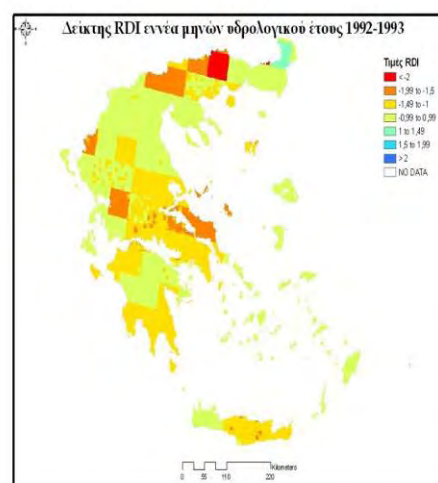
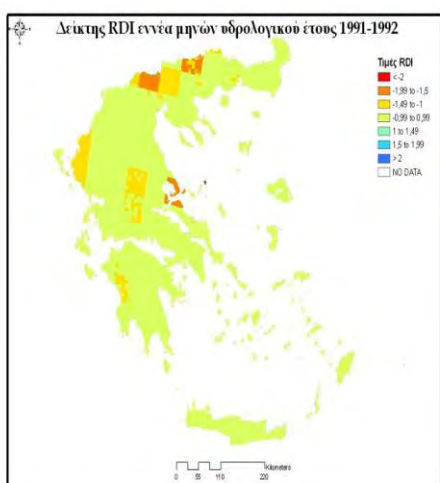
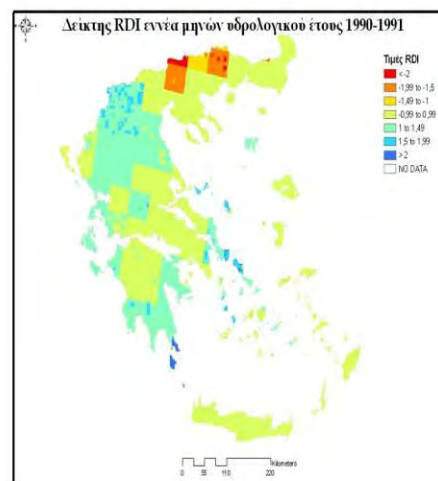
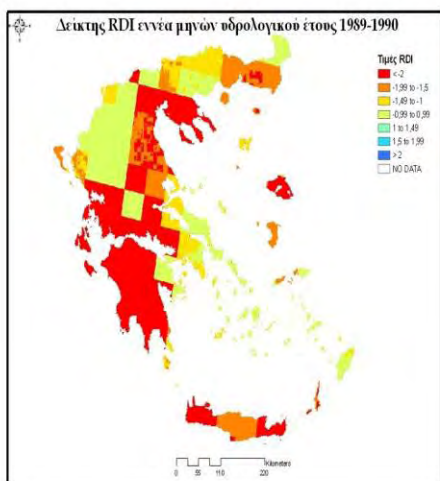
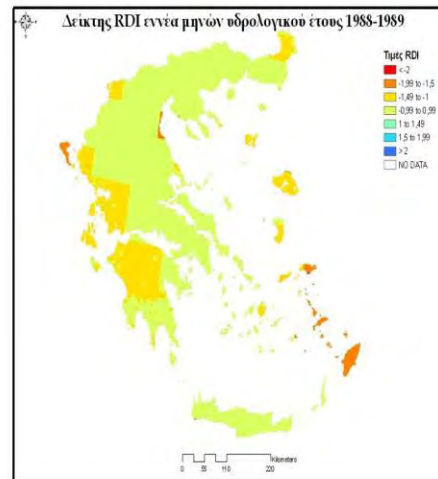
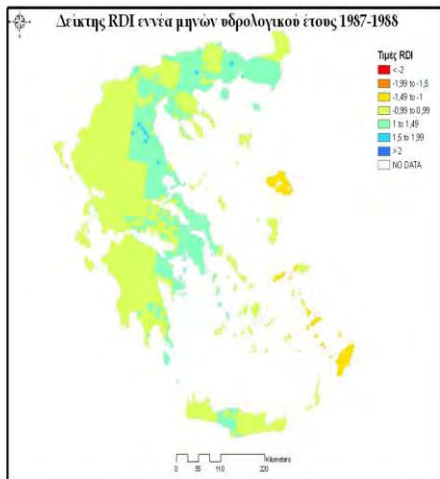


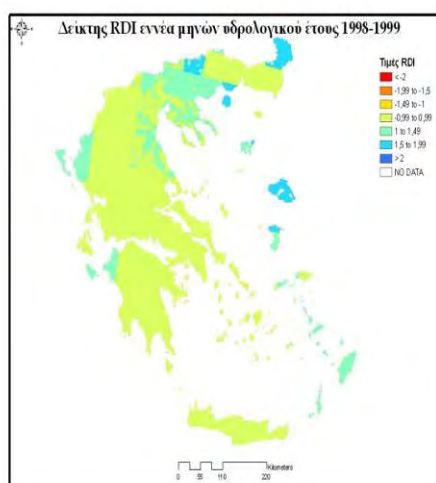
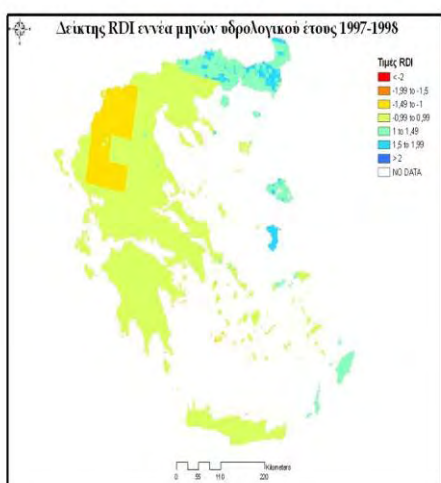
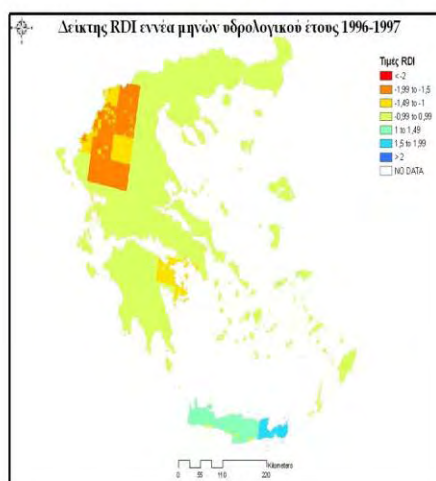
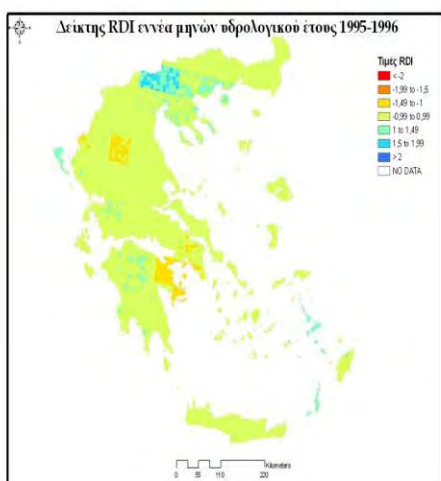
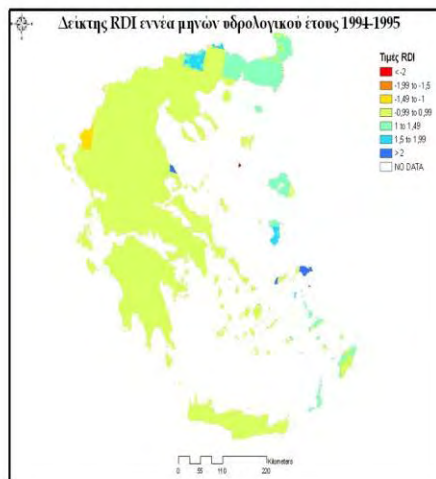
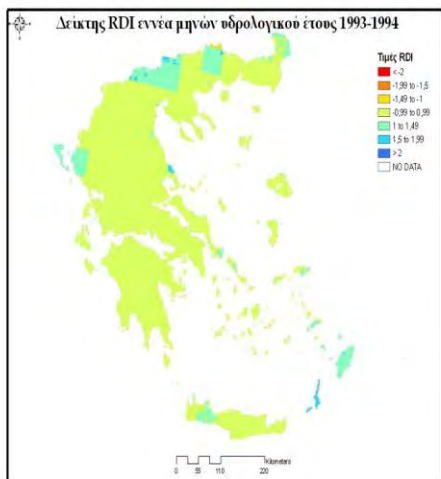
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3

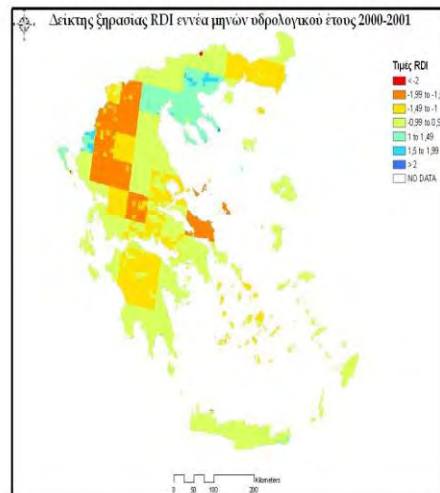
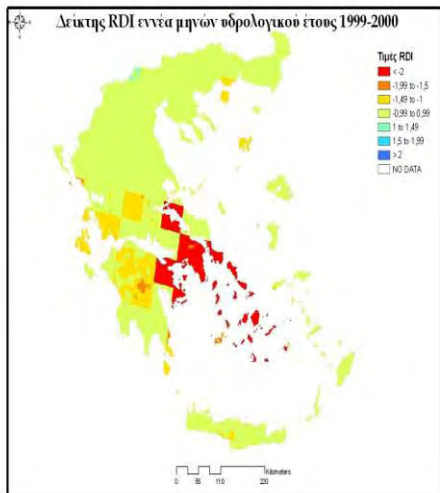
Χάρτες του δείκτη ξηρασίας RDI για τους πρώτους εννέα μήνες κάθε υδρολογικού έτους από το 1981 έως και το 2001

1. Δείκτης RDI εννέα μηνών υδρολογικού έτους 1981-1982
2. Δείκτης RDI εννέα μηνών υδρολογικού έτους 1982-1983
3. Δείκτης RDI εννέα μηνών υδρολογικού έτους 1983-1984
4. Δείκτης RDI εννέα μηνών υδρολογικού έτους 1984-1985
5. Δείκτης RDI εννέα μηνών υδρολογικού έτους 1985-1986
6. Δείκτης RDI εννέα μηνών υδρολογικού έτους 1986-1987
7. Δείκτης RDI εννέα μηνών υδρολογικού έτους 1987-1988
8. Δείκτης RDI εννέα μηνών υδρολογικού έτους 1988-1989
9. Δείκτης RDI εννέα μηνών υδρολογικού έτους 1989-1990
10. Δείκτης RDI εννέα μηνών υδρολογικού έτους 1990-1991
11. Δείκτης RDI εννέα μηνών υδρολογικού έτους 1991-1992
12. Δείκτης RDI εννέα μηνών υδρολογικού έτους 1992-1993
13. Δείκτης RDI εννέα μηνών υδρολογικού έτους 1993-1994
14. Δείκτης RDI εννέα μηνών υδρολογικού έτους 1994-1995
15. Δείκτης RDI εννέα μηνών υδρολογικού έτους 1995-1996
16. Δείκτης RDI εννέα μηνών υδρολογικού έτους 1996-1997
17. Δείκτης RDI εννέα μηνών υδρολογικού έτους 1997-1998
18. Δείκτης RDI εννέα μηνών υδρολογικού έτους 1998-1999
19. Δείκτης RDI εννέα μηνών υδρολογικού έτους 1999-2000
20. Δείκτης RDI εννέα μηνών υδρολογικού έτους 2000-2001





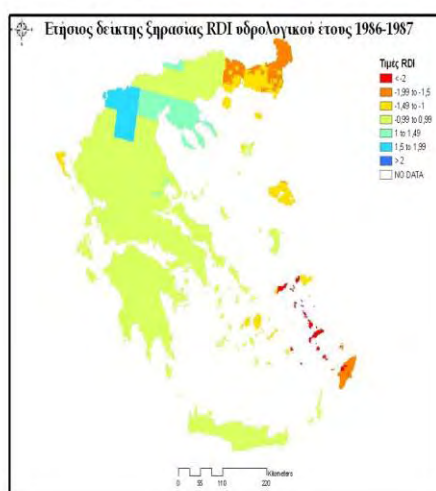
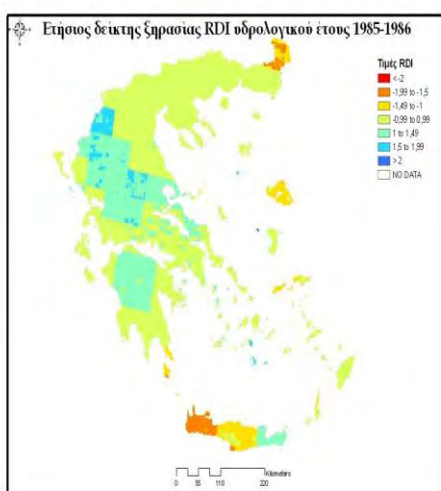
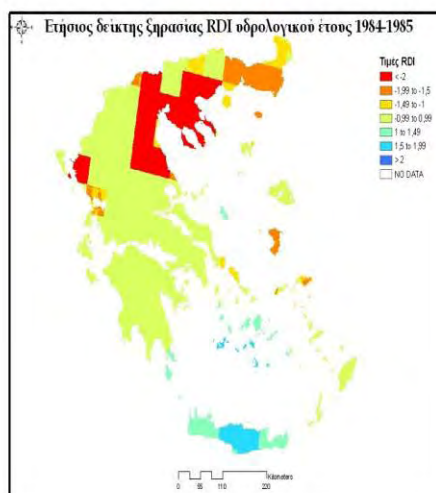
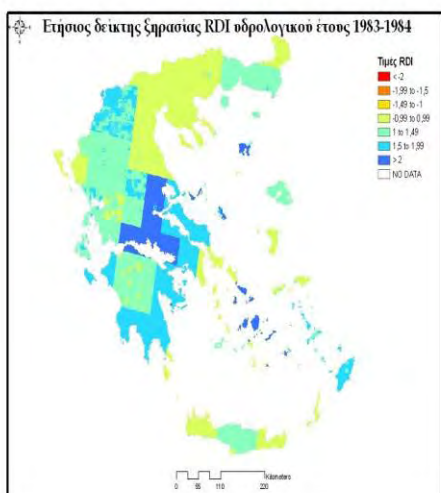
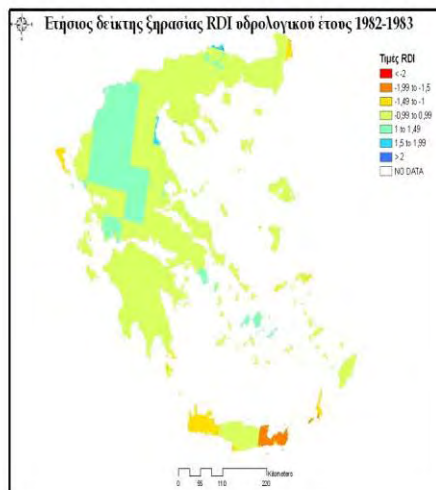
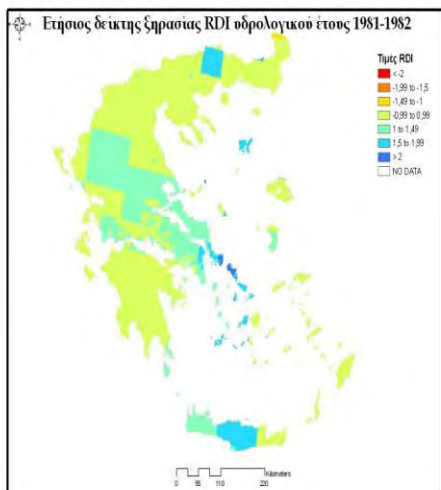


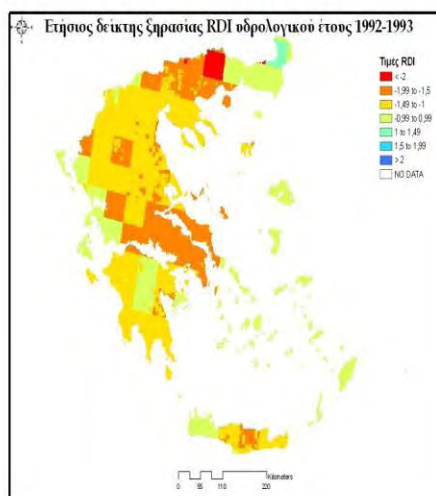
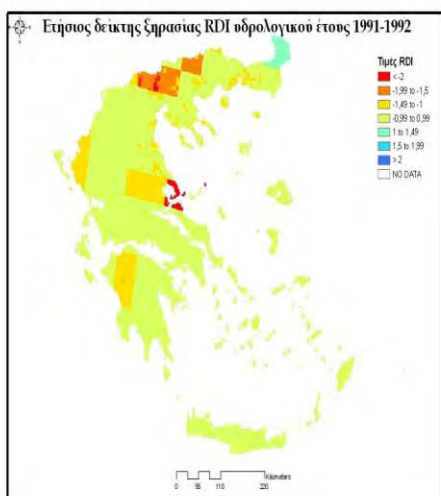
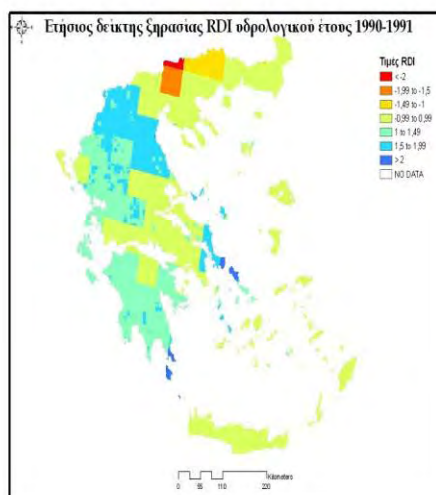
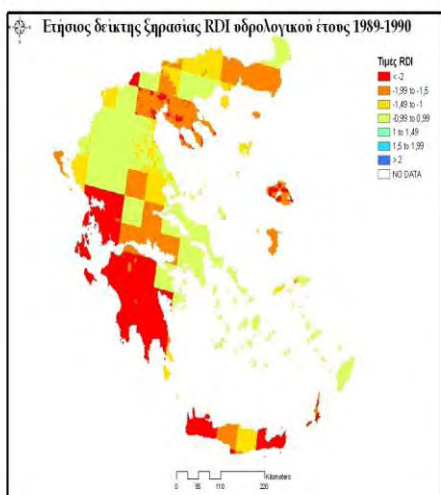
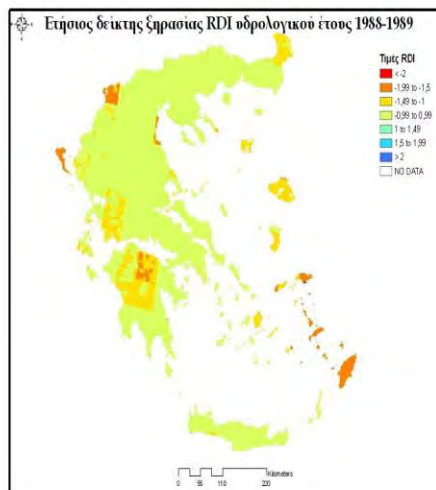
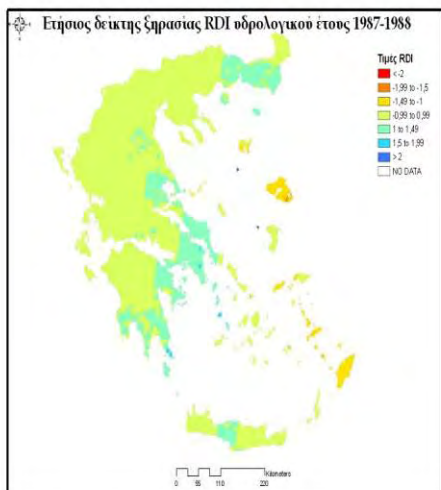


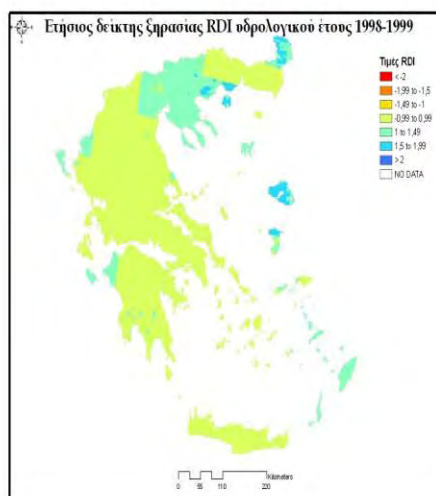
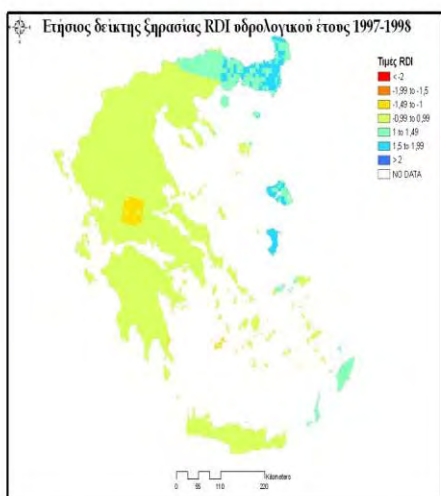
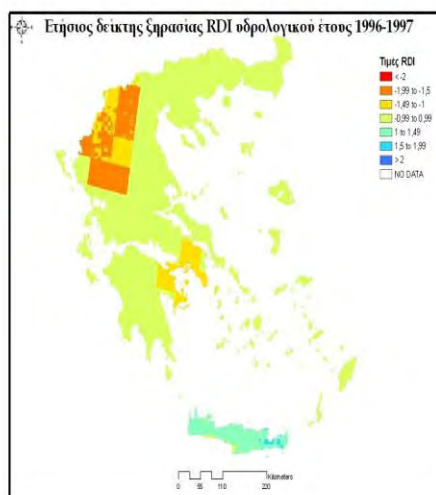
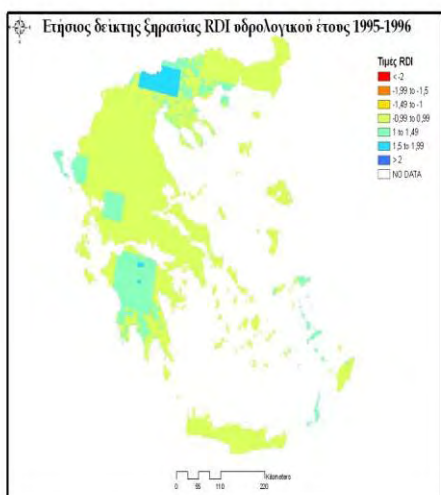
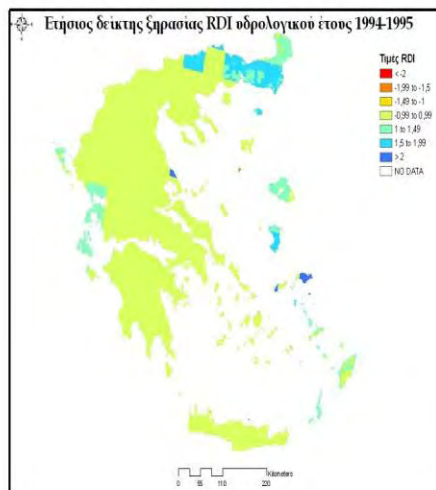
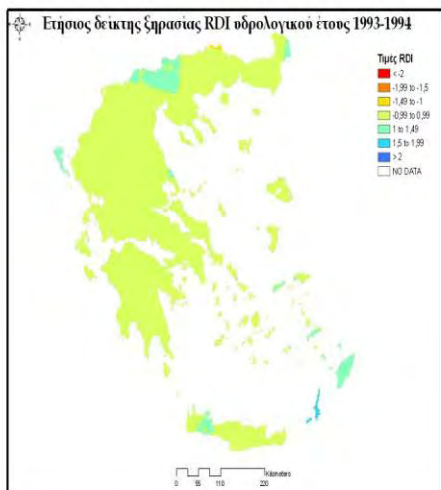
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4

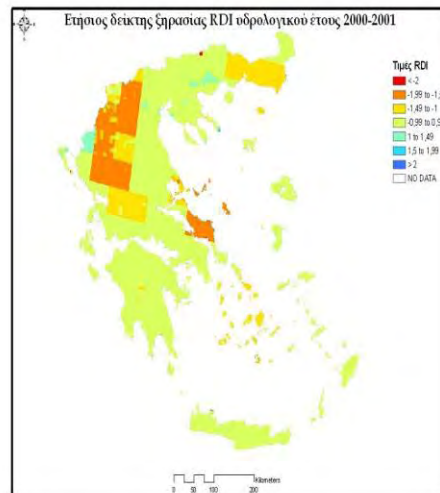
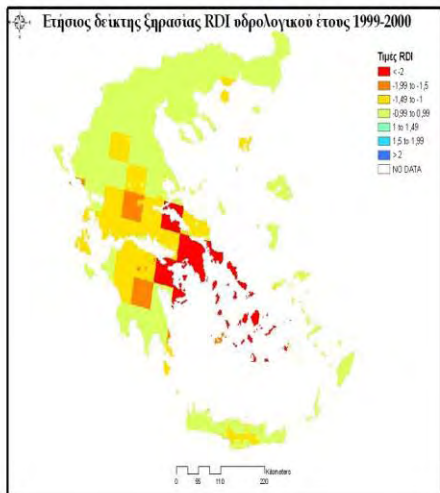
Χάρτες (ετήσιοι) του δείκτη ξηρασίας RDI για το κάθε υδρολογικό έτος από το 1981 έως και το 2001

1. Ετήσιος δείκτης RDI υδρολογικού έτους 1981-1982
2. Ετήσιος δείκτης RDI υδρολογικού έτους 1982-1983
3. Ετήσιος δείκτης RDI υδρολογικού έτους 1983-1984
4. Ετήσιος δείκτης RDI υδρολογικού έτους 1984-1985
5. Ετήσιος δείκτης RDI υδρολογικού έτους 1985-1986
6. Ετήσιος δείκτης RDI υδρολογικού έτους 1986-1987
7. Ετήσιος δείκτης RDI υδρολογικού έτους 1987-1988
8. Ετήσιος δείκτης RDI υδρολογικού έτους 1988-1989
9. Ετήσιος δείκτης RDI υδρολογικού έτους 1989-1990
10. Ετήσιος δείκτης RDI υδρολογικού έτους 1990-1991
11. Ετήσιος δείκτης RDI υδρολογικού έτους 1991-1992
12. Ετήσιος δείκτης RDI υδρολογικού έτους 1992-1993
13. Ετήσιος δείκτης RDI υδρολογικού έτους 1993-1994
14. Ετήσιος δείκτης RDI υδρολογικού έτους 1994-1995
15. Ετήσιος δείκτης RDI υδρολογικού έτους 1995-1996
16. Ετήσιος δείκτης RDI υδρολογικού έτους 1996-1997
17. Ετήσιος δείκτης RDI υδρολογικού έτους 1997-1998
18. Ετήσιος δείκτης RDI υδρολογικού έτους 1998-1999
19. Ετήσιος δείκτης RDI υδρολογικού έτους 1999-2000
20. Ετήσιος δείκτης RDI υδρολογικού έτους 2000-2001









ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5

Πίνακες σύγκρισης επίγειων και δορυφορικών δεικτών ξηρασίας

1. Πίνακας σύγκρισης δεικτών ξηρασίας με χρήση επίγειων δεδομένων (PDSI, RDI_{thorn} , RDI_{BI-Cr}) για το σύνολο της χρονοσειράς στην περιοχή του Ελληνικού
2. Πίνακας σύγκρισης δεικτών ξηρασίας με χρήση επίγειων δεδομένων (PDSI, RDI_{thorn} , RDI_{BI-Cr}) για το σύνολο της χρονοσειράς στην περιοχή της Λάρισας
3. Πίνακας σύγκρισης δεικτών ξηρασίας με χρήση επίγειων δεδομένων (PDSI, RDI_{thorn} , RDI_{BI-Cr}) για το σύνολο της χρονοσειράς στην περιοχή της Νάξου
4. Πίνακας σύγκρισης δεικτών ξηρασίας με χρήση επίγειων δεδομένων (PDSI, RDI_{thorn} , RDI_{BI-Cr}) για το σύνολο της χρονοσειράς στην περιοχή του Ηρακλείου

Περιοχή Ελληνικού															
	Δείκτης PDSI					Δείκτης RDI _{thorn}					Δείκτης RDI _{BI-Cr}				
A/A	Έναρξη ξηρασίας	Λήξη ξηρασίας	Μήνες	Σ PDSI	ΜΟ έντασης	Έναρξη ξηρασίας	Λήξη ξηρασίας	Μήνες	Σ RDI Th	ΜΟ έντασης	Έναρξη ξηρασίας	Λήξη ξηρασίας	Μήνες	Σ RDI BI-Cr	ΜΟ έντασης
1	Oct 1956	Sep 1957	12	-17,77	-1,48	Oct 1956	Sep 1957	12	-4,58	-0,38	Oct 1956	Sep 1957	12	-4,59	-0,38
2	Feb 1958	Aug 1958	7	-4,06	-0,58	Feb 1958	Jun 1958	5	-1,63	-0,33	Feb 1958	Jun 1958	5	-1,5	-0,30
3	Dec 1958	Jul 1960	20	-33,05	-1,65	Dec 1958	Mar 1960	16	-14,00	-0,88	Dec 1958	Mar 1960	16	-14,48	-0,91
4	Apr 1961	Aug 1962	17	-24,06	-1,42	Apr 1961	Jul 1962	16	-8,63	-0,54	Apr 1961	Jul 1962	16	-8,06	-0,50
5	Jan 1963	Apr 1963	4	-3,02	-0,76	Jan 1963	Apr 1963	4	-1,18	-0,30	Jan 1963	Apr 1963	4	-1,08	-0,27
6	Jul 1964	Dec 1964	6	-6,97	-1,16	Jul 1964	Dec 1964	6	-3,43	-0,57	Jul 1964	Dec 1964	6	-3,19	-0,53
7	Aug 1965	Aug 1966	13	-20,03	-1,54	Aug 1965	Aug 1966	13	-8,03	-0,62	Aug 1965	Aug 1966	13	-7,49	-0,58
8	Aug 1968	Sep 1968	2	-1,40	-0,70	Aug 1968	Sep 1968	2	-2,55	-1,28	Aug 1968	Sep 1968	2	-2,47	-1,24
9	Feb 1969	Nov 1969	10	-7,14	-0,71	Feb 1969	Nov 1969	10	-8,96	-0,90	Feb 1969	Nov 1969	10	-8,77	-0,88
10	Mar 1970	Apr 1970	2	-2,51	-1,26	Mar 1970	Apr 1970	2	-3,49	-1,75	Mar 1970	Apr 1970	2	-3,46	-1,73
11	Jul 1971	Nov 1971	5	-3,75	-0,75	Jul 1971	Nov 1971	5	-3,21	-0,64	Jul 1971	Nov 1971	5	-3,76	-0,75
12	Nov 1972	Dec 1972	2	-3,50	-1,75	Nov 1972	Dec 1972	2	-4,07	-2,04	Nov 1972	Dec 1972	2	-4,25	-2,13
13	Apr 1973	Jan 1974	10	-6,54	-0,65	Apr 1973	Jan 1974	10	-6,84	-0,68	Apr 1973	Jan 1974	10	-6,69	-0,67
14	Oct 1974	Jul 1975	10	-13,79	-1,38	Oct 1974	Jul 1975	10	-2,89	-0,29	Oct 1974	Jul 1975	10	-2,84	-0,28
15	Sep 1975	Nov 1975	3	-3,25	-1,08	Oct 1975	Nov 1975	2	-0,44	-0,22	Oct 1975	Nov 1975	2	-0,3	-0,15
16	Dec 1976	Oct 1977	11	-16,83	-1,53	Dec 1976	Oct 1977	11	-6,11	-0,56	Dec 1976	Oct 1977	11	-5,76	-0,52
17	Jan 1979	Sep 1979	9	-7,27	-0,81	Jan 1979	Sep 1979	9	-6,96	-0,77	Jan 1979	Sep 1979	9	-6,72	-0,75
18	Dec 1979	Feb 1980	3	-2,73	-0,91	Dec 1979	Feb 1980	3	-1,23	-0,41	Dec 1979	Feb 1980	3	-1,12	-0,37
19	Sep 1980	Nov 1980	3	-1,91	-0,64	Sep 1980	Nov 1980	3	-2,50	-0,83	Sep 1980	Nov 1980	3	-2,28	-0,76

A/A	Έναρξη ξηρασίας	Λήξη ξηρασίας	Μήνες	Σ PDSI	MO έντασης	Έναρξη ξηρασίας	Λήξη ξηρασίας	Μήνες	Σ RDI Th	MO έντασης	Έναρξη ξηρασίας	Λήξη ξηρασίας	Μήνες	Σ RDI BI- Cr	MO έντασης
20	Mar 1981	Jan 1982	11	-9,25	-0,84	Mar 1981	Jan 1982	11	-2,69	-0,24	Mar 1981	Jan 1982	11	-2,7	-0,25
21	Oct 1982	Jan 1983	4	-5,16	-1,29	Oct 1982	Jan 1983	4	-3,11	-0,78	Oct 1982	Jan 1983	4	-3,01	-0,75
22	Aug 1984	Dec 1984	7	-5,90	-0,84	May 1984	Nov 1984	7	-8,01	-1,14	May 1984	Nov 1984	7	-8,18	-1,17
23	Sep 1985	Feb 1987	18	-23,44	-1,30	Sep 1985	Feb 1987	18	-4,72	-0,26	Sep 1985	Feb 1987	18	-4,42	-0,25
24	Jul 1988	Oct 1988	4	-3,69	-0,92	Jun 1988	Oct 1988	5	-2,57	-0,51	Jun 1988	Oct 1988	5	-2,5	-0,50
25	Jan 1989	Nov 1990	23	-35,02	-1,52	Jan 1989	Nov 1990	23	-18,74	-0,81	Jan 1989	Nov 1990	23	-18,82	-0,82
26	Jul 1991	Feb 1992	8	-6,71	-0,84	Jul 1991	Feb 1992	8	-5,61	-0,70	Jul 1991	Feb 1992	8	-5,62	-0,70
27	Jul 1992	Oct 1993	16	-21,37	-1,34	Jul 1992	Oct 1993	16	-7,35	-0,46	Jul 1992	Oct 1993	16	-7,83	-0,49
28	Feb 1995	Jul 1996	18	-10,99	-0,61	Feb 1995	May 1996	16	-8,49	-0,53	Feb 1995	May 1996	16	-8,79	-0,55
29	Oct 1996	Nov 1996	2	-2,33	-1,17	Oct 1996	Nov 1996	2	-1,27	-0,64	Oct 1996	Nov 1996	2	-1,22	-0,61
30	Feb 1997	Mar 1997	2	-3,56	-1,78	Feb 1997	Mar 1997	2	-2,54	-1,27	Feb 1997	Mar 1997	2	-2,78	-1,39
31	May 1997	Sep 1997	5	-4,12	-0,82	May 1997	Sep 1997	5	-4,39	-0,88	May 1997	Sep 1997	5	-4,41	-0,88
32	Dec 1998	Feb 1999	3	-2,42	-0,81	Dec 1998	Feb 1999	3	-1,28	-0,43	Dec 1998	Feb 1999	3	-1,75	-0,58
33	Apr 1999	Jun 1999	3	-0,15	-0,05	Apr 1999	May 1999	2	-1,57	-0,79	Apr 1999	May 1999	2	-2,42	-1,21
34	Aug 1999	Sep 2001	26	-46,31	-1,78	Sep 1999	Sep 2001	25	-14,14	-0,57	Sep 1999	Sep 2001	25	-14,61	-0,58

Περιοχή Λάρισας															
	Δείκτης PDSI					Δείκτης RDI _{thorn}					Δείκτης RDI _{BI-Cr}				
A/ A	Έναρξη ξηρασίας	Λήξη ξηρασίας	Μήνες	Σ PDSI	ΜΟ έντασης	Έναρξη ξηρασίας	Λήξη ξηρασίας	Μήνες	Σ RDI Th	ΜΟ έντασης	Έναρξη ξηρασίας	Λήξη ξηρασίας	Μήνες	Σ RDI BI-Cr	ΜΟ έντασης
1	Dec 1956	April 1957	5	-4,94	-0,99	Jan 1957	April 1957	4	-0,53	-0,13	Jan 1957	April 1957	4	-0,99	-0,25
2	Nov 1957	Feb 1959	16	-16,70	-1,04	Nov 1957	Feb 1959	16	-16,08	-1,01	Nov 1957	Feb 1959	16	-13,37	-0,84
3	Oct 1959	Jan 1960	4	-4,16	-1,04	Oct 1959	Jan 1960	4	-1,08	-0,27	Oct 1959	Jan 1960	4	-0,44	-0,11
4	Oct 1960	Nov 1960	2	-7,29	-3,65	Oct 1960	Nov 1960	2	-2,37	-1,19	Oct 1960	Nov 1960	2	-2,27	-1,14
5	Apr 1961	Aug 1962	17	-11,46	-0,67	Apr 1961	Jun 1962	15	-4,96	-0,33	Apr 1961	Jun 1962	15	-5,05	-0,34
6	Jul 1964	Nov 1964	5	-6,22	-1,24	Oct 1964	Nov 1964	2	-1,06	-0,53	Oct 1964	Nov 1964	2	-0,83	-0,42
7	Sep 1965	Oct 1966	14	-20,45	-1,46	Sep 1965	Oct 1966	14	-10,29	-0,74	Sep 1965	Oct 1966	14	-10,25	-0,73
8	Jan 1967	Mar 1967	3	-3,28	-1,09	Jan 1967	Mar 1967	3	-1,17	-0,39	Jan 1967	Mar 1967	3	-2,24	-0,75
9	Oct 1967	Nov 1968	14	-15,55	-1,11	Oct 1967	Nov 1968	14	-4,55	-0,33	Oct 1967	Nov 1968	14	-4,39	-0,31
10	Apr 1969	Nov 1969	8	-14,32	-1,79	Apr 1969	Nov 1969	8	-9,32	-1,17	Apr 1969	Nov 1969	8	-9,28	-1,16
11	Mar 1970	Jan 1971	11	-18,32	-1,67	Mar 1970	Jan 1971	11	-12,59	-1,14	Mar 1970	Jan 1971	11	-12,48	-1,13
12	Nov 1971	Jan 1972	3	-6,32	-2,11	Nov 1971	Jan 1972	3	-2,15	-0,72	Nov 1971	Jan 1972	3	-1,93	-0,64
13	Nov 1972	Dec 1972	2	-7,83	-3,92	Nov 1972	Dec 1972	2	-4,9	-2,45	Nov 1972	Dec 1972	2	-5,07	-2,54
14	Apr 1973	Aug 1973	5	-5,01	-1,00	Apr 1973	Aug 1973	5	-3,9	-0,78	Apr 1973	Aug 1973	5	-3,91	-0,78
15	Mar 1974	May 1975	15	-10,17	-0,68	Jan 1974	May 1975	17	-13,92	-0,82	Jan 1974	May 1975	17	-11,32	-0,67
16	Sep 1976	Aug 1978	24	-24,31	-1,01	Sep 1976	Aug 1978	24	-8,18	-0,34	Sep 1976	Aug 1978	24	-8,85	-0,37
17	Jun 1979	Sep 1979	4	-2,89	-0,72	Jun 1979	Sep 1979	4	-2,11	-0,53	Jun 1979	Sep 1979	4	-2,10	-0,53
18	Feb 1981	Jan 1982	12	-8,36	-0,70	Feb 1981	Jan 1982	12	-4,15	-0,35	Feb 1981	Jan 1982	12	-3,26	-0,27
19	Dec 1982	May 1983	6	-7,87	-1,31	Dec 1982	May 1983	6	-3,96	-0,66	Dec 1982	May 1983	6	-4,41	-0,74

A/A	Έναρξη ξηρασίας	Λήξη ξηρασίας	Μήνες	Σ PDSI	ΜΟ έντασης	Έναρξη ξηρασίας	Λήξη ξηρασίας	Μήνες	Σ RDI Th	ΜΟ έντασης	Έναρξη ξηρασίας	Λήξη ξηρασίας	Μήνες	Σ RDI BI- Cr	ΜΟ έντασης
20	Sep 1983	Nov 1983	3	-6,63	-2,21	Sep 1983	Nov 1983	3	-1,52	-0,51	Sep 1983	Nov 1983	3	-1,61	-0,54
21	May 1984	Sep 1985	17	-18,36	-1,08	May 1984	Sep 1985	17	-6,99	-0,41	May 1984	Sep 1985	17	-7,86	-0,46
22	Dec 1985	Sep 1986	10	-9,85	-0,99	Dec 1985	Sep 1986	10	-4,46	-0,45	Dec 1985	Sep 1986	10	-4,15	-0,42
23	Dec 1986	Jan 1987	2	-3,88	-1,94	Dec 1986	Jan 1987	2	-0,9	-0,45	Dec 1986	Jan 1987	2	-1,77	-0,89
24	Jun 1987	Sep 1987	4	-3,84	-0,96	Jun 1987	Sep 1987	4	-3,02	-0,76	Jun 1987	Sep 1987	4	-2,98	-0,75
25	May 1988	Oct 1988	6	-7,74	-1,29	May 1988	Oct 1988	6	-5,02	-0,84	May 1988	Oct 1988	6	-4,94	-0,82
26	Jan 1989	Apr 1989	4	-5,48	-1,37	Jan 1989	Apr 1989	4	-4,07	-1,02	Jan 1989	Apr 1989	4	-5,07	-1,27
27	Sep 1989	Oct 1990	14	-18,19	-1,30	Sep 1989	Oct 1990	14	-8,15	-0,58	Sep 1989	Oct 1990	14	-9,66	-0,69
28	Oct 1991	Mar 1992	6	-11,94	-1,99	Oct 1991	Mar 1992	6	-4,31	-0,72	Oct 1991	Mar 1992	6	-7,06	-1,18
29	Sep 1992	Oct 1993	14	-17,71	-1,27	Sep 1992	Oct 1993	14	-6	-0,43	Sep 1992	Oct 1993	14	-6,75	-0,48
30	May 1994	Sep 1994	5	-4,61	-0,92	May 1994	Sep 1994	5	-2,26	-0,45	May 1994	Sep 1994	5	-2,09	-0,42
31	Oct 1995	Nov 1995	2	-7,16	-3,58	Oct 1995	Nov 1995	2	-1,41	-0,71	Oct 1995	Nov 1995	2	-1,92	-0,96
32	Apr 1996	Jun 1996	3	-3,93	-1,31	Apr 1996	Jun 1996	3	-3,86	-1,29	Apr 1996	Jun 1996	3	-3,93	-1,31
33	Nov 1996	Apr 1998	18	-16,14	-0,90	Nov 1996	Apr 1998	18	-8,01	-0,45	Nov 1996	Apr 1998	18	-7,84	-0,44
34	Jun 1998	Oct 1998	5	-5,51	-1,10	Jun 1998	Oct 1998	5	-5,14	-1,03	Jun 1998	Oct 1998	5	-5,18	-1,04
35	May 1999	Jul 1999	3	-4,09	-1,36	May 1999	Jun 1999	2	-2,29	-1,15	May 1999	Jun 1999	2	-2,34	-1,17
36	Mar 2000	Mar 2001	13	-15,55	-1,20	Mar 2000	Mar 2001	13	-7,93	-0,61	Mar 2000	Mar 2001	13	-8,17	-0,63

Περιοχή Νάξου															
	Δείκτης PDSI					Δείκτης RDI _{thorn}					Δείκτης RDI _{BI-Cr}				
A/ A	Έναρξη ξηρασίας	Λήξη ξηρασίας	Μήνες	Σ PDSI	ΜΟ έντασης	Έναρξη ξηρασίας	Λήξη ξηρασίας	Μήνες	Σ RDI Th	ΜΟ έντασης	Έναρξη ξηρασίας	Λήξη ξηρασίας	Μήνες	Σ RDI BI-Cr	ΜΟ έντασης
1	Oct 1956	Nov 1956	2	-2,50	-1,25	Oct 1956	Nov 1956	2	-0,59	-0,30	Oct 1956	Nov 1956	2	-0,82	-0,41
2	Feb 1957	Apr 1957	3	-4,39	-1,46	Feb 1957	Apr 1957	3	-2,18	-0,73	Feb 1957	Apr 1957	3	-2,41	-0,80
3	Oct 1957	Apr 1961	43	-56,23	-1,31	Oct 1957	Apr 1961	43	-19,76	-0,46	Oct 1957	Apr 1961	43	-19,25	-0,45
4	Oct 1962	Nov 1962	2	-3,55	-1,78	Oct 1962	Nov 1962	2	-1,72	-0,86	Oct 1962	Nov 1962	2	-1,74	-0,87
5	Jan 1963	Apr 1963	4	-2,99	-0,75	Jan 1963	Apr 1963	4	-1,08	-0,27	Jan 1963	Apr 1963	4	-1,25	-0,31
6	Nov 1963	Dec 1964	14	-16,24	-1,16	Nov 1963	Dec 1964	14	-5,73	-0,41	Nov 1963	Dec 1964	14	-6,07	-0,43
7	Sep 1965	Jul 1966	11	-17,77	-1,62	Oct 1965	Jun 1966	9	-5,26	-0,58	Oct 1965	Jun 1966	9	-5,55	-0,62
8	Oct 1966	Nov 1966	2	-3,74	-1,87	Oct 1966	Nov 1966	2	-1,33	-0,67	Oct 1966	Nov 1966	2	-1,19	-0,60
9	Jun 1967	Dec 1967	7	-3,56	-0,51	Jun 1967	Dec 1967	7	-2,89	-0,41	Jun 1967	Dec 1967	7	-2,88	-0,41
10	Mar 1968	Apr 1968	2	-1,46	-0,73	Mar 1968	Apr 1968	2	-1,91	-0,96	Mar 1968	Apr 1968	2	-2,01	-1,01
11	Aug 1968	Sep 1968	2	-0,89	-0,45	Aug 1968	Sep 1968	2	-3,80	-1,90	Aug 1968	Sep 1968	2	-3,74	-1,87
12	Dec 1968	Feb 1969	3	-3,70	-1,23	Dec 1968	Feb 1969	3	-1,95	-0,65	Dec 1968	Feb 1969	3	-1,84	-0,61
13	Sep 1969	Nov 1969	3	-5,29	-1,76	Oct 1969	Nov 1969	2	-4,23	-2,12	Oct 1969	Nov 1969	2	-4,35	-2,18
14	Sep 1971	Feb 1972	6	-10,29	-1,72	Sep 1971	Feb 1972	6	-5,28	-0,88	Sep 1971	Feb 1972	6	-5,66	-0,94
15	Sep 1973	Jan 1974	5	-7,67	-1,53	Sep 1973	Jan 1974	5	-4,12	-0,82	Sep 1973	Jan 1974	5	-4,34	-0,87
16	May 1974	Oct 1974	6	-4,61	-0,77	May 1974	Oct 1974	6	-1,47	-0,25	May 1974	Oct 1974	6	-1,46	-0,24
17	Dec 1974	Mar 1975	4	-3,47	-0,87	Dec 1974	Mar 1975	4	-1,19	-0,30	Dec 1974	Mar 1975	4	-1,27	-0,32
18	Aug 1975	Oct 1975	3	-2,87	-0,96	Aug 1975	Oct 1975	3	-0,73	-0,24	Aug 1975	Oct 1975	3	-0,63	-0,21
19	Jan 1977	Apr 1977	4	-5,56	-1,39	Jan 1977	Apr 1977	4	-5,28	-1,32	Jan 1977	Apr 1977	4	-5,27	-1,32

A/A	Έναρξη ξηρασίας	Λήξη ξηρασίας	Μήνες	Σ PDSI	ΜΟ έντασης	Έναρξη ξηρασίας	Λήξη ξηρασίας	Μήνες	Σ RDI Th	ΜΟ έντασης	Έναρξη ξηρασίας	Λήξη ξηρασίας	Μήνες	Σ RDI BI- Cr	ΜΟ έντασης
20	Nov 1977	Dec 1977	2	-3,04	-1,52	Nov 1977	Dec 1977	2	-1,36	-0,68	Nov 1977	Dec 1977	2	-1,23	-0,62
21	Nov 1978	Sep 1979	11	-17,54	-1,59	Nov 1978	Sep 1979	11	-4,82	-0,44	Nov 1978	Sep 1979	11	-4,54	-0,41
22	Aug 1981	Oct 1981	3	-3,31	-1,10	Aug 1981	Oct 1981	3	-2,19	-0,73	Aug 1981	Oct 1981	3	-2,13	-0,71
23	Sep 1982	Oct 1983	14	-15,99	-1,14	Sep 1982	Oct 1983	14	-12,58	-0,90	Sep 1982	Oct 1983	14	-12,77	-0,91
24	Sep 1984	Nov 1984	3	-3,91	-1,30	Oct 1984	Nov 1984	2	-0,60	-0,30	Oct 1984	Nov 1984	2	-0,73	-0,37
25	Nov 1985	Sep 1986	11	-16,74	-1,52	Nov 1985	Sep 1986	11	-4,83	-0,44	Nov 1985	Sep 1986	11	-4,54	-0,41
26	Nov 1986	Oct 1987	12	-17,55	-1,46	Nov 1986	Oct 1987	12	-3,81	-0,32	Nov 1986	Oct 1987	12	-3,54	-0,30
27	May 1988	Oct 1988	6	-3,67	-0,61	May 1988	Oct 1988	6	-2,31	-0,39	May 1988	Oct 1988	6	-2,30	-0,38
28	Jan 1989	Apr 1989	4	-5,81	-1,45	Jan 1989	Apr 1989	4	-6,17	-1,54	Jan 1989	Apr 1989	4	-5,95	-1,49
29	Nov 1989	Nov 1990	13	-29,86	-2,30	Nov 1989	Nov 1990	13	-14,68	-1,13	Nov 1989	Nov 1990	13	-14,13	-1,09
30	Jan 1992	Nov 1992	11	-13,36	-1,21	Jan 1992	Nov 1992	11	-5,61	-0,51	Jan 1992	Nov 1992	11	-5,67	-0,52
31	Sep 1993	Oct 1993	2	-3,25	-1,63	Sep 1993	Oct 1993	2	-2,29	-1,15	Sep 1993	Oct 1993	2	-2,43	-1,22
32	Dec 1993	Jan 1994	2	-2,16	-1,08	Dec 1993	Jan 1994	2	-2,69	-1,35	Dec 1993	Jan 1994	2	-2,72	-1,36
33	Jun 1994	Sep 1994	4	-1,20	-0,30	Jun 1994	Sep 1994	4	-1,62	-0,41	Jun 1994	Sep 1994	4	-1,63	-0,41
34	Feb 1995	Oct 1995	9	-8,03	-0,89	Feb 1995	Oct 1995	9	-5,59	-0,62	Feb 1995	Oct 1995	9	-5,51	-0,61
35	Oct 1996	Nov 1996	2	-2,49	-1,25	Oct 1996	Nov 1996	2	-0,78	-0,39	Oct 1996	Nov 1996	2	-0,71	-0,36
36	Aug 1997	Feb 1998	7	-7,48	-1,07	Aug 1997	Feb 1998	7	-6,42	-0,92	Aug 1997	Feb 1998	7	-6,39	-0,91
37	Oct 1999	Sep 2001	24	-48,45	-2,02	Oct 1999	Sep 2001	24	-10,58	-0,44	Oct 1999	Sep 2001	24	-10,29	-0,43

Περιοχή Ηρακλείου

Περιοχή Ηρακλείου															
	Δείκτης PDSI					Δείκτης RDI _{thorn}					Δείκτης RDI _{BI-Cr}				
A/ A	Έναρξη ξηρασίας	Λήξη ξηρασίας	Μήνες	Σ PDSI	ΜΟ έντασης	Έναρξη ξηρασίας	Λήξη ξηρασίας	Μήνες	Σ RDI Th	ΜΟ έντασης	Έναρξη ξηρασίας	Λήξη ξηρασίας	Μήνες	Σ RDI BI-Cr	ΜΟ έντασης
1	Oct 1956	Nov 1956	2	-4,20	-2,10	Oct 1956	Nov 1956	2	-1,42	-0,71	Oct 1956	Nov 1956	2	-1,49	-0,75
2	Feb 1957	Mar 1957	2	-2,36	-1,18	Feb 1957	Mar 1957	2	-2,51	-1,26	Feb 1957	Mar 1957	2	-2,57	-1,29
3	Dec 1957	Jul 1958	8	-15,16	-1,90	Dec 1957	Jul 1958	8	-6,91	-0,86	Dec 1957	Jul 1958	8	-7,26	-0,91
4	Oct 1958	Sep 1959	12	-17,05	-1,42	Oct 1958	Sep 1959	12	-3,93	-0,33	Oct 1958	Sep 1959	12	-3,84	-0,32
5	Nov 1959	Feb 1960	4	-2,93	-0,73	Nov 1959	Feb 1960	4	-1,97	-0,49	Nov 1959	Feb 1960	4	-2,03	-0,51
6	Oct 1960	Jan 1961	4	-6,43	-1,61	Oct 1960	Jan 1961	4	-3,81	-0,95	Oct 1960	Jan 1961	4	-4,14	-1,04
7	Apr 1961	Sep 1961	6	-5,27	-0,88	Apr 1961	Sep 1961	6	-7,26	-1,21	Apr 1961	Sep 1961	6	-7,39	-1,23
8	Mar 1962	Aug 1962	6	-6,97	-1,16	Mar 1962	Aug 1962	6	-7,78	-1,30	Mar 1962	Aug 1962	6	-8,12	-1,35
9	Nov 1963	Jan 1964	3	-2,96	-0,99	Nov 1963	Jan 1964	3	-1,92	-0,64	Nov 1963	Jan 1964	3	-1,81	-0,60
10	Sep 1964	Dec 1964	4	-3,55	-0,89	Sep 1964	Dec 1964	4	-0,67	-0,17	Sep 1964	Dec 1964	4	-0,74	-0,19
11	Oct 1965	Dec 1965	3	-6,44	-2,15	Oct 1965	Dec 1965	3	-3,17	-1,06	Oct 1965	Dec 1965	3	-3,66	-1,22
12	May 1966	Aug 1966	4	-5,43	-1,36	Apr 1966	Aug 1966	5	-3,12	-0,62	Apr 1966	Aug 1966	5	-3,19	-0,64
13	Dec 1966	Mar 1967	4	-4,60	-1,15	Oct 1966	Dec 1966	3	-1,74	-0,58	Oct 1966	Dec 1966	3	-1,77	-0,59
14	Sep 1967	Sep 1968	13	-20,44	-1,57	Sep 1967	Sep 1968	13	-3,00	-0,23	Sep 1967	Sep 1968	13	-3,04	-0,23
15	Feb 1969	Jul 1969	6	-7,70	-1,28	Feb 1969	Jul 1969	6	-1,37	-0,23	Feb 1969	Jul 1969	6	-1,19	-0,20
16	Nov 1969	Feb 1970	4	-3,75	-0,94	Nov 1969	Feb 1970	4	-3,66	-0,92	Nov 1969	Feb 1970	4	-3,24	-0,81
17	Sep 1970	Jan 1971	4	-7,20	-1,80	Sep 1970	Jan 1971	4	-2,90	-0,73	Sep 1970	Jan 1971	4	-2,89	-0,72
18	Apr 1971	Jul 1971	4	-7,66	-1,92	Apr 1971	Jul 1971	4	-4,05	-1,01	Apr 1971	Jul 1971	4	-3,85	-0,96
19	Mar 1972	Oct 1972	8	-10,19	-1,27	Dec 1971	Apr 1972	5	-2,13	-0,43	Dec 1971	Apr 1972	5	-2,14	-0,43

A/A	Έναρξη ξηρασίας	Λήξη ξηρασίας	Μήνες	Σ PDSI	ΜΟ έντασης	Έναρξη ξηρασίας	Λήξη ξηρασίας	Μήνες	Σ RDI Th	ΜΟ έντασης	Έναρξη ξηρασίας	Λήξη ξηρασίας	Μήνες	Σ RDI BI- Cr	ΜΟ έντασης
20	Dec 1972	Sep 1973	10	-6,14	-0,61	Nov 1972	Sep 1973	11	-5,26	-0,48	Nov 1972	Sep 1973	11	-4,92	-0,45
21	Jan 1974	May 1974	5	-8,06	-1,61	Dec 1973	May 1974	6	-2,32	-0,39	Dec 1973	May 1974	6	-2,08	-0,35
22	Nov 1974	Oct 1975	12	-11,77	-0,98	Sep 1974	Apr 1975	8	-3,80	-0,48	Sep 1974	Apr 1975	8	-3,48	-0,44
23	Nov 1976	May 1977	7	-8,53	-1,22	Dec 1976	May 1977	6	-5,40	-0,90	Dec 1976	May 1977	6	-5,19	-0,87
24	Sep 1977	Nov 1977	3	-3,26	-1,09	Oct 1977	Nov 1977	2	-1,28	-0,64	Oct 1977	Nov 1977	2	-1,18	-0,59
25	Mar 1978	Sep 1978	7	-8,40	-1,20	Jan 1978	Apr 1978	4	-1,27	-0,32	Jan 1978	Apr 1978	4	-0,56	-0,14
26	Dec 1979	Jan 1980	2	-3,31	-1,66	Dec 1979	Jan 1980	2	-0,54	-0,27	Dec 1979	Jan 1980	2	-0,77	-0,39
27	Aug 1980	Nov 1980	4	-2,81	-0,70	Aug 1980	Nov 1980	4	-6,34	-1,59	Aug 1980	Nov 1980	4	-6,21	-1,55
28	Mar 1981	Oct 1981	8	-10,49	-1,31	Mar 1981	Oct 1981	8	-3,78	-0,47	Mar 1981	Oct 1981	8	-3,87	-0,48
29	Dec 1981	Jan 1982	2	-0,77	-0,39	Dec 1981	Jan 1982	2	-2,36	-1,18	Dec 1981	Jan 1982	2	-1,99	-1,00
30	Sep 1982	May 1983	9	-9,37	-1,04	Sep 1982	May 1983	9	-5,43	-0,60	Sep 1982	May 1983	9	-5,24	-0,58
31	Sep 1983	Jan 1984	5	-3,85	-0,77	Sep 1983	Jan 1984	5	-1,62	-0,32	Sep 1983	Jan 1984	5	-1,60	-0,32
32	May 1984	Jun 1984	2	-2,64	-1,32	May 1984	Jun 1984	2	-3,93	-1,97	May 1984	Jun 1984	2	-3,95	-1,98
33	Nov 1985	Jun 1986	8	-5,50	-0,69	Nov 1985	Jun 1986	8	-7,81	-0,98	Nov 1985	Jun 1986	8	-7,71	-0,96
34	Sep 1986	Feb 1987	6	-3,28	-0,55	Sep 1986	Feb 1987	6	-1,18	-0,20	Sep 1986	Feb 1987	6	-0,67	-0,11
35	May 1987	Apr 1988	12	-2,24	-0,19	May 1987	Apr 1988	12	-3,04	-0,25	May 1987	Apr 1988	12	-3,19	-0,27
36	Nov 1988	Jun 1989	8	-1,54	-0,19	Dec 1988	Jun 1989	7	-6,47	-0,92	Dec 1988	Jun 1989	7	-6,30	-0,90
37	Dec 1989	Nov 1990	12	-9,79	-0,82	Dec 1989	Nov 1990	12	-8,70	-0,73	Dec 1989	Nov 1990	12	-9,05	-0,75
38	Mar 1991	Jan 1993	23	-24,72	-1,07	Mar 1991	Nov 1991	9	-7,20	-0,80	Mar 1991	Nov 1991	9	-7,16	-0,80
39	Sep 1993	Oct 1993	2	-3,40	-1,70	Sep 1993	Oct 1993	2	-0,80	-0,40	Sep 1993	Oct 1993	2	-0,85	-0,43
40	Apr 1994	May 1994	2	-5,47	-2,74	Apr 1994	May 1994	2	-1,19	-0,60	Apr 1994	May 1994	2	-1,22	-0,61

A/A	Έναρξη ξηρασίας	Λήξη ξηρασίας	Μήνες	Σ PDSI	MO έντασης	Έναρξη ξηρασίας	Λήξη ξηρασίας	Μήνες	Σ RDI Th	MO έντασης	Έναρξη ξηρασίας	Λήξη ξηρασίας	Μήνες	Σ RDI BI- Cr	MO έντασης
41	Dec 1994	Apr 1995	5	-7,92	-1,58	Jan 1995	Dec 1995	12	-7,74	-0,65	Jan 1995	Dec 1995	12	-7,68	-0,61
	Jun 1995	Jan 1996	8	-13,84	-1,73										
42	Dec 1996	Jan 1997	2	-2,83	-1,42	Dec 1996	Jan 1997	2	-1,27	-0,64	Dec 1996	Jan 1997	2	-1,10	-0,55
43	Apr 1999	Nov 1999	10	-15,37	-1,54	Apr 1999	Nov 1999	10	-4,94	-0,49	Apr 1999	Nov 1999	10	-4,66	-0,47
44	Oct 2000	Jan 2001	4	-5,40	-1,35	Oct 2000	Mar 2001	6	-5,34	-0,89	Oct 2000	Mar 2001	6	-5,41	-0,90

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 6

Διαγράμματα σύγκρισης δείκτη ξηρασίας RDI με επίγεια και δορυφορικά δεδομένα

Π6.1: Τιμές δείκτη επίγειου και δορυφορικού RDI, υπολογισμένων σε τρίμηνη βάση, για όλες τις επιλεγμένες περιοχές

Π6.2: Τιμές δείκτη επίγειου και δορυφορικού RDI, υπολογισμένων σε εξάμηνη βάση, για όλες τις επιλεγμένες περιοχές

Π6.3: Τιμές δείκτη επίγειου και δορυφορικού RDI, υπολογισμένων σε βάση εννέα μηνών, για όλες τις επιλεγμένες περιοχές

Π6.4: Τιμές δείκτη επίγειου και δορυφορικού RDI, υπολογισμένων σε ετήσια βάση, για όλες τις επιλεγμένες περιοχές

Π6.1: Τιμές δείκτη επίγειου και δορυφορικού RDI, υπολογισμένων σε τρίμηνη βάση, για όλες τις επιλεγμένες περιοχές



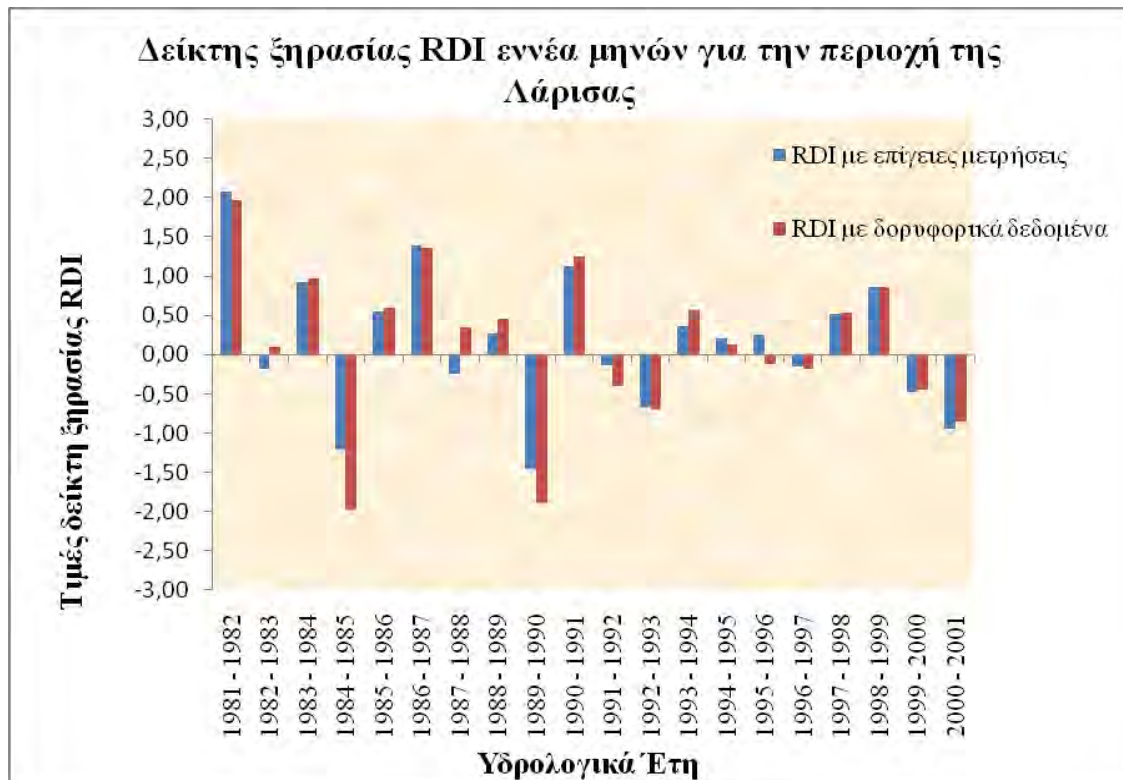


Π6.2: Τιμές δείκτη επίγειου και δορυφορικού RDI, υπολογισμένων σε εξάμηνη βάση, για όλες τις επιλεγμένες περιοχές



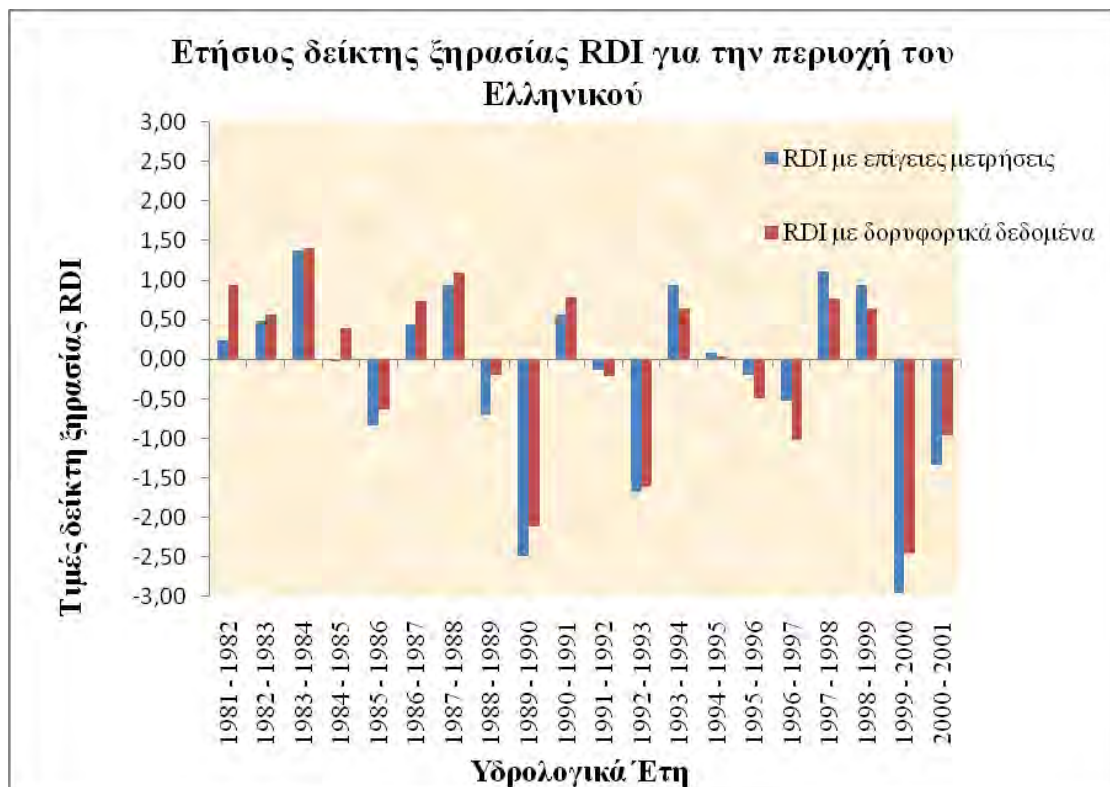


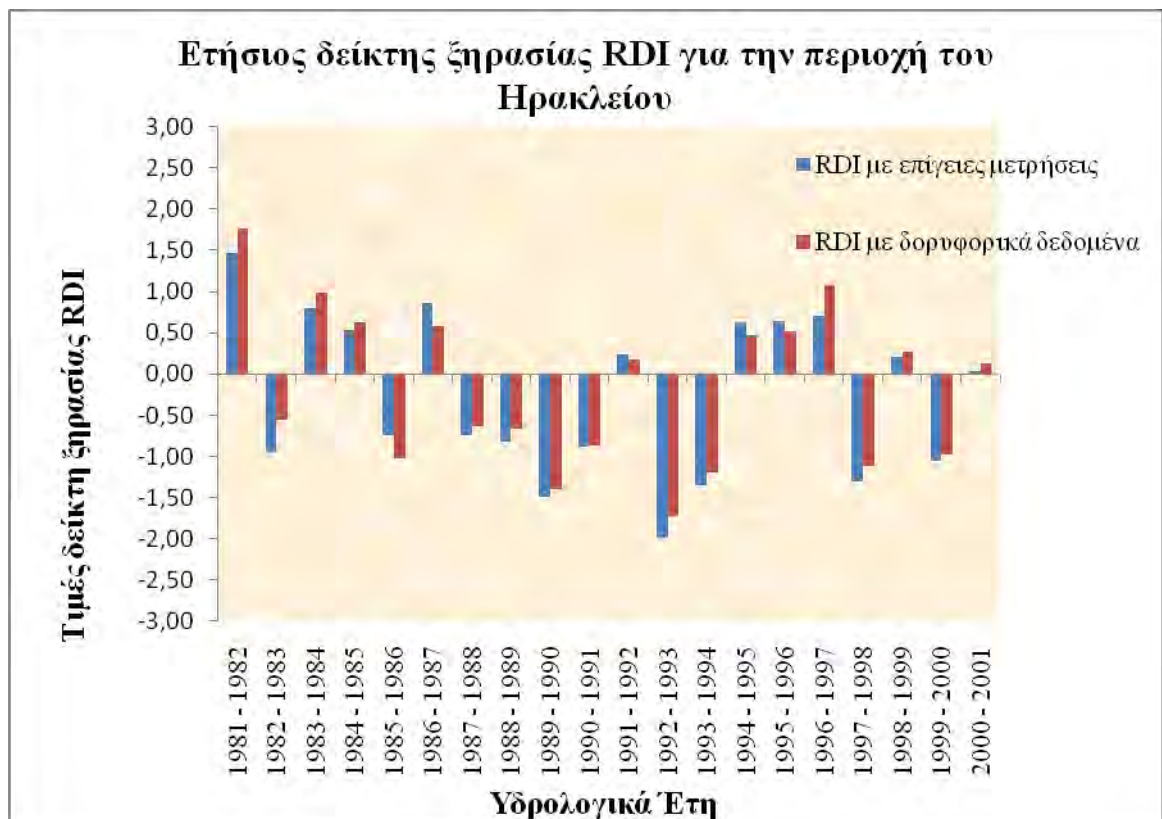
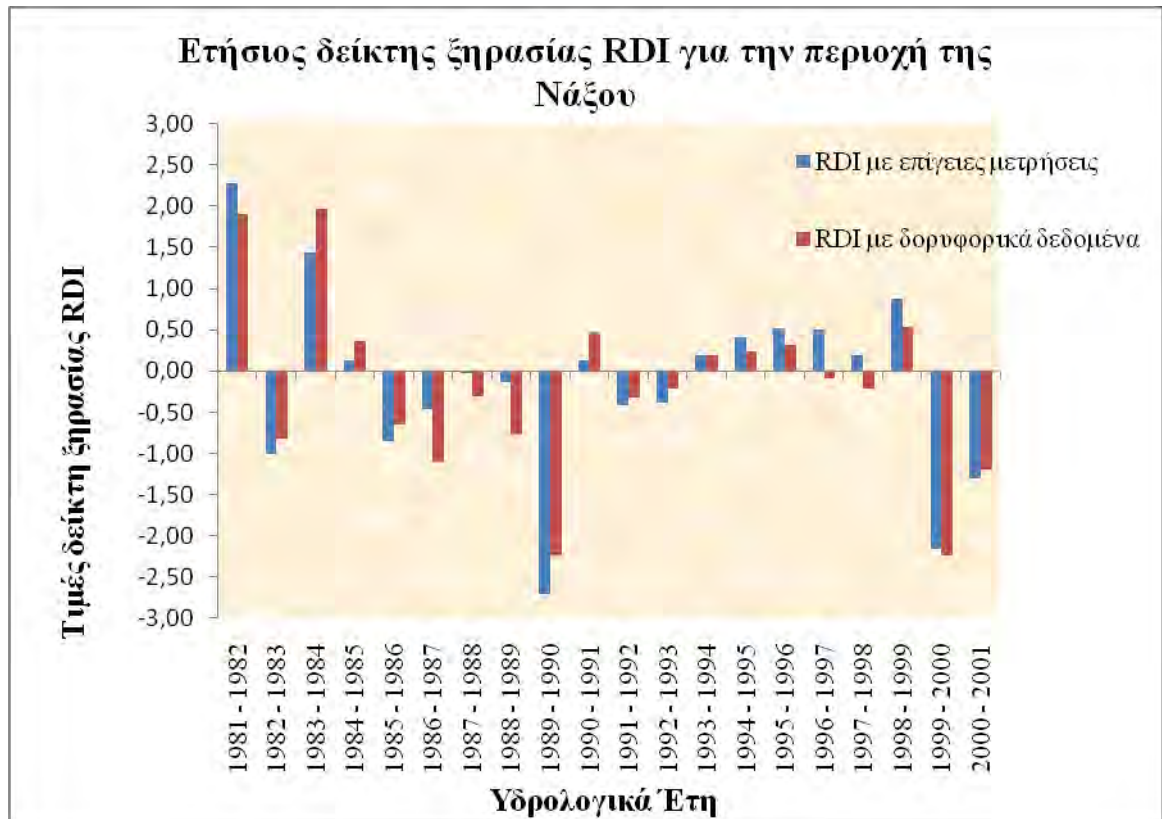
Π6.3: Τιμές δείκτη επίγειου και δορυφορικού RDI, υπολογισμένων σε βάση εννέα μηνών, για όλες τις επιλεγμένες περιοχές





Π6.4: Τιμές δείκτη επίγειου και δορυφορικού RDI, υπολογισμένων σε ετήσια βάση, για όλες τις επιλεγμένες περιοχές





ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 7

Πίνακας συνδιακύμανσης όλων των συνιστωσών της ανάλυσης σε κύριες συνιστώσες (PCA) του ετήσιου δείκτη ξηρασίας RDI

A/A	Υδρολογικά έτη	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10	PC11
1	1982-83	0,21719	-0,21139	-0,22244	-0,18778	-0,11119	0,29915	-0,058	-0,03679	0,41748	0,08837	-0,08927
2	1983-84	0,19979	-0,22228	0,07336	-0,07204	0,11776	0,13101	0,28362	-0,27184	0,27622	0,48158	-0,29603
3	1984-85	0,23201	-0,44866	0,71884	0,16171	-0,13312	0,08653	-0,1778	-0,01841	-0,04248	0,05944	0,25353
4	1985-86	0,21595	-0,33443	-0,20252	0,11995	0,17003	0,22348	-0,07067	0,37515	0,13733	-0,29373	0,29603
5	1986-87	0,21771	-0,25736	-0,28833	0,43902	-0,04028	-0,04069	-0,15388	-0,12208	0,01208	-0,29173	-0,29709
6	1987-88	0,2147	-0,12307	-0,12829	0,11744	-0,05293	0,08497	0,50972	-0,05121	-0,35478	-0,0534	-0,06031
7	1988-89	0,23724	-0,04329	-0,17156	0,01515	-0,38073	-0,03022	0,37056	0,05313	-0,35002	-0,012	0,22484
8	1989-90	0,26058	-0,13881	-0,15949	-0,34753	-0,42039	-0,33027	-0,3619	0,2748	-0,13209	0,27411	-0,17216
9	1990-91	0,20961	-0,24184	-0,19323	-0,25575	0,58459	-0,33114	0,07241	-0,08156	-0,1321	0,15504	0,14576
10	1991-92	0,24226	-0,01305	0,21853	-0,1029	0,13123	-0,39421	0,12709	-0,00149	0,14165	-0,34298	-0,16263
11	1992-93	0,25576	0,14511	0,19944	-0,30419	0,18401	-0,04666	-0,11803	-0,25693	-0,1927	-0,34878	-0,03232
12	1993-94	0,22658	0,1591	-0,00192	-0,05055	-0,13086	-0,04698	-0,15549	0,04541	0,09662	-0,23208	-0,31591
13	1994-95	0,22157	0,23894	0,0869	-0,02185	0,1666	0,37378	0,106	0,1987	0,06678	-0,07438	-0,27527
14	1995-96	0,2204	0,20834	-0,02509	0,25025	0,31172	0,15	-0,26364	0,30346	-0,26392	0,22914	-0,0663
15	1996-97	0,23905	0,23797	0,25419	0,18274	-0,05605	-0,02054	0,13454	0,12711	-0,15178	0,20682	-0,24222

16	1997-98	0,23325	0,26682	0,05564	-0,35986	-0,13429	0,16328	0,21855	0,18815	0,24608	-0,11782	0,31837
17	1998-99	0,22002	0,24548	-0,07565	0,1331	0,14908	-0,11489	-0,10846	0,12133	0,09554	0,26909	0,31913
18	1999-00	0,2468	0,17241	-0,15359	-0,05289	-0,08453	0,31816	-0,32333	-0,61	-0,20595	0,02665	0,20264
19	2000-01	0,23843	0,25867	-0,05343	0,41701	-0,1249	-0,37933	0,07339	-0,2077	0,41175	0,04716	0,22079

A/A	Υδρολογικά έτη	PC12	PC13	PC14	PC15	PC16	PC17	PC18	PC19
1	1982-83	0,30023	0,02913	-0,20013	0,02007	-0,05437	0,06093	-0,53367	-0,32225
2	1983-84	0,03977	-0,18694	-0,07017	-0,05793	0,06929	0,11928	0,44531	0,23822
3	1984-85	0,017	0,16142	0,09419	-0,09442	0,10562	-0,11105	-0,08453	-0,02112
4	1985-86	-0,30333	-0,44965	-0,05979	0,13165	-0,0088	0,13949	0,18424	0,01369
5	1986-87	0,16767	0,34881	0,21735	-0,14451	-0,35999	0,04226	0,20066	0,07464
6	1987-88	0,20948	-0,1988	0,32145	0,3171	0,17718	-0,39737	-0,11531	-0,11754
7	1988-89	-0,02347	0,17305	-0,47346	-0,35709	0,08801	0,24494	0,04958	0,02433
8	1989-90	-0,11065	-0,11893	0,04221	0,09501	-0,12694	-0,27767	0,06349	0,13289
9	1990-91	-0,24526	0,23223	0,21509	-0,19333	0,04317	0,08015	-0,24832	-0,03354

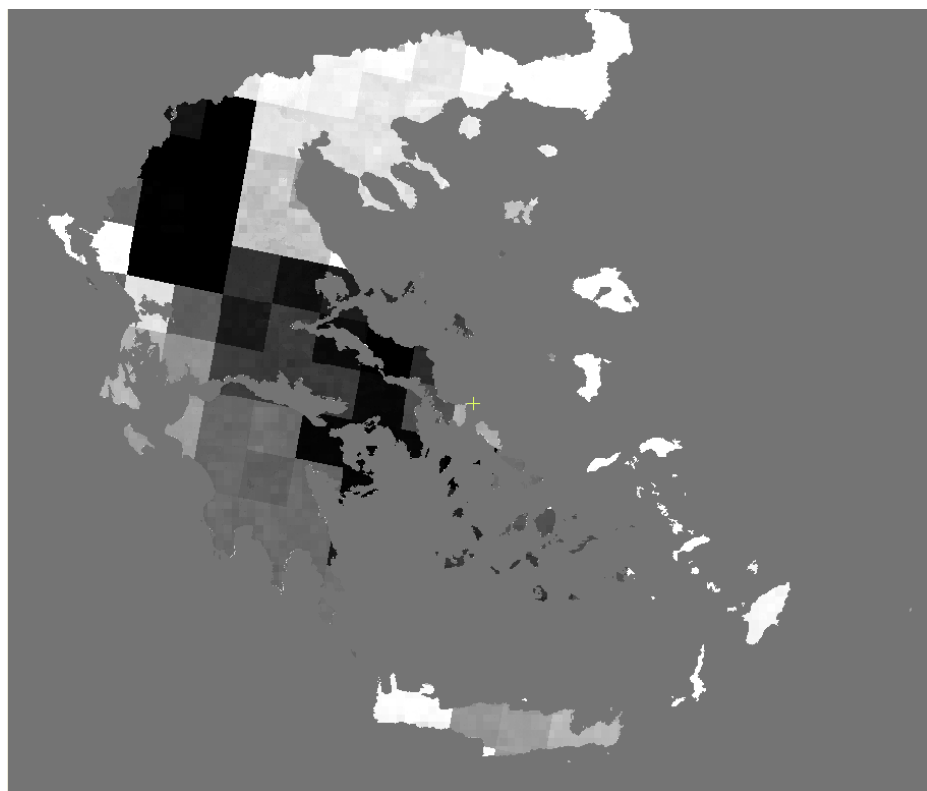
10	1991-92	0,04582	0,21543	-0,40233	0,55318	0,05697	0,06672	0,0401	0,06461
11	1992-93	0,29673	-0,44774	-0,0993	-0,35263	-0,26058	-0,08436	0,05698	-0,06647
12	1993-94	-0,07492	-0,02214	0,27148	-0,20287	0,70257	0,23303	0,07256	-0,19517
13	1994-95	-0,41528	0,2514	-0,18786	-0,2026	-0,0646	-0,51512	-0,01367	0,01148
14	1995-96	0,38353	-0,01566	-0,13605	0,05594	0,18024	0,12009	-0,19574	0,42748
15	1996-97	-0,26861	-0,14875	0,15903	0,12852	-0,40168	0,45558	-0,17355	-0,30135
16	1997-98	0,17517	0,23393	0,43776	0,04021	-0,16674	0,14355	0,08218	0,32302
17	1998-99	0,24238	0,14119	-0,05456	0,04707	0,00897	-0,16802	0,43793	-0,56448
18	1999-00	-0,27724	0,09119	-0,02581	0,34134	0,05293	0,06226	0,03462	0,05952
19	2000-01	-0,13147	-0,24665	-0,00141	-0,14865	0,0292	-0,20287	-0,27498	0,23049

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 8

Χάρτες των συνιστωσών της ανάλυσης κυρίων συνιστωσών (PCA) του ετήσιου δείκτη ξηρασίας RDI



Χάρτης PC1 συνιστώσας της ανάλυσης κυρίων συνιστωσών



Χάρτης PC2 συνιστώσας της ανάλυσης κυρίων συνιστωσών



Χάρτης PC3 συνιστώσας της ανάλυσης κυρίων συνιστωσών



Χάρτης PC4 συνιστώσας της ανάλυσης κυρίων συνιστωσών



Χάρτης PC5 συνιστώσας της ανάλυσης κυρίων συνιστωσών