

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**

**ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

«Δορυφορικές Μεθοδολογίες Αγροκλιματικής-Υδροκλιματικής
Ζωνοποίησης για Γεωργική Παραγωγή»

Εμμανουήλ Κων/νου Τσίρος

Βόλος, 2009

«Δορυφορικές Μεθοδολογίες Αγροκλιματικής-Υδροκλιματικής Ζωνοποίησης
για Γεωργική Παραγωγή»

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή:

1. Νικόλαος Ρ. Δαλέζιος, Καθηγητής Αγρομετεωρολογίας-Δορυφορικής Μετεωρολογίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, *Επιβλέπων*.
2. Στέργιος Τζώρτζιος, Καθηγητής Βιομετρίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, *Μέλος*.
3. Νικόλαος Δαναάτος, Καθηγητής Γεωργίας και Εφαρμοσμένης Φυσιολογίας Φυτών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, *Μέλος*.

Επταμελής Εξεταστική Επιτροπή:

1. Νικόλαος Ρ. Δαλέζιος, Καθηγητής Αγρομετεωρολογίας-Δορυφορικής Μετεωρολογίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
2. Στέργιος Τζώρτζιος, Καθηγητής Βιομετρίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
3. Νικόλαος Δαναάτος, Καθηγητής Γεωργίας και Εφαρμοσμένης Φυσιολογίας Φυτών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
4. Χρήστος Σ. Ζερεφός, Καθηγητής Φυσικής της Ατμόσφαιρας, Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
5. Ανθούλα Δημήρκου, Αν. Καθηγήτρια Εδαφολογίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
6. Νικόλαος Σουλακέλης, Αν. Καθηγητής Θεματικής Χαρτογραφίας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου.
7. Αθανάσιος Σφουγγάρης, Μόνιμος Επ. Καθηγητής Διαχείρισης Οικοτόπων και Βιοποικιλότητας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

Εμμανουήλ Τσίρος

«Δορυφορικές Μεθοδολογίες Αγροκλιματικής-Υδροκλιματικής Ζωνοποίησης
για Γεωργική Παραγωγή»

ISBN

Εμμανουήλ Τσίρος, 2009: «Δορυφορικές Μεθοδολογίες Αγροκλιματικής-Υδροκλιματικής Ζωνοποίησης για Γεωργική Παραγωγή», Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.

Αριθμός προκαταρτικών σελίδων: 22

Συνολικός αριθμός σελίδων: 239

Αριθμός Πινάκων: 29

Αριθμός Εικόνων: 31

Αριθμός Σχημάτων: 30

Αριθμός Παραρτημάτων: 3

Αριθμός Βιβλιογραφικών Αναφορών: 276

*Στη μητέρα μου Αναστασία και
στον αείμνηστο πατέρα μου Κωνσταντίνο,
σε ένδειξη εκτίμησης,
αγάπης και σεβασμού.*

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η μεταβολή του κλίματος έχει συνεισφέρει στη μεταβολή των αγροκλιματικών συνθηκών σε πολλές περιοχές του κόσμου. Η αύξηση της θερμοκρασίας και η μεταβολή στην κατανομή των βροχοπτώσεων, σε συνδυασμό με την αύξηση τόσο στην εμφάνιση, όσο και στην ένταση των ακραίων φαινομένων, μπορεί να έχει διάφορες επιδράσεις, άμεσες και έμμεσες, στον αγροτικό τομέα. Οι επιδράσεις αυτές είναι εντονότερες στα μεγάλα και μεσαία γεωγραφικά πλάτη.

Η παρακολούθηση του αγροτικού περιβάλλοντος και ο προσδιορισμός του αγροκλιματικού δυναμικού μίας περιοχής είναι απαραίτητα για τη βιώσιμη ανάπτυξη του αγροτικού τομέα. Εφόσον το κλίμα μεταβάλλεται, είναι γόνιμη μία μεθοδολογία που να μπορεί να ελέγξει την καταλληλότητα μίας περιοχής για την ανάπτυξη καλλιεργειών. Πιθανές εισαγωγές και αναδιαρθρώσεις καλλιεργειών ως αποτέλεσμα της κλιματικής μεταβλητότητας θα πρέπει να γίνονται βάσει των αγροκλιματικών συνθηκών που επικρατούν σε μία περιοχή, ενώ η παρακολούθηση και ο έλεγχος των καλλιεργειών είναι ορθό να συντελούνται σε επίπεδο αγροκλιματικών ζωνών.

Οι μέθοδοι δορυφορικής τηλεπισκόπησης στην παρακολούθηση του αγροτικού περιβάλλοντος παρουσίασαν μεγάλη εξέλιξη κατά τις δύο τελευταίες δεκαετίες. Στο γεγονός αυτό, εκτός από την ανάπτυξη νέων δορυφορικών πλατφορμών, σημαντικό ρόλο έχει διαδραματίσει και η ύπαρξη πλέον χρονοσειρών δεδομένων, που συντελούν στη διαχρονική παρακολούθηση παραμέτρων και φαινομένων. Κατ' αυτόν τον τρόπο, η αντικατάσταση επίγειων δεδομένων με δορυφορικά σε μεθοδολογίες ή η εκ νέου ανάπτυξη μεθοδολογικών προσεγγίσεων που βασίζονται σε δορυφορικά δεδομένα, συνεχώς αυξάνονται.

Στην Ελλάδα οι αγροκλιματικές ζώνες δεν έχουν οριστεί σαφώς, ενώ δεν έχει συντελεστεί καμία προσπάθεια για να οριστούν αυτές με τη χρήση τηλεπισκοπικών μεθόδων. Έτσι, στην επιλογή του θέματος της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής (Δ.Δ.) οδήγησαν αφενός η ανάγκη για την ανάπτυξη μίας μεθοδολογίας για τον προσδιορισμό των αγροκλιματικών ζωνών με τη χρήση τηλεπισκόπησης και αφετέρου η μη ύπαρξη αγροκλιματικών ζωνών στον Ελλαδικό χώρο.

Ευχαριστίες

Η παρούσα Διδακτορική Διατριβή (Δ.Δ.) εκπονήθηκε υπό την επίβλεψη του Καθηγητή Νικόλαου Ρ. Δαλέζιου, στο Εργαστήριο Αγρομετεωρολογίας του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, στο Διατμηματικό Προγράμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών με τίτλο «Σύγχρονα Συστήματα Αγροτικής Παραγωγής στο Μεσογειακό Χώρο με Έμφαση στην Αειφορική Παραγωγή και τη Χρησιμοποίηση Νέων Τεχνολογιών» του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή Νικόλαο Ρ. Δαλέζιο, ο οποίος έθεσε τις κατευθυντήριες γραμμές για την υλοποίηση της Διδακτορικής μου Διατριβής. Είμαι υπόχρεος για την παροχή του εργαστηριακού χώρου και εξοπλισμού κατά τη διεξαγωγή της παρούσας εργασίας, τη βοήθεια και την υποστήριξη που μου προσέφερε, καθώς και για το συνεχές ενδιαφέρον που έδειξε. Οι υποδείξεις και οι λύσεις που κατέδειξε συνετέλεσαν στην υπερπήδηση οποιασδήποτε τροχοπέδης.

Το συνεχές ενδιαφέρον, οι επισημάνσεις και οι συμβουλές του Καθηγητή Στέργιου Τζώρτζιου διαδραμάτισαν καθοριστικό ρόλο στην ολοκλήρωση της παρούσας Δ.Δ. και τον ευχαριστώ θερμά. Επίσης, θα ήθελα να τον ευχαριστήσω πολύ για τη συμπαράσταση και την ηθική υποστήριξη που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της Δ.Δ.

Νιώθω ευγνώμων απέναντι στον Καθηγητή Νικόλαο Δαναλάτο, που με την εμπειρία του και τις γνώσεις του έδωσε λύσεις στα προβλήματα ερμηνευτικής φύσεως που παρουσιάστηκαν κατά τη διεξαγωγή της Δ.Δ. Επίσης, θέλω να τον ευχαριστήσω για την υπομονή και την επιμονή που έδειξε, καθ' ότι είχαν καταλυτικό ρόλο στην ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας.

Η συμπαράσταση και η βοήθεια του Καθηγητή Χρήστου Σ. Ζερεφού ήταν πολύτιμη, καθ' όλη τη διάρκεια διαμονής μου στο Βόλο. Οι συμβουλές του σενετέλεσαν στη χάραξη της σημερινής μου πορείας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον Δρ. Χρήστο Δομενικιώτη, για τη συμβολή του στην ολοκλήρωση της παρούσας Δ.Δ., καθώς και για τη βοήθειά του καθ' όλη τη διάρκεια φοίτησής μου στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη ΓεωΑνάλυση Α.Ε., η οποία συμμετείχε ενεργά στην εκπόνηση της Δ.Δ., στο πλαίσιο του Προγράμματος

«ΠΕΝΕΔ 2003». Ιδιαίτερα θέλω να ευχαριστήσω τον κ. Κυριάκο Σαββίδη, Πρόεδρο της Εταιρείας και την κα Σοφία Θεοδωρίδου, Υπεύθυνη Έρευνας για τη συνεργασία τους, καθώς και την πάσης φύσεως υποστήριξη που μου παρείχαν.

Τέλος, θέλω να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην Ελπίδα, για τη βοήθεια, τη συμπαράσταση και την υποστήριξή της.

Τα παρόν έργο συγχρηματοδοτήθηκε:

- 75% της Δημόσιας Δαπάνης από την Ευρωπαϊκή Ένωση – Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο,
- 25% της Δημόσιας Δαπάνης από το Ελληνικό Δημόσιο – Υπουργείο Ανάπτυξης – Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας και
- από τον Ιδιωτικό Τομέα,

στο πλαίσιο του Μέτρου 8.3 του Ε.Π. Ανταγωνιστικότητα, πράξη «ΠΕΝΕΔ 2003» - Γ' Κοινοτικό Πλαίσιο Στήριξης.

Εμμανουήλ Τσίρος

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η γεωργία αποτελεί μία από τις σημαντικότερες πρωτογενείς οικονομικές δραστηριότητες. Ιδιαίτερα στην Ελλάδα, η γεωργία αποτελεί έναν τομέα στον οποίο βασίζεται η εθνική οικονομία της χώρας, εφόσον στον πρωτογενή αγροτικό τομέα απασχολείται το 12% του πληθυσμού (έναντι 6% στην Ευρωπαϊκή Ένωση). Παρά, όμως, τη μεγάλη σημασία της γεωργίας, στην Ελλάδα οι αγροκλιματικές ζώνες δεν έχουν οριστεί σαφώς. Ο προσδιορισμός των αγροκλιματικών ζωνών συντελεί στην εύρεση της καταλληλότερης καλλιέργειας για κάθε περιοχή, ανάλογα με το αγρόκλιμα αυτής, ενώ συμβάλλει στη βελτιστοποίηση της παραγωγής των καλλιεργειών με ταυτόχρονη ορθολογική χρήση των φυσικών πόρων.

Στην παρούσα Διδακτορική Διατριβή αναπτύσσεται μία ολοκληρωμένη μεθοδολογία αγροκλιματικής ζωνοποίησης με τη χρήση νέων τεχνολογιών και συγκεκριμένα με τη χρήση τηλεπισκόπησης και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.). Η επιστήμη της τηλεπισκόπησης έχει πολλά να προσφέρει στην παρακολούθηση και στον έλεγχο του αγροτικού κλάδου, ενώ η χρήση των Γ.Σ.Π. συμβάλλει στην ολοκληρωμένη διαχείριση όλων των παραμέτρων και μεταβλητών, καθώς και της χωρικής πληροφορίας, που είναι απαραίτητες για το σαφή προσδιορισμό των αγροκλιματικών ζωνών.

Κύριος σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η ανάπτυξη μίας μεθοδολογίας, η οποία θα συμβάλλει στην ολιστική προσέγγιση του προσδιορισμού των αγροκλιματικών ζωνών. Με βάση αυτό το μέλημα, λαμβάνονται υπόψη όλοι οι παράγοντες που κατέχουν σημαντικό ρόλο στον προσδιορισμό του αγροκλιματικού δυναμικού μίας περιοχής. Έτσι, με τη χρήση κυρίως δορυφορικών δεδομένων, αλλά και συμβατικών (επίγειων) μετρήσεων και με τον υπολογισμό αγροκλιματικών δεικτών, προσδιορίζονται οι κλιματικές συνθήκες υγρασίας, θερμοκρασίας και ακτινοβολίας, που επικρατούν σε μία περιοχή. Αυτές οι κλιματικές συνθήκες συνδυάζονται με τοπογραφικά (υψόμετρο και κλίση) και εδαφολογικά χαρακτηριστικά για τον προσδιορισμό των αγροκλιματικών ζωνών. Επίσης, αναπτύσσονται στατιστικά μοντέλα εκτίμησης των αποδόσεων παραγωγής της καλλιέργειας του βαμβακιού και του σιταριού, με τη χρήση τηλεπισκοπικών δεικτών, για τον προσδιορισμό της παραγωγικότητας εντός των αγροκλιματικών ζωνών.

Η προτεινόμενη μεθοδολογία είναι ολοκληρωμένη, καινοτόμος και μεταβιβάσιμη, ενώ η εφαρμογή της συνετέλεσε στον προσδιορισμό των

αγροκλιματικών ζωνών στην περιοχή μελέτης, που είναι το υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΑΓΡΟΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΖΩΝΟΠΟΙΗΣΗΣ	1
1.2 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ	3
1.3 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: ΑΓΡΟΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΟΠΟΙΗΣΗ	9
2.1 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ	15
2.1.1 <i>Περιβαλλοντική θερμοκρασία</i>	16
2.1.2 <i>Βροχόπτωση και υδατικοί πόροι για γεωργική παραγωγή</i>	24
2.1.3 <i>Ηλιακή ακτινοβολία</i>	31
2.1.4 <i>Έδαφος</i>	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΖΩΝΩΝ ΚΑΙ ΑΓΡΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ.....	40
3.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΖΩΝΩΝ - ΚΛΙΜΑΚΕΣ	40
3.2 ΑΓΡΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	44
3.2.1 <i>Θερμικές απαιτήσεις των καλλιεργειών</i>	45
3.2.2 <i>Απαιτήσεις σε νερό</i>	49
3.2.3 <i>Ηλιακή ακτινοβολία</i>	52
3.2.4 <i>Ακραία φαινόμενα - Περιβαλλοντικοί κίνδυνοι</i>	54
3.2.5 <i>Στατιστική αγροκλιματική ανάλυση</i>	62
3.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΓΡΟΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΖΩΝΟΠΟΙΗΣΗΣ	68
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.....	73
4.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ	73
4.2 Η ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΣΤΗΝ ΑΝΑΚΛΩΜΕΝΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΗΜΦ	77
4.2.1 <i>Φυσιολογία των φυτών</i>	77
4.2.2 <i>Παρακολούθηση της κατάστασης της βλάστησης με τη χρήση τηλεπισκοπικών μεθόδων στην ανακλώμενη περιοχή του ΗΜΦ. ...</i>	80
4.3 Η ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΣΤΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΗΜΦ	87
4.3.1 <i>Παρακολούθηση της κατάστασης της βλάστησης με τη χρήση τηλεπισκοπικών μεθόδων στη θερμική περιοχή του ΗΜΦ.</i>	90
4.4 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΜΕ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ...	92

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	102
5.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΔΟΥΡΥΦΟΡΟΥ ΝΟΑΑ.....	102
5.2 ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	106
5.2.1 Βάση δεδομένων.....	106
5.2.2 Περιοχή μελέτης	108
5.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΓΡΟΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΖΩΝΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	112
5.3.1 Προσδιορισμός των ζωνών WLGE	113
5.3.2 Ζώνες αειφόρου παραγωγής	118
5.3.3 Προσδιορισμός αγροκλιματικών ζωνών.....	118
5.4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.....	126
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο: ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ	
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ.....	130
6.1 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΟΡΘΩΣΗ	130
6.2 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΖΩΝΩΝ WLGE.....	132
6.2.1 Υπολογισμός του δείκτη υγιούς βλάστησης (VHI).....	132
6.2.1.1 Υπολογισμός του δείκτη κατάστασης βλάστησης (VCI)	132
6.2.1.2 Υπολογισμός του δείκτη κατάστασης θερμοκρασίας (TCI).....	135
6.2.1.3 Εξαγωγή του δείκτη υγιούς βλάστησης (VHI)	138
6.2.2 Υπολογισμός του δείκτη ξηρότητας (AI)	139
6.2.2.1 Υπολογισμός της θερμοκρασίας επιφανείας εδάφους.....	140
6.2.2.2 Υπολογισμός της μηνιαίας δυνητικής εξατμισοδιαπνοής	141
6.2.2.3 Εξαγωγή του δείκτη ξηρότητας (AI)	147
6.3 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΖΩΝΩΝ ΑΕΙΦΟΡΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.....	148
6.3.1 Δημιουργία ψηφιακού μοντέλου ανάγλυφου	148
6.3.2 Ψηφιοποίηση του εδαφολογικού χάρτη	149
6.4 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΓΡΟΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΖΩΝΩΝ.....	151
6.4.1 Υπολογισμός των θερμομονάδων (GDD)	151
6.4.2 Υπολογισμός της καθαρής ακτινοβολίας (R_n)	154
6.4.2.1 Υπολογισμός της μικρού μήκους κύματος καθαρής ακτινοβολίας	154
6.4.2.2 Υπολογισμός της εισερχόμενης, μεγάλου μήκους κύματος ατμοσφαιρικής ακτινοβολίας.....	157
6.4.2.3 Υπολογισμός της ανερχόμενης, μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας	157

6.5	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	158
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ		159
7.1	ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ	159
7.2	ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	166
7.2.1	<i>Υδροκλιματική ζωνοποίηση – Ζώνες WLGE</i>	166
7.2.2	<i>Γενική αγροκλιματική ζωνοποίηση</i>	170
7.2.3	<i>Ορισμός ζωνών σίτου και βάμβακος</i>	177
7.2.4	<i>Έλεγχος των αγροκλιματικών ζωνών</i>	189
7.3	ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΕΙΣ.....	199
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ		207
8.1	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	207
8.2	ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	209
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		212
EXTENDED ABSTRACT		236
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....		240
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι		241
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ.....		251
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ.....		257

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

- Πίνακας 2.1:** Εμπειρικές μέθοδοι εκτίμησης της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς καλλιεργειών (mm/day).
- Πίνακας 3.1:** Σύνοψη των ατμοσφαιρικών κλιμάκων στο χώρο και στο χρόνο (Wieringa and Lomas, 2000).
- Πίνακας 3.2:** (α) Ολική ακτινοβολία, TOTRAD ($10^6 \text{ J m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) για τυπική ανέφελη ημέρα και (β) μέγιστη διάρκεια ηλιοφάνειας (h), ως συνάρτηση του γεωγραφικού πλάτους και της ημέρας του έτους (Δαναλάτος, 2007).
- Πίνακας 3.3:** Ευρέως χρησιμοποιούμενοι δείκτες ξηρασίας.
- Πίνακας 3.4:** Θερμοκρασίες επιζήμιες στα φυτά ανάλογα με το βλαστικό στάδιο.
- Πίνακας 4.1:** Ενδιαφέρουσες φασματικές περιοχές σε σχέση με πολύ σημαντικές φυσιολογικές διεργασίες των φυτικών κυττάρων (Δαλέζιος, 2002).
- Πίνακας 4.2:** Ενδεικτικές τιμές του δείκτη NDVI σε διάφορες μορφές κάλυψης εδάφους (Δαλέζιος, 2002).
- Πίνακας 4.3:** Ανασκόπηση στους δείκτες βλάστησης (Gorte, 2000).
- Πίνακας 5.1:** Φασματικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα AVHRR (Tungalag-saikhan and Guenther, 2008).
- Πίνακας 5.2:** Χαρακτηριστικά κλίματος μιας περιοχής με βάση το δείκτη ξηρότητας (UNESCO, 1979).
- Πίνακας 5.3:** Κατηγορίες της γεωργικής ξηρασίας βάσει των τιμών του VHI (Kogan, 2001).
- Πίνακας 5.4:** Ενδεικτικές τιμές βασικής θερμοκρασίας για ανάπτυξη (T_c , σε $^{\circ}\text{C}$), και άθροισμα θερμομονάδων (TSUM σε $^{\circ}\text{C-d}$) για πλήρη ανάπτυξη διαφόρων καλλιεργειών (Δαναλάτος, 2007).
- Πίνακας 6.1:** Μηνιαία ποσοστά των ωρών ημέρας ως προς το ολικό ετήσιο ποσό ωρών ημέρας, για γεωγραφικό πλάτος 39° .
- Πίνακας 6.2:** Τιμές βασικής θερμοκρασίας, άθροισμα θερμομονάδων για πλήρη ανάπτυξη και διάρκεια βλαστικής περιόδου, για το βαμβάκι και το σιτάρι.
- Πίνακας 6.3:** Τιμές Angot για γεωγραφικό πλάτος 39° και για τη 15^η ημέρα κάθε μήνα.
- Πίνακας 7.1:** Χαρακτηρισμός των ζωνών WLGE ανάλογα με την κατηγορία γεωργικής ξηρασίας και κλιματικής ξηρότητας.

- Πίνακας 7.2:** Ταξινόμηση των εδαφικών μονάδων με βάση την αειφόρο χρήση και την επικινδυνότητα για ερημοποίηση.
- Πίνακας 7.3:** Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία των κλιματικών χαρτών της μηνιαίας R_n για την καλλιέργεια βαμβακιού.
- Πίνακας 7.4:** Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία των κλιματικών χαρτών της μηνιαίας R_n για την καλλιέργεια σιταριού.
- Πίνακας 7.5:** Συντελεστής συσχέτισης μεταξύ των τιμών R_{VCI} των κρίσιμων δεκαημέρων για τις καλλιέργειες του βαμβακιού και του σιταριού.
- Πίνακας 7.6:** Συντελεστής συσχέτισης μεταξύ των τιμών R_{TCI} των κρίσιμων δεκαημέρων για τις καλλιέργειες του βαμβακιού και του σιταριού.
- Πίνακας 7.7:** Αποτελέσματα της ανάλυσης πολλαπλής παλινδρόμησης μεταξύ των τιμών R_{TCI} και R_{VCI} των κρίσιμων δεκαημέρων και των αποδόσεων των καλλιεργειών του βαμβακιού και του σιταριού.
- Πίνακας 7.8:** Διαφορά και ποσοστιαία διαφορά μεταξύ των εκτιμώμενων και πραγματικών αποδόσεων για την καλλιέργεια του βαμβακιού, με τη χρήση του R_{VCI} .
- Πίνακας 7.9:** Διαφορά και ποσοστιαία διαφορά μεταξύ των εκτιμώμενων και πραγματικών αποδόσεων για την καλλιέργεια του βαμβακιού, με τη χρήση του R_{VCI} και R_{TCI} .
- Πίνακας 7.10:** Διαφορά και ποσοστιαία διαφορά μεταξύ των εκτιμώμενων και πραγματικών αποδόσεων για την καλλιέργεια του σιταριού, με τη χρήση του R_{VCI} .
- Πίνακας 7.11:** Διαφορά και ποσοστιαία διαφορά μεταξύ των εκτιμώμενων και πραγματικών αποδόσεων για την καλλιέργεια του σιταριού, με τη χρήση του R_{VCI} και R_{TCI} .
- Πίνακας 7.12:** Διαφορά και ποσοστιαία διαφορά μεταξύ των εκτιμώμενων και πραγματικών αποδόσεων, ανά καλλιέργεια και μέθοδο εκτίμησης.
- Πίνακας 7.13:** Σύγκριση μεταξύ των τιμών της εκτιμηθείσας και της πραγματικής απόδοσης.
- Πίνακας 7.14:** Σύγκριση και στατιστικές παράμετροι μεταξύ των τιμών του AI, υπολογισμένου από τα δορυφορικά (και επίγεια χωρικά) και από τα επίγεια δεδομένα (1982-2001).

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

- Εικόνα 5.1:** Ο δορυφόρος NOAA που φέρει το ραδιόμετρο AVHRR (Tunggalagsaikhan and Guenther, 2008).
- Εικόνα 5.2:** Τοποθεσία και γεωγραφικά χαρακτηριστικά υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας.
- Εικόνα 6.1:** Χάρτης VHI του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας, για τον Αύγουστο του 1986.
- Εικόνα 6.2:** Χάρτης θερμοκρασίας επιφανείας εδάφους (T_s) του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας, τον Ιούλιο του 1997.
- Εικόνα 6.3:** Χάρτες μηνιαίων τιμών του φυτικού συντελεστή C, από τους μήνες Οκτώβριο (α) έως Μάρτιο (στ).
- Εικόνα 6.4:** Χάρτες μηνιαίων τιμών του φυτικού συντελεστή C, από τους μήνες Απρίλιο (α) έως Σεπτέμβριο (στ).
- Εικόνα 6.5:** Χάρτης ET_p του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας, για τον Αύγουστο του 1997.
- Εικόνα 6.6:** Ισοϋψείς που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου ανάγλυφου του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας.
- Εικόνα 6.7:** Ψηφιακό μοντέλο ανάγλυφου (DEM) του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας.
- Εικόνα 6.8:** Εδαφολογικός χάρτης της Ελλάδας (Γιάσογλου, 2004). Το υπόμνημα δίνεται αναλυτικά στο Παράρτημα II.
- Εικόνα 6.9:** Εδαφολογικός χάρτης του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας. Αναλυτικό υπόμνημα των εδαφικών ενώσεων δίνεται στο Παράρτημα II. (Προσαρμοσμένο από Γιάσογλου, 2004).
- Εικόνα 6.10:** Χάρτης GDD (σιτάρι) του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας για την καλλιεργητική περίοδο 1995-'96.
- Εικόνα 7.1:** Κλιματική ξηρότητα στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας, για την υδρολογική περίοδο 1981-2001.
- Εικόνα 7.2:** Γεωργική ξηρασία στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας, με βάση τη συχνότητα επανεμφάνισης συμβάντων ξηρασίας την υδρολογική περίοδο 1981-2001.
- Εικόνα 7.3:** Ζώνες WLGE του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας.

- Εικόνα 7.4:** Ζώνες καλλιέργειών με βάση το υψόμετρο, στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας.
- Εικόνα 7.5:** Κατηγορίες ζωνών του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας, με βάση την κλίση του εδάφους.
- Εικόνα 7.6:** Αειφόρος χρήση στο υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας, με βάση τον τύπο εδάφους.
- Εικόνα 7.7:** Ζώνες αειφόρου παραγωγής και κλίση εδάφους στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας.
- Εικόνα 7.8:** Ζώνες αειφόρου παραγωγής με ενσωματωμένη την κλίση του εδάφους του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας.
- Εικόνα 7.9:** Ζώνη καλλιέργειας του βαμβακιού στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας, βάσει των GDD.
- Εικόνα 7.10:** Ζώνη καλλιέργειας του σιταριού στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας, βάσει των GDD.
- Εικόνα 7.11:** Χάρτης της μέσης μηνιαίας καθαρής ακτινοβολίας του Μαΐου στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας, ως μέσος όρος των τιμών του Μαΐου, για την περίοδο 1981-2001.
- Εικόνα 7.12:** Χάρτες κλιματικών τιμών της μηνιαίας καθαρής ακτινοβολίας για τους μήνες Νοέμβριο (α) έως Ιούνιο (η), της περιόδου 1981-2001, στις ζώνες αειφόρου παραγωγής του σιταριού του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας.
- Εικόνα 7.13:** Χάρτες κλιματικών τιμών της μηνιαίας καθαρής ακτινοβολίας για τους μήνες Απρίλιο (α) έως Οκτώβριο (η), της περιόδου 1981-2001, στις ζώνες αειφόρου παραγωγής του βαμβακιού του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας.
- Εικόνα 7.14:** Αγροκλιματική ζώνη της καλλιέργειας βαμβακιού στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας, για την περίοδο 1981-2001.
- Εικόνα 7.15:** Αγροκλιματική ζώνη της καλλιέργειας σιταριού στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας, για την περίοδο 1981-2001.
- Εικόνα 7.16:** Χάρτης ΑΙ στην οριακή ζώνη σίτου, στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας, για τις βλαστικές περιόδους 1981-2001.
- Εικόνα 7.17:** Αγροκλιματικές ζώνες σίτου-βάμβακος στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας, για την περίοδο 1981-2001.

Εικόνα 7.18: Μέση περιοχική εκτίμηση της απόδοσης του βαμβακιού στις αγροκλιματικές ζώνες βάμβακος για την περίοδο 1981-2001, στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας.

Εικόνα 7.19: Μέση περιοχική εκτίμηση της απόδοσης του σιταριού στην αγροκλιματική ζώνη σίτου για την περίοδο 1981-2001, στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας.

ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

- Σχήμα 2.1:** Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των καλλιεργειών (Fageria *et al.*, 1997).
- Σχήμα 2.2:** Γραφική απεικόνιση της αλληλεπίδρασης μεταξύ της θερμοκρασίας και της φωτοσύνθεσης σε C₃ και C₄ φυτά. Η βέλτιστη θερμοκρασία για φωτοσύνθεση είναι περίπου 25°C στα C₃ φυτά και γύρω στους 35°C στα C₄ φυτά (Fageria *et al.*, 1997).
- Σχήμα 2.3:** Γενικές καμπύλες της αντίδρασης του AMAX στη θερμοκρασία για διαφορετικές ομάδες καλλιεργειών (Δαναλάτος, 2007). I=φυτά C₃ σε κρύα και εύκρατα κλίματα, II= φυτά C₃ σε θερμά κλίματα, III= φυτά C₄ σε θερμά κλίματα, IV=φυτά C₄ σε κρύα κλίματα.
- Σχήμα 2.4:** Μέγεθος εξατμιζόμενης επιφάνειας και ρυθμός εξάτμισης (Mavi and Tupper, 2004).
- Σχήμα 2.5:** Γενικευμένο πρότυπο της ανάκλασης, απορρόφησης και εκπομπής της ηλιακής ακτινοβολίας σε πράσινο φύλλο (Mavi and Tupper, 2004).
- Σχήμα 2.6:** Γενικευμένο πρότυπο της ανάκλασης, απορρόφησης και εκπομπής του φωτός (Mavi and Tupper, 2004).
- Σχήμα 3.1:** Η επίδραση της θερμοκρασίας στο μήκος της περιόδου από το φύτερωμα έως την ανθοφορία διαφόρων καλλιεργειών. (●) σίκαλη, (○) σιτάρι, (Δ) λινάρι, (□) καλαμπόκι, (x) φασόλι (Δαναλάτος, 2007).
- Σχήμα 3.2:** Ο «υδρο-παράλογος» κύκλος της ξηρασίας (Τσακίρης, 1995).
- Σχήμα 3.3:** Φυσική και κοινωνική διάσταση της ξηρασίας (Wilhite, 2005).
- Σχήμα 4.1:** Απεικόνιση λειτουργίας δορυφόρου (McVicar and Jupp, 1998).
- Σχήμα 4.2:** Περιοχές του ΗΜΦ (Μέρτικας, 1999).
- Σχήμα 4.3:** Απεικόνιση της ανάκλασης του φωτός στο μεσοκυττάριο χώρο ενός πράσινου φύλλου (Harrison and Jupp, 1989).
- Σχήμα 5.1:** Διάγραμμα ροής για τον προσδιορισμό των αγροκλιματικών ζωνών.
- Σχήμα 6.1:** Βασικά εργαλεία του Model Maker.
- Σχήμα 6.2:** Μοντέλο εφαρμογής Φίλτρου “Compound Twice” 4253 (πάνω). “Compound Twice” 4253, Λειτουργία Reroughing (κάτω).
- Σχήμα 6.3:** Απεικόνιση του μοντέλου υπολογισμού του VCI ανά έτος.

- Σχήμα 6.4:** Απεικόνιση του μοντέλου εφαρμογής του «επιλεκτικού» στατιστικού φίλτρου μέσου όρου.
- Σχήμα 6.5:** Απεικόνιση του μοντέλου υπολογισμού του VHI.
- Σχήμα 6.6:** Εξαγωγή της σχέσης μεταξύ θερμοκρασίας αέρα και θερμοκρασίας επιφανείας εδάφους στο σταθμό της Λάρισας.
- Σχήμα 6.7:** Απεικόνιση του μοντέλου υπολογισμού της ET_p με τη χρήση της εξίσωσης Blaney-Criddle.
- Σχήμα 6.8:** Διάρθρωση του μοντέλου για τον υπολογισμό του AI.
- Σχήμα 6.9:** Διάρθρωση του μοντέλου υπολογισμού των GDD.
- Σχήμα 6.10:** Απεικόνιση του μοντέλου υπολογισμού της μικρού μήκους κύματος καθαρής ακτινοβολίας.
- Σχήμα 6.11:** Απεικόνιση του μοντέλου υπολογισμού της μέσης μηνιαίας R_a .
- Σχήμα 6.12:** Απεικόνιση του μοντέλου υπολογισμού της μέσης μηνιαίας L_T .
- Σχήμα 7.1:** Προσδιορισμός των ομάδων εικονοστοιχείων με κοινά χαρακτηριστικά γνωρίσματα (Δαλέζιος, 2002).
- Σχήμα 7.2:** Στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση επιλέγονται δειγματοληπτικές περιοχές (A, B, C) που χρησιμοποιούνται για την ταξινόμηση ολόκληρης της εικόνας (Δαλέζιος, 2002).
- Σχήμα 7.3:** Γενική μεθοδολογία μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Οι αρχικές πολυφασματικές εικόνες ταξινομούνται, μέσω ενός αλγορίθμου, σε κλάσεις σύμφωνα με τις φασματικές τους ιδιότητες (Δαλέζιος, 2002).
- Σχήμα 7.4:** Τιμές του δείκτη ξηρότητας ανά βλαστική περίοδο της καλλιέργειας του σιταριού, ως μέσος όρος των τιμών της οριακής ζώνης.
- Σχήμα 7.5:** Εφαρμογή της γραμμικής παλινδρόμησης μεταξύ των τιμών R_{VCI} του 2^{ου} δεκαημέρου του Ιουλίου και των αποδόσεων του βαμβακιού (1982-1996), στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας.
- Σχήμα 7.6:** Εφαρμογή της γραμμικής παλινδρόμησης μεταξύ των τιμών R_{VCI} του 2^{ου} δεκαημέρου του Μαΐου και των αποδόσεων του σιταριού (1982-1996), στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας.
- Σχήμα 7.7:** Σύγκριση των τιμών του AI στο μετεωρολογικό σταθμό της Λάρισας, υπολογισμένου από τα δορυφορικά (και επίγεια χωρικά) και από τα επίγεια δεδομένα (1982-2001).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Σημασία της αγροκλιματικής ζωνοποίησης

Η επάρκεια τροφής και ενέργειας θεωρείται ως ένα από τα πιο κρίσιμα ζητήματα που απασχολούν τα κράτη σ' όλο τον κόσμο. Με τη συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση για τρόφιμα και ενέργεια, αρμόδιοι για το σχεδιασμό και τη διαχείριση κατανοούν όλο και περισσότερο την ανάγκη για μια αποδοτική χρήση των φυσικών πόρων. Τις τελευταίες δεκαετίες, η εκτίμηση αυτής της ανάγκης έχει αυξηθεί παγκοσμίως και αυτό διαφαίνεται από τις προσπάθειες για διεπιστημονική αντιμετώπιση του θέματος και ορθολογικό σχεδιασμό πολιτικών διαχείρισης, που καταβάλλονται από τον Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών (United Nations Food and Agriculture Organization, FAO), τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (World Health Organization, WHO) και την Επιτροπή Αγρομετεωρολογίας του Παγκόσμιου Οργανισμού Μετεωρολογίας (World Meteorological Organization, WMO).

Σε παγκόσμια κλίμακα η γεωργία κυριαρχεί στις αποφάσεις σχετικά με τις χρήσεις γης. Η επείγουσα ανάγκη για διπλασιασμό της γεωργικής παραγωγής στα επόμενα 25 χρόνια, χρησιμοποιώντας λιγότερη γη και λιγότερο νερό, διαμέσου τεχνικών εντατικοποίησης, αναπόφευκτα θα έχει κοινωνικές, οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Srinivasan, 2006). Γι' αυτό, είναι απαραίτητη η αναγνώριση «εργαλείων» και τεχνικών για την ελαχιστοποίηση αυτών των επιπτώσεων, με ταυτόχρονη ενδυνάμωση της παραγωγικότητας και των οικονομικών οφελών. Πρώτο βήμα προς αυτήν την κατεύθυνση αποτελεί ο ορισμός των αγροκλιματικών ζωνών.

Είναι γεγονός ότι η γεωργία στην Ελλάδα αποτελεί έναν τομέα στον οποίο βασίζεται η εθνική οικονομία της χώρας. Σήμερα, στον πρωτογενή αγροτικό τομέα απασχολείται το 12% του πληθυσμού (έναντι 6% στην Ευρωπαϊκή Ένωση) (ΕΣΥΕ, 2008). Όμως, ενώ η σημασία του αγροτικού τομέα για την Ελλάδα είναι αυτονόητη, στην πραγματικότητα δεν έχει αποτιμηθεί σχετικά με:

- Την εύρεση των κατάλληλων περιοχών ανά γεωργική δραστηριότητα.
- Τη βελτιστοποίηση της γεωργικής παραγωγής.

- Την ορθολογική χρήση των φυσικών πόρων.
- Τη βιώσιμη ανάπτυξη της υπαίθρου.

Η πραγματοποίηση των ανωτέρω στόχων θα συντελέσει:

- Στην αύξηση της συμμετοχής του αγροτικού τομέα στην εθνική οικονομία.
- Στην οικονομική, πολιτική και πολιτιστική ανάπτυξη της περιφέρειας.
- Στην ανάσχεση της τάσης εγκατάλειψης της υπαίθρου και την αποτροπή του μαρασμού της.
- Στην απασχόληση των νέων.
- Στην αποκέντρωση.

Η γεωργία, λοιπόν, αποτελεί έναν τομέα, ο οποίος λόγω της σημαντικότητάς του πρέπει να βρίσκεται υπό συνεχή παρακολούθηση. Η επιστήμη της τηλεπισκόπησης έχει πολλά να προσφέρει στην παρακολούθηση και στον έλεγχο του αγροτικού κλάδου, εφόσον μπορεί και παρέχει:

- Τη συνολική και καθημερινή κάλυψη, καθώς και παρακολούθηση του αγροτικού περιβάλλοντος.
- Τον έλεγχο των καλλιεργειών και της ποιότητας αυτών.
- Την έλλειψη ανάγκης επίσκεψης στο πεδίο-χώρο καλλιέργειας.
- Τη βελτιστοποίηση και πρόγνωση της παραγωγής με τη χρήση εξειδικευμένων μεθοδολογιών.

Ο τελευταίος παράγοντας έχει πολύ μεγάλη σημασία. Η βελτιστοποίηση της παραγωγής, καθώς και η πρόγνωση των αποδόσεων με τη χρήση τηλεπισκόπησης είναι πολύ σημαντική για την Εθνική Οικονομία. Επίσης, δίνει στον καλλιεργητή τη δυνατότητα της γνώσης της καταλληλότητας των καλλιεργειών ανά περιοχή και της ποσότητας της επερχόμενης παραγωγής με κάποια απόκλιση, ενώ ο παράλληλος έλεγχος της κατάστασης της βλάστησης και κατ' επέκταση της ποιότητας αυτής, συντελεί στην αποφυγή και στη μείωση της υποβάθμισης των προϊόντων, καθώς και στην αύξηση της ανταγωνιστικότητάς τους. Τέλος, συντελεί στην ορθολογική διαχείριση των φυσικών πόρων και στην αποφυγή της υποβάθμισης αυτών.

Η αγρομετεωρολογία (συντόμευση της αγροτικής μετεωρολογίας) θέτει με διάφορους τρόπους την επιστήμη της μετεωρολογίας στην υπηρεσία της γεωργίας, ώστε να συμμετέχει στην ορθολογική διαχείριση της γης, στην επιτάχυνση της παραγωγής τροφίμων και να αποτρέψει τη μη αναστρέψιμη κατάχρηση των φυσικών

πόρων (Smith, 1970). Επίσης, ορίζεται ως η επιστήμη που εξετάζει τις μετεωρολογικές, κλιματικές και υδρολογικές συνθήκες, που είναι σημαντικές για τη γεωργία εξαιτίας των αλληλεπιδράσεών τους με αντικείμενα και διεργασίες της γεωργικής παραγωγής (Molga, 1962).

Άρα, η αγρομετεωρολογία είναι μία ολιστική επιστήμη που συνδέει αρκετές επιστημονικές αρχές και γεφυρώνει τη φυσική με τη βιολογική επιστήμη. Είναι μία επιστήμη που έχει πολυάριθμες εφαρμογές στην εκμετάλλευση και διαχείριση των γεωργικών πόρων (Mavi and Tupper, 2004).

Για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης παραγωγής απαιτούνται συγκεκριμένες κλιματικές συνθήκες. Έτσι, ο καθορισμός των κλιματικών παραμέτρων που παρουσιάζουν ενδιαφέρον από γεωργική απόψη, είναι απαραίτητος για τον προσδιορισμό της καταλληλότητας μίας περιοχής για την ανάπτυξη καλλιεργειών.

Ο προσδιορισμός των αγροκλιματικών ζωνών συντελεί στην εύρεση της καταλληλότερης καλλιέργειας για κάθε περιοχή, ανάλογα με το αγρόκλιμα αυτής. Επίσης, αποτελεί βασικό παράγοντα για την εύρεση του καταλληλότερου τρόπου καλλιέργειας σε σχέση με τις ανάγκες της εκάστοτε καλλιέργειας, οι οποίες ορίζονται από τις επικρατούσες αγροκλιματικές συνθήκες.

Οι αγροκλιματικές ζώνες κατέχουν σημαντικό ρόλο και είναι σκόπιμος ο προσδιορισμός τους, εφόσον οι αποφάσεις που αφορούν σε επενδύσεις υποδομής στη γεωργία πρέπει να βασίζονται στο αγροκλιματικό δυναμικό, στα πλαίσια μιας βιώσιμης και αειφόρου ανάπτυξης. Επιπλέον, το κλίμα είναι η κύρια συνιστώσα που ορίζει τον τύπο του οικοσυστήματος, ακολουθούμενη από τους εδαφικούς παράγοντες, την ανθρώπινη παρέμβαση και άλλες φυσικές διαταραχές. Επομένως, είναι απαραίτητη μία λεπτομερής ανάλυση των αγροκλιματικών ζωνών, αφού μπορεί να απεικονίσει το πραγματικό αγροοικολογικό δυναμικό της εκάστοτε περιοχής.

Το αντικείμενο και οι στόχοι, καθώς και η διάρθρωση της παρουσίας διδακτορικής διατριβής αναλύονται στη συνέχεια.

1.2 Αντικείμενο και στόχοι

Στην Ελλάδα οι αγροκλιματικές ζώνες δεν έχουν οριστεί σαφώς. Δεν υπάρχει κάποια βιβλιογραφική αναφορά που να προσδιορίζει τα όρια αυτών ή τον ακριβή

τους τύπο. Επιπροσθέτως, δεν έχει συντελεστεί καμία προσπάθεια για να οριστούν οι ζώνες αυτές με τη χρήση τηλεπισκοπικών μεθόδων. Σε διεθνή κλίμακα, οι αγροκλιματικές ζώνες έχουν οριστεί σε πολλές χώρες. Ακόμα και σε αναπτυσσόμενες χώρες, όπως αυτές της δυτικής Αφρικής, έχουν οριστεί, με σκοπό τη βέλτιστη διαχείριση των καλλιεργειών. Παρότι, όμως, έχουν προσδιοριστεί σε αρκετά μέρη, δεν υπάρχει καμία αναφορά για μεθοδολογική προσέγγιση με τη χρήση τηλεπισκόπησης. Για την επίτευξη μιας γεωργίας βασιζόμενης στην αποδοτική, ορθολογική και βιώσιμη χρήση των φυσικών πόρων, είναι απαραίτητος ο σαφής προσδιορισμός των αγροκλιματικών ζωνών.

Σχετικά με την εκτίμηση της γεωργικής παραγωγής, αν και έχουν γίνει κάποιες μεθοδολογικές προσπάθειες στην Ελλάδα, παρ' όλα αυτά δεν έχει γίνει προσπάθεια προσέγγισης από την πλευρά της τηλεπισκόπησης, παρά μόνο σε ορισμένες ειδικές περιπτώσεις (π.χ. Quarmbay *et al.*, 1993; Dalezios *et al.* 2000, Domenikiotis *et al.*, 2004a, 2004b). Έτσι, δεν υπάρχει επιχειρησιακή μεθοδολογία σε επίπεδο εφαρμοσμένης έρευνας στην Ελλάδα. Ωστόσο, διεθνώς γίνονται προσπάθειες ανάπτυξης μεθοδολογιών, κατάλληλων να βρίσκουν επιχειρησιακές εφαρμογές σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης (π.χ. Joint Research Center) και Βόρειας Αμερικής, αν και δεν υπάρχουν πολλές δημοσιεύσεις λόγω εθνικών προτεραιοτήτων. Για το λόγο αυτό, κρίθηκε απαραίτητη μια ολοκληρωμένη, σε επίπεδο διδακτορικής διατριβής, μελέτη δορυφορικών μεθοδολογιών στην παρακολούθηση και διαχείριση του Ελληνικού αγροτικού περιβάλλοντος.

Τα αντικείμενα της παρούσας έρευνας είναι:

1. Ο καθορισμός αγροκλιματικών ζωνών στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας, με τη χρήση νέων τεχνολογιών και συγκεκριμένα της τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.).
2. Η πρόδρομη ποσοτική εκτίμηση γεωργικής παραγωγής (βαμβάκι, σιτάρι) σε επίπεδο αγροκλιματικών ζωνών, με τη χρήση νέων τεχνολογιών [(Γ.Σ.Π.) και τηλεπισκόπηση].

Ο βασικός στόχος της παρούσας διδακτορικής διατριβής είναι η παρακολούθηση του αγροτικού περιβάλλοντος σε επίπεδο αγροκλιματικών ζωνών και η ανάπτυξη ενός συστήματος εκτίμησης γεωργικής παραγωγής, με τη χρήση νέων τεχνολογιών. Οι επιμέρους στόχοι είναι:

- Η ανάπτυξη μίας ολοκληρωμένης μεθοδολογίας ορισμού των αγροκλιματικών ζωνών και εκτίμησης των γεωργικών αποδόσεων με τη χρήση νέων τεχνολογιών, που να μπορεί να εφαρμοστεί σε επιχειρησιακό επίπεδο.
- Η βελτιστοποίηση του συστήματος γεωργικής παραγωγής τόσο ποσοτικά, όσο και ποιοτικά, με την αναδιάρθρωση και παρακολούθηση των αγροτικών καλλιεργειών.

Τέλος, η σπουδαιότητα και η σημασία της έρευνας απαντώνται σε δύο τομείς:

1. Όσον αφορά στο θέμα του προσδιορισμού των αγροκλιματικών ζωνών:
 - Συντελεί στην εύρεση της καταλληλότερης καλλιέργειας για κάθε περιοχή, ανάλογα με το αγρόκλιμα αυτής, καθώς και του καταλληλότερου τρόπου καλλιέργειας σε σχέση με τις ανάγκες της εκάστοτε καλλιέργειας, οι οποίες ορίζονται από τις επικρατούσες αγροκλιματικές συνθήκες.
 - Οι αγροκλιματικές ζώνες κατέχουν σημαντικό ρόλο και είναι σκόπιμος ο προσδιορισμός τους, εφόσον οι αποφάσεις που αφορούν επενδύσεις υποδομής στη γεωργία πρέπει να βασίζονται στο αγροκλιματικό δυναμικό.
 - Είναι απαραίτητος, αφού μία λεπτομερής ανάλυση των αγροκλιματικών ζωνών μπορεί να απεικονίσει το πραγματικό αγροοικολογικό δυναμικό της εκάστοτε περιοχής.
 - Εφόσον το κλίμα μεταβάλλεται, είναι απαραίτητος ο έλεγχος της καταλληλότητας μίας περιοχής για την ανάπτυξη καλλιεργειών. Πιθανές εισαγωγές και αναδιαρθρώσεις καλλιεργειών ως αποτέλεσμα της κλιματικής μεταβλητότητας θα πρέπει να γίνονται βάσει των αγροκλιματικών συνθηκών που επικρατούν σε μία περιοχή.
 - Συντελεί στη μείωση του ρίσκου που σχετίζεται με την παραγωγή των καλλιεργειών, εξασφαλίζοντας κατά αυτόν τον τρόπο το εισόδημα του αγρότη.
2. Όσον αφορά στο θέμα της εκτίμησης της παραγωγής:
 - Δίνει στο γεωργό τη δυνατότητα της γνώσης της επερχόμενης παραγωγής με αρκετή ακρίβεια.
 - Συμβάλλει στη διαχείριση της αναμενόμενης παραγωγής.

- Συντελεί στον παράλληλο έλεγχο της κατάστασης της βλάστησης και κατ' επέκταση της ποιότητάς της, με αποτέλεσμα τη βελτίωση της ποιότητας των γεωργικών προϊόντων.
- Είναι σκόπιμη για την ύπαρξη μιας ανταγωνιστικής γεωργίας.

1.3 Διάρθρωση της Διατριβής

Όπως προαναφέρθηκε, η παρούσα διδακτορική διατριβή έχει ως στόχο την εξαγωγή μίας ολοκληρωμένης μεθοδολογίας για τον ορισμό των αγροκλιματικών ζωνών με τη χρήση δορυφορικών και επίγειων δεδομένων. Επίσης, ελέγχονται δορυφορικές μεθοδολογίες εκτίμησης των αποδόσεων για τον υπολογισμό της παραγωγικότητας εντός των ζωνών.

Αρχικά, αναφέρεται η ιστορική ανασκόπηση σχετικά με μεθόδους και τεχνικές της αγροκλιματικής ζωνοποίησης. Έτσι λοιπόν, στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μία σύντομη αναφορά στα βήματα-στάδια που πρέπει να ληφθούν υπόψη, προκειμένου να υπάρξει μια γενική άποψη του αγροκλιματικού δυναμικού μιας περιοχής. Στη συνέχεια, προσδιορίζονται οι παράμετροι που επηρεάζουν την παραγωγή των καλλιεργειών και που πρέπει να ληφθούν υπόψη για την ολιστική προσέγγιση του θέματος.

Στο τρίτο κεφάλαιο ακολουθεί μία σύντομη αναφορά στις κατηγορίες των ζωνών, με βάση την κλίμακα παρακολούθησης του φαινομένου. Επειδή τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν την καταλληλότητα των καλλιεργειών μιας περιοχής είναι συνήθως απλοί αγροκλιματικοί δείκτες, στο τέλος του κεφαλαίου παρουσιάζονται οι αγροκλιματικοί δείκτες και οι μέθοδοι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το διαχωρισμό μίας περιοχής σε αγροκλιματικές ζώνες, και αναφέρονται μεθοδολογίες που έχουν εφαρμοστεί διεθνώς.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύονται μεθοδολογίες σχετικά με την πρόγνωση παραγωγής με τη χρήση τηλεπισκόπησης. Πρώτα παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά της δορυφορικής απεικόνισης και η τηλεπισκόπηση στην ανακλώμενη και θερμική περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στα φασματικά χαρακτηριστικά της βλάστησης και των καλλιεργειών στην ορατή και θερμική υπέρυθη περιοχή. Παράλληλα, αναφέρονται μέθοδοι παρακολούθησης της βλάστησης με τη χρήση πληροφορίας στις δύο ανωτέρω φασματικές περιοχές. Στο

τέλος του κεφαλαίου γίνεται μία ανασκόπηση στις μεθόδους εκτίμησης της παραγωγής με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων.

Η προτεινόμενη μεθοδολογία αναλύεται στο πέμπτο κεφάλαιο. Επειδή γίνεται χρήση δορυφορικών δεδομένων NOAA/AVHRR, παρουσιάζεται μία σύντομη αναφορά στα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου δορυφόρου. Έπειτα, δίνεται μία πλήρης περιγραφή της βάσης δεδομένων και των χαρακτηριστικών του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας, το οποίο επιλέχθηκε ως περιοχή μελέτης για την εφαρμογή της μεθοδολογίας. Τέλος, αναλύεται η μεθοδολογία της αγροκλιματικής ζωνοποίησης και της εκτίμησης της απόδοσης των καλλιεργειών. Εξετάζονται δύο καλλιέργειες, το βαμβάκι και το σιτάρι. Το πρώτο διότι αποτελεί ένα από τα κύρια επιδοτούμενα προϊόντα που καλλιεργούνται στην Ελλάδα, αφού οι καλλιεργούμενες εκτάσεις αποτελούν το 50% των αρδευόμενων εκτάσεων της χώρας, και το δεύτερο λόγω του ότι αποτελεί την κύρια χειμερινή ξηρική καλλιέργεια και έχει μείζονα διατροφική σημασία.

Τόσο για την αγροκλιματική ζωνοποίηση, όσο και για την πρόγνωση της παραγωγής, εφαρμόζονται δορυφορικές μεθοδολογίες που χρησιμοποιούν την ορατή, κοντινή υπέρυθη, καθώς και τη θερμική περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος για την εξαγωγή δεικτών. Οι δείκτες αυτοί χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των αγροκλιματικών ζωνών, καθώς και για την εκτίμηση και πρόγνωση της απόδοσης των καλλιεργειών μέσω στατιστικών μοντέλων.

Το έκτο κεφάλαιο αναφέρεται στην επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων, έτσι ώστε αυτά να είναι κατάλληλα διαμορφωμένα για την εφαρμογή των εκάστοτε μεθοδολογιών. Περιγράφονται οι γεωμετρικές διορθώσεις και η γεωαναφορά των δορυφορικών εικόνων, καθώς και τα μαθηματικά φίλτρα που έχουν εφαρμοστεί σ' αυτές για την αφαίρεση «θορύβου» και σφαλμάτων. Τέλος, αναλύονται όλα τα βήματα και οι υπολογισμοί για την εξαγωγή των δεικτών της προτεινόμενης μεθοδολογίας.

Στο έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθοδολογίας. Η στατιστική μέθοδος που χρησιμοποιείται για τον ορισμό των αγροκλιματικών ζωνών είναι η ιεραρχική ανάλυση σε ομάδες. Έτσι, αρχικά γίνεται μία σύντομη αναφορά στη θεματική ταξινόμηση των δορυφορικών εικόνων. Στη συνέχεια αναλύονται τα αποτελέσματα σε κάθε βήμα της μεθοδολογίας για τον ορισμό των αγροκλιματικών ζωνών των δύο καλλιεργειών. Παρουσιάζονται οι αγροκλιματικές ζώνες και αναλύονται τα αποτελέσματα των μεθόδων εκτίμησης

της παραγωγής. Ακολουθεί η πιστοποίηση της μεθοδολογίας μέσω της εκτίμησης παραγωγής και του έλεγχου της παραγωγικότητας των καλλιεργειών εντός των ζωνών. Στο τέλος του κεφαλαίου παραθέτονται επισημάνσεις επί των αποτελεσμάτων.

Στο όγδοο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που απορρέουν από την εφαρμογή της μεθοδολογίας. Αυτά αφορούν τόσο στις μεθοδολογίες αγροκλιματικής ζωνοποίησης και εκτίμησης των αποδόσεων στο σύνολό τους, όσο και στην καταλληλότητα και σημασία της χρήσης των συγκεκριμένων δεικτών για τα επιμέρους στάδια της μεθοδολογίας. Ακολουθούν προτάσεις, οι οποίες μπορεί να συντελέσουν σε πιθανή εξέλιξη και βελτίωση της προτεινόμενης μεθοδολογίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: ΑΓΡΟΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΟΠΟΙΗΣΗ

Η γεωργία αποτελεί πολύ σημαντική πρωτογενή οικονομική δραστηριότητα, ενώ παράλληλα είναι πολύ ευάλωτη στις μετεωρολογικές και περιβαλλοντικές συνθήκες. Δεν υπάρχει καμία αμφιβολία ότι το περιβάλλον (κλίμα και έδαφος) αποτελεί σημαντικό παράγοντα στην αύξηση και ανάπτυξη των φυτών. Συνεπώς, οι περιβαλλοντικές συνθήκες πρέπει να αξιολογηθούν επαρκώς σε οποιοδήποτε περιφερειακό σχέδιο ανάπτυξης. Το πρώτο και πιο αποφασιστικό βήμα σε οποιοδήποτε αναπτυξιακό σχεδιασμό πρέπει να είναι η αναγνώριση των περιοχών που είναι ικανές για υψηλές γεωργικές αποδόσεις, δηλαδή περιοχές όπου το έδαφος και οι κλιματικές συνθήκες είναι κατάλληλα για μια συγκεκριμένη καλλιέργεια.

Οι προσπάθειες του ανθρώπου να συνδέσει τη γεωργική παραγωγή με τα καιρικά φαινόμενα έχουν ξεκινήσει τουλάχιστον πριν από 2.000 χρόνια και ακόμη εξελίσσονται (Mavi and Tupper, 2004). Ο εικοστός αιώνας μπορεί να θεωρηθεί πολύ προοδευτικός και γόνιμος σχετικά με τη μετεωρολογία και την αγρομετεωρολογία (Fleming, 1996). Οι ποιοτικές μελέτες που έλαβαν χώρα το δέκατο-ένατο αιώνα ακολουθήθηκαν πρώτιστα από στατιστικές αναλύσεις και τεχνικές, έπειτα από μικροκλιματικές μετρήσεις και πιο πρόσφατα από τη δημιουργία μοντέλων (Decker, 1994; Monteith, 2000).

Οπτικές παρατηρήσεις του μικροκλίματος και της επίδρασης αυτού στα καλλιεργούμενα φυτά λαμβάνουν χώρα εδώ και αιώνες. Ωστόσο, οι μετρήσεις των χαρακτηριστικών του μικροκλίματος σε εργαστηριακό περιβάλλον και σε πειραματικά πεδία έχουν ενταθεί κατά το δεύτερο μισό του εικοστού αιώνα. Επιπρόσθετα, αναγνωρίστηκε ο ρόλος του νερού στο έδαφος ως κλιματική μεταβλητή, ενώ ερευνήθηκε η σύνδεση μεταξύ των φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους, της ανταλλαγής θερμότητας και της κίνησης του νερού (Mavi and Tupper, 2004).

Είναι αναγνωρισμένο το γεγονός ότι η διακύμανση των αποδόσεων από έτος σε έτος, καθώς και η τοπική καταλληλότητα για την παραγωγή συγκεκριμένων αγαθών συνδέονται με τις διακυμάνσεις στο κλίμα. Έγιναν προσπάθειες ώστε να περιγραφεί αυτή η σχέση μέσω της στατιστικής ανάλυσης και συγκεκριμένα της συσχέτισης των αποδόσεων με τη μηνιαία βροχόπτωση (Mavi and Tupper, 2004). Αυτού του είδους οι αναλύσεις αποτελούν την πρώτη προσπάθεια να χρησιμοποιηθεί η στατιστική για να περιγράψει τη φύση των σχέσεων μεταξύ των μεταβλητών

αποδόσεων, της παραγωγής και του κλίματος. Αργότερα, η σχέση μεταξύ αποδόσεων και βροχόπτωσης μελετήθηκε με τη χρήση μεθόδων πολλαπλών συσχετίσεων. Από το 1920, οι αναλύσεις της συσχέτισης και της παλινδρόμησης (με κάποιες βελτιώσεις στις τεχνικές) έγιναν τα αγαπημένα εργαλεία για την περιγραφή της σχέσης μεταξύ απόδοσης και καιρικών συνθηκών (Mavi and Tupper, 2004).

Αγροκλιματική ζωνοποίηση είναι η ταξινόμηση και υποδιαίρεση μιας περιοχής σύμφωνα με όμοια ή/και ανόμοια χαρακτηριστικά των κλιματικών συνθηκών, οι οποίες είναι απαραίτητες για την επίτευξη των γεωργικών στόχων (Chirkov, 1979). Πιο απλά, είναι η διαδικασία επιλογής της κατάλληλης καλλιέργειας στο κατάλληλο περιβάλλον. Όμως, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι ακόμη και για τις «κατάλληλες» περιοχές η επιτυχία ή η αποτυχία μιας καλλιέργειας εξαρτάται επιπλέον από τους οικονομικούς και κοινωνικούς παράγοντες της τοπικής κοινωνίας (Pereira, 1982). Ο συνδυασμός των περιβαλλοντικών, οικονομικών και κοινωνικών παραγόντων υπαγορεύει το γεωργικό σύστημα που είναι το κατάλληλο για μία περιοχή και αυτό πρέπει να προσδιοριστεί σε τοπικό επίπεδο (Landsberg, 1968).

Η αγροκλιματική ζωνοποίηση μπορεί να υποδιαιρευθεί σε γενική και εξειδικευμένη ή ειδική. Η γενική αγροκλιματική ζωνοποίηση προσδιορίζει το βαθμό στον οποίο οι κλιματικές συνθήκες μίας περιοχής είναι ευνοϊκές για τη γεωργία στο σύνολο της. Η εξειδικευμένη ζωνοποίηση διεξάγεται με σκοπό την ανάδειξη περιοχών, όπου η διακύμανση των τιμών των κλιματικών μεταβλητών ευνοεί την ανάπτυξη συγκεκριμένων καλλιεργειών, των ειδών και των ποικιλιών τους, καθώς και την εξειδίκευση της γεωργικής παραγωγής, της διαχείρισης των εδαφικών πόρων και των γεωργικών πρακτικών (Chirkov, 1979).

Μεταξύ όλων των παραγόντων, το κλίμα είναι πιθανό να είναι το σημαντικότερο στον καθορισμό του δυναμικού παραγωγής μιας περιοχής και σ' αυτήν την περίπτωση το ενδιαφέρον θα εστιάζεται στην κλιματική συνιστώσα της ζωνοποίησης των καλλιεργειών. Είναι προφανές ότι τα εδαφολογικά χαρακτηριστικά που είναι πιθανό να έχουν επιπτώσεις στο δυναμικό παραγωγής πρέπει, επίσης, να ληφθούν υπόψη (Pereira, 1982).

Συνήθως, οι αγροκλιματικές βάσεις χρησιμοποιούνται στην τοποθέτηση συγκεκριμένων ειδών καλλιεργειών και ποικιλιών, καθώς και στο σχεδιασμό που αφορά προσαρμογές σε διάφορους κλάδους της γεωργίας, στην εισαγωγή καλλιεργειών σε περιοχές εκτός αυτών που συνήθως καλλιεργούνται και στα μέτρα που σχετίζονται με την αύξηση των γεωργικών αποδόσεων (Chirkov, 1979). Η

αποτίμηση των διαθέσιμων κλιματικών πόρων που αφορούν στη γεωργία παρουσιάζει ιδιαίτερο και συνεχώς αυξανόμενο πρακτικό ενδιαφέρον.

Διάφορα βήματα-στάδια πρέπει να ληφθούν υπόψη προκειμένου να υπάρξει μια γενική άποψη του αγροκλιματικού δυναμικού μιας περιοχής. Πρέπει να επισημανθεί ότι κατά την αγροκλιματική ζωνοποίηση ένας παράγοντας είναι το μακρόκλιμα, δηλαδή το κλίμα όπως παρουσιάζεται σε ένα μετεωρολογικό σταθμό που εξυπηρετεί μία ευρύτερη περιοχή και όπου οι μετρήσεις λαμβάνονται σε συγκεκριμένες εκθέσεις και χρονικές στιγμές. Η χρήση τέτοιων δεδομένων επιτρέπει τη σύγκριση του κλίματος διαφορετικών περιοχών (Pereira, 1982). Είναι προφανές ότι η εκάστοτε καλλιέργεια δημιουργεί το μικροκλίμα της, που είναι το αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης μεταξύ όλων των υπαρχόντων καλλιεργειών σε μία περιοχή και του μακροκλίματος αυτής. Το μακρόκλιμα δε μπορεί να αλλάξει για να ικανοποιεί τις απαιτήσεις μιας καλλιέργειας. Εντούτοις, μέσα στα τοπικά χαρακτηριστικά του κλίματος ο αγρότης μπορεί να εκμεταλλευτεί τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα (τοποκλίμακα) που συμπίπτουν περισσότερο με τις απαιτήσεις της καλλιέργειας. Αυτό περιλαμβάνει ένα διαφορετικό επίπεδο σχεδιασμού (ακόμη και σε επίπεδο αγροκτήματος) και πρέπει να γίνεται τοπικά από ειδικούς στις καλλιέργειες. Ο Pereira (1982) πρότεινε τα παρακάτω γενικά βήματα, προκειμένου να καθοριστεί το αγροκλιματικό δυναμικό μιας περιοχής.

1^ο Βήμα: Φαινολογικά στάδια των καλλιεργειών

Το πρώτο στάδιο στο σχεδιασμό και στην επιλογή καλλιεργειών απαιτεί τον προσδιορισμό τριών παραγόντων:

- (1) της βλαστικής περιόδου που εξετάζεται,
- (2) των κρίσιμων σταδίων κατά την ανάπτυξη των καλλιεργειών,
- (3) του χρόνου εμφάνισης τέτοιων κρίσιμων σταδίων.

Η φαινολογία της καλλιέργειας υπαγορεύει τις περιόδους που πρέπει να εξεταστούν. Για τις περισσότερες καλλιέργειες τα κρίσιμα στάδια είναι η σπορά, η άνθηση και η περίοδος καρποφορίας. Οι κλιματικές συνθήκες που επικρατούν σε αυτές τις περιόδους είναι αυτές που θα καθορίσουν την παραγωγή (Pereira, 1982). Η μελέτη των αναγκών σε φως, νερό και θερμότητα των φυτών σε συγκεκριμένα στάδια της οργανογένεσης, και ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια κρίσιμων περιόδων, είναι απαραίτητη για τον προσδιορισμό των επιπτώσεων των κλιματικών παραγόντων στην ανάπτυξη των φυτών και στην παραγωγικότητα (Chirkov, 1979).

Προφανώς, κάθε ποικιλία αποκρίνεται με δικό της τρόπο στο κλίμα και η επιτυχία μιας δεδομένης καλλιέργειας σε μια περιοχή θα εξαρτηθεί από την εύρεση της κατάλληλης ποικιλίας για το συγκεκριμένο περιβάλλον. Η πιο κοινή αιτία για την αποτυχία μιας καλλιέργειας σε ένα νέο περιβάλλον είναι η έλλειψη ρύθμισης του κύκλου ζωής της καλλιέργειας στην ακολουθία των αλλαγών των κλιματικών συνθηκών από εποχή σε εποχή.

Οι απαιτήσεις των καλλιεργειών δεν είναι σταθερές κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου, αλλά ποικίλλουν και συνεπώς η εποχική μεταβολή του κλίματος είναι πολύ σημαντική. Γενικά, οι ετήσιες καλλιέργειες χρειάζονται τρεις έως έξι μήνες για να ολοκληρώσουν τον κύκλο ζωής τους, γεγονός που απαιτεί ο σχεδιασμός τους να γίνει κατά τέτοιο τρόπο ώστε να ανταποκρίνεται στις επικρατέστερες κλιματικές συνθήκες. Από την άλλη πλευρά, οι πολυετείς καλλιέργειες δεν επιτρέπουν τέτοιες ρυθμίσεις και πρέπει να αναπτυχθούν εκεί όπου οι κλιματικοί περιορισμοί είναι οι ελάχιστοι δυνατοί.

2^ο Βήμα: Κλιματικές απαιτήσεις των καλλιεργειών

Στο δεύτερο αυτό στάδιο είναι απαραίτητο να καθοριστούν:

- (1) οι κλιματικές συνιστώσες που θα ληφθούν υπόψη και
- (2) οι τιμές κατώτερων ορίων αυτών των συνιστωσών.

Οι κλιματικές συνιστώσες που εξετάζονται εξαρτώνται από τις κλιματολογικές απαιτήσεις της καλλιέργειας προς ζωνοποίηση. Αυτό περιλαμβάνει μια έρευνα για τις κλιματικές συνθήκες όσο το δυνατόν περισσότερων περιοχών, όπου η καλλιέργεια αναπτύσσεται επιτυχώς ή όπου η εισαγωγή της έχει αποτύχει (Burgos, 1968). Οι κλιματικές απαιτήσεις των περισσότερων καλλιεργειών μπορούν να βρεθούν στις ακόλουθες πηγές: Papadakis (1966), Wilsie (1966), Δαναλάτος (2005).

Παρότι η καλλιέργεια είναι αποτέλεσμα κάθε περιβαλλοντικής συνθήκης, οι κλιματικές μεταβλητές που χρησιμοποιούνται για να ορίσουν τις αντιδράσεις των φυτών είναι η θερμοκρασία και η βροχόπτωση. Όλες οι κλιματικές ταξινομήσεις λαμβάνουν υπόψη τις ανωτέρω δύο μεταβλητές (Pereira, 1982) και συνεπώς, όλες οι μέθοδοι αξιολόγησης του αγροκλίματος που χρησιμοποιούνται σε διάφορες χώρες πρωταρχικά στοχεύουν στην ποσοτική αποτίμηση των θερμικών και υδατικών πόρων, καθώς και στη χωροχρονική κατανομή αυτών (Chirkov, 1979). Η ανεπαρκής και ασταθής παροχή νερού και οι ακραίες θερμοκρασίες αποτελούν τις δύο

περιβαλλοντικές συνιστώσες που συνδέονται άμεσα με το ρίσκο στην αγροτική παραγωγή παγκοσμίως (Mavi and Tupper, 2004).

Δεν είναι, όμως, μόνο οι δύο ανωτέρω κλιματικές μεταβλητές που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη σε μία αγροκλιματική ταξινόμηση. Τις τελευταίες δεκαετίες, η ηλιακή ακτινοβολία αποτέλεσε αντικείμενο έρευνας των αγροκλιματολόγων. Σε πολλές χώρες (ΗΠΑ, Ρωσία, Καναδά, Ιαπωνία κ.τ.λ.) έχουν διατυπωθεί αριθμητικές εκφράσεις που αναλύουν την επίδραση της διάρκειας της ημέρας και της ολικής εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας στις καλλιέργειες και έχει αναλυθεί η αγροκλιματική τους διάσταση (Chirkov, 1979).

Παρακάτω, στο κεφάλαιο 3.2, αναλύονται μέθοδοι, τεχνικές, καθώς και ένα ευρύ φάσμα αγροκλιματικών δεικτών που χρησιμοποιούνται παγκοσμίως για τον προσδιορισμό των αγροκλιματικών ζωνών.

3^ο Βήμα: Κατασκευή Αγροκλιματικών Χαρτών

Εδώ, είναι απαραίτητο να καθοριστούν οι περιοχές με παρόμοιες αγροκλιματικές συνθήκες.

Προκειμένου να υπάρξει μια γενική εκτίμηση των αγροκλιματικών συνθηκών μιας περιοχής, επαρκή κλιματολογικά στοιχεία χαρτογραφούνται σε ένα χαρτογραφικό διάγραμμα της περιοχής. Ο όρος «επαρκή» αναφέρεται στα κλιματολογικά στοιχεία που κατά τη διάρκεια της περιόδου πιθανότατα να έχουν επιπτώσεις στην αύξηση και στην ανάπτυξη μιας καλλιέργειας. Προφανώς, θα υπάρξει ένας αγροκλιματικός χάρτης για κάθε εξεταζόμενη καλλιέργεια.

Ενδεικτικά, η κλίμακα των διαγραμμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στο Sao Paulo και στον Καναδά κατά τη ζωνοποίηση είναι 1:1.000.000 και 1:2.000.000, αντίστοιχα (Williams *et al.*, 1980). Λαμβάνοντας υπόψη την τοπογραφία της περιοχής, οι ισοπληθείς κάθε κλιματικής μεταβλητής μπορούν να χαραχθούν:

(1) με τη χρήση μεθόδων παρεμβολής,

(2) με τη χρήση μίας εξίσωσης παλινδρόμησης που να συνδέει την κλιματική μεταβλητή και τα τοπογραφικά και γεωγραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής (Hopkins, 1968).

Τις τελευταίες δεκαετίες, και κυρίως από τις αρχές του 1970, η εφαρμογή των ανωτέρω μεθόδων και η χαρτογράφηση γίνονται μέσω υπολογιστών (Williams and Sharp, 1972; Williams *et al.*, 1980), αρκεί να είναι διαθέσιμα επαρκή δεδομένα (όσον αφορά στη χωρική τους κατανομή).

4^ο Βήμα: Κατασκευή περιβαλλοντικών χαρτών.

Ο καθορισμός του προηγούμενου βήματος επεκτείνεται στο να καθοριστούν περιοχές παρόμοιων περιβαλλοντικών συνθηκών για μια δεδομένη καλλιέργεια.

Επικαλύπτοντας τους διαφορετικούς κλιματολογικούς χάρτες και εξετάζοντας τις κλιματικές απαιτήσεις μιας καλλιέργειας, μία περιοχή μπορεί να θεωρηθεί ως κλιματικά αποδεκτή, οριακά αποδεκτή ή μη αποδεκτή για την ανάπτυξη αυτής. Η περιοχή θεωρείται αποδεκτή όταν οι κλιματικές συνθήκες δεν επιβάλλουν κανένα περιορισμό σχετικά με την αύξηση και την ανάπτυξη της καλλιέργειας. Σε μια τέτοια περιοχή η καλλιέργεια μπορεί να αυξηθεί επιτυχώς. Μη αποδεκτή χαρακτηρίζεται η περιοχή όπου υπάρχουν σοβαροί κλιματικοί περιορισμοί και δεν είναι δυνατή η οικονομική εκμετάλλευση της καλλιέργειας. Τις περισσότερες φορές τέτοιοι κλιματικοί περιορισμοί δεν συνεπάγονται ότι η καλλιέργεια δε μπορεί να καλλιεργηθεί, απλώς ότι δε θα είναι οικονομικά βιώσιμη. Οριακά αποδεκτή είναι η περιοχή όπου οι κλιματικοί περιορισμοί δεν είναι τόσο σημαντικοί. Μια τέτοια περιοχή μπορεί ακόμη και να θεωρηθεί αποδεκτή εάν:

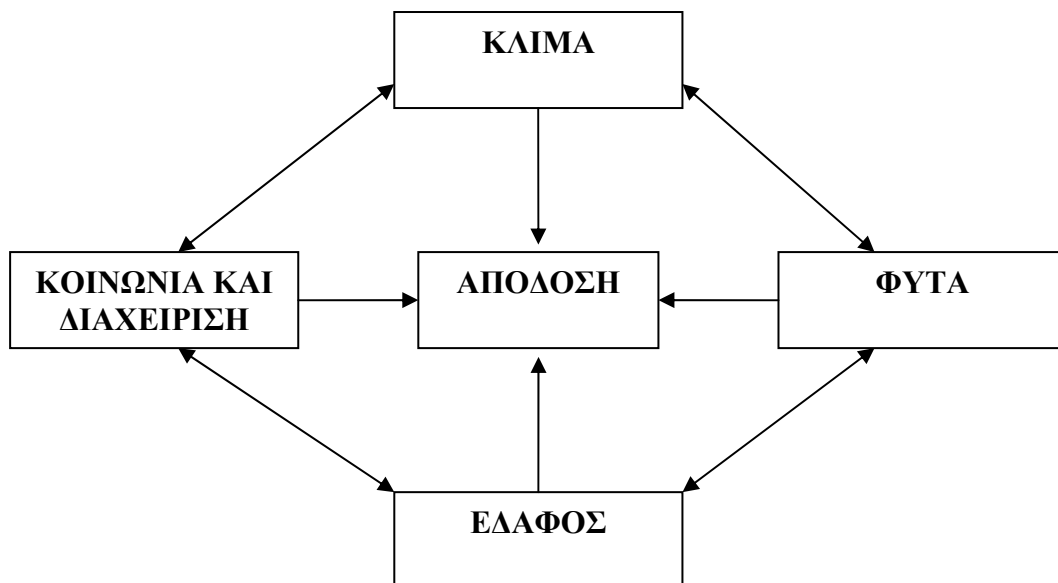
- (1) είναι διαθέσιμα κατάλληλα εδάφη,
- (2) η άρδευση είναι οικονομικά εφικτή,
- (3) χρησιμοποιούνται ανθεκτικές ποικιλίες καλλιεργειών.

Ο τελικός κλιματικός χάρτης για τις καλλιέργειες συνδυάζεται έπειτα με εδαφολογικούς χάρτες και με χάρτες χρήσεων γης της περιοχής, για να αποκτηθεί ο τελικός περιβαλλοντικός (κλίμα και έδαφος) χάρτης.

Οποιαδήποτε αγροκλιματική ταξινόμηση εξαρτάται από τις μεταβλητές που χρησιμοποιεί και επομένως η επιλογή των μεταβλητών θα επηρεάσει το τελικό αποτέλεσμα της ταξινόμησης (Reddy, 1983). Επίσης, πρέπει πάντα να λαμβάνεται υπόψη ότι κάθε περιοχή έχει τα δικά της χαρακτηριστικά και πρότυπα (standards), τα οποία εξαρτώνται από τον τύπο του εδάφους, τη γεωγραφική θέση και τις οικονομικές συνθήκες (Primault, 1979). Οι μεταβλητές που χρησιμοποιούνται για να διαιρέσουν μία ευρύτερη περιοχή σε αγρονομικά ομοιογενείς ζώνες, πρέπει να καθορίζουν τους κλιματικούς περιορισμούς, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τη διαχείριση του εδάφους και του ύδατος, όσο και τις πρακτικές καλλιέργειας, καθώς και τις απαιτήσεις των ίδιων των καλλιεργειών. Αυτοί οι παράγοντες είναι που διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη μεταφορά συγκεκριμένης τεχνολογίας και τεχνικών από περιοχή σε περιοχή και που ορίζουν το ρίσκο που συνδέεται με τη γεωργία σε «αντίξοα» κλίματα (Reddy, 1983).

2.1 Παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγή των καλλιεργειών

Υπάρχουν αρκετοί παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγή ή την απόδοση των καλλιεργειών. Όταν αυτοί οι παράγοντες δεν είναι περιοριστικοί για την αύξηση και την ανάπτυξη της καλλιέργειας, η μεγιστοποίηση της παραγωγικότητας εξαρτάται από το ρυθμό αναχαίτισης του φωτός στην επιφάνεια της καλλιέργειας και την αφομοίωση του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) από τα φυτά (Loomis and Williams, 1963). Στο σχήμα 2.1 απεικονίζονται οι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των καλλιεργειών. Οι κλιματικοί παράγοντες αποτελούνται από τη θερμοκρασία, τη βροχόπτωση και γενικότερα τη διαθεσιμότητα σε υγρασία, καθώς και την ηλιακή ακτινοβολία, ενώ σε συνδυασμό με το έδαφος ορίζουν τους περιβαλλοντικούς παράγοντες. Στους κοινωνικούς και διαχειριστικούς παράγοντες εντάσσονται όλες οι διαχειριστικές πρακτικές, καθώς και κοινωνικοοικονομικά κριτήρια. Στους φυτικούς παράγοντες εντάσσονται οι γενετικές διακυμάνσεις, η C₃ και C₄ μεταβολική δραστηριότητα, η φωτοσυνθετική αποτελεσματικότητα, ο δείκτης συγκομιδής (Harvest Index-HI) και η αρχιτεκτονική δομή του φυτού (plant architecture). Είναι ευνόητο, ότι για τη μεγιστοποίηση της απόδοσης μιας καλλιέργειας πρέπει όλοι αυτοί οι παράγοντες να είναι στα βέλτιστα επίπεδα.



Σχήμα 2.1: Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των καλλιεργειών (Fageria *et al.*, 1997).

Εκτός από τους κλιματικούς, εδαφικούς και φυτικούς παράγοντες, σημαντικό ρόλο στην παραγωγή καλλιεργειών κατέχουν και οι κοινωνικοοικονομικοί παράγοντες, οι οποίοι όπως προαναφέρθηκε πρέπει να λαμβάνονται πάντα υπόψη. Αυτοί οι παράγοντες σχετίζονται με οικονομικά κριτήρια, όπως η τιμή του παραγόμενου προϊόντος, οι επιδοτήσεις, το μάρκετινγκ κ.τ.λ., καθώς και με περιβαλλοντικά κριτήρια όπως η διάβρωση, η ερημοποίηση, η υποβάθμιση των φυσικών πόρων, τα οποία έχουν άμεσο ή έμμεσο κοινωνικό αντίτυπο (McCracken, 1987).

Οι φυτικοί παράγοντες εξαρτώνται από τα είδη και τις ποικιλίες των καλλιεργειών. Οι διαχειριστικές πρακτικές εξαρτώνται από την εμπειρία και την τεχνογνωσία του καλλιεργητή, καθώς και από τον εξοπλισμό που έχει στη διάθεσή του. Στην παρούσα διατριβή, το ενδιαφέρον εστιάζεται κατά κύριο λόγο στους περιβαλλοντικούς παράγοντες, δεδομένου ότι τα είδη και οι ποικιλίες που καλλιεργούνται έχουν συγκεκριμένα γενετικά χαρακτηριστικά και ιδιότητες, και οι διαχειριστικές πρακτικές σχετίζονται με τον εκάστοτε καλλιεργητή. Επίσης, δίνεται βάση και σε κοινωνικοοικονομικά κριτήρια, τουλάχιστον όσον αφορά στην επιλογή των υπό εξέταση καλλιεργειών, καθώς και στην ορθολογική χρήση των φυσικών πόρων. Στη συνέχεια περιγράφονται αναλυτικά οι περιβαλλοντικοί παράγοντες που έχουν επίδραση στην παραγωγή των καλλιεργειών.

2.1.1 Περιβαλλοντική θερμοκρασία

Η θερμοκρασία αποτελεί το μέτρο έντασης της θερμικής ενέργειας στη βιόσφαιρα και κατέχει κυρίαρχο ρόλο στην οργανική ζωή. Είναι γεγονός ότι η θερμοκρασία επηρεάζει κάθε βιολογική διαδικασία στη φύση. Έτσι, και στα φυτά, η θερμοκρασία κυριαρχεί στις φυσικές και χημικές διαδικασίες, οι οποίες με τη σειρά τους ελέγχουν τις βιολογικές αντιδράσεις. Πιο συγκεκριμένα, η θερμοκρασία ελέγχει το ρυθμό διάχυσης των υγρών και αερίων εντός των φυτών, ενώ και η διαλυτότητα των θρεπτικών ουσιών εξαρτάται από αυτή (Mavi and Tupper, 2004). Γι' αυτό, η περιβαλλοντική θερμοκρασία κατέχει πρωτεύοντα ρόλο στην αύξηση των φυτών και στη γεωγραφική τους κατανομή πάνω στη γη.

Ο όρος περιβαλλοντική θερμοκρασία αναφέρεται σε δύο συνιστώσες – παραμέτρους: στη θερμοκρασία εδάφους και στη θερμοκρασία αέρα.

Θερμοκρασία Εδάφους

Όπως προαναφέρθηκε, η θερμοκρασία εδάφους αποτελεί έναν πολύ σημαντικό περιβαλλοντικό παράγοντα για την ανάπτυξη και τη χωρική κατανομή των καλλιεργειών. Σε σύγκριση με τη θερμοκρασία αέρα, η τάξη μεγέθους της διακύμανσης της θερμοκρασίας επιφανείας εδάφους είναι πιο προφανής, εξαιτίας της διαφοροποίησης των χαρακτηριστικών και της σύστασης των τύπων των εδαφών.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμοκρασία εδάφους (Mavi and Tupper, 2004) είναι:

- Προσανατολισμός και κλίση: Αυτοί οι παράγοντες κατέχουν σημαντικό ρόλο στον προσδιορισμό της θερμοκρασίας επιφανείας εδάφους εκτός της τροπικής ζώνης. Συγκεκριμένα, στο Βόρειο Ημισφαίριο μία πλαγιά με νότιο προσανατολισμό είναι πάντοτε πιο θερμή από μία με βόρειο ή μια πεδιάδα. Το αντίθετο συμβαίνει στο Νότιο Ημισφαίριο. Σε τέτοιες περιπτώσεις η διαφορά στη θερμοκρασία επιφανείας εδάφους υπερβαίνει τη διαφορά στη θερμοκρασία αέρα.
- Άροση: Το όργωμα μειώνει τη ροή θερμότητας μεταξύ της επιφάνειας και του υπεδάφους, διαμέσου της μείωσης της συνεκτικότητας του ανώτερου εδαφικού στρώματος και της επικάλυψης από τα υπολείμματα της προηγούμενης καλλιέργειας. Επειδή η έκταση που εκτίθεται στον ατμοσφαιρικό αέρα σε μία οργωμένη επιφάνεια είναι μεγαλύτερη και παράλληλα έχει διακοπεί η τριχοειδής σύνδεση με το αμέσως επόμενο υγρό στρώμα, το καλλιεργούμενο έδαφος παρουσιάζει μεγαλύτερο θερμοκρασιακό εύρος από το μη καλλιεργούμενο. Τις μεσημβρινές ώρες, η θερμοκρασία αέρα στα 2,5 εκατοστά (cm) πάνω από την επιφάνεια του εδάφους μπορεί να είναι 5 – 10°C υψηλότερη σε καλλιεργούμενα εδάφη, σε σύγκριση με τα μη καλλιεργούμενα.
- Δομή του εδάφους: Τα αμμώδη εδάφη, λόγω χαμηλότερης θερμοχωρητικότητας, θερμαίνονται και δροσίζονται πολύ πιο γρήγορα από τα αργιλώδη. Έτσι, κατά τη διάρκεια της ημέρας διακρίνονται από υψηλότερες θερμοκρασίες, ενώ κατά τη διάρκεια της νύχτας από χαμηλότερες.
- Οργανική ύλη: Η οργανική ύλη μειώνει τη θερμοχωρητικότητα και τη θερμική αγωγιμότητα του εδάφους, αυξάνει την υδατοχωρητικότητα

(water-holding capacity), ενώ εξαιτίας του σκούρου χρώματος που προσδίδει στο έδαφος, αυξάνει την απορροφούμενη ηλιακή ακτινοβολία. Σε υγρά κλίματα, εξαιτίας της υψηλής περιεχόμενης υγρασίας, τα τυρφώδη και ελώδη εδάφη είναι πιο δροσερά από τα ανόργανα εδάφη την άνοιξη και τα θερμότερα το χειμώνα. Αντίθετα, τα ξηρά οργανικά εδάφη είναι θερμότερα από τα ανόργανα το καλοκαίρι και ψυχρότερα το χειμώνα.

Στα φυτά, η θερμοκρασία εδάφους επηρεάζει το φύτρωμα των σπόρων, τη λειτουργία του ριζικού συστήματος, την εμφάνιση ασθενειών και το ρυθμό αύξησης (Singh *et al.*, 1998). Οι ιστοί πολλών φυτών που ευδοκιμούν σε εύκρατες περιοχές, νεκρώνουν όταν εκτεθούν σε επιφανειακές θερμοκρασίες πάνω από 50°C (Chaurasia *et al.*, 1985). Επίσης, υπερβολικά υψηλές θερμοκρασίες εδάφους είναι επιβλαβείς στις ρίζες και προκαλούν αλλοιώσεις στα στελέχη (stem). Υπερβολικά χαμηλές θερμοκρασίες είναι εξίσου επιζήμιες. Οι χαμηλές θερμοκρασίες εμποδίζουν την πρόσληψη θρεπτικών ουσιών, ενώ η λήψη εδαφικής υγρασίας από τα φυτά διακόπτεται σε θερμοκρασία 1°C. Τέλος, η αύξηση του ριζικού συστήματος είναι σε γενικές γραμμές πιο ευαίσθητη στη θερμοκρασία από ότι αυτή των υπέργειων τμημάτων του φυτού, γεγονός που δηλώνει ότι το θερμοκρασιακό εύρος είναι μικρότερο για το ριζικό σύστημα από ότι για τους βλαστούς και τα φύλλα (Mavi and Tupper, 2004).

Σε πολλές περιπτώσεις, η θερμοκρασία του εδάφους είναι πιο σημαντική για την ανάπτυξη του φυτού από την αντίστοιχη του αέρα. Στον Καναδά, η φύτευση των αγρονομικά σημαντικών καλλιεργειών λαμβάνει χώρα τους πρώτους μήνες της άνοιξης, όταν οι θερμοκρασίες είναι αρκετά κάτω από τις βέλτιστες. Αυτό έχει συχνά ως αποτέλεσμα τη μείωση του ρυθμού και της επιτυχίας του φυτρώματος, την αργή και μη συγχρονισμένη εκβλάστηση και την ανομοιογένεια εντός της καλλιέργειας, όσον αφορά στο μέγεθος των φυτών και στο στάδιο ανάπτυξης (Nykiiforuk and Flanagan, 1998).

Αρκετές ποικιλίες ρυζιού δεν εκβλαστάνουν όσο η θερμοκρασία εδάφους είναι χαμηλότερη από 11°C (Kwon *et al.*, 1996). Οι εαρινές καλλιέργειες χόρτων φυτρώνουν ελάχιστα κατά τη χειμερινή περίοδο (Mavi and Tupper, 2004). Μειωμένοι ρυθμοί φυτρώματος κατά τη διάρκεια ψυχρότερων περιόδων απαιτούν μακρές περιόδους με επαρκή διαθέσιμο εδαφικό νερό για την έναρξη του φυτρώματος (Roundy and Biedenbender, 1996). Τέλος, το φύτρωμα του καλαμποκιού μειώνεται

δραστικά όταν η θερμοκρασία εδάφους ημέρας/νύχτας είναι πάνω από 21/12 °C αντίστοιχα, και η περιεχόμενη εδαφική υγρασία είναι χαμηλή κατά τη διάρκεια της πρώτης εβδομάδας μετά τη σπορά (Helms *et al.*, 1997).

Μετά το στάδιο του φυτρώματος, η εδαφική θερμοκρασία είναι σημαντική για την αύξηση των καλλιεργειών. Για κάθε είδος απαιτείται μία συγκεκριμένη θερμοκρασία εδάφους για τη βέλτιστη πρόσληψη ιόντων και νερού. Η ημερήσια θερμοκρασία εδάφους είναι πιο σημαντική από την αντίστοιχη κατά τη διάρκεια της νύχτας. Αυτό συμβαίνει διότι είναι απαραίτητο κατά τη διάρκεια της ημέρας να διατηρείται ένα ευνοϊκό υδατικό ισοζύγιο για την καλλιέργεια, στο οποίο η υδατική κατάσταση της καλλιέργειας να αντισταθμίζει τις απώλειες από τους υψηλούς ρυθμούς εξάτμισης.

Η καλλιέργεια του καλαμποκιού είναι στενά συνδεδεμένη με τη θερμοκρασία εδάφους κατά τη φύτευση. Μερικές καλλιέργειες/ποικιλίες που η σπορά τους έγινε σε θερμοκρασίες εδάφους πάνω από 30°C παρουσίασαν μειωμένη τελική εκβλάστηση σπόρων (Arachchi *et al.*, 1999). Η θερμοκρασία εδάφους ελέγχει το ρυθμό ανάπτυξης του καλαμποκιού, όσο το μερίστημα είναι υπόγειο. Αυξημένες θερμοκρασίες εδάφους επιταχύνουν το ρυθμό εμφάνισης και επέκτασης-αναδίπλωσης των φύλλων, επιτρέποντας κατά αυτόν τον τρόπο στην καλλιέργεια να αποκτήσει νωρίτερα τη μέγιστη τιμή του δείκτη φυλλικής επιφάνειας [Leaf Area Index (LAI)]. Αυτό καθιστά δυνατό τον καλύτερο συγχρονισμό μεταξύ των χρονικών στιγμών κατά τις οποίες παρατηρούνται οι αιχμές (peak) της αναχαιτιζόμενης από το φυτό ακτινοβολίας (radiation interception), καθώς και της προσπίπτουσας (radiation incidence). Το μέγεθος στο οποίο η θερμοκρασία εδάφους θα επηρεάσει την απόδοση, μεταβάλλεται με την ημερομηνία σποράς και με το γεωγραφικό πλάτος όπου καλλιεργείται το καλαμπόκι (Stone *et al.*, 1999).

Στο σιτάρι, η βέλτιστη θερμοκρασία εδάφους για το ριζικό σύστημα κατά το στάδιο της αύξησης (vegetative stage) είναι κάτω από 20°C και είναι χαμηλότερη από αυτή που απαιτείται για τους βλαστούς. Θερμοκρασίες υψηλότερες από 35°C μειώνουν την ανάπτυξη των τελικών απολήξεων του ριζικού συστήματος (terminal root) και επιταχύνουν τη «γήρανσή» (senescence) του. Η αύξηση του όλου ριζικού συστήματος διακόπτεται όταν η θερμοκρασία εδάφους πέσει κάτω από τους 2°C. Οι Porter και Gawith (2000) έδειξαν ότι θερμοκρασία αέρα ίση με -20°C είναι θανατηφόρα για το ριζικό σύστημα, όμως αυτό πρέπει να μεταφραστεί σε

θερμοκρασία επιφανείας εδάφους, η οποία στις περισσότερες περιπτώσεις είναι υψηλότερη.

Θερμοκρασία αέρα

Η θερμοκρασία του αέρα είναι η πιο σημαντική κλιματική μεταβλητή που επηρεάζει τη ζωή των φυτών. Η αύξηση των δενδρωδών, «υψηλότερων» φυτών (π.χ. δένδρα), περιορίζεται σε θερμοκρασίες μεταξύ 0 και 60°C, ενώ για τα καλλιεργούμενα φυτά το θερμοκρασιακό εύρος «στενεύει» από 10 έως 40°C (Mavi and Tupper, 2004). Ωστόσο, κάθε είδος και ποικιλία έχει τα δικά του ανώτερα και κατώτερα θερμοκρασιακά όρια, τα οποία εξαρτώνται και από το στάδιο ανάπτυξης. Πέρα από αυτά τα όρια, παρουσιάζονται εκτεταμένες βλάβες στα φυτά και μπορεί να επέλθει μέχρι και ο θάνατος – μάρανση. Γι' αυτό το λόγο, το θερμοκρασιακό εύρος και το μέγεθος της διακύμανσης της θερμοκρασίας είναι πολλές φορές πιο σημαντικό για την αύξηση των φυτών από τη μέση τιμή.

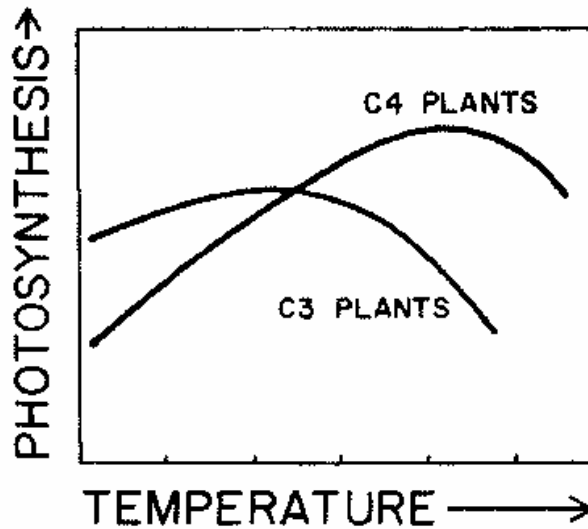
Οι υψηλές μεσημβρινές θερμοκρασίες αυξάνουν το έλλειμμα κορεσμού στα φυτά. Επίσης, επιταχύνουν τη φωτοσύνθεση και την ωρίμανση των καρπών. Η μέγιστη παραγωγή ξηρής ουσίας λαμβάνει χώρα όταν το εύρος της θερμοκρασίας κυμαίνεται από 20 έως 30°C, αρκεί η υγρασία να μην αποτελεί περιοριστικό παράγοντα (Mavi, 1994). Υψηλές θερμοκρασίες σε συνδυασμό με υψηλή υγρασία ευνοούν την ανάπτυξη πολλών ασθενειών. Τέλος, οι υψηλές θερμοκρασίες επηρεάζουν και το μεταβολισμό των φυτών (Fageria *et al.*, 1997).

Οι υψηλές νυχτερινές θερμοκρασίες αυξάνουν τη διαπνοή. Επίσης, ευνοούν την αύξηση των βλαστών και των φύλλων, εις βάρος όμως των ριζών, των καταβολάδων (stolons), του καμβίου (cambium) και των καρπών. Η θερμοκρασία νυκτός κατέχει πρωταρχικό ρόλο στην κατανομή των παραγώγων της φωτοσύνθεσης στα όργανα των φυτών, ευνοώντας σε γενικές γραμμές αυτά που δεν προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση. Τέλος, και οι υψηλές νυχτερινές θερμοκρασίες επηρεάζουν το μεταβολισμό των φυτών.

Πολύ χαμηλές νυχτερινές θερμοκρασίες είναι επιβλαβείς και πολλές φορές καταστροφικές για πολλές καλλιέργειες. Συγκεκριμένα, τα χυμώδη φύλλα και τα άνθη είναι πολύ ευαίσθητα στις χαμηλές θερμοκρασίες και στον παγετό. Γενικότερα, τα φυτά που αναπτύσσονται και ανθίζουν ραγδαίως είναι πιο ευαίσθητα και μπορούν εύκολα να καταστραφούν. Επίσης, οι χαμηλές θερμοκρασίες, καθώς και ο παγετός επεμβαίνουν στη διαπνοή των φυτών (Mavi and Tupper, 2004).

Χαμηλές αποδόσεις, καθώς και διακυμάνσεις στις αποδόσεις του βαμβακιού σχετίζονται με ακραίες θερμοκρασίες (Oosterhuis, 1997). Η απόδοση και τα χαρακτηριστικά της ίνας του βαμβακιού ανταποκρίνονται σε διακυμάνσεις της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας και του θερμοκρασιακού εύρους (Liakatas *et al.*, 1998). Μείωση της μέσης θερμοκρασίας επιδρά θετικά στις συνιστώσες που σχετίζονται με υψηλές αποδόσεις, όμως οι υψηλές θερμοκρασίες και συγκεκριμένα οι υψηλές ημερήσιες θερμοκρασίες αυξάνουν το μήκος της ίνας, την ομοιομορφία και την αντοχή της. Τα μεγάλα ημερησία θερμοκρασιακά εύρη συμβάλλουν στη δημιουργία ενδιάμεσου αριθμού ανθέων και στο χαμηλότερο ποσοστό διατήρησης (retention percentage). Η καρποφορία και η απόδοση αυξάνουν όταν η μέση ημερήσια θερμοκρασία είναι 22°C. Τέλος, έχει παρατηρηθεί ότι οι χαμηλές ελάχιστες θερμοκρασίες έχουν αρνητική επίδραση στις ιδιότητες της ίνας και του χνουδιού των σπόρων του βαμβακιού (Roussopoulos *et al.*, 1998).

Οι περισσότερες καλλιέργειες είναι προσαρμοσμένες σε ένα συγκεκριμένο τύπο κλίματος (π.χ. τροπικό, εύκρατο κ.τ.λ.), δε μπορούν να ανεχθούν ακραίες θερμοκρασίες και έχουν ένα «στενό» θερμοκρασιακό εύρος στο οποίο μεγιστοποιείται η παραγωγή τους. Παρόλο που υπάρχουν εξαιρέσεις, τα C₄ φυτά είναι πιο ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες και πιο ευαίσθητα στις χαμηλές από τα C₃ φυτά (Edwards *et al.*, 1983). Ο συμβολισμός C₃ ή C₄ αναφέρεται στο μήκος του σκελετού του άνθρακα (C₃H₆O₃, C₄H₈O₄, αντίστοιχα) (Δαναλάτος, 2007). Στο σχήμα 2.2 απεικονίζεται η σχέση μεταξύ θερμοκρασίας και φωτοσύνθεσης στα C₃ και C₄ φυτά. Αρκετά C₄ φυτά, όπως το σακχαροκάλαμο και το καλαμπόκι, είναι καλύτερα προσαρμοσμένα στο να καλλιεργούνται κάτω από υψηλές θερμοκρασίες από τα C₃ φυτά (π.χ. σιτάρι και κριθάρι). Η ανθεκτικότητα των C₃ φυτών στις χαμηλές θερμοκρασίες και γενικότερα η καλύτερη φωτοσυνθετική τους απόδοση κάτω από τέτοιες συνθήκες, πάντοτε σε σύγκριση με τα C₄ φυτά, πιθανόν να οφείλεται εν μέρει σε διαφορές στα επίπεδα συγκεκριμένων φωτοσυνθετικών ενζύμων, στην αστάθεια στο ψύχος (cold lability) μερικών ενζύμων κλειδιών της φωτοσυνθετικής οδού C₄ και στις διαφορές στη φάση της μετάβασης των λιπιδίων στις μεμβράνες (Edwards *et al.*, 1983).

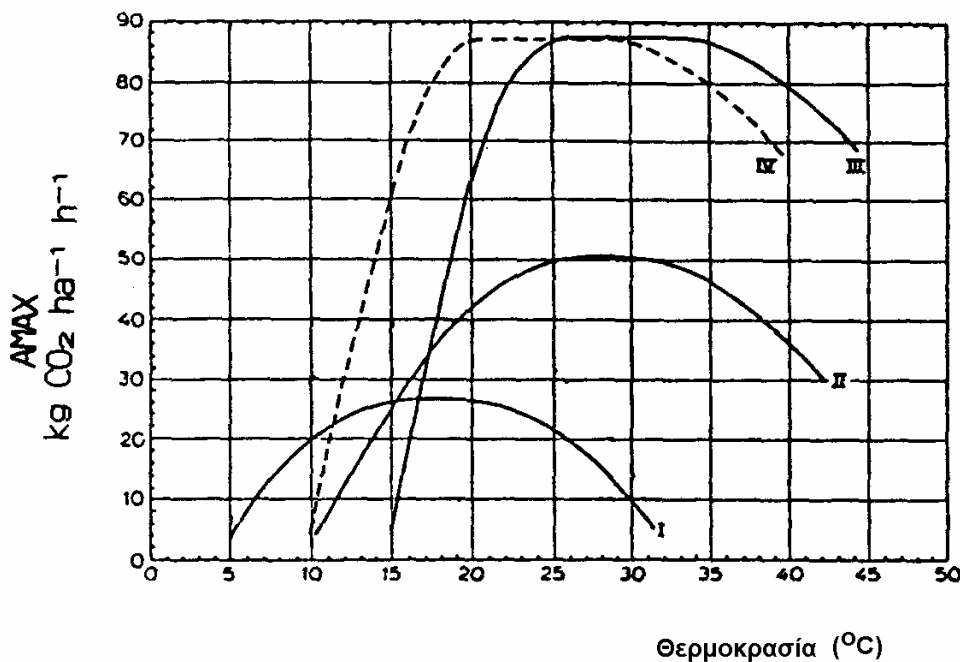


Σχήμα 2.2: Γραφική απεικόνιση της αλληλεπίδρασης μεταξύ της θερμοκρασίας και της φωτοσύνθεσης σε C₃ και C₄ φυτά. Η βέλτιστη θερμοκρασία για φωτοσύνθεση είναι περίπου 25°C στα C₃ φυτά και γύρω στους 35°C στα C₄ φυτά (Fageria *et al.*, 1997).

Ομοίως, τα C₄ φυτά κάνουν πιο αποδοτική χρήση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας από τα C₃ φυτά σε μεγάλες εντάσεις φωτός. Ανασκόπηση της διεθνούς βιβλιογραφίας υπαγορεύει τιμές του μέγιστου ρυθμού αφομοίωσης (AMAX), που κυμαίνονται συνήθως μεταξύ 40 και 90 kg ha⁻¹(φύλλου) h⁻¹ για φυτά τύπου C₄ και μεταξύ 15 και 50 kg ha⁻¹(φύλλου) h⁻¹ για φυτά τύπου C₃, σε συνάρτηση και με τις υπάρχουσες περιβαλλοντικές συνθήκες. Πρέπει, όμως, να σημειωθεί ότι οι διαφορές είναι μικρές σε μικρές εντάσεις. Τα C₄ φυτά φθάνουν το μέγιστο επίπεδο ρυθμού αφομοίωσης (κορεσμός) σε θερμοκρασίες 25-35°C, αντίθετα με τα C₃ φυτά που παρουσιάζουν μέγιστη αφομοίωση σε θερμοκρασίες 15-25°C (Δαναλάτος, 2007). Η επίδραση της θερμοκρασίας στον AMAX απεικονίζεται στο σχήμα 2.3 για φυτά τύπου C₃ και C₄.

Από όλα τα ανωτέρω γίνεται κατανοητό ότι η θερμοκρασία οριοθετεί τις περιοχές επιτυχούς παραγωγής των περισσότερων γεωργικών καλλιεργειών. Η ευαισθησία των καλλιεργειών στη θερμοκρασία ποικίλλει. Συνοψίζοντας, υπάρχει ένα κατώτερο και ένα ανώτερο θερμοκρασιακό όριο, πέρα από το οποίο η ανάπτυξη και η αύξηση των καλλιεργειών επηρεάζονται. Το κατώτερο όριο καλείται και θερμοκρασία βάσης. Οι βιολογικές δραστηριότητες περιορίζονται σε ένα μικρό

θερμοκρασιακό εύρος, στο κατώτερο όριο από το σημείο πήξης του ύδατος και στο ανώτερο όριο από την πρωτεϊνική αλλοίωση-μετουσίωση (denaturation). Η χωρική κατανομή των καλλιεργειών προκύπτει πρώτιστα από: (1) μια πάρα πολύ μικρή χρονική περίοδο ευνοϊκής θερμοκρασίας για την ωρίμανση των καλλιεργειών, (2) την έλλειψη δυσμενών υψηλών ή χαμηλών θερμοκρασιών κατά τη βλαστική περίοδο για την κατάλληλη ανάπτυξη της καλλιέργειας και (3) την αποφυγή είτε υψηλών είτε χαμηλών θερμοκρασιών, οι οποίες προκαλούν βλάβες ή ακόμα και το θάνατο στα υπό ανάπτυξη φυτά.



Σχήμα 2.3: Γενικές καμπύλες της αντίδρασης του AMAX στη θερμοκρασία για διαφορετικές ομάδες καλλιεργειών (Δαναλάτος, 2007). I=φυτά C₃ σε κρύα και εύκρατα κλίματα, II= φυτά C₃ σε θερμά κλίματα, III= φυτά C₄ σε θερμά κλίματα, IV=φυτά C₄ σε κρύα κλίματα.

Σημαντική έρευνα έχει γίνει σε πολλές χώρες σχετικά με τις θερμοκρασίες που είναι κρίσιμες για κάθε καλλιέργεια, η οποία σε συνδυασμό με τη συνολική αξιολόγηση των θερμικών πόρων, έχει συμβάλει στον ορθότερο προσδιορισμό του αγροκλίματος σε σχέση με τις θερμοκρασιακές ανάγκες διαφόρων καλλιεργειών.

Οι αγρότες, στην προσπάθειά τους να επεκτείνουν την παραγωγή σε ψυχρότερες περιοχές, έχουν καλλιεργήσει επίμονα ποικιλίες έξω από τα

θερμοκρασιακά εύρη στα οποία είναι από την φύση τους προσαρμοσμένες. Συνεπώς, οι ζημίες εξαιτίας του ψύχους είναι κοινές στις καλλιέργειες, δεδομένου ότι τα θερμοκρασιακά καθεστώτα που επικρατούν στις περιοχές καλλιέργειας είναι ακόμα πέρα από τα συνήθη όρια. Για παράδειγμα, οι τροπικές καλλιέργειες είναι γενικά ευαίσθητες στον παγετό και η καλύτερη δυνατή προστασία είναι η καλλιέργειά τους σε περιοχές όπου δεν συναντώνται φαινόμενα παγετού. Μερικές φορές, για οικονομικούς λόγους, είναι επιθυμητό να επεκταθεί μια τέτοια καλλιέργεια στα υποτροπικά κλίματα, όμως σ' αυτήν την περίπτωση η πιθανότητα εμφάνισης παγετού πρέπει να αξιολογηθεί προσεκτικά. Ο οικονομικός παράγοντας είναι αυτός που καθορίζει το αποδεκτό επίπεδο πιθανότητας εμφάνισης αντίξοων συνθηκών. Σε αντίθετες περιπτώσεις, η εμφάνιση υψηλών θερμοκρασιών μπορεί να προκαλέσει ζημιά ακόμη και σε τροπικές καλλιέργειες. Παράδειγμα αποτελεί η περίπτωση του ανθίσματος του αραβικού καφέ, όπου η υψηλή θερμοκρασία προκαλεί τη ρίψη των ανθών, με συνέπεια την απώλεια παραγωγής, ακόμα και αν η ανάπτυξη του φυτού ήταν κανονική (Ortolani *et al.*, 1970; Camargo, 1977).

Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι οι περισσότερες καλλιέργειες που έχουν εισαχθεί και καλλιεργηθεί στον Ελλαδικό χώρο, όχι μόνο ήταν οικονομικά βιώσιμες, αλλά μετά από την περίοδο προσαρμογής τους παρουσίασαν και υψηλές αποδόσεις.

2.1.2 Βροχόπτωση και υδατικοί πόροι για γεωργική παραγωγή

Σχεδόν όλο το διαθέσιμο νερό στη γη, περίπου 97%, είναι θαλασσίνο νερό. Από το εναπομείναν 3%, το 66% αποτελεί νερό υπό τη μορφή χιονιού και πάγων στους πόλους και σε ορεινές περιοχές. Έτσι, το φρέσκο νερό σε υγρή μορφή αποτελεί το 1% του νερού σε παγκόσμια κλίμακα. Από αυτό το 1%, παραπάνω από 98% είναι υπόγειο νερό, ενώ λιγότερο από 2% βρίσκεται σε ποτάμια και λίμνες. Τα υπόγεια ύδατα σχηματίζονται από το πλεόνασμα βροχόπτωσης (*excess rain*) (δηλαδή τη βροχόπτωση που μένει εάν αφαιρεθεί η επιφανειακή απορροή και η εξατμισοδιαπνοή), η οποία διηθείται βαθύτερα στο έδαφος και τελικά διεισδύει στους υπόγειους υδροφορείς. Για εύκρατα και υγρά κλίματα, περίπου 50% της βροχόπτωσης καταλήγει στους υπόγειους υδροφορείς. Για τα Μεσογειακά κλίματα, το ποσοστό αυτό είναι 10-20%, ενώ για τα ξηρά είναι 1% ή και λιγότερο. Σε παγκόσμια κλίμακα, τα ανανεώσιμα υδατικά αποθέματα ανά άτομο ανά έτος είναι περίπου 7.000 κυβικά μέτρα (m^3), με βάση τον πληθυσμό του 2004 (Mavi and

Tupper, 2004). Οι ελάχιστες ανάγκες σε νερό ανά κάτοικο εκτιμούνται σε 1.200 m^3 ετησίως, εκ των οποίων 50 m^3 αντιστοιχούν σε οικιακή χρήση και 1.150 m^3 στην παραγωγή τροφίμων (FAO, 1994). Στις δυτικές και βιομηχανοποιημένες χώρες, τα ανανεώσιμα υδατικά αποθέματα ανέρχονται σε τουλάχιστον $2000 \text{ m}^3/\text{άτομο}/\text{έτος}$ για ένα ικανοποιητικό επίπεδο διαβίωσης (Bouwer, 2000). Όλα τα ανωτέρω υποδηλώνουν ότι το διαθέσιμο νερό είναι αρκετό για να καλύψει τις ανάγκες του τριπλάσιου σχεδόν πληθυσμού. Παρ' όλα αυτά, παρουσιάζονται υδατικά ελλείμματα, τα οποία οφείλονται στην έλλειψη ισορροπίας μεταξύ του πληθυσμού και της ποσοτικής χωροχρονικής κατανομής της υετόπτωσης.

Το 65% της παγκόσμιας παραγωγής τροφίμων βασίζεται στη βροχόπτωση, ενώ το εναπομείναν 35% παράγεται με τη χρήση άρδευσης (FAO, 1994). Στις περισσότερες περιοχές του κόσμου, η βροχόπτωση είναι ανεπαρκής για να καλύψει τις υδατικές ανάγκες, τουλάχιστον για μία περίοδο μέσα στο έτος, και έτσι η παραγωγή των ξηρικών καλλιεργειών επηρεάζεται έντονα από τις ετήσιες διακυμάνσεις στη βροχόπτωση.

Ένα σημαντικό ποσοστό των παγκόσμιων υδατικών πόρων χρησιμοποιείται για την παραγωγή τροφής. Στις περισσότερες χώρες, 60 – 80% των διαθέσιμων υδατικών πόρων χρησιμοποιείται στη γεωργία, ενώ το ποσοστό αυτό μπορεί να ξεπεράσει και το 80% σε χώρες των ξηρών και ημίξηρων περιοχών (Smith, 2000).

Έτσι λοιπόν, η παροχή νερού από βροχοπτώσεις ή αρδεύσεις κατατάσσεται με τη θερμοκρασία ως ο σημαντικότερος καθοριστικός παράγοντας, με τη βοήθεια του οποίου τα φυτά αναπτύσσονται φυσικά ή μπορούν να αναπτυχθούν σε αγροτικό επίπεδο. Η άρδευση είναι η προφανής επιλογή για τη σταθεροποίηση και αύξηση της γεωργικής παραγωγής. Σημαντικές επενδύσεις για την άρδευση έγιναν κατά τη διάρκεια του δεύτερου μισού του 20^{ου} αιώνα, εκτρέποντας τα επιφανειακά ύδατα και αντλώντας τα υπόγεια. Οι αρδευόμενες περιοχές ανά τον κόσμο αυξήθηκαν τις τρεις τελευταίες δεκαετίες του 20^{ου} αιώνα κατά 25% (FAO, 1993). Ο ρυθμός αυτός μειώθηκε σημαντικά, διότι το μεγάλο ποσοστό των επιφανειακών υδάτων βρίσκεται ήδη υπό εκμετάλλευση, ενώ τα υπόγεια υδατικά αποθέματα έχουν ήδη μειωθεί σε ανησυχητικό βαθμό.

Με τους υδατικούς πόρους να εξαντλούνται, η χρήση νερού κατώτερης ποιότητας αυξάνεται συνεχώς. Υπερεκμετάλλευση και κακή διαχείριση του αρδευτικού νερού έχει σε αρκετές περιπτώσεις καταστροφικές συνέπειες στην ποιότητα του εδάφους, με αποτέλεσμα ολόκληρες περιοχές να καθίστανται

ακατάλληλες για γεωργική παραγωγή ή να απαιτείται η κατασκευή αποστραγγιστικών έργων υψηλού κόστους. Ο προσδιορισμός στρατηγικών στο σχεδιασμό και στη διαχείριση των διαθέσιμων υδατικών πόρων στον αγροτικό τομέα θα γίνει εθνική και παγκόσμια προτεραιότητα (Mavi and Tupper, 2004).

Η ανεπαρκής και ασταθής παροχή νερού έχει αρνητική επίδραση στη γεωργική παραγωγή σε οποιαδήποτε κλιματική περιοχή. Το πρόβλημα είναι πιο έντονο στα τροπικά και υποτροπικά ημίξηρα και ξηρά κλίματα, όπου οι υδατικές απώλειες κατά τη διάρκεια του έτους είναι πολύ υψηλές, εξαιτίας της αυξημένης εξάτμισης και εξατμισοδιαπνοής. Πολλοί ερευνητές έχουν τονίσει ότι η διαχείριση των υδατικών πόρων είναι το μεγαλύτερο και πιο οικουμενικό πρόβλημα στον κόσμο από οποιονδήποτε άλλον περιβαλλοντικό παράγοντα.

Η παραγωγή καλλιεργειών απαιτεί τη διαθεσιμότητα επαρκούς ύδατος. Στην αρδευόμενη και μη γεωργία, η παραγωγή πολλές φορές περιορίζεται από υδατικά ελλείμματα κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου. Η ποσότητα και η κατανομή της βροχόπτωσης κατά τη βλαστική περίοδο και η συμπληρωματική άρδευση, σε συνδυασμό με τα εδαφολογικά χαρακτηριστικά και τις απώλειες λόγω εξατμισοδιαπνοής, προσδιορίζουν τη χρονική εξέλιξη της διαθεσιμότητας σε νερό για τη γεωργία και την επερχόμενη απόδοση της καλλιέργειας (Arora and Gajri, 1998).

Επομένως, η βροχόπτωση είναι μία συνιστώσα του υδατικού ισοζυγίου του εδάφους, ή μάλλον αυτή που αντιστοιχεί στην ύγρανσή του. Μία άλλη εξίσου σημαντική συνιστώσα είναι η εξατμισοδιαπνοή (ET), που αντιστοιχεί σε απώλειες και συγκεκριμένα στο «στέγνωμα» του εδάφους. Εάν δεν υπάρχει έλλειμμα ύδατος στο έδαφος, η εξατμισοδιαπνοή θεωρείται η μέγιστη δυνατή (δυναμική εξατμισοδιαπνοή) και ενδεχομένως θεωρείται ως η κλιματική συνιστώσα (Thornthwaite, 1948; Camargo, 1965; Hudson, 1968) που είναι χαρακτηριστική της περιοχής και που εξαρτάται μόνο από τις μετεωρολογικές συνθήκες. Παρά τη δυνατότητα της μέτρησής της, η δυναμική εξατμισοδιαπνοή (ETp) μπορεί να υπολογιστεί μέσω μερικών εξισώσεων που χρησιμοποιούν μετεωρολογικά δεδομένα, τα οποία είναι ευκολότερα μετρήσιμα και διαθέσιμα. Ένας αριθμός από μοντέλα εκτίμησης της εξατμισοδιαπνοής έχουν εξεταστεί πειραματικά και αναφέρονται στη διεθνή βιβλιογραφία και ο εκάστοτε ενδιαφερόμενος πρέπει να χρησιμοποιήσει το καταλληλότερο για την κάθε υπό μελέτη περιοχή.

Εξατμισοδιαπνοή είναι η απώλεια ύδατος συνδυασμένη από τη βλάστηση, το έδαφος μέσω της εξάτμισης και τα φυτά μέσω της διαδικασίας της διαπνοής. Οι δύο

διαδικασίες είναι βασικά ίδιες και συνεπάγονται τη μετατροπή του νερού από την υγρή κατάσταση στην αέρια. Όταν το νερό είναι σε επάρκεια και διαθέσιμο για αυτήν τη μετατροπή (για παράδειγμα στην επιφάνεια του εδάφους ή του φυτού), ο ρυθμός της εξατμισοδιαπνοής ελέγχεται κυρίως από μετεωρολογικούς παράγοντες, όπως η ηλιακή ακτινοβολία, ο άνεμος, η θερμοκρασία και η ατμοσφαιρική υγρασία. Γενικά, μπορεί να ειπωθεί ότι η εξατμισοδιαπνοή τείνει να αυξηθεί, αυξανόμενης της θερμοκρασίας, της ηλιακής ακτινοβολίας και της ταχύτητας του ανέμου, ενώ τείνει να ελαττωθεί, αυξανόμενης της σχετικής υγρασίας (Φλόκας, 1997).

Αυτή η εξάρτηση της εξατμισοδιαπνοής από τους μετεωρολογικούς παράγοντες οδήγησε στην αρχή (concept) της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής. Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή είναι το ανώτερο όριο της εξατμισοδιαπνοής. Η αρχή υποθέτει ότι υπάρχει επαρκής παροχή νερού και ότι ο ρυθμός της εξάτμισης ελέγχεται από τη χωρητικότητα της ατμόσφαιρας σε υδρατμούς (evaporative capacity), δηλαδή την ικανότητά της να δεχθεί υδρατμούς. Ωστόσο, οι αεροδυναμικές ιδιότητες και η συμπεριφορά των στομάτων της καλλιέργειας μπορούν να τροποποιήσουν την επίδραση των μετεωρολογικών παραμέτρων στην εξατμισοδιαπνοή. Επομένως, η δυνητική εξατμισοδιαπνοή ορίζεται ως ο ρυθμός της εξατμισοδιαπνοής από μια εκτεταμένη επιφάνεια πράσινης βλάστησης, ομοιόμορφου ύψους από 8 έως 15 cm που σκιάζει πλήρως το έδαφος, και με πλήρη επάρκεια νερού (Doorenbos and Pruitt, 1977; Smith, 2000). Από τον ορισμό αυτό προκύπτει ότι η δυνητική εξατμισοδιαπνοή αντιπροσωπεύει το μέγιστο της δυνατής απώλειας νερού, λόγω εξατμισοδιαπνοής από μία φυτοκαλυμμένη περιοχή.

Οι εμπειρικές μέθοδοι υπολογισμού της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής παρέχουν ικανοποιητικές ποσοτικές εκτιμήσεις, όταν βαθμονομούνται κάτω από συνθήκες πλήρης επάρκειας νερού. Γενικά, οι εμπειρικές εξισώσεις συσχετίζουν την εξατμισοδιαπνοή με τη θερμοκρασία του αέρα, την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, τον άνεμο, την ατμοσφαιρική υγρασία ή με συνδυασμούς των ανωτέρω.

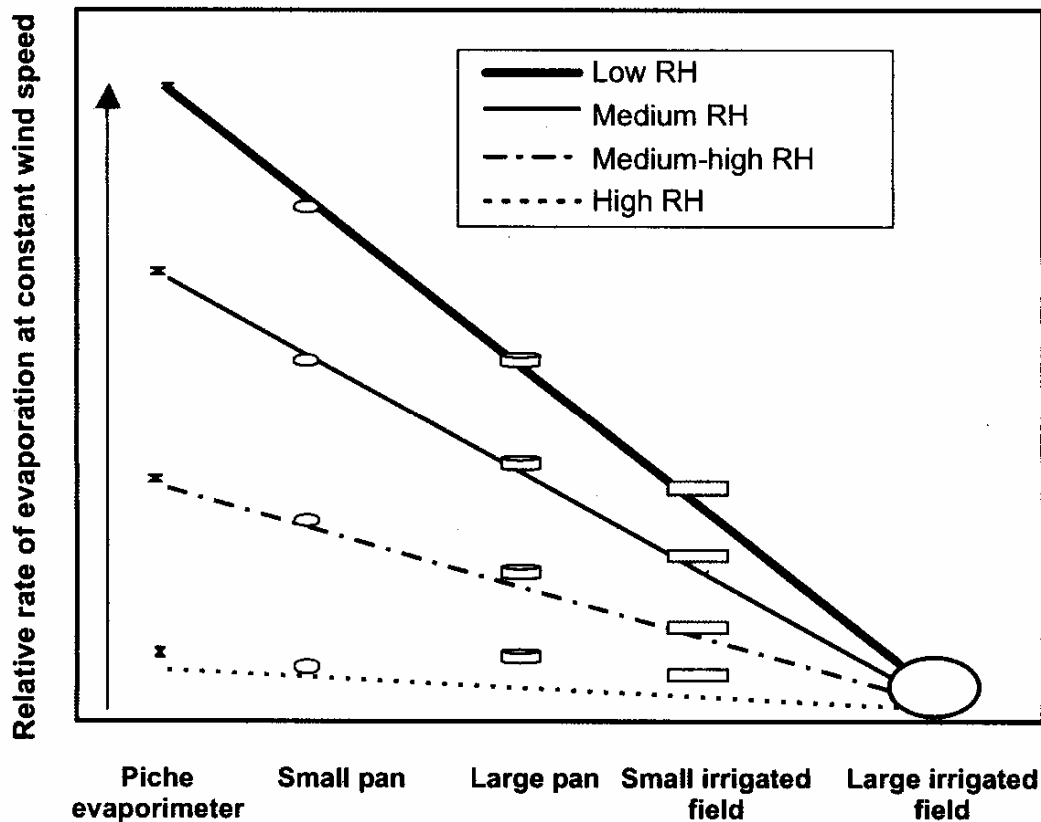
Η μέτρηση της εξατμισοδιαπνοής κάτω από κανονικές συνθήκες είναι μεγίστης σημασίας για την εκτίμηση και τη διαχείριση των υδατικών αποθεμάτων, τόσο του παρόντος, όσο και του μέλλοντος, καθώς και για την επίλυση πολλών θεωρητικών προβλημάτων της υδρολογίας και της μετεωρολογίας. Στο σχεδιασμό των αρδεύσεων τα δεδομένα εξατμισοδιαπνοής χρησιμοποιούνται ως βάση για την εκτίμηση της επιφάνειας των καλλιεργειών, που μπορεί να αρδευτεί με μία συγκεκριμένη παροχή νερού, ή της ποσότητας του νερού που θα χρειαστεί για την

άρδευση μίας συγκεκριμένης περιοχής. Πράγματι, έχει παρατηρηθεί μία ραγδαία αύξηση όσον αφορά στη χρήση δεδομένων εξατμισοδιαπνοής για τον προγραμματισμό των αρδεύσεων. Επίσης, δεδομένα εξατμισοδιαπνοής έχουν χρησιμοποιηθεί ως βάση για την αποτίμηση της αποδοτικότητας των αρδεύσεων στο χωράφι (Mavi and Tupper, 2004). Τέλος, ως αγροκλιματικός δείκτης έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς για την αποτίμηση της επίδρασης του παρεχόμενου νερού τόσο στην αύξηση, όσο και στην απόδοση των καλλιεργειών.

Υπάρχουν αρκετές συσκευές και εμπειρικές μέθοδοι για την εκτίμηση της εξάτμισης και της εξατμισοδιαπνοής. Μικρά δοχεία διαφόρων τύπων μπορούν να μετρήσουν την εξάτμιση. Ωστόσο, για πρακτικούς λόγους, η μέτρηση της εξάτμισης από επιφάνειες όπως λίμνες, αγροτεμάχια, γυμνό έδαφος, λεκάνες απορροής κ.ά., παρουσιάζει μεγαλύτερη σημασία. Η σχέση μεταξύ του μεγέθους της εξατμιζόμενης επιφάνειας και του ρυθμού της απώλειας ύδατος παρουσιάζεται στο σχήμα 2.4. Από το σχήμα αυτό διαφαίνεται ότι ο ρυθμός της εξάτμισης είναι σχεδόν ανεξάρτητος από το μέγεθος του μετρικού δοχείου κάτω από συνθήκες υψηλής υγρασίας. Όταν όμως ο αέρας είναι ξηρός, το μέγεθος του δοχείου επηρεάζει σημαντικά το ρυθμό εξάτμισης. Γι' αυτό το λόγο, για την αναγωγή των μετρήσεων αυτών των δοχείων σε άλλες επιφάνειες, πρέπει πρώτα να βρεθεί η μεταξύ τους σχέση.

Από την άλλη πλευρά, υπάρχει μεγάλη λίστα εμπειρικών μεθόδων που έχουν προταθεί για τη μέτρηση της εξατμισοδιαπνοής. Στον Πίνακα 2.1. παρατίθενται κάποιες από αυτές τις μεθόδους, οι οποίες υπολογίζουν την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς καλλιεργειών σε χιλιοστά ανά ημέρα (mm/day) και χρησιμοποιούνται συχνά στη διαχείριση των αρδεύσεων. Πλήθος μελετών και ερευνών έλαβαν χώρα σε περιοχές, σε πολλά μέρη του κόσμου και κάτω από ένα ευρύ φάσμα κλιματικών συνθηκών, για να συγκρίνουν τη σχετική απόδοση διαφόρων μεθόδων εκτίμησης της εξατμισοδιαπνοής (Jensen *et al.*, 1990; McKenny and Rosenberg, 1993; Chiew *et al.*, 1995; Kashyap and Panda, 2001). Από αυτές τις μελέτες απορρέει ένα πλήθος κοινών συμπερασμάτων, τα οποία είναι:

- Γενικά, οι συνδυαστικές μέθοδοι (βασίζονται σε ένα πλήθος παραμέτρων) παρέχουν πιο ακριβείς εκτιμήσεις της εξατμισοδιαπνοής, αφού βασίζονται σε φυσικούς νόμους και μαθηματικές σχέσεις.



Σχήμα 2.4: Μέγεθος εξατμιζόμενης επιφάνειας και ρυθμός εξάτμισης (Mavi and Tupper, 2004).

- Ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν σε μία τοποθεσία, μία απλή (μικρός αριθμός παραμέτρων ως δεδομένα εισόδου) μέθοδος για την εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής, που είναι όμως βαθμονομημένη στις τοπικές συνθήκες, μπορεί να παρέχει καλύτερα αποτελέσματα από μία πολύπλοκη μέθοδο με εκτεταμένες απαιτήσεις σε δεδομένα.
- Η ύπαρξη και διαθεσιμότητα των κλιματικών δεδομένων δεν πρέπει να είναι το μοναδικό κριτήριο κατά την επιλογή της μεθόδου εκτίμησης, εφόσον κάποια από τα δεδομένα εισόδου που χρειάζονται μπορούν να εκτιμηθούν από άλλες μεταβλητές με αρκετή ακρίβεια, επιτρέποντας καθ' αυτόν τον τρόπο τη χρήση της βέλτιστης μεθόδου.
- Οι εκτιμήσεις της μεθόδου Penman είναι μονίμως 20 με 40% υψηλότερες από αυτές της μεθόδου Penman-Monteith. Δεδομένου ότι η τελευταία είναι αυτή που προτείνεται επί του παρόντος από τον FAO, οι τιμές της

εξατμισοδιαπνοής που υπολογίζονται με τη χρήση της FAO-24 Penman πρέπει να χρησιμοποιούνται με επιφύλαξη.

- Οι μέθοδοι FAO-24 Radiation, FAO-24 Blaney-Criddle και η Penman-Monteith δίνουν παρεμφερείς μηνιαίες εκτιμήσεις της εξατμισοδιαπνοής. Η μέθοδος Blaney-Criddle, η οποία χρησιμοποιεί μόνο δεδομένα θερμοκρασίας και κάποια μακροπρόθεσμη μέση κλιματική πληροφορία, είναι κατάλληλη για εφαρμογές στις οποίες απαιτούνται μηνιαίες εκτιμήσεις της εξατμισοδιαπνοής. Η μέθοδος της ακτινοβολίας δίνει παρεμφερή αποτελέσματα με τη Penman-Monteith. Η μέθοδος FAO-24 Radiation, σε αντίθεση με τη Penman-Monteith, δεν απαιτεί δεδομένα ανέμου και εκτιμά την εξατμισοδιαπνοή χρησιμοποιώντας τη θερμοκρασία και τις ώρες ηλιοφάνειας, κλιματικές μεταβλητές που είναι σχετικά συντηρητικές όσον αφορά στη χωρική τους διάσταση. Έτσι, η μέθοδος FAO-24 Radiation μπορεί να χρησιμοποιηθεί αντί της Penman-Monteith για τον υπολογισμό της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής, όταν δεν είναι διαθέσιμα δεδομένα ανέμου.
- Οι απόψεις για τη μέθοδο FAO-24 Pan παρουσιάζουν αντιφάσεις. Κάποιοι ερευνητές δεν υποστηρίζουν τη χρήση αυτής της μεθόδου, καθώς απαιτείται πολύ μεγάλη προσοχή στη λειτουργία του δοχείου (pan), σε σύγκριση με άλλα μετεωρολογικά όργανα. Από την άλλη πλευρά, κάποιοι την προτιμούν λόγω της διαθεσιμότητας μεγάλων χρονοσειρών δεδομένων εξάτμισης και της ευκολίας της στη χρήση.

Τέλος, μερικές καλλιέργειες είναι ευαίσθητες στην ξηρασία και δε θα είναι οικονομικά βιώσιμες χωρίς άρδευση (εκτός αν είναι γενετικά τροποποιημένες) σε περιοχές όπου μια ξηρή περίοδος μπορεί να εμφανιστεί κατά τη διάρκεια ενός κρίσιμου σταδίου του βιολογικού τους κύκλου. Η ετήσια κατανομή του υδατικού ισοζυγίου απεικονίζει την υφιστάμενη κατάσταση υγρασίας μιας περιοχής. Σε πολλές ετήσιες καλλιέργειες η έλλειψη υγρασίας (καταπόνηση) κατά τη σπορά, την άνθιση και την καρποφορία (γέμισμα των καρπών) είναι αυτή που καθορίζει πολλές φορές την παραγωγή. Σε μερικές περιπτώσεις, όπου η οικονομική σημασία της καλλιέργειας το επιτρέπει, η άρδευση αποτελεί τη λύση σε αυτήν την κατάσταση έλλειψης ύδατος. Από την άλλη πλευρά, η υπερβολική ύπαρξη ύδατος παραμένει ένα πρόβλημα.

Πίνακας 2.1: Εμπειρικές μέθοδοι εκτίμησης της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς καλλιεργειών (mm/day).

Εμπειρική Μέθοδος	Βιβλιογραφία
Hargreaves	Hargreaves and Samani, 1985
Ritchie	Meyer <i>et al.</i> , 1995
FAO-24 Pan	Doorembos and Pruit, 1977
Penman-Monteith	Chiew <i>et al.</i> , 1995
FAO-24 Penman	Chiew <i>et al.</i> , 1995
FAO-24 Radiation	Chiew <i>et al.</i> , 1995
FAO-24 Blaney-Criddle	Chiew <i>et al.</i> , 1995
Υπολογισμός από δεδομένα NOAA	Di Bella <i>et al.</i> , 2000; Loukas <i>et al.</i> , 200X
(Προσαρμοσμένο από Mavi and Tupper, 2004).	

2.1.3 Ηλιακή ακτινοβολία

Η ηλιακή ακτινοβολία είναι η πηγή ενέργειας που διατηρεί την οργανική ζωή-ύλη στη γη. Ουσιαστικά, η παραγωγή των καλλιεργειών βασίζεται στην εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας (Mavi and Tupper, 2004; Δαναλάτος, 2007). Οι φασματικές περιοχές της ηλιακής ενέργειας που είναι σημαντικές για τα φυτά περιγράφονται παρακάτω.

Η περιοχή που βρίσκεται πριν από το ορατό τμήμα της ηλιακής ακτινοβολίας είναι χημικά πολύ ενεργή. Όταν τα φυτά εκτίθενται σε υπερβολικές ποσότητες τέτοιου είδους ακτινοβολίας, τα αποτελέσματα είναι καταστροφικά. Ωστόσο, η ατμόσφαιρα δρα ως ρυθμιστής αυτού του μήκους κύματος της ηλιακής ακτινοβολίας και καμία από τις κοσμικές, γάμμα και X ακτίνες δε φθάνει στην επιφάνεια της γης (Evans, 1973). Το τμήμα της υπεριώδους ακτινοβολίας που φθάνει στην επιφάνεια της γης είναι ελάχιστο και συνήθως είναι ανεκτό από τα φυτά.

Η ηλιακή ακτινοβολία στην περιοχή μετά το ορατό μήκος κύματος, αναφέρεται ως υπέρυθρη και έχει θερμικές επιδράσεις στα φυτά. Υπό την παρουσία υδρατμών, η υπέρυθρη ακτινοβολία όχι μόνο δε βλάπτει τα φυτά, αλλά παρέχει την απαραίτητη θερμική ενέργεια για την ανάπτυξή τους.

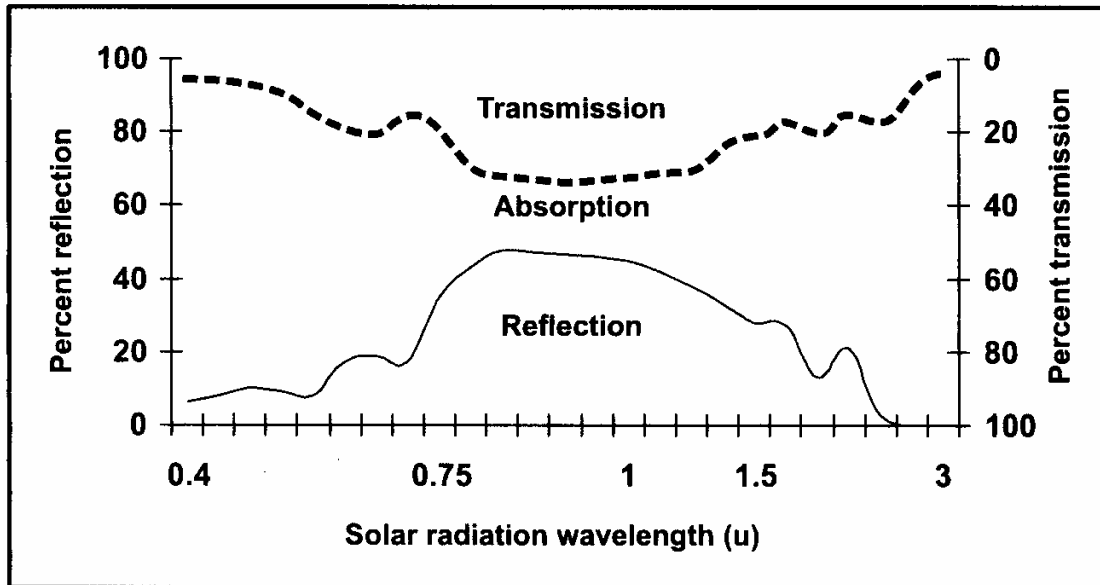
Η τρίτη φασματική περιοχή, η οποία βρίσκεται μεταξύ της υπεριώδους και της υπέρυθρης ακτινοβολίας, είναι το ορατό τμήμα της ηλιακής ακτινοβολίας και

αναφέρεται ως φως. (Sabins, 1997). Αυτή η περιοχή της ηλιακής ακτινοβολίας κατέχει καθοριστικό ρόλο στην αύξηση και ανάπτυξη των φυτών, διαμέσου των διαδικασιών σύνθεσης της χλωροφύλλης και της φωτοσύνθεσης, καθώς και μέσω φωτοευαίσθητων και ρυθμιστικών μηχανισμών, όπως είναι ο φωτοτροπισμός και ο φωτοπεριοδισμός. Κατάλληλη ένταση, ποιότητα και διάρκεια φωτός είναι απαραίτητες για την κανονική ανάπτυξη των φυτών. Η μειωμένη διαθεσιμότητα σε φως είναι συχνά υπεύθυνη για ανωμαλίες και διαταραχές στα φυτά. Ουσιαστικά, όλα τα μέρη και όργανα των φυτών επηρεάζονται άμεσα ή έμμεσα από το ορατό τμήμα της ηλιακής ακτινοβολίας, που επηρεάζει την παραγωγή βλαστών, τη σταθερότητα, τη δύναμη και το μήκος των στελεχών, την απόδοση και το ολικό βάρος του φυτού, το μέγεθος των φύλλων και την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος (Rodriguez *et al.*, 1999). Η διάρκεια της ημέρας, καθώς και της φωτεινής περιόδου στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη (γ.π.) καθορίζουν την ανθοφορία και έχουν έντονη επίδραση στη διαθέσιμη ποσότητα των διαλυτών υδρογονανθράκων (HC). Η πλειοψηφία των φυτών ανθίζουν μόνο όταν εκτεθούν σε συγκεκριμένη φωτοπερίοδο. Με βάση την απόκριση αυτή, τα φυτά έχουν ταξινομηθεί σε φυτά μακράς, βραχείας και ουδέτερης ημέρας. Όταν οι άλλοι περιβαλλοντικοί παράγοντες δεν είναι περιοριστικοί, η φωτοσύνθεση αυξάνει καθώς αυξάνεται η διάρκεια της ημέρας (Salisbury, 1981).

Ένα μέρος από την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία ανακλάται από την επιφάνεια της γης και επιστρέφει στην ατμόσφαιρα. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται ανάκλαση (reflection) και η ακτινοβολία ανακλώμενη (reflected radiation). Η υπόλοιπη ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται (απορρόφηση, absorption) από την επιφάνεια της γης, ενώ μέρος της αναρροφούμενης ακτινοβολίας επανεκπέμπεται (εκπομπή, transmittance).

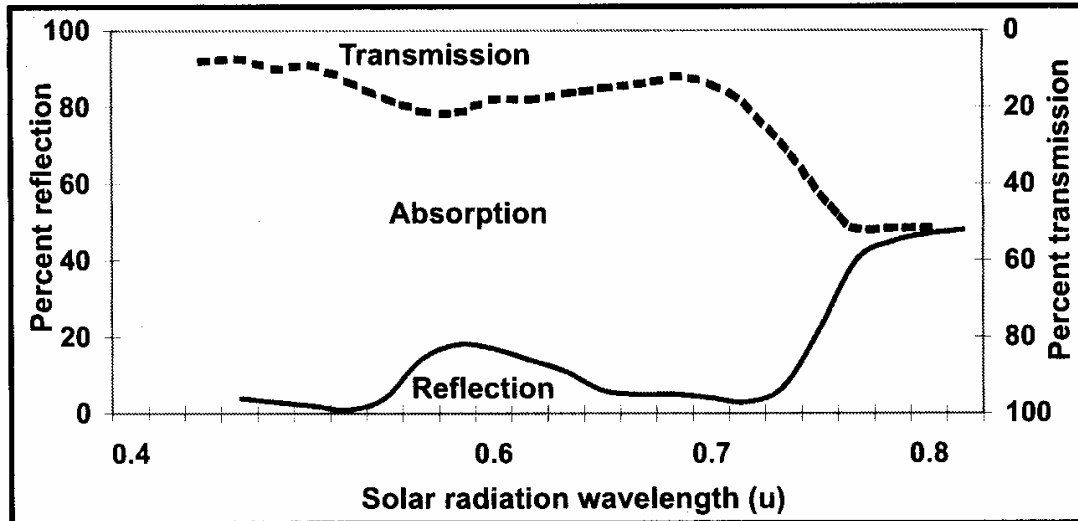
Όπως διαφαίνεται από τα σχήματα 2.5 και 2.6, η ανάκλαση και εκπομπή της ηλιακής ακτινοβολίας από τα φύλλα έχουν παρόμοια φασματική κατανομή. Οι μέγιστες τιμές και για τις δύο διεργασίες παρουσιάζονται στην πράσινη και υπέρυθη περιοχή. Η αίσθηση του πράσινου χρώματος των φυτών εξαρτάται από την υψηλή ανακλαστικότητα, τη σχετικά υψηλή ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και την ευαισθησία της ανθρώπινης όρασης στο πράσινο φως (Mani and Tupper, 2004). Η ισχυρή ανάκλαση της ακτινοβολίας στο υπέρυθρο τμήμα από τα φυτά είναι ένας πολύ σημαντικός φυσικός μηχανισμός για την προστασία τους από βλάβες λόγω υπερθέρμανσης. Κατά μέσο όρο, μία φυτοκαλυμμένη επιφάνεια απορροφά περίπου

75% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, ανακλά περίπου το 15% και εκπέμπει το 10% (Smith, 2002).



Σχήμα 2.5: Γενικευμένο πρότυπο της ανάκλασης, απορρόφησης και εκπομπής της ηλιακής ακτινοβολίας σε πράσινο φύλλο (Mavi and Tupper, 2004).

Η ποιότητα της ακτινοβολίας επηρεάζει το φύτρωμα, την άνθηση και την επιμήκυνση (elongation). Το ερυθρό φως, το οποίο έχει μήκος κύματος 0,66 μικρόμετρα (μm), αποτελεί απαγορευτικό παράγοντα για την άνθηση στα φυτά μακράς ημέρας. Το φύτρωμα των σπόρων αναστέλλεται όταν εκτεθούν σε πράσινη, κυανή ή άλλου μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία. Ωστόσο, το φύτρωμα επισπεύδεται όταν οι σπόροι εκτεθούν στο ερυθρό τμήμα του ηλιακού φάσματος. Η επίδραση στο φύτρωμα του ερυθρού και υπέρυθρου τμήματος του φάσματος είναι αντίθετη. Η επιμήκυνση του στέμματος επωφελείται από την έκθεση σε μήκη κύματος πέραν του ερυθρού, ενώ καταστέλλεται κατά την έκθεση σε αυτό (Butler and Roberts, 1966; Takaichi *et al.*, 2000).



Σχήμα 2.6: Γενικευμένο πρότυπο της ανάκλασης, απορρόφησης και εκπομπής του φωτός (Mavi and Tupper, 2004).

Το ορατό τμήμα του ηλιακού φάσματος επίσης επηρεάζει τον προσανατολισμό των βλαστών, φαινόμενο το οποίο είναι γνωστό ως φωτοτροπισμός (phototropism) (Stone-Evans *et al.*, 2001; Koller *et al.*, 2001; Jin *et al.*, 2001). Όταν οι βλαστοί προσανατολίζονται προς το φως, το φαινόμενο καλείται θετικός φωτοτροπισμός. Με την αύξηση της έντασης του φωτός, ο θετικός φωτοτροπισμός μετατρέπεται σε αρνητικό. Το κυανό τμήμα του φάσματος (0,5 μm) έχει την ισχυρότερη επίδραση στο φωτοτροπισμό, ενώ το ερυθρό την ασθενέστερη. Έτσι, το φαινόμενο αυξάνει κατά τη μετάβαση από το ερυθρό τμήμα στο κυανό. Εν συνεχεία, μειώνεται ξανά στο υπεριώδες τμήμα του φάσματος.

Όπως προαναφέρθηκε, η υπεριώδης και η γάμμα ακτινοβολία έχουν ασήμαντη επίδραση στα φυτά εξαιτίας του γεγονότος ότι ελάχιστα ποσά αυτών των ακτινοβολιών φθάνουν στην επιφάνεια της γης. Όμως, έχει αποδειχθεί ότι η έκθεση σε αυτού του είδους τις ακτινοβολίες έχει επίδραση στη βιολογία των φυτών (Skorska, 2000; Predieri and Gatti, 2000). Αυτές οι ακτίνες μπορεί να επιφέρουν το θάνατο σε μικροοργανισμούς, να απολυμάνουν το έδαφος και να απαλείψουν τις ασθένειες (Sharp and Polavarapu, 1999). Επίσης, οι υπεριώδεις ακτίνες μπορούν να επηρεάσουν τη βλαστική ικανότητα και την ποιότητα των σπόρων. Αυτές οι ακτίνες οδηγούν σε πολλές «ανωμαλίες» στην αύξηση και ανάπτυξη των φυτών (Caldwell, 1981). Τέλος, η υπεριώδης ακτινοβολία αναστέλλει τη φωτοσύνθεση και τη μεταβολική διεργασία (Karsten *et al.*, 1999; Correia *et al.*, 2000).

Με βάση τη φυσιολογική απόκριση των φυτών, το ηλιακό φάσμα μπορεί να διαιρεθεί στις παρακάτω οκτώ ευρείς περιοχές (bands) (Mavi and Tupper, 2004):

1. Μήκη κύματος μικρότερα από 0,280 (μm): Πολύ ισχυρή μικροβιοκτόνος δράση. Κάτω από 0,260 μm μπορεί να καταστρέψει αρκετά φυτά. Τέτοιου είδους ακτινοβολία δε φθάνει στην επιφάνεια της γης.
2. Μήκη κύματος από 0,280 έως 0,315 μm: Σημαντική μικροβιοκτόνος δράση. Τέτοιου είδους ακτινοβολία (πρακτικά κάτω από 0,290 μm) δε φθάνει στην επιφάνεια της γης.
3. Μήκη κύματος από 0,315 έως 0,400 μm: Προξενεί φθορισμό στα φυτά.
4. Μήκη κύματος από 0,400 έως 0,510 μm: Ισχυρή απορρόφηση από τη χλωροφύλλη, έντονη φωτοσυνθετική δραστηριότητα και διαπλαστική επίδραση.
5. Μήκη κύματος από 0,510 έως 0,610 μm: Χαμηλή φωτοσυνθετική αποτελεσματικότητα στα πράσινα τμήματα του φυτού και ασθενής διαπλαστική δραστηριότητα.
6. Μήκη κύματος από 0,610 έως 0,700 μm: Πολύ ισχυρή απορρόφηση από τη χλωροφύλλη, μέγιστη φωτοσυνθετική δραστηριότητα και σε αρκετές περιπτώσεις έντονη φωτοπεριοδική δραστηριότητα.
7. Μήκη κύματος από 0,700 έως 1.000 μm: Επιδράσεις που σχετίζονται με την επιμήκυνση των οργάνων του φυτού.
8. Μήκη κύματος μεγαλύτερα από 1.000 μm: Το μεγαλύτερο μέρος αυτής της ακτινοβολίας απορροφάται από τα φυτά και μετατρέπεται σε θερμότητα χωρίς να παρεμβαίνει στις βιοχημικές διεργασίες.

Σε επόμενο κεφάλαιο αναλύεται η φυσιολογία των φυτών και η απόκρισή τους στην ακτινοβολία.

2.1.4 Έδαφος

Το έδαφος αποτελεί το μη στρωματοποιημένο ανόργανο υλικό πάνω στην επιφάνεια της γης, το οποίο εξυπηρετεί ως φυσικό μέσο για την ανάπτυξη των φυτών. Υψηλές γεωργικές αποδόσεις είναι αναμενόμενες μόνο όταν οι συνθήκες είναι βέλτιστες ή ευνοϊκές σε αυτό το μέσο. Οι βέλτιστες συνθήκες είναι δύσκολο να οριστούν, αφού διαφοροποιούνται ανάλογα με το είδος του φυτού, τον τύπο του εδάφους και το αγρόκλιμα της περιοχής (Fageria *et al.*, 1997). Κάποιες συνθήκες ή

παράγοντες που επηρεάζουν την αύξηση των φυτών, μπορούν να σχετιστούν με τις φυσικές, χημικές και βιολογικές ιδιότητες του εδάφους. Αυτοί οι παράγοντες επηρεάζουν άμεσα ή έμμεσα την αύξηση του ριζικού συστήματος, την απορρόφηση του νερού και των θρεπτικών και συνεπώς την αύξηση των καλλιεργειών και τις αποδόσεις.

Φυσικές ιδιότητες

Οι φυσικές ιδιότητες του εδάφους κατέχουν σημαντικό ρόλο στην αύξηση και ανάπτυξη των φυτών. Οι φυσικές ιδιότητες που επηρεάζουν την αύξηση είναι η σύσταση (texture), η δομή (structure), η συνεκτικότητα (consistency), το διάκενο μεταξύ των πόρων και η πυκνότητά τους (pore space and density), η αροτραία-σκαπτική ικανότητα ή ικανότητα άροσης (soil tilth) και το χρώμα του εδάφους. Αυτές οι ιδιότητες είναι συνδεδεμένες μεταξύ τους και αλληλοεξαρτώνται. Έτσι, μία αλλαγή σε μία από αυτές ίσως επιφέρει αλλαγές στις υπόλοιπες, οι οποίες μπορεί να είναι ευνοϊκές ή δυσμενείς. Γενικά, η δημιουργία ευνοϊκών “φυσικών” εδαφικών συνθηκών για την αύξηση των καλλιεργειών αποτελεί ένα πολύ σύνθετο φαινόμενο.

Η σύσταση του εδάφους επηρεάζει την παραγωγικότητα των καλλιεργειών με ποικίλους τρόπους. Επηρεάζει την υδατοχωρητικότητα, τον αερισμό, τη θερμοκρασία, την ανταλλαγή κατιόντων, την ικανότητα παροχής θρεπτικών του εδάφους, και συμπερασματικά, την αύξηση και την παραγωγή (Fageria *et al.*, 1997). Τα μέσης σύστασης εδάφη παρουσιάζουν την τάση να είναι πιο παραγωγικά από τα ελαφριά ή βαριά εδάφη. Η σύσταση του εδάφους αποτελεί σχετικά μόνιμη ιδιότητα και επηρεάζεται ελάχιστα από την άροση ή άλλες διαχειριστικές πρακτικές, εκτός και αν η διαφοροποίηση είναι δραστική. Έτσι, μπορεί να διαφοροποιηθεί από την απώλεια εδάφους μέσω διάβρωσης ή από την εναπόθεση φερτών υλικών από το νερό ή τον άνεμο.

Η δομή του εδάφους, σε συνδυασμό με την εδαφική σύσταση, ελέγχει το πορώδες του εδάφους και έτσι επηρεάζει τον αερισμό, τη διηθητικότητα – υδατοπερατότητα, τη διείσδυση των ριζών και τις μικροβιολογικές δραστηριότητες της πανίδας και χλωρίδας του εδάφους (Baver *et al.*, 1972). Με τον τρόπο αυτό κατέχει σημαντικό ρόλο στην αύξηση των φυτών και συνεπώς στη γεωργική παραγωγή. Το έδαφος πρέπει να έχει την κατάλληλη δομή για μέγιστη παραγωγικότητα. Μία «κατάλληλη» δομή παρέχει ικανοποιητικό αερισμό και αποστράγγιση, επαρκή αποθηκευτική ικανότητα, καλή ανάπτυξη στο ριζικό σύστημα και πρόσβαση στα θρεπτικά συστατικά (Russell, 1973). Επιπροσθέτως, οι

καλλιέργειες σε γενικά πλαίσια αναπτύσσονται ικανοποιητικά σε ένα εύρος δομικών συνθηκών (Low, 1979). Η δομή του εδάφους μπορεί να τροποποιηθεί πολύ πιο εύκολα μέσω καλλιεργητικών πρακτικών από ότι η σύσταση.

Σχετικά με τη συνεκτικότητα του εδάφους, η σημαντικότητά της στη γεωργία συνδέεται με τη σταθερότητα της δομής του εδάφους, την καταλληλότητά του για άρωση και την ευπάθεια στη διάβρωση.

Τέλος, η καλή αροτραία ικανότητα του εδάφους συνεπάγεται ευκολία και μείωση του χρόνου άρωσης, καθώς επίσης και επαρκή παροχή νερού και αέρα στα φυτά. Η καλή αροτραία ικανότητα είναι πιο κρίσιμη στα λεπτόκοκκα παρά στα χονδροειδή εδάφη και επηρεάζεται από την άρωση.

Χημικές ιδιότητες

Οι χημικές ιδιότητες του εδάφους, όπως η ανεπάρκεια σε θρεπτικά (nutrient deficiencies), η τοξικότητα, το pH, η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων, η οξειδοαναγωγή και η αλατότητα είναι πολύ σημαντικές και καθορίζουν την αύξηση και την παραγωγή των καλλιεργειών. Αυτές οι εδαφικές ιδιότητες μπορούν να τροποποιηθούν μέσω διαχειριστικών πρακτικών για να αυξηθεί η παραγωγή. Σήμερα ανά τον κόσμο, είναι διαθέσιμη επαρκής τεχνογνωσία, ώστε να βελτιωθούν αυτές οι ιδιότητες στην περίπτωση που επικρατούν δυσμενείς συνθήκες για την παραγωγή καλλιεργειών. Αρκετές, όμως, φορές δεν είναι δυνατή η εφαρμογή αυτών των τεχνικών για οικονομικούς λόγους. Οποιαδήποτε τεχνολογία στη γεωπονία, για να χρησιμοποιηθεί από τους αγρότες πρέπει να ικανοποιεί τις ανάγκες τους και να εξασφαλίζει το κέρδος τους. Αν μία συγκεκριμένη τεχνολογία αυξάνει το κέρδος, οι αγρότες θα την εφαρμόσουν, αρκεί να έχουν τους πόρους για να το κάνουν. Στις μέρες μας οι αγρότες δεν είναι διστακτικοί για να υιοθετήσουν νέες τεχνολογίες.

Η μη επαρκής παροχή θρεπτικών περιορίζει την ανάπτυξη και αύξηση των φυτών, καθώς και την απόδοση. Η ανεπάρκεια σε θρεπτικά συνήθως αφορά στο άζωτο και στο φώσφορο. Η ανεπάρκεια θρεπτικών σχετίζεται με το μητρικό υλικό, τα καιρικά φαινόμενα, το είδος της καλλιέργειας και τη διάβρωση. Πάντως, ο καλύτερος δείκτης της περιεκτικότητας σε θρεπτικά ενός εδάφους είναι αντίδραση της καλλιέργειας.

Οι πιο συχνά παρατηρούμενες τοξικότητες στις εδώδιμες καλλιέργειες είναι αυτές του αλουμινίου, του μαγγανίου και του σιδήρου. Οι δύο πρώτες είναι πολύ συχνές σε όξινα εδάφη, ενώ η τοξικότητα του σιδήρου λαμβάνει χώρα σε κατακλυσμένες με νερό καλλιέργειες, όπως αυτή του ρυζιού (Fageria *et al.*, 1997). Η

μείωση στην απόδοση μιας καλλιέργειας μεταβάλλεται με την ένταση της τοξικότητας, η οποία με τη σειρά της διαφοροποιείται ανάλογα με το είδος του φυτού, το έδαφος και τις κλιματικές συνθήκες.

Το pH του εδάφους είναι μία από τις πιο σημαντικές χημικές ιδιότητες. Υποδηλώνει την ανάγκη για ασβέστιο, την πιθανότητα υπερβολικής παρουσίας φυτοτοξικών ιόντων, τη δραστηριότητα των μικροοργανισμών και τη σχετική διαθεσιμότητα των περισσοτέρων ανόργανων θρεπτικών. Επίσης, το pH υποδηλώνει εάν ένα έδαφος είναι όξινο ($\text{pH} < 7$), ουδέτερο ($\text{pH} = 7$) ή αλκαλικό ($\text{pH} > 7$). Η πιο χρήσιμη τιμή του pH είναι η ελάχιστη τιμή πάνω από την οποία η προσθήκη ασβεστίου δε θα αυξήσει την απόδοση της καλλιέργειας. Αυτή η τιμή λέγεται κρίσιμη τιμή pH (Adams, 1981). Αυτές οι τιμές, όταν λαμβάνονται από βιβλιογραφία, πρέπει να χρησιμοποιούνται με προσοχή, αφού μεταβάλλονται με τον τύπο του εδάφους και με τις διαφορετικές ποικιλίες του ίδιου είδους.

Τέλος, η αυξημένη εδαφική αλατότητα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της απόδοσης, πιθανόν λόγω ωσμωτικού στρες που προκλήθηκε από την ολική συγκέντρωση των διαλυτών αλάτων, από τοξικότητες ή ανισσοροπίες στα θρεπτικά. Οι ανισσοροπίες στα θρεπτικά συστατικά οφείλονται στην υπέρμετρη αύξηση συγκεκριμένων αλάτων ή στη μείωση της διεισδυτικότητας του νερού στη δομή του εδάφους (Hoffman, 1981).

Βιοτικοί παράγοντες

Οι βιοτικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη γεωργική παραγωγή σχετίζονται με τους εδαφικούς μικροοργανισμούς, όπως είναι τα βακτήρια, οι ακτινομύκητες (actinomycetes), οι μύκητες και τα νηματώδη. Αυτοί οι μικροοργανισμοί φέρουν ένα εύρος δραστηριοτήτων στο ριζόστρωμα, οι οποίες μπορεί να είναι επιβλαβείς, αλλά και επικερδείς για την αύξηση των φυτών. Οι πιο κοινές δραστηριότητες είναι η αποσύνθεση της οργανικής ύλης, η αποικοδόμηση αζωτούχων ενώσεων σε άζωτο και άλλες ανόργανες ουσίες (nitrogen fixation), η έκκριση αυξητικών ουσιών (growth substances) και η αύξηση της διαθεσιμότητας των ανόργανων θρεπτικών ουσιών (Fageria *et al.*, 1997). Επιπλέον, μπορεί να προκαλέσουν ασθένειες στα φυτά ή να τα προστατέψουν από παθογόνους οργανισμούς. Πάντως, η πιο ευεργετική συνεισφορά των μικροοργανισμών του εδάφους στην ανάπτυξη των φυτών έγκειται στην παροχή θρεπτικών.

Κλίση του εδάφους

Ένας ακόμη πολύ σημαντικός παράγοντας που έχει επίδραση στην παραγωγικότητα είναι η κλίση του εδάφους. Η παραγωγικότητα μειώνεται με την αύξηση της κλίσης του εδάφους (Δαναλάτος, 2003). Αυτό συμβαίνει τόσο λόγω της μείωσης του βάθους (προφίλ) του επιφανειακού εδαφικού στρώματος με την αύξηση της κλίσης, όσο και λόγω της μείωσης των θρεπτικών εξαιτίας της αυξημένης έκπλυσης από τις βροχοπτώσεις της άρδευσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΖΩΝΩΝ ΚΑΙ ΑΓΡΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ

3.1 Κατηγορίες ζωνών - Κλίμακες

Ο διαχωρισμός των ατμοσφαιρικών φαινομένων σε διάφορες κλίμακες είναι συνηθισμένος στις μετεωρολογικές επιστήμες. Ωστόσο, η χρήση των προθεμάτων μάκρο-, μέσο- και μικρο-, εξαρτάται συχνά από την αντίληψη του χρήστη. Για παράδειγμα, ο όρος «μικροκλίμακα» έχει χρησιμοποιηθεί σε μία μελέτη που διεξήχθη σε όλο το υψίπεδο του Θιβέτ (αντιστοιχεί σε κλίμακα μεταξύ της παγκόσμιας και της κλίμακας πρόγνωσης καιρού), αλλά και σε μία έρευνα που αφορούσε μία ομάδα φυτών (κλίμακα μεταξύ της κλίμακας ενός φύλλου και της κλίμακας ενός ολόκληρου αγρού) (Wieringa and Lomas, 2000). Ένα μεγάλο εύρος μεσοκλιμάκων που χρησιμοποιήθηκαν για μετεωρολογικές έρευνες έχει αναφερθεί από τον Orlandski (1975).

Ωστόσο, η γνώση του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος (atmospheric boundary layer) παρέχει τουλάχιστον δύο φυσικές κλίμακες, οι οποίες προσδιορίζουν με μη αυθαίρετο τρόπο το μετεωρολογικό πεδίο μελέτης. Η πρώτη είναι το ύψος του οριακού στρώματος, που σχετίζεται με τη μεταγωγή θερμότητας (convective boundary layer) κατά τη διάρκεια της ημέρας και το οποίο είναι περίπου 1 χιλιόμετρο (km). Το ύψος του οριακού στρώματος εξαρτάται από τις τοπικές κλιματικές συνθήκες. Την ημέρα, αυτό το στρώμα αλληλεπιδρά με την επιφάνεια της γης και συγκεκριμένα με την εδαφοκάλυψη (π.χ. βλάστηση, νερό) (Wieringa and Lomas, 2000).

Η δεύτερη κλίμακα είναι το ύψος του επιφανειακού στρώματος, το οποίο είναι περίπου 50 μέτρα (m) (πάλι με ένα βαθμό αβεβαιότητας). Κάτω από αυτό το επίπεδο, η ατμοσφαιρική συμπεριφορά εξαρτάται συνεχώς από την κατάσταση της υποκείμενης επιφάνειας. Επιπλέον, κάποιες δυνάμεις μακροκλίμακας, όπως η Κοριόλιος δύναμη, δεν παρουσιάζουν ενδιαφέρον στο επιφανειακό στρώμα. Γι' αυτό το λόγο, τα επιφανειακά μοντέλα (π.χ. της εξάτμισης) είναι δισδιάστατα (ύψος και κύρια οριζόντια κατεύθυνση), ενώ τα μοντέλα του οριακού στρώματος (π.χ. της θαλάσσιας αύρας) πρέπει να είναι τρισδιάστατα.

Μόλις, όμως, το ενδιαφέρον εστιαστεί στο στρώμα του αέρα που βρίσκεται κάτω από την ανώτερη επιφάνεια της βλάστησης, απαιτούνται πάλι τρεις κατευθύνσεις για μοντελοποίηση. Σε ένα δάσος ή σε μια καλλιέργεια η διεύθυνση του ανέμου μπορεί να μεταβάλλεται έως και 90° (Smith *et al.*, 1972; Popov, 1975). Έτσι, ορίζεται ένα ξεχωριστό στρώμα στην καλλιέργεια, περίπου στα 2/3 του ύψους της βλάστησης, κάτω από το λεγόμενο μήκος μετατόπισης (displacement length) (Brutsaert, 1975). Η συμπεριφορά του αέρα σε αυτό το «φυτικό» στρώμα εντός της καλλιέργειας είναι συχνά σε ασυνέχεια με το ατμοσφαιρικό επιφανειακό στρώμα. Ο καιρός στο «φυτικό» στρώμα κυριολεκτικά μπορεί να αποκαλείται μικρόκαιρος (Wieringa and Lomas, 2000).

Στον Πίνακα 3.1 παρουσιάζονται οι ατμοσφαιρικές κλίμακες και η χωροχρονική τους διάσταση. Όσον αφορά στη χρονική κλίμακα, η πρώτη τιμή αναφέρεται στην περίοδο δειγματοληψίας και η δεύτερη στη μεγαλύτερη διάρκεια των διεργασιών στη συγκεκριμένη κλίμακα.

Πίνακας 3.1: Σύνοψη των ατμοσφαιρικών κλιμάκων στο χώρο και στο χρόνο (Wieringa and Lomas, 2000).

Ονομασία	Χρονική κλίμακα	Οριζόντια κλίμακα	Κάθετη κλίμακα
Μικροκλίμακα	0,1 sec έως 1 min	<1 mm έως 100 m	<1 mm έως 3 m
Τοποκλίμακα	3 sec έως 30 min	10 m έως 3 km	1 m έως 100 m
Μεσοκλίμακα	1 min έως 3 h	300 m έως 30 km	10 m έως 1 km
Συνοπτική κλίμακα	1 h έως 1 d (ημέρα)	3 km έως 1000 km	100 m έως 10 km
Μακροκλίμακα	1/2 d έως 1 εβδομ.	30 km έως 10 ⁴ km	1 km έως 20 km
Παγκόσμια κλίμακα	3 d και παραπάνω	300 km έως όλη η γη	1 km έως 100 km

Πολλές φορές η κατηγορία «μεσοκλίμακα» ονομάζεται και «περιοχική» κλίμακα (Wieringa and Lomas, 2000). Όταν η αναφορά γίνεται σε όρους πρόγνωσης καιρού, η μεσοκλίμακα αντιστοιχεί σε πρόγνωση για λίγες ώρες (έως τρεις, Πίνακας 3.1). Πρόγνωση για μία ημέρα αντιστοιχεί στη συνοπτική κλίμακα, ενώ για μία εβδομάδα στη μακροκλίμακα..

Βέβαια, οι κατηγορίες κλιματικών εφαρμογών δεν ορίζονται τόσο αυστηρά από αυτές τις κλίμακες. Για παράδειγμα, ένα τυπικό πρόβλημα είναι αυτό της αναγνώρισης επιμέρους τμημάτων μικρών περιοχών που υπόκεινται σε παγετό, όπως π.χ. σε ένα οπωρώνα που καταλαμβάνει έκταση δέκα στρεμμάτων (100 x 100 m). Παρόλο που ο παγετός έχει αντίκτυπο σε μικρή έκταση, οι διαδικασίες έρευνας και ανάλυσης μπορεί να εντάσσονται στην τοποκλιματολογία. Ωστόσο, εάν αναμιχθούν η θερμοκρασία φύλλου ή βλαστού, η έρευνα θα έχει πολλά στοιχεία μικροκλιματολογίας. Τέλος, εάν ο οπωρώνας βρίσκεται στην πλαγιά μιας πεδιάδας, πρέπει να ληφθούν υπόψη και μεσοκλιματικά φαινόμενα.

Οι περισσότερες αγροτικές δραστηριότητες λαμβάνουν χώρα στο ατμοσφαιρικό στρώμα που εκτείνεται έως λίγα μέτρα από την επιφάνεια της γης για συμβατικές καλλιέργειες, έως πέντε μέτρα στους οπωρώνες και δενδρώδεις καλλιέργειες και έως 20 – 30 m στην περίπτωση των δασών. Είναι, λοιπόν, κατανοητό ότι τα ατμοσφαιρικά φαινόμενα που έχουν άμεση επίδραση στις καλλιέργειες, στα κοπάδια των ζώων και γενικότερα στις αγροτικές δραστηριότητες, ανήκουν κυρίως στην τοποκλίμακα. Όμως, σε αρκετές περιπτώσεις οι ατμοσφαιρικές συνθήκες σε υψηλότερα επίπεδα μπορεί να είναι σημαντικές για τη γεωργία και άρα η κατάλληλη κλίμακα να είναι η μεσοκλίμακα.

Ένας αυθαίρετος, αλλά χρήσιμος ορισμός της τοποκλιματολογίας (η λέξη θα πει τοπική κλιματολογία) είναι ο εξής: «Τοποκλιματολογία είναι η μελέτη των τροποποιήσεων του κλίματος σε μία περιοχή, οι οποίες λαμβάνουν χώρα λόγω χαρακτηριστικών, τα οποία μπορούν να αναγνωριστούν σε χάρτες που η κλίμακά τους είναι μεταξύ 1:1.000 και 1:10.000» (Wieringa and Lomas, 2000). Τα χαρακτηριστικά που χαρτογραφούνται σε αυτές τις κλίμακες εκτείνονται σε κλιματικά πρότυπα, τα οποία μπορούν να ονομαστούν τοπόκλιμα. Όταν το τοπόκλιμα μελετάται σε σχέση με τη γεωργία, ο όρος που χρησιμοποιείται είναι αγροτοτοποκλιματολογία (WMO T.N., No 133). Η λέξη τοπογραφία σχετίζεται πρώτιστα με το ανάγλυφο του εδάφους. Έτσι, μερικές φορές η σύνδεσή της με περιοχές με έντονο γεωανάγλυφο μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα ο όρος μεσοκλιματολογία να είναι πιο κατάλληλος για τη μελέτη του κλίματος ορεινών περιοχών.

Αγροτοτοποκλιματολογικές μελέτες και έρευνες μπορεί να σχετίζονται με (Lomas *et al.*, 1969):

- Τον προσδιορισμό της καταλληλότητας συγκεκριμένων τοποθεσιών για την ανάπτυξη ορισμένων καλλιεργειών π.χ. αμπέλου, φρούτων, δένδρων.
- Την επιλογή των καλλιεργειών που θα δώσουν υψηλές αποδόσεις.
- Την αναγνώριση τοποθεσιών στις οποίες μπορεί να συμβούν ζημιές και βλάβες στο έδαφος, στα φυτά και στα ζώα από τοποκλιματολογικά αίτια.
- Τον έλεγχο της πιθανότητας για τη λήψη μέτρων που θα συντελέσουν στη βελτίωση του τοποκλίματος.

Ένα χαρακτηριστικό της κλιματολογίας μικροκλίμακας είναι η έμφαση που δίνεται στις μεταβολές των ισοζυγίων μάζας και θερμότητας, οι οποίες είναι αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης μεταξύ των τοπικών κλιματικών στοιχείων μιας περιοχής, του γεωανάγλυφου και των φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους. Η τοποκλιματολογία θα αναγνωρίσει ακόμη και μικρής σημασίας διαφορές, όπως τις συνθήκες μεταξύ γειτονικών περιοχών με εδάφη σε αγρανάπαυση και λιβαδιών ή δασών με διαφορετικό τύπο και πυκνότητα βλάστησης. Ο Thornthwaite (1954) τόνισε τη θεμελιώδη σημασία της εύρεσης και χαρτογράφησης «των χαρακτηριστικών του εδάφους, καθώς και της κάλυψης αυτού, που επηρεάζουν το ισοζύγιο της θερμότητας και της υγρασίας. Πρέπει να συμπεριληφθούν χάρτες της λευκάγειας (*albedo*), της τραχύτητας, της εδαφικής υγρασίας, η οποία είναι η κύρια μεταβλητή, της θερμοχωρητικής ικανότητας και αγωγιμότητας, κ.τ.λ.» (Thornthwaite, 1954). Όλα αυτά τα στοιχεία χαρακτηρίζουν τόσο επίπεδες, όσο και ανάγλυφες περιοχές. Επιπροσθέτως, οι οριζοντιογραφικές κλιματικές διαφορές από περιοχή σε περιοχή, οι οποίες υφίστανται σε τόπο- και μέσο- κλίμακα, προέρχονται από την ύπαρξη ποταμών, ταμιευτήρων, λιμνών και φυσικά από τις ανθρώπινες δραστηριότητες παντός τύπου (Wieringa and Lomas, 2000).

Όσον αφορά στον κλιματολογικό εξοπλισμό και στις πειραματικές διαδικασίες, η αναγκαιότητα σχετικά με τη χρήση οργάνων και τη λήψη παρατηρήσεων στην κλιματολογία μικροκλίμακας εξαρτάται από τους στόχους και τα ερωτήματα, που καλείται να απαντήσει η εκάστοτε έρευνα. Μόνο οι έρευνες που σχετίζονται με το μικρόκλιμα απαιτούν τη χρήση οργάνων και μέσων επεξεργασίας, που παρέχουν υψηλότερη χωρική και χρονική ανάλυση από αυτή που χρησιμοποιείται στα τυπικά κλιματολογικά δίκτυα. Επιπλέον, η ανάλυση σε τοποκλίμακα απαιτεί τη γνώση των ατμοσφαιρικών διαταράξεων, οι οποίες ορισμένες

φορές πρέπει να μετρώνται άμεσα. Σε άλλες περιπτώσεις είναι επαρκής η εκτίμησή τους από παρατηρήσεις μακροκλίμακας (Wieringa and Lomas, 2000).

Ένας τρόπος για να εκτιμηθεί η διακύμανση των αποτελεσμάτων είναι να επαναληφθούν οι μετρήσεις των παρατηρήσεων σε κάθε τοποθεσία (κάποιες τοποθεσίες είναι εφοδιασμένες με τα πιο απλά από τα ερευνητικά όργανα). Εάν μόνο ένα σημείο μετρήσεων είναι διαθέσιμο και δεν υπάρχει δίκτυο σταθμών, τότε ο βαθμός της αβεβαιότητας της ανάλυσης και των αποτελεσμάτων εξαρτάται από την εξονυχιστική έρευνα της βιβλιογραφίας ή από την υπάρχουσα εμπειρία. Με όποιον τρόπο και αν εξασφαλίζεται αυτή, το μέγεθος της αβεβαιότητας πρέπει να ορίζεται σαφώς σε οποιαδήποτε επεξήγηση των αποτελεσμάτων (Wieringa and Lomas, 2000).

Από τα ανωτέρω και με βάση τον Πίνακα 3.1, είναι κατανοητό ότι για τη Θεσσαλία οι κατηγορίες των ζωνών – κλιμάκων που έχουν πρακτικό ενδιαφέρον είναι η μεσοκλίμακα και η τοποκλίμακα. Όπως προαναφέρθηκε, η χρονική κλίμακα παρουσιάζει πρακτικό ενδιαφέρον και έχει εφαρμογή μόνο στην πρόγνωση του καιρού. Επιπλέον, όπως προαναφέρθηκε, οι κάθετες κλίμακες που χρησιμοποιούνται για αγροκλιματικές εφαρμογές είναι η τόπο- και η μέσο-. Τέλος, όσον αφορά στην οριζόντια κλίμακα, αυτή ορίζεται από την έκταση της περιοχής μελέτης, την έκταση των παραγόμενων ζωνών, καθώς και τη διαθεσιμότητα και χωρική κατανομή των δεδομένων. Έτσι λοιπόν, για τη Θεσσαλία και λόγω της χρήσης δορυφορικών δεδομένων, οι κατηγορίες των ζωνών και πάλι ανήκουν κυρίως στη μέσο- και τόπο-κλίμακα. Η χρήση δεδομένων από αραιό μετεωρολογικό δίκτυο επίγειων σταθμών και άλλων δεδομένων σε μορφή καννάβου (grid data) μπορεί να υποδηλώνει την υιοθέτηση μακροκλίμακας, όμως λόγω της υψηλής χωρικής διαφοροποίησης από τα δορυφορικά δεδομένα και της πλήρους κάλυψης που αυτά παρέχουν, αυτή η κλίμακα δε μπορεί να χαρακτηρίζει τις τελικές ζώνες.

3.2 Αγροκλιματικοί δείκτες και μέθοδοι

Τα βήματα που ακολουθούνται κατά την αγροκλιματική ζωνοποίηση καλλιεργειών είναι περίπου σταθερά. Η σειρά και ο τρόπος που καθορίζονται υπόκεινται στην κρίση του ερευνητή και στις ανάγκες της εκάστοτε ανάλυσης. Έτσι, οι τεχνικές και οι μέθοδοι που εφαρμόζονται για τον προσδιορισμό των ζωνών είναι πολλές και εξαρτώνται από τα δεδομένα που είναι διαθέσιμα, το βαθμό ακρίβειας της ανάλυσης (αύξηση των παραμέτρων οδηγεί σε πολύπλοκα, αλλά πιο ακριβή

αποτελέσματα) και την περιβαλλοντική συνιστώσα που απαιτείται για να δοθεί μεγαλύτερο βάρος, ανάλογα με τις ανάγκες της κάθε περιοχής. Επίσης, οι μέθοδοι αυτοί μπορούν να προσδιορίσουν το περιβάλλον ανάπτυξης μιας καλλιέργειας, είτε από μόνες τους είτε συνδυασμένες μεταξύ τους (Carter and Saariko, 1996). Στη συνέχεια αναλύονται διάφορες μέθοδοι και τεχνικές αγροκλιματικής ζωνοποίησης.

Πολλές φορές ο όρος δυναμικό καλλιέργειας χρησιμοποιείται για να συμπεριλάβει δύο συνιστώσες της παραγωγής των καλλιεργειών (Carter and Saariko, 1996):

1. Την τοπική καταλληλότητα για την εκάστοτε καλλιέργεια.
2. Την παραγωγικότητα.

Τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν την καταλληλότητα των καλλιεργειών μιας περιοχής είναι συνήθως απλοί αγροκλιματικοί δείκτες, που χαρακτηρίζουν το περιβάλλον ανάπτυξης μιας καλλιέργειας, είτε από μόνιους είτε συνδυασμένους μεταξύ τους (π.χ. ο συνδυασμός περιβαλλοντικών παραγόντων, όπως το κλίμα, οι τύποι εδαφών και η φωτοπερίοδος). Οι κρίσιμες τιμές ενός δείκτη χρησιμοποιούνται για να προσδιορίσουν τις ελάχιστες απαιτήσεις για την ανάπτυξη ή έστω την επιβίωση των καλλιεργειών (Carter and Saariko, 1996).

Οι δείκτες αυτοί συνδυάζονται με τις απαιτήσεις των βασικών και υψηλής οικονομικής σημασίας καλλιεργειών, ώστε να οριστούν οι αγροκλιματικές ζώνες που είναι κατάλληλες για συγκεκριμένες καλλιέργειες ή τουλάχιστον για ομάδες καλλιεργειών, των οποίων οι απαιτήσεις ομοιάζουν.

Οι περισσότερες μέθοδοι έχουν εφαρμοστεί με τη χρήση συμβατικών (επίγειων) δεδομένων, κυρίως από μετεωρολογικούς σταθμούς, οδηγώντας έτσι σε όρια ασαφή, των οποίων η ακρίβεια εξαρτάται από τη μέθοδο παρεμβολής που χρησιμοποιήθηκε. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να επιλυθεί με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων, τα οποία παρέχουν πλήρη χωρική κάλυψη της περιοχής μελέτης, με αποτέλεσμα να αποφεύγεται οποιαδήποτε αοριστία ή ασάφεια σε ότι αφορά στα όρια μεταξύ των διαφόρων ζωνών.

3.2.1 Θερμικές απαιτήσεις των καλλιεργειών

Οι κυριότερες περιβαλλοντικές συνθήκες που καθορίζουν την ανάπτυξη μιας καλλιέργειας είναι η θερμοκρασία και η φωτοπερίοδος (Δαναλάτος, 2007). Η αποτίμηση των θερμικών πόρων είναι απαραίτητη στον καθορισμό της

καταλληλότητας μιας περιοχής για γεωργική παραγωγή, καθώς και για την εύρεση των καλλιεργειών που μπορούν να καλλιεργηθούν σε αυτήν επιχειρησιακά.

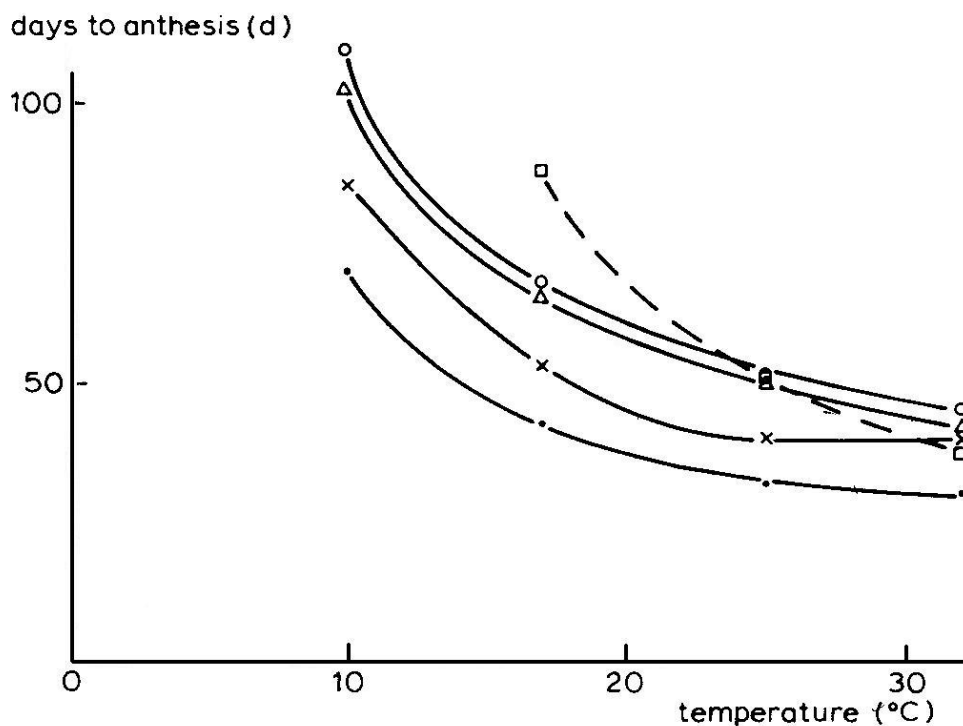
Η γνώση των θερμικών απαιτήσεων συνεισφέρει στον αποκλεισμό περιοχών που είναι ακατάλληλες (ψυχρές) για γεωργικές δραστηριότητες (Thomas, 1992). Οι θερμικές απαιτήσεις σχετίζονται τόσο με την ύπαρξη της επιθυμητής θερμοκρασίας για την επιτυχή βλάστηση (φύτρωμα), όσο και με την ανάπτυξη της εκάστοτε καλλιέργειας (Nishiyama, 1976; Doorenbos και Kassam, 1986; Δαναλάτος, 2007).

Μερικά φυτά ή ποικιλίες χρειάζονται την επίδραση χαμηλών θερμοκρασιών για την έναρξη της ανθοφορίας, όπως για παράδειγμα τα χειμερινά σιτηρά, και το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως εαρινοποίηση (vernalization ή jarowization). Περιοχές με σχετικά υψηλές θερμοκρασίες, κατά τη διάρκεια εκείνης της περιόδου, πρέπει να αποφευχθούν. Αυτό δεν ισχύει για τις εαρινές καλλιέργειες σε εύκρατα κλίματα ή τροπικές φυτείες, που δεν έχουν ανάγκη από τέτοιες χαμηλές θερμοκρασίες για την έναρξη της ανθοφορίας (Δαναλάτος, 2007). Στον Ελλαδικό χώρο οι περισσότερες εαρινές καλλιέργειες απαιτούν 10 με 12°C για το αρχικό στάδιο της εκβλάστησης και την έναρξη της ανάπτυξής τους. Έτσι λοιπόν, οι περιοχές όπου η μέση μηνιαία θερμοκρασία στην αρχή της βλαστικής περιόδου είναι κάτω από αυτές τις τιμές, θα πρέπει να θεωρηθούν ακατάλληλες για την καλλιέργεια εαρινών ποικιλιών.

Ένα μεγάλο εύρος αγροκλιματικών δεικτών και μετεωρολογικών παραμέτρων έχει χρησιμοποιηθεί παγκοσμίως για τον προσδιορισμό των θερμικών πόρων. Οι κυριότεροι και πιο ευρέως χρησιμοποιούμενοι από αυτούς αναφέρονται στη συνέχεια.

1. Θερμομονάδες (Degree Days, DD; Growing Degree Days, GDD; Heat Units, HU) (Carter and Saariko, 1996; Shen *et al.*, 2005). Κατά κανόνα, η περίοδος από το φύτρωμα μέχρι την ανθοφορία μιας καλλιέργειας επισπεύδεται από την υψηλή θερμοκρασία (Δαναλάτος, 2007). Αυτό παρουσιάζεται στο σχήμα 3.1, για έναν αριθμό καλλιεργειών, που μεγαλώνουν σε διαφορετικές (σταθερές) θερμοκρασίες. Το σχήμα των καμπυλών που συσχετίζουν τη θερμοκρασία αέρα με τον αριθμό των ημερών για άνθηση (σχήμα 3.1), δείχνει ότι υπάρχει ένα σταθερό γινόμενο των ημερών και της θερμοκρασίας. Αυτό το γινόμενο είναι η θερμική μονάδα και εκφράζεται σε βαθμο-ημέρες (°C-days). Οι GDD υπολογίζονται ως το άθροισμα των μέσων θερμοκρασιών εκείνων των ημερών που έχουν μέση ημερήσια θερμοκρασία υψηλότερη από μία κρίσιμη τιμή κατωφλίου, ειδική για κάθε καλλιέργεια. Οι

θερμομονάδες, ως αγροκλιματικός δείκτης, παρουσιάζονται αναλυτικά στην ανάπτυξη της μεθοδολογίας της αγροκλιματικής ζωνοποίησης.



Σχήμα 3.1: Η επίδραση της θερμοκρασίας στο μήκος της περιόδου από το φύτευμα έως την ανθοφορία διαφόρων καλλιεργειών. (●) σίκαλη, (○) σιτάρι, (Δ) λινάρι, (□) καλαμπόκι, (x) φασόλι (Δαναλάτος, 2007).

2. Φωτοθερμική μονάδα (Photothermal Unit , PTU). Ως φωτοθερμική μονάδα ορίζεται το άθροισμα των γινομένων των ωρών της ημέρας επί τις θερμοκρασίες επάνω από μία τιμή κατωφλίου. Ο ρόλος της φωτοθερμικής μονάδας είναι σημαντικός για διάφορα φαινολογικά στάδια (φύτευμα, ανθοφορία, καρποφορία), καθώς και για τη γενικότερη ολοκλήρωση του βιολογικού κύκλου κάθε φυτού. Η τιμή κατωφλίου είναι συγκεκριμένη για κάθε καλλιέργεια. Συνήθης τιμή που χρησιμοποιείται για τις εαρινές καλλιέργειες είναι 10°C (Dalezios and Zarpas, 1995 και 1996, Dalezios *et al.*, 2002, Migdakos and Gemtos, 1998) .

3. Ολική ενεργή θερμοκρασία (Total Active Temperature, TAT). Είναι το άθροισμα των μέσων ημερησίων θερμοκρασιών για μία περίοδο με μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες υψηλότερες από 10°C. Ο δείκτης έχει χρησιμοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό

στην πρώην Σοβιετική Ένωση για γενική (όχι συγκεκριμένων καλλιεργειών) αγροκλιματική ζωνοποίηση (Chirkov, 1979).

4. Ολική αποτελεσματική θερμοκρασία (Total Effective Temperature, TET). Η TET ορίζεται ως το άθροισμα των μέσων ημερησίων θερμοκρασιών που είναι υψηλότερες από το βιολογικό μηδέν, δηλαδή τη θερμοκρασία στην οποία αρχίζει η αύξηση και ανάπτυξη των φυτών. Στην ουσία, ο δείκτης είναι ανάλογος του DD και έχει χρησιμοποιηθεί για τη ζωνοποίηση συγκεκριμένων καλλιεργειών στην πρώην Σοβιετική Ένωση (Chirkov, 1979).

5. Κύριες (ή βασικής σημασίας) θερμοκρασίες (Cardinal Temperatures, CTs). Τρεις θερμοκρασίες εδάφους έχουν αναγνωρισθεί και είναι ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη και αύξηση των φυτών. Αυτές οι θερμοκρασίες, οι οποίες ονομάζονται και κύρια σημεία (cardinal points), είναι μία ελάχιστη θερμοκρασία κάτω από την οποία δε συντελείται αύξηση, μία βέλτιστη θερμοκρασία στην οποία παρατηρείται μεγιστοποίηση του ρυθμού αύξησης και μία μέγιστη θερμοκρασία πάνω από την οποία η αύξηση σταματά (Mavi and Tupper, 2004).

6. Αποτελεσματική νυκτοθερμοκρασία (Nyctotemperature, T_n). Ο δείκτης υπολογίζεται από το άθροισμα της ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας και του 25% της τιμής του ημερήσιου θερμοκρασιακού εύρους. Η παράμετρος αυτή αντικατοπτρίζει έμμεσα μία μέση θερμοκρασία κατά τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου, όπου επικρατούν συνθήκες έλλειψης ή μειωμένης ηλιακής ακτινοβολίας (Dalezios *et al.*, 2002; Τζανετοπούλου, 1998).

7. Αποτελεσματική φωτοθερμοκρασία (Phototemperature, T_p). Ο δείκτης υπολογίζεται από την αφαίρεση του 25% του ημερησίου θερμοκρασιακού εύρους από τη μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία. Η παράμετρος αυτή αντικατοπτρίζει έμμεσα μία μέση θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της ημέρας, όπου υπάρχει ηλιακή ακτινοβολία (Dalezios *et al.*, 2002; Τζανετοπούλου, 1998).

8. Αρχή και τέλος της βλαστικής περιόδου (Start of Growing Season, SGS και End of Growing Season, EGS) (Shen *et al.*, 2005). Η SGS είναι η πρώτη ημέρα του χρόνου, όπου για πέντε συνεχόμενες ημέρες η μέση ημερήσια θερμοκρασία είναι υψηλότερη από μία κρίσιμη τιμή κατωφλίου, που είναι συγκεκριμένη για κάθε καλλιέργεια ή για ομάδες καλλιεργειών. Για παράδειγμα, στην Ελλάδα η τιμή κατωφλίου για τις περισσότερες εαρινές καλλιέργειες είναι 10°C, αφού τα περισσότερα είδη εαρινών καλλιεργειών απαιτούν αυτήν τη θερμοκρασία για να αρχίσουν να αναπτύσσονται (Dalezios and Zarpas, 1995 και 1996, Dalezios *et al.*,

2002, Migdakos and Gemtos, 1998). Η EGS είναι η πρώτη μέρα, συνήθως, του φθινοπώρου όπου η μέση ημερήσια θερμοκρασία είναι κάτω από μία τιμή κατωφλίου. Πάλι, η συνήθης τιμή κατωφλίου για τον Ελλαδικό χώρο είναι 10°C.

9. Διάρκεια της βλαστικής περιόδου (Length of Growing Season, LGS) (Carter and Saarikko, 1996; Shen *et al.*, 2005). Η LGS ορίζεται ως ο αριθμός των ημερών μεταξύ της SGS και της EGS. Ο δείκτης χρησιμοποιείται για την εύρεση περιοχών, όπου συγκεκριμένες καλλιέργειες μπορούν να ολοκληρώσουν το βιολογικό τους κύκλο.

10. Τιμές θερμοκρασίας. Οι τιμές της θερμοκρασίας για συγκεκριμένες περιόδους αποτελούν πολλές φορές περιοριστικό παράγοντα για την ανάπτυξη μιας καλλιέργειας ή αντίθετα προσδιορίζουν την καταλληλότητα αυτής σε μία περιοχή. Παραδείγματα αποτελούν ο μέσος όρος των απολύτων τιμών της ετήσιας ελάχιστης θερμοκρασίας, ο οποίος χαρακτηρίζει τη δριμύτητα του χειμώνα, η μέση ημερήσια θερμοκρασία του θερμότερου και ψυχρότερου μήνα (Chirkov, 1979), το ημερήσιο θερμοκρασιακό εύρος (Daily Temperature Range, DTR) ή το θερμοκρασιακό εύρος κατά τη βλαστική περίοδο (Growing Temperature Range, GTR) (Primault, 1979; Tsiros *et al.*, 2009).

3.2.2 Απαιτήσεις σε νερό

Όπως προαναφέρθηκε, η παροχή νερού και η επάρκειά του για την κάλυψη των αναγκών των καλλιεργειών αποτελεί μία πολύ σημαντική συνιστώσα κατά τον έλεγχο της καταλληλότητας των καλλιεργειών σε μία περιοχή. Επιπλέον, η κατανομή αυτής, κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου, αποτελεί πολύ σημαντική πληροφορία, καθώς το έλλειμμα ή η περίσσεια ύδατος έχει διαφορετικές επιπτώσεις κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης μιας καλλιέργειας, ανάλογα με το φαινολογικό στάδιο στο οποίο αυτή βρίσκεται (Thomas, 1992). Έτσι λοιπόν, είναι απαραίτητος ο χαρακτηρισμός των υδατικών πόρων και των συνθηκών υγρασίας μιας περιοχής σε σχέση με τις απαιτήσεις σε νερό των καλλιεργειών.

Ένα μεγάλο εύρος αγροκλιματικών δεικτών, μετεωρολογικών παραμέτρων και μεθοδολογιών έχει χρησιμοποιηθεί παγκοσμίως για τον προσδιορισμό των υδατικών πόρων ή της διαθεσιμότητας ύδατος. Οι κυριότεροι και πιο ευρέως χρησιμοποιούμενοι από αυτούς αναφέρονται στη συνέχεια.

1. Δείκτης ξηρότητας (Aridity index, AI). Ο δείκτης υπολογίζεται από το πηλίκο του μέσου ετήσιου ύψους βροχής προς το μέσο ετήσιο ύψος της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής. Ο AI χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της κλιματικής ξηρότητας (UNESCO, 1979) και της επάρκειας των βροχοπτώσεων στην ικανοποίηση των αναγκών σε νερό των καλλιεργειών (Badini *et al.*, 1997).

2. Δείκτης υδατικής καταπόνησης καλλιέργειας (Crop Water Stress Index, CWSI). Ο CWSI ορίζεται ως ο λόγος της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής (ET_a) προς τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή (ET_p) κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου. Η ET_a αντιπροσωπεύει το ποσό ύδατος που διαπνέεται από την καλλιέργεια και που εξατμίζεται από την εδαφική επιφάνεια. Όπως προαναφέρθηκε, η ET_p είναι το ποσό ύδατος που θα διαπνέονταν από την καλλιέργεια και θα εξατμιζόταν από το έδαφος, εάν δεν υπήρχε περιορισμός στο διαθέσιμο ύδωρ. Κάτω από περιοριστικές συνθήκες, όσον αφορά στη διαθεσιμότητα σε νερό, το έλλειμμα μπορεί να είναι τόσο αυστηρό ώστε να προκληθεί η αποτυχία συγκομιδών (ET_a κοντά στο μηδέν) και έτσι η αναλογία γίνεται πολύ μικρή. Ο δείκτης CWSI αντιπροσωπεύει την απόκριση των καλλιεργειών στις περιβαλλοντικές συνθήκες, λαμβάνοντας υπόψη τον τύπο εδάφους και την καιρική μεταβλητότητα (Badini *et al.*, 1997). Μπορεί να θεωρηθεί ως ο δείκτης που ενσωματώνει όλους τους παράγοντες που έχουν επιπτώσεις στη διαθεσιμότητα ύδατος για την ανάπτυξη των καλλιεργειών (υδατοχωρητικότητα, εδαφολογικό βάθος, απορροή, κ.λπ.). Με βάση τον CWSI διακρίνονται οκτώ κατηγορίες που κυμαίνονται από 0 (πολύ υψηλή υδατική καταπόνηση) ως 0,9 (πολύ χαμηλή υδατική καταπόνηση).

3. Δείκτης ελλείμματος ύδατος (Water Deficit Index, WDI). Ο WDI αναπτύχθηκε από τους Moran *et al.* (1994) και χρησιμοποιεί τη διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας εδάφους και της θερμοκρασίας αέρα, σε συνδυασμό με ένα δείκτη βλάστησης, για να εκτιμήσει τη σχετική υγρασιακή κατάσταση του αγρού. Ο δείκτης αναπτύχθηκε για να δώσει λύση στον περιορισμό του CWSI, που έγκειται στο γεγονός ότι ο CWSI προϋποθέτει την πλήρη κάλυψη του εδάφους από την καλλιέργεια (Moran *et al.*, 1994 και 1997). Όταν η εδαφοκάλυψη δεν είναι πλήρης, η μέτρηση της επιφανειακής θερμοκρασίας μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένες εκτιμήσεις της υδατικής καταπόνησης, αφού η θερμοκρασία του ξηρού εδάφους είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτήν του αέρα.

4. Δείκτης ξηρότητας του Budyko. Ο δείκτης υπολογίζεται από το λόγο του ισοζυγίου ακτινοβολίας προς την ετήσια αθροιστική βροχόπτωση, πολλαπλασιασμένος με τη λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης (Chirkov, 1979).

5. Ο υδροθερμικός συντελεστής του Selyaninov (Selyaninov Hydrothermal Coefficient, HTC). Ο HTC υπολογίζεται από το λόγο του αθροιστικού νετού μίας συγκεκριμένης περιόδου προς την TAT της ίδιας χρονικής περιόδου (Chirkov, 1979).

6. Παρακολούθηση του υδατικού ισοζυγίου. Η παρακολούθηση των μεταβολών του υδατικού ισοζυγίου κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου μπορεί να δώσει σημαντικά στοιχεία, τα οποία δεν είναι δυνατόν να ληφθούν υπόψη όταν το υδατικό ισοζύγιο εξετάζεται στο τέλος της περιόδου. Συνήθως, οι απαιτήσεις σε νερό διαφέρουν κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης μιας καλλιέργειας. Έτσι, ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης, πολλά φυτά έχουν διαφορετικές ανάγκες σε νερό. Σε αυτές τις περιπτώσεις δεν αρκεί η γνώση του υδατικού ισοζυγίου στην αρχή και στο τέλος της βλαστικής περιόδου, αλλά απαιτείται επιπλέον ο υπολογισμός ανά μήνα ή ακόμα και ανά δεκαήμερο.

7. Αθροιστική βροχόπτωση (Cumulative Rainfall, CR). Ο δείκτης εκτιμά τα αποθέματα της εδαφικής υγρασίας και κρίνει την πορεία των καλλιεργειών, καθώς και τα επιμέρους φαινολογικά στάδιά τους (Dalezios *et al.*, 2002; Bampzelis *et al.*, 2006). Υπολογίζεται, συνήθως, σε αθροιστικές τιμές ημέρας, δεκαημέρων, μηνών, βλαστικής περιόδου ή και ολοκλήρων υδρολογικών ετών, ανάλογα με τις ανάγκες της εφαρμογής και τη διαθεσιμότητα των δεδομένων. Όσο πιο μικρό είναι το χρονικό βήμα υπολογισμού, τόσο πιο αναλυτικά παρουσιάζεται η χρονική κατανομή των βροχοπτώσεων.

8. Άθροισμα αριθμού ξηρών ημερών (Crop-drying Days, CD). Ως άθροισμα αριθμού ξηρών ημερών ορίζεται ο αριθμός των ημερών, κατά τις οποίες η ημερήσια βροχόπτωση είναι ίση ή κάτω από μια κρίσιμη τιμή κατωφλίου. Συνήθεις τιμές κατωφλίου είναι η τιμή 5 χιλιοστά (mm) και η τιμή 10 mm (Dalezios *et al.*, 2002; Bampzelis *et al.*, 2006; Γζανετοπούλου, 1998; Σταματοπούλου, 1996).

Πρέπει να σημειωθεί ότι η επιλογή της μεθόδου για την εκτίμηση των απαιτήσεων σε νερό και των συνθηκών υγρασίας που επικρατούν σε μία περιοχή, εξαρτάται από τις κλιματικές συνθήκες, το χρονικό βήμα ανάλυσης και την έκταση της υπό μελέτη περιοχής.

3.2.3 Ηλιακή ακτινοβολία

Μέχρι πρότινος, η ηλιακή ενέργεια δε λαμβάνονταν υπόψη στις αγροκλιματικές ζωνοποιήσεις. Από τα μέσα της δεκαετίας του '70, στην πρώην Σοβιετική Ένωση, ξεκίνησε η δημιουργία αγροκλιματικών διαγραμμάτων για την ενσωμάτωση της φωτοσυνθετικά ενεργής ακτινοβολίας (Photosynthetically Active Radiation, PAR) της βλαστικής περιόδου σε ζωνοποιήσεις (Chirkov, 1979). Μία δεκαετία αργότερα, παράμετροι που σχετίζονται με την ηλιακή ακτινοβολία ενσωματώνονται στη ζωνοποίηση συγκεκριμένων καλλιεργειών (καλαμπόκι, ρύζι, φασόλια κ.ά.).

Σήμερα, πολλά μοντέλα ανάπτυξης καλλιεργειών και εκτίμησης του δυναμικού παραγωγής βασίζονται στην ηλιακή ακτινοβολία. Τα μοντέλα αυτά βασίζονται στο γεγονός ότι ο πραγματικός ρυθμός αύξησης των καλλιεργειών εξαρτάται κυρίως από περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως η ηλιακή ακτινοβολία και η θερμοκρασία, η διαθεσιμότητα νερού και θρεπτικών, η ανάπτυξη ζιζανίων, εχθρών και ασθενειών κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, κ.λπ. (Δαναλάτος, 2007). Έτσι, οι μέθοδοι που προσδιορίζουν την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας στην αύξηση και ανάπτυξη των καλλιεργειών είναι απαραίτητοι για τον προσδιορισμό της καταλληλότητας και της παραγωγικότητας μιας καλλιέργειας σε μία συγκεκριμένη περιοχή. Παρακάτω αναφέρονται δείκτες και παράμετροι που σχετίζονται με την ηλιακή ακτινοβολία.

1. Φωτοπερίοδος. Για μερικές καλλιέργειες ή ποικιλίες, η επίδραση της θερμοκρασίας στο ρυθμό ανάπτυξης μεταβάλλεται από το μήκος της ημέρας (ή ορθότερα από το μήκος της νύκτας). Η επίδραση αυτή καλείται «φωτοπεριοδισμός» (photoperiodism). Όσον αφορά στο μηχανισμό αυτό, τα φυτά διακρίνονται στις παρακάτω τρεις κατηγορίες (Δαναλάτος, 2007):

- φυτά ουδέτερης ημέρας (day-neutral), των οποίων ο ρυθμός ανάπτυξης είναι ανεξάρτητος του μήκους της ημέρας,
- φυτά μακράς ημέρας (long day), στα οποία η άνθιση προκαλείται από την ύπαρξη μακρών ημερών (και επομένως βραχέων νυκτών) και
- φυτά βραχείας ημέρας (short day), στα οποία η άνθιση προκαλείται από την ύπαρξη βραχέων ημερών (και επομένως μακρών νυκτών).

Η αντίδραση του φυτού στο μήκος της ημέρας μπορεί να αποτελέσει σημαντικό χαρακτηριστικό όταν μια καινούργια καλλιέργεια ή ποικιλία δοκιμάζεται

για πρώτη φορά σε μια περιοχή, ακόμα και αν η περιοχή αυτή βρίσκεται σε παραπλήσιο γεωγραφικό πλάτος με αυτό της περιοχής προέλευσης του φυτού, λόγω π.χ. διαφορετικής περιόδου ανάπτυξης, που οφείλεται σε διαφορετική κατανομή των βροχοπτώσεων κ.τ.λ. (Δαναλάτος, 2007).

2. Καθαρή ακτινοβολία (Net Radiation, R_n). Η γνώση της διακύμανσης της καθαρής ακτινοβολίας κατέχει σημαντικό ρόλο στην κλιματολογία και στην αγρονομία. Η γνώση της είναι απαραίτητη εφόσον όλες οι τυρβώδεις ανταλλαγές στην επιφάνεια της γης ελέγχονται από το ισοζύγιο της καθαρής ακτινοβολίας (Hurtado and Sobrino, 2001). Στο φυσικό περιβάλλον, η εξατμισοδιαπνοή συνδέεται άμεσα με την καθαρή ακτινοβολία μέσω του ενεργειακού ισοζυγίου στην επιφάνεια της γης.

3. Προσπίπτουσα ολική ακτινοβολία. Η προσπίπτουσα ολική ακτινοβολία εξαρτάται από την ολική ακτινοβολία σε πλήρως ανέφελη ημέρα και το ποσοστό της ημέρας που ο ουρανός είναι νεφοσκεπής. Εάν δεν είναι διαθέσιμα δεδομένα νεφοκάλυψης, χρησιμοποιείται ο λόγος n/N , των ωρών πραγματικής ηλιοφάνειας (n) προς τις ώρες μέγιστης διάρκειας ηλιοφάνειας (N) (Δαναλάτος, 2007). Η εισερχόμενη ολική ακτινοβολία, καθώς και η μέγιστη διάρκεια ηλιοφάνειας, ως συνάρτηση του γεωγραφικού πλάτους και της ημέρας του έτους δίνονται στον Πίνακα 3.2.

4. PAR. Η PAR απορροφάται από τη χλωροφύλλη των φύλλων μιας καλλιέργειας και χρησιμοποιείται για την αναγωγή του CO_2 , ανήκει στο ορατό φάσμα (400-700 nm) και αντιπροσωπεύει περί το 50% της ολικής προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

5. Δείκτες βλάστησης. Οι δείκτες βλάστησης παρέχουν μία ένδειξη των συνθηκών βλάστησης μέσω της σύγκρισης των τιμών ανακλαστικότητας στο κοντινό υπέρυθρο και στο ερυθρό τμήμα του φάσματος. Συνήθως, γίνεται χρήση της διαφοράς ή του λόγου των δύο ανωτέρω τμημάτων, όμως σε όλες τις περιπτώσεις υψηλές τιμές υποδηλώνουν την ύπαρξη βλάστησης (Ray, 1994). Ο πιο γνωστός και ευρέως χρησιμοποιούμενος δείκτης είναι ο δείκτης βλάστησης κανονικοποιημένης διαφοράς (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI).

Πίνακας 3.2: (α) Ολική ακτινοβολία, TOTRAD ($10^6 \text{ J m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) για τυπική ανέφελη ημέρα και (β) μέγιστη διάρκεια ηλιοφάνειας (h), ως συνάρτηση του γεωγραφικού πλάτους και της ημέρας του έτους (Δαναλάτος, 2007).

Ημερομηνία	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
B. Ημισφαίριο	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μια	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ	
N. Ημισφαίριο	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μάης	Ιουν	
Γεωγρ. πλάτος	(α) TOTRAD ($10^6 \text{ J m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)												
0°	28,00	29,44	30,32	29,90	28,52	27,54	27,94	29,36	30,34	29,88	28,46	27,54	
10°	24,34	26,88	29,34	30,86	30,96	30,68	30,82	31,02	30,18	27,90	25,10	23,60	
20°	20,00	22,46	27,36	30,76	32,44	32,92	32,76	31,68	28,96	24,98	21,00	19,06	
30°	15,18	19,30	24,42	29,62	32,90	34,24	33,74	31,28	26,74	21,34	16,34	14,10	
40°	10,12	14,60	20,64	27,48	32,36	34,58	33,72	29,86	23,60	16,80	11,34	9,00	
50°	5,22	9,60	16,14	24,40	30,88	34,02	32,82	27,50	19,60	11,92	6,38	4,22	
60°	1,22	4,68	11,16	20,50	28,62	32,86	31,20	24,30	14,94	6,84	2,00	0,64	
	(β) Μέγιστη διάρκεια ηλιοφάνειας (h)												
0°	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1
10°	11,7	11,8	12,0	12,4	12,5	12,7	12,7	12,5	12,2	11,9	11,7	11,5	
20°	11,1	11,5	12,0	12,6	13,1	13,3	13,2	12,9	12,3	11,7	11,3	11,0	
30°	10,4	11,2	11,9	12,9	13,6	14,0	13,9	13,3	12,4	11,5	10,8	10,3	
40°	9,9	10,7	11,8	13,3	14,3	14,9	14,7	13,9	12,5	11,2	10,1	9,5	
50°	9,2	10,2	11,6	13,8	15,3	16,2	15,9	14,6	12,6	10,9	9,3	8,3	
60°	7,5	9,2	11,4	14,6	17,0	18,5	18,0	15,9	12,9	10,3	7,2	6,4	

3.2.4 Ακραία φαινόμενα - Περιβαλλοντικοί κίνδυνοι

Όπως προαναφέρθηκε, κατά την αγροκλιματική ζωνοποίηση πρέπει να ληφθεί υπόψη η πιθανότητα της εμφάνισης ακραίων φαινομένων, όσον αφορά στη βροχόπτωση και στη θερμοκρασία (Pereira, 1982). Περιοχές με υψηλή συχνότητα επανεμφάνισης τέτοιων φαινομένων πρέπει να αποκλειστούν για γεωργική χρήση ή να επιλεγθούν σε αυτές καλλιεργούμενα είδη ή ποικιλίες που παρουσιάζουν αυξημένη αντοχή σε τέτοιου είδους καταπονήσεις. Τα φαινόμενα που παρουσιάζουν ενδιαφέρον είναι η ξηρασία, οι πλημμύρες, ο παγετός και το χαλάζι.

Ξηρασία

Είναι γεγονός ότι η ξηρασία είναι ένα ακραίο περιβαλλοντικό φαινόμενο με διάφορες μορφές, ανάλογα με την παράμετρο με την οποία εκφράζεται και ανάλογα με το κλίμα της περιοχής που αναφέρεται. Ουσιαστικά, το κρίσιμο επίπεδο της μεταβλητής με την οποία εκφράζεται η ξηρασία διαφέρει από περιοχή σε περιοχή (Τσακίρης, 1995).

Η ξηρασία, σε αντίθεση με άλλα ακραία γεγονότα, όπως οι πλημμύρες, το χαλάζι κ.λπ., έχει συνήθως μεγάλη χρονική διάρκεια. Είναι ένας φυσικός περιβαλλοντικός κίνδυνος που εμφανίζεται σχεδόν σε όλες τις υποτροπικές και τροπικές περιοχές του κόσμου και έχει ως αποτέλεσμα την υποβάθμιση του περιβάλλοντος και οικονομικές απώλειες. Είναι ένα φαινόμενο που εξελίσσεται αργά, δεν έχει σαφή αρχή ούτε τέλος, ενώ είναι εξαιρετικά δύσκολο να προσδιοριστεί το πότε μία ξηρή περίοδος αποβαίνει σε ξηρασία ή πότε μία δριμεία ξηρασία μετατρέπεται σε ακραία (Mavi and Tupper, 2004). Επειδή εξελίσσεται αργά, είναι λιγότερο δραματική από τις υπόλοιπες φυσικές καταστροφές, αλλά οι επιπτώσεις της είναι εκτεταμένες και μεγαλύτερης διάρκειας. Πάσχει από σαφή και απόλυτο ορισμό, καθώς δε μπορεί να ορισθεί, παρά μόνο ανάλογα με την επιστημονική σκοπιά από την οποία μπορεί κανείς να τη μελετήσει (Wilhite and Glantz, 1985; Wilhite *et al.*, 2000). Γι' αυτούς τους λόγους, η ξηρασία αποτελεί τον πιο σύνθετο από όλους τους φυσικούς κινδύνους.

Το κόστος και τα προβλήματα που προέρχονται από την ξηρασία είναι περισσότερα από τους τυφώνες, τους σεισμούς και τις άλλες φυσικές καταστροφές. Η ξηρασία έχει ως αποτέλεσμα την ύπαρξη λιγότερου νερού στο έδαφος, στα ρέματα και στους ταμιευτήρες, και άρα την ύπαρξη λιγότερου νερού για τις καλλιέργειες, τη φυσική βλάστηση, τα εκτρεφόμενα ζώα και την άγρια πανίδα. Έπειτα, ακολουθεί μία αλυσίδα έμμεσων επιπτώσεων, όπως το μειωμένο αγροτικό εισόδημα και το κλείσιμο των αγροτικών συνεταιρισμών και των κέντρων μεταποίησης αγροτικών προϊόντων. Συχνά, η ξηρασία επιφέρει υποσιτισμό, ασθένειες, πείνα, μετανάστευση πληθυσμών και μία αλυσίδα επιπτώσεων στις αγροτικές οικογένειες (Stehlik *et al.*, 1999). Τα κόστη που σχετίζονται με την ξηρασία παρουσιάζουν μεγάλο εύρος, από οικονομικά και κοινωνικά έως και περιβαλλοντικά (National Drought Mitigation Center, 1996a, 1996c).

Στα οικονομικά κόστη μπορεί να εμπεριέχονται απώλειες στις σοδειές, στην παραγωγή γαλακτοκομικών και κρέατος, στην αλιεία και στην παραγωγή ξυλείας. Η

οικονομική ανάπτυξη και οι αναπτυξιακοί ρυθμοί μειώνονται, αυξάνεται η ανεργία, οι τιμές βασικών ειδών ανάγκης φθάνουν στα ύψη. Τα κοινωνικά κόστη μπορεί να περιλαμβάνουν έλλειμμα σε τροφή, υποσιτισμό, διαμάχες μεταξύ των χρηστών νερού, αύξηση της φτώχειας, μείωση του επιπέδου διαβίωσης και της ποιότητας ζωής, κοινωνικές διαταραχές και μετακίνηση πληθυσμών από αγροτικές περιοχές σε αστικά κέντρα. Όπως αναφέρει ο Cheryl (2000), «οι άνθρωποι βιώνουν σοκ, θυμό και άρνηση». Τα περιβαλλοντικά κόστη μπορεί να έχουν τη μορφή καταστροφής της άγριας ζωής, διάβρωσης, υψηλότερης συγκέντρωσης αλάτων και ρυπαντών στο νερό και μαρασμό της βλάστησης (Mavi and Tupper, 2004).

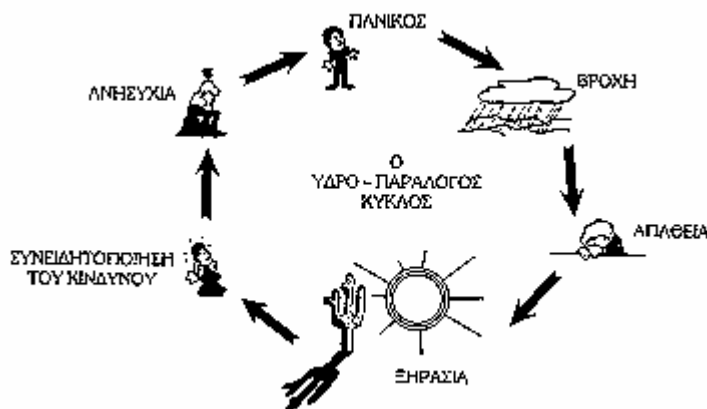
Ο ορισμός της ξηρασίας δεν είναι απλό εγχείρημα. Πρόκειται για ένα φαινόμενο που μπορεί να αναλυθεί σε βάθος μόνο από διεπιστημονική προσέγγιση (Δαλέζιος, 2004). Το ερώτημα τι είναι η ξηρασία συνεχίζει να είναι ένα πρόβλημα ακόμη και σήμερα (Sivakumar, 1991). Αυτό συμβαίνει διότι η ξηρασία μπορεί να σημαίνει διαφορετικά πράγματα σε διαφορετικούς ανθρώπους, και πιθανόν να υπάρχουν τόσοι ορισμοί όσες είναι και οι χρήσεις του νερού.

Ξηρασία για ένα υδατικό σύστημα είναι το φαινόμενο, κατά τη διάρκεια εμφάνισης του οποίου το υδατικό σύστημα βρίσκεται κάτω από ένα κρίσιμο επίπεδο σε σχέση με την κανονική του λειτουργία. (Τσακίρης, 1995). Σύμφωνα με τον ορισμό του WMO (Bogardi *et al.*, 1994), «ξηρασία είναι μία παρατεταμένη και εκτεταμένη έλλειψη υετού».

Το φαινόμενο της ξηρασίας άρχισε πρόσφατα να απασχολεί το ευρύ κοινό, λόγω της λειψυδρίας που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια στη χώρα μας, αλλά και σε μεγάλο βαθμό στην υπόλοιπη Ευρώπη. Όπως προαναφέρθηκε, έχει οικονομικό, κοινωνικό και περιβαλλοντικό κόστος σε ανεπτυγμένες και αναπτυσσόμενες χώρες. Έτσι, συνήθως αναγκάζει τις κυβερνήσεις να ανακοινώσουν μέτρα για τον περιορισμό της κατανάλωσης, καθώς και να αναγγείλουν νέα έργα για την καλύτερη αξιοποίηση των υδατικών πόρων. Επειδή η ξηρασία είναι ένα φαινόμενο που εντάσσεται στη γενικότερη διακύμανση του κλίματος μιας περιοχής, πολλά από τα μέτρα που αναγγέλλονται κατά τη διάρκεια της ξηρασίας λησμονούνται μόλις έρθουν οι βροχές. Στο σχήμα 3.2 παρουσιάζεται ο «υδρο-παράλογος» κύκλος.

Μια παρατεταμένη ξηρασία έχει πολλές επιπτώσεις στα διαθέσιμα υδατικά αποθέματα, στο περιβάλλον και σε όλους τους τομείς της οικονομίας. Η ανάλυση των επιπτώσεων της ξηρασίας είναι ένα διεπιστημονικό αντικείμενο μεγάλης

σπουδαιότητας και ξεφεύγει από την υδρολογική προσέγγιση που αναπτύσσεται παρακάτω.



Σχήμα 3.2: Ο «υδρο-παράλογος» κύκλος της ξηρασίας (Τσακίρης, 1995).

Η επιστημονική προσέγγιση του φαινομένου της ξηρασίας περιλαμβάνει διάφορες μεθοδολογίες ανάλυσης, που στηρίζονται σε διαφορετικές παραδοχές και ορισμούς. Σε κάθε περίπτωση, η προσομοίωση του φαινομένου στο σύνολό του είναι δύσκολο εγχείρημα. Σε γενικές γραμμές, η μελέτη των ξηρασιών περιλαμβάνει τόσο την ανάλυση συχνοτήτων ελαχίστων τιμών χαρακτηριστικών υδρολογικών μεταβλητών για μεγάλο χρονικό διάστημα (βροχόπτωση, απορροή κ.λπ.), όσο και τον προσδιορισμό χαρακτηριστικών δεικτών που αποτελούν μέτρο ποσοτικής εκτίμησης μιας ξηρασίας (υδατικό έλλειμμα, ελλειμματική επιφάνεια, ένταση κ.λπ.). Επίσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν δείκτες, οι οποίοι να μπορούν να δώσουν μια εκτίμηση της ξηρασίας έμμεσα, μέσω δευτερευόντων συνιστωσών, όπως είναι η ύπαρξη και η κατάσταση της βλάστησης ή ο ρυθμός ανάπτυξης αυτής (π.χ. δείκτες βλάστησης και αγρομετεωρολογικοί δείκτες). Όλοι οι ανωτέρω δείκτες, μπορούν να συσχετιστούν με διάφορα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης. Ως περιοχή μελέτης του φαινομένου, νοείται είτε μια σχετικά εκτεταμένη περιοχή (π.χ. υδρολογική λεκάνη, αγρόκτημα) είτε ένα σύνολο σημειακών πηγών που συνιστούν ένα σύστημα (π.χ. ένας ή περισσότεροι ταμιευτήρες αποθήκευσης νερού που εξυπηρετούν τις υδρευτικές ανάγκες μιας μεγαλόπολης) είτε τέλος ένα μόνο σημείο (π.χ. μετεωρολογικός σταθμός). Ενδεικτικά, κάποιοι από τους πιο ευρέως χρησιμοποιούμενους και διαδεδομένους δείκτες ξηρασίας παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.3.

Πίνακας 3.3: Ευρέως χρησιμοποιούμενοι δείκτες ξηρασίας.

Δείκτες Ξηρασίας	Αναφορές
Percent of Normal	Murty and Takeuchi, 1996
Deciles	Gibbs and Maher, 1967
Dependable Rains (DR)	Le Houerou <i>et al.</i> , 1993
National Rainfall Index (RI)	Gommes and Petrassi, 1994
Palmer Drought Severity Index (PDSI)	Palmer, 1965; Karl and Knight, 1985
Bhalme and Mooley Drought Index (BMDI)	Bhalme and Mooley, 1980; Bogardi <i>et al.</i> , 1994
Surface Water Supply Index (SWSI)	Shafer and Dezman, 1982
Standardized Precipitation Index (SPI)	McKee <i>et al.</i> , 1993, 1995
Crop Moisture Index (CMI)	Palmer, 1968; McKee <i>et al.</i> , 1995
Vegetation Health Index (VHI)	Kogan, 2001, 2002; Bhuiyan <i>et al.</i> , 2006
Reconnaissance Drought Index (RDI)	Tsakiris <i>et al.</i> , 2007

Οι κύριοι ορισμοί της ξηρασίας δίνονται παρακάτω (National Drought Mitigation Center, 1996b):

1. Μετεωρολογική ξηρασία, που θεωρείται μία παρατεταμένη, μη κανονική έλλειψη υγρασίας. Είναι μία έκφραση της απόκλισης της βροχόπτωσης από τις κανονικές συνθήκες, με βάση το κλίμα της περιοχής.

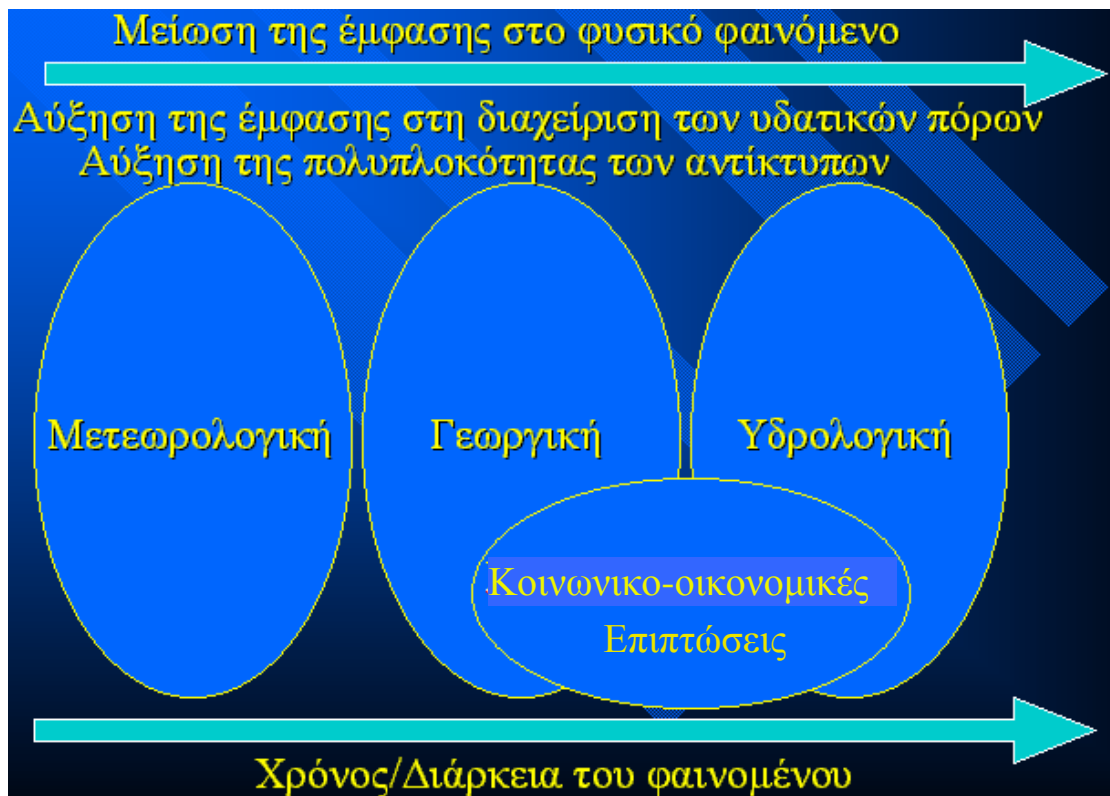
2. Υδρολογική ξηρασία, χαρακτηρίζεται μία περίοδος κατά την οποία η παροχή νερού (επιφανειακή και υπόγεια) είναι μικρότερη από την ελάχιστη που απαιτείται για την ικανοποίηση των αναγκών μιας περιοχής. Είναι, δηλαδή, μια περίοδος υδρολογικού ελλείμματος (π.χ. στην απορροή, στην αποθήκευση σε ταμιευτήρες, στα υπόγεια υδροφόρα στρώματα).

3. Γεωργική ξηρασία, που είναι αποτέλεσμα της ανεπάρκειας της εδαφικής υγρασίας (ως συνέπεια της περιορισμένης διαθεσιμότητας νερού) να καλύψει τις ανάγκες των καλλιεργειών σε νερό, για την ανάπτυξή τους σε μία συγκεκριμένη χρονική περίοδο.

Τέλος, οι κοινωνικο-οικονομικές επιπτώσεις της ξηρασίας, ουσιαστικά εκφράζουν την τρωτότητα της κοινωνίας στην έλλειψη νερού. Συνδέει όλες τις προηγούμενες παραμέτρους με την προσφορά και τη ζήτηση αγαθών, που σχετίζονται

με τη χρήση νερού, όπως το πόσιμο νερό, τα γεωργικά προϊόντα και την υδροηλεκτρική ενέργεια. Οι κοινωνικο-οικονομικές επιπτώσεις της ξηρασίας εμφανίζονται όταν η ζήτηση για αυτά τα αγαθά ξεπερνά την προσφορά ως αποτέλεσμα της έλλειψης νερού, όμως η εμφάνισή της εξαρτάται σημαντικά και από τις κοινωνικές και οικονομικές διαδικασίες προσφοράς και ζήτησης των παραπάνω αγαθών. Ακόμη, μπορεί να προκληθεί και μέσα από πολιτικές διαδικασίες, όπως είναι οι διαμάχες μεταξύ κρατών και κοινωνικών ομάδων για τη χρήση του νερού ή η μετακίνηση μεγάλων πληθυσμών σε άνυδρες περιοχές.

Στο σχήμα 3.3 (Wilhite, 2005) απεικονίζονται τα είδη της ξηρασίας. Όπως διαφαίνεται σε σχέση με τα χαρακτηριστικά της και με τη γραφική εξέλιξη του φαινομένου, οι κοινωνικο-οικονομικές επιπτώσεις της ξηρασίας εμπεριέχονται στη γεωργική και στην υδρολογική ξηρασία.



Σχήμα 3.3: Φυσική και κοινωνική διάσταση της ξηρασίας (Wilhite, 2005).

Παγετός

Μετεωρολογικά, ως παγετός ορίζεται η πτώση της θερμοκρασίας του αέρα στην τιμή των 0°C ή και χαμηλότερα. Ο παγετός αποτελεί φυσικό περιβαλλοντικό κίνδυνο, με επιπτώσεις σε διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες. Ένας από τους

τομείς που επηρεάζονται άμεσα από τον παγετό, με καταστροφικές επιπτώσεις σε αυτόν, είναι η γεωργία. Όταν ο παγετός εμφανίζεται στη βλαστική περίοδο προκαλεί μεγάλες ζημιές, που μπορεί να οδηγήσουν μέχρι και στην ολοκληρωτική καταστροφή της παραγωγής. Για τη δεκαετία 1963-72 από τις αιτίες των καιρικών αντιξοοτήτων που προκάλεσαν ζημιές στη γεωργική παραγωγή της Ελλάδας, ο παγετός είναι υπεύθυνος για το 14,4% επί του συνόλου των ζημιών (Δαλέζιος, 2004).

Ο παγετός ως φαινόμενο στην Ελλάδα παρουσιάζει ποικίλη ένταση και έκταση. Πολλές φορές ενδέχεται να καλύψει την πλειοψηφία της Ελληνικής επικράτειας, ενώ άλλες φορές περιορίζεται σε περιοχές μερικών δεκάδων ή εκατοντάδων στρεμμάτων. Για την Ελλάδα μπορεί να λεχθεί ότι δεν υπάρχει καλλιεργούμενη περιοχή που να μην έχει πρόβλημα χαμηλών θερμοκρασιών σε κάποια περίοδο μέσα στην ψυχρή εποχή (Δαλέζιος, 2004).

Ο παγετός διαχωρίζεται ως προς το αίτιο γένεσής του, σε παγετό ψυχρής μεταφοράς και σε παγετό ακτινοβολίας, που οφείλονται σε συνοπτικούς παράγοντες (Δαλέζιος, 2004). Ο παγετός ακτινοβολίας οφείλεται στην έντονη νυχτερινή ακτινοβολία του εδάφους, που αναπτύσσεται κάτω από συνθήκες ανέφελης νύχτας και συνοδεύεται από αντικυκλωνικές καταστάσεις και άπνοια. Αντίθετα, ο παγετός μεταφοράς οφείλεται σε έντονη εισβολή ψυχρών αερίων μαζών, που συνήθως ακολουθούν τη διέλευση ενός ψυχρού μετώπου.

Ο παγετός, ανάλογα με την εποχή που εκδηλώνεται, διαχωρίζεται σε τρία είδη, τον φθινοπωρινό, τον χειμερινό και τον εαρινό. Οι εαρινοί παγετοί δεν έχουν την ένταση και τη συχνότητα των χειμερινών, είναι όμως οι περισσότερο επιβλαβείς για τη γεωργία, διότι την εποχή της άνοιξης τα περισσότερα φυτά είναι σε στάδιο που είναι ευπαθή, ακόμα και σε ασθενείς παγετούς (Δαλέζιος, 2004).

Η ζημία στα φυτά από τον παγετό επέρχεται από το πάγωμα των φυτικών ιστών. Το πάγωμα των ιστών του φυτού είναι μία φυσική διεργασία, η οποία εξαρτάται από την ένταση και τη διάρκεια των νυχτερινών θερμοκρασιών στις οποίες εκτίθενται τα φυτά, και το στάδιο ανάπτυξης του φυτού (Jamieson, 1986; Woodruff *et al.*, 1997). Τα φυτά αποτελούνται κυρίως από νερό. Κατά το πάγωμα, το νερό διαστέλλεται και διαρρηγνύει τα κυτταρικά τοιχώματα των ιστών του φυτού. Λόγω της παρουσίας χημικών ουσιών στους χυμούς των φυτών, οι ιστοί των φυτών παγώνουν σε θερμοκρασίες χαμηλότερες από 0°C. Όταν το παγωμένο νερό λιώσει, το νερό διαφεύγει από τα κύτταρα. Η διάρρηξη των κυττάρων και η διαρροή του ύδατος

έχουν ως αποτέλεσμα το θάνατο των ιστών, ο οποίος παρουσιάζεται ως «κάψιμο» στα φυτά (Mavi and Tupper, 2004).

Τα φυτά εμφανίζουν διαφορετικά συμπτώματα σε «τραυματισμούς» από τον παγετό, τα οποία εξαρτώνται από το στάδιο στο οποίο λαμβάνει χώρα το φαινόμενο. Στον Πίνακα 3.4 παρουσιάζονται θερμοκρασίες επιζήμιες για φυτά, ανάλογα με το βλαστικό στάδιο.

Πίνακας 3.4: Θερμοκρασίες επιζήμιες στα φυτά ανάλογα με το βλαστικό στάδιο.

Καλλιέργειες	Βλαστικό Στάδιο		
	Φύτρωμα	Άνθηση	Καρποφορία
Σιτάρι	-9 έως -10	-1 έως -2	-2 έως -4
Βρώμη	-8 έως -9	-1 έως -2	-2 έως -4
Κριθάρι	-7 έως -8	-1 έως -2	-2 έως -4
Φακή	-7 έως -8	-2 έως -3	-2 έως -4
Αρακάς	-7 έως -8	-2 έως -3	-2 έως -4
Φασόλια	-5 έως -6	-2 έως -3	-3 έως -4
Ηλιόσπορος	-5 έως -6	-2 έως -3	-2 έως -3
Σινάπι	-4 έως -6	-2 έως -3	-3 έως -4
Σόγια	-3 έως -4	-2 έως -3	-2 έως -3
Καλαμπόκι	-2 έως -3	-1 έως -2	-2 έως -3
Μηδική	-2 έως -3	-1 έως -2	-2 έως -3
Σόργο	-2 έως -3	-1 έως -2	-2 έως -3
Βαμβάκι	-1 έως -1,5	-0,5 έως -1	-2
Φιστίκι	-0,5 έως -1	----	----
Ρύζι	-0,5 έως -1	-0,5 έως -1	-1

(Προσαρμοσμένο από Mavi and Tupper, 2004; Ventskevich, 1961; Rogers, 1970).

Οι αγροκλιματικοί δείκτες για την παρακολούθηση του φαινομένου του παγετού αναφέρονται παρακάτω.

1. Τελευταίος εαρινός παγετός (Last Spring Frost, LSF) (Shen *et al.*, 2005). Η μέρα του LSF ορίζεται ως η τελευταία ημερομηνία κατά τη διάρκεια της άνοιξης, όπου η ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία είναι μικρότερη ή ίση με 0°C.

2. Πρώτος φθινοπωρινός παγετός (First Fall Frost, FFF) (Shen *et al.*, 2005). Η μέρα του FFF ορίζεται ως η πρώτη ημερομηνία κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου, όπου η ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία είναι μικρότερη ή ίση με 0°C.

3. Περίοδος ελεύθερη από παγετό (Frost-Free Period, FFP) (Shen *et al.*, 2005). Ως FFP ορίζεται η χρονική περίοδος σε ημέρες που μεσολαβεί από τον LSF έως τον FFF.

Χαλάζι

Το χαλάζι αποτελεί ένα φυσικό περιβαλλοντικό κίνδυνο, που μπορεί μέσα σε ελάχιστα λεπτά της ώρας να οδηγήσει σε ολοκληρωτική καταστροφή της γεωργικής παραγωγής. Επειδή η ανάγκη για καταπολέμηση των καταστροφικών συνεπειών του χαλαζιού στη γεωργική παραγωγή ήταν πάντα επιτακτική, προσπάθειες για την αντιμετώπιση του φαινομένου ξεκίνησαν πολύ νωρίτερα από την επαρκή κατανόησή του.

Το χαλάζι χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή και μελέτη, εξαιτίας των καταστροφών που προκαλεί στη γεωργία και στην οικονομία γενικότερα. Η χαλαζόπτωση είναι συνήθως μικρής διάρκειας, ανέρχεται στα λίγα λεπτά της ώρας, ενώ σπανιότατα φτάνει τη μία ώρα. Είναι φαινόμενο με αυστηρά τοπικό χαρακτήρα και παρακολουθεί την κίνηση του καταιγιδοφόρου νέφους (Δαλέζιος, 2004).

Πλημμύρες

Στη γεωργία, με τον όρο πλημμύρα νοείται η κατάκλιση μιας αγροτικής περιοχής με νερό για τέτοιο χρονικό διάστημα, ώστε να επιφέρει δυσμενείς επιπτώσεις στις γεωργικές δραστηριότητες. Οι πλημμύρες προκαλούν απώλειες στο ζωικό κεφάλαιο, καθώς και ζημιές στις καλλιέργειες και στα λιβάδια. Έτσι λοιπόν, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη σοβαρά σε ένα γεωργικό αναπτυξιακό σχεδιασμό (Mavi and Tupper, 2004). Περιοχές με ιστορικό επανεμφάνισης πλημμυρών πρέπει να απορρίπτονται προς γεωργική χρήση, εκτός και αν κατασκευαστούν κατάλληλα έργα για την αντιμετώπιση του φαινομένου.

3.2.5 Στατιστική αγροκλιματική ανάλυση

Η στατιστική ανάλυση συντελεί στην αποτύπωση, ανάλυση και κατανόηση των κλιματικών συνθηκών που επικρατούν σε μία περιοχή. Κάποια βασικά στατιστικά στοιχεία και απλές μέθοδοι, που έχουν σημαντικό ρόλο σε αγρομετεωρολογικές εφαρμογές, δίνονται παρακάτω.

Μέσος όρος, εύρος τιμών και συχνότητες

Ένας μεγάλος αριθμός αρχείων δεδομένων που αποτελούνται από τους μέσους όρους μετεωρολογικών παραμέτρων, είναι διαθέσιμα από μετεωρολογικές υπηρεσίες ανά τον κόσμο. Αυτοί οι μέσοι όροι βασίζονται σε χρονοσειρά ετών και έχουν υπολογιστεί για διάφορα χρονικά βήματα, από μία ημέρα έως ένα έτος. Ωστόσο, πολλές φορές η γνώση του μέσου όρου κατέχει μικρή σημασία και δεν εξυπηρετεί στον αγροκλιματικό σχεδιασμό. Πράγματι, πολλές φορές στη γεωργία είναι πιο σημαντική η γνώση των διακυμάνσεων των παραμέτρων και του συνδυασμού μερικών από αυτές, από ότι η εύρεση των μέσων όρων αυτών ή όπως λέγεται στη μετεωρολογία του «κανονικού καιρού». Αυτό συμβαίνει διότι ο «κανονικός καιρός» μπορεί και ποτέ να μη συμβεί, αφού βασίζεται στην ταυτόχρονη εμφάνιση των μέσων όρων όλων αυτών των παραμέτρων (Primault, 1979).

Στην περίπτωση που ο μέσος όρος, συνοδευόμενος από την τυπική απόκλιση, δε μπορεί να ικανοποιήσει τις ανάγκες του αγροτικού σχεδιασμού, χρησιμοποιούνται άλλες στατιστικές μεταβλητές, όπως είναι τα εύρη τιμών και οι συχνότητες.

Όπως προαναφέρθηκε, η γνώση των ακραίων τιμών (μεγίστων και ελαχίστων) μιας μετεωρολογικής παραμέτρου, πολλές φορές παρέχει πιο χρήσιμη πληροφορία για αγροκλιματικές εφαρμογές. Έτσι λοιπόν, το εύρος τιμών των μετεωρολογικών παραμέτρων κατά τη βλαστική περίοδο, παρέχει μία πιο πλήρη εικόνα του αγροκλιματικού δυναμικού μίας περιοχής και πρέπει πάντοτε να συνοδεύει το μέσο όρο.

Τέλος, η ανάλυση συχνοτήτων των μετεωρολογικών παραμέτρων, είναι το πιο χρήσιμο στατιστικό εργαλείο, εφόσον αναλύει την κατανομή των υπό εξέταση παραμέτρων σε μία συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Έτσι, η ανάλυση συχνοτήτων παρέχει σημαντική επιπρόσθετη πληροφορία και είναι απαραίτητη σε κάθε αγρομετεωρολογικό σχεδιασμό (Primault, 1979). Επιπροσθέτως, η ανάλυση συχνοτήτων συνδυασμών μετεωρολογικών παραμέτρων (αγρομετεωρολογικών δεικτών), όπως θερμοκρασία/υγρασία, θερμοκρασία/άνεμος, θερμοκρασία/ηλιοφάνεια κ.τ.λ., παρέχει επιπλέον πληροφορία που μπορεί να αφορά συγκεκριμένα φαινόμενα και να είναι απαραίτητη για τον προσδιορισμό των αναγκών και των περιορισμών που αφορούν στην ανάπτυξη μιας καλλιέργειας σε μία συγκεκριμένη τοποθεσία.

Ανάλυση της διακύμανσης

Η ανάλυση της διακύμανσης (Analysis of Variance ή ANOVA) μπορεί να εφαρμοστεί σε κάθε είδους ποσοτικά δεδομένα και μετρήσεις. Αρχικά, αναπτύχθηκε από τον Fisher (1948) για την αποτίμηση των πειραμάτων πεδίου. Τα προηγούμενα χρόνια, η ανάλυση της διακύμανσης βρήκε εφαρμογή σε πολλούς κλάδους. Σήμερα, αντιπροσωπεύει μία από τις γενικές στατιστικές μεθόδους που εφαρμόζονται στη γεωργία (Τζώρτζιος, 1999, 2000).

Συχνά, πολλοί παράγοντες συνεισφέρουν στην ύπαρξη διαφορών μεταξύ των τιμών στατιστικών μεταβλητών. Η μεταβολή στην απόδοση, π.χ. του σιταριού, μπορεί να είναι αποτέλεσμα της διαφοράς μεταξύ των ποικιλιών, των καιρικών συνθηκών, της γονιμότητας των εδαφών κ.τ.λ. Σε αυτήν την περίπτωση, η ανάλυση της διακύμανσης είναι απαραίτητη πριν από την εξέταση των διαφορών των μέσων όρων (π.χ. μέσος όρος των αποδόσεων ανά ποικιλία). Λειτουργεί ως προπαρασκευαστικό βήμα για την εξέταση της υπόθεσης, για τη διαφορά μεταξύ μίας σειράς από μέσους όρους τιμών (Seaman, 1979). Τέλος, η ανάλυση της διακύμανσης εξυπηρετεί κυρίως τον προσδιορισμό του πειραματικού σφάλματος (Τζώρτζιος, 2002).

Όταν ο διαχωρισμός των ζωνών κατά την αγροκλιματική ζωνοποίηση δεν είναι σαφής, λόγω της χρήσης πολλών μεταβλητών-δεικτών ή της ύπαρξης πολλών κλάσεων κατά την ταξινόμηση, τότε είναι απαραίτητη η χρήση μεθόδου πολυμεταβλητής στατιστικής ανάλυσης. Εφαρμόζονται δύο στατιστικές τεχνικές. Συνήθως, εφαρμόζεται η ανάλυση σε κύριες συνιστώσες (Principal Component Analysis, PCA) για να καθορίσει τους σημαντικότερους από τους αγροκλιματικούς δείκτες, ενώ η μέθοδος της ανάλυσης σε ομάδες (Cluster Analysis, CA) χρησιμοποιείται για την εύρεση ομοιοτήτων που δεν είναι εμφανείς μεταξύ των κλάσεων, καθώς και για την ομαδοποίηση αυτών.

Οι πολυμεταβλητές στατιστικές αναλύσεις, όπως η PCA και η CA, λαμβάνουν υπόψη τις συσχετίσεις μεταξύ πολλών μεταβλητών (Koocheki *et al.*, 2006). Η CA χρησιμοποιείται για να επιβεβαιώσει ομοιότητες μεταξύ των γεωγραφικών περιοχών που ελήφθησαν οι μετρήσεις των μεταβλητών. Η PCA χρησιμοποιείται συνήθως για να διαχωρίσει τις αγροπεριβαλλοντικές ζώνες και να προσδιορίσει τους πιο σημαντικούς δείκτες που τις χαρακτηρίζουν (Koocheki *et al.*, 2006).

Ανάλυση σε κύριες συνιστώσες

Η μέθοδος των κύριων συνιστωσών είναι μια μέθοδος, η οποία έχει σκοπό να δημιουργήσει γραμμικούς συνδυασμούς των αρχικών μεταβλητών, έτσι ώστε οι γραμμικοί αυτοί συνδυασμοί να είναι ασυσχέτιστοι μεταξύ τους, αλλά να περιέχουν όσο γίνεται μεγαλύτερο μέρος της διακύμανσης των αρχικών μεταβλητών (Καρλής, 2005). Η αρχική ιδέα της μεθόδου ήταν του Pearson (1901) και αναπτύχθηκε ανεξάρτητα από τον Hotelling (1933) (Τζώρτζιος, 2002). Οι λόγοι για τους οποίους χρησιμοποιείται η διαδικασία αναλύονται παρακάτω.

Με τη χρήση της μεθόδου, από ένα σύνολο συσχετισμένων μεταβλητών δημιουργείται ένα σύνολο ασυσχέτιστων μεταβλητών, κάτι το οποίο για ορισμένες στατιστικές μεθόδους είναι περισσότερο χρήσιμο. Παράδειγμα αποτελεί το πρόβλημα της πολυσυγγραμμικότητας στην παλινδρόμηση. Η ανάλυση σε κύριες συνιστώσες μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως διαγνωστικό εργαλείο για να ανιχνευθούν πολυσυγγραμμικότητες μεταξύ ανεξαρτήτων μεταβλητών. Πολυσυγγραμμικότητες σημαίνει ότι μία ή περισσότερες ανεξάρτητες μεταβλητές είναι γραμμικοί συνδυασμοί άλλων ανεξαρτήτων μεταβλητών (Τζώρτζιος, 2002).

Αν οι κύριες συνιστώσες που θα προκύψουν μπορούν να ερμηνεύσουν ένα μεγάλο ποσοστό της διακύμανσης, τότε αυτό σημαίνει πως αντί να υπάρχουν P μεταβλητές, όπως υπήρχαν αρχικά, τώρα είναι λιγότερες. Μια μικρή ομάδα μεταβλητών είναι πιο εύκολο να γίνει κατανοητή και να χρησιμοποιηθεί σε περαιτέρω αναλύσεις, σε σχέση με μία μεγάλη ομάδα συσχετιζόμενων μεταβλητών (Τζώρτζιος, 2002). Σε μερικές εφαρμογές αυτό είναι ζωτικής σημασίας. Για παράδειγμα, σε μια τεράστια βάση δεδομένων, αντί να αποθηκεύονται όλες οι μεταβλητές, μπορεί να αποθηκευτεί μόνο κάποιος αριθμός κύριων συνιστωσών. Σίγουρα χάνεται κάποιο μέρος της πληροφορίας, αλλά το κέρδος σε χώρο και ταχύτητα επεξεργασίας μπορεί να είναι τεράστιο. Από την άλλη πλευρά, πολλές φορές συμβαίνει να έχουμε λίγες παρατηρήσεις, αλλά πολλές μεταβλητές. Σε τέτοιες περιπτώσεις η μείωση των διαστάσεων του προβλήματος φαίνεται να είναι η μόνη λύση, έτσι ώστε να είναι δυνατή η στατιστική επεξεργασία (Καρλής, 2005).

Ένα άλλο μεγάλο πλεονέκτημα είναι πως με τη μέθοδο των κύριων συνιστωσών μπορούν να εξεταστούν οι συσχετίσεις ανάμεσα στις μεταβλητές και να διαπιστωθεί κατά πόσο οι μεταβλητές ομοιάζουν ή όχι. Επίσης, η μέθοδος επιτρέπει την αναγνώριση, καθώς ονομάζει τις καινούριες μεταβλητές (τις συνιστώσες) και ξεχωρίζει ποιες από τις αρχικές μεταβλητές έχουν μεγάλη επίδραση σε αυτές. Αυτό

είναι πολύ χρήσιμο σε κάποιες επιστήμες, καθώς επιτρέπει την ποσοτικοποίηση μη μετρήσιμων ποσοτήτων, όπως είναι η αγάπη, η ευφυΐα, η ικανότητα ενός μπασκετμπολίστα, η εμπορευσιμότητα ενός προϊόντος και άλλων αφηρημένων εννοιών (Jackson, 1991).

Ανάλυση σε ομάδες

Η ανάλυση σε ομάδες είναι μία πολυμεταβλητή μεθοδολογία κατάλληλη για την πρόβλεψη φυσικών ομαδοποιήσεων στα δεδομένα (Τζώρτζιος, 2002). Είναι μια μέθοδος που σκοπό έχει να κατατάξει σε ομάδες τις υπάρχουσες παρατηρήσεις, χρησιμοποιώντας την πληροφορία που υπάρχει σε κάποιες μεταβλητές. Με άλλα λόγια, η ανάλυση σε ομάδες εξετάζει πόσο όμοιες είναι κάποιες παρατηρήσεις ως προς κάποιον αριθμό μεταβλητών, με σκοπό να δημιουργήσει ομάδες από παρατηρήσεις που ομοιάζουν μεταξύ τους (Καρλής, 2005).

Μια επιτυχημένη ανάλυση θα πρέπει να καταλήξει σε ομάδες, για τις οποίες οι παρατηρήσεις μέσα σε κάθε ομάδα να είναι όσο γίνεται πιο ομοιογενείς, αλλά παρατηρήσεις διαφορετικών ομάδων να διαφέρουν όσο γίνεται περισσότερο (Jain *et al.*, 1999).

Η ανάλυση σε ομάδες βρίσκει πληθώρα εφαρμογών σχεδόν σε κάθε επιστήμη και επομένως αποτελεί ένα πολυτιμότατο εργαλείο στα χέρια όλων των επιστημονικών κλάδων. Στην παρούσα εργασία παρατίθεται παράδειγμα εφαρμογής της μεθόδου σε δορυφορικά δεδομένα.

Δύο βασικές έννοιες για την ανάλυση κατά ομάδες, αλλά όχι μόνο, είναι οι έννοιες της απόστασης και της ομοιότητας. Οι δύο αυτές έννοιες είναι αντίθετες. Παρατηρήσεις που είναι όμοιες έχουν μεγάλη ομοιότητα και μικρή απόσταση. Οι έννοιες αυτές, ουσιαστικά, ποσοτικοποιούν αυτό που εννοούν στην καθημερινή γλώσσα. Δηλαδή, παρατηρήσεις που μοιάζουν πολύ μεταξύ τους, έχουν με απλά λόγια σχετικά όμοιες τιμές, θα πρέπει να έχουν πολύ μεγάλη τιμή για το μέτρο της ομοιότητας που θα χρησιμοποιηθεί και πολύ μικρή απόσταση. Οι έννοιες αυτές είναι πολύ χρήσιμες, καθώς επιτρέπουν τη μέτρηση της ομοιότητας των παρατηρήσεων και επομένως την τοποθέτησή τους στην ίδια ομάδα (Everitt, 1993).

Υπάρχουν αρκετές διαφορετικές προσεγγίσεις για το πώς μπορούν να ομαδοποιηθούν τα δεδομένα. Οι βασικότερες και πιο διαδεδομένες προσεγγίσεις αναλύονται παρακάτω (Καρλής, 2005).

Ιεραρχικές μέθοδοι: Αρχικά, κάθε παρατήρηση είναι από μόνη της μια ομάδα. Σε κάθε βήμα ενώνονται οι δύο παρατηρήσεις που έχουν πιο μικρή απόσταση. Αν

δύο παρατηρήσεις έχουν ενωθεί σε προηγούμενο βήμα, ενώνεται μια προϋπάρχουσα ομάδα με μια παρατήρηση, μέχρι να φτιαχτεί μια ομάδα. Κοιτώντας τα αποτελέσματα, επιλέγεται πόσες ομάδες τελικά προκύπτουν.

K-Means: Ο αριθμός των ομάδων είναι γνωστός από πριν. Με έναν επαναληπτικό αλγόριθμο μοιράζονται οι παρατηρήσεις στις ομάδες, ανάλογα με το ποια ομάδα είναι πιο κοντά στην παρατήρηση.

Στατιστικές μέθοδοι: Και οι δύο μέθοδοι που αναφέρθηκαν στηρίζονται καθαρά σε αλγοριθμικές λύσεις και δεν προϋποθέτουν κάποιο μοντέλο. Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι στατιστικές, όπου ξεκινώντας από κάποιες υποθέσεις συντελείται η κατάταξη των παρατηρήσεων. Δυστυχώς, αυτές οι μέθοδοι έχουν αρκετά υπολογιστικά προβλήματα και γι' αυτό δεν προσφέρονται από πολλά στατιστικά πακέτα που χρησιμοποιούνται στην πράξη.

Η ανάλυση σε ομάδες μπορεί να λειτουργήσει όχι μόνο ως προς την κατεύθυνση της ομαδοποίησης παρατηρήσεων (που είναι και η συνήθης περίπτωση), αλλά και ως προς την κατεύθυνση ομαδοποίησης μεταβλητών (Σιάρδος, 2004). Ως προς τη διαδικασία, ενώ για την ανάλυση σε ομάδες παρατηρήσεων χρειάζεται τουλάχιστον μία ποσοτική μεταβλητή, στην ανάλυση σε ομάδες μεταβλητών χρειάζονται τουλάχιστον τρεις ποσοτικές μεταβλητές (SPSS, 1999).

Το είδος του κριτηρίου ταξινόμησης, και συνεπώς η ομαδοποίηση των παρατηρήσεων, εξαρτώνται ουσιαστικά από τις μεταβλητές που θα χρησιμοποιηθούν. Αυτό υποχρεώνει τον ερευνητή να επιλέξει επιτυχώς τις μεταβλητές, οι οποίες και θα καθορίσουν την αξία της ομαδοποίησης των παρατηρήσεων ως προς το συγκεκριμένο πρόβλημα, πολύ περισσότερο μάλιστα που η αρχική επιλογή των μεταβλητών είναι αυτή που καθορίζει τα χαρακτηριστικά για την αναγνώριση υποομάδων. Εάν, αντιθέτως, αποκλειστούν σημαντικές μεταβλητές, είναι προφανές ότι τα αποτελέσματα θα είναι φτωχά, αν όχι παραπλανητικά (Σιάρδος, 2004).

Τέλος, πρέπει να τονιστεί ότι μερικές φορές η ανάλυση σε ομάδες μπορεί να έχει και άλλους σκοπούς εκτός από την απλή ομαδοποίηση των δεδομένων. Έτσι, η ανάλυση σε ομάδες μπορεί να χρησιμοποιηθεί για (Καρλής, 2005):

- Την απόκτηση γνώσης σχετικά με τα δεδομένα, αν για παράδειγμα παρουσιάζουν ομοιότητες, ποιες μεταβλητές μοιάζουν να έχουν διακριτική ικανότητα κ.λπ.
- Τη διερεύνηση σχέσεων στα δεδομένα.

- Τη μείωση των διαστάσεων του προβλήματος. Ειδικά στη σύγχρονη εποχή, το πλήθος των δεδομένων που συγκεντρώνεται είναι τεράστιο, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι και η πληροφορία που περιέχεται είναι εξίσου τεράστια. Υπάρχουν επικαλύψεις, μεταβλητές χωρίς ιδιαίτερο ενδιαφέρον κ.λπ.
- Τη δημιουργία και τον έλεγχο υποθέσεων σχετικά με τα δεδομένα. Πολλές φορές ο ερευνητής διερευνά την ύπαρξη κάποιων ομάδων με βάση κάποιο θεωρητικό μοντέλο (π.χ. κάποια είδη του ζωικού βασιλείου μοιάζουν μεταξύ τους, επομένως ο ερευνητής θέλει να διαπιστώσει κατά πόσο μπορεί να τα κατατάξει στην ίδια ομάδα).
- Την πρόβλεψη καινούργιων τιμών. Έχοντας δημιουργήσει ομάδες από παρατηρήσεις σε πολλές εφαρμογές, το ενδιαφέρον εστιάζεται στην κατανομή καινούργιων παρατηρήσεων.

3.3 Εφαρμογές αγροκλιματικής ζωνοποίησης

Κάθε περιοχή έχει τα δικά της χαρακτηριστικά, τα οποία εξαρτώνται από τις κλιματικές συνθήκες, τους τύπους εδάφους και το γεωανάγλυφο. Έτσι λοιπόν, η επιλογή των δεικτών και των παραμέτρων που θα χρησιμοποιηθούν κατά το διαχωρισμό μίας περιοχής σε αγροκλιματικές ζώνες, εξαρτάται κυρίως από την περιοχή μελέτης. Αυτή καθορίζει τις συνιστώσες που είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθούν ή που πρέπει να δοθεί διαφορετική βαρύτητα. Επίσης, η μεθοδολογία της αγροκλιματικής ζωνοποίησης εξαρτάται και από το είδος αυτής. Άλλη μεθοδολογία θα ακολουθηθεί για τον προσδιορισμό γενικών αγροκλιματικών ζωνών και άλλη για τον προσδιορισμό συγκεκριμένων καλλιεργειών. Τέλος, η επιλογή των δεικτών και παραμέτρων εξαρτάται και από τις καλλιέργειες, των οποίων η καταλληλότητα τίθεται υπό εξέταση. Έτσι λοιπόν, ανά τον κόσμο, υπάρχουν διαφορετικές μεθοδολογίες αγροκλιματικής ζωνοποίησης, οι οποίες και εξυπηρετούν τις ανάγκες της εκάστοτε περιοχής και έρευνας.

Στη συνέχεια αναφέρεται ένα πλήθος μεθοδολογιών αγροκλιματικής ζωνοποίησης, που έλαβαν χώρα σε διάφορες περιοχές της υφηλίου και που τονίζουν τη σημαντικότητα της διαφορετικότητας της προσέγγισης ανάλογα με την εφαρμογή.

Οι Koocheki *et al.* (2006) μελέτησαν τις πιθανές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής σε αγροκλιματικούς δείκτες στο Ιράν, και τη μεταβολή που πιθανόν να επιφέρει στη διαμόρφωση των αγροπεριβαλλοντικών, όπως τις χαρακτήρισαν, περιοχών. Χρησιμοποίησαν δεδομένα από 36 μετεωρολογικούς σταθμούς για τον υπολογισμό 14 δεικτών και παραμέτρων, μεταξύ των οποίων είναι η μέγιστη, ελάχιστη, μέση μέγιστη και μέση ελάχιστη θερμοκρασία, η βροχόπτωση, ο GDD, η FFP, η μέση ημερομηνία FFF και LSF. Για την αναγνώριση των μεταβλητών που είναι πιο σημαντικές για το διαχωρισμό ή την ομαδοποίηση των μετεωρολογικών σταθμών στις παρούσες κλιματικές συνθήκες και στα μελλοντικά κλιματικά σενάρια, χρησιμοποιήθηκε η ανάλυση σε κύριες συνιστώσες. Η ανάλυση έδειξε ως πρώτη κύρια συνιστώσα τη θερμοκρασία και ως δεύτερη τη βροχόπτωση. Οι δύο αυτές κύριες συνιστώσες περιγράφουν το 90% της συνολικής διακύμανσης. Στη συνέχεια, με τη χρήση ιεραρχικής ανάλυσης σε ομάδες, βάση αυτών των δύο κυρίων συνιστωσών, η περιοχή μελέτης χωρίστηκε σε ομοιογενείς ζώνες (κλάσεις), με κάθε κλάση να εμπεριέχει από ένα έως οκτώ σταθμούς, ανάλογα με το κλιματικό σενάριο. Η έρευνα κατέδειξε ότι η διακύμανση στη γεωργική παραγωγή στο Ιράν, εξαιτίας της μελλοντικής κλιματικής αλλαγής, εξαρτάται από τη βροχόπτωση και τη θερμοκρασία.

Για τον ορισμό των αγροκλιματικών ζωνών στην Αλμπέρτα του Καναδά και για τον έλεγχο των χωροχρονικών μεταβολών τους στην περίοδο 1901-2002, χρησιμοποιήθηκαν οι εξής δείκτες (Shen *et al.*, 2005): βροχόπτωση Μαΐου-Αυγούστου, SGS, EGS, LGS, LSF, FFF, FFP, GDD και η θερμική μονάδα καλαμποκιού (Corn Heat Units, CHU). Τα αποτελέσματα της έρευνας υποδηλώνουν ότι το αγρόκλιμα της Αλμπέρτα επωφελήθηκε από την κλιματική αλλαγή του 20^{ου} αιώνα.

Μία πιο απλή προσέγγιση έλαβε χώρα στην Καλιφόρνια, όπου χρησιμοποιήθηκε ο GDD για τον προσδιορισμό ζωνών για την καλλιέργεια διαφορετικών ποικιλιών σταφυλιού, που προορίζονται για την παραγωγή διαφορετικών προϊόντων. Οι πιο ψυχρές ζώνες με καθορισμένες χαμηλές τιμές GDD είναι κατάλληλες για την παραγωγή ποιοτικών ξηρών κρασιών. Πιο θερμές ζώνες με υψηλότερες τιμές GDD είναι κατάλληλες για την παραγωγή πιο γλυκών κρασιών, ενώ οι πιο θερμές ζώνες, όπου παρατηρούνται οι μέγιστες τιμές GDD, είναι αποτελεσματικές για την παραγωγή επιτραπέζιων σταφυλιών και σταφίδων (Hall, 2001).

Στη Βραζιλία οι Pereira *et al.* (2003) ανέπτυξαν ένα μαθηματικό μοντέλο για τον υπολογισμό του δυναμικού της ηλιακής ακτινοβολίας ως συνάρτηση μίας μόνο μεσημβρινής μέτρησης και τόνισαν τη σημασία της ηλιακής ακτινοβολίας στην αγροκλιματική ζωνοποίηση και στον υπολογισμό του δυναμικού παραγωγής.

Στη Φιλανδία, οι Carter και Saariko (1996), εξέτασαν την τοπική καταλληλότητα του σιταριού (*Triticum aestivum*) με τη χρήση αγροκλιματικών δεικτών. Συγκεκριμένα, ο έλεγχος της καταλληλότητας έγινε με τη χρήση της LGS και του GDD. Τα αποτελέσματα των δύο δεικτών συνδυάστηκαν με εδαφολογικά στοιχεία και φυσιολογική πληροφορία.

Για τον προσδιορισμό γενικών αγροκλιματικών ζωνών σε ημίξηρες τροπικές περιοχές (Ινδία, Σενεγάλη, Μπουργκίνα Φάσο), ο Reddy (1983a,b; 1984a,b) χρησιμοποίησε τον AI για την εξαγωγή συμπληρωματικών κλιματικών μεταβλητών, όπως η ξηρή και υγρή περίοδος, καθώς και η περίοδος αποτελεσματικής βροχόπτωσης (effective rainy period). Αυτές τις κλιματικές μεταβλητές τις συνδύασε με χονδροειδή εδαφική πληροφορία, για να αναγνωριστούν αγροκλιματικά ομοιογενείς ζώνες και να υπολογιστεί το ρίσκο που προκύπτει από την ανάπτυξη καλλιεργειών σε αυτές, σε σχέση με τη γεωργική παραγωγή. Το αποτέλεσμα ήταν να ταξινομηθούν 190 σταθμοί των τριών περιοχών σε ομοιογενείς αγροκλιματικά ομάδες (ζώνες) και υποομάδες.

Επίσης, στην Ινδία οι Kumar *et al.* (1997) χρησιμοποίησαν τη φωτοπερίοδο, μία τροποποίηση του CWSI, το δείκτη επάρκειας υγρασίας (Moisture Adequacy Index, MAI) και τον GDD, για να προσδιορίσουν περιοχές με βέλτιστες αγροκλιματικές συνθήκες για τη μεγιστοποίηση του δυναμικού παραγωγής των φασολιών Castor (*Ricinus communis L.*). Με αυτούς τους δείκτες αναλύθηκε η διακύμανση στην απόδοση σε σχέση με τη διαθεσιμότητα σε υγρασία, τη θερμοκρασία και τη διάρκεια ημέρας, ενώ με τη χρήση ανάλυσης πολλαπλής παλινδρόμησης εξήχθηκε ένα μοντέλο πρόγνωσης παραγωγής. Αυτό το μοντέλο χρησιμοποιήθηκε για την αναγνώριση των περιοχών, όπου η παραγωγή της καλλιέργειας μεγιστοποιείται.

Οι Badini *et al.* (1997) χρησιμοποίησαν τον AI και το CWSI για την αναγνώριση αγροκλιματικών ζωνών της μηδικής, όπως αυτές ορίζονται από τις ανάγκες της καλλιέργειας σε νερό. Ο συνδυασμός αυτών των δεικτών αποσκοπεί στον ορισμό περιοχών που χαρακτηρίζονται από περιορισμένα αποθέματα υδάτων για την ανάπτυξη συγκεκριμένων καλλιεργειών (Water Limited Growth Environment,

WLGE). Έτσι, χρησιμοποιώντας αυτούς τους δείκτες, καθορίζονται οι ζώνες που δείχνουν τη χωρική κατανομή της ξηρότητας του κλίματος και την ύπαρξη υδατικής καταπόνησης, ανάλογα με την υπάρχουσα καλλιέργεια. Τέλος, χρησιμοποίησαν το μοντέλο προσομοίωσης καλλιέργειας CropSyst για τον προσδιορισμό του δυναμικού παραγωγής της μηδικής.

Στην Ιρλανδία, οι Holden και Breerton (2004) χρησιμοποίησαν μέσους όρους, μέγιστες και ελάχιστες τιμές βροχόπτωσης, θερμοκρασίας και αποδόσεων, σε συνδυασμό με k-means ανάλυση σε ομάδες, για τον ορισμό αγροκλιματικών περιοχών. Οι αγροκλιματικές ζώνες που ορίστηκαν ήταν συγκεκριμένες και αφορούσαν στις εξής καλλιέργειες: χόρτο, κριθάρι, καλαμπόκι, πατάτα και σόγια. Τρεις ζώνες ορίστηκαν που ευνοούν την ανάπτυξη των ανωτέρω καλλιεργειών.

Στην επαρχία του Yunnan, στην Κίνα, ο Thomas (1992) χρησιμοποίησε το γεωργικό υδατικό ισοζύγιο για να αναγνωρίσει περιοχές όπου είναι δυνατή η ξηρική καλλιέργεια ρυζιού και καλαμποκιού. Με τη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.), συνδύασε εδαφολογικά και φαινολογικά δεδομένα με χάρτες βροχόπτωσης, θερμοκρασίας και εξατμισοδιαπνοής, που προήλθαν από τη χρήση μεθόδων παρεμβολής σε μετεωρολογικά δεδομένα από 42 σταθμούς. Για να συμπεριλάβει στην ανάλυση τη διακύμανση των παραμέτρων εντός της βλαστικής περιόδου, αντί για μέσους όρους χρησιμοποίησε όγδοα. Η μεθοδολογία, βασισμένη στο αθροιστικό υδατικό ισοζύγιο και στη χρήση των Γ.Σ.Π, εκτίμησε ότι με εξαίρεση κάποιες πολύ θερμές και ξηρές κοιλάδες, η επαρχία του Yunnan χωρίζεται σε δύο περιοχές. Στην πρώτη, οι δύο καλλιέργειες μπορούν να αναπτυχθούν σχεδόν χωρίς άρδευση (καλύπτεται το 80-100% των αναγκών τους σε νερό), ενώ στη δεύτερη οι συνθήκες δεν είναι τόσο ευνοϊκές, εφόσον καλύπτεται το 50-80% των αναγκών σε νερό.

Τέλος, μία από τις πιο πλήρεις μεθοδολογίες είναι η νέα κλιματική ταξινόμηση για τη γεωργία (Climate Classification for Agriculture, CCA), που χρησιμοποιείται από τον FAO (Gommez *et al.*, 2005). Η φιλοσοφία της CCA βασίζεται στη χρήση σημαντικών από γεωργική άποψη ταξινομητών. Είναι ιεραρχική και ανεξάρτητη κλίμακας. Στο αρχικό στάδιο της ταξινόμησης (φάση διχοτόμησης) γίνεται χρήση ενός λογισμικού, που ονομάζεται σύστημα ταξινόμησης της εδαφικής κάλυψης (Land Cover Classification System, LCCS), το οποίο συμβάλλει στο χαρακτηρισμό της εδαφικής κάλυψης. Έπειτα, ακολουθεί η ιεραρχική φάση, όπου αρχικά χρησιμοποιούνται κλιματικές μεταβλητές και κρίσιμες τιμές (τιμές

κατωφλίου) αυτών, ακολουθεί η χρήση δεικτών (δυναμικό παραγωγής, φαινολογία, NDVI κ.τ.λ.) και τέλος συγκεκριμένες-τεχνικές μεταβλητές (μη κλιματικές). Στα πλεονεκτήματα της CCA εντάσσεται το γεγονός ότι είναι ανεξάρτητη από άλλες ταξινομήσεις (εδαφικές, χρήσεων γης), εφόσον προσδιορίζει την εδαφική κάλυψη με δική της μέθοδο, καθώς και το γεγονός ότι χρησιμοποιεί «σταθερούς» δείκτες.

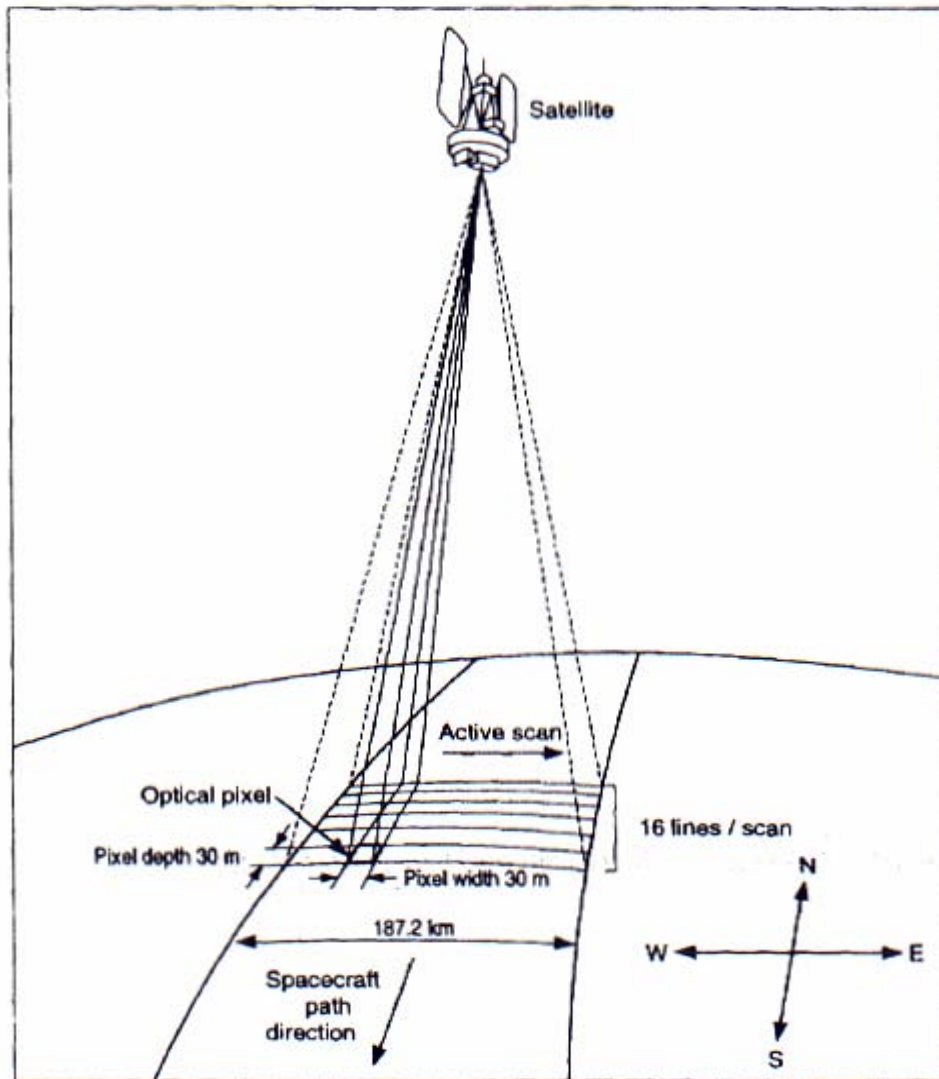
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

4.1 Χαρακτηριστικά δορυφορικής απεικόνισης

Η λέξη τηλεπισκόπηση συντίθεται από το αρχαίο επίρρημα «τηλέ» (= από μακριά), ως πρώτο συνθετικό της, και το ρήμα «επισκοπέω-ώ», που σημαίνει εξετάζω, βλέπω από ψηλά, επιθεωρώ. Τηλεπισκόπηση, επομένως, σημαίνει αντίληψη αντικειμένων ή φαινομένων από απόσταση. Ορίζεται ως η επιστήμη της συλλογής, ανάλυσης και ερμηνείας της πληροφορίας από απόσταση, χρησιμοποιώντας αισθητήρες, οι οποίοι δεν έρχονται σε φυσική επαφή με το υπό παρακολούθηση αντικείμενο.

Η τηλεπισκόπηση περιλαμβάνει τρία μέρη: τους στόχους που συνιστούν τα υπό μελέτη αντικείμενα ή τα φαινόμενα μιας περιοχής, τη συλλογή δεδομένων με τη χρήση ορισμένων οργάνων και την ανάλυση και ερμηνεία των δεδομένων. Στον πιο ευρύ ορισμό της, η τηλεπισκόπηση περιλαμβάνει τις παρατηρήσεις με συμβατικές φωτογραφίες, αεροφωτογραφίες, δορυφορικές εικόνες και εικόνες ραντάρ. Στην πράξη, όμως, οι μελέτες τηλεπισκόπησης περιορίζονται κυρίως σε συστήματα απεικονίσεων ή εικόνων, όπως αεροφωτογραφίες και δορυφορικές εικόνες, με στόχο την επιφάνεια και την ατμόσφαιρα της γης. Έτσι, συνήθως ο όρος τηλεπισκόπηση περιορίζεται σε μεθόδους που ανιχνεύουν και μετρούν την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια, συμπεριλαμβανομένου του ορατού φωτός, που έχει αλληλεπιδράσει με αντικείμενα στην επιφάνεια της γης και την ατμόσφαιρα.

Έτσι, λοιπόν, ένα μέρος της τηλεπισκόπησης είναι η απόκτηση ψηφιακών δεδομένων και πληροφοριών στην ανακλώμενη, θερμική και μικροκυματική περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (ΗΜΦ). Οι μετρήσεις του ΗΜΦ γίνονται συνήθως μέσω δορυφόρων, αεροσκαφών, εδαφικών συστημάτων (π.χ. ραντάρ) και γενικότερα σε απόσταση από το στόχο. Οι δορυφορικές εικόνες καταγράφονται από αισθητήρες με τους οποίους είναι εξοπλισμένοι οι δορυφόροι. Ένα παράδειγμα της λειτουργίας ενός δορυφόρου απεικονίζεται στο σχήμα 4.1.



Σχήμα 4.1: Απεικόνιση λειτουργίας δορυφόρου (McVicar and Jupp, 1998).

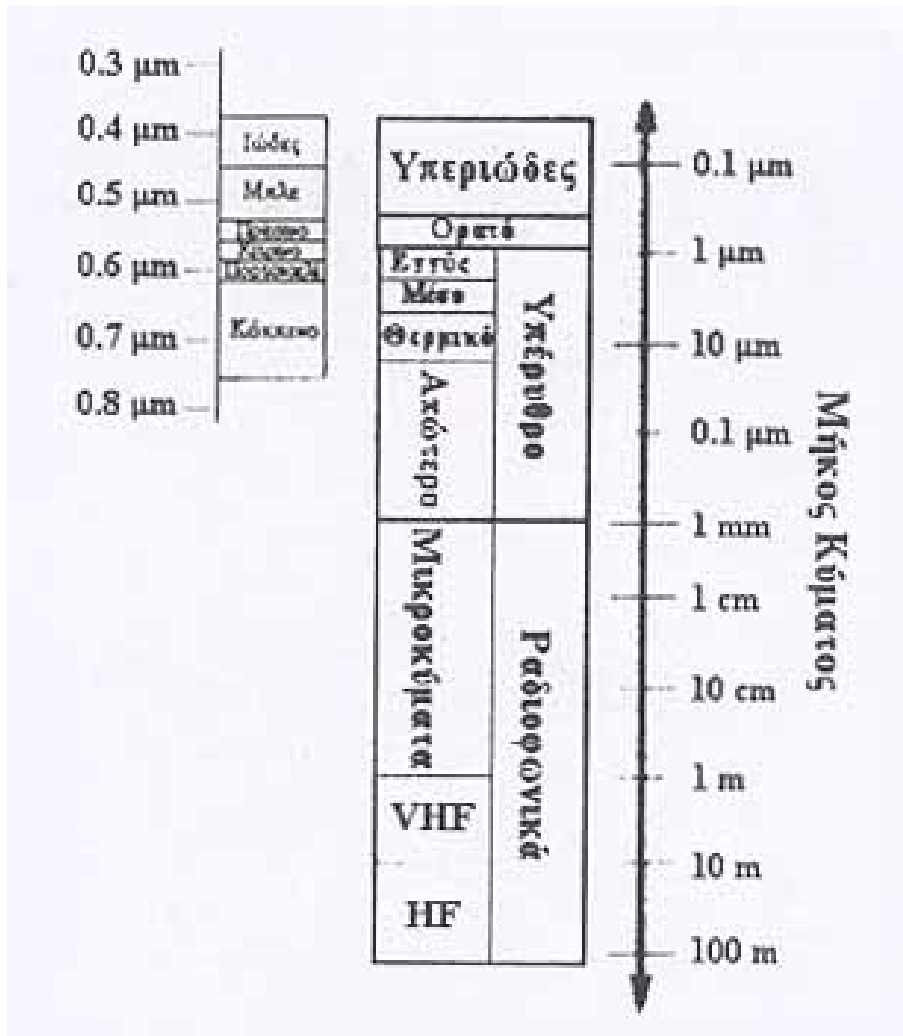
Το ύψος τροχιάς των δορυφόρων ποικίλει από περίπου 700 χιλιόμετρα (Km) πάνω από την επιφάνεια της γης για τους δορυφόρους πολικής τροχιάς, έως 36.000 Km για τους γεωστάσιμους (πάνω από τον ισημερινό). Οι εικόνες μπορούν να υποστούν επεξεργασία μέσω ηλεκτρονικών υπολογιστών, με τη χρήση εξειδικευμένων λογισμικών για την εξαγωγή πληροφοριών, ανάλογα με το αντικείμενο εφαρμογής (μετεωρολογία, γεωπονία κ.λπ.). Κάθε εικόνα αποτελείται από εικονοστοιχεία (pixels), τα οποία συνεισφέρουν με μετρήσεις σε ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος του ΗΜΦ, με συγκεκριμένη χωρική διακριτική ικανότητα για μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Ο πιο συνηθισμένος τρόπος λήψης

τηλεπισκοπικών δεδομένων είναι με απλή σάρωση (single overpass – δεδομένα που συλλέγονται από ένα πέρασμα του δορυφόρου) (Mc Vicar and Jupp, 1998). Οι δορυφορικές εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία προέρχονται από το δορυφόρο NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), του οποίου τα τεχνικά χαρακτηριστικά αναλύονται στο κεφάλαιο 5.1.

Η φασματική διακριτική ικανότητα και εύρος, καθώς και τα χωρικά και χρονικά χαρακτηριστικά (χωρική και χρονική διακριτική ικανότητα) παίζουν σημαντικό ρόλο στο χαρακτηρισμό και στην επιλογή των δορυφορικών εικόνων. Το φασματικό εύρος περιγράφει τις περιοχές του ΗΜΦ που χρησιμοποιούνται για την καταγραφή της πληροφορίας, π.χ. χρησιμοποιείται μόνο το ορατό φάσμα ή το εύρος επεκτείνεται και στο θερμικό. Η φασματική διακριτική ικανότητα αναφέρεται στον αριθμό των περιοχών (bands) σε ένα συγκεκριμένο ή μη τμήμα του ΗΜΦ, π.χ. οι πολυφασματικοί αισθητήρες χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη φασματική διακριτική ικανότητα από τα όργανα ευρείας περιοχής φάσματος. Το χωρικό εύρος είναι η περιοχή η οποία καλύπτεται από την εικόνα. Η χωρική διακριτική ικανότητα αναφέρεται στο μέγεθος των εικονοστοιχείων, από τα οποία αποτελείται η εικόνα. Το χρονικό εύρος είναι η περίοδος καταγραφής των δεδομένων. Η χρονική διακριτική ικανότητα αναφέρεται στη συχνότητα επανάληψης λήψεως δεδομένων από το δορυφόρο και για μερικές εφαρμογές αναφέρεται στη διαθεσιμότητα λήψεως δεδομένων που δεν υπόκεινται σε περιορισμούς από νεφοκάλυψη. Το εύρος και η διακριτική ικανότητα των τηλεπισκοπικών δεδομένων, καθώς και άλλων πηγών δεδομένων, όπως επίγεια μετεωρολογικά δεδομένα, είναι ανάγκη να είναι απολύτως κατανοητά για να μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην παρακολούθηση και χαρτογράφηση της επίγειας βλάστησης και της κατάστασης αυτής (Mc Vicar and Jupp, 1998).

Η τηλεπισκόπηση της επιφάνειας του εδάφους λαμβάνει χώρα σε μήκη κύματος του ΗΜΦ, στα οποία το φως μπορεί να διαπεράσει την ατμόσφαιρα χωρίς ιδιαίτερες αλληλεπιδράσεις. Αυτές οι περιοχές του ΗΜΦ ονομάζονται ατμοσφαιρικά παράθυρα και αναφέρονται στο φασματικό εύρος στο οποίο η ακτινοβολία που καταγράφεται από τα τηλεπισκοπικά όργανα περιέχει πληροφορίες για την επιφάνεια της γης. Αυτά τα ατμοσφαιρικά παράθυρα ορίζονται από τα συστατικά της γήινης ατμόσφαιρας. Υπάρχουν κάποια αέρια που σε συγκεκριμένα μήκη κύματος απορροφούν όλη την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, απαγορεύοντας τη χρήση

αυτών των περιοχών στην τηλεπισκόπηση. Οι περιοχές του ΗΜΦ περιγράφονται συνοπτικά στο σχήμα 4.2.



Σχήμα 4.2: Περιοχές του ΗΜΦ (Μέρτικας, 1999).

Τέλος, υπάρχουν πολλοί τρόποι με τους οποίους μπορεί η τηλεπισκόπηση να συνεισφέρει στη χαρτογράφηση και παρακολούθηση των αγρονομικών συνθηκών. Σε αυτούς συμπεριλαμβάνονται η χαρτογράφηση του είδους βλάστησης, η παρακολούθηση της κατάστασης της βλάστησης, η διαθεσιμότητα σε υγρασία και η εδαφική υγρασία. Σε σχέση με την περιοχή του ΗΜΦ που λαμβάνονται τα δεδομένα, η τηλεπισκόπηση μπορεί να συνεισφέρει στην παρακολούθηση του αγροτικού περιβάλλοντος σε τέσσερις κύριους τομείς (McVicar and Jupp, 1998):

1. Στην παρακολούθηση της κατάστασης της βλάστησης με τη χρήση μεθόδων στην ανακλώμενη περιοχή του ΗΜΦ.
2. Στις περιβαλλοντικές συνθήκες: παρακολούθηση με τη χρήση μεθόδων στη θερμική περιοχή του ΗΜΦ.
3. Στην εδαφική υγρασία: παρακολούθηση με τη χρήση μεθόδων στη μικροκυματική περιοχή του ΗΜΦ.
4. Στις περιβαλλοντικές καταπονήσεις (στρες): χρήση μεθόδων στην ανακλώμενη και θερμική περιοχή του ΗΜΦ.

4.2 Η Τηλεπισκόπηση στην ανακλώμενη περιοχή του ΗΜΦ

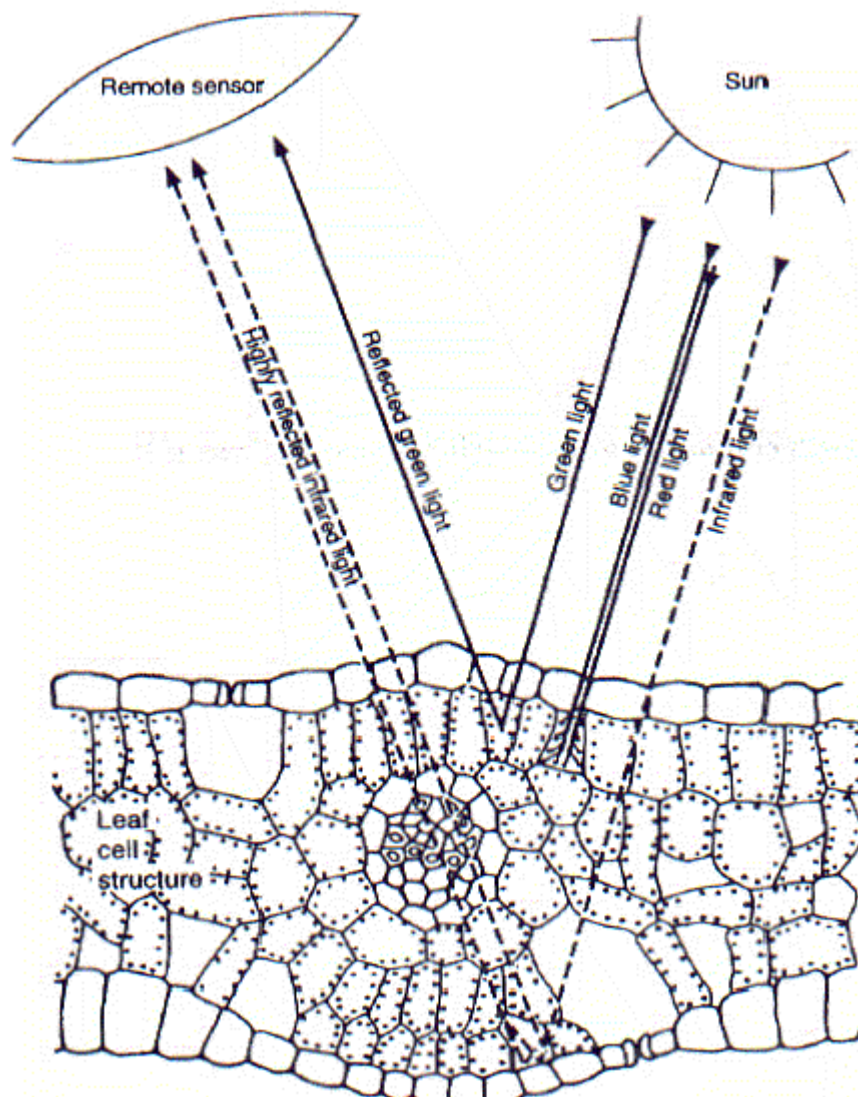
Η ανακλώμενη περιοχή του ΗΜΦ κυμαίνεται από 0,4 έως 3,75 μm και υποδιαιρείται στο ορατό (VIS, 0,4 – 0,7 μm), στο κοντινό υπέρυθρο (NIR, 0,7 – 1,1 μm) και στο μέσο υπέρυθρο τμήμα (MIR, 1,1 – 3,75 μm). Η ορατή περιοχή του ΗΜΦ είναι αυτή την οποία αισθάνεται το ανθρώπινο μάτι, με αποτέλεσμα την ικανότητα της όρασης. Οι διαφορετικές ανακλαστικές ιδιότητες των υλικών και επιφανειών έχουν ως αποτέλεσμα το διαχωρισμό των χρωμάτων στο ορατό φάσμα του ΗΜΦ. Η αλληλεπίδραση μεταξύ των φύλλων και του φωτός που προσκρούει σε αυτά, είναι ένας καθοριστικός παράγοντας της διαφορετικής απόκρισης στην ερυθρή και στην κοντινή υπέρυθη περιοχή του ανακλώμενου φωτός. Η χρωστική χλωροφύλλη που περιέχεται στα φύλλα, παρουσιάζει τη μέγιστη απορρόφηση στην ερυθρή περιοχή του ορατού φάσματος. Στην περιοχή του κοντινού υπέρυθρου τμήματος, η ακτινοβολία ανακλάται ισχυρά από το μεσοκυττάριο χώρο του φύλλου, με αποτέλεσμα την αύξηση των ραδιομετρικών τιμών (σχήμα 4.3).

Η διαφορετική ανακλαστικότητα της πράσινης βλάστησης στα τμήματα του ΗΜΦ (ορατό και κοντινό υπέρυθρο) παρέχει μία καινοτόμο μέθοδο παρακολούθησης της επίγειας βλάστησης από το διάστημα. Για την καλύτερη κατανόηση του φαινομένου γίνεται μία σύντομη αναφορά στη φυσιολογία των φυτών.

4.2.1 Φυσιολογία των φυτών

Η ηλιακή ακτινοβολία (0,4 – 2,5 μm) που διεισδύει στο φύλλο ενός φυτού, υπόκειται σε ανάκλαση, διάθλαση και απορρόφηση. Η ανάκλαση λαμβάνει χώρα

λόγω των διαφορετικών δεικτών διάθλασης μεταξύ των αερίων του μεσοκυττάρου χώρου του φύλλου και των ιδίων των κυττάρων. Επίσης, κάποιο ποσοστό διάθλασης οφείλεται σε αλληλεπιδράσεις μεταξύ ενδοκυτταρικών συστατικών, όπως μακρομορίων και λυσοσωμάτων, το οποίο όμως ανέρχεται στο 10% μόνο της συνολικής διάθλασης.



Σχήμα 4.3: Απεικόνιση της ανάκλασης του φωτός στο μεσοκυττάριο χώρο ενός πράσινου φύλλου (Harrison and Jupp, 1989).

Οι χρωστικές των φυτών και το νερό στο μεσόφυλλο απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία στις περιοχές 0,4 – 0,7 μm και 1,3 – 2,5 μm , αντίστοιχα, του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Η ακτινοβολία στην πρώτη περιοχή είναι γνωστή στη διεθνή βιβλιογραφία ως PAR και απορροφάται κυρίως από τη χλωροφύλλη (a και b), συστατικό των χλωροπλαστών και δευτερευόντως από τα καροτενοειδή. Στην περιοχή 0,7 – 1,3 μm πραγματοποιείται μηδαμινή ή καθόλου απορρόφηση και έτσι κυριαρχούν οι μηχανισμοί ανάκλασης και εκπομπής. Η προσπίπτουσα ακτινοβολία, τελικά, είτε απορροφάται είτε ανακλάται και διαχέεται διαμέσου της φυτικής μάζας ή στο υπόβαθρο αυτής (έδαφος, ατμόσφαιρα κ.λπ.) (Δαλέζιος, 2002).

Η φασματική συμπεριφορά της φυτικής κάλυψης στο εύρος 0,4 – 0,7 μm προσφέρει τη δυνατότητα παρακολούθησης των μεταβολών στα διάφορα στάδια καλλιεργούμενων και μη φυτών, λαμβάνοντας, όμως, υπόψη και την αντίστοιχη συμπεριφορά του γύρω μικροπεριβάλλοντος, π.χ. του εδάφους. Έτσι, σε γενικές γραμμές, όπως προκύπτει από μελέτες και έρευνες, τέσσερις είναι οι φασματικές περιοχές που ενδιαφέρουν στην παρακολούθηση της βλάστησης, διότι σ' αυτές κυριαρχούν πολύ σημαντικά φυσιολογικά φαινόμενα, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.1 (Δαλέζιος, 2002).

Πίνακας 4.1: Ενδιαφέρουσες φασματικές περιοχές σε σχέση με πολύ σημαντικές φυσιολογικές διεργασίες των φυτικών κυττάρων (Δαλέζιος, 2002).

1	Απορρόφηση ακτινοβολίας από καροτενοειδή και χλωροφύλλη	μέχρι 0,5 μm
2	Ισχυρή απορρόφηση ακτινοβολίας από χλωροφύλλη	0,62 – 0,7 μm
3	Ανάκλαση ακτινοβολίας από τα κυτταρικά τοιχώματα κυττάρων του μεσοφύλλου	0,73 – 1,1 μm
4	Απορρόφηση ακτινοβολίας από το νερό	1,3 – 2,5 μm

Στις περιοχές 1 και 2 (Πίνακας 4.1) λαμβάνει χώρα η μέγιστη αντίθεση στη φασματική συμπεριφορά ανάμεσα στο γυμνό έδαφος και στη βλάστηση, και πιο

συγκεκριμένα από 0,62 έως 0,68 μm . Οι περιοχές 2 και 3 αναφέρονται στην περιοχή του ΗΜΦ, που θεωρείται σημαντική βάσει της φυσιολογίας των φυτών για την εξαγωγή των δεικτών βλάστησης. Έτσι, από τις περιοχές 1 και 2 είναι δυνατό να εξαχθούν συμπεράσματα όσον αφορά στο ρυθμό φωτοσύνθεσης, και από τις περιοχές 2 και 3 όσον αφορά στην πυκνότητα της χλωροφύλλης και στο ποσό του φυλλώματος στη φυτική μάζα. Η περιοχή 4 παρέχει χρήσιμες πληροφορίες που αφορούν στο περιεχόμενο νερό των φύλλων, γεγονός άμεσα συνδεδεμένο με το ρυθμό διαπνοής και, κατ' επέκταση, με την επίδραση αυτού στη φυσιολογική διεργασία της φωτοσύνθεσης. Αυτό συμβαίνει διότι στην περίπτωση υδατικού ελλείμματος στους μεσοκυντάριους χώρους στο φύλλο, κάτω από προκαθορισμένα από το φυτό όρια, συνεπάγεται κλείσιμο των στομάτων για διακοπή της διαπνοής, άρα και της φωτοσύνθεσης, αφού παρεμποδίζεται η ανταλλαγή αερίων με το μικροπεριβάλλον (CO_2 , O_2 κ.λπ.).

4.2.2 Παρακολούθηση της κατάστασης της βλάστησης με τη χρήση τηλεπισκοπικών μεθόδων στην ανακλώμενη περιοχή του ΗΜΦ

Πολλοί αισθητήρες δορυφόρων είναι σχεδιασμένοι να καταγράφουν το αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με τη βλάστηση (π.χ. Landsat TM και NOAA/AVHRR). Χρησιμοποιώντας την πληροφορία στην ορατή και κοντινή υπέρυθρη περιοχή του ΗΜΦ, μπορούν να προκύψουν δείκτες βλάστησης που έχουν αποδειχθεί σημαντικό εργαλείο στη μελέτη της κατάστασης της βλάστησης από τις αρχές της δεκαετίας του '70.

Σε σχέση με τη βλάστηση, η ανακλώμενη περιοχή του ΗΜΦ χρησιμοποιείται μεταξύ των άλλων για:

1. Τον προσδιορισμό της τρέχουσας κατάστασης της βλάστησης (McVicar and Jupp, 1998).
2. Τη χαρτογράφηση των εδαφικών επιφανειών, με τη χρήση δύο κύριων χαρακτηριστικών της βλάστησης: της εδαφικής φυτοκάλυψης και των φαινολογικών σταδίων της ανάπτυξης των φυτών (McVicar and Jupp, 1998).
3. Τη χαρτογράφηση της επανασύστασης των φυσικών πόρων (π.χ. λιβάδια), που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην πρόβλεψη πυρκαγιών κατά τη διάρκεια περιόδων ξηρασίας (Chladil and Nunez, 1995, Illera *et al.*, 1996).

Προηγούμενες έρευνες απέδειξαν ότι υπάρχει θετική συσχέτιση μεταξύ της παρουσίας του φυλλώματος, συμπεριλαμβάνοντας μετρήσεις του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI = Leaf Area Index) (Tucker, 1979), της κατάστασης στην οποία βρίσκεται το φυτό (Sellers, 1985) και δεικτών βλάστησης, όπως ο απλός λόγος κοντινού υπέρυθρου – ερυθρού και ο δείκτης βλάστησης κανονικοποιημένης διαφοράς (NDVI: Normalized Difference Vegetation Index) (Tian, 1989).

Το ποσοστό φυτοκάλυψης είναι μία από τις συνιστώσες που ορίζουν την ισχύ του σήματος στην ανακλώμενη περιοχή του ΗΜΦ. Υπάρχουν, όμως, και άλλοι σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την τελική τιμή του εικονοστοιχείου. Σε αυτούς περιλαμβάνεται και η γεωμετρία των θέσεων ήλιου – στόχου – αισθητήρα. Αυτός ο παράγοντας ελέγχει τη συνεισφορά του ποσοστού σκίασης στο σήμα. Η σκίαση μπορεί να είναι αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης του ηλίου με την τοπογραφία και το ανάγλυφο της περιοχής και να επηρεάζεται από τις σκιάσεις που προκαλεί η βλάστηση. Αυτή η επίδραση, που ορίζεται από τη συνάρτηση κατανομής της ανακλαστικότητας διπλής κατεύθυνσης (BRDF: Bidirectional Reflectance Distribution Function) (Deering, 1989, Burgess and Pairman, 1997), είναι χαρακτηριστικό της δομής της βλάστησης. Άλλοι παράγοντες, που επηρεάζουν την ισχύ του σήματος στην ανακλώμενη περιοχή του ΗΜΦ, είναι οι μεταβολές στο χρώμα του εδάφους, οι ατμοσφαιρικές συνθήκες που επικρατούν κατά τη λήψη του σήματος, εμπεριέχοντας σε αυτές και τα ατμοσφαιρικά υδάτινα κατακρημνίσματα (Choudhury and DiGirolamo, 1995, Hobbs, 1997), καθώς και οι μεταβολές στην απόκριση του αισθητήρα με την πάροδο του χρόνου.

Υπάρχουν πολλοί τρόποι και μέθοδοι με τους οποίους μπορεί η τηλεπισκόπηση να συνεισφέρει στην παρακολούθηση και στη χαρτογράφηση των αγροτικών συνθηκών, με απώτερο σκοπό την πρόγνωση της γεωργικής παραγωγής. Σ' αυτές περιλαμβάνονται η χαρτογράφηση των τύπων βλάστησης και η παρακολούθηση της κατάστασης της βλάστησης (Kogan, 1990, Samarasinghe, 2003). Όπως προαναφέρθηκε, η παρακολούθηση της κατάστασης της βλάστησης γίνεται με τη χρήση των δεικτών βλάστησης.

Απλοί δείκτες βλάστησης

Οι απλοί δείκτες βλάστησης παρέχουν μία ένδειξη της παρουσίας βλάστησης, μέσω της σύγκρισης των τιμών ανακλαστικότητας στην κοντινή υπέρυθη (NIR) και στην κόκκινη (R) περιοχή του ΗΜΦ. Συνήθως, γίνεται χρήση της διαφοράς ή του λόγου των NIR και R περιοχών του ΗΜΦ, αλλά και στις δύο περιπτώσεις υψηλές

τιμές υποδηλώνουν την ύπαρξη βλάστησης (Ray, 1994). Έτσι, λοιπόν, ορίζονται δύο μέλη από τη μεγάλη οικογένεια των δεικτών βλάστησης, ο δείκτης διαφοράς βλάστησης (Difference Vegetation Index – DVI) και ο δείκτης λόγου βλάστησης (Ratio Vegetation Index - RVI):

$$DVI = NIR - R \quad (4.1)$$

$$RVI = NIR / R \quad (4.2)$$

Δείκτης Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς

Ένας πολύ γνωστός δείκτης είναι ο δείκτης βλάστησης κανονικοποιημένης διαφοράς. Ο δείκτης υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (4.3)$$

όπου τα NIR και R έχουν οριστεί προηγουμένως. Ο NDVI προτιμάται για ολική φυτική παρακολούθηση, διότι αντισταθμίζει μερικώς τις αλλαγές των συνθηκών φωτισμού, την κλίση του εδάφους και τον προσανατολισμό θέσης. Οι τιμές του NDVI κυμαίνονται θεωρητικά από -1 έως +1, όπως εξάγεται από την εξίσωση 4.3 που προαναφέρθηκε. Τιμές άνω του μηδενός υποδηλώνουν την ύπαρξη πράσινης βλάστησης (χλωροφύλλης) ή γυμνού εδάφους (τιμές γύρω στο μηδέν), ενώ κάτω του μηδενός δηλώνουν την ύπαρξη νερού, χιονιού, πάγου και νεφών. Ενδεικτικές τιμές για κάθε έναν από τους παραπάνω τύπους παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.2.

Η σπουδαιότητα του NDVI ενάγεται στο γεγονός ότι είναι ενδεικτικός του βαθμού της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας της υπό παρακολούθηση βλάστησης (FEWS Bulletin, 1996). Είναι ένας γρήγορος και αποδοτικός τρόπος για την εκτίμηση της ζωηρής βλάστησης. Μετά από αντίξοες συνθήκες, αναμένεται σημαντική μείωση του NDVI στο πεδίο και οι τιμές αποκρίνονται στην έλλειψη στοιχείων χλωροφύλλης και άρα σε μειωμένη κατά πολύ φωτοσυνθετική δραστηριότητα. Προηγούμενες μελέτες έδειξαν ότι ο NDVI συσχετίζεται καλά με αθροιστική βροχόπτωση 2-3 μηνών (Malo and Nicholson, 1990, Schultz and Halper, 1993), γεγονός ιδιαίτερα ενδιαφέρον σε αγρομετεωρολογικές και υδρολογικές εφαρμογές.

Οι Liu και Kogan (1996) παρατήρησαν ότι ο δείκτης NDVI παρουσιάζει μεγάλη συσχέτιση με το έλλειμμα ύδατος και τη βροχόπτωση για τύπους εδαφοκάλυψης, όπως το Cerrado (λιβάδι στη Σαβάνα) και η Caatinga (δασική έκταση), όπου και στις δύο περιοχές υπάρχουν καλλιέργειες με κατά τόπους υγρές

και ξηρές περιοχές. Για τέσσερις τοποθεσίες ο δείκτης NDVI εξήγησε 46 - 61% της διακύμανσης της βροχόπτωσης, με χρονικό βήμα μετρήσεων ενός μηνός και για περίοδο από τον Αύγουστο του 1981 έως τον Ιούλιο του 1987. Μέσα στο χρονικό πλαίσιο της ανάλυσης δεν υπήρξε αναφορά που να εξασφαλίζει ότι η εδαφική κάλυψη, και εξαιτίας αυτής, και η απόκριση του σήματος του NDVI ως συνάρτηση του καιρού, παρέμειναν σταθερές.

Πίνακας 4.2: Ενδεικτικές τιμές του δείκτη NDVI σε διάφορες μορφές κάλυψης εδάφους (Δαλέζιος, 2002).

ΤΥΠΟΣ ΕΔΑΦΟΚΑΛΥΨΗΣ	NDVI (σε κλίμακα -1εώς 1)	NDVI (σε κλίμακα 0-255)
Πυκνή βλάστηση	$0.500 \leq \text{NDVI} \leq 1$	$210 \leq \text{NDVI} \leq 255$
Μέτρια πράσινη 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 (οργωμένο ή βραχώδες)	$0.025 \leq \text{NDVI} < 0.090$	$88 \leq \text{NDVI} < 105$
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 δείκτης NDVI εκτιμάται από δορυφορικά δεδομένα, που στην πλειοψηφία των επιστημονικών μελετών μέχρι σήμερα, προέρχονται από τη σειρά των μετεωρολογικών δορυφόρων πολιτικής τροχιάς NOAA/AVHRR, λόγω της υψηλής χρονικής διακριτικής ικανότητας (κάλυψη σε καθημερινή βάση). Οι δορυφόροι NOAA διαθέτουν ραδιόμετρα με χωρική διακριτική ικανότητα περίπου $1 \times 1 \text{ Km}^2$ και πέντε κανάλια φασματικών συχνοτήτων, μεταξύ των οποίων είναι και αυτά του ορατού και του υπερέυθρου. Πολλές φορές, όταν απαιτείται υψηλότερη χωρική διακριτική ικανότητα, εξάγεται και από δορυφορικά δεδομένα που προέρχονται από περιβαλλοντικούς δορυφόρους (Landsat, IKONOS, SPOT, κ.λπ.). Έτσι, λοιπόν, ο υπολογισμός του δείκτη γίνεται από διάφορους τύπους δορυφορικών εικόνων ανάλογα με την εφαρμογή. Π.χ.:

- Εικόνες NOAA/AVHRR (1-8 Km): Δημιουργία χαρτών NDVI σε παγκόσμια κλίμακα και καθημερινή βάση.

- Εικόνες SPOT-XS (20 m): Επιτρέπουν την παρακολούθηση με λεπτομέρεια σε κλίμακα αγροκτήματος ή λεκάνης απορροής.

Σύνθετοι δείκτες βλάστησης

Μετά από χρόνια έρευνας, τα αποτελέσματα παρουσίασαν πολλούς δείκτες βλάστησης, οι οποίοι προτάθηκαν ως βελτιώσεις του NDVI (Πίνακας 4.3). Οι δείκτες αυτοί σχεδιάστηκαν για να μειώσουν την επιρροή των αντικειμένων που δεν είναι βλάστηση, του τύπου εδάφους και της εδαφικής υγρασίας (Gorte, 2000).

Οι Lyon *et al.* (1998) πραγματοποίησαν μία ανασκόπηση για την αποτίμηση των δυνατοτήτων των δεικτών βλάστησης, για παράδειγμα για τη μέτρηση της παραγωγικότητας βοσκοτόπων (Richardson και Everitt, 1992), για την ανίχνευση αλλαγής χρήσεων γης (Angelici *et al.*, 1997), για την αποψίλωση των δασών (Banner και Lynham, 1981), καθώς και για τη δυνατότητα υπολογισμού της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής ανά εικονοστοιχείο, αντί της ανάπτυξής της ως υπολοίπου στις εξισώσεις υδατικού ισοζυγίου. Η επιλογή του καταλληλότερου δείκτη βλάστησης με βάση τις επικρατούσες συνθήκες ανά εφαρμογή, αποτελεί αντικείμενο έρευνας στο οποίο πρέπει να ληφθούν υπόψη οι ακόλουθοι παράγοντες (Gorte, 2000):

- Εφόσον η επιφάνεια χαρακτηρίζεται από ανακλαστικότητα, μία εικόνα εμπεριέχει μετρήσεις της ανάκλασης, οι οποίες επηρεάζονται από τις διαφορές φωτεινότητας και την ατμόσφαιρα. Γι' αυτό το λόγο κρίνεται απαραίτητη η εφαρμογή ραδιομετρικών διορθώσεων.
- Για τη διόρθωση της επίδρασης του γεωανάγλυφου στη φωτεινότητα είναι απαραίτητη η χρήση ενός ψηφιακού μοντέλου ανάγλυφου (Digital Elevation Model – DEM), το οποίο να είναι συμβατό με τη χωρική διακριτική ικανότητα της εικόνας. Όταν ένα τέτοιο μοντέλο δεν είναι διαθέσιμο, οι δείκτες βλάστησης που βασίζονται στη χρήση του λόγου προτιμούνται από τους κάθετους δείκτες, επειδή εμπεριέχουν εξ' ορισμού ένα είδος κανονικοποίησης. Οι δείκτες που κάνουν χρήση του λόγου, αναμφιβόλως, προσπαθούν να χειριστούν μία επιπρόσθετη μεταβλητή, τη φωτεινότητα. Γι' αυτό το λόγο δε μπορούν να διακρίνουν τα μερικώς φωτισμένα λαμπρά αντικείμενα από τα έντονα φωτισμένα σκοτεινά. Αυτή η σύγχυση δεν υφίσταται όταν είναι γνωστό ότι η φωτεινότητα είναι ομοιόμορφη, όπως συμβαίνει στις πεδινές περιοχές.

- Συγκεκριμένοι δείκτες (π.χ. ο NDVI) είναι γνωστό ότι λειτουργούν καλύτερα σε περιπτώσεις όπου η κάλυψη από βλάστηση είναι υψηλή, ενώ άλλοι αποδίδουν καλύτερα με την ύπαρξη λιγότερης βλάστησης. Στη δεύτερη περίπτωση, η επίδραση του εδάφους είναι υψηλότερη και γι' αυτό αναπτύχθηκαν οι δείκτες που είναι προσαρμοσμένοι με βάση το έδαφος, όπως ο SAVI, ο SARVI και ο TSAVI (Πίνακας 4.3).
- Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (Leaf Area Index – LAI) ορίζεται ως η αθροιστική επιφάνεια που καλύπτεται από φύλλα ανά μονάδα επιφάνειας γης, με προσανατολισμό στο ναδίρ (Bastiaanssen, 1998). Ο δείκτης αντιπροσωπεύει τη συνολική βιομάζα και είναι ενδεικτικός της απόδοσης των καλλιεργειών, της φυτικής αντίστασης (canopy resistance) και της ροής θερμότητας. Τέλος, έχει παρατηρηθεί η ύπαρξη μη γραμμικής σχέσης μεταξύ του LAI και διαφόρων δεικτών βλάστησης (Bunnik, 1978; Clevers, 1988) (Πίνακας 4.3).

Πίνακας 4.3: Ανασκόπηση στους δείκτες βλάστησης (Gorte, 2000).

Intrinsic Indices	
Difference Vegetation Index	$DVI = NIR - R$
Ratio Vegetation Index	$RVI = \frac{NIR}{R}$
Normalized Difference Veg. Index	$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$
Green Vegetation Index	$GVI = \frac{NIR + SWIR}{R + MIR}$
Soil-line Related Indices	
Perpendicular VI	$\begin{cases} PVI = \frac{NIR - aR - b}{\sqrt{1 + a^2}}, \\ NIR_{soil} = a R_{soil} + b \end{cases}$
Weighted difference VI	$WDVI = NIR - \frac{NIR_{soil}}{R_{soil}} R$
Soil Adjusted VI	$SAVI = \frac{(1 + L)(NIR - R)}{NIR + R + L}$
Soil Adjusted Ratio VI	$SARVI = \frac{NIR}{R + b/a}$
Transformed Soil Adjusted VI	$TSAVI = \frac{a * (NIR - a * R - b)}{R + a * NIR - a * b}$
Leaf Area Index	
Relation between Leaf Area Index and SAVI	$SAVI = c_1 - c_2 e^{-c_3 LAI}$

Δείκτης Κατάστασης Βλάστησης

Μια παραλλαγή του δείκτη NDVI είναι ο VCI, ο οποίος προτάθηκε από τον Kogan (1990) και αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για την παρακολούθηση της επίδρασης των περιβαλλοντικών συνθηκών στη βλάστηση. Ο VCI είναι ένα ποσοστό των τιμών του NDVI σε μία δεδομένη χρονική στιγμή, λαμβάνοντας υπόψη το εύρος των τιμών του NDVI, για κάθε εικονοστοιχείο. Ο δείκτης χωρίζει στα δεδομένα NDVI, το βραχυπρόθεσμο καιρικό σήμα από το μακροπρόθεσμο οικολογικό σήμα (Kogan and Sullivan, 1993, Kogan, 1997).

Μπορεί να θεωρηθεί ότι ο VCI είναι στενά συνδεδεμένος με την κατάσταση στην οποία βρίσκεται η βλάστηση μιας συγκεκριμένης περιοχής. Αν τα δεδομένα (συνήθως NOAA/AVHRR) καταγράφονται για αρκετά χρόνια, έτσι ώστε να λαμβάνονται υπόψη τα ακραία φαινόμενα κατά τη μεταβολή των περιβαλλοντικών συνθηκών, τότε ο VCI μπορεί να υποδείξει το ενδεχόμενο δυναμικό της βλάστησης ή τη δυναμικότητα – χωρητικότητα (carrying capacity) του οικοσυστήματος (Kogan, 1995a).

Ο πρωταρχικός σκοπός της ανάπτυξης του δείκτη ήταν η αποτίμηση των μεταβολών στο σήμα του NDVI σε σχέση με τις καιρικές συνθήκες, μειώνοντας την επιρροή των γεωγραφικών παραμέτρων και των παραμέτρων του οικοσυστήματος, όπως το κλίμα, το έδαφος, ο τύπος βλάστησης και η τοπολογία. Αυτή η ιδιότητα παρέχει ένα μηχανισμό για τη σύγκριση τιμών μεταξύ διαφορετικών περιοχών (π.χ. η εφαρμογή του σε ένα βοσκότοπο και σε ένα τροπικό δάσος, για τον προσδιορισμό των αλλαγών στις τιμές του NDVI σε σχέση με τα τρέχοντα καιρικά φαινόμενα). Μία υπόθεση στον υπολογισμό του δείκτη VCI είναι ότι για το σχηματισμό του NDVI χρησιμοποιήθηκαν αξιόπιστα και βαθμονομημένα (καλιμπραρισμένα) τηλεπισκοπικά δεδομένα. Ραγδαίες και μη αναμενόμενες αλλαγές στην εδαφοκάλυψη, όπως η καταστροφή μιας δασικής περιοχής, έχουν ως αποτέλεσμα η ερμηνεία του δείκτη να είναι πιο δύσκολη και με περισσότερα προβλήματα. Σε τέτοιες περιπτώσεις η ύπαρξη πρόσφατων και αξιόπιστων θεματικών χαρτών εδαφοκάλυψης συνεισφέρει στην ορθότερη ερμηνεία του VCI (McVicar and Jupp, 1998).

Οι Liu και Kogan (1996) αναφέρουν ότι ο VCI παρέχει έναν καλύτερο δείκτη της τοπικής ξηρασίας, σε σύγκριση με τους άλλους τρόπους αναγνώρισης του φαινομένου. Η απόκριση του VCI διαφέρει χωρικά και χρονικά από αυτή των άλλων μεθόδων προσδιορισμού και δεικτών, όμως μία αναλυτική σύγκριση με επίγεια αξιόπιστα στοιχεία για την ξηρασία (π.χ. από τις εθνικές στατιστικές υπηρεσίες),

αποτελεί πολύτιμη προσθήκη για να επιβεβαιωθεί ότι αυτές οι διαφορές αποτελούν βελτιώσεις.

Ο Kogan (1995a) διευκρίνισε ότι οι τιμές του VCI έχουν αντιστοιχία με επίγειες βροχομετρικές παρατηρήσεις και ανωμαλίες στην απόδοση των καλλιεργειών, και όρισε την ξηρασία ως τις τιμές του VCI που είναι μικρότερες από το 36% για πολυετή βλάστηση, σε περιοχές που συνορεύουν με την Αμερική. Απέδειξε ότι ο δείκτης μπορεί να εντοπίζει την αρχή, την ένταση και τη διάρκεια της ξηρασίας και γενικότερα των αντίξων για τη βλάστηση συνθηκών. Αυτό ήταν φανερό για τη χρονιά 1988, όπου σημειώθηκε μία παρατεταμένη και εκτεταμένη ξηρασία, καθώς και για τις χρονιές 1987 και 1989, όπου σημειώθηκαν μικρής διάρκειας και τοπικού χαρακτήρα περίοδοι ξηρασίας, οι οποίοι οδήγησαν στην ανάπτυξη αντίξων συνθηκών για τις καλλιέργειες (π.χ. έλλειμμα νερού). Τέλος, ο VCI έχει χρησιμοποιηθεί για τον καθορισμό της ξηρασίας και της περιορισμένης ανάπτυξης της βλάστησης εξαιτίας αυτής, καθώς και για τις αντίστοιχα μικρές αποδόσεις των εαρινών σιτηρών στην περιοχή του Καζακστάν (Kogan, 1995b; Gitelson *et al.*, 1996), του βαμβακιού στην Κίνα (Kogan, 1995b) και του κριθαριού στη Νότια Ρωσία (Kogan, 1995b).

Προγραμματίζοντας τον υπολογισμό του NDVI σε χρονική βάση, χρησιμοποιείται η ίδια αναλογία, με την οποία ο VCI ορίζει το μηνιαίο δείκτη κατάστασης βλάστησης (MVCI) (McVicar and Jupp, 1998). Ο δείκτης αυτός μπορεί να οριστεί για οποιονδήποτε μήνα ή χρονική περίοδο και επιτρέπει τη σύγκριση του σήματος του NDVI, π.χ. το Μάρτιο ενός έτους, σε σχέση με το εύρος των σημάτων του NDVI όλων των Μαρτίων μέσα στο σετ δεδομένων.

4.3 Η Τηλεπισκόπηση στη θερμική περιοχή του ΗΜΦ

Η θερμική περιοχή του ΗΜΦ αναφέρεται στο φασματικό εύρος από 3,75 έως 12,5 μm. Η ενέργεια της ακτινοβολίας που συλλέγεται από τους τηλεπισκοπικούς αισθητήρες εκπέμπεται από την επιφάνεια της γης, τους ωκεανούς και τους ανώτερους νεφικούς σχηματισμούς και είναι συνάρτηση της επιφανειακής θερμοκρασίας. Μέχρι σήμερα έχουν αναπτυχθεί πολλά μοντέλα, τα οποία επιτρέπουν τον υπολογισμό της επιφανειακής θερμοκρασίας με τη χρήση τηλεπισκοπικών δεδομένων από τη θερμική περιοχή (Τσίρος, 2006). Ο Prata (1994) και οι Prata *et al*

(1995) αναφέρουν τους αλγόριθμους και τις παραμέτρους που απαιτούνται στον υπολογισμό της θερμοκρασίας επιφανείας εδάφους. Ο Barton (1995) εξετάζει ένα εύρος αλγορίθμων που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας (SST: Sea Surface Temperature). Ο Rassow (1989) αναφέρεται στην μέτρηση των ιδιοτήτων των νεφικών σχηματισμών με τη χρήση τηλεπισκοπικών δεδομένων.

Η τηλεπισκόπηση στη θερμική περιοχή του ΗΜΦ συμβάλλει στην παρατήρηση της κατάστασης του επιφανειακού ενεργειακού ισοζυγίου (SEB: Surface Energy Balance) σε σχεδόν πραγματικό χρόνο. Το επιφανειακό ενεργειακό ισοζύγιο εξαρτάται από την καθαρή ακτινοβολία που προσκρούει στην επιφάνεια. Επίσης, κατά τη διάρκεια της ημέρας δέχεται την επίδραση της εισερχόμενης μικρού μήκους κύματος ηλιακής ακτινοβολίας και ένα ποσό ανακλώμενης ακτινοβολίας που εξαρτάται από τη λευκαύγεια (albedo) της κάθε επιφάνειας. Το επιφανειακό ενεργειακό ισοζύγιο επηρεάζεται επιπλέον από συνιστώσες της από και προς τη γη μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας. Η καθαρή ακτινοβολία, σε όλα τα μήκη κύματος στην επιφάνεια του εδάφους, βρίσκεται σε ισορροπία με την αισθητή, τη λανθάνουσα και την εδαφική ροή θερμότητας (Mc Vicar and Jupp, 1998). Σε μεγάλες χρονικές περιόδους, η εδαφική θερμική ροή θεωρείται μηδενική και το επιφανειακό ενεργειακό ισοζύγιο αντιπροσωπεύει την ισορροπία μεταξύ της αισθητής και της λανθάνουσας ροής θερμότητας. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, η μετρούμενη επιφανειακή θερμοκρασία στην επιφάνεια της γης είναι, εν μέρει, εξαρτημένη από τις σχετικές ποσότητες της αισθητής και της λανθάνουσας ροής θερμότητας (Τσίρος, 2006).

Το επιφανειακό ενεργειακό ισοζύγιο, σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή, δίνεται από την εξίσωση:

$$R_n = \lambda E + H + G \quad (4.4)$$

όπου:

- R_n είναι η καθαρή ακτινοβολία σε όλα τα μήκη κύματος ($W m^{-2}$).
- E είναι η εξατμισοδιαπνοή των υδρατμών ($m s^{-1}$).
- λ είναι η λανθάνουσα θερμότητα της εξάτμισης του νερού ($J m^{-3}$).
- H είναι η αισθητή ροή θερμότητας ($W m^{-2}$).
- G είναι η εδαφική ροή θερμότητας ($W m^{-2}$).

Το λΕ αναφέρεται στο ποσό της ενέργειας που χρειάζεται για τη μετάβαση μιας συγκεκριμένης ποσότητας ύδατος από την υγρή στην αέρια μορφή, είτε μέσω της εξάτμισης είτε μέσω της διεργασίας της διαπνοής.

Η διαθέσιμη καθαρή ενέργεια (Available Energy, AE) στην επιφάνεια της γης, η οποία μπορεί να μετατραπεί σε άλλες μορφές, μπορεί να γραφτεί ως εξής:

$$AE = R_n - G = \lambda E + H \quad (4.5)$$

όπου όλοι οι όροι εξηγούνται παραπάνω. Ο παράγοντας κλειδί για τον προσδιορισμό της θερμοκρασίας επιφανείας είναι η συμμετοχή της AE στη λανθάνουσα και στην αισθητή ροή θερμότητας. Η διεργασία αυτή ελέγχεται από την ποσότητα του νερού που είναι διαθέσιμο και την ευκολία με την οποία μεταφέρεται από την επιφάνεια στην ατμόσφαιρα, διαμέσου της εξατμισοδιαπνοής (Eymard and Taconet, 1995). Για μία ανασκόπηση των μεθόδων εξαγωγής των επιφανειακών ροών από δορυφορικά δεδομένα, μπορεί κανείς να ανατρέξει στη βιβλιογραφία των Eymard και Taconet (1995). Τέτοιες τεχνικές παρέχουν τη δυνατότητα της χαρτογράφησης της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής ή της διαθεσιμότητας υγρασίας, η οποία σε γενικές γραμμές ορίζεται από το λόγο της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής προς τη δυνητική.

Θερμικά τηλεπισκοπικά δεδομένα μπορούν να καταγραφούν και κατά τη διάρκεια της νύχτας. Τις νυχτερινές ώρες, το SEB ελέγχεται από την απελευθέρωση θερμότητας από το έδαφος, η οποία απορροφήθηκε κατά τη διάρκεια της ημέρας. Η απελευθέρωση θερμότητας τη νύχτα εξαρτάται από την ποσότητα που απορροφήθηκε κατά τη διάρκεια της ημέρας και από το ρυθμό που αυτή απελευθερώνεται μετά τη δύση του ηλίου. Αυτή η λειτουργία σχετίζεται με την ικανότητα του περιβάλλοντος να αποθηκεύει ενέργεια, και εξαρτάται από την ποσότητα του νερού που αποθηκεύτηκε στο περιβάλλον (McVicar and Jupp, 1998).

Η θερμική περιοχή του ΗΜΦ έχει χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό:

1. Του καταμερισμού της διαθέσιμης ηλιακής ακτινοβολίας, βάσει του ποσού που χρησιμοποιείται για τη θέρμανση της επιφανείας ή για τη μετατροπή του νερού από την υγρή στην αέρια κατάσταση, μέσω της εξάτμισης ή για τη διαπνοή από τα φυτά. Ένας προσδιοριστικός παράγοντας αυτού του καταμερισμού είναι η ποσότητα του ύδατος που είναι ελεύθερα διαθέσιμη για εξατμισοδιαπνοή. Αυτός ο καταμερισμός μπορεί να προσδιοριστεί από τη μέτρηση της θερμοκρασίας επιφανείας εδάφους.

2. Της θερμοκρασίας στην κορυφή των νεφών, ο οποίος είναι δείκτης των περιοχών όπου δεν παρατηρήθηκε βροχόπτωση, καθώς και της πιθανότητας βροχόπτωσης.

4.3.1 Παρακολούθηση της κατάστασης της βλάστησης με τη χρήση τηλεπισκοπικών μεθόδων στη θερμική περιοχή του ΗΜΦ

Η αύξηση της θερμοκρασίας στη φυλλική επιφάνεια αποτελεί δείκτη της καταπόνησης ύδατος στα φυτά. Αυτή η θερμική απόκριση μπορεί να συμβεί ακόμη και όταν τα φυτά είναι πράσινα, αφού το κλείσιμο των στομάτων για την ελαχιστοποίηση των απωλειών σε νερό, διαμέσου της διεργασίας της διαπνοής έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση στη λανθάνουσα ροή θερμότητας. Αυτή η μείωση, εξαιτίας του ισοζυγίου ενέργειας, συνεπάγεται την αύξηση της αισθητής ροής θερμότητας και πιθανόν την άνοδο της θερμοκρασίας στην επιφάνεια των φύλλων. Η αύξηση της θερμοκρασίας στη φυλλική επιφάνεια έχει χρησιμοποιηθεί για την αναγνώριση των καταπονήσεων στις καλλιέργειες (Pinter *et al.*, 1979; Mottram *et al.*, 1983; Berliner *et al.*, 1984) και στις δασικές εκτάσεις (Luvall and Holbo, 1989).

Η υδατική καταπόνηση (water stress) στα φυτά επέρχεται όταν οι ανάγκες σε νερό ξεπεράσουν το επίπεδο της διαθέσιμης εδαφικής υγρασίας. Το ενδεχόμενο για την εμφάνιση καταπόνησης υπάρχει όταν το νερό που είναι αποθηκευμένο στο έδαφος δεν αρκεί για να υποστηρίξει και να διατηρήσει τους ρυθμούς αύξησης, γεγονός που είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τις καλλιέργειες. Παρ' όλα αυτά, σπάνια έχουν χρησιμοποιηθεί ημερήσια θερμικά δεδομένα από τηλεπισκοπικές πλατφόρμες για τον προσδιορισμό της κατάστασης της βλάστησης. Οι Dedieu και Chekalyuk (1995) σημείωσαν ότι ελάχιστες μελέτες έχουν συμπεριλάβει θερμικά δεδομένα σε μοντέλα για την εκτίμηση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας, παρά τη χρησιμότητά τους.

Οι πρωτοπόροι που εισήγαγαν μεθόδους που χρησιμοποιούν σαν πρωταρχικό δεδομένο την ημερήσια θερμοκρασία στην επιφάνεια της καλλιέργειας, ήταν οι Idso *et al.* (1981), ο Jackson (1981) και οι Jackson *et al.* (1981, 1983). Σήμερα, οι μέθοδοι αυτοί είναι συνηθισμένοι για την εκτίμηση της υγείας των καλλιεργειών και τον προγραμματισμό των αρδεύσεων σε επίπεδο αγροτεμαχίου. Τέτοιες τεχνικές, οι οποίες συνετέλεσαν στην ανάπτυξη του CWSI, κανονικοποιούν τις εποχικές και ημερήσιες μεταβολές από μετρήσεις θερμοκρασίας στην επιφάνεια της καλλιέργειας.

Στην Αριζόνα των ΗΠΑ, ο CWSI έχει υπολογισθεί με θερμικά δεδομένα από ραδιόμετρο χειρός και εικόνες LANDSAT TM για την παρακολούθηση καταπόνησης σε αρδευόμενες περιοχές. Επίσης, έχει χρησιμοποιηθεί με θερμικά δεδομένα NOAA/AVHRR για την εκτίμηση της περιοχικής εδαφικής υγρασίας, με σκοπό την εκτίμηση και παρακολούθηση της ξηρασίας σε πεδιάδες της Βόρειας Κίνας (Tian *et al.*, 1989). Σε παγκόσμιο επίπεδο, έχουν προταθεί αρκετές τεχνικές για την κανονικοποίηση των ημερήσιων θερμοκρασιών επιφανείας εδάφους από NOAA/AVHRR.

Ο Kogan (1995c) παρουσίασε το δείκτη κατάστασης θερμοκρασίας (Temperature Condition Index, TCI). Ο δείκτης εξάγεται από χρονοσειρά δεδομένων του θερμικού καναλιού του NOAA/AVHRR. Ο TCI μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών συνθηκών και την επίδρασή τους στη βλάστηση. Το κύριο πλεονέκτημα του δείκτη ενάγεται στο γεγονός ότι για τον υπολογισμό του απαιτείται μόνο μία χρονοσειρά από ημερήσια θερμικά δεδομένα. Όμως, παρότι η προσέγγιση αυτή είναι ελκυστική, παρουσιάζει ένα μεγάλο μειονέκτημα. Δεν είναι δυνατή η κανονικοποίηση της ημερήσιας διακύμανσης των μετεωρολογικών συνθηκών (καθαρή ακτινοβολία, θερμοκρασία αέρα, ταχύτητα ανέμου, υγρασία) που επηρεάζουν τις θερμικές μετρήσεις κατά τη διάρκεια της ημέρας (McVicar and Jupp, 1998). Επίσης, ένα άλλο μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι δεν υπάρχει η δυνατότητα να ληφθούν υπόψη αναμενόμενες εποχικές διακυμάνσεις στη θερμοκρασία επιφανείας εδάφους. Ο δείκτης δεν προτείνει κάποια χρονική διαφοροποίηση, για παράδειγμα μεταξύ μίας φθινοπωρινής και μίας ανοιξιάτικης μέτρησης της θερμοκρασίας επιφανείας εδάφους. Πιθανόν, αυτό το πρόβλημα να αντιμετωπίζεται με τον υπολογισμό του μηνιαίου TCI. Για να λύσει αυτό το πρόβλημα, ο Kogan (1995c, 1997, 2001, 2002) συνδύασε τον TCI με τον VCI για να προσδιορίσει περιοχές που έχουν προσβληθεί από ξηρασία. Τα αποτελέσματα του νέου δείκτη, ο οποίος τελικά ονομάστηκε δείκτης υγιούς βλάστησης (Vegetation Health Index, VHI) (Kogan 2001, 2002; Bhuiyan *et al.*, 2006) έχουν συγκριθεί ποιοτικά με αποτελέσματα που προήλθαν από συμβατικές μεθόδους. Ο δείκτης είναι κατάλληλος για τον προσδιορισμό της γεωργικής ξηρασίας.

Στην Αυστραλία, χρησιμοποιούνται ημερήσια θερμικά δεδομένα σε περιοχική κλίμακα, για την παρακολούθηση των περιβαλλοντικών συνθηκών που σχετίζονται με αντίξοες συνθήκες, όπως η ξηρασία. Για να αφαιρέσουν τις εποχικές τάσεις από την ανάλυση των ημερησίων θερμοκρασιών επιφανείας εδάφους, που εξάγονται από

δεδομένα NOAA/AVHRR, οι McVicar *et al.* (1992) και οι Jupp *et al.* (1998) ανέπτυξαν από κοινού το δείκτη θερμοκρασίας κανονικοποιημένης διαφοράς (Normalized Difference Temperature Index, NDTI). Ο δείκτης υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$\text{NDTI} = \frac{T_{\infty} - T_s}{T_{\infty} - T_0} \quad (4.6)$$

όπου T_{∞} είναι η θερμοκρασία επιφανείας όταν η αντίσταση της επιφάνειας είναι άπειρη (δηλαδή η ET είναι μηδέν) και η οποία υπολογίζεται με τη χρήση μοντέλου, T_s είναι η θερμοκρασία επιφανείας όπως αυτή καταγράφεται από τον αισθητήρα AVHRR, και T_0 είναι η θερμοκρασία επιφανείας όταν η αντίσταση της επιφάνειας είναι μηδενική (δηλαδή η ET είναι ίση με την ET_p) και η οποία υπολογίζεται πάλι με τη χρήση μοντέλου.

Τα πλεονεκτήματα του NDTI έναντι του CWSI είναι ότι (McVicar and Jupp, 1998):

- Υπολογίζεται πολύ πιο εύκολα, εφόσον έχει αναπτυχθεί το μοντέλο για τον προσδιορισμό των T_{∞} και T_0 .
- Συμβαδίζει με τις τιμές του NDVI (όταν ο NDVI είναι υψηλός, τότε και ο NDTI είναι υψηλός), γεγονός που ωφελεί την «επικοινωνία» μεταξύ των τηλεπισκοπικών παραμέτρων. Φυσικά, θα υπάρχει μία υστέρηση όσον αφορά στην εμφάνιση των μεγίστων τιμών, αφού ο ένας δείκτης αντιπροσωπεύει τη διαθεσιμότητα πόρων, ενώ ο άλλος την εκμετάλλευση αυτών.

Ο NDTI μπορεί να χαρτογραφήσει τη διαθεσιμότητα σε νερό. Έτσι, παρέχει μία εκτίμηση της καταπόνησης όταν τα φυτά δεν έχουν ακόμη αντιδράσει στη μείωση της περιεχόμενης χλωροφύλλης και άρα στη μείωση του σήματος του NDVI. Τέλος, η χρήση του NDTI συντελεί στη γνώση του υδατικού ισοζυγίου μίας περιοχής (McVicar and Jupp, 1998).

4.4 Εκτίμηση της παραγωγής καλλιεργειών με τηλεπισκόπηση

Οι δορυφορικές μεθοδολογίες που σχετίζονται με την παρακολούθηση του αγροκλίματος, βασίζονται σε παραμέτρους και δείκτες που εξάγονται από

δορυφορικά δεδομένα. Υπάρχουν πολλοί τρόποι προσέγγισης, που περιγράφονται στις εξής κατηγορίες (McVicar and Jupp, 1998):

1. Χρήση μόνο τηλεπισκοπικών δεδομένων.
2. Χρήση τηλεπισκοπικών εικόνων σε συνδυασμό με μετεωρολογικές παραμέτρους.
3. Χρήση μοντέλων γεωργικής παραγωγής (crop yield modeling).

Όλες οι προσεγγίσεις έχουν ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, με τις δύο πρώτες συνήθως να προτιμούνται σε εφαρμογές ανάλυσης της τάσης και παρακολούθησης της κατάστασης των καλλιεργειών, και την τελευταία να εφαρμόζεται για την εκτίμηση της επερχόμενης παραγωγής. Τέλος, και οι τρεις χρησιμοποιούνται σε αγροκλιματικές ταξινομήσεις.

Το ενδιαφέρον για τη χρήση τηλεπισκοπικών δεδομένων σε μοντέλα γεωργικής παραγωγής αυξήθηκε κατά τις τελευταίες δεκαετίες. Τα δορυφορικά δεδομένα συμβάλλουν στην καλύτερη κατανόηση και παρακολούθηση της χωρικής και χρονικής εξέλιξης των παραμέτρων που ενσωματώνονται στα μοντέλα. Οι μέθοδοι της τηλεπισκόπησης μπορούν να διαιρεθούν σε στατιστικές, ντετερμινιστικές ή αιτιοκρατικές και σε συνδυασμό αυτών (Vossen, 1994). Οι στατιστικές προσεγγίσεις βασίζονται σε δείκτες που εξάγονται από τηλεπισκοπικά δεδομένα και που εισέρχονται σε στατιστικές αναλύσεις, όπως η συσχέτιση και η παλινδρόμηση. Οι ντετερμινιστικές προσεγγίσεις εμπεριέχουν τον υπολογισμό του NDVI, του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (Leaf Area Index, LAI), της απορροφημένης PAR (Photosynthetically Active Radiation, APAR) ή το κλάσμα της PAR (Fraction of Photosynthetically Active Radiation, FPAR) και της βιομάζας, προτού γίνει η εκτίμηση της επερχόμενης παραγωγής. Οι συνδυαστικές μέθοδοι ενσωματώνουν την τηλεπισκοπική πληροφορία σε μοντέλα ανάπτυξης καλλιεργειών (crop growth models). Οι δύο τελευταίες μέθοδοι απαιτούν πολλά δεδομένα (π.χ. φαινολογικά στάδια, τοπογραφικά και εδαφικά χαρακτηριστικά, ημερήσια μετεωρολογικά δεδομένα στη συγκεκριμένη τοποθεσία), ενώ οι στατιστικές προσεγγίσεις έχουν ελάχιστες απαιτήσεις σε δεδομένα (Vogt, 1994).

Τα περισσότερα στατιστικά μοντέλα είναι μοντέλα καλλιέργειας-απόδοσης (crop-yield models) και εφαρμόζονται με μεταβαλλόμενη επιτυχία για την εκτίμηση της απόδοσης εκτεταμένων εκτάσεων. Οι συντελεστές προσδιορισμού (R^2) δεν είναι απαραίτητα συνδεδεμένοι με σημαντικές βιοφυσικές διεργασίες, οπότε παρουσιάζουν υψηλή διακύμανση ανάλογα με τον τύπο της καλλιέργειας, την περιοχή κ.τ.λ. (Mavi

and Tupper, 2004). Όμως, το μεγάλο τους πλεονέκτημα είναι η απλότητά τους και το γεγονός ότι ενώ δεν είναι πάντοτε πολύ ακριβείς, έχουν την ικανότητα να αναγνωρίζουν χρονιές με πολύ υψηλές ή πολύ χαμηλές αποδόσεις, αρκετές εβδομάδες πριν από τη συγκομιδή. Για όλους αυτούς τους λόγους, με κυριότερο αυτόν των απαιτήσεων σε δεδομένα, στην παρούσα εργασία εξετάζεται η χρήση στατιστικών μοντέλων με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων.

Γενικά, η παραγωγικότητα των καλλιεργειών ποικίλλει από έτος σε έτος, με τους περιβαλλοντικούς παράγοντες να είναι μια από τις κύριες πηγές αυτής της διακύμανσης. Επίσης, και οι περιοχές παραγωγής των καλλιεργειών στην Ελλάδα μπορεί να ποικίλουν από έτος σε έτος. Η κατανομή της παραγωγής και γενικότερα της βιομάζας συνήθως εξετάζεται στο πεδίο και τα αποτελέσματα δεν είναι πολύ ακριβή, δεδομένου ότι είναι πολύ δύσκολο να καθοριστούν οι ακριβείς τοποθεσίες των δειγμάτων και να παρατηρηθεί ένας ικανοποιητικός αριθμός δειγμάτων. Αυτές οι επί τόπου παρατηρήσεις και οι παραγόμενες πληροφορίες, δεν είναι μόνο εντατικές ως εργασίες, αλλά και χρονοβόρες. Όπως προαναφέρθηκε, τα τελευταία έτη τα δορυφορικά στοιχεία μπορούν να αποτελέσουν μια ανέξοδη και γρήγορη μέθοδο για την αξιολόγηση της βιολογικής δραστηριότητας της πράσινης βλάστησης.

Μια από τις πιο σημαντικές εφαρμογές της τηλεπισκόπησης είναι η εκτίμηση της γεωργικής παραγωγής χρονικά και χωρικά. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, έχει υπάρξει πρόοδος στην ανάπτυξη βιολογικών και φυσικών μοντέλων για τον υπολογισμό της παραγωγής με τη χρήση δορυφορικών φασματικών δεδομένων. Τέτοιες εφαρμογές, που εστιάζουν στην εκτίμηση των επιδράσεων της αλλαγής του κλίματος, διεξάγονται σε παγκόσμια κλίμακα. Η σχέση μεταξύ της παραγωγής και της τηλεπισκοπικά παρατηρούμενης παραγωγής βιομάζας δεν είναι στατιστικά σημαντική σε μηνιαία βάση, επειδή η παραγωγή βιομάζας συσχετίζεται με προγενέστερες συνθήκες ανάπτυξης.

Προκειμένου να υπολογιστούν οι συνέπειες των περιβαλλοντικών συνθηκών στη γεωργική παραγωγή, απαιτείται έλεγχος με υψηλή χρονική διακριτική ικανότητα. Τα δορυφορικά δεδομένα που συλλέγονται από το δορυφόρο NOAA/AVHRR παρέχουν αποδοτικά μέσα για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των περιβαλλοντικών συνθηκών. Τα δορυφορικά δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση των συνθηκών αυτών, την απόκριση της βλάστησης στην ξηρασία, την παροχή λεπτομερειών για την κατάσταση της βλάστησης και τη

θερμοκρασία της γήινης επιφάνειας, σε κλίμακα που κυμαίνεται από ολόκληρη την υφήλιο έως το μέγεθος ενός αγροκτήματος.

Εντούτοις, προκειμένου να εξεταστεί η συσσώρευση των περιβαλλοντικών επιδράσεων στις καλλιέργειες, απαιτείται εξειδικευμένη μεθοδολογία. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση των δεικτών ξηρασίας, οι οποίοι θεωρούνται ενδεικτικοί των αντίξωων συνθηκών, όπου οι μακροπρόθεσμες επιδράσεις πρέπει να εκφραστούν μαθηματικά. Οι δείκτες που χρησιμοποιούνται συνήθως για τη μελέτη της μετεωρολογικής ξηρασίας είναι ο δείκτης δριμύτητας ξηρασίας Palmer (Palmer Drought Severity Index) (Palmer, 1965, Dalezios *et al.*, 1991, Thiruvengadachari and Gopalkrishna, 1993) και ο δείκτης Bhalme και Mooley (Bhalme and Mooley Index) (Bhalme and Mooley, 1980, Dalezios, 2000, Σπηλιωτόπουλος και Μιχαλοπούλου, 2000, Keyantash and Dracup, 2002). Ο πρώτος απαιτεί δεδομένα υετόπτωσης, εξατμισοδιαπνοής και τις συνθήκες εδαφολογικής υγρασίας, οι οποίοι είναι παράγοντες που καθορίζουν την υδρολογική ξηρασία. Η τεχνική Bhalme και Mooley είναι βασισμένη μόνο στη μηνιαία υετόπτωση. Τα δεδομένα από τηλεπισκοπικές πλατφόρμες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να συμπληρώσουν τα μετεωρολογικά στοιχεία για την ξηρασία και για την εκτίμηση της παραγωγής διαφόρων καλλιεργειών (Van Dijk *et al.*, 1987; Groten, 1993; Quarmby *et al.*, 1993; Hayes and Decker, 1996; Dalezios *et al.*, 2001).

Τα δορυφορικά συστήματα επιτρέπουν τη λήψη χρονικά και χωρικά συνεχών δεδομένων για ένα μεγάλο μέρος της γης, χρησιμοποιώντας σχετικά λίγα όργανα (Tucker and Choudhury, 1987, Kogan, 1990), καθιστώντας τα με αυτόν τον τρόπο ενδεχομένως καλύτερα και σχετικά φθηνότερα εργαλεία για την τοπική και περιφερειακή χαρτογράφηση της ξηρασίας και για την εκτίμηση της παραγωγής καλλιεργειών από τα συμβατικά μετεωρολογικά στοιχεία (Domenikiotis *et al.*, 2004a). Μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί σε διάφορα μέρη του κόσμου, όπως στην Ινδία, Αυστραλία, Βραζιλία, Νότιο Σουδάν, Αργεντινή και Πολωνία (Johnson *et al.*, 1993, Subbiah, 1995, White *et al.*, 1993, Kogan, 1995a, Kogan, 1997) έχουν παρουσιάσει τη δυνατότητα των τηλεπισκοπικών δεδομένων στον έλεγχο της ξηρασίας και στην εκτίμηση της επίδρασης των κλιματικών συνθηκών. Κατά συνέπεια, οι επιδράσεις που σχετίζονται με τις μετεωρολογικές επιρροές στη γεωργική παραγωγή, γνωστές ως «μετεωρολογικές συνθήκες», πρέπει να εξεταστούν για όλα τα φαινολογικά στάδια ανάπτυξης του φυτού.

Μη-τηλεπισκοπικά δεδομένα χρησιμοποιούνται για την πρόγνωση της παραγωγής και βασίζονται στην προσομοίωση του κλίματος, του εδάφους και άλλων περιβαλλοντικών στοιχείων, όμως δεν είναι καλοί εκτιμητές όταν υπάρχει χωρική μεταβλητότητα στους τύπους εδάφους, στις αντίξοες συνθήκες ή στις διαχειριστικές πρακτικές (Labus *et al.*, 2002). Συνήθως, οι φυσιολογικές διαδικασίες του φυτού προσομοιώνονται μέσω των μοντέλων ανάπτυξης των καλλιεργειών που εφαρμόζονται σε κλίμακα αγροτεμαχίου. Αυτά τα μοντέλα απαιτούν την εισαγωγή εδαφολογικών στοιχείων και δεδομένων για τις καλλιεργητικές ποικιλίες και τις γεωργικές τεχνικές σε τοπική και διεθνή κλίμακα, τα οποία δεν είναι πάντα διαθέσιμα (Samarasinghe, 2003). Αυτό επιβάλλει την ανάγκη για την ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας που θα είναι σε θέση να συμπεριλάβει όλες τις διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου και να είναι ανεξάρτητη από την εδαφική και τη διαχειριστική μεταβλητότητα.

Στην Emilia Romagna της Ιταλίας, οι Benedetti και Rossini (1993) χρησιμοποίησαν δεκαήμερες εικόνες μεγίστων τιμών NDVI NOAA/AVHRR για να ερμηνεύσουν και να εκτιμήσουν την απόδοση του σιταριού για την περίοδο 1986-1989, σε μία μικτή αγροτική περιοχή. Επίσης, χρησιμοποίησαν το μοντέλο ανάπτυξης καλλιεργειών DUET για να εξάγουν συμπεράσματα σχετικά με το ξηρό βάρος των φύλλων τεσσάρων κύριων καλλιεργειών (σόγια, καλαμπόκι, ζαχαρότευτλα, σιτάρι). Η λεπτομερής ανάλυση της φαινολογικής ανάπτυξης των τεσσάρων καλλιεργειών κατέδειξε ότι το σιτάρι είναι η μοναδική καλλιέργεια που συνεισφέρει στο LAI της περιοχής από την αρχή του έτους έως το τέλος του Μαΐου. Με τη χρήση απλής γραμμικής παλινδρόμησης, με βάση το προφίλ του NDVI προσδιόρισαν την περιοχή καλλιέργειας του σιταριού, όπου η καλλιέργεια καταλάμβανε τουλάχιστον το 30% της καλλιεργούμενης έκτασης. Έπειτα, μοντελοποίησαν 32 περιπτώσεις, τις οποίες επέλεξαν τυχαία από δεδομένα τεσσάρων ετών σε οκτώ επαρχίες της περιοχής μελέτης. Η απόλυτη διαφορά μεταξύ των επίσημων στοιχείων απόδοσης και της απόδοσης που εκτιμήθηκε με τη χρήση του προφίλ του NDVI, ήταν χαμηλότερη από 20% για 27 περιπτώσεις. Τέλος, με τη χρήση προ-βαθμονομημένων γραμμικών μοντέλων για κάθε χρόνο και αγροτική περιοχή, η απόλυτη διαφορά μεταξύ των επίσημων τιμών αποδόσεων και των εκτιμήσεων ήταν μικρότερη του 10%, ενώ οι προγνώσεις της απόδοσης του σιταριού είχαν ακρίβεια έως 80%. Για τη διόρθωση των παραμέτρων της γραμμικής παλινδρόμησης, χρησιμοποιήθηκαν δεκαήμερες

σύνθετες εικόνες μεγίστων τιμών NDVI από την Ιουλιανή μέρα 120 έως 170, για όλα τα χρόνια εκτός του 1988, κατ'α το οποίο υπήρχε υψηλό ποσοστό νεφοκάλυψης.

Οι Quarmby *et al.* (1993), χρησιμοποίησαν και αυτοί το σήμα του NDVI σε καλλιεργούμενες περιοχές στην Ελλάδα, για να προσδιορίσουν την απόδοση σημαντικών καλλιεργειών. Ανάλογα με την υπό εξέταση καλλιέργεια, χρησιμοποίησαν και την αντίστοιχη περίοδο ενδιαφέροντος. Έτσι, για το σιτάρι το προφίλ του NDVI αθροίστηκε για την περίοδο από την 1^η έως τη 200^η Ιουλιανή μέρα, ενώ για τις εαρινές καλλιέργειες (ρύζι, βαμβάκι και καλαμπόκι) από την 150^η έως την 175^η. Οι εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν για την περίοδο 1986-1989 και κάλυπταν μία αγροτική περιοχή στη Βόρεια Ελλάδα. Για τον προσδιορισμό των περιοχών της καλλιέργειας, χρησιμοποιήθηκαν ταξινομημένες εικόνες SPOT. Οι Quarmby *et al.* (1993) υπέθεσαν ότι οι καλλιέργειες δεν εναλλάσσονται. Έτσι, αφού μείωσαν την επίδραση των εικονοστοιχείων που ήταν «επηρασμένα» από την ύπαρξη νεφών, χρησιμοποίησαν την αθροιστική τιμή του NDVI των ανωτέρω περιόδων για κάθε καλλιέργεια, και τα επίσημα στοιχεία αποδόσεων για την εξαγωγή ενός απλού μοντέλου πρόγνωσης με τη χρήση γραμμικής παλινδρόμησης. Τέλος, η εξίσωση ανά έτος ήταν κοινή για όλες τις καλλιέργειες. Η διαφοροποίηση εισέρχεται από την ολοκλήρωση της τιμής του NDVI για την περίοδο ενδιαφέροντος, ανάλογα με την καλλιέργεια. Οι Quarmby *et al.* (1993) συμπέραναν ότι ακριβείς εκτιμήσεις των αποδόσεων μπορούν να γίνουν 50-100 μέρες πριν από τη συγκομιδή.

Πάλι στην Ελλάδα, οι Dalezios *et al.* (2001) χρησιμοποίησαν το τετραγωνικό μοντέλο εκτίμησης που πρότειναν οι Pereira *et al.* (1994) για την εκτίμηση της απόδοσης του βαμβακιού σε έξι περιοχές (Κάρλα, Βέροια, Καρδίτσα, Δράμα, Σέρρες, Ροδόπη). Το μοντέλο χρησιμοποιεί τη μέγιστη τιμή του NDVI κατά τη βλαστική περίοδο του βαμβακιού (Απρίλιος έως Οκτώβρης). Η εφαρμογή του μοντέλου δεν έδωσε πολύ ακριβή αποτελέσματα. Μόνο στην περιοχή της Καρδίτσας, η πρόγνωση ήταν ακριβής (η απόλυτη διαφορά από τις επίσημες τιμές ήταν μικρότερη του 10%). Οι Dalezios *et al.* (2001) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η χρήση ενός μοντέλου που αναπτύχθηκε σε άλλη περιοχή μπορεί να οδηγήσει σε επισφαλή αποτελέσματα, εφόσον η απόδοση διαφοροποιείται ανάλογα με την ποικιλία, τον τύπο εδάφους και την τοπογραφία της περιοχής που αναπτύσσεται η καλλιέργεια. Για τη μεταφορά συγκεκριμένων μοντέλων πρόγνωσης της απόδοσης από μία περιοχή σε μία άλλη απαιτείται περαιτέρω έρευνα.

Όσον αφορά στη χρήση του NDVI για την πρόγνωση και την εκτίμηση της απόδοσης των καλλιεργειών, έχουν αναπτυχθεί και εφαρμοστεί ένα πλήθος μεθοδολογιών και μοντέλων. Εκτός των παραδειγμάτων που προαναφέρθηκαν, πολλοί ερευνητές συνηγορούν υπέρ της χρήσης των προσεγγίσεων που χρησιμοποιούν τον NDVI για την πρόγνωση των διακυμάνσεων στην παραγωγή καλλιεργειών (Masseli *et al.*, 1992; Groten, 1993; Smith *et al.*, 1995; Rasmussen, 1997). Μεταγενέστερες, όμως, έρευνες κατέδειξαν την αξία άλλων τηλεπισκοπικών δεικτών, όπως ο VCI και ο TCI, στην εκτίμηση και πρόγνωση των αποδόσεων καλλιεργειών. Μερικές από αυτές τις προσεγγίσεις αναφέρονται παρακάτω.

Οι Hayes και Decker (1996) χρησιμοποίησαν τον NDVI, υπολογισμένο από δεδομένα NOAA/AVHRR (μέγεθος εικονοστοιχείου 4x4 Km²), για την εξαγωγή του VCI για 42 γεωργικές περιφέρειες σε 11 καλαμποπαραγωγικές Πολιτείες στις κέντρο-δυτικές ΗΠΑ. Ο δείκτης εξήχθη σε εβδομαδιαίο βήμα. Επίσης, το μοντέλο που συνδέει τα τηλεπισκοπικά δεδομένα με την απόδοση του καλαμποκιού, αναπτύχθηκε με εβδομαδιαίο χρονικό βήμα. Εξήγαγαν ένα τετραγωνικό μοντέλο παλινδρόμησης για κάθε περιφέρεια, με βάση τις τιμές του VCI και της παραγωγής του καλαμποκιού. Η ανάλυση των οκτώ ετών κατέδειξε ότι 54% της διακύμανσης μεταξύ των εκτιμημένων και των πραγματικών τιμών απόδοσης του καλαμποκιού, εξηγείται χρησιμοποιώντας την προσέγγιση με τον VCI. Ενώ αυτή η τιμή φαίνεται χαμηλή, η ανάλυση της διαφοράς μεταξύ των εκτιμημένων και των πραγματικών αποδόσεων αποκάλυψε ότι το 91% των περιπτώσεων είχαν απόκλιση μικρότερη από 20% σε σχέση με την πραγματική τιμή. Τέλος, αναφέρθηκαν στη χρήση του μοντέλου τους ως βάση για τη δημιουργία ενός επιχειρησιακού συστήματος, με το οποίο θα είναι δυνατή η εκτίμηση της παραγωγής καλαμποκιού από τις αρχές του Οκτώβρη. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων με τη χρήση του προγνωστικού μοντέλου του VCI και εκτιμήσεων του USDA (United States Department of Agriculture) για όλη την περιοχή μελέτης έδειξε ότι το σύστημα είναι ακριβές και καλά προσαρμοσμένο χρονικά, όσον αφορά στην πρόγνωση. Τέλος, ανέφεραν ότι ο συνδυασμός δορυφορικών και επίγειων κλιματικών δεδομένων φαίνεται μία λογική προσέγγιση.

Στην Πολωνία, οι Dabrowska-Zielinska *et al.* (2002) χρησιμοποίησαν τον VCI και τον TCI για την ανάπτυξη ενός μοντέλου πρόγνωσης παραγωγής σιτηρών. Οι δείκτες υπολογίστηκαν με εβδομαδιαίο βήμα για 14 χρόνια (1985-1998), με τη χρήση δεδομένων NOAA/AVHRR (χωρική διακριτική ικανότητα 4x4 Km²). Οι δείκτες συσχετίστηκαν με δεδομένα ανωμαλίας αποδόσεων των σιτηρών για 49 αγροτικές

περιοχές στην Πολωνία. Με τον όρο «ανωμαλία απόδοσης» χαρακτήρισαν το λόγο της ετήσιας απόδοσης προς το μακροπρόθεσμο μέσο της απόδοσης, για κάθε καλλιέργεια. Από τους συντελεστές συσχέτισης (R) βρέθηκαν δύο κρίσιμες περίοδοι όσον αφορά στην ανάπτυξη των καλλιεργειών: η αρχή της άνοιξης (14^η-16^η εβδομάδα από την αρχή του ημερολογιακού έτους) και η αρχή του καλοκαιριού (22^η-25^η εβδομάδα). Κατ' αυτές τις περιόδους, οι συνθήκες ανάπτυξης της καλλιέργειας προσδιορίζουν το μέγεθος της απόδοσης. Έτσι, οι τιμές των δεικτών σε αυτές τις περιόδους χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία ενός προγνωστικού μοντέλου απόδοσης των σιτηρών. Τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με τα επίσημα δεδομένα αποδόσεων της στατιστικής υπηρεσίας της Πολωνίας. Το μέσο σφάλμα των εκτιμημένων αποδόσεων των σιτηρών και για τις 49 περιοχές ήταν χαμηλότερο από 4% (3,82%). Πιο συγκεκριμένα, σε 17 περιοχές το σφάλμα ήταν χαμηλότερο από 5%, ενώ σε 10 (ορεινές, δασώδεις και βιομηχανικές περιοχές) ήταν υψηλότερο του 10%. Το μοντέλο δίνει πρόγνωση της επερχόμενης παραγωγής τέσσερις εβδομάδες πριν από τη συγκομιδή.

Στην Ελλάδα, οι Domenikiotis *et al.* (2004a) χρησιμοποίησαν το δείκτη VCI για την εξαγωγή μοντέλων πρόγνωσης παραγωγής σε πέντε βαμβακοπαραγωγικές περιοχές. Ο δείκτης υπολογίστηκε από δεκαήμερες εικόνες μεγίστων τιμών NDVI του NOAA/AVHRR, χωρικής διακριτικής ικανότητας 8x8 km², για την περίοδο 1982-1999. Οι περιοχές που εξετάστηκαν βρίσκονται στην Κεντρική και Βόρεια Ελλάδα και είναι συγκεκριμένα η Λάρισα, τα Τρίκαλα, η Καρδίτσα, η Θεσσαλονίκη και η Ροδόπη. Με τη χρήση της ανάλυσης συσχέτισης μεταξύ των δεκαήμερων τιμών VCI για τη βλαστική περίοδο και της απόδοσης, αναγνώρισαν τις κρίσιμες περιόδους που συνδέονται με την τελική παραγωγή. Οι τιμές της κρίσιμης περιόδου για κάθε περιοχή χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή των γραμμικών μοντέλων παλινδρόμησης (ένα για κάθε περιοχή). Από τα 18 χρόνια, 3 έτη (1985, 1990, 1995) χρησιμοποιήθηκαν για τον έλεγχο της προγνωστικής ακρίβειας των εμπειρικών σχέσεων, ενώ τα υπόλοιπα 15 για την ανάπτυξη του μοντέλου. Τα αποτελέσματα κατέδειξαν ότι οι εμπειρικές σχέσεις που εξάγονται με την προτεινόμενη προσέγγιση και τη χρήση του VCI, είναι ευαίσθητες όσον αφορά στην κατάσταση της καλλιέργειας του βαμβακιού και μπορούν να δώσουν μία καλή εκτίμηση της επερχόμενης παραγωγής σε επίπεδο Νομού, τουλάχιστον δύο μήνες πριν από τη συγκομιδή (η μέση απόλυτη διαφορά μεταξύ των επίσημων αποδόσεων και των εκτιμημένων τιμών ήταν χαμηλότερη από 20%, στο 85% των περιπτώσεων).

Προκειμένου να αυξήσουν την ακρίβεια της εκτίμησης του μοντέλου τους, οι Domenikiotis *et al.* (2006), απομόνωσαν τις πεδινές περιοχές σε 12 βαμβακοπαραγωγικούς Νομούς και εξήγαγαν για αυτές τις μέσες τιμές του VCI. Η χρονοσειρά των δεδομένων που χρησιμοποίησαν ήταν η ίδια με αυτή της προηγούμενης μελέτης (Domenikiotis *et al.*, 2004a), με μόνη διαφορά ότι τώρα το μοντέλο αναπτύχθηκε για τα έτη 1982-1997 και ο έλεγχος της ακρίβειας του μοντέλου έγινε για το 1998 και το 1999. Το στατιστικό μοντέλο που αναπτύχθηκε σε κάθε περιοχή, έδωσε ποσοστιαία απόκλιση της εκτιμημένης από την πραγματική παραγωγή υψηλότερη από 20%, περίπου στο 84% των περιπτώσεων. Έτσι, χρησιμοποίησαν την ανάλυση σε ομάδες για να ζωνοποιήσουν περιοχές με παρόμοια χαρακτηριστικά, με βάση τις τιμές του VCI. Μετά την ομαδοποίηση, η μέση απόλυτη ποσοστιαία διαφορά της εκτίμησης από τις επίσημες τιμές ήταν 5% και 19% σε επίπεδο περιφέρειας (Κεντρική και Βόρεια Ελλάδα, αντίστοιχα), και 7,6% σε εθνικό επίπεδο.

Τέλος, για να ποσοτικοποιήσουν την αθροιστική επίδραση των μετεωρολογικών συνθηκών στην παραγωγή του βαμβακιού κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου, οι Domenikiotis *et al.* (2004b, 2005) δοκίμασαν μία νέα μεθοδολογική προσέγγιση. Εφάρμοσαν τη μεθοδολογία υπολογισμού του δείκτη ξηρασίας των Bhalme και Mooley (Bhalme Mooley Drought Index, BMDI), αλλά αντί της υετόπτωσης ως δεδομένο εισόδου, χρησιμοποίησαν τον VCI. Κατ' αυτόν τον τρόπο, ανέπτυξαν ένα νέο δείκτη, διατηρώντας τις αρχές του BMDI, τον οποίο ονόμασαν Bhalme Mooley VCI (BMVCI). Παράλληλα, ο νέος δείκτης αναφέρεται στη δυναμική εξέλιξη του VCI σε χρονική βάση. Η όλη μεθοδολογία χρησιμοποιεί το άθροισμα των μετεωρολογικών επιδράσεων, όπως εκφράζονται από το δείκτη VCI σε γεωργικές περιοχές. Υπολόγισαν το νέο δείκτη για την ίδια χρονοσειρά δεδομένων και ανέπτυξαν στατιστικά μοντέλα εκτίμησης παραγωγής για τη Θεσσαλία και όλη την Ελλάδα. Πάλι, τα μοντέλα αναπτύχθηκαν για τα έτη 1982-1997 και ο έλεγχος της ακρίβειας έγινε για το 1998 και το 1999. Η μέση εκτίμηση για τα δύο έτη ήταν στο 96% και 89% των επίσημων τιμών παραγωγής, για τη Θεσσαλία και για όλη την Ελλάδα, αντίστοιχα.

Από την ανωτέρω ανασκόπηση, είναι εμφανής η χρησιμότητα των δεικτών που εξάγονται από τηλεπισκοπικά δεδομένα για την ανάπτυξη στατιστικών μοντέλων, με σκοπό την πρόγνωση της απόδοσης και της παραγωγής καλλιεργειών. Η επιλογή της βέλτιστης μεθοδολογίας εξαρτάται από το είδος και τη χωρική διακριτική

ικανότητα των δορυφορικών δεδομένων, την περιοχή, καθώς και την υπό εξέταση καλλιέργεια. Όταν χονδροειδή δορυφορικά δεδομένα είναι διαθέσιμα, οι δείκτες VCI και TCI φαίνεται να παρέχουν πιο αξιόπιστα και ακριβή αποτελέσματα. Πάντως, σε όλες τις περιπτώσεις απαιτείται χρονοσειρά δεδομένων και υψηλή χρονική διακριτική ικανότητα (συχνότητα επανάληψης λήψης εικόνας).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Όπως προαναφέρθηκε, ο όρος «δυναμικό καλλιέργειας» πολλές φορές χρησιμοποιείται για να συμπεριλάβει δύο συνιστώσες της παραγωγής των καλλιεργειών: την τοπική καταλληλότητα για την εκάστοτε καλλιέργεια και την παραγωγικότητα. Έτσι λοιπόν, η μεθοδολογική προσέγγιση για την αγροκλιματική ζωνοποίηση αποτελείται από δύο κύριους άξονες. Ο πρώτος αφορά στην εύρεση των κατάλληλων περιοχών για την ανάπτυξη καλλιεργειών και ο δεύτερος στην ανάπτυξη ενός μοντέλου εκτίμησης της γεωργικής παραγωγής. Οι δύο αυτοί άξονες είναι αλληλένδετοι, εφόσον με τη χρήση του μοντέλου εκτίμησης της παραγωγής γίνεται ο έλεγχος της παραγωγικότητας των αγροκλιματικών ζωνών.

Η προτεινόμενη μεθοδολογία βασίζεται κυρίως στη χρήση δορυφορικών δεδομένων και συγκεκριμένα δεδομένων NOAA/AVHRR. Τα συμβατικά (επίγεια) δεδομένα που χρησιμοποιούνται αφορούν μετεωρολογικά δεδομένα, τα οποία συντελούν στον υπολογισμό παραμέτρων που δε θα ήταν δυνατό να εξαχθούν από δορυφορικά στοιχεία, όπως για παράδειγμα η βροχόπτωση, η θερμοκρασία αέρα και οι ώρες πραγματικής ηλιοφάνειας. Επίσης, επίγεια δεδομένα χρησιμοποιούνται και για τον έλεγχο της ακρίβειας των αποτελεσμάτων, όπου αυτό κρίνεται απαραίτητο, καθώς και για τη βαθμονόμηση παραμέτρων που εξάγονται από τηλεπισκοπική πληροφορία.

Το κεφάλαιο αυτό περιλαμβάνει, αρχικά, μία σύντομη αναφορά στα χαρακτηριστικά του δορυφόρου NOAA και του ραδιόμετρου AVHRR. Ακολουθεί η περιγραφή της βάσης δεδομένων και της περιοχής μελέτης, και τέλος αναλύεται η προτεινόμενη μεθοδολογία τόσο για την αγροκλιματική ζωνοποίηση, όσο και για το μοντέλο εκτίμησης της γεωργικής παραγωγής.

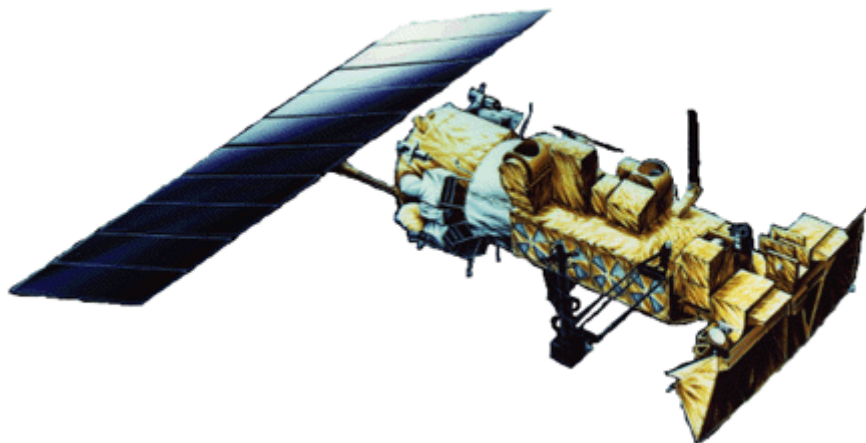
5.1 Χαρακτηριστικά του δορυφόρου NOAA

Σήμερα ένα μεγάλο εύρος δορυφορικών συστημάτων είναι διαθέσιμο, τα οποία δίνουν τη δυνατότητα παρακολούθησης της βλάστησης με διαφορετικές χωρικές και χρονικές διακριτικές ικανότητες. Π.χ. οι περιβαλλοντικοί δορυφόροι SPOT και Landsat παρέχουν εικόνες υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας με

χαμηλή συχνότητα επανάληψης και οι NOAA/AVHRR έχουν χαμηλή χωρική διακριτική ικανότητα με υψηλή συχνότητα επανάληψης (Meyer-Roux and King, 1992). Οι εικόνες του NOAA είναι πολύ χρήσιμες, ιδίως όταν οι επιφανειακοί μετεωρολογικοί σταθμοί είναι σπάνιοι (Tucker, 1979; Townshend and Justice, 1986). Διαχρονικές διακυμάνσεις μπορούν να μελετηθούν σε μεγάλες περιοχές, οι οποίες θα ήταν αδύνατο να καταγραφούν με άλλα μέσα. Αντιθέτως, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως συμπληρωματικές σε άλλες πηγές, με περισσότερο ακριβείς πληροφορίες.

Το πλεονέκτημα των δορυφόρων NOAA για την παρακολούθηση της πράσινης βλάστησης είναι ότι παρέχουν ημερήσιες παρατηρήσεις, σε αντίθεση με τους περιβαλλοντικούς δορυφόρους που έχουν μεγάλο χρόνο επανάληψης (π.χ. ο Landsat περνάει από την ίδια περιοχή κάθε 18 ημέρες). Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε η χρήση των εικόνων NOAA γιατί εκτός του ότι παρέχουν καθημερινή κάλυψη όλης της Ελλάδας, τα στοιχεία είναι ευρέως διαθέσιμα, χωρίς κόστος μέσω του διαδικτύου.

Οι δορυφόροι NOAA είναι δορυφόροι που έχουν σχεδιαστεί για τη μελέτη του γήινου, θαλάσσιου και ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος. Οι δορυφόροι που βρίσκονται σήμερα σε λειτουργία είναι οι NOAA-16, NOAA-17 και NOAA-18. Ο δορυφόρος NOAA με το ραδιόμετρο AVHRR απεικονίζεται στην εικόνα 5.1.



Εικόνα 5.1: Ο δορυφόρος NOAA που φέρει το ραδιόμετρο AVHRR (Tungalagsaikhon and Guenther, 2008).

Η λειτουργία της σειράς των δορυφόρων NOAA απαιτεί δύο δορυφόρους σε πλήρη λειτουργία μέσου ύψους 850 Km. Το είδος αυτής της τροχιάς έχει επιλεγεί

γιατί προσφέρει την πλέον κατάλληλη γεωμετρία για επαναληπτική και προκαθορισμένη κάλυψη περιοχών, από δορυφόρους που χρησιμοποιούν το σύστημα πραγματικού χρόνου (real-time) μετάδοσης δεδομένων. Ο πρώτος δορυφόρος είναι σε τροχιά ημέρας (AM) και περνάει από τον ισημερινό με νότια κατεύθυνση, ενώ ο δεύτερος είναι απογευματινής τροχιάς (PM) και περνάει από τον ισημερινό με βόρεια κατεύθυνση. Η τροχιακή κλίση είναι σχεδόν πολική στις $99,8^\circ$. Ο χρόνος για την ολοκλήρωση μιας τροχιάς είναι 102 λεπτά (min) και ο αριθμός των τροχιών ανά ημέρα είναι 14,1. Αποτέλεσμα του μη ακέραιου αριθμού των ημερήσιων τροχιών είναι και η ασυνεχής κατόπτευση των ίδιων περιοχών σε ημερήσια βάση (Χρυσουλάκης, 2000). Έτσι, έστω ότι μία από τις 14,1 τροχιές κατοπττεύει σε μια περιοχή με γεωγραφικές συντεταγμένες φ° Βόρεια και λ° Ανατολικά. Τότε, την επόμενη ημέρα η ίδια τροχιά θα κατοπττεύσει περιοχή του ίδιου γεωγραφικού πλάτους, αλλά γεωγραφικού μήκους μετατοπισμένου προς τα Δυτικά. Σημειώνεται επίσης, ότι ο τοπικός ηλιακός χρόνος (LSoT: Local Solar Time), που αντιστοιχεί στο πέρασμα του δορυφόρου, παραμένει αμετάβλητος σε σχέση με το γεωγραφικό πλάτος. Η χρονική διακριτική του ικανότητα είναι 6 ώρες, όταν δύο δορυφόροι NOAA είναι ταυτόχρονα σε λειτουργία. Τα χαρακτηριστικά της τροχιάς είναι τέτοια, ώστε διαδοχικές τροχιές να συναντούν τον ισημερινό σε γεωγραφικά μήκη που διαφέρουν από $25,3$ έως $25,52^\circ$. Καθ' αυτόν τον τρόπο, δεν υπάρχει κενό κάλυψης, ενώ με την ταυτόχρονη λειτουργία τουλάχιστον δύο δορυφόρων, καθένας από τους οποίους επαναλαμβάνει τροχιά γύρω από τη γη δύο φορές το εικοσιτετράωρο, κάθε σημείο στον ισημερινό έχει τη δυνατότητα να απεικονιστεί τέσσερις φορές, ενώ κάθε σημείο στα μέσα γεωγραφικά πλάτη μπορεί να απεικονιστεί οκτώ φορές το εικοσιτετράωρο (Χρυσουλάκης, 2000).

Η σειρά των δορυφόρων NOAA μεταφέρει όργανα για τον καθορισμό μετεωρολογικών παραμέτρων (υγρασίας, νεφοκάλυψης κ.ά.), τη μελέτη του ενεργειακού ισοζυγίου της γης, τον υπολογισμό της συγκέντρωσης όζοντος και της ηλιακής ακτινοβολίας, καθώς και τη λήψη εικόνων επιφάνειας. Μεταξύ αυτών, το Προηγμένο Ραδιόμετρο Πολύ Υψηλής Διακριτικής Ικανότητας (AVHRR: Advanced Very High Resolution Radiometer) έχει μέγιστη χωρική διακριτική ικανότητα 1,1 Km στο ναδίρ (της επιφάνειας κατόπτευσης). Η χωρική διακριτική ικανότητα του οργάνου μειώνεται στα 4 Km στα άκρα της κατοπτρευόμενης επιφάνειας. Το εύρος κάλυψής του είναι 2.800 Km κατά μήκος της τροχιάς και η άμεση γωνία επόπτευσης

(IFOV) κυμαίνεται από 1,3 έως 1,51 mrad. Το AVHRR καταγράφει την ακτινοβολία σε πέντε φασματικές περιοχές:

1. Κανάλι 1 (0,58 - 0,68 μm, ορατό),
2. κανάλι 2 (0,72 - 1,10 μm, εγγύς υπέρυθρο),
3. κανάλι 3 (3,55 - 3,93 μm, μέσο υπέρυθρο),
4. κανάλι 4 (10,5 - 11,3 μm, θερμικό υπέρυθρο),
5. κανάλι 5 (11,5 - 12,5 μm, θερμικό υπέρυθρο).

Τα φασματικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα AVHRR σε σχέση με τη σειρά του δορυφόρου NOAA στον οποίο παρευρίσκονται, δίνονται στον Πίνακα 5.1.

Υπάρχουν τρεις βασικές μορφές των δεδομένων AVHRR:

1. LAC (Local Area Coverage) - δεδομένα που καταγράφονται πάνω στο δορυφόρο, με χωρική διακριτική ικανότητα περίπου 1,1 km.

2. HRPT (High Resolution Picture Transmission) - απευθείας μετάδοση των δεδομένων AVHRR σε πραγματικό χρόνο, με χωρική διακριτική ικανότητα περίπου 1,1 km.

3. GAC (Global Area Coverage) - δεδομένα που παράγονται από τα δεδομένα LAC, χρησιμοποιώντας μόνο μία από κάθε τρεις γραμμές σάρωσης. Τα δεδομένα GAC έχουν χωρική διακριτική ικανότητα που κυμαίνεται από 4 έως 8 km.

Πίνακας 5.1: Φασματικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα AVHRR (Tungalag-saikhan and Guenther, 2008).

Channel	TIROS-N	NOAA - 6,8,10	NOAA - 7,9,11,12,14	NOAA - 15,16,17,18	IFoV (mrad)
1	0.550- 0.90 μm	0.580- 0.68 μm	0.580- 0.68 μm	0.50 - 0.68 μm	1.39
2	0.725- 1.10 μm	0.725- 1.10 μm	0.725- 1.10 μm	0.725-1.0 μm	1.41
3A				1.58-1.64 μm	1.3
3B	3.550- 3.93 μm	3.550- 3.93 μm	3.550- 3.93 μm	3.55-3.93 μm	1.51
4	10.50-11.50 μm	10.50-11.50 μm	10.30-11.30 μm	10.3-11.3 μm	1.41
5	Ch4 rep.	Ch4 rep.	11.50-12.50 μm	11.5-12.5 μm	1.30

5.2 Βάση δεδομένων και περιοχή μελέτης

5.2.1 Βάση δεδομένων

Η βάση δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε στην προτεινόμενη μεθοδολογία αποτελείται από δορυφορικά και συμβατικά (επίγειες μετρήσεις) δεδομένα, ενώ η περίοδος εξέτασης είναι 20 υδρολογικά έτη, από τον Οκτώβριο του 1981 έως το Σεπτέμβριο του 2001. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν και θεματικά υπόβαθρα σε περιβάλλον Γ.Σ.Π. Οι δορυφορικές εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται από λήψεις του δορυφόρου πολικής τροχιάς NOAA/AVHRR. Είναι σύνθετες εικόνες δεκαήμερου, για την περίοδο από το δεύτερο δεκαήμερο του Ιουλίου του 1981 έως το τρίτο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου του 2001, και καλύπτουν ολόκληρη την Ελλάδα με χωρική διακριτική ικανότητα εικονοστοιχείου $8 \times 8 \text{ Km}^2$. Πρέπει να αναφερθεί ότι τα δορυφορικά δεδομένα από το δεύτερο δεκαήμερο του Ιουλίου του 1981 έως το τρίτο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου του ίδιου έτους δεν έλαβαν μέρος στην εξαγωγή των αποτελεσμάτων και χρησιμοποιήθηκαν σε αρχικό στάδιο κατά το χρονικό φιλτράρισμα (temporal filtering) – εξομάλυνση (smoothing) των τιμών NDVI. Έτσι, η βάση δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε αποτελείται από:

1. Δορυφορικά δεδομένα δεκαήμερου NOAA/AVHRR για 20 υδρολογικά έτη, από τον Οκτώβριο του 1981 έως το Σεπτέμβριο του 2001 (36 εικόνες x 20 χρόνια), με $8 \times 8 \text{ km}^2$ χωρική διακριτική ικανότητα:

- Συνθετικές εικόνες δεκαήμερου του NDVI (720 εικόνες).
- Συνθετικές εικόνες δεκαήμερου για τέσσερα κανάλια (720 εικόνες x 4 κανάλια):

CH1, CH2: Τιμές ανακλαστικότητας και

CH4, CH5: Τιμές θερμοκρασίας λαμπρότητας (BT).

2. Συμβατικά δεδομένα για την ίδια περίοδο:

- 240 μηνιαίοι χάρτες βροχόπτωσης και θερμοκρασίας με μέγεθος φατινίου $50 \times 50 \text{ km}^2$, για την περίοδο 1981 - 2001 και για όλη την Ελλάδα, από τη βάση δεδομένων του ενωμένου ερευνητικού κέντρου της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Joint Research Centre of EU - ISPRA, 2006).

- Δεδομένα μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας και αθροιστικής μηνιαίας βροχόπτωσης, για το σταθμό της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (Ε.Μ.Υ.) στη Λάρισα.
- Κλιματικά δεδομένα πραγματικής διάρκειας ηλιοφάνειας, για το σταθμό της Ε.Μ.Υ. στη Λάρισα.
- Δεδομένα παραγωγής (tn) και καλλιεργούμενων εκτάσεων (strm) για το σιτάρι και το βαμβάκι, από την Εθνική Στατιστική Υπηρεσία της Ελλάδος (Ε.Σ.Υ.Ε.).
- Εδαφολογικός χάρτης της Ελλάδας (Γιάσογλου, 2004).

3. Δεδομένα Γ.Σ.Π.:

- Θεματικό υπόβαθρο της Ελλάδος και του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας.
- Ισοϋψείς με ισοδιάσταση 100 m για την περιοχή της Θεσσαλίας, που ψηφιοποιήθηκαν από χάρτες της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (Γ.Υ.Σ.).
- Ισοϋψείς με ισοδιάσταση 20 m για την περιοχή της Θεσσαλίας (όπου υπήρχε ανάγκη πύκνωσης των ισοϋψών), που ψηφιοποιήθηκαν από χάρτες της Γ.Υ.Σ.
- Βάση δεδομένων χρήσεων γης Corine 2001, για όλη την Ελλάδα.

Η δορυφορική βάση δεδομένων ανακτήθηκε από τη NASA. Συγκεκριμένα, τα δεδομένα «κατέβησαν» (downloaded) από το σύστημα EOSDIS (Earth Observation System Data and Information System) που διατίθεται από το ενεργό κέντρο αρχείων του διαστημικού κέντρου του Goddard (Active Archive Centre at Goddard Space Flight Centre).

Πρέπει να αναφερθεί ότι σε ορισμένες δορυφορικές εικόνες, στις οποίες υπήρχαν σφάλματα ή έλειπαν δεδομένα εξαιτίας εκτεταμένης νεφοκάλυψης (όλη η περιοχή μελέτης) ή και λόγω προβλημάτων στον αισθητήρα AVHRR, αυτά συμπληρώθηκαν με κλιματικές τιμές. Οι τιμές που συμπληρώθηκαν δίνονται αναλυτικά στο κεφάλαιο της επεξεργασίας των δορυφορικών δεδομένων.

5.2.2 Περιοχή μελέτης

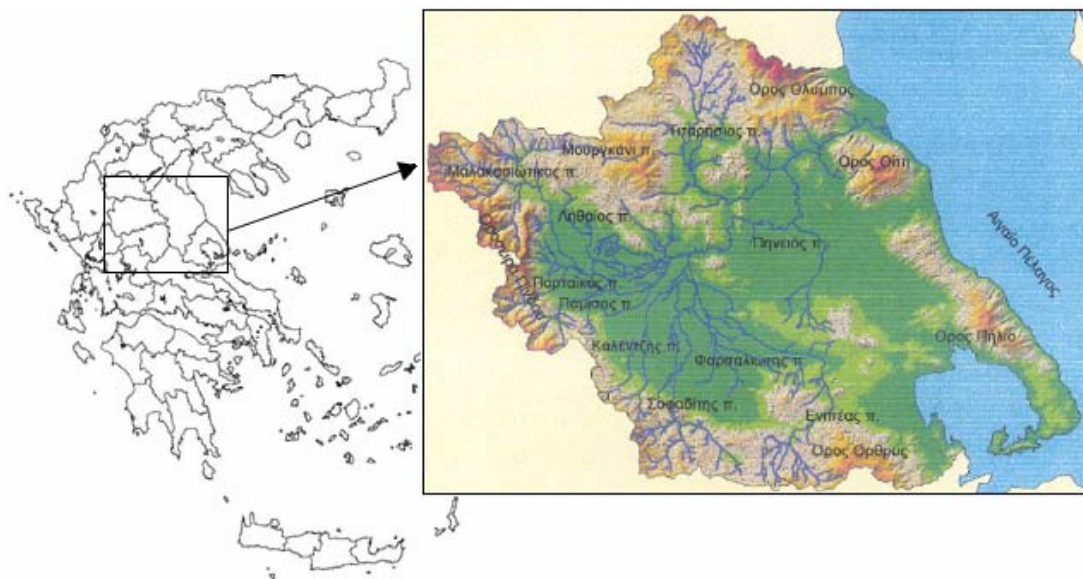
Ως περιοχή μελέτης για την εφαρμογή της μεθοδολογίας επιλέχθηκε το υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας. Η Θεσσαλία είναι πεδινή περιοχή και περιβάλλεται από βουνά. Συγκεκριμένα: ανατολικά, κατά μήκος της ακτογραμμής που βρέχεται από το Αιγαίο πέλαγος, περιβάλλεται από το βουνό Όσσα, αρκετά νότια, στο νομό Μαγνησίας, περιβάλλεται από το βουνό Πήλιο, βόρεια από τον Όλυμπο, δυτικά από την οροσειρά της Πίνδου και νότια από την οροσειρά του Όθρη. Διάφοροι ποταμοί, που ρέουν από τα περιβάλλοντα βουνά προς τις πεδιάδες, συγκεντρώνονται και διαμορφώνουν τον Πηνειό.

Η ορεινή Θεσσαλία έχει έκταση 9.550 Km², με ποσοστό επί του συνόλου 33,5%. Το μέσο υψόμετρο του διαμερίσματος είναι 285 m (Πέππας, 2001). Λόγω των μεγάλων πεδινών εκτάσεων, η Θεσσαλία αποτελεί μία εύφορη περιοχή και, μεταξύ άλλων, ένα μεγάλο προμηθευτή γεωργικών προϊόντων. Στη δυτική πλευρά της Θεσσαλίας το κλίμα είναι ηπειρωτικό, με κρύους χειμώνες, πολύ θερμά καλοκαίρια και άρα με πολύ μεγάλη θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ αυτών των δύο εποχών. Στην ανατολική πλευρά, το κλίμα είναι θερμό μεσογειακό. Τα καλοκαίρια στη Θεσσαλία είναι συνήθως πολύ θερμά και ξηρά και πολλές φορές κατά τον Ιούλιο και τον Αύγουστο οι θερμοκρασίες μπορεί να ξεπεράσουν τους 40°C. Γενικά, οι βροχοπτώσεις είναι σπάνιες από τον Ιούνιο μέχρι τον Αύγουστο, ενώ οι ημέρες είναι θερμές και ξηρές, φαινόμενο συνηθισμένο για το μεσογειακό κλίμα. Οι περιοχές που βρίσκονται στα βουνά είναι πολύ πιο δροσερές με αξιοσημείωτη βροχόπτωση. Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό του κλίματος της πεδιάδας της Θεσσαλίας είναι οι συχνές καταιγίδες κατά την άνοιξη και το καλοκαίρι. Αυτά τα φαινόμενα έχουν επιπτώσεις ειδικότερα στις γεωργικές δραστηριότητες αυτής της περιοχής.

Η γενικότερη γεωμορφολογία και φυσιολογία του πεδινού τμήματος της περιοχής μπορεί να περιγραφεί ως εξής: Η πεδινή περιοχή της Θεσσαλίας χωρίζεται από το χαμηλού υψόμετρου Χαλκηδόνιο όρος σε δύο μεγάλα τμήματα ίσης περίπου έκτασης, το ανατολικό και το δυτικό. Περιφερειακά των πεδινών αυτών εκτάσεων βρίσκονται οι ορεινοί όγκοι.

Το ανατολικό τμήμα της Θεσσαλικής πεδιάδας έχει τα εξής γεωγραφικά όρια: βόρεια τον Κάτω Όλυμπο και την Όσσα, ανατολικά και βορειοδυτικά το όρος Ζάρκο. Στην Ανατολική Θεσσαλία εντάσσονται και οι ορεινές, αλλά με αξιόλογη καλλιεργούμενη έκταση, περιοχές της Ελασσόνας και του Δαμασίου.

Το δυτικό τμήμα της Θεσσαλικής πεδιάδας ορίζεται γεωγραφικά ως εξής: ανατολικά από τα Χαλκηδόνια όρη, βορειοανατολικά από το Ζάρκο, βόρεια από τα Χάσια και τα Αντιχάσια όρη, δυτικά από το Κερκέτιον όρος (Κόζιακας) και νότια από το Ναθράκιο, τους πρόποδες του όρους Τιμφρηστός και την αποξηρανθείσα λίμνη Ξυνιά (Πέππας, 2001). Προς τα βόρεια, οι καλλιέργειες σταματάνε στην πεδιάδα, με όριο τους πρόποδες των βουνών. Αντιθέτως, στα νότια παρατηρούνται καλλιέργειες ακόμα και στους πρόποδες των βουνών. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι στην κεντρική-ανατολική πλευρά της δυτικής πεδιάδας (από Φυλλήιο μέχρι και Χαλκηδόνιο), οι καλλιέργειες φθάνουν σε μεγάλο υψόμετρο, έως και περίπου 600 m, λόγω των εξαιρετικά ομαλών κλίσεων των βουνών. Στην εικόνα 5.2 παρουσιάζονται η τοποθεσία, τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά και τα όρια του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας.



Εικόνα 5.2: Τοποθεσία και γεωγραφικά χαρακτηριστικά του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας.

Όπως προαναφέρθηκε, όσον αφορά στις κλιματικές συνθήκες, η περιοχή της Θεσσαλίας διαιρείται σε τρεις κλιματικές περιοχές:

1. Την ανατολική παράκτια και ορεινή, με μεσογειακό κλίμα.
2. Την κεντρική πεδινή, με ηπειρωτικό κλίμα.
3. Τη δυτική ορεινή, με ορεινό κλίμα.

Η μέση ετήσια θερμοκρασία κυμαίνεται από 16°C έως 17°C. Το ετήσιο θερμομετρικό εύρος ξεπερνά τους 22°C. Οι πιο θερμοί μήνες είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος και οι πιο ψυχροί ο Δεκέμβριος, ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος. Οι παγετοί είναι συχνοί και εμφανίζονται κατά την περίοδο Νοεμβρίου-Απριλίου. Οι ημέρες παγετού κυμαίνονται από 44,6 στη Λάρισα, 17,8 ημέρες στην Αγχίαλο και 33,8 ημέρες στα Τρίκαλα σε μέση ετήσια βάση (Τζαμπύρας, 2005).

Το ύψος των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων στην περιοχή είναι σχετικά μεγάλο στα δυτικά, στη συνέχεια μειώνεται στο πεδινό τμήμα και αυξάνεται πάλι στο ορεινό ανατολικό τμήμα. Ενδεικτικές τιμές της ετήσιας βροχόπτωσης είναι 468 χιλιοστά (mm) στο σταθμό της Λάρισας, 550 mm στο σταθμό του Τυρνάβου και 1.142 mm στον πιο ορεινό σταθμό του Μουζακίου.

Οι πιο βροχεροί μήνες είναι από τον Οκτώβριο ως τον Ιανουάριο, ενώ οι πιο ξηροί ο Ιούλιος και ο Αύγουστος. Οι χιονοπτώσεις είναι συνηθισμένες, ιδιαίτερα στα ορεινά της περιοχής και γίνονται πιο έντονες από τα νότια προς τα βόρεια και από τα ανατολικά προς τα δυτικά. Οι περισσότερες χιονοπτώσεις παρατηρούνται κατά τους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο. Στα δυτικά και ορεινά τμήματα της περιοχής αρχίζουν το Σεπτέμβριο και φθάνουν μέχρι και τις αρχές Ιουλίου. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι ο μέσος αριθμός ημερών χιονιού στη Λάρισα είναι 5,6 ημέρες, στην Αγχίαλο 4,7 και στα Τρίκαλα 6,2 ημέρες. Οι χαλαζοπτώσεις είναι επίσης συχνές, κυρίως κατά τους μήνες Μάιο και Ιούνιο στα βόρεια της περιοχής και κατά τους μήνες Φεβρουάριο ως Απρίλιο στο νοτιοανατολικό τμήμα.

Η μέση ετήσια νέφωση κυμαίνεται από 4 έως 5 βαθμίδες, με τις υψηλότερες τιμές να εμφανίζονται στα δυτικά και τις χαμηλότερες στα ανατολικά. Η μέση ετήσια σχετική υγρασία κυμαίνεται από 66% έως 72%. Στο νότιο τμήμα της περιοχής εμφανίζεται ξηρή περίοδος 4 έως 5 μηνών στα ανατολικά, η οποία όμως μειώνεται βαθμιαία σε 2 έως 4 μήνες στα κεντρικά-δυτικά πεδινά και σε 1 έως 2 μήνες στα δυτικά ορεινά (Πέππας, 2001). Η διεύθυνση των ανέμων στην περιοχή ποικίλει, με τους ανατολικούς να επικρατούν στην περιοχή της Λάρισας και τους δυτικούς στην περιοχή των Τρικάλων.

Οι υδατικοί πόροι της Θεσσαλίας αποτελούνται από επιφανειακά, καθώς και από υπόγεια νερά. Δεδομένου ότι δεν υπάρχουν έργα ταμίευσης (με εξαίρεση τη λίμνη Πλαστήρα), το επιφανειακό δυναμικό αναφέρεται στην παροχή των υδατορευμάτων, η οποία παρουσιάζει έντονη χωρική και χρονική διακύμανση. Μέρος

του αποθηκευμένου όγκου νερού, του ταμιευτήρα αυτού, χρησιμοποιείται για την άρδευση και ύδρευση της περιοχής της Καρδίτσας.

Η κυριότερη λεκάνη απορροής της Θεσσαλίας, είναι αυτή του ποταμού Πηνειού και των παραποτάμων του, με έκταση 9.747 km². Σε αυτήν ανήκουν και οι δύο μεγάλες λεκάνες της πεδινής Θεσσαλίας (ανατολική και δυτική πεδιάδα), που ο άξονάς τους έχει διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ. Ολόκληρη η πεδινή Θεσσαλία, πλην της λεκάνης της Κάρλας, αποστραγγίζεται από τον Πηνειό ποταμό, ο οποίος είναι και ο αποδέκτης όλων σχεδόν των παραποτάμων και χειμάρρων που έχουν τις πηγές τους στην ορεινή Θεσσαλία. Οι δευτερεύοντες κλάδοι του Πηνειού κατέρχονται από ολόκληρη την περιφέρεια της λεκάνης απορροής της δυτικής πεδιάδας εντός αυτής. Στην ανατολική λεκάνη, ο μόνος σημαντικός δευτερεύων κλάδος που υφίσταται είναι ο χείμαρρος Τιταρήσιος.

Η αύξηση των γεωργικών δραστηριοτήτων και η εντατικού τύπου γεωργία στη Θεσσαλία, έχει ήδη οδηγήσει σε ανεπαρκή χρήση των υδατικών πόρων. Οι χαμηλές και ακανόνιστες βροχοπτώσεις κατά τη θερινή περίοδο έχουν συνεισφέρει στην εμφάνιση περιοχικών φαινομένων ξηρασίας, τα οποία σε συνδυασμό με την υπεράντληση και την κακή διαχείριση του αρδευτικού νερού (παλαιές αρδευτικές τεχνικές και δίκτυα που οδηγούν σε αυξημένες απώλειες, χρήση περισσότερου αρδευτικού νερού από όσο χρειάζεται) οδήγησαν σε υποβάθμιση των υδατικών πόρων και στην πτώση του υπόγειου υδατικού ορίζοντα. Ειδικότερα, λόγω της υπεράντλησης, ο υπόγειος υδατικός ορίζοντας έχει υποβαθμισθεί αισθητά, σε ορισμένες περιοχές της Θεσσαλικής πεδιάδας, με αποτέλεσμα να έχουν μειωθεί ή και μηδενιστεί οι παροχές των γεωτρήσεων και οι καλλιέργειες να μην αρδεύονται επαρκώς. Επόμενος, είναι εμφανής η ανάγκη για την αναγνώριση περιοχών ικανών να καλύψουν τις ανάγκες των καλλιεργειών, χωρίς να επιβαρύνουν την παρούσα κατάσταση (Tsiros *et al.*, 2009a).

Εκτός της ποσοτικής ανεπάρκειας στους υδατικούς πόρους της Θεσσαλίας έχει επέλθει και ποιοτική ανεπάρκεια. Ήδη παρατηρείται ρύπανση των υπόγειων υδροφορέων και ειδικότερα νιτρορύπανση από τις μεγάλες ποσότητες λιπασμάτων που χρησιμοποιούνται στις καλλιέργειες. Επίσης, σε πολλές περιοχές, ιδιαίτερα της ανατολικής Θεσσαλίας, έχει παρατηρηθεί και η ύπαρξη αλμυρής σφήνας στους υπόγειους υδροφορείς (Πέππας, 2001). Έτσι, καθίσταται απαραίτητη η εύρεση περιοχών, όπου τα εδάφη είναι κατάλληλα για καλλιέργεια, χωρίς την προσθήκη

μεγάλων ποσοτήτων λιπασμάτων, με στόχο τη μη περαιτέρω επιβάρυνση του ήδη υποβαθμισμένου συστήματος, καθώς και τη μείωση του κόστους παραγωγής.

5.3 Μεθοδολογία αγροκλιματικής ζωνοποίησης

Στην προτεινόμενη μεθοδολογία, αρχικά αναπτύσσεται η γενική αγροκλιματική ζωνοποίηση της περιοχής μελέτης. Ακολουθεί η εξειδικευμένη ταξινόμηση, με τη χρήση συγκεκριμένων αγροκλιματικών δεικτών που υπολογίζονται για συγκεκριμένες καλλιέργειες. Έτσι, πρώτα ελέγχονται οι περιοχές για την εύρεση αυτών που το αγροκλιματικό τους δυναμικό μπορεί να «φιλοξενήσει» καλλιέργειες, ενώ στη συνέχεια, γίνεται έλεγχος της καταλληλότητας των βασικών καλλιεργειών για την εύρεση αυτής που, σε συνδυασμό με τις περιβαλλοντικές συνθήκες κάθε ζώνης, θα οδηγήσει στη μεγιστοποίηση της παραγωγής, με ορθολογική χρήση των φυσικών πόρων. Με τον όρο «βασικές καλλιέργειες» εννοούνται τα φυτά, των οποίων η καλλιέργεια έχει σημασία για την τοπική κοινωνία, βάσει οικονομικών και κοινωνικών παραγόντων. Όπως προαναφέρθηκε, σε μία αγροτική κοινωνία εκτός από τους περιβαλλοντικούς, οικονομικοί και κοινωνικοί παράγοντες υπαγορεύουν το κατάλληλο γεωργικό σύστημα (Landsberg, 1968). Στην παρούσα μεθοδολογία, εξετάζονται δύο σημαντικές καλλιέργειες για την Ελληνική γεωργία και συγκεκριμένα το βαμβάκι, ως αρδευόμενη και εαρινή καλλιέργεια, και το σιτάρι ως ξηρική και χειμερινή.

Η μεθοδολογία βασίζεται σε τέσσερις συνιστώσες: τη βροχόπτωση, τη θερμοκρασία, την ακτινοβολία και τη γεωμορφολογία. Συνοπτικά, τα βήματα που προτείνει η παρούσα μεθοδολογία είναι τα εξής:

1. Υδροκλιματική ζωνοποίηση: Γίνεται προσδιορισμός των ζωνών WLGE, με τη χρήση του AI και του δείκτη υγιούς βλάστησης (Vegetation Health Index, VHI).
2. Γενική αγροκλιματική ζωνοποίηση: Πραγματοποιείται συνδυασμός των ζωνών WLGE με εδαφολογικούς χάρτες και ψηφιακά μοντέλα ανάγλυφου (Digital Elevation Models, DEMs), καθώς και προσδιορισμός των ζωνών αιφόρου γεωργικής παραγωγής.
3. Ειδική αγροκλιματική ζωνοποίηση (στάδιο ανάπτυξης): Εξετάζονται δύο καλλιέργειες βασικής σημασίας (βαμβάκι και σιτάρι). Γίνεται χρήση του

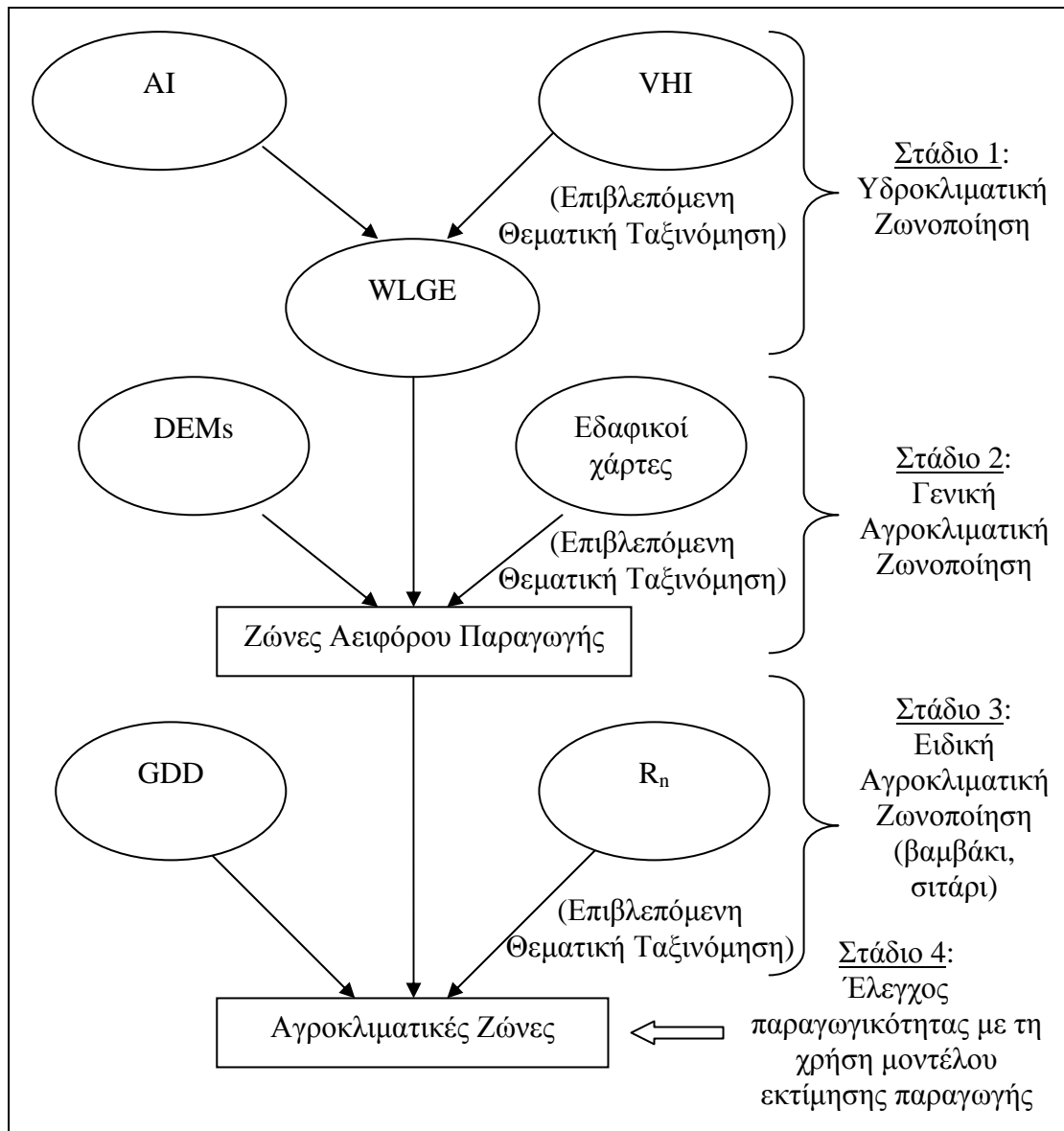
GDD για την εύρεση περιοχών, όπου ολοκληρώνεται ο βιολογικός κύκλος και είναι δυνατή η ανάπτυξη των καλλιεργειών κατά τη βλαστική περίοδο, καθώς και της R_n για τον έλεγχο σχετικά με την ύπαρξη περιορισμών όσον αφορά στην καθαρή ακτινοβολία.

4. Ειδική αγροκλιματική ζωνοποίηση (στάδιο ελέγχου): Γίνεται χρήση του στατιστικού μοντέλου εκτίμησης της απόδοσης των δύο ανωτέρω καλλιεργειών, για τον έλεγχο της παραγωγικότητας ανά αγροκλιματική ζώνη, ως πιστοποίηση της μεθοδολογίας.

Σε όλα τα ανωτέρω βήματα, ο προσδιορισμός των ζωνών γίνεται με τη χρήση ιεραρχικής επιβλεπόμενης θεματικής ταξινόμησης (Hierarchical Supervised Thematic Classification, HSTC). Η μεθοδολογία της αγροκλιματικής ζωνοποίησης απεικονίζεται στο σχήμα 5.1.

5.3.1 Προσδιορισμός των ζωνών WLGE

Αρχικά υπολογίζονται δύο αγροκλιματικοί δείκτες, ο συνδυασμός των οποίων αποτελεί καινοτομία της μεθοδολογίας και συντελεί στον προσδιορισμό των ζωνών WLGE, όπως τις ονόμασαν οι Badini *et al.* (1997). Αυτοί είναι ο δείκτης ξηρότητας (Aridity index, AI) και ο δείκτης υγιούς βλάστησης (Vegetation Health Index, VHI). Χρησιμοποιώντας αυτούς τους δείκτες, καθορίζονται οι ζώνες που δείχνουν τη χωρική κατανομή της ξηρότητας του κλίματος (Badini *et al.*, 1997) και τη χωροχρονική κατανομή της γεωργικής ξηρασίας (Tsiros *et al.*, 2008, 2009a). Με αυτόν τον τρόπο προσδιορίζεται η υδροκλιματική συνιστώσα της ζωνοποίησης.



Σχήμα 5.1: Διάγραμμα ροής για τον προσδιορισμό των αγροκλιματικών ζωνών.

Aridity index (AI)

Σύμφωνα με την ταξινόμηση της UNESCO (1979), η κλιματική ξηρότητα μπορεί να παρουσιαστεί με το δείκτη ξηρότητας (Aridity Index - AI), που είναι το πηλίκο του μέσου ετήσιου ύψους βροχής προς το μέσο ετήσιο ύψος της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής. Με βάση αυτόν το δείκτη, μια περιοχή μπορεί να χαρακτηριστεί ως υπερβολικά ξηρή, ξηρή, ημίξηρη, ύφυγη ή υγρή. Αναλυτικά, ο δείκτης υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$AI = \frac{P}{ET_p} \quad (5.1)$$

όπου, P το μέσο ετήσιο ύψος βροχής και ET_p το μέσο ετήσιο ύψος της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής. Σε περίπτωση που η ανάλυση απαιτεί μικρότερο χρονικό βήμα, π.χ. μηνιαίο, γίνεται χρήση της μηνιαίας βροχόπτωσης και της μέσης μηνιαίας δυνητικής εξατμισοδιαπνοής. Στον Πίνακα 5.2 αναγράφονται οι τιμές που λαμβάνει ο δείκτης και ο αντίστοιχος χαρακτηρισμός του κλίματος μιας περιοχής βάση αυτών.

Για να καθοριστεί η επάρκεια των βροχοπτώσεων στην ικανοποίηση των αναγκών σε νερό των καλλιεργειών, γίνεται χρήση του δείκτη ξηρότητας. Ο δείκτης ξηρότητας χρησιμοποιείται για να εκφράσει το σχετικό βαθμό υγρασίας ενός κλίματος σε σχέση με τις απαιτήσεις ύδατος των εκάστοτε καλλιεργειών. Αυτός ο δείκτης βοηθά να χαρακτηριστεί το περιβάλλον ανάπτυξης της κάθε καλλιέργειας, βάσει της κλιματολογικής μεταβλητότητας, αλλά δεν περιλαμβάνει την επίδραση της εδαφικής μεταβλητότητας (Badini *et al.*, 1997).

Τέλος, στην παρούσα μεθοδολογία, για τον υπολογισμό της μηνιαίας, και στη συνέχεια της ετήσιας δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των Blaney-Criddle. Η μέθοδος αυτή, η οποία χρησιμοποιεί μόνο δεδομένα θερμοκρασίας και κάποια μακροπρόθεσμη μέση κλιματική πληροφορία, είναι κατάλληλη για εφαρμογές στις οποίες απαιτούνται μηνιαίες εκτιμήσεις της εξατμισοδιαπνοής. Για τον υπολογισμό της χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία που προτάθηκε από τους Kanellou *et al.* (2006 και 2008), η οποία χρησιμοποιεί δορυφορικά δεδομένα και συγκεκριμένα δεδομένα θερμοκρασίας επιφανείας εδάφους (Land Surface Temperature, T_s). Η μέθοδος Blaney-Criddle, καθώς και ο υπολογισμός της T_s , αναλύονται στο επόμενο κεφάλαιο.

Πίνακας 5.2: Χαρακτηριστικά κλίματος μιας περιοχής με βάση το δείκτη ξηρότητας (UNESCO, 1979).

Κατηγορία κλίματος	P/PET
Ακραία ξηρό	<0,03
Ξηρό	0,03 - 0,20
Ημίξηρο	0,20 - 0,50
Ύψυγρο	0,50 - 0,75
Υγρό	>0,75

Δείκτης υγιούς βλάστησης

Όπως προαναφέρθηκε, κατά την αγροκλιματική ζωνοποίηση πρέπει να ληφθεί υπόψη η πιθανότητα της εμφάνισης ακραίων περιστατικών, όσον αφορά στη βροχόπτωση και στη θερμοκρασία (Pereira, 1982). Το ένα ακραίο φαινόμενο, όσον αφορά στα περιστατικά που προέρχονται από το συνδυασμό των ανωτέρω δύο συνιστωσών, είναι η ξηρασία και συγκεκριμένα η γεωργική ξηρασία που αναφέρεται στην επίδραση του φαινομένου στις καλλιέργειες. Οι πιο πολυχρησιμοποιημένοι τηλεπισκοπικοί δείκτες γεωργικής ξηρασίας είναι ο VCI, ο TCI, και ο συνδυασμός τους ο VHI. Στην Ελλάδα, έχουν χρησιμοποιηθεί επιτυχώς για την παρακολούθηση της γεωργικής ξηρασίας (Domenikiotis *et al.*, 2002; Tsiros *et al.*, 2004). Όλοι οι δείκτες υπολογίζονται με τη χρήση τηλεπισκοπικών δεδομένων.

Έτσι, κατά τον υπολογισμό του VHI, λαμβάνει χώρα ο υπολογισμός τριών άλλων τηλεπισκοπικών δεικτών. Αυτοί είναι ο NDVI, ο VCI και ο TCI.

Ένας πολύ γνωστός και ευρέως χρησιμοποιούμενος δείκτης είναι ο NDVI. Ο δείκτης αυτός γενικά υπολογίζεται από την εξίσωση (4.3), η οποία για δεδομένα NOAA/AVHRR γίνεται:

$$NDVI = \frac{CH_2 - CH_1}{CH_2 + CH_1} \quad (5.2)$$

όπου, CH1 και CH2 είναι οι τιμές ανακλαστικότητας στα δύο πρώτα κανάλια (ορατό και κοντινό υπέρυθρο, αντίστοιχα) του NOAA/AVHRR.

Αύξηση στην ποσότητα της βλάστησης εμφανίζεται τα έτη όπου επικρατούν ευνοϊκές καιρικές συνθήκες, διότι αυτές οι συνθήκες συντελούν στην αποδοτικότερη χρήση των πόρων του οικοσυστήματος (π.χ. αύξηση στο ρυθμό πρόσληψης θρεπτικών ουσιών από το έδαφος). Αντίθετα, μείωση στην ποσότητα της βλάστησης παρουσιάζεται τα έτη όπου επικρατούν ακραία αντίξοες καιρικές συνθήκες (κυρίως ξηρές και θερμές), οι οποίες καταστέλλουν την ανάπτυξη της βλάστησης άμεσα και έμμεσα, λόγω της μείωσης στη χρήση των πόρων του οικοσυστήματος (π.χ. η έλλειψη ύδατος σε περιόδους ξηρασίας μειώνει σημαντικά το ποσό των θρεπτικών που προσλαμβάνονται από το έδαφος). Έτσι λοιπόν, η απόλυτη μέγιστη και ελάχιστη τιμή του NDVI και της BT (Brightness Temperature, θερμοκρασία λαμπρότητας), υπολογισμένη από σειρά ετών, περιέχει τα ακραία καιρικά γεγονότα (συνθήκες ύπαρξης ξηρασίας και έλλειψης ξηρασίας). Αυτές οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως κριτήρια για την ποσοτικοποίηση του δυναμικού γεωγραφικών περιοχών (Kogan, 1995c; Kogan, 1997). Για την έκφραση των

ανωτέρω, χρησιμοποιούνται δύο δείκτες, ο VCI και ο TCI, οι οποίοι υπολογίζονται με τη χρήση των εξισώσεων:

$$VCI = 100 * \frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}} \quad (5.3)$$

$$TCI = 100 * \frac{T_{4\max} - T_4}{T_{4\max} - T_{4\min}} \quad (5.4)$$

όπου, NDVI, NDVI_{max} και NDVI_{min} είναι η εκάστοτε τιμή του NDVI, η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή του για όλη τη σειρά δεδομένων, T₄, T_{4max} και T_{4min} είναι η εκάστοτε τιμή της θερμοκρασίας λαμπρότητας (Brightness Temperature, BT) που προέρχεται από το τέταρτο κανάλι του NOAA/AVHRR, η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή της για όλη τη σειρά δεδομένων, αντίστοιχα, για κάθε εικονοστοιχείο. Οι τιμές του VCI και του TCI ποικίλουν από μηδέν, για τις εξαιρετικά αντίξοες συνθήκες, έως 100, για τις βέλτιστες συνθήκες. Ο VCI και ο TCI χαρακτηρίζουν τις υγρασιακές και θερμικές συνθήκες της βλάστησης, αντίστοιχα. Υψηλές τιμές του VCI αντιστοιχούν σε υγιή και χωρίς καταπόνηση βλάστηση, ενώ χαμηλές τιμές του TCI αντιστοιχούν σε βλάστηση με καταπόνηση, λόγω ξηρασίας από υψηλές θερμοκρασίες (Kogan, 1995, 2001, 2002).

Ο Kogan (2001) πρότεινε τον VHI, που είναι αντιπροσωπευτικός της ύπαρξης υγιούς βλάστησης και χρησιμοποιείται παγκοσμίως για την παρακολούθηση και χαρτογράφηση της γεωργικής ξηρασίας. Ο δείκτης είναι ο συνδυασμός δύο άλλων δεικτών, του VCI και του TCI. Η κατηγοριοποίηση της γεωργικής ξηρασίας με βάση τις τιμές του VHI παρουσιάζεται στον Πίνακα 5.3 (Kogan, 2001; Bhuiyan *et al.*, 2006). Ο VHI υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$VHI = 0,5 * (VCI) + 0,5 * (TCI) \quad (5.5)$$

Κατά τον υπολογισμό του VHI επιλέγεται ίσο ειδικό βάρος (0,5) για τον VCI και τον TCI, αφού η συνεισφορά της υγρασίας και της θερμοκρασίας κατά τον κύκλο ανάπτυξης της βλάστησης δεν είναι γνωστή (Kogan, 2001).

Πίνακας 5.3: Κατηγορίες της γεωργικής ξηρασίας βάσει των τιμών του VHI (Kogan, 2001).

Τιμές VHI	Κατηγορίες Γεωργικής Ξηρασίας
<10	Ακραία ξηρασία
<20	Δριμεία ξηρασία
<30	Μέτρια ξηρασία
<40	Ήπια ξηρασία
>40	Καθόλου ξηρασία

5.3.2 Ζώνες αειφόρου παραγωγής

Αφού ορίστηκαν οι WLGE, στη συνέχεια συνδυάζονται με εδαφολογικούς χάρτες και DEMs. Ο συνδυασμός του εδαφολογικού χάρτη και του DEM δημιουργεί περιοχές που ορίζονται από τη γεωγραφική τους θέση, το υψόμετρο, την κλίση και τον τύπο του εδάφους (Thomas, 1992). Έτσι λοιπόν, στις ζώνες WLGE προστίθενται το ανάγλυφο και η τοπογραφία, καθώς και οι διάφοροι τύποι εδαφών με τις ιδιότητές τους. Κάθε μια από αυτές τις ζώνες εμπεριέχει τα πρόσθετα περιγραφικά στοιχεία, που είναι απαραίτητα για τον ορισμό των γενικών αγροκλιματικών ζωνών και αντιπροσωπεύουν περιοχές, όπου η γεωργική παραγωγή χαρακτηρίζεται ως αειφόρος, αειφόρος υπό συνθήκες ή οριακά αειφόρος και μη αειφόρος.

5.3.3 Προσδιορισμός αγροκλιματικών ζωνών

Για την ειδική αγροκλιματική ζωνοποίηση επιλέχθηκαν δύο καλλιέργειες. Συγκεκριμένα επιλέχθηκαν το βαμβάκι και το σιτάρι. Η επιλογή αυτών των καλλιεργειών βασίστηκε πρώτιστα σε κοινωνικοοικονομικά κριτήρια. Το σιτάρι και το βαμβάκι είναι δύο βασικές καλλιέργειες για την περιοχή της Θεσσαλίας. Αυτό γίνεται αντιληπτό τόσο από την καλλιεργητική έκταση που καταλαμβάνουν, όσο και από το κέρδος που απέφεραν μέχρι σήμερα στον καλλιεργητή. Κατά δεύτερο λόγο, η επιλογή των καλλιεργειών βασίστηκε στο ότι το βαμβάκι είναι μία εαρινή και αρδευόμενη καλλιέργεια, ενώ το σιτάρι είναι χειμερινή και ξηρική.

Όπως προαναφέρθηκε, τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν την καταλληλότητα των καλλιεργειών μιας περιοχής είναι συνήθως

απλοί αγροκλιματικοί δείκτες. Οι δείκτες που χρησιμοποιούνται στην παρούσα μεθοδολογία, για να χαρακτηρίσουν το περιβάλλον ανάπτυξης του βαμβακιού και του σιταριού, είναι ο GDD και η R_n . Οι δείκτες αυτοί εξάγονται με βάση τις απαιτήσεις των δύο καλλιεργειών και συνδυάζονται με τις γενικές αγροκλιματικές ζώνες, ώστε να οριστούν οι αγροκλιματικές ζώνες που είναι κατάλληλες για την ανάπτυξή τους.

Θερμομονάδες

Είναι γνωστό ότι η θερμοκρασία παίζει σημαντικό ρόλο στον καθορισμό του ρυθμού ανάπτυξης πολλών οργανισμών (Porter *et al.*, 1991). Έτσι λοιπόν, τα φυτά και άλλοι οργανισμοί (ασπόνδυλα, νηματώδεις) απαιτούν ένα ορισμένο ποσό θερμότητας για να αναπτυχθούν από ένα σημείο του κύκλου ζωής τους σε άλλο. Το μέτρο αυτής της συσσωρευμένης θερμότητας είναι γνωστό ως φυσιολογικός χρόνος.

Έτσι λοιπόν, ως GDD ορίζεται η αθροιστική μέση θερμοκρασία εκείνων των ημερών της βλαστικής περιόδου, που έχουν μέση ημερήσια θερμοκρασία υψηλότερη από μία κρίσιμη τιμή κατωφλίου, ειδική για κάθε καλλιέργεια, και υπολογίζονται από την εξίσωση:

$$GDD = \sum_1^n \delta_i (T_{mean} - T_c) \quad (5.6)$$

όπου, n είναι η διάρκεια της βλαστικής περιόδου, $\delta_i=1$ όταν $T_{mean}>T_c$, $\delta_i=0$ όταν $T_{mean}\leq T_c$, T_{mean} είναι η μέση ημερήσια θερμοκρασία σε °C και T_c η βασική θερμοκρασία (°C), η οποία διαφέρει από καλλιέργεια σε καλλιέργεια. Άλλες μέθοδοι για τον υπολογισμό των θερμομονάδων είναι διαθέσιμες στη διεθνή βιβλιογραφία από τους Perry *et al.* (1997), Vittum *et al.* (1995) και τους Zalom *et al.* (1993).

Η θεωρία των GDD, προϋποθέτει μια άμεση και γραμμική σχέση μεταξύ της ανάπτυξης και της θερμοκρασίας. Ξεκινά με την υπόθεση ότι η ανάπτυξη ενός φυτού εξαρτάται από τη συνολική ποσότητα θερμότητας στην οποία υποβάλλεται το φυτό κατά τη διάρκεια της ζωής του. Η θερμομονάδα, είναι η απόκλιση από τη μέση ημερήσια θερμοκρασία, επάνω από μια ελάχιστη τιμή θερμοκρασίας κατωφλίου (βασική θερμοκρασία). Αυτή η ελάχιστη τιμή κατωφλίου σηματοδοτεί την αρχή της ανάπτυξης και είναι η θερμοκρασία κάτω από την οποία δε σημειώνεται αύξηση του φυτού. Η τιμή κατωφλίου μπορεί να είναι διαφορετική από είδος σε είδος ή ακόμα και ανά στάδιο ανάπτυξης, και κυμαίνεται από 0 έως 15°C, με υψηλότερες τιμές για τροπικά φυτά και χαμηλότερες για εύκρατα. Αναλυτικότερα, ο Πίνακας 5.4 συνοψίζει τιμές βασικής θερμοκρασίας και αθροίσματος των GDD για την πλήρη ανάπτυξη

ενός αριθμού κοινών καλλιεργειών, με βάση τη διεθνή βιβλιογραφία (Δαναλάτος, 2007).

Ο συγκεκριμένος δείκτης χρησιμοποιείται συχνά για την εξέταση της φαινολογικής ανάπτυξης των καλλιεργειών (Porter *et al.*, 1991). Είναι σημαντικός για διάφορα φαινολογικά στάδια (φύτρωμα, ανθοφορία, καρποφορία κ.τ.λ.), καθώς και για τη γενικότερη ολοκλήρωση του βιολογικού κύκλου κάθε φυτού. Επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη ζωνοποίηση της κατανομής καλλιεργειών ή εντόμων (Robertson, 1973; Scriber and Hainzee, 1987).

Οι GDD είναι μια απλή εξήγηση της σχέσης μεταξύ της ανάπτυξης του φυτού, της εξέλιξής του και της ωριμότητάς του, και της θερμοκρασίας του αέρα. Αυτή η θεωρία είναι κοινώς αποδεκτή σαν μια βάση για τη δημιουργία δυναμικών μοντέλων φαινολογίας. Οι GDD χρησιμοποιούνται συχνά στην αγρομετεωρολογία για να εκτιμήσουν ή να προβλέψουν τα μήκη των διαφορετικών φάσεων της ανάπτυξης και της εξέλιξης των φυτών μεγάλης καλλιέργειας (Bonhomme, 2000).

Πίνακας 5.4: Ενδεικτικές τιμές βασικής θερμοκρασίας για ανάπτυξη (T_c , σε °C), και άθροισμα θερμομονάδων (T_{SUM} σε °C-d) για πλήρη ανάπτυξη διαφόρων καλλιεργειών (Δαναλάτος, 2007).

Καλλιέργεια	T_c	T _{SUM}	Καλλιέργεια	T_c	T _{SUM}
Αραχίδα	10	1350	Μπιζέλι	4-11	1350
Βαμβάκι	10-15	1450-1800	Πατάτα	0	2000
Γλυκοπατάτα	10	2000	Ρεβίθι	4- 7	1280
Δόλιχος	8	1350	Ρύζι	0-10	1600-2080
Ηλιάνθος	5	1700	Σίτος	0-8	2100
Καλαμπόκι	10	1550-1750	Σόγια	5-10	1750
Καπνός	0-10	1450	Σόργο	7-10	1600
Κεχρί	10	1380	Σουσάμι	10	1380
Κριθάρι	2	2100-2700	Φακή	0	2350

Η απλότητα και η ευκολία στη χρήση της μεθόδου των GDD, την καθιστά δημοφιλή σε ένα πλήθος εφαρμογών. Οι περισσότερες εφαρμογές των GDD σχετίζονται με την πρόγνωση των ημερομηνιών συγκομιδής των καλλιεργειών, της επερχόμενης παραγωγής και με τον έλεγχο της ποιότητας. Μια επιπλέον εφαρμογή

των GDD αφορά στην εκτίμηση της πιθανότητας για την επιτυχή ανάπτυξη μιας καλλιέργειας σε μία περιοχή, στην οποία δεν είχε καλλιεργηθεί ποτέ πριν. Επίσης, η θεωρία των GDD βρίσκει εφαρμογές στην περίπτωση επιλογής μιας ποικιλίας από ένα σύνολο ποικιλιών φυτών, ώστε αυτή να καλλιεργηθεί σε μια νέα περιοχή με διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες. Μια ακόμα περίπτωση είναι η εφαρμογή της μεθόδου για την τροποποίηση του μικροκλίματος με τέτοιο τρόπο, ώστε να δημιουργηθούν οι κατάλληλες-ευνοϊκές συνθήκες σε κάθε σημείο του κύκλου ανάπτυξης ενός οργανισμού. Οι συγκεκριμένες εφαρμογές απαντώνται και σε φυτά, τα οποία δεν είναι μεγάλης καλλιέργειας, καθώς και σε θέματα ανάπτυξης και εξέλιξης εντόμων, φυτικών παθογόνων, πουλιών και άλλων ζώων.

Αν και η θεωρία των GDD είναι απλή και χρήσιμη στην αγρομετεωρολογία, στερείται θεωρητικής πληρότητας και παρουσιάζει ορισμένες αδυναμίες. Έτσι, έχει αναγνωριστεί μία σειρά παραγόντων, οι οποίοι επιδρούν στην ικανότητα πρόγνωσης των αθροιστικών θερμομονάδων. Ανάμεσα σε αυτούς είναι οι συνθήκες που έχουν επίδραση στις φυσιολογικές διεργασίες ενός οργανισμού (π.χ. η θρέψη και η θερμορυθμιστική ικανότητα), το σφάλμα το οποίο σχετίζεται με τις υποθέσεις, τις παραδοχές και τις προσεγγίσεις που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση του ρυθμού ανάπτυξης και των βασικών θερμοκρασιών, καθώς και οι περιορισμοί που σχετίζονται με τα διαθέσιμα μετεωρολογικά δεδομένα (Zalom *et al.*, 1993; Perry *et al.*, 1997; Roltsch *et al.*, 1999; Bonhomme, 2000). Μερικοί περιορισμοί που έχουν αναγνωριστεί είναι οι ακόλουθοι (Mavi and Tupper, 2004):

1. Κατά τη χρήση των GDD, μερικές φορές λησμονούνται οι φυσιολογικές και μαθηματικές βάσεις πάνω στις οποίες υπολογίστηκαν, και οδηγούν σε αμφισβητούμενες ερμηνείες και αποτελέσματα (McMaster and Wilhelm, 1997).
2. Εκτός από τις τροποποιημένες εξισώσεις, μεγάλο βάρος δίνεται στις υψηλές θερμοκρασίες.
3. Δεν υπάρχει διάκριση ανάμεσα στους διαφορετικούς συνδυασμούς των εποχών. Για παράδειγμα, ο συνδυασμός μιας ζεστής άνοιξης και ενός δροσερού καλοκαιριού δε μπορεί να διακριθεί από μια κρύα άνοιξη ακολουθούμενη από ένα ζεστό καλοκαίρι.
4. Δε λαμβάνεται υπόψη το ημερήσιο εύρος της θερμοκρασίας, το οποίο πολλές φορές είναι πιο σημαντικό από τη μέση ημερήσια θερμοκρασία.

5. Δε λαμβάνονται υπόψη τυχόν αλλαγές στη βασική θερμοκρασία, κατά την αλλαγή των σταδίων εξέλιξης της καλλιέργειας.
6. Η απόκριση της αύξησης και ανάπτυξης των φυτών στη θερμοκρασία είναι αποτέλεσμα της θερμοκρασίας στα όργανα των φυτών και όχι στην θερμοκρασία αέρα, όπως αυτή δίνεται από ένα μετεωρολογικό σταθμό. Μπορεί σε μία συγκεκριμένη στιγμή αυτή η διαφορά να είναι μικρή, όμως το αθροιστικό της αποτέλεσμα καθ' όλη τη βλαστική περίοδο μπορεί να είναι αρκετά υψηλό.
7. Δε λαμβάνεται υπόψη η επίδραση της τοπογραφίας, του υψομέτρου και του γεωγραφικού πλάτους στην αύξηση της καλλιέργειας.
8. Η μέθοδος δε συνυπολογίζει την επίδραση του ανέμου, του χαλαζιού, των εντόμων και των ασθενειών.
9. Η μέθοδος δε συνυπολογίζει τη γονιμότητα του εδάφους, η οποία ίσως να έχει επίδραση στην ωρίμανση της καλλιέργειας.

Παρά την ύπαρξη αυτών των περιορισμών, η μέθοδος των θερμομονάδων απαντά σε ένα πλήθος ερωτήσεων που σχετίζονται με τη φαινολογία και την αύξηση των φυτών και των εντόμων.

Στην παρούσα μεθοδολογία, η καινοτομία κατά τον υπολογισμό των GDD ενάγεται στο γεγονός ότι αντί της θερμοκρασίας αέρα χρησιμοποιείται η T_s , υπολογισμένη από δεδομένα NOAA/AVHRR. Κατά αυτόν τον τρόπο, αντισταθμίζεται μερικά ο περιορισμός που σχετίζεται με τη διαφορά της θερμοκρασίας αέρα, όπως αυτή μετρείται από τα όργανα του μετεωρολογικού σταθμού, με αυτή που υφίσταται στην επιφάνεια της καλλιέργειας (Tsiros *et al.*, 2009b). Τέλος, η προτεινόμενη μεθοδολογία αντισταθμίζει πλήρως τον περιορισμό σχετικά με την επίδραση της τοπογραφίας, του υψομέτρου και του γεωγραφικού πλάτους στην αύξηση της καλλιέργειας.

Καθαρή Ακτινοβολία (Net Radiation, R_n)

Η γνώση της διακύμανσης της καθαρής ακτινοβολίας κατέχει σημαντικό ρόλο στην κλιματολογία και στην αγρονομία. Η γνώση της είναι απαραίτητη εφόσον όλες οι τυρβώδεις ανταλλαγές στην επιφάνεια της γης ελέγχονται από το ισοζύγιο της καθαρής ακτινοβολίας (Hurtado and Sobrino, 2001). Στο φυσικό περιβάλλον η εξατμισοδιαπνοή συνδέεται άμεσα με την καθαρή ακτινοβολία, μέσω του ενεργειακού ισοζυγίου στην επιφάνεια της γης. Διάφορα μοντέλα έχουν αναπτυχθεί με σκοπό τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής, από την εξίσωση ενεργειακού

ισοζυγίου (Seguin and Itier, 1983; Hurtado *et al.*, 1994), τα οποία χρησιμοποιούν δεδομένα καθαρής ακτινοβολίας και τη διαφορά μεταξύ της επιφανειακής και της θερμοκρασίας αέρα. Σε αυτά τα μοντέλα, η επιφανειακή θερμοκρασία υπολογίζεται με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων, ενώ τα δεδομένα της καθαρής ακτινοβολίας λαμβάνονται από μετεωρολογικούς σταθμούς. Αυτές οι προσεγγίσεις έχουν περιορισμούς, οι οποίοι προέρχονται από την ακρίβεια του αισθητήρα, τη χωρική και τη χρονική διακριτική ικανότητα των δορυφορικών δεδομένων, τις ατμοσφαιρικές επιδράσεις και την ύπαρξη νεφών (Hurtado and Sobrino, 2001). Παρ' όλα αυτά, έχουν ενδιαφέρουσες εφαρμογές σε διάφορους τομείς, όπως η υδρολογία, η μετεωρολογία, η γεωργία, καθώς και σε μελέτες ερημοποίησης.

Ο προσδιορισμός της καθαρής ακτινοβολίας με τη χρήση τηλεπισκοπικών τεχνικών μπορεί να βελτιώσει την εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής σε τοπική κλίμακα, ενώ είναι απαραίτητος σε επίπεδο περιφέρειας. Στην παρούσα μεθοδολογία, ο υπολογισμός της καθαρής ενέργειας γίνεται με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων τύπου NOAA/AVHRR και επίγειων μετεωρολογικών δεδομένων. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιούνται τα κανάλια 1 και 2 για τον υπολογισμό της λευκαύγειας (albedo) και του NDVI, και τα κανάλια 4 και 5 για τον υπολογισμό της T_s . Από αυτές τις εικόνες και με τη χρήση συμπληρωματικών μετεωρολογικών δεδομένων υπολογίζονται οι θεματικοί χάρτες μέσης μηνιαίας καθαρής ακτινοβολίας.

Η καθαρή ακτινοβολία είναι ένα ισοζύγιο μεταξύ της μικρού και μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας:

$$R_n = (1 - a)R_g + \varepsilon R_a - L_{\uparrow} \quad (5.7)$$

$$L_{\uparrow} = \varepsilon R_s = \varepsilon \sigma T_s^4 \quad (5.8)$$

όπου, a και ε είναι η λευκαύγεια και εκπομπή επιφανείας, αντίστοιχα, σ είναι η σταθερά του Stephan Boltzman ($5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$), R_g η προσπίπτουσα ολική ηλιακή ακτινοβολία (W m^{-2}), R_a η εισερχόμενη μεγάλου μήκους κύματος ατμοσφαιρική ακτινοβολία στην επιφάνεια (W m^{-2}), L_{\uparrow} η μεγάλου μήκους κύματος ανερχόμενη ακτινοβολία (W m^{-2}), R_s η εκπεμπόμενη ακτινοβολία μέλανος σώματος και T_s η επιφανειακή θερμοκρασία ($^{\circ}\text{K}$).

Αρκετές εργασίες πραγματοποιούνται τον υπολογισμό της μικρού μήκους κύματος καθαρής ακτινοβολίας $R_g(1-a)$ από δορυφορικά δεδομένα τύπου Meteosat ή NOAA (Tarpley, 1979; Dedieu *et al.*, 1987). Παραδείγματα χαρτογράφησης

λευκαύγειας έχουν παρουσιασθεί από τους Pinty και Ramond (1987) και από τον Saunders (1990).

Σε ανέφελο ουρανό η προσπίπτουσα ακτινοβολία (μικρού μήκους κύματος) στην επιφάνεια της γης, που αποτελείται από την άμεση και τη διάχυτη ακτινοβολία, είναι πάντα λιγότερη από την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία κατά 10 - 20%, εξαιτίας της απορρόφησης και της διασκόρπισης της ακτινοβολίας από την ατμόσφαιρα, και δίνεται από την εξίσωση (Iqbal, 1986):

$$R_g = R_{g0} \left(a + b \frac{n}{N} \right) \quad (5.9)$$

όπου, R_{g0} είναι η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία ή αλλιώς τιμή Angot, n/N είναι ο λόγος των ωρών πραγματικής ηλιοφάνειας (n) προς τις ώρες μέγιστης διάρκειας ηλιοφάνειας (N) και a και b αποτελούν τις εμπειρικές σταθερές για την εκτέλεση των ατμοσφαιρικών διορθώσεων.

Ο λόγος της ηλιακής ακτινοβολίας που ανακλάται από μία επιφάνεια προς την ακτινοβολία που αναχαιτίζεται από αυτήν την επιφάνεια ονομάζεται λευκαύγεια. Από δεδομένα τύπου NOAA/AVHRR μπορούν να υπολογιστούν οι διπλής κατεύθυνσης (bi-directional) ανακλαστικότητες r_1 και r_2 με τη χρήση των καναλιών 1 και 2. Οι ανακλαστικότητες στα δύο αυτά κανάλια εξαρτώνται από τη γωνία κλίσης του ηλίου (z), τη γωνία κλίσης του δορυφόρου (θ) και το σχετικό αζιμούθιο (ϕ). Υποθέτοντας την ύπαρξη ισοτροπίας, πράγμα λογικό για τις περιπτώσεις μικρών γωνιών κλίσης ηλίου ($<45^\circ$) και μικρών γωνιών κλίσης δορυφόρου ($<45^\circ$), η επιφανειακή λευκαύγεια (a) μπορεί να υπολογιστεί από τις καταγεγραμμένες ακτινοβολίες (radiances) στην ορατή (VIS) και στην κοντινή υπέρυθη περιοχή (NIR) του ΗΜΦ του οργάνου AVHRR (Saunders, 1990):

$$a(z, \theta, \phi) = w_1 r_1(z, \theta, \phi) + w_2 r_2(z, \theta, \phi) \quad (5.10)$$

όπου, w_1 και w_2 είναι συντελεστές (ειδικά βάρη) που σταθμίζουν την ανακλαστικότητα, ανάλογα με το ποσό της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας σε κάθε κανάλι. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή, οι συντελεστές θεωρήθηκαν ίσοι (0,5) και για τα δύο κανάλια (Saunders, 1990). Προηγούμενες μελέτες έδειξαν ότι οι τιμές της λευκαύγειας που έχει υπολογιστεί με τη χρήση διαφοροποιημένων συντελεστών ανά κανάλι διαφέρει λιγότερο από 3% από αυτήν που έχει υπολογιστεί με τη χρήση ίσων βαρών (Valiente *et al.*, 1995; Russell *et al.*, 1997). Τα σφάλματα που υπεισέρχονται

στους υπολογισμούς από τις ατμοσφαιρικές διορθώσεις και από την υπόθεση της Λαμπερτιανής ανάκλασης είναι πολύ μεγαλύτερα (Hurtado and Sobrino, 2001).

Η ανερχόμενη μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία εξαρτάται από την T_s . Το ημερήσιο εύρος της T_s είναι στενά συνδεδεμένο με την ένταση της εξατμισοδιαπνοής. Ωστόσο, σε ανέφελες συνθήκες η T_s έχει παρόμοια εξέλιξη, που μπορεί να εκτιμηθεί με τη χρήση καμπύλης παραβολής για τη διάρκεια της νύχτας και με μέρος ημιτονοειδούς συνάρτησης για τη διάρκεια της ημέρας. Βεβαίως, η εξέλιξη της T_s σε ημερησία κλίμακα μπορεί να επηρεάζεται από διακυμάνσεις, λόγω των στιγμιαίων μεταβολών των τοπικών καιρικών συνθηκών, που σχετίζονται για παράδειγμα με το πέρασμα νεφών ή με αλλαγές στην ταχύτητα του ανέμου. Η ανερχόμενη μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία δίνεται από την εξίσωση (5.8), ενώ η T_s υπολογίζεται με τη χρήση δεδομένων NOAA/AVHRR.

Ο εναπομείναν όρος της εξίσωσης (5.7) είναι η εισερχόμενη μεγάλου μήκους κύματος ατμοσφαιρική ακτινοβολία, η οποία προσδιορίζεται από τα προφίλ της υγρασίας και της θερμοκρασίας δια μέσου της ατμοσφαιράς (Garrat, 1992; Culf and Gash, 1993). Εναλλακτικά, εκτιμήσεις της εισερχόμενης μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας μπορούν να γίνουν με τη χρήση εμπειρικών εξισώσεων. Τέτοιου είδους εξισώσεις, συνήθως, χρησιμοποιούν τη θερμοκρασία αέρα και την πίεση υδρατμών για να εκτιμήσουν την ακτινοβολία. Δύο από τις πιο γνωστές και ευρέως χρησιμοποιούμενες εξισώσεις είναι αυτή του Swindbank (1963):

$$R_a = 0,94 \times 10^{-5} \sigma T_a^6 \quad (5.11)$$

όπου, T_a είναι η θερμοκρασία αέρα, και η εξίσωση που προτάθηκε από τον Brutsaert (1975) και τροποποιήθηκε από τους Culf και Gash (1993):

$$R_a = 1,31 \sigma T_a^4 \left(\frac{e}{T_a} \right)^{1/7} \quad (5.12)$$

όπου, e είναι η πίεση των υδρατμών στην ατμόσφαιρα.

Για τον υπολογισμό της μεγάλου μήκους κύματος ατμοσφαιρικής ακτινοβολίας χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση του Swindbank, η οποία απαιτεί μόνο δεδομένα θερμοκρασίας αέρα. Η επιλογή έγινε βάσει της διαθεσιμότητας των δεδομένων. Οι Hurtado and Sobrino (2001) έδειξαν ότι η μέση διαφορά μεταξύ των υπολογισμένων τιμών ακτινοβολίας από τις εξισώσεις (5.11) και (5.12) είναι $0,04 \text{ mm day}^{-1}$.

5.4 Μεθοδολογία εκτίμησης παραγωγής

Η μεθοδολογία της ανάπτυξης ενός στατιστικού μοντέλου εκτίμησης παραγωγής εφαρμόζεται για τις δύο καλλιέργειες της αγροκλιματικής ζωνοποίησης, το βαμβάκι και το σιτάρι, για το υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας. Από την ανασκόπηση στο κεφάλαιο 4.4, είναι εμφανής η χρησιμότητα των δεικτών που εξάγονται από τηλεπισκοπικά δεδομένα για την ανάπτυξη στατιστικών μοντέλων, με σκοπό την πρόγνωση της απόδοσης και της παραγωγής καλλιεργειών. Επίσης, αναφέρθηκε ότι η επιλογή της βέλτιστης μεθοδολογίας εξαρτάται κατά κύριο λόγο από το είδος και τη χωρική διακριτική ικανότητα των δορυφορικών δεδομένων. Στην περίπτωση που είναι διαθέσιμα δεδομένα με χαμηλή χωρική διακριτική, όπως είναι η βάση δεδομένων που χρησιμοποιείται στην προτεινόμενη μεθοδολογία, οι δείκτες VCI και TCI φαίνεται να παρέχουν πιο αξιόπιστα και ακριβή αποτελέσματα. Έτσι λοιπόν, και στην παρούσα μεθοδολογία γίνεται έλεγχος για την εύρεση της μεθοδολογίας που θα οδηγήσει στην ακριβέστερη εκτίμηση των αποδόσεων, με τη χρήση αυτών των δεικτών.

Ένα σημαντικό θέμα με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων χαμηλής ανάλυσης είναι η εύρεση των εικονοστοιχείων που αντιστοιχούν στην υπό εξέταση καλλιέργεια. Ειδικά στην Ελλάδα, όπου το μέσο μέγεθος αγροτεμαχίου είναι πολύ μικρό, το πρόβλημα αυτό πολλαπλασιάζεται. Ενδεικτικά, όσον αφορά στην καλλιέργεια του βαμβακιού, το μικρότερο μέγεθος αγροτεμαχίου είναι περίπου 5 στρέμματα (strm), το μέσο μέγεθος 50 strm, ενώ το μέγιστο φτάνει τα 295 strm. Έτσι, η ύπαρξη μικτών εικονοστοιχείων είναι κάτι που δε μπορεί να αποφευχθεί. Προηγούμενες μελέτες για την καλλιέργεια του βαμβακιού στην Ελλάδα και στην περιοχή της Θεσσαλίας (Domenikiotis *et al.*, 2004a, 2004b, 2005, 2006), κατέδειξαν ότι η χρήση του VCI οδηγεί σε μείωση της επίδρασης των μικτών εικονοστοιχείων στην προγνωστική ικανότητα του δείκτη, εφόσον η ξηρασία δεν έχει αντίκτυπο μόνο στην καλλιέργεια, αλλά και στην υπόλοιπη βλάστηση, και συντελεί σε γενικότερη μείωση της παραγωγικότητας του οικοσυστήματος.

Σχετικά με τις αρδευόμενες καλλιέργειες, ο δείκτης είναι πάλι κατάλληλος για την εκτίμηση της επερχόμενης παραγωγής. Γενικότερα, είναι γεγονός ότι οι αρδεύσεις στα χωράφια γίνονται κάθε χρόνο με τον ίδιο σχεδόν τρόπο, τόσο όσον αφορά στην ποσότητα του αρδευτικού νερού, όσο και στη μέθοδο εφαρμογής. Άρα, η

ξηρασία έχει αντίκτυπο στην επερχόμενη παραγωγή, ακόμα και των αρδευόμενων καλλιεργειών, εφόσον η ποσότητα του παρεχόμενου νερού από αρδεύσεις είναι η ίδια, αλλά μειώνεται κατά πολύ η παροχή νερού από βροχοπτώσεις.

Όλα τα ανωτέρω οδηγούν στο συμπέρασμα ότι ο VCI είναι κατάλληλος για την εκτίμηση της παραγωγής μέσω στατιστικών μοντέλων. Όμως, το έλλειμμα νερού είναι μόνο μία αιτία της ύπαρξης χαμηλής πράσινης φυτοκάλυψης εξαιτίας του φαινομένου της ξηρασίας. Για παράδειγμα, στις ορεινές περιοχές της Νέας Νότιας Ουαλίας, η υδρολογική ξηρασία μπορεί να λήξει το Μάιο, ακολουθούμενη από βροχές, αλλά η γεωργική ξηρασία μπορεί να συνεχιστεί μέχρι το Σεπτέμβριο, εξαιτίας της θερμοκρασίας του αέρα που είναι περιοριστικός παράγοντας στην ανάπτυξη των φυτών (McVicar and Jupp, 1998). Επομένως, για να ληφθεί υπόψη η επίδραση της θερμοκρασίας στο φαινόμενο της ξηρασίας και του αντίκτυπού του στην τελική παραγωγή, χρησιμοποιείται και ένας θερμικός δείκτης, ο TCI.

Έτσι λοιπόν, ελέγχονται δύο μεθοδολογίες. Η πρώτη βασίζεται στην ανάπτυξη μίας απλής εξίσωσης παλινδρόμησης που συνδέει τις δεκαήμερες τιμές του VCI με την τελική απόδοση. Η δεύτερη χρησιμοποιεί την ανάλυση πολλαπλής παλινδρόμησης για την εξαγωγή μίας σχέσης μεταξύ των δύο δεικτών και της τελικής παραγωγής. Κατά την εκτίμηση παραγωγής γίνεται αναφορά σε συγκεκριμένη καλλιέργεια, και εφόσον οι ανάγκες αυτής μπορεί να διαφοροποιούνται ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης, είναι πιθανόν να μην ισχύει η παραδοχή του Kogan σχετικά με το ίσο ειδικό βάρος του VCI και του TCI στον υπολογισμό του VHI. Ο VHI έλαβε μέρος στον προσδιορισμό των αγροκλιματικών ζωνών και επομένως, είναι ορθό να μη χρησιμοποιηθεί για την πρόγνωση της παραγωγής σε αυτές, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η αμεροληψία της μεθοδολογίας.

Για την εύρεση των περιοχών, όπου καλλιεργείται το βαμβάκι και το σιτάρι, χρησιμοποιήθηκε η βάση δεδομένων χρήσεων γης Corine 2001. Η βάση αυτή έχει εξαχθεί από την ταξινόμηση δορυφορικών εικόνων Landsat TM (Thematic Mapper) της περιόδου 1992-1997 και είναι αποτέλεσμα διακρατικής συνεργασίας μεταξύ εθνικών και παγκόσμιων οργανισμών. Θεωρείται αξιόπιστη, ειδικά όταν πρόκειται για εφαρμογές που χρησιμοποιούν χρονοσειρές δεδομένων. Η χρήση της βάσης Corine 2001 οδηγεί σε μία πρώτη παραδοχή, ότι οι καλλιέργειες δεν εναλλάσσονται, γεγονός που δεν παρεκκλίνει πολύ από την πραγματικότητα που επικρατούσε τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο στον Ελλαδικό χώρο.

Η βάση δεδομένων χωρίζει τις καλλιεργούμενες περιοχές σε αρδευόμενες και μη αρδευόμενες. Με το σκεπτικό ότι το βαμβάκι αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο ποσοστό των αρδευόμενων καλλιεργειών και το σιτάρι των μη αρδευόμενων, έγινε άλλη μία παραδοχή. Θεωρήθηκε ότι οι αρδευόμενες περιοχές αντιπροσωπεύουν τις περιοχές καλλιέργειας του βαμβακιού, ενώ οι μη αρδευόμενες αντιπροσωπεύουν αυτές του σιταριού. Από αυτές τις περιοχές εξήχθησαν οι μέσοι όροι για κάθε δεκαήμερο και βλαστική περίοδο ανά έτος και ανά καλλιέργεια. Λόγω της χαμηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας των δεδομένων, για να μειωθεί η επίδραση των εικονοστοιχείων που δεν αντιστοιχούν στο σύνολό τους σε καλλιεργούμενες εκτάσεις, αλλά μόνο ένα μικρό μέρος αυτών αφορούν στις περιοχές ενδιαφέροντος, έγινε χρήση του σταθμισμένου μέσου όρου. Ο σταθμισμένος μέσος όρος, με βάση την έκταση που καταλαμβάνει η καλλιέργεια, υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$\bar{R} = \frac{1}{\sum_{i=1}^N A_i} \sum_{i=1}^N A_i R_i(t) \quad (5.13)$$

όπου, A_i είναι η έκταση που καταλαμβάνει η καλλιέργεια σε κάθε εικονοστοιχείο, R_i είναι η τιμή του VCI ή του TCI στο δεκαήμερο (t) και N είναι ο αριθμός των πολυγώνων που ορίζονται από την έκταση που καταλαμβάνει η καλλιέργεια και το κάθε εικονοστοιχείο (για κάθε εικονοστοιχείο ενδιαφέροντος και ένα πολύγωνο κάλυψης της καλλιέργειας).

Η εύρεση του δεκαημέρου της βλαστικής περιόδου, όπου οι τιμές των δεικτών έχουν επίδραση στην τελική παραγωγή, γίνεται με την ανάλυση συσχετίσεων. Έτσι, χρησιμοποιούνται οι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ όλων των δεκαήμερων τιμών του VCI και του TCI κατά τη βλαστική περίοδο και των αντίστοιχων ετήσιων αποδόσεων, με σκοπό την εύρεση του δεκαημέρου της βλαστικής περιόδου που συνδέει τους δύο δείκτες με την τελική παραγωγή. Οι τιμές των δεικτών των δεκαήμερων που παρουσιάζουν τον υψηλότερο συντελεστή συσχέτισης με την τελική απόδοση, ορίζουν τα κρίσιμα δεκαήμερα της βλαστικής περιόδου ανά καλλιέργεια και χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη των εξισώσεων εκτίμησης των τελικών αποδόσεων.

Οι δύο μεθοδολογίες εφαρμόζονται για τις δύο καλλιέργειες της αγροκλιματικής ζωνοποίησης, το βαμβάκι και το σιτάρι. Η βλαστική περίοδος για το βαμβάκι θεωρήθηκε από το τρίτο δεκαήμερο του Απριλίου έως το τρίτο δεκαήμερο του Οκτωβρίου, εφόσον τα φαινολογικά στάδια του βαμβακιού αρχίζουν να γίνονται

εμφανή τον Απρίλιο, με μικρές διακυμάνσεις στην ημερομηνία έναρξης, οι οποίες εξαρτώνται από τις κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής, και λήγουν στα τέλη του Οκτωβρίου. Για το σιτάρι, η βλαστική περίοδος ορίστηκε με βάση τη φαινολογία της καλλιέργειας, δηλαδή από το δεύτερο δεκαήμερο του Νοεμβρίου έως το τρίτο δεκαήμερο του Ιουνίου. Τέλος, οι εξισώσεις εξήχθησαν για το υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας.

Συνοπτικά, τα βήματα της μεθοδολογίας για την ανάπτυξη του στατιστικού μοντέλου εκτίμησης της απόδοσης είναι τα εξής:

1. Εξαγωγή των δεικτών VCI και TCI ανά δεκαήμερο.
2. Απομόνωση των περιοχών καλλιέργειας με τη χρήση της βάσης δεδομένων Corine 2001.
3. Υπολογισμός για κάθε δεκαήμερο της βλαστικής περιόδου του σταθμισμένου μέσου όρου κάθε δείκτη, με βάση την έκταση που καταλαμβάνει η καλλιέργεια.
4. Εύρεση των κρίσιμων δεκαημέρων των δύο δεικτών στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας, για κάθε καλλιέργεια.
5. Ανάπτυξη των μοντέλων απλής και πολλαπλής παλινδρόμησης, με τη χρήση των τιμών των δεικτών στα κρίσιμα δεκαημέρα (κρίσιμες περίοδοι) και των αποδόσεων, για τα έτη 1982-1996 (15 έτη) και εξαγωγή των εξισώσεων εκτίμησης παραγωγής.
6. Έλεγχος της αξιοπιστίας των μοντέλων, με τη χρήση των τιμών των κρίσιμων δεκαημέρων για την εκτίμηση των αποδόσεων, για τα έτη 1997-2000 (4 έτη).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο: ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

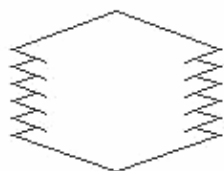
Πριν από την επεξεργασία των δεδομένων είναι απαραίτητη η αποσυμπίεσή τους και η «εισαγωγή» τους στο λογισμικό που θα χρησιμοποιηθεί. Με τον όρο «εισαγωγή» νοείται η μετατροπή τους σε μία μορφή αρχείων (format), η οποία προτιμάται από το λογισμικό επεξεργασίας. Τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διατριβή είναι το Erdas Imagine 9.1 και το ArcGIS 9.2.

Η επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων έγινε με την κατασκευή μοντέλων. Έτσι, ανάλογα με τη διεργασία και το είδος της επεξεργασίας που απαιτούνταν (π.χ. «φιλτράρισμα», υπολογισμός δείκτη, κ.τ.λ.), κατασκευαζόταν και το ανάλογο μοντέλο. Τα μοντέλα κατασκευάστηκαν με τη χρήση του λογισμικού Erdas Imagine 9.1 (Model Maker). Για την κατανόηση των μοντέλων, όπου αυτά απεικονίζονται, είναι απαραίτητη η ανάλυση μέρους αυτών, καθώς και η επεξήγηση κάποιων βασικών «εργαλείων» του Model Maker. Οι λειτουργίες που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή τους απεικονίζονται στο σχήμα 6.1.

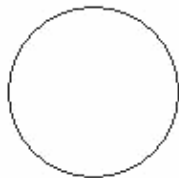
6.1 Γεωμετρική διόρθωση

Το πρώτο βήμα στην επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων και των δεδομένων σε μορφή χάρτη είναι η καταχώρησή τους στο Ελλαδικό προβολικό σύστημα συντεταγμένων ΕΓΣΑ '87 (registration) και η γεωγραφική και γεωμετρική τους διόρθωση (rectification – geometric correction). Καθ' αυτόν τον τρόπο, δημιουργείται ένα κοινό σύστημα αναφοράς μεταξύ όλων των δεδομένων και δίνεται η δυνατότητα για τη χρήση τους σε υπολογισμούς και μοντέλα, καθώς και η ταυτόχρονη επεξεργασία και προβολή τους.

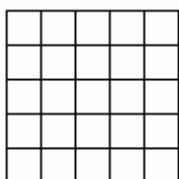
Η γεωμετρική διόρθωση των δορυφορικών εικόνων είναι μια διαδικασία με την οποία γίνεται προβολή των δεδομένων σε ένα επίπεδο και η αναφορά του σε ένα προβολικό σύστημα συντεταγμένων (rectification and registration). Η εισαγωγή χαρτικών συντεταγμένων στα δεδομένα της εικόνας ονομάζεται και γεωαναφορά (georeferencing). Έτσι, αφού όλα τα προβολικά συστήματα χαρτών σχετίζονται με συντεταγμένες, στη διόρθωση εμπεριέχεται και η διαδικασία της γεωαναφοράς.



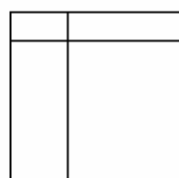
Εικονίδιο Raster : Εισάγει εικόνες τύπου Raster στο μοντέλο - Εξοδος για την δημιουργία επεξεργασμένων εικόνων.



Εικονίδιο Function : Εισάγει συναρτήσεις για την επεξεργασία των εικόνων.



Εικονίδιο Matrix : Εισάγει αντικείμενο πίνακα επεξεργασίας (matrix) στο μοντέλο.



Εικονίδιο Table : Εισάγει ή εξάγει ένα αντικείμενο σε μορφή πίνακα (table) στο μοντέλο.



Βέλος Σύνδεσης

Σχήμα 6.1: Βασικά εργαλεία του Model Maker.

Η διαδικασία της γεωμετρικής διόρθωσης των δορυφορικών δεδομένων NOAA/AVHRR έγινε μία φορά και οι παράμετροι αποθηκεύτηκαν ώστε να είναι δυνατή η επανάληψη της διαδικασίας και στις υπόλοιπες δορυφορικές εικόνες, με τα ίδια τεχνικά χαρακτηριστικά. Για τη συγκεκριμένη εφαρμογή, χρησιμοποιήθηκε ένα πολυωνυμικό γεωμετρικό μοντέλο 2^{ης} τάξης, ενώ προκειμένου η γεωαναφορά της εικόνας να έχει υψηλή ακρίβεια, εισήχθησαν 16 σημεία ελέγχου (GCP: Ground Control Points), εκ των οποίων τα τρία τέθηκαν ως σημεία επαλήθευσης (check points) για τη μείωση του ολικού γεωμετρικού σφάλματος. Έτσι, όσον αφορά στα δορυφορικά δεδομένα, η γεωμετρική διόρθωση έγινε σε όλες τις συνθετικές εικόνες δεκαήμερου της χρονοσειράς για τα κανάλια 1,2,4 και 5, καθώς και για τις συνθετικές εικόνες μεγίστων τιμών (MVCs) δεκαήμερου του NDVI.

Για τη γεωαναφορά του εδαφολογικού χάρτη, χρησιμοποιήθηκε πάλι ένα πολυώνυμο 2^ο βαθμού, ενώ εισήχθησαν 32 σημεία ελέγχου (GCP: Ground Control Points), εκ των οποίων τα οχτώ τέθηκαν ως σημεία επαλήθευσης (check points) για τη μείωση του ολικού γεωμετρικού σφάλματος. Η εισαγωγή των GCPs έγινε με τη χρήση του καννάβου που υπήρχε στο χάρτη, ενώ προστέθηκαν και σημεία κατά μήκος της ακτογραμμής και των συνόρων, με τη βοήθεια του θεματικού υπόβαθρου της Ελλάδος σε Γ.Σ.Π.

6.2 Ανάπτυξη ζωνών WLGE

Για τον προσδιορισμό των ζωνών WLGE υπολογίστηκαν ο VHI και ο AI.

6.2.1 Υπολογισμός του δείκτη υγιούς βλάστησης (VHI)

Για τον υπολογισμό του VHI, πρέπει πρώτα να εξαχθούν ο VCI και ο TCI. Τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την εξαγωγή των δύο δεικτών, και έπειτα του VHI, δίνονται στη συνέχεια.

6.2.1.1 Υπολογισμός του δείκτη κατάστασης βλάστησης (VCI)

Ο VCI υπολογίστηκε για τα 20 υδρολογικά έτη (1981-2001) σε μηνιαίο και δεκαήμερο βήμα. Ο μηνιαίος VCI χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή του VHI, ενώ ο δεκαήμερος στη μεθοδολογία ανάπτυξης του στατιστικού μοντέλου εκτίμησης της παραγωγής. Η μεθοδολογία για τον υπολογισμό του δείκτη αποτελείται από τα παρακάτω βήματα.

Βήμα 1^ο: Φιλτράρισμα και δημιουργία MVCs των εικόνων NDVI.

Προκειμένου να αποτιμηθεί η επίδραση των καιρικών φαινομένων στη βλάστηση, η επιρροή των μη καιρικών παραγόντων πρέπει να αφαιρεθεί με τη χρήση φίλτρων. Ο Kogan (1990) πρότεινε χωρικό φιλτράρισμα για τη μείωση του «θορύβου» που εμπεριέχεται στις εικόνες NDVI και BT. Ο συνδυασμός φιλτραρίσματος και η δημιουργία των εικόνων MVCs μπορεί να μειώσει σημαντικά το «θόρυβο», εξαιτίας της ύπαρξης νεφών, της διακύμανσης της διαφάνειας της ατμόσφαιρας, της γεωμετρίας στόχου/αισθητήρα, και της δορυφορικής τροχιάς (Goward *et al.*, 1991). Άλλου είδους «θόρυβος» μπορεί να σχετίζεται με σφάλματα κατά την επεξεργασία των δεδομένων ή απλά με τυχαίο «θόρυβο» (Kogan, 1995b).

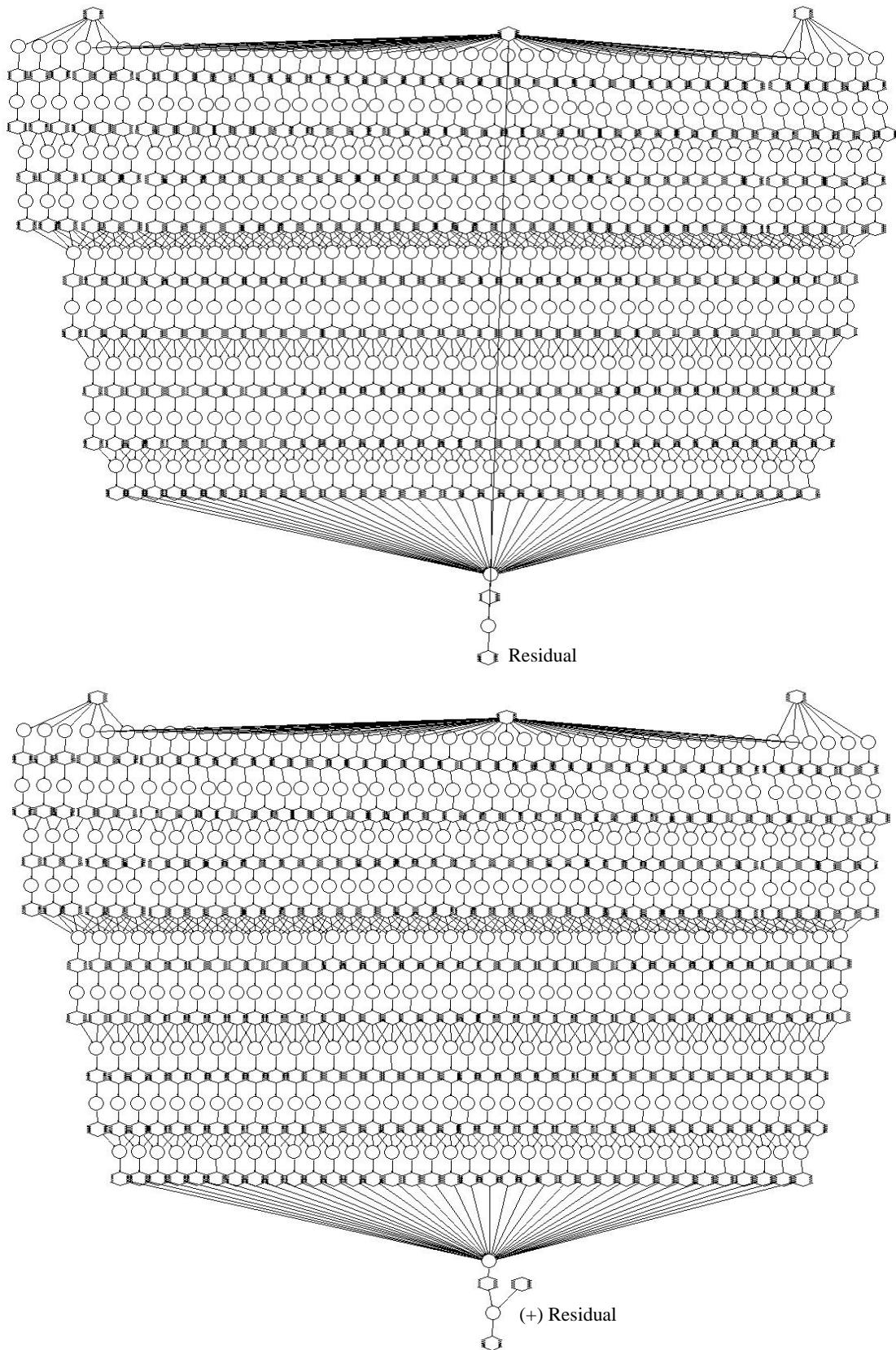
Οι εικόνες NDVI έχουν συντεθεί για χρονική περίοδο δέκα ημερών, με τη χρήση της εξίσωσης (5.2) και τη διαδικασία παραγωγής των MVCs. Κατά τη διαδικασία αυτή «επιλέγονται» οι τιμές που παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη διαφορά μεταξύ της ακτινοβολίας του κοντινού υπέρυθρου και της ορατής περιοχής του ΗΜΦ, κατά τη διάρκεια των δέκα ημερών, για κάθε εικονοστοιχείο της εικόνας.

Η χρήση χρονικού φιλτραρίσματος για την ομαλοποίηση των τιμών του NDVI κατά τον υπολογισμό του VCI, συνήθως έχει καλύτερα αποτελέσματα από τη χρήση χωρικών φίλτρων (Chen *et al.*, 2004; Domenikiotis *et al.*, 2005; Tsiros *et al.*, 2004, 2008, 2009a;). Έτσι λοιπόν, για την ομαλοποίηση των εικόνων και για την αφαίρεση του «θορύβου» από τη χρονοσειρά εικόνων του NDVI, χρησιμοποιήθηκε ένα σύνθετο φίλτρο “compound twice” 4253 (Van Dijk *et al.*, 1987). Το φίλτρο αυτό είναι ένα στατιστικό φίλτρο κινούμενου διάμεσου (moving median), με χρονικό βήμα πρώτα τέσσερα δεκαήμερα, μετά δύο, έπειτα πέντε και τέλος τρία. Το φιλτράρισμα με τη χρήση αυτού του φίλτρου είναι τόσο έντονο, που αφαιρεί και δεδομένα τα οποία ανήκουν στο πεδίο ενδιαφέροντος. Γι’ αυτό, το υπόλοιπο της πρώτης διαδικασίας υπόκειται και αυτό σε φιλτράρισμα με το ίδιο φίλτρο και το αποτέλεσμα προστίθεται στα πρώτα φιλτραρισμένα δεδομένα. Από αυτή τη διαδικασία προκύπτει και ο όρος “twice” (δύο φορές). Γενικά, αυτή η δεύτερη διαδικασία ονομάζεται «επανατράχυνση» (reroughing). Η παραπάνω διαδικασία εφαρμόστηκε για όλο το σετ δεδομένων και για κάθε έτος.

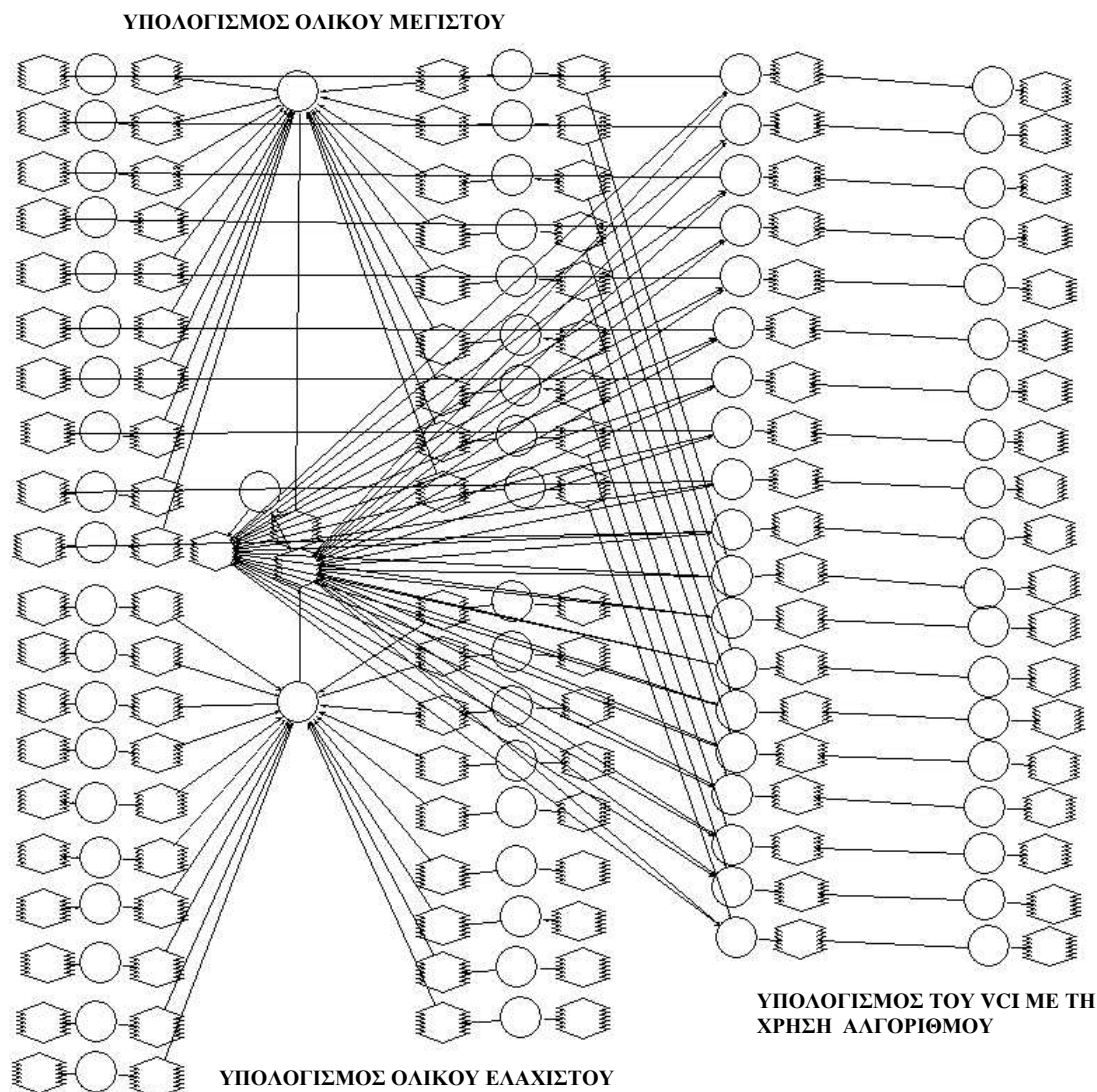
Το μοντέλο για το «φιλτράρισμα» κατασκευάστηκε με τη χρήση του λογισμικού Erdas Imagine 8.6, με το εργαλείο Model Maker. Ενδεικτικά, η διάθρωση του μοντέλου σε ετήσια βάση απεικονίζεται στο σχήμα 6.2.

Βήμα 2^ο: Εξαγωγή του VCI.

Αφού υπολογίστηκαν οι ομαλοποιημένες τιμές του NDVI σε δεκαήμερη βάση, στη συνέχεια συντέθηκαν οι μηνιαίες MVCs εικόνες του δείκτη. Έπειτα, οι μηνιαίες και δεκαήμερες τιμές των φιλτραρισμένων εικόνων NDVI, χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του μηνιαίου και δεκαήμερου VCI, αντίστοιχα, βάσει της εξίσωσης (5.3). Ο VCI εξήχθηκε για όλο τον Ελλαδικό χώρο και στις δύο περιπτώσεις, και έπειτα απομονώθηκε το υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας. Το μοντέλο που κατασκευάστηκε για τον υπολογισμό του VCI ανά έτος, για όλη τη χρονοσειρά δεδομένων, απεικονίζεται στο σχήμα 6.3.



Σχήμα 6.2: Μοντέλο εφαρμογής Φίλτρου “Compound Twice” 4253 (πάνω).
“Compound Twice” 4253, Λειτουργία Reroughing (κάτω).



Σχήμα 6.3: Απεικόνιση του μοντέλου υπολογισμού του VCI ανά έτος.

6.2.1.2 Υπολογισμός του δείκτη κατάστασης θερμοκρασίας (TCI)

Όμοια με τον VCI, ο TCI εξήχθηκε και αυτός σε δεκαήμερο και μηνιαίο χρονικό βήμα, για όλο το σετ δεδομένων. Τα βήματα υπολογισμού του δείκτη είναι παρόμοια με αυτά του VCI, με τη διαφορά ότι, αντί για χρονικό, γίνεται χωρικό φιλτράρισμα των εικόνων BT, ενώ οι σύνθετες μηνιαίες εικόνες εξάγονται με τη χρήση του μέσου όρου και όχι της μεθόδου MVCs.

Βήμα 1^ο: Χωρικό «φιλτράρισμα» και σύνθετες μηνιαίες εικόνες BT.

Σε αυτό το βήμα χρησιμοποιούνται οι εικόνες BT του τέταρτου καναλιού του αισθητήρα AVHRR (T_4). Οι τιμές T_4 είναι σε κλίμακα από 0 έως 65.536 (16-bit

integer format). Αφού εξαιρέθηκαν οι ακραίες τιμές (τιμές μικρότερες του 10 και μεγαλύτερες του 36.010), με βάση τις πληροφορίες για τα συγκεκριμένα κανάλια (αρχείο info), οι τιμές μετατράπηκαν σε °K, χρησιμοποιώντας την εξίσωση (αρχείο info):

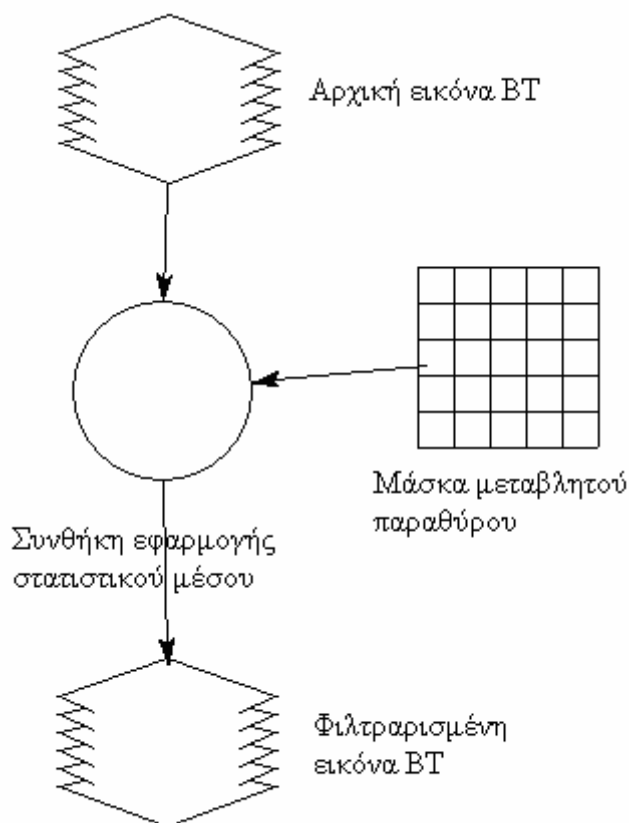
$$T_4(^{\circ}K) = (\text{τιμή bit} + 31990) * 0,005 \quad (6.1)$$

Από τα όρια των ακραίων τιμών και της παραπάνω εξίσωσης είναι φανερό ότι το εύρος των τιμών των εικόνων BT είναι από 160 έως 340 °K, ενώ η ραδιομετρική διακριτική ικανότητα είναι 0,005 °K. Για να μετατραπούν οι τιμές T_4 σε θερμοκρασία °C, ώστε να είναι πιο εύχρηστες στην κατανόηση των οριακών τιμών, χρησιμοποιήθηκε η ακόλουθη εξίσωση:

$$T_4(^{\circ}C) = T_4(^{\circ}K) - 273 \quad (6.2)$$

Με τη χρήση της εξίσωσης (6.2), η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή των εικόνων T_4 σε °C είναι -113 και 67, αντίστοιχα. Όπως είναι κατανοητό, η εμφάνιση τόσο ακραίων τιμών και κυρίως αρνητικών δεν είναι δυνατή. Μέγιστες ακραίες τιμές δεν παρατηρήθηκαν στη χρονοσειρά. Παρ' όλ' αυτά, παρατηρήθηκαν ακραίες ελάχιστες τιμές, κυρίως κατά τους χειμερινούς μήνες. Η ύπαρξη τέτοιων τιμών, συνήθως, οφείλεται στην ύπαρξη «θορύβου», εξαιτίας της παρουσίας νεφών, των ατμοσφαιρικών συνθηκών και της χιονοκάλυψης. Λόγω της εμφάνισης τέτοιων τιμών σε μεμονομένα εικονοστοιχεία κατά τη χειμερινή περίοδο, για δύο, τρία, ή και περισσότερα δεκαήμερα, το χρονικό φιλτράρισμα δεν είναι δυνατό. Επιπλέον, από τη φύση της BT ως παραμέτρου, είναι ορθότερη η χρήση χωρικών φίλτρων.

Έτσι λοιπόν, για το χωρικό φιλτράρισμα των εικόνων T_4 και την αποφυγή σφαλμάτων, χρησιμοποιήθηκε ένα «επιλεκτικό» στατιστικό φίλτρο μέσου όρου, με μεταβλητό παράθυρο εφαρμογής, ανάλογα με τις ανάγκες της εκάστοτε εικόνας (Tsiros *et al.*, 2008, 2009a). Ο όρος «επιλεκτικό» αναφέρεται στο γεγονός ότι το φίλτρο εφαρμόζεται μόνο στις τιμές που παρουσιάζουν πρόβλημα. Τέλος, το μέγεθος του παραθύρου εφαρμογής εξαρτάται από την έκταση των επηρεασμένων εικονοστοιχείων και κυμαίνεται από 3x3 έως 11x11 εικονοστοιχεία. Το απλοποιημένο μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε για το χωρικό φιλτράρισμα, απεικονίζεται στο σχήμα 6.4.



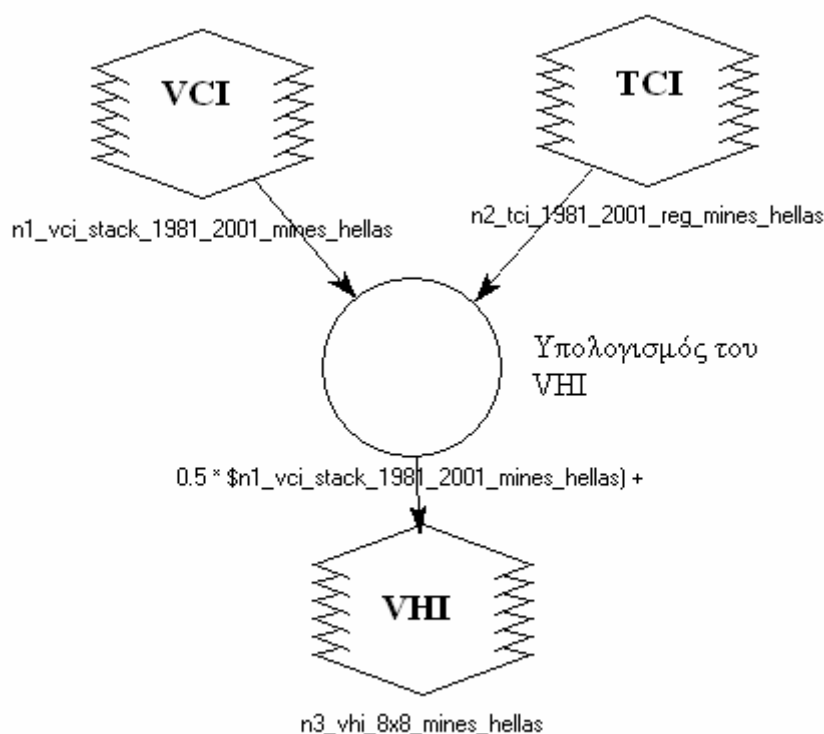
Σχήμα 6.4: Απεικόνιση του μοντέλου εφαρμογής του «επιλεκτικού» στατιστικού φίλτρου μέσου όρου.

Βήμα 2^ο: Εξαγωγή του TCI.

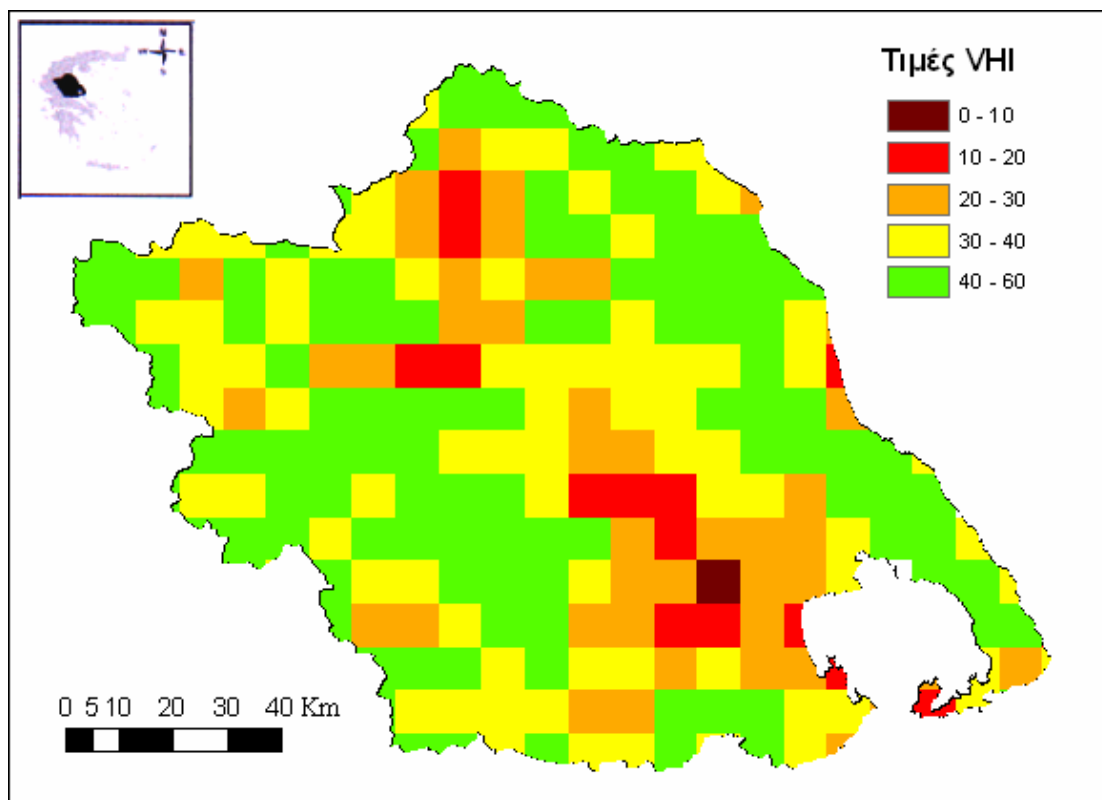
Μετά την εφαρμογή του φίλτρου και την αφαίρεση των ακραίων ελαχίστων τιμών στις εικόνες T₄ δεκαημέρου, υπολογίστηκαν οι σύνθετες μηνιαίες εικόνες με τη χρήση του μέσου όρου των τριών δεκαήμερων ανά μήνα. Έπειτα, οι μηνιαίες και δεκαήμερες τιμές των εικόνων T₄ χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του μηνιαίου και δεκαημέρου TCI, αντίστοιχα. Για την εξαγωγή του δείκτη, χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση (5.4). Όπως και ο VCI, ο TCI εξήχθη για όλο τον Ελλαδικό χώρο και στις δύο περιπτώσεις, και έπειτα απομονώθηκε το υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας. Η διάρθρωση του μοντέλου για τον υπολογισμό του TCI ανά έτος, για όλη τη χρονοσειρά δεδομένων, είναι παρόμοια με αυτή του σχήματος 6.3.

6.2.1.3 Εξαγωγή του δείκτη υγιούς βλάστησης (VHI)

Ο VHI υπολογίστηκε σε μηνιαία βάση με τη χρήση της εξίσωσης (5.5). Για την εξαγωγή του χρησιμοποιήθηκαν οι μηνιαίες εικόνες του VCI και του TCI. Το μοντέλο που κατασκευάστηκε για τον υπολογισμό του δείκτη απεικονίζεται στο σχήμα 6.5. Το αποτέλεσμα ήταν η δημιουργία 240 μηνιαίων εικόνων VHI (μία για κάθε μήνα της χρονοσειράς) που καλύπτουν ολόκληρη την Ελλάδα. Στη συνέχεια, απομονώθηκε το υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας. Ενδεικτικά, μία εικόνα VHI του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας για τον Αύγουστο του 1986 απεικονίζεται στην εικόνα 6.1.



Σχήμα 6.5: Απεικόνιση του μοντέλου υπολογισμού του VHI.



Εικόνα 6.1: Χάρτης VHI του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας, για τον Αύγουστο του 1986.

6.2.2 Υπολογισμός του δείκτη ξηρότητας (AI)

Όπως προαναφέρθηκε, για τον υπολογισμό του AI χρησιμοποιούνται μηνιαία δεδομένα βροχόπτωσης και δυνητικής εξατμισοδιαπνοής. Όσον αφορά στη βροχόπτωση, γίνεται χρήση των χαρτών βροχόπτωσης (μέγεθος φατνίου 50x50 km²), που αποκτήθηκαν από τη βάση δεδομένων της ISPRA (2006). Η μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή υπολογίστηκε με τη μέθοδο Blaney-Criddle, βάσει της μεθοδολογίας που προτάθηκε από τους Kanellou *et al.* (2006 και 2008) και η οποία χρησιμοποιεί την T_s , εξαγόμενη από δορυφορικά δεδομένα NOAA/AVHRR. Δεδομένου ότι το κλίμα της Ελλάδας προσομοιάζει σε αυτό των δυτικών ΗΠΑ, όπου και αναπτύχθηκε η μέθοδος, η χρήση της Blaney-Criddle στην Ελλάδα είναι ενδεδειγμένη (Σακκάς, 2004).

6.2.2.1 Υπολογισμός της θερμοκρασίας επιφανείας εδάφους

Κατά την εξαγωγή της T_s από δορυφορικά δεδομένα NOAA/AVHRR παρουσιάζονται προβλήματα, τα οποία οφείλονται στην επίδραση της ατμόσφαιρας και στην άγνωστη εκπομπή ακτινοβολίας από τις υπό εξέταση επιφάνειες. Στην παρούσα εργασία, η παραγωγή των χαρτών T_s στηρίζεται στον αλγόριθμο “split-window” των Becker και Li (1990). Ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί τη διαφορά της επίδρασης της απορρόφησης στα κανάλια τέσσερα και πέντε (CH4 και CH5), για την διόρθωση της ατμοσφαιρικής εξασθένισης, η οποία προκαλείται κυρίως από την απορρόφηση των υδρατμών. Για τον υπολογισμό της εκπομπής από την επιφάνεια του εδάφους, εφαρμόζεται η σχέση που προτάθηκε από τους Van de Griend και Owe (1993). Ο αλγόριθμος των Becker και Li (1990) αναλύεται παρακάτω:

$$T_s = 1.274 + \frac{(T_4 + T_5)}{2} \left(1 + 0.15616 \frac{(1-e)}{e} - 0.482 \frac{de}{e^2} \right) + \frac{(T_4 - T_5)}{2} (6.26 + 3.989 \frac{(1-e)}{e} + 38.33 \frac{de}{e^2}) \quad (6.3)$$

όπου, T_s είναι η θερμοκρασία επιφανείας, T_4 και T_5 είναι οι BTs (°K) των καναλιών 4 και 5 του AVHRR, αντίστοιχα, $\varepsilon = (\varepsilon_4 + \varepsilon_5)/2$, με ε_4 και ε_5 την εκπομπή των καναλιών 4 και 5, αντίστοιχα, και $\Delta\varepsilon = \varepsilon_4 - \varepsilon_5$. Οι παράμετροι δίνονται από τις εξισώσεις:

$$\varepsilon_4 = 1,0094 + 0,047 \ln(NDVI) \quad (6.4)$$

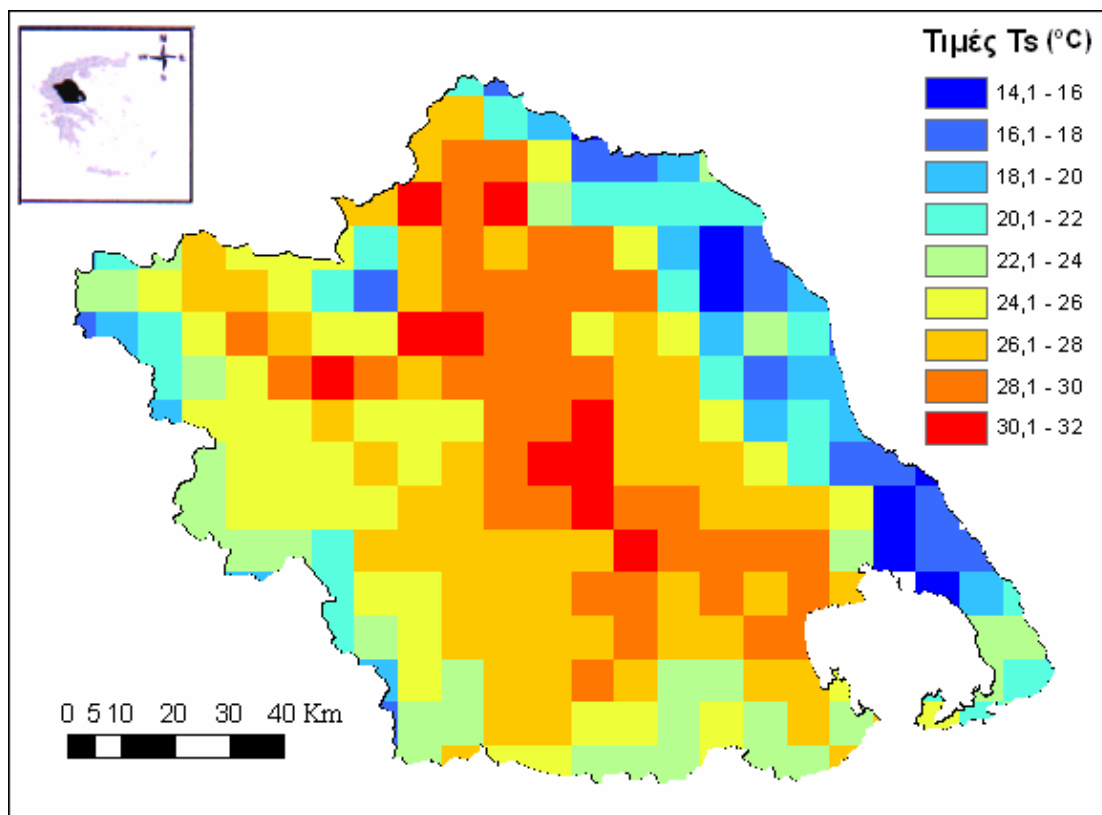
$$\varepsilon_5 = \varepsilon_4 + 0,01 \quad (6.5)$$

όπου, ο NDVI αντιπροσωπεύει τις τιμές του δείκτη από τη συνθετική εικόνα μεγίστων τιμών (Maximum Value Composite – MVC) NDVI του υπό εξέταση δεκαημέρου.

Όμοια με τις τιμές της T_4 , η T_5 είναι σε κλίμακα από 0 έως 65.536 (16-bit integer format). Στις εικόνες T_5 , ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία που εφαρμόστηκε στις BTs του καναλιού 4 του NOAA/AVHRR. Έτσι λοιπόν, υπολογίστηκε η θερμοκρασία σε °K, ενώ για το χωρικό φιλτράρισμα των εικόνων χρησιμοποιήθηκε το «επιλεκτικό» στατιστικό φίλτρο μέσου όρου, με μεταβλητό παράθυρο εφαρμογής.

Με τη χρήση των φιλτραρισμένων δεκαημέρων τιμών των T_4 , T_5 και NDVI, καθώς και τις εξισώσεις (6.3) έως (6.5), υπολογίστηκε η T_s σε δεκαήμερη βάση και για τα 20 υδρολογικά έτη, για ολοκληρή την Ελλάδα. Έπειτα, εξήχθηκαν οι μηνιαίες τιμές της T_s , ως ο μέσος όρος των τιμών των τριών δεκαημέρων κάθε μήνα. Τέλος, απομονώθηκε το υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας. Ενδεικτικά, στην εικόνα 6.2

απεικονίζεται η μέση μηνιαία T_s του Ιουλίου του 1997, στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας.



Εικόνα 6.2: Χάρτης θερμοκρασίας επιφανείας εδάφους (T_s) του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας, τον Ιούλιο του 1997.

6.2.2.2 Υπολογισμός της μηνιαίας δυνητικής εξατμισοδιαπνοής

Για τον υπολογισμό της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής έγινε χρήση της μεθόδου Blaney-Criddle. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί τη θερμοκρασία του αέρα για τους διάφορους υπολογισμούς και δίνεται από την εξίσωση (Παπαζαφειρίου, 1999):

$$ET_p = C [P (0,46 T_a + 8,13)] \quad (6.6)$$

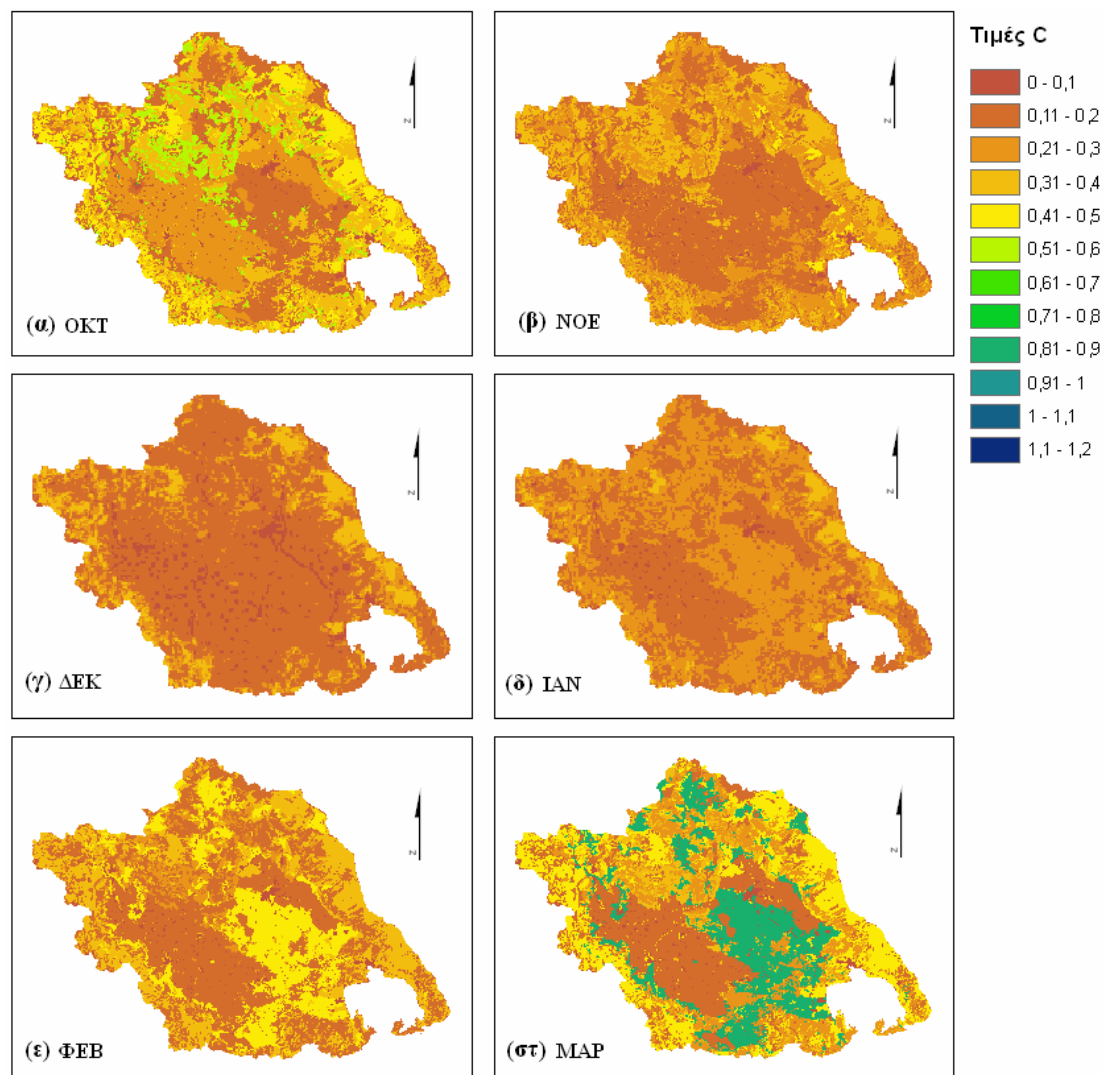
όπου:

- C είναι ο συντελεστής αναγκών κατανάλωσης ύδατος ή φυτικός συντελεστής.
- P είναι το μηνιαίο ποσοστό % των ωρών ημέρας ως προς το ολικό ετήσιο ποσό ωρών ημέρας (Πίνακας 4.1).
- T_a είναι η μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα σε $^{\circ}\text{C}$.

Ο συντελεστής C διαφέρει από καλλιέργεια σε καλλιέργεια και πρέπει να υπολογίζεται ξεχωριστά σε κάθε περιοχή, αφού εξαρτάται από τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν σε αυτήν. Επίσης, συνίσταται η χρήση μηνιαίων τιμών αντί των εποχικών (Κωτούλας, 2001). Τιμές του μηνιαίου C που χρησιμοποιούνται στην εξίσωση Blaney-Criddle δίνονται στον Πίνακα Π.1.1 του Παραρτήματος I.

Ο υπολογισμός του μηνιαίου συντελεστή C έγινε με βάση τις χρήσεις γης, όπως αυτές ορίζονται από τη βάση δεδομένων Corine 2001. Έτσι, για κάθε μήνα και για κάθε χρήση γης, δόθηκε μία τιμή C. Όσον αφορά στις αρδευόμενες και μη καλλιέργειες, η εξαγωγή των C έγινε με τη χρήση σταθμισμένων μέσων όρων. Βάσει του ποσοστού της καλλιεργούμενης έκτασης των κυριότερων καλλιεργειών στην περιοχή της Θεσσαλίας (Ε.Σ.Υ.Ε., 2006) και τις τιμές του C αυτών, υπολογίστηκαν οι σύνθετες μηνιαίες τιμές του συντελεστή. Οι κυριότερες αρδευόμενες καλλιέργειες είναι το βαμβάκι, ο αραβόσιτος και η μηδική, ενώ οι μη αρδευόμενες είναι το σιτάρι και το κριθάρι. Ο Πίνακας που χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή των μηνιαίων χαρτών του συντελεστή C, δίνεται στο Παράρτημα I (Πίνακας Π.1.2). Στις εικόνες 6.3 και 6.4 απεικονίζονται οι μηνιαίοι χάρτες του συντελεστή C για το υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας, ανά υδρολογικό εξάμηνο.

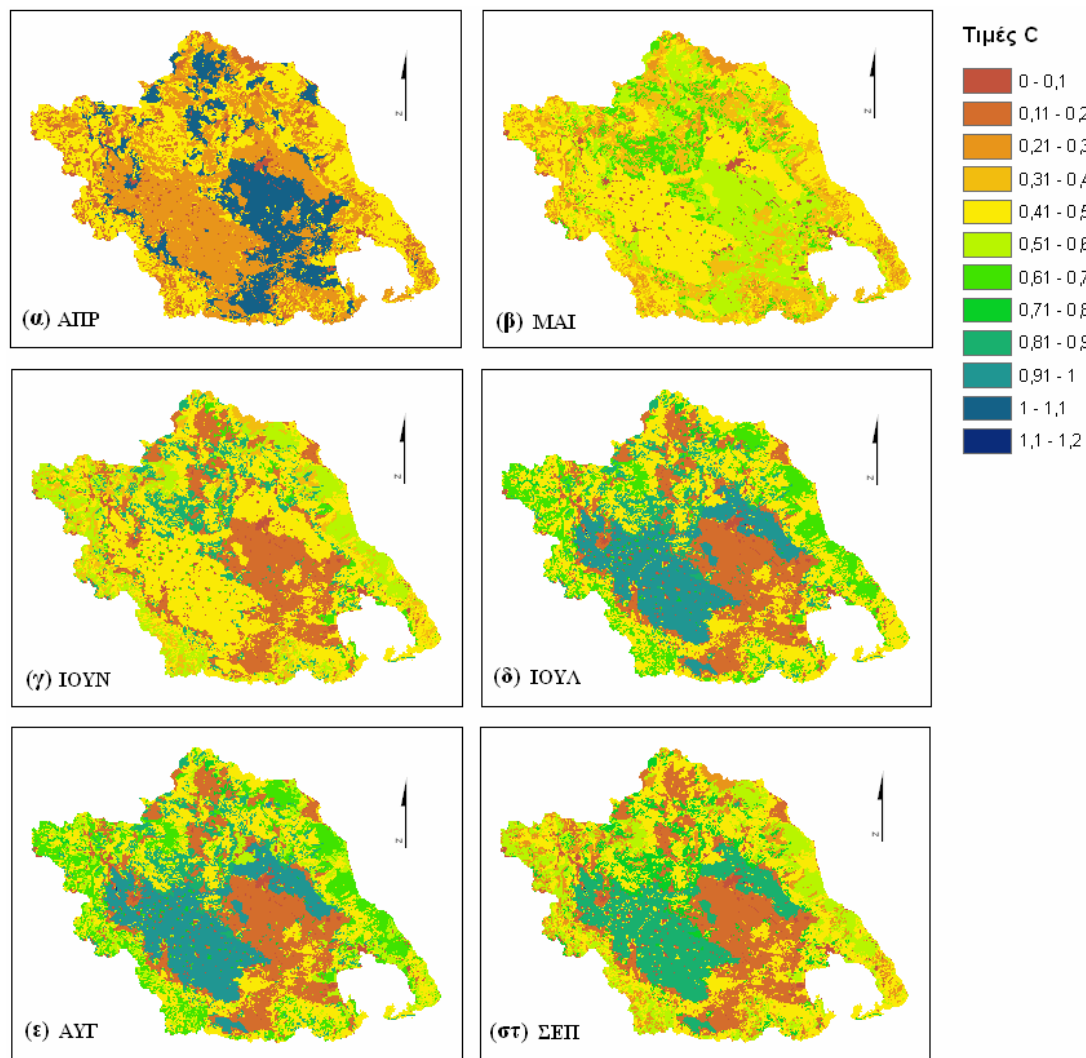
Αφού εξήχθησαν οι μηνιαίοι χάρτες του συντελεστή C, υπολογίστηκε το μηνιαίο ποσοστό (%) των ωρών ημέρας ως προς το ολικό ετήσιο ποσό ωρών ημέρας, για το μέσο γεωγραφικό πλάτος της περιοχής μελέτης (39°), με γραμμική παρεμβολή από τον Πίνακα Π.1.3 (Παράρτημα I). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.1. Με τη χρήση των τιμών του Πίνακα 6.1 και του θεματικού υπόβαθρου του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας, δημιουργήθηκαν οι 12 χάρτες του P (μία τιμή για κάθε μήνα, για ολόκληρο το υδατικό διαμέρισμα).



Εικόνα 6.3: Χάρτες μηνιαίων τιμών του φυτικού συντελεστή C, από τους μήνες Οκτώβριο (α) έως Μάρτιο (στ).

Όπως προαναφέρθηκε, η μεθοδολογία χρησιμοποιεί την T_s για τον υπολογισμό της μηνιαίας ET_p . Όμως, η θερμοκρασία που χρησιμοποιεί η εξίσωση (6.6) αναφέρεται σε θερμοκρασία αέρα. Έτσι, έγινε αναγωγή της T_s σε θερμοκρασία αέρα. Για αυτήν τη μετατροπή, εξήχθηκε η σχέση μεταξύ των τιμών θερμοκρασίας αέρα από το μετεωρολογικό σταθμό της Λάρισας και των τιμών θερμοκρασίας επιφανείας εδάφους από τις δορυφορικές εικόνες, για το εικονοστοιχείο που αντιστοιχεί στη γεωγραφική τοποθεσία του σταθμού. Η γραφική παράσταση των τιμών, καθώς και η γραμμική σχέση που τις συνδέει απεικονίζονται στο σχήμα 6.6. Ο συντελεστής προσδιορισμού υπολογίστηκε για διάστημα εμπιστοσύνης 95%. Η γραμμική σχέση επιλέχθηκε διότι παρουσίασε την καλύτερη προσαρμογή στα

δεδομένα, καθώς και το μεγαλύτερο συντελεστή προσδιορισμού R^2 (Τζώρτζιος, 2000 και 2002; Draper and Smith, 1981).



Εικόνα 6.4: Χάρτες μηνιαίων τιμών του φυτικού συντελεστή C, από τους μήνες Απρίλιο (α) έως Σεπτέμβριο (στ).

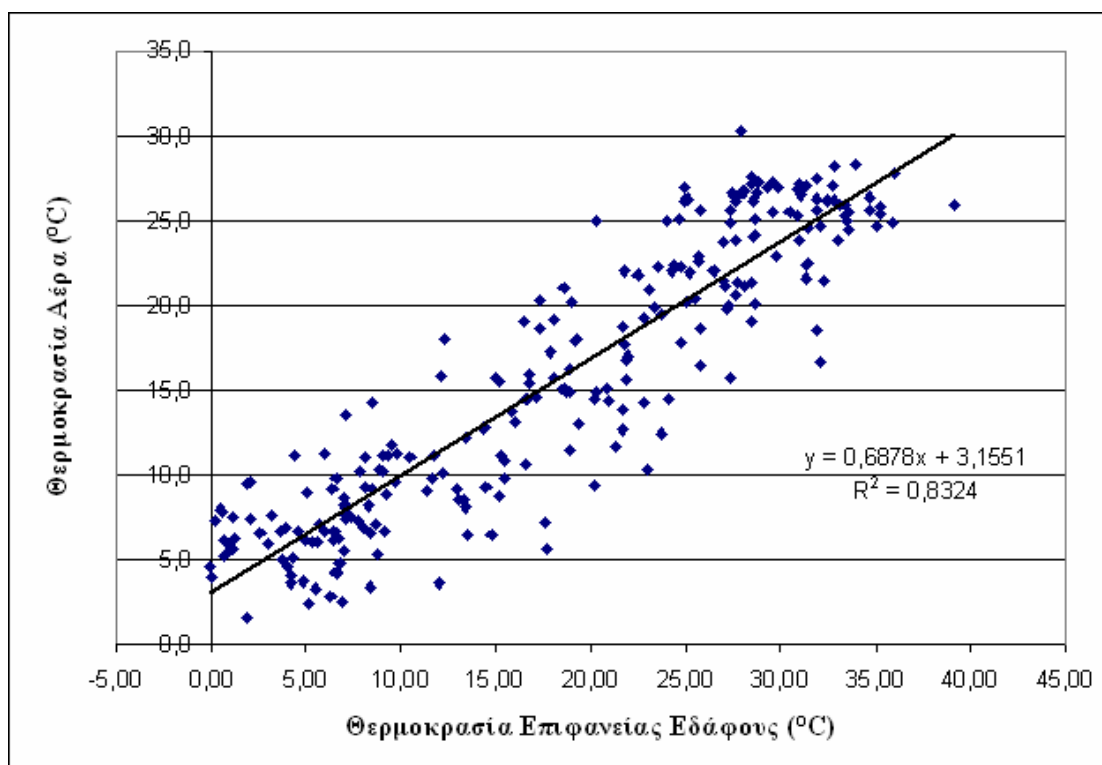
Πίνακας 6.1: Μηνιαία ποσοστά των ωρών ημέρας ως προς το ολικό ετήσιο ποσό ωρών ημέρας, για γεωγραφικό πλάτος 39°.

Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μάιος	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
6,82	6,76	8,33	8,92	9,97	10,01	10,16	9,50	8,38	7,77	6,77	6,59

Όπως απεικονίζεται στο σχήμα 6.6, η εξίσωση που συνδέει τη θερμοκρασία αέρα με τη θερμοκρασία επιφανείας εδάφους είναι:

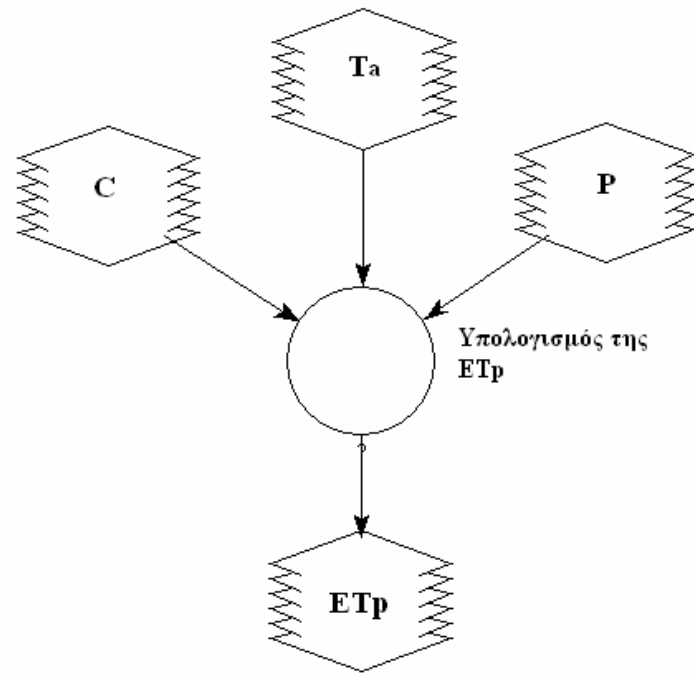
$$T_a = 0,6878 * T_s + 3,1551 \quad (6.7)$$

όπου, T_a είναι η θερμοκρασία αέρα και T_s είναι η θερμοκρασία επιφανείας εδάφους. Η εξίσωση (6.7) χρησιμοποιήθηκε για τη μετατροπή των μηνιαίων εικόνων T_s σε T_a .

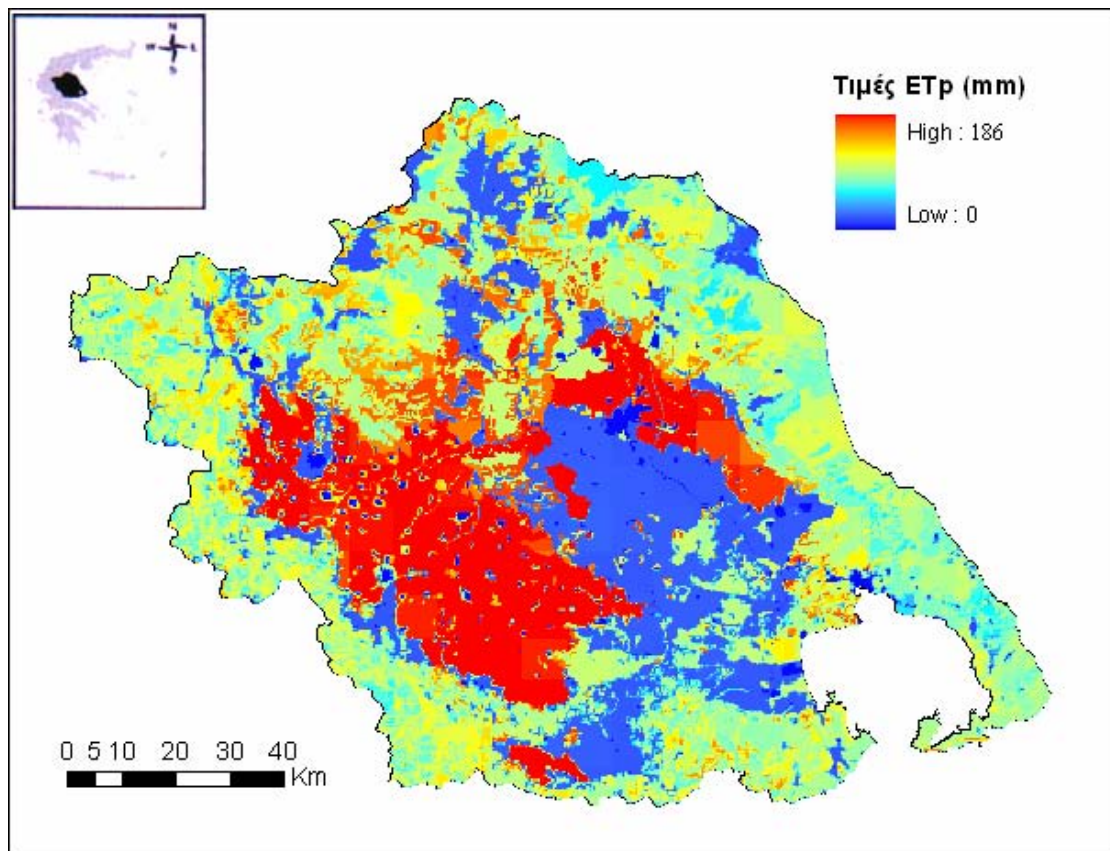


Σχήμα 6.6: Εξαγωγή της σχέσης μεταξύ θερμοκρασίας αέρα και θερμοκρασίας επιφανείας εδάφους στο σταθμό της Λάρισας.

Τέλος, με τη χρήση της εξίσωσης (6.6), υπολογίστηκε η ET_p στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας, για κάθε μήνα της υπό εξέταση χρονοσειράς. Το αποτέλεσμα ήταν η δημιουργία 240 χαρτών μηνιαίας ET_p . Η διάρθρωση του μοντέλου που κατασκευάστηκε για τον υπολογισμό της ET_p , απεικονίζεται στο σχήμα 6.7. Ενδεικτικά, μία εικόνα ET_p του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας για τον Αύγουστο του 1997 απεικονίζεται στην εικόνα 6.5.



Σχήμα 6.7: Απεικόνιση του μοντέλου υπολογισμού της ET_p με τη χρήση της εξίσωσης Blaney-Criddle.

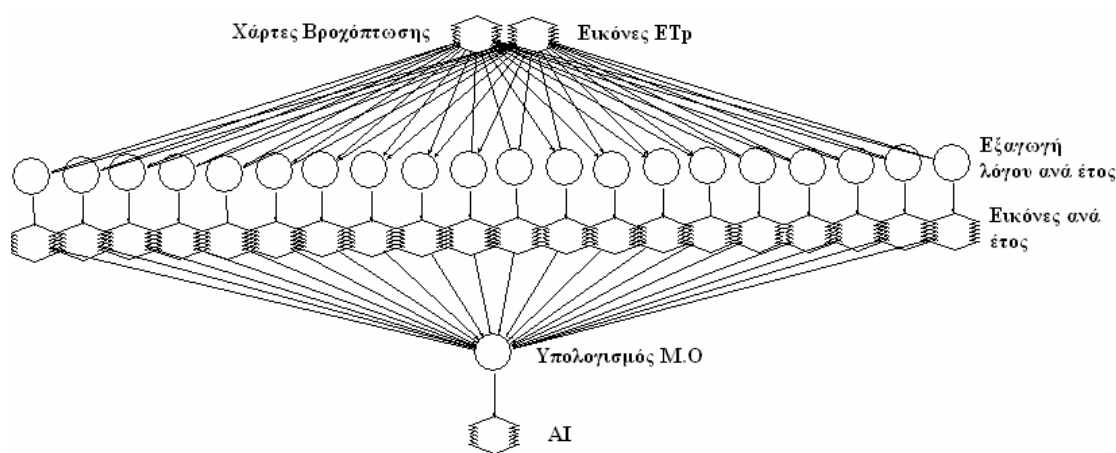


Εικόνα 6.5: Χάρτης ET_p του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας, για τον Αύγουστο του 1997.

6.2.2.3 Εξαγωγή του δείκτη ξηρότητας (AI)

Αφού υπολογίστηκε η δυνητική εξατμισοδιαπνοή, εξήχθηκε ο AI με τη χρήση της εξίσωσης (4.1). Πριν από τον υπολογισμό του δείκτη, έγινε έλεγχος της αξιοπιστίας της βάσης δεδομένων της ISpra (2006). Έτσι, συγκρίθηκαν οι τιμές βροχόπτωσης του σταθμού της Λάρισας με τις τιμές του εικονοστοιχείου της βάσης που αντιστοιχεί στη γεωγραφική τοποθεσία του σταθμού. Η μέση απόλυτη διαφορά (Mean Absolute Difference, MAD) μεταξύ των ετήσιων τιμών βροχόπτωσης είναι 11,2 mm. Η διαφορά αυτή είναι αποδεκτή, εφόσον η μία τιμή αναφέρεται σημειακά και η άλλη είναι ανηγμένη σε μία επιφάνεια 50x50 km². Επίσης, η τιμή 11,2 mm, αποτελεί το 2,78% της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης στο σταθμό της Λάρισας (406,7 mm) για την υπό εξέταση περίοδο (1981-2001), το οποίο είναι στα όρια του αποδεκτού σφάλματος.

Ο AI είναι κλιματικός δείκτης και υπολογίζεται σε πολυετή βάση. Ο υπολογισμός του AI έγινε ακολουθώντας την εξής διαδικασία. Πρώτα υπολογίστηκε η ετήσια αθροιστική βροχοπτώση και η εξατμισοδιαπνοή, έπειτα εξήχθησαν οι λόγοι για κάθε έτος, και τέλος υπολογίστηκε ο AI για όλη την υπό εξέταση περίοδο. Το αποτέλεσμα ήταν ένας χάρτης κλιματικής ξηρότητας με βάση τις τιμές του AI. Ακολούθησε η ταξινόμηση και η κατηγοριοποίηση των τιμών, όπως αυτές ορίζονται από τις κλάσεις του AI (Πίνακας 5.2), της οποίας τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο επόμενο κεφάλαιο. Η διάρθρωση του μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του AI απεικονίζεται στο σχήμα 6.8.



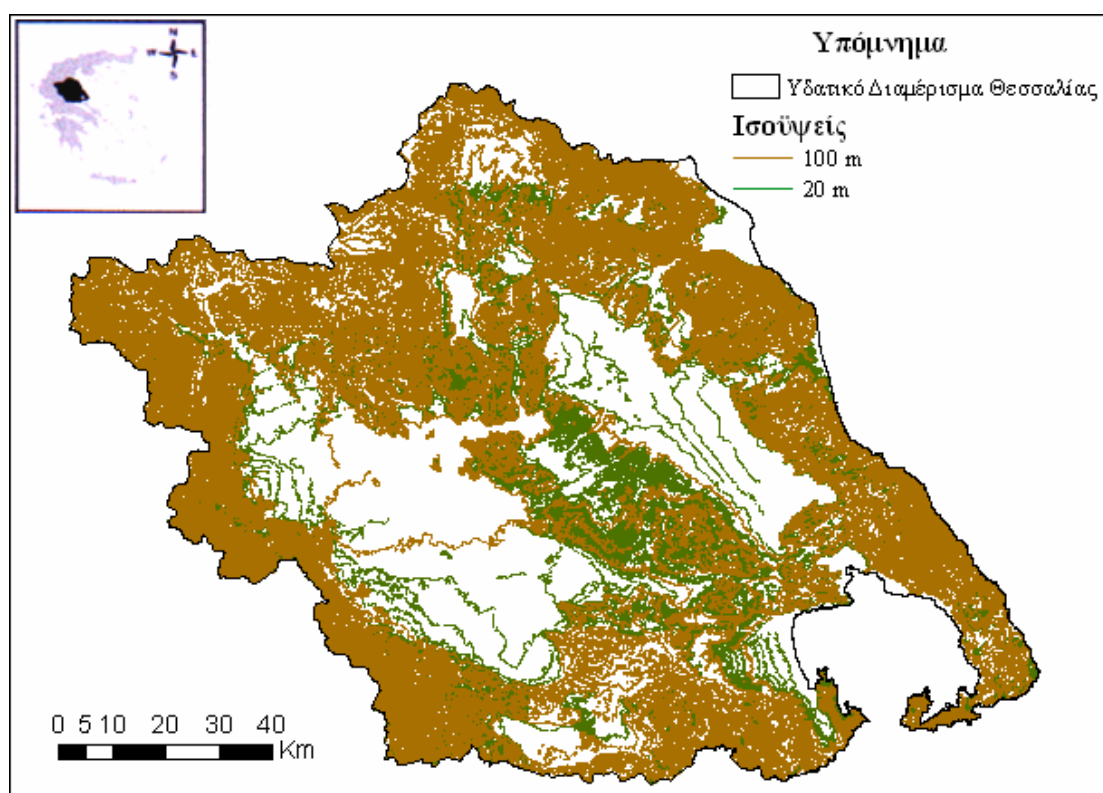
Σχήμα 6.8: Διάρθρωση του μοντέλου για τον υπολογισμό του AI.

6.3 Ανάπτυξη ζωνών αιεφόρου παραγωγής

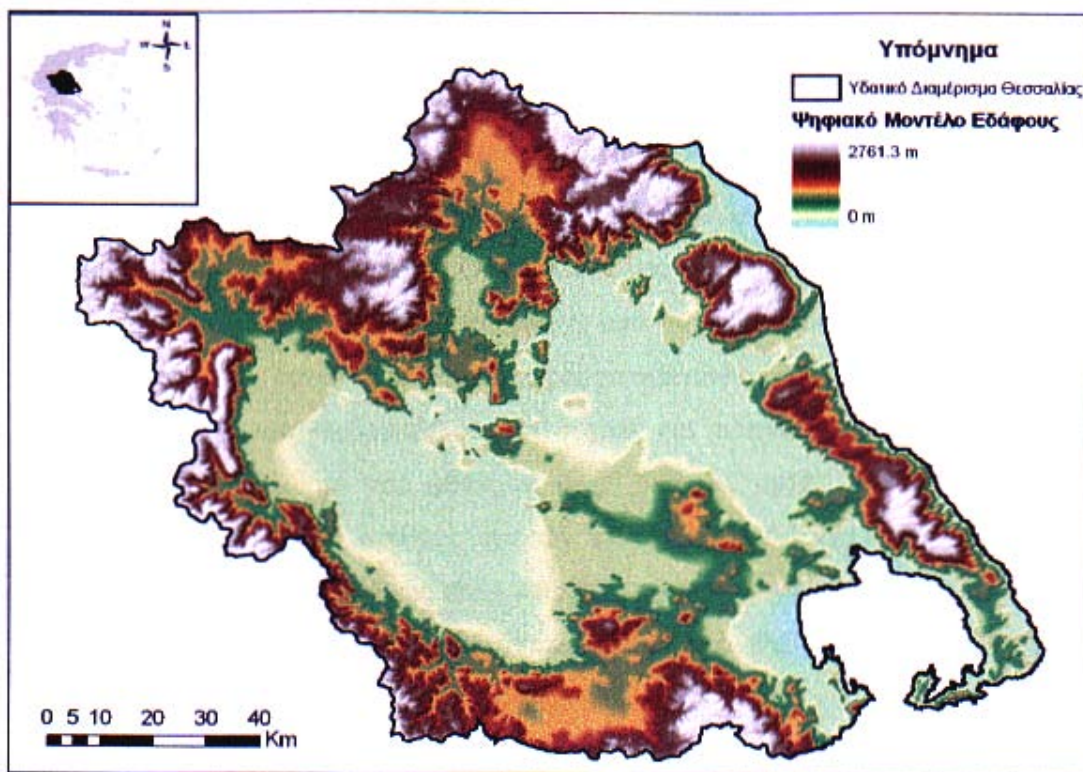
Για τον προσδιορισμό των ζωνών αιεφόρου παραγωγής, οι ζώνες WLGE συνδυάστηκαν με τον εδαφολογικό χάρτη και το DEM της περιοχής μελέτης.

6.3.1 Δημιουργία ψηφιακού μοντέλου ανάγλυφου

Για την εισαγωγή των τοπογραφικών χαρακτηριστικών (υψομετρικής πληροφορίας και κλίσεις) της περιοχής μελέτης στην προτεινόμενη μεθοδολογία, δημιουργήθηκε το DEM της περιοχής. Το DEM κατασκευάστηκε στο πρόγραμμα ArcGIS 9.1, με τη χρήση ενός θεματικού επιπέδου των ορίων του υδατικού διαμερίσματος και ενός ψηφιακού χάρτη ισοϋψών για την εισαγωγή της υψομετρικής πληροφορίας. Χρησιμοποιήθηκαν ισοϋψείς με ισοδιάσταση 100 m, καθώς και 20 m, όπου υπήρχε ανάγκη πύκνωσης λόγω της έντονης γεωμορφολογίας του εδάφους. Οι ισοϋψείς απεικονίζονται στην εικόνα 6.6, ενώ στην εικόνα 6.7 παρουσιάζεται το DEM του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας. Τέλος, με τη χρήση του DEM, εξήχθηκε και η κλισημετρία της περιοχής.



Εικόνα 6.6: Ισοϋψείς που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου ανάγλυφου του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας.

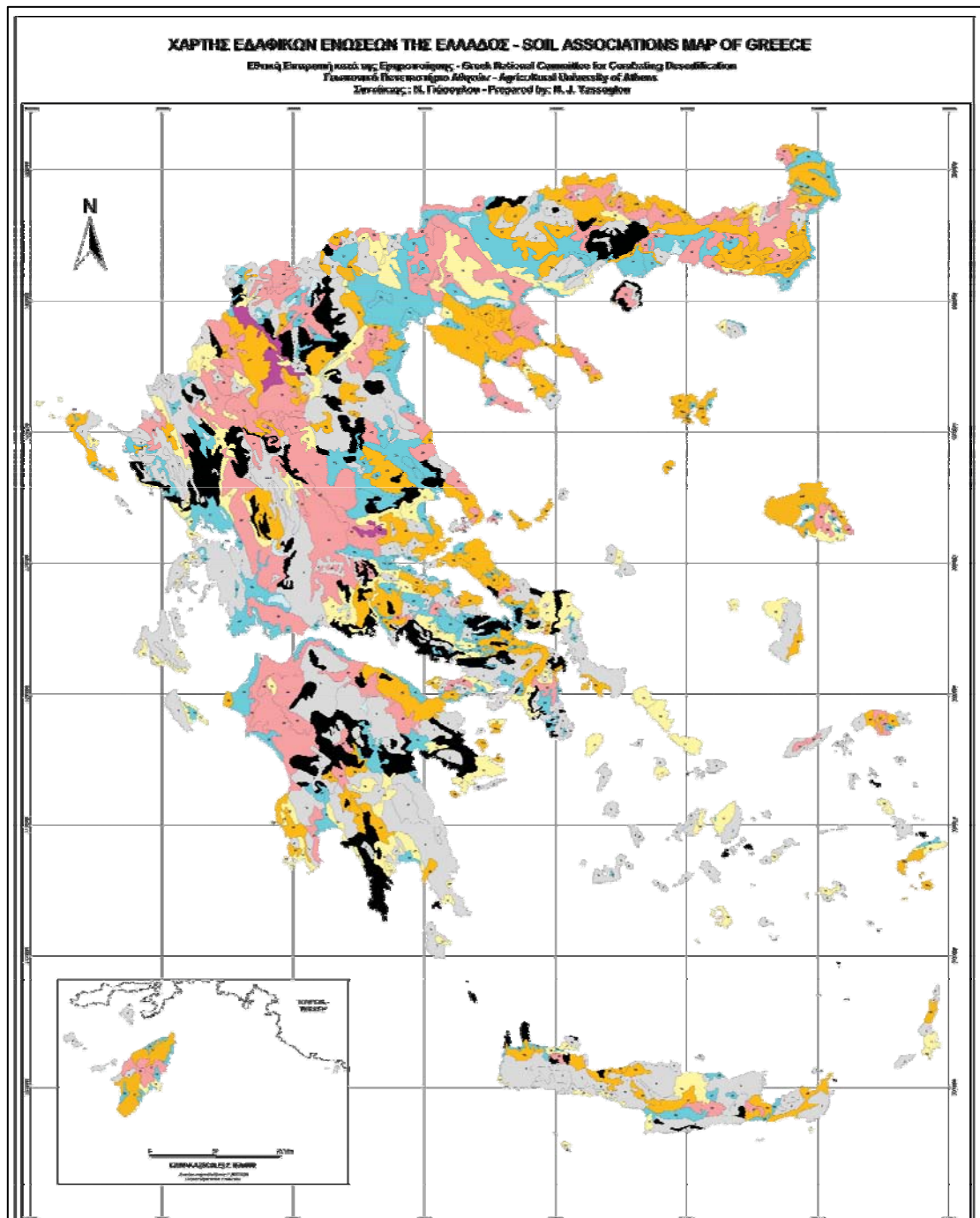


Εικόνα 6.7: Ψηφιακό μοντέλο ανάγλυφου (DEM) του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας.

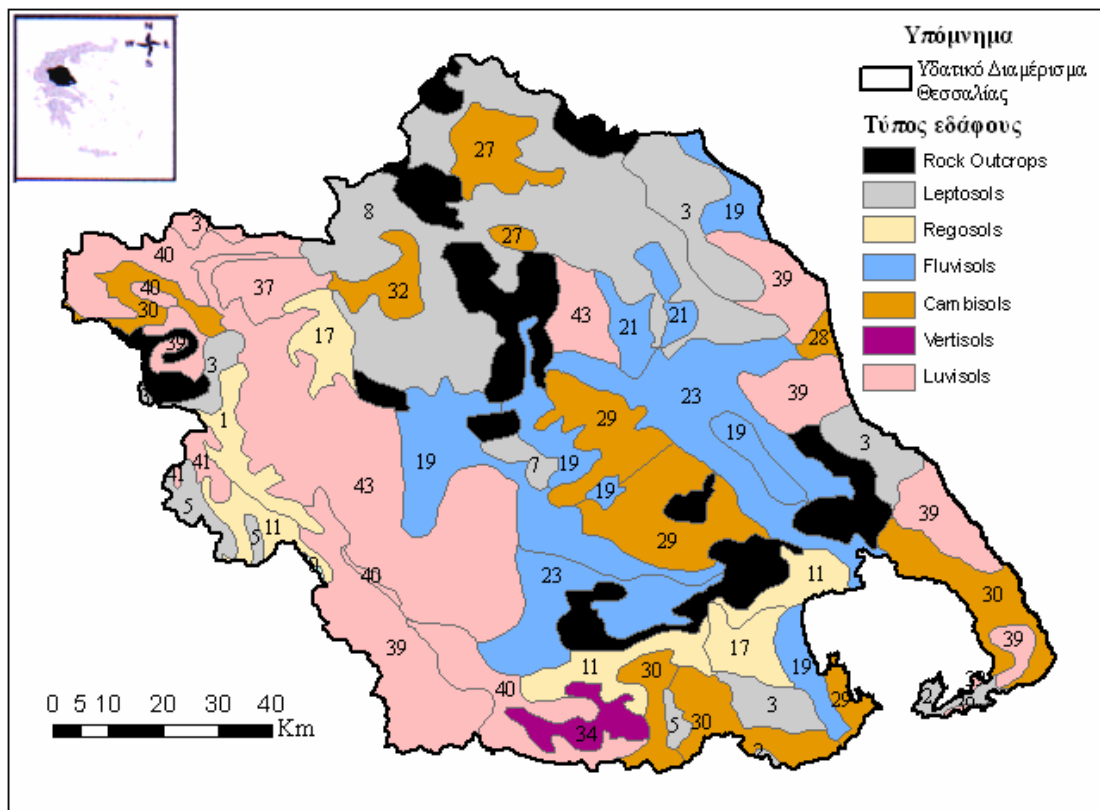
6.3.2 Ψηφιοποίηση του εδαφολογικού χάρτη

Ο εδαφολογικός χάρτης που χρησιμοποιήθηκε είναι της Εθνικής Επιτροπής κατά της Ερημοποίησης (Γιάσογλου, 2004). Ο χάρτης απεικονίζεται στην εικόνα 6.8, ενώ το αναλυτικό υπόμνημα του χάρτη δίνεται στο Παράρτημα II. Όπως προαναφέρθηκε, πρώτο βήμα ήταν η γεωαναφορά του χάρτη. Ακολούθησε η ψηφιοποίηση της περιοχής που αντιστοιχεί στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας. Η ψηφιοποίηση έγινε με βάση την κατηγορία εδαφών, την κύρια και τις συνυπάρχουσες τυπολογικές μονάδες κατά FAO (1998). Επίσης, στη βάση δεδομένων εισήχθησε πληροφορία σχετικά με την αειφόρο αγρονομική-εδαφοπονική χρήση και την ευαισθησία ερημοποίησης για κάθε τύπο εδαφικής ένωσης (Γιάσογλου, 2004). Όλη η επεξεργασία έγινε σε περιβάλλον Γ.Σ.Π., με τη χρήση του ArcGIS 9.1. Ο χάρτης εδαφικών ενώσεων του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας μαζί με τις κύριες κατηγορίες εδαφών, απεικονίζεται στην εικόνα 6.9.

Αναλυτικό υπόμνημα του χάρτη και συμπληρωματικές πληροφορίες σχετικά με τις εδαφικές ενώσεις δίνεται στο Παράρτημα II.



Εικόνα 6.8: Εδαφολογικός χάρτης της Ελλάδας (Γιάσογλου, 2004). Το υπόμνημα δίνεται αναλυτικά στο Παράρτημα II.



Εικόνα 6.9: Εδαφολογικός χάρτης του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας. Αναλυτικό υπόμνημα των εδαφικών ενώσεων δίνεται στο Παράρτημα Π. (Προσαρμοσμένο από Γιάσογλου, 2004).

6.4 Ανάπτυξη αγροκλιματικών ζωνών

Για τον προσδιορισμό των αγροκλιματικών ζωνών του βαμβακιού και του σιταριού, χρησιμοποιήθηκαν οι GDD και η R_n .

6.4.1 Υπολογισμός των θερμομονάδων (GDD)

Ο υπολογισμός των GDD ανήκει στο στάδιο της ειδικής αγροκλιματικής ζωνοποίησης. Οι υπό εξέταση καλλιέργειες είναι το βαμβάκι και το σιτάρι. Οι δύο καλλιέργειες έχουν διαφορετική βασική θερμοκρασία, πάνω από την οποία αρχίζει η ανάπτυξή τους, καθώς και διαφορετικές απαιτήσεις σε θερμομονάδες, έτσι ώστε να ολοκληρώσουν το βιολογικό τους κύκλο (Πίνακας 5.4). Για το βαμβάκι επιλέχθηκε βασική θερμοκρασία 10°C (Dalezios and Zarpas, 1995 και 1996; Dalezios *et al.*,

2002; Migdakos and Gemtos, 1998) και άθροισμα θερμομονάδων 1800°C-d, ενώ για το σιτάρι 4°C και 2100°C-d (Δαναλάτος, 2007), αντίστοιχα.

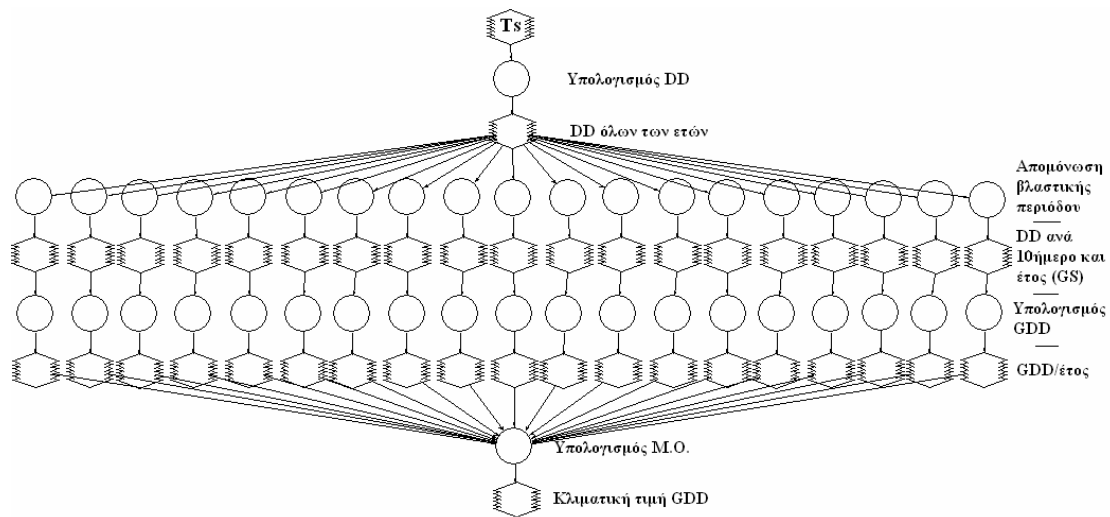
Όπως προαναφέρθηκε, κατά τον υπολογισμό των GDD χρησιμοποιείται η T_s υπολογισμένη από δεδομένα NOAA/AVHRR, αντί της θερμοκρασίας αέρα. Οι GDD απαιτούν ημερήσια δεδομένα κατά τον υπολογισμό τους. Όταν δεν είναι δυνατή η εύρεση ημερησίων δεδομένων θερμοκρασίας, τότε χρησιμοποιούνται εβδομαδιαίες, δεκαήμερες ή ακόμα και μηνιαίες τιμές. Είναι ευνόητο ότι, όσο μικρότερο είναι το χρονικό βήμα, τόσο αυξάνεται και η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Έτσι λοιπόν, για τον υπολογισμό των GDD χρησιμοποιήθηκαν οι δεκαήμερες φιλτρισμένες τιμές της T_s .

Ως βλαστική περίοδος για το βαμβάκι θεωρήθηκε η περίοδος από το πρώτο δεκαήμερο του Απριλίου έως το τρίτο του Οκτωβρίου, ενώ για το σιτάρι από το δεύτερο δεκαήμερο του Νοεμβρίου έως το τρίτο του Ιουνίου (Τζανετοπούλου, 1998; Δαναλάτος, 2003). Στην περίπτωση του βαμβακιού, η έναρξη της βλαστικής περιόδου σηματοδοτείται από το δεκαήμερο, όπου η μέση T_s είναι υψηλότερη από 10°C, εφόσον για τιμές χαμηλότερες των 10°C, δεν υπολογίζονται θερμομονάδες. Έτσι, αν το τρίτο δεκαήμερο του Απριλίου σημειωθεί T_s υψηλότερη από 10°C, τότε είναι και η έναρξη της βλαστικής περιόδου. Το αντίστοιχο ισχύει και για τη λήξη. Στην περίπτωση του σιταριού δεν ισχύει κάτι τέτοιο. Για το σιτάρι απαιτείται μία μικρή περίοδος με ευνοϊκές θερμοκρασίες μετά την σπορά. Έπειτα, μεσολαβεί ο χειμώνας, ακολουθεί η εαρινοποίηση και τέλος η συγκομιδή του, πριν οι θερμοκρασίες αυξηθούν τόσο ώστε να προκαλέσουν βλάβες στο φυτό και στην παραγωγή. Γι' αυτούς τους λόγους, η βλαστική περίοδος για το σιτάρι θεωρήθηκε σταθερή. Οι παράμετροι που είναι απαραίτητοι και χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό και την ερμηνεία των GDD για τις δύο καλλιέργειες, παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.2.

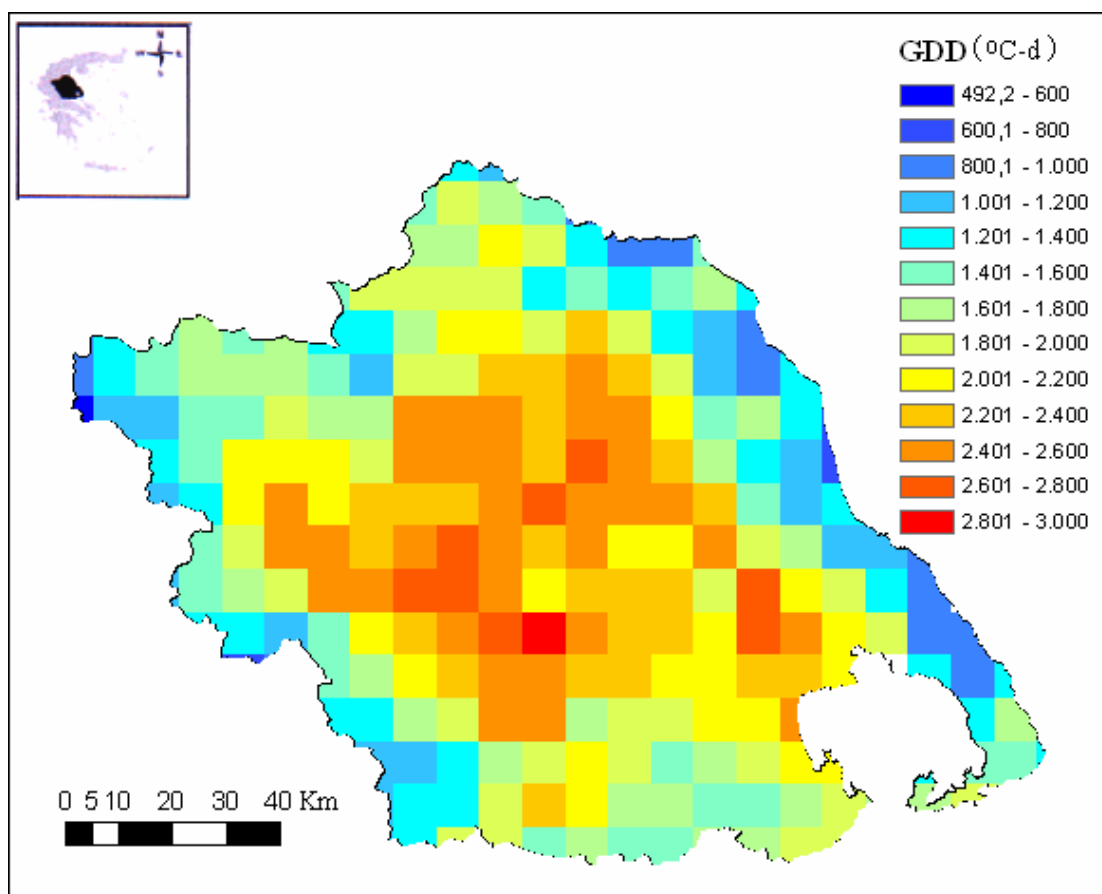
Πίνακας 6.2: Τιμές βασικής θερμοκρασίας, άθροισμα θερμομονάδων για πλήρη ανάπτυξη και διάρκεια βλαστικής περιόδου, για το βαμβάκι και το σιτάρι.

Καλλιέργεια	T_c (°C)	T_{SUM} (°C-d)	Βλαστική Περίοδος
Βαμβάκι	10	1800	1 ^ο Απρ – 3 ^ο Οκτ
Σιτάρι	4	2100	2 ^ο Νοε – 3 ^ο Ιουν

Έτσι λοιπόν, ο υπολογισμός των GDD και για τις δύο καλλιέργειες έγινε με τη χρήση της εξίσωσης (5.6). Αφού η T_s αναφέρεται σε μέσες τιμές δεκαήμερου, οι τιμές των DD που υπολογίστηκαν με την εξίσωση (5.6) σε κάθε χρονικό βήμα, πολλαπλασιάστηκαν επί δέκα. Επιπλέον, για κάθε καλλιέργεια και για κάθε έτος υπολογίστηκαν οι GDD, με τη χρήση του αθροίσματος των DD για τη βλαστική περίοδο. Τέλος, για τον υπολογισμό της κλιματικής τιμής των GDD στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας, ανά εικονοστοιχείο, εξήχθηκε ο μέσος όρος των τιμών του δείκτη των είκοσι ετών για κάθε καλλιέργεια. Η διάρθρωση του μοντέλου, που κατασκευάστηκε και χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των GDD, απεικονίζεται στο σχήμα 6.9. Ενδεικτικά, ένας χάρτης GDD για το σιτάρι, για την καλλιεργητική περίοδο 1995-'96, απεικονίζεται στην εικόνα 6.10.



Σχήμα 6.9: Διάθρωση του μοντέλου υπολογισμού των GDD.



Εικόνα 6.10: Χάρτης GDD (σιτάρι) του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας για την καλλιεργητική περίοδο 1995-'96.

6.4.2 Υπολογισμός της καθαρής ακτινοβολίας (R_n)

Όπως προαναφέρθηκε, η καθαρή ακτινοβολία R_n είναι ένα ισοζύγιο μεταξύ της μικρού και μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας. Για τον υπολογισμό της, γίνεται χρήση της εξίσωσης (5.7). Έτσι λοιπόν, για την εξαγωγή της R_n , υπολογίζονται όλοι οι όροι της εξίσωσης (5.7) και συγκεκριμένα, η μικρού μήκους κύματος καθαρή ακτινοβολία $R_g(1-\alpha)$, η εισερχόμενη μεγάλου μήκους κύματος ατμοσφαιρική ακτινοβολία R_a και η μεγάλου μήκους κύματος ανερχόμενη ακτινοβολία L_\uparrow . Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο.

6.4.2.1 Υπολογισμός της μικρού μήκους κύματος καθαρής ακτινοβολίας

Η μικρού μήκους κύματος καθαρή ακτινοβολία υπολογίζεται με τη χρήση της λευκάγειας α και της ολικής προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας R_g . Τα βήματα που ακολουθήθηκαν για τον υπολογισμό της αναλύονται στη συνέχεια.

Βήμα 1^ο: Υπολογισμός της λευκάγειας και χωρικό «φιλτράρισμα».

Σε αυτό το βήμα χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές ανακλαστικότητας του πρώτου και του δεύτερου καναλιού του αισθητήρα AVHRR (r_1 και r_2 , αντίστοιχα). Οι τιμές r_1 και r_2 είναι σε κλίμακα μεταξύ 0 – 65.536 (16-bit integer format). Αφού εξαιρέθηκαν οι ακραίες τιμές (τιμές μικρότερες του 10 και μεγαλύτερες του 50.010), με βάση τις πληροφορίες για τα συγκεκριμένα κανάλια (αρχείο info), οι τιμές μετατράπηκαν σε ποσοστά, χρησιμοποιώντας την εξίσωση (αρχείο info):

$$r_{1,2}(\%) = (\text{τιμή bit} - 10) * 0,002 \quad (6.8)$$

Εφαρμόζοντας την εξίσωση (6.8) στην κλίμακα τιμών (10 έως 50010), παρατηρείται ότι η ελάχιστη και μέγιστη τιμή των r_1 και r_2 (%) είναι 0 και 100, αντίστοιχα. Στη συνέχεια, υπολογίστηκε η λευκάγεια για τον Ελλαδικό χώρο, με τη χρήση της εξίσωσης (5.10).

Κατά τον έλεγχο των αποτελεσμάτων παρατηρήθηκαν ακραίες μέγιστες τιμές a , κυρίως κατά τους χειμερινούς μήνες. Με βάση τις τιμές ανακλαστικότητας που μπορούν να έχουν διάφοροι τύποι εδαφοκάλυψης, όπως βλάστηση, ξηρό έδαφος, και νερό (Smith, 2002), στις φασματικές περιοχές που αντιστοιχούν στα δύο πρώτα κανάλια του NOAA/AVHRR, τιμές a υψηλότερες του 25-30% είναι λανθασμένες. Όπως προαναφέρθηκε, τόσο υψηλές τιμές συνήθως οφείλονται στην ύπαρξη «θορύβου», εξαιτίας της παρουσίας νεφών, των ατμοσφαιρικών συνθηκών και της χιονοκάλυψης. Επίσης, όπως και στην περίπτωση των T_4 και T_5 , δεν είναι δυνατό το χρονικό φιλτράρισμα, εξαιτίας της εμφάνισης τέτοιων τιμών σε μεμονομένα εικονοστοιχεία κατά τη χειμερινή περίοδο, για δύο, τρία, ή και περισσότερα συνεχόμενα δεκαήμερα. Έτσι, για το χωρικό φιλτράρισμα των εικόνων a της Ελλάδας χρησιμοποιήθηκε ένα «επιλεκτικό» στατιστικό φίλτρο μέσου όρου (σχήμα 6.4), με μεταβλητό παράθυρο εφαρμογής (3x3 έως 11x11 εικονοστοιχεία), ανάλογα με τις ανάγκες της εκάστοτε εικόνας. Ως κατώφλι για την εφαρμογή του φίλτρου λήφθηκε η τιμή 30%.

Μετά το χωρικό φιλτράρισμα, εξήχθησαν οι μέσες μηνιαίες τιμές της a . Έπειτα, απομονώθηκε το υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας. Το αποτέλεσμα ήταν η δημιουργία 240 χαρτών λευκάγειας, ένας για κάθε μήνα της υπό εξέταση περιόδου.

Βήμα 2^ο: Υπολογισμός της ολικής προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

Η ολική προσπίπτουσα ακτινοβολία υπολογίστηκε με τη χρήση της εξίσωσης (5.9). Οι τιμές Angot που χρησιμοποιήθηκαν, δίνονται στον Πίνακα 6.3. Οι τιμές

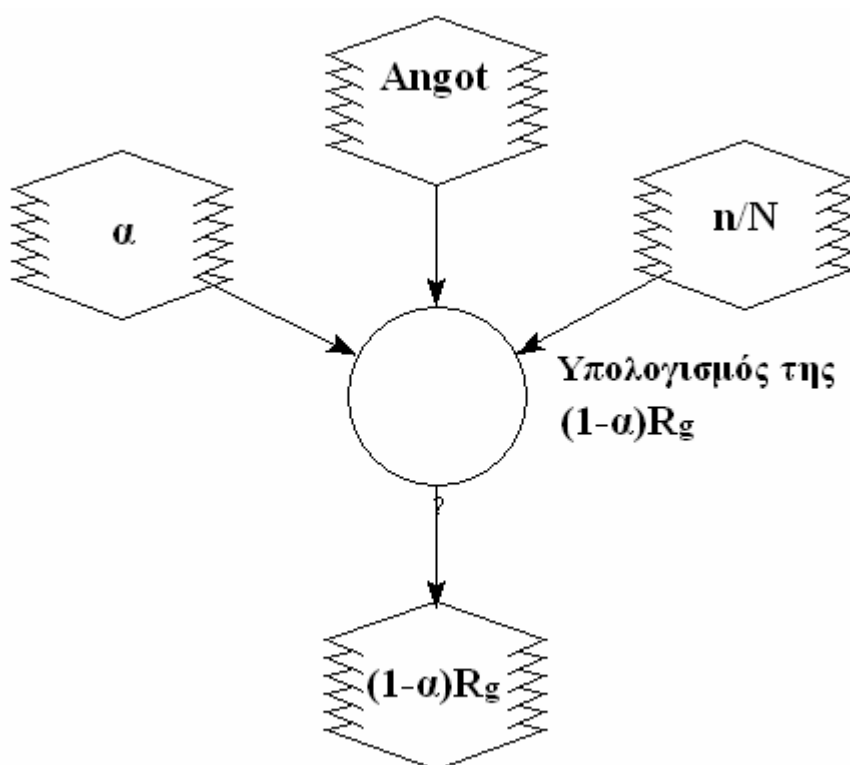
υπολογίστηκαν με γραμμική παρεμβολή από τον Πίνακα Π.1.4 του Παραρτήματος Ι, για γεωγραφικό πλάτος 39° και για την 15^η ημέρα κάθε μήνα. Οι συντελεστές a και b της εξίσωσης (5.9) θεωρήθηκαν ίσοι με 0,25 και 0,55, αντίστοιχα (Δαναλάτος, 2007), ενώ οι τιμές του λόγου n/N ελήφθησαν από το σταθμό της Λάρισας.

Πίνακας 6.3: Τιμές Angot για γεωγραφικό πλάτος 39° και για τη 15^η ημέρα κάθε μήνα.

ΒΓΠ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
39°	1,53	2,10	2,78	3,43	3,83	4,12	4,05	3,65	3,04	2,33	1,74	1,32

(Προσαρμοσμένος από Δαναλάτο, 2007).

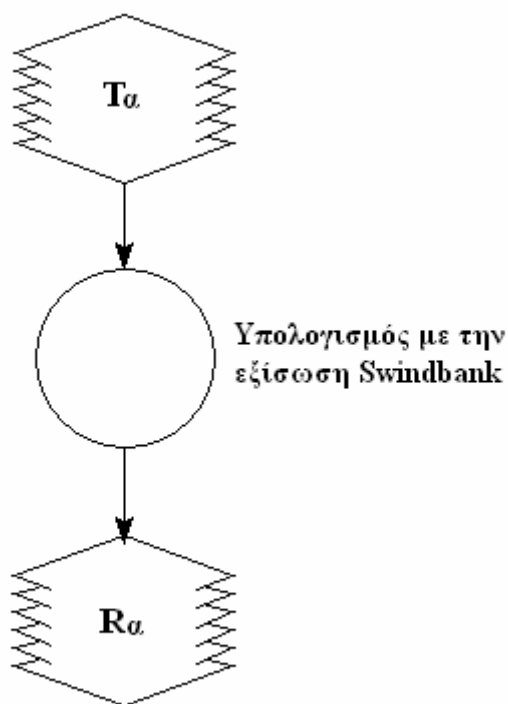
Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της μικρού μήκους κύματος καθαρής ακτινοβολίας, απεικονίζεται στο σχήμα 6.10. Με τη χρήση του μοντέλου παρήχθησαν 240 χάρτες, ένας για κάθε μήνα της χρονοσειράς, οι οποίοι απεικονίζουν τη μέση μηνιαία μικρού μήκους κύματος καθαρή ακτινοβολία ($W m^{-2}$).



Σχήμα 6.10: Απεικόνιση του μοντέλου υπολογισμού της μικρού μήκους κύματος καθαρής ακτινοβολίας.

6.4.2.2 Υπολογισμός της εισερχόμενης, μεγάλου μήκους κύματος ατμοσφαιρικής ακτινοβολίας

Η εισερχόμενη, μεγάλου μήκους κύματος ατμοσφαιρική ακτινοβολία R_a υπολογίστηκε από την εξίσωση (5.11). Όσον αφορά στη θερμοκρασία αέρα, γίνεται χρήση των χαρτών θερμοκρασίας αέρα (μέγεθος φατνίου 50x50 km²), που αποκτήθηκαν από τη βάση δεδομένων της ISPRA (2006). Το μοντέλο υπολογισμού της R_a απεικονίζεται στο σχήμα 6.11. Το αποτέλεσμα ήταν η δημιουργία 240 χαρτών, οι οποίοι απεικονίζουν τη μέση μηνιαία R_a (W m⁻²) στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας.



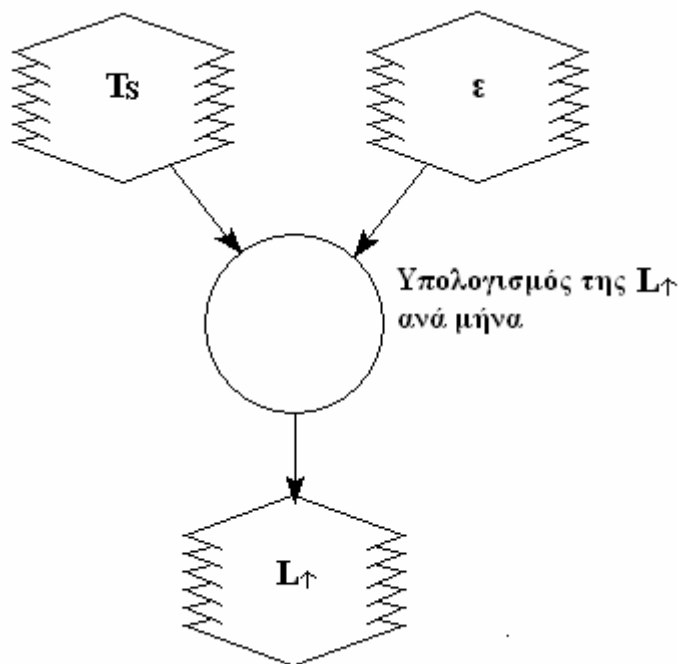
Σχήμα 6.11: Απεικόνιση του μοντέλου υπολογισμού της μέσης μηνιαίας R_a .

6.4.2.3 Υπολογισμός της ανερχόμενης, μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας

Η ανερχόμενη μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία υπολογίστηκε σε μηνιαίο βήμα (μέσες μηνιαίες τιμές) από την εξίσωση (5.8), με τη χρήση της T_s που υπολογίστηκε σε προηγούμενο στάδιο, χρησιμοποιώντας δεδομένα NOAA/AVHRR. Όσον αφορά στις μηνιαίες τιμές της ϵ , υπολογίστηκαν με τη χρήση της εξίσωσης

(6.4) (Van de Griend and Owe, 1993), με τον NDVI να αντιπροσωπεύει τη σύνθετη εικόνα μέγιστων τιμών (Maximum Value Composite – MVC) NDVI του υπό εξέταση μήνα.

Έτσι λοιπόν, εξήχθησαν 240 μηνιαίοι χάρτες μέσω των τιμών της L_{\uparrow} ($W m^{-2}$). Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε απεικονίζεται στο σχήμα 6.12.



Σχήμα 6.12: Απεικόνιση του μοντέλου υπολογισμού της μέσης μηνιαίας L_{\uparrow} .

6.5 Εκτίμηση Παραγωγής

Η μεθοδολογία για την εκτίμηση της παραγωγής αναπτύχθηκε στο κεφάλαιο 5.4. Τα αποτελέσματα ανά βήμα της μεθοδολογίας και οι εξισώσεις εκτίμησης των αποδόσεων ανά καλλιέργεια και μέθοδο δίνονται αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο, στην παράγραφο 7.2.4.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθοδολογίας της αγροκλιματικής ζωνοποίησης και της εκτίμησης παραγωγής. Όπως προαναφέρθηκε, η στατιστική τεχνική που χρησιμοποιείται είναι η ιεραρχική ταξινόμηση. Όσον αφορά στο είδος της ταξινόμησης, αυτή είναι επιβλεπόμενη. Έτσι λοιπόν, κρίθηκε σκόπιμο, πριν από την παρουσίαση των αποτελεσμάτων να γίνει μία σύντομη αναφορά στη θεματική ταξινόμηση των δορυφορικών εικόνων.

7.1 Θεματική ταξινόμηση

Η θεματική ταξινόμηση των δορυφορικών εικόνων αφορά στο μετασχηματισμό των συνεχών τηλεπισκοπικών δεδομένων σε διακριτά αντικείμενα, που διακριτοποιούνται μεταξύ τους από μία θεματική ταξινόμηση. Τα αντικείμενα αυτά εμπεριέχουν ένα μοναδικό τύπο που ονομάζεται κλάση και εμπεριέχεται στον τελικό παραγόμενο θεματικό χάρτη. Η σχέση δεν είναι ένα προς ένα. Μεταξύ διαφορετικών αντικειμένων της ίδιας κλάσης, και ακόμα και μέσα στο ίδιο αντικείμενο, μπορεί να παρουσιάζονται διαφορετικές τιμές εικονοστοιχείων. Αντιστρόφως, διαφορετικές θεματικές κλάσεις μπορεί να μην είναι δυνατόν να διαχωριστούν διότι παρουσιάζουν περίπου τις ίδιες τιμές. Σε τέτοιες περιπτώσεις, οι προσδιοριστικές μέθοδοι δεν είναι επαρκείς. Μία, όμως, πιθανοθεωρητική προσέγγιση μπορεί να είναι ικανή να περιγράψει τις φασματικές διακυμάνσεις μεταξύ των ομάδων και να ελαχιστοποιήσει την πιθανότητα προσδιορισμού λανθασμένων κλάσεων (Gorte, 2000).

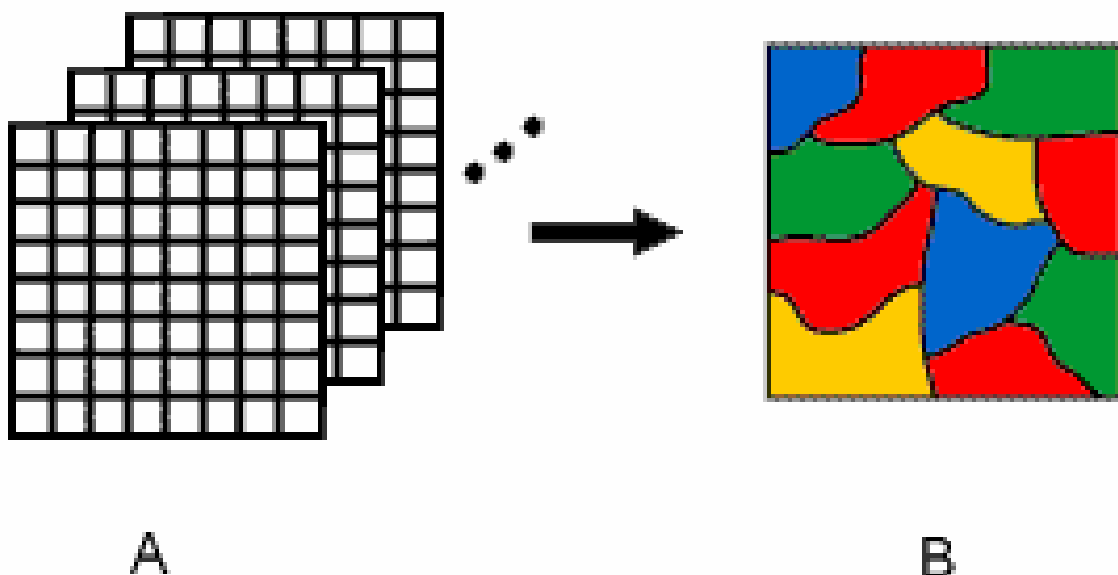
Η επιλογή των κλάσεων βασίζεται κυρίως στα φασματικά χαρακτηριστικά ή στις τιμές των εικονοστοιχείων. Η συλλογή μετρήσεων σε ένα εικονοστοιχείο ονομάζεται διάνυσμα μετρήσεων (measurement vector) ή διάνυσμα στοιχείων (feature vector). Σε N φασματικές περιοχές, το διάνυσμα στοιχείων έχει N συνιστώσες και αντιστοιχεί σε ένα σημείο, σε ένα χώρο στοιχείων, N -διαστάσεων. Ανάλογα με την εφαρμογή, σκοπός της ταξινόμησης είναι να προσδιορίσει έναν τίτλο κλάσης (class label) σε κάθε χαρακτηριστικό διάνυσμα, δηλαδή να υποδιαιρέσει το

χαρακτηριστικό χώρο σε μέρη τα οποία ανταποκρίνονται στις κλάσεις. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την αναγνώριση προτύπων (pattern recognition) (Ripley, 1996).

Στην παρούσα μεθοδολογία λαμβάνει χώρα η ιεραρχική ταξινόμηση, βάσει των τιμών των προτεινόμενων δεικτών και παραμέτρων, για τον προσδιορισμό των αγροκλιματικών ζωνών.

Μια βασική εφαρμογή των δορυφορικών δεδομένων είναι η επεξεργασία για τον εντοπισμό και την αναγνώριση (ταξινόμηση) των αντικειμένων και η παρουσίασή τους σε μορφή χάρτη ή πινάκων (σχήμα 7.1). Συνήθως τέτοιες εφαρμογές σχετίζονται με τον προσδιορισμό χρήσεων γης. Σ' αυτές, ο εντοπισμός και τα χωρικά χαρακτηριστικά (spatial features) (μέγεθος, σχήμα, κατεύθυνση) των αντικειμένων προσδιορίζονται μέσω των αλλαγών των μέσων τιμών των φασματικών ιδιοτήτων τους. Αυτά τα χωρικά χαρακτηριστικά επιτρέπουν και την εξέταση των μεταβολών που λαμβάνουν χώρα στα αντικείμενα. Έτσι, επιτρέπουν μόνο μία γενική κατάταξη των αντικειμένων της εικόνας.

Συνήθως οι μέθοδοι ταξινόμησης βασίζονται στα φασματικά χαρακτηριστικά, χρησιμοποιώντας τεχνικές αναγνώρισης προτύπων (Δαλέζιος, 2002). Βέβαια, ανάλογα με την εφαρμογή και τη φύση της ταξινόμησης, οι μέθοδοι εκπαίδευσης αλλάζουν.



Σχήμα 7.1: Προσδιορισμός των ομάδων εικονοστοιχείων με κοινά χαρακτηριστικά γνωρίσματα (Δαλέζιος, 2002).

Η ταξινόμηση αποτελεί σημαντικό βήμα στην εξαγωγή θεματικής πληροφορίας από δορυφορικές εικόνες. Θεωρητικά, είναι δυνατό να ταξινομηθεί μία εικόνα με τη χρήση ενός καναλιού (band) (π.χ. πανχρωματικό του SPOT), μπορούν όμως να επιτευχθούν πολύ καλύτερα αποτελέσματα με τη χρήση περισσότερων καναλιών ταυτόχρονα (π.χ. τρία κανάλια από πολυφασματική εικόνα του SPOT) (Gorte, 2000).

Οι ταξινομήσεις πολυφασματικών εικόνων έχουν εφαρμογή στην αναγνώριση αντικειμένων, όπως π.χ. στον προσδιορισμό χρήσεων γης. Η κατηγοριοποίηση βασίζεται στην εφαρμογή του απλού κανόνα απόφασης (decision rule) σε κάθε εικονοστοιχείο. Αυτό σημαίνει ότι κάθε εικονοστοιχείο ταξινομείται ξεχωριστά μόνο βάσει των φασματικών μετρήσεων. Βασική προϋπόθεση είναι ότι ένα αντικείμενο είναι αρκετά μεγαλύτερο από το μέγεθος του εικονοστοιχείου. Διαφορετικά ένα μεγάλο ποσοστό εικονοστοιχείων μπορεί να αποτελείται από δύο ή περισσότερα αντικείμενα, κάνοντας τη στατιστική ταξινόμηση αναξιόπιστη. Αυτό θα έχει ως συνέπεια, οι προσδιορισμένες κατηγορίες, σύμφωνα με τις οποίες θα πρέπει να γίνει η ταξινόμηση της εικόνας, να μην είναι κατάλληλες για την περιγραφή της πραγματικής κατάστασης (Δαλέζιος, 2002).

Τα εικονοστοιχεία που έχουν παρόμοια φασματικά χαρακτηριστικά, που είναι πολύ πιθανό να ανήκουν στην ίδια κλάση χρήσεων γης ή εδαφοκάλυψης, βρίσκονται κοντά το ένα στο άλλο στο χώρο των στοιχείων (feature space), άσχετα από την απόσταση που απέχουν στην εικόνα και στο έδαφος. Τα εικονοστοιχεία που ανήκουν στην ίδια κλάση θα σχηματίσουν τη λεγόμενη ομάδα (cluster) ή κλάση (class) στο χώρο των στοιχείων. Τα υπόλοιπα στοιχεία που ανήκουν σε άλλες κλάσεις δε θα ενταχθούν σε αυτήν την ομάδα, αλλά στις υπόλοιπες που αντιστοιχούν σε διαφορετικές κλάσεις.

Όμως, μία θεματική ταξινόμηση δεν είναι απαραίτητο να αφορά στον προσδιορισμό αντικειμένων. Υπάρχουν εφαρμογές, όπου η θεματική πληροφορία ορίζεται από τις τιμές ενός ή και περισσότερων δεικτών/παραμέτρων, όπου οι τιμές τους κατηγοριοποιούν και διαβαθμίζουν έναν ή και περισσότερους παράγοντες ενός φαινομένου. Σ' αυτές τις περιπτώσεις, δεν εξετάζονται φασματικά χαρακτηριστικά, αλλά οι τιμές του δείκτη ή των παραμέτρων. Τέλος, ο χρήστης είναι αυτός που θα ορίσει τον αριθμό και την ερμηνεία των κλάσεων, ανάλογα με τη φυσική διάσταση του φαινομένου και τη σκοπιά από την οποία επιθυμεί να το προσεγγίσει.

Μία πρώτη διάκριση της ταξινόμησης, είναι σε επιβλεπόμενη και μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση (Gorte, 2000).

Επιβλεπόμενη ταξινόμηση

Στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση είναι απαραίτητη η γνώση της σχέσης μεταξύ των κλάσεων και των εικονοστοιχείων. Ο χρήστης πρέπει να ορίσει μόνος του την αντιστοιχία των εικονοστοιχείων με τις κλάσεις. Στην περίπτωση της ταξινόμησης βάσει πολυφασματικής πληροφορίας, απαιτείται προσοχή διότι στις εικόνες εμπεριέχονται και άλλοι ανεπιθύμητοι παράγοντες, όπως η κατάσταση της ατμόσφαιρας, η γωνία πρόσπτωσης του ήλιου, ο τύπος εδάφους, η υγρασία εδάφους, το στάδιο ανάπτυξης της βλάστησης κ.τ.λ. Το να ληφθούν υπόψη όλοι αυτοί οι παράγοντες είναι αδύνατο. Έτσι, πρέπει να ληφθεί υπόψη η σχέση μεταξύ της ανακλαστικότητας και των κλάσεων των χρήσεων γης ή της εδαφοκάλυψης (Gorte, 2000). Στην περίπτωση της ταξινόμησης με βάση τιμές δεικτών, παραμέτρων ή οντοτήτων, οι παράγοντες αυτοί θα πρέπει να έχουν ληφθεί υπόψη.

Η επιβλεπόμενη ταξινόμηση χωρίζεται σε δύο φάσεις:

- Την εκπαίδευση, όπου ο χρήστης εκπαιδεύει το σύστημα διευκρινίζοντας ποια εικονοστοιχεία ανήκουν σε κάθε κλάση στη συγκεκριμένη εικόνα.
- Τη διαδικασία λήψης αποφάσεων, όπου το σύστημα προσδιορίζει την κλάση για όλα τα στοιχεία με τα ορισμένα χαρακτηριστικά, σε όλη την εικόνα.

Η επιβλεπόμενη ταξινόμηση χρησιμοποιεί αλγόριθμους, οι οποίοι κατατάσσουν τα εικονοστοιχεία μιας εικόνας ανάλογα με την κατηγορία στην οποία ανήκουν. Κάποιοι αλγόριθμοι στηρίζονται στη θεωρία των πιθανοτήτων. Άλλοι είναι «αυστηροί», ορίζοντας συγκεκριμένα όρια στους ταξινομητές. Τα βασικά βήματα που ακολουθούνται κατά τη διαδικασία της ταξινόμησης είναι (σχήμα 7.2) (Δαλέζιος, 2002):

1. Προσδιορισμός του αριθμού των κλάσεων στις οποίες θα χωριστεί (segmented) η εικόνα. Στο στάδιο αυτό καθορίζεται, αντικειμενικά, ο αριθμός των τάξεων που θα χρησιμοποιηθούν, ο οποίος και εξαρτάται από το σκοπό της μελέτης και την περιοχή. Π.χ. όταν χρειάζεται να γίνει ταξινόμηση των ειδών βλάστησης μιας αγροτικής περιοχής, τότε οι διαφορετικές καλλιέργειες λαμβάνονται ως ξεχωριστές κλάσεις. Αντιθέτως, όταν το ενδιαφέρον στρέφεται στη γενικότερη ταξινόμηση μιας περιοχής (π.χ. αγροτική, αστική, υδάτινη), τότε τα είδη βλάστησης λαμβάνονται ως

μία κατηγορία. Επιπλέον, όταν η ταξινόμηση αφορά στην κατηγοριοποίηση με βάση τις τιμές ενός δείκτη, π.χ ξηρασίας, οι κλάσεις χαρακτηρίζουν το μέγεθος του υπό εξέταση φαινομένου.

2. Επιλογή προτύπων (prototypes) εικονοστοιχείων από κάθε κλάση, τα οποία αποτελούν τα εκπαιδευτικά δεδομένα (training data). Στην περίπτωση ταξινόμησης χρήσεων γης, η επιλογή γίνεται βάσει πληροφοριών που συλλέγονται από κατά τόπους δειγματοληψίες, αεροφωτογραφίες κ.λπ. Η δειγματοληψία των προτύπων πρέπει να είναι αντιπροσωπευτική και, εάν αυτό είναι δυνατόν, να γίνει από όλη την περιοχή της εικόνας, εφόσον καθορίζει το ποσοστό ακρίβειας της ταξινόμησης. Το στάδιο αυτό παραλείπεται όταν πρόκειται για την ταξινόμηση φυσικών αντικειμένων.

3. Προσδιορισμός των παραμέτρων των ταξινομητών (classifiers), που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν. Οι παράμετροι αυτοί λέγονται υπογραφές (signatures) των δεδομένων.

4. Ένταξη κάθε εικονοστοιχείου της εικόνας σε μία από τις κλάσεις που έχουν προσδιοριστεί, χρησιμοποιώντας τον εκπαιδευμένο ταξινομητή (trained classifier).

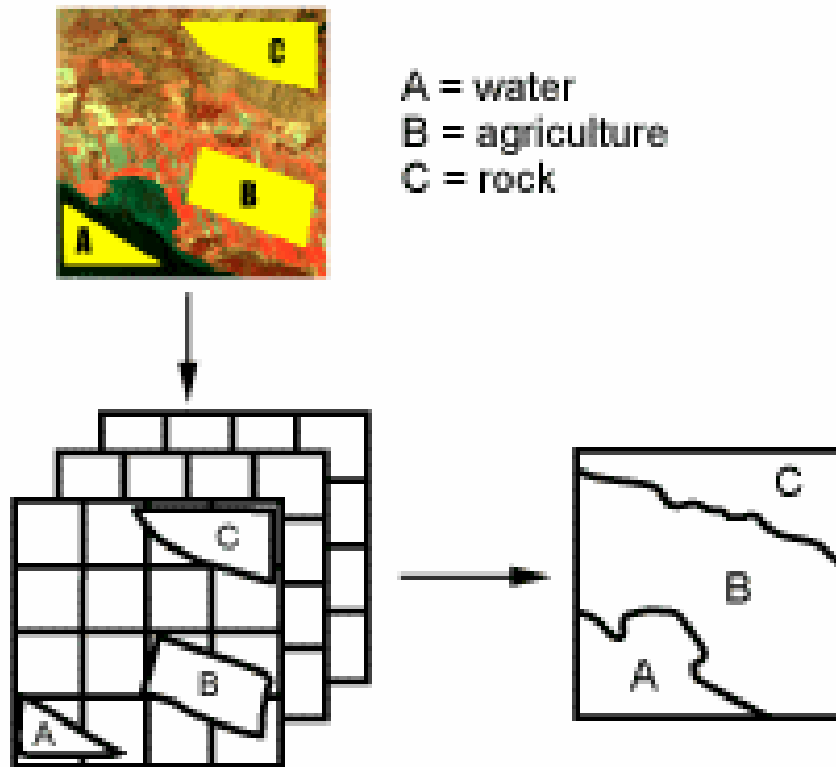
5. Δημιουργία πινάκων ή θεματικών χαρτών, στους οποίους παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ταξινόμησης.

Αναφορικά, δύο από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα βήματα 3 και 4 είναι:

1. Η ταξινόμηση με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας.
2. Η ορθογώνια παραλληλεπίπεδη ταξινόμηση.

Μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση

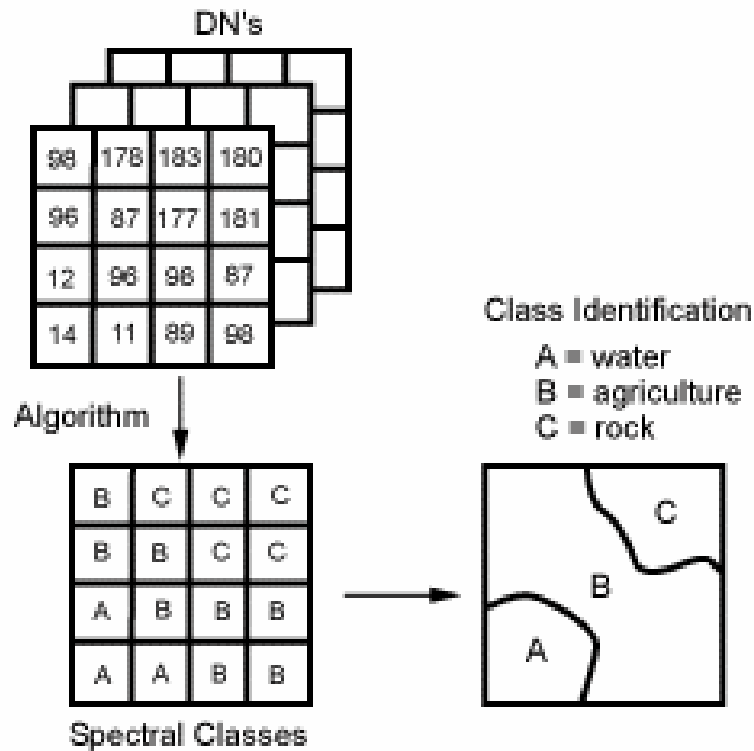
Η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση δεν απαιτεί εκ των προτέρων γνώση της εικόνας, αλλά εφαρμόζει υποδιαιρέσεις που βασίζονται σε «εσωτερικές» ιδιότητες των εικόνων. Οι ψηφιακές τιμές κάθε εικονοστοιχείου, σε κάθε μήκος κύματος, εξετάζονται, και κατόπιν η εικόνα υποδιαιρείται σε έναν προκαθορισμένο αριθμό κλάσεων (Τσίρος, 2006). Στο σχήμα 7.3 απεικονίζεται η γενική μεθοδολογία της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης.



Σχήμα 7.2: Στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση επιλέγονται δειγματοληπτικές περιοχές (A, B, C) που χρησιμοποιούνται για την ταξινόμηση ολόκληρης της εικόνας (Δαλέζιος, 2002).

Άρα, μία ταξινόμηση μπορεί να γίνει πλοτάροντας όλα τα διανύσματα στοιχείων της εικόνας σε ένα χώρο στοιχείων, ο οποίος θα αναλυθεί για την ομαδοποίηση των διανυσματικών στοιχείων σε ομάδες. Η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση είναι μία διαδικασία, κατά την οποία τα λογισμικά κάνουν αυτόματα την κατηγοριοποίηση μέσω τεχνικών και μεθόδων ομαδοποίησης. Το λογισμικό, όμως, δεν έχει γνώση των ονομάτων των θεματικών κλάσεων της εδαφοκάλυψης ή των χρήσεων γης, όπως δρόμος, πόλεις, σιτηρά κ.τ.λ., ή της φυσικής σημασίας των τιμών ενός δείκτη. Το μόνο που κάνει είναι να αναγνωρίσει ότι υπάρχουν π.χ. 16 διαφορετικές κλάσεις στην εικόνα και να τους δώσει αύξοντα αριθμό. Δηλαδή, δημιουργεί ένα ψηφιδωτό χάρτη (raster map), στον οποίο κάθε εικονοστοιχείο έχει

τιμή από 1 έως 16 (για το ανωτέρω παράδειγμα), ανάλογα με την ομάδα στην οποία αντιστοιχούν τα εικονοστοιχεία (Gorte, 2000). Σχεδόν όλα τα λογισμικά επεξεργασίας εικόνων επιτρέπουν στο χρήστη να ορίσει τον αριθμό των κλάσεων ή τις φασματικές διαφορές που θα πρέπει να υπάρχουν μεταξύ των κλάσεων.



Σχήμα 7.3: Γενική μεθοδολογία μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Οι αρχικές πολυφασματικές εικόνες ταξινομούνται, μέσω ενός αλγορίθμου, σε κλάσεις σύμφωνα με τις φασματικές τους ιδιότητες (Δαλέζιος, 2002).

Στην πράξη, για εξοικονόμηση χρόνου, η αρχική ομαδοποίηση ξεκινά με την αναγνώριση των «φυσικών κλάσεων», εξετάζοντας μόνο ένα δείγμα από το σύνολο των εικονοστοιχείων της εικόνας. Κατόπιν, καθορίζονται στατιστικές ποσότητες των κλάσεων και ακολουθεί η ταξινόμηση ολόκληρης της εικόνας (Δαλέζιος, 2002).

Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιούν συνήθως τα λογισμικά για να εκτελέσουν την ταξινόμηση είναι ο ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique). Τα αρχικά σημαίνουν «Επαναλαμβανόμενη και αυτό-οργανωμένη τεχνική ανάλυσης δεδομένων». Ο όρος «επαναλαμβανόμενη» αναφέρεται στο ότι εκτελεί την ταξινόμηση επανειλημμένα, δίνοντας στην έξοδο ένα θεματικό ψηφιδωτό

χάρτη και επαναυπολογίζει τα στατιστικά στοιχεία. Ο όρος «αυτό-οργανωμένη» αναφέρεται στον τρόπο με τον οποίο εντοπίζει τις κλάσεις που ενυπάρχουν στα δεδομένα.

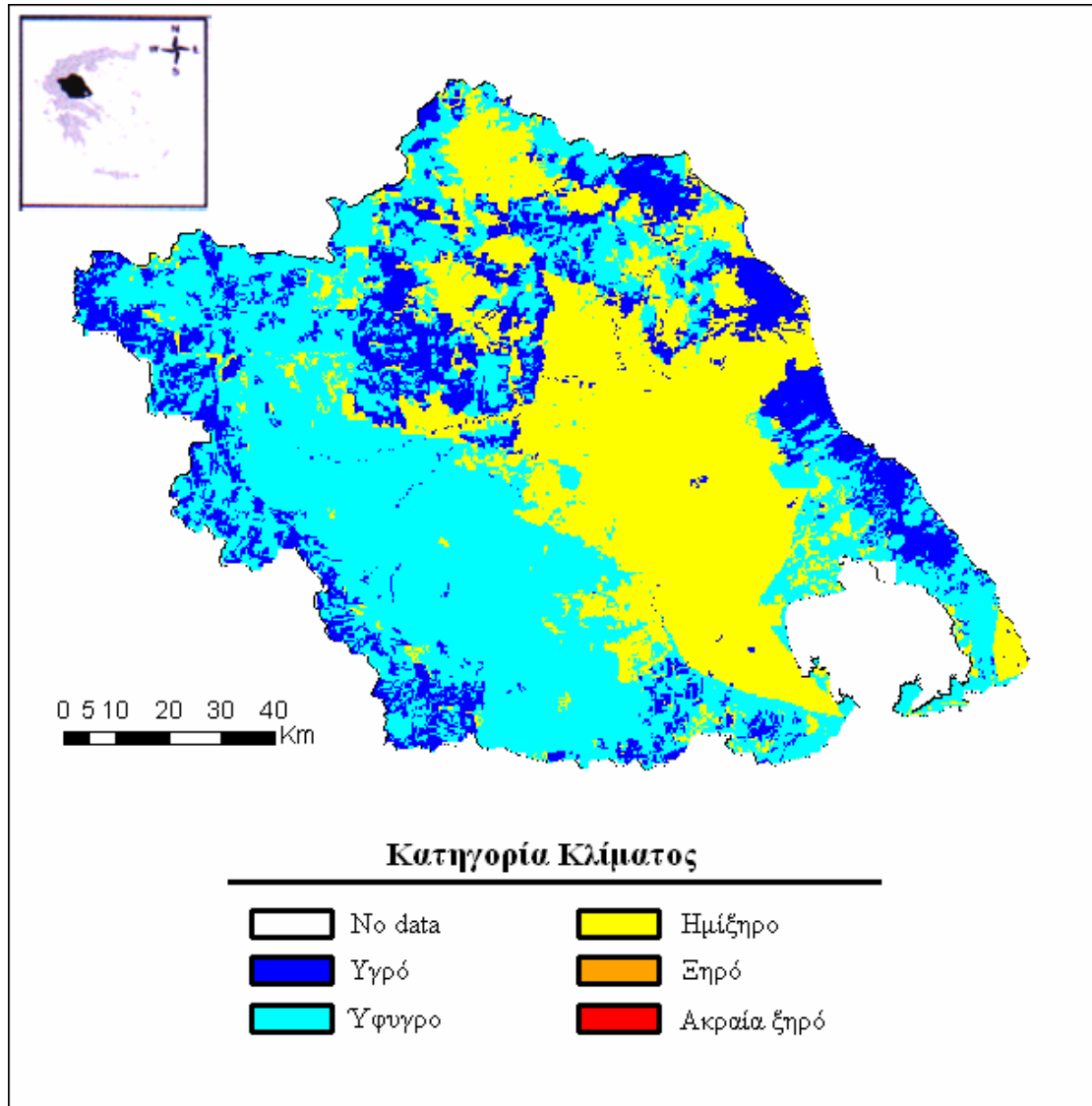
Η μέθοδος ομαδοποίησης ISODATA χρησιμοποιεί τη μέθοδο της ελάχιστης απόστασης για να σχηματίσει τις κλάσεις. Ξεκινά θέτοντας αυθαίρετα τους μέσους όρους κάθε κλάσης και κάθε φορά που η ομαδοποίηση επαναλαμβάνεται, οι μέσοι όροι των κλάσεων μεταβάλλονται. Οι νέοι μέσοι όροι των κλάσεων χρησιμοποιούνται για την επόμενη επανάληψη. Η εφαρμογή του αλγόριθμου συνεχίζεται έως ότου εκτελεσθεί ένας μέγιστος αριθμός επαναλήψεων ή επιτευχθεί ένα μέγιστο ποσοστό αμετάβλητων εικονοστοιχείων μεταξύ δύο διαδοχικών επαναλήψεων. Έτσι, στη συγκεκριμένη μέθοδο πρέπει να οριστεί ο αριθμός των κλάσεων, ο μέγιστος αριθμός επαναλήψεων και το ποσοστό σύγκλισης (συνήθως 95%).

Η μέθοδος αυτή είναι σχετικά γρήγορη και επιτρέπει στο χρήστη να λάβει μία αντικειμενική εικόνα των κύριων φασματικών τύπων ή διαφοροποιήσεων. Βάσει αυτών των αποτελεσμάτων μπορεί να ακολουθήσει η επιβλεπόμενη ταξινόμηση.

7.2 Ανάλυση αποτελεσμάτων

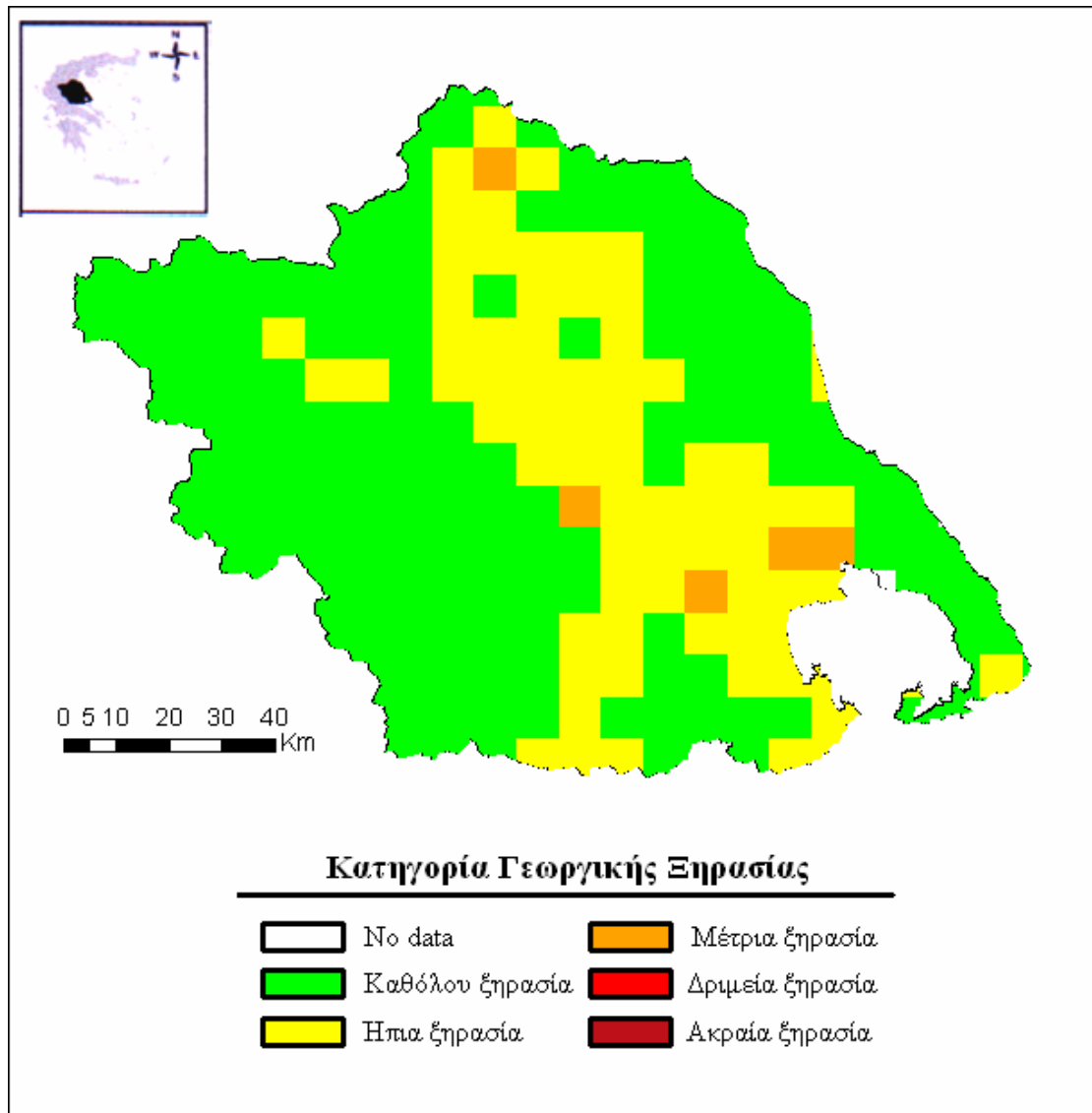
7.2.1 Υδροκλιματική ζωνοποίηση – Ζώνες WLGE

Όπως προαναφέρθηκε, σε όλα τα βήματα της μεθοδολογίας, ο προσδιορισμός των ζωνών γίνεται με τη χρήση ιεραρχικής επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Αρχικά, προσδιορίστηκε η υδροκλιματική συνιστώσα της ζωνοποίησης, οι ζώνες WLGE. Για τον προσδιορισμό των ζωνών χρησιμοποιήθηκαν ο AI και ο VHI. Ο χάρτης κλιματικής ξηρότητας ταξινομήθηκε με βάση τις τιμές και τις κλάσεις του AI, όπως αυτές ορίζονται στον Πίνακα 5.2. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στην εικόνα 7.1.



Εικόνα 7.1: Κλιματική ξηρότητα στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας, για την υδρολογική περίοδο 1981-2001.

Ακολούθησε η εξαγωγή του χάρτη της γεωργικής ξηρασίας, ο οποίος εξήχθηκε βάσει της συχνότητας επανεμφάνισης των συμβάντων ξηρασίας, όπως αυτά ορίζονται από τις κατηγορίες του VHI. Έτσι λοιπόν, αφού έγινε η θεματική ταξινόμηση των μηνιαίων εικόνων VHI σύμφωνα με τις κατηγορίες του Πίνακα 5.3., ανάλογα με τη συχνότητα επανεμφάνισης των συμβάντων ξηρασίας, εξήχθηκε ο χάρτης της γεωργικής ξηρασίας για την υδρολογική περίοδο 1981-2001. Πρέπει να αναφερθεί ότι κατά την εξαγωγή των συχνοτήτων, σε κάθε κατηγορία ξηρασίας δόθηκε διαφορετικό ειδικό βάρος. Η κλιμάκωση των ειδικών βάρων ήταν αναλογική. Ο χάρτης της γεωργικής ξηρασίας στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας απεικονίζεται στην εικόνα 7.2.

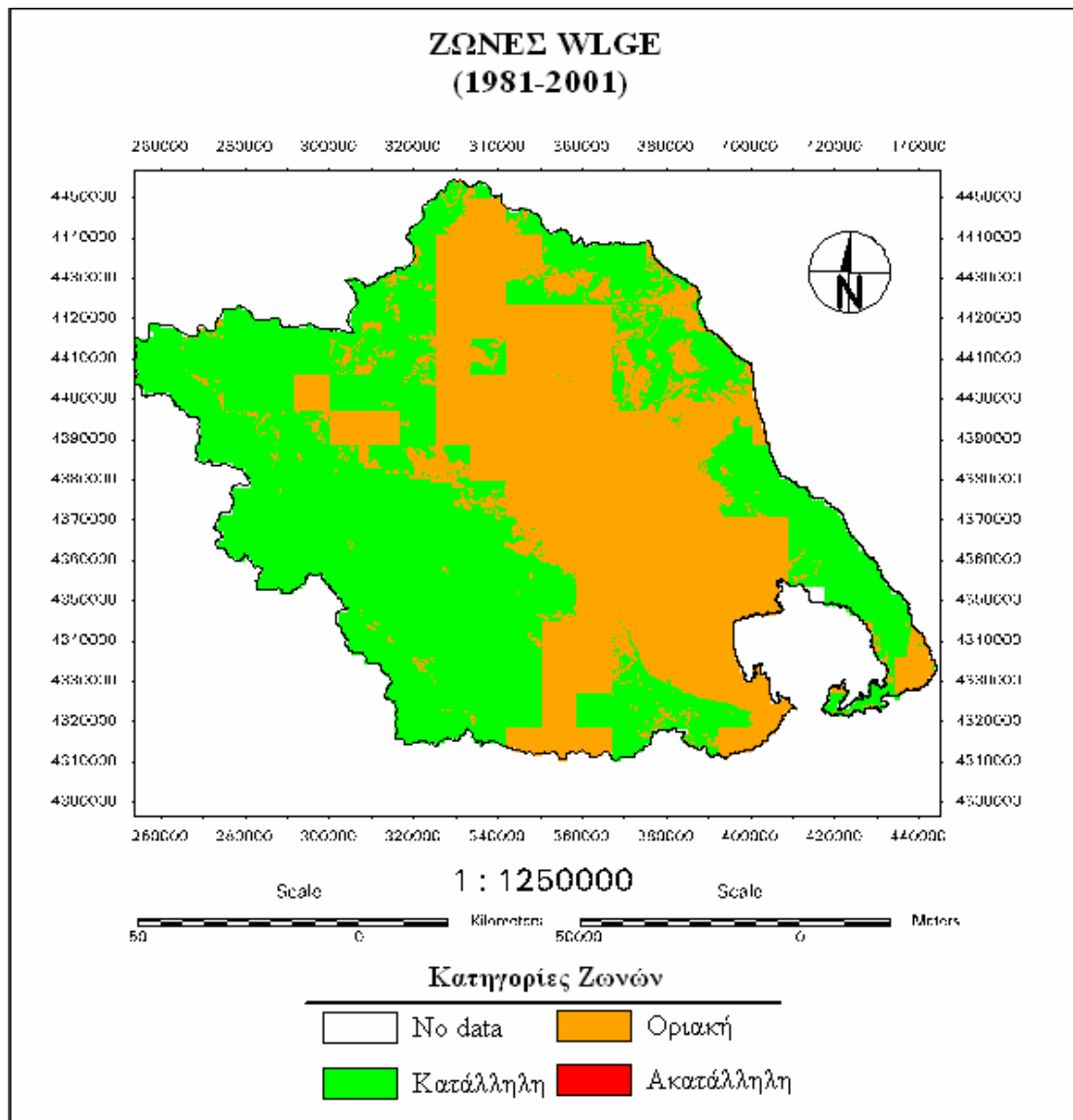


Εικόνα 7.2: Γεωργική ξηρασία στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας, με βάση τη συχνότητα επανεμφάνισης συμβάντων ξηρασίας την υδρολογική περίοδο 1981-2001.

Αφού εξήχθησαν ο χάρτης κλιματικής ξηρότητας και γεωργικής ξηρασίας για την υπό εξέταση περίοδο, προσδιορίστηκαν οι υδροκλιματικές ζώνες του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας. Το γενικό πρότυπο που προτείνεται και χρησιμοποιήθηκε κατά την ταξινόμηση, δηλαδή η αντιστοιχία των ζωνών WLGE με τις κατηγορίες του AI και του VHI, παρουσιάζεται στον Πίνακα 7.1. Με βάση τις αντιστοιχίες του Πίνακα 7.1 και τη χρήση παραλληλεπίπεδης θεματικής ταξινόμησης, προσδιορίστηκαν οι ζώνες WLGE. Οι ζώνες απεικονίζονται στην εικόνα 7.3.

Πίνακας 7.1: Χαρακτηρισμός των ζωνών WLGE ανάλογα με την κατηγορία γεωργικής ξηρασίας και κλιματικής ξηρότητας.

Κατηγορία γεωργικής ξηρασίας	Κατηγορία ξηρότητας κλίματος	Ζώνη WLGE
Καθόλου ξηρασία	Υγρό	Κατάλληλη
	Ύφυγρο	
Ήπια ξηρασία	Ημίξηρο	Οριακή
Μέτρια ξηρασία		
Δριμεία ξηρασία	Ξηρό	Ακατάλληλη
Ακραία ξηρασία	Ακραία ξηρό	



Εικόνα 7.3: Ζώνες WLGE του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας.

Η ζώνη στην οποία το κλίμα είναι υγρό ή ύφυγρο και η συχνότητα εμφάνισης της γεωργικής ξηρασίας είναι χαμηλή, χαρακτηρίζεται ως «κατάλληλη» και δεν υφίστανται σημαντικοί περιορισμοί όσον αφορά στη διαθεσιμότητα του ύδατος. Αντίθετα, στην «ακατάλληλη» ζώνη υπάρχουν σημαντικοί περιορισμοί που δεν επιτρέπουν την ανάπτυξη καλλιεργειών. Στην «οριακή», υπάρχουν περιορισμοί, οι οποίοι οφείλονται τόσο στο ότι το κλίμα σε αυτήν τη ζώνη είναι ημίξηρο, όσο και στην επανεμφάνιση της γεωργικής ξηρασίας, κυρίως ήπιας ή μέτριας έντασης. Σ' αυτές τις ζώνες η επιτυχία μίας καλλιέργειας εξαρτάται από τις απαιτήσεις της σε νερό και την κατανομή των βροχοπτώσεων κατά τη βλαστική περίοδο.

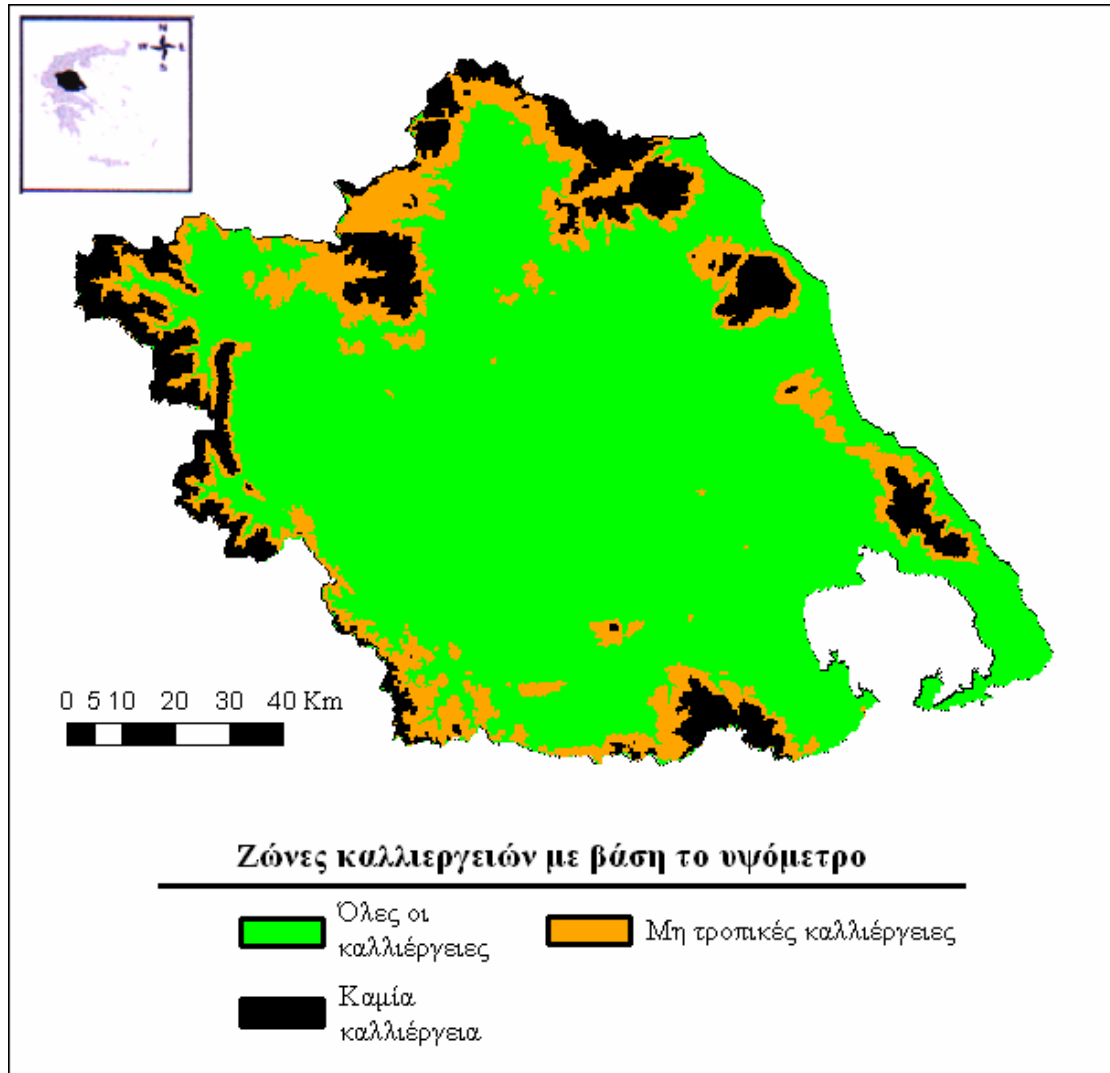
Από την εικόνα 7.3, είναι εμφανές ότι καμία περιοχή στη Θεσσαλία δεν είναι ακατάλληλη για την καλλιέργεια φυτών, όσον αφορά στη διαθεσιμότητα ύδατος. Όσον αφορά στην «οριακή» ζώνη, μία καλλιέργεια με υψηλές απαιτήσεις σε νερό, μπορεί να καλλιεργηθεί εφόσον η άρδευση είναι οικονομικά εφικτή. Επιπλέον, στην περίπτωση ξηρικών καλλιεργειών απαιτείται έλεγχος της κατανομής των βροχοπτώσεων κατά τη βλαστική περίοδο και της επάρκειας αυτών. Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι ακόμα και στην «κατάλληλη» ζώνη, οι υδροβόρες καλλιέργειες πιθανόν να απαιτούν συμπληρωματική άρδευση, η ποσότητα της οποίας εξαρτάται και πάλι από την κατανομή των βροχοπτώσεων κατά τη βλαστική περίοδο.

7.2.2 Γενική αγροκλιματική ζωνοποίηση

Στο στάδιο της γενικής αγροκλιματικής ζωνοποίησης προσδιορίζονται οι ζώνες αειφόρου παραγωγής. Για τον προσδιορισμό των ζωνών αυτών είναι απαραίτητη η χρήση του DEM, καθώς και του ψηφιοποιημένου εδαφολογικού χάρτη. Όμως, η πληροφορία που εμπεριέχεται στα δύο ανωτέρω υπόβαθρα, πρέπει πρώτα να μεταφραστεί σε αγροκλιματικά σημαντική πληροφορία. Γι' αυτό το λόγο, η υψομετρική, κλισημετρική και εδαφολογική πληροφορία ταξινομείται σε κλάσεις που παρουσιάζουν αγρονομικό ενδιαφέρον.

Έτσι λοιπόν, από το ψηφιακό μοντέλο ανάγλυφου, εξήχθησαν δύο θεματικοί χάρτες. Ένας που εμπεριέχει τις υψομετρικές ζώνες του υδατικού διαμέρισματος της Θεσσαλίας, και ένας που κατηγοριοποιεί τις κλίσεις. Όσον αφορά στο υψόμετρο, δημιουργήθηκαν τρεις ζώνες. Η πρώτη ζώνη, με υψόμετρο χαμηλότερο από 600 m, οριοθετεί τις καλλιεργούμενες περιοχές. Η δεύτερη ζώνη ξεκινά από τα 600 m και φθάνει έως τα 900 m, και αφορά σε κάποιες δενδρώδεις καλλιέργειες (π.χ. μηλιές,

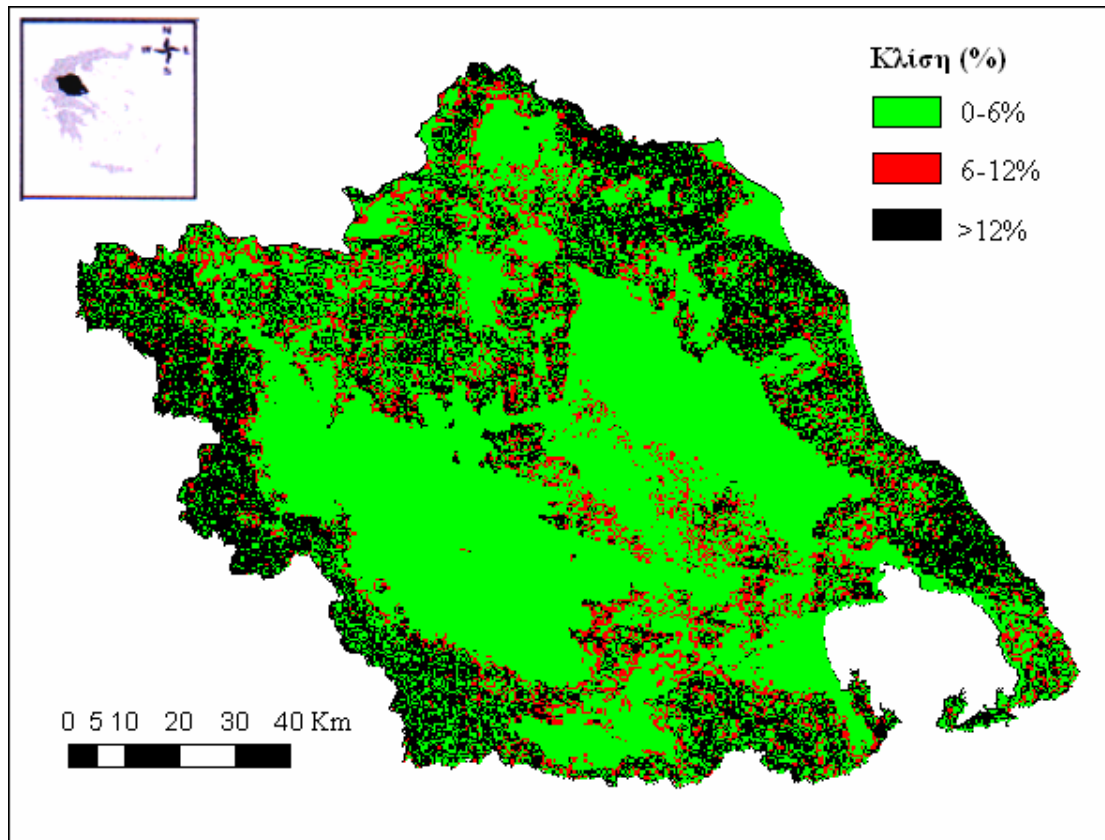
καστανιές) και μη τροπικές καλλιέργειες (π.χ. σιτηρά). Τέλος, η τρίτη ζώνη αναπτύσσεται πάνω από τα 900 m και είναι η ζώνη που δεν είναι κατάλληλη για την ανάπτυξη καλλιεργειών. Ο χάρτης των υψομετρικών ζωνών παρουσιάζεται στην εικόνα 7.4.



Εικόνα 7.4: Ζώνες καλλιεργειών με βάση το υψόμετρο, στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας.

Η κατηγοριοποίηση της κλίσης του εδάφους, σχετίζεται άμεσα με τις γεωργικές πρακτικές. Όσο αυτή αυξάνεται, οι γεωργικές πρακτικές που εφαρμόζονται πρέπει να υπόκεινται σε συγκεκριμένους κανόνες, όπως για παράδειγμα αποφυγή βαθειάς άρσης ή άρσης σε διεύθυνση κάθετη με αυτή των ισοϋψών. Επίσης, συνήθως με την αύξηση της κλίσης του εδάφους παρατηρείται και μείωση της παραγωγικότητας. Αρχικά, η κλίση χωρίστηκε ανά 3%, δημιουργώντας πέντε

κλάσεις: 0-3%, 3-6%, 6-9%, 9-12%, και υψηλότερη από 12%. Έπειτα, οι κλάσεις ταξινομήθηκαν σε τρεις ζώνες. Η πρώτη ζώνη είναι κατάλληλη για καλλιέργεια και έχει κλίσεις 0 – 6%. Η δεύτερη ζώνη, με κλίσεις από 6 έως 12%, υπόκειται σε περιορισμούς. Η τρίτη ζώνη, με τιμές κλίσεων υψηλότερες του 12%, είναι ακατάλληλη για αροτραίες καλλιέργειες. Ο ταξινομημένος χάρτης των κλίσεων απεικονίζεται στην εικόνα 7.5.



Εικόνα 7.5: Κατηγορίες ζωνών του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας, με βάση την κλίση του εδάφους.

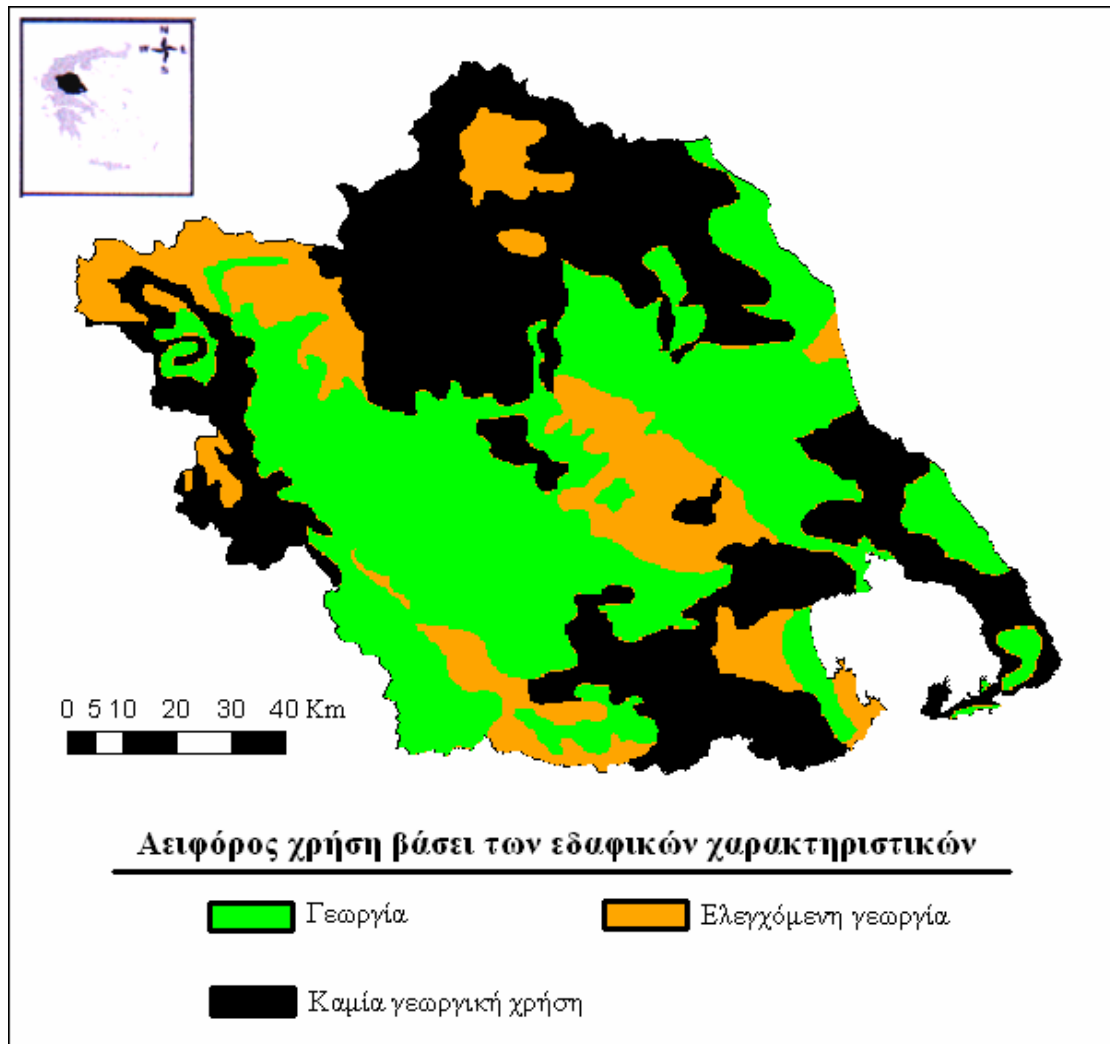
Όπως προαναφέρθηκε, οι περιοχές με κλίση από 6 έως 12%, υπόκεινται σε περιορισμούς. Αυτό σημαίνει ότι για την ανάπτυξη αγροτικών δραστηριοτήτων που αφορούν στην καλλιέργεια φυτών σε αυτές τις περιοχές, είναι απαραίτητη η χρήση κατάλληλων γεωργικών πρακτικών. Τέτοιες πρακτικές είναι η άροση σε διεύθυνση παράλληλη με αυτή των ισοϋψών και η αποφυγή βαθιάς άροσης για τη μείωση της διάβρωσης, η χρήση κατάλληλων αρδευτικών τεχνικών για τη μείωση των απωλειών νερού εξαιτίας της απορροής και της έκπλυσης θρεπτικών από το έδαφος, καθώς και η ορθολογική χρήση λιπασμάτων για την αποφυγή μεταφοράς τους στα κατάντη.

Όσον αφορά στην ταξινόμηση των εδαφών, έγινε με βάση την καταλληλότητα αυτών για γεωργική χρήση και την ευαισθησία τους στην ερημοποίηση. Όπως διαφαίνεται από τον εδαφολογικό χάρτη του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας, οι κύριες κατηγορίες εδαφών είναι επτά. Αυτές είναι οι βράχοι (Rock outcrops), τα Leptosols, Regosols, Cambisols, Fluvisols, Vertisols και τα Luvisols. Οι κύριοι αυτοί τύποι εδαφών διαφοροποιούνται, και ανάλογα με την κύρια και τις συνυπάρχουσες τυπολογικές μονάδες διαμορφώνονται και τα χαρακτηριστικά τους. Αναλυτικά, οι κύριες και δευτερεύουσες τυπολογικές μονάδες ανά κλάση εδάφους δίνονται στο Παράρτημα ΙΙ. Στον Πίνακα 7.2 παρουσιάζονται οι τύποι εδαφών σε σχέση με την επικινδυνότητα ερημοποίησης και την αιφόρο αγρονομική χρήση κατά Γιάσογλου (2004). Τα εδάφη ταξινομήθηκαν βάσει αυτών των δύο χαρακτηριστικών. Οι αντίστοιχία μεταξύ των κλάσεων και των τύπων εδάφους παρουσιάζεται στον Πίνακα 7.2. Στην εικόνα 7.6 παρουσιάζονται οι αιφόρες χρήσεις στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας, με βάση τον τύπο εδάφους.

Πίνακας 7.2: Ταξινόμηση των εδαφικών μονάδων με βάση την αιφόρο χρήση και την επικινδυνότητα για ερημοποίηση.

Κλάση	Αιφόρος αγρονομική χρήση	Επικινδυνότητα Ερημοποίησης	Τύποι Εδάφους*
Ακατάλληλα για γεωργία	Άγρια Φύση, Δάσος, Ελεγχόμενη βόσκηση	Πολύ υψηλή, Υψηλή	Rock outcrops, Leptosols, Regosols (χαμηλή), Cambisols (μέτρια-χαμηλή)
Κατάλληλα για ελεγχόμενη γεωργία	Ελεγχόμενη γεωργία και βόσκηση, Δάσος	Μέτρια	Regosols (μέτρια), Cambisols (μέτρια-υψηλή, υψηλή), Luvisols (μέτρια)
Κατάλληλα για γεωργία	Γεωργία	Χαμηλή	Fluvisols, Vertisols, Luvisols (υψηλή)

(Προσαρμοσμένο κατά Γιάσογλου, 2004).
* Εντός της παρενθέσεως αναγράφεται η ποιότητα των εδαφών.

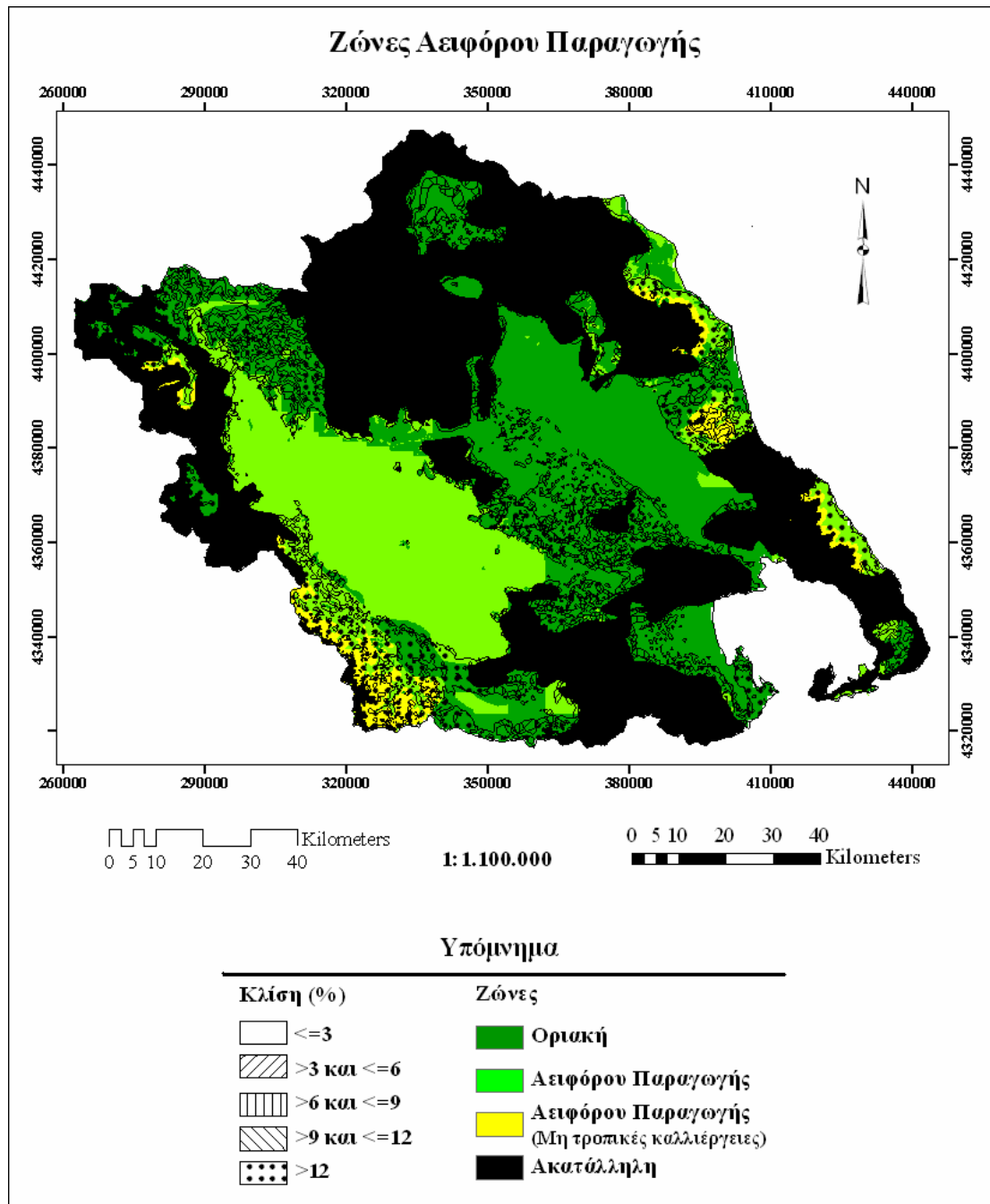


Εικόνα 7.6: Αειφόρος χρήση στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας, με βάση τον τύπο εδάφους.

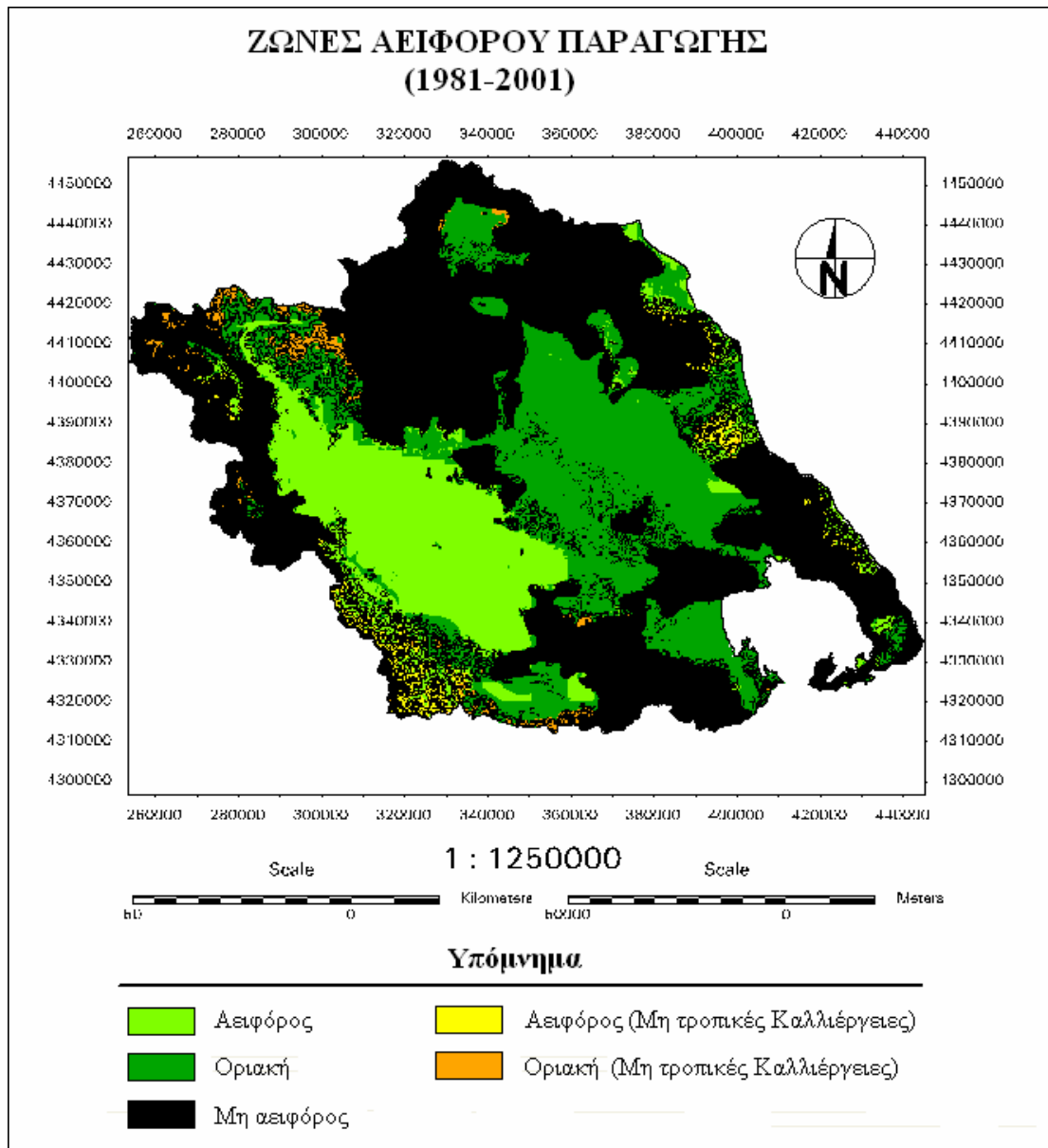
Ο συνδυασμός αυτών των ταξινομημένων χαρτών (εικόνες 7.4 – 7.6) με τις ζώνες WLGE, οδήγησε στον προσδιορισμό των ζωνών αειφόρου παραγωγής. Το πρότυπο που ακολουθήθηκε κατά την επιβλεπόμενη ταξινόμηση αναλύεται παρακάτω. Οι περιοχές όπου εμφανίζεται οποιαδήποτε από τις «ακατάλληλες» και περιοριστικές κλάσεις χαρακτηρίζονται ως «μη αειφόρες». Οι ενδιάμεσες κλάσεις ορίζουν την «οριακή» ή «αειφόρο υπό περιορισμούς» ζώνη. Τέλος, οι «κατάλληλες» και χωρίς περιορισμούς κλάσεις, ορίζουν τις ζώνες «αειφόρου παραγωγής».

Επειδή, η κατηγοριοποίηση των κλίσεων υπόκειται κυρίως στις γεωργικές πρακτικές που χρησιμοποιούνται, δημιουργήθηκαν δύο χάρτες απεικόνισης των ζωνών αειφόρου παραγωγής. Στον πρώτο χάρτη, ο οποίος απεικονίζεται στην εικόνα 7.7, η κλίση δε λαμβάνεται υπόψη κατά την ταξινόμηση των ζωνών, αλλά

παρατίθεται με σκιαγράφηση, κατηγοριοποιημένη ανά 3%. Με αυτόν τον τρόπο, επιτρέπει τον χαρακτηρισμό μίας περιοχής με κλίση υψηλότερη από 6% ως «αιφόρου παραγωγής», βάσει των γεωργικών πρακτικών που εφαρμόζονται σε αυτήν. Επίσης, συμβάλει στη δημιουργία μίας πρώτης ένδειξης σχετικά με την παραγωγικότητα κάθε περιοχής, εφόσον η παραγωγικότητα τείνει να φθίνει με την αύξηση της κλίσης του εδάφους, για λόγους που αναφέρθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο. Στο δεύτερο χάρτη, ο οποίος παρουσιάζεται στην εικόνα 7.8, η κλίση έχει ληφθεί υπόψη με βάση την κατηγοριοποίηση της εικόνας 7.5 και των ερμηνειών που δόθηκαν προηγούμενως στη συγκεκριμένη ταξινόμηση. Στη συνέχεια της μεθοδολογίας, χρησιμοποιήθηκαν οι ζώνες αιφόρου παραγωγής, που παρουσιάζονται στην εικόνα 7.8, ώστε να ληφθεί υπόψη η κατηγοριοποίηση σύμφωνα με την κλίση του εδάφους στα επόμενα στάδια της μεθοδολογίας.



Εικόνα 7.7: Ζώνες αειφόρου παραγωγής και κλίση εδάφους στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας.



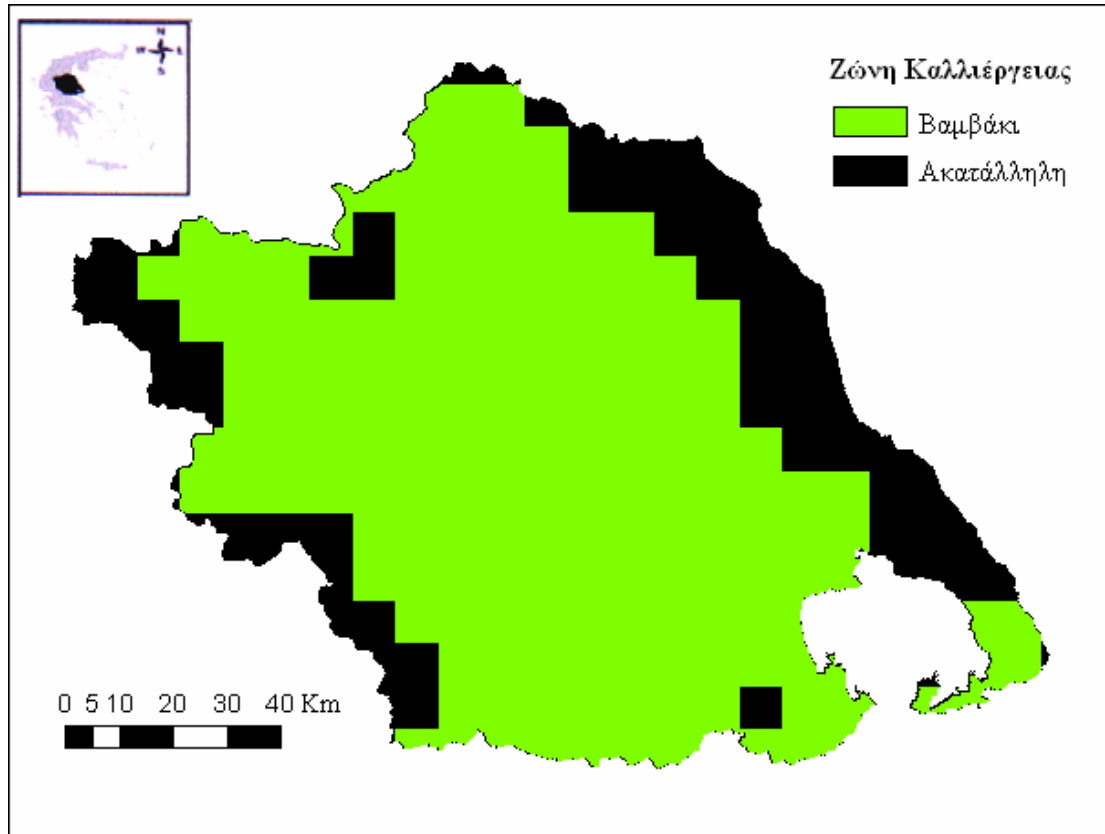
Εικόνα 7.8: Ζώνες αειφόρου παραγωγής με ενσωματωμένη την κλίση του εδάφους του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας.

7.2.3 Ορισμός ζωνών σίτου και βάμβακος

Στο στάδιο της ειδικής αγροκλιματικής ζωνοποίησης προσδιορίζονται οι καλλιεργητικές ζώνες του βαμβακιού και του σιταριού. Για τον ορισμό των ζωνών χρησιμοποιούνται δύο αγροκλιματικοί δείκτες, οι GDD και η R_n .

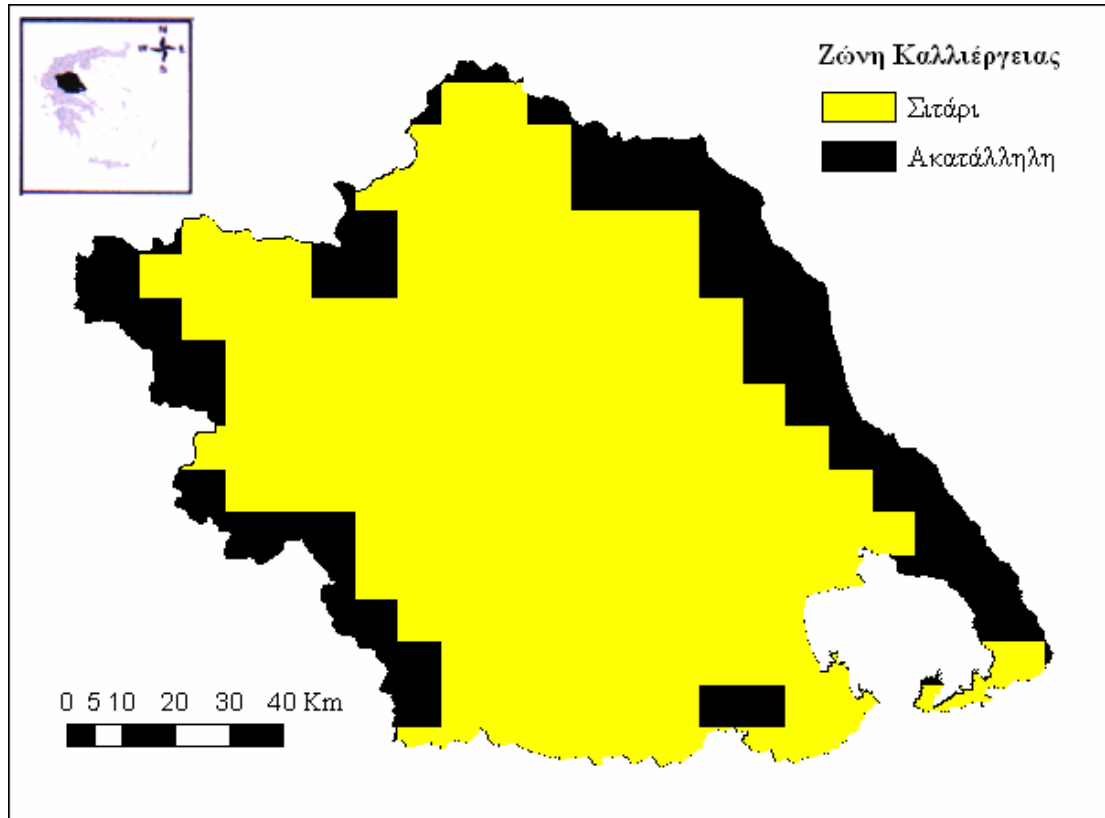
Όσον αφορά στους GDD, εξήχθηκε ο μέσος όρος των τιμών του δείκτη για τα είκοσι υπό εξέταση έτη, για κάθε καλλιέργεια. Έπειτα, κάθε εικόνα ταξινομήθηκε με βάση το κριτήριο ότι η μέση τιμή των GDD, των είκοσι ετών είναι υψηλότερη από το άθροισμα των θερμομονάδων, που απαιτείται για την πλήρη ανάπτυξη της κάθε

καλλιέργειας. Κατά αυτόν τον τρόπο, προσδιορίστηκαν οι περιοχές, όπου η θερμοκρασία δεν αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για την καλλιέργεια του βαμβακιού και του σιταριού. Τα αποτελέσματα για τις δύο καλλιέργειες παρουσιάζονται στις εικόνες 7.9 και 7.10, αντίστοιχα. Η τετραγωνισμένη (blocky) απεικόνιση οφείλεται στη χαμηλή χωρική διακριτική ικανότητα των δορυφορικών εικόνων (8x8 km²).



Εικόνα 7.9: Ζώνη καλλιέργειας του βαμβακιού στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας, βάσει των GDD.

Για την ενσωμάτωση της R_n στη μεθοδολογία, υπολογίστηκαν οι μέσες τιμές της, για κάθε μήνα της υπό εξέταση χρονοσειράς. Έτσι, δημιουργήθηκαν 12 χάρτες της R_n , ένας για κάθε μήνα, οι οποίοι απεικονίζουν τη μέση τιμή της για κάθε μήνα και για όλη τη χρονοσειρά δεδομένων. Ενδεικτικά, οι μέσες τιμές της R_n της περιόδου 1981-2001 για το μήνα Μάιο, παρουσιάζονται στην εικόνα 7.11.



Εικόνα 7.10: Ζώνη καλλιέργειας του σιταριού στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας, βάσει των GDD.

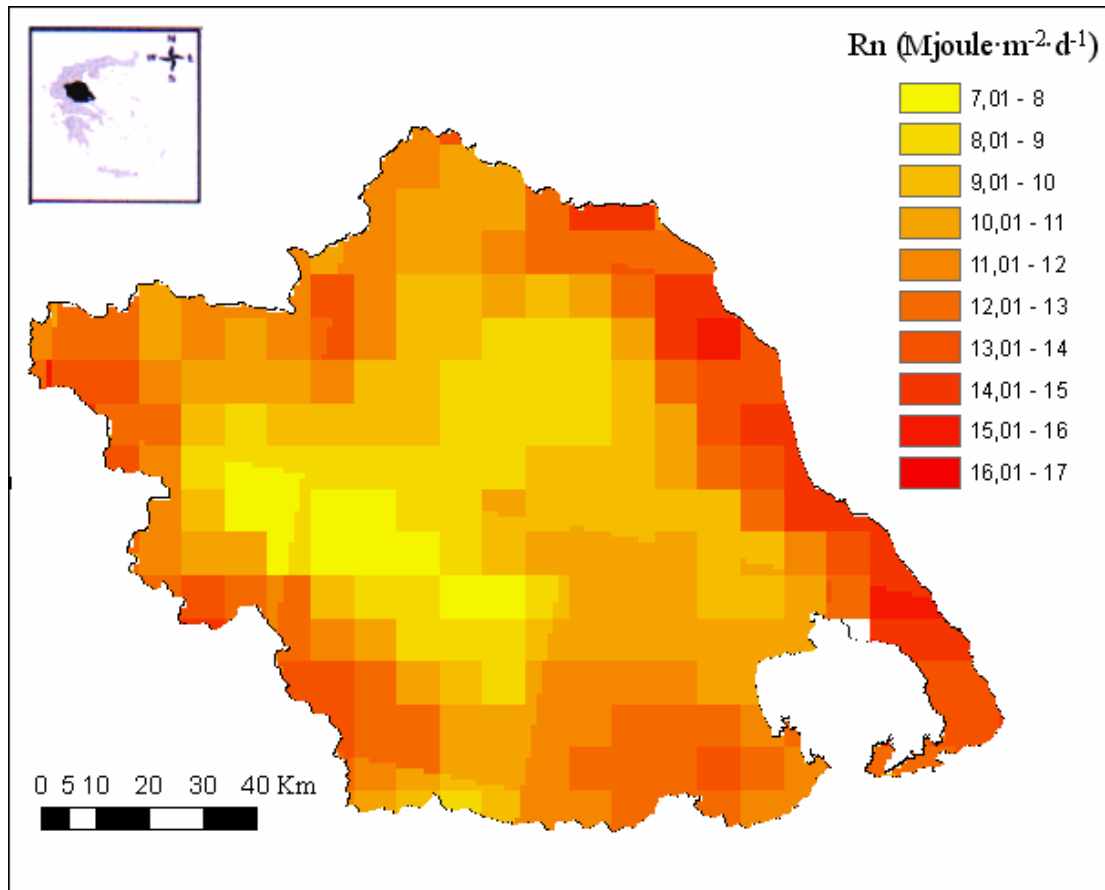
Όπως προαναφέρθηκε, η εξίσωση υπολογισμού της λευκάγειας (α) ισχύει για κλίσεις επιφανείας 11-12% (Saunders, 1990). Έτσι, για την αποφυγή σφαλμάτων στην R_n εξαιτίας λανθασμένης εκτίμησης της λευκάγειας, οι τιμές σε περιοχές με κλίση εδάφους υψηλότερη του 12% δεν πρέπει να ληφθούν υπόψη. Όμως, οι ζώνες αιφόρου παραγωγής, εξ ορισμού αποκλείουν περιοχές με κλίση εδάφους υψηλότερη του 12%. Επίσης, η περαιτέρω ανάλυση για τον προσδιορισμό των αγροκλιματικών ζωνών των δύο καλλιεργειών, ούτως ή άλλως, περιορίζεται εντός αυτών των ζωνών. Έτσι λοιπόν, οι τιμές εντός της μη αιφόρου ζώνης απομονώθηκαν και δεν ελήφθησαν υπόψη. Έπειτα, δημιουργήθηκαν οι χάρτες κλιματικών τιμών της R_n για κάθε καλλιέργεια. Τα στατιστικά στοιχεία των χαρτών της μέσης μηνιαίας R_n για την υπό εξέταση περίοδο, για το βαμβάκι και το σιτάρι, δίνονται στους Πίνακες 7.3 και 7.4, αντίστοιχα. Οι υπό εξέταση μήνες ορίζονται από τη βλαστική περίοδο των καλλιεργειών.

Πίνακας 7.3: Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία των κλιματικών χαρτών της μηνιαίας R_n ($Mj\text{oule m}^{-2} d^{-1}$) για την καλλιέργεια βαμβακιού.

Μήνας	Στατιστική Παράμετρος			
	Ελάχιστο	Μέγιστο	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση
Απρίλιος	4,76	9,78	6,49	0,96
Μάιος	3,76	13,97	9,64	1,36
Ιούνιος	9,49	18,62	12,62	2,02
Ιούλιος	10,08	19,18	13,52	1,34
Αύγουστος	8,71	16,61	12,01	1,10
Σεπτέμβριος	4,16	11,71	6,79	1,19
Οκτώβριος	1,72	7,15	3,31	1,02

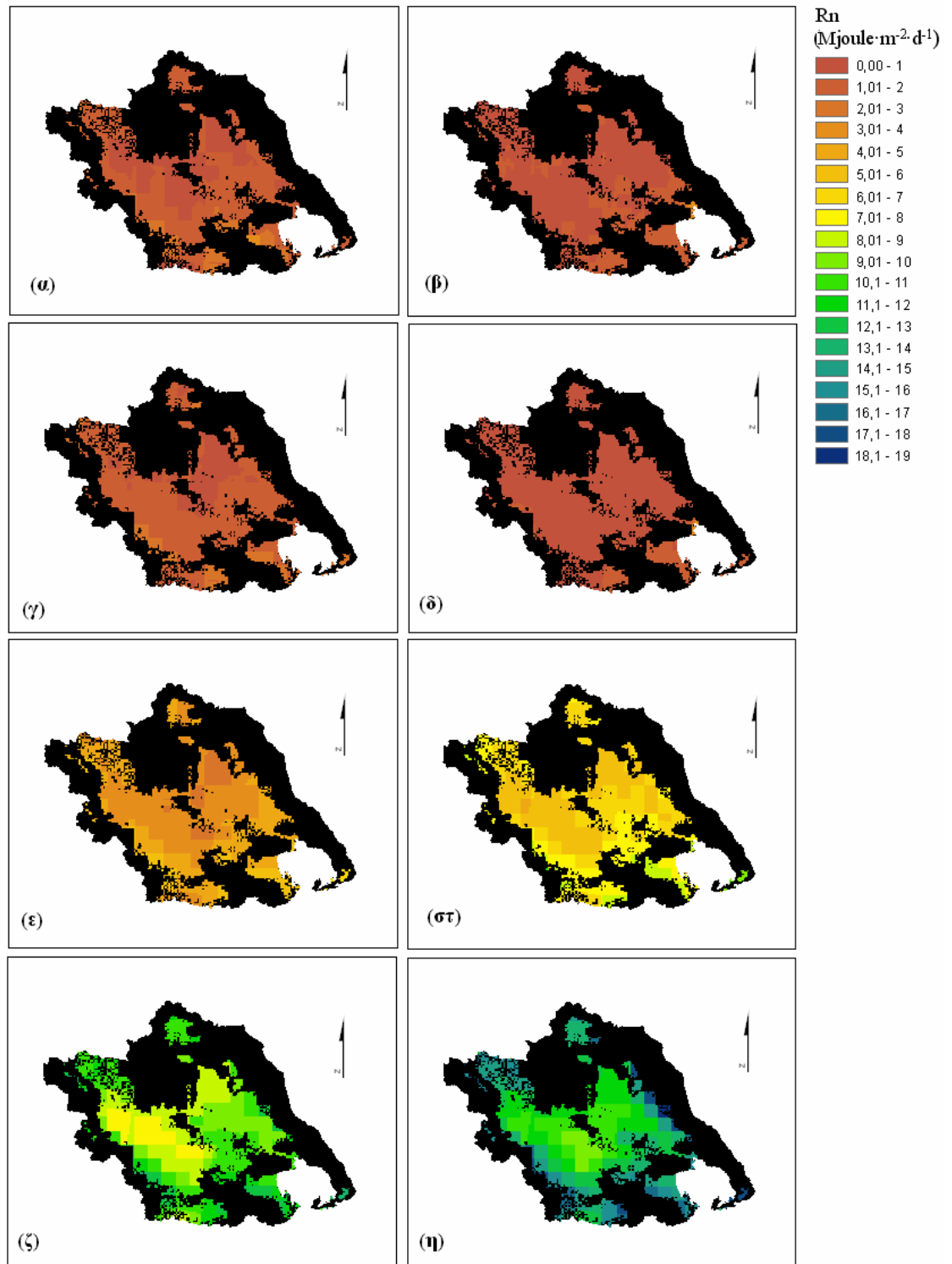
Πίνακας 7.4: Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία των κλιματικών χαρτών της μηνιαίας R_n ($Mj\text{oule m}^{-2} d^{-1}$) για την καλλιέργεια σιταριού.

Μήνας	Στατιστική Παράμετρος			
	Ελάχιστο	Μέγιστο	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση
Νοέμβριος	0,54	3,11	1,33	0,49
Δεκέμβριος	0,46	3,79	0,95	0,27
Ιανουάριος	0,36	3,79	0,76	0,25
Φεβρουάριος	0,66	2,87	1,38	0,43
Μάρτιος	2,49	6,69	3,89	0,74
Απρίλιος	4,76	9,78	6,50	0,93
Μάιος	7,24	13,97	9,69	1,36
Ιούνιος	9,49	18,62	12,72	2,08

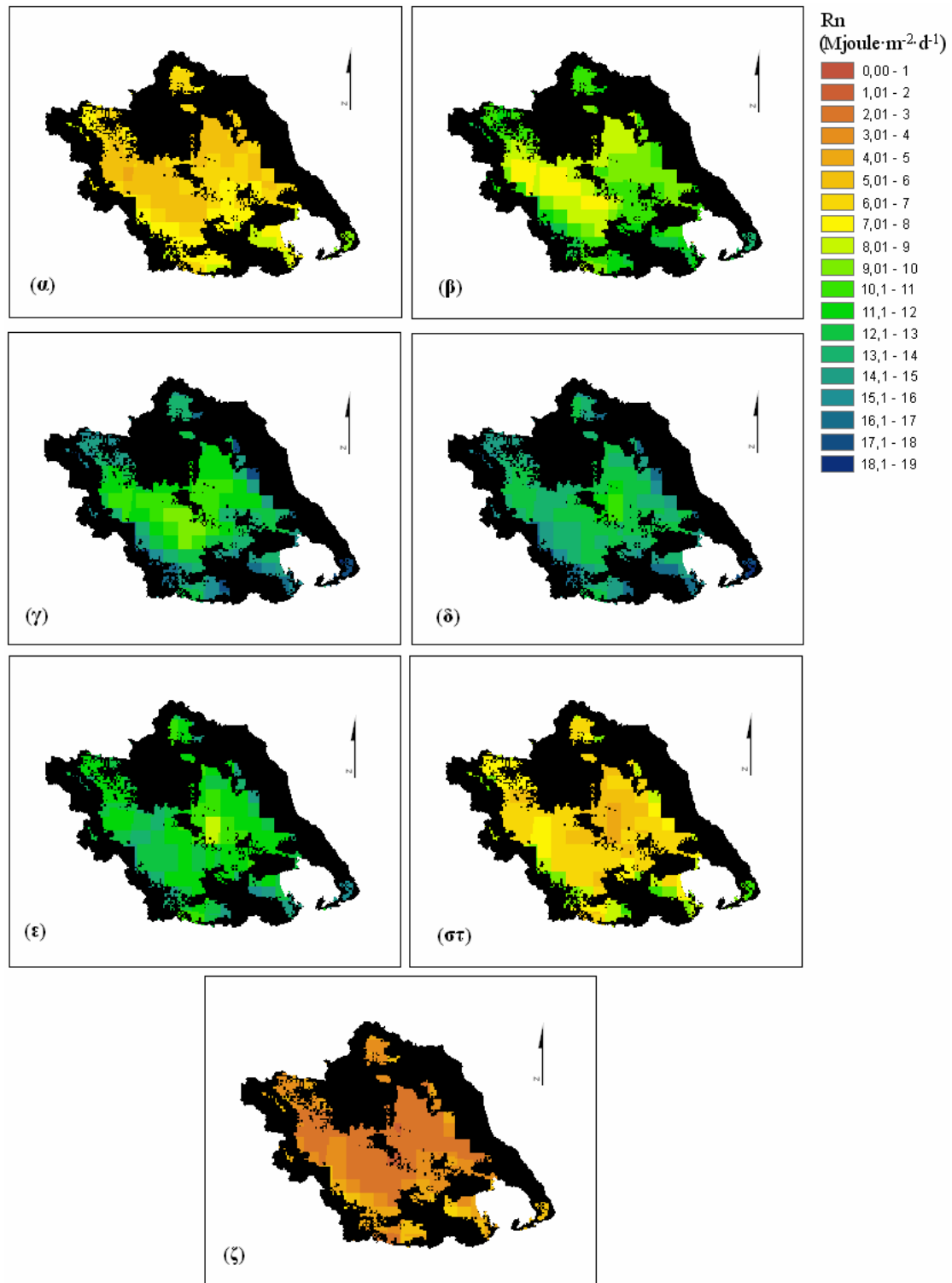


Εικόνα 7.11: Χάρτης της μέσης μηνιαίας καθαρής ακτινοβολίας του Μαΐου στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας, ως μέσος όρος των τιμών του Μαΐου, για την περίοδο 1981-2001.

Παρατηρώντας τη χωροχρονική διακύμανση των τιμών της R_n για τις δύο καλλιέργειες, απορρέει ότι σε κανέναν από τους μήνες της βλαστικής περιόδου τους, η καθαρή ακτινοβολία δεν αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για την ανάπτυξη των καλλιεργειών. Οι τιμές αφορούν στις κλιματικές μέσες μηνιαίες τιμές της R_n , όπως αυτή υπολογίζεται με τη χρήση της εξίσωσης (5.7). Όσον αφορά στη χωρική διαφοροποίηση των τιμών της R_n , στις ζώνες αιεφόρου παραγωγής του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας, στις εικόνες 7.12 και 7.13 παραθέτονται οι χάρτες κλιματικών τιμών της παραμέτρου για το σιτάρι και το βαμβάκι, αντίστοιχα.

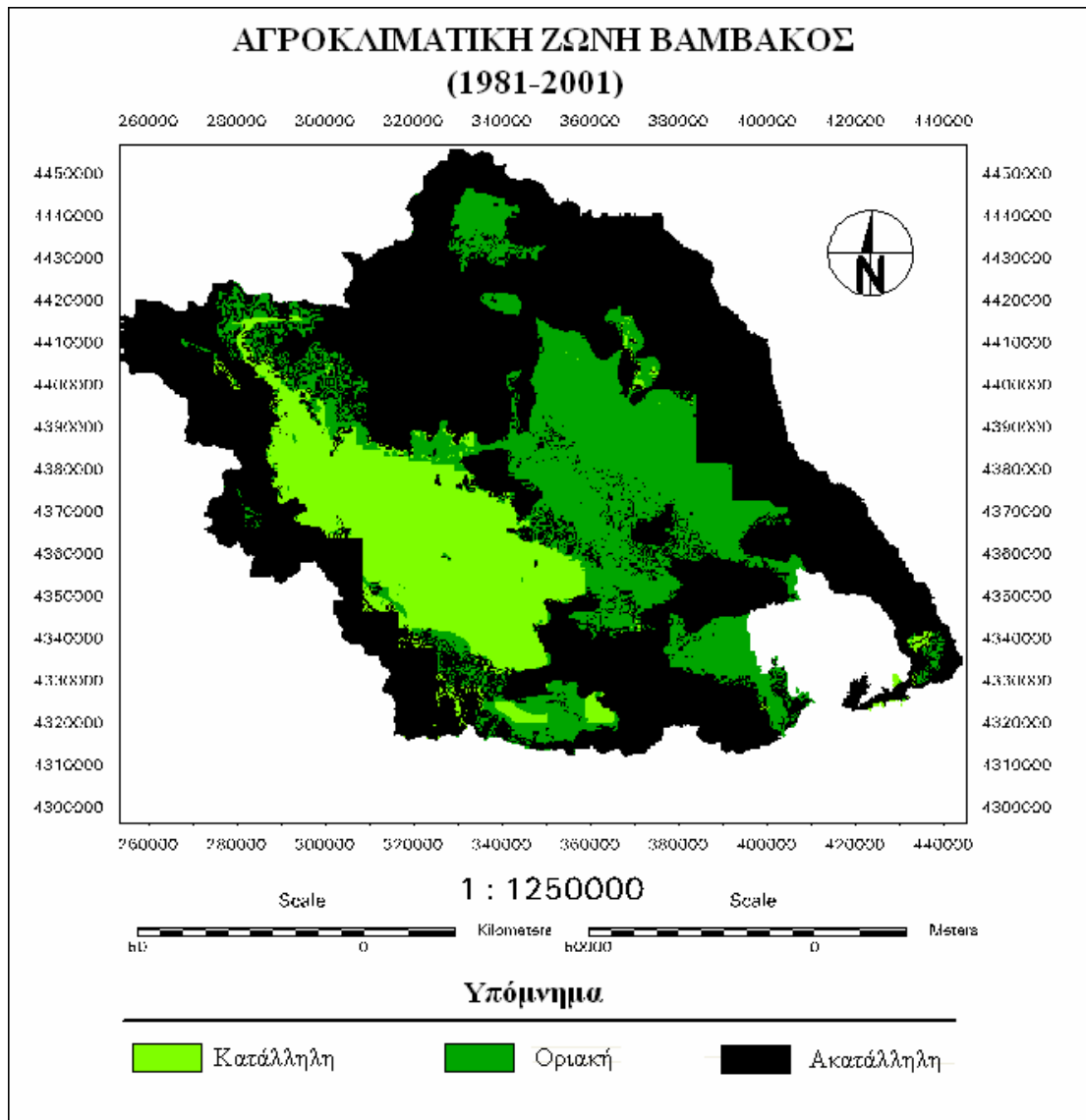


Εικόνα 7.12: Χάρτες κλιματικών τιμών της μηνιαίας καθαρής ακτινοβολίας για τους μήνες Νοέμβριο (α) έως Ιούνιο (η), της περιόδου 1981-2001, στις ζώνες αιφόρου παραγωγής του σιταριού του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας.

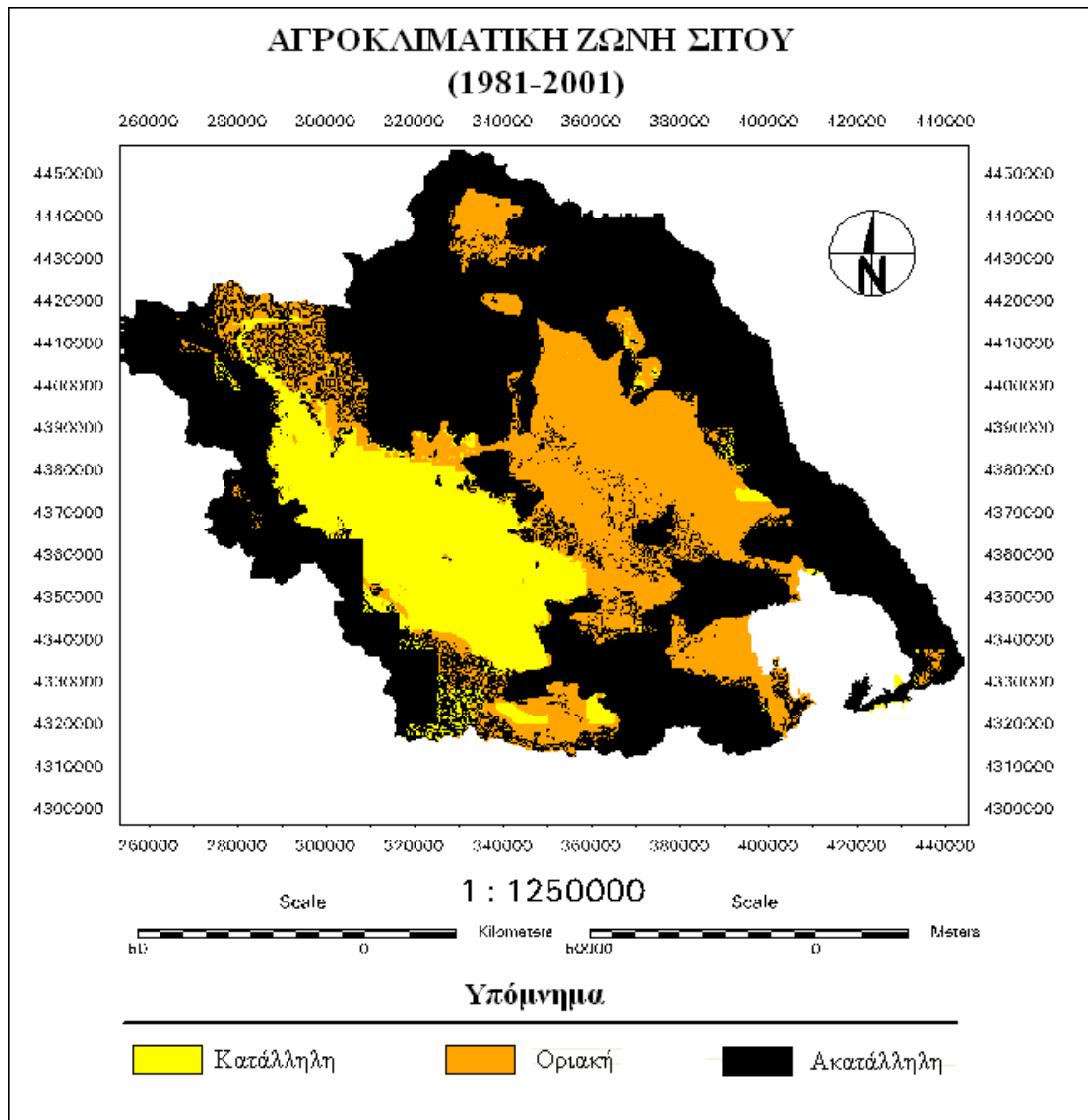


Εικόνα 7.13: Χάρτες κλιματικών τιμών της μηνιαίας καθαρής ακτινοβολίας για τους μήνες Απρίλιο (α) έως Οκτώβριο (η), της περιόδου 1981-2001, στις ζώνες αιεφόρου παραγωγής του βαμβακιού του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας.

Έτσι λοιπόν, για τον προσδιορισμό των ειδικών αγροκλιματικών ζωνών, συνδυάζονται οι ζώνες αειφόρου παραγωγής με τις ζώνες των GDD για τις δύο καλλιέργειες. Με αυτόν τον τρόπο, εισάγεται και η θερμοκρασία ως παράγοντας για τον ορισμό των κατάλληλων περιοχών καλλιέργειας του βαμβακιού και του σιταριού. Το πρότυπο της επιβλεπόμενης ταξινόμησης είναι απλό. Περιοχές όπου οι καλλιέργειες δε συμπληρώνουν το άθροισμα των θερμομονάδων που απαιτείται για την πλήρη ανάπτυξη και την ολοκλήρωση της βλαστικής τους περιόδου, κρίνονται ως ακατάλληλες. Οι ζώνες αειφόρου παραγωγής, όπου η θερμοκρασία δεν αποτελεί περιοριστικό παράγοντα, αποτελούν την πλέον κατάλληλη ζώνη καλλιέργειας, ενώ οι αντίστοιχες οριακές ζώνες χαρακτηρίζονται ως «οριακές». Στις εικόνες 7.14 και 7.15, απεικονίζονται οι αγροκλιματικές ζώνες του βαμβακιού και του σιταριού, αντίστοιχα, στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας.



Εικόνα 7.14: Αγροκλιματική ζώνη της καλλιέργειας βαμβακιού στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας, για την περίοδο 1981-2001.



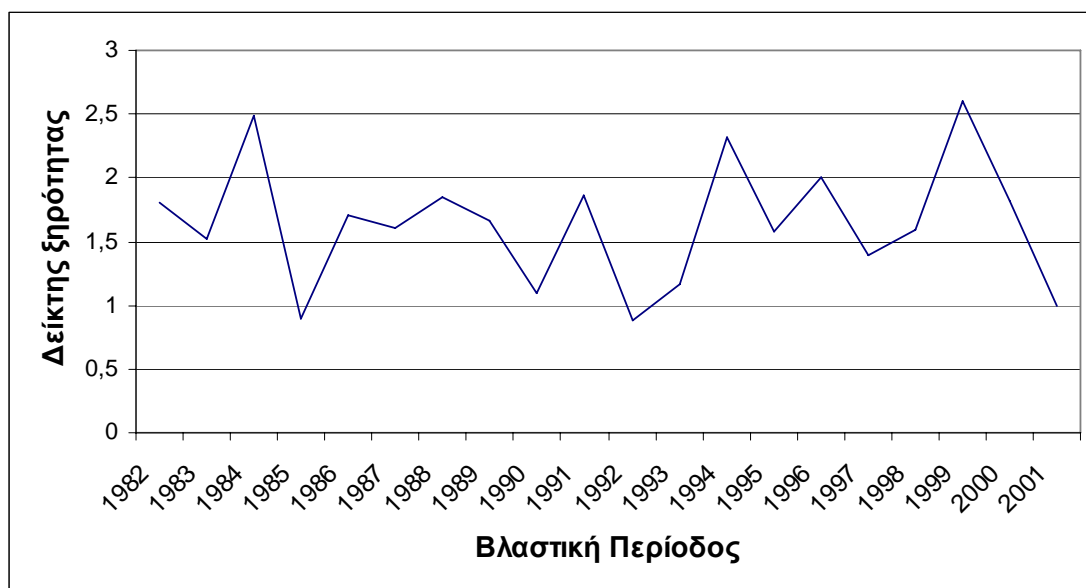
Εικόνα 7.15: Αγροκλιματική ζώνη της καλλιέργειας σιταριού στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας, για την περίοδο 1981-2001.

Στις οριακές ζώνες, πρέπει να γίνει έλεγχος των επικρατούσων συνθηκών κατά τη βλαστική περίοδο. Οι τύποι των εδαφών δεν είναι απαγορευτικοί για γεωργική χρήση (Πίνακας 7.2), ενώ οι περιορισμοί που απορρέουν από τους εδαφικούς σχηματισμούς και τις κλίσεις, συνδέονται άμεσα με τις εφαρμοζόμενες γεωργικές πρακτικές. Επομένως, η συνιστώσα που πρέπει να εξεταστεί για τον έλεγχο των οριακών ζωνών είναι η υδατική.

Το βαμβάκι καλλιεργείται κατά την εαρινή περίοδο. Είναι μία υδροβόρα καλλιέργεια, η οποία απαιτεί άρδευση κατά τη θερινή περίοδο. Στην κατάλληλη ζώνη, πιθανόν να απαιτείται συμπληρωματική άρδευση, γεγονός που εξαρτάται από τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες. Στην οριακή ζώνη, η άρδευση είναι απαραίτητη.

Όπου, λοιπόν, αυτή είναι οικονομικά εφικτή, το βαμβάκι μπορεί να καλλιεργηθεί σε εμπορικό επίπεδο.

Το σιτάρι αποτελεί χειμερινή, ξηρική καλλιέργεια. Στα ημίξηρα και ξηρά κλίματα απαιτείται έλεγχος της κατανομής των βροχοπτώσεων κατά τη βλαστική του περίοδο, έτσι ώστε να διευκρινιστεί εάν η καλλιέργειά του είναι δυνατή. Στην οριακή ζώνη καλλιέργειας του σίτου, το κλίμα είναι κυρίως ημίξηρο. Για την εύρεση της καταλληλότητας της καλλιέργειας εντός αυτής της ζώνης έγινε έλεγχος των τιμών του ΑΙ ανά βλαστική περίοδο. Ο ΑΙ εξ ορισμού, καταδικνεί την επάρκεια των βροχοπτώσεων, ώστε να καλυφθούν οι ανάγκες σε νερό μίας καλλιέργειας. Στο σχήμα 7.4 παρουσιάζονται οι μέσες τιμές του δείκτη στην οριακή ζώνη, ανά βλαστική περίοδο των υπό εξέταση ετών, ενώ στην εικόνα 7.16 απεικονίζεται η χωρική κατανομή των τιμών του ΑΙ, ως ο μέσος όρος όλων των βλαστικών περιόδων. Όπως διαφαίνεται τόσο από το σχήμα 7.4, όσο και από την εικόνα 7.16, η καλλιέργεια του σιταριού είναι δυνατή και στην οριακή ζώνη, εφόσον αυτή κατά τη βλαστική περίοδο χαρακτηρίζεται κλιματικά ως υγρή.

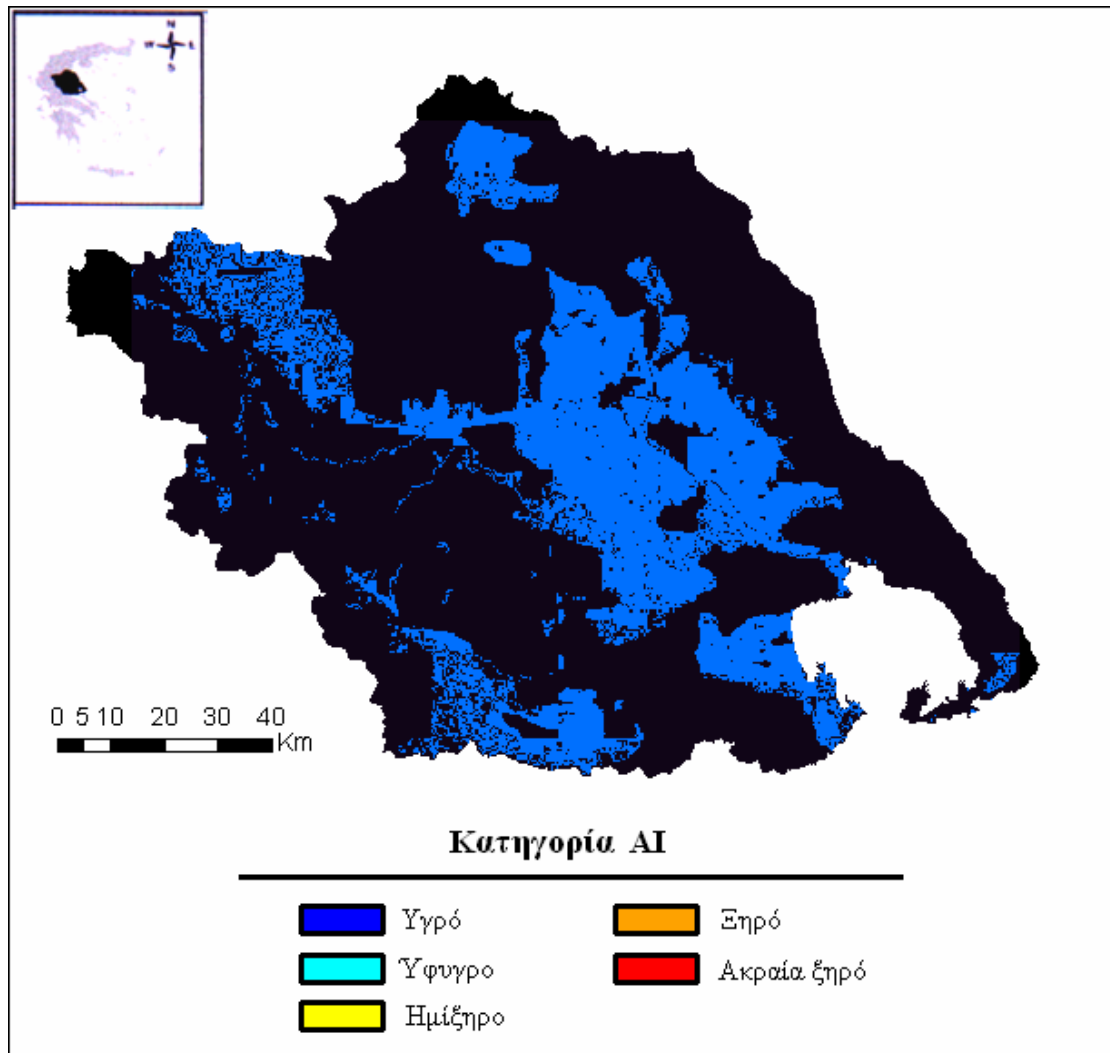


Σχήμα 7.4: Τιμές του δείκτη ξηρότητας ανά βλαστική περίοδο της καλλιέργειας του σιταριού, ως μέσος όρος των τιμών της οριακής ζώνης.

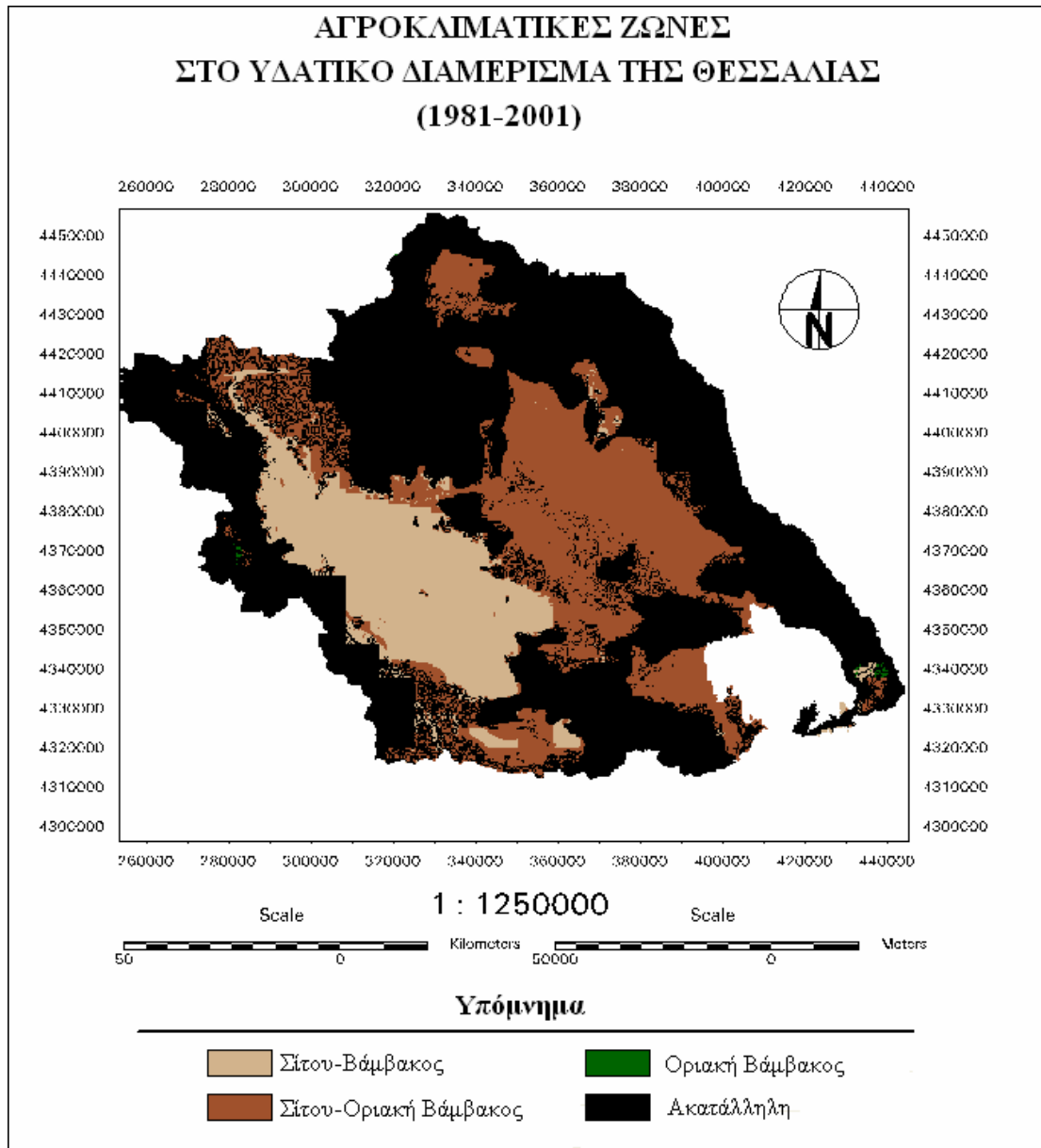
Με βάση λοιπόν τα ανωτέρω, οι αγροκλιματικές ζώνες για τις δύο καλλιέργειες διαμορφώνονται ως εξής:

- Ζώνη σίτου και βάμβακος. Οι περιοχές εντός αυτής της ζώνης είναι κατάλληλες για την καλλιέργεια του σιταριού και του βαμβακιού. Το βαμβάκι ως εαρινή και υδροβόρα καλλιέργεια απαιτεί συμπληρωματική άρδευση, που εξαρτάται από τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες.
- Ζώνη σίτου-οριακή βάμβακος. Στη ζώνη αυτή η καλλιέργεια του σιταριού είναι εφικτή. Για την καλλιέργεια του βαμβακιού απαιτείται άρδευση και άρα η καλλιέργειά του είναι δυνατή εφόσον η άρδευση είναι οικονομικά εφικτή.
- Ζώνη οριακή βάμβακος.
- Ζώνη ακατάλληλη για καλλιέργεια.

Οι αγροκλιματικές ζώνες των δύο καλλιεργειών απεικονίζονται στην εικόνα 7.17.



Εικόνα 7.16: Χάρτης ΑΙ στην οριακή ζώνη σίτου, στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας, για τις βλαστικές περιόδους 1981-2001.



Εικόνα 7.17: Αγροκλιματικές ζώνες σίτου-βάμβακος στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας, για την περίοδο 1981-2001.

7.2.4 Έλεγχος των αγροκλιματικών ζωνών

Ο έλεγχος της παραγωγικότητας εντός των αγροκλιματικών ζωνών γίνεται με τη χρήση στατιστικών μοντέλων εκτίμησης παραγωγής. Όπως προαναφέρθηκε, για την εύρεση της εξίσωσης εκτίμησης της απόδοσης εφαρμόστηκαν δύο μεθοδολογικές προσεγγίσεις. Η πρώτη χρησιμοποιεί τις τιμές του VCI και η δεύτερη το συνδυασμό των τιμών του VCI και του TCI. Από τη χρονοσειρά των δεδομένων, τα έτη 1982-1996 χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη των μεθόδων, ενώ τα τέσσερα τελευταία

χρόνια (1997-2000) για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Η προεπεξεργασία των δεδομένων που απαιτείται για την εφαρμογή των μεθοδολογιών δίνεται αναλυτικά στην παράγραφο 5.3 και έγκειται στην εξαγωγή των σταθμισμένων μέσων όρων των τιμών των δεικτών [R_{VCI} και R_{TCI} , εξίσωση (5.13)], με βάση την έκταση που καλύπτουν οι καλλιέργειες σύμφωνα με το Corine 2001.

Στη συνέχεια αναλύονται οι δύο μεθοδολογίες. Πρώτα δίνονται τα αποτελέσματα της μεθόδου βάσει των τιμών του R_{VCI} για τις δύο καλλιέργειες. Ακολουθεί η ανάπτυξη του συνδυαστικού μοντέλου και των αποτελεσμάτων της δεύτερης μεθοδολογίας. Τέλος, γίνεται η αξιολόγηση των δύο μεθοδολογιών και η εύρεση αυτής που οδηγεί στην ακριβέστερη εκτίμηση των αποδόσεων των δύο καλλιεργειών.

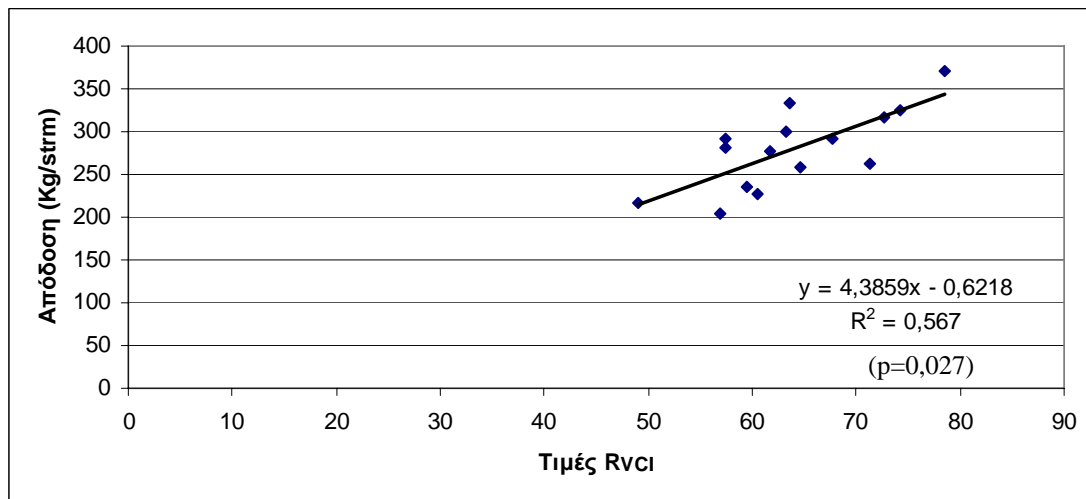
Πρωταρχικό βήμα και στις δύο μεθοδολογίες αποτελεί η ανάλυση συσχέτισης των δεκαήμερων τιμών των δύο δεικτών με τις τελικές αποδόσεις, για την εύρεση των κρίσιμων δεκαήμερων της βλαστικής περιόδου, που έχουν επίδραση στην τελική παραγωγή. Ο πίνακας συσχετίσεων μεταξύ των τιμών του R_{VCI} και των αποδόσεων παρουσιάζεται στο Παράρτημα I (Πίνακες Π.1.5 και Π.1.6). Στον Πίνακα 7.5 παρατίθενται τα δεκαήμερα, κατά τα οποία οι σταθμισμένοι μέσοι όροι του δείκτη ανά περιοχή καλλιέργειας, παρουσίασαν τον υψηλότερο συντελεστή συσχέτισης (R) με τις τελικές αποδόσεις των δύο καλλιεργειών. Όπως διαφαίνεται από τα στοιχεία του Πίνακα 7.5, τα κρίσιμα δεκαήμερα για την εκτίμηση της απόδοσης, με βάση τις τιμές του R_{VCI} , είναι το δεύτερο του Ιουλίου και το δεύτερο του Μαΐου, για το βαμβάκι και το σιτάρι, αντίστοιχα.

Τα κρίσιμα δεκαήμερα συμπίπτουν με δύο πολύ σημαντικά φαινολογικά στάδια: το στάδιο της άνθισης στο σιτάρι και το στάδιο της ανθοφορίας-καρποφορίας στο βαμβάκι. Το στάδιο της άνθισης στο σιτάρι ονομάζεται και ξεστάχασμα. Το στάδιο αυτό αποτελεί και την κριτική περίοδο του φυτού, καθώς ο ρυθμός αύξησης γίνεται πολύ έντονος και το φυτό παρουσιάζει τις υψηλότερες ανάγκες σε νερό και θρεπτικές ουσίες. Κατά το στάδιο της ανθοφορίας, στο βαμβάκι η περιεκτικότητα του εδάφους σε υγρασία πρέπει να είναι κατάλληλη. Επίσης, η περίοδος αυτή καλείται κριτική. Σε περίπτωση μάλιστα που η έλλειψη υγρασίας συνδυαστεί με πολύ υψηλές θερμοκρασίες (υδατική και θερμική καταπόνηση), μπορεί να προκαλέσει σημαντική ζημιά στην καρποφορία.

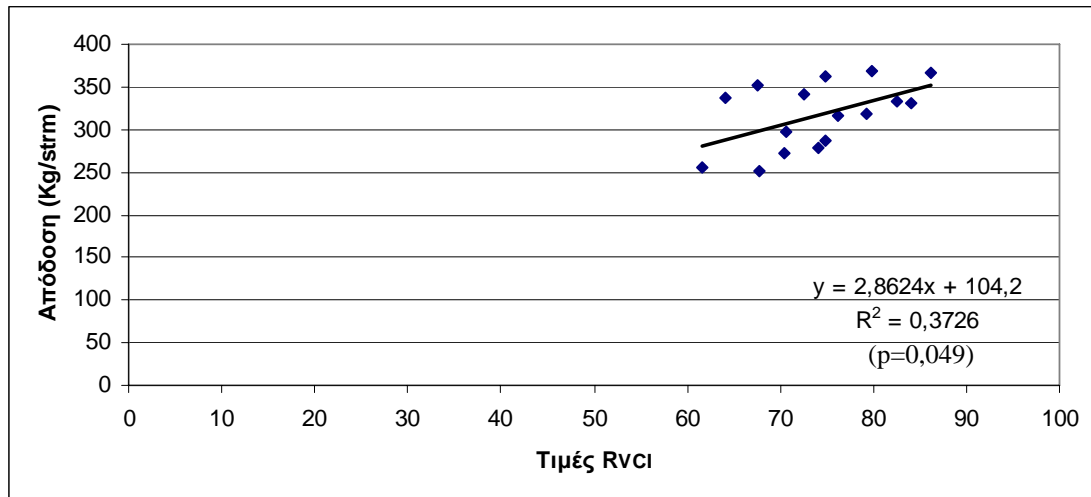
Πίνακας 7.5: Συντελεστής συσχέτισης μεταξύ των τιμών R_{VCI} των κρίσιμων δεκαημέρων για τις καλλιέργειες του βαμβακιού και του σιταριού.

Καλλιέργεια	Δεκαήμερο	Συντελεστής συσχέτισης (R)
Βαμβάκι	2 ^ο Ιουλίου	0,76 (p=0,001)
Σιτάρι	2 ^ο Μαΐου	0,65 (p=0,008)

Οι τιμές, λοιπόν, των κρίσιμων δεκαημέρων για τα έτη 1982-1996, χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή της εξίσωσης εκτίμησης των αποδόσεων. Στα σχήματα 7.5 και 7.6 απεικονίζονται οι γραφικές παραστάσεις μεταξύ των τιμών του R_{VCI} και των ετήσιων αποδόσεων, οι συντελεστές συσχέτισης και οι γραμμικές εξισώσεις παλινδρόμησης για το βαμβάκι και το σιτάρι, αντίστοιχα. Ο συντελεστής προσδιορισμού υπολογίστηκε για διάστημα εμπιστοσύνης 95%. Η γραμμική εξίσωση παλινδρόμησης επιλέχθηκε διότι παρουσίασε το μεγαλύτερο συντελεστή προσδιορισμού (Draper and Smith, 1981; Τζώρτζιος, 2000, 2002) και την καλύτερη προσαρμογή στα δεδομένα από οποιαδήποτε άλλη μορφή (π.χ. εκθετική, πολυωνυμική).



Σχήμα 7.5: Εφαρμογή της γραμμικής παλινδρόμησης μεταξύ των τιμών R_{VCI} του 2^{ου} δεκαημέρου του Ιουλίου και των αποδόσεων του βαμβακιού (1982-1996), στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας.



Σχήμα 7.6: Εφαρμογή της γραμμικής παλινδρόμησης μεταξύ των τιμών R_{VCI} του 2^{ου} δεκαημέρου του Μαΐου και των αποδόσεων του σιταριού (1982-1996), στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας.

Με βάση την πρώτη μεθοδολογική προσέγγιση, οι εξισώσεις εκτίμησης της απόδοσης για το βαμβάκι και το σιτάρι είναι:

$$Y_{C1} = 4,3859 * R_{VCI(20)} - 0,6218 \quad (7.1)$$

$$Y_{W1} = 2,8624 * R_{VCI(14)} + 104,2 \quad (7.2)$$

όπου, Y_{C1} και Y_{W1} είναι η εκτιμηθείσα απόδοση της καλλιέργειας του βαμβακιού και του σιταριού, αντίστοιχα, $R_{VCI(20)}$ είναι ο σταθμισμένος μέσος των τιμών του VCI στην περιοχή καλλιέργειας του βαμβακιού το 20^ο δεκαήμερο του έτους (2^ο Ιουλίου) και $R_{VCI(14)}$ είναι ο σταθμισμένος μέσος των τιμών του VCI στην περιοχή καλλιέργειας του σιταριού το 14^ο δεκαήμερο του έτους (2^ο Μαΐου).

Στη δεύτερη μεθοδολογία, η εξίσωση της εκτίμησης της παραγωγής εξάγεται με τη χρήση πολλαπλής παλινδρόμησης. Σε αυτήν την περίπτωση οι ανεξάρτητες μεταβλητές είναι δύο, οι τιμές των κρίσιμων δεκαημέρων του R_{VCI} και του R_{TCI} . Η συσχέτιση των τιμών του R_{VCI} με τις τελικές αποδόσεις έχει υπολογιστεί στην προηγούμενη μεθοδολογία. Έτσι, υπολείπεται η ανάλυση στις τιμές του R_{TCI} . Ο πίνακας συσχετίσεων μεταξύ των τιμών του R_{TCI} και των αποδόσεων παρουσιάζεται στο Παράρτημα I (Πίνακες Π.1.7 και Π.1.8). Στον Πίνακα 7.6 παρατίθενται τα κρίσιμα δεκαήμερα με βάση τις τιμές του δείκτη, καθώς και οι συντελεστές συσχέτισης (R) με τις τελικές αποδόσεις των καλλιεργειών. Τα κρίσιμα δεκαήμερα

για την εκτίμηση της απόδοσης, με βάση τις τιμές του R_{TCI} , είναι το τρίτο του Ιουλίου για το βαμβάκι και το τρίτο του Μαΐου για το σιτάρι.

Πίνακας 7.6: Συντελεστής συσχέτισης μεταξύ των τιμών R_{TCI} των κρίσιμων δεκαημέρων για τις καλλιέργειες του βαμβακιού και του σιταριού.

Καλλιέργεια	Δεκαήμερο	Συντελεστής συσχέτισης (R)
Βαμβάκι	3 ^ο Ιουλίου	0,53 (p=0,042)
Σιτάρι	3 ^ο Μαΐου	0,56 (p=0,031)

Αφού υπολογίστηκαν τα κρίσιμα δεκαήμερα και για τις τιμές του R_{TCI} , χρησιμοποιήθηκε η ανάλυση πολλαπλής παλινδρόμησης για την εξαγωγή των εξισώσεων εκτίμησης της απόδοσης των δύο καλλιεργειών. Οι ανεξάρτητες μεταβλητές είναι οι τιμές των δεικτών R_{TCI} και R_{VCI} του τρίτου και του δεύτερου δεκαημέρου του Ιουλίου για το βαμβάκι, αντίστοιχα, ενώ για το σιτάρι του τρίτου και του δεύτερου δεκαημέρου του Μαΐου, αντίστοιχα. Στον Πίνακα 7.7 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης. Τα αποτελέσματα δίνονται αναλυτικά και στο Παράρτημα I ((Πίνακες Π.1.9 και Π.1.10).

Όπως διαφαίνεται από τα αποτελέσματα της ανάλυσης πολλαπλής παλινδρόμησης, η τελική αποδόση εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τις τιμές του R_{VCI} . Η επίδραση των τιμών του R_{TCI} δεν είναι στατιστικά σημαντική (p>0,05), γεγονός αναμενόμενο, εφόσον ο συντελεστής συσχέτισης του R_{VCI} είναι υψηλότερος από αυτόν του R_{TCI} . Παρ' όλα αυτά, γίνεται έλεγχος της εκτιμητικής ικανότητας των εξισώσεων πολλαπλής παλινδρόμησης για τις δύο καλλιέργειες, οι οποίες είναι:

$$Y_{C2} = -0,536 + 4,379 * R_{VCI(20)} + 0,012 * R_{TCI(21)} \quad (7.3)$$

$$Y_{W2} = 30,557 + 2,955 * R_{VCI(14)} + 1,625 * R_{TCI(15)} \quad (7.4)$$

όπου, Y_{C2} και Y_{W2} είναι η εκτιμηθείσα απόδοση της καλλιέργειας του βαμβακιού και του σιταριού, αντίστοιχα, $R_{VCI(20)}$ και $R_{TCI(21)}$ είναι ο σταθμισμένος μέσος των τιμών του VCI και του TCI στην περιοχή καλλιέργειας του βαμβακιού, το 20^ο και 21^ο δεκαήμερο του έτους (2^ο και 3^ο Ιουλίου), αντίστοιχα, και $R_{VCI(14)}$ και $R_{TCI(15)}$ είναι ο σταθμισμένος μέσος των τιμών του VCI στην περιοχή καλλιέργειας του σιταριού, το 14^ο και 15^ο δεκαήμερο του έτους (2^ο και 3^ο Μαΐου), αντίστοιχα.

Πίνακας 7.7: Αποτελέσματα της ανάλυσης πολλαπλής παλινδρόμησης μεταξύ των τιμών R_{TCI} και R_{VCI} των κρίσιμων δεκαημέρων και των αποδόσεων των καλλιεργειών του βαμβακιού και του σιταριού.

N=15	Beta	Τυπικό σφάλμα (Beta)	B	Τυπικό σφάλμα (B)	t(12)	Επίπεδο p
Εξαρτημένη μεταβλητή: Απόδοση Βαμβακιού						
R= ,7329		R ² = ,5371		Adjusted R ² = ,4600		
F(2,12)=6,9631		p<,0098		Std.Error of estimate: 34,394		
Intercept			-0,563	76,210	-0,007	0,994
$R_{TCI(21)}$ *	0,001	0,257	0,012	2,039	0,006	0,995
$R_{VCI(20)}$ *	0,731	0,257	4,379	1,543	2,837	0,015
Εξαρτημένη μεταβλητή: Απόδοση Σιταριού						
R= ,7169		R ² = ,5140		Adjusted R ² = ,4300		
F(2,12)=6,3466		p<,01317		Std.Error of estimate: 31,480		
Intercept			30,557	86,799	0,352	0,731
$R_{TCI(15)}$ *	0,325	0,226	1,625	1,131	1,437	0,176
$R_{VCI(14)}$ *	0,508	0,226	2,955	1,314	2,249	0,044
* Οι τιμές αφορούν στους σταθμισμένους μέσους των τιμών των δεικτών στις περιοχές καλλιέργειας του βαμβακιού και σιταριού τα κρίσιμα δεκαήμερα.						

Στη συνέχεια, ακολούθησε η εκτίμηση των αποδόσεων για τα έτη 1997-2000 με τη χρήση των εξισώσεων (7.1) - (7.4) και η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων με σκοπό την εύρεση της μεθοδολογίας που παρέχει την ακριβέστερη εκτίμηση της τελικής απόδοσης ανά καλλιέργεια. Στοιχεία ανά μέθοδο και καλλιέργεια παρουσιάζονται στους Πίνακες 7.8 έως 7.11. Στον Πίνακα 7.12 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά η διαφορά, η ποσοστιαία διαφορά και η μέση απόλυτη διαφορά μεταξύ των εκτιμήσεων και των πραγματικών αποδόσεων.

Πίνακας 7.8: Διαφορά και ποσοστιαία διαφορά μεταξύ των εκτιμώμενων και πραγματικών αποδόσεων για την καλλιέργεια του βαμβακιού, με τη χρήση του R_{VCI} .

Έτος	Απόδοση (Y) (kg/strm)	Εκτίμηση Απόδοση (Y_{C1}) (kg/strm)	$Y-Y_{C1}$ (kg/strm)	$Y-Y_{C1}$ (%)
1997	292,32	305,43	13,11	4,48
1998	319,63	317,69	-1,94	-0,61
1999	311,94	319,74	7,80	2,50
2000	307,33	309,29	1,96	0,64

Πίνακας 7.9: Διαφορά και ποσοστιαία διαφορά μεταξύ των εκτιμώμενων και πραγματικών αποδόσεων για την καλλιέργεια του βαμβακιού, με τη χρήση του R_{VCI} και R_{TCI} .

Έτος	Απόδοση (Y) (kg/strm)	Εκτίμηση Απόδοση (Y_{C2}) (kg/strm)	$Y-Y_{C2}$ (kg/strm)	$Y-Y_{C2}$ (%)
1997	292,32	305,34	13,02	4,45
1998	319,63	317,48	-2,14	-0,67
1999	311,94	319,59	7,65	2,45
2000	307,33	309,15	1,82	0,59

Πίνακας 7.10: Διαφορά και ποσοστιαία διαφορά μεταξύ των εκτιμώμενων και πραγματικών αποδόσεων για την καλλιέργεια του σιταριού, με τη χρήση του R_{VCI} .

Έτος	Απόδοση (Y) (kg/strm)	Εκτίμηση Απόδοση (Y_{W1}) (kg/strm)	$Y-Y_{W1}$ (kg/strm)	$Y-Y_{W1}$ (%)
1997	319,17	331,18	12,01	3,76
1998	315,05	308,61	-6,44	-2,05
1999	250,40	299,06	48,65	19,43
2000	393,52	316,28	-77,24	-19,63

Πίνακας 7.11: Διαφορά και ποσοστιαία διαφορά μεταξύ των εκτιμώμενων και πραγματικών αποδόσεων για την καλλιέργεια του σιταριού, με τη χρήση του R_{VCI} και R_{TCI} .

Έτος	Απόδοση (Y) (kg/strm)	Εκτίμηση Απόδοση (Y_{W2}) (kg/strm)	$Y - Y_{W2}$ (kg/strm)	$Y - Y_{W2}$ (%)
1997	319,17	316,37	-0,51	-0,16
1998	315,05	308,84	9,41	3,14
1999	250,40	294,01	74,73	34,08
2000	393,52	313,98	-97,32	-23,66

Πίνακας 7.12: Διαφορά και ποσοστιαία διαφορά μεταξύ των εκτιμώμενων και πραγματικών αποδόσεων, ανά καλλιέργεια και μέθοδο εκτίμησης.

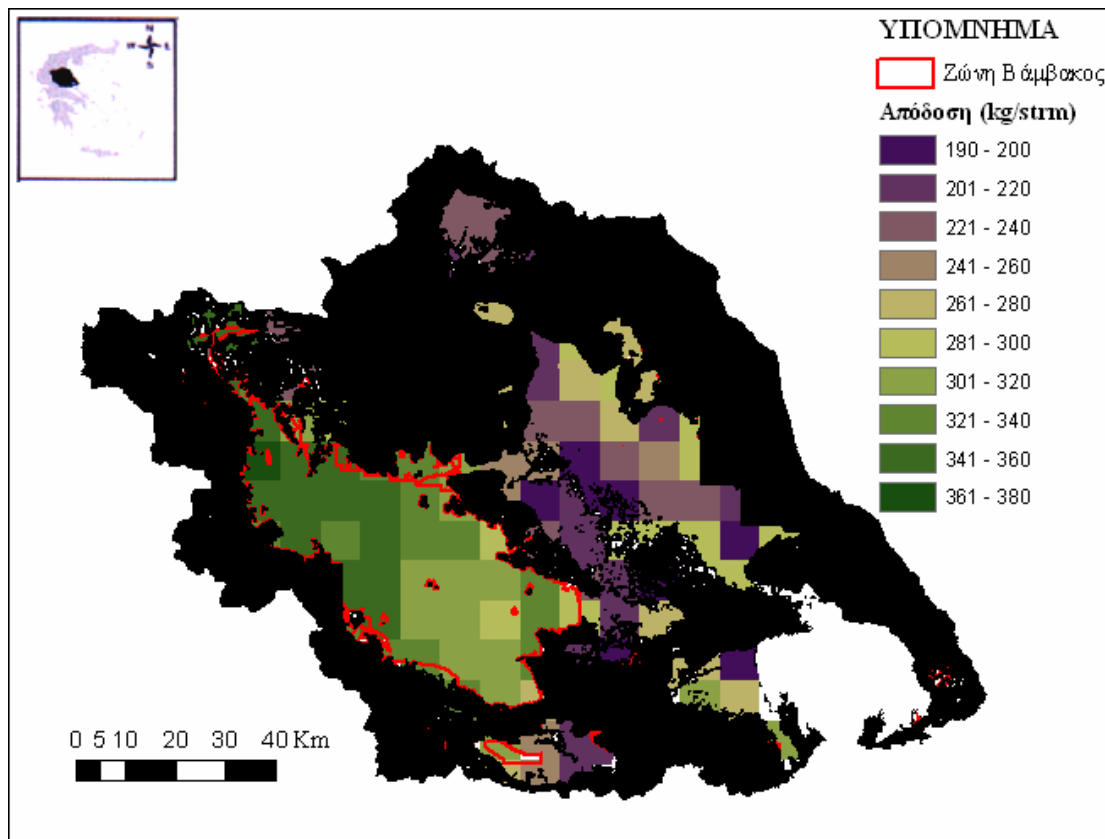
Έτος	$Y - Y_{C1}$ (kg/strm)	$Y - Y_{C2}$ (kg/strm)	$Y - Y_{C1}$ (%)	$Y - Y_{C2}$ (%)	$Y - Y_{W1}$ (kg/strm)	$Y - Y_{W2}$ (kg/strm)	$Y - Y_{W1}$ (%)	$Y - Y_{W2}$ (%)
1997	13,11	13,02	4,48	4,45	12,01	-0,51	3,76	-0,16
1998	-1,94	-2,14	-0,61	-0,67	-6,44	9,41	-2,05	3,14
1999	7,80	7,65	2,49	2,45	48,65	74,73	19,43	34,08
2000	1,96	1,82	0,63	0,59	-77,24	-97,32	-19,63	-23,66
MAD*	6,20	6,16	2,06	2,04	36,09	45,49	11,21	15,26

*Mean Absolute Difference (Μέση Απόλυτη Διαφορά)

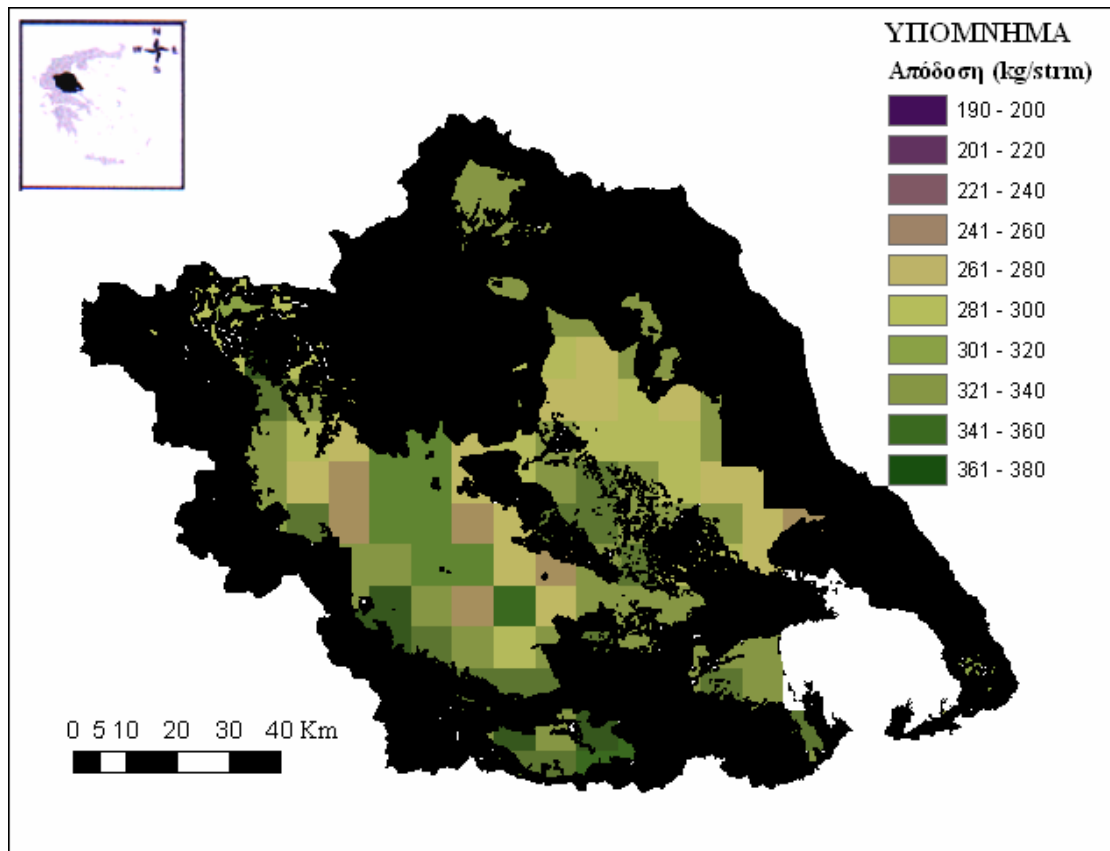
Παρατηρώντας τα αποτελέσματα της αξιολόγησης των μεθόδων είναι εμφανές ότι οι εξισώσεις της απλής γραμμικής παλινδρόμησης παρέχουν πιο ακριβή εκτίμηση της επερχόμενης παραγωγής και στις δύο καλλιέργειες. Ο σταθμισμένος μέσος του TCI δε συμβάλει ώστε να βελτιωθούν τα αποτελέσματα της εκτίμησης. Μάλιστα, στην περίπτωση της καλλιέργειας του σιταριού έχει αρνητική επίδραση, οδηγώντας σε αύξηση του σφάλματος μεταξύ των εκτίμησης και των πραγματικών αποδόσεων στα έτη 1999 και 2000. Έτσι, επιβεβαιώνεται η παρατήρηση στην ανάλυση πολλαπλής παλινδρόμησης, που προέρχεται από το γεγονός ότι οι συντελεστές B για το συγκεκριμένο δείκτη δεν ήταν στατιστικά σημαντικοί. Στην περίπτωση της καλλιέργειας του βαμβακιού, οι τιμές της εκτίμησης δε διαφέρουν, εξαιτίας της

ομοιότητας των εξισώσεων απλής και πολλαπλής παλινδρόμησης, λόγω της σχεδόν μηδενικής συμμετοχής του R_{TCI} ($B=0,012$).

Από όλα τα ανωτέρω διαφαίνεται ότι οι κατάλληλες εξισώσεις για την εκτίμηση των αποδόσεων των δύο καλλιεργειών είναι η (7.1) και η (7.2). Έτσι, για τον έλεγχο της παραγωγικότητας εντός των αγροκλιματικών ζωνών χρησιμοποιήθηκαν οι γραμμικές εξισώσεις απλής παλινδρόμησης. Με βάση, λοιπόν, τις τιμές του R_{VCI} τα κρίσιμα δεκαήμερα, υπολογίστηκαν για κάθε έτος οι αποδόσεις των καλλιεργειών εντός των αγροκλιματικών ζωνών. Έπειτα εξήχθησαν οι μέσοι όροι των τιμών των εκτιμώμενων αποδόσεων ανά εικονοστοιχείο, για όλη τη χρονοσειρά. Τα αποτελέσματα για το βαμβάκι και το σιτάρι παρουσιάζονται στις εικόνες 7.18 και 7.19, αντίστοιχα.



Εικόνα 7.18: Μέση περιοχική εκτίμηση της απόδοσης του βαμβακιού στις αγροκλιματικές ζώνες βάμβακος για την περίοδο 1981-2001, στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας.



Εικόνα 7.19: Μέση περιοχική εκτίμηση της απόδοσης του σιταριού στην αγροκλιματική ζώνη σίτου για την περίοδο 1981-2001, στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας.

Τα αποτελέσματα είναι ενθαρρυντικά. Εντός των αγροκλιματικών ζωνών οι αποδόσεις είναι υψηλές, σε σύγκριση πάντα με τις τιμές της περιοχής μελέτης. Στην οριακή ζώνη βάμβακος παρατηρείται μείωση των αποδόσεων, γεγονός που πιστοποιεί το χαρακτηρισμό της ως οριακή. Στον Πίνακα 7.13 δίνονται η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή, καθώς και ο μέσος όρος των εκτιμώμενων αποδόσεων ανά ζώνη, σε σύγκριση με τα στατιστικά στοιχεία των αποδόσεων για τα έτη 1981-2000 στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας.

Πίνακας 7.13: Σύγκριση μεταξύ των τιμών της εκτιμηθείσας και της πραγματικής απόδοσης.

Στατιστική Παράμετρος	Εκτιμηθείσα Απόδοση (kg/strm)		
	Ζώνη Βάμβακος	Οριακή Ζώνη Βάμβακος	Ζώνη Σίτου
Ελάχιστο*	283	190	252
Μέγιστο*	377	358	361
Μέσος όρος*	327	253	316
	Πραγματική Απόδοση (kg/strm)		
	Βαμβάκι		Σιτάρι
Ελάχιστο**	205		250
Μέγιστο**	372		367
Μέσος όρος**	285		315
* Τα στατιστικά στοιχεία αφορούν τις μέσες τιμές της χρονοσειράς ανά ζώνη.			
** Στατιστικά στοιχεία επίσημων τιμών αποδόσεων για τα έτη 1981-2000 (ΕΣΥΕ).			

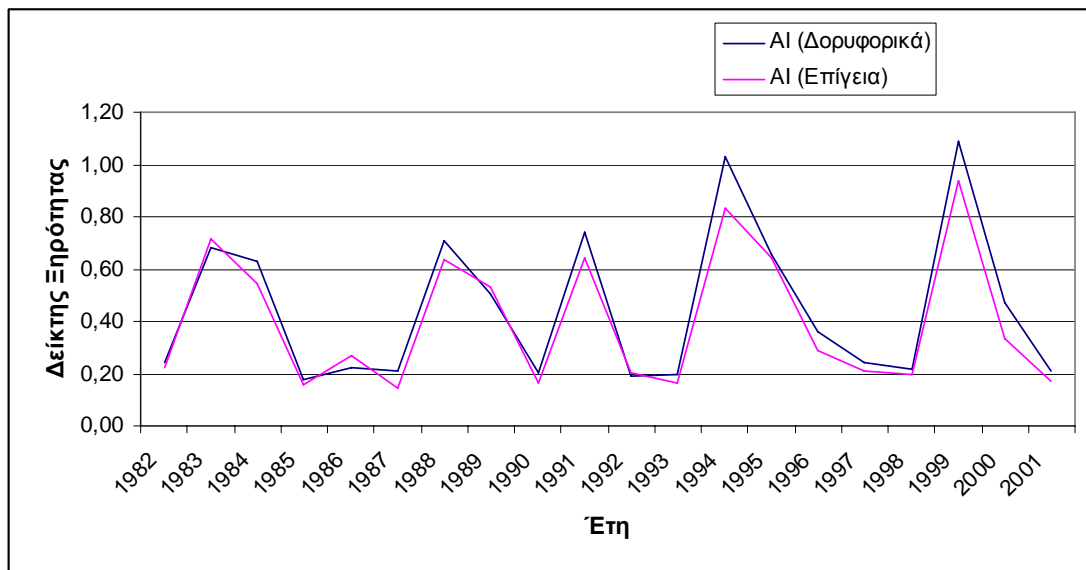
7.3 Επισημάνσεις

Η μεθοδολογία για τον ορισμό των αγροκλιματικών ζωνών βασίζεται σε τρία στάδια, κατά την εναλλαγή των οποίων προσδιορίζονται οι ζώνες για τις δύο καλλιέργειες, με τη χρήση ιεραρχικής ταξινόμησης. Στο πρώτο στάδιο πραγματοποιείται η υδροκλιματική ταξινόμηση μέσω του ορισμού των ζωνών WLGE. Οι μεταβλητές που εξετάζονται είναι ο AI και ο VHI.

Ο AI υπολογίστηκε με τη χρήση δορυφορικών και συμβατικών δεδομένων. Για την πιστοποίηση των αποτελεσμάτων, έγινε σύγκριση με τιμές του δείκτη που έχουν υπολογιστεί με επίγεια δεδομένα του σταθμού της Λάρισας. Λόγω του γεγονότος ότι το μέγεθος των εικονοστοιχείων στο χάρτη του AI είναι 100x100 m², οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη σύγκριση, εξήχθησαν σημειακά με τη χρήση παραθύρου μεγέθους 3x3 εικονοστοιχεία, με κέντρο την τοποθεσία του σταθμού στη Λάρισα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο σχήμα 7.7.

Από το σχήμα 7.7 διαφαίνεται ότι υπάρχει συμφωνία στο χαρακτηρισμό της κλιματικής ξηρότητας με τα δορυφορικά και επίγεια δεδομένα, στο σταθμό της

Λάρισας. Οι δύο προσεγγίσεις χαρακτηρίζουν το κλίμα ως ημίξηρο. Πιο συγκεκριμένα, οι μέσοι όροι των τιμών του ΑΙ διαφέρουν κατά 0,06, χωρίς αυτό να έχει κάποια επίπτωση στο χαρακτηρισμό της περιοχής. Επίσης, τέσσερις φορές παρατηρείται αλλαγή κατηγορίας, από ημίξηρη σε ξηρή (έτη 1987, 1990, 1993, 2001). Σε όλες τις περιπτώσεις η αλλαγή οφείλεται στο γεγονός ότι οι τιμές βρίσκονται πολύ κοντά στο όριο μεταξύ των δύο κατηγοριών. Η σύγκριση μεταξύ των τιμών κλιματικής ξηρότητας των δύο προσεγγίσεων παρουσιάζεται στον Πίνακα 7.14.



Σχήμα 7.7: Σύγκριση των τιμών του ΑΙ στο μετεωρολογικό σταθμό της Λάρισας, υπολογισμένου από τα δορυφορικά (και επίγεια χωρικά) και από τα επίγεια δεδομένα (1982-2001).

Πίνακας 7.14: Σύγκριση και στατιστικές παράμετροι μεταξύ των τιμών του ΑΙ, υπολογισμένου από τα δορυφορικά (και επίγεια χωρικά) και από τα επίγεια δεδομένα (1982-2001).

Μέσος όρος $AI_{\text{δορυφορικά}}$	Μέσος όρος $AI_{\text{επίγεια}}$	Μέση απόλυτη διαφορά	Μέσο τετραγωνικό σφάλμα
0,4497	0,3998	0,0612	0,0062

Ο ΑΙ διαίρεσε την πεδιάδα της Θεσσαλίας σε δύο κλιματικές ζώνες. Μία ανατολική, στην οποία το κλίμα είναι ημίξηρο και μία δυτική με ύψυγρο κλίμα. Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με τα κλιματικά χαρακτηριστικά της περιοχής.

Κατά τον υπολογισμό του ΑΙ γίνεται χρήση της βροχόπτωσης από τη βάση δεδομένων της ISPRA. Η αξιοπιστία της βάσης αναλύθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Γενικότερα, κατά τον υπολογισμό του δείκτη γίνεται χρήση δεδομένων διαφορετικής χωρικής διακριτικής ικανότητας. Το μέγεθος φατνίου των χαρτών της βροχόπτωσης είναι 50x50 km², η χωρική διακριτική ικανότητα της LST είναι 8x8 km², ενώ οι τιμές του συντελεστή C διαφοροποιούνται ανά 100 m. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του βαθμού επιρροής της βροχόπτωσης στη χωρική διαφοροποίηση του δείκτη, στην οποία κατά κύριο λόγο συμβάλλουν η μεταβολή των τιμών του C και της LST. Πιθανόν η χρήση χαρτών βροχόπτωσης με μικρότερο μέγεθος βήματος να οδηγήσει σε διαφοροποιήσεις σε τοπική κλίμακα.

Ο VHI αποτελεί έναν τηλεπισκοπικό δείκτη με πολλές εφαρμογές στην παρακολούθηση της γεωργικής ξηρασίας. Πολλές μελέτες έχουν αποδείξει τη χρησιμότητά του, ενώ τα αποτελέσματά του έχουν πιστοποιηθεί με τη χρήση διαφόρων δεικτών ξηρασίας, υπολογισμένων τόσο από δορυφορικά, όσο και από συμβατικά δεδομένα (π.χ. Bayarjargal *et al.*, 2006; Bhuyian *et al.*, 2006; Kanellou *et al.*, 2008, 2009; Tsiros *et al.*, 2008, 2009a). Ο υπολογισμός της συχνότητας επανεμφάνισης της ξηρασίας, με έμφαση στην εμφάνιση του φαινομένου κατά το δεύτερο υδρολογικό εξάμηνο (επισκόπηση στη θερινή περίοδο), κατέδειξε υψηλή συχνότητα ήπιας και μέτριας έντασης συμβάντων γεωργικής ξηρασίας στην ανατολική πεδιάδα και νότια του υδατικού διαμερίσματος. Πρέπει να αναφερθεί ότι αυτή η συχνότητα επανεμφάνισης αφορά στην περίοδο Απριλίου - Σεπτεμβρίου, καθώς τα συμβάντα γεωργικής ξηρασίας κατά το χειμερινό υδρολογικό εξάμηνο είναι ελάχιστα και δεν αποτελούν απειλή για τις χειμερινές καλλιέργειες. Έτσι, ο χάρτης της συχνότητας επανεμφάνισης της γεωργικής ξηρασίας έχει ιδιαίτερη σημασία όταν ο έλεγχος αφορά εαρινές καλλιέργειες.

Όσον αφορά στην τοπογραφία της περιοχής, αυτή ανάγεται στη μελέτη των κλίσεων και της υψομετρικής διαβάθμισης. Η ταξινόμηση των κλίσεων έχει σημασία τόσο στην παραγωγικότητα, όσο και στη διαχείριση του περιβάλλοντος. Στο περιβάλλον, οι επιπτώσεις αφορούν στην απόπλυση των θρεπτικών, στη μείωση του προφίλ του εδαφικού στρώματος και στη διάβρωση, ενώ σχετίζονται άμεσα με τις εφαρμοζόμενες γεωργικές πρακτικές.

Όσον αφορά στις καλλιέργειες, οι υψομετρικές ζώνες εκτείνονται σε σχετικά υψηλές τιμές υψομέτρου. Το όριο 600 m επιλέχθηκε έτσι ώστε να συμπεριλαμβάνονται όσο το δυνατόν περισσότερες καλλιέργειες στη γενική φάση της αγροκλιματικής ζωνοποίησης. Η ύπαρξη μη συγκεκριμένων αγροκλιματικών ζωνών είναι σημαντική σε αγροπεριβαλλοντικούς και αναπτυξιακούς σχεδιασμούς, και έτσι είναι θετικό να διατηρείται η γενικότητά τους. Ούτως ή άλλως, με τη χρήση των GDD κατά την ειδική αγροκλιματική ζωνοποίηση, ορίζονται οι ζώνες όπου ένα φυτό μπορεί να καλλιεργηθεί με επιτυχία. Έτσι, τυχόν περιοχές που μπορεί να μην είναι κατάλληλες για καλλιέργεια, λόγω θερμοκρασιακών περιορισμών εξαιτίας του υψομέτρου, προσδιορίζονται στη συνέχεια με τη χρήση των GDD.

Η εισαγωγή της κλισιμετρίας στη μεθοδολογία κατέχει σημαντικό και καθοριστικό ρόλο, ιδιαίτερα στη διαμόρφωση των ακατάλληλων περιοχών για την ανάπτυξη καλλιεργειών. Αναλύοντας τα αποτελέσματα των ζωνών αειφόρου παραγωγής, παρατηρείται ότι η ενσωμάτωση της κλίσης στη μεθοδολογία αυξάνει κατά 14% τις ακατάλληλες προς καλλιέργεια περιοχές. Έτσι, ενώ με τους υψομετρικούς περιορισμούς, οι ακατάλληλες περιοχές κατείχαν το 45% του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας, με την εισαγωγή των περιορισμών των κλίσεων ανήλθαν στο 59%.

Κατά την ταξινόμηση των εδαφολογικών σχηματισμών, το πρότυπο που χρησιμοποιήθηκε είναι αρκετά αυστηρό, όσον αφορά στην καταλληλότητα για γεωργική χρήση. Αυτό συμβαίνει διότι στα πλαίσια μίας βιώσιμης ανάπτυξης, πρέπει να προστατεύονται οι φυσικοί πόροι και κυρίως αυτοί που η περίοδος αποκατάστασης σε περίπτωση υποβάθμισής τους είναι πολύ μεγάλη (όπως το έδαφος). Έτσι, με βάση την τρωτότητα στην ερημοποίηση, ως περιοχές με κατάλληλα εδάφη για γεωργική χρήση θεωρήθηκαν αυτές με πολύ χαμηλή επικινδυνότητα εμφάνισης του φαινομένου. Η κατηγοριοποίηση αυτή ενισχύεται και από τη διαβάθμιση των κλίσεων, συντελώντας στην πλήρη επισκόπηση του φαινομένου. Στις περιοχές όπου υπάρχουν εδαφικοί περιορισμοί και η γεωργία έχει οριστεί ως «ελεγχόμενη», ο όρος σχετίζεται με τη χρήση ορθών γεωργικών πρακτικών. Με κατάλληλη λίπανση, τεχνικές άρωσης, αμειψισπορές και αγροαναπαύσεις, είναι δυνατή η ανάπτυξη γεωργικών συστημάτων σε αυτές τις περιοχές και η εξασφάλιση μίας βιώσιμης γεωργικής ανάπτυξης.

Οι γενικές αγροκλιματικές ζώνες, ή αλλιώς ζώνες αειφόρου παραγωγής διαφοροποιούνται στη συνέχεια με βάση την καλλιέργεια που εξετάζεται. Οι GDD

χρησιμοποιούνται για την εύρεση των περιοχών, στις οποίες με βάση τις επικρατούσες θερμοκρασίες, είναι δυνατή η ανάπτυξη των υπό εξέταση καλλιεργειών και η ολοκλήρωση του κύκλου ζωής τους. Στο στάδιο της ειδικής αγροκλιματικής ζωνοποίησης, οι GDD διαφοροποίησαν τις ζώνες ανά καλλιέργεια, αποκλείοντας περιοχές όπου η ανάπτυξη του σιταριού και του βαμβακιού δεν είναι κατάλληλη λόγω θερμοκρασιακών περιορισμών. Από το γεγονός αυτό διαφαίνεται ότι η θερμοκρασία αποτελεί περιοριστικό παράγοντα εντός του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας.

Όσον αφορά στην R_n , δεν αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για την ανάπτυξη των καλλιεργειών στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η έκταση που καταλαμβάνει το υδατικό διαμέρισμα όσον αφορά στο γεωγραφικό πλάτος είναι $1,12^\circ$, και άρα οι διαφοροποιήσεις στην ολική εισερχόμενη ακτινοβολία και στις τιμές Angot δεν είναι σημαντικές.

Η διαφοροποίηση της R_n οφείλεται πρώτιστα στη διαφοροποίηση της λευκάγειας (α), της εκπομπής επιφανείας (ϵ) και της LST. Κατά δεύτερο ρόλο, οφείλεται στη μεταβολή της θερμοκρασίας αέρα (βάση δεδομένων της ISPR). Παραδοχή λόγω της έλλειψης δεδομένων, αποτελεί το γεγονός ότι για όλο το υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας χρησιμοποιήθηκε η ίδια τιμή n/N . Η χρήση διαφορετικών n/N ανά περιοχή πιθανόν να διαφοροποιούσε τις τιμές τοπικά, χωρίς όμως να είχε επίδραση στα εξαγόμενα αποτελέσματα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στο λόγο n/N η διαφοροποίηση των τιμών συντελείται από το n , αφού ο μέγιστος αριθμός ωρών ημέρας (N) δεν αλλάζει σημαντικά για μεταβολή του γεωγραφικού πλάτους κατά $1,12^\circ$. Επίσης, μία σύγκριση των κλιματικών τιμών του n/N για την περίοδο 1956-1997 στις περιοχές της Λάρισας και της Αγχιάλου (Παράρτημα III), καταδεικνύει ότι δεν υπάρχει σημαντική διαφορά στις τιμές των δύο περιοχών. Πιο συγκεκριμένα, στην περιοχή της Λάρισας η μέση ετήσια ηλιοφάνεια ανέρχεται σε 2.437 ώρες, ενώ στην Αγχιάλο σε 2.489 ώρες. Τέλος, παρατηρώντας τις εικόνες 7.11 έως 7.13, είναι εμφανές ότι η NR αυξάνεται με την αύξηση του υψομέτρου. Το γεγονός αυτό οφείλεται στη μείωση της LST με την αύξηση του υψομέτρου, και άρα στη μείωση της μεγάλης μήκους κύματος ανερχόμενης ακτινοβολίας, που αποτελεί απώλεια στο ενεργειακό ισοζύγιο επιφανείας.

Στην οριακή ζώνη βάμβακος δε συνίσταται η καλλιέργεια του φυτού. Όπως προαναφέρθηκε, σε αυτήν τη ζώνη απαιτείται άρδευση. Αν αυτή είναι οικονομικά εφικτή, η καλλιέργεια μπορεί να αναπτυχθεί με επιτυχία. Με βάση, όμως, το γεγονός

της πτώσης του υδροφόρου ορίζοντα και γενικότερα της έλλειψης έργων συλλογής και αποθήκευσης υδάτων, καθώς και τη διακοπή των επιδοτήσεων από το 2013, η καλλιέργεια του βαμβακιού κρίνεται ότι θα είναι αντικοινωνική.

Παρατηρήθηκε ότι τα στατιστικά μοντέλα παρέχουν αξιόπιστη εκτίμηση της επερχόμενης παραγωγής. Ο έλεγχος και των δύο μεθοδολογιών κατέδειξε ότι οι επικρατούσες υγρασιακές συνθήκες κατέχουν σημαντικότερο ρόλο στη διαβάθμιση της επερχόμενης παραγωγής από ότι οι θερμοκρασιακές, τόσο για την καλλιέργεια του βαμβακιού, όσο και του σιταριού. Η μέση απόλυτη ποσοστιαία διαφορά των εκτιμήσεων από τις πραγματικές τιμές των αποδόσεων είναι 2,06 για το βαμβάκι και 11,21 για το σιτάρι. Το βαμβάκι ως αρδευόμενη καλλιέργεια εξαρτάται λιγότερο από τις καιρικές συνθήκες και συγκεκριμένα από την παροχή νερού από βροχοπτώσεις, γεγονός που συντελεί στη μικρότερη διακύμανση της τελικής παραγωγής. Έτσι, είναι λογικό η εκτίμηση του βαμβακιού μέσω στατιστικών μεθόδων να είναι πιο ακριβής.

Επίσης, αποτελεί πολύ σημαντικό στοιχείο το γεγονός ότι τα κρίσιμα δεκαήμερα παρουσιάζουν ενδιαφέρον από φαινολογική και φυσιολογική σκοπιά. Έτσι, γίνεται εμφανές ότι ο VCI είναι κατάλληλος για να προσομοιάσει τις συνθήκες ανάπτυξης του φυτού και να οδηγήσει σε ασφαλή πρόδρομη εκτίμηση της παραγωγής. Πρέπει να τονιστεί ότι στην περίπτωση του σιταριού η εκτίμηση της απόδοσης γίνεται ενάμιση μήνα πριν τη συγκομιδή, ενώ στην περίπτωση του βαμβακιού σχεδόν τρεις μήνες νωρίτερα. Οι δύο εξισώσεις μπορούν να εφαρμοστούν επιχειρησιακά με στόχο την εκτίμηση των αποδόσεων των δύο καλλιεργειών.

Το γεγονός ότι οι υπολογισμένες αποδόσεις, με τη χρήση του στατιστικού μοντέλου και των μέσων τιμών (για τα 20 έτη) των κρίσιμων δεκαημέρων του R_{VCI} , είναι υψηλές εντός των αγροκλιματικών ζωνών, είναι πολύ ενθαρρυντικό, εφόσον στην ουσία πιστοποιεί τις εξαγόμενες ζώνες. Με αυτόν τον τρόπο καταδεικνύεται το γεγονός ότι εντός αυτών των ζωνών και με κατάλληλες γεωργικές πρακτικές μπορεί να επιτευχθεί βελτιστοποίηση της παραγωγής. Ο όρος βελτιστοποίηση προτιμάται, διότι το ενδιαφέρον πλέον στη γεωργία δεν είναι η μεγιστοποίηση της παραγωγής με «ληστρική» χρήση των φυσικών πόρων, αλλά η βελτιστοποίησή της στο πλαίσιο μίας βιώσιμης ανάπτυξης. Επίσης, όπως προαναφέρθηκε, η μείωση των αναμενόμενων αποδόσεων στην οριακή ζώνη βάμβακος επιβεβαιώνει το χαρακτηρισμό της ως «οριακή» και οδηγεί στο γεγονός ότι εντός αυτών των ζωνών απαιτούνται αυξημένες εισροές για την επίτευξη υψηλότερων αποδόσεων.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το 59% του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας δεν είναι κατάλληλο για γεωργική χρήση. Στο υπόλοιπο 41% μπορεί να καλλιεργηθεί με επιτυχία το σιτάρι, ενώ όσον αφορά στο βαμβάκι, η κατάλληλη ζώνη καταλαμβάνει το 16% και η οριακή το 25% της έκτασης του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας.

Η καινοτομία της προτεινόμενης μεθοδολογίας έγκειται στα παρακάτω σημεία:

1. Στο γεγονός ότι είναι η πρώτη φορά που όλοι αυτοί οι παράγοντες (θερμοκρασία, βροχόπτωση, ακτινοβολία, κλίση, υψόμετρο, έδαφος) συνδυάζονται για τον ορισμό αγροκλιματικών ζωνών.
2. Στο ότι οδηγεί σε ασφαλή αποτελέσματα, εφόσον εμπεριέχει όλες τις συνιστώσες (θερμοκρασία, υγρασία, ακτινοβολία) που έχουν ενδιαφέρον από αγρονομική άποψη.
3. Στο γεγονός ότι σχεδόν όλες οι παράμετροι υπολογίζονται με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων. Το γεγονός αυτό συντελεί στην πλήρη χωρική κάλυψη της περιοχής μελέτης και στην ελαχιστοποίηση οποιασδήποτε αοριστίας ή ασάφειας σχετικά με τα όρια των ζωνών.
4. Στο συνδυασμό των AI και VHI για τον προσδιορισμό των υδροκλιματικών ζωνών.
5. Στο ότι ορίζει πρώτα τις γενικές αγροκλιματικές ζώνες, δίνοντας στον ερευνητή την ευελιξία και την ευχέρεια να μελετήσει στη συνέχεια όποια καλλιέργεια επιθυμεί.
6. Στη μεθοδολογία, η οποία είναι ανεξάρτητη της περιοχής μελέτης και άρα είναι μεταβιβάσιμη (transferable).
7. Στο γεγονός ότι χρησιμοποιεί σταθμισμένους μέσους του δείκτη VCI για την εκτίμηση της παραγωγής.
8. Στον υπολογισμό των GDD με τη χρήση δορυφορικά εξαγόμενης LST.
9. Στο ότι εμπεριέχει στάδιο αξιολόγησης των αποτελεσμάτων.
10. Στη χρήση ιεραρχικής ταξινόμησης μέσω επιβλεπόμενης διαδικασίας, η οποία δίνει μία φυσική διάσταση στην κατηγοριοποίηση των ζωνών.
11. Στη χρήση σταθερών και αξιόπιστων δεικτών.

Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι ο ορισμός των αγροκλιματικών ζωνών δε συνεπάγεται ότι εκτός αυτών είναι αδύνατη η καλλιέργεια των συγκεκριμένων φυτών σε ατομικό επίπεδο (π.χ. για ιδία χρήση). Απλώς δε συνιστάται η εμπορική -

βιομηχανική τους καλλιέργεια, εξαιτίας τόσο της αναμενόμενης μειωμένης παραγωγής που καθιστά ασύμφορη την καλλιέργεια, όσο και της αυξημένης πιθανότητας αποτυχίας της.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στο τελευταίο αυτό κεφάλαιο παρατίθενται τα συμπεράσματα που προέκυψαν, τόσο από τη μεθοδολογική προσέγγιση, όσο και από τα αποτελέσματα της εφαρμογής της στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας. Επίσης, προτείνονται ορισμένοι τρόποι πιθανής βελτίωσης και εξέλιξης της μεθοδολογίας, κυρίως σε σχέση με την ενσωμάτωση σε αυτήν περισσότερων δορυφορικών δεδομένων.

8.1 Συμπεράσματα

Η προτεινόμενη μεθοδολογία είναι πλήρης, καθώς εξετάζει όλους τους αβιοτικούς παράγοντες που έχουν επίδραση στην ανάπτυξη των καλλιεργειών και στο δυναμικό παραγωγής. Ελέγχοντας πέντε βασικές συνιστώσες και συγκεκριμένα την υγρασία, τη θερμοκρασία, την ακτινοβολία, την τοπογραφία και το έδαφος, συντελεί σε μία ολιστική προσέγγιση τόσο του αγροκλίματος μίας περιοχής, όσο και της καταλληλότητας μίας καλλιέργειας.

Όσον αφορά στον υπολογισμό των δορυφορικά εξαγόμενων δεικτών και παραμέτρων, η χρήση φίλτρων στα πρωτογενή δεδομένα είναι απαραίτητη για την ορθότητα των αποτελεσμάτων. Ανάλογα με τη φύση του προβλήματος, πρέπει να εφαρμοστεί είτε χωρικό είτε χρονικό φίλτράρισμα για την αφαίρεση «θορύβου» και σφαλμάτων που μπορεί να οδηγήσουν σε επισφαλή αποτελέσματα και παρερμηνείες.

Ο AI και ο VHI είναι κατάλληλοι για τον προσδιορισμό των ζωνών WLGE. Ο AI προσδιορίζει την κλιματική ξηρότητα σε μία περιοχή και παράλληλα καταδεικνύει την επάρκεια των βροχοπτώσεων για την κάλυψη των αναγκών των καλλιεργειών σε νερό. Ο VHI χαρακτηρίζει τις συνθήκες γεωργικής ξηρασίας και είναι απαραίτητος σε έναν αγροκλιματικό σχεδιασμό, εφόσον παρέχει πληροφορίες σχετικά με τη συχνότητα επανεμφάνισης και τη δριμύτητα αυτού του ακραίου φαινομένου. Επίσης, οι δύο δείκτες καλύπτουν τόσο την κλιματική συνιστώσα της υγρασίας σε μία περιοχή, όσο και την κατάσταση της υγρασίας του εδάφους, και άρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον ορισμό των υδροκλιματικών συνθηκών.

Η τοπογραφία της περιοχής είναι πολύ σημαντική στον προσδιορισμό της καταλληλότητάς της. Η κλίση αποτελεί απαραίτητο παράγοντα στον προσδιορισμό των αγροκλιματικών ζωνών και κατέχει βασικό ρόλο στην οριοθέτηση των περιοχών

που είναι ακατάλληλες για καλλιέργεια. Η υψομετρική διαβάθμιση ενσωματώνεται έμμεσα στη θερμοκρασία, ενώ κατέχει βασικό ρόλο στον ορισμό των γενικών αγροκλιματικών ζωνών ή αλλιώς των ζωνών αειφόρου παραγωγής.

Η χωρική κατανομή των εδαφικών σχηματισμών χαρακτηρίζει τις περιοχές όπου αναμένονται υψηλές αποδόσεις. Τα κατάλληλα εδάφη σε συνδυασμό με την επάρκεια ύδατος συνεισφέρουν στην πρόσληψη των απαραίτητων θρεπτικών από τα φυτά, βελτιστοποιώντας την αύξησή τους. Επίσης, ο έλεγχος της επικινδυνότητας για ερημοποίηση συμβάλλει στον ορισμό των περιοχών, στις οποίες η εφαρμογή μη κατάλληλων γεωργικών πρακτικών μπορεί να οδηγήσει σε υποβάθμιση των εδαφικών πόρων.

Οι GDD διαφοροποιούν την καταλληλότητα των καλλιεργειών εντός των ζωνών αειφόρου παραγωγής. Οι ζώνες αειφόρου παραγωγής είναι ενδεικτικές των περιοχών, στις οποίες οι καλλιέργειες μπορούν να αναπτυχθούν χωρίς να συντελέσουν στην υποβάθμιση των φυσικών πόρων. Εξ ορισμού, δεν εμπεριέχουν άμεσα την επίδραση της θερμοκρασίας, διότι αποτελεί έναν πόρο που δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί «ληστρικά». Έτσι λοιπόν, οι GDD συμβάλλουν στον προσδιορισμό των περιοχών, όπου μία καλλιέργεια δε μπορεί να αναπτυχθεί λόγω θερμοκρασιακών περιορισμών. Επιπλέον, αποτελούν ένδειξη της ανάπτυξης των φυτών και είναι απαραίτητοι για τον προσδιορισμό της επίδρασης της θερμοκρασίας στην επιτυχία ή αποτυχία μίας καλλιέργειας σε μια περιοχή.

Από την άλλη πλευρά, η R_n δε συμβάλλει στη διαφοροποίηση των ζωνών. Αυτό, όμως, δε σημαίνει ότι δεν αποτελεί αναπόσπαστο στάδιο της μεθοδολογίας, το οποίο είναι απαραίτητο για την πληρότητά της. Σε περιπτώσεις κατά τις οποίες η περιοχή μελέτης καταλαμβάνει μεγαλύτερη έκταση, έτσι ώστε η επίδραση της διαφοροποίησης του γεωγραφικού πλάτους στις τιμές Angot να είναι σημαντική, οι τιμές της R_n συμβάλλουν στον προσδιορισμό των αγροκλιματικών ζωνών. Επιπλέον, η χρήση των δορυφορικών δεδομένων για την εξαγωγή δεικτών και παραμέτρων και συγκεκριμένα της λευκάγειας, της εκπομπής επιφανείας, της LST και του NDVI, σε συνδυασμό με μετεωρολογικά δεδομένα, παρέχει έναν απλό και γρήγορο τρόπο για την εκτίμηση των συνιστωσών του ενεργειακού ισοζυγίου στην επιφάνεια της γης.

Τα στατιστικά μοντέλα εκτίμησης παραγωγής παρέχουν μία αξιόπιστη ένδειξη της επερχόμενης παραγωγής. Τα αποτελέσματα αποδεικνύουν ότι ο VCI είναι ο καταλληλότερος δείκτης για εκτίμηση της παραγωγής. Ο δείκτης φαίνεται να αποτελεί χρήσιμο εργαλείο για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιδράσεων

στην ανάπτυξη των καλλιεργειών. Έχει το πλεονέκτημα ότι είναι ανεξάρτητος από τον τύπο επιφάνειας - εδάφους, ενώ απομονώνει τους εδαφικούς παράγοντες από τους παράγοντες που εξαρτώνται από τα καιρικά φαινόμενα και γενικότερα από τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Επιπλέον, η ανάλυση συσχέτισης υποδηλώνει ότι ο VCI, εκτός του γεγονότος ότι χαρακτηρίζει τις υγρασιακές συνθήκες που επικρατούν, προσομοιάζει τα στάδια ανάπτυξης του φυτού και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάδειξη των κρίσιμων περιόδων κατά τη βλαστική περίοδο.

Η προτεινόμενη μεθοδολογία χρησιμοποιεί αξιόπιστους δείκτες και είναι ανεξάρτητη από την περιοχή μελέτης. Έτσι, καθίσταται δυνατή η μεταβίβαση - μεταφορά της και σε άλλες περιοχές μελέτης. Επιπλέον, η χρήση δορυφορικών και χωρικών δεδομένων συντελεί στο σαφή προσδιορισμό των ζωνών, χωρίς την ύπαρξη αοριστιών σχετικά με τα όρια επέκτασης αυτών.

Τέλος, τα αποτελέσματα αποδεικνύουν ότι η ιεραρχική ανάλυση σε ομάδες είναι η πλέον ενδεδειγμένη μέθοδος για την ομαδοποίηση περιοχών με κοινά χαρακτηριστικά, οι οποίες είναι κατάλληλες για την ανάπτυξη καλλιεργειών. Επιπλέον, η χρήση της ανά βήμα συντελεί στην εξαίρεση των ακατάλληλων περιοχών, ορίζοντας ανά συνιστώσα τις περιοχές ενδιαφέροντος, απλοποιώντας κατά αυτόν τον τρόπο την τελική ανάλυση και τον προσδιορισμό των αγροκλιματικών ζωνών.

8.2 Προτάσεις

Όπως προαναφέρθηκε, η προτεινόμενη προσέγγιση είναι πλήρης, με μεθοδολογικά βήματα που οδηγούν στο σαφή και ασφαλή προσδιορισμό των αγροκλιματικών ζωνών. Υπάρχουν, όμως, δυνατότητες για βελτίωση, οι οποίες προέρχονται κυρίως από τη χρήση δεδομένων με υψηλότερη χωρική ανάλυση και διαφοροποίηση και από την αντικατάσταση επίγειων με δορυφορικά δεδομένα, όπου βέβαια είναι διαθέσιμες τέτοιες χρονοσειρές. Επίσης, πιθανόν να παρουσιάζει ενδιαφέρον η χρήση διαφορετικής μεθοδολογίας στο στάδιο του ελέγχου της παραγωγικότητας εντός των ζωνών.

Είναι γνωστό ότι όσο πιο ακριβή και λεπτομερή είναι τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται σε μία μεθοδολογία, τόσο ορθότερα είναι τα εξαγόμενα αποτελέσματα. Έτσι λοιπόν, στην περίπτωση του υπολογισμού του AI, η χρήση χαρτών βροχόπτωσης με μικρότερο μέγεθος φατνίου, πιθανόν να οδηγήσει σε

βελτίωση της μεθοδολογίας σε τοπικής κλίμακας μελέτες. Τέτοιοι χάρτες μπορούν να προκύψουν είτε με τη χρήση μεθόδων παρεμβολής, στην περίπτωση όπου υπάρχει ένα ικανοποιητικό και σχετικά πυκνό δίκτυο μετεωρολογικών σταθμών, είτε με τη χρήση δορυφορικών μεθοδολογιών, στην περίπτωση που είναι διαθέσιμα τα κατάλληλα δεδομένα.

Πάλι στην περίπτωση του AI, πιθανόν να παρουσιάζει ενδιαφέρον ο υπολογισμός της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής με τη χρήση κάποιας άλλης μεθόδου. Επίσης, θα μπορούσε να ελεγχθεί η χρήση του τροποποιημένου AI, ο οποίος υπολογίζεται από δεδομένα πραγματικής εξατμισοδιαπνοής. Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή μπορεί να εξαχθεί με δορυφορικές μεθόδους, είτε μέσω συσχέτισης των τιμών του NDVI με δεδομένα πραγματικής εξατμισοδιαπνοής και της εξαγωγής μίας εξίσωσης υπολογισμού της είτε μέσω του ενεργειακού ισοζυγίου στην επιφάνεια της γης και της R_n . Βέβαια, και πάλι η χρήση της μεθόδου εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα των δεδομένων.

Στην εκτίμηση των αποδόσεων, βελτίωση θα μπορούσε να αποτελέσει η χρήση δορυφορικά εξαγόμενων χαρτών χρήσεων γης ανά έτος ή ανά τακτά χρονικά διαστήματα (χωρική διακριτική ικανότητα υψηλότερη από 30x30 m, π.χ. δεδομένα ASTER, SPOT, Landsat), για τον προσδιορισμό των περιοχών καλλιέργειας για την εξαγωγή του R_{vci} . Η χρήση της βάσης δεδομένων του Corine 2001 οδηγεί στην παραδοχή ότι οι καλλιέργειες παραμένουν σταθερές και δεν εναλλάσσονται από τη μία καλλιεργητική περίοδο στην άλλη. Παρά, όμως, την παραδοχή αυτή, η εκτίμηση είναι ακριβής. Στην περίπτωση εξαγωγής χαρτών χρήσεων γης, πρέπει να εξεταστεί κατά πόσο η ενδεχόμενη αύξηση στην ακρίβεια της εκτίμησης αντισταθμίζεται από τον επιπρόσθετο όγκο δουλειάς από την επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων, καθώς και από την αύξηση του κόστους (εκτός από την περίπτωση χρήσης δεδομένων Landsat).

Όσον αφορά στον έλεγχο της παραγωγικότητας εντός των αγροκλιματικών ζωνών, ενδιαφέρον παρουσιάζει η χρήση μοντέλων ανάπτυξης των καλλιεργειών. Η απαίτηση, όμως, σε δεδομένα που έχουν τα μοντέλα αυτά, αποτελεί και πάλι περιοριστικό παράγοντα. Επίσης, ένα νέο πεδίο έρευνας αποτελεί η ενσωμάτωση σε αυτά τα μοντέλα παραμέτρων που έχουν υπολογιστεί από δορυφορικά δεδομένα (π.χ. LAI, εξατμισοδιαπνοή, νεφοκάλυψη).

Σε περίπτωση μεταφοράς και εφαρμογής της μεθόδου σε πιο ψυχρές περιοχές, η εισαγωγή του προσανατολισμού στην τοπογραφική ανάλυση πιθανόν να συμβάλει σε βελτίωση των αποτελεσμάτων.

Τέλος, αποτελεί αναμφισβήτητη ανάγκη η επέκταση της μεθοδολογίας σε ολόκληρο τον Ελλαδικό χώρο και σε άλλες σημαντικές καλλιέργειες για την Ελληνική Γεωργία (π.χ. καλαμπόκι, σόργο), με σκοπό τον προσδιορισμό των αγροκλιματικών τους ζωνών και των περιβαλλοντικών επιδράσεων στις αποδόσεις τους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Adams, F. (1981). Alleviating chemical toxicities: Liming acid soils. In: *Modifying the root environment to reduce crop stress*. Arkin G.F. and Taylor H.M. (eds.), Monogr. No.4, American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan: pp. 269-301.
- Angelici, G., Brynt N. and Friendman S. (1997). Techniques for land use change detection using Landsat imagery. Proceedings of the American Society of Photogrammetry. Falls Church, Virginia: pp. 217-228.
- Arachchi, D.H.M., Naylor R.E.L. and Bingham I.I. (1999). A thermal time analysis of ageing of maize (*Zea mays* L.) seed can account for reduced germination in hot moist soil. *Field Crops Research*, 63: pp. 159-167.
- Arora, V.K. and Gajri P.R. (1998). Evaluation of a crop growth-water balance model for analysing wheat responses to climate- and water-limited environments. *Field Crops Research*, 59: pp. 213-224.
- Badini, O., Stöcle C.O. and Franz E.H. (1997). Application of crop simulation modeling and GIS to agroclimatic assessment in Burkina Faso. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 64: pp. 233-244.
- Bampzelis, D., Domenikiotis C., Dalezios N.R. (2006). Phenological and Agrometeorological indices related to wheat production in Central Greece. International Conference on: Information Systems in Sustainable Agriculture, Agroenvironment and Food Technology, 20-23 September, Volos, Greece: pp. 795-802.
- Banner, A. and Lynham T. (1981). Multi-temporal analysis of Landsat data for forest cut over mapping - a trial of two procedures. Proceedings of the 7th Canadian Symposium on Remote Sensing. Winnipeg, Manitoba, Canada: pp. 233-240.
- Barton, I.J. (1995). Satellite derived sea surface temperatures: current status. *Journal of Geophysical Research*, 100: pp. 8777-8790.
- Bastiaanssen, W. (1998). Remote sensing in water resources management: the state of the art. International Water Management Institute (IWMI), Colombo, Sri Lanka.

- Baver, L.D., Gardner W.H. and Gardner W.R. (1972). Soil physics. Wiley Interscience, New York.
- Bayarjargal, Y., Karnieli A., Bayasgalan M., Khudulmur S., Gandush C. and Tucker C.J. (2006). A comparative study of NOAA–AVHRR derived drought indices using change vector analysis. *Remote Sensing of Environment*, 105: pp. 9–22.
- Becker, F. and Li Z.L. (1990). Towards a local split window method over land surfaces. *International Journal of Remote Sensing*, 11: pp. 369-393.
- Benedetti, R. And Rossini S. (1993). On the use of NDVI profiles as a tool for agricultural statistics: the case study wheat yield estimate and forecast in Emilia Romagna. *Remote Sensing of Environment*, 45: pp. 311-326.
- Berliner, P., Oosterhuis D.M. and Green G.C. (1984). Evaluation of the thermal infrared thermometer as a crop stress detector. *Agricultural and Forest Meteorology*, 31: pp. 219-230.
- Bhalme, H.N. and Mooley D.A. (1980). Large scale drought/floods and monsoon circulation. *Monthly Weather Review*, 108: pp. 1197.
- Bhuiyan, C., Singh R.P. and Kogan F.N. (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*, 8: pp. 289-302.
- Bogardi, I., Matyasovsky A., Bardossy L. and Duckstein L. (1994). Estimation of local and aerial drought reflecting climate change. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 37: pp. 1771-1781.
- Bonhomme, R. (2000). Bases and limits of using “degree day” units. *European Journal of Agronomy*, 13: pp. 1-10.
- Bouwer, H. (2000). Integrated water management: Emerging issues and challenges. *Agricultural Water Management*, 45: pp. 217-228.
- Brutsaert, W. (1975). Comments on surface roughness parameters and the height of dense vegetation. *Journal of Meteorological Society, Japan*, 53 : pp. 96-97.
- Bunnik, N.J.J. (1978). The multi-spectral reflectance of short wave radiation by agricultural crops in relation with their morphological and optical properties. PhD Thesis, Agricultural University of Wageningen, Paper 78-1: 175 p.
- Burgess, D.W. and Pairman D. (1997). Bidirectional reflectance effects in NOAA/AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 18: pp. 2815-2825.

- Burgos, J.J. (1968). World trends in agroclimatic surveys. In : Agroclimatological Methods, UNESCO, Paris: pp. 211-224.
- Butler, W.L. and Roberts J.D. (1966). Light and Plant Development. In: *Plant Agriculture; Readings from Scientific American*. Janick J. (ed.), W.H. Freeman & Co., New York: pp. 78-85.
- Caldwell, M.M. (1981). Plant response to solar ultra-violet radiation. In: *Physiological Plant Ecology I. Response to Physical Environment*, Lange. O.L. (ed.), Springer-Verlag, Berlin: pp. 169-198.
- Camargo, A.P. (1965). Climate of Brazil. IX International Grassland Congress Proceedings, Sao Paulo, Brazil: pp. 17-27.
- Camargo, A.P. (1977). Zoneamento da aptidao climatica para a cafeicultura de arabica e de robusta no Brazil. In: *Recursos naturais, meio ambiente e poluicao*. Recursos naturais, SUPREN, Rio de Janeiro, Vol. 1: pp. 67-76.
- Carter, T.R. and Saarikko R.A. (1996). Estimating regional crop potential in Finland under a changing climate. *Agricultural and Forest Meteorology*, 79: pp. 301-313.
- Chaurasia, R., Mahi, G.S. and Mavi H.S. (1985). Effect of soil temperature on the mortality of collon seedlings. *International Journal of Ecology and Environmental Science II*: pp. 119-123.
- Chen, J., Jonsson P., Tamura M., Gu Z., Matsushita B., Eklundh L. (2004). A simple method for reconstructing a high-quality NDVI time-series data set based on the Savitzky–Golay filter. *Remote Sensing of Environment*, 91: pp. 332–344.
- Cheryl, A. (2000). Talking imperative for grieving farmers. *Drought Network News*, 12: pp. 12-14.
- Chiew, F.S.H., Kamaladasa N.N., Malano H.M. and McMahon T.A. (1995). Penman-Monthieth, FAO-24 reference crop evapotranspiration and class-A pan data in Australia. *Agricultural Water Management*, 28: pp. 9-21.
- Chirkov, Y.I. (1979). Use of Agroclimatology in Crop Distribution. In: *Agrometeorology*. Seeman J., Chirkov Y.I., Lomas J. and Primault B. (eds.), Springer-Verlag, New York: pp. 317-320.
- Chladil, M.A. and Nunez M. (1995). Assessing grassland moisture and biomass in Tasmania – the application of remote sensing and empirical methods for a cloudy environment. *International Journal of Wildland Fire*, 5: pp. 165-171.

- Choudhury, B.J. and DiGigorolamo N.E. (1995). Quantifying the effect of emissivity on the relation between AVHRR split window temperature difference and atmospheric precipitable water over land surface. *Remote Sensing of Environment*, 54: pp. 313-323.
- Clevers, J.G.P.W. (1988). The application of a weighted infrared-red vegetation index for estimating leaf area index by correcting for soil moisture. *Remote Sensing of Environment*, 29: pp. 25-37.
- Correia, C.M., Coutinho J.F., Bjorn L.O. and Torres - Pereira J.M.G. (2000). Ultraviolet-B radiation and nitrogen effects on growth and yield of maize under Mediterranean field conditions. *European Journal of Agronomy*, 12: pp. 17-125.
- Culf, A.D. and Gash J.H. (1993). Longwave radiation from clear skies in Niger. A comparison of observations with simple formulas. *Journal of Applied Meteorology*, 32: pp. 539-547.
- Dabrowska-Zielinska, K., Kogan F.N., Ciolkosz A., Gruszczynska M. and Kowalik W. (2002). Modelling of crop growth conditions and crop production in Poland using AVHRR-based indices. *International Journal of Remote Sensing*, 23: pp. 1109-1123.
- Dalezios, N.R. and Zarpas C.D. (1995). Monitoring major crops in Greece by using NDVI and meteorological indices. *Proceedings of COST 77 European Workshop on Remote Sensing in Agrometeorology*, 19-21 September, Budapest, Hungary: pp. 233-242.
- Dalezios, N.R. and Zarpas C.D. (1996). The role of NDVI and meteorological indices in the phenology of cotton, vineyards and apples in Greece. *International Symposium on Applied Agrometeorology and Agroclimatology*, Dalezios N.R. (ed.), 24-26 April, Volos, Greece: pp. 185-190.
- Dalezios, N.R., Domenikiotis C., Loukas A., Tzortzios S.T. and Kalaitzidis C. (2000). Cotton Yield Estimation Based on NOAA/AVHRR Produced NDVI. *XXV General Assembly of the European Geophysical Society*, 25-29 April, Geophysical Research Abstracts, Nice, France: pp. 1197.
- Dalezios, N.R., Domenikiotis C., Loukas A., Tzortzios S.T., Kalaitzidis C. (2001). Cotton Yield Estimation Based on NOAA/AVHRR Produced NDVI. *Physics and Chemistry of the Earth-Part B*, 26: pp. 567-571.

- Dalezios, N.R., Loukas A. and Bampzelis D. (2002). Assessment of NDVI and agrometeorological indices for major crops in central Greece. *Physics and Chemistry of the Earth*, 27: pp. 1025-1029.
- Dalezios, N.R., Papazafiriou Z.G., Papamichail D.M. and Karacostas T.S. (1991). Drought Assessment for the Potential of Precipitation Enhancement in Northern Greece. *Theoretical and Applied Climatology*, 44: pp. 75-88.
- Decker, W.L. (1994). Developments in agricultural meteorology as a guide to its potential for the twenty-first century. *Agricultural and Forest Meteorology*, 69: pp. 9-25.
- Dedieu, G. and Chekalyuk A. (1995). Conclusions topic 5-data integration. *Proceedings of the International Colloquium on Photosynthesis and Remote Sensing*. Guyot G. (ed.), 28-30 August, Montpellier, France: pp. 497-498.
- Dedieu, G., Deschamps P.Y. and Kerr Y. (1987). Satellite estimation of solar irradiance at the surface of the Earth and the surface albedo using a physical model applied to Meteosat data. *Journal of Applied Meteorology*, 26: pp. 79-87.
- Deering, D.W. (1989). Field measurements of bidirectional reflectance. In: *Theory and Application of Optical Remote Sensing*. Asrar G. (ed.), John Wiley, New York: pp. 14-65.
- Di Bella, C.M., Rebella C.M. and Paruelo J.M. (2000). Evapotranspiration estimates using NOAA A VHRR imagery in the Pampa region of Argentina. *International Journal of Remote Sensing*, 21: pp. 791-797.
- Domenikiotis, C., Spiliotopoulos M., Tsiros E. and Dalezios N.R. (2002). Application of NOAA/AVHRR VCI for drought monitoring in Thessaly. 6th International Conference of Protection and Restoration of the Environment, Skiathos, Greece: pp. 1663-1670.
- Domenikiotis, C., Spiliotopoulos M., Tsiros E. and Dalezios N.R. (2004a). 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: pp. 2807-2819.
- Domenikiotis, C., Spiliotopoulos M., Tsiros E. and Dalezios N.R. (2004b). 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: pp. 5373-5388.
- Domenikiotis, C., Spiliotopoulos M., Tsiros E. and Dalezios N.R. (2005). Remotely Sensed Estimation of Annual Cotton Production Under Different Environmental Conditions in Central Greece. *Physics and Chemistry of the Earth*, 30: pp. 45-52.
- Domenikiotis, C., Tsiros E., Spiliotopoulos M. and Dalezios N.R. (2006). 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.
- Doorenbos, J. and Kassam A.H. (1986). Yield response to water. *FAO Irrigation and Drainage*, Rome: Paper No. 33.
- Doorenbos, J. and Pruitt W.O. (1977). *Guidelines for Predicting Crop Water Requirements*. FAO Inigation and Drainage, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome: Paper No. 24.
- Draper, N.R. and Smith H. (1981). *Applied Regression Analysis*. 2nd ed., John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Edwards, G.E., Ku S.B. and Foster J.G. (1983). Physiological constraints to maximum yield potential. In: *Challenging problems in plant health*. Kommedahl T. and Williams P.H. (eds.), American Phytopathology Society, St. Paul, Minnesota: pp. 105-119.
- Evans, L.T. (1973). The effect of light on plant growth, development and yield. In: *Plant Response to Climatic Factors*. Slatyer R.O. (ed.), Proceedings of the Uppsala Symposium, UNESCO, Paris: pp. 21-31.
- Eymard, L. and Taconet O. (1995). The methods for inferring surface fluxes from satellite data, and their use for atmosphere model validation. *International Journal of Remote Sensing*, 16: pp. 1907-1930.
- Fageria, N.K., Baligar V.C., Jones C.A. (1997). *Growth and Mineral Nutrition of Field Crops*. Marcel Dekker Inc., New York: pp. 624.
- FEWS Bulletin (1996). United States Agency for International Development (USAID). <http://www.info.usaid.gov/fews/fews.html>
- Fisher, R.A. (1948). *Statistical methods for research workers*. London.
- Fleming, J. (1996). *Historical Essays in Meteorology-1919-1995*. Boston, MA: American Meteorological Society.

- Food and Agriculture Organization (FAO). (1993). AGROSTAT. PC, Computerized information Series. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (1994). Water for Life. World Food Day 1994, Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Gibbs, W.J. and Maher J.V. (1967). Rainfall Deciles As Drought Indicators. Bureau of Meteorology Bulletin, Commonwealth of Australia, Melbourne: Paper No. 48.
- Gitelson, A., Kogan F.N., Spivak L., Zakarin E. and Lebed L. (1996). Estimation of seasonal dynamics of pasture and crop productivity in Kazkhashan using NOAA/AVHRR data. Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Picataway, NJ, USA, 1: pp. 209-211.
- Gommes, R. and Petrassi F. (1994). Rainfall Variability and Drought in Sub-Saharan Africa Since 1960. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome: Agrometeorology Series Working Paper No. 9.
- Gommes, R., Bernardi M., Nachtergaele F. and Grieser J. (2005). Why we need a new climate classification for agriculture (CCA). Invited presentation in: Workshop on climatic analysis and mapping for agriculture, 14-17 June, Bologna, Italy.
- Gorte, B.G.H. (2000). Land-use and catchment characteristics. In: *Remote Sensing in Hydrology and Water Management*. Schultz G.A. and Engman E.T. (eds.), Springer, Berlin: pp. 133-156.
- Goward, S.N., Markham B., Dye D.G., Dulaney W. and Yang J. (1991). Normalised Difference Vegetation Index Measurements from the Advanced Very High Resolution Radiometer. *Remote Sensing of Environment*, 35: pp. 257-277.
- Groten, S.M.E. (1993). NDVI crop monitoring and early production assessment of Burkina Faso. *International Journal of Remote Sensing*, 14: pp. 495-515.
- Hall, A.E. (2001). *Crop Responses to Environment*. CRC Press LLC. New York: 232p.
- Hargreaves, G.H. and Samani Z.A. (1985). Reference crop evapotranspiration from temperature. *Journal of Applied Engineering in Agriculture I*: pp. 96-99.
- Harrison, B.A. and Jupp D.L.B. (1989). *Introduction to remotely sensed data*. CSIRO Publications, Melbourne, Australia.

- Hayes, M.J. and Decker W.L. (1996). Using NOAA AVHRR data to estimate maize production in the United States Corn Belt. *International Journal of Remote Sensing*, 17: pp. 3189-3200.
- Helms, T.e., Deckard E.L. and Gregoire P.A. (1997). Corn, sunflower and soybean emergence influenced by soil temperature and soil water content. *Agronomy Journal*, 89: pp. 59-63.
- Hobbs, T.J. (1997). Atmospheric correction of NOAA-11 NDVI data in the arid rangelands of Central Australia. *International Journal of Remote Sensing*, 18: pp. 1051-1058.
- Hoffman, G.J. (1981). Alleviating salinity stress. In: *Modifying the root environment to reduce crop stress*. Arkin G.F. and Taylor H.M. (eds.), Monogr. 4, American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan: pp. 305-343.
- Holden, N.M. and Brereton A.J. (2004). Definition of agroclimatic regions in Ireland using hydro-thermal and crop yield data. *Agricultural and Forest Meteorology*, 122: pp. 175-191.
- Hopkins, J.W. (1968). Correlation of air temperature normals for the Canadian Great Plains with latitude, longitude and altitude. *Canadian Journal of Earth Science*, 5: pp. 199-210.
- Hotteling, H. (1933). Analysis of a Complex of Statistical Variables into Principal Components. *Journal of Educational Psychology*, 24: pp. 417-441, 498-520.
- Hudson, J.P. (1968). Some outstanding agrometeorological problems: a summary. *Agrometeorological Methods*, UNESCO, Paris: pp. 355-357.
- Hurtado, E. and Sobrino J.A. (2001). Daily net radiation estimated from air temperature and NOAA-AVHRR data: a case study for the Iberian Peninsula. *International Journal of Remote Sensing*, 22: pp. 1521-1533.
- Hurtado, E., Artigao M.M. and Caselles V. (1994). Estimating maize evapotranspiration from NOAA-AVHRR thermal data in the Albacete area, Spain. *International Journal of Remote Sensing*, 15: pp. 2023-2037.
- Idso, S.B., Jackson R.D., Pinter P.J. Jr, Reginato R.J. and Hatfield J.L. (1981). Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. *Agricultural Meteorology*, 24: pp. 45-55.

- Illera, P., Fernandez A. and Delgado J.A. (1996). Temporal evolution of the NDVI as an indicator of forest fire danger. *Agricultural and Forest Meteorology*, 17: pp. 1093-1105.
- Iqbal, M. (1986). *An Introduction to Solar Radiation*. Academic Press, New York: 390 p.
- ISPRA (2006). *European Monthly Precipitation and Temperature Database (1975-2006)*, Joint Research Center of E.C., Varese, Italy.
- Jackson, J. (1991). *A User's Guide to Principal Components*. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Jackson, R.D., Hatfield J.L., Reginato R.J., Idso S.B. and Pinter P.J. Jr. (1983). Estimation of daily evapotranspiration from one time-of-day measurements. *Agricultural Water Management*, 7: pp. 351-362.
- Jackson, R.D., Idso S.B., Reginato R.J. and Pinter P.J. Jr. (1981). Canopy temperature as a crop water stress indicator. *Water Resources Research*, 17: pp. 1133-1138.
- Jain, A.K., Murty M.N. and Flynn P.J. (1999). Data Clustering: A review, *ACM Computing Surveys*, 31: pp. 264-323.
- Jamieson, G.J. (1986). *Frost-Management in horticulture*. Farm note. Brisbane, Australia: Queensland Department of Primary Industries.
- Jensen, M.E., Burman, R.D. and Allen R.G. (1990). *Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements*. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice, No. 70, American Society of Civil Engineers, New York.
- Jin, X., Zhu J. and Zeiger E. (2001). The hypocotyl chloroplast plays a role in phototropic bending of Arabidopsis seedlings: Developmental and genetic evidence. *Journal of Experimental Botany*, 52: pp. 91-97.
- Johnson, G. E., Achutuni V.R., Thiruvengadachari S. and Kogan F.N. (1993). The role of NOAA satellite data in drought early warning and monitoring selected case studies. In: *Drought Assessment, Management and Planning Theory and Case Studies*. Kluwer Academic, Boston: pp. 31-49.
- Jupp, D.L.B., Tian G., McVicar T.R., Qin Y. and Li F. (1998). *Monitoring Soil Moisture and Drought Using AVHRR Satellite Data I: Theory*. CSIRO Earth Observation Centre Technical Report, 98.1, Canberra, ACT.
- Kanellou E., Tsiros E., Domenikiotis C., Dalezios N.R., Tzortzios S. (2008). 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.
- Kanellou, E., Domenikiotis C. and Dalezios N.R. (2006). Spatially Distributed Potential Evapotranspiration based on NOAA/ AVHRR Satellite Data and GIS. International Conference on: Information Systems in Sustainable Agriculture, Agroenvironment and Food Technology, 20-23 September 2006, Volos, Greece: pp. 831-838.
- Kanellou, E., Domenikiotis C., Tsiros E. and N.R. Dalezios (2009). Satellite-based Drought Estimation in Thessaly. European Water Association Journal: pp. 111-122.
- Karl, T.R. and Knight R.W. (1985). Atlas of Monthly Palmer Hydrological Drought Indices (1931-1983) for the Contiguous United States. Historical Climatology Series 3-7. Asheville, NC: National Climatic Data Center.
- Karsten, U., Bischof K., Hanelt D., Tug H. and Wiencke C. (1999). The effect of ultraviolet radiation on photosynthesis and ultraviolet-absorbing substances in the endemic arctic macroalga *Devaleraea ramentacea* (Rhodophyta). *Physiologia Plantarum*, 105: pp. 58-66.
- Kashyap, P.S. and Panda R.K. (2001). Evaluation of evapotranspiration estimation methods and development of crop-coefficients for potato crop in a sub-humid region. *Agricultural Water Management*, 50: pp. 2-25.
- Keyantash, J. and Dracup J. (2002). The Quantification of Drought: An Evaluation of Drought Indices. *Bulletin of the American Meteorological Society*, August: pp. 1167-1180.
- Kogan, F.N. (1990). Remote sensing of weather impacts on vegetation in non-homogenous areas. *International Journal of Remote Sensing*, 11: pp. 1405-1419.
- Kogan, F. N. (1995a). Droughts of the late 1980's in the United States as derived from NOAA polar orbiting satellite data. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 76: pp. 655-668.
- Kogan, F. N. (1995b). AVHRR data for detection and analysis of vegetation stress. *Proceedings of the 1995 Meteorological Satellite Data Users Conference*, 4-8 September, Winchester, UK: pp. 155-162.
- Kogan, F. N. (1995c). Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. *Advances in Space Research*, 15: pp. 91-100.

- Kogan, F. N. (1997). Global drought watch from space. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78: pp. 621-636.
- Kogan, F.N. (2001). Operational space technology for global vegetation assessment. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 82: pp. 1949-1964.
- Kogan, F.N. (2002). World droughts in the new millennium from AVHRR-based Vegetation Health Indices. *EOS Transaction, American Geophysics Union*, 83: pp. 562-563.
- Kogan, F.N. and Sullivan J. (1993). Development of Global Drought-watch System Using NOAA/AVHRR Data. *Advances in Space Research*, 15: pp. 91-100.
- Koller, D., Ritter S. and Heller E. (2001). Light-driven movements of the primary leaves of bean (*Phaseolus vulgaris* L.): A kinetic analysis. *Israel Journal of Plant Sciences*, 49: pp. 1-7.
- Koocheki, A., Nasiri M., Kamali G.A. and Shahandeh H. (2006). Potential impacts of climate change on agroclimatic indicators in Iran. *Arid Land Research and Management*, 20: pp. 245-259.
- Kumar, P.V., Ramakrishna Y.S., Ramana Rao B.V., Victor U.S., Srivastava N.N. and Subba Rao A.V.M. (1997). Influence of moisture, thermal and photoperiodic regimes on the productivity of castor beans (*Ricinus communis* L.). *Agricultural and Forest Meteorology*, 88: pp. 279-289.
- Kwon, Y.W., Kim S.D. and Park S.W. (1996). Effect of soil temperature on the emergence speed of rice and barnyard grasses under dry direct-seeding conditions. *Korean Journal of Weed Science*, 16: pp. 81-87.
- Labus, M.P., Nielsen G.A., Lawrence R.L., Engel R. and Long D.S. (2002). Wheat production estimates using multi-temporal NDVI satellite imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 23: pp. 4169-4180.
- Landsberg, H.E. (1968). A comment on land utilization with reference to weather factors. *Agricultural Meteorology*, 5: pp. 135-137.
- Le Houerou, H.N., Popov G.F. and See L. (1993). *Agro-Bioclimatic Classification of Africa*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome: Agrometeorology Series, Working Paper No. 6.
- Liakatas, A., Roussopoulos D. and Whittington W.J. (1998). Controlled-temperature effects on cotton yield and fiber properties. *Journal of Agricultural Science*, 130: pp. 463-471.

- Liu, W.T. and Kogan F.N. (1996). Monitoring regional drought using the vegetation condition index. *International Journal of Remote Sensing*, 17: pp. 2761-2782.
- Lomas J., Shashoua Y. and Cohen A. (1969). Mobile Surveys in agrotopoclimatology. *Meteor, Rundschau*, 22: pp. 96-101.
- Loomis, R.S. and Williams W.A. (1963). Maximum crop productivity: An estimate. *Crop Science*, 3: pp. 67-72.
- Loukas, A., Vasiliadis L., Domenikiotis C. and Dalezios N.R. (2005). Basin-wide Actual Evapotranspiration Estimation Using NOAA/AVHRR Satellite Data. *Physics and Chemistry of the Earth*, 30: pp. 69-79.
- Low, A. J. (1979). Soil Structure. In: *The encyclopedia of soil science*. Fairbridge R.W. and Finkl C.W. Jr. (eds.), Part 1, Dowden, Hutchinson and Ross, Stroudsburg, Pennsylvania: pp. 508-514.
- Luvall, J.C. and Holbo H.R. (1989). Measurement of short-term thermal responses of coniferous forest canopies using thermal scanner data. *Remote Sensing of Environment*, 27: pp. 1-10.
- Lyon, J.G., Ding Y., Lunetta R.S. and Elvidge C.D. (1998). A change detection experiment using vegetation indices. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 64: pp. 143-150.
- Malo, A.D. and Nicholson S.E. (1990). A study of rainfall and vegetation dynamics in the African Sahel using normalized difference vegetation index. *Journal of Arid Environments*, 19: pp. 1-24.
- Masseli, F., Conese C., Petkov L. and Gilabert M. (1992). Use of NOAA-AVHRR NDVI data for environmental monitoring and crop forecasting in the Sahel. Preliminary results. *International Journal of Remote Sensing*, 13: pp. 2743-2749.
- Mavi H.S. and Tupper G.J. (2004). *Agrometeorology: Principles and applications of climate studies in agriculture*. Food Product Press, Haworth Press Inc., New York: 364 p.
- Mavi, H.S. (1994). *Introduction to Agrometeorology*. New Delhi: Oxford & IBH.
- McCracken, R. J. (1987). Soils, soil scientists, and civilization. *Soil Science Society American Journal*, 51: pp. 1395-1400.
- McKee, T.B., Doesken N.J. and Kleist J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. Pre-prints, 8th Conference on Applied

- Climatology, 17-22 January, Anaheim, CA, American Meteorological Society: pp. 179-184.
- McKee, T.B., Doesken N.J. and Kleist J. (1995). Drought monitoring with multiple time scales. Pre-prints, 9th Conference on Applied Climatology, 15-20 January, Dallas, TX, American Meteorological Society: pp. 233-236.
- McKenny, M.S. and Rosenberg N.J. (1993). Sensitivity of some potential evapotranspiration methods to climate change. *Agricultural and Forest Meteorology*, 64: pp. 81-110.
- McMaster, G.S. and Wilhelm W.W. (1997). Growing degree-days: One equation, two interpretations. *Agricultural and Forest Meteorology*, 87: pp. 291-300.
- McVicar, T.R. and Jupp D.L.B. (1998). The Current and Potential Operational Uses of Remote Sensing to Aid Decisions on Drought Exceptional Circumstances in Australia: a Review. *Agricultural Systems*, 57: pp. 399-468.
- McVicar, T.R., Jupp D.L.B., Yang X. and TianG. (1992). Linking regional water balance models with remote sensing. In *Proceedings of the 13th Asian Conference on Remote Sensing*, 7-11 October, Ulaanbaatar, Mongolia: pp. B.6.1.-B.6.6.
- Meyer, W.S., Smith D. and Shell H. (1995). Estimating Reference Crop Evaporation and Crop Evapotranspiration from Weather Data and Crop Coefficients. Technical Memo. Griffith, Australia: Division of Water Resources, CSIRO.
- Meyer-Roux, J. and King C. (1992). Agriculture and Forestry. *International Journal of Remote Sensing*, 13: pp. 1329-1341.
- Migdakos, E. and Gemtos T. (1998). Relationship between Growing Degree Days and phenological stages of cotton growth in Greece - A case study of Karditsa Prefecture. *Proceedings of International Symposium on Applied Agrometeorology and Agroclimatology*, N.R. Dalezios (ed.), 24-26 April, Volos, Greece: pp. 425-430.
- Molga, M. (1962). *Agricultural Meteorology. Part II-Outline of Agrometeorological Problems*. Warsaw: Polish Academy of Sciences.
- Monteith, J.L. (2000). Agricultural meteorology: Evolution and application. *Agricultural and Forest Meteorology*, 103: pp. 5-9.
- Moran, M.S., Clarke T. R., Inoue Y. and Vidal A. (1994). Estimating crop water deficit using the relation between surface-air temperature and spectral vegetation index. *Remote Sensing Environment*, 49: pp. 246-263.

- Moran, M.S., Inoue Y. and Barnes E.M. (1997). Opportunities and limitations for image-based remote sensing in precision crop management. *Remote Sensing Environment*, 61: pp. 319-346.
- Mottram, R., DeJager J.M. and Duckworth J.R. (1983). Evaluation of a water stress index for maize production using an infra-red thermometer. *Crop production*, 12: pp. 26-28.
- Murty, V.V.N. and Takeuchi K. (1996). Assessment and mitigation of droughts in the Asia-Pacific region. In: *Land and Water Development for Agriculture in the Asia-Pacific Region*. Murty V.V.N. and Takeuchi K. (eds.), Barking, UK, Science Publishers Inc.: pp. 98-119.
- National Drought Mitigation Center (1996a). The devastation of drought. A Bulletin. Lincoln, NE: Author.
- National Drought Mitigation Center (1996b). What is Drought? A Bulletin. Lincoln, NE: Author.
- National Drought Mitigation Center (1996c). Why drought has been hard to prepare for. A Bulletin. Lincoln, NE: Author.
- Nishiyama, I. (1976). Effect of temperature on the vegetative growth of rice plants. International Rice Research Institute, Proceedings of the Symposium on the Agrometeorology of the rice crop: pp. 47-55.
- Nykiforuk, C.L. and Flanagan I.A. (1998). Low temperature emergence in crop plants: Biochemical and molecular aspects of germination and early seedling growth. *Journal of Crop Production*, 1: pp. 249-289.
- Oosterhuis, D.M. (1997). Effect of temperature extremes on cotton yields in Arkansas. Proceedings of the 1997 Cotton Research Meeting and 1997 Summaries of Cotton Research in Progress. Oosterhuis D.M. and Stewart J.M. (eds.), Fayetteville, Arkansas, Arkansas Agricultural Experiment Station: pp. 94-98.
- Orlanski, I. (1975). A rational subdivision of scales fro atmospheric processes. *Bull. Am.Meteor.Soc.*, 56: pp. 527-530.
- Ortolani, A.A., Pinto H.S., Pereira A.R. and Alfonsi R.R. (1970). Parametros climaticos e a cafeicultura. Instituto Brasileiro do Cafe, pp. 27.
- Palmer, W.C. (1965). Meteorological Drought. Washington, DC: U.S., Weather Bureau, Department of Commerce: Research Paper No. 45.

- Papadakis, J. (1966). *Climates of the world and their agricultural potentialities*, Buenos Aires, Argentina: 174 p.
- Pereira, A.B., Villa Nova N.A. and Galvani E. (2003). Estimation of Global Solar Radiation Flux Density in Brazil from a Single Measurement at Solar Noon. *Biosystems Engineering*, 86: pp. 27-34.
- Pereira, A.R. (1982). Crop planning for different environments. *Agricultural Meteorology*, 27: pp. 71-77.
- Pereira, J.M.C., Oliveira T.M. and Paul J.P.C. (1994). Fuel mapping in a Mediterranean shrubland using Landsat Tm imagery. *Proceedings of International Workshop on Satellite technology and GIS for Mediterranean forest mapping and fire management*, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg: pp. 97-106.
- Perry, K.B., Wu Y., Sanders D.C., Garrett J.T., Decoteau D.R, Nagatta R.T., Dufault R.J., Batal K.D., Granberry, D.M. and Mclaurin W.J. (1997). Heat units to predict tomato harvest in the southeast USA. *Agricultural and Forest Meteorology*, pp. 84: 249-254.
- Pinter, P.J., Stanghellini M.E., Reginato R.J., Idso S.D., Jenkins A.D. and Jackson R.D. (1979). Remote detection of biological stresses in plants with infrared thermometry. *Science*, 205: pp. 585-587.
- Pinty, B. and Ramond D. (1987). A method for the estimation of broadband directional surface albedo from a deostationary satellite. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 26: pp. 1709-1722.
- Popov, A.M. (1975). Modelling of the planetary boundary layer of the atmosphere in the roughness layer. *Atmospheric and Ocean Physics*, 11: pp. 354-358.
- Porter, J. and Gawith M. (2000). Temperature and the growth and development of wheat: A review. *European Journal of Agronomy*, 10: pp. 23-36.
- Porter, J.H., Parry M.L. and Carter T.R. (1991). The potential effects of climatic change on agricultural insect pests. *Agricultural and Forest Meteorology*, 57: pp. 221-241.
- Prata, A.J. (1994). Land Surface temperature. *AVHRR Workshop Proceedings*. Prata A.J. (ed.). CSIRO Division of Atmospheric Research, 28 February, Melbourne, Australia: pp. 67-68.

- Prata, A.J., Caselles V., Coll C., Otle C. and Sobrino J. (1995). Thermal remote sensing of land surface temperature from satellites: current status and future prospects. *Remote Sensing Reviews*, 12: pp. 175-224.
- Predieri, S. and Gatti E. (2000). Effects of gamma radiation on microcuttings of plum (*Pnms salicina*). *Advances in Horticultural Science*, 14: pp. 7-11.
- Primault, B. and Chirkov Y.I. (1979). Usefulness of Agroclimatology in Planning. In: *Agrometeorology*. Seeman J., Chirkov Y.I., Lomas J. and Primault B. (eds.), Springer-Verlag, New York: pp. 317-320.
- Quarmby, N.A., Milnes M., Hindle T.L. and Silleos N. (1993). The use of multitemporal NDVI measurements from AVHRR data for crop yield estimation and prediction. *International Journal of Remote Sensing*, 14: pp. 199-210.
- Rasmussen, M.S. (1997). Operational yield forecast using AVHRR NDVI data: reduction of environmental and inter-annual variability. *International Journal of Remote Sensing*, 18: pp. 1059-1077.
- Rassow, W.B. (1989). Measuring cloud properties from space: a review. *Journal of Climate*, 2: pp. 201-213.
- Ray, T.W. (1994). A FAQ on vegetation in remote sensing. Division of Geological and Planetary Sciences, California Institute of Technology, <ftp://kepler.gps.caltech.edu/pub/terrill/rsvegfaq.txt>
- Reddy, S.J. (1983a). Agroclimatic classification of the semi-arid tropics I. A method for the computation of classificatory variables. *Agricultural Meteorology*, 30: pp. 185-200.
- Reddy, S.J. (1983b). Agroclimatic classification of the semi-arid tropics II. Identification of classificatory variables, *Agricultural Meteorology*, 30: pp. 201-219.
- Reddy, S.J. (1984a). Agroclimatic classification of the semi-arid tropics III. Characterisits of variables relevant to crop production potential, *Agricultural Meteorology*, 30, pp. 269-292.
- Reddy, S.J. (1984b). Agroclimatic classification of the semi-arid tropics IV. Classification of India, Senegal and Upper Volta. *Agricultural Meteorology*, 30: pp. 293-325.
- Richardson, A. and Everitt J. (1992). Using spectral vegetation indices to estimate rangeland productivity. *Geocarto International*, 1: pp. 73-77.

- Ripley, B.D. (1996). *Pattern recognition and neural networks*. Cambridge University Press.
- Robertson, G.W. (1973). Development of simplified agroclimatological procedures for assessing temperature effects on crop development. *Plant Response to Climatic Factors, Proceedings Upps-ala Symposium, UNESCO, Paris*: pp. 574.
- Rodriguez, L.A., Orozco V., Velasco E., Medina R., Verdecia J. and Fonseca I. (1999). Optimum levels of solar radiation and their relation to vegetative growth, leaf development and yield of coffee (*Coffea arabiccl L.*). *Cultivos Tropicales*, 20: pp. 45-49.
- Rogers, W.J. (1970). *Frost and the Prevention of Frost Damage*. Washington, DC: U.S., Government Printing Office.
- Roltsch, W.J., Zalom F.G., Strawn A.J., Strand J.F. and Pitcairn M.J. (1999). Evaluation of several degree-day methods in California climates. *International Journal of Biometeorology*, 42: pp. 169-176.
- Roundy, B.A. and Biedenbender S.H. (1996). Germination of warm-season grasses under constant and dynamic temperatures. *Journal of Range Management*, 49: pp. 425-431.
- Roussopoulos, D., Liakatas A., Whittington W.J. (1998). Controlled-temperature effects on cotton growth. *Journal of Agricultural Science*, 130: pp. 451-462.
- Russell, E.W. (1973). *Soil conditions and plant growth*, 10th ed. Longman, London.
- Russell, M.J., Nunez M., Chladil M.A., Valiente J.A. and Lopez Baeza E. (1997). Conversion of nadir, narrowband reflectance in red and near-infrared channels to hemispherical surface albedo. *Remote Sensing of Environment*, 61: pp.16-23.
- Sabins, F.F. (1997). *Remote Sensing: Principles and Interpretations*. 3rd ed., W.H. Freeman and Company, New York.
- Salisbury F.B. and Ross C.W. (1985). Photosynthesis: Environmental and agricultural aspects. In: *Plant physiology*, 3rd ed., Wadsworth, Belmont, California: pp. 216-228.
- Salisbury, F.B. (1981). Responses to photoperiod. In: *Physiological Plant Ecology. I. Response to Physical Environment*. Lange O.L. (ed.), Springer-Verlag, Berlin: pp. 135-168.

- Samarasinghe, G.B. (2003). Growth and productions of Sri Lanka's major crops interpreted from public domain satellites. *Agricultural Water Management*, 58: pp. 145-157.
- Saunders, R.W. (1990). The determination of broad band surface albedo from AVHRR visible and near-infrared radiances. *International Journal of Remote Sensing*, 11: pp. 49-67.
- Schultz, P.A. and Halper M.S. (1993). Global correlation of temperature, NDVI and precipitation. *Advances in Space Research*, 13: pp. 277-280.
- Scriber, J.M. and Hainzee J.H. (1987). Geographic invasion and abundance as facilitated by differential host plant utilization abilities. In: *Insect Outbreaks*. Barbosa P. and Schultz J.C. (eds.), Academic Press, San Diego, California: pp. 469-504.
- Seemann, J. (1979). Agrometeorological Statistics and Models. In: *Agrometeorology*. Seeman J., Chirkov Y.I., Lomas J. and Primault B. (eds.), Springer-Verlag, New York: pp. 115-124.
- Seguin, B. and Itier B. (1983). Using midday surface temperature to estimate daily evaporation from satellite thermal IR data. *International Journal of Remote Sensing*, 4: 371-383.
- Sellers, P.J. (1985). Canopy reflectance, photosynthesis and transpiration. *International Journal of Remote Sensing*, 6: pp. 1335-1372.
- Sharp, J.L. and Polavarapu P. (1999). Gamma doses radiation for preventing pupariation and adult emergence of *Rhagoletis mendax* (Diptera: Tephritidae). *Canadian Entomologist*, 131: 549-555.
- Shen, S.S.P., Yin H., Cannon K., Howard A., Chetner S. and Karl T.R. (2005). Temporal and spatial changes of the agroclimate in Alberta, Canada, from 1901 to 2002. *Journal of Applied Meteorology*, 44: pp. 1090-1105.
- Singh, D., Singh S. and Rao V.U.M. (1998). Effect of soil temperature on seedling survival in Brassica spp. in different environments. *Annals of Biology*, 14: pp. 87-90.
- Sivakumar, M.V.K. (1991). Drought Spells and Drought Frequencies in West Africa. International Crops Research Institute for the semi-arid tropics, Patancheru, India: ICRISAT Research Bulletin No.13.
- Skorska, E. (2000). The effect of ultraviolet-B radiation on triticale plants. *Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis, Agricultura*, 82: pp. 249-254.

- Smith, F.B., Carson D.J. and Oliver H.R. (1972). Mean wind-direction shear through a forest canopy. *Boundary-Layer Meteorology*, 3: pp. 178-190.
- Smith, L.P. (1970). Aims and extent of agricultural meteorology. *Agricultural Meteorology*, 7: pp. 193-196.
- Smith, M. (2000). The application of climatic data for planning and management of sustainable rainfed and irrigated crop production. *Agricultural and Forest Meteorology*, 103: pp. 99-108.
- Smith, R.B. (2002). *Introduction to Remote Sensing of Environment (RSE) with TNT mips® TNT view®*. Lincoln, NE: Microimages Inc.
- Smith, R.C.G., Adams J., Stephens D.J. and Hock P.T. (1995). Forecasting wheat yield in a Mediterranean-type environment from the NOAA satellite. *Australian Journal of Agricultural Research*, 46: pp. 113-125.
- SPSS (1999). *SPSS Base 10.0 User's Guide*. Chicago: SPSS Inc.
- Srinivasan, A. (2006). *Precision Agriculture: An Overview*. In: *Handbook of Precision Agriculture: Principles and Applications*. Ancha Srinivasan (ed.), 683p, Food Products Press, New York: pp. 3-18.
- Stehlik, D., Gray I. and Lawrence G. (1999). Drought in the 1990s. Australian Farm Families Experience, Rural Industries Research and Development Corporation, Canberra, Australia: RIRDC Publication No. 99/14.
- Stone, P.J., Sorensen L.B. and Jamieson P.D. (1999). Effect of soil temperature on phenology, canopy development, biomass and yield of maize in a cool-temperature climate. *Field Crops Research*, 63: pp. 169-178.
- Stone-Evans, E.L., Luesse D.R. and Liscum E. (2001). The enhancement of phototropin-induced phototropic curvature in Arabidopsis occurs via a photoreversible phytochrome A-dependent modulation of auxin responsiveness. *Plant Physiology*, 126: pp. 826-834.
- Subbiah, A.R. (1995). Indian drought management from vulnerability to resilience. In: *Drought Assessment, Management and Planning Theory and Case*. Wilhite D.A. (ed.), Kluwer Academic, Boston: pp.157-181.
- Swindbank, W.C. (1963). Longwave radiation from clear skies. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 89: pp. 339-348.
- Takaichi, M., Shimaji H., Higashide T. and Bodson M. (2000). Effect of red/farred photon flux ratio of solar radiation on growth of fruit vegetable seedlings. *Proceedings of the XXV International Horticultural Congress*. Verhoyen

- M.N.J. (ed.), Part 4, Culture Techniques with Special Emphasis on Environmental Implications: Chemical, Physical and Biological Means of Regulating Crop Growth in Vegetables and Fruits, Brussels, Belgium, 2-7 August, 1998, *Acta Horticulturae*, 514: pp. 147-156.
- Tarpley, J.D. (1979). Estimating incident solar radiation at the Earth surface from geostationary satellite data. *Journal of Applied Meteorology*, 18: pp. 1172-1181.
- Thiruvengadachari, S. and Gopalkrishna H.R (1993). An integrated PC environment for assessment of drought. *International Journal of Remote Sensing*, 14: pp. 3201-3208.
- Thomas, A. (1992). Agricultural water balance of Yunnan Province. Agroclimatic zoning with a Geographical Information System. *Agricultural Water Management*, 21: pp. 249-263.
- Thorntwaite, C.W. (1948). An approach toward rational classification of climate. *Geographical Review*, 38: pp. 55-94.
- Thorntwaite, C.W. (1954). Topoclimatology. *Proceedings of the Toronto Meteorological Conference 1953*, Royal Meteorological Society, London: pp. 227-232.
- Tian, G. (1989). Spectral signatures and Vegetation Indices of Crops. CSIRO Division of Water resources, Divisional Report, 89/4: Canberra, ACT.
- Tian, G., Li F., Sui H. and Zheng K. (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*, 23-29 November, Kuala Lumpur, Malaysia: pp. A.I.8.1.-A.I..8.6.
- Townshend, J.R.G. and Justice C.O. (1986). Analysis of the dynamics of African vegetation using the Normalized Difference Vegetation Index. *International Journal of Remote Sensing*, 7: pp.1435-1446.
- Tsakiris, G., Pangalou D. and Vangelis H. (2007). Regional Drought Assessment Based on the Reconnaissance Drought Index (RDI). *Water Resources Management*, 21: pp. 821-833.
- Tsiros, E., Domenikiotis C., Dalezios N.R. (2009a). Sustainable production zoning for agroclimatic classification using GIS and remote sensing. *IDÓJÁRÁS*, 113: pp. 55–68.

- Tsiros, E., Domenikiotis C., Dalezios N.R. (2009b). Assessment of cotton phenological stages using agroclimatic indices: An innovative approach, *Italian Journal of Agrometeorology*, 14: pp. 50-55.
- Tsiros, E., Domenikiotis C., Kanellou E., Dalezios N.R., Tzortzios S. (2008). Identification of Water Limited Growth Environment Zones Using NOAA/AVHRR Data. 4th International Conference on Information and Communication Technologies in Bio and Earth Sciences HAICTA 2008, 18-20 September 2008, Athens, Greece: pp. 150-155.
- Tsiros, E., Domenikiotis C., Spiliotopoulos M. and Dalezios N.R. (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.
- Tucker, C.J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8: pp. 127-150.
- Tucker, C.J. and Choudhury B.J. (1987). Satellite remote sensing of drought conditions. *Remote Sensing of Environment*, 23: pp. 243-251.
- Tungalagsaikman, P. and Günther K.P. (2008). NOAA/AVHRR, Short-guide of data products in EOWEB.
(<http://eoweb.dlr.de:8080/short-guide/D-AVHRR.html>)
- UNESCO (1979). Map of the world distribution of arid regions: Explanatory Note. *Man and the Biosphere, Technical Notes 7*, Paris.
- Valiente, J.A., Nunez M., Lopez Baeza E. and Moreno J.F. (1995). Narrow-band to broad-band conversion for Meteosat-visible channel and broad-band albedo using both AVHRR-1 and -2 channels. *International Journal of Remote Sensing*, 16: pp. 1147-1166.
- Van de Griend, A.A. and Owe M. (1993). On the relationship between thermal emissivity and the Normalized Difference Vegetation Index. *International Journal of Remote Sensing*, 14: pp. 1119-1131.
- Van Dijk, A., Callis S.L. and Sakamoto C.M. (1987). Smoothing vegetation index profiles: An alternative method for reducing radiometric disturbance in NOAA/AVHRR data. *Journal of Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 63: pp. 1059-1067.

- Ventskevich, O.Z. (1961). Agrometeorology. Jerusalem: Israel Program for Scientific Translation.
- Vittum, M.T., Dethier B.E. and Lesser R.C. (1995). Estimating growing degree days. Proceedings of the American Society for Horticultural Science, 87: pp. 449-452.
- Vogt, J. (1994). The use of low resolution satellite data for crop state monitoring. Possibilities and limitations. Proceedings of Workshop for Central and Eastern Europe on Agrometeorological Models: Theory and Applications in the Mars Project, 21-25 November 1994 (Ispra: Italy): pp. 223-240.
- Vossen, P. (1994). An overview of methods for national crop yield forecasting. Proceedings of Workshop for Central and Eastern Europe on Agrometeorological Models: Theory and Applications in the Mars Project, 21-25 November 1994 (Ispra: Italy): pp. 13-19.
- White, D., Collins D. and Howden M. (1993). Drought in Australia, prediction, monitoring, management and policy. In: *Drought Assessment, Management and Planning Theory and Case*. Wilhite D.A. (ed.), Kluwer Academic, Boston: pp. 213-237.
- Wieringa, J. and Lomas J. (2000). Lecture notes for training agricultural meteorological personnel. 2nd ed., World Meteorological Organization, Preliminary release, WMO, No. 551: 265 p.
- Wilhite, D.A. (2005). Planning for drought: Moving from crisis response to Risk Management. Invited presentation at EWRA 2005, 6-10 September, Menton, France.
- Williams, G.D.V, McKenzm J.S. and Sheppard M.I. (1980). Mesoscale agroclimatic resource mapping by computer, an example for the Peace River region of Canada. *Agric Meteorol.*, 21: pp. 93-109.
- Williams, G.D.V. and Sharp W.R. (1972). Computer mapping in agrometeorology. Plant Research Institute, Canada, Technical Bulletin, 80: 40 p.
- Wilsie, C.P. (1966). *Cultivos: aclimatación y distribución*. Editorial Acribia, Zaragoza, España: 491 p.
- Woodruff, D., Douglas N. and French V. (1997). Frost Damage in Winter Crops. Information Series Q 987050. Queensland, Australia: Farming Systems Institute, Queensland Department of Primary Industries.

Zalom, F.G., Goodell P.B., Wilson L.T., Barnett W.W. and Bentley W.I. (1993). Degree-Day: The Calculation and Use of Heat Units in Pest Management. University of California, Division of Agricultural Sciences Leaflet 21373.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Γιάσογλου, Ν. (2004). Χάρτης εδαφικών ενώσεων της Ελλάδος. Εθνική Επιτροπή κατά της Ερημοποίησης, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Δαλέζιος, Ν.Ρ. (2002). *Περιβαλλοντική Τηλεπισκόπηση*. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 127 σελ.
- Δαλέζιος, Ν.Ρ. (2004). *Φυσικοί Περιβαλλοντικοί Κίνδυνοι*. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 247 σελ.
- Δανάλατος, Ν.Γ. (2003). *Διάβρωση Εδαφών*. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Δανάλατος, Ν.Γ. (2005). *Ειδική Γεωργία*. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Δανάλατος, Ν.Γ. (2007). *Εισαγωγή στην Προσομοίωση Δυναμικών Παραγωγής*. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Ε.Σ.Υ.Ε. (2008). Η Ελλάδα με αριθμούς. Διεύθυνση Στατιστικής Πληροφόρησης και Εκδόσεων: 30 σελ.
- Καρλής, Δ. (2005). *Πολυμεταβλητή Στατιστική Ανάλυση*. Εκδόσεις Σταμούλης.
- Κωτούλας, Δ. (2001). *Υδρολογία και υδραυλική του φυσικού περιβάλλοντος*. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Εκδόσεων.
- Μέρτικας, Σ.Π. (1999). *Τηλεπισκόπηση και Ψηφιακή ανάλυση εικόνας*. Εκδόσεις Ίων, Στέλλα Παρίκου και ΣΙΑ Ο.Ε.
- Παπαζαφειρίου, Ζ.Γ. (1999). *Οι ανάγκες σε νερό των καλλιεργειών*. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- Πέππας, Α. (2001). Προσομοίωση υδατικών πόρων και χρήσεων νερού στη Θεσσαλία. Πτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Σακκάς, Ι. (2004). *Τεχνική Υδρολογία Τόμος 1: Υδρολογία Επιφανειακών Υδάτων*. Εκδόσεις Αϊβαζή, Θεσσαλονίκη.

- Σιάρδος, Γ.Κ. (2004). *Μέθοδοι Πολυμεταβλητής Στατιστικής Ανάλυσης*. Εκδόσεις Ζήτη.
- Σπηλιωτόπουλος Μ. και Μιχαλοπούλου Χ. (2000). Συμβολή στη μελέτη της ξηρασίας στην ευρύτερη περιοχή του Αιγαίου πελάγους. Εργαστήριο Μετεωρολογίας, Τομέας Εφαρμογών Φυσικής, Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Σταματοπούλου, Ι. (1996). Η σημασία των αγρομετεωρολογικών δεικτών στην εξέλιξη της καλλιέργειας του αραβόσιτου. Πτυχιακή Διατριβή, Βόλος.
- Τζαμπύρας, Ι. (2005). Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην ένταση ξηρασίας στις λεκάνες απορροής του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας. Πτυχιακή Διατριβή Τμήμα Διαχείρισης Αγροτικού Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων (Π.Σ.Ε.), Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Τζανετοπούλου, Ι.Σ. (1998). Η σημασία των αγρομετεωρολογικών δεικτών στην εξέλιξη της καλλιέργειας του σιταριού. Πτυχιακή Διατριβή, Βόλος.
- Τζώρτζιος, Σ. (1999). *Εισαγωγή στη Στατιστική*. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Τζώρτζιος, Σ. (2000). *Βιομετρία με Χρήση Η/Υ*. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Τζώρτζιος, Σ. (2002). *Βασικά Στοιχεία Βελτιστοποίησης και Προγραμματισμού Έρευνας*. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Τσακίρης, Γ. (1995). *Υδατικοί πόροι: Ι Τεχνική Υδρολογία*. Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα: 675 σελ.
- Τσίρος, Ε. (2006). Ο δείκτης βλάστησης κανονικοποιημένης διαφοράς (NDVI) και άλλοι δείκτες στην παρακολούθηση της υδρολογικής ξηρασίας. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, 107 σελ.
- Φλόκας, Α.Α. (1997). *Μαθήματα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας*. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 465 σελ.
- Χρυσουλάκης, Ν. (2000). Ανάπτυξη προτύπου αλγορίθμου για την ανίχνευση και παρακολούθηση μετώπων φωτιάς και λοφίων που προκαλούνται από βιομηχανικά ατυχήματα, με χρήση δορυφορικής τηλεπισκόπησης. Διδακτωρική Διατριβή του Τμήματος Φυσικής, Πανεπιστήμιο Αθηνών.

EXTENDED ABSTRACT

Agriculture is a primary productivity sector which is highly dependent on environmental conditions. The climate is among the most important factors that determine the agricultural potentialities of a region and the suitability of a region for a specific crop, whereas the yield is determined by weather conditions. The agroclimatic conditions of agricultural areas have to be assessed in order to achieve sustainable and efficient use of natural resources in combination with production optimization. Thus, a quantitative understanding of the climate of a region is essential for developing improved farming systems.

This study aims to comprise an integrated methodology for identifying agroclimatic zones using remote sensing and Geographic Information System (GIS). Agroclimatic classifications are divided to general and crop specific. The first objective of this study is to define a general methodology (not crop specific) for identifying zones adequate for sustainable farming according to water limitations using GIS and remote sensing. As crop growth is affected by water supply, these zones are named Water Limited Growth Environment (WLGE) zones. The second objective is to identify sustainable production zones (general agroclimatic zones) in terms of water sufficiency, fertility (appropriate or not for agricultural use), desertification vulnerability and altitude restrictions. The third objective is to identify crop specific agroclimatic zones for cotton and wheat.

The innovation of the proposed methodology consists of the use of remote sensing data, the joint use of “solid” indices describing the moisture, thermal and radiation component, as well as the classification of areas escalating the suitability of agricultural activities. Lastly, the methodology is not crop specific and has the advantage of providing total spatial coverage of the area under investigation.

The study area is the water district of Thessaly, the largest lowland formation of Greece and the country’s largest agricultural centre, located in Central Greece. The data base consists of NOAA/AVHRR satellite data and conventional data for 20 hydrological years, from October 1981 to September 2001. In specific:

- Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), CH1 and CH2 Reflectance, CH4 and CH5 Brightness Temperature (BT) ten-day composite images (8x8 km² spatial resolution).

- Monthly rainfall maps with grid cell size 50x50 km², provided by ISPRA.
- Mean monthly air temperature measurements from Larissa meteorological station, provided by the National Meteorological Service (NMS).
- Soil map of the study area.

Temperature and rainfall, in terms of quantity and spatiotemporal variability, are variables which determine the type of crops suitable to a given location. Even though crop production depends on every environmental condition, almost all agroclimatic classifications take into account these variables. Except from temperature and rainfall, another important variable is solar radiation. Many methodologies have been developed in many countries analyzing the impact of solar radiation and day duration to crop production. These climatic variables in combination with soil type and geomorphology can determine areas where high levels of production are appropriate, avoiding the threat of degrading the natural resources. The proposed methodology comprises all the above mentioned variables and features and consists of the following steps:

1. Identification of WLGE zones (hydroclimatic zoning).
2. General agroclimatic zoning – Identification of sustainable production zones.
3. Crop specific agroclimatic zoning (cotton, wheat).
4. Validation of cotton and wheat agroclimatic zones using crop production estimation models.

The first step of the methodology is to identify zones adequate for sustainable farming according to water limitations. In order to determine such zones and classify the WLGE, satellite derived VHI and AI are used. VHI represents overall vegetation health (moisture and thermal conditions) and is used for identification of vegetative stress. AI represents climatic aridity and is used to determine the adequacy of rainfall in satisfying the water needs of crops. The WLGE zones describe the hydroclimatic component of the agroclimatic zoning, characterizing the moisture conditions during crop growth.

The second step is to identify sustainable production zones in terms of water sufficiency, fertility (appropriate or not for agricultural use), desertification vulnerability and altitude restrictions. Thus, WLGE zones are combined with soil maps and a Digital Elevation Model (DEM). Sustainable production zones

characterize the general agroclimatic zones of the area under investigation. In order to apply new management techniques, transfer new technologies and plan alternative crops according to the bio-physical characteristics of each region, a quantitative understanding of the relationships among crop, climate and soil are needed. Defining areas of sustainable crop production is a major step for identifying specific agroclimatic zones, considering environmental limitations and the sustainable use of natural resources.

The third step is to identify areas suitable for the cultivation of cotton and wheat. Two indices are used to describe the suitability of a given area for the cultivation of the two crops. Namely, these indices are Growing Degree Days (GDD) and Net Radiation (R_n). DD units ($^{\circ}\text{C d}$) are often used in agriculture in order to estimate or predict the lengths of the different phases of the development in crop plants, since temperature has a primary role in the growth of many organisms (plants and insects). In this study GDD are used to determine areas where cotton and wheat can be cultivated. Similarly, R_n is used to define areas where crop growth is not restricted due to limitations related to the radiation component.

During the last step of the methodology, two statistical methods are used in order to derive crop production estimation models for cotton and wheat. The first method uses a regression analysis between the weighted Vegetation Condition Index (VCI) values of the critical ten-day period during the growing season and the final yield. The second method is based on multiple regression analysis between the weighted VCI and Temperature Condition Index (TCI) values of the critical ten-day period and final yield. The estimating accuracy of the derived equations is validated. The best estimation equations are used in order to validate cotton and wheat agroclimatic zones.

The application of the proposed methodology resulted to the mapping of agroclimatic conditions in the water district of Thessaly in three levels:

1. Hydroclimatic – WLGE zones,
2. general agroclimatic zones and
3. cotton and wheat agroclimatic zones.

The results present that 59% of Thessaly water district is not appropriate for agricultural use. The best model for yield estimation is the linear regression model based on the weighted VCI values of the second ten-day of July. The use of this

model inside the cotton and wheat zones showed that in these areas high production levels are expected.

The main advantage of the methodology is that it uses satellite and raster data, providing continuous spatial and temporal information. In this way there are no fuzzy borders regarding the derived zones. Methods that use conventional data are lacking the above advantages. Lastly, the proposed methodology is transferable and integrates all the climatic variables that are important in order to identify agroclimatic zones.

Keywords: Agroclimatic zoning, remote sensing, GIS, classification, yield estimation.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Π1: Συμπληρωματικοί Πίνακες.

Π2: Υπόμνημα Εδαφολογικού Χάρτη (Γιάσογλου, 2004).

Π3: Κλιματικά Δελτία ΕΜΥ.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Συμπληρωματικοί Πίνακες

Πίνακας Π1.1: Μηγισίοι φυτικοί συντελεστές αρδευόμενων καλλιιεργειών για χρήση στον τύπο Blaney - Criddle (Κωτούλας, 2001).

Είδος καλλιιεργείας	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
Αραβόσπορος	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 (Lawm)	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
Πιπόνια	-	-	-	-	-	-	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	-	-	-
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	Εσωτερική	-	-	-	-	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	-	-

Πίνακας III.2: Τιμές του συντελεστή C ανά μήνα και χρήση γης.

ΟΜ.	ΤΥΠΟΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ *	CODE *	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟ	ΜΑΡΤΙΟΣ	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΛΙΟΣ	ΙΟΥΛΙΟΣ	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟ	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ
0	Συνεχής αστική περιοχή	111	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	Ασυνεχής αστική περιοχή	112	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	Βιομηχανικές μονάδες	121	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	Οδικό δίκτυο	122	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Λιμένα	123	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	Αεροδρόμια	124	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	Ορυχεία	131	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	Χαλιωτάρες	132	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	Κατασκευές	133	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	Αστική βλάστηση-Γκαζόν	141	0,24	0,38	0,55	0,7	0,88	0,92	0,94	0,92	0,8	0,72	0,54	0,35
10	Αθλητικές εγκαταστάσεις	142	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	Μη αρδευόμενες καλλιέργειες	211	0,26	0,5	0,89	1,09	0,53	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
12	Αρδευόμενες καλλιέργειες	212	0,15	0,1	0,1	0,25	0,45	0,5	1	1	0,9	0,2	0,15	0,1
13	Ορυζώνες	213	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	1	1,1	1,1	1,1	0,95	0,3	0,3
14	Αμπέλια	221	0,1	0,1	0,1	0,1	0,47	0,55	0,67	0,67	0,67	0,55	0,37	0,1
15	Οπωροφόρα Δέντρα	222	0,32	0,39	0,4	0,47	0,56	0,62	0,64	0,65	0,55	0,46	0,45	0,37
16	Ελιές	223	0,32	0,39	0,4	0,47	0,56	0,62	0,64	0,65	0,55	0,46	0,45	0,37
17	Βοσκότοποι	231	0,1	0,1	0,11	0,26	0,48	0,68	0,78	0,72	0,47	0,26	0,2	0,1
18	Επεργονείες καλλιέργειες	242	0,23	0,33	0,46	0,47	0,48	0,48	0,5	0,52	0,46	0,32	0,22	0,2
19	Γη με μερικές καλλιέργειες	243	0,23	0,33	0,46	0,47	0,47	0,48	0,5	0,52	0,46	0,32	0,22	0,2
20	Δάσος πλατύφυλλων	311	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,55	0,4	0,35	0,35
21	Δάσος κωνοφόρων	312	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,55	0,4	0,35	0,35
22	Μικτά δάσος	313	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,55	0,4	0,35	0,35
23	Λιβάδια	321	0,23	0,28	0,36	0,48	0,67	0,81	0,89	0,86	0,71	0,53	0,37	0,2
24	Χέρσος	322	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
25	Αραιή βλάστηση	323	0,16	0,19	0,23	0,29	0,38	0,45	0,49	0,48	0,4	0,31	0,23	0,15
26	Δασώδης αραιή βλάστηση	324	0,1	0,1	0,1	0,17	0,28	0,38	0,44	0,4	0,28	0,17	0,15	0,1
27	Ακτές	331	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
28	Γυμνό έδαφος	332	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
29	Σποραδική βλάστηση	333	0,1	0,1	0,1	0,17	0,28	0,38	0,44	0,4	0,28	0,17	0,15	0,1
30	Κοιμημένες περιοχές	334	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
31	Βάλτοι	411	0,3	0,35	0,4	0,4	0,45	0,45	0,5	0,5	0,45	0,4	0,35	0,3
32	Υφάλμυροι βάλτοι	421	0,3	0,35	0,4	0,4	0,45	0,45	0,5	0,5	0,45	0,4	0,35	0,3
33	Ποτάμια	511	0,3	0,35	0,4	0,4	0,45	0,45	0,5	0,5	0,45	0,4	0,35	0,3
34	Θαλάσσιες	523	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Πίνακας ΠΙ.3: Μηνιαία ποσοστά ωρών ημέρας επί % ωρών ημέρας του έτους (Κωτούλας, 2001).

Β. Γεωγρ. πλάτος	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος	Οκτώβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος
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 Π1.4: Τιμές Angot ($10^7 \text{ J m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) (Δαναλάτος, 2007).

ΒΓΠ	13	4	26	21	13	6	29	22	15	8	31	23	16	8	30	22
	Ιαν	Φεβ	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαι	Μαι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Νοε	Δεκ
60	0.3	0.61	1.15	1.87	2.66	3.39	3.91	4.1	3.89	3.35	2.63	1.85	1.14	0.61	0.3	0.21
50	0.86	1.21	1.75	2.41	3.06	3.63	4.01	4.14	3.99	3.6	3.03	2.38	1.73	1.2	0.85	0.74
40	1.46	1.82	2.31	2.87	3.38	3.81	4.07	4.15	4.05	3.77	3.34	2.83	2.28	1.80	1.46	1.33
30	2.07	2.38	2.8	3.24	3.62	3.89	4.05	4.08	4.02	3.85	3.58	3.2	2.77	2.36	2.06	1.95
20	2.64	2.89	3.22	3.52	3.74	3.86	3.91	3.91	3.89	3.83	3.7	3.48	3.18	2.87	2.62	2.53
10	3.15	3.33	3.54	3.69	3.75	3.74	3.69	3.65	3.67	3.71	3.71	3.65	3.49	3.3	3.13	3.07
0	3.58	3.67	3.75	3.75	3.65	3.5	3.37	3.31	3.35	3.47	3.61	3.7	3.71	3.64	3.56	3.53

Πίνακας Π1.5: Συντελεστές συσχετίσεις μεταξύ των τιμών του R_{NCI} ανά δεκαήμερο και των αποδόσεων του βαμβακιού, την περίοδο 1982-1996).

Correlations (GS_Cotton in vci_1x1_thes_water_cotton_import_1982_1996)	
Marked correlations are significant at p < ,05000	
N=15 (Casewise deletion of missing data)	
Variable	D12 D13 D14 D15 D16 D17 D18 D19 D20 D21 D22 D23 D24 D25 D26 D27 D28 D29 D30 Production Yield(s)
D12	1,000 0,916 0,746 0,572 0,367 0,033 -0,418 -0,641 -0,687 -0,690 -0,672 -0,648 -0,616 -0,547 -0,413 -0,248 -0,159 -0,133 -0,034 -0,688 -0,605
D13	0,916 1,000 0,945 0,830 0,656 0,314 -0,235 -0,558 -0,629 -0,603 -0,552 -0,519 -0,494 -0,442 -0,324 -0,173 -0,101 -0,091 -0,033 -0,598 -0,520
D14	0,746 0,945 1,000 0,962 0,846 0,549 -0,021 -0,409 -0,507 -0,470 -0,400 -0,359 -0,332 -0,293 -0,201 -0,078 -0,019 -0,027 -0,045 -0,442 -0,382
D15	0,572 0,830 0,962 1,000 0,957 0,733 0,188 -0,244 -0,370 -0,332 -0,253 -0,203 -0,171 -0,138 -0,072 0,025 0,077 0,055 -0,035 -0,281 -0,249
D16	0,367 0,656 0,846 0,957 1,000 0,893 0,439 -0,004 -0,152 -0,121 -0,043 0,008 0,043 0,065 0,092 0,142 0,171 0,131 -0,023 -0,060 -0,075
D17	0,033 0,314 0,549 0,733 0,893 1,000 0,790 0,422 0,269 0,282 0,339 0,380 0,409 0,410 0,372 0,327 0,291 0,205 -0,031 0,326 0,227
D18	-0,418 -0,235 -0,021 0,188 0,439 0,790 1,000 0,885 0,788 0,774 0,784 0,795 0,803 0,778 0,671 0,506 0,373 0,230 -0,048 0,782 0,603
D19	-0,641 -0,558 -0,409 -0,244 -0,004 0,422 0,885 1,000 0,981 0,957 0,930 0,914 0,902 0,863 0,737 0,525 0,351 0,203 -0,033 0,939 0,752
D20	-0,687 -0,629 -0,507 -0,370 -0,152 0,269 0,788 0,981 1,000 0,987 0,958 0,936 0,916 0,872 0,747 0,532 0,351 0,220 0,025 0,945 0,763
D21	-0,690 -0,603 -0,470 -0,332 -0,121 0,282 0,774 0,957 0,987 1,000 0,990 0,975 0,953 0,905 0,783 0,572 0,390 0,272 0,105 0,933 0,752
D22	-0,672 -0,552 -0,400 -0,253 -0,043 0,339 0,784 0,930 0,968 0,990 1,000 0,995 0,978 0,931 0,814 0,611 0,434 0,328 0,176 0,915 0,730
D23	-0,648 -0,519 -0,359 -0,203 0,008 0,380 0,795 0,914 0,936 0,975 0,995 1,000 0,992 0,954 0,846 0,654 0,487 0,390 0,231 0,908 0,706
D24	-0,616 -0,494 -0,332 -0,171 0,043 0,409 0,803 0,902 0,916 0,953 0,978 0,992 1,000 0,982 0,894 0,723 0,573 0,478 0,281 0,899 0,665
D25	-0,547 -0,442 -0,293 -0,138 0,065 0,410 0,778 0,863 0,872 0,905 0,931 0,954 0,962 1,000 0,960 0,832 0,703 0,592 0,315 0,861 0,569
D26	-0,413 -0,324 -0,201 -0,072 0,092 0,372 0,671 0,737 0,747 0,783 0,814 0,846 0,894 0,960 1,000 0,952 0,856 0,714 0,329 0,706 0,384
D27	-0,248 -0,173 -0,078 0,025 0,142 0,327 0,506 0,525 0,532 0,572 0,611 0,654 0,723 0,832 0,952 1,000 0,964 0,818 0,351 0,486 0,150
D28	-0,159 -0,101 -0,019 0,077 0,171 0,291 0,373 0,351 0,351 0,390 0,434 0,487 0,573 0,703 0,856 0,964 1,000 0,918 0,456 0,341 0,005
D29	-0,133 -0,091 -0,027 0,056 0,131 0,205 0,230 0,203 0,220 0,272 0,328 0,390 0,478 0,592 0,714 0,818 0,918 1,000 0,745 0,281 -0,040
D30	-0,034 -0,033 -0,045 -0,036 -0,023 -0,031 -0,048 -0,033 0,025 0,105 0,176 0,231 0,281 0,315 0,329 0,351 0,456 0,745 0,144 -0,050
Production	-0,688 -0,598 -0,442 -0,281 -0,060 0,326 0,782 0,939 0,945 0,933 0,915 0,908 0,899 0,851 0,706 0,486 0,341 0,281 0,144 1,000 0,855
Yield(s)	-0,605 -0,520 -0,362 -0,249 -0,075 0,227 0,603 0,752 0,763 0,752 0,730 0,706 0,665 0,569 0,364 0,150 0,005 -0,040 -0,050 0,855 1,000

Πίνακας Π1.6: Συντελεστές συσχετίσεις μεταξύ των τιμών του R_{NCI} ανά δεκαήμερο και των αποδόσεων του σιταριού, την περίοδο 1982-1996).

Variable	D35	D36	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17	D18	Production	Yield
D32	0,534	0,468	0,381	0,242	0,142	0,105	0,090	0,085	0,077	0,043	-0,016	-0,072	-0,163	-0,306	-0,423	-0,440	-0,396	-0,352	-0,326	-0,329	-0,195	-0,391
D33	0,756	0,661	0,510	0,321	0,156	0,075	0,042	0,034	0,042	0,051	0,038	-0,007	-0,109	-0,256	-0,378	-0,398	-0,347	-0,305	-0,293	-0,316	-0,006	-0,287
D34	0,953	0,873	0,702	0,493	0,251	0,086	0,019	0,011	0,051	0,131	0,173	0,137	0,028	-0,109	-0,216	-0,229	-0,176	-0,147	-0,160	-0,210	0,176	-0,086
D35	1,000	0,973	0,838	0,642	0,353	0,115	0,019	0,013	0,078	0,209	0,285	0,252	0,145	0,024	-0,061	-0,063	-0,014	0,002	-0,030	-0,101	0,242	0,097
D36	0,973	1,000	0,927	0,762	0,461	0,177	0,059	0,053	0,135	0,297	0,384	0,346	0,241	0,122	0,039	0,036	0,072	0,074	0,033	-0,048	0,212	0,190
D1	0,838	0,927	1,000	0,936	0,695	0,390	0,245	0,233	0,326	0,500	0,557	0,496	0,387	0,248	0,128	0,078	0,061	0,031	-0,015	-0,075	0,115	0,184
D2	0,642	0,762	0,936	1,000	0,890	0,628	0,479	0,461	0,548	0,695	0,689	0,607	0,508	0,370	0,229	0,134	0,071	0,017	-0,027	-0,056	0,049	0,157
D3	0,353	0,461	0,695	0,890	1,000	0,904	0,802	0,779	0,819	0,834	0,679	0,562	0,485	0,354	0,189	0,047	-0,051	-0,109	-0,132	-0,106	0,018	0,042
D4	0,115	0,177	0,390	0,628	0,904	1,000	0,978	0,961	0,945	0,809	0,515	0,375	0,326	0,217	0,048	-0,109	-0,206	-0,245	-0,240	-0,169	0,046	-0,079
D5	0,019	0,059	0,245	0,479	0,802	0,978	1,000	0,994	0,960	0,770	0,430	0,285	0,247	0,149	-0,018	-0,177	-0,267	-0,295	-0,276	-0,189	0,051	-0,136
D6	0,013	0,053	0,233	0,461	0,779	0,961	0,994	1,000	0,979	0,801	0,455	0,317	0,276	0,168	-0,013	-0,181	-0,275	-0,304	-0,282	-0,189	0,028	-0,159
D7	0,078	0,135	0,326	0,548	0,819	0,945	0,960	0,979	1,000	0,903	0,625	0,484	0,428	0,289	0,089	-0,129	-0,248	-0,293	-0,279	-0,187	-0,014	-0,151
D8	0,209	0,297	0,500	0,695	0,834	0,809	0,770	0,801	0,903	1,000	0,897	0,800	0,728	0,549	0,271	0,019	-0,154	-0,244	-0,262	-0,193	-0,088	-0,089
D9	0,285	0,384	0,557	0,689	0,679	0,515	0,430	0,465	0,625	0,897	1,000	0,977	0,919	0,746	0,458	0,184	-0,025	-0,156	-0,214	-0,197	-0,118	0,014
D10	0,252	0,346	0,496	0,607	0,562	0,375	0,285	0,317	0,484	0,800	0,977	1,000	0,974	0,836	0,561	0,273	0,043	-0,108	-0,187	-0,201	-0,076	0,091
D11	0,145	0,241	0,387	0,508	0,485	0,326	0,247	0,276	0,428	0,728	0,919	0,974	1,000	0,931	0,689	0,389	0,135	-0,034	-0,127	-0,163	0,023	0,193
D12	0,024	0,122	0,248	0,370	0,354	0,217	0,149	0,168	0,289	0,549	0,746	0,836	0,931	1,000	0,894	0,652	0,407	0,228	0,114	0,028	0,204	0,393
D13	-0,061	0,039	0,128	0,229	0,189	0,048	-0,018	-0,013	0,069	0,271	0,458	0,561	0,689	0,894	1,000	0,917	0,753	0,600	0,477	0,343	0,324	0,582
D14	-0,063	0,036	0,078	0,134	0,047	-0,109	-0,177	-0,181	-0,129	0,019	0,184	0,273	0,389	0,652	0,917	1,000	0,949	0,854	0,747	0,594	0,340	0,656
D15	-0,014	0,072	0,061	0,071	-0,051	-0,206	-0,267	-0,275	-0,248	-0,154	-0,025	0,043	0,135	0,407	0,753	0,949	1,000	0,972	0,900	0,752	0,339	0,640
D16	0,002	0,074	0,031	0,017	-0,109	-0,245	-0,295	-0,304	-0,293	-0,244	-0,156	-0,108	-0,034	0,228	0,600	0,854	0,972	1,000	0,973	0,858	0,319	0,569
D17	-0,030	0,033	-0,015	-0,027	-0,132	-0,240	-0,276	-0,282	-0,279	-0,262	-0,214	-0,187	-0,127	0,114	0,477	0,747	0,900	0,973	1,000	0,949	0,279	0,464
D18	-0,101	-0,048	-0,075	-0,056	-0,106	-0,169	-0,189	-0,189	-0,187	-0,193	-0,197	-0,201	-0,163	0,028	0,343	0,594	0,752	0,858	0,949	1,000	0,212	0,323
Production	0,242	0,212	0,115	0,049	0,018	0,046	0,051	0,028	-0,014	-0,088	-0,118	-0,076	0,023	0,204	0,324	0,340	0,339	0,319	0,279	0,212	1,000	0,749
Yield	0,097	0,190	0,184	0,157	0,042	-0,079	-0,136	-0,159	-0,151	-0,089	0,014	0,091	0,193	0,393	0,582	0,656	0,640	0,569	0,464	0,323	0,749	1,000

Correlations (GS_Wheat in wci_thes_water_wheat_import_1982_1996)
 Marked correlations are significant at $p < ,05000$
 N=15 (Casewise deletion of missing data)

Πίνακας Π1.8: Συντελεστές συσχετίσεις μεταξύ των τιμών του R_{TCI} ανά δεκαήμερο και των αποδόσεων του σιταριού, την περίοδο 1982-1996).

Variable	D32	D33	D34	D35	D36	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17	D18	Yield
D32	1,0000	-,1703	5622	,1869	,2473	,2711	-,0101	,2935	-,0203	,3189	,2436	,0348	,0038	,0512	5226	,2347	,3364	,2813	,1912	-,0510	,3571	,0035	-,1913	-,0743
D33	-,1703	1,0000	-,0546	,2287	,0138	,4911	,4121	-,1970	-,1415	,0370	,1244	-,2002	,1643	,3011	-,0540	-,1427	-,4340	-,2153	-5409	-6987	-,4296	-5172	-,0430	-,4080
D34	5622	-,0546	1,0000	,3399	,3285	,1190	,0966	,2041	,1515	,4107	5442	,1403	,4146	,2989	5215	,1917	,3096	,2089	-,1408	,2299	,1707	,0404	-,0185	-,1263
D35	,1869	,2287	,3399	1,0000	5682	,0444	,2954	,0381	,4045	6538	,3533	,2094	5238	,4545	,2902	-,1041	,1496	,3813	-,1645	,1541	-,0700	,2127	,1799	,3126
D36	,2473	,0138	,3285	5682	1,0000	,2082	,0435	-,3041	-,3196	,1673	,0835	-,2498	-,1130	-,0023	,0472	-,2987	-,1714	,2550	-,1131	,2673	,0623	,0380	,1352	-,0118
D1	,2711	,4911	,1190	,0444	,2082	1,0000	,1629	-,4699	-,1618	-,0901	,2051	,0349	-,2082	-,2824	,0546	-,2767	-,2741	-,0090	-,2808	-,3943	-,1423	-5611	-,1227	-,4822
D2	-,0101	,4121	,0966	,2954	,0435	,1629	1,0000	,1114	,1421	,2083	,2282	,4895	5494	6843	5473	,4782	,1324	,4850	-,1994	,0699	,0199	-,1662	,3721	,2968
D3	,2935	-,1970	,2041	,0381	-,3041	-,4699	,1114	1,0000	,4061	,3621	,2089	,1857	,4891	,4056	,3729	,2884	8235	,2271	,4252	,4003	,4723	,2676	,2191	,3100
D4	-,0203	-,1415	,1515	,4045	-,3196	-,1618	,1421	,4061	1,0000	5660	,4560	6736	5892	,2740	,3809	,1653	5564	,3649	,3044	,2888	,2146	,3254	,2406	,3151
D5	,3189	,0370	,4107	6538	,1673	-,0901	,2083	,3621	5660	1,0000	6336	,2680	5406	,3719	,3531	,3721	,4032	5756	,0797	,2188	,3465	6296	,4510	,2238
D6	,2436	,1244	5442	,3533	,0635	,2051	,2282	,2089	,4550	6336	1,0000	,4814	5796	,2822	,3264	,0716	,4166	,4295	,0435	,1095	,3860	,2335	,4403	-,3056
D7	-,0348	-,2002	,1403	,2094	-,2498	,0349	,4895	,1857	6736	,2680	,4814	1,0000	6571	,3262	,4690	,2155	5321	5283	,2043	,3381	,3410	,1997	,4546	,4067
D8	,0038	,1643	,4146	5238	-,1130	-,2082	5494	,4891	5892	5406	5796	6571	1,0000	7028	,3806	,2329	5484	,3029	-,1789	,2694	,1277	,1967	,4106	,3519
D9	,0512	,3011	,2989	,4545	-,0023	-,2824	6843	,4056	,2740	,3719	,2822	,3262	7028	1,0000	5449	,3519	,2529	,2759	-,0075	-,0134	,0471	,1374	,1319	,2871
D10	5226	-,0540	5215	,2902	,0472	,0546	5473	,3729	,3809	,3531	,3264	,4690	,3806	5449	1,0000	5323	,4438	7018	,3620	,2208	,3826	,0438	,1531	,2671
D11	,2347	-,1427	,1917	-,1041	-,2987	-,2767	,4782	,2884	,1653	,3721	,0716	,2155	,2329	,3519	5323	1,0000	,1824	,4740	,0414	,1285	,2176	,3080	,2315	,3507
D12	,3364	-,4340	,3096	,1496	-,1714	-,2741	,1324	8235	5564	,4032	,4166	5321	5484	,2529	,4438	,1824	1,0000	,4414	,4516	6260	,5092	,3073	,2968	,4045
D13	,2813	-,2153	,2089	,3813	,2550	-,0090	,4850	,2271	,3649	5756	,4295	5283	,3029	,2759	7018	,4740	,4414	1,0000	,4434	,4949	6137	,4625	6706	,4251
D14	,1912	-5409	-,1408	-,1645	-,1131	-,2808	-,1994	,4252	,3044	,0797	,0435	,2043	-,1789	-,0075	,3620	,0414	,4516	,4434	1,0000	,3129	7282	,4356	,2031	,1588
D15	-,0510	-5987	,2299	,1541	,2673	-,3943	,0699	,4003	,2888	,2188	,1095	,3381	,2694	-,0134	,2208	,1285	6280	,4949	,3129	1,0000	,4310	,3696	5194	5660
D16	,3571	-,4296	,1707	-,0700	,0623	-,1423	,0199	,4723	,2146	,3465	,3860	,3410	,1277	,0471	,3826	,2176	,5092	6137	7282	,4310	1,0000	5468	6437	,1134
D17	,0035	-5172	,0404	,2127	,0380	-5611	-,1662	,2676	,3254	6296	,2335	,1997	,1967	,1374	,0438	,3080	,3073	,4625	,4356	,3896	5468	1,0000	,4928	,4367
D18	-,1913	-,0430	-,0185	,1799	,1352	-,1227	,3721	,2191	,2406	,4510	,4403	,4546	,4106	,1319	,1531	,2315	,2968	6706	,2031	5194	6437	,4928	1,0000	,2766
Yield	-,0743	-,4080	-,1263	,3126	-,0118	-,4822	,2968	,3100	,3151	,2238	-,3056	,4067	,3519	,2871	,2671	,3507	,4045	,4251	,1588	5560	,1134	,4367	,2766	1,0000
	p=,792	p=,131	p=,654	p=,257	p=,967	p=,069	p=,283	p=,261	p=,253	p=,423	p=,288	p=,132	p=,198	p=,300	p=,336	p=,200	p=,135	p=,114	p=,572	p=,031	p=,687	p=,104	p=,318	p=,---

Πίνακας Π1.9: Αποτελέσματα της ανάλυσης πολλαπλής παλινδρόμησης μεταξύ των τιμών του R_{VCI} και R_{TCI} και των αποδόσεων του βαμβακιού.

Regression Summary for Dependent Variable: Yield(s) (Statistica						
R= ,73290358 R ² = ,53714766 Adjusted R ² = ,46000561						
F(2,12)=6,9631 p<,00983 Std.Error of estimate: 34,394						
N=15	Beta	Std.Err. of Beta	B	Std.Err. of B	t(12)	p-level
Intercept			-0,563606	76,21000	-0,007395	0,994221
TCI_D21	0,001555	0,257944	0,012291	2,03903	0,006028	0,995290
VCI_D20	0,731895	0,257944	4,379906	1,54363	2,837413	0,014968

Multiple Regression Results		
Dependent: Yield(s)	Multiple R = ,73290358	F = 6,963098
	R ² = ,53714766	df = 2,12
No. of cases: 15	adjusted R ² = ,46000561	p = ,009832
	Standard error of estimate:34,393765862	
Intercept: -,563605599	Std.Error: 76,20999	t(12) = -,0074 p = ,9942

TCI_D21 beta=,002	VCI_D20 beta=,732
-------------------	-------------------

(significant betas are highlighted)

Πίνακας Π1.10: Αποτελέσματα της ανάλυσης πολλαπλής παλινδρόμησης μεταξύ των τιμών του R_{VCI} και R_{TCI} και των αποδόσεων του σιταριού.

Regression Summary for Dependent Variable: Yield(s) (Statistica						
R= ,71696279 R ² = ,51403564 Adjusted R ² = ,43304158						
F(2,12)=6,3466 p<,01317 Std.Error of estimate: 31,480						
N=15	Beta	Std.Err. of Beta	B	Std.Err. of B	t(12)	p-level
Intercept			30,557	86,799	0,352	0,731
TCI_D15	0,325	0,226	1,625	1,131	1,437	0,176
VCI_D14	0,508	0,226	2,955	1,314	2,249	0,044

Multiple Regression Results		
Dependent: Yield(s)	Multiple R = ,71696279	F = 6,346584
	R ² = ,51403564	df = 2,12
No. of cases: 15	adjusted R ² = ,43304158	p = ,013171
	Standard error of estimate:31,479561292	
Intercept: 30,556900281	Std.Error: 86,79922	t(12) = ,35204 p = ,7309

TCI_D15 beta=,325	VCI_D14 beta=,508
-------------------	-------------------

(significant betas are highlighted)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

Υπόμνημα Εδαφολογικού Χάρτη (Γιάσογλου, 2004)

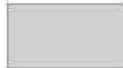


Water bodies



Rock Outcrops - Βράχοι

- 1 Dominant STU (Κύρια Τυπολογική Μονάδα) : Calcaric Leptosol (LPca), Associated STU (Συνυπάρχουσες Τυπολογικές Μονάδες) : Calcaric, Eutric, and Dystric Leptosols, Parent material (Μητρικό Υλικό): Various rocks - Διάφορα πετρώματα, Quality (Ποιότητα) : Very Low - Χαμηλότατη , Desertification Vulnerability (Ευαισθησία Ερημοποίησης): Very High - Πολύ Υψηλή, Sustainable agronomic uses (Αειφόρες εδαφοπονικές χρήσεις): Wild nature- Άγρια φύση, Restrictions for non agronomic uses (Περιορισμοί για μη εδαφοπονικές χρήσεις): Weak - Ασθενείς.



Leptosols (LP)

- 2 Dominant STU (Κύρια Τυπολογική Μονάδα) : Calcaric Leptosol (LPca), Associated STU (Συνυπάρχουσες Τυπολογικές Μονάδες) : Carcaro-leptic Regosol; Calcaro-petric Cambisol; Rock outcrops, Parent material (Μητρικό Υλικό): Limestone -Ασβεστόλιθος, Quality (Ποιότητα) : Very Low - Χαμηλότατη , Desertification Vulnerability (Ευαισθησία Ερημοποίησης): Very High - Πολύ Υψηλή, Sustainable agronomic uses (Αειφόρες εδαφοπονικές χρήσεις): Wild nature- Άγρια φύση, Restrictions for non agronomic uses (Περιορισμοί για μη εδαφοπονικές χρήσεις): Weak - Ασθενείς.
- 3 Dominant STU (Κύρια Τυπολογική Μονάδα) : Calcaric Leptosol (LPca), Associated STU (Συνυπάρχουσες Τυπολογικές Μονάδες) : Carcaro-leptic Regosol; Calcarochromic Cambisol; Calcaro-petric Regosol; Calcic Kastanozem; Rhodo-chromic Luvisol , Parent material (Μητρικό Υλικό): Limestone -Ασβεστόλιθος, Quality (Ποιότητα): Low - Χαμηλή, Desertification Vulnerability (Ευαισθησία Ερημοποίησης):Very High - Πολύ Υψηλή, Sustainable agronomic uses (Αειφόρες εδαφοπονικές χρήσεις): Forest, controlled pasture- Δάσος ελεγχόμενη βοσκή, Restrictions for non agronomic uses (Περιορισμοί για μη εδαφοπονικές χρήσεις): Moderate - Μέτριοι.
- 4 Dominant STU (Κύρια Τυπολογική Μονάδα) : Eutric Leptosol (LPeu) , Associated STU (Συνυπάρχουσες Τυπολογικές Μονάδες) : Lepto-eutric Regosol; Vertic Cambisol (Bv); Vertic Luvisol, Parent material (Μητρικό Υλικό): Basic igneous and metamorphic rocks - Βασικά πυριγενή και μεταμορφωσιγενή, Quality (Ποιότητα) : Low - Χαμηλή, Desertification Vulnerability (Ευαισθησία Ερημοποίησης): Very High - Πολύ Υψηλή, Sustainable agronomic uses (Αειφόρες εδαφοπονικές χρήσεις): Forest, controlled pasture - Δάσος ελεγχόμενη βοσκή, Restrictions for non agronomic uses (Περιορισμοί για μη εδαφοπονικές χρήσεις): Moderate -Μέτριοι.
- 5 Dominant STU (Κύρια Τυπολογική Μονάδα) : Eutric Leptosol (LPeu) , Associated STU (Συνυπάρχουσες Τυπολογικές Μονάδες) : Eutric Regosol; Lepto-eutric Regosol, Parent material (Μητρικό Υλικό): Flysh - Φλύσχης , Quality (Ποιότητα) : Low - Χαμηλή , Desertification Vulnerability (Ευαισθησία Ερημοποίησης): Very High - Πολύ Υψηλή, Sustainable agronomic uses (Αειφόρες εδαφοπονικές χρήσεις): Forest, wild nature - Δάσος, άγρια φύση, Restrictions for non agronomic uses (Περιορισμοί για μη εδαφοπονικές χρήσεις): Strong -Ισχυροί.
- 6 Dominant STU (Κύρια Τυπολογική Μονάδα) : Eutric Leptosol (LPeu) , Associated STU (Συνυπάρχουσες Τυπολογικές Μονάδες) : Lepto-eutric Regosol; Eutric Cambisol; Haplic Phaeozem, Parent material (Μητρικό Υλικό): Flysh, Schists - Φλύσχης, Σχιστόλιθοι , Quality (Ποιότητα) : Low - Χαμηλή , Desertification Vulnerability (Ευαισθησία Ερημοποίησης): Very High - Πολύ Υψηλή, Sustainable agronomic uses (Αειφόρες εδαφοπονικές χρήσεις): Forest, controlled pasture - Δάσος ελεγχόμενη βοσκή, Restrictions for non agronomic uses (Περιορισμοί για μη εδαφοπονικές χρήσεις): Strong - Ισχυροί.
- 7 Dominant STU (Κύρια Τυπολογική Μονάδα) : Dystric Leptosol (LPeu) , Associated STU (Συνυπάρχουσες Τυπολογικές Μονάδες) : Distro-petric Regosol; Haplic Acrisol ; Dystric Cambisol, Parent material (Μητρικό Υλικό): Acid igneous and metamorphic rocks - Οξίνα Πυριγενή & μεταμορφωμένα πετρώματα , Quality (Ποιότητα) : Low - Χαμηλή , Desertification Vulnerability (Ευαισθησία Ερημοποίησης): Very High - Πολύ Υψηλή, Sustainable agronomic uses (Αειφόρες εδαφοπονικές χρήσεις): Forest, controlled pasture - Δάσος ελεγχόμενη βοσκή, Restrictions for non agronomic uses (Περιορισμοί για μη εδαφοπονικές χρήσεις): Moderate -Μέτριοι.
- 8 Dominant STU (Κύρια Τυπολογική Μονάδα) : Eutric Leptosol (LPeu) , Associated STU (Συνυπάρχουσες Τυπολογικές Μονάδες) : Dystric Leptosol; Haplic Phaeozem; Eutric Cambisol; Dystric Cambisol; Eutro-petric Regosol, Parent material (Μητρικό Υλικό): Granits, Diorites, Schists - Γρανίτες, Διορίτες, Σχιστόλιθοι , Quality (Ποιότητα) : Low -Χαμηλή , Desertification Vulnerability (Ευαισθησία Ερημοποίησης): Very High - Πολύ Υψηλή, Sustainable agronomic uses (Αειφόρες εδαφοπονικές χρήσεις): Forest, controlled pasture - Δάσος ελεγχόμενη βοσκή, Restrictions for non agronomic uses (Περιορισμοί για μη εδαφοπονικές χρήσεις): Moderate -Μέτριοι.

NOTE - ΣΗΜΕΙΩΣΗ :

STU : Soil Type Unit

FAO, 1998. World Reference Base for Soil Resources

Η σύνθεση του χάρτη έγινε με το λογισμικό ArcView GIS από την: Π. Κοσμοπούλου
The map was compiled using ArcView GIS by: P. Cosmopoulou

Αθήνα , Φεβρουάριος 2004



Regosols (RG)

- 9 Dominant STU (Κύρια Τυπολογική Μονάδα) : Calcaric Regosol (RGca), Associated STU (Συμπάρχουσες Τυπολογικές Μονάδες) : Calcaro-chromic Cambisol; Calcaric Leptosol; Rhodic Luvisol , Parent material (Μητρικό Υλικό): Limestone -Ασβεστόλιθος, Quality (Ποιότητα) : Low - Χαμηλή , Desertification Vulnerability (Ευαισθησία Ερημοποίησης): Very High - Πολύ Υψηλή , Sustainable agronomic uses (Αειφόρες εδαφοπονικές χρήσεις): Forest, controlled pasture - Δάσος ελεγχόμενη βοσκή, Restrictions for non agronomic uses (Περιορισμοί για μη εδαφοπονικές χρήσεις): Moderate -Μέτριοι.
- 10 Dominant STU (Κύρια Τυπολογική Μονάδα) : Eutric Regosol (RGca), Associated STU (Συμπάρχουσες Τυπολογικές Μονάδες) : Vertic Cambisol; Eutric Leptosol; Vertic Luvisol (Lv), Parent material (Μητρικό Υλικό): Basic rocks - Βασικά πετρώματα, Quality (Ποιότητα) : Low - Χαμηλή , Desertification Vulnerability (Ευαισθησία Ερημοποίησης): Very High - Πολύ Υψηλή , Sustainable agronomic uses (Αειφόρες εδαφοπονικές χρήσεις): Forest, controlled pasture - Δάσος ελεγχόμενη βοσκή, Restrictions for non agronomic uses (Περιορισμοί για μη εδαφοπονικές χρήσεις): Moderate -Μέτριοι.
- 11 Dominant STU (Κύρια Τυπολογική Μονάδα) : Eutric Regosol (RGeu), Associated STU (Συμπάρχουσες Τυπολογικές Μονάδες): Eutric Cambisol; Eutric Leptosol; Haplic Phaeozem, Parent material (Μητρικό Υλικό): Flysh,Schists, Phyllites - Φλύσσης, Σχιστόλιθοι, Φυλλίτες, Quality (Ποιότητα) : Low - Χαμηλή , Desertification Vulnerability (Ευαισθησία Ερημοποίησης): High - Υψηλή, Sustainable agronomic uses (Αειφόρες εδαφοπονικές χρήσεις): Forest, controlled pasture - Δάσος ελεγχόμενη βοσκή, Restrictions for non agronomic uses (Περιορισμοί για μη εδαφοπονικές χρήσεις): Strong - Ισχυροί.
- 12 Dominant STU (Κύρια Τυπολογική Μονάδα) : Eutric Regosol (RGeu), Associated STU (Συμπάρχουσες Τυπολογικές Μονάδες) : Eutric Cambisol; Haplic Acrisol; Haplic Phaeozem; Chromic Luvisol; Eutric Leptosol, Parent material (Μητρικό Υλικό): Flysh, Schists, Phyllites - Φλύσσης, Σχιστόλιθοι, Φυλλίτες, Quality (Ποιότητα) : Low - Χαμηλή , Desertification Vulnerability (Ευαισθησία Ερημοποίησης): High - Υψηλή, Sustainable agronomic uses (Αειφόρες εδαφοπονικές χρήσεις): Forest, controlled pasture - Δάσος ελεγχόμενη βοσκή, Restrictions for non agronomic uses (Περιορισμοί για μη εδαφοπονικές χρήσεις): Strong - Ισχυροί.
- 13 Dominant STU (Κύρια Τυπολογική Μονάδα) : Dystric Regosol (RGdy) , Associated STU (Συμπάρχουσες Τυπολογικές Μονάδες) : Dystric Cambisol; Haplic Acrisol (Ao); Orthic Luvisol (Lo); Eutric Lithisol (Ie) , Parent material (Μητρικό Υλικό): Flysh, Schists, Phyllites, Conglomerates - Φλύσσης, Σχιστόλιθοι, Φυλλίτες, Κροκαλλοπαγή, Quality (Ποιότητα) : Low - Χαμηλή , Desertification Vulnerability (Ευαισθησία Ερημοποίησης): High - Υψηλή, Sustainable agronomic uses (Αειφόρες εδαφοπονικές χρήσεις): Forest, controlled pasture - Δάσος ελεγχόμενη βοσκή, Restrictions for non agronomic uses (Περιορισμοί για μη εδαφοπονικές χρήσεις): Strong - Ισχυροί.
- 14 Dominant STU (Κύρια Τυπολογική Μονάδα) : Dystric Regosol (RGdy) , Associated STU (Συμπάρχουσες Τυπολογικές Μονάδες) : Dystric-petric Cambisol; Dystric Leptosol; Haplic Acrisol (Ao); Orthic Luvisol (Lo) , Parent material (Μητρικό Υλικό): Granits, Gneis, Diorite - Γρανίτες, Γνεύσιοι, Διορίτες, Κροκαλλοπαγή, Quality (Ποιότητα) : Low - Χαμηλή, Desertification Vulnerability (Ευαισθησία Ερημοποίησης): High - Υψηλή, Sustainable agronomic uses (Αειφόρες εδαφοπονικές χρήσεις): Forest, controlled pasture - Δάσος ελεγχόμενη βοσκή, Restrictions for non agronomic uses(Περιορισμοί για μη εδαφοπονικές χρήσεις): Strong - Ισχυροί.
- 15 Dominant STU (Κύρια Τυπολογική Μονάδα) : Eutric Regosol (RGeu) , Associated STU (Συμπάρχουσες Τυπολογικές Μονάδες) : DEutric Cambisol; Eutric Leptosol; Chromic Luvisol; Rhodic Luvisol , Parent material (Μητρικό Υλικό): Flysh, Schist, Limestone -Φλύσσης, Σχιστόλιθοι, Ασβεστόλιθος, Quality (Ποιότητα) : Low - Χαμηλή, Desertification Vulnerability (Ευαισθησία Ερημοποίησης): High - Υψηλή , Sustainable agronomic uses (Αειφόρες εδαφοπονικές χρήσεις): Forest, controlled pasture - Δάσος ελεγχόμενη βοσκή, Restrictions for non agronomic uses(Περιορισμοί για μη εδαφοπονικές χρήσεις): Strong - Ισχυροί.
- 16 Dominant STU (Κύρια Τυπολογική Μονάδα) : Calcaric Regosol (RGca) , Associated STU (Συμπάρχουσες Τυπολογικές Μονάδες) : Calcaric Cambisol ; Haplic Calcisol; Vertic Cambisol ; Chromic Vertisol ; Calcaric Fluvisol , Parent material (Μητρικό Υλικό): Tertiary and Quaternary calcareous deposits - Τριτογενείς & τεταρτογενείς ασβεστ. αποθέσεις, Quality (Ποιότητα) : Medium - Μέτρια, Desertification Vulnerability (Ευαισθησία Ερημοποίησης): Μέτρια - Medium , Sustainable agronomic uses (Αειφόρες εδαφοπονικές χρήσεις): Forest, controlled pasture & agriculture - Δάσος ελεγχόμενη βοσκή και γεωργία, Restrictions for non agronomic uses (Περιορισμοί για μη εδαφοπονικές χρήσεις): Moderate - Μέτριοι.
- 17 Dominant STU (Κύρια Τυπολογική Μονάδα) : Calcaric Regosol (RGca), Associated STU (Συμπάρχουσες Τυπολογικές Μονάδες) : Calcaric Cambisol; Chromic Luvisol; Rhodic Luvisol ; Chromic Vertisol ; Calcaric Fluvisol , Parent material (Μητρικό Υλικό): Tertiary and quaternary gravelly calcareous deposits - Τριτογενείς και Τεταρτογενείς ασβεστούχες χαλικώδεις αποθέσεις, Quality (Ποιότητα) : Medium - Μέτρια, Desertification Vulnerability (Ευαισθησία Ερημοποίησης): Medium - Μέτρια, Sustainable agronomic uses (Αειφόρες εδαφοπονικές χρήσεις): Forest, controlled pasture and agriculture - Δάσος ελεγχόμενη βοσκή και γεωργία, Restrictions for non agronomic uses (Περιορισμοί για μη εδαφοπονικές χρήσεις): Moderate - Μέτριοι.
- 18 Dominant STU (Κύρια Τυπολογική Μονάδα) : Calcaric Regosol (RGca) , Associated STU (Συμπάρχουσες Τυπολογικές Μονάδες) : Calcaric Cambisol; Haplic Calcisol; Calcaric Fluvisol , Parent material (Μητρικό Υλικό): Tertiary marls and associated holocene alluvium - Τριτογενείς μάργες με παρουσία Ολόκαινου αλλουβίου, Quality (Ποιότητα): Medium - Μέτρια, Desertification Vulnerability (Ευαισθησία Ερημοποίησης): Medium-Μέτρια, Sustainable agronomic uses (Αειφόρες εδαφοπονικές χρήσεις): Forest, controlled pasture & agriculture- Δάσος ελεγχόμενη βοσκή και γεωργία, Restrictions for non agronomic uses (Περιορισμοί για μη εδαφοπονικές χρήσεις): Moderate - Μέτριοι.

Fluvisols (FL)

- 19** Dominant STU (Κύρια Τυπολογική Μονάδα) : Calcaric Fluvisol (FLca), Associated STU (Συνυπάρχουσες Τυπολογικές Μονάδες) : Haplic Calcisol; Calcaric Cambisol; Inclusions of Solonchak in some cases, Parent material (Μητρικό Υλικό): Holocene alluvium - Ολόκαινο αλλούβιο, Quality (Ποιότητα) : Very high - Πολύ υψηλή , Desertification Vulnerability (Ευαισθησία Ερημοποίησης): Low - Χαμηλή, Sustainable agronomic uses (Αειφόρες εδαφοπονικές χρήσεις): Agriculture - Γεωργία, Restrictions for non agronomic uses (Περιορισμοί για μη εδαφοπονικές χρήσεις): Very Strong - Πολύ ισχυροί.
- 20** Dominant STU (Κύρια Τυπολογική Μονάδα) : Calcaric Fluvisol (FLca), Associated STU (Συνυπάρχουσες Τυπολογικές Μονάδες) : Calcaric Cambisol; Haplic Calcisol; Rhodic Luvisol , Parent material (Μητρικό Υλικό): Holocene alluvium, Quaternary terraces - Ολόκαινο αλλούβιο, τεταρτογενείς αναβαθμοί, Quality (Ποιότητα) : Very high - Πολύ υψηλή , Desertification Vulnerability(Ευαισθησία Ερημοποίησης): Low - Χαμηλή , Sustainable agronomic uses (Αειφόρες εδαφοπονικές χρήσεις): Agriculture - Γεωργία, Restrictions for non agronomic uses (Περιορισμοί για μη εδαφοπονικές χρήσεις): Very strong - Πολύ ισχυροί.
- 21** Dominant STU (Κύρια Τυπολογική Μονάδα) : Calcaric Fluvisol (FLca), Associated STU (Συνυπάρχουσες Τυπολογικές Μονάδες) : Haplic Luvisol; Eutric Fluvisol; Eutric Cambisol; Chromic Luvisol , Parent material (Μητρικό Υλικό): Holocene alluvium, Holocene terraces - Ολόκαινο αλλούβιο και αναβαθμοί, Quality (Ποιότητα) : Very high - Πολύ υψηλή , Desertification Vulnerability (Ευαισθησία Ερημοποίησης): Χαμηλή - Low , Sustainable agronomic uses (Αειφόρες εδαφοπονικές χρήσεις): Agriculture - Γεωργία, Restrictions for non agronomic uses (Περιορισμοί για μη εδαφοπονικές χρήσεις):Very strong-Πολύ ισχυροί.
- 22** Dominant STU (Κύρια Τυπολογική Μονάδα) : Calcaric Fluvisol (FLca), Associated STU (Συνυπάρχουσες Τυπολογικές Μονάδες) : Fluviocalcaric Gleysol; Gleiic Solonchak , Parent material (Μητρικό Υλικό): Holocene alluvium - Ολόκαινο αλλούβιο, Quality (Ποιότητα): Very high - Πολύ υψηλή, Desertification Vulnerability (Ευαισθησία Ερημοποίησης): Χαμηλή - Low, Sustainable agronomic uses (Αειφόρες εδαφοπονικές χρήσεις): Agriculture - Γεωργία, Restrictions for non agronomic uses (Περιορισμοί για μη εδαφοπονικές χρήσεις): Very strong - Πολύ ισχυροί.
- 23** Dominant STU (Κύρια Τυπολογική Μονάδα) : Calcaric Fluvisol (FLca), Associated STU (Συνυπάρχουσες Τυπολογικές Μονάδες) : Chromic Vertisol; Pellic Vertisol; Haplic Luvisol; Calcic Kastanozem , Parent material (Μητρικό Υλικό): Holocene alluvium, Quaternary terraces - Ολόκαινο αλλούβιο, Τεταρτογενείς αναβαθμοί , Quality (Ποιότητα) : Very high - Πολύ υψηλή , Desertification Vulnerability (Ευαισθησία Ερημοποίησης): Low-Χαμηλή , Sustainable agronomic uses (Αειφόρες εδαφοπονικές χρήσεις): Agriculture - Γεωργία, Restrictions for non agronomic uses(Περιορισμοί για μη εδαφοπο-νικές χρήσεις): Very strong, moderate - Πολύ ισχυροί, μέτριοι.
- 24** Dominant STU (Κύρια Τυπολογική Μονάδα) : Calcaric Fluvisol (FLca), Associated STU (Συνυπάρχουσες Τυπολογικές Μονάδες) : Fluvi-calcaric Gleysol; inclusions of Gleiic Solonchak Parent material (Μητρικό Υλικό): Recent alluvium - Πρόσφατο αλλούβιο, Quality (Ποιότητα): Very high - Πολύ υψηλή , Desertification Vulnerability (Ευαισθησία Ερημοποίησης): Low - Χαμηλή , Sustainable agronomic uses (Αειφόρες εδαφοπονικές χρήσεις): Agriculture - Γεωργία, Restrictions for non agronomic uses (Περιορισμοί για μη εδαφοπονικές χρήσεις): Very strong - Πολύ ισχυροί.
- 25** Dominant STU (Κύρια Τυπολογική Μονάδα) : Calcaric Fluvisol FLca), Associated STU (Συνυπάρχουσες Τυπολογικές Μονάδες) : Eutric Histosols; Fluvi-calcaric Gleysols , Parent material (Μητρικό Υλικό): Lacustrine alluvium - Λιμναίο-πτοτάμιο αλλούβιο , Quality (Ποιότητα) : Very high - Πολύ υψηλή, Desertification Vulnerability (Ευαισθησία Ερημοποίησης) Low - Χαμηλή , Sustainable agronomic uses (Αειφόρες εδαφοπονικές χρήσεις): Agriculture - Γεωργία, Restrictions for non agronomic uses(Περιορισμοί για μη εδαφοπονικές χρήσεις) : Very strong - Πολύ ισχυροί.

Cambisols (CM)

- 26** Dominant STU (Κύρια Τυπολογική Μονάδα) : Calcarochromic Cambisol (CMcrca), Associated STU (Συνυπάρχουσες Τυπολογικές Μονάδες): Calcaric Regosol; Calcaric Leptosol; Rhodic Luvisol, Parent material (Μητρικό Υλικό): Limestone - Ασβεστόλιθος, Quality (Ποιότητα): Medium-low - Μέτρια-χαμηλή, Desertification Vulnerability (Ευαισθησία Ερημοποίησης): Υψηλή - High ,Sustainable agronomic uses (Αειφόρες εδαφοπονικές χρήσεις): Forest, controlled pasture - Δάσος ελεγχόμενη βοσκή, Restrictions for non agronomic uses (Περιορισμοί για μη εδαφοπονικές χρήσεις): Strong - Ισχυροί.
- 27** Dominant STU (Κύρια Τυπολογική Μονάδα) : Calcaric Cambisol (CMca), Associated STU (Συνυπάρχουσες Τυπολογικές Μονάδες) : Haplic Calcisol; Calcaric Regosol; Rhodic Luvisol; Chromic Luvisol, Parent material (Μητρικό Υλικό): Tertiary unconsolidated deposits - Ασύνδετες τριτογενείς αποθέσεις , Quality (Ποιότητα) : High - Υψηλή , Desertification Vulnerability (Ευαισθησία Ερημοποίησης): Medium - Μέτρια , Sustainable agronomic uses (Αειφόρες εδαφοπονικές χρήσεις): Forest, controlled pasture and agriculture - Δάσος ελεγχόμενη βοσκή και γεωργία, Restrictions for non agronomic uses (Περιορισμοί για μη εδαφοπονικές χρήσεις): Strong - Ισχυροί.
- 28** Dominant STU (Κύρια Τυπολογική Μονάδα) : Calcaric Cambisol (CMca), Associated STU (Συνυπάρχουσες Τυπολογικές Μονάδες) : Haplic Calcisol; Calcaric Regosol; Rhodic Luvisol; Chromic Luvisol , Parent material (Μητρικό Υλικό): Calcareous conglomerates - Ασβεστούχα κροκαλοπαγή, Quality (Ποιότητα): Medium - Μέτρια, Desertification Vulnerability (Ευαισθησία Ερημοποίησης): Medium - Μέτρια, Sustainable agronomic uses (Αειφόρες εδαφοπονικές χρήσεις): Forest, controlled pasture - Δάσος ελεγχόμενη βοσκή, Restrictions for non agronomic uses (Περιορισμοί για μη εδαφοπονικές χρήσεις): Moderate - Μέτριοι.

- 29** Dominant STU (Κύρια Τυπολογική Μονάδα) : Calcaro-vertic Cambisol (CMvtca), Associated STU (Συνυπάρχουσες Τυπολογικές Μονάδες) : Haplic Calcisol; Calcichromic Vertisol; Calcic Kastanozem, Parent material (Μητρικό Υλικό): Tertiary & Quaternary Calcareous terraces-Τριτογενείς & τεταρογενείς ασβεστούχοι αναβαθμοί , Quality (Ποιότητα) : High- medium -Υψηλή - μέτρια , Desertification Vulnerability (Ευαισθησία Ερημοποίησης): Medium -Μέτρια , Sustainable agronomic uses (Αειφόρες εδαφοπονικές χρήσεις): Forest, controlled pasture and agriculture- Δάσος ελεγχόμενη βοσκή και γεωργία, Restrictions for non agronomic uses (Περιορισμοί για μη εδαφοπονικές χρήσεις): Moderate - Μέτριοι.
- 30** Dominant STU (Κύρια Τυπολογική Μονάδα) : Eutric Cambisol (CMeu), Associated STU (Συνυπάρχουσες Τυπολογικές Μονάδες) : Eutric Regosol; Eutric Leptosol; Chromic Luvisol , Parent material (Μητρικό Υλικό): Flysh, Schists, Phyllites - Φλύσχης, σχιστόλιθοι, φυλλίτες, Quality (Ποιότητα) : Medium-low - Μέτρια-χαμηλή , Desertification Vulnerability (Ευαισθησία Ερημοποίησης): High - Υψηλή, Sustainable agronomic uses (Αειφόρες εδαφοπονικές χρήσεις): Forest, controlled pasture and agriculture- Δάσος ελεγχόμενη βοσκή , Restrictions for non agronomic uses (Περιορισμοί για μη εδαφοπονικές χρήσεις): Strong - Ισχυροί.
- 31** Dominant STU (Κύρια Τυπολογική Μονάδα) : Calcaric Cambisol (CMca), Associated STU (Συνυπάρχουσες Τυπολογικές Μονάδες) : Haplic Cambisol; Vertic Cambisol; Vertic Luvisol; Eutric Regosol; Eutric Leptosol, Parent material (Μητρικό Υλικό): Basic igneous rocks - Βασικά πυριγενή πετρώματα, Quality (Ποιότητα): Medium low - Μέτρια χαμηλή, Desertification Vulnerability (Ευαισθησία Ερημοποίησης): Medium - Μέτρια, Sustainable agronomic uses (Αειφόρες εδαφοπονικές χρήσεις): Forest, controlled pasture - Δάσος ελεγχόμενη βοσκή, Restrictions for non agronomic uses (Περιορισμοί για μη εδαφοπονικές χρήσεις): Moderate - Μέτριοι.
- 32** Dominant STU (Κύρια Τυπολογική Μονάδα) : Dystric Cambisol (CMdy), Associated STU (Συνυπάρχουσες Τυπολογικές Μονάδες) : Dystric Regosol; Haplic Acrisol; Haplic Luvisol; Eutric Lithosol , Parent material (Μητρικό Υλικό): Granits, Diorite, Flysh, Gneis, Schists - Γρανίτες, Διορίτες, Φλύσχης, Γνεύσιοι, Σχιστόλιθοι , Quality (Ποιότητα) : Medium low - Μέτρια χαμηλή , Desertification Vulnerability (Ευαισθησία Ερημοποίησης): High - Υψηλή, Sustainable agronomic uses (Αειφόρες εδαφοπονικές χρήσεις): Forest, controlled pasture - Δάσος ελεγχόμενη βοσκή , Restrictions for non agronomic uses (Περιορισμοί για μη εδαφοπονικές χρήσεις): Strong - Ισχυροί.
- 32a** Dominant STU (Κύρια Τυπολογική Μονάδα) : Eutric Cambisol (CMeu), Associated STU (Συνυπάρχουσες Τυπολογικές Μονάδες): Eutric Regosol; Chromic Luvisol; Haplic Andosol; Eutric Leptosol, Parent material (Μητρικό Υλικό): Acid volcanic rocks (mainly) - Όξινα κυρίως ηφαιστειαγενή πετρώματα, Quality (Ποιότητα): Medium low - Μέτρια χαμηλή, Desertification Vulnerability (Ευαισθησία Ερημοποίησης): Υψηλή - High , Sustainable agronomic uses (Αειφόρες εδαφοπονικές χρήσεις): Forest, controlled pasture, wild nature - Δάσος ελεγχόμενη βοσκή, άγρια φύση, Restrictions for non agronomic uses (Περιορισμοί για μη εδαφοπονικές χρήσεις): Moderate weak - Μέτριοι - ασθενείς.
- 33** Dominant STU (Κύρια Τυπολογική Μονάδα) : Calcaro-vertic Cambisol (CMvtca), Associated STU (Συνυπάρχουσες Τυπολογικές Μονάδες) : Eutric Cambisol; Calci-chromic Vertisol; Pellic Vertisol; Calcaric Fluvisol , Parent material (Μητρικό Υλικό): Holocene alluvium, Quaternary terraces - Ολόκαινο αλλοίβιο, Τεταρογενείς αναβαθμοί , Quality (Ποιότητα) : High - Υψηλή , Desertification Vulnerability (Ευαισθησία Ερημοποίησης): Low - Χαμηλή , Sustainable agronomic uses (Αειφόρες εδαφοπονικές χρήσεις): Agriculture - Γεωργία , Restrictions for non agronomic uses (Περιορισμοί για μη εδαφοπονικές χρήσεις): Very strong - Πολύ ισχυροί.

Vertisols (VR)

- 34** Dominant STU (Κύρια Τυπολογική Μονάδα) : Calci-chromic Vertisol (VRcrrc), Associated STU (Συνυπάρχουσες Τυπολογικές Μονάδες) : Calcaro-vertic Cambisol; Pellic Vertisol; Calcaric Fluvisol, Parent material (Μητρικό Υλικό): Tertiary & Quaternary unconsolidated calcareous deposits - Τριτογενείς και Τεταρογενείς ασύνδετες ασβεστούχες αποθέσεις, Quality (Ποιότητα) : High - Υψηλή , Desertification Vulnerability (Ευαισθησία Ερημοποίησης): Low - Χαμηλή, Sustainable agronomic uses (Αειφόρες εδαφοπονικές χρήσεις): Controlled agriculture and pasture - Ελεγχόμενη γεωργία και βόσκηση, Restrictions for non agronomic uses (Περιορισμοί για μη εδαφοπονικές χρήσεις): Strong - Ισχυροί.
- 35** Dominant STU (Κύρια Τυπολογική Μονάδα) : Chromic Vertisol (VRcr), Associated STU (Συνυπάρχουσες Τυπολογικές Μονάδες) : Chromo-vertic Luvisol; Calcaric Regosol , Parent material (Μητρικό Υλικό): Tertiary deposits - Τριτογενείς αποθέσεις, Quality (Ποιότητα) : High -Υψηλή, Desertification Vulnerability (Ευαισθησία Ερημοποίησης): Medium - Μέτρια , Sustainable agronomic uses (Αειφόρες εδαφοπονικές χρήσεις): Controlled agriculture and pasture - Ελεγχόμενη γεωργία και βόσκηση , Restrictions for non agronomic uses (Περιορισμοί για μη εδαφοπονικές χρήσεις): Strong - Ισχυροί.

Luvisols (LV)

- 36** Dominant STU (Κύρια Τυπολογική Μονάδα) : Chromic Luvisol (LVcr), Associated STU (Συνυπάρχουσες Τυπολογικές Μονάδες) : Haplic Calcisol; Calcaric Regosol , Parent material (Μητρικό Υλικό): Unconsolidated Tertiary deposits - Ασύνδετες Τριτογενείς αποθέσεις, Quality (Ποιότητα) :High-Υψηλή, Desertification Vulnerability (Ευαισθησία Ερημοποίησης): Medium - Μέτρια , Sustainable agronomic uses (Αειφόρες εδαφοπονικές χρήσεις): Agriculture - Γεωργία , Restrictions for non agronomic uses (Περιορισμοί για μη εδαφοπονικές χρήσεις): Very strong - Πολύ ισχυροί.

- 37** Dominant STU (Κύρια Τυπολογική Μονάδα) : Rhodic Luvisol (LVro), Associated STU (Συνυπάρχουσες Τυπολογικές Μονάδες) : Eutric Cambisol; Eutric Regosol, Parent material (Μητρικό Υλικό): Quaternary conglomerates, pleistocene deposits - Τεταρτογενή κροκαλοπαγή, πλειστόκαινες αποθέσεις, Quality (Ποιότητα) : High - medium - Υψηλή - μέτρια, Desertification Vulnerability (Ευαισθησία ρημοποίησης): Medium - Μέτρια, Sustainable agronomic uses (Αειφόρες εδαφοπονικές χρήσεις): Controlled agriculture and pasture, forest - ελεγχόμενη γεωργία και βόσκηση, δάσος, Restrictions for non agronomic uses (Περιορισμοί για μη εδαφοπονικές χρήσεις): Moderate - Μέτριοι.
- 38** Dominant STU (Κύρια Τυπολογική Μονάδα) : Chromic Luvisol (LVcr), Associated STU (Συνυπάρχουσες Τυπολογικές Μονάδες) : Eutric Planosol; Calcaric Fluvisol; Rhodic Luvisol, Parent material (Μητρικό Υλικό): Tertiary and Quaternary unconsolidated deposits - Τριτογενείς και Τεταρτογενείς ασύνδετες αποθέσεις, Quality (Ποιότητα) : High - Υψηλή, Desertification Vulnerability (Ευαισθησία Ερημοποίησης): Medium -Μέτρια, Sustainable agronomic uses (Αειφόρες εδαφοπονικές χρήσεις): Agriculture - Γεωργία, Restrictions for non agronomic uses (Περιορισμοί για μη εδαφοπονικές χρήσεις): Strong - Ισχυροί.
- 39** Dominant STU (Κύρια Τυπολογική Μονάδα) : Chromic Luvisol (LVcr), Associated STU (Συνυπάρχουσες Τυπολογικές Μονάδες) : Eutric Cambisol; Haplic Phaeozem; Eutric Regosol; Orthic Acrisol; Eutric Leptosol, Parent material (Μητρικό Υλικό): Flysh, Schists, Gneis - Φλύσχης, Σχιστόλιθοι, Γνεύσιος, Quality (Ποιότητα) : Medium - Μέτρια, Desertification Vulnerability (Ευαισθησία Ερημοποίησης): Medium - Μέτρια, Sustainable agronomic uses (Αειφόρες εδαφοπονικές χρήσεις): Agriculture - Γεωργία, Restrictions for non agronomic uses (Περιορισμοί για μη εδαφοπονικές χρήσεις): Strong - Ισχυροί.
- 40** Dominant STU (Κύρια Τυπολογική Μονάδα) : Vertic Luvisol (LVvt), Associated STU (Συνυπάρχουσες Τυπολογικές Μονάδες) : Vertic Cambisol; Eutric Regosol; Eutric Leptosol, Parent material (Μητρικό Υλικό): Basic igneous rocks - Βασικά πυριγενή πετρώματα, Quality (Ποιότητα): Medium - Μέτρια, Desertification Vulnerability (Ευαισθησία Ερημοποίησης): Medium - Μέτρια, Sustainable agronomic uses (Αειφόρες εδαφοπονικές χρήσεις): Forest controlled pasture - Δάσος ελεγχόμενη βοσκή, Restrictions for non agronomic uses (Περιορισμοί για μη εδαφοπονικές χρήσεις): Moderate - Μέτριοι.
- 41** Dominant STU (Κύρια Τυπολογική Μονάδα) : Haplic Luvisol (LVha), Associated STU (Συνυπάρχουσες Τυπολογικές Μονάδες) : Haplic Acrisol; Dystric Cambisol; Eutric Leptosol; Dystric Leptosol (ld); Haplic Phaeozem, Parent material (Μητρικό Υλικό): Flysh, Schists, Gneis, Phyllites - Φλύσχης, Σχιστόλιθοι, Γνεύσιος, Φυλλίτες, Quality (Ποιότητα) : Medium - Μέτρια, Desertification Vulnerability (Ευαισθησία Ερημοποίησης): Medium - Μέτρια, Sustainable agronomic uses (Αειφόρες εδαφοπονικές χρήσεις): Forest controlled pasture- Δάσος ελεγχόμενη βοσκή, Restrictions for non agronomic uses (Περιορισμοί για μη εδαφοπονικές χρήσεις): Moderate - Μέτριοι.
- 42** Dominant STU (Κύρια Τυπολογική Μονάδα):Vertic-calcic Luvisol (LVccvt), Associated STU (Συνυπάρχουσες Τυπολογικές Μονάδες) : Rhodic Luvisol; Chromic Vertisol; Calcaric Regosol, Parent material (Μητρικό Υλικό): Conglomerate -Κροκαλοπαγή, Quality (Ποιότητα) : Medium - Μέτρια, Desertification Vulnerability (Ευαισθησία Ερημοποίησης): Medium - Μέτρια, Sustainable agronomic uses (Αειφόρες εδαφοπονικές χρήσεις): Forest controlled pasture - Δάσος ελεγχόμενη βοσκή, Restrictions for non agronomic uses (Περιορισμοί για μη εδαφο-πονικές χρήσεις): Moderate - Μέτριοι.
- 43** Dominant STU (Κύρια Τυπολογική Μονάδα) : Chromic Luvisol (LVcr), Associated STU (Συνυπάρχουσες Τυπολογικές Μονάδες) : Eutric Cambisol; Eutric Fluvisol, Parent material (Μητρικό Υλικό): Quaternary terraces, non calcareous alluvium - Τεταρτογενείς αναβαθμοί και μη ασβεστούχο αλλούβιο, Quality (Ποιότητα) : High - Υψηλή, Desertification Vulnerability (Ευαισθησία Ερημοποίησης): Medium - Μέτρια, Sustainable agronomic uses (Αειφόρες εδαφοπονικές χρήσεις): Agriculture - Γεωργία, Restrictions for non agronomic uses (Περιορισμοί για μη εδαφοπονικές χρήσεις): Moderate - Μέτριοι.
- 44** Dominant STU (Κύρια Τυπολογική Μονάδα) : Haplic Luvisol (LVha), Associated STU (Συνυπάρχουσες Τυπολογικές Μονάδες) : Eutric Cambisol; Haplic Phaeozem; Eutric Regosol; Eutric Fluvisol, Parent material (Μητρικό Υλικό): Unconsolidated Quaternary deposits - Ασύνδετες Τεταρτογενείς αποθέσεις, Quality (Ποιότητα) : High - Υψηλή, Desertification Vulnerability (Ευαισθησία Ερημοποίησης): Medium - Μέτρια, Sustainable agronomic uses (Αειφόρες εδαφοπονικές χρήσεις): Forest controlled pasture and agriculture - Δάσος, ελεγχόμενη βόσκηση και γεωργία, Restrictions for non agronomic uses (Περιορισμοί για μη εδαφοπονικές χρήσεις): Moderate - Μέτριοι.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ

Κλιματικά Δελτία ΕΜΥ

ΠΙΝΑΚΑΣ Α

ΣΕΛΙΔΑ 123

ΕΘΝΙΚΗ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ
ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ-ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ 1 ΕΛΕΓΧΟΥ-ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ
ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΗ ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ
ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΛΑΡΙΣΑ 648
ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ 39° 39' ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΜΗΚΟΣ 22° 28'
ΥΨΟΣ ΣΤΑΘΜΟΥ 71.0 ΜΕΤΡΑ ΥΨΟΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΒΑΡΟΜ. 73.6 ΜΕΤΡΑ ΥΨΟΣ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟΥ 10.0 ΜΕΤΡΑ

DATCLIM
ΠΕΡΙΟΔΟΣ 1955 - 1997

ΜΗΝΗΣ	Μέση πίεση σε hPa στην επιφ. θάλασσας	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ °C												Μέση σχετική υγρασία %	Τυπική απόκλιση	Μέση ηλιοφάνεια σε ώρες	Τυπική απόκλιση	Μέση νεφώση σε όγδοα	ΥΨΟΣ		Εκκαρατώσα διεθνή αέθλια	Μέση ένταση ανέμου σε κόμβους
		Μέση	Τυπική απόκλιση	Μέγιστη	Τυπική απόκλιση	Μέση	Τυπική απόκλιση	Ελάχιστη	Τυπική απόκλιση	Μέγιστος όψος σε χλμ	Μέγιστος 24ωρο σε χλμ											
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	1018,4	5,2	1,6	9,8	1,6	0,7	2,1	22,8	-21,6	17,3	2,3	-6,7	3,8	79,6	5,0	117,7	31,4	5,0	32,5	24,0	B	2,4
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	1016,7	6,8	1,9	12,0	2,5	1,3	1,8	25,2	-10,5	19,5	2,9	-5,5	2,7	75,1	6,0	114,6	35,7	4,8	31,7	56,3	A	3,0
ΜΑΡΤΙΟΣ	1015,6	9,4	1,4	14,7	2,2	3,3	1,4	27,5	-7,0	22,5	2,5	-3,3	2,3	73,4	6,0	162,5	44,3	4,8	36,7	38,7	A	3,3
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	1012,7	13,8	1,4	19,6	1,9	6,2	0,9	32,4	-4,4	26,0	2,7	0,2	1,5	68,7	5,8	208,6	38,5	4,4	33,0	40,8	A	3,2
ΜΑΙΟΣ	1013,1	19,7	1,4	25,7	1,8	10,9	1,0	40,0	1,4	33,0	3,1	4,9	1,7	61,6	5,8	249,5	29,1	4,0	38,2	67,8	A	3,1
ΙΟΥΝΙΟΣ	1012,2	25,0	0,9	31,0	1,1	15,2	0,8	42,2	7,0	37,8	2,1	10,0	1,6	49,2	5,1	310,9	32,0	3,0	25,6	50,6	A	3,9
ΙΟΥΛΙΟΣ	1011,8	27,2	1,0	33,1	1,2	17,7	0,9	45,2	11,0	39,6	2,5	13,3	1,3	46,6	5,1	329,3	25,5	2,1	19,0	109,5	A	4,1
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	1012,4	28,2	1,3	32,6	1,5	17,3	0,9	45,0	10,0	38,3	2,5	12,9	1,4	50,0	5,3	309,2	26,0	2,0	16,4	56,5	A	3,7
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	1015,5	21,8	1,1	28,4	1,5	14,0	0,9	39,2	5,0	34,7	2,0	8,5	2,1	58,9	4,4	248,9	16,0	2,7	30,2	141,1	A	3,3
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	1018,0	16,2	1,6	22,2	1,9	10,0	1,9	36,8	-2,0	29,5	2,6	3,4	2,5	70,0	5,5	165,9	34,0	3,9	52,2	86,0	A	2,7
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	1018,0	10,8	1,5	15,8	1,8	5,8	1,8	29,6	-7,0	22,6	2,6	-2,1	2,3	79,5	4,0	116,7	26,8	4,7	56,9	57,6	A	1,9
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	1017,4	6,6	1,6	11,1	1,8	2,0	1,8	23,2	-17,5	18,2	2,7	-5,0	3,5	82,2	4,2	103,8	22,1	4,8	50,8	91,2	B	1,8
ΕΤΟΣ	1015,2	15,7		21,3		8,7		45,2	-21,6	28,3		2,6		66,2		2437,6		3,9	423,2	141,1		3,0

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ Ηλιοφάνεια 1977-1993
 Απολ. Μέγιστη θερμ. 45.2 °C σημειώθηκε την 19-07-73
 Μέγιστο ύψος υετού 24ώρου 141.1 χιλσμ σημειώθηκε την 14-09-78

Απολ. Ελάχιστη θερμ. -21.6 °C σημειώθηκε την 15-01-68

ΣΕΛΙΔΑ 3

ΠΙΝΑΚΑΣ Α

ΕΘΝΙΚΗ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ
ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ-ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ 1 ΕΛΕΓΧΟΥ-ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ
ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΗ ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ
ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΛΙΧΙΑΔΟΣ 665
ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ: 39° 13' ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΜΗΚΟΣ 22° 48'
ΥΨΟΣ ΣΤΑΘΜΟΥ 12,2 ΜΕΤΡΑ ΥΨΟΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΒΑΡΟΜ. 15,3 ΜΕΤΡΑ ΥΨΟΣ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟΥ 8,0 ΜΕΤΡΑ

DATCLIM
ΠΕΡΙΟΔΟΣ 1966 - 1997

ΜΗΝΕΣ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ °C										Μέση κλίση σε ηPa στην επιφ. θάλασσας		Μέση υγρασία %			Μέση νεφώση σε όρους		ΥΕΤΟΣ			Επιπτώσεις ανέμων		Μέση ένταση ανέμων σε κόμβους	
	Μέση	Τυπική αποκλίση	Μέση	Τυπική αποκλίση	Μέγιστη	Τυπική αποκλίση	Απόλυτος μέγιστος	Απόλυτος ελάχιστος	Μέση των απόλυτων	Τυπική αποκλίση	Μέση των απόλυτων	Τυπική αποκλίση	Τυπική αποκλίση	Τυπική αποκλίση	Μέση ηλιοφάνεια σε ώρες	Τυπική αποκλίση	Μέση νεφώση σε όρους	Μέση ύψος σε χλμ	Μέγιστο χλμ	Ζάφου σε χλμ	Επιπτώσεις ανέμων	Μέση ένταση ανέμων σε κόμβους		
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	6,6	1,3	11,1	1,5	2,8	1,6	24,0	-9,8	18,5	2,4	-3,7	2,4	74,8	6,6	127,8	31,0	4,8	49,0	63,0	ΒΔ	5,4			
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	7,6	1,7	12,3	2,3	3,4	1,6	26,0	-7,6	20,0	2,6	-2,5	2,3	73,3	5,8	117,9	36,5	4,9	46,9	47,8	Δ	5,6			
ΜΑΡΤΙΟΣ	10,6	1,3	14,3	1,8	4,8	1,2	26,5	-5,6	21,6	2,4	-0,9	1,9	73,2	5,5	157,8	42,0	4,8	53,3	51,2	Α	5,3			
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	14,1	1,2	18,8	1,7	7,7	1,0	33,6	-1,6	25,7	2,8	2,2	1,6	68,7	5,0	205,4	39,7	4,2	35,8	54,8	Α	4,8			
ΜΑΙΟΣ	19,5	1,2	24,0	1,5	12,1	1,1	36,8	3,6	30,8	2,6	7,1	1,6	63,5	5,2	255,4	21,2	3,6	36,8	68,0	Α	4,6			
ΙΟΥΝΙΟΣ	24,5	0,8	29,0	1,0	16,3	0,8	43,4	8,0	35,6	2,7	11,5	1,5	53,7	4,0	321,4	24,9	2,6	22,1	85,4	Α	5,4			
ΙΟΥΛΙΟΣ	26,8	0,8	31,0	0,9	18,6	0,8	46,2	11,2	37,5	3,4	14,7	1,4	50,7	3,4	338,4	23,3	1,7	17,4	41,2	Α	5,4			
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	26,1	1,1	30,7	1,1	18,5	1,0	44,0	11,0	36,6	2,5	14,8	1,4	52,8	3,8	313,8	21,8	1,6	15,9	37,4	Α	5,4			
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	22,2	1,0	27,0	1,3	15,7	0,8	37,6	6,6	33,0	2,1	11,1	1,9	60,0	4,6	249,6	13,7	2,4	35,6	141,4	Α	5,1			
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	16,9	1,6	21,6	1,8	12,1	1,6	33,0	1,8	28,3	2,1	6,8	2,4	68,8	5,7	164,2	36,7	3,9	63,1	68,9	Α	4,8			
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	12,1	1,4	16,8	1,8	8,2	1,5	30,0	-2,6	23,1	2,4	1,8	2,1	74,9	4,9	125,5	27,2	4,5	63,6	71,3	Δ	4,4			
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	10,7	1,5	12,6	1,8	4,5	1,5	26,8	-9,0	19,9	2,7	-1,4	2,4	76,0	5,1	112,3	23,7	4,8	60,5	83,5	ΒΔ	5,3			
ΕΤΟΣ	16,2		20,8		10,4		46,2	-9,8	27,6		5,1		65,9		2489,5		3,7	500,0	141,4		5,1			

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ Ηλιοφάνεια 1977 - 1993
 Απολ. Μέγιστη θερμ. 46.2 °C σημειώθηκε την 19-07-73
 Μέγιστο ύψος υετού 24ώρου 141.4 χλμ σημειώθηκε την 15-09-78

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ Ηλιοφάνεια 1977 - 1993
 Απολ. Ελάχιστη θερμ. -9.8 °C σημειώθηκε την 15-01-68