

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΖΩΙΚΗΣ
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ
ΑΠΟ ΔΟΥΦΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

ΧΑΡΙΤΩΝ Κ. ΚΑΛΑΪΤΖΙΔΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΝΙΚΟΛΑΟΣ Ρ. ΔΑΛΕΖΙΟΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΒΟΛΟΣ, ΙΟΥΝΙΟΣ 1999



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗΣ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»

Αριθ. Εισ.: 987/1

Ημερ. Εισ.: 21-10-2003

Δωρεά:

Ταξιδιωτικός Κωδικός: ΠΤ ΓΦΖΠ

1999

ΚΑΛ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000070359

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στα πρόθυρα του 21^{ου} αιώνα μ.Χ., η επιστήμη της τηλεπισκόπησης έχει κάνει μεγάλα άλματα, σε σχέση με τις αρχές της δεκαετίας του '70, όταν η εκτόξευση δορυφόρου για την παρακολούθηση της γής θεωρούταν μεγάλο επίτευγμα. Σήμερα υπάρχει μεγάλος αριθμός δορυφόρων σε τροχιά γύρω από τη γή, εφοδιασμένοι με συστήματα λήψης εικόνων τις οποίες εκπέμπουν σε επίγειους δέκτες. Οι εικόνες αυτές βρίσκουν εφαρμογές σε πολλές επιστήμες, μεταξύ των οποίων και η γεωπονία. Σε αυτή την εργασία χρησιμοποιούνται δορυφορικά δεδομένα ως πηγή πληροφοριών για την εξαγωγή του δείκτη βλάστησης (NDVI) και την εφαρμογή του σε μοντέλο εκτίμησης βιομάζας τριών από τις πιο σημαντικές εκτατικές καλλιέργειες στην Ελλάδα, το βαμβάκι, τα χειμερινά σιτηρά και τον αραβόσιτο, για την χρονική περίοδο από το 1994 ως το 1996. Γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων αυτών με τα πραγματικά δεδομένα αποδόσεων, τα οποία λαμβάνονται από τις εκδόσεις της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας της Ελλάδος, και αξιολογείται η αξιοπιστία του μοντέλου εκτίμησης βιομάζας.

Η εργασία αυτή αποτελεί την πτυχιακή διατριβή του φοιτητή Χαρίτων Κ. Καλαϊτζίδη, στο Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής και Ζωικής Παραγωγής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Τα πρωτογενή δορυφορικά δεδομένα που χρησιμοποιούνται σε αυτή την εργασία, διατέθηκαν από το Εργαστήριο Αγρομετεωρολογίας, υπεύθυνος του οποίου είναι ο Καθηγητής Ν.Ρ. Δαλέζιος, υπό τη επίβλεψη του οποίου έγινε δυνατή η διεκπεραίωση αυτής της εργασίας.

Ευχαριστίες εκφράζονται στον Καθηγητή κ. Ν.Ρ. Δαλέζιο για την επίβλεψη του θέματος της εργασίας και την παροχή των απαραίτητων μέσων, συμβουλών και γνώσεων, για την εκτέλεσή της. Ευχαριστίες εκφράζονται και στα άλλα μέλη της εισηγητικής επιτροπής, Καθηγητή Κ. Κίττα και Αναπληρωτή Καθηγητή Θ. Γέμτο. Επίσης ευχαριστίες εκφράζονται σε όλο το προσωπικό του Εργαστηρίου Αγρομετεωρολογίας και ειδικά στον Δρ. Χ. Δομενικιώτη, επιστημονικό συνεργάτη του Εργαστηρίου, για την βοήθειά του στην επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων και την πολύτιμη συνεργασία του κατά τη διάρκεια όλης της εργασίας.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω και να αφιερώσω την εργασία αυτή στην οικογένειά μου για την κάθε είδους βοήθεια και την συμπαράσταση που μου παρείχε κατά τη διάρκεια της φοιτητικής μου σταδιοδρομίας.

Βόλος, Ιούνιος 1999

Χαρίτων Κ. Καλαϊτζίδης

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΝΙΚΟΛΑΟΣ Ρ. ΔΑΛΕΖΙΟΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΜΕΛΗ ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ : Κ. ΚΙΤΤΑΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Θ. ΓΕΜΤΟΣ
ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	4
2.1	Μοντέλα παραγωγής	4
2.2	Η Τηλεπισκόπηση στην Γεωργία	6
2.3	Ο Δείκτης Βλάστησης NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ	21
3.1	Καλλιέργεια Βαμβακιού	21
3.2	Καλλιέργεια Σιταριού	24
3.3	Καλλιέργεια Αραβοσίτου	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	30
4.1	Τηλεπισκόπηση και NDVI	30
4.2	Μοντέλα Παραγωγής	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	42
5.1	Ανάλυση αποτελεσμάτων καλλιέργειας βαμβακιού	42
5.2	Ανάλυση αποτελεσμάτων καλλιέργειας σιταριού	43
5.3	Ανάλυση αποτελεσμάτων καλλιέργειας αραβοσίτου	45
5.4	Επισημάνσεις	47
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	54
6.1	Συμπεράσματα	54
6.2	Προτάσεις	55
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		58

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Π1. Εικόνες μεγίστων NDVI για όλες τις καλλιέργειες, περιοχές και έτη.

Π2. Ιστογράμματα μεγίστων NDVI για όλες τις καλλιέργειες, περιοχές και έτη.

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Πίνακας 2.1 : Τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος AVHRR και των δορυφόρων NOAA	11
--	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Πίνακας 3.1 : Φαινολογικά Στάδια Βαμβακιού	22
Πίνακας 3.2 : Φαινολογικά Στάδια Σιταριού (Χειμερινές Ποικιλίες)	25
Πίνακας 3.3 : Φαινολογικά Στάδια Αραβοσίτου	29

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Πίνακας 4.1 : Περιοχές Κάρλας Λάρισας και Καρδίτσας με καλλιέργεια βαμβακιού	34
Πίνακας 4.2 : Περιοχές Αλμυρού Μαγνησίας και Κιλκίς με καλλιέργεια σιταριού	35
Πίνακας 4.3 : Περιοχές Χρυσούπολης Καβάλας και Δέλτα Πηνειού Λάρισας με καλλιέργεια καλαμποκιού	36
Πίνακας 4.4 : Σχέση πραγματικών τιμών NDVI και τιμών που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα επεξεργασίας εικόνας IDRISI	37
Πίνακας 4.5: Ελάχιστες, μέγιστες και μέσες τιμές NDVI των ετησίων εικόνων μεγίστων NDVI για κάθε περιοχή και έτος	40
Πίνακας 4.6 : Εκτάσεις και αποδόσεις των υπο μελέτη καλλιεργειών στις επιλεγμένες καλλιέργειες (Στοιχεία Ελληνικής Στατιστικής Υπηρεσίας)	41

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Πίνακας 5.1 : Αποτελέσματα μοντέλου για την καλλιέργεια βαμβακιού στην περιοχή της Κάρλας Λαρίσης	42
Πίνακας 5.2 : Αποτελέσματα μοντέλου για την καλλιέργεια βαμβακιού στην περιοχή της Καρδίτσας	43
Πίνακας 5.3 : Αποτελέσματα μοντέλου για την καλλιέργεια χειμερινών σιταριών στην περιοχή του Κιλκίς	44
Πίνακας 5.4 : Αποτελέσματα μοντέλου για την καλλιέργεια χειμερινών σιταριών στην περιοχή του Αλμυρού Μαγνησίας	44
Πίνακας 5.5 : Αποτελέσματα μοντέλου για την καλλιέργεια αραβοσίτου στην περιοχή του Δέλτα του Πηνειού στο νομό Λαρίσης	45
Πίνακας 5.6 : Αποτελέσματα μοντέλου για την καλλιέργεια αραβοσίτου στην περιοχή της Χρυσούπολης στην Καβάλα	45

ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

- Σχήμα 5.1 :** Διακυμάνσεις αποδόσεων και τιμών μοντέλου 4.4 για την καλλιέργεια βαμβακιού στην περιοχή της Κάρλας Λαρίσης 48
- Σχήμα 5.2 :** Διακυμάνσεις αποδόσεων και τιμών μοντέλου 4.4 για την καλλιέργεια βαμβακιού στην περιοχή της Καρδίτσας 48
- Σχήμα 5.3 :** Διακυμάνσεις αποδόσεων και τιμών μοντέλου 4.4 για την καλλιέργεια χειμερινών σιτηρών στην περιοχή του Κιλκίς 50
- Σχήμα 5.4 :** Διακυμάνσεις αποδόσεων και τιμών μοντέλου 4.4 για την καλλιέργεια χειμερινών σιτηρών στην περιοχή Αλμυρού Μαγνησίας 50
- Σχήμα 5.5 :** Διακυμάνσεις αποδόσεων και τιμών μοντέλου 4.4 για την καλλιέργεια αραβοσίτου στην περιοχή Δέλτα Πηνειού Λαρίσης 51
- Σχήμα 5.6 :** Διακυμάνσεις αποδόσεων και τιμών μοντέλου 4.4 για την καλλιέργεια αραβοσίτου στην περιοχή Χρυσούπολης Καβάλας 51

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Ελλάδα είναι παραδοσιακά μία αγροτική χώρα όπου ακόμη και σήμερα η γεωργία παίζει πρωτεύοντα ρόλο στην εθνική οικονομία, καθώς πολλά γεωργικά προϊόντα εξάγονται στο εξωτερικό. Η επιστήμη της γεωπονίας σε όλους τους τομείς της, συνέβαλε στη βελτίωση των αποδόσεων και της ποιότητας των προϊόντων της γεωργίας, αυξάνοντας την ανταγωνιστικότητα των ελληνικών προϊόντων στη διεθνή αγορά. Πέραν όμως από τον ποιοτικό παράγοντα, ο οποίος τα τελευταία χρόνια τυγχάνει ιδιαίτερης προσοχής και σε παγκόσμιο επίπεδο και καθορίζει τη μοναδιαία αξία των προϊόντων, το ύψος των αποδόσεων παραμένει πολύ σημαντικός παράγοντας καθώς από αυτόν εξαρτάται κατά κύριο λόγο το ύψος των εσόδων από την εξαγωγή των προϊόντων. Και ενώ έχει επιτευχθεί η παραγωγή μεγάλου όγκου προϊόντων χάρη στα επιτεύγματα της γενετικής, που δημιούργησε πιο παραγωγικές ποικιλίες, και τις επαναστατικές μεθόδους φυτοπροστασίας και γενικότερα καλλιεργητικών φροντίδων, που επιτρέπουν στα φυτά να δώσουν τη βέλτιστη απόδοση, η αβεβαιότητα στην τελική παραγωγή παραμένει μέχρι το τέλος της καλλιεργητικής περιόδου, όπου τα αποτελέσματα των κόπων του παραγωγού είναι πλέον ορατά στα ώριμα φυτά. Η ύπαρξη μεθόδων πρόγνωσης της τελικής παραγωγής [14,25,30,31,39,40,45,52] θα εξαφάνιζε την άγνοια και την αβεβαιότητα για την τύχη ενός γεωργικού προϊόντος, πολύ νωρίτερα από το τέλος της καλλιεργητικής περιόδου και την περίοδο της συγκομιδής, και θα επέτρεπε σε πολλούς ενδιαφερόμενους τη λήψη αποφάσεων, βασιζόμενοι στα αποτελέσματα μιας αξιόπιστης πρόγνωσης.

Στο παρελθόν, πολλοί ερευνητές έχουν επιχειρήσει να δημιουργήσουν μοντέλα και μεθόδους πρόγνωσης της παραγωγής πολύ νωρίτερα από το τέλος της καλλιεργητικής περιόδου. Για τον σκοπό αυτό έχουν χρησιμοποιηθεί πολλά είδη δεδομένων και έχουν δημιουργηθεί πολλές τέτοιες μέθοδοι, με ποικίλα αποτελέσματα. Από αυτές τις προσπάθειες φάνηκε ότι τα καλύτερα

δεδομένα για έναν τέτοιο σκοπό είναι τα στατιστικά δεδομένα παρελθόντων ετών και τα δεδομένα τηλεπισκόπησης που παρέχει δεδομένα της τρέχουσας χρονιάς [54]. Τα τελευταία χρόνια, η κατάκτηση του διαστήματος επέτρεψε τη χρήση δορυφόρων για την παρακολούθηση της επιφάνειας της γης και την παροχή μεγάλου όγκου δεδομένων σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα, με μεγάλη ευκολία και με σχετικά χαμηλό κόστος. Έτσι, η τηλεπισκόπηση μπορεί πλέον από τη δεκαετία του '70 [39] να χρησιμοποιεί ως πηγή δεδομένων τους μετεωρολογικούς και περιβαλλοντικούς δορυφόρους.

Στην εργασία αυτή, χρησιμοποιήθηκαν σαν βάση δεδομένων τα δορυφορικά δεδομένα από τον δορυφόρο NOAA/AVHRR [49], για την Ελληνική περιοχή και για μια τριετή χρονική περίοδο. Παράλληλα χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας της Ελλάδος [7] για τις εκτάσεις και τις αποδόσεις τριών καλλιεργειών (βαμβάκι, χειμερινά σιτηρά και αραβόσιτος), για την ίδια χρονική περίοδο. Αφού έγινε η κατάλληλη επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων για την εξαγωγή του δείκτη βλάστησης NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) [3,25,49] και για τον εντοπισμό των περιοχών που καλυπτόταν από τις εξεταζόμενες καλλιέργειες, χρησιμοποιήθηκαν σαν εισαγόμενα δεδομένα σε ένα μοντέλο εκτίμησης βιομάζας.

Το μοντέλο αυτό εκτίμησης βιομάζας, εφαρμόστηκε στις τρεις αυτές καλλιέργειες και στη συνέχεια έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων με τα στατιστικά στοιχεία αποδόσεων, ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα στο κατά πόσο πλησιάζουν στην πραγματικότητα τα αποτελέσματα του μοντέλου. Στόχος της εργασίας ήταν πέρα από την αξιολόγηση του μοντέλου και η ικανότητά του να προβλέψει την παραγωγή των τριών καλλιεργειών στα τρία έτη, και να διερευνηθούν οι πιθανές ενέργειες που θα μπορούσαν να γίνουν για την καλύτερη προσαρμογή του μοντέλου στις καλλιέργειες αυτές και τη βελτίωση της ακρίβειας των προβλέψεων.

Στα επόμενα κεφάλαια θα γίνει αναφορά στον τομέα της δορυφορικής τηλεπισκόπησης και στη σημασία που έχει για τη γεωργία καθώς επίσης και συγκεκριμένη αναφορά στο δείκτη βλάστησης, τη σημασία και τη χρησιμότητά

του στην παροχή δεδομένων και τη γεωργική έρευνα. Επίσης θα αναφερθούν κάποια στοιχεία και ιδιαιτερότητες των καλλιεργειών που μελετήθηκαν με ιδιαίτερη έμφαση στα φαινολογικά στάδια [5] αυτών που σχετίζονται άμεσα με τη διακύμανση του δείκτη βλάστησης κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Τέλος μετά την λεπτομερή περιγραφή των βημάτων και διαδικασιών που ακολουθήθηκαν για τη διεκπεραίωση αυτής της εργασίας, παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα, εξάγονται συμπεράσματα και γίνονται προτάσεις για βελτίωση του μοντέλου και της όλης διαδικασίας για περαιτέρω μελέτη και έρευνα του όλου θέματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Στα ακόλουθα εδάφια, γίνονται αναφορές σε θέματα, οι γνώσεις των οποίων είναι απαραίτητες για τη διεκπεραίωση της παρούσας εργασίας, όπως τα μοντέλα εκτίμησης παραγωγής, η φύση και η χρησιμότητα των μετεωρολογικών δορυφόρων στην αγρομετεωρολογία και οι δυνατότητες και εφαρμογές του δείκτη βλάστησης NDVI.

2.1 Μοντέλα Εκτίμησης Παραγωγής

Τα μοντέλα εκτίμησης παραγωγής [16,40] είναι μαθηματικές εξισώσεις οι οποίες παρουσιάζουν τη σχέση μεταξύ κάποιων μεγεθών και την αλληλεπίδραση μεταξύ τους. Τα μαθηματικά αυτά μοντέλα δίνουν τη δυνατότητα υπολογισμού μιας από τις παραμέτρους που συμμετέχουν σε αυτά, με την προϋπόθεση ότι είναι γνωστές οι τιμές των υπολοίπων παραμέτρων. Η πρόγνωση παραγωγής [14,25,30,31,39,40,45,52,36] είναι ένα πρόβλημα το οποίο δεν έχει βρει ακόμη λύση, όσον αφορά στην ακριβή πρόγνωση της παραγωγής μιας καλλιέργειας, βασισμένη σε συγκεκριμένα δεδομένα για ορισμένη χρονική περίοδο. Τα δεδομένα στα οποία βασίζονται τα μέχρι στιγμής μοντέλα εκτίμησης παραγωγής αρχίζουν από φαινολογικές παρατηρήσεις, μετεωρολογικά δεδομένα και φτάνουν μέχρι και στα σύγχρονα δεδομένα από τηλεπισκόπηση.

2.1.1 Μοντέλα Εκτίμησης Παραγωγής με χρήση δορυφορικών δεδομένων

Από το 1972, με την εκτόξευση του πρώτου δορυφόρου της σειράς LANDSAT [39], η τηλεπισκόπηση ανέλαβε προοδευτικά μεγαλύτερο ρόλο

στην παρακολούθηση καλλιεργειών και στις εφαρμογές στη γεωργία. Η δυνατότητα απόκτησης δεδομένων μεγάλων εκτάσεων γης με τη χρήση ακτινοβολίας από το οπτικό αλλά και το υπέρυθρο τμήμα του φάσματος [29], με μεγάλη συχνότητα και ακρίβεια, άνοιξε νέους ορίζοντες στον εμπλουτισμό των βάσεων δεδομένων των ερευνητών με μοναδικά δεδομένα [54]. Έτσι οι νέες εφαρμογές χωρίστηκαν σε τρεις κατηγορίες: την χαρτογράφηση [1,6] και αναγνώριση [3] των αγροτικών εκτάσεων και καλλιεργειών, την παρακολούθηση [27,49] αυτών των καλλιεργειών και την διαπίστωση προβλημάτων των φυτών [55] στην κανονική λειτουργία και εξέλιξή τους. Παρόλα αυτά η χρήση των δεδομένων της τηλεπισκόπησης στις εφαρμογές αυτές παρουσιάζει κάποια προβλήματα όπως η μικρή διακριτική ικανότητα και λεπτομέρεια των εικόνων που λαμβάνουν οι δορυφόροι και η συχνότητα λήψης εικόνων [26]. Σε αυτά τα προβλήματα θα υπάρξει εκτενέστερη αναφορά.

Η πρόγνωση παραγωγής με τη χρήση μοντέλων που βασίζονται σε δορυφορικά δεδομένα [44,54] έχει μεγάλη σημασία για τον παραγωγό. Ακόμα μία άλλη εφαρμογή που μπορεί να έχει ένα τέτοιο μοντέλο, είναι το γεγονός ότι αποτελεί επίσημη επιστημονική εγγύηση της τελικής παραγωγής χάρη στην οποία καθορίζεται εθνικά η τιμή του προϊόντος. Επί πλέον ο παραγωγός βρίσκει πολύ ενδιαφέρουσα τη χρήση των δορυφορικών εικόνων για την διαπίστωση και ίσως διάγνωση ασθενειών [54,55], οι οποίες αποτελούν αστάθμητο παράγοντα για τα μοντέλα παραγωγής και δεν είναι δυνατό να προβλεφθούν με μεγάλη ακρίβεια.

Ένα επιπλέον πρόβλημα που παρουσιάζουν οι εφαρμογές στη γεωργία δορυφορικών δεδομένων, είναι η αμειψισπορά [54]. Τα όρια των εκτάσεων που καλλιεργούνται παρουσιάζουν μικρές διαφοροποιήσεις με την πάροδο των ετών (Quarmby *et al.*, 1993). Αντίθετα σε ένα συγκεκριμένο αγρό, δεν καλλιεργείται η ίδια καλλιέργεια όλα τα χρόνια. Τα δεδομένα από δορυφόρους δεν μπορούν να αναγνωρίσουν την καλλιέργεια που αναπτύσσεται σε έναν αγρό καθώς το σήμα που επιστρέφουν οι διάφορες καλλιέργειες διαφέρει πολύ λίγο [2]. Αυτά τα δεδομένα μπορούν να ληφθούν μόνο από τις στατιστικές

υπηρεσίες οι οποίες καταγράφουν αυτά τα στοιχεία σε ετήσια βάση. Με αυτό τον τρόπο λειτουργούν πολλά προγράμματα στην Ευρωπαϊκή Ένωση σήμερα τα οποία προσφέρουν ικανοποιητικά αποτελέσματα στην παρακολούθηση της γης. Πρόσφατα οι Quarmby *et al.* (1993) προχώρησαν ένα βήμα ακόμη χρησιμοποιώντας εικόνες SPOT αρχικά, για την αναγνώριση των καλλιεργειών και εικόνες NOAA/AVHRR για την πρόγνωση παραγωγής [49]. Οι δορυφόροι SPOT έχουν μεγαλύτερη διακριτική ικανότητα από αυτή των NOAA με το σύστημα AVHRR [18,26,32,39]. Το μειονέκτημά τους είναι η μικρή συχνότητα λήψης εικόνων [39], γεγονός που απαγορεύει την χρήση τους για απόκτηση δορυφορικών δεδομένων πάνω στα οποία μπορεί να βασιστεί ένα μοντέλο εκτίμησης παραγωγής. Αρκεί όμως μια εικόνα από τον δορυφόρο SPOT σε μια καίρια χρονική στιγμή, για να διακριθούν οι καλλιέργειες που υπάρχουν σε μια περιοχή, δυνατότητα που δεν παρέχουν οι δορυφόροι NOAA. Σε παρόμοια μεθοδολογία προσανατολίζονται οι ερευνητές που χρησιμοποιούν δορυφορικά δεδομένα, χρησιμοποιώντας δύο ειδών δορυφόρων, ώστε ο ένας να καλύπτει τις ανάγκες που δεν μπορεί να εξυπηρετήσει ο άλλος και αντίθετα, αγνοώντας έτσι, μέχρι ενός βαθμού, τα μειονεκτήματα που παρουσιάζει το κάθε δορυφορικό σύστημα.

2.2 Η Τηλεπισκόπηση στην Γεωργία

Τηλεπισκόπηση είναι η επιστήμη που ασχολείται με την απόκτηση πληροφοριών από απόσταση, χωρίς φυσική επαφή με αντικείμενα, σώματα, φυσικούς σχηματισμούς και γενικά υλικές δομές. Η πληροφορία αποκτάται με την ανίχνευση και μέτρηση μεταβολών που επιφέρει στον περιβάλλοντα χώρο το αντικείμενο το οποίο επισκοπείται [21,24]. Οι μετρήσεις αφορούν στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία [29] ή τα ηχητικά κύματα που εκπέμπονται από το αντικείμενο, ή την μεταβολή του μαγνητικού πεδίου του περιβάλλοντα χώρου του αντικειμένου που οφείλεται στην παρουσία του. Με αυτή την έννοια, η παρακολούθηση της επιφάνειας της Γης από αεροσκάφη,

δορυφόρους και διαστημόπλοια, η επισκόπηση του θαλάσσιου βυθού με ηχητικά κύματα, η παρακολούθηση μακρινών γαλαξιών με την ανίχνευση και μέτρηση ακτινοβολιών γ , η ανίχνευση μετάλλων με μαγνητόμετρα, εμπίπτουν στο γνωστικό αντικείμενο της επιστήμης της τηλεπισκόπησης.

2.2.1 Οι δορυφόροι ως μέσα τηλεπισκόπησης

Οι τεχνητοί δορυφόροι ορίζονται ως οι συσκευές που τοποθετούνται σε κυκλική ή ελλειπτική τροχιά γύρω από τη Γη, τον Ήλιο ή άλλους πλανήτες και που επιστρέφουν στη Γη ή παραμένουν στο διάστημα. Την κατάλληλη ταχύτητα για την κίνηση ή την παραμονή των δορυφόρων στο διάστημα, προσδίδουν προωθητικοί πύραυλοι. Η κατασκευή τους δίνει λύση σε πάρα πολλά τεχνικά προβλήματα που έχουν μια γενικότερη εφαρμογή ενώ η χρήση τους αφορά πολλά γνωστικά πεδία. Με τους δορυφόρους έγινε δυνατή, για πρώτη φορά, μια καλύτερη γνώση της Γης, ενώ παράλληλα ικανοποιήθηκε το παλιό όνειρο των ανθρώπων να ταξιδέψουν «πέρα από τη μικρή Γη» ανοίγοντας έτσι νέους ορίζοντες στον ανθρώπινο πολιτισμό.

2.2.2 Δορυφορικά Συστήματα

Η ταξινόμηση των δορυφορικών συστημάτων μπορεί να βασιστεί σε πολλά κριτήρια. Μπορεί να χωριστούν με βάση το μήκος κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στο οποίο είναι ευαίσθητα, ή με τον τρόπο με τον οποίο το δορυφορικό σύστημα δέχεται το σήμα [21,22,24]. Σύμφωνα με το δεύτερο κριτήριο τα δορυφορικά συστήματα χωρίζονται σε ενεργητικά και παθητικά συστήματα.

2.2.2.1 Ενεργητικά δορυφορικά συστήματα

Τα ενεργητικά δορυφορικά συστήματα χαρακτηρίζονται από το γεγονός ότι παράγουν τα ίδια ένα ηλεκτρομαγνητικό σήμα και λαμβάνουν το ίδιο ανακλώμενο σήμα. Τα στοιχεία που λαμβάνουν βασίζονται στο χρονικό διάστημα ανάμεσα στην εκπομπή και τη λήψη του σήματος, για να καθορίσουν την απόσταση, και την αλλαγή στο μήκος κύματος του σήματος για να

διαπιστώσουν το είδος του αιτίου που δημιούργησε την ανάκλαση. Το μήκος κύματος στο οποίο λαμβάνουν το ηλεκτρομαγνητικό σήμα κυμαίνεται μεταξύ 1 cm και 1 m. Τέτοια συστήματα ονομάζονται γενικότερα RADAR, και χωρίζονται και αυτά με τη σειρά τους σε δορυφορικά radar και μετεωρολογικά radar.

2.2.2.1.1 Δορυφορικά radar

Τα δορυφορικά radar είναι προσαρμοσμένα συνήθως επάνω σε αεροπλάνα ή δορυφόρους, ή πολύ σπάνια μπορεί και να είναι και επίγεια. Τα αισθητήρια που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία της εικόνας από ένα δορυφορικό radar είναι τα SLAR (Side-Looking Airborn Radar) το οποίο είναι αερομεταφερόμενο, και τα SAR (Synthetic Aperture Radar) τα οποία βρίσκονται συνήθως σε δορυφόρους.

2.2.2.1.2 Μετεωρολογικά radar

Τα μετεωρολογικά radar είναι επίγεια συστήματα και έχουν τη δυνατότητα να εντοπίζουν και να καθορίζουν τη θέση και το είδος των ατμοσφαιρικών διαταράξεων. Αυτό γίνεται γιατί το μήκος κύματος στο οποίο είναι ευαίσθητα τα μετεωρολογικά radar μπορεί να συλλάβει σήμα που ανακλάται από χαλαζόκοκκους, κρυστάλλους χιονιού και σταγόνες βροχής.

2.2.2.2 Παθητικά δορυφορικά συστήματα

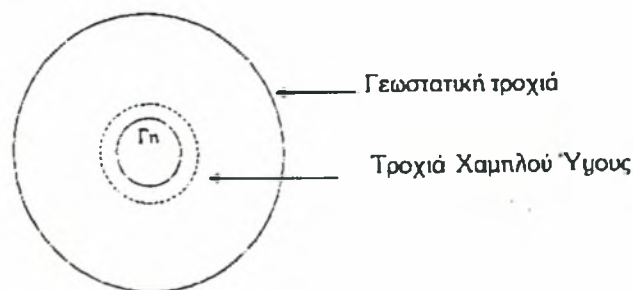
Αντίθετα με τα ενεργητικά δορυφορικά συστήματα, τα παθητικά δεν έχουν μέσο εκπομπής ηλεκτρομαγνητικού σήματος, παρά μόνο δέκτες. Οι δέκτες αυτοί συλλαμβάνουν το σήμα που ανακλά η επιφάνεια του πλανήτη μας και βασίζονται στα χαρακτηριστικά αυτού του σήματος για να δημιουργήσουν την εικόνα. Οι δορυφόροι που λειτουργούν με αυτό τον τρόπο χωρίζονται σε μετεωρολογικούς και περιβαλλοντικούς.

2.2.2.2.1 Μετεωρολογικοί δορυφόροι

Οι μετεωρολογικοί δορυφόροι έχουν τον ίδιο σκοπό με τα μετεωρολογικά radar, δηλαδή τον εντοπισμό και την παρουσίαση σε εικόνα των νεφικών συστημάτων που επικρατούν σε διάφορες περιοχές της γης. Οι εικόνες αυτές μεταδίδονται από τους δορυφόρους σε επίγειους σταθμούς της γης οι οποίοι είναι εξοπλισμένοι με δέκτες για τη λήψη των εικόνων αυτών. Οι δύο βασικότεροι μετεωρολογικοί δορυφόροι είναι η σειρά δορυφόρων NOAA και ο METEOSAT, οι οποίοι διαφέρουν και στο είδος της τροχιάς που ακολουθούν γύρω από τη Γη.

2.2.2.2.1.1 Ο δορυφόρος NOAA και το σύστημα AVHRR

Η σειρά των δορυφόρων NOAA είναι μία σειρά δορυφόρων χαμηλού ύψους. Η τροχιά χαμηλού ύψους, λόγω του ύψους της, έχει πολλές ιδιότητες οι οποίες δεν είναι ακόμη πλήρως εκμεταλλεύσιμες. Η τροχιά αυτή θα πρέπει να βρίσκεται αρκετά ψηλά ώστε να αποφεύγει την αντίσταση της ατμόσφαιρας αλλά και αρκετά χαμηλά ώστε να είναι κάτω από την πρώτη ζώνη Van Allen. Τα υψόμετρα της τροχιάς αυτής βρίσκονται τυπικά μεταξύ 750 και 1500 Km, ενώ η περίοδος περιστροφής του δορυφόρου γύρω από τη Γη είναι περίπου 90 λεπτά (εικόνα 2.1). Τα δυναμικά πλεονεκτήματα αυτής της τροχιάς σε σύγκριση με τη γεωστατική περιλαμβάνουν μειωμένες απαιτήσεις ισχύος του δορυφόρου και μεγέθους της κεραίας, μικρότερη καθυστέρηση διάδοσης, δυνατότητα περαιτέρω ανάπτυξης του συστήματος και χαμηλότερο κόστος απ' όλες τις άλλες τροχιές για αστερισμούς μικρών δορυφόρων.



Εικόνα 2.1 : Τροχιά Χαμηλού Ύψους & Γεωστατική Τροχιά

Το σύστημα AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) [18,21] είναι ένα μετεωρολογικό ραδιόμετρο το οποίο χρησιμοποιείται για τη λήψη επίγειων παρατηρήσεων που συνήθως έχουν σχέση με την βλάστηση στην επιφάνεια του πλανήτη μας. Πρόκειται για έναν παθητικό δέκτη ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ο οποίος όμως παρουσιάζει πολύ μεγάλη διακριτική ικανότητα. Η ιστορία του συστήματος ξεκινά το 1960 όταν για πρώτη φορά εξοπλίστηκαν δέκα τηλεοπτικοί δορυφόροι με την ονομασία TIROS (Television and Infra-Red Observations Satellites), μαζί με αρκετούς επιχειρησιακούς (ITOS, TOS και NOAA) [18]. Οι κάμερες που έφεραν οι δορυφόροι μπορούσαν να λαμβάνουν κύματα στο ορατό τμήμα του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Δώδεκα χρόνια αργότερα το πρώτο VHRR σύστημα εφαρμόζεται στον δορυφόρο ITOS-D με σκοπό την καταγραφή σήματος και επανεκπομπής του στη Γη. Το πρώτο AVHRR χρησιμοποιήθηκε τον Οκτώβριο 1978, και ο TIROS-N ήταν ο δορυφόρος που το χρησιμοποίησε. Το AVHRR έχει ένα οπτικό κανάλι, ένα στο κοντινό υπέρυθρο (near infrared-IR), ένα στο μέσο υπέρυθρο (middle IR) και ένα ή δύο κανάλια στο μακρινό (θερμικό) υπέρυθρο (far-thermal IR). Κάθε ένας από τους ανιχνευτές (radiometers-sensors) σαρώνει μια συνεχή περιοχή 3000 Km στην επιφάνεια της γης και έχει χωρική ανάλυση περίπου 1 Km² (pixel). Η απόσταση 3000 Km μεταφράζεται σε 27.2⁰ στο ύψος του ισημερινού. Τα στοιχεία της τροχιάς των NOAA είναι τέτοια ώστε τα σημεία του ισημερινού πάνω από τα οποία περνούν οι διαδοχικές τροχιές, απέχουν 25.3⁰, έτσι ώστε να μην υπάρχει χάσμα στην κάλυψη [39,49].

Τα δεδομένα AVHRR μπορούν να αποκτηθούν με τέσσερις τρόπους [21,24]:

1. Άμεση ραδιόληψη από γήινους σταθμούς, μέθοδος που είναι γνωστή σαν υψηλής ανάλυσης μετάδοση εικόνας (High Resolution Picture Transmission-HRPT).
2. Δεδομένα πλήρους χωρικής ανάλυσης μπορούν να καταγραφούν πάνω στο διαστημόπλοιο με διάρκεια 10 λεπτών το μέγιστο για κάθε τροχιά 102

λεπτών. Τα δεδομένα αυτά μεταβιβάζονται στους επίγειους σταθμούς στην Βιρτζίνια και την Αλάσκα των ΗΠΑ. Τα δεδομένα αυτά αφορούν κάλυψη συγκεκριμένων περιοχών που δεν καλύπτονται από την πρώτη μέθοδο.

3. Δεδομένα κάλυψης ευρείας περιοχής (Global Area Coverage- GAC). Τα δεδομένα αυτά καταγράφονται για μια πλήρη τροχιά και μεταβιβάζονται στους δύο παραπάνω σταθμούς. Με αυτό τον τρόπο έχουμε κάλυψη ολόκληρης της επιφάνειας της γης.
4. Τέλος το AVHRR παρέχει την υπηρεσία της αυτόματης μετάδοσης εικόνας (Automatic Picture Transmission - APT). Το συνεχώς εκπεμπόμενο σήμα μπορεί να ληφθεί και να απεικονιστεί από κάποιο σύστημα λήψης.

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος AVHRR και των δορυφόρων NOAA (Πίνακας 2.1) [18].

Πίνακας 2.1 : Τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος AVHRR και των δορυφόρων NOAA.

Τύπος ραδιομέτρου	Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR)				
Τύπος Δορυφόρου	Πολικής Τροχιάς – Ηλιοσύγχρονος				
Μέσο ύψος Τροχιάς	850 χλμ.				
Μέση Περίοδος Τροχιάς	102 λεπτά				
Συχνότητα Επανεμφάνισης	9.2 ημέρες				
Διέλευση από τον ισημερινό	ΚΑΘΟΔΙΚΗ B->N 07:30 LST 14:30 LST	ΑΝΟΔΙΚΗ N->B 19:30 LST 02:30 LST	NOAA 6,8,10,12 7,9,11,13		
Έυρος γωνίας σάρωσης σε μέγιστο πλάτος 2700 χλμ.	± 55.4°				
Διακριτική ικανότητα	1.1 χλμ (pixel στο ναδίρ)				
Κανάλια	1	2	3	4	5
Φασματική Περιοχή (μm)	0.58-0.68	0,725-1,1	3,55-3,93	10,5-11,3	11,5-12,5
	ορατό	κοντινό υπέρυθρο	μέσο υπέρυθρο	ζεσμικό υπέρυθρο	θερμικό υπέρυθρο
	(VIS)	(NIR)	(MIR)	(TIR)	(TIR)

2.2.2.2.1.2 Ο δορυφόρος METEOSAT

Αντίθετα με τους δορυφόρους NOAA, ο METEOSAT ακολουθεί γεωστατική τροχιά. Στη γεωστατική τροχιά η κίνηση του δορυφόρου είναι συγχρονισμένη με την περιστροφή της Γης και πραγματοποιείται στο ισημερινό της επίπεδο προς την ίδια διεύθυνση περιστροφής με τη Γη. Βρίσκεται σε ύψος περίπου 36000Km πάνω από την επιφάνεια της Γης και ακολουθώντας την κίνησή της, μένει ακίνητος ως προς αυτήν στον ουρανό. Τα κύρια χαρακτηριστικά ενός γεωστατικού δορυφόρου είναι: η ευρεία κάλυψη της επιφάνειας της Γης (περίπου το ένα τρίτο αυτής), και η περίοδος της τροχιάς του είναι 24 ώρες.

Ο METEOSAT έχει δέκτη που λαμβάνει ηλεκτρομαγνητικό σήμα σε τρία κανάλια, το ορατό (0.4 – 1.1 μm), το μέσο υπέρυθρο (5.7 – 7.1 μm) και του θερμικό υπέρυθρο (10.5 – 12.5 μm). Το μέσο υπέρυθρο κανάλι είναι αυτό που δίνει την απορρόφηση από τους υδρατμούς στη ατμόσφαιρα. Η χωρική διακριτότητα του METEOSAT είναι 2.4x2.4 km και το μέγεθος της εικόνας που δημιουργεί είναι 5000x5000 pixel.

2.2.2.2.2 Περιβαλλοντικοί δορυφόροι

Οι περιβαλλοντικοί δορυφόροι [22,24] χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες. Στην πρώτη ανήκει ο LANDSAT [39], ο οποίος είναι από τους πρώτους περιβαλλοντικούς δορυφόρους που εκτοξεύθηκαν και οι περισσότερες εικόνες έχουν ληφθεί από δορυφόρους LANDSAT της NASA. Στη δεύτερη κατηγορία ανήκει ο SPOT [39] ο οποίος, όπως και ο LANDSAT λαμβάνει σήμα στο ορατό και κοντινό υπέρυθρο φάσμα. Στην τρίτη κατηγορία ανήκει ο HCMM που λαμβάνει σήμα στο θερμικό υπέρυθρο φάσμα, και στην τέταρτη κατηγορία βρίσκεται ο SEASAT που ανιχνεύει μικροκύματα.

2.3 Ο Δείκτης Βλάστησης N.D.V.I. (Normalized Difference Vegetation Index)

Τα τελευταία χρόνια, με βάση τα δεδομένα από τους δορυφόρους, δημιουργήθηκε ένας νέος δείκτης ο οποίος παρουσιάζει όλο και μεγαλύτερο ενδιαφέρον για την Γεωπονική επιστήμη, ο δείκτης βλάστησης ή NDVI [3,14,15,18,20,25,44]. Για την εξαγωγή του δείκτη αυτού, χρησιμοποιούνται δύο από τα πέντε κανάλια λήψης των δορυφόρων NOAA, το κόκκινο (με εύρος από 0.58 ως 0.68 μm μήκος κύματος) και το κοντινό υπέρυθρο (με εύρος από 0.725 ως 1.1 μm). Η μαθηματική εξίσωση από την οποία προκύπτει ο δείκτης NDVI έχει ως εξής [3,18]:

$$NDVI = \frac{Ch_2 - Ch_1}{Ch_2 + Ch_1}, \quad (2.1)$$

όπου Ch_1 και Ch_2 είναι αντίστοιχα το κόκκινο και το κοντινό υπέρυθρο κανάλι. Η εξαγωγή του NDVI γίνεται από τον υπολογιστή ο οποίος συνδυάζει κάθε σημείο (pixel) του χάρτη στα δύο κανάλια σύμφωνα με τον παραπάνω τύπο και τελικά προκύπτει μια εικόνα το κάθε σημείο της οποίας έχει την τιμή του NDVI [37].

Η χρησιμότητα του NDVI έγκειται στο γεγονός ότι η χλωροφύλλη στα φύλλα των φυτών, απορροφά ακτινοβολία με μήκη κύματος 0.62 ως 0.7 μm ενώ η πράσινη επιφάνεια των φύλλων ανακλά ακτινοβολία με μήκη κύματος μεταξύ 0.74 και 1.1 μm [18]. Βλέπουμε λοιπόν ότι τα δύο κανάλια λήψης που αναφέρθηκαν σχεδόν συμπίπτουν με τα δύο τελευταία όρια μήκων κύματος. Συνεπώς ο δείκτης NDVI μπορεί να μας προσδιορίσει με αρκετή ακρίβεια την περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη [23,34,41,49], καθώς επίσης και το ποσοστό της κάλυψης του εδάφους από φυτική μάζα [4,17,29] και την ποσότητα αυτής.

Η απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό μιας από τις σημαντικότερες βιολειτουργίες των φυτών, τη φωτοσύνθεση. Οι ουσίες που περιέχουν τα φύλλα (χλωροφύλλη a και b,

καροτενοειδή, κυτταρικά οργανίδια και κυτταρικά τοιχώματα), συμβάλλουν στην απορρόφηση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε διάφορα μήκη κύματος. Τα μήκη κύματος που χρησιμοποιούνται για τη φωτοσύνθεση είναι μεταξύ 0.4 και 0.7 μm . Το νερό απορροφά τα μήκη κύματος μεταξύ 1.3 και 2.5 μm . Αντίθετα στην ενδιάμεση περιοχή μεταξύ 0.7 και 1.3 μm (περίπου τα όρια του φάσματος του κοντινού υπέρυθρου Ch_2), παρατηρείται μηδαμινή απορρόφηση και έτσι η ακτινοβολία αυτού του φάσματος ανακλάται πίσω στην ατμόσφαιρα [18].

Ο δείκτης NDVI παίρνει τιμές από -1 έως +1. Οι θετικές τιμές (όταν δηλαδή οι ακτινοβολία στο ορατό κανάλι είναι μικρότερη από αυτή του κοντινού υπέρυθρου) δηλώνουν ύπαρξη βλάστησης, ενώ σε αντίθετη περίπτωση, την ύπαρξη υδάτινης μάζας (νερό, χιόνι, νέφη, πάγος κλπ.) [18,49].

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από δορυφόρους NOAA. Αν και η μεγαλύτερη διακριτική ικανότητα του LANDSAT θα έδινε καλύτερα και λεπτομερέστερα αποτελέσματα, η μικρή συχνότητα λήψης εικόνων του LANDSAT σε σχέση με τις δύο εικόνες ανά ημέρα που παρέχει ο NOAA, δεν εξυπηρετούσαν την ανάγκη στενής παρακολούθησης των υπό μελέτη καλλιεργειών οι οποίες σε διάστημα 15 ημερών, που είναι η ελάχιστη συχνότητα λήψης εικόνων του LANDSAT, παρουσιάζουν μεγάλη εξέλιξη και επομένως θα είχαμε απώλεια πληροφοριών.

Η μεγάλη δυσκολία στην αξιοπιστία και τη χρήση του δείκτη NDVI που προκύπτει από δορυφορικά δεδομένα, είναι η διακριτική ικανότητα των δορυφόρων NOAA. Εάν εξετάζονται εκτατικές καλλιέργειες με μεγάλη εδαφοκάλυψη και σε μεγάλες αμιγείς εκτάσεις, τότε ο δείκτης NDVI είναι αξιόπιστος και ιδιαίτερα χρήσιμος. Σε περίπτωση όμως, που η βλάστηση δεν παρουσιάζει σημαντική εδαφοκάλυψη, οι τιμές του NDVI δείχνουν μηδενική ύπαρξη φυτομάζας. Έτσι σε περιοχές που οι φυτικοί οργανισμοί βρίσκονται σε μεγάλες αποστάσεις μεταξύ τους και η φυτομάζα τους δεν καλύπτει επαρκώς το έδαφος, ο δείκτης NDVI μπορεί να μην εντοπίσει επαρκώς τη βλάστηση. Σε τέτοιες περιπτώσεις είναι επιθυμητές λύσεις. Παρακάτω εξετάζονται μία σειρά εφαρμογών του δείκτη NDVI.

2.3.1 Πρόγνωση και εκτίμηση παραγωγής

Έχει αποδειχθεί σε μελέτες η άμεση σχέση του δείκτη NDVI με τη φυτομάζα των καλλιεργειών [23,25,35]. Η ακριβής αναλογία που ισχύει μεταξύ των δύο αυτών μεγεθών εξαρτάται από το είδος του φυτού, την φυλλική του επιφάνεια (όσο μεγαλύτερη φυλλική επιφάνεια και εδαφοκάλυψη υπάρχει, τόσο μεγαλύτερες τιμές NDVI εκτιμώνται) και της ποσότητας της χλωροφύλλης στα φύλλα [18,19]. Αυτό και μόνο το συμπέρασμα έχει μεγάλη χρησιμότητα για τις καλλιέργειες οι οποίες καλλιεργούνται για την φυτική μάζα που παράγουν και όχι για τον καρπό τους (χορτοδοτικά φυτά). Χρησιμοποιώντας την παραπάνω σχέση και λαμβάνοντας υπ' όψη ότι στις περισσότερες καλλιέργειες, εύρωστα και υγιή φυτά έχουν αφ' ενός υψηλές τιμές NDVI λόγω της μεγάλης βλαστικής ανάπτυξης, και αφ' ετέρου μεγάλη απόδοση, είναι δυνατόν να εξαχθεί σχέση που να συνδέει τα δύο αυτά μεγέθη, τις τιμές NDVI και την απόδοση. Μελέτες έχουν αποδείξει ότι υπάρχει σχέση από την οποία μπορεί να προκύψει η ξηρή βιομάζα με βάση δορυφορικά δεδομένα. Η σχέση αυτή είναι [47]:

$$\text{Ξηρή Βιομάζα} = -327.7 + 429.2 (ch\ 10 / ch\ 8) \quad (2.2)$$

όπου ch8 και ch10 είναι αντίστοιχα τα εύρη του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος 0.66-0.72 μm και 0.8-1.0 μm . Η ξηρή βιομάζα είναι δυνατό να οδηγήσει σε πρόγνωση παραγωγής, καθώς από στατιστικά δεδομένα προκύπτει ότι η ξηρή βιομάζα σε δεδομένη χρονική στιγμή και η τελική παραγωγή είναι ανάλογα.

Είναι λοιπόν δυνατό να χρησιμοποιηθεί ο δείκτης βλάστησης για πρόγνωση παραγωγής από τη μέση του βλαστικού κύκλου της καλλιέργειας, χρησιμοποιώντας και δεδομένα από προηγούμενες χρονιές και συγκρίνοντας δεδομένα που προήλθαν από τις ίδιες καλλιέργειες, στις ίδιες περιοχές, την ίδια χρονική περίοδο [25]. Για να εξαχθούν ακριβή συμπεράσματα, απαιτούνται και λεπτομερή και ακριβή δεδομένα. Ακόμη και με μη ακριβή δεδομένα όμως,

είναι δυνατό να υπάρχουν κάποιες εκτιμήσεις για το επίπεδο της τελικής παραγωγής.

Για παράδειγμα, οι Steven *et al.* (1983), χρησιμοποίησαν το δείκτη βλάστησης και απέδειξαν την άμεση σχέση του με την φωτοσυνθετική δραστηριότητα των φυτών [53]. Ο Monteith (1977) κατέληξε σε ένα μοντέλο από το οποίο προκύπτει πως η παραγωγή ξηρής βιομάζας (dW) ανά μονάδα έκτασης (dt) είναι ανάλογη με την φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία (S), το ποσοστό (f) που απορροφάται από την καλλιέργεια και την «απόδοση» (n) της μετατροπής της απορροφούμενης ενέργειας σε βιομάζα [54]. Το μοντέλο έχει ως εξής:

$$dW/dt = n.f.S \quad (2.3)$$

Το S μπορεί να προκύψει από μετεωρολογικά δεδομένα. Η απόδοση n δεν υπολογίζεται εύκολα, αλλά έχει διαπιστωθεί ότι έχει μικρή διαφοροποίηση αν ληφθεί ως μέσος όρος καθ' όλη τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου, με εξαίρεση την περίπτωση ύπαρξης καταπόνησης(stress) στην καλλιέργεια. Το f μπορεί να υπολογιστεί από εμπειρικούς τύπους. Με τη χρήση των δύο σχέσεων είναι δυνατόν να υπολογισθεί η παραγόμενη βιομάζα χρησιμοποιώντας το δείκτη βλάστησης, μέσω της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας.

Η έλλειψη ύδατος για παρατεταμένη περίοδο, σε συνδυασμό με την έντονη διαπνοή των φυτών, οδηγεί στη διάσπαση της χλωροφύλλης στα φύλλα και συνεπώς σε μικρές τιμές του δείκτη βλάστησης. Είναι δυνατό όμως αυτό το φαινόμενο να είναι παροδικό και να μην έχει καμία επίπτωση στην τελική παραγωγή [54]. Τα «εσφαλμένα» δεδομένα που θα δώσει ο δείκτης βλάστησης θα οδηγήσουν και σε λάθος συμπεράσματα. Η απώλεια του πράσινου χρώματος των φύλλων λόγω έλλειψης χλωροφύλλης, μπορεί να μην οφείλεται στην έλλειψη ύδατος, αλλά σε κάποια ασθένεια και έτσι να υπάρχουν συμπτώματα χλώρωσης ή να πρόκειται για προσβολή από ιό που καταστρέφει την χλωροφύλλη. Στις τελευταίες περιπτώσεις, υπάρχει μεγάλη επίδραση στην

τελική παραγωγή της καλλιέργειας, η οποία μπορεί να μην ληφθεί υπ' όψη στον απαραίτητο βαθμό και έτσι να υπερεκτιμηθεί η παραγωγή.

2.3.2 Διαπίστωση και διάγνωση ασθενειών

Ο δείκτης NDVI μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στον τομέα της διαπίστωσης και αναγνώρισης ασθενειών. Χρησιμοποιώντας δεδομένα NDVI παλαιότερων ετών και συγκρίνοντας τις τιμές του δείκτη βλάστησης με αυτές των παλαιότερων ετών που αναφέρονται στην ίδια καλλιέργεια και την ίδια χρονική περίοδο και σημείο του βλαστικού κύκλου της καλλιέργειας, μπορεί να διαπιστωθεί η ύπαρξη ασθένειας εάν οι τιμές αυτές διαφέρουν σε ένα μεγάλο βαθμό. Η αναγνώριση της ασθένειας είναι, βέβαια, μια πολύ πιο δύσκολη υπόθεση, καθώς δεν αρκεί μόνο η διαπίστωση απόκλισης των τιμών NDVI από τα κανονικά επίπεδα, αλλά επιπλέον εξαρτάται και από το μέγεθος της απόκλισης, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένδειξη της κατάστασης των φύλλων και από εκεί να γίνουν κάποιες υποθέσεις για το αίτιο της ανωμαλίας στην ανάπτυξη του φυτού. Η μεγάλη ποικιλία των παθογόνων αιτιών και το γεγονός ότι πολλές ασθένειες προκαλούν παρόμοια συμπτώματα, ακόμα και οπτικά, δυσκολεύουν την έγκυρη διάγνωση της ασθένειας.

Θεωρητικά, η μέθοδος βασίζεται στο γεγονός ότι τα προσβεβλημένα φύλλα παρουσιάζουν μειωμένες ποσότητες χλωροφύλλης, η οποία όταν φτάσει σε πολύ χαμηλό επίπεδο, δίνει το κίτρινο χρώμα στο φύλλο λόγω των καροτενοειδών και ανθοκυανών οι οποίες κανονικά καλύπτονται από την χλωροφύλλη. Ο δείκτης NDVI μπορεί να αποδώσει αυτή τη μείωση της χλωροφύλλης, πολύ πριν γίνει οπτικά αντιληπτή και έτσι να «ειδοποιήσει» για το γεγονός. Στην πράξη όμως υπάρχουν ορισμένες δυσκολίες.

Η διαπίστωση ασθενειών σε καλλιέργειες βρίσκονται ακόμα σε πειραματικό στάδιο. Ιδιαίτερα, η χρήση δορυφορικών δεδομένων δεν φαίνεται να προσφέρει ικανοποιητικές πληροφορίες, καθώς απαιτείται μεγάλη διακριτική ικανότητα (έως και ενός φυτού, δηλαδή 1x1 μέτρο) και μεγάλη συχνότητα λήψης δεδομένων. Έτσι προς το παρόν, η μόνη διαπίστωση που μπορεί να γίνει, είναι η διαπίστωση επιδημιών με τη χρήση δορυφορικών

δεδομένων με μεγάλη συχνότητα, όπως οι δορυφόροι NOAA, αλλά με μικρή διακριτική ικανότητα. Αυτή τη στιγμή δεν υπάρχει σύστημα δορυφόρων που να εκπληρώνει και τις δύο προϋποθέσεις, χωρίς βέβαια να συνοδεύεται από ένα απαγορευτικό κόστος λειτουργίας. Οι μελέτες σε αυτό τον τομέα έχουν γίνει με τη χρήση αεροφωτογραφιών, αλλά το κόστος τους δεν επιτρέπει τις μακροχρόνιες, συχνές μετρήσεις. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας όμως, υπολογίζεται ότι στο εγγύς μέλλον το κόστος συχνών και μεγάλης ακρίβειας δεδομένων δεν θα είναι τόσο υψηλό, και θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο δείκτης NDVI και σε αυτό τον τομέα.

2.3.3 Συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης για αποφυγή λιμών

Αν και η τεχνολογία έχει φτάσει σε πολύ υψηλό επίπεδο, ένα μεγάλο ποσοστό του πληθυσμού της γης εξακολουθεί να αντιμετωπίζει προβλήματα διατροφής. Τη στιγμή που οι «ανεπτυγμένες» χώρες, έχοντας υπερκαλύψει τις ποσοτικές ανάγκες τους σε είδη διατροφής, προσπαθούν να βελτιώσουν την ποιότητα των παραγόμενων γεωργικών προϊόντων, οι χώρες του Τρίτου Κόσμου, προσπαθούν για να πετύχουν την παραγωγή η οποία θα θρέψει τον πληθυσμό. Ο λιμός είναι μια απειλή που αντιμετωπίζουν κάθε χρόνο οι χώρες του Τρίτου Κόσμου, και οφείλεται αφενός μεν στον υπερπληθυσμό που παρουσιάζουν οι χώρες αυτές και αφ' ετέρου στο αντίξοο κλίμα των περιοχών αυτών και την έλλειψη καλλιεργητικών μέσων που είναι απαραίτητα για την επίτευξη της επιθυμητής παραγωγής.

Για την βοήθεια των χωρών αυτών έχουν δημιουργηθεί συστήματα παρακολούθησης της πορείας της χλωρίδας σε αυτές τις περιοχές που απειλείται συχνά από ξηρασία και καταπόνηση(stress), με τη χρήση των δορυφόρων NOAA και του δείκτη βλάστησης [18]. Με ένα τέτοιο πρόγραμμα ασχολήθηκαν οι Tucker *et al.* (1983) που εφαρμόστηκε στη Sahel της Σενεγάλης. Με βάση τα δεδομένα αυτά είναι δυνατό να παρακολουθηθεί η εξέλιξη της χλωρίδας και να υπάρξει προετοιμασία αντιμετώπισης φαινομένων λιμού εάν οι καλλιέργειες δεν αναπτυχθούν όπως αναμενόταν [57]. Συγκρίνοντας τα δεδομένα που λαμβάνονται με αυτά προηγούμενων ετών

καθώς και αυτά τα οποία θα έπρεπε να ληφθούν εάν η καλλιέργεια αναπτυσσόταν χωρίς προβλήματα, μπορεί να διαπιστωθεί το μέγεθος της καταστροφής και εάν αυτό γίνει νωρίς, ίσως και να ληφθούν και κάποια μέτρα.

2.3.4 Διαπίστωση μεγάλης έκτασης προσβολών από έντομα

Πολλά από τα έντομα αποτελούν εχθρό των καλλιεργειών. Τα περισσότερα από αυτά τρέφονται από τους χυμούς των φύλλων των φυτών και άλλα καταστρέφουν το υπόγειο τμήμα του φυτού και τελικά το νεκρώνουν. Στην πρώτη περίπτωση το φυτό χάνει μεγάλο τμήμα του φυλλώματός του και συνεπώς και της χλωροφύλλης του και στη δεύτερη η έλλειψη νερού λόγω καταστροφής των ριζών, οδηγεί στη διάσπαση της χλωροφύλλης και στη χλώρωση των φύλλων. Η έλλειψη χλωροφύλλης και στις δύο περιπτώσεις είναι εμφανής από το δείκτη NDVI. Χρησιμοποιώντας το δείκτη βλάστησης μπορεί να διαπιστωθεί το μέγεθος και η σοβαρότητα της προσβολής της καλλιέργειας από έντομα και να αποφασισθεί η παραπέρα δράση.

Η χρήση δορυφορικών δεδομένων από δορυφόρους της σειράς NOAA για την αντιμετώπιση του παραπάνω προβλήματος, υπερτερεί έναντι των άλλων δορυφορικών συστημάτων (LANDSAT, SPOT) γιατί προσφέρουν συχνή λήψη εικόνων που επιτρέπει την παρακολούθηση της εξέλιξης της προσβολής με μεγαλύτερη χρονική λεπτομέρεια [18]. Η μικρή διακριτική ικανότητα του NOAA δεν αποτελεί πρόβλημα γιατί είναι επιθυμητή η παρακολούθηση μεγάλων περιοχών και δεν απαιτείται η εστίαση σε συγκεκριμένες περιοχές. Έτσι μειώνεται και το κόστος της παρακολούθησης γιατί με μικρό αριθμό εικόνων NOAA παρακολουθείται μεγάλη έκταση βλάστησης, ακόμη και μεγαλύτερη από τα όρια μίας χώρας της Αφρικής.

Μία τέτοια χρήση των δορυφορικών δεδομένων είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί στα πλαίσια της ολοκληρωμένης καταπολέμησης των γεωργικών εχθρών (I.P.M., Integrated Pest Management) [5,18] με την οποία επιτυγχάνεται ο έλεγχος του πληθυσμού των εντόμων χωρίς χημικά μέσα, προστατεύοντας έτσι και το περιβάλλον.

2.3.5 Παρακολούθηση δασικών εκτάσεων

Είναι γνωστό πια η μεγάλη σημασία που έχουν τα δάση του πλανήτη μας και η προσφορά τους στην ατμόσφαιρα της γης. Δυστυχώς τα δάση απειλούνται συνεχώς από πυρκαγιές (φυσικές ή συνηθέστερα προκαλούμενες από ανθρώπους) οι οποίες έχουν ήδη μειώσει ανησυχητικά τις εκτάσεις τους.

Οι δορυφόροι NOAA έχουν τη δυνατότητα παρακολούθησης των δασικών εκτάσεων [19] με τη χρήση των καναλιών του ορατού, του μέσου υπέρυθρου και θερμικού υπέρυθρου. Έτσι ακόμη και μια μικρή εστία φωτιάς μπορεί να εντοπιστεί από τους δορυφόρους. Λόγω της μεγάλης διαφοράς θερμοκρασίας της περιοχής που καίγεται με τη θερμοκρασία της γύρω περιοχής, είναι δυνατό να γίνει αντιληπτή η πυρκαγιά, έστω και αν η έκταση που καταλαμβάνει είναι μικρότερη από την διακριτική ικανότητα του δορυφόρου [50]. Το μέσο υπέρυθρο κανάλι, όμως, δεν συμπεριφέρεται το ίδιο ικανοποιητικά σε περιοχές που έχουν ήδη υψηλές θερμοκρασίες, όπως οι τροπικές περιοχές [18,39]. Για το λόγο αυτό επιστρατεύεται και το θερμικό υπέρυθρο κανάλι το οποίο είναι αδρανές σε ακτινοβολίες λόγω υψηλών θερμοκρασιών που παράγουν οι πυρκαγιές.

Πάνω σε αυτή την ιδιότητα των καναλιών 3 και 4 (μέσο υπέρυθρο και θερμικό υπέρυθρο) βασίζεται και ο πιο αποτελεσματικός αλγόριθμος που δημιούργησε ο Kaufman et al [18,49]. Σύμφωνα με αυτόν, πυρκαγιά μπορεί να διαπιστωθεί όταν οι τιμές στα δύο κανάλια υπερβούν ένα συγκεκριμένο όριο και ταυτόχρονα οι τιμές στο κανάλι 3 υπερβούν αυτές του καναλιού 4 κατά ένα συγκεκριμένο ποσό. Στην Αυστραλία υπάρχει ήδη ένα πρόγραμμα προειδοποίησης για επικείμενες πυρκαγιές σε λειτουργία. Η μέθοδος χρησιμοποιεί το δείκτη NDVI για να διαπιστώσει τα επίπεδα υγρασίας στα φύλλα, και όταν η υγρασία πέσει σε χαμηλά επίπεδα, ανακοινώνεται σε δελτίο το γεγονός μαζί με την σοβαρότητα της κατάστασης, ανάλογα με το μικροκλίμα της περιοχής και τις θερμοκρασίες που επικρατούν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ

Στα επόμενα εδάφια περιγράφονται τα χαρακτηριστικά των εξεταζόμενων καλλιεργειών, με ιδιαίτερη έμφαση στα φαινολογικά τους στάδια και τις διαφορές που εμφανίζει ο δείκτης βλάστησης σε κάθε ένα από αυτά. Επιπλέον γίνεται και μια μικρή αναφορά στις απαιτήσεις των καλλιεργειών σε κλιματικές συνθήκες σε κάθε ένα από αυτά τα στάδια, απόκλιση από τις οποίες συνεπάγεται συνήθως αλλαγή των χρονικών ορίων των φαινολογικών σταδίων.

3.1 Καλλιέργεια Βαμβακιού

Το βαμβάκι (*Gossypium* sp.) είναι σήμερα μια από τις πιο ανταγωνιστικές και αποδοτικές εκτατικές καλλιέργειες στην Ελλάδα [5,18]. Νέες ποικιλίες δημιουργούνται μέσα σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα, η κάθε μια προσαρμοσμένη σε συγκεκριμένο περιβάλλον, με υψηλές απόδοσης και ποιότητα. Το μεγάλο οικονομικό κέρδος που αποφέρει η καλλιέργεια του βαμβακιού στους παραγωγούς είναι ο κυριότερος λόγος της έκτασης που έχει πάρει η καλλιέργεια βαμβακιού στη χώρα μας.

Η βλαστική περίοδος του βαμβακιού αρχίζει περίπου στα τέλη Μαρτίου με τη σπορά και τελειώνει τον Οκτώβριο με τα τελευταία “χέρια” της συγκομιδής. Ο ακριβής βλαστικός κύκλος εξαρτάται κάθε χρονιά από τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε ένα από τα φαινολογικά στάδια της καλλιέργειας. Η θερμοκρασία, η υγρασία, το έδαφος και το νερό μπορεί να επιμηκύνουν ή να βραχύνουν κάποιο από τα στάδια του βλαστικού κύκλου με ποικίλες επιδράσεις στην τελική παραγωγή. Κάθε ένα από τα στάδια του

βλαστικού κύκλου του βαμβακιού έχει τις δικές του απαιτήσεις σε κλιματικές συνθήκες καθώς και σε επίπεδα θρέψης και άρδευσης. Τα φαινολογικά στάδια για την περίοδο 1994-1996, με την οποία ασχολείται η παρούσα εργασία παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 3.1) [18]:

Πίνακας 3.1 : Φαινολογικά Στάδια Βαμβακιού

A/A	Στάδιο	Χρονική Περίοδος
1ο	Σπορά	1-10 Απριλίου
2ο	Φύτρωμα	11-20 Απριλίου
3ο	1ο Ζεύγος μόνιμων φύλλων	21-30 Απριλίου
4ο	2ο Ζεύγος μόνιμων φύλλων	1-20 Μαΐου
5ο	Εμφάνιση πρώτων χτενιών	21 Μαΐου – 20 Ιουνίου
6ο	Εμφάνιση πρώτων ανθέων	21 Ιουνίου – 10 Αυγούστου
7ο	Άνοιγμα καρυδιών	11 Αυγούστου – 20 Σεπτεμβρίου
8ο	1η Συλλογή (χέρι)	21 Σεπτεμβρίου - 10 Οκτωβρίου
9ο	2η Συλλογή (χέρι)	11-20 Οκτωβρίου

Η σπορά του βαμβακιού γίνεται στις αρχές Απριλίου, εφόσον έχουν περάσει οι εαρινοί παγετοί και η εδαφική υγρασία δεν βρίσκεται σε υψηλά επίπεδα [5,18]. Οι πρώτοι παγετοί της άνοιξης καθυστερούν κατά πολύ την βλάστηση των σπόρων, και η υψηλή εδαφική υγρασία ευνοεί την ανάπτυξη ασθeneιών στους σπόρους. Στο στάδιο του φυτρώματος, το φυτάριο είναι επίσης υπερβολικά ευαίσθητο στις τυχόν χαμηλές θερμοκρασίες, οι οποίες όμως σπανίζουν στα μέσα Απριλίου όπου λαμβάνει χώρα αυτό το στάδιο.

Από τις 20 Απριλίου, η φυτομάζα του βαμβακιού παρουσιάζει μια σταδιακή αύξηση, καθώς η έκπτυξη των πρώτων φύλλων επιτρέπει την αυξημένη φωτοσύνθεση και την δημιουργία φυτομάζας. Η σταδιακή αύξηση διαρκεί μέχρι τα τέλη Ιουνίου οπότε εμφανίζονται τα πρώτα χτένια και το φυτό αρχίζει να δίοχετεύει την ενέργειά του στα αναπαραγωγικά όργανα.

Το βαμβάκι είναι φυτό ιδιαίτερα απαιτητικό σε νερό (περίπου 500 mm το έτος) και το μεγαλύτερο ποσοστό νερού άρδευσης παρέχεται στο φυτό κατά τη διάρκεια της καρποφορίας (μήνες Ιουλίου - Αυγούστου) [5,18]. Αντίθετα, μετά το πέρας της ωρίμανσης των καρυδιών και την έναρξη της συγκομιδής, το επίπεδο υγρασίας πρέπει να διατηρείται όσο γίνεται χαμηλότερα γιατί σε αυτό το στάδιο, η υγρασία υποβαθμίζει την ποιότητα της ίνας των καρυδιών και δυσχεραίνει την μηχανική συγκομιδή. Συχνά οι πρώιμες βροχές του φθινοπώρου είναι καταστροφικές για την καλλιέργεια του βαμβακιού, όπως συνέβη το φθινόπωρο του 1994 στην Θεσσαλία, όπου οι πλημμύρες ματαίωσαν το δεύτερο χέρι βαμβακοσυλλογής με αποτέλεσμα την πολύ μικρή παραγωγή.

Η θερμοκρασία επηρεάζει επίσης τη διάρκεια του κάθε φαινολογικού σταδίου της καλλιέργειας βαμβακιού [5,18]. Σε γενικές γραμμές το βαμβάκι είναι θερμοφίλο φυτό και δεν ανέχεται πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Κάθε στάδιο έχει τις δικές του απαιτήσεις σε θερμοκρασία και όταν αυτή ξεφεύγει από τα βέλτιστα όρια, τότε η διάρκεια του κάθε φαινολογικού σταδίου επιμηκώνεται σε βάρος των επόμενων σταδίων και τελικώς, σε βάρος της παραγωγής, αλλά και την ποιότητα του παραγόμενου προϊόντος.

Οι τιμές NDVI που λαμβάνονται από μια έκταση είναι ανάλογες με το δείκτη φυλλικής επιφάνειας της καλλιέργειας. Ο τελευταίος επηρεάζεται από το μέγεθος των φύλλων των φυτών και από την φυλλοταξία των φυτών. Το βαμβάκι έχει φυλλοταξία 3/8 [5] και σχεδόν πλήρη εδαφοκάλυψη στις γραμμές του αγρού που καλλιεργείται.

Τα φαινολογικά στάδια του βαμβακιού σχετίζονται άμεσα με τις τιμές NDVI που δίνει η καλλιέργεια. Σε κάθε ένα από τα φαινολογικά του στάδια, το φυτό διέρχεται από διαφορετικές φάσεις της ζωής του και υπόκειται σε πολλές μορφολογικές και φυσιολογικές αλλαγές. Οι πρώτες ενδείξεις τιμών του NDVI για την καλλιέργεια εμφανίζονται με το φύτρωμα του φυτού, οπότε και εμφανίζεται για πρώτη φορά το πράσινο μέρος του φυτού. Οι τιμές NDVI όμως φτάνουν σε ικανοποιητικά υψηλό επίπεδο μετά την έκπτυξη του δεύτερου ζεύγους φύλλων, οπότε και αυξάνει κατακόρυφα ο δείκτης φυλλικής

επιφάνειας, που σχετίζεται άμεσα με τον δείκτη NDVI. Σε αυτό το στάδιο η βιομάζα του φυτού φτάνει στο μέγιστο της και διατηρείται σε αυτά τα επίπεδα περίπου μέχρι το στάδιο της καρπόδεσης, οπότε και οι τιμές του NDVI πέφτουν λόγω της μάρανσης του φυτού και της συλλογής του συσπόρου. Με την έναρξη του σταδίου της άνθησης, τα θρεπτικά στοιχεία που παίρνει το φυτό, καθώς και αυτά που έχει αποθηκεύσει, διοχετεύονται στην δημιουργία ανθέων και αργότερα στην κατασκευή καρυδιών, με συνέπεια να μην υπάρχει παραπέρα αύξηση της τιμής του NDVI, αλλά αντίθετα να αρχίσει να φθίνει.

3.2 Καλλιέργεια Σιταριού

Το σιτάρι είχε από πολύ παλιά μεγάλη σημασία για τον άνθρωπο. Από αιώνες αποτελούσε βασικό μέρος της διατροφής του, χάρη στην υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη που διαθέτει. Τα τελευταία χρόνια η εξέλιξη της τεχνολογίας και οι αυξημένες γνώσεις σε θέματα γενετικής και γεωργίας, οδήγησαν στη δημιουργία πολλών ποικιλιών με βελτιωμένα και ποικίλα χαρακτηριστικά σε σχέση με τα “άγρια είδη” που καλλιεργούνταν τα προηγούμενα χρόνια (*Agropyron*, *Aegilops*). Οι επικρατέστερες ποικιλίες σήμερα ανήκουν κατά βάση στο γένος *Triticum*. Η γενετική επέτρεψε τη δημιουργία τετραπλοειδών και εξαπλοειδών ποικιλιών από τα διπλοειδή *Triticum* με ποιο διαδεδομένα το *Triticum durum* (σκληρό σιτάρι, τετραπλοειδές) και το *Triticum aestivum* (μαλακό σιτάρι, εξαπλοειδές) [48,51]. Σήμερα το σιτάρι δεν έχει τη σημασία που είχε παλαιότερα και δεν καλλιεργείται σε τόσο μεγάλες εκτάσεις όπως άλλες, πιο ανταγωνιστικές καλλιέργειες. Διατηρεί όμως το πλεονέκτημα της καλλιέργειας σε ορεινές και περιοχές, εκεί όπου οι κλιματικές συνθήκες απαγορεύουν τη καλλιέργεια άλλων, πιο απαιτητικών σε θερμοκρασία και γονιμότητα εδάφους καλλιεργειών. Αντίθετα το σιτάρι δεν ανέχεται υψηλές θερμοκρασίες γιατί αναστέλλει τις βιολογικές λειτουργίες που ελέγχονται από ένζυμα ευαίσθητα σε υψηλές θερμοκρασίες [56].

Οι ιδανικές θερμοκρασίες για το σιτάρι είναι 20-22 °C, με εξαίρεση το στάδιο του αδελφώματος (βλέπε Πίνακα 3.2) όπου η βέλτιστη θερμοκρασία κυμαίνεται στα όρια 14-18 °C [56]. Στο στάδιο της εαρινοποίησης είναι απαραίτητες οι χαμηλές θερμοκρασίες για να μπορέσουν οι οφθαλμοί να βλαστήσουν και να δώσουν αργότερα ανθικό στέλεχος. Το σιτάρι, τέλος, προτιμά εδάφη συνεκτικά με καλή στράγγιση, αλλά όχι αμμώδη. Και αυτό γιατί ενώ έχει μεγάλες απαιτήσεις σε νερό, ιδιαίτερα στην περίοδο μεταξύ καλαμώματος και ανθήσεως, δεν ανέχεται την υψηλή υγρασία [56]. Γι' αυτό, πολλές φορές το σιτάρι καλλιεργείται σε επικλινείς περιοχές, ώστε το νερό να απομακρύνεται.

Τα σιτηρά χωρίζονται σε χειμερινές και εαρινές ποικιλίες. Στην παρούσα εργασία θα μελετηθούν μόνο οι χειμερινές ποικιλίες (σκληρό σιτάρι), ο βλαστικός κύκλος των οποίων ξεκινά από τον Νοέμβριο με την σπορά και τελειώνει στα τέλη Ιουνίου με τον θερισμό. Τα φαινολογικά στάδια του σιταριού παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 3.2) [56]:

Πίνακας 3.2 : Φαινολογικά Στάδια Σιταριού (Χειμερινές Ποικιλίες)

A/A	Στάδιο	Χρονική Περίοδος
1ο	Σπορά	11-20 Νοεμβρίου
2ο	Βλάστηση : Φύτρωμα	21-30 Νοεμβρίου
3ο	Βλάστηση : Αδέλφωμα	1-10 Δεκεμβρίου
4ο	Εαρινοποίηση	11 Δεκεμβρίου – 10 Μαρτίου
5ο	Καλάμωμα	11 Μαρτίου – 20 Απριλίου
6ο	Άνθηση	1-20 Μαΐου
7ο	Ωρίμανση	21 Μαΐου – 20 Ιουνίου
8ο	Συγκομιδή	21 Ιουνίου

Οι τιμές του δείκτη NDVI παρουσιάζουν διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια του βλαστικού κύκλου του σιταριού και, όπως και στο βαμβάκι, έχουν άμεση σχέση με τα φαινολογικά στάδια της καλλιέργειας.

Η πρώτη φορά που εμφανίζεται το πράσινο μέρος του φυτού είναι στο φυτόρωμα. Για να φυτρώσει ο σπόρος πρέπει να απορροφήσει νερό ίσο με το 30-40% του βάρους του για να διακοπεί ο λήθαργος. Αυτό το διάστημα μπορεί να διαρκέσει από 1 έως και 2,5 μήνες.

Μετά τη βλάστηση, το βλαστίδιο εξέρχεται του εδάφους μετά την πάροδο 5-10 ημερών, ανάλογα με τις επικρατούσες θερμοκρασίες. Ο βλαστός μόλις που έχει βγει στην επιφάνεια και μέχρι και το στάδιο της εαρινοποίησης διατηρεί το μικρό του μέγεθος. Σε αυτή τη φάση, το φυτό παρουσιάζει εσωτερικές αλλαγές με ελάχιστες φαινολογικές διαφορές. Σχηματίζονται τα «αδέλφια» και ακολουθεί η εαρινοποίηση. Έτσι οι τιμές NDVI μέχρι αυτή την περίοδο είναι πολύ χαμηλές λόγω του γυμνού εδάφους.

Με την έναρξη της άνοιξης, η καλλιέργεια μπαίνει στο στάδιο του καλαμώματος, οπότε το βλαστικό στέλεχος αναπτύσσεται, μεγαλώνουν τα μεσογονάτια διαστήματα και παράγεται βιομάζα. Μέχρι το τέλος του Απριλίου, το σιτάρι έχει τελειώσει με τη βλαστική του ανάπτυξη και ο δείκτης NDVI παίρνει τη μέγιστη τιμή.

Στη συνέχεια παρατηρείται μια στασιμότητα στις τιμές του δείκτη NDVI καθώς το φυτό μπαίνει στο ανθικό στάδιο και καταναλώνει όλη του την ενέργεια στην παραγωγή ανθέων. Σε αυτό το στάδιο το φυτό έχει τις μεγαλύτερες απαιτήσεις σε νερό και θρεπτικά στοιχεία, και είναι και ιδιαίτερα ευαίσθητο σε τυχόν χαμηλές θερμοκρασίες.

Στα τέλη του Μαΐου οι καρποί αρχίζουν να ωριμάζουν και το βλαστικό στέλεχος χάνει το πράσινο χρώμα του καθώς καταστρέφεται η χλωροφύλλη που δεν έχει καμία χρησιμότητα για το φυτό πλέον. Παρατηρείται μεταφορά ουσιών προς τον σπόρο ο οποίος περνά από διάφορα στάδια μέχρι τελικά να ωριμάσει. Λόγω έλλειψης χλωροφύλλης και πράσινου χρώματος, ο δείκτης NDVI παρουσιάζει μια σταδιακή πτώση, και φτάνει και πάλι κοντά στο μηδέν με την ολοκλήρωση της ωρίμανσης.

Το φυτό του σιταριού έχει μικρή εδαφοκάλυψη σχετικά με άλλες καλλιέργειες. Έχει πολύ λεπτό βλαστικό στέλεχος και ο στάχυς δεν έχει μεγάλες διαστάσεις. Το μικρό μέγεθος του φυτού όμως, καθώς και η μικρή

οριζόντια έκταση που καταλαμβάνει η ρίζα του, επιτρέπει την φύτευση σε πολύ μικρές αποστάσεις. Επιπλέον το φαινόμενο του αδελφώματος, σημαίνει και εδαφοκάλυψη σε μια μικρή απόσταση γύρω από το κεντρικό στέλεχος του φυτού. Έτσι συνολικά, ένας αγρός που καλλιεργείται με σιτηρά παρουσιάζει πολύ μεγάλη ομοιογενής εδαφοκάλυψη και δεν έχουμε σφάλμα στις τιμές NDVI.

3.3 Καλλιέργεια Αραβόσιτου

Ο αραβόσιτος καλλιεργήθηκε για πρώτη φορά από τους Ινδιάνους της Αμερικής. Θεωρείται ότι κατάγεται από την Κεντρική Αμερική και το Μεξικό, όπου μπορούν να βρεθούν μεγάλη ποικιλία τύπων καλαμποκιού. Αν και είναι φυτό τροπικών περιοχών, εξημερώθηκε σε μεγάλα υψόμετρα, οπότε και αντέχει τις σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες. Τα πρώτα γένη που εξημερώθηκαν ήταν τα *Euchlaena* ($2n=20$) και *Tripsacum* ($2n=18$) τα οποία χρησιμοποιούνται ακόμη και σήμερα σαν χορτοδοτικά με τους διπλοειδής και τους τετραπλοειδής τύπους. Ο κύριος εκπρόσωπος του καλαμποκιού όμως είναι το είδος *Zea mays* ($2n=20$) που χρησιμοποιείται και για τον καρπό. Ανήκει στην οικογένεια *Gramineae* η οποία περιλαμβάνει και άλλα πέντε γένη, μικρότερης σημασίας.

Σήμερα υπάρχουν πολλές ποικιλίες καλαμποκιού με διαφορετικά χαρακτηριστικά η κάθε μία και έτσι το καλαμπόκι συναντάται σε ένα μεγάλο εύρος υψομέτρων, από το ύψος της θάλασσας, μέχρι και 3800 μέτρα (Άνδεις Περού). Οι βιολογικοί κύκλοι των ποικιλιών καλαμποκιού, μπορεί να είναι τόσο μικρής διάρκειας όσο δύο μηνών, μέχρι και πολύ μεγάλης διάρκειας, όπως 11 μηνών. Αυτή τη στιγμή το 15% της παγκόσμιας καλλιεργούμενης έκτασης με σιτηρά, καλύπτεται από αραβόσιτο [46]. Η μέση απόδοση προσεγγίζει τα 300 κιλά ανά στρέμμα, ενώ η μέγιστη μπορεί να φτάσει και τα 2000 κιλά το στρέμμα.

Ο αραβόσιτος καλλιεργείται στην Ελλάδα κυρίως για ζωοτροφή. Σπέρνεται επίσπορος, ακολουθώντας μια χειμερινή καλλιέργεια σιτηρών στον

ίδιο αγρό, εξασφαλίζοντας ένα επιπλέον εισόδημα στον παραγωγό. Μπορεί ακόμη να συγκαλλιεργηθεί ταυτόχρονα με μία εαρινή καλλιέργεια, αν και αυτό συνήθως γίνεται σε μικρό ποσοστό.

Λόγω του μεγάλου βάρους του σπάδικα για τον οποίο καλλιεργείται ο αραβόσιτος, οι αποδόσεις ανά στρέμμα φτάνουν σε πολύ μεγάλα επίπεδα συγκριτικά με άλλες καλλιέργειες. Για την επίτευξη υψηλών επιπέδων παραγωγής όμως απαιτούνται και υψηλά επίπεδα λίπανσης, κυρίως αζωτούχου, καθώς και άρδευσης [46].

Ο αραβόσιτος είναι φυτό μονόοικο και δικλινές με την αρσενική ταξιανθία (φόβη) να βρίσκεται στην κορυφή του φυτού και τις θηλυκές (στάχεις ή σπάδικες) στις μασχάλες των φυτών. Οι αρσενικές ταξιανθίες ανθίζουν περίπου μία εβδομάδα νωρίτερα από τις θηλυκές για να είναι δυνατή η γονιμοποίηση των θηλυκών ανθέων από την γύρη.

Στην εργασία μελετήθηκαν ποικιλίες αραβόσιτου που έχουν βλαστικό κύκλο διάρκειας πέντε μηνών. Τα φαινολογικά στάδια του αραβόσιτου παρουσιάζουν μεγάλες διαφοροποιήσεις ως προς τη χρονική στιγμή εμφάνισής τους, και αυτό γιατί επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν την εκάστοτε χρονική στιγμή [9], την ποικιλία που καλλιεργείται, καθώς και από το γεωγραφικό πλάτος που καλλιεργείται [51]. Στον Πίνακα 3.3 παρουσιάζονται τα φαινολογικά στάδια του αραβόσιτου παράλληλα με τα συνήθη χρονικά διαστήματα για τα οποία διαρκούν στην χώρα μας.

Ο αραβόσιτος παρουσιάζει υψηλούς ρυθμούς ανάπτυξης. Κάτω από ευνοϊκές συνθήκες είναι δυνατό να παρουσιάζει ρυθμούς αύξησης μεγαλύτερους των 10 εκατοστών ανά ημέρα. Συνήθως δεν αδελφώνει ο αραβόσιτος, αλλά ακόμη και στην περίπτωση παρουσίας αδελφιών, αυτά δεν παράγουν σπάδικες. Το κάθε φυτό του αραβόσιτου μεμονωμένα δεν παρουσιάζει μεγάλη εδαφοκάλυψη. Τα φύλλα του είναι μακριά και λεπτά, εκφύονται από το στέλεχος του και παρουσιάζουν μία κλίση προς τα κάτω. Οι ρίζες του φυτού αναπτύσσονται σε μεγάλο βάθος, μέχρι και ένα μέτρο, ενώ αντίθετα δεν παρουσιάζουν μεγάλη οριζόντια ανάπτυξη. Αυτά τα δύο

χαρακτηριστικά επιτρέπουν την πυκνή καλλιέργεια του αραβοσίτου σε αποστάσεις ενός μέτρου μεταξύ των γραμμών και 20-30 εκατοστά επί της γραμμής. Έτσι έχουμε ένα μεγάλο ποσοστό εδαφοκάλυψης των αγρών στους οποίους καλλιεργείται ο αραβόσιτος.

Πίνακας 3.3 : Φαινολογικά Στάδια Αραβοσίτου

A/A	Στάδιο	Χρονική Περίοδος
1ο	Σπορά	20 Μαρτίου – 10 Απριλίου
2ο	Φύτρωμα	11 Απριλίου – 30 Απριλίου
3ο	Εμφάνιση πρώτων φύλλων	1 – 10 Μαΐου
4ο	Άνθηση αρσενικών ανθέων	1 – 10 Ιουνίου
5ο	Άνθηση θηλυκών ανθέων	11 – 20 Ιουνίου
6ο	Σπόρος : Στάδιο γάλακτος	1 – 10 Ιουλίου
7ο	Σπόρος : Στάδιο κηρού	11 – 20 Ιουλίου
8ο	Σπόρος : Στάδιο σκλήρηνσης	21 – 25 Ιουλίου
9ο	Σπόρος : Στάδιο υαλώδες	26 – 31 Ιουλίου
10ο	Σπόρος : Στάδιο ωρίμανσης	1 – 10 Αυγούστου

Οι πρώτες ενδείξεις από τον δείκτη NDVI εμφανίζονται στο δεύτερο φαινολογικό στάδιο, όταν φυτρώνει το βλαστίδιο του αραβοσίτου. Μέχρι και το στάδιο της εμφάνισης των πρώτων φύλλων, οι τιμές αυτές είναι χαμηλές λόγω του πολύ μικρού ποσοστού εδαφοκάλυψης, αλλά ανεβαίνουν κατακόρυφα στα τρία δεκαήμερα του Μαΐου, όταν το φυτό παρουσιάζει τεράστιους ρυθμούς βλαστικής ανάπτυξης, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως. Με την είσοδο του φυτού στο αναπαραγωγικό στάδιο και την παραγωγή ανθέων, η βλαστική ανάπτυξη αναστέλλεται, καθώς το φυτό διοχετεύει όλη του την ενέργεια στην δημιουργία ανθέων. Από αυτή τη χρονική περίοδο και έπειτα, ο δείκτης NDVI παρουσιάζει μια σταθερότητα, μέχρι και την συγκομιδή. Δεν υπάρχει πλέον άλλη βλαστική ανάπτυξη, αλλά δεν παρουσιάζεται και πτώση του δείκτη NDVI, καθώς τα φύλλα του αραβοσίτου παραμένουν ενεργά μέχρι και το τέλος του βλαστικού κύκλου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε, χωρίζεται σε δύο φάσεις. Στην πρώτη φάση περιγράφονται οι ενέργειες επεξεργασίας των δορυφορικών εικόνων έτσι ώστε να τροποποιηθούν τα πρωτογενή δεδομένα και να μετατραπούν σε μορφή που θα είναι επεξεργάσιμα στην επόμενη φάση. Στη συνέχεια περιγράφεται το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων.

4.1 Τηλεπισκόπηση και NDVI

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία, προήλθαν από εικόνες των δορυφόρων NOAA. Στην πρωτογενή τους μορφή αυτές οι εικόνες καλύπτουν μία έκταση περίπου ενός εκατομμυρίου τετραγωνικών χιλιομέτρων και απεικονίζουν ολόκληρο τον Ελλαδικό χώρο καθώς και τα νότια τμήματα των χωρών με τις οποίες συννορεύει στα βόρεια η χώρα μας και το δυτικό τμήμα της Τουρκίας. Η κάθε εικόνα έχει ληφθεί και στα 5 κανάλια του δορυφόρου NOAA/AVHRR. Κάθε ημέρα λαμβάνονταν δύο εικόνες από διαφορετικούς δορυφόρους της σειράς NOAA, μια ημερήσια και μια νυχτερινή, κατά τη διάρκεια τριών ετών (1994, 1995, 1996).

Η πρώτη επεξεργασία στην οποία υποβλήθηκαν οι εικόνες, ήταν η εξαγωγή του δείκτη βλάστησης NDVI. Η εξαγωγή του δείκτη έγινε με τη χρήση του προγράμματος IDRISI, το οποίο εξέφραζε τον δείκτη NDVI σε μια κλίμακα 0 – 255 αντί του -1 έως +1 όπως εξάγεται από την εξίσωση 2.1 (πίνακας 4.4). Από τις δύο εικόνες που είχαν ληφθεί κάθε ημέρα, χρησιμοποιήθηκε η ημερήσια εικόνα. Η μελέτη των φυτών, έχει δείξει ότι στις περισσότερες περιπτώσεις δεν υπάρχουν σημαντικές αλλαγές στην φυσιολογία

τους από μέρα σε μέρα. Για το λόγο αυτό έχει καθιερωθεί η χρήση των δεκαημέρων, για την μείωση του όγκου και την ευκολότερη διαχείριση των δεδομένων. Για την δημιουργία των εικόνων που αντιπροσωπεύουν δεκαήμερα χρονικά διαστήματα, λαμβάνονται δέκα ημερήσιες εικόνες. Από αυτές τις εικόνες αρχικά συγκρίνονται οι δύο πρώτες ως προς τις τιμές του κάθε pixel (picture element: μοναδιαίο μέγεθος ηλεκτρονικής απεικόνισης). Στην περίπτωση του δορυφόρου NOAA το pixel αντιστοιχεί σε έκταση ενός τετραγωνικού χιλιομέτρου) και από τις τιμές των δύο pixel που αντιστοιχούν στην ίδια περιοχή, απορρίπτεται η χαμηλότερη. Έτσι προκύπτει μία εικόνα όπου το κάθε pixel περιέχει τη μέγιστη από τις τιμές των αντίστοιχων pixel των δύο αρχικών εικόνων. Στη συνέχεια συγκρίνεται με αυτή, η ημερήσια εικόνα της τρίτης ημέρας με τον ίδιο τρόπο και προκύπτει μία ανάλογη εικόνα με τις μέγιστες τιμές των pixels από τις τρεις εικόνες. Η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να έχουν συγκριθεί και οι δέκα εικόνες, οπότε τα pixels της τελικής εικόνας έχουν την μέγιστη τιμή από όλα τα αντίστοιχα των αρχικών εικόνων.

4.1.1 Επιλογή περιοχών προς μελέτη

Οι καλλιέργειες οι οποίες μελετήθηκαν στην εργασία ήταν το βαμβάκι, τα χειμερινά σιτηρά και ο αραβόσιτος. Θα έπρεπε λοιπόν να εντοπιστούν περιοχές στις οποίες θα καλλιεργούταν αυτές οι καλλιέργειες. Οι περιοχές αυτές όμως θα έπρεπε να πληρούν δύο κριτήρια: Πρώτον, θα έπρεπε να είναι αρκετά μεγάλες, το ελάχιστο 100 τετραγωνικά χιλιόμετρα, ώστε να είναι δυνατό να εκδηλωθεί η παραλλακτικότητα που έχει η καλλιέργεια, και να μειωθεί το σφάλμα από τιμές οι οποίες δεν θα ανταποκρίνονταν στην πραγματικότητα. Δεύτερον θα έπρεπε αυτές οι περιοχές να είναι όσο το δυνατό περισσότερο ομοιογενείς, ως προς την κάλυψή τους από την καλλιέργεια, ώστε να μην απέχουμε πολύ από την υπόθεση ότι κάθε τιμή NDVI που παίρνουμε από κάθε pixel αναφέρεται στην υπό μελέτη καλλιέργεια που αναπτύσσεται στην περιοχή. Αποφεύχθηκαν οι περιοχές που περιλάμβαναν δασικές εκτάσεις και άλλα στοιχεία τα οποία θα αλλοίωναν την ομοιογένεια της έκτασης. Δυστυχώς οι μεγάλη ποικιλομορφία της επιφάνειας της Ελλάδας και η έλλειψη

μεγάλων κάμπων στους οποίους θα μπορούσε να καλλιεργηθούν μεγάλες συνεχόμενες εκτάσεις, σε συνδυασμό με τα μικρά αγροτεμάχια και την ποικιλία ειδών που καλλιεργούνται στο καθένα, δημιουργεί ένα πολύχρωμο μωσαϊκό με μικρού μεγέθους ψηφίδες και ελαττώνει τις επιλογές περιοχών που να πληρούν τις δύο παραπάνω προϋποθέσεις. Γι'αυτό προτιμήθηκε το διαμέρισμα της Θεσσαλίας στο οποίο η πεδιάδα στους νομούς Λαρίσης, Τρικάλων και Καρδίτσας, αποτελεί ίσως τη μεγαλύτερη έκταση της Ελλάδας η οποία είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί για καλλιέργεια φυτών. Η συγκεκριμένη περιοχή μάλιστα, αποτελεί και μια από τις κυριότερες περιοχές καλλιέργειας βαμβακιού της χώρας μας. Για την επιβεβαίωση της ακρίβειας των ορίων της περιοχής, προηγήθηκε επίσκεψη στην Διεύθυνση Γεωργίας των Τρικάλων, για να την καλύτερη οριοθέτηση της περιοχής με την βοήθεια των αρμοδίων υπαλλήλων. Σαν δεύτερη περιοχή βαμβακιού επιλέχθηκε η περιοχή της λίμνης Κάρλας. Με παρόμοιο σκεπτικό επιλέχθηκε η περιοχή του Κιλκίς, στην οποία καλλιεργούνται, σε μεγάλο ποσοστό, τα χειμερινά σιτηρα. Η δεύτερη περιοχή σιτηρών που μελετήθηκε, ήταν η περιοχή του Αλμυρού του νομού Μαγνησίας. Για την καλλιέργεια του αραβόσιτου παρουσιάστηκαν δυσκολίες στην εύρεση ικανοποιητικής περιοχής, καθώς ένα σημαντικό ποσοστό των παραγωγών συγκαλλιεργεί τον αραβόσιτο μαζί με την κύρια καλλιέργεια στον ίδιο αγρό, ενώ οι περισσότερες εκτάσεις αμιγούς καλλιέργειας αραβοσίτου, δεν είχαν ικανοποιητικό μέγεθος. Τις βέλτιστες λύσεις αποτελούσαν οι περιοχές του δέλτα του Πηνειού στο νομό Λαρίσης και η περιοχή νότια της Χρυσούπολης στο νομό Καβάλας. Όλες οι περιοχές που χρησιμοποιήθηκαν, προέκυψαν από την μελέτη των στοιχείων της Στατιστικής Υπηρεσίας για καλλιεργήσιμες εκτάσεις και αποδόσεις της κάθε καλλιέργειας, ώστε να εντοπισθούν οι πιθανότεροι νομοί με περιοχές που θα πληρούσαν τα κριτήρια που προαναφέρθηκαν. Στη συνέχεια επικοινωνήσαμε με τις ανάλογες Διευθύνσεις Γεωργίας των νομών, οι οποίες μας έδωσαν τα γεωγραφικά δεδομένα που αναζητούσαμε.

4.1.2 Επεξεργασία δεδομένων

Αφού επιλέχθηκαν οι περιοχές που επρόκειτο να μελετηθούν, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα επεξεργασίας εικόνας IDRISI, για να απομονωθούν τα κομμάτια της αρχικής πανελλάδικής εικόνας που επιλέχθηκαν. Για να αποκοπούν τα τμήματα των εικόνων, εντοπίστηκαν τα σημεία που βρισκόταν στην άνω αριστερά και κάτω δεξιά γωνία του παραλληλογράμου που όριζε την περιοχή, και χρησιμοποιήθηκαν οι συντεταγμένες σε γεωγραφικό πλάτος και μήκος αυτών των περιοχών. Γνωρίζοντας τα όρια των περιοχών σε γεωγραφικό μήκος και πλάτος από τις Διευθύνσεις Γεωργίας, το πρόγραμμα IDRISI απομόνωνσε από κάθε εικόνα δεκαήμερων τις περιοχές που αντιστοιχούσαν σε κάθε καλλιέργεια. Το επόμενο βήμα περιλάμβανε τον υπολογισμό των «μέγιστων» εικόνων για κάθε έτος, και κάθε περιοχή. Η διαδικασία ήταν παρόμοια με αυτή της εξαγωγής δεκαήμερων που αναφέρθηκε παραπάνω, με τη διαφορά ότι τώρα δεν χρησιμοποιήθηκαν όλα τα δεκαήμερα, παρά μόνο αυτά στα οποία οι τιμές NDVI είχαν κάποια σημασία και αναφέρονταν στο βλαστικό κύκλο της καλλιέργειας. Έτσι και πάλι το κάθε pixel της τελικής εικόνας προέκυπτε από το pixel με την μέγιστη τιμή από τα δεκαήμερα που χρησιμοποιήθηκαν. Στον πίνακα 4.1 έως 4.3 παρουσιάζονται τα δεκαήμερα που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε περιοχή, για κάθε έτος.

Το μοντέλο προσδιορισμού της βιομάζας χρησιμοποιεί τιμές των εικόνων NDVI στο διάστημα [-1,1]. Έτσι έγινε η μετατροπή των τιμών των εικόνων NDVI από την κλίμακα 0 – 255 στην κλίμακα -1 ως +1, χρησιμοποιώντας τη σχέση:

$$NDVI_{(-1 \text{ ως } 1)} = -0.32 + 0.0039 * NDVI_{(0-255)} \quad (4.1)$$

και βασίζεται στον Πίνακα 4.4.

Πίνακας 4.1 : Περιοχές Κάρλας Λάρισσας και Καρδίτσας με καλλιέργεια βαμβακιού

	Περιοχή Κάρλας Λαρίσσης (Βαμβάκι)			Περιοχή Καρδίτσας (Βαμβάκι)		
	1994	1995	1996	1994	1995	1996
1-Jan	X	X	X	X	X	X
2-Jan	X	X	X	X	X	X
3-Jan	X	X	O	X	X	O
1-Feb	X	X	X	X	X	X
2-Feb	X	X	X	X	X	X
3-Feb	X	X	O	X	X	O
1-Mar	O	X	O	O	X	O
2-Mar	O	X	X	O	X	X
3-Mar	O	X	O	O	X	O
1-Apr	O	O	X	O	O	O
2-Apr	O	O	X	O	O	X
3-Apr	O	O	O	O	O	O
1-May	O	O	O	O	O	O
2-May	O	O	O	O	O	O
3-May	O	O	O	O	O	O
1-Jun	O	O	O	O	O	O
2-Jun	O	O	O	O	O	O
3-Jun	O	O	O	O	O	O
1-Jul	O	O	O	O	O	O
2-Jul	O	O	O	O	O	O
3-Jul	O	O	O	O	O	O
1-Aug	O	O	O	O	O	O
2-Aug	O	O	O	O	O	O
3-Aug	O	O	O	O	O	O
1-Sep	O	O	O	O	O	O
2-Sep	O	X	X	O	O	O
3-Sep	O	O	O	O	O	X
1-Oct	O	O	O	O	O	X
2-Oct	O	O	O	O	O	X
3-Oct	O	O	O	O	O	X
1-Nov	X	O	O	X	O	X
2-Nov	X	O	O	X	O	X
3-Nov	X	O	O	X	O	X
1-Dec	X	X	X	X	X	X
2-Dec	X	X	X	X	X	X
3-Dec	X	X	X	X	X	X

X : Δεκαήμερα από τα οποία δε χρησιμοποιήθηκαν οι εικόνες για την εξαγωγή του μέγιστου NDVI.

O : Δεκαήμερα από τα οποία χρησιμοποιήθηκαν οι εικόνες για την εξαγωγή του μέγιστου NDVI.

Πίνακας 4.2 : Περιοχές Αλμυρού Μαγνησίας και Κιλκίς με καλλιέργεια σιταριού.

	Περιοχή Αλμυρού Μαγνησίας (Σιτάρι)			Περιοχή Κιλκίς (Σιτάρι)		
	1994	1995	1996	1994	1995	1996
1-Jan	X	X	X	X	X	X
2-Jan	X	X	X	X	X	X
3-Jan	X	X	X	X	X	X
1-Feb	X	X	X	X	X	X
2-Feb	X	X	X	X	X	X
3-Feb	X	X	X	X	X	X
1-Mar	O	X	X	X	X	X
2-Mar	O	X	X	O	X	X
3-Mar	O	X	X	O	O	X
1-Apr	O	O	X	O	O	X
2-Apr	O	O	X	O	O	O
3-Apr	O	O	O	O	O	O
1-May	O	O	O	O	O	O
2-May	O	O	O	O	O	O
3-May	O	O	O	O	O	O
1-Jun	O	O	O	O	O	O
2-Jun	O	O	O	O	O	O
3-Jun	O	O	X	O	O	X
1-Jul	O	O	O	O	O	O
2-Jul	O	O	O	O	O	O
3-Jul	O	O	O	O	O	O
1-Aug	O	O	O	O	O	O
2-Aug	O	O	O	O	O	O
3-Aug	O	O	O	O	O	O
1-Sep	O	O	O	O	O	O
2-Sep	O	X	O	O	X	O
3-Sep	O	O	X	O	O	O
1-Oct	O	O	X	O	O	O
2-Oct	O	O	X	O	O	X
3-Oct	O	O	X	O	O	X
1-Nov	X	O	X	X	O	X
2-Nov	X	O	X	X	X	X
3-Nov	X	O	X	X	X	X
1-Dec	X	X	X	X	X	X
2-Dec	X	X	X	X	X	X
3-Dec	X	X	X	X	X	X

X : Δεκαήμερα από τα οποία δε χρησιμοποιήθηκαν οι εικόνες για την εξαγωγή του μέγιστου NDVI.

O : Δεκαήμερα από τα οποία χρησιμοποιήθηκαν οι εικόνες για την εξαγωγή του μέγιστου NDVI.

Πίνακας 4.3 : Περιοχές Χρυσούπολης Καβάλας και Δέλτα Πηνειού Λάρισας με καλλιέργεια καλαμποκιού.

	Περιοχή Χρυσούπολης Καβάλας (Καλαμπόκι)			Περιοχή Δέλτα Πηνειού Λαρίσης (Καλαμπόκι)		
	1994	1995	1996	1994	1995	1996
1-Jan	X	X	X	X	X	X
2-Jan	X	X	X	X	X	X
3-Jan	X	X	X	X	X	X
1-Feb	X	X	X	X	X	X
2-Feb	X	X	X	X	X	X
3-Feb	X	X	X	X	X	O
1-Mar	O	X	O	O	X	O
2-Mar	O	X	X	O	X	X
3-Mar	O	X	O	O	X	O
1-Apr	O	O	O	O	O	X
2-Apr	O	O	O	O	O	X
3-Apr	O	O	O	O	O	O
1-May	O	O	O	O	O	O
2-May	O	O	O	O	O	O
3-May	O	O	O	O	O	O
1-Jun	O	O	O	O	O	O
2-Jun	O	O	O	O	O	O
3-Jun	O	O	O	O	O	X
1-Jul	O	O	O	O	O	O
2-Jul	O	O	O	O	O	O
3-Jul	O	O	O	O	O	O
1-Aug	O	O	O	O	O	O
2-Aug	O	O	O	O	O	O
3-Aug	O	O	O	O	O	O
1-Sep	O	O	O	O	O	O
2-Sep	O	X	O	O	X	O
3-Sep	O	O	X	O	O	X
1-Oct	O	O	X	O	O	X
2-Oct	O	X	X	O	X	X
3-Oct	O	O	X	O	O	X
1-Nov	X	X	X	X	O	X
2-Nov	X	X	X	X	X	X
3-Nov	X	X	X	X	X	X
1-Dec	X	X	X	X	X	X
2-Dec	X	X	X	X	X	X
3-Dec	X	X	X	X	X	X

X : Δεκαήμερα από τα οποία δε χρησιμοποιήθηκαν οι εικόνες για την εξαγωγή του μέγιστου NDVI.

O : Δεκαήμερα από τα οποία χρησιμοποιήθηκαν οι εικόνες για την εξαγωγή του μέγιστου NDVI.

Πίνακας 4.4 : Σχέση πραγματικών τιμών NDVI και τιμών που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα επεξεργασίας εικόνας IDRISI.

Τιμές IDRISI	NDVI	Τιμές IDRISI	NDVI	Τιμές IDRISI	NDVI	Τιμές IDRISI	NDVI	Τιμές IDRISI	NDVI	Τιμές IDRISI	NDVI	Τιμές IDRISI	NDVI
0	-0.320	32	-0.195	64	-0.070	96	0.054	128	0.179	160	0.304	192	0.429
1	-0.316	33	-0.191	65	-0.067	97	0.058	129	0.183	161	0.308	193	0.433
2	-0.312	34	-0.187	66	-0.063	98	0.062	130	0.187	162	0.312	194	0.437
3	-0.308	35	-0.184	67	-0.059	99	0.066	131	0.191	163	0.316	195	0.441
4	-0.304	36	-0.180	68	-0.055	100	0.070	132	0.195	164	0.320	196	0.444
5	-0.301	37	-0.176	69	-0.051	101	0.074	133	0.199	165	0.324	197	0.448
6	-0.297	38	-0.172	70	-0.047	102	0.078	134	0.203	166	0.327	198	0.452
7	-0.293	39	-0.168	71	-0.043	103	0.082	135	0.207	167	0.331	199	0.456
8	-0.289	40	-0.164	72	-0.039	104	0.086	136	0.210	168	0.335	200	0.460
9	-0.285	41	-0.160	73	-0.035	105	0.090	137	0.214	169	0.339	201	0.464
10	-0.281	42	-0.156	74	-0.031	106	0.093	138	0.218	170	0.343	202	0.468
11	-0.277	43	-0.152	75	-0.028	107	0.097	139	0.222	171	0.347	203	0.472
12	-0.273	44	-0.148	76	-0.024	108	0.101	140	0.226	172	0.351	204	0.476
13	-0.269	45	-0.145	77	-0.020	109	0.105	141	0.230	173	0.355	205	0.480
14	-0.265	46	-0.141	78	-0.016	110	0.109	142	0.234	174	0.359	206	0.483
15	-0.262	47	-0.137	79	-0.012	111	0.113	143	0.238	175	0.363	207	0.487
16	-0.258	48	-0.133	80	-0.008	112	0.117	144	0.242	176	0.366	208	0.491
17	-0.254	49	-0.129	81	-0.004	113	0.121	145	0.246	177	0.370	209	0.495
18	-0.250	50	-0.125	82	0.000	114	0.125	146	0.249	178	0.374	210	0.499
19	-0.246	51	-0.121	83	0.004	115	0.129	147	0.253	179	0.378	211	0.503
20	-0.242	52	-0.117	84	0.008	116	0.132	148	0.257	180	0.382	212	0.507
21	-0.238	53	-0.113	85	0.012	117	0.136	149	0.261	181	0.386	213	0.511
22	-0.234	54	-0.109	86	0.015	118	0.140	150	0.265	182	0.390	214	0.515
23	-0.230	55	-0.106	87	0.019	119	0.144	151	0.269	183	0.394	215	0.519
24	-0.226	56	-0.102	88	0.023	120	0.148	152	0.273	184	0.398	216	0.522
25	-0.223	57	-0.098	89	0.027	121	0.152	153	0.277	185	0.402	217	0.526
26	-0.219	58	-0.094	90	0.031	122	0.156	154	0.281	186	0.405	218	0.530
27	-0.215	59	-0.090	91	0.035	123	0.160	155	0.285	187	0.409	219	0.534
28	-0.211	60	-0.086	92	0.039	124	0.164	156	0.288	188	0.413	220	0.538
29	-0.207	61	-0.082	93	0.043	125	0.168	157	0.292	189	0.417	221	0.542
30	-0.203	62	-0.078	94	0.047	126	0.171	158	0.296	190	0.421	222	0.546
31	-0.199	63	-0.074	95	0.051	127	0.175	159	0.300	191	0.425	223	0.550
												224	0.554
												225	0.558
												226	0.561
												227	0.565
												228	0.569
												229	0.573
												230	0.577
												231	0.581
												232	0.585
												233	0.589
												234	0.593
												235	0.597
												236	0.600
												237	0.604
												238	0.608
												239	0.612
												240	0.616
												241	0.620
												242	0.624
												243	0.628
												244	0.632
												245	0.636
												246	0.639
												247	0.643
												248	0.647
												249	0.651
												250	0.655
												251	0.659
												252	0.663
												253	0.667
												254	0.671
												255	0.675

Τέλος, το πρόγραμμα IDRISI είχε την δυνατότητα να μας παρέχει τις μέγιστες, μέσες και ελάχιστες τιμές NDVI των εικόνων αφού έφτασαν στην τελική τους μορφή. Στο μοντέλο παραγωγής που εφαρμόστηκε, χρησιμοποιήθηκαν οι μέσες τιμές NDVI από αυτές τις εικόνες.

4.2 Μοντέλα Εκτίμησης Παραγωγής

Το μοντέλο εκτίμησης παραγωγής που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία δίνει τη βιομάζα της καλλιέργειας στο χρονικό διάστημα στο

οποίο φτάνει στο υψηλότερο σημείο χρησιμοποιώντας τις τιμές του δείκτη NDVI. Με αυτές τις τιμές της βιομάζας επιχειρήθηκε πρόγνωση για το ύψος της παραγωγής που θα δώσει η συγκεκριμένη καλλιέργεια.

4.2.1 Βιομάζα

Η βιομάζα/φυτομάζα ορίζεται ως το βάρος της ξηράς ουσίας των φυτών ανά μονάδα έκτασης [35,49]. Είναι δυνατό να συσχετιστεί η φυτομάζα με άλλα χαρακτηριστικά μεγέθους των φυτών, όπως το ύψος και η διάμετρος του βλαστού σε ένα μοντέλο το οποίο έχει την παρακάτω μορφή [43]:

$$P_{mass} = a + b d^2 H \quad (4.2)$$

d = η διάμετρος του βλαστού σε ύψος 1,3 μέτρων και

H = το ύψος του φυτού.

Εφαρμογή του μοντέλου σε κάποιο είδος μεσογειακών θάμνων δίνει την παρακάτω σχέση:

$$P_{mass} = 0.642 H^{0.0075} D_{max}^{2.4901} \quad (4.3)$$

H = το ύψος του φυτού σε μέτρα και

D_{max} = η μέγιστη διάμετρος του, επίσης σε μέτρα.

Το μοντέλο περιέχει τόσο τα ενεργά όσο και τα νεκρά τμήματα του φυτού, καθώς και τα πράσινα και μη-πράσινα μέρη του. Για να μην ληφθούν αυτά υπ' όψη θα πρέπει να τροποποιήσουμε οι ίδιοι στο μοντέλο με τρόπο ο οποίος εξαρτάται από το είδος του υπό μελέτη φυτού, καθώς και την ηλικία του [43]. Στο παράδειγμα των θάμνων, ο Τσιρούλης (1992) διαπίστωσε ότι η φυτομάζα των φύλλων αποτελεί το 17 % της συνολικής φυτομάζας, ενώ τα νεκρά τμήματα του φυτού αποτελούσαν το 11,2 % της συνολικής φυτομάζας.

Οι Pereira *et al.* (1994) κατέληξαν σε μια άλλη σχέση η οποία συνδέει τον δείκτη βλάστησης NDVI (από δεδομένα LANDSAT) και την φυτομάζα P_{mass} (σε κιλά ανά τετραγωνικό μέτρο).

$$P_{mass} = - 0.2088 + 2.0212 * (NDVI)^2 \quad (4.4)$$

Οι Gamon *et al.*(1995) μελέτησαν αρκετές γραμικές σχέσεις μεταξύ $\ln(P_{mass})$ ή $\ln(GP_{mass})$ (όπου GP_{mass} η υπέργεια βιομάζα) διάφορων τύπων βλάστησης της Καλιφόρνια και NDVI, υπολογισμένα από δεδομένα των καναλιών των NOAA-AVHRR. Χρησιμοποιώντας τον $\ln(GP_{mass})$ σαν μεταβλητή στη θέση του $\ln(P_{mass})$, οι συντελεστές συσχέτισης ήταν υψηλότεροι, επιβεβαιώνοντας την ανάγκη μέτρησης του λόγου των πράσινων μερών των φυτών προς τα μη-πράσινα για την βελτίωση της σχέσης φυτομάζας και δεικτών βλάστησης.

Τελικά το μοντέλο το οποίο εφαρμόστηκε ήταν αυτό που εκφράζεται με την εξίσωση 4.4 και εφαρμόστηκαν οι μέσες τιμές NDVI των ετησίων εικόνων μεγίστων NDVI, όπως παρουσιάζονται στον πίνακα 4.5.

4.2.2 Αποδόσεις

Τα δεδομένα των αποδόσεων, προήλθαν από τις εκδόσεις της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας της Ελλάδος [7] που αφορούν τις εκτάσεις που καλλιεργήθηκαν σε κάθε έτος με την κάθε καλλιέργεια ανά νομό, καθώς και το ύψος των αποδόσεων σε αυτές τις εκτάσεις, ταξινομημένες ανά καλλιέργεια και ανά νομό. Τα στοιχεία για τις περιοχές και τις καλλιέργειες που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται στον πίνακα 4.6.

Η σχέση που υπάρχει μεταξύ απόδοσης ενός φυτού και της βιομάζας του, είναι διαφορετική σε κάθε είδος φυτού και επιπλέον εξαρτάται από πολλούς άλλους εξωτερικούς παράγοντες. Οι φροντίδες που δέχεται ένα φυτό μπορεί να μην επηρεάσει την βλαστική του ανάπτυξη αλλά να έχει άμεση επίδραση στην τελική παραγωγή. Στις περισσότερες καλλιέργειες, το βλαστικό στάδιο προηγείται του αναπαραγωγικού. Το πρώτο είναι αυτό που καθορίζει την βιομάζα του φυτού η οποία αποτελείται από τα φύλλα και τους βλαστούς κατά κύριο λόγο, ενώ από το δεύτερο εξαρτάται κατά ένα μεγάλο μέρος, η τελική παραγωγή του φυτού. Εάν λοιπόν επικρατήσουν δυσμενείς συνθήκες κατά τη διάρκεια της ανθοφορίας ή της γονιμοποίησης ή της καρπόδεσης, η

παραγωγή θα είναι μειωμένη σχετικά με την αναμενόμενη, βάση της βιομάζας και της βλαστικής ανάπτυξης.

Πίνακας 4.5: Ελάχιστες, Μέγιστες και μέσες τιμές NDVI των ετήσιων εικόνων μεγίστων NDVI για κάθε περιοχή και έτος.

Περιοχή / Καλλιέργεια	Έτος	Ελάχιστη τιμή NDVI	Μέγιστη τιμή NDVI	Μέση τιμή NDVI
Κάρλα Λαρίσης (Βαμβάκι)	1994	161	250	216
	1995	156	250	214
	1996	122	250	189
Καρδίτσα (Βαμβάκι)	1994	172	252	215
	1995	156	250	214
	1996	122	245	196
Αλμυρός Μαγνησίας (Σιτάρι)	1994	181	244	213
	1995	178	247	211
	1996	152	234	184
Κιλκίς (Σιτάρι)	1994	174	236	219
	1995	179	234	219
	1996	153	223	204
Δέλτα Πηνειού Λαρίσης (Αραβόσιτος)	1994	188	240	211
	1995	177	244	210
	1996	163	247	200
Χρυσούπολη Καβάλας (Αραβόσιτος)	1994	158	252	210
	1995	166	219	199
	1996	150	212	183

Παρ' όλα αυτά, ο κανόνας είναι ότι στα περισσότερα είδη καλλιεργούμενων φυτών, η βιομάζα και η παραγωγή παρουσιάζουν μια αναλογία, ακολουθώντας μια γραμμική ή και εκθετική σχέση. Αυτή η εμπειρική διαπίστωση μας αρκεί για να μπορέσουμε να κάνουμε βάσιμες υποθέσεις για την τελική παραγωγή της καλλιέργειας χρησιμοποιώντας το μοντέλο 4.4.

Πίνακας 4.6 : Εκτάσεις και αποδόσεις των υπο μελέτη καλλιεργειών (Στοιχεία Ελληνικής Στατιστικής Υπηρεσίας)

Περιοχή και Καλλιέργεια	Έτος	Έκταση (στρέμματα)	Παραγωγή (Τόνοι)	Απόδοση (κιλά/στρέμμα)
Κάρλα Λαρίσσης (Βαμβάκι)	1994	709574	308358	434.57
	1995	799824	222340	277.99
	1996	740066	216958	293.16
Καρδίτσα (Βαμβάκι)	1994	735198	253557	344.88
	1995	735198	253291	344.52
	1996	728247	132845	182.42
Κιλκίς (Σιτάρι)	1994	351681	71419	203.08
	1995	275565	72327	262.47
	1996	267850	64534	240.93
Αλμυρός (Σιτάρι)	1994	24821	5484	220.94
	1995	21974	5054	230.00
	1996	22046	4122	186.97
Δέλτα Πηνειού (Καλαμπόκι)	1994	57873	89118	1539.89
	1995	57873	89392	1544.62
	1996	59745	89392	1496.23
Χρυσούπολη Καβάλας (Καλαμπόκι)	1994	164612	157423	956.33
	1995	116183	1443)03	1242.03
	1996	126500	137936	1090.40

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Εφαρμόζοντας τις διαδικασίες που περιγράφηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο εξήχθησαν 18 εικόνες, μία για κάθε έτος και κάθε περιοχή στην οποία καλλιεργούταν η κάθεμα από τις τρεις εξεταζόμενες καλλιέργειες. Το μοντέλο 4.4 δίνει αποτελέσματα βιομάζας, μετρούμενη σε κιλά ανά τετραγωνικό μέτρο (Kg/m^2). Με βάση τα στατιστικά στοιχεία της Στατιστικής Υπηρεσίας Ελλάδος, εξήχθησαν οι αποδόσεις της κάθε καλλιέργειας στους νομούς στους οποίους ανήκαν οι εξεταζόμενες περιοχές, για κάθε έτος, οι οποίες παρατίθενται σε μονάδες κιλών ανά τετραγωνικό μέτρο επίσης, στους παρακάτω πίνακες μαζί με τα αποτελέσματα της εφαρμογής του μοντέλου.

5.1 Ανάλυση αποτελεσμάτων καλλιέργειας βαμβακιού

Τα αποτελέσματα του μοντέλου 4.4 για την καλλιέργεια βαμβακιού στις περιοχές της Κάρλας στη Λάρισα και της Καρδίτσας παρουσιάζονται παρακάτω στους Πίνακες 5.1 και 5.2 αντίστοιχα.

Πίνακας 5.1: Αποτελέσματα μοντέλου για την καλλιέργεια βαμβακιού στην περιοχή της Κάρλας Λαρίσης.

Βαμβάκι	Κάρλα Λαρίσης					
	Στοιχεία Στατιστικής Υπηρεσίας			Εφαρμογή Μοντέλου		
	Έκταση (στρέμματα)	Παραγωγή (τόνοι)	Απόδοση (κιλά / στρέμμα)	Μέση	Μέγιστη	Ελάχιστη
1994	709574	308358	434.57	359.7	679.1	-17.2
1995	799824	222340	277.99	314	658.3	-40.7
1996	740066	216958	293.16	157	607.5	-159.7

Πίνακας 5.2: Αποτελέσματα μοντέλου για την καλλιέργεια βαμβακιού στην περιοχή της Καρδίτσας

Βαμβάκι	Καρδίτσα					
	Στοιχεία Στατιστικής Υπηρεσίας			Εφαρμογή Μοντέλου		
	Έκταση (στρέμματα)	Παραγωγή (τόνοι)	Απόδοση (κιλά / στρέμμα)	Μέση	Μέγιστη	Ελάχιστη
1994	735198	253557	344.88	343.5	679.1	39.9
1995	735198	253291	344.52	339.7	658.3	-40.7
1996	728247	132845	182.42	200	607.5	-159.7

Τα στατιστικά στοιχεία δείχνουν ότι στη διάρκεια της τριετίας, η καλλιέργεια του βαμβακιού στην Λάρισα παρουσίασε κάποιες διακυμάνσεις ως προς την απόδοση. Συγκεκριμένα, ύστερα από τις πολύ υψηλές τιμές του 1994, η απόδοση πέφτει κατά πολύ το 1995 και τελικά αυξάνει λίγο το 1996. Η πτώση αυτή το 1995 εμφανίζεται ως ένα βαθμό και στο μοντέλο με τα αποτελέσματα να πέφτουν από 359.7 στο 314 (πτώση 12.7%) αλλά δεν υπάρχει η ίδια αναλογία στο ποσοστό της μείωσης της απόδοσης (πτώση 36%). Το 1996 η απόδοση αυξάνει κατά 5.5% περίπου, ενώ αντίθετα το μοντέλο μας δίνει μια τιμή της τάξης του 157.

Στην περιοχή της Καρδίτσας, παρουσιάζεται ένα παρόμοιο φαινόμενο με την περιοχή της Κάρλας. Η απόδοση παραμένει σταθερή κατά τα έτη 1994 και 1995, και παρουσιάζει μια απότομη πτώση το 1996, της τάξης του 47%. Το μοντέλο παρουσιάζει επίσης μια σταθερότητα στις τιμές του 1994 και 1995 και παρομοίως δείχνει μια πτώση το 1996 της τάξης του 41% σε σχέση με την τιμή του 1995. Επιπλέον στην περιοχή της Καρδίτσας, οι τιμές που προκύπτουν από την εφαρμογή του μοντέλου είναι πάρα πολύ κοντά στις πραγματικές αποδόσεις και στις τρεις χρονιές, γεγονός που θα συζητηθεί παρακάτω.

5.2 Ανάλυση αποτελεσμάτων καλλιέργειας σιταριού

Τα αποτελέσματα της μελέτης της καλλιέργειας χειμερινών σιτηρών για την τριετία 1994-1996 στις περιοχές Κιλκίς και Αλμυρού Μαγνησίας, παρουσιάζονται στους Πίνακες 5.3 και 5.4.

Πίνακας 5.3: Αποτελέσματα μοντέλου για την καλλιέργεια χειμερινών σιταριών στην περιοχή του Κιλκίς

Σιτάρι	Κιλκίς					
	Στοιχεία Στατιστικής Υπηρεσίας			Εφαρμογή Μοντέλου		
	Έκταση (στρέμματα)	Παραγωγή (τόνοι)	Απόδοση (κιλά / στρέμμα)	Μέση	Μέγιστη	Ελάχιστη
1994	982574	217044	220.89	491	662	258
1995	915427	237322	259.25	448	631	192
1996	903204	206213	228.31	390	500	301

Πίνακας 5.4: Αποτελέσματα μοντέλου για την καλλιέργεια χειμερινών σιταριών στην περιοχή του Αλμυρού Μαγνησίας

Σιτάρι	Αλμυρός Μαγνησίας					
	Στοιχεία Στατιστικής Υπηρεσίας			Εφαρμογή Μοντέλου		
	Έκταση (στρέμματα)	Παραγωγή (τόνοι)	Απόδοση (κιλά / στρέμμα)	Μέση	Μέγιστη	Ελάχιστη
1994	268731	58060	216.05	331.5	597.5	92.2
1995	268321	63444	236.45	317.2	627.6	74.2
1996	252261	46726	185.23	123	501	58.4

Από τους παραπάνω πίνακες διαφαίνονται κάποιες αυξομειώσεις στις αποδόσεις στην περιοχή του Κιλκίς κατά τη διάρκεια της τριετίας με τη χρονιά του 1995 να έχει τη μέγιστη τιμή (259 κιλά/στρέμμα περίπου) και το 1994 την ελάχιστη (221 κιλά/στρέμμα περίπου). Το 1996 παρουσιάστηκε μια απόδοση ανάμεσα στις άλλες δύο χρονιές (228 κιλά/στρέμμα περίπου). Το μοντέλο αντίθετα παρουσιάζει μία σταθερή πτώση, ξεκινώντας από τα 491 κιλά/στρέμμα το 1994 και ελαττώνεται κατά 50 μονάδες περίπου το 1995 και άλλες τόσες το 1996. Άρα το μοντέλο δεν συμβαδίζει με τις διακυμάνσεις των αποδόσεων.

Στην περιοχή του Αλμυρού Μαγνησίας παρατηρείται ένα διαφορετικό φαινόμενο, με την απόδοση να αυξάνει το 1995 σε σχέση με το 1994 κατά 20 περίπου κιλά/στρέμμα και να φθίνει το 1996 σε χαμηλότερα επίπεδα από αυτά του 1994 (πτώση 50 κιλών / στρέμμα, 30 κιλά / στρέμμα λιγότερα από το

1994). Το μοντέλο αντίθετα ακολουθεί παρόμοια πορεία με την περιοχή του Κιλκίς, σημειώνοντας πτώση 24 κιλών / στρέμμα από το 1994 στο 1995 και μια θεαματική πτώση από το 317 στο 123 το 1996, κάτι ανάλογο με την πτώση που σημειώθηκε στην καλλιέργεια του βαμβακιού για την περιοχή της Κάρλας στη Λάρισα. Παρατηρούνται μεγάλες αποκλίσεις και διαφορές στις διακυμάνσεις των δύο μεγεθών (απόδοση και τιμές μοντέλου) οι οποίες θα εξεταστούν αργότερα.

5.3 Ανάλυση αποτελεσμάτων καλλιέργειας αραβοσίτου

Στους Πίνακες 5.5 και 5.6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για την καλλιέργεια του αραβοσίτου στις εξεταζόμενες περιοχές του Δέλτα του Πηνειού στην Λάρισα και της Χρυσούπολης στην Καβάλα.

Πίνακας 5.5: Αποτελέσματα μοντέλου για την καλλιέργεια αραβοσίτου στην περιοχή του Δέλτα του Πηνειού στο νομό Λαρίσης

Αραβόσιτος	Δέλτα Πηνειού Λαρίσης					
	Στοιχεία Στατιστικής Υπηρεσίας			Εφαρμογή Μοντέλου		
	Έκταση (στρέμματα)	Παραγωγή (τόνοι)	Απόδοση (κιλά / στρέμμα)	Μέση	Μέγιστη	Ελάχιστη
1994	57873	89118	1539.89	310.2	558.2	136.3
1995	57873	89392	1544.62	305	597.5	68.4
1996	59745	89392	1496.23	233.8	627.6	-7.4

Πίνακας 5.6: Αποτελέσματα μοντέλου για την καλλιέργεια αραβοσίτου στην περιοχή της Χρυσούπολης στην Καβάλα

Αραβόσιτος	Χρυσούπολη Καβάλας					
	Στοιχεία Στατιστικής Υπηρεσίας			Εφαρμογή Μοντέλου		
	Έκταση (στρέμματα)	Παραγωγή (τόνοι)	Απόδοση (κιλά / στρέμμα)	Μέση	Μέγιστη	Ελάχιστη
1994	164612	157423	956.33	305.0	679.1	-31.5
1995	116183	144303	1242.03	218.7	367.8	7.9
1996	126500	137936	1090.40	317.3	563.1	77.3

Ο σπάδικας, για τον οποίο καλλιεργείται το καλαμπόκι έχει μεγάλο βάρος και γι' αυτό το λόγο παρουσιάζει αποδόσεις της τάξης των 1000 με 1500 κιλών / στρέμμα. Συνεπώς θα επιχειρηθεί η σύγκριση των αποδόσεων και των τιμών του μοντέλου όχι αριθμητικά, όπως έγινε στο βαμβάκι και τα χειμερινά σιτηρά, αλλά αναλογικά συγκρίνοντας τις διακυμάνσεις των δύο μεγεθών μέσα στην τριετία και την αναλογία που παρουσιάζουν τα δύο μεγέθη σε κάθε χρονιά.

Στην περιοχή του Δέλτα του Πηνειού, η αποδόσεις του αραβοσίτου παρουσιάζουν μια σταθερότητα τις χρονιές 1994 και 1995 (περίπου στα 1540 κιλά / στρέμμα) ενώ φθίνουν το 1996 κατά 50 περίπου κιλά / στρέμμα. Τα αποτελέσματα του μοντέλου δείχνουν παρομοίως μια σταθερότητα τις δύο πρώτες χρονιές με μια μικρή πτώση κατά 5 μονάδες το 1995 που συμβαδίζει με την πραγματική πτώση της παραγωγής την ίδια χρονιά. Το 1996 παρουσιάζεται μια απότομη πτώση κατά 70 μονάδες η οποία από τη μια παρουσιάζει την πτώση της παραγωγής το 1996, από την άλλη όμως δεν διατηρεί την λογική αναλογία που φαίνεται να υπάρχει στα δύο πρώτα έτη.

Αντίθετα με την περιοχή του Δέλτα του Πηνειού, η περιοχή της Χρυσούπολης είχε μια πολύ χαμηλή απόδοση το 1994 σε επίπεδα των 956 κιλών / στρέμμα, ενώ το 1995 παρουσίασε αλματώδη αύξηση στα 1242 κιλά / στρέμμα. Το 1996 παρατηρείται και πάλι μία πτώση κατά 150 περίπου κιλά / στρέμμα σε σχέση με το 1995, με απόδοση 1090 κιλών / στρέμμα. Για τις ίδιες χρονιές το μοντέλο παρουσιάζει τελείως διαφορετικές τιμές. Το 1994 έχει μια τιμή της τάξεως των 305 κιλών / στρέμμα, ενώ αντίθετα το 1995, όταν σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία η απόδοση αυξάνει κατά πολύ, το μοντέλο παρουσιάζει μια απότομη πτώση κατά 87 μονάδες. Τέλος το 1996 όταν οι πραγματικές αποδόσεις παρουσιάζουν μια πτώση, το μοντέλο μας δίνει τιμές μεγαλύτερες από κάθε άλλη χρονιά, ακόμη και αν τις συγκρίνουμε και με τις τιμές της περιοχής του Δέλτα του Πηνειού σε οποιαδήποτε από τις τρεις χρονιές.

Είναι γενική διαπίστωση ότι κατά μέσο όρο, οι αποδόσεις όλων των καλλιεργειών, σημείωσαν πτώση την χρονιά του 1996 σε σχέση με τις

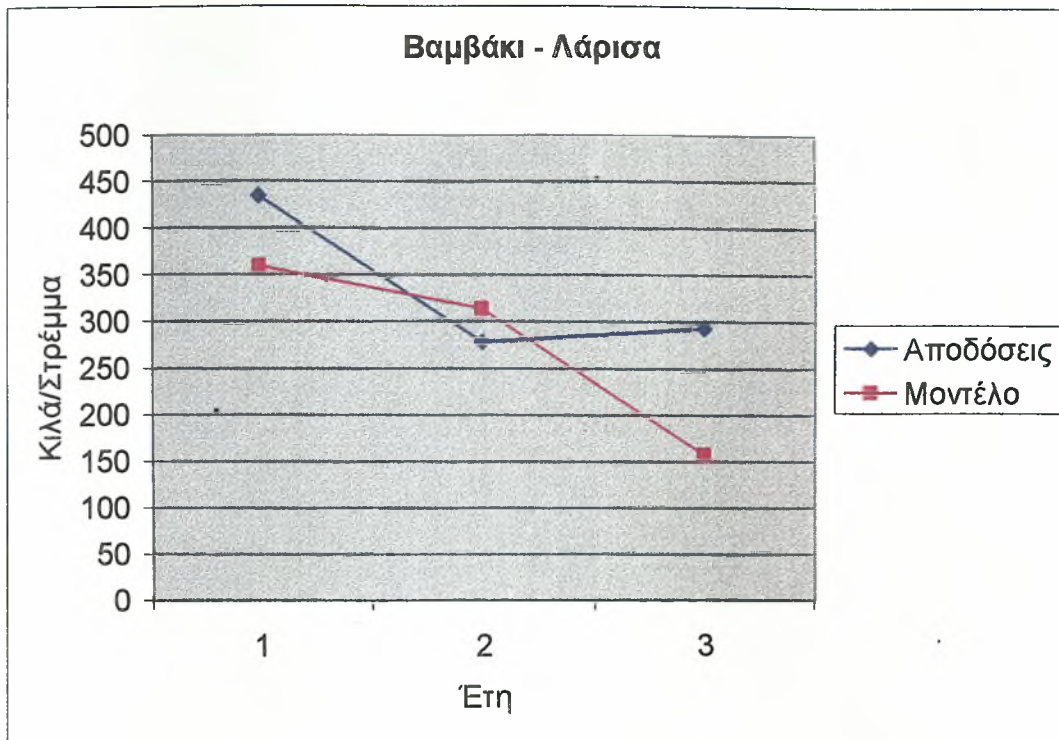
αποδόσεις του 1995. Αυτό μπορεί να αποδοθεί σε πολλούς λόγους, οι οποίοι όμως δεν ενδιαφέρουν άμεσα αυτή τη μελέτη. Αντίθετα οι αποδόσεις των ετών 1994 και 1995 παρουσιάζουν μια σχετική σταθερότητα με εξαίρεση την περιοχή της Χρυσούπολης στην οποία καλλιεργούταν αραβόσιτος, όπου σημειώθηκε απότομη αύξηση της απόδοσης και την περιοχή της Κάρλας στην Λάρισα, με καλλιέργεια βαμβακιού, στην οποία σημειώθηκε απότομη πτώση.

5.4 Επισημάνσεις

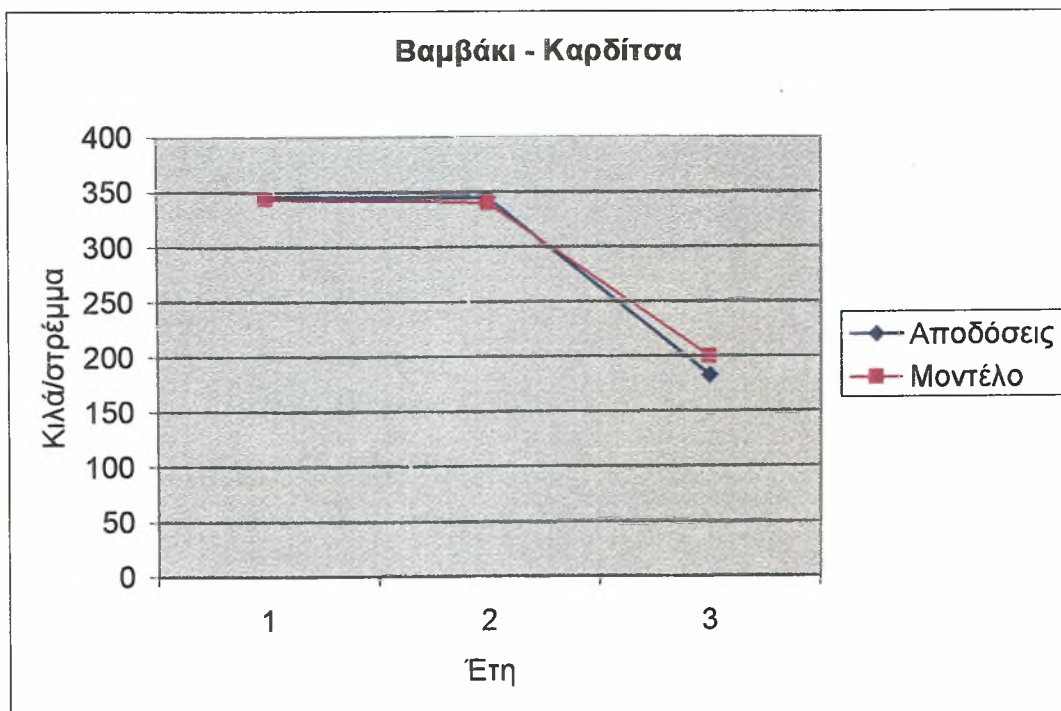
Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε (εξίσωση 4.4) αναπτύχθηκε για τον υπολογισμό της βιομάζας θάμνων της Μεσογείου χρησιμοποιώντας τις τιμές NDVI. Τα αποτελέσματα που εξήχθησαν παρουσιάζουν μεγάλη διακύμανση και από ότι φαίνεται το μοντέλο δεν λειτουργεί το ίδιο καλά σε όλες τις περιπτώσεις.

Τα καλύτερα αποτελέσματα λήφθηκαν από την περιοχή της Καρδίτσας και την καλλιέργεια βαμβακιού εκεί, καθώς οι τιμές του μοντέλου παρουσιάζουν ελάχιστη απόκλιση από τις πραγματικές τιμές της απόδοσης και στις τρεις χρονιές. Αυτό το συμπέρασμα δεν μπορεί να επεκταθεί στην καλλιέργεια του βαμβακιού καθώς η εφαρμογή του μοντέλου στην περιοχή της Λάρισας δεν έδωσε τα αναμενόμενα αποτελέσματα. Οι διακυμάνσεις αποδόσεων και τιμών του μοντέλου για την καλλιέργεια του βαμβακιού παρουσιάζονται στα σχήματα 5.1 και 5.2.

Στα χειμερινά σιτηρά έλλειπαν οι μεγάλες διακυμάνσεις, τόσο στις αποδόσεις όσο και στις τιμές του μοντέλου, με εξαίρεση την θεαματική πτώση το 1996 στην τιμή που μας έδωσε το μοντέλο στην περιοχή του Αλμυρού Μαγνησίας (από 317,2 σε 123). Οι αυξομειώσεις των αποδόσεων, όμως, μέσα στην τριετία δεν συμβαδίζουν με αυτές των τιμών του μοντέλου και επιπλέον οι τιμές του μοντέλου είναι γενικά έως και διπλάσιες από τις αντίστοιχες απο-



Σχήμα 5.1: Διακυμάνσεις αποδόσεων και τιμών μοντέλου 4.4 για την καλλιέργεια βαμβακιού στην περιοχή της Κάρλας Λαρίσης

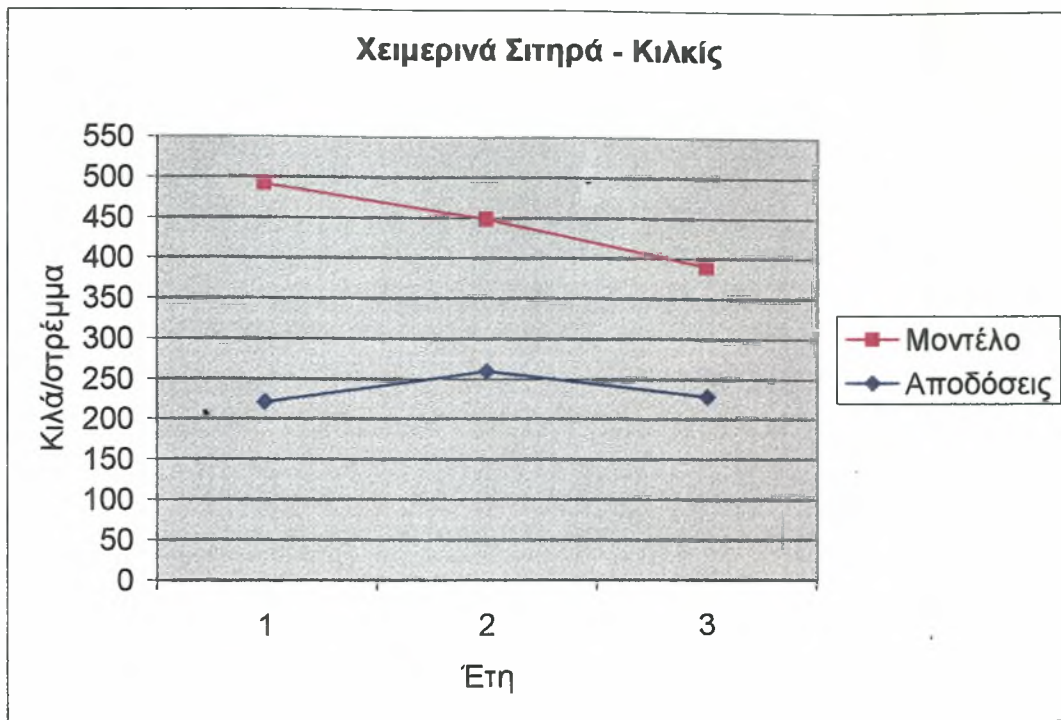


Σχήμα 5.2: Διακυμάνσεις αποδόσεων και τιμών μοντέλου 4.4 για την καλλιέργεια βαμβακιού στην περιοχή της Καρδίτσας

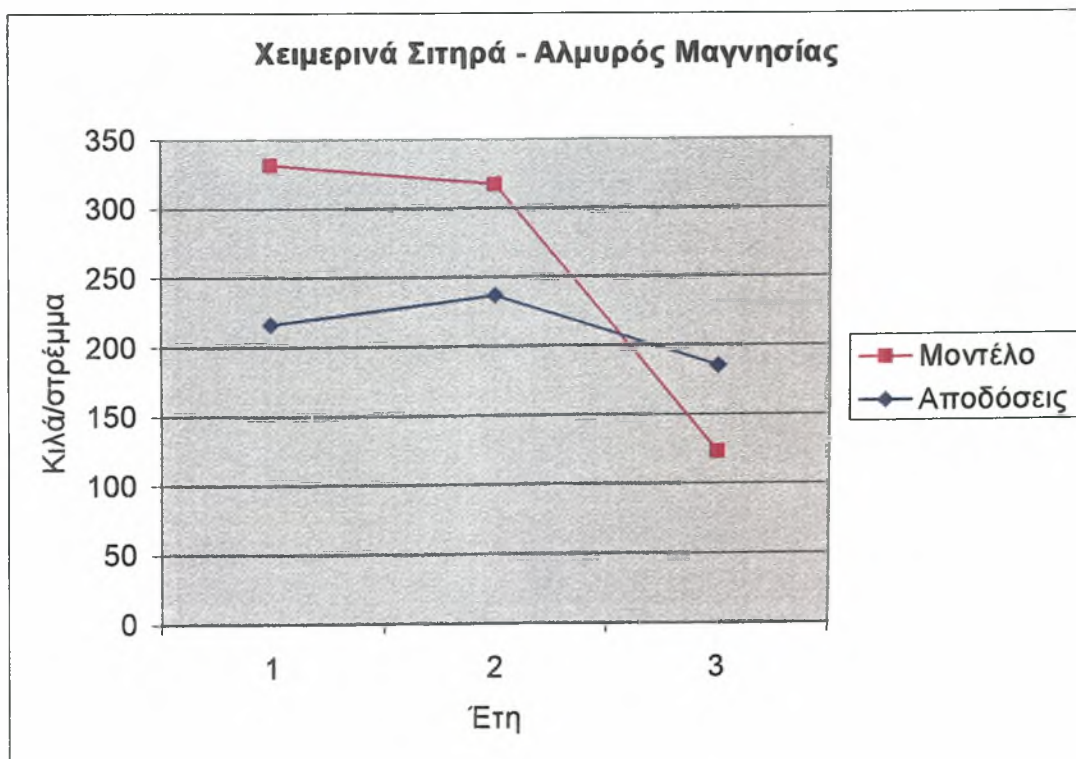
δόσεις σε κάθε χρονιά. Οι διακυμάνσεις αποδόσεων και τιμών του μοντέλου για την καλλιέργεια των χειμερινών σιτηρών παρουσιάζονται στα σχήματα 5.3 και 5.4.

Τέλος για την καλλιέργεια του αραβοσίτου, στην περιοχή του Δέλτα του Πηνειού, τόσο οι αποδόσεις όσο και οι τιμές του μοντέλου παρουσιάζουν μια σταθερότητα μέσα στην τριετία. Οι τιμές των αποδόσεων βέβαια είναι πολύ μεγαλύτερες των αποτελεσμάτων, λόγω της φύσης του σπάρδακα για τον οποίο καλλιεργείται ο αραβόσιτος. Αναλογικά, στην περιοχή του Δέλτα του Πηνειού οι τιμές αποδόσεων και μοντέλου συμβαδίζουν σε γενικές γραμμές. Δεν συμβαίνει όμως και το ίδιο στην περιοχή της Χρυσούπολης, όπου η γραφική αναπαράσταση των αποδόσεων στην τριετία κάνει μια «κορυφή» στη χρονιά του 1995, ενώ η αντίστοιχη γραφική αναπαράσταση των τιμών του μοντέλου για την ίδια περιοχή, παρουσιάζει την χαμηλότερη τιμή της εκείνη την χρονιά. Οι διακυμάνσεις των αποδόσεων και των τιμών του μοντέλου παρουσιάζονται στα σχήματα 5.5 και 5.6.

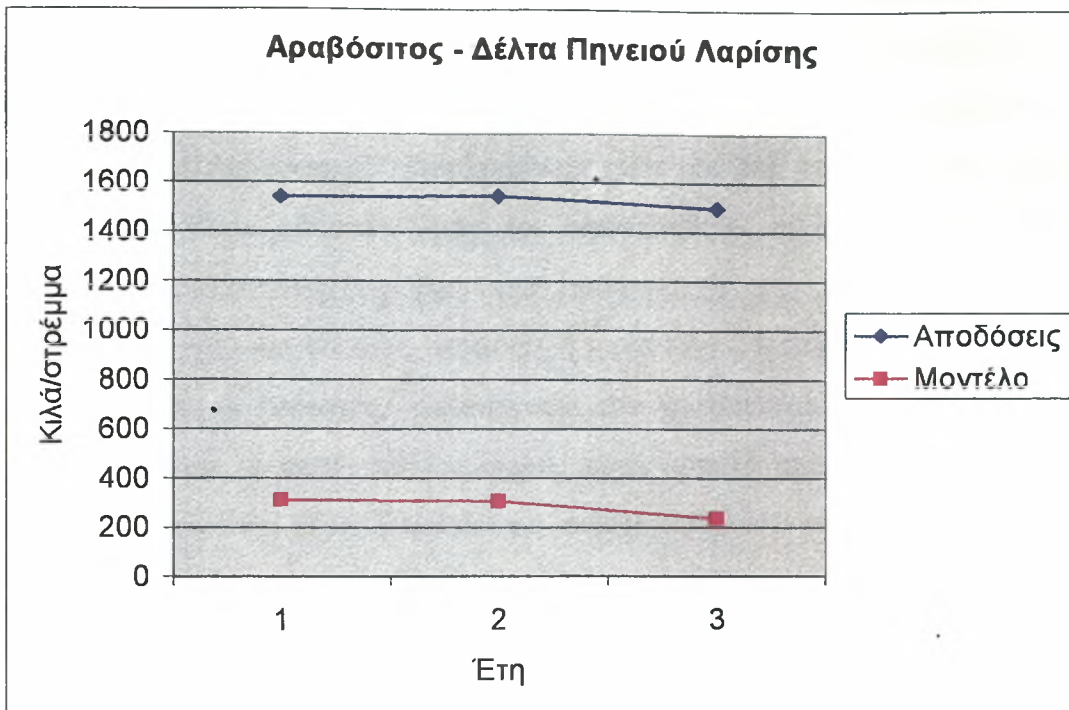
Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του μοντέλου δεν είναι πλήρως ικανοποιητικά. Ενώ στην περιοχή της Καρδίτσας στην οποία καλλιεργούταν βαμβάκι το μοντέλο παρουσιάζει ετνωπωσιακά αποτελέσματα, στην περιοχή της Λάρισας με την ίδια καλλιέργεια, το μοντέλο αποτυγχάνει να ακολουθήσει τις τιμές των αποδόσεων. Κάτι παρόμοιο συμβαίνει και στην περιοχή του Δέλτα του Πηνειού για την καλλιέργεια του αραβοσίτου, όπου τα αποτελέσματα παρουσιάζουν μια καλή αναλογία, ενώ αντίθετα στην Χρυσούπολη της Καβάλας, οι διακυμάνσεις δεν έχουν καμία σχέση μεταξύ τους.



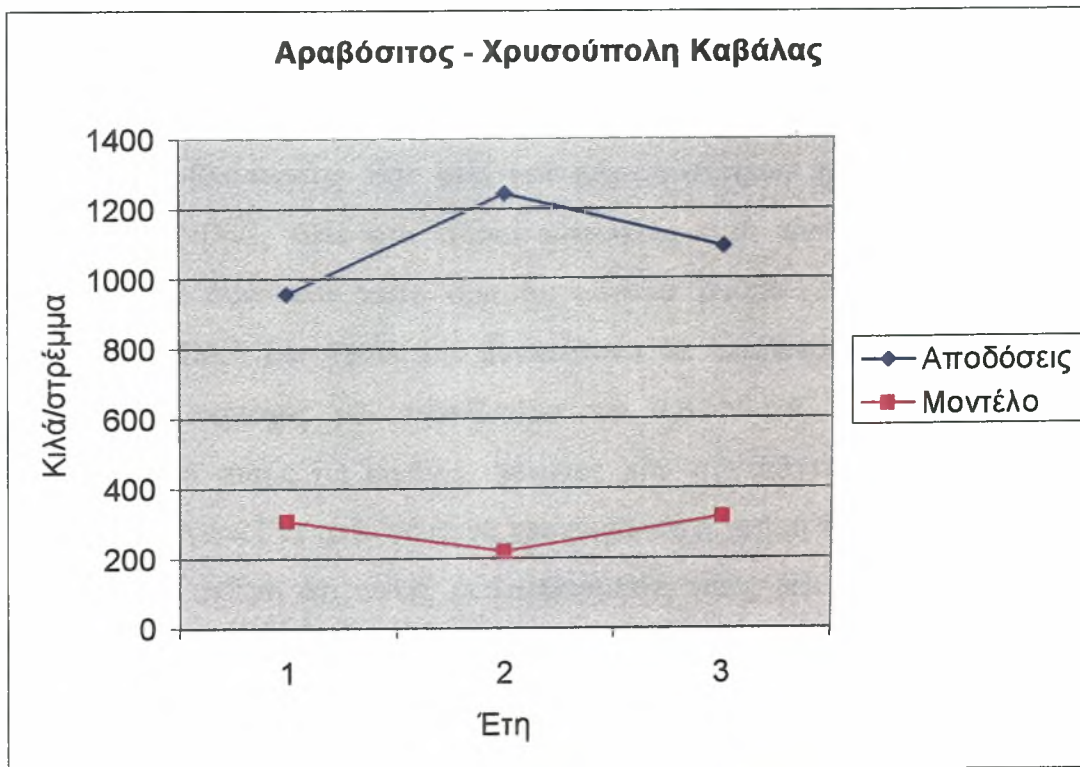
Σχήμα 5.3: Διακυμάνσεις αποδόσεων και τιμών μοντέλου 4.4 για την καλλιέργεια χειμερινών σιτηρών στην περιοχή του Κιλκίς



Σχήμα 5.4: Διακυμάνσεις αποδόσεων και τιμών μοντέλου 4.4 για την καλλιέργεια χειμερινών σιτηρών στην περιοχή Αλμυρού Μαγνησίας



Σχήμα 5.5: Διακυμάνσεις αποδόσεων και τιμών μοντέλου 4.4 για την καλλιέργεια αραβοσίτου στην περιοχή Δέλτα Πηνειού Λαρίσης



Σχήμα 5.6: Διακυμάνσεις αποδόσεων και τιμών μοντέλου 4.4 για την καλλιέργεια αραβοσίτου στην περιοχή Χρυσούπολης Καβάλας

Φυσικά υπάρχει και η πιθανότητα του σφάλματος, η οποία δεν μπορεί να αγνοηθεί. Ένα πρώτο σημείο στο οποίο μπορεί να έχει εισαχθεί κάποιο σφάλμα είναι τα όρια των καλλιεργειών. Επιχειρήθηκε να προσδιοριστούν περιοχές που καλύπτονται εξ' ολοκλήρου με κάθε μία από τις καλλιέργειες που μελετήθηκαν. Είναι αδύνατο όμως να αποφευχθούν οι προσμίξεις άλλων καλλιεργειών, αλλοιώνοντας έτσι την ομοιογένεια της περιοχής. Ακόμη, μπορεί να υπήρχαν και δασικές εκτάσεις ή κατοικήσιμες περιοχές. Όλες αυτές οι «ανεπιθύμητες» περιοχές, αλλοιώνουν την ομοιογένεια της εικόνας και εισάγουν σφάλμα το οποίο πολλές φορές είναι αρκετά σημαντικό. Δυστυχώς το σφάλμα αυτό είναι πολύ δύσκολο να επιβεβαιωθεί και να εντοπισθεί, ώστε να δοθεί η δυνατότητα να αποβληθεί από τις εικόνες.

Ένα δεύτερο σημείο στο οποίο μπορεί να υπάρχει σφάλμα, είναι σε αυτές καθαυτές τις δορυφορικές εικόνες. Στην παρούσα μελέτη, χρησιμοποιήθηκαν οι μέγιστες τιμές NDVI από όλη τη βλαστική περίοδο. Εάν για οποιοδήποτε λόγο, ο δορυφόρος κατέγραψε αντανάκλασεις της ηλιακής ακτινοβολίας που δίνουν τιμές NDVI πολύ υψηλές, αν και αυτές δεν ανταποκρίνονται στον τύπο της βλάστησης που εξετάζεται, είναι δυνατόν αυτή η τιμή να περνάει στα δεδομένα και να λαμβάνεται ως αντιπροσωπευτική της εξεταζόμενης βλάστησης. Εάν αντί των μέγιστων τιμών χρησιμοποιηθούν οι μέσες τιμές NDVI, τότε μια τέτοια αναληθής τιμή είναι πιθανόν να μην επηρέαζε τον συνολικό μέσο όρο σε μεγάλο βαθμό. Δυστυχώς όμως οι δορυφόροι NOAA δεν έχουν την δυνατότητα να λαμβάνουν σήμα μέσα από νεφοσκεπείς περιοχές με αποτέλεσμα να αγνοηθούν τα δεδομένα που προήλθαν από αυτές τις εικόνες, γεγονός που συνεπάγεται τη μείωση της βάσης δεδομένων. Για το λόγο αυτό προτιμήθηκε η χρήση των μεγίστων τιμών NDVI με τη σκέψη ότι αυτές οι λανθασμένες τιμές δεν θα επηρέαζαν τον τελικό μέσο όρο των μεγίστων τιμών NDVI που χρησιμοποιήθηκε τελικά.

Η πιθανότερη αιτία για τα σφάλματα που παρουσιάστηκαν είναι μάλλον το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε. Παρατηρήθηκε σε ορισμένες περιπτώσεις ότι το μοντέλο έδωσε πολύ καλά αποτελέσματα, ενώ σε άλλες, οι αποκλίσεις ήταν πολύ μεγάλες. Εάν λοιπόν εισαχθεί στο μοντέλο κάποιος

παράγοντας ο οποίος θα προσαρμόζει το μοντέλο σε κάθε καλλιέργεια και υπάρχουν ακριβέστερα δεδομένα για τα όρια των περιοχών που καλύπτονται από την καλλιέργεια που εξετάζεται, θα υπάρχει έστω μια εκτίμηση για το μέγεθος της παραγωγής της εξεταζόμενης καλλιέργειας. Αυτή η εκτίμηση θα βασίζεται στην παρόμοια σχέση που έχουν η βιομάζα και η απόδοση γενικότερα σε όλες τις εκτατικές καλλιέργειες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Με βάση όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως, μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα ως προς τη χρησιμότητα του μοντέλου για τον υπολογισμό της βιομάζας των καλλιεργειών, για τα σημεία στα οποία μπορεί να έχουν εισαχθεί σφάλματα, και να προταθούν λύσεις για την βελτίωση των αποτελεσμάτων με τη χρήση του συγκεκριμένου ή παρόμοιων μοντέλων.

6.1 Συμπεράσματα

Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της βιομάζας και την πρόγνωση της παραγωγής μέσω αυτής, ήταν ένα μοντέλο δευτέρου βαθμού, το οποίο εκφράζεται μαθηματικά με την εξίσωση 4.4. Τα αποτελέσματα της εργασίας οδηγούν στα ακόλουθα συμπεράσματα:

1. Το μοντέλο έδωσε πάρα πολύ καλά αποτελέσματα για την περιοχή της Καρδίτσας, καθώς τα αποτελέσματα της εφαρμογής του μοντέλου συμβάδιζαν με τα στατιστικά δεδομένα των αποδόσεων και στις τρεις χρονιές που εξετάστηκαν.
2. Αντίθετα με την περιοχή της Καρδίτσας, η περιοχή της Κάρλας Λαρίσης δεν έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα, ώστε να γενικευτεί η επιτυχία του μοντέλου στην καλλιέργεια του βαμβακιού. Συνεπώς, οι διαφορές μεταξύ των περιοχών της Κάρλας Λαρίσης και της Καρδίτσας, επηρεάζουν τα αποτελέσματα του μοντέλου.
3. Η εφαρμογή του μοντέλου στις καλλιέργειες των χειμερινών σιτηρών, με εξαίρεση τη χρονιά του 1996 στην περιοχή του Αλμυρού Μαγνησίας, έδωσε ανάλογα αποτελέσματα με αυτά των στατιστικών δεδομένων.

Μπορεί να σημειωθεί λοιπόν ότι υπάρχει ικανοποιητική σχέση των αποτελεσμάτων του μοντέλου με την βιομάζα των χειμερινών σιτηρών.

4. Για την καλλιέργεια του αραβοσίτου, οι τιμές που έδωσε το μοντέλο είχαν κάποια αναλογία με τα στατιστικά δεδομένα των αποδόσεων, ιδιαίτερα στην περιοχή του Δέλτα του Πηνειού στην Λάρισα.
5. Η σχέση βιομάζα – απόδοση δεν είναι η ίδια σε κάθε καλλιέργεια. Γενικότερα τα δύο αυτά μεγέθη είναι ανάλογα, δηλαδή υψηλή βιομάζα συνεπάγεται και υψηλή παραγωγή στις περισσότερες περιπτώσεις και αντιστρόφως, αλλά ο λόγος μεταξύ τους διαφέρει πολλές φορές σε σημαντικό βαθμό.
6. Γενικά, το μοντέλο δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί γενικευμένα σε όλες τις καλλιέργειες. Αυτό οφείλεται στις διαφορετικές τιμές NDVI που αντιπροσωπεύουν τις καλλιέργειες.

6.2 Προτάσεις

Με βάση τις παραπάνω διαπιστώσεις, μπορούν να διατυπωθούν προτάσεις για τη βελτίωση των αποτελεσμάτων, την αύξηση της αξιοπιστίας των μοντέλων υπολογισμού βιομάζας και εκτίμησης παραγωγής και να προταθούν λύσεις σε κάποια προβλήματα που προέκυψαν κατά τη διαδικασία της παρούσας εργασίας.

1. Όπως αναφέρθηκε, η σχέση βιομάζας – απόδοσης δεν είναι η ίδια σε κάθε καλλιέργεια. Οι διαφορές που παρουσιάζουν δεν είναι πολύ μεγάλες αλλά μια γενίκευση της σχέσης βιομάζας – απόδοσης συμβάλλει στην αύξηση του σφάλματος. Θα πρέπει λοιπόν να βρεθεί ένας παράγοντας ο οποίος θα καθορίζει τη σχέση βιομάζας – απόδοσης για κάθε καλλιέργεια, και να χρησιμοποιείται στο μοντέλο παραγωγής.
2. Η χρήση δορυφορικών δεδομένων από NOAA/AVHRR χρησιμοποιήθηκε γιατί μόνο ο NOAA έχει την ικανότητα συχνής λήψης εικόνας (μία ανά 12 ώρες περίπου). Το μειονέκτημα όμως της χαμηλής διακριτικής ικανότητας των δεδομένων αυτών, ίσως μειώνει την αξιοπιστία των δεδομένων αυτών

με αποτέλεσμα το μοντέλο παραγωγής να μην δίνει ακριβή αποτελέσματα. Θα μπορούσε ίσως στο μέλλον να χρησιμοποιηθούν δεδομένα από LANDSAT ή SPOT, τα οποία θα έχουν μεγαλύτερη ακρίβεια και θα μας δίνουν τη δυνατότητα να απομακρύνουμε τις εσφαλμένες τιμές με μεγαλύτερη ευκολία.

3. Εάν δεν είναι δυνατή η χρήση άλλων δεδομένων, θα πρέπει τότε να επιλεγθούν περιοχές οι οποίες θα είναι όσο το δυνατό περισσότερο αμιγείς στην καλλιέργεια που μας ενδιαφέρει και να προσδιοριστούν με μεγάλη ακρίβεια τα όρια της περιοχής αυτής ώστε να μην συμπεριληφθεί στην εικόνα περιοχή η οποία δεν καλύπτεται από την καλλιέργεια που πρόκειται να εξεταστεί.
4. Υπάρχει περίπτωση να περιέχεται σφάλμα στη μέθοδο επεξεργασίας των εικόνων. Η χρήση μέγιστων τιμών NDVI από όλες τις εικόνες και τελικά η εξαγωγή της μέσης τιμής από όλη την εικόνα των μέγιστων τιμών, μπορεί να μην είναι η πραγματική, καθώς οι διάφορες «προσμίξεις» στα δεδομένα από άλλες καλλιέργειες ή γυμνό έδαφος ή κατοικήσιμες εκτάσεις αλλοιώνουν τα δεδομένα. Θα μπορούσε λοιπόν να χρησιμοποιηθεί μικρότερος όγκος δεδομένων, αποτελούμενος από εικόνες σε μια χρονική περίοδο κρίσιμη για την καλλιέργεια. Σε αυτές τις εικόνες το NDVI θα έπαιρνε μια χαρακτηριστική τιμή από την οποία θα μπορούσαν να εξαχθούν συμπεράσματα για την τελική παραγωγή (για παράδειγμα, το NDVI του Μαΐου το οποίο παίρνει τη μέγιστη τιμή του αυτό το μήνα για την καλλιέργεια του βαμβακιού).
5. Για αποτελέσματα με ακόμη μεγαλύτερη ακρίβεια, θα πρέπει να δημιουργηθεί ένα μοντέλο για κάθε καλλιέργεια. Τα διαφορετικά είδη φυτών παρουσιάζουν μεγάλη παραλλακτικότητα ως προς τα φαινοτυπικά τους χαρακτηριστικά (σχήμα, όγκος, ύψος, χρώμα κ.λ.π.). Αυτή η παραλλακτικότητα εισάγει σφάλμα στη χρήση ενός μοντέλου που δημιουργήθηκε βασισμένο σε μία διαφορετική καλλιέργεια. Επιπλέον σφάλμα μπορεί να οφείλεται ακόμη και σε διαφορετικές κλιματικές συνθήκες, τύπο του εδάφους και καλλιεργητικές φροντίδες που παρέχει ο

παραγωγός (λιπάσματα, ζιζανιοκτόνα, εποχή σποράς κ.α.) μεταξύ δύο ίδιων καλλιιεργειών σε διαφορετικές περιοχές.

6. Τα αποτελέσματα βασίστηκαν σε δεδομένα τριών ετών και ουσιαστικά το τελικό υλικό πάνω στο οποίο έγινε η μελέτη ήταν 18 εικόνες μέγιστων NDVI. Η εφαρμογή του μοντέλου σε μεγαλύτερο όγκο δεδομένων είναι πιθανό να δώσει καλύτερα αποτελέσματα. Τα δεδομένα μπορεί να αποτελούνται από στοιχεία από περισσότερα έτη για τις καλλιέργειες στις περιοχές που μελετήθηκαν, περισσότερες περιοχές για της εξεταζόμενες καλλιέργειες, ώστε να παρατηρηθούν οι διαφορετικές εξελίξεις του NDVI σε διαφορετικές περιοχές, ή ακόμη και περισσότερες καλλιέργειες που παρουσιάζουν ενδιαφέρον για μελέτη.
7. Με την προϋπόθεση ότι θα υπάρξουν περισσότερα δεδομένα, θα ήταν καλύτερο να υποβληθούν τα αποτελέσματα σε στατιστική επεξεργασία, η οποία θα δείξει με ακρίβεια και αξιοπιστία την εγκυρότητα και χρησιμότητα του μοντέλου.

Τα μοντέλα εκτίμησης βιομάζας επηρεάζονται από πολλούς παράγοντες, πέρα από τις τιμές του δείκτη NDVI που εξάγονται από τις δορυφορικές εικόνες. Όσο καλύτερος είναι ο έλεγχος αυτών των παραγόντων, τόσο ακριβέστερα αποτελέσματα μπορούν να εξαχθούν. Η χρήση τέτοιων μοντέλων για την πρόγνωση της παραγωγής είναι δυνατή όταν είναι διαθέσιμα ακριβή δορυφορικά αλλά και στατιστικά δεδομένα προηγούμενων ετών και είναι γνωστά τα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας της οποίας η παραγωγή επιθυμείται να προβλεφθεί.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Achard F., Blasco F., 1990, Analysis of vegetation seasonal evolution and mapping of forest cover in West Africa with use of NOAA AVHRR HRPT data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, No. 10, 1359-1365.
2. Andres L., Salas W.A., Skole D., 1994, Fourier analysis of multi-temporal AVHRR data applied to a land classification, *Int. J. of Remote Sensing, Letter*, Vol. 15, No 5, 1115-1121.
3. Benedetti R., Rossini P., Taddei R., 1994, Vegetation classification in the Middle Mediterranean area by Satellite data, *Int. J. of Remote Sensing*, Vol. 15, No 3, 583-596,50.
4. Bouman, B.A.M., 1992, Linking physical remote-sensing models with crop growth simulation-models, applied for sugar-beet, *Int. J. of Remote Sensing*, 2562-2581.
5. Γαλανοπούλου-Σενδούκα Σ., 1994, Πανεπιστημιακές σημειώσεις στο μάθημα «Ειδική Γεωργία II», Π.Θ, 16-40.
6. Chilar J., Ahern D'Iorio M.A., Guindon B., Teillet P.M., Fisher T., 1990, Mapping land cover of Canada from AVHRR data. *Proc. of Int. Geoscience and Remote Sensing Symposium (Piscataway, New Jersey: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.)*, 1237-1242.
7. Δεδομένα Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας της Ελλάδος για καλλιεργήσιμες εκτάσεις και παραγωγές για τα έτη 1994-1996.
8. Dalezios, N.R., 1995: Remote Sensing of Agricultural Hazards. *Proc., Space Congress, Bremen, 23-25 May, 30-34.*
9. Dalezios N. R. and I. Stamatopoulou, 1996: The Significance of Meteorological Indices in the Phenology of Maize in Central Greece. *Proceedings, Intern. Symp. on Applied Agrometeorology-Agroclimatology, 24-26 April, Volos Greece, 411-417.*
10. Dalezios, N.R., and L Toullos, 1995: Agrometeorological Remote Sensing in Greece. *Proc., COST European Workshop, 19-20 Sept., Budapest Hungary, 227-232.*

11. Dalezios, N.R., Tsidarakis M.L., and K.D. Zarpas, 1995: Quantitative Characteristics of the Flood of October 1994 in Thessaly. Proceedings, of 2nd National Conference "Integrated Treatments for Flood Danger Reduction", January 12-13, 1995, Technical University, Athens, Greece, 183-191.
12. Dalezios, N.R., Tsidarakis M.L., and K.D. Zarpas, 1995: Diachronic Development of Storm Activity 17-23 October 1994 using Digital Satellite Data. Proceedings, 1st Workshop of Greek Space Committee, "Earth's Observation Systems", January 25-26, 1995, National Research Center, Athens, Greece, 503-514.
13. Dalezios, N.R., Tzortzios, S., Domenikiotis, C., Sarakatsanos, S., 1998, The Role of NDVI for the assessment of Natural Hazards, *ICCT-International Congress Technology in Agriculture*. Florence, 15-18 November.
14. Dalezios, N.R., Tzortsios, S., Domenikiotis, C., A. Loukas and S. Sarakatsanos, 1999, Phytomass Estimation of Wheat in the Area of Kilkis-Greece Based on NDVI Data, *Energy & Agriculture towards the Third Millennium*, Athens 2-5 June, 36-42.
15. Dalezios N.R., C.D. Zarpas, 1996 : The Role of NDVI and Meteorological indices in the phenology of Cotton, Vineyards and Apples in Greece. Proceedings, Intern. Symp. on Applied Agrometeorology-Agroclimatology, European Commission, edited by R.Dalezios, 24-26 April, Volos Greece, 185-190.
16. Dallemand, J.F., Vossen, P. (eds), 1994, Agrometeorological models: Theory and Applications in the MARS Project.
17. Eidenshink J.C., Haas R.H., 1992, Analysing vegetation dynamics of land systems with satellite data. *Geocarto International*, No 7, 55-61
18. Ζάρπας Δ. Κώστας, 1995, Ο Ρόλος του Δείκτη Βλάστησης από Δορυφορικές Εικόνες NOAA/AVHRR στην Εξέλιξη των Καλλιεργειών, Πτυχιακή Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 85σελ.
19. Fassnacht, K.S., S.T. Gower, J.M, Norman and R.E. McMurtrie, 1994, A comparison of optical and direct methods for estimating foilage surface area index in forests, *Agric. For. Meteorol.*, 71, 183-207
20. Fischer A., 1994, A simple model for the temporal variations of NDVI at regional scale over agricultural countries. Validation with ground radiometric measurements. *Int J. of Remote Sensing*, Vol. 15, No 7, 1421-1446.

21. Floyd F. Sapins jr, 1997, Remote Sensing: Principles and Interpretation, 3rd Edition, W.H. Freeman and Company, New York, 69-104.
22. Foody, G.M., Curran P.J., 1994, Enviromantal Remote Sensing from Regional to Global Scales, Wiley & Sons Inc.
23. Gamon J.A., C.B. Field, M.L. Goulden, K.L. Griffin, A.E. Hartley, G. Joel, J. Penuelas, and R. Valentini, 1995, Relationships between NDVI, canopy structure, and photosynthesis in three Californian vegetation types, *Ecological Applications*, 28-41.
24. Giles, Foody M., Curran, P.J., 1994, Enviromental Remote Sensing to Global Scales, Wiley & Sons Inc.
25. Groten S.M.E., 1993, NDVI – crop monitoring and early yield assessment of Burkina Faso. *Int J. of Remote Sensing*, Vol. 14, No 8, 1495-1515.
26. Hill, J., and D. Aifadopoulou, 1989, Comparative analysis of Landsat-5 TM and SPOT HRV-1 data for use in multiple sensor approaches, *Remote Sensing of Enviroment*, 12, 1243-1258.
27. Hill, J., Peter, D. (eds), 1994, The use of remote sensing for land degradation and desertification monitoring in the Mediterranean basin, State of the art and future research, Proceedings of an experts workshop, Jointly organized by JRC/IRSA and DG XIII/D.2, D.4, Valencia, Spain, 13-15 June 1994.
28. Hough M.N., 1990, Agrometeorological Aspects of Crops in the U.K. and Ireland. A review for Sugar Beet, Oilseed, Rape Peas, Wheat, Barley, Oats, Potatoes, Apples and Pears, J.R.C., 303pp.
29. Iqbal, M., 1983, Introduction to Solar Radiation. Academic Press, New York.
30. Jaggard, K.W., 1992, Remote Sensing to forecast yield in England, Proceedings, International Institute for Sugar Beet Research (Brussels) 55th Winter Congress, (Brussels: International Institute for Sugar Beet Research), 253-260.
31. Jaggard, K.W. and Clark, C.J., 1990, Remote Sensing to predict the yield of sugar beet in England, in M.D. Steven and J.A. Clark (eds), *Applications of Remote Sensing in Agriculture*, (London: Butterworths), 201-208.
32. Jasinski, M.F., 1990, Sensitivity of the Normalized Difference Vegetation Index to subpixel canopy cover, soil albedo and pixel scale, *Remote Sensing of Enviroment*, 32, 169-187.



33. Lacaze B., 1996, Spectral Characterisation of Vegetation Communities and Practical Approaches to Vegetation Cover Changes Monitoring. In: Hill, J. and Peter, D. (eds). The use of remote sensing for land degradation and desertification monitoring in the Mediterranean basin – State of the art and future research, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 149-166.
34. Lang, A.R.G., Leaf area and average leaf angle from transmission of direct sunlight. *Aust. J. Bot.*, 34, 349-355.
35. Leblon B., H. Granberg, C. Anseau, and A. Royer, 1993, A semi-empirical model to estimate the biomass production of forest canopies from spectral variables. Part 1: relationship between spectral variables and light interception efficiency, *Remote Sensing Reviews*, 109-125.
36. Li, Y., 1990, Estimating production of winter wheat by remote sensing and unified ground network. II. Nationwide estimation of wheat yields, in M.D. Steven and J.A. Clark (eds), *Applications of Remote Sensing in Agriculture*, (London: Butterworths), 127-135.
37. Lillesand, T.M., Kiefer, R.W., 1994, *Remote Sensing and Image Interpretation*, 3rd Edition, John Wiley & Sons Inc., 1-44, 186-200.
38. Lloyd D., 1989, A phenological description of Iberian vegetation using short wave vegetation index imagery, *Int J. of Remote Sensing*, Vol. 10, 827-833.
39. Loudjani P., 1995, *Remote Sensing and Crop Yield Estimation: An Overview*, COST 77 Document Report, J.R.C. 7-10.
40. Maracchi C., 1996, Agrometeorological Model for yield forecasting in Italy, *International Symposium on Applied Agrometeorology*, Volos, Greece.
41. Munden R., Gurrin P.J., Catt J.A., 1994, The relationship between red edge and chlorophyll concentration in the Broadbalk winter wheat experiment at Rothamsted, *Int. J. of Remote Sensing, Letter*, Vol. 15, No 3, 705-709.
42. Pearson, R.L., Tucker, C.J., Miller, L.D., 1976, Spectral mapping of shortgrass prairie biomass. *Photogram. Engn. and Remote Sensing*, 42(3):317-323.

43. Pereira J.M.C, T.M. Oliveira and J.P.C. Paul, 1994, Fuel mapping in a Mediterranean shrubland using Landsat TM imagery, in P.J. Kennedy and M. Karteris, (eds), Proc. International Workshop on Satellite technology and GIS for Mediterranean forest mapping and fire management, (Office for Official Publications of the European Communities: Luxembourg), 97-106.
44. Quarmby, N.A., Milnes, M., Hindle, T.L. and Silleos, N., 1993, The use of multi-temporal NDVI measurements from AVHRR data for crop yield estimation and prediction, *International Journal of Remote Sensing*, 14, 199-210.
45. Ray S.S., Pokharna S.S., AJAI, 1994, Cotton Production Estimation using IRS-1B and Meteorological data, *Int. J. of Remote Sensing, Letter*, Vol. 15, No.5, 1085-1090.
46. Σταματοπούλου Ι., 1996, Η σημασία των αγρομετεωρολογικών δεικτών στην εξέλιξη της καλλιέργειας του αραβόσιτου, Πτυχιακή διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 82 σελ.
47. Συλλαίος, Γ.Ν., 1990, Εφαρμογές Τηλεπισκόπησης στη Γεωργία, Θεσσαλονίκη 1990, 217 σελ.
48. Σφήκας Α., 1991, Ειδική Γεωργία : Σιτηρά, Ψυχανθή και Χορτοδοτικά Φυτά. 85-123.
49. Sharman M., 1993, Monitoring Vegetation Condition Using AVHRR. COST 77 – Working paper: Estimating Agricultural Yield using Remote Sensing Data, 45.
50. Spanos S.I., C.D. Zarpas and Dalezios N.R., 1996: Meteorological and Satellite Indices for the Assessment of Forest Fires. Proceedings Intern. Symp. on Applied Agrometeorology-Agroclimatology, 24-26 April, Volos Greece, 583-588.
51. Sprague, G.F, Dulley, J.W., 1998, Corn and Corn Improvement 3rd Edition, Agronomy no:18. 618-633.
52. Sridhar V.N., Dadhwal V.K., Chaudhari K.N., Sharma R., Bairagi G.D, Sharma A.K., 1994, Wheat production forecasting for a predominantly unirrigated region in Madhya Pradesh (India), *Int. J. of Remote Sensing*, Vol. 15, No. 6, 1307-1316.
53. Steven M.D., Biscoe P.V., and Jaggard, K.W., 1983, Estimation of sugar beet productivity from reflection in the red and infrared spectral bands, *International Journal of Remote Sensing* 325-334.

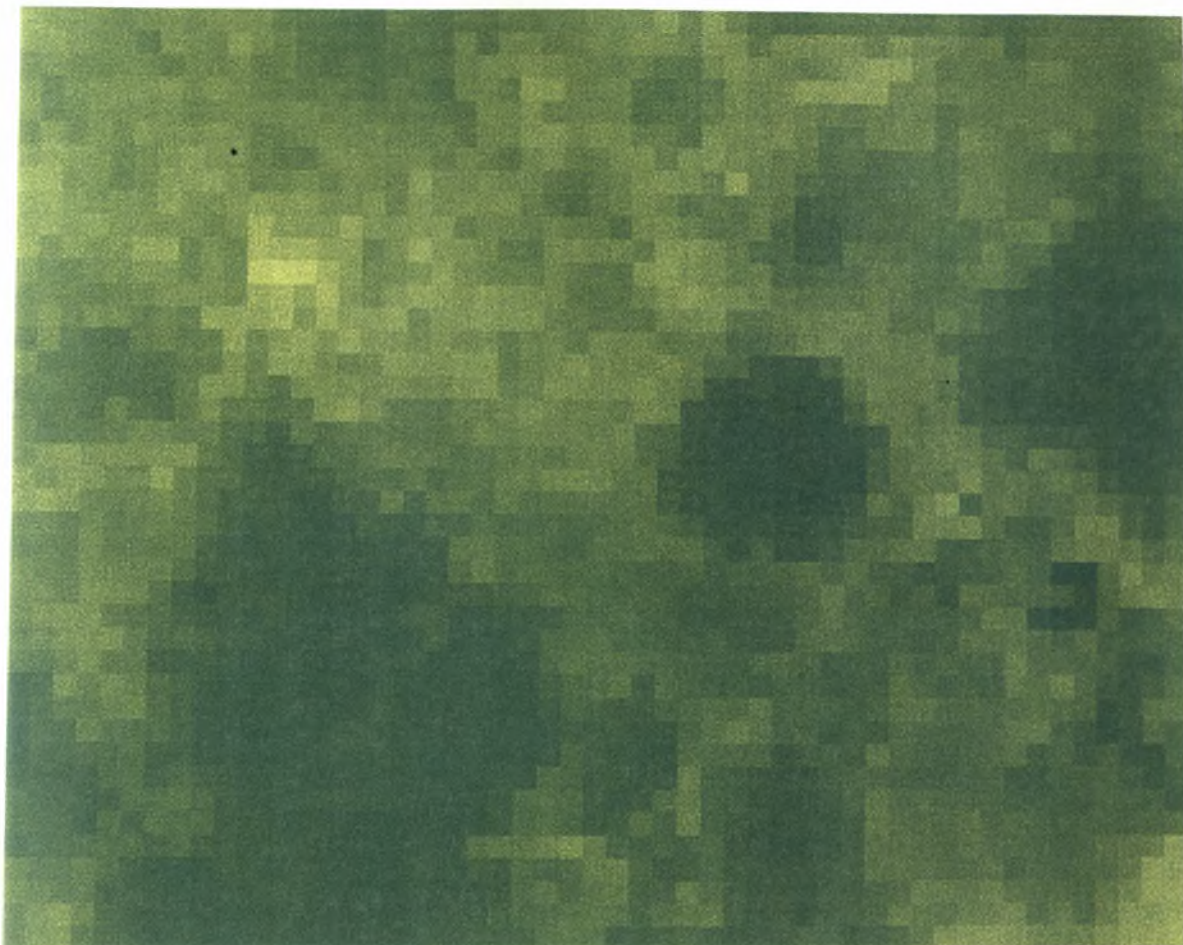
54. Steven M.D., Jaggard K.W., 1995, Advances in Crop Monitoring by Remote Sensing, In: Advances in Remote Sensing (edited by M. Danson and S.E. Plummer), John Wiley & Sons Ltd., Chichester, West Sussex, England, pp. 143-156.
55. Steven, M.D., Malthus, T.J., Danson, F.M., Jaggard, K.W. and Andrieu, B., 1992, Monitoring responses of vegetation to stress, Remote Sensing from Research to Operation, (Nottingham: Remote Sensing Society), 369-377.
56. Τζανετοπούλου Ι., 1998, Η Σημασία των Αγρομετεωρολογικών Δεικτών στην Εξέλιξη της Καλλιέργειας του Σιταριού, Πτυχιακή διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 77 σελ.
57. Tucker C.J., Vanpraet C., Boerwinkel E., Gatson A., 1983, Satellite remote sensing of total dry matter production in the Senegalese Sahel., Remote Sensing of Environment, Vol. 13, 461-474.
58. Van Keulen H., Penning de Vries F.W.T. and Drees E.M., 1982, A summary model for crop growth. In : F.W.T. Penning de Vries and H.H. van Laar (eds.) Simulation of plant growth and crop production. Simulation Monograph Series, PUDOC, Wageningen.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

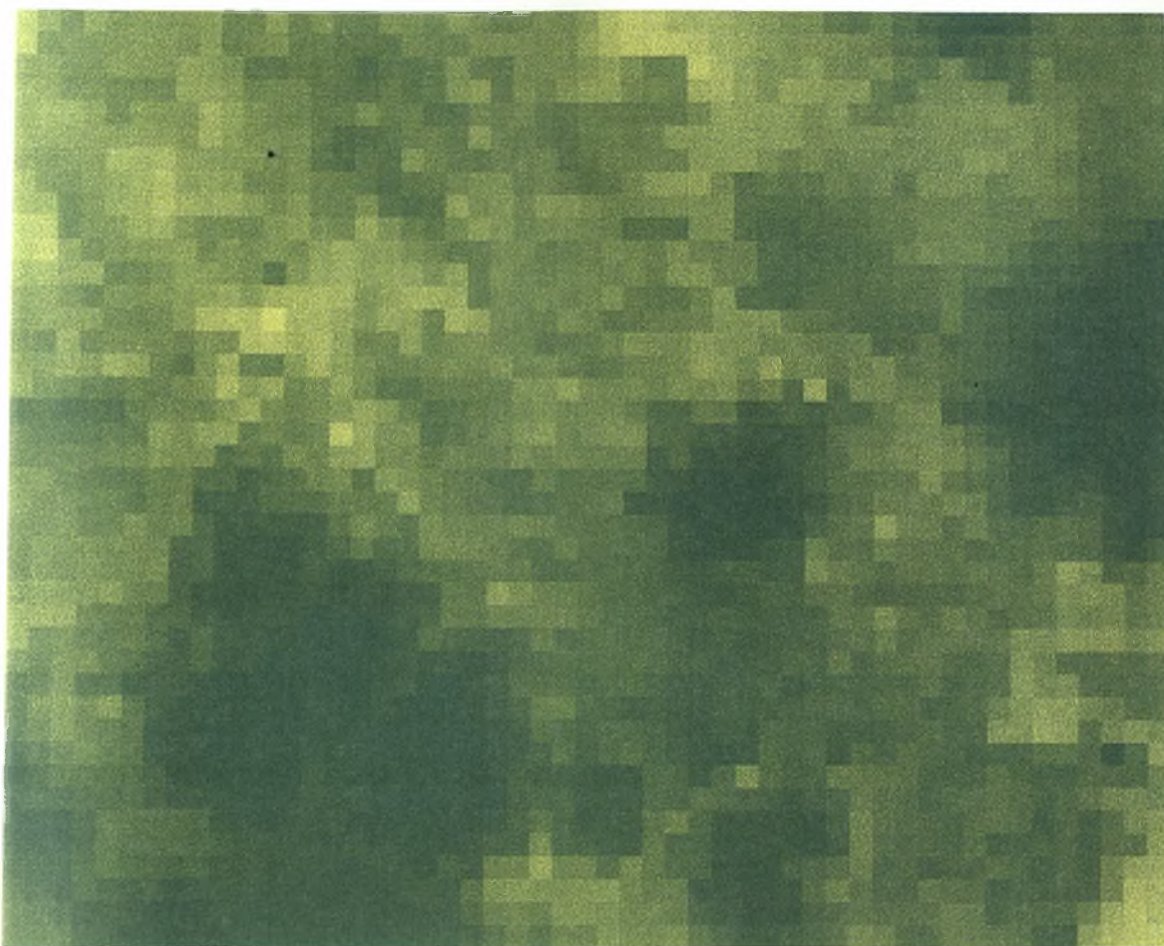
- Π1. Εικόνες μεγίστων NDVI για όλες τις καλλιέργειες, περιοχές και έτη.
- Π2. Ιστογράμματα μεγίστων NDVI για όλες τις καλλιέργειες, περιοχές και έτη.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Π1

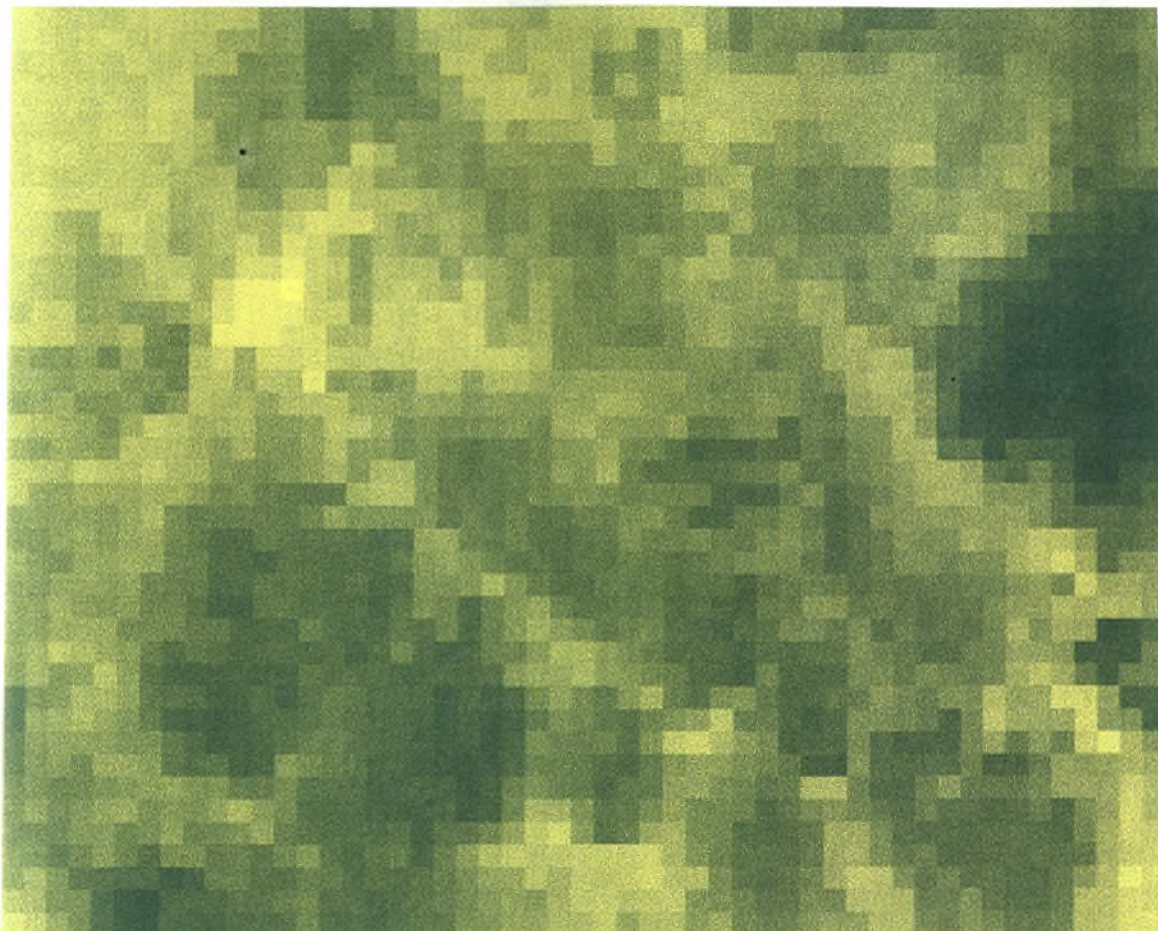
**Εικόνες μεγίστων NDVI για
όλες τις καλλιέργειες, περιοχές
και έτη.**



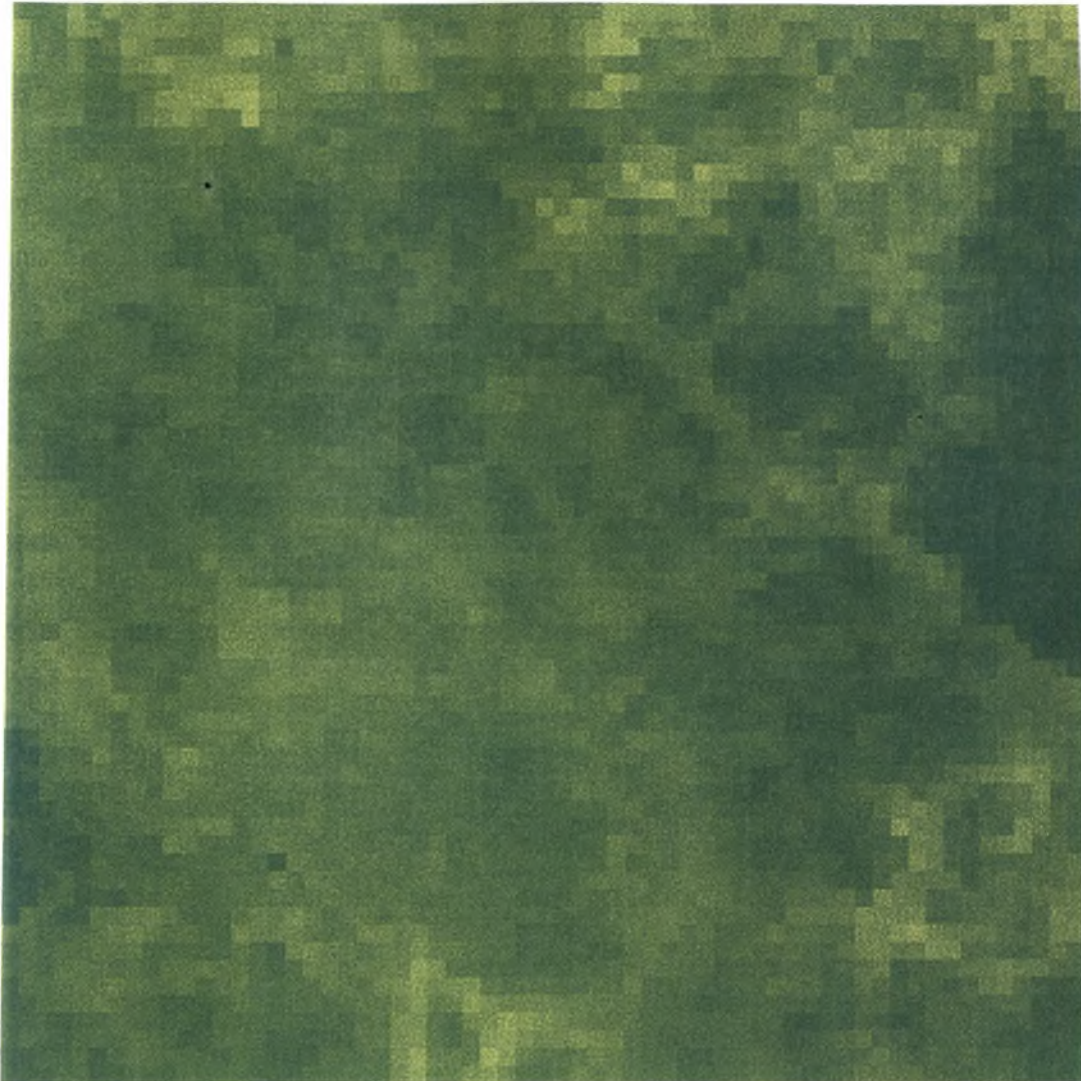
Εικόνα Π1.1: Εικόνα μεγίστου NDVI για την καλλιέργεια βαμβακιού στην περιοχή της Κάρλας Λαρίσης κατά το έτος 1994.



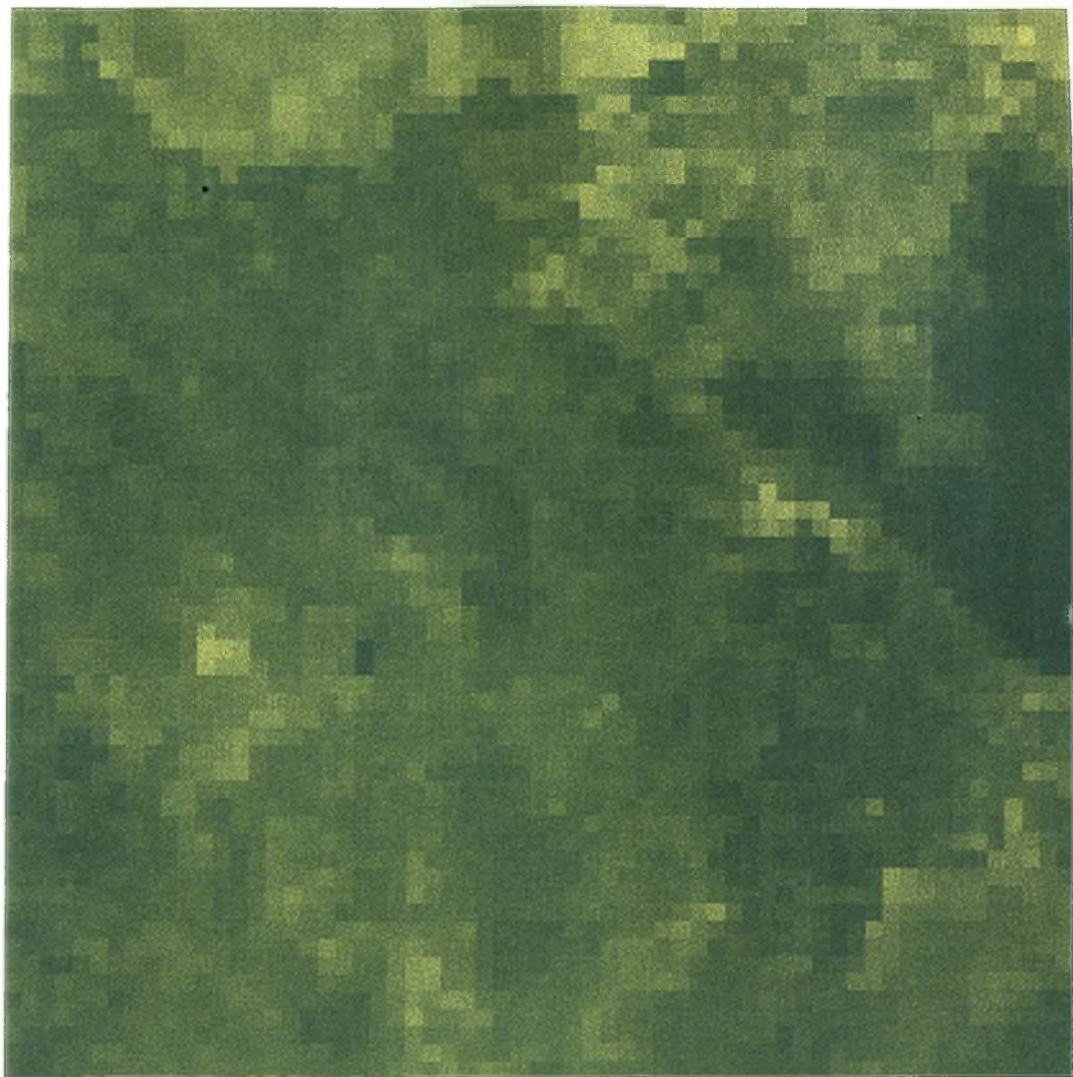
Εικόνα Π1.2: Εικόνα μεγίστου NDVI για την καλλιέργεια βαμβακιού στην περιοχή της Κάρλας Λαρίσης κατά το έτος 1995.



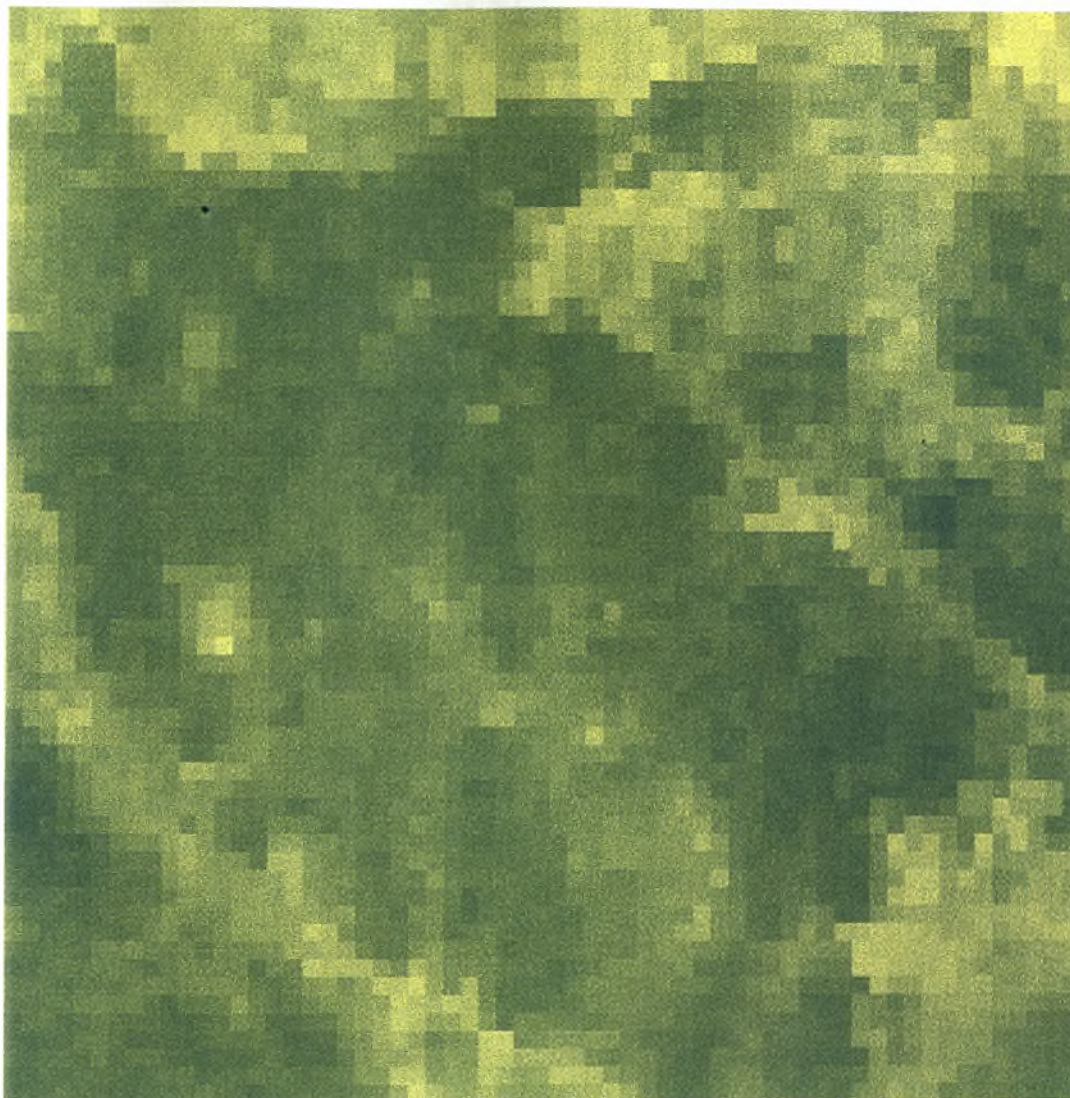
Εικόνα Π1.3: Εικόνα μεγίστου NDVI για την καλλιέργεια βαμβακιού στην περιοχή της Κάρλας Λαρίσης κατά το έτος 1996.



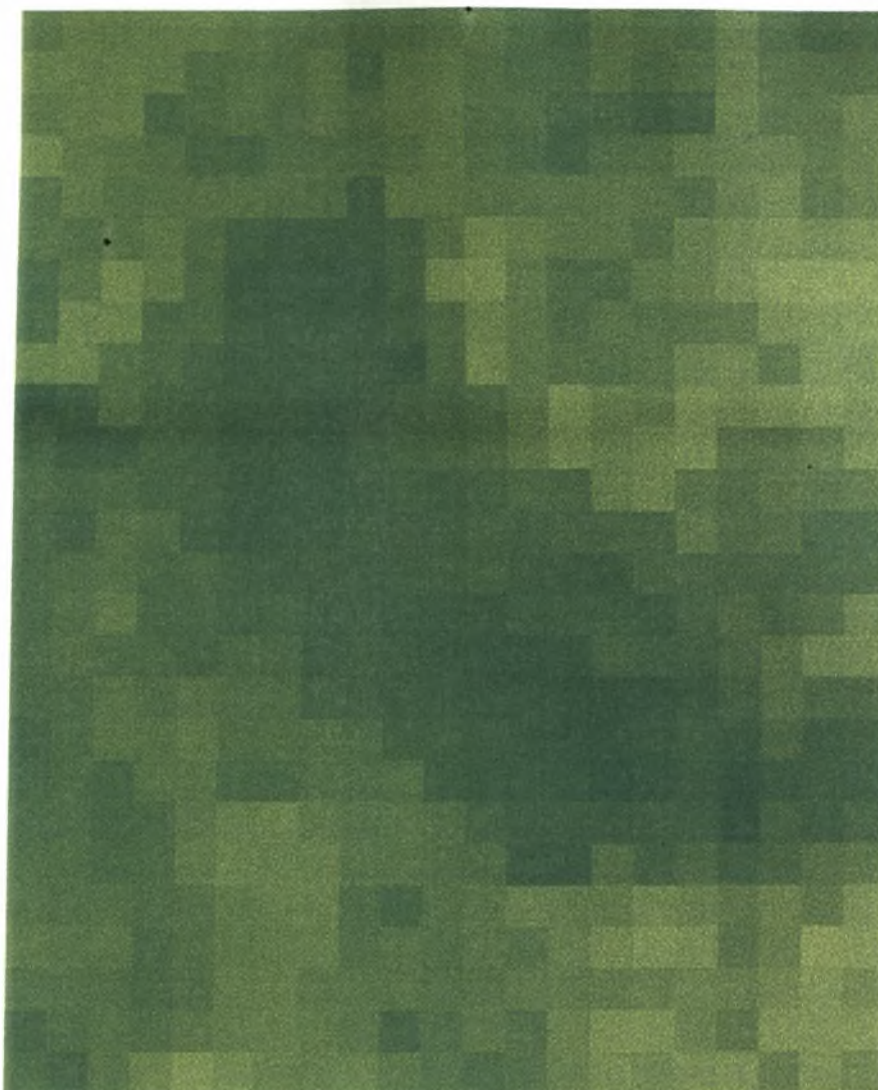
Εικόνα Π1.4: Εικόνα μεγίστου NDVI για την καλλιέργεια βαμβακιού στην περιοχή της Καρδίτσας κατά το έτος 1994.



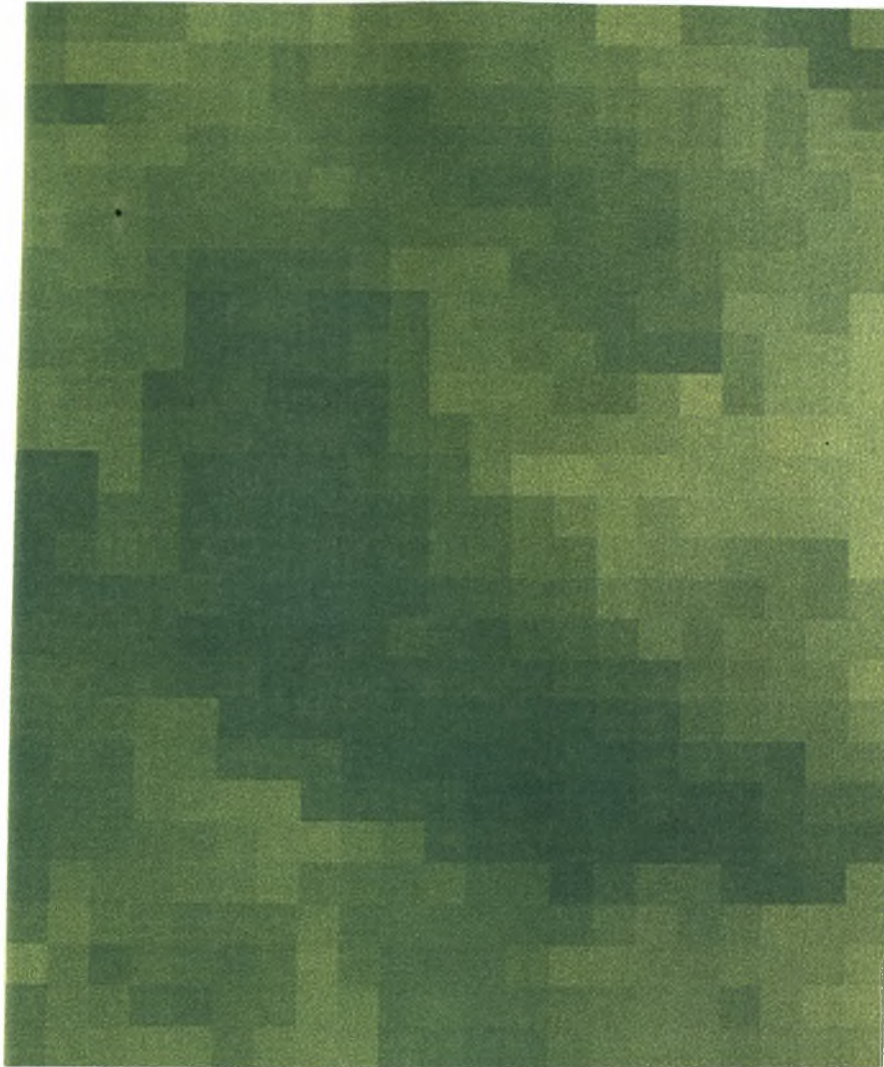
Εικόνα Π1.5: Εικόνα μεγίστου NDVI για την καλλιέργεια βαμβακιού στην περιοχή της Καρδίτσας κατά το έτος 1995.



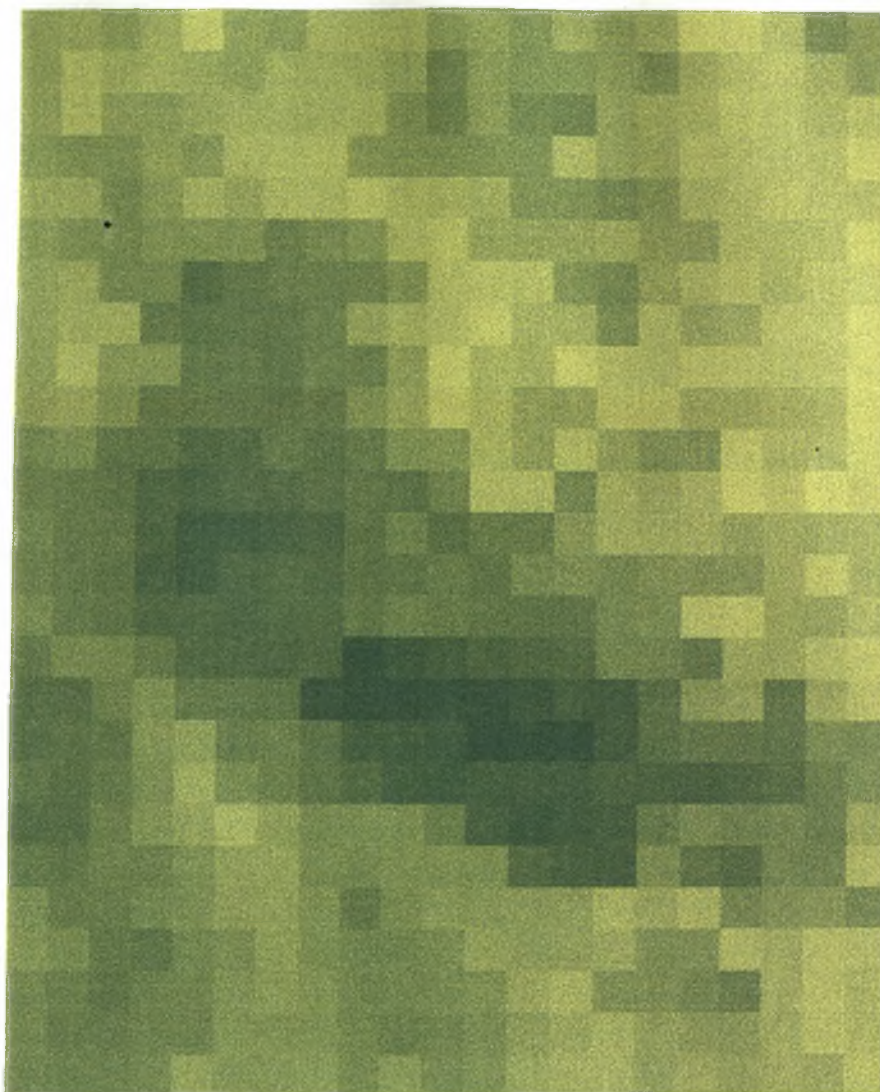
Εικόνα Π1.6: Εικόνα μεγίστου NDVI για την καλλιέργεια βαμβακιού στην περιοχή της Καρδίτσας κατά το έτος 1996.



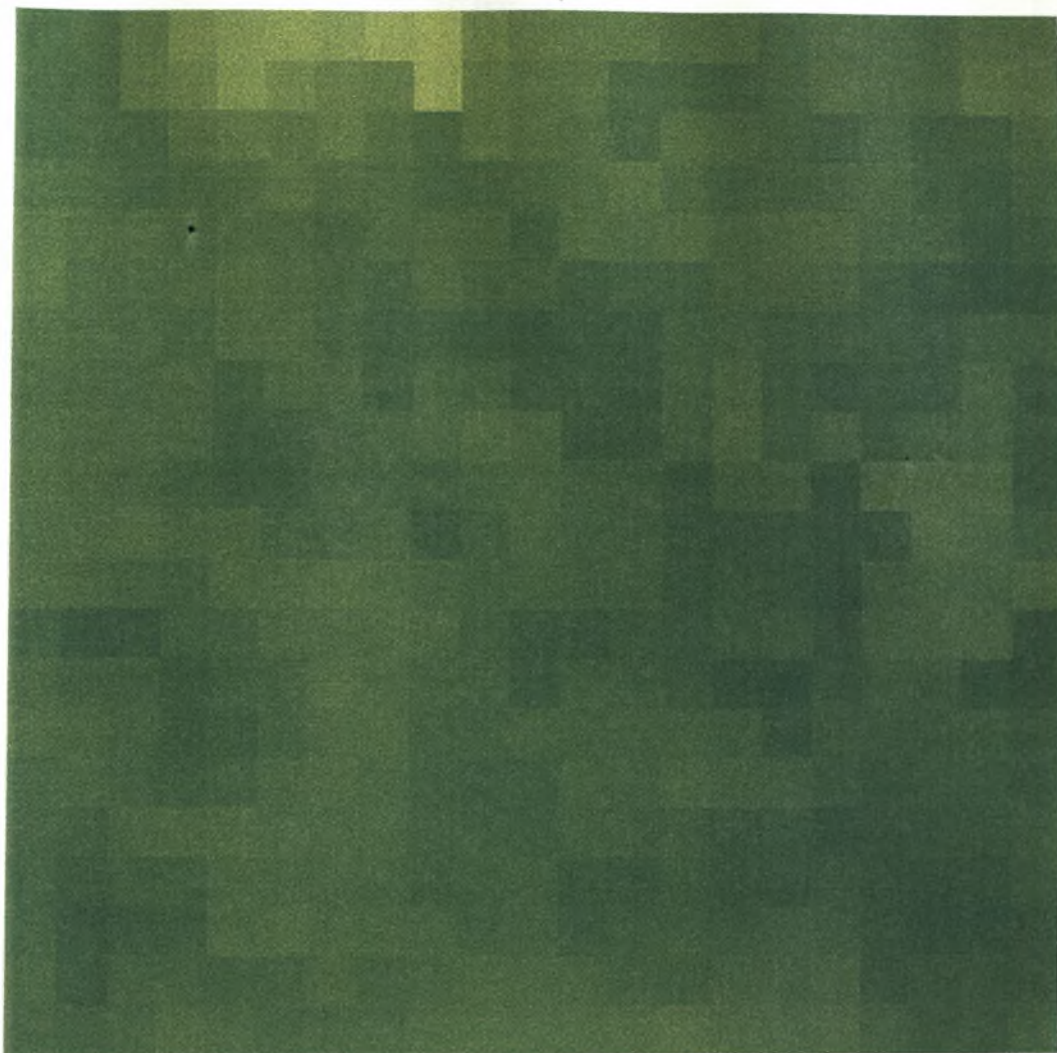
Εικόνα Π1.7: Εικόνα μεγίστου NDVI για την καλλιέργεια χειμερινών σιτηρών στην περιοχή Αλμυρού Μαγνησίας κατά το έτος 1994.



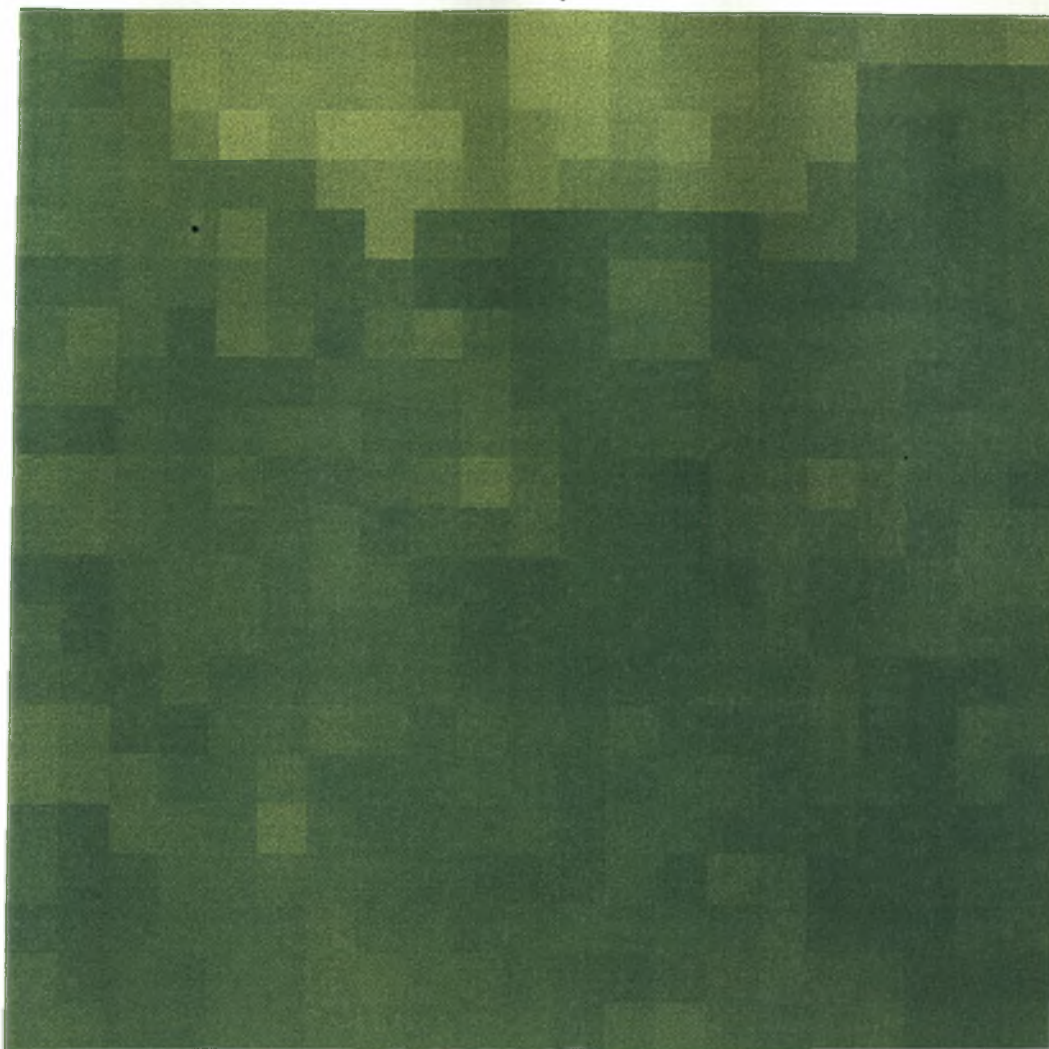
Εικόνα Π1.8: Εικόνα μεγίστου NDVI για την καλλιέργεια χειμερινών σιτηρών στην περιοχή Αλμυρού Μαγνησίας κατά το έτος 1995.



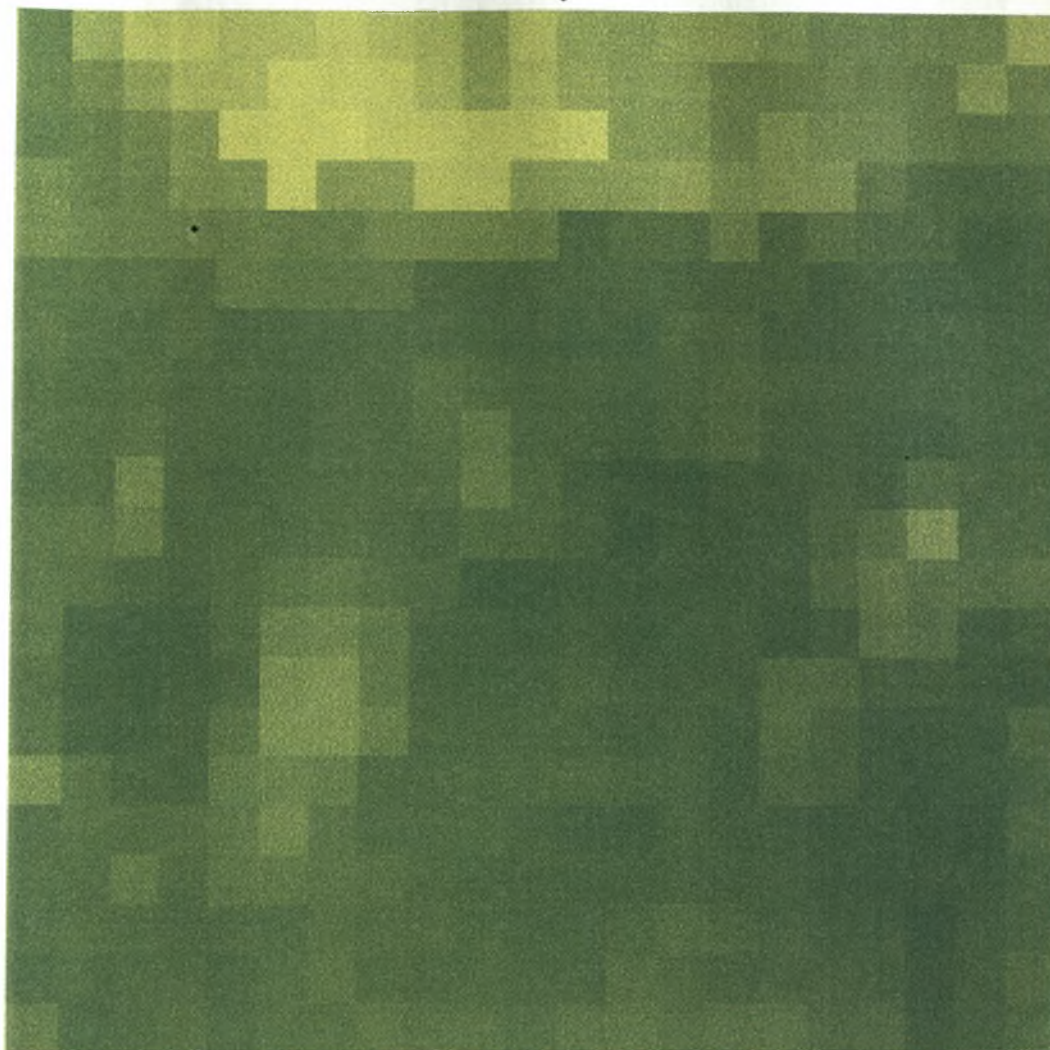
Εικόνα Π1.9: Εικόνα μεγίστου NDVI για την καλλιέργεια χειμερινών σιτηρών στην περιοχή Αλμυρού Μαγνησίας κατά το έτος 1996.



Εικόνα Π1.10: Εικόνα μεγίστου NDVI για την καλλιέργεια χειμερινών σιτηρών στην περιοχή Κιλκίς κατά το έτος 1994.



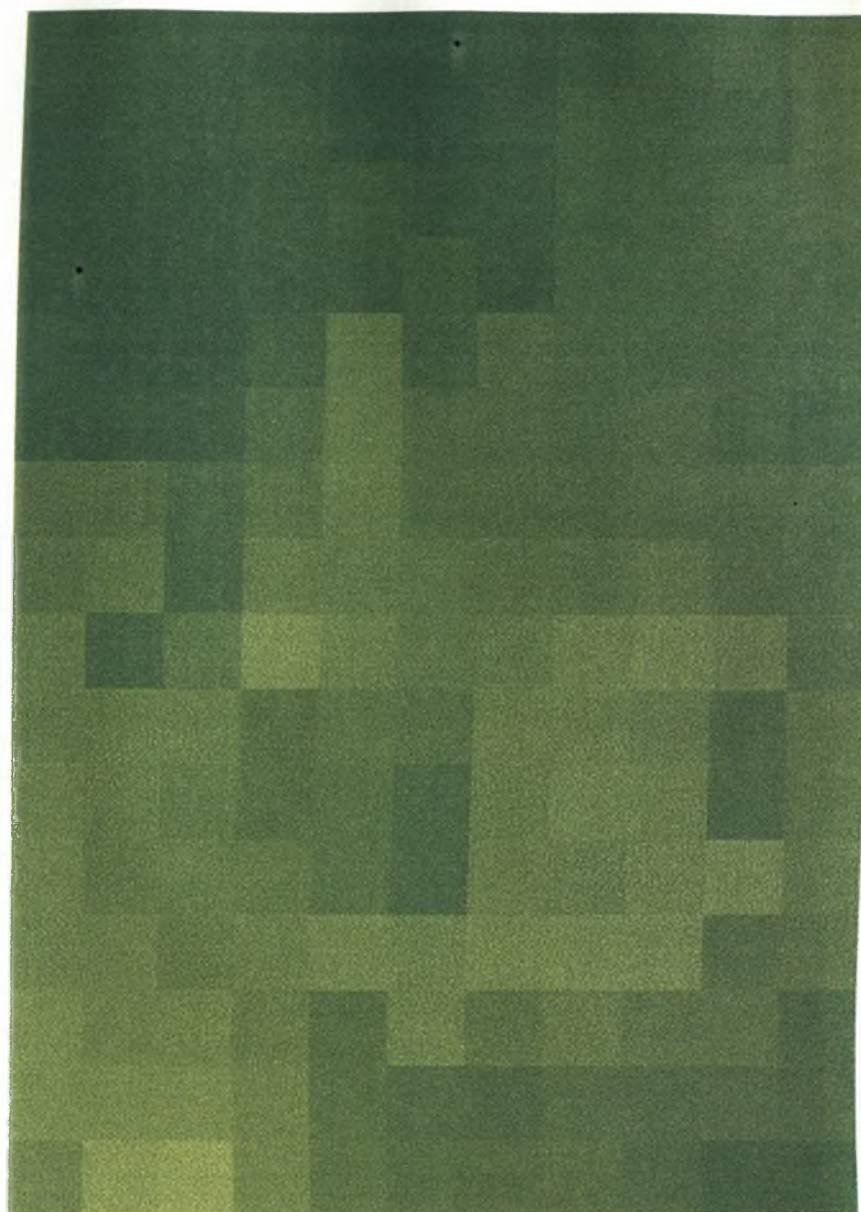
Εικόνα Π1.11: Εικόνα μεγίστου NDVI για την καλλιέργεια χειμερινών σιτηρών στην περιοχή Κιλκίς κατά το έτος 1995.



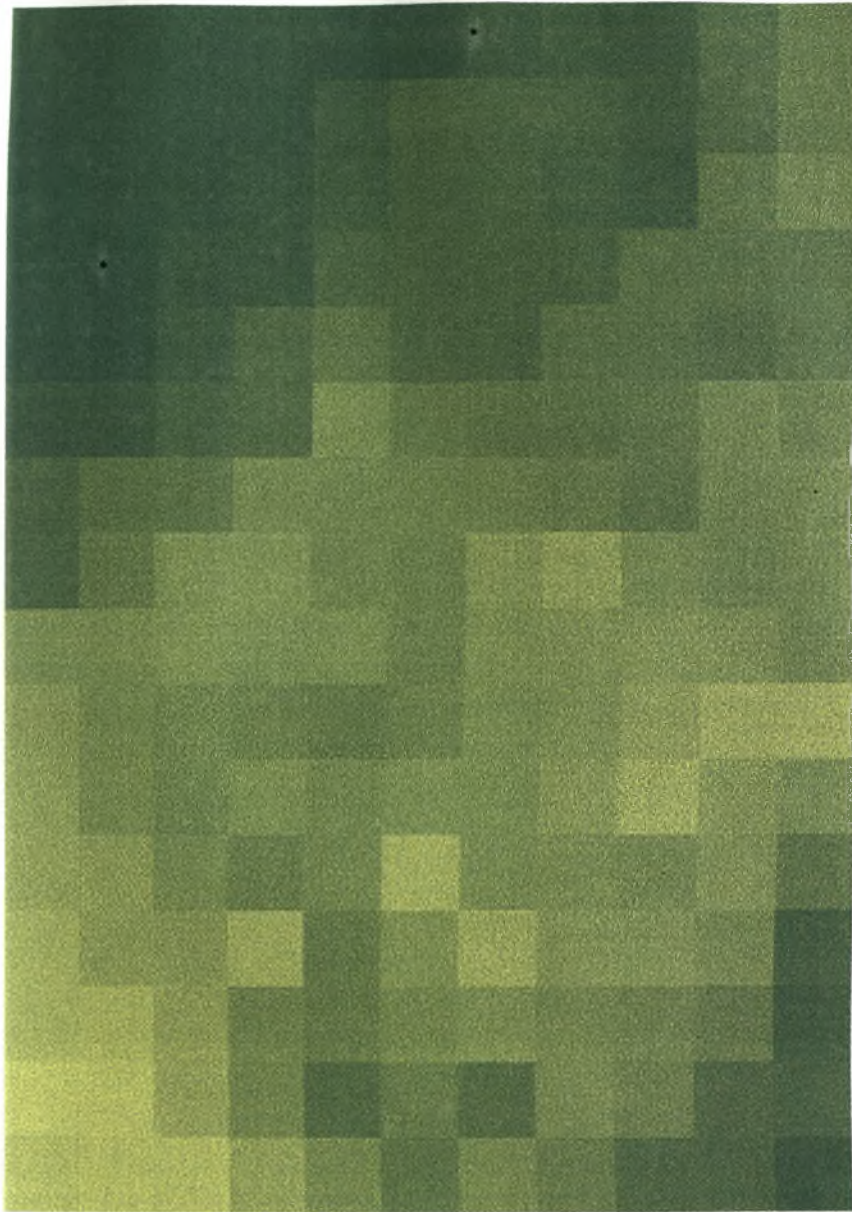
Εικόνα Π1.12: Εικόνα μεγίστου NDVI για την καλλιέργεια χειμερινών σιτηρών στην περιοχή Κιλκίς κατά το έτος 1996.



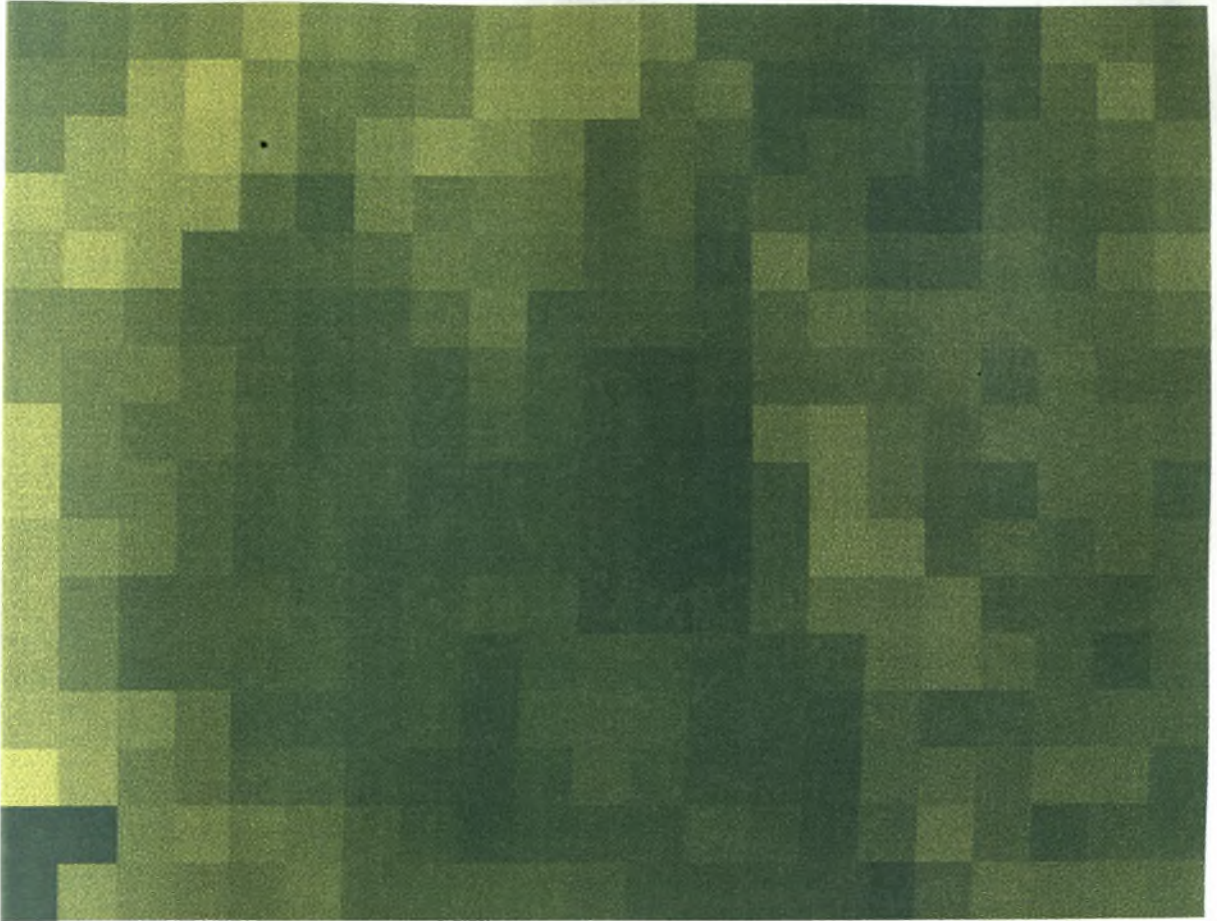
Εικόνα Π1.13: Εικόνα μεγίστου NDVI για την καλλιέργεια αραβοσίτου στην περιοχή Δέλτα Πηνειού Λαρίσης κατά το έτος 1994.



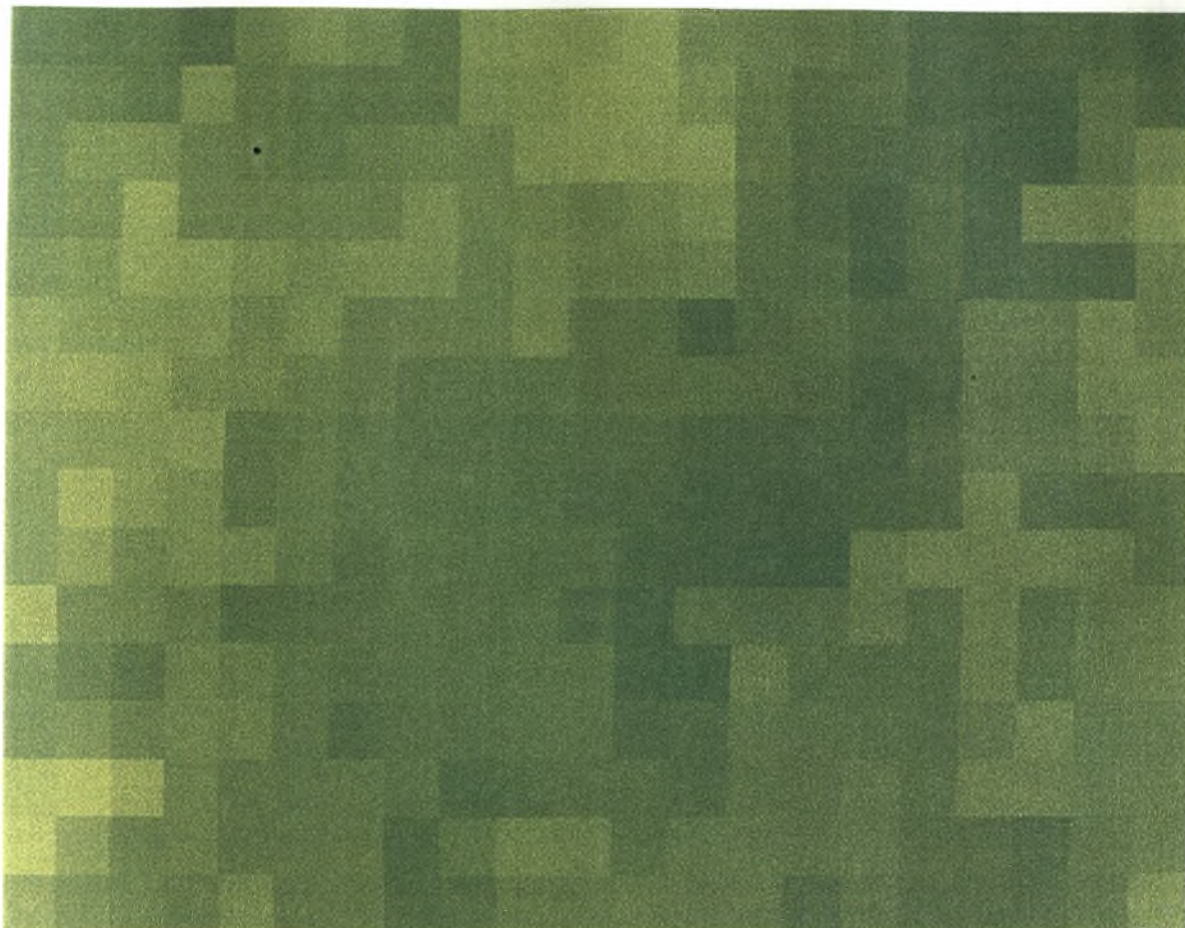
Εικόνα Π1.14: Εικόνα μεγίστου NDVI για την καλλιέργεια αραβοσίτου στην περιοχή Δέλτα Πηνειού Λαρίσης κατά το έτος 1995.



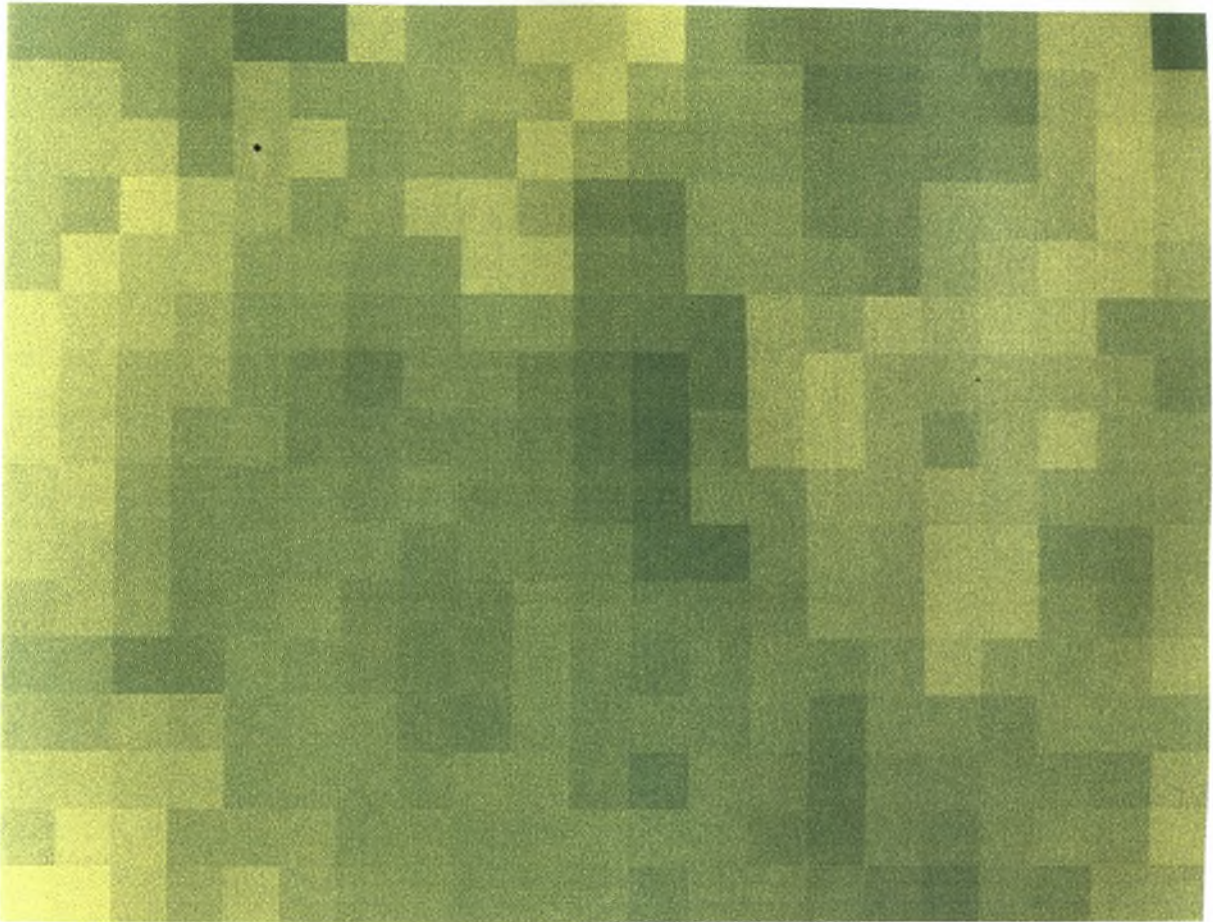
Εικόνα Π1.15: Εικόνα μεγίστου NDVI για την καλλιέργεια αραβοσίτου στην περιοχή Δέλτα Πηνειού Λαρίσης κατά το έτος 1996.



Εικόνα Π1.16: Εικόνα μεγίστου NDVI για την καλλιέργεια αραβοσίτου στην περιοχή της Χρυσούπολης Καβάλας κατά το έτος 1994.



Εικόνα Π1.17: Εικόνα μεγίστου NDVI για την καλλιέργεια αραβοσίτου στην περιοχή της Χρυσούπολης Καβάλας κατά το έτος 1995.

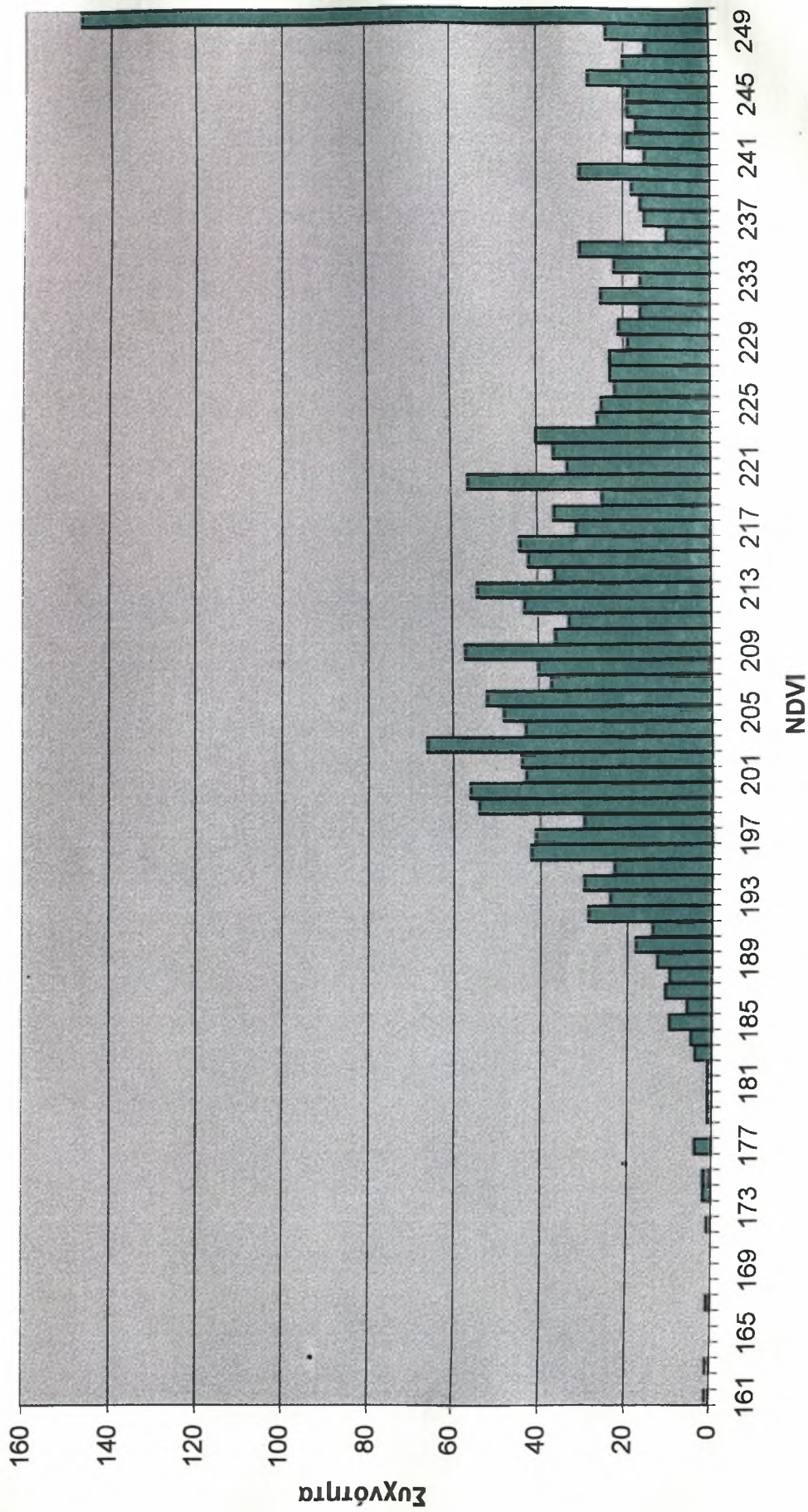


Εικόνα Π1.18: Εικόνα μεγίστου NDVI για την καλλιέργεια αραβοσίτου στην περιοχή της Χρυσούπολης Καβάλας κατά το έτος 1996.

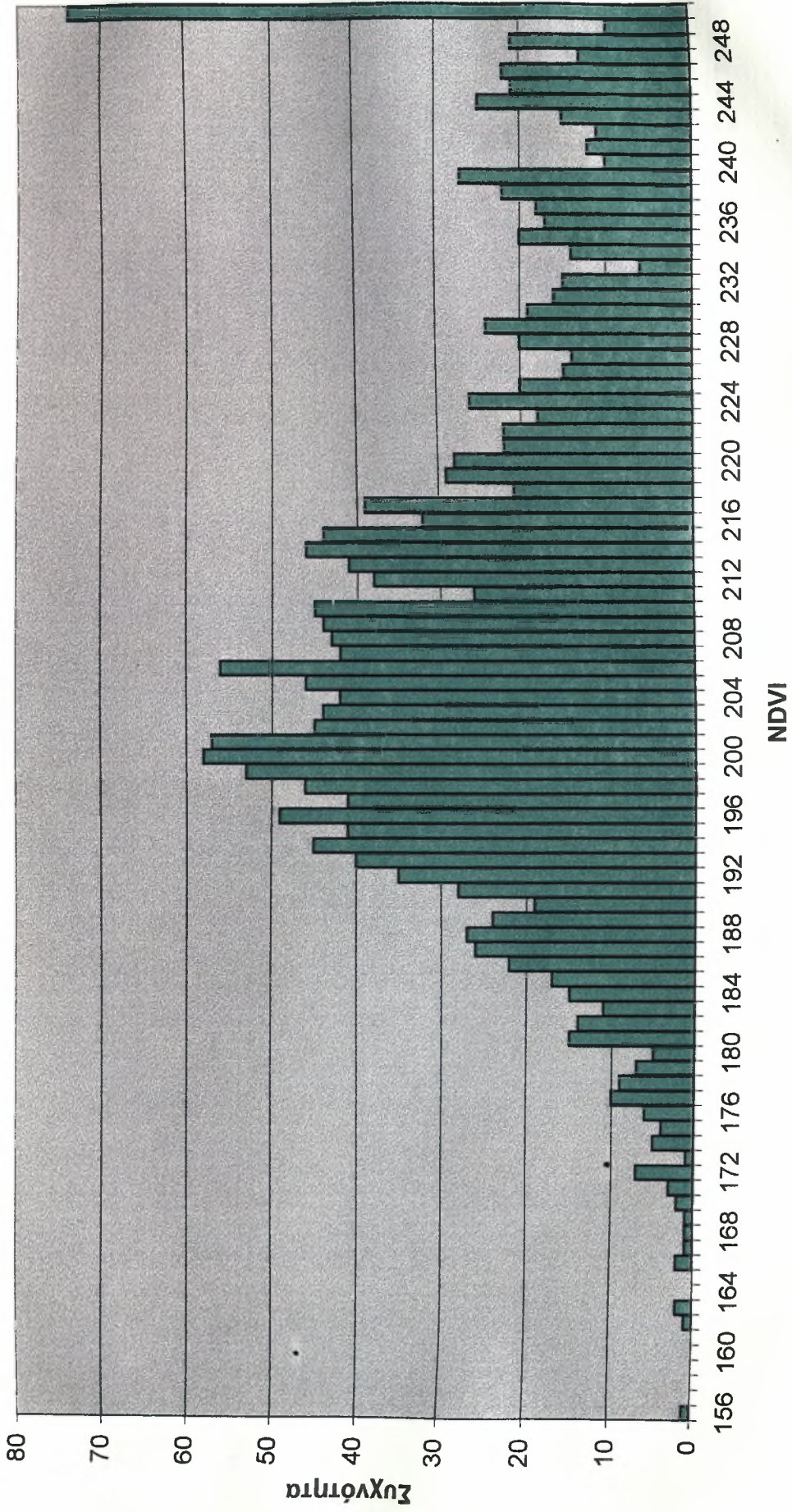
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Π2

**Ιστογράμματα μεγίστων NDVI
για όλες τις καλλιέργειες,
περιοχές και έτη.**

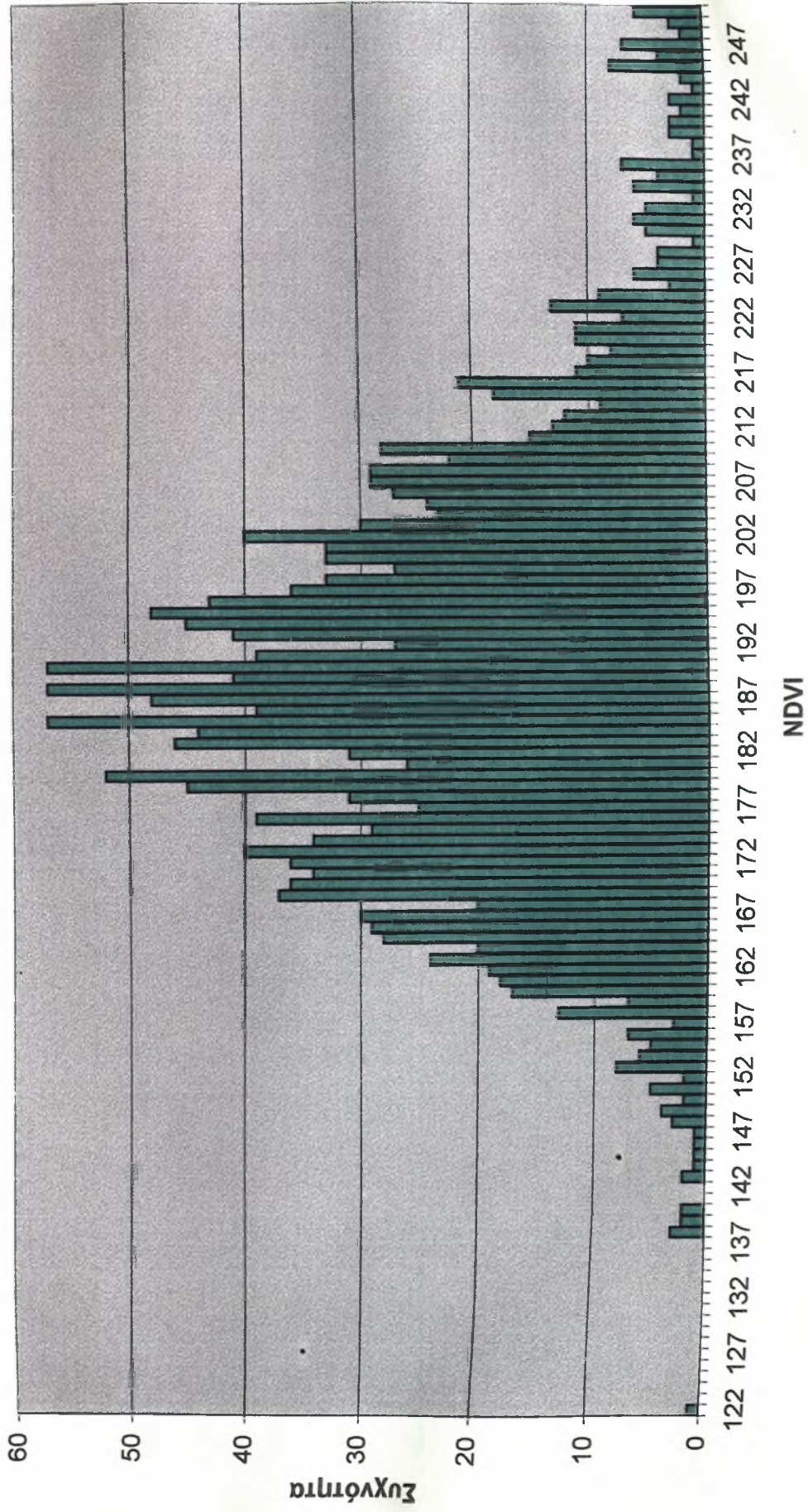
Σχήμα Π2.1: Ιστογράμμα μεγίστων τιμών NDVI για την καλλιέργεια βαμβακιού στην περιοχή της Κάρλας Λαρίσης κατά το έτος 1994



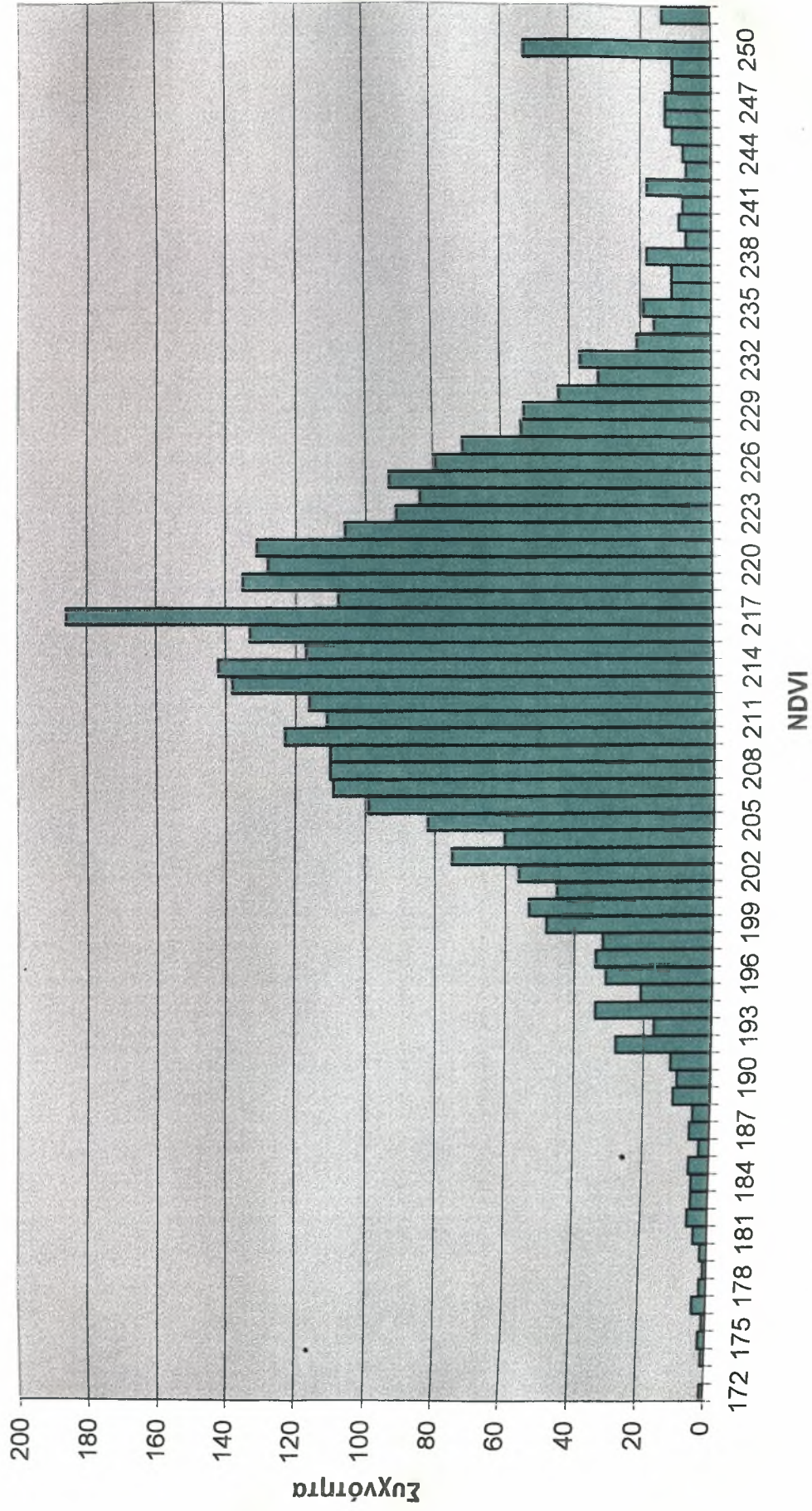
Σχήμα Π2.2: Ιστόγραμμα μεγίστων τιμών NDVI για την καλλιέργεια βαμβακιού στην περιοχή της Κάρλας Λαρίσης κατά το έτος 1995



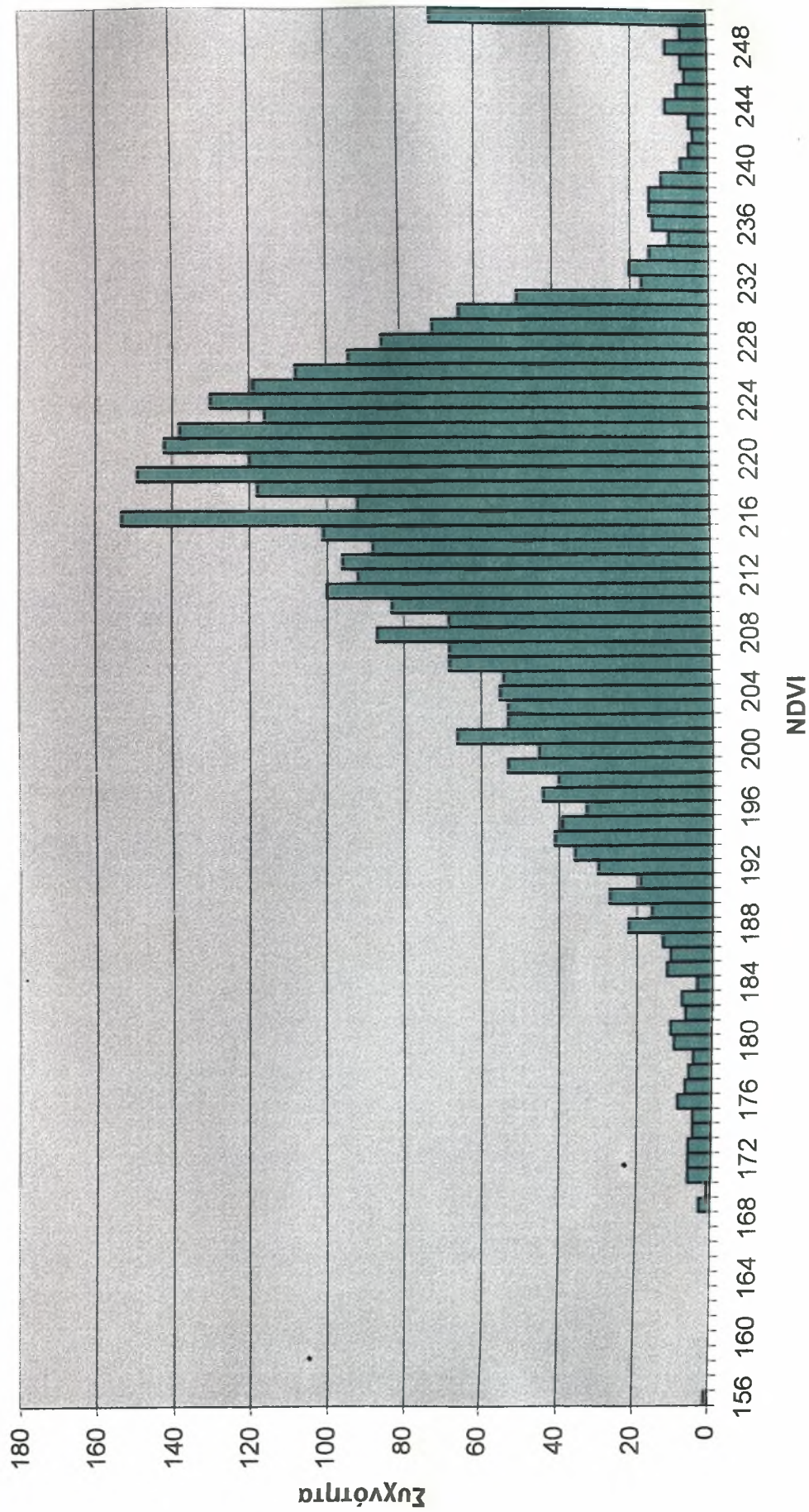
Σχήμα Π2.3: Ιστόγραμμα μεγίστων τιμών NDVI για την καλλιέργεια βαμβακιού στην περιοχή της Κάρλας Λαρίσης κατά το έτος 1996



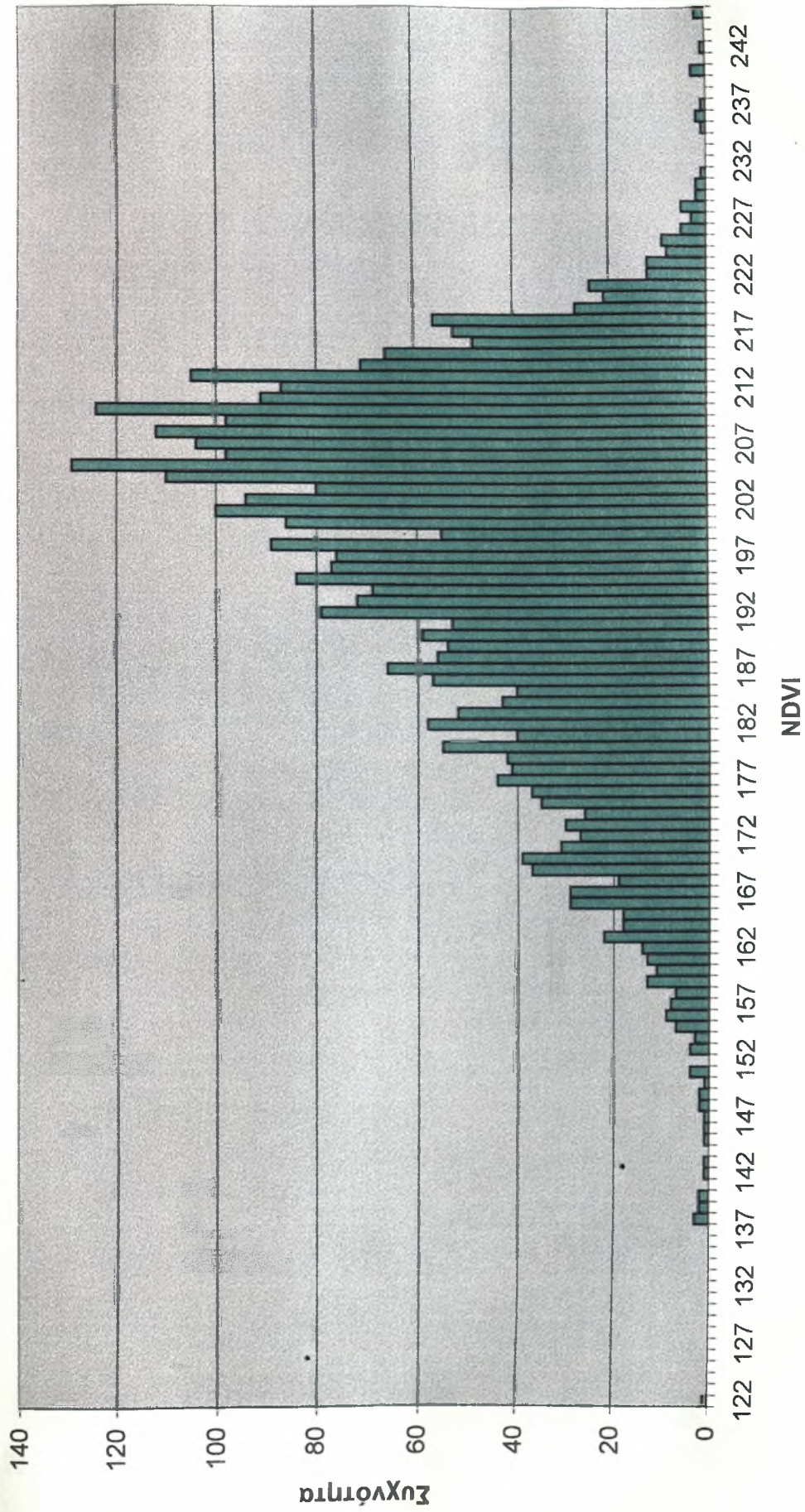
Σχήμα Π2.4: Ιστογράμμα μεγίστων τιμών NDVI για την καλλιέργεια βαμβακιού στην περιοχή της Καρδίτσας κατά το έτος 1994



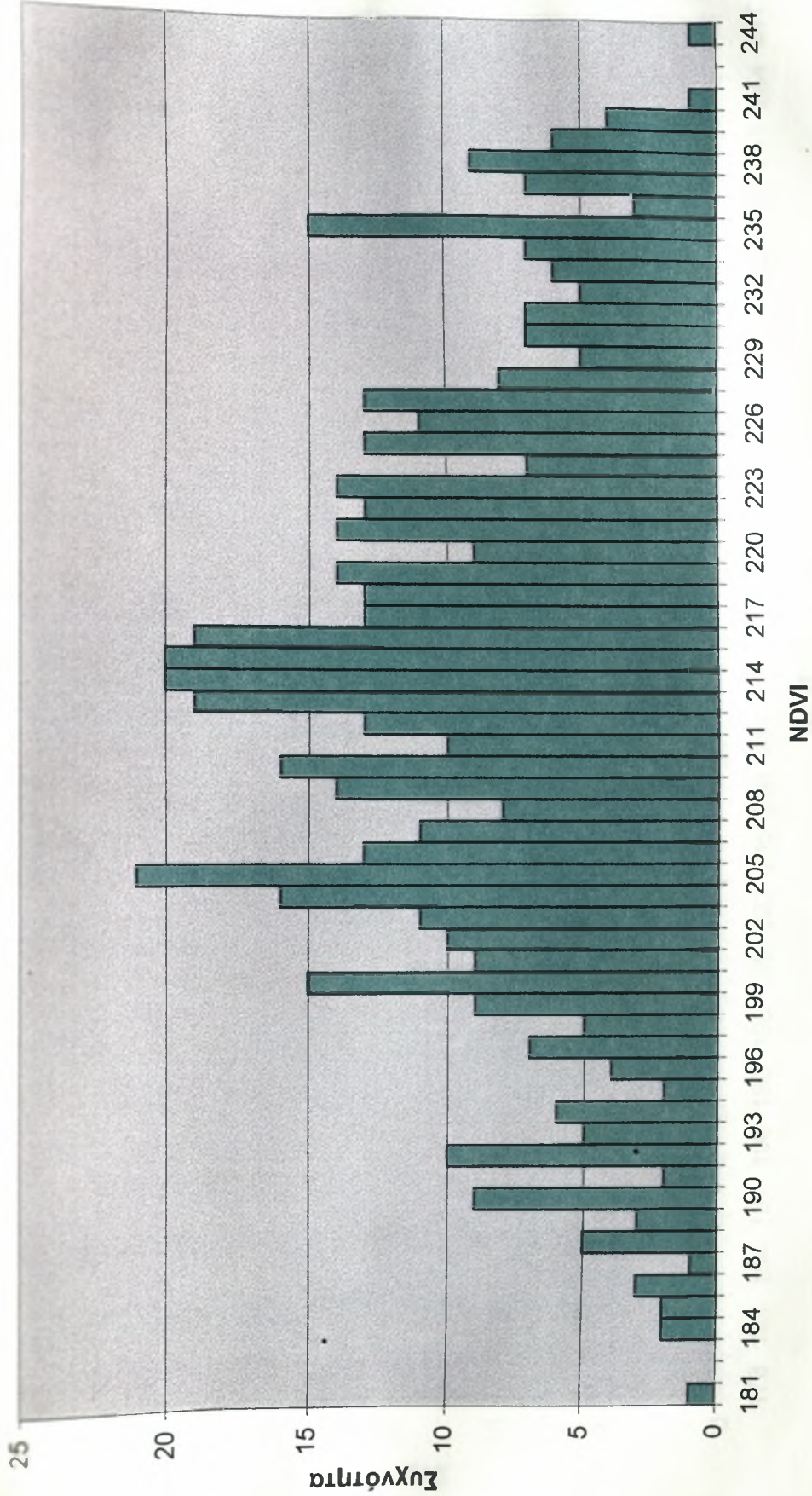
Σχήμα Π2.5: Ιστογράμμα μεγίστων τιμών NDVI για την καλλιέργεια βαμβακιού στην περιοχή της Καρδίτσας κατά το έτος 1995



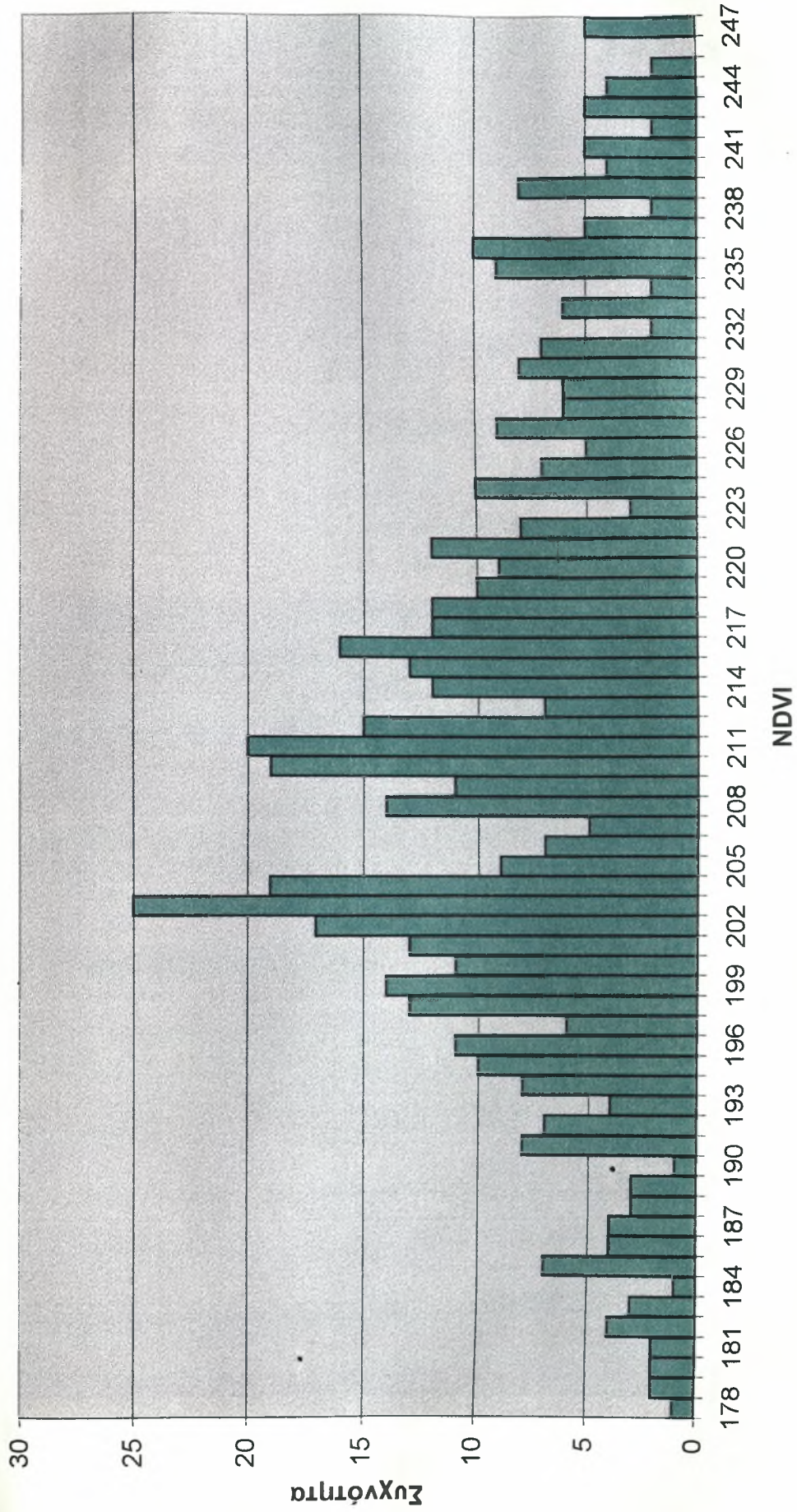
Σχήμα Π2.6: Ιστόγραμμα μεγίστων τιμών NDVI για την καλλιέργεια βαμβακιού στην περιοχή της Καρδίτσας κατά το έτος 1996



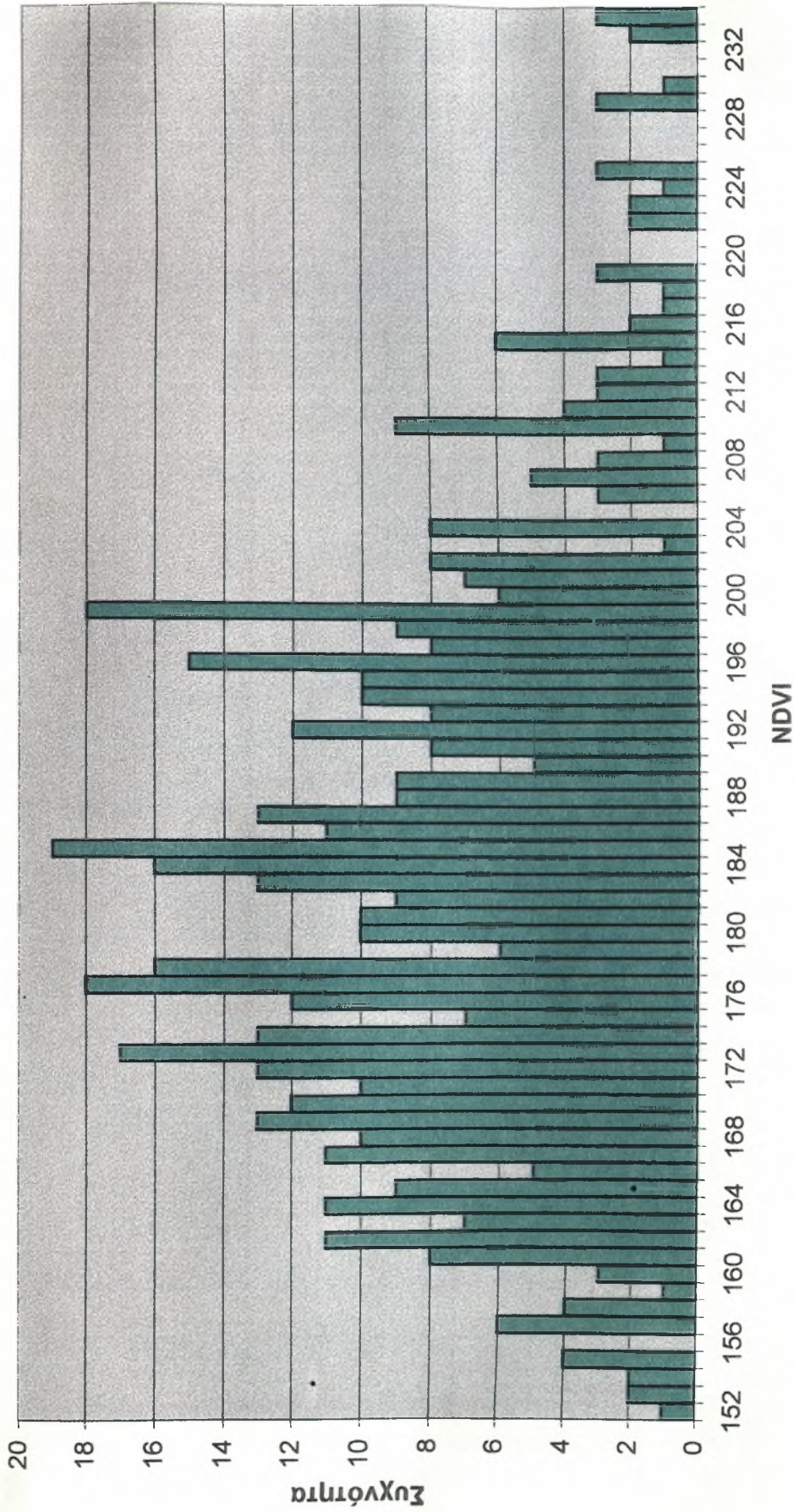
Σχήμα Π2.7: Ισογράμμαμα μεγίστων τιμών NDVI για την καλλιέργεια χειμερινών σιτηρών στην περιοχή Αλμυρού Μαγνησίας κατά το έτος 1994



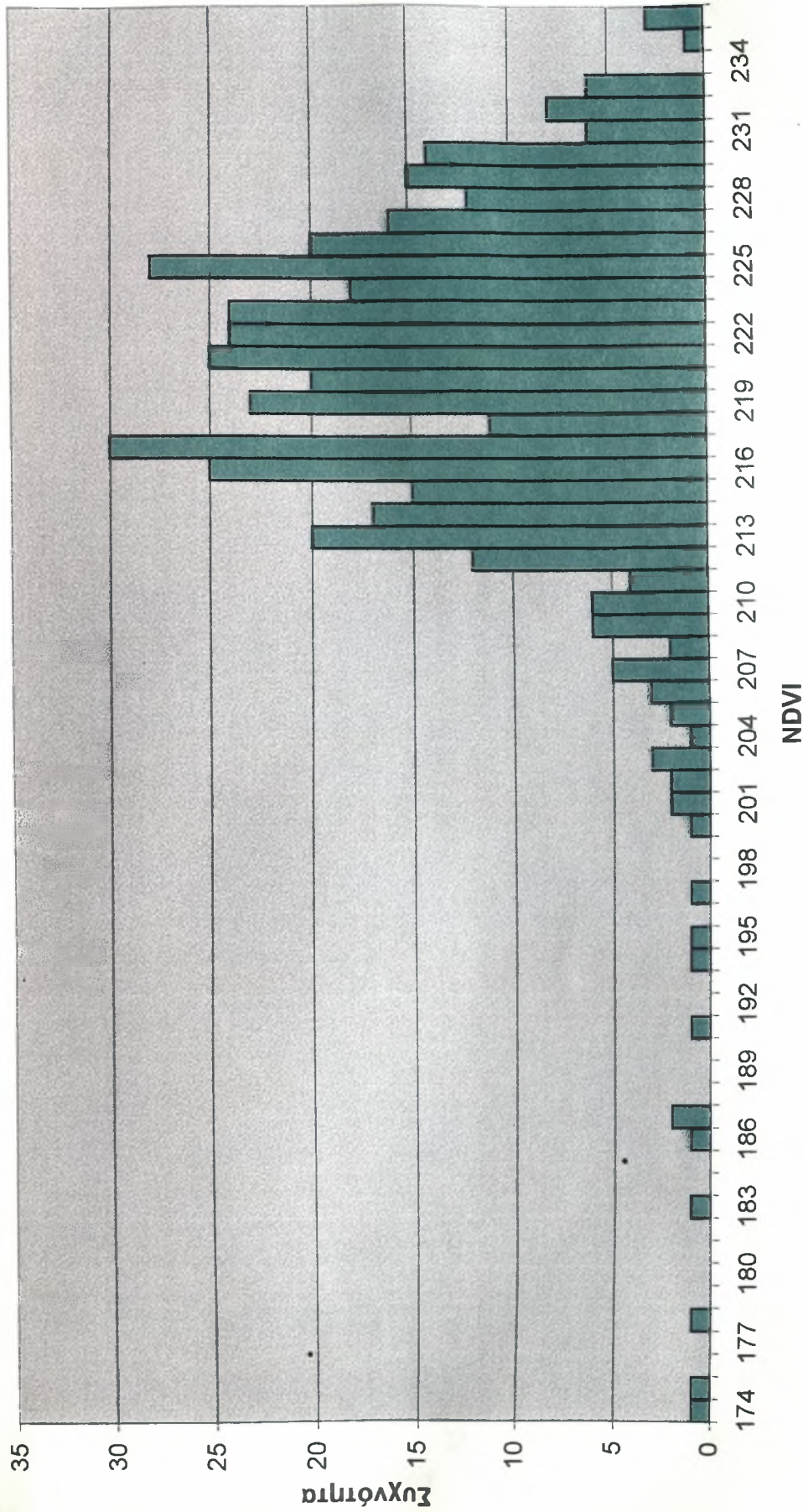
Σχήμα Π2.8: Ιστόγραμμα μεγίστων τιμών NDVI για την καλλιέργεια χειμερινών σιτηρών στην περιοχή Αλμυρού Μαγνησίας κατά το έτος 1995



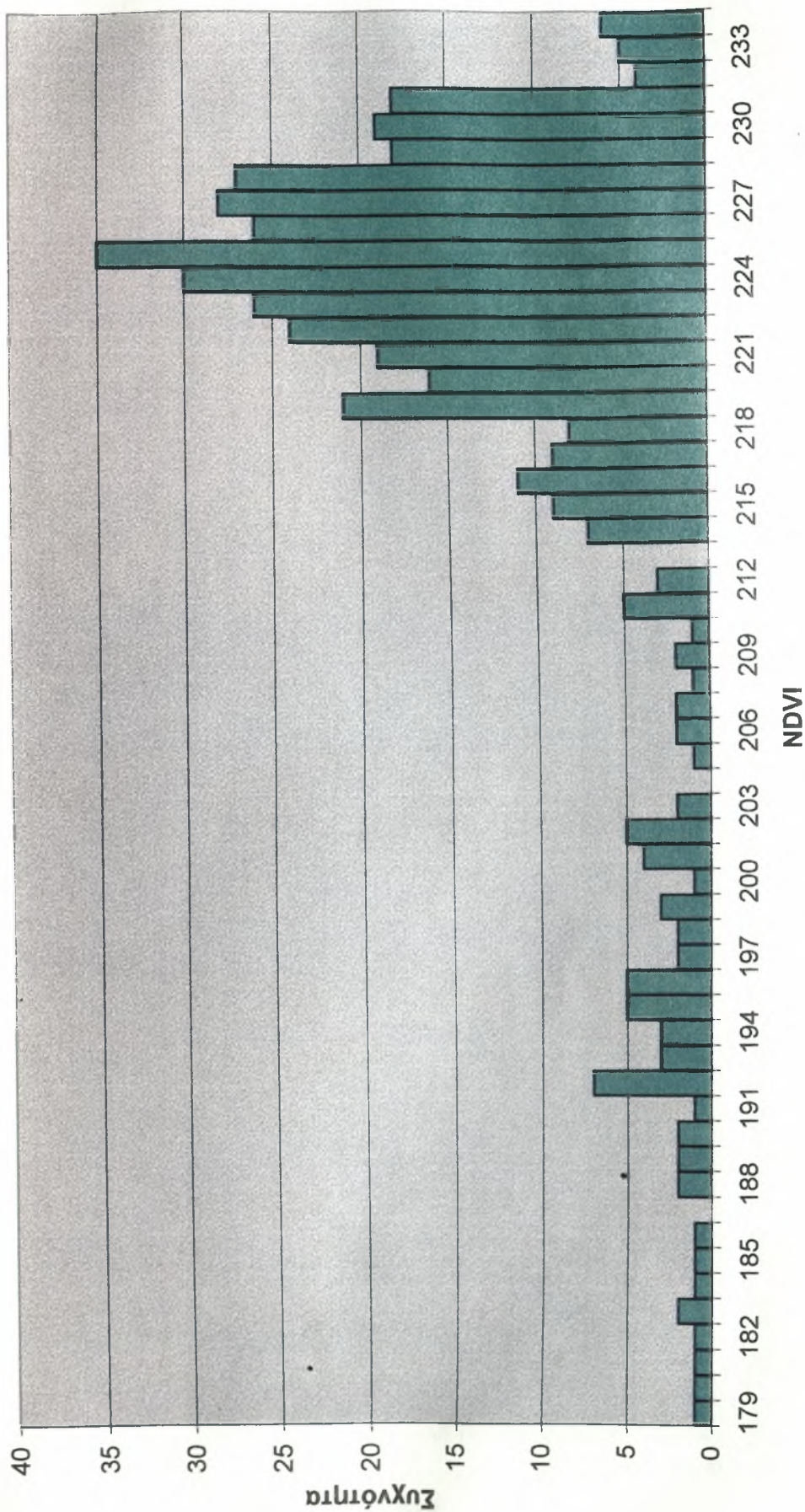
Σχήμα Π2.9: Ιστογράμμα μεγίστων τιμών NDVI για την καλλιέργεια χειμερινών σιτηρών στην περιοχή Αλμυρού Μαγνησίας κατά το έτος 1996



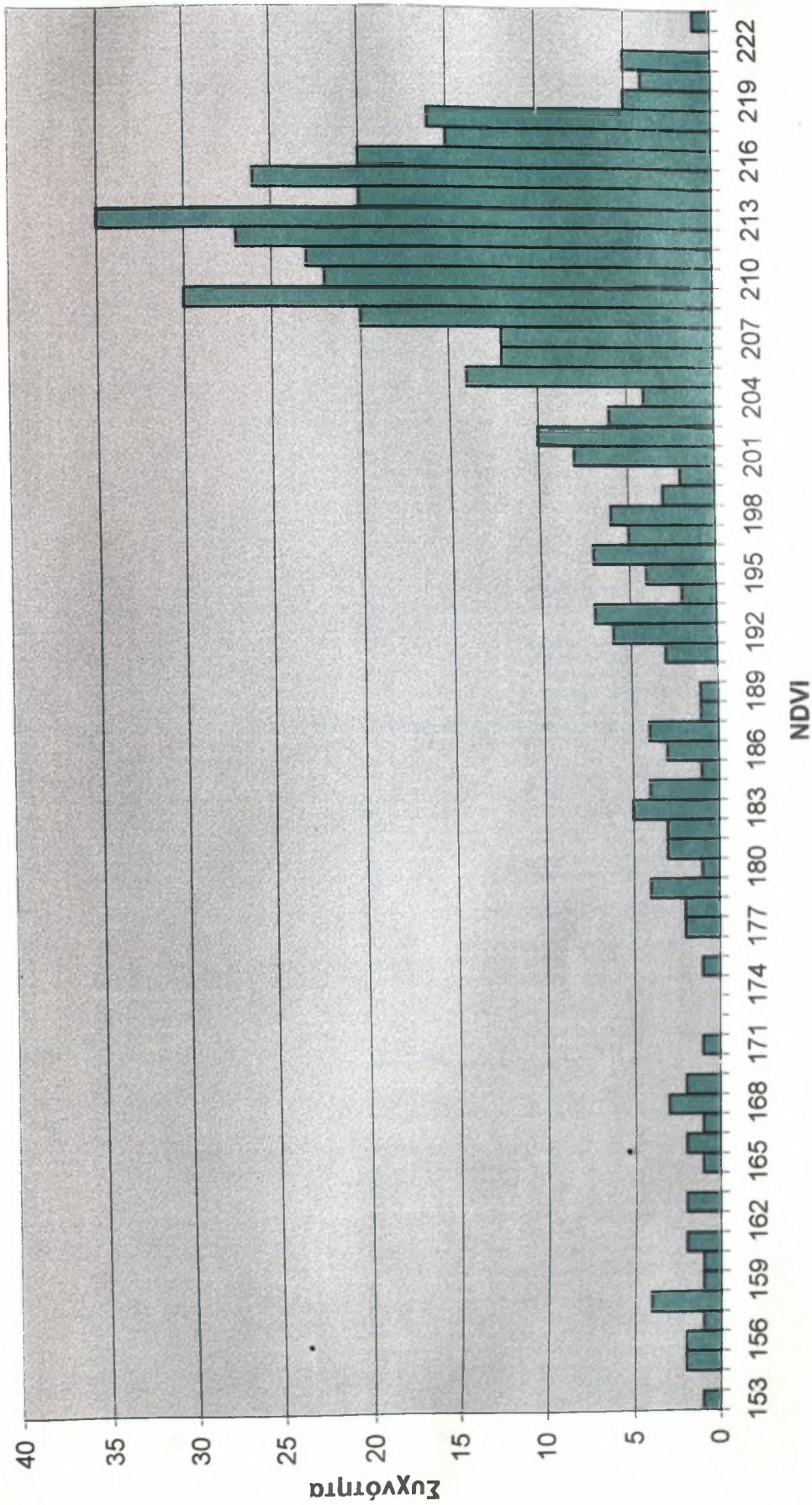
Σχήμα Π2.10: Ιστογράμμα μεγίστων τιμών NDVI για την καλλιέργεια χειμερινών σιτηρών στην περιοχή Κιλκίς κατά το έτος 1994



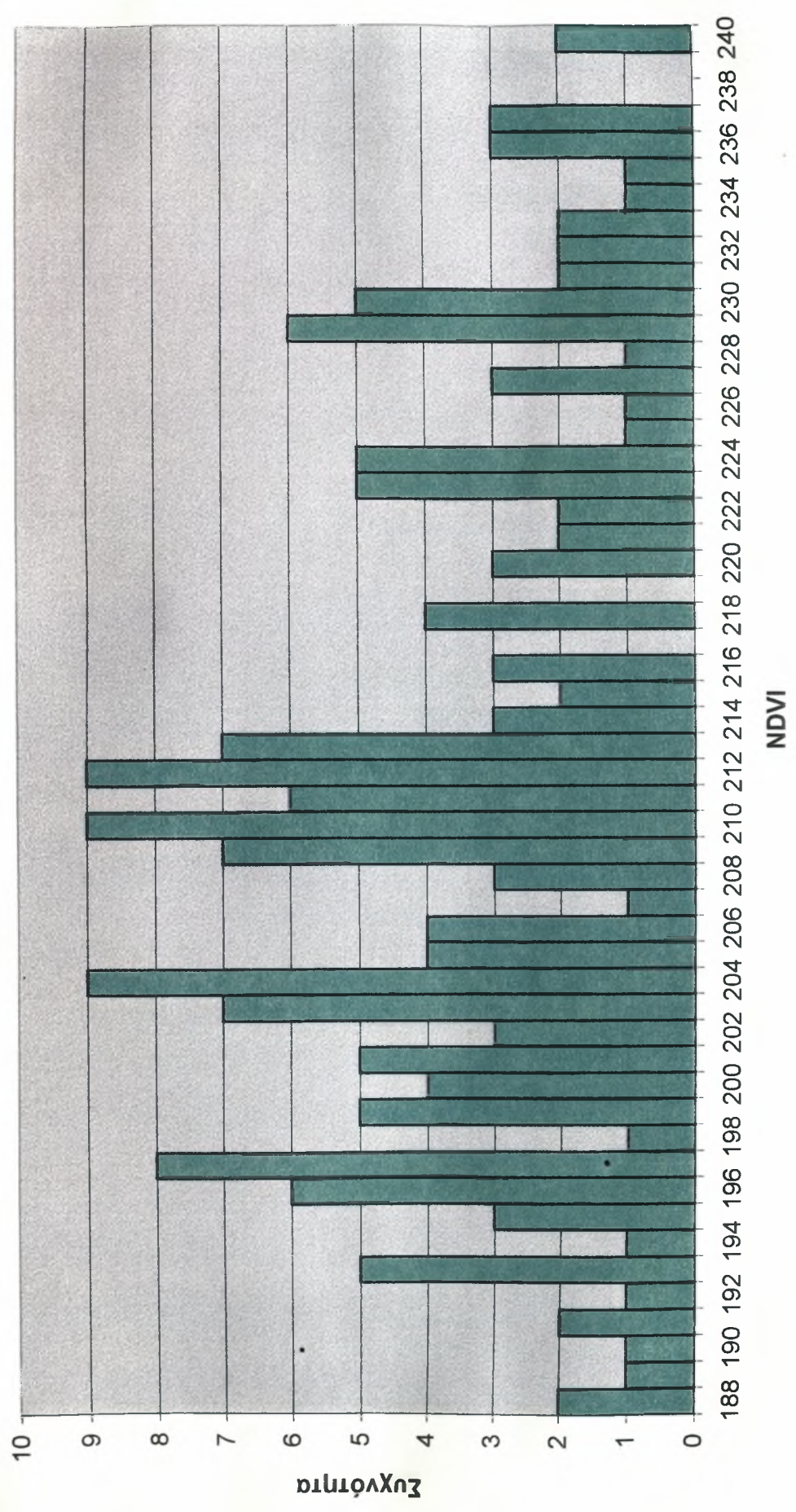
Σχήμα Π2.11: Ιστόγραμμα μεγίστων τιμών NDVI για την καλλιέργεια χειμερινών σιτηρών στην περιοχή Κιλκίς κατά το έτος 1995



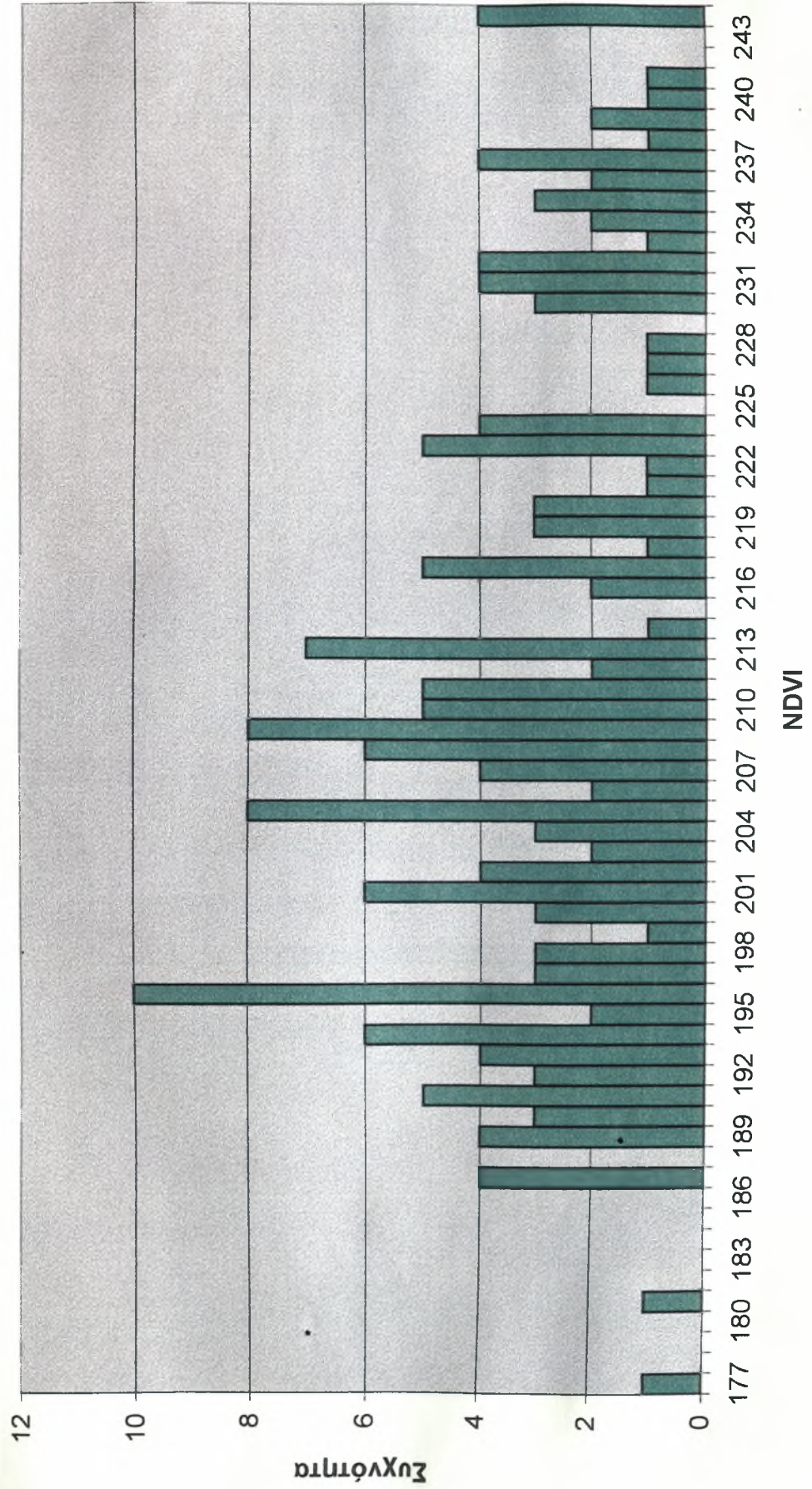
Σχήμα Π2.12: Ιστογράμμα μεγίστων τιμών NDVI για την καλλιέργεια χειμερινών σιτηρών στην περιοχή Κιλκίς κατά το έτος 1996



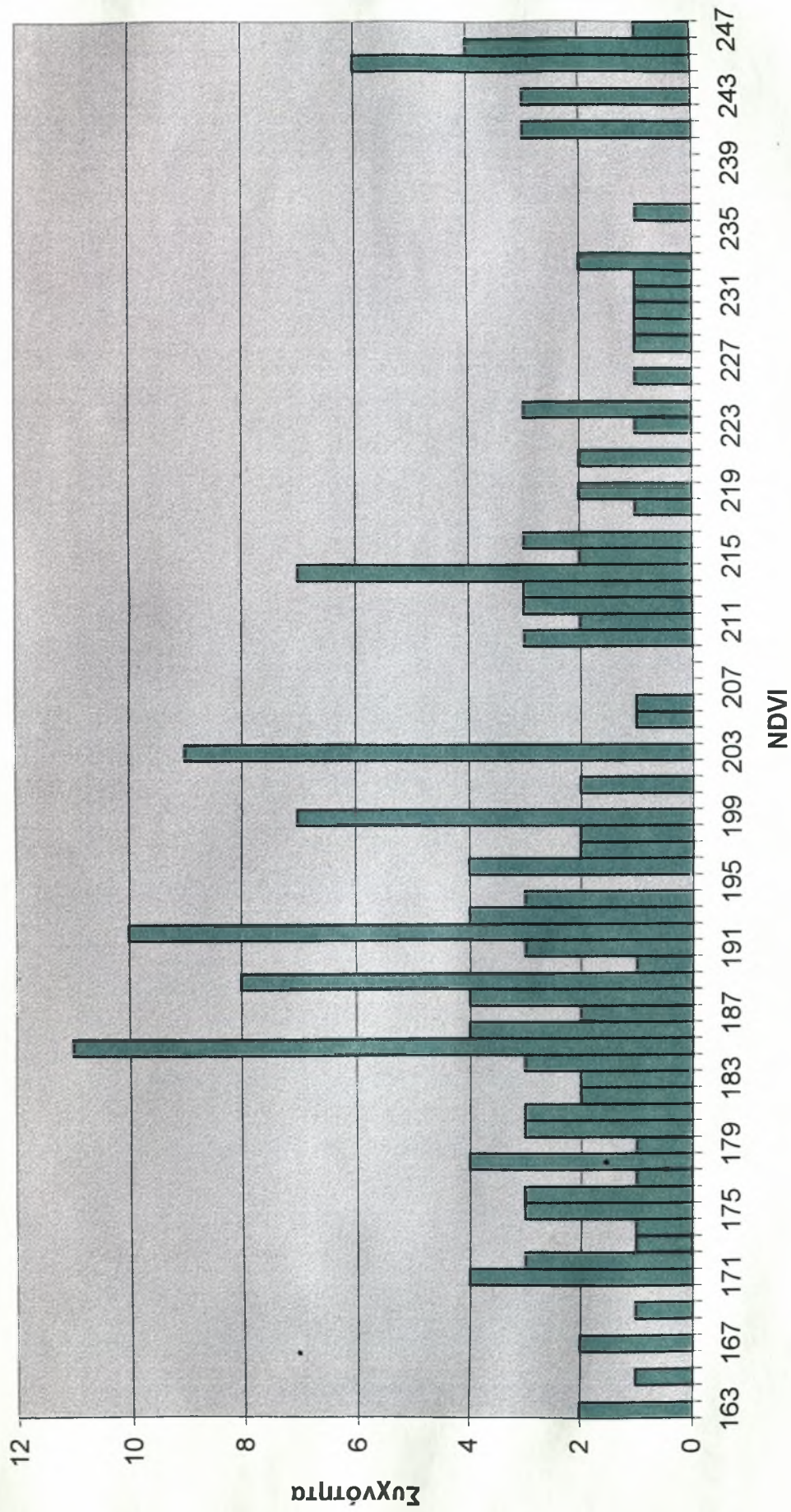
Σχήμα Π2.13: Ιστογράμμα μεγίστων τιμών NDVI για την καλλιέργεια αραβοσίτου στην περιοχή Δέλτα Πηνειού Λαρίσης κατά το έτος 1994



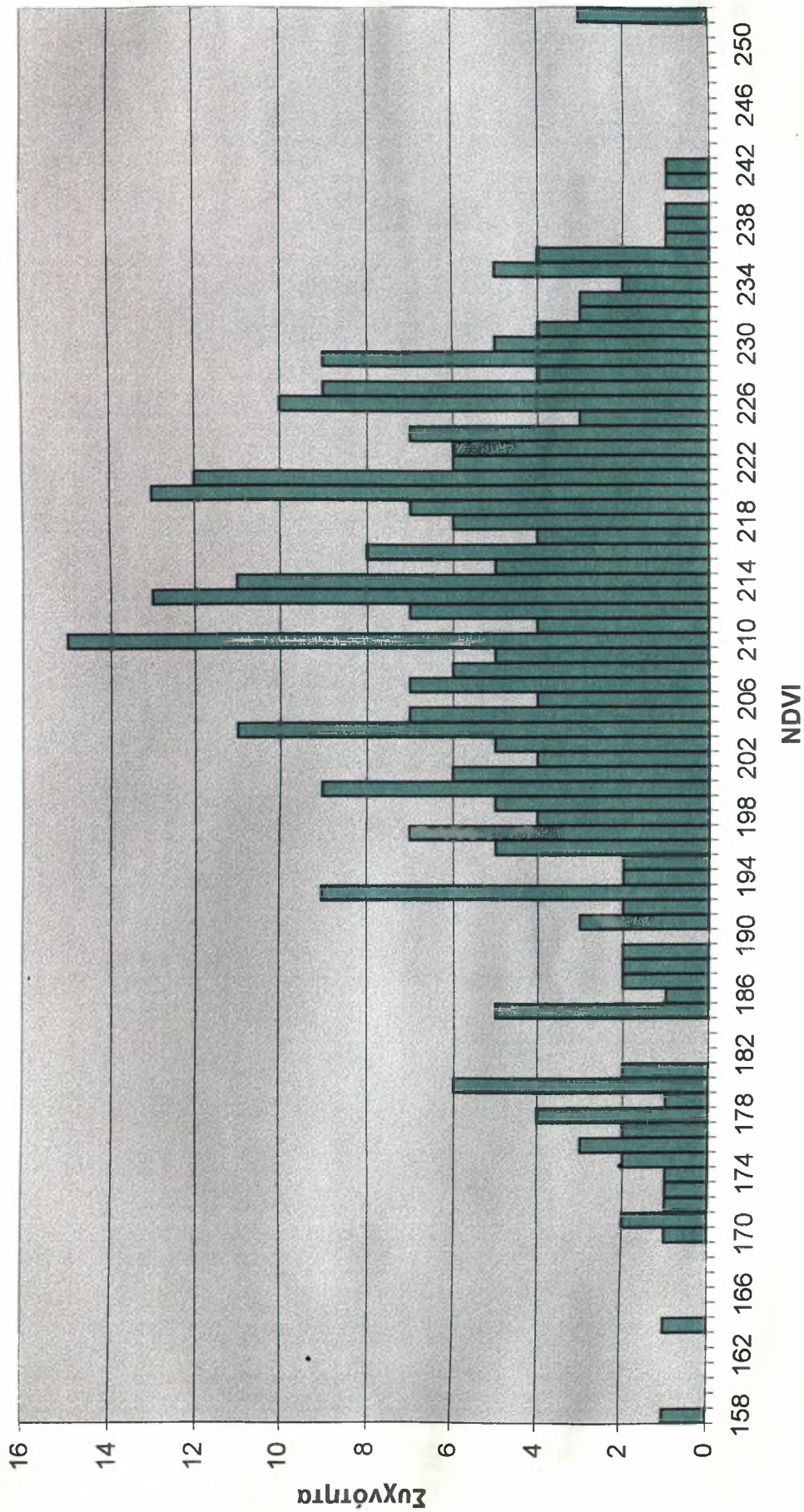
Σχήμα Π2.14: Ιστογράμμα μεγίστων τιμών NDVI για την καλλιέργεια αραβοσίτου στην περιοχή Δέλτα Πηνειού Λαρισής κατά το έτος 1995



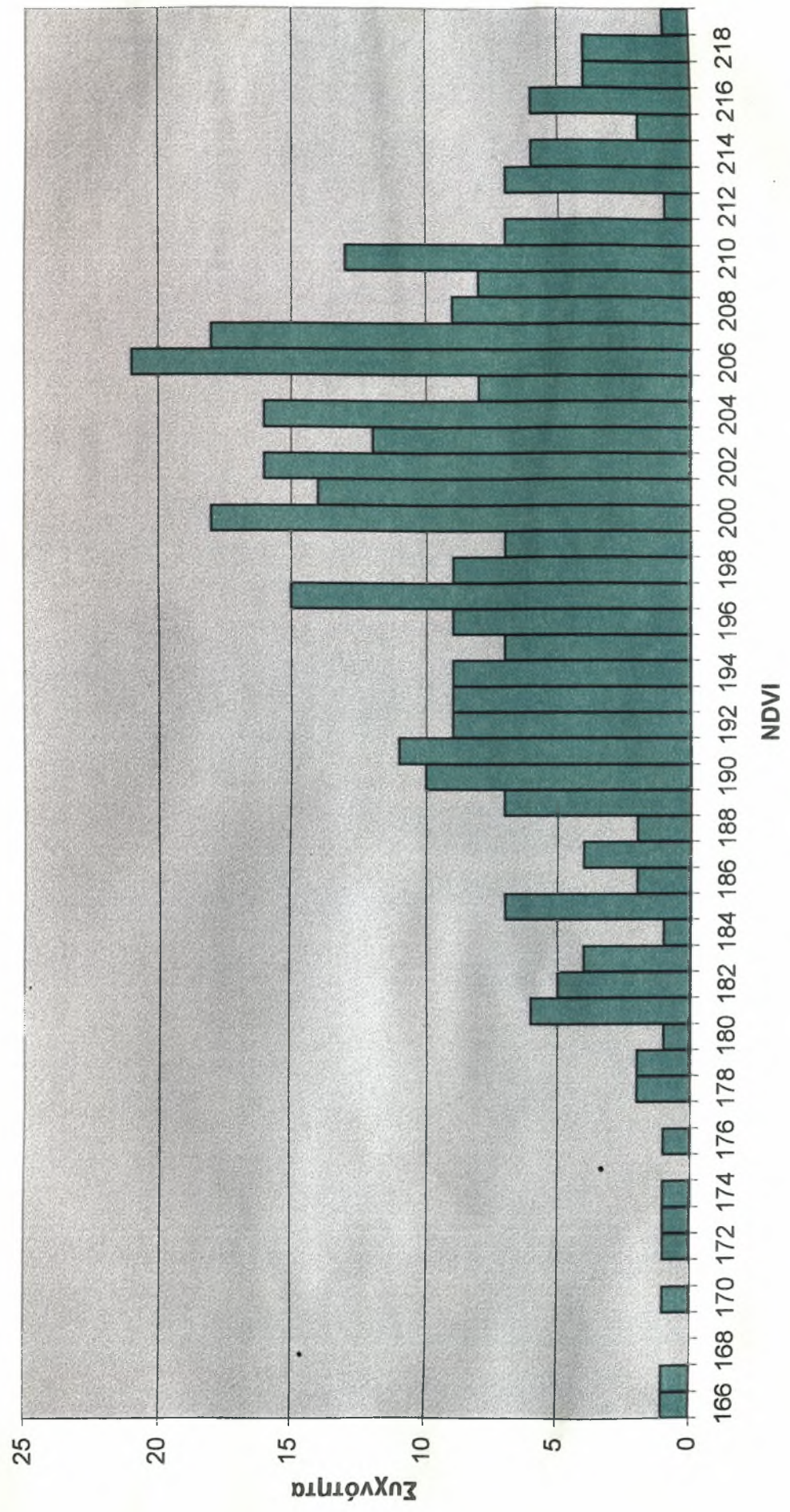
Σχήμα Π2.15: Ιστόγραμμα μεγίστων τιμών NDVI για την καλλιέργεια αραβοσίτου στην περιοχή Δέλτα Πηνειού Λαρίσης κατά το έτος 1996



Σχήμα Π2.16: Ιστόγραμμα μεγίστων τιμών NDVI για την καλλιέργεια αραβοσίτου στην περιοχή της Χρυσούπολης Καβάλας κατά το έτος 1994



Σχήμα Π2.17: Ιστογράμμα μεγίστων τιμών NDVI για την καλλιέργεια αραβοσίτου στην περιοχή της Χρυσούπολης Καβάλας κατά το έτος 1995



Σχήμα Π2.18: Ιστογράμμα μεγίστων τιμών NDVI για την καλλιέργεια αραβοσίτου στην περιοχή της Χρυσούπολης Καβάλας κατά το έτος 1996

