

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΑΣ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Προβλέψεις επίδρασης της κλιματικής αλλαγής στις αροτραίες καλλιέργειες στην Ελλάδα

ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ. Σ. ΒΟΛΟΥΔΑΚΗΣ

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

Ανδρέας Καραμάνος, Ομότιμος Καθηγητής, Επιβλέπων

Χρήστος Ζερεφός, Ομότιμος Καθηγητής, Ακαδημαϊκός, Μέλος

Γαρυφαλλιά Οικονόμου, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, Μέλος

Επταμελής Εξεταστική Επιτροπή

Ανδρέας Καραμάνος, Ομότιμος Καθηγητής Γ.Π.Α.

Χρήστος Ζερεφός, Ομότιμος Καθηγητής Ε.Κ.Π.Α., Ακαδημαϊκός

Γαρυφαλλιά Οικονόμου, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Γ.Π.Α.

Γεώργιος Καραμπουρνιώτης, Καθηγητής Γ.Π.Α.

Νικόλαος Δέρκας, Αναπληρωτής Καθηγητής Γ.Π.Α.

Διονύσιος Καλύβας, Αναπληρωτής Καθηγητής Γ.Π.Α.

Ιωάννης Τσίρος, Αναπληρωτής Καθηγητής Γ.Π.Α.

ΑΘΗΝΑ 2015

Η παρούσα έρευνα έχει συγχρηματοδοτηθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο - ΕΚΤ) και από εθνικούς πόρους μέσω του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» του Εθνικού Στρατηγικού Πλαισίου Αναφοράς (ΕΣΠΑ) – Ερευνητικό Χρηματοδοτούμενο Έργο: Ηράκλειτος ΙΙ. Επένδυση στην κοινωνία της γνώσης μέσω του Ευρωπαϊκού Κοινωνικού Ταμείου.



This research has been co-financed by the European Union (European Social Fund – ESF) and Greek national funds through the Operational Program "Education and Lifelong Learning" of the National Strategic Reference Framework (NSRF) - Research Funding Program: Heracleitus II. Investing in knowledge society through the European Social Fund.



Η έγκριση της παρούσης διδακτορικής διατριβής υπό του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα.
(Ν. 5343/1932 άρθρο 202).

Στην Αγγελική
και
στην Ευαγγελία



Ο Ερυσίχθων φερόταν με καταφρόνια στους Θεούς και δεν έστεργε να κάνει μία θυσία να ευφρανθούν και αυτοί την κνίσσα από τον Βωμό τους. Βέβηλος καθώς ήταν μπήκε στο δάσος μου και εκτύπαγε με κακούργο σίδερο τα δέντρα και πλήγωνε τους κορμούς που είχαν σεβαστεί οι αιώνες. Υπήρχε εκεί ένας σεβάσμιος δρυς που οι πιστοί εστόλιζαν ευλαβικά το κορμό του με κορδέλες, γιρλάντες και στίχους ευχαριστώντας την Θεά Δήμητρα για τις ευεργεσίες που τους είχε κάνει. Μα ο γιος του Τριόπα δεν έλεγε να παρατήρει το ανίερο τσεκούρι και διέταξε τους δούλους του να κόψουν εκείνο το δέντρο. Και σαν είδε πως έστεκαν δίβουλοι άρπαξε ο ίδιος το τσεκούρι και έτσι μίλησε ο κακούργος:

"Δεν με νοιάζει αν τον έχει στην καρδιά της η Δήμητρα τον Δρυ ή ο Δρυς είναι η ίδια η Δήμητρα. Έτσι και αλλιώς θα πέσει στο χώμα η πράσινη κορφή του".

Κι ο Δρυς τραντάχτηκε και βόγκηξε και χλόμιασαν τα φύλλα, τα βελανίδια και τα κλαδιά του. Και μόλις πέσανε οι πρώτες τσεκουριές και πετάχτηκαν δώθε και εκείθε τα κομμάτια της φλούδας έτρεξε ποτάμι το αίμα από τις πληγές του.

Μόνο ένας δούλος δεν δειλίασε και άρπαξε το ανόσιο χέρι για να εμποδίσει την ιερόσυλη πράξη.

Τότε ο Ερυσίχθων είπε στο δούλο, "τώρα θα πάρεις άξια πληρωμή για τον ευλαβικό σου ζήλο", και του έκοψε το κεφάλι.

Ύστερα βάλθηκε με λύσσα να καταφέρνει τσεκουριές στον Δρυ. Σε μια στιγμή απ' την κουφάλα ακούστηκε φωνή που έλεγε "είμαι η Νύμφη, αγαπημένη της Δήμητρας και ο Δρυς που κόβεις ήταν το άσυλο μου. Τρέμε γιατί η φωνή μου πεθαίνοντας προλέγει βαριά ποινή για το κακούργημα σου. Η τιμωρία σου δεν θ' αργήσει και ο θάνατος σου θα είναι η παρηγοριά για μένα διότι με αυτόν θα πληρώσεις τον δικό μου θάνατο". Και έπεσε ο Δρυς και συνέτριψε από κάτω του το μισό δάσος. Και οι Δρυάδες είδαν την προσβολή του δάσους σαν δική τους προσβολή και φόρεσαν πένθιμα ρούχα και πήγαν στην Θεά να την παρακαλέσουν να τιμωρήσει σκληρά τον Ερυσίχθωνα. Και η Θεά εισάκουσε την παράκληση τους και καθώς κατένευσε με την θεία κεφαλή της, τρεμούλιασαν τα αυλάκια με τις πλούσιες σοδειές.

Και η Θεά σοφίστηκε τρομερό μαρτύριο στον κακούργο τόσο που ήταν να τον λυπάσαι αν ταιριάζει η λύπηση για τους κακούργους. Όρισε να τον βασανίζει μεγάλη πείνα. Ένας ανεμοστρόβιλος φέρνει την πείνα στο παλάτι του Ερυσίχθωνος και την απιθώνει στο κατώφλι. Η πείνα μπαίνει μέσα και πάει ίσα στο κρεβάτι του, τον σκεπάζει με τα φτερά της και φυσάει το τρισφαρμακωμένο χνώτο της μέσα στα σωθικά του φυτεύοντας την λιγούρα.

Και αφού ξεπλήρωσε την διαταγή της Δήμητρας έφυγε από το παλάτι της αφθονίας και γύρισε στην ερημιά, στο στέρφο της σπήλαιο. Και ξεγελιέται αυτός από ένα όνειρο και ζητάει να φάει και το στόμα του ανοίγει και κλείνει ασταμάτητα και καταπίνει αέρα μασώντας το τίποτα. Ξυπώντας ο Ερυσίχθων ένοιωσε την πείνα να του ξεσκίζει τα σωθικά και δίνει διαταγή να αδειάσουν την γη, την θάλασσα και τον αέρα για να βρουν ό,τι φαγώσιμο μπορούν και να το φέρουν μπροστά του. Και ενώ είχε πλήθος αγαθά και περίσσιες τροφές αυτός παραπονιόταν και έλεγε πως δεν χορταίνει. Και φόρτωναν οι υπηρέτες με ξέχειλες πιατέλες, αλλά ό,τι θα έφτανε να θρέψει πολιτείες δεν του έφτανε να χορτάσει την πείνα του. Δεν πρόφτανε να παραχώσει το κρέας μέσα στο στόμα του και ζητούσε κι άλλο κρέας.

Στα βάθη της κοιλιάς του Ερυσίχθωνος που τον βασάνιζε η πείνα χάθηκε η πατρική του κληρονομιά χωρίς να καταφέρει, ω άγρια πείνα, ούτε την βουκέντρα σου να ξεφύγει, ούτε την φωτιά που έκαιγε το στόμα του να σβήσει. Και αφού καταβρόχθισε όλα του τα πλούτη, δεν του έμεινε παρά μια κόρη μόνο, που της άξιζε καλύτερος πατέρας, αλλά μέσα στην απόγνωση του την πούλησε και αυτή.

Μα η κόρη του η Μήστρα επικαλέστηκε τον Θεό της θαλάσσης που κάποτε τον είχε αγαπήσει. Και αυτός για να την γλυτώσει από την σκλαβιά την μεταμόρφωσε διαδοχικώς σε γέροντα, αλιέα, φοράδα, δαμάλι και σε ελάφι. Και ο Ερυσίχθων μη μπορώντας να κορέσει την πείνα του τελικά καταβρόχθισε τα ίδια του τα μέλη

(Οβίδιος, Μεταμορφώσεις- Βασισμένο στον ύμνο του Καλλίμαχου "Εις Δήμητρα".)

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της διδακτορικής μου διατριβής νιώθω την υποχρέωση να ευχαριστήσω πανεπιστημιακούς δασκάλους, ερευνητές, συναδέλφους και φίλους που με βοήθησαν κατά την εκπόνησή της.

Αρχικά, θέλω να ευχαριστήσω τον Ομότιμο Καθηγητή του ΓΠΑ κ. Ανδρέα Καραμάνο για την καθοδήγηση, την επίβλεψη και την ουσιαστική του υποστήριξη, αλλά κυρίως για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση της συγκεκριμένης πρωτότυπης μελέτης.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θέλω να εκφράσω στον Ομότιμο Καθηγητή του ΕΚΠΑ και Ακαδημαϊκό κ. Χρήστο Ζερεφό, για το γεγονός ότι μου έδωσε τη δυνατότητα να διευρύνω τις γνώσεις μου σε νέα γνωστικά αντικείμενα όπως αυτά της μελέτης της κλιματικής αλλαγής.

Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω την Αναπληρώτρια Καθηγήτρια του ΓΠΑ κα. Γαρυφαλλιά Οικονόμου για την συνεχή και αμέριστη στήριξή της σε επιστημονικό επίπεδο, για την υπομονή της σε προσωπικό και για την καλλιέργεια πνεύματος ειλικρινούς συνεργασίας.

Τις θερμές μου ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στα υπόλοιπα αξιότιμα μέλη της επταμελούς επιτροπής, ξεκινώντας από τον Καθηγητή του ΓΠΑ κ. Γεώργιο Καραμπουρνιώτη για την υποδειγματική του καθοδήγηση ως ιδρυματικού υπευθύνου του Προγράμματος Ηράκλειτος II καθ' όλη τη διάρκειά του. Επίσης ευχαριστώ τον Αναπληρωτή Καθηγητή του ΓΠΑ κ. Διονύσιο Καλύβα για την συνεχή συμβουλευτική υποστήριξη και τις ωφέλιμες παρατηρήσεις του και τους Αναπληρωτές Καθηγητές του ΓΠΑ κκ Νικόλα Δέρκα και Ιωάννη Τσίρο για την σχολαστική ανάγνωση της μελέτης και τις καίριες υποδείξεις τους.

Δεν θα μπορούσα να παραλείψω τον Καθηγητή κ. Dirk Raes από το Καθολικό Πανεπιστήμιο της Λουβένης (KULeuven) στο Βέλγιο και τον Καθηγητή κ. Mladen Todorovic από το Μεσογειακό Αγρονομικό Ινστιτούτο στο Μπάρι (IAMB) της Ιταλίας για την πρόθυμη παροχή πληροφοριών και οδηγιών, όποτε αυτό χρειάστηκε και για τη φιλοξενία στα ιδρύματά τους κατά τη διάρκεια των επισκέψεών μου.

Ξεχωριστή αναφορά οφείλω να κάνω στους συναδέλφους γεωπόνους και διδάκτορες του ΓΠΑ κκ. Βασίλη Κωτούλα, Πέτρο Βαχαμίδα και Γιώργο Παναγόπουλο για την συνεργασία και συμπαράστασή τους. Ομοίως ευχαριστώ τον ερευνητή του Κέντρου Φυσικής της Ατμόσφαιρας και Κλιματολογίας της Ακαδημίας Αθηνών κ. Γιάννη Καψωμενάκη. Όλοι τους ήταν άξιοι συνεργάτες και πλέον είναι ειλικρινείς φίλοι. Επίσης ευχαριστώ τους προπτυχιακούς και μεταπτυχιακούς φοιτητές Σταμάτη Παππά, Χρήστο Βλάχο, Χάρη Μπάρκα και Παρασκευή Δήμου, οι οποίοι συμμετείχαν σε διάφορες φάσεις εξέλιξης της συγκεκριμένης μελέτης, καθώς και το προσωπικό του Εργαστηρίου Γεωργίας κα. Δελατόλα Ρόζμαρη, κ. Στέλιο Τσιώρο και κ. Κώστα Μαργαρίτη για την βοήθειά τους.

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

CC- Canopy Cover

CCo- Initial Canopy Cover

CGC- Canopy Growth Coefficient

CDC- Canopy Decline Coefficient

CWP- Crop Water Productivity

EC- European Commission

EEA- European Environmental Agency

ETo- Reference Evapotranspiration

FACE- Free Air CO₂ Enrichment

FAO- Food and Agricultural Organization

FC- Field Capacity

GCM- Global Circulation Model

GHG – Green House Gases

GIS- Geographical Information System

HI- Harvest Index

IPCC- Intergovernmental Panel on Climate Change

LAI- Leaf Area Index

na: not available output

PWP- Permanent Wilting Point

RCM- Regional Circulation Model

RMSE- Root Mean Square Error

SRES- Special Report on Emission Scenarios

UNFCCC- United Nations Framework Convention on Climate Change

WUE- Water Use Efficiency

ΕΛΣΤΑΤ- Ελληνική Στατιστική Αρχή

ΕΜΥ- Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία

ΗΜΣ- Ημέρες Μετά τη Σπορά

ΓΠΣ- Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	9
SUMMARY.....	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	12
1.1. Το κλίμα της Ελλάδας	12
1.2. Οι αροτραίες καλλιέργειες στην Ελλάδα.....	14
1.3. Εισαγωγή στην κλιματική αλλαγή	16
1.4. Η χρήση των μοντέλων προσομοίωσης ανάπτυξης φυτών.....	19
1.5. Η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στη γεωργία	20
1.6. Η επίδραση της γεωργίας στην κλιματική αλλαγή	30
1.7. Μετριασμός των επιπτώσεων και προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή	32
1.8. Στόχος της μελέτης – πρωτοτυπία.....	40
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	41
2.1. Σενάρια εκπομπής αερίων θερμοκηπίου και κλιματικά μοντέλα.....	41
2.2. Το πρότυπο ανάπτυξης φυτών AquaCrop	45
2.2.1. Το έδαφος και η εδαφική υγρασία στο ριζόστρωμα (root zone).....	48
2.2.2. Η φυσιολογία του φυτού από το φύτευμα μέχρι τη συγκομιδή.....	49
2.2.3 Η ανάπτυξη του φυτού υπό συνθήκες υδατικής καταπόνησης.....	50
2.2.4. Χρήση δεδομένων που αφορούν στην ατμόσφαιρα.....	51
2.2.5. Δεδομένα που αφορούν στους καλλιεργητικούς χειρισμούς.....	54
2.2.6 Εξαγόμενα αποτελέσματα	55
2.3. Περιοχές έρευνας και κλιματικά χαρακτηριστικά τους.....	57
2.4. Οι καλλιέργειες και η μέθοδος εφαρμογής του AquaCrop.....	59
2.4.α. Βαμβάκι	59
2.4.β. Αραβόσιτος	61
2.4. γ. Σιτάρι	62
2.5. Στατιστική επεξεργασία και έλεγχος των αποτελεσμάτων	64
2.6. Χωρική προβολή των αποτελεσμάτων	66
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	67
3.1 Παραμετροποίηση και έλεγχος του προτύπου	67
3.1.α. Βαμβάκι	70
3.1.β. Αραβόσιτος	79
3.1.γ Σιτάρι.....	86
3.2 Ανάλυση κλιματικών μοντέλων	104
3.2.α. Σενάριο A1B.....	105

3.2.β. Σενάριο A2	110
3.2.γ. Σενάριο B2.....	115
3.3 Εκτίμηση αποδόσεων	119
3.3.1 Σενάριο A1B	119
3.3.1.α Βαμβάκι	120
3.3.1.β Αραβόσιτος	123
3.3.1.γ Σιτάρι.....	126
3.3.2. Σενάριο A2	129
3.3.2.α Βαμβάκι	129
3.3.2.β Αραβόσιτος	131
3.3.2.γ Σιτάρι.....	133
3.3.3. Σενάριο B2.....	134
3.3.3.α Βαμβάκι	135
3.3.3.β Αραβόσιτος	137
3.3.3.γ Σιτάρι.....	139
3.4 Στατιστική επεξεργασία με τη χρήση της σταδιακής διακρίνουσας ανάλυσης.....	141
3.4.1. Σενάριο A1B	141
3.4.1.α Βαμβάκι	141
3.4.1.β Αραβόσιτος	148
3.4.1.γ Σιτάρι.....	154
3.4.2. Σενάριο A2	160
3.4.2.α Βαμβάκι	160
3.4.2.β Αραβόσιτος	161
3.4.2.γ Σιτάρι.....	166
3.4.3 Σενάριο B2.....	170
3.4.3.α Βαμβάκι	170
3.4.3.β Αραβόσιτος	171
3.4.3.γ Σιτάρι.....	172
3.5 Χωρική απεικόνιση των αποτελεσμάτων	176
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ	186
4.1 Γενικά Συμπεράσματα	186
4.2 Διαφορές φυτών C3-C4 στην κλιματική αλλαγή	188
4.3 Αβεβαιότητες μελέτης και προκλήσεις για το μέλλον	196
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	198
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	213

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η έρευνα της επίδρασης της κλιματικής αλλαγής στις αποδόσεις τριών αροτραίων καλλιεργειών (βαμβάκι, σιτάρι και αραβόσιτος) ήταν το αντικείμενο της συγκεκριμένης μελέτης. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του προτύπου ανάπτυξης των φυτών AquaCrop και επεκτάθηκε σε τρεις χρονικές περιόδους 1961-1990 (περίοδος αναφοράς), 2021-2050 και 2071-2100, συνδυάζοντας μεταβαλλόμενες κλιματικές παραμέτρους, με περιγραφικές παραμέτρους φυσιολογίας και μορφολογίας των φυτών, εδαφολογικά χαρακτηριστικά και καλλιεργητικές μεθόδους με βασικότερη την άρδευση για βαμβάκι και αραβόσιτο.

Αρχικά, το πρότυπο AquaCrop παραμετροποιήθηκε και ελέγχθηκε ως προς την αξιοπιστία της προσομοίωσης των προαναφερόμενων καλλιεργειών με βάση πραγματικά πειραματικά δεδομένα από την περιοχή της Καρδίτσας για το βαμβάκι, από τον πειραματικό αγρό του εργαστηρίου Γεωργίας στο Γεωπονικό Πανεπιστήμιο για τον αραβόσιτο και από την περιοχή της Υλίκης για το σιτάρι.

Για την μελέτη της κλιματικής αλλαγής ελήφθησαν υπόψη τρία βασικά σενάρια εκπομπής ρύπων του θερμοκηπίου A1B, A2, B2 και διερευνήθηκε η επίδρασή τους στις αποδόσεις των προαναφερόμενων καλλιεργειών σε επτά σημεία σε όλη την Ελλάδα, τα οποία αντιπροσωπεύουν τις σημαντικότερες παραγωγικές περιοχές της χώρας (Αλεξανδρούπολη, Μίκρα, Καρδίτσα, Άρτα, Αγρίνιο, Πύργος, Υλίκη). Επιπλέον, η έρευνα διεξήχθη με την παραδοχή ότι τηρήθηκαν οι υφιστάμενοι καλλιεργητικοί χειρισμοί άρδευσης και λίπανσης, που σημαίνει ότι στην περίπτωση του βαμβακιού και του αραβόσιτου η προσομοίωση έγινε σε καθεστώς πλήρους άρδευσης και επαρκούς λίπανσης. Στην περίπτωση του σιταριού η προσομοίωση έγινε χωρίς άρδευση σε καθεστώς επαρκούς λίπανσης.

Σε αρκετές περιπτώσεις ο μεγάλος αριθμός των κλιματικών μοντέλων που χρησιμοποιήθηκαν, ιδιαίτερα για το σενάριο A1B όπου ήταν οκτώ, είχε ως αποτέλεσμα οι αποδόσεις που προέκυπταν να δίνουν συγκεχυμένα συμπεράσματα. Ωστόσο η εφαρμογή νεώτερων μεθόδων στατιστικών αναλύσεων, όπως η σταδιακή διακρίνουσα ανάλυση, βοήθησε ώστε να εντοπισθούν τα πιο αξιόπιστα κλιματικά μοντέλα και να ερμηνευθεί με κατανοητό τρόπο η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στις καλλιέργειες. Οι σχετικές με την μεταβολή των αποδόσεων πληροφορίες για τις επτά προς μελέτη περιοχές καταχωρήθηκαν σε ψηφιακούς χάρτες με τη χρήση Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων διευκολύνοντας την ερμηνεία των αποτελεσμάτων σε σχέση με τον χώρο.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι, αναλόγως με την καλλιέργεια και την περιοχή, η επίδραση της μεταβολής του κλίματος μπορεί να έχει είτε θετικό είτε αρνητικό πρόσημο. Φάνηκε ότι υπήρξε διαφοροποίηση μεταξύ των καλλιεργειών και κυρίως μεταξύ του βαμβακιού και σιταριού σε σχέση με τον αραβόσιτο. Η διαφοροποίηση αυτή έγκειται στο γεγονός ότι τα δύο πρώτα είναι φυτά C3 ενώ το τελευταίο είναι C4. Οι πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις μεταξύ ανόδου του CO₂, ανόδου της θερμοκρασίας και μείωσης των βροχοπτώσεων έδειξαν ότι ο αραβόσιτος αναμένεται να έχει μικρότερο εύρος

μεταβολών στις αποδόσεις. Η καλλιέργεια βαμβακιού φαίνεται να ευνοείται μελλοντικά περισσότερο στις περιοχές δυτικά της οροσειράς Πίνδου, ενώ το σιτάρι, αν και μη αρδευόμενο, έχει την καλύτερη προσαρμογή στην αύξηση του CO₂ παρουσιάζοντας αυξήσεις αποδόσεων σε αρκετές περιοχές.

SUMMARY

The aim of the present study was the estimation of climate change impacts on three major arable crops (cotton, wheat, maize) in Greece. The research was carried out using the AquaCrop crop simulation model over the periods 1961-1990 (base period), 2021-2050 and 2071-2100, which combines a number of climatic parameters with plant physiological and morphological traits, soil characteristics and farm management practices, especially irrigation in the case of cotton and maize.

Initially, the AquaCrop model was calibrated and tested concerning the reliability of the simulation of the mentioned crops using real experimental data from the area of Karditsa for cotton, from the Agricultural University of Athens for maize and from Yliki area for wheat.

To study the climate change effects, three basic greenhouse gases emission scenarios were adopted, A1B, A2, B2, and their impact on crop yields was investigated in seven areas in Greece representing the main agricultural productive zones of the country (Alexandroupolis, Mikra, Karditsa, Arta, Agrinio, Pyrgos, Yliki). Moreover, The research was conducted under the assumption that the present irrigation and fertilization practices will be implemented. This means that no nutritional stress was taken into account in the simulation and, furthermore, cotton and maize crops were considered as fully irrigated, while wheat was simulated under rainfed conditions.

In several cases the high number of the climate models used, (e.g., eight of them for the A1B scenario), resulted in some confusing outcomes regarding the predicted yields. However, the application of modern methods of statistical analysis, such as the stepwise discriminant function analysis, contributed to a separation of the most reliable models and, hence, to a better understanding of the effect of climate change on crop productivity. The information concerning the predicted yields in the seven study areas were projected on digital maps using the Geographic Information Systems (GIS) in order to assist the explanation of the results in the country's agroclimatic zones.

The results indicated that, depending on the crop species and the area, the impact of climatic variability may have a positive or negative sign, in comparison with the present yields. There was a differentiation among the crop species, mainly focused between cotton and wheat against maize. This finding can be explained by the fact that the first two crops utilize the C3 photosynthetic pathway, while maize is the C4 pathway. The complex interactions between the increasing levels of CO₂, the increasing temperature, and the reduction of rainfall were responsible for the smaller changes in yields observed for maize. Cotton is expected to be more favored in the future, especially in the western side of the Pindos mountain range, while wheat, though simulated under rainfed conditions, adapted positively in the rising CO₂ concentration levels exhibiting increased yields in several areas.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Το κλίμα της Ελλάδας

Η Ελλάδα βρίσκεται μεταξύ του 34ου και 42ου παραλλήλου του βορείου ημισφαιρίου· στο άκρο της Χερσονήσου του Αίμου. Το ηπειρωτικό τμήμα της χώρας διατρέχεται κατά μήκος από την οροσειρά της Πίνδου, όπου εκεί παρατηρούνται και τα υψηλότερα βουνά (Όλυμπος 2918 μ). Χαρακτηρίζεται από πολύπλοκη τοπογραφία, η οποία, σε συνδυασμό με τα επικρατούντα καιρικά συστήματα, δημιουργεί έντονες κλιματικές αντιθέσεις, έτσι ώστε σε μικρές αποστάσεις μερικών δεκάδων χιλιομέτρων το κλίμα να μεταβάλλεται από μεσογειακό μέχρι και αλπικό. Ένα άλλο χαρακτηριστικό της χώρας αποτελεί η μεγάλη της ακτογραμμή, η οποία συνεισφέρει σημαντικά στη διαμόρφωση μιας ποικιλίας τοπικών κλιματικών χαρακτηριστικών που μπορούν να διαφοροποιηθούν από τον συνήθη μεσογειακό τύπο. Σημειώνεται ότι το μέσο υψόμετρο της ηπειρωτικής ενδοχώρας είναι περίπου 600 μ., οι τυπικές βαθμίδες του αναγλύφου είναι 100-200 m ανά km και η συνολική ακτογραμμή της χώρας είναι περίπου 16.300 km, δηλαδή όσο περίπου είναι το 1/3 του μήκους της περιφέρειας της γης στον Ισημερινό (Ζερεφός κ.ά, 2011).

Από κλιματολογικής πλευράς το έτος μπορεί να χωριστεί κυρίως σε δύο εποχές: Την ψυχρή και βροχερή χειμερινή περίοδο που διαρκεί από τα μέσα του Οκτωβρίου και μέχρι το τέλος Μαρτίου και τη θερμή και άνομβρη εποχή που διαρκεί από τον Απρίλιο έως τον Οκτώβριο. Κατά την πρώτη περίοδο οι ψυχρότεροι μήνες είναι ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος, όπου κατά μέσον όρο η μέση ελάχιστη θερμοκρασία κυμαίνεται από 5-10 ° C στις παραθαλάσσιες περιοχές, από 0 - 5 ° C στις ηπειρωτικές περιοχές και με χαμηλότερες τιμές κάτω από το μηδέν στις βόρειες περιοχές. Οι βροχές στη χώρα μας ακόμη και τη χειμερινή περίοδο δεν διαρκούν για πολλές ημέρες και ο ουρανός της Ελλάδας δεν μένει συνεφιασμένος για αρκετές συνεχόμενες ημέρες, όπως συμβαίνει σε άλλες περιοχές της γης. Οι χειμερινές κακοκαιρίες διακόπτονται συχνά κατά τον Ιανουάριο και το πρώτο δεκαπενθήμερο του Φεβρουαρίου από ηλιόλουστες ημέρες, τις γνωστές από την αρχαιότητα “Αλκυονίδες ημέρες”. Η χειμερινή εποχή είναι γλυκύτερη στα νησιά του Αιγαίου και του Ιονίου από ό,τι στη Βόρεια και Ανατολική Ελλάδα. Κατά τη θερμή και άνομβρη εποχή ο καιρός είναι σταθερός, ο ουρανός σχεδόν αίθριος, ο ήλιος λαμπερός και δεν βρέχει εκτός από σπάνια διαλείμματα με ραγδαίες βροχές ή καταιγίδες μικρής όμως διάρκειας. Η θερμότερη περίοδος είναι το τελευταίο δεκαήμερο του Ιουλίου και το πρώτο του Αυγούστου οπότε η μέση μέγιστη θερμοκρασία κυμαίνεται από 29 °C μέχρι 35 °C. Κατά τη θερμή εποχή οι υψηλές θερμοκρασίες μετριάζονται από τη δροσερή θαλάσσια αύρα στις παράκτιες περιοχές της χώρας και από τους βόρειους ανέμους που φυσούν κυρίως στο Αιγαίο.

Η άνοιξη έχει μικρή διάρκεια , διότι ο μεν χειμώνας είναι όψιμος, το δε καλοκαίρι αρχίζει πρώιμα. Το φθινόπωρο είναι μακρύ και θερμό και πολλές φορές παρατείνεται στη Νότια Ελλάδα και μέχρι το μέσον του Δεκεμβρίου (ΕΜΥ, 2014).

Σε γενικές γραμμές, στον ελληνικό χώρο διαμορφώνονται τέσσερις κλιματικοί τύποι (Μαριολόπουλος, 1938, 1982):

α) ο Θαλάσσιος Μεσογειακός Τύπος, με ευχάριστα χαρακτηριστικά εύκρατου κλίματος, στα δυτικά παράλια της Ελλάδος και στα Ιόνια Νησιά,

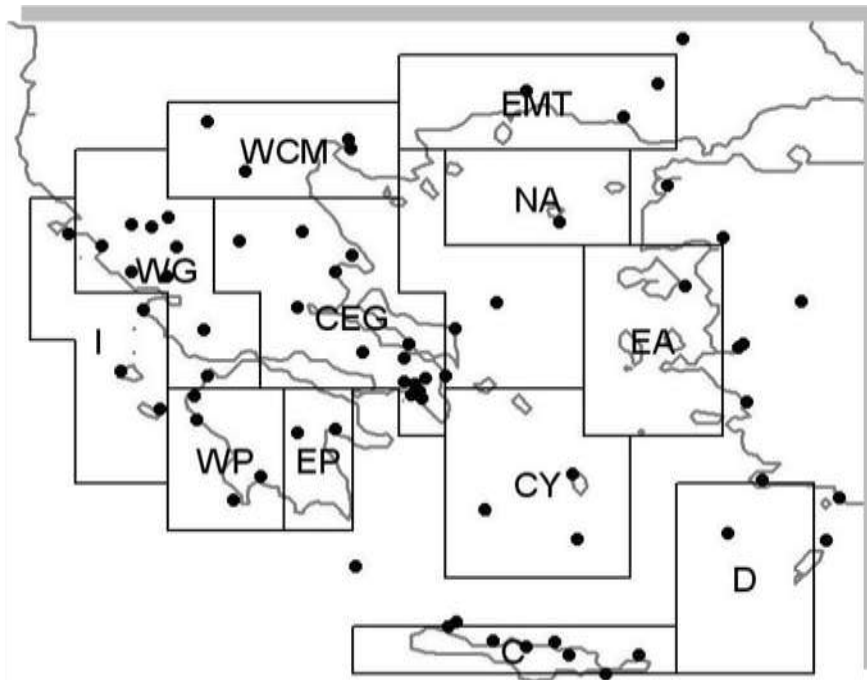
β) ο Χερσαίος Μεσογειακός Τύπος, που περιλαμβάνει τη ΝΑ Ελλάδα, μέρος της Στερεάς, τμήματα της Ανατ. Πελοποννήσου, τα νησιά και τα παράλια του Κεντρικού Αιγαίου και της Κρήτης, με ξηρότερα καλοκαίρια και ψυχρότερους χειμώνες από τα αντίστοιχα γεωγραφικά πλάτη του Ιονίου,

γ) ο Ηπειρωτικός Τύπος, στο μεγαλύτερο τμήμα της Θράκης, της Μακεδονίας και της Ηπείρου και σε μέρος της Θεσσαλίας, ο οποίος παρουσιάζει χαρακτηριστικά ηπειρωτικού κλίματος των βορειότερων βαλκανικών περιοχών, και

δ) ο Ορεινός Τύπος, που περιλαμβάνει τους ορεινούς όγκους που διασχίζουν την Ελλάδα. Στους ορεινούς αυτούς όγκους υπάρχουν δασώδεις περιοχές με κλίμα δάσους, καθώς και μικρές περιοχές μεγάλου υψομέτρου με αλπικό κλίμα κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Τα νησιά του Β. Αιγαίου παρουσιάζουν μεταβατικό τύπο ηπειρωτικού κλίματος προς χερσαίο και τα Δωδεκάνησα εύκρατο θαλάσσιο τύπο.

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα αλλά και τις υπάρχουσες μακροχρόνιες κλιματικές παρατηρήσεις το Κέντρο Φυσικής της Ατμόσφαιρας της Ακαδημίας Αθηνών, έχει προτείνει τις κάτωθι 12 κλιματικές ζώνες προς μελέτη (Ζερεφός, κ.ά., 2011).

EMT	Ανατολική Μακεδονία και Θράκη
WCM	Δυτική και Κεντρική Μακεδονία
CEG	Κεντρική και Ανατολική Ελλάδα
WG	Δυτική Ελλάδα
I	Ιόνιο
WP	Δυτική Πελοπόννησος
EP	Ανατολική Πελοπόννησος
CY	Κυκλάδες
NA	Βόρειο Αιγαίο
EA	Ανατολικό Αιγαίο
D	Δωδεκάνησα
C	Κρήτη



Εικόνα 1.1: Διαχωρισμός της Ελλάδας σε κλιματικές ζώνες, σύμφωνα με το Κέντρο Φυσικής της Ατμόσφαιρας της Ακαδημίας Αθηνών (Ζερεφός κ.ά., 2011)

1.2. Οι αροτραίες καλλιέργειες στην Ελλάδα

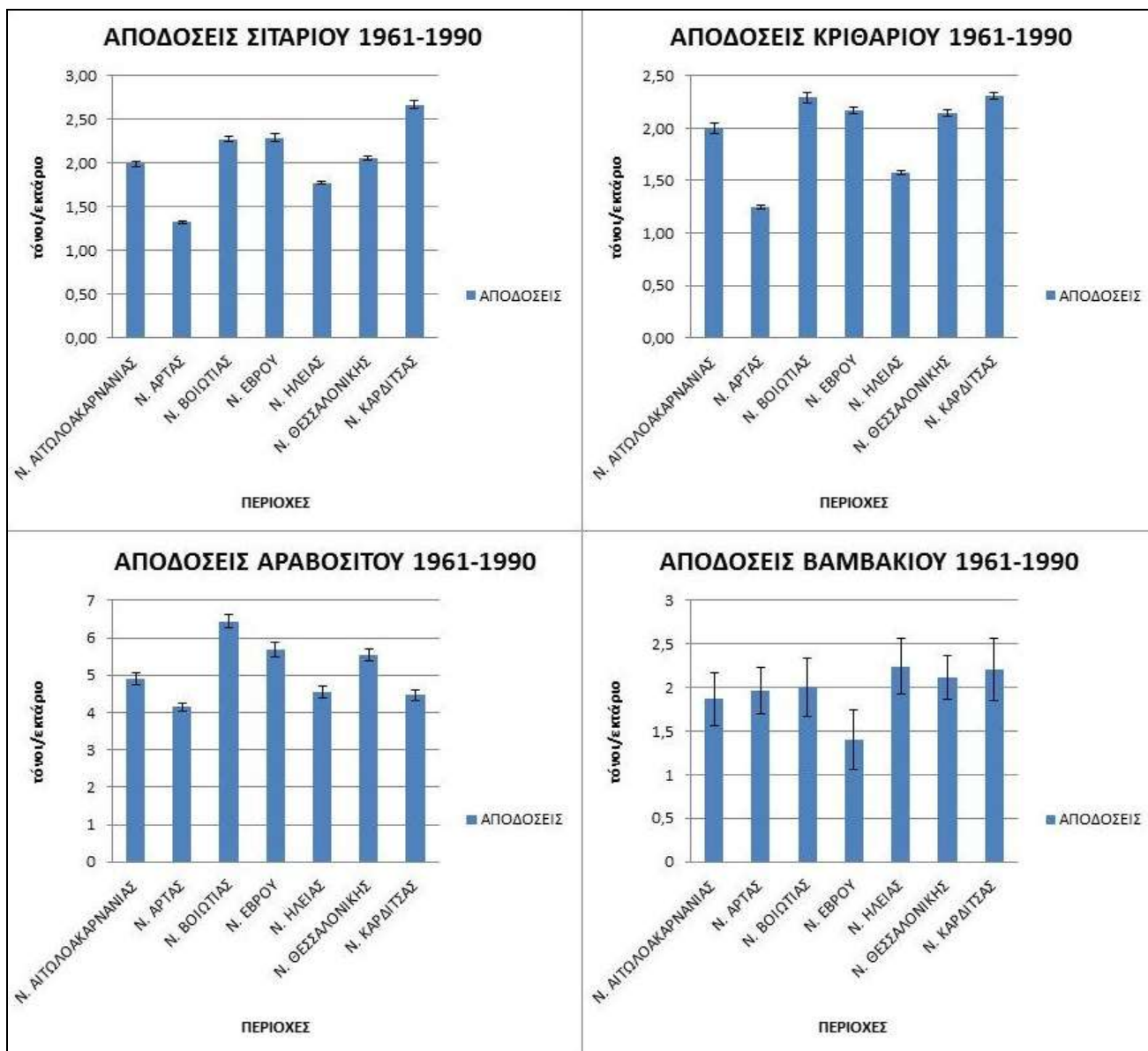
Με τον όρο αροτραίες καλλιέργειες εννοούμε καλλιέργειες σε εκτατική κλίμακα ειδών γνωστών ως φυτά μεγάλης καλλιέργειας (δημητριακά, ψυχανθή, βιομηχανικά φυτά κ.ά.). Η ελληνική γεωργική γη καλλιεργείται, κατά κύριο λόγο, με αροτραίες καλλιέργειες (52,5% επί του συνόλου των καλλιεργειών για το έτος 2013) (Εικ. 1.2). Μικρότερο ποσοστό της χρησιμοποιούμενης γεωργικής γης αφορά στις μόνιμες (δενδρώδεις-αμπέλια) καλλιέργειες (31,1%) ενώ 2,7% αφορά σε εκτάσεις καλυμμένες με κηπευτικά.

Σύμφωνα με στοιχεία της Eurostat (2013), η γεωργική αξία των αροτραίων καλλιεργειών στην Ελλάδα ξεπερνά τα 2,3 δις ευρώ σε σύνολο 7,01 δις ευρώ της φυτικής παραγωγής. Τα δημητριακά στα οποία συμπεριλαμβάνονται σιτάρι, κριθάρι, σίκαλη, βρώμη, αραβόσιτος, ρύζι κ.ά, αντιστοιχούν στο 12,3% του συνόλου της αξίας της ελληνικής αγροτικής παραγωγής. Οι βιομηχανικές καλλιέργειες, στις οποίες περιλαμβάνονται το βαμβάκι, ο καπνός και τα ζαχαρότευτλα, αντιστοιχούν στο 7,2% και τα κτηνοτροφικά φυτά στο 4,9% της αξίας της συνολικής εθνικής αγροτικής παραγωγής.



Εικόνα 1.2: Κατανομή Καλλιεργήσιμων Εκτάσεων στην Ελλάδα κατά το έτος 2013, (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, 2015).

Στην Εικόνα 1.3 απεικονίζονται οι αποδόσεις των καλλιεργειών σιταριού, κριθαριού, αραβοσίτου και βαμβακιού στους νομούς Αιτωλοακαρνανίας, Άρτας, Βοιωτίας, Έβρου, Ηλείας, Θεσσαλονίκης και Καρδίτσας κατά την περίοδο 1961-1990, σύμφωνα με τα στοιχεία που συλλέχθηκαν από την Εθνική Στατιστική Υπηρεσία και πιο συγκεκριμένα από τα αναλυτικά στοιχεία περί γεωργικής στατιστικής. Η εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων από τους συγκεκριμένους πίνακες, θα είναι παρακινδυνευμένη καθώς ο τρόπος συλλογής αλλά και οι διάφοροι παράγοντες που σε βάθος 30ετίας (διαφορετικές ποικιλίες, τεχνολογία αρδεύσεων, λιπάνσεων κ.τ.λ.) επηρέασαν τις αποδόσεις ποικίλουν. Ωστόσο για το σιτάρι και το κριθάρι είναι ρεαλιστικό να ειπωθεί ότι οι αποδόσεις στους νομούς Ηλείας και Άρτας υπολείπονται έναντι των άλλων περιοχών. Αντίστοιχα, οι αποδόσεις αραβοσίτου στους νομούς Βοιωτίας, Έβρου και Θεσσαλονίκης υπερτερούν έναντι των υπολοίπων νομών, ενώ αναφορικά με τις αποδόσεις βαμβακιού φαίνεται ότι κατά τη συγκεκριμένη περίοδο ο νομός Έβρου υστερούσε έναντι των υπολοίπων.



Εικόνα 1.3: Μέσες στρεμματικές αποδόσεις τεσσάρων αροτραίων καλλιεργειών σε επτά νομούς της Ελλάδας κατά την περίοδο 1961-1990 (ΕΛΣΤΑΤ, Γεωργική Στατιστική 1961-1990). Οι κατακόρυφες γραμμές αποτυπώνουν τα τυπικά σφάλματα των μέσων όρων.

1.3. Εισαγωγή στην κλιματική αλλαγή

Σύμφωνα με την Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC¹), με τον όρο κλιματική αλλαγή εννοούμε την αλλαγή στην κατάσταση του κλίματος η οποία μπορεί να προσδιοριστεί (π.χ. με τη χρήση στατιστικών ελέγχων) από την αλλαγή

¹ Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC)¹, ιδρύθηκε το 1988 από τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό και το Περιβαλλοντικό Πρόγραμμα του ΟΗΕ, για να “αξιολογήσει τις επιστημονικές, τεχνικές και κοινωνικο-οικονομικές πληροφορίες σχετικά με την κατανόηση του κινδύνου λόγω των κλιματικών μεταβολών που προκλήθηκαν από τον άνθρωπο”.

στις μέσες τιμές μεταβλητών του κλίματος οι οποίες διαρκούν δεκαετίες ή και περισσότερο χρονικό διάστημα (IPCC, 2012).

Η κλιματική αλλαγή όμως είναι ένα φαινόμενο που παρουσιάστηκε στην εποχή μας; Η επιστήμη σήμερα έχει αποδείξει ότι το κλίμα στον πλανήτη μας μεταβαλλόταν και συνεχίζει να αλλάζει. Πριν από περίπου τρία δισεκατομμύρια χρόνια, όταν η σύσταση της ατμόσφαιρας άρχισε να πλησιάζει τα σημερινά χαρακτηριστικά της, ξεκίνησαν να εμφανίζονται οι θερμές και οι ψυχρές παγετώδεις και μεσοπαγετώδεις κλιματικές περιόδους της γης. Το κλίμα της Γης πριν από 55 εκατομμύρια έτη (αρχή της εποχής της Ηωκαίνου) υπήρξε θερμότερο από σήμερα, περίπου κατά 6 °C. Ακολούθως, τα τελευταία 50 εκατομμύρια έτη υπάρχουν ενδείξεις για μια μακροχρόνια τάση μείωσης της θερμοκρασίας. Πριν από 34 εκατομμύρια έτη δημιουργήθηκαν οι παγετώνες της Ανταρκτικής, ενώ πριν από 2,6 εκατομμύρια έτη αναπτύχθηκαν και οι παγετώνες του βορείου ημισφαιρίου. Από τότε αρχίζει και η τελευταία γεωλογική περίοδος της εποχής του Τεταρτογενούς, η οποία χαρακτηρίζεται από εναλλαγές σχετικά σύντομων (10-30 χιλιάδες χρόνια) μεσοπαγετωδών περιόδων και παρατεταμένων παγετωδών περιόδων, οι οποίες εναλλαγές απέκτησαν αισθητά μεγαλύτερη ένταση και μικρότερη συχνότητα κατά το τελευταίο ένα εκατομμύριο χρόνια. Η τελευταία γεωλογική περίοδος, η οποία συνεχίζεται μέχρι σήμερα, ονομάζεται “εποχή της Ολοκαίνου” και άρχισε πριν από 11.500 χρόνια, δηλαδή μετά το τέλος της τελευταίας έξαρσης των παγετώνων (18.000 έτη πριν από σήμερα) (Ζερεφός κ.ά, 2011).

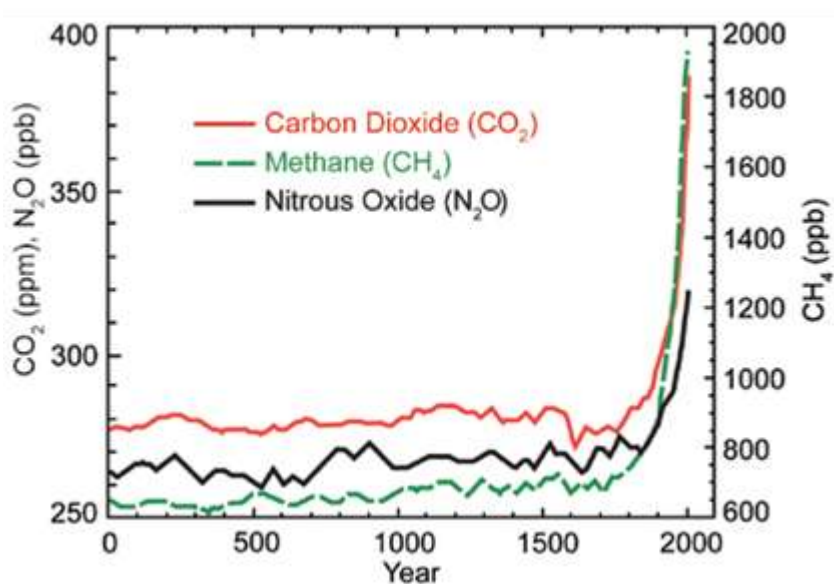
Η μελέτη της μεταβολής του κλίματος δεν ξεκίνησε στις μέρες μας. Πρώτος ο Θεόφραστος (373-288 π.Χ) αναφέρθηκε στις διαφορές μεταξύ των διάφορων κλιματικών ζωνών, το μικροκλίμα, ακόμη και την αισθαντικότητα των φύλλων. Διαφοροποιούμενος από την άποψη του δασκάλου του Αριστοτέλη, ότι το φυσικό περιβάλλον δημιουργήθηκε για να εξυπηρετεί τον άνθρωπο, μίλησε για την επίδραση της ανθρώπινης δραστηριότητας πάνω στο κλίμα και τις διαταραχές του οικοσυστήματος από καταστροφές δασών, αποξηράνσεις ελών και βιοτόπων (Γούτα, 2009).

Το 1824 ο Γάλλος φυσικός Ζοζέφ Φουριέ² περιγράφοντας για πρώτη φορά το φαινόμενο του θερμοκηπίου υπολόγισε ότι η θερμοκρασία της γης μπορεί να αυξηθεί εξαιτίας της παρεμβολής της ατμόσφαιρας, αφού η θερμότητα υπό τη μορφή της ηλιακής ακτινοβολίας είναι μέγιστη στο ορατό τμήμα του φάσματος και η θερμότητα που εκπέμπει ο πλανήτης ψυχόμενος προς το διάστημα έχει μέγιστο στο υπέρυθρο στο οποίο απορροφούνται θερμοκηπικά αέρια όπως το CO₂. Το 1861 ο Ιρλανδός φυσικός Τζον Τίνταλ έδειξε ότι οι ατμοί του νερού καθώς και κάποια άλλα αέρια δημιουργούν επίσης φαινόμενο του θερμοκηπίου υποστηρίζοντας ότι «αυτό το στρώμα υδρατμών είναι μια κουβέρτα πιο σημαντική για τη χλωρίδα της Αγγλίας απ’ ότι τα ενδύματα για τον άνθρωπο».

Βεβαίως ο χρόνος ζωής των θερμοκηπιακών αερίων κυμαίνεται από λίγες ώρες μέχρι πολλές δεκαετίες. Μετρήσεις των πλέον σημαντικών αερίων του θερμοκηπίου (GHG- Green House Gases)

²Περισσότερες πληροφορίες για το έργο των Φουριέ και Τίνταλ παρατίθενται στην ηλεκτρονική διεύθυνση https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_climate_change_science#References

δείχνουν μία αύξηση της συγκέντρωσής τους στην ατμόσφαιρα μετά το 1750 η οποία επιταχύνεται τις τελευταίες δεκαετίες (Εικ. 1.4).



Εικόνα 1.4: Συγκεντρώσεις αερίων του θερμοκηπίου (διοξειδίου του άνθρακα CO_2 , μεθανίου CH_4 , οξειδίου του αζώτου N_2O). (Forster et al., 2009).

Παράλληλα, από το τέλος του 19ου αιώνα παρατηρήθηκε άνοδος της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας, η οποία με διακυμάνσεις συνεχίζεται μέχρι τις ημέρες μας. Ο μέσος ρυθμός θέρμανσης της ατμόσφαιρας του πλανήτη κατά τον 20^ο αιώνα ήταν 0,7 °C ανά 100 χρόνια (IPCC, 2007). Οι Jones and Moberg (2003) υπολόγισαν την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας των ηπειρωτικών περιοχών του πλανήτη κατά τον 20^ο αιώνα στους 0,78 °C ανά 100 χρόνια. Θα πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι η αύξηση αυτή δεν ήταν σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια του 20ού αιώνα, αλλά εμφανίστηκε κυρίως στις περιόδους 1920-1945 και από το 1975 μέχρι σήμερα, ενώ από το 1945 μέχρι το 1975 πολλές εργασίες προσπάθησαν να ερμηνεύσουν την παρατηρηθείσα τότε ψύξη εξαιτίας της σκίασης του ηλίου από τα ανθρωπογενή ατμοσφαιρικά αιωρήματα (Zerefos et al., 2009). Πάντως, η τελευταία ανοδική τάση της θερμοκρασίας είναι στατιστικά σημαντική στο επίπεδο εμπιστοσύνης 95% σχεδόν σε όλες τις κατοικημένες περιοχές του πλανήτη και, κατά τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (WMO) και η δεκαετία 1995-2005 ήταν η θερμότερη των τελευταίων 500 ετών (WMO, 2006). Η Σύμβαση Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (United Nations Framework Convention on Climate Change-UNFCCC) στο πρώτο της άρθρο αναγνωρίζει τη συμμετοχή του ανθρώπου στη μεταβολή του κλίματος και διαχωρίζει την κλιματική αλλαγή σε αυτή που προκαλείται από ανθρωπογενή αίτια και σε αυτή από φυσικά. Τα παραπάνω έχουν οδηγήσει αρκετούς επιστήμονες στην υιοθέτηση μίας ακόμα κλιματικής εποχής την οποία αποκαλούν «εποχή της Ανθρωποκαίνου» όπως την πρότεινε ο καθηγητής P.J. Crutzen (Βραβείο Nobel Χημείας 1995) (Crutzen & Stoermer, 2000).



Εικόνα 1.5: Σύγκριση της επιφάνειας των πάγων στον Βόρειο Πόλο για τους μήνες Νοέμβριο-Δεκέμβριο-Ιανουάριο μεταξύ των ετών 1980 και 2012. (Πηγή: <http://www.nasa.gov/topics/earth/features/thick-melt.html>)

1.4. Η χρήση των μοντέλων προσομοίωσης ανάπτυξης φυτών

Η μοντελοποίηση της διαδικασίας ανάπτυξης των φυτών υπό την επίδραση κλιματικών μεταβολών είναι μία από τις προσεγγίσεις που συνδυάζουν την πολυπλοκότητα της κλιματικής αλλαγής με την πολυπλοκότητα των φυσιολογικών λειτουργιών του φυτού και διαφόρων βιοφυσικών παραγόντων που σχετίζονται με την καλλιέργεια, με το έδαφος και την ατμόσφαιρα (Senthold et al., 2009).

Τα πρώτα μοντέλα ανάπτυξης φυτών εμφανίστηκαν τη δεκαετία του 1970, ως αποτέλεσμα προσπαθειών διαφόρων ερευνητών όπως των de Wit και Jones (Thornley, 1976). Πιο εξελιγμένα μοντέλα δημιουργήθηκαν τη δεκαετία του 1980 και χρησιμοποιήθηκαν για να προσομοιάσουν την ανάπτυξη του σιταριού με τη χρήση των μέχρι τότε συντηρητικών δεδομένων που αφορούσαν κυρίως φυσιολογικά χαρακτηριστικά τις καλλιέργειας. Αυτά τα μοντέλα ήταν τα ARCWHEAT1 (1984), το ολλανδικό μοντέλο SUCROS (1992) και SWEAT (1987) και πέντε ακόμα μοντέλα ανάπτυξης φυτών που προέκυψαν από το ARS Wheat Yield Project, από τα οποία το CERES-Wheat (1985) και WINTER WHEAT (1985) θεωρούνται τα πιο σημαντικά (Senthold et al, 2009).

Με τον όρο καταπόνηση εννοούμε την επίδραση δυσμενών παραγόντων του περιβάλλοντος οι οποίοι τείνουν να παρεμποδίσουν τη κανονική λειτουργία των φυσιολογικών μηχανισμών των φυτών (Καραμπουρνιώτης & Λιακόπουλος, 2011).

Οι παράγοντες καταπόνησης που επηρεάζουν την κανονική ανάπτυξη ενός φυτού διακρίνονται σε Αβιοτικούς, όπως είναι οι κλιματικοί και Βιοτικούς, όπως είναι τα διάφορα παθογόνα. Αναλυτικότερα παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.1.

Πίνακας 1.1: Ταξινόμηση των Αβιοτικών και Βιοτικών παραγόντων καταπόνησης (Καραμπουρνιώτης & Λιακόπουλος, 2011)

Αβιοτικοί			Βιοτικοί
Φυσικοί	Χημικοί	Ανθρώπογενείς	
Ακτινοβολία (έλλειψη, περίσσεια, UV ακτινοβολία)	Θρεπτικά συστατικά – εδαφικό περιβάλλον (έλλειψη, περίσσεια, μη ισορροπημένη σύσταση, αλατότητα, βαρέα μέταλλα, όξινο pH, βασικό pH)	Ρύπανση , υποβάθμιση εδαφών, πυρκαϊές, φυτοφάρμακα, ιονίζουσες ακτινοβολίες, ηλεκτρομαγνητικά πεδία	Φυτά (επικάλυψη, αλληλοπάθεια, παρασιτισμός)
Θερμοκρασία (υπερθέρμανση, ψύχος, παγετός)	Αέριο περιβάλλον (έλλειψη οξυγόνου, CO ₂)		Παθογόνα Ιοί Μύκητες Βακτήρια
Υδατικό περιβάλλον (ξηρή ατμόσφαιρα, ξηρό έδαφος, κατάκλιση)			Ζώα Κατανάλωση τραυματισμοί
Μηχανικές βλάβες (άνεμος, κάλυψη, κάλυψη από χιόνι, σχηματισμός πάγου, τραυματισμοί)			

Τα τελευταία χρόνια, λόγω της κλιματικής μεταβολής, ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει η αντίδραση των διαφόρων καλλιεργούμενων φυτών σε παράγοντες καταπόνησης που θα προκύψουν εξαιτίας της, όπως είναι η έλλειψη νερού. Η διερεύνηση της αντίδρασης των φυτών σε εφαρμογή πεδίου ή στο εργαστήριο όσον αφορά την τελική απόδοση κάτω από διαφορετικά υδατικά καθεστάτα ή διαφορετικά επίπεδα συγκέντρωσης CO₂, είναι μία διαδικασία επίπονη και ιδιαίτερα δαπανηρή. Επιπλέον είναι πρακτικά αδύνατο τέτοιου είδους πειράματα να καλύψουν όλο το εύρος των επιπέδων καταπόνησης ή όλο το φάσμα των περιβαλλοντικών παραγόντων που επηρεάζουν την παραγωγή. Επίσης, η αντίδραση του φυτού στα διάφορα είδη καταπόνησης μπορεί να διαφοροποιείται ανάλογα με την ένταση της καταπόνησης, τη διάρκεια, το φαινολογικό στάδιο ανάπτυξης του φυτού, τον συνδυασμό με άλλους παράγοντες καταπόνησης, προκαλώντας σημαντικές επιπτώσεις στην τελική απόδοση και ποιότητα του γεωργικού προϊόντος (Καραμπουρνιώτης & Λιακόπουλος, 2011). Κάτω από αυτές τις συνθήκες η χρήση των μοντέλων αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για την έρευνα και τον σχεδιασμό στρατηγικών για την αντιμετώπιση διαφόρων ειδών καταπονήσεων στη γεωργία (Geerts & Raes, 2009).

1.5. Η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στη γεωργία

Κατά τις προσεχείς δεκαετίες, η γεωργία αναμένεται να επηρεαστεί από την αλλαγή του κλίματος τόσο στην Ευρωπαϊκή Ένωση όσο και ανά τον κόσμο. Η παγκόσμια εγρήγορση χρόνο με τον

χρόνο εντείνεται καθώς οι ενδείξεις για τη σοβαρότητα των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής γίνονται όλο και πιο ανησυχητικές (Parry et al., 2001, FAO, 2009). Η ανάγκη προσδιορισμού των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στη γεωργία, οφείλεται στο γεγονός ότι η αλλαγή αυτή αναμένεται να μεταβάλλει τα αποθέματα διατροφής σε παγκόσμιο επίπεδο, μέσω της μεταβολής στη βροχόπτωση, της πιθανής αύξησης της θερμοκρασίας και του CO₂, της αύξησης των ακραίων καιρικών συμβάντων και της μεταβολής στη διασπορά εχθρών και ασθενειών των καλλιεργειών (Tubiello et al., 2007). Επιπλέον η αύξηση των ακραίων καιρικών συμβάντων μπορεί να οδηγήσει σε απρόβλεπτες διαφοροποιήσεις στις αποδόσεις, στην αύξηση των τιμών των παραγόμενων προϊόντων και σε αλλαγές σε εμπορικά ισοζύγια μεταξύ χωρών (Lobell et al., 2008). Οι τελευταίες εκτιμήσεις της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την αλλαγή του κλίματος επισημαίνουν ότι όλες οι κύριες καλλιέργειες (σιτάρι, ρύζι και αραβόσιτος) στις τροπικές και εύκρατες περιοχές προβλέπεται να επηρεασθούν αρνητικά από μία αύξηση της θερμοκρασίας της τάξης των 2°C ή περισσότερο σε σχέση με τα τέλη του 20^{ου} αιώνα, αν και υπάρχουν ενδείξεις ότι μεμονωμένες περιοχές δύναται να ευεργετηθούν (IPCC, 2014a).

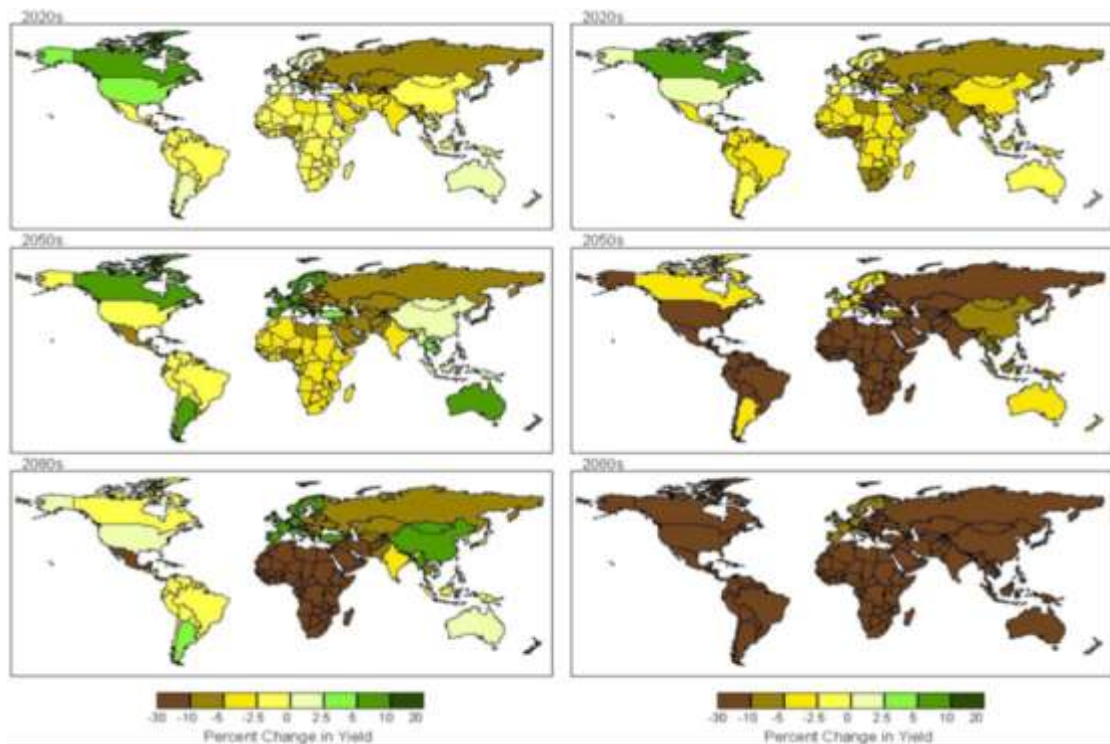
Σήμερα πλέον είναι αποδεκτό ότι οι αναπτυσσόμενες χώρες είναι περισσότερο ευάλωτες στην κλιματική αλλαγή, λόγω του κυρίαρχου ρόλου του γεωργικού τομέα στις οικονομίες τους, της έλλειψης κεφαλαίων για την αντιμετώπισή της και του γεγονότος ότι χαρακτηρίζονται κατά βάση από θερμότερα κλίματα με μεγαλύτερη έκθεση σε ακραία καιρικά γεγονότα (Parry et al., 2001). Επίσης οι κλιματικές μεταβολές μπορεί να έχουν ιδιαίτερα σοβαρές αρνητικές συνέπειες στον αναπτυσσόμενο κόσμο λαμβάνοντας υπόψη τον υποσιτισμό ενός δισεκατομμυρίου ανθρώπων (FAO, 2009). Σύμφωνα με τα Ηνωμένα Έθνη, μόνο στην Αφρική 220 εκατομμύρια άνθρωποι κάθε χρόνο υποφέρουν από την έλλειψη πόσιμου νερού, λόγω της κλιματικής αλλαγής. Η αγροτική παραγωγή κινδυνεύει λόγω της απώλειας καλλιεργήσιμης γης, των μικρότερων καλλιεργητικών περιόδων και της αβεβαιότητας σχετικά με το είδος και τον χρόνο εγκατάστασης συγκεκριμένων καλλιεργειών. Εκτιμάται ότι στη συγκεκριμένη ήπειρο τα έσοδα από τη γεωργία μπορεί να μειωθούν έως και 90% μέχρι το 2100 (UNFCCC, 2007). Η ίδια έκθεση για την Ασία αναφέρει ότι λόγω της κλιματικής αλλαγής και της εκτιμώμενης μείωσης της παραγωγικότητας των καλλιεργειών, κινδυνεύουν αρκετά εκατομμύρια ανθρώπων από ασιτία.

Όμως και η Ευρώπη αντιμετωπίζει ήδη τα πρώτα αντιληπτά συμπτώματα λόγω της μεταβολής του κλίματος. Το μεγάλο κύμα ζέστης που χτύπησε τη Δυτική Ευρώπη το καλοκαίρι του 2003 είχε δυσμενείς επιπτώσεις στην αγροτική παραγωγή. Από τις χώρες που επλήγησαν περισσότερο ήταν η Γαλλία με αποτέλεσμα τη μείωση της παραγωγής σε όλους σχεδόν τους τομείς της γεωργίας. Το 2007 ήταν μία χρονιά που χαρακτηρίστηκε από ακραία καιρικά φαινόμενα. Οι ιδιαίτερα υψηλές θερμοκρασίες εκείνου του καλοκαιριού είχαν ως συνέπεια την έξαρση των πυρκαγιών σε όλες σχεδόν τις χώρες της Νότιας Ευρώπης (Γαλλία, Ισπανία, Πορτογαλία) με εντονότερες και καταστρεπτικότερες τις φωτιές που ξέσπασαν στην Ελλάδα. Την ίδια περίοδο καταρρακτώδεις βροχοπτώσεις και πρωτοφανείς πλημμύρες έπληξαν αρκετές περιοχές της Αγγλίας με ιδιαίτερα σημαντικές καταστροφές τόσο στην παραγωγή όσο

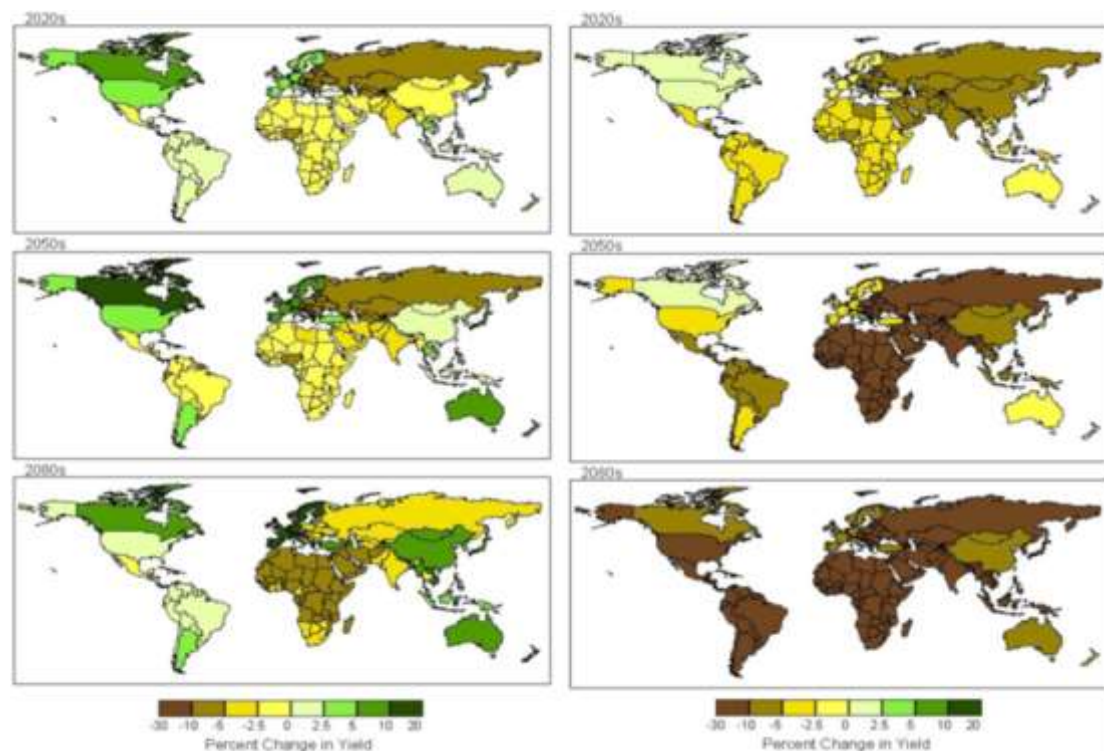
και στις υποδομές (Iglesias et al., 2007). Η σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας όμως σε πολλές περιοχές της ΒΔ Ευρώπης δείχνει να ευνοεί την καλλιέργεια του σιταριού, όπου παρουσιάζεται μια σταδιακή αύξηση των καλλιεργούμενων εκτάσεων σιταριού στη συγκεκριμένη ζώνη, ενώ αντίθετα στις ευρωμεσογειακές χώρες παρατηρείται μείωση του αντίστοιχου μεγέθους (Olesen & Bindí, 2002). Η αύξηση της θερμοκρασίας σε συνδυασμό με την αύξηση του επιπέδου CO₂ στην ατμόσφαιρα την περίοδο 1960-2000, έχουν επηρεάσει τις καλλιέργειες σε όλο τον πλανήτη. Οι αλλαγές αυτές δεν είναι ορατές εξαιτίας των ραγδαίων τεχνολογικών εξελίξεων στη γεωργία. Εν τούτοις, μελέτες που έχουν απομονώσει τις επιδράσεις της μεταβολής διαφόρων αβιοτικών παραγόντων όπως της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης έχουν αποδείξει ότι η γεωργική παραγωγή είτε ελαφρώς μειώνεται (0,05%), είτε ελαφρώς αυξάνεται (0,9%), ενώ σε συνδυασμό με την παρατηρούμενη αύξηση του CO₂ η παγκόσμια γεωργική παραγωγή έχει αυξηθεί κατά 2-4% (Mendelsohn, 2007).

Τα τελευταία χρόνια η έρευνα για τη μελέτη της επίδρασης της κλιματικής αλλαγής εντατικοποιείται, με αποτέλεσμα να διαθέτουμε πλέον επαρκή δεδομένα για να πραγματοποιήσουμε αξιόλογες εκτιμήσεις. Ακόμα και σήμερα όμως, η προσπάθεια εκτίμησης της επίπτωσης της κλιματικής αλλαγής στις καλλιέργειες εξακολουθεί να χαρακτηρίζεται από δυσκολίες λόγω της πολυπλοκότητας στην ερμηνεία των φυσιολογικών λειτουργιών του φυτού κάτω από διαφορετικές μελλοντικές βιοτικές και αβιοτικές συνθήκες. Σε παγκόσμιο επίπεδο οι αποδόσεις των διάφορων καλλιεργειών ποικίλουν ανάλογα με το κλιματικό μοντέλο και προκύπτουν από την εφαρμογή των κλιματικών σεναρίων σε συνδυασμό με τη δυνατότητα προσαρμογής στις μεταβολές. Οι Parry et al. (2004) εκτίμησαν τις πιθανές μεταβολές από την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στις βασικότερες καλλιέργειες (σιτάρι, αραβόσιτο, ρύζι και σόγια) χρησιμοποιώντας τα μοντέλα HadCM3 SRES³ με και χωρίς την επίδραση της αύξησης του CO₂, για τις δεκαετίες 2020, 2050 και 2080 και κατέληξαν στα αποτελέσματα που απεικονίζονται γραφικά στις Εικόνες 1.6, 1.7, 1.8.

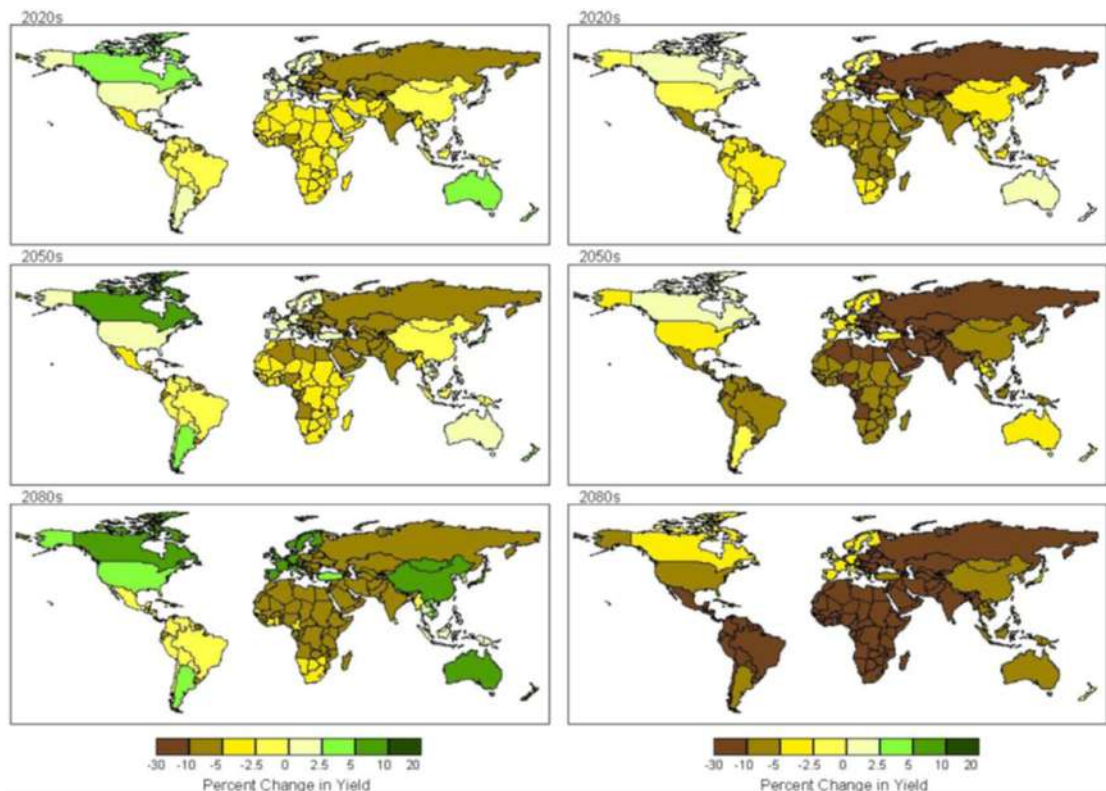
³ Στην παράγραφο 2.1 παρουσιάζονται τα σενάρια και τα μοντέλα κλιματικής αλλαγής που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη



Εικόνα 1.6: Πιθανές μεταβολές (σε σύγκριση με τη δεκαετία 1990) στις αποδόσεις καλλιεργειών με (αριστερά) και χωρίς (δεξιά) την επίδραση CO₂, για το σενάριο A1FI (Parry et al., 2004).



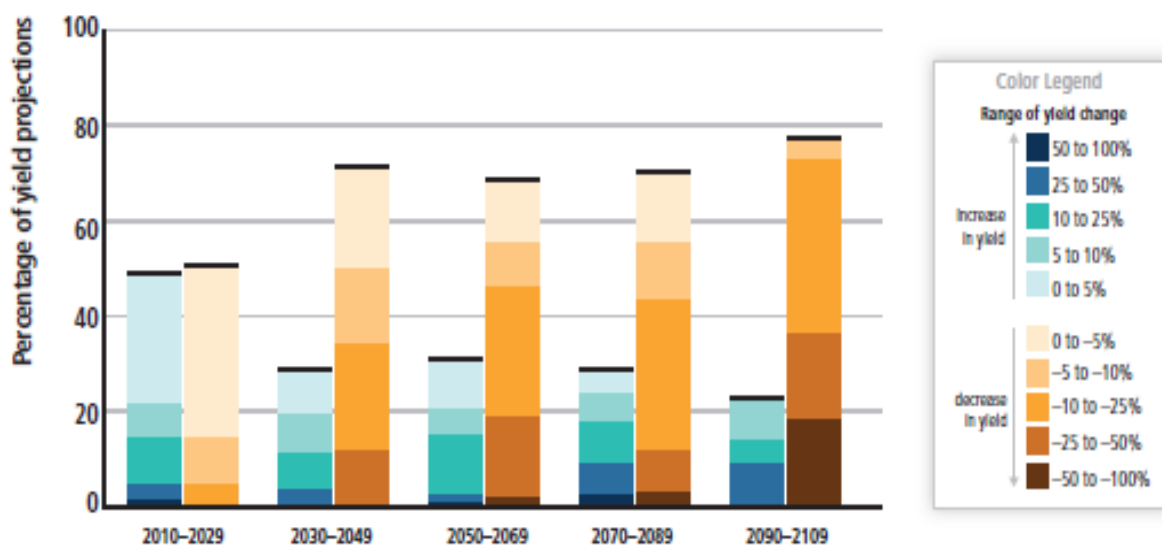
Εικόνα 1.7: Πιθανές μεταβολές (σε σύγκριση με τη δεκαετία 1990) στις αποδόσεις καλλιεργειών με (αριστερά) και χωρίς (δεξιά) την επίδραση CO₂, για το σενάριο A2a (Parry et al., 2004).



Εικόνα 1.8: Πιθανές μεταβολές (σε σύγκριση με τη δεκαετία 1990) στις αποδόσεις καλλιεργειών με (αριστερά) και χωρίς (δεξιά) την επίδραση CO₂, για το σενάριο B2a (Parry et al., 2004).

Το σενάριο A1FI είναι το θερμότερο όλων με τη μεγαλύτερη αύξηση CO₂ (810ppm) για το 2080, όπου προβλέπεται μείωση στις αποδόσεις έως και 30% ιδιαίτερα στην Αφρική και στην Ασία. Το σενάριο A2a (709ppm) είναι κατά 2°C ψυχρότερο σε σχέση με το A1FI. Στη συγκεκριμένη περίπτωση η μείωση στις αποδόσεις προσεγγίζει το 10% σε διάφορες περιοχές του πλανήτη, όταν δεν λαμβάνεται υπόψη η αύξηση του CO₂, ενώ όταν αυτό συμπεριλαμβάνεται οι μειώσεις είναι ακόμα μικρότερες. Τέλος στο σενάριο B2a (561ppm), το οποίο είναι το ψυχρότερο, οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής μετριάζονται, ιδιαίτερα στις ζώνες της Αφρικής και της Ν. Αμερικής.

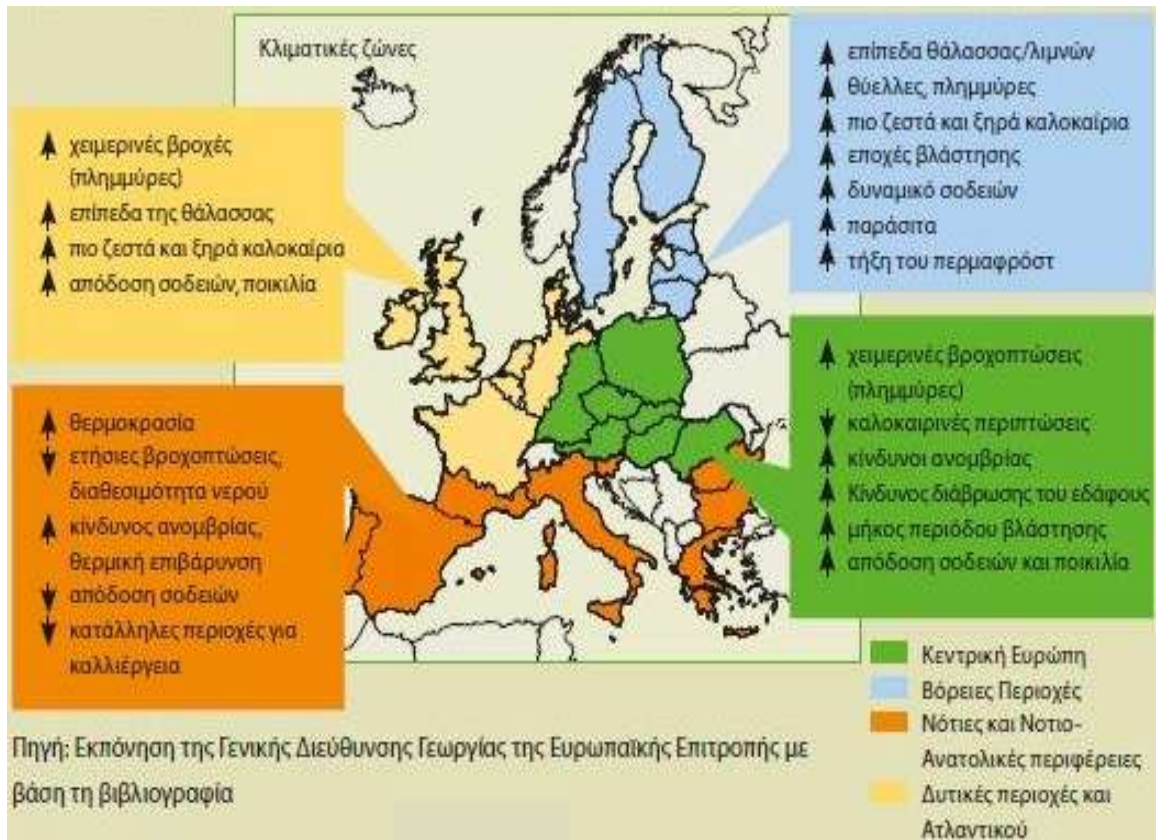
Στην τελευταία της έκθεση η Διακυβερνητική Επιτροπή για την αλλαγή του κλίματος διατυπώνει την άποψη ότι οι προβλεπόμενες επιπτώσεις ποικίλουν μεταξύ των καλλιεργειών, των περιοχών και των σεναρίων προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή. Περίπου 10% των προβλέψεων για την περίοδο 2030-2049 δείχνουν αύξηση στις αποδόσεις πάνω από 10%, ενώ ένα 10% των προβλέψεων για την ίδια περίοδο δείχνουν απώλειες στις αποδόσεις των καλλιεργειών περισσότερο από 25%, σε σύγκριση με τα τέλη του 20^{ου} αιώνα. Μετά το 2050 η πιθανότητα περισσότερο αρνητικών επιπτώσεων αυξάνεται και εξαρτάται από το ύψος της θέρμανσης του πλανήτη. Όλες αυτές οι αλλαγές θα συμβούν μέσα στο γενικότερο πλαίσιο ραγδαίας αύξησης της ζήτησης της γεωργικής παραγωγής (IPCC, 2014a. Εικ. 1.9).



Εικόνα 1.9: Περιληπτική απεικόνιση των μεταβολών στις αποδόσεις των καλλιεργειών εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής. Το σχεδιάγραμμα περιλαμβάνει προβλέψεις για διαφορετικά κλιματικά σενάρια για τροπικές και εύκρατες περιοχές του πλανήτη. Στον οριζόντιο άξονα απεικονίζονται οι χρονικές περιόδους των προβλέψεων ενώ στον κάθετο άξονα το ποσοστό των προβλεπόμενων μεταβολών στις αποδόσεις των καλλιεργειών (IPCC, 2014a).

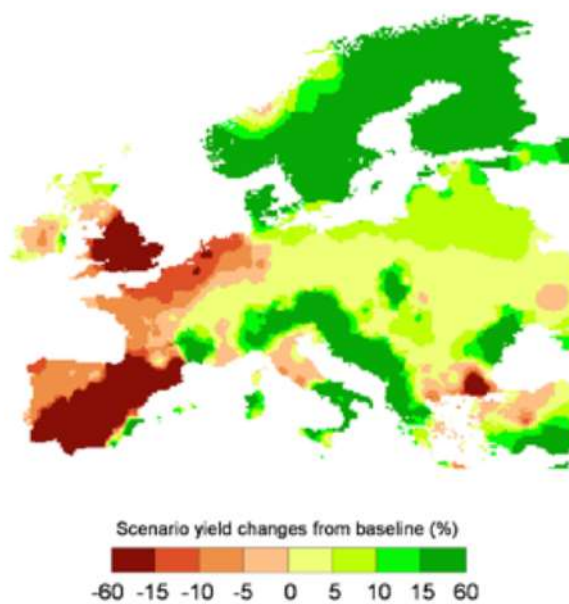
Αντίστοιχες μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί και σε αρκετές ευρωπαϊκές χώρες, όπως η έκθεση Stern για το Ηνωμένο Βασίλειο (2006), Alexandron για τη Βουλγαρία (2000), για ολόκληρες περιοχές όπως το PESETA Research Project (Iglesias et al., 2009) για την Ευρώπη, των Giannakopoulos et al. (2009), για τη Μεσογειακή λεκάνη.

Ιδιαίτερα σε επίπεδο Ε.Ε ο γεωγραφικός διαχωρισμός ανάλογα με τις προβλεπόμενες αλλαγές στις γεωργικές αποδόσεις, αποτυπώνεται στον παρακάτω χάρτη (Ε.Σ., Εικ. 1.10). Η ζώνη 4 (Μεσογειακή) περιλαμβάνει τις χώρες της νότιας Ευρώπης (Ελλάδα, Ιταλία, Ισπανία, Πορτογαλία). Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις αυτές, για τις Μεσογειακές χώρες προβλέπεται αύξηση της θερμοκρασίας με παράλληλη μείωση των βροχοπτώσεων, αύξηση του κινδύνου ξηρασιών, μείωση της γεωργικής παραγωγής και μείωση των κατάλληλων καλλιεργήσιμων εκτάσεων.

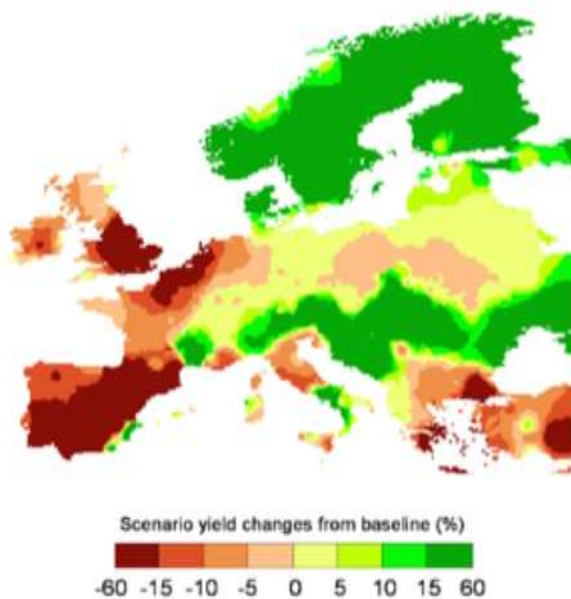


Εικόνα 1.10: Χάρτης με τις προβλεπόμενες επιπτώσεις στην γεωργική παραγωγή σε 4 ζώνες γεωργικής σημασίας της Ευρώπης (Ε.Σ.). Η Ελλάδα ανήκει στη ζώνη 4 μαζί με την Ιταλία, την Ισπανία και την Πορτογαλία. Η ζώνη 4 (Μεσογειακή) θεωρείται ως η πλέον ευαίσθητη στην κλιματική αλλαγή.

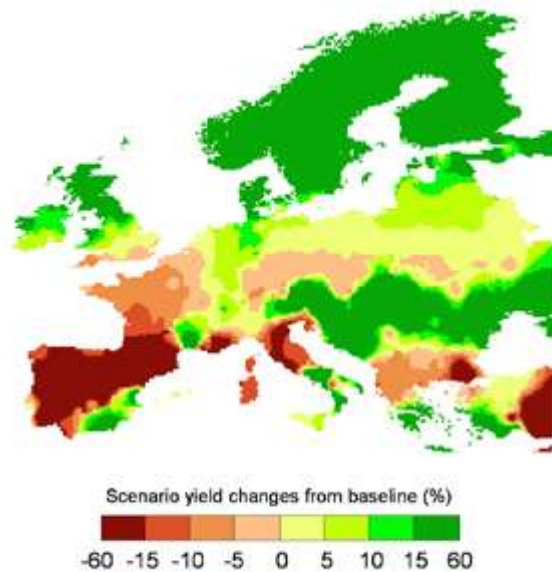
Αναφορικά με τις μελλοντικές προβλέψεις για τη γεωργική παραγωγή, η έκθεση του ερευνητικού προγράμματος PESETA της Ευρωπαϊκής Ένωσης, προβλέπει από μηδενικές μεταβολές έως μείωση κατά 27% στη νότια Ευρώπη, ανάλογα με το σενάριο και το κλιματικό μοντέλο που χρησιμοποιείται (Εικ. 1.11-1.14).



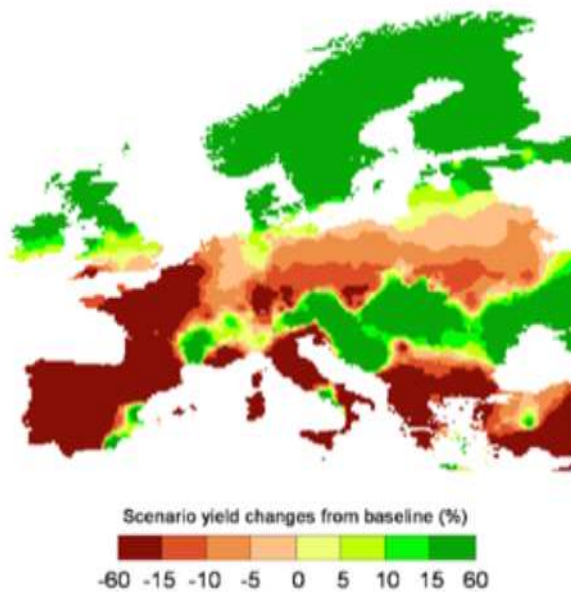
Εικόνα 1.11: Μεταβολές στη γεωργική παραγωγή στην Ευρώπη για τη δεκαετία 2080, για το σενάριο B2HadAM3h με αύξηση θερμοκρασίας κατά 2,5°C (Iglesias et al., 2009).



Εικόνα 1.12: Μεταβολές στη γεωργική παραγωγή στην Ευρώπη για τη δεκαετία 2080, για το σενάριο A2HadAM3h με αύξηση θερμοκρασίας κατά 3,9°C (Iglesias et al., 2009).

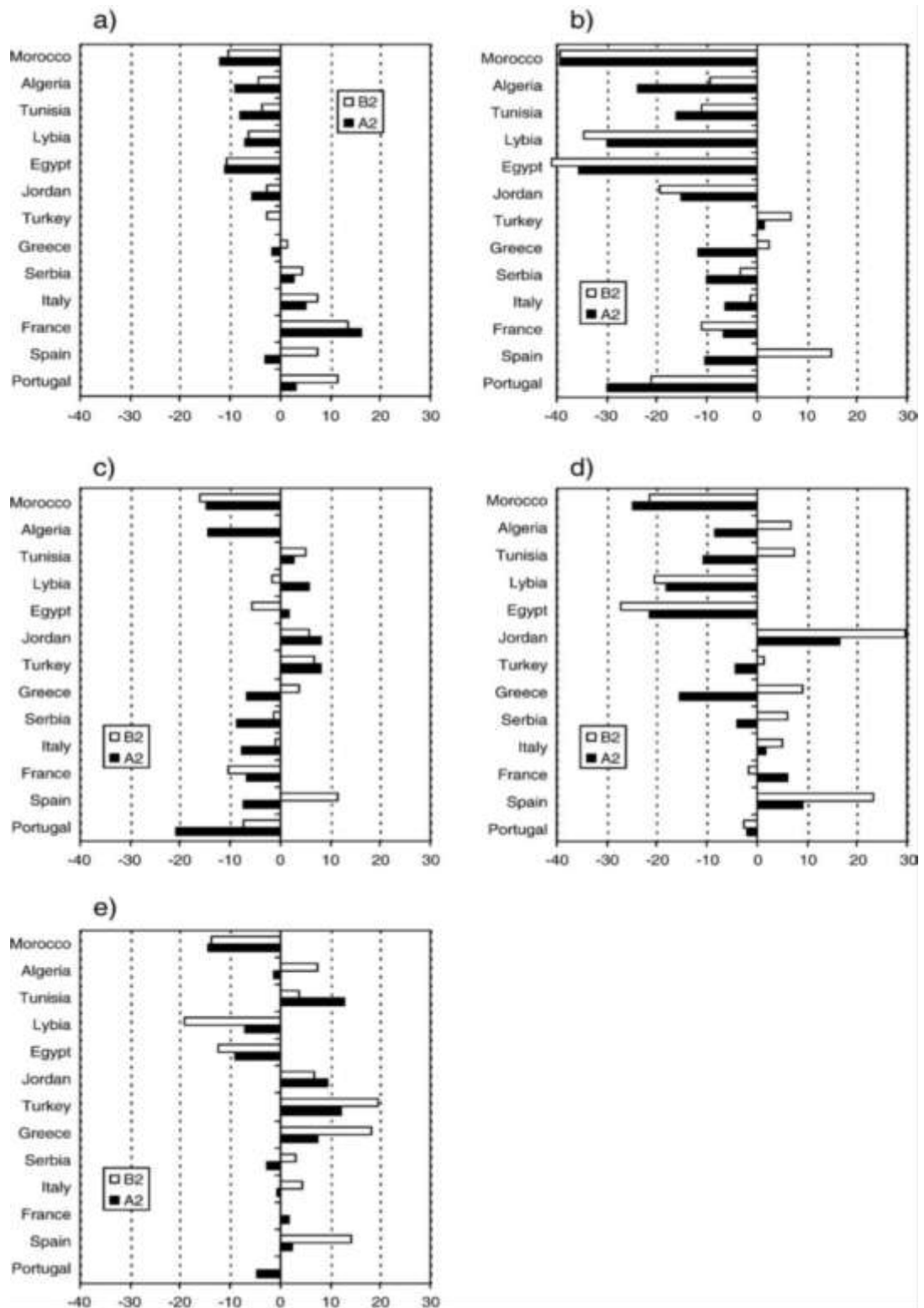


Εικόνα 1.13: Μεταβολές στη γεωργική παραγωγή στην Ευρώπη για τη δεκαετία 2080, για το σενάριο B2 ECHAM4 με αύξηση θερμοκρασίας κατά 4,1°C (Iglesias et al., 2009).



Εικόνα 1.14: Μεταβολές στη γεωργική παραγωγή στην Ευρώπη για τη δεκαετία 2080, για το σενάριο A2 ECHAM4 με αύξηση θερμοκρασίας κατά 5,4°C (Iglesias et al., 2009).

Οι Giannakopoulos et al. (2009), εκτίμησαν την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στις καλλιέργειες στη Μεσογειακή λεκάνη, χρησιμοποιώντας το μοντέλο HadCM3 για τα σενάρια A2 και B2 με παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας κατά 2°C για την περίοδο 2031-2060. Σύμφωνα με τη μελέτη αυτή, για την περιοχή της βόρειας Μεσογείου, στην οποία περιλαμβάνεται και η Ελλάδα, η αλληλεπίδραση κλιματικών μεταβολών και αύξησης του CO₂ αναμένεται να προκαλέσει μεταβολές στις αποδόσεις από -9,33% για τις βολβώδεις καλλιέργειες (A2) έως +12,49% για τα σιτηρά (B2) (Εικ. 1.15).



Εικόνα 1.15: Εκτίμηση της επίδρασης της κλιματικής αλλαγής για τα σενάρια A2 και B2, με αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας κατά 2°C για την περίοδο 2031-2060 σε διάφορες χώρες της Μεσογειακής λεκάνης: a) C4 καλοκαιρινά φυτά, b) ψυχάνθη, c) C3 καλοκαιρινά φυτά, d) βολβώδη και e) σιτηρά (Giannakopoulos et al., 2009).

Οι Karetanaki & Rosenzweig (1997), σε αντίστοιχες έρευνες για τον αραβόσιτο προέβλεψαν μείωση των αποδόσεων στη Θεσσαλία έως και 20%. Αντίστοιχη μελέτη του Υπουργείου Περιβάλλοντος

(2007) για τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στη γεωργία, έδειξε ότι για την περίοδο 2071-2100 η παραγωγή αραβοσίτου αναμένεται να μειωθεί έως και 55%, ενώ η παραγωγή σκληρού σιταριού θα παρουσιάσει μεγάλη διαφοροποίηση από -67% έως +15%, ανάλογα με το σενάριο. Για το βαμβάκι η ίδια μελέτη έδειξε ότι στις περιοχές της Μακεδονίας και Θεσσαλίας θα παρουσιαστεί μείωση έως και 29%, ενώ στη Θράκη θα αυξηθεί έως και 21%. Όσον αφορά την αμπελουργία, η εκτίμηση δείχνει διαφοροποίηση στην παραγωγή από -59% έως +55%, ανάλογα με το σενάριο και την περιοχή. Για τις δενδρώδεις καλλιέργειες οι επιπτώσεις αναμένεται να είναι αρνητικές, ιδιαίτερα στη νότια Ελλάδα και στην Κρήτη. Τέλος, σε πρόσφατη μελέτη για τις περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα της Επιτροπής Μελέτης Επιπτώσεων της Κλιματικής Αλλαγής (ΕΜΕΚΑ), οι Καραμάνος και Βολουδάκης (2011) εκτίμησαν ότι η αναμενόμενη μείωση των βροχοπτώσεων και η αύξηση της συχνότητας και της έντασης των ακραίων φαινομένων θα μπορούσαν να οδηγήσουν στην υπόθεση ότι οι υφιστάμενες προβλέψεις θα επιβαρυνθούν κατά 5-10% επιπλέον. Από τα σενάρια κλιματικής αλλαγής, το B2 (αύξηση θερμοκρασίας κατά 3,2°C, έως το 2100) φαίνεται ότι θα ευνοήσει τη φυτική παραγωγή, ιδιαίτερα βορειότερα και ανατολικά, δηλαδή οι περιοχές της Μακεδονίας και της Θράκης θεωρείται ότι θα είναι οι περισσότερο ευνοημένες ή λιγότερο ζημιωμένες, ανάλογα με την περίπτωση. Το Σενάριο A2 (αύξηση πάνω από 4,5°C, έως το 2100) αναμένεται να έχει αρνητικές επιπτώσεις στη γεωργική παραγωγή. Η πλέον ευαίσθητη αροτραία καλλιέργεια αναμένεται να είναι το σιτάρι, ενώ η παραγωγή βαμβακιού αναμένεται να υποστεί τις μεγαλύτερες μειώσεις τόσο υπό το Σενάριο A1B (αύξηση 4°C, έως το 2100) όσο και υπό το Σενάριο A2 στην περιοχή της Κεντρικής και Ανατολικής Ελλάδος. Οι επιπτώσεις των κλιματικών μεταβολών στην παραγωγή των δενδρωδών καλλιεργειών μέχρι τα μέσα του 21^{ου} αιώνα αναμένεται να είναι από ουδέτερες έως θετικές. Οι αρνητικές επιπτώσεις δείχνουν να αυξάνονται στο τέλος του αιώνα, ιδίως στη νότια και τη νησιωτική Ελλάδα. Η καλλιέργεια κηπευτικών δείχνει να μετατοπίζεται βορειότερα και η καλλιεργητική περίοδος να αυξάνεται σε σχέση με τα σημερινά δεδομένα, λόγω των ηπιότερων-θερμότερων χειμώνων, με αποτέλεσμα την αύξηση της παραγωγής. Συμπερασματικά, όλες οι έως τώρα μελέτες, οδηγούνται στο συμπέρασμα ότι τα επόμενα χρόνια η περιοχή της νότιας Ευρώπης και ειδικότερα της Μεσογείου δείχνουν έναν ιδιαίτερα μεγάλο βαθμό ευαισθησίας αναφορικά με τη φυτική παραγωγή, γεγονός με εξαιρετική σημασία για την Ελλάδα.

1.6. Η επίδραση της γεωργίας στην κλιματική αλλαγή

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, μεγάλο ρόλο στη μεταβολή του κλίματος διαδραματίζουν τα αέρια της ατμόσφαιρας που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Σε πρόσφατη μελέτη οι Vermeulen κ.ά. (2012), υπολόγισαν ότι η αλυσίδα παραγωγής, διαχείρισης και μεταφοράς τροφής σε παγκόσμιο επίπεδο, συμβάλλει κατά ένα τρίτο στη συνολική παραγωγή αερίων του θερμοκηπίου από ανθρωπογενή αίτια. Οι Smith et al. (2007) εκτίμησαν ότι η γεωργία μόνο σε επίπεδο παραγωγής τροφής

συμβάλλει σε ποσοστό 10-12% στην παραγωγή αερίων του θερμοκηπίου παγκοσμίως, ενώ τα σημαντικότερα από αυτά είναι τα CO₂, CH₄ και N₂O (Cole et al., 1997, Paustian et al., 2004). Το CO₂ απελευθερώνεται κυρίως μέσω της μικροβιακής αποσύνθεσης ή μέσω της καύσης φυτικών υπολειμμάτων και εδαφικής οργανικής ύλης. Το CH₄ παράγεται όταν οργανική ύλη αποσυντίθεται σε αναερόβιες συνθήκες κυρίως μέσω της πέψης των ζώων, από την κοπριά και από τις καλλιέργειες ρυζιού υπό κατάκλυση (Mosier et al., 1998). Το άζωτο (N) μετατρέπεται σε N₂O μέσα στο έδαφος ή στην κοπριά και συνήθως η διαδικασία αυτή γίνεται πιο έντονη όπου τα αποθέματα N πλεονάζουν έναντι των απαιτήσεων των φυτών, ιδιαίτερα κάτω από υγρές συνθήκες (Oenema et al., 2005, Smith & Conen, 2004).

Υπολογίζεται ότι οι ετήσιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που προκαλούνται από τη γεωργική δραστηριότητα πρόκειται να αυξηθούν στο μέλλον εξαιτίας της κλιμακούμενης ζήτησης για τροφή, της αλλαγής των διατροφικών συνηθειών μεγάλου τμήματος του παγκόσμιου πληθυσμού και των αυξημένων απαιτήσεων σε ένδυση. Ωστόσο οι νέες τεχνολογίες σε συνδυασμό με βελτιωμένες πρακτικές διαχείρισης των καλλιεργειών μπορούν να επιτρέψουν τη μείωση των παραγόμενων αερίων θερμοκηπίου ανά μονάδα παραγόμενης τροφής (Smith et al., 2007). Οι μελλοντικές προβλέψεις για τις εκτιμώμενες εκπομπές αυτών των αερίων από τη γεωργική δραστηριότητα επηρεάζονται από τις παρακάτω τάσεις:

- Οι αποδόσεις ανά μονάδα καλλιεργούμενης γης αναμένεται να αυξηθούν, με μειωμένο ωστόσο ρυθμό συγκριτικά με τις προηγούμενες δεκαετίες, λόγω της μικρότερης ανάπτυξης της τεχνολογίας και της μεγαλύτερης χρήσης γεωργικών γαιών με χαμηλή παραγωγική δυνατότητα. Η χρήση τέτοιων γαιών αυξάνει τον κίνδυνο διάβρωσης και υποβάθμισης των εδαφών με αβέβαιο αντίκτυπο στις εκπομπές CO₂ (Lal, 2004. Van Oost et al., 2004).
- Αναφορικά με την άροση των γεωργικών εδαφών, έχει διαπιστωθεί ότι ολοένα και περισσότερο υιοθετούνται σε παγκόσμιο επίπεδο πρακτικές συντηρητικής ή μηδενικής άροσης. Ωστόσο τέτοιες πρακτικές συχνά συνδυάζονται με περιοδικά οργώματα που αυξάνουν την αβεβαιότητα του υπολογισμού του ισοζυγίου των αερίων του θερμοκηπίου (Smith et al., 2007).
- Επιπλέον προσπάθειες βελτίωσης της παραγωγικότητας των καλλιεργειών απαιτούν περισσότερη άρδευση και λίπανση αυξάνοντας τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (Mosier, 2001).
- Η αυξανόμενη ζήτηση σε κρέας αναμένεται να προκαλέσει αλλαγές στη χρήση γης, κυρίως μετατροπής δασικών εκτάσεων σε γεωργικές, οδηγώντας σε αύξηση των εκπομπών του CO₂ και σε ζήτηση περισσότερων ποσοτήτων κτηνοτροφών (π.χ., δημητριακών ή ψυχανθών). Επίσης μεγαλύτερες εκμεταλλεύσεις εκτροφής βοοειδών θα προκαλέσουν περισσότερες εκπομπές CH₄ και N₂O, αν και η χρήση σύγχρονης τεχνολογίας αναμένεται να μετριάσει αυτή την αύξηση (Smith et al., 2007).
- Η εντατική παραγωγή βόειου, χοιρινού κρέατος και πουλερικών είναι όλο και περισσότερο κοινή, οδηγώντας σε αύξηση της παραγόμενης κοπριάς με παράλληλη αύξηση των εκλυόμενων ποσοτήτων

αερίων του θερμοκηπίου. Αυτό το φαινόμενο είναι περισσότερο έντονο στις αναπτυσσόμενες χώρες της νοτιοανατολικής Ασίας, της Λατινικής Αμερικής αλλά και στην ανεπτυγμένη Βόρεια Αμερική (Smith et al., 2007).

- Οι αλλαγές σε θέματα αγροτικής πολιτικής, όπως οι επιδοτήσεις, καθώς και διακρατικές και υπερατλαντικές συμφωνίες αναμένεται να ενισχύσουν το διεθνές εμπόριο αγροτικών προϊόντων αυξάνοντας και τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου λόγω της μεγαλύτερης έντασης στις μεταφορές (Smith et al., 2007).
- Υπάρχει μια ανερχόμενη τάση για χρήση περισσότερων βιο-προϊόντων φιλικών προς το περιβάλλον (όπως βιοπλαστικά, βιοκαύσιμα και βιομάζα για την παραγωγή ενέργειας) που αναμένεται να επιδράσει αρνητικά στην εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου στο μέλλον (Smith et al., 2007).

1.7. Μετριασμός των επιπτώσεων και προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή

Με τον όρο μετριασμός (mitigation) της κλιματικής αλλαγής εννοούμε το σύνολο των δράσεων που στοχεύουν στον περιορισμό των αρνητικών επιπτώσεων είτε μέσω της μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου είτε μέσω της αύξησης των δυνατοτήτων απορρόφησης και αποθήκευσης αυτών των αερίων που είναι υπεύθυνα για την κλιματική αλλαγή (IPCC, 2007).

Η γεωργία εκτός από τη σημαντική συμβολή στην εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου, είναι και μεγάλη «δεξαμενή» αποθήκευσης τέτοιων αερίων, μέσω της δέσμευσής τους στα φυτά και στο έδαφος (OECD, 2010). Στην παρούσα φάση, στον γεωργικό τομέα δεν εφαρμόζεται η αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει» για τις εκπομπές αερίων και μέχρι στιγμής δεν υπάρχει σχεδιασμός για την εφαρμογή αυτού του κανόνα σε παγκόσμιο ή εθνικό επίπεδο. Παρόλα ταύτα, πιο πρόσφατες εκτιμήσεις υποδεικνύουν μείωση των εκπομπών τέτοιων αερίων εξαιτίας της μείωσης του ρυθμού αποψίλωσης των δασών και αύξησης των αναδασώσεων σε παγκόσμιο επίπεδο. Οι εκτιμήσεις αυτές ωστόσο εμπεριέχουν ένα βαθμό αβεβαιότητας λόγω των μη ακριβών μεθόδων υπολογισμού αυτού του μεγέθους κατά το παρελθόν. Επιπλέον, για το μέλλον οι προβλέψεις είναι μάλλον ενθαρρυντικές όσον αφορά τον περιορισμό αυτών των εκπομπών βασιζόμενες στο γεγονός ότι οι καλλιεργητικοί χειρισμοί και κυρίως η χρήση γης στη γεωργία και στη δασοκομία αποκτούν πιο αειφορικά χαρακτηριστικά (IPCC, 2014b). Η διαχείριση των αερίων που εκλύονται από τη γεωργική δραστηριότητα, είναι μια νέα πρόκληση, όμως το επίπεδο συνειδητοποίησης ιδίως μεταξύ των αγροτών αναφορικά με την ανάγκη αντιμετώπισής της, αυξάνεται με πολύ αργό ρυθμό.

Για τον μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής και της μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου πρέπει να ληφθούν μέτρα όπως (Δηλανά, 2010):

- i. εφαρμογή συστημάτων ολοκληρωμένης διαχείρισης των καλλιεργειών με σκοπό τις μειωμένες εισροές στα αγροοικοσυστήματα
 - μείωση κατά 30% των εφαρμοζόμενων ποσοτήτων λιπασμάτων που θα συμβάλλει στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και κυρίως οξειδίων του αζώτου και μείωση της νιτρορρύπανσης
 - ελαχιστοποίηση της εφαφοκατεργασίας
 - μείωση των φυτοπροστατευτικών προϊόντων
- ii. επέκταση βιολογικής γεωργίας και κτηνοτροφίας που αποσκοπεί στη βελτίωση του ισοζυγίου των αερίων του θερμοκηπίου μέσω της αύξησης της οργανικής ουσίας των εδαφών και της μείωσης των εκπομπών του οξειδίου του αζώτου και μεθανίου.
- iii. εγκατάσταση συστημάτων διαχείρισης ζωικών απορριμμάτων
- iv. προώθηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας τόσο για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών που προκύπτουν από τη γεωργία όσο και για την παραγωγή ενέργειας που θα διατεθεί σε άλλες παραγωγικές διαδικασίες.
- v. δάσωση γεωργικών γαιών και αποκατάσταση δασοκομικού δυναμικού

Σε εθνικό επίπεδο αρκετές πρωτοβουλίες λαμβάνονται στη βάση της εισαγωγής εγχώριων προσεγγίσεων μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, όπως στο Ηνωμένο Βασίλειο, στον Καναδά και στη Νέα Ζηλανδία. Ο Καναδάς έχει προχωρήσει σε μια σειρά από προτάσεις που περιλαμβάνουν δασώσεις, διαχείριση εδάφους κ.τ.λ., ενώ η Νέα Ζηλανδία έχει προχωρήσει στην εισαγωγή ενός πλαισίου αγοράς εκπομπών έως το 2013 (Δηλανά, 2010).

Σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης, ήδη σχεδιάζονται πολιτικές για τον μετριασμό της επίδρασης της κλιματικής αλλαγής. Σύμφωνα με πρόσφατη έκθεση (E.C., 2009), στην Ευρωπαϊκή Γεωργία υπάρχει αναξιοποίητο δυναμικό για οικονομικά αποδοτικές δράσεις μετριασμού. Η βιωσιμότητα των γεωργικών εκμεταλλεύσεων είναι η απαραίτητη βάση για να διαδοθούν κλιματικά φιλικές δράσεις, ενώ παράλληλα υπάρχει ανάγκη να ενταθεί η συνειδητοποίηση και οι τεχνικές γνώσεις στους γεωργούς σε θέματα μετριασμού.

Ο μετριασμός της κλιματικής αλλαγής, αποτελεί μέρος μιας ολοκληρωμένης προσέγγισης της αειφορικής γεωργίας, ώστε να μειώσει αντιφάσεις με άλλους οικονομικούς, περιβαλλοντικούς και κοινωνικούς στόχους, ενώ θα διασφαλίζει τον μετριασμό και σε παγκόσμιο επίπεδο. Οι συνέργιες μεταξύ μετριασμού και προσαρμογής είναι ιδιαίτερα σημαντικές (IPCC, 2014b). Το δυναμικό μετριασμού της ευρωπαϊκής γεωργίας μπορεί να πραγματοποιηθεί καλύτερα με τη διατήρηση υψηλής παραγωγικότητας σε συνδυασμό με την αειφορία. Σημαντική παράμετρος στον σχεδιασμό πολιτικών μετριασμού, αποτελεί και η λήψη μέτρων για τη διαχείριση και την προστασία πλούσιων σε οργανική ύλη γεωργικών εδαφών. Είναι σημαντικό, σύμφωνα με την παραπάνω έκθεση, οι δράσεις μετριασμού να μην καθυστερούν και επιπλέον να ενισχυθεί περαιτέρω η έρευνα για τη μείωση των εκπομπών στη γεωργία και για τη σχέση

της με άλλους κοινωνικούς στόχους, εστιάζοντας ιδιαίτερα στις καινοτόμες, αειφορικές και με χαμηλές εκπομπές γεωργικές πρακτικές και εκτροφές ζώων. Επιπλέον, τονίζεται η σημασία της ενημέρωσης των καταναλωτών για τις κλιματικές επιπτώσεις των επιλογών διατροφής τους, η οποία μπορεί να κατευθύνει την κατανάλωση και την παραγωγή σε πιο φιλικές προς το κλίμα επιλογές. Ένα μέσον ενημέρωσης αποτελούν και τα περιβαλλοντικά σήματα, των οποίων η αξιοπιστία πρέπει να διασφαλιστεί λαμβάνοντας υπόψη την πολυπλοκότητα στην αλυσίδα παραγωγής τροφίμων.

Με τον όρο προσαρμογή (adaptation) στην κλιματική αλλαγή αναφερόμαστε σε όλες εκείνες τις ενέργειες και παρεμβάσεις σε φυσικά και ανθρωπογενή συστήματα ως αντίδραση στις επιπτώσεις που συμβαίνουν ή πρόκειται να συμβούν, λόγω της μεταβολής του κλίματος. Με τη διαδικασία της προσαρμογής γίνεται προσπάθεια είτε περιορισμού των αρνητικών συνεπειών, είτε εκμετάλλευσης των θετικών επιδράσεων της κλιματικής αλλαγής (IPCC, 2007). Οι πρακτικές προσαρμογής διαφοροποιούνται ανάλογα με την περιοχή και το εύρος εφαρμογής, τον τρόπο και τα μέσα εφαρμογής, τον χρόνο και τη διάρκεια.

Βραχυπρόθεσμα Μέτρα

Τα μέτρα αυτά είναι ενέργειες που μπορούν να εφαρμοσθούν άμεσα και αποτελούν την πρώτη «γραμμή άμυνας» απέναντι στην κλιματική αλλαγή. Μερικά από αυτά είναι:

-Αλλαγή στην ημερομηνία εγκατάστασης της καλλιέργειας (σπορά ή φύτευση)

Για τις ανοιξιότικες καλλιέργειες η θέρμανση του κλίματος θα επιτρέψει την πρωιμότερη εγκατάσταση (σπορά ή φύτευση) της φυτείας σε σχέση με αυτό που ακολουθείται σήμερα. Η πρακτική αυτή της πρωίμησης των καλλιεργειών γενικά απομακρύνει τον κίνδυνο πρόκλησης ζημιών λόγω των υψηλών καλοκαιρινών θερμοκρασιών που αναμένεται να επικρατήσουν. Η πρωίμη εγκατάσταση ποικιλιών με μεγάλο βιολογικό κύκλο θα αυξήσει τις παραγωγικές δυνατότητες της καλλιέργειας, εξασφαλίζοντας περισσότερη υγρασία και μειώνοντας την καταπόνηση λόγω υψηλών θερμοκρασιών στα κρίσιμα φαινολογικά στάδια των φυτών (Orlandini et al., 2009). Σε περιπτώσεις όπου η αύξηση της θερμοκρασίας και η μείωση των βροχοπτώσεων αναμένεται να είναι περισσότερο έντονες, όπως στις κλιματικές ζώνες της νότιας και νησιωτικής Ελλάδας, προτείνεται η χρησιμοποίηση καλλιεργειών και ποικιλιών με βραχύ βιολογικό κύκλο για την αποφυγή ξηροθερμικών συνθηκών κατά την περίοδο άνθησης και γεμίσματος των καρπών (Van Ittersum et al., 2003).

-Αλλαγή στις εισροές.

Οι διάφορες εισροές που χρησιμοποιούνται στις γεωργικές εκμεταλλεύσεις αποσκοπούν στη μεγιστοποίηση της παραγωγής και του κέρδους. Ωστόσο λόγω της κλιματικής αλλαγής οι πρακτικές αυτές πρόκειται να μεταβληθούν. Η προβλεπόμενη αύξηση στη συγκέντρωση CO₂ θα αυξήσει την απορρόφηση και δέσμευση αζώτου από τις καλλιέργειες, συνεπώς θα αυξηθούν οι αζωτούχες λιπάνσεις. Η κατάσταση αυτή βρίσκεται σε αντίθεση με την τάση μείωσης των νιτρικών λιπάνσεων που επικρατεί

σήμερα, ιδιαίτερα σε περιοχές της χώρας που εδαφολογικά χαρακτηρίζονται φτωχές σε άζωτο (Sinclair et al., 2000).

Αντιθέτως, η βέβαιη μείωση στη γεωργική παραγωγή και η μείωση των καλλιεργούμενων εκτάσεων, στην περίπτωση των ακραίων κλιματικών μεταβολών (μεγάλη αύξηση στη θερμοκρασία, μεγάλη μείωση στις βροχοπτώσεις), πιθανόν να περιορίσει τις λιπάνσεις (Bindi & Howden., 2004).

Όσον αφορά τη χρήση φυτοφαρμάκων, αυτή θα ακολουθήσει την τάση αύξησης ή μείωσης των προσβολών. Για την ελληνική επικράτεια, σε γενικές γραμμές, αναμένεται αύξηση των προσβολών από εχθρούς, ασθένειες και ζιζάνια είτε λόγω της αυξημένης θερμοκρασίας, είτε λόγω των άκαιρων και ραγδαίων βροχοπτώσεων, είτε λόγω εισβολής νέων ειδών, μικροοργανισμών, εχθρών και φυτοπαρασίτων από θερμότερες περιοχές.

-Μέτρα για τη διατήρηση του ύδατος.

Αρκετές πρακτικές εφαρμόζονται σήμερα για τη διατήρηση του ύδατος στις γεωργικές εκμεταλλεύσεις. Οι πρακτικές αυτές θα μπορούσαν να εφαρμοσθούν και για την προσαρμογή της γεωργίας στην κλιματική αλλαγή και περιλαμβάνουν τη χρησιμοποίηση των φυτικών υπολειμμάτων και τη διαχείριση των αρδεύσεων. Η διατήρηση μέρους ή του συνόλου των φυτικών υπολειμμάτων στον αγρό προστατεύει το έδαφος από ερημοποίηση και διάβρωση, μειώνει την απώλεια ύδατος λόγω μείωσης της εξάτμισης, μειώνει τη θερμοκρασία του εδάφους και αυξάνει την εδαφική απορρόφηση νερού από τις βροχοπτώσεις (Orlandini et al., 2009, Καραμάνος, 2011). Επίσης η διαχείριση των υδάτινων πόρων μπορεί να αποδειχθεί καθοριστική στην προσαρμογή στις μεταβολές του κλίματος. Η αλλαγή του κλίματος επηρεάζει τη διαθεσιμότητα του νερού και επομένως μπορεί να επηρεάσει και τα σύνθετα συστήματα που εξαρτώνται απ' αυτό, όπως η γεωργία αλλά και η φυσική βλάστηση, επιδρώντας στα κύρια βιολογικά, χημικά και φυσικά τους στοιχεία. Συνεπώς, πρέπει να ληφθούν υπόψη και να προσαρμοσθούν όλες οι συνθήκες και ο σχεδιασμός διαχείρισης του νερού για τις αγροτικές και τις άλλες δραστηριότητες, στις κλιματικές αλλαγές και την παραλλακτικότητα του κλίματος, με ειδικές στρατηγικές, βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες, όσον αφορά την άρδευση αλλά και τις άλλες χρήσεις (Τούλιος, 2008), καθώς με την ορθή εφαρμογή τους δεν σπαταλούνται τα υδάτινα αποθέματα και επιπλέον μειώνεται το κόστος παραγωγής. Άμεσες πρακτικές εφαρμογές αυτής της κατηγορίας αποτελούν ο αποτελεσματικότερος προγραμματισμός των αρδεύσεων, η αποφυγή των άσκοπων και μη περιβαλλοντικά ελεγχμένων γεωτρήσεων, η καλύτερη συντήρηση των δικτύων και η ορθολογικότερη τιμολόγηση του νερού άρδευσης.

Έρευνες που πραγματοποιήθηκαν στο σιτάρι, στο ρύζι και στον αραβόσιτο έδειξαν ότι η εφαρμογή των παραπάνω πρακτικών απέτρεψαν την πρόκληση ζημιών που θα μπορούσαν να προκληθούν από άνοδο της θερμοκρασίας από 1,5-3°C στις τροπικές περιοχές και από 4,5-5°C στις εύκρατες (Easterling et al., 2007). Συνεπώς τέτοιου είδους εφαρμογές είναι ιδιαίτερος πολύτιμες και για την Ελλάδα, ιδίως σε περιοχές που πλήττονται από έλλειψη υδάτινων πόρων ή περιοχές στις οποίες η χρήση τους γίνεται με

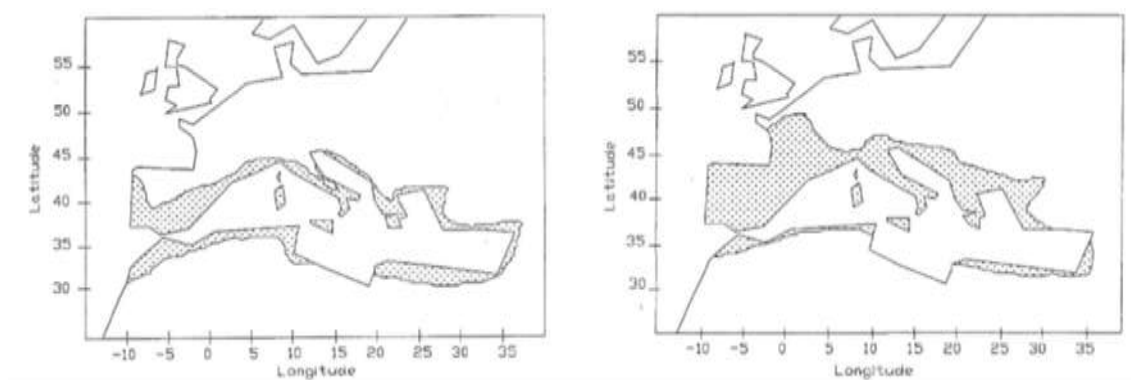
αλόγιστο και ανορθολογικό τρόπο και με δεδομένο ότι ακόμα και στο πιο ήπιο σενάριο B2, η συχνότητα των φαινομένων ξηρασίας σε περιοχές όπως η Θεσσαλία, είναι δυνατό να διπλασιασθεί ή τριπλασιασθεί (Loukas et al., 2007).

Μακροπρόθεσμα Μέτρα

Τα μέτρα μακράς διάρκειας είναι μεγάλες διαρθρωτικές παρεμβάσεις για να αντιμετωπισθούν οι αρνητικές συνέπειες της κλιματικής αλλαγής.

-Αλλαγές στην επιλογή καλλιεργειών και στη χρήση της γεωργικής γης.

Οι μεταβολές στις κλιματικές και μετεωρολογικές παραμέτρους θα επηρεάσουν τη γεωργική παραγωγή. Ανάλογα με το επικρατούν κλιματικό σενάριο θα υπάρξει και η βέλτιστη χρήση και εκμετάλλευση της γεωργικής γης. Σε περιοχές που θα ευνοηθούν από την κλιματική αλλαγή είναι δυνατόν να αυξηθούν οι καλλιεργούμενες εκτάσεις με σιτάρι, αραβόσιτο και κηπευτικά (Bindi & Howden, 2004), ενώ το αντίθετο θα συμβεί σε αυτές που θα πληγούν από την αλλαγή αυτή. Αντίστοιχα συμπεράσματα προκύπτουν και σε έρευνες για δενδρώδεις καλλιέργειες και κυρίως για την ελιά, όπου σε περίπτωση επικράτησης του σεναρίου B2, η ελαιοκαλλιέργεια θα επεκταθεί στη Βόρεια Μεσόγειο μέχρι τη βόρειο Ιταλία και την κεντρική Γαλλία (Bindi et al., 1992. Εικ. 1.16).



Εικόνα 1.16: Μετατόπιση ελαιοκαλλιέργειας από τις σημερινές εκτάσεις (αριστερά) στις εκτάσεις που φαίνονται δεξιά στην περίπτωση αύξησης του CO₂ στα 630ppm (B2) (Bindi et al., 1992)

Είναι επομένως πιθανόν η καλλιέργεια ελιάς σε περιοχές που θα υποστούν τις αρνητικές συνέπειες της κλιματικής αλλαγής (όπως η νότια Ελλάδα, τα νησιά του Αιγαίου και η Κρήτη στην περίπτωση των σεναρίων A2, A1B) να μετατοπισθεί σε αυξημένα υψόμετρα και να γίνει κύρια καλλιέργεια σε περιοχές που σήμερα θεωρούνται σχετικά ψυχρές όπως η Δυτική, Βόρεια Μακεδονία και η Θράκη. Σε περιοχές που καλλιεργείται σιτάρι (μη αρδευόμενη καλλιέργεια), προτείνεται η εγκατάσταση λιγότερο κερδοφόρων αλλά περισσότερο ανθεκτικών καλλιεργειών και κυρίως λειμώνιων ειδών π.χ. *Lolium multiflorum* (Orlandini et al., 2009, Tsiplakou et al., 2013). Επίσης σε αντίστοιχες περιπτώσεις θα μπορούσε να αντικατασταθεί η καλλιέργεια αραβοσίτου με λιγότερο υδροβόρες καλλιέργειες όπως το

σόργο (Bindi & Howden, 2004). Για την καλλιέργεια αραβοσίτου στην Ελλάδα, προηγούμενες έρευνες με τη χρήση μοντέλων προτείνουν τη μετατόπιση της καλλιέργειας προς βόρειες-βορειοανατολικές περιοχές σε σχέση με σήμερα, καθώς εκτιμάται ότι οι κλιματικές συνθήκες στο μέλλον εκεί θα είναι ευνοϊκότερες (Karetanaki & Rosenzweig, 1997).

-Βελτίωση φυτών.

Η βελτίωση των καλλιεργούμενων ειδών είτε με τις παραδοσιακές μεθόδους είτε με τη βοήθεια της βιοτεχνολογίας θα έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ποικιλιών ανθεκτικών στην ξηρασία και στην αύξηση της θερμοκρασίας. Η διατήρηση της βιοποικιλότητας αποδεικνύεται σημαντική διότι θα αποτελέσει την αυριανή τράπεζα γενετικού υλικού στην οποία θα βασισθεί η έρευνα για τη βελτίωση των ποικιλιών. Η εντατικοποίηση της έρευνας σε νέες μεθόδους της γενετικής μηχανικής και η χρησιμοποίηση του κατάλληλου γενετικού υλικού θα βελτιώσει την ανθεκτικότητα των φυτών σε ασθένειες ή εχθρούς που αναμένεται να προσβάλλουν με μεγαλύτερη ένταση τις καλλιέργειες στο μέλλον.

-Αλλαγή και εξέλιξη των καλλιεργητικών χειρισμών και μεθόδων.

Στο πλαίσιο της αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής θα πρέπει να υιοθετηθούν σε ευρύτερο επίπεδο οι αρχές της αειφορικής και βιολογικής γεωργίας όσον αφορά τους καλλιεργητικούς χειρισμούς και πρακτικές.

Έτσι, για παράδειγμα, νέες, ηπιότερες και χρονικά προσαρμοσμένες γεωργικές παρεμβάσεις όπως οι αρόσεις θα συμβάλλουν στην καλύτερη ενσωμάτωση της οργανικής ύλης, στη μείωση έκλυσης N_2O από το έδαφος, που είναι ένα από τα βασικά αέρια του θερμοκηπίου και στην προστασία του εδάφους από τη διάβρωση (Scialabba & Lindenlauf, 2010). Η ποσότητα και ο χρόνος των αρδεύσεων, η αποθήκευση του νερού, η μέθοδος διανομής είναι ιδιαίτερα σημαντικές παράμετροι, προς την κατεύθυνση βελτιστοποίησης της χρήσης νερού (Water Use Efficiency) με μεγάλη σημασία ιδίως για τις ξηροθερμικές περιοχές (Karamanos et al., 2005). Ιδιαίτερα η εξέλιξη της τεχνολογίας των αρδεύσεων ακριβείας με τη χρήση στάγδην άρδευσης και αισθητήρων εδαφικής υγρασίας, σε συνδυασμό με την ορθή γνώση των υδατικών απαιτήσεων των καλλιεργειών μπορεί να αυξήσει σημαντικά την αποτελεσματικότητα της χρήσης νερού στη γεωργία (Souliis et al., 2015). Η ορθή διαχείριση του νερού, γίνεται emphaticά σημαντική όταν λάβουμε υπόψη έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί και επισημαίνουν τις μεγάλες απαιτήσεις σε νερό που θα προκύψουν στο μέλλον. Έτσι για παράδειγμα οι Karur et al. (2010), προβλέπουν για την νότιο Ιταλία (περιοχή Απουλίας), για αύξηση έως και $2,5^{\circ}C$, ότι οι απαιτήσεις σε νερό για τις καλλιέργειες για τον αιώνα που διανύουμε πρόκειται να αυξηθούν δραματικά και πιο συγκεκριμένα κατά 65% για τα ελαιόδεντρα, 61% για το σιτάρι, 49% για τα αμπέλια, 48% για τα εσπεριδοειδή, 35% για τον αραβόσιτο, 34% για το σόργο, 33% για τον ηλίανθο, 31% για τις τομάτες και 27% για τα ζαχαρότευτλα. Κατ' αντιστοιχία η παρακολούθηση της συγκέντρωσης θρεπτικών στοιχείων

και ιχνοστοιχείων στο έδαφος θα εξορθολογήσει τη χρήση χημικών λιπασμάτων που σε συνδυασμό με την οργανική λίπανση μπορεί να μειώσει τη γενικότερη εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου.

Οι παραπάνω πρακτικές για την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή πρέπει να διαχωριστούν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες δράσης.

Η πρώτη αφορά σε μέτρα που μπορούν να ληφθούν σε επίπεδο εκμετάλλευσης, όπως την ενημέρωση του παραγωγού για πρακτικές που χρησιμοποιούνται σε περιοχές που ήδη βιώνουν τις συνέπειες της κλιματικής αλλαγής, επιλογή ποικιλιών κατάλληλων για το μικροκλίμα της κάθε περιοχής, βέλτιστες καλλιεργητικές πρακτικές σχετικές με την πυκνότητα σποράς, τις γραμμές σποράς, τον χρόνο συγκομιδής κλπ (Orlardini et al., 2009).

Η δεύτερη κατηγορία σχετίζεται με μέτρα που πρέπει να ληφθούν σε περιφερειακό επίπεδο. Είναι βέβαιο ότι θα υπάρξει διαφοροποίηση στην ένταση των επιπτώσεων των κλιματικών μεταβολών ανά κλιματική ζώνη. Θα πρέπει επομένως να ληφθούν μέτρα σε περιφερειακό επίπεδο που μπορεί να διαφέρουν μεταξύ των περιφερειών. Οι γεωγραφικές ιδιαιτερότητες όπως η ύπαρξη ποταμών, των οποίων η ροή και η φερόμενη ποσότητα νερού μπορεί λόγω της κλιματικής αλλαγής να μεταβληθεί ή η ύπαρξη εδαφών ευάλωτων στη διάβρωση και στην ερημοποίηση είναι προβλήματα των οποίων οι λύσεις δεν μπορούν να ανευρεθούν σε επίπεδο εκμετάλλευσης ή δήμου.

Επιπλέον η άγνοια του προβλήματος της κλιματικής αλλαγής, όπου αυτή είναι πρόβλημα, ή η ανεύθυνη ενημέρωση ότι κάποια συνέπεια της μεταβολής του κλίματος (όπως η ξηρασία) είναι παροδική, μπορεί να οδηγήσει τους καλλιεργητές σε ενέργειες για την αντιμετώπιση του προβλήματος (όπως οι εκτεταμένες γεωτρήσεις), που στο μέλλον μπορεί να αποβούν καθοριστικές στην αδυναμία αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής, λόγω περαιτέρω επιφόρτισης του προβλήματος (McKeon & Hall, 2000).

Η τρίτη κατηγορία αφορά μέτρα και πολιτικές που πρέπει να ληφθούν σε εθνικό επίπεδο. Οι προσπάθειες που εντάσσονται σε αυτή την κατηγορία πρέπει να επικεντρωθούν στον σχεδιασμό περισσότερο ευέλικτων στην κλιματική μεταβολή γεωργικών παραγωγικών συστημάτων, λόγω της μεγάλης αβεβαιότητας ακόμα και σήμερα για τις μελλούμενες κλιματικές αλλαγές (Orlandini et al., 2009).

Η διάρθρωση των γεωργικών επιχειρήσεων και εκμεταλλεύσεων, η αποφυγή μονοκαλλιεργειών, η περαιτέρω έρευνα σε θέματα τεχνολογίας, αειφορικής διαχείρισης, μοντέλων προβλέψεων των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, είναι μερικά από τα βασικά μέτρα που πρέπει να σχεδιασθούν σε εθνικό επίπεδο. Για παράδειγμα, στον ελληνικό χώρο είναι δεδομένο ότι οι πλέον ευάλωτες περιοχές είναι η νότια Ελλάδα και τα νησιά του νότιου Αιγαίου. Η προσήλωση στην ανάπτυξη της έρευνας γύρω από τη διαχείριση του νερού και του εδάφους, τη θερμοκηπιακή τεχνολογία και τη δημιουργία ποικιλιών προσαρμοσμένων σε αυτές τις συνθήκες είναι ζωτικής σημασίας για την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή. Επιπλέον, ιδιαίτερα για την Ελλάδα, στο πλαίσιο της αειφορικής διαχείρισης, καθίσταται

κρίσιμος, ο προσδιορισμός των αγροκλιματικών ζωνών, ο οποίος συντελεί στην εύρεση της καταλληλότερης καλλιέργειας για κάθε περιοχή, ανάλογα με το αγρόκλιμα αυτής, ενώ συμβάλλει στη βελτιστοποίηση της παραγωγής των καλλιεργειών με ταυτόχρονη ορθολογική χρήση των φυσικών πόρων (Tsiros et al., 2009).

1.8. Στόχος της μελέτης – πρωτοτυπία

Στην Ελλάδα, για το 2013 οι αροτραίες καλλιέργειες καταλαμβάνουν περίπου το 53% της συνολικής καλλιεργούμενης επιφάνειας (ΕΛΣΤΑΤ, 2015), αποτελώντας έναν σημαντικό πυλώνα της ελληνικής αγροτικής οικονομίας. Ως αναπόσπαστο τμήμα του αγρο-οικοσυστήματος οι αροτραίες καλλιέργειες επηρεάζονται μεταξύ άλλων από διάφορους κλιματικούς παράγοντες μεταβάλλοντας σε ετήσια βάση το ύψος της παραγωγής. Η εκτίμηση της επίδρασης της κλιματικής αλλαγής στις αποδόσεις των καλλιεργειών και ιδίως των αροτραίων αποτελεί αντικείμενο έρευνας σε παγκόσμιο επίπεδο, όχι μόνο για λόγους οικονομικούς αλλά και για να διερευνηθεί η δυνατότητα που έχει ο πλανήτης μας να καλύψει τις διατροφικές ανάγκες (food security) ενός ολοένα αυξανόμενου ανθρώπινου πληθυσμού. Τα κράτη εκτιμούν τις πιθανές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην γεωργική παραγωγή προσβλέποντας σε έναν καλύτερο σχεδιασμό στρατηγικών μετριασμού και προσαρμογής στο φαινόμενο αυτό. Στόχος της συγκεκριμένης μελέτης είναι η εκτίμηση πιθανής επίδρασης των κλιματικών μεταβολών στις αποδόσεις τριών ιδιαιτέρως σημαντικών αροτραίων καλλιεργειών (βαμβάκι, αραβόσιτος, σιτάρι).

Κατά το παρελθόν έχουν πραγματοποιηθεί αντίστοιχες ερευνητικές προσπάθειες είτε για μία συγκεκριμένη αροτραία καλλιέργεια όπως ο αραβόσιτος (Karetanaki & Rosenzweig, 1997), είτε για ομάδες φυτών που ανήκουν στις αροτραίες καλλιέργειες όπως τα σιτηρά (Giannakopoulos et al., 2009). Η πρωτοτυπία της συγκεκριμένης μελέτης έγκειται στο γεγονός ότι εκτιμήθηκαν οι επιπτώσεις στη βάση τριών βασικών σεναρίων της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Αλλαγή του Κλίματος με τη χρήση έως και οκτώ κλιματικών μοντέλων ανάλογα με το σενάριο, σε επτά συνολικά περιοχές της Ελλάδας που αντιπροσωπεύουν τις κυριότερες ζώνες καλλιέργειας τέτοιων φυτών. Ο μεγάλος αριθμός μοντέλων και περιοχών προσφέρει ένα μεγαλύτερο φάσμα εκτιμήσεων απόδοσης προσδίδοντας μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα της τάσης μεταβολής των αποδόσεων για τη χώρα μας. Επιπλέον, για πρώτη φορά σε τέτοια διαδικασία, χρησιμοποιήθηκε το πρότυπο ανάπτυξης καλλιεργειών AquaCrop, για το οποίο πραγματοποιήθηκε έλεγχος αξιοπιστίας του με τη χρήση ελληνικών πειραματικών δεδομένων. Άλλη μία πρωτοτυπία αποτέλεσε η χρήση νεώτερων μεθόδων στατιστικών αναλύσεων, όπως η σταδιακή διακρίνουσα ανάλυση, για να διερευνηθεί η αξιοπιστία των μοντέλων αναφορικά με την διακριτική τους ικανότητα να διαχωρίζουν τις περιοχές έρευνας σε σχέση με την μεταβολή των αποδόσεων. Τέλος, για πρώτη φορά, πραγματοποιήθηκε αποτύπωση των αποτελεσμάτων σε ψηφιακούς χάρτες με τη χρήση Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων βοηθώντας έτσι σε μια καλύτερη συγκριτική απεικόνιση των μεταβαλλόμενων αποδόσεων μεταξύ των καλλιεργειών και των περιοχών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Σενάρια εκπομπής αερίων θερμοκηπίου και κλιματικά μοντέλα

Η περιληπτική εισαγωγή στην κλιματική αλλαγή έδειξε τον κεφαλαιώδη ρόλο που διαδραματίζουν τα αέρια του θερμοκηπίου (GHG) στην εξέλιξη του φαινομένου. Η πολυπλοκότητα του φαινομένου και η πληθώρα των αλληλεπιδράσεων που εκτείνονται σε όλη τη βιόσφαιρα καθιστούν την περιγραφή και ακόμα περισσότερο την πρόβλεψη της μεταβολής του κλίματος γριφώδη, δυσεξήγητη με επιστημονικά πολλές αβεβαιότητες. Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC), από τις αρχές της δεκαετίας του 1990 με αλληπάλληλες εκθέσεις προσπάθησε να κατασκευάσει σενάρια με όλες τις πιθανές παραλλαγές των κλιματικών παραμέτρων, τα οποία ονόμασε Σενάρια Εκπομπής Αερίων του Θερμοκηπίου. Το 1990, η IPCC συγκέντρωσε τα πιθανά αυτά σενάρια στην τρίτη έκθεσή της, η οποία ονομάστηκε Ειδική Έκθεση για τα Σενάρια Εκπομπής Αερίων Θερμοκηπίου (SRES- Special Report on Emission Scenarios). Με βάση την έκθεση αυτή, σενάρια κλιματικής αλλαγής ορίζονται ως η εικόνα του πλανήτη στο μέλλον ή, διαφορετικά, εναλλακτικές μελλοντικές εικόνες. Η εικόνα ή οι εικόνες αυτές καταλήγουν σε εκτιμώμενα επίπεδα αερίων του θερμοκηπίου⁴ με σημείο αναφοράς τα επίπεδα CO₂. Η διαμόρφωση των μελλοντικών επιπέδων CO₂ είναι μία αρκετά πολύπλοκη δυναμική διαδικασία που εξαρτάται από υποθέσεις εργασίας σχετικές με την αύξηση του πληθυσμού της γης, την κοινωνικο-οικονομική ανάπτυξη και την τεχνολογική εξέλιξη. Ο συνδυασμός των υποθέσεων αυτών δημιουργεί τα σενάρια εκπομπών αερίων θερμοκηπίου που καθορίζουν τη μεταβολή του κλίματος (Nakicenović et al., 2000).

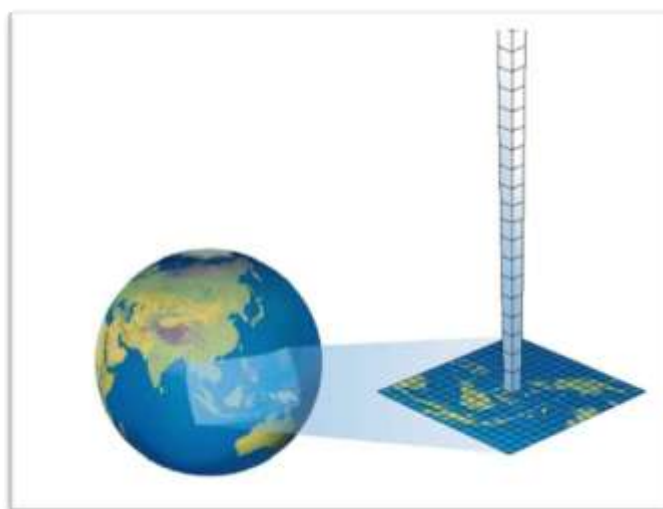
Σύμφωνα με το πλαίσιο που αναπτύχθηκε στην προαναφερόμενη έκθεση για την κλιματική αλλαγή της IPCC, η κατηγοριοποίηση των υποθέσεων εργασίας στα διάφορα σενάρια που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη παρουσιάζεται στον Πίνακα. 2.1.

⁴ Τα κυριότερα αέρια του θερμοκηπίου εκτός του διοξειδίου του άνθρακα είναι το διοξείδιο του θείου, το μονοξείδιο του άνθρακα, τα οξείδια του αζώτου, διάφοροι υδρογονάνθρακες και άλλα οργανικά αέρια, οξείδια του μολύβδου και διάφορα αιωρούμενα σωματίδια οργανικών και ανόργανων ενώσεων ανθρωπογενούς και φυσικής προέλευσης. Δευτερογενείς αέριοι ρύποι είναι ουσίες που έχουν προέλθει από φυσικοχημικό μετασχηματισμό των πρωτογενών ρύπων. Τέτοιος ρύπος είναι το τροποσφαιρικό όζον (Πηγή: European Environmental Agency, www.eea.europa.eu).

Πίνακας 2.1: Σχηματική απεικόνιση της κατηγοριοποίησης των υποθέσεων εργασίας στα βασικότερα σενάρια εκπομπής αερίων θερμοκηπίου (Nakićenović et al., 2000).

Σενάριο A2	Σενάριο A1B	Σενάριο B2
<ul style="list-style-type: none"> •Μέτρια αύξηση του μέσου παγκόσμιου κατά κεφαλήν εισοδήματος. • Ιδιαίτερα έντονη κατανάλωση ενέργειας. •Ραγδαία αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού. • Αργή και τμηματική τεχνολογική ανάπτυξη και μέτριες έως μεγάλες αλλαγές στη χρήση γης. • Ραγδαία αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ στην ατμόσφαιρα, η οποία θα φθάσει τα 850 ppm το 2100. 	<ul style="list-style-type: none"> •Ραγδαία οικονομική ανάπτυξη. •Ιδιαίτερα έντονη κατανάλωση ενέργειας, αλλά παράλληλα διάδοση νέων και αποδοτικών τεχνολογιών. Χρήση τόσο ορυκτών καυσίμων όσο και εναλλακτικών πηγών ενέργειας. Μικρές αλλαγές στη χρήση γης. •Ραγδαία αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού μέχρι το έτος 2050 και σταδιακή μείωσή του στη συνέχεια. •Έντονη αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ στην ατμόσφαιρα, η οποία θα φθάσει τα 720 ppm το 2100. 	<ul style="list-style-type: none"> •Ανάπτυξη της παγκόσμιας οικονομίας με μέτριους ρυθμούς. Ηπιότερες τεχνολογικές αλλαγές σε σύγκριση με τα άλλα Σενάρια Εκπομπών. •Ραγδαία αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού. •Αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ στην ατμόσφαιρα με μέτριους αλλά σταθερούς ρυθμούς, η οποία θα φθάσει το 2100 τα 620 ppm.

Με βάση τα παραπάνω σενάρια διάφορα ερευνητικά ιδρύματα ανά τον κόσμο καταλήγουν σε παγκόσμια μοντέλα που περιγράφουν από κλιματικής άποψης τα παραπάνω σενάρια. Τα μοντέλα αυτά ονομάζονται Παγκόσμια Μοντέλα Κυκλοφορίας- Global Circulation Models (GCM)- και αναφέρονται σε ευρύτερες γεωγραφικές εκτάσεις όπως ολόκληρες χώρες ή ήπειροι. Για τη μελέτη της κλιματικής αλλαγής σε πιο τοπικό επίπεδο τα μοντέλα αυτά επιδέχονται αναλυτικότερη επεξεργασία με αποτέλεσμα την τελική προσαρμογή τους στο λεγόμενο περιφερειακό επίπεδο, των οποίων η ανάλυση αναφέρεται σε εκτάσεις 50 τετραγωνικών χιλιομέτρων ή και μικρότερες. Τα μοντέλα αυτά ονομάζονται Περιφερειακά Κλιματικά Πρότυπα Προσομοίωσης- Regional Circulation Models (RCM) (Randall et al., 2007).



Εικόνα 2.1: Γραφική απεικόνιση της υποκλιμάκωσης των παγκόσμιων μοντέλων κυκλοφορίας των αερίων του θερμοκηπίου (GCM) σε περιφερειακά (RCM).

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν 8 περιφερειακά μοντέλα στο πλαίσιο του σεναρίου A1B και 3 περιφερειακά μοντέλα στο πλαίσιο των σεναρίων A2 και B2 αντίστοιχα για τις περιόδους 1961-1990, 2021-2050 και 2071-2100⁵. Τα RCMs που χρησιμοποιήθηκαν για την περιγραφή του σεναρίου A1B προέκυψαν από το ερευνητικό πρόγραμμα ENSEMBLES (2004-2009), του οποίου στόχος ήταν η δημιουργία ενός συστήματος προσομοίωσης που θα παρείχε εκτιμήσεις των μεταβολών που θα υποστεί το κλίμα της Ευρώπης καθώς και άλλων περιοχών του πλανήτη εξαιτίας των ανθρωπογενών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (Καψωμενάκης, 2011). Στον Πίνακα 2.2 υπάρχουν πληροφορίες για τα RCMs του προγράμματος ENSEMBLES που επελέγησαν στην παρούσα μελέτη, προκειμένου να εκτιμηθούν οι μεταβολές των βασικότερων κλιματικών παραμέτρων για την περιοχή της Ελλάδας.

Πίνακας 2.2: Τα περιοχικά κλιματικά μοντέλα RCM του προγράμματος ENSEMBLES που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη για την περιγραφή του σεναρίου A1B

Μοντέλα	Χωρική Ανάλυση	Κατακόρυφα επίπεδα	Βασική βιβλιογραφική αναφορά
HadRM3 (Hadley Centre's Regional Climate Model)-UK	0.22 ⁰ ×0.22 ⁰	19	Collins <i>et al.</i> , 2006
C4I (Community Climate Change Consortium for Ireland)	0.22 ⁰ ×0.22 ⁰	31	Kjellström <i>et al.</i> , 2005
REMO-MPI (Regional Model-Max Planck Institute)-Germany	0.22 ⁰ ×0.22 ⁰	27	Jacob <i>et al.</i> , 2001
ETHZ (Swiss Federal Institute of Technology Zurich)	0.22 ⁰ ×0.22 ⁰	32	Böhm <i>et al.</i> , 2006
CNRM (Meteo-France/ Centre National de Recherches Meteorologiques)	0.22 ⁰ ×0.22 ⁰	31	Παραπομπή μη διαθέσιμη ακόμη
DMI-HIRHAM (Danish Meteorological Institute)	0.22 ⁰ ×0.22 ⁰	19	Christensen <i>et al.</i> , 1998
KMMI (Royal Netherlands Meteorological Institute)	0.22 ⁰ ×0.22 ⁰	40	Van Meijgaard <i>et al.</i> , 2008
SMHI (Swedish Meteorological and Hydrological Institute)	0.22 ⁰ ×0.22 ⁰	24	Kjellström <i>et al.</i> , 2005

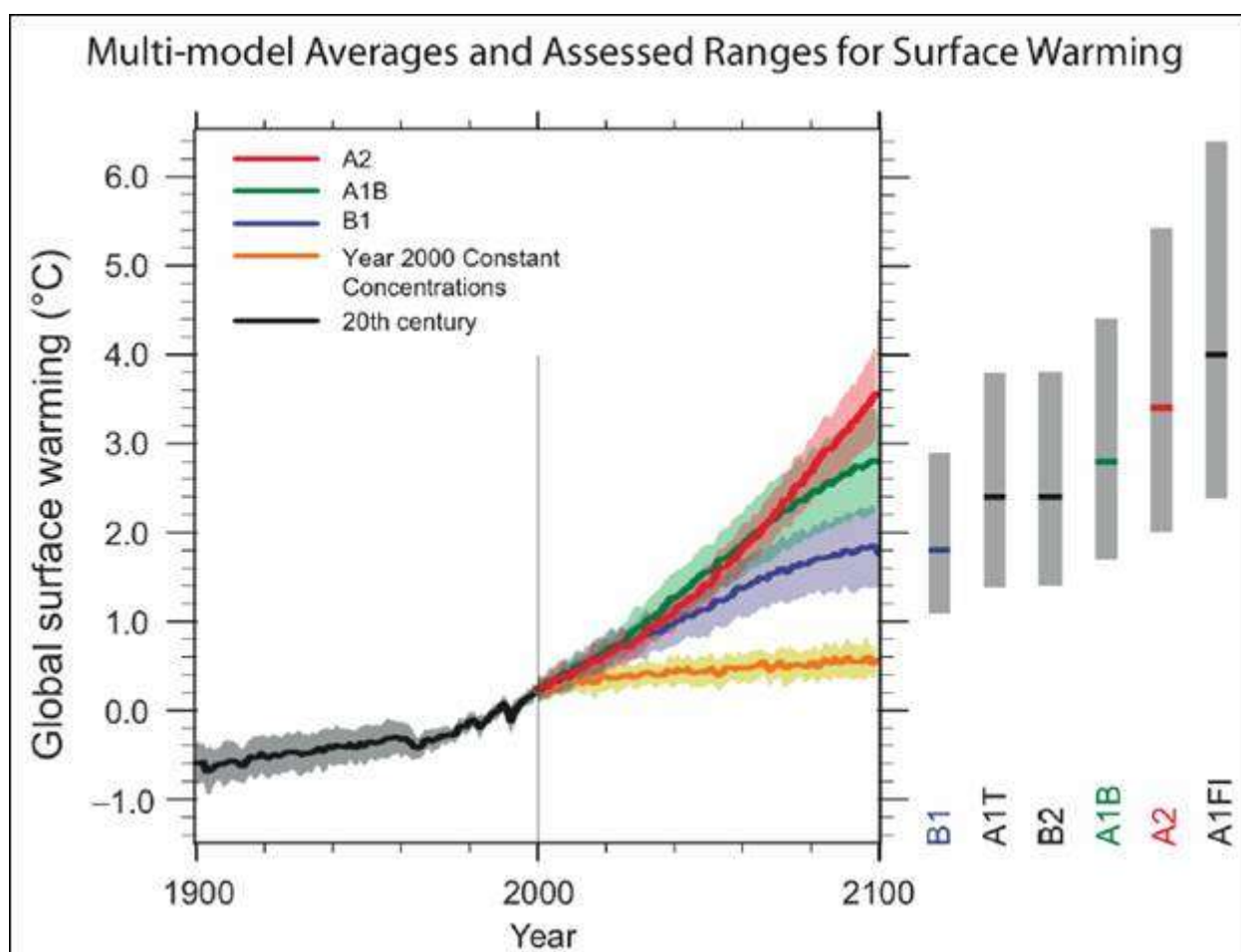
Το Ευρωπαϊκό πρόγραμμα PRUDENCE (<http://prudence.dmi.dk/>), που πραγματοποιήθηκε κατά την χρονική περίοδο (2001–2004), είχε ως βασικό σκοπό τον προσδιορισμό των κινδύνων και των συνεπειών που θα προκαλέσει η κλιματική αλλαγή εξαιτίας των ανθρωπογενών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην Ευρώπη για τα σενάρια A2 και B2. Η εκτίμηση αυτή βασίστηκε σε προσομοιώσεις του παρόντος και του μελλοντικού κλίματος που πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση κλιματικών προτύπων προσομοίωσης για τα προαναφερόμενα σενάρια εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου (Καψωμενάκης, 2011). Τα RCMs που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή την περίπτωση αφορούσαν μόνο τις περιόδους 1961-1990 και 2071-2100. Στον Πίνακα 2.3 υπάρχουν πληροφορίες για τα RCMs του προγράμματος PRUDENCE.

⁵ Η μέθοδος επεξεργασίας και εφαρμογής των μοντέλων στο AquaCrop περιγράφεται στην παράγραφο 2.2.4.

Πίνακας 2.3: Τα περιοχικά κλιματικά μοντέλα RCM του προγράμματος PRUDENCE που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη για την περιγραφή των σεναρίων A2 και B2

Σενάρια	Χωρική ανάλυση	Κατακόρυφα επίπεδα	Βασική Βιβλιογραφική Αναφορά
HadRM3 (Hadley Centre's Regional Climate Model)-UK	0.44° x 0.44°	19	Buonomo et al., 2007
DMI- HIRHAM (Danish Meteorological Institute)	0.44° x 0.44°	19	Christensen et al., 1998
SMHI (Swedish Meteorological and Hydrological Institute)	0.44° x 0.44°	24	Döscher et al., 2007

Η σύγκριση των κλιματικών μοντέλων στις τρεις προαναφερόμενες περιόδους βασίστηκε στην έκθεση της πρώτης ομάδας εργασίας της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC) που εντάχθηκε στην 4^η Έκθεση Αξιολόγησης, σύμφωνα με την οποία η βασική διαφοροποίηση μεταξύ των σεναρίων εντοπίζεται κυρίως στο 2^ο μισό του τρέχοντος αιώνα (Randall et al., 2007). Αυτό μεθοδολογικά σημαίνει ότι τα κλιματικά μοντέλα που εξετάστηκαν δεν είχαν σημαντικές διαφορές για την περίοδο 2021-2050. Στην Εικ. 2.2 αποτυπώνεται η προβλεπόμενη διαφοροποίηση στην θερμοκρασία που εντοπίζεται κυρίως από το 2050 και μετά.



Εικόνα 2.2: Γραφική απεικόνιση της χρονικής μεταβολής της θερμοκρασίας μεταξύ των σεναρίων κλιματικής αλλαγής σύμφωνα με την 4^η Έκθεση της IPCC (2007).

Για τα σενάρια A2 και B2 η διαφοροποίηση των κλιματικών παραμέτρων προέκυψε στις περιόδους 1961-1990 και 2071-2100. Ωστόσο υπάρχει σαφής διαφοροποίηση στην συγκέντρωση του CO₂ μεταξύ των τριών σεναρίων.

2.2. Το πρότυπο ανάπτυξης φυτών AquaCrop

Το AquaCrop είναι ένα πρότυπο που βασίζεται κυρίως στην επίδραση του νερού στην ανάπτυξη των φυτών και στην παραγωγικότητα της καλλιέργειας. Αποτελεί επιστημονικό εργαλείο που στηρίχθηκε στην αναθεωρημένη έκθεση του FAO (Παγκόσμιος Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας) Irrigation and Drainage Paper No. 33 "Yield Response to Water" (Doorenbos & Kassam, 1979). Σε σύγκριση με αντίστοιχα μοντέλα, το AquaCrop απαιτεί ένα σημαντικά μικρότερο αριθμό παραμέτρων, ενώ ταυτόχρονα είναι πιο απλό στη χρήση, χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη ακρίβεια στα αποτελέσματα και με μικρότερες πιθανότητες σφάλματος (Steduto et al., 2009). Η εδαφική υγρασία στη ζώνη ανάπτυξης του ριζικού συστήματος προσομοιάζεται από την καταγραφή της ροής ύδατος στα όρια της συγκεκριμένης ζώνης, λαμβάνοντας υπόψη το έδαφος ως αποθηκευτικό χώρο για το νερό, διαιρούμενο σε διάφορα υποστρώματα. Αντί για τη χρήση του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI) το AquaCrop χρησιμοποιεί την εδαφοκάλυψη της φυτείας (canopy ground cover). Η αύξηση της συστάδας, η αγωγιμότητα των στοματίων, η γήρανση του φυλλώματος και ο δείκτης συγκομιδής (harvest index) είναι τα κλειδιά της εκτίμησης της φυσιολογικής αντίδρασης του φυτού σε σχέση με το νερό. Η εξατμισοδιαπνοή εξομοιώνεται με τη διαπνοή του φυτού και την εξάτμιση νερού από το έδαφος και χρησιμοποιείται για την εξαγωγή ποσοτικών συμπερασμάτων όσον αφορά την παραγόμενη βιομάζα. Η εξομάλυνση των δεδομένων που αφορούν την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς και τη συγκέντρωση CO₂ χρησιμεύουν στη βελτίωση της εφαρμογής του μοντέλου σε διαφορετικές τοποθεσίες και για διαφορετικές εποχές, όπως επίσης αυξάνουν τη χρησιμότητά του για διάφορα μελλοντικά κλιματικά σενάρια. Το AquaCrop προσαρμόζεται σε όλα τα υδατικά καθεστώτα, από την πλήρως ξηρική και ελλειμματική έως την πλήρως αρδευόμενη καλλιέργεια. Η προσομοίωση της εξέλιξης της καλλιέργειας γίνεται τόσο σε ημερολογιακές όσο και σε θερμομέρες και μπορεί να συμπεριλάβει και την επίδραση από τη θρεπτική κατάσταση και την αλατότητα του εδάφους (Steduto et al., 2009). Η πολυπλοκότητα της μαθηματικής εξήγησης των φυσιολογικών αντιδράσεων του φυτού που προκαλούνται από την υδατική καταπόνηση οδήγησε στην χρήση συναρτήσεων που στηρίχθηκαν σε εμπειρικές παρατηρήσεις. Μεταξύ των πιο σημαντικών συναρτήσεων ήταν και αυτή των Doorenbos & Kassam, (1979)⁶, (Εξ. 2.1) η οποία χρησιμοποιήθηκε για να περιγράψει την αντίδραση της παραγωγικότητας μιας καλλιέργειας στην έλλειψη νερού.

⁶Η εργασία των Doorenbos, J. & Kassam, A.H. (1979). Yield response to Water. Irrigation and Drainage Paper n.33. αποτέλεσε τη βάση πάνω στην οποία στηρίχθηκε η δημιουργία του AquaCrop

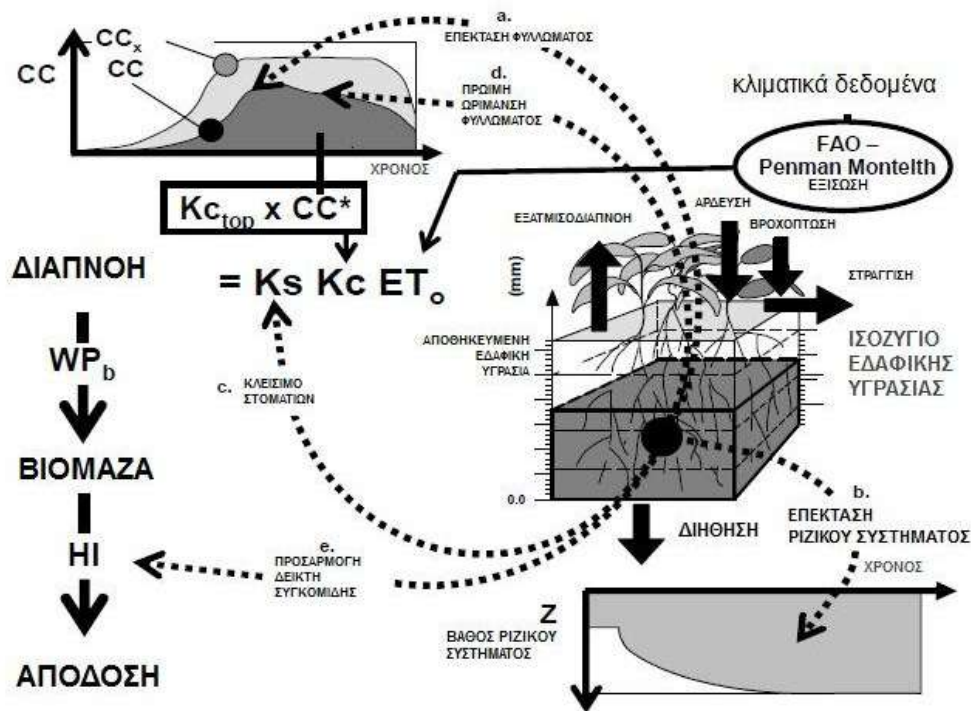
$$\left(\frac{Y_x - Y_a}{Y_x}\right) = k_y \left(\frac{ET_x - ET_a}{ET_x}\right) \quad (2.1)$$

Όπου Y_x και Y_a είναι η μέγιστη και η πραγματική απόδοση της καλλιέργειας αντίστοιχα, ET_x και ET_a είναι η μέγιστη και η πραγματική (αναφοράς) εξατμισοδιαπνοή και k_y είναι μια σταθερά που περιγράφει την αναλογία μεταξύ της σχετικής μείωσης της παραγωγής και της σχετικής μείωσης της εξατμισοδιαπνοής. Το AquaCrop εξελίχθηκε έχοντας μεν ως αφετηρία την Εξίσωση 2.1, αλλά ως κύριο χαρακτηριστικό, α) τον διαχωρισμό της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς ET_a , σε εξάτμιση της εδαφικής υγρασίας E_s και στη διαπνοή του φυτού T_a , και β) τον διαχωρισμό της τελικής απόδοσης (Y) σε βιομάζα (B) και δείκτη συγκομιδής (HI). Οι παραπάνω αλλαγές περιγράφονται από την εξίσωση 2.2, η οποία αποτελεί τη βάση για τη λειτουργία του AquaCrop.

$$B = WP * \Sigma T_a \quad (2.2)$$

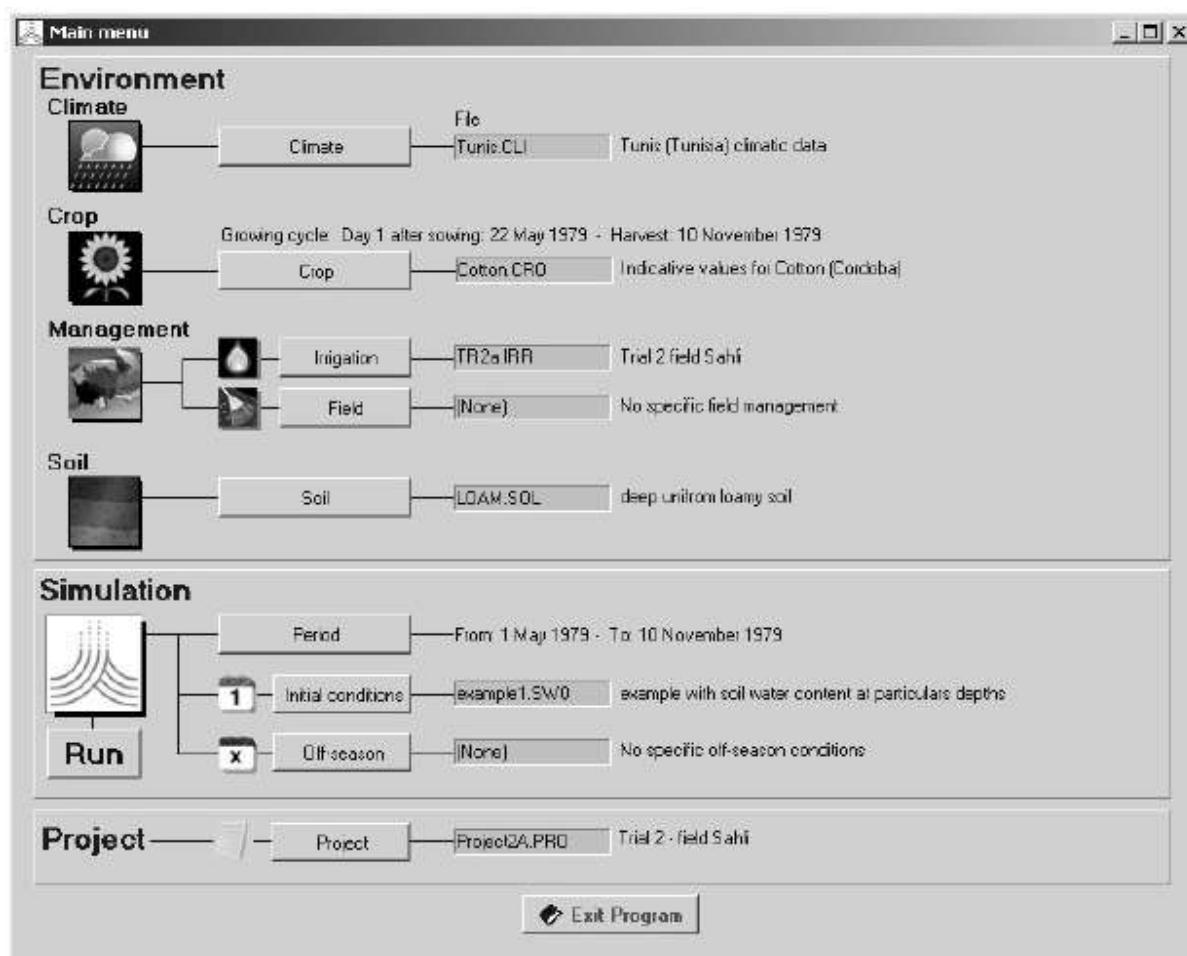
όπου T_a είναι η διαπνοή του φυτού σε mm και WP είναι η υδατική παραγωγικότητα η οποία εκφράζεται σε γραμμάρια βιομάζας ανά mm. Τόσο η Εξίσωση 2.1, όσο και η Εξίσωση 2.2 περιγράφουν την επίδραση του νερού στην τελική απόδοση μιας καλλιέργειας. Ωστόσο η διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι η Εξίσωση 2.1, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εποχικές ή για μεγάλης διάρκειας παρατηρήσεις, ενώ αντίθετα η Εξίσωση 2.2, στην οποία βασίζεται και το μοντέλο AquaCrop, μπορεί να υπολογίσει σε καθημερινή βάση την αντίδραση του φυτού στα υδατικά ελλείμματα (Steduto, 2003). Σχηματικά η λειτουργία του μοντέλου αποτυπώνεται στο παρακάτω σχεδιάγραμμα (Εικ. 2.3).

σχηματική απεικόνιση της λειτουργίας του AquaCrop



Εικόνα 2.3: Οι φυσιολογικές λειτουργίες του φυτού που επηρεάζονται από την υδατική καταπόνηση φαίνονται με τα γράμματα a-e. K_s είναι ο συντελεστής υδατικής καταπόνησης, K_c είναι ο συντελεστής ανάπτυξης του φυτού, $K_{c_{top}}$ είναι ο μέγιστος συντελεστής ανάπτυξης του φυτού, CC είναι η φυλλική επικάλυψη, CC_x είναι η μέγιστη φυλλική επικάλυψη, ET_0 είναι η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς, WP_b είναι η υδατική παραγωγικότητα βιομάζας και HI είναι ο δείκτης συγκομιδής (Raes et al., 2009).

Όπως αναφέρεται και παραπάνω, η Εξίσωση 2.2 αποτελεί τη βάση πάνω στην οποία στηρίχθηκε η λειτουργία του AquaCrop. Συγκεκριμένα, η χρησιμότητά της γίνεται εμφανής, όταν ενσωματωθεί σε μία ομάδα δεδομένων που μπορούν να κάνουν το μοντέλο περισσότερο λειτουργικό, αφού είναι το βασικό εργαλείο που συνδέει αυτά τα δεδομένα. Αναλυτικότερα, τα δεδομένα που αποτελούν τη δομή του AquaCrop αφορούν i) στο έδαφος και την εδαφική υγρασία, ii) στο φυτό με τις φυσιολογικές του δραστηριότητες από το στάδιο του φυτρώματος μέχρι τη συγκομιδή, iii) στην ατμόσφαιρα συμπεριλαμβανομένης της θερμοκρασίας, του ύψους βροχόπτωσης, της εξατμισοδιαπνοής και της συγκέντρωσης CO₂. Επιπλέον, λαμβάνονται υπόψη και κάποιες καλλιεργητικές τεχνικές, όπως η λίπανση και η άρδευση, παράγοντες που συμβάλλουν στην ανάπτυξη και στην τελική παραγωγή μιας καλλιέργειας (Raes et al., 2009).



Εικόνα 2.4: Το γραφιστικό περιβάλλον του προτύπου AquaCrop στο οποίο φαίνονται οι απαραίτητες ομάδες δεδομένων που απαιτούνται για την λειτουργία του.

2.2.1. Το έδαφος και η εδαφική υγρασία στο ριζόστρωμα (root zone)

Το AquaCrop προσομοιάζει το ισοζύγιο της εδαφικής υγρασίας συνυπολογίζοντας παραμέτρους που αφορούν στο κλίμα, έδαφος, φυτό και καλλιεργητικές τεχνικές. Το ισοζύγιο της εδαφικής υγρασίας υπολογίζεται σε καθημερινό επίπεδο λαμβάνοντας υπόψη τις υδατικές εισροές (αρδεύσεις, βροχοπτώσεις) και τις εκροές (εξατμισοδιαπνοή, στράγγιση, διήθηση). Η ποσότητα του νερού που αποθηκεύεται στο ριζόστρωμα εκφράζεται από τις παρακάτω εξισώσεις:

$$Wr = 1000 * \theta * Zr \quad (2.3)$$

$$Dr = 1000(\theta_{FC} - \theta)Zr = W_{rFC} - Wr \quad (2.4)$$

Όπου Wr = η εδαφική υγρασία στο ριζόστρωμα εκφρασμένη σε ισοδύναμο βάθος (mm)

W_{rFC} = η εδαφική υγρασία στο ριζόστρωμα στην υδατοϊκανότητα (mm)

Dr = η εδαφική υγρασία στο ριζόστρωμα (mm)

θ = η κατ' όγκον υδατοπεριεκτικότητα στο ριζόστρωμα (m^3m^{-3})

θ_{FC} = η κατ' όγκον υδατοπεριεκτικότητα στο ριζόστρωμα στην υδατοϊκανότητα (m^3m^{-3})

Zr = το βάθος του ενεργού ριζοστρώματος (m)

Η ποσότητα του νερού που αποθηκεύεται στο έδαφος και βρίσκεται μεταξύ της υδατοϊκανότητας (Field Capacity- FC) και του μόνιμου σημείου μάρανσης (Permanent Wilting Point- PWP) είναι το συνολικά διαθέσιμο νερό (Total Available Water- TAW) και δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$TAW = 1000 * (\theta_{FC} - \theta_{PWP})Zr \quad (2.5)$$

Όπου TAW= συνολικά διαθέσιμο νερό στο ριζόστρωμα (mm)

θ_{FC} = η κατ' όγκον υδατοπεριεκτικότητα στο ριζόστρωμα στην υδατοϊκανότητα (m^3m^{-3})

θ_{PWP} = η κατ' όγκον υδατοπεριεκτικότητα στο ριζόστρωμα στο σημείο μόνιμης μάρανσης (m^3m^{-3})

Zr = το βάθος του ενεργού ριζοστρώματος (m)

Τέλος το AquaCrop αντιμετωπίζει το έδαφος ως ένα σύστημα με μεταβλητό βάθος, το οποίο μπορεί να αποτελείται από στρώματα διαφορετικής σύνθεσης. Ως σύστημα αναφοράς το πρόγραμμα θέτει την εδαφική κατάσταση που ορίζει το Υπουργείο Γεωργίας των Η.Π.Α. (USDA), δίνοντας όμως τη δυνατότητα στον διαχειριστή να εισαγάγει και τα δικά του δεδομένα. Αναλόγως του εδαφικού προφίλ που επιλέγει ο χρήστης, προσδιορίζονται και κάποια υδραυλικά χαρακτηριστικά, όπως ο συντελεστής στράγγισης (drainage coefficient) (T), η υδραυλική αγωγιμότητα στο σημείο κορεσμού (k_{sat}), η υδατοπεριεκτικότητα κατά τον κορεσμό (θ_{sat}), η υδατοϊκανότητα (θ_{FC}) και το σημείο μόνιμης μάρανσης (θ_{WP}).

2.2.2. Η φυσιολογία του φυτού από το φύτερωμα μέχρι τη συγκομιδή

Η προσομοίωση της ανάπτυξης του φυτού στο AquaCrop εδράζεται στις βασικές αρχές της φωτοσύνθεσης. Εξαιτίας της φωτοσύνθεσης και της διαπνοής παράγεται βιομάζα. Η αθροιστική επιφανειακή παραγωγή βιομάζας (B) εκφράζεται ως μία συνάρτηση που συνδέει τον καθημερινό ρυθμό διαπνοής του φυτού (Tr) και καθορίζεται από την φυλλική επικάλυψη (CC- Canopy Cover) και την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς (ET_o- reference evapotranspiration).

$$B = WP * \sum_{t=1}^n \left(\frac{Tr_i}{ET_{o_i}} \right) \quad (2.6)$$

$$Y = HI * B \quad (2.7)$$

Όπου B = αθροιστική επιφανειακή παραγωγή βιομάζας ($g\ m^{-2}$)

WP^* = υδατική παραγωγικότητα του φυτού προσαρμοσμένη στην ETo και στην συγκέντρωση CO_2 ($g\ m^{-2}$)

Tr_i = συνολική διαπνοή του φυτού ανά ημέρα ($mm\ day^{-1}$)

ETo_i = εξατμισοδιαπνοή αναφοράς ανά ημέρα ($mm\ day^{-1}$)

n = αριθμός ημερών που απαιτούνται για να παραχθεί η βιομάζα,

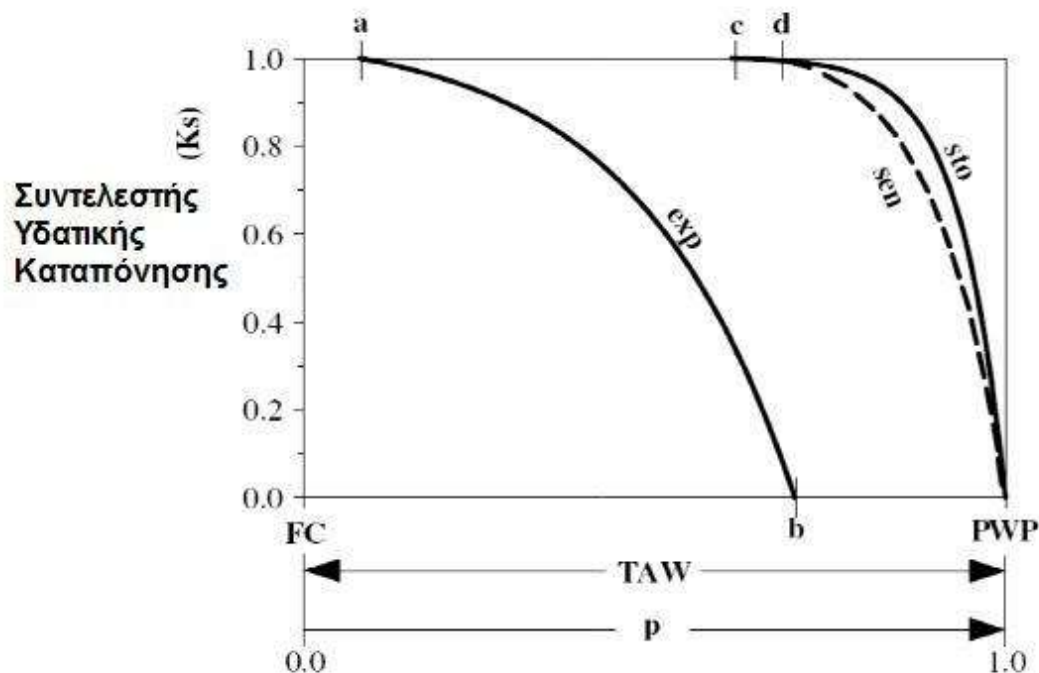
Y = απόδοση ($g\ m^{-2}$),

HI = δείκτης συγκομιδής

Η WP^* αναφέρεται στην αναλογία παραγόμενης βιομάζας και νερού που καταναλώθηκε κατά την εξατμισοδιαπνοή ($kg\ m^{-3}$). Για να προσομοιώσει τη βιομάζα ενός φυτού σε ένα συγκεκριμένο γεωγραφικό μέρος το AquaCrop χρησιμοποιεί τον συντελεστή αυτό, ο οποίος είναι προσαρμοσμένος στο τοπικό κλίμα (μέσω της εξατμισοδιαπνοής) και στη συγκέντρωση CO_2 (Εξ. 2.6) (Steduto et al., 2007). Η προσομοίωση της απόδοσης (Y) εκφράζεται με τη βοήθεια του δείκτη συγκομιδής (HI) ο οποίος επηρεάζεται από την ύπαρξη υδατικής καταπόνησης. Η τελική απόδοση υπολογίζεται ως γινόμενο της τελικής βιομάζας B και του προσαρμοσμένου στην καλλιέργεια δείκτη συγκομιδής (Εξ. 2.7).

2.2.3 Η ανάπτυξη του φυτού υπό συνθήκες υδατικής καταπόνησης

Το νερό που έχει αποθηκευθεί στο έδαφος χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη του υπέργειου τμήματος του φυτού, του ριζικού συστήματος και επομένως επηρεάζει αποφασιστικά την τελική απόδοση. Και τα τρία αυτά αγρονομικά χαρακτηριστικά επηρεάζονται αρνητικά εφόσον επικρατούν συνθήκες υδατικού ελλείμματος. Η αντίδραση του φυτού στην υδατική καταπόνηση έχει ως συνέπεια τρεις μεγάλες αλλαγές, οι οποίες είναι η μείωση του ρυθμού αύξησης του φυλλώματος, το κλείσιμο των στοματίων και η αύξηση του ρυθμού γήρανσης του φυλλώματος. Αυτό συμβαίνει όταν η ποσότητα της υγρασίας που είναι αποθηκευμένη στο έδαφος πέσει κάτω από συγκεκριμένα κρίσιμα σημεία. Αυτά τα σημεία (p) εκφράζονται ως κλάσμα του συνολικού διαθέσιμου νερού του εδάφους TAW και διακρίνονται σε μέγιστο κρίσιμο σημείο (p_{upper}), μετά το οποίο ξεκινά το φαινόμενο της ανάσχεσης και ελάχιστο κρίσιμο σημείο (p_{low}), κάτω από το οποίο σταματά εντελώς η ανάπτυξη του φυτού. Ανάλογα με το επίπεδο της υδατικής καταπόνησης, η τιμή του συντελεστή υδατικής καταπόνησης (Ks) κυμαίνεται από 0 έως 1. Όσο το κρίσιμο σημείο p προσεγγίζει το μόνιμο σημείο μάρανσης ($PWP=1$) τόσο ο συντελεστής υδατικής καταπόνησης Ks προσεγγίζει το 0. Οι φυσιολογικές διαδικασίες που επηρεάζονται από την υδατική καταπόνηση είναι η αύξηση του φυλλώματος (Ks_{exp}), το κλείσιμο των στοματίων (Ks_{sto}) και η πρόωμη γήρανση του φυλλώματος (Ks_{sen}). Το σχήμα της καμπύλης του Ks καθορίζει και την ένταση της υδατικής καταπόνησης (Steduto et al., 2009), όπως φαίνεται στην Εικ. 2.5.



Εικόνα 2. 5: Η πορεία των συντελεστών υδατικής καταπόνησης σχετικά με την ανάπτυξη των φύλλων (*exp*), την αγωγιμότητα των στοματίων (*sto*) και τη γήρανση των φύλλων (*sen*) συναρτήσει της διαθέσιμης εδαφικής υγρασίας (*TAW*, *p*) (Steduto et al., 2009).

Κάτω από ιδανικές συνθήκες (χωρίς υδατική καταπόνηση και έλλειψη θρεπτικών στοιχείων) η φυλλική επιφάνεια σχηματίζεται στο αρχικό στάδιο ανάπτυξης της φυτείας, φθάνοντας στο μέγιστο (CCx) και παραμένει εκεί μέχρι το στάδιο που ξεκινά η γήρανση των φύλλων. Ο ρυθμός με τον οποίο αυξάνεται και μειώνεται η φυλλική επιφάνεια εκφράζεται από τον συντελεστή αύξησης φυλλώματος (Canopy Growth Coefficient- CGC) και τον συντελεστή μείωσης φυλλώματος (Canopy Decline Coefficient- CDC).

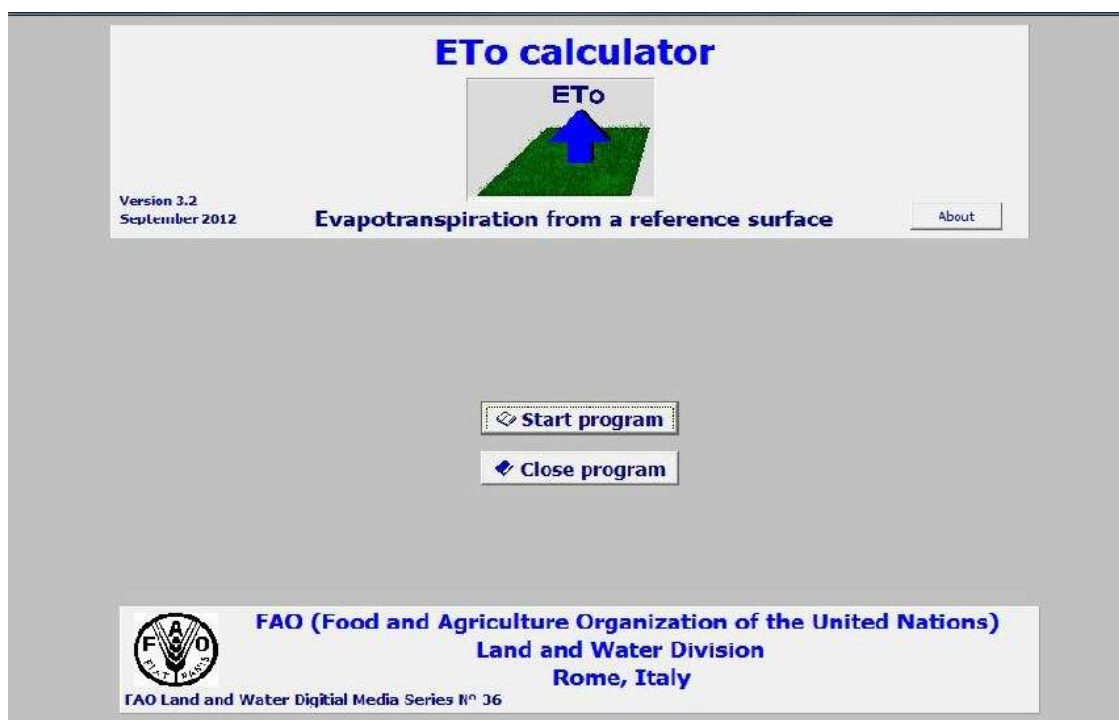
2.2.4. Χρήση δεδομένων που αφορούν στην ατμόσφαιρα

Τα κλιματικά δεδομένα που συλλέγονται και χρησιμοποιούνται στη λειτουργία του προτύπου είναι τα κάτωθι:

A) Μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία αέρος (T_{max} και T_{min}), οι τιμές των οποίων χρησιμεύουν στον υπολογισμό βαθμοημερών που καθορίζουν την ανάπτυξη και τη φαινολογία της καλλιέργειας, όπως επίσης και για διορθώσεις στην παραγωγή βιομάζας κατά τις καταστροφικές περιόδους με χαμηλές θερμοκρασίες. Σε απουσία καθημερινών τιμών, το πρόγραμμα μπορεί να δεχθεί τιμές δεκαημέρου ή μηνιαίες, τις οποίες στη συνέχεια ανάγει σε ημερήσια βάση.

B) Εξατμισοδιαπνοή αναφοράς (ET_0), όπου για τον προσδιορισμό της τιμής της ακολουθείται η διαδικασία που περιγράφεται από τους Allen et al. (1998), σύμφωνα με την εξίσωση Penman-Monteith. Τα δεδομένα που απαιτούνται είναι: μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία ($^{\circ}C$), ατμοσφαιρική υγρασία (%),

ταχύτητα ανέμου (m/s) στα 2 μέτρα από το έδαφος, ώρες ηλιοφάνειας ή ένταση ακτινοβολίας (W/m^2), γεωγραφικό μήκος και πλάτος. Τα δεδομένα αυτά μπορούν να έχουν καθημερινή συχνότητα ή εναλλακτικά τιμές δεκαημέρου ή μηνιαίες. Η επεξεργασία των προαναφερθέντων δεδομένων γίνεται με τη χρήση του λογισμικού ETo Calculator (v. 3.2, FAO 2012).



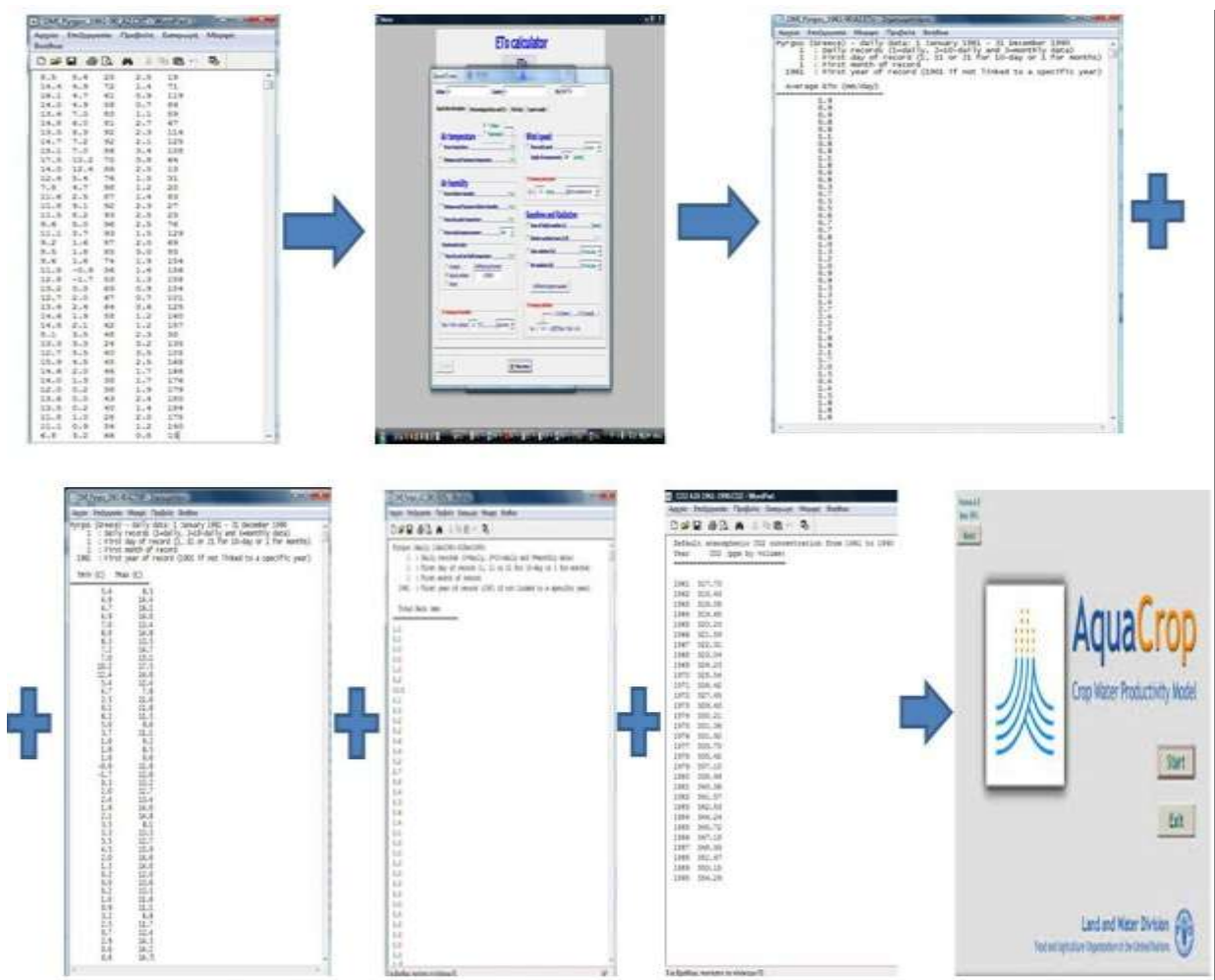
Εικόνα 2.6: Χρήση του λογισμικού ETo Calculator για τον προσδιορισμό της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς

Γ) Βροχόπτωση, η τιμή της οποίας μπορεί να προκύψει από την ποσότητα νερού που συλλέγεται σε βροχόμετρα στον αγρό ή από τις καταγραμμένες τιμές από τους κοντινούς μετεωρολογικούς σταθμούς. Σε έλλειψη καθημερινών τιμών το πρόγραμμα μπορεί να δεχθεί τιμές δεκαημέρου ή μηνιαίες.

Δ) Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) η οποία μετριέται σε μέρη στο εκατομμύριο (ppm). Ως τιμή αναφοράς για το πρόγραμμα θεωρείται η συγκέντρωση 369,47 ppm η οποία μετρήθηκε το έτος 2000 από το σταθμό Mauna Loa της Χαβάης. Η τιμή της συγκέντρωσης CO_2 θεωρείται η ίδια για όλο τον πλανήτη λόγω της ομοιόμορφης κατανομής του αερίου σε όλη την ατμόσφαιρα.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε αναφορικά με την επεξεργασία και εφαρμογή των κλιματικών μοντέλων στο πρότυπο AquaCrop ήταν η ακόλουθη. Αρχικά, το Κέντρο Φυσικής της Ατμόσφαιρας και Κλιματολογίας της Ακαδημίας Αθηνών προχωρούσε στην υποκλιμάκωση των κλιματικών μοντέλων στις προσδιορισμένες περιοχές έρευνας (βλ. Παράγραφο 2.3) με εξαγωγή των προαναφερόμενων δεδομένων σε αρχεία excel. Στη συνέχεια πραγματοποιούνταν διαχωρισμός και περαιτέρω επεξεργασία σε ηλεκτρονικά αρχεία με την απαιτούμενη μορφή χρήσης από τα λογισμικά προγράμματα ETo Calculator και AquaCrop. Πιο συγκεκριμένα, για το ETo Calculator τα δεδομένα μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασία αέρος, σχετικής υγρασίας, ταχύτητας ανέμου και έντασης ηλιακής

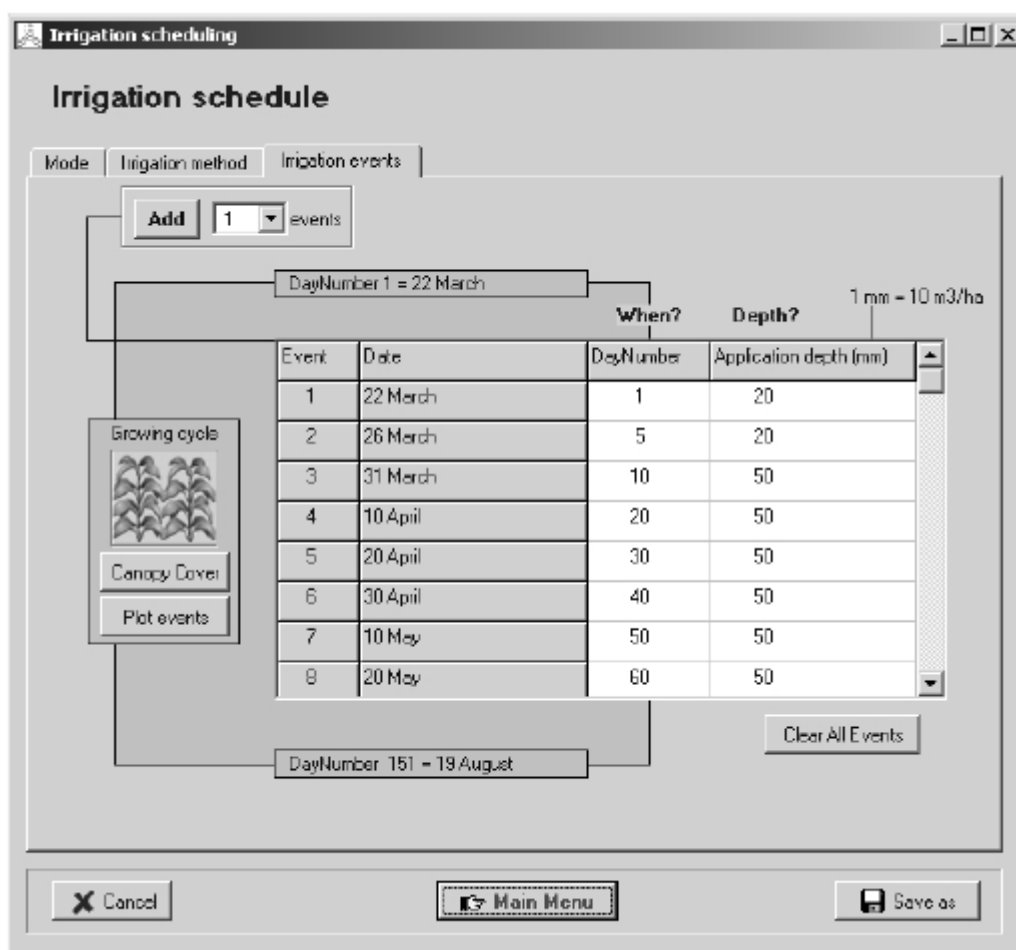
ακτινοβολίας επεξεργάζονταν με τη μορφή αρχείου .CXT, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2.7. Κατόπιν εισάγονταν στο λογισμικό ETo Calculator από το οποίο το προέκυπταν ένα αρχείο υπολογισμού εξατμισοδιαπνοής αναφοράς μορφής .ETo και ένα αρχείο καταγραφής ελάχιστης και μέγιστης ημερήσιας θερμοκρασίας μορφής .TMP. Τα δύο αυτά αρχεία μαζί με την προσθήκη ενός νέου τρίτου αρχείου καταγραφής της βροχόπτωσης μορφής .PLU εισάγονταν στο λογισμικό AquaCrop. Επιπλέον, εισάγονταν τέταρτο αρχείο καταγραφής της ετήσιας συγκέντρωσης του CO₂ μορφής .CO2. Με την εισαγωγή των παραπάνω αρχείων στο πρότυπο ολοκληρώνονταν η διαδικασία συγκέντρωσης των απαιτούμενων κλιματικών δεδομένων που προέκυπταν από την χρήση των περιγραφόμενων κλιματικών μοντέλων της Παραγράφου 2.1.



Εικόνα 2.7: Σχηματική απεικόνιση της μεθοδολογίας επεξεργασίας των κλιματικών δεδομένων για την εισαγωγή τους στο AquaCrop

2.2.5. Δεδομένα που αφορούν στους καλλιεργητικούς χειρισμούς

Τα δεδομένα που αφορούν καλλιεργητικούς χειρισμούς χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες. Αυτά που αφορούν γενικότερους χειρισμούς και αυτά που έχουν να κάνουν ειδικότερα με τη διαχείριση του νερού. Όσον αφορά την πρώτη κατηγορία, αυτή επικεντρώνεται περισσότερο στη θρεπτική κατάσταση της καλλιέργειας ή στις παρεμβάσεις λίπανσης που θα γίνουν κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Επίσης μπορεί να αφορά και σε άλλα στοιχεία, όπως την κάλυψη του εδάφους με φυτικά υπολείμματα (επιστρώματα) για τη μείωση της εξάτμισης νερού από το έδαφος ή τη δημιουργία αναχωμάτων για την αποφυγή της υδατικής απορροής. Η δεύτερη κατηγορία αφορά ειδικά τη διαχείριση του νερού και, πιο συγκεκριμένα, εάν η καλλιέργεια είναι αρδευόμενη ή όχι, και, εφόσον είναι αρδευόμενη, η ποσότητα, ο τρόπος και το βάθος άρδευσης.



Εικόνα 2.8: Το γραφιστικό περιβάλλον του προτύπου AquaCrop σχετικά με τον τρόπο, την ποσότητα και τις ημερομηνίες άρδευσης

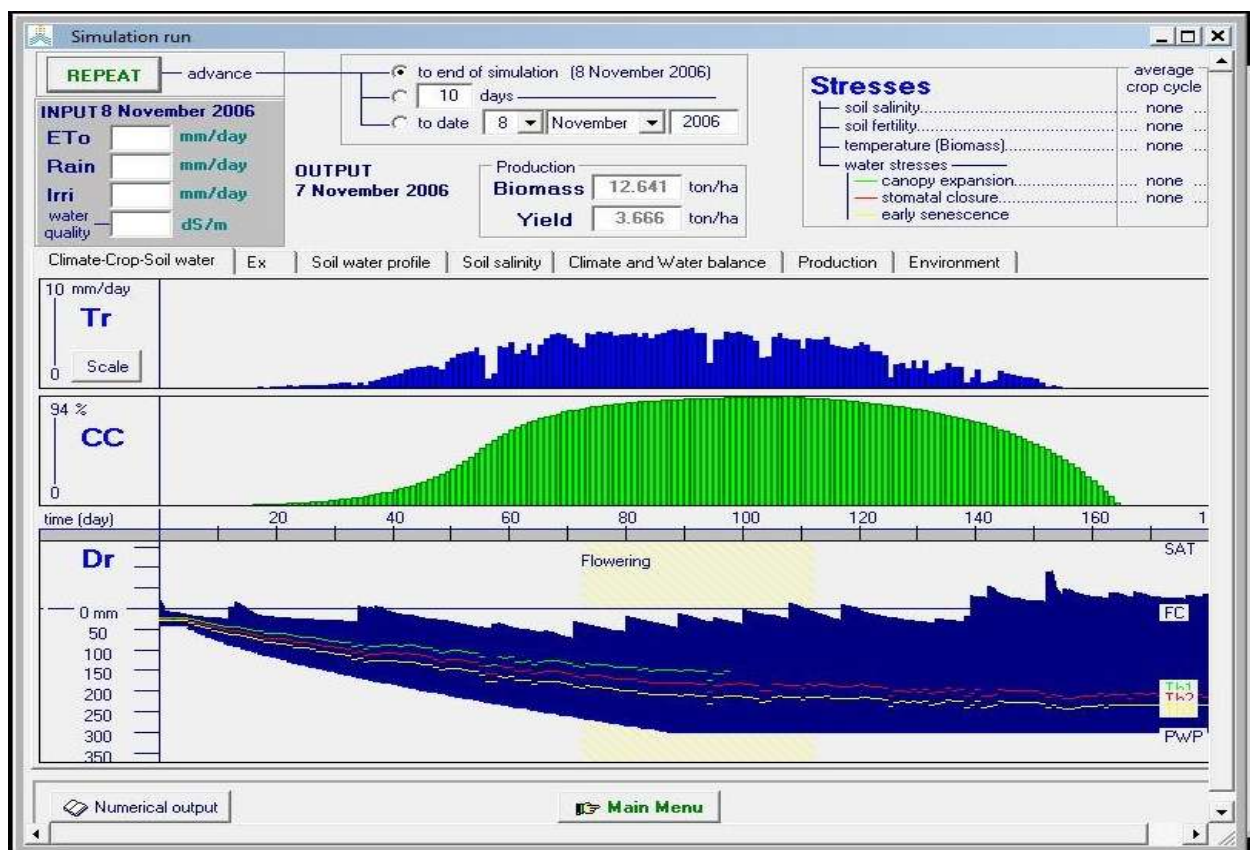
Οι παράμετροι που πρέπει να ρυθμισθούν για την ορθή λειτουργία του μοντέλου φαίνονται παρακάτω:

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

αριθμός φυτών ανά εκτάριο
χρόνος έως τη μέγιστη φυλλική επικάλυψη
αρχική φυλλική επικάλυψη (CC0)
μέγιστη φυλλική επικάλυψη (CCx)
συντελεστής ανάπτυξης φυλλώματος
συντελεστής μείωσης φυλλώματος
χρόνος έναρξης γήρανσης
χρόνος έναρξης άνθησης
διάρκεια περιόδου άνθησης
χρόνος από τη σπορά έως το φύτρωμα
χρόνος από τη σπορά έως την ωρίμανση
βάθος μέγιστου ενεργού ριζοστρώματος
χρόνος από τη σπορά έως το μέγιστο βάθος του ριζικού συστήματος
τιμή αναφοράς δείκτη συγκομιδής
ρυθμισμένη υδατική παραγωγικότητα
είδος υδατικής διαχείρισης
ποσότητα νερού άρδευσης
ημερομηνίες εφαρμογής αρδεύσεων
συντελεστές επέκτασης επικάλυψης φυλλώματος
συντελεστής κλεισίματος στοματίων
συντελεστής πρώιμης γήρανσης επικάλυψης φυλλώματος
συντελεστές εδαφικής αλατότητας

2.2.6 Εξαγόμενα αποτελέσματα

Αφότου εισαχθούν τα ανωτέρω δεδομένα (inputs) και σχηματισθούν οι σωστοί φάκελοι οι οποίοι αποτυπώνουν τα προαναφερθέντα σύνθετα συστήματα του κλίματος (climate), της καλλιέργειας (crop), των καλλιεργητικών χειρισμών (management) και του εδάφους (soil), το πρότυπο πλέον είναι έτοιμο να δώσει ως εξαγόμενα αποτελέσματα την απόδοση (yield) και τη βιομάζα (biomass) σε τόνους/εκτάριο. Επιπλέον παρουσιάζεται μια αναλυτική εικόνα της πορείας της διαπνοής (Tr), της φυλλικής επικάλυψης (CC) και της εξάντλησης της εδαφικής υγρασίας του ριζοστρώματος (Dr) με βάση τις ημέρες μετά τη σπορά. Στην τελευταία γραφική παράσταση του γραφιστικού περιβάλλοντος του AquaCrop η πράσινη, κόκκινη, κίτρινη γραμμή περιγράφουν την πορεία της διαθέσιμης εδαφικής υγρασίας όταν η απουσία βροχοπτώσεων ή αρδεύσεων οδηγεί σε μείωση της στο ριζόστρωμα κάτω από το όριο για την ανάπτυξη του φυλλώματος, την έναρξη του κλεισίματος των στοματίων και την γήρανση του φυλλώματος αντίστοιχα. Τέλος παρουσιάζεται η εκτιμώμενη ημερομηνία συγκομιδής.

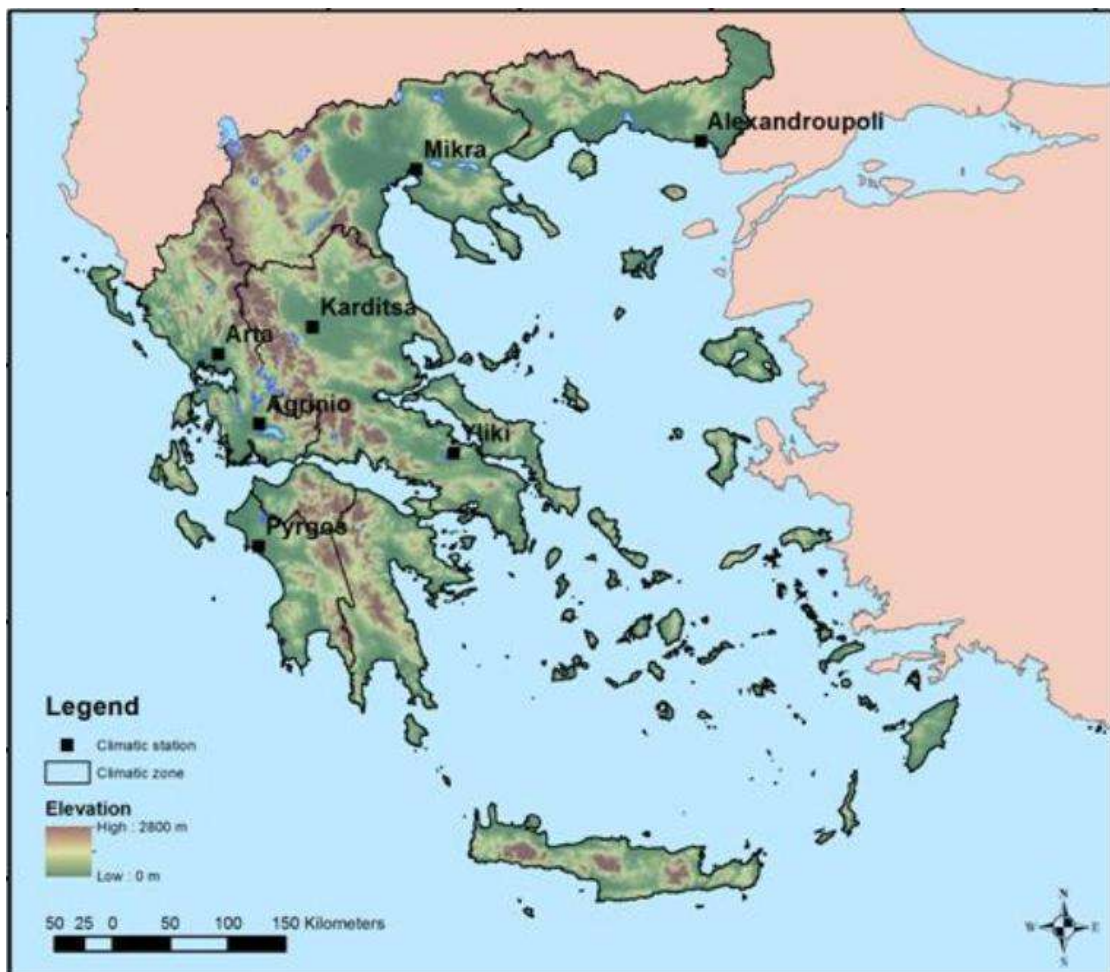


Εικόνα 2.9: Το γραφιστικό περιβάλλον του προτύπου AquaCrop σχετικά με τα εξαγόμενα αποτελέσματα καλλιέργειας βαμβακιού υπό συνθήκες πλήρους άρδευσης

2.3. Περιοχές έρευνας και κλιματικά χαρακτηριστικά τους

Σύμφωνα με τους χάρτες γεωγραφικού προσδιορισμού των αροτραίων καλλιεργειών που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, για τον σκοπό της έρευνας επιλέχθηκαν 7 τοποθεσίες στον ελληνικό χώρο οι οποίες είναι αντιπροσωπευτικές. Πιο συγκεκριμένα οι περιοχές αυτές είναι:

- Αλεξανδρούπολη 40° 55' 46'' Β / 25° 51' 16'' Ε
- Μίκρα 40° 27' 38'' Β / 22° 59' 30'' Ε
- Άρτα 39° 08' 19'' Β / 20° 57' 01'' Ε
- Καρδίτσα 39° 19' 29'' Β / 21° 51' 42'' Ε
- Αργίνοιο 38° 39' 47'' Β / 21° 18' 46'' Ε
- Πύργος 37° 40' 08'' Β / 21° 34' 25'' Ε
- Υλίκη 38° 25' 07'' Β / 23° 21' 07'' Ε



Εικόνα 2.10: Οι περιοχές της έρευνας

Με τη βοήθεια της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (ΕΜΥ) συλλέχθηκαν δεδομένα μέσω μηνιαίων θερμοκρασιών και μέσω μηνιαίων υψών βροχόπτωσης για την τριακονταετία 1961-1990. Τα δεδομένα αυτά παρουσιάζονται στους Πίνακες 2.4 και 2.5.

Πίνακας 2.4: Μέση μηνιαία θερμοκρασία περιόδου 1961-1990 στις 7 περιοχές μελέτης σε °C

	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος	Οκτώβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος
Αγρίνιο	8,2	9,2	11,7	15,2	20,3	24,5	27,0	26,7	23,1	17,9	13,0	9,5
Αλεξανδρούπολη	4,8	5,8	8,5	13,2	18,3	23,0	25,7	25,2	21,0	15,5	11,0	7,0
Άρτα	8,7	9,6	11,9	15,3	20,0	23,9	26,5	26,4	23,0	18,2	13,4	10,0
Μίκρα	5,0	6,7	9,6	14,2	19,5	24,2	26,5	25,8	21,8	16,1	10,9	6,7
Πύργος	10,1	10,8	12,6	15,4	19,8	23,8	26,4	26,3	23,4	18,9	14,7	11,4
Υλίκη	7,5	8,3	10,3	14,6	20,0	25,1	27,3	26,4	22,5	17,1	12,9	9,4
Καρδίτσα	5,5	7,4	10,5	15,4	20,7	25,4	27,5	26,7	22,8	16,4	11,2	6,7

Πίνακας 2.5: Μέση μηνιαία βροχόπτωση για την περίοδο 1961-1990 στις 7 περιοχές μελέτης σε mm

	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος	Οκτώβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος
Αγρίνιο	118,2	119,7	80,8	66,2	46,9	23,3	16,5	16,2	40,3	108,7	171,0	151,4
Αλεξανδρούπολη	60,4	60,9	52,3	39,6	36,3	27,3	17,6	10,6	31,0	50,5	73,3	85,7
Άρτα	100,7	88,9	62,6	49,7	27,3	13,9	5,7	4,5	22,9	78,4	112,5	127,2
Μίκρα	36,9	40,3	45,7	36,2	42,8	29,4	25,6	20,8	26,2	40,6	57,9	53,1
Πύργος	115,5	113,5	69,5	53,9	23,1	11,2	5,5	10,1	36,6	102,0	165,0	147,8
Υλίκη	64,3	53,5	50,3	28,3	20,7	14,0	6,9	11,2	17,3	53,8	57,1	77,1
Καρδίτσα	78,9	79,9	81,4	54,4	40,9	28,4	18,9	16,0	30,0	79,4	92,1	96,4

Όπως διαπιστώνεται, οι περιοχές με τη χαμηλότερη μέση μηνιαία θερμοκρασία είναι η Μίκρα και η Αλεξανδρούπολη. Αντίθετα οι περιοχές με τις υψηλότερες θερμοκρασίες διαφοροποιούνται ανάλογα με την περιοχή. Έτσι ενώ κατά τους ανοιξιάτικους μήνες πιο θερμές περιοχές είναι ο Πύργος και το Αγρίνιο, η σειρά διαφοροποιείται κατά τους καλοκαιρινούς μήνες όπου ξεχωρίζουν η Καρδίτσα, η Υλίκη και το Αγρίνιο (Πιν. 2.4).

Αντίστοιχα σε επίπεδο βροχοπτώσεων, σχεδόν στο σύνολο των μηνών τις υψηλότερες τιμές συγκεντρώνουν οι περιοχές της Δυτικής Ελλάδας (Αγρίνιο, Άρτα, Πύργος), ωστόσο για το διάστημα Ιούλιος-Αύγουστος φαίνεται να ξεχωρίζει και η Καρδίτσα λόγω των υψηλών τιμών (Πιν. 2.5). Λιγότερες βροχοπτώσεις δέχονται οι περιοχές της Αλεξανδρούπολης, Μίκρας και Υλίκης. Συμπερασματικά μπορεί να ειπωθεί ότι οι περιοχές πλησίον και δυτικά της οροσειράς της Πίνδου δέχονται μεγαλύτερες ποσότητες βροχοπτώσεων.

2.4. Οι καλλιέργειες και η μέθοδος εφαρμογής του AquaCrop

Οι καλλιέργειες οι οποίες μελετήθηκαν στην παρούσα μελέτη είναι το βαμβάκι, το σιτάρι και ο αραβόσιτος. Για τη συλλογή δεδομένων που εφαρμόστηκαν στην παραμετροποίηση, στον στατιστικό έλεγχο και στην προσομοίωση καλλιεργητικών τεχνικών του προτύπου χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία και πληροφορίες από προηγούμενα πειράματα πεδίου καθώς και από πειράματα αγρού που διεξήχθησαν στο πλαίσιο της διδακτορικής διατριβής. Η παραδοχή στην οποία βασίστηκε η παρούσα μελέτη έγκειται στο γεγονός ότι ήταν αδύνατο να εγκαταστήσουμε τρία διαφορετικά πειράματα (τρεις καλλιέργειες) σε επτά περιοχές, όπως επίσης ότι ήταν αδύνατο να βρούμε αξιόπιστα αναλυτικά δεδομένα για όλες τις καλλιέργειες σε όλες τις περιοχές. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίστηκε αποδεχόμενοι την αξιοποίηση πειραματικών δεδομένων από συγκεκριμένες μόνο περιοχές οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν ως πηγές δεδομένων (source data). Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιήθηκε και στο παρελθόν σε αντίστοιχες μελέτες επιδράσεων της κλιματικής αλλαγής σε διάφορες καλλιέργειες όπως στο βαμβάκι (Traore et al., 2013) και στον αραβόσιτο (Ruane et al., 2013).

Πιο συγκεκριμένα, στη περίπτωση του βαμβακιού χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από πείραμα που έλαβε χώρα στην περιοχή της Καρδίτσας κατά την περίοδο 2005-2007 (Κωτούλας, 2010). Για το σιτάρι χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από πείραμα που εγκαταστάθηκε στην περιοχή της Υλίκης την περίοδο 2010-2011. Τέλος για τον αραβόσιτο χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από πείραμα που εγκαταστάθηκε στον πειραματικό αγρό του εργαστηρίου Γεωργίας του ΓΠΑ κατά τα έτη 2010-2011. Η ανάλυση των εδαφολογικών δεδομένων, ώστε να είναι αξιοποιήσιμα από το AquaCrop, έγινε με τη χρήση του λογισμικού SPAW Hydrology (Saxton & Willey, 2004).

2.4.α. Βαμβάκι

Το πείραμα εγκαταστάθηκε στην περιοχή Ξινονέρι Καρδίτσας, στο πλαίσιο προηγούμενης έρευνας (Κωτούλας, 2010). Κατά το 2005 ο αγρός διέθετε υψηλό υδατικό ορίζοντα σε βάθος 120cm και για λόγους άσχετους με την παρούσα μελέτη, τα επόμενα δύο έτη μετατοπίστηκε σε παρακείμενη τοποθεσία με παρουσία υδατικού ορίζοντα σε βάθος κάτω από 250cm. Μερικά βασικά χαρακτηριστικά εδάφους που χρησιμοποιήθηκαν στην προσομοίωση παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.6.

Πίνακας 2.6: Εδαφικά χαρακτηριστικά πειραματικού αγρού Καρδίτσας

Έτος	Βάθος (cm)	Σύσταση (S-C-Si)	Εδαφική υγρασία στην υδατοϊκανότητα
2005	0-120	34-41-25	37.1%
2006-07	0-30	20-38-42	36.8%
	>30	21-32-47	34.9%

Ένας φορητός μετεωρολογικός σταθμός (Skye Instruments Ltd, PRONAMIC Bekhti International Trading Engineering Co. Ltd, ADOLF THIES GmbH & Co.KG), εγκαταστάθηκε στην περιοχή για τη συλλογή των δεδομένων. Τα δεδομένα που λήφθηκαν ήταν: μέση ημερήσια μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$), μέση ημερήσια βροχόπτωση (mm), μέση ημερήσια σχετική υγρασία (%), μέση τιμή έντασης ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2) και ταχύτητα ανέμου (m/sec).

Ο αγρός ήταν απαλλαγμένος από ζιζάνια και δεν διαπιστώθηκε έλλειψη θρεπτικών στοιχείων κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας. Οι ημερομηνίες σποράς για τα τρία έτη ήταν 25/4, 7/5 και 29/4 για το 2005, 2006 και 2007 αντιστοίχως. Επιπλέον εφαρμόσθηκε στάγδην άρδευση υπολογιζόμενη στο 80% της εξατμισοδιαπνοής της φυτείας. Το πρόγραμμα αρδεύσεων κατά τα τρία έτη φαίνεται στον Πίνακα 2.7.

Πίνακας 2.7: Ποσότητα αρδευόμενου νερού (mm) ανά ημέρες μετά τη σπορά (ΗΜΣ).

2005		2006		2007	
ΗΜΣ	(mm)	ΗΜΣ	(mm)	ΗΜΣ	(mm)
20	25	13	25	24	25
38	25	35	25	42	25
73	44	72	40	73	40
96	32	81	38	87	44
110	32	90	36	94	44
121	32	101	36	101	30
		109	36	112	40
		118	36		
Σύνολο	190	Σύνολο	272	Σύνολο	248

Το πειραματικό σχέδιο που ακολουθήθηκε ήταν αυτό των τυχαιοποιημένων πλήρων ομάδων με τέσσερις επαναλήψεις και τρεις επεμβάσεις, από τις οποίες χρησιμοποιήθηκαν μόνο αυτές της άρδευσης στο 80% της εξατμισοδιαπνοής της φυτείας. Η μέτρηση της φυλλικής επιφάνειας έγινε με τη βοήθεια της συσκευής DT-leaf area meter (Delta-T Devices Ltd, Burwell Cambridge, UK) και υπολογίστηκε ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI). Η μετατροπή του LAI σε CC έγινε μέσω της Εξίσωσης 2.8 όπως προτείνεται από τους Garcia-Vila et al., 2009.

$$CC = \frac{(1 - e^{-LAI/1.3})}{(1 + e^{-LAI/1.3})} \quad (2.8)$$

2.4.β. Αραβόσιτος

Κατά τα έτη 2010 και 2011 στον πειραματικό αγρό του εργαστηρίου Γεωργίας του ΓΠΑ, εγκαταστάθηκε πείραμα καλλιέργειας αραβοσίτου *Zea mays* L. με τρία υβρίδια (Κωσταντζα, PR32T83, PR32G44). Το πειραματικό σχέδιο που ακολουθήθηκε ήταν αυτό των υποδιαιρεμένων τεμαχίων με τρεις επαναλήψεις, δύο επεμβάσεις (τρία υβρίδια, τρία επίπεδα άρδευσης). Από αυτά τα δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν μόνο του υβριδίου Κωσταντζα, το οποίο είναι το πιο εμπορικό και ευρύτερα διαδεδομένο σήμερα και της άρδευσης στο 80% της εξατμισοδιαπνοής της φυτείας, η οποία υπολογίστηκε με βάση την διαδικασία που περιγράφεται από τους Allen et al. (1998), σύμφωνα με την εξίσωση Penman-Monteith. Φορητός μετεωρολογικός σταθμός εγκαταστάθηκε στο χώρο του πειράματος (Meteo Datalogger, CR 800, Campbell Scientific, Inc), από τον οποίο σε ημερήσια βάση λαμβάνονταν τα περιγραφόμενα και στην περίπτωση του βαμβακιού δεδομένα.



Εικόνα 2.11: Πειραματικός αγρός καλλιέργειας αραβοσίτου στο ΓΠΑ (έτος 2011)

Τα ζιζάνια κατά μήκος των τεμαχίων που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση απομακρύνθηκαν με μηχανικό τρόπο και βοτάνισμα. Τα χαρακτηριστικά του εδάφους κατά τα δύο έτη παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.8.

Πίνακας 2.8: Εδαφικά χαρακτηριστικά πειραματικού αγρού ΓΠΑ

Έτος	Βάθος (cm)	Σύσταση (S-C-Si)	Εδαφική υγρασία στην υδατοϊκανότητα
2010-11	0-30	35-30-35	33.1%

Οι ημερομηνίες σποράς ήταν 30/4 για το 2010 και 12/4 για το 2011. Η άρδευση της φυτείας έγινε στάγδην και το κύκλωμα διανομής του νερού αποτελούνταν από έναν κεντρικό αγωγό \varnothing 32mm, από δευτερεύοντες \varnothing 25 mm και σταλακτηφόρους αγωγούς \varnothing 16 mm, με παροχή 6 lit/h, ενώ το πρόγραμμα άρδευσης για τα δύο έτη παρουσιάζεται στον Πίνακα 2.9.

Πίνακας 2.9: Ποσότητα αρδευόμενου νερού (mm) ανά ημέρες μετά τη σπορά (ΗΜΣ).

2010		2011	
ΗΜΣ	(mm)	ΗΜΣ	(mm)
48	28	30	25
60	52	56	25
67	27	74	32
74	32	80	40
81	36	85	44
88	36	93	40
95	36	100	32
102	34		
109	37		
Σύνολο	318	Σύνολο	213

Όπως και στην περίπτωση του βαμβακιού, η μέτρηση της φυλλικής επιφάνειας έγινε με τη βοήθεια της συσκευής DT-leaf area meter (Delta-T Devices Ltd, Burwell Cambridge, UK) και υπολογίστηκε ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI). Στην περίπτωση του αραβόσιτου για τη μετατροπή του LAI σε CC χρησιμοποιήθηκε η Εξίσωση 2.9 όπως προτείνεται από τους Hsiao et al. (2009):

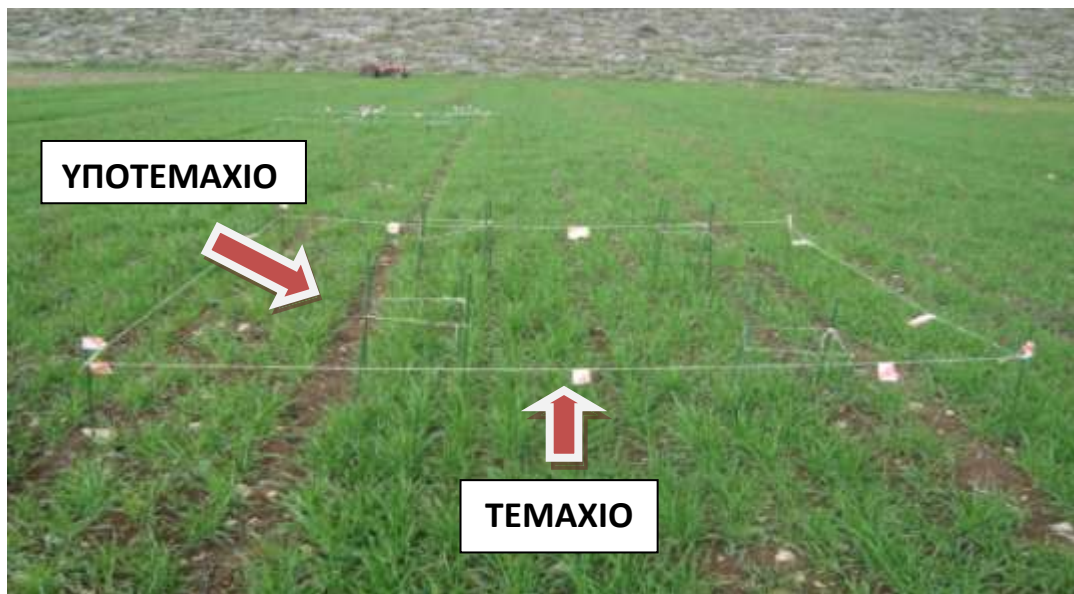
$$CC = 1.005[1 - \exp(-0.6LAI)]^{1.2} \quad (2.9)$$

2.4. γ. Σιτάρι

Στην περίπτωση της παραμετροποίησης του σιταριού αποφασίσθηκε η λήψη δεδομένων σε αγρό στην περιοχή της Υλίκης, κατά την καλλιεργητική περίοδο 2010-2011, όπου συλλέχθηκαν δεδομένα από καλλιέργεια της ποικιλίας Μεξικάλι (*Triticum durum* L., cv. Mexicali). Η σπορά πραγματοποιήθηκε στις 15/11/2010 και η συγκομιδή στις 27/6/2011. Ο αγρός ήταν απαλλαγμένος από ζιζάνια λόγω χρήσης του σκευάσματος Atlantis WG (Bayer) (δραστική ουσία: mesosulfuron-methyl & Iodosulfuron-methyl-sodium). Στην συγκεκριμένη περιοχή τα δεδομένα λήφθηκαν από πέντε πειραματικά τεμάχια (3mX3m) που εγκαταστάθηκαν εντός κανονικού καλλιεργητικού αγρού, με τέσσερις επαναλήψεις (υποτεμάχια)

(0,3mX0,3m) σε κάθε τεμάχιο. Στον συγκεκριμένο αγρό τοποθετήθηκε μετεωρολογικός σταθμός (CR800/CR850, Campbell Scientific Ltd), από τον οποίο λαμβάνονταν τα περιγραφόμενα και στην περίπτωση του βαμβακιού δεδομένα.

Τα εδαφολογικά χαρακτηριστικά της Υλίκης (5 σημεία) παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.9.



Εικόνα 2.12: Πειραματικός αγρός (τεμάχιο και υποτεμάχια) σε καλλιέργεια σιταριού στην περιοχή της Υλίκης (2010-2011)

Πίνακας 2.9: Εδαφολογικά χαρακτηριστικά του αγρού καλλιέργειας σιταριού στην Υλίκη (2011)

Δείγμα	Βάθος (cm)	Σύσταση (S-C-Si)	Εδαφική υγρασία στην υδατοϊκανότητα
1	0-30	60-11-29	43,7%
2	0-30	34-23-43	45,4%
3	0-30	28-23-49	46,1%
4	0-30	55-19-26	43,3%
5	0-30	32-25-43	45,7%

Η προσομοίωση της ανάπτυξης της φυλλικής επιφάνειας του σιταριού πραγματοποιήθηκε με τη λήψη ψηφιακών φωτογραφιών και στη συνέχεια αυτές αναλύθηκαν με το λογισμικό SigmaScan Pro 5 (Systat Software 2005). Η συγκεκριμένη ανάλυση βασίστηκε στους Karcher & Richardson (2005) και στηρίζεται στην ποσοστιαία μέτρηση της φυλλικής επιφάνειας σε ψηφιακές φωτογραφίες σε κάτοψη. Για την καλύτερη αποτύπωση της σταδιακής ανάπτυξης της φυλλικής επιφάνειας πραγματοποιήθηκαν λήψεις σε πέντε ημερομηνίες (23/2, 4/3, 17/3, 30/3, 20/4).

2.5. Στατιστική επεξεργασία και έλεγχος των αποτελεσμάτων

Ο στατιστικός έλεγχος που εφαρμόστηκε στην συγκεκριμένη έρευνα διαχωρίστηκε σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη αφορούσε στον έλεγχο της καλύτερης εφαρμογής του προτύπου στις καλλιέργειες στο επίπεδο των τελικών αποδόσεων (yield) και της βιομάζας (biomass) και η δεύτερη στην αξιολόγηση της ικανότητας των κλιματικών μοντέλων να διακρίνουν τις διαφορετικές περιοχές ανάλογα με τις προβλεπόμενες αποδόσεις των καλλιεργειών.

Αναφορικά με την αξιολόγηση της εφαρμογής του AquaCrop στις καλλιέργειες, χρησιμοποιήθηκε η ρίζα του μέσου τετραγώνου του σφάλματος (root mean square error- RMSE) και ο δείκτης συμφωνίας (index of agreement- d). Τα παραπάνω στατιστικά εργαλεία έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία και σε προηγούμενες ερευνητικές εργασίες προσομοίωσης καλλιεργειών με το AquaCrop από τους Stricevic et al. (2011), Hussein et al. (2011) κ.ά.

Πιο αναλυτικά για την ρίζα του μέσου τετραγώνου του σφάλματος, η εξίσωση που χρησιμοποιήθηκε ήταν:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2} \quad (2.10)$$

όπου S_i και O_i είναι οι τιμές προσομοίωσης και οι πραγματικές αντίστοιχα και n ο αριθμός των παρατηρήσεων. Η εφαρμογή του μοντέλου θεωρείται ότι είναι αρτιότερη όσο μικρότερη είναι η τιμή του RMSE βαίνοντας προς το μηδέν.

Για τον δείκτη συμφωνίας η εξίσωση που χρησιμοποιήθηκε ήταν :

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|S_i - MO| + |O_i - MO|)^2} \quad (2.11)$$

όπου S_i και O_i είναι οι τιμές προσομοίωσης και οι πραγματικές αντίστοιχα και MO ο μέσος όρος του n αριθμού παρατηρήσεων. Η εφαρμογή του μοντέλου θεωρείται ότι είναι αρτιότερη όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του d βαίνοντας από το μηδέν προς τη μονάδα.

Αναφορικά με την αξιολόγηση της ικανότητας των κλιματικών μοντέλων να διακρίνουν τις διαφορετικές περιοχές ανάλογα με τις προβλεπόμενες αποδόσεις των καλλιεργειών χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της σταδιακής διακρίνουσας ανάλυσης (stepwise discriminant function analysis- SDFA) (SDFA, Jennrich, 1977). Πιο συγκεκριμένα η μέθοδος αυτή βασίζεται στον διαχωρισμό των δεδομένων σε ανεξάρτητες και εξαρτημένες μεταβλητές και η εξεύρεση γραμμικών εξισώσεων έτσι ώστε να

προσδιορισθούν οι παράμετροι που είχαν σημαντική στατιστικά διαχωριστική ικανότητα από την προσομοίωση των οκτώ κλιματικών μοντέλων στις επτά περιοχές της χώρας. Στη συγκεκριμένη περίπτωση εξαρτημένες μεταβλητές ήταν οι περιοχές έρευνας, ενώ ανεξάρτητες ήταν τα κλιματικά μοντέλα. Οι εξισώσεις αυτές περιγράφουν πως οι ανεξάρτητες μεταβλητές (κλιματικά μοντέλα) επηρεάζουν το διαχωρισμό των εξαρτημένων μεταβλητών (περιοχές έρευνας) με τη βοήθεια διακρινόντων συντελεστών (discriminant variables). Η σταδιακή ανάλυση βασίστηκε στη χρήση της Wilks lambda μεθόδου. Σε κάθε βήμα ο συντελεστής της ανεξάρτητης μεταβλητής ο οποίος συνέβαλε στην ελαχιστοποίηση του συνολικού Wilks lambda λαμβάνονταν υπόψη, υπό την προϋπόθεση ότι για να συμπεριληφθούν οι ανεξάρτητες μεταβλητές στις διακρινουσες εξισώσεις θα έπρεπε η ελάχιστη τιμή του στατιστικού ελέγχου F να είναι 3,84. Σε κάθε βήμα της ανάλυσης η ανεξάρτητη μεταβλητή που λαμβάνονταν υπόψη έπρεπε να έχει μέγιστη τιμή στατιστικού ελέγχου 2,71.

Μια διακρινουσα εξίσωση περιγράφεται παρακάτω:

$$D = v_1 * X_1 + v_2 * X_2 + v_3 * X_3 + \dots + v_i * X_i + a \quad (2.12)$$

όπου D= το άθροισμα της διακρινουσας εξίσωσης, v=διακρίνων συντελεστής, X=ανεξάρτητη μεταβλητή, i=αριθμός ανεξάρτητων συντελεστών, α= σταθερά.

Η πρώτη εξίσωση μεγιστοποιεί τις διαφορές μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών και προσπαθεί να περιγράψει όσο το δυνατόν μεγαλύτερο ποσοστό της διακύμανσης των εξαρτημένων. Με λίγα λόγια, όσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής v τόσο μεγαλύτερη η συμβολή της ανεξάρτητης μεταβλητής X στο άθροισμα της εξίσωσης, η οποία εξίσωση περιγράφει την καλύτερη διαχωριστική ικανότητα μεταξύ των περιοχών.

Η S DFA εφαρμόστηκε για όλες τις καλλιέργειες για τις περιόδους 1961-1990, 2021-2050 και 2071-2100, για όλα τα κλιματικά μοντέλα και για τις επτά περιοχές.

2.6. Χωρική προβολή των αποτελεσμάτων

Η πληθώρα δεδομένων και η μεγάλη γεωγραφική κατανομή τους, δημιούργησε την ανάγκη καλύτερης αποτύπωσής τους στον χάρτη έτσι ώστε να γίνει ευκολότερη και πιο κατανοητή η ερμηνεία τους. Για το λόγο αυτό τα τελικά αποτελέσματα από τις συγκρίσεις των σεναρίων καταχωρήθηκαν σε ψηφιακούς χάρτες όπου γινόταν περισσότερο διακριτή η συμπεριφορά της κάθε καλλιέργειας ανά περιοχή. Ως εργαλείο για την ψηφιακή καταχώριση χρησιμοποιήθηκαν τα Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα (ΓΠΣ).

Τα ΓΠΣ (Geographic Information Systems ή GIS) οφείλουν το όνομά τους στον Roger Tomlison, ο οποίος στα μέσα της δεκαετίας του 1960 υλοποίησε το πρώτο μεγάλο ΓΠΣ, το Canadian Geographical Information System (CGIS).

Τα ΓΠΣ είναι συστήματα αυτόματης χωρικής επεξεργασίας, που περιγράφουν οντότητες του πραγματικού κόσμου σε σχέση με: α) τη θέση τους ως προς ένα σύστημα συντεταγμένων β) παραμέτρους που έχουν να κάνουν σχέση με τη χωρική τους θέση και γ) τοπολογικούς συνδέσμους που έχουν με άλλες οντότητες. Τα μέρη ενός ΓΠΣ είναι α) το Υλικό, το οποίο αποτελείται από τις συσκευές που χρειάζεται για να τρέξει ένα ΓΠΣ όπως ο υπολογιστής β) το Λογισμικό το οποίο επιτρέπει την επεξεργασία και καταχώριση χωρικών και μη χωρικών δεδομένων σε Βάσεις Δεδομένων γ) τα Δεδομένα τα οποία διαχωρίζονται σε χωρικά που αποτελούνται από σημεία, γραμμές και περιοχές και σε παραμετρικά τα οποία συνοδεύουν τα χωρικά δεδομένα δ) τους ανθρώπους που περιλαμβάνει ένα πλήθος από ειδικότητες όπως managers, διαχειριστές Βάσεων Δεδομένων, ειδικούς εφαρμογών, προγραμματιστές κλπ ε) τις επεξεργασίες, δηλαδή τον τρόπο με τον οποίο θα ανακτηθούν τα δεδομένα, θα εισαχθούν στο σύστημα, θα αποθηκευτούν, θα αναλυθούν, θα μετασχηματισθούν και τελικά θα παρουσιασθούν σε τελική μορφή και στ) το διαδίκτυο, χωρίς το οποίο δεν μπορούμε να έχουμε ταχεία επικοινωνία και συλλογή και ανταλλαγή πληροφοριών (Κόλλια κ.ά, 2012).

Στη συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ArcMap του ArcGIS, έκδοση 9.3 στις υποδομές της Ερευνητικής Μονάδας ΓΠΣ του ΓΠΑ και οι πληροφορίες που αποτυπώθηκαν στους ψηφιακούς χάρτες αφορούσαν τις ακριβείς γεωγραφικές θέσεις των επτά προς μελέτη περιοχών στις οποίες προβλήθηκε η μεταβολή στις αποδόσεις των καλλιεργειών ανά κλιματικό σενάριο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Παραμετροποίηση και έλεγχος του προτύπου

Απαραίτητη διαδικασία για την ορθή εφαρμογή του προτύπου AquaCrop είναι η παραμετροποίηση και ο έλεγχος (Hsiao et al., 2009, Steduto et al., 2009). Το AquaCrop είναι σχεδιασμένο για χρήση για ένα μεγάλο εύρος κλιματικών και εδαφολογικών συνθηκών χωρίς την ανάγκη βαθμονόμησης (calibration) του μοντέλου για κάθε γεωγραφική θέση, από τη στιγμή που έχει προηγηθεί ορθή παραμετροποίηση (parameterization) για κάθε καλλιέργεια. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, όπως προαναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, τα συλλεχθέντα πειραματικά δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν για την παραμετροποίηση του προτύπου. Η διαδικασία αυτή ουσιαστικά δρα διορθωτικά για τις συγκεκριμένες τρεις καλλιέργειες στις προς μελέτη περιοχές, στη βάση των προϋπαρχόντων δεδομένων που διαθέτει το AquaCrop από τον κατασκευαστή. Το πρότυπο AquaCrop είναι δομημένο πάνω σε δύο κατηγορίες παραμέτρων. Η μία κατηγορία ονομάζεται συντηρητική (conservative) και περιλαμβάνει παραμέτρους των οποίων η ρύθμιση παραμένει σταθερή ανεξάρτητα από τις συνθήκες ανάπτυξης και υδατικής κατάστασης. Η άλλη κατηγορία περιλαμβάνει παραμέτρους που εξαρτώνται από τη γεωγραφική θέση, την καλλιέργεια, τους καλλιεργητικούς χειρισμούς και καθορίζονται από τον χρήστη. Μια σημαντική ρύθμιση που έχει γίνει για τις παραμέτρους της πρώτης κατηγορίας είναι ότι έχουν ρυθμιστεί με βάση δεδομένα που έχουν ληφθεί από την προσομοίωση σύγχρονων υψηλής παραγωγικότητας ποικιλιών, σε ιδανικές συνθήκες λίπανσης και στις περισσότερες περιπτώσεις με επάρκεια νερού. Επίσης στο πλαίσιο της απλοποίησης της λειτουργίας του μοντέλου δεν προσομοιάζεται άμεσα η διαδικασία της θρέψης, αλλά η επίδρασή της αποτυπώνεται στη ρύθμιση των παραμέτρων που καθορίζουν την προσομοιωμένη βιομάζα σε σύγκριση με τις πραγματικές τιμές. Στον Πίνακα 3.1 παρουσιάζονται σε αύξουσα κλίμακα ακρίβειας τα ζητούμενα δεδομένα για την ορθότερη διαδικασία βαθμονόμησης και παραμετροποίησης που θα οδηγήσουν σε μία επιτυχημένη προσομοίωση της ανάπτυξης και παραγωγής μιας καλλιέργειας.

Πίνακας 3.1: Αύξουσα κλίμακα κατάταξης των δεδομένων για ακριβέστερη προσομοίωση του AquaCrop (Steduto et al., 2012).

	1	2	3	4
Καλλιέργεια	Απόδοση, δείκτης συγκομιδής, ημερομηνίες σποράς και συγκομιδής και χρονική περίοδος καλλιέργειας, αριθμός σπόρων ανά εκτάριο και ποσοστό φυτρωτικότητας καλλιέργειας	Ξηρό βάρος υπέργειας βιομάζας κατά τη συγκομιδή, ημερομηνία φυτρώματος και ωρίμανσης, πυκνότητα σποράς, εκτιμώμενο μέγιστο βάθος ριζικού συστήματος, μέγιστη τιμή δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI), ή ένδειξη του ρυθμού αύξησης της φυλλικής επιφάνειας	Περιοδικές μετρήσεις του LAI και ή της φυλλικής επικάλυψης (canopy cover), περιοδικές μετρήσεις του βάρους της βιομάζας του υπέργειου τμήματος, ημερομηνία εμφάνισης κίτρινων φύλλων, μέτρηση βάθους ριζικού συστήματος, ημερομηνίες εμφάνιση συμπτωμάτων υδατικής καταπόνησης	Δεδομένα της στήλης 1 για πολλαπλές τοποθεσίες και κλιματικές συνθήκες
Κλιματικές συνθήκες και εξατμισοδιαπνοή	Δεδομένα ανά 10ήμερο ή μήνα: μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία, ποσοστό ημερών ηλιοφάνειας και μετρήσεις υγρασίας, ταχύτητας ανέμου, γεωγραφικού πλάτους και υψομέτρου	Εβδομαδιαίες ή ανά 10ήμερο μέσες τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας ή ωρών ηλιοφάνειας, μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας, μέγιστη και ελάχιστη τιμή σχετικής υγρασίας, ταχύτητας ανέμου, ημερήσιας βροχόπτωσης, εξατμισοδιαπνοή	Ημερήσιες τιμές μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας, έντασης ηλιακής ακτινοβολίας ή ωρών ηλιοφάνειας και εξατμισοδιαπνοή υπολογισμένη από το ισοζύγιο εδαφικής υγρασίας (προαιρετικό)	Δεδομένα της στήλης 1 για πολλαπλές τοποθεσίες και κλιματικές συνθήκες

Έδαφος και λίπανση	Ταξινόμηση εδάφους και ένδειξη διαφορών ανάλογα με το βάθος. Ένδειξη κλίσης εδάφους, Υδατοϊκανότητα (soil-water holding capacity), θρεπτική κατάσταση εδάφους και λιπάνσεις	Ταξινόμηση των διάφορων εδαφικών οριζόντων και αναφορά βάθους εδαφικού στρώματος παρεμπόδισης της ανάπτυξης του ριζικού συστήματος. Είδος, συχνότητα και χρόνος λιπάνσεων	Υπαρξη τουλάχιστον ενός χειρισμού με βέλτιστες συνθήκες λίπανσης. Τιμές υδατοχωρητικότητας (Field capacity) και μόνιμου σημείου μάρανσης των εδαφικών οριζόντων (permanent wilting point of soil horizons), βαθμού διήθησης (Infiltration rate) ή κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα (saturated hydraulic conductivity of the soil)	Δεδομένα της στήλης 1 για πολλαπλές τοποθεσίες και κλιματικές συνθήκες
Άρδευση και εδαφική υγρασία	Μέθοδος και κατά προσέγγιση πρόγραμμα άρδευσης, γενική εικόνα της υδατοπεριεκτικότητας του εδάφους κατά τη σπορά βασιζόμενη στη βροχόπτωση των προηγούμενων μηνών και σε προηγούμενες καλλιεργητικές περιόδους	Ακριβείς ημέρες άρδευσης και κατά προσέγγιση ποσοότητες αρδευόμενου νερού, υπολογισμός υδατοπεριεκτικότητας κατά τη σπορά (Estimate of soil-water content at planting) βασιζόμενες σε μετρήσεις ή παρατηρήσεις	Δεδομένα χειρισμού πλήρους άρδευσης καθώς επίσης και χειρισμών υδατικής καταπόνησης. Ποσότητα νερού που εφαρμόστηκε σε κάθε αρδευτικό χειρισμό, μέτρηση ή καλός υπολογισμός της υδατοπεριεκτικότητας του εδάφους για διαφορετικά βάθη κατά τη σπορά. Περιοδικές μετρήσεις της υδατοπεριεκτικότητας σε διαφορετικά βάθη του ριζοστρώματος	Δεδομένα της στήλης 1 για πολλαπλές τοποθεσίες και κλιματικές συνθήκες. Αναλυτικά δεδομένα για διαφορετικής έντασης χειρισμούς υδατικής καταπόνησης

3.1.α. Βαμβάκι

Για τη διαδικασία παραμετροποίησης του προτύπου στην καλλιέργεια βαμβακιού, αρχικά καταγράφηκαν οι τιμές του LAI για το 2006 στις 4 πειραματικές επαναλήψεις, στις 64, 79, 94 και 110 ημέρες μετά τη σπορά. Αναλυτικότερα:

Πίνακας 3.2: Τιμές LAI βαμβακιού για το 2006. Οι 4 γραμμές αντιστοιχούν σε επαναλήψεις του πειράματος.

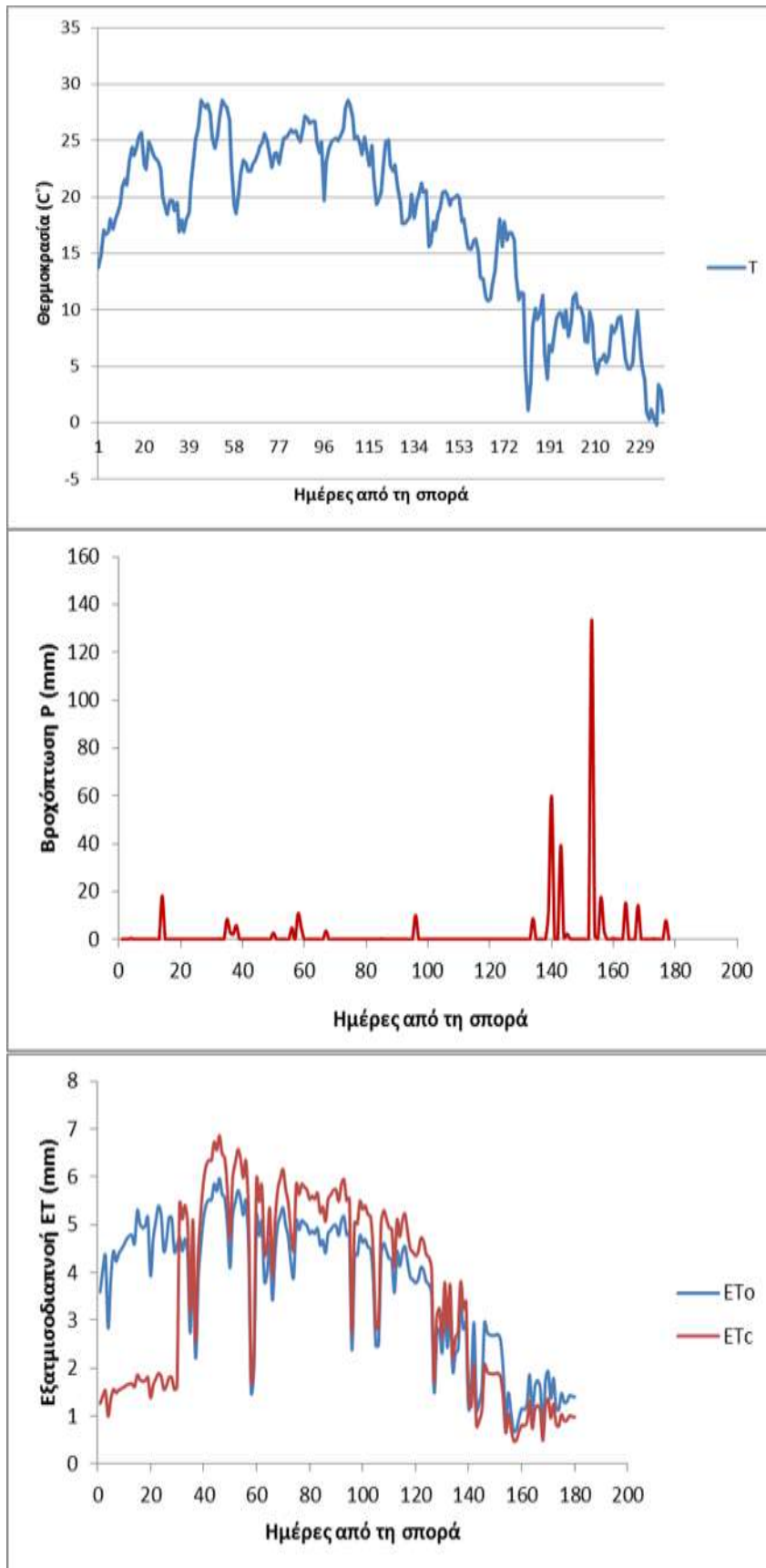
ΗΜΣ	64	79	94	110
LAI	1,1	2,2	3,9	3,7
	1,2	2,3	3,7	2,8
	1,3	2,4	3,2	2,5
	1,1	2,1	3	3,1

Μέσω της εξίσωσης 2.8 ο παραπάνω τιμές LAI μετατρέπονται σε CC ως εξής:

Πίνακας 3.3: Πραγματικές τιμές φυτοκάλυψης (CC) για το 2006. Οι 4 γραμμές αντιστοιχούν σε επαναλήψεις του πειράματος.

ΗΜΣ	64	79	94	110
CC	0,399	0,689	0,905	0,89
	0,431	0,708	0,89	0,792
	0,462	0,727	0,842	0,745
	0,399	0,668	0,819	0,831
MO	0,422	0,698	0,864	0,814

Ακολούθως, επεξεργάστηκαν οι τιμές για τα μετεωρολογικά δεδομένα έτσι όπως καταγράφηκαν από τον σταθμό. Έτσι για το 2006 οι τιμές θερμοκρασίας, βροχόπτωσης και εξατμισοδιαπνοής παρουσιάζονται στα παρακάτω διαγράμματα.



Εικόνα 3.1: Καταγραφή της θερμοκρασίας, βροχόπτωσης και της εξατμισοδιαπνοής για το πείραμα βαμβακιού το 2006

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν επαναλαμβανόμενες δοκιμές του προτύπου, μεταβάλλοντας τις παραμέτρους εκείνες που περιγράφουν μορφολογικές και φυσιολογικές λειτουργίες του φυτού, όπως οι συντελεστές ανάπτυξης-μείωσης, επέκτασης-γήρανσης επικάλυψης φυλλώματος, κλεισίματος στοματίων, υδατική παραγωγικότητα, δείκτης συγκομιδής, ώστε να προκύψουν τιμές της προσομοιωμένης CC όσο το δυνατόν πλησιέστερες στις πραγματικές.

Πίνακας 3.4: Ρύθμιση παραμέτρων καλλιέργειας βαμβακιού

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	
αριθμός φυτών ανά εκτάριο	150.000
ΗΜΣ έως τη μέγιστη φυλλική επικάλυψη	93
αρχική φυλλική επικάλυψη (CC ₀)	0,90
μέγιστη φυλλική επικάλυψη (CC _x)	94%
συντελεστής ανάπτυξης φυλλώματος (CGC)	8,5%/ημέρα
συντελεστής μείωσης φυλλώματος (CDC)	5%/ημέρα
ΗΜΣ έναρξης γήρανσης	109
ΗΜΣ έναρξης άνθησης	72
διάρκεια περιόδου άνθησης	40
ΗΜΣ έως το φύτευμα	9
ΗΜΣ έως την ωρίμανση	184
βάθος μέγιστου ενεργού ριζοστρώματος	2 m
ΗΜΣ μέγιστο βάθος του ριζικού συστήματος	89 ημέρες
τιμή αναφοράς δείκτη συγκομιδής (HI ₀)	30%
ρυθμισμένη υδατική παραγωγικότητα (CWP)	15,2 g m ⁻²
συντελεστές επέκτασης επικάλυψης φυλλώματος ρ(upper)- ρ(lower)	0,5-0,8
συντελεστής κλεισίματος στοματίων ρ(upper)	0,60
συντελεστής πρώιμης γήρανσης επικάλυψης φυλλώματος ρ(upper)	0,70
συντελεστές εδαφικής αλατότητας ρ(upper)- ρ(lower)	15-2

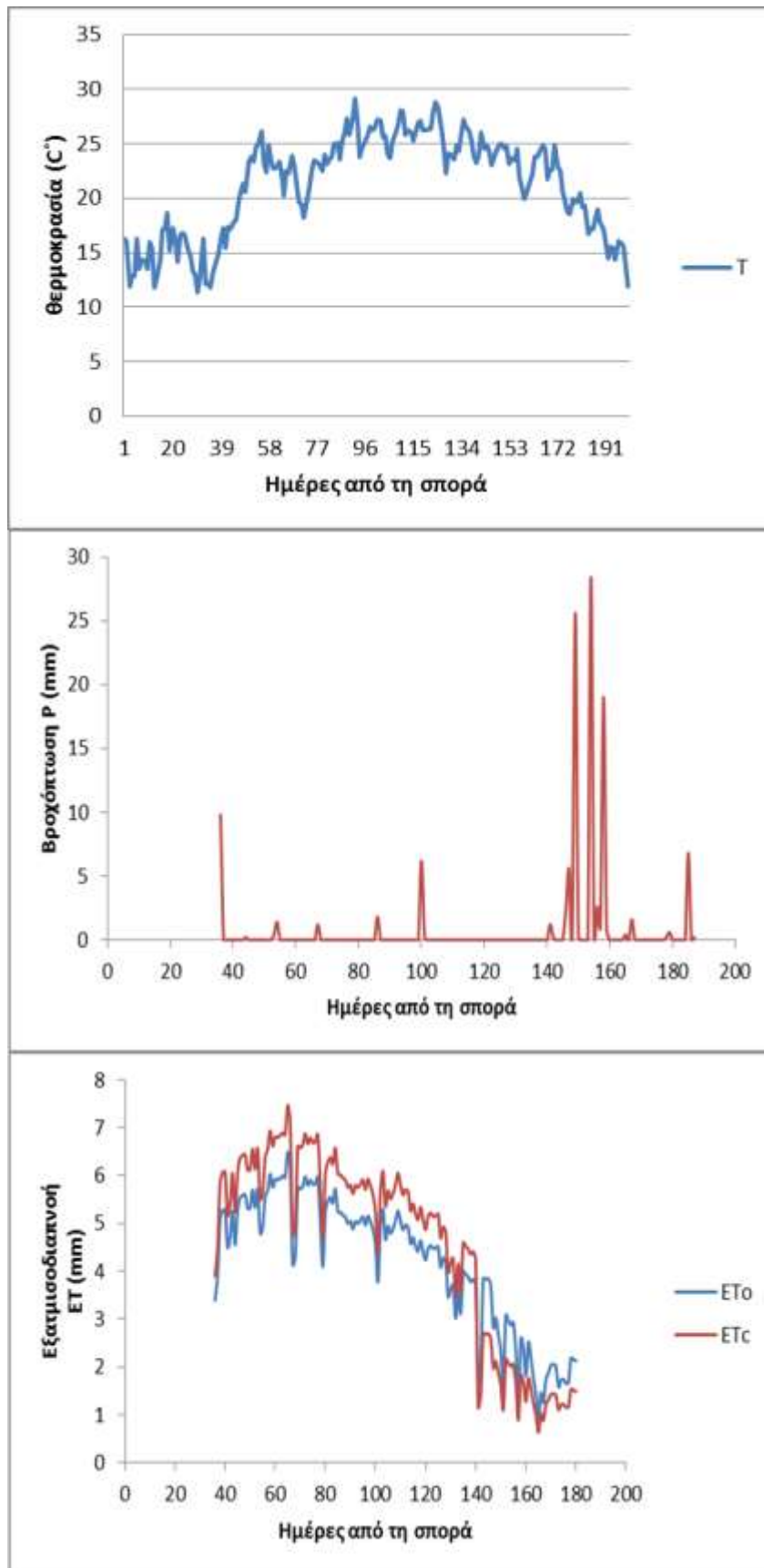
Μετά τη ρύθμιση των παραπάνω παραμέτρων προέκυψαν οι ακόλουθες τιμές προσομοίωσης CC(Sim) (Πιν. 3.5) για την CC οι οποίες συγκρίθηκαν και στατιστικά με τον μέσο όρο των πραγματικών τιμών CC(Obs) του Πίνακα 3.3.

Πίνακας 3.5: Οι τιμές της CC προσομοίωσης (CC(Sim)) σε σύγκριση με το μέσο όρο των πραγματικών τιμών CC(Obs) για το 2006.

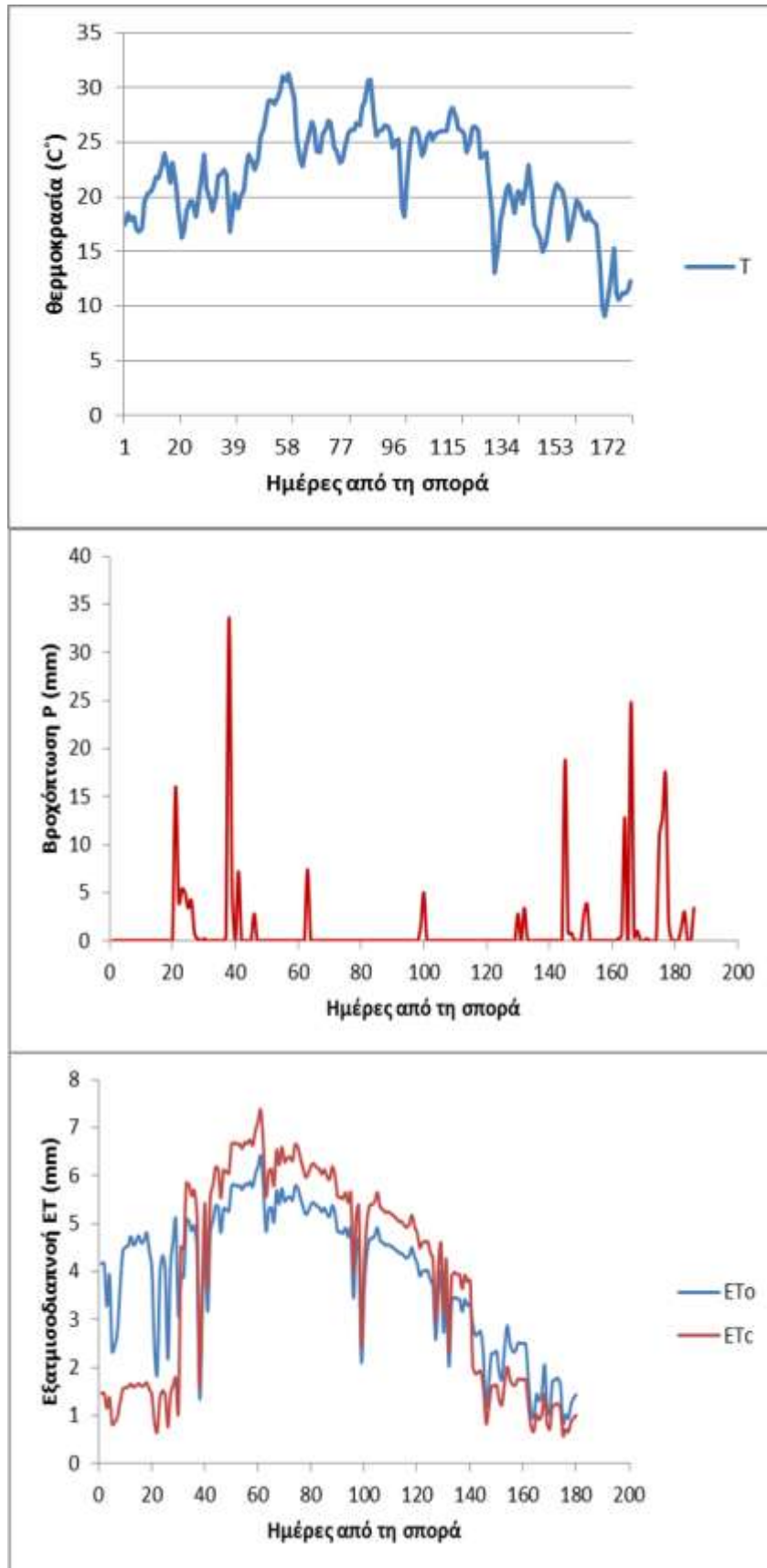
ΗΜΣ	64	79	94	110
CC(Sim)	0,419	0,659	0,869	0,925
CC(Obs)	0,422	0,698	0,864	0,814

Στη συνέχεια οι τιμές αυτές ελέγχθηκαν στατιστικά σύμφωνα με τις εξισώσεις 2.10 και 2.11 και για την ρίζα του μέσου τετραγώνου του σφάλματος η τιμή που προέκυψε ήταν 0,05 ενώ για τον δείκτη συμφωνίας 0,99. Τα παραπάνω αποτελέσματα κρίθηκαν αρκετά ικανοποιητικά ώστε να προχωρήσει η διαδικασία προσομοίωσης της καλλιέργειας. Αφού ελέγξαμε την παραμετροποίηση του προτύπου για το 2006, κατά τον ίδιο τρόπο εξετάστηκε η εφαρμογή του στη βάση της προσομοίωσης της ανάπτυξης της CC, για τα έτη 2005 και 2007.

Έτσι, πρώτα συλλέχθηκαν και αναλύθηκαν τα μετεωρολογικά δεδομένα θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας, ταχύτητας ανέμου, έντασης ηλιακής ακτινοβολίας τα οποία χρησιμοποιήθηκαν από το λογισμικό ETo calculator για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής. Κατόπιν τα δεδομένα αυτά μαζί με τη βροχόπτωση εισήχθησαν στο AquaCrop για να προχωρήσουν οι προσομοιώσεις. Τα μετεωρολογικά δεδομένα για τα έτη 2005 και 2007 παρουσιάζονται στις Εικόνες 3.2 και 3.3 αντίστοιχα.



Εικόνα 3.2: Καταγραφή της θερμοκρασίας, βροχόπτωσης και της εξατμισοδιαπνοής για το πείραμα βαμβακιού το 2005



Εικόνα 3.3: Καταγραφή της θερμοκρασίας, βροχόπτωσης και της εξατμισοδιαπνοής για το πείραμα βαμβακιού το 2007

Ακολούθως για το 2005 οι πραγματικές τιμές LAI που καταγράφηκαν ήταν οι κάτωθι:

Πίνακας 3.6: Τιμές LAI βαμβακιού για το 2005. Οι 4 γραμμές αντιστοιχούν σε επαναλήψεις του πειράματος.

ΗΜΣ	60	73	83	93	107	114
LAI	0,42	0,76	1,92	2,66	3,17	3,28
	0,29	0,86	1,92	2,33	3,08	3,31
	0,40	0,82	1,86	2,18	3,32	3,12
	0,35	0,94	2,13	2,49	4,70	3,42

Εν συνεχεία, χρησιμοποιώντας πάλι την εξίσωση 2.8 εξάγονται οι παρακάτω τιμές CC, οι οποίες συγκρίθηκαν με τις τιμές που προέκυψαν από το πρότυπο.

Πίνακας 3.7: Πραγματικές τιμές φυτοκάλυψης (CC) βαμβακιού για το 2005. Οι 4 γραμμές αντιστοιχούν σε επαναλήψεις του πειράματος.

ΗΜΣ	60	73	83	93	107	114
CC	0,16	0,28	0,62	0,77	0,83	0,84
	0,11	0,31	0,63	0,71	0,83	0,85
	0,15	0,3	0,61	0,69	0,85	0,83
	0,13	0,34	0,67	0,74	0,94	0,86
MO	0,14	0,31	0,63	0,73	0,86	0,85

Πίνακας 3.8: Οι συγκεντρωτικές πραγματικές και προσομοιωμένες τιμές CC βαμβακιού για το 2005

ΗΜΣ	60	73	83	93	107	114
CC(Sim)	0,27	0,6	0,74	0,82	0,87	0,87
CC(Obs)	0,14	0,31	0,63	0,73	0,86	0,85

Στη συνέχεια οι τιμές αυτές ελέγχθηκαν στατιστικά σύμφωνα με τις εξισώσεις 2.10 και 2.11 και για την ρίζα του μέσου τετραγώνου του σφάλματος η τιμή που προέκυψε ήταν 0,14 και για τον δείκτη συμφωνίας 0,91 αντίστοιχα.

Κατά τον ίδιο τρόπο για το 2007 έχουμε:

Πίνακας 3.9: Τιμές LAI βαμβακιού για το 2007. Οι 4 γραμμές αντιστοιχούν σε επαναλήψεις του πειράματος.

ΗΜΣ	74	85	92	103	113
LAI	2,28	2,42	3,50	3,42	3,26
	1,88	2,39	3,05	3,13	3,11
	1,97	2,18	3,45	2,49	2,73
	1,77	2,22	2,96	3,26	3,20

Πίνακας 3.10: Πραγματικές τιμές φυτοκάλυψης (CC) βαμβακιού για το 2007. Οι 4 γραμμές αντιστοιχούν σε επαναλήψεις του πειράματος.

ΗΜΣ	74	85	92	103	113
CC	0,7	0,73	0,87	0,86	0,85
	0,61	0,72	0,83	0,84	0,83
	0,63	0,68	0,87	0,74	0,78
	0,59	0,69	0,81	0,85	0,84
MO	0,63	0,71	0,85	0,83	0,83

Πίνακας 3.11: Οι συγκεντρωτικές πραγματικές και προσομοιωμένες τιμές CC βαμβακιού για το 2007.

ΗΜΣ	74	85	92	103	113
CC(Sim)	0,81	0,85	0,89	0,92	0,93
CC(Obs)	0,63	0,71	0,85	0,83	0,83

Στη συνέχεια οι τιμές αυτές ελέγχθηκαν στατιστικά σύμφωνα με τις εξισώσεις 2.10 και 2.11 και για την ρίζα του μέσου τετραγώνου του σφάλματος η τιμή που προέκυψε ήταν 0,12 και για τον δείκτη συμφωνίας 0,98 αντίστοιχα.

Το αμέσως επόμενο στάδιο που ακολούθησε ήταν πλέον η σύγκριση των πραγματικών τιμών βιομάζας και απόδοσης για τα τρία έτη και στη συνέχεια η στατιστική σύγκριση των αποτελεσμάτων σύμφωνα με τις εξισώσεις 2.10 και 2.11.

Πίνακας 3.12: σύγκριση τιμών προσομοίωσης και πραγματικών για την καλλιέργεια βαμβακιού

Χαρακτηριστικά καλλιέργειας	Έτος		
	2005	2006	2007
Απόδοση(t/ha)			
Πραγματική	4.05	3.65	2.97
Προσομοίωση	4.02	3.67	3.26
RMSE		0.17 ⁷	
d		0.94	
Βιομάζα (t/ha)			
Πραγματική	14.09	12.85	12.10
Προσομοίωση	14.25	12.86	11.20
RMSE		0.49	
d		0.93	

Μια προσεκτικότερη ματιά στον Πίνακα 3.12 δείχνει ότι ενώ οι τιμές του d είναι σχεδόν ίδιες μεταξύ απόδοσης και βιομάζας δεν ισχύει το ίδιο για το RMSE καθώς το πρότυπο AquaCrop στην συγκεκριμένη περίπτωση προσομοιώνει καλύτερα την απόδοση λόγω πλησιέστερης προς το μηδέν τιμής (0,17) συγκριτικά με τη βιομάζα.

⁷ Οι τιμές RMSE και d προέρχονται από τη σύγκριση των τριών ετών 2005, 2006, 2007.

3.1.β. Αραβόσιτος

Για την παραμετροποίηση του προτύπου χρησιμοποιήθηκαν τα πειραματικά δεδομένα του 2010. Κατά το έτος αυτό πραγματοποιήθηκαν καταστρεπτικές δειγματοληψίες στις 37, 66, 80 και 91 ημέρες μετά τη σπορά (Η.Μ.Σ.). Οι τιμές του LAI φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 3.13: Τιμές LAI αραβοσίτου για το 2010. Οι 3 γραμμές αντιστοιχούν σε επαναλήψεις του πειράματος.

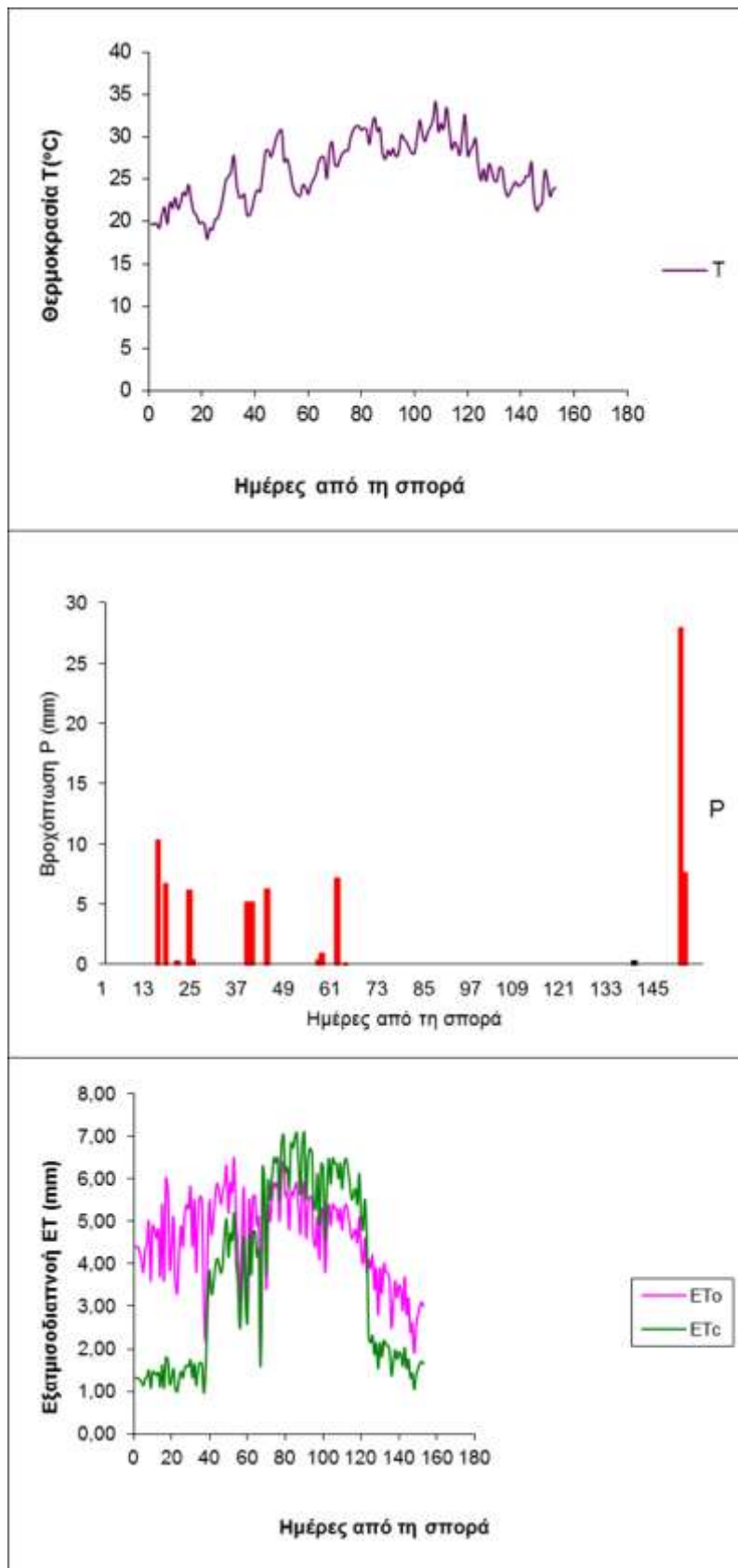
ΗΜΣ	37	66	80	91
LAI	2,2	4,4	5	3,7
	2,3	4,9	5,3	4,0
	2	4,3	4,7	3,5

Με τη χρήση της Εξίσωσης 2.9 οι παραπάνω τιμές μετατρέπονται σε τιμές CC, οι οποίες συγκρίθηκαν με τις τιμές που προέκυψαν από το πρότυπο.

Πίνακας 3.14: Πραγματικές τιμές φυτοκάλυψης αραβοσίτου (CC) για το 2010. Οι 3 γραμμές αντιστοιχούν σε επαναλήψεις του πειράματος.

ΗΜΣ	37	66	80	91
CC	0,69	0,92	0,95	0,87
	0,70	0,94	0,96	0,89
	0,65	0,91	0,93	0,86
ΜΟ	0,71	0,92	0,95	0,87

Ακολούθως, επεξεργάστηκαν οι τιμές για τα μετεωρολογικά δεδομένα, έτσι όπως καταγράφηκαν από τον σταθμό. Έτσι για το 2010 οι τιμές μέσης θερμοκρασίας (T), βροχόπτωσης και εξατμισοδιαπνοής αναφοράς (ETo) και καλλιέργειας (ETc), παρουσιάζονται στα παρακάτω διαγράμματα.



Εικόνα 3.4: Καταγραφή της θερμοκρασίας, βροχόπτωσης και της εξατμισοδιαπνοής για το πείραμα αραβοσίτου το 2010.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν επαναλαμβανόμενες δοκιμές του προτύπου, αντίστοιχα με τη διαδικασία που ακολουθήθηκε και στο βαμβάκι, ώστε να προκύψουν τιμές της προσομοιωμένης CC όσο το δυνατόν πλησιέστερες στις πραγματικές.

Πίνακας 3.15: Ρύθμιση παραμέτρων καλλιέργειας αραβοσίτου

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	
αριθμός φυτών ανά εκτάριο	65.000
ΗΜΣ έως τη μέγιστη φυλλική επικάλυψη	51
αρχική φυλλική επικάλυψη (CC ₀)	0,42
μέγιστη φυλλική επικάλυψη (CC _x)	96%
συντελεστής ανάπτυξης φυλλώματος (CGC)	18,1%/ημέρα
συντελεστής μείωσης φυλλώματος (CDC)	19,5%/ημέρα
ΗΜΣ έναρξης γήρανσης	85
ΗΜΣ έναρξης άνθησης	58
διάρκεια περιόδου άνθησης	11
ΗΜΣ έως το φύτρωμα	7
ΗΜΣ έως την ωρίμανση	104
βάθος μέγιστου ενεργού ριζοστρώματος	2,30 m
ΗΜΣ μέγιστο βάθος του ριζικού συστήματος	85 ημέρες
τιμή αναφοράς δείκτη συγκομιδής (HI ₀)	48%
ρυθμισμένη υδατική παραγωγικότητα (CWP)	34 g m ⁻²
συντελεστές επέκτασης επικάλυψης φυλλώματος ρ(upper)- ρ(lower)	0,72-0,14
συντελεστής κλεισίματος στοματίων ρ(upper)	0,69
συντελεστής πρώιμης γήρανσης επικάλυψης φυλλώματος ρ(upper)	0,69
συντελεστές εδαφικής αλατότητας ρ(upper)- ρ(lower)	15-2

Μετά τη ρύθμιση των παραπάνω παραμέτρων προέκυψαν οι ακόλουθες τιμές προσομοίωσης CC(Sim) (Πιν. 3.16) για την CC οι οποίες συγκρίθηκαν και στατιστικά με τον μέσο όρο των πραγματικών τιμών CC(Obs) του Πίνακα 3.14.

Πίνακας 3.16: Οι τιμές της CC προσομοίωσης (CC(Sim)) σε σύγκριση με το μέσο όρο των πραγματικών τιμών CC(Obs) για το 2010.

ΗΜΣ	37	66	80	91
CC(Sim)	0,71	0,96	0,96	0,89
CC(Obs)	0,68	0,92	0,95	0,87

Αντίστοιχα με τη διαδικασία που ακολουθήθηκε στο βαμβάκι, οι παραπάνω τιμές ελέγχθηκαν στατιστικά σύμφωνα με τις Εξισώσεις 2.10 και 2.11 και για την ρίζα του μέσου τετραγώνου του σφάλματος. Η τιμή που προέκυψε ήταν 0,02 και για τον δείκτη συμφωνίας 0,98 αντίστοιχα. Τα παραπάνω αποτελέσματα κρίθηκαν αρκετά ικανοποιητικά ώστε να προχωρήσει η διαδικασία προσομοίωσης της καλλιέργειας, συγκρινόμενα και με ευρήματα προηγούμενων ερευνών (Mhizha et al., 2014, Heng et al., 2009, Hsiao et al., 2009). Αφού ελέγξαμε την παραμετροποίηση του προτύπου για το 2010, κατά τον ίδιο τρόπο εξετάστηκε η εφαρμογή του στη βάση της προσομοίωσης της ανάπτυξης της CC, για το 2011.

Κατά το έτος αυτό πραγματοποιήθηκαν καταστρεπτικές δειγματοληψίες στις 43, 58, 72, 83, 91 και 97 ημέρες μετά τη σπορά (Η.Μ.Σ.). Οι τιμές του LAI φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 3.17: Τιμές LAI αραβοσίτου για το 2011. Οι 3 γραμμές αντιστοιχούν σε επαναλήψεις του πειράματος.

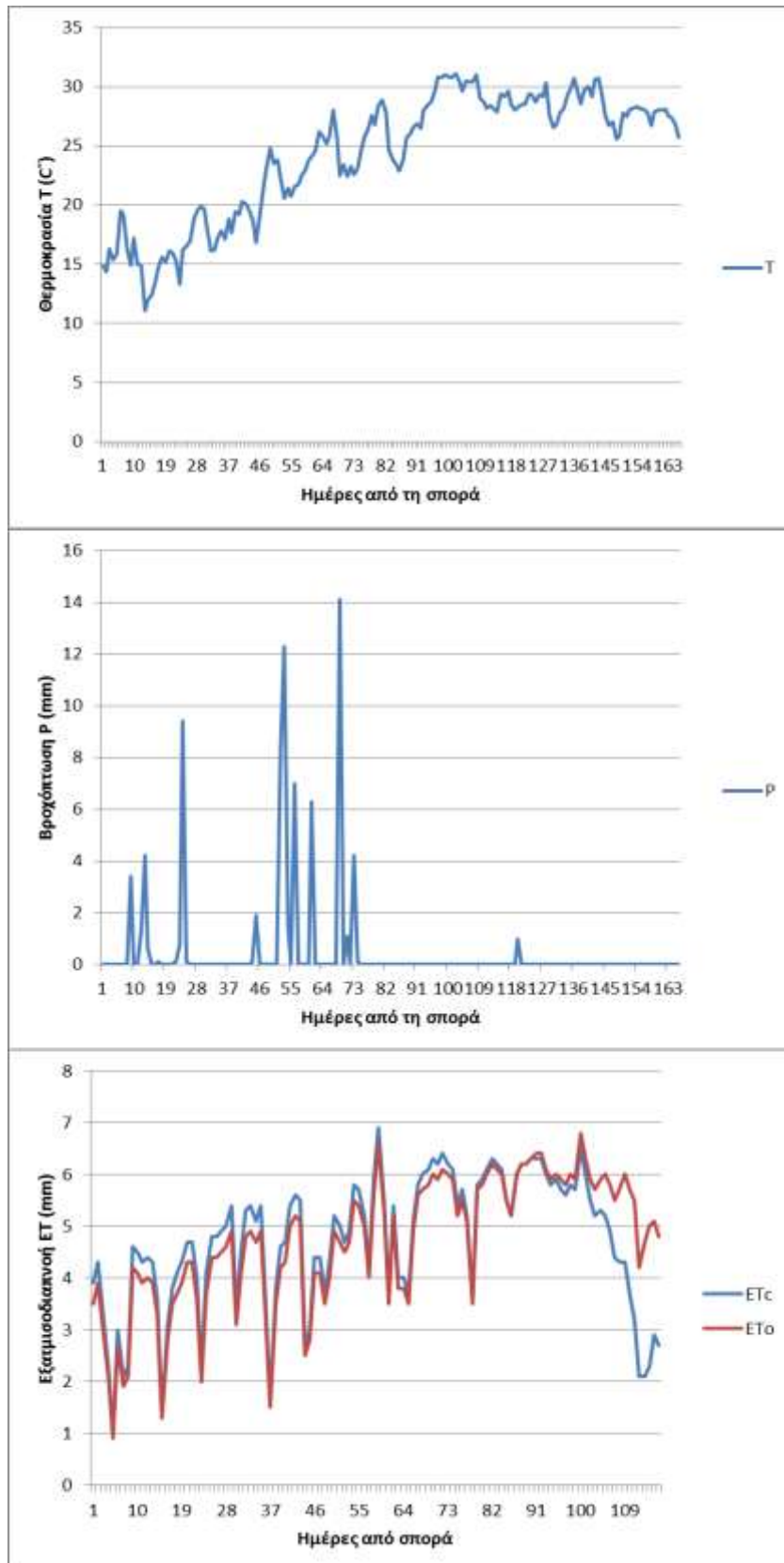
ΗΜΣ	43	58	72	83	91	97
LAI	2,8	4,3	4,9	5,4	5,5	5,3
	2,5	3,7	4,7	5,3	5,3	4,7
	3,2	4,4	5,3	5,8	5,9	5,7

Με τη χρήση της εξίσωσης 2.9 οι παραπάνω τιμές μετατρέπονται σε τιμές CC, οι οποίες συγκρίθηκαν με τις τιμές που προέκυψαν από το πρότυπο.

Πίνακας 3.18: Πραγματικές τιμές φυτοκάλυψης αραβοσίτου (CC) για το 2011. Οι 3 γραμμές αντιστοιχούν σε επαναλήψεις του πειράματος.

ΗΜΣ	43	58	72	83	91	97
CC	0,78	0,91	0,94	0,96	0,96	0,95
	0,74	0,87	0,93	0,95	0,95	0,93
	0,83	0,91	0,95	0,96	0,97	0,96
ΜΟ	0,78	0,91	0,94	0,96	0,96	0,91

Κατόπιν συλλέχθηκαν, αναλύθηκαν και μορφοποιήθηκαν τα μετεωρολογικά δεδομένα για να μπορούν να επεξεργαστούν. Η καταγραφή δεδομένων της μέσης θερμοκρασίας (T), της μέσης βροχόπτωσης (P) και της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς (ET₀) και της καλλιέργειας (ET_c) φαίνεται στην Εικόνα 3.5.



Εικόνα 3.5: Καταγραφή της θερμοκρασίας, βροχόπτωσης και της εξατμισοδιαπνοής για το πείραμα αραβοσίτου το 2011.

Το πρότυπο εφαρμόστηκε για το 2011. Οι πραγματικές τιμές της ανάπτυξης της CC συγκρίθηκαν στατιστικά με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης βάσει των εξισώσεων 2.10 και 2.11.

Πίνακας 3.19: Οι τιμές της CC προσομοίωσης (CC(Sim)) σε σύγκριση με το μέσο όρο των πραγματικών τιμών CC(Obs) για το 2011

ΗΜΣ	43	58	72	83	91	97
CC(Sim)	0,74	0,88	0,96	0,96	0,96	0,96
CC(Obs)	0,78	0,91	0,94	0,96	0,96	0,91

Η στατιστική επεξεργασία έδωσε τιμή για την ρίζα του μέσου τετραγώνου του σφάλματος ίση με 0,03 και για τον δείκτη συμφωνίας 0,96.

Το αμέσως επόμενο στάδιο που ακολούθησε ήταν πλέον η σύγκριση των πραγματικών τιμών βιομάζας και απόδοσης για τα δύο έτη και στη συνέχεια η στατιστική σύγκριση των αποτελεσμάτων σύμφωνα με τις εξισώσεις 2.10 και 2.11.

Πίνακας 3.20: Σύγκριση τιμών προσομοίωσης και πραγματικών για την καλλιέργεια αραβοσίτου

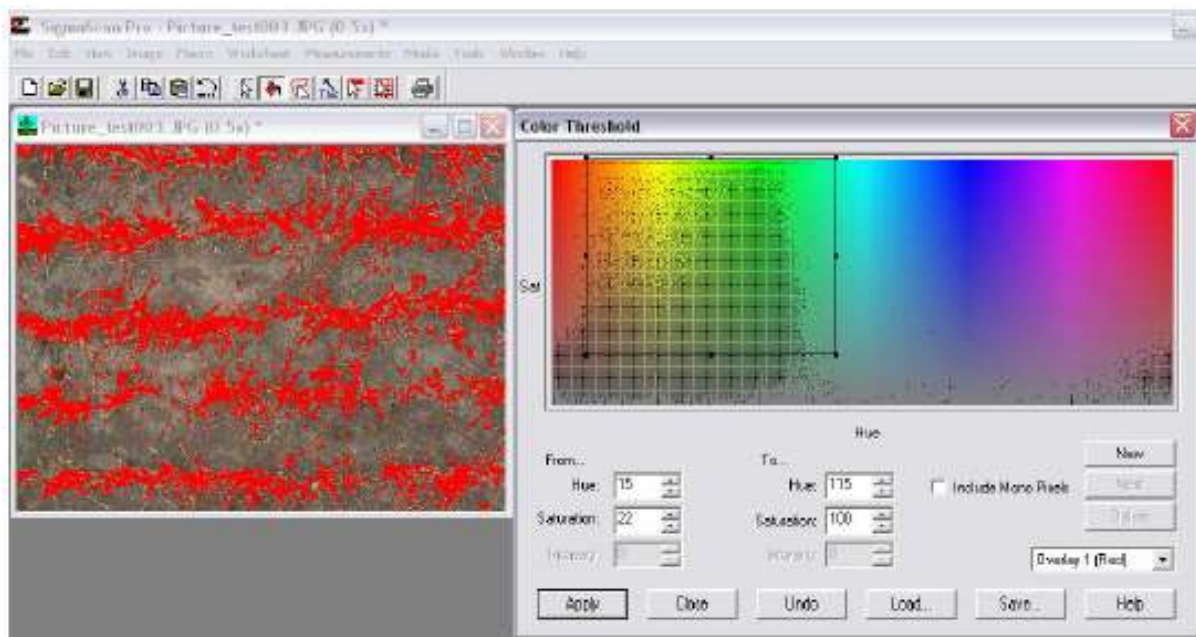
Χαρακτηριστικά καλλιέργειας	Έτος	
	2010	2011
Απόδοση(t/ha)		
Πραγματική	10,10	10,95
Προσομοίωση	9,97	10,48
RMSE		0,34 ⁸
d		0,79
Βιομάζα (t/ha)		
Πραγματική	19,72	21,64
Προσομοίωση	20,71	21,82
RMSE		0,70
d		0,81

⁸ Οι τιμές RMSE και d προέρχονται από τη σύγκριση των ετών 2010 και 2011

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι το AquaCrop προσομοιώνει καλύτερα την απόδοση σε βιομάζα συγκριτικά με την απόδοση σε καρπό, καθώς οι τιμές των RMSE και d στην πρώτη περίπτωση είναι πλησιέστερες στα επιθυμητά όρια.

3.1.γ Σιτάρι

Για την παραμετροποίηση της καλλιέργειας σιταριού προτιμήθηκε η άμεση καταγραφή της φυλλικής επικάλυψης (CC), στην περιοχή Υλίκης κατά την καλλιεργητική περίοδο 2010-2011, μέσω της χρήσης του λογισμικού SigmaScan Pro 5, το οποίο αναλύει αυτόματα ψηφιακές εικόνες. Η ανάλυση γίνεται με την εισαγωγή παραμέτρων που επιλέγει ο χρήστης. Οι παράμετροι αυτές σχετίζονται με την επιθυμητή απόχρωση (hue) και κορεσμό (saturation) των ψηφιακών στοιχείων υπολογίζοντας το ποσοστό των ψηφιακών στοιχείων με χρωματικά χαρακτηριστικά που έχει καθορίσει ο χρήστης επί του συνόλου των ψηφιακών στοιχείων της εικόνας.

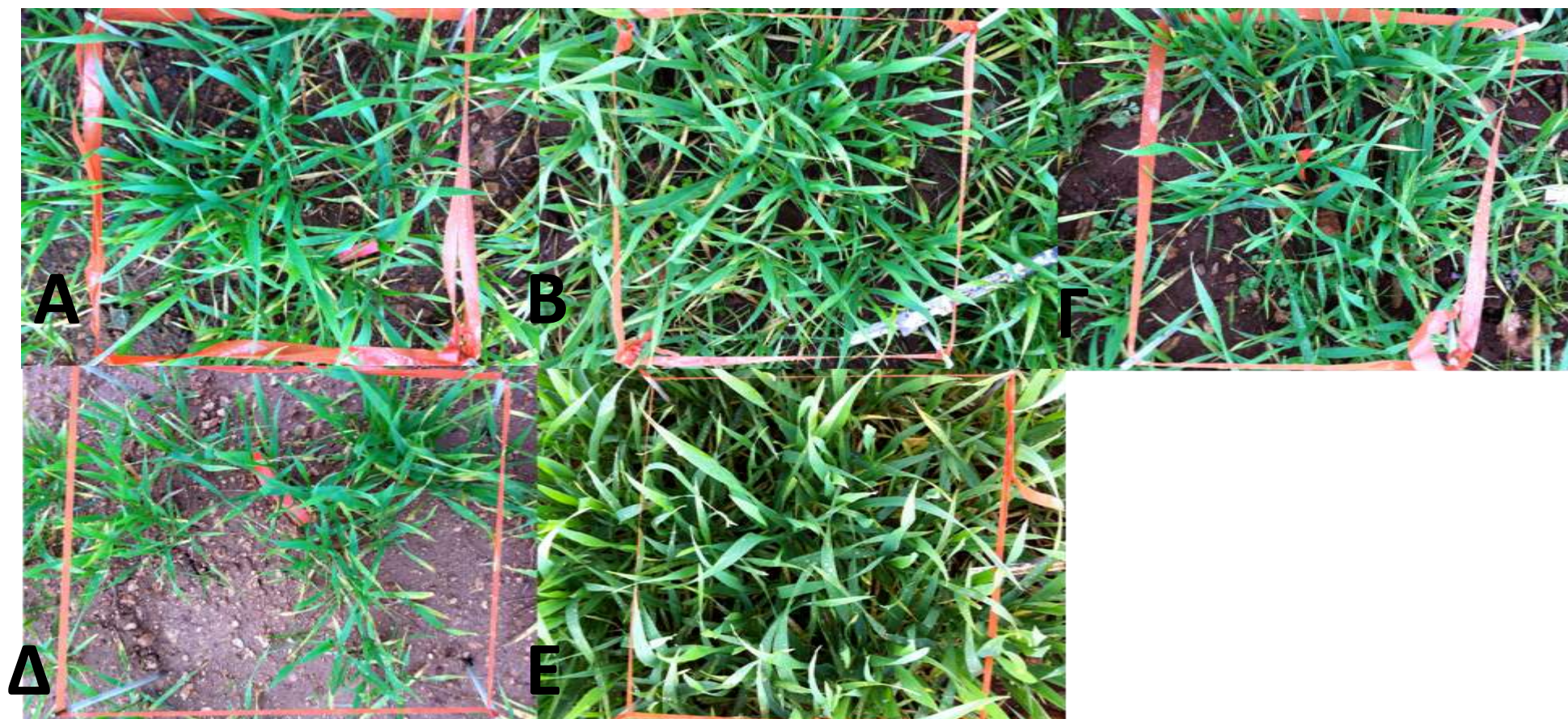


Εικόνα 3.6: Επιλογή χρωματικών παραμέτρων στο λογισμικό SigmaScan Pro 5.

Όπως προαναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 2, για κάθε ένα από τα πέντε πειραματικά τεμάχια 3mX3m λαμβάνονταν ανά τακτά χρονικά διαστήματα ψηφιακές φωτογραφίες για τέσσερα υποτεμάχια 0,3mX0,3m σε ύψος 60cm. Οι φωτογραφίες αυτές, μετά από κατάλληλη επεξεργασία μέσω του Microsoft Office 2010, αναπροσαρμόζονταν σε νέα διάσταση μικρότερη από 1000X1000 pixels, σύμφωνα με τις οδηγίες χρήσης του προγράμματος. Η πορεία της εξέλιξης της καλλιέργειας στο 1^ο υποτεμάχιο κάθε τεμαχίου φαίνεται στις παρακάτω φωτογραφίες.



Εικόνα 3.7: Ψηφιακή απεικόνιση της καλλιέργειας σιταριού στα πέντε τεμάχια στις 23.2.2011 (100 ΗΜΣ)



Εικόνα 3.8: Ψηφιακή απεικόνιση της καλλιέργειας σιταριού στα πέντε τεμάχια στις 4.3.2011 (109 ΗΜΣ)



Εικόνα 3.9: Ψηφιακή απεικόνιση της καλλιέργειας σιταριού στα πέντε τεμάχια στις 17.3.2011 (122 ΗΜΣ)



Εικόνα 3.10: Ψηφιακή απεικόνιση της καλλιέργειας σιταριού στα πέντε τεμάχια στις 30.3.2011 (135 ΗΜΣ)



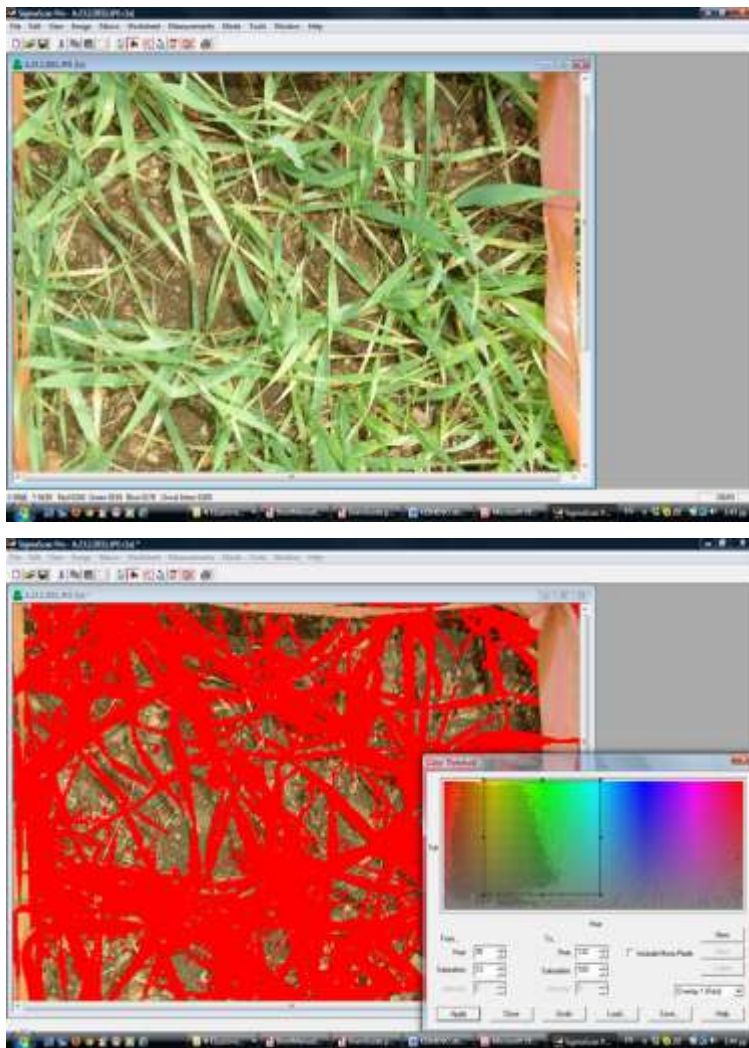
Εικόνα 3.11: Ψηφιακή απεικόνιση της καλλιέργειας σιταριού στα πέντε τεμάχια στις 20.4.2011 (156 ΗΜΣ)

Στην περίπτωση του τεμαχίου Α, και πιο συγκεκριμένα για το 1ο υποτεμάχιο, ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία: Αφού συλλέχθηκαν οι ψηφιακές φωτογραφίες ανά ημερομηνία, τροποποιήθηκε το μέγεθός τους όπως περιγράφεται παραπάνω. Μετά από αυτή τη διαδικασία οι φωτογραφίες ήταν έτοιμες προς επεξεργασία (Εικ. 3.12) και ακολουθήθηκε η προαναφερόμενη διαδικασία επεξεργασίας με το SigmaScan Pro 5.



Εικόνα 3.12: Εξέλιξη 1ου υποτεμαχίου του τεμαχίου Α. Η σειρά των φωτογραφιών είναι 100, 109, 122, 135 και 156 ημέρες μετά τη σπορά

Μετά από σειρά δοκιμών οι τελικές τιμές ορίων απόχρωσης (hue) και κορεσμού (saturation) ήταν hue: 35-132 και saturation: 13-100. Ενδεικτικά η ψηφιακή ανάλυση του Α τεμαχίου 100 ημέρες μετά στη σπορά φαίνεται στην Εικόνα 3.13.



Εικόνα 3.13: Τεμάχιο Α, 100 ημέρες από τη σπορά

Αναλυτικές φωτογραφίες της ψηφιακής ανάλυσης για το τεμάχιο Α παρουσιάζονται στο Παράρτημα (Εικόνες 1-6).

Κατά τον ίδιο τρόπο, για το 1ο υποτεμάχιο του τεμαχίου Β, οι φωτογραφίες τροποποιήθηκαν όσον αφορά το μέγεθός τους σε κάτω από 1000X1000 pixels και ακολουθήθηκε επεξεργασία με το λογισμικό.



Εικόνα 3.14: Εξέλιξη 1ου υποτεμαχίου του τεμαχίου Β. Η σειρά των φωτογραφιών είναι 100, 109, 122, 135 και 156 ημέρες μετά τη σπορά.

Για το τεμάχιο Β οι επιλεγόμενες ρυθμίσεις ήταν hue: 45-142 και saturation: 13-100. Αναλυτικές φωτογραφίες της ψηφιακής ανάλυσης για το τεμάχιο Β παρουσιάζονται στο Παράρτημα (Εικόνες 7-12).

Αντιστοίχως για το 1ο υποτεμάχιο του τεμαχίου Γ οι ψηφιακές φωτογραφίες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οι κάτωθι.



Εικόνα 3.15: Εξέλιξη 1ου υποτεμαχίου του τεμαχίου Γ. Η σειρά των φωτογραφιών είναι 100, 109, 122, 135 και 156 ημέρες μετά τη σπορά

Οι ρυθμίσεις που έγιναν στην συγκεκριμένη περίπτωση ήταν για την hue: 45-142 και saturation: 13-100. Αναλυτικές φωτογραφίες της ψηφιακής ανάλυσης για το τεμάχιο Γ παρουσιάζονται στο Παράρτημα (Εικόνες 13-18).

Αντιστοίχως για το 1ο υποτεμάχιο του τεμαχίου Δ οι ψηφιακές φωτογραφίες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οι κάτωθι.



Εικόνα 3.16: Εξέλιξη 1ου υποτεμαχίου του τεμαχίου Δ. Η σειρά των φωτογραφιών είναι 100, 109, 122, 135 και 156 ημέρες μετά τη σπορά.

Οι ρυθμίσεις που έγιναν στην συγκεκριμένη περίπτωση ήταν hue: 45-142 και saturation: 13-100. Αναλυτικές φωτογραφίες της ψηφιακής ανάλυσης για το τεμάχιο Δ παρουσιάζονται στο Παράρτημα (Εικόνες 19-24).

Κατά τον ίδιο τρόπο για το 1ο υποτεμάχιο του τεμαχίου Ε οι ψηφιακές φωτογραφίες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οι κάτωθι.



Εικόνα 3.17: Εξέλιξη 1ου υποτεμαχίου του τεμαχίου Ε. Η σειρά των φωτογραφιών είναι 100, 109, 122, 135 και 156 ημέρες μετά τη σπορά

Οι ρυθμίσεις που έγιναν στην συγκεκριμένη περίπτωση ήταν hue: 45-142 και saturation: 13-100.

Αναλυτικές φωτογραφίες της ψηφιακής ανάλυσης για το τεμάχιο Ε παρουσιάζονται στο Παράρτημα (Εικόνες 25-30).

Αντιστοίχως με την διαδικασία που περιγράφεται παραπάνω έγινε η μέτρηση και των υπολοίπων υποτεμαχίων για κάθε ένα από τα πέντε τεμάχια παρατηρήσεων. Η καταγραφή των μετρήσεων φαίνεται στον παρακάτω πίνακα 3.21.

Πίνακας 3.21: Υπολογισμός CC ανά υποτεμάχιο για τα 5 πειραματικά τεμάχια

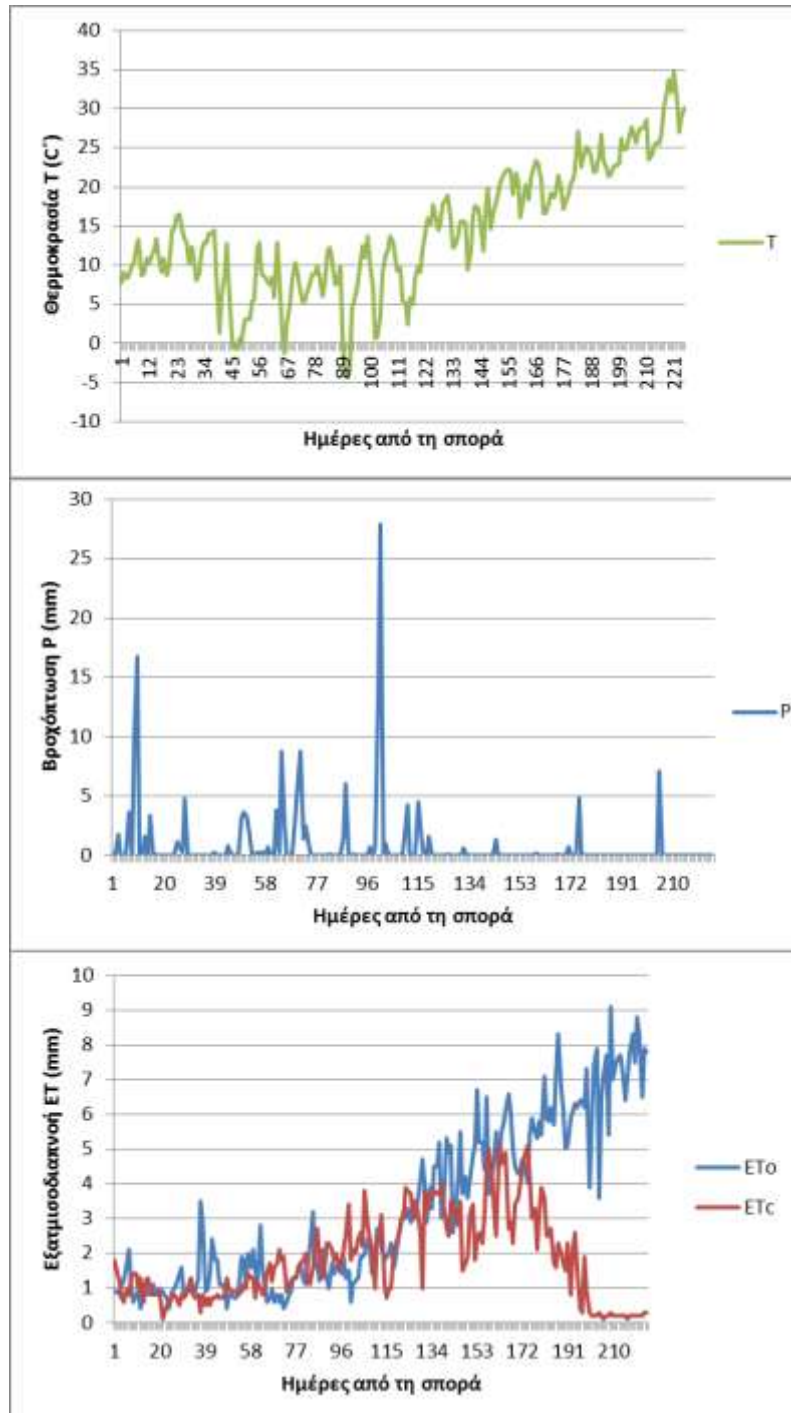
Α				
ΦΥΛΛΙΚΗ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ (%)				
ΗΜΣ	A1	A2	A3	A4
100	61,7	62,0	61,2	61,2
109	61,2	59,8	61,5	61,3
122	63,5	62,0	64,3	63,2
135	67,3	65,5	68,8	66,8
156	58,9	56,0	61,0	59,0
Β				
ΦΥΛΛΙΚΗ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ (%)				
ΗΜΣ	B1	B2	B3	B4
100	55,7	61,0	49,3	56,1
109	63,0	69,2	58,5	60,3
122	69,5	76,0	64,4	67,1
135	71,1	78,4	65,2	69,0
156	77,4	84,0	71,7	75,6
Γ				
ΦΥΛΛΙΚΗ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ (%)				
ΗΜΣ	Γ1	Γ2	Γ3	Γ4
100	56,4	51,9	61,4	55,0
109	59,0	55,2	64,7	56,3
122	60,1	56,6	65,0	58,0
135	67,9	64,8	71,3	67,0
156	72,1	68,6	75,8	70,9
Δ				
ΦΥΛΛΙΚΗ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ (%)				
ΗΜΣ	Δ1	Δ2	Δ3	Δ4
100	29,6	28,4	30,3	29,4
109	34,6	33,3	35,4	34,2
122	37,3	35,8	38,9	36,4
135	46,1	44,8	47,5	45,3
156	52,2	50,2	54,0	51,5
Ε				
ΦΥΛΛΙΚΗ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ (%)				
ΗΜΣ	E1	E2	E3	E4
100	82,0	87,4	77,8	79,9
109	85,2	90,2	80,5	83,9
122	89,1	93,6	84,8	87,9
135	92,1	95,7	89,0	91,0
156	93,8	96,0	92,0	92,8

Ο μέσος όρος των τιμών της CC όπως αναγράφονται στον παραπάνω πίνακα αποτυπώνεται στον πίνακα 3.22.

Πίνακας 3.22: Μέσος Όρος CC για τα 5 πειραματικά τεμάχια

ΜΟ	ΦΥΛΛΙΚΗ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ (%)				
ΗΜΣ	A	B	Γ	Δ	E
100	61,5	55,5	56,2	29,4	81,8
109	61,0	62,8	58,8	34,4	85,0
122	63,3	69,3	59,9	37,1	88,9
135	67,1	70,9	67,7	45,9	91,9
156	58,7	77,2	71,9	52,0	93,6

Στη συνέχεια καταγράφηκαν τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής, όπως περιγράφονται στο προηγούμενο κεφάλαιο κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας για την περίοδο 2010-2011.



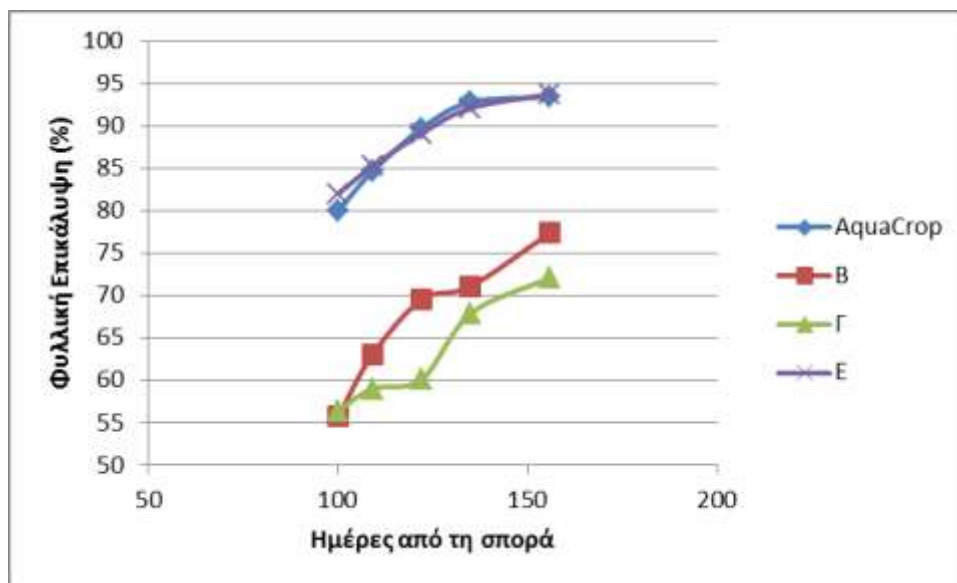
Εικόνα 3.18: Καταγραφή της θερμοκρασίας, βροχόπτωσης και της εξατμισοδιαπνοής για το πείραμα σιταριού το 2010-11 στην περιοχή της Υλίκης.

Ακολούθως πραγματοποιήθηκαν επαναλαμβανόμενες δοκιμές του προτύπου για να ελεγχθούν οι τιμές της προσομοιωμένης CC σε σχέση με τις πραγματικές, μεταβάλλοντας ελάχιστα τις τιμές αναφοράς όπως είναι διαμορφωμένες από τον κατασκευαστή.

Πίνακας 3.23: Ρύθμιση παραμέτρων καλλιέργειας σιταριού για την εφαρμογή του AquaCrop

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	
αριθμός φυτών ανά εκτάριο	4.500.000
ΗΜΣ έως τη μέγιστη φυλλική επικάλυψη	119
αρχική φυλλική επικάλυψη (CC ₀)	6,75%
μέγιστη φυλλική επικάλυψη (CC _x)	96%
συντελεστής ανάπτυξης φυλλώματος (CGC)	4,9%/ημέρα
συντελεστής μείωσης φυλλώματος (CDC)	7,2%/ημέρα
ΗΜΣ έναρξης γήρανσης	158
ΗΜΣ έναρξης άνθησης	127
διάρκεια περιόδου άνθησης	15
ΗΜΣ έως το φύτρωμα	13
ΗΜΣ έως την ωρίμανση	221
βάθος μέγιστου ενεργού ριζοστρώματος	1,5 g m ⁻²
ΗΜΣ μέγιστο βάθος του ριζικού συστήματος	93
τιμή αναφοράς δείκτη συγκομιδής (HI ₀)	48
ρυθμισμένη υδατική παραγωγικότητα (CWP)	15 γρ/μ ²
συντελεστές επέκτασης επικάλυψης φυλλώματος ρ(upper)- ρ(lower)	0,20- 0,65
συντελεστής κλεισίματος στοματίων ρ(upper)	0,65
συντελεστής πρώιμης γήρανσης επικάλυψης φυλλώματος ρ(upper)	0,70
συντελεστές εδαφικής αλατότητας ρ(upper)- ρ(lower)	15-2

Σε τρία (Β,Γ,Ε) από τα πέντε τεμάχια, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 2.9, το έδαφος ήταν πηλώδες ενώ στα υπόλοιπα δύο (Α,Δ) το έδαφος ήταν αμμοπηλώδες. Η σύγκριση των πραγματικών τιμών CC της καλλιέργειας με αυτές της προσομοίωσης του προτύπου αποτυπώνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 3.19: Εξέλιξη CC του AquaCrop σε σχέση με τα πειραματικά τεμάχια Β,Γ,Ε της καλλιέργειας σιταριού

Συγκρίνοντας τις πραγματικές με τις προσομοιωμένες τιμές σύμφωνα με τις Εξισώσεις 2.10 και 2.11 προέκυψαν τα αποτελέσματα του Πίνακα 3.24.

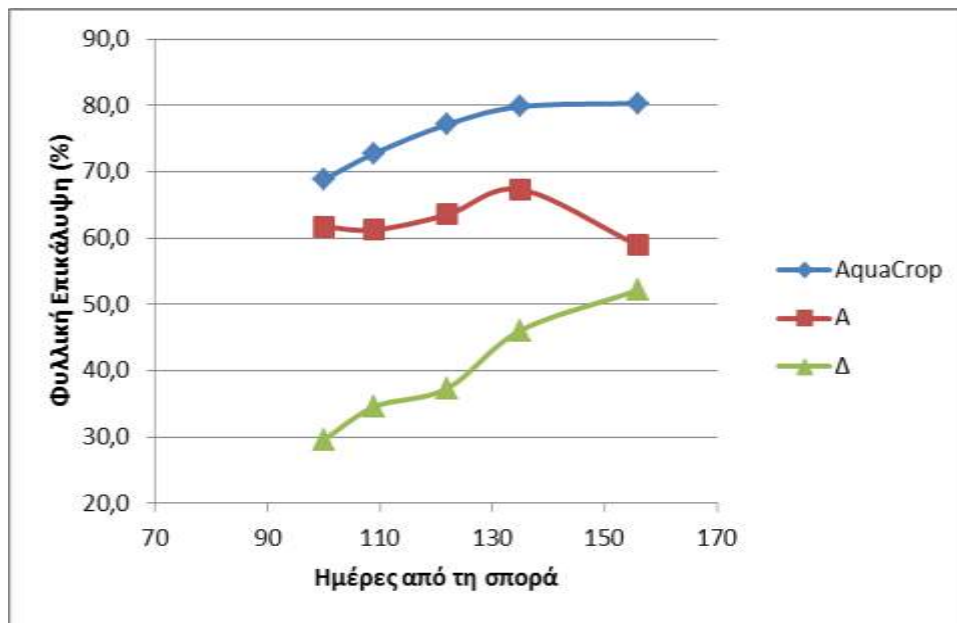
Πίνακας 3.24: Σύγκριση τιμών προσομοίωσης σιταριού του προτύπου με πραγματικές τιμές των τεμαχίων Β,Γ και Ε.

	Β	Γ	Ε
RMSE	0,2	0,25	0,01
d	0,42	0,34	0,98

Διαπιστώθηκε ότι για τα τεμάχια με πηλώδες έδαφος, το AquaCrop προσομοίωσε καλύτερα την ανάπτυξη της CC του τεμαχίου Ε, το οποίο είχε μεγαλύτερες τιμές σε σχέση με τα υπόλοιπα δύο, δηλαδή ήταν με απλά λόγια το ταχύτερα αναπτυγμένο. Πιο συγκεκριμένα για τη ρίζα του μέσου τετραγώνου του σφάλματος και

για τον δείκτη συμφωνίας οι τιμές ήταν 0,01 και 0,98 πολύ καλύτερες σε σύγκριση με τα άλλα δύο τεμάχια.

Αντιστοίχως ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία και για τα τεμάχια A και Δ των οποίων το έδαφος ήταν αμμοπηλώδες. Αντικαταστάθηκαν τα εδαφολογικά χαρακτηριστικά στο AquaCrop με αυτά που περιγράφονται στον Πίνακα 2.9 και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης παρουσιάζονται στην Εικόνα 3.20 και στον Πίνακα 3.25.



Εικόνα 3.20: Εξέλιξη φυτοκάλυψης (CC) του AquaCrop σε σχέση με τα πειραματικά τεμάχια A και Δ της καλλιέργειας σιταριού

Πίνακας 3.25: Σύγκριση τιμών προσομοίωσης σιταριού του προτύπου με πραγματικές τιμές των τεμαχίων A και Δ.

	A	Δ
RMSE	0,14	0,4
d	0,28	0,3

Όπως διαπιστώθηκε σε αυτήν την περίπτωση διατηρώντας τις παραπάνω ρυθμίσεις, η προσομοίωση δεν αποτυπώνει το ίδιο καλά την ανάπτυξη της CC όπως στην

περίπτωση του πηλώδους εδάφους. Στην συγκεκριμένη περίπτωση το πρότυπο έδωσε μεγαλύτερες τιμές της CC απ' ότι στην πραγματικότητα.

Εν τέλει πραγματοποιήθηκε στατιστικός έλεγχος των αποδόσεων, ακολουθώντας τις εδαφολογικές ρυθμίσεις του τεμαχίου E για το οποίο παρατηρήθηκε η καλύτερη εφαρμογή του προτύπου. Συγκρίθηκε η απόδοση του προτύπου με τις πραγματικές αποδόσεις των υποτεμαχίων του τεμαχίου E (Πιν. 3.26).

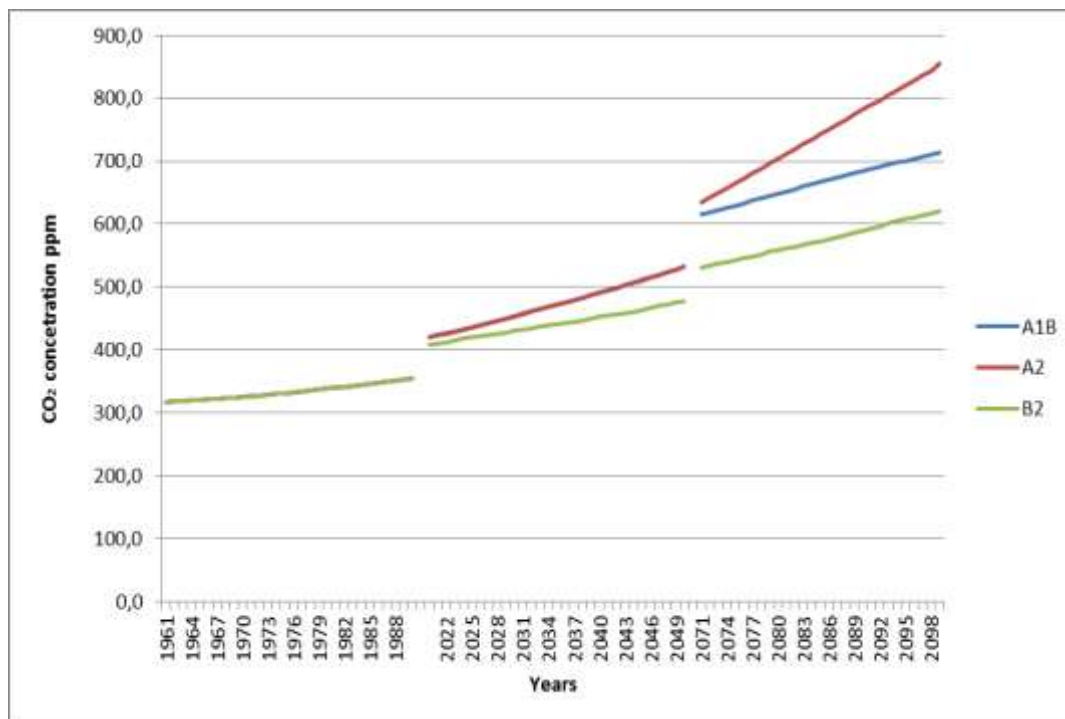
Πίνακας 3.26: Σύγκριση απόδοσης προσομοίωσης σιταριού του προτύπου με πραγματικές τιμές μεταξύ των τριών καλλιεργητικών περιόδων

Χαρακτηριστικά καλλιέργειας	Έτος			
	2010-2011			
Απόδοση(t/ha)				
Πραγματική	7,35	7,57	6,97	7,07
Προσομοίωση	7,12	7,12	7,12	7,12
RMSE		0,26		
d		0,43		

Από τα παραπάνω αποτελέσματα προέκυψε ότι ο RMSE προσέγγισε περισσότερο την άριστη τιμή του μηδενός συγκριτικά με τον d ο οποίος απείχε από την ιδανική τιμή της μονάδας. Αντίστοιχο εύρος αποτελεσμάτων σύγκρισης πραγματικών και προσομοιωμένων τιμών κατά τα οποία η τιμή του RMSE ή του d δεν πλησιάζει τις ιδανικές, ωστόσο θεωρούνται κατάλληλες για την εξαγωγή συμπερασμάτων έχουν παρατηρηθεί και σε προηγούμενες εργασίες (Anjum Iqbal et al., 2014, Andarzian et al., 2011).

3.2 Ανάλυση κλιματικών μοντέλων

Τα κλιματικά μοντέλα που περιγράφονται στην Παράγραφο 2.1, εφαρμόστηκαν στις επτά προς μελέτη περιοχές και για τα τρία σενάρια A1B, A2 και B2. Τα κλιματικά δεδομένα που αναλύθηκαν για κάθε μοντέλο ήταν η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία, η ταχύτητα του ανέμου, η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και η βροχόπτωση. Αναφορικά με την συγκέντρωση CO₂ για την πρώτη περίοδο 1961-1990, τα τρία σενάρια ταυτίστηκαν. Για την περίοδο 2021-2050 οι τιμές του CO₂ είναι ίδιες για τα σενάρια A1B, A2 και λίγο μικρότερες για το B2. Για την τελευταία περίοδο 2071-2100 υπήρξε σαφής διαφοροποίηση μεταξύ των τριών σεναρίων με αποτέλεσμα η συγκέντρωση CO₂ να είναι 714ppm , 856ppm και 621ppm, για τα σενάρια A1B, A2 και B2 αντίστοιχα.

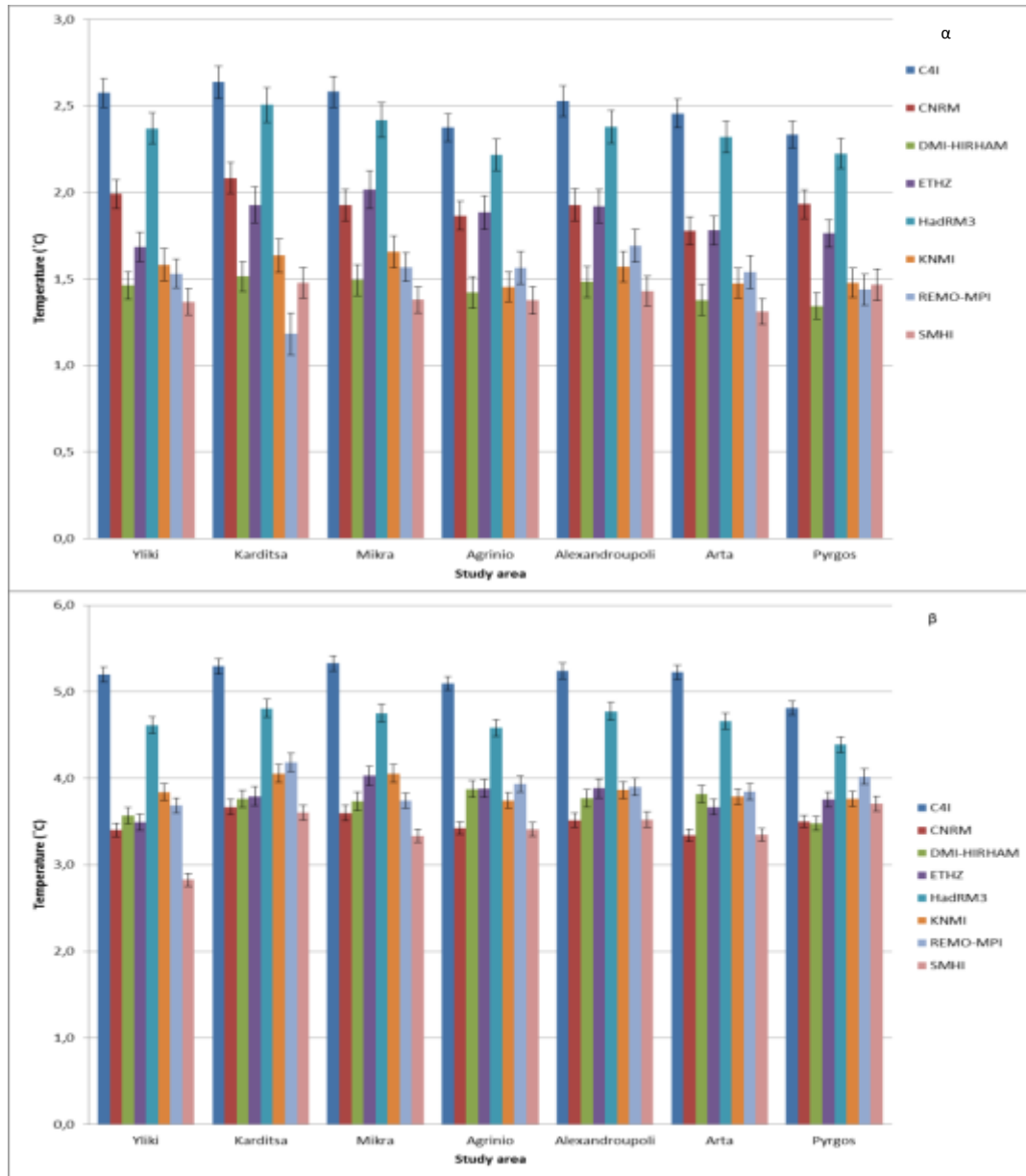


Εικόνα 3.21: Οι τάσεις συγκέντρωσης CO₂ για τις περιόδους 1961-1990, 2021-2050 και 2071-2100 για τα σενάρια A1B, A2 και B2.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι μεταβολές για τις περιγραφόμενες κλιματικές παραμέτρους, σε κάθε σενάριο και για κάθε περιοχή.

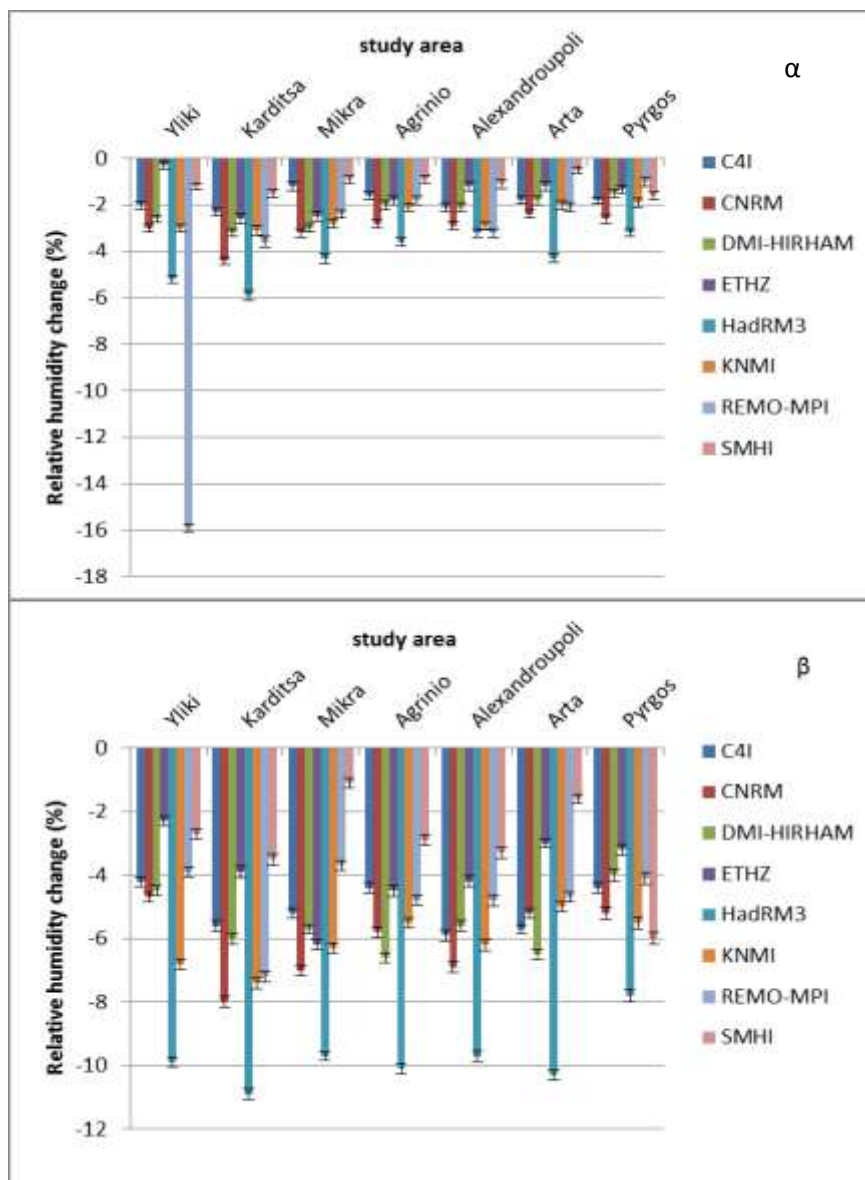
3.2.α. Σενάριο A1B

Το σενάριο A1B προβλέπει αύξηση της συγκέντρωσης CO₂ στα 720ppm μέχρι το τέλος του τρέχοντος αιώνα. Οι μεταβολές στις κλιματικές παραμέτρους στο σενάριο A1B για τα οκτώ κλιματικά μοντέλα που περιγράφηκαν στην παράγραφο 2.1 παρουσιάζονται στις παρακάτω εικόνες.



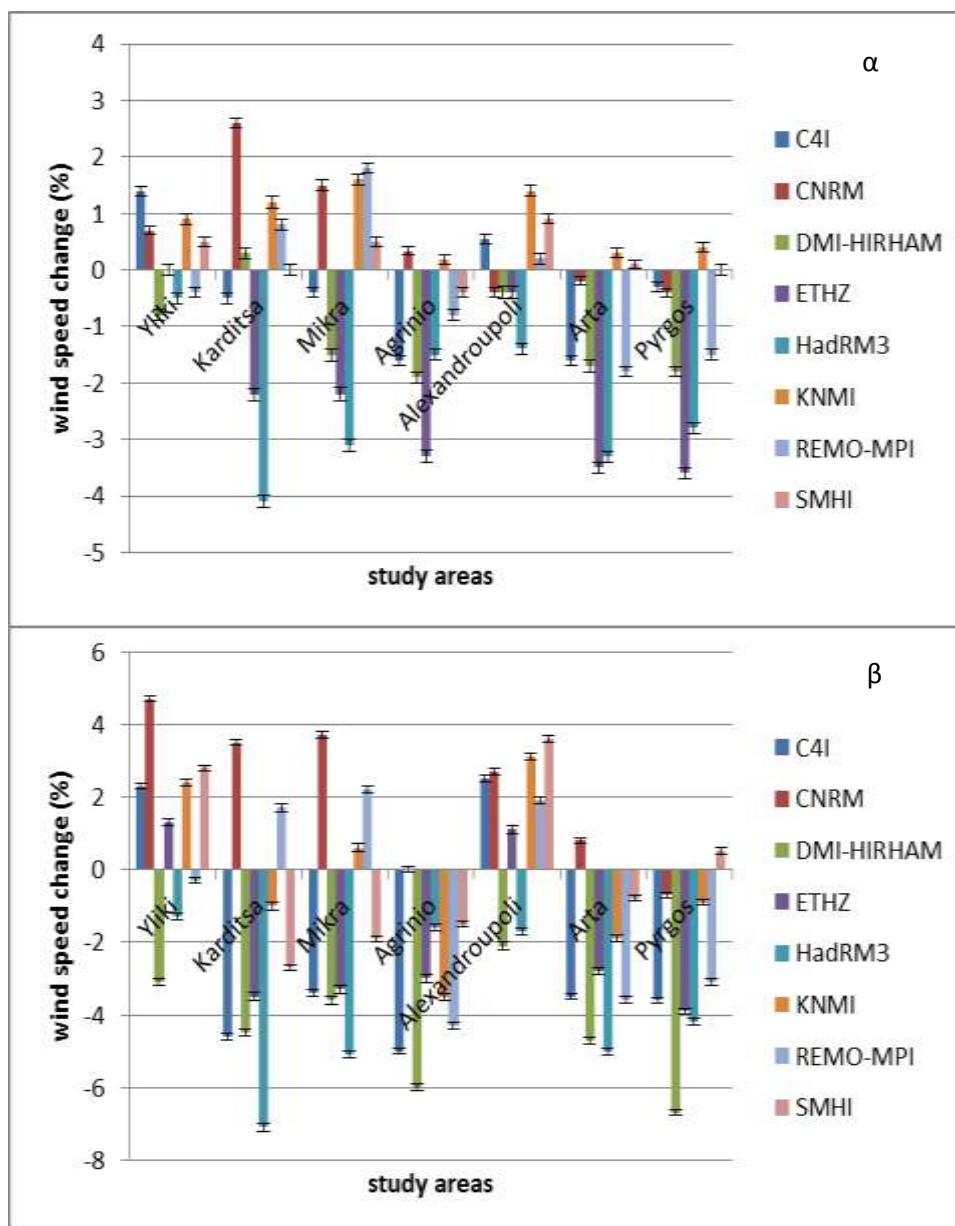
Εικόνα 3.22: Διαφοροποίηση της θερμοκρασίας (C°) ανά περιοχή και κλιματικό μοντέλο κατά τη σύγκριση των περιόδων 1961-1990 με 2021-2050 (α) και 1961-1990 με 2071-2100 (β) για το σενάριο A1B.

Αναλύοντας την παραπάνω εικόνα διαπιστώνεται ότι τα θερμότερα κλιματικά μοντέλα είναι το C4I και το HadRM3 τα οποία φτάνουν ή ξεπερνούν τους 2,5 °C. Αντιθέτως το μοντέλο που έδωσε τη χαμηλότερη αύξηση της θερμοκρασίας στις περισσότερες περιπτώσεις είναι το SMHI. Για την πρώτη περίοδο μελέτης οι περιοχές Αγρινίου, Άρτας και Πύργου εμφάνισαν μικρότερη αύξηση της θερμοκρασίας από τις υπόλοιπες, ενώ για την δεύτερη αυτό έγινε περισσότερο εμφανές για τον Πύργο και το Αγρίνιο. Ανάλογα με την περιοχή και το μοντέλο η αύξηση κυμάνθηκε από 3,5 °C έως πάνω από 5 °C.



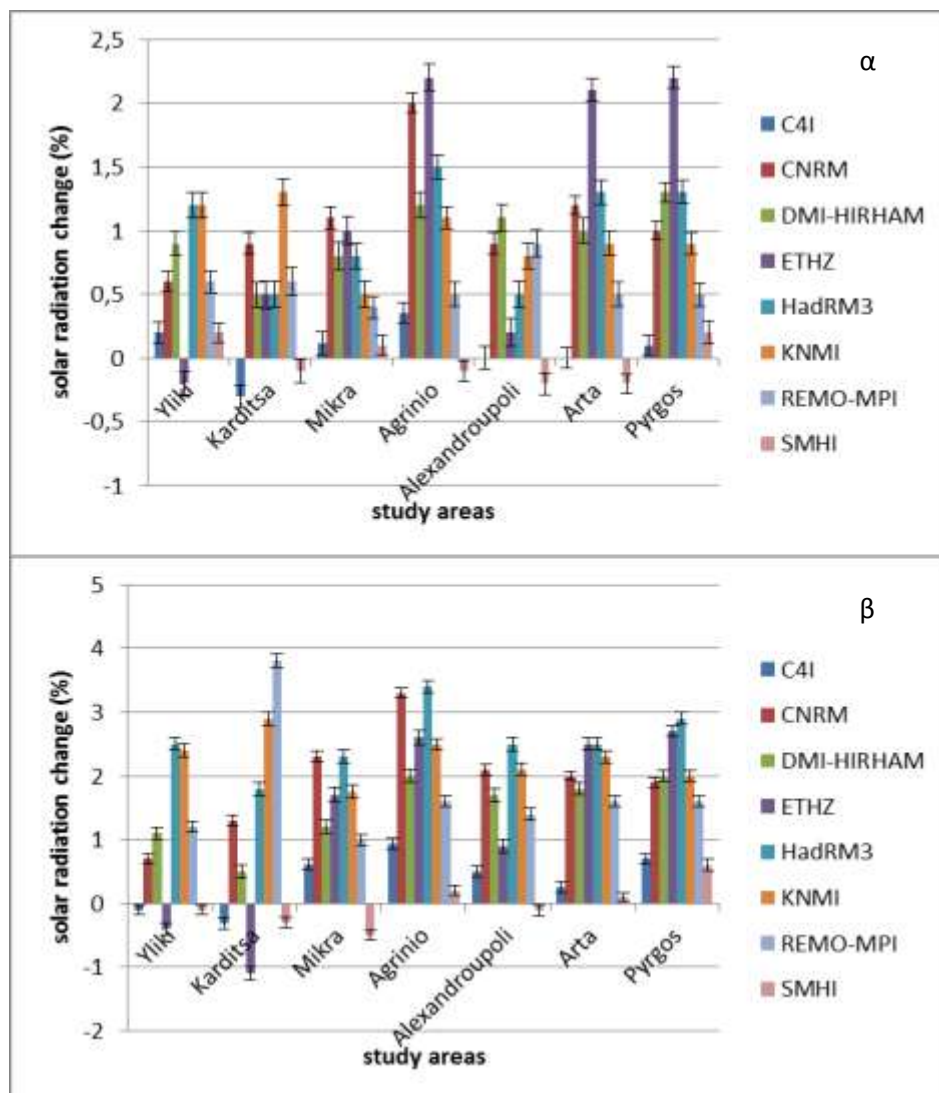
Εικόνα 3.23: Διαφοροποίηση της σχετικής υγρασίας (%) ανά περιοχή και κλιματικό μοντέλο κατά τη σύγκριση των περιόδων 1961-1990 με 2021-2050 (α) και 1961-1990 με 2071-2100 (β) για το σενάριο A1B.

Με εξαίρεση την περιοχή της Υλίκης, το κλιματικό μοντέλο με την μεγαλύτερη μείωση στην σχετική υγρασία κατά την περίοδο σύγκρισης 1961-1990 και 2021-2050 ήταν το HadRM3, από 3% έως 6%. Για την δεύτερη προς μελέτη περίοδο το ίδιο μοντέλο έδωσε τη μεγαλύτερη μείωση σε όλες τις περιοχές η οποία κυμάνθηκε στο -10% με εξαίρεση τον Πύργο, ενώ αυτό με τη μικρότερη μείωση ήταν το SMHI με εξαίρεση την περιοχή του Πύργου.



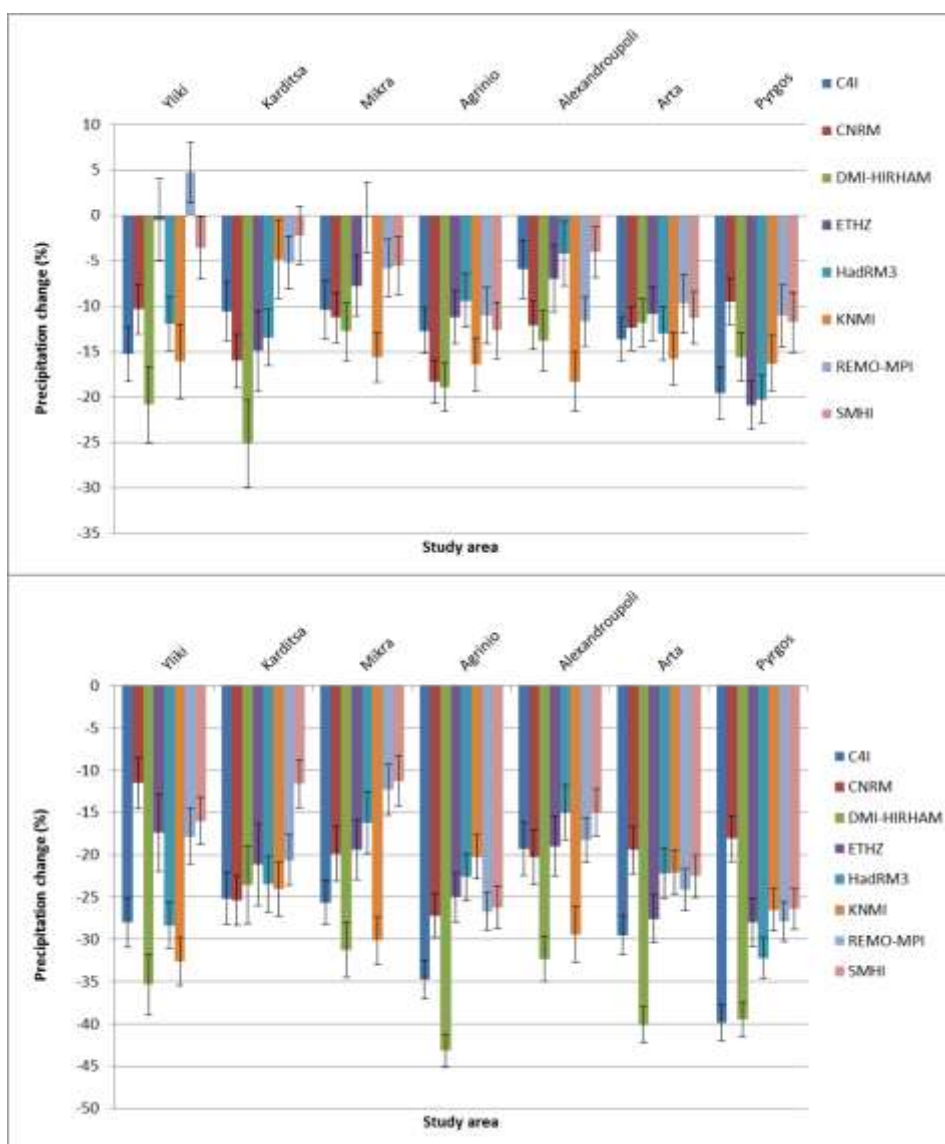
Εικόνα 3.24: Διαφοροποίηση της ταχύτητας ανέμου (%) ανά περιοχή και κλιματικό μοντέλο κατά τη σύγκριση των περιόδων 1961-1990 με 2021-2050 (α) και 1961-1990 με 2071-2100 (β) για το σενάριο A1B.

Για την πρώτη περίοδο σύγκρισης η διαφοροποίηση στην ταχύτητα του ανέμου κυμάνθηκε μεταξύ του -2,5% και +4%. Τα μοντέλα ETHZ και HadRM3 σε σταθερή βάση έδωσαν ποσοστιαία μείωση στην ταχύτητα του ανέμου ενώ αντίθετα το KNMI σε όλες τις περιοχές έδωσε αύξηση. Για την δεύτερη τα μοντέλα DMI-HIRHAM και HadRM3 έδωσαν μείωση στην ταχύτητα του ανέμου από -2% έως -7% περίπου, ενώ το CNRM για όλες σχεδόν τις περιοχές έδωσε αύξηση στην ταχύτητα του ανέμου που έφτασε το 5% για την Υλίκη. Για τις περιοχές του Πύργου και του Αγρινίου όλα τα κλιματικά μοντέλα έδωσαν μειωμένες ταχύτητες ανέμου.



Εικόνα 3.25: Διαφοροποίηση της έντασης ηλιακής ακτινοβολίας (%) ανά περιοχή και κλιματικό μοντέλο κατά τη σύγκριση των περιόδων 1961-1990 με 2021-2050 (α) και 1961-1990 με 2071-2100 (β) για το σενάριο A1B

Για την πρώτη περίοδο, το μοντέλο ETHZ έδωσε τη μεγαλύτερη αύξηση στην ένταση ηλιακής ακτινοβολίας στις περιοχές της δυτικής Ελλάδας (Πύργος, Άρτα, Αγρίνιο), η οποία ήταν μεγαλύτερη από 2%. Αντίστοιχα για την δεύτερη περίοδο το HadRM3 είχε την μεγαλύτερη αύξηση στις περισσότερες περιοχές. Για το Αγρίνιο, Αλεξανδρούπολη, Άρτα και Πύργο όλα τα μοντέλα έδωσαν αύξηση στην ηλιακή ακτινοβολία που ποσοστιαία κυμάνθηκε από 2% έως 3% στις περισσότερες περιπτώσεις.

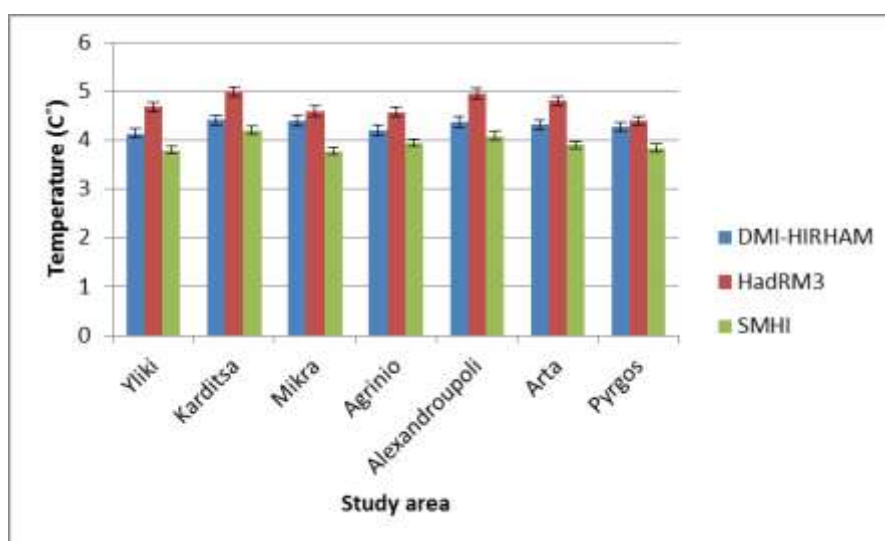


Εικόνα 3.26: Διαφοροποίηση της βροχόπτωσης (%) ανά περιοχή και κλιματικό μοντέλο μεταξύ 1961-1990/2021-2050 (α) και 1961-1990/2071-2100 (β) για το σενάριο A1B

Και στις δύο προς μελέτη περιόδους όλα τα κλιματικά μοντέλα προέβλεψαν μείωση του ποσοστού των βροχοπτώσεων με εξαίρεση το REMO-MPI για την Υλίκη κατά την πρώτη περίοδο. Σε σχέση με την σύγκριση των περιόδων 1961-1990 και 2021-2050, η σύγκριση 1961-1990 και 2071-2100 είχε μεγαλύτερες μειώσεις βροχοπτώσεων κατά 15%, με αποτέλεσμα να ξεπερνά το 20% και να φτάνει έως και το 40% σε κάποιες περιπτώσεις.

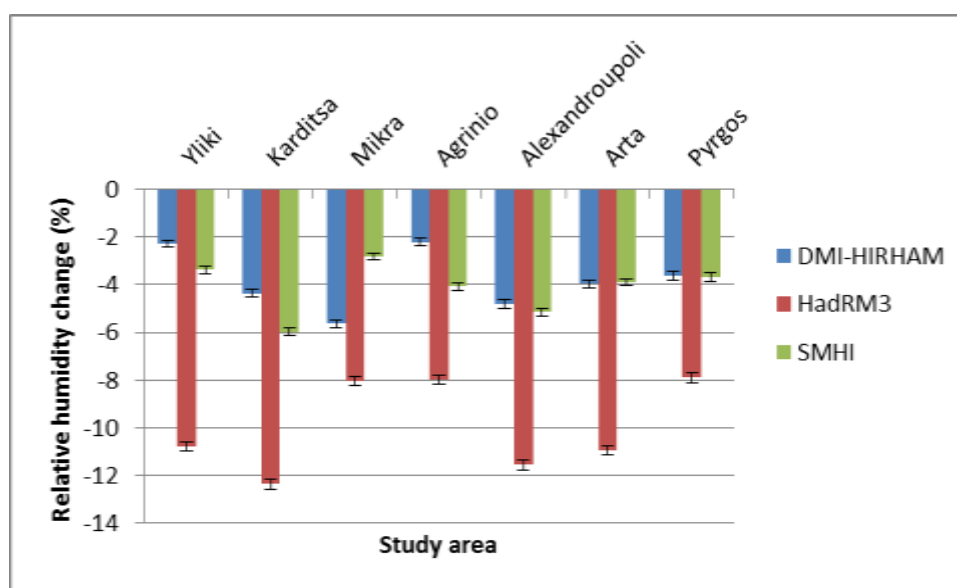
3.2.β. Σενάριο A2

Όπως προαναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 2, για το σενάριο A2 χρησιμοποιήθηκαν μοντέλα που προέκυψαν μέσω του ερευνητικού προγράμματος PRUDENCE και τα οποία σε σύγκριση με το σενάριο A1B αντί για οκτώ ήταν τρία (DMI-HIRHAM, HadRM3, SMHI). Επιπλέον όπως σημειώθηκε στο Κεφάλαιο 2, οι κλιματικές παράμετροι των μοντέλων δεν διαφοροποιούνται σημαντικά για την περίοδο μέχρι τα μέσα του τρέχοντος αιώνα, μεταξύ των τριών σεναρίων. Εντονότερη διαφοροποίηση παρουσιάστηκε στην περίοδο 2071-2100, κατά την οποία η εκτιμώμενη συγκέντρωση CO₂ για το σενάριο A2 αναμένεται να φτάσει τα 850 ppm. Αναλυτικά οι διάφορες κλιματικές παράμετροι διαφοροποιούνται ανάλογα με το μοντέλο για την περίοδο 2071-2100 συγκριτικά με την περίοδο 1961-1990 σύμφωνα με τις παρακάτω εικόνες.



Εικόνα 3.27: Διαφοροποίηση της θερμοκρασίας (C°) ανά περιοχή και κλιματικό μοντέλο κατά τη σύγκριση των περιόδων 1961-1990 και 2071-2100 για το σενάριο A2

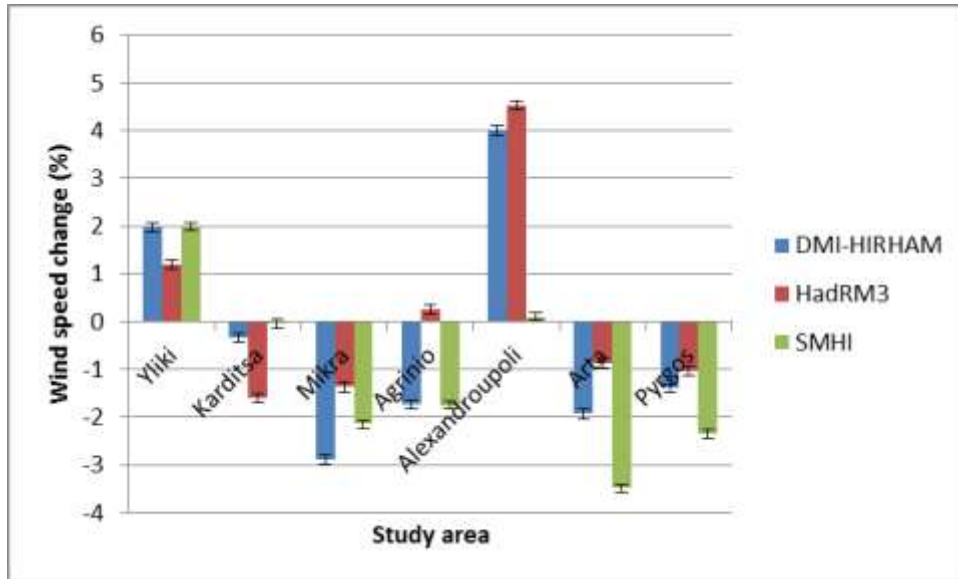
Όπως και στο σενάριο A1B, έτσι και στο A2 το κλιματικό μοντέλο HadRM3, έδωσε την μεγαλύτερη αύξηση στη θερμοκρασία κατά τη σύγκριση των περιόδων 1961-1990 και 2071-2100, με μέσο όρο για όλες τις περιοχές τους 4,7 °C. Καρδίτσα και Αλεξανδρούπολη είχαν την μεγαλύτερη αύξηση, κοντά στους 4,9 °C. Το κλιματικό μοντέλο DMI-HIRHAM έδωσε μικρότερες αυξήσεις (μέσος όρος 4,3 °C) από το HadRM3 ενώ οι περιοχές με τις μεγαλύτερες αυξήσεις ήταν η Αλεξανδρούπολη, η Μίκρα και η Καρδίτσα. Τέλος το SMHI έδωσε τις μικρότερες αυξήσεις στην θερμοκρασία (μέσος όρος 3,9 °C) σε σχέση με τα άλλα δύο μοντέλα με την Αλεξανδρούπολη και την Καρδίτσα να έχουν τις υψηλότερες αυξήσεις.



Εικόνα 3.28: Διαφοροποίηση της σχετικής υγρασίας (%) ανά περιοχή και κλιματικό μοντέλο κατά τη σύγκριση των περιόδων 1961-1990 με 2071-2100 για το σενάριο A2.

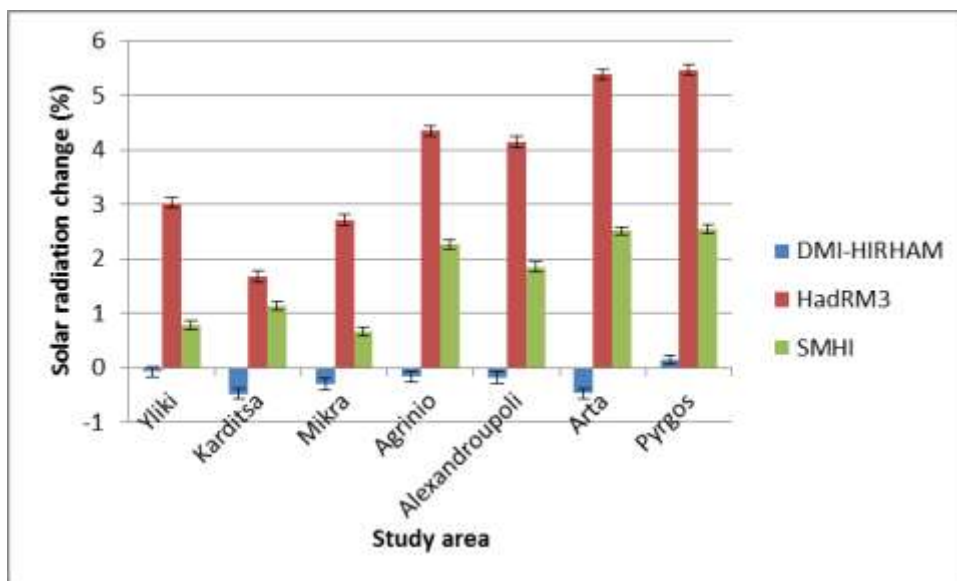
Η ποσοστιαία διαφοροποίηση της σχετικής υγρασίας ακολουθεί αυτή της θερμοκρασίας. Το μοντέλο HadRM3 έδωσε τη μεγαλύτερη μείωση με μέσο όρο -9,9%, με τιμές μείωσης μεγαλύτερες του 10% να παρατηρούνται στην Καρδίτσα, στην Αλεξανδρούπολη, στην Άρτα και στην Υλίκη. Το μοντέλο SMHI είχε μέσο όρο μείωσης της σχετικής υγρασίας -4,1% με την Καρδίτσα και Αλεξανδρούπολη να έχουν τα

υψηλότερα ποσοστά. Σχετικά με το μοντέλο DMI ο μέσος όρος μείωσης ήταν 3,8% με τις μεγαλύτερες τιμές να παρατηρούνται στην Αλεξανδρούπολη και στη Μίκρα.



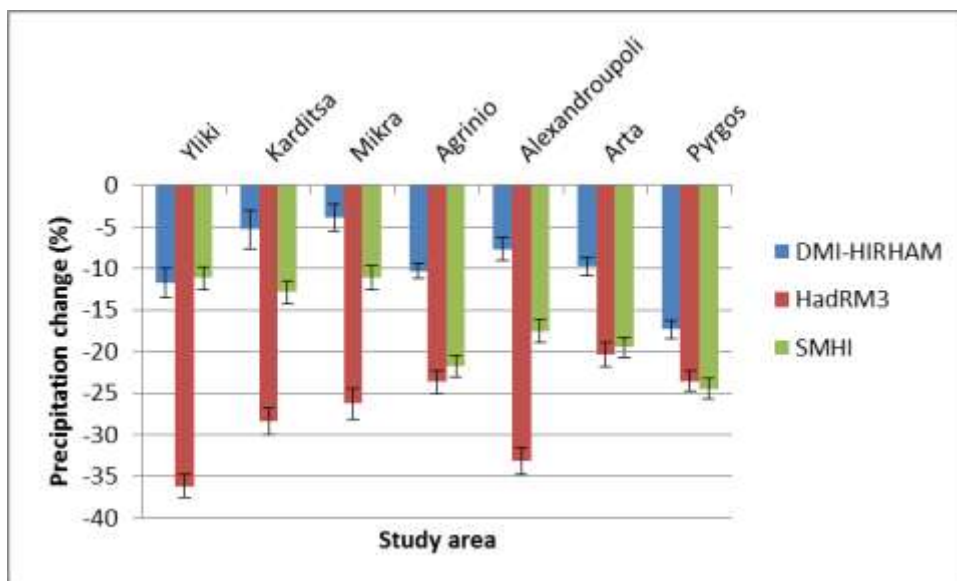
Εικόνα 3.29: Διαφοροποίηση της ταχύτητας ανέμου (%) ανά περιοχή και κλιματικό μοντέλο κατά τη σύγκριση των περιόδων 1961-1990 με 2071-2100 για το σενάριο A2.

Κατά την μελέτη της ταχύτητας του ανέμου προέκυψε ότι υπήρξε μεγάλη διαφοροποίηση μεταξύ των μοντέλων και των περιοχών. Για παράδειγμα τα μοντέλα DMI και HadRM3 έδωσαν ποσοστιαίες αυξήσεις στην Αλεξανδρούπολη και στην Υλίκη, ενώ το SMHI έδωσε οριακή αύξηση μόνο στην Υλίκη και το HadRM3 στο Αγρίνιο αντίστοιχα. Για τις υπόλοιπες περιοχές υπήρξε μείωση που κυμάνθηκε από -3,5% στην Υλίκη έως οριακή μείωση στην Καρδίτσα.



Εικόνα 3.30: Διαφοροποίηση της έντασης ηλιακής ακτινοβολίας (%) ανά περιοχή και κλιματικό μοντέλο κατά τη σύγκριση των περιόδων 1961-1990 με 2071-2100 για το σενάριο A2.

Η μεγαλύτερη ποσοστιαία αύξηση της ηλιακής ακτινοβολίας παρατηρήθηκε στο μοντέλο HadRM3 και πιο συγκεκριμένα στην Άρτα και στον Πύργο όπου ξεπέρασε το 5%, ενώ η μικρότερη στην Καρδίτσα περίπου 1%. Ομοίως το μοντέλο SMHI έδωσε αυξήσεις σε όλες τις περιοχές των οποίων όμως οι μέγιστες τιμές κυμάνθηκαν στο 2,5% περίπου στην Άρτα και στον Πύργο αντίστοιχα, ενώ οι μικρότερες παρατηρήθηκαν στην Μίκρα και στην Υλίκη. Τέλος το μοντέλο DMI-HIRHAM, σε αντίθεση με τα άλλα δύο έδωσε μικρές ποσοστιαίες μειώσεις σε όλες τις περιοχές με εξαίρεση τον Πύργο όπου υπήρξε οριακή αύξηση. Με λίγα λόγια, το τελευταίο κλιματικό μοντέλο εμφανίζεται να είναι το πιο σταθερό αναφορικά με την μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας.

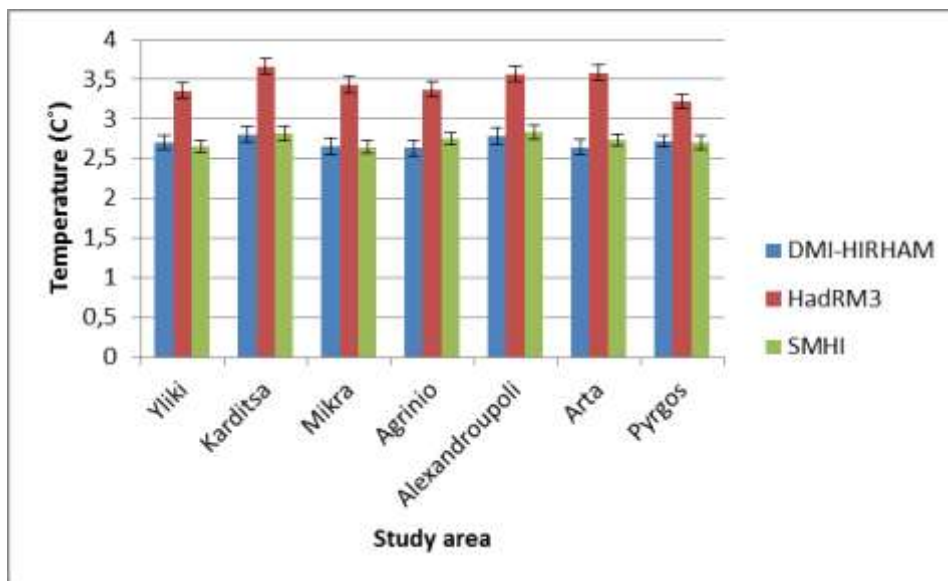


Εικόνα 3.31: Διαφοροποίηση της βροχόπτωσης (%) ανά περιοχή και κλιματικό μοντέλο κατά τη σύγκριση των περιόδων 1961-1990 με 2071-2100 για το σενάριο A2.

Από τα κλιματικά μοντέλα που μελετήθηκαν αναφορικά με την μεταβολή της βροχόπτωσης προέκυψε ότι στο HadRM3 η βροχόπτωση παρουσίασε κατά μέσο όρο τη μεγαλύτερη μείωση, περίπου 27% ενώ στο SMHI ήταν -17% και στο DMI -9%. Πιο συγκεκριμένα το HadRM3 έδωσε σε όλες τις περιοχές πλην του Πύργου τις μεγαλύτερες ποσοστιαίες μειώσεις στη βροχόπτωση. Υλίκη και Αλεξανδρούπολη είχαν τις μεγαλύτερες μειώσεις (-36% και -33% αντίστοιχα), ενώ Άρτα, Πύργος και Αγρίνιο είχαν μειώσεις μικρότερες από 25%. Σε αντίθεση με το HadRM3, το SMHI έδωσε τις μεγαλύτερες μειώσεις στη βροχόπτωση στις περιοχές της Δυτικής Ελλάδας, δηλαδή Άρτα, Αγρίνιο και Πύργο με -19,5%, -21,7% και -24,5% αντίστοιχα. Στον αντίποδα οι περιοχές με τις μικρότερες μειώσεις ήταν η Μίκρα, η Υλίκη και η Καρδίτσα με -11,1%, -11,2% και -12,8% αντίστοιχα. Τέλος το μοντέλο DMI έδωσε τις υψηλότερες μειώσεις στο Αγρίνιο, στην Υλίκη και στον Πύργο με -10,2%, -11,6% και -17,3% αντίστοιχα.

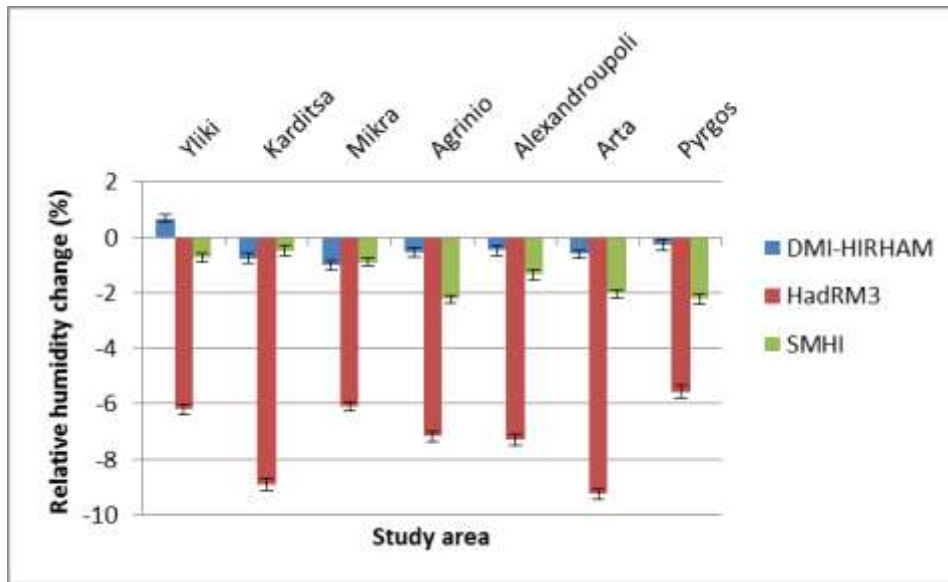
3.2.γ. Σενάριο B2

Ομοίως με το σενάριο A2, στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν υφίστανται σημαντικές διαφοροποιήσεις μεταξύ του B2 και του A1B για την περίοδο 2021-2050. Το μοντέλο B2 διαφοροποιείται κατά την περίοδο 2071-2100 όπου η συγκέντρωση CO₂ αναμένεται να είναι μικρότερη από τα άλλα δύο σενάρια, περίπου στα 620 ppm. Οι διάφορες κλιματικές παράμετροι για τα τρία κλιματικά μοντέλα (DMI-HIRHAM, HadRM3, SMHI) διαμορφώθηκαν ως εξής:



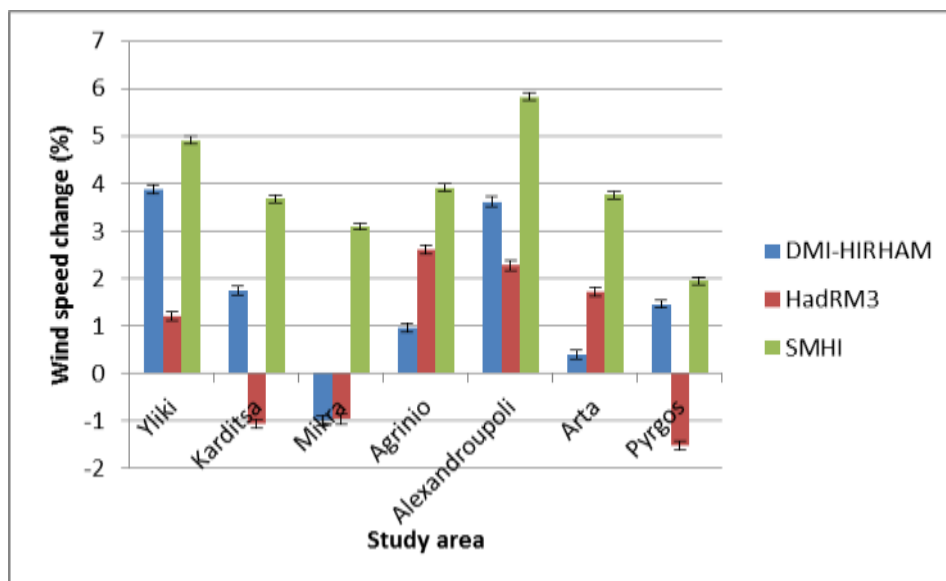
Εικόνα 3.32: Διαφοροποίηση της θερμοκρασίας (C°) ανά περιοχή και κλιματικό μοντέλο κατά τη σύγκριση των περιόδων 1961-1990 και 2071-2100 για το σενάριο B2

Συγκρίνοντας τις περιόδους 1961-1990 με 2071-2100, παρατηρήθηκε ότι το μοντέλο HadRM3 προέβλεψε κατά μέσο όρο αύξηση της θερμοκρασίας κατά 3,5 °C περίπου. Ειδικότερα Καρδίτσα, Αλεξανδρούπολη και Άρτα είχαν αύξηση της θερμοκρασίας μεγαλύτερη από τον μέσο όρο, ενώ η μικρότερη αύξηση παρατηρήθηκε στη Υλική με 2,7 °C. Τα μοντέλα SMHI και DMI-HIRHAM ήταν λιγότερο θερμά, καθώς χαρακτηρίστηκαν από μέση αύξηση θερμοκρασίας κατά 2,7 °C. Και στα δύο μοντέλα παρατηρήθηκε λίγο μεγαλύτερη αύξηση σε σχέση με τις υπόλοιπες περιοχές στην Αλεξανδρούπολη και στην Καρδίτσα. Στην Υλική, στη Μίκρα και στον Πύργο το DMI-HIRHAM έδωσε λίγο μεγαλύτερες αυξήσεις από το SMHI.



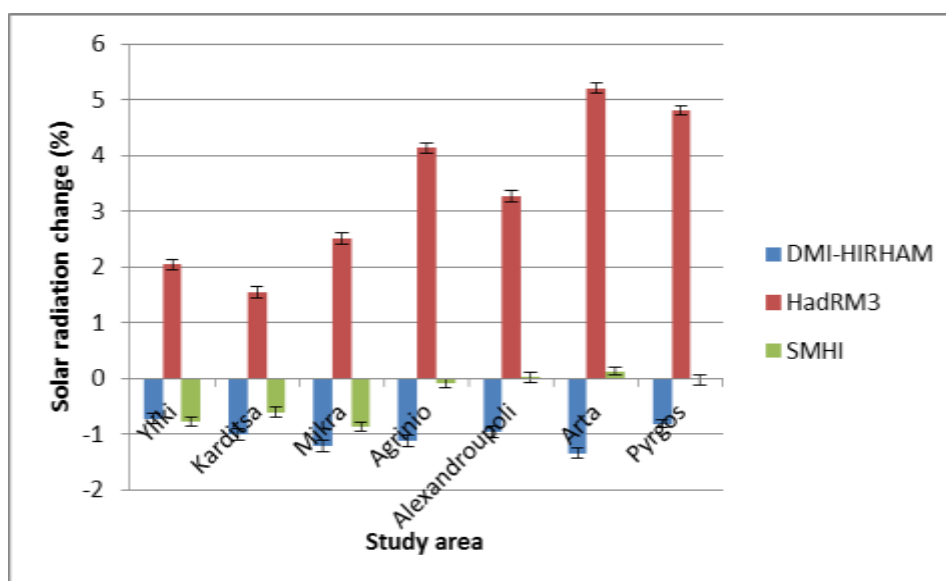
Εικόνα 3.33: Διαφοροποίηση της σχετικής υγρασίας (%) ανά περιοχή και κλιματικό μοντέλο κατά τη σύγκριση των περιόδων 1961-1990 με 2071-2100 για το σενάριο B2

Συγκρίνοντας τα τρία μοντέλα προέκυψε η καταφανώς μεγαλύτερη μείωση της σχετικής υγρασίας στο HadRM3. Σημαντικότερη μείωσή της, έδωσαν οι περιοχές της Άρτας και της Καρδίτσας με -9,2% και -8,9% αντίστοιχα, ενώ μικρότερη μείωση έδωσε ο Πύργος κατά 5,5%. Στο SMHI οι περιοχές της Δυτικής Ελλάδας έδωσαν την μεγαλύτερη πτώση της σχετικής υγρασίας με μείωση μεγαλύτερη από 2,0%. Στην Υλίκη, Καρδίτσα και Μίκρα η αντίστοιχη μείωση ήταν πολύ μικρότερη και κάτω από 1%. Τέλος στο DMI-HIRHAM μόνο η Υλίκη έδωσε μια μικρή αύξηση της υγρασίας. Σε όλες τις υπόλοιπες περιοχές το κλιματικό μοντέλο έδωσε μειώσεις οι οποίες κυμάνθηκαν από -1% στη Μίκρα έως -0,3% στον Πύργο.



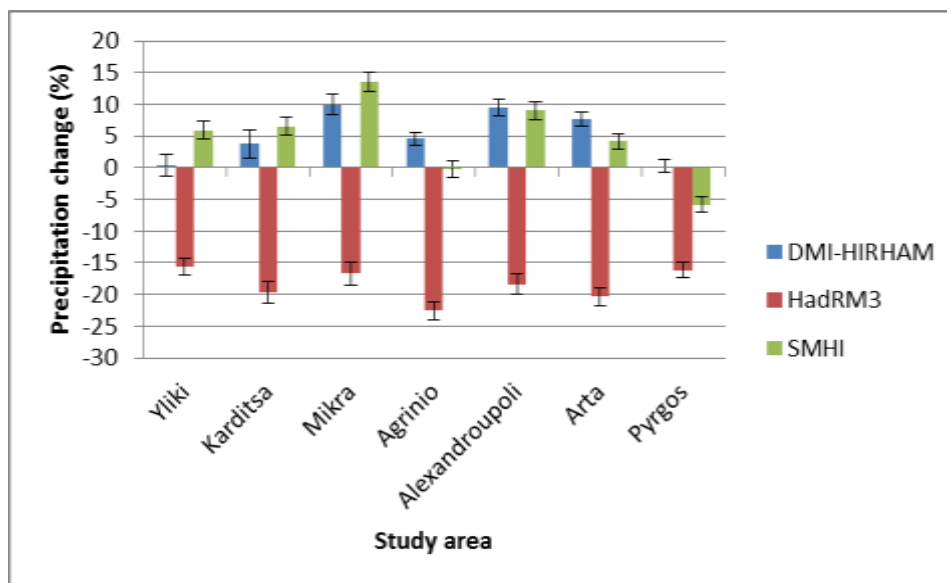
Εικόνα 3.34: Διαφοροποίηση της ταχύτητας ανέμου (%) ανά περιοχή και κλιματικό μοντέλο κατά τη σύγκριση των περιόδων 1961-1990 με 2071-2100 για το σενάριο B2.

Το μοντέλο που έδωσε την μεγαλύτερη ποσοστιαία διαφοροποίηση στην ταχύτητα του ανέμου ήταν το SMHI, σε όλες τις περιοχές. Πιο συγκεκριμένα, η μέση αύξηση ήταν 3,9% ενώ στα HadRM3 και SMHI ήταν 0,6% και 1,6% αντίστοιχα. Το HadRM3 έδωσε μειώσεις στην ταχύτητα του ανέμου στις περιοχές της Καρδίτσας, Μίκρας και Πύργου ενώ το DMI-HIRHAM μόνο στη Μίκρα.



Εικόνα 3.35: Διαφοροποίηση της έντασης ηλιακής ακτινοβολίας (%) ανά περιοχή και κλιματικό μοντέλο κατά τη σύγκριση των περιόδων 1961-1990 με 2071-2100 για το σενάριο B2.

Αναφορικά με την ποσοστιαία διαφοροποίηση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας αυτό που παρατηρήθηκε ήταν η πρόβλεψη αύξησής της κατά 3,3% κατά μέσο όρο για το HadRM3, ενώ για τα άλλα δύο μοντέλα προβλέφθηκαν μειώσεις -1% και -0,3% για τα DMI-HIRHAM και SMHI αντίστοιχα.



Εικόνα 3.36: Διαφοροποίηση της βροχόπτωσης (%) ανά περιοχή και κλιματικό μοντέλο κατά τη σύγκριση των περιόδων 1961-1990 με 2071-2100 για το σενάριο B2.

Σε αντίθεση με τα σενάρια A2 και A1B όπου όλα τα κλιματικά μοντέλα έδωσαν μείωση του ποσοστού της βροχόπτωσης, στο σενάριο B2 τα μοντέλα DMI-HIRHAM και SMHI έδωσαν αυξήσεις κατά 5,2% και 4,7%. Και στα δύο μοντέλα η Μίκρα και η Αλεξανδρούπολη έδωσαν αυξήσεις μεγαλύτερες από 9%. Οριακές αυξήσεις για το DMI-HIRHAM δόθηκαν στην Υλίκη και στον Πύργο, ενώ το SMHI έδωσε μειώσεις στη βροχόπτωση στον Πύργο. Αντίθετα, το HadRM3 προέβλεψε μειώσεις βροχοπτώσεων σε όλες τις περιοχές με μεγαλύτερες από 20% στο Αγρίνιο και στην Άρτα. Μικρότερες μειώσεις παρουσίασαν η Υλίκη και η Μίκρα με 15,6% και 16,6% αντίστοιχα.

3.3 Εκτίμηση αποδόσεων

Επόμενο βήμα μετά την παραμετροποίηση του προτύπου AquaCrop για κάθε καλλιέργεια, την ανάλυση και επεξεργασία των κλιματικών παραμέτρων για κάθε ένα σενάριο και για κάθε μία περιοχή αποτέλεσε η εκτίμηση των αποδόσεων. Επιλέχθηκε η παρουσίαση των αποτελεσμάτων με την εξής σειρά: Ανά κλιματικό σενάριο και τα αντίστοιχα μοντέλα, ανά καλλιέργεια και ανά περιοχή. Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και από άλλους ερευνητές όπως τους Parry et al., (1999), Tubiello & Fischer, (2007), Iglesias et al., (2000), Karl et al., (2009), Kang et al., (2009), Li et al., (2011), Vanuytrecht et al., (2012). Κατά την εκτίμηση αποδόσεων κατά τις περιόδους 1961-1990, 2021-2050 και 2071-2100, στο πρότυπο εφαρμόσθηκε η λειτουργία με τη χρήση βαθμοημερών (Growing Degrees Day Mode), έτσι όπως προτείνεται και από τους κατασκευαστές του AquaCrop για την περίπτωση μακροχρόνιων εκτιμήσεων (Hsiao et al., 2012). Για κάθε σενάριο και για κάθε καλλιέργεια το πρότυπο έτρεξε 4984 φορές⁹.

3.3.1 Σενάριο A1B

Πραγματοποιήθηκε εφαρμογή του προτύπου με την χρήση των προαναφερόμενων κλιματικών μοντέλων των οποίων οι παράμετροι περιγράφονται στην Παράγραφο 3.2.1, αρχικά στην καλλιέργεια βαμβακιού, στη συνέχεια στον αραβόσιτο και τέλος στο σιτάρι. Τα αποτελέσματα των αποδόσεων ανά καλλιέργεια παρουσιάζονται παρακάτω.

⁹ Το πρότυπο AquaCrop v.4 παρουσίασε την από κατασκευής ιδιαιτερότητα ότι δεν αναγνώριζε το έτος 2100 ως αποδεκτή τιμή στην επιλογή έτους. Κατ' επέκταση, για την τριακονταετία 2071-2100, η εκτίμηση των αποδόσεων γινόταν έως το έτος 2099. Για λόγους ομοιομορφίας στη σύγκριση των περιόδων έγινε η παραδοχή ότι το αποτέλεσμα αφορούσε στο σύνολο της περιόδου.

3.3.1.α Βαμβάκι

Για την καλλιέργεια βαμβακιού οι εκτιμώμενες αποδόσεις όπως προέκυψαν από την εφαρμογή του AquaCrop ήταν οι παρακάτω.

Πίνακας 3.27: Αποδόσεις βαμβακιού (τόνοι/εκτάριο) ανά περίοδο, κλιματικό μοντέλο και περιοχή για το σενάριο A1B (όπου na: μη διαθέσιμα δεδομένα).

1961-1990								
	HadRM3	C4I	REMO-MPI	ETHZ	CNRM	DMI-HIRHAM	KNMI	SMHI
Agrinio	1,756	1,819	na	1,867	2,387	1,653	2,623	na
Alex/poli	1,211	0,549	1,126	0,435	0,501	0,947	na	na
Arta	0,639	1,628	1,296	2,193	na	1,493	2,187	na
Karditsa	0,759	1,222	1,183	1,515	1,508	1,082	2,112	1,610
Mikra	1,419	1,507	1,495	1,057	1,419	1,424	1,712	na
Pyrgos	1,677	1,608	1,979	2,226	1,629	2,165	2,040	na
Yliki	1,469	1,390	1,802	1,544	1,209	1,406	1,598	1,557

2021-2050								
	HadRM3	C4I	REMO-MPI	ETHZ	CNRM	DMI-HIRHAM	KNMI	SMHI
Agrinio	1,698	1,809	2,985	2,253	1,964	2,046	2,877	3,125
Alex/poli	0,509	0,7548	2,001	1,567	2,173	0,819	1,573	0,156
Arta	0,730	1,957	2,393	2,500	2,116	1,966	2,341	3,782
Karditsa	1,437	1,265	1,278	1,779	0,880	1,053	2,525	1,402
Mikra	1,091	1,638	1,691	1,652	1,282	1,276	1,791	2,660
Pyrgos	1,352	1,742	2,651	2,417	1,617	2,267	2,353	2,414
Yliki	1,118	1,744	1,968	1,916	2,385	1,525	2,030	2,422

2071-2100								
	HadRM3	C4I	REMO-MPI	ETHZ	CNRM	DMI-HIRHAM	KNMI	SMHI
Agrinio	1,615	2,349	2,127	2,335	2,298	2,311	3,035	2,784
Alex/poli	0,578	0,443	1,978	1,471	1,033	0,901	1,627	1,597
Arta	1,006	1,751	2,656	2,697	2,587	2,182	2,726	3,624
Karditsa	0,949	1,100	1,718	2,033	1,389	1,510	2,814	3,034
Mikra	0,836	1,276	2,417	2,028	1,371	1,533	1,638	3,436
Pyrgos	1,024	2,160	2,859	2,711	1,182	2,411	2,527	2,856
Yliki	0,724	1,538	2,659	2,142	2,131	1,755	2,520	2,617

Κάθε τιμή σε κάθε κελί αναφέρεται στον μέσο όρο τριακονταετίας. Όπως ήταν αναμενόμενο, υπήρξε μεγάλη διαφοροποίηση στις αποδόσεις συγκρίνοντας τις τρεις χρονικές περιόδους. Κατά την περίοδο 1961-1990, το μοντέλο KNMI έδωσε τις υψηλότερες αποδόσεις. Υπήρξαν περιπτώσεις κατά τις οποίες το πρότυπο για συγκεκριμένες περιοχές και μοντέλα δεν έδωσε αποτέλεσμα (na: not available output) και αυτό οφείλονταν στο γεγονός ότι δεν συμπληρώθηκαν οι απαιτούμενες βαθμομέρες (ελάχιστες βαθμομέρες για το βαμβάκι στην Ελλάδα είναι 1470, Δαναλάτος, 2007).

Πίνακας 3.28: Ποσοστιαίες συγκρίσεις αποδόσεων βαμβακιού, της περιόδου 1961-1990 με 2021-2050 και 2071-2100, ανά κλιματικό μοντέλο και περιοχή για το σενάριο A1B

	Agrinio		Alex/li		Arta		Karditsa		Mikra		Pyrgos		Yliki	
	2021-2050	2071-2100	2021-2050	2071-2100	2021-2050	2071-2100	2021-2050	2071-2100	2021-2050	2071-2100	2021-2050	2071-2100	2021-2050	2071-2100
HadRM3	-3,48	-8,71	-137,81	-109,41	12,38	36,49	47,19	19,99	-30,14	-69,66	-24,03	-63,75	-31,35	-102,88
C4I	-0,54	22,56	27,26	-23,84	16,80	7,04	3,38	-11,09	8,01	-18,02	7,69	25,52	20,28	9,57
REMO-MPI	na	na	43,75	43,10	45,84	51,19	7,45	31,16	11,63	38,17	25,33	30,75	8,39	32,20
ETHZ	17,14	20,07	72,20	70,39	12,27	18,67	14,86	25,49	36,04	47,90	7,89	17,87	19,37	27,90
CNRM	-21,54	-3,85	76,94	51,51	na	na	-71,27	-8,53	-10,67	-3,51	-0,73	-37,78	49,31	43,28
DMI-HIRHAM	19,22	28,49	-15,50	-5,06	24,08	31,59	-2,75	28,37	-11,56	7,10	4,48	10,18	7,82	19,81
KNMI	8,83	13,58	na	na	6,61	19,77	16,34	24,94	4,40	-4,57	13,32	19,28	21,27	36,58
SMHI	na	na	na	na	na	na	-14,79	46,93	na	na	na	na	35,73	40,50

Από τις ποσοστιαίες συγκρίσεις του παραπάνω πίνακα προέκυψε ότι το μοντέλο HadRM3, έδωσε τις υψηλότερες μειώσεις σε όλες σχεδόν τις περιοχές πλην της Άρτας και της Καρδίτσας (για την πρώτη περίοδο σύγκρισης). Οι μεγαλύτερες μειώσεις σε σχέση με την περίοδο 2071-2100 παρατηρήθηκαν στην Αλεξανδρούπολη και στην Υλίκη. Τα μοντέλα C4I, CNRM και KNMI υπέδειξαν και μια δεύτερη περιοχή στην Βόρεια Ελλάδα η οποία ήταν ευάλωτη στην κλιματική αλλαγή, την Μίκρα. Αντιθέτως τα μοντέλα KNMI, REMO-MPI και ETHZ προέβλεψαν σε γενικές γραμμές θετική επίδραση της κλιματικής αλλαγής στις αποδόσεις βαμβακιού. Για παράδειγμα το REMO-MPI και ETHZ

έδωσαν αύξηση αποδόσεων στην Αλεξανδρούπολη για την περίοδο 2071-2100 της τάξης του 43% και 70% αντίστοιχα. Ανεξαρτήτως κλιματικού μοντέλου, η περιοχή της Άρτας φαίνεται να ευνοείται από την μεταβολή του κλίματος και στις δύο περιόδους. Το ίδιο συμπέρασμα μπορεί να εξαχθεί και για την Υλίκη με εξαίρεση το μοντέλο HadRM3. Τέλος το μοντέλο SMHI κατά την περίοδο 1961-1990 δεν έδωσε αποτελέσματα στις περισσότερες περιοχές με εξαίρεση την Καρδίτσα και την Υλίκη.

3.3.1.β Αραβόσιτος

Για την καλλιέργεια αραβοσίτου οι εκτιμώμενες αποδόσεις όπως προέκυψαν από την εφαρμογή του AquaCrop ήταν οι παρακάτω.

Πίνακας 3.29: Αποδόσεις αραβοσίτου (τόνοι/εκτάριο) ανά περίοδο, κλιματικό μοντέλο και περιοχή για το σενάριο A1B

1961-1990								
	HadRM3	C4I	REMO-MPI	ETHZ	CNRM	DMI-HIRHAM	KNMI	SMHI
Agrinio	10,69	10,81	12,14	11,04	11,73	10,78	11,47	12,20
Alex/poli	9,98	10,37	10,99	10,73	10,85	10,47	11,13	12,29
Arta	10,45	10,26	11,11	10,89	11,54	10,62	11,10	11,92
Karditsa	10,34	10,74	10,51	10,57	11,12	9,89	10,98	12,12
Mikra	10,67	10,61	10,51	10,71	10,87	10,94	10,81	12,07
Pyrgos	11,00	10,83	11,53	11,20	11,17	11,01	11,25	12,67
Yliki	10,69	10,40	11,02	11,12	11,99	10,59	11,47	12,05

2021-2050								
	HadRM3	C4I	REMO-MPI	ETHZ	CNRM	DMI-HIRHAM	KNMI	SMHI
Agrinio	11,04	11,00	11,86	11,39	11,20	11,33	11,83	12,54
Alex/poli	9,77	10,13	11,26	10,87	10,85	10,49	11,33	12,48
Arta	10,46	10,45	11,44	11,28	11,55	11,26	11,49	12,18
Karditsa	10,40	10,42	10,52	10,79	10,56	9,92	11,09	12,41
Mikra	10,00	10,53	10,84	10,44	10,19	10,23	11,05	12,14
Pyrgos	11,19	11,08	11,99	11,48	11,15	11,43	11,38	13,06
Yliki	11,04	11,00	11,37	11,39	12,32	10,93	11,83	12,32

2071-2100								
	HadRM3	C4I	REMO-MPI	ETHZ	CNRM	DMI-HIRHAM	KNMI	SMHI
Agrinio	10,51	10,79	12,09	10,26	11,59	10,86	11,41	12,09
Alex/poli	8,63	9,16	10,97	9,85	9,90	10,00	10,72	11,84
Arta	9,31	10,27	11,13	11,20	10,67	10,83	10,99	11,69
Karditsa	8,79	8,67	10,35	9,85	10,41	10,06	10,63	11,73
Mikra	8,85	9,44	10,67	8,33	10,38	10,32	10,30	11,73
Pyrgos	10,70	10,86	11,64	11,52	11,33	11,21	11,33	12,41
Yliki	10,51	10,79	11,28	10,26	11,25	10,67	11,41	11,99

Το μοντέλο SMHI έδωσε τις υψηλότερες αποδόσεις σε όλες τις περιόδους και σε όλες τις περιοχές. Ακολούθησαν το REMO-MPI και το KNMI. Τα μοντέλα HadRM3 και C4I σε αρκετές περιοχές έδωσαν τις μικρότερες αποδόσεις.

Πίνακας 3.30: Ποσοστιαίες συγκρίσεις αποδόσεων αραβόσιτου, της περιόδου 1961-1990 με 2021-2050 και 2071-2100, ανά κλιματικό μοντέλο και περιοχή για το σενάριο A1B

	Agrinio		Alex/li		Arta		Karditsa		Mikra		Pyrgos		Yliki	
	2021-2050	2071-2100	2021-2050	2071-2100	2021-2050	2071-2100	2021-2050	2071-2100	2021-2050	2071-2100	2021-2050	2071-2100	2021-2050	2071-2100
HadRM3	4,57	-0,44	-2,04	-13,51	0,06	-10,98	0,53	-15,03	-6,27	-17,08	1,70	-2,69	3,26	-1,68
C4I	1,82	-0,19	-2,34	-11,75	1,83	0,04	-2,94	-19,27	-0,72	-11,06	2,32	0,27	5,78	3,70
REMO-MPI	-2,36	-0,48	2,48	-0,24	2,96	0,22	0,12	-1,55	3,15	1,52	3,99	0,97	3,22	2,41
ETHZ	3,17	-7,07	1,29	-8,25	3,67	2,94	2,07	-6,75	-2,48	-22,19	2,56	2,89	2,45	-7,72
CNRM	-4,50	-1,20	-0,01	-8,80	0,02	-7,56	-5,07	-6,36	-6,21	-4,53	-0,21	1,43	2,76	-6,23
DMI-HIRHAM	5,12	0,75	0,18	-4,47	6,06	2,04	0,32	1,73	-6,48	-5,71	3,80	1,76	3,16	0,78
KNMI	3,12	-0,56	1,80	-3,66	3,52	-0,99	1,05	-3,13	2,25	-4,71	1,14	0,66	3,12	-0,56
SMHI	2,78	-0,92	1,54	-3,67	2,18	-1,94	2,46	-3,18	0,62	-2,78	3,02	-2,09	2,30	-0,48

Για την τριακονταετία 2021-2050 όλα τα μοντέλα έδωσαν αυξήσεις σε σχέση με την περίοδο 1961-1990, στις αποδόσεις στις περιοχές της Υλικής και της Άρτας. Το ίδιο ισχύει και για τον Πύργο με εξαίρεση το μοντέλο CNRM. Στο Αργίνιο τα μοντέλα REMO-MPI και CNRM έδωσαν μικρές μειώσεις στις αποδόσεις 2,36% και 4,5% αντίστοιχα. Την μεγαλύτερη αύξηση αποδόσεων την έδωσε το μοντέλο DMI-HIRHAM για την Άρτα της τάξης του 6%. Αντίθετα η μεγαλύτερη μείωση, 6,27% παρατηρήθηκε στη Μίκρα από το μοντέλο HadRM3.

Η εικόνα διαφοροποιείται για την περίοδο 2071-2100. Για την περιοχή της Αλεξανδρούπολης όλα τα κλιματικά μοντέλα προέβλεψαν αρνητικές επιπτώσεις στις αποδόσεις του αραβόσιτου. Στη Μίκρα, Καρδίτσα και Αργίνιο επτά από τα οκτώ μοντέλα έδωσαν αρνητικές τιμές σε σύγκριση με την περίοδο 1961-1990, με μεγαλύτερη μείωση το 22,19% της Μίκρας. Αντίθετα, στην Άρτα και Υλική παρατηρήθηκαν είτε οριακές αυξήσεις είτε μεγαλύτερες μειώσεις που έφτασαν μέχρι και το 11% (HadRM3 για την Άρτα). Ο Πύργος φαίνεται να είναι λιγότερο ευάλωτος στην μεταβολή του κλίματος

καθώς για τα περισσότερα μοντέλα εκτιμήθηκαν θετικές επιπτώσεις στις αποδόσεις ενώ για τα HadRM3 και SMHI υπήρξαν μειώσεις της τάξης του 2-3%.

Σε γενικές γραμμές αυτό που προκύπτει ως συμπέρασμα είναι ότι για την περίοδο 2021-2050 σε σχέση με την περίοδο αναφοράς, οι αποδόσεις στις περισσότερες περιοχές ήταν αυξημένες. Αντίθετα για την περίοδο 2071-2100 οι περισσότερες περιοχές έδωσαν αρνητικές εκτιμήσεις με κάποιες εξαιρέσεις οριακών αυξήσεων. Ουσιαστικά μόνο ο Πύργος διακρίθηκε να έχει αυξητική τάση σε έξι από τα οκτώ μοντέλα.

3.3.1.γ Σιτάρι

Για την καλλιέργεια σιταριού οι εκτιμώμενες αποδόσεις όπως προέκυψαν από την εφαρμογή του AquaCrop ήταν οι παρακάτω.

Πίνακας 3.31: Αποδόσεις σιταριού (τόνοι/εκτάριο) ανά περίοδο, κλιματικό μοντέλο και περιοχή για το σενάριο A1B

1961-1990								
	HadRM3	C4I	REMO-MPI	ETHZ	CNRM	DMI-HIRHAM	KNMI	SMHI
Agrinio	6,30	7,35	7,83	6,67	7,33	8,11	7,41	7,98
Alex/poli	4,67	4,32	7,58	6,03	5,91	7,76	5,99	5,36
Arta	5,60	6,99	8,13	7,68	6,69	8,10	7,40	8,54
Karditsa	4,65	4,43	7,62	7,68	4,74	6,83	6,38	8,18
Mikra	5,12	4,79	7,89	5,96	5,72	5,84	6,29	7,41
Pyrgos	7,36	7,59	8,26	7,96	7,25	8,42	7,78	7,59
Yliki	6,29	5,66	7,93	6,81	5,94	8,12	6,94	6,62

2021-2050								
	HadRM3	C4I	REMO-MPI	ETHZ	CNRM	DMI-HIRHAM	KNMI	SMHI
Agrinio	7,79	8,67	9,21	8,25	8,56	9,32	8,63	9,28
Alex/poli	6,14	5,73	8,85	7,26	7,13	8,99	7,31	7,07
Arta	6,51	8,44	9,27	8,01	8,12	9,27	8,58	9,71
Karditsa	5,67	6,03	8,75	8,01	6,49	7,69	7,71	9,35
Mikra	7,43	6,35	9,20	7,34	7,41	7,42	7,72	8,53
Pyrgos	8,70	8,97	9,38	9,27	8,57	9,45	8,96	8,56
Yliki	7,60	7,22	9,10	6,26	7,42	8,61	8,14	7,83

2071-2100								
	HadRM3	C4I	REMO-MPI	ETHZ	CNRM	DMI-HIRHAM	KNMI	SMHI
Agrinio	8,67	9,61	10,00	9,03	9,41	8,30	9,20	10,21
Alex/poli	7,20	7,05	9,69	8,26	8,47	8,00	7,61	8,05
Arta	7,87	9,43	9,67	9,92	9,16	8,28	9,37	10,56
Karditsa	6,47	7,08	9,60	9,92	7,28	8,66	8,50	10,34
Mikra	7,26	7,59	10,06	8,36	8,33	8,18	8,28	9,78
Pyrgos	9,19	9,75	10,12	9,94	9,48	8,45	9,74	9,50
Yliki	8,65	8,40	9,90	9,26	8,63	9,61	9,04	9,05

Τα μοντέλα SMHI και REMO-MPI έδωσαν συγκριτικά τις μεγαλύτερες αποδόσεις. Επιπλέον ανά κλιματικό μοντέλο σε κάθε χρονική περίοδο παρατηρήθηκε η σχετικά μικρότερη απόδοση στις περιοχές της Αλεξανδρούπολης, Μίκρας και Καρδίτσας. Υπήρξε αυξητική τάση από την πρώτη περίοδο στις άλλες δύο.

Πίνακας 3.32: Ποσοστιαίες συγκρίσεις αποδόσεων σιταριού, της περιόδου 1961-1990 με 2021-2050 και 2071-2100, ανά κλιματικό μοντέλο και περιοχή για το σενάριο A1B

	Agrinio		Alex/li		Arta		Karditsa		Mikra		Pyrgos		Yliki	
	2021-2050	2071-2100	2021-2050	2071-2100	2021-2050	2071-2100	2021-2050	2071-2100	2021-2050	2071-2100	2021-2050	2071-2100	2021-2050	2071-2100
HadRM3	23,64	37,66	31,30	54,10	16,39	40,71	21,98	39,17	44,98	41,76	18,07	24,76	20,83	37,56
C4I	17,99	30,67	32,85	63,39	20,63	34,86	36,20	59,95	32,68	58,50	18,23	28,47	27,48	48,27
REMO-MPI	17,64	27,62	16,72	27,81	14,08	19,04	14,85	25,94	16,56	27,45	13,60	22,51	14,80	24,90
ETHZ	23,67	35,34	20,44	36,89	21,38	36,24	4,31	29,18	23,15	40,19	16,47	24,95	-8,10	35,89
CNRM	16,70	28,37	20,49	43,28	21,48	37,02	36,97	53,67	29,42	45,48	18,19	30,74	24,92	45,24
DMI-HIRHAM	14,91	2,37	15,86	3,05	14,44	2,28	12,65	26,86	27,08	40,12	12,29	0,37	6,11	18,45
KNMI	16,52	24,21	21,98	27,00	15,90	26,66	20,90	33,27	22,73	31,67	15,25	25,23	17,31	30,37
SMHI	16,24	27,89	31,93	50,18	13,73	23,72	14,30	26,32	15,13	32,00	12,83	25,23	18,15	36,61

Διαπιστώθηκε μία σαφής αυξητική τάση στις αποδόσεις σε όλες τις περιοχές και σε όλες τις περιόδους. Εξάιρεση αποτελεί μόνο η γλική όπου το μοντέλο ETHZ έδειξε μία μικρή μείωση της τάξης του 8%. Κατά την περίοδο 2021-2050 συγκρινόμενη με την 1961-1990, τα περισσότερα κλιματικά μοντέλα παρουσίασαν τη μεγαλύτερη αύξηση στην Αλεξανδρούπολη, Μίκρα και Καρδίτσα. Το HadRM3 έδειξε για την περιοχή της Μίκρας τη μέγιστη αύξηση στην απόδοση της τάξης του 45%, ενώ το ETHZ έδωσε τη μικρότερη αύξηση 4,3% στην Καρδίτσα. Για την περίοδο 2071-2100 η μεγαλύτερη αύξηση στην απόδοση σιταριού δόθηκε από το μοντέλο C4I στην περιοχή της Αλεξανδρούπολης και ακολούθησε η Καρδίτσα με 60%. Επιπλέον το μοντέλο HadRM3 για την Μίκρα, έδωσε μεγαλύτερη αύξηση στην απόδοση κατά την περίοδο 2021-2050 απ' ό τι το 2071-2100, 45% και 42% αντίστοιχα.

Εν κατακλείδι όλα τα μοντέλα έδειξαν αύξηση των αποδόσεων οδεύοντας προς το τέλος του τρέχοντος αιώνα. Ωστόσο το μοντέλο DMI-HIRHAM έδειξε αύξηση των

αποδόσεων στις περισσότερες περιοχές στα μέσα του αιώνα αλλά επιστροφή στα επίπεδα της περιόδου αναφοράς προς το 2100, με εξαίρεση την Καρδίτσα, Υλίκη και τη Μίκρα.

3.3.2. Σενάριο A2

Όπως προαναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο τα κλιματικά μοντέλα που περιγράφουν το σενάριο A2 προέκυψαν από το ερευνητικό πρόγραμμα PRUDENCE, αφορούσαν τις περιόδους 1961-1990 και 2071-2100 και ήταν τα HadRM3, DMI-HIRHAM και SMHI. Τα αποτελέσματα των αποδόσεων ανά καλλιέργεια παρουσιάζονται παρακάτω.

3.3.2.α Βαμβάκι

Οι αποδόσεις ανά περιοχή και κλιματικό μοντέλο για την καλλιέργεια βαμβακιού παρουσιάζονται παρακάτω.

Πίνακας 3.33: Αποδόσεις βαμβακιού (τόνοι/εκτάριο) ανά περίοδο, κλιματικό μοντέλο και περιοχή για το σενάριο A2

1961-1990			
	HadRM3	DMI-HIRHAM	SMHI
Agrinio	2,08	2,14	2,26
Alex/poli	1,77	1,79	2,25
Arta	2,02	2,10	2,40
Karditsa	1,80	1,86	2,03
Mikra	2,10	2,19	2,31
Pyrgos	2,13	2,08	2,33
Yliki	1,51	2,09	2,09

2071-2100			
	HadRM3	DMI-HIRHAM	SMHI
Agrinio	2,50	2,78	2,69
Alex/poli	1,17	1,85	2,54
Arta	2,38	2,59	2,69
Karditsa	1,96	2,54	2,49
Mikra	2,34	2,74	2,59
Pyrgos	2,48	2,75	2,68
Yliki	1,47	2,84	2,67

Για όλες τις περιοχές το μοντέλο HadRM3 έδωσε μικρότερες αποδόσεις συγκριτικά με τα άλλα δύο, ενώ στις περισσότερες περιοχές το SMHI είχε υψηλότερες αποδόσεις από το DMI-HIRHAM. Μεταξύ των περιοχών για την πρώτη περίοδο οι μικρότερες αποδόσεις παρουσιάστηκαν στην Υλίκη, Αλεξανδρούπολη και Καρδίτσα για τα μοντέλα HadRM3, DMI-HIRHAM και SMHI αντίστοιχα. Οι μεγαλύτερες παρουσιάστηκαν σε Πύργο, Μίκρα και Άρτα για τα ίδια μοντέλα. Στην δεύτερη περίοδο οι μικρότερες αποδόσεις εμφανίστηκαν στην Αλεξανδρούπολη για το HadRM3 και DMI-HIRHAM, ενώ στο SMHI ήταν η Καρδίτσα. Αντίθετα οι μεγαλύτερες αποδόσεις απαντήθηκαν σε Αγρίνιο, Υλίκη και Άρτα για τα μοντέλα HadRM3, DMI-HIRHAM και SMHI αντίστοιχα.

Πίνακας 3.34: Ποσοστιαίες συγκρίσεις αποδόσεων βαμβακιού, της περιόδου 1961-1990 και 2071-2100, ανά κλιματικό μοντέλο και περιοχή για το σενάριο A2

	Agriño	Alex/poli	Arta	Karditsa	Mikra	Pyrgos	Yliki
HadRM3	20,1	-34,1	18,2	8,9	11,6	16,3	-2,0
DMI-HIRHAM	29,6	3,1	23,2	36,9	25,1	32,0	35,9
SMHI	18,8	12,9	11,9	22,9	12,2	15,1	27,6

Διαπιστώθηκε ότι στις περισσότερες περιπτώσεις οι αποδόσεις αυξάνονται και ότι το μοντέλο DMI-HIRHAM έδωσε τις μεγαλύτερες συγκριτικά αυξήσεις. Το μοντέλο HadRM3 για τις περιοχές τις Αλεξανδρούπολης και της Υλίκης έδωσε μειώσεις στις αποδόσεις από -34% και -2% αντίστοιχα. Αντίθετα οι μεγαλύτερες αυξήσεις παρουσιάστηκαν σε Αγρίνιο, Άρτα και Πύργο. Το μοντέλο DMI-HIRHAM παρουσίασε σημαντικές αυξήσεις σε όλες τις περιοχές με εξαίρεση την Αλεξανδρούπολη όπου έδωσε μια μικρή αύξηση της τάξης του 3,1%. Για το SMHI οι περιοχές της Μίκρας, Άρτας και Αλεξανδρούπολης παρουσίασαν αυξήσεις λίγο μεγαλύτερες από 10%, ενώ η μεγαλύτερη παρουσιάστηκε στην Υλίκη.

Σε γενικές γραμμές, για το σενάριο A2, σε δύο από τα τρία κλιματικά μοντέλα η Καρδίτσα παρουσιάζει τη μεγαλύτερη άνοδο στις αποδόσεις ενώ Άρτα, Μίκρα και Αλεξανδρούπολη έδωσαν την μικρότερη.

3.3.2.β Αραβόσιτος

Από την εφαρμογή του AquaCrop στον αραβόσιτο για τα τρία μοντέλα του σεναρίου A2 προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα.

Πίνακας 3.35: Αποδόσεις αραβοσίτου (τόνοι/εκτάριο) ανά περίοδο, κλιματικό μοντέλο και περιοχή για το σενάριο A2

1961-1990			
	HadRM3	DMI- HIRHAM	SMHI
Agrinio	10,64	10,59	10,54
Alex/poli	9,60	9,62	10,60
Arta	8,71	10,51	10,53
Karditsa	9,90	10,11	10,74
Mikra	9,60	10,61	10,41
Pyrgos	10,92	10,33	10,11
Yliki	9,66	10,68	10,79

2071-2100			
	HadRM3	DMI- HIRHAM	SMHI
Agrinio	10,21	10,11	10,53
Alex/poli	7,40	9,98	10,37
Arta	8,76	10,60	10,39
Karditsa	6,56	10,02	10,40
Mikra	9,84	10,77	10,26
Pyrgos	10,04	10,19	9,53
Yliki	8,20	10,53	10,66

Με εξαίρεση το Αγρίνιο, το μοντέλο HadRM3 έδωσε τις μικρότερες αποδόσεις σε όλες τις περιοχές και για τις δύο περιόδους. Για το ίδιο μοντέλο, για την πρώτη περίοδο οι μεγαλύτερες αποδόσεις παρουσιάστηκαν στο Αγρίνιο και στον Πύργο ενώ για το DMI-HIRHAM αυτές παρουσιάστηκαν σε Υλίκη και Μίκρα. Στην Υλίκη και στην Καρδίτσα εμφανίστηκαν οι μεγαλύτερες αποδόσεις για το SMHI. Ομοίως για την δεύτερη περίοδο μελέτης το HadRM3 έδωσε τις υψηλότερες αποδόσεις σε Αγρίνιο και Πύργο, το DMI-

HIRHAM σε Μίκρα και Άρτα και το SMHI σε Υλίκη και Αργίνο. Συνολικά, η χαμηλότερη απόδοση για την πρώτη περίοδο παρουσιάστηκε στην Άρτα για το HadRM3 ενώ για την δεύτερη σε Καρδίτσα και Αλεξανδρούπολη για το ίδιο μοντέλο.

Πίνακας 3.36: Ποσοστιαίες συγκρίσεις αποδόσεων αραβοσίτου, της περιόδου 1961-1990 και 2071-2100, ανά κλιματικό μοντέλο και περιοχή για το σενάριο A2

	Agrinio	Alex/poli	Arta	Karditsa	Mikra	Pyrgos	Yliki
HadRM3	-4,0	-22,9	0,6	-33,7	2,5	-8,0	-15,1
DMI-HIRHAM	-4,6	3,7	0,9	-0,9	1,6	-1,4	-1,4
SMHI	-0,1	-2,2	-1,4	-3,2	-1,4	-5,7	-1,3

Συγκρίνοντας τις δύο περιόδους, διαπιστώθηκε ότι στις περισσότερες περιοχές παρουσιάστηκε μείωση των αποδόσεων. Σύμφωνα με το μοντέλο HadRM3 οι μεγαλύτερες μειώσεις παρουσιάστηκαν στις περιοχές της Αλεξανδρούπολης και της Καρδίτσας, -23% και -34% αντίστοιχα. Μείωση επίσης παρατηρήθηκε για την Υλίκη, τον Πύργο και το Αργίνο. Αντίθετα οριακές αυξήσεις έδωσε στη Μίκρα και στην Άρτα. Το μοντέλο HadRM3 έδωσε οριακές αυξήσεις σε Αλεξανδρούπολη, Άρτα και Μίκρα και μειώσεις στις υπόλοιπες περιοχές. Τέλος το SMHI εμφάνισε οριακές μειώσεις σε όλες τις περιοχές με μεγαλύτερη αυτή του Πύργου που έφτασε το -5,7%.

3.3.2.γ Σιτάρι

Από την εφαρμογή του AquaCrop στο σιτάρι για το σενάριο A2 προέκυψαν αναλυτικά τα παρακάτω αποτελέσματα.

Πίνακας 3.37: Αποδόσεις σιταριού (τόνοι/εκτάριο) ανά περίοδο, κλιματικό μοντέλο και περιοχή για το σενάριο A2

1961-1990			
	HadRM3	DMI-HIRHAM	SMHI
Agrinio	7,21	7,30	7,87
Alex/poli	5,63	5,73	6,87
Arta	6,96	7,10	8,09
Karditsa	4,63	5,16	4,78
Mikra	6,99	6,51	7,00
Pyrgos	7,50	6,44	7,90
Yliki	6,35	6,38	6,68

2071-2100			
	HadRM3	DMI-HIRHAM	SMHI
Agrinio	9,20	9,25	9,53
Alex/poli	8,41	8,46	9,03
Arta	9,07	9,15	9,64
Karditsa	7,41	8,18	7,99
Mikra	9,09	8,85	9,10
Pyrgos	9,35	8,81	9,54
Yliki	8,77	8,78	8,93

Από τα αποτελέσματα προέκυψε ότι το μοντέλο SMHI παρουσίασε τις υψηλότερες αποδόσεις σχεδόν σε όλες τις περιοχές. Τις χαμηλότερες αποδόσεις τις έδωσε το HadRM3 για την περιοχή της Καρδίτσας και για τις δύο περιόδους. Για την πρώτη και τη δεύτερη περίοδο οι περιοχές συνολικά με τις υψηλότερες αποδόσεις ήταν το Αγρίνιο, η Άρτα και ο Πύργος. Το μοντέλο DMI-HIRHAM έδωσε τις υψηλότερες αποδόσεις στο Αγρίνιο, ενώ το SMHI στην Άρτα.

Πίνακας 3.38: Ποσοστιαίες συγκρίσεις αποδόσεων σιταριού, της περιόδου 1961-1990 και 2071-2100, ανά κλιματικό μοντέλο και περιοχή για το σενάριο A2

	Agrinio	Alex/li	Arta	Karditsa	Mikra	Pyrgos	Yliki
HadRM3	27,62	49,37	30,44	60,01	30,02	24,55	38,14
DMI-HIRHAM	26,65	47,71	28,75	58,43	35,96	36,91	37,74
SMHI	21,14	31,49	19,13	66,96	29,89	20,85	33,80

Μπορεί η Καρδίτσα να είχε τις μικρότερες τιμές απόδοσης σε σύγκριση με τις άλλες περιοχές, ωστόσο εκεί παρατηρήθηκε η μεγαλύτερη αύξηση μεταξύ της πρώτης και της δεύτερης περιόδου. Αντίθετα οι μικρότερες ποσοστιαίες αυξήσεις παρατηρήθηκαν στις περιοχές του Αγρινίου, της Άρτας και του Πύργου. Με λίγα λόγια η περιοχή με τη μικρότερη απόδοση, δηλαδή η Καρδίτσα είχε τις μεγαλύτερες ποσοστιαίες αυξήσεις, ενώ οι περιοχές με τις υψηλότερες αποδόσεις, αυτές της δυτικής Ελλάδας, σημείωσαν τις μικρότερες ποσοστιαίες αυξήσεις.

3.3.3. Σενάριο B2

Αντίστοιχα με την προηγούμενη περίπτωση έτσι και το σενάριο B2 αναλύθηκε για τις περιόδους 1961-1990 και 2071-2100 και τα μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα HadRM3, DMI-HIRHAM και SMHI. Τα αποτελέσματα των αποδόσεων ανά καλλιέργεια παρουσιάζονται παρακάτω.

3.3.3.α Βαμβάκι

Από την εφαρμογή του AquaCrop στο βαμβάκι για το σενάριο B2, προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα.

Πίνακας 3.39: Αποδόσεις βαμβακιού (τόνοι/εκτάριο) ανά περίοδο, κλιματικό μοντέλο και περιοχή για το σενάριο B2

1961-1990			
	HadRM3	DMI-HIRHAM	SMHI
Agrinio	2,03	2,35	2,26
Alex/poli	2,01	2,01	2,30
Arta	2,17	2,35	2,41
Karditsa	1,93	2,10	2,12
Mikra	2,21	2,37	2,31
Pyrgos	2,36	2,33	2,32
Yliki	1,93	2,39	2,15

2071-2100			
	HadRM3	DMI-HIRHAM	SMHI
Agrinio	2,60	2,84	2,58
Alex/poli	1,92	2,35	2,77
Arta	2,46	2,72	2,69
Karditsa	2,14	2,62	2,57
Mikra	2,47	2,94	2,65
Pyrgos	2,70	2,80	2,68
Yliki	2,25	2,91	2,72

Για την περίοδο 1961-1990, στα μοντέλα SMHI και HadRM3 οι μικρότερες αποδόσεις παρατηρήθηκαν στην Καρδίτσα, ενώ για το DMI-HIRHAM παρουσιάστηκαν στην Αλεξανδρούπολη. Αντίθετα οι υψηλότερες εμφανίστηκαν σε Άρτα για το SMHI, Πύργο για το HadRM3 και Υλίκη για το DMI-HIRHAM. Για την δεύτερη περίοδο οι μεγαλύτερες αποδόσεις παρατηρήθηκαν σε Πύργο, Μίκρα και Αλεξανδρούπολη για τα HadRM3, DMI-HIRHAM και SMHI αντίστοιχα, ενώ οι μικρότερες σε Αλεξανδρούπολη για τα HadRM3 και DMI-HIRHAM και Καρδίτσα για το SMHI.

Η σύγκριση των αποδόσεων ανά περιοχή και κλιματικό μοντέλο για τις δύο περιόδους έδωσε τον πίνακα 3.40.

Πίνακας 3.40: Ποσοστιαίες συγκρίσεις αποδόσεων βαμβακιού, της περιόδου 1961-1990 και 2071-2100, ανά κλιματικό μοντέλο και περιοχή για το σενάριο B2

	Agrinio	Alex/poli	Arta	Karditsa	Mikra	Pyrgos	Yliki
HadRM3	28,0	-4,4	13,3	11,2	11,5	14,8	16,8
DMI-HIRHAM	20,9	16,8	15,6	24,8	24,3	20,1	22,1
SMHI	14,0	20,5	11,5	21,2	14,7	15,5	26,7

Με εξαίρεση την περίπτωση της Αλεξανδρούπολης για το HadRM3, για όλες τις περιοχές παρατηρήθηκαν αυξήσεις για την περίοδο 2071-2100 σε σύγκριση με τη 1961-1990. Το ίδιο μοντέλο έδωσε τις πιο συγκρατημένες αυξήσεις σε Καρδίτσα, Μίκρα, Πύργο και Υλίκη, ενώ για το Αγρίνιο και την Άρτα τις έδωσε το SMHI. Το DMI-HIRHAM έδωσε τις μεγαλύτερες αυξήσεις σε σύγκριση με τα άλλα δύο. Οι μεγαλύτερες ποσοστιαίες αυξήσεις στις αποδόσεις παρήχθησαν στο Αγρίνιο για το HadRM3, στην Καρδίτσα για το DMI-HIRHAM και στην Υλίκη για το SMHI.

3.3.3.β Αραβόσιτος

Στην περίπτωση του αραβοσίτου τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του προτύπου για το σενάριο B2 φαίνονται παρακάτω.

Πίνακας 3.41: Αποδόσεις αραβοσίτου (τόνοι/εκτάριο) ανά περίοδο, κλιματικό μοντέλο και περιοχή για το σενάριο B2

1961-1990			
	HadRM3	DMI- HIRHAM	SMHI
Agrinio	9,95	10,59	10,67
Alex/poli	9,11	9,63	10,68
Arta	10,04	10,51	10,59
Karditsa	9,48	10,11	10,68
Mikra	10,40	10,61	10,51
Pyrgos	10,55	10,77	10,83
Yliki	9,38	10,77	10,79

2071-2100			
	HadRM3	DMI- HIRHAM	SMHI
Agrinio	9,61	10,87	11,06
Alex/poli	8,08	10,03	10,93
Arta	9,72	10,70	10,93
Karditsa	8,59	10,63	11,10
Mikra	10,10	10,82	10,89
Pyrgos	10,63	11,03	11,22
Yliki	9,32	10,99	11,26

Τόσο στην πρώτη όσο και στη δεύτερη περίοδο οι μεγαλύτερες αποδόσεις παράχθηκαν από το μοντέλο SMHI, ενώ οι μικρότερες από το HadRM3. Η Αλεξανδρούπολη ήταν η περιοχή που είχε συγκριτικά τις μικρότερες αποδόσεις και στις δύο περιόδους με εξαίρεση το SMHI στην πρώτη περίοδο. Ο Πύργος και η Υλίκη

παρουσίασαν τις υψηλότερες αποδόσεις για τα μοντέλα DMI-HIRHAM και SMHI, ενώ για το HadRM3 οι υψηλότερες παρουσιάστηκαν σε Πύργο και Μίκρα.

Οι ποσοστιαίες συγκρίσεις μεταξύ των δύο περιόδων παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.42.

Πίνακας 3.42: Ποσοστιαίες συγκρίσεις αποδόσεων αραβοσίτου, της περιόδου 1961-1990 και 2071-2100, ανά κλιματικό μοντέλο και περιοχή για το σενάριο B2

	Agrinio	Alex/poli	Arta	Karditsa	Mikra	Pyrgos	Yliki
HadRM3	-3,4	-11,2	-3,2	-9,4	-2,9	0,8	-0,6
DMI-HIRHAM	2,7	4,2	1,8	5,2	1,9	2,5	2,1
SMHI	3,6	2,4	3,2	3,9	3,6	3,7	4,3

Η ποσοστιαία σύγκριση των αποδόσεων ανά περιοχή και κλιματικό μοντέλο έδειξε οριακές διαφορές μεταξύ των δύο περιόδων. Υπήρξε όμως διαφοροποίηση της τάσης μεταξύ των κλιματικών μοντέλων καθώς το HadRM3 για όλες τις περιοχές με εξαίρεση τον Πύργο παρουσίασε μειώσεις στις αποδόσεις μεταξύ της περιόδου αναφοράς και της τελευταίας τριακονταετίας του αιώνα, με τις μεγαλύτερες να εμφανίζονται σε Αλεξανδρούπολη και Καρδίτσα. Για το DMI-HIRHAM οι ποσοστιαίες αυξήσεις κυμάνθηκαν από 1,9% στη Μίκρα έως 5,2% στην Καρδίτσα. Για το SMHI οι αντίστοιχες αυξήσεις κυμάνθηκαν από 2,4% στην Αλεξανδρούπολη έως 4,3% στην Υλική.

3.3.3.γ Σιτάρι

Από την εφαρμογή του AquaCrop στο σιτάρι για το σενάριο B2 προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα.

Πίνακας 3.43: Αποδόσεις σιταριού (τόνοι/εκτάριο) ανά περίοδο, κλιματικό μοντέλο και περιοχή για το σενάριο B2

1961-1990			
	HadRM3	DMI-HIRHAM	SMHI
Agrinio	5,79	7,30	8,03
Alex/poli	5,12	5,70	6,69
Arta	6,53	6,87	8,02
Karditsa	3,40	5,14	4,56
Mikra	6,56	6,47	6,82
Pyrgos	7,11	6,41	7,80
Yliki	5,75	6,71	6,60

2071-2100			
	HadRM3	DMI-HIRHAM	SMHI
Agrinio	7,89	9,06	9,77
Alex/poli	7,39	7,68	8,73
Arta	8,21	8,79	9,87
Karditsa	5,07	7,56	7,02
Mikra	8,49	8,24	9,02
Pyrgos	8,81	8,32	9,58
Yliki	7,64	8,50	8,78

Και για τις δύο περιόδους το μοντέλο HadRM3 έδωσε τις μικρότερες αποδόσεις συγκριτικά με τα άλλα δύο μοντέλα. Επίσης η Καρδίτσα σε όλα τα κλιματικά μοντέλα και για τις δύο περιόδους είχε τις μικρότερες τιμές. Για την περίοδο αναφοράς το Αγρίνιο είχε τη μεγαλύτερη απόδοση στα DMI-HIRHAM και SMHI ενώ για την περίοδο 2071-2100 το DMI-HIRHAM έδωσε την υψηλότερη τιμή στο Αγρίνιο και το SMHI στην Άρτα. Η μεγαλύτερη απόδοση για το HadRM3 εντοπίστηκε τόσο στην πρώτη όσο και στη δεύτερη

περίοδο στον Πύργο. Συμπερασματικά και στα τρία κλιματικά μοντέλα οι υψηλότερες τιμές εμφανίστηκαν σε περιοχές της δυτικής Ελλάδας.

Πίνακας 3.44: Ποσοστιαίες συγκρίσεις αποδόσεων σιταριού, της περιόδου 1961-1990 και 2071-2100, ανά κλιματικό μοντέλο και περιοχή για το σενάριο B2

	Agrinio	Alex/li	Arta	Karditsa	Mikra	Pyrgos	Yliki
HadRM3	36,3	44,3	25,7	49,1	29,5	23,8	32,8
DMI-HIRHAM	24,2	34,8	28,1	47,1	27,3	29,9	26,6
SMHI	21,7	30,4	23,1	53,8	32,1	22,8	33,1

Όλα τα κλιματικά μοντέλα σε όλες τις περιοχές έδωσαν σημαντικές ποσοστιαίες αυξήσεις στις αποδόσεις. Η μεγαλύτερη ποσοστιαία αύξηση παρατηρήθηκε στην περιοχή με τις μικρότερες αποδόσεις, όπως προαναφέρθηκε και παραπάνω, δηλαδή στην Καρδίτσα. Ακολούθησε για τα μοντέλα DMI-HIRHAM η Αλεξανδρούπολη και η Υλίκη για το SMHI.

3.4 Στατιστική επεξεργασία με τη χρήση της σταδιακής διακρίνουσας ανάλυσης

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, ο στατιστικός έλεγχος των αποτελεσμάτων έγινε σε διπλό επίπεδο. Το πρώτο ήταν η ανάλυση της καλύτερης εφαρμογής του προτύπου στις καλλιέργειες μέσω της ρίζας του μέσου τετραγώνου του σφάλματος και του δείκτη συμφωνίας και το δεύτερο ήταν η στατιστική διερεύνηση του διαχωρισμού των περιοχών μεταξύ τους μέσω της σταδιακής διακρίνουσας ανάλυσης.

3.4.1. Σενάριο A1B

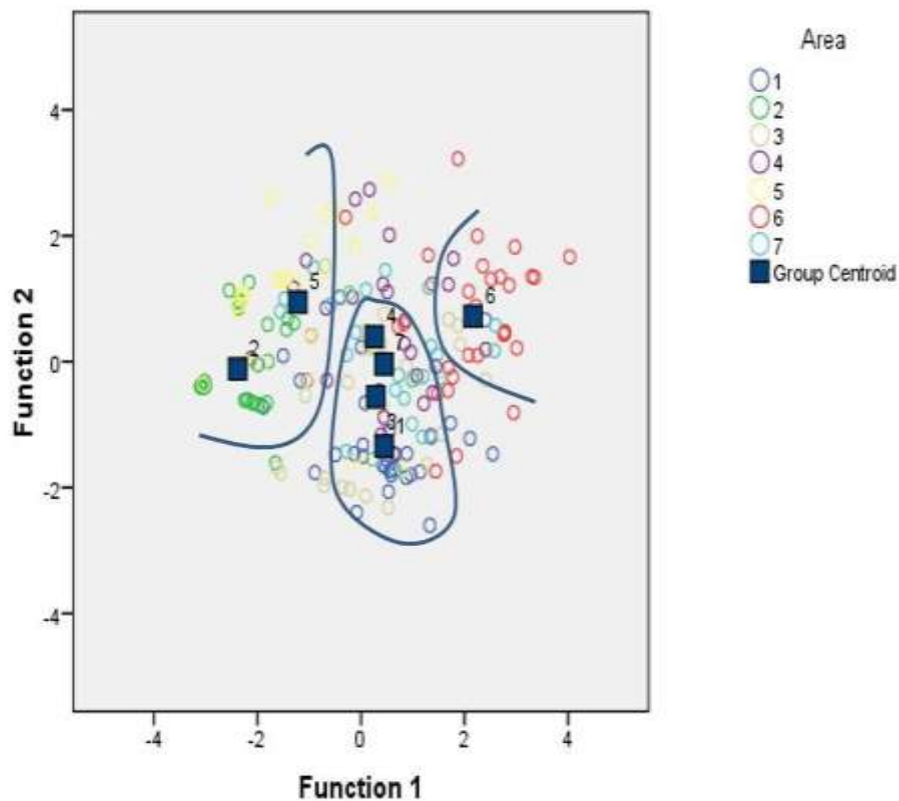
3.4.1.α Βαμβάκι

Η ερμηνεία του Πίνακα 3.28 όπου αποτυπώνονται οι ποσοστιαίες διαφορές μεταξύ των τριών περιόδων για την καλλιέργεια βαμβακιού στο σενάριο A1B, ήταν μία πολύπλοκη διαδικασία. Σε ορισμένα κλιματικά μοντέλα το πρότυπο δεν ήταν δυνατό να δώσει αποδόσεις ενώ σε άλλες οι αποδόσεις της πρώτης περιόδου ήταν πολύ μικρές με αποτέλεσμα οι διαφορές με τις υπόλοιπες δύο να είναι υπερβολικές. Επίσης τα κλιματικά μοντέλα έδωσαν αντικρουόμενα αποτελέσματα είτε πολύ μεγάλων μειώσεων είτε πολύ μεγάλων αυξήσεων. Η εφαρμογή της σταδιακής διακρίνουσας ανάλυσης βασίζεται στον διαχωρισμό των δεδομένων σε ανεξάρτητες (κλιματικά μοντέλα) και εξαρτημένες (περιοχές) μεταβλητές και στην εξεύρεση γραμμικών εξισώσεων που προσδιόρισαν τις ανεξάρτητες μεταβλητές που προκάλεσαν στατιστικά σημαντικό διαχωρισμό στις εξαρτημένες. Το μέγεθος (απόλυτη τιμή) των τυποποιημένων συντελεστών (standardized coefficients) σε κάθε εξίσωση καθόρισε και τη βαρύτητα της διαχωριστικής ικανότητας των ανεξάρτητων μεταβλητών.

Πίνακας 3.45: Συντελεστές σταδιακής διακρίνουσας ανάλυσης στην καλλιέργεια βαμβακιού του σεναρίου A1B. Με κίτρινη σκίαση υποδεικνύονται τα κλιματικά μοντέλα που παρουσιάζουν συστηματικά υψηλές απόλυτες τιμές συντελεστών στις τρεις χρονικές περιόδους.

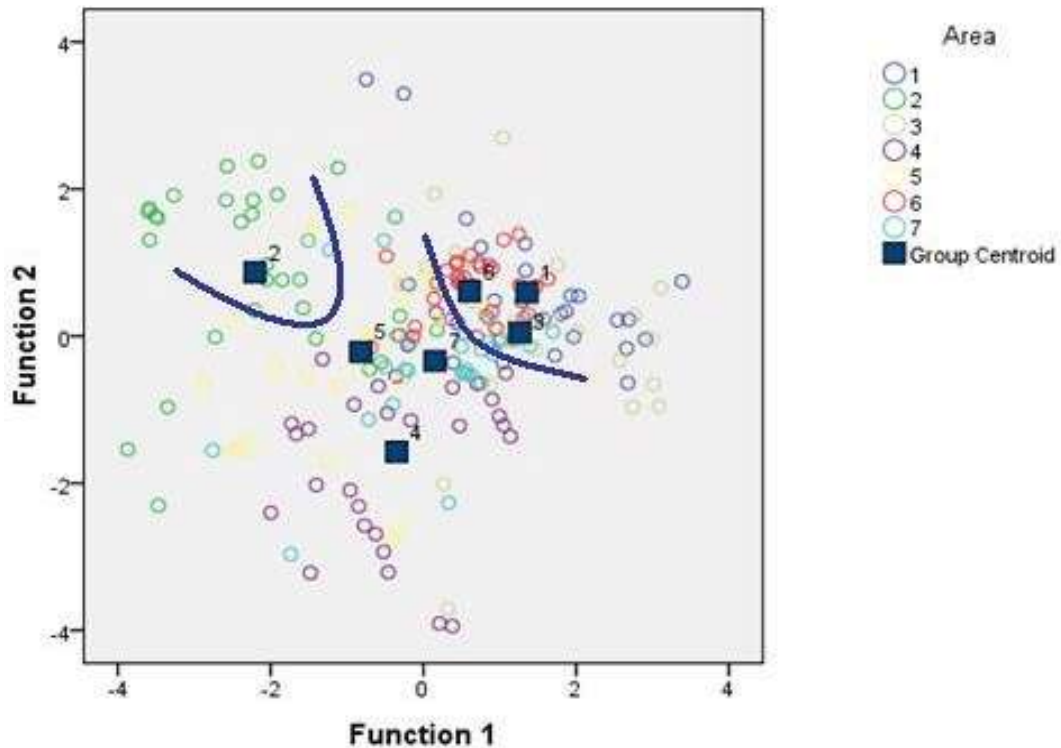
Models	1961-1990		2021-2050		2071-2100	
	Standardized		Standardized		Standardized	
	func 1	func 2	func 1	func 2	func 1	func 2
HadRM3		-				
C4I	0.569	0.504	0.556	0.01	0.648	0.018
REMO-					-	
MPI	0.328	0.608	0.383	0.821	0.258	0.38
CNRM	0.176	0.527	-0.36	0.344	0.223	0.221
DMI-		-				-
HIRHAM	0.454	0.118	0.456	0.105	0.474	0.162
				-		-
KNMI	0.397	0.185	0.383	0.535	0.483	0.584
SMHI			0.598	-0.24	0.187	0.869
ETHZ	0.526	0.161				

Για την περίοδο 1961-1990, η πρώτη εξίσωση (func 1) ερμήνευσε το 65,5% της διακύμανσης των προσομοιωμένων αποδόσεων βαμβακιού ανά περιοχή ενώ η δεύτερη εξίσωση (func 2) το 19,5%. Από την πρώτη εξίσωση τα μοντέλα με τη μεγαλύτερη ικανότητα διάκρισης για την περίοδο 1961-1990 ήταν το C4I, DMI-HIRHAM και ETHZ (Πίνακας 3.45). Η πρώτη εξίσωση ήταν υπεύθυνη για τον διαχωρισμό των περιοχών Αλεξανδρούπολης (2), Μίκρας (5) και Πύργου (6), ενώ οι περιοχές Καρδίτσα (4), Υλίκη (7), Άρτα (3) και Αγρίνιο (1) ομαδοποιήθηκαν μαζί. Σε μικρότερο βαθμό η δεύτερη εξίσωση συνέβαλε σε αυτόν τον διαχωρισμό (Εικ. 3.37).



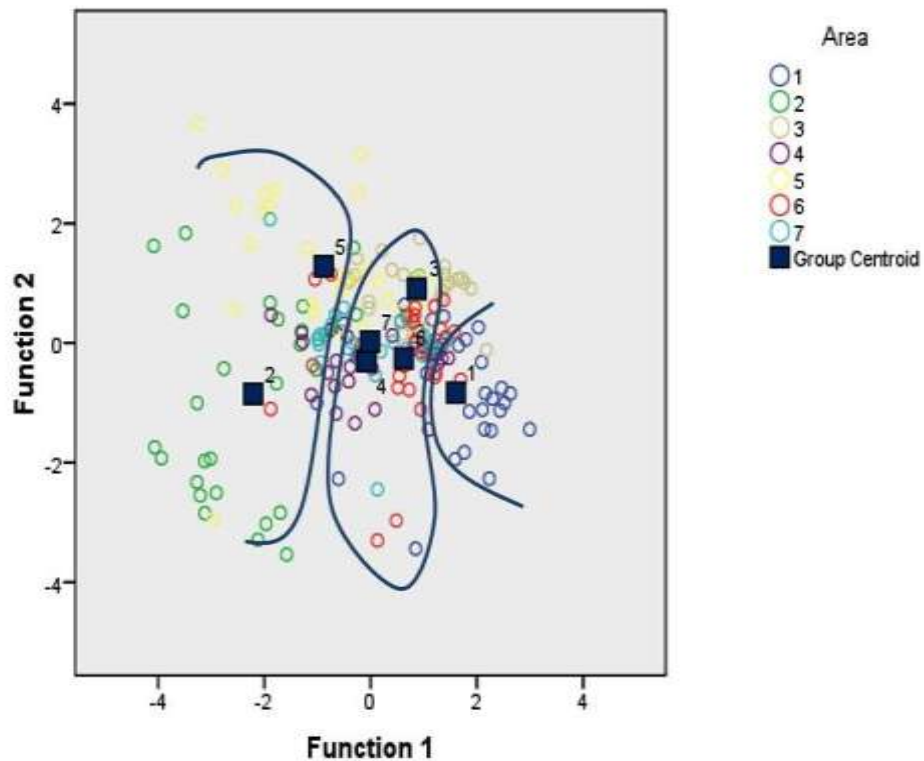
Εικόνα 3.37: Σχηματική απεικόνιση των δύο εξισώσεων σταδιακής διακρίνουσας ανάλυσης του βαμβακιού για τις επτά περιοχές του σεναρίου A1B της περιόδου 1961-1990. (1)Αγρίνιο, (2) Αλεξανδρούπολη, (3) Άρτα, (4) Καρδίτσα, (5) Μίκρα, (6) Πύργος, (7) Υλίκη.

Για την δεύτερη περίοδο 2021-2050, η πρώτη εξίσωση ερμήνευσε το 59,7% της διακύμανσης των προσομοιωμένων αποδόσεων βαμβακιού ανά περιοχή ενώ η δεύτερη εξίσωση (func 2) το 25,9%. Τα μοντέλα SMHI, C4I και DMI είχαν τη μεγαλύτερη συνεισφορά στην πρώτη εξίσωση και τα REMO, KNMI και CNRM στη δεύτερη. Η πρώτη εξίσωση συνέβαλε στο διαχωρισμό της Αλεξανδρούπολης (2) και στο σχηματισμό δύο ομάδων εκ των οποίων η πρώτη περιλάμβανε Αγρίνιο (1), Άρτα (3) και Πύργο (6) ενώ η δεύτερη περιλάμβανε Καρδίτσα (4), Μίκρα (5) και Υλίκη (7). Η δεύτερη εξίσωση διαχώρισε περισσότερο την Αλεξανδρούπολη (2) με την Καρδίτσα (4).



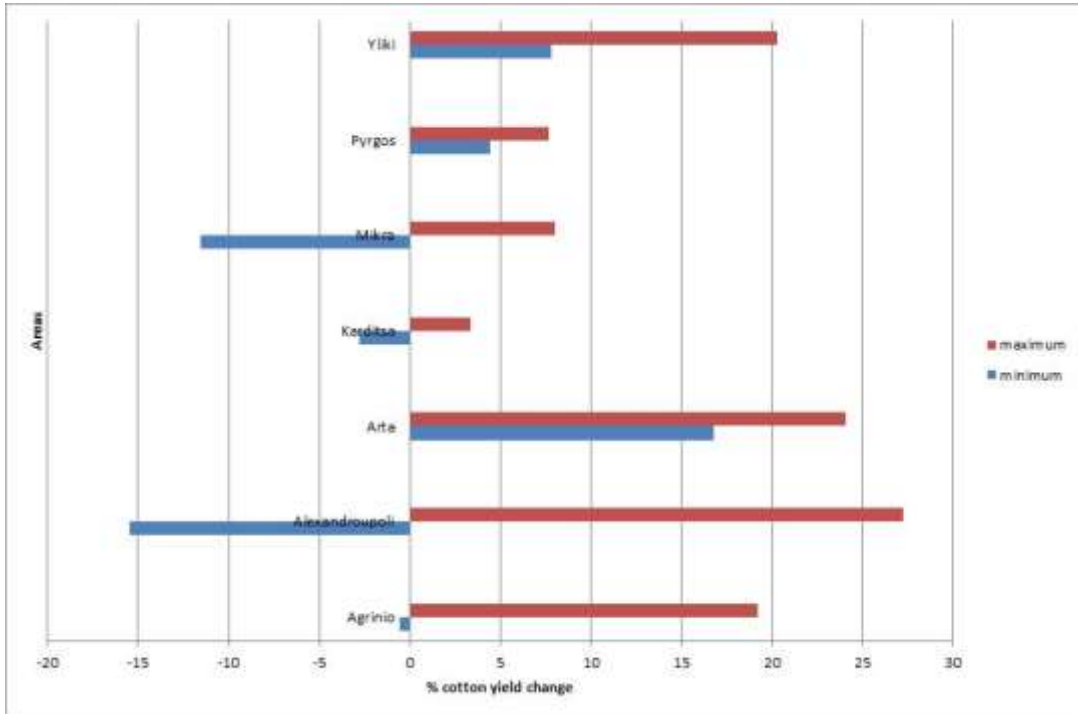
Εικόνα 3.38: Σχηματική απεικόνιση των δύο εξισώσεων σταδιακής διακρίνουσας ανάλυσης του βαθβακιού για τις επτά περιοχές του σεναρίου A1B της περιόδου 2021-2050. (1)Αγρίνιο, (2) Αλεξανδρούπολη, (3) Άρτα, (4) Καρδίτσα, (5) Μίκρα, (6) Πύργος, (7) Υλίκη.

Για την περίοδο 2071-2100 τα κλιματικά μοντέλα C4I, KNMI και DMI-HIRHAM είχαν τη μεγαλύτερη συνεισφορά στην εξίσωση 1, ενώ τα SMHI, KNMI και REMO στην 2 (Πίνακας 3.45). Η πρώτη εξίσωση ερμήνευσε το 53% της διασποράς των αποδόσεων και η δεύτερη το 23,1%. Τέλος η Αλεξανδρούπολη (2), Μίκρα (5) και Αγρίνιο (1) διαχωρίστηκαν από την εξίσωση 1 ενώ οι υπόλοιπες περιοχές ομαδοποιήθηκαν. Η εξίσωση 2 διάκρινε την Αλεξανδρούπολη (2) από τη Μίκρα (5).

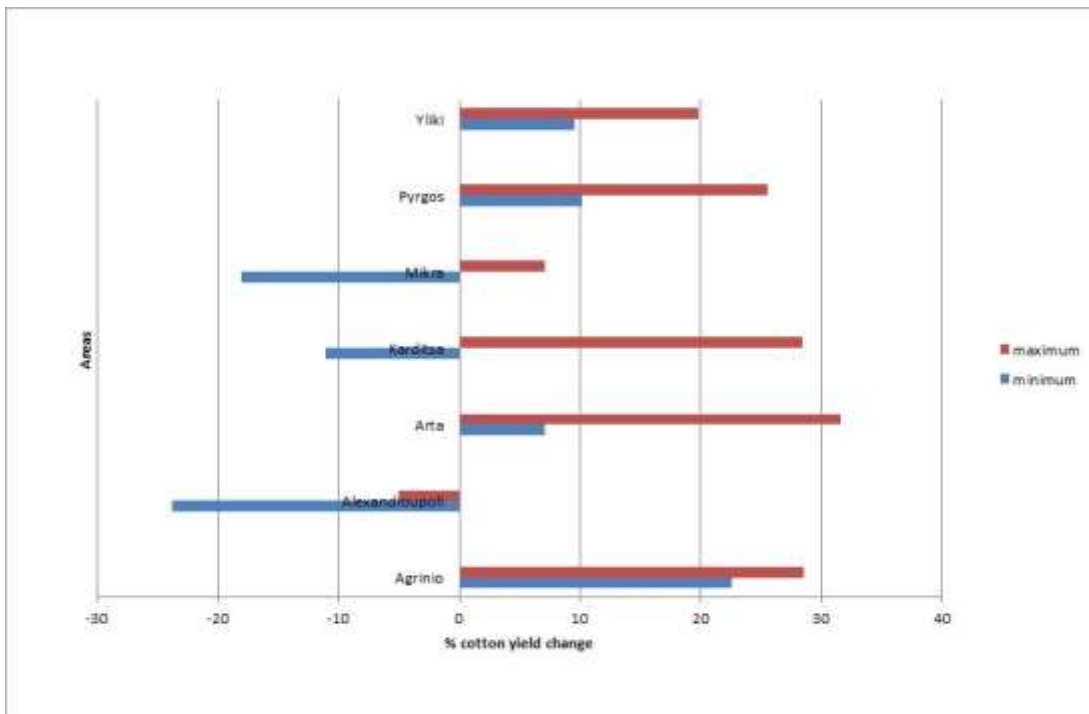


Εικόνα 3.39: Σχηματική απεικόνιση των δύο εξισώσεων σταδιακής διακρίνουσας ανάλυσης του βαμβακιού για τις επτά περιοχές του σεναρίου A1B της περιόδου 2071-2100. (1)Αγρίνιο, (2) Αλεξανδρούπολη, (3) Άρτα, (4) Καρδίτσα, (5) Μίκρα, (6) Πύργος, (7) Υλίκη.

Από τον Πίνακα 3.45 διαπιστώθηκε ότι μεταξύ των προαναφερόμενων κλιματικών μοντέλων μόνο τα DMI-HIRHAM και C4I ήταν αυτά που και στις τρεις περιόδους συμμετείχαν στη διάκριση των περιοχών μεταξύ τους. Με βάση αυτή την παραδοχή και λαμβάνοντας υπόψη και τα αποτελέσματα σύγκρισης ποσοστιαίων αποδόσεων βαμβακιού του Πίνακα 3.28, εξήχθησαν πιο κατανοητά και ερμηνεύσιμα αποτελέσματα για την εκτίμηση της απόδοσης σύμφωνα με το σενάριο A1B.



Εικόνα 3.40: Σχηματική απεικόνιση των ποσοστικών μεταβολών στις αποδόσεις βαμβακιού κατά τη σύγκριση των περιόδων 1961-1990 και 2021-2050 για το σενάριο A1B χρησιμοποιώντας τα μοντέλα C4I και DMI-HIRHAM



Εικόνα 3.41: Σχηματική απεικόνιση των ποσοστικών μεταβολών στις αποδόσεις βαμβακιού κατά τη σύγκριση των περιόδων 1961-1990 και 2071-2100 για το σενάριο A1B χρησιμοποιώντας τα μοντέλα C4I και DMI-HIRHAM

Από τα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται ότι για την περίοδο 2021-2050 συγκριτικά με την περίοδο 1961-1990, για τις περιοχές της δυτικής Ελλάδας (Πύργος, Άρτα και Αγρίνιο) καθώς και την Υλίκη, υπήρξε θετική επίδραση στις μεταβολές των αποδόσεων από τις προβλεπόμενες κλιματικές διαφοροποιήσεις του σεναρίου A1B, με τις μεγαλύτερες αυξήσεις να παρατηρούνται στην Άρτα και στην Υλίκη. Για τις περιοχές της Μίκρας, Αλεξανδρούπολης προέκυψε αβεβαιότητα καθώς υπήρξε μεγάλο εύρος μεταβολής. Στην Καρδίτσα το εύρος αυτό ήταν μικρότερο και κυμάνθηκε από 3,4% έως -2,8% περίπου (Εικ. 3.40).

Για την περίοδο 2071-2100 τα προαναφερόμενα συμπεράσματα επιβεβαιώθηκαν και πάλι και μάλιστα σε μεγαλύτερο βαθμό για το Αγρίνιο και τον Πύργο. Η Μίκρα και η Καρδίτσα διακρίθηκαν από εύρος μεταβολής που κυμάνθηκε από 7% έως -18% για την πρώτη και 28% έως -11% για τη δεύτερη. Η περιοχή που τόσο η υψηλότερη όσο και η χαμηλότερη μεταβολή είχαν αρνητικό πρόσημο ήταν η Αλεξανδρούπολη (Εικ. 3.41).

3.4.1.β Αραβόσιτος

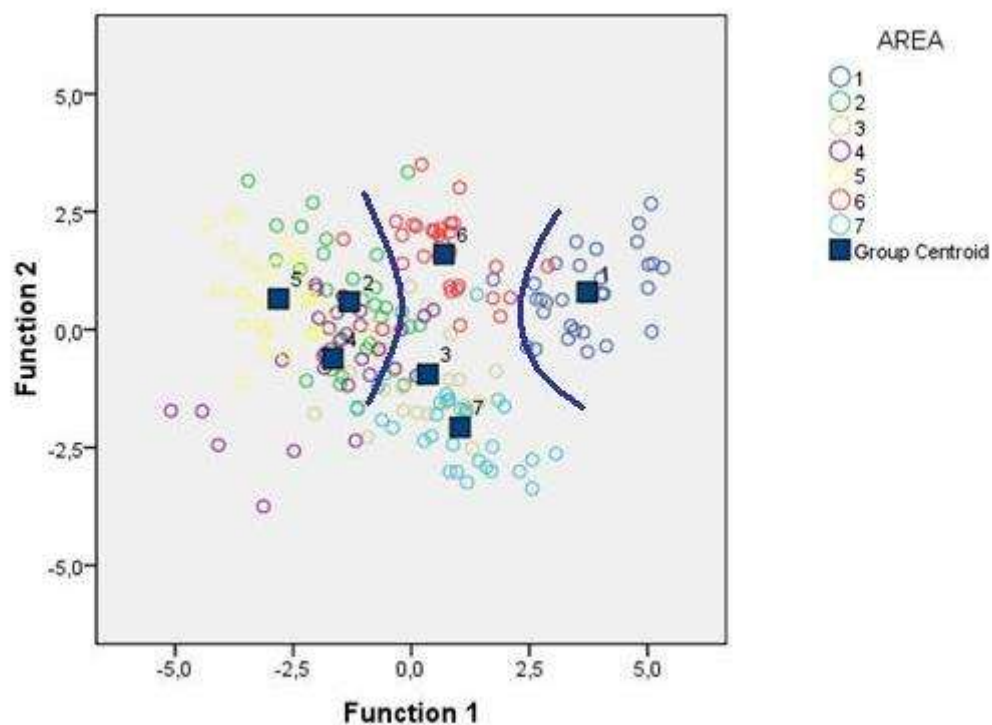
Αντίστοιχα με την περίπτωση του βαμβακιού εφαρμόστηκε η σταδιακή διακρίνουσα ανάλυση, οπότε προέκυψαν οι ακόλουθες τιμές των τυποποιημένων συντελεστών (standardized coefficients), οι οποίοι σε κάθε εξίσωση καθόρισαν και τη βαρύτητα της διαχωριστικής ικανότητας των ανεξάρτητων μεταβλητών.

Πίνακας 3.46: Συντελεστές σταδιακής διακρίνουσας ανάλυσης στην καλλιέργεια αραβοσίτου του σεναρίου A1B. Με κίτρινη σκίαση υποδεικνύονται τα κλιματικά μοντέλα που παρουσιάζουν συστηματικά υψηλές απόλυτες τιμές συντελεστών στις τρεις χρονικές περιόδους.

Models	1961-1990		2021-2050		2071-2100	
	Standardized		Standardized		Standardized	
	func 1	func 2	func 1	func 2	func 1	func 2
HadRM3	0,013	0,093	0,413	0,074		
C4I	0,08	0,363	0,423	0,132	0,478	0,243
REMO-MPI	1,116	0,601	0,633	-0,06	1,016	0,654
CNRM	0,587	0,743	0,132	0,418		
DMI-HIRHAM	0,329	0,266	0,514	0,216		
KNMI	0,417	0,459	0,117	0,536		
SMHI			0,115	1,006	0,235	1,083
ETHZ					0,226	0,527

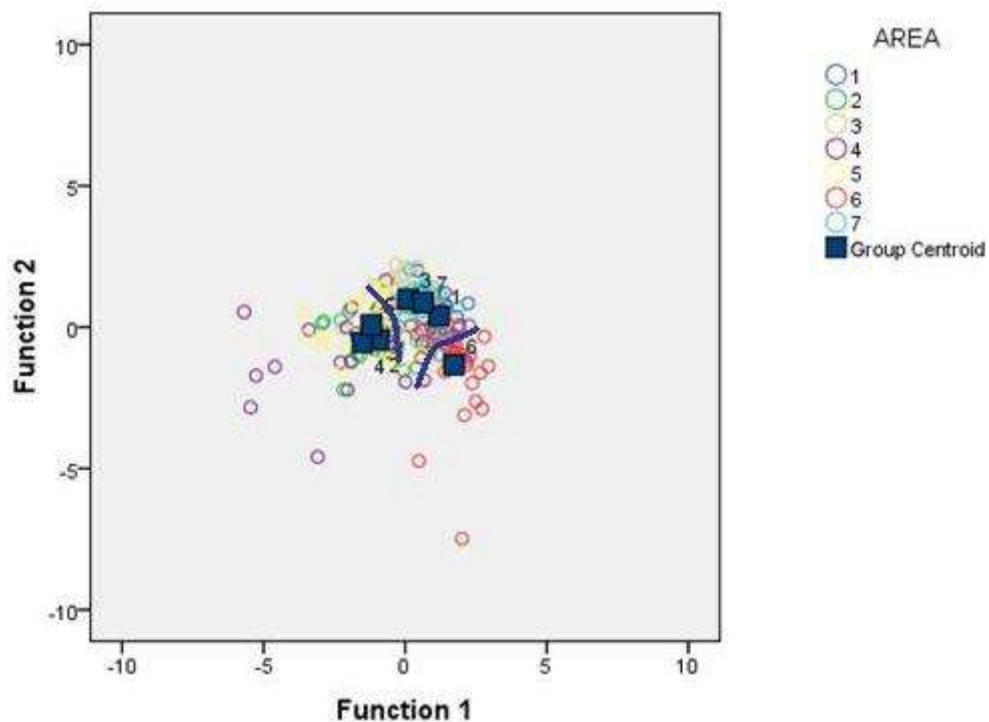
Για την περίοδο 1961-1990, η πρώτη εξίσωση (func 1) ερμήνευσε το 61,8% της διακύμανσης των προσομοιωμένων αποδόσεων βαμβακιού ανά περιοχή ενώ η δεύτερη εξίσωση (func 2) το 21,1%. Από την πρώτη εξίσωση τα μοντέλα με τη μεγαλύτερη ικανότητα διάκρισης ήταν το REMO-MPI (1,116) και CNRM (0,587) (Πίνακας 3.46). Η πρώτη εξίσωση ήταν υπεύθυνη για τον διαχωρισμό του Αγρινίου (1) από τις υπόλοιπες περιοχές και την ομαδοποίηση της Αλεξανδρούπολης (2), Μίκρας (5) και Καρδίτσας (4)

ενώ η δεύτερη εξίσωση ήταν υπεύθυνη σε μικρότερο βαθμό για την ομαδοποίηση Πύργου (6), Υλίκης (7), Άρτας (3) (Εικ. 3.73).



Εικόνα 3.42: Σχηματική απεικόνιση των δύο εξισώσεων σταδιακής διακρίνουσας ανάλυσης του αραβοσίτου για τις επτά περιοχές του σεναρίου A1B της περιόδου 1961-1990. (1) Αγρίνιο, (2) Αλεξανδρούπολη, (3) Άρτα, (4) Καρδίτσα, (5) Μίκρα, (6) Πύργος, (7) Υλίκη.

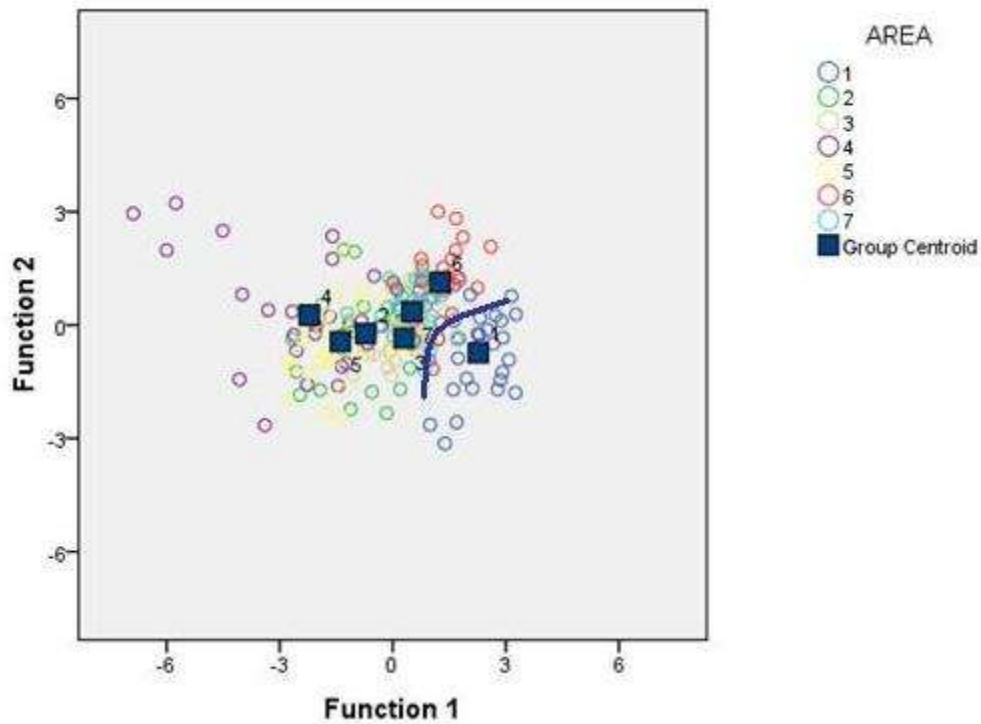
Για την δεύτερη περίοδο 2021-2050, η πρώτη εξίσωση ερμήνευσε το 56,7% της διακύμανσης των προσομοιωμένων αποδόσεων βαμβακιού ανά περιοχή ενώ η δεύτερη εξίσωση (func 2) το 25,3%. Τα μοντέλα REMO-MPI και DMI-HIRHAM είχαν τη μεγαλύτερη συνεισφορά στην πρώτη εξίσωση και τα KNMI και CNRM στη δεύτερη. Η πρώτη εξίσωση συνέβαλε στο διαχωρισμό του Πύργου (6) και της ομαδοποίησης της Καρδίτσας (4) και Μίκρας (5). Η δεύτερη εξίσωση έφερε πιο κοντά την Αλεξανδρούπολη (2) με τις δύο τελευταίες και ομαδοποίησε το Αγρίνιο (1), την Άρτα (3) και την Υλίκη (7) (Εικ.3.42).



Εικόνα 3.43: Σχηματική απεικόνιση των δύο εξισώσεων σταδιακής διακρίνουσας ανάλυσης του αραβοσίτου για τις επτά περιοχές του σεναρίου A1B της περιόδου 2021-2050. (1) Αγρίνιο, (2) Αλεξανδρούπολη, (3) Άρτα, (4) Καρδίτσα, (5) Μίκρα, (6) Πύργος, (7) Υλίκη.

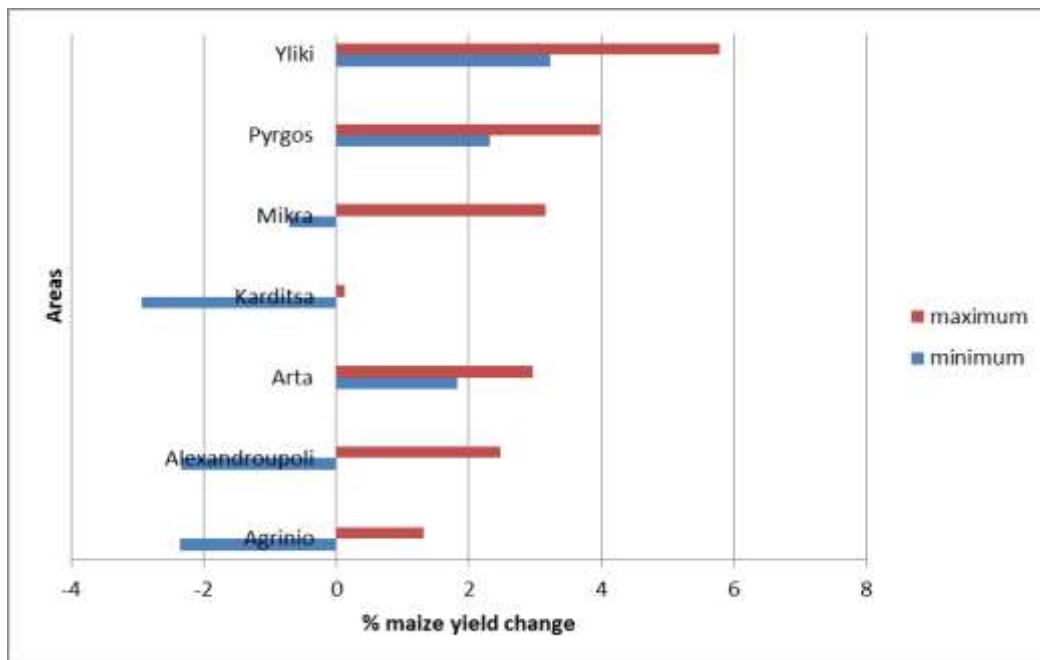
Για την περίοδο 2071-2100 τα κλιματικά μοντέλα REMO-MPI και C4I είχαν τη μεγαλύτερη συνεισφορά στην εξίσωση 1, ενώ τα SMHI, REMO-MPI και ETHZ στην 2 (Πίνακας 3.46). Η πρώτη εξίσωση ερμήνευσε το 80,1% της διασποράς των αποδόσεων και η δεύτερη το 13,2%.

Η πρώτη εξίσωση επί της ουσίας συνέβαλε στην δημιουργία δύο ομάδων περιοχών απομακρύνοντας μεταξύ τους το Αγρίνιο (1) και την Καρδίτσα (4) απ' όλες τις υπόλοιπες. Τέλος η δεύτερη διέκρινε τον Πύργο (6) και έφερε πιο κοντά την Αλεξανδρούπολη (2) με τη Μίκρα (5) και την Υλίκη (7) με την Άρτα (3), όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.43.

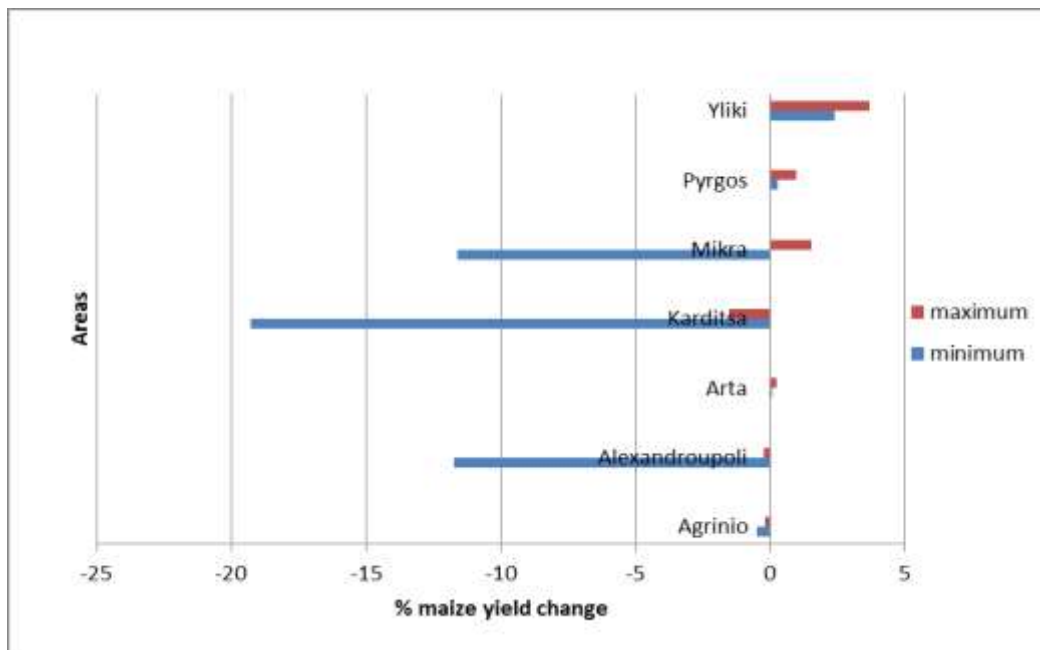


Εικόνα 3.44: Σχηματική απεικόνιση των δύο εξισώσεων σταδιακής διακρίνουσας ανάλυσης του αραβοσίτου για τις επτά περιοχές του σεναρίου A1B της περιόδου 2071-2100. (1) Αγρίνιο, (2) Αλεξανδρούπολη, (3) Άρτα, (4) Καρδίτσα, (5) Μίκρα, (6) Πύργος, (7) Υλίκη.

Από τον Πίνακα 3.46 διαπιστώθηκε ότι μεταξύ των προαναφερόμενων κλιματικών μοντέλων μόνο τα REMO-MPI ήταν αυτό που και στις τρεις περιόδους συμμετείχε στη διάκριση των περιοχών μεταξύ τους έχοντας τον υψηλότερο συντελεστή. Από τα υπόλοιπα μοντέλα μόνο το C4I συμμετείχε στον διαχωρισμό των περιοχών στις τρεις περιόδους αλλά η τιμή συντελεστή στην πρώτη περίοδο ήταν σχεδόν μηδενική. Επειδή όμως επιδιωκόμενο αποτέλεσμα είναι η δημιουργία ενός εύρους τιμών εκτίμησης προβλέψεων ελήφθη υπόψη και το C4I. Συνεπώς και κατ' αντιστοιχία με τη διαδικασία που ακολουθήθηκε και στο βαμβάκι εκτιμήθηκε η μεταβολή της απόδοσης με βάση τα επιλεγμένα μοντέλα REMO-MPI και C4I, όπως φαίνεται και στις Εικόνες 3.45 και 3.46.



Εικόνα 3.45: Σχηματική απεικόνιση των ποσοστιαίων μεταβολών στις αποδόσεις αραβοσίτου κατά τη σύγκριση των περιόδων 1961-1990 και 2021-2050 για το σενάριο A1B χρησιμοποιώντας τα μοντέλα C4I και REMO-MPI



Εικόνα 3.46: Σχηματική απεικόνιση των ποσοστιαίων μεταβολών στις αποδόσεις αραβοσίτου κατά τη σύγκριση των περιόδων 1961-1990 και 2071-2100 για το σενάριο A1B χρησιμοποιώντας τα μοντέλα C4I και REMO-MPI

Συγκρίνοντας τις αποδόσεις της περιόδου 2021-2050 με αυτές της 1961-1990 (Εικ. 3.45), προέκυψε ότι οι περισσότερο ευνοϊκές περιοχές για την καλλιέργεια αραβοσίτου είναι με σειρά μεγαλύτερων προς μικρότερες τιμές οι Υλίκη, Πύργος και Άρτα. Στη συνέχεια με μεγαλύτερη αβεβαιότητα λόγω διαφοράς εύρους θετικών και αρνητικών τιμών είναι η Μίκρα, η Αλεξανδρούπολη, το Αγρίνιο και η Καρδίτσα. Όλες πάντως οι διαφορές απόδοσης, είτε θετικές είτε αρνητικές, δεν υπερβαίνουν το 5% με εξαίρεση την μέγιστη τιμή εκτίμησης της Υλίκης που φτάνει το 6%.

Αντίστοιχα από την σύγκριση των αποδόσεων 2071-2100 με την περίοδο αναφοράς (Εικ. 3.46) προέκυψε ότι οι περιοχές της Υλίκης και του Πύργου είχαν θετικά πρόσημα στις εκτιμήσεις. Αξιοσημείωτη σταθερότητα έδειξαν οι περιοχές της Άρτας και του Αγρινίου ενώ η Καρδίτσα και η Αλεξανδρούπολη παρουσίασαν αρνητικές προβλέψεις. Τέλος η περιοχή της Μίκρας χαρακτηρίζεται με αβεβαιότητα λόγω του εύρους διαφοράς μεταξύ θετικών και αρνητικών εκτιμήσεων. Χαρακτηριστικό σε αυτή την περίπτωση είναι ότι οι μέγιστες θετικές τιμές δεν ξεπερνούν το 5% ενώ οι αρνητικές στην Μίκρα, Καρδίτσα και Αλεξανδρούπολη υπερβαίνουν το 10%.

3.4.1.γ Σιτάρι

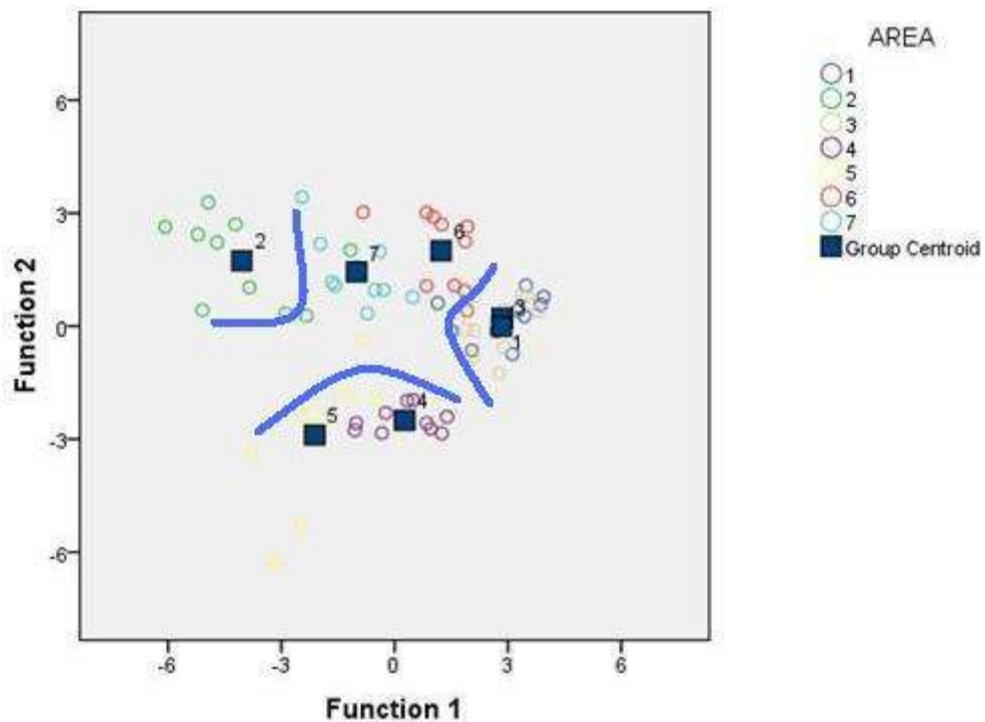
Στην περίπτωση του σιταριού οι τιμές των τυποποιημένων συντελεστών (standardized coefficients) που προέκυψαν από την εφαρμογή της σταδιακής διακρίνουσας ανάλυσης, οι οποίοι σε κάθε εξίσωση καθόρισαν και τη βαρύτητα της διαχωριστικής ικανότητας των ανεξάρτητων μεταβλητών, ήταν οι αναγραφόμενες στον Πίνακα 3.47.

Πίνακας 3.47: Συντελεστές σταδιακής διακρίνουσας ανάλυσης στην καλλιέργεια σιταριού του σεναρίου A1B. Με κίτρινη σκίαση υποδεικνύονται τα κλιματικά μοντέλα που παρουσιάζουν συστηματικά υψηλές απόλυτες τιμές συντελεστών στις τρεις χρονικές περιόδους.

Models	1961-1990		2021-2050		2071-2100	
	Standardized		Standardized		Standardized	
	func 1	func2	func 1	func2	func 1	func2
HadRM3	-0,097	0,117	-0,023	0,853	-0,541	0,247
C4I	0,705	0,151	0,505	-0,091	0,034	0,663
REMO-MPI	-0,573	0,274	-0,713	1,001	-0,972	-0,675
CNRM						
DMI-						
HIRHAM	0,341	0,765	1,403	-0,091	0,903	-0,582
KNMI						
SMHI	0,975	-0,616	-0,649	-1,113		
ETHZ			-0,261	-0,071		

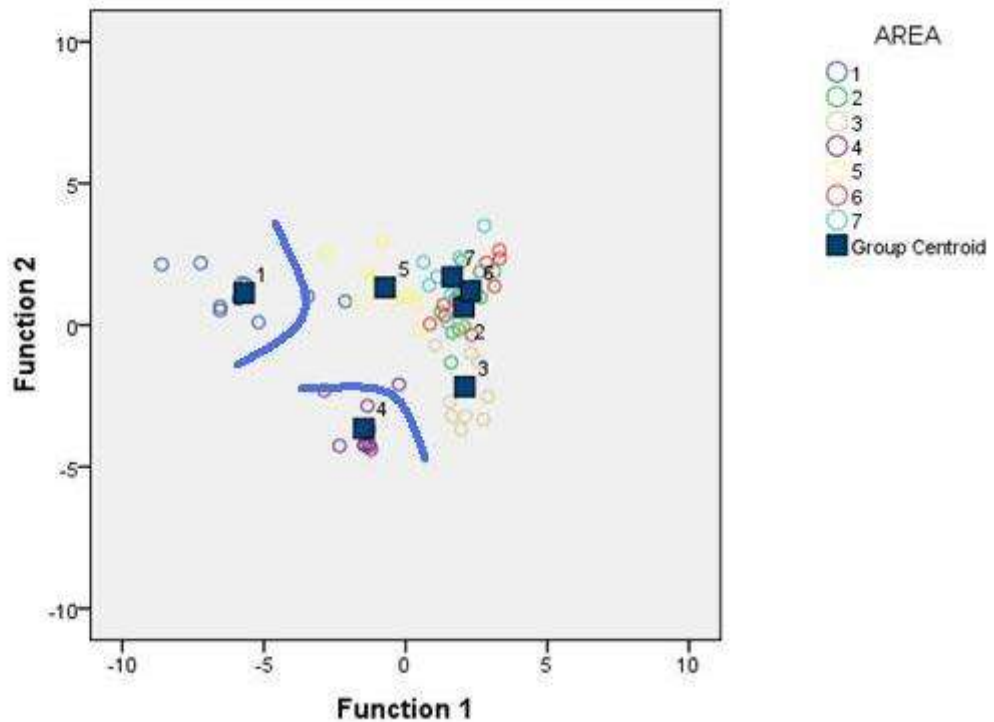
Για την περίοδο 1961-1990, η πρώτη εξίσωση (func 1) ερμήνευσε το 53,7% της διακύμανσης των προσομοιωμένων αποδόσεων βαμβακιού ανά περιοχή ενώ η δεύτερη εξίσωση (func 2) το 32,2%. Από την πρώτη εξίσωση το μοντέλο με τη μεγαλύτερη ικανότητα διάκρισης ήταν το SMHI. Ακολούθησαν το C4I, REMO-MPI και DMI-HIRHAM (Πίνακας 3.47). Η πρώτη εξίσωση ήταν υπεύθυνη για τον διαχωρισμό της Αλεξανδρούπολης (2) από τις υπόλοιπες περιοχές και για την ομαδοποίηση του Αγρινίου (1) και της Άρτας (3). Από τις υπόλοιπες περιοχές, η δεύτερη εξίσωση έδειξε ότι πιο

κοντά βρίσκονται η Μίκρας (5) και η Καρδίτσας (4), όπως επίσης και ο Πύργος (6) με την Υλίκη (7), (Εικ. 3.47).



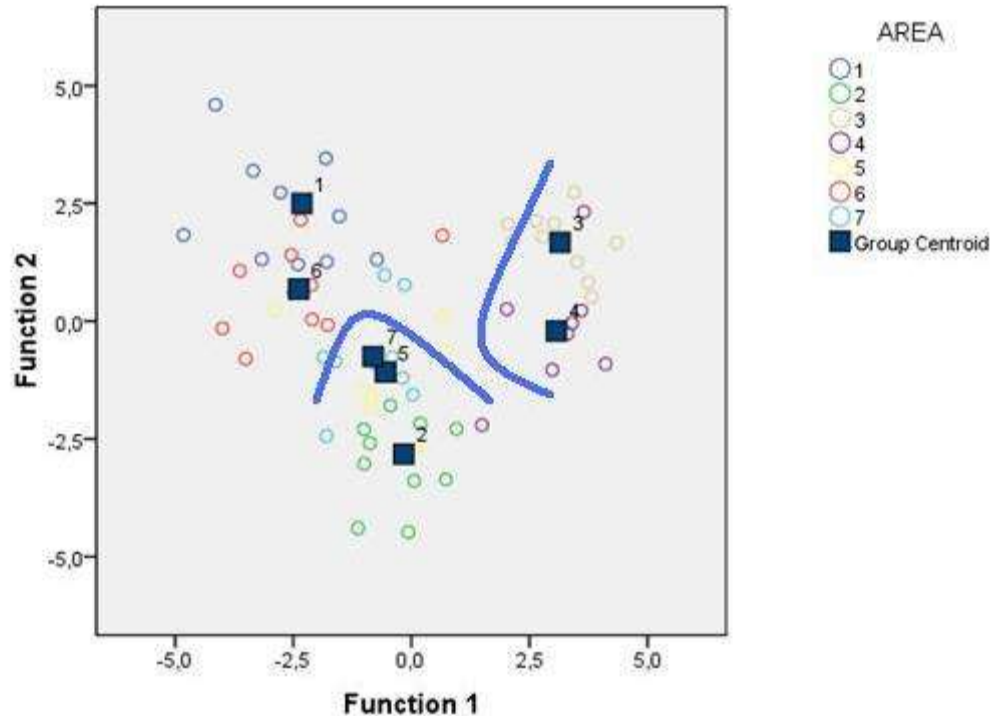
Εικόνα 3.47: Σχηματική απεικόνιση των δύο εξισώσεων σταδιακής διακρίνουσας ανάλυσης του σιταριού για τις επτά περιοχές του σεναρίου A1B της περιόδου 1961-1990. (1) Αγρίνιο, (2) Αλεξανδρούπολη, (3) Άρτα, (4) Καρδίτσα, (5) Μίκρα, (6) Πύργος, (7) Υλίκη.

Για την περίοδο 2021-2050 η πρώτη εξίσωση (func 1) ερμήνευσε το 49,6% της διακύμανσης των προσομοιωμένων αποδόσεων βαμβακιού ανά περιοχή ενώ η δεύτερη εξίσωση (func 2) το 24,6%. Επίσης η πρώτη εξίσωση απομόνωσε το Αγρίνιο (1) και την Καρδίτσα (4) απ' όλες τις υπόλοιπες περιοχές (Εικ. 3.48). Βοήθησε επίσης στην ομαδοποίηση της Αλεξανδρούπολης (2), της Άρτας (3) του Πύργου (6) και της Υλίκης (7), ενώ η Μίκρα (5) ήταν πιο διακριτή σε σχέση με τις υπόλοιπες περιοχές. Η δεύτερη εξίσωση συνέβαλε στην περαιτέρω ομαδοποίηση της Αλεξανδρούπολης (2), του Πύργου (6) και της Υλίκης (7).



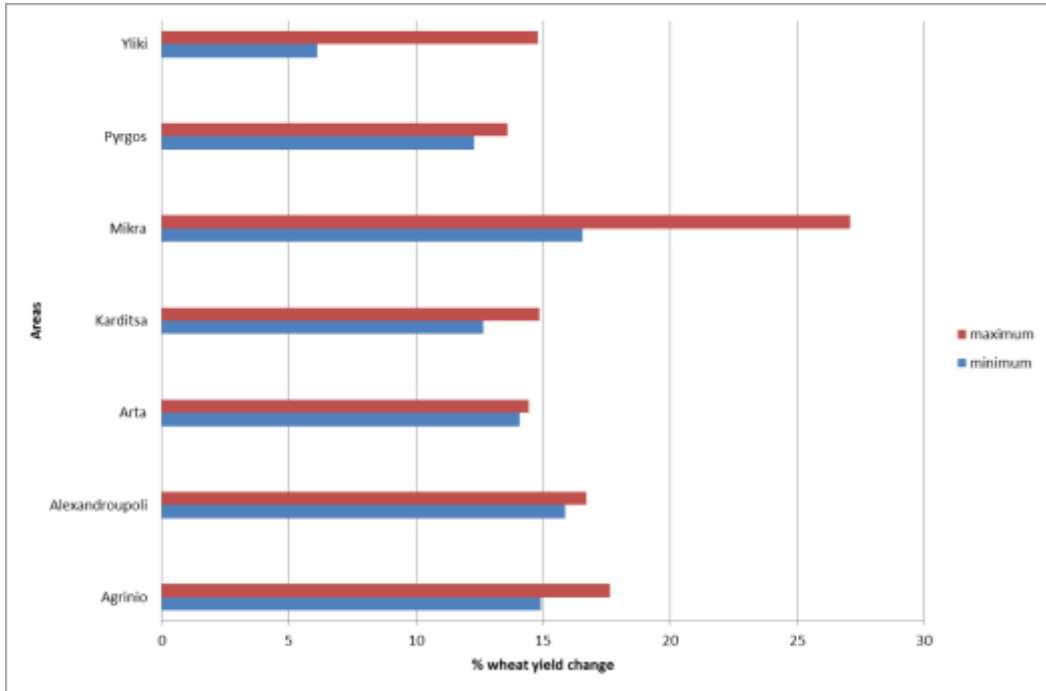
Εικόνα 3.48: Σχηματική απεικόνιση των δύο εξισώσεων σταδιακής διακρίνουσας ανάλυσης του σιταριού για τις επτά περιοχές του σεναρίου A1B της περιόδου 2021-2050. (1) Αργίριο, (2) Αλεξανδρούπολη, (3) Άρτα, (4) Καρδίτσα, (5) Μίκρα, (6) Πύργος, (7) Υλίκη.

Για την περίοδο 2071-2100, η πρώτη εξίσωση (func 1) ερμήνευσε το 51,1% της διακύμανσης των προσομοιωμένων αποδόσεων βαμβακιού ανά περιοχή ενώ η δεύτερη εξίσωση (func 2) το 30,7%. Από την πρώτη εξίσωση τα μοντέλα με τη μεγαλύτερη ικανότητα διάκρισης ήταν τα REMO-MPI και DMI-HIRHAM (Πίν. 3.47). Η πρώτη εξίσωση ήταν υπεύθυνη για την ομαδοποίηση της Άρτας (3) με την Καρδίτσα (4), και της Αλεξανδρούπολης (2) με τη Μίκρα (5) και την Υλίκη (7). Επίσης συνέβαλε στην ομαδοποίηση του Αργιρίου (1) με τον Πύργο (6). Οι συντελεστές των τυποποιημένων συντελεστών της δεύτερης εξίσωσης δεν μετέβαλαν τις διακρίσεις και ομαδοποιήσεις μεταξύ των περιοχών (Εικ. 3.49).

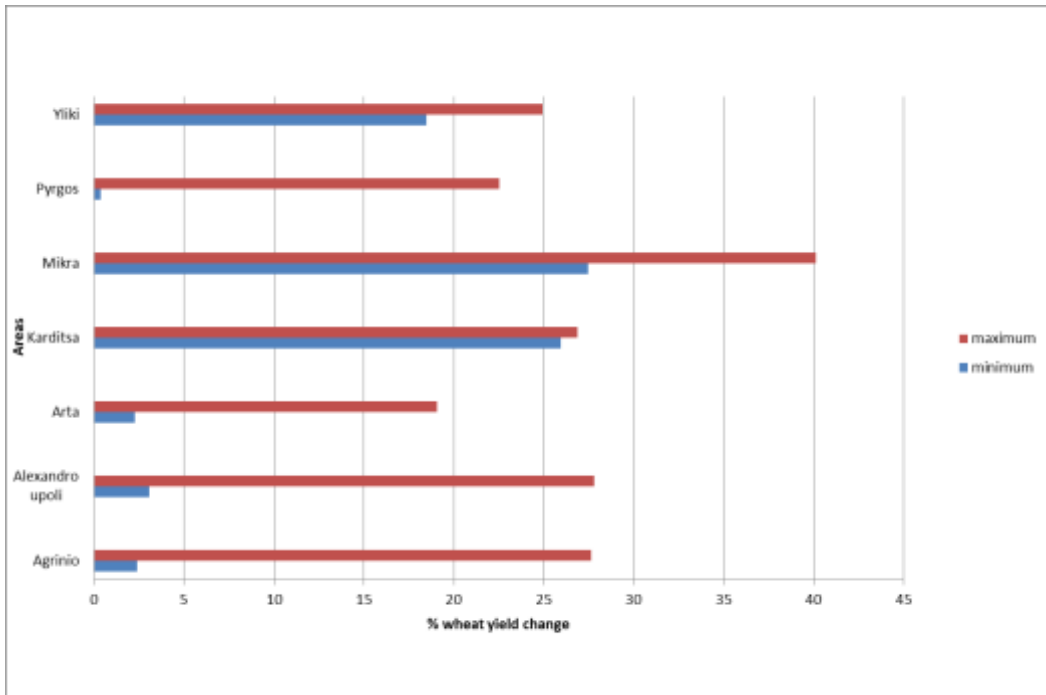


Εικόνα 3.49: Σχηματική απεικόνιση των δύο εξισώσεων σταδιακής διακρίνουσας ανάλυσης του σιταριού για τις επτά περιοχές του σεναρίου A1B της περιόδου 2071-2100. (1) Αγρίνιο, (2) Αλεξανδρούπολη, (3) Άρτα, (4) Καρδίτσα, (5) Μίκρα, (6) Πύργος, (7) Υλίκη.

Από τον Πίνακα 3.47 διαπιστώθηκε ότι σε τέσσερα κλιματικά μοντέλα (C4I, HadRM3, REMO-MPI, DMI-HIRHAM) εμφανίσθηκε κάποια τιμή για τους συντελεστές σταδιακής διακρίνουσας κατά τις τρεις περιόδους έρευνας. Εξ αυτών οι REMO-MPI και DMI-HIRHAM είχαν τις μεγαλύτερες τιμές και για τις τρεις περιόδους. Ως αποτέλεσμα των τιμών των συντελεστών αυτών των μοντέλων τελικά επιλέχθηκαν τα δύο τελευταία για να δημιουργηθεί ένα εύρος εκτίμησης των αποδόσεων. Συνεπώς και κατ' αντιστοιχία με τη διαδικασία που ακολουθήθηκε στο βαμβάκι και στον αραβόσιτο εκτιμήθηκε η μεταβολή της απόδοσης με βάση τα επιλεγμένα μοντέλα REMO-MPI και DMI-HIRHAM, όπως φαίνεται και στις εικόνες 3.50 και 3.51.



Εικόνα 3.50: Σχηματική απεικόνιση των ποσοστιαίων μεταβολών στις αποδόσεις σιταριού κατά τη σύγκριση των περιόδων 1961-1990 και 2021-2050 για το σενάριο A1B χρησιμοποιώντας τα μοντέλα DMI-HIRHAM και REMO-MPI



Εικόνα 3.51: Σχηματική απεικόνιση των ποσοστιαίων μεταβολών στις αποδόσεις σιταριού κατά τη σύγκριση των περιόδων 1961-1990 και 2071-2100 για το σενάριο A1B χρησιμοποιώντας τα μοντέλα DMI-HIRHAM και REMO-MPI

Από τις συγκρίσεις των μεταβολών των αποδόσεων σιταριού των περιόδων 2021-2050 και 2071-2100 με την περίοδο αναφοράς προέκυψαν θετικά αποτελέσματα αναφορικά με την επίδραση της κλιματικής αλλαγής, έτσι όπως περιγράφεται από τα τελικώς επιλεγμένα μοντέλα του σεναρίου A1B. Πιο συγκεκριμένα κατά την περίοδο 2021-2050 προβλέφθηκαν αυξήσεις στις αποδόσεις σε όλες τις περιοχές. Η μικρότερη ελάχιστη μεταβολή ήταν στην Υλίκη (+6%), ενώ η μεγαλύτερη ελάχιστη μεταβολή ήταν στην Αλεξανδρούπολη και στην Μίκρα, +15,8% και +16,5% αντίστοιχα. Η μεγαλύτερη μέγιστη μεταβολή προβλέφθηκε για την Μίκρα (+27%) ενώ η μικρότερη μέγιστη μεταβολή για τον Πύργο (+13,6%)(Εικ. 3.50)

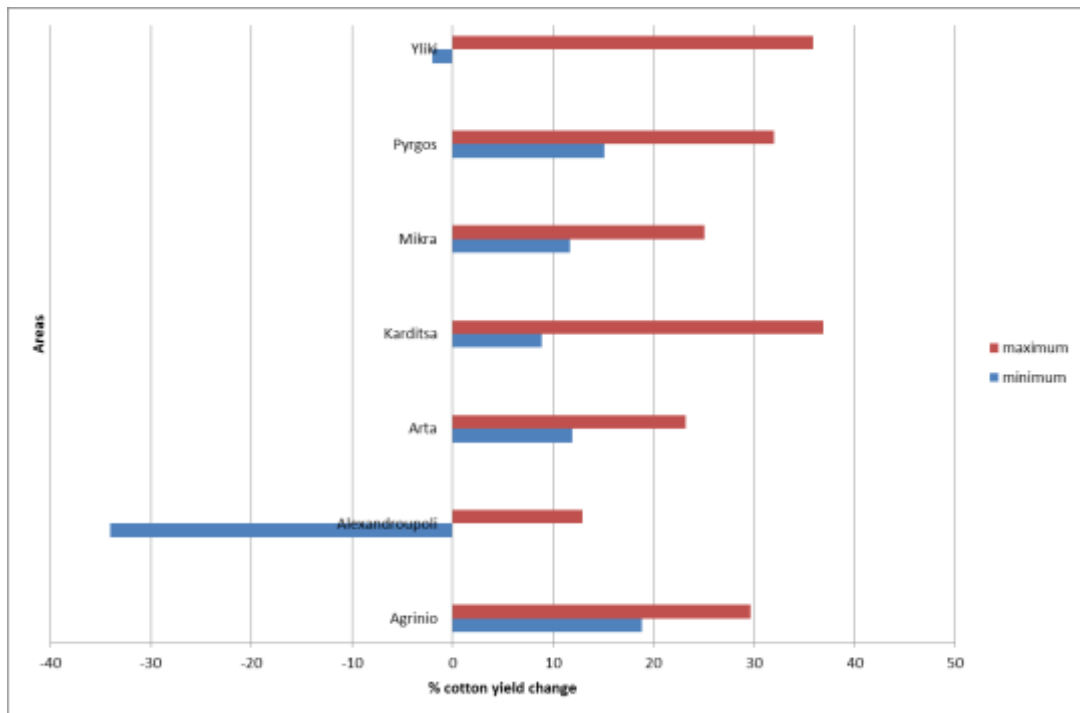
Αντίστοιχα από την σύγκριση των αποδόσεων 2071-2100 με την περίοδο αναφοράς (Εικ. 3.51) παρατηρήθηκε ότι οι περιοχές της δυτικής Ελλάδας και η Αλεξανδρούπολη είχαν τις μικρότερες ελάχιστες μεταβολές (έως 3% στην Αλεξανδρούπολη), ενώ αντίθετα Υλίκη, Καρδίτσα και Μίκρα χαρακτηρίστηκαν από πιο μεγάλες τιμές (+18% έως +27%). Αναφορικά με την περιοχή με την μεγαλύτερη μέγιστη μεταβολή αυτή ήταν η Μίκρα (+40%) ενώ η περιοχή με την μικρότερη μέγιστη μεταβολή ήταν η Άρτα (+2%). Τέλος η περιοχή της Καρδίτσα είχε τη μικρότερη απόκλιση μεταξύ ελάχιστης και μέγιστης μεταβολής (+25,9% και 26,8%, αντίστοιχα) γεγονός που την κατατάσσει ως την περιοχή με τη μεγαλύτερη σταθερότητα.

3.4.2. Σενάριο A2

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 2, το μοντέλο A2 το οποίο προέκυψε από το πρόγραμμα PRUDENCE, αναλύθηκε για τις χρονικές περιόδους 1961-1990 και 2071-2100. Συνεπώς οι εκτιμήσεις στις διαφορές των αποδόσεων των τριών αροτραίων καλλιεργειών πραγματοποιήθηκε μόνο για αυτές τις περιόδους.

3.4.2.α Βαμβάκι

Κατά την εφαρμογή της σταδιακής διακρίνουσας ανάλυσης στην περίπτωση του βαμβακιού για το σενάριο A2, προέκυψε ότι δεν επιβεβαιώθηκε η διάκριση των επτά περιοχών (εξαρτημένες μεταβλητές) από τη διακριτική δυνατότητα των τριών μοντέλων DMI-HIRHAM, HadRM3, SMHI (ανεξάρτητων μεταβλητών), καθώς για να συμπεριληφθούν οι ανεξάρτητες μεταβλητές στις διακρίνουσες εξισώσεις θα έπρεπε η τιμή του στατιστικού ελέγχου F να είναι μικρότερη από 3,84, κάτι που δεν συνέβη. Συνεπώς για να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με την εκτίμηση των αποδόσεων, ελήφθησαν υπόψη και τα τρία κλιματικά μοντέλα και το εύρος της εκτίμησης δημιουργήθηκε μεταξύ της ελάχιστης και μέγιστης διαφοράς των αποδόσεων.



Εικόνα 3.52: Σχηματική απεικόνιση των ποσοστιαίων μεταβολών στις αποδόσεις βαμβακιού κατά τη σύγκριση των περιόδων 1961-1990 και 2071-2100 για το σενάριο A2χρησιμοποιώντας και τα τρία κλιματικά μοντέλα

Από την Εικόνα 3.52 προέκυψε ότι στις περιοχές του Πύργου, Αγρινίου, Άρτας, Καρδίτσας και Μίκρας τόσο η ελάχιστη μεταβολή όσο και η μέγιστη είχαν θετικό πρόσημο. Αντίθετα η Υλίκη και η Αλεξανδρούπολη χαρακτηρίστηκαν από μεγαλύτερο εύρος διακύμανσης καθώς οι τιμές της ελάχιστης μεταβολής ήταν αρνητικές με μεγαλύτερη αυτή της Αλεξανδρούπολης (-34%). Αυτές επομένως οι περιοχές εμφάνισαν μεγαλύτερο ποσοστό αβεβαιότητας

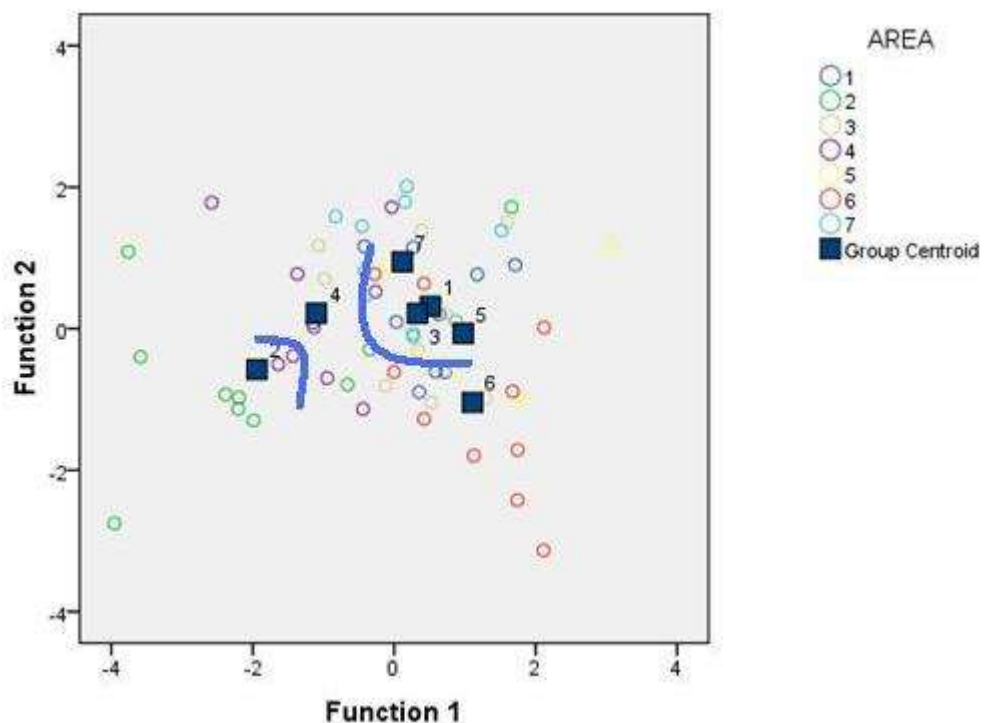
3.4.2.β Αραβόσιτος

Στην περίπτωση του σεναρίου A2 για τον αραβόσιτο, οι τιμές των τυποποιημένων συντελεστών (standardized coefficients) που προέκυψαν από την εφαρμογή της σταδιακής διακρίνουσας ανάλυσης, οι οποίοι σε κάθε εξίσωση καθόρισαν και τη βαρύτητα της διαχωριστικής ικανότητας των ανεξάρτητων μεταβλητών, ήταν οι αναγραφόμενες στον πίνακα 3.48.

Πίνακας 3.48: Συντελεστές σταδιακής διακρίνουσας ανάλυσης στην καλλιέργεια αραβοσίτου του σεναρίου A2. Με κίτρινη σκίαση υποδεικνύονται τα κλιματικά μοντέλα που παρουσιάζουν τις υψηλότερες απόλυτες τιμές συντελεστών στις δύο χρονικές περιόδους

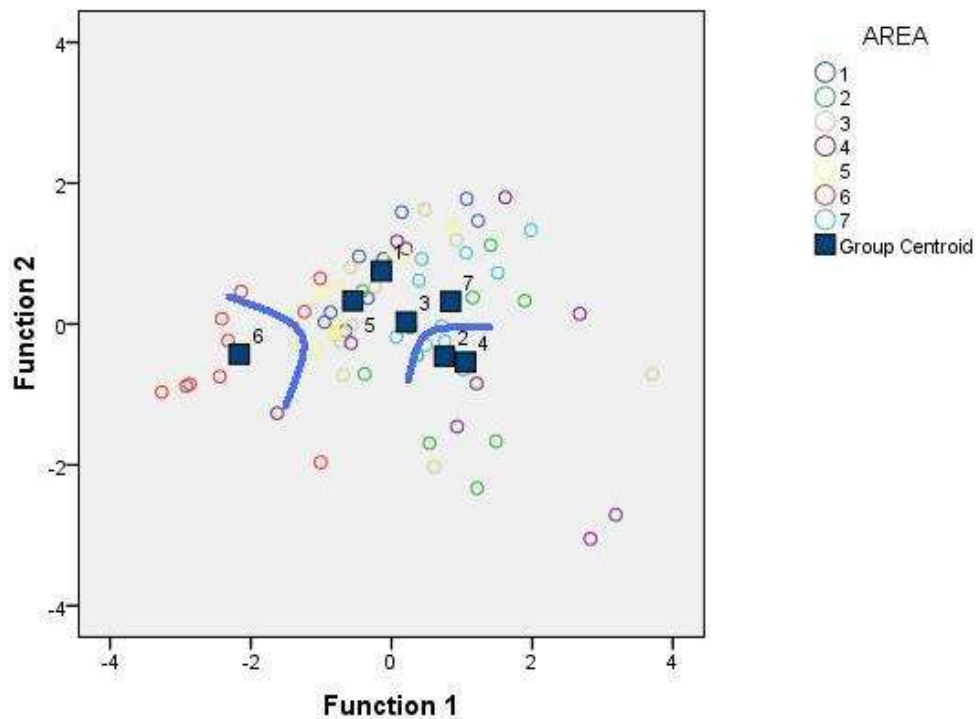
Models	1961-1990		2071-2100	
	Standardized		Standardized	
	func1	func2	func1	func2
HadRM3			-0,786	0,718
DMI-HIRHAM	1,016	0,433	0,855	0,760
SMHI	-0,823	0,736	0,943	0,493

Για την περίοδο 1961-1990, η πρώτη εξίσωση (func 1) ερμήνευσε το 75,1% της διακύμανσης των προσομοιωμένων αποδόσεων βαμβακιού ανά περιοχή ενώ η δεύτερη εξίσωση (func 2) το 24,9%. Από την πρώτη εξίσωση το μοντέλο με τη μεγαλύτερη ικανότητα διάκρισης ήταν το DMI-HIRHAM και το SMHI. Η πρώτη εξίσωση ήταν υπεύθυνη για τον διαχωρισμό της Αλεξανδρούπολης (2), της Καρδίτσας (4) και του Πύργου (6) από τις υπόλοιπες περιοχές και για την ομαδοποίηση του Αγρινίου (1), της Άρτας (3) και της Υλίκης (7). Η δεύτερη εξίσωση έφερε πιο κοντά τη Μίκρα (5) σε αυτή την ομάδα των περιοχών (Εικ. 3.53).



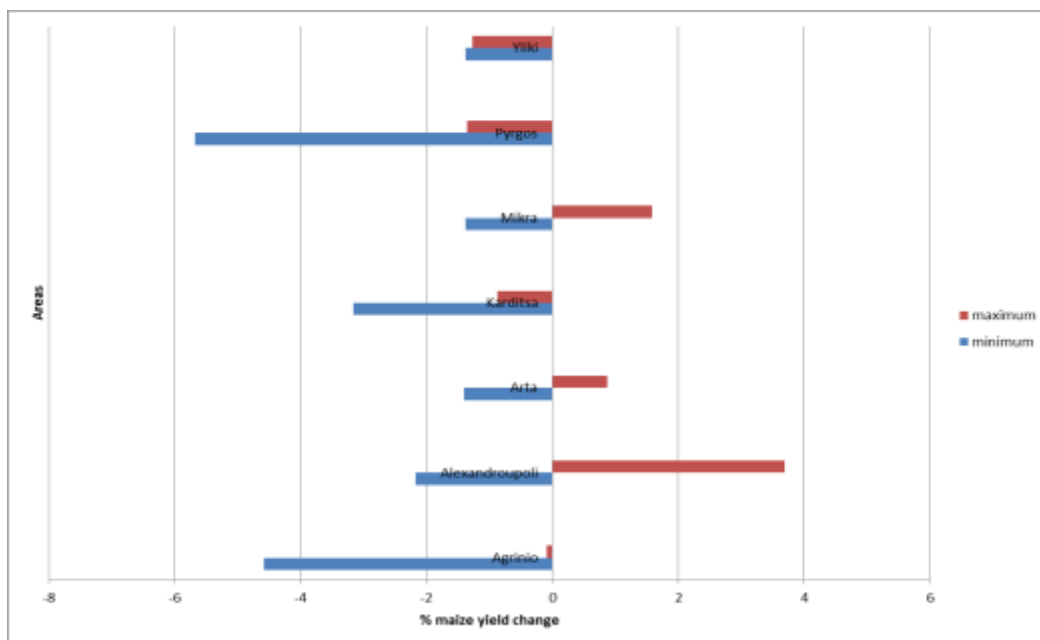
Εικόνα 3.53: Σχηματική απεικόνιση των δύο εξισώσεων σταδιακής διακρίνουσας ανάλυσης του αραβοσίτου για τις επτά περιοχές του σεναρίου A2 της περιόδου 1961-1990. (1) Αγρίνιο, (2) Αλεξανδρούπολη, (3) Άρτα, (4) Καρδίτσα, (5) Μίκρα, (6) Πύργος, (7) Υλίκη.

Για την περίοδο 2071-2100, η πρώτη εξίσωση (func 1) ερμήνευσε το 83,5% της διακύμανσης των προσομοιωμένων αποδόσεων αραβοσίτου ανά περιοχή ενώ η δεύτερη εξίσωση (func 2) το 16,5%. Από την πρώτη εξίσωση τα μοντέλα με τη μεγαλύτερη ικανότητα διάκρισης ήταν τα SMHI και DMI-HIRHAM και ακολούθησε το C4I (Πίν. 3.48). Η πρώτη εξίσωση ήταν υπεύθυνη για την διαφοροποίηση του Πύργου (6) και της Καρδίτσας (4) ενώ διαχώρισε τις υπόλοιπες περιοχές Αγρίνιο (1), Αλεξανδρούπολη (2), Άρτα (3) με της Μίκρας (5) και της Υλίκης (7). Η δεύτερη εξίσωση ομαδοποίησε την Καρδίτσα (4) με την Αλεξανδρούπολη (2) (Εικ. 3.54).



Εικόνα 3.54: Σχηματική απεικόνιση των δύο εξισώσεων σταδιακής διακρίνουσας ανάλυσης του αραβοσίτου για τις επτά περιοχές του σεναρίου A2 της περιόδου 2071-2100. (1) Αγρίνιο, (2) Αλεξανδρούπολη, (3) Άρτα, (4) Καρδίτσα, (5) Μίκρα, (6) Πύργος, (7) Υλίκη

Από τον Πίνακα 3.48 διαπιστώθηκε ότι από τα τρία κλιματικά μοντέλα (HadRM3, DMI-HIRHAM, SMHI) μόνο τα δύο τελευταία έπαιξαν ρόλο στο διαχωρισμό των περιοχών και στις δύο περιόδους. Συνεπώς και κατ' αντιστοιχία με τη διαδικασία που ακολουθήθηκε και στις προηγούμενες περιπτώσεις, το εύρος της διαφοροποίησης των αποδόσεων αραβοσίτου με βάση τα επιλεγμένα μοντέλα SMHI και DMI-HIRHAM, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.55.



Εικόνα 3.55: Σχηματική απεικόνιση των ποσοστιαίων μεταβολών στις αποδόσεις αραβοσίτου κατά τη σύγκριση των περιόδων 1961-1990 και 2071-2100 για το σενάριο A2 χρησιμοποιώντας τα μοντέλα SMHI και DMI-HIRHAM

Από την ανάλυση των παραπάνω μοντέλων προέκυψε ότι για τις περιοχές της Υλίκης, του Πύργου, της Καρδίτσας και του Αγρινίου τόσο η μέγιστη όσο και η ελάχιστη μεταβολή είχαν αρνητικό πρόσημο. Εξ αυτών ο Πύργος και το Αγρίνιο είχαν τις αρνητικότερες προβλέψεις σχετικά με την ελάχιστη μεταβολή -5,7% και -4,6% αντίστοιχα (Εικ. 3.55). Αντίθετα η Άρτα, η Μίκρα και η Αλεξανδρούπολη εμφάνισαν θετικές τιμές αναφορικά με τις μέγιστες προβλέψεις (+0,8%, +1,5% και +3,6% αντίστοιχα). Συνεπώς εξάχθηκε το συμπέρασμα ότι οι βορειότερες περιοχές Άρτα, Μίκρα και Αλεξανδρούπολη εμφάνισαν ένα θετικό τμήμα επί του εύρους της μεταβολής της απόδοσης σε αντίθεση με τις υπόλοιπες περιοχές όπου όλο το εύρος των εκτιμήσεων ήταν αρνητικό.

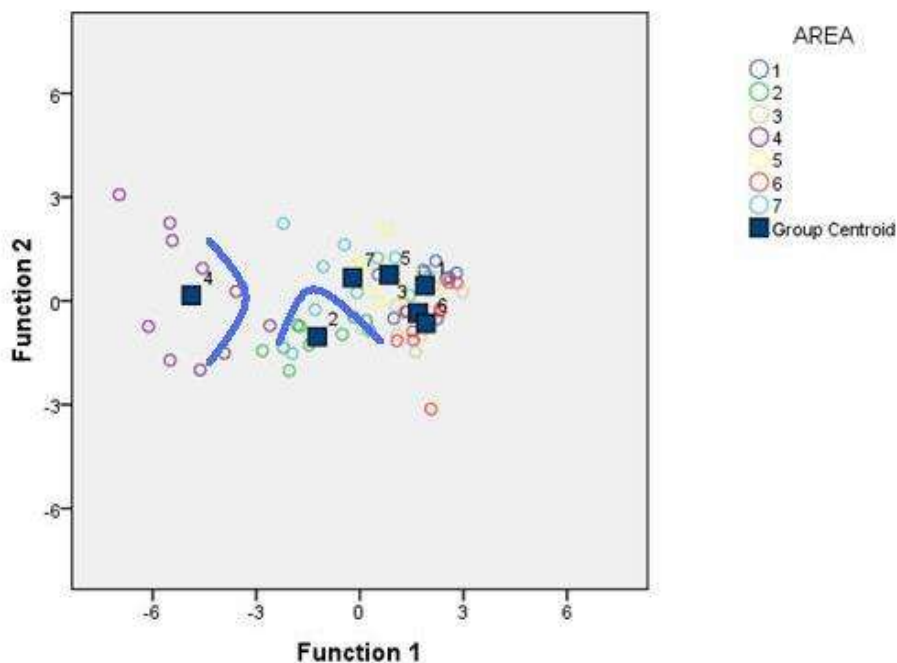
3.4.2.γ Σιτάρι

Στην περίπτωση του σεναρίου A2 για το σιτάρι, οι τιμές των τυποποιημένων συντελεστών (standardized coefficients) που προέκυψαν από την εφαρμογή της σταδιακής διακρίνουσας ανάλυσης, οι οποίοι σε κάθε εξίσωση καθόρισαν και τη βαρύτητα της διαχωριστικής ικανότητας των ανεξάρτητων μεταβλητών, ήταν οι αναγραφόμενες στον Πίνακα 3.49.

Πίνακας 3.49: Συντελεστές σταδιακής διακρίνουσας ανάλυσης στην καλλιέργεια σιταριού του σεναρίου A2. Με κίτρινη σκίαση υποδεικνύονται τα κλιματικά μοντέλα που παρουσιάζουν τις υψηλότερες απόλυτες τιμές συντελεστών στις δύο χρονικές περιόδους

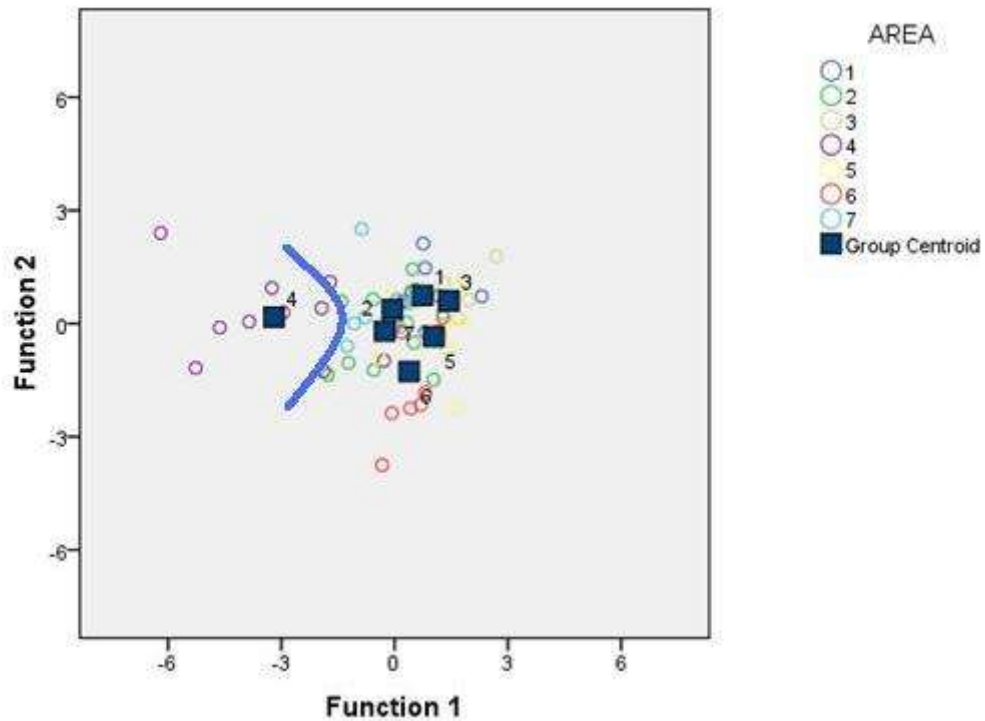
Models	1961-1990		2071-2100	
	Standardized		Standardized	
	func1	func2	func1	func2
HadRM3	0,995	0,512		
DMI-				
HIRHAM	0,495	1,489	-0,083	1,053
SMHI	0,41	-1,38	1,024	-0,260

Για την περίοδο 1961-1990, η πρώτη εξίσωση (func 1) ερμήνευσε το 91,7% της διακύμανσης των προσομοιωμένων αποδόσεων βαμβακιού ανά περιοχή ενώ η δεύτερη εξίσωση (func 2) το 7,2%. Από την πρώτη εξίσωση το μοντέλο με τη μεγαλύτερη ικανότητα διάκρισης ήταν το HadRM3 και ακολούθησαν DMI-HIRHAM και το SMHI (Πιν. 3.49). Η πρώτη εξίσωση ήταν υπεύθυνη για τον διαχωρισμό της Καρδίτσας (4) από τις υπόλοιπες περιοχές. Η δεύτερη εξίσωση διαφοροποίησε την Αλεξανδρούπολη (2). Οι υπόλοιπες περιοχές Αγρίνιο (1), Άρτα (3), Μίκρα (5), Πύργος (6) και Υλίκη (7) ομαδοποιήθηκαν μαζί (Εικ. 3.56)



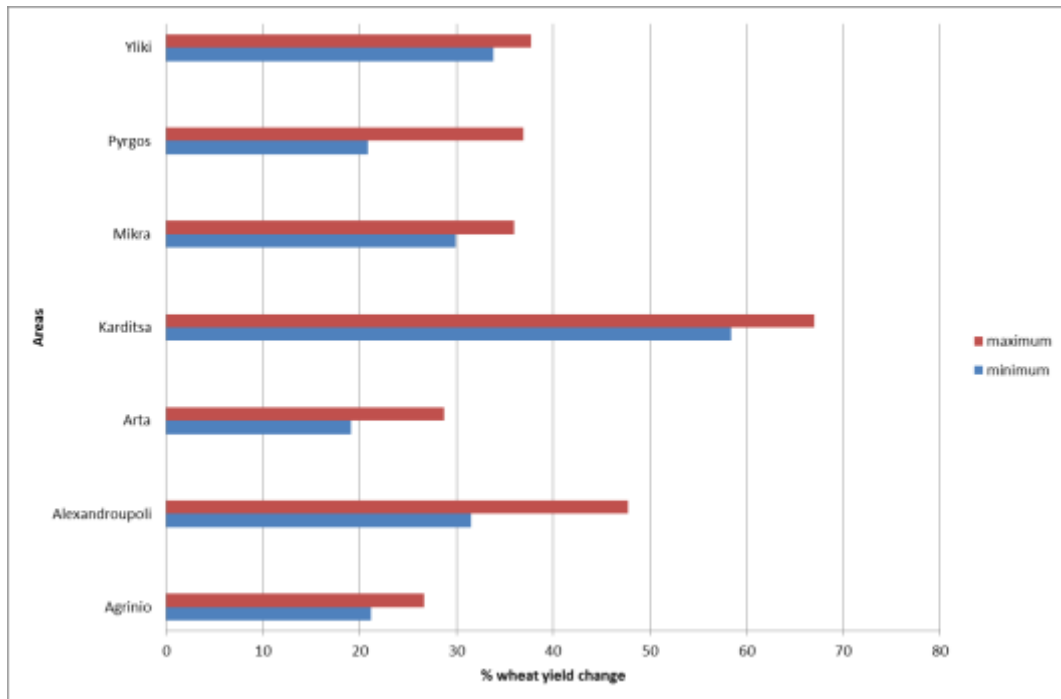
Εικόνα 3.56: Σχηματική απεικόνιση των δύο εξισώσεων σταδιακής διακρίνουσας ανάλυσης του σιταριού για τις επτά περιοχές του σεναρίου A2 της περιόδου 1961-1990. (1) Αγρίνιο, (2) Αλεξανδρούπολη, (3) Άρτα, (4) Καρδίτσα, (5) Μίκρα, (6) Πύργος, (7) Υλίκη.

Για την περίοδο 2071-2100, η πρώτη εξίσωση (func 1) ερμήνευσε το 83,4% της διακύμανσης των προσομοιωμένων αποδόσεων αραβοσίτου ανά περιοχή ενώ η δεύτερη εξίσωση (func 2) το 16,6%. Από την πρώτη εξίσωση τα μοντέλα με τη μεγαλύτερη ικανότητα διάκρισης ήταν τα SMHI και DMI-HIRHAM και (Πίν. 3.49). Η πρώτη εξίσωση ήταν υπεύθυνη για την διαφοροποίηση της Καρδίτσας (4) από τις υπόλοιπες περιοχές. Η δεύτερη εξίσωση συνέβαλε στην περαιτέρω ομαδοποίηση των υπολοίπων περιοχών δηλαδή Αγρίνιο (1), Αλεξανδρούπολη (2), Άρτα (3), Μίκρα (5), Πύργος (6) και Υλίκη (7) (Εικ. 3.57).



Εικόνα 3.57: Σχηματική απεικόνιση των δύο εξισώσεων σταδιακής διακρίνουσας ανάλυσης του σιταριού για τις επτά περιοχές του σεναρίου A2 της περιόδου 2071-2100. (1) Αγρίνιο, (2) Αλεξανδρούπολη, (3) Άρτα, (4) Καρδίτσα, (5) Μίκρα, (6) Πύργος, (7) Υλίκη

Από τον Πίνακα 3.49 διαπιστώθηκε ότι από τα τρία κλιματικά μοντέλα (HadRM3, DMI-HIRHAM, SMHI) μόνο τα δύο τελευταία έπαιξαν ρόλο στο διαχωρισμό των περιοχών και στις δύο περιόδους. Συνεπώς και κατ' αντιστοιχία με τη διαδικασία που ακολουθήθηκε και στις προηγούμενες περιπτώσεις, το εύρος της διαφοροποίησης των αποδόσεων σιταριού με βάση τα επιλεγμένα μοντέλα SMHI και DMI-HIRHAM, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.58.



Εικόνα 3.58: Σχηματική απεικόνιση των ποσοστιαίων μεταβολών στις αποδόσεις σιταριού κατά τη σύγκριση των περιόδων 1961-1990 και 2071-2100 για το σενάριο A2 χρησιμοποιώντας τα μοντέλα SMHI και DMI-HIRHAM

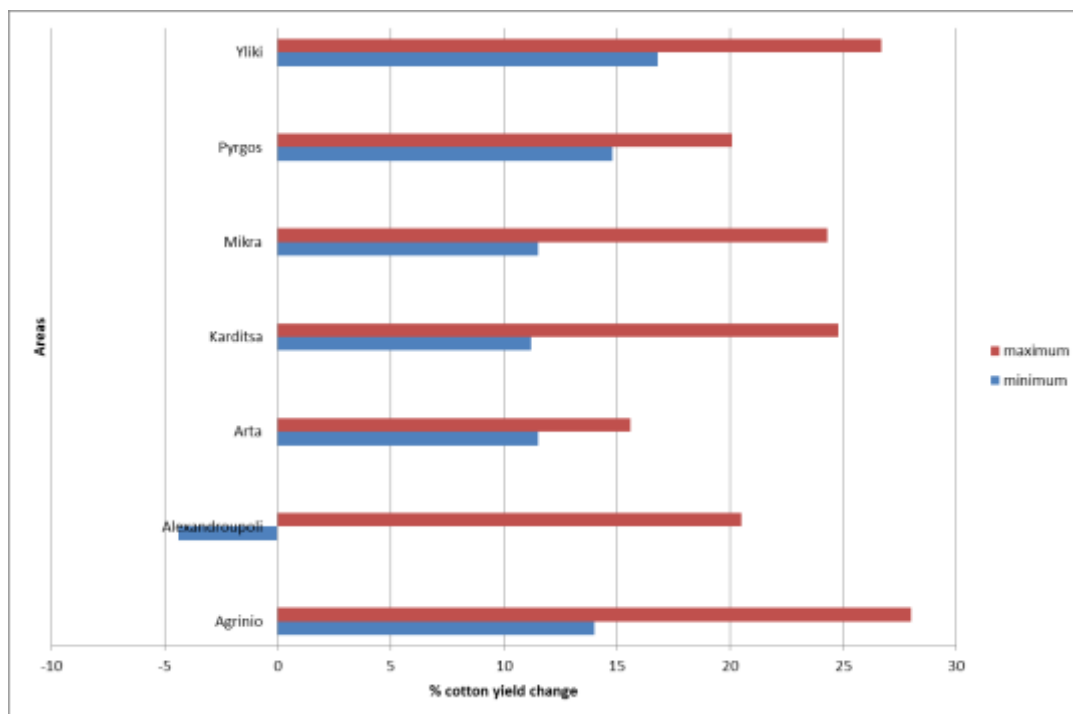
Από την Εικόνα 3.58 προέκυψε ότι σε όλες τις περιοχές προέκυψαν θετικές μεταβολές στις αποδόσεις σιταριού. Η μικρότερη ελάχιστη μεταβολή παρατηρήθηκε στην Άρτα (+19%) ενώ η μεγαλύτερη στην Καρδίτσα (+58%). Ομοίως η μικρότερη μέγιστη μεταβολή παρατηρήθηκε στο Αγρίνιο (+27%) και η μεγαλύτερη και πάλι στην Καρδίτσα όπου ξεπέρασε το 60%. Τέλος οι περιοχές με τη μικρότερη διαφορά μεταξύ ελάχιστης και μέγιστης μεταβολής ήταν η Υλίκη και το Αγρίνιο.

3.4.3 Σενάριο B2

Ομοίως με το μοντέλο A2, έτσι και το B2 προέκυψε από το πρόγραμμα PRUDENCE, συνεπώς αναλύθηκε για τις χρονικές περιόδους 1961-1990 και 2071-2100.

3.4.3.α Βαμβάκι

Στην περίπτωση του βαμβακιού για το σενάριο B2 προέκυψε ότι κανένα μοντέλο δεν συμμετείχε στη σταδιακή διακρίνουσα ανάλυση. Αυτό σημαίνει ότι, όπως και στην αντίστοιχη περίπτωση του σεναρίου A2, η εκτίμηση της μεταβολής της απόδοσης έγινε λαμβάνοντας υπόψη και τα τρία κλιματικά μοντέλα.



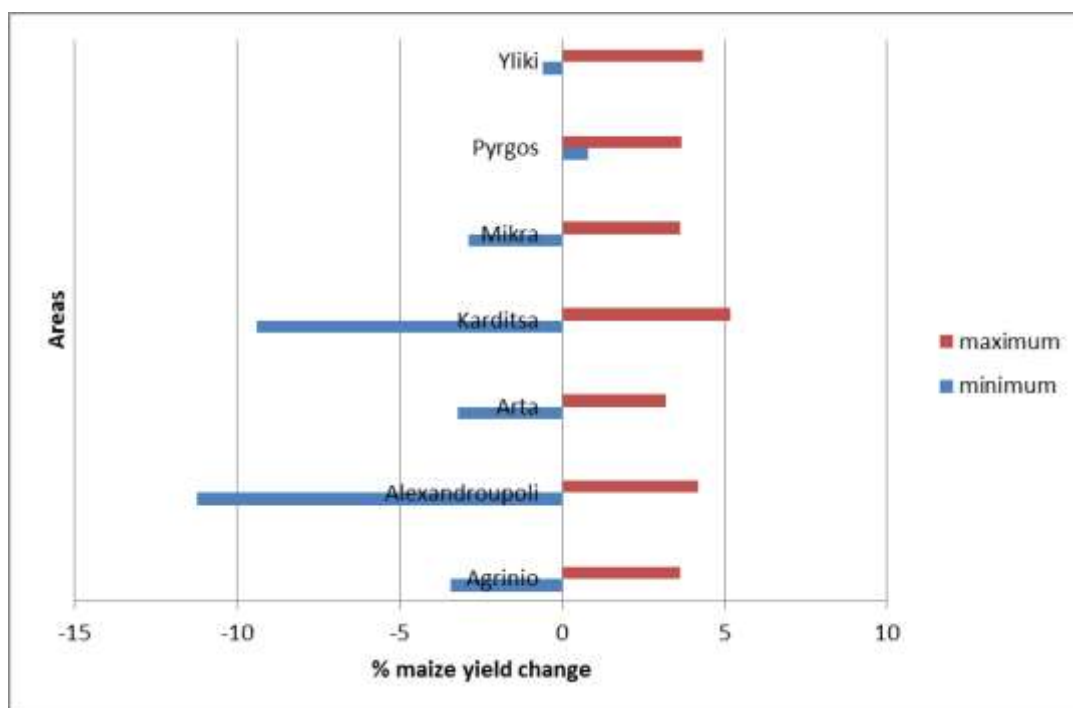
Εικόνα 3.59: Σχηματική απεικόνιση των ποσοστιαίων μεταβολών στις αποδόσεις βαμβακιού κατά τη σύγκριση των περιόδων 1961-1990 και 2071-2100 για το σενάριο B2 χρησιμοποιώντας και τα τρία μοντέλα

Από την Εικόνα 3.59 προέκυψε ότι όλες οι προς εξέταση περιοχές σημείωσαν αυξήσεις στις αποδόσεις. Οι μεγαλύτερες ελάχιστες μεταβολές ήταν μεγαλύτερες από

10% σε όλες τις περιοχές με εξαίρεση την Αλεξανδρούπολη όπου ήταν -4,4%. Επίσης οι μέγιστες μεταβολές ήταν μεγαλύτερες από 20% με εξαίρεση την Άρτα όπου ήταν περίπου 15%. Σε γενικές γραμμές επομένως η επίδραση του σεναρίου B2 είχε θετικές επιδράσεις σε όλες τις περιοχές.

3.4.3.β Αραβόσιτος

Όπως και στην περίπτωση του βαμβακιού, έτσι και στον αραβόσιτο κανένα κλιματικό μοντέλο δεν συμμετείχε στη σταδιακή διακρίνουσα ανάλυση. Αυτό σημαίνει ότι η εκτίμηση της μεταβολής της απόδοσης έγινε λαμβάνοντας υπόψη το σύνολο των μοντέλων.



Εικόνα 3.60: Σχηματική απεικόνιση των ποσοστιαίων μεταβολών στις αποδόσεις αραβόσιτου κατά τη σύγκριση των περιόδων 1961-1990 και 2071-2100 για το σενάριο B2 χρησιμοποιώντας και τα τρία μοντέλα

Από την ανάλυση του εύρους των αποδόσεων προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα. Με εξαίρεση την περιοχή του Πύργου όπου τόσο η μέγιστη όσο και η ελάχιστη μεταβολή είχαν θετικά πρόσημα, σε όλες τις υπόλοιπες περιοχές η ελάχιστη μεταβολή ήταν αρνητική ενώ η μέγιστη ήταν θετική. Οι περιοχές με το μεγαλύτερο

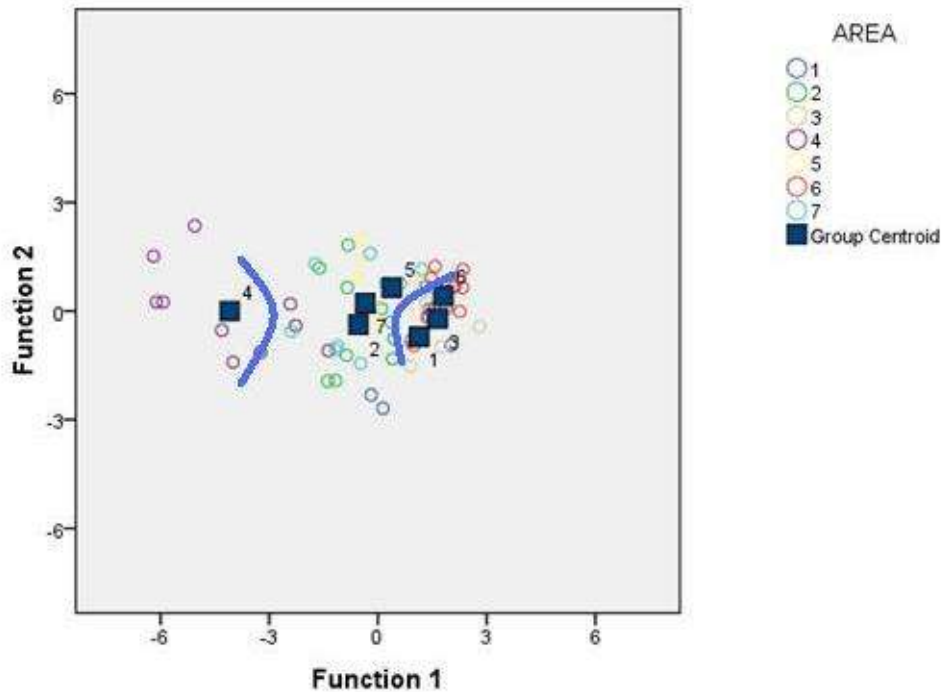
εύρος ελάχιστης-μέγιστης μεταβολής ήταν η Καρδίτσα με την Αλεξανδρούπολη, λόγω των μεγάλων αρνητικών τιμών ελάχιστης μεταβολής (-9% και -11% αντίστοιχα). Στο Αγρίνιο, στην Άρτα και στην Μίκρα η εκτίμηση ήταν από -3% έως +3% περίπου.

3.4.3.γ Σιτάρι

Στην περίπτωση του σεναρίου B2 για το σιτάρι, οι τιμές των τυποποιημένων συντελεστών (standardized coefficients) που προέκυψαν από την εφαρμογή της σταδιακής διακρίνουσας ανάλυσης, οι οποίοι σε κάθε εξίσωση καθόρισαν και τη βαρύτητα της διαχωριστικής ικανότητας των ανεξάρτητων μεταβλητών, ήταν οι αναγραφόμενες στον πίνακα 3.50.

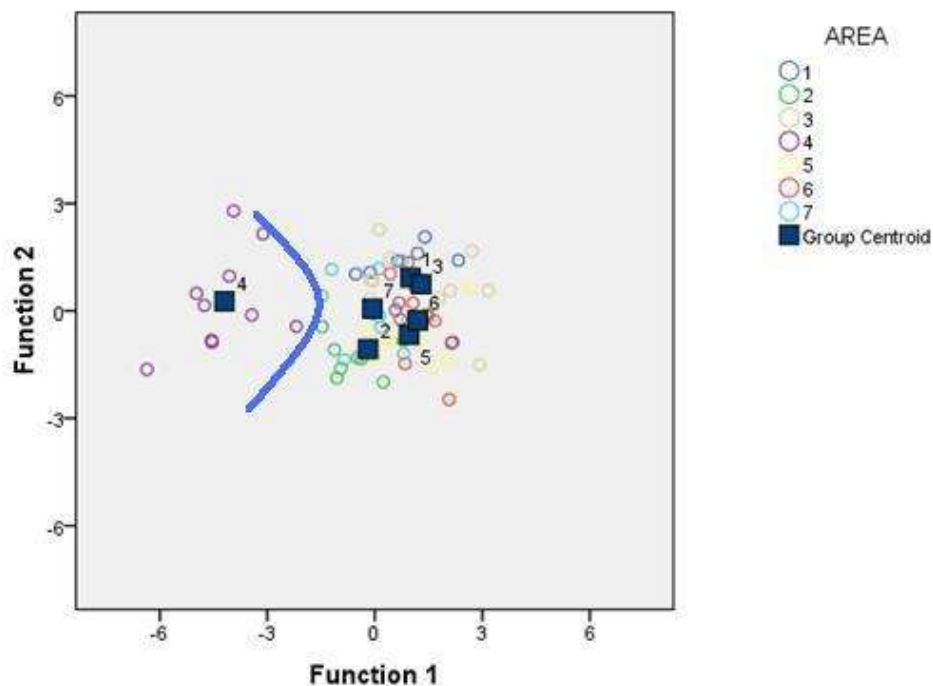
Πίνακας 3.50: Συντελεστές σταδιακής διακρίνουσας ανάλυσης στην καλλιέργεια σιταριού του σεναρίου B2. Με κίτρινη σκίαση υποδεικνύονται τα κλιματικά μοντέλα που παρουσιάζουν τις υψηλότερες απόλυτες τιμές συντελεστών στις δύο χρονικές περιόδους.

Models	1961-1990		2071-2100	
	Standardized		Standardized	
	func1	func2	func1	func2
HadRM3	0,634	0,781	0,702	-0,280
DMI-				
HIRHAM			-0,103	0,956
SMHI	0,844	-0,546	0,840	-0,009



Εικόνα 3.61: Σχηματική απεικόνιση των δύο εξισώσεων σταδιακής διακρίνουσας ανάλυσης του σιταριού για τις επτά περιοχές του σεναρίου Β2 της περιόδου 1961-1990. (1) Αγρίνιο, (2) Αλεξανδρούπολη, (3) Άρτα, (4) Καρδίτσα, (5) Μίκρα, (6) Πύργος, (7) Υλίκη.

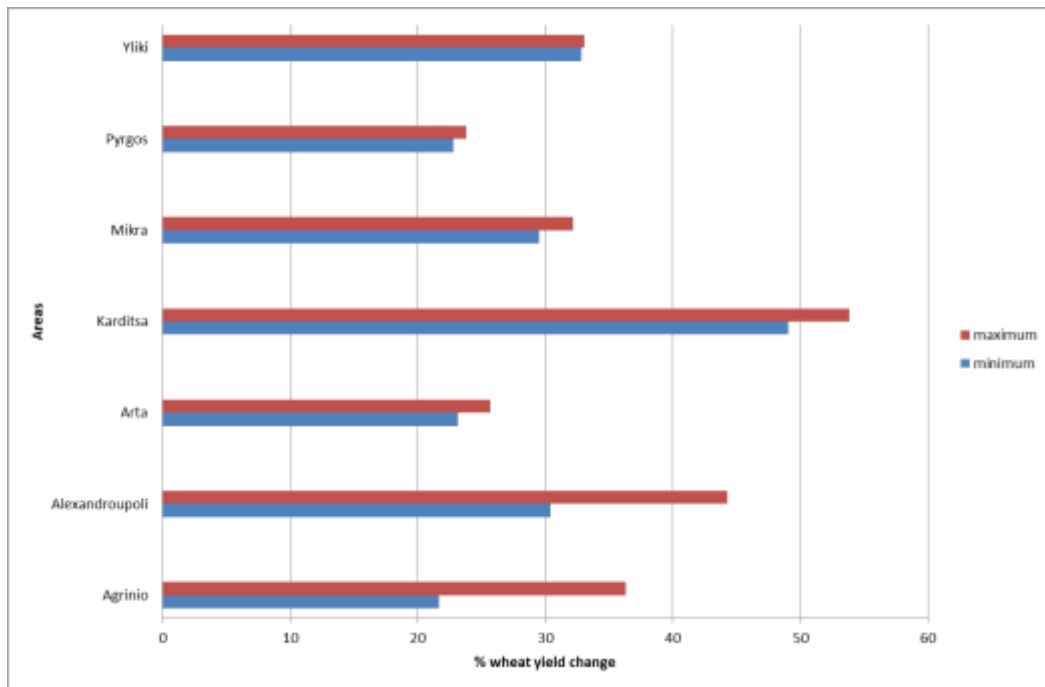
Για την περίοδο 1961-1990, η πρώτη εξίσωση (func 1) ερμήνευσε το 94,9% της διακύμανσης των προσομοιωμένων αποδόσεων βαμβακιού ανά περιοχή ενώ η δεύτερη εξίσωση (func 2) το 5,1%. Από την πρώτη εξίσωση το μοντέλο με τη μεγαλύτερη ικανότητα διάκρισης ήταν το HadRM3 και ακολούθησε το SMHI (Πιν. 3.50). Η πρώτη εξίσωση ήταν υπεύθυνη για τον διαχωρισμό της Καρδίτσας (4) από τις υπόλοιπες περιοχές. Επίσης ήταν υπεύθυνη για την ομαδοποίηση της Αλεξανδρούπολης (2), Μίκρας (5) και Υλίκης (7), όπως και για την ομαδοποίηση του Αγρινίου (1), Άρτας (3) και Πύργου (6). Η δεύτερη εξίσωση δεν μετέβαλε τους διαχωρισμούς των περιοχών όπως διαμορφώθηκαν από την πρώτη (Εικ. 3.61).



Εικόνα 3.62: Σχηματική απεικόνιση των δύο εξισώσεων σταδιακής διακρίνουσας ανάλυσης του σιταριού για τις επτά περιοχές του σεναρίου B2 της περιόδου 2071-2100. (1) Αγρίνιο, (2) Αλεξανδρούπολη, (3) Άρτα, (4) Καρδίτσα, (5) Μίκρα, (6) Πύργος, (7) Υλίκη

Για την περίοδο 2071-2100, η πρώτη εξίσωση (func 1) ερμήνευσε το 87,3% της διακύμανσης των προσομοιωμένων αποδόσεων αραβοσίτου ανά περιοχή ενώ η δεύτερη εξίσωση (func 2) το 12,1%. Από την πρώτη εξίσωση τα μοντέλα με τη μεγαλύτερη ικανότητα διάκρισης ήταν τα SMHI, HadRM3 και ακολούθησε το DMI-HIRHAM (Πίν. 3.50). Η πρώτη εξίσωση ήταν υπεύθυνη για την διαφοροποίηση της Καρδίτσας (4) από τις υπόλοιπες περιοχές. Η δεύτερη εξίσωση συνέβαλε στην περαιτέρω ομαδοποίηση των υπολοίπων περιοχών δηλαδή Αγρίνιο (1), Αλεξανδρούπολη (2), Άρτα (3), Μίκρα (5), Πύργος (6) και Υλίκη (7) (Εικ. 3.62).

Από τον Πίνακα 3.50 διαπιστώθηκε ότι από τα τρία κλιματικά μοντέλα (HadRM3, DMI-HIRHAM, SMHI) μόνο τα SMHI και HadRM3 έπαιξαν ρόλο στο διαχωρισμό των περιοχών και στις δύο περιόδους. Συνεπώς και κατ' αντιστοιχία με τη διαδικασία που ακολουθήθηκε και στις προηγούμενες περιπτώσεις, το εύρος της διαφοροποίησης των αποδόσεων σιταριού με βάση τα επιλεγμένα μοντέλα SMHI και HadRM3, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.63.



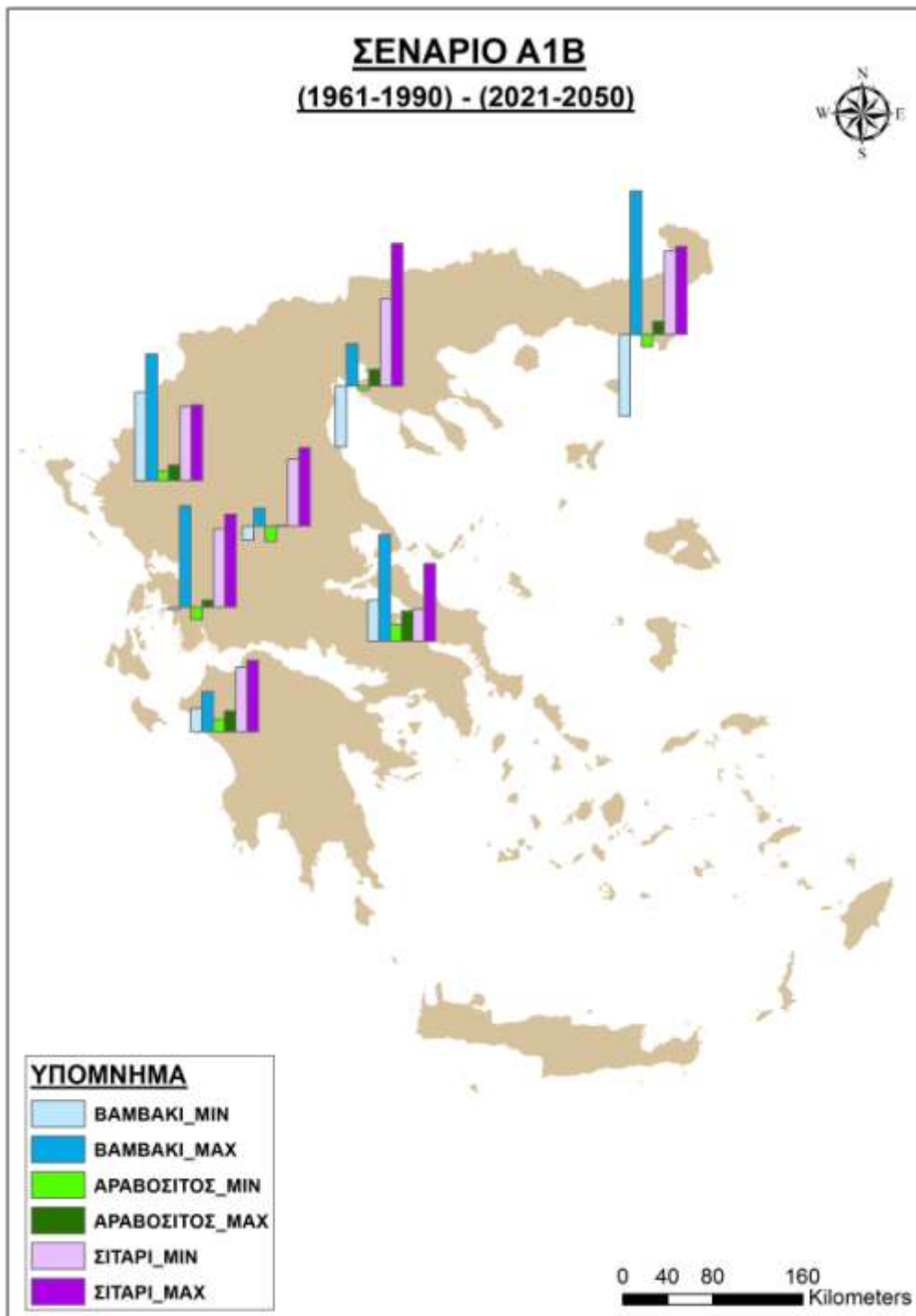
Εικόνα 3.63: Σχηματική απεικόνιση των ποσοστιαίων μεταβολών στις αποδόσεις σιταριού κατά τη σύγκριση των περιόδων 1961-1990 και 2071-2100 για το σενάριο B2 χρησιμοποιώντας τα μοντέλα SMHI και HadRM3

Από την Εικόνα 3.63 ξεχώρισε η Καρδίτσα για τις υψηλότερες θετικές εκτιμήσεις τόσο στην ελάχιστη όσο και στη μέγιστη μεταβολή της απόδοσης. Προέκυψε ότι και στις δύο περιπτώσεις η αύξηση ήταν άνω του 40%. Οι υπόλοιπες περιοχές κυμάνθηκαν στα ίδια ποσοστά με χαρακτηριστικό το γεγονός ότι η ελάχιστη μεταβολή ήταν μεγαλύτερη από 20%. Τέλος η Υλίκη και ο Πύργος έδωσαν την μικρότερη διαφορά μεταξύ ελάχιστης και μέγιστης μεταβολής επιδεικνύοντας τη μεγαλύτερη σταθερότητα.

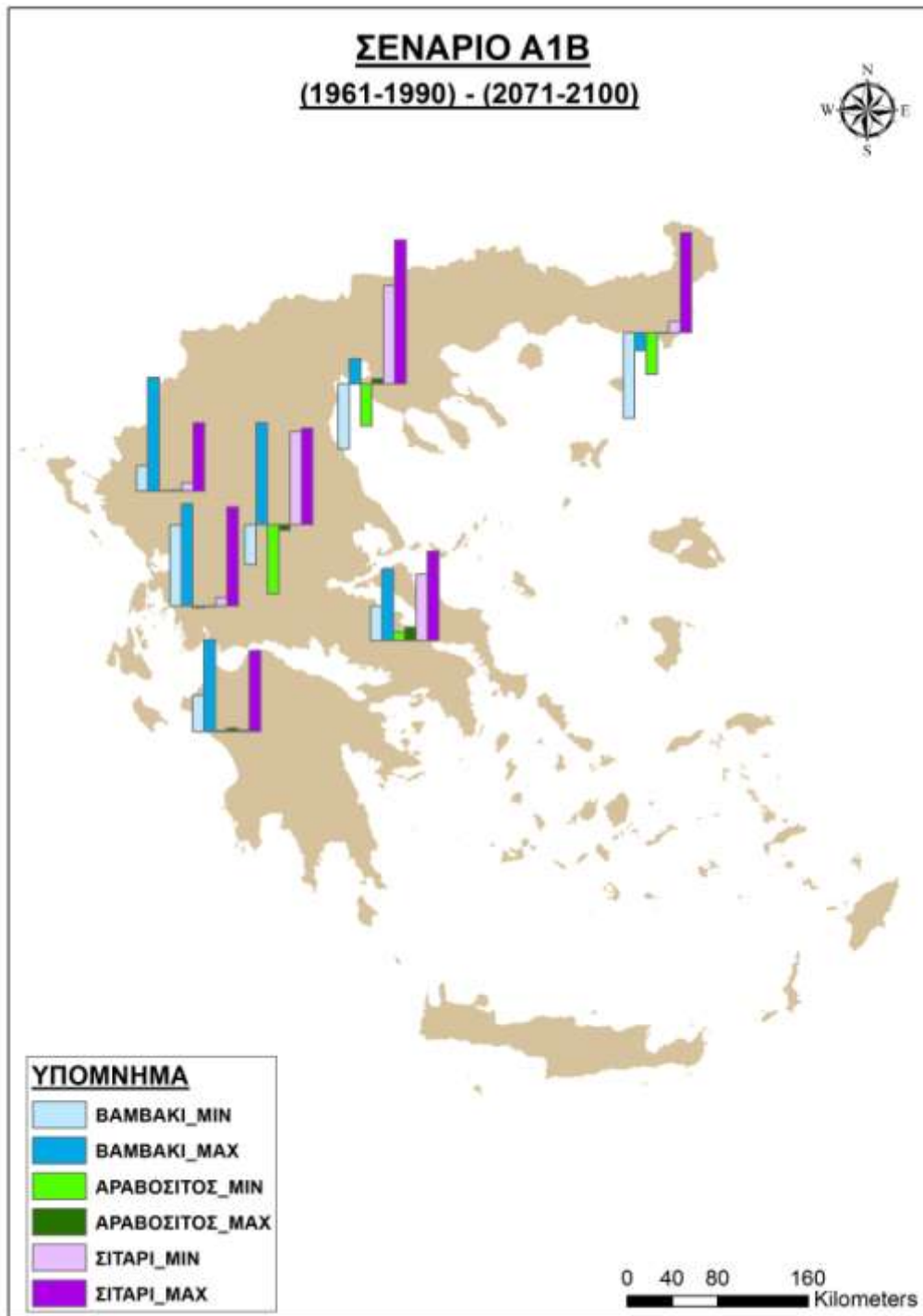
3.5 Χωρική απεικόνιση των αποτελεσμάτων

Σε αρκετές περιπτώσεις ο μεγάλος αριθμός των κλιματικών μοντέλων που χρησιμοποιήθηκαν, ιδιαίτερα για το σενάριο A1B όπου ήταν οκτώ, είχε ως αποτέλεσμα οι αποδόσεις που προέκυπταν να δίνουν συγκεχυμένα συμπεράσματα. Ωστόσο η εφαρμογή μεθόδων πολυμεταβλητής ανάλυσης, όπως η σταδιακή διακρίνουσα ανάλυση, βοήθησε να ερμηνευθεί με κατανοητό τρόπο η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στις καλλιέργειες. Μια σύντομη καταγραφή των αποτελεσμάτων του προηγούμενου κεφαλαίου είναι η κάτωθι.

Αναφορικά με το μεσαίο σενάριο εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου A1B, οι σχετικές με την μεταβολή των αποδόσεων πληροφορίες για τις επτά προς μελέτη περιοχές καταχωρήθηκαν σε ψηφιακούς χάρτες με τη χρήση ΓΠΣ (βλ. Παράγραφο 2.6) διευκολύνοντας την ερμηνεία των αποτελεσμάτων σε σχέση με τον χώρο. Πιο συγκεκριμένα, αποτυπώθηκαν οι μέγιστες (με την ένδειξη MAX) και ελάχιστες (με την ένδειξη MIN) μεταβολές με βάση τους αντίστοιχους πίνακες του προηγούμενου κεφαλαίου, οι οποίες παρουσιάστηκαν με τη μορφή κλιμακωμένων ράβδων ανά περιοχή και για τις τρεις καλλιέργειες. Προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα τα οποία παρουσιάζονται και στις Εικόνες 3.64 και 3.65.



Εικόνα 3.64: Ψηφιακή χارτογραφική απεικόνιση της ελάχιστης και μέγιστης μεταβολής στις αποδόσεις βαμβακιού (BAMBAKI_MIN, BAMBAKI_MAX), αραβοσίτου (ARAΒΟΣΙΤΟΣ_MIN, ARAΒΟΣΙΤΟΣ_MAX) και σιταριού (ΣΙΤΑΡΙ_MIN, ΣΙΤΑΡΙ_MAX) της περιόδου 2021-2050 σε σχέση με την περίοδο 1961-1990 για το σενάριο A1B



Εικόνα 3.65: Ψηφιακή χαρτογραφική απεικόνιση της ελάχιστης και μέγιστης μεταβολής στις αποδόσεις βαμβακιού (BAMBAKI_MIN, BAMBAKI_MAX), αραβοσίτου (ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΣ_MIN, ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΣ_MAX) και σιταριού (ΣΙΤΑΡΙ_MIN, ΣΙΤΑΡΙ_MAX) της περιόδου 2071-2100 σε σχέση με την περίοδο 1961-1990 για το σενάριο A1B

Για την καλλιέργεια βαμβακιού υπήρξε διαφοροποίηση μεταξύ των επτά προς μελέτη περιοχών στις ποσοστιαίες μεταβολές των περιόδων 2021-2050 και 2071-2100 σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1961-1990. Πιο συγκεκριμένα για την περίοδο 2021-2050 (βλ. Εικ. 3.64) προέκυψε ότι για τις περιοχές της Άρτας, Υλίκης, Πύργου η επίπτωση της μεταβολής του κλίματος θα είναι θετική στις αποδόσεις βαμβακιού. Το ίδιο ισχύει σε μεγάλο βαθμό και για το Αγρίνιο ενώ για την Καρδίτσα δεν προβλέπεται σε γενικές γραμμές μεγάλη μεταβολή. Αντίθετα, για τις περιοχές της Μίκρας και της Αλεξανδρούπολης υπάρχει μεγάλη αβεβαιότητα καθώς οι εκτιμήσεις κυμαίνονται από -11% έως +8% και -15% έως +28% αντίστοιχα. Διαπιστώθηκε επομένως ότι οι περιοχές δυτικά της οροσειράς της Πίνδου, δηλαδή Άρτα και Αγρίνιο, που ανήκουν στην κλιματική ζώνη της Δυτικής Ελλάδας, και του Πύργου που ανήκει στη Δυτική Πελοπόννησο ευνοούνται από την κλιματική αλλαγή όπως περιγράφεται από το συγκεκριμένο σενάριο. Κατά την ίδια περίοδο φαίνεται να ευνοείται και η περιοχή της Υλίκης που ανήκει στην Κεντρική Ελλάδα. Προχωρώντας προς το τέλος του αιώνα η τάση αυτή επιβεβαιώνεται και ο διαχωρισμός αυτός γίνεται πιο έντονος. Οι μέγιστες τιμές μεταβολής εντοπίστηκαν στις τρεις περιοχές που βρίσκονται δυτικά της Πίνδου (Άρτα, Αγρίνιο, Πύργος). Καρδίτσα και Μίκρα χαρακτηρίστηκαν από μεγάλο βαθμό αβεβαιότητας λόγω μεγάλου εύρους διαφοράς μεταξύ αρνητικών και θετικών μεταβολών, ενώ στην Αλεξανδρούπολη οι εκτιμήσεις τόσο για τη μέγιστη όσο και για την ελάχιστη μεταβολή ήταν αρνητικές. Τα αποτελέσματα αυτά εξηγούνται καλύτερα αν ανατρέξουμε στην Εικόνα 3.22 όπου περιγράφεται η διαφορά της θερμοκρασίας ανάμεσα στις δύο περιόδους όπου οι τρεις προαναφερόμενες περιοχές (Άρτα, Αγρίνιο, Πύργος) έχουν την μικρότερη αύξηση της θερμοκρασίας. Η μεγαλύτερη μείωση της βροχόπτωσης στις συγκεκριμένες περιοχές (βλ. Εικ. 3.26) αντικρούστηκε από το γεγονός ότι έτσι και αλλιώς στη περίπτωση του βαμβακιού η εκτίμηση πραγματοποιήθηκε σε καθεστώς πλήρους άρδευσης και ότι το ύψος της βροχόπτωσης σε αυτές τις περιοχές είναι ψηλότερο (Πιν. 2.5). Επίσης η μεγάλη αβεβαιότητα των περιοχών της Μίκρας (Κεντρική Μακεδονία) και Αλεξανδρούπολης (Ανατολική Μακεδονία Θράκη) πιθανόν να οφείλεται στις χαμηλότερες θερμοκρασίες σε σύγκριση με τις υπόλοιπες περιοχές, προσεγγίζοντας το ανώτατο γεωγραφικό όριο καλλιέργειας του βαμβακιού από θερμικής πλευράς.

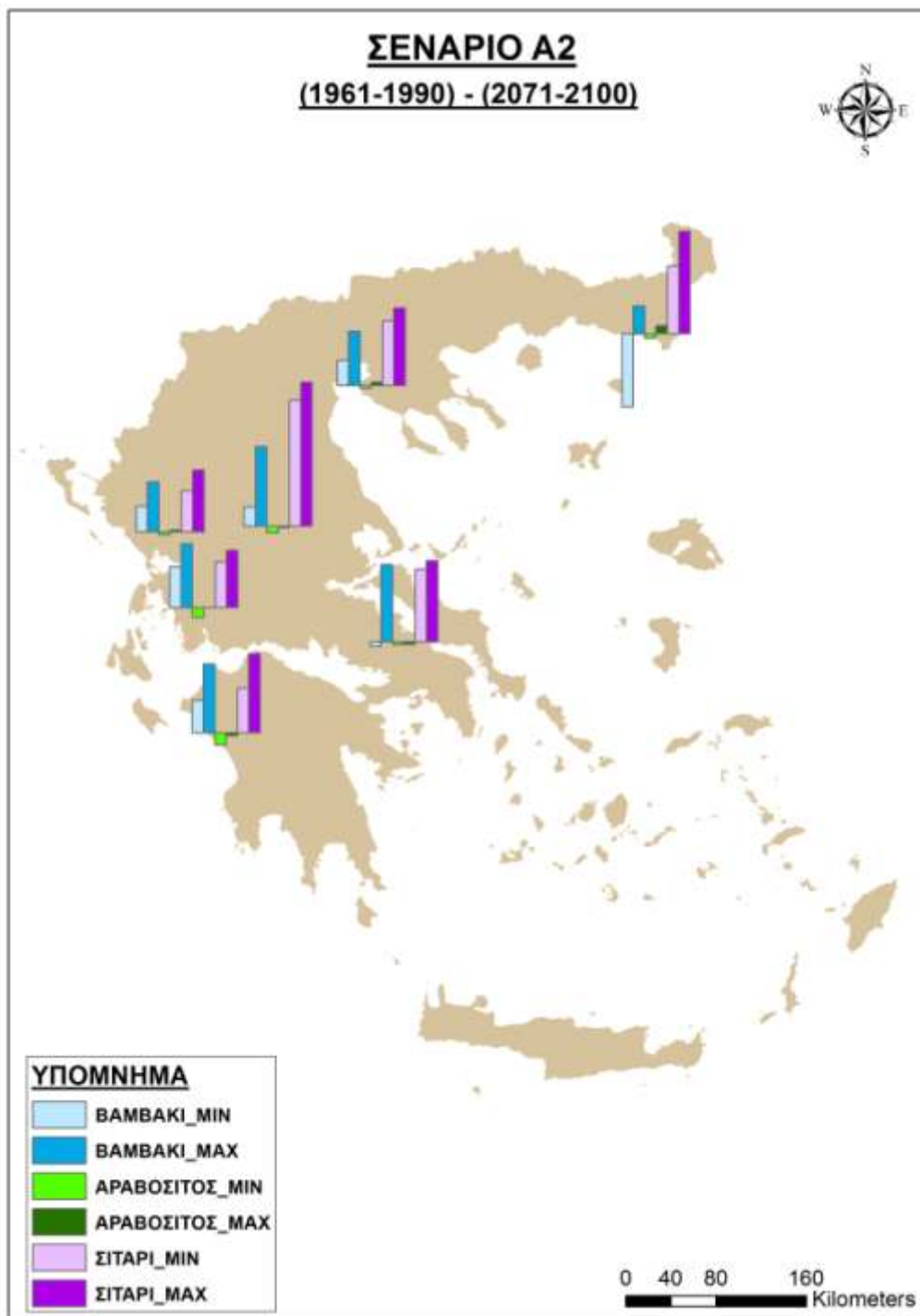
Σχετικά με τον αραβόσιτο για το ίδιο σενάριο διαπιστώθηκε ότι υπήρξε διαφοροποίηση μεταξύ των περιοχών αναφορικά με την εκτίμηση των αποδόσεων. Ωστόσο οι διαφοροποιήσεις αυτές κυμάνθηκαν σε ποσοστιαίες διαφορές πολύ χαμηλότερες από αυτές του βαμβακιού. Πιο συγκεκριμένα, περισσότερο ευνοημένες περιοχές για την περίοδο 2021-2050 εμφανίστηκαν η Υλίκη, Πύργος και Άρτα καθώς τόσο η ελάχιστη όσο και η μέγιστη μεταβολή είχαν θετικές τιμές (Εικ. 3.64). Οι ποσοστιαίες διαφορές συγκριτικά με την περίοδο 1961-1990 δεν ξεπέρασαν το 5%. Οι υπόλοιπες περιοχές χαρακτηρίστηκαν από σχετική αβεβαιότητα καθώς η μέγιστη μεταβολή ήταν θετική ενώ η ελάχιστη είχε αρνητικό πρόσημο. Έτσι η Μίκρα και η Αλεξανδρούπολη είχαν θετική μέγιστη μεταβολή (+3,2% και +2,5% αντίστοιχα) και οριακά αρνητική ελάχιστη (-0,7% και -2,3% αντίστοιχα), ενώ στην Καρδίτσα και στο Αγρίνιο υπερτέρησαν οι αρνητικές τιμές της ελάχιστης μεταβολής έναντι των θετικών τιμών της μέγιστης. Η αρνητική τιμή της ελάχιστης μεταβολής της Καρδίτσας ήταν η μεγαλύτερη από όλες τις περιοχές και αυτό πιθανόν να οφείλεται στην μεγαλύτερη άνοδο της θερμοκρασίας (>2,6°C) που έδωσε το μοντέλο C4I που λήφθηκε υπόψη για την τελική εκτίμηση σε σχέση με τις υπόλοιπες περιοχές (βλ. Εικ. 3.22).

Η κατάσταση διαφοροποιήθηκε κατά τη μελέτη της περιόδου 2071-2100 καθώς περιορίστηκαν οι θετικές τιμές της μέγιστης μεταβολής ενώ αυξήθηκαν οι αρνητικές τιμές της ελάχιστης. Υλίκη, Πύργος και Άρτα εμφάνισαν οριακές θετικές εκτιμήσεις ενώ το Αγρίνιο οριακά αρνητικές. Καρδίτσα και Αλεξανδρούπολη είχαν τις αρνητικότερες τιμές ελάχιστης μεταβολής και ακολούθησε η Μίκρα. Εν κατακλείδι, για την περίπτωση του αραβόσιτου στο σενάριο A1B η εκτίμηση των αποδόσεων μεταβλήθηκε προς το χειρότερο όσο μεταφερόμασταν προς το τέλος του αιώνα για όλες τις περιοχές. Ωστόσο οι νοτιότερες περιοχές της Υλίκης και του Πύργου, όπως και η Άρτα φαίνεται να έχουν ένα συγκριτικό πλεονέκτημα.

Σε αντίθεση με τις προηγούμενες καλλιέργειες, στο σιτάρι δεν υπήρξαν αρνητικές τιμές στις ποσοστιαίες διαφορές των εκτιμήσεων. Τόσο για την περίοδο 2021-2050 όσο και για την 2071-2100 όλες οι περιοχές εκτιμήθηκε ότι θα αυξήσουν τις αποδόσεις με αυτήν της Μίκρας να ξεχωρίζει για τις θετικότερες εκτιμήσεις. Παρατηρώντας με μεγαλύτερη προσοχή τις ποσοστιαίες διαφοροποιήσεις στις αποδόσεις μεταξύ των δύο περιόδων (Εικ. 3.64 και 3.65) προέκυψε ένα ενδιαφέρον συμπέρασμα. Ενώ για την περίοδο 2021-2050 οι διαφορές μεταξύ ελάχιστης και

μέγιστης μεταβολής ήταν πολύ μικρές, για την περίοδο 2071-2100 οι διαφορές αυτές ήταν πολύ μεγαλύτερες αυξάνοντας το ποσοστό αβεβαιότητας για τις αποδόσεις. Εξαίρεση αποτέλεσαν οι περιοχές της Καρδίτσας και της Υλίκης, όπου οι διαφορές αυτές ήταν οι μικρότερες κατατάσσοντάς τις στις πιο σταθερές αναφορικά με την βεβαιότητα του μεγέθους της αύξησης. Και οι δύο περιοχές ανήκουν στην κλιματική ζώνη της Κεντρικής Ελλάδας.

Αναφορικά με το σενάριο A2 και το πώς θα επηρεάσει τις αποδόσεις των αροτραίων καλλιεργειών στο τέλος του αιώνα σε σύγκριση με την περίοδο 1961-1990 προέκυψαν εν συντομία τα εξής συμπεράσματα, τα οποία αποτυπώνονται στην Εικόνα 3.66.



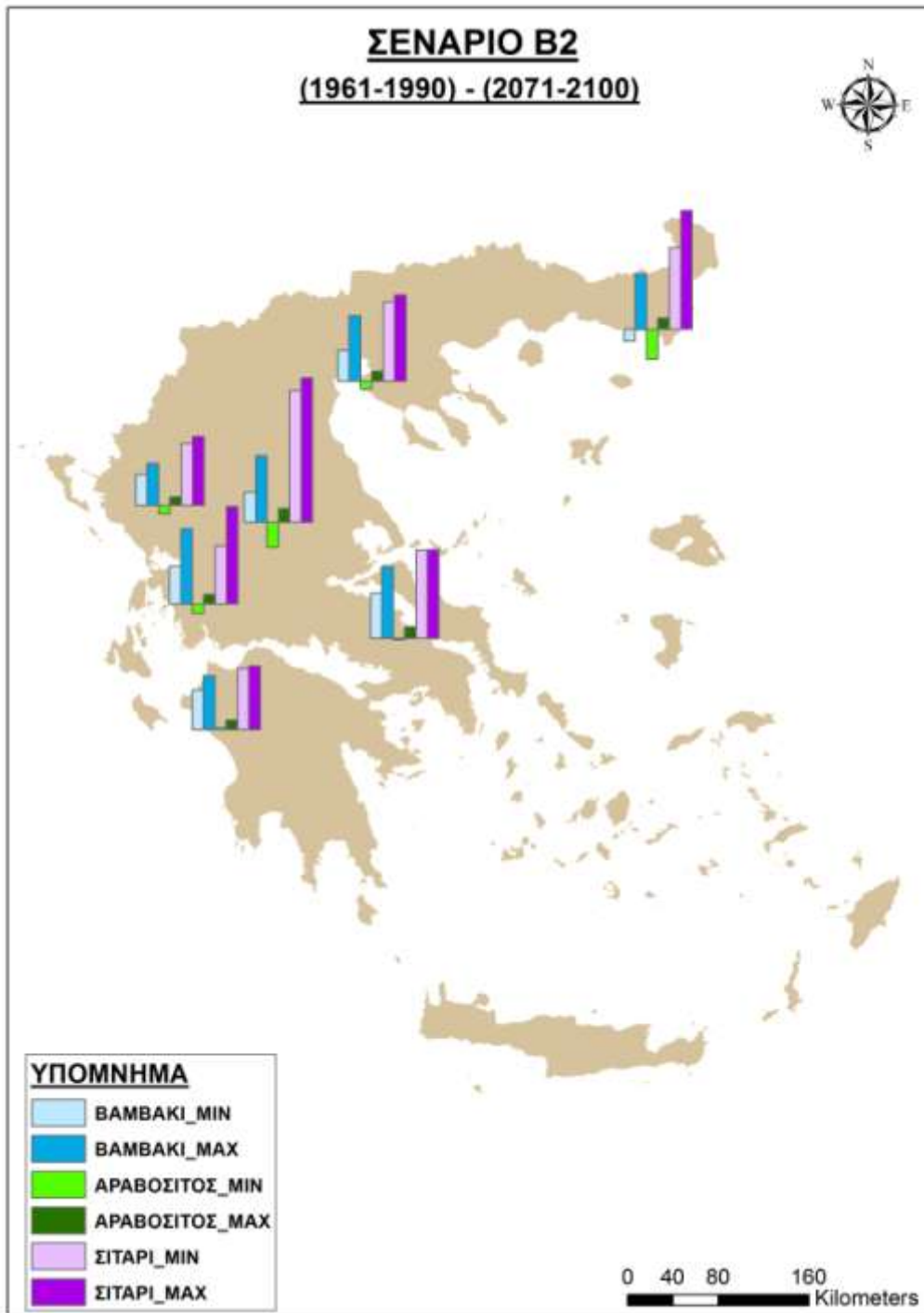
Εικόνα 3.66: Ψηφιακή χαρτογραφική απεικόνιση της ελάχιστης και μέγιστης μεταβολής στις αποδόσεις βαμβακιού (BAMBAKI_MIN, BAMBAKI_MAX), αραβοσίτου (ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΣ_MIN, ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΣ_MAX) και σιταριού (ΣΙΤΑΡΙ_MIN, ΣΙΤΑΡΙ_MAX) της περιόδου 2071-2100 σε σχέση με την περίοδο 1961-1990 για το σενάριο A2

Για το βαμβάκι, σε όλες σχεδόν τις περιοχές τόσο για τις ανώτατες όσο και για τις κατώτατες τιμές εκτιμήθηκε ότι η επίδραση της κλιματικής αλλαγής θα είναι θετική (βλ. Εικ. 3.66). Η ανώτατη τιμή στην Καρδίτσα, Υλίκη, Πύργο και Αγρίνιο ήταν ίση ή μεγαλύτερη από 30%, ενώ σε Μίκρα και Άρτα ήταν στο 25%. Η κατώτατη τιμή ήταν οριακά αρνητική στην Υλίκη ενώ ξεπέρασε το -30% στην Αλεξανδρούπολη. Σε αντίθεση με το σενάριο A1B, δεν φάνηκε κάποιο πλεονέκτημα των περιοχών δυτικά της οροσειράς της Πίνδου.

Για τον αραβόσιτο το εύρος των μεταβολών ήταν μικρό και κυμάνθηκε από το +3,7% στην Αλεξανδρούπολη έως το -5,7% στον Πύργο. Σε αντίθεση με το προηγούμενο σενάριο η Υλίκη και ο Πύργος είχαν αρνητικές ανώτατες και κατώτατες τιμές και το ίδιο επίσης συνέβη και με την Καρδίτσα και με το Αγρίνιο. Από την άλλη, οι βορειότερες περιοχές όπως η Αλεξανδρούπολη, η Μίκρα και η Άρτα εμφάνισαν ένα μεγαλύτερο βαθμό αβεβαιότητας καθώς εμφάνισαν θετικές ανώτατες τιμές και αρνητικές κατώτατες.

Αντίστοιχα για το σιτάρι όπως και στο προηγούμενο σενάριο παρατηρήθηκε άνοδος των αποδόσεων σε όλες τις περιοχές. Αυτές που ξεχώρισαν λίγο περισσότερο σε σχέση με τις υπόλοιπες ήταν η Καρδίτσα, η Υλίκη και η Αλεξανδρούπολη.

Ομοίως με τις προηγούμενες περιπτώσεις, έτσι και στο σενάριο B2 τα συγκριτικά αποτελέσματα της μεταβολής των αποδόσεων αποτυπώθηκαν χωρικά όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.67.



Εικόνα 3.67: Ψηφιακή χαρτογραφική απεικόνιση της ελάχιστης και μέγιστης μεταβολής στις αποδόσεις βαμβακιού (BAMBAKI_MIN, BAMBAKI_MAX), αραβοσίτου (ARABOSITOS_MIN, ARABOSITOS_MAX) και σιταριού (SITARI_MIN, SITARI_MAX) της περιόδου 2071-2100 σε σχέση με την περίοδο 1961-1990 για το σενάριο B2

Όσον αφορά το σενάριο B2 προέκυψε ότι για την καλλιέργεια βαμβακιού όλες οι περιοχές ευνοούνται καθώς οι κατώτατες τιμές είναι μεγαλύτερες του 10% ενώ οι ανώτατες σε περιπτώσεις όπως του Αγρινίου και της Υλίκης είναι μεγαλύτερες του 25%. Εξαιρέση αποτελεί η περιοχή της Αλεξανδρούπολης καθώς όπου η κατώτατη φτάνει το -4,40%.

Αναφορικά με την καλλιέργεια αραβοσίτου διαπιστώθηκε σχετική διαφοροποίηση των αποδόσεων συγκριτικά με τα προηγούμενα σενάρια. Καταρχήν και σε αυτή την περίπτωση το εύρος των αποδόσεων μεταξύ ανώτατης και κατώτατης τιμής παρέμεινα μικρό σε όλες σχεδόν τις περιοχές με εξαίρεση την Αλεξανδρούπολη (-11% έως +4%) και την Καρδίτσα (-9% έως +5%). Η διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι ενώ στο A1B και στο A2 οι ανώτατες τιμές πλησιάζουν το μηδέν ή σε κάποιες περιπτώσεις έχουν αρνητικό πρόσημο, στην περίπτωση του B2 οι αντίστοιχες τιμές ξεπερνούν το +3%, αυξάνοντας το εύρος των εκτιμώμενων αποδόσεων.

Τέλος για το σιτάρι παρατηρήθηκε αύξηση των εκτιμώμενων αποδόσεων. Η ουσιαστική διαφορά με τα σενάρια A1B και A2 είναι η αύξηση των κατώτατων τιμών για το B2, σε όλες σχεδόν τις περιοχές. Επιπλέον σε όλες τις περιοχές οι κατώτατες τιμές εκτίμησης προσέγγισαν τις ανώτατες σε μεγαλύτερο βαθμό συγκριτικά με τα δύο άλλα σενάρια. Ειδικότερα για τις περιοχές της δυτικής Ελλάδας (Άρτα, Αγρίνιο και Πύργος) και της Αλεξανδρούπολης οι διαφορές αυτές ήταν πολύ μικρότερες σε σχέση με το σενάριο A1B αυξάνοντας τον βαθμό βεβαιότητας αναφορικά με το μέγεθος της αυξητικής τάσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1 Γενικά Συμπεράσματα

Η έρευνα της επίδρασης της κλιματικής αλλαγής στις τρεις αροτραίες καλλιέργειες (βαμβάκι, αραβόσιτος, σιτάρι) με τη χρήση του προτύπου ανάπτυξης των φυτών AquaCrop ήταν μια πολυσύνθετη διαδικασία που συνδύασε μεταβαλλόμενες κλιματικές παραμέτρους, με περιγραφικές παραμέτρους φυσιολογίας και μορφολογίας των φυτών, εδαφολογικά χαρακτηριστικά και καλλιεργητικές μεθόδους με βασικότερη την άρδευση. Πραγματοποιήθηκε με την παραδοχή της εφαρμογής των υφιστάμενων καλλιεργητικών πρακτικών, όπως είναι η πλήρης άρδευση σε βαμβάκι και αραβόσιτο και η ξηρική καλλιέργεια για σιτάρι, η αποφυγή προβλημάτων θρέψης και η διατήρηση των ημερομηνιών σποράς. Τα αποτελέσματα έδειξαν αναλόγως με την καλλιέργεια και την περιοχή, ότι η επίδραση της μεταβολής του κλίματος μπορεί να έχει είτε θετικό είτε αρνητικό πρόσημο.

Έτσι, για το βαμβάκι φαίνεται ότι η κλιματική αλλαγή μάλλον θα επιδράσει θετικά στις αποδόσεις με διαφοροποιήσεις όμως ανάλογα με το εξελισσόμενο κλιματικό σενάριο. Σε περίπτωση επικράτησης του σεναρίου A1B, το AquaCrop έδειξε ότι η οροσειρά της Πίνδου θα αποτελέσει διαχωριστικό όριο μεταξύ των πιο ευνοημένων περιοχών της Δυτικής Ελλάδας (Άρτα, Αγρίνιο) και Δυτικής Πελοποννήσου (Πύργος) σε σχέση με τις υπόλοιπες περιοχές που διεξήχθη η έρευνα. Η τάση αυτή γίνεται περισσότερη έντονη προς το τέλος του αιώνα, με τις βορειότερες περιοχές (Μίκρα, Αλεξανδρούπολη και Καρδίτσα) να χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερο ποσοστό αβεβαιότητας (μεγάλη απόκλιση μεταξύ αρνητικών ελάχιστων και θετικών μέγιστων τιμών), ενώ η Υλίκη φαίνεται να εντάσσεται στις πιθανές ευνοημένες περιοχές. Στην περίπτωση επικράτησης του σεναρίου A2, ο προαναφερόμενος διαχωρισμός με βάση την Πίνδο δεν υφίσταται. Η ακόμα μεγαλύτερη αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ σε καθεστώς πλήρους άρδευσης περιορίζει τις συνέπειες των καταπονήσεων όπως είναι η αύξηση της θερμοκρασίας. Σε αυτή την προβολή, η Μίκρα εντάσσεται στο σύνολο των υπολοίπων ευνοημένων περιοχών, ενώ μόνο η Αλεξανδρούπολη εμφάνισε αρνητική ελάχιστη τιμή (-30%). Στην περίπτωση του σεναρίου B2 προέκυψαν θετικότερα

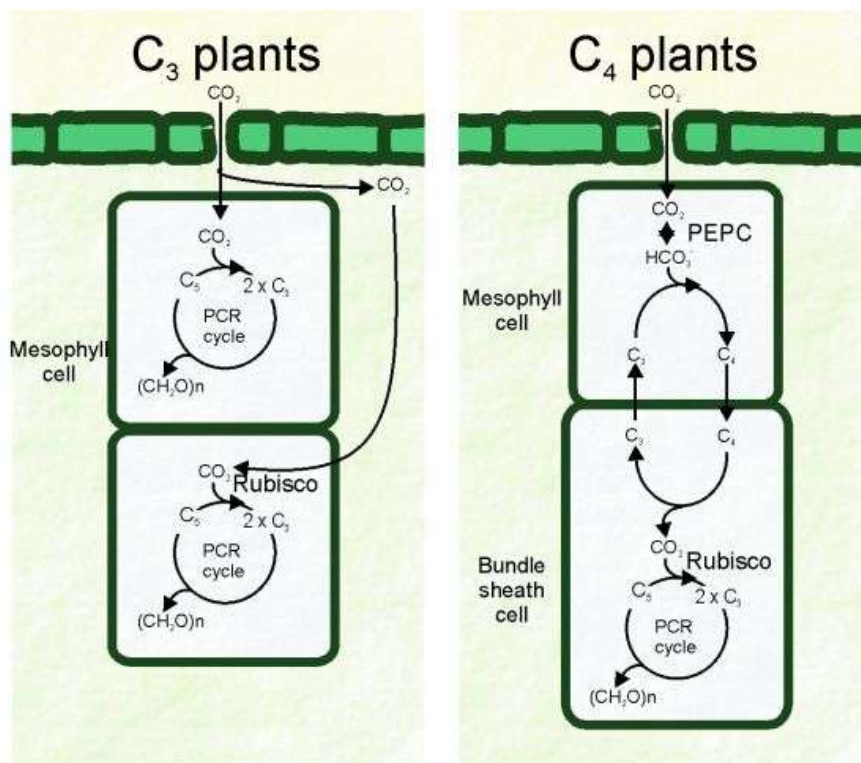
αποτελέσματα για όλες τις περιοχές, ενώ ακόμα και στην Αλεξανδρούπολη η αρνητική ελάχιστη μεταβολή της απόδοσης περιορίστηκε στο -4%.

Ο αραβόσιτος, για το σενάριο A1B, είχε ως χαρακτηριστικό τις μικρές ποσοστιαίες μεταβολές των αποδόσεων, οι οποίες δεν ξεπέρασαν το 5% για την περίοδο 2021-2050. Δεν προέκυψε κάποιος σαφής διαχωρισμός των περιοχών με βάση τις ελάχιστες και μέγιστες τιμές απόδοσης. Η κατάσταση διαφοροποιήθηκε κατά τη μελέτη της περιόδου 2071-2100 καθώς περιορίστηκαν οι θετικές τιμές της μέγιστης μεταβολής ενώ αυξήθηκαν οι αρνητικές απόλυτες τιμές της ελάχιστης κυρίως στις βορειότερες περιοχές της Αλεξανδρούπολης, Μίκρας και Καρδίτσας. Στο σενάριο A2, οι μεταβολές των αποδόσεων κυμάνθηκαν επίσης σε πολύ μικρά ποσοστά. Σε αντίθεση με την προηγούμενη περίπτωση οι προαναφερόμενες βορειότερες περιοχές δεν διαφοροποιήθηκαν αρνητικά. Η περιοχή που σε σχέση με τις υπόλοιπες είχε την μεγαλύτερη πτώση στην ελάχιστη μεταβολή της απόδοσης ήταν ο Πύργος. Συγκριτικά με τα σενάρια A1B και A2, το B2 έδωσε πιο αισιόδοξες εκτιμήσεις για τη μεταβολή των αποδόσεων προς το τέλος του αιώνα. Οι αρνητικές τιμές των μεταβολών των αποδόσεων των βορειότερων προαναφερόμενων περιοχών της Αλεξανδρούπολης, Μίκρας και Καρδίτσας περιορίστηκαν, ενώ παράλληλα σε όλες τις περιοχές αυξήθηκε η τιμή της μέγιστης μεταβολής.

Τέλος για το σιτάρι, σύμφωνα με το σενάριο A1B προέκυψαν σαφή θετικά αποτελέσματα αναφορικά με την επίδραση της κλιματικής αλλαγής για όλες τις περιοχές. Για την περίοδο 2021-2050, πιο ευνοημένες εμφανίστηκαν οι περιοχές της βόρειας Ελλάδας (Μίκρα, Αλεξανδρούπολη) όπως και αυτή του Αγρινίου με εκτιμώμενες αυξήσεις μεγαλύτερες από 15%. Η εικόνα αυτή έχει την τάση ενίσχυσης προς τέλος του αιώνα με τις μέγιστες ποσοστιαίες διαφορές σε σχέση με την περίοδο 1961-1990 να ξεπερνούν το 25% για τη Μίκρα, την Αλεξανδρούπολη, την Καρδίτσα και το Αγρίνιο. Οι αποδόσεις σιταριού επηρεάστηκαν θετικά και στα σενάρια A2 και B2 με την περιοχή της Καρδίτσας να ξεχωρίζει και στις δύο περιπτώσεις για τις μεγαλύτερες αυξήσεις. Η Αλεξανδρούπολη, Μίκρα και Υλίκη ήταν οι περιοχές που ακολούθως είχαν τις μεγαλύτερες θετικές επιδράσεις στις αποδόσεις και στα δύο σενάρια. Συμπερασματικά μπορεί να ειπωθεί ότι και στα δύο σενάρια οι περιοχές ανατολικά της οροσειράς της Πίνδου έδωσαν μεγαλύτερες αυξήσεις σε σχέση με αυτές που βρίσκονται δυτικά.

4.2 Διαφορές φυτών C3-C4 στην κλιματική αλλαγή

Από τα παραπάνω προέκυψε μια σαφής διαφοροποίηση στη μεταβολή των αποδόσεων μεταξύ του αραβοσίτου, ο οποίος εμφάνισε μικρές έως αρνητικές μεταβολές και του βαμβακιού και σιταριού τα οποία έδειξαν θετικότερη προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή με αύξηση των αποδόσεων στις περισσότερες περιπτώσεις. Η διαφορά αυτή δύναται να ερμηνευθεί από το γεγονός ότι ο αραβόσιτος είναι φυτό C4, ενώ το βαμβάκι και το σιτάρι είναι C3. Υπάρχει δηλαδή διαφοροποίηση στη βιοχημική οδό φωτοσυνθετικής ενσωμάτωσης του άνθρακα, καθώς στα C3 φυτά το πρώτο προϊόν της δέσμησης του CO₂ μέσω του κύκλου Calvin και του ενζύμου Rubisco είναι μια ένωση με τρία άτομα άνθρακα (3-φωσφογλυκερινικό οξύ, 3PGA), ενώ στα C4 φυτά το πρώτο προϊόν είναι μια ένωση με τέσσερα άτομα άνθρακα (οξαλοξικό οξύ) (Δροσόπουλος, 1998). Στα C4 φυτά η πρώτη αντίδραση που ενσωματώνει το CO₂ δεν αποτελεί μέρος του κύκλου Calvin αλλά προηγείται του κύκλου, ενώ η αρχική δέσμηση και η τελική απόδοση του CO₂ γίνεται σε διαφορετικά κύτταρα, αρχικά σε αυτά του μεσοφύλλου (mesophyll cells) και μετά σε αυτά του δεσμικού κολεού (bundle sheath cells) με τη συμμετοχή του Rubisco (Lara & Andreo, 2011). Τα κύτταρα του δεσμικού κολεού διαφοροποιούνται σε βιοχημικό εξοπλισμό από τα κύτταρα του μεσόφυλλου. Στην πρώτη αντίδραση, που λαμβάνει χώρα στο μεσόφυλλο, το CO₂ ενσωματώνεται με τη μορφή μιας καρβοξυλομάδας στο μόριο-δέκτη και παράγεται ως πρώτο προϊόν, ένα μόριο C4 δικαρβοξυλικού οξέος, το οξαλικό οξύ. Την αντίδραση αυτή καταλύει το ένζυμο κλειδί της C4 οδού, PEPC. Οι C4 μεταβολίτες που σχηματίζονται στην πρώτη φάση μεταφέρονται μέσω πλασμοδεσμών στα κύτταρα δεσμικού κολεού, όπου αποκαρβοξυλιώνονται παράγοντας πυροσταφυλικό οξύ και CO₂ το οποίο απελευθερώνεται. Το CO₂ επαναδεσμεύεται από το ένζυμο Rubisco και μεταβολίζεται πλέον μέσω της κλασσικής C3 οδού (Αϊβαλάκης κ.ά, 2005).

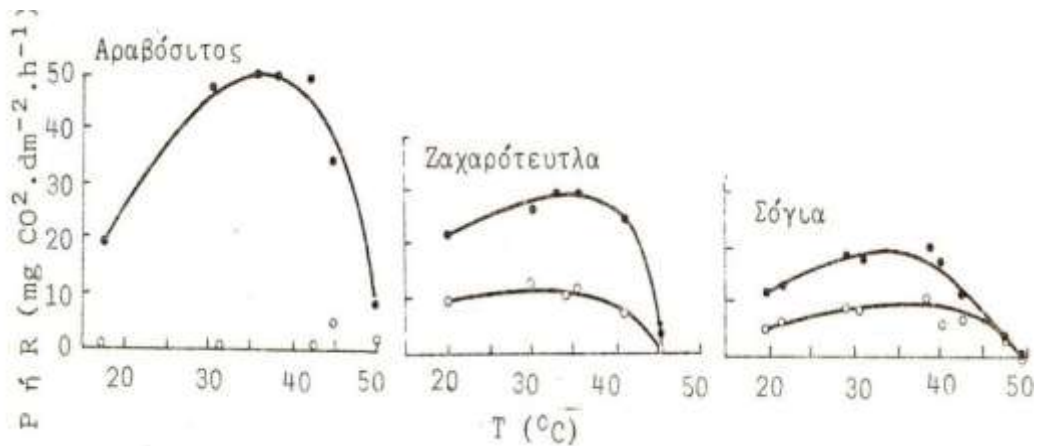


Εικόνα 4.5: Σχηματική απεικόνιση του φωτοσυνθετικού μεταβολισμού του CO₂ για τα C₃ και C₄ φυτά (πηγή: Lara & Andreo, 2011).

Η βιοχημική διαδρομή που ακολουθούν τα φυτά C₄ επιτρέπει να συμβεί κορεσμός φωτοσυνθετικής δραστηριότητας σε πολύ χαμηλότερες συγκεντρώσεις του CO₂ από αυτές που απαιτούνται από τις διαδρομές της C₃ φωτοσύνθεσης, επειδή λειτουργεί ο μηχανισμός άντλησης CO₂ προς τα σημεία όπου λειτουργεί η Rubisco και επομένως εκμεταλλεύονται αποτελεσματικότερα τις χαμηλές συγκεντρώσεις CO₂. Η διαδρομή που ακολουθεί η C₄ φωτοσύνθεση εμποδίζει επίσης να συντελεστεί το φαινόμενο της φωτοαναπνοής, της χρησιμοποίησης δηλαδή του οξυγόνου αντί του CO₂ από το ένζυμο Rubisco σε συνθήκες έλλειψης του τελευταίου, διαδικασία που δρα ανταγωνιστικά της φωτοσύνθεσης αφού τα προϊόντα της αντίδρασης δεν είναι χρήσιμα για το φυτό ενώ απαιτείται επιπλέον ενέργεια για την ανακύκλωσή τους (Αϊβαλάκις κ.ά, 2005).

Όταν επομένως αυξάνεται η θερμοκρασία, τα στομάτια των φύλλων κλείνουν ώστε να μειωθούν οι απώλειες νερού, με αποτέλεσμα τη μικρότερη διαθεσιμότητα σε CO₂, τα φυτά C₄ φωτοσυνθέτουν με μεγαλύτερη ταχύτητα σε αντίθεση με τα C₃ (Αϊβαλάκις κ.ά,

2005). Από την ανάλυση των ακραίων και των άριστων τιμών για τη φωτοσύνθεση προκύπτει ότι τα φυτά C4 όπως ο αραβόσιτος έχουν υψηλότερες θερμοκρασίες βιολογικής δραστηριότητας, που μπορεί να φτάσει έως και τους 50°C (Καραμάνος, 2011).



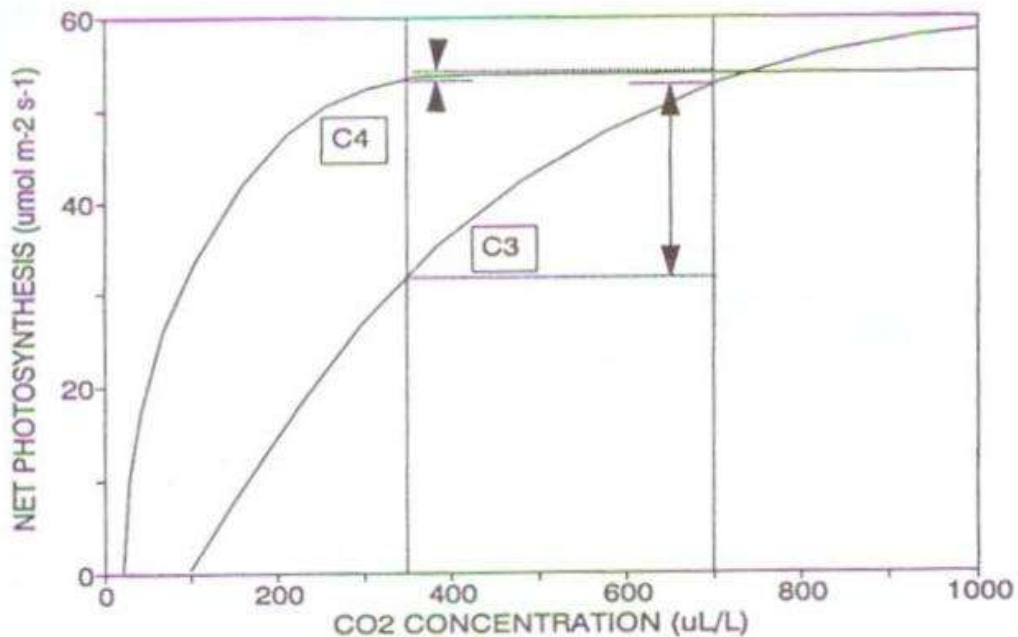
Εικόνα 4.6: Εξάρτηση του ρυθμού καθαρής φωτοσύνθεσης (P, ●) και της φωτοαναπνοής (R, ○) από τη θερμοκρασία του αέρα σε τρία φυτά μεγάλης καλλιέργειας Αραβόσιτος (C4), Ζαχαρότευτλο (C3) και Σόγια (C3). (Πηγή: Καραμάνος (2011) από δεδομένα των Hofstra & Hesketh (1969)).

Ακόμα η ένταση της ακτινοβόλου ενέργειας μέσω της προσπίπτουσας ακτινοβολίας διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στο ρυθμό της φωτοσύνθεσης. Πιο συγκεκριμένα τα φυτά που δεσμεύουν CO₂ μέσω του κύκλου Calvin, δηλαδή τα φυτά τύπου C3 παρουσιάζουν σε κάποιο σημείο τη λεγόμενη ένταση κορεσμού, πέρα από την οποία δεν παρατηρείται αύξηση του ρυθμού φωτοσύνθεσης. Αντίθετα τα φυτά που δεσμεύουν το CO₂ μέσω δικαρβοξυλικών οξέων, δηλαδή τα C4 δεν παρουσιάζουν ουσιαστικά ένταση κορεσμού, ενώ ακόμα και σε ενδιάμεσες εντάσεις δεσμεύουν CO₂ με πολύ υψηλότερους ρυθμούς από τα C3. Επιπλέον τα φυτά τύπου C3 δεν εκμεταλλεύονται την περίσσεια της ηλιακής ενέργειας για περισσότερο έντονη φωτοσύνθεση, ενώ μπορούν να φωτοσυνθέτουν με μέγιστο ρυθμό ακόμα και σε συνθήκες μη πλήρους ηλιοφάνειας. Αντίθετα τα φυτά C4 εκμεταλλεύονται αποκλειστικά τις υψηλές εντάσεις φωτισμού, λόγω της απουσίας έντασης κορεσμού για τη φωτοσυνθετική τους δραστηριότητα (Καραμάνος, 2011).

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι τα C3 φυτά έχουν την τάση να παρουσιάζουν μέγιστο ρυθμό φωτοσύνθεσης σε μέτριες εντάσεις φωτός και θερμοκρασίας, ενώ

εμποδίζονται από την υπερβολική έκθεση στο φως και την υψηλή θερμοκρασία. Τα C4 φυτά είναι καλύτερα προσαρμοσμένα στις συνθήκες υψηλού φωτισμού και υψηλής θερμοκρασίας.

Σχετικά με την επίδραση της συγκέντρωσης CO₂ στο ρυθμό φωτοσύνθεσης οι Taiz & Zaiger (1991), έδειξαν ότι οι συγκεντρώσεις CO₂ των τελευταίων δεκαετιών (περίπου 350ppm) ευνοούσαν περισσότερο τον ρυθμό φωτοσύνθεσης στα φυτά C4, ενώ οι αντίστοιχες συγκεντρώσεις πάνω από 700ppm αυξάνουν σημαντικά το ρυθμό φωτοσύνθεσης των C3 φυτών κατά 66% περίπου ενώ στα C4 μόλις 4%. Αυτό οφείλεται στον προαναφερόμενη διαφοροποίηση του φωτοσυνθετικού μηχανισμού αφού τα C4 ουσιαστικά αποθηκεύουν CO₂ φτάνοντας πιο εύκολα σε κορεσμό αδυνατώντας να εκμεταλλευτούν τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις CO₂ όπως συμβαίνει με τα C3 (Long et al., 2004).



Εικόνα 4.7: Ρυθμός φωτοσύνθεσης (NET PHOTOSYNTHESIS) σε C3 και C4 φυτά σε σχέση με τη συγκέντρωση του CO₂. Οι κάθετες γραμμές με τα βέλη συμβολίζουν την αύξηση του ρυθμού φωτοσύνθεσης στα 700ppm σε σύγκριση με τα 350ppm (Taiz & Zaiger, 1991).

Αύξηση της συγκέντρωσης CO₂ η οποία προκλήθηκε τεχνητά σε πείραμα ελεύθερης διάχυσης CO₂ στον αγρό (FACE- Free Air CO₂ Enrichment) σε καλλιέργεια σόργου (C4)

οδήγησε σε μείωση της αγωγιμότητας των στοματιών (stomatal conductance) κατά 32% σε αρδευόμενη καλλιέργεια και κατά 37% υπό συνθήκες υδατικής καταπόνησης (Wall et al., 2001). Το ίδιο φαινόμενο παρατηρήθηκε σε συνθήκες αύξησης συγκέντρωσης CO₂ σε καλλιέργειας σόγιας (C3) που οδήγησε σε σημαντική μείωση της εξατμισοδιαπνοής της φυτείας (Bernacchi et al., 2005). Στα ίδια συγκριτικά αποτελέσματα οδηγήθηκαν και οι Kimball et al. (2002) μελετώντας C3 και C4 φυτά σε πειράματα FACE. Αυτό συμβαίνει διότι το αυξανόμενο ατμοσφαιρικό CO₂ προκαλεί σταδιακό κλείσιμο των στομάτων των φύλλων μειώνοντας την διαφυγή οξυγόνου και υγρασίας αυξάνοντας την αποτελεσματικότητα της χρήσης νερού (WUE-Water Use Efficiency). Όπως εξηγήθηκε στην αρχή, τα C4 φυτά συνεχίζουν να φωτοσυνθέτουν για κάποιο διάστημα ακόμα και με κλειστά στόματα. Αυτό σημαίνει ότι καταναλώνουν με μεγαλύτερο ρυθμό το αποθηκευμένο νερό που βρίσκεται στα φύλλα με αποτέλεσμα να αυξάνεται η θερμοκρασία τους γεγονός που μπορεί να προκαλέσει μεγαλύτερη βλάβη σε συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών σε σύγκριση με τα C3 φυτά (Reich et al., 2001, Wang et al., 2008). Από την άλλη επειδή η αυξανόμενη συγκέντρωση CO₂ αυξάνει το μέγεθος των φύλλων (Morison & Lawlor, 1999) όταν η συγκέντρωση CO₂ είναι πολύ μεγάλη τότε το φαινόμενο της αύξησης της θερμοκρασίας των φύλλων παρατηρείται πιο έντονα στα C3 φυτά (βλ. Εικ 4.7) λόγω μεγαλύτερου ρυθμού φωτοσύνθεσης. Συμπερασματικά επομένως μπορεί να ειπωθεί ότι η αύξηση της συγκέντρωσης CO₂ έχει ως συνέπεια α) στα φυτά C3 να αυξάνει την ανθεκτικότητα του φωτοσυνθετικού μηχανισμού σε σχέση με την αύξηση της θερμοκρασίας, εκτός από τις περιπτώσεις όπου οι επικρατούσες θερμοκρασίες είναι πολύ υψηλότερες από τις άριστες για την ανάπτυξη του φυτού, οπότε σε αυτήν τη περίπτωση δεν υφίστανται οφέλη ή ακόμα υπάρχει και ανάσχεση της φωτοσύνθεσης. β) στα φυτά C4 να μειώνει την θερμο-ανθεκτικότητα της φωτοσύνθεσης (Wang et al., 2008, Hamilton et al., 2008).

Συνοπτικά από τα παραπάνω προκύπτει ότι φυτά C4 όπως είναι ο αραβόσιτος, έχουν υψηλότερη αντοχή στην αύξηση της θερμοκρασίας και στην ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας καθώς διακρίνονται από υψηλότερες ανώτατες τιμές για αυτά τα μεγέθη. Επιπλέον για φυτά τύπου C3 όπως είναι το βαμβάκι και το σιτάρι, η αύξηση του CO₂ λειτουργεί ευεργετικά στην ανάπτυξή τους εξαιτίας της αύξησης του ρυθμού φωτοσύνθεσης.

Ειδικότερα για το βαμβάκι οι εκτιμήσεις που προέκυψαν καταδεικνύουν ότι στις περισσότερες περιπτώσεις αναμένονται αυξήσεις στις αποδόσεις και στα τρία σενάρια ενώ η τάση αυτή είναι πιο έντονη στις περιοχές δυτικά της οροσειράς της Πίνδου. Επιπλέον παρατηρήθηκε ότι οι μεγαλύτερες τιμές διαφοράς των αποδόσεων στις περισσότερες περιπτώσεις συναντήθηκαν στο σενάριο A2 λόγω της υψηλότερης συγκέντρωσης CO₂, ενώ στο σενάριο B2 τα κατώτατα όρια αυξήθηκαν σε σχέση με τα άλλα σενάρια. Στο ερώτημα γιατί η αύξηση της θερμοκρασίας, της ηλιακής ακτινοβολίας και η μείωση των βροχοπτώσεων δεν επέδρασαν αρνητικά στις αποδόσεις, η συγκεκριμένη έρευνα έδειξε ότι η μεταβολή των συγκεκριμένων κλιματικών παραμέτρων κυμάνθηκε εντός των ορίων των θερμικών απαιτήσεων του συγκεκριμένου είδους. Για παράδειγμα η άριστη θερμοκρασία για τη φωτοσυνθετική δραστηριότητα είναι 25-40 °C με ανώτερη τιμή τους 55 °C, ενώ για την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος οι άριστες θερμοκρασίες είναι 22-27 °C και οι ανώτερες μπορούν να φτάσουν τους 42 °C (Καραμάνος, 2011). Με λίγα λόγια, επειδή το βαμβάκι είναι φυτό θερμών κλιμάτων, η προβλεπόμενη αύξηση της θερμοκρασίας δεν επιδρά αρνητικά στην ανάπτυξή του, ενώ ταυτόχρονα η αύξηση της συγκέντρωσης CO₂ ευνοεί το ρυθμό ανάπτυξής του. Σε αντίστοιχη μελέτη για το βαμβάκι στην Κίνα, οι Yang et al. (2014), κατέληξαν στο συμπέρασμα της ευεργετικής συνδυαστικής επίδρασης της αύξησης της θερμοκρασίας και του CO₂. Σημαντικότερη ήταν αυτή η επίδραση σε ψυχρότερες περιοχές σε σύγκριση με θερμότερες καθώς, λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας, αυτές καθίσταντο ευνοϊκότερες. Στα ίδια αποτελέσματα κατέληξαν όσον αφορά την επίδραση αυτών των κλιματικών παραμέτρων και οι Yoon et al. (2009), αναφέροντας ότι όταν η αύξηση της θερμοκρασίας κυμαίνεται εντός των ορίων ανάπτυξης του βαμβακιού τότε, σε συνδυασμό με την αύξηση του CO₂, αναμένονται μεγαλύτερες αποδόσεις. Επιπλέον οι Reddy et al. (1999), κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι για την περιοχή καλλιέργειας βαμβακιού στο Μισισίπι των ΗΠΑ ο συνδυασμός αυξημένης θερμοκρασίας και CO₂ επιδρούν ευεργετικά στην απόδοση και στην ποιότητα της ίνας έως το όριο των 28 °C. Παράλληλα, έκθεση σε θερμοκρασία μεγαλύτερη από 40 °C περισσότερο από 6 ώρες κατά τη διάρκεια της άνθισης συμβάλλει σε υψηλότερη τάση καρπώπωσης από το φυτό, στη μείωση της βιομάζας και της απόδοσης (Reddy et al., 2002). Ακόμα, η προσομοίωση με το πρότυπο AquaCrop γινόταν με βάση πειραματικά δεδομένα πλήρους άρδευσης του έτους 2006, γεγονός που ανάσχεσε την αρνητική επίδραση από

την μείωση των βροχοπτώσεων. Τέλος, όπως έδειξαν οι Voloudakis et al. (2015) σε πρόσφατη εργασία που στηρίχθηκε στην παρούσα μελέτη, άλλος ένας παράγοντας που ενίσχυσε την εικόνα της θετικής επίδρασης της κλιματικής αλλαγής στις αποδόσεις βαμβακιού ήταν το γεγονός ότι λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας η προσομοιωμένη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου μειώθηκε από 8 έως 34 ημέρες ανάλογα με την περιοχή και το μοντέλο για το σενάριο A1B με αποτέλεσμα η καλλιέργεια να μην υφίσταται για μεγάλη διάρκεια τις υψηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών.

Ο αραβόσιτος, όπως αναλύθηκε παραπάνω διαθέτει το πλεονέκτημα της καλύτερης προσαρμογής στην αύξηση της θερμοκρασίας και στην ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, αδυνατεί όμως να εκμεταλλευτεί την άνοδο της συγκέντρωσης CO₂ όπως συμβαίνει στα C3 φυτά. Επέρχεται επομένως μία ισορροπία στις θετικές και αρνητικές επιδράσεις των διαφόρων κλιματικών παραγόντων και αυτό αποτυπώνεται στις μικρές διακυμάνσεις της μεταβολής των αποδόσεων, όπως περιγράφηκε και στις Εικόνες 4.1, 4.2, 4.3 και 4.4. Σε παλαιότερη έρευνα οι Southworth et al. (2000) στις Η.Π.Α. εκτίμησαν ότι η ζώνη καλλιέργειας αραβοσίτου θα μετατοπισθεί βορειότερα λόγω της κλιματικής αλλαγής. Ομοίως οι Olesen et al (2011), μελετώντας την επίδραση της κλιματικής αλλαγής σε όλη την Ευρώπη εκτίμησαν ότι η απόδοση αραβοσίτου σε περιοχές της βόρειας Ευρώπης θα ευνοηθεί από την κλιματική αλλαγή σε σχέση με τη νότια με παράλληλη διεύρυνση των ιδανικών προς καλλιέργεια αραβοσίτου περιοχών κατά 30-50% προς τα βόρεια. Στην παρούσα έρευνα δεν διαπιστώθηκε κάτι αντίστοιχο συγκρίνοντας τις μεταβολές των αποδόσεων μεταξύ νοτιότερων και βορειότερων περιοχών της Ελλάδας. Γενικά, οι Bindī & Olesen (2011) σε μελέτη με τον ίδιο σκοπό, κατέληξαν ότι η Ελλάδα είναι μεταξύ των περιοχών εκείνων όπου οι βιοκλιματικές συνθήκες θα επιτρέπουν μελλοντικά την καλλιέργεια αραβοσίτου.

Οι Angulo et al. (2013), σε μια αντίστοιχη έρευνα κατέληξαν ότι για τα σενάρια A1B και B1 (παραλλαγή του B2), οι αποδόσεις του αραβοσίτου στην Ελλάδα δεν θα μεταβληθούν σημαντικά και θα κυμανθούν από -10% έως +10%. Την ίδια συμπεριφορά του συγκεκριμένου φυτού διαπίστωσαν και άλλοι ερευνητές σε άλλες περιοχές του πλανήτη, όπως οι Ruane et al. (2013) στον Παναμά, των οποίων οι ποσοστιαίες μεταβολές δεν ήταν πολύ σημαντικές και κυμάνθηκαν από -0,8% έως +4,5% μέχρι το τέλος του τρέχοντος αιώνα. Δυνητικές μικρές αυξήσεις στις αποδόσεις αραβοσίτου προέβλεψαν οι

Reidsma et al. (2009) για την περιοχή μας. Οι Alexandron & Hoogenboom (2000) για την Βουλγαρία εκτίμησαν ανάλογα με την περιοχή και την χρονική περίοδο μειώσεις στις αποδόσεις αραβοσίτου από -3% έως -21% προς το τέλος του αιώνα οφειλόμενες στην μείωση της καλλιεργητικής περιόδου λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας. Οι Supit et al. (2012), με μέθοδο που δεν περιλάμβανε χρήση προτύπου ανάπτυξης καλλιεργειών, εκτίμησαν ότι με βάση τα σενάρια A2 και B1 η μείωση στις αποδόσεις μεταξύ των περιόδων 2030, 2050 και 2090 σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1990-2008 βαίνει αυξανόμενη και μεγαλύτερη στο A2 όπου μπορεί να φτάσει το -43%. Παλαιότερη εργασία των Karetanaki & Rosenzweig (1997) για τον αραβόσιτο στην Ελλάδα, έδειξε ότι ανάλογα με τα χρησιμοποιούμενα κλιματικά μοντέλα οι διαφοροποιήσεις στις αποδόσεις θα μπορούσαν να είναι από μηδαμινές έως -20% σε ορισμένες περιπτώσεις με δυνατότητες ανάσχεσης των αρνητικών επιδράσεων εφόσον χρησιμοποιηθούν στρατηγικές μετριασμού όπως νέες ποικιλίες, πρώιμη σπορά κλπ. Διαπιστώνεται επομένως ότι και στην πλειοψηφία των διεθνών βιβλιογραφικών αναφορών, η μεταβολή των αποδόσεων στον αραβόσιτο δεν είναι πολύ μεγάλη, γεγονός που συνάδει με τα αποτελέσματα της παρούσης έρευνας.

Στην περίπτωση της μελέτης του σιταριού τα δεδομένα είναι περισσότερο περίπλοκα καθώς υπάρχουν αντικρουόμενα συμπεράσματα. Πιο συγκεκριμένα, οι Deryng et al. (2011), σε παγκόσμιο επίπεδο, προβλέπουν μείωση των αποδόσεων. Σε άλλη πρόσφατη εργασία των Olesen et al. (2011) προβλέπεται για την Ευρώπη αρνητική επίδραση της κλιματικής αλλαγής στο σιτάρι. Παρόμοια αρνητικά αποτελέσματα προέβλεψαν οι Kristensen et al. (2011) για τη Δανία και οι Tubiello et al. (2000) για την Ιταλία.

Αντιθέτως, οι Ewert et al. (2005) προέβλεψαν σε πανευρωπαϊκό επίπεδο αύξηση των αποδόσεων σιταριού από 25% έως 163% σε σχέση με το 2000, ανάλογα με την περιοχή και το κλιματικό μοντέλο. Για τις χώρες της Κεντρικής Ασίας, οι Sommer et al. (2013) επεσήμαναν την ευεργετική επίδραση του CO₂ στο σιτάρι που θα οδηγήσει σε αύξηση αποδόσεων έως και 12%. Οι Waffa & Benoit (2015) δεν διαπίστωσαν ιδιαίτερα αρνητικές επιπτώσεις στην απόδοση του σιταριού στην Αλγερία. Οι Wang et al. (2011) εκτίμησαν ότι η απόδοση σιταριού στον νότιο Καναδά θα αυξηθεί κατά 74%, 55% και 41% για τα σενάρια A1B, A2 και B1 αντίστοιχα. Επισήμαναν ωστόσο ότι η χρησιμοποιούμενη μέθοδος πιθανότατα προβαίνει σε υπερεκτιμήσεις καθώς δεν

λαμβάνει υπόψη την καταπόνηση που υφίσταται το φυτό σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 32 °C κατά το στάδιο γεμίσματος του καρπού. Οι Trnka et al. (2004) προέβλεψαν για την Τσεχία αύξηση των αποδόσεων από 8-25% και μόνο στην περίπτωση του σεναρίου A2 παρατηρήθηκαν σε κάποιες περιοχές μικρές μειώσεις στις αποδόσεις. Οι Wilcox & Makowski (2014) διαπίστωσαν συγκρίνοντας 90 εργασίες πάνω στο σιτάρι, ότι περισσότερες από 50% εξ αυτών προέβλεπαν μείωση των αποδόσεων όταν η αύξηση της θερμοκρασίας ήταν μεγαλύτερη από 2,3 °C, ή όταν η μείωση των βροχοπτώσεων ήταν σχεδόν μηδενική και τέλος όταν η συγκέντρωση CO₂ ήταν μικρότερη από 395ppm. Από την άλλη διαπιστώθηκε ότι συγκεντρώσεις CO₂ μεγαλύτερες από 640ppm εξουδετέρωσαν την αρνητική επίδραση της αύξησης της θερμοκρασίας μέχρι 2 °C, μετρίασαν το αποτέλεσμα της μείωσης έως 20% των βροχοπτώσεων οδηγώντας σε αύξηση των αποδόσεων. Στην παρούσα μελέτη η τάση αυτή φαίνεται πιο έντονα συγκρίνοντας τις περιόδους 2021-2050 και 2071-2100 για το σενάριο A1B, όπου πράγματι οι αυξήσεις στις αποδόσεις είναι μεγαλύτερες λόγω της προβλεφθείσας μεγαλύτερης συγκέντρωσης CO₂ στο τέλος του αιώνα (715ppm).

4.3 Αβεβαιότητες μελέτης και προκλήσεις για το μέλλον

Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η συγκεκριμένη μελέτη εμπεριέχει εκ της φύσεώς της μερικά στοιχεία αβεβαιότητας. Πρώτα απ' όλα τα ίδια τα κλιματικά σενάρια και μοντέλα είναι μελλοντολογικές υποθέσεις που επηρεάζονται από πολλαπλούς παράγοντες, οι οποίοι δεν είναι δυνατόν να ορισθούν επακριβώς, ιδιαίτερα όταν μελετούμε περιόδους που φτάνουν μέχρι το τέλος του αιώνα (Lobell et al., 2008). Σύμφωνα με τους Dierpen & van der Wall (1996) αυτοί οι παράγοντες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

- αβιοτικοί παράγοντες όπως εδαφική υγρασία και γονιμότητα, κλπ
- καλλιεργητικοί χειρισμοί όπως ημερομηνίες σποράς, τεχνικές συγκομιδής και λίπανσης
- επάρκεια νερού και εξορθολογισμένοι τρόποι χρήσης του
- κοινωνικο-οικονομικοί παράγοντες όπως απόσταση καλλιεργειών από αγορές, αύξηση πληθυσμού, μορφωτικό επίπεδο κλπ
- καταστροφικοί παράγοντες όπως ξηρασίες, πλημμύρες, έξαρση εχθρών και ασθενειών.

Όπως προαναφέρθηκε, στις τελικές αποδόσεις δεν έχει συνεκτιμηθεί η επίδραση και άλλων παραγόντων που επηρεάζονται από την κλιματική αλλαγή όπως ασθένειες, εχθροί και ζιζάνια. Είναι αναμφίβολο ότι οι μεταβαλλόμενες κλιματικές παράμετροι θα επηρεάσουν ανάλογα και μάλλον θετικά την ανάπτυξη ζιζανίων που θα δρουν ανταγωνιστικά έναντι των καλλιεργειών (Karamanos, 2013, Voloudakis et al., 2013, Economidou et al., 2010). Αντίστοιχες αλλαγές αναμένεται να παρατηρηθούν και στις προσβολές από διάφορους εχθρούς και στις ασθένειες λόγω της αλλαγής στην γεωγραφική κατανομή και εξάπλωσή τους σε άλλες περιοχές σε σχέση με σήμερα και στον ανταγωνισμό που θα υπάρξει με άλλα ωφέλιμα έντομα ή οργανισμούς επιφέροντας απροσδιόριστες μεταβολές στους υφιστάμενους μηχανισμούς βιοελέγχου (biocontrol) (Thomson et al., 2010). Εκτός αυτών σημαντικό ρόλο αναμένεται να διαδραματίσει και η εξάπλωση των διαφόρων φυτών ξενιστών μεταφέροντας εχθρούς και ασθένειες σε άλλα γεωγραφικά μήκη και πλάτη (Caffarra et al., 2012). Τέλος, ο πολύπλοκος μηχανισμός της φωτοσύνθεσης και ο επηρεασμός της από μελλοντικές μεταβολές διαφόρων κλιματικών παραμέτρων όπως το CO₂ και η θερμοκρασία δημιουργεί δυσκολίες στην ακριβή προσομοίωσή της από τα διάφορα πρότυπα και αποτελεί πηγή αβεβαιότητας (Lobell et al., 2006). Απαιτείται περαιτέρω βελτίωση στη λειτουργία των προτύπων, ιδιαίτερα όσον αφορά στη βελτίωση της ρεαλιστικής προσομοίωσης της επίδρασης του CO₂ και της θερμοκρασίας στα διάφορα στάδια ανάπτυξης του φυτού (Asseng et al., 2013). Σε αρκετές περιπτώσεις, ιδιαίτερα σε τοπικό επίπεδο, η κλιματική αλλαγή είναι μία απλώς παράμετρος της μελλοντικής αλλαγής χωρίς να είναι απαραίτητος και η πιο σημαντική. Για παράδειγμα ορισμένες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στη γεωργία, όπως η αύξηση των ακραίων καιρικών φαινομένων μπορεί να μην είναι εύκολο να προσδιοριστούν επακριβώς, ωστόσο είναι σχεδόν βέβαιο ότι άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την γεωργική παραγωγή όπως οι υδάτινοι πόροι, οι μεταφορές, οι υποδομές θα επηρεαστούν άμεσα (IPCC, 2012).

Οι μελλοντικές προκλήσεις σχετικά με τα πρότυπα ανάπτυξης φυτών είναι η ικανότητά τους να λαμβάνουν υπόψη συνδυαστικά όλους τους παραπάνω παράγοντες μειώνοντας το ποσοστό αβεβαιότητας. Η επίτευξη αυτού του στόχου συμβάλει όχι μόνο στην ορθότερη πρόβλεψη των επιπτώσεων στην φυτική παραγωγή αλλά επιπλέον θα αποτελέσει ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο στο σχεδιασμό στρατηγικών μετριασμού και προσαρμογής της γεωργίας στην κλιματική αλλαγή.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΞΕΝΗ

Alexandrov, V.A., Hoogenboom, G., 2000. The impact of climate variability and change on crop yield in Bulgaria. *Agricultural and Forest Meteorology* 104, 315-327.

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. *Irr. & Drain. Paper 56*. UN-FAO, Rome, Italy.

Andarzian, B., Bannavan, M., Steduto, P., Mazraeh, H., Barati, M.A., Rahnama. A., 2011. Validation and testing of the AquaCrop model under full and deficit irrigated wheat production in Iran. *Agricultural Water Management* 100, 1-8.

Angulo, C., Rotte, R., Lock, R., Enders, A., Fronzek, S., Ewert, F., 2013. Implication of crop model calibration strategies for assessing regional impacts of climate change in Europe. *Agricultural and Forest Meteorology* 170, 32-46.

Anjum Iqbal, M., Shen, Y., Stricevic, R., Pei, H., Sun, H., Amiri, E., Penas, A., del Rio, S., 2014. Evaluation of the FAO AquaCrop model for winter wheat on the North China Plain under deficit irrigation from field experiment to regional yield simulation. *Original Research Article. Agricultural Water Management* 135, 61-72.

Asseng, S., Ewert, F., Rosenzweig, C., Jones, J. W., Hatfield, J. L., Ruane, A. C., Boote, K. J., Thorburn, P. J., Rötter R. P., Cammarano, D., Brisson, N., Basso, B., Martre, P., Aggarwal, P. K., Angulo, C., Bertuzzi, P., Biernath, C., Challinor, A. J., Doltra, J., Gayler, S., Goldberg, R., Grant, R., Heng L., Hooker, J., Hunt, L. A., Ingwersen, J., Izaurralde, R. C., Kersebaum, K. C., Müller, C., Naresh Kumar, S., Nendel, C., O’Leary, G., Olesen, J. E., Osborne, T. M., Palosuo, T., Priesack, E., Ripoche, D., Semenov, M. A., Shcherbak, I., Steduto, P., Stöckle, C., Stratonovitch, P., Streck, T., Supit, I., Tao, F., Travasso, M., Waha, K., Wallach, D., White, J. W., Williams, J. R., Wolf, J., 2013. Uncertainty in simulating wheat yields under climate change. *Nature Climate Change* 3, 827–832.

Bernacchi, C.J., Morgan, P.B., Ort, D.R., Long, S.P., 2005. The growth of soybean under free air CO₂ enrichment (FACE) stimulates photosynthesis while decreasing in vivo Rubisco capacity. *Planta* 220, 434–446.

Bindi, M., Ferrini, F., Miglietta, F., 1992. Effect of CO₂-Induced Climatic Change on the cultivated area of olive trees. *Journal of Agricultura Mediterranea*, 122(1), 41-44.

Bindi, M., Howden M., 2004. Challenges & opportunities for cropping systems in a changing climate. New directions for a diverse planet. Proceedings of the 4th International Crop Science Congress, 26 Sep – 1 Oct 2004, Brisbane, Australia. Published on CDROM. Web site www.cropscience.org.au

Bindi, M., Olesen, J.E., 2011. The responses of Agriculture in Europe to climate change. *Regional Environmental Change* 11, 151-158.

Böhm, U., Kücken, M., Ahrens, W., Block, A., et al., 2006. CLM—the climate version of LM: brief description and long-term applications. *COSMO Newsletter* 6, 225–235.

Caffarra, A., Rinaldi, M., Eccel, E., Rossi, V., Pertot, I., 2012. Modeling the impact of climate change on the interaction between grapevine and its pests and pathogens: European grapevine moth and powdery mildew. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 148, 89-101.

Christensen, J.H., Christensen, J.H., Machenhauer, B., Botzet, M., 1998. Very high-resolution regional climate simulations over Scandinavia-present climate. *Journal of Climate* 11, 3204–3229.

Cole, C.V., Duxbury, J., Freney, J., Heinemeyer, O., Minami, K., Mosier, A., Paustian, K., Rosenberg, N., Sampson, N., Sauerbeck, D., Zhao, Q., 1997. Global estimates of potential mitigation of greenhouse gas emissions by agriculture. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 49, 221-228.

Collins, M., Booth, B.B.B., Harris, G.R., Murphy, J.M., Sexton, D.M.H., Webb, M.J., 2006. Towards quantifying uncertainty in transient climate change. *Climate Dynamics* 27, 127–147.

Crutzen, P. J., Stoermer, E. F., 2000. The 'Anthropocene'. *Global Change Newsletter* 41, 17–18.

Deryng, D., Sacks, W.J., Barford, C.C., Ramankutty, N., 2011. Simulating the effects of climate and agricultural management practices on global crop yield. *Global Biochemical Cycles* 25.

Diepen, C.A., van der Wall, T., 1996. Crop growth monitoring and yield forecasting at regional and national scale. In: J.F. Dallement and P. Vossen (eds.), *Proc. Workshop for Central and Eastern Europe on Agrometeorological Models: Theory and Applications*, The MARS Project Ispra, Italy, November 21-25, 1994. European Commission, Luxembourg, 143-157.

Doorenbos, J., Kassam, A.H., 1979. Yield response to water. *FAO Irrigation and Drainage Paper No. 33*. Rome, FAO.

Döscher, R.; Wyser, K.; Meier, H.E.M; Graham, P, 2007. RCAO, the Rossby Centre Atmosphere-Ocean-Ice model, EGU2007-A-01245 CL38/GI12-1TU5P-0285.

Easterling W.E., Aggarwal P.K., Batima P., Brander K.M., Erda L., Howden S.M., Kirilenko A., Morton J., Soussana J.-F., Schmidhuber J. Tubiello F.N., 2007. Food, fibre and forest products. In: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Parry ML, Canziani OF, Palutikof JP, van der Linden PJ and Hanson CE (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK, 273–313.

Economou, G., Kalivas, D., Vlachos, C., 2010. Weed community changes during the last decade in semi- arid cotton crop using spatial temporal analysis. In *Proceedings of 15th European Weed Research Society Symposium, 12-15 July, Kaposvár, Hungary.*

E.C. (European Commission): Agriculture and climate change
http://ec.europa.eu/agriculture/climate-change/index_en.htm

E.C. (European Commission), 2009. The role of European agriculture in climate change mitigation. Commission staff working document SEC(2009) 1093.

Eurostat, 2013. Agricultural trade statistics.
http://ec.europa.eu/agriculture/statistics/trade/2013/index_en.htm

Ewert, F., Rounsevell, M.D.A., Reginster, I., Metzger, M.J., Leemans, R., 2005. Future scenarios of European agricultural land use I. Estimating changes in crop productivity. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 107, 101-116.

FAO (Food & Agricultural Organization of the United Nations), 2009. The state of food insecurity in the world: economic crises: impacts & lessons learned. Electronic Publishing Policy & Support Branch Communication Division, FAO.
<http://www.fao.org/docrep/012/i0876e/i0876e00.htm>

Forster, P., Ramaswamy, V., Artaxo, P., Berntsen, T., Betts, R.A., Fahey, W.D., Haywood, J., Lean, J., Lowe, D.C., Myhre, G., et al., 2007. Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing." In *Climate Change 2007: The Physical Basis*, edited by S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller, 129-234. Vol. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK and New York, NY: Cambridge University Press.

García-Vila, M., Fereres, E., Mateos, L., Orgaz, F., Steduto, P., 2009. Deficit Irrigation Optimization of Cotton with AquaCrop. *Agronomy Journal* 101, 477-487.

Geerts, S., Raes, D., 2009. Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. *Agricultural Water Management* 96, 1275–1284.

Giannakopoulos, C., Le Sager P., Bindi, M., Moriondo, M., Kostopoulou, E., Goodess, C.M., 2009. Climatic changes & associated impacts in the Mediterranean resulting from a 2 °C global warming. *Global and Planetary Change* 68, 209-224.

Hamilton, E.W., Heckathorn, S.A., Joshi, P., Wang, D., Barua, D., 2008. Interactive effects of Elevated CO₂ and Growth Temperature on the Tolerance of Photosynthesis to Acute Heat Stress in C3 and C4 Species. *Journal of Integrative Plant Biology* 50 1375-1387.

Heng, L.K., Hsiao, T.C., Evett, S., Howell, T., Steduto, P., 2009. Validating the FAO AquaCrop Model for Irrigated and Water Deficient Field Maize. *Agronomy Journal* 101, 488–498.

Hsiao, T.C., Fereres, E., Steduto, P., Raes, D., 2012. 3.3 AquaCrop parameterization, calibration, and validation guide. In Steduto, P., Hsiao, T.C., Fereres, E., Raes, D., (eds). *Crop yield response to water*. FAO Irrigation and drainage paper 66. 70-76.

Hsiao, T.C., Heng, L.K., Steduto, P., Rojas-Lara, B., Raes, D., Fereres, E., 2009. AquaCrop—The FAO crop model to simulate yield response to water: III. Parameterization and testing for maize. *Agronomy Journal* 101, 448-459.

Hussein, F., Janat, M., Yakoub, A., 2011. Simulating cotton yield response to deficit irrigation with the FAO AquaCrop model. *Spanish Journal of Agricultural Research* 9(4), 1319-1330.

Iglesias, A., Avis, K., Benzie, M., Fisher, P., Harley, M., Hodgson, N., Horrocks, L., Moneo, M., Webb, J., 2007. Adaptation to climate change in the agricultural sector. Report to European Commission Directorate - General for Agriculture and Rural Development ED05334. Issue Number 1 AGRI-2006-G4-05. AEA Energy & Environment & Universidad de Politécnica de Madrid, 7-9.

Iglesias, A., Garrote, L., Quiroga, S., Moneo, M., 2009. Impacts of climate change in agriculture in Europe. PESETA-Agriculture study. Office for Official Publications of the European Communities European Commission. DOI 10.2791/33218

Iglesias, A., Rosenzweig, C., Pereira, D., 2000. Agricultural impacts of climate change in Spain: developing tools for a spatial analysis. *Global Environmental Change* 10, 69-80.

IPCC, 2007. Summary for Policymakers In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. p.5

IPCC, 2012. Summary for Policymakers. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 1-19.

IPCC, 2014a. Summary for policymakers. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-32.

IPCC, 2014b: Summary for Policymakers, In: Climate Change 2014, Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Jacob, D., Van den Hurk, B.J.J.M., André, U., Elgered, G., et al., 2001. A comprehensive model inter-comparison study investigating the water budget during the BAL-TEX-PIDCAP period. *Meteorology and Atmospheric Physics* 77, 19–43.

Jennrich, R.I., 1977. Stepwise discriminant analysis. In: Enslein, K., Ralston, A., Wilf, H. (Eds.), *Statistical Methods for Digital Computers*. John Wiley & Sons, New York, NY.

Jones, P.D., Moberg, A., 2003. Hemispheric and large-scale surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2001", *Journal of Climate* 16, 206-223.

Kang, Y., Shahbaz, K., Ma, X., 2009. Climate change impacts on crop yield, crop water productivity and food security – A review *Progress in Natural Science* 19, 1665–167.

Kapetanaki, G., Rosenzweig, C., 1997. Impact of climate change on maize yield in central and northern Greece: a simulation study with CERES-maize. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 1, 251-271.

Kapur, B., Pasquale, S., Tekin, S., Todorovic, M., Sezen, S.M., Ozfidaner, M., Gumus, Z., 2010. Prediction of climatic change for the next 100 years in Southern Italy. *Scientific Research and Essays* 12, 1470-1478. <http://www.academicjournals.org/SRE>

Karamanos, A., Aggelides, S., Londra, P., 2005. Water use efficiency and water productivity in Greece. *Options Méditerranéenne, Series B*, 57, 92-98. CIHEAM.

Karamanos, A., 2013. Water management and crop/weed interactions under a changing climate in the Mediterranean basin. A. Karamanos. Joint Workshop of the EWRS Working Groups: Novel and Sustainable Weed Management in Arid and Semi-Arid Agroecosystems and Weed Mapping. 29 September – 03 October 2013 Mediterranean Agronomic Institute of Chania, Crete, Greece.

Karcher, D.E., Richardson, M.D., 2005. Batch analysis of digital images to evaluate turfgrass characteristics. *Crop Science* 45, 1536-1539.

Karl, T.R., Melillo, J.M., Peterson, T.C., 2009. *Global Climate Change Impacts in the United States*. Cambridge University Press.

Kimball, B.A., Kobayashi, K., Bindi, M., 2002. Responses of Agricultural crops to Free-Air CO₂ Enrichment. *Advances in Agronomy* 77, 293-368.

Kjellström, E., Bärring, L., Gollvik, S., Hansson, U., Jones, C., Samuelsson, P., Rummukainen, M., Ullersig, A., Willén, U., Wyser, K., 2005. A 140-year simulation of European climate with the new version of the Rossby Centre regional atmospheric climate model (RCA3). *Reports Meteorology and Climatology*, 108. SMHI, pp. 54.

Kristensen, K., Schelde, K., Olesen, J.E., 2011. Winter wheat yield response to climate variability in Denmark. *The Journal of Agricultural Science* 149, 33-47.

Lal, R., 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304, 1623-1627.

Lara, M.V., Andreo C.S., 2011. C4 Plants Adaptation to High Levels of CO₂ and to Drought Environments. *Abiotic Stress in Plants - Mechanisms and Adaptations*. Eds Arun Shanker and B. Venkateswarlu. Chapter 18.

Li, X., Takahashi, T., Suzuki, N., Kaiser, H.M., 2011. The impact of climate change on maize yields in the United States and China. *Agricultural Systems* 104, 348–353.

Lobell, D.B., Burke, M.B., Tebaldi, C., Mastrandrea, M.D., Falcon, W.P., Naylor, R.L., 2008. Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. *Science* 319, 607–610

Lobell, D.B., Field, C.B., Cahill, K.N., Bonfils, C., 2006. Impacts of future climate change on California perennial crop yields: Model projections with climate and crop uncertainties. *Agricultural and Forest Meteorology* 141, 208-218.

Long, S.P., Ainsworth, E.A., Rogers, A., Ort, D.R., 2004. Rising atmospheric carbon dioxide: Plants FACE the future. *Annual Reviews in Plant Biology* 55, 591-628.

Loukas, A., Vasiliades, L., Tzabiras, J., 2007. Evaluation of Climate Change on Drought Impulses in Thessaly, Greece. *European Water* 17/18, 17-28.

McKeon, G., Hall, W., 2000. Learning from history: preventing land and pasture degradation under climate change. Final Report to the Australian Greenhouse Office. Queensland Department of Natural Resources and Mines, Brisbane, Australia.
www.longpaddock.qld.gov.au/AboutUs/Publications/ByType/Reports/LearningFromHistory

Mendelsohn, R., 2007. Handbook of Agricultural Economics Volume 3, Agricultural Development: Farmers, Farm Production & Farm Markets, 3009-3031.

Mhizha, T., Geerts, S., Vanuytrecht, E., Makarau, A., Raes, D., 2014. Use of the FAO AquaCrop model in developing sowing guidelines for rainfed maize in Zimbabwe. <http://www.wrc.org.za>

Morison, J.I.L., Lawlor, D.W., 1999. Interactions between increasing CO₂ concentration and plant growth. *Plant Cell and Environment* 22, 659-682.

Mosier, A.R., 2001. Exchange of gaseous nitrogen compounds between agricultural systems and the atmosphere. *Plant and Soil*, 228, pp. 17- 27.

Mosier, A.R., Duxbury, J.M., Freney, J.R., Heinemeyer, O., Minami, K., Johnson, D.E., 1998. Mitigating agricultural emissions of methane. *Climatic Change*, 40, 39-80.

Nakićenović, N., Alcamo, J., Davis, G., de Vries, B., Fenhann, J., Gaffin, S., Gregory, K., Grübler, A., Jung, T.Y., Kram, T., La Rovere, E.L., Michaelis, L., Mori, S., Morita, T., Pepper, W., Pitcher, H., Price, L., Riahi, K., Roehrl, A., Rogner, H.-H., Sankovski, A., Schlesinger, M., Shukla, P., Smith, S., Swart, R., van Rooijen, S., Victor, N., Dadi, Z., 2000. IPCC Special Report on Emissions Scenarios. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 599.

Oenema, O., Wrage, N., Velthof, G.L., van Groenigen, J.W., Dolfing, J., Kuikman, P.J., 2005. Trends in global nitrous oxide emissions from animal production systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 72, 51-65.

Olesen, J., Bindi, M., 2002. Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use & policy". *European Journal of Agronomy* 16, 239–262.

Olesen, J.E., Trnka, M., Kersebaum, K.C., Skjelvag, A.O., Seguin, B., Peltolen-Sainio, P., Rossi, F., Micale, F., 2011. Impacts and adaptation of European crop production systems to climate change. *European Journal of Agronomy* 34, 96-112.

Orlandini, S., Bindi, M., Howden, M., 2009. Plant biometeorology & adaptation (K.L. Ebi et al., eds.) *Biometeorology for Adaptation to Climate Variability & Change* 1, 107-129.

Parry, M.L., Arnell, N.W., McMichael, A.J., Nicholls, R.J., Martens, P., Kovats, R.S., Livermore, M.T.J., Rosenzweig, C., Iglesias, A., Fischer, G., 2001. Millions at risk: defining critical climate change threats & targets. *Global Environmental Change* 11, 181–183.

Parry, M., Rosenzweig, C., Iglesias, A., Fischer, G., Livermore, M., 1999. Climate change and world food security: a new assessment. *Global Environmental Change* 9, S51-S67.

Parry, M.L, Rosenzweig, C., Iglesias, A., Livermore, M. Fischer G., 2004. Effects of climate change on global food production under SRES emissions & socio-economic scenarios. *Global Environmental Change* 14, 53–67.

Paustian, K., Babcock, B.A., Hatfield, J., Lal, R., McCarl, B.A., McLaughlin, S., Mosier, A., Rice, C., Robertson, G.P., Rosenberg, N.J., Rosenzweig, C., Schlesinger, W.H., Zilberman, D., 2004. Agricultural Mitigation of Greenhouse Gases: Science and Policy Options. CAST (Council on Agricultural Science and Technology) Report, R141, 120.

Raes, D., P. Steduto, T.C. Hsiao, and E. Fereres. 2009. AquaCrop—The FAO crop model to predict yield response to water: II Main algorithms and soft ware description. *Agronomy Journal* 101, 438-447.

Randall, D.A., Wood, R.A., Bony, S., Colman, R., Fichet, T., Fyfe, J., Kattsov, V., Pitman, A., Shukla, J., Srinivasan, J., Stouffer, R.J., Sumi, A., Taylor, K.E., 2007. Climate Models and Their Evaluation. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Reddy, K.R., Davidonis, G.H., Johnson A.S., Vinyard, B.T., 1999. Temperature regime and carbon dioxide enrichment alter cotton boll development and fiber properties. *Agronomy Journal* 91, 851-858.

Reddy, K.R., Doma, P.R., Mearns, L.O., Boone, M.Y.L., Hodges, H.F., Richardson, A.G., Kakani, V.G., 2002. Simulating the impacts of climate change on cotton production in the Mississippi Delta. *Climate Research* 22, 271-281.

Reich, P.B., Tilman, D., Craine, J., Ellsworth, D., Tjoelker, M., Mark, G., 2001. Do species and functional groups differ in acquisition and use of C, N and water under varying atmospheric CO₂ and N availability regimes? A field test with 16 grassland species. *New Phytologist* 150, 435-448.

Reidsma, P., Ewert, F., Boogaard, H., van Diepen, K., 2009. Regional crop modelling in Europe: The impact of climatic conditions and farm characteristics on maize yields. *Agricultural Systems* 100, 51-60.

Ruane, A.C., Cecil, L.D., Horton, R.M., Gordon, R., McCollume, R., Browne, D., Killough, B., Goldberg, R., Greeley, A.P., Rosenzweig, C., 2013. Climate change impact uncertainties for maize in Panama: Farm information, climate projections, and yield sensitivities. *Agricultural and Forest Meteorology* 170, 132-145.

Saxton, K.E., Willey, P.H., 2004. Agricultural Wetland and Pond Hydrologic Analyses Using the SPAW model. Proc. Self-Sustaining Solutions for Streams, watersheds and Wetlands Conference, American Society of Agricultural Engineering, Sept. 12-15, St. Paul, MN.

Scialabba, H.N., Lindenlauf, M.M., 2010. Organic agriculture and climate change. *Renewable Agriculture and Food Systems* 25, 158-169.

Senthold, A., Stephen, P.M., Fulco, L., 2009. Impacts of recent climate change on wheat production systems in Western Australia. *Climatic Change*, 114, n.3, 495-517.

Sinclair, T. R., Seligman, N. G., 1996. Crop modelling: from infancy to maturity. *Agronomy Journal* 88, 698-704.

Smith, K.A., Conen, F., 2004. Impacts of land management on fluxes of trace greenhouse gases. *Soil Use and Management*, 20, 255-263.

Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., McCarl, B., Ogle, S., O'Mara, F., Rice, C., Scholes, B., Sirotenko, O., Howden, M., McAllister, T., Pan, G., Romanenkov, V., Schneider, U., Towprayoon, S., 2007. Policy and technological constraints to implementation of greenhouse gas mitigation options in agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 118, Issues 1-4, 6-28.

Sommer, R., Glaziriona, M., Yuldashev, T., Otarov, A., Ibraeva, M., Martynova, L., Bekenov, M., Kholov, B., Ibragimov, N., Kobilov, R., Karaev, S., Sultonov, M., Khasanova, F., Esanbekov, M., Mavlyanov, D., Isaev, S., Abdurahimov, S., Ikramov, R., Shezdyukova, L., de Pauw, E., 2013. Impact of climate change on wheat productivity in Central Asia. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 178, 78-99.

Soulis, X.K., Elmaloglou, S., Dercas, N., 2015. Investigating the effects of soil moisture sensors positioning and accuracy on soil moisture based drip irrigation scheduling systems. *Agricultural Water Management* 148, 258-268.

Southworth, J., Randolph, J.C., Habeck, M., Doering, O.C., Pfeifer, R.A., Rao, D.G., Johnston, J.J., 2000. Consequences of future climate change and changing climate variability on maize yields in the Midwestern United States. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 82, 139-158.

Steduto, P., 2003. Biomass Water-Productivity. Comparing the Growth-Engines of Crop Models. FAO Expert Consultation on Crop Water Productivity Under Deficient. Water Supply, 26 - 28 February 2003, Rome, Italy.

Steduto, P., Hsiao, T.C., Fereres, E., 2007. On the conservative behavior of biomass water productivity. *Journal of Irrigation Science* 25(3), 189-207.

Steduto, P., Hsiao, T.C., Fereres, E., Raes, D., 2012. Crop yield response to water. FAO Irrigation and drainage paper 66, Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Rome, 70-73.

Steduto, P., Hsiao, T.C., Raes, D., Fereres, E., 2009. AquaCrop—the FAO crop model to simulate yield response to water, I. Concepts. *Agronomy Journal* 101, 426-437.

Stern, N., 2006. Stern Review on The Economics of Climate Change (pre-publication edition). Executive Summary. HM Treasury, London.

Stricevic, R., Cosica, M., Djurovica, N., Pejic, N., Maksimovic, L., 2011. Assessment of the FAO AquaCrop model in the simulation of rainfed and supplementally irrigated maize, sugar beet and sunflower. *Agricultural Water Management* 98, 1615-1621.

- Supit, I., van Diepen, C.A., de Wit, A.J.W., Wolf, J., Kabat, P., Baruth, B., Ludwig, F., 2012. Assessing climate change effects on European crop yields using the Crop Growth Monitoring System and a weather generator. *Agricultural and Forest Meteorology* 164, 96-111.
- Taiz, L., Zeiger, E., 1991. *Plant Physiology*. The Benjamin/Cummings Pub. Co., Redwood City, CA.
- Thomson, L.J., Macfadyen, S., Hoffmann, A.A., 2010. Predicting the effects of climate change in natural enemies of agricultural pests. *Biological Control* 52, Issue 3, 296-306.
- Thornley, J.H.M., 1976. *Mathematical Models in Plant Physiology –Chapter 1 Ideas and Basic Techniques 1-35*. In *Experimental Botany: An International Series of Monographs Volume 8*. Academic Press.
- Tsiplakou, E., Economou, G., Hadjigeorgiou, I., Kominakis, A., Zervas, G., 2013. Plant species mixtures for forage production for ruminal feeding under mediterranean conditions. *Experimental Agriculture* (published online, doi.org/10.1017/S0014479713000604).
- Tsiros, E., Domenikiotis, C., Dalezios., N. 2009. Sustainable production zoning for agroclimatic classification using GIS and remote sensing. *Symposium on Climate Change and Variability - Agrometeorological Monitoring and Coping Strategies for Agriculture*, Oscarsborg, http://www.cost734.eu/reports-and-presentations/6th-management-committee-meeting-in-oscarsborg/abstract_oscarsborg.pdf.
- Traore, B., Corbeels, M., van Wijk, M.T., Rufino, M.C., Giller, K.E., 2013. Effects of climate variability and climate change on crop production in southern Mali, *European Journal of Agronomy* 49, 115-125
- Trnka, M., Cubrovsky, M., Semerádova, D., Zalud, Z., 2004. Projections of uncertainties in climate change scenarios into expected winter wheat yields. *Theoretical and Applied Climatology* 77, 229-249.
- Tubiello, F.N., Fischer, G., 2007. Reducing climate change impacts on agriculture: Global and regional effects of mitigation, 2000–2080. *Technological Forecasting and Social Change* 74, Issue 7, 1030–1056.
- Tubiello, F.N., Soussana, J.F., Howden, M.S., 2007. Crop and pasture response to climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* 104, 19686–19690.

Tubiello, F.N., Donatelli, M., Rosenzweig, C., Stockle, C.O., 2000. Effects of climate change and elevated CO₂ on cropping systems: model predictions at two Italian locations. *European Journal of Agronomy* 13, Issues 2–3, 179–189.

UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change), 2007. *Climate Change: Impacts, Vulnerabilities & Adaptation In Developing Countries*. <http://unfccc.int/resource/docs/publications/impacts.pdf>.

Van Ittersum, M.K., Howden, S.M., Asseng, S., 2003. Sensitivity of productivity and deep drainage of wheat cropping systems in a Mediterranean environment to changes in CO₂, temperature and precipitation. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 97, 255–273.

Van Meijgaard, E., van Ulf, L. H., van de Berg, W. J., Bosveld, F. C., van den Hurk, B., Lenderink, G., Siebesma, A. P., 2008. The KNMI regional atmospheric climate model RACMO version 2.1, Technical Report 302.

Van Oost, K., Govers, G., Quine, T.A, Heckrath, G., 2004. Comment on Managing Soil Carbon. *Science* 305, 1567.

Vanuytrecht, E., Raes, D., Willems, P., Semenov. M., 2012. Comparing climate change impacts on crops in Belgium based on CMIP3 and EU-ENSEMBLES multi-model ensembles. *Geophysical Research Abstracts* 14, EGU2012-4151-2, 2012.

Vermeulen, S.J., Campbell, B.M., Ingram, J.S.I., 2012. Climate Change and Food Systems. *Annual Review of Environment and Resources* 37, 195-222.

Voloudakis, D., Karamanos, A., Economou, G., Kalivas, D., Vahamidis, P., Kotoulas, V., Kapsomenakis, J., Zerefos, C., 2015. Prediction of climate change impacts on cotton yields in Greece under eight climatic models using the AquaCrop crop simulation model and discriminant function analysis. *Agricultural Water Management* 147, 116–128.

Voloudakis, D.S., Kotoulas, V.E., Vlachos, C., Economou, G., 2013. The possible impact of a 2° C air temperature increase on the weed flora and an arable crop in Greece. Studying the case of wild oat (*Avena sterilis* L.) and wheat (*Triticum durum* L.). Joint Workshop of the EWRS Working Groups: Novel and Sustainable Weed Management in Arid and Semi-Arid Agroecosystems and Weed Mapping. 29 September – 03 October 2013 Mediterranean Agronomic Institute of Chania, Crete, Greece.

Waffa, R., Benoit, G., 2015. Simulation of climate change impact on wheat production in the tiaret region of Algeria using the DSSAT model. *European Scientific Journal* 11, 9.

Wall, G.W., Brooks, T.J., Adam, R., 2001. Elevated atmospheric CO₂ improved sorghum plant water status by ameliorating the adverse effects of drought. *New Phytologist* 152, 231-248.

Wang, D., Heckathorn, S.A., Barua, D., Joshi, P., Hamilton, E.W., La Croix, J., 2008. Effects of elevated CO₂ on the tolerance of photosynthesis to acute heat stress in C₃, C₄ and CAM species. *American Journal of Botany* 95, 195-176.

Wang, H., He, Y., Qian, B., McConkey, B., Cutforth, H., McCaig, T., McLeod, G., Zentner, R., Campbell, C., DePauw, R., Lemke, R., Kelsey, B., Liu, T., Qin, X., Hoogenboom, G., White, J., Hunt, T., 2011. Impact of Climate Change on Wheat Production for Ethanol in Southern Saskatchewan, Canada. *Climate Change Issues. World Renewable Energy Congress- Sweden, 8-13 May 2011, Linkoping, Sweden.*

Wilcox, J., Makowski, D., 2014. A meta-analysis of the predicted effects of climate change on wheat yields using simulation studies. *Field Crop Research* 156, 180-190.

WMO (World Meteorological Organization), 2006. Statement on the status of the global climate in 2005. *World Meteorological Organization*, 998, Geneva.

Yang, Y., Yang Y., Han, S., Macadam, I., Liu, D. L., 2014. Prediction of cotton yield and water demand under climate change and future adaptation measures. *Agricultural Water Management* 144, 42-53.

Yoon, S.T., Hoogenboom, G., Flitcroft, I., Bannayana, M., 2009. Growth and development of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) in response to CO₂ enrichment under two different temperature regimes. *Environmental and Experimental Botany* 67, 178–187.

Zerefos, C.S., Eleftheratos, K., Meleti, C., Kazadzis, S., Romanou, A., Ichoku, C., Tselioudis, G., Bais, A., 2009. Solar dimming and brightening over Thessaloniki, Greece, and Beijing, China. *Tellus*, 61B, 657-665

ΕΛΛΗΝΙΚΗ

Αϊβαλάκις, Γ., Καραμπουρνιώτης, Γ., Φασσέας, Κ., 2005. Γενική Βοτανική. Η Μορφολογία, η Ανατομία και η Φυσιολογία των Ανώτερων Φυτών. Κεφάλαιο 5: Η δομή και η λειτουργία των φύλλων. Εκδόσεις Έμβρυο.

Γούτα, Α., 2009. Αρχαίοι Έλληνες και Περιβάλλον. Νόμοι, Μύθοι και Οικολογικές «Ευαισθησίες» χιλιάδων ετών.

[portal.tee.gr/portal/page/portal/teetkm/...2009/.../377%2010_11.pdf](http://portal.teetkm/...2009/.../377%2010_11.pdf)

Δαναλάτος, Ν., 2007. Εισαγωγή στην προσομοίωση ανάπτυξης καλλιεργειών. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, Ελλάδα.

Δηλανά, Π., 2010. Κλιματική Αλλαγή και Γεωργία. Η πολιτική Διεθνώς, στην Ευρωπαϊκή Ένωση και στην Ελλάδα. Περιοδικό Γεωργία και Κτηνοτροφία 10/2010 σελ.32-38.

Δροσόπουλος, Ι., 1998. Φυσιολογία Φυτών. Αθήνα, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

ΕΛΣΤΑΤ (Ελληνική Στατιστική Αρχή), 1961-1990. Γεωργική Στατιστική.

ΕΛΣΤΑΤ (Ελληνική Στατιστική Αρχή), 2015. Ετήσια Γεωργική Στατιστική Έρευνα. Προσωρινά αποτελέσματα καλλιεργούμενων εκτάσεων 2013.

ΕΜΥ (Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία), 2014. Το κλίμα της Ελλάδας.

http://www.hnms.gr/hnms/greek/climatology/climatology_html

Ζερεφός, Χ., Ρεπαπής, Χ., Γιαννακόπουλος, Χ., Καψωμενάκης, Ι., Παπανικολάου, Δ., Παπανικολάου, Μ., Πούλος, Σ., Βρεκούσης, Μ., Φιλάνδρας, Κ., Τσελιούδης, Γ., Γερασόπουλος, Ε., Δουβής, Κ., Διακάκης, Μ., Νάστος, Π., Χατζηνικολάου, Π., Ξοπλάκη, Ε., Luterbacher, J., Ζάνης, Π., Τζεδάκης, Χ., Φουντά, Δ., Ελευθεράτος, Κ., Ρεπαπής, Κ., 2011. Το κλίμα της Ανατολικής Μεσογείου και της Ελλάδος: παρελθόν, παρόν και μέλλον. Οι περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα. Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής, Τράπεζα της Ελλάδος.

http://www.bankofgreece.gr/BogEkdoseis/%CE%A0%CE%BB%CE%B7%CF%81%CE%B7%CF%82_%CE%95%CE%BA%CE%B8%CE%B5%CF%83%CE%B7.pdf

Καραμάνος, Α., 2011. Γενική Γεωργία. Αρχές Φυτικής Παραγωγής στις Αροτραίες Καλλιέργειες. Εκδόσεις Παπαζήση.

Καραμάνος, Α., Βολουδάκης, Δ., 2011. Η επίδραση της κλιματικής μεταβολής στη γεωργία και τα γεωργικά εδάφη. Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής. Τράπεζα της Ελλάδος.

<http://www.bankofgreece.gr/Pages/el/klima/relevant.aspx>

Καραμπουρνιώτης, Γ., Λιακόπουλος, Γ., 2011. Φυσιολογία Καταπονήσεων. Παρουσιάσεις παραδόσεων Θεωρίας. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

http://www.aua.gr/gr/dep/bio/lab/morfol/karabourniotis_res_el_frameset.htm

Καψωμενάκης, Ι., 2011. Ανάλυση κλιματικών παραμέτρων οκτώ μοντέλων του σεναρίου A1B του προγράμματος ENSEMBLES και τριών μοντέλων των σεναρίων A2, B2 του προγράμματος PRUDENCE, στις περιοχές Αλεξανδρούπολη, Μίκρα, Άρτα, Καρδίτσα, Αγρίνιο, Πύργος, Υλίκη. Κέντρο Φυσικής της Ατμόσφαιρας Ακαδημίας Αθηνών, Δημοσίευτα στοιχεία.

Κόλλια, Β., Καλύβας, Δ., Τριακωνσάντης, Δ., 2012. Γεωγραφικά Πληροφορικά Συστήματα. Εκδόσεις Έμβρυο, 9-41.

Κωτούλας, Β., 2010. Μελέτη της επίδρασης της ελλειμματικής άρδευσης στην καλλιέργεια βαμβακιού *Gossypium hirsutum L., cv Celia*. Διδακτορική Διατριβή, Αθήνα, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο.

Μαριολόπουλος, Η.Γ., 1938. Το Κλίμα της Ελλάδος, Αθήναι.

Μαριολόπουλος, Η.Γ., 1982. Επιτομή του Κλίματος της Ελλάδος, ΚΕΦΑΚ Ακαδημίας Αθηνών, Δημοσίευμα, 7.

Τούλιος, Λ., 2008. Κλιματική αλλαγή, γεωργία και νερό. ΕΘΙΑΓΕ 33, 18-19.

Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων (ΥΠΕΧΩΔΕ), 2007. Εκτίμηση των πιθανών επιπτώσεων στην Ελλάδα από την κλιματική αλλαγή. Έκδοση ΥΠΕΧΩΔΕ.

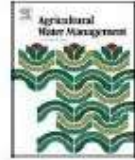
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

- A. Δημοσίευση εργασίας στο περιοδικό Agricultural Water Management
- B. Φωτογραφίες σιταριού που χρησιμοποιήθηκαν στο λογισμικό Sigma Scan Pro



Contents lists available at ScienceDirect

Agricultural Water Management

journal homepage: www.elsevier.com/locate/agwat

Prediction of climate change impacts on cotton yields in Greece under eight climatic models using the AquaCrop crop simulation model and discriminant function analysis



Dimitrios Voloudakis^{a,*}, Andreas Karamanos^a, Garifalia Economou^a, Dionissios Kalivas^b, Petros Vahamidis^a, Vasilios Kotoulas^a, John Kapsomenakis^c, Christos Zerefos^{c,d}

^aAgricultural University of Athens, Laboratory of Agronomy, 75 Iera Odos Str., 11855 Athens, Greece

^bAgricultural University of Athens, Laboratory of Soils and Agricultural Chemistry, 75 Iera Odos Str., 11855 Athens, Greece

^cResearch Centre for Atmospheric Physics and Climatology, Academy of Athens, 84 Solonos Str., 10680 Athens, Greece

^dNavarino Environmental Observatory, Navarino Dunas, Costa Navarino, 24001 Messinia, Greece

ARTICLE INFO

Article history:

Available online 22 September 2014

Keywords:

Discriminant function analysis

Climate change

Seedcotton yield

Climate model classification

Crop evapotranspiration

Greece

ABSTRACT

The impact of climate change on cotton yields in seven main arable crop sites in Greece (Agrinio, Alexandroupoli, Arta, Karditsa, Mikra, Pyrgos, Ylikl) was investigated. The FAO AquaCrop (v4) water driven model was used as a crop growth simulation tool under eight climatic models (HadRM3, C4I, REMO-MPI, ETHZ, CNRM, DMI-HIRHAM, KNMI, SMHI) based on IPCC's A1B emission scenario. The mean values of the models ensemble for temperature were +1.8 °C until 2050 and +4 °C until the end of the century. The respective values for precipitation were –11% and –24%. The research was applied over three periods, 1961–1990, 2021–2050 and 2071–2100. AquaCrop was calibrated for 2006 and validated for 2005 and 2007 using the field data from the experiments carried out in Karditsa (Central Greece). Root Mean Square Error for yield and biomass was 0.17 and 0.49 t/ha, respectively, while Index of Agreement was 0.93 and 0.94. AquaCrop was run using the Growing Degree Day mode in order to account better for the temperature variations. However, it gave erratic results for some specific climatic models (SMHI, KNMI, CNRM) in some years within the period 1961–1990. A tendency towards increasing yields by the end of the century was detected for the majority of the climate models, especially in Western Greece (Arta, Agrinio, Pyrgos) and Northern Greece (Mikra, Alexandroupoli). The efficiency of the eight models for yield predictions in the seven sites was assessed by means of a discriminant function analysis. On the account of their function coefficients over the seven sites, it was found that the models DMI and C4I explained consistently a great proportion of variation among the three time periods whereas the models ETHZ, SMHI and KNMI were more efficient only in the periods 1961–1990, 2021–2050 and 2071–2099, respectively. By running the models DMI and C4I the relative impacts of climate change on seedcotton yield in the different areas were predicted and the results were discussed on the account of the corresponding changes in precipitation, temperature and crop evapotranspiration. These results will be useful for future irrigation planning in the study areas.

© 2014 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

Cotton is a crop of high importance for Greek agricultural production. Greece is the biggest cotton producer in the European Union accounting for almost 80% of its total production (European Commission, 2013). In addition, cotton exports are in the fourth

place of the total Greek exports with an added value of 426 million euro (Hellenic Statistical Authority, 2012).

According to the fourth IPCC report for climate change (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007), the Mediterranean Basin will be among the areas to be most adversely affected in terms of a rise in temperature, a decrease in overall water balance and a higher frequency of extreme climatic events. Agricultural production will also be decisively affected. Increasing flood and drought risks will further contribute to the need for robust management practices in Southern Europe (Falloon and Bets, 2010). If these predictions are confirmed, it is really important to develop

* Corresponding author. Tel.: +30 2105294756; fax: +30 2105294482.
E-mail addresses: dvoloud@phd.uoi.gr, voloudakis.dimitris@ana.gr (D. Voloudakis).

an integrated view of the future cotton yield trends, since one of the aims of Climate Change research is to aid decision making by reducing future uncertainties (Lobell and Burke, 2008).

In the case of cotton, Reddy et al. (1999) concluded that a rise in atmospheric CO₂ concentration under optimal temperatures produced more fruiting structures and cotton bolls, although boll retention was severely curtailed when air temperatures exceeded 28 °C. In a more recent research, the same authors predicted an overall decrease in cotton yield by 9% for the Mississippi cotton zone caused by the negative effects of projected changes in climatic variables other than CO₂ (Reddy et al., 2002). Yoon et al. (2009) reported that an elevated CO₂ concentration could increase both the above ground biomass and boll weight of cotton, although seed and lint yield could also increase only when plants were not exposed to temperatures above the optimum. According to Bange et al. (2008) the restriction of water resources induced by climate change in Australia will adversely affect cotton production in respect to other crops and make imperative a continuous effort for improvement in whole farm and crop water use efficiency. In a recent interdisciplinary study funded by the Bank of Greece (Karamanos et al., 2011), it was predicted that cotton yields were going to increase in the climatic zones of Northern and Western Greece, but to decline in Central-Eastern Greece under the A1B and A2 emission scenarios (Nakicenovic et al., 2000).

In many cases, a number of available crop models (CropSyst, AquaCrop, CERES, etc.) were used to simulate crop productivity under different climatic conditions. The AquaCrop is a crop water productivity model developed by the Land and Water Division of the Food and Agricultural Organisation (FAO) of the United Nations (Steduto et al., 2009). In comparison with other models, it is more effective for areas where water is a limiting factor, it requires fewer parameters, it is user-friendly, more accurate, with lower error probabilities (Raes et al., 2009). It has been successfully used in cotton simulation experiments under full and deficit irrigation regimes (Farahani et al., 2009; Garcia-Vila et al., 2009). Furthermore, it accounts for the expected rise in atmospheric CO₂ concentration through a flexible response of the water productivity parameter to elevated CO₂, which captures the variation in crop responsiveness associated with crop sink strength (Vanuytrecht et al., 2011). In the past AquaCrop was used for climate change impacts research in the case of durum wheat (Soddu et al., 2013), of maize (Masanganise et al., 2012) and for numerous crops, as well as cotton, in the World's Bank Study for Albania, FYROM, Moldova and Uzbekistan (Sutton et al., 2013). For all these reasons the AquaCrop is considered as a suitable tool for crop simulation studies in Greece. Its suitability, however, needs to be assessed through field experimentation.

The prediction of cotton yields in Greece for the middle (2021–2050) and the end (2071–2100) of the running century is the main aim of this work. The predictions will be extended to all major cotton cultivating areas in Greece and will be based on the implementation of AquaCrop under different Regional Circulation Models (RCMs) of the A1B Scenario for each area. Additional aims are to validate the AquaCrop model using field data and to assess the ability of the different RCMs to discriminate the Greek cotton zones based on yield predictions. In particular, in order to assess the discriminant ability of the climate models, the statistical procedure of the Stepwise Discriminant function analysis (SDFA) was applied. Discriminant analysis was used in the past in investigating climate change impacts on agriculture. Kueppers et al. (2005) used the discriminant analysis in their research concerning the effects of climate change on endemic oak in California and Jaradat and Boody (2011) in modelling agroecosystem services under simulated climate and land-use changes. Discriminant analysis was also extensively used in agricultural research (e.g., Slaughter et al., 2004; Piron et al., 2008; Chen et al., 2010; Backoulou et al., 2011).



Fig. 1. The seven sites of the study.

2. Materials and methods

2.1. Study areas

Greece is transversely divided by the mountain range of Pindos into a western and eastern part, giving a unique natural terrain and important climatic diversity. Seven areas in the Greek mainland covering almost the total range of cotton producing habitats all over Greece were selected for the study (Fig. 1). The areas are situated in distinct climatic zones within the Greek territory according to Zerefos et al. (2011).

Table 1 shows the average cotton yields recorded in the seven areas between 1961 and 1990 by the Hellenic Statistical Authority (Agricultural Statistical Survey 1961 to 1990).

Tables 2 and 3 show the monthly averages of temperature and precipitation for the growing period of cotton (April to November) in the seven study areas during the period 1961 to 1990 (data provided by Hellenic National Meteorological Service). It appears that the areas belonging to the northern climatological zones, like Alexandroupoli and Mikra, were characterized by lower temperatures, while the area of Karditsa (Central Greece) was warmer during spring and summer. As regards precipitation, all areas exhibit the normal pattern of a Mediterranean area with the maximum during winter and the minimum values during July and August.

2.2. Climate scenario and models

The A1B emission Scenario, as it was developed in the third IPCC report (Nakicenovic et al., 2000) was used for the projection of climatic changes in this work. According to this scenario, a very rapid economic growth is expected accompanied by a global population reaching its maximum in the mid-century and declining thereafter. In addition, a rapid introduction of new and more efficient technologies and a balanced use of fossil and non-fossil energy sources is anticipated. Small changes in land use and a considerable increase in CO₂ concentration reaching up to 720 ppm by 2100 are expected. Eight Regional Climate Models: HadRM3, C4I, REMO-MPI, ETHZ, CNRM, DMI-HIRHAM, KNMI and SMHI, derived from adjustments developed by the Research Center for Atmospheric Physics and Climatology of the Academy of Athens, were used for the A1B Scenario. Some details of the models are shown in Table 4.

Results from the application of these models are extracted for the seven study areas giving a large spectrum of climatic

Table 1

Average Seedcotton yield (t/ha) in the seven study areas for the period 1961–1990.

	Agrinio	Arta	Yliki	Alex/ili	Pyrgos	Mikra	Karditsa
Mean	1.87	1.96	2.00	1.41	2.24	2.12	2.21
Standard error	±0.06	±0.05	±0.06	±0.06	±0.06	±0.04	±0.06

Table 2

Monthly averages of mean daily temperature (°C) during the growth period of cotton in the seven study areas for the period 1961–1990.

	April	May	June	July	August	September	October	November
Agrinio	15.2	20.3	24.5	27.0	26.6	23.1	17.9	13.0
Alex/ili	13.2	18.3	23.0	25.7	25.2	21.0	15.5	11.0
Arta	15.3	20.0	23.9	26.5	26.4	23.0	18.3	13.4
Karditsa	15.4	20.7	25.4	27.5	26.7	22.8	16.4	11.2
Mikra	14.2	19.5	24.2	26.5	25.8	21.8	16.1	10.9
Pyrgos	15.4	19.8	23.8	26.4	26.3	23.4	18.9	14.7
Yliki	14.6	20.0	25.1	27.3	26.4	22.5	17.1	12.9

Table 3

Monthly average precipitation (mm) during the growing period of cotton in the seven study areas for the period 1961–1990.

	April	May	June	July	August	September	October	November
Agrinio	67.8	45.1	27.4	9.9	18.7	23.9	78.5	107.7
Alex/ili	65.6	46.0	26.9	10.5	19.7	23.0	79.2	107.0
Arta	67.8	46.3	25.2	10.7	18.3	23.6	80.8	107.4
Karditsa	66.5	48.8	25.9	10.9	17.9	19.7	78.9	113.8
Mikra	67.2	46.9	25.5	10.6	17.0	24.7	80.5	108.9
Pyrgos	69.0	49.0	26.2	10.3	17.6	23.7	83.6	111.7
Yliki	68.4	50.4	26.9	10.9	18.1	18.8	83.0	115.0

variability. The climatic variables used from each model were, on a daily scale, maximum and minimum temperature (°C), air relative humidity (%), wind speed at 10 m above ground surface (m/s), solar irradiance (W/m²) and precipitation (mm/day). Wind speed was adjusted from 10 m to 2 m above ground surface in order to estimate the reference evapotranspiration. The adjustment was done using the ETo calculator software (v 3.2) by means of the FAO Penman-Monteith equation according to the reference manual of the ETo calculator (Raes, 2012).

2.3. Crop simulation model

The AquaCrop crop growth simulation model (version 4, 2013) was used to assess the response of cotton to climate change. Detailed descriptions of the model have been given by Raes et al. (2009) and Steduto et al. (2009). It is a water-driven model that is used for yield estimation of several herbaceous crops. In AquaCrop evapotranspiration is separated into evaporation and transpiration.

Table 4

The eight climatic models and the relevant references used in the research. The spatial resolution of the models was 0.220 × 0.220.

Models	References
HadRM3 (Hadley Centre's Regional Climate Model)-UK	Collins et al. (2006)
CCl (Community Climate Change Consortium for Ireland)	Kjellström et al. (2005)
REMO-MPI (Regional Model - Max Planck Institute)-Germany	Jacob et al. (2001)
ETHZ (Swiss Federal Institute of Technology Zurich)	Bühn et al. (2006)
CNRM (Météo-France)/Centre National de Recherches Météorologiques	Reference none yet
DMI- HIRHAM (Danish Meteorological Institute)	Christensen et al. (1998)
KNMI (Royal Netherlands Meteorological Institute)	Van Meijgaard et al. (2008)
SMHI (Swedish Meteorological and Hydrological Institute)	Kjellström et al. (2005)

Transpiration is related to canopy cover, which is proportional to the extent of soil cover whereas evaporation is proportional to the area of the soil uncovered. The crop responds to water stress through four stress coefficients (leaf expansion, stomata closure, canopy senescence, and change in harvest index). The model reproduces the canopy cover from daily transpiration taking into account leaf area expansion and canopy development, senescence and harvest index. The development of the green canopy cover (CC) is used for the simulation of the produced biomass and the transpired water absorbed by the deepening root system. The final yield is expressed as the product of final Biomass and Harvest Index. In general, it is a user-friendly model that has merit in its optimal balance between accuracy, robustness, simplicity and it requires a relatively small number of parameters (Raes et al., 2009). The model uses input variables that require simple methods for their determination, but it does not take into consideration factors like pests, diseases and weeds.

The capability of AquaCrop to simulate crop responses to elevated CO₂ is based on the adjustment of a water productivity parameter according to: (a) results of a theoretical study supported by pot experiments; (b) results of a meta-analysis of crop responses in FACE (free air carbon enrichment) environments; and (c) a flexible hybrid of the two former procedures with the introduction of a different crop sink strength coefficient for each crop. Since AquaCrop simulations respond to changes in CO₂ concentration (Vanuytrecht et al., 2011), it is possible to evaluate the interactive effects of temperature increase, erratic rainfall and the rise in CO₂ concentration in future climates. Different scenarios may be introduced, following predictions of the RCMs to be applied.

The calibration of the model was performed using real data (on a daily scale, maximum and minimum temperature (°C), air relative humidity (%), wind speed at 2 m above ground surface (m/s), solar irradiance (W/m²) and precipitation (mm/day)) obtained from field experiments carried out during three seasons (2005 to 2007) in Karditsa, Central Greece (Kotoulas, 2010). A portable meteorological station (Skye Instruments Ltd, PRONAMIC Bekhti International Trading Engineering Co. Ltd, ADOLF THIES GmbH & Co.KG) was

Table 5
The soil characteristics of the experimental fields for 2005 and 2006–2007.

Year	Depth (cm)	Soil texture (S–C–L)	Soil water content at FC (m ³ /m ³)	Soil water content at WP (m ³ /m ³)
2005	0–120	34–41–25 (CL)	0.371	0.251
2006–2007	0–30	20–38–42 (SCL)	0.368	0.232
	>30	21–32–47 (SCL)	0.349	0.195

S: sand, C: clay, L: loam, CL: clay loam, SCL: sandy clay loam, FC: field capacity, WP: wilting point.

established in the field for collecting local weather data. In 2005 the experiment was carried out in a field different from that of 2006 and 2007. Thus, in 2005 the soil type was clay loam and the water table was located at a depth of 120 cm, whereas in 2006 and 2007 the soil was silty clay loam and the water table was located at 250 cm (Table 5).

The amount of the water applied through a drip irrigation system was adjusted at 80% of the calculated crop evapotranspiration. Crop evapotranspiration was calculated as the product of reference evapotranspiration and crop coefficient. Reference evapotranspiration was estimated using the standard approach recommended by FAO (Allen et al., 1998) based on the Penman–Monteith equation. The fluctuations of the reference and crop evapotranspiration for 2005, 2006 and 2007 are shown in Fig. 2.

The amounts of the irrigated water applied during the three cultivation periods are shown in Table 6.

AquaCrop was firstly adjusted for 2006 in the calendar time mode, according to Steduto et al. (2012), and then the model was applied to the other two cropping periods. The planting dates were 25 April, 7 May and 29 April for 2005, 2006 and 2007, respectively. There was no evidence of fertility stress during the three years. The differences in the soil's structure and in the depth of the water table between 2005 and 2006, 2007 were taken into account during the simulations. The model was calibrated for canopy cover, seed cotton yield and biomass. Cotton canopy growth was monitored using a DT-leaf area meter (Delta-T Devices Ltd, Burwell Cambridge, UK), from which the leaf area index (LAI) was calculated. The conversion from LAI to canopy cover (CC), the parameter used in AquaCrop, was done using the following equation (García-Vila et al., 2009):

$$CC = \frac{(1 - e^{-LAI/1.3})}{(1 + e^{-LAI/1.3})} \quad (1)$$

The statistical parameters used to assess the fitness of the model to the real data were the Root Mean Square Error (RMSE) and the index of agreement (*d*). Both parameters have been used for evaluating the goodness of the fit of AquaCrop to the observed data in

Table 6
The amounts of water applied through irrigation (mm) on different days after planting (DAP) in the field experiments for AquaCrop validation in Karditsa during the three seasons.

2005		2006		2007	
DAP	(mm)	DAP	(mm)	DAP	(mm)
20	25	13	25	24	25
38	25	35	25	42	25
73	44	72	40	73	40
96	32	81	38	87	44
110	32	90	36	94	44
121	32	101	36	101	30
		109	36	112	40
		118	36		
Total	190	Total	272	Total	248

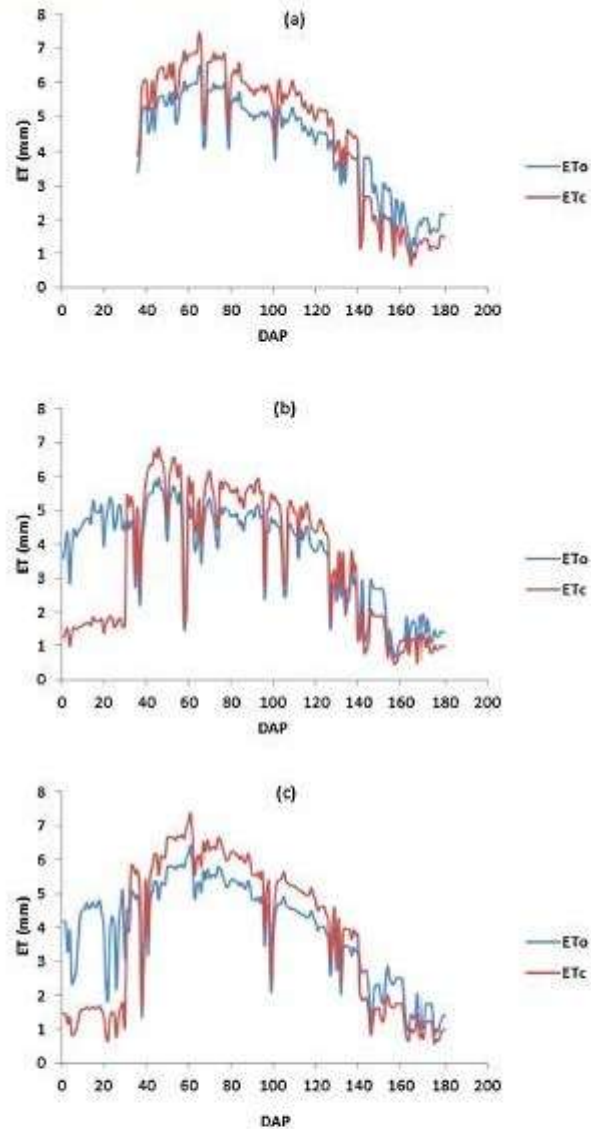


Fig. 2. The fluctuations in the reference (ET_o) and crop evapotranspiration (ET_c) in different days after planting (DAP) for 2005 (a), 2006 (b) and 2007 (c).

other works (e.g. Stricevic et al., 2011; Hussein et al., 2011). RMSE was calculated from the following equation:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2} \quad (2)$$

where *S_i* and *O_i* are the simulated and observed values, respectively, and *n* is the number of observations. The model's fit improves as RMSE approaches zero. The index of agreement (*d*) (Willmott, 1982) is given by the following equation:

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|S_i - MO| + |O_i - MO|)^2} \quad (3)$$

where MO is the mean of the n observed values. The value of d ranges from 0 to 1.0 and the model's fit improves as d approaches unity.

2.4. Assessment of the climate models

The stepwise discriminant function analysis (SDFA, Jennrich, 1977) was used as a tool for the assessment of the examined climate models on the account of the ability to differentiate the simulated cotton yields among the study sites. In addition, SDFA was used to separate the study areas in groups on the account of the simulated cotton yields calculated by the applied climate models. Discriminant functions were derived according to the different cotton yields simulated for the periods 1961–1990, 2021–2050 and 2071–2100 from each of the eight climate models in each of the seven study areas. The SDFA produced a set of standardized discriminant function coefficients to the variables (climate models) that could be used to differentiate the effects of climatic conditions to the different yields observed in each area. The stepwise procedure was applied using the Wilks' lambda method as a criterion for entry of variables into the final equations. At each step, the variable that minimized the overall Wilks' lambda was entered. The SDFA was performed for the periods 1961–1990, 2021–2050 and 2071–2100 using the statistical software package SPSS version 17 (SPSS Inc, Chicago, IL).

3. Results and discussion

3.1. Results of AquaCrop calibration and validation

Table 6 shows that the total amount of the applied irrigation water in each period (190, 272 and 248 mm in 2005, 2006 and 2007, respectively) was associated with the respective values of total reference and crop evapotranspiration in the three periods (Fig. 2).

On the account of the field data for all three periods, the basic parameters of the AquaCrop were adjusted for water productivity (WP) at 15.2 g/m², for the reference harvest index (HI₀) at 27%, for the maximum canopy cover (CC_m) at 94%, and for the maximum effective rooting depth at 2 m. The values of these parameters are similar to previous applications of AquaCrop on cotton in the cases of Garcia-Vila et al. (2009) (WP = 15 g/m², HI = 35%, CC_m > 90%) and Farahani et al. (2009) (WP = 19.8 g/m², HI = 30%, CC_m = 90%). The observed and simulated crop growth was assessed through canopy development. The application of the crop model showed a close agreement between the real and simulated values of crop canopy cover (CC) in all three years. The respective values of RMSE and d were 0.14 and 0.92 for 2005, 0.05 and 0.99 for 2006 and 0.12 and 0.98 for 2007. Very close agreement between real and simulated values was also observed for seedcotton and

Table 7

Statistical comparison between simulated and observed yield and biomass for the three experimental years. RMSE: Root mean square error; d : index of agreement.

Crop characteristics	Year		
	2005	2006	2007
Yield (t/ha)			
Observed	4.05	3.65	2.97
Simulated	4.02	3.67	3.26
RMSE		0.17	
d		0.94	
Biomass (t/ha)			
Observed	14.09	12.85	12.10
Simulated	14.25	12.86	11.20
RMSE		0.49	
d		0.93	

Table 8
Differences in seedcotton yield among the seven study areas in the periods 2021–2050 and 2071–2100, expressed as percentages of yields in relation to the period 1961–1990, according to the eight climatic models. na: no output (see text).

	Agrinio		Alex/ili		Aria		Karditsa		Mikra		Pyrgos		Yiki	
	2021–2050	2071–2100	2021–2050	2071–2100	2021–2050	2071–2100	2021–2050	2071–2100	2021–2050	2071–2100	2021–2050	2071–2100	2021–2050	2071–2100
HadRM3	-3.48	-8.71	-137.81	-109.41	12.38	36.49	47.19	19.99	-30.14	-69.66	-24.03	-63.75	-31.35	-102.86
CGI	-0.54	22.56	27.26	-23.84	16.8	7.04	3.38	-11.09	8.01	-18.02	7.69	25.52	20.28	9.57
REMO-MPI	na	na	43.75	43.1	45.84	51.19	7.45	31.16	11.63	38.17	25.33	30.75	8.39	32.2
ETHZ	17.14	20.07	72.2	70.39	12.27	18.67	14.86	25.49	36.04	47.9	7.89	17.87	19.37	27.9
CNRM	-2.154	-3.85	76.94	51.51	na	na	-71.27	-8.53	-10.67	-3.51	-0.73	-37.78	49.31	-43.28
DMI-HIRLAM	19.22	28.49	-15.5	-5.06	24.08	31.59	-2.75	28.37	-11.56	7.1	4.48	10.18	7.82	19.81
KNMI	8.83	13.58	na	na	6.61	19.77	16.34	24.94	4.4	-4.57	13.32	19.28	21.27	36.58
SMHI	na	na	na	na	na	na	-14.79	46.93	na	na	na	na	35.73	40.5

biomass yields in all three cultivation periods, especially in 2006 (Table 7).

The close proximity between simulated and actual values in these crop characteristics is also reflected in the values of RMSE (ranged from 0.17 to 0.49, for yield and biomass, respectively) and of d (ranged from 0.93 to 0.94, for yield and biomass, respectively). Similar positive results for AquaCrop application were reported by other investigators for cotton (Farahani et al., 2009; Garcia-Vila et al., 2009; Hussein et al., 2011) and other arable crops such as

maize (Hsiao et al., 2009; Abedinpour et al., 2012), wheat (Salemi et al., 2011), sugarbeet (Stricevic et al., 2011), sunflower (Todorovic et al., 2009), barley (Araya et al., 2010), and quinoa (Geerts et al., 2009).

3.2. Future projections of some climatic parameters

The eight models were run for three distinct periods, 1961–1990, 2021–2050, and 2071–2100. In Figs. 3–4 the changes

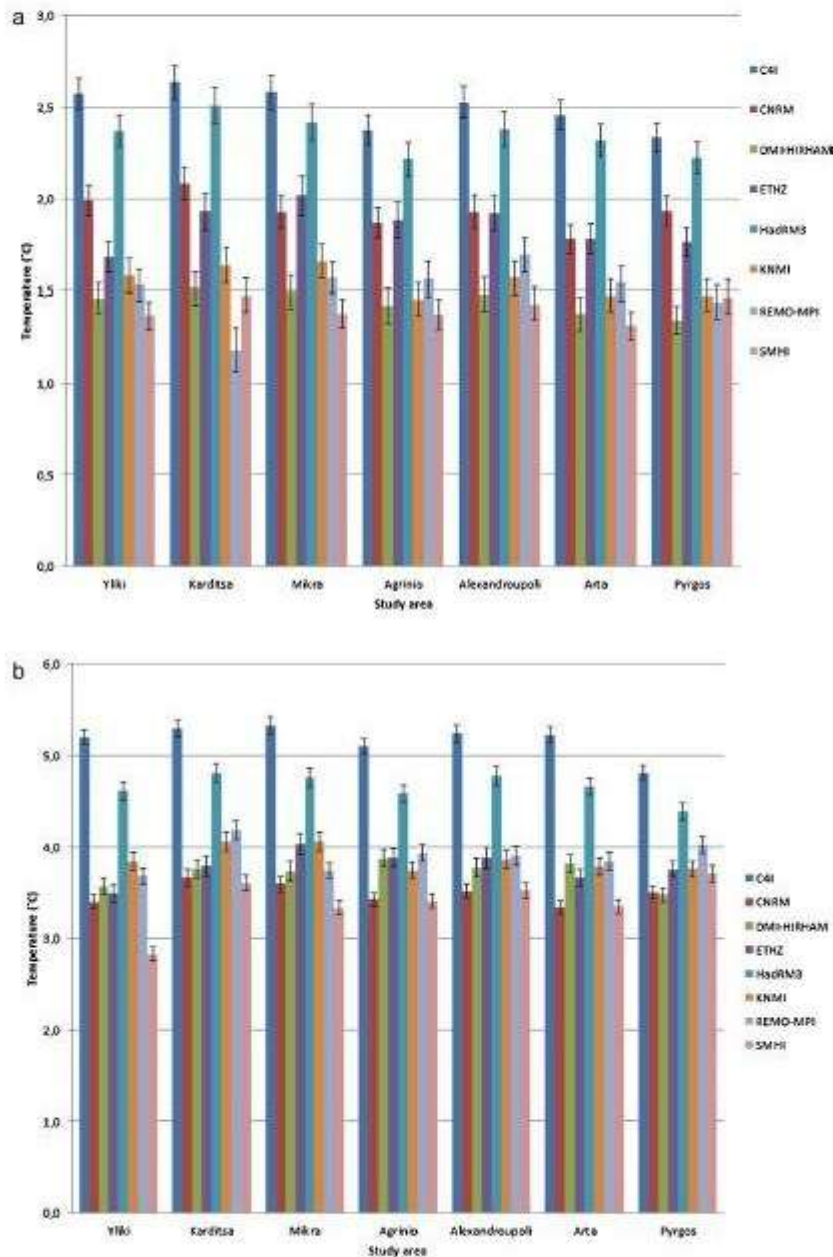


Fig. 3. (a) Changes in the mean daily temperature according to the eight models in the study areas between 1961–1990 and 2021–2050. The vertical bars show the standard errors of the means. (b) Changes in mean daily temperature according to the eight models in the study areas between 1961–1990 and 2071–2100. The vertical bars show the standard errors of the means.

in two main climatic parameters (mean air temperature and precipitation), derived from the use of each climatic model within each area, are depicted as proportions of differences from the reference period 1961–1990.

The models C4I and HadRM3 produced consistently higher while SMHI consistently lower changes in temperature in all areas both during 2021–2050 and 2071–2100 (Fig. 3a and b). The differences from 1961–1990 were as high as 2.3 to 2.6 °C and 2.2 to 2.5 °C for C4I and HadRM3, respectively, and 1.35 to 1.48 °C for SMHI. As expected, the differences were higher during 2071–2100, from 4.85 to 5.20 °C and 4.40 to 4.80 °C for C4I and HadRM3, respectively, and 2.80 to 3.80 °C for SMHI. On the average, the ensemble mean increase in temperature is approximately 1.8 °C for 2021–2050 and 4 °C for 2071–2100. Karditsa and Mikra were the areas more vulnerable in warming during the first period. During the second period, however, the projected rise in temperature from all models was similar in all areas except Pyrgos, where it was kept at slightly lower levels (Fig. 3a and b).

As regards the changes in precipitation, the models DMI-HIRHAM and KNMI tended to produce higher decreases ranging from 16 to 25% for most of the study areas in the period 2021–2050 (Fig. 4a and b). The model SMHI produced the lower decrease

(2 to 12.15%) in the same period. DMI produced the higher decreases (from 23.5 to 43%) also during the period 2071–2100, followed by C4I. In this period, SMHI exhibited the lowest decreases (11 to 26%) for all areas. Pyrgos, Agrinio and Arta (Western Greece) exhibited the more intense decreases in rainfall in most of the climate models during both periods (Fig. 4a and b).

3.3. Cotton yield response to climate change

There were separate runs of AquaCrop for each climate model and area. The model was run in the Growing Degree-Days mode to perform better for the important effects of rising temperatures on a warm-season crop such as cotton, according to Steduto et al. (2012). The crop fertility and irrigation management strategies were kept the same for all locations and corresponded to those adopted in the calibration year of 2006 for Karditsa. This assumption was possible because the present cultivation management is very similar among the study areas. The soil characteristics and the adjustment for the depth of the groundwater table of 2006–2007 (Table 5) were used for all study areas as this kind of soil type and groundwater depth is very common between them. The planting dates were 15/4 for Agrinio, Yliki and Pyrgos, 25/4 for Arta and Karditsa and

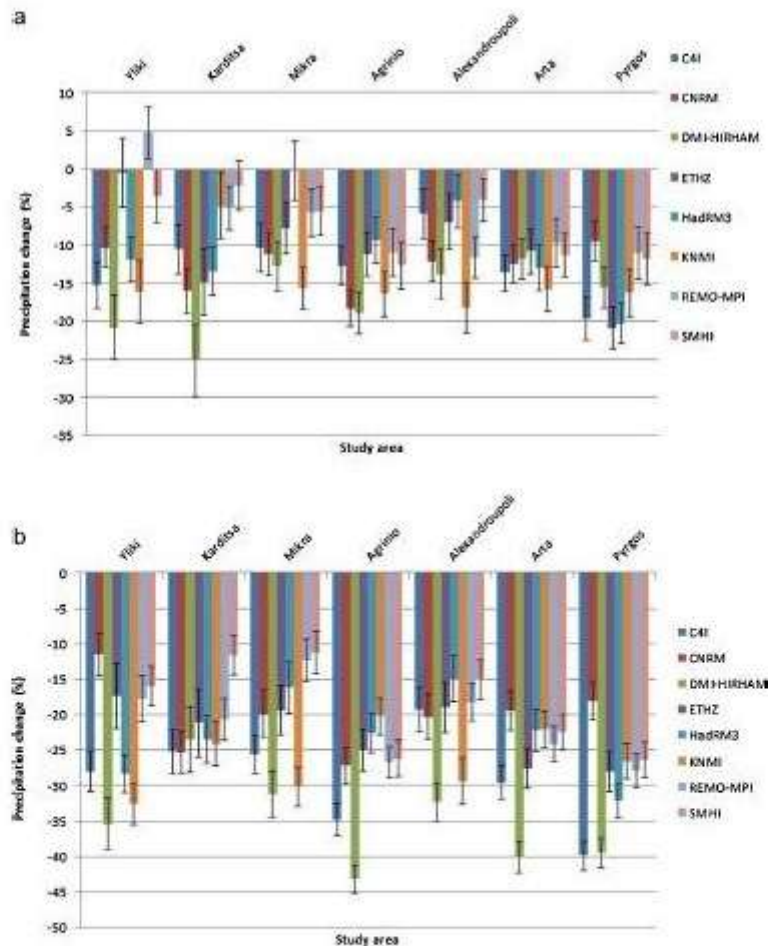


Fig. 4. (a) Proportional changes in precipitation according to the eight models in the study areas between 1961–1990 and 2021–2050. The vertical bars show the standard errors of the means. (b) Proportional changes in precipitation according to the eight models in the study areas between 1961–1990 and 2071–2100. The vertical bars show the standard errors of the means.

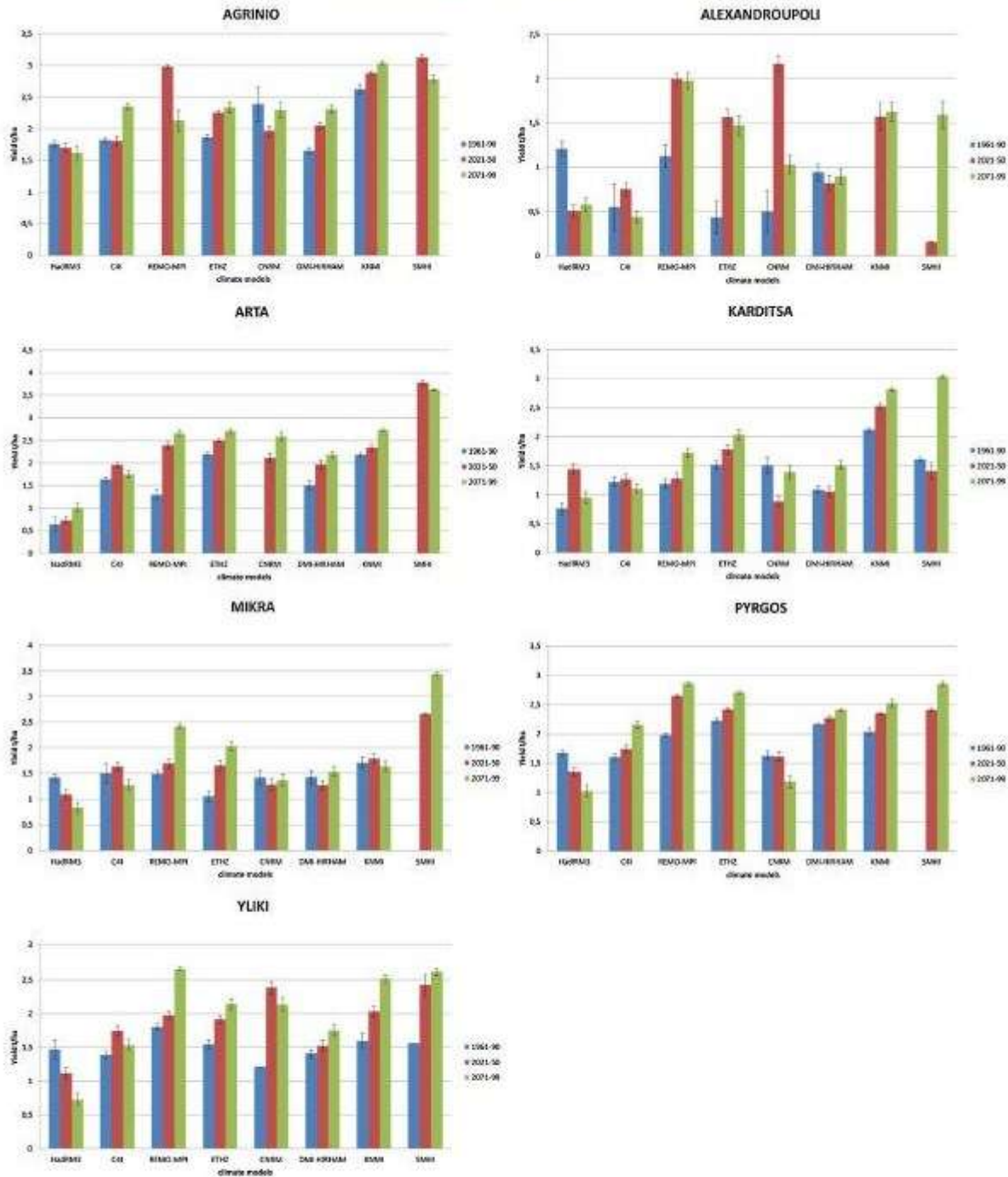


Fig. 5. Changes of the simulated seed cotton yields for the eight climate models among the seven areas of the study. The vertical bars show the standard errors of the means.

1/5 for Mikra and Alexandroupoli representing the present differences in planting dates between southern and northern Greece and remained the same for the three periods. The output of these simulations is presented in Fig. 5.

Table 8 shows the differences in seedcotton yields during 2021–2050 and 2071–2100, expressed as percentages of the reference period 1961–1990, produced by the application of AquaCrop for each model over all areas (more than 5000 runs of the model).

Several conclusions can be drawn from Table 8. First, it seems that the use of HadRM3 model produces the highest decreases in cotton yields. In most areas cotton production is decreasing, except Arta and Karditsa. The maximal decrease was observed in Alexandroupoli and Yliki during 2071–2100. The C4I, CNRM and KNMI models indicate a second area in northern Greece (Mikra) to be also vulnerable to climatic variability during the same period. Conversely, the models KNMI, REMO-MPI and ETHZ predict, in general, a positive effect of climate change on cotton yields. For example, REMO-MPI and ETHZ applications produced increases in yield in Alexandroupoli during 2071–2100 as high as 43% and 70%, respectively. Irrespective of the climate models, the area of Arta seems to benefit from climatic change in both periods. The same conclusion could be drawn for the area of Yliki (except the HadRM3 model). The AquaCrop model did not perform uniformly for all climate models and areas. There were periods that the crop model did not completed the necessary growing degrees days during the growing period (minimum needed for cotton in Greece is 1450; Danalatos, 2007) and this resulted in no output (na: not available—in Table 8). Besides, in some areas the change in cotton yield is extremely erratic among climate models (for example the differences in cotton yield in Alexandroupoli varies from –138% to +77% between the baseline period and 2021–2050). The need of having a clearer view of the extracted values drove us into the procedure of filtering the figures by evaluating the climate models using statistical tools with discriminant ability.

3.4. Assessment of the used climatic models

The assessment of the models was based on their ability to discriminate the seed cotton yields produced by running the AquaCrop for each model in the examined sites, in view of the existing real differences in yields (Table 1) due to different soil and climatic conditions prevailing in each site. Hence, the stepwise discriminant function analysis was considered as the most suitable technique for this approach.

The analysis retained six out of the eight climate models for the period 1961–1990. The HadRM3 and the SMHI models were excluded from the final discriminant function model. HadRM3 was also excluded in the periods 2021–2050 and 2071–2100, together with ETHZ (Table 9).

The standardized coefficients are used in assessing the contribution to the discriminant function of each independent variable. Based on the magnitude of standardized discriminant coefficients, C4I, ETHZ and DMI-HIRHAM had the highest contribution in function 1 and C4I, REMO and CNRM in function 2 for the period 1961–1990 (Table 9). Function 1 explained 65.5% of the simulated cotton yields variance, whereas only 19.5% of this variance was explained by function 2. Additionally, the degree of relationship between the predictors and groups (canonical correlation) due to function 1 (0.805) was higher than that due to function 2 (0.595). The first discriminant function was mainly responsible for the fair distinction of the two areas Alexandroupoli (2) and Mikra (5) from Pyrgos (6), whereas the areas Karditsa (4), Yliki (7), Arta (3) and Agrinio (1) were grouped together. Based on the second discriminant function there is an obvious distinction between Mikra (5) and Agrinio (1) (Fig. 6). For the period 2021–2050, SMHI, C4I and DMI-HIRHAM had the highest contribution in function 1 and REMO, KNMI and CNRM in function 2 (Table 9). Function 1 explained 59.7% of the areas simulated cotton yields and the degree of relationship between the predictors and groups (canonical correlation) was 0.764. Function 2 explained 25.9% of the variance and the canonical correlation was 0.615. Function 1 was responsible for the distinction of Alexandroupoli (2) from Agrinio (1), Arta (3) and Pyrgos (6) while Mikra (5), Yliki (7) and Karditsa (4) form another distinct

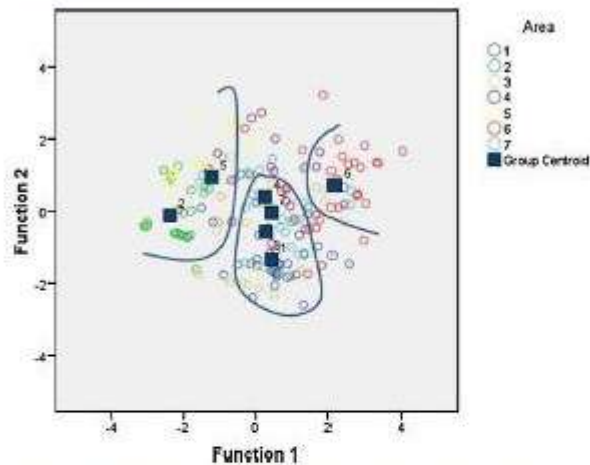


Fig. 6. Plot of the first two discriminant functions for the simulated cotton yield in the seven study areas during the period 1961–1990. (1) Agrinio, (2) Alexandroupoli, (3) Arta, (4) Karditsa, (5) Mikra, (6) Pyrgos, (7) Yliki.

group. The second function discriminates Alexandroupoli (2) and Karditsa (4) and the other areas were grouped together (Fig. 7).

For the period 2071–2100 the climatic models C4I, KNMI and DMI-HIRHAM had the highest contribution in function 1, whereas SMHI, KNMI and REMO in function 2 (Table 9). Function 1 was able to explain 53.0% of the simulated cotton yields variance, whereas only 23.1% of this variance was explained by function 2. Additionally, the degree of relationship between the predictors and groups (canonical correlation) due to function 1 (0.760) was higher than that due to function 2 (0.612). The simulated cotton yields from Alexandroupoli (2) and Mikra (5) were fairly discriminated by function 1 from Agrinio (1), whereas the other areas were grouped together. Function 2 was able to distinct Alexandroupoli (2) and Mikra (5) (Fig. 8).

3.5. Comparison of cotton yield change among the study areas

To compare the future changes in seed cotton yields predicted by AquaCrop for each of the seven study areas, the climate models

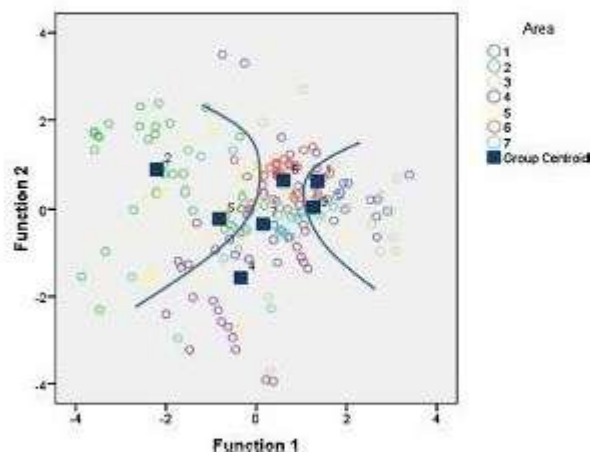


Fig. 7. Plot of the first two discriminant functions for the simulated cotton yield in the seven study areas during the period 2021–2050. (1) Agrinio, (2) Alexandroupoli, (3) Arta, (4) Karditsa, (5) Mikra, (6) Pyrgos, (7) Yliki.

Table 9
Standardized discriminant function coefficients (functions 1 and 2) for the three different periods.

Models	1961–1990		2021–2050		2071–2100	
	Standardized		Standardized		Standardized	
	Func 1	Func 2	Func 1	Func 2	Func 1	Func 2
HadRM3						
C4I	0.569	−0.504	0.556	0.01	0.648	0.018
REMO-MPI	0.328	0.608	0.383	0.821	−0.258	0.38
CNRM	0.176	0.527	−0.316	0.344	0.223	0.221
DMI-HIRHAM	0.454	−0.118	0.456	0.105	0.474	−0.162
KNMI	0.397	0.185	0.383	−0.535	0.483	−0.584
SMHI			0.598	−0.24	0.187	0.869
ETHZ	0.526	0.161				

C4I and DMI-HIRHAM were chosen, which appeared to play consistently the most significant role in the discriminating process for all three periods (Table 9). First, the impact of these two climate models on the duration of the future cotton's growing period was investigated. For both models, AquaCrop showed a clear trend of shortening in the mean values of the growing period in all areas. A similar result was also observed by Reddy et al. (2002) for the case of the Mississippi Delta in the USA. For the climate model C4I and for the period 2021–2050 the highest reduction in growing period in reference to 1961–1990 was observed in Alexandroupoli, Mikra and Karditsa (−30 days, −33 days and −34 days, respectively). All these areas belong to northern and central Greece, where the highest increases in temperature were predicted. For the same period, the lowest reductions were observed in Agrinio, Arta, Pyrgos and Yliki (−17 days, −18 days, −26 days and −22 days, respectively), namely in areas belonging to the western and southern-central Greece. This reduction in the duration of the growing season resulted in a decrease of the total crop evapotranspiration (ET_c), with the highest decreases observed in Alexandroupoli, Mikra and Karditsa (Fig. 9a).

For the climate model DMI-HIRHAM, the highest reductions in the length of the growing period observed in Alexandroupoli and Mikra (−25 days, −28 days, respectively) resulted in a concomitant decrease in the total crop evapotranspiration during the same period. In the areas of Agrinio, Arta, Karditsa, Pyrgos and Yliki the reduction in the growing period was −13 days, −18 days, −8 days, −17 days and −8 days, respectively, and the resulting decrease in total ET_c was lower than −13% (Fig. 9a).

For the period 2071–2100 and for the model C4I the highest decreases in the growing period in reference to 1961–1990 were observed in Alexandroupoli (−46 days), Karditsa (−55 days) and Mikra (−42 days), which resulted in reductions in the total ET_c of −26.6%, −22.4% and −27%, respectively. In the other study areas the reduction in the growing period was −27 days for Agrinio, −23 days for Arta, −37 days for Pyrgos and −38 days for Yliki. The respective changes in total ET_c were −16.2%, −14.9%, −17.5% and −21.7%.

The use of the model DMI-HIRHAM for the same period projected the lowest decrease in the growing period in Karditsa (−17 days) and the highest in Alexandroupoli (−33 days). In the other areas the reduction was −23 days for Agrinio, −28 days for Arta, −21 days for Mikra, −27 days for Pyrgos and −22 days for Yliki. The highest growing period's reduction in Alexandroupoli resulted in the highest total ET_c decrease between all these areas (Fig. 9b).

Figs. 10 and 11 show the range of yield change in each area for the two periods of study.

It seems that during 2021–2050 the areas of Arta, Yliki, Pyrgos and Agrinio will be favoured by climate change, as compared to 1961–1990 (Fig. 10). In Arta the yield increases range from 16.8% to 24.08%. In Yliki and Pyrgos the prediction for the minimum and maximum yield was also positive (from 7.8% to 20.3% for Yliki, and from 4.5% to 7.7% for Pyrgos) indicating that these two areas will also have an advantage for cotton productivity. In Agrinio the yield projection ranged from a minimum of −0.54% to a maximum of almost 20%. The uncertainty in the areas of Karditsa and Mikra was high due to the negative figures of minimum values, which were −2.75% and −11.56%, respectively, while the maximum values were 3.4% and 8%, respectively. In Alexandroupoli the highest range between the minimum and maximum values from (−15.5% to 27.3%) was observed. The areas of western Greece (Arta, Agrinio, Pyrgos) were favoured by climate change and central-southern Greece (Yliki) were characterized by a lower decrease in the length of the growing period which affected less the proportional change of ET_c (Fig. 9a). In the period 2071–2100 (Fig. 11), the areas of Arta, Agrinio and Pyrgos (belonging to Western Greece) exhibit positive trends for cotton yields. They ranged from 7.04% to 31.59% for Arta, from 22.56% to 28.5% for Agrinio and from 10% to 25.5% for Pyrgos. Karditsa and Yliki (Central Greece) characterized by high maximum yield change values (28.3% and 19.8% respectively), yet the prediction for the minimum values was −1.5% and 9.5% respectively. Mikra had one of the most negative yield change (−18.03%), and a positive value of maximum yield change (+7.10%), showing that there is a high level of uncertainty in this area. Finally in Alexandroupoli both minimum and maximum values were negative (−23.8% and −5%) indicating a clear disadvantage for cotton cultivation. The areas exhibiting either a negative yield change (Alexandroupoli) or yield fluctuations like Mikra and Karditsa were characterized by a higher decrease in the length of the growing period and higher reductions in total ET_c , especially for the C4I model (Fig. 9b).

If we try to interpret the positive effects of climate change on the cotton yields observed in Arta, Pyrgos, and Agrinio (all

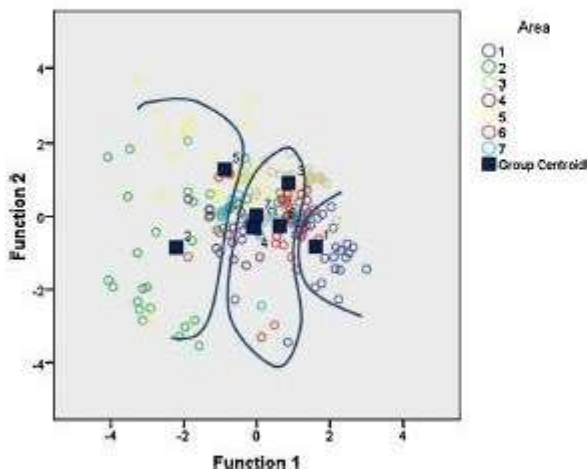


Fig. 8. Plot of the first two discriminant functions for the simulated cotton yield in the seven study areas during the period 2071–2099. (1) Agrinio, (2) Alexandroupoli, (3) Arta, (4) Karditsa, (5) Mikra, (6) Pyrgos, (7) Yliki.

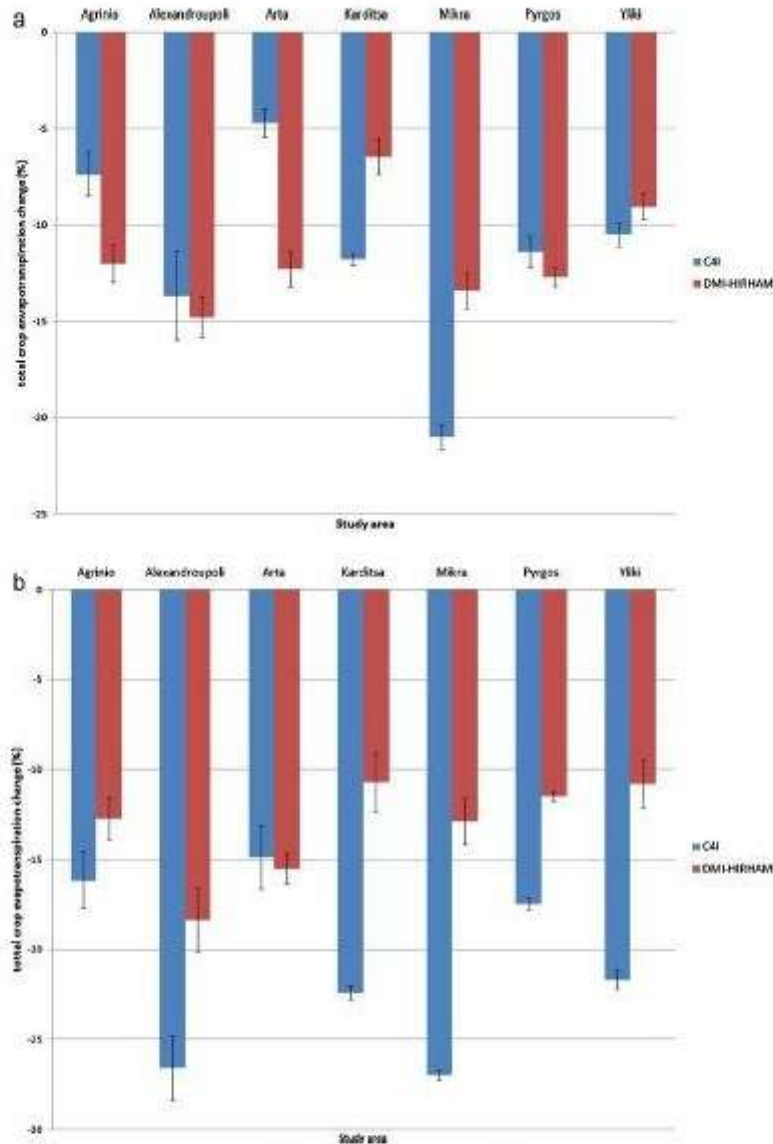


Fig. 9. (a) Proportional changes in the total crop evapotranspiration throughout the growing periods in the seven study areas between 1961–1990 and 2021–2050, according to the climate models C4I and DMI-HIRHAM. The vertical bars show the standard errors of the means. (b) Proportional changes in the total crop evapotranspiration throughout the growing periods in the seven study areas between 1961–1990 and 2071–2100, according to the climate models C4I and DMI-HIRHAM. The vertical bars show the standard errors of the means.

belonging to the western climatic area of Greece, Fig. 1) by means of the changes in temperature and precipitation predicted by the models C4I and DMI (Figs. 3 and 4), it seems that these three areas exhibited lower increases in temperature than the other four areas in both 2021–2050 and 2071–2100. Especially in the case of C4I, which produced the highest changes in temperature, these areas had the lowest decrease in the length of the growing period than Mikra and Alexandroupoli. It appears that the predicted reductions in the length of the growing period produce a negative effect on seedcotton yields, which overcomes the expected positive effects on crop water balance caused by the reduced total crop water evapotranspiration. Thus, higher temperatures appear to have a

rather negative effect on yields. Negative effects of high temperatures on cotton yields have also been reported by Reddy et al. (1999, 2002). As regards precipitation, the percentage decrease tended to be higher in Arta, Pyrgos, and Agrinio than in the other areas, a fact that must not be surprising given that cotton is an irrigated summer crop in Greece. In addition, the percentage changes in total precipitation of Fig. 4 provide no information on rainfall distribution, which is a much more important factor for any variations in cotton yield. It follows that a deeper insight in the relations between climate change parameters in the different models and cotton physiology is required for a better understanding of the predicted cotton yield variations. Such a treatment would decisively

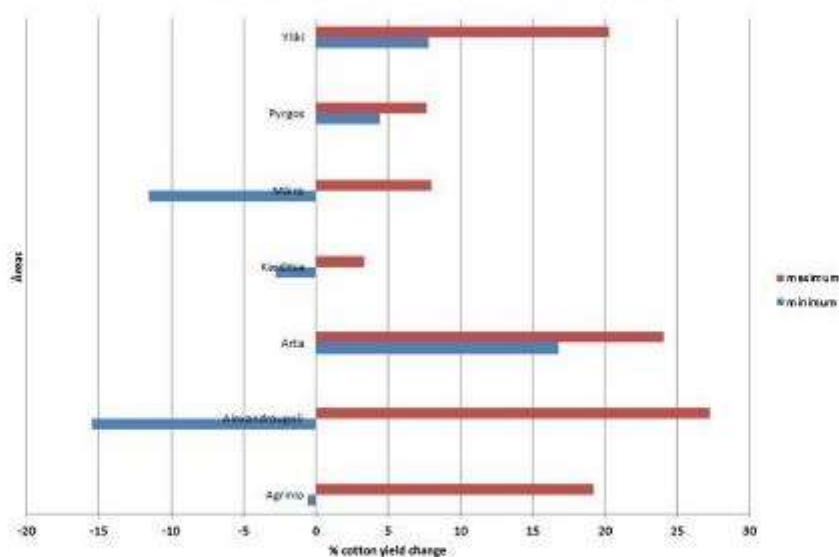


Fig. 10. Comparison of seed cotton maximum and minimum yield change in the seven study areas during 2021–2050 as percentage of the reference period 1961–1990 according to the climate models C4I and DMI-HIRHAM.

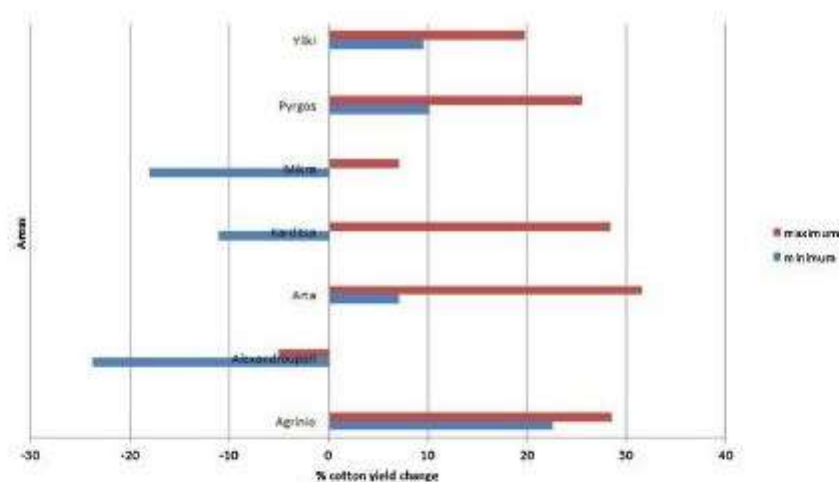


Fig. 11. Comparison of seed cotton maximum and minimum yield change in the seven study areas during 2071–2100 as percentage of the reference period 1961–1990 according to the climate models C4I and DMI-HIRHAM.

contribute to an adjustment of irrigation planning in the different areas, taking also into account the expected changes in the crop evapotranspiration/precipitation ratio.

4. Conclusions

The use of the eight climatic models in the scenario A1B for the periods 1961–1990, 2021–2050 and 2071–2100 produced significant variations in average daily temperature and precipitation among the seven study areas. Considerable differences in seed cotton yield predictions using the AquaCrop model, in combination with quite erratic results in some cases, were also observed among the eight climatic models. The use of the Stepwise Discriminant Function Analysis for the assessment of the models revealed that models C4I and DMI-HIRHAM were considered as most suitable for discriminating cotton yields during 1961–1990, 2021–2050 and

2071–2100. The yields predicted by AquaCrop using these two climate models and the irrigation and fertility management of 2006 revealed positive impacts of climate change on seed cotton yields in the areas of Western Greece (Agrinio, Arta, Pyrgos) together with Yliki (Central Greece), and negative impacts or great fluctuations in the other areas (Northern and Central Greece). The positive impact for the areas of Agrinio, Arta and Pyrgos for both 2021–2050 and 2071–2100, is associated with lower increases in temperature which caused a lower reduction of the length of the growing period and in total crop evapotranspiration relative to the reference period 1961–1990. These results indicate that keeping the present irrigation practices might have beneficial effects on cotton productivity for western Greece. However, it is necessary to proceed to further investigation of future changes in irrigation management in order to avoid the possible negative effects of climatic variability on cotton yields in the other parts of Greece. The magnitude of the

yield changes in the two periods (2021–2050 and 2071–2100) in respect to the reference period did not show a definite trend, but varied in the different areas of study.

Acknowledgements

This research has been co-financed by the European Union (European Social Fund–ESF) and Greek national funds through the Operational Program “Education and Lifelong Learning” of the National Strategic Reference Framework (NSRF)—Research Funding Program: Heracleitus II. Investing in knowledge society through the European Social Fund.

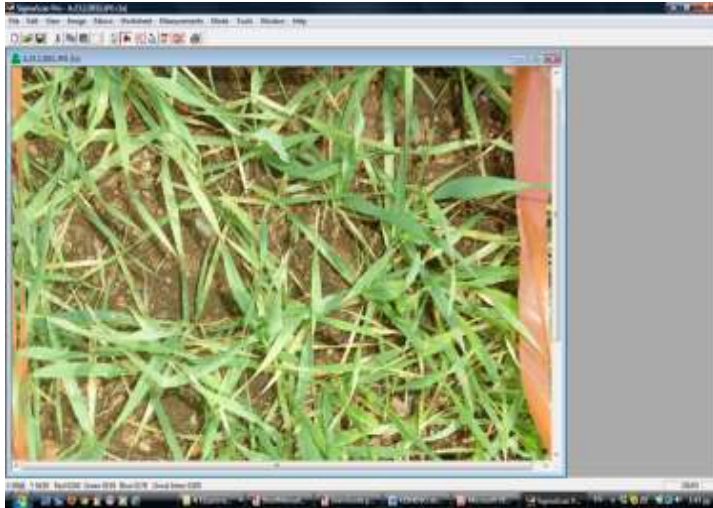
References

- Abedinpour, M., Sarangi, A., Rajput, T.B.S., Singh, M., Pathak, H., Ahmad, T., 2012. Performance evaluation of AquaCrop model for maize crop in a semi-arid environment. *Agric. Water Manage.* 110, 55–66.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. In: FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. FAO.
- Araya, A., Habtu, S., Hadgu, K.M., Kebede, A., Dejene, T., 2010. Test of AquaCrop model in simulating biomass and yield of water deficient and irrigated barley (*Hordeum vulgare*). *Agric. Water Manage.* 97, 1838–1843.
- Bacoulou, G.F., Elliott, N.C., Giles, K., Phoofofo, M., Catania, V., Mirik, M., Michels, J., 2011. Spatially discriminating Russian wheat aphid induced plant stress from other wheat stressing factors. *Comput. Electron. Agric.* 78, 123–129.
- Bange, M.P., McRae, D., Roth, G., 2008. An overview of climate change adaptation in the Australian agricultural sector—impacts, options and priorities. In: Prepared for Land & Water Australia CSIRO, pp. 70–94.
- Böhm, U., Kücken, M., Ahrens, W., Block, A., et al., 2006. CLM—the climate version of LM: brief description and long-term applications. *COSMO Newsletter* 6, 225–235.
- Chen, X., Xun, Y., Li, W., Zhang, J., 2010. Combining discriminant analysis and neural networks for corn variety identification. *Comput. Electron. Agric.* 71, 548–553.
- Christensen, J.H., Christensen, J.H., Machenhauer, B., Botzet, M., 1998. Very high-resolution regional climate simulations over Scandinavia-present climate. *J. Clim.* 11, 3204–3229.
- Collins, M., Booth, B.B., Harris, G.R., Murphy, J.M., Sexton, D.M.H., Webb, M.J., 2006. Towards quantifying uncertainty in transient climate change. *Clim. Dyn.* 27, 127–147.
- Danalatos, N., 2007. An Introduction in Crop Production Simulation. University of Thessaly Press, Volos, Greece.
- Hellenic Statistical Authority, 2012. Agricultural Survey. Hellenic Statistical Authority.
- European Commission, 2013. Agricultural and Rural Development, Report in Market Sectors, Cotton. European Commission.
- Farahani, H.J., Izzi, G., Oweis, T.Y., 2009. Parameterization and evaluation of the AquaCrop model for full and deficit irrigated cotton. *Agron. J.* 101, 469–476.
- Falloon, P., Bets, R., 2010. Climate impacts on European agriculture and water management in the context of adaptation and mitigation—the importance of an integrated approach. *Sci. Total Environ.* 408, 5667–5687.
- García-Vila, M., Fereres, E., Mateos, L., Orgaz, F., Steduto, P., 2009. Deficit irrigation optimization of cotton with AquaCrop. *Agron. J.* 101, 477–487.
- Geerts, S., Raes, D., García, M., Miranda, R., Cusicanqui, J.A., Taboada, C., Mendoza, J., Huanca, R., Mamani, A., Condori, O., Mamani, J., Morales, B., Osco, V., Steduto, P., 2009. Simulating yield response of quinoa to water availability with AquaCrop. *Agron. J.* 101, 499–508.
- Hsiao, T.C., Heng, L., Steduto, P., Roja-Lara, B., Raes, D., Fereres, E., 2009. AquaCrop—the FAO model to simulate yield response to water: parameterization and testing for maize. *Agron. J.* 101, 448–459.
- Hussein, F., Janet, M., Yakoub, A., 2011. Simulating cotton yield response to deficit irrigation with the FAO AquaCrop model. *Span. J. Agric. Res.* 9(4), 1319–1330.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007. Climate change: impacts, adaptation & vulnerability. In: Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- Jacob, D., Van den Hurk, B.J.J.M., André, U., Eljered, G., et al., 2001. A comprehensive model inter-comparison study investigating the water budget during the BALTEX-PIDCAP period. *Meteorol. Atm. Phys.* 77, 19–43.
- Jaradat, A.A., Boody, G., 2011. Modelling agroecosystem services under simulated climate and land-use changes. *International Scholarly Research Network. ISRN Ecol.* 2011, 17.
- Jennrich, R.I., 1977. Stepwise discriminant analysis. In: Inglein, K., Ralston, A., Will, H. (Eds.), *Statistical Methods for Digital Computers*. John Wiley & Sons, New York, NY.
- Karamanos, A., Skourtos, M., Voloudakis, D., Kontogianni, A., Machleras, A., 2011. Impacts of climate change on agriculture. In: Zerefos, C., et al. (Eds.), *The Environmental, Economic and Social Impacts of Climate Change in Greece*. Climate Change Study Committee, Bank of Greece, Greece, pp. 186–196.
- Kjellström, E., Barring, L., Gollvik, S., Hansson, U., Jones, C., Samuelson, P., Rummukainen, M., Ullersjö, A., Willén, U., Wyser, K., 2005. A 140-year simulation of European climate with the new version of the Rossby Centre regional atmospheric climate model (RCA3). *Report Meteorology and Climatology*, 108, SMH, pp. 54.
- Kotoulas, V., 2010. The analysis of the impacts of deficit irrigation on cotton (*Gossypium hirsutum* L., cv. Celia). In: Doctorate Thesis Agricultural University of Athens, Greece.
- Kueppers, L.M., Snyder, M.A., Sloan, L.C., Zavaleta, E.S., Fulford, B., 2005. Modeled regional climate change and California endemic oak ranges. *PNAS* 102, 16281–16286.
- Lobell, D.B., Burke, M.B., 2008. Why are agricultural impacts of climate change so uncertain? The importance of temperature relative to precipitation. *Environ. Res. Lett.* 3, 8.
- Masanganire, J., Chipindo, B., Mhizha, T., Mashonjwa, E., 2012. Model prediction of maize yield responses to climate change in North-Eastern Zimbabwe. *Afr. Crop Sci. J.* 20 (Supplement), 505–515.
- Nakicenovic, N., Alcamo, J., Davis, G., de Vries, B., Fenhann, J., Gaffin, S., Gregory, K., Grubler, A., Jung, T.Y., Kram, T., La Rovere, E.L., Michiels, L., Mori, S., Morita, T., Pepper, W., Pitier, H., Price, L., Riahi, K., Roehrl, A., Rogner, H.-H., Sankovski, A., Schlesinger, M., Shukla, P., Smith, S., Swart, R., van Rooijen, S., Victor, N., Dadi, Z., 2000. IPCC Special Report on Emissions Scenarios. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, pp. 599.
- Piron, A., Leemans, V., Kleynen, O., Lebeau, F., Destain, M.E., 2008. Selection of the most efficient wavelength bands for discriminating weeds from crop. *Comput. Electron. Agric.* 62, 141–148.
- Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T.C., Fereres, E., 2009. AquaCrop—the FAO crop model to simulate yield response to water II: main algorithms & software description. *Agron. J.* 101, 438–447.
- Raes, D., 2012. Reference Manual—ETo calculator (version 3.2, September 2012). Land and Water Division FAO, pp. 26.
- Reddy, K.R., Davdonis, G.H., Johnson, A.S., Vinyard, B.T., 1999. Temperature regime and carbon dioxide enrichment alter cotton boll development and fiber properties. *Agron. J.* 91, 851–858.
- Reddy, K.R., Doma, P.R., Mearns, L.O., Boone, M.Y.L., Hodges, H.F., Richardson, A.G., Kakani, V.G., 2002. Simulating the impacts of climate change on cotton production in the Mississippi Delta. *Clim. Res.* 22, 271–281.
- Salemi, H., Soom, M.A.M., Lee, T.S., Mousavi, S.F., Ganji, A., Yusoff, M.K., 2011. Application of AquaCrop model in deficit irrigation management of winter wheat in arid region. *Afr. J. Agric. Res.* 6(10), 2204–2215.
- Slaughter, D.C., Lanini, W.T., Giles, D.K., 2004. Discriminating weeds from processing tomato plants using visible and near-infrared spectroscopy. *Am. Soc. Agric. Eng.* 47, 1907–1911.
- Sodda, A., Deidda, R., Marrocu, M., Meloni, R., Paniconi, C., Ludwig, R., Sodde, M., Mascaro, G., Perrab, E., 2013. Climate variability and durum wheat adaptation using the AquaCrop model in southern Sardinia. *Proc. Environ. Sci.* 19, 830–835.
- Steduto, P., Hsiao, T.C., Raes, D., Fereres, E., 2009. AquaCrop—the FAO crop model to simulate yield response to water. I. Concepts. *Agron. J.* 101, 426–437.
- Steduto, P., Hsiao, T.C., Fereres, E., Raes, D., 2012. Crop Yield response to water. In: FAO Irrigation and Drainage Paper 66, pp. 74.
- Stričević, R., Gatica, M., Djurovica, N., Pejić, N., Maksimović, L., 2011. Assessment of the FAO AquaCrop model in the simulation of rainfed and supplementally irrigated maize, sugar beet and sunflower. *Agric. Water Manage.* 98, 1615–1621.
- Sutton, W.R., Srivastava, J.P., Neumann, J.E., 2013. Looking Beyond the Horizon: How Climate Change Impacts and Adaptation Responses Will Reshape Agriculture in Eastern Europe and Central Asia. Directions in Development, Agriculture and Rural Development. World Bank, Washington DC, <http://dx.doi.org/10.1596/978-0-8213-9768-8>.
- Todorović, M., Albrizio, R., Zivotic, L., Saab, M.A., Steduto, P., 2008. Assessment of AquaCrop, CropSyst, and WOFOST models in the simulation of sunflower growth under different water regimes. *Agron. J.* 101, 508–521.
- Van Meijgaard, E., van Uff, L.H., van de Berg, W.J., Bosveld, F.C., van den Hurk, B., Lenderink, G., Siebesma, A.P., 2008. The KNMI Regional Atmospheric Climate Model RACMO Version 2.1. Tech. Rep., pp. 302.
- Vanuytrecht, E., Raes, D., Willems, P., 2011. Considering sink strength to model crop production under elevated atmospheric CO₂. *Agric. For. Meteorol.* 151, 1750–1762.
- Willmott, C.J., 1982. Some comments on the evaluation of model performance. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 63, 1309–1313.
- Yoon, S.T., Hoogenboom, G., Filicetto, I., Bannayana, M., 2009. Growth and development of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) in response to CO₂ enrichment under two different temperature regimes. *Environ. Exp. Bot.* 67, 178–187.
- Zerefos, C., Repapis, C., Giannakopoulos, C., Kapsomenakis, J., Papanikolaou, D., Papanikolaou, M., Poulos, S., Vrekoussis, M., Philandras, C., Tselioudis, G., Gerapoulos, E., Douvis, C., Diakakis, M., Nastos, P., Hadjinicolaou, P., Xoplaki, E., Luterbacher, J., Zanis, P., Tzedakis, C., Founda, D., Eleftheratos, K., Repapis, K., 2011. The climate of the Eastern Mediterranean and Greece: past, present and future. In: *The Environmental, Economic and Social Impacts of Climate Change in Greece*. Climate Change Impacts Study Committee, Bank of Greece, Greece, pp. 50–58.

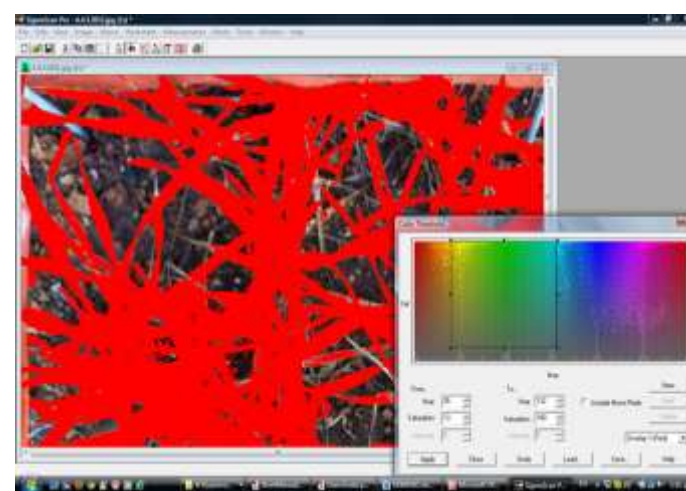
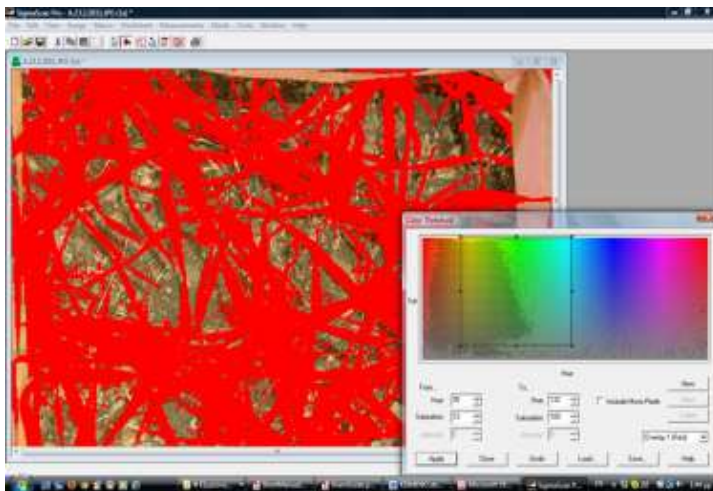
B.

Μετά από σειρά δοκιμών οι τελικές τιμές ορίων απόχρωσης (hue) και κορεσμού (saturation) ήταν hue: 35-132 και saturation: 13-100. Η ψηφιακή ανάλυση ανά ημερομηνία λήψης φαίνεται στις παρακάτω εικόνες.

Εικόνα 1: Τεμάχιο A, 100 ημέρες από τη σπορά



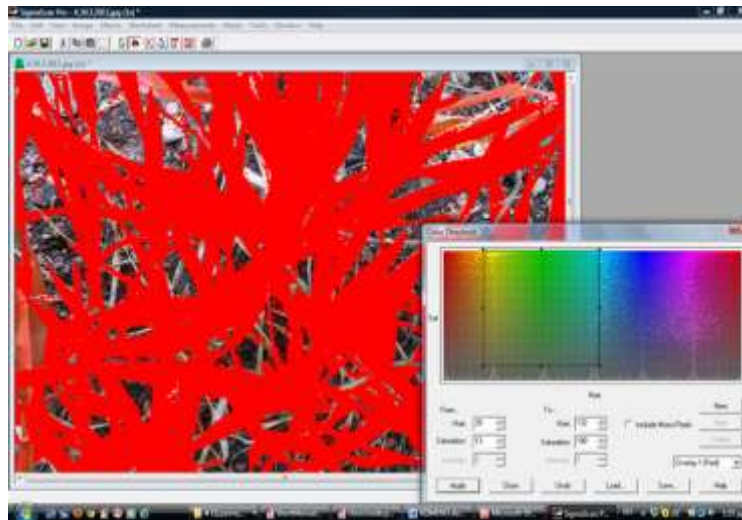
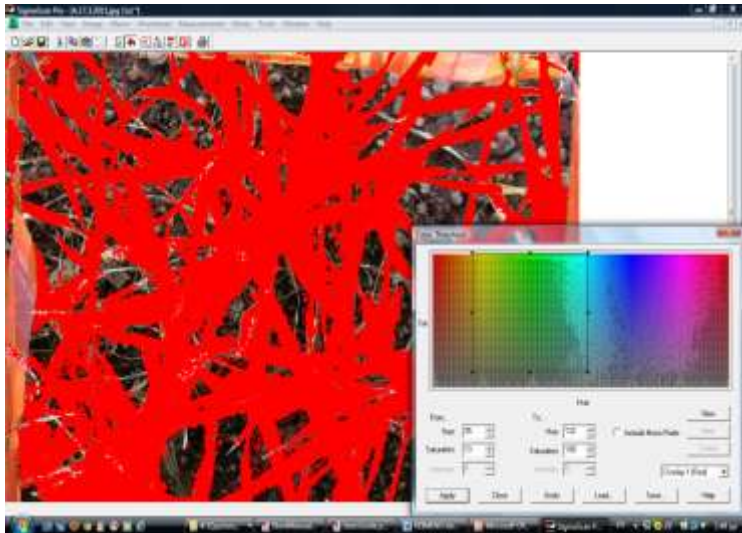
Εικόνα 2: Τεμάχιο A, 109 ημέρες από τη σπορά



Εικόνα 3: Τεμάχιο Α, 122 ημέρες από τη σπορά



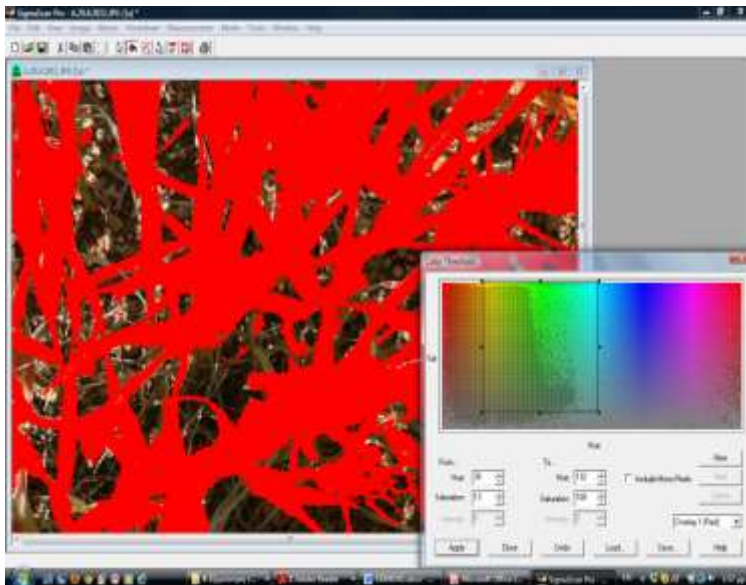
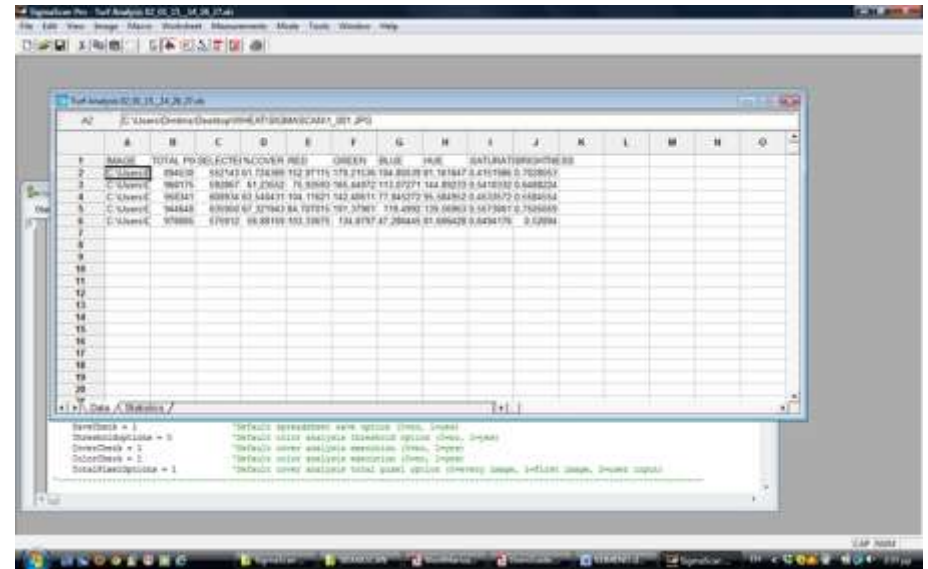
Εικόνα 4: Τεμάχιο Α, 135 ημέρες από τη σπορά



Εικόνα 5: Τεμάχιο Α, 156 ημέρες μετά τη σπορά

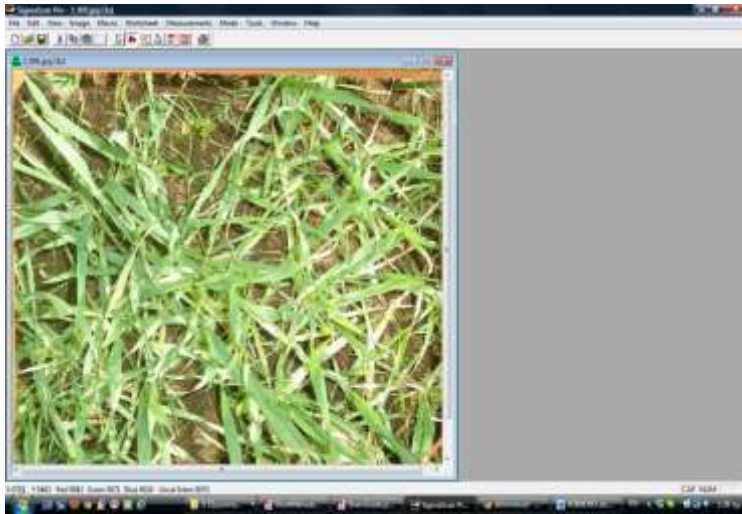


Εικόνα 6: Τεμάχιο Α, υπολογισμός CC ανά φωτογραφία

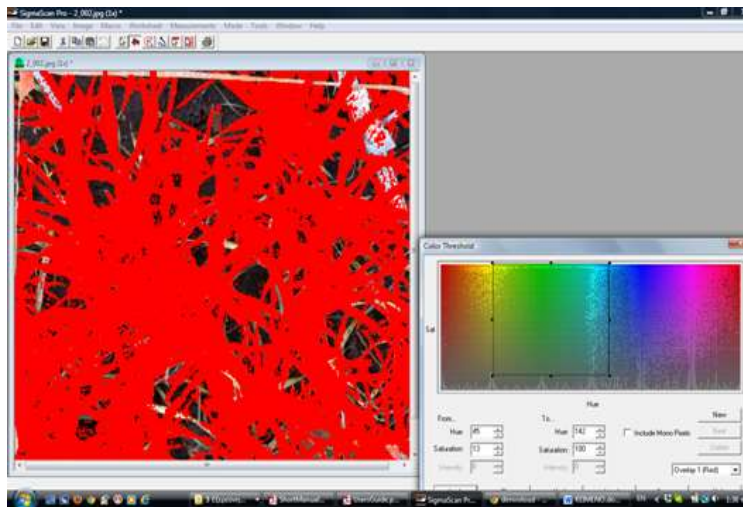
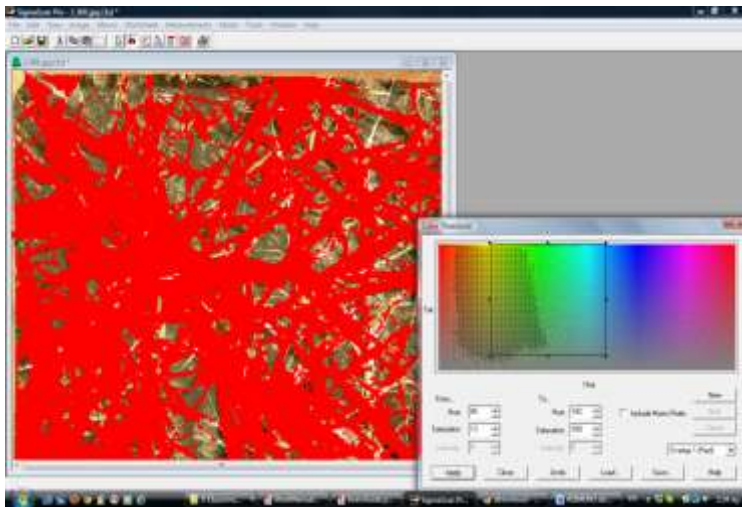
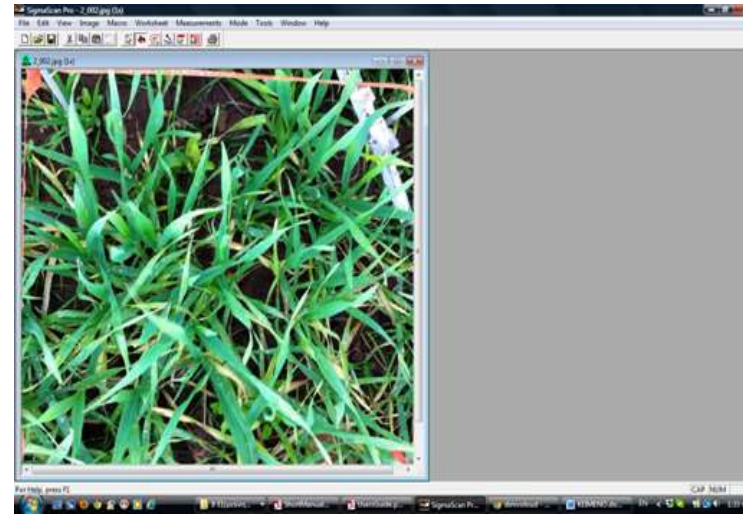


Από την ψηφιακή επεξεργασία των παρουσιαζόμενων φωτογραφιών του 1^{ου} υποτεμαχίου του τεμαχίου Α, προκύπτει ότι η CC είναι 61,7%, 61,3%, 63,5%, 67,3%, 58,9% για 100, 109, 122, 135 και 156 ημέρες μετά τη σπορά αντίστοιχα.

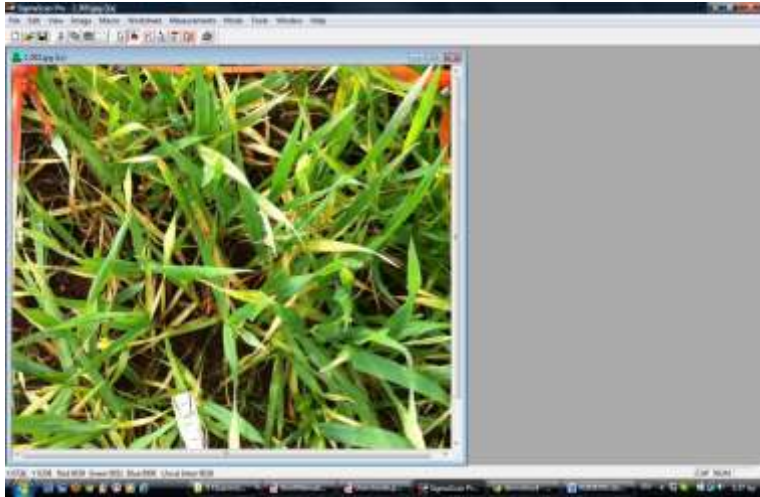
Εικόνα 7: Τεμάχιο Β, 100 ημέρες από τη σπορά



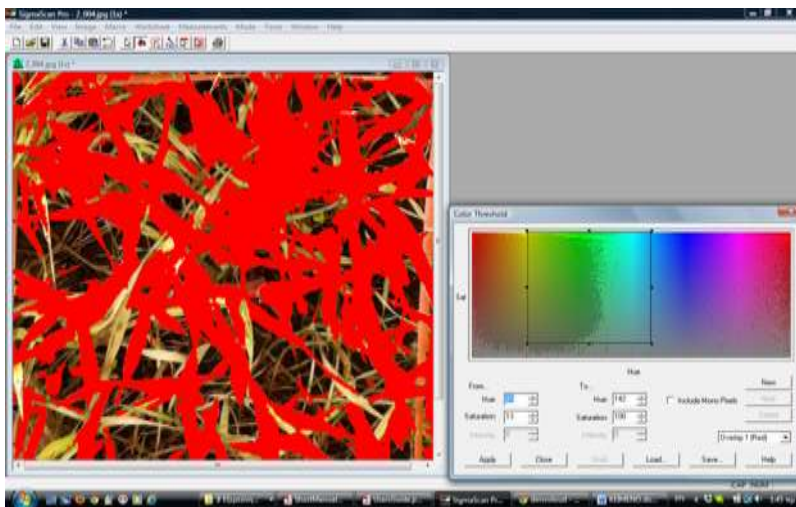
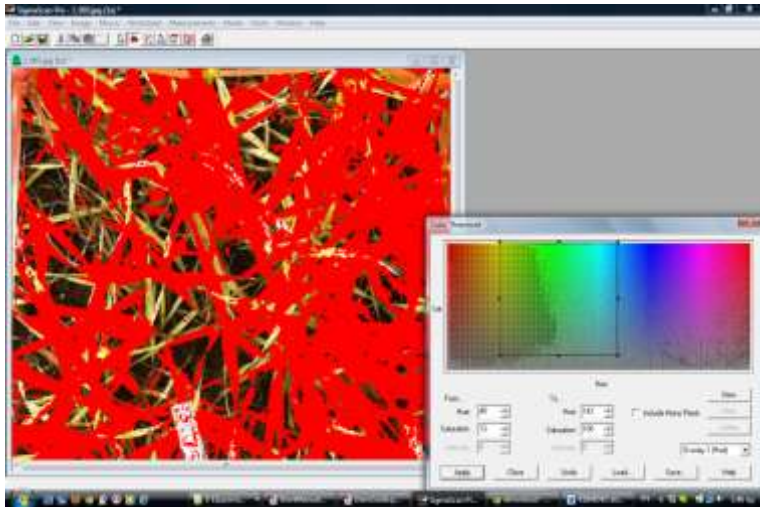
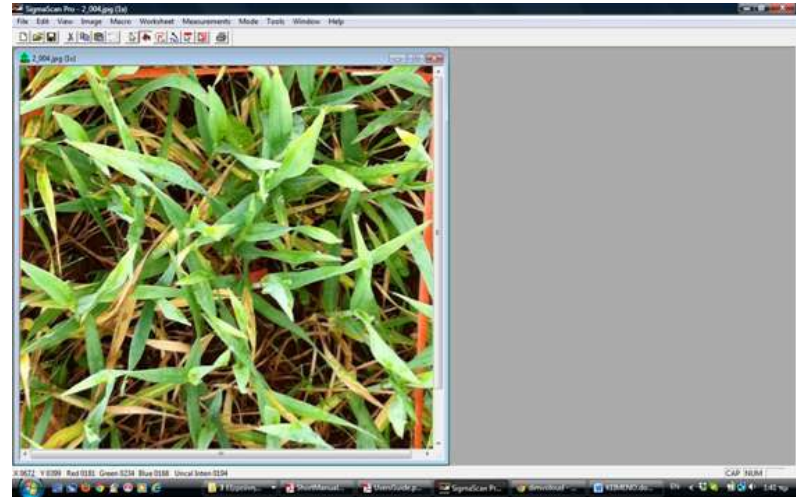
Εικόνα 8: Τεμάχιο Β, 109 ημέρες από τη σπορά



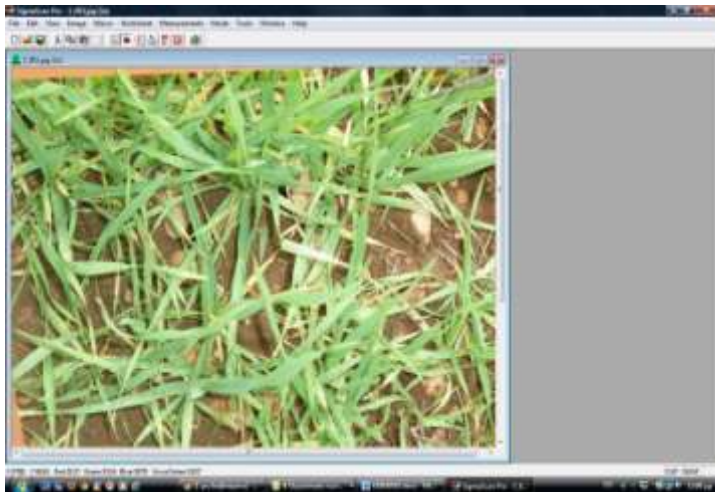
Εικόνα 9: Τεμάχιο Β, 122 ημέρες από τη σπορά



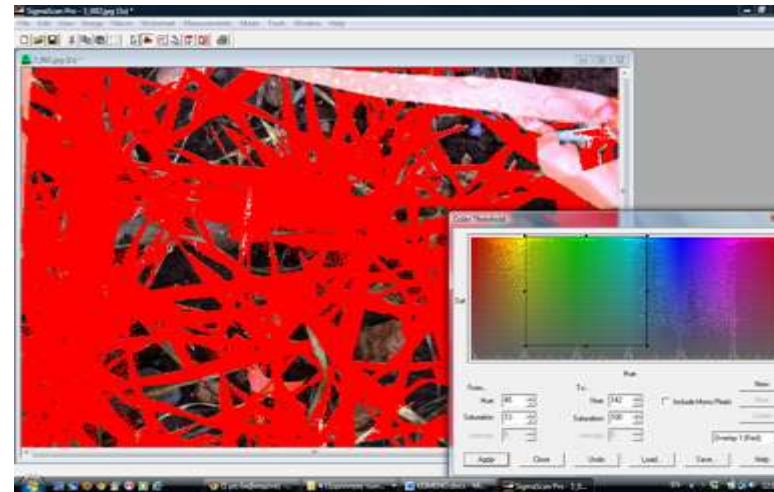
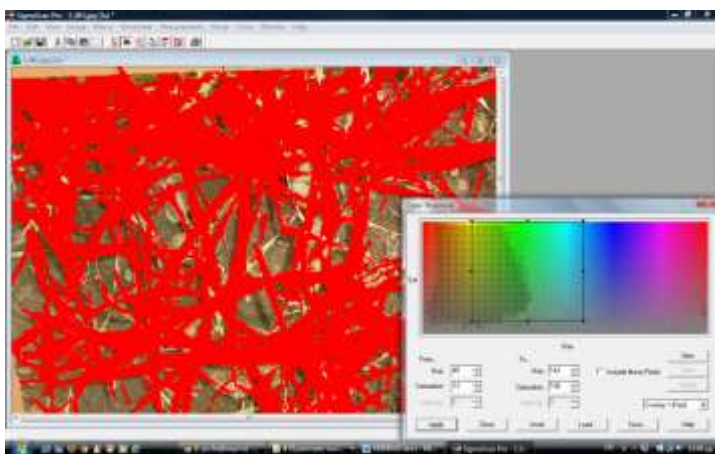
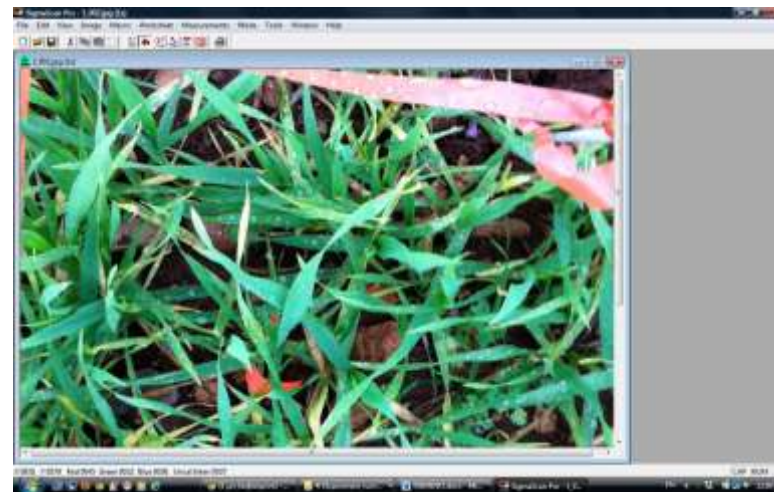
Εικόνα 10: Τεμάχιο Β, 135 ημέρες από τη σπορά



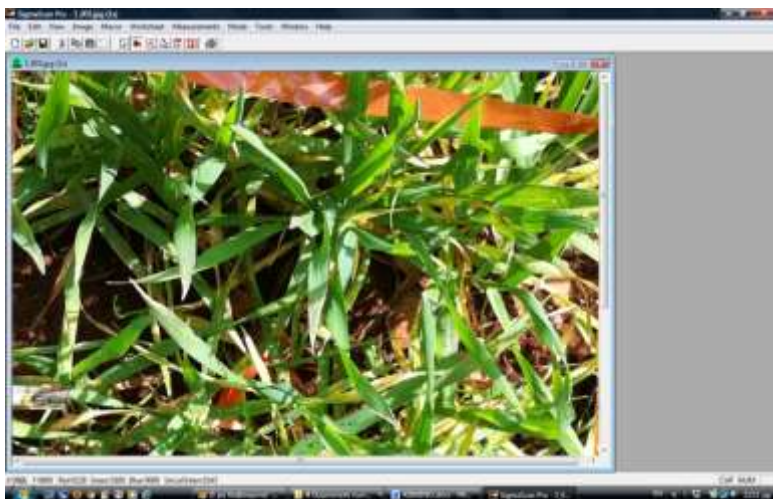
Εικόνα 13: Τεμάχιο Γ, 100 ημέρες από τη σπορά



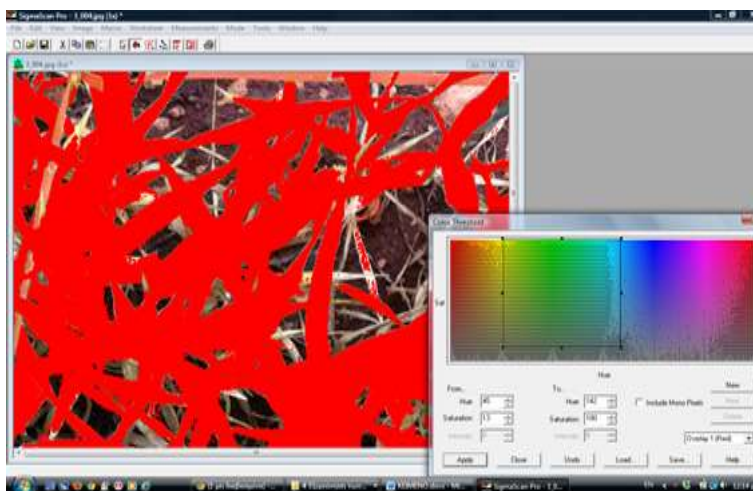
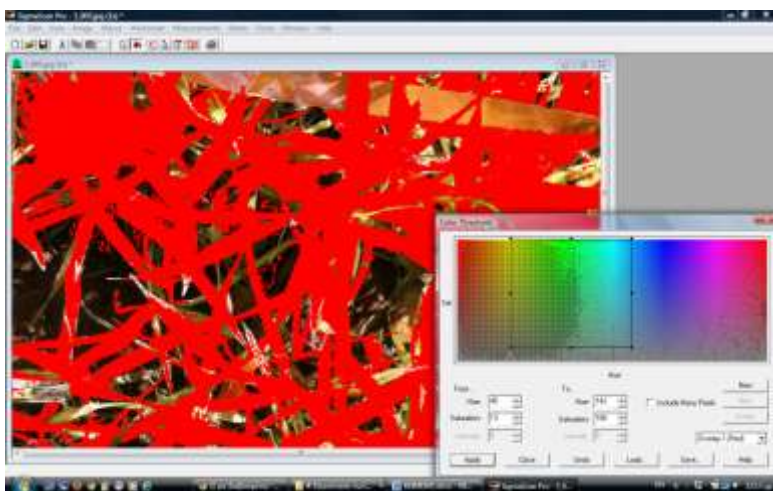
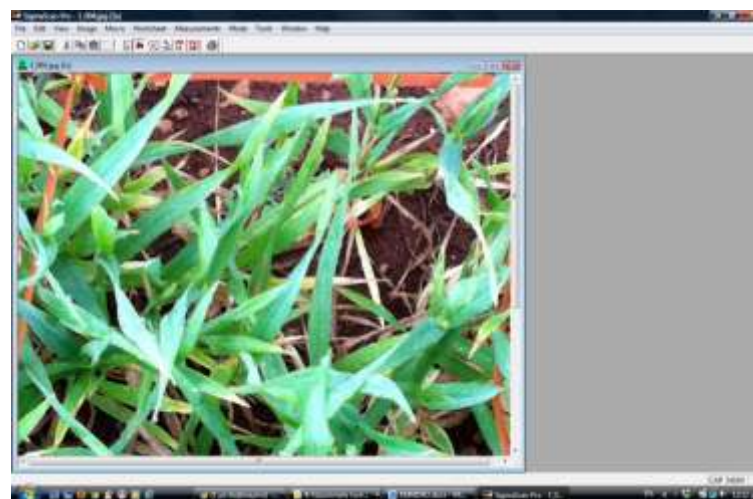
Εικόνα 14: Τεμάχιο Γ, 109 ημέρες από τη σπορά



Εικόνα 15: Τεμάχιο Γ, 122 ημέρες από τη σπορά



Εικόνα 16: Τεμάχιο Γ, 135 ημέρες από τη σπορά



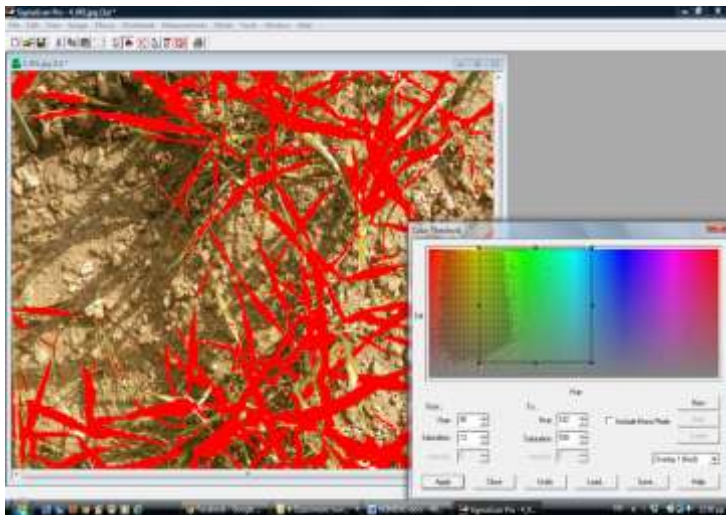
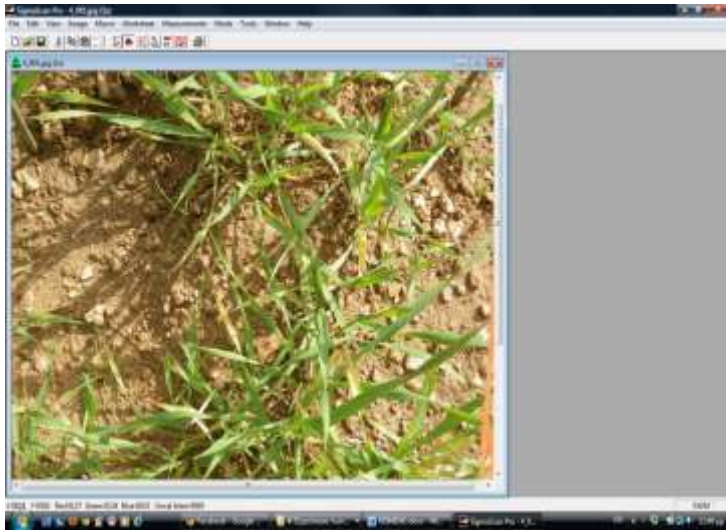
Εικόνα 17: Τεμάχιο Γ, 156 ημέρες από τη σπορά



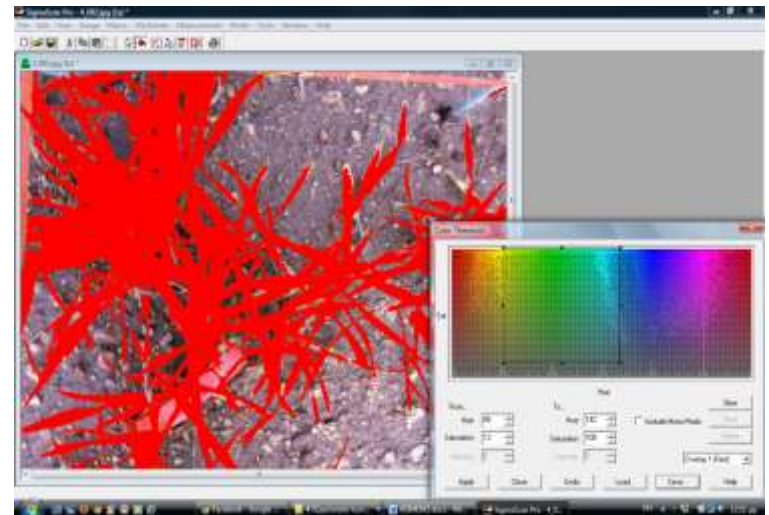
Εικόνα 18: Τεμάχιο Γ, υπολογισμός CC ανά φωτογραφία

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	0.04	0.08	0.12	0.16	0.20	0.24	0.28	0.32	0.36	0.40	0.44	0.48	0.52	0.56	0.60
2	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75
3	0.06	0.12	0.18	0.24	0.30	0.36	0.42	0.48	0.54	0.60	0.66	0.72	0.78	0.84	0.90
4	0.07	0.14	0.21	0.28	0.35	0.42	0.49	0.56	0.63	0.70	0.77	0.84	0.91	0.98	1.05
5	0.08	0.16	0.24	0.32	0.40	0.48	0.56	0.64	0.72	0.80	0.88	0.96	1.04	1.12	1.20
6	0.09	0.18	0.27	0.36	0.45	0.54	0.63	0.72	0.81	0.90	0.99	1.08	1.17	1.26	1.35
7	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.50
8	0.11	0.22	0.33	0.44	0.55	0.66	0.77	0.88	0.99	1.10	1.21	1.32	1.43	1.54	1.65
9	0.12	0.24	0.36	0.48	0.60	0.72	0.84	0.96	1.08	1.20	1.32	1.44	1.56	1.68	1.80
10	0.13	0.26	0.39	0.52	0.65	0.78	0.91	1.04	1.17	1.30	1.43	1.56	1.69	1.82	1.95
11	0.14	0.28	0.42	0.56	0.70	0.84	0.98	1.12	1.26	1.40	1.54	1.68	1.82	1.96	2.10
12	0.15	0.30	0.45	0.60	0.75	0.90	1.05	1.20	1.35	1.50	1.65	1.80	1.95	2.10	2.25
13	0.16	0.32	0.48	0.64	0.80	0.96	1.12	1.28	1.44	1.60	1.76	1.92	2.08	2.24	2.40
14	0.17	0.34	0.51	0.68	0.85	1.02	1.19	1.36	1.53	1.70	1.87	2.04	2.21	2.38	2.55
15	0.18	0.36	0.54	0.72	0.90	1.08	1.26	1.44	1.62	1.80	1.98	2.16	2.34	2.52	2.70
16	0.19	0.38	0.57	0.76	0.95	1.14	1.33	1.52	1.71	1.90	2.09	2.28	2.47	2.66	2.85
17	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	1.20	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20	2.40	2.60	2.80	3.00
18	0.21	0.42	0.63	0.84	1.05	1.26	1.47	1.68	1.89	2.10	2.31	2.52	2.73	2.94	3.15
19	0.22	0.44	0.66	0.88	1.10	1.32	1.54	1.76	1.98	2.20	2.42	2.64	2.86	3.08	3.30
20	0.23	0.46	0.69	0.92	1.15	1.38	1.61	1.84	2.07	2.30	2.53	2.76	2.99	3.22	3.45
21	0.24	0.48	0.72	0.96	1.20	1.44	1.68	1.92	2.16	2.40	2.64	2.88	3.12	3.36	3.60
22	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50	3.75
23	0.26	0.52	0.78	1.04	1.28	1.52	1.76	2.00	2.24	2.48	2.72	2.96	3.20	3.44	3.68
24	0.27	0.54	0.81	1.08	1.32	1.56	1.80	2.04	2.28	2.52	2.76	3.00	3.24	3.48	3.72
25	0.28	0.56	0.84	1.12	1.36	1.60	1.84	2.08	2.32	2.56	2.80	3.04	3.28	3.52	3.76
26	0.29	0.58	0.87	1.16	1.40	1.64	1.88	2.12	2.36	2.60	2.84	3.08	3.32	3.56	3.80
27	0.30	0.60	0.90	1.20	1.44	1.68	1.92	2.16	2.40	2.64	2.88	3.12	3.36	3.60	3.84
28	0.31	0.62	0.93	1.24	1.48	1.72	1.96	2.20	2.44	2.68	2.92	3.16	3.40	3.64	3.88
29	0.32	0.64	0.96	1.28	1.52	1.76	2.00	2.24	2.48	2.72	2.96	3.20	3.44	3.68	3.92
30	0.33	0.66	0.99	1.32	1.56	1.80	2.04	2.28	2.52	2.76	3.00	3.24	3.48	3.72	3.96
31	0.34	0.68	1.02	1.36	1.60	1.84	2.08	2.32	2.56	2.80	3.04	3.28	3.52	3.76	4.00
32	0.35	0.70	1.05	1.40	1.64	1.88	2.12	2.36	2.60	2.84	3.08	3.32	3.56	3.80	4.04
33	0.36	0.72	1.08	1.44	1.68	1.92	2.16	2.40	2.64	2.88	3.12	3.36	3.60	3.84	4.08
34	0.37	0.74	1.11	1.48	1.72	1.96	2.20	2.44	2.68	2.92	3.16	3.40	3.64	3.88	4.12
35	0.38	0.76	1.14	1.52	1.76	2.00	2.24	2.48	2.72	2.96	3.20	3.44	3.68	3.92	4.16
36	0.39	0.78	1.17	1.56	1.80	2.04	2.28	2.52	2.76	3.00	3.24	3.48	3.72	3.96	4.20
37	0.40	0.80	1.20	1.60	1.84	2.08	2.32	2.56	2.80	3.04	3.28	3.52	3.76	4.00	4.24
38	0.41	0.82	1.23	1.64	1.88	2.12	2.36	2.60	2.84	3.08	3.32	3.56	3.80	4.04	4.28
39	0.42	0.84	1.26	1.68	1.92	2.16	2.40	2.64	2.88	3.12	3.36	3.60	3.84	4.08	4.32
40	0.43	0.86	1.29	1.72	1.96	2.20	2.44	2.68	2.92	3.16	3.40	3.64	3.88	4.12	4.36
41	0.44	0.88	1.32	1.76	2.00	2.24	2.48	2.72	2.96	3.20	3.44	3.68	3.92	4.16	4.40
42	0.45	0.90	1.35	1.80	2.04	2.28	2.52	2.76	3.00	3.24	3.48	3.72	3.96	4.20	4.44
43	0.46	0.92	1.38	1.84	2.08	2.32	2.56	2.80	3.04	3.28	3.52	3.76	4.00	4.24	4.48
44	0.47	0.94	1.41	1.88	2.12	2.36	2.60	2.84	3.08	3.32	3.56	3.80	4.04	4.28	4.52
45	0.48	0.96	1.44	1.92	2.16	2.40	2.64	2.88	3.12	3.36	3.60	3.84	4.08	4.32	4.56
46	0.49	0.98	1.47	1.96	2.20	2.44	2.68	2.92	3.16	3.40	3.64	3.88	4.12	4.36	4.60
47	0.50	1.00	1.50	2.00	2.24	2.48	2.72	2.96	3.20	3.44	3.68	3.92	4.16	4.40	4.64
48	0.51	1.02	1.53	2.04	2.28	2.52	2.76	3.00	3.24	3.48	3.72	3.96	4.20	4.44	4.68
49	0.52	1.04	1.56	2.08	2.32	2.56	2.80	3.04	3.28	3.52	3.76	4.00	4.24	4.48	4.72
50	0.53	1.06	1.59	2.12	2.36	2.60	2.84	3.08	3.32	3.56	3.80	4.04	4.28	4.52	4.76
51	0.54	1.08	1.62	2.16	2.40	2.64	2.88	3.12	3.36	3.60	3.84	4.08	4.32	4.56	4.80
52	0.55	1.10	1.65	2.20	2.44	2.68	2.92	3.16	3.40	3.64	3.88	4.12	4.36	4.60	4.84
53	0.56	1.12	1.68	2.24	2.48	2.72	2.96	3.20	3.44	3.68	3.92	4.16	4.40	4.64	4.88
54	0.57	1.14	1.71	2.28	2.52	2.76	3.00	3.24	3.48	3.72	3.96	4.20	4.44	4.68	4.92
55	0.58	1.16	1.74	2.32	2.56	2.80	3.04	3.28	3.52	3.76	4.00	4.24	4.48	4.72	4.96
56	0.59	1.18	1.77	2.36	2.60	2.84	3.08	3.32	3.56	3.80	4.04	4.28	4.52	4.76	5.00
57	0.60	1.20	1.80	2.40	2.64	2.88	3.12	3.36	3.60	3.84	4.08	4.32	4.56	4.80	5.04
58	0.61	1.22	1.83	2.44	2.68	2.92	3.16	3.40	3.64	3.88	4.12	4.36	4.60	4.84	5.08
59	0.62	1.24	1.86	2.48	2.72	2.96	3.20	3.44	3.68	3.92	4.16	4.40	4.64	4.88	5.12
60	0.63	1.26	1.89	2.52	2.76	3.00	3.24	3.48	3.72	3.96	4.20	4.44	4.68	4.92	5.16
61	0.64	1.28	1.92	2.56	2.80	3.04	3.28	3.52	3.76	4.00	4.24	4.48	4.72	4.96	5.20
62	0.65	1.30	1.95	2.60	2.84	3.08	3.32	3.56	3.80	4.04	4.28	4.52	4.76	5.00	5.24
63	0.66	1.32	1.98	2.64	2.88	3.12	3.36	3.60	3.84	4.08	4.32	4.56	4.80	5.04	5.28
64	0.67	1.34	2.01	2.68	2.92	3.16	3.40	3.64	3.88	4.12	4.36	4.60	4.84	5.08	5.32
65	0.68	1.36	2.04	2.72	2.96	3.20	3.44	3.68	3.92	4.16	4.40	4.64	4.88	5.12	5.36
66	0.69	1.38	2.07	2.76	3.00	3.24	3.48	3.72	3.96	4.20	4.44	4.68	4.92	5.16	5.40
67	0.70	1.40	2.10	2.80	3.04	3.28	3.52	3.76	4.00	4.24	4.48	4.72	4.96	5.20	5.44
68	0.71	1.42	2.13	2.84	3.08	3.32	3.56	3.80	4.04	4.28	4.52	4.76	5.00	5.24	5.48
69	0.72	1.44	2.16	2.88	3.12	3.36	3.60	3.84	4.08	4.32	4.56	4.80	5.04	5.28	5.52
70	0.73	1.46	2.19	2.92	3.16	3.40	3.64	3.88	4.12	4.36	4.60	4.84	5.08	5.32	5.56
71	0.74	1.48	2.22	2.96	3.20	3.44	3.68	3.92	4.16	4.40	4.64	4.88	5.12	5.36	5.60
72	0.75	1.50	2.25	3.00	3.24	3.48	3.72	3.96	4.20	4.44	4.68	4.92	5.16	5.40	5.64
73	0.76	1.52	2.28	3.04	3.28	3.52	3.76	4.00	4.24	4.48	4.72	4.96	5.20	5.44	5.68

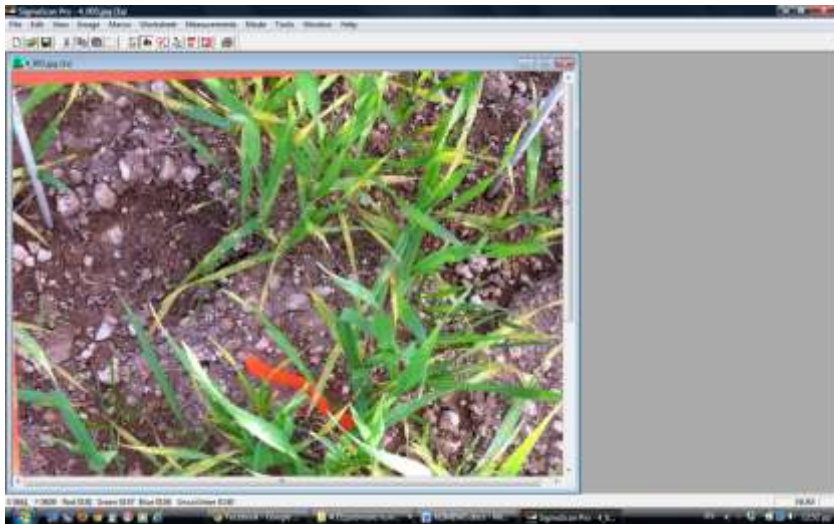
Εικόνα 19: Τεμάχιο Δ, 100 ημέρες από τη σπορά



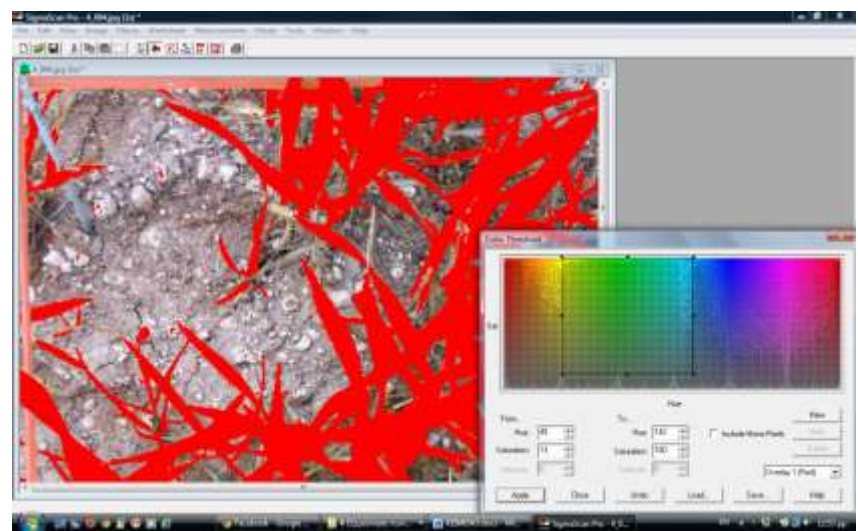
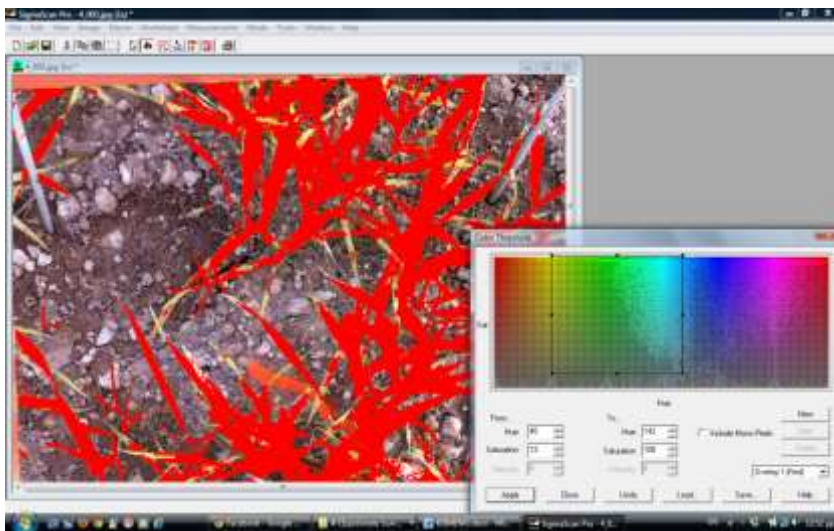
Εικόνα 20: Τεμάχιο Δ, 109 ημέρες από τη σπορά



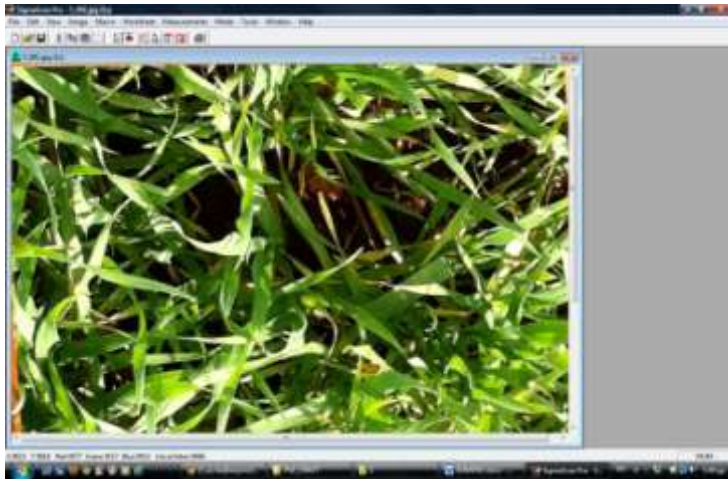
Εικόνα 21: Τεμάχιο Δ, 122 ημέρες από τη σπορά



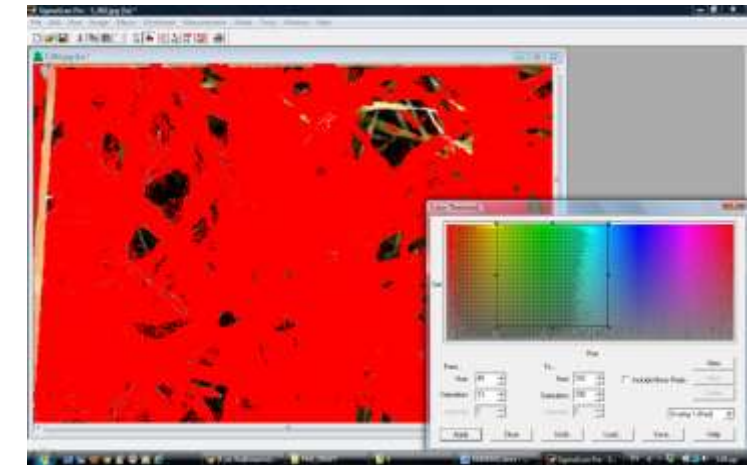
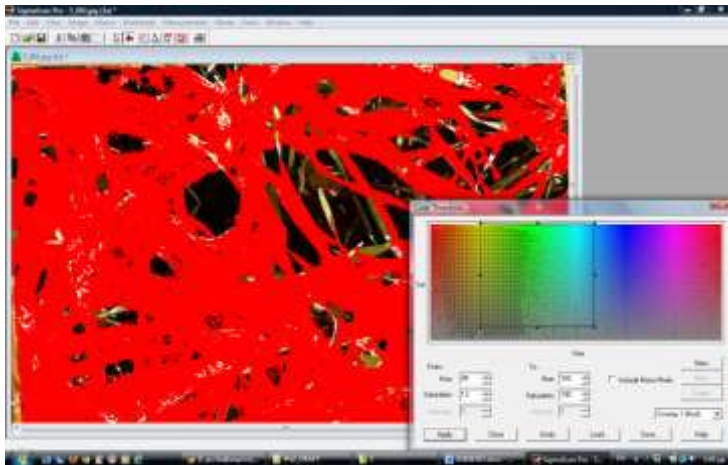
Εικόνα 22: Τεμάχιο Δ, 135 ημέρες από τη σπορά



Εικόνα 25: Τεμάχιο E, 100 ημέρες από τη σπορά



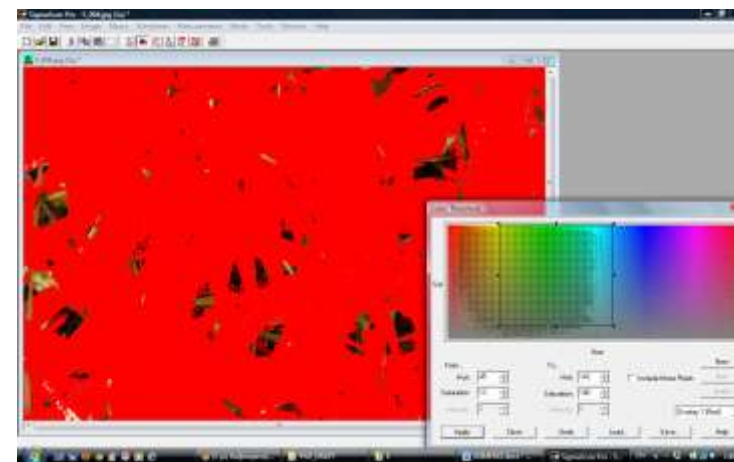
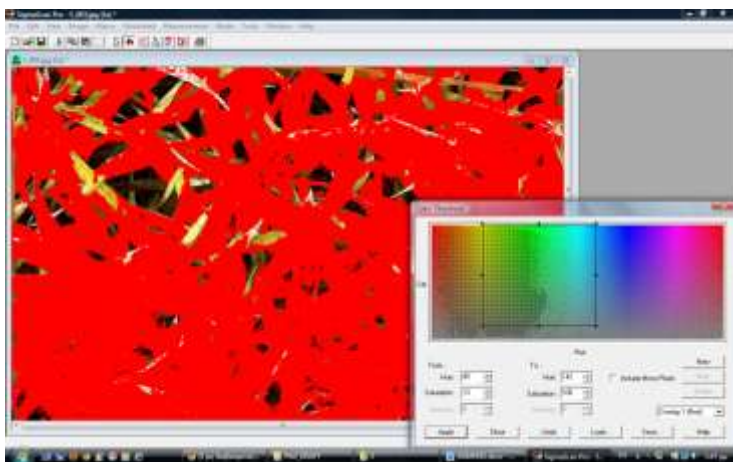
Εικόνα 26: Τεμάχιο E, 109 ημέρες από τη σπορά



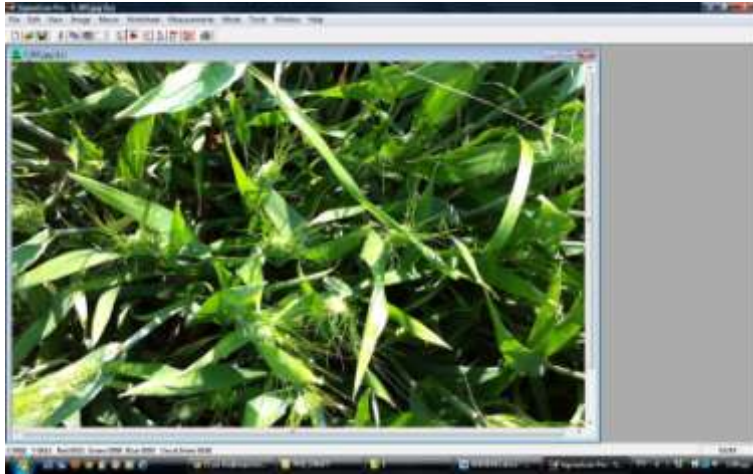
Εικόνα 27: Τεμάχιο Ε, 122 ημέρες από τη σπορά



Εικόνα 28: Τεμάχιο Ε, 135 ημέρες από τη σπορά

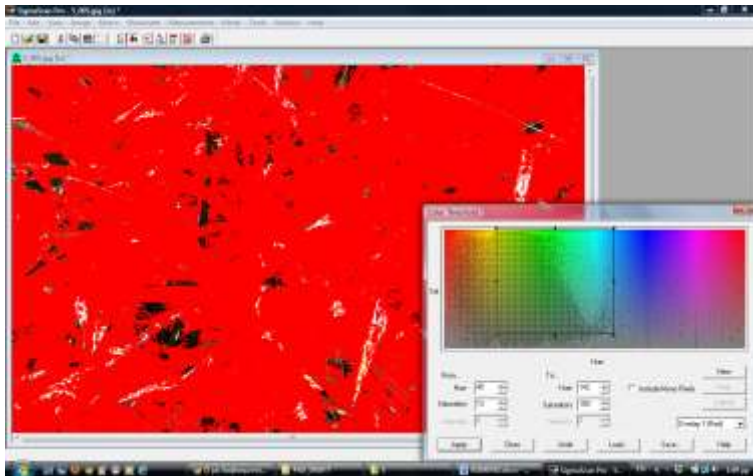


Εικόνα 29: Τεμάχιο Ε, 156 ημέρες από τη σπορά



Εικόνα 30: Τεμάχιο Ε, υπολογισμός CC ανά φωτογραφία

Α	Β	Γ	Δ	Ε	ΣΤ	Ζ	Η	Θ	Ι	Κ	Λ	Μ	Ν	Ξ	Ο
1	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
2	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
3	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
4	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
5	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
6	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
7	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
8	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
9	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
10	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
11	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
12	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
13	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
14	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
15	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
16	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
17	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
18	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
19	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
20	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
21	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
22	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
23	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
24	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
25	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
26	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
27	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
28	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
29	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
30	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
31	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
32	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
33	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
34	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
35	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
36	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
37	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
38	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
39	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
40	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
41	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
42	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
43	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
44	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
45	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
46	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
47	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
48	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
49	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
50	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
51	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
52	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
53	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
54	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
55	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
56	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
57	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
58	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
59	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
60	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
61	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
62	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
63	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
64	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
65	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
66	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
67	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
68	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
69	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
70	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
71	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
72	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
73	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
74	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
75	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
76	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
77	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
78	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
79	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
80	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
81	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
82	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
83	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
84	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
85	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
86	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
87	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
88	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
89	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
90	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
91	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
92	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
93	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
94	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
95	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
96	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
97	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
98	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
99	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									
100	100%	82%	85,2%	89,1%	92,1%	93,8%									



Από την ψηφιακή επεξεργασία των παρουσιαζόμενων φωτογραφιών του 1^{ου} υποτεμαχίου του τεμαχίου Ε, προκύπτει ότι η CC είναι 82%, 85,2%, 89,1%, 92,1%, 93,8% για 100, 109, 122, 135 και 156 ημέρες μετά τη σπορά αντίστοιχα.