



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΣΥΜΒΟΛΗ ΣΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗΣ ΣΙΤΗΡΩΝ
ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΜΕ ΑΓΡΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Ι. ΣΥΜΕΩΝΙΔΗΣ
ΠΤΥΧΙΟΥΧΟΣ ΓΕΩΠΟΝΟΣ Α.Π.Θ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, 2011

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Ι. ΣΥΜΕΩΝΙΔΗΣ

ΠΤΥΧΙΟΥΧΟΣ ΓΕΩΠΟΝΟΣ Α.Π.Θ

**ΣΥΜΒΟΛΗ ΣΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗΣ ΣΙΤΗΡΩΝ
ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΜΕ ΑΓΡΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ**

Υποβλήθηκε στο τμήμα Γεωλογίας του Α.Π.Θ.

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

Ειδίκευση Μετεωρολογίας, Κλιματολογίας & Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος

Ημερομηνία Προφορικής Εξέτασης: 17 Ιουλίου 2011

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Θεόδωρος Μαυρομμάτης, Καθηγητής Α.Π.Θ., Επιβλέπων

Θεόδωρος Καρακώστας, Καθηγητής Α.Π.Θ.

Ιωάννης Τσιάλτας, Λέκτορας Α.Π.Θ.

Κωνσταντίνος Ι. Συμεωνίδης

Πτυχιούχος Γεωπονίας Α.Π.Θ.

Copyright © Κωνσταντίνος Ι. Συμεωνίδης

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα.

« Η έγκριση της παρούσης Μεταπτυχιακής Διατριβής Ειδίκευσης από το τμήμα Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέως» (Ν. 5343/1932, άρθρο 202, αρ.2)

*Στους γονείς μου
Ιωάννη και Δήμητρα
την αδερφή μου Αναστασία
Και στη μνήμη
του αγαπημένου μου Θεού
Χρήστο*

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση και υποβολή της μεταπτυχιακής διατριβής ειδίκευσης, μου δίνεται η ευκαιρία να σημειώσω ότι, είναι ιδιαίτερα δύσκολο και κοπιαστικό να ολοκληρώσεις το έργο που ξεκινάς κάποια στιγμή έχοντας ταυτόχρονα και άλλες υποχρεώσεις που πρέπει να διεκπεραιώσεις. Πολλές φορές είναι μάταιο και άλλες εφικτό.

Γι' αυτόν ακριβώς το λόγο θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς και θερμές ευχαριστίες μου σε όλους όσους με τη συμβολή τους βοήθησαν και έφερα σε πέρας αυτή την εργασία.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Θεόδωρο Μαυρομμάτη, Επίκουρο Καθηγητή του Τομέα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, για την ανάθεση της εργασίας, την καθοδήγηση, καθώς και την πολύτιμη βοήθεια του στην κατανόηση σημαντικών θεμάτων.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ Σάββα Κοτζαμανίδη, Διατελέσαντα Τακτικό Ερευνητή του ΕΘΙΑΓΕ, στο Ινστιτούτο Σιτηρών, γιατί χωρίς τη δική του βοήθεια η εκπόνηση αυτής της μελέτης θα ήταν αδύνατη. Οι παρατηρήσεις αγρού που χρησιμοποιήθηκαν αποτελούν προσωπική του δουλειά. Επίσης τον ευχαριστώ για το αμείωτο ενδιαφέρον και τη συμπαράστασή του από τη στιγμή που γνωριστήκαμε.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Αριστοτέλη Παπαδόπουλο, Ερευνητή του Ινστιτούτου Εδαφολογίας Θεσσαλονίκης για τη διευκόλυνση που μου παρείχε στις χημικές αναλύσεις εδάφους. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την κα. Πολυξένη Ψωμά, Χημικό του Ινστιτούτου Εδαφολογίας Θεσσαλονίκης η οποία με βοήθησε καθ' όλη τη διάρκεια των χημικών αναλύσεων εδάφους.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Ευάγγελο Χατζηγιαννάκη, Γεωπόνο PhD, Ερευνητή του Ινστιτούτου Εγγείων Βελτιώσεων Θεσσαλονίκης για τη διευκόλυνση

που μου παρείχε στις αναλύσεις εδάφους. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Ιωάννη Πανώρα, Τεχνολόγο BSc Γεωπόνου, Συνεργαζόμενο Επιστήμονα του Ινστιτούτου Εγγείων Βελτιώσεων Θεσσαλονίκης ο οποίος με βοήθησε καθ' όλη τη διάρκεια των αναλύσεων εδάφους.

Θα ήθελα, επίσης, να ευχαριστήσω τον Πασχάλη Δελίτη, Τεχνίτη Γεωργίας του Ινστιτούτο Σιτηρών Θεσσαλονίκης, και τη Δήμητρα Βαμβακά, Marketing Manager της εταιρίας 3D S.A. General Aviation Applications, για τη βοήθεια που μου πρόσφεραν.

Θα ήθελα, επίσης, να ευχαριστήσω τα άλλα δυο μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής, τον Καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας κ. Θεόδωρο Καρακώστα και το Λέκτορα κ. Ιωάννη Τσιάλτα του Τμήματος Γεωπονίας για τις πολύτιμες συμβουλές και τις εποικοδομητικές τους παρατηρήσεις στο τελικό στάδιο της μεταπτυχιακής διατριβής ειδίκευσης. Στο σημείο αυτό θα ήθελα να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον κ. Θεόδωρο Καρακώστα ο οποίος από την πρώτη στιγμή που μπήκα στο κτίριο του Μετεωροσκοπείου με έκανα να νιώσω το περιβάλλον πολύ οικείο.

Θα ήθελα επίσης, να ευχαριστήσω όλα τα μέλη του τομέα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας για την άριστη συνεργασία που είχαμε κατά τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, που με στήριξε σε οποιαδήποτε προσπάθεια επέλεξα να ακολουθήσω και κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες. Επίσης, μου δίνετε η ευκαιρία πριν κλείσω τις ευχαριστίες να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στη σύντροφό μου που με στηρίζει τα τελευταία χρόνια σε όλα.

Θεσσαλονίκη 2011

Κωνσταντίνος Ι. Συμεωνίδης

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<i>Περιεχόμενα</i>	i
<i>Περιεχόμενα Πινάκων</i>	iv
<i>Περιεχόμενα Σχημάτων</i>	vi
<i>Περιεχόμενα Εικόνων</i>	viii
<i>Περίληψη</i>	ix
<i>Abstract</i>	x
Κεφάλαιο 1^ο : Σκληρό Σιτάρι	
1.1 Εισαγωγή	1
1.2 Ιστορικά στοιχεία	2
1.3 Βοτανική κατάταξη και εξέλιξη των ειδών	3
1.4 Εξάπλωση και οικονομική σημασία της καλλιέργειας του σιταριού	5
1.5 Μορφολογικά γνωρίσματα	8
1.5.1 Ρίζες	8
1.5.2 Βλαστός (καλάμι)	9
1.5.3 Φύλλα	10
1.5.4 Άνθη	10
1.5.5 Καρπός	11
1.6 Στάδια ανάπτυξης του βιολογικού κύκλου	12
1.6.1 Φύτρωμα σπόρου και εμφάνιση αρτίβλαστου	12
1.6.2 Ανάπτυξη ριζών και φυλλώματος	13
1.6.3 Αδέλφωμα	13
1.6.4 Επιμήκυνση του στελέχους (καλάμωμα)	14
1.6.5 Ξεστάχνασμα	15
1.6.6 Άνθηση	15
1.6.7 Πλήρωση κόκκου	16
1.6.8 Ωρίμανση	17
1.7 Απαιτήσεις περιβάλλοντος	18
1.7.1 Κλίμα	18
1.7.2 Έδαφος	20
1.8 Καλλιεργητική πρακτική	21
1.9 Καλλιεργητικές φροντίδες	22
1.9.1 Αμειψισπορά	22

1.9.2 Κατεργασία του εδάφους	23
1.9.3 Λίπανση	23
1.9.4 Σπορά	24
1.10 Συγκομιδή και αποθήκευση	25
Κεφάλαιο 2^ο : Παρουσίαση μοντέλου	
2.1 Εισαγωγή	26
2.2 Γενική περιγραφή του μοντέλου καλλιεργειών DSSAT	29
2.3 Το μοντέλο CERES-Wheat	35
2.4 Τα στάδια ανάπτυξης του σκληρού σίτου στο CERES-Wheat	39
Κεφάλαιο 3^ο : Μέθοδοι και Δεδομένα	
3.1. Θέση των πειραμάτων	42
3.2 Ποικιλίες σκληρού σίτου	42
3.2.1 Simeto	43
3.2.2 Mexicali	44
3.2.3 Σίφνος	44
3.3 Πειραματικό σχέδιο και καλλιεργητικές φροντίδες	44
3.4 Εδαφολογικές αναλύσεις	46
3.4.1 Προσδιορισμός φυσικοχημικών ιδιοτήτων	46
3.4.2 Εργασίες υπαίθρου	46
3.4.3 Εργαστηριακές εργασίες	47
3.4.4 Μηχανική σύσταση του εδάφους	47
3.4.5 Προσδιορισμός pH	49
3.4.6 Προσδιορισμός οργανικής ουσίας	49
3.4.7 Προσδιορισμός ολικού αζώτου	51
3.4.8. Δείκτες υγρασίας	52
3.4.8 Φαινόμενο ειδικό βάρος	54
3.5 Μετρήσεις και υπολογισμός των χαρακτηριστικών	56
3.6 Κλιματολογικά δεδομένα	61
3.6.1 Θερμοκρασία	61
3.6.2 Ύψος βροχής	62
3.6.3 Ηλιακή ακτινοβολία	63
3.7 Στατιστική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του μοντέλου	68
3.7.1 Σφάλμα πρόβλεψης	68

3.7.2 Ο Συντελεστής Προσδιορισμού	68
3.7.3 Το μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα	69
3.7.4 Μέσο Σφάλμα	69
3.7.5 Ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος	69
Κεφάλαιο 4^ο : Αξιολόγηση το Μοντέλου CERES-Wheat	
4.1 Εισαγωγή	70
4.2 Αρχικές συνθήκες - Υποθέσεις	71
4.3 Βαθμονόμηση μοντέλου CERES-Wheat	71
4.3.1 Βαθμονόμηση του μοντέλου για την ποικιλία Simeto	73
4.3.2 Βαθμονόμηση του μοντέλου για την ποικιλία Mexicali	77
4.3.3 Βαθμονόμηση του μοντέλου για την ποικιλία Σίφνος	81
4.4 Επαλήθευση του μοντέλου CERES-Wheat	85
4.4.1 Επαλήθευση του μοντέλου για την ποικιλία Simeto	85
4.4.2 Επαλήθευση του μοντέλου για την ποικιλία Mexicali	88
4.4.3 Επαλήθευση του μοντέλου για την ποικιλία Σίφνος	92
4.5 Συνολική αξιολόγηση του μοντέλου ανεξαρτήτως της ποικιλίας	96
4.6 Σύγκριση των γενετικών συντελεστών με άλλους που χρησιμοποιήθηκαν διεθνώς στη βιβλιογραφία	101
4.7 Επίδραση του εδάφους, του κλίματος, της ημερομηνίας σποράς και της ποικιλίας στην μεταβλητότητα της παραγωγής.	104
Κεφάλαιο 5^ο : Συμπεράσματα - Προτάσεις για μελλοντική έρευνα	
5.1 Ανακεφαλαίωση – Συμπεράσματα	107
5.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα	110
Βιβλιογραφία	111
Παράρτημα εικόνων	115

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1	Κατάταξη των ειδών του σιταριού ανάλογα με το βαθμό πολυπλοκειδίας και το γένωμά τους (Zeven and Zhukovsky, 1975).	4
Πίνακας 1.2	Καλλιεργούμενη έκταση, παραγωγή και στρεμματικές αποδόσεις στις χώρες με την υψηλότερη παραγωγή σιταριού στον κόσμο.	5
Πίνακας 2.1	Συνοπτική περιγραφή των μοντέλων του DSSAT-CSM.	33
Πίνακας 2.2	Καθορισμός όλων των εισερχόμενων και εξερχόμενων μεταβλητών του DSSAT-CSM.	34
Πίνακας 2.3	Τα στάδια ανάπτυξης του σκληρού σίτου όπως ορίζονται στο μοντέλο CERES-Wheat.	36
Πίνακας 2.4	Οι γενετικοί συντελεστές για το σιτάρι στο μοντέλο CERES-Wheat.	38
Πίνακας 3.1	Χαρακτηριστικά των ποικιλιών του σκληρού σίτου: Simeto, Mexicali, Σίφνος.	43
Πίνακας 3.2	Λεπτομέρειες εκτέλεσης πειραμάτων κατά τη διάρκεια των 7 καλλιεργητικών περιόδων.	45
Πίνακας 3.3	Φυσικοχημικές ιδιότητες εδάφους.	55
Πίνακας 3.4	Παρατηρήσεις αγρού για την καλλιεργητική περίοδο 2009-2010.	57
Πίνακας 3.5	Παρατηρήσεις αγρού για την ποικιλία Simeto.	58
Πίνακας 3.6	Παρατηρήσεις αγρού για την ποικιλία Mexicali.	59
Πίνακας 3.7	Παρατηρήσεις αγρού για την ποικιλία Σίφνος.	60
Πίνακας 4.1	Γενετικοί συντελεστές της ποικιλίας Simeto.	73
Πίνακας 4.2	Προσομοιωμένες, παρατηρούμενες τιμές και σφάλμα πρόβλεψης για το ξεστάχυσμα, την άνθηση, την έναρξη πλήρωσης κόκκου, της φυσιολογικής ωρίμανσης του κόκκου, το βάρος χιλίων κόκκων και της παραγωγής για την καλλιεργητική περίοδο 2009-2010 της ποικιλίας Simeto.	74
Πίνακας 4.3	Στατιστικοί δείκτες για την αξιολόγηση του CERES-Wheat για την ποικιλία Simeto.	75
Πίνακας 4.4	Προσομοιωμένες και παρατηρούμενες τιμές του ξεσταχυάσματος (βλαστική περίοδος) για τις καλλιεργητικές περιόδους 2004-2005, 2005-2006 και 2009-2010 της ποικιλίας Simeto.	75
Πίνακας 4.5	Προσομοιωμένες και παρατηρούμενες τιμές της παραγωγής για τις καλλιεργητικές περιόδους 2004-2005, 2005-2006 και 2009-2010 της ποικιλίας Simeto.	76
Πίνακας 4.6	Γενετικοί συντελεστές της ποικιλίας Mexicali.	77
Πίνακας 4.7	Προσομοιωμένες, παρατηρούμενες τιμές και σφάλμα πρόβλεψης για το ξεστάχυσμα, την άνθηση, την έναρξη πλήρωσης κόκκου, της φυσιολογικής ωρίμανσης του κόκκου, το βάρος χιλίων κόκκων και της παραγωγής για την καλλιεργητική περίοδο 2009-2010 της ποικιλίας Mexicali.	77
Πίνακας 4.8	Στατιστικοί δείκτες για την αξιολόγηση του CERES-Wheat για την ποικιλία Mexicali.	78
Πίνακας 4.9	Προσομοιωμένες και παρατηρούμενες τιμές του ξεσταχυάσματος (βλαστική περίοδος) για τις καλλιεργητικές περιόδους 2004-	79

2005, 2005-2006 και 2009-2010 της ποικιλίας Mexicali.

Πίνακας 4.10	Προσομοιωμένες και παρατηρούμενες τιμές της παραγωγή για τις καλλιεργητικές περιόδους 2004-2005, 2005-2006 και 2009-2010 της ποικιλίας Mexicali.	80
Πίνακας 4.11	Γενετικοί συντελεστές της ποικιλίας Σίφνος.	81
Πίνακας 4.12	Προσομοιωμένες, παρατηρούμενες τιμές και σφάλμα πρόβλεψης για το ξεστάχυσμα, την άνθηση, την έναρξη πλήρωσης κόκκου, της φυσιολογικής ωρίμανσης του κόκκου, το βάρος χιλίων κόκκων και της παραγωγής για την καλλιεργητική περίοδο 2009-2010 της ποικιλίας Σίφνος.	81
Πίνακας 4.13	Στατιστικοί δείκτες για την αξιολόγηση του CERES-Wheat για την ποικιλία Σίφνος.	82
Πίνακας 4.14	Προσομοιωμένες και παρατηρούμενες τιμές του ξεσταχυάσματος (βλαστική περίοδος) για τις καλλιεργητικές περιόδους 2004-2005, 2005-2006 και 2009-2010 της ποικιλίας Σίφνος.	83
Πίνακας 4.15	Προσομοιωμένες και παρατηρούμενες τιμές της παραγωγή για τις καλλιεργητικές περιόδους 2004-2005, 2005-2006 και 2009-2010 της ποικιλίας Σίφνος.	84
Πίνακας 4.16	Στατιστικοί δείκτες για την αξιολόγηση του CERES-Wheat για την ποικιλία Simeto.	86
Πίνακας 4.17	Προσομοιωμένες και παρατηρούμενες τιμές του ξεσταχυάσματος (βλαστική περίοδος) για τις καλλιεργητικές περιόδους 2003-2004, 2006-2007, 2007-2008 και 2008-2009 της ποικιλίας Simeto.	86
Πίνακας 4.18	Προσομοιωμένες και παρατηρούμενες τιμές της παραγωγής για τις καλλιεργητικές περιόδους 2003-2004, 2006-2007, 2007-2008 και 2008-2009 της ποικιλίας Simeto.	87
Πίνακας 4.19	Στατιστικοί δείκτες για την αξιολόγηση του CERES-Wheat για την ποικιλία Mexicali.	89
Πίνακας 4.20	Προσομοιωμένες και παρατηρούμενες τιμές για το ξεστάχυσμα (βλαστική περίοδος) τις καλλιεργητικές περιόδους 2003-2004, 2006-2007, 2007-2008 και 2008-2009 της ποικιλίας Mexicali.	90
Πίνακας 4.21	Προσομοιωμένες και παρατηρούμενες τιμές της παραγωγής για τις καλλιεργητικές περιόδους 2003-2004, 2006-2007, 2007-2008 και 2008-2009 της ποικιλίας Mexicali.	91
Πίνακας 4.22	Στατιστικοί δείκτες για την αξιολόγηση του CERES-Wheat για την ποικιλία Σίφνος.	93
Πίνακας 4.23	Προσομοιωμένες και παρατηρούμενες τιμές για το ξεστάχυσμα (βλαστική περίοδος) τις καλλιεργητικές περιόδους 2003-2004, 2006-2007, 2007-2008 και 2008-2009 της ποικιλίας Σίφνος.	93
Πίνακας 4.24	Προσομοιωμένες και παρατηρούμενες τιμές της παραγωγής για τις καλλιεργητικές περιόδους 2003-2004, 2006-2007, 2007-2008 και 2008-2009 της ποικιλίας Σίφνος.	95
Πίνακας 4.25	Στατιστικοί δείκτες για την αξιολόγηση του CERES-Wheat για όλα τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων για τις περιόδους που χρησιμοποιήθηκαν στη βαθμονόμηση του μοντέλου.	96

Πίνακας 4.26	Στατιστικοί δείκτες για την αξιολόγηση του CERES-Wheat για όλα τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων για τις περιόδους που χρησιμοποιήθηκαν στην επαλήθευση του μοντέλου.	98
Πίνακας 4.27	Στατιστικοί δείκτες για την αξιολόγηση του CERES-Wheat για όλα τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων.	100
Πίνακας 4.28	Οι γενετικοί συντελεστές των ποικιλιών που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη.	102
Πίνακας 4.29	Οι γενετικοί συντελεστές στη διεθνή βιβλιογραφία των ποικιλιών που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη.	102
Πίνακας 4.30	Οι γενετικοί συντελεστές για χειμερινά σιτηρά της διεθνούς βιβλιογραφίας.	102
Πίνακας 4.31	Αποτελέσματα μελέτης της επίδρασης του εδάφους, του κλίματος, της ημερομηνίας σποράς και της ποικιλίας στη μεταβλητότητα της παραγωγής.	106

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1	Η εξέλιξη της καλλιέργειας του σκληρού σιταριού στην Ελλάδα.	6
Σχήμα 1.2	Η εξέλιξη της στρεμματικής απόδοσης του σκληρού σιταριού στην Ελλάδα.	6
Σχήμα 2.1	Γενική επισκόπηση των επιμέρους συστατικών και της αρθρωτής δομής του DSSAT/CSM.	32
Σχήμα 2.2	Επίδραση της θερμοκρασίας στην ημερήσια αύξηση της καλλιέργειας.	37
Σχήμα 2.3	Επίδραση της θερμοκρασίας στο ρυθμό γεμίσματος του κόκκου.	37
Σχήμα 3.2	Τριγωνικό σύστημα για την κατάταξη των εδαφών (U.S.D.A.).	48
Σχήμα 3.3	Διάταξη (α) δίσκου πίεσεως για τον προσδιορισμό της υδατοϊκανότητας και (β) μεμβράνης πίεσεως για τον προσδιορισμό του σημείου μόνιμης μαράνσεως (Παπαζαφειρίου).	53
Σχήμα 3.4	Μηνιαία μεταβολή της ελάχιστης θερμοκρασίας αέρα (°C) κατά τις μελετώμενες καλλιεργητικές περιόδους (μαύρη γραμμή). Οι κάθετες μπάρες απεικονίζουν την τυπική απόκλιση των τιμών από το μέσο όρο. Μηνιαία μεταβολή της μέσης μέγιστης θερμοκρασίας της περιόδου 1961-1990 (γαλάζια γραμμή).	64
Σχήμα 3.5	Μηνιαία μεταβολή της μέγιστης θερμοκρασίας αέρα (°C) κατά τις μελετώμενες καλλιεργητικές περιόδους (μαύρη γραμμή). Οι κάθετες μπάρες απεικονίζουν την τυπική απόκλιση των τιμών από το μέσο όρο. Μηνιαία μεταβολή της μέσης μέγιστης θερμοκρασίας της περιόδου 1961-1990 (κόκκινη γραμμή).	65
Σχήμα 3.6	Μεταβολή του μηνιαίου ύψους βροχής κατά τις μελετώμενες καλλιεργητικές περιόδους (μαύρη ράβδος) και μηνιαία μεταβολή της μηνιαίας βροχής της 30ετίας 1961-1990(γκρι ράβδος).	66
Σχήμα 3.7	Η μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία κατά τις μελετώμενες καλλιεργητικές περιόδους(μαύρη γραμμή) και η μέση μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία της 30ετίας 1961-1990(διακεκομμένη γραμμή).	67
Σχήμα 4.1	Ανάλυση παλινδρόμησης των ημερών παρατήρησης και	76

	προσομοίωσης για το ξεστάχυσμα της ποικιλίας Simeto (Βαθμονόμηση μοντέλου).	
Σχήμα 4.2	Ανάλυση παλινδρόμησης των τιμών παρατήρησης και προσομοίωσης για την παραγωγή της ποικιλίας Simeto (βαθμονόμηση μοντέλου).	77
Σχήμα 4.3	Ανάλυση παλινδρόμησης των ημερών παρατήρησης και προσομοίωσης για το ξεστάχυσμα της ποικιλίας Mexicali (Βαθμονόμηση μοντέλου).	79
Σχήμα 4.4	Ανάλυση παλινδρόμησης των τιμών παρατήρησης και προσομοίωσης για την παραγωγή της ποικιλίας Mexicali (Βαθμονόμηση μοντέλου).	80
Σχήμα 4.5	Ανάλυση παλινδρόμησης των ημερών παρατήρησης και προσομοίωσης για το ξεστάχυσμα της ποικιλίας Σίφνος (Βαθμονόμηση μοντέλου).	83
Σχήμα 4.6	Ανάλυση παλινδρόμησης των τιμών παρατήρησης και προσομοίωσης για την παραγωγή της ποικιλίας Σίφνος (βαθμονόμηση μοντέλου).	84
Σχήμα 4.7	Ανάλυση παλινδρόμησης των ημερών παρατήρησης και προσομοίωσης για το ξεστάχυσμα της ποικιλίας Simeto (Επαλήθευση μοντέλου).	87
Σχήμα 4.8	Ανάλυση παλινδρόμησης των τιμών παρατήρησης και προσομοίωσης για την παραγωγή της ποικιλίας Simeto (Επαλήθευση μοντέλου).	88
Σχήμα 4.9	Ανάλυση παλινδρόμησης των ημερών παρατήρησης και προσομοίωσης για το ξεστάχυσμα της ποικιλίας Mexicali (Επαλήθευση μοντέλου).	90
Σχήμα 4.10	Ανάλυση παλινδρόμησης των τιμών παρατήρησης και προσομοίωσης για την παραγωγή της ποικιλίας Mexicali (Επαλήθευση μοντέλου).	91
Σχήμα 4.11	Ανάλυση παλινδρόμησης των ημερών παρατήρησης και προσομοίωσης για το ξεστάχυσμα της ποικιλίας Σίφνος (Επαλήθευση μοντέλου).	94
Σχήμα 4.12	Ανάλυση παλινδρόμησης των τιμών παρατήρησης και προσομοίωσης για την παραγωγή της ποικιλίας Σίφνος (Επαλήθευση μοντέλου).	95
Σχήμα 4.13	Ανάλυση παλινδρόμησης των ημερών παρατήρησης και προσομοίωσης για το ξεστάχυσμα για τις περιόδους βαθμονόμησης.	97
Σχήμα 4.14	Ανάλυση παλινδρόμησης των τιμών παρατήρησης και προσομοίωσης για την παραγωγή για τις περιόδους βαθμονόμησης.	97
Σχήμα 4.15	Ανάλυση παλινδρόμησης των ημερών παρατήρησης και προσομοίωσης για το ξεστάχυσμα για τις περιόδους επαλήθευσης.	99
Σχήμα 4.16	Ανάλυση παλινδρόμησης των τιμών παρατήρησης και προσομοίωσης για την παραγωγή για τις περιόδους επαλήθευσης.	99

Σχήμα 4.17	Ανάλυση παλινδρόμησης των ημερών παρατήρησης και προσομοίωσης για όλα τα πειραματικά δεδομένα.	101
Σχήμα 4.18	Ανάλυση παλινδρόμησης των τιμών παρατήρησης και προσομοίωσης για την παραγωγή για όλα τα πειραματικά δεδομένα.	101

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1	Χάρτης κλιμάκωσης της καλλιέργειας του σκληρού σίτου.	7
Εικόνα 1.2	Στάδια ανάπτυξης του σκληρού σίτου.	17
Εικόνα 1.3	Ημερομηνίες σποράς του σκληρού σίτου στην Ευρωπαϊκή Ένωση.	115
Εικόνα 1.4	Ημερομηνίες ξεσταχύσματος του σκληρού σίτου στην Ευρωπαϊκή Ένωση.	115
Εικόνα 1.5	Ημερομηνίες συγκομιδής του σκληρού σίτου στην Ευρωπαϊκή Ένωση.	116
Εικόνα 1.6	Μορφολογικά χαρακτηριστικά σκληρού σιταριού.	117
Εικόνα 1.7	Στάδια ανάπτυξης του σκληρού σιταριού.	118
Εικόνα 3.1	Η περιοχή εγκατάστασης των πειραματικών αγρών	42
Εικόνα 3.2	Ο πειραματικός Σ5-16.	119
Εικόνα 3.3	Πειραματικός μετά το θερισμό.	119
Εικόνα 3.4	Δειγματοληψία με δειγματολήπτη Edelman και δείγματα εδάφους.	120
Εικόνα 3.5	Δειγματοληψία αδιατάρακτων δειγμάτων και δείγματα εδάφους.	120
Εικόνα 3.6	Ξήρανση των δειγμάτων εδάφους σε θερμοκρασία δωματίου.	121
Εικόνα 3.7	Κοσκίνισμα δειγμάτων εδάφους με κόσκινο 2χιλιοστών.	121
Εικόνα 3.8	Παρασκευή πάστας για τον προσδιορισμό της μηχανικής σύστασης.	122
Εικόνα 3.9	Ανάμειξη δειγμάτων με μίξερ.	122
Εικόνα 3.10	Δείγματα εδάφους σε ογκομετρικούς κυλίνδρους.	123
Εικόνα 3.11	Μέτρηση pH.	123
Εικόνα 3.12	Αδιατάρακτα δείγματα μετά την αφαίρεση εδάφους πάχους 2 χιλιοστών.	124
Εικόνα 3.13	Παρασκευή γύψου σε κεραμικά μπολ.	124
Εικόνα 3.14	Τοποθέτηση γύψου στα αδιατάρακτα δείγματα.	125
Εικόνα 3.15	Δείγματα εδάφους πάνω σε πορώδη κεραμικό δίσκο.	125
Εικόνα 3.16	Συσκευή μεμβράνη πίεσεως.	126

Περίληψη

Η παρούσα διατριβή ειδίκευσης σκοπό έχει την κατανόηση της επίδρασης του κλίματος στην καλλιέργεια των δημητριακών ώστε να βοηθήσει στην ανάπτυξη αξιόπιστων διαχειριστικών συστημάτων που θα επιτρέψουν την πρόβλεψη της στρεμματικής απόδοσης και τη βελτίωση της ποιότητας της παραγωγής. Για το σκοπό αυτό μελετήθηκε η επίδραση εδαφοκλιματικών παραμέτρων στη συμπεριφορά και την παραγωγικότητα τριών ποικιλιών σκληρού σίτου *Triticum turgidum* (Simeto, Mexicali, Σιφνος). Τα πειράματα που χρησιμοποιήθηκαν έλαβαν χώρα την περίοδο 2003-2010 στο αγρόκτημα του Ινστιτούτου Σιτηρών στη Θέρμη Θεσσαλονίκης. Οι παρατηρήσεις που ελήφθησαν για κάθε καλλιεργητική περίοδο, αφορούσαν την ημερομηνία εμφάνισης του αρτίβλαστου, την ημερομηνία ξεσταχύσματος και την παραγωγή σπόρου. Επιπλέον, για την τελευταία καλλιεργητική περίοδο (2009-2010) ελήφθησαν η ημερομηνία άνθησης και φυσιολογικής ωρίμανσης καθώς και το βάρος χιλίων κόκκων.

Βάσει των δεδομένων αγρού διερευνήθηκε ο βαθμός στον οποίο το μοντέλο CERES-Wheat μπορεί να προβλέψει τις σχέσεις καλλιέργειας και εδαφοκλιματικών συνθηκών. Η ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (RMSE) για την ημερομηνία ξεσταχύσματος κυμάνθηκε μεταξύ 1,13 d και 1,88 d και 0,52 d και 1,27 d για τη βαθμονόμηση και αξιολόγηση του μοντέλου, αντίστοιχα. Το RMSE για την τελική παραγωγή σπόρου ήταν, κατά μέσο όρο, 210 kg/ha για τη βαθμονόμηση και αξιολόγηση του μοντέλου. Επίσης, το μοντέλο προσέγγισε σωστά την πραγματικότητα, όσον αφορά την επίδραση των παραγόντων (κλίμα, ιδιότητες εδάφους, ημερομηνία σποράς και ποικιλίας) στη μεταβλητότητα της παραγωγής. Η μελέτη αυτή έδειξε ότι το CERES-Wheat έχει τις δυνατότητες να προσομοιώσει ικανοποιητικά την επίδραση εδαφοκλιματικών παραγόντων στην απόδοση και πρωιμότητα του σκληρού σίτου στη Βόρεια Ελλάδα.

Λέξεις Κλειδιά: Ceres-wheat, σκληρός σίτος, βαθμονόμηση/αξιολόγηση αγρομετεωρολογικού μοντέλου

Abstract

This study aims to understand the effect of climate on cereal cultivation to help develop reliable management systems that could allow yield prediction and quality improvement. For this purpose, the impacts of soil and climatic factors on the phenological development and productivity of three varieties of durum wheat, *Triricum turgidum* (Simeto, Mexicali, Sifnos), were studied. The experiments were conducted in the period 2003-2010 at the Farm Grain Institute in Thermi, Thessaloniki. The observations obtained for each season, were the seedling emergence date, the end of ear growth date, and the seed production. Moreover, for the last growing season (2009-2010), the flowering and physiological maturity date as well as the weight per thousand grains was observed.

Based on field data, the extent to which the CERES-Wheat model can predict the relationship between cultivation and soil and climatic conditions was also investigated. The root mean squared error (RMSE) for end of ear growth ranged from 1.13 d to 1.88 d for model calibration and from 0.52 to 1.27 d for model validation. The RMSE of final grain yield was, on average, 210 kg/ha for model calibration and validation. The model described well the data regarding the influence of factors (climate, soil properties, sowing date and variety) in the volatility of production. This study showed that CERES-Wheat has the capacity for simulating satisfactorily the impacts of soil and climate factors on durum wheat performance and earliness in Northern Greece.

Keywords: Ceres-wheat, Durum Wheat, Crop model calibration and validation

Κεφάλαιο 1

Σκληρό σιτάρι

1.1 Εισαγωγή

Τα σιτηρά ανήκουν στην οικογένεια των αγρωστωδών (Gramineae) και ανάλογα με την εποχή σποράς στη χώρα μας, τα διακρίνουμε σε χειμερινά και εαρινά. Χειμερινά είναι αυτά που σπέρνονται το φθινόπωρο ή στην αρχή του χειμώνα και εαρινά αυτά που σπέρνονται την άνοιξη. Στα χειμερινά κατατάσσονται το σιτάρι, το κριθάρι, η βρώμη και η σίκαλη ενώ στα εαρινά το καλαμπόκι, το ρύζι, το σόργο και το κεχρί. Από τα χειμερινά σιτηρά, τη μεγαλύτερη οικονομική σημασία τόσο για την Ελλάδα όσο και παγκοσμίως παρουσιάζει το σιτάρι, έπειτα έρχεται το κριθάρι και τέλος η βρώμη και η σίκαλη. Τα σιτηρά αποτελούν την κύρια τροφή του μισού περίπου πληθυσμού του πλανήτη μας, παρέχοντας το 56% της ενέργειας των τροφών και το 50% των πρωτεϊνών που καταναλώνονται (Παπακώστα, 1996).

Τα σιτηρά καλλιεργούνται σε όλες τις χώρες του κόσμου και έχουν παγκόσμια οικονομική σημασία επειδή σε εκτατικές συνθήκες καλλιέργειας παράγουν περισσότερο από όλες τις άλλες κατηγορίες φυτών, παρουσιάζουν μεγάλη προσαρμοστικότητα σε διαφορετικές συνθήκες περιβάλλοντος, αποτελούν την κυριότερη πηγή τροφίμων, αποθηκεύονται εύκολα γιατί περιέχουν μικρό ποσοστό υγρασίας, δεν απαιτούν μεγάλο χώρο αποθήκευσης γιατί είναι υψηλής συμπύκνωσης, η διαχείρισή τους γίνεται εύκολα με μηχανές και η καλλιέργειά τους δε μολύνει το περιβάλλον. Οι εκτάσεις που καταλαμβάνουν τα χειμερινά σιτηρά είναι, στο μεγαλύτερο ποσοστό, ημιορεινές πλαγιές και ημιγόνιμες πεδινές, μη αρδευόμενες. Τη μεγαλύτερη σπουδαιότητα για τη χώρα μας έχει το σιτάρι και το κριθάρι (Παπακώστα, 1996).

Τα σιτηρά συγκροτούν τη σπουδαιότερη ομάδα του φυτικού βασιλείου τόσο από οικονομική όσο και από βιολογική αλλά και οικολογική άποψη. Από τα σιτηρά προσλαμβάνουμε το σύνολο σχεδόν των πρωτεϊνών φυτικής προέλευσης και σ' αυτά

βασίζεται κατά κύριο λόγο η παραγωγή ζωικών προϊόντων που συμπληρώνουν το διαιτολόγιό μας. Είναι τροφές υψηλής θρεπτικής και ενεργειακής αξίας. Επίσης, βρίσκουν και διάφορες εφαρμογές στη βιομηχανία και την κοσμετολογία. Τελευταία, η βιομάζα των σιτηρών ή οι καρποί τους χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ενέργειας (βιοαιθανόλη). Το 35% έως 40% της καλλιεργούμενης έκτασης του πλανήτη καλύπτεται κάθε χρόνο με σιτηρά, τα οποία συνεισφέρουν περισσότερο από το 20% στο παγκόσμιο ακαθάριστο προϊόν.

Ιδιαίτερα το σκληρό σιτάρι χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή διαφόρων τύπων ζυμαρικών και για την παρασκευή σιμιγδαλιού. Περιέχει λιγότερο άμυλο, αλλά έχει μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες (π.χ. γλουτένη), αμινοξέα (π.χ. λυσίνη), βιταμίνες και λιπαρά οξέα σε σχέση με το μαλακό σιτάρι που χρησιμοποιείται κατά βάση στην αρτοποιία και στην αλευροποιία. Πολλές φορές οι κατώτερες ποιότητες χρησιμοποιούνται ως ζωοτροφή (Παπακώστα, 1996).

1.2 Ιστορικά στοιχεία

Το σιτάρι είναι ένα από τα πρώτα φυτά που καλλιέργησε ο άνθρωπος. Η παραγωγή και η χρήση του έπαιξε σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη της γεωργίας και στην εξέλιξη του πολιτισμού. Καθώς η καλλιέργειά του άρχισε αρκετές χιλιάδες χρόνια πριν από την ιστορική εποχή, τίποτα δεν μπορεί να λεχθεί με βεβαιότητα για την καταγωγή του. Κατά τον Vavilon (1920) το σκληρό σιτάρι κατάγεται από την Αιθιοπία. Σήμερα όμως επικρατεί η άποψη πως το σιτάρι προήλθε από άγρια αγρωστώδη που φύονταν σε περιοχές της Μέσης Ανατολής. Η εξημέρωσή τους συνέβη, πιθανώς, περίπου το 15.000-10.000 π.Χ. σε μια περιοχή που βρίσκεται στην Εγγύς Ανατολή, γνωστή ως Μεσοποταμία, μια ημιορεινή τοποθεσία κοντά στους ποταμούς Τίγρη και Ευφράτη (Bozzini, 1998).

Το σιτάρι καλλιεργούνταν στην Αρχαία Ελλάδα, την Περσία και την Αίγυπτο από τους προϊστορικούς χρόνους. Αργότερα, από τους πρώτους Ευρωπαίους αποίκους μεταφέρθηκε στην Κίνα, στην Ινδία, στην Αυστραλία και στην Αμερική. Η Ελλάδα έχει παράδοση χιλιετηρίδων στην καλλιέργεια του σιταριού. Αυτό επιβεβαιώνεται από καβουρνισμένα ευρήματα σπόρων στους νεολιθικούς οικισμούς Διμήνι και Σέσκλου της περιοχής του Βόλου, αλλά και από περιγραφές του Ομήρου, του Θεόφραστου (300 π.Χ.) και του Καλουμέλα (55 μ.Χ.). Αρχικά καλλιεργήθηκε μονόκοκκο και δίκοκκο σιτάρι, σταδιακά όμως αντικαταστάθηκε από φυτά σιταριού

στα οποία διαχωρίζεται εύκολα ο σπόρος από τα λέπυρα και εμφανίζεται «γυμνός». Περίπου το 500 μ.Χ. φαίνεται ότι άρχισε η επέκταση του κοινού (εξαπλοειδούς) σιταριού.

Το σκληρό σιτάρι καλλιεργήθηκε αρχικά στις παραμεσόγειες χώρες της Μέσης Ανατολής, της Βόρειας Αφρικής και της Νοτιοανατολικής Ευρώπης, στις οποίες ανήκει και η Ελλάδα. Αργότερα, η καλλιέργεια επεκτάθηκε στη Νότια Ρωσία, τη Νότια Αμερική, στη Μ. Βρετανία και την Κεντρική Ευρώπη (Φασούλας και Σενλόγλου, 1966).

1.3 Βοτανική κατάσταση και εξέλιξη των ειδών

Η γενετική καταγωγή και εξέλιξη του σιταριού αποτελεί ένα κλασσικό παράδειγμα για το πως τα στενά συγγενικά είδη μπορούν να συνδυαστούν σχηματίζοντας πολυπλοειδείς σειρές (Poehlman, 1987). Ως σιτάρι αναφέρεται ένας αριθμός ειδών που ανήκουν στο γένος *Triticum* της οικογένειας των Αγρωστωδών (Gramineae), που συγγενεύει με τα άγρια γένη *Agropyron* και *Aegilops*. Αυτό το γένος ταξινομείται εντός της υποοικογένειας *Triticaceae* στην οποία εμπεριέχονται και άλλα γένη, όπως το *Secale* και το *Hordeum*.

Ο βασικός χρωμοσωμικός αριθμός του γένους *Triticum* είναι 7. Τα είδη του μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις ομάδες ανάλογα με τον αριθμό των χρωμοσωμάτων: σε διπλοειδή ($2n = 2x = 14$), σε τετραπλοειδή ($2n = 4x = 28$) ή σε εξαπλοειδή είδη ($2n = 6x = 42$). Υπάρχουν τέσσερα διαφορετικά γενώματα που συμμετέχουν στα διάφορα είδη σιταριού (A, B, D ή G). Τα καλλιεργούμενα διπλοειδή, τετραπλοειδή και εξαπλοειδή σιτάρια, έχουν συνήθως τη γενωμική σύνθεση AA, AABB, AABBDD αντίστοιχα. Η τέταρτη ομάδα η G, προσδιορίστηκε στο είδος *Triticum timopheevi* Zhuk (AAGG) (Παπακώστα, 1996) (Πίνακας 1.1).

Ως προς την εξέλιξη των ειδών πιστεύεται πως ο δίκοκκος σίτος (emmer) προήλθε από τον άγριο τύπο (*Triticum dicoccoides*) που φέρει A και B γενώματα. Κατόπιν με μεταλλάξεις δημιουργήθηκαν τα άλλα τετραπλοειδή είδη. Ύστερα από φυσική διασταύρωση του *T. dicoccum* με το *T. taushii* (*Aegilops squarrosa*) με D γένωμα δημιουργήθηκε ο *T. spelta* και με μεταλλάξεις άλλα εξαπλοειδή είδη. Μόνο τρία από τα είδη *Triticum* έχουν εμπορική σημασία τα *T. aestivum* ή μαλακό σιτάρι (εξαπλοειδές), *T. durum* ή σκληρό σιτάρι (τετραπλοειδές) και *T. compactum*

(εξαπλοειδές). Επίσης, πρέπει να αναφερθεί πως διασταυρώσεις μεταξύ ειδών του γένους *Triticum* και συγγενικών γενών έδωσαν βιώσιμους απογόνους π.χ. τα *Triticale* από τη διασταύρωση του *Triticum* με το *Secale*, ενώ το *Agrotricum* του *Triticum* με το *Agropyron* (Παπακώστα, 1996).

Πίνακας 1.1 – Κατάταξη των ειδών του σιταριού ανάλογα με το βαθμό πολυπλοειδίας και το γένωμά τους (Zeven and Zhukovsky, 1975).

Διπλοειδή (2n=2x=14)	AA	<i>T. baeoticum</i> Boiss. = <i>T.monococcum</i> L. <i>ssp. baeoticum</i> (Boiss.) <i>*T.monococcum</i> L. = <i>ssp. monococcum</i> L.
Τετραπλοειδή (2n=4x=28)	AABB	<i>T.dicoccoides</i> Körn. = <i>T.turgidum</i> <i>ssp.dicoccoides</i> (Körn.) <i>*T.dicoccon</i> Schrank = <i>ssp.dicoccon</i> (Schrank) <i>*T.durum</i> Desf. = <i>ssp. durum</i> (Desf.) <i>*T.turgidum</i> L. = <i>ssp. turgidum</i> L. <i>*T.turanicum</i> Jacub. = <i>ssp. turanicum</i> (Jacub.)
	AAGG	<i>*T.polonicum</i> L. = <i>ssp. polonicum</i> (L.) <i>T.carthlicum</i> Nevski = <i>ssp. Carthlicum</i> (Nevski) <i>*T.timopheevi</i> Zhuk. = <i>T.timopheevi</i> Zhuk. <i>ssp. timopheevi</i> Zhuk.
Εξαπλοειδή (2n=6x=42)	AABBDD	<i>*T.spelta</i> L. = <i>T.aestivum</i> (L.) <i>ssp. spelta</i> <i>*T.macha</i> L. Dek. et Men. = <i>ssp. macha</i> (Dek. et Men) <i>*T.vavilovi</i> (Tum.) Jacub. = <i>ssp. vavilovi</i> (Tum.) <i>*T.aestivum</i> L. em. Thell. = <i>ssp. vulgare</i> (Vill.) ή <i>ssp. aestivum</i> (L.) <i>*T.compactum</i> Host. = <i>ssp. Compactum</i> (Host.) <i>*T.sphaerococcum</i> Perc. = <i>ssp. Sphaerococcum</i> (Perc.)
Με αστερίσκο (*) επισημαίνονται τα καλλιεργούμενα είδη.		

1.4 Εξάπλωση και οικονομική σημασία της καλλιέργειας του σιταριού

Το σιτάρι αποτελεί την κύρια τροφή του μισού περίπου πληθυσμού του πλανήτη μας, παρέχοντας το 56% της ενέργειας των τροφών και το 50% των πρωτεϊνών που καταναλώνονται (Παπακώστα, 1997). Σήμερα, το σιτάρι καλλιεργείται σχεδόν σε όλες τις χώρες του κόσμου και έχει παγκόσμια οικονομική σημασία. Οι καλλιεργούμενες εκτάσεις παγκοσμίως ανήλθαν σε 225 εκατομμύρια εκτάρια, η παραγωγή σε 682 εκατομμύρια τόνους ενώ η στρεμματική απόδοση το 2009 έφθασε τα 302 κιλά (FAOStat). Οι χώρες με την υψηλότερη παραγωγή σιταριού είναι η Κίνα, η Ινδία, η Η.Π.Α και η Ρωσία (Πίνακας 1.2).

Πίνακας 1.2 – Καλλιεργούμενη έκταση, παραγωγή και στρεμματικές αποδόσεις στις χώρες με την υψηλότερη παραγωγή σιταριού στον κόσμο.

Χώρα	Έκταση (x10 ⁶ ha)	Παραγωγή (x10 ⁶ tn)	Απόδοση (kg/ha)	Παραγωγή (x\$1.000.000)
Κίνα	24,2	114,9	4.748	15.805
Ινδία	28,4	80,7	2.841	11.671
Η.Π.Α.	20,2	60,3	2.989	9.301
Ρωσία	26,6	61,7	2.319	6.671
Γαλλία	5,1	38,3	7.447	4.463
Καναδάς	9,5	26,5	2.779	3.024
Γερμανία	3,2	25,2	7.808	2.653
Πακιστάν	9,0	24,0	2.657	2.618
Αυστραλία	13,5	21,6	1.603	2.429
Ουκρανία	6,8	20,9	3.093	2.315
Τουρκία	8,0	20,6	2.566	1.667

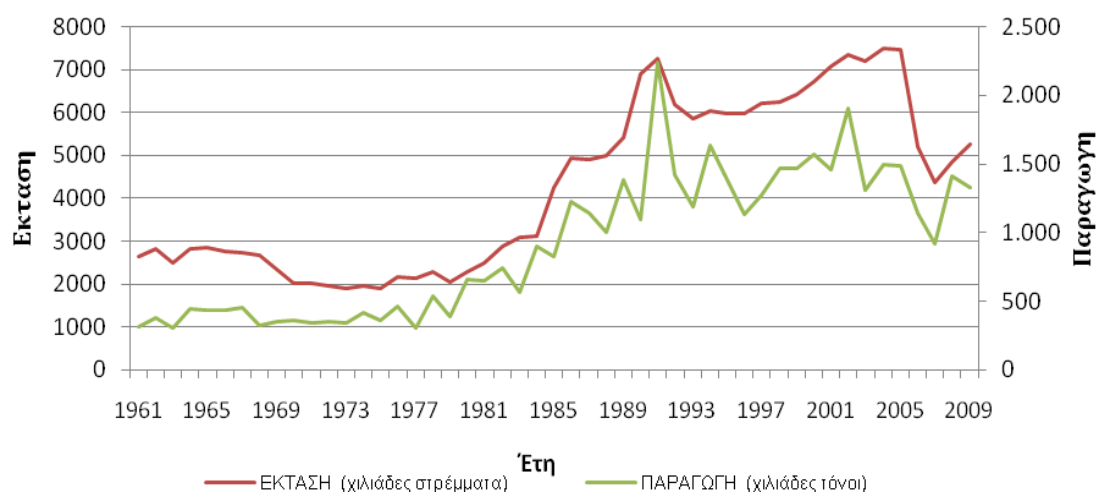
Πηγή: Παγκόσμιος Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας (FAO). 2009

Σε σύγκριση με το μαλακό σιτάρι, το σκληρό προσαρμόζεται καλύτερα σε ξηροθερμικές συνθήκες και είναι λιγότερο ανθεκτικό στο ψύχος. Κατά συνέπεια, η Ελλάδα και ειδικότερα η ανατολική αποτελεί πολύ ευνοϊκό περιβάλλον για την καλλιέργεια του (Φασούλας και Σενλόγλου, 1966).

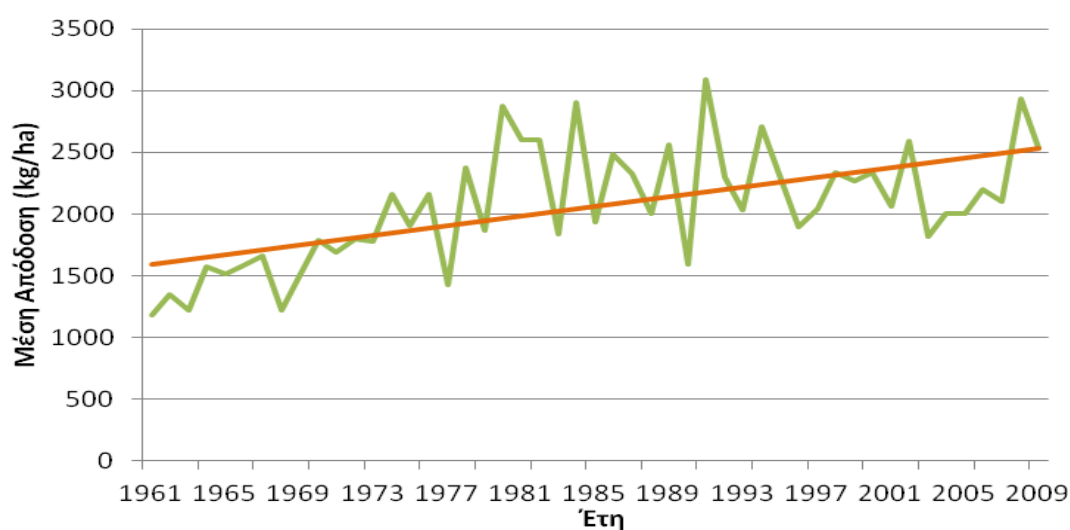
Στην Ελλάδα, η κατανομή των καλλιεργούμενων εκτάσεων μεταξύ μαλακού και σκληρού σιταριού καθορίζεται τα τελευταία χρόνια από τα μέτρα στήριξης της καλλιέργειας του σκληρού σιταριού από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Τα μέτρα αυτά είχαν ως αποτέλεσμα τη στροφή των καλλιεργητών στην καλλιέργεια σκληρού σιταριού.

Η τάση αυτή έχει ως αποτέλεσμα τη σταδιακή συρρίκνωση της καλλιέργειας του μαλακού σιταριού και την επέκταση του σκληρού σιταριού ακόμη και σε περιοχές με ακατάλληλες εδαφο-κλιματικές συνθήκες για την καλλιέργεια του, με επίπτωση την υποβάθμιση της ποιότητας των σπόρων του (Παπακώστα, 1997).

Την καλλιεργητική περίοδο 2008-2009, σύμφωνα με στοιχεία του υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, καλλιεργήθηκαν στην Ελλάδα 5,3 εκατομμύρια στρέμματα με σκληρό σιτάρι έναντι 1,7 εκατομμυρίων στρεμμάτων με μαλακό σιτάρι. Στα Γράφημα 1.1 και 1.2 παρουσιάζεται η εξέλιξη της καλλιέργειας του σκληρού σιταριού στη χώρα μας.



Σχήμα 1.1 - Η εξέλιξη της καλλιέργειας του σκληρού σιταριού στην Ελλάδα.

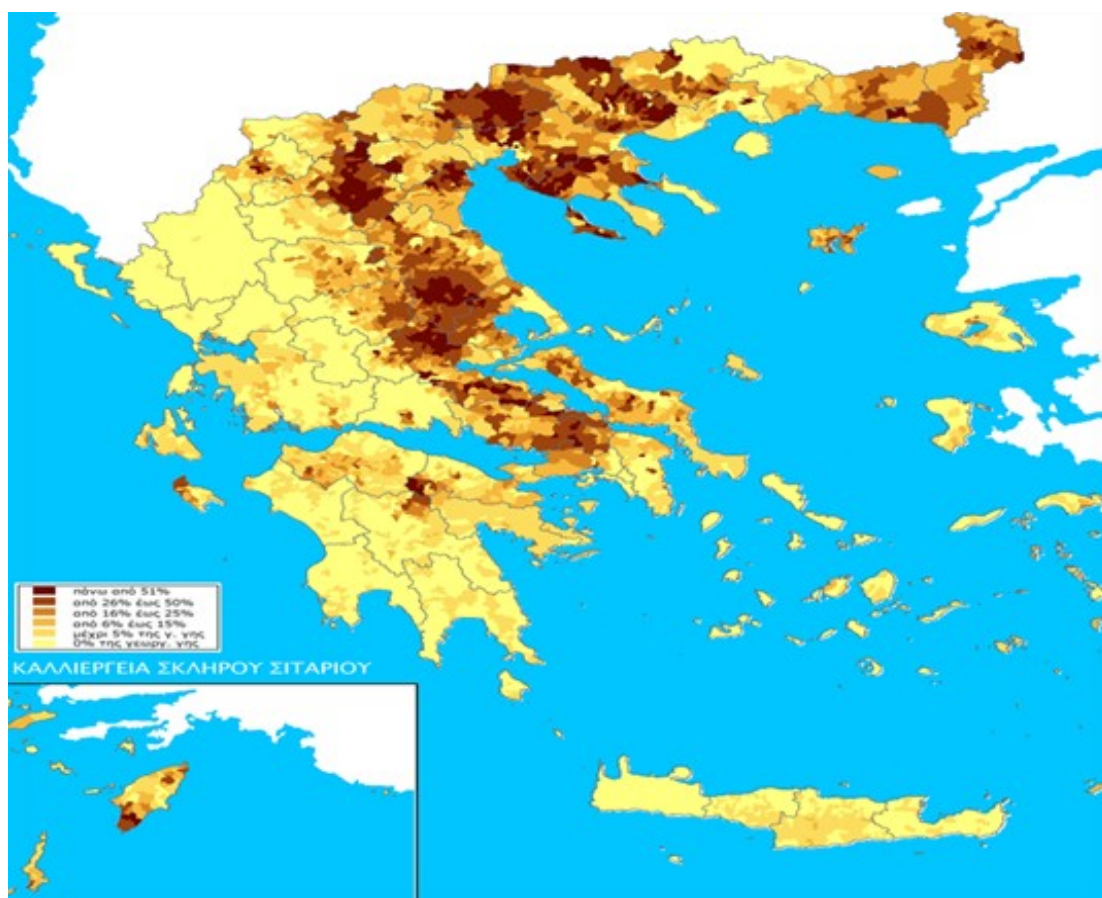


Σχήμα 1.2 - Η εξέλιξη της απόδοσης του σκληρού σιταριού στην Ελλάδα.

Πηγή: Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, Διεύθυνση Αγροτικής Πολιτικής και Τεκμηρίωσης.

Κατά την εξέλιξη της καλλιέργειας του σκληρού σιταριού παρουσιάζεται μια μείωση της έκτασης στη δεκαετία του '70, στη συνέχεια όμως αυξάνεται. Έτσι, το έτος 1961 καταλάμβανε έκταση 2,6 εκ. στρέμματα, με απόδοση 118 κιλά/στρέμμα, ενώ το 2009 κατέλαβε έκταση 5,3 εκ. στρέμματα, με απόδοση 253 κιλά/στρέμμα (Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων, 2001). Σταθμό τόσο στην εξέλιξη των αποδόσεων όσο και στην παραγωγή του σκληρού σίτου αποτέλεσε (α) η επέκταση της καλλιέργειας σε γονιμότερα εδάφη, (β) η εισαγωγή νέων βελτιωμένων ποικιλιών με κοντά στελέχη από το έτος 1980 και μετά, και (γ) η αυξημένη αζωτούχος λίπανση. Έτσι κατά τη δεκαετία του 80 παρατηρήθηκε μια μέση αύξηση των αποδόσεων κατά 20% περίπου σε σύγκριση με την προηγούμενη δεκαετία (Ινστιτούτο Σιτηρών, 1991).

Ο χάρτης (Εικόνα 1.1) που ακολουθεί απεικονίζει την καλλιέργεια του σκληρού σίτου στην Ελλάδα σε ποσοστά γεωργικής γης. Παρατηρούμε ότι ο κύριος όγκος της καλλιέργειας του σκληρού σίτου συγκεντρώνεται στη Θεσσαλία, στη Στερεά Ελλάδα, τη Μακεδονία και τη Θράκη, ενώ μικρότερες εκτάσεις καλύπτει ο σκληρός σίτος στη Νότια Ελλάδα.



Εικόνα 1.1- Χάρτης κλιμάκωσης της καλλιέργειας του σκληρού σίτου.
(ΠΗΓΗ: ΕΛ.ΣΤΑΤ. ΥΠ. (2007))

1.5 Μορφολογικά γνωρίσματα

Τα χειμερινά σιτηρά διαφέρουν ως προς τα μορφολογικά και ανατομικά χαρακτηριστικά, τα οποία αποτελούν τη βάση για το διαχωρισμό των ειδών μεταξύ τους και την περιγραφή των ποικιλιών εντός του είδους. Αποτελούνται από: 1) τις ρίζες, 2) το βλαστό (καλάμι) που είναι κυλινδρικός με κατά θέσεις συμπαγή γόνατα (κόμβους), 3) τα φύλλα που βγαίνουν εναλλάξ από κάθε γόνατο, τοποθετημένα σε δυο σειρές, η μια απέναντι από την άλλη, 4) την ταξιανθία (στάχυς ή φόβη) στην κορυφή του στελέχους, τους κόμβους της ράχης, της οποίας τα σταχύδια είναι διατεταγμένα με ένα ή περισσότερα ανθίδια το καθένα και 5) τους σπόρους.

1.5.1 Ρίζες (Roots)

Το ριζικό σύστημα των σιτηρών είναι θυσσανώδες, αποτελούμενο από έναν αριθμό ισοδιαμετρικών ριζών που ξεκινούν από το ίδιο περίπου σημείο του φυτού σε μικρό βάθος κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Οι ρίζες αυτές είναι δύο ειδών: οι εμβρυακές και οι μόνιμες (εικ. 1.6.α) (Σφήκας, 1995).

Οι *εμβρυακές ρίζες* έχουν τις καταβολές τους στην άκρη του εμβρύου. Σχηματίζονται στο βάθος σποράς και φθάνουν σε βάθος 20-30 εκατοστά. Στο σιτάρι αναπτύσσονται 3-8 ρίζες, οι οποίες άλλοτε είναι πρόσκαιρες και άλλοτε διατηρούνται ενεργές σε όλη τη διάρκεια της ζωής του φυτού. Είναι λεπτές, έχουν ομοιόμορφη διάμετρο με άφθονες πλευρικές διακλαδώσεις και η ανάπτυξή τους είναι ταχύτατη κάτω από ευνοϊκές συνθήκες. Αποτελούν ένα μικρό ποσοστό του συνολικού ριζικού συστήματος, παρόλα αυτά η συνεισφορά τους στα πρώτα στάδια ανάπτυξης είναι πάρα πολύ μεγάλη (Δαλιάνης, 1983; Σφήκας, 1995; Παπακώστα 1996).

Οι *μόνιμες ρίζες* βγαίνουν αργότερα από ένα κόμβο του στελέχους που βρίσκεται κοντά στην επιφάνεια του εδάφους και ονομάζεται σταυρός. Οι ρίζες αυτές είναι παχύτερες, σκληρότερες και ισχυρότερες σε σύγκριση με τις εμβρυακές. Στο σιτάρι εμφανίζονται στην αρχή οριζόντια, συνήθως μέχρι και 15 εκατοστά, και στη συνέχεια στρέφουν προς τα κάτω και στερεώνουν το φυτό σταθερά στο έδαφος (Μετζάκης, 1998).

Η έκταση και το βάθος του ριζικού συστήματος έχουν άμεση σχέση με το βάθος, τη δομή, τη γονιμότητα, τη θερμοκρασία και την υγρασιακή κατάσταση του εδάφους, την πυκνότητα των φυτών, την ύπαρξη ζιζανίων, το είδος και την ποικιλία

του σιταριού. Οι περισσότερες ρίζες φθάνουν σε βάθος 30 έως 50 cm, μπορούν όμως να διεισδύσουν μέχρι και 2 m. Το σιτάρι έχει λιγότερο εκτεταμένο ριζικό σύστημα σε σύγκριση με το κριθάρι και για το λόγο αυτό είναι λιγότερο ανθεκτικό στην ξηρασία, ενώ η αποτελεσματικότητά του όσον αφορά την πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων είναι μικρότερη. Ο χρόνος έκφυσης του μόνιμου ριζικού συστήματος παίζει σπουδαίο ρόλο στην καλλιέργεια και παραλλάσσει με τα είδη και την ποικιλία (Δαλιάνης, 1983; Σφήκας, 1995; Παπακώστα 1996).

1.5.2 Βλαστός (καλάμι) (Stem, Shoot)

Ο βλαστός ή το στέλεχος των σιτηρών αποτελείται από έναν κυκλικό σωλήνα, κενό στο εσωτερικό του (σιτάρι, κριθάρι, βρώμη, σίκαλη και ρύζι) ή γεμάτο με εντεριώνη (καλαμπόκι, σόργο και κεχρί), και με συμπαγή κατασκευή κατά διαστήματα, τα γόνατα ή κόμβους (εικ. 1.6. β). Τα γόνατα βοηθούν στη διατήρηση της όρθιας θέσης των φυτών καθώς και στην επαναπόκτηση αυτής της θέσης αν τη χάσουν μετά από πλάγιασμα. Το ύψος του στελέχους των χειμερινών σιτηρών κυμαίνεται, στα διάφορα είδη και ποικιλίες, από 60 έως 150 cm ενώ το πάχος του από 3 έως 10 mm (Σφήκας, 1995).

Η μεταβατική ζώνη μεταξύ των ριζών και του στελέχους καλείται στεφάνη ή σταυρός (εικ. 1.6. α). Ο σταυρός αποτελείται από μεριστωματικούς ιστούς, οι οποίοι έχουν την ικανότητα να παράγουν ρίζες και φύλλα, και για το λόγο αυτό αποτελεί και το πιο ευαίσθητο σημείο στα χειμερινά σιτηρά. Αν για οποιοδήποτε λόγο ζημιωθεί το σημείο αυτό, οι ιστοί καταστρέφονται και το φυτό ξηραίνεται (Παπακώστα 1996; Μετζάκης, 1998). Το σημείο του σταυρού βρίσκεται ακριβώς κάτω από την επιφάνεια του εδάφους και δεν επηρεάζεται από το βάθος σποράς. Φαίνεται όμως ότι ορισμένοι παράγοντες επηρεάζουν το σημείο δημιουργίας του. Ένας απ' αυτούς είναι η θερμοκρασία του εδάφους. Με υψηλή θερμοκρασία, γύρω στους 24 °C, ο σταυρός σχηματίζεται κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, ενώ με χαμηλή θερμοκρασία (8 °C) ο σταυρός σχηματίζεται κοντά στο σπόρο. Η θέση του σταυρού επηρεάζει την αντοχή του φυτού στις χαμηλές θερμοκρασίες του χειμώνα. Όσο πιο ψηλά προς την επιφάνεια του εδάφους είναι ο σταυρός, τόσο πιο ευαίσθητα είναι τα φυτά στις χαμηλές θερμοκρασίες. Πολλές φορές επίσης, κυρίως σε ξηρές περιοχές ή χρονιές, κατά τις οποίες ο παραγωγός αναγκάζεται να σπείρει βαθύτερα, εκεί όπου υπάρχει υγρασία, ο σταυρός είναι δυνατόν να σχηματιστεί σε περιοχή όπου δεν υπάρχει

υγρασία. Στις περιπτώσεις αυτές, αν δεν πέσει βροχή γρήγορα, έχουμε σχηματισμό φτωχού ριζικού συστήματος με δυσμενείς επιπτώσεις στην ανάπτυξη των φυτών και την παραγωγή, χωρίς να αποκλείεται επίσης το ενδεχόμενο της πλήρους καταστροφής της καλλιέργειας σε μεγάλες περιόδους ξηρασίας, ιδίως όταν συνοδεύονται και από χαμηλές θερμοκρασίες (Μετζάκης, 1998).

1.5.3 Φύλλα (Leaves)

Στην αρχή της ανάπτυξης των χειμερινών ποικιλιών τα φύλλα των σιτηρών σχηματίζουν μια τούφα κοντά στο έδαφος, που προστατεύει το αρχέφυτρο από τις χαμηλές θερμοκρασίες του χειμώνα. Στο στέλεχος τα φύλλα διατάσσονται σε δύο σειρές, η μια απέναντι από την άλλη (φυλλοταξία δίστοιχη), ο αριθμός των οποίων κυμαίνεται από 5 έως 10 (εικ. 1.6. γ).

Κάθε φύλλο αποτελείται από τα εξής δύο μέρη:

1. *Κολεός*. Ξεκινά από το γόνατο και περιβάλλει το στέλεχος και το προστατεύει από το κρύο ή τη ζέστη. Στην ένωση της βάσης του κολεού με τον αντίστοιχο κόμβο υπάρχει ένας μασχαλιαίος οφθαλμός ο οποίος, όταν βρίσκεται κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, μπορεί να αναπτυχθεί σε καινούριο βλαστό-αδελφι.

2. *Ελασμα*. Είναι το ελεύθερο και ανώτερο μέρος του φύλλου. Είναι επίμηκες, με συνήθως ελαφρά συστροφή. Στην ένωση με τον κολεό σχηματίζονται συνήθως τα ωτίδια και το γλωσσίδιο, τα οποία αποτελούν διακριτικό γνώρισμα μεταξύ των διαφόρων γενών των σιτηρών. Οι νευρώσεις του φύλλου (ηθμαγγειώδεις δέσμες) είναι παράλληλες χωρίς διακλαδώσεις. Βοηθούν, μαζί με τον σκληρεγχυματικό ιστό και την επιδερμίδα, η οποία έχει μεγάλη περιεκτικότητα σε πυρίτιο, στην αντοχή του φύλλου.

Στομάτια υπάρχουν πολλά και στις δύο επιφάνειες. Στο σιτάρι τα πιο πολλά στομάτια είναι στην άνω επιφάνεια. Γι' αυτό σε ξηρό καιρό συστρέφονται τα φύλλα για να μειωθεί η διαπνοή. Το χρώμα των φύλλων παρουσιάζει διαφορές. Στο σιτάρι επικρατεί το ζωνρό πράσινο (Σφήκας, 1995).

1.5.4 Ανθη (Flower)

Τα σιτηρά σχηματίζουν δύο ειδών ταξιανθίες: στάχυς και φόβη. Το σιτάρι έχει ταξιανθία στάχυ. Αποτελείται από ένα κύριο αρθρωτό άξονα (τη ράχη), που έχει

εναλλάξ μικρούς ποδίσκους (ραχίδια), οι οποίοι φέρουν τα σταχύδια. Κάθε σταχύδιο περιβάλλεται από δύο βράκτια φύλλα που ονομάζονται εξωτερικά λέπυρα, σε αντιδιαστολή προς τα εσωτερικά λέπυρα που περιβάλλουν κάθε άνθος (εικ. 1.6. δ) (Σφήκας, 1995).

Το άνθος των σιτηρών φέρει συνήθως τρεις στήμονες και ύπερο με μονόχωρη ωοθήκη, βραχύ στύλο και δισχιδές στίγμα. Στη βάση της ωοθήκης υπάρχουν δυο λεπτοειδείς εξογκώσεις (γλωχίνες) που διευκολύνουν το άνοιγμα των λεπύρων για βραχύ μόνο χρόνο. Αυτό, μαζί με το συγχρονισμό στην ωρίμανση των ανθέρων και του υπέρου, στα περισσότερα σιτηρά διευκολύνει την αυτογονιμοποίηση. Η επικονίαση γίνεται συνήθως νωρίς το πρωί και διευκολύνεται η γονιμοποίηση με θερμοκρασία γύρω στους 23 °C. Η γονιμοποίηση γίνεται 30-40 ώρες μετά την επικονίαση (Σφήκας, 1995).

1.5.5 Καρπός (Kernel, Grain)

Ο καρπός είναι καρύοψη, όπου το ενδοσπέρμιο συμφύεται με το περικάρπιο (εικ. 1.6.ε). Το ενδοσπέρμιο αποτελείται από μεγάλα παρεγχυματικά κύτταρα, γεμάτα με αμυλόκοκκους, εκτός από το εξωτερικό στρώμα όπου αφθονούν οι αλευρόκοκκοι. Αλευρόκοκκοι βρίσκονται και στο εσωτερικό του ενδοσπερμίου αλλά σε μικρότερη αναλογία (Σφήκας, 1995).

Οι αποθησαυριστικές ουσίες διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: τις μη αζωτούχες (υδατάνθρακες, λίπη, έλαια) και τις αζωτούχες (πρωτεΐνες). Οι πρώτες βρίσκονται στους αμυλόκοκκους, ενώ οι αζωτούχες συγκεντρώνονται στους αλευρόκοκκους. Στο αμυλοφόρο στρώμα του ενδοσπερμίου οι αλευρόκοκκοι βρίσκονται ανάμεσα στους αμυλόκοκκους. Όταν οι αλευρόκοκκοι γεμίζουν εντελώς τα κενά διαστήματα, το ενδοσπέρμιο γίνεται σκληρό και διάφανο. Σε τομή ο κόκκος παρουσιάζει γυαλιστερή όψη και χαρακτηρίζει τα σκληρά σιτάρια. Διαφορετικά ανάμεσα στους αμυλόκοκκους μένει αρκετός κενός χώρος, ο οποίος γεμίζει με αέρα. Σ' αυτή την περίπτωση το ενδοσπέρμιο γίνεται μαλακό (η τομή του κόκκου έχει όψη αλευρώδη). Η κατάσταση αυτή χαρακτηρίζει τα μαλακά σιτάρια. Το κενό που θα καλύψουν οι αλευρόκοκκοι δεν εξαρτάται μόνο από την ποικιλία (γενετικοί παράγοντες), αλλά και από το περιβάλλον. Η υφή του σπόρου επομένως, είναι δυνατόν να μεταβάλλεται κατά ένα ποσοστό από χρονιά σε χρονιά (Μετζάκης, 1998).

1.6 Στάδια ανάπτυξης του βιολογικού κύκλου

1.6.1 Φύτρωμα σπόρου και εμφάνιση αρτίβλαστου (Seed germination, Seedling emergence)

Η σπορά των χειμερινών σιτηρών γίνεται σε ευρέα χρονικά όρια για διάφορους λόγους. Πάντως τόσο η πρόωγη όσο και η όψιμη σπορά πολλές φορές μειονεκτούν. Το σιτάρι σπέρνεται στην Ελλάδα το φθινόπωρο. Για τις πιο ορεινές περιοχές κατάλληλος μήνας σποράς θεωρείται ο Οκτώβριος, ενώ για τις υπόλοιπες ο Νοέμβριος (εικ.1.3) (Σφήκας, 1995; Παπακώστα, 1996). Ο καθορισμός του καταλληλότερου χρόνου σποράς επηρεάζεται από τις κλιματολογικές συνθήκες κατά τη διάρκεια του χειμώνα, από τον τύπο του εδάφους και από την ποικιλία (Καραμάνος, 1992).

Ο σπόρος δεν βλαστάνει αμέσως μόλις ωριμάσει, αλλά θα πρέπει να περάσει πρώτα από μια περίοδο λήθαργου, κατά την οποία υφίσταται ορισμένες μεταβολές. Η περίοδος του λήθαργου διαρκεί από λίγες ημέρες μέχρι και 6 μήνες (Leonard and Martin 1963) ή και περισσότερο, αν ο σπόρος δεν συλλεχθεί ώριμος ή αν διατηρείται σε χαμηλές θερμοκρασίες. Ο λήθαργος αποτρέπει το φύτρωμα του σπόρου στο χωράφι πριν τον αλωνισμό (Σφήκας, 1995).

Η θερμοκρασία και η υγρασία του εδάφους καθορίζουν την έναρξη του φυτρώματος. Η βλάστηση αρχίζει όταν οι σπόροι απορροφήσουν μικρά ποσά υγρασίας, τουλάχιστον το 35-45 % του ξηρού βάρους τους. Το φώς δεν επηρεάζει τη βλάστηση. Για το σιτάρι η ελάχιστη θερμοκρασία φυτρώματος είναι 4°C, η άριστη 20-25 °C και η μέγιστη 35-37 °C. Σε ευνοϊκές συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας εδάφους η κολεοπτίλη εμφανίζεται 4-5 ημέρες μετά τη σπορά (εικ. 1.7.α) (Παπακώστα, 1997). Η εμφάνιση του αρτίβλαστου συμβαίνει 10-30 ημέρες μετά τη σπορά (Narciso κ.α., 1992).

Η υγιεινή κατάσταση, η ακεραιότητα των κόκκων και το μέγεθός τους επηρεάζουν τη βλαστική ικανότητα και την ευρωστία των νεαρών φυταρίων. Οι μη ώριμοι σπόροι έχουν μικρότερη βλαστική ικανότητα και δίνουν λιγότερα εύρωστα φυτά σε σχέση με τους ώριμους (Παπακώστα, 1997). Μεγαλύτεροι σπόροι συνεπάγονται ταχύτερη εγκατάσταση φυταρίων, καλύτερο ανταγωνισμό με τα ζιζάνια και πιθανόν υψηλότερες αποδόσεις. Πάντως φαίνεται ότι η περιεκτικότητα των

σπόρων σε πρωτεΐνη επηρεάζει την ανάπτυξη των φυταρίων περισσότερο από ότι το μέγεθος του σπόρου (Καραμάνος, 1992).

1.6.2 Ανάπτυξη ριζών και φυλλώματος (Roots and leaves development)

Στα πρώτα στάδια ανάπτυξης (μέχρι την εμφάνιση του 4ου φύλλου) επικρατούν οι εμβρυακές ρίζες ενώ η συμβολή των μονίμων ριζών αυξάνει βαθμιαία. Οι εμβρυακές ρίζες μπορούν να φθάσουν σε βάθος 20-30 cm και παραμένουν ενεργές σε όλη τη ζωή των φυτών. Οι μόνιμες μπορεί να φθάνουν τα 100-200 cm. Η αύξηση των ριζών συνεχίζεται μέχρι το ξεστάχυσμα όπου αποκτούν το μεγαλύτερο βάρος τους, ενώ στη συνέχεια η ανάπτυξη τους φαίνεται ότι σταματά καθώς χάνουν και μέρος από το βάρος τους. Υπάρχουν διαφορές μεταξύ των γενοτύπων στο μήκος και την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος, που έχουν ως αποτέλεσμα διαφορές ως προς την αντοχή τους στην ξηρασία. Δεν έχει βρεθεί σχέση ανάμεσα στη μορφή και την έκταση του ριζικού συστήματος με το ύψος των φυτών. Φαίνεται ότι το ριζικό σύστημα είναι ελαφρά μεγαλύτερο στις νάνες ποικιλίες (Καραμάνος, 1992).

Η διαφοροποίηση, ανάδυση και εκδίπλωση των φύλλων επηρεάζονται θετικά από τη θερμοκρασία, την ένταση της ακτινοβολίας, τη φωτοπερίοδο και τη θρεπτική κατάσταση του φυτού. Το τελικό μέγεθος του ελάσματος επηρεάζεται σημαντικά από την επάρκεια νερού, θρεπτικών συστατικών (κυρίως αζώτου) και από τη θερμοκρασία του αέρα (με άριστη θερμοκρασία τους 20 °C) (Καραμάνος, 1992). Το μέγιστο της φυλλικής επιφάνειας παρατηρείται περίπου όταν το φύλλο-σημαία (το τελευταίο φύλλο του στελέχους) έχει εκπτυχθεί τελείως, λίγο πριν το ξεστάχυσμα.

1.6.3 Αδέλφωμα (Tillering)

Είναι η δυνατότητα των σιτηρών να σχηματίζουν πολλούς βλαστούς, τα αδέρφια, από οφθαλμούς οι οποίοι βρίσκονται στα γόνατα του στελέχους λίγο πιο κάτω ή ακριβώς πάνω στην επιφάνεια του εδάφους (εικ. 1.7. β) (Παπακώστα, 1997). Μετά από 10 έως 15 μέρες μετά τη σπορά, ο ακραίος οφθαλμός φτάνει κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Τότε σχηματίζονται γρήγορα πολλοί πλευρικοί οφθαλμοί στις μασχάλες των φύλλων που είναι ακόμα υποτυπώδη. Από αυτούς τους οφθαλμούς εκφύονται καινούρια δευτερεύοντα στελέχη, τα οποία αναπτύσσουν δικό τους ριζικό σύστημα και ονομάζονται αδέρφια. Η έκπτυξή τους διαρκεί 30-40 μέρες. Αποκτούν μικρότερο αριθμό φύλλων από τον κύριο βλαστό, οπότε η άνθηση της ταξιανθίας των

αδελφιών συγχρονίζεται με εκείνη του κύριου βλαστού (Gallagher κ.α., 1976). Στις χειμωνιάτικες ποικιλίες σιτηρών ο σχηματισμός αδελφιών αρχίζει το φθινόπωρο και κατά το χειμώνα αναστέλλεται για να ανακτήσει τον κανονικό του ρυθμό την άνοιξη (Φολίνας, 1990).

Ο αριθμός των αδελφιών που παράγεται από ένα φυτό επηρεάζεται από γενετικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες. Από τους περιβαλλοντικούς παράγοντες σημαντικότερο ρόλο παίζουν ο φωτισμός, η πυκνότητα και το βάθος της σποράς, η γονιμότητα του εδάφους, η πρωιμότητα της σποράς, η επάρκεια υγρασίας, η κατάλληλη θερμοκρασία (14-18 °C θεωρείται ιδανική θερμοκρασία) και η αζωτούχος λίπανση. Ο αριθμός των αδελφιών, εκτός από την περίπτωση που τα αδέρφια σχηματίζονται πολύ όψιμα, παρουσιάζει θετική συσχέτιση με την απόδοση (Φολίνας, 1990).

Στο σιτάρι, στις συνήθεις συνθήκες πυκνότητας φυτών, στάχεις σχηματίζουν συνήθως ο κύριος βλαστός και τα αδέρφια που σχηματίζονται νωρίς (όταν το φυτό έχει 4-6 φύλλα) (Kirby, 1983). Το κανονικό αδελφωμα έχει μεγάλη σημασία για δύο λόγους (Μετζάκης, 1998):

1. μπορεί να αντισταθμίσει απρόβλεπτες ανωμαλίες κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης των φυτών, όπως το αραιό φύτεμα, ο αποδεκατισμός της καλλιέργειας από ασθένειες, έντομα ή άλλες αιτίες, οπότε και η συνέχιση της καλλιέργειας θα ήταν προβληματική αν τα φυτά δεν είχαν την ικανότητα να αδελφώνουν,

2. αυξάνεται η στρεμματική απόδοση, δεδομένου ότι η συσχέτιση μεταξύ παραγωγής και αριθμού αδελφιών είναι θετική.

1.6.4 Επιμήκυνση του στελέχους (καλάμωμα) (Booting stage)

Την άνοιξη μετά το αδελφωμα τα φυτά εισέρχονται σε μία περίοδο ταχείας ανάπτυξης κατά την οποία πραγματοποιείται η επιμήκυνση του στελέχους (καλάμι) και συγχρόνως αρχίζει η αύξηση των φύλλων, των ριζών και της ταξιανθίας (Παπακώστα, 1997). Η αντοχή του στελέχους και το τελικό ύψος, που κυμαίνεται από 30 εκατοστά μέχρι και πάνω από 150 εκατοστά εξαρτώνται τόσο από το γενότυπο όσο και από τις συνθήκες ανάπτυξης. Οι υψηλές θερμοκρασίες και η επάρκεια νερού και αζώτου στο έδαφος ευνοούν την επιμήκυνση των μεσογονατίων (Καραμάνος, 1992). Στο σιτάρι, γενότυποι που έχουν και τα δύο γονίδια νανισμού Rht1 και Rht2

έχουν μικρότερο ύψος από εκείνους που έχουν μόνο το ένα, οι οποίοι με τη σειρά τους παρουσιάζουν μικρότερο ύψος από εκείνους που δεν έχουν κανένα γονίδιο (Allan, 1983). Γενικά, οι διαφορές στο ύψος οφείλονται περισσότερο στο μήκος των μεσογονατίων από ό,τι στον αριθμό τους.

1.6.5 Ξεστάχυσμα (Ear emergence, Heading)

Την επιμήκυνση των μεσογονατίων διαστημάτων, ακολουθεί η αύξηση του μεγέθους του στάχew και η μετακίνησή του από την βάση του φυτού προς την κορυφή. Η καταβολή του στάχew εμφανίζεται στα τέλη του χειμώνα ή στις αρχές της άνοιξης, κατά τη μετάβαση των φυτών από το βλαστικό στο αναπαραγωγικό στάδιο. Ο στάχew βρίσκεται πάντα στη βάση του υψηλότερου από το έδαφος κόμβου. Όταν ο στάχew φθάσει στον κολεό του τελευταίου φύλλου ο κολεός διογκώνεται και το στάδιο αυτό λέγεται φούσκωμα. Στη συνέχεια ο κολεός του φύλλου-σημαία σχίζεται κατά μήκος και εμφανίζεται η ταξιανθία. Το στάδιο αυτό λέγεται έκπτυξη ταξιανθίας ή ξεστάχυσμα (εικ 1.7. γ).

Η εποχή ξεσταχυσματος παρότι επηρεάζεται από τη θερμοκρασία και την υγρασία του περιβάλλοντος, την εποχή σποράς, τη γονιμότητα του εδάφους, και άλλους παράγοντες, είναι χαρακτηριστικό του κάθε γενοτύπου και θεωρείται δείκτης προωμότητας των ποικιλιών (Παπακώστα, 1997). Στην Εικόνα 1.4 απεικονίζεται το δεκαπενθήμερο που παρατηρείται το ξεστάχυσμα στις χώρες της Ευρώπης.

1.6.6 Άνθηση (Anthesis)

Χαρακτηρίζεται από την έξοδο των στημόνων μέσα από τα λεπυρίδια και παρατηρείται συνήθως 4 έως 10 μέρες μετά το ξεστάχυσμα (εικ. 1.7. δ). Στο σιτάρι, όπως και στο κριθάρι και τη βρώμη, παρατηρείται το φαινόμενο της κλειστογαμίας, κατά το οποίο οι ανθήρες σπάζουν πριν την έξοδό τους από το άνθος και πραγματοποιείται αυτεπικονίαση. Η ελάχιστη θερμοκρασία για την άνθηση στο σιτάρι είναι 10 °C, η μέγιστη 32 °C και η άριστη 18-24 °C. Υψηλές και χαμηλές θερμοκρασίες κατά την άνθηση και γονιμοποίηση μπορεί να μειώσουν σημαντικά τον αριθμό των καρπών ανά στάχew. Σοβαρές ανωμαλίες επίσης προκαλεί και η υπερβολικά ξηρή ατμόσφαιρα (Καραμάνος, 1992).

1.6.7 Πλήρωση κόκκου (Grain filling)

Χαρακτηρίζεται από τη συσσώρευση ουσιών στους αναπτυσσόμενους καρπούς που παράγονται από προϊόντα φωτοσύνθεσης που είχαν παραχθεί πριν από την άνθηση και τα οποία μετακινούνται από τα βλαστικά τμήματα των φυτών προς τον κόκκο. Κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης του κόκκου είναι δυνατόν να περιγραφούν τα εξής ευδιάκριτα στάδια ανάπτυξης (Καραμάνος, 1992).

1. Υδατώδης καρπός (kernel watery ripe). Διαρκεί 1-2 εβδομάδες μετά τη γονιμοποίηση. Η αύξηση του μεγέθους του κόκκου οφείλεται στην αύξηση του αριθμού των κυττάρων. Τα κατώτερα φύλλα αρχίζουν να καταστρέφονται.

2. Στάδιο γάλακτος (milky ripe). Συμβαίνει 2-3 εβδομάδες από τη γονιμοποίηση. Κατά το στάδιο αυτό ο κόκκος περιέχει γαλακτώδες υγρό που αποτελείται από αμυλόκοκκους. Στο τέλος του σταδίου το έμβρυο έχει αναπτυχθεί πλήρως.

3. Στάδια ζύμης (mealy ripe). Παρατηρείται 3-6 εβδομάδες μετά τη γονιμοποίηση. Αρχικά εμφανίζεται το στάδιο της μαλακής ζύμης κατά το οποίο η υγρασία του κόκκου μειώνεται ώστε, όταν πιεσθεί ο κόκκος να μην εξέρχεται υγρό αλλά μια μαλακή ζύμη. Στη συνέχεια επέρχεται το στάδιο της σκληρής ζύμης ή κήρου. Στο στάδιο αυτό η αφυδάτωση του κόκκου συνεχίζεται και το φυτό πλέον έχει κίτρινη εμφάνιση.

Η χρονική πορεία του γεμίσματος είναι σιγμοειδούς μορφής. Έχει διάρκεια 30-60 ημέρες από την άνθηση, ανάλογα με το γενότυπο και τις συνθήκες του περιβάλλοντος. Το τελικό βάρος του καρπού επηρεάζεται κυρίως από τη διάρκεια και δευτερευόντως από το ρυθμό γεμίσματος (Καραμάνος, 1992). Οι παράγοντες του περιβάλλοντος που επηρεάζουν το γέμισμα είναι (Καραμάνος, 1992):

1. Η θερμοκρασία, τόσο της ημέρας όσο και της νύχτας. Υψηλότερες θερμοκρασίες συνεπάγονται χαμηλότερο τελικό βάρος λόγω μείωσης της διάρκειας του γεμίσματος, αυξημένης αναπνοής και ταχύτερης γήρανσης των φωτοσυνθετικών οργάνων. Θεωρείται ότι η άριστη θερμοκρασία της ημέρας είναι 25 °C και της νύχτας 12 °C.

2. Η ηλιακή ακτινοβολία. Μειώνει και αυτή τη διάρκεια του γεμίσματος, πιθανόν λόγω αλληλεπίδρασης με τη θερμοκρασία.

3. Η παρουσία νερού. Η έλλειψη προκαλεί μείωση του γεμίσματος και μείωση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας με αποτέλεσμα μικρότερο τελικό βάρος καρπών ή και συρρικνωμένους καρπούς.

1.6.8 Ωρίμανση (Maturity)

Ως φυσιολογική ωρίμανση καθορίζεται το στάδιο κατά το οποίο ο κόκκος δεν δέχεται προϊόντα φωτοσύνθεσης και συνεπώς παύει να αυξάνεται το βάρος του. Χαρακτηρίζεται από αφυδάτωση των κόκκων και το βαθμιαίο θάνατο των φυτών από το λαιμό προς το στάχυ. Ο κόκκος σπάζει δύσκολα αλλά μπορεί να χαραχθεί με το νύχι. Η υγρασία σ' αυτό το στάδιο κυμαίνεται από 30-40 %.

Στην οικονομική ωρίμανση, που προσδιορίζει το χρόνο συγκομιδής των φυτών, όλο το φυτό είναι ξηρό και εύθραυστο (εικ. 1.7. ε). Ο καρπός είναι σκληρός, ασυμπίεστος και δεν χαράζεται εύκολα (Καραμάνος, 1992). Στην Ελλάδα η συγκομιδή γίνεται με θεριζοαλωνιστικές μηχανές, συνήθως κατά τον Ιούνιο και σε πιο ορεινές περιοχές κατά τον Ιούλιο (εικ. 1.5). Στη συνέχεια το άχυρο που μένει στο χωράφι μπορεί να δεματοποιηθεί και να χρησιμοποιηθεί για τροφή ζώων, σαν καύσιμος ύλη ή σαν κυτταρινούχος πρώτη ύλη στη βιομηχανία (Παπακώστα, 1997).

Τα στάδια ανάπτυξης του σκληρού σίτου απεικονίζονται με τη χρονική σειρά που συμβαίνουν στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα. 1.2).



Εικόνα 1.2 Στάδια ανάπτυξης του σκληρού σίτου. Em: emergence (εμφάνιση αρτίβλαστου), TS: terminal spiklet (τελικό σταχύδιο) Hd: Heading (Ξεστάχυσμα), Anth: Anthesis (Ανθιση), PM: physiological maturity (φυσιολογική ωρίμανση) (Dias&Lidon)

1.7 Απαίτησης περιβάλλοντος

1.7.1 Κλίμα

Το σιτάρι δεν ευδοκιμεί στα θερμά ή υγρά κλίματα εκτός εάν διαθέτουν μια περίοδο σχετικά δροσερή που να ευνοεί την ανάπτυξη των φυτών και να επιβραδύνει τη δράση των παρασιτικών ασθενειών. Η κύρια καλλιέργεια του σιταριού βρίσκεται στην Εύκρατη ζώνη. Στην τροπική ζώνη μπορεί να καλλιεργηθεί μόνο σε μεγάλα υψόμετρα, στα δε βόρεια πλάτη ως εαρινή καλλιέργεια. Τη μεγαλύτερη αντοχή στο ψύχος έχει το μαλακό σιτάρι, που είναι και πιο διαδεδομένο. Τα σκληρά σιτάρια καλλιεργούνται σχεδόν αποκλειστικά την άνοιξη στις ψυχρές περιοχές (Σφήκας, 1995). Το σκληρό σιτάρι καλλιεργείται κυρίως στις παραμεσόγειες χώρες, όπου φαίνεται να προσαρμόζεται στο ξηροθερμικό των περιβάλλον. Η άριστη θερμοκρασία βλαστήσεως του σίτου είναι 20-22 °C, η ελάχιστη 3-4 °C και η μέγιστη 35 °C. Στις υψηλές θερμοκρασίες το ενδοσπέρμιο υφίσταται αποσύνθεση από μικροβιακή δράση και το έμβρυο πεθαίνει (Σφήκας, 1995).

Οι εαρινές ποικιλίες αντέχουν στο ψύχος μέχρι -10 °C, οι χειμερινές ως -20 °C ή μετά από σκληραγώγηση ως -30 °C και κάτω από χιόνι ως -40 °C. Κυρίως ενδιαφέρει η θερμοκρασία στο βάθος του 1-3 cm όπου βρίσκεται ο σταυρός, στον οποίο η ζημιά έχει τις σοβαρότερες επιπτώσεις (Σφήκας, 1995). Άριστη θερμοκρασία για το αδέλφωμα είναι η 14-18 °C και για τη φωτοσύνθεση γύρω στους 22 °C (Σφήκας, 1995).

Το σιτάρι καλλιεργείται παγκοσμίως σε περιοχές όπου η ετήσια βροχόπτωση κυμαίνεται από 270 έως 1.750 mm. Το 75 % της συνολικής έκτασης καλλιεργείται σε περιοχές όπου η ετήσια βροχόπτωση είναι 375-775 mm (ημίξηρες μέχρι ύφυγρες περιοχές) (Peterson, 1965). Σημασία έχει η κατανομή της βροχόπτωσης σε συνδυασμό και με άλλους παράγοντες, όπως η θερμοκρασία. Το 70 % των αναγκών του το σιτάρι το χρειάζεται στην περίοδο μεταξύ καλαμώματος και ανθήσεως. Στο προηγούμενο του καλαμώματος διάστημα καταναλίσκεται μόνο το 10 % του νερού και από το ξεστάχυσμα ως την ωρίμανση το υπόλοιπο 20 %. Από την πλευρά αυτή η κατανομή της βροχής στην Ελλάδα είναι δυσμενής επειδή το πιο πολύ νερό πέφτει το χειμώνα και επιπλέον η κατανομή την άνοιξη είναι ακανόνιστη. Για το λόγο αυτό η άρδευση του σιταριού είναι πολλές φορές χρήσιμη μέχρι και πολύ αποτελεσματική (Σφήκας, 1995).

Στις φθινοπωρινές καλλιέργειες, η έλλειψη βροχών μετά τη σπορά και το φύτευμα δημιουργεί πιθανότητες αποτυχίας της καλλιέργειας, λόγω κακού φυτρώματος και καθυστέρησης της ανάπτυξης (μείωση καλλιεργητικής περιόδου). Συνήθως οι βροχές του Ιανουαρίου και Φεβρουαρίου ξεπερνούν τις ανάγκες των φυτών, γίνεται αποθήκευση στο έδαφος και χρησιμοποίηση της υγρασίας αργότερα. Οι βροχές της άνοιξης είναι ευεργετικές λόγω σύμπτωσής τους με την κρίσιμη περίοδο όπου τα φυτά παρουσιάζουν το μέγιστο των αναγκών τους σε νερό και θρεπτικά συστατικά. Οι όψιμες βροχές (κατά το γέμισμα) είναι χωρίς ουσιαστικό αποτέλεσμα και συνήθως ανεπιθύμητες γιατί ευνοούν το όψιμο πλάγιασμα, προσβολές από σκωριάσεις, ενώ καθυστερούν και την ωρίμανση των καρπών (Καραμάνος, 1992). Η ολική ετήσια υδατοκατανάλωση ανέρχεται σε 400mm περίπου για ξηρικές καλλιέργειες και μεσογειακό περιβάλλον, αλλά μπορεί να είναι και διπλάσια υπό αρδευόμενες συνθήκες (Καραμάνος, 1992).

Η ποικιλία, η γονιμότητα του εδάφους και το κλίμα επηρεάζουν την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες του καρπού των σιτηρών. Όσον αφορά το κλίμα, ο δριμύς χειμώνας που τον ακολουθεί δροσερή και ξηρή θερινή περίοδος ευνοεί την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη (Στέπες Ρωσίας, Β. και Κ. ΗΠΑ και Καναδάς). Σε περιοχές με ηπιότερο κλίμα (Α. ΗΠΑ και Δ. Ευρώπη) η πρωτεΐνη στο σιτάρι είναι λιγότερη. Η συγκέντρωση της πρωτεΐνης φαίνεται να σχετίζεται με τη διάρκεια της περιόδου ωριμάνσεως του κόκκου. Στις ξηρές περιοχές η περίοδος αυτή είναι μικρότερη, λόγω της υψηλής θερμοκρασίας και της ξηρασίας. Με ηπιότερες συνθήκες η περίοδος αυτή αυξάνει και προστίθενται σε αναλογία πιο πολλοί υδατάνθρακες στον καρπό, ώστε τελικά το ποσοστό πρωτεΐνης να είναι μικρότερο (Σφήκας, 1995).

Στην Ελλάδα η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη του μαλακού σιταριού που καλλιεργείται στη Μακεδονία (ιδίως στη Δυτική) και Θράκη είναι μεγαλύτερη σε σύγκριση με τη Ν. Ελλάδα καθώς και εκείνου που καλλιεργείται στο εσωτερικό της χώρας σε σύγκριση με τα παράλια. Για το σκληρό σιτάρι δεν φαίνεται να υπάρχουν αξιόλογες διαφορές μεταξύ των περιοχών της χώρας μας όπου καλλιεργείται, γενικά δε, η περιεκτικότητά του σε πρωτεΐνη είναι υψηλή (Σφήκας, 1995).

1.7.2 Έδαφος

Αν και καλλιεργείται σε ποικιλία εδαφών (από αμμώδη μέχρι βαρεία αργιλλώδη), το σιτάρι ευδοκιμεί κυρίως σε γόνιμα εδάφη μέσης σύστασης μέχρι βαρεία (αμμοπηλώδη, πηλώδη, αργιλλώδη), βαθειά και καλά στραγγιζόμενα. Δεν ευδοκιμεί σε εδάφη με υψηλό υδατικό ορίζοντα. Εδάφη πλούσια σε οργανική ουσία δημιουργούν προδιάθεση για πλάγιασμα (Καραμάνος, 1992).

Οι μεγαλύτερες αποδόσεις επιτυγχάνονται στα γόνιμα ιλοπηλώδη ή αργιλλοπηλώδη εδάφη, με επαρκή υγρασία και ελεύθερα ζιζανίων. Τα πολύ αμμώδη και τα κακώς στραγγιζόμενα δίνουν μικρές αποδόσεις. Ακατάλληλα για τη σιτοκαλλιέργεια είναι τα όξινα και τα ισχυρώς εκπλυθέντα εδάφη. Ως προς την υφή του εδάφους, ο σπουδαιότερος ρόλος της στην αποδόση του σιταριού, είναι η συγκράτηση της υγρασίας, ιδίως κατά την περίοδο των αυξημένων αναγκών των φυτών (Σφήκας, 1995).

Η αποδοτικότητα του σιταριού αυξάνεται από 100 σε 300 κιλά ανά στρέμμα καθώς αυξάνεται το διαθέσιμο νερό στην καλλιέργεια από 220 σε 440 χιλιοστά. Στις ημίξηρες περιοχές η αγρανάπαυση θεωρείται απαραίτητη πρακτική για την αύξηση του αποθηκευμένου στο έδαφος νερού (Good and Smika, 1978). Η απόδοση του σιταριού σχετίζεται θετικά και γραμμικά με το νερό του εδάφους που βρίσκεται ως απόθεμα για την καλλιέργεια και αυτή η σχέση είναι πιο σημαντική από τη σχέση με το εποχιακό νερό που χρησιμοποιείται από την καλλιέργεια (Musick κ.α., 1994). Η ίδια εργασία έδειξε επίσης ότι η τροποποίηση της επιφάνειας του εδάφους οδηγεί σε αλλαγές στην ισορροπία και στα όρια της εξάτμισης του εδαφικού νερού, και της διήθησης στην εδαφική κατανομή.

Οι πρακτικές διαχείρισης του εδάφους επιδρούν στο πόσο αποδοτικά οι καλλιέργειες χρησιμοποιούν το νερό της βροχής σαν εφόδιο. Υπάρχουν τέσσερις κύριοι παράγοντες που επιδρούν στην εξατμισοδιαπνοή μιας επιφάνειας για συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Αυτοί περιλαμβάνουν την κλίση του εδάφους, την θερμοκρασία και την ταχύτητα του ανέμου, την ποσότητα του νερού που βρίσκεται στο έδαφος και την ικανότητα του φυτού να προσλαμβάνει νερό από το έδαφος. Αυτοί οι παράγοντες δεν είναι ανεξάρτητοι ο ένας από τον άλλο και με τους κατάλληλους συνδυασμούς επιτυγχάνεται βελτίωση στην αποδοτικότητα της χρήσης του νερού (Musick κ.α., 1994).

Η απόδοση της καλλιέργειας του σιταριού αυξάνεται με αύξηση της αναλογίας σποράς και με μείωση των αποστάσεων μεταξύ των γραμμών. Η ικανότητα της χρήσης του νερού αυξάνεται όταν η απόσταση μεταξύ των γραμμών σποράς μειώνεται από 36 σε 9 cm και η αναλογία σποράς αυξάνεται από 3,5 σε 14 κιλά ανά στρέμμα (Tompkins κ.α., 1991).

Η γονιμότητα του εδάφους και κυρίως η περιεκτικότητα σε άζωτο (N) επηρεάζει την περιεκτικότητα του κόκκου σε πρωτεΐνη, για το λόγο ότι το N είναι συστατικό της πρωτεΐνης και εφόσον υπάρχει διαθέσιμο χρησιμοποιείται στη σύνθεσή της. Οι ανώτερες ποιότητες σιταριού παράγονται στις Μεγάλες Πεδιάδες των ΗΠΑ, στον Καναδά και τις στέπες της Ρωσίας, όπου τα εδάφη είναι πλούσια σε οργανική ουσία. Τα σιτάρια αυτά, παρόλο που είναι μαλακά, παρουσιάζουν την εμφάνιση σκληρών σιταριών (τομή κόκκων υαλώδης) λόγω της μεγάλης περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη (Σφήκας, 1995).

Η πρωτεΐνη που περιέχεται στους κόκκους του σιταριού επηρεάζεται από τη διαχείριση και την ικανότητα χρήσης του αζώτου. Η ικανότητα χρήσης του αζώτου είναι μέγιστη στα χαμηλά επίπεδα εφαρμογής του και μειώνεται γρήγορα με την αύξησή της ποσότητας εφαρμογής του. Η διαχείριση της εφαρμογής του αζώτου στην καλλιέργεια του σιταριού μπορεί να επηρεάσει την απόδοση και την ποιότητα των κόκκων (Fowler κ.α., 1990).

1.8 Καλλιεργητική πρακτική

Η θεαματική αύξηση των αποδόσεων και της παραγωγικότητας στη γεωργία προέρχονται από τη συνδυασμένη δράση των εξής τριών παραγόντων:

1. Τη δημιουργία και την εισαγωγή στην καλλιέργεια νέων ποικιλιών με υψηλότερο δυναμικό απόδοσης και καλύτερη ποιότητα.
2. Τη βελτιωμένη τεχνική της καλλιέργειας αυτών των ποικιλιών.
3. Την εισαγωγή της νέας τεχνολογίας στη σποροπαραγωγή, την εγκατάσταση της καλλιέργειας, την τεχνική υποστήριξής της και τη συγκομιδή.

Η εισαγωγή των πρώτων ημιάνων ποικιλιών σιταριού, που δημιουργήθηκαν στο CIMMYT (Διεθνές Κέντρο Βελτίωσης Καλαμποκιού και Σιταριού), εξασφάλισε την αυτάρκεια σε σιτάρι σε πολλές χώρες του κόσμου (Μεξικό, Πακιστάν, Ινδία,

κ.α.). Οι ποικιλίες αυτές επειδή δεν πλάγιαζαν μπορούσαν να δεχθούν αυξημένες ποσότητες λιπασμάτων και να δώσουν μεγαλύτερες αποδόσεις. Σήμερα οι ερευνητές κατευθύνουν τις προσπάθειές τους σε εξειδικευμένους στόχους, όπως είναι η δημιουργία ειδών και ποικιλιών με λιγότερες απαιτήσεις σε τεχνική υποστήριξη. Οι λόγοι που τους οδήγησαν σ' αυτή τη φιλοσοφία είναι:

1. Η διαρκής αύξηση του κόστους που απαιτεί η τεχνική υποστήριξη των καλλιεργειών (λιπάσματα, χημικός έλεγχος ύψους, ασθενειών, εντόμων, κ.α.)

2. Η ρύπανση του περιβάλλοντος από την έκλυση και κακή χρήση των χημικών μέσων.

3. Η διαρκής μείωση των διαθέσιμων περιοχών του πλανήτη με ευνοϊκές συνθήκες για την παραγωγή.

4. Η διαρκής υποβάθμιση της γονιμότητας και της μηχανικής σύστασης των εδαφών (όξινα, εδάφη με οριακά ποσοστά οργανικής ουσίας και αργίλου, κ.α.). Έτσι προκύπτει η ανάγκη καλύτερης αξιοποίησης και βελτίωσης των υποβαθμισθέντων εδαφών καθώς και των περιθωριακών εδαφών, όπως είναι τα όξινα ($\text{pH} < 6$), τα υψίπεδα μέχρι τα 2.000 m, τα ηφαιστειακά εδάφη και τα αλατούχα εδάφη (Ινστιτούτο Σιτηρών, 1991).

1.9 Καλλιεργητικές φροντίδες

1.9.1 Αμειψισπορά

Συντελεί στη συντήρηση και πληρέστερη εκμετάλλευση της γονιμότητας του εδάφους και την καταπολέμηση των παρασίτων και ζιζανίων των φυτών. Μονοκαλλιέργεια σιτηρού μπορεί να εφαρμοστεί για αρκετά έτη (5-10) σε γόνιμα, ελεύθερα από ζιζάνια και ασθένειες χωράφια. Σε πολύ φτωχά εδάφη θα μπορούσε να εφαρμοστεί το εκτατικό σύστημα αγρανάπαυση-σιτηρό. Το ίδιο σύστημα εφαρμόζεται σε χώρες με ελάχιστη βροχόπτωση, με το οποίο γίνεται εκμετάλλευση της βροχόπτωσης δύο ετών σε μία εσοδεία. Το επωφελέστερο για το σιτάρι σύστημα είναι το τριετές: ψυχανθές-σκαλιστικό-σιτάρι (Σφήκας, 1995). Από τους εχθρούς του σιταριού που ελέγχονται αποτελεσματικά με την αμειψισπορά αναφέρονται το κολεόπτερο *Zabrus gibbus* και το δίπτερο *Phytophaga destructor* (Καραμάνος, 1992).

1.9.2 Κατεργασία του εδάφους

Ο αριθμός και το βάθος των οργωμάτων, καθώς και η εποχή που γίνονται αυτά, με σκοπό την προετοιμασία του εδάφους για σπορά, καθορίζονται από την προηγούμενη καλλιέργεια, την ύπαρξη ζιζανίων και την υγρασιακή κατάσταση του εδάφους (Σφήκας, 1995). Το πρώτο όργωμα γίνεται συνήθως μετά τις πρώτες φθινοπωρινές βροχές και είναι ελαφρύ αν προηγήθηκε κάποιο από τα χειμερινό σιτηρά και βαθύτερο μετά από καλαμπόκι, για πληρέστερο παράχωμα των στελεχών. Μπορεί στη συνέχεια να γίνει ένα ενδιάμεσο όργωμα ή μόνο το όργωμα της σποράς, επίσης δισκοσβάρνισμα αν χρειάζεται, και ακολουθεί η σπορά (Σφήκας, 1995).

Ένα πολύ σημαντικό στοιχείο που έχει σχέση με την προετοιμασία του εδάφους για σπορά, τη διατήρηση της γονιμότητας, της υφής και της συνοχής των ελληνικών εδαφών είναι ο χειρισμός των υπολειμμάτων του θεριζοαλωνισμού, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις όπου τα σιτηρά διαδέχονται σιτηρά επί σειρά ετών. Συνιστάται μέτρια αναστροφή του εδάφους για ενσωμάτωση των υπολειμμάτων που παρέμειναν στον αγρό μετά τη συγκομιδή της προηγούμενης καλλιέργειας και καταστροφή των ζιζανίων (Ινστιτούτο Σιτηρών, 1991).

Τα υπολείμματα των αροτραίων καλλιεργειών με σωστή διαχείριση μπορούν να προσφέρουν προστασία στο χωράφι από την διάβρωση και να εμπλουτίσουν το έδαφος με οργανική ουσία. Τα ελληνικά εδάφη είναι πολύ φτωχά σε οργανική ουσία, που αποτελεί το πιο βασικό συστατικό της γονιμότητας των εδαφών. Η εύκολη πρακτική του καψίματος της καλαμιάς στερεί το έδαφος από οργανική ουσία, και από τα άλλα πλεονεκτήματα που προαναφέρθηκαν. Η ωφέλεια στο έδαφος από την συγκράτηση περισσότερου βρόχινου νερού και από τη μείωση της εξάτμισης από αυτό, συνδέονται άμεσα με το καλό φύτρωμα των σπόρων. Η συγκράτηση της υγρασίας είναι τόσο καλύτερη όσο καλύτερη είναι η κάλυψη του εδάφους από τα φυτικά υπολείμματα. Για τους λόγους αυτούς το κάψιμο τις καλαμιάς θα πρέπει να αποφεύγεται (ΟΣΔΕ, 2006).

1.9.3 Λίπανση

Ως προς τη φωσφορική (P) λίπανση συνιστάται η δόση των 2-2,5 κιλά P ανά στρέμμα κάθε χρόνο μέχρι να διαπιστωθεί ότι η καλλιέργεια δεν αντιδρά. Στην περίοδο εντατικής αναπτύξεως των φυτών συνιστάται η εφαρμογή καλίου σε

ποσότητα 2-3 κιλά ανά στρέμμα. Για το άζωτο συνιστάται η δόση των 3-4 κιλών N το φθινόπωρο σε βασική λίπανση πριν ή κατά τη σπορά και με τη μορφή θειικής αμμωνίας. Σε υγρές ή αρδευόμενες περιοχές λιπαίνουν από 3-14 κιλά N ανά στρέμμα αν δεν προηγήθηκε ψυχανθές, ενώ σε αμμώδη εδάφη ημίξηρων περιοχών 1,5-4 κιλά N. Αν υπάρχουν ενδείξεις ελλείψεως προστίθενται επιφανειακά άλλα 2 κιλά N την άνοιξη σε νιτρική μορφή. Τέτοια έλλειψη μπορεί να παρουσιαστεί όταν οι συνθήκες του χειμώνα είναι δυσμενείς (ψύχος, υγρασία για νιτροποίηση), ενώ με τις πρώτες ζέστες τα νεαρά φυτά χρειάζονται άζωτο. Για να χρησιμοποιηθεί (και να μη βλάψει) η επιφανειακή λίπανση πρέπει να υπάρχει νερό (βροχή ή άρδευση μετά την εφαρμογή) (Σφήκας, 1995).

Η αποτελεσματικότητα της λιπάνσεως με κάποιο θρεπτικό στοιχείο δεν εξαρτάται μόνο από τις ανάγκες του φυτού σ' αυτό, ή την ύπαρξη νερού για την αξιοποίησή του, αλλά και από την ύπαρξη και των άλλων θρεπτικών στοιχείων σε ορισμένες (ισόρροπες) αναλογίες. Έτσι, συνδυασμένη λίπανση με κάλιο (K) και N και καθόλου λίπανση έδωσε καλύτερη απόδοση από μονομερή λίπανση (μόνο με K ή N) (Καραμάνος, 1992).

Επίσης υπάρχει σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των φωσφορικών και αζωτούχων λιπασμάτων. Το άζωτο αυξάνει τη διαθεσιμότητα των φωσφορικών στο έδαφος ή, το πιθανότερο, προωθεί την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος και αυξάνει τις δυνατότητες απορρόφησης φωσφορικών από τα φυτά (Boatwright & Haas 1961). Η απορρόφηση των φωσφορικών από το σιτάρι είναι άριστη σε θερμοκρασίες 18-27 °C (Καραμάνος, 1992).

Με τη λίπανση αυξάνει η απόδοση μέχρι ενός ορίου πέρα από το οποίο η αύξηση της απόδοσης δεν καλύπτει την αξία του επιπλέον λιπάσματος (νόμος της μη αναλόγου απόδοσης). Η χρησιμοποίηση αυξημένων ποσοτήτων λιπασμάτων, πέρα από τη ζημιά που μπορεί να προκαλέσει στην καλλιέργεια αποτελεί και απειλή για το περιβάλλον (Ινστιτούτο Σιτηρών, 1991).

1.9.4 Σπορά

Γίνεται επιλογή κατάλληλης για την περιοχή ποικιλίας. Ακολουθεί η επιλογή του σπόρου, από τον οποίο εξαρτάται το γρήγορο και κανονικό φύτρωμα, η πρώτη ανάπτυξη των φυτών, η καθαρότητα και ομοιογένεια της καλλιέργειας. Η ποσότητα

του σπόρου που σπέρνεται στο στρέμμα κυμαίνεται πάρα πολύ ανάλογα με την ποιότητά του (βλαστικότητα, βάρος) και τις συνθήκες σποράς (εδαφικές, κλιματικές, υγρασιακές, εποχή σποράς, ενδεχόμενοι κίνδυνοι κλπ.).

Συνιστώνται ποσότητες από 6 ως 15 kg σπόρου ανά στρέμμα, ανάλογα με την ποικιλία. Το σιτάρι στη χώρα μας σπέρνεται κατά κανόνα το φθινόπωρο τους μήνες Οκτώβριο – Νοέμβριο (Σφήκας, 1995). Η σπορά γίνεται σε γραμμές που απέχουν μεταξύ τους από 14 έως 20 cm και οι αποστάσεις επί της γραμμής κυμαίνονται από 2,5 έως 5 cm. Το σύνηθες βάθος σποράς είναι 2,5-5 cm. Το μεγαλύτερο βάθος εφαρμόζεται σε ελαφρά χωράφια, πρώιμη σπορά και συνθήκες ελλείψεως υγρασίας. Οι γραμμές σποράς θα πρέπει να είναι κατά το δυνατόν παράλληλες με την κίνηση του ήλιου και κάθετες προς τους επικρατέστερους ανέμους της περιοχής για να εξασφαλιστούν αφενός πλουσιότερος φωτισμός και αφετέρου να μειωθούν οι επιπτώσεις από το ψύχος (Ινστιτούτο Σιτηρών, 1991).

1.10 Συγκομιδή και αποθήκευση

Το σιτάρι θερίζεται όταν το ενδοσπέρμιο είναι σκληρό και έχει υγρασία 25-35 %. Σύγχρονος θεριζοαλωνισμός γίνεται 6-10 ημέρες αργότερα, ώστε να περιορισθεί το ποσοστό της υγρασίας, που δυσκολεύει τον αλωνισμό.

Η αποθήκευση γίνεται με υγρασία καρπού κάτω του 14 %, σε ξηρές και δροσερές αποθήκες μέσα σε μεταλλικά δοχεία ή σάκκους ή χύμα, καθώς και σε μεγάλα σιλό. Ο ρυθμός αναπνοής του σπόρου με υγρασία κάτω του 14 % και θερμοκρασία κάτω των 20 °C είναι βραδύς ώστε να μην διατρέχει κίνδυνο να ανάψει. Στην υγρασία των 8-10 % και θερμοκρασία 4 °C σταματά και η δραστηριότητα των εντόμων στην αποθήκη (Σφήκας, 1995).

Κεφάλαιο 2

Παρουσίαση μοντέλου

2.1 Εισαγωγή

Τις τελευταίες δεκαετίες η αύξηση του πληθυσμού της γης, σε συνδυασμό με τη μείωση των αποθεμάτων νερού και τη μείωση της καλλιεργήσιμης γης, έχει δημιουργήσει σοβαρά προβλήματα στη γεωργία. Η παραγωγή πρέπει να αυξηθεί για να ικανοποιήσει τις γρήγορα αυξανόμενες απαιτήσεις, ενώ ταυτόχρονα οι πεπερασμένοι φυσικοί πόροι πρέπει να προστατευθούν. Τα νέα δεδομένα που δημιουργούνται απαιτούν από τη γεωργική έρευνα να παρέχει τις απαραίτητες πληροφορίες στους αγρότες, στους φορείς χάραξης πολιτικής και σε άλλους ιθύνοντες για το πως θα διασφαλίσουν μια βιώσιμη γεωργία στις νέες συνθήκες περιβάλλοντος. Σε αυτήν την κατεύθυνση η επιστήμη έχει ως στόχο την κατανόηση και εν συνεχεία την πρόβλεψη της παραγωγής των ελεγχόμενων από τον άνθρωπο οικοσυστημάτων συναρτήσει των παραγόντων του κλίματος και του εδάφους. Η ποσοτική πρόβλεψη των πολυσύνθετων οικοσυστημάτων, εντούτοις, βασίζεται στην ενσωμάτωση πληροφοριών που σχετίζονται με τα στάδια ανάπτυξης αυτών, και η κύρια προσέγγιση για αυτή είναι η κατασκευή μοντέλων προσομοίωσης (Murthy, 2003).

Η προσομοίωση αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές μεθόδους, που χρησιμοποιούνται στην έρευνα για το σχεδιασμό και την παρακολούθηση της λειτουργίας σύνθετων διαδικασιών και συστημάτων. Σύμφωνα με τον Shannon (1975), η προσομοίωση ορίζεται ως η διαδικασία σχεδιασμού του μοντέλου κάποιου πραγματικού συστήματος και πραγματοποίησης πειραμάτων με το μοντέλο αυτό. Η προσομοίωση αποσκοπεί στην κατανόηση της συμπεριφοράς του συστήματος ή/και στην αξιολόγηση εναλλακτικών στρατηγικών για τη λειτουργία του συστήματος.

Δεδομένου του παραπάνω ορισμού, θα μπορούσαμε να χαρακτηρίσουμε την προσομοίωση ως μια εφαρμοσμένη πειραματική μεθοδολογία, με την οποία μπορούμε:

- Να περιγράψουμε τη συμπεριφορά ενός συστήματος.
- Να χρησιμοποιήσουμε το μοντέλο προκειμένου να προβλέψουμε μελλοντικές συμπεριφορές, δηλαδή αποτελέσματα από την αλλαγή του συστήματος ή του τρόπου λειτουργίας του (Shannon, 1998).

Εμβαθύνοντας λίγο περισσότερο στην έννοια της μοντελοποίησης, θα μπορούσε να ειπωθεί πως ένα μοντέλο αναπαριστά τη δομή και τη λειτουργικότητα του πραγματικού συστήματος και είναι κατά κανόνα απλούστερο από το σύστημα που αντιπροσωπεύει. Τα μοντέλα, μπορούν να ταξινομηθούν ως:

- **Στατιστικά μοντέλα (Statistical models):** Τα στατιστικά μοντέλα δεν απαιτούν λεπτομερείς πληροφορίες που αφορούν το φυτό αλλά βασίζονται κυρίως σε τεχνικές στατιστικής, όπως η γραμμική συσχέτιση και η παλινδρόμηση, σχετικές με κατάλληλες μεταβλητές της καλλιέργειας και του περιβάλλοντος (Norman, 1979). Τα περισσότερα στατιστικά μοντέλα εφαρμόζονται για να υπολογίσουν την παραγωγή σε μεγάλες περιοχές συναρτήσει κατάλληλων μεταβλητών. Οι συντελεστές παλινδρόμησης δεν είναι απαραίτητως σχετικοί με σημαντικές διαδικασίες και ως εκ τούτου είναι εξαιρετικά μεταβλητοί ανάλογα με τον τύπο της καλλιέργειας, την περιοχή κ.α.. Επίσης, απαιτούνται πολλές μελέτες για να παραχθούν οι απαραίτητες εξισώσεις παλινδρόμησης ώστε να καταστήσουν την εφαρμογή του μοντέλου ευρέως διαδεδομένη. Μεγάλο πλεονέκτημα αυτών των απλών μοντέλων (καλλιέργειας-καιρού) είναι η χρήση των εύκολα διαθέσιμων μετεωρολογικών παραμέτρων.

Τα στατιστικά μοντέλα είναι ελκυστικά λόγω της απλής και άμεσης σχέσης μεταξύ της παραγωγής και ενός ή περισσότερων παραγόντων του περιβάλλοντος, αλλά δεν είναι αρκετά ακριβή για να χρησιμοποιηθούν σε άλλες περιοχές και για άλλες καλλιέργειες. Παρά τον περιορισμό αυτό, τα στατιστικά μοντέλα χρησιμοποιούνται εκτενώς για την πρόβλεψη της παραγωγής μιας ενιαίας καλλιέργειας σε μια μεγάλη περιοχή, με ποικίλα εδάφη, διαφορετικές καλλιεργητικές πρακτικές, και προβλήματα από διάφορα παθογόνα αίτια (Whisler κ.α., 1986).

- **Δυναμικά μοντέλα προσομοίωσης (Dynamic simulation models):** Τα δυναμικά μοντέλα προσομοίωσης καλλιεργειών προσομοιώνουν τις διαδοχικές αλλαγές της κατάστασης μιας καλλιέργειας (από τη σπορά μέχρι τη συγκομιδή) με το χρόνο ως συνάρτηση των βιογενετικών παραμέτρων, του εδάφους και της κατώτερης

ατμόσφαιρας (Hume and Callander, 1990). Το μοντέλο ενεργεί όπως μια πραγματική καλλιέργεια, αναπαριστώντας τη βαθμιαία ανάπτυξη και αύξηση των φύλλων, των μίσχων, των ριζών και των καρπών με την πάροδο του χρόνου.

Δυο είναι οι κύριες κατηγορίες των δυναμικών μοντέλων, τα *αναλυτικά* και τα *συνοπτικά* μοντέλα. Τα αναλυτικά μοντέλα προσπαθούν να συμπεριλάβουν το σύνολο των διαδικασιών ενός συστήματος προσεγγίζοντας την πλήρη πραγματικότητα. Τα συνοπτικά μοντέλα αποτελούν αποσπάσματα των περιεκτικών μοντέλων ενσωματώνοντας μόνο μέρος των διαδικασιών του συστήματος. Τα δυναμικά μοντέλα προβλέπουν την παραγωγή πιο κοντά στην πραγματικότητα από τα μοντέλα παλινδρόμησης. Εντούτοις, όσο περισσότερες φυσικές διαδικασίες περιγράφει ένα δυναμικό μοντέλο, τόσο περισσότερα δεδομένα απαιτούνται.

Η ανάπτυξη ενός δυναμικού μοντέλου προσομοίωσης καλλιεργειών απαιτεί την συνεργασία επιστημών διαφορετικών ειδικοτήτων. Φυσιολόγοι φυτών, γεωπόνοι, και επιστήμονες εδάφους απαιτούνται για να καθοριστεί το γενικό πλαίσιο του προβλήματος, οι ιδιομορφίες του περιβάλλοντος και οι σχέσεις ανάπτυξης των καλλιεργειών. Εντομολόγοι και φυτοπαθολόγοι απαιτούνται για να καθορίσουν τα υποσυστήματα των εντόμων και παθογόνων οργανισμών που είναι σημαντικά μέρη στα οικοσυστήματα των φυτών. Ένας αγρομετεωρολόγος συλλέγει και κατανέμει τη ροή των δεδομένων του καιρού και του μικροκλίματος της καλλιέργειας. Ένας προγραμματιστής υπολογιστών επιλέγει τη γλώσσα υπολογιστών και αναπτύσσει το γενικό πλαίσιο του μοντέλου (Ritchie κ.α., 1986).

Μετά το σχεδιασμό της πρώτης έκδοσης του μοντέλου και την ανάλυση των αποτελεσμάτων, βρίσκονται λάθη, τα οποία απαιτούν αλλαγές στη δομή του μοντέλου (model calibration). Για τις αλλαγές αυτές απαιτείται επιπρόσθετη μελέτη και επαλήθευση, καθώς η διαδικασία επαναλαμβάνεται. Επιπλέον, κατά τη διαδικασία της εξέλιξης, η αρχική αναπαράσταση της διαδικασίας προσομοίωσης βελτιώνεται περισσότερο και διευρύνεται η σειρά των χρησιμοποιούμενων πειραματικών στοιχείων. Στην τελική διαδικασία επαλήθευσης, είναι σημαντικό να εξεταστεί ένα ανεξάρτητο σύνολο δεδομένων που δεν χρησιμοποιήθηκαν στην εξέλιξη του μοντέλου (model validation).

Τα μοντέλα προσομοίωσης καλλιεργειών έχουν αναπτυχθεί τις τελευταίες δεκαετίες παράλληλα με την ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών και παίζουν σημαντικό ρόλο σε πρακτικό και θεωρητικό επίπεδο (Murthy, 2003). Ο κύριος

σκοπός τους είναι να προσφέρουν λύσεις σε όλα τα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας. Η χρήση τους επιτρέπει την αξιολόγηση μίας ή περισσότερων επιλογών που είναι διαθέσιμες όσον αφορά τη λήψη μιας ή περισσότερων αποφάσεων από τους αγρότες όπως η επιλογή της κατάλληλης ημερομηνίας σποράς, η χρησιμοποίηση της σωστής ποικιλίας, η αξιολόγηση των κινδύνων που εγκυμονούν οι απρόβλεπτες καιρικές συνθήκες αλλά και η λήψη βέλτιστων επενδυτικών αποφάσεων. Ταυτόχρονα, η συμβολή τους στην έρευνα είναι μεγάλη καθώς επιτρέπουν την αξιολόγηση των επιστημονικών υποθέσεων, την οργάνωση των δεδομένων, την επισήμανση της έλλειψης πληροφοριών όπου υπάρχουν και τη γενετική βελτίωση, αξιολογώντας τα βέλτιστα γενετικά γνωρίσματα για συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες και τη σταθερότητα των ποικιλιών με την πάροδο του χρόνου. Παράλληλα τα μοντέλα προσομοίωσης καλλιεργειών αποτελούν χρήσιμα εργαλεία στη χάραξη πολιτικής. Τα ζητήματα που πραγματεύονται μπορεί να είναι παγκόσμια, όπως οι επιδράσεις των μεταβολών του κλίματος στις καλλιέργειες, αλλά και ζητήματα αγρού όπως η επίδραση της αμειψισποράς στην ποιότητα του εδάφους (Murthy, 2003). Έτσι, τα μοντέλα αυτά μπορούν να επιτρέψουν στους φορείς χάραξης πολιτικής να λάβουν τα κατάλληλα μέτρα για να αποτρέψουν ελλείψεις στα τρόφιμα, παγκοσμίως (Thornton κ.α., 1997).

Στην παρούσα μελέτη επιλέχθηκε το μοντέλο προσομοίωσης καλλιεργειών DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) διότι έχει χρησιμοποιηθεί επιτυχώς παγκοσμίως σε ευρύ φάσμα συνθηκών και για διαφορετικούς σκοπούς, όπως, για την επιλογή της καλλιεργητικής διαχείρισης (Fetcher κ.α., 1991; Hunkár, 1994; Ruiz Noguera κ.α., 2001), τον καθορισμό της ενδεδειγμένης ποσότητας λίπανσης (Gabrielle and Kengni, 1996; Gabrielle κ.α., 1998; Zalud κ.α., 2001), τη μελέτη των επιπτώσεων των κλιματικών μεταβολών στις καλλιέργειες (Iglesias κ.α., 2000; Semenov κ.α., 1996; Alexandrov και Hoogenboom, 2001)), καθώς και για την πρόβλεψη της παραγωγής (Landau κ.α., 1998; Saarikko, 2000).

2.2 Γενική περιγραφή του μοντέλου καλλιεργειών DSSAT

Το γεγονός ότι η γεωργία αποτελεί την κύρια οικονομική δραστηριότητα σε πολλές χώρες του κόσμου ώθησε, το 1982, τη διεθνή επιστημονική κοινότητα να συνεργαστεί σε ερευνητικό επίπεδο (International Benchmark Sites Network Agrotechnology Transfer (IBSNAT), 1993; Tsuji, 1998; Uehara, 1998; Jones κ.α., 1998) για την αποτελεσματικότερη αντιμετώπιση των προβλημάτων που αντιμετωπίζουν οι

αγρότες κατά την παραγωγική διαδικασία. Σκοπός του IBSNAT είναι η ενσωμάτωση των γνώσεων σχετικά με το έδαφος, το κλίμα, τα είδη των καλλιεργειών και τον τρόπο διαχείρισής τους στη λήψη βέλτιστων αποφάσεων σχετικά με τη μεταφορά γεωργικών πρακτικών από μια περιοχή σε άλλες όπου τα παραπάνω δεδομένα διέφεραν. Το κύριο προϊόν του IBSNAT είναι το μοντέλο προσομοίωσης καλλιεργειών DSSAT που στόχευε στην παροχή ενός ολοκληρωμένου πλαισίου για την μελέτη των καλλιεργειών σε παγκόσμιες εφαρμογές. Το DSSAT εκδόθηκε για πρώτη φορά (v.2.1) το 1989. Επιπλέον εκδόσεις έγιναν το 1994 (v.3.0) (Tsuji κ.α., 1994), το 1998 (v.3.5) (Hoogenboom κ.α., 1999), το 2003 (v.4.0) (Jones κ.α., 2003) και το 2010(v.4.5).

Το μοντέλο καλλιεργητικών συστημάτων DSSAT/CSM (Crop System Model) προσομοιώνει την αύξηση και ανάπτυξη μιας καλλιέργειας με την πάροδο του χρόνου καθώς επίσης και τις διαδικασίες του εδαφικού νερού, του αζώτου και του άνθρακα σε συνδυασμό με τις καλλιεργητικές πρακτικές. Στο Σχήμα 2.1 φαίνονται τα κύρια συστατικά του CSM. Αυτά περιλαμβάνουν (Πίνακας 2.1).:

- Ένα κύριο πρόγραμμα (Main Program), το οποίο ελέγχει την επιλογή του κατάλληλου χρόνου για κάθε προσομοίωση.
- Μια υπορουτίνα που αναφέρεται στη Χωρική μονάδα εδάφους (Module Land Unit), η οποία διαχειρίζεται το σύνολο των διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα σε μια ομοιόμορφη χωρική μονάδα εδάφους.
- Βασικές υπορουτίνες που προσομοιώνουν χωριστά τις διάφορες διαδικασίες οι οποίες έχουν σημαντικές επιπτώσεις στην υπορουτίνα της Χωρικής μονάδας του εδάφους και περιλαμβάνουν το κλίμα, την αύξηση της καλλιέργειας, τις διαδικασίες του εδάφους, τις αλληλεπιδράσεις εδάφους-καλλιέργειας-ατμόσφαιρας και των καλλιεργητικών πρακτικών.

Συγκεντρωτικά, αυτά τα συστατικά προσομοιώνουν τις σταδιακές αλλαγές που συμβαίνουν στο έδαφος και την καλλιέργεια συναρτήσει των μετεωρολογικών παραμέτρων και των καλλιεργητικών πρακτικών.

Το DSSAT-CSM περιλαμβάνει 27 διαφορετικά μοντέλα προσομοίωσης καλλιεργειών συμπεριλαμβανομένου το σιτάρι, το καλαμπόκι, το ρύζι, το κριθάρι, το σόργο, το κεχρί, τη σόγια, την αραχίδα, το ξερό φασόλι, το ρεβίθι, το μαυρομάτικο φασόλι, την πατάτα, τη τομάτα, τη γλυκιά πιπεριά, το λάχανο, διάφορα είδη αγρωστωδών, τη φάβα και την αγρανάπαυση (χωρίς καλλιέργεια). Τα μοντέλα που

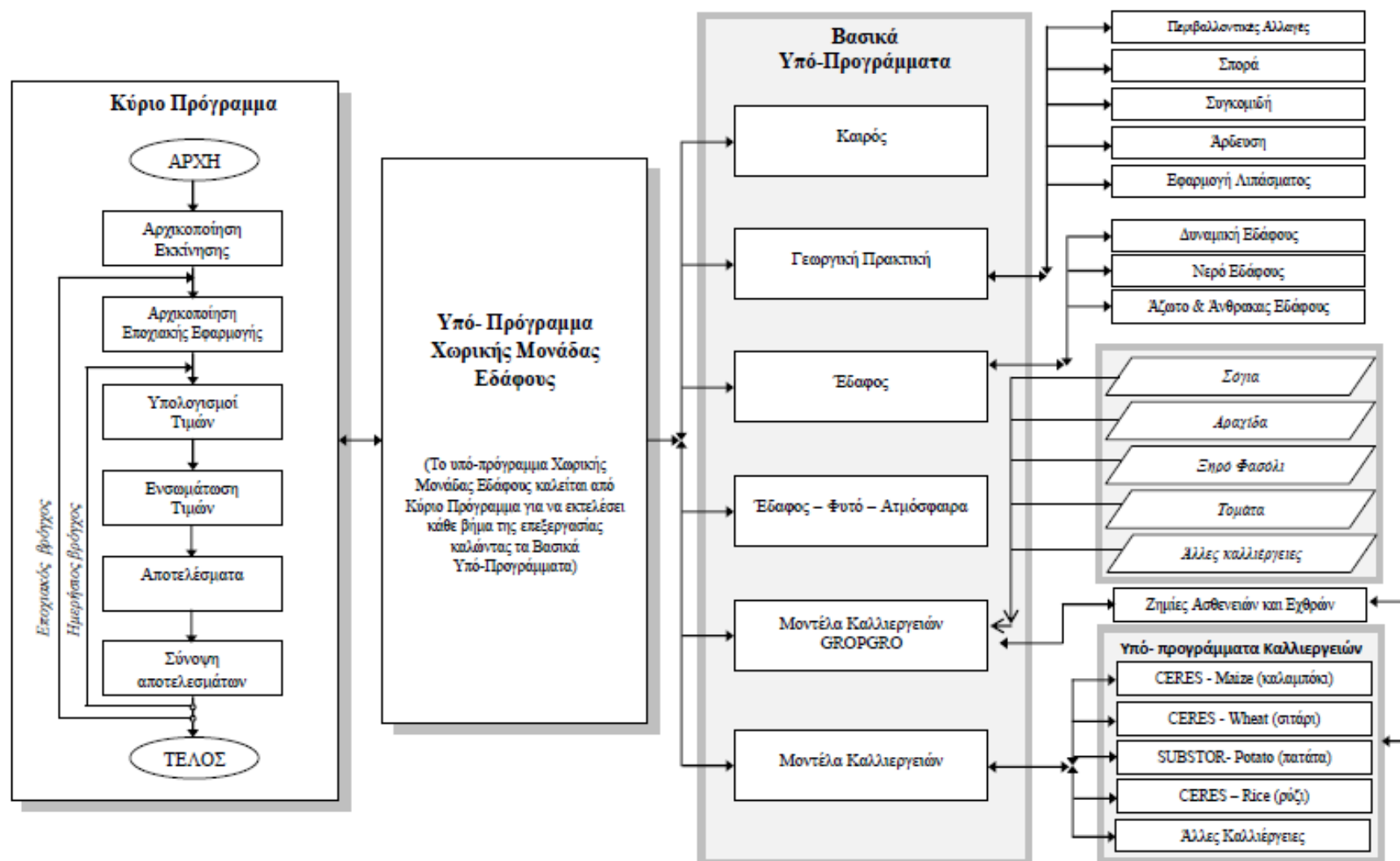
προσομοιώνουν τις καλλιέργειες ενσωματώνονται με ένα ενιαίο κώδικα επιτρέποντας σε όλες τις καλλιέργειες να χρησιμοποιούν τις ίδιες διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα στο έδαφος.

Αυτός ο σχεδιασμός απλοποιεί σε μεγάλο βαθμό την προσομοίωση της εναλλαγής καλλιεργειών (αμειψισποράς) δεδομένου ότι οι διαδικασίες του εδάφους πραγματοποιούνται συνεχώς, και οι διαφορετικές καλλιέργειες φυτεύονται, καλλιεργούνται και συγκομίζονται σύμφωνα με πληροφορίες για τα καλλιεργητικά συστήματα που παρέχονται στο μοντέλο ως στοιχεία εισόδου. Το λογισμικό βοηθά τους χρήστες να προετοιμάσουν τις βάσεις δεδομένων του μοντέλου και να συγκρίνουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης με τις παρατηρούμενες τιμές ώστε να πραγματοποιηθούν αλλαγές εφόσον είναι αναγκαίες για να βελτιωθεί η ακρίβεια του μοντέλου (Uehara, 1989; Jones κ.α., 1998).

Οι στόχοι του DSSAT είναι:

- να προσομοιώσει τα συστήματα παραγωγής καλλιεργειών λαμβάνοντας υπόψη τις καιρικές συνθήκες, τα χαρακτηριστικά της ποικιλίας, το νερό, τον άνθρακα και το άζωτο του εδάφους, τον τρόπο διαχείρισης σε μεμονωμένες ή πολλαπλές περιόδους καθώς και την εναλλαγή καλλιεργειών (αμειψισπορά) σε οποιαδήποτε γεωργική έκταση,
- να παρέχει μια πλατφόρμα για την εύκολη ενσωμάτωση άλλων αβιοτικών και βιοτικών παραγόντων, όπως ο φωσφόρος του εδάφους και οι ασθένειες των φυτών,
- να παρέχει μια πλατφόρμα που να επιτρέπει σε κάποιον να συγκρίνει εύκολα εναλλακτικές προσεγγίσεις που αφορούν διαδικασίες για τη διευκόλυνση της βελτίωσης του μοντέλου, την εξέλιξη του, και την τεκμηρίωση του, και
- να παρέχει τη δυνατότητα για την εύκολη εισαγωγή του CSM σε συμπληρωματικά προγράμματα εφαρμογών με ένα αρθρωτό και καλά τεκμηριωμένο τρόπο.

Το DSSAT προσομοιώνει το βιολογικό κύκλο των καλλιεργειών, σε ημερήσια βάση, χρησιμοποιώντας κατά περίπτωση τις υπομονάδες CERES, CROPGRO, CROPSIM, ή SUBSTOR (Hoogenboom κ.α., 2003). Η προσομοίωση υποθέτει μια ομοιόμορφη έκταση εδάφους κάτω από καθορισμένο ή προσομοιωμένο τρόπο διαχείρισης καθώς και τις μεταβολές που αφορούν το νερό, τον άνθρακα και το άζωτο του εδάφους οι οποίες λαμβάνουν χώρα στο καλλιεργούμενο σύστημα με την πάροδο του χρόνου.



Σχήμα 2.1. Γενική επισκόπηση των επιμέρους συστατικών και της αρθρωτής δομής του DSSAT/CSM (Jones κ.α., 2003).

Πίνακας 2.1 – Συνοπτική περιγραφή των μοντέλων του DSSAT-CSM.

Μοντέλα	Υπό-προγράμματα	Λειτουργία
Κύριο πρόγραμμα (Main program) DSSAT-CSM		Ελέγχει τη γενική λειτουργία του μοντέλου σύμφωνα με τις εντολές του χρήστη.
Εδαφική ενότητα (Land unit)		Παρέχει τη διεπαφή μεταξύ των εφαρμογών που πραγματοποιούνται σε ένα καλλιεργητικό σύστημα και των διαδικασιών του. Αποτελεί ένα σημείο συγκέντρωσης τα στοιχεία που αλληλεπιδρούν σε μια ομοιόμορφη περιοχή εδάφους.
Καιρός (Weather)		Διαβάζει ή παράγει τις καθημερινές μετεωρολογικές παραμέτρους που χρησιμοποιούνται από το μοντέλο. Ρυθμίζει τις καθημερινές τιμές όταν είναι απαραίτητο, και υπολογίζει τις ωριαίες τιμές.
Εδαφος (Soil)	Δυναμική εδάφους Soil dynamics	Υπολογίζει τα χαρακτηριστικά της δομής του εδάφους για κάθε στρώμα χωριστά. Αυτή η υπορουτίνα διαβάζει τιμές από ένα αρχείο αλλά μπορεί να τροποποιεί τις ιδιότητες του εδάφους σε συναρτήσει του οργώματος ή άλλων εφαρμογών.
	Νερό Εδάφους Soil water module	Υπολογίζει τις διαδικασίες του εδαφικού νερού περιλαμβανομένου τη συσσώρευση χιονιού, το λιώσιμο του χιονιού, την απορροή, τη διήθηση, την κορεσμένη ροή, το βάθος του υπόγειου υδροφορέα.
	Αζωτο & άνθρακας Εδάφους Soil nitrogen and carbon module	Υπολογίζει τις διαδικασίες του εδαφικού αζώτου και άνθρακα, συμπεριλαμβανομένου της εφαρμογής οργανικών και ανόργανων λιπασμάτων και φυτικών υπολειμμάτων, το ποσοστό αποσύνθεσης, τη ροή θρεπτικών ουσιών μεταξύ των διάφορων πηγών και των στρωμάτων του εδάφους. Οι συγκεντρώσεις των νιτρικών και αμμωνιακών αλάτων υπολογίζονται σε καθημερινή βάση για κάθε στρώμα.
	SPAM Soil-Plant-Atmosphere Θερμοκρασίας εδάφους Soil temperature module	Αναλύει τις σχέσεις μεταξύ εδάφους, φυτού και ατμόσφαιρας. Υπολογίζει τη θερμοκρασία σε κάθε στρώμα εδάφους
Μοντέλο καλλιεργειών CROPGRO Crop Template module		Υπολογίζει τα στάδια ανάπτυξης για τα φυτά της σόγιας, της αραχίδας, του ξερού φασολιού, του ρεβιθιού, του μαυρομάτικου φασολιού, της φακής, και της τομάτας, υπολογίζοντας τη φωτοσύνθεση, τις απαιτήσεις των φυτών σε άζωτο και άνθρακα και τις ζημιές που προκαλούνται από παράσιτα και ασθένειες.
Ανεξάρτητες μοντέλα ανάπτυξης καλλιεργειών Individual plant growth modules	CERES-Maize, CERES-Wheat/Barley, CERES-Rice, SubStor-Potato, Other plant models	Μοντέλα που προσομοιώνουν σε στάδια την αύξηση και παραγωγή των δημητριακών (καλαμπόκι, σιτάρι, κριθάρι, ρύζι) και άλλες καλλιέργειες (π.χ. πατάτα). Κάθε ένα είναι ένα ανεξάρτητο μοντέλο που προσομοιώνει την ανάπτυξη του φυτού σε καθημερινή βάση, τις απαιτήσεις των φυτών για άζωτο και άνθρακα, την γήρανση του φυτού.
Μοντέλο διαχείρισης Management operations module	Φύτευση (Planting)	Καθορίζει την ημερομηνία φύτευσης βάσει προκαθορισμένων από το χρήστη ημερομηνιών ή υπολογίζοντας αυτές βάσει των επικρατούντων συνθηκών.
	Συγκομιδή (Harvesting)	Καθορίζει την ημερομηνία συγκομιδής βάσει της ημερομηνίας ωρίμανσης ή βάσει των συνθηκών του καιρού και του εδάφους.
	Άρδευση (Irrigation)	Καθορίζει την άρδευση σε ημερήσια βάση, βασιζόμενο σε προκαθορισμένες από το χρήστη ημερομηνίες είτε υπολογίζοντας τις ημερομηνίες βάσει των συνθηκών.
	Λίπανση (Fertilizer)	Καθορίζει τις ημερομηνίες λίπανσης, είτε σε προκαθορισμένες από το χρήστη ημερομηνίες είτε υπολογίζοντας βάσει των επικρατούντων συνθηκών.
	Φυτικά υπολείμματα (Residue)	Ελέγχει την εφαρμογή των φυτικών υπολειμμάτων και άλλων βιολογικών υλικών (φυτικής και ζωικής προέλευσης) είτε σε προκαθορισμένες από το χρήστη ημερομηνίες είτε βάση τις εναλλαγές των καλλιεργειών

Το μοντέλο DSSAT απαιτεί τις ακόλουθες πληροφορίες:

- Ημερήσια δεδομένα καιρού για όλη την περίοδο προσομοίωσης (ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία, μέγιστη και ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία και ημερήσια βροχόπτωση),
- Τον τύπο του εδάφους, την ικανότητα συγκράτησης του νερού και την κατάσταση των θρεπτικών συστατικών του εδάφους,
- Πληροφορίες σχετικά με την γεωργική πρακτική (χρόνος και βάθος σποράς, απόσταση μεταξύ των γραμμών σποράς, ημερομηνία και ποσότητα νιτρικής λίπανσης)
- Πληροφορίες σχετικά με τα γενετικά χαρακτηριστικά της καλλιέργειας (γενετικοί παράμετροι)

Στον πίνακα 2.2 αναφέρεται το σύνολο των πληροφοριών που απαιτούνται από το μοντέλο DSSAT-CSM.

Πίνακας 2.2 – Καθορισμός όλων των εισερχόμενων και εξερχόμενων μεταβλητών του DSSAT-CSM.			
Μεταβλητή	Ορισμός	Μεταβλητή	Ορισμός
Δεδομένα Μοντέλου Καιρού(WEATHER)			
CLOUDS	Δείκτης νέφωσης (0-1)	TAV	Μέση ετήσια θερμοκρασία αέρα (°C) (χρησιμοποιείται με το TAMP για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας εδάφους)
CO ₂	Συγκέντρωση ατμοσφαιρικού διοξειδίου του άνθρακα (μmol[CO ₂]/mol[air])	TDEW	Σημείο δρόσου (°C)
DAYL	Διάρκεια ημέρας στην ημέρα προσομοίωσης (από την ανατολή μέχρι τη δύση του ηλίου)	TGRO(1)	Ωριαία θερμοκρασία αέρα (°C)
PAR	Ημερήσια φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία ή πυκνότητα ροής φωτονίων (moles[quanta]/(m ² d))	TMAX*	Μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία (°C)
RAIN*	Ημερήσια βροχόπτωση (mm)	TMIN*	Ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία (°C)
SRAD*	Ημερήσια συνολική ηλιακή ακτινοβολία (MJ/(m ² d))	WINDSP	Ταχύτητα ανέμου (km/d)
TAMP	Εύρος ετήσιας θερμοκρασίας αέρα(°C) (υπολογίζεται η θερμοκρασία εδάφους)	XLAT	Υψόμετρο (m)
Δεδομένα Μοντέλου Εδάφους (Soil)			
BD(L)*	Φαινόμενη πυκνότητα, σε κάθε στρώμα εδάφους L (g[soil]/cm ³ [soil])	PH(L)*	pH ανά στρώμα εδάφους L
DLAYR(L)*	Πάχος του στρώματος εδάφους L (cm)	SAT(L)*	Συγκέντρωση εδαφικού νερού στο σημείο κορεσμού σε κάθε στρώμα εδάφους (cm ³ [water]/cm ³ [soil])
DUL(L)*	Συγκέντρωση εδαφικού νερού στο σημείο υδατοϊκανότητας (cm ³ [water]/cm ³ [soil])	SRFTEMP	Θερμοκρασία στην επιφάνεια εδάφους (°C)
LL(L)*	Συγκέντρωση εδαφικού νερού στο σημείο μόνιμης μάρανσης (cm ³ [water]/cm ³ [soil])	ST(L)	Θερμοκρασία εδάφους σε κάθε στρώμα L (°C)
NH ₄ (L)*	Αμμωνιακό άζωτο ανά στρώμα εδάφους L (μg[N]/g[soil])	SW(L)	Συγκέντρωση εδαφικού νερού σε κάθε στρώμα εδάφους (cm ³ [water]/cm ³ [soil])
NLAYR	Αριθμός στρωμάτων εδάφους	SWDELTS(L)	Αλλαγή της συγκέντρωσης του εδαφικού νερού σε κάθε στρώμα εδάφους λόγω αποστράγγισης (cm ³ [water]/cm ³ [soil])
NO ₃ (L)*	Νιτρικά ιόντα ανά στρώμα εδάφους L (μg[N]/g[soil])	WINF	Διαθέσιμο νερό για διήθηση-βροχόπτωση και καθαρή άρδευση μείον την απορροή (mm/d)

Μεταβλητή	Ορισμός	Μεταβλητή	Ορισμός
Δεδομένα Μοντέλου Ανάπτυξης Φυτού (CROPGRO και μοντέλα καλλιέργειών)			
NSTRES	Δείκτης καταπόνησης αζώτου (1= όχι καταπόνηση, 0= μέγιστη καταπόνηση)	UNO3(L)	Ρυθμός πρόσληψης NO ₃ από το ριζικό σύστημα (kg[N]/(ha d))
RLV(L)	Μήκος ριζικού συστήματος για το στρώμα εδάφους L (cm[ριζών]/cm ³ [soil])	XHLAI	Καθαρός δείκτης φυλλικής επιφάνειας LAI (m ² [φύλλο]/m ² [εδάφους])
SENCLN(I,J)	Ημερήσια γήρανση φυτού. I=0 για την επιφάνεια, 1 για το έδαφος, J=1 για C, 2 για λιγνίνη, 3 για N (g[C,N ή λιγνίνη]/(m ² d))	XLAI	Δείκτης φυλλικής επιφάνειας LAI (m ² [φύλλο]/m ² [εδάφους])
STGDOY(I)	Ημέρα που συμβαίνει στο στάδιο I (YYDDD)	YREMRG	Ημέρα εμφάνισης αρτίβλαστου (YYDDD)
UNH ₄ (L)	Ρυθμός πρόσληψης NH ₄ από το ριζικό σύστημα (kg[N]/(ha d))	YRNR8	Ημέρα συγκομιδής (YYDDD)(YRDOY)
Δεδομένα SPAM			
EO	Ποσότητα δυναμικής ET (mm/d)	SWDELTX(L)	Αλλαγή της συγκέντρωσης του εδαφικού νερού λόγω απορρόφησης του από τις ρίζες ανά στρώμα εδάφους L (cm ² [νερό]/cm ³ [εδάφους])
EOP	Ποσότητα δυναμικής διαπνοής (mm/d)	TRWU	Πραγματική ημερήσια απορρόφηση νερού από τις ρίζες (cm/d)
FDINT	Ανάσχεση φωτός από τα φύλλα	TRWUP	Δυναμική ημερήσια απορρόφηση νερού από τις ρίζες (cm/d)
FLOW(L)	Ακόρεστη ροή εδαφικού νερού + = ανοδική, - = καθοδική (cm/d)		
Δεδομένα Μοντέλου Διαχείρισης			
FERTYPE*	Τύπος εφαρμοζόμενου λιπάσματος	RESSRF	Τα φυτικά υπολείμματα που αφήνονται στην επιφάνεια του εδάφους (kg(υπολείμματα)/ha)
FERDEPT H*	Βάθος ενσωμάτωσης λιπάσματος την ημέρα προσομοίωσης (cm)	RESNIT	Συγκέντρωση αζώτου στα φυτικά υπολείμματα (%)
FERNIT*	Ποσότητα αζώτου στο εφαρμοζόμενο λίπασμα την τρέχουσα ημέρα προσομοίωσης (kg[N]/ha)	RESDEPTH	Βάθος ενσωμάτωσης των προστιθέμενων νέων υπολειμμάτων (cm)
HAREND*	Τέλος εποχής ή ημέρα συγκομιδής (YYDDD)	RESTYPE	Τύπος υπολείμματος για την τρέχουσα εφαρμογή
IRRAMT	Ημερήσια ποσότητα άρδευσης (mm/d)	YRPLT*	Ημέρα σποράς (YYDDD)
RESSOL	Ποσότητα των εφαρμοζόμενων υπολειμμάτων στο έδαφος (kg[ξηράς ύλης]/ha)		
Με *(αστερίσκο) σημειώνονται τα ελάχιστα δεδομένα εισόδου που είναι απαραίτητα			

2.3 Το μοντέλο CERES-Wheat (Crop Estimation through Resources and Environment Synthesis)

Το μοντέλο CERES-Wheat είναι ένα μοντέλο που προσομοιώνει την ανάπτυξη μιας καλλιέργειας σιτηρών, λαμβάνοντας υπόψη του την επίδραση των κύριων περιβαλλοντικών παραγόντων όπως είναι ο καιρός, ο τύπος του εδάφους και τα κυριότερα εδαφικά χαρακτηριστικά καθώς και την καλλιεργητική πρακτική που χρησιμοποιείται. Η προσομοίωση της καλλιέργειας επικεντρώνεται σε τρεις σημαντικούς τομείς: τη διάρκεια αύξησης, το ρυθμό αύξησης και το βαθμό που οι διάφοροι περιοριστικοί παράγοντες επηρεάζουν τις δυο αυτές διαδικασίες (Ritchie κ.α., 1998). Ως περιοριστικοί παράγοντες αναφέρονται κυρίως το νερό και τα θρεπτικά στοιχεία του εδάφους (Ritchie κ.α., 1998, Singh κ.α., 1999).

Για τον προσδιορισμό της δυνητικής απόδοσης της καλλιέργειας, η διάρκεια της αύξησης αποτελεί σημαντικό παράγοντα. Σε γενικές γραμμές, όσο μεγαλύτερη είναι η διάρκεια της αύξησης της καλλιέργειας, τόσο μεγαλύτερη είναι η εν δυνάμει απόδοση. Στο σιτάρι, αυτό ισχύει ιδιαίτερα για την περίοδο από τη στιγμή που το στέλεχος και η ταξιανθία αρχίζει να αυξάνει μέχρι το τέλος του γεμίσματος κόκκου. Η διάρκεια των διαφόρων σταδίων ανάπτυξης αναφέρεται ως φασική ανάπτυξη. Η φασική ανάπτυξη επηρεάζεται κατά κύριο λόγο από γενετικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες.

Η φασική ανάπτυξη στο CERES-Wheat αφορά τη διάρκεια των σταδίων ανάπτυξης. Τα στάδια ανάπτυξης του σιταριού κατατάσσονται στο βιολογικό κύκλο του φυτού λαμβάνοντας υπόψη τις αλλαγές που συμβαίνουν στην κατανομή των αφομοιώσιμων ουσιών μεταξύ των διαφόρων οργάνων του φυτού. Για παράδειγμα, πριν την τελική διαμόρφωση του σταχυδίου, σχεδόν όλες οι αφομοιώσιμες ουσίες κατανέμονται μεταξύ των φύλλων και των ριζών.

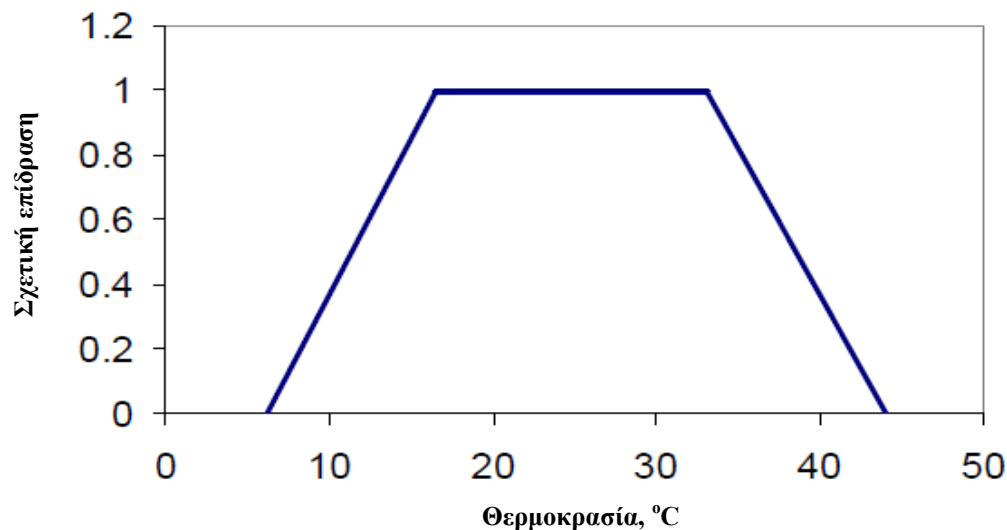
Τα στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας χωρίζονται σε 9 στάδια (Πίνακας 2.3). Τα στάδια 1 έως 5 είναι τα ενεργά πάνω από το έδαφος στάδια ανάπτυξης ενώ τα στάδια 6 μέχρι 9 περιγράφουν άλλα σημαντικά στάδια ανάπτυξης.

Πίνακας 2.3 – Τα στάδια ανάπτυξης του σκληρού σίτου όπως ορίζονται στο μοντέλο CERES-Wheat.

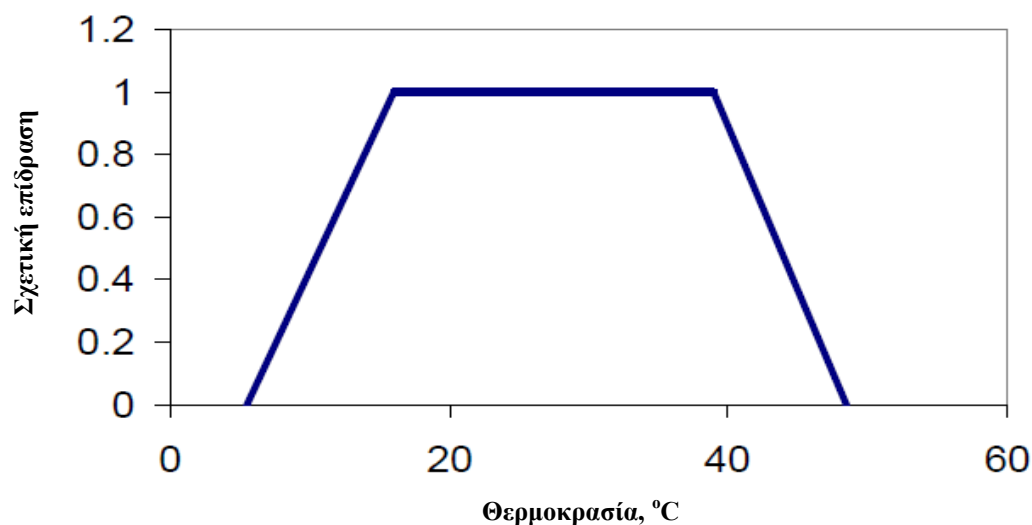
Στάδιο	Γεγονός	Αναπτυσσόμενο φυτικό μέρος
7	Αγρανάπauσή ή στάδιο πριν την σπορά	-
8	Από σπορά έως φύτευμα σπόρου	-
9	Από φύτευμα σπόρου έως εμφάνιση αρτίβλαστου	Ρίζες, κολεόπτιλο
1	Από τη εμφάνιση του αρτίβλαστου έως το τελικό σταχύδιο	Ρίζες, φύλλα
2	Από το τελικό σταχύδιο και έναρξη αύξησης του στάχυ έως το ξεστάχυσμα	Ρίζες, φύλλα, στέλεχος
3	Από το τέλος της αύξησης των φύλλων και την έναρξη αύξησης του στάχυ έως το τέλος του ξεσταχυσμάτος	Ρίζες, φύλλα, στάχυς
4	Από ξεστάχυσμα έως την έναρξη γεμίσματος κόκκου	Ρίζες, στέλεχος
5	Περίοδος γεμίσματος κόκκου	Ρίζες, στέλεχος, κόκκος
6	Τέλος γεμίσματος κόκκου μέχρι τη συγκομιδή	-

Στο CERES-Wheat, πριν το φύτευμα (Στάδιο 9) η κύρια μεταβλητή που επηρεάζει το ρυθμό ανάπτυξης είναι το νερό που υπάρχει στο έδαφος. Μετά το

φύτρωμα ο ρυθμός ανάπτυξης εξαρτάται από τις βαθμομέρες ανάπτυξης (Growing Degree-Day, GDD) που υπολογίζονται βάσει της ημερήσιας μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας. Οι βαθμομέρες ανάπτυξης (GDD) που απαιτούνται για την μετάβαση από ένα στάδιο ανάπτυξης του σιταριού σε άλλο είτε καθορίζονται από τους γενετικούς συντελεστές (Πίνακας 2.4) είτε υπολογίζονται βάση εισερχόμενων δεδομένων και υποθέσεων σχετικά με τη διάρκεια των ενδιάμεσων σταδίων. Ο αριθμός των βαθμομερών ανάπτυξης (GDD) που συμβαίνουν σε μια ημέρα είναι συνάρτηση μιας τριγωνοειδούς ή τραπεζοειδούς συνάρτησης ορισμένη από μια θερμοκρασία βάσης, μια ή δυο βέλτιστες θερμοκρασίες και μια μέγιστη θερμοκρασία πάνω από την οποία δεν παρατηρείται ανάπτυξη. Στα σχήματα 2.2 και 2.3 παρουσιάζεται η επίδραση της θερμοκρασίας στο ρυθμό της ημερήσιας αύξησης και στο ρυθμό γεμίσματος του κόκκου αντίστοιχα.



Σχήμα 2.2- Επίδραση της θερμοκρασίας στον ημερήσια αύξηση της καλλιέργειας (DSSAT Volume1)



Σχήμα 2.3- Επίδραση της θερμοκρασίας στο ρυθμό γεμίσματος του κόκκου (DSSAT Volume1)

Η θερμοκρασία βάσης από το φύτευμα έως την εμφάνιση του αρτίβλαστου είναι 2 °C, από την εμφάνιση του αρτίβλαστου μέχρι την έναρξη γεμίσματος κόκκου είναι 0 °C, και για το γέμισμα του κόκκου μέχρι την φυσιολογική ωρίμανση η θερμοκρασία βάσης είναι 1°C. Η διάρκεια της ημέρας έχει επιπτώσεις στο σχηματισμό του συνολικού αριθμού των φύλλων μεταβάλλοντας τη διάρκεια της ανθικής φάσης. Η καθημερινή αύξηση των φυτών υπολογίζεται από την ημερήσια φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία (Photosynthetically Active Radiation, PAR) που απορροφάται από τα φυτά χρησιμοποιώντας έναν παράγοντα αποδοτικότητας χρήσης της ακτινοβολίας. Η παρεμπόδιση της ηλιακής ακτινοβολίας υπολογίζεται συναρτήσει του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (Leaf Area Index, LAI), του πληθυσμού των φυτών και της απόστασης μεταξύ των γραμμών φύτευσης. Η υπέργεια φυτική μάζα χρησιμοποιεί τους παραγόμενους υδατάνθρακες κατά τη διάρκεια της ημέρας ενώ στο τέλος της οι υδατάνθρακες που δεν χρησιμοποιήθηκαν διατίθενται στις ρίζες. Η ποσότητα των υδατανθράκων που δέχονται οι ρίζες εξαρτώνται από το στάδιο ανάπτυξης.

Ο αριθμός των κόκκων ανά φυτό υπολογίζεται κατά τη διάρκεια της άνθισης συναρτήσει των γενετικών χαρακτηριστικών της ποικιλίας (Πίνακας 2.4), του βάρους της φυτοκάλυψης, του μέσου ρυθμού συσσώρευσης υδατανθράκων, της θερμοκρασίας καθώς και της διαθεσιμότητας νερού και θρεπτικών στοιχείων. Ο πιθανός αριθμός κόκκων καθορίζεται από δεδομένα που εισάγει ο χρήστης για κάθε ποικιλία. Με την έναρξη του γεμίσματος των κόκκων το μοντέλο υπολογίζει την

Πίνακας 2.4 – Οι γενετικοί συντελεστές για το σιτάρι στο μοντέλο CERES-Wheat.

P1D	Συντελεστής ευαισθησίας του φυτού στη φωτοπερίοδο
P1V	Συντελεστής ευαισθησίας εαρινοποίησης
P5	Ο θερμικός χρόνος από την έναρξη του γεμίσματος κόκκου μέχρι την ωρίμανση - °C d
G1	Ο αριθμός κόκκων ανά μονάδα βάρους του στελέχους και του στάχυ κατά το στάδιο της άνθισης – g
G2	Πιθανό βάρος κόκκου - mg/(kernel d))
G3	Συντελεστής θανάτου των αδελφιών. Το βάρος του στελέχους και του στάχυ όταν σταματήσει η ανάπτυξη σε – g
PHINT	Ο θερμικός χρόνος που απαιτείται για την εμφάνιση των ακραίων φύλλων - °C d

καθημερινή αύξηση του κόκκου βάση ενός γενετικού συντελεστή που καθορίζει το πιθανό ποσοστό αύξησης του κόκκου (mg/(kernel d)). Ο ρυθμός αύξησης καθορίζεται από τη θερμοκρασία και τη διαθεσιμότητα υδατανθράκων. Οι κόκκοι αυξάνονται μέχρι τη φυσιολογική ωρίμανση εφόσον υπάρχουν διαθέσιμα θρεπτικά

στοιχεία. Επίσης η αύξηση σταματά όταν ο ρυθμός αύξησης βρίσκεται κάτω από ένα συγκεκριμένο κατώφλι.

2.4 Τα στάδια ανάπτυξης του σκληρού σίτου στο CERES-Wheat

Αγρανάπωση ή περίοδος πριν την σπορά – Στάδιο 7: Το στάδιο αυτό χρησιμοποιείται για να διαμορφώσει την ποσότητα του εδαφικού νερού σε περίοδο αγρανάπωσης. Χρησιμοποιείται όταν δεν είναι γνωστές οι αρχικές συνθήκες του εδάφους σε νερό και θρεπτικά στοιχεία.

Φύτρωμα σπόρου – Στάδιο 8: Η διαδικασία αρχίζει κατά την προσομοίωση με την απορρόφηση νερού. Είναι μια γρήγορη διαδικασία η οποία πραγματοποιείται σε μια ημέρα. Παράγοντες καθυστέρησης του σταδίου αποτελούν η χαμηλή περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό και οι θερμοκρασίες κάτω από τους 0°C.

Φύτρωμα σπόρου έως εμφάνιση αρτίβλαστου – στάδιο 9: Στο στάδιο αυτό, υπολογίζεται ο χρόνος που απαιτείται για την εμφάνιση του αρτίβλαστου. Το χρονικό διάστημα από τη στιγμή που φυτρώνει ο σπόρος μέχρι την εμφάνιση του φυτού εξαρτάται από δυο παράγοντες, τη θερμοκρασία του εδάφους και το βάθος σποράς. Η υγρασία δεν επηρεάζει το στάδιο καθώς θεωρείται επαρκής αφού προκάλεσε το φύτρωμα του σπόρου. Η θερμοκρασία που επηρεάζει την εμφάνιση του αρτίβλαστου εκφράζεται ως θερμικός χρόνος. Το βάθος σποράς επηρεάζει την διάρκεια του σταδίου αυξάνοντας το χρόνο που απαιτείται για το κολεόπτιλο να φτάσει στην επιφάνεια του εδάφους. Η διάρκεια του σταδίου 9 (P9) εκφράζεται από τη σχέση:

$$P9 = 70 + 10,2 * SDEPTH,$$

Όπου P9 είναι ο θερμικός χρόνος για το στάδιο 9 και SDEPTH είναι το βάθος σποράς (cm), το οποίο είναι δεδομένο εισόδου του μοντέλου.

Εμφάνιση αρτίβλαστου έως τελικό σταχύδιο – Στάδιο 1: Στο στάδιο αυτό οι βαθμομέρες εξαρτώνται τόσο από το γενότυπο όσο και από το περιβάλλον. Ο συνολικός θερμικός χρόνος από την εμφάνιση του αρτίβλαστου έως το τελικό σταχύδιο ποικίλει αρκετά και εξαρτάται από την εαρινοποίηση (οι ποικιλίες των χειμερινών σιτηρών συνήθως απαιτούν την έκθεση σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες -0 έως 8 °C- για να αρχίσει ο σχηματισμός του σταχυδίου), τη φωτοπερίοδο και το φυλλοχρόνο (ως συντελεστής εκφράζει την επίδραση της θερμοκρασίας στην εμφάνιση των φύλλων). Οι παράγοντες της εαρινοποίησης και της φωτοπερίόδου

υπολογίζονται χρησιμοποιώντας τους γενετικούς συντελεστές P1V και P1D. Η εαρινοποίηση (VF) και η φωτοπερίοδος (DF) είναι παράγοντες με τιμές 0 έως 1. Οι ελάχιστες τιμές πολλαπλασιάζονται με το θερμικό χρόνο για να μειωθεί ο ρυθμός συσσώρευσης του θερμικού χρόνου. Όταν η μείωση της συσσώρευσης θερμικού χρόνου (TDU) φτάσει ένα κατώφλι (TTS), το στάδιο 1 τελειώνει.

$$TDU = \sum_0^{TTS} DTTx[\min(VF, DV)]$$

Όπου TDU είναι η θερμική μονάδα ανάπτυξης, DTT ο ημερήσιος θερμικός χρόνος και το TTS είναι ίσο με 400 x PHINT/95.

Τελικό σταχυδίο έως τέλος της αύξησης του φύλλου – Στάδιο 2: Το στάδιο αυτό είναι υπό τον έλεγχο της θερμοκρασίας και λαμβάνει τρεις φυλλοχρόνους από το τελικό σταχυδίο έως την εμφάνιση του τελευταίου φύλλου.

Ξεστάχυσμα – Στάδιο 3: Ο στάχης αναπτύσσεται πολύ γρήγορα και είναι σημαντικός αποδέκτης προϊόντων αφομοίωσης. Είναι πιθανόν το σημαντικότερο στάδιο για τον καθορισμό του αριθμού των κόκκων ανά φυτό που θα αναπτυχθούν σε πλήρεις κόκκους. Η διάρκεια του σταδίου 3 ισούται με δυο φυλλοχρόνους, ακόμη και αν δεν αναπτύσσονται νέα φύλλα.

Ξεστάχυσμα έως έναρξη γεμίσματος κόκκου – Στάδιο 4: Κατά τη διάρκεια αυτού του σταδίου λαμβάνει χώρα η άνθηση. Κατά το στάδιο αυτό απαιτούνται 200 βαθμοημέρες για να μεταβούμε από τη στιγμή που ο στάχης αποκτά το μέγιστο βάρους και όγκου στη στιγμή που ξεκινά η γραμμική αύξηση της μάζας του κόκκου. Επίσης, το στάδιο 4 θεωρείται ότι έχει σημαντική επίπτωση στον αριθμό των κόκκων ανά φυτό επειδή η συνολική παραγόμενη βιομάζα εξαρτάται από τη διάρκεια αυτού του σταδίου. Στη διάρκεια αυτού του σταδίου, τα παραγόμενα προϊόντα αφομοίωσης μάζα αποθηκεύονται στο στέλεχος και σε άλλα όργανα ώστε να μετακινηθεί αργότερα στους κόκκους.

Γέμισμα κόκκου – Στάδιο 5: Το στάδιο αυτό καθορίζει το μέγεθος του κόκκου. Ο θερμικός χρόνος που απαιτείται στο στάδιο 5 ποικίλει ανάλογα με το γενότυπο και καθορίζεται από τον γενετικό συντελεστή P5. Το στάδιο αυτό ξεκινά μετά την

άνθιση, συνήθως 2 με 10 ημέρες μετά, με μια απότομη και γραμμική αύξηση του βάρους.

Φυσιολογική ωρίμανση έως συγκομιδή – Στάδιο 6: Κατά το στάδιο αυτό λαμβάνονται υπόψη πιθανές μειώσεις της προβλεπόμενης παραγωγής λόγω αστοχίας στην ημέρα της συγκομιδής. Μια τιμή 250 βαθμοημερών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προσεγγίσει το θερμικό χρόνο που απαιτείται από τη φυσιολογική ωρίμανση έως τη συγκομιδή.

Κεφάλαιο 3

Μέθοδοι και Δεδομένα

3.1. Θέση των πειραμάτων

Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν στο αγρόκτημα του Ινστιτούτου Σιτηρών Θεσσαλονίκης στην περιοχή της Θέρμης (γεωγραφικό πλάτος: $40^{\circ}32'N$ και γεωγραφικό μήκος: $22^{\circ}00'E$, υψόμετρο: 15m), και διήρκησαν 7 καλλιεργητικές περιόδους, από 2003-2004 έως 2009-2010. (Εικόνα 3.1)



Εικόνα 3.1 - Η περιοχή εγκατάστασης των πειραματικών αγρών.

3.2 Ποικιλίες σκληρού σίτου

Για την πραγματοποίηση της παρούσας μελέτης χρησιμοποιήθηκαν τρεις ποικιλίες σκληρού σίτου: Simeto, Mexicali και Σίφνος. Τα μορφολογικά, αγρονομικά φυσιολογικά και τεχνολογικά χαρακτηριστικά των ποικιλιών περιγράφονται στον Πίνακα 3.1.

3.2.1 Simeto

Η ποικιλία Simeto χαρακτηρίζεται ως πρώιμη με καλή προσαρμοστικότητα. Κατάλληλη εποχή σποράς θεωρείται η περίοδος Νοεμβρίου-Δεκεμβρίου και η ποσότητα σπόρου που χρησιμοποιείται είναι 200-230 kg/ha. Το αδελφωμα της ποικιλίας είναι μέτριο. Παρουσιάζει μεγάλη αντοχή στο πλάγιασμα και ικανοποιητική αντοχή στους παγετούς. Επίσης, η ποικιλία παρουσιάζει μέτρια αντοχή στη σκωρίαση, το ωίδιο και τη σεπτόρια. Τα φυτά της ποικιλίας κατά το στάδιο της συγκομιδής έχουν μέτριο ύψος που κυμαίνεται μεταξύ 85 και 95 cm. Ο στάχυς είναι επιμήκης, μέτριου μεγέθους και έχει μαύρα άγανα. Ο σπόρος της ποικιλίας είναι επιμήκης και μεγάλος. Το βάρος χιλίων κόκκων κυμαίνεται μεταξύ 36 και 39 g.

Πίνακας 3.1 - Χαρακτηριστικά των ποικιλιών του σκληρού σίτου: Simeto, Mexicali, Σίφνος				
		Ποικιλίες		
Χαρακτηριστικά		Simeto	Mexicali	Σίφνος
Μορφολογικά	Ύψος	85-95cm	85-95cm	85-95cm
	Στάχυς	Λευκός	Λευκός	Λευκός
	Άγανα	Μαύρα	Λευκά	Λευκά
	Σπόρος			
	Σχήμα	Επιμήκης	Ωοειδές	Ημιεπιμήκης
	Μέγεθος	Μεγάλος	Μεγάλος	Μεγάλος
	Χρώμα		Ανοιχτό Κεχριμπαρένιο	Ανοιχτό Κεχριμπαρένιο
Αγρονομικά και Φυσιολογικά	Πρωιμότητα	Πρώιμη	Πολύ πρώιμη	Πρώιμη
	Αδελφωμα	Μέτριο	Μέτριο	Μέτριο
	Αντοχή			
	Πλάγιασμα	Μεγάλη	Μεγάλη	Μεγάλη
	Παγετός	Ικανοποιητική	Μέτρια	Καλή
	Σκωριάσεις	Μέτρια	Ανθεκτική(ευπαθή στην καστανή)	Ανθεκτική(ευπαθή στην καστανή)
	Ωίδιο	Μέτρια	Μέτρια	Καλή
	Σεπτόρια	Μέτρια	Μέτρια	Καλή
	Απόδοση		4700 kg/ha	4700 kg/ha
	Προσαρμοστικότητα	Γενική	Γενική	Γενική
	Βάρος 1000 κόκκων	36-39 g	44 (38-60) g.	45 (36-58) g
	Τεχνολογικά			
Τεχνολογικά	Υαλώδεις κόκκοι %		67 (30-100)	70 (32-100)
	Πρωτεΐνη% (P) (NX5,7)	14,0 - 14,8	13,5 (10-18)	14,2 ((11-18)
	Χρωστική, ppm		5,8 (4,1-7,3)	6,7 (5,4-8,2)
	Εποχή σποράς	Νοέμβρης- Δεκέμβρης	Πρώιμη	Πρώιμη
	Ποσότητα σπόρου	200-230 kg/ha	180-200 kg/ha	180-200 kg/ha

3.2.2 Mexicali

Η ποικιλία Mexicali χαρακτηρίζεται ως πολύ πρώιμη με καλή προσαρμοστικότητα. Η πρώιμη εποχή σποράς θεωρείται βέλτιστη και η συνιστώμενη ποσότητα σπόρου για το μέγιστο της παραγωγής είναι 180-200 kg/ha. Το αδέλφωμα της ποικιλίας είναι μέτριο. Παρουσιάζει μεγάλη αντοχή στο πλάγιασμα και μέτρια αντοχή σε παγετούς το χειμώνα και την άνοιξη. Όσον αφορά την αντοχή της ποικιλίας στις ασθένειες παρουσιάζει μοναδική ευπάθεια στην καστανή σκωρίαση. Τα φυτά της ποικιλίας στο τέλος της βλαστικής περιόδου έχουν ύψος 85-95 cm. Ο στάχυς είναι επιμήκης και συμπαγής μέσου βαθμού, λευκός με λευκά άγανα, ενώ ο σπόρος της ποικιλίας είναι ωοειδής, μεγάλος με ανοιχτό κεχριμπαρένιο χρώμα. Το βάρος χιλίων κόκκων κυμαίνεται μεταξύ 38 και 60 g και η δυνητική απόδοση της ποικιλίας είναι κατά μέσο όρο 4700 kg/ha.

3.2.3 Σίφνος

Η ποικιλία Σίφνος χαρακτηρίζεται ως πρώιμη ποικιλία με ικανοποιητική προσαρμοστικότητα. Για μέγιστη παραγωγή συστήνεται πρώιμη σπορά με χρησιμοποίηση σπόρου 180-200 kg/ha. Το αδέλφωμα της ποικιλίας χαρακτηρίζεται μέτριο. Παρουσιάζει μεγάλη αντοχή στο πλάγιασμα και καλή σε παγετούς ενώ είναι ευπαθής στην καστανή σκωρίαση. Τα φυτά της ποικιλίας έχουν μέσο ύψος 85-95 cm. Ο στάχυς είναι επιμήκης με πολλά λευκά άγανα. Ο σπόρος της ποικιλίας είναι ημιεπιμήκης, μεγάλος με ανοιχτό κεχριμπαρένιο χρώμα. Το βάρος χιλίων κόκκων κυμαίνεται μεταξύ 36 και 58 g και η δυνητική απόδοση της ποικιλίας είναι κατά μέσο όρο 4700 kg/ha.

3.3 Πειραματικό σχέδιο και καλλιεργητικές φροντίδες

Τα πειράματα έγιναν σύμφωνα με το σχέδιο των Τυχαιοποιημένων Πλήρων Ομάδων (Randomized Complete Block, RCBD) σε 4 επαναλήψεις (Καλτσίκης, 1989). Τα πειραματικά σχέδια ήταν δυο μεγεθών και αντίστοιχα κάλυπταν επιφάνειες 7 (Σ1-24, Σ2-24) και 14 (Σ4-16, Σ5-16, Σ6-16, Σ8-16) τετραγωνικών μέτρων. Οι ποικιλίες που μελετήθηκαν αποτελούσαν τεμάχια των πειραματικών αγρών.

Κάθε πειραματικό αποτελούνταν από επτά γραμμές φυτών. Η απόσταση μεταξύ των γραμμών ήταν 25 cm. Οι γραμμές των πειραματικών της πρώτης κατηγορίας είχαν μήκος 4 m ενώ της δεύτερης είχαν μήκος 8 m. Η ποσότητα του

σπόρου που χρησιμοποιήθηκε ήταν 180 kg/ha. Η σπορά πραγματοποιήθηκε σε διαφορετικές ημερομηνίες από τα μέσα Νοεμβρίου έως τα τέλη Δεκεμβρίου (Πίνακας 3.2).

Σε κάθε πειραματικό αγροτεμάχιο πραγματοποιήθηκε πριν από τη σπορά όργωμα με άροτρο και ψιλοχωματισμός του εδάφους με δισκοσβάρνα. Σε όλους τους πειραματικούς αγρούς εφαρμόστηκε βασική λίπανση (80 kg/ha) με τη χρήση λιπάσματος 20-10-10. Επίσης, στους πειραματικούς αγρούς εκτός από τον Σ4-16 εφαρμόστηκε και μια επιφανειακή λίπανση (40 kg/ha) με τη χρήση λιπάσματος 20-0-0. Εφαρμογή δεύτερης επιφανειακής λίπανσης (20 kg/ha, 20-0-0) και φυτοπροστατευτικών προϊόντων για την καταπολέμηση ζιζανίων (Torik 240 EC για αγρωστώδη και Brominal για πλατύφυλλα) έγινε σε ορισμένα από τα πειραματικά τεμάχια όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.2.

Πίνακας 3.2 - Λεπτομέρειες εκτέλεσης πειραμάτων κατά τη διάρκεια των 7 καλλιεργητικών περιόδων.						
Καλλιεργητική περίοδος	Πειραματικός	Ημερομηνία				
		Σποράς	α' επιφανειακής λίπανσης	β' επιφανειακής λίπανσης	Εφαρμογής ζιζανιοκτόνου	Αλωνισμού
2003-2004	Σ8-16	17-12-2003	10-03-2004			15-06-2004
	Σ1-24	26-11-2004	23-02-2005			28-06-2005
2004-2005	Σ8-16	20-12-2004	15-03-2005	05-04-2005		28-06-2005
	Σ4-16	20-12-2004				28-06-2005
	Σ1-24	16-11-2005	22-03-2006		28-03-2006	28-06-2006
2005-2006	Σ5-16	09-12-2005	22-03-2006		28-03-2006	28-06-2006
	Σ6-16	14-12-2005	22-03-2006		28-03-2006	28-06-2006
2006-2007	Σ6-16	29-11-2006	02-03-2007	03-04-2007	08-03-2007	15-06-2007
	Σ2-24	01-12-2006	02-03-2007	03-04-2007	08-03-2007	20-06-2007
	Σ5-16	21-11-2007	06-03-2008		18-03-2008	01-07-2008
2007-2008	Σ6-16	22-11-2007	06-03-2008		18-03-2008	01-07-2008
	Σ2-24	23-11-2007	06-03-2008		18-03-2008	01-07-2008
	Σ1-24	24-11-2007	06-03-2008		18-03-2008	01-07-2008
2008-2009	Σ5-16	02-12-2008	06-03-2009	01-04-2009	16-03-2009	25-06-2009
2009-2010	Σ5-16	18-11-2009	02-03-2010	26-03-2010	18-03-2010	17-06-2010

Ο θεριζοαλωνισμός των πειραματικών αγρών έγινε με ειδική θεριζοαλωνιστική μηχανή του Ινστιτούτου Σιτηρών Θεσσαλονίκης στις ημερομηνίες που αναφέρονται στον Πίνακα 3.2. Αλωνίστηκαν οι πέντε μεσαίες γραμμές από κάθε

πειραματικό τεμάχιο αφήνοντας δύο περιθωριακές γραμμές (μία από κάθε πλευρά) (εικ. 3.2).

3.4 Εδαφολογικές αναλύσεις

Προκειμένου να προσδιορίσουμε τις φυσικοχημικές ιδιότητες των εδαφών στην περιοχή μελέτης, πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες εδάφους χρησιμοποιώντας δειγματολήπτη τύπου Edelman. Η δειγματοληψία έγινε σε τέσσερα διαφορετικά βάθη, 0-15 cm, 16-30 cm, 31-45cm, 46-60 cm. Δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν στους τέσσερεις πειραματικούς αγρούς. Παράλληλα ελήφθησαν από δύο πειραματικούς αγρούς (Α και Β) αδιατάρακτα δείγματα με τη χρήση κυλίνδρων από ανοξείδωτο χάλυβα από δύο διαφορετικά βάθη, 0-30 cm και 31-60cm. Οι δειγματοληψίες εδάφους πραγματοποιήθηκαν το Νοέμβριο του 2009.

3.4.1 Προσδιορισμός φυσικοχημικών ιδιοτήτων

Για τον προσδιορισμό της μηχανικής σύστασης, του pH, της οργανικής ουσίας και του ολικού αζώτου χρησιμοποιήθηκαν τα δείγματα που ελήφθησαν με το δειγματολήπτη Edelman και η εργαστηριακή ανάλυση πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Εδαφολογίας του ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε.. Τα αδιατάρακτα δείγματα χρησιμοποιήθηκαν για να προσδιορίσουμε το φαινόμενο ειδικό βάρος και τους δείκτες υγρασίας του εδάφους όπως είναι ο κορεσμός, η υδατοϊκανότητα και το σημείο μόνιμης μάρανσης. Η εργαστηριακή ανάλυση για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Εγγείων Βελτιώσεων του ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε.

3.4.2 Εργασίες υπαίθρου

Από κάθε πειραματικό αγρό επιλέχθηκαν τυχαία πέντε θέσεις δειγματοληψίας. Αφού πρώτα απομακρύνονταν ο οργανικός εδαφικός ορίζοντας, λαμβάνονταν τα δείγματα εδάφους, για κάθε βάθος χωριστά. Τα δείγματα από κάθε θέση δειγματοληψίας αναμιγνύονταν σε ένα δείγμα, βάρους 1-2 kg. Συνολικά συλλέχτηκαν 16 δείγματα εδάφους (εικ. 3.3). Τα δείγματα στη συνέχεια μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο.

Παράλληλα στους πειραματικού αγρούς Α και Β επιλέχθηκαν τυχαία δυο θέσεις δειγματοληψίας για κάθε πειραματικό αγρό ώστε να ληφθούν τα αδιατάρακτα δείγματα. Τα δείγματα εδάφους λήφθηκαν για κάθε βάθος χωριστά (εικ. 3.4).

Συνολικά συλλέχθηκαν 8 αδιατάρακτα δείγματα εδάφους. Στα αδιατάρακτα δείγματα τοποθετήθηκαν καπάκια για την προστασία του εδάφους και μεταφέρθηκαν στη συνέχεια στο εργαστήριο.

3.4.3 Εργαστηριακές εργασίες

Μετά τη μεταφορά των εδαφικών δειγμάτων στο εργαστήριο, ακολούθησε η αποξήρανσή τους σε θερμοκρασία δωματίου (εικ 3.5) και στη συνέχεια η ήπια λειοτρίβησή τους σε γουδί πορσελάνης, για τη θραύση των συσσωματωμάτων. Τέλος, ακολούθησε το κοσκίνισμα των κονιοποιημένων εδαφικών δειγμάτων με τη χρήση κόσκινου με οπές διαμέτρου 2 mm (εικ 3.6). Το έδαφος με διάμετρο κόκκων μικρότερη από 2 mm αποτελεί τη λεπτή γη και είναι αυτό στο οποίο πραγματοποιήθηκαν όλες οι εδαφικές αναλύσεις. Η προετοιμασία των αδιατάρακτων δειγμάτων για την πραγματοποίηση των απαραίτητων υπολογισμών (δείκτες υγρασίας) περιγράφεται παρακάτω στην αντίστοιχη παράγραφο.

3.4.4 Μηχανική σύσταση του εδάφους

Η μηχανική σύσταση του εδάφους είναι από τα λίγα μη επιδεκτικά τροποποίησης χαρακτηριστικά που προσδιορίζουν την παραγωγικότητα και σε τελική ανάλυση τη γεωργική αξία των γαιών. Ο προσδιορισμός της επί τοις % κοκκομετρικής σύστασης του εδάφους σε άργιλο, ιλύ και άμμο έγινε με τη μέθοδο Βουγιούκου (1962). Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή παρασκευάζεται πάστα εδάφους (50ml) με τη χρήση διαλύματος μεταφωσφορικού νατρίου $[(NaPO_3)_n](100ml)$ για τη διάλυση των κολλοειδών που περιέχονται στο έδαφος (εικ. 3.7). Το διάλυμα, μετά από ελαφρά ανάδευση, αφήνεται για επώαση 24 h στους 20 °C. Στη συνέχεια, τοποθετείται σε Μίξερ για διάρκεια 90 sec ώστε να επιτευχθεί ο διαμερισμός του εδάφους με ένα συνδυασμό χημικών και μηχανικών μέσων (εικ. 3.8). Έπειτα, το εδαφικό διάλυμα μεταφέρεται σε ογκομετρικό κύλινδρο 1.205 ml. Αφού συμπληρωθεί με απιονισμένο νερό μέχρις όγκου 1.130 ml αναδεύεται με ειδικό έμβολο για 5-6 φορές (εικ. 3.9). Τέλος, πραγματοποιούνται δύο μετρήσεις με τη βοήθεια πυκνόμετρου, η μία μετά την πάροδο 40 sec από την ανακίνηση του αιωρήματος και η άλλη μετά από δύο ώρες, με ταυτόχρονη μέτρηση της θερμοκρασίας σε Fahrenheit. Η πρώτη αντιστοιχεί στο άθροισμα της ιλύος και της αργίλου καθώς η άμμος έχει καθιζάνει, και η δεύτερη στην άργιλο όπου μετά από την

πάροδο των δύο ωρών έχει καθιζάνει και η ιλύς. Η % περιεκτικότητα του εδάφους σε κάθε κλάσμα υπολογίζεται με βάση τη διαφορά της θερμοκρασίας του δείγματος.

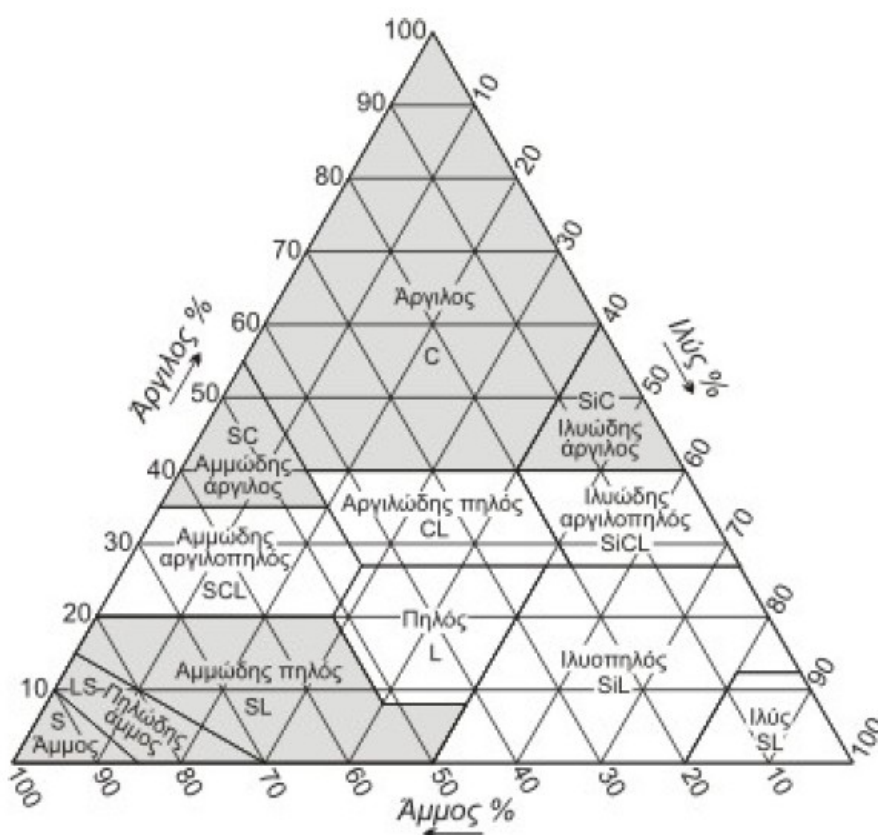
Εάν Α είναι η διορθωμένη πρώτη ανάγνωση του πυκνόμετρου, Β η δεύτερη ανάγνωση των 2 ωρών και Γ είναι το βάρος του δείγματος του εδάφους τότε:

$$\text{άργιλος \%} = B / \Gamma * 100$$

$$\text{ιλύς \%} = (A - B) / \Gamma * 100$$

$$\text{άμμος \%} = (1 - A / \Gamma) * 100$$

Στο σχήμα 3.2 δίνεται η τριγωνομετρική παράσταση της μηχανικής σύστασης των εδαφών κατά USDA. Τα εδάφη χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες: στα αμμώδη εδάφη, στα πηλώδη εδάφη και στα αργιλώδη, ανάλογα με την επικρατούσα περιεκτικότητα τους σε άμμο (Sand), πηλό (Loam) ή άργιλο (Clay). Ανάλογα με τις επιμέρους υποκατηγορίες (π.χ. LS= πηλώδης άμμος, SL= αμμώδης πηλός, Si= ιλύς, SCL= αμμώδης αργιλοπηλός κλπ) που ανήκουν, μπορούν να χαρακτηρισθούν ως: ελαφρά (LS και S), μέτρια ελαφρά (SL), μέσα (L, SiL, Si), μέτρια βαριά (CL, SCL, SiCL) ή βαριά εδάφη (SL, SiC, C). Η μηχανική σύσταση που βρέθηκε για κάθε δείγμα αναφέρεται στον Πίνακα 3.3.



Σχήμα 3.2 - Τριγωνικό σύστημα για την κατάταξη των εδαφών (USDA).

3.4.5 Προσδιορισμός pH

Το pH του εδαφικού διαλύματος είναι ίσως η σημαντικότερη χημική ιδιότητα του εδάφους. Από αυτό εξαρτάται η ισορροπία των κατιόντων μεταξύ των προσροφημένων και των διαλυμένων συγκεντρώσεων. Για τον προσδιορισμό του ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία: Σε ποτήρι ζέσεως των 50ml τοποθετούνται 10g κοσκινισμένου και ξηραμένου δείγματος εδάφους και προστίθενται 20ml αποσταγμένου νερού. Περιοδικώς και για διάστημα 30 min το αιώρημα αναδεύεται με τη βοήθεια γυάλινης ράβδου. Μετά την παρέλευση του διαστήματος των 30 min αφήνουμε το αιώρημα σε ηρεμία για άλλα 30 min για μερική καθίζηση. Μετά την καθίζηση εισέρχονται προσεκτικά στο αιώρημα τα ηλεκτρόδια υάλου-καλομέλανος και μετράται το pH (Πίνακας 3.3) με τη βοήθεια πεχαμέτρου (εικ. 3.10), το οποίο έχει προηγουμένως ρυθμιστεί με τη βοήθεια διαλυμάτων γνωστής συγκέντρωσης (Schofield και Taylor 1955).

3.4.6 Προσδιορισμός οργανικής ουσίας

Η οργανική ουσία επηρεάζει καθοριστικά τις φυσικές και χημικές ιδιότητες καθώς και τη γονιμότητα των εδαφών. Η οργανική ουσία αποτελεί κύριο παράγοντα της δομής του εδάφους προσδίδοντας σταθερότητα στα εδαφικά συσσωματώματα, συμβάλλει σε μεγάλο ποσοστό στην ικανότητα του εδάφους για ανταλλαγή κατιόντων, βελτιώνει την υδατοϊκανότητα του, αποτελεί την κύρια πηγή αζώτου, σημαντική πηγή φωσφόρου και θείου καθώς και λοιπών μακρο- και μικρο-θρεπτικών στοιχείων και τέλος παρέχει την απαιτούμενη ενέργεια και τα δομικά συστατικά για την επιβίωση και ανάπτυξη της μικροβιακής χλωρίδας του εδάφους (Σακελλαριάδης, 1992).

Για την μέτρηση της οργανικής ύλης των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Walkley – Black, μια τεχνική υγρής καύσης. Το δείγμα οξειδώνεται με διχρωμικό κάλιο ($K_2Cr_2O_7$) και πυκνό θειικό οξύ (αναλογία 1:2). Ύστερα από 20 sec η αντίδραση σταματά με την προσθήκη απιονισμένου νερού. Το υπόλοιπο $K_2Cr_2O_7$ τιτλοδοτείται με θειικό σίδηρο ($FeSO_4$). Η οργανική ουσία του εδάφους υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τη διαφορά μεταξύ του συνολικού όγκου του προστιθέμενου διχρωμικού άλατος και του όγκου που τιτλοδοτείται μετά την αντίδραση. Με ένα λευκό δείγμα βαθμονομείται ο $FeSO_4$. Θεωρείται πως με τη μέθοδο αυτή οξειδώνεται περίπου το 70% του οργανικού άνθρακα, για το λόγο αυτό και χρησιμοποιείται ένας συντελεστής διόρθωσης (1,334).

Κατά την υγρή καύση κονιοποιημένο έδαφος 1 g τοποθετείται σε κωνική φιάλη των 500 ml. Σε κάθε κωνική φιάλη προσθέτουμε με σιφόνιο 10 ml διαλύματος $K_2Cr_2O_7$ και περιστρέφουμε την φιάλη αργά και προσεκτικά με σκοπό τη διαβροχή του δείγματος. Το $K_2Cr_2O_7$ οξειδώνει τον οργανικό άνθρακα. Τέλος, προσθέτουμε με ογκομετρικό κύλινδρο 20 ml πυκνού θεικού οξέος (H_2SO_4) για τη ρύθμιση του pH ώστε να μην οξειδωθεί ο σίδηρος. Μετά την προσθήκη ακολουθεί νέα ήπια περιστροφική ανακίνηση για 1 min. Περιοδικά και για διάστημα 30 min περιστρέφουμε την φιάλη ήπια με σκοπό την όσο καλύτερη οξείδωση του οργανικού άνθρακα. Μετά την πάροδο των 30 min προσθέτουμε σε κάθε κωνική φιάλη 200 ml απιονισμένου νερού και 10 ml ορθοφωσφορικού οξέος (H_3PO_4). Η προσθήκη αυτή έχει σαν σκοπό την ελάττωση της συγκέντρωσης των οξέων, αφού η διφαινυλαμίνη (που θα προστεθεί αμέσως μετά) δεν μπορεί να δράσει παρουσία ισχυρών οξέων. Μετά την προσθήκη του H_3PO_4 προστίθενται 2 ml διφαινυλαμίνης και παρατηρείται αλλαγή χρώματος σε σκούρο μωβ. Ακολούθως γίνεται τιτλοδότηση του διαλύματος με $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ (0,5N) για προσδιορισμό των μη αναχθέντων $Cr_2O_7^{2-}$. Το τέλος της τιτλοδότησης εντοπίζεται με την αλλαγή του χρώματος του διαλύματος από σκούρο μωβ σε πρασινωπό. Παράλληλα σε κάθε σειρά δειγμάτων είναι απαραίτητο να γίνει ένας λευκός προσδιορισμός για έλεγχο της κανονικότητας των διαλυμάτων. Όταν κατά την τελική τιτλοδότηση απαιτηθούν λιγότερα από 4 ml διαλύματος $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ γίνεται νέος προσδιορισμός χρησιμοποιώντας μικρότερες ποσότητες εδαφικού δείγματος.

Εάν Α τα ml του $FeSO_4$, 0,5N που χρησιμοποιήθηκαν κατά την τιτλοδότηση του λευκού προσδιορισμού, Β τα ml του $FeSO_4$ που χρησιμοποιήθηκαν κατά την τιτλοδότηση του εδαφικού δείγματος, Γ το βάρος (g) του εδαφικού δείγματος, f_1 η ποσότητα του άνθρακα που οξειδώνεται από 1 ml κανονικού διαλύματος $K_2Cr_2O_7$ (0,003 g) και f_2 ο συντελεστής οξείδωσης. Σε περίπτωση που δεν χρησιμοποιείται εξωτερική θέρμανση κατά το στάδιο της οξείδωσης τότε $f_2 = 1,3$, ενώ στην αντίθετη περίπτωση $f_2 = 1,12$ και αυτό οφείλεται στο ότι στην πρώτη περίπτωση οξειδώνεται το 77% του οργανικού άνθρακα, ενώ στη δεύτερη το 89%. Έτσι έχουμε:

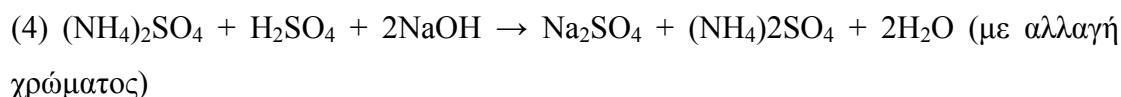
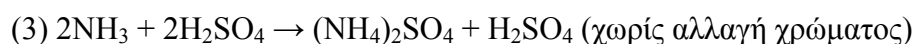
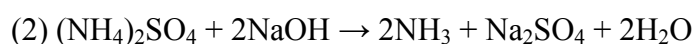
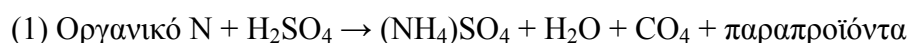
$$\text{Οργανικός άνθρακας (\%)} = 10 (1 - B / A) * (f_1 * f_2 / 2) * 100 \text{ και}$$

$$\text{Οργανική ουσία \%} = C (\%) * 1,724$$

Οι τιμές της οργανικής ουσίας για κάθε δείγμα παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.3.

3.4.7 Προσδιορισμός ολικού αζώτου

Για τον προσδιορισμό του ολικού αζώτου χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Kjeldahl (TKN). Είναι μέθοδος για τον ποσοτικό προσδιορισμό του αζώτου σε μία ουσία, περιλαμβανομένου της αμμωνίας, των αμμωνιακών και των νιτρικών ιόντων. Η μέθοδος έγκειται στην θέρμανση ουσίας με H_2SO_4 το οποίο αποσυνθέτει το οργανικό άζωτο. Η γενική εξίσωση για την χώνευση ενός οργανικού δείγματος είναι η εξής:



Η πειραματική διαδικασία ακολουθεί την παρακάτω μεθοδολογία:

Χώμα 0.4 g από κάθε δείγμα τοποθετούνται σε δοχεία χώνευσης των 100ml. Το δείγμα πρέπει να είναι ομοιογενές. Τα στερεά δείγματα πρέπει να έχουν αλεστεί ή κοπεί σε μικρά κλάσματα και να είναι καλά αναμειγμένα. Στη συνέχεια προστίθεται 5 ml H_2SO_4 (ειδικού βάρους 1.84) και 6-10 πέτρες βρασμού. Η θερμοκρασία της συσκευής ρυθμίζεται στους 440°C . Όταν η συσκευή φθάσει στην επιθυμητή θερμοκρασία, ανοίγουμε την παροχή νερού στην υδραντλία και ελέγχουμε εάν υπάρχει αναρρόφηση στη στήλη. Τοποθετούμε το δείγμα και τη στήλη στη θερμαντική εστία και θερμαίνουμε για 4 min. Μετά την προσθήκη 12ml H_2O_2 μέσω του δοσομετρητή και το αφήνουμε για 1 min ακόμα για να απομακρυνθεί η περίσσεια H_2O_2 . Απομακρύνουμε το ζεστό δοχείο χώνευσης και το αφήνουμε να κρυώσει πάνω στη ξύλινη βάση. Μετά από τουλάχιστον 1 min απομακρύνουμε τη στήλη από το δοχείο. Αφού κρυώσει, διαλύουμε το χωνευμένο δείγμα σε 100 ml με πολύ απιονισμένο νερό και το αποθηκεύουμε σε πλαστικά δοχεία. Κατόπιν τα δείγματα μπορούν να διατηρηθούν στο ψυγείο.

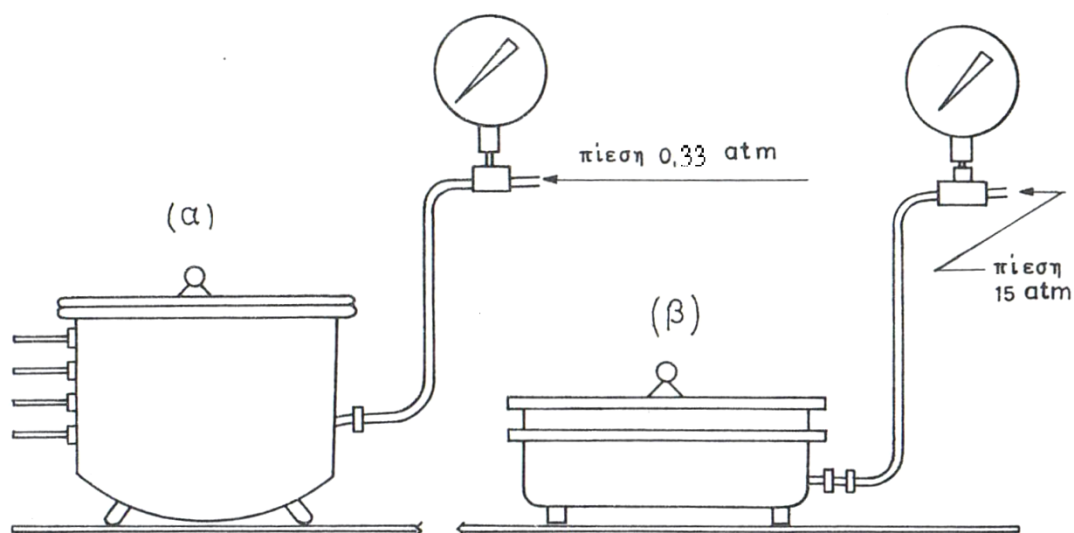
Κατά τη διαδικασία της φασματομετρικής ανάλυσης μεταφέρουμε 5 ml δείγματος σε κυλίνδρους ανάμιξης των 25 ml και προσθέτουμε 1 σταγόνα δείκτη. Στη συνέχεια προσθέτουμε στάγδην 8N KOH μέχρι το διάλυμα να γίνει μπλε και 3 σταγόνες 1N KOH για σταθεροποίηση του μπλε χρώματος και γεμίζουμε μέχρι τα 20 ml με απιονισμένο νερό. Ανακινούμε το δείγμα προσθέτοντας 3 σταγόνες Mineral Stabilizer και 3 σταγόνες Polyvinyl Alcohol Dispersing Agent. Στο τέλος γεμίζουμε μέχρι τα 25 απιονισμένο νερό και προσθέτουμε 1 ml Nessler's Reagent. Την ίδια διαδικασία κάνουμε με απιονισμένο νερό για τη δημιουργία δείγματος αναφοράς (blank). Επιλέγοντας το πρόγραμμα 399 στο φασματοφωτόμετρο και ρυθμίζουμε το μήκος κύματος στα 460 nm κάνουμε μηδενισμό με το δείγμα αναφοράς και στη συνέχεια πραγματοποιούμε τη μέτρηση. Οι τιμές αναγράφονται στον Πίνακα 3.3.

3.4.8. Δείκτες υγρασίας

Η υγρασία του εδάφους αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα για την κανονική ανάπτυξη και απόδοση των καλλιεργειών. Το έδαφος μπορεί να θεωρηθεί σαν μια δεξαμενή που χωράει μια ορισμένη ποσότητα χρήσιμης υγρασίας που το πάνω όριο της είναι η υδατοϊκανότητα ενώ το αντίστοιχο κάτω όριο της είναι το σημείο μόνιμης μάρανσης. Σαν υδατοϊκανότητα μπορεί να οριστεί το όριο εκείνο της εδαφικής υγρασίας στο οποίο η τιμή της τριχοειδούς αγωγιμότητας που αντιστοιχεί είναι τόσο μικρή ώστε πρακτικά να έχει πάψει κάθε ουσιαστική κίνηση νερού στο έδαφος, ανεξάρτητα από τις υφιστάμενες υδραυλικές κλίσεις. Στο σημείο μόνιμης μάρανσης τα φυτά δεν μπορούν να πάρουν από το έδαφος όλο το νερό που χρειάζονται για την κάλυψη των αναγκών τους και για το λόγο αυτό αρχίζουν να μαραίνονται. Ο προσδιορισμός των δυο καταστάσεων υγρασίας προσδιορίζεται στο εργαστήριο με τη συσκευή της μεμβράνης πίεσεως (εικ. 3.15). Η διάταξη της συσκευής για τον προσδιορισμό της υδατοϊκανότητας και του σημείου μόνιμης μάρανσης φαίνεται στο Σχήμα 3.3, (α) και (β) αντίστοιχα.

Αρχικά τα αδιατάρακτα δείγματα του εδάφους προετοιμάστηκαν για την πραγματοποίηση των μετρήσεων. Από τη μία πλευρά κάθε δείγματος αφαιρέθηκε έδαφος 2 mm με τη χρήση σπάτουλας και τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε δίσκο (εικ. 3.11). Στη συνέχεια παρασκευάστηκε γύψος σε κεραμικά μπολ (ένα μπολ για κάθε μεταλλικό κύλινδρο) με την ανάμειξη 18 g ανθρακικού ασβεστίου (CaCO_3) και 15ml νερού (H_2O) (εικ. 3.12). Η γύψος που παρασκευάστηκε τοποθετήθηκε πάνω σε κάθε

δείγμα εδάφους έτσι ώστε να καλυφθεί ομοιόμορφα η πλευρά του κάθε κυλίνδρου από την οποία είχε αφαιρεθεί το έδαφος. Έπειτα τοποθετήθηκαν γυάλινες πλάκες πάνω στη γύψο κάθε δείγματος ώστε να ευθυγραμμιστεί με τα μεταλλικά τοιχώματα των κυλίνδρων και με τέτοιο τρόπο ώστε να μη δημιουργηθούν φυσαλίδες αέρα στη γύψο (εικ. 3.13). Μετά το πέρας μιας ώρας και αφού η γύψος στερεοποιήθηκε αφαιρέθηκαν προσεκτικά οι γυάλινες πλάκες. Τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε δοχείο με την πλευρά που πληρώθηκε με γύψο να βρίσκεται από κάτω. Στο δοχείο προστέθηκε ποσότητα απιονισμένου νερού μέχρι το μέσο των κυλίνδρων. Τα αδιατάρακτα δείγματα εδάφους διατηρήθηκαν εντός του δοχείου μέχρι τη στιγμή που επήλθε ο κορεσμός. Τα δείγματα πλέον είναι έτοιμα για να πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις.



Σχήμα 3.3 - Διάταξη (α) δίσκου πίεσεως για τον προσδιορισμό της υδατοϊκανότητας και (β) μεμβράνης πίεσεως για τον προσδιορισμό του σημείου μόνιμης μαράνσεως (Παπαζαφειρίου).

Τα κορεσμένα αδιατάρακτα δείγματα τοποθετήθηκαν πάνω σε πορώδη κεραμικό δίσκο 1 atm, που και αυτός είναι κορεσμένος με νερό, και καλύπτεται αεροστεγώς με μεταλλικό κάλυμμα (εικ 3.14). Ο χώρος κάτω από τον πορώδη δίσκο βρίσκεται σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα. Στο χώρο που βρίσκεται πάνω από το δίσκο με ένα επιστόμιο εφαρμόστηκε αέρας υπό πίεση. Η συσκευή ρυθμίστηκε έτσι που η διαφορά πίεσεως ανάμεσα στον πάνω χώρο, όπου βρίσκεται το εδαφικό δείγμα τοποθετημένο πάνω στον πορώδη δίσκο, και τον κάτω να ήταν ίση με 0.33 atm. Μετά την παραμονή των δειγμάτων στη συσκευή επί ορισμένο χρόνο προσδιορίστηκε η υγρασία του που αντιστοιχεί στην υδατοϊκανότητα.

Στη συνέχεια για τον προσδιορισμό του σημείου μόνιμης μαράνσεως χρησιμοποιήθηκε η ίδια συσκευή με τον προσδιορισμό της υδατοϊκανότητας. Η διάταξη διαφέρει στο ότι εδώ τα δείγματα τοποθετήθηκαν πάνω σε μια ελάχιστα διαπερατή μεμβράνη και εφαρμόστηκε διαφορά πιέσεως ίση με 15 atm στους δυο χώρους που διαμορφώνονται πάνω και κάτω από τη μεμβράνη αυτή. Η υγρασία που παρέμεινε στα δείγματα μετά την εφαρμογή της πιέσεως αυτής για ένα καθορισμένο χρόνο αντιστοιχεί στο σημείο μόνιμης μαράνσεως.

Οι δείκτες υγρασίας για τους πειραματικούς υπολογίστηκαν με τη βοήθεια του προγράμματος Soil build που ενσωματώνεται στο μοντέλο DSSAT. Οι τιμές κάθε δείγματος αναφέρονται στον Πίνακα 3.3.

3.4.8 Φαινόμενο ειδικό βάρος

Σαν φαινόμενο ειδικό βάρος αναφέρεται το πραγματικό ειδικό βάρος, δηλαδή το ειδικό βάρος των στερεών, μαζί με τους γεμάτους με αέρα πόρους. Η τιμή του εξαρτάται από τη υφή και δομή του εδάφους. Για τον προσδιορισμό του φαινομένου ειδικού βάρους αρχικά βρέθηκε ο όγκος που καταλαμβάνει το έδαφος των αδιατάρακτων δειγμάτων. Στη συνέχεια, το έδαφος από κάθε κύλινδρο αφαιρέθηκε και υποβλήθηκε σε αεροζήρανση στους 105 °C για ένα εικοσιτετράωρο. Τα δείγματα ζυγίστηκαν και βρέθηκε το βάρος που εκφράζει το ξηρό βάρος του εδάφους. Το ξηρό βάρος διαιρούμενο δια του όγκου που καταλαμβάνει το δείγμα μας δίνει το φαινόμενο ειδικό βάρος (Πίνακας 3.3). Το φαινόμενο ειδικό βάρος για τους πειραματικούς αγρούς Γ και Δ που δεν έγινε δειγματοληψία υπολογίστηκε με την χρήση του προγράμματος Soil build.

Πίνακας 3.3 - Φυσικοχημικές ιδιότητες εδάφους

Τεμάχιο	Βάθος (cm)	Άργιλος %	Ιλύς %	Άμμος %	Μηχανική Σύσταση	pH	Ολικό άζωτο %	Οργανική ουσία %	Κορεσμός cm ³ /cm ³	Υδατοικανότητα cm ³ /cm ³	Σημείο Μόνιμου Μαρασμού cm ³ /cm ³	Φαινόμενο ειδικό βάρος g/cm ³
Α 40° 32' 07'' N, 22° 59' 54'' E	0-15	20,0	33,2	46,8	Πηλώδεις (L)	7,8	0,111	0,98	0,426	0,298	0,148	1,39
	16-30	20,0	34,8	45,2	Πηλώδεις (L)	7,9	0,122	0,87	0,426	0,298	0,148	1,39
	31-45	17,6	35,6	46,8	Πηλώδεις (L)	7,9	0,076	0,46	0,459	0,311	0,131	1,25
	46-60	17,6	35,6	46,8	Πηλώδεις (L)	7,9	0,086	0,30	0,459	0,311	0,131	1,25
Β 40° 32' 12'' N, 23° 00' 20'' E	0-15	19,6	33,6	46,8	Πηλώδεις (L)	7,9	0,099	1,17	0,406	0,286	0,125	1,43
	16-30	15,6	35,6	48,8	Πηλώδεις (L)	7,8	0,065	0,70	0,406	0,286	0,125	1,43
	31-45	17,6	33,2	49,2	Πηλώδεις (L)	8,0	0,060	0,60	0,413	0,259	0,099	1,43
	46-60	15,6	33,2	51,2	Αμμοπηλώδεις(SL)	8,2	0,079	0,67	0,413	0,259	0,099	1,43
Γ 40° 32' 04'' N, 22° 59' 58'' E	0-15	13,6	22,8	63,6	Αμμοπηλώδεις(SL)	8,0	0,047	0,30	0,387	0,199	0,104	1,46
	16-30	13,6	22,8	63,6	Αμμοπηλώδεις(SL)	8,0	0,094	0,67	0,387	0,208	0,109	1,46
	31-45	11,6	16,8	71,6	Αμμοπηλώδεις(SL)	7,9	0,061	0,69	0,394	0,195	0,105	1,43
	46-60	5,6	18,8	75,6	Αμμοπηλώδεις(SL)	7,9	0,048	0,60	0,395	0,145	0,065	1,44
Δ 40° 32' 09'' N, 23° 00' 23'' E	0-15	15,6	28,8	55,6	Αμμοπηλώδεις(SL)	7,8	0,086	0,86	0,423	0,264	0,120	1,46
	16-30	13,6	29,2	57,2	Αμμοπηλώδεις(SL)	7,7	0,083	0,90	0,427	0,256	0,117	1,46
	31-45	15,6	30,8	53,6	Αμμοπηλώδεις(SL)	8,0	0,069	0,65	0,428	0,248	0,120	1,43
	46-60	19,6	29,2	51,2	Πηλώδεις (L)	8,2	0,066	0,57	0,421	0,253	0,138	1,45

3.5 Μετρήσεις και υπολογισμός των χαρακτηριστικών

Για τους σκοπούς της εργασίας εξετάστηκαν και μελετήθηκαν τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- περίοδος εμφάνισης του αρτίβλαστου (ημέρες μετά τη σπορά, DAS-Days After Sowing) - Emergence

Η περίοδος εμφάνισης του αρτίβλαστου μετρήθηκε σε ημέρες από την ημερομηνία σποράς (ημέρα 0) έως την ημερομηνία εμφάνισης του αρτίβλαστου σε κάθε πειραματικό τεμάχιο. Η ημερομηνία εμφάνισης του αρτίβλαστου κάθε πειραματικού τεμαχίου καθορίζεται ως αυτή όπου είχε εμφανιστεί το 50% των φυτών.

- βλαστική περίοδος (ημέρες μετά τη σπορά, DAS)

Η βλαστική περίοδος μετρήθηκε σε ημέρες από την ημερομηνία σποράς έως την ημερομηνία ξεσταχύσματος. Ως ημερομηνία ξεσταχύσματος σημειώθηκε όταν είχε ξεσταχύσει το 50% των φυτών του πειραματικού τεμαχίου.

- Άνθιση (ημέρες μετά τη σπορά, DAS)

Η άνθιση μετρήθηκε σε ημέρες από την ημερομηνία σποράς έως την ημερομηνία άνθισης του 50% των φυτών του πειραματικού τεμαχίου. Μέτρηση άνθισης πραγματοποιήθηκε την καλλιεργητική περίοδο 2009-2010.

- περίοδος γεμίσματος κόκκου (ημέρες, d)

Για την περίοδο γεμίσματος του κόκκου μετρήθηκαν σε ημέρες η έναρξη γεμίσματος κόκκου και η φυσιολογική ωρίμανση του (εμφάνισης της κίτρινης ζύμης). Η μέτρηση αυτή πραγματοποιήθηκε για την καλλιεργητική περίοδο 2009-2010.

- ύψος των φυτών (cm).

Το τελικό ύψος των φυτών μετρήθηκε στο στάδιο της ωρίμανσης των φυτών κάθε πειραματικού τεμαχίου.

- απόδοση καρπού / πειραματικό τεμάχιο (g)

Η απόδοση σε καρπό μετά τον θεριζοαλωνισμό του πειραματικού τεμαχίου μετρήθηκε σε g με ζυγό ακριβείας και εκφράστηκε σε kg/ha.

– βάρος 1000 κόκκων (g)

Το βάρος 1000 κόκκων μετρήθηκε σε τέσσερα τυχαία δείγματα των 250 σπόρων από το σύνολο των σπόρων του κάθε πειραματικού τεμαχίου. Η μέτρηση αυτή πραγματοποιήθηκε μόνο για την καλλιεργητική περίοδο 2009-2010.

Οι παρατηρήσεις αγρού για την καλλιεργητική περίοδο 2009-2010 και για τις τρεις ποικιλίες παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον Πίνακα 3.4. Οι παρατηρήσεις για τις καλλιεργητικές περιόδους 2003-2004, 2004-2005, 2005-2006, 2006-2007, 2007-2008, 2008-2009 παρουσιάζονται για το Simeto στον Πίνακα 3.5, για το Mexicali στον Πίνακα 3.6 και για τη Σίφνος στον Πίνακα 3.7.

Πίνακας 3.4 - Παρατηρήσεις αγρού για την καλλιεργητική περίοδο 2009-2010.

Ποικιλία	Επ/ψεις	Ημερομηνία εμφάνισης αρτίβλαστου	Βλαστική περίοδος (DAS)	Άνθιση (DAS)	Γέμισμα κόκκου (DAS)		Ύψος (cm)	Βάρος 1000 κόκκων (g)	Απόδοση (kg/ha)
					Έναρξη	Φυσιολογική Ωρίμανση			
Simeto	I	07/12/2009 (19)	151	153	155	187	85	52	3.780
	II		153	154	157	187	80		3.760
	III		151	152	156	187	85		3.810
	IV		153	154	157	188	85		3.850
	μ.ο.		152	153	156	187	83,75		3.800
Mexicali	I	07/12/2009 (19)	146	148	155	184	95	45.5	3.690
	II		148	151	157	183	90		3.630
	III		147	150	156	183	95		3.620
	IV		147	150	156	183	95		3.820
	μ.ο.		147	150	156	183	93,75		3.690
Σίφνος	I	07/12/2009 (19)	147	148	154	180	100	47	3.590
	II		148	149	153	180	95		3.270
	III		149	150	153	183	100		3.550
	IV		148	150	154	181	100		3.490
	μ.ο.		148	149	154	181	98,75		3.475

Πίνακας 3.5 - Παρατηρήσεις αγρού για την ποικιλία Simeto.

Καλλιεργητική περίοδος	Πειραματικό τεμάχιο	Επαν/γεις	Ημερομηνία εμφάνισης αρτίβλαστου	Βλαστική περίοδος (DAS)		Ύψος φυτών (cm)	Απόδοση καρπού (kg/ha)	
				Επαν/εων	μ.ο.		Επαν/εων	μ.ο.
2003-2004	Σ8-16	I	08-01-2004 (22)	135	134	85	5.200	5.030
		II		134		85	5.130	
		III		133		85	5.470	
		IV		135		85	4.320	
2004-2005	Σ1-24	I	08-12-2004 (12)	153	151	70	2.300	1.965
		II		152		65	1.600	
		III		153		60	1.480	
		IV		148		70	2.480	
	Σ8-16	I	18-01-2005 (29)	134	133	60	1.160	1.155
		II		130		65	1.370	
		III		133		60	1.040	
		IV		133		60	1.050	
	Σ4-16	I	18-01-2005 (29)	131	131	60	1.080	1.195
		II		132		60	1.300	
		III		130		60	1.200	
		IV		131		60	1.200	
2005-2006	Σ1-24	I	03-12-2005 (17)	160	160	90	4.060	4.150
		II		159		95	4.150	
		III		158		90	4.140	
		IV		161		90	4.250	
	Σ5-16	I	29-12-2005 (20)	143	144	85	2.410	2.420
		II		143		85	2.330	
		III		143		80	2.370	
		IV		145		85	2.570	
	Σ6-16	I	05-01-2006 (22)	138	140	90	2.490	2.130
		II		139		80	2.000	
		III		139		85	2.050	
		IV		140		75	1.980	
2006-2007	Σ5-16	I	10-12-2006 (12)	140	140	75	1.760	2.280
		II		138		75	1.920	
		III		140		75	2.600	
		IV		140		75	2.840	
	Σ6-16	I	10-12-2006 (11)	138	138	70	2.650	2.610
		II		136		70	1.560	
		III		139		75	3.580	
		IV		139		75	2.650	
2007-2008	Σ5-16	I	04-12-2007 (13)	143	143	85	3.560	3.720
		II		143		80	4.120	
		III		142		80	3.760	
		IV		142		85	3.440	
	Σ6-16	I	05-12-2007 (13)	142	142	80	3.730	3.765
		II		142		85	4.090	
		III		142		80	3.470	
		IV		143		85	3.770	
	Σ2-24	I	07-12-2007 (14)	142	141	85	4.160	4.195
		II		142		85	4.120	
		III		142		85	4.420	
		IV		141		80	4.080	
	Σ1-24	I	08-12-2007 (14)	140	139	80	3.340	3.995
		II		139		85	4.340	
		III		139		85	4.100	
		IV		139		80	4.200	
2008-2009	Σ5-16	I	16-12-2008 (14)	142	143	80	2.530	2.650
		II		143		80	2.830	
		III		142		75	2.570	
		IV		143		80	2.670	

Πίνακας 3.6 - Παρατηρήσεις αγρού για την ποικιλία Mexicali.

Καλλιεργητική περίοδος	Πειραματικό τεμάχιο	Επαν/ψεις	Ημερομηνία εμφάνισης αρτίβλαστου	Βλαστική περίοδος (DAS)		Ύψος φυτών (cm)	Απόδοση καρπού (kg/ha)	
				Επαν/εων	μ.ο.		Επαν/εων	μ.ο.
2003-2004	Σ8-16	I	08-01-2004 (22)	133	133	90	4.980	4.985
		II		133		90	5.330	
		III		133		95	4.860	
		IV		133		95	4.770	
2004-2005	Σ1-24	I	08-12-2004 (12)	146	146	80	2.040	2.120
		II		146		75	2.340	
		III		147		65	2.120	
		IV		145		75	1.980	
	Σ8-16	I	18-01-2005 (29)	131	131	65	1.260	1.260
		II		130		70	1.240	
		III		131		65	1.220	
		IV		130		65	1.320	
	Σ4-16	I	18-01-2005 (29)	128	129	70	1.380	1.230
		II		129		65	1.260	
		III		129		70	1.240	
		IV		130		60	1.040	
2005-2006	Σ1-24	I	03-12-2005 (17)	155	156	100	4.380	4.615
		II		155		105	4.800	
		III		155		95	4.680	
		IV		159		100	4.600	
	Σ5-16	I	29-12-2005 (20)	140	140	90	2.050	2.320
		II		141		90	2.590	
		III		140		80	2.130	
		IV		139		90	2.510	
	Σ6-16	I	05-01-2006 (22)	136	137	95	2.140	2.200
		II		138		90	2.180	
		III		137		85	2.380	
		IV		136		90	2.100	
2006-2007	Σ5-16	I	10-12-2006 (12)	139	137	80	1.940	2.585
		II		136		80	2.840	
		III		137		85	2.950	
		IV		136		85	2.610	
	Σ6-16	I	10-12-2006 (11)	136	136	80	2.340	2.385
		II		134		80	2.480	
		III		137		85	2.000	
		IV		136		80	2.720	
2007-2008	Σ5-16	I	04-12-2007 (13)	142	140	95	3.530	3.470
		II		139		90	3.390	
		III		140		90	3.490	
		IV		139		90	3.470	
	Σ6-16	I	05-12-2007 (13)	141	140	90	3.450	3.540
		II		140		90	3.460	
		III		140		90	3.700	
		IV		139		85	3.550	
	Σ2-24	I	07-12-2007 (14)	139	139	90	4.460	4.400
		II		139		90	4.420	
		III		139		90	4.560	
		IV		139		85	4.160	
	Σ1-24	I	08-12-2007 (14)	137	137	85	3.340	3.830
		II		137		90	4.220	
		III		137		90	3.960	
		IV		137		85	3.800	
2008-2009	Σ5-16	I	16-12-2008 (14)	138	138	85	2.540	2.775
		II		138		80	2.890	
		III		138		80	2.880	
		IV		138		85	2.790	

Πίνακας 3.7 - Παρατηρήσεις αγρού για την ποικιλία Σίφνος.

Καλλιεργητική περίοδος	Πειραματικό τεμάχιο	Επαν/ψεις	Ημερομηνία εμφάνισης αρτίβλαστου	Βλαστική περίοδος (DAS)		Ύψος φυτών (cm)	Απόδοση καρπού (kg/ha)	
				Επαν/εων	μ.ο.		Επαν/εων	μ.ο.
2003-2004	Σ8-16	I	08-01-2004 (22)	134	133	95	4.990	5.040
		II		133		95	4.660	
		III		133		95	5.890	
		IV		132		95	4.620	
2004-2005	Σ1-24	I	08-12-2004 (12)	147	148	80	1.820	1.875
		II		149		80	1.760	
		III		149		70	1.880	
		IV		147		75	2.040	
	Σ8-16	I	18-01-2005 (29)	131	130	70	1.080	1.155
		II		129		75	1.250	
		III		133		65	1.110	
		IV		131		70	1.180	
	Σ4-16	I	18-01-2005 (29)	131	130	65	1.350	1.215
		II		130		70	1.210	
		III		131		65	1.160	
		IV		132		65	1.140	
2005-2006	Σ1-24	I	03-12-2005 (17)	156	156	105	4.720	4.790
		II		156		105	4.560	
		III		155		100	5.140	
		IV		157		110	4.740	
	Σ5-16	I	29-12-2005 (20)	143	141	95	2.550	2.605
		II		140		95	2.450	
		III		141		95	2.470	
		IV		140		95	2.950	
	Σ6-16	I	05-01-2006 (22)	136	137	95	1.910	2.080
		II		138		90	2.010	
		III		137		90	2.370	
		IV		137		95	2.030	
2006-2007	Σ5-16	I	10-12-2006 (12)	139	136	90	1.930	2.595
		II		136		85	2.930	
		III		135		90	3.120	
		IV		134		85	2.400	
	Σ6-16	I	10-12-2006 (11)	136	135	85	2.550	2.910
		II		133		90	2.930	
		III		135		85	3.160	
		IV		136		85	3.000	
2007-2008	Σ5-16	I	04-12-2007 (13)	141	141	95	3.500	3.505
		II		140		90	3.680	
		III		141		95	3.410	
		IV		142		85	3.430	
	Σ6-16	I	05-12-2007 (13)	141	140	95	3.430	3.405
		II		140		95	3.750	
		III		139		95	3.160	
		IV		139		90	3.280	
	Σ2-24	I	07-12-2007 (14)	139	139	95	3.760	3.980
		II		137		85	3.660	
		III		140		95	4.260	
		IV		139		90	4.240	
	Σ1-24	I	08-12-2007 (14)	139	138	90	3.580	3.865
		II		138		90	4.000	
		III		138		90	4.020	
		IV		137		90	3.860	
2008-2009	Σ5-16	I	16-12-2008 (14)	140	139	90	2.930	2.870
		II		138		85	2.710	
		III		139		85	3.010	
		IV		139		85	2.830	

3.6 Κλιματολογικά δεδομένα

Το κλίμα της περιοχής Θεσσαλονίκης μπορεί να θεωρηθεί μεσογειακό, με φανερή την ηπειρωτική επίδραση κατά τις διάφορες εποχές. Η θερμοκρασία παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές της τον Ιούλιο και τις μικρότερες τον Ιανουάριο. Το ετήσιο θερμομετρικό εύρος υπερβαίνει τους 20 °C. Χαρακτηριστικές είναι οι ήπιες και ηλιόλουστες ημέρες, που παρατηρούνται περίπου στα μέσα του χειμώνα, ο σχετικά μεγάλος αριθμός θερινών και τροπικών ημερών και η ελάττωση των βροχών το καλοκαίρι. Το χιόνι είναι σχετικά σπάνιο φαινόμενο. Ως προς τους ανέμους, τον χειμώνα επικρατούν οι βόρειοι, που έρχονται από την κοιλάδα του Αξιού (Βαρδάρης), και λιγότερο οι δυτικοί, την άνοιξη γίνονται συχνότεροι οι νοτιοδυτικοί (θαλάσσιες αύρες), το καλοκαίρι δεσπόζουν οι βόρειοι και οι νοτιοδυτικοί, που οφείλονται οι πρώτοι στο ρεύμα των ετησίων και οι δεύτεροι στη θαλάσσια αύρα, ενώ τον Σεπτέμβριο ελαττώνονται οι νοτιοδυτικοί και από τον Νοέμβριο κυριαρχούν πάλι οι βόρειοι και οι δυτικοί.

Οι μετεωρολογικές παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν στην εφαρμογή του μοντέλου είναι η ημερήσια μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία, το ύψος βροχής και η ηλιακή ακτινοβολία. Οι παράμετροι αυτές απεικονίζονται παρακάτω στα διαγράμματα των Σχημάτων 3.4, 3.5, 3.6 και 3.7, αντίστοιχα. Τα διαγράμματα απεικονίζουν τις μηνιαίες μεταβολές των μεταβλητών για κάθε καλλιεργητική περίοδο από το Νοέμβριο μέχρι τον Ιούλιο και ταυτόχρονα αντιπαραβάλλονται οι μηνιαίες τιμές των αντίστοιχων παραμέτρων για την τριακονταετία 1961-1990. Τα μετεωρολογικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για να συνθέσουμε τη χρονοσειρά, που χρησιμοποιήθηκε κατά την αξιολόγηση του μοντέλου, προέρχονται από τον μετεωρολογικό σταθμό του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (Α.Π.Θ.) στο αγρόκτημα που γειτνιάζει με τον πειραματικό αγρό ενώ ελλείψεις τιμών συμπληρώθηκαν από το μετεωρολογικό σταθμό της εταιρίας 3D S.A. που βρίσκεται στην περιοχή Ντεπό και το μετεωρολογικό σταθμό του Α.Π.Θ..

3.6.1 Θερμοκρασία

Η μέση θερμοκρασία του αέρα κατά την περίοδο μελέτης κυμάνθηκε γύρω στους 16 °C. Οι ελάχιστες μηνιαίες θερμοκρασίες για κάθε καλλιεργητική περίοδο όπως παρατηρούμε από τα διαγράμματα του Σχήματος 3.4, παρουσιάζουν, γενικά, την ίδια πορεία με αυτή της περιόδου 1961-1990. Συγκεκριμένα, παρατηρείται μια

πτώση της τιμής από το Νοέμβριο προς τον Ιανουάριο και Φεβρουάριο οπότε και εμφανίζονται οι μικρότερες τιμές και στη συνέχεια αυξάνει σταδιακά μέχρι και το τέλος της καλλιεργητικής περιόδου, το μήνα Ιούνιο. Μοναδική εξαίρεση αποτελεί η περίοδος 2009-2010 όπου ο χειμώνας εμφανίζει υψηλότερες ελάχιστες μηνιαίες θερμοκρασίες από το Νοέμβριο. Επίσης, θα πρέπει να σημειωθεί ότι η ελάχιστη θερμοκρασία για τις περιόδους 2003-2004, 2004-2005, 2005-2006 και 2006-2007 παρουσιάζει χαμηλότερες τιμές από την περίοδο 1961-1990. Τέλος, οι περίοδοι 2007-2008 και 2008-2009 παρουσιάζουν τιμές πολύ κοντά στις τιμές της περιόδου αναφοράς.

Όσον αφορά τις μέγιστες μηνιαίες θερμοκρασίες των μελετώμενων περιόδων, η σύγκριση με τις μέσες τιμές της περιόδου 1961-1990, στα γραφήματα του Σχήματος 3.5, δείχνει μια ταύτιση της πορείας των τιμών από το μήνα Νοέμβριο μέχρι και τον Ιούνιο. Οι περίοδοι 2003-2004, 2004-2005, 2005-2006, 2008-2009 και 2009-2010 εμφανίζουν τιμές μέγιστης θερμοκρασίας παρόμοιες με αυτές της περιόδου αναφοράς. Μεγαλύτερες τιμές παρατηρήθηκαν για τις περιόδους 2006-2007 και 2007-2008. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο Ιανουάριος του 2007 είναι ο θερμότερος της μελετώμενης περιόδου.

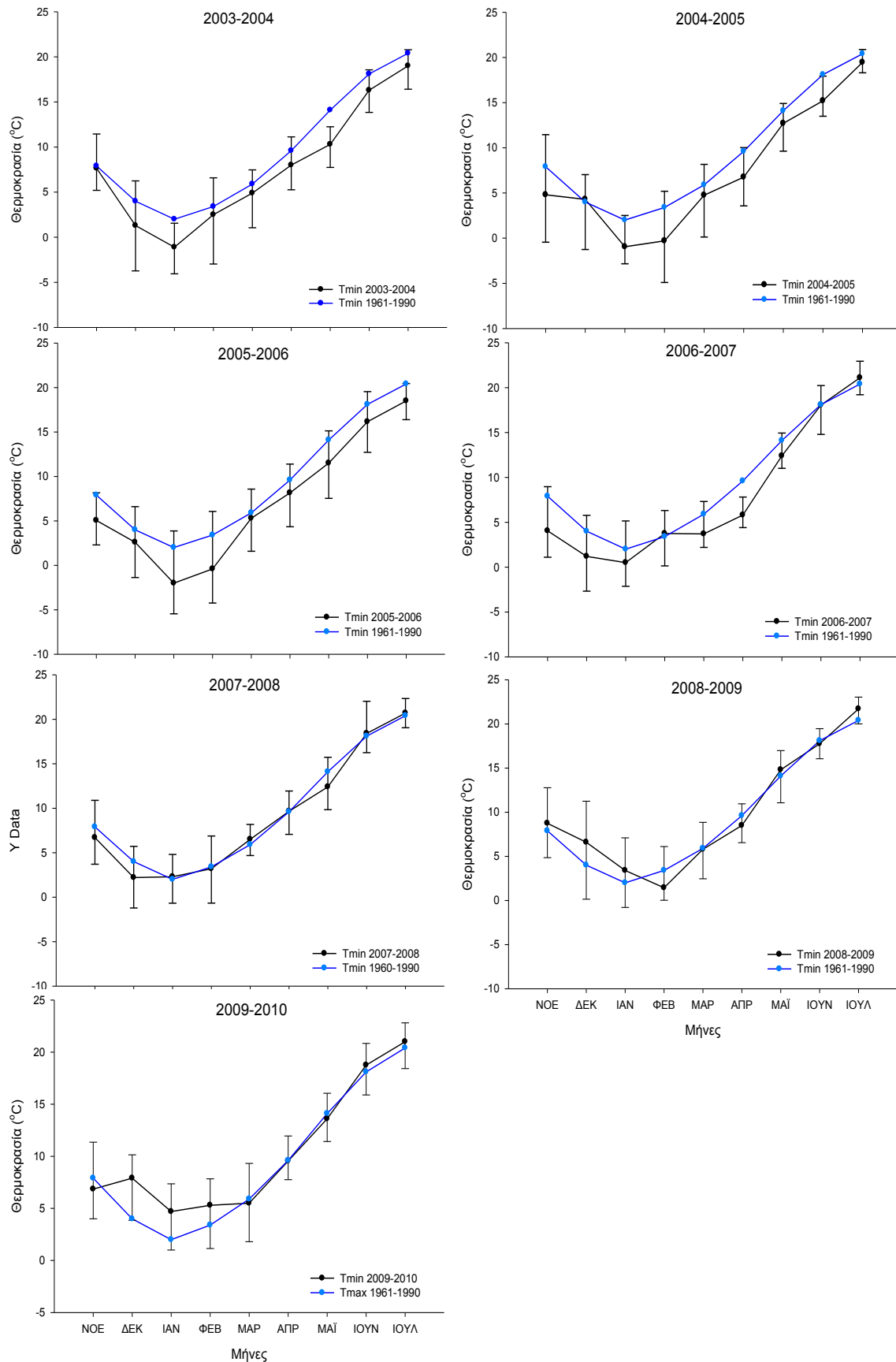
3.6.2 Ύψος Βροχής

Το ετήσιο ύψος βροχής της μελετώμενης περιοχής για την περίοδο μελέτης κυμάνθηκε μεταξύ 379 mm το 2008 και 784 mm το 2003. Αντίστοιχα το μέσο ύψος βροχής για την περιοχή της Θεσσαλονίκης την τριακονταετία 1961-1990 είναι 466 mm. Συγκεκριμένα, την καλλιεργητική περίοδο 2003-2004 παρατηρήθηκαν ακραία μηνιαία ύψη βροχής σε σχέση με την περίοδο αναφοράς. Τους μήνες Νοέμβριο, Δεκέμβριο και Ιανουάριο τα ύψη ήταν πολλαπλάσια του μέσου όρου της τριακονταετίας ενώ τους μήνες Φεβρουάριο, Μάρτιο, Ιούνιο και Ιούλιο τα ύψη βροχής ήταν πολύ μικρά. Την περίοδο 2004-2005 παρατηρήθηκαν πολύ χαμηλά ύψη βροχής τους μήνες Δεκέμβριο, Ιανουάριο και Απρίλιο ενώ πολύ υψηλά, σε σχέση με τα μηνιαία ύψη βροχής της περιόδου 1961-1990, την κρίσιμη περίοδο πριν τη συγκομιδή δηλαδή το Μάιο. Την περίοδο 2005-2006 τα μηνιαία ύψη βροχής είναι πολύ κοντά στα ύψη βροχής της περιόδου αναφοράς με εξαίρεση τον μήνα Ιούνιο όπου το ύψος ήταν τριπλάσιο. Την επόμενη καλλιεργητική περίοδο (2006-2007) επίσης παρατηρείται ασυμφωνία μεταξύ των μηνιαίων τιμών του ύψους βροχής της

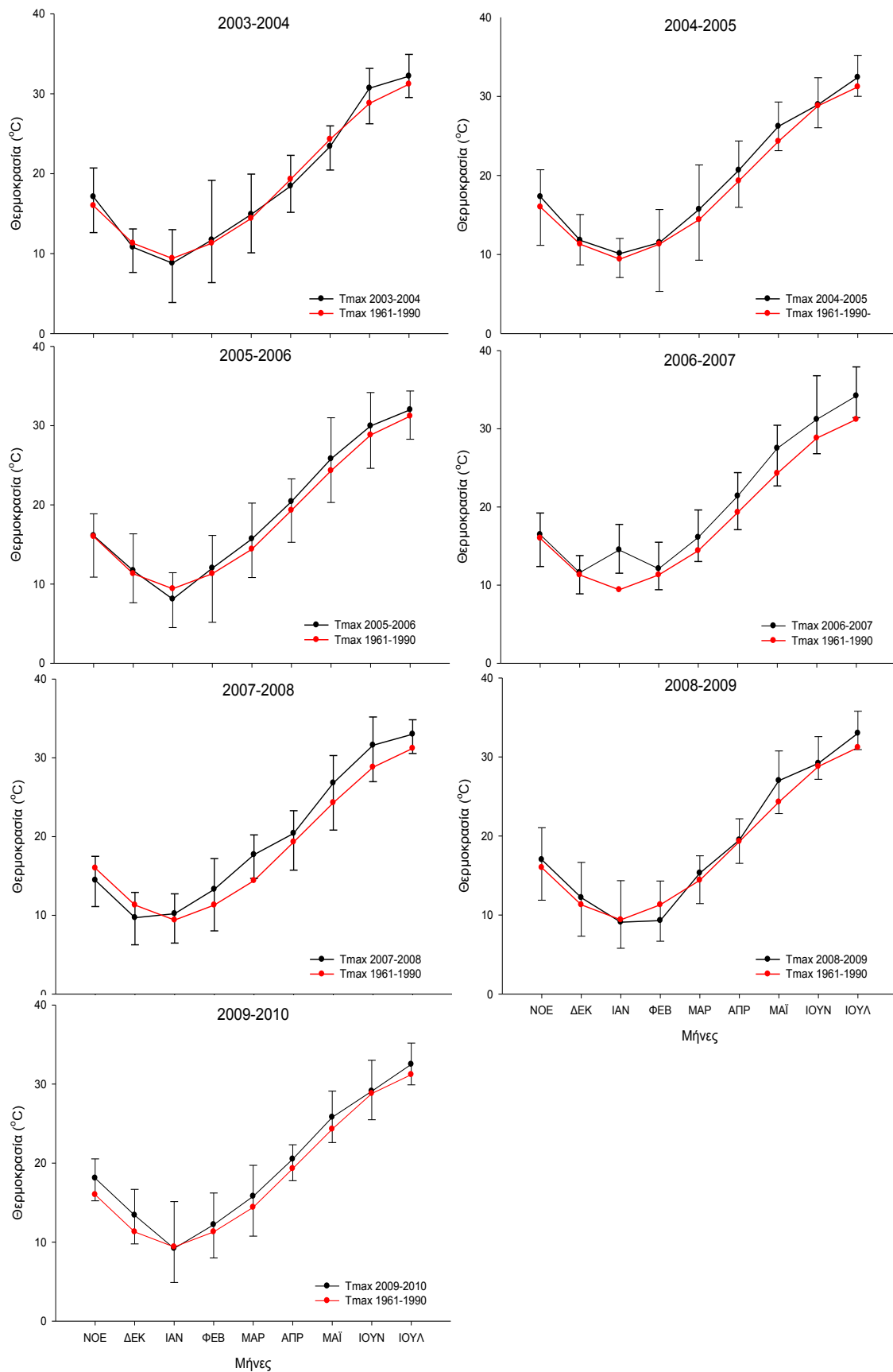
περιόδου με τις αντίστοιχες της περιόδου αναφοράς με μικρότερα ποσά τους μήνες Νοέμβριο, Ιανουάριο, και Απρίλιο και μεγαλύτερα ποσά τους μήνες Μάιο και Ιούνιο. Την περίοδο 2007-2008, τα μηνιαία ύψη βροχής είναι πολύ μικρότερα σε σχέση με τα αντίστοιχα της τριακονταετίας 1961-1990, με εξαίρεση τον Απρίλιο που παρατηρήθηκε διπλάσιο ύψος βροχής. Επίσης, ακραίες τιμές σε σύγκριση με την περίοδο αναφοράς παρατηρήθηκαν και την περίοδο 2008-2009. Ελάχιστη ποσότητα βροχής μετρήθηκε τους μήνες Νοέμβριο και Φεβρουάριο. Υψηλότερα από τα ύψη βροχής της περιόδου 1961-1990 παρατηρήθηκαν τους μήνες Δεκέμβριο και Ιανουάριο. Τέλος για την καλλιεργητική περίοδο 2009-2010 παρατηρήθηκαν ιδιαίτερα υψηλά ποσά βροχής τους μήνες Δεκέμβριο, Φεβρουάριο και Ιούλιο και πολύ χαμηλά τον Ιανουάριο και τον Απρίλιο σε σχέση με τα αντίστοιχα ποσά βροχής της περιόδου αναφοράς.

3.6.3 Ηλιακή ακτινοβολία

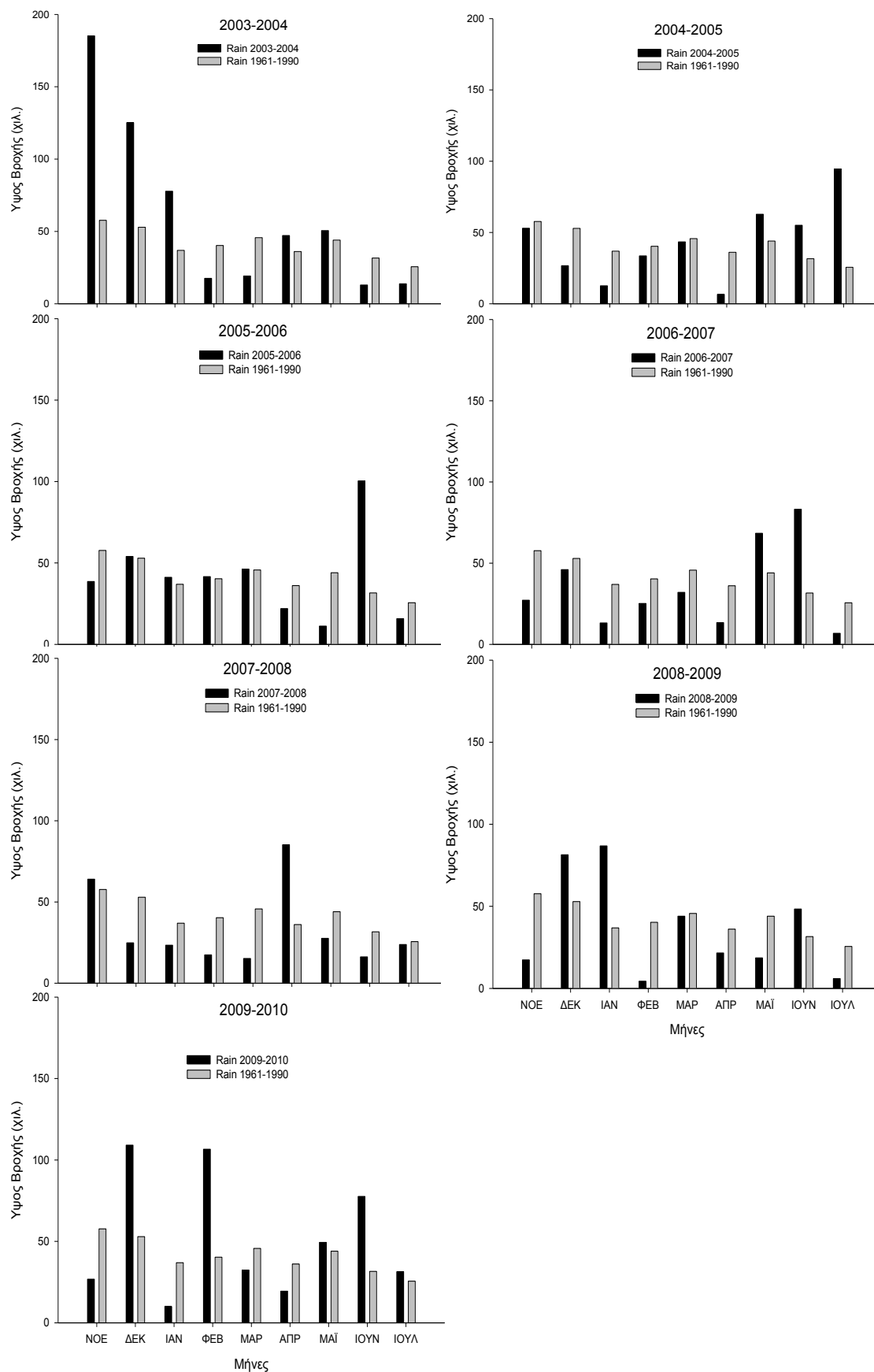
Τέλος, η ηλιακή ακτινοβολία, που μετρήθηκε τους μήνες των μελετώμενων καλλιεργητικών περιόδων, συγκρινόμενη με τις μέσες τιμές της παραμέτρου κατά τους αντίστοιχους μήνες της περιόδου 1961-1990 (Σχήμα 3.7), εμφανίζει γενικά παρόμοια πορεία με την περίοδο αναφοράς, κινούμενη πτωτικά από το Νοέμβριο προς τον Φεβρουάριο ακολουθώντας στην συνέχεια ανοδική πορεία μέχρι τον Ιούλιο. Χαρακτηριστική είναι η ομοιότητα της περιόδου 2005-2006 με την περίοδο αναφοράς. Για την καλλιεργητική περίοδο 2003-2004, η ηλιακή ακτινοβολία παρουσιάζει τιμές μικρότερες της περιόδου 1961-1990 κατά τους μήνες Νοέμβριο και Απρίλιο ενώ μεγαλύτερες κατά τους μήνες Φεβρουάριο, Ιούνιο και Ιούλιο. Τις περιόδους 2004-2005, 2007-2008, 2008-2009 και 2009-2010 μετρήθηκαν μεγαλύτερα ποσά ηλιακής ακτινοβολίας από την περίοδο 1961-1990 για όλους τους μήνες εκτός από τον μήνα Δεκέμβριο και Ιανουάριο, όπου η τιμή είναι ελαφρώς χαμηλότερη. Τέλος, την περίοδο 2006-2007 μια έντονα ανοδική πορεία της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τους μήνες Δεκέμβριο και Ιανουάριο που ακολουθείται από την πτώση της τιμής στη συνέχεια τον μήνα Φεβρουάριο. Η πορεία των τιμών της ηλιακής ακτινοβολίας για τους επόμενους μήνες της περιόδου ακολουθεί την πορεία της περιόδου αναφοράς με σχετικά μεγαλύτερες τιμές. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η μέση ημερήσια ακτινοβολία την περίοδο μελέτης είναι 15MJ/m^2 .



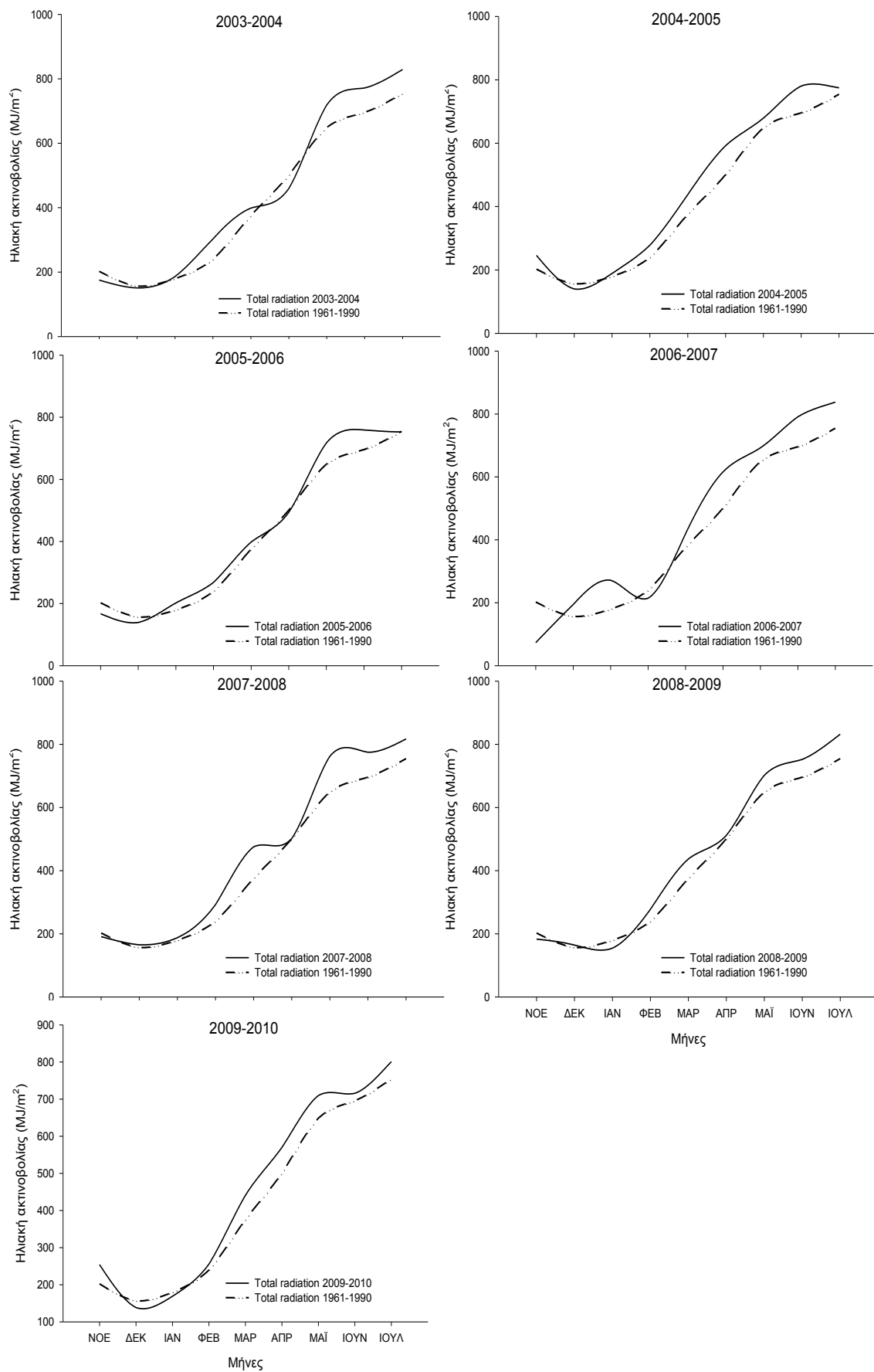
Σχήμα 3.4 - Μηνιαία μεταβολή της ελάχιστης θερμοκρασίας αέρα (°C) κατά τις μελετώμενες καλλιεργητικές περιόδους (μαύρη γραμμή). Οι κάθετες μπάρες απεικονίζουν την τυπική απόκλιση των τιμών από το μέσο όρο. Μηνιαία μεταβολή της μέσης μέγιστης θερμοκρασίας της περιόδου 1961-1990 (γαλάζια γραμμή).



Σχήμα 3.5 - Μηνιαία μεταβολή της μέγιστης θερμοκρασίας αέρα (°C) κατά τις μελετώμενες καλλιεργητικές περιόδους (μαύρη γραμμή). Οι κάθετες μπάρες απεικονίζουν την τυπική απόκλιση των τιμών από το μέσο όρο. Μηνιαία μεταβολή της μέσης μέγιστης θερμοκρασίας της περιόδου 1961-1990 (κόκκινη γραμμή).



Σχήμα 3.6 - Μεταβολή του μηνιαίου ύψους βροχής κατά τις μελετώμενες καλλιεργητικές περιόδους (μαύρη ράβδος) και μηνιαία μεταβολή την μηνιαίας βροχής της 30ετίας 1961-1990(γκρι ράβδος).



Σχήμα 3.7 - Η μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία κατά τις μελετώμενες καλλιεργητικές περιόδους (μαύρη γραμμή) και η μέση μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία της 30ετίας 1961-1990(διακεκομμένη γραμμή).

3.7 Στατιστική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του μοντέλου

Το σημαντικότερο κομμάτι στην εφαρμογή ενός μοντέλου είναι η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του. Ο έλεγχος της ποιότητας των αποτελεσμάτων γίνεται με τον υπολογισμό και την εκτίμηση του σφάλματος. Υπάρχουν πολλά μέτρα εκτίμησης του σφάλματος στη βιβλιογραφία. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν τα στατιστικά κριτήρια που αναφέρονται στη συνέχεια. Η επιλογή αυτού του συνδυασμού κριτηρίων βασίστηκε στο γεγονός ότι έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως σε εργασίες που πραγματεύονται ίδιο θέμα διεθνώς (*Application and evaluation of the DSSAT-wheat in the Tiaret region of Algeria, W. Rezzoug κ.α., 2008 - Evaluation of CERES-Wheat and CropSyst models for water–nitrogen interactions in wheat crop, Anil Kumar Singh κ.α., 2008.*).

3.7.1 Σφάλμα πρόβλεψης

Το σφάλμα πρόβλεψης E είναι η απλή διαφορά ανάμεσα στην πραγματική μετρήσιμη τιμή της μεταβλητής και στην υπολογισμένη τιμή από το ομοίωμα:

$$E_i = P_i - O_i$$

Όπου P_i είναι οι προσομοιωμένες τιμές και O_i είναι οι παρατηρούμενες τιμές αγρού.

3.7.2 Ο Συντελεστής Προσδιορισμού, R^2 , (Coefficient of Determination)

Ο συντελεστής προσδιορισμού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δείξει τη γραμμική συσχέτιση μεταξύ των παρατηρούμενων τιμών και των υπολογιζόμενων τιμών και εκφράζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}) (P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \right)^2$$

Όπου P_i είναι οι προσομοιωμένες και O_i είναι οι παρατηρούμενες τιμές αγρού. Σύμφωνα με την βιβλιογραφία για τιμές μεταξύ 0 και 0,3 η συσχέτιση χαρακτηρίζεται μικρή, για τιμές από 0,3 έως 0,5 χαρακτηρίζεται χαμηλή, από 0,5 έως 0,7 χαρακτηρίζεται μέτρια, για τιμές από 0,7 έως 0,9 ισχυρή και για τιμές από 0,9 έως 1 πολύ ισχυρή (Hinkle κ.α., 1994).

3.7.3 Μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα, MAPE (Mean Absolute Percentage Error)

Το μέσο απόλυτο εκατοστιαίο σφάλμα για ένα σύνολο δεδομένων (L) είναι η μέση τιμή του απόλυτου εκατοστιαίου σφάλματος πρόβλεψης σε όλα τα παραδείγματα του συνόλου L (Schaeffer, 1980):

$$MAPE = \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^n \left(\left| \frac{O_i - P_i}{O_i} \right| \right) 100 \right]$$

3.7.4 Μέσο Σφάλμα, MBE (Mean Bias Error)

Το μέσο σφάλμα, MBE, δίνει πληροφορίες για τη μακροπρόθεσμη απόδοση των συσχετίσεων, επιτρέποντας μια σύγκριση μεταξύ της απόκλισης των παρατηρούμενων και των υπολογιζόμενων τιμών μίας προς μία. Παίρνει θετικές και αρνητικές τιμές. Η ιδανική του τιμή είναι το μηδέν. Το αρνητικό στοιχείο στην αξιοπιστία του είναι ότι μια υποεκτίμηση σε μία τιμή μπορεί να εξισορροπήσει μία υπερεκτίμηση σε μία άλλη τιμή, ώστε το αποτέλεσμα να μην είναι το σωστό. Το μέσο σφάλμα MBE δίνεται από την εξίσωση (Addiscott and Whitmore, 1987):

$$MBE = \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^n (P_i - O_i) \right]$$

3.7.5 Ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος, RMSE (Root Mean Square Error)

Υπολογίζεται από την εξίσωση (Fox, 1981)

$$RMSE = \left[\left(\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 \right) / n \right]^{0.5}$$

Δίνει πληροφορίες για την άμεση απόδοση των συσχετίσεων. Η τιμή του είναι θετική με ιδανική τιμή το μηδέν. Το αρνητικό στοιχείο στον υπολογισμό αυτού του στατιστικού δείκτη, είναι ότι η ύπαρξη μικρού αριθμού σφαλμάτων μπορεί να αυξήσει εύκολα την τιμή του.

Κεφάλαιο 4

Αξιολόγηση του Μοντέλου CERES-Wheat

4.1 Εισαγωγή

Σκοπός του παρόντος κεφαλαίου είναι η ερευνήσει την ικανότητα του μοντέλου *CERES-Wheat* να προσομοιώνει την ανάπτυξη και την τελική ποσότητα παραγωγής του σκληρού σίτου στην περιοχή της Θέρμης του νομού Θεσσαλονίκης, ώστε να αποτελέσει ένα αξιόπιστο διαχειριστικό σύστημα που θα επιτρέψει την αύξηση της στρεμματικής απόδοσης και τη βελτίωση της ποιότητας της παραγωγής μελλοντικά.

Για το λόγο αυτό, τα δεδομένα των πειραματικών αγρών (2003-2010) διαιρέθηκαν σε δυο υποσύνολα. Το ένα από αυτά (καλλιεργητικές περίοδοι 2004-2005, 2005-2006 και 2009-2010) χρησιμοποιήθηκε για τη βαθμονόμηση (calibration) του μοντέλου, ώστε να προσδιοριστούν οι γενετικές παράμετροι (genetic coefficients) που χαρακτηρίζουν κάθε ποικιλία. Η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό αυτών των παραμέτρων ήταν παραπλήσια με αυτή που χρησιμοποιήθηκε σε πολλές άλλες μελέτες (Jones κ.α., 1991, Iglesias A., 2006, Timsina κ.α., 2006). Στη συνέχεια, αξιολογήθηκε η ικανότητα του μοντέλου να αναπαραγάγει τα πειραματικά δεδομένα (καλλιεργητικές περίοδοι 2003-2004, 2006-2007, 2007-2008 και 2008-2009) που δεν χρησιμοποιήθηκαν στο πρώτο στάδιο (validation). Επιπλέον, το μοντέλο αξιολογήθηκε για το σύνολο των πειραματικών δεδομένων. Οι γενετικές παράμετροι συγκρίθηκαν με άλλες που χρησιμοποιήθηκαν στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου και υπάρχουν στη βιβλιογραφία. Τέλος, εξετάστηκε η ευαισθησία του μοντέλου CERES-Wheat σχετικά με το έδαφος, το κλίμα, την ποικιλία και την ημερομηνία που πραγματοποιήθηκε η σπορά, εξετάζοντας το σύνολο των αποτελεσμάτων και για τις τρεις ποικιλίες που μελετώνται στην παρούσα εργασία.

Η ακρίβεια των αποτελεσμάτων της εφαρμογής του μοντέλου στην προσομοίωση του βιολογικού κύκλου και της απόδοσης του σκληρού σίτου αξιολογήθηκε με την χρήση στατιστικών κριτηρίων (το σφάλμα πρόβλεψης, τον συντελεστή προσδιορισμού R^2 , το μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα MAPE, το μέσο σφάλμα MBE και την ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος RMSE) που αναφέρθηκαν στο Κεφάλαιο 3, μεταξύ των μετρημένων και των υπολογισμένων τιμών για τις ημέρες ξεσταχύσματος και την παραγωγή.

4.2 Αρχικές Συνθήκες - Υποθέσεις

Στην εφαρμογή του μοντέλου το έδαφος θεωρήθηκε ομογενές και ισότροπο, ως προς τις οριζόντιες διευθύνσεις και διαστρωμένο ως προς την κατακόρυφη. Στο κάτω όριο του εδαφικού προφίλ, το έδαφος στραγγίζει ελεύθερα. Το μέγιστο μήκος των ριζών κατακόρυφα θεωρήθηκε στα 60 cm, ενώ το βάθος σποράς κυμάνθηκε από 3 έως 5 cm.

Οι αρχικές συνθήκες υγρασίας του εδάφους για κάθε καλλιεργητική περίοδο προσδιορίστηκαν σύμφωνα με το παρακάτω σκεπτικό. Για τα πρώτα 15 cm η υγρασία του εδάφους θεωρήθηκε ότι ήταν αυτή που επέτρεψε, κατά την εφαρμογή του μοντέλου, να πραγματοποιηθεί η εμφάνιση του αρτίβλαστου την ίδια ημερομηνία με αυτή που παρατήθηκε στον αγρό. Για τα βάθη κάτω από τα 15 cm οι αρχικές συνθήκες υγρασίας υπολογίστηκαν με την εφαρμογή του CERES-Wheat για μια χρονική περίοδο πριν την σπορά κάθε καλλιεργητικής περιόδου για κατάσταση αγρανάπαυσης. Η αρχική ημερομηνία της εκάστοτε περιόδου επιλέχθηκε μετά από μια ξηρή ακολουθία που θεωρητικά μείωσε την ποσότητα υγρασίας στο όριο του σημείου μόνιμης μάρανσης.

4.3 Βαθμονόμηση του μοντέλου CERES-Wheat

Η βαθμονόμηση ή ρύθμιση μοντέλου (calibration) είναι μια διαδικασία προσαρμογής των παραμέτρων του, ώστε τα συνθετικά αποτελέσματα που δίνει να συγκλίνουν σταδιακά με τις αντίστοιχες μετρήσεις και το μοντέλο να αναπαριστά όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστικά, τα χαρακτηριστικά στάδια ανάπτυξης (ημέρες ξεσταχύσματος, άνθησης και πλήρωσης κόκκου), το μέσο βάρος 1000 κόκκων και τη συνολική ποσότητα συγκομιδής των ποικιλιών σιταριού. Δεν πρόκειται απλώς για εμπειρική, εκ των προτέρων εκτίμηση των παραμέτρων, αλλά για εφαρμογή

συστηματικής διαδικασίας προσαρμογής της τιμής τους στα δεδομένα αγρού. Αυτή η συστηματική διαδικασία απαιτεί όσο το δυνατόν περισσότερες δοκιμές, ώστε να είναι δυνατός ο έλεγχος των αποτελεσμάτων με τα πραγματικά δεδομένα.

Για τη βαθμονόμηση του μοντέλου και τον προσδιορισμό των γενετικών συντελεστών κάθε ποικιλίας χρησιμοποιήθηκαν οι καλλιεργητικές περίοδοι 2004-2005, 2005-2006 και 2009-2010. Η επιλογή της καλλιεργητικής περιόδου 2009-2010 έγινε λόγω του ότι τότε πραγματοποιήθηκαν οι περισσότερες παρατηρήσεις αγρού (εμφάνιση αρτίβλαστου, ξεστάχυσμα, άνθηση, έναρξη πλήρωσης, φυσιολογική ωρίμανση κόκκου, βάρος 1000 κόκκων και συνολική ποσότητα συγκομιδής) γεγονός που επιτρέπει την αποτελεσματικότερη βαθμονόμηση του μοντέλου. Παράλληλα, η επιλογή των δυο επιπλέον καλλιεργητικών περιόδων στη διαδικασία βαθμονόμησης του μοντέλου ήταν τυχαία και ενσωματώνει την παραλλακτικότητα των κλιματικών παραμέτρων και του εδάφους στον προσδιορισμό των γενετικών παραμέτρων.

Η βαθμονόμηση του μοντέλου πραγματοποιήθηκε σε δύο στάδια. Στο πρώτο από αυτά αναλύθηκε ο βαθμός ευαισθησίας της καλλιέργειας στις αλλαγές των γενετικών παραμέτρων που σχετίζονται με τα φαινολογικά στάδια της καλλιέργειας (P1V, P1D, P5). Στο σημείο αυτό έγινε σύγκριση μεταξύ των υπολογισμένων ημερομηνιών για το ξεστάχυσμα, την άνθηση, την έναρξη πλήρωσης και την ωρίμανση του κόκκου και των παρατηρούμενων ημερομηνιών για την περίοδο 2009-2010. Ταυτόχρονα, πραγματοποιήθηκε σύγκριση μεταξύ των υπολογισμένων ημερομηνιών ξεσταχύσματος με αυτές των παρατηρούμενων για τις περιόδους 2004-2005 και 2005-2006.

Η εφαρμογή διαφορετικών συνδυασμών των γενετικών συντελεστών έδειξε ότι οι υπολογισμένες ημερομηνίες για κάθε φαινολογικό στάδιο ανάπτυξης, και ως εκ τούτου και ο αριθμός των ημερών που είναι απαραίτητος για την αύξηση της βιομάζας, εξαρτάται άμεσα από το συντελεστή φωτοπεριόδου (P1D). Ο βαθμός ευαισθησίας των προβλεπόμενων φαινολογικών σταδίων στις αλλαγές του συντελεστή εαρινοποίησης (P1V), είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με την τιμή του συντελεστή φωτοπεριόδου (P1D). Επίσης, για ένα συγκεκριμένο συνδυασμό P1D και P5, η φυσιολογική ωρίμανση είναι περισσότερο ευαίσθητη σε αυξήσεις του P1V από την ημερομηνία άνθησης. Είναι, περαιτέρω, σημαντικό να ειπωθεί ότι για καθορισμένες τιμές του P1D υπάρχει ένα προφανές κατώφλι για το P1V. Επίσης, ο

συντελεστής P5 που σχετίζεται με τη διάρκεια του γεμίσματος κόκκου δεν έχει καμία επίδραση στην ημερομηνία άνθησης. Η αύξηση του συντελεστή P5 αυξάνει τη διάρκεια του γεμίσματος του κόκκου.

Μετά τον προσδιορισμό των γενετικών συντελεστών που σχετίζονται με τα φαινολογικά στάδια του σκληρού σίτου, και ως εκ τούτου του αριθμού των ημερών που απαιτούνται για την πλήρωση του κόκκου, προσδιορίστηκαν οι τιμές των γενετικών παραμέτρων που αντιπροσωπεύουν το πιθανό βάρος του κόκκου και την τελική παραγόμενη ποσότητα καρπού της καλλιεργειας. Για τον προσδιορισμό των γενετικών συντελεστών έγινε σύγκριση των υπολογισμένων και των παρατηρούμενων τιμών για το βάρος χιλίων κόκκων την καλλιεργητική περίοδο 2009-2010 και για την παραγωγή για τις τρεις περιόδους.

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζεται ο προσδιορισμός των γενετικών παραμέτρων του μοντέλου για κάθε μελετώμενη ποικιλία σκληρού σίτου χωριστά.

4.3.1 Βαθμονόμηση του μοντέλου για την ποικιλία Simeto

Για την επιλογή του καταλληλότερου συνδυασμού γενετικών παραμέτρων πραγματοποιήθηκαν εφαρμογές μεγάλου αριθμού διαφορετικών συνδυασμών. Αυτός που προσέγγισε τις παρατηρούμενες τιμές καλύτερα από κάθε άλλο για την ποικιλία Simeto παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1 – Γενετικοί συντελεστές της ποικιλίας Simeto.

<u>P1V</u>	<u>P1D</u>	<u>P5</u>	<u>G1</u>	<u>G2</u>	<u>G3</u>	<u>PHINT</u>
62	37	560	14	56	2,1	90

Το CERES-Wheat αρχικά εφαρμόστηκε για την καλλιεργητική περίοδο 2009-2010. Βάσει των παραπάνω γενετικών παραμέτρων το μοντέλο εκτίμησε με ακρίβεια τις ημέρες ξεσταχύσματος, τις ημέρες άνθησης, έναρξης γεμίσματος και πλήρωσης κόκκου. Επίσης, το μοντέλο εκτίμησε σωστά το βάρος 1000 κόκκων, ενώ η τελική απόδοση καρπού ήταν κοντά στην μέση παρατηρούμενη τιμή. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης μαζί με τις παρατηρούμενες τιμές και το σφάλμα πρόγνωσης δίνονται στον Πίνακα 4.2.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η εφαρμογή του μοντέλου για τις τρεις καλλιεργητικές περιόδους που επιλέχθηκαν για την βαθμονόμηση του μοντέλου. Το

Πίνακας 4.2 – Προσομοιωμένες, παρατηρούμενες τιμές και σφάλμα πρόβλεψης για το ξεστάχυσμα, την άνθηση, την έναρξη πλήρωσης κόκκου, της φυσιολογικής ωρίμανσης του κόκκου, το βάρος χιλίων κόκκων και της παραγωγής για την καλλιεργητική περίοδο 2009-2010 της ποικιλίας Simeto.

	Τιμές		Σφάλμα Πρόβλεψης
	Παρατήρησης	Προσομοίωσης	
Ξεστάχυσμα (DAS)	152(±1,15)*	152	0,00
Άνθηση (DAS)	153(±0,95)*	153	0,00
Έναρξη πλήρωσης κόκκου(DAS)	156(±0,95)*	156	0,00
Φυσιολογική ωρίμανση(DAS)	187(±0,5)*	187	0,00
Βάρος χιλίων κόκκων (g)	52	52	0,00
Παραγωγή (kg/ha)	3.800(±39)*	3.812	+12
*Η τιμή μέσα στην παρένθεση δείχνει την τυπική απόκλιση			

ξεστάχυσμα όπως εκτιμήθηκε από το μοντέλο, ήταν πολύ κοντά στις παρατηρούμενες τιμές. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.1 από τη σύγκριση μεταξύ της ευθείας που εκφράζει τη γραμμική σχέση των εκτιμώμενων και παρατηρούμενων τιμών και της 1:1 γραμμής, το μοντέλο δείχνει μικρή υπερεκτίμηση για το ξεστάχυσμα, όταν αυτό απαιτεί για την εμφάνισή του λιγότερες από 154 ημέρες ενώ όταν απαιτούνται περισσότερες από 154 ημέρες, το μοντέλο υποεκτιμά το συγκεκριμένο στάδιο ανάπτυξης. Οι υπολογισμένες και παρατηρούμενες τιμές για το ξεστάχυσμα παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.4.

Η εφαρμογή του μοντέλου για την πρόγνωση της παραγόμενης ποσότητας σπόρου έδωσε αποτελέσματα που προσεγγίζουν τις παρατηρούμενες τιμές. Τα σφάλματα του μοντέλου βρίσκονται εντός της τυπικής απόκλισης με εξαίρεση το πειραματικό τεμάχιο Σ1-24 της καλλιεργητικής περιόδου 2005-2006. Τα αποτελέσματα των προγνώσεων του μοντέλου και των παρατηρούμενων τιμών για τη συνολική παραγωγή καρπού δίνονται στον Πίνακα 4.5. Το μέσο σφάλμα των πειραματικών δεδομένων είναι πολύ κοντά στο μηδέν. Καλή συσχέτιση μεταξύ παρατηρούμενων και εκτιμώμενων τιμών δείχνει και η γραφική σύγκριση αυτών, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.2.

Οι τιμές των στατιστικών κριτηρίων, που παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.3, επιβεβαιώνουν τα όσα συζητήθηκαν παραπάνω κατά τη σύγκριση των υπολογισμένων ημερών που απαιτούνται για το ξεστάχυσμα και της ποσότητας του παραγόμενου σπόρου με τις μετρημένες τιμές αυτών. Ο συντελεστής προσδιορισμού δείχνει πολύ ισχυρή συσχέτιση με τιμή μεγαλύτερη από 0,98 και για τις δυο

μελετώμενες παραμέτρους. Το σφάλμα του μοντέλου για το ξεστάχυσμα κυμαίνεται κάτω από το 1% ενώ για την παραγωγή περίπου 3,64 %. Ποσοτικά το μέσο σφάλμα όπως φαίνεται από το δείκτη RMSE είναι 1,8 ημέρες και 132 kg/ha για το ξεστάχυσμα και την παραγωγή καρπού, αντίστοιχα.

Πίνακας 4.3 – Στατιστικοί δείκτες για την αξιολόγηση του CERES-Wheat για την ποικιλία Simeto.

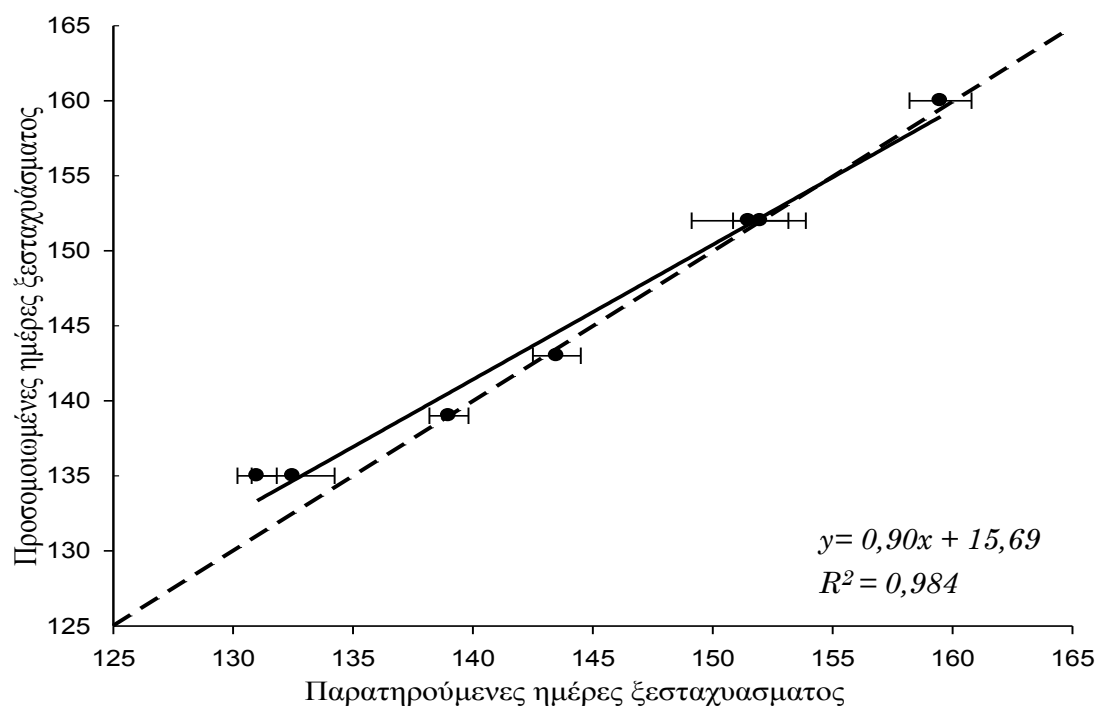
	P_{mean}	O_{mean}	n	$MAPE$	$RMSE$	MBE	R^2
Ξεστάχυσμα	145	144	7	0,85	1,81	1,00	0,984
Παραγωγή	2.379	2.402	7	3,64	131	-23,1	0,987

P_{mean} : μέση προβλεπόμενη τιμή (DAS και kg/ha), O_{mean} : μέση παρατηρούμενη τιμή (DAS και kg/ha), n : αριθμός παρατηρήσεων, $MAPE$: μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα (το % σφάλμα σε σχέση με την παρατηρούμενη τιμή), $RMSE$: ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (DAS και kg/ha), MBE : μέσο σφάλμα (DAS και kg/ha), R^2 : Συντελεστής προσδιορισμού.

Πίνακας 4.4 – Προσομοιωμένες και παρατηρούμενες τιμές του ξεσταχύσματος (βλαστική περίοδος) για τις καλλιεργητικές περιόδους 2004-2005, 2005-2006 και 2009-2010 της ποικιλίας Simeto.

Καλλιεργητική περίοδος	Πειραματικό τεμάχιο	Επαν/ψεις	Βλαστική περίοδος (DAS)			Σφάλμα πρόβλεψης
			Παρατηρήσεις	μ.ο.	Προσομοίωση	
2004-2005	Σ1-24	I	153	152 ($\pm 2,38$)*	152	0,0
		II	152			
		III	153			
		IV	148			
	Σ8-16	I	134	133 ($\pm 1,73$)*	135	+1,5
		II	130			
		III	133			
		IV	133			
	Σ4-16	I	131	131 ($\pm 0,82$)*	135	+4,0
		II	132			
		III	130			
		IV	131			
2005-2006	Σ1-24	I	160	160 ($\pm 1,29$)*	160	0,0
		II	159			
		III	158			
		IV	161			
	Σ5-16	I	143	144 ($\pm 1,00$)*	143	-1,0
		II	143			
		III	143			
		IV	145			
	Σ6-16	I	138	139 ($\pm 0,82$)*	139	0,0
		II	139			
		III	139			
		IV	140			
2009-2010	Σ5-16	I	151	152 ($\pm 1,15$)*	152	0,0
		II	153			
		III	151			
		IV	153			

*Η τιμή μέσα στην παρένθεση δείχνει την τυπική απόκλιση

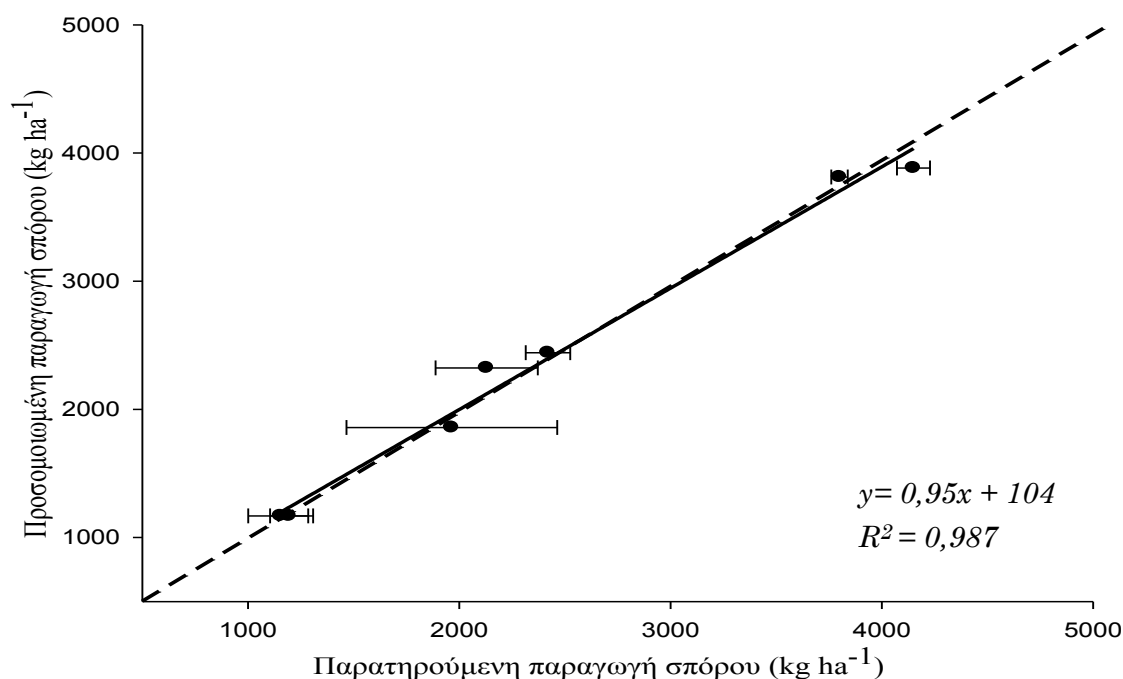


Σχήμα 4.1 – Ανάλυση παλινδρόμησης των ημερών παρατήρησης και προσομοίωσης για το ξεστάχυασμα της ποικιλίας Simeto (Βαθμονόμηση μοντέλου).

Πίνακας 4.5 – Προσομοιωμένες και παρατηρούμενες τιμές της παραγωγής για τις καλλιεργητικές περιόδους 2004-2005, 2005-2006 και 2009-2010 της ποικιλίας Simeto.

Καλλιεργητική περίοδος	Πειραματικό τεμάχιο	Επαν/νεις	Παραγωγή καρπού (kg/ha)			Σφάλμα πρόβλεψης
			Παρατηρήσεις	μ.ο.	Προσομοίωση	
2004-2005	Σ1-24	I	2.300	1.965 (±498)*	1.858	-107
		II	1.600			
		III	1.480			
		IV	2.480			
	Σ8-16	I	1.160	1.155 (±153)*	1.168	+13
		II	1.370			
		III	1.040			
		IV	1.050			
	Σ4-16	I	1.080	1.195 (±90)*	1.168	-27
		II	1.300			
		III	1.200			
		IV	1.200			
2005-2006	Σ1-24	I	4.060	4.150 (±77)*	3.883	-267
		II	4.150			
		III	4.140			
		IV	4.250			
	Σ5-16	I	2.410	2.420 (±105)*	2.441	+21
		II	2.330			
		III	2.370			
		IV	2.570			
	Σ6-16	I	2.490	2.130 (±241)*	2.323	+193
		II	2.000			
		III	2.050			
		IV	1.980			
2009-2010	Σ5-16	I	3.780	3.800 (±39)*	3.812	+12
		II	3.760			
		III	3.810			
		IV	3.850			

*Η τιμή μέσα στην παρένθεση δείχνει την τυπική απόκλιση



Σχήμα 4.2 – Ανάλυση παλινδρόμησης των τιμών παρατήρησης και προσομοίωσης για την παραγωγή της ποικιλίας Simeto (βαθμονόμηση μοντέλου).

4.3.2 Βαθμονόμηση του μοντέλου για την ποικιλία Mexicali

Για την ποικιλία Mexicali ο συνδυασμός των γενετικών παραμέτρων που προτιμήθηκε να χρησιμοποιηθεί δίνεται στον Πίνακα 4.6.

Πίνακας 4.6 – Γενετικοί συντελεστές της ποικιλίας Mexicali.

<u>P1V</u>	<u>P1D</u>	<u>P5</u>	<u>G1</u>	<u>G2</u>	<u>G3</u>	<u>PHINT</u>
52	32	490	14	58	1,7	91

Για τις συγκεκριμένες γενετικές παραμέτρους, το CERES-Wheat εκτίμησε με ακρίβεια τις ημερομηνίες για τα στάδια ανάπτυξης (ξεστάχασμα, άνθηση, έναρξη πλήρωσης και φυσιολογική ωρίμανση κόκκου) σε σχέση με αυτές που παρατηρήθηκαν στον αγρό για την ποικιλία Mexicali (Πίνακας 4.7).

Πίνακας 4.7 – Προσομοιωμένες, παρατηρούμενες τιμές και σφάλμα πρόβλεψης για το ξεστάχασμα, την άνθηση, την έναρξη πλήρωσης κόκκου, της φυσιολογικής ωρίμανσης του κόκκου, το βάρος χιλίων κόκκων και της παραγωγής για την καλλιεργητική περίοδο 2009-2010 της ποικιλίας Mexicali.

	Τιμές		Σφάλμα Πρόβλεψης
	Παρατήρησης	Προσομοίωσης	
Ξεστάχασμα (DAS)	147(±0,81)*	147	0,00
Άνθηση (DAS)	149(±1,25)*	149	0,00
Έναρξη πλήρωσης κόκκου(DAS)	156(±0,81)*	156	0,00
Φυσιολογική ωρίμανση(DAS)	183(±0,50)*	183	0,00
Βάρος χιλίων κόκκων (g)	45,5	46	+0,5
Παραγωγή (kg)	3.690(±92)*	3.707	+17

*Η τιμή μέσα στην παρένθεση δείχνει την τυπική απόκλιση

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν κατά την εφαρμογή του μοντέλου στην τριετία που χρησιμοποιήθηκε για τη βαθμονόμηση του, είχαν πολύ ισχυρή συσχέτιση ($R^2=0,979$) με τις παρατηρήσεις που ελήφθησαν από τον αγρό για τις ημέρες ξεσταχύσματος. Παρ' όλα αυτό το μοντέλο φαίνεται να υπερεκτιμά σταθερά το στάδιο αυτό όπως προκύπτει από τη σύγκριση της γραμμής παλινδρόμησης με την 1:1 γραμμή σύμφωνα με το γράφημα του Σχήματος 4.2. Στον Πίνακα 4.9 δίνονται τα αποτελέσματα των παρατηρήσεων μαζί με αυτά της προσομοίωσης. Οι τιμές των στατιστικών κριτηρίων για το ξεστάχυσμα (Πίνακα 4.8) επιβεβαιώνουν τις παραπάνω διαπιστώσεις. Ο δείκτης MBE είναι θετικός, υποδηλώνοντας την τάση του μοντέλου να υπερεκτιμά το συγκεκριμένο στάδιο ανάπτυξης με ένα μέσο σφάλμα 2 περίπου ημερών το οποίο όμως είναι κοντά στο 1%.

Όσον αφορά τη συνολική παραγωγή καρπού το CERES-Wheat πρόβλεψε την παράμετρο με ελάχιστη απόκλιση κατά μέσο όρο επιδεικνύοντας πολύ υψηλή συσχέτιση με τις παρατηρήσεις αγρού (2.422 kg/ha έναντι 2.490 kg/ha), με την τιμή του συντελεστή προσδιορισμού να είναι μεγαλύτερη από 0,98. Επίσης όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.10, με την αντιπαραβολή της γραμμής παλινδρόμησης και της 1:1 γραμμής διαπιστώνεται ότι το μοντέλο δείχνει να υπερεκτιμά την παραγωγή κάτω από τα 2.000 kg/ha ενώ πάνω από αυτή την τιμή υποεκτιμά την συνολικά συγκομισμένη παραγωγή καρπού. Η συνολική όμως τάση του μοντέλου σύμφωνα με το μέσο σφάλμα τάσης φαίνεται να υποεκτιμά την παραγωγή με τη μέση απόκλιση μεταξύ μοντέλου και μετρούμενης συγκομιδής να κυμαίνεται περίπου στο 6%, κοντά στα 212 kg/ha (Πίνακας 4.8).

Πίνακας 4.8 – Στατιστικοί δείκτες για την αξιολόγηση του CERES-Wheat για την ποικιλία Mexicali.

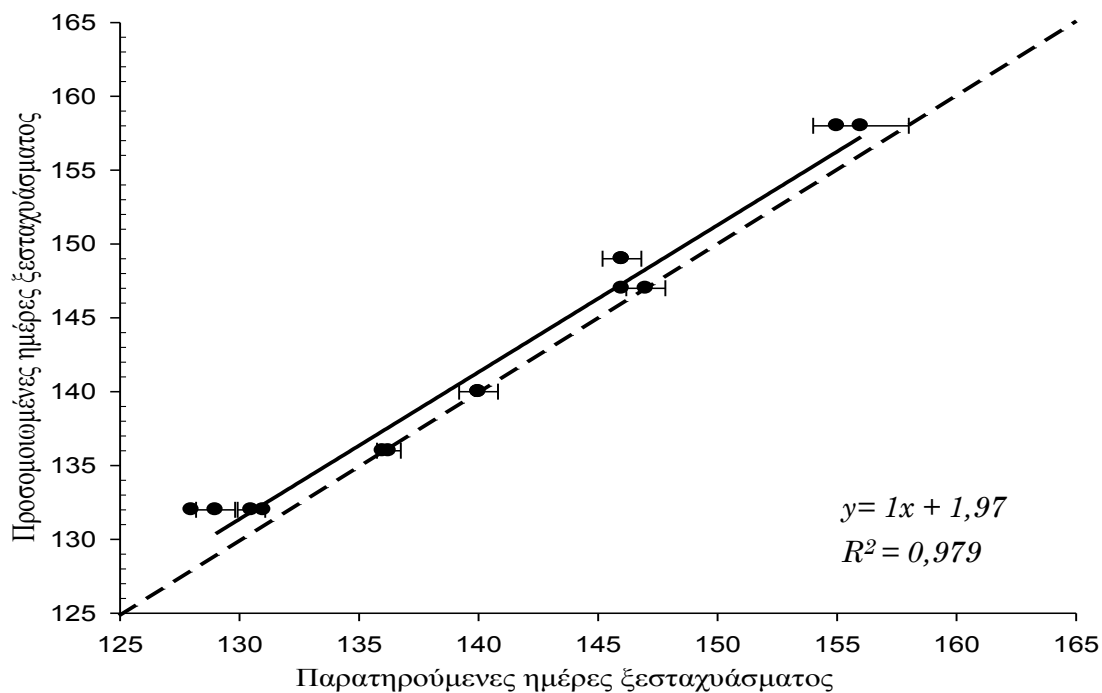
	P_{mean}	O_{mean}	n	$MAPE$	$RMSE$	MBE	R^2
Ξεστάχυσμα	142	141	7	1,05	1,88	1,25	0,979
Παραγωγή	2.422	2.490	7	5,98	212	-68,4	0,980

P_{mean} : μέση προβλεπόμενη τιμή (DAS και kg/ha), O_{mean} : μέση παρατηρούμενη τιμή (DAS και kg/ha), n : αριθμός παρατηρήσεων, $MAPE$: μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα (το % σφάλμα σε σχέση με την παρατηρούμενη τιμή), $RMSE$: ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (DAS και kg/ha), MBE : μέσο σφάλμα (DAS και kg/ha), R^2 : Συντελεστής προσδιορισμού.

Πίνακας 4.9 – Προσομοιωμένες και παρατηρούμενες τιμές του ξεσταχύσματος (βλαστική περίοδος) για τις καλλιεργητικές περιόδους 2004-2005, 2005-2006 και 2009-2010 της ποικιλίας Mexicali.

Καλλιεργητική περίοδος	Πειραματικό τεμάχιο	Επαν/ψεις	Βλαστική περίοδος (Ημέρες)			Σφάλμα πρόβλεψης
			Παρατηρήσεις	μ.ο.	Προσομοίωση	
2004-2005	Σ1-24	I	146	146 ($\pm 0,82$)*	148	+2,0
		II	146			
		III	147			
		IV	145			
	Σ8-16	I	131	131 ($\pm 0,58$)*	132	+1,0
		II	130			
		III	131			
		IV	130			
	Σ4-16	I	128	129 ($\pm 0,82$)*	132	+3,0
		II	129			
		III	129			
		IV	130			
2005-2006	Σ1-24	I	155	156 ($\pm 2,00$)*	158	+2,0
		II	155			
		III	155			
		IV	159			
	Σ5-16	I	140	140 ($\pm 0,82$)*	140	0,0
		II	141			
		III	140			
		IV	139			
	Σ6-16	I	136	136 ($\pm 0,50$)*	136	0,0
		II	137			
		III	136			
		IV	136			
2009-2010	Σ5-16	I	146	147 ($\pm 0,82$)*	147	0,0
		II	148			
		III	147			
		IV	147			

*Η τιμή μέσα στην παρένθεση δείχνει την τυπική απόκλιση

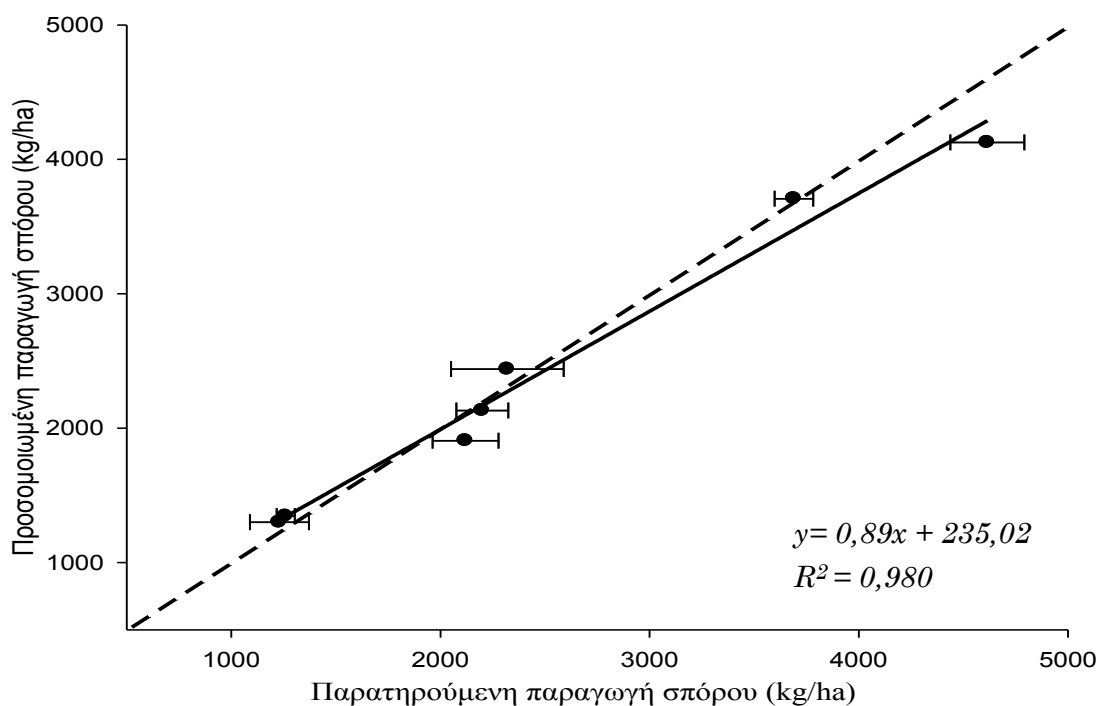


Σχήμα 4.3 – Ανάλυση παλινδρόμησης των ημερών παρατήρησης και προσομοίωσης για το ξεσταχύσμα της ποικιλίας Mexicali (Βαθμονόμηση μοντέλου).

Πίνακας 4.10 – Προσομοιωμένες και παρατηρούμενες τιμές την παραγωγή τις καλλιεργητικές περιόδους 2004-2005, 2005-2006 και 2009-2010 της ποικιλίας Mexicali.

Καλλιεργητική περίοδος	Πειραματικό τεμάχιο	Επαν/ψεις	Παραγωγή καρπού (kg/ha)			Σφάλμα πρόβλεψης
			Παρατηρήσεις	μ.ο.	Προσομοίωση	
2004-2005	Σ1-24	I	2.040	2.120 (±157)*	1.907	-213
		II	2.340			
		III	2.120			
		IV	1.980			
	Σ8-16	I	1.260	1.260 (±43)*	1.346	+86
		II	1.240			
		III	1.220			
		IV	1.320			
	Σ4-16	I	1.380	1.230 (±140)*	1.300	+70
		II	1.260			
		III	1.240			
		IV	1.040			
2005-2006	Σ1-24	I	4.380	4.615 (±176)*	4.126	-489
		II	4.800			
		III	4.680			
		IV	4.600			
	Σ5-16	I	2.050	2.320 (±269)*	2.439	+119
		II	2.590			
		III	2.130			
		IV	2.510			
	Σ6-16	I	2.140	2.200 (±124)*	2.131	-69
		II	2.180			
		III	2.380			
		IV	2.100			
2009-2010	Σ5-16	I	3.690	3.690 (±92)*	3.733	+43
		II	3.630			
		III	3.620			
		IV	3.820			

*Η τιμή μέσα στην παρένθεση δείχνει την τυπική απόκλιση



Σχήμα 4.4 – Ανάλυση παλινδρόμησης των τιμών παρατήρησης και προσομοίωσης για την παραγωγή της ποικιλίας Mexicali (Βαθμονόμηση μοντέλου).

4.3.3 Βαθμονόμηση του μοντέλου για την ποικιλία Σίφνος

Για την ποικιλία Σίφνος, ο συνδυασμός γενετικών παραμέτρων που επιλέχθηκε τελικά, καθώς προσέγγισε καλύτερα από κάθε άλλο τις παρατηρούμενες τιμές δίνεται στον Πίνακα 4.11.

Πίνακας 4.11 – Γενετικοί συντελεστές της ποικιλίας Σίφνος.

<u>P1V</u>	<u>P1D</u>	<u>P5</u>	<u>G1</u>	<u>G2</u>	<u>G3</u>	<u>PHINT</u>
55	34	500	14	58	2,1	93

Όπως μπορεί να διαπιστωθεί από τη σύγκριση μεταξύ των εκτιμώμενων και των παρατηρούμενων τιμών για την καλλιεργητική περίοδο 2009-2010, το μοντέλο προβλέπει με ακρίβεια τις ημέρες που απαιτούνται για το ξεστάχυσμα, την άνθηση την έναρξη πλήρωσης και τη φυσιολογική ωρίμανση του σπόρου. Ακριβής επίσης ήταν και η εκτίμηση του μοντέλου για το βάρος χιλίων κόκκων. Παρ' όλα αυτά το μοντέλο υπερεκτιμά τη συνολική παραγόμενη ποσότητα καρπού με ένα σφάλμα εκτίμησης 278 kg/ha ή 8% (Πίνακας 4.12).

Πίνακας 4.12 – Προσομοιωμένες, παρατηρούμενες τιμές και σφάλμα πρόβλεψης για το ξεστάχυσμα, την άνθηση, την έναρξη πλήρωσης κόκκου, της φυσιολογικής ωρίμανσης του κόκκου, το βάρος χιλίων κόκκων και της παραγωγής για την καλλιεργητική περίοδο 2009-2010 της ποικιλίας Σίφνος.

	Τιμές		Σφάλμα Πρόβλεψης
	Παρατήρησης	Προσομοίωσης	
Ξεστάχυσμα (ημέρες)	148(±0,82)*	148	0,00
Άνθηση (ημέρες)	149(±0,95)*	149	0,00
Έναρξη πλήρωσης κόκκου(ημέρες)	154(±0,58)*	154	0,00
Φυσιολογική ωρίμανση(ημέρες)	181(±1,41)*	181	0,00
Βάρος χιλίων κόκκων (g)	47	47	0,00
Παραγωγή (kg/ha)	3.475(±143)*	3.753	+278
*Η τιμή μέσα στην παρένθεση δείχνει την τυπική απόκλιση			

Χρησιμοποιώντας όλα τα πειραματικά δεδομένα που επιλέχθηκαν για τη βαθμονόμηση του μοντέλου, η εκτίμηση των ημερών ξεσταχύσματος από το CERES-Wheat ήταν πολύ κοντά στις παρατηρούμενες τιμές. Οι τιμές που προέβλεψε το μοντέλο, καθώς και οι αντίστοιχες τιμές αγρού, παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.14. Επίσης, η συσχέτιση μεταξύ των τιμών προσομοίωσης και παρατήρησης χαρακτηρίζεται πολύ ισχυρή καθώς ο συντελεστής προσδιορισμού έχει τιμή 0,988. Σύμφωνα με το Σχήμα 4.5, η τάση υπερεκτίμησης του σταδίου από το μοντέλο φαίνεται να είναι πολύ μικρή και αυξάνει όσο καθυστερεί η ημέρα παρατήρησης για το συγκεκριμένο στάδιο ανάπτυξης.

Οι προβλέψεις του μοντέλου για την τριετία βαθμονόμησης, όσον αφορά τη συνολική παραγωγή καρπού εμφανίζουν υψηλή συσχέτιση ($R^2 = 0,987$) με τις παρατηρούμενες τιμές. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης και οι τιμές παρατήρησης φαίνονται στον Πίνακα 4.15. Τα σφάλματα του μοντέλου για κάθε πειραματικό αγρό βρίσκονται εντός της τυπική απόκλισης εκτός από την περίπτωση της καλλιεργητικής περιόδου 2008-2009. Επίσης από το Σχήμα 4.6 διαπιστώνεται, όπως και στην περίπτωση του ξεσταχύσματος, ότι το μοντέλο υπερεκτιμά την πραγματικότητα.

Οι τιμές των στατιστικών κριτηρίων για τη βαθμονόμηση του μοντέλου, τόσο για το ξεστάχυσμα όσο και τη συνολική παραγωγή, απεικονίζονται στον Πίνακα 4.13.

Πίνακας 4.13 – Στατιστικοί δείκτες για την αξιολόγηση του CERES-Wheat για την ποικιλία Σίφνος

	P_{mean}	O_{mean}	n	$MAPE$	$RMSE$	MBE	R^2
Ξεστάχυσμα	142	141	7	0,70	1,13	0,43	0,988
Παραγωγή	2.535	2.456	7	6,01	161	79,0	0,987

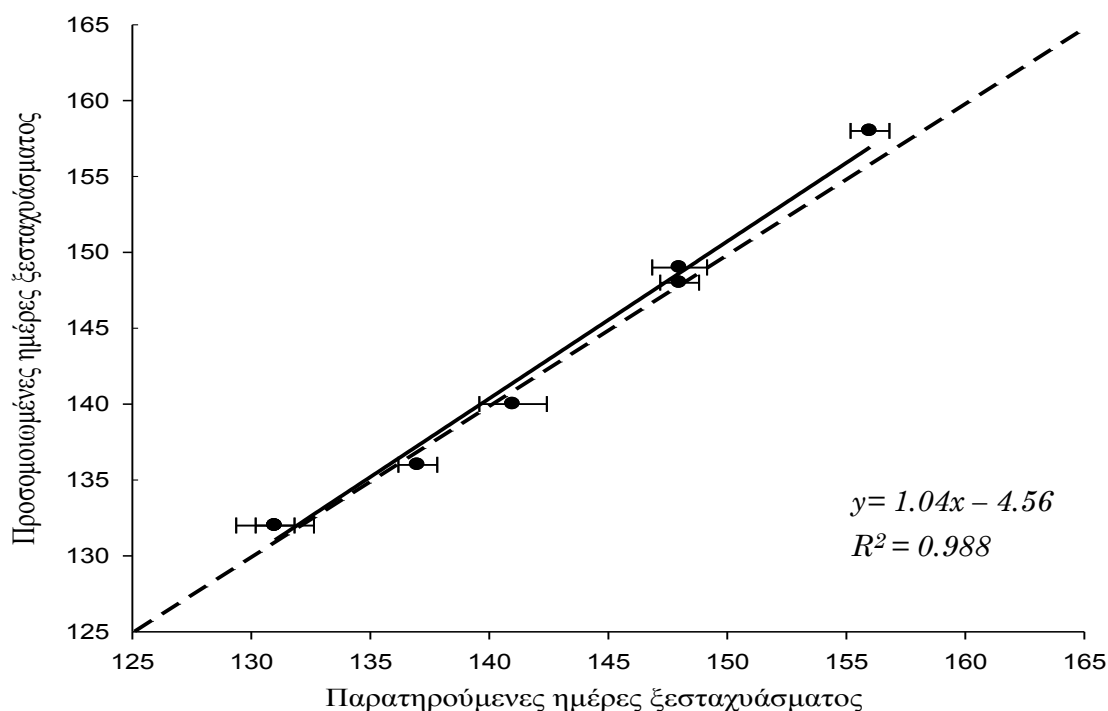
P_{mean} : μέση προβλεπόμενη τιμή (*DAS* και *kg/ha*), O_{mean} : μέση παρατηρούμενη τιμή (*DAS* και *kg/ha*), n : αριθμός παρατηρήσεων, $MAPE$: μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα (το % σφάλμα σε σχέση με την παρατηρούμενη τιμή), $RMSE$: ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (*DAS* και *kg/ha*), MBE : μέσο σφάλμα (*DAS* και *kg/ha*), R^2 : Συντελεστής προσδιορισμού.

Οι τιμές των στατιστικών κριτηρίων επιβεβαιώνουν όσα προαναφέρθηκαν και για τις δυο παραμέτρους που μελετήθηκαν. Συγκεκριμένα, το ξεστάχυσμα σε απόλυτους αριθμούς υπερεκτιμάται από το μοντέλο κατά 1 ημέρα. Από την άλλη πλευρά, η συνολική παραγωγή καρπού, σύμφωνα με τους στατιστικούς δείκτες υπερεκτιμήθηκε κατά 6 % που σε απόλυτους αριθμούς ερμηνεύεται σε 161 kg/ha.

Πίνακας 4.14 – Προσομοιωμένες και παρατηρούμενες τιμές του ξεσταχυάσματος (βλαστική περίοδος) για τις καλλιεργητικές περιόδους 2004-2005, 2005-2006 και 2009-2010 της ποικιλίας Σίφνος.

Καλλιεργητική περίοδος	Πειραματικό τεμάχιο	Επαν/ψεις	Βλαστική περίοδος (Ημέρες)			Σφάλμα πρόβλεψης
			Παρατηρήσεις	μ.ο.	Προσομοίωση	
2004-2005	Σ1-24	I	147	148 ($\pm 1,15$)*	149	+1,00
		II	149			
		III	149			
		IV	147			
	Σ8-16	I	130	131 ($\pm 1,63$)*	132	+1,00
		II	128			
		III	132			
		IV	130			
	Σ4-16	I	130	131 ($\pm 0,82$)*	132	+1,00
		II	129			
		III	130			
		IV	131			
2005-2006	Σ1-24	I	156	156 ($\pm 0,82$)*	158	+2,00
		II	156			
		III	155			
		IV	157			
	Σ5-16	I	143	141 ($\pm 1,41$)*	140	-1,00
		II	140			
		III	141			
		IV	140			
	Σ6-16	I	136	137 ($\pm 0,82$)*	136	-1,00
		II	138			
		III	137			
		IV	137			
2009-2010	Σ5-16	I	147	148 ($\pm 0,82$)*	148	0,00
		II	148			
		III	149			
		IV	148			

*Η τιμή μέσα στην παρένθεση δείχνει την τυπική απόκλιση

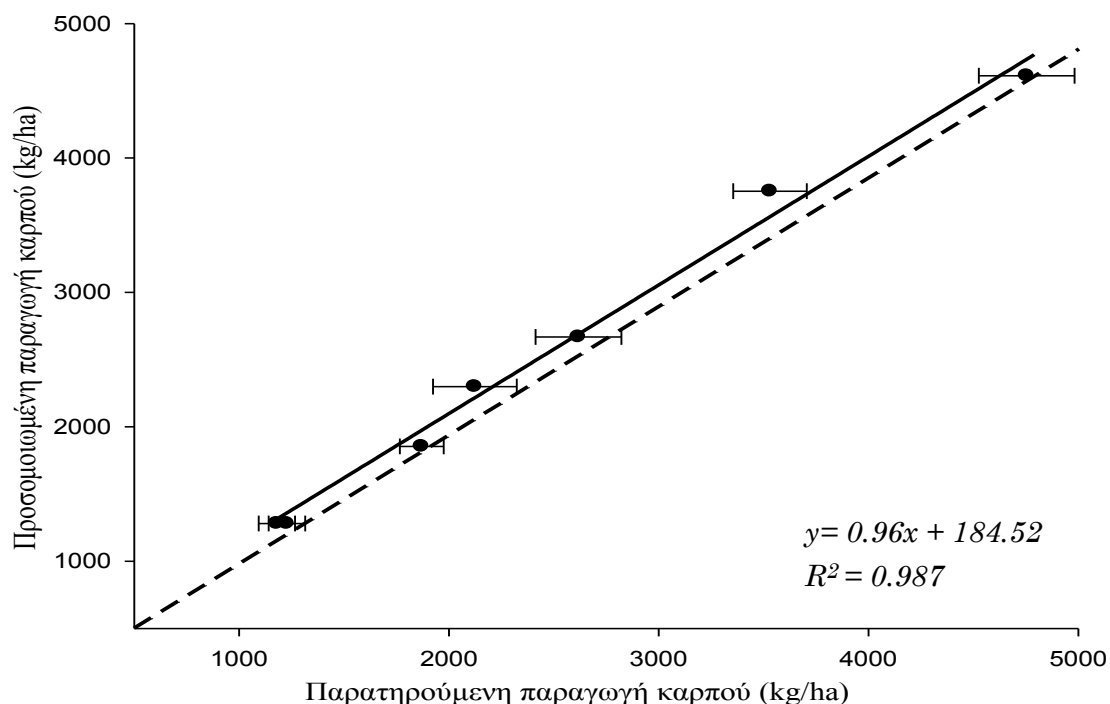


Σχήμα 4.5 – Ανάλυση παλινδρόμησης των ημερών παρατήρησης και προσομοίωσης για το ξεστάχυασμα της ποικιλίας Σίφνος (βαθμονόμηση μοντέλου).

Πίνακας 4.15 – Προσομοιωμένες και παρατηρούμενες τιμές την παραγωγή τις καλλιεργητικές περιόδους 2004-2005, 2005-2006 και 2009-2010 της ποικιλίας Σίφνος.

Καλλιεργητική περίοδος	Πειραματικό τεμάχιο	Επαν/ψεις	Παραγωγή καρπού (kg/ha)			Αριθμητική διαφορά
			Παρατηρήσεις	μ.ο.	Προσομοίωση	
2004-2005	Σ1-24	I	1.820	1.875 (±120)*	1.854	-21
		II	1.760			
		III	1.880			
		IV	2.040			
	Σ8-16	I	1.080	1.155(±75)*	1.281	+86
		II	1.250			
		III	1.110			
		IV	1.180			
	Σ4-16	I	1.350	1.215(±94)*	1.281	+70
		II	1.210			
		III	1.160			
		IV	1.140			
2005-2006	Σ1-24	I	4.720	4.790(±246)*	4.612	-178
		II	4.560			
		III	5.140			
		IV	4.740			
	Σ5-16	I	2.550	2.605(±234)*	2.668	+119
		II	2.450			
		III	2.470			
		IV	2.950			
	Σ6-16	I	1.910	2.080(±200)*	2.299	-69
		II	2.010			
		III	2.370			
		IV	2.030			
2009-2010	Σ5-16	I	3.590	3.475(±143)*	3.753	+275
		II	3.270			
		III	3.550			
		IV	3.490			

*Η τιμή μέσα στην παρένθεση δείχνει την τυπική απόκλιση



Σχήμα 4.6 – Ανάλυση παλινδρόμησης των τιμών παρατήρησης και προσομοίωσης για την παραγωγή της ποικιλίας Σίφνος (βαθμονόμηση μοντέλου).

4.4 Επαλήθευση του μοντέλου CERES-Wheat

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ένας από τους σκοπούς της σωστής βαθμονόμησης είναι η αξιόπιστη λειτουργία του μοντέλου σε χρονοσειρές διαφορετικές από αυτές της περιόδου βαθμονόμησης. Για να διαπιστωθεί ότι επιτυγχάνεται αυτό, εφαρμόζεται η διαδικασία της επαλήθευσης (validation). Κατά τη διαδικασία αυτή, ελέγχονται οι βέλτιστες παράμετροι για κάθε ποικιλία που προέκυψαν κατά τη βαθμονόμηση με την εφαρμογή του μοντέλου σε ανεξάρτητα πειραματικά δεδομένα.

4.4.1 Επαλήθευση του μοντέλου για την ποικιλία Simeto

Χρησιμοποιώντας τα πειραματικά δεδομένα των καλλιεργητικών περιόδων 2003-2004, 2006-2007, 2007-2008 και 2008-2009, η πρόβλεψή του μοντέλου κατά μέσο όρο για το ξεστάχυσμα (141 ημέρες έναντι 140 ημέρες) και τη συνολική παραγωγή σπόρου (3.399 kg/ha έναντι 3.521 kg/ha) ήταν πολύ κοντά στους παρατηρούμενους μέσους όρους.

Από το γράφημα του Σχήματος 4.7 γίνεται φανερό ότι το μοντέλο δείχνει μια τάση στο να υπερεκτιμά τις ημέρες που απαιτούνται για την εμφάνιση του σταχυού. Παρ' όλα αυτά, οι εκτιμούμενες τιμές επιδεικνύουν υψηλή συσχέτιση με τις μετρήσεις, καθώς ο συντελεστής προσδιορισμού παίρνει τιμή $R^2=0,95$. Τα παραπάνω επιβεβαιώνουν και οι υπόλοιποι στατιστικοί δείκτες που παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.16. Η θετική τιμή του μέσου σφάλματος επιβεβαιώνει το γεγονός ότι το μοντέλο καθυστερεί να προβλέψει το στάδιο του ξεσταχύσματος. Σε απόλυτους αριθμούς, σύμφωνα με τη ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος, το μοντέλο προβλέπει το στάδιο 1 ημέρα μετά από την παρατηρούμενη ημερομηνία.

Όσον αφορά τη συνολική παραγωγή σπόρου, τα αποτελέσματα του μοντέλου μαζί με τις τιμές που παρατηρήθηκαν στον αγρό παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.18. Το σφάλμα πρόβλεψης του μοντέλου για όλους σχεδόν τους πειραματικούς αγρούς είναι μικρότερο από την τυπική απόκλιση των παρατηρούμενων τιμών των επαναληπτικών τεμαχίων κάθε αγροτεμαχίου. Από το Σχήμα 4.8 φαίνεται ότι το μοντέλο υπερεκτιμά την παραγωγή κάτω από τα 2.500 kg/ha ενώ πάνω από το όριο αυτό το μοντέλο υποεκτιμά την παραγόμενη ποσότητα του σπόρου. Ο συντελεστής προσδιορισμού διατηρεί υψηλή τιμή ($R^2=0,976$) που δείχνει υψηλή συσχέτιση μεταξύ των προβλέψεων του μοντέλου με τις παρατηρούμενες τιμές. Όμως οι τιμές των δυο παραμέτρων α (intercept) και β (slope) της εξίσωσης της ευθείας παλινδρόμησης

είναι στατιστικά σημαντικά διαφορετικές από το 0 και τη μονάδα αντίστοιχα. Επίσης, σύμφωνα με το μέσο σφάλμα τάσης (MBE) το μοντέλο υποεκτιμά την πραγματικότητα. Η μέση απόκλιση μεταξύ του μοντέλου και της μετρούμενης παραγωγής κυμάνθηκε περίπου στο 7% ενώ σύμφωνα με το δείκτη RMSE η απόκλιση ήταν γύρω στα 270 kg/ha.

Πίνακας 4.16 – Στατιστικοί δείκτες για την αξιολόγηση του CERES-Wheat για την ποικιλία Simeto.

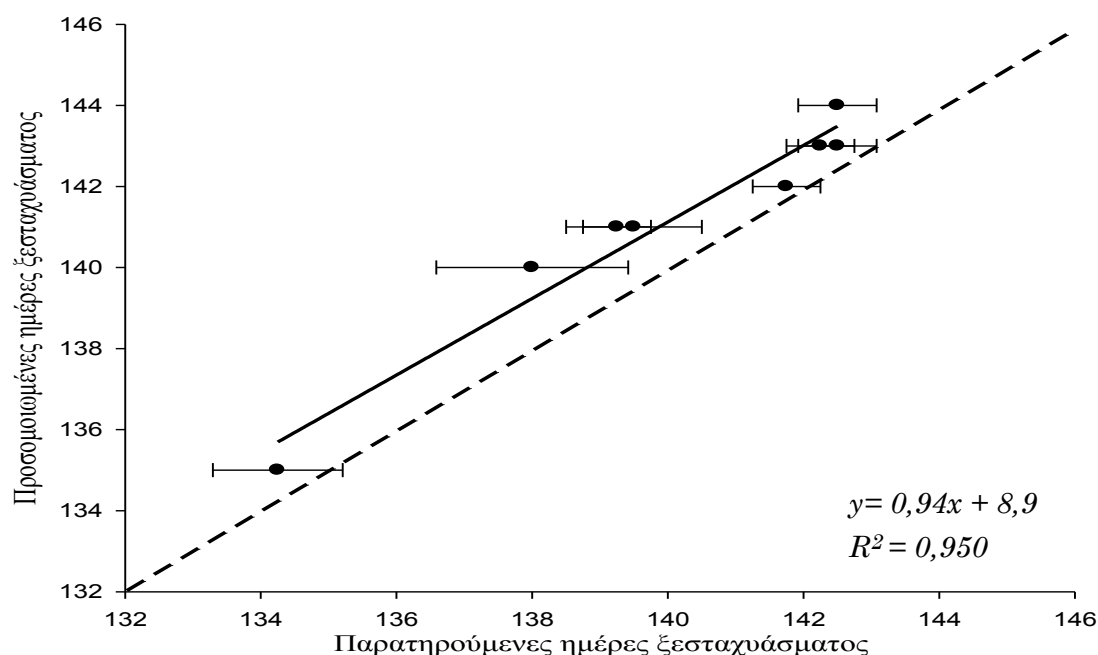
	$\underline{P_{mean}}$	$\underline{O_{mean}}$	$\underline{n}$	$\underline{MAPE}$	$\underline{RMSE}$	$\underline{MBE}$	$\underline{R^2}$
Ξεστάχυσμα	141	140	8	0,81	1,27	1,13	0,951
Παραγωγή	3.399	3.521	8	6,90	269	-122,0	0,976

P_{mean} : μέση προβλεπόμενη τιμή (DAS και kg/ha), O_{mean} : μέση παρατηρούμενη τιμή (DAS και kg/ha), n: αριθμός παρατηρήσεων, MAPE: μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα (το % σφάλμα σε σχέση με την παρατηρούμενη τιμή), RMSE: ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (DAS και kg/ha), MBE: μέσο σφάλμα (DAS και kg/ha), R^2 : Συντελεστής προσδιορισμού.

Πίνακας 4.17 – Προσομοιωμένες και παρατηρούμενες τιμές του ξεσταχύσματος (βλαστική περίοδος) τις καλλιεργητικές περιόδους 2003-2004, 2006-2007, 2007-2008 και 2008-2009 της ποικιλίας Simeto.

Καλλιεργητική περίοδος	Πειραματικό τεμάχιο	Επαν/ψεις	Βλαστική περίοδος (DAS)			Σφάλμα πρόβλεψης
			Παρατηρήσεις	μ.ο.	Προσομοίωση	
2004-2005	Σ8-16	I	135	134(±0,95)*	135	+1,00
		II	134			
		III	133			
		IV	135			
2006-2007	Σ5-16	I	140	140(±1,00)*	141	+1,00
		II	138			
		III	140			
		IV	140			
	Σ6-16	I	138	138(±1,41)*	140	+2,00
		II	136			
		III	139			
		IV	139			
2007-2008	Σ5-16	I	143	143(±0,58)*	144	+1,00
		II	143			
		III	142			
		IV	142			
	Σ6-16	I	142	142(±0,50)*	143	+1,00
		II	142			
		III	142			
		IV	143			
	Σ2-24	I	142	142(±0,50)*	142	+0,00
		II	142			
		III	142			
		IV	141			
	Σ1-24	I	140	139(±0,50)*	141	+2,00
		II	139			
		III	139			
		IV	139			
2008-2009	Σ5-16	I	142	143(±0,58)*	143	+0,00
		II	143			
		III	142			
		IV	143			

*Η τιμή μέσα στην παρένθεση δείχνει την τυπική απόκλιση

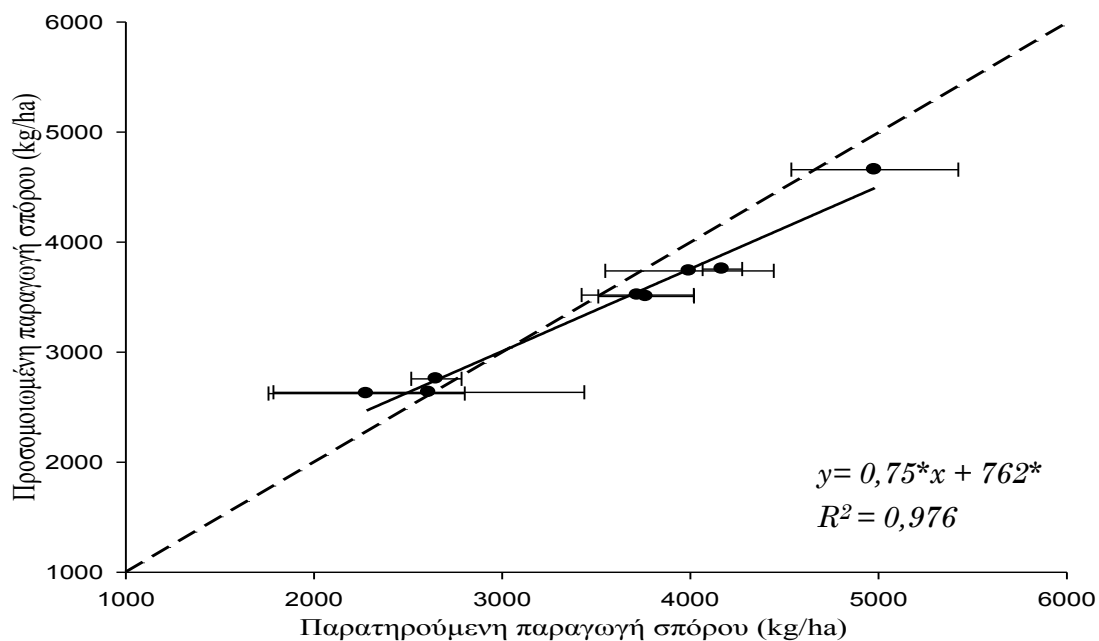


Σχήμα 4.7 – Ανάλυση παλινδρόμησης των ημερών παρατήρησης και προσομοίωσης για το ξεστάχυσμα της ποικιλίας Simeto (Επαλήθευση μοντέλου).

Πίνακας 4.18 – Προσμοιωμένες και παρατηρούμενες τιμές της παραγωγής για τις καλλιεργητικές περιόδους 2003-2004, 2006-2007, 2007-2008 και 2008-2009 της ποικιλίας Simeto.

Καλλιεργητική περίοδος	Πειραματικό τεμάχιο	Επαν/ψεις	Παραγωγή καρπού (kg/ha)			Σφάλμα πρόβλεψης
			Παρατηρήσεις	μ.ο.	Προσομοίωση	
2004-2005	Σ8-16	I	5.200	4.980 (±443)*	4.657	-323
		II	5.130			
		III	5.270			
		IV	4.320			
2006-2007	Σ5-16	I	1.760	2.280 (±521)*	2.623	+343
		II	1.920			
		III	2.600			
		IV	2.840			
	Σ6-16	I	2.650	2.610 (±825)*	2.635	+25
		II	1.560			
		III	3.580			
		IV	2.650			
2007-2008	Σ5-16	I	3.560	3.720 (±297)*	3.518	-202
		II	4.120			
		III	3.760			
		IV	3.440			
	Σ6-16	I	3.730	3.765 (±254)*	3.506	-257
		II	4.090			
		III	3.470			
		IV	3.770			
	Σ2-24	I	4.160	4.170 (±105)*	3.755	-415
		II	4.120			
		III	4.320			
		IV	4.080			
2008-2009	Σ1-24	I	3.340	3.995 (±447)*	3.738	-257
		II	4.340			
		III	4.100			
		IV	4.200			
	Σ5-16	I	2.530	2.650 (±133)*	2.757	+107
		II	2.830			
		III	2.570			
		IV	2.670			

*Η τιμή μέσα στην παρένθεση δείχνει την τυπική απόκλιση



Σχήμα 4.8 – Ανάλυση παλινδρόμησης των τιμών παρατήρησης και προσομοίωσης για την παραγωγή της ποικιλίας Simeto (Επαλήθευση μοντέλου). * Οι τιμές είναι στατικά σημαντικές από τη μονάδα και το μηδέν αντίστοιχα για τις δυο παραμέτρους.

4.4.2 Επαλήθευση του μοντέλου για την ποικιλία Mexicali

Η εφαρμογή των ανεξάρτητων πειραματικών δεδομένων για την ποικιλία Mexicali επιβεβαίωσε την προγνωστική ικανότητα του CERES-Wheat όσον αφορά το ξεστάχασμα, καθώς κατά μέσο όρο, το μοντέλο προέβλεψε σωστά την παρατηρούμενη ημερομηνία εμφάνισης του σταχυού, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.14, 137 ημέρες μετά την ημέρα σποράς. Όμοια εικόνα διαπιστώνεται και από το σφάλμα πρόγνωσης για κάθε πειραματικό αγρό χωριστά καθώς οι τιμές του σφάλματος είναι μικρότερες της τυπικής απόκλισης εκτός από τις περιπτώσεις δυο πειραματικών αγρών, του Σ8-16 της καλλιεργητικής περιόδου 2004-2005 και του Σ1-24 της περιόδου 2007-2008 όπου το μοντέλο καθυστερεί την πρόγνωση κατά μια ημέρα. Επίσης, από το γράφημα του Σχήματος 4.9 φαίνεται ότι το μοντέλο υπερεκτιμά το στάδιο ανάπτυξης όταν αυτό συμβαίνει σε λιγότερες από 137 ημέρες μετά τη σπορά, ενώ το υποεκτιμά όταν απαιτείται αριθμός ημερών πάνω από το όριο αυτό. Ο συντελεστής προσδιορισμού φανερώνει ισχυρή συσχέτιση μεταξύ παρατηρούμενων και προσομοιωμένων τιμών ($R^2=0,91$). Το μέσο σφάλμα τάσης δείχνει μικρή υπερεκτίμηση από το μοντέλο ενώ η μέση απόκλιση μεταξύ των εκτιμήσεων του μοντέλου και των παρατηρήσεων ήταν κάτω από 1 ημέρα.

Πίνακας 4.19 – Στατιστικοί δείκτες για την αξιολόγηση του CERES-Wheat για την ποικιλία Mexicali.

	P_{mean}	O_{mean}	n	$MAPE$	$RMSE$	MBE	R^2
Ξεστάχυσμα	137	137	8	0,35	0,66	0,03	0,910
Παραγωγή	3.332	3.496	8	6,49	321	-164,0	0,897

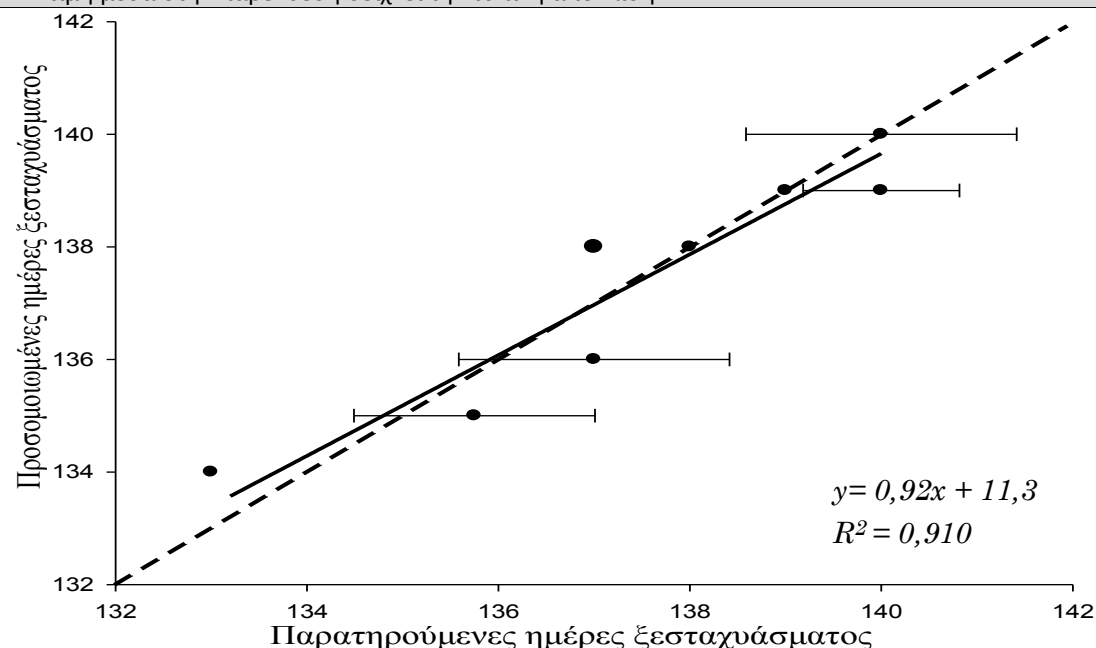
P_{mean} : μέση προβλεπόμενη τιμή (*DAS* και *kg/ha*), O_{mean} : μέση παρατηρούμενη τιμή (*DAS* και *kg/ha*), n : αριθμός παρατηρήσεων, $MAPE$: μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα (το % σφάλμα σε σχέση με την παρατηρούμενη τιμή), $RMSE$: ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (*DAS* και *kg/ha*), MBE : μέσο σφάλμα (*DAS* και *kg/ha*), R^2 : Συντελεστής προσδιορισμού.

Σχετικά με την παραγωγικότητα της ποικιλίας το μοντέλο δείχνει παρόμοια συμπεριφορά με αυτή που παρατηρήθηκε και κατά τη διαδικασία της βαθμονόμησης. Το σφάλμα πρόβλεψης βρίσκεται εντός των ορίων του τυπικού σφάλματος εκτός από τον πειραματικό αγρό Σ1-24 της περιόδου 2007-2008 όπου η παραγωγή υποεκτιμάται από το μοντέλο. Το μοντέλο δηλαδή υποεκτιμά τη συνολική παραγωγή σε καρπό για τιμές πάνω από τα 1.900 kg/ha. Η υψηλή συσχέτιση μεταξύ παρατηρούμενων και προσομοιωμένων τιμών διατηρείται καθώς ο συντελεστής προσδιορισμού έχει τιμή πάνω από 0,900. Η διαπίστωση ότι το μοντέλο υποεκτιμά την παραγωγή επιβεβαιώνεται και από το στατιστικό δείκτη του μέσου σφάλματος τάσης όπου παίρνει αρνητική τιμή. Το μέσο ποσοστό σφάλματος είναι μικρότερο από 7%. Ενώ σε απόλυτους αριθμούς το μοντέλο υποεκτιμά τη συνολική παραγωγή σε σπόρο γύρω στα 321 kg/ha.

Πίνακας 4.20 – Προσομοιωμένες και παρατηρούμενες τιμές για το ξεσταχύασμα (βλαστική περίοδος) τις καλλιεργητικές περιόδους 2003-2004, 2006-2007, 2007-2008 και 2008-2009 της ποικιλίας Mexicali

Καλλιεργητική περίοδος	Πειραματικό τεμάχιο	Επαν/ψεις	Βλαστική περίοδος (DAS)			Σφάλμα πρόβλεψης
			Παρατηρήσεις	μ.ο.	Προσομοίωση	
2004-2005	Σ8-16	I	133	133 ($\pm 0,00$)*	134	+1,00
		II	133			
		III	133			
		IV	133			
2006-2007	Σ5-16	I	139	137 ($\pm 1,41$)*	136	-1,00
		II	136			
		III	137			
		IV	136			
	Σ6-16	I	136	136 ($\pm 1,26$)*	135	-1,00
		II	134			
		III	137			
		IV	136			
2007-2008	Σ5-16	I	142	140 ($\pm 1,41$)*	140	0,00
		II	139			
		III	140			
		IV	139			
	Σ6-16	I	141	140 ($\pm 0,82$)*	140	0,00
		II	140			
		III	140			
		IV	139			
	Σ2-24	I	139	139 ($\pm 0,00$)*	139	0,00
		II	139			
		III	139			
		IV	139			
	Σ1-24	I	137	137 ($\pm 0,00$)*	138	+1,00
		II	137			
		III	137			
		IV	137			
2008-2009	Σ5-16	I	138	138 ($\pm 0,00$)*	138	+0,00
		II	138			
		III	138			
		IV	138			

*Η τιμή μέσα στην παρένθεση δείχνει την τυπική απόκλιση

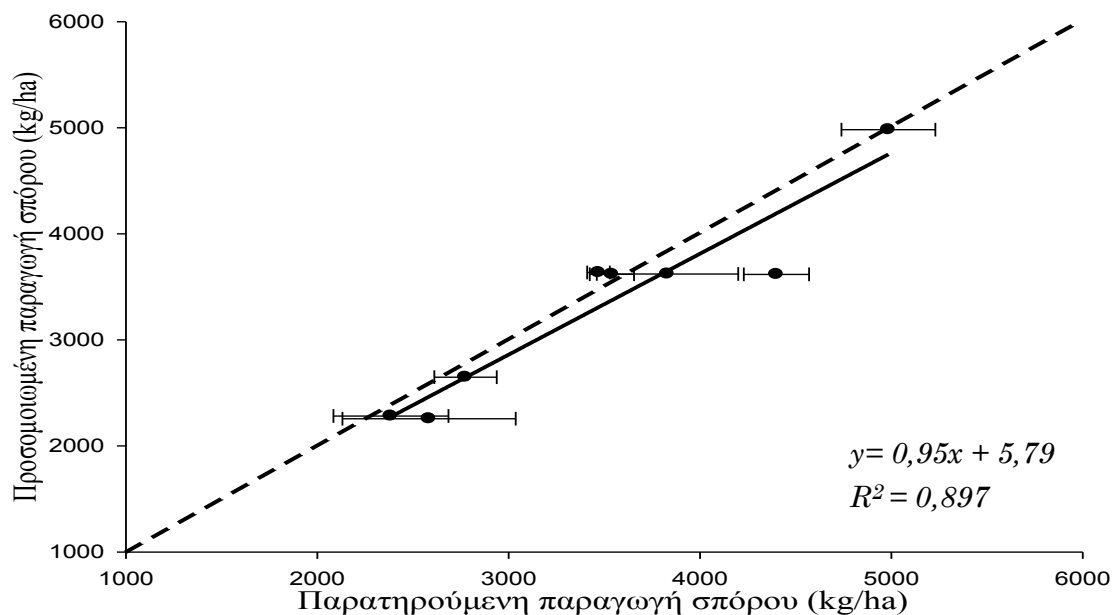


Σχήμα 4.9 – Ανάλυση παλινδρόμησης των ημερών παρατήρησης και προσομοίωσης για το ξεσταχύασμα της ποικιλίας Mexicali (Επαλήθευση μοντέλου).

Πίνακας 4.21- Προσομοιωμένες και παρατηρούμενες τιμές της παραγωγής για τις καλλιεργητικές περιόδους 2003-2004, 2006-2007, 2007-2008 και 2008-2009 της ποικιλίας Mexicali

Καλλιεργητική περίοδος	Πειραματικό τεμάχιο	Επαν/ψεις	Παραγωγή καρπού (κιλά ανά εκτάριο)			Σφάλμα πρόβλεψης
			Παρατηρήσεις	μ.ο.	Προσομοίωση	
2003-2004	Σ8-16	I	4.980	4.985 (±246)*	4.982	-3
		II	5.330			
		III	4.860			
		IV	4.770			
2006-2007	Σ5-16	I	1.940	2.585 (±453)*	2.257	+328
		II	2.840			
		III	2.950			
		IV	2.610			
	Σ6-16	I	2.340	2.385 (±301)*	2.282	-103
		II	2.480			
		III	2.000			
		IV	2.720			
2007-2008	Σ5-16	I	3.530	3.470 (±58)*	3.635	+165
		II	3.390			
		III	3.490			
		IV	3.470			
	Σ6-16	I	3.450	3.540 (±116)*	3.619	+79
		II	3.460			
		III	3.700			
		IV	3.550			
	Σ2-24	I	4.460	4.400 (±170)*	3.617	-783
		II	4.420			
		III	4.560			
		IV	4.160			
	Σ1-24	I	3.340	3.830 (±370)*	3.621	-209
		II	4.220			
		III	3.960			
		IV	3.800			
2008-2009	Σ5-16	I	2.540	2.775 (±163)*	2.648	-127
		II	2.890			
		III	2.880			
		IV	2.790			

*Η τιμή μέσα στην παρένθεση δείχνει την τυπική απόκλιση



Σχήμα 4.10 – Ανάλυση παλινδρόμησης των τιμών παρατήρησης και προσομοίωσης για την παραγωγή της ποικιλίας Mexicali (Επαλήθευση μοντέλου).

4.4.3 Επαλήθευση του μοντέλου για την ποικιλία Σίφνος

Οι εκτιμήσεις του μοντέλου για τις καλλιεργητικές περιόδους, που χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση των γενετικών παραμέτρων που επιλέχθηκαν για την ποικιλία Σίφνος, των ημερομηνιών ξεσταχύσματος και της ποσότητας παραγόμενου σπόρου μαζί με τις παρατηρήσεις αγρού δίνονται στους Πίνακες 4.23 και 4.24, αντίστοιχα. Σχηματικά οι συγκρίσεις μεταξύ παρατηρούμενων και προσομοιωμένων τιμών φαίνονται στα Σχήματα 4.11 και 4.12.

Όσον αφορά το ξεστάχυσμα, το μοντέλο προβλέπει κατά μέσο όρο σωστά την ημερομηνία εμφάνισης του συγκεκριμένου σταδίου (138 ημέρες μετά τη σπορά). Η καλή προσέγγιση του σταδίου από το μοντέλο διαπιστώνεται και από το σφάλμα πρόβλεψης για κάθε πειραματικό αγροτεμάχιο χωριστά. Το σφάλμα έχει τιμή μηδέν για την πλειονότητα των αγροτεμαχίων με εξαίρεση τις περιπτώσεις του πειραματικού Σ8-16 της περιόδου 2004-2005 και του πειραματικού Σ6-16 της περιόδου 2006-2007, κατά το οποίο το μοντέλο καθυστερεί να προβλέψει το ξεστάχυσμα κατά μια ημέρα. Επίσης, από τη σύγκριση της ευθείας παλινδρόμησης και της ευθείας 1:1 διαπιστώνεται ότι το μοντέλο υπερεκτιμά την ημερομηνία εμφάνισης του σταχυού. Παράλληλα τα αποτελέσματα του μοντέλου δείχνουν ισχυρή συσχέτιση με τις παρατηρήσεις αγρού καθώς ο συντελεστής προσδιορισμού έχει υψηλή ($R^2=0.986$). Θα πρέπει να σημειωθεί, όμως, ότι οι τιμές των δυο παραμέτρων α (intercept) και β (slope) της εξίσωσης παλινδρόμησης είναι στατιστικά σημαντικά διαφορετικές από το μηδέν και τη μονάδα αντίστοιχα.

Από την άλλη πλευρά για την παραγόμενη ποσότητα καρπού το μοντέλο προσεγγίζει την πραγματικότητα αρκετά καλά διατηρώντας το σφάλμα πρόβλεψης εντός της τυπικής απόκλισης που προκύπτει από τις επαναλήψεις κάθε πειραματικού αγροτεμαχίου για τα περισσότερα τεμάχια εφαρμογής. Εκτός των ορίων αυτών βρίσκονται οι προβλέψεις του μοντέλου για τα πειραματικά Σ6-16 και Σ2-24 των περιόδων 2006-2007 και 2007-2008. Στις περιπτώσεις αυτές, το μοντέλο υποεκτιμά την παραγωγή. Παρ' όλα αυτά, η πρόβλεψη του μοντέλου κατά μέσο όρο είναι πολύ κοντά στην πραγματικότητα (3.454 kg/ha έναντι 3.521 kg/ha), ενώ η υψηλή τιμή του συντελεστή προσδιορισμού ($R^2=0.952$) επιβεβαιώνει την ισχυρή συσχέτιση μεταξύ των τιμών που εκτιμά το μοντέλο και αυτών που παρατηρήθηκαν στον αγρό. Επίσης, η σύγκριση μεταξύ της ευθείας παλινδρόμησης και της γραμμής 1:1 δείχνει την τάση

του μοντέλου να υποεκτιμά την παραγόμενη ποσότητα καρπού. Οι τιμές των στατιστικών δεικτών για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του ξεσταχυάσματος και της συνολικής παραγωγής καρπού απεικονίζονται στον Πίνακα 4.17.

Πίνακας 4.22 – Στατιστικοί δείκτες για την αξιολόγηση του CERES-Wheat για την ποικιλία Σίφνος

	P_{mean}	O_{mean}	n	$MAPE$	$RMSE$	MBE	R^2
Ξεστάχυασμα	138	138	8	0.23	0.52	0.31	0.986
Παραγωγή	3454	3521	8	3.68	179	-67.5	0.951

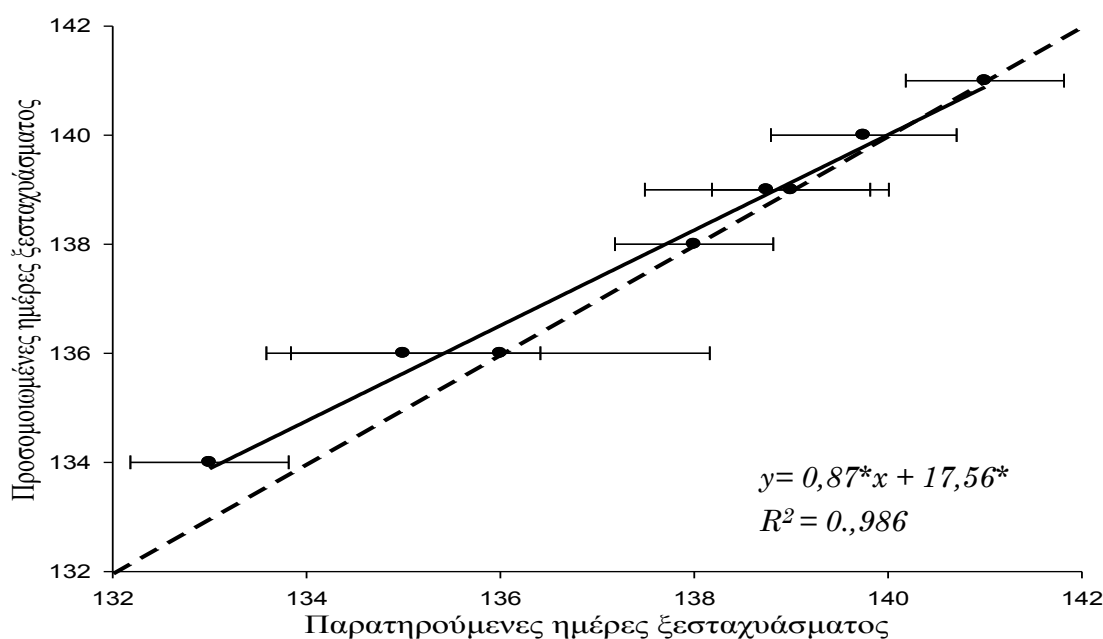
P_{mean} : μέση προβλεπόμενη τιμή (*DAS και kg/ha*), O_{mean} : μέση παρατηρούμενη τιμή (*DAS και kg/ha*), n : αριθμός παρατηρήσεων, $MAPE$: μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα (το % σφάλμα σε σχέση με την παρατηρούμενη τιμή), $RMSE$: ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (*DAS και kg/ha*), MBE : μέσο σφάλμα (*DAS και kg/ha*), R^2 : Συντελεστής προσδιορισμού.

Πίνακας 4.23 – Προσομοιωμένες και παρατηρούμενες τιμές του ξεσταχυάσματος (βλαστική περίοδος) τις καλλιεργητικές περιόδους 2003-2004, 2006-2007, 2007-2008 και 2008-2009 της ποικιλίας Σίφνος.

Καλλιεργητική περίοδος	Πειραματικό τεμάχιο	Επαν/ψεις	Βλαστική περίοδος (Ημέρες)			Σφάλμα πρόβλεψης
			Παρατηρήσεις	μ.ο.	Προσομοίωση	
2004-2005	Σ8-16	I	134	133 (± 0.82)*	134	+1.00
		II	133			
		III	133			
		IV	132			
2006-2007	Σ5-16	I	139	136 (± 2.16)*	136	0.00
		II	136			
		III	135			
		IV	134			
	Σ6-16	I	136	135 (± 1.41)*	136	+1.00
		II	133			
		III	135			
		IV	136			
2007-2008	Σ5-16	I	141	141 (± 0.82)*	141	0.00
		II	140			
		III	141			
		IV	142			
	Σ6-16	I	141	140 (± 0.96)*	140	0.00
		II	140			
		III	139			
		IV	139			
	Σ2-24	I	139	139 (± 1.26)*	139	0.00
		II	137			
		III	140			
		IV	139			
	Σ1-24	I	139	138 (± 0.82)*	138	0.00
		II	138			
		III	138			
		IV	137			
2008-2009	Σ5-16	I	140	139 (± 0.82)*	139	0.00
		II	138			
		III	139			
		IV	139			

*Η τιμή μέσα στην παρένθεση δείχνει την τυπική απόκλιση

Οι τιμές των παραπάνω στατιστικών δεικτών επιβεβαιώνουν τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω από τη σύγκριση των υπολογισμένων τιμών με τις τιμές αγρού. Συγκεκριμένα, η θετική τιμή του μέσου σφάλματος τάσης για το ξεστάχυσμα δείχνει την υστέρηση του μοντέλου να προγνώσει το συγκεκριμένο στάδιο ανάπτυξης ενώ η αρνητική τιμή του για την παραγωγή δείχνει ότι το μοντέλο την υποεκτιμά. Ωστόσο οι αποκλίσεις των εκτιμώμενων και των παρατηρούμενων τιμών παρουσιάζουν μικρή απόκλιση. Συγκεκριμένα, το μοντέλο δείχνει να καθυστερεί να προβλέψει την ημερομηνία εμφάνισης του σταχυού κατά μία ημέρα ενώ η πρόβλεψη της παραγωγής αποκλίνει από την πραγματικότητα κατά 4% (179 kg/ha).



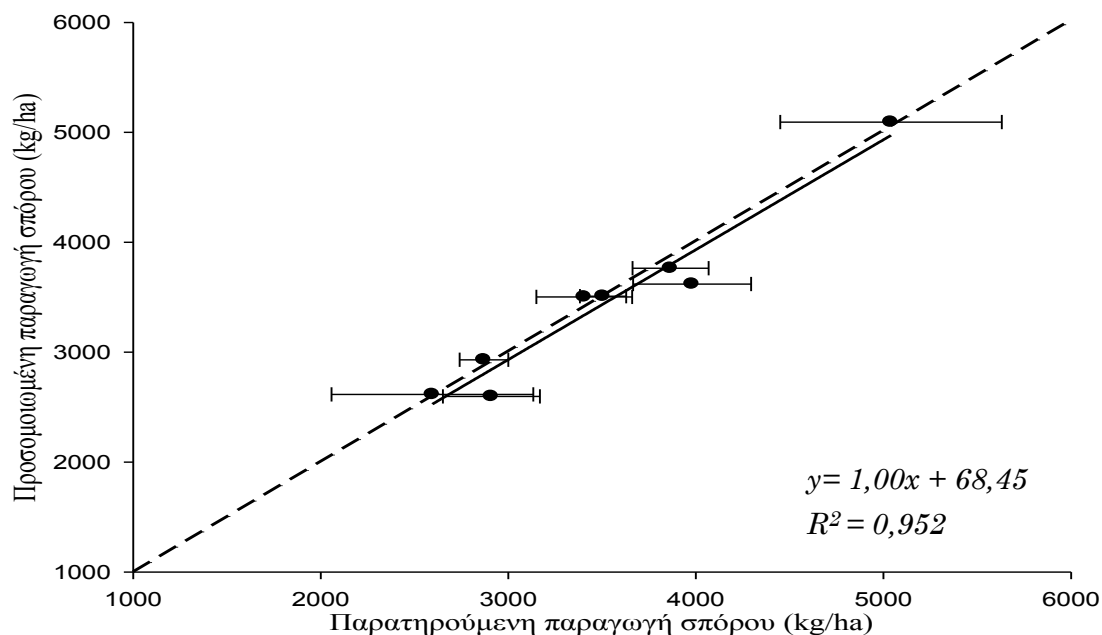
Σχήμα 4.11 – Ανάλυση παλινδρόμησης των ημερών παρατήρησης και προσομοίωσης για το ξεστάχυσμα της ποικιλίας Σίφνος (Επαλήθευση μοντέλου).

*Οι τιμές είναι στατικά σημαντικές από τη μονάδα και το μηδέν αντίστοιχα για τις δυο παραμέτρους.

Πίνακας 4.24 – Προσομοιωμένες και παρατηρούμενες τιμές της παραγωγής για τις καλλιεργητικές περιόδους 2003-2004, 2006-2007, 2007-2008 και 2008-2009 της ποικιλίας Σίφνος.

Καλλιεργητική περίοδος	Πειραματικό τεμάχιο	Επαν/ψεις	Παραγωγή καρπού (κιλά ανά εκτάριο)			Σφάλμα πρόβλεψης
			Παρατηρήσεις	μ.ο.	Προσομοίωση	
2004-2005	Σ8-16	I	4.990	5.040 (±590)*	5.093	+53
		II	4.660			
		III	5.890			
		IV	4.620			
2006-2007	Σ5-16	I	1.930	2.595 (±538)*	2.616	+21
		II	2.930			
		III	3.120			
		IV	2.400			
	Σ6-16	I	2.550	2.910 (±259)*	2.597	-313
		II	2.930			
		III	3.160			
		IV	3.000			
2007-2008	Σ5-16	I	3.500	3.505 (±123)*	3.509	+4
		II	3.680			
		III	3.410			
		IV	3.430			
	Σ6-16	I	3.430	3.405 (±255)*	3.503	+98
		II	3.750			
		III	3.160			
		IV	3.280			
	Σ2-24	I	3.760	3.980 (±315)*	3.619	-361
		II	3.660			
		III	4.260			
		IV	4.240			
	Σ1-24	I	3.580	3.865 (±203)*	3.763	-102
		II	4.000			
		III	4.020			
		IV	3.860			
2008-2009	Σ5-16	I	2.930	2.870 (±130)*	2.930	+60
		II	2.710			
		III	3.010			
		IV	2.830			

*Η τιμή μέσα στην παρένθεση δείχνει την τυπική απόκλιση



Σχήμα 4.12 – Ανάλυση παλινδρόμησης των τιμών παρατήρησης και προσομοίωσης για την παραγωγή της ποικιλίας Σίφνος (αξιολόγηση μοντέλου).

4.5 Συνολική αξιολόγηση του μοντέλου ανεξαρτήτως της ποικιλίας

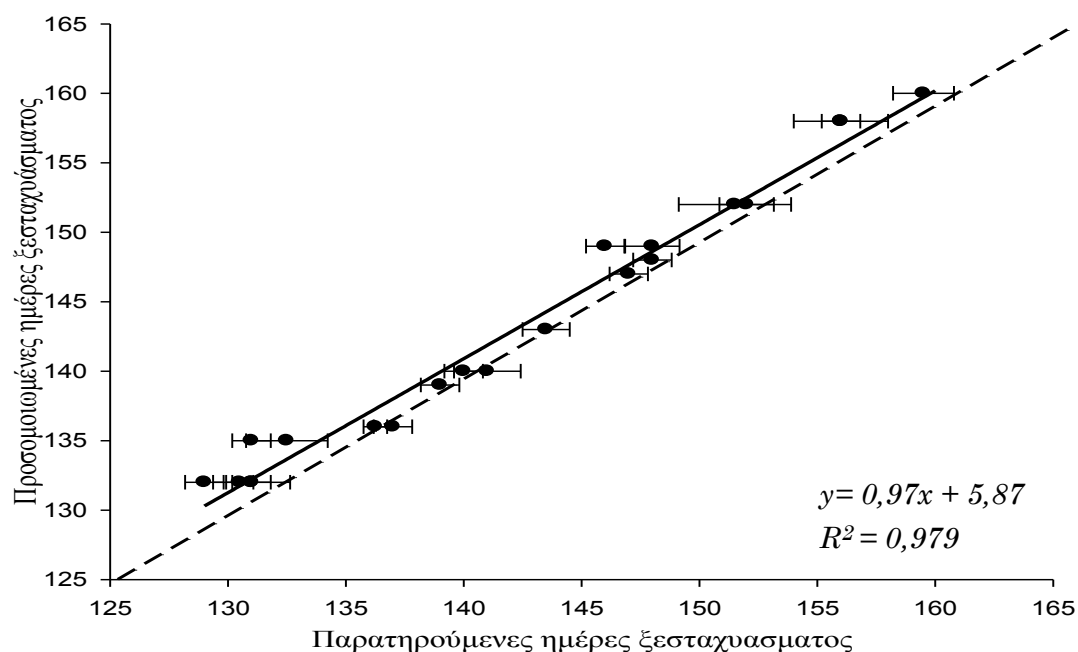
Στη παρούσα παράγραφο αξιολογήθηκαν τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων για το ξεστάχυσμα και τη συνολική παραγωγή σπόρου ανεξαρτήτως της ποικιλίας. Η αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε χωριστά για τις περιόδους που χρησιμοποιήθηκαν στη βαθμονόμηση και την επαλήθευση του μοντέλου αλλά και για όλες τις καλλιεργητικές περιόδους συνολικά.

Αρχικά, για τις περιόδους που χρησιμοποιήθηκαν στη βαθμονόμηση του μοντέλου, η πρόβλεψη για το ξεστάχυσμα κατά μέσο όρο ήταν πολύ κοντά στην ημερομηνία παρατήρησης (143 ημέρες έναντι 142). Την ελάχιστη απόκλιση μεταξύ των προγνώσεων του μοντέλου και των μετρούμενων τιμών επιβεβαιώνει και η σύγκριση μεταξύ της γραμμής παλινδρόμησης και τις γραμμής 1:1. Επίσης, ο συντελεστής προσδιορισμού έχει υψηλή τιμή ($R^2=0,979$) επιδεικνύοντας υψηλή συσχέτιση μεταξύ των παρατηρούμενων και εκτιμώμενων τιμών. Οι τιμές των στατιστικών κριτηρίων για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του μοντέλου απεικονίζονται στον Πίνακα 4.25. Από τον πίνακα αυτό παρατηρούμε τη θετική τιμή του μέσου σφάλματος που επιβεβαιώνει το γεγονός ότι το μοντέλο καθυστερεί να προβλέψει το συγκεκριμένο στάδιο. Η καθυστέρηση αυτή είναι της τάξεως της μιας ημέρας σύμφωνα και με την τιμή που λαμβάνει η ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος ($RMSE=1,39$ ημέρες μετά τη σπορά). Όσον αφορά την παραγωγή καρπού το μοντέλο κατά μέσο όρο την εκτίμησε σωστά (2.446 kg/ha έναντι 2.450 kg/ha) για τις συγκεκριμένες περιόδους, ανεξαρτήτως της ποικιλίας. Σύμφωνα με τη σύγκριση της γραμμής παλινδρόμησης και της 1:1 γραμμής, το μοντέλο υπερεκτιμά την ποσότητα παραγόμενου σπόρου κάτω από 2.000 kg/ha ενώ την υποεκτιμά για

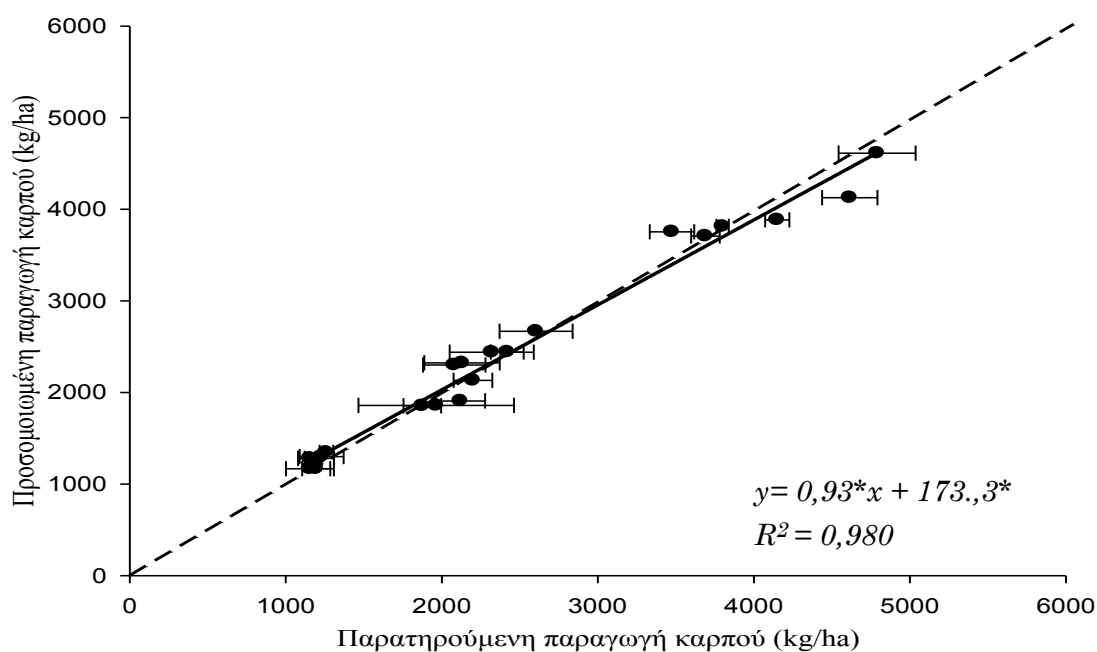
Πίνακας 4.25 – Στατιστικοί δείκτες για την αξιολόγηση του CERES-Wheat για όλα τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων για τις περιόδους που χρησιμοποιήθηκαν στη βαθμονόμηση του μοντέλου

	P_{mean}	O_{mean}	n	$MAPE$	$RMSE$	MBE	R^2
Ξεστάχυσμα	143	142	21	0,79	1,39	0,81	0,979
Παραγωγή	2.446	2.450	21	5,22	172	-4,2	0,980

P_{mean} : μέση προβλεπόμενη τιμή (DAS και kg/ha), O_{mean} : μέση παρατηρούμενη τιμή (DAS και kg/ha), n : αριθμός παρατηρήσεων, $MAPE$: μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα (το % σφάλμα σε σχέση με την παρατηρούμενη τιμή), $RMSE$: ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (DAS και kg/ha), MBE : μέσο σφάλμα (DAS και kg/ha), R^2 : Συντελεστής προσδιορισμού.



Σχήμα 4.13 – Ανάλυση παλινδρόμησης των ημερών παρατήρησης και προσομοίωσης για το ξεστάχυασμα για τις περιόδους βαθμονόμησης.



Σχήμα 4.14 – Ανάλυση παλινδρόμησης των τιμών παρατήρησης και προσομοίωσης για την παραγωγή για τις περιόδους βαθμονόμησης. * Οι τιμές είναι στατικά σημαντικές από τη μονάδα και το μηδέν αντίστοιχα για τις δυο παραμέτρους.

αποδόσεις πάνω από την τιμή αυτή. Σε γενικές γραμμές και βάσει των στατιστικών δεικτών που υπολογίστηκαν (Πίνακας 4.25) το μοντέλο υποεκτιμά την παραγωγή καρπού, καθώς η τιμή του μέσου σφάλματος είναι αρνητική. Η απόκλιση είναι της

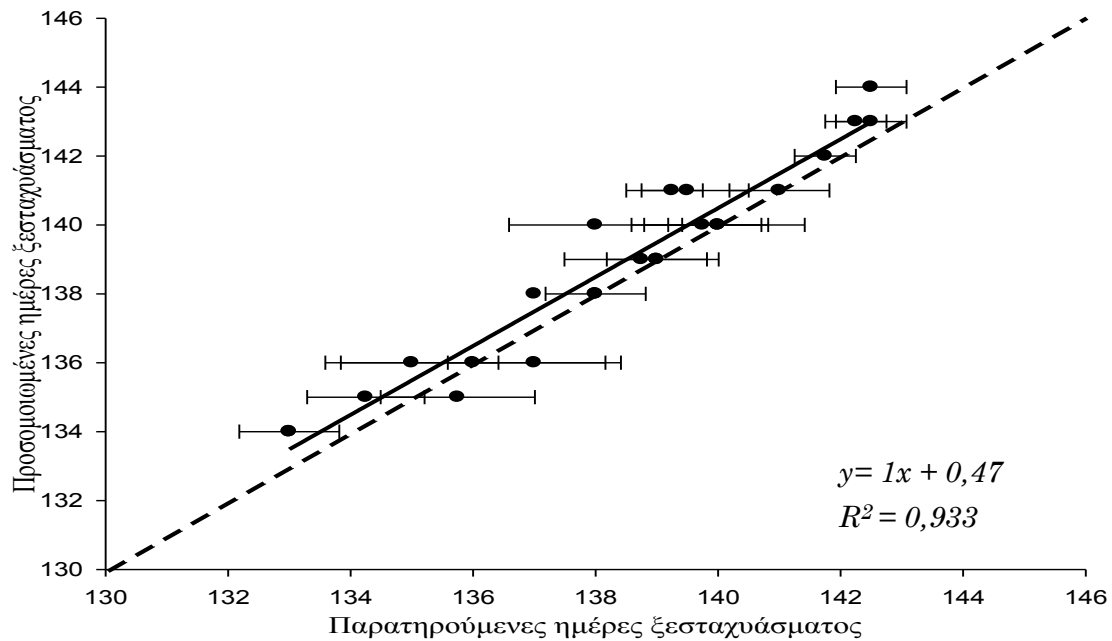
τάξεως των 170 kg/ha. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι αν και ο συντελεστής προσδιορισμού ($R^2=0,980$) επιδεικνύει υψηλή συσχέτιση μεταξύ των μετρήσεων και των προβλέψεων, οι τιμές των παραμέτρων α (σημείο τομής με το άξονα ψ) και β (η κλίση της ευθείας) της εξίσωσης που περιγράφει τη γραμμή παλινδρόμησης είναι στατιστικά σημαντικά διαφορετικές από το μηδέν και τη μονάδα, αντίστοιχα.

Σε δεύτερη φάση αξιολογήθηκαν τα αποτελέσματα του μοντέλου για τα ανεξάρτητα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στη διαδικασία επαλήθευσής του. Το μοντέλο για αυτές τις καλλιεργητικές περιόδους, όπως παρατηρήθηκε και για τις περιόδους που αξιολογήθηκαν προηγουμένως, καθυστερεί να προβλέψει την ημερομηνία εμφάνισης του σταχυού. Αυτό διαπιστώνεται τόσο από τη σύγκριση της γραμμής παλινδρόμησης με την 1:1 γραμμή, στο Σχήμα 4.15, όσο και από τους στατιστικούς δείκτες που απεικονίζονται στον Πίνακα 4.26. Σε απόλυτους αριθμούς, κατά μέσο όρο, το μοντέλο προβλέπει το ξεστάχυσμα με μια ημέρα καθυστέρηση. Όσον αφορά την παραγωγή, το μοντέλο διατηρεί την τάση να την υποεκτιμά όπως φαίνεται στο γράφημα του Σχήματος 4.16, αλλά και από την αρνητική τιμή του μέσου σφάλματος. Όμως η απόκλιση μεταξύ των προβλέψεων και των μετρήσεων αυξάνει σε σχέση με το προηγούμενο σύνολο των καλλιεργητικών περιόδων που μελετήθηκε (μεγαλύτερη τιμή του στατιστικού δείκτη RMSE). Αυτή η απόκλιση οφείλεται κυρίως στο πειραματικό αγροτεμάχιο Σ2-24 της περιόδου 2007-2008.

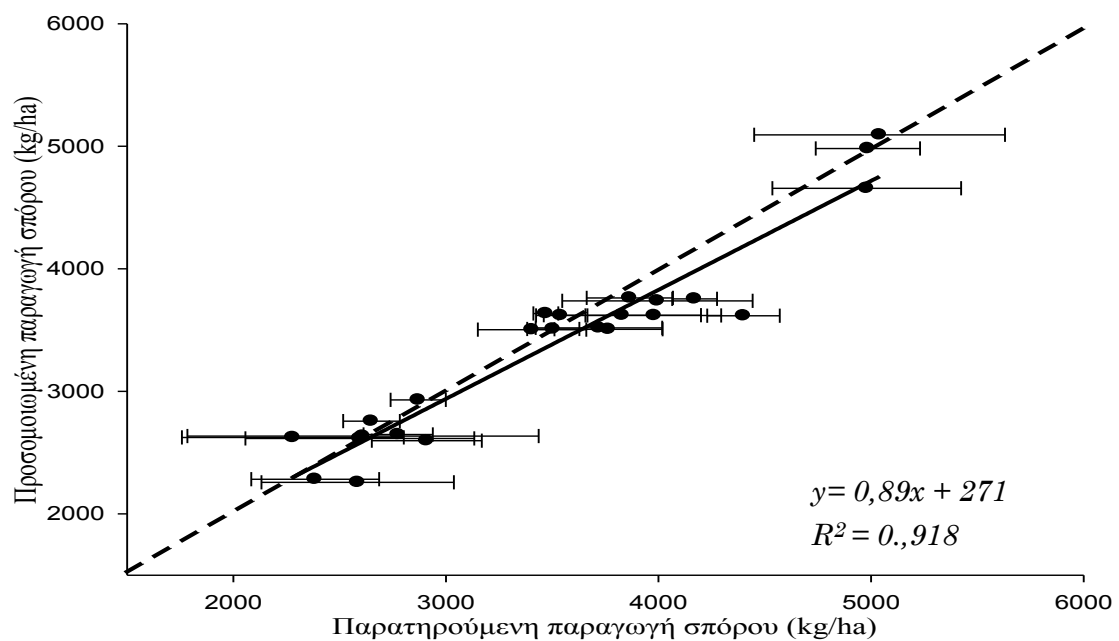
Πίνακας 4.26 – Στατιστικοί δείκτες για την αξιολόγηση του CERES-Wheat για όλα τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων για τις περιόδους που χρησιμοποιήθηκαν στην επαλήθευση του μοντέλου.

	$\underline{P_{mean}}$	$\underline{O_{mean}}$	$\underline{n}$	$\underline{MAPE}$	$\underline{RMSE}$	$\underline{MBE}$	$\underline{R^2}$
Ξεστάχυσμα	139	138	24	0.43	0.86	0.45	0.933
Παραγωγή	3395	3512	24	5.69	262	-117.9	0.918

P_{mean} : μέση προβλεπόμενη τιμή (DAS και kg/ha), O_{mean} : μέση παρατηρούμενη τιμή (DAS και kg/ha), n : αριθμός παρατηρήσεων, MAPE: μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα (το % σφάλμα σε σχέση με την παρατηρούμενη τιμή), RMSE: ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (DAS και kg/ha), MBE: μέσο σφάλμα (DAS και kg/ha), R^2 : Συντελεστής προσδιορισμού.



Σχήμα 4.15 – Ανάλυση παλινδρόμησης των ημερών παρατήρησης και προσομοίωσης για το ξεστάχυασμα για τις περιόδους επαλήθευσης.



Σχήμα 4.16 – Ανάλυση παλινδρόμησης των τιμών παρατήρησης και προσομοίωσης για την παραγωγή για τις περιόδους επαλήθευσης.

Τέλος, αξιολογήθηκαν τα αποτελέσματα του μοντέλου για όλες τις καλλιεργητικές περιόδους ανεξαρτήτως της ποικιλίας. Η σύγκριση των υπολογισμένων τιμών με των παρατηρούμενων για το ξεστάχυασμα και τη συνολική παραγωγή καρπού παρουσιάζονται στα Σχήματα 4.17 και 4.18, αντίστοιχα. Οι τιμές των στατιστικών δεικτών για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του μοντέλου απεικονίζονται στον Πίνακα 4.27.

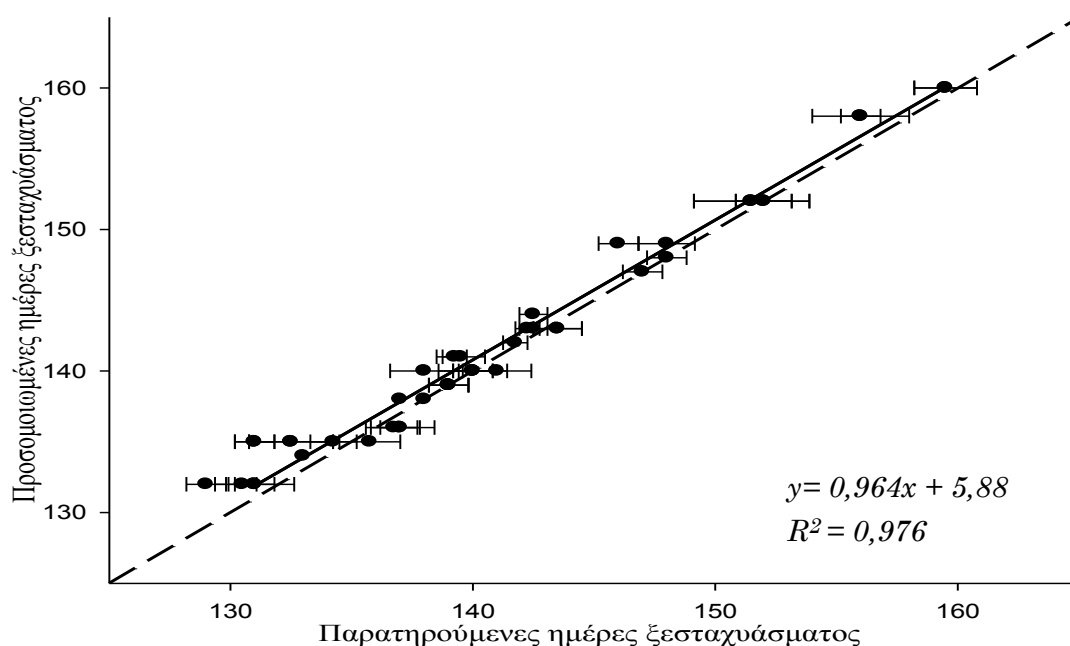
Για το ξεστάχυσμα, κατά μέσο όρο το μοντέλο εκτίμησε σωστά την παρατηρούμενη ημερομηνία (140 ημέρες). Ισχυρή συσχέτιση μεταξύ των τιμών δείχνει και η υψηλή τιμή του συντελεστή προσδιορισμού. Από τη σύγκριση μεταξύ της ευθείας παλινδρόμησης και της γραμμής 1:1 φαίνεται ότι για τις παρατηρούμενες ημερομηνίες ξεσταχύσματος στις συνθήκες της υπό μελέτη περιοχής το μοντέλο καθυστερεί να προγνώσει το συγκεκριμένο στάδιο ανάπτυξης. Αυτό επιβεβαιώνεται και από την αρνητική τιμή του μέσου σφάλματος τάσης. Βέβαια η απόκλιση του μοντέλου από την πραγματικότητα είναι μικρή (της τάξεως του 0,6%), και σε πραγματικούς αριθμούς περίπου στη 1 ημέρα.

Από την άλλη πλευρά, για τη συνολική παραγωγή καρπού ο μέσος όρος των εκτιμώμενων τιμών είναι πολύ κοντά στο μέσο όρο των τιμών που παρατηρήθηκαν (2.952 kg/ha έναντι 3.016 kg/ha). Παράλληλα, η υψηλή τιμή του συντελεστή προσδιορισμού δείχνει υψηλή συσχέτιση μεταξύ παρατηρούμενων και προσομοιωμένων τιμών. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η τιμή της παραμέτρου β (intercept) είναι στατιστικά σημαντική. Η σύγκριση μεταξύ της ευθείας παλινδρόμησης και της γραμμής 1:1 δείχνει ότι το μοντέλο υπερεκτιμά την παραγωγή όταν αυτή κυμαίνεται κάτω από τα 2.500 kg/ha ενώ πάνω από αυτό το όριο το μοντέλο υποεκτιμά την παραγωγή. Όμως, σύμφωνα με το δείκτη MBE το μοντέλο δείχνει να υποεκτιμά την παραγωγή σπόρου. Τέλος, η απόκλιση μεταξύ του μοντέλου και της πραγματικότητας είναι περίπου 225 κιλά ανά εκτάριο δηλαδή περίπου 5,5%.

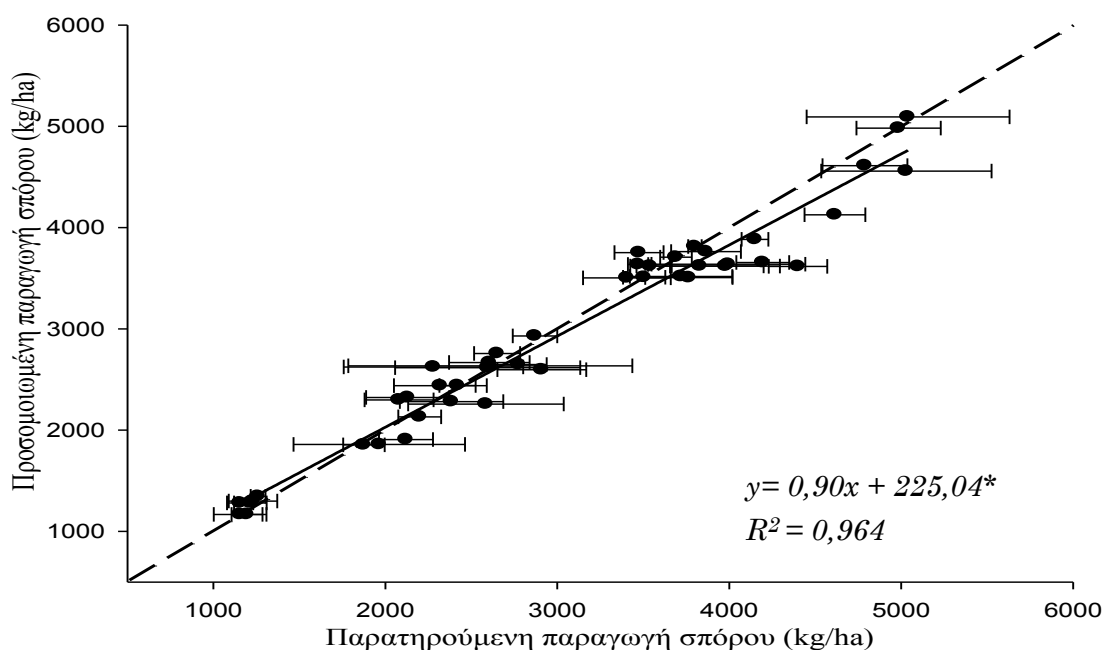
Πίνακας 4.27– Στατιστικοί δείκτες για την αξιολόγηση του CERES-Wheat για όλα τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων.

	P_{mean}	O_{mean}	n	$MAPE$	$RMSE$	MBE	R^2
Ξεστάχυσμα	141	140	45	0,63	1,20	0,6	0,976
Παραγωγή	2.952	3.016	45	5,47	225	-64,8	0,964

P_{mean} : μέση προβλεπόμενη τιμή (DAS και kg/ha), O_{mean} : μέση παρατηρούμενη τιμή (DAS και kg/ha), n : αριθμός παρατηρήσεων, $MAPE$: μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα (το % σφάλμα σε σχέση με την παρατηρούμενη τιμή), $RMSE$: ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (DAS και kg/ha), MBE : μέσο σφάλμα (DAS και kg/ha), R^2 : Συντελεστής προσδιορισμού.



Σχήμα 4.17 – Ανάλυση παλινδρόμησης των ημερών παρατήρησης και προσομοίωσης για όλα τα πειραματικά δεδομένα



Σχήμα 4.18 – Ανάλυση παλινδρόμησης των τιμών παρατήρησης και προσομοίωσης για την παραγωγή για όλα τα πειραματικά δεδομένα

4.6 Σύγκριση των γενετικών συντελεστών με άλλους που χρησιμοποιήθηκαν διεθνώς στη βιβλιογραφία

Στο σημείο αυτό θα πραγματοποιηθεί σύγκριση των γενετικών συντελεστών που προέκυψαν από τα πειραματικά δεδομένα της περιοχής της Θέρμης για τις τρεις ποικιλίες (Simeto, Mexicali, Σίφνος) που επιλέχθηκαν να μελετηθούν στην παρούσα εργασία με τους γενετικούς συντελεστές που βρέθηκαν στη διεθνή βιβλιογραφία για

τις ίδιες ποικιλίες αλλά και με γενετικούς συντελεστές για τα χειμερινά σιτηρά που χρησιμοποιήθηκαν στην Ευρώπη και την Αμερική. Στον πίνακα 4.28 παρουσιάζονται οι επτά γενετικοί συντελεστές του μοντέλου DSSAT για τις τρεις ποικιλίες που μελετώνται. Επίσης στον Πίνακα 4.29 παρουσιάζονται οι γενετικοί συντελεστές που χρησιμοποιήθηκαν για τις ίδιες ποικιλίες στη διεθνή βιβλιογραφία, ενώ στον Πίνακα 4.30 δίνονται οι γενετικοί συντελεστές για το χειμερινό σιτάρι που έχουν χρησιμοποιηθεί στην Αμερική, την ανατολική και τη δυτική Ευρώπη.

Πίνακας 4.28 – Οι γενετικοί συντελεστές των ποικιλιών που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη.

Ποικιλία	Γενετικοί Συντελεστές						
	P1V	P1D	P5	G1	G2	G3	PHINT
Simeto	62	37	560	14	56	2,1	90
Mexicali	52	32	490	14	58	1,7	91
Σίφνος	55	34	500	14	58	2,1	93

Οι Godwin κ.α.(1989) προτείνουν μια σταθερή τιμή για το συντελεστή PHINT των χειμερινών γενοτύπων για την Ευρώπη και τη Βόρεια Αμερική που προσεγγίζει τις 95 βαθμοημέρες ανάπτυξης. Την τιμή αυτή χρησιμοποίησε και ο Rezzoug (2008) στην περιοχή του Τιαρέτ της Αλγερίας. Στην γειτονική Ιταλία, ο Rinaldi (2004) χρησιμοποίησε για τον συντελεστή PHINT την τιμή 100. Στην παρούσα εργασία οι τιμές του συγκεκριμένου συντελεστή κυμάνθηκαν από 90 έως 93, ελαφρώς μικρότερες από τις τιμές που αναφέρθηκαν.

Πίνακας 4.29– Οι γενετικοί συντελεστές στη διεθνή βιβλιογραφία των ποικιλιών που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη.

Ποικιλία	Περιοχή	Κλίμα	Γενετικοί Συντελεστές							Πηγή
			P1V	P1D	P5	G1	G2	G3	PHINT	
Simeto	Ιταλία	Μεσογειακό	20	30	570	15	47	1,9	100	Rinaldi, 2004
Mexicali	Αλγερία	Μεσογειακό	60	45	320	17	36	2,99	95	Rezzoug, 2008

Πίνακας 4.30– Οι γενετικοί συντελεστές για χειμερινά σιτηρά της διεθνούς βιβλιογραφίας.

Ποικιλία	Περιοχή	Κλίμα	Γενετικοί Συντελεστές							Πηγή
			P1V	P1D	P5	G1	G2	G3	PHINT	
Χειμερινό σιτάρι	Βόρεια Αμερική	–	60	50	490	25	40	1,5	95	Godwin κ.α., 1989
Χειμερινό σιτάρι	Δυτική Ευρώπη	–	60	70	530	25	50	2,0	95	Godwin κ.α., 1989
Χειμερινό σιτάρι	Ανατολική Ευρώπη	–	60	60	550	27	50	2,0	95	Godwin κ.α., 1989

Ο συντελεστής εαρινοποίησης P1V, στην παρούσα εργασία, για την ποικιλία Simeto είχε τιμή 62 ημέρες, για την ποικιλία Mexicali 52 ημέρες και την ποικιλία Σίφνος 55 ημέρες. Ο συντελεστής εαρινοποίησης διαπιστώθηκε ότι επηρεάζει σημαντικά το στάδιο της άνθισης. Οι Godwin κ.α. (1989) προτείνουν μια σταθερή τιμή για την Ευρώπη και την Αμερική που κυμαίνεται στις 60 ημέρες. Στη βιβλιογραφία ο δείκτης κυμαίνεται μεταξύ 10 και 70 ημερών ανεξαρτήτως της ποικιλίας και του τύπου κλίματος ή της περιοχής εγκατάστασης της καλλιέργειας. Για το Simeto και συγκεκριμένα για την περιοχή της Ιταλίας, ο Rinaldi (2004) χρησιμοποίησε μια πολύ μικρή τιμή, 20 ημερών, του συντελεστή εαρινοποίησης. Αντίθετα, στην Αλγερία για την ποικιλία Mexicali, η τιμή του δείκτη ήταν στα φυσιολογικά επίπεδα (60 ημέρες).

Ο συντελεστής φωτοπερίοδου P1D κυμάνθηκε μεταξύ 32 και 37%, αποδεικνύοντας τη διαφορά ευαισθησίας των ποικιλιών στη φωτοπερίοδο. Για το χειμερινό σιτάρι, οι Godwin κ.α. (1989) προτείνουν να χρησιμοποιηθεί μια τιμή της τάξεως του 50% στις βόρειες πεδιάδες της Αμερικής, μια τιμή 60% για την ανατολική Ευρώπη και μια τιμή 70% στη δυτική Ευρώπη. Για την περιοχή της Μεσογείου, ο Rinaldi (2004) προτείνει τιμή 30% για το συντελεστή φωτοπερίοδου, τιμή που βρίσκεται κοντά στις τιμές που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία, ενώ ο Rezzoug (2008) προτείνει τιμή 45%.

Η διάρκεια πλήρωσης του κόκκου P5 κυμάνθηκε από 490 έως 560 βαθμοημέρες ανάπτυξης (GDDs), ανάλογα με την ποικιλία. Αυτές οι τιμές είναι πολύ κοντά στις τιμές που πρότειναν οι Godwin κ.α. (1989) και Rinaldi (2004). Συγκεκριμένα, για τη βόρεια Αμερική προτείνουν τιμή 490 GDDs, για τη δυτική και ανατολική Ευρώπη προτείνουν 530 και 550 GDDs, αντίστοιχα, ενώ για την Ιταλία και για την ποικιλία Simeto προτάθηκε η τιμή 570 GDDs (έναντι 560 GDDs). Αντίθετα για την Αλγερία οι τιμές ήταν πολύ χαμηλές, περίπου 320 GDDs. Γενικά στη διεθνή βιβλιογραφία οι τιμές του συντελεστή P1 κυμαίνονται από 330 έως 610 GDDs.

Για τον συντελεστή που σχετίζεται με τον αριθμό των κόκκων (G1), στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η ίδια τιμή και για τις τρεις ποικιλίες, 14 kg g^{-1} , η οποία είναι πολύ μικρή, περίπου υποδιπλάσια, σε σχέση με τη σειρά τιμών που

προτείνουν οι Godwin κ.α. (1989). Για το περιβάλλον της Ιταλίας, ο Rinaldi (2004), χρησιμοποίησε τιμή 15 k g^{-1} , που είναι πολύ κοντά στην τιμή που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη. Γενικά, στη διεθνή βιβλιογραφία οι τιμές του συγκεκριμένου συντελεστή κυμαίνονται από 15 έως 50 k g^{-1} .

Ο συντελεστής G2 για το βάρος τον κόκκων προσδιορίστηκε στα 56 mg για την ποικιλία Simeto και στα 58 mg για τις ποικιλίες Mexicali και Σίφνος. Οι Godwin κ.α. προτείνουν για το συντελεστή G2 τιμή 40 mg για την Αμερική και 50 mg για την Ευρώπη. Επίσης, χαμηλότερες τιμές, από αυτές που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία, προτείνουν ο Rinaldi (2004) και ο Rezzoug (1989) για την περιοχή της Μεσογείου.

Τέλος για τον συντελεστή G3 οι βέλτιστες για τις ποικιλίες που μελετώνται τιμές κυμάνθηκαν από 1,7 έως 2,1 g. Οι τιμές αυτές είναι κοντά σε αυτές που προτείνουν τόσο οι Godwin κ.α. (1989) για την Ευρώπη (2,0 g) όσο και ο Rinaldi (2004) για την Ιταλία (1.9 g).

4.7 Επίδραση του εδάφους, του κλίματος, της ημερομηνίας σποράς και της ποικιλίας στη μεταβλητότητα της παραγωγής.

Το κλίμα μιας περιοχής, οι εδαφικές ιδιότητες, η ημερομηνία σποράς καθώς και η ποικιλία, αποτελούν σημαντικούς παράγοντες για μια καλλιέργεια, οι οποίοι καθορίζουν και την απόδοση αυτής. Στην παράγραφο αυτή εξετάζεται η επίδραση του κάθε παράγοντα χωριστά στη μεταβλητότητα της παραγωγής. Για το σκοπό αυτό, τα πειραματικά δεδομένα, ανάλογα με την εξεταζόμενη παράμετρο, χωρίστηκαν σε ομάδες. Για κάθε ομάδα πειραματικών δεδομένων βρέθηκε ο μέσος όρος παραγωγής και ελέγχθηκε η μεταβλητότητα της με τον υπολογισμό της τυπικής απόκλισης. Συγκεκριμένα, για το έδαφος τα πειραματικά δεδομένα χωρίστηκαν σε τέσσερις ομάδες ανάλογα με το αγροτεμάχιο στο οποίο είχαν τοποθετηθεί οι πειραματικοί αγροί. Για την εξέταση της επίδρασης του κλίματος τα πειραματικά δεδομένα χωρίστηκαν ανάλογα με το καλλιεργητικό έτος. Επίσης, όσον αφορά την ημερομηνία σποράς, τα πειραματικά δεδομένα ομαδοποιήθηκαν σύμφωνα με το παρακάτω σκεπτικό. Το εύρος των 35 ημερών (15 Νοεμβρίου έως 20 Δεκεμβρίου) κατά το οποίο παρατηρήθηκε να πραγματοποιείται η σπορά χωρίστηκε σε 4 εβδομάδες. Οι εβδομάδες διαχωρίστηκαν ως εξής: η πρώτη εβδομάδα ορίστηκε μεταξύ των ημερομηνιών 15 και 22 Νοεμβρίου, η δεύτερη μεταξύ 23 και 30 Νοεμβρίου, η τρίτη

μεταξύ των ημερομηνιών 1 και 10 Δεκεμβρίου και η τελευταία εβδομάδα σποράς ορίστηκε από 11 έως 20 Δεκεμβρίου. Τέλος, η επίδραση της ποικιλίας μελετήθηκε μεταξύ των τριών ποικιλιών που χρησιμοποιήθηκαν στη συγκεκριμένη μελέτη. Στον Πίνακα 4.31 φαίνονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση των πειραματικών δεδομένων και υπολογισμένων μετά την ομαδοποίηση τους σύμφωνα με τα όσα προαναφέρθηκαν.

Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν μετά την επεξεργασία των δεδομένων αγρού, προκύπτει ότι οι κλιματικές συνθήκες που επικρατούν κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου διαδραματίζουν το σημαντικότερο ρόλο στην παραγωγικότητα του σκληρού σιταριού. Η τυπική απόκλιση που προκύπτει από τη μέση παραγωγή κάθε έτους παίρνει τη μέγιστη τιμή (1.116 kg/ha) μεταξύ των υπολοίπων παραμέτρων, επισημαίνοντας την μεγαλύτερη παραλλακτικότητα στην παραγωγή που επιφέρει ο συγκεκριμένος παράγοντας. Ο παράγοντας με την αμέσως επόμενη σημαντική βαρύτητα στην παραλλακτικότητα της παραγωγικότητας είναι η ημερομηνία σποράς. Παρατηρούμε ότι μεταξύ των τεσσάρων εβδομάδων που επιλέξαμε υπάρχει μια τυπική απόκλιση της τάξης των 598 kg/ha που επιδεικνύει αρκετά υψηλή παραλλακτικότητα της παραγωγής. Ο παράγοντας με την επόμενη βαρύτητα στην παραγωγή αποτελούν τα εδαφικά χαρακτηριστικά καθώς η τυπική απόκλιση για την απόδοση της καλλιέργειας σε σχέση με το τεμάχιο είναι της τάξεως των 403 kg/ha. Τέλος, ο παράγοντας με την μικρότερη επίδραση στην παραλλακτικότητα της παραγωγής είναι η ποικιλία. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι η μέση παραγωγή των ποικιλιών που επιλέχθηκαν για τις καλλιεργητικές περιόδους που μελετήθηκαν είναι περίπου 3.000 kg/ha για την κάθε μία. Επίσης η τυπική απόκλιση είναι πολύ κοντά στο μηδέν, συγκεκριμένα είναι της τάξεως των 14 kg/ha. Παράλληλα, στις ίδιες διαπιστώσεις καταλήγουμε αξιολογώντας τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση των τιμών που υπολογίστηκαν κατά την εφαρμογή του μοντέλου. Η παραγωγή που υπολογίζεται κατά την προσομοίωση του σκληρού σιταριού από το μοντέλο φαίνεται να επηρεάζεται, όπως και στην πραγματικότητα, περισσότερο από την παραλλακτικότητα των κλιματικών συνθηκών. Για το συγκεκριμένο παράγοντα, η τυπική απόκλιση μεταξύ των τιμών είναι 1084 κιλά ανά εκτάριο, πολύ κοντά στην τυπική απόκλιση των τιμών που παρατηρήθηκαν στον αγρό. Στη συνέχεια, οι παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγή του μοντέλου είναι η ημερομηνία σποράς, με τυπική απόκλιση μεταξύ των τιμών 641 kg/ha, το

έδαφος, με την τυπική απόκλιση να είναι της τάξεως των 418 kg/ha, και τέλος η ποικιλία, με τυπική απόκλιση 63 kg/ha. Το γεγονός ότι οι εξεταζόμενες παράμετροι επιδρούν με την ίδια βαρύτητα στην παραγωγή, τόσο στον αγρό όσο και κατά την εφαρμογή του μοντέλου, για τις αντίστοιχες περιόδους φανερώνει την καλή προσέγγιση της πραγματικότητας από το μοντέλο.

Πίνακας 4.31– Αποτελέσματα μελέτης της επίδρασης του εδάφους, του κλίματος, της ημερομηνίας σποράς και της ποικιλίας στη μεταβλητότητα της παραγωγής

Παράμετρος	Ομάδα δεδομένων	Παρατήρηση		Προσομοίωση	
		Μέσος όρος (kg/ha)	Τυπική απόκλιση (kg/ha)	Μέσος όρος (kg/ha)	Τυπική απόκλιση (kg/ha)
Έδαφος	A	3.471	1.123	3.526	1.286
	B	2.828	920	2.866	978
	Γ	2.501	142	2.765	110
	Δ	2.930	180	2.560	217
Τυπική απόκλιση (kg/ha)		403		418	
Κλίμα	2003-2004	5.002	33	4.911	227
	2004-2005	1.458	403	1.463	314
	2005-2006	3.034	1.136	2.991	941
	2006-2007	2.561	217	2.561	217
	2007-2008	3.804	301	3.617	96
	2008-2009	2.765	110	2.778	142
	2009-2010	3.655	165	3.766	41
Τυπική απόκλιση (kg/ha)		1.116		1.084	
Ημερομηνία σποράς	1 ^η εβδομάδα	3.767	325	3.827	458
	2 ^η εβδομάδα	2.936	823	3.138	975
	3 ^η εβδομάδα	2.600	192	2.616	211
	4 ^η εβδομάδα	2.419	1.565	2.380	1.631
Τυπική απόκλιση (kg/ha)		598		641	
Ποικιλία	Simeto	2.999	1.163	2.923	1.030
	Mexicali	3.023	1.165	2.910	1.077
	Σίφνος	3.024	1.157	3.025	1.107
Τυπική απόκλιση (kg/ha)		14		63	

Κεφάλαιο 5

Συμπεράσματα

Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

5.1 Ανακεφαλαίωση - Συμπεράσματα

Σκοπός της παρούσας διατριβής ήταν η διερεύνηση της δυνατότητας του μοντέλου προσομοίωσης καλλιεργειών, CERES-Wheat, να αναπαραγάγει την ανάπτυξη και την τελική ποσότητα παραγωγής της καλλιέργειας του σκληρού σίτου (*Triticum durum* L.) στην περιοχή της Κεντρικής Μακεδονίας, έτσι ώστε να αποτελέσει στο μέλλον ένα πολύτιμο εργαλείο τόσο στα χέρια των φορέων χάραξης πολιτικής όσο και των ίδιων των παραγωγών στη διασφάλιση μιας βιώσιμης γεωργίας στις νέες συνθήκες που διαμορφώνονται στο περιβάλλον. Για την επίτευξη του σκοπού αυτού μελετήθηκε ο βιολογικός κύκλος τριών ποικιλιών (Simeto, Mexicali και Σίφνος) στην περιοχή της Θέρμης. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν προήλθαν από παρατηρήσεις αγρού, του Ινστιτούτου Σιτηρών Θεσσαλονίκης, επτά καλλιεργητικών περιόδων, μεταξύ των ετών 2003 και 2010 και περιελάμβαναν τις ημερομηνίες της σποράς, της εμφάνισης του αρτίβλαστου, του ξεσταχυάσματος, της έναρξης και λήξης της πλήρωσης του κόκκου καθώς και τη συγκομισμένη παραγωγή.

Αρχικά προσδιορίστηκαν οι γενετικοί συντελεστές (genetic coefficients) που χαρακτηρίζουν κάθε ποικιλία. Για το λόγο αυτό τα δεδομένα των πειραματικών αγρών (2003-2010) διαιρέθηκαν σε δυο υποσύνολα. Το ένα από αυτά (καλλιεργητικές περίοδοι 2004-2005, 2005-2006 και 2009-2010) χρησιμοποιήθηκε για τη βαθμονόμηση (calibration) του μοντέλου. Ενώ το δεύτερο χρησιμοποιήθηκε ώστε να αξιολογηθεί η ικανότητα του μοντέλου να αναπαραγάγει τα πειραματικά δεδομένα (καλλιεργητικές περίοδοι 2003-2004, 2006-2007, 2007-2008 και 2008-2009, validation). Στη συνέχεια, τα αποτελέσματα της εφαρμογής του μοντέλου στην προσομοίωση του βιολογικού κύκλου (μελετήθηκε η ημερομηνία ξεσταχυάσματος καθώς για το στάδιο ανάπτυξης αυτό υπήρχαν δεδομένα για όλες τις υπό μελέτη

καλλιεργητικές περιόδους) και της απόδοσης του σκληρού σίτου αξιολογήθηκαν με την χρήση στατιστικών κριτηρίων.

Όσον αφορά το ξεστάχυσμα, το μοντέλο δείχνει να προσεγγίζει ικανοποιητικά την πραγματικότητα, τόσο για τις περιόδους που χρησιμοποιήθηκαν στη διαδικασία της βαθμονόμησης όσο και γι' αυτές που χρησιμοποιήθηκαν στην επαλήθευση του μοντέλου για τους γενετικούς συντελεστές που θεωρήθηκε ότι μπορούν να περιγράψουν τις τρεις ποικιλίες. Συγκεκριμένα, το μοντέλο δείχνει τάση υπερεκτίμησης του ξεσταχύσματος, καθώς για όλες τις εξεταζόμενες ομάδες δεδομένων ο στατιστικός δείκτης MBE έχει θετικές τιμές. Η υπερεκτίμηση, όμως, αυτή δεν υπερβαίνει τις δυο ημέρες. Για την ποικιλία Simeto, το μοντέλο υπερεκτιμά, κατά μέσο όρο, το ξεστάχυσμα κατά 1 ημέρα (145 ημέρες μετά τη σπορά έναντι 144 ημέρες μετά τη σπορά, κατά τη βαθμονόμηση και 141 ημέρες μετά τη σπορά έναντι 140 ημέρες μετά τη σπορά κατά την επαλήθευση), το οποίο επιβεβαιώνει ο δείκτης RMSE που λαμβάνει τιμές 1,81 ημέρες μετά τη σπορά και 1,27 ημέρες μετά τη σπορά για τη βαθμονόμηση και επαλήθευση, αντίστοιχα. Για την ποικιλία Mexicali, το μοντέλο, κατά μέσο όρο, δείχνει να υπερεκτιμά το ξεστάχυσμα κατά 1 ημέρα για τις καλλιεργητικές περιόδους που χρησιμοποιήθηκαν στη βαθμονόμηση (142 ημέρες μετά τη σπορά έναντι 141 ημέρες μετά τη σπορά) ενώ για τις υπόλοιπες καλλιεργητικές περιόδους το μοντέλο προβλέπει ακριβώς την ημέρα ξεσταχύσματος (137 ημέρες μετά τη σπορά), ενώ η τιμές του δείκτη RMSE είναι 1,88 ημέρες μετά τη σπορά και 0,66 ημέρες μετά τη σπορά, αντίστοιχα. Τέλος, για την ποικιλία Σίφνος, η πρόβλεψη του μοντέλου για την ημερομηνία ξεσταχύσματος καθυστερεί μια ημέρα κατά τη βαθμονόμηση (142 ημέρες μετά τη σπορά έναντι 141 ημέρες μετά τη σπορά) με την τιμή του δείκτη RMSE να είναι 1,13 ημέρες μετά τη σπορά, ενώ κατά την επαλήθευση του μοντέλου η προσομοιωμένη ημερομηνία ξεσταχύσματος συμπίπτει με την παρατηρούμενη (138 ημέρες μετά την σπορά) και τον δείκτη RMSE να έχει τιμή 0,52 ημέρες μετά τη σπορά.

Σχετικά με τη δεύτερη παράμετρο που μελετήθηκε, την παραγόμενη ποσότητα σπόρου του σκληρού σιταριού το μοντέλο πλησιάζει αρκετά καλά την παρατηρούμενη ποσότητα αγρού, με μια απόκλιση που δεν υπερβαίνει το 7%. Συγκεκριμένα για την ποικιλία Simeto, το μοντέλο κατά τη βαθμονόμηση υποεκτιμά την παραγωγή κατά μέσο όρο 23 kg/ha (3,64 % από τη μέση παραγωγή) και κατά την επαλήθευση 122 kg/ha (6,90% από τη μέση παραγωγή). Ανάλογη είναι η εικόνα που

προκύπτει για την ποικιλία εξετάζοντας τον δείκτη RMSE, ο οποίος έχει τιμές 131 kg/ha και 269 kg/ha, αντίστοιχα. Για την ποικιλία Mexicali, η απόκλιση του μοντέλου από την πραγματικότητα είναι της τάξεως του 5,98% (68 κιλά ανά εκτάριο) για τη βαθμονόμηση και 6,49% (164 κιλά ανά εκτάριο) για την επαλήθευση. Ενδεικτικό είναι το γεγονός ότι το μοντέλο υποεκτιμά την παραγωγή και γι' αυτή την ποικιλία. Ο δείκτης RMSE λαμβάνει τιμές 212 kg/ha και 321 kg/ha, αντίστοιχα. Τέλος, για την ποικιλία Σίφνος η εφαρμογή του μοντέλου για τις καλλιεργητικές περιόδους που χρησιμοποιήθηκαν στη βαθμονόμηση δείχνει μια υπereκτίμηση της παραγωγής κατά 6,01% (79 kg/ha σε πραγματικούς αριθμούς), ενώ για τις καλλιεργητικές περιόδους που χρησιμοποιήθηκαν στην επαλήθευση το μοντέλο υποεκτιμά το μοντέλο κατά 3,68% (67,5 kg/ha). Αυτή η διαφορετική προσέγγιση της πραγματικότητας από το μοντέλο μεταξύ βαθμονόμησης και επαλήθευσης οφείλεται στην διαφορά της παραγόμενης ποσότητας που προσεγγίζει τα 1.000 kg/ha μεταξύ των καλλιεργητικών περιόδων. Οι τιμές του δείκτη RMSE για την ποικιλία Σίφνος είναι 161 kg/ha για τις καλλιεργητικές περιόδους της βαθμονόμησης και 179 kg/ha για τις καλλιεργητικές περιόδους της επαλήθευσης.

Για το σύνολο των καλλιεργητικών περιόδων, από τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων, προκύπτει ότι το μοντέλο CERES-Wheat δύναται να περιγράψει το βιολογικό κύκλο του σκληρού σίτου ικανοποιητικά. Το παραπάνω συμπέρασμα επιβεβαιώνουν οι τιμές των στατιστικών δεικτών. Οι τιμές του απόλυτου σφάλματος είναι πολύ μικρές και για τις δυο παραμέτρους που συζητήθηκαν (140,76 έναντι 140,14 ημέρες μετά της σπορά για το ξεστάχυσμα και, 2.952 kg/ha έναντι 3.016 kg/ha, για την παραγωγή). Επίσης οι τιμές του δείκτη RMSE δείχνουν καλή προσέγγιση της πραγματικότητας λαμβάνοντας τιμές 1,2 ημέρες μετά τη σπορά για το ξεστάχυσμα και 225 kg/ha για την ποσότητα του παραγόμενου καρπού.

Σε ότι αφορά τη μελέτη επίδρασης του κλίματος της περιοχής, του έδαφους κάθε χωραφιού, της ημερομηνίας σποράς καθώς και της ποικιλίας στην ποσότητα του παραγόμενου καρπού, διαπιστώθηκε ότι ο παράγοντας με την μεγαλύτερη επίδραση στην παραγωγή τόσο για τα πειράματα αγρού όσο και για το μοντέλο αποτελεί το κλίμα, προσδίδοντας μεγάλη παραλλακτικότητα στην απόδοση του σκληρού σίτου (με τυπική απόκλιση 1.116 kg/ha για τις παρατηρήσεις αγρού και 1.084 kg/ha για τις προσομοιωμένες τιμές). Οι υπόλοιποι παράγοντες έχουν μικρότερη επίδραση με σημαντικότερο αυτών την ημερομηνία σποράς (τυπική απόκλιση 598 και 641 kg/ha

για τις παρατηρούμενες και προβλεπόμενες από το μοντέλο τιμές αντίστοιχα) και εν συνεχεία το έδαφος (τυπική απόκλιση 403 και 408 kg/ha για τον αγρό και το μοντέλο αντίστοιχα). Τέλος, η ποικιλία του σκληρού σίτου διαπιστώθηκε ότι έχει την μικρότερη επίδραση στην παραγωγή καθώς εμφανίζει τυπική απόκλιση μεταξύ των παραγόμενων ποσοτήτων της τάξεως των 14 kg/ha για τις παρατηρούμενες τιμές και 63 kg/ha για τις τιμές που προβλέπει το μοντέλο.

5.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Από τα αποτελέσματα αυτής της διατριβής μπορούν να γίνουν μερικές προτάσεις ώστε να ερευνηθούν μελλοντικά:

- Η ικανοποιητική προσέγγιση της πραγματικότητας από το μοντέλο δίνει τη δυνατότητα ελέγχου διαφορετικών καλλιεργητικών πρακτικών (για παράδειγμα την ημερομηνία σποράς, τη διαχείριση λίπανσης, τον τρόπο αμειψισποράς κ.α), χωρίς να είναι απαραίτητο να εγκαθιστούμε χρονοβόρα πειράματα στον αγρό.
- Μελέτη της επίδρασης των κλιματικών μεταβολών στο βιολογικό κύκλο του σκληρού σίτου και κατ' επέκταση στην παραγωγή καρπού.
- Μελέτη για τη δυνατότητα χρήσης του μοντέλου από τους αρμόδιους φορείς για την χάραξη πολιτικής στον τομέα των εξαγωγών και εισαγωγών αγροτικών προϊόντων σε σχέση με την αναμενόμενη παραγωγή κάθε έτους σύμφωνα με τις προβλέψεις του μοντέλου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

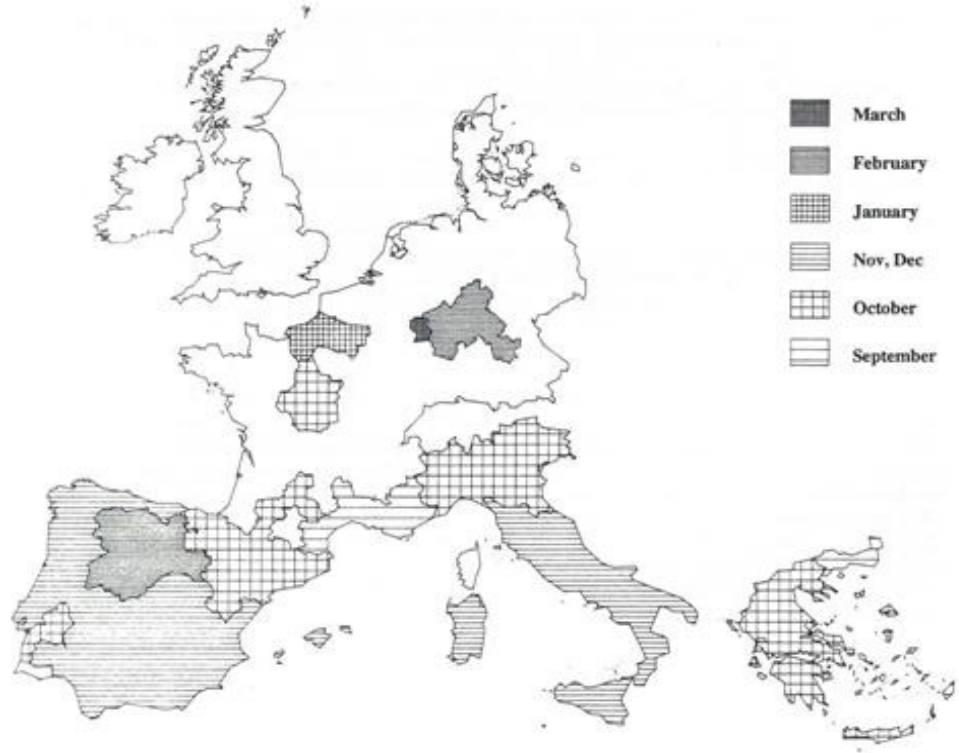
- Δαλιάνης Κ., (1983), «Χειμερινά Σιτηρά», Οργανισμός Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων, Αθήνα.
- Εθνική Στατιστική Υπηρεσία της Ελλάδος (Ε.Σ.Υ.Ε.), <http://www.statistics.gr>
- Καραμάνος Α., (1992), «Τα σιτηρά των Εύκρατων Κλιμάτων», Ανωτάτη Γεωπονική Σχολή Αθηνών, Αθήνα.
- Μαυρομμάτης Θ., Mearns, L.O., and Carbone , G.J, 2000. Αξιολόγηση του CROPGRO –Soybean μοντέλου και της ευαισθησίας του σε διαφορετικές μεθόδους εκτίμησης εδαφικών παραμέτρων στις ΝΑ Ηνωμένες Πολιτείες. Στα πρακτικά του 5ου Πανελλήνιου Συνεδρίου Μετεωρολογίας – Κλιματολογίας – Φυσικής Της Ατμόσφαιρας, Θεσ/νίκη 2000, σελ. 453-460.
- Μετζάκης Δ., (1998), «Ειδική Γεωργία Ι-Σιτηρά», Τμήμα Φυτικής Παραγωγής, Τ.Ε.Ι. Ηπείρου, Άρτα.
- Παπακώστα Δ., (1997), «Σημειώσεις Ειδικής Γεωργίας Ι (Σιτηρά, Ψυχανθή, Χορτοδοτικά Φυτά», Τμήμα Γεωπονίας, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
- Σφήκας Α., (1995), «Ειδική Γεωργία Ι. Σιτηρά, Ψυχανθή και Χορτοδοτικά Φυτά», Α.Π.Θ., Εκδόσεις: Υπηρεσία Δημοσιευμάτων, Θεσσαλονίκη.
- Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων, (2001), <http://www.minagric.gr>
- Υπουργείο Γεωργίας & Ινστιτούτο Σιτηρών, (1991), «Οι Ελληνικές ποικιλίες σιτηρών και η καλλιέργειά τους», Αθήνα.
- Φασούλας, Α. και Σενλόγλου, Ν. (1966) Η προσαρμοστικότητα των φυτών μεγάλης καλλιέργειας στην Ελλάδα, Θεσσαλονίκη, σελ.: 118-120, 125-130.
- Φολίνας, Ν. (1995) Φυτά Μεγάλης Καλλιέργειας, Αθήνα, σελ.: 135-137.
- Agathos N. (1988). Fertilizing annual crops. Agricultural Technology, vol 38a.
- Alexandrov, V.A., Hoogenboom, G., 2001. The impact of climate variability and change on crop yield in Bulgaria. Agric. Forest Meteorol. 104, 315–327.
- Anonymous, 1992a. World Grain Statistics 1992. International Wheat Council, London.
- Bozzini A. 1988. Origin, distribution, and production of durum wheat in the world. In Fabriani G and Lintas C (ed). Durum: Chemistry and Technology. AACC, Minnesota, USA. pp 1-16.
- Carbone, C.J., Mearns, L.O., Mavromatis, T., Sadler, E.J., and stooksbury, D., 2003. Evaluating CROPGRO-Soybean performance for use in climate impact studies. Agronomy Journal, 95, 537 – 544.
- Ciambelli A., Vicari A., Vicari M. (1989). Grano duro in semina diretta nell'entroterra siciliano. Inf. Agr., 37. 33-36.
- Fetcher, J., Allison, B.E., Sivakumar, M.V.K., van der Ploeg, R.R., Bley, J., 1991. An evaluation of the SWATRER and CERES-Millet models for southwest Niger. In: Sivakumar, M.V.K., Wallace, J.S., Renard, C., Giroux, C. (Eds.), Soil Water Balance in the Sudano-Sahhellian Zone. International Association of Hydrological Sciences, Wallingford, UK, pp. 505–513.

- Gabrielle B, Denoroy P, Gosse G, Justes E, Andersen MN (1998). Development and evaluation of a CERES-type model for winter oilseed rape. *Field Crops Res.* 57: 95-111.
- Gabrielle B, Roche R, Angas P, Cantero-Martinez C, Cosentino L, Mantineo M, Langensiepen M, Hénault C, Laville P, Nicoullaud B, Gosse G (2002). A priori parameterisation of the CERES soil-crop models and tests against several European data sets. *Agronomie.* 22 : 119-132.
- Gao, W., Mavromatis, T., and Mearns, L.O., 1998. Validation and soil sensitivity tests with CERES – Wheat and Rice in the Southeastern United States. In the proceedings of the international Symposium on Modeling for Crop – Climate – Soil –Pest System and its applications on Sustainable Crop Production, 22-26 June 1998, Nanjing, China, 220- 227pp.
- Hinkle, D., W. Wiersma, and S. Jurs. 1994. *Applied statistics for the behavioral sciences* (3rd ed.). Houghton Mifflin Company, Boston.
- Hoogenboom, G., Wilkens, P.W., Thornton, P.K., Jones, J.W., Hunt, L.A., Imamura, D.T., 1999. Decision support system for agrotechnology transfer v3.5. In: Hoogenboom, G., Wilkens, P.W., Tsuji, G.Y. (Eds.), *DSSAT version 3*, vol. 4 (ISBN 1-886684-04-9). University of Hawaii, Honolulu, HI, pp. 1/36.
- Hunkár M (1994). Validation of crop simulation model CERES-Maize. *Quarterly J. Hungarian Meteorology Series* 98: 37-46.
- Hume, C.J. and Callander, B.A. 1990. Agro meteorology and model building. *Outlook on Agriculture.* 22: 243-350.
- Iglesias A, Rosenzweig C, Pereira D (2000). Agricultural impacts of climate change in Spain: developing tools for a spatial analysis. *Global Environ. Change* 10: 69-80.
- Irmak, A., Jones, J.W., Mavromatis, T., Welch S.M., Boote, K.J. and Wilkerson, G.G., 2000. Evaluating methods for simulating soybean cultivar responses using cross Validation, *Agronomy Journal*, 92, 1140-1149
- Jones, J.W., Tsuji, G.Y., Hoogenboom, G., Hunt, L.A., Thornton, P.K., Wilkens, P.W., Imamura, D.T., Bowen, W.T., Singh, U., 1998. Decision support system for agrotechnology transfer; DSSAT v3. In: Tsuji, G.Y., Hoogenboom, G., Thornton, P.K. (Eds.), *Understanding Options for Agricultural Production*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands, pp. 157/177.
- Jones, J.W., Hunt, L.A., Hoogenboom, G., Godwin, D.C., Singh, U., Tsuji, G.Y., Pickering, N.B., Thornton, P.K., Bowen, W.T., Boote, K.J., Ritchie, J.T., 1994. Input and output files. In: Tsuji, G.Y., Uehara, G., Balas, S. (Eds.), *Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 3*, vol. 2. University of Hawaii, Honolulu, HI, pp. 1/94.
- Jones, C.A., Kiniry, J.R., 1986. *CERES-Maize: A Simulation Model of Maize Growth and Development*. Texas A&M University Press, College Station, Texas.
- Jones, C.A., Dyke, P.T., Williams, J.R., Kiniry, J.R., Benson, V.W., Griggs, R.H., 1991. EPIC: an operational model for evaluation of agricultural sustainability. *Agricultural Systems* 37, 341/350.

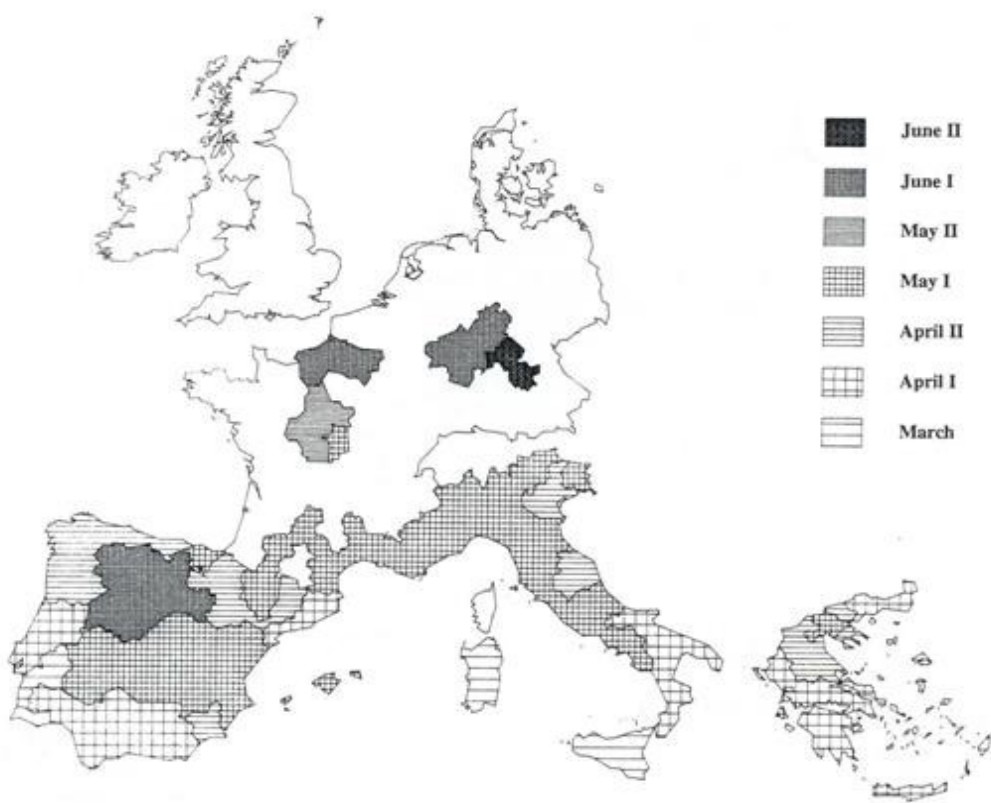
- Jones J.W. Ritchie, J.T., 1991. Crop growth models In: Hoffman, G.J, Howell, T.A., Solomon, K.H. (Eds.), Management of Farm Irrigation Systems, American Society for Agricultural Engineering, pp. 63/89.
- Koundouras D., Gagianas A., Fotiadis N. (1987). The effect of water and nitrogen on yield and quality of common wheat. Agricultural Research, 11 363-378.
- Landau S, Mitchell RAC, Barnett V, Colls JJ, Craigon J, Moore KL, Payne RW (1998). Testing winter wheat simulation models' predictions against observed UK grain yields. Agric. For. Meteorol. 89: 85-99.
- Mavromatis, T., Boote, K.J., Jones J.W., Irmak, A., Shinde, D. and Hoogenboom, G., 2000. Developing genetic coefficients for crop simulation models with data from crop performance trials, Crop Science, 41,40-51.
- Mavromatis, T., Boote, K.J., Jones, J.W., Wilkerson, G.G. and Hoogenboom, G., 2001. Repeatability of model genetic coefficient derived from soybean performance trials across different states, crop Science, 42, 76-89.
- Mavromatis, T and Jones, P.D., 1998. Comparison of climate change scenario construction methodologies for impact assessment studies. Agricultural and Forest meteorology, 91,51-67.
- Mavromatis, T and Jones, P.D., 1999. Evaluation of HADCM₂ and direct use of daily GCM data in impact assessment studies. Climatic Change 41, 583-614.
- Mavromatis T. and Stathis, D.,2010. Response of the water balance in Greece to temperature and precipitation trends. Theoretical and Applied Climatology DOI10.1007/s00704-010-0320-9.
- Mavromatis T., 2011. Changes in exceptional hydrological and meteorological weekly event frequencies in Greece. Climatic Change DOI10.1007/s10584-011-0095-8
- Mavromatis, T., and Jones, P.D., 1998. Evaluation of CERES-Wheat in central France during 1976 to 1992. In: course on Climate Change Impact on Agriculture and Forestry (eds D. Peter, G. Maracchi and A. Chazi) Proceedings of the European School of Climatology and Natural Hazards 16-23 March 1996, Volterra, Italy, 419-434pp.
- Mearns, L.O., Mavromatis, T., Tsvetsinskaya, E., Hays, C. and Easterling, W, 1999. Comparative Responses of EPIC and CERES Crop Models to High and Low Resolution Climate Change Scenarios. Journal of Geophysical Research, 104 (D6),6623 -6646.
- Murthy, V.R.K. 2002. Basic principles of Agricultural Meteorology. Book syndicate publishers, Koti, Hyderabad, India.
- Murthy, V.R.K. 2003. Crop Growth Modeling and its Applications in Agricultural Meteorology. Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology pp. 235-261
- Natalini S., Porfiri O. (1988). Andamento climatico e ciclo del frumento d'Inverno nelle Marche. Inf. Agr, 40. 49-50.
- Norman J.M. 1979. Modeling the complete crop canopy. In Barfield, B.J. and Gerber, J.F. (Eds.), Modification of the Aerial Environment of Plants. St. Josephs, MI: American Society of Agricultural Engineers.

- Penning de Vries, F.W.T., Jansen, D.M., Berge, H.F.M., and Bakenta, A. 1989. Simulation of crop Physiological Processes of Growth in Several Annual Crops. Simulation Monograph. Wageningen, Netherlands: PUDOC Scientific Publishers.
- Poehlman, J.M., 1987. Breeding field crops. Van Nostrand Reinhold. New York
- Ruiz-Nogueira B, Boote KJ, Sau F (2001). Calibration and use of CROPGRO-soybean model for improving soybean management under rainfed conditions in Galicia, Northwest Spain. *Agric. Syst.* 68: 151-173.
- R. E. Shannon, "Introduction to the Art and Science of Simulation", Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference.
- Saarikko RA (2000). Applying a site based crop model to estimate regional yields under current and changed climates. *Ecol. Modell.* 131: 191-206.
- Semenov MA, Wolf J, Evans LG, Eckersten H, Iglesias A (1996). Comparison of wheat simulation models under climate change. II. Application of climate change scenarios. *Clim. Res.* 7: 271-281.
- Singh, U., Wilkens, P.W., Chude, V., Oikeh, S., 1999. Predicting the effect of nitrogen deficiency on crop growth duration and yield. In: Proceedings of the Fourth International Conference on Precision Agriculture, ASA-CSSA-SSSA, Madison, Wisconsin, USA, pp. 1379–1393.
- Thornton, P.K., W.T. Bowen, A.C. Ravelo, P.W. Wilkens, G. Farmer, J. Brock and J.E. Brink. 1997. Estimating millet production for famine early warning: an application of crop simulation modelling using satellite and ground-based data in Burkina Faso. *Agricultural and Forest Meteorology* 83: 95-112.
- Tsuji, G.Y., Uehara, G., Balas, S. (Eds.), Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 3. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii 1994.
- Tsvetsinskaya, E.A., Mearns, L.O., Mavromatis, T., Gao, W., McDaniel, L.R., and Downton, M.W., 2003. The effect of spatial scale of climate change scenarios on simulated maize, winter wheat, and rice production in the southeastern United States. *Climatic Change*, 60, 37-72.
- Vavilov, N.I. 1992. Origin and geography of cultivated plants. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK.
- Welch, S.M., Wilkerson, G.G., Whiting, K., Sun, N., Vagts, T., Buol, G., and Mavromatis, T., 2002. Estimating model genetic coefficients from private-sector variety performance trial data. *Transactions of the ASAE*, 45(4), 1163 - 1175.
- Whisler, F.D., Acock, B., Baker, D.N., Fye, R.F., Hodges, H.F., Lambert, J.R., Lemmain, H.E., Mckinion, J.M., and Ready, V.R. 1986. Crop simulation models in agronomic systems. *Advances in Agronomy.* 40: 141-208.
- Zalud Z, Stralkova R, Pokorny E, Podesvova J (2001). Estimation of winter wheat nitrogen stress using the CERES crop model. *Rostl. Vyroba.* 47: 253-259.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΕΙΚΟΝΩΝ



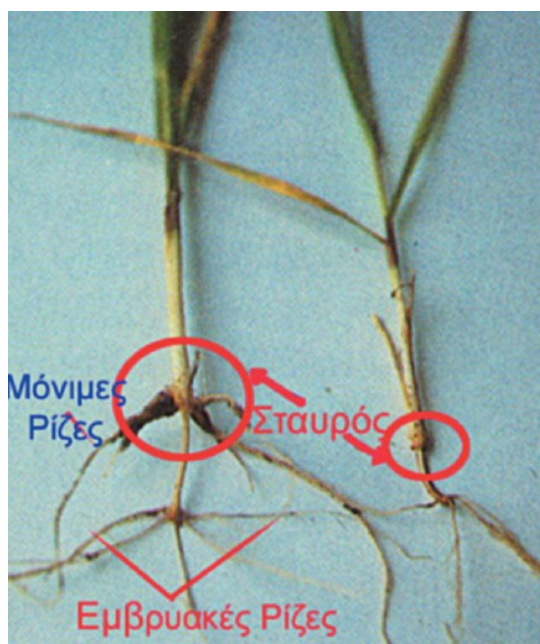
Εικόνα 1.3 - Ημερομηνίες σπορά του σκληρού σίτου στην Ευρωπαϊκή Ένωση.



Εικόνα 1.4 - Ημερομηνίες ξεσταχύσματος του σκληρού σίτου στην Ευρωπαϊκή Ένωση.



Εικόνα 1.5 - Ημερομηνίες συγκομιδής του σκληρού σίτου στην Ευρωπαϊκή Ένωση.



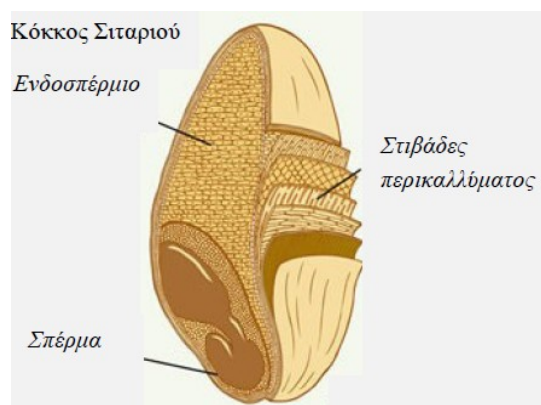
α. Ριζικό σύστημα



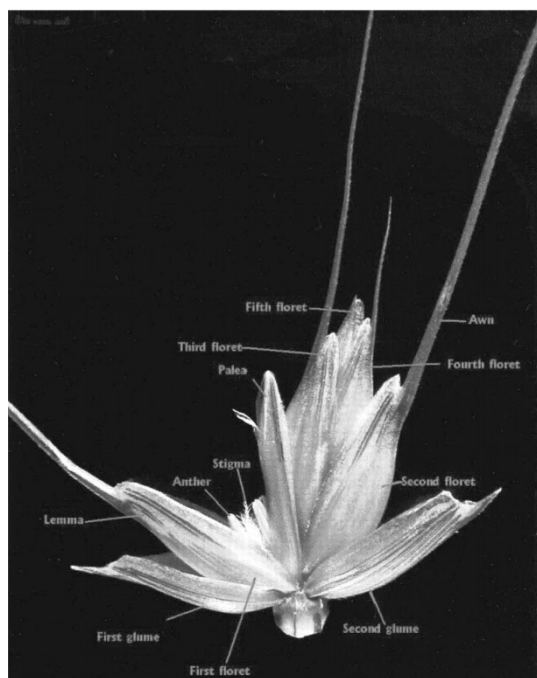
β. Στέλεχος (καλάμι) σιταριού



γ. Φύλλωμα σιταριού

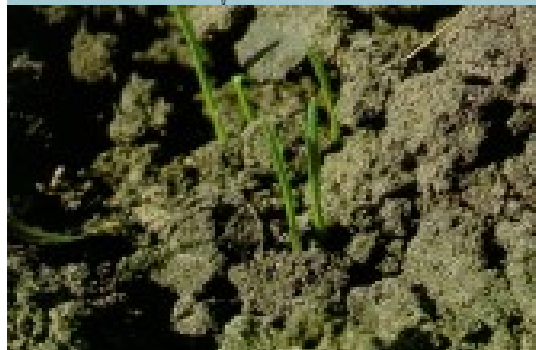
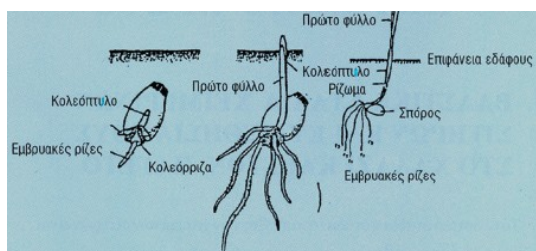


ε. Κόκκος σιταριού



δ. Σταχύδιο σιταριού

Εικόνα 1.6 Μορφολογικά χαρακτηριστικά σκληρού σιταριού



α. Φύτρωμα σπόρου, εμφάνιση αρτίβλαστου



β. Αδέλφωμα (έναρξη, 4-6 εμφανή αδέλφια)



γ. Ξεστάχυσμα



δ. Ανθιση



ε. Φυτά στο στάδιο πριν τη συγκομιδή

Εικόνα 1.7. Στάδια ανάπτυξης του σκληρού σιταριού



Εικόνα 3.2- Ο πειραματικός Σ5-16



Εικόνα 3.3- Πειραματικός μετά το θερισμό



Εικόνα 3.4- Δειγματοληψία με δειγματολήπτη Edelman και δείγματα εδάφους.



Εικόνα 3.5- Δειγματοληψία αδιατάρακτων δειγμάτων και δείγματα εδάφους.



Εικόνα 3.6- Ξήρανση των δειγμάτων εδάφους σε θερμοκρασία δωματίου.



Εικόνα 3.7- Κοσκίνισμα δειγμάτων εδάφους με κόσκινο 2χιλιοστών.



Εικόνα 3.8- Παρασκευή πάστας για τον προσδιορισμό της μηχανικής σύστασης



Εικόνα 3.9- Ανάμειξη δειγμάτων με μίξερ.



Εικόνα 3.10- Δείγματα εδάφους σε ογκομετρικούς κυλίνδρους.



Εικόνα 3.11- Μέτρηση pH.



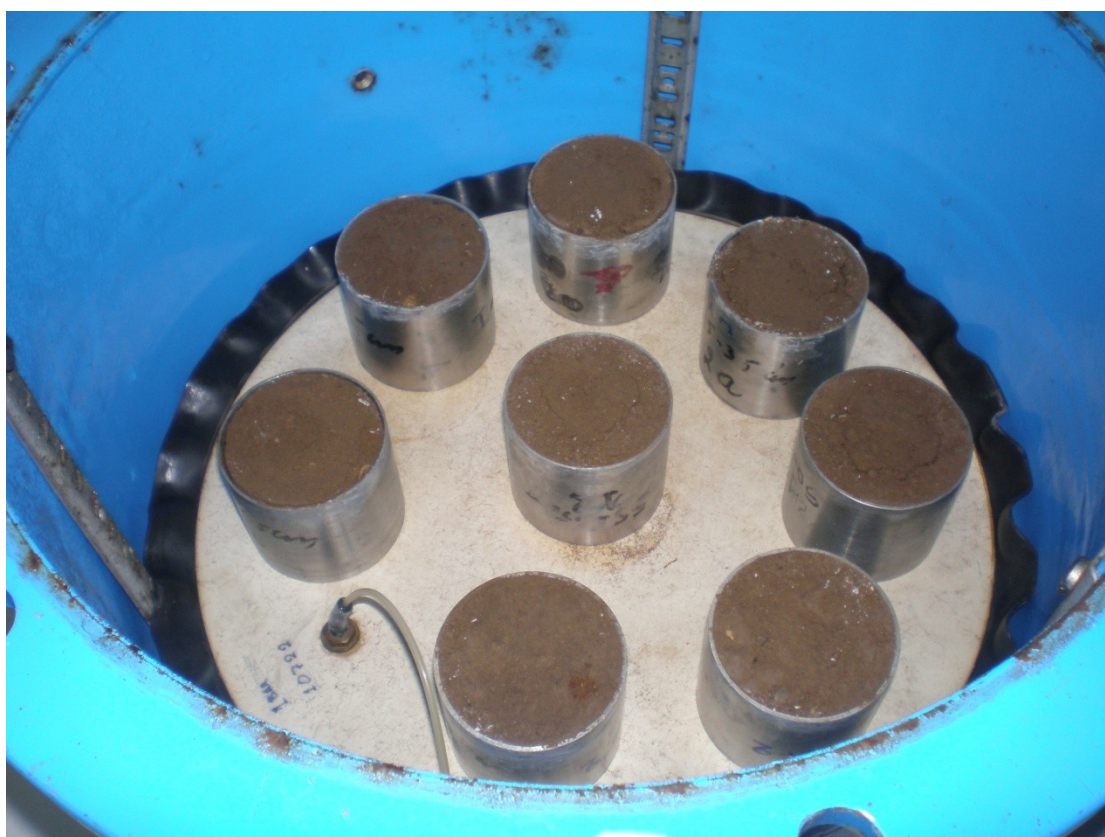
Εικόνα 3.12- Αδιατάρακτα δείγματα μετά την αφαίρεση εδάφους πάχους 2 χιλιοστών.



Εικόνα 3.13- Παρασκευή γύψου σε κεραμικά μπολ.



Εικόνα 3.14- Τοποθέτηση γύψου στα αδιατάρακτα δείγματα.



Εικόνα 3.15- Δείγματα εδάφους πάνω σε πορώδη κεραμικό δίσκο.



Εικόνα 3.16- Συσκευή μεμβράνη πίεσεως.