



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
Π.Μ.Σ.: ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗΝ ΑΕΙΦΟΡΙΚΗ ΓΕΩΡΓΙΑ
ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΑΓΡΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΑΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**ΑΝΑΛΥΣΗ ΗΜΕΡΟΒΑΘΜΩΝ ΩΣ ΕΝΑΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΣΤΗΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ
ΤΟΥ ΒΑΜΒΑΚΙΟΥ (*GOSSYPIUM HIRSUTUM*) ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ**

ΒΑΣΙΛΗΣ Θ. ΕΓΓΟΝΟΠΟΥΛΟΣ

**Επιβλέπουσα: Παπαστυλιανού Παναγιώτα - Θηρεσία,
Αναπληρώτρια Καθηγήτρια**



ΑΘΗΝΑ 2019

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**ΑΝΑΛΥΣΗ ΗΜΕΡΟΒΑΘΜΩΝ ΩΣ ΕΝΑΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΣΤΗΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ
ΤΟΥ ΒΑΜΒΑΚΙΟΥ (GOSSYPIUM HIRSUTUM) ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ**

**ANALYSIS OF GROWING DEGREE DAYS FOR COTTON
(GOSSYPIUM HIRSUTUM) AS A CLIMATE INDICATOR IN GREECE**

ΒΑΣΙΛΗΣ Θ. ΕΓΓΟΝΟΠΟΥΛΟΣ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Παπαστυλιανού Παναγιώτα - Θηρεσία, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ως Επιβλέπουσα
Δημήτριος Μπιλάλης, Τακτικός Καθηγητής ως Μέλος
Ηλίας Τραυλός, Επίκουρος Καθηγητής ως Μέλος

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σημαντικές μεταβολές της θερμοκρασίας του αέρα σημειώθηκαν παγκοσμίως κατά τη διάρκεια του 20 ου αιώνα, οι αλλαγές αυτές μπορούν να έχουν σημαντικές επιπτώσεις στην παραγωγικότητα του αγρό-οικοσυστήματος. Αγρό-κλιματικοί δείκτες που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της επίδρασης της θερμοκρασίας στη γεωργική παραγωγή είναι το ημερήσιο εύρος θερμοκρασιών (DTR), αθροιστικοί ημερόβαθμοι ($^{\circ}\text{CD}$ / HU). Εξετάζουμε τα μετεωρολογικά δεδομένα που σχετίζονται με αυτούς τους δείκτες (μέση, ελάχιστη & μέγιστη θερμοκρασία) σε περιοχές, που καλλιεργείται βαμβάκι, κατά τη διάρκεια του 1960 - 2010 χρησιμοποιώντας μετεωρολογικά δεδομένα (χρονοσειρές) που συλλέχθηκαν από 5 μετεωρολογικούς σταθμούς της Ε.Μ.Υ. Κατά μέσο όρο, η τιμή DTR μειώνεται κατά $1,70^{\circ}\text{C}$, οι αθροιστικοί ημερόβαθμοι ($^{\circ}\text{CD}$) αυξάνονται περίπου κατά 200 – 233 $^{\circ}\text{C}$ μεταξύ 1960 έως 2010. Εξετάζουμε επίσης τις τάσεις για τις γεωργικές ζώνες και τις κλιματικές περιοχές, που αντιπροσωπεύουν οι περιοχές. Διαπιστώνουμε ότι το βαμβάκι πιθανότατά να ανταποκρίνεται θετικά στην αύξηση των αθροιστικών ημερόβαθμων ($^{\circ}\text{CD}$). Συνολικά, διαπιστώνουμε ότι οι παρατηρούμενες αλλαγές στο αγροκλίμα, θα είναι επωφελείς για τις αποδόσεις και την ποιότητα του βαμβακιού στην Ελλάδα.

Λέξεις – Κλειδιά

Βαμβάκι, αθροιστικοί ημερόβαθμοι, χρονοσειρές, μετεωρολογικά δεδομένα, μέση θερμοκρασία, ελάχιστη – μέγιστη θερμοκρασία, μεταβλητότητα, κλιματική αλλαγή, αγρομετεωρολογικοί δείκτες.

ABSTRACT

Significant air temperature changes have occurred globally during the 20th century, which are spatially variable to a considerable degree and these changes can have substantial implications in agroecosystem productivity. The agro climate indicators that are responsible in these contexts are diurnal temperature range (DTR), heat accumulation (growing degree days, °CD). We explore spatial and temporal trends associated with these indices across the Cotton' s areas, during 1960 – 2010, using datasets collected at 5 sites (meteorological stations of National Meteorological Service). On average, DTR has been decreasing by 1,70°C, cumulative °CD has been increasing by 200°C – 233°C between 1960 – 2010. We also report trends for agricultural belts and climate regions of 5 sites. We found that cotton responding positively to increase in °CD. Overall, we find that the observed changes in agro climate, were beneficial for cotton yields in Greece.

Keywords

Cotton, growing degree days, time series, meteorological data, mean temperature, minimum - maximum temperature, diurnal temperature, variability, climate change, agro climate indicators.

Περιεχόμενα

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
1.1	Η Καλλιέργεια του Βαμβακιού	7
1.2	Παραγωγή βαμβακιού στην Ελλάδα	8
1.3	Η Εμπορική Αξία του Βαμβακιού	13
1.4	Η Αγορά του Βαμβακιού Παγκοσμίως	13
1.4.1	Παραγωγή	13
1.4.2	Εμπόριο	15
1.5	Στάδια Καλλιέργειας του Βαμβακιού	16
1.5.1	Οικολογικές Απαιτήσεις	16
1.5.2	Στάδια Ανάπτυξης του Βαμβακιού	19
1.6	Κλιματική αλλαγή και βαμβάκι	25
1.6.1	Η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στη γεωργία	25
1.6.2	Επιπτώσεις της Κλιματικής Αλλαγής στο Βάμβακι	34
1.7	Αγρομετεωρολογικοί Δείκτες	39
1.7.1	Οι αυξητικοί ημερόβαθμοι (°CD) - θερμικές μονάδες (HU)	39
1.7.2	Αύξηση και ανάπτυξη βαμβακιού σε σχέση με τις θερμόμοναδες	43
1.7.3	Υπολογισμός άλλων αγρομετεωρολογικών δεικτών	45
1.8	Σκοπός της Μελέτης	48
2.	ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ	49
2.1	Η συλλογή και η προετοιμασία των δεδομένων	49
2.2	Στατιστικός έλεγχος και ανάλυση των δεδομένων χρονοσειρών	50
2.2.1	Στατιστική Ανάλυση	50
2.2.2	Ο μη παραμετρικός έλεγχος Mann-Kendall για επιβεβαίωση της τάσης	52
2.3	Υπολογισμός Αθροιστικών Ημερόβαθμων	54
2.4	Μέθοδοι Πρόβλεψης Χρονοσειρών	55
3.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	57
3.1	Επεξεργασία των Μέγιστων - Ελάχιστων Θερμοκρασιών & Μέσης Θερμοκρασίας	57
3.1.1	Στατιστικός Έλεγχος Θερμοκρασιών	57
3.1.2	Μη παραμετρικός έλεγχος Mann-Kendall	62
3.2	Υπολογισμός & Επεξεργασία των Ημερόβαθμων (Growing Degree Days)	63
3.2.1	Ημερόβαθμοι της συνολικής καλλιεργητικής περιόδου	63
3.2.2	Υπολογισμός αθροιστικών ημερόβαθμων για κάθε στάδιο του βαμβακιού	66
3.3	Πρόβλεψη Χρονοσειρών	69

4	ΣΥΖΗΤΗΣΗ	77
4.1	Σχολιασμός	79
	Βιβλιογραφία	85
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	92
4.1.1	ΕΙΚΟΝΕΣ - ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ	92
4.1.2	ΠΙΝΑΚΕΣ	93
4.1.3	ΧΑΡΤΕΣ	93

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Η Καλλιέργεια του Βαμβακιού

Η αρχική χρήση του βαμβακιού από τον άνθρωπο χάνεται μέσα στο σκοτάδι της προϊστορίας. Οι αρχαιότερες ενδείξεις προέρχονται από την Ινδία. Σε ανασκαφές που έγιναν σε μια περιοχή κοντά στον Ινδό ποταμό βρέθηκαν υπολείμματα από υφάσματα και σχοινιά από βαμβάκι, που υπολογίστηκε ότι ανάγονται στο 3000 π.Χ.

Η πρώτη γραπτή μαρτυρία για το βαμβάκι βρίσκεται σε ένα πανάρχαιο θρησκευτικό βιβλίο των Ινδών, που γράφηκε γύρω στο 1500 π.Χ. Μερικές εκατονταετίες αργότερα, γύρω στο 800 π.Χ., σε ένα άλλο ιερό βιβλίο στο οποίο εκτίθεται η διδασκαλία του βραχμανισμού, καθορίζεται και η εργασία εκείνων που ασχολούνταν με το πλύσιμο και την ύφανση των βαμβακερών υφασμάτων.

Η καλλιέργεια του βαμβακιού ήταν άγνωστη στην αρχαία Ελλάδα. Αρκετοί συγγραφείς, όμως, αναφέρουν ότι το βαμβάκι αναπτυσσόταν στην Ινδία. Ο Ηρόδοτος κατά το 445 π.Χ. αναφέρει στην ιστορία του ότι «στην Ινδία φυτρώνουν άγρια δέντρα που παράγουν μαλλί πιο ωραίο και πιο εκλεκτό από το μαλλί των προβάτων. Από τα δέντρα αυτά οι Ινδοί εξασφαλίζουν τα ρούχα τους». Ο Ηρόδοτος αποκαλεί το βαμβάκι «είρια από ξύλου» και αναφέρει ότι οι Ινδοί ήταν ντυμένοι με «είματα από ξύλων πετποιημένα», δηλαδή με βαμβακερά υφάσματα.

Για πρώτη φορά αναφέρεται η καλλιέργεια του βαμβακιού στην αρχαία Ελλάδα από τον Πausανία κατά τον 2 ο μ.Χ. αιώνα. Κατά την εποχή εκείνη το βαμβάκι ήταν γνωστό με το όνομα βύσσος. Το όνομα βαμβάκι αναφέρεται για πρώτη φορά στη νομοθεσία του Ιουστινιανού, φαίνεται δε να προέρχεται από τη λέξη βόμβυξ με την οποία ονόμαζαν το μετάξι, που είχε προέλευσή του την Ασία. Κατά την εποχή του Ιουστινιανού, γύρω στο 552 μ.Χ., η καλλιέργεια του βαμβακιού ήταν ευρύτατα διαδεδομένη (Αυγουλάς Χ.Ε, 1995).

Το βαμβάκι ανήκει στο γένος *Gossypium* της οικογένειας *Malvaceae*. Το γένος *Gossypium* περιλαμβάνει 49 είδη κατανεμημένα σε πολλές τροπικές και υποτροπικές περιοχές του κόσμου. Από τα είδη αυτά ο άνθρωπος βελτίωσε και καλλιέργησε τέσσερα που είναι τα μόνα με νηματοποιήσιμη ίνα: *Gossypium, herbaceum* L., *G. arboreum* L., *G. hirsutum* L και *G. barbadense* L. Τα δύο πρώτα είναι διπλοειδή (2n=26) και τα άλλα δύο είναι τετραπλοειδή (2n=52). Στο *G. hirsutum* ανήκουν όλα τα αμερικάνικα βαμβάκια, που είναι γνωστά με το όνομα Upland. Είναι το μόνο είδος που καλλιεργείται στην Ελλάδα.

Από το *G. hirsutum* προέρχεται το 90% της παγκόσμιας παραγωγής βαμβακιού. Στο *G. barbadense* ανήκουν τα Αιγυπτιακά βαμβάκια που χαρακτηρίζονται για το μεγάλο μήκος ίνας, τη λεπτότητα και τη σπιλνότητα. Το Αιγυπτιακό βαμβάκι καλλιεργείται στην Αίγυπτο, το Σουδάν, Η.Π.Α., Βραζιλία, Περου και από αυτό παράγεται λιγότερο από το 10% της Παγκόσμιας Παραγωγής Βαμβακιού. Τα άλλα δύο είδη καλλιεργούνται ελάχιστα στην Ασία (Τόλης, 1986).

1.2 Παραγωγή βαμβακιού στην Ελλάδα

Μετά τον Α΄ Παγκόσμιο Πόλεμο η βαμβακοκαλλιέργεια άρχισε να αποκτά ισχύ στην Ελλάδα, λόγω κυρίως της αυξανόμενης ζήτησης που παρουσιάστηκε σε είδη ένδυσης εξαιτίας του αποκλεισμού της Ευρωπαϊκής αγοράς από τα μεγάλα κέντρα παραγωγής της Αμερικής. Το 1911, το βαμβάκι καλλιεργείται σε 90.500 στρέμματα, τα οποία μετά από μια εικοσαετία περίπου ανήλθαν σε 200.000 στρέμματα. (Αυγουλάς Χ.Ε, 1995).

Η συστηματική του καλλιέργεια άρχισε μετά το 1931 με την ίδρυση των δύο κρατικών ιδρυμάτων, του Ινστιτούτου και του Οργανισμού Βάμβακος, με άμεσους στόχους την προώθηση της καλλιέργειας, την υποβοήθηση της εμπορίας του και γενικότερα την ανάπτυξη της βιομηχανίας κατεργασίας του βαμβακιού και των προϊόντων του. Η συμβολή τους φάνηκε αμέσως, αφού μέσα σε μια δεκαετία τετραπλασιάστηκε η καλλιεργούμενη με βαμβάκι έκταση.

Το κράτος πρόσεξε ιδιαίτερα το βαμβάκι και έλαβε τα ενδεικνυόμενα μέτρα για την ενίσχυση της παραγωγής. Ο Οργανισμός Βάμβακος και οι αρμόδιες Υπηρεσίες του Υπουργείου Γεωργίας διέδωσαν κατά τα πρώτα χρόνια της ίδρυσής τους παραγωγικές και υψηλής αξίας ποικιλίες βάμβακα. Οι καλλιεργητές είχαν αρχίσει να εφαρμόζουν επιστημονικές μεθόδους καλλιέργειας και καταπολέμησης εχθρών και ασθενειών του βάμβακα.

Κατά το διάστημα 1973 - 1982 αγοράστηκαν οι πρώτες δίσειρες βαμβακοσυλλεκτικές μηχανές με κρατική επιδότηση από τον Οργανισμό Βάμβακος, που τις παραχωρούσε για τη συγκομιδή του βαμβακιού σε Ομάδες Κοινής Καλλιέργειας Παραγωγών. Αργότερα οι μηχανές αυτές αγοράστηκαν από τις Ομάδες Κοινής Καλλιέργειας Παραγωγών που είχαν ενταχθεί στο πρόγραμμα. Κατά αυτόν τον τρόπο δόθηκε λύση στο πρόβλημα της έλλειψης εργατικών χεριών, με αποτέλεσμα την περαιτέρω επέκταση της βαμβακοκαλλιέργειας πάνω από 1.800.000 στρέμματα το 1977.

Η θεαματική όμως αύξηση της βαμβακοκαλλιέργειας συντελέστηκε με το πέρας του 1981, με την είσοδο δηλαδή της Ελλάδας στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Η ένταξη της χώρας μας στην Ε.Ο.Κ. αποτέλεσε σταθμό στην ιστορία του Ελληνικού βαμβακιού. Με την εφαρμογή του Κοινοτικού καθεστώτος που θεσπίστηκε ειδικά για τη βαμβακοκαλλιέργεια, η παραγωγή παρουσιάζει αλματώδη αύξηση. Η μείωση των τιμών παρέμβασης στα άλλα αγροτικά προϊόντα και η υψηλή ακαθάριστη πρόσδοδος της βαμβακοκαλλιέργειας ήταν δύο από τους καθοριστικούς παράγοντες στην εξάπλωσή της. Έτσι τα 1.263 χιλ. στρέμματα που κάλυπτε η καλλιέργεια βαμβακιού το 1981 αυξήθηκαν σε 2.332 χιλ. το 1991. (Μάττας- Πολύμερος 1999)

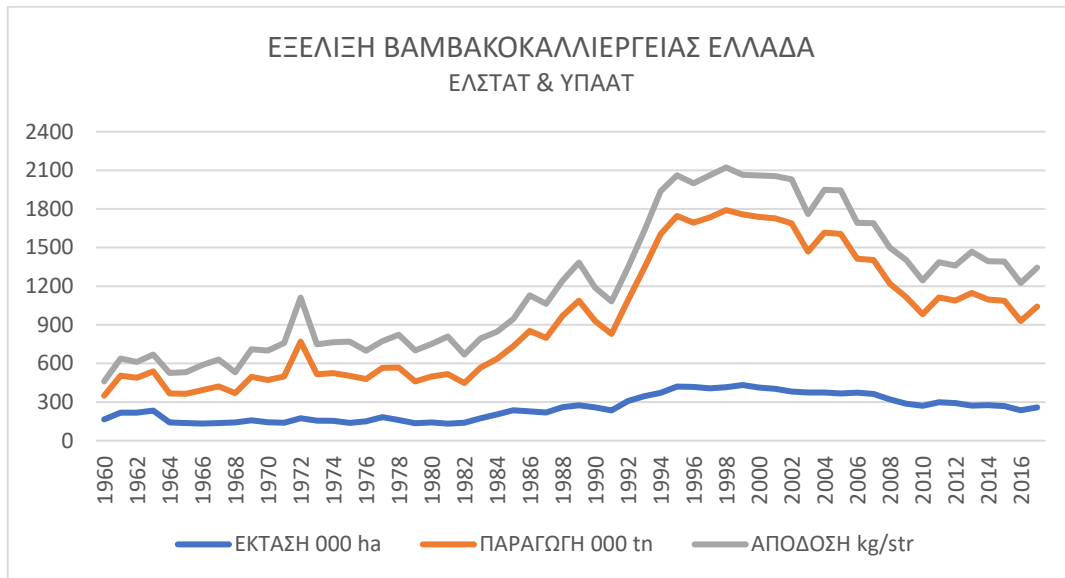
Συμπερασματικά, λοιπόν, θα μπορούσαμε να διαχωρίσουμε την ανοδική πορεία της βαμβακοκαλλιέργειας σε δύο φάσεις. Η πρώτη φάση περιλαμβάνει τα έτη 1931 (έτος ίδρυσης του Ελληνικού Οργανισμού Βάμβακος) - 1980, όπου η παραγωγή αυξήθηκε λόγω της αύξησης της απόδοσης και της επέκτασης της καλλιεργούμενης γης. Στη δεύτερη περίοδο, από το 1981 και έπειτα, η στρεμματική εξάπλωση της καλλιέργειας ήταν ο κύριος λόγος της ανοδικής πορείας.

Μετά από μια συνεχή ανοδική πορεία αρκετών χρόνων και αφού έφτασε σε ύψος ρεκόρ το 1995, η βαμβακοκαλλιέργεια στην Ελλάδα σταθεροποιήθηκε τα τελευταία χρόνια γύρω στα 3,5 εκατομμύρια στρέμματα με μια παραγωγή που ξεπερνά ετησίως τους 800.000 τόνους σε σύσπορο βαμβάκι.

Το προνομιακό κοινοτικό καθεστώς για το βαμβάκι και οι κοινοτικές ενισχύσεις που εξασφαλίζουν τα τελευταία έτη ένα ικανοποιητικό εισόδημα στον παραγωγό, έχουν δε αποτελέσει τον ουσιαστικότερο παράγοντα που ευνόησε την ανάπτυξη της βαμβακοκαλλιέργειας στην Ελλάδα και συνέβαλε στο να αποτελεί το βαμβάκι, παρά το υψηλό κόστος παραγωγής του, ένα από τα σημαντικότερα γεωργικά προϊόντα.

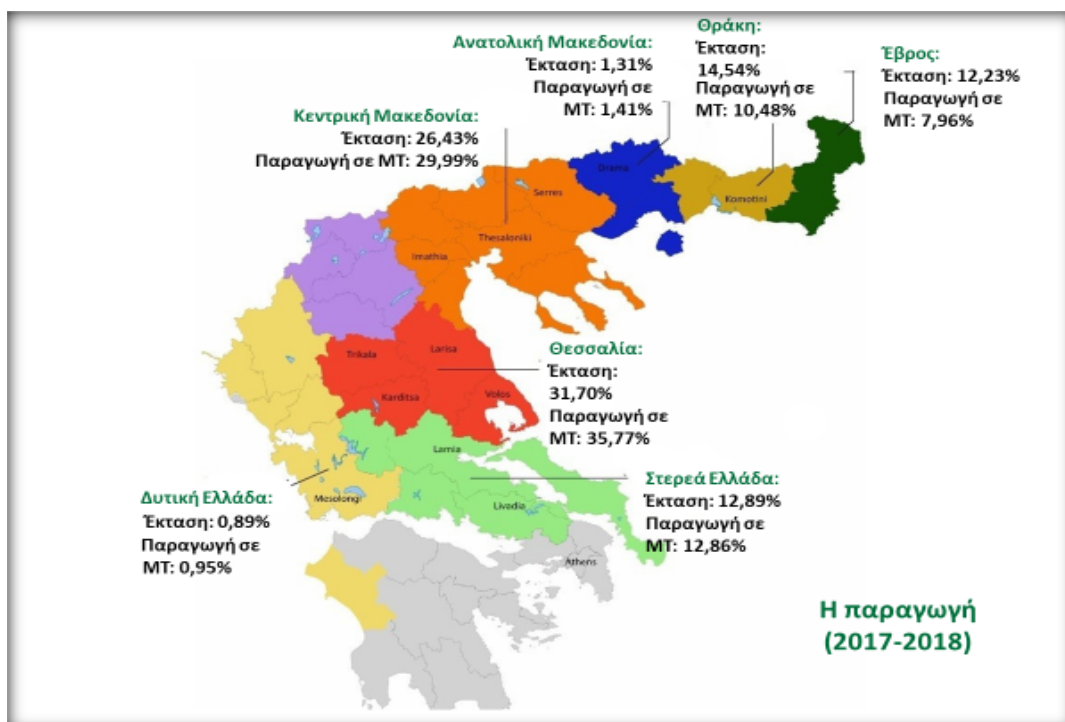
Το βαμβάκι καταλαμβάνει κάθε χρόνο τις μισές περίπου από τις αρδευόμενες αροτραίες εκτάσεις, καλλιεργείται στους μισούς νομούς της χώρας και απασχολεί πάνω από 80.000 καλλιεργητές και έμμεσα άλλους 200.000 εργαζόμενους στις βιομηχανίες επεξεργασίας και μεταποίησης βαμβακιού. Σε ορισμένες περιοχές μάλιστα αποτελεί τη μοναδική πηγή εισοδήματος για τους αγρότες. Η μέση καλλιεργούμενη έκταση ανά παραγωγό είναι 40 στρέμματα περίπου. Εμφανίζεται πολύ περισσότερο ανταγωνιστικό απέναντι σε άλλες αρδευόμενες αροτραίες καλλιέργειες της ίδιας κατηγορίας, υποκαθιστώντας μέρος της παραγωγής των (αραβόσιτος, καπνός, ζαχαρότευτλα, βιομηχανική ντομάτα, καπνός).

Στους πίνακες που ακολουθούν παρατηρούμε αυτή την αλματώδη ανάπτυξη στην έκταση της καλλιέργειας του βαμβακιού και στην αύξηση της τιμής του στην χώρα μας μέσα σε μια χρονική περίοδο 40 ετών (1960 - 2000). Μετά το 2000 παρατηρείται μείωση της καλλιεργούμενης έκτασης λόγω της αλλαγής του τρόπου υπολογισμού των ενισχύσεων των βαμβακοπαραγωγών από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Συγκεκριμένα η καλλιέργεια του βαμβακιού στην Ελλάδα από 1,4 εκατ. στρέμματα που κατέλαβε το 1973, 1,2 εκ. στρέμματα το 1981, 2,1 εκ. στρέμματα το 1985 και 2,7 εκ. στρέμματα το 1990, έφτασε τα 3,5 εκ. στρέμματα το 1993. Η ανοδική πορεία συνεχίστηκε, φτάνοντας τα 3,8 εκ. στρέμματα το 1994 και τα 4,4 το 1995, που αποτέλεσε και έκταση ρεκόρ. Την καλλιεργητική περίοδο 2010 - 2017 η έκταση καλλιέργειας με βαμβάκι κυμάνθηκε μεταξύ 2.650 – 2.950 χιλιάδων στρεμμάτων, με μέση απόδοση 250 - 280 κιλά ανά στρέμμα.



Εικόνα 1 - Εξέλιξη της βαμβακοκαλλιέργειας από το 1960 - 2017 (ΕΛΣΤΑΤ – ΥΠΑΑΤ)

Όπως φαίνεται από τον παρακάτω χάρτη το βαμβάκι καλλιεργείται κυρίως στη Θεσσαλία (νομοί Λάρισας, Καρδίτσας, Τρικάλων, Μαγνησίας), στη Μακεδονία (νομοί Θεσσαλονίκης, Σερρών, Δράμας, Πέλλας, Κιλκίς, Ημαθίας), στη Θράκη (νομοί Έβρου, Ροδόπης, Ξάνθης) και λιγότερο στα υπόλοιπα διαμερίσματα, κυρίως στους νομούς Φθιώτιδος, Βοιωτίας και Αιτωλοακαρνανίας.



Εικόνα 2 - Χάρτης της Ελλάδος που σημειώνονται οι κύριες περιοχές βαμβακοκαλλιέργειας (στοιχεία ΥΠΑΑΤ).

Επειδή η Ελλάδα βρίσκεται στα όρια της καλλιέργειας του βαμβακιού η βασική προϋπόθεση για την ευδοκίμηση της καλλιέργειας είναι η χρησιμοποίηση ποικιλιών με πολύ μεγάλη

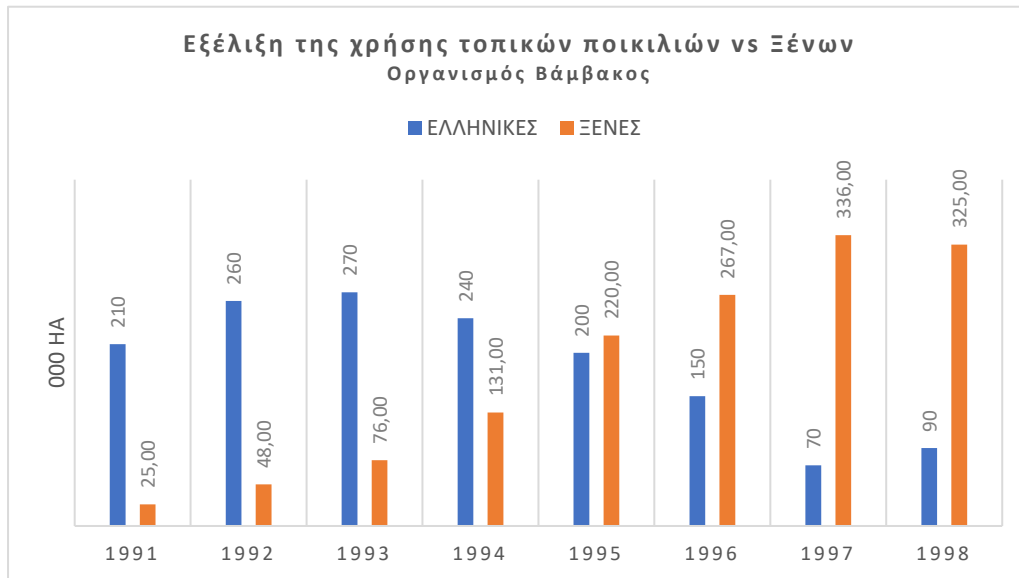
προσαρμοστικότητα στις ειδικές περιβαλλοντικές συνθήκες. Δηλαδή το κλίμα της Ελλάδας περιορίζει την καλλιέργεια αξιόλογων ξένων ποικιλιών, οι οποίες δίνουν καλά αποτελέσματα στον τόπο που δημιουργήθηκαν, αλλά στη χώρα μας συνήθως υστερούν έναντι των άλλων.

Η ποικιλότητα του ελληνικού περιβάλλοντος είναι αδύνατον να καλυφθεί από μία μόνο ποικιλία, το ίδιο και οι ανάγκες της αγοράς. Για αυτό είναι απαραίτητο να υπάρχουν περισσότερες από μία ποικιλίες και να επιλέγεται σε κάθε περίπτωση η καλύτερη. Η ανεξέλεγκτη όμως καλλιέργεια μεγάλου αριθμού ποικιλιών που δεν συνδυάζονται μεταξύ τους μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα στην τυποποίηση και να μειώσει την οικονομική

αξία του προϊόντος (Κεχαγιά, 2000). Οι ποικιλίες βαμβακιού που καλλιεργούνται σήμερα στον κόσμο υπολογίζονται σε εκατοντάδες. Η παραγωγή τους προϋποθέτει συστηματική βελτιωτική προσπάθεια που διαρκεί πολύ καιρό. Από τα αμερικάνικα βαμβάκια Upland (*G. hirsutum* L.) οι ποικιλίες που έχουν μεγάλη διάδοση είναι: Deltapine, Coker, Acala, Stoneville κ.α. (Τόλης, 1986).

Στην Ελλάδα, η προσπάθεια για τη δημιουργία ντόπιων ποικιλιών άρχισε από το 1931 με την ίδρυση του Ινστιτούτου Βάμβακος, με απομόνωση των πρώτων ποικιλιών από τον ντόπιο καλλιεργούμενο πληθυσμό του Γυθείου και των Σερρών. Όλες οι καλλιεργούμενες σήμερα ποικιλίες ανήκουν στα Αμερικάνικα βαμβάκια τύπου Upland. Η 4S αποτελεί το πιο εντυπωσιακό επίτευγμα του Ινστιτούτου Βάμβακος. Είναι διασταύρωση της Ελληνικής ποικιλίας 10E και της Αμερικάνικης Wilds που εισήχθη από το Σουδάν με το όνομα Sus. Η 4S συνδυάζει πολλά καλά χαρακτηριστικά και καλή προσαρμοστικότητα στις συνθήκες των διάφορων περιοχών της χώρας. Από το 1965 που διαδόθηκε (γρήγορα) έως το 1981 κάλυψε το 92% της συνολικής έκτασης που καλλιεργήθηκε με βαμβάκι συμβάλλοντας στην αλματώδη πρόοδο της καλλιέργειας (Τόλης, 1986).

Από το 1981 άρχισε να υποχωρεί η καλλιέργεια της, λόγω της προσβολής από αδρομυκώσεις και να αντικαθίσταται προοδευτικά από τις Acala SJ2, Acala SJ5 και από τις επιλεγμένες ZETA - 2 και ZETA - 5, από την ελληνική Σίνδο 80 και τις νεότερες Κορίνα και Εύα (Γαλανοπούλου, 2002). Στις αρχές της δεκαετίας του 1990 είχαμε την απελευθέρωση της εισαγωγής ξένων ποικιλιών που αντικατέστησαν τις ελληνικές ποικιλίες αρχικά σε ποσοστό 10% και προς το τέλος της δεκαετίας σε ποσοστό μέχρι και 80% περίπου όπως φαίνεται στο διάγραμμα. Σήμερα το ποσοστό των ξένων ποικιλιών αντιπροσωπεύει το 84% των αναγκών σε σπόρο.



Εικόνα 3 - Εξέλιξη χρήσης των ξένων ποικιλιών σε σχέση με τις ξένες
(στοιχεία Οργανισμός Βάμβακος).

Η επιλογή της ποικιλίας έχει ιδιαίτερη σημασία για τον παραγωγό καθόσον καθορίζει τα χαρακτηριστικά τόσο για το παραγόμενο προϊόν όσο για την καλλιέργεια (Κεχαγιά, 2000).

Μερικά από αυτά τα χαρακτηριστικά είναι η απόδοση της καλλιέργειας, η οποία χαρακτηρίζει την γεωργική σπουδαιότητα μιας ποικιλίας, η πρωιμότητα, η οποία για την Ελλάδα θεωρείται σπουδαίο χαρακτηριστικό και από αυτήν εξαρτάται, τα περισσότερα χρόνια, η επιτυχία της καλλιέργειας. Επίσης η αναλογία ινών και σπόρου αποτελεί σημαντικό χαρακτηριστικό του βαμβακιού.

Η εμπορική αξία του βαμβακιού καθορίζεται από την εκατοστιαία αναλογία των ινών στο σύσπορο βαμβάκι, που εκφράζεται από την εξής σχέση: εκατοστιαία αναλογία ινών = $\frac{\text{βάρους ινών} * 100}{\text{βάρους ινών} + \text{βάρους σπόρου}}$.

Το μήκος της ίνας και η αντοχή του βαμβακιού είναι ακόμα δύο πολύ σημαντικά χαρακτηριστικά της καλλιέργειας. Η λεπτότητα, η καλή ωρίμανση και η αντοχή προσδίδουν κάτι το ξεχωριστό στη συγκεκριμένη καλλιέργεια όπως επίσης και η ομοιομορφία και ο χρωματισμός του. Αν όλα αυτά τα χαρακτηριστικά βρίσκονται σε αρκετά ικανοποιητικό επίπεδο ποιότητας τότε μπορούμε να πούμε ότι η ποικιλία του βαμβακιού που συγκεντρώνει όλα αυτά τα χαρακτηριστικά είναι η ιδανική για την συγκεκριμένη περιοχή όπου καλλιεργήθηκε και για τις συγκεκριμένες συνθήκες που επικρατούσαν κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου καθώς και για τους σωστούς καλλιεργητικούς χειρισμούς από πλευράς του βαμβακοκαλλιεργητή (Κεχαγιά 2000).

1.3 Η Εμπορική Αξία του Βαμβακιού

Το βαμβάκι καλλιεργείται για τις εμπορικές χρήσεις της ίνας του και του βαμβακόσπορου. Η ποιότητα των ινών συσχετίζεται με την κλωσιμότητα και την αξία χρήσης των ινών, που στηρίζονται στα πάρα κάτω τεχνολογικά χαρακτηριστικά :

α) Μήκος ινών: Από όλα τα ποιοτικά χαρακτηριστικά, το μήκος καθορίζει την κλωσιμότητα ενός δεδομένου βαμβακιού. Το μήκος των διαφόρων ειδών κυμαίνεται από 18 έως 37 mm και άνω, ενώ μέσα στο ίδιο δείγμα υπάρχουν ίνες 1-45 mm (Κεχαγιά 2000). Μεγάλο ενδιαφέρον όμως παρουσιάζει και η ομοιομορφία του μήκους μιας δέσμης ινών, η οποία είναι ένδειξη για την περιεκτικότητα σε κοντές ίνες (μήκος <12,5 mm). Το ποσοστό των κοντών ινών αυξάνει τις απώλειες κατά την κλώση, επηρεάζει τα σπασίματα, το χνούδιασμα και τις ατέλειες του νήματος (Παπακώστα-Τασσοπούλου 2002).

β) Λεπτότητα - ωριμότητα (micronaire): Η λεπτότητα αναφέρεται στη διάμετρο ή περίμετρο των ινών και στην ωριμότητα του πάχους του δευτερογενούς τοιχώματος. Η λεπτότητα της ίνας επηρεάζει τη λεπτότητα και αντοχή του νήματος, αλλά επίσης τη γυαλάδα και τη απορρόφηση της βαφής. Η ωριμότητα επηρεάζει την κλωσιμότητα του βαμβακιού, την ομοιομορφία κι εμφάνιση του νήματος (Κεχαγιά 2000).

γ) Αντοχή και επιμήκυνση: Η αντοχή επηρεάζεται από τη ποικιλία και από την ωριμότητα των ινών. Ποικιλιακά χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την αντοχή είναι η ποιότητα της κυτταρίνης, δηλαδή κρυσταλλική ή άμορφη, καθώς επίσης και τα χαρακτηριστικά της δομής των ινών, όπως είναι οι αντιστροφές (Κεχαγιά 2000).

δ) Κομπάκια ή neps: Τα neps δημιουργούνται κατά την εκκόκκιση και την κλώση και έχουν ποικιλιακή προέλευση, πολλές φορές όμως οφείλονται σε ατελή ρύθμιση των μηχανών ή ανώριμο βαμβάκι (Κεχαγιά 2000).

ε) Κυτίο ή βαθμός (Grade): Το κυτίο αναλύεται σε χρώμα, ξένες ύλες και την εμφάνιση. Το χρώμα του βαμβακιού τύπου Upland, είναι λευκό, με την παραμονή όμως στο χωράφι και την επίδραση μικροοργανισμών χάνει τη γυαλάδα του και μπορεί να φθάσει μέχρι γκρίζο. Εντομολογικές προσβολές ή άναμμα (στην αποθήκη) μπορεί να χρωματίσουν το βαμβάκι κίτρινο ή με κηλίδες (Κεχαγιά 2000).

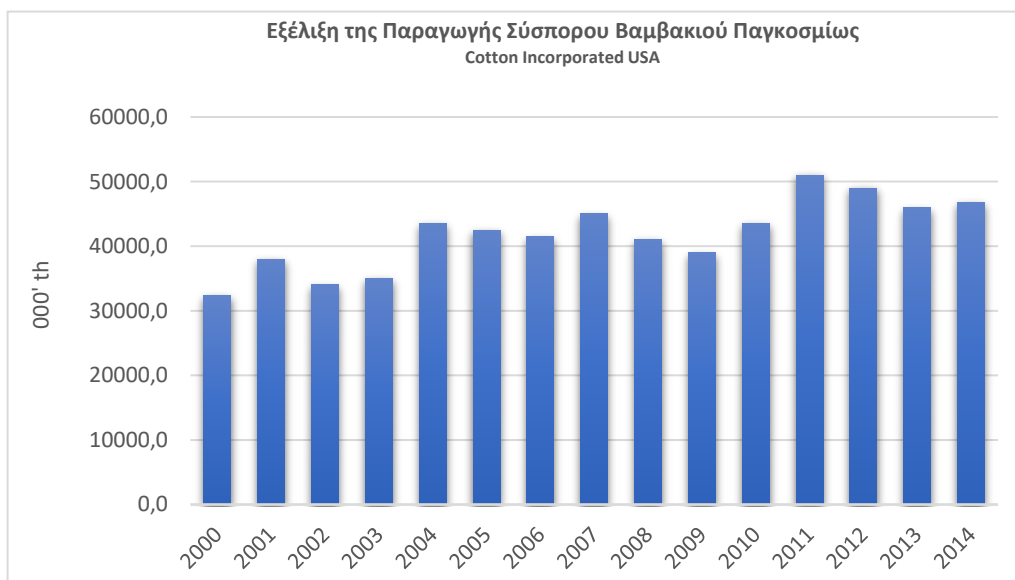
Την ποιότητα του βαμβακόσπορου καθορίζουν η περιεκτικότητα και η οξύτητα του λαδιού, η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες, η ολική γκοσσυπόλη και οι κοντές ίνες.

1.4 Η Αγορά του Βαμβακιού Παγκοσμίως

1.4.1 Παραγωγή

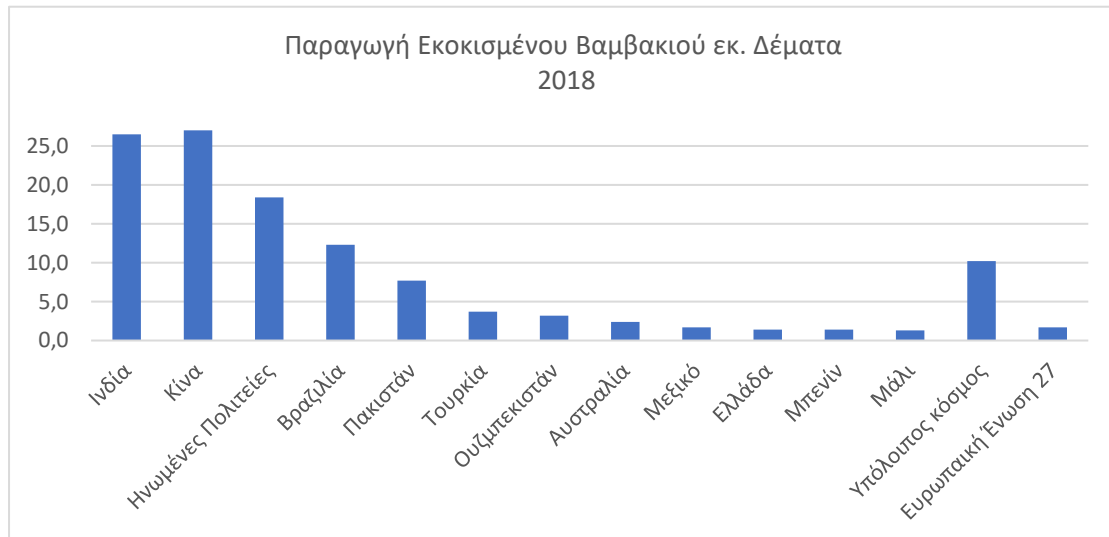
Η παγκόσμια παραγωγή βάμβακος τα τελευταία χρόνια παρουσιάζει αυξομειώσεις. Χαρακτηριστικό είναι πως το 1990 ανήλθε σε 87.165 χιλιάδες δέματα, το 2000 ανήλθε σε 89.111 χιλιάδες δέματα, το 2010 έφτασε τα 117.630 χιλιάδες δέματα, και το 2016 η παραγωγή ανήλθε σε

103.165 χιλιάδες δέματα. Όσον αφορά της παγκόσμια παραγωγή σε βαμβακόσπορο επικρατεί η ίδια τάση. Το 2000 η παγκόσμια παραγωγή ανήλθε σε 33.287 χιλιάδες τόνους, το 2010 έφτασε τους 43.199 χιλιάδες τόνους, ενώ το 2014 η παραγωγή ανήλθε σε 46.633 χιλιάδες τόνους. Ο πίνακας παρουσιάζει την παγκόσμια παραγωγή βαμβακόσπορου από το 2000 έως το 2014 (σε χιλιάδες τόνους).



Εικόνα 4 - Παραγωγή Σύσπορου Βαμβακιού παγκοσμίως

Η Ελλάδα τα τελευταία χρόνια βρίσκεται μέσα στις 13 χώρες με τη μεγαλύτερη παραγωγή βάλβακος. Συγκεκριμένα για το εμπορικό έτος 2013-2014 η Ελλάδα ήταν 10^η σε παραγωγή βάλβακος με 1,4 εκ. δέματα, για το εμπορικό έτος 2014-2015 ήταν στην 11^η θέση με 1,3 εκ. δέματα, για το εμπορικό έτος 2015-2016 η παραγωγή μειώθηκε σε 1,0 εκ. δέματα και παρέμεινε στην 11^η θέση, ενώ για το εμπορικό έτος 2016-2017 η παραγωγή κυμάνθηκε στα ίδια επίπεδα (1 εκ. δέματα) πέφτοντας στην 12^η θέση της παγκόσμιας παραγωγής βάλβακος. Το πιο κάτω διάγραμμα δείχνει τις χώρες με τη μεγαλύτερη παραγωγή βάλβακος το 2018, με την χώρα μας να είναι μέσα σε αυτές (Cotton Incorporated US).



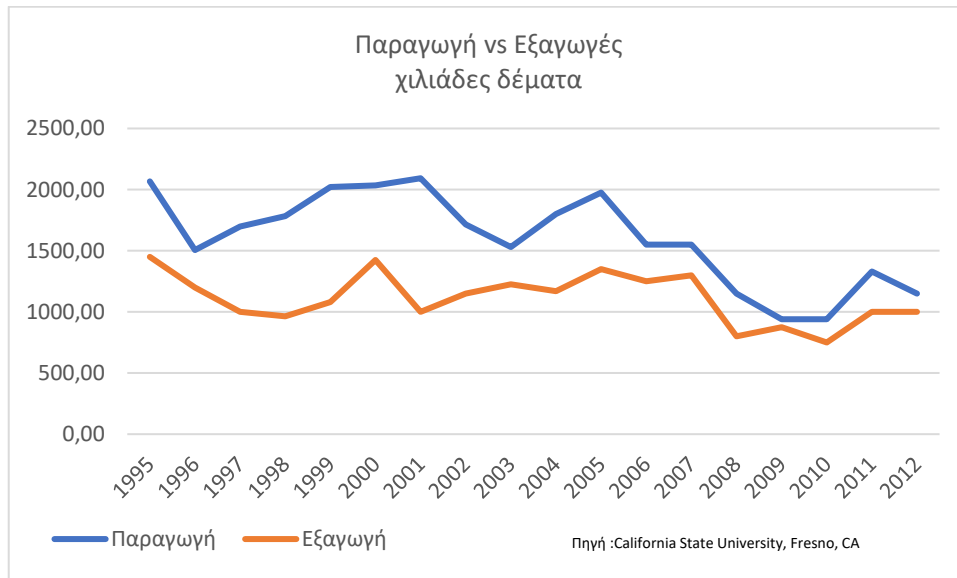
Εικόνα 5 - Παραγωγή σε εκ. δέματα ανά χώρα 2018 (Cotton Incorporated US)

1.4.2 Εμπόριο

Το βαμβάκι είναι η σημαντικότερη καλλιέργεια παραγωγής ινών στον κόσμο και η δεύτερη πιο σημαντική καλλιέργεια ελαιούχων σπόρων. Το κύριο προϊόν του φυτού βαμβακιού είναι το “χνούδι” που καλύπτει τους σπόρους. Αυτό το “χνούδι” έχει χρησιμοποιηθεί για χιλιάδες χρόνια για την ένδυση των ανθρώπων από αρχαιότατων χρόνων στην Ινδία, την Ασία, την Αμερική και την Αφρική. Βαμβακερά υφάσματα έχουν βρεθεί σε ανασκαφές στο Mohenjo-Daro στην Ινδία και σε πολιτισμούς προ-Ινκα, στην Αμερική (Hutchinson et al., 1947). Το “χνούδι” είναι το σημαντικότερο οικονομικό προϊόν από το φυτό του βαμβακιού, που αποτελεί πηγή υψηλής ποιότητας ίνας για τη βιομηχανία της κλωστοϋφαντουργίας. Οι σπόροι βαμβακιού, το κύριο παραπροϊόν, είναι μία σημαντική πηγή ελαίου για ανθρώπινη κατανάλωση και για υψηλής περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες ζωοτροφή.

Τα υπολείμματα μετά το εκκοκκισμό χρησιμοποιούνται για λίπασμα, επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί η κυτταρίνη από το μίσχο για παραγωγή χαρτιού (Freeland et al., 2005)

Η Ελλάδα είναι σημαντικός εξαγωγέας εκκοκκισμένου βαμβακιού. Κατά την περίοδο 2013/14 η Τουρκία αποτελούσε τον κύριο προορισμό για το Ελληνικό βαμβάκι αντιπροσωπεύοντας περίπου το 51% των συνολικών εξαγωγών. Τα ελληνικά εκκοκκιστήρια τα τελευταία χρόνια έχουν επεκτείνει τα κανάλια διανομής τους και δεν πωλούν μόνο σε παραδοσιακούς αγοραστές. Έτσι κατά την περίοδο 2013/14 εξήγαγαν αυξημένες ποσότητες βαμβακιού στην Αίγυπτο, στο Ηνωμένο Βασίλειο και στη Σρι Λάνκα. Επίσης η συναλλαγματική ισοτιμία δολαρίου-ευρώ ευνόησε τις ελληνικές εξαγωγές προς χώρες εκτός της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ιδιαίτερα την Τουρκία και την Αίγυπτο. Ωστόσο μικρές ποσότητες βαμβακιού εισάγονται από τον οικιακό κλωστοϋφαντουργικό κλάδο για ανάμειξη. Στον παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται το σύνολο των εξαγωγών βάλβακος στη χώρα μας σε σχέση με τη συνολική παραγωγή από το 1995 μέχρι και το 2012.



Εικόνα 6 - Παραγωγή vs Εξαγωγές σε χιλιάδες δέματα ανά χώρα 2018
(California State University, Fresno, CA)

1.5 Στάδια Καλλιέργειας του Βαμβακιού

1.5.1 Οικολογικές Απαιτήσεις

Το κλίμα επηρεάζει την ανάπτυξη των καλλιεργειών, μερικές φορές προκαλώντας απροσδόκητες αλλαγές, μεταβάλλοντας τις επικρατούσες συνθήκες (Hodges et al., 1993, Sawan 2017). Πολλοί παράγοντες, όπως η διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, το κλίμα (συμπεριλαμβανομένης της ηλιακής ακτινοβολίας, της θερμοκρασίας, του φωτός, του ανέμου, των βροχοπτώσεων και της δροσιάς), η ποικιλία, η διαθεσιμότητα θρεπτικών ουσιών, η υγρασία του εδάφους, η ύπαρξη εχθρών και ασθενειών και οι καλλιεργητικές πρακτικές επηρεάζουν την ανάπτυξη του βαμβακιού (El-Zik 1980.) και διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο για την απόδοσή της καλλιέργειας του βαμβακιού.

Η ζώνη καλλιέργειας του βαμβακιού εκτείνεται προς βορρά μέχρι 45° ΒΠ και προς νότο μέχρι 32° ΝΠ. Το βαμβάκι για ικανοποιητική παραγωγή έχει ανάγκη από βλαστική περίοδο 170 - 210 ημερών τουλάχιστον. Παρατηρείται θετική συσχέτιση μεταξύ του μήκους της βλαστικής περιόδου και της απόδοσης (Waddle 1984). Σε περιοχές με περιορισμένη βλαστική περίοδο, όπως είναι η Ελλάδα, κάθε τι που ευνοεί αυτήν έχει ιδιαίτερη σημασία. Από πλευράς ποικιλιών οι δυνατότητες είναι περιορισμένες διότι γενετική πρωιμότητα συνδέεται με κοντή ίνα. Η χρησιμοποίηση κατάλληλης καλλιεργητικής τεχνικής ευνοεί την πρωιμότητα και συνεπώς επιτυγχάνονται αυξημένες αποδόσεις και ανώτερη ποιότητα. Το κλίμα της Ελλάδας λόγω της γεωγραφικής θέσης και του εδαφικού ανάγλυφου είναι πολύ ασταθές με μεγάλες διαφορές από χρόνο σε χρόνο. Έτσι τα κρίσιμότερα στάδια του βιολογικού κύκλου του βαμβακιού (σπορά-φύτρωμα-ωρίμανση) συμπίπτουν με τις άστατες καιρικές συνθήκες που παρουσιάζονται την άνοιξη και το φθινόπωρο.

ΒΕΛΤΙΣΤΕΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΒΑΜΒΑΚΙΟΥ		
Στάδιο Ανάπτυξης	Μέση Ημερήσια Θερμοκρασία (°C)	Ημερήσιες Ανάγκες σε Νερό (mm)
Σπορά – Φύτρωμα (Εδαφος)	18° Minimum	Minimum >0
Σπορά – Φύτρωμα (Αέρας)	18°	
Ανάπτυξη Βλάστησης	18°- 27°	1-2
1° κύμα χτενιών		2-4
Αναπαραγωγική Ανάπτυξη	27°- 32°	3-8
Μέγιστο Ανθοφορίας		8
Άνοιγμα Καρυδιών		8-4
Ωρίμανσης	18°- 32°	4
Πηγή: ICT; Abdulmumin and Misari (1990); DPL (1998); Erie et al. (1981); Hake et al. (1996)		

Αναλυτικότερα οι κύριοι παράγοντες που συντελούν στην ανάπτυξη του βαμβακιού είναι οι εξής :

- *Θερμοκρασία*

Το βαμβάκι σαν φυτό τροπικών και υποτροπικών περιοχών έχει μεγάλες απαιτήσεις σε θερμότητα. Η θερμοκρασία ως ένας πρωταρχικός παράγοντας που ελέγχει τα ποσοστά ανάπτυξης των φυτών. (Burke, et al., 1988-), καθορίζει τη βέλτιστη περιοχή θερμοκρασιών για τις βιοχημικές και μεταβολικές δραστηριότητες των φυτών, όπως το εύρος του θερμικού παράθουρου (TKW). Οι θερμοκρασίες των φυτών πάνω ή κάτω από το TKW δημιουργούν στρες που περιορίζει την ανάπτυξη και την απόδοση. Το TKW για την ανάπτυξη βαμβακιού είναι 18 -32°C, με τη βέλτιστη θερμοκρασία 28°C. Η παραγωγή βιομάζας σχετίζεται άμεσα με το χρονικό διάστημα που η θερμοκρασία του φυλλώματος βρίσκεται μέσα στο TKW (Hodges et al., 1993). Η βέλτιστη θερμοκρασία για την ανάπτυξη των φύλλων, και την καρποφορία του βαμβακιού είναι μεταξύ 28°C - 30°C. Καθώς αυξάνεται ο χρόνος έκθεσης στους 40°C παρατηρείται πτώση κτενιών, σε μεγάλο βαθμό (Reddy et al, 1993). Σε πειράματα διαπιστώθηκε (Reddy et al., 1993) ότι όταν το βαμβάκι Upland (*Gossypium hirsutum*) cv DPL-51 αναπτύχθηκε σε φυσικά φωτισμένους θαλάμους ανάπτυξης φυτών σε θερμοκρασίες ημέρας / νύχτας 30/22°C από τη σπορά έως την ανάπτυξη των φυτών και στις 20/12, 25/17, 30/22, 35/27 και 40/32°C για 42 ημέρες μετά την παραγωγή χτενιών, η κατακράτηση χτενιών/καρυδιών περιορίστηκε σημαντικά στις δύο υψηλότερες θερμοκρασίες σε σύγκριση με 30/22°C.

Οι ποικιλίες βαμβακιού που συγκρατούν τα καρύδια σε υψηλές θερμοκρασίες θα ήταν πιο παραγωγικές στο σημερινό περιβάλλον παραγωγής βαμβακιού που γίνεται θερμότερο, λόγω της κλιματικής αλλαγής (Schradler, et al, 2004) όπου τα φυτά πιθανότατα εκτίθενται σε υψηλές θερμοκρασίες που μειώνουν ή αναστέλλουν τη φωτοσύνθεση.

- *Υγρασία*

Το βαμβάκι είναι φυτό πολύ απαιτητικό σε εδαφική υγρασία καθώς απαιτούνται περίπου 560 lt νερού για τη παραγωγή ενός κιλού ξηράς ουσίας φυτικής ύλης. Οι απαιτήσεις των βαμβακοφύτων σε νερό διαφέρουν πολύ, ανάλογα με την ποικιλία, το κλίμα, και τη σύσταση του εδάφους. Το νερό είναι ένας κυρίαρχος παράγοντας που ελέγχει την ανάπτυξη των φυτών (Xiao, J.F., et al, 2000). Η έλλειψη του νερού επηρεάζει την ανάπτυξη του βαμβακιού, προκαλεί πτώση των χτενιών και μικρών καρυδιών και συνεπώς μειώνει την παραγωγή ποσοτικά και ποιοτικά. Υπερβολική

υγρασία, σε επόμενα στάδια ανάπτυξης του φυτού, μειώνει τον αερισμό του εδάφους και εμποδίζει την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος σε βάθος. Το φυτό γίνεται επιπολαιόριζο και είναι πιο ευαίσθητο στην ξηρασία. Από παρατηρήσεις βρέθηκε ότι το βαμβάκι απαιτεί βροχόπτωση 500 mm τουλάχιστον εκ των οποίων τα 200 κατά την διάρκεια της ανάπτυξης. Στη χώρα μας το 95% περίπου της καλλιεργούμενης έκτασης είναι αρδευόμενο, καθώς η βροχόπτωση τους καλοκαιρινούς μήνες δεν είναι αρκετή (Γαλανοπούλου-Σενδουκά 2002).

Οι επιδράσεις της εφαρμογής νερού, με διαφορετικούς τρόπους άρδευσης, στην απόδοση χνουδιού και στην ποιότητα ινών του βαμβακιού φάνηκαν όταν εφαρμόστηκε νερό στα 0.85, 0.70, 0.55 ή 0.40 ET (εξατμισοδιαπνοή) σε φυτά βαμβακιού, που καλλιεργούνται σε γλάστρες. Υπήρχε μια στενή σχέση ανάμεσα στην ανάπτυξη των φυτών και την παροχή νερού αφού οι ανθοφόροι κλάδοι, οι αριθμοί των χτενιών και των ανθέων και το μέγεθος των καρυδιών αυξήθηκαν με αυξημένη παροχή νερού (Barbour & Farquhar, 2000), όπως αναφέρονται σε δοκιμές θερμοκηπίου όπου το φυτά βαμβακιού cv CS50 αναπτύχθηκαν σε 43% ή 76% σχετική υγρασία (RH) και ψεκάστηκαν καθημερινά με αμπισσικό οξύ (ABA) ή απεσταγμένο νερό.

Τα φυτά που αναπτύχθηκαν σε χαμηλή σχετική υγρασία (RH) είχαν υψηλότερα ποσοστά αναπνοής, χαμηλότερες θερμοκρασίες φύλλων και χαμηλότερη στοματική αγωγιμότητα. Η φυτική βιομάζα μειώθηκε επίσης στην χαμηλή τιμή RH. Σε κάθε περιβάλλον RH, η αύξηση της συγκέντρωσης ABA γενικά μείωσε την στοματική αγωγιμότητα, τα ποσοστά εξάτμισης, την υπερβολική επιφανειακή πυκνότητα φύλλων βιομάζα των φυτών και την αυξημένη θερμοκρασία των φύλλων

- *Έδαφος*

Τα ιδανικότερα εδάφη για την καλλιέργεια του βαμβακιού είναι αυτά της μέσης σύστασης με επαρκή στράγγιση και νερό και με μεγάλη υδατοϊκανότητα. Το καλύτερο Ρ Η είναι 7-8 μπορεί όμως να καλλιεργηθεί και σε πιο όξινα εδάφη μέχρι Ρ Η 5,2. Τέλος το βαμβάκι ως βαθύρριζο φυτό είναι απαραίτητο το έδαφος να μην είναι πολύ συνεκτικό ή να έχει αδιαπέραστο στρώμα (Γαλανοπούλου-Σενδουκά 2002).

- *Λίπανση*

Η λίπανση είναι ένας από τους κυριότερους παράγοντες οι οποίοι συντελούν στην αύξηση των στρεμματικών αποδόσεων και την ποιοτική βελτίωση του βαμβακιού. Για μια καλή ανάπτυξη των φυτών απαιτούνται μεγάλες ποσότητες θρεπτικών στοιχείων, όμως μετά την απομάκρυνση του σύσπορου βαμβακιού, το μεγαλύτερο μέρος των θρεπτικών στοιχείων παραμένει στο έδαφος με τις ρίζες, τα στελέχη, τα φύλλα και τις κάψες. Τα κύρια θρεπτικά στοιχεία, άζωτο, φώσφορος και κάλιο χρειάζονται σε μεγαλύτερες ποσότητες για την ανάπτυξη του βαμβακιού. Το ασβέστιο και το θείο είναι και αυτά απαραίτητα σε μεγάλες ποσότητες, ενώ τα ιχνοστοιχεία σίδηρος, ψευδάργυρος, χαλκός και βόριο είναι απαραίτητα σε μικρές ποσότητες.

Το άζωτο, N, ασκεί την μεγαλύτερη επίδραση σε όλα τα στάδια ανάπτυξης του βαμβακιού. Συντελεί στη μεγάλη βλαστική ανάπτυξη, στην ευαισθησία στις εντομολογικές και μυκητολογικές προσβολές, μειωμένη καρποφορία, ανθοφορία και καρπόρροια και στην οψίμιση της παραγωγής. Ο φώσφορος, P, συντελεί και αυτός στην ανάπτυξη του ριζικού συστήματος και στην πρωίμιση

της παραγωγής. Το κάλιο, K, με την σειρά του προάγει την φωτοσύνθεση και μειώνει την διαπνοή με αποτέλεσμα να αυξάνεται η φυλλική επιφάνεια, να αξιοποιούνται καλύτερα τα λιπάσματα και η διαθέσιμη υγρασία, να περιορίζεται η πρωιμότητα που προέρχεται από μεγάλες δόσεις φωσφόρου και να περιορίζονται ασθένειες όπως π.χ. η αδρομύκωση. Συγκεκριμένα οι ποσότητες που απαιτούνται είναι: 10-18 λιπαντικές μονάδες αζώτου, 7-10 λιπαντικές μονάδες φωσφόρου και 6-8 λιπαντικές μονάδες καλίου ανά δύο έτη (Γαλανοπούλου-Σενδουκά 2002).

1.5.2 Στάδια Ανάπτυξης του Βαμβακιού

Όπως προαναφέρθηκε, στην χώρα μας, η καλλιέργεια του βαμβακιού χρειάζεται για να συμπληρώσει τον βιολογικό της κύκλο, από την σπορά του βαμβακόφυτου μέχρι και την συγκομιδή του, 170 - 210 ημέρες, ανάλογα πάντα με την ποικιλία και τις συνθήκες που επικρατούν. Έτσι μπορούμε να διακρίνουμε πέντε στάδια ανάπτυξης του βαμβακιού (Γαλανοπούλου-Σενδουκά 2002)

1. Στάδιο φυτρώματος
2. Στάδιο πρώτης ανάπτυξης
3. Στάδιο προ άνθησης
4. Στάδιο ανθοφορίας
5. Στάδιο ωρίμανσης

- *Στάδιο φυτρώματος*

Ο σπόρος για να φυτρώσει πρέπει να απορροφήσει υγρασία διπλάσια ακόμα και τριπλάσια του βάρους του. Ο ρυθμός ενυδάτωσης του σπόρου ποικίλλει ανάλογα με την ποικιλία, την περιοχή παραγωγής του σπόρου, απ' την εφαρμογή ή μη αποχνώσης και φυσικά απ' την υγρασία και τη θερμοκρασία του εδάφους. Αν επικρατούν ευνοϊκές συνθήκες τότε σε 2-3 μέρες προβάλλει το ριζίδιο και εισχωρεί κατακόρυφα στο έδαφος. Με γρήγορο ρυθμό αυξάνει και το βλαστίδιο. Το τμήμα του βλαστιδίου που βρίσκεται κάτω απ' τις κοτυληδόνες (υποκοτύλιο), σχηματίζει ένα άγκιστρο με την κορυφή του οποίου σπρώχνει το έδαφος και εμφανίζεται στην επιφάνεια. Σε κανονικές συνθήκες σε 1-2 μέρες παίρνει κατακόρυφη θέση, παρασύροντας τις κοτυληδόνες και το αρχέφυτρο που βρίσκεται ανάμεσά τους, έξω απ' το έδαφος. Ανάλογα με την εποχή σποράς, τις καιρικές συνθήκες, την υφή και κατάσταση του εδάφους και το βάθος σποράς, το φύτευμα στη χώρα μας γίνεται κατά κύριο λόγο σε 8-15 μέρες μετά τη σπορά. Το βαμβάκι λόγω της καταγωγής του (φυτό τροπικών και υποτροπικών περιοχών) έχει μεγάλες απαιτήσεις σε θερμοκρασία. Ελάχιστη θερμοκρασία για το φύτευμα θεωρούνται οι 15°C και σ' αυτή τη θερμοκρασία το φύτευμα γίνεται με αργό ρυθμό. Στους 20-30°C η ταχύτητα φυτρώματος είναι διπλάσια απ' ότι στους 15°C. Σε μια πρόσκαιρη περίοδο ευνοϊκών θερμοκρασιών όπου σπόρος μπορεί να φυτρώσει ακολουθημένη από μία απότομη μεταβολή του καιρού, με χαμηλές θερμοκρασίες τα νεαρά φυτά μπορεί να παγώσουν και να καταστραφούν. Χαμηλές θερμοκρασίες (5-10°C) αποδείχτηκαν πιο επιζήμιες όταν διαδέχονται περίοδο ζέστης που συντελεί στο να αρχίζει η διαδικασία του φυτρώματος, παρά όταν οι χαμηλές θερμοκρασίες παρατηρούνται αμέσως μετά

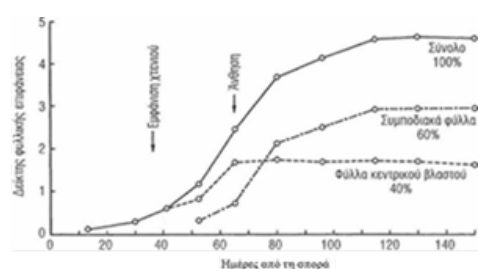
τη σπορά (Christiansen 1963). Η έξοδος των κοτυληδόνων δυσχεραίνεται αν έχει σχηματιστεί κρούστα στην επιφάνεια του εδάφους, επειδή το υποκοτύλιο πρέπει να ασκήσει μεγάλη πίεση για να τη σπάσει (Oosterhuis και Jernstedt 1999). Κρούστα μπορεί να σχηματιστεί από

Ελάχιστη Θερμ. εδάφους 10 cm (°C)	Ποσοστό σπόρων που φύτρωσαν (%)	Ημέρες για το φύτρωμα
10	56	29
14	73	17
18	90	5

Source: Agfact P5.3.5, first edition 1988

στη χώρα μας το στάδιο αυτό συμπίπτει με την περίοδο απ' το Μάιο μέχρι τα μέσα Ιουνίου. Οι παράγοντες που κυρίως επηρεάζουν τη βλαστική ανάπτυξη των φυτών είναι η θερμοκρασία, η υγρασία, ο φωτισμός και η επάρκεια θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος.

Τα πραγματικά φύλλα αναπτύσσονται αρχικά απ' το αρχέφυτρο το οποίο βρίσκεται μεταξύ των δύο κοτυληδόνων και αργότερα από οφθαλμούς κατά μήκος του κυρίως βλαστού. Η ανάπτυξη



Πορεία ανάπτυξης της φυλλικής επιφάνειας σε καλλιέργεια βαμβακιού

των φύλλων, μέχρι να εκπτυχθούν 4-5 φύλλα, γίνεται με βραδύ ρυθμό, σε σύγκριση με την ανάπτυξη της ρίζας. Περίπου 1 μήνα μετά τη σπορά το φυτό παραμένει χωρίς διακλαδώσεις και έχει 4-5 μεσογονάτια διαστήματα με αντίστοιχα φύλλα. Τις επόμενες 4 εβδομάδες η αύξηση επιταχύνεται, ώστε περίπου 65 ημέρες μετά τη σπορά το φυτό έχει 9-10 κόμβους και 5-6 συμποδιακούς κλάδους

(Γαλανοπούλου 1977, Oosterhuis και Jernstedt 1999).

Παράγοντες όπως χαμηλές θερμοκρασίες, εμφάνιση ασθενειών, ανεπάρκεια εδαφικής υγρασίας, ύπαρξη σκληρού εδαφικού στρώματος, ανταγωνισμός με ζιζάνια και άλλοι επιμηκύνουν το χρόνο που χρειάζεται απ' το φύτρωμα μέχρι την έκπτυξη των πρώτων πραγματικών φύλλων. Η ανάπτυξη της φυλλικής επιφάνειας τυπικά ακολουθεί μια σιγμοειδή καμπύλη. Η συνολική φυλλική επιφάνεια εκφράζεται ως δείκτης φυλλικής επιφάνειας (Δ.Φ.Ε.). Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (Leaf Area Index : LAI) είναι η συνολική επιφάνεια μιας πλευράς φύλλων που αντιστοιχεί στη μονάδα επιφάνειας του εδάφους. Ο LAI αυξάνεται με αργό ρυθμό τις πρώτες 5-6 εβδομάδες και με ταχύτερο ρυθμό την περίοδο εμφάνισης των χτενιών και στην άνθηση. Ο σχηματισμός φύλλων επί του κεντρικού βλαστού συνδέεται με την ανάπτυξη του κυρίως βλαστού και της ρίζας και με τα καρύδια τα οποία αναπτύσσονται στον πρώτο κόμβο κάθε μιας απ' τις πλάγιες διακλαδώσεις. Αντιθέτως η ανάπτυξη των συμποδιακών φύλλων (επί των πλαγίων κλάδων) εξαρτάται αποκλειστικά απ' την ανάπτυξη των καρυδιών. Η έκπτυξη καινούριων φύλλων σταματά το φθινόπωρο. Η άριστη θερμοκρασία για την έκπτυξη φύλλων είναι μεταξύ 30-33°C (Hesketh 1972).

επανελημμένες δυνατές βροχοπτώσεις ή από πότισμα με μεγάλη ποσότητα νερού για την υποβοήθηση του φυτρώματος.

- *Στάδιο πρώτης ανάπτυξης*
Είναι η περίοδος απ' το φύτρωμα μέχρι την εμφάνιση των πρώτων χτενιών. Διαρκεί 35-40 μέρες και

Ένα φύλλο βαμβακιού κάτω από άριστες συνθήκες χρειάζεται περίπου 16 μέρες για να ολοκληρώσει το μέγεθός του (Reddy 1997).



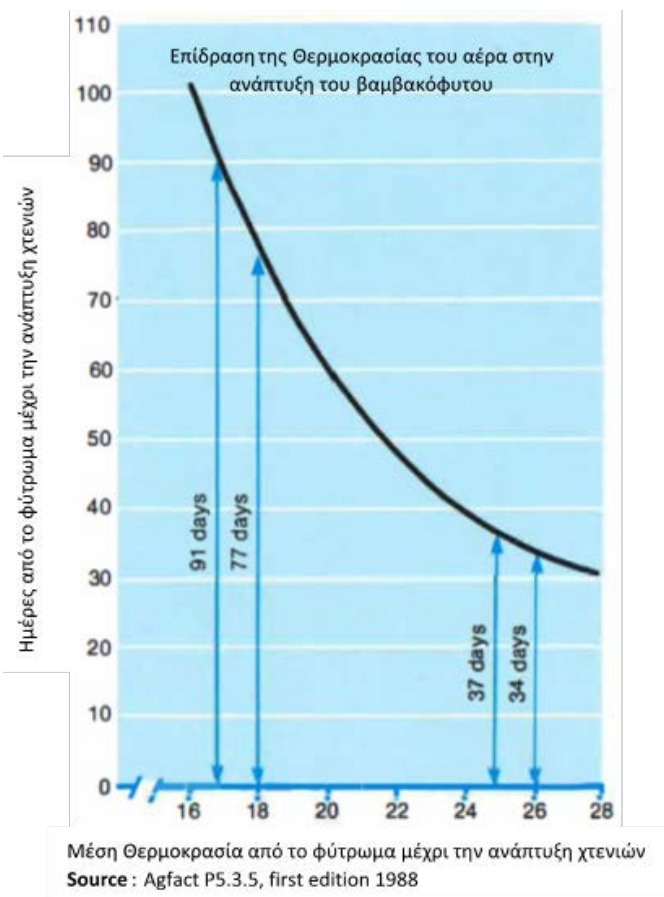
Ένα ώριμο βαμβάκι έχει συνήθως 18-24 πραγματικά φύλλα επί του κυρίως βλαστού. Τις πρώτες 5-6 εβδομάδες μετά τη σπορά τα βαμβακόφυτα έχουν μόνον επί του κεντρικού βλαστού φύλλα, στη συνέχεια όμως η φυλλική επιφάνεια των συμποδιακών φύλλων αυξάνει ταχύτατα και κατά την εμφάνιση του πρώτου άνθους, περίπου 70-80 μέρες μετά τη σπορά,

υπερτερεί της επιφάνειας των φύλλων του κεντρικού βλαστού. Η φυλλική επιφάνεια των συμποδιακών φύλλων αποτελεί το 60% της συνολικής επιφάνειας των φύλλων του φυτού. Κρίσιμη περίοδος για την ανάπτυξη του φυλλώματος είναι η εποχή των 40-65 ημερών μετά το φύτευμα. Στα περισσότερα περιβάλλοντα χρειάζεται LAI 3,5-4 ενώ για ειδικά περιβάλλοντα με μεγάλο δυναμικό παραγωγής είναι απαραίτητος ο μεγαλύτερος δείκτης για τις μέγιστες δυνατές αποδόσεις (Heitholt 1994). Ο μέσος όρος ζωής των φύλλων είναι περίπου 65 μέρες παρότι το μέγιστο της φωτοσυνθετικής τους δραστηριότητας παρατηρείται 20 ημέρες μετά την εμφάνισή τους και στη συνέχεια μειώνεται (Oosterhuis και Jernstedt 1999).

Για να μεγιστοποιηθεί η βιολογική απόδοση ανά μονάδα επιφάνειας, χρειάζεται πρώιμη ανάπτυξη του φυλλώματος, ώστε το φυτό να εκμεταλλευτεί τον υψηλό ρυθμό καθαρής φωτοσύνθεσης, που παρατηρείται με τις ευνοϊκές συνθήκες της άνοιξης. Όταν υπάρχει πλήρης φυλλοκάλυψη του εδάφους, το φως που πέφτει στη φυλλοστοιβάδα δεσμεύεται απ' τη στέγη της και επομένως τα φύλλα που βρίσκονται σε χαμηλά στρώματα μπορεί να βρεθούν κάτω απ' το σημείο αντιστάθμισης και να μετατραπούν σε παρασιτικά όργανα του φυτού. Η αύξηση επομένως της φυλλικής επιφάνειας πάνω από μια ορισμένη τιμή δεν φαίνεται να συμβάλλει στην αύξηση της απόδοσης γιατί τα κατώτερα φύλλα σκιάζονται. Ο Basinskii και οι συνεργάτες του (1975) έδειξαν ότι υπάρχει σημαντική καμπυλόγραμμη σχέση μεταξύ LAI και απόδοσης στο βαμβάκι. Βρήκαν ότι ο ρυθμός καθαρής φωτοσύνθεσης μειώθηκε, όταν ο LAI είχε τιμή μεγαλύτερη του 3 και ότι η μεγιστοποίηση της απόδοσης συνέπεσε με τιμή LAI 5. Ωστόσο, ο άριστος LAI δεν έχει μια σταθερή τιμή αλλά εξαρτάται από τον γενότυπο, από την διάταξη των φυτών στο χώρο, από την αρχιτεκτονική του φυτού (γωνία έκπτυξης φύλλων, ύπαρξη λοβών στα φύλλα), από τις κλιματολογικές συνθήκες και την παροχή εισροών όπως άρδευση και λίπανση (Γαλανοπούλου 1977).

- *Στάδιο προ άνθησης*

Η αναπαραγωγική φάση αρχίζει με την εμφάνιση των πρώτων ανθοφόρων οφθαλμών (χτένια) 4-5 εβδομάδες μετά τη σπορά, τέλος Μαΐου με μέσα Ιουνίου. Η εμφάνιση των πρώτων ανθέων γίνεται 20-25 ημέρες αργότερα (αρχές Ιουλίου). Η ημερομηνία εμφάνισης των πρώτων χτενιών και στη συνέχεια έναρξης της ανθοφορίας συνδέεται πολύ στενά με την πρωιμότητα της παραγωγής, η οποία έχει πολύ μεγάλη σημασία για την χώρα μας με την περιορισμένη βλαστική περίοδο. Μετά την έναρξη ανθοφορίας ο ρυθμός ανθοφορίας επιταχύνεται καθημερινώς, σύμφωνα με μια σχεδόν τυπική καμπύλη με μέγιστο, για τις συνθήκες της χώρας μας, περί τα τέλη Ιουλίου. Η ανθοφορία ενδιαφέρει για όσο χρονικό διάστημα υπάρχει δυνατότητα, ώστε τα άνθη να προλάβουν να μετατραπούν σε ώριμα καρύδια. Η περίοδος αυτή ονομάζεται ωφέλιμη περίοδος ανθοφορίας και για τις συνθήκες της Ελλάδας τελειώνει περί τις 15 Αυγούστου, γιατί από εκεί και πέρα η ανθόρροια και καρπόρροια πλησιάζει το 100%, αλλά και η περίοδος καρυδιού αυξάνει σημαντικά, ώστε δεν υπάρχουν χρονικά περιθώρια να ωριμάσουν τα καρύδια. Έτσι τα άνθη μετά



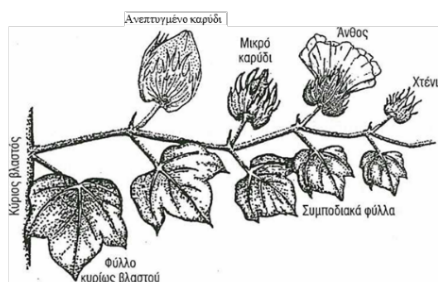
την ωφέλιμη περίοδο και ακόμη περισσότερο τα χτένια, ανταγωνίζονται την ωφέλιμη παραγωγή και αποβαίνουν παράσιτα για το φυτό. Με τις κατάλληλες ποικιλίες και την καλλιεργητική τεχνική επιδιώκεται να μη σχηματίσουν τα φυτά νέα καρποφόρα όργανα πέραν της ωφέλιμης περιόδου ανθοφορίας (Γαλανοπούλου Σενδουκά 1977).

Το ύψος ανθοφορίας και το ποσοστό καρπόδεσης (αριθμός καρυδιών / αριθμός ανθέων) ποικίλλει σε ευρέα όρια, αναλόγως της ποικιλίας, των συνθηκών του περιβάλλοντος, κυρίως υγρασίας, θερμοκρασίας, ηλιοφάνειας και γονιμότητας του εδάφους και των συνθηκών διατροφής του φυτού (Jost & Cothren 1999). Το υψηλό ποσοστό απωλειών καρποφόρων οργάνων, προς

το τέλος της ωφέλιμης περιόδου ανθοφορίας και μετά, είναι συνήθως χωρίς οικονομική σημασία, εφόσον έχει εξασφαλιστεί η πρώιμη καρπόδεση (retention).

- *Στάδιο ανθοφορίας, καρποφορίας*

Η σειρά άνθησης πάνω στο φυτό ακολουθεί σπειροειδή διάταξη αρχίζοντας απ' τους χαμηλότερους κλάδους με τα άνθη που βρίσκονται κοντά στον κεντρικό άξονα και προχωρεί προς τα επάνω και μακριά απ' τον άξονα. Αποτέλεσμα αυτής της ακολουθούμενης διαδικασίας άνθησης είναι τα πρώτα καρύδια να σχηματίζονται κοντά στον κύριο βλαστό των φυτών. Από την εμφάνιση ενός άνθους μέχρι την εμφάνιση του αμέσως επόμενου στον ίδιο κλάδο μεσολαβούν κατά μέσο όρο 4,5-6,0 ημέρες, ενώ χρειάζονται μόνο 2,5-3,0 ημέρες για το επόμενο άνθος της σπείρας. Στην



Σχηματική απεικόνιση της κατανομής των χτενιών, ανθέων και καρυδιών κατά μήκος ενός ανθοφόρου συμποδιακού κλάδου

Ελλάδα το μέγιστο της άνθησης εμφανίζεται προς το τέλος Ιουλίου. Η απόδοση σε ίνες συσχετίζεται στενά με τον τελικό αριθμό των καρυδιών που σχηματίζονται στο φυτό (Heitholt et al. 1992).

Στο βαμβάκι παρατηρείται σημαντικό ποσοστό ανθόρροιας και καρπόρροιας. Ένα φυτό βαμβακιού απορρίπτει κατά μέσο όρο περίπου το 60% των χτενιών και των νεαρών καρυδιών. Η πτώση στους κατώτερους κόμβους συμβαίνει συνήθως υπό

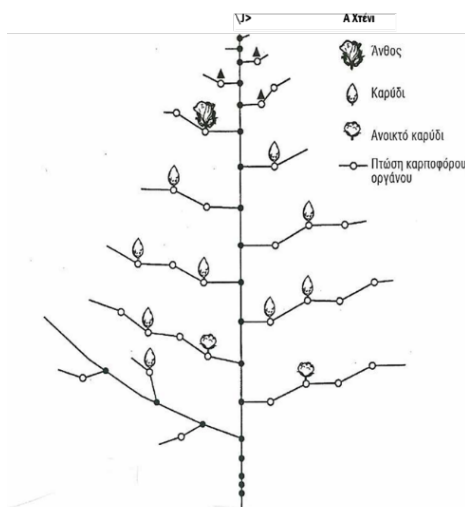
μορφή χτενιών ενώ στους ανώτερους υπό μορφή νεαρών καρυδιών. Στους μεσαίους κόμβους, 6-13, παρατηρείται συνήθως μεγαλύτερη καρπόδεση και επομένως στους κόμβους αυτούς αντιστοιχεί μεγαλύτερο ποσοστό απόδοσης (Oosterhuis και Jernstedt 1999). Ορισμένοι ερευνητές υποστηρίζουν ότι η απόδοση σχετίζεται περισσότερο με τον αριθμό των παραγόμενων ανθέων κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου και λιγότερο με το ποσοστό συγκράτησης των καρυδιών. Άλλοι όμως υποστηρίζουν ότι οι διαφορές στην απόδοση λόγω διαφορετικών επεμβάσεων οφείλονται τόσο στον αριθμό των παραγόμενων ανθέων ανά μονάδα επιφάνειας όσο και στον αριθμό των καρυδιών που συγκρατούνται στο φυτό (Heitholt 1999).

Σε διετή πειράματα στο Ινστιτούτο Βάμβακος (Γαλανοπούλου-Σενδουκά 1977) με τρεις ποικιλίες, η συνολική ανθοφορία κυμάνθηκε από 129-164 άνθη/m² και η καρπόδεση από 36,8-48,8%. Ο δεύτερος παράγοντας αποδείχθηκε ισχυρότερος απ'τον πρώτο στη διαμόρφωση της παραγωγής, ώστε το μεγαλύτερο ποσοστό καρπόδεσης, παρόλο που συνδυάστηκε με την μικρότερη ανθοφορία, οδήγησε και στη μεγαλύτερη απόδοση. Το φυτό βαμβακιού κρατά τόσα καρύδια όσα μπορεί να εφοδιάσει με προϊόντα φωτοσύνθεσης, με άζωτο και άλλα θρεπτικά στοιχεία. Επίσης πολλοί υποστηρίζουν ότι η συγκράτηση των καρυδιών είναι φαινόμενο που ρυθμίζεται απ' την ισορροπία των ορμονών στο φυτό (Oosterhuis και Jernstedt 1999). Συμπερασματικά μπορεί να λεχθεί ότι η παραγωγή πολλών ανθέων στην αρχή και στο μέσο της περιόδου άνθησης είναι επιθυμητή.

Το στάδιο αυτό διαρκεί 60-70 ημέρες περίπου και συμπίπτει με το τέλος Αυγούστου έως 10 Σεπτεμβρίου.

- **Στάδιο ωρίμανσης**

Υπάρχει αλληλοκάλυψη του σταδίου αυτού με το προηγούμενο, γιατί ενώ τα καρύδια στο κάτω μέρος του φυτού αρχίζουν να ωριμάζουν, στην κορυφή του φυτού μπορεί να υπάρχουν ακόμα άνθη. Μετά τη γονιμοποίηση τα καρύδια αναπτύσσονται ταχύτατα ακολουθώντας μια σιγμοειδή καμπύλη. Η ταχεία ανάπτυξη συντελείται 7-18 ημέρες μετά τη γονιμοποίηση και τα καρύδια παίρνουν τον μέγιστο όγκο τους μετά από 22-25 ημέρες. Η ωρίμανση των καρυδιών γίνεται 50-70 ημέρες μετά την άνθηση. Τα καρύδια ωριμάζουν συντομότερα όταν οι θερμοκρασίες ανάπτυξης είναι υψηλές, επικρατεί ξηρασία, υπάρχει έλλειψη αζώτου και ο πληθυσμός των φυτών είναι μεγάλος. Σημαντικό ρόλο παίζει και η ημερομηνία εμφάνισης του αντίστοιχου άνθους.



Χαρτογράφηση της κατανομής των καρυδιών ενός φυτού βαμβακιού κατά την ωρίμανση

Καρύδια που προέρχονται από άνθη του Ιουνίου έως αρχές Ιουλίου χρειάζονται 45-50 ημέρες για να ωριμάσουν, από άνθη τέλος Αυγούστου 90 ημέρες και από άνθη Σεπτεμβρίου δεν προλαβαίνουν να ωριμάσουν.

Οι σπόροι παίρνουν το μέγιστο μέγεθός τους 3-4 εβδομάδες μετά η γονιμοποίηση αλλά η ωρίμανσή τους συμπίπτει με το άνοιγμα των καρυδιών. Η ανάπτυξη των ινών γίνεται σε 2 στάδια. Αρχικά παίρνουν όλο το μήκος τους, περίπου 25 ημέρες απ' τη γονιμοποίηση, με ταχύτατη ανάπτυξη απ' την 10η έως την 18η ημέρα. Η πάχυνση των ινών αρχίζει λίγο πριν απ' την ολοκλήρωση του μήκους και συνεχίζεται

μέχρι την ωρίμανση των καρυδιών.

Η κατανομή των καρυδιών στο φυτό ποικίλλει γιατί εξαρτάται απ' την ποικιλία, την πυκνότητα της φυτείας, τις αποστάσεις μεταξύ των γραμμών σποράς και απ' την πτώση χτενιών και καρυδιών. Το μεγαλύτερο ποσοστό της παραγωγής λαμβάνεται απ' το κεντρικό τμήμα του φυτού, περίπου μεταξύ των κόμβων 6 και 13 του κεντρικού βλαστού, τμήμα όπου κατανέμεται και το μεγαλύτερο ποσοστό του δείκτη φυλλικής επιφάνειας. Λιγότερα καρύδια παράγονται πάνω απ' τους προαναφερθέντες κόμβους και αυτά είναι μικρότερα σε μέγεθος και απαιτούν περισσότερες ημέρες για να ωριμάσουν. Η παραγωγή διαφοροποιείται και κατά μήκος των συμποδιακών κλάδων. Ένα μεγάλο μέρος της παραγωγής προέρχεται απ' τα καρύδια του πρώτου κόμβου των συμποδιακών κλάδων (Oosterhuis 1990). Επίσης και η ποιότητα των ινών τείνει να μειωθεί στα καρύδια που βρίσκονται μακρύτερα απ' τον κεντρικό βλαστό (Heitholt 1999). Για παράδειγμα τα πρώιμα καρύδια ωριμάζουν μέσα σε 45-55 ημέρες, ενώ τα όψιμα μέσα σε 60-70 ημέρες.

1.6 Κλιματική αλλαγή και βαμβάκι

1.6.1 Η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στη γεωργία

Το κλίμα σε ένα τόπο παρουσιάζει ημερήσια και ετήσια διακύμανση, αλλά επιπλέον και τυχαίες ανοδικές ή καθοδικές τάσεις με διάφορες περιόδους επανάληψης, δηλαδή χωρίς κάποια κανονικότητα. Οι κύριες κλιματικές παράμετροι, που αποτέλεσαν αντικείμενο διερεύνησης κλιματικών αλλαγών, είναι η θερμοκρασία του αέρα, το ύψος των κατακρημνισμάτων και η συχνότητα εμφάνισης των ακραίων γεγονότων.

Πολλές εργασίες έχουν ασχοληθεί με τη διακύμανση των παραπάνω παραμέτρων για διάφορες περιοχές αλλά και σε πλανητική κλίμακα. Από αυτές προκύπτει ένα εύρος διαφορετικών αποτελεσμάτων. Η θερμοκρασία στη γη κατά τον 19ο αιώνα αυξήθηκε 0,3 – 0,6°C και προβλέπεται περαιτέρω αύξηση που πιθανόν θα ποικίλει από 1,5 έως 3,5°C μέχρι το έτος 2100. (Sahsamanoglou et.al. 1992, Μαχαίρας κ.α. 1989, Feidas et.al. 2007, Mavromatis and Stathis 2010). Η τάση αυτή αντιστρέφεται σε πολλές περιοχές μετά το 1975, λόγω της ταυτόχρονης αύξησης των θερινών θερμοκρασιών και της μείωσης των χειμερινών θερμοκρασιών που παρατηρούνται μετά το 1985 (Feidas et.al., 2004).

Όσον αφορά τα κατακρημνίσματα, προβλέπεται αύξηση για τις περισσότερες περιοχές της γης, ενώ για την περιοχή της Μεσογείου προβλέπεται μείωση. Τέλος, προβλέπεται αύξηση της συχνότητας εμφάνισης των ακραίων γεγονότων (Stathis 2015).

Κατά τις προσεχείς δεκαετίες, η γεωργία θα επηρεαστεί από την αλλαγή του κλίματος τόσο στην Ευρωπαϊκή Ένωση όσο και ανά τον κόσμο. Η παγκόσμια εγρήγορση χρόνο με το χρόνο εντείνεται καθώς οι ενδείξεις για τη σοβαρότητα των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής γίνονται όλο και πιο ανησυχητικές. Σύμφωνα με τα Ηνωμένα Έθνη, μόνο στην Αφρική 220 εκατομμύρια άνθρωποι κάθε χρόνο υποφέρουν από την έλλειψη πόσιμου νερού, λόγω της κλιματικής αλλαγής. Η αγροτική παραγωγή κινδυνεύει λόγω της απώλειας καλλιεργήσιμης γης, των μικρότερων καλλιεργητικών περιόδων και της αβεβαιότητας σχετικά με το είδος και το χρόνο εγκατάστασης συγκεκριμένων καλλιεργειών. Εκτιμάται ότι στη συγκεκριμένη ήπειρο τα έσοδα από τη γεωργία μπορεί να μειωθούν έως και 90% μέχρι το 2100 (UNFCCC, 2007)¹. Η ίδια έκθεση για την Ασία αναφέρει ότι λόγω της κλιματικής αλλαγής και της εκτιμώμενης μείωσης της παραγωγικότητας των καλλιεργειών, κινδυνεύουν αρκετά εκατομμύρια ανθρώπων από ασιτία.

1. Η Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την αλλαγή του κλίματος (UNFCCC) είναι μια διεθνής συνθήκη αποτέλεσμα της συνόδου των Ηνωμένων Εθνών για το περιβάλλον τον Ιούνιο του 1992 στο Ρίο ντε Τζανέιρο.

Όμως και η Ευρώπη αντιμετωπίζει ήδη τα πρώτα αντιληπτά συμπτώματα λόγω της μεταβολής του κλίματος. Το μεγάλο κύμα ζέστης που χτύπησε την Δυτική Ευρώπη το καλοκαίρι του 2003 είχε δυσμενείς επιπτώσεις στην αγροτική παραγωγή. Από τις χώρες που επλήγησαν περισσότερο ήταν η Γαλλία με αποτέλεσμα τη μείωση της παραγωγής σε όλους σχεδόν τους τομείς της γεωργίας. Το 2007 ήταν μία χρονιά που χαρακτηρίστηκε από ακραία καιρικά φαινόμενα. Οι ιδιαίτερα υψηλές θερμοκρασίες εκείνου του καλοκαιριού είχαν ως συνέπεια την έξαρση των πυρκαγιών σε όλες σχεδόν τις χώρες της Νότιας Ευρώπης (Γαλλία, Ισπανία, Πορτογαλία) με εντονότερες και καταστρεπτικότερες τις φωτιές που ξέσπασαν στην Ελλάδα. Την ίδια περίοδο καταρρακτώδεις βροχοπτώσεις και πρωτοφανείς πλημμύρες έπληξαν αρκετές περιοχές της Αγγλίας με ιδιαίτερα σημαντικές καταστροφές τόσο στην παραγωγή όσο και στις υποδομές (Inglesias et al, 2007)². Επίσης λόγω της σταδιακής αύξησης της θερμοκρασίας παρατηρείται αύξηση των καλλιεργούμενων εκτάσεων σιταριού στη βορειοδυτική Ευρώπη ενώ αντίθετα στις ευρωμεσογειακές χώρες το αντίστοιχο μέγεθος μειώνεται (Olesen and Bindi, 2002).

Η ανάγκη προσδιορισμού των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στη γεωργία, οφείλεται στο γεγονός ότι η αλλαγή αυτή αναμένεται να μεταβάλλει τα αποθέματα τροφής σε παγκόσμιο επίπεδο, μέσω της μεταβολής στη βροχόπτωση, της πιθανής αύξησης της θερμοκρασίας και του CO₂, της αύξησης των ακραίων καιρικών συμβάντων, της μεταβολής στη διασπορά εχθρών και ασθενειών των καλλιεργειών (Tubiello et al, 2007). Επιπλέον η αύξηση των ακραίων καιρικών συμβάντων μπορεί να οδηγήσει σε απρόβλεπτες αλλαγές στις αποδόσεις, στην αύξηση των τιμών και σε αλλαγές σε εμπορικά ισοζύγια μεταξύ χωρών (Lobell et al, 2008). Σήμερα πλέον είναι αποδεκτό ότι οι αναπτυσσόμενες χώρες είναι περισσότερο ευάλωτες στην κλιματική αλλαγή, λόγω του κυρίαρχου ρόλου του γεωργικού τομέα στις οικονομίες τους, της έλλειψης κεφαλαίων για την αντιμετώπισή της, του γεγονότος ότι χαρακτηρίζονται κατά βάση από θερμότερα κλίματα και τη μεγαλύτερη έκθεσή τους σε ακραία καιρικά γεγονότα (Parry et al, 2001). Επίσης οι κλιματικές μεταβολές μπορεί να έχουν ιδιαίτερα σοβαρές αρνητικές συνέπειες στον αναπτυσσόμενο κόσμο όπου περίπου ένα δισεκατομμύριο άνθρωποι υποσιτίζονται (FAO, 2009).

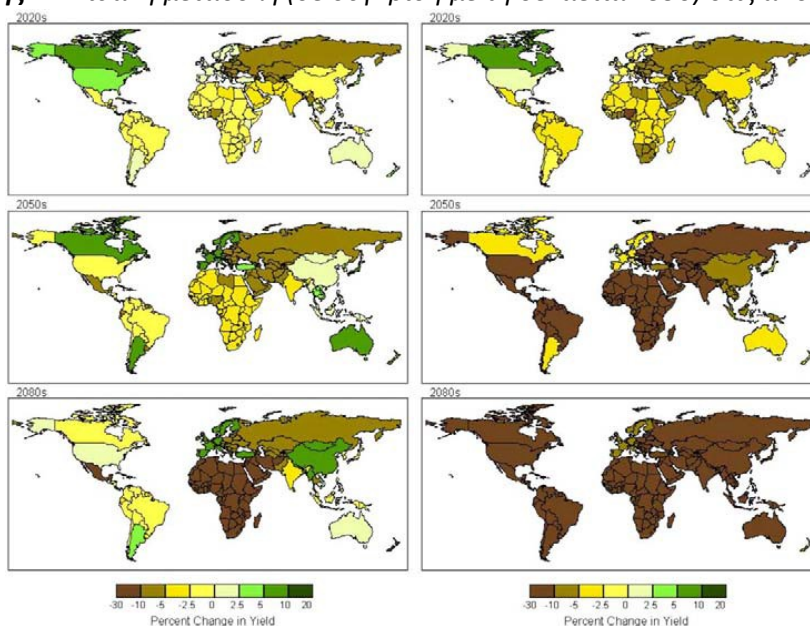
2. Έκθεση του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος (AEA Energy & Environment και του Universidad de Politécnica de Madrid), προς την Ε.Ε. για το 2007.

Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC)³ σε πρόσφατες εκθέσεις της (IPCC, 2007b) αναφέρει ότι μέτρια αύξηση της θερμοκρασίας κατά το πρώτο μισό του αιώνα που διανύουμε, πιθανό να αυξήσει τις αποδόσεις των καλλιεργειών σε εύκρατες περιοχές και αντίθετα να μειώσει τις αποδόσεις σε υποτροπικές και τροπικές ζώνες. Έτσι με ήπιες εκτιμήσεις για αύξηση του CO₂ και της θερμοκρασίας κατά 1-2°C τις επόμενες δεκαετίες, οι αποδόσεις στις καλλιέργειες στις εύκρατες περιοχές φαίνεται να ευνοούνται, ενώ στις τροπικές περιοχές ιδιαίτερα οι αποδόσεις των σιτηρών επηρεάζονται αρνητικά.

Τα τελευταία χρόνια η έρευνα για την μελέτη της επίδρασης της κλιματικής αλλαγής εντατικοποιείται, με αποτέλεσμα να διαθέτουμε πλέον επαρκή δεδομένα για να πραγματοποιήσουμε αξιολογικές εκτιμήσεις.

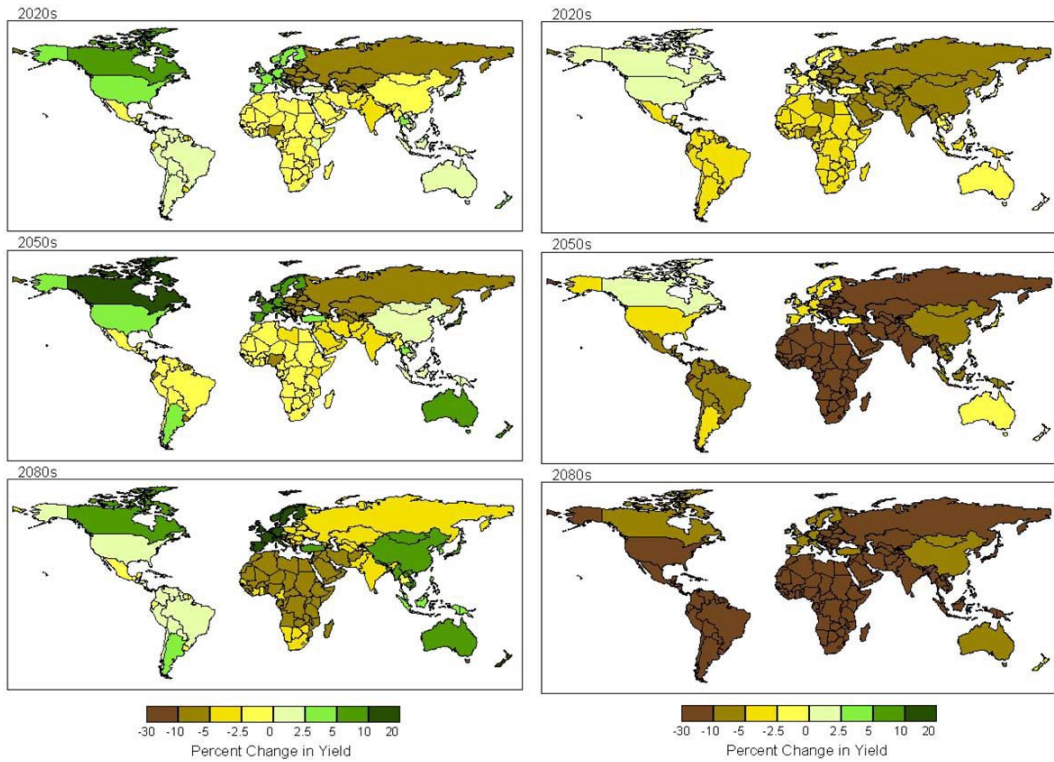
Σε παγκόσμιο επίπεδο οι αποδόσεις των διάφορων καλλιεργειών ποικίλουν ανάλογα με το κλιματικό μοντέλο και προκύπτουν από την εφαρμογή των κλιματικών σεναρίων σε συνδυασμό με τη δυνατότητα προσαρμογής στις μεταβολές. Οι Parry et al (2004), εκτίμησαν την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στις βασικότερες καλλιέργειες (σιτάρι, αραβόσιτο, ρύζι και σόγια) χρησιμοποιώντας τα μοντέλα HadCM3 SRES με και χωρίς την επίδραση της αύξησης του CO₂, για τις δεκαετίες 2020, 2050 και 2080 και κατέληξαν στα παρακάτω αποτελέσματα.

Χάρτης 1 - Πιθανή μεταβολή (σε σύγκριση με τη δεκαετία 1990) στις αποδόσεις καλλιεργειών

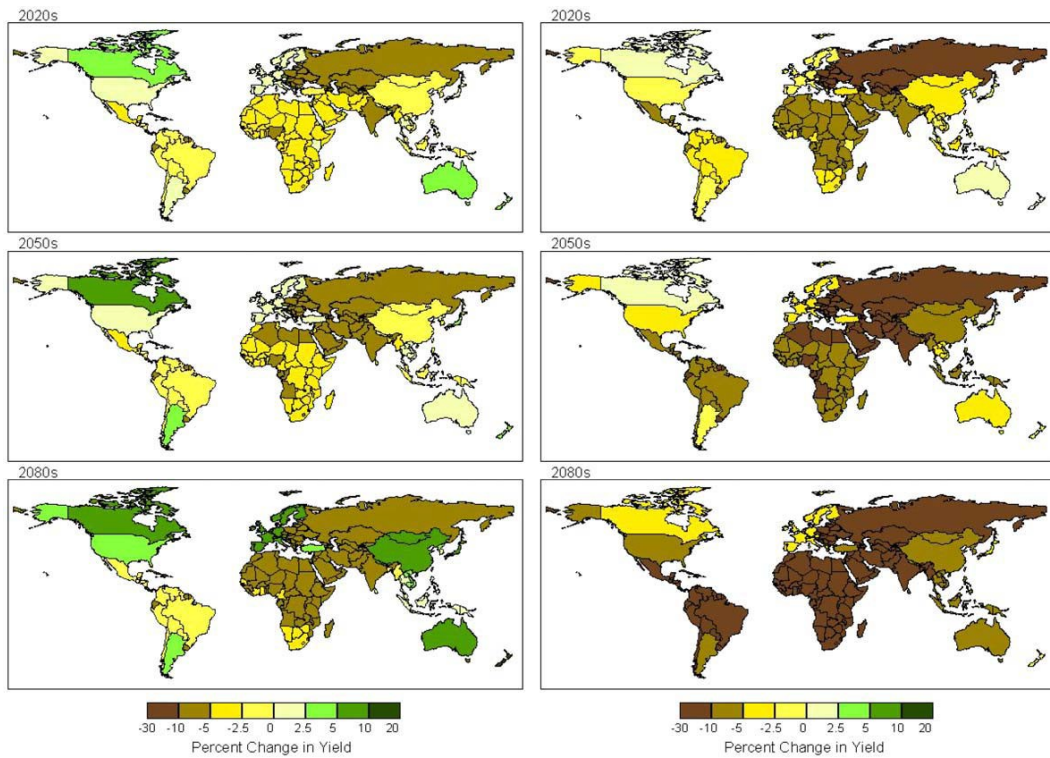


με (αριστερά) και χωρίς (δεξιά) την επίδραση CO₂, για το σενάριο **A1FI** (Parry et al, 2004).

3. Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC) είναι επιστημονική διακυβερνητική επιτροπή υπό την αιγίδα του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών. Η επιτροπή αξιολογεί επίσης τις συνέπειες των κλιματικών μεταβολών που προέρχονται από ανθρώπινη δραστηριότητα. Μέχρι το 2007 είχε δημοσιεύσει τέσσερις εκθέσεις (1990, 1995, 2001 και 2007) σχετικά με τις κλιματικές αλλαγές που παρατηρούνται και τις πιθανές επιπτώσεις τους.



Χάρτης 2 - Πιθανή μεταβολή (σε σύγκριση με τη δεκαετία 1990) στις αποδόσεις καλλιεργειών με (αριστερά) και χωρίς (δεξιά) την επίδραση CO₂, για το σενάριο A2a (Parry et al, 2004).

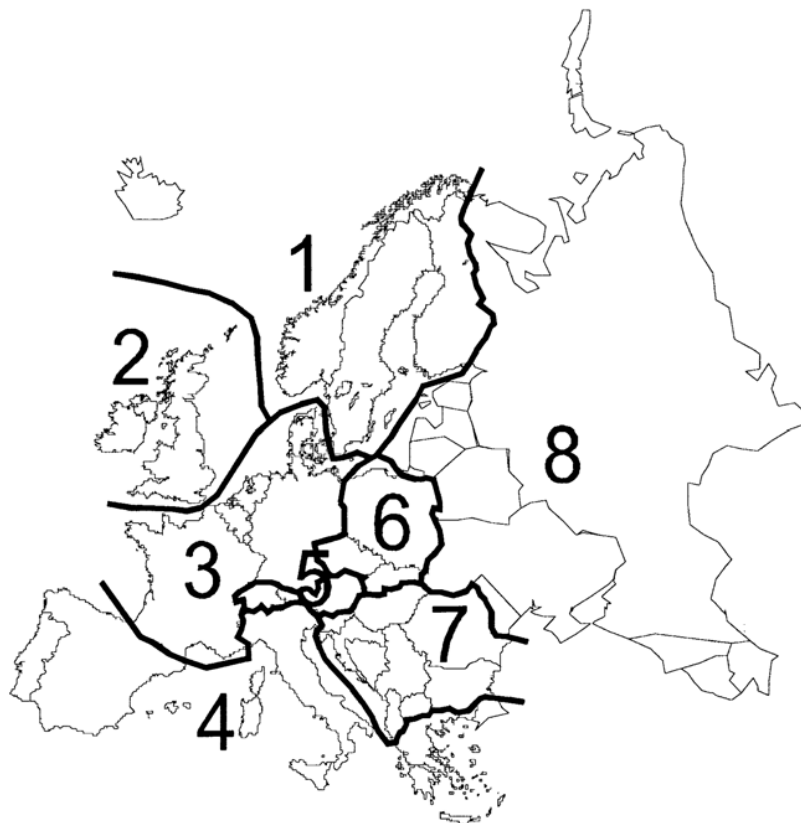


Χάρτης 3 - Πιθανή μεταβολή (σε σύγκριση με τη δεκαετία 1990) στις αποδόσεις καλλιεργειών με (αριστερά) και χωρίς (δεξιά) την επίδραση CO₂, για το σενάριο B2a (Parry et al, 2004).

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

Αντίστοιχες μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί και σε αρκετές ευρωπαϊκές χώρες όπως για το Η.Β (Stern 2007), για τη Βουλγαρία (Alexandrov et. al 2004), για τη Μεσογειακή λεκάνη (Giannakopoulos et. al 2009) ή για ολόκληρες περιοχές όπως για την Ευρώπη με το PESETA Research Project (Ερευνητικό πρόγραμμα της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στις Ευρωπαϊκές Χώρες).

Ιδιαίτερα σε επίπεδο Ε.Ε ο γεωγραφικός διαχωρισμός ανάλογα με τις προβλεπόμενες αλλαγές στις γεωργικές αποδόσεις, αποτυπώνεται στον παρακάτω χάρτη. Η ζώνη 4 (Μεσογειακή) περιλαμβάνει τις χώρες της νότιας Ευρώπης (Ελλάδα, Ιταλία, Ισπανία, Πορτογαλία).

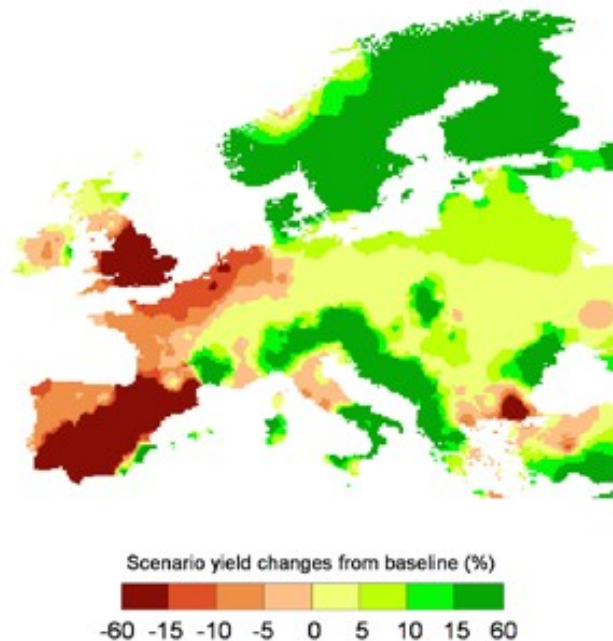


Χάρτης 4 - Χάρτης με τις ζώνες γεωργικής σημασίας της Ευρώπης (Ε.Ε, 2007). Η Ελλάδα ανήκει στη ζώνη 4 μαζί με την Ιταλία, την Ισπανία και την Πορτογαλία. Η ζώνη 4 (Μεσογειακή) θεωρείται ως η πλέον ευαίσθητη στην κλιματική αλλαγή (IPCC, 2007).

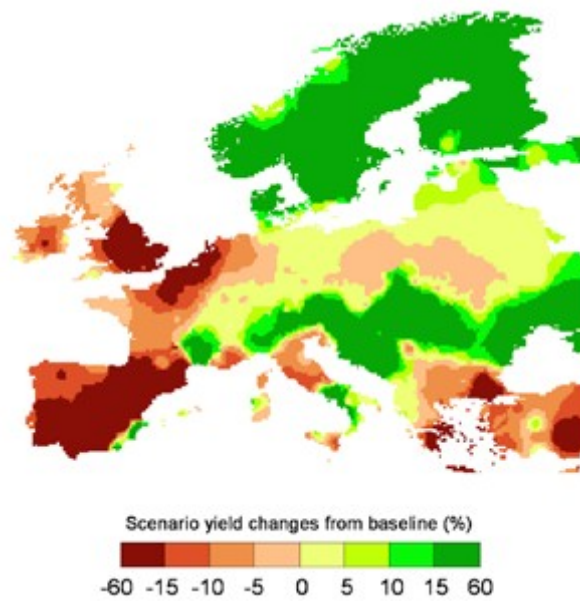
Η προσπάθεια εκτίμησης της επίπτωσης της κλιματικής αλλαγής στις καλλιέργειες εξακολουθεί και σήμερα να χαρακτηρίζεται από δυσκολίες λόγω της πολυπλοκότητας στην ερμηνεία των φυσιολογικών λειτουργιών του φυτού κάτω από διαφορετικές μελλοντικές βιοτικές και αβιοτικές συνθήκες.

Ωστόσο η έρευνα γύρω από τις επιπτώσεις της μεταβολής των κλιματικών συνθηκών στη γεωργική παραγωγή στο πρόσφατο παρελθόν έχει δώσει ορισμένα ενδεικτικά συμπεράσματα. Η αύξηση της θερμοκρασίας και του επιπέδου CO₂ στην ατμόσφαιρα την περίοδο 1960-2000, έχουν επηρεάσει τις καλλιέργειες σε όλο τον πλανήτη. Οι αλλαγές αυτές δεν είναι ορατές εξαιτίας των ραγδαίων τεχνολογικών εξελίξεων στη γεωργία. Κι όμως μελέτες που έχουν απομονώσει τις επιδράσεις της αλλαγής του κλίματος (θερμοκρασία και βροχόπτωση μόνο) έχουν αποδείξει ότι η γεωργική παραγωγή είτε ελαφρώς μειώνεται (0,05%), είτε ελαφρώς αυξάνεται (0,9%), ενώ σε συνδυασμό με την παρατηρούμενη αύξηση του CO₂ η παγκόσμια γεωργική παραγωγή έχει αυξηθεί 2-4% (Mendelsohn, 2007).

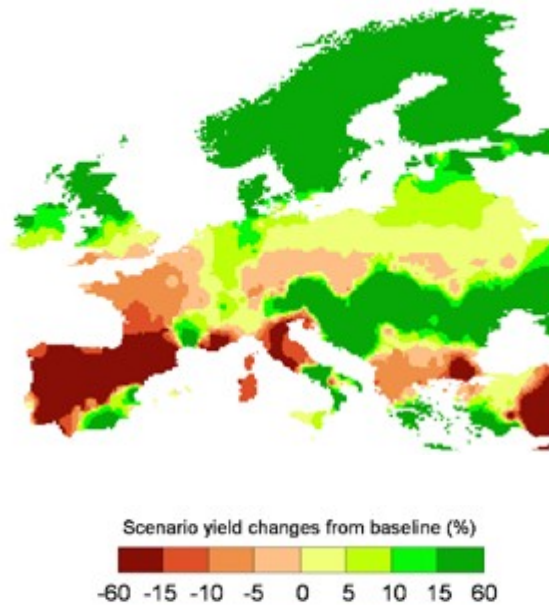
Αναφορικά με τις μελλοντικές προβλέψεις για την γεωργική παραγωγή, η έκθεση του ερευνητικού προγράμματος PESETA της Ευρωπαϊκής Ένωσης, προβλέπει από μηδενικές μεταβολές έως μείωση κατά 27% στη νότια Ευρώπη, ανάλογα με το σενάριο και το κλιματικό μοντέλο που χρησιμοποιείται (χάρτες 5 έως 8).



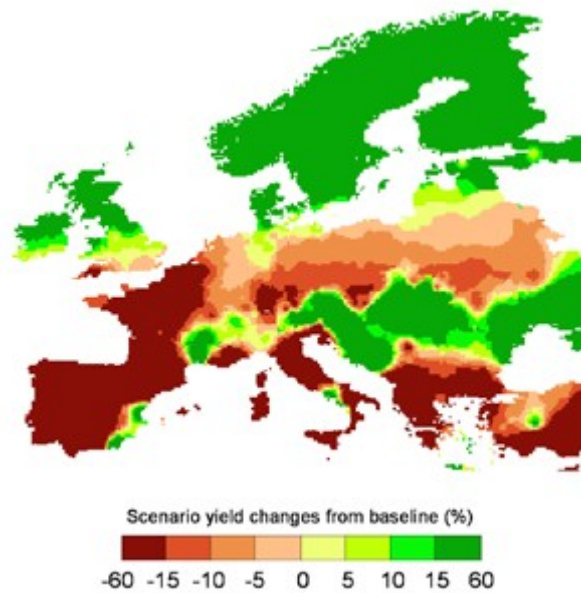
Χάρτης 5 - Μεταβολές στη γεωργική παραγωγή στην Ευρώπη για τη δεκαετία 2080, για το σενάριο B2HadAM3h με αύξηση θερμοκρασίας κατά 2,5°C (Peseta Research Project, 2009).



Χάρτης 6 - Μεταβολές στη γεωργική παραγωγή στην Ευρώπη για τη δεκαετία 2080, για το σενάριο A2HadAM3h με αύξηση θερμοκρασίας **κατά 3,9 °C** (Peseta Research Project, 2009).



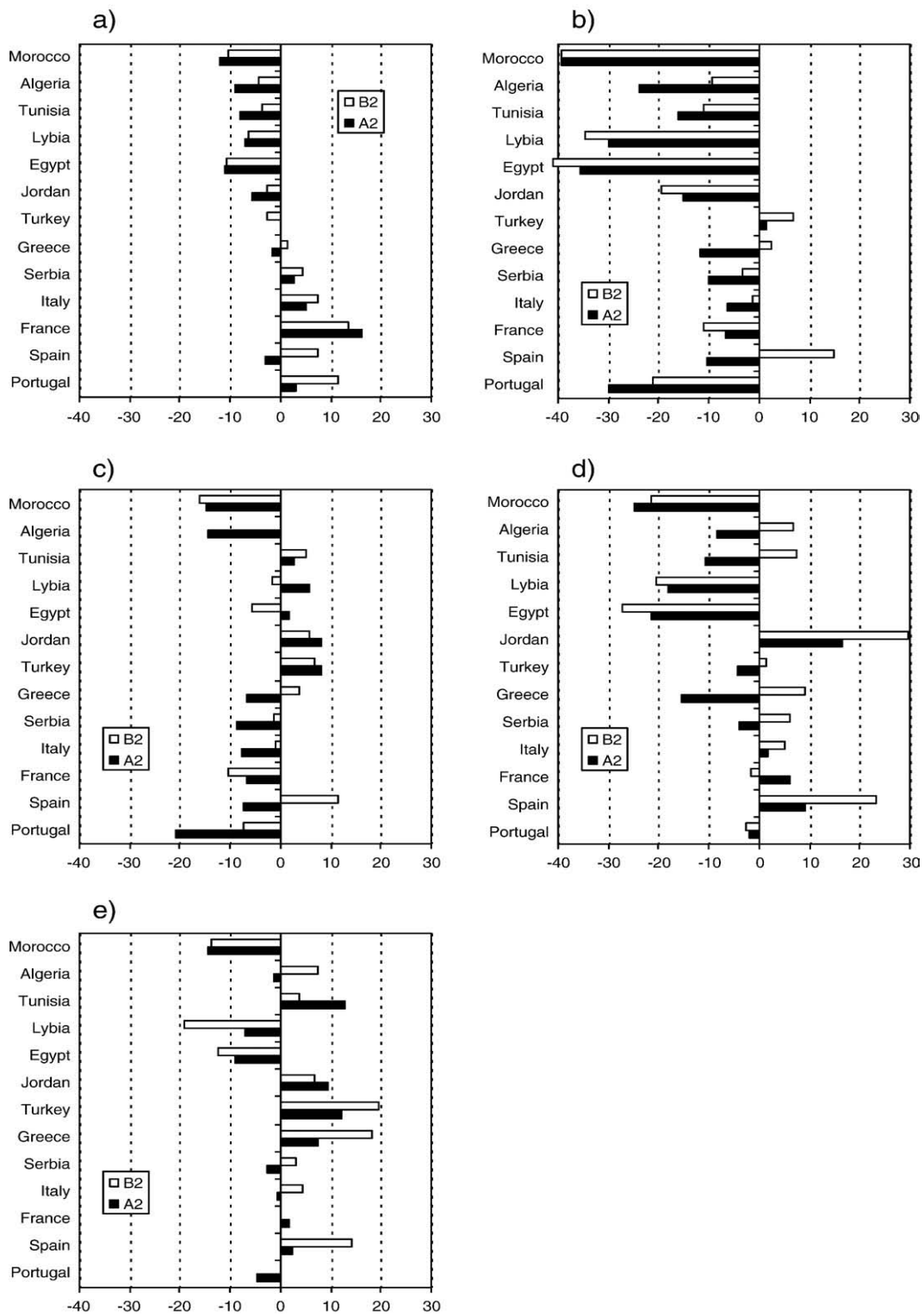
Χάρτης 7 - Μεταβολές στη γεωργική παραγωγή στην Ευρώπη για τη δεκαετία 2080, για το σενάριο B2ECHAM4 με αύξηση θερμοκρασίας **κατά 4,1°C** (Peseta Research Project, 2009).



Χάρτης 8 - Μεταβολές στη γεωργική παραγωγή στην Ευρώπη για τη δεκαετία 2080, για το σενάριο A2 ECHAM4 με αύξηση θερμοκρασίας **κατά 5,4°C** (Peseta Research Project, 2009).

Οι Giannakopoulos et al (2009), εκτίμησαν την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στις καλλιέργειες στη Μεσογειακή λεκάνη, χρησιμοποιώντας το μοντέλο HadCM3 για τα σενάρια A2 και B2 με παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας κατά 2°C για την περίοδο 2031 - 2060 (εικόνα 7).

Σύμφωνα με την συγκεκριμένη μελέτη για την περιοχή της βόρειας Μεσογείου στην οποία περιλαμβάνεται και η Ελλάδα, η αλληλεπίδραση κλιματικών μεταβολών και αύξησης του CO₂ κυμαίνεται από -9,33% για τις βολβώδεις καλλιέργειες (A2) έως +12,49% για τα σιτηρά (B2).



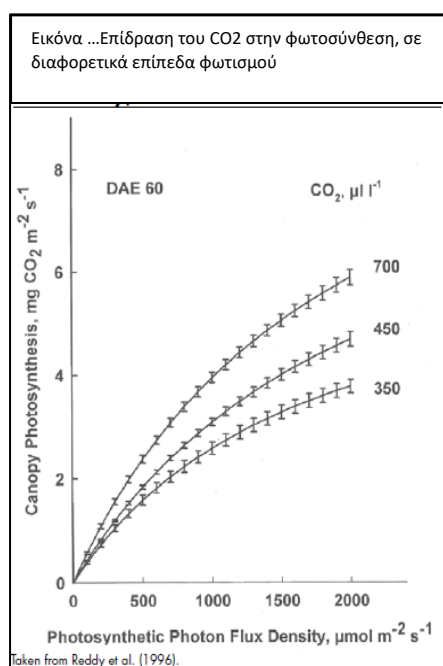
Εικόνα 7 - Εκτίμηση της επίδρασης της κλιματικής αλλαγής για τα σενάρια A2 και B2, με αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας κατά 2 °C για την περίοδο 2031-2060: α) C4 καλοκαιρινά φυτά β) ψυχανθή γ) C3 καλοκαιρινά φυτά δ) βολβώδη και ε) σιτηρά (Giannakopoulos et al., 2009).

1.6.2 Επιπτώσεις της Κλιματικής Αλλαγής στο Βάμβακι

Η γεωργία είναι εξαιρετικά ευάλωτη στην αλλαγή του κλίματος. Οι υψηλότερες θερμοκρασίες μπορεί να μειώσουν τελικά τις αποδόσεις των καλλιεργειών, ενθαρρύνοντας παράλληλα την εξάπλωση των ζιζανίων και των επιβλαβών οργανισμών. Παρόλο που θα υπάρξουν κέρδη σε καλλιέργειες σε ορισμένες περιοχές του κόσμου, οι συνολικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στη γεωργία αναμένεται να είναι αρνητικές, απειλώντας την παγκόσμια επισιτιστική ασφάλεια (IFPRI, 2009)⁴. Η αλλαγή του κλίματος θα επηρεάσει την παραγωγή βαμβακιού ως αποτέλεσμα των υψηλότερων συγκεντρώσεων CO₂ και της αύξησης της θερμοκρασίας. Και οι δύο αυτές αλλαγές θα προκαλέσουν μια σειρά από άλλες δράσεις που θα έχουν άμεσες και έμμεσες επιπτώσεις στην παραγωγή βαμβακιού, π.χ. μέσω της διαθεσιμότητας του νερού (βροχόπτωσης και σχετικής υγρασίας) και της συχνότητας εμφάνισης εχθρών & ασθενειών στο βαμβάκι. Ακολουθεί μια περιγραφή των επιπτώσεων για το βαμβάκι ως καλλιέργεια.

- *Αύξηση του CO₂*

Μέσω της διαδικασίας φωτοσύνθεσης, τα φυτά συνθέτουν οργανικές ενώσεις που χρησιμοποιούνται για ανάπτυξη τους χρησιμοποιώντας νερό, CO₂ και ενέργεια που απορροφάτε



μέσω της χλωροφύλλης από το ηλιακό φως. Δύο σημαντικές έρευνες υπάρχουν σήμερα διαθέσιμες ως προς τις επιπτώσεις του CO₂ στην ανάπτυξη και την απόδοση του βαμβακιού. Η πρώτη έρευνα που συνοψίζεται από τους Reddy et al. (1996) εξετάζει τις επιπτώσεις της αύξησης του CO₂ στο βαμβάκι σε θαλάμους ανάπτυξης. Η έρευνα έδειξε ότι ο διπλασιασμός των συγκεντρώσεων CO₂ στην ατμόσφαιρα οδηγεί σε αυξημένη φωτοσύνθεση κατά περίπου 40% που επέδρασε στην ανάπτυξη και την απόδοση των φυτών, που ποτίζονται επαρκώς. Η ίδια έρευνα έδειξε επίσης ότι η αύξηση του CO₂ αύξησε την κατανάλωση του νερού - αλλά παράλληλα βελτιώθηκε η αποτελεσματικότητα της αξιοποίησης του από το φυτό. Είναι φανερό από τις μελέτες των αποτελεσμάτων ότι συσχετίζεται η αύξηση και η απόδοση του βαμβακιού με

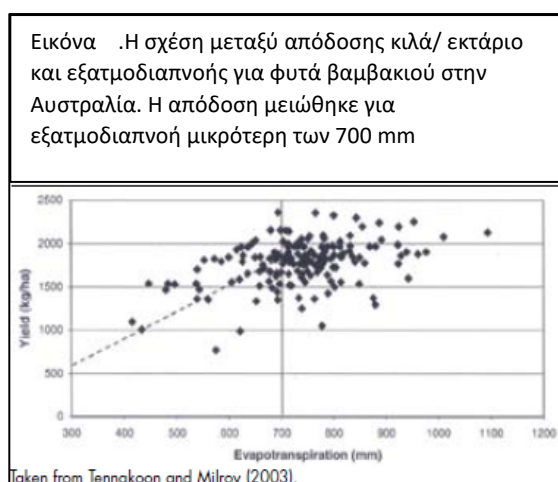
τις υψηλότερες συγκεντρώσεις CO₂ ακόμη και σε ξηροθερμικές ή σε καταστάσεις τροφοπενιών. Από την πρώτη έρευνα συμπεραίνεται (Bange 2007) ότι με μια αύξηση σε επίπεδα εκπομπών CO₂ έως τα προβλεπόμενα για το 2020 επίπεδα (406 έως 415 ppm) και 2050 (473 έως 555 ppm), η φωτοσύνθεση θα αυξηθεί περίπου 23% και 29% .

⁴IFPRI: International Food Policy Research Institute

Σε άλλη εργασία των Pinter et al. (1994) σε βαμβάκι, διερευνήθηκε η αύξηση του CO₂ εμπλουτίζοντας ελεύθερο αέρα με CO₂ (FACE) σε εγκαταστάσεις. Διαπίστωσαν ότι η βιομάζα αυξήθηκε όταν η συγκέντρωση CO₂ αυξήθηκε στα 550 ppm. Ερεύνησαν επίσης τις επιπτώσεις του CO₂ με διαφορετικούς τρόπους άρδευσης. Η έρευνα έδειξε ότι η αύξηση των συγκεντρώσεων CO₂ στην ατμόσφαιρα μπορεί να αντισταθμιστεί εν μέρει το στρες που προκαλείται από την έλλειψη νερού. Κατά συνέπεια, η απόδοση σε “χνούδι” αυξήθηκε κατά 43% κατά μέσο όρο - λόγω αύξησης πρώιμης έκπτυξης φύλλων και μεγαλύτερης διάρκειας της περιόδου ανθοφορίας.

- *Μείωση Διαθέσιμου Νερού για την Καλλιέργεια*

Λιγότερο νερό για άρδευση θα σημαίνει χαμηλότερες αποδόσεις βαμβακιού, (Baker et al., 2007), εκτός αν η γεωργική και η αγρονομική αποδοτικότητα της χρήσης του νερού μπορεί να βελτιωθεί. Έλλειψη νερού στο βαμβάκι περιορίζει τόσο την φυτική ανάπτυξη όσο και την ανάπτυξη των καρυδιών (Sadras and Milroy, 1996; Turner et al., 1986). Ανάλογα του σταδίου ανάπτυξης και του χρόνου που έχει εκτεθεί στην έλλειψη νερού υπάρχουν διαφορετικές επιπτώσεις. Η έλλειψη νερού μέχρι του σταδίου δημιουργίας των καρυδιών έχει δυσμενείς επιπτώσεις τόσο στην απόδοση όσο στην ποιότητα της ίνας. Αντίθετα στο τελικό στάδιο της ωρίμανσης οι ξερικές συνθήκες ευνοούν την απόδοση και ποιότητα και παράλληλα επιταχύνουν την ωρίμανση των καρυδιών. Η έρευνα έδειξε ότι για να αποφευχθεί η μείωση των αποδόσεων, πρέπει οι βαμβακοκαλλιέργειες να εξισορροπήσουν τα 700 mm της εξατμισοδιαπνοής (Tennakoon and Military, 2003) με την κατάλληλη άρδευση/



Η χαμηλότερη σχετική υγρασία που προκαλείται από την αλλαγή του κλίματος θα αυξήσει την εξάτμιση στο περιβάλλον που περιβάλλει τις καλλιέργειες. Αλλαγές στην εξάτμιση θα επηρεάσει την εξατμισοδιαπνοή επηρεάζοντας τόσο τη διαπνοή όσο και την εξάτμιση του εδάφους. Το έλλειμμα του εδαφικού νερού μειώνει την διαθεσιμότητα του νερού, την φωτοσύνθεση και το άνοιγμα των στομάτων (Arriaga et al., 2009).

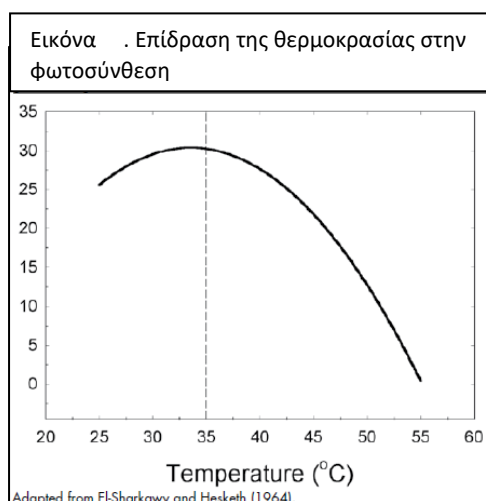
Το στρες από έλλειψη νερού επηρεάζει αρνητικά την απόδοση της καλλιέργειας στις φάσεις της γρήγορης ανάπτυξης. Η Ανάπτυξη κυττάρων, η σύνθεση κυττάρου-τοιχώματος και η πρωτεϊνική σύνθεση σε ταχέως αναπτυσσόμενους ιστούς επηρεάζεται σε συνθήκες έλλειψης νερού (Sadras and Milroy, 1996). Το βαμβάκι αντιδρά στην έλλειψη νερού με μείωση της ανάπτυξης των φύλλων και της επιμήκυνσης του στελέχους (Sadras και Milroy, 1996; Turner et al., 1986), μειώνοντας έτσι την φυλλική επιφάνεια (και επομένως μειωμένη φωτοσύνθεση) και το ύψος των φυτών. Σε ένα πείραμα της Pettigrew (2004b), σε ξερικό βαμβάκι παρήχθη 35% λιγότερο φύλλωμα και παρατηρήθηκε 32% μικρότερη φυτική ανάπτυξη σε σχέση με αρδευόμενα φυτά. Οι αγρονομικές επιδράσεις του υδατικού στρες στο βαμβάκι

περιλαμβάνουν μειωμένη βιομάζα, απώλεια καρυδιών και συνεπώς μειωμένη απόδοση και ποιότητα “χνουδιού” (Stockton J.R et al, 1960). Ο Pettigrew (2004a) έδειξε ότι η άρδευση άλλαξε την κατανομή των καρυδιών τόσο κάθετα όσο και οριζόντια στα φυτά. Το αρδευόμενο βαμβάκι έδινε περισσότερα καρύδια σε υψηλότερους κόμβους των φυτών σε σχέση με το ξηρικό βαμβάκι (Pettigrew, 2004a). Ένα φυτό που τροφοδοτείται με νερό τείνει να αντισταθμίσει την έλλειψη υγρασίας με την αποβολή νεαρών χτενιών (Ramey,1991), μειώνοντας έτσι τον αριθμό των καρυδιών ανά φυτό.

- *Αύξηση Θερμοκρασίας*

Η θερμοκρασία έχει δύο κύριες επιδράσεις στην ανάπτυξη του βαμβακιού. Κατ' αρχάς καθορίζει τα ποσοστά της μορφολογικής ανάπτυξης και την απόδοση της καλλιέργειας π.χ. την ανάπτυξη κόμβων, το ποσοστό των παραγομένων καρυδιών, την φωτοσύνθεση και αναπνοή (Hearn and Constable, 1984), επίσης, επιδρά στην έναρξη και το τέλος μιας καλλιεργητικής περιόδου (Burke and Wanjura, 2009).

Σε πολλές περιοχές στις οποίες καλλιεργείται βαμβάκι σημειώνονται εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια της



ανάπτυξης της ανθοφορίας και του σχηματισμού των καρυδιών. Οι υψηλές θερμοκρασίες μειώνουν την φωτοσύνθεση (El-Sharkawy – Hesketh 1964), εάν στην διάρκεια της νύκτας οι ελάχιστες θερμοκρασίες υπερβαίνουν τους 25°C, με αποτέλεσμα η θερμοκρασία του φύλλου να παραμένει υψηλή και να συνεχίζεται η διαπνοή καταναλώνοντας αποθηκευμένες αφομοιώσιμες ουσίες, απαραίτητες για την φωτοσύνθεση (Jagadish et al., 2014).

Οι υψηλές θερμοκρασίες ημέρας και νύκτας “εξαντλούν” τα φυτά, που δεν μπορούν να

συγκρατήσουν τα χτένια & καρύδια ενώ παράλληλα αναπτύσσεται υπερβολικά η φυλλική επιφάνεια (Hall, 2001). Η διαπνοή των φυτών του βαμβακιού διπλασιάζεται με κάθε αύξηση της θερμοκρασίας κατά 10°C.

Η θερμοκρασία του αέρα είναι σημαντικός παράγοντας στην ανάπτυξη του βαμβακιού, ταυτόχρονα όμως το ηλιακό φως, η υγρασία του εδάφους, η σχετική υγρασία, η κίνηση του αέρα παίζουν καθοριστικό ρόλο. Τα φυτά επιχειρούν να ρυθμίσουν την θερμοκρασία στον ιστό τους όπως ακριβώς και τα θερμόαιμα ζώα. Το βαμβάκι μπορεί μόνο να ψύξει τους ιστούς του, δεν μπορεί να τους θερμάνει. Το βαμβάκι προσπαθεί να διατηρήσει την θερμοκρασία του ιστού μεταξύ 23°C και 33°C, στο βέλτιστο εύρος για την ανάπτυξη και την φωτοσύνθεση. Αυτό επιτυγχάνεται με το άνοιγμα των στομάτων στα φύλλα, επιτρέποντας το νερό να εξατμιστεί, όταν η θερμοκρασία του αέρα και το ηλιακό φως θερμαίνουν το φυτό (Burke and Urchurchurch, 1989).

Έτσι κατά τη διάρκεια ενός ζεστού ξηρού απογεύματος, καλά ποτισμένο φυτό βαμβακιού είναι συχνά 10 βαθμούς πιο δροσερό από την θερμοκρασία του αέρα.

Παρατηρήσεις σε καλή αρδευόμενη φυτεία βαμβακιού, τον Ιούνιο 1990 στην Αριζόνα, όπου η θερμοκρασία του αέρα έφθασε τους 49°C, έδειξαν θερμοκρασία φύλλων 31°C. Την ίδια χρονιά σε ξερική φυτεία βαμβακιού όταν η θερμοκρασία αέρα έφθασε τους 40°C η θερμοκρασία φύλλων έφθασε τους 37,7°C, θερμοκρασία οριακή για την καλλιέργεια. Πάνω από 99,9% του νερού που λαμβάνεται από τα φυτά βαμβακιού χρησιμοποιείται για την εξάτμιση της ψύξης των φυτών. Η ψύξη με εξάτμιση σε ένα στρέμμα βαμβακιού τον Ιούλιο παρέχει την ίδια ψύξη με 50 έως 100 τυπικά οικιακά κλιματιστικά (Hake, 1990).

Οι αυξημένες μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες στην αρχή και στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου μπορεί να έχουν θετικό αποτέλεσμα και επίδραση στην απόδοση, επεκτείνοντας το θερμικό παράθυρο για την ανάπτυξη του φυτού και την ανάπτυξη των καρυδιών (Bange, 2007) (θερμικός χρόνος) για να ανταπεξέλθει τα ευαίσθητα στάδια ανάπτυξης (Hearn and Constable, 1984). Ωστόσο, η αύξηση της συχνότητας των ημερών και των νυχτών με πολύ υψηλές θερμοκρασίες αέρα μπορεί να έχουν αρνητικό αντίκτυπο τόσο στην εξέλιξη όσο και στην ανάπτυξη των φυτών (Stockton and Walhood, 1960). Το ιδανικό εύρος θερμοκρασίας αέρα για την ανάπτυξη και την απόδοση του βαμβακιού είναι 20°C έως 30°C (Reddy et al., 1991b), αν και το βαμβάκι αναπτύσσεται με επιτυχία σε θερμοκρασίες που υπερβαίνουν 40°C (Loka et al., 2011). Ωστόσο, η επίδραση που έχουν οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες αέρα στο βαμβάκι εξαρτώνται από τον χρόνο εμφάνισης, το χρονικό διάστημα έκθεσης, την διαθεσιμότητα νερού που είναι διαθέσιμο στο φυτό και την αντοχή της ποικιλίας στις υψηλές θερμοκρασίες (Loka, D.A., Oosterhuis, D.M., 2016). Μόλις οι θερμοκρασίες του αέρα φτάσουν περίπου στους 35°C, η ανάπτυξη αρχίζει να μειώνεται, κάτι που μπορεί να συσχετίζεται με μειωμένη φωτοσύνθεση και αυξημένη αναπνοή (Reddy et al., 1991a). Φυτά που εκτίθενται σε υψηλές θερμοκρασίες αέρα για τέσσερις ημέρες είχαν μειωμένη παραγωγή βιομάζας, που σχετίζεται με την αναστολή της καθαρής φωτοσύνθεσης (Crafts-Brandner and Salvucci, 2004). Στον αγρό, ωστόσο, είναι συχνά δύσκολο να γίνει διάκριση των επιπτώσεων της θερμοκρασίας του αέρα από την έλλειψη του νερού. Επιπλέον, τα υψηλά ελλείμματα πίεσης ατμών συσχετίζονται συχνά και με υψηλές θερμοκρασίες (Hearn and Constable, 1984).

Αν και οι δυσμενείς θερμοκρασίες του αέρα επηρεάζουν το βαμβάκι σε όλα τα στάδια ανάπτυξης (Reddy et al., 1999), η καλλιέργεια φαίνεται να είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη σε δυσμενείς θερμοκρασίες κατά την αναπαραγωγική ανάπτυξη (Loka et al., 2011). Σε θερμοκρασιακά ελεγχόμενους θαλάμους ανάπτυξης, η πλειοψηφία των χτενιών και των καρυδιών έπεσε, σε θερμοκρασίες αέρα πάνω από 30/20°C (ημέρα / νύχτα) (Reddy et al., 1991b). Επιπλέον, τα στάδια όπως η έναρξη των λουλουδιών, η περίοδος έως το πρώτο λουλούδι και η ανάπτυξη του κεντρικού κόμβου (Reddy et al., 1995b) επιταχύνθηκαν καθώς αυξάνουν οι θερμοκρασίες (Reddy et al., 1996). Σε μελέτη του Reddy et al. (1992α), αύξηση της θερμοκρασίας αέρα (ημέρα / νύχτα) από 30/22°C σε 40/32°C αύξησε τον αριθμό των καρυδιών ανά φυτό κατά 50%. Ωστόσο, η αύξηση του αριθμού των καρυδιών δεν μεταφράζεται πάντοτε σε μεγαλύτερες αποδόσεις. Το

βαμβάκι που αναπτύχθηκε στους 32°C παρήγαγε μεγάλο αριθμό χτενίων, με τα περισσότερα να παράγουν λουλούδια, αλλά το μεγαλύτερο ποσοστό έπεσε μετά από 2-3 ημέρες (Reddy et al., 1999). Η υψηλή θερμοκρασία επηρεάζει την ανάπτυξη των καρυδιών και αυξάνει την πτώση τους, σημαντικό συστατικό απόδοσης του βαμβακιού (Reddy et al., 1999 Reddy et al., 1991b Zhao et al., 2005). Νεαρά καρύδια όταν εκτίθενται σε μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες άνω των 28°C και όσο περισσότερο διαρκέσει η έκθεσή τους, σε υψηλότερες από τις βέλτιστες θερμοκρασίες, τόσο υψηλότερη είναι η συχνότητα της πτώσης τους. Ο αριθμός των καρυδιών και των χτενίων που συγκρατούνται ανά φυτό είναι ουσιαστικά ο ίδιος μεταξύ των 30/22°C και 35/27°C αλλά μειώνεται σχεδόν στο μηδέν στους 40/32°C (Reddy et al., 1999). Ως εκ τούτου, τόσο στα πειράματα θερμοκηπίου όσο στα πειράματα αγρού απεδείχθη η αρνητική συσχέτιση μεταξύ των υψηλών θερμοκρασιών του αέρα και της συγκράτησης των καρυδιών στο φυτό του βαμβακιού, επομένως η συγκράτηση των καρυδιών επηρεάζεται αρνητικά από τις υψηλές ή τις ακραίες τιμές της θερμοκρασίας, που σημειώνονται λόγω της κλιματικής αλλαγής.

Ο ρυθμός πλήρωσης των καρυδιών αυξάνει με τη θερμοκρασία μέχρι τους 25°C και στη συνέχεια μειώνεται στους 32°C (Reddy et al., 1999). Ωστόσο, οι Baker et al. (1972) διαπίστωσαν ότι η ανάπτυξη του καρυδιού ήταν δύο φορές πιο γρήγορη στους 32/23°C σε σύγκριση με τους 23/20°C. Οι διαφορές μεταξύ αυτών μπορούν να εξηγηθούν από διαφορετικές περιόδους έκθεσης στις ανάλογες θερμοκρασίες και στην χρήση διαφορετικών ποικιλιών. Το βάρος των καρυδιών ήταν υψηλότερο στους 30/20°C και ήταν μειωμένο τόσο στις υψηλότερες όσο και στις χαμηλότερες θερμοκρασίες. Το μέγιστο μέγεθος καρυδιών δημιουργήθηκε σε χαμηλότερες θερμοκρασίες (17-18°C). Θερμοκρασίες άνω των 28°C, που σημειώθηκαν από το μέσο μέχρι το τέλος της καλλιεργητικής περιόδου, επηρέασαν αρνητικά την κατακράτηση των καρυδιών και την ανάπτυξή τους (Reddy et al., 1997).

Η περίοδος ωρίμανσης των καρυδιών (ο χρόνος από την άνθηση έως το άνοιγμα των καρυδιών) μειώνεται δραματικά με αυξημένη θερμοκρασία (Reddy et al., 1999).

Η ποιότητα των ινών (μήκος, αντοχή) επηρεάζονται από την θερμοκρασία. Σε θερμοκρασίες μικρότερες από 25°C κατά τη διάρκεια της αύξησης των καρυδιών, οι ίνες αποκτούν μεγάλο μήκος (Reddy et al., 1999), καθώς όμως οι θερμοκρασίες του αέρα αυξάνονται, το μήκος των ινών γίνεται πιο ομοιόμορφο, αλλά το ποσοστό των ινών με μικρότερο μέγεθος μπορεί να αυξηθεί (Reddy et al., 1999). Η λεπτότητα και η ωριμότητα των ινών αυξάνονται με την αύξηση της θερμοκρασίας έως και 26°C, αλλά μειώνονται πάνω από τους 32°C (Reddy et al., 1999). Επομένως, η απόκτηση της μέγιστης ποιότητας ινών καθορίζεται μέσω ενός ισοζυγίου βέλτιστης θερμοκρασίας για τα χαρακτηριστικά του μήκους, της αντοχής και της ωριμότητας.

1.7 Αγρομετεωρολογικοί Δείκτες

Η ανάγκη παρακολούθησης των καλλιεργειών από άποψη φαινολογίας και εκτίμησης παραγωγής τελικής βιομάζας ώθησε πολλούς ερευνητές στην ανάπτυξη διαφόρων μετεωρολογικών δεικτών. Με την πάροδο των χρόνων οι δείκτες αυτοί αναπτύχθηκαν ούτως ώστε να μελετηθεί, κατά πρώτον ο ρόλος τους στην πορεία και εξέλιξη των διαφόρων καλλιεργειών και κατά δεύτερον να γίνουν προσπάθειες πρόγνωσης αυτής της επιρροής σε μικρό χρονικό διάστημα από τη στιγμή που πραγματοποιείται μια σειρά μετεωρολογικών φαινομένων, τα οποία είναι δυνατό να επιδρούν και δυσμενώς στις καλλιέργειες (Δαλέζιος 2015).

Οι συγκεκριμένοι δείκτες σχετίζονται άμεσα με μετεωρολογικές παραμέτρους πολύ βασικές από την φύση τους και συγχρόνως καθοριστικές, ακόμα και περιοριστικές σε κάποιες περιπτώσεις, όσον αφορά στην εξέλιξη του βιολογικού κύκλου των φυτών. Τέτοιες παράμετροι είναι η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία, η ηλιακή ακτινοβολία, η βροχόπτωση, η ξηρασία κ.τ.λ.

Παρακάτω αναλύονται, **οι ημερόβαθμοι** ($^{\circ}\text{CD}$ Growth Degree Days / HU Heat Units), που ενδιαφέρουν ιδιαίτερα την παρούσα εργασία, καθώς χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση και την εξαγωγή συμπερασμάτων λόγω των επιπτώσεων των μετεωρολογικών παραμέτρων της θερμοκρασίας στην καλλιέργεια του βαμβακιού.

1.7.1 Οι αυξητικοί ημερόβαθμοι ($^{\circ}\text{CD}$) - θερμικές μονάδες (HU)

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

Η θεωρία των αυξητικών ημερόβαθμων, προϋποθέτει μια άμεση και γραμμική σχέση μεταξύ ανάπτυξης και θερμοκρασίας. Ξεκινά με την υπόθεση ότι η ανάπτυξη ενός φυτού εξαρτάται από την συνολική ποσότητα θερμότητας στην οποία υποβάλλεται το φυτό κατά την διάρκεια της ζωής του. Ένας ημερόβαθμος ή μια θερμική μονάδα, είναι η απόκλιση από την μέση ημερήσια θερμοκρασία επάνω από μια ελάχιστη τιμή θερμοκρασίας κατωφλιού ή διαφορετικά η συσσωρευτική μέση θερμοκρασία εκείνων των ημερών, που έχουν μέση ημερήσια θερμοκρασία επάνω από μια κρίσιμη τιμή κατωφλιού ειδική για κάθε καλλιέργεια.

Αυτή η ελάχιστη τιμή κατωφλιού είναι η θερμοκρασία κάτω από την οποία δεν σημειώνεται αύξηση του φυτού. Η τιμή κατωφλιού ποικίλει με διαφορετικά φυτά και για τα ενήλικα κυμαίνεται από 4,5 έως 12,5 $^{\circ}\text{C}$, με υψηλότερες τιμές για τροπικά φυτά και χαμηλότερες τιμές για εύκρατα φυτά.

Είναι πολύ σημαντικό το γεγονός ότι υπάρχει αρκετά υψηλός βαθμός συσχέτισης μεταξύ των μετεωρολογικών δεικτών και των φαινολογικών σταδίων των καλλιεργούμενων φυτών.

Για παράδειγμα, η πρακτική εφαρμογή του ημερόβαθμου ($^{\circ}\text{CD}$ - degree day) ή θερμικής μονάδας (Heat Unit) είναι γνωστή από παλιά. Υπολογίζεται για μια σειρά ημερών του βιολογικού κύκλου ενός φυτού, που συνήθως λαμβάνεται από το χρονικό σημείο που αντιστοιχεί με το στάδιο της πλήρους άνθισης, ως αυτό της φυσιολογικής ωρίμανσης ή της συγκομιδής του καρπού (Gilmore & Rogers 1958, Perry et al. 1986, McMaster & Wilhelm 1997).

Στην περίπτωση της καλλιέργειας του βαμβακιού η αντίστοιχη περίοδος καλύπτει σχεδόν ολόκληρο το βιολογικό κύκλο του φυτού (170 - 210 ημέρες), καθώς ο παράγοντας θερμοκρασία είναι ο πλέον καθοριστικός για την ολοκλήρωση των επιμέρους φαινολογικών σταδίων του βαμβακιού, αλλά και για την παραγωγή προϊόντος υψηλής ποιότητας, π.χ. ίνα (Δαλέζιος Νικόλαος Ρ., 2015). Στην περίπτωση της καλλιέργειας του βαμβακιού, η οποία εξετάζεται στην παρούσα εργασία, η περίοδος αυτή αντιστοιχεί από τον Απρίλιο μέχρι και το τέλος Οκτωβρίου.

Πολλές μέθοδοι για τον υπολογισμό των ημερόβαθμων είναι διαθέσιμες στην διεθνή βιβλιογραφία. Οι τρεις πιο κοινά χρησιμοποιούμενες μέθοδοι είναι η τυπική μέθοδος, η μέθοδος της μέγιστης τιμής αντί του μέσου και η μέθοδος μειωμένου ορίου.

Αρκετές ακόμα έχουν προταθεί αλλά οι συγκεκριμένες τρεις είναι οι πιο έγκυρες και αξιόπιστες.

Μια διεξοδική έρευνα για μεθόδους υπολογισμού ημερόβαθμων έχει πραγματοποιηθεί από τον Zalom and colleagues (1993).

1. Τυπική μέθοδος

Περιγράφεται από την ακόλουθη μαθηματική εξίσωση:

$$^{\circ}\text{CD} = \sum (T_{\text{mean}} - T_{\text{base}}) \quad (1.1)$$

όπου T_{mean} είναι η μέση ημερήσια θερμοκρασία σε $^{\circ}\text{C}$, η οποία προκύπτει από την σχέση: $T_{\text{mean}} = (T_{\text{max}} + T_{\text{min}}) / 2$ και T_{base} η κρίσιμη θερμοκρασία με συνήθεις τιμές 0, 5 και 10. Στην παρούσα εργασία η σταθερά θερμοκρασία κατωφλιού T_{base} για το βαμβάκι λαμβάνεται ίση με 10°C .

2. Μέθοδος μέγιστης τιμής αντί του μέσου

Περιγράφεται από την ακόλουθη μαθηματική εξίσωση:

$$^{\circ}\text{CD} = \sum (T_{\text{max}} - T_{\text{base}}) \quad (1.2)$$

3. Μέθοδος μειωμένου ορίου

Στην συγκεκριμένη περίπτωση έχουμε:

για $T_{\text{max}} < T_{\text{ceiling}}$, τότε

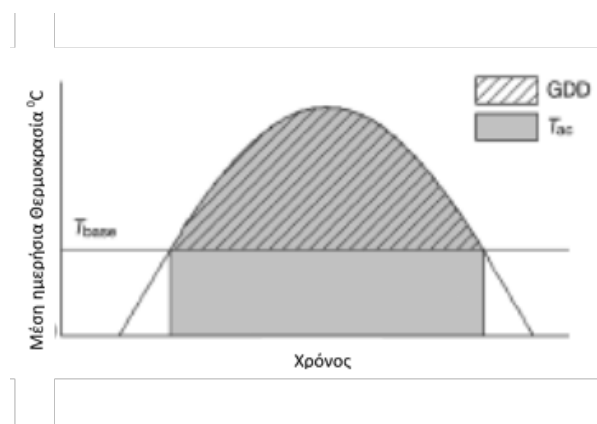
$$^{\circ}\text{CD} = \sum (T_{\text{max}} - T_{\text{base}}), \quad (1.3) \text{ ή}$$

για $T_{\text{max}} > T_{\text{ceiling}}$, τότε

$$^{\circ}\text{CD} = \sum \{ [T_{\text{ceiling}} - (T_{\text{max}} - T_{\text{ceiling}})] - T_{\text{base}} \} \quad (1.4)$$

Αν η μέγιστη θερμοκρασία (T_{max}) είναι μεγαλύτερη από την θερμοκρασία ορίου (T_{ceiling}) τότε θέτουμε T_{max} ίσο με T_{ceiling} μείον την διαφορά μεταξύ T_{max} και T_{ceiling} .

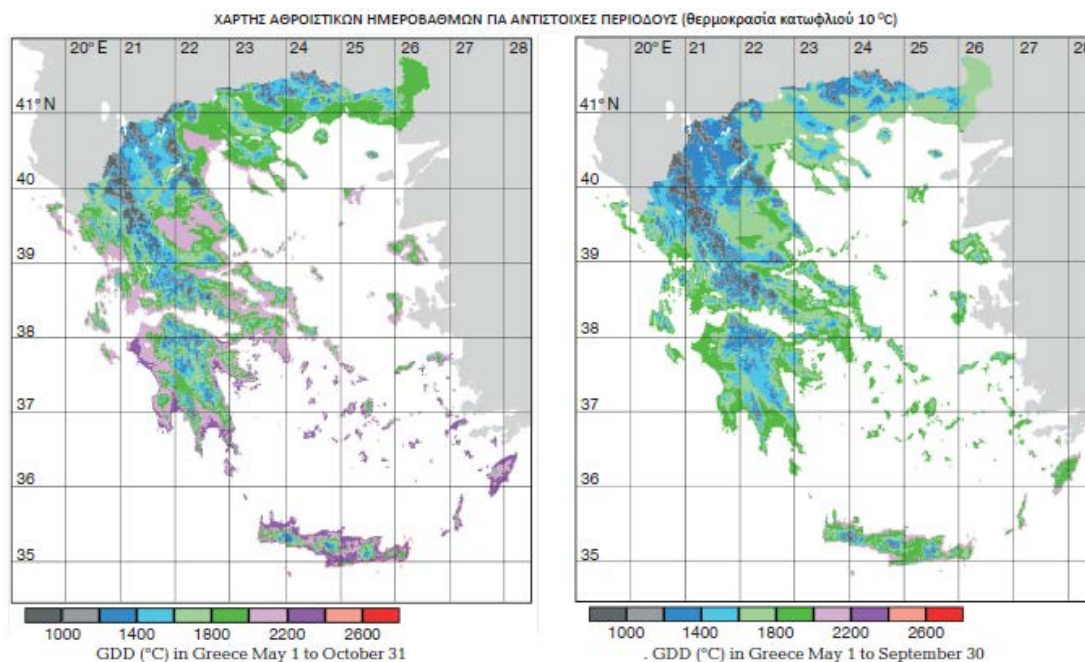
Στην πιο κάτω σχήμα φαίνονται οι διαφορετικές προσεγγίσεις που χρησιμοποιούνται για την ενσωμάτωση των ημερόβαθμών, που σχετίζονται με την ανάπτυξη των φυτών. Χρησιμοποιείται ένα κατώφλι ή μια θερμοκρασία βάσης (T_{base}) που καθορίζει την αρχή και το τέλος μιας κατάλληλης καλλιεργητικής περιόδου, η οποία περιγράφεται ως συσώρευση βιολογικής ενεργού θερμοκρασίας (T_{ac}) ή αθροιστικών ημεόβαθμων ($^{\circ}CD$) με τη χρήση των μέσων ημερήσιων κλιματικών δεδομένων.



Για επεξηγηματικούς σκοπούς, ο ετήσιος κύκλος θερμοκρασίας παρουσιάζεται ως ημιτονοειδής καμπύλη (Matzarakis et al. 2007, Fealy & Fealy 2008). Ο δείκτης $^{\circ}CD$ προέρχεται από τυπικά δεδομένα κλιματικών σταθμών και μπορεί να βασίζεται σε μακροπρόθεσμες μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες. Εναλλακτικά, μπορεί να υπολογιστεί βάσει δεδομένων για ένα

συγκεκριμένο έτος, οπότε θα ληφθεί υπόψη η μεταβλητότητα των καιρικών συνθηκών και χρησιμοποιείται για να εξηγήσει τις εποχιακές και τις ετήσιες μεταβολές της απόδοσης των καλλιεργειών

Ο καθηγητής του Α.Π.Θ, Α. Ματζαράκης (Matzarakis et al. 2007) υπολόγισε τους αθροιστικούς ημερόβαθμούς ($^{\circ}CD$) για 40 καταμετρημένους μετεωρολογικούς σταθμούς σε όλη την Ελλάδα, με βάση την ημερήσια μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία αέρα (T_{max} και T_{min} , αντίστοιχα), για την δεκαετή περίοδο από το 1978 έως το 1987. Η διάρκεια των καλλιεργητικών περιόδων (ταξινομημένη σε 10 διαστήματα) διέφερε μεταξύ των σταθμών. Η μεγαλύτερη περίοδος ήταν από την 1η Απριλίου έως τις 30 Νοεμβρίου και η συντομότερη από την 1η Μαΐου έως τις 30 Σεπτεμβρίου. Υπολογίστηκε ότι οι ημερόβαθμοι στην διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου ποικίλλουν στην Ελλάδα από 1600 $^{\circ}CD$ στις περιοχές της Βορείου Ελλάδος σε > 2900 $^{\circ}CD$ στις πεδινές και τις νοτιότερες περιοχές. Τεκμαίρεται ότι οι ανοιζιάτικες καλλιέργειες δεν χρειάζονται περισσότερο από 1500 $^{\circ}CD$ για να ωριμάσουν, κατά συνέπεια, δεν υπάρχουν θερμοκρασιακοί σημαντικοί περιορισμοί στην Ελλάδα για καλλιέργειες όπως το καλαμπόκι, το βαμβάκι και ο καπνός. Παρά το αραιό κλιματικό δίκτυο ήταν δυνατή η δημιουργία χαρτών υψηλής ανάλυσης (χάρτης 8) με στατιστικά σημαντικά αποτελέσματα ($r = 0,83$ έως $0,89$, $p = 0,95$), παρέχοντας αξιόπιστες πληροφορίες για τον γεωργικό σχεδιασμό (Matzarakis et al. 2007).



Χάρτης 8 – Κατανομή αθροιστικών ημερόβαθμων (Andreas Matzarakis et al., 2007).

Η απλότητα και η εύκολη χρήση της μεθόδου των ημερόβαθμων την έκανε δημοφιλή στην καθοδήγηση καλλιεργητικών διαδικασιών και εγχειρημάτων. Οι περισσότερες εφαρμογές των ημερόβαθμων σχετίζονται με την πρόγνωση των ημερομηνιών συγκομιδής των καλλιεργειών, παραγωγής και ποιότητας. Ακόμα μια εφαρμογή των ημερόβαθμων παρατηρείται στην εκτίμηση της πιθανότητας για μια επιτυχημένη ανάπτυξης μιας καλλιέργειας σε περιοχή στην οποία δεν είχε καλλιεργηθεί ποτέ πριν (Theivasigamani, P. et al. 2013). Επίσης η θεωρία των αυξητικών ημερόβαθμων βρίσκει εφαρμογή στην περίπτωση επιλογής μιας ποικιλίας από ένα σύνολο ποικιλιών φυτών ώστε να καλλιεργηθεί σε μια νέα περιοχή με διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες.

Οι ημερόβαθμοί (°CD) είναι ένας χρήσιμος δείκτης για το αντίκτυπο του κλίματος, καθώς παρέχει αντικειμενικές πληροφορίες στους χρήστες των οποίων οι δραστηριότητες απαιτούν τη διαχείριση των κλιματικών κινδύνων και ευκαιριών. Επιπλέον, η χρήση των ημερόβαθμών (°CD) θα μπορούσε να δώσει μια εικόνα από τις ιστορικές τάσεις και να βοηθήσει να προβλέψουμε τις επιπτώσεις της κλιματικής διακύμανσης ή αλλαγής στις σημερινές γεωργικές πρακτικές (Easterling & Kates 1995).

Η μεθοδολογία των ημερόβαθμων βρίσκει εφαρμογή επίσης σε φυτά τα οποία δεν είναι μεγάλης καλλιέργειας, στην ανάπτυξη - εξέλιξη των εντόμων, των φυτικών παθογόνων και των πουλιών και άλλων ζώων.

Αν καν η θεωρία των αυξητικών ημερόβαθμων είναι απλή και χρήσιμη στην αγρομετεωρολογία, στερείται θεωρητικής πληρότητας και παρουσιάζει ορισμένες αδυναμίες. Μια σειρά παραγόντων οι οποίοι επιδρούν στην ικανότητα πρόγνωσης των συγκεντρωτικών ημερόβαθμων, έχουν αναγνωρισθεί (Jen Yu Wang 1960). Ανάμεσα σε αυτούς είναι οι συνθήκες που έχουν επιρροή στη φυσιολογική κατάσταση ενός οργανισμού, όπως η θρέψη και η συμπεριφορά βασισμένη στην

θερμοκρασία, το σφάλμα το οποίο σχετίζεται με τις υποθέσεις και τις διαδικασίες προσέγγισης που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση του βαθμού εξέλιξης και κατωφλίων καθώς και οι περιορισμοί των διαθέσιμων μετεωρολογικών δεδομένων (Zalom *et al.*, 1993, Perry *et al.*, 1997, Roltsch *et al.*, 1999, Bonhomme, 2000).

Μερικοί περιορισμοί που έχουν αναγνωριστεί είναι οι ακόλουθοι. Καθώς γίνεται χρήση των αυξητικών ημερόβαθμων, οι φυσιολογικές και μαθηματικές βάσεις πάνω στις οποίες υπολογίστηκαν, μερικές φορές ξεχνιούνται σαν αποτέλεσμα αμφισβητούμενων ερμηνειών (McMaster and Wilhelm, 1997). Καμία διάκριση δεν μπορεί να γίνει ανάμεσα στους διαφορετικούς συνδυασμούς των εποχών. Για παράδειγμα, ο συνδυασμός μιας ζεστής άνοιξης και ενός δροσερού καλοκαιριού δε μπορεί να διακριθεί από μια κρύα άνοιξη και ενός ζεστού καλοκαιριού. Το ημερήσιο εύρος της θερμοκρασίας δεν λαμβάνεται υπόψη και αυτό είναι συνήθως είναι πιο σημαντικό από την μέση ημερήσια θερμοκρασία. Δεν γίνεται έκπτωση για τις αλλαγές στην θερμοκρασία κατωφλίου με το προοδευτικό στάδιο της εξέλιξης της καλλιέργειας. Η επίδραση της τοπογραφίας, του γεωγραφικού ύψους και πλάτους στην αύξηση της καλλιέργειας δεν λαμβάνεται υπόψη. Ο άνεμος, το χαλάζι, τα έντομα και οι ασθένειες ίσως να επιδράσουν στις θερμικές μονάδες. Τέλος η γονιμότητα του εδάφους ίσως να επιδράσει και αυτή στην ωρίμανση της καλλιέργειας. Εξαιρώντας αυτούς τους περιορισμούς, η θεωρία των ημερόβαθμων ή των θερμικών μονάδων απαντά σε ένα μεγάλο αριθμό ερωτήσεων της φαινολογίας και της αύξησης των φυτών και των εντόμων.

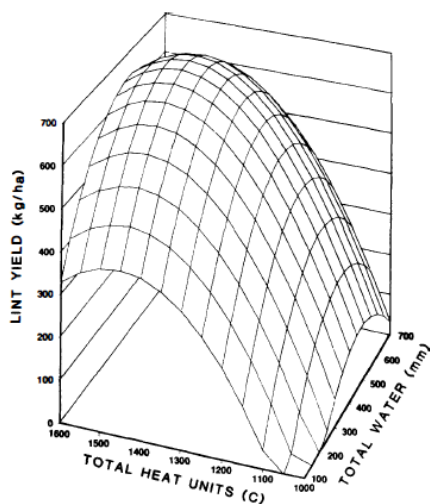
1.7.2 Αύξηση και ανάπτυξη βαμβακιού σε σχέση με τις θερμόμοναδες

Το βαμβάκι είναι γενετικά προσαρμοσμένο ώστε κάτω από ευνοϊκές συνθήκες τα στάδια της αύξησης και ανάπτυξής του να έχουν ημερομηνιακή συνέπεια. Ένας άλλος χρήσιμος τρόπος για την εκτίμηση των φαινολογικών σταδίων είναι η χρήση των ημερήσιων θερμοκρασιών.

Η έννοια των θερμόμοναδων (HU - heat units) ή αλλιώς ημερόβαθμων ανάπτυξης ($^{\circ}\text{CD}$ - Growing Degree Days) για το βαμβάκι βασίζεται στο ότι κάτω από την θερμοκρασία κατωφλίου των 10°C δεν γίνεται, ή γίνεται ελάχιστη, αύξηση και ανάπτυξη του φυτού. Υπάρχουν πολλές ενδείξεις ότι και θερμοκρασίες υψηλότερες από ένα ανώτατο όριο (συνήθως 35°C) δεν πρέπει να συνυπολογίζονται στο άθροισμα των θερμόμοναδων επειδή διακόπτεται η ανάπτυξη των φυτών. Ο υπολογισμός των ημερήσιων θερμόμοναδων γίνεται προσθέτοντας την ελάχιστη και μέγιστη θερμοκρασία κάθε ημέρας, διαιρώντας με το 2 και αφαιρώντας την οριακή θερμοκρασία (τυπική μέθοδος, τύπος 1.1). Αν είναι γνωστές οι απαιτούμενες ημερόβαθμοι του κάθε σταδίου, τότε αθροίζοντας τους ημερόβαθμούς της συγκεκριμένης καλλιεργητικής περιόδου, μπορούν να εξηγηθούν ή να προβλεφθούν τα φαινολογικά στάδια της καλλιέργειας (Γαλανοπούλου-Σενδουκά 2002, Silvertooth, *et al.*, 1996). Γενικά για μια ικανοποιητική παραγωγή, στη ζώνη καλλιέργειας του βαμβακιού, απαιτούνται τουλάχιστον 2.200 θερμόμοναδες (Χλίχλιας 1977). Το βαμβάκι απαιτεί μεν έναν ελάχιστο αριθμό βαθμοημερών αλλά παράλληλα απαιτεί και έναν άνετο βιολογικό κύκλο

για να εκφράσει την παραγωγικότητά του. Βρέθηκε ότι οι θερμόμοναδες μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση ή/και αιτιολόγηση των ετήσιων αποκλίσεων ως προς την απόδοση, που παρουσιάζουν οι διάφορες περιοχές της χώρας μας από έτος σε έτος, αλλά αυτό ισχύει για μια συγκεκριμένη περιοχή και καλλιεργητική τεχνική και δεν αποτελεί τον αποκλειστικό συντελεστή που επηρεάζει το ύψος παραγωγής. Απτόμη πτώση της θερμοκρασίας (όχι απαραίτητως κάτω απ' την οριακή τιμή) μπορεί να επιδράσει σημαντικά στην παραγωγικότητα του φυτού (Δαναλάτος 1998).

Μελέτες στις περιοχές βαμβακοπαραγωγής των Η.Π.Α. δείχνουν ότι οι σημερινές ποικιλίες απαιτούν μεταξύ 1195 και 1275 αθροιστικές θερμόμοναδες ($^{\circ}\text{CD}15.5^{\circ}\text{C}$), που βασίζονται στην θερμοκρασία κατωφλιού των $15,5^{\circ}\text{C}$ από την σπορά έως συγκομιδή ώστε να παράγουν μια αποδεκτή απόδοση (Anonymous, 2006).



Εκ. Απόδοση χνουδιού σε συνάρτηση με τις αθροιστικές θερμόμοναδες και την παροχή νερού (συμπεριλαμβανομένης της βροχής)

Σε μελέτη που έγινε στην περιοχή του Texas, όπου η διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου είναι οριακή σε σχέση με το βέλτιστο για την παραγωγή του βαμβακιού (Peng et al. 1998), τα δεδομένα έδειξαν ότι η απόδοση του “χνουδιού” είναι συσχετισμένη με τις αθροιστικές θερμόμοναδες (θερμοκρασία κατωφλιού 15°C) όταν ελαχιστοποιείται η πίεση της έλλειψης νερού για την καλλιέργεια. Ωστόσο, δεν υπάρχει σημαντική σχέση μεταξύ της απόδοσης “χνουδιού” με τις αθροιστικές θερμόμοναδες όταν η έλλειψη του νερού είναι ο κύριος περιορισμός για την καλλιέργεια. Κυρίως διασαφηνίστηκε, η σημασία της πρώιμης περιόδου αναπαραγωγικής ανάπτυξης για την

συνολική η απόδοση “χνουδιού”. Αυτή η περίοδος είναι η πιο κρίσιμη για τον προσδιορισμό του συνόλου καρποτοποθεσιών και καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την απόδοση σε “χνούδι” λόγω της υψηλής εξάρτηση της απόδοσης στον αριθμό των καρυδιών.

ΠΙΝΑΚΑΣ

Αναλύσεις παλινδρόμησης της απόδοσης χνουδιού και των αθροιστικών ημερόθαθμων κατά τη διάρκεια των διαφόρων καλλιεργητικών περιόδων υπό αρδευόμενες συνθήκες (στοιχεία από το 1980 και το 1981)

Περίοδος (DAP)	Παλινδρόμηση	r^2
1-30	Απόδοση = $490.5 - 0.009$ (HU)	n.s.
31-60	Απόδοση = $-1150.8 + 4.362$ (HU)	0.67
61-90	Απόδοση = $-640.1 + 3.864$ (HU)	0.92
91-120	Απόδοση = $-56.5 + 2.801$ (HU)	0.67

Οι μονάδες των αθροιστικών θερμομονάδων μπορούν να χρησιμοποιηθούν με ακρίβεια για να προβλέπουν την ανάπτυξη του βαμβακιού, την ανάπτυξη και την απόδοση” χνουδιού” όταν η παροχή νερού δεν είναι ο σημαντικός περιορισμός της παραγωγικότητας.

Επίσης στο Πακιστάν, σε πειράματα αγρού, βρέθηκε ότι υπάρχει συσχέτιση των αθροιστικών ημερόβαθμων με την απόδοση του βαμβακιού και ότι η πρώιμη ή όψιμη σπορά επιδρά αρνητικά σε αποδόσεις, λόγω των μικρότερων μεγεθών στους ημερόβαθμους (Ullah Kalim et al. 2017).

Σχέση μεταξύ των ημερόβαθμών (GDD) και της απόδοσης σε σύσπορο βαμβάκι (kg·ha).

Ημερομηνία Σποράς	Growing degree days			Απόδοση (kg·ha ⁻¹)
	2015-16	2016-17	Mean	
15 th March	1678.50	1663.00	1670.75	1792.50 c
1 st April	1876.30	1845.50	1860.90	2026.00 ab
15 th April	2183.33	2130.50	2156.91	2096.70 a
1 st May	2114.34	2091.50	2102.92	1926.00 bc
15 th May	2123.44	2116.00	2119.72	1643.00 d
1 st June	2003.12	1982.50	1992.81	1109.30 e
LSD _{0.05}				135.55

Source : Ullah Kalim et. all. 2017

1.7.3 Υπολογισμός άλλων αγρομετεωρολογικών δεικτών

Επιπρόσθετα παρουσιάζονται μερικοί αγρομετεωρολογικοί δείκτες που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση, εκτίμηση και πρόγνωση φαινολογικών σταδίων καλλιεργειών (Dalezios et al., 2002a, 2002b: η ημέρα ξήρανσης της καλλιέργειας (c1, c2), το έλλειμμα πίεσης υδρατμών (d), η φωτοθερμική μονάδα (PTU:PhotoThermal Unit), η αθροιστική βροχόπτωση (rr), η φωτοθερμοκρασία (Tr), η νυχτοθερμοκρασία (Tn). Επίσης, γίνεται αναφορά στο δείκτη βλάστησης NDVI, που παρουσιάζει εκτεταμένες εφαρμογές. Ο υπολογισμός των δεικτών αυτών βασίζεται σε συμβατικά μετεωρολογικά στοιχεία. Ειδικότερα:

Ημέρα ξήρανσης καλλιέργειας (c1, c2): Ο δείκτης αυτός ορίζεται ως ο αριθμός των ημερών με συνολικό ύψος βροχής ίσο ή μικρότερο μιας κρίσιμης τιμής κατωφλίου. Συνήθως, επιλέγονται δύο τιμές κατωφλίου, c1 = 5 mm και c2 = 10 mm.

Έλλειμμα πίεσης υδρατμών (d): Ο δείκτης αυτός, που λέγεται και κοροπλήρωμα, εκφράζεται ως η διαφορά μεταξύ κορεσμένης πίεσης υδρατμών (es) και πραγματικής πίεσης υδρατμών (e) από τη σχέση:

$$d = e - es = es (100 - RH),$$

όπου RH είναι η σχετική υγρασία (%). Η es δίνεται από την εμπειρική σχέση:

$$es = 6.11 \times 10 [(7.11 T_{mean} / (237.3 + T_{mean}))].$$

Είναι φανερό ότι το έλλειμμα πίεσης υδρατμών συνδέεται στενά με τη σχετική υγρασία, η οποία είναι μια πολύ κρίσιμη παράμετρος για την ανάπτυξη των καλλιεργειών, λόγω της σημασίας στην ενυδάτωση των φύλλων και την αναπνοή. Επίσης, η υγρασία φύλλου μπορεί να συνδέεται με την εμφάνιση θανάτου στα φυτά, που ενδέχεται να επηρεάσει τη φαινολογία και την απόδοση της παραγωγής.

Φωτοθερμική μονάδα (Photothermal Unit/PTU): Ο δείκτης αυτός εκφράζεται ως το άθροισμα των γινομένων της διάρκειας ημέρας, D, σε ώρες και της θερμοκρασίας πάνω από μια τιμή κατωφλίου, T_c, για ένα χρονικό διάστημα συνήθως 10 ημερών, και δίνεται από τη σχέση:

$$PTU = \sum (T_{mean} - T_c) D,$$

όπου T_{mean} είναι η μέση ημερήσια θερμοκρασία.

Ο δείκτης PTU έχει κρίσιμο ρόλο στη φαινολογία φυτών, παρόμοιο με αυτόν της θερμικής μονάδας. Ως τιμή κατωφλίου χρησιμοποιούνται, συνήθως, οι 10 °C.

Η διάρκεια του φωτός όπως έδειξαν Οι Zhou και οι συνεργάτες του (Zhou et al., 2000) είναι σημαντικός μετεωρολογικός παράγοντας που επηρεάζει τις καλλιεργειές σίτου/βαμβακιού και τη θέση των καρπών, με τη θερμοκρασία να έχει σημαντική συσχέτιση με τους κόμβους της καρποφορίας.

Αθροιστική βροχόπτωση (C_{prec}): Αυτή η παράμετρος χρησιμοποιείται συχνά σε διάφορες αγρομετεωρολογικές μελέτες, δεδομένου ότι συνδέεται έντονα με την υγρασία του εδάφους. Η βροχόπτωση είναι μία από τις πιο κρίσιμες παραμέτρους για την ανάπτυξη των φυτών. Η αθροιστική βροχόπτωση υπολογίζεται από ωριαίες τιμές, σωρευτικά, για διαστήματα 10 ημερών στη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου.

Φωτοθερμοκρασία (Phototemperature, T_p): Η αποτελεσματική θερμοκρασία φωτός μπορεί να οριστεί από τη σχέση:

$$T_p = T_{max} - 1/4 (T_{max} - T_{min}),$$

όπου T_{max} και T_{min} είναι η ημερήσια μέγιστη και η ελάχιστη θερμοκρασία σε C, αντίστοιχα.

Η φωτοθερμοκρασία υπολογίζεται αθροιστικά, για διαστήματα 10 ημερών, για κάθε σταθμό, και αντικατοπτρίζει τη σημασία της μέσης θερμοκρασίας στη διάρκεια της ημέρας, όταν τα επίπεδα της ηλιακής ακτινοβολίας είναι ικανοποιητικά.

Νυχτοθερμοκρασία (Nyctotemperature, T_n): Όπως η φωτοθερμοκρασία, έτσι και η νυχτοθερμοκρασία αντιστοιχεί σε μια μέση θερμοκρασία στη διάρκεια της νύχτας, όταν τα επίπεδα φωτισμού είναι περιορισμένα ή ανύπαρκτα. Ο δείκτης T_n, με T_{max} και T_{min} ημερήσιες μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες σε °C, αντίστοιχα, δίνεται από τη σχέση:

$$T_n = T_{min} + 1/4 (T_{max} - T_{min}).$$

Δείκτης βλάστησης (NDVI): Ο δείκτης αυτός θεωρείται πολύ σημαντικός, όχι μόνο στη φαινολογία, αλλά και σε πολλά άλλα θέματα της αγρομετεωρολογικής ανάλυσης, και αναφέρεται στην περιοχική εκτίμηση καλλιεργειών, σε εφαρμογές τηλεπισκόπησης και σε φυσικούς κινδύνους.

Επίσης το **Ημερήσιο Εύρος Μεταβολής Θερμοκρασιών (DTR - Diurnal Temperature Range)** είναι ένας κατάλληλος δείκτης της μεταβλητότητας του κλίματος και της αλλαγής, στο πλαίσιο παρόμοιων απλών παγκόσμιων δεικτών που περιγράφονται από τους Braganza et al. (2003). Ενώ οι μεταβολές στη μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία συνδέονται στενά με τις μεταβολές της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας, η DTR παρέχει πρόσθετες πληροφορίες για την πορεία των πρόσφατων παρατηρούμενων κλιματικών μεταβολών. Η φυσική μεταβλητότητα των T_{min} , T_{max} και DTR προσομοιώνεται αρκετά καλά σε προσομοιώσεις GCM. Η παρατηρούμενη τιμή DTR στην ξηρά παρουσιάζει μεγάλη αρνητική τάση $\sim 0,4^{\circ}\text{C}$ τα τελευταία 50 χρόνια, η οποία είναι πολύ απίθανο να συμβαίνει λόγω εσωτερικής μεταβλητότητας. Η τάση αυτή οφείλεται σε μεγαλύτερες αυξήσεις στις ελάχιστες θερμοκρασίες ($\sim 0,9^{\circ}\text{C}$) από τις μέγιστες θερμοκρασίες ($\sim 0,6^{\circ}\text{C}$) κατά την ίδια περίοδο. Η ανάλυση των τάσεων της DTR τον περασμένο αιώνα από πέντε συζευγμένα κλιματικά μοντέλα δείχνει ότι οι προσομοιωμένες τάσεις στην DTR λόγω της ανθρωπογενούς δραστηριότητας είναι πολύ μικρότερες από τις παρατηρούμενες. Η υπερεκτίμηση της μέγιστης θέρμανσης (T_{max}) στις ανθρωπογενείς προσομοιώσεις μπορεί να οφείλεται σε κακή εκτίμηση των νεφών πάνω στη γη. Οι παρατηρούμενες αυξήσεις στην κάλυψη του νέφους από το 1951 δεν προσομοιάζονται από τα μοντέλα που εξετάζουν την αύξηση των αερίων θερμοκηπίου. Αυτό υποστηρίζεται από τον Stone and Weaver (2002, 2003) και από τους Dai et al. (1999) οι οποίοι έχουν περιγράψει τη συσχέτιση μεταξύ της παρατηρούμενης μειωτικής τάσης στην DTR και της αύξησης των νεφών. Οι αλλαγές στους υδρατμούς, την υγρασία του εδάφους και τις βροχοπτώσεις, που δεν έχουν ληφθεί υπόψη στα μοντέλα, είναι πιθανό να έχουν μικρότερες αλλά σημαντικές επιπτώσεις στις προσομοιωμένες τάσεις των T_{max} και T_{min} .

1.8 Σκοπός της Μελέτης

Να μελετηθούν οι μεταβολές στις ημερήσιες θερμοκρασίες (μέση, μέγιστη και ελάχιστη), την περίοδο 1960 – 2010, που σημειώθηκαν στους πέντε μετεωρολογικούς σταθμούς της Ε.Μ.Υ., οι οποίοι βρίσκονται στις πιο σημαντικές περιοχές της βαμβακοκαλλιέργειας.

Να υπολογισθούν οι αθροιστικοί ημερόβαθμοι ($^{\circ}\text{CD} / \text{HU}$) για κάθε έτος από το 1960 έως το 2010 και να εκτιμηθεί η μεταβολή τους.

Επίσης να γίνει ένα μοντέλο πρόβλεψης των προηγούμενων μεγεθών, για την περίοδο 2011 έως 2040, ώστε να εκτιμηθούν οι επιπτώσεις στην καλλιέργεια του βαμβακιού και στο εύρος της καλλιεργητικής / βλαστικής περιόδου.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται η προτεινόμενη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την επεξεργασία των μετεωρολογικών δεδομένων, που συλλέχθηκαν από αντιπροσωπευτικούς σταθμούς καθώς και η δημιουργία μοντέλων πρόβλεψης της εξέλιξης τους για την περίοδο 2010 έως 2040 .

Τα βήματα συνοψίζονται ως εξής :

- Συλλογή και προετοιμασία των δεδομένων
- Στατιστικός έλεγχος και ανάλυση των δεδομένων
- Υπολογισμός αθροιστικών ημερόβαθμων
- Η επιλογή της μεθόδου πρόβλεψης της χρονοσειράς των δεδομένων

2.1 Η συλλογή και η προετοιμασία των δεδομένων

Για την διερεύνηση της χωρικής κατανομής των ημερόβαθμων στον ελλαδικό χώρο χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα από πέντε (5) μετεωρολογικούς σταθμούς στο σύνολο, τα οποία παραχωρήθηκαν από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ) για την μελέτη της χρονικής περιόδου που αφορά θερμοκρασιακά στοιχεία από το 1960 έως και το 2010. Αξίζει να σημειωθεί η αξιοπιστία των δεδομένων καθώς έχουν υποστεί έναν ποιοτικό έλεγχο πριν την εισαγωγή τους στην βάση της ΕΜΥ. Οι μετεωρολογικοί σταθμοί (Πίνακας 1) που χρησιμοποιήθηκαν επιλέχθηκαν για τους εξής λόγους γιατί :

- Υπάρχουν δεδομένα θερμοκρασιών για την περίοδο 1960 – 2010
- Βρίσκονται σε περιοχές που η καλλιέργεια του βαμβακιού κατέχει πρωτεύοντα ρόλο

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΒΑΜΒΑΚΙΟΥ	ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗ	ΘΡΑΚΗ	Περίοδος 1960 έως 2010 Ημερήσια Μέση Θερμοκρασία, Ημερήσια Μέγιστη & Ελάχιστη και Ημερήσια Βροχόπτωση
ΜΙΚΡΑ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ	
ΛΑΡΙΣΑ	ΘΕΣΣΑΛΙΑ	
ΑΓΧΙΑΛΟΣ	ΘΕΣΣΑΛΙΑ	
ΤΑΝΑΓΡΑ	ΣΤΕΡΕΑ	

Πίνακας 1. Μετεωρολογικοί σταθμοί

Τα ατμοσφαιρικά δεδομένα που δόθηκαν από την ΕΜΥ για τους παραπάνω σταθμούς που φαίνονται στον πίνακα 3 και χρησιμοποιήθηκαν για την αποτύπωση της μεταβολής της θερμοκρασίας ήταν οι μηνιαίες και ετήσιες στατιστικές τιμές της :

- Ημερήσιας Μέγιστης Θερμοκρασίας (°C)
- Ημερήσιας Ελαχίστης Θερμοκρασίας (°C)
- Ημερήσιας Μέσης Θερμοκρασίας (°C)

Οι μέσες μηνιαίες – ετήσιες θερμοκρασίες αποτελούν τον μέσο όρο των ανά μήνα και έτος αθροιστικών τιμών των αντίστοιχων ημερήσιων θερμοκρασίας. Για την χωρική κατανομή των βασικών ατμοσφαιρικών παραμέτρων των θερμοκρασιών ακολουθείται μια μεθοδολογία.

Προκειμένου να γίνει περισσότερο λεπτομερής και καλύτερη η ανάλυση, η ατμοσφαιρική παράμετρος της θερμοκρασίας χωρίζεται σε περιόδους. Οι περίοδοι είναι :

- **Καλλιεργητική Περίοδος** (Ο μέσος όρος του αθροίσματος των μέσων τιμών από 20 Απριλίου έως 20 Οκτωβρίου)
- **Περίοδος Φυτρώματος** (Ο μέσος όρος του αθροίσματος των μέσων τιμών από 20 Απριλίου έως 30 Απριλίου)
- **Περίοδος Πρώτης Ανάπτυξης** (Ο μέσος όρος του αθροίσματος των μέσων τιμών από 1 Μαΐου έως 15 Ιουνίου)
- **Περίοδος Προ άνθησης** (Ο μέσος όρος του αθροίσματος των μέσων τιμών από 16 Ιουνίου έως 10 Ιουλίου)
- **Περίοδος Ανθοκαρποφορίας** (Ο μέσος όρος του αθροίσματος των μέσων τιμών από 11 Ιουλίου έως 10 Σεπτεμβρίου)
- **Περίοδος Ωρίμανσης** (Ο μέσος όρος του αθροίσματος των μέσων τιμών από 11 Σεπτεμβρίου έως 20 Οκτωβρίου)

2.2 Στατιστικός έλεγχος και ανάλυση των δεδομένων χρονοσειρών

2.2.1 Στατιστική Ανάλυση

Το πρώτο στάδιο της συγκεκριμένης έρευνας είναι η στατιστική ανάλυση των χρονοσειρών των μετεωρολογικών δεδομένων της καλλιεργητικής περιόδου που δίνονται για τους 5 σταθμούς για την χρονική περίοδο 1960 έως και το 2010.

Για να γίνει η μελέτη της μεταβολής των επιχειρήθηκε η μελέτη της τάσης των χρονοσειρών. Η ανάλυση των τάσεων μπορεί να οριστεί ως η χρήση μιας εμπειρικής προσέγγισης για την ποσοτικοποίηση και να εξηγήσει τις αλλαγές σε ένα σύστημα, κατά τη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου (Chandler και Scott, 2011).

Ο σκοπός των δοκιμών της τάσης είναι να καθοριστεί εάν οι τιμές μιας τυχαίας μεταβλητής γενικά παρουσιάζουν αύξηση (ή μείωση) πάνω από κάποιο χρονικό διάστημα με τη χρήση στατιστικών

όρων (Helsel και Hirsch, 1992). Σε γενικές γραμμές, παραμετρικά ή και μη-παραμετρικά στατιστικά τεστ είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν προκειμένου να αποφασισθεί εάν υπάρχει στατιστικά σημαντική τάση. Η ανάλυση των τάσεων πραγματοποιείται για να ανιχνεύσει την κατεύθυνση, το μέγεθος και τη σημασία μιας τάσης στα δεδομένα χρονοσειρών.

Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός παραμετρικών και μη παραμετρικών μεθόδων που χρησιμοποιούνται συνήθως για την ανίχνευση των τάσεων (Mc Bean και Rovers, 1998). Ένα παράδειγμα παραμετρικής δοκιμής είναι η γραμμική παλινδρόμηση.

Έτσι μια πρώτη μελέτη της τάσης έγινε εφαρμόζοντας την ανάλυση της γραμμικής παλινδρόμησης και χρησιμοποιώντας την μέθοδο ελάχιστων τετραγώνων που συχνά χρησιμοποιείται για την ανίχνευση των τάσεων σε μια σειρά ατμοσφαιρικών δεδομένων θερμοκρασίας, με επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Έτσι, για την ανάλυση της τάσης των χρονοσειρών εφαρμόστηκε το μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης, χρησιμοποιώντας την ευθεία παλινδρόμησης (ή η ευθεία πρόβλεψης) $Y = \beta_1 + \beta_2 x$, η οποία αντιπροσωπεύει τη γραμμική σχέση μεταξύ X και Y καλύτερα από οποιαδήποτε άλλη συνάρτηση.

Η ερμηνεία των β_1 και β_2 που καλούνται συντελεστές παλινδρόμησης είναι οι ακόλουθοι:

Ο β_1 μας δίνει την τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής Y που αντιστοιχεί στην τιμή της ανεξάρτητης μεταβλητής $X=0$ και αποτελεί την τομή της ευθείας στον άξονα Y .

Ο β_2 δίνει την μεταβολή της εξαρτημένης μεταβλητής που αντιστοιχεί στην μοναδιαία μεταβολή της x . Επιπρόσθετα αποτελεί την κλίση της ευθείας (slope), που θα χρησιμοποιηθεί στην συγκεκριμένη μελέτη.

Στην παρούσα εργασία ο χρόνος (έτη) λαμβάνεται ως η ανεξάρτητη μεταβλητή x και τα μετεωρολογικά δεδομένα ως η εξαρτημένη μεταβλητή Y .

Τα δεδομένα των χρονοσειρών που αφορούν τους 5 σταθμούς οργανώθηκαν και εισήχθησαν σε περιβάλλον excel και για κάθε ένα ξεχωριστά σταθμό έγινε η δημιουργία γραφήματος τύπου γραμμικού, με τον οριζόντιο άξονα να έχει τις χρονολογίες και τον κάθετο τις αντίστοιχες τιμές των μετεωρολογικών δεδομένων ανά καλλιεργητική περίοδο ως πρώτο βήμα.

Στην συνέχεια έγινε επιλογή εισαγωγής γραμμής τάσης και επιλέχθηκε ο τύπος τάσης/παλινδρόμησης να είναι γραμμική, καθώς επίσης να γίνει εμφανής και η προβολή της εξίσωσης στο γράφημα της τάσης και η τιμή του R -τετράγωνου. Μια γραμμή τάσης εμφανίζει αυξημένη ακρίβεια, όταν η τιμή του R^2 βρίσκεται στο 1 ή κοντά σε αυτό. Με την συγκεκριμένη διαδικασία, έχοντας την γραμμική παλινδρόμηση και την εξίσωση για τον κάθε σταθμό, εκτιμάται η τάση αύξησης ή μείωσης των χρονοσειρών τόσο για το σύνολο όσο για κάθε ένα μετεωρολογικό σταθμό ξεχωριστά.

Ουσιαστικά η ευθεία παλινδρόμησης μετρά την διασπορά τιμών ανά μονάδα χρόνου για κάποια συγκεκριμένη χρονική περίοδο υπολογίζοντας ακόμα καλύτερα από τις απλές γραμμές τάσης την ευθεία γραμμή που ανταποκρίνεται καλύτερα για την δεδομένη χρονική περίοδο 1960-2010.

Επόμενο βήμα ήταν η επιβεβαίωση της τάσης των χρησιμοποιούμενων χρονοσειρών και η κλίση με την μέθοδο Mann-Kendall.

2.2.2 Ο μη παραμετρικός έλεγχος Mann-Kendall για επιβεβαίωση της τάσης

Τα περιβαλλοντικά δεδομένα παρουσιάζουν ιδιαιτερότητες οι οποίες καθιστούν την στατιστική τους ανάλυση αρκετά δύσκολη και δυσχεραίνουν την εξαγωγή αξιόπιστων συμπερασμάτων με τις κλασσικές στατιστικές μεθόδους όπως παραδείγματος χάρη τον έλεγχο υποθέσεων με προαπαιτούμενη γνώση της κατανομής, κλπ. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι υπάρχουν τιμές κενές (missing values), ακραίες τιμές και στις τιμές σε όρια που δεν ανιχνεύονται πάντα με ακρίβεια. Στα περιβαλλοντικά δεδομένα είναι σύνηθες φαινόμενο τα παραπάνω θέματα που αφορούν τις τιμές εξαιτίας της δυσκολίας που παρουσιάζει η μέτρηση και η συλλογή τους. Μπορούν να παίξουν ρόλο διάφοροι παράγοντες όπως είναι η ευαισθησίας των μηχανημάτων καταγραφής και μέτρησης, η ασυνέχεια στις μετρήσεις λόγω πιθανών βλαβών που θα προκύψουν ή και η δημιουργία νέων σταθμών μέτρησης. Η ολοένα και αυξανόμενη απαίτηση για την εφαρμογή νέων τεχνικών οδήγησε σε προσπάθειες εύρεσης νέων μεθόδων ή προσαρμογές παλαιότερων που βασίζονται κυρίως σε **μη παραμετρικές μεθόδους** οι οποίες και είναι οι κατάλληλες να εφαρμόζονται και σε μικρά σετ δεδομένων όπως είναι για παράδειγμα οι ετήσιες τιμές της θερμοκρασίας οδηγώντας σε αξιόπιστα αποτελέσματα. Οι τεχνικές αυτές είναι πρακτικές και εφαρμόζονται εύκολα αφού δεν απαιτούν την γνώση της συγκεκριμένης κατανομής των δεδομένων. Επίσης δεν επηρεάζονται από τα συνήθη κενά των μετρήσεων, τις λάθος μετρήσεις και τις ακραίες τιμές που είναι πιθανό να εμφανίζονται για τις μετρήσεις χρονοσειρών της θερμοκρασίας και των παραμέτρων που τους επηρεάζουν όπως μετεωρολογικές γεωγραφικές κ.α.

Για τους παραπάνω λόγους χρησιμοποιήθηκε ο κυριότερος και πιο διαδεδομένος στατιστικός έλεγχος που εφαρμόζεται στα δεδομένα που αφορούν την ατμόσφαιρα, **ο έλεγχος Mann-Kendall** (Libiseller και Grimvall, 2002).

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται και εφαρμόζεται με την αρχική του και την πιο απλή του μορφή. Επιπροσθέτως, παρουσιάζεται και εφαρμόζεται **η μέθοδος του Sen** προκειμένου να γίνει η εκτίμηση της κλίσης της τάσης καθώς επίσης και οι συσχετίσεις και οι συν διακυμάνσεις των εξεταζόμενων μεταβλητών.

Αυτό το τεστ χρησιμοποιείται ευρέως στην ανάλυση κλιματολογικών δεδομένων. Το τεστ ελέγχει εάν μια τυχαία μεταβλητή αυξάνεται ή μειώνεται μονοτονικά με τον χρόνο. Είναι μια διαδικασία βασισμένη στην τάξη, δεν επηρεάζεται από τυχόν ακραίες τιμές και λανθασμένα δεδομένα και δεν υπάρχει η ανάγκη κανονικής κατανομής των δεδομένων (Yu et al., 1993). Η διαφορά μεταξύ των παρατηρούμενων τιμών που καταγράφονται αργότερα και προγενέστερα στο πεδίο εξετάζονται και συγκρίνονται χρησιμοποιώντας την μέθοδο αυτή. Η δοκιμασία Mann-Kendall επιβεβαιώνει μια αυξανόμενη τάση στην περίπτωση όπου οι τιμές που καταγράφονται μετέπειτα χρονικά είναι

μεγαλύτερες από τις προηγούμενες καταγεγραμμένες. Αν οι προγενέστερες καταγεγραμμένες τιμές είναι μεγαλύτερες από ό,τι τις καταγεγραμμένες που ακολουθούν, η δοκιμή Mann-Kendall δείχνει μια πτωτική τάση. Η μέθοδος Sen χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του μεγέθους της κλίσης της τάσης των δεδομένων χρονοσειρών, υπολογίζοντας όλες τις πιθανές κλίσεις μεταξύ όλων των πιθανών ζευγών δεδομένων και είναι λιγότερο ευαίσθητα σε αποκλίσεις δεδομένων ή ακραίες τιμές. Ο έλεγχος Mann-Kendall μπορεί να υπολογιστεί σύμφωνα με τα παρακάτω (Öhöz and Bayazit, 2003, Kahya and Kalayci, 2004, Reza Modarres 2007).

Το Mann-Kendall S είναι το άθροισμα της διαφοράς μεταξύ των παρατηρούμενων τιμών, και υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k)$$

Όπου το x_j είναι η παρατηρούμενη τιμή την χρονική στιγμή j , και το x_k είναι η παρατηρούμενη τιμή την χρονική στιγμή k , χρονικά η στιγμή j είναι μετά την τιμή k και το n είναι το μήκος του συνόλου των δεδομένων.

Η τελική τιμή S είναι ίση με το καθαρό αποτέλεσμα αυτών των αυξήσεων και μειώσεων. Το πρόσημο της τιμής S προσδιορίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1 & \text{if } x_j - x_k > 0 \\ 0 & \text{if } x_j - x_k = 0 \\ -1 & \text{if } x_j - x_k < 0 \end{cases}$$

Ο στατιστικός όρος Z χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της στατιστικής σημαντικότητας S :

$$Z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & ; S > 0 \\ 0 & ; S = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & ; S < 0 \end{cases}$$

Το Var (S) είναι η διακύμανση των S και υπολογίζεται ως :

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^q t_p (t_p - 1)(2t_p + 5)}{18}$$

Όπου n είναι ο αριθμός των σημείων των δεδομένων, δηλαδή στην συγκεκριμένη μελέτη ο αριθμός των μετεωρολογικών σταθμών, q είναι ο αριθμός των συνδεδεμένων ομάδων- tied groups (είναι ένα σετ δειγμάτων που απαρτίζεται από τις ίδιες τιμές) και ο t_p είναι ο αριθμός των δεδομένων που ανήκουν στην p^{th} ομάδα.

Η μέθοδος Mann-Kendall ελέγχει την μηδενική υπόθεση, H_0 , ή ότι τα στοιχεία δεν δείχνουν καμία τάση έναντι της εναλλακτικής υπόθεσης H_1 , ή ότι τα στοιχεία δείχνουν μια τάση. Η τάση παρατηρείται να μειώνεται εάν το Z έχει αρνητική τιμή, και η τάση υποτίθεται ότι αυξάνεται εάν το Z έχει θετική τιμή. Για να απορριφθεί η μηδενική υπόθεση H_0 και να επιβεβαιωθεί μια τάση σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο σημαντικότητας, όπως 0,1, 0,05, 0,01 και 0,001, η απόλυτη τιμή του Z

πρέπει να είναι μεγαλύτερη από $Z_{1-\alpha/2}$, όπου $Z_{1-\alpha/2}$ λαμβάνεται από τους τυπικούς κανονικούς αθροιστικούς πίνακες διανομής.

Από την άλλη, η μέθοδος Sen εκτιμά την κλίση της τάσης χρησιμοποιώντας τη μέση κλίση όλων των ζευγών των χρονικών σημείων. Η διαφορά μεταξύ κάθε ζεύγους διαιρείται με τον αριθμό των ετών που χωρίζουν τις παρατηρήσεις :

$$Q_i = x_j - x_k / j - k ,$$

Όπου Q_i είναι η κλίση μεταξύ των σημείων δεδομένων x_j και x_k , x_j είναι η μέτρηση των δεδομένων σε χρόνο j , x_k είναι η μέτρηση των δεδομένων σε χρόνο k , και j είναι ο χρόνος μετά από το χρόνο k . Αν υπάρχουν n τιμές του x_j στις χρονοσειρές, παίρνουμε τόσες εκτιμήσεις των κλίσεων όσες $N = n(n-1) / 2$. Q_i . Ο εκτιμητής Sen της κλίσης της τάσης είναι η μέση τιμή αυτών των αξιών N του Q_i . Οι τιμές N του Q_i κατατάσσονται από το μικρότερο στο μεγαλύτερο και εκτιμητής Sen είναι :

$$Q = Q_{\left(\frac{N+1}{2}\right)} \quad \text{όταν το } N \text{ είναι περιττός}$$

$$Q = \frac{1}{2} \left(Q_{\left(\frac{N}{2}\right)} + Q_{\left(\frac{N+2}{2}\right)} \right) \quad \text{όταν το } N \text{ είναι άρτιος}$$

2.3 Υπολογισμός Αθροιστικών Ημερόβαθμων

Στη παρούσα εργασία, όλα τα μετεωρολογικά δεδομένα προέρχονται από τα στοιχεία της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας και περιλαμβάνουν τιμές για μια χρονική περίοδο πενήντα ετών και συγκεκριμένα, από το 1960 έως και το 2010. Ως χρονική μονάδα για τους υπολογισμούς επιλέχθηκε η ημέρα. Επίσης για την εξαγωγή των ημερόβαθμων, ορίστηκε σαν σταθερή τιμή κατωφλιού η θερμοκρασία των 10 °C (Anonymous). Η καλλιεργητική περίοδος του βαμβακιού, όπως αναφέρεται στην ελληνική και ξένη βιβλιογραφία (Δαναλάτος, 2003, Kohel and Lewis, 1984), τοποθετείται από τα τέλη του Απριλίου έως και τα τέλη Οκτωβρίου. Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας, ορίστηκε ότι η καλλιεργητική περίοδος ξεκινά στις 20 Απριλίου, με το στάδιο της σποράς και ολοκληρώνεται στις 20 Οκτωβρίου με τη λήξη του σταδίου της συγκομιδής της καλλιέργειας. Αξίζει να επισημανθεί ότι οι συγκεκριμένες ημερομηνίες δεν είναι απόλυτες και σταθερές για κάθε χρονιά για τις υπό εξέταση περιοχές, καθώς αρκετοί παράγοντες όπως οι περιβαλλοντικές συνθήκες, επηρεάζουν τα διάφορα στάδια της καλλιεργητικής περιόδου.

Για τον υπολογισμό των ημερόβαθμων, ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία: Από τα μετεωρολογικά δεδομένα και τις ημερήσιες τιμές της θερμοκρασίας (μέγιστη και ελάχιστη), υπολογίστηκε αρχικά η τιμή της μέσης θερμοκρασίας ($T_{\text{mean}} = (T_{\text{max}} + T_{\text{min}}) / 2$) για κάθε ημέρα, για το χρονικό διάστημα που προαναφέρθηκε (20 Απριλίου έως 20 Οκτωβρίου). Στη συνέχεια αφαιρέθηκε η σταθερή τιμή κατωφλιού των 10°C από την μέση θερμοκρασία και η τιμή που προέκυψε αντιστοιχεί στην τιμή των ημερόβαθμων για την συγκεκριμένη ημέρα. Οι αθροιστικοί ημερόβαθμοι για την καλλιεργητική περίοδο σε κάθε χρονιά από το 1960 ως το 2010, προέκυψαν από το

άθροισμα των τιμών των επιμέρους ημερόβαθμων $^{\circ}\text{CD} = \Sigma(\text{Tmean} - \text{Tbase})$. Οι αθροιστικοί ημερόβαθμοι για την βλαστική περίοδο κάθε έτους προκύπτουν από την πρόσθεση κάθε επιμέρους τιμής στην αμέσως επόμενη. Η τελευταία τιμή της περιόδου, δηλαδή αυτή της 20ης Οκτωβρίου αποτελεί και την συσσωρευτική τιμή αθροιστικών ημερόβαθμων για κάθε έτος. Με την ίδια διαδικασία υπολογίζονται οι αθροιστικοί ημερόβαθμοι και για την υπόλοιπη χρονοσειρά, μέχρι και το 2010.

2.4 Μέθοδοι Πρόβλεψης Χρονοσειρών

Για την πλειοψηφία των φυσικών μεγεθών είναι αδύνατη η πλήρης γνώση και καταγραφή όλων των παραγόντων που επηρεάζουν την εξέλιξη τους στο χρόνο και είναι πολύ δύσκολη η διαχρονική περιγραφή του μεγέθους από ένα ντετερμινιστικό μοντέλο. Από την άλλη μεριά, η εξάρτηση τέτοιων μεγεθών από μη ντετερμινιστικούς παράγοντες (π.χ. καιρός, τυχαία γεγονότα) καθιστά δυνατή την περιγραφή της διαχρονικής τους εξέλιξης από ένα στοχαστικό μοντέλο, με το οποίο μπορεί να υπολογιστεί η πιθανότητα με την οποία η τιμή του μεγέθους βρίσκεται σε κάποιο διάστημα. (Χρήστου Κ. Γεωργίου., 2007).

Γενικά, έχουν αναπτυχθεί πολλά και ποικίλα μοντέλα για την περιγραφή των διακυμάνσεων κάποιου μεγέθους μέσα στο χρόνο. Τα μοντέλα ARIMA χρησιμοποιούνται ευρύτατα γιατί βρίσκουν εφαρμογή στη μελέτη πολλών μεγεθών και φαίνεται να δίνουν μια καλή εικόνα της διαχρονικής τους συμπεριφοράς, καθώς και ικανοποιητικά αποτελέσματα στην πρόβλεψη των μελλοντικών τιμών του μεγέθους (Ramasubramanian 2015, Κουγιουμτζής, 2014, Ζιουάλα, 2018).

Οι περισσότερες χρονοσειρές δεν έχουν χαρακτηριστικά στάσιμων διαδικασιών. Οι χρονοσειρές είναι χρήσιμο να είναι στάσιμες διότι έτσι αποφεύγονται διάφορα προβλήματα. Όταν μια χρονοσειρά μετατρέπεται σε στάσιμη, παίρνοντας τις πρώτες διαφορές η σειρά ονομάζεται ολοκληρωμένη πρώτης τάξης και συμβολίζεται με $I(1)$.

Εάν η χρονοσειρά μετατρέπεται σε στάσιμη παίρνοντας τις δεύτερες διαφορές, είναι ολοκληρωμένη δεύτερης τάξης και συμβολίζεται με $I(2)$. Γενικά, εάν d είναι ο αριθμός των διαφορών που μετατρέπει μια σειρά σε στάσιμη, η σειρά ονομάζεται ολοκληρωμένη d τάξεως και συμβολίζεται με $I(d)$. Χρησιμοποιώντας τον τελεστή υστέρησης B , οι πρώτες διαφορές ορίζονται ως:

$$y_t - y_{t-1} = (1-B)y_t = \Delta y_t$$

Τα ARIMA (AutoRegressive - Moving Average / Αυτοπαλίνδρομο – Κινητού Μέσου όρου) μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο για στάσιμες χρονοσειρές, αλλά μπορούν να επεκταθούν και σε μη στάσιμες χρονοσειρές με τη χρήση της μεθόδου της διαφόρισης. Τότε ονομάζονται ολοκληρωμένα αυτοπαλίνδρομα μοντέλα κινητού μέσου τάξεως (p, d, q) (Autoregressive Integrated Moving Average) και συμβολίζονται με ARIMA(p, d, q) όπου:

AR : p = η τάξη του AR όρου

I : d = η τάξη της διαφορίσης

MA : q = η τάξη του μέσου όρου

Επομένως, η ARIMA(p, d, q) διαδικασία, είναι μια διαδικασία η οποία 'διαφορίζεται' d φορές και παράγει ARIMA(p, q) διαδικασία. Τα ARIMA μοντέλα είναι στοχαστικά μαθηματικά μοντέλα με τα οποία περιγράφουμε την εξέλιξη κάποιου φυσικού μεγέθους.

Τα μοντέλα ARIMA έχουν μελετηθεί εκτεταμένα από τους Box και Jenkins, σε βαθμό που τα ονόματά τους να είναι σχεδόν συνώνυμα με τις ARIMA διαδικασίες και τις εφαρμογές τους στην ανάλυση και την πρόβλεψη χρονοσειρών. Η προσέγγιση των Box-Jenkins στην ανάλυση χρονοσειρών είναι μια μέθοδος εύρεσης ενός στατιστικού υποδείγματος ARIMA που να παριστάνει ικανοποιητικά τη στοχαστική διαδικασία από την οποία προήλθαν τα δεδομένα.

Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται όταν η χρονοσειρά δεν είναι στάσιμη και περιλαμβάνει τα εξής τέσσερα στάδια (Τσαούσης, 2018):

- **ΤΑΥΤΟΠΟΙΗΣΗ.** Αυτό το στάδιο περιλαμβάνει τον καθορισμό των τιμών p, d και q. Αρχικά, καθορίζεται ο αριθμός d των διαφορών που χρησιμοποιούμε για να μετατραπεί μια χρονοσειρά σε στάσιμη, εφόσον δεν είναι. Έπειτα, καθορίζεται η τάξη p της αυτοπαλίνδρομης διαδικασίας και η τάξη q της διαδικασίας κινητού μέσου.
- **ΕΚΤΙΜΗΣΗ.** Το δεύτερο στάδιο της ανάλυσης στη μεθοδολογία Box-Jenkins είναι η εκτίμηση των συντελεστών του υποδείγματος. Δηλαδή, εξετάζουμε την εκτίμηση των p παραμέτρων της αυτοπαλίνδρομης διαδικασίας και των q παραμέτρων της διαδικασίας κινητού μέσου.
- **ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ.** Σ' αυτό το στάδιο θα πρέπει να ελέγξουμε αν το συγκεκριμένο υπόδειγμα είναι ικανοποιητικό με την έννοια του κατά πόσο καλά προσαρμόζεται στα δεδομένα μας. Αν η διαδικασία που προέρχονται τα δεδομένα μας είναι ικανοποιητική, τότε δεν πρέπει να υπάρχει αυτοσυσχέτιση μεταξύ των καταλοίπων. Αυτός ο έλεγχος για κατάλοιπα γίνεται με τη στατιστική Q των Box-Pierce.
- **ΠΡΟΒΛΕΨΗ.** Στο τελευταίο στάδιο γίνεται ο έλεγχος με μια διαδικασία που ονομάζεται υπερπροσαρμογή. Με βάση αυτή τη διαδικασία ο έλεγχος της ακαταλληλότητας του εκτιμώμενου υποδείγματος γίνεται συγκρίνοντάς το με ένα άλλο μεγαλύτερης τάξης. Δηλαδή, το εκτιμώμενο υπόδειγμα ARMA(p, q), θα συγκριθεί με τα υποδείγματα ARIMA(p+1, q) και ARIMA(p, q+1) της αμέσως επόμενης τάξης. Αν τελικά, το εκτιμώμενο υπόδειγμα είναι το καταλληλότερο για τα δεδομένα μας, τότε θα πρέπει οι επιπλέον συντελεστές στα μεγαλύτερα υποδείγματα να μην είναι στατιστικά διαφορετικοί από το μηδέν.

Στην παρούσα εργασία η εφαρμογή του μοντέλου ARIMA έγινε με το εργαλείο XLSTAT στο Excel. Το εργαλείο XLSTAT υπολογίζει το πλέον κατάλληλο υπόδειγμα σε σχέση με τις τιμές της χρονοσειράς, καθορίζοντας τις τιμές p,q,d.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Επεξεργασία των Μέγιστων - Ελάχιστων Θερμοκρασιών & Μέσης Θερμοκρασίας

3.1.1 Στατιστικός Έλεγχος Θερμοκρασιών

Η μέση θερμοκρασία της καλλιεργητικής περιόδου και η μέση μέγιστη και η μέση ελάχιστη θερμοκρασία μελετήθηκαν λεπτομερώς για την χρονική περίοδο 1960 - 2010 και διεξάχθηκαν ορισμένα αποτελέσματα για το σύνολο των περιοχών, των πέντε σταθμών:

Για την χρονική περίοδο των πενήντα ετών, η μέση θερμοκρασία της καλλιεργητικής περιόδου είναι 22,71°C, η μέση μέγιστη 27,02°C και η μέση ελάχιστη 14,04°C.

Περίοδος	ΜΕΣΗ °C	ΜΕΓΙΣΤΗ °C	ΕΛΑΧΙΣΤΗ °C
1960 - 2010	22,71	27,02	14,04

Πίνακας 2 - Μέση Θερμοκρασία και Μέση Μέγιστη & Ελάχιστη μεταξύ 1960 έως 2010

Όσον αφορά την μέση θερμοκρασία, το 2001 παρουσιάζεται η μεγαλύτερη τιμή με 24,05°C και η μικρότερη τιμή το 1976 με 21,44°C, με διαφορά δηλαδή 2,57°C βαθμούς κελσίου. Η μεγαλύτερη μέση μέγιστη θερμοκρασία παρουσιάζεται το 2001 πάλι και είναι 28,40°C και η μικρότερη μέγιστη τιμή εμφανίζεται το 1982 με 25,92°C με διαφορά 2,46°C. Η μεγαλύτερη ελάχιστη θερμοκρασία παρουσιάζεται το 2010 με 15,99°C και η μικρότερη ελάχιστη το 1971 με 12,5°C και με διαφορά 3,4°C.

Από τα στοιχεία των πέντε σταθμών συμπεραίνεται ότι οι τάσεις των θερμοκρασιών, για την καλλιεργητική περίοδο, είναι αυξητικές για το διάστημα 1960 - 2010. Συγκεκριμένα η μέση θερμοκρασία αυξήθηκε κατά 0,71°C, η μέση μέγιστη κατά 0,87 °C και η μέση ελάχιστη 2,56°C.

Εάν χωριστούν οι χρονολογίες σε δύο περιόδους των είκοσι-πέντε ετών δηλαδή 1960-1985 και 1986-2010 και γίνει σύγκριση των μέσων όρων της μέσης θερμοκρασίας καθώς και της μέγιστης και της ελάχιστης συμπεραίνεται ότι η μέση θερμοκρασία έχει ανέβει από 22,41°C σε 23,03°C, δηλαδή κατά 0,62°C. Η μέγιστη από 26,83°C σε 27,24°C, δηλαδή παρουσίασε αύξηση κατά 0,41°C. Τέλος η ελάχιστη από 13,38°C καταλήγει να είναι 14,74°C, δηλαδή μεταβλήθηκε κατά 1,36°C.

Περίοδος	ΜΕΣΗ °C	ΜΕΓΙΣΤΗ °C	ΕΛΑΧΙΣΤΗ °C
1. 1960 – 1985	22,41	26,83	13,38
2. 1986 - 2010	23,03	27,24	14,74
Μεταβολή (2-1)	+0,62	+0,41	+1,36

Πίνακας 3 - Μεταβολές Μέση, Μέγιστης & Ελάχιστης μεταξύ 1960 - 1985 & 1986 - 2010

ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (Mean)

ΣΤΑΘΜΟΣ	Μέγιστη Τιμή	Ελάχιστη Τιμή	Μέση Τιμή	Μεταβλητότητα CV
ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗ	23,63	20,48	21,85	0,032
ΜΙΚΡΑ	24,21	21,36	22,77	0,032
ΛΑΡΙΣΑ	24,20	21,56	22,90	0,028
ΑΓΧΙΑΛΟΣ	22,11	21,55	22,86	0,025
ΤΑΝΑΓΡΑ	22,27	22,27	23,28	0,022
ΜΟ ΣΤΑΘΜΩΝ	24,05	21,44	22,71	0,025

ΜΕΣΗ ΜΕΓΙΣΤΗ (Max)

ΣΤΑΘΜΟΣ	Μέγιστη Τιμή	Ελάχιστη Τιμή	Μέση Τιμή	Μεταβλητότητα CV
ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗ	28,21	25,15	26,37	0,027
ΜΙΚΡΑ	29,2	26,50	27,68	0,023
ΛΑΡΙΣΑ	29,72	25,92	27,84	0,032
ΑΓΧΙΑΛΟΣ	27,92	24,6	26,22	0,027
ΤΑΝΑΓΡΑ	28,26	25,85	27,02	0,022
ΜΟ ΣΤΑΘΜΩΝ	28,40	25,92	27,02	0,022

ΜΕΣΗ ΕΛΑΧΙΣΤΗ (Min)

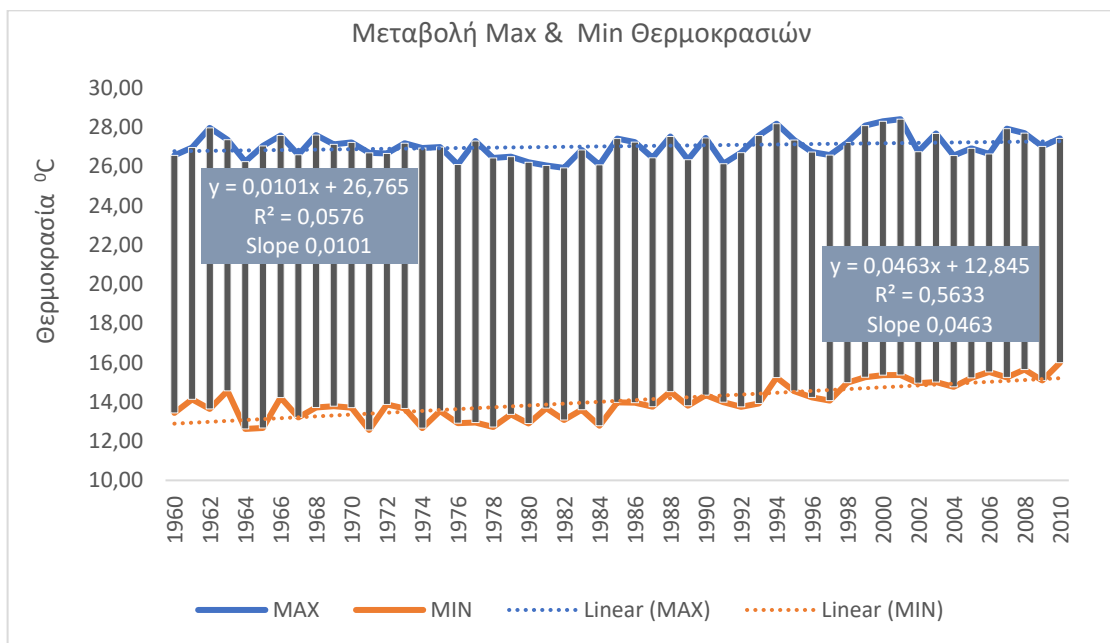
ΣΤΑΘΜΟΣ	Μέγιστη Τιμή	Ελάχιστη Τιμή	Μέση Τιμή	Μεταβλητότητα CV
ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗ	15,96	11,64	13,48	0,068
ΜΙΚΡΑ	16,84	12,23	14,64	0,088
ΛΑΡΙΣΑ	15,2	11,81	13,39	0,065
ΑΓΧΙΑΛΟΣ	16,13	13,18	14,64	0,051
ΤΑΝΑΓΡΑ	15,83	12,54	14,08	0,066
ΜΟ ΣΤΑΘΜΩΝ	15,99	12,56	14,04	0,064

Πίνακας 4 - Τιμές Μέσης, Μεγίστης και Ελαχίστης ανά σταθμό

ΜΕΣΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ ΑΝΑ ΔΕΚΑΕΤΙΑ					
	1960 - 1970	1970 - 1980	1980 - 1990	1990 - 2000	2000 - 2010
MIN °C	13,61	13,17	13,67	14,51	15,29
MAX °C	27,11	26,75	26,28	27,30	27,39
Mean °C	23,32	22,98	23,02	23,44	23,67

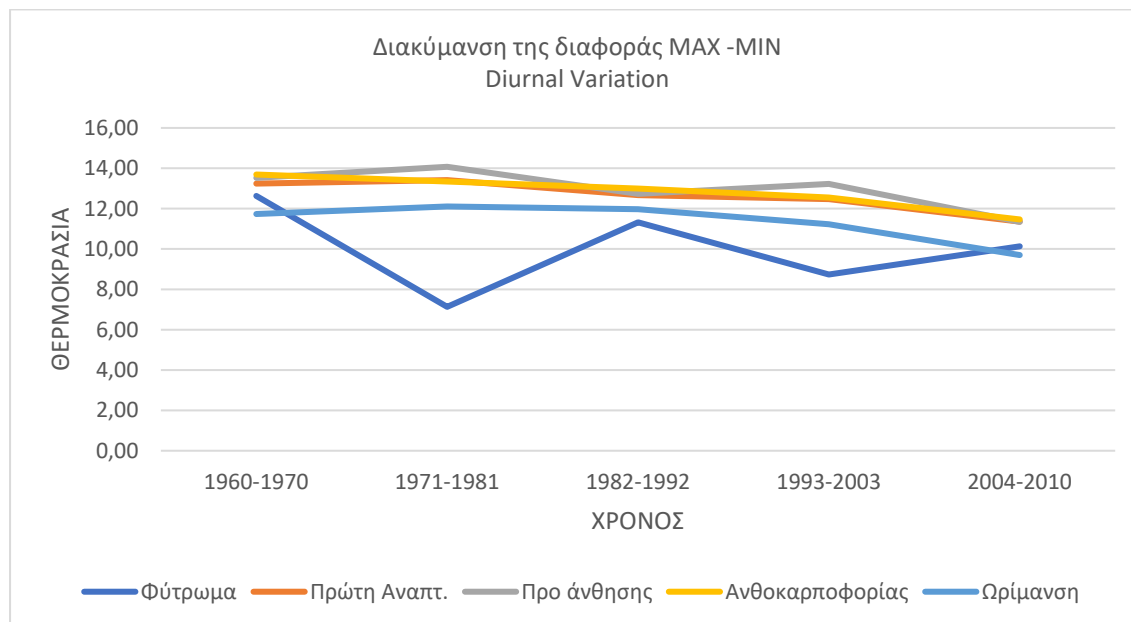
Πίνακας 5 - Τιμές Μέσης, Μεγίστης και Ελαχίστης ανά δεκαετία

Στα διαγράμματα που ακολουθούν, διαγράφεται η πορεία της θερμοκρασίας διαχρονικά, λαμβάνοντας υπόψη τα θερμοκρασιακά δεδομένα που αφορούν το σύνολο των μετεωρολογικών σταθμών.



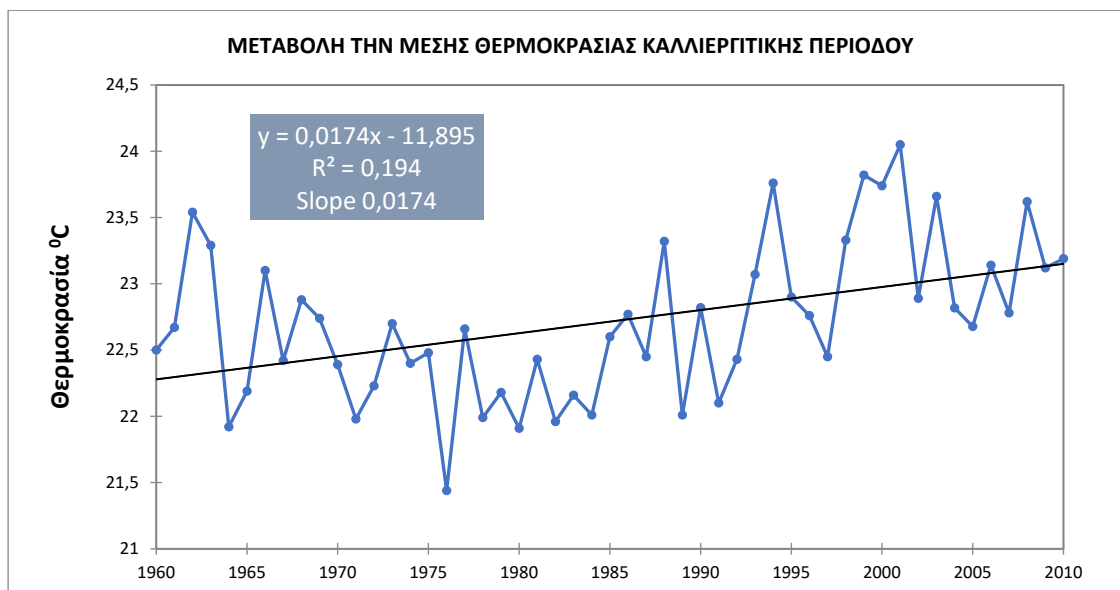
Εικόνα 8 - Διάγραμμα μεταβολής της μέσης μέγιστης & ελάχιστης θερμοκρασίας – χρόνου για την περίοδο 1960 – 2010 για το σύνολο των σταθμών.

Η μεγαλύτερη αύξηση των ελαχίστων θερμοκρασιών σε σχέση με την μικρότερη αύξηση των μέγιστων θερμοκρασιών έχει επίδραση στην ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας. Το εύρος το 1960 ήταν 13,13°C, το 2010 ήταν 11,43°C, δηλαδή κατά 1,70°C μικρότερο.



Εικόνα 9 - Διάγραμμα μεταβολής της ημερήσιας διακύμανσης την περίοδο 1960 -2010 για τα πέντε στάδια ανάπτυξης του βαμβακιού.

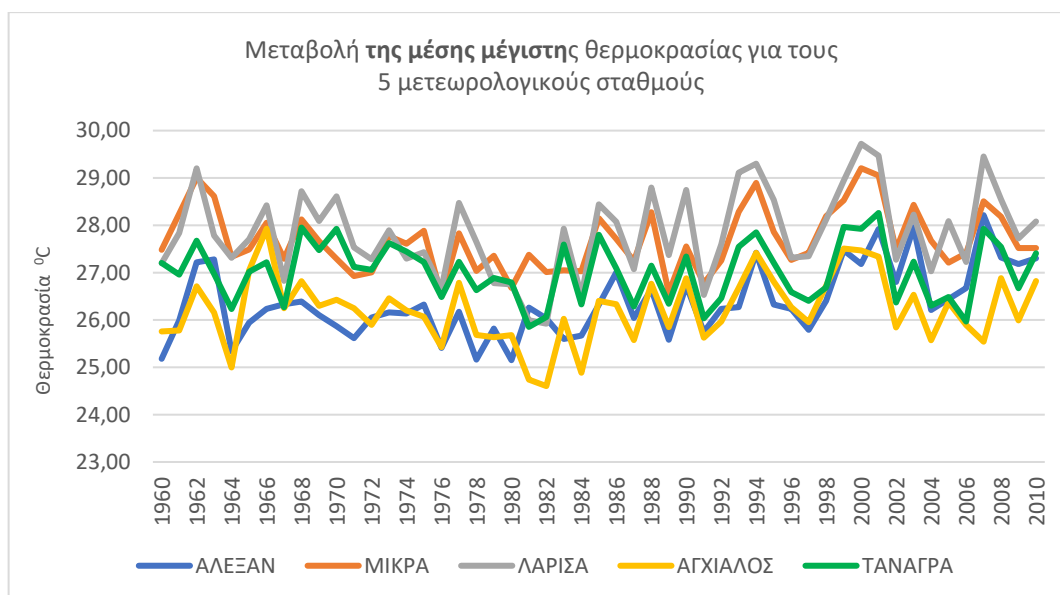
Όπως φαίνεται από το πιο πάνω διάγραμμα, η μείωση του εύρους μεταξύ της Μεγίστης και Ελαχίστης Θερμοκρασίας μειώνεται και για τις πέντε περιόδους, που αντιπροσωπεύουν τα πέντε στάδια ανάπτυξης του βαμβακιού, το διάστημα 1960 – 2010.



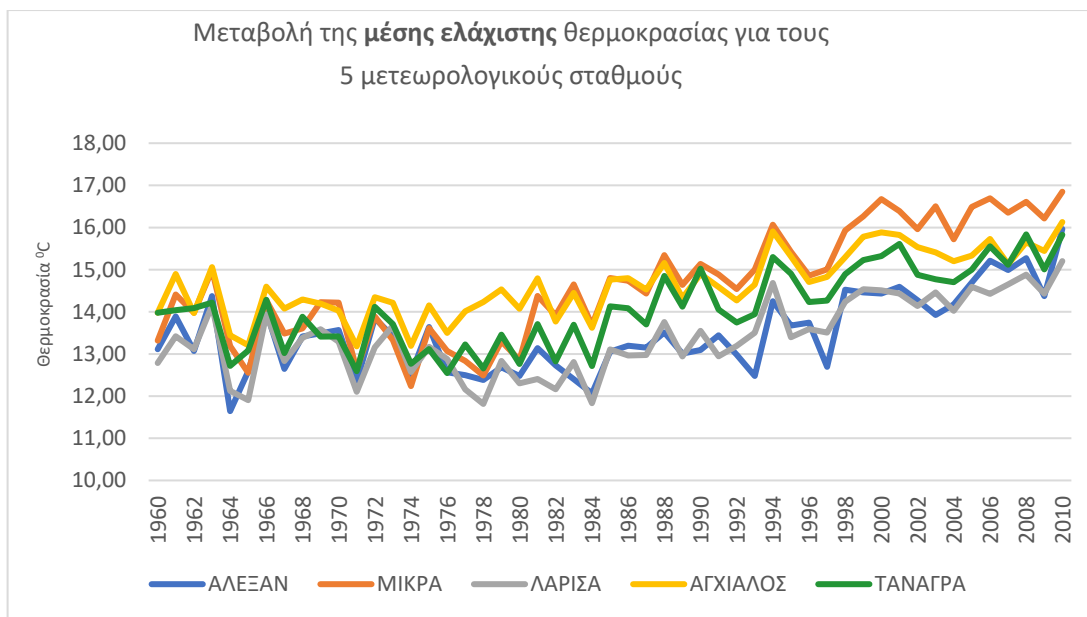
Εικόνα 10 - Διάγραμμα μεταβολής της μέσης θερμοκρασίας – χρόνου για την περίοδο 1960 – 2010 για το σύνολο των σταθμών.

Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται άνοδος της μέσης θερμοκρασίας κατά 0,71°C

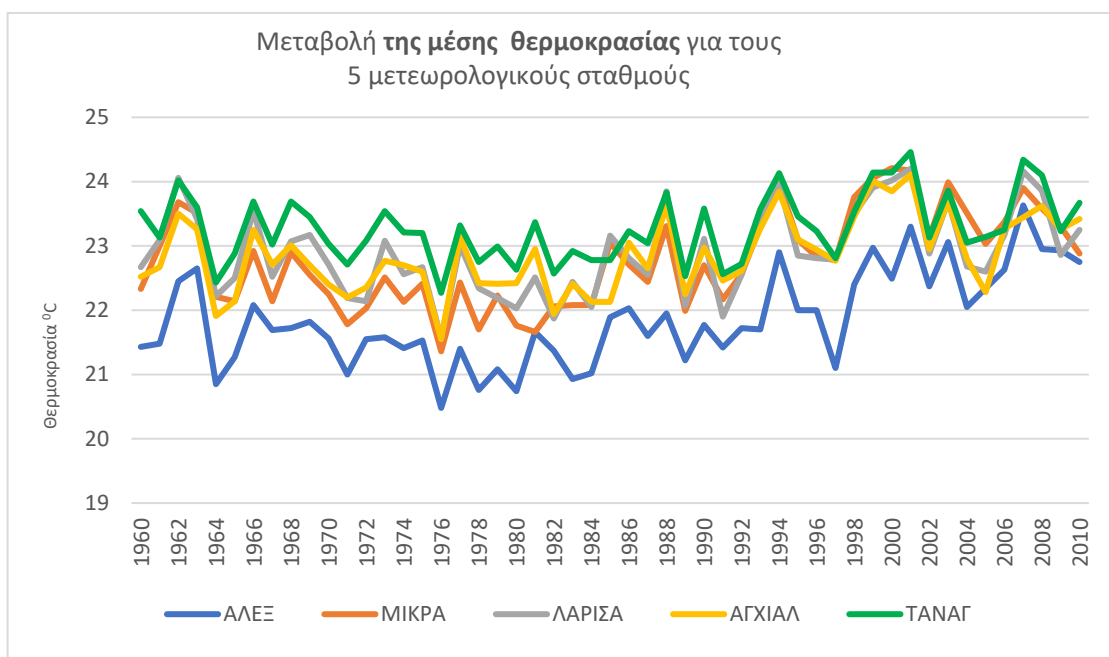
Παρακάτω δίνονται τρεις διαγράμματα (Μέση Μέγιστη – Μέση Ελάχιστη - Μέση Θερμοκρασία) που αφορούν τους 5 μετεωρολογικούς σταθμούς της ΕΜΥ.



Εικόνα 11 - Διάγραμμα μεταβολής της μέσης μέγιστης– χρόνου για την περίοδο 1960 – 2010 για κάθε σταθμό.



Εικόνα 12 - Διάγραμμα μεταβολής της μέσης ελάχιστης- χρόνου για την περίοδο 1960 – 2010 για κάθε σταθμό.



Εικόνα 13 - Διάγραμμα μεταβολής της μέσης θερμοκρασίας καλλιεργητικής περιόδου – χρόνου για την περίοδο 1960 – 2010 για κάθε σταθμό.

Όπως φαίνεται από τα διαγράμματα όλοι οι σταθμοί ακολουθούν τον ίδιο μοτίβο (pattern) στην διακύμανση των θερμοκρασιών (Μέσης Ελάχιστης - Μέγιστης & Μέσης Θερμοκρασίας) με την εξέλιξη του χρόνου, τα τελευταία πενήντα χρόνια.

3.1.2 Μη παραμετρικός έλεγχος Mann-Kendall

Στην συνέχεια της μελέτης, η εφαρμογή του ελέγχου Mann-Kendall και οι τιμές του Sen χρησιμοποιούνται για την επαλήθευση των τάσεων της θερμοκρασίας στις πέντε περιοχές βαμβακοκαλλιέργειας, που συνυπάρχουν οι σταθμοί.

ΜΕΣΗ ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ Καλλιερητικής περιόδου 20/4 έως 20/10							
ΣΤΑΘΜΟΣ	Kendall's tau	S	Var (S)	P Value	alpha	Sen's slope	
ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗ	0,111	8,000	104,000	0,413>	0,05	0,063	αυξάνεται
ΜΙΚΡΑ	0,095	121,000	104,000	0,326>	0,05	0,005	αυξάνεται
ΛΑΡΙΣΑ	0,123	157,000	104,000	0,202>	0,05	0,011	αυξάνεται
ΑΓΧΙΑΛΟΣ	0,073	93,000	15158,33	0,450>	0,05	0,005	αυξάνεται
ΤΑΝΑΓΡΑ	-0,010	-13,000	15158,33	0,916>	0,05	-0,00085	μειώνεται
ΜΕΣΗ ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ Καλλιερητικής περιόδου 20/4 έως 20/10							
ΣΤΑΘΜΟΣ	Kendall's tau	S	Var (S)	P Value	alpha	Sen's slope	
ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗ	0,395	503,000	15158,33	0,0001<	0,05	0,040	αυξάνεται
ΜΙΚΡΑ	0,635	809,000	15158,33	0,0001<	0,05	0,076	αυξάνεται
ΛΑΡΙΣΑ	0,464	591,000	15158,33	0,0001<	0,05	0,044	αυξάνεται
ΑΓΧΙΑΛΟΣ	0,559	713,000	15158,33	0,0001<	0,05	0,019	αυξάνεται
ΤΑΝΑΓΡΑ	0,512	653,000	15158,33	0,0001<	0,05	0,048	αυξάνεται
ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ Καλλιερητικής περιόδου 20/4 έως 20/10							
ΣΤΑΘΜΟΣ	Kendall's tau	S	Var (S)	P Value	alpha	Sen's slope	
ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗ	0,400	509,000	15156,33	0,0001<	0,05	0,030	αυξάνεται
ΜΙΚΡΑ	0,341	434,000	15155,33	0<	0,05	0,027	αυξάνεται
ΛΑΡΙΣΑ	0,212	270,000	15153,33	0,028>	0,05	0,014	αυξάνεται
ΑΓΧΙΑΛΟΣ	0,248	315,000	15150,33	0,010<	0,05	0,016	αυξάνεται
ΤΑΝΑΓΡΑ	0,174	221,000	15149,66	0,073	0,05	0,010	αυξάνεται

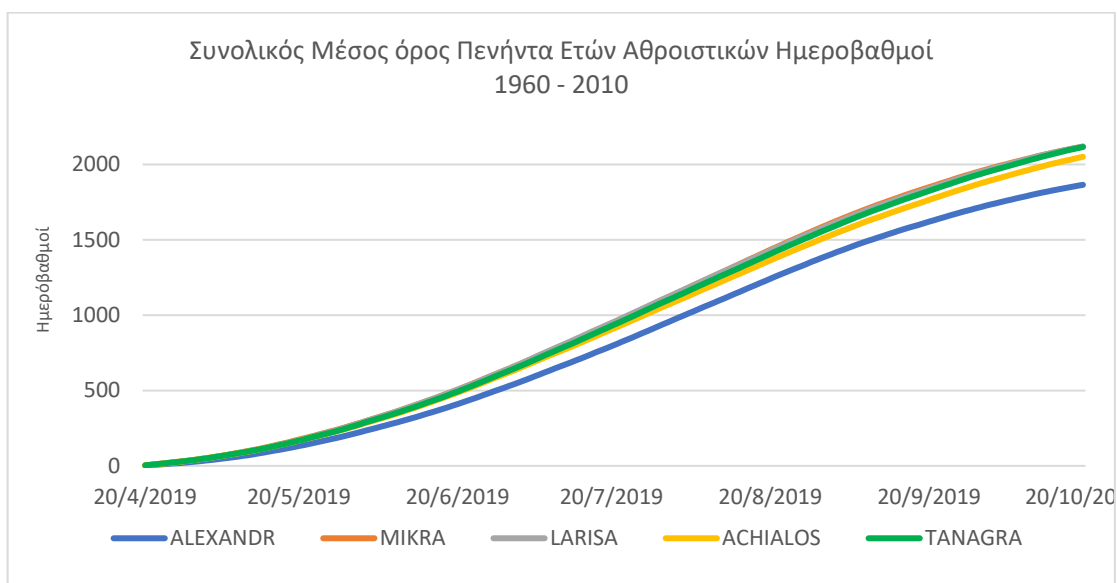
Πίνακας 5 - Παραμετρικός έλεγχος Mann - Kendall για δεδομένα των 5 σταθμών.

Από τον έλεγχο Mann - Kendall επιβεβαιώνεται οι τάσεις των διαγραμμάτων και συγκεκριμένα ότι στην Αλεξανδρούπολη η **Μέση Μέγιστη Θερμοκρασία** αυξάνεται $0,063^{\circ}\text{C}$ / έτος δηλαδή τουλάχιστον έξη φορές ταχύτερα από τις άλλες περιοχές, η τάση της **Μέσης Ελάχιστης Θερμοκρασίας** για τους σταθμούς Αλεξανδρούπολη, Λάρισα, Τανάγρα κυμαίνεται μεταξύ $0,040 - 0,048^{\circ}\text{C}$ ετησίως, ενώ στην Μίκρα η τάση είναι σχεδόν διπλάσια $0,076^{\circ}\text{C}$ ετησίως και η τάση αύξησης της **Μέσης Θερμοκρασίας** στην Βόρεια Ελλάδα – Θράκη είναι αξιοσημείωτα μεγαλύτερη σε σχέση με τις Νοτιότερες περιοχές.

Επίσης η μέση τιμή της Sen's slope της Μέσης Ελαχίστης είναι μεγαλύτερη σε σχέση με την αντίστοιχη της Μέσης Μεγίστης.

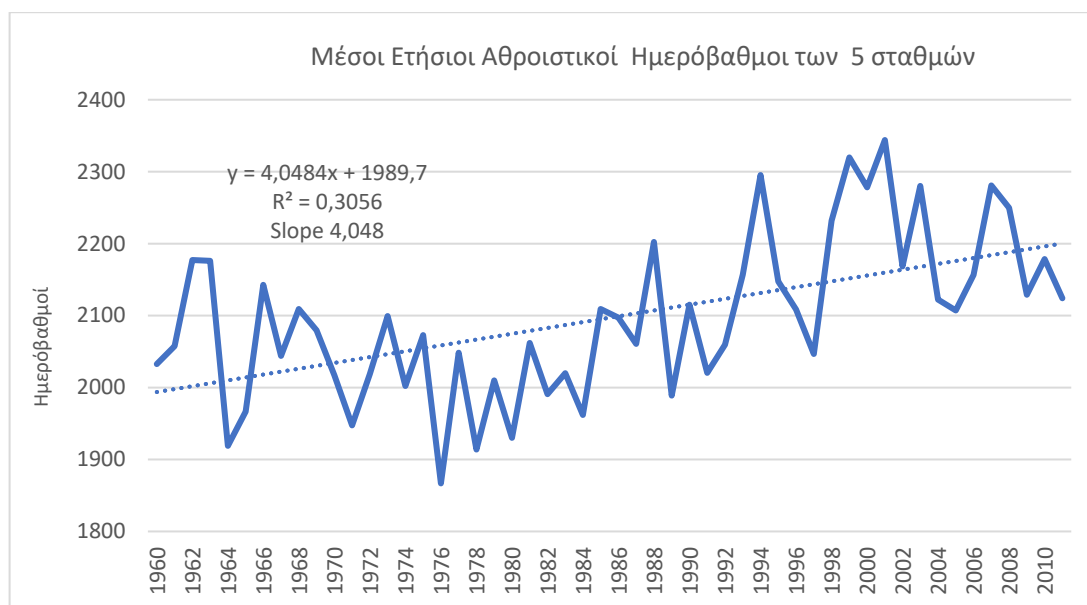
3.2 Υπολογισμός & Επεξεργασία των Ημερόβαθμων (Growing Degree Days)

3.2.1 Ημερόβαθμοι της συνολικής καλλιεργητικής περιόδου



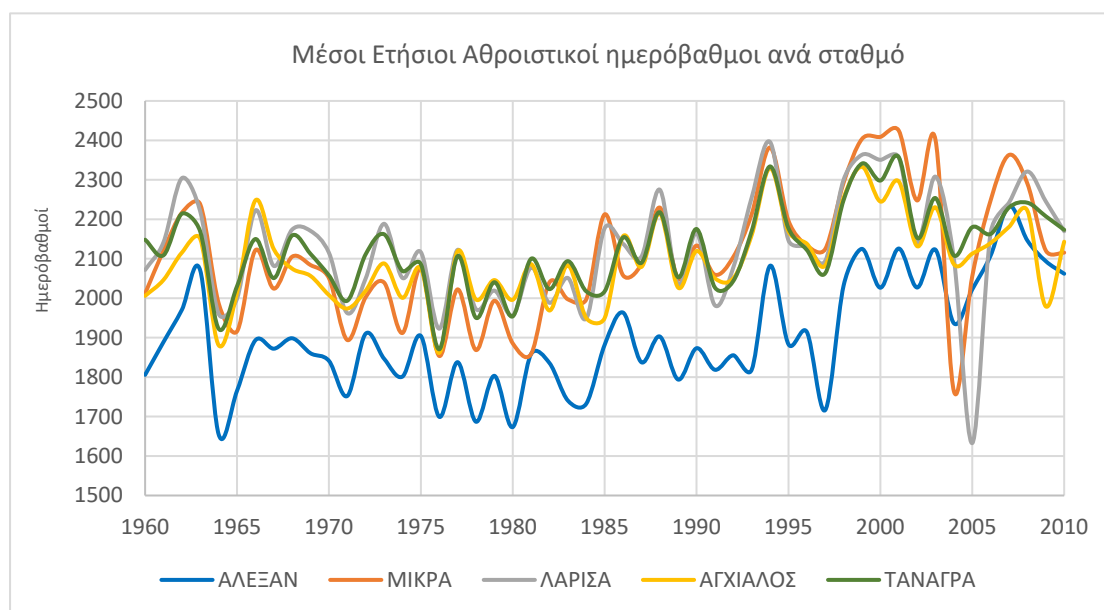
Εικόνα 14 - Διάγραμμα της εξέλιξης του μέσου όρου των πενήντα ετών, των αθροιστικών ημερόβαθμων, στην διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου για την περίοδο 1960 – 2010 για κάθε σταθμό.

Παρατηρούμε ότι ο μέσος όρος των αθροιστικών ημερόβαθμων, της περιόδου 1960-2010, για την Μίκρα, Λάρισα φθάνουν στο ίδιο επίπεδο των 2118, της Τανάγρας στους 2116, της Αγχιάλου στους 2050 και της Αλεξανδρούπολης στους 1865.



Εικόνα 15 - Διάγραμμα του ετήσιου μέσου όρου των αθροιστικών ημερόβαθμων της καλλιεργητικής περιόδου – χρόνου για την περίοδο 1960 – 2010 για όλους τους σταθμούς.

Παρατηρούμε ότι η τάση είναι αυξητική μεταξύ του 1960 – 2010 με 4,048 ημερόβαθμούς / έτος, που αποτιμάται σε αύξηση 200 ημερόβαθμών την πενήντακοντατία.



Εικόνα 16 - Διάγραμμα των ετήσιων αθροιστικών ημερόβαθμων της καλλιεργητικής περιόδου – χρόνου για την περίοδο 1960 – 2010 για κάθε σταθμό. Υπάρχει συμφωνία στην εξέλιξη των διαγραμμάτων ανά σταθμό.

Για τους ετήσιους αθροιστικούς ημερόβαθμούς της καλλιεργητικής περιόδου, για την χρονική περίοδο 1960-2010, βρέθηκαν τα παρακάτω στατιστικά στοιχεία για τους 5 μετεωρολογικούς σταθμούς .

Για κάθε ένα σταθμό ξεχωριστά βρέθηκαν οι τιμές του μέγιστου και του ελάχιστου ημερόβαθμου που εμφανίζονται κατά την διάρκεια της περιόδου αυτής καθώς επίσης και ο μέσος όρος. Έπειτα έγινε ο υπολογισμός της τυπικής απόκλισης και του συντελεστή μεταβλητότητας καθώς επίσης και του R^2 .

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ 1960-2010	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΤΙΜΗ 1960-2010	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ 1960-2010	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑ CV	R^2
ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗ	2234,3	1654,95	1902,15	139,309	0,0732	0,3400
ΜΙΚΡΑ	2424,8	1764,25	2106,62	159,4875	0,0757	0,2172
ΛΑΡΙΣΑ	2395,9	1922,65	2138,54	122,0005	0,0570	0,1692
ΑΓΧΙΑΛΟΣ	2333,1	1861,3	2095,54	106,3858	0,0507	0,2103
ΤΑΝΑΓΡΑ	2357,3	1870,5	2123,597	105,0802	0,0494	0,2263
ΜΟ ΣΤΑΘΜΩΝ	2344,01	1866,79	2096,46	112,028	0,0534	0,3056

Πίνακας 6 - Αποτύπωση στατιστικού ελέγχου για την χρονοσειρά των ημερόβαθμων ανά σταθμό για την περίοδο 1960 – 2010.

Παρατηρούμε ότι η μεταβλητότητα αυξάνεται στους σταθμούς στην Β. Ελλάδα.

- *Μη παραμετρικός έλεγχος Mann-Kendall*

Η δοκιμασία του Mann-Kendall εφαρμόστηκε αρχικά στους ημερόβαθμους της καλλιεργητικής περιόδου και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα 7.

Αν η τιμή p είναι μικρότερη από το επίπεδο σημαντικότητας α (α)=0,05 τότε η υπόθεση H_0 απορρίπτεται. Απορρίπτοντας το H_0 , δείχνει ότι υπάρχει μια τάση στην χρονοσειρά, ενώ εγκρίνοντας το H_0 δείχνει ότι δεν ανιχνεύεται καμία τάση. Τέλος, ο δείκτης του Sen χρησιμοποιήθηκε για την χαρτογράφηση της τάσης των ημερόβαθμων διαχρονικά.

Δίνοντας ένα παράδειγμα, ο μετεωρολογικός σταθμός ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗ, παρουσιάζει θετικό Mann- Kendall S με τιμή 24 και επομένως θα χρησιμοποιηθεί ο τύπος $\frac{s-1}{\sqrt{Var(S)}}$ για να βρεθεί η τιμή Z που προσδιορίζει το εάν υφίσταται στατιστική σημαντική τάση και εάν αυτή είναι θετική ή αρνητική. Η θετική τιμή Z που προκύπτει δηλώνει ανοδική τάση ($Z=0,7132$). Τέλος δίνεται ο δείκτης Sen ο οποίος εκτιμά την κλίση της τάσης ανά μονάδα έτους και όπως έχει υπολογιστεί αντιστοιχεί σε 78,9 HU ανά έτος.

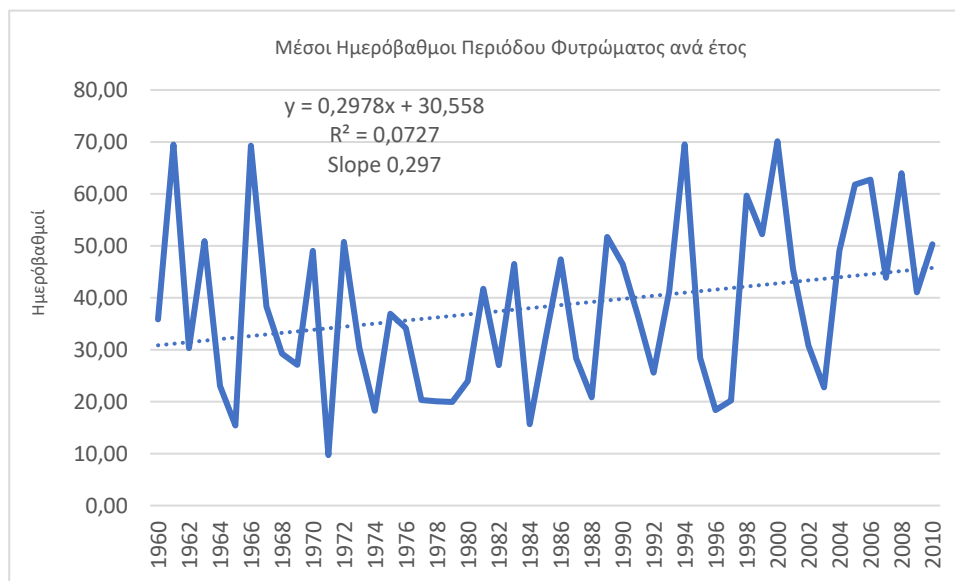
Ακολουθεί ο πίνακας των αποτελεσμάτων του ελέγχου Mann-Kendall για τους ημερόβαθμούς της καλλιεργητικής περιόδου.

ΣΤΑΘΜΟΣ	KENDALL'S TAU	S'	VAR (S)	p_value	alpha	SEN'S SLOPE °CD/YEAR	ΤΑΣΗ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗ	0,333	24	104,000	0,024<	0,05	7,89	Αύξηση
ΜΙΚΡΑ	0,472	34	104,000	0,001<	0,05	8,19	Αύξηση
ΛΑΡΙΣΑ	0,167	12	104,000	0,281>	0,05	1,96	Αύξηση
ΑΓΧΙΑΛΟΣ	0,444	32	104,000	0,002<	0,05	3,05	Αύξηση
ΤΑΝΑΓΡΑ	0,333	24	104,000	0,024<	0,05	2,94	Αύξηση
ΜΟ ΤΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ	0,361	26	104,000	0.011<	0,05	3,93	Αύξηση

Πίνακας 7 - Αποτύπωση του στατιστικού ελέγχου Mann – Kendall για τον προσδιορισμό της τάσης για την χρονοσειρά των ημερόβαθμων για την περίοδο 1960 - 2010.

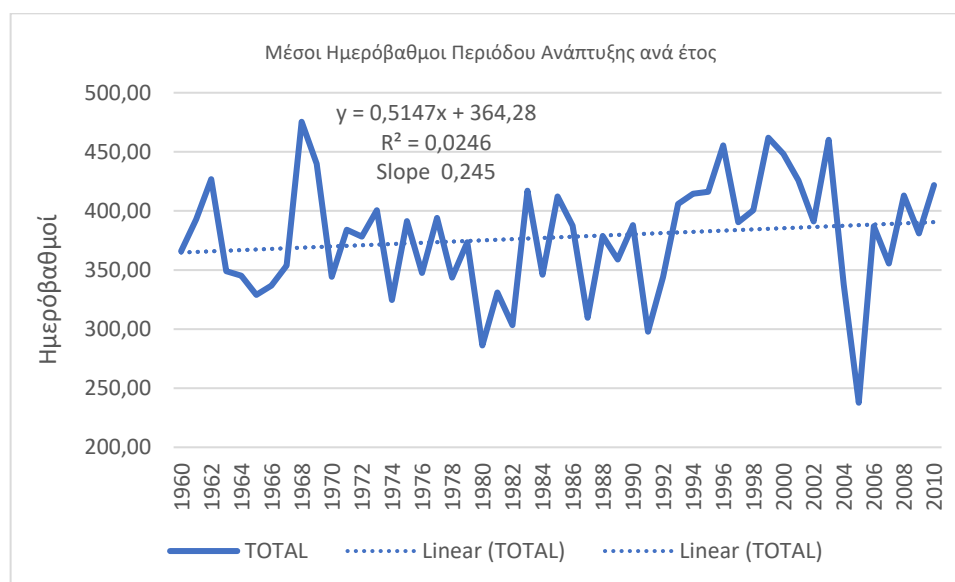
3.2.2 Υπολογισμός αθροιστικών ημερόβαθμων για κάθε στάδιο του βαμβακιού

- Ημερόβαθμοι σταδίου φυτρώματος 20 Απριλίου έως 30 Απριλίου



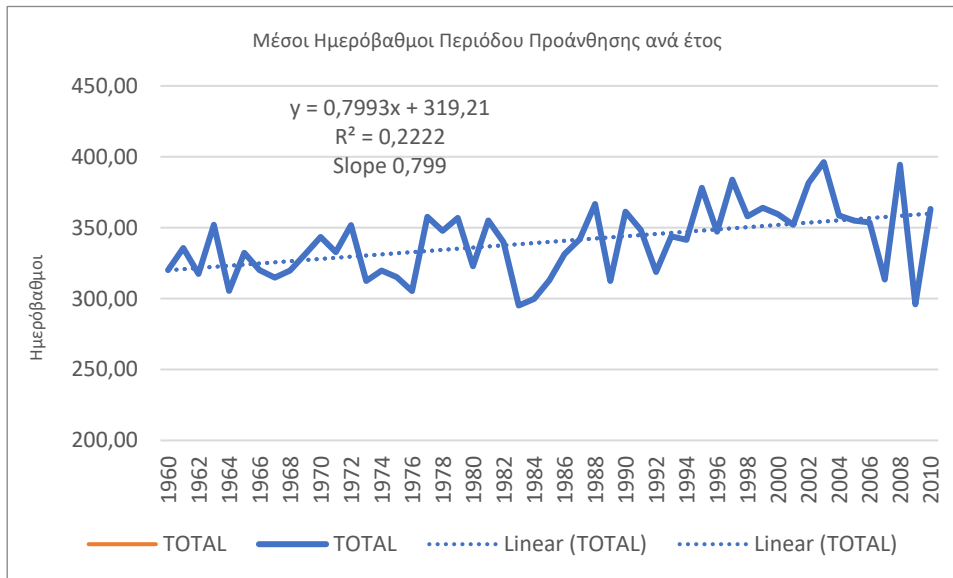
Εικόνα 17 - Διάγραμμα του μέσου όρου των ημερόβαθμων του σταδίου φυτρώματος – χρόνου για την περίοδο 1960 – 2010 για όλους τους σταθμούς.

- Ημερόβαθμοι σταδίου πρώτης ανάπτυξης 1 Μαΐου έως 15 Ιουνίου



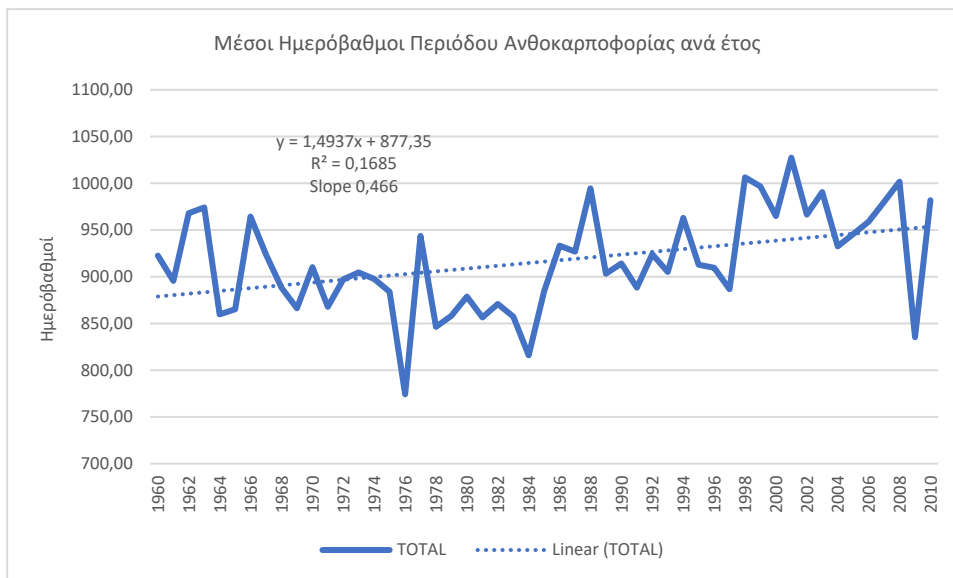
Εικόνα 18 - Διάγραμμα του μέσου όρου των ημερόβαθμων του σταδίου πρώτης ανάπτυξης – χρόνου για την περίοδο 1960 – 2010 για όλους τους σταθμούς.

- Ημερόβαθμοι σταδίου προ άνθησης 16 Ιουνίου έως 10 Ιουλίου



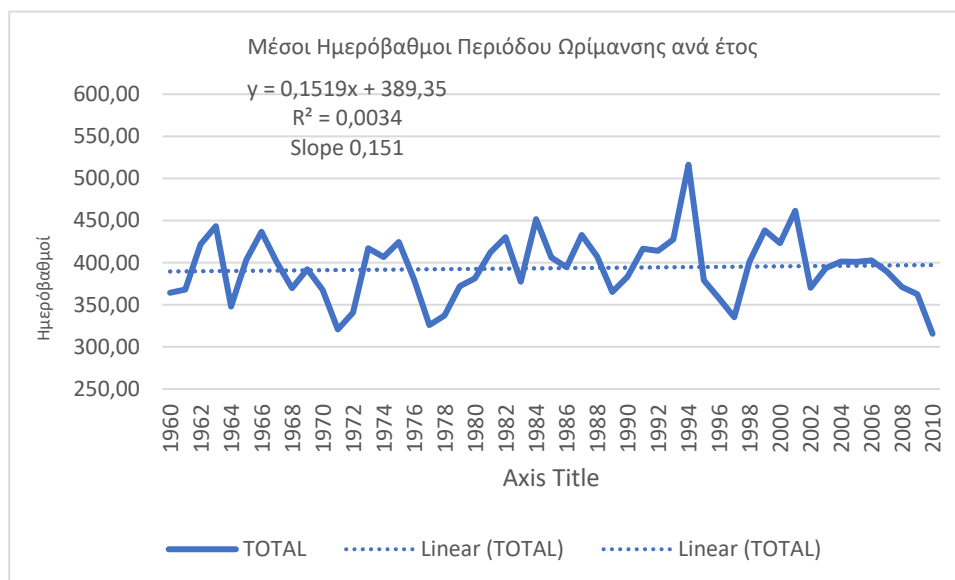
Εικόνα 19 - Διάγραμμα του μέσου όρου των ημερόβαθμων του σταδίου προ άνθησης – χρόνου για την περίοδο 1960 – 2010 για όλους τους σταθμούς.

- Ημερόβαθμοι σταδίου ανθοκαρποφορίας 11 Ιουλίου έως 10 Σεπτεμβρίου



Εικόνα 20 - Διάγραμμα του μέσου όρου των ημερόβαθμων του σταδίου ανθοκαρποφορίας – χρόνου για την περίοδο 1960 – 2010 για όλους τους σταθμούς.

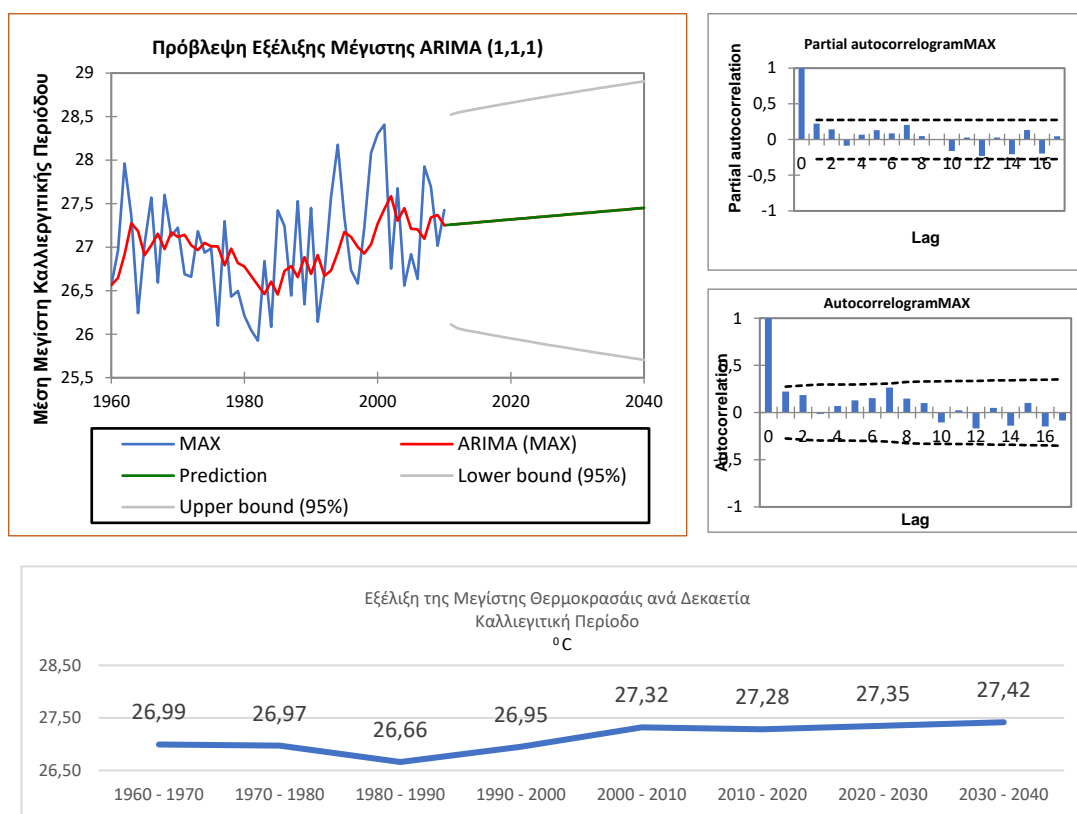
- Ημερόβαθμοι σταδίου ωρίμανσης από 10 Σεπτεμβρίου έως 20 Οκτωβρίου



Εικόνα 21 - Διάγραμμα του μέσου όρου των ημερόβαθμων του σταδίου ωρίμανσης – χρόνου για την περίοδο 1960 – 2010 για όλους τους σταθμούς.

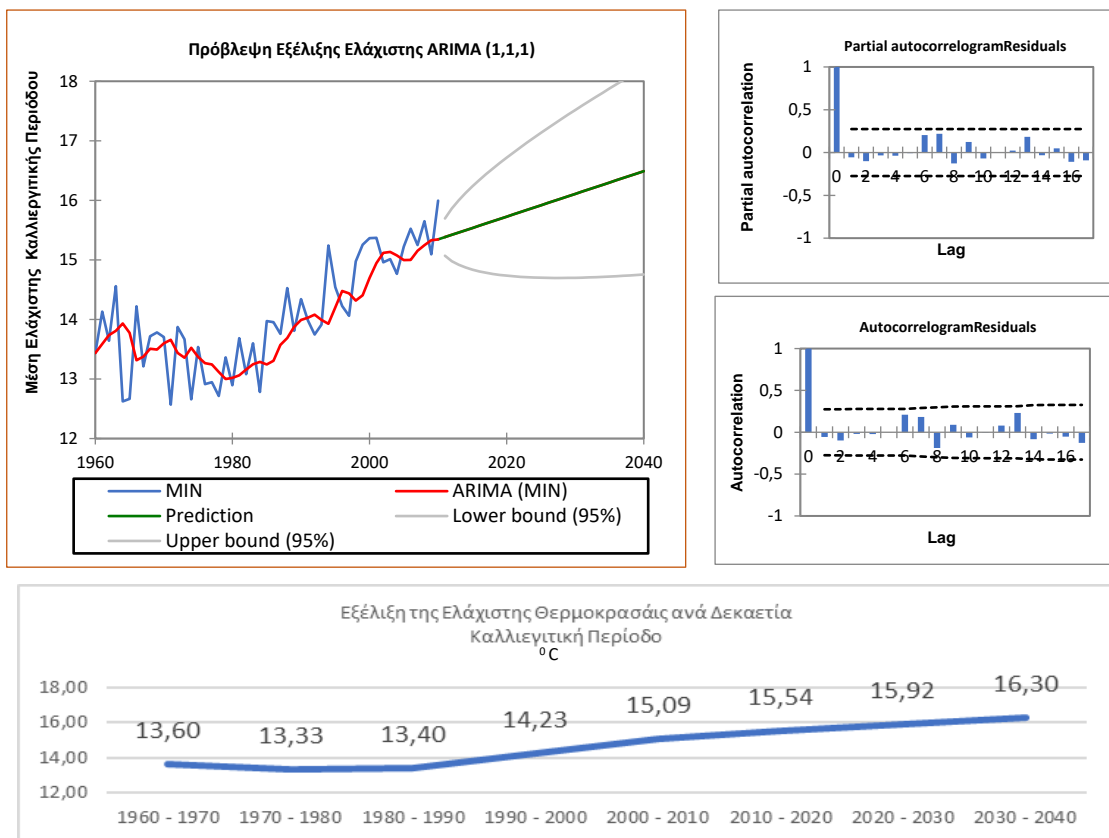
3.3 Πρόβλεψη Χρονοσειρών

Με την βοήθεια του εργαλείου XLSTAT στο Excel έγιναν οι υπολογισμοί για να ευρεθεί το πλέον κατάλληλο μοντέλο ARIMA για την πρόβλεψη για τις μέσες τιμές της Μέγιστης, Ελάχιστης και Μέσης Θερμοκρασίας της καλλιεργητικής περιόδου, των πέντε σταθμών, επίσης υπολογίστηκε και το μοντέλο ARIMA για την πρόβλεψη των αθροιστικών ημεροβάθμων τόσο του μέσου όρου των πέντε σταθμών όσο για τον έκαστο χωριστά.



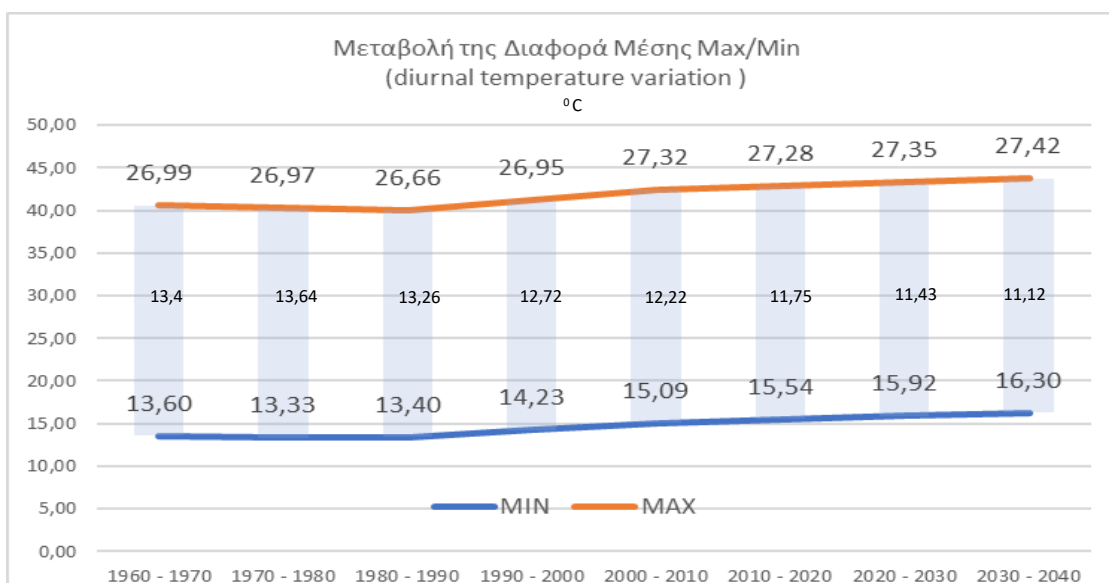
Εικόνα 22 - Διάγραμμα πρόβλεψης της μέσης μέγιστης-χρόνου για την περίοδο 1960 – 2040 για το σύνολο των πέντε σταθμών.

Η μέση μέγιστη θερμοκρασία κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου αυξάνεται 0,89°C, δηλαδή περίπου κατά 3,35%.



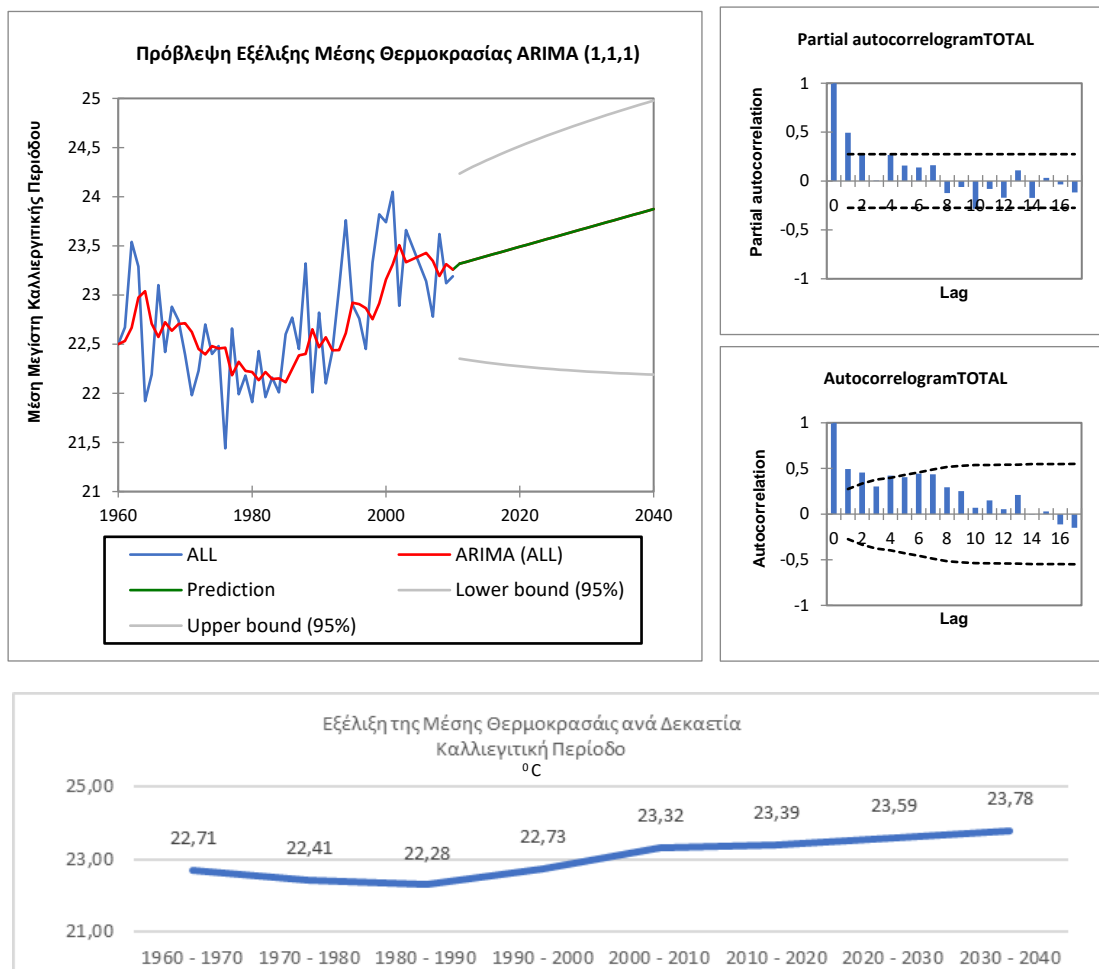
Εικόνα 23 - Διάγραμμα πρόβλεψης της μέσης ελάχιστης – χρόνου για την περίοδο 1960 – 2040 για το σύνολο των πέντε σταθμών.

Η μέση ελάχιστη θερμοκρασία κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου αυξάνεται 3,06°C, δηλαδή περίπου κατά 15,49%.



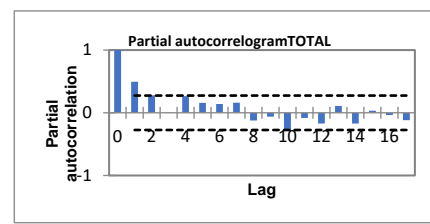
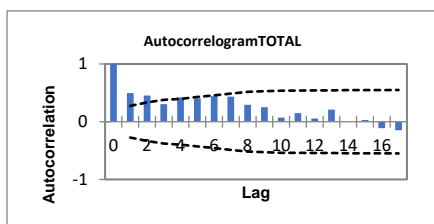
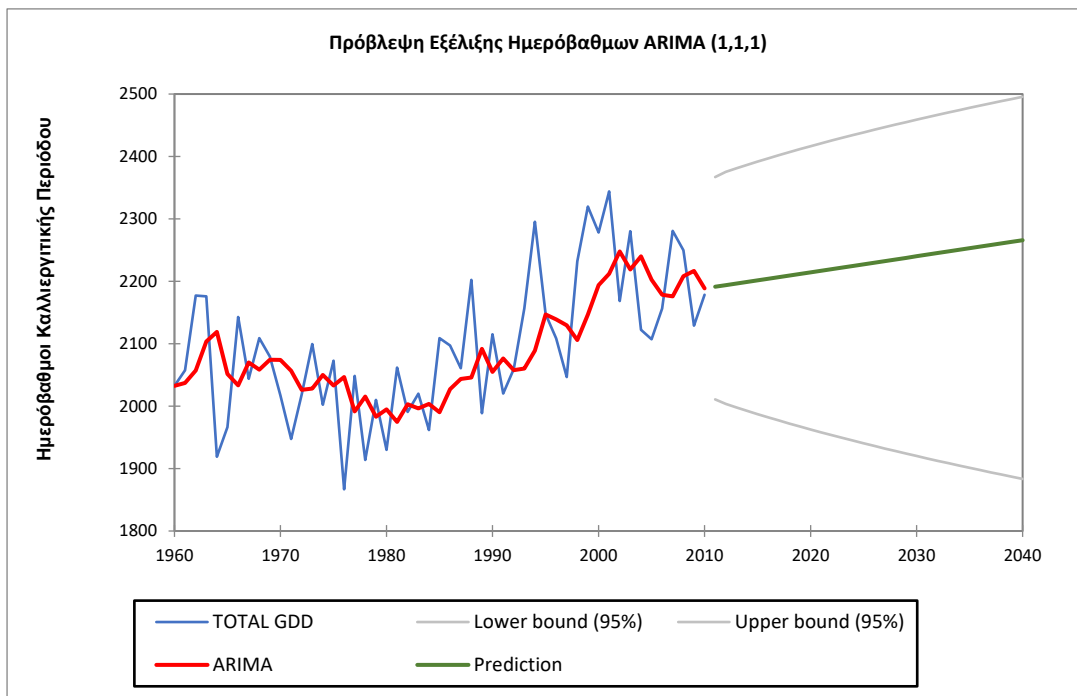
Εικόνα 24 - Διάγραμμα πρόβλεψης μεταβολής της διαφοράς MAX / MIN για την περίοδο 1960 – 2040 για το σύνολο των πέντε σταθμών.

Η διαφορά μεταξύ της Μέγιστης και Ελάχιστης θα μειωθεί κατά 2,28°C, την περίοδο 1960 – 2040.



Εικόνα 25 - Διάγραμμα πρόβλεψης της μέσης θερμοκρασίας – χρόνου για την περίοδο 1960 – 2040 για το σύνολο των πέντε σταθμών.

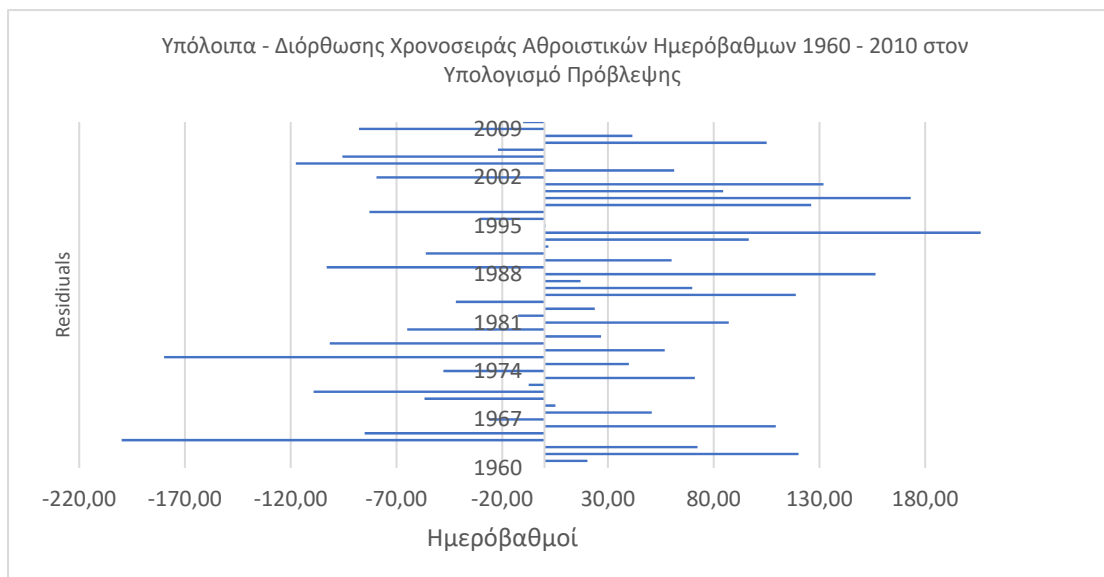
Το μοντέλο ARIMA (1,1,1) δείχνει μία σταδιακή αύξηση της μέσης θερμοκρασίας κατά 1,37°C στο διάστημα 1960 – 2010 .



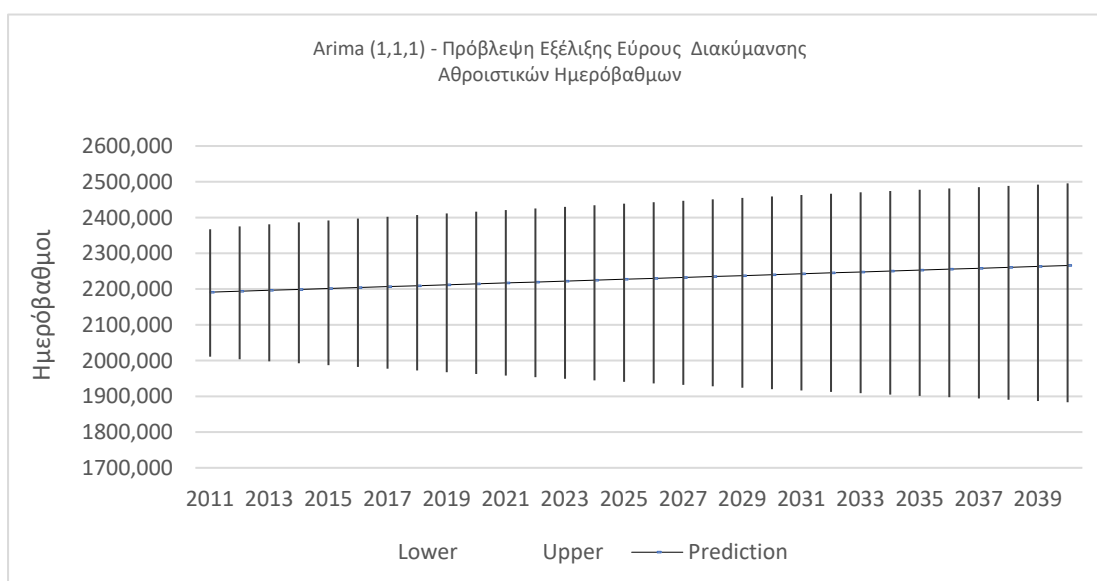
Parameter	Value	Hessian standard error	Lower bound (95%)	Upper bound (95%)	Asympt. standard error	Lower bound (95%)	Upper bound (95%)
AR(1)	0,054	0,175	-0,289	0,398	0,193	-0,324	0,433
MA(1)	-0,756	0,103	-0,958	-0,554	0,127	-1,004	-0,508

Εικόνα 26 - Διάγραμμα πρόβλεψης των αθροιστικών ημερόβαθμων – χρόνου για την περίοδο 1960 – 2040 για το σύνολο των πέντε σταθμών.

Το μοντέλο ARIMA (1,1,1) δείχνει ότι οι Αθροιστικοί Ημερόβαθμοι θα φθάσουν στους 2266⁰C, αύξηση 233⁰C ημερόβαθμούς μεταξύ του 1960 – 2040.

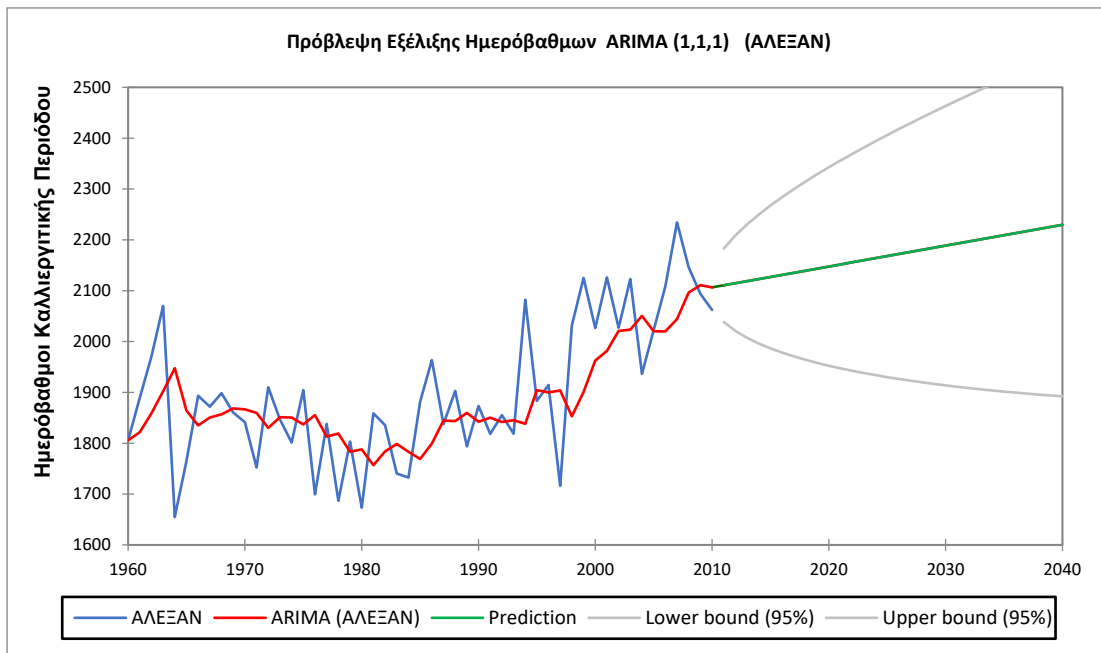


Εικόνα 27 - Διάγραμμα διόρθωσης της των αθροιστικών ημερόβαθμων για την δημιουργία του μοντέλου Πρόβλεψης ARIMA (1,1,1) για την περίοδο 1960 – 2040 για το σύνολο των πέντε σταθμών.

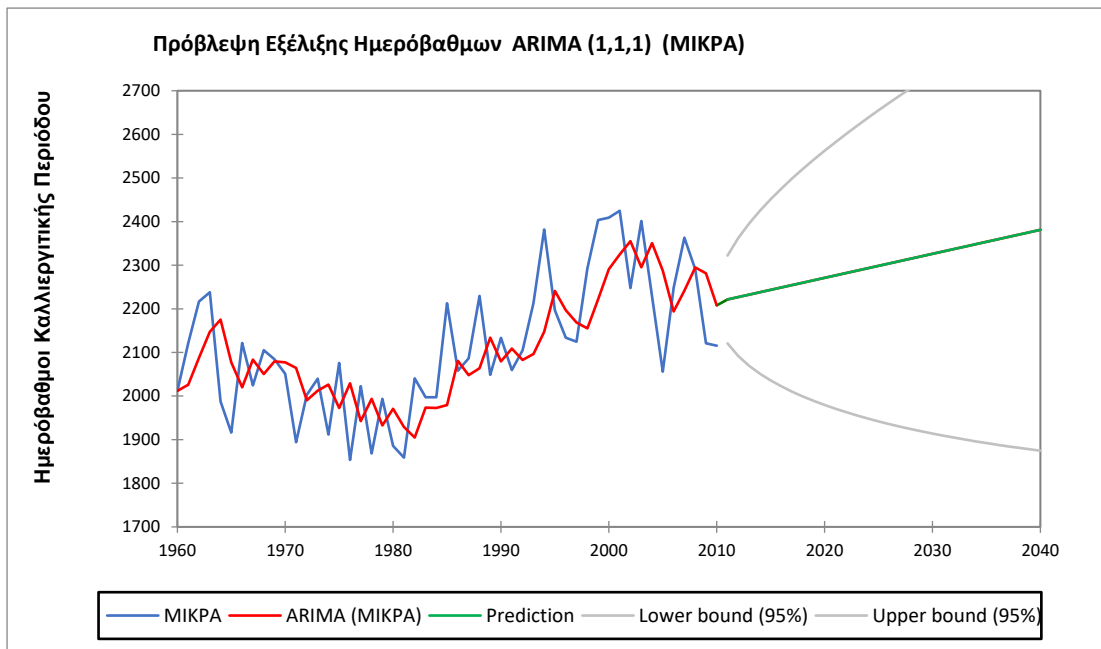


Εικόνα 28 - Διάγραμμα πρόβλεψης του εύρους διακύμανσης των αθροιστικών ημερόβαθμων – χρόνου για την περίοδο 2011 – 2040 για το σύνολο των πέντε σταθμών, όπως υπολογίζεται από το αντίστοιχο μοντέλο ARIMA (1,1,1).

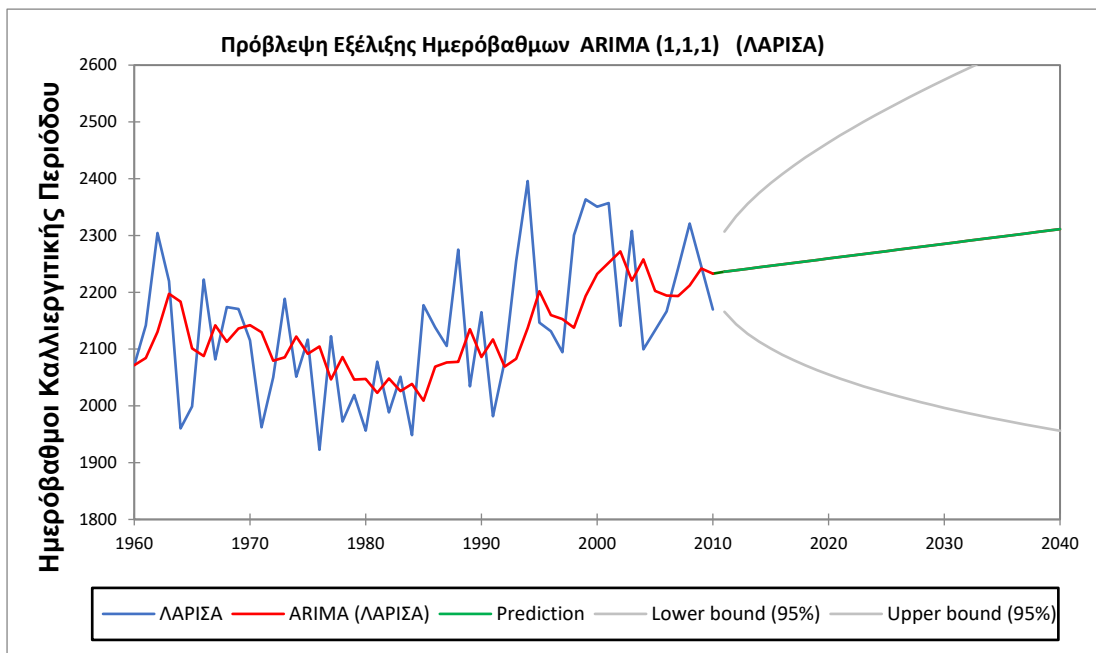
Από το μοντέλο ARIMA (1,1,1), η μέση τιμή των αθροιστικών ημερόβαθμων για το έτος 2040 εκτιμάται στους 2266 ημεροβαθμούς, η ελάχιστη τιμή στους 1883 ημεροβαθμούς και η μέγιστη 2496 ημεροβαθμοί.



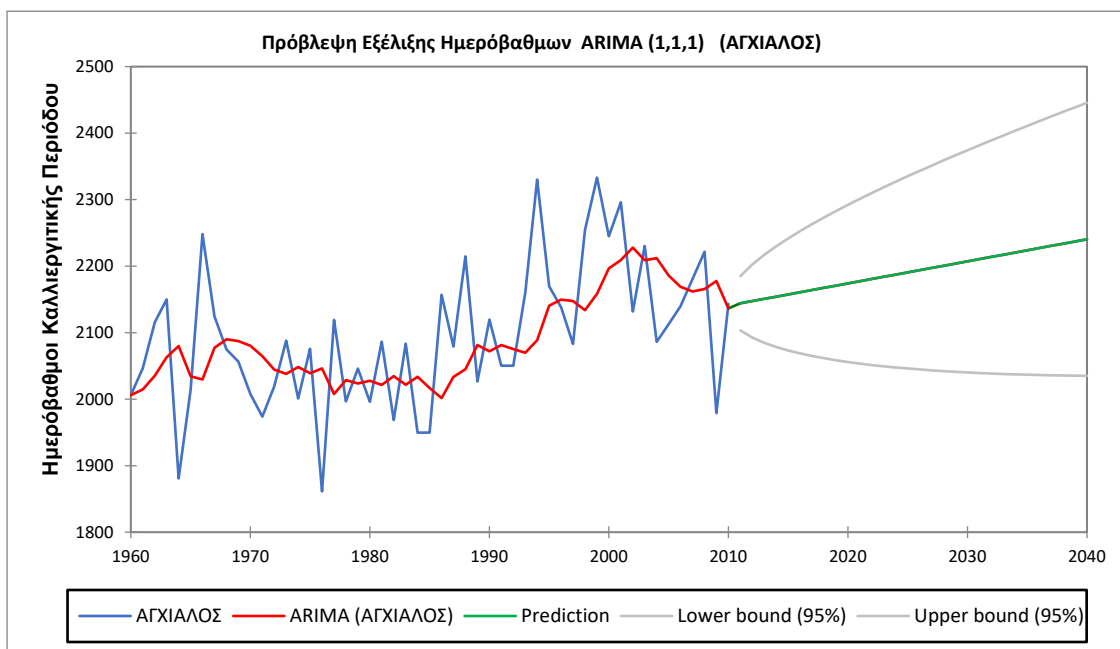
Εικόνα 29 - Διάγραμμα πρόβλεψης των αθροιστικών ημερόβαθμων – χρόνου για την περίοδο 1960 – 2040 για Αλεξανδρούπολη.



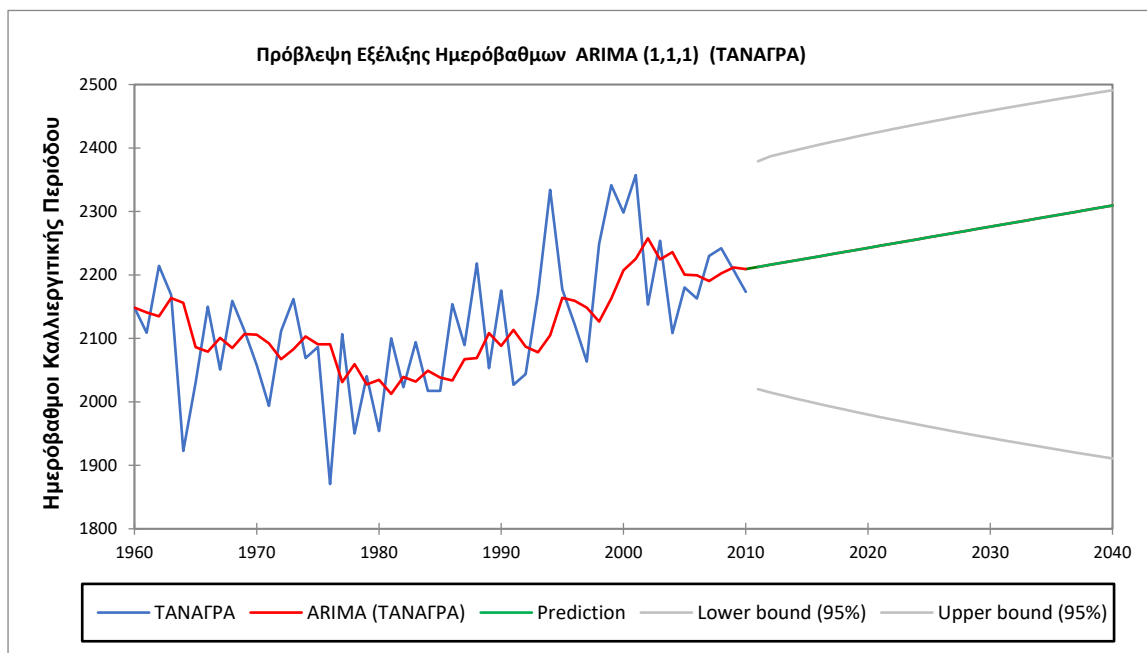
Εικόνα 30 - Διάγραμμα πρόβλεψης των αθροιστικών ημερόβαθμων – χρόνου για την περίοδο 1960 – 2040 για Μικράς.



Εικόνα 31 - Διάγραμμα πρόβλεψης των αθροιστικών ημερόβαθμων – χρόνου για την περίοδο 1960 – 2040 για Λάρισα.



Εικόνα 32 - Διάγραμμα πρόβλεψης των αθροιστικών ημερόβαθμων – χρόνου για την περίοδο 1960 – 2040 για Αγχιάλο.



Εικόνα 33 - Διάγραμμα πρόβλεψης των αθροιστικών ημερόβαθμων – χρόνου για την περίοδο 1960 – 2040 για Τανάγρα.

4 ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Από τα στοιχεία των πέντε σταθμών συμπεραίνεται ότι οι τάσεις των θερμοκρασιών, για την καλλιεργητική περίοδο, είναι αυξητικές για το διάστημα 1960 – 2010, συγκεκριμένα :

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΙΣΤΟΡΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

- Το διάστημα 1986 – 2010, η μέση θερμοκρασία αυξήθηκε κατά $0,71^{\circ}\text{C}$, η μέση μέγιστη κατά $0,87^{\circ}\text{C}$ και η μέση ελάχιστη $2,56^{\circ}\text{C}$.
- Ο ρυθμός αύξησης της μέσης θερμοκρασία και των μέσων Μεγίστων & Ελαχίστων, το διάστημα 1986 – 2010, είναι μεγαλύτερος του αντίστοιχου προηγούμενου διαστήματος 1960 – 1985.
- Η μεγαλύτερη αύξηση των ελαχίστων θερμοκρασιών σε σχέση με την μικρότερη αύξηση των μεγίστων θερμοκρασιών έχει επίδραση στην ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας. Το εύρος το 1960 ήταν $13,13^{\circ}\text{C}$, ενώ το 2010 ήταν $11,43^{\circ}\text{C}$, δηλαδή κατά $1,70^{\circ}\text{C}$ μικρότερο.
- Η μείωση του εύρους μεταξύ της Μέγιστης και Ελαχίστης Θερμοκρασίας μειώνεται και για τις πέντε περιόδους, που αντιπροσωπεύουν τα πέντε στάδια ανάπτυξης του βαμβακιού, το διάστημα 1960 – 2010.
- Όλοι οι σταθμοί ακολουθούν τον ίδιο μοτίβο (pattern) στην διακύμανση των θερμοκρασιών (Μέσης Ελάχιστης - Μέγιστης & Μέσης Θερμοκρασίας) με την εξέλιξη του χρόνου, τα τελευταία πενήντα χρόνια.
- Ο παραμετρικός έλεγχος Mann – Kendall στις χρονολογικές σειρές των θερμοκρασιών επιβεβαιώνει την αυξητική τάση της Μέσης Μέγιστης - Ελάχιστης και της Μέσης Θερμοκρασίας για τις πέντε περιοχές, που αντιπροσωπεύουν οι σταθμοί.
- Ο παραμετρικός έλεγχος Mann – Kendall επιβεβαιώνει ότι ο ρυθμός αύξησης της Μέσης Ελάχιστης είναι μεγαλύτερος από την Μέση Μέγιστη καθόσον η μέση τιμή της Sen's Slope είναι 8 φορές μεγαλύτερη.
- Οι ημερόβαθμοί αυξάνονται μεταξύ του 1960 – 2010 με $4,048$ ημερόβαθμούς / έτος, που αποτιμάται περίπου σε αύξηση 200 ημερόβαθμων την πενήντακοντατία (1960-2010).
- Ο μέσος όρος των αθροιστικών ημερόβαθμων, της περιόδου 1960 - 2010, για την Μίκρα, Λάρισα φθάνουν στο ίδιο επίπεδο των 2118, της Τανάγρας στους 2116, της Αγχιάλου στους 2050 και της Αλεξανδρούπολης στους 1865.
- Ο μη παραμετρικός έλεγχος Mann – Kendall, των χρονολογικών σειρών των αθροιστικών ημερόβαθμων επιβεβαιώνει την αυξητική τάση για όλες τις περιοχές, των πέντε σταθμών. Η ετήσια μεταβολή του μέσου όρου των πέντε σταθμών, όπως προκύπτει από την Sen's Slope είναι $3,93$ ημερόβαθμοί / έτος, δηλαδή μεταβολή $196,5$ ημερόβαθμοι για την περίοδο 1960 – 2010.

- Παρατηρείται αύξηση των αθροιστικών ημερόβαθμων σε όλα τα στάδια ανάπτυξης του βαμβακιού την περίοδο 1960 – 2010.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ARIMA

- Οι αναλύσεις ARIMA, όπως εκτελέστηκαν από το εργαλείο XLSTAT, κατέδειξαν ότι το μοντέλο ARIMA (1,1,1) είναι το καταλληλότερο για τις χρονολογικές σειρές των θερμοκρασιών, που προέρχονται από τους πέντε σταθμούς.
- Οι προβλέψεις για το 2040, με τις προσαρμογές που έγιναν σύμφωνα με το μοντέλο ARIMA (1,1,1) είναι :
 - Η Μέση Θερμοκρασία να φθάσει στους 23,87°C, αύξηση 1,37°C μεταξύ 1960 – 2040,
 - Η Ελαχίστη να φθάσει στους 16,49°C, αύξηση 3,06°C μεταξύ 1960 – 2040,
 - Η μέση Μέγιστη να φθάσει στους 27,45°C, αύξηση 0,89°C μεταξύ 1960 – 2040,
 - Η διαφορά μεταξύ της Μέγιστης και Ελάχιστης να μειωθεί κατά 2.28°C, την περίοδο 1960 – 2040.
 - Οι Αθροιστικοί Ημερόβαθμοι θα φθάσουν στους 2266°C, δηλαδή αύξηση 233°C ημερόβαθμούς μεταξύ του 1960 – 2040.
- Η μέση τιμή των αθροιστικών ημερόβαθμων για το έτος 2040 εκτιμάται στους 2266°C, η ελάχιστη τιμή στους 1883°C και η μέγιστη 2496°C.
- Οι Αθροιστικοί Ημεροβαθμοί θα αυξηθούν σε όλες τις περιοχές των πέντε σταθμών, μέχρι το 2040, συγκεκριμένα στην :
 - Αλεξανδρούπολη κατά 405 ημερόβαθμούς
 - Μίκρα κατά 169 ημερόβαθμους
 - Λάρισα κατά 240 ημερόβαθμους
 - Αγχίαλος κατά 234 ημερόβαθμους
 - Τανάγρα κατά 161 ημερόβαθμους

4.1 Σχολιασμός

Η μεταβολή των θερμοκρασιακών παραμέτρων, μεταξύ 1960 – 2040, κυμαίνεται εντός των ορίων των θερμικών απαιτήσεων του βαμβακιού. Για παράδειγμα η βέλτιστη θερμοκρασία του αέρα για την ανάπτυξη του στελέχους και των φύλλων του βαμβακιού είναι περίπου 30°C (Hodges et al., 1993), αντίθετα η ανάπτυξη των φύλλων μειώνεται (Reddy et al., 1992b, Bibi et al., 2010α) όταν οι θερμοκρασίες ξεπεράσει τους 35°C. Για την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος οι άριστες θερμοκρασίες είναι 23,5-32°C (McMichael and Burke, 1994).

Μια από τις συνέπειες των υψηλότερων θερμοκρασιών που συνδέονται με την κλιματική αλλαγή είναι η διεύρυνση του εύρους της καλλιεργητικής περιόδου. Όπως έδειξαν οι Voloudakis et al. (2015) ένας παράγοντας που ενισχύει την εικόνα της θετικής επίδρασης της κλιματικής αλλαγής στις αποδόσεις βαμβακιού είναι το γεγονός ότι λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας η προσομοιωμένη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου μειώθηκε από 8 έως 34 ημέρες ανάλογα με την περιοχή που εξετάστηκε, για τον Ελλαδικό χώρο.

Σε άλλη μελέτη, σε προσομοίωση που βασίστηκε στο μοντέλο CROPGRO και επαληθεύτηκε από παρατηρήσεις, το διάστημα 2001 – 2005 στο Καμερούν (Gérardeaux et al. 2013), έδειξε ότι κλιματική αλλαγή από το 2005 έως το 2050 στο Βόρειο Καμερούν θα έχει θετικό αντίκτυπο στις αποδόσεις του βαμβακιού με αύξηση της απόδοσης 1,3 kg /ha ανά έτος. Η προβλεπόμενη αύξηση της θερμοκρασίας κατά 0,05 °C ανά έτος θα συντομεύσει την διάρκεια της καλλιέργειας κατά 0,1 ημέρα ανά έτος μέχρι το 2050, χωρίς αρνητική επίδραση στις αποδόσεις.

Επίσης σε πρόσφατη μελέτη των προβλεπόμενων επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής το 2030 σε όλη την Αυστραλιανή παραγωγή βαμβακιού προβλέπει την διεύρυνση του εύρους της καλλιεργητικής περιόδου, αφού εκτιμήθηκε ότι ο κίνδυνος καταπόνησης της καλλιέργειας από χαμηλές θερμοκρασίες (ημέρες <11 °C), στα αρχικά στάδια, μειώθηκε (Luo et al., 2014), γιατί θα σημειώνονται λιγότερες ακραίες χαμηλές θερμοκρασίες στην εποχή του φυτρώματος, ενώ οι χαμηλές θερμοκρασίες, στο τελικό στάδιο της ωρίμανσης θα καθυστερούν.

Το αυξημένο εύρος της περιόδου μπορεί να έχει θετική επίδραση στην ανάπτυξη και απόδοση, όπως διαπιστώνουν ορισμένες μελέτες, επιβεβαιώνοντας ότι η αύξηση του εύρους της καλλιεργητικής περιόδου κατά μία ημέρα επιδρά στην απόδοση, η οποία μπορεί να αυξηθεί από 14 έως 34 κιλά σύσπορου (Bange and Milroy, 2004, Constable et al., 1976, Stiller et al., 2004). Ωστόσο, χρειάζεται να ληφθούν ορισμένες πρόσθετες προκλήσεις για την αξιοποίηση μιας μεγαλύτερης καλλιεργητικής περιόδου για βελτιωμένη απόδοση σε θερμότερα κλίματα.

Με υψηλότερες θερμοκρασίες στις αρχές της περιόδου, η ταχύτερη περίοδος της φυτικής ανάπτυξης μπορεί να μην είναι σε θέση να υποστηρίξει τα υψηλά φορτία χτενιών – λουλουδιών, λόγω ότι η παραγωγική ανάπτυξη θα είναι ταχύτερη. Η σωστή επιλογή των ποικιλιών και η σωστή διαχείριση των καλλιεργητικών πρακτικών είναι απαραίτητη, ώστε να αποφευχθεί η «διακοπή»

της αναπαραγωγικής διαδικασίας, η οποία θα μειώσει το δυναμικό της απόδοσης και θα απαλείψει το πιθανό όφελος που συνδέεται με το μεγαλύτερο εύρος της καλλιεργητικής περιόδου. Συνολικά, η αύξηση του εύρους της καλλιεργητικής περιόδου μπορεί να δώσει περισσότερο “χνούδι”, αλλά θα χρειαστούν περισσότεροι πόροι, όπως λιπάσματα και αρδεύσεις (Yeates et al., 2010).

Σε μελέτη που έγινε για τον προσδιορισμό μεταβολής μετεωρολογικών δεικτών (Spinoni et al., 2015) στην Ευρώπη, την περίοδο 1950 – 2010, βρέθηκε ότι οι ημερόβαθμοι ($^{\circ}\text{CD}$) αυξήθηκαν σε όλες τις περιοχές και ιδιαίτερα στις Μεσογειακές χώρες. Ο ρυθμός αύξησης το διάστημα 1981 – 2010 ήταν μεγαλύτερος του αντίστοιχου διαστήματος 1950 – 1980, επιβεβαιώνοντας τις αντίστοιχες παρατηρήσεις της παρούσης εργασίας, για τον ρυθμό μεταβολής των θερμοκρασιών στους πέντε σταθμούς, για τις περιόδους 1960 – 1985 & 1986 - 2010. Σε άλλη μελέτη, για την περίοδο 1900 – 2014, στις Η.Π.Α (Meetrpal et al., 2018) βρέθηκε ότι οι αθροιστικοί ημερόβαθμοι ($^{\circ}\text{CD}$) αυξήθηκαν για το σύνολο της χώρας κατά 50 βαθμούς, τον 20^ο αιώνα και υπάρχει θετική συσχέτιση μεταξύ των ημερόθραμων και της απόδοσης του βαμβακιού. Σε πειράματα που έγιναν στην περιοχή του Texas επιβεβαιώνεται η συσχέτιση της απόδοσης του σύσπορου βαμβακιού και των υψηλών ημερόβαθμων σε ποτιστική καλλιέργεια (Peng et al., 1988).

Οι ημερόβαθμοι (Growing Degree Days, Heat Units) χρησιμοποιούνται για να εκτιμηθεί η καταλληλότητα μιας περιοχής για την εγκατάσταση καλλιεργειών, να προσδιοριστούν τα στάδια ανάπτυξης των καλλιεργειών, να αξιολογηθεί ο βέλτιστος χρόνος εφαρμογής των λιπασμάτων, των ζιζανιοκτόνων και των ρυθμιστών ανάπτυξης, να εκτιμηθεί και να προβλεφθεί ο χρόνος ωρίμανσης και οι ημερομηνίες συγκομιδής και δημιουργηθούν μετεωρολογικά μοντέλα για την εξέλιξη των καλλιεργειών. Η προγνωστική ακρίβεια των ημερόβαθμων στην ανάπτυξη των καλλιεργειών είναι 67-91% για την φυλλική επιφάνεια και 90-95% για την διαμόρφωση των καρποφόρων οργάνων (Parthasarathi et al., 2013).

Σε μελέτη του Matzarakis et al. 2007 επιβεβαιώθηκε, ότι οι ημερόβαθμοι την περίοδο από 1^η Μαΐου έως 30^η Σεπτεμβρίου, κυμαίνονται από 1600 $^{\circ}\text{CD}$ για τις ορεινές περιοχές της Βορείου Ελλάδος μέχρι 2900 $^{\circ}\text{CD}$ για τις πεδινές και νότιες περιοχές, καθιστώντας όλη την Ελλάδα κατάλληλη για εαρινές καλλιέργειες. Σε άλλες έρευνες των Παπαρίζου και Ματζαράκη στις περιοχές της Θράκης, Στερεάς και Κρήτης (Paparrizos & Matzarakis 2006 & 2007) εκτίμησαν, με την βοήθεια του ENSEMBLE project, ότι οι ημερόβαθμοί ($^{\circ}\text{C}$), την περίοδο 2021 – 2050, θα αυξηθούν στην Θράκη, στην Στερεά και στην Κρήτη από 152 $^{\circ}\text{CD}$ έως 186 $^{\circ}\text{CD}$, προβλέποντας ότι η καλλιεργητική περίοδο θα βραχυνθεί κατά ένα μήνα, από Απρίλιο – Οκτώβριο σε Απρίλιο – Σεπτέμβριο και ότι οι υπάρχουσες καλλιέργειες μπορούν να επεκταθούν και σε πιο ορεινές περιοχές.

Επίσης σε μελέτη του Georgakopoulos et al., 2016, για τέσσερεις κλιματικές ζώνες της Ελλάδας, βάση των ημερόβαθμων, η παρατηρούμενη μεταβολή της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης,

τα τελευταία πενήντα χρόνια, δημιουργεί κατάλληλες συνθήκες για να ευδοκιμήσουν φυτά υποτροπικών περιοχών.

Η συνολική αύξηση των αθροιστικών ημερόβαθμων της παρούσας εργασίας, που είναι κατά μέσο όρο 200 – 233°C, συμφωνεί με την αύξηση, που έχει παρατηρηθεί σε αντίστοιχες μελέτες, επιβεβαιώνοντας το συμπέρασμα ότι η κλιματική αλλαγή επηρεάζει τους ρυθμούς ανάπτυξης και την φαινολογία του βαμβακιού.

Η ημερήσια μεταβλητότητα των θερμοκρασιών (Diurnal Temperature Range – DTR) φαίνεται ότι είναι κατάλληλος δείκτης της μεταβλητότητας του κλίματος και της αλλαγής του (Braganza et al., 2004). Ενώ οι αλλαγές στη μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία συνδέονται στενά με τις αλλαγές στον παγκόσμιο μέσο όρο θερμοκρασία, το DTR παρέχει πρόσθετες πληροφορίες για το που αποδίδονται οι πρόσφατες παρατηρούμενες κλιματικές αλλαγές. Παρατηρήθηκε ότι το DTR παγκοσμίως δείχνει μια μεγάλη αρνητική τάση 0,4°C τα τελευταία 50 χρόνια που είναι πολύ απίθανο να αποδοθεί στην εσωτερική μεταβλητότητα. Η τάση αυτή οφείλεται σε μεγαλύτερες αυξήσεις στις ελάχιστες θερμοκρασίες (0,9°C) από τις μέγιστες θερμοκρασίες (0,6°C) κατά την ίδια περίοδο. Ανάλυση των τάσεων στο DTR τον περασμένο αιώνα από πέντε συνδυασμένα μοντέλα κλίματος δείχνουν ότι οι προσομοιούμενες τάσεις στην DTR οφείλονται σε ανθρωπογενείς παράγοντες (Braganza et al., 2004).

Στην Κύπρο σε μελέτη μετεωρολογικών δεδομένων παρατηρήθηκε μείωση του εύρους μεταξύ μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας (Price et al., 1999). Παρατηρήθηκε αύξηση 1°C τα τελευταία 100 χρόνια στις ετήσιες μέσες θερμοκρασίες. Ωστόσο, οι ελάχιστες ημερήσιες θερμοκρασίες αυξήθηκαν με μεγαλύτερο ρυθμό από τις μέγιστες ημερήσιες θερμοκρασίες, με αποτέλεσμα τη μείωση του εύρους διακύμανσης. Η μείωση αυτή κυμαίνεται από 0.58°C / 100 έτη έως 3.58°C / 100 χρόνια, ανάλογα με την τοποθεσία. Η μείωση της ημερήσιας θερμοκρασιακής κλίμακας είναι σύμφωνη με τις παρατηρήσεις άλλων ερευνητών, σε διαφορετικές περιοχές του κόσμου, και μπορεί να δείχνει ότι το κλίμα στην περιοχή αυτή του πλανήτη επηρεάζεται από την συνολική αλλαγή του κλίματος.

Στην γειτονική Τουρκία σε μελέτη για την διακύμανση των θερμοκρασιών (Turkes and Sumer, 2003) βρέθηκε ότι η ημερήσια μέση θερμοκρασία αυξάνεται την περίοδο 1929 – 1999, το εύρος όμως της μέσης μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας μειώθηκε σημαντικά το αντίστοιχο διάστημα ιδιαίτερα στις περιοχές που έχουν αστικοποιηθεί με γρήγορους ρυθμούς.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, στα αποτελέσματα, παρατηρήθηκε μείωση του μέσου ημερήσιου εύρους μέγιστης & ελάχιστης θερμοκρασίας, με τις ελάχιστες να αυξάνονται ταχύτερα, στους πέντε σταθμούς. Στους υπολογισμούς, η μείωση του θερμοκρασιακού εύρους στον σταθμό της Μικράς είναι η μεγαλύτερη σε σχέση με τους άλλους σταθμούς, που πιθανώς οφείλεται στην εντονότερη αστικοποίηση της περιοχής.

Η μείωση του εύρους των θερμοκρασιών είναι μία ένδειξη ότι το κλίμα επηρεάζεται από την κλιματική αλλαγή, από την άλλη, η μείωση του θερμοκρασιακού εύρους μπορεί να επιδρά αρνητικά στην απόδοση της καλλιέργειας του βαμβακιού, σε συνδυασμό με άλλους αγρο-μετεωρολογικούς παράγοντες (Chen Chao et al. 2015) και θα πρέπει να εξετασθεί περαιτέρω.

Τα μοντέλα ARIMA χρησιμοποιούνται συχνά για να μοντελοποιήσουν χρονοσειρές οικονομικών μεταβλητών. Τα μοντέλα ARIMA είναι επίσης ένα πολύτιμο εργαλείο στον περιβαλλοντικό τομέα, όπου η κλιματική αλλαγή προκαλεί πολλές ανησυχίες. Μπορούμε να επιβεβαιώσουμε την υπερθέρμανση του πλανήτη με μαθηματικά μοντέλα πρόβλεψης μέσω αυτών των μοντέλων, που είναι δυνατόν να προβλέψουν την εξέλιξη της θερμοκρασίας με βάση τα δεδομένα που συλλέχθηκαν τα τελευταία 150 χρόνια (Van Hecke, 2009).

Στην εργασία των Murat et al. (2018), που χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος πρόβλεψής Box-Jenkins και του Holt-Winters, του ολοκληρωμένου αυτοπαλίνδρομου μοντέλου κινητού μέσου τάξεως (ARIMA - autoregressive integrated moving-average), για την πρόβλεψη ημερήσιων θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων, μεταξύ 1 Ιανουαρίου 1980 και 31 Δεκεμβρίου 2010 σε τέσσερις ευρωπαϊκές τοποθεσίες (Jokioinen, Dikorphof, Lleida και Lublin) από διαφορετικές κλιματολογικές ζώνες, επαληθεύτηκε ότι τα ληφθέντα μοντέλα ARIMA είναι σε θέση να καταγράψουν τη δυναμική των χρονολογικών σειρών και να παράγουν λογικές προβλέψεις για την εξέλιξη των θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων, για να βοηθήσουν στην δημιουργία στρατηγικών για το σωστό σχεδιασμό στην γεωργία ή να χρησιμοποιηθούν ως συμπληρωματικό εργαλείο για την λήψη αποφάσεων.

Υπάρχουν πλήθος εργασιών που χρησιμοποιούν τα μοντέλα ARIMA για την πρόβλεψη δεδομένων μετεωρολογικών χρονοσειρών, που επιβεβαιώνουν την ορθότητα της μεθοδολογίας για βραχυπρόθεσμες έως μεσοπρόθεσμες προβλέψεις (Khedhiri 2014, Box and Jenkins 2008 κ.α.) και οι οποίες λήφθηκαν υπόψη για την εφαρμογή των μοντέλων πρόβλεψης των θερμοκρασιών και των ημερόβαθμων, της παρούσας εργασίας, για την περίοδο 2011 έως 2040 σε σχέση με τα ιστορικά στοιχεία της περιόδου 1960 έως 2010.

Τα μοντέλα ARIMA (1,1,1) των αθροιστικών ημεροβαθμών (εικόνες σελ. 73 - 78) της καλλιεργητικής περιόδου, προβλέπουν αύξηση των αθροιστικών ημερόβαθμων κατά 233°CΔ μέχρι το 2040, που μπορεί να συντομεύει την καλλιεργητική περίοδο κατά 15-20 ημέρες.

Η θερμοκρασία είναι ο σημαντικότερος παράγοντας για το βαμβάκι, ως θερμοφύλο φυτό, που καθορίζει τον τόπο και χρόνο καλλιέργειας. Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας καταδεικνύουν ότι η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας, η μείωση του εύρους των ημερήσιων θερμοκρασιών (DTR) και η αύξηση των αθροιστικών ημερόβαθμων, στις υπό εξέταση περιοχές πιθανόν να οφείλονται στην κλιματική αλλαγή.

Η αυξητική τάση των θερμοκρασιών και των ημερόβαθμων έχει επίδραση στο χρόνο φύτευσης και στο εύρος της καλλιεργητικής περιόδου του βαμβακιού, με αποτέλεσμα :

- Να φυτεύεται νωρίτερα αφού προβλέπεται ότι η καλλιέργεια θα έχει συντομότερο βιολογικό κύκλο, ώστε να μην επηρεάζεται από τις βροχές του φθινοπώρου.
- Να βελτιωθεί η απόδοση και η ποιότητα του παραγόμενου βαμβακιού επειδή η καλλιέργεια δεν θα υφίσταται τις δυσμενείς επιδράσεις των χαμηλών θερμοκρασιών στην εποχή της σποράς και φυτρώματος.
- Να μην συμπίπτει η εποχή καρποφορίας του βαμβακιού με την εποχή των υψηλών ακραίων θερμοκρασιών του δεύτερου δεκαπενθήμερου του Ιουλίου.
- Να καταστούν περισσότερο παραγωγικές περιοχές, που βρίσκονται στην Βόρειο Ελλάδα και Θράκη.
- Να καλλιεργηθούν νέες ποικιλίες βαμβακιού στις νότιες περιοχές, μεγαλύτερου βιολογικού κύκλου για καλύτερες αποδόσεις.
- Να μειωθεί ο κίνδυνος από προσβολές πράσινου ή ρόδινου σκουληκιού, λόγω πρωίμησης της καλλιέργειας.

Η μελέτη αυτή επικεντρώθηκε στις μεταβολές της θερμοκρασίας των τελευταίων πενήντα ετών και τα μοντέλα πρόβλεψης ARIMA, βασιζόμενη μόνο σε θερμοκρασιακά δεδομένα. Δεν έχει γίνει συσχέτιση με άλλους παράγοντες όπως το CO₂, την υγρασία, την άρδευση και την λίπανση που επιδρούν στην ανάπτυξη του βαμβακιού.

Προτείνεται να γίνει συσχέτιση των ημερόβαθμων με αποδόσεις βαμβακιού σε βάθος χρόνου με πειράματα αγρού γιατί τα μέχρι τώρα πειραματικά δεδομένα στον Ελλαδικό χώρο είναι ελάχιστα.

Βιβλιογραφία

- Abdulmumin, S., S.M. Misari**, 1990. Crop coefficients of some major crops of the Nigerian semi-arid tropics. *Agricultural Water Management* 18(2): 159-171.
- Alexandrov Vesselin.**, Schneider M., Koleva, E., Moisselin, J., 2004. Climate variability and change in Bulgaria during the 20th century. *Theoretical and Applied Climatology* 2004/12/01.
- Baker J.T.**, Gitz D.C., Payton P., Wanjura D.F. and Upchurch D.R., 2007. Using leaf gas exchange to quantify drought in cotton irrigated based on canopy temperature measurements. *Agronomy Journal* 99: 637-644.
- Baker, D.N., J.D. Hesketh, and W.G. Duncan**, 1972. The simulation of growth and yield in cotton. I. Gross photosynthesis, respiration and growth. *Crop Sci.*12:431-435.
- Bange M.P.**, Milroy S.P., 2004. Growth and dry matter partitioning of diverse cotton genotypes. *Field Crops Research* 87(1):73-87.
- Bange Michael**, 2007 *Effects of Climate Change on Cotton Growth and Development*. Greenmount Press, Australia.
- Bange, M.P.**, Baker J.T., Bauer, P.J., Broughton K.J., Constable G.A., Luo Q., Oosterhuis D.M., Osanai Y., Payton, P., Tissue D.T, Reddy K.R., and Singh B.K., 2016. *Climate Change and Cotton Production in Modern Farming Systems*. ICAC Review Articles on Cotton Production Research No. 6
- Barbour, M.**, & Farquhar, G. D., 2000. Relative humidity and ABA-induced variation in carbon and oxygen isotope ratios of cotton leaves. *Plant, Cell and Environment*, 23: 473–485.
- Bednarz, C.W. and D.M. Oosterhuis**. 1999. Physiological changes associated with potassium deficiency in cotton. *J. Plant Nutr.* 22:303-313.
- Bonhomme Raymonde**, 2000. Bases and limits to using 'degree.day' units. *European Journal of Agronomy* 13(1):1-10.
- Box G.E.P., Jenkins G., and Reinsel G.**, 2008. *Time series analysis*. Wiley Press, New Jersey, USA. Fifth edition 2016.
- Braganza, K.**, D. J. Karoly, and J. M. Arblaster (2004), Diurnal temperature range as an index of global climate change during the twentieth century. *Geophys. Res Lett.*,31, L13217.
- Braganza, K.**, D. J. Karoly, J.M Arblaster, 2004. Diurnal temperature range as an index of global climate change during the twentieth century. *AGU Advances*, Volume 31(13).
- Burke and Wanjura**, 2009. *Plant Responses to Temperature Extremes*. *Physiology of Cotton*, pages 123-128.
- Burke J.J. and Upchurch D.R.**, 1989. Leaf temperature and transpirational control in cotton. *Environmental and Experimental Botany* 29:487-492.
- Burke, J. J.**, Mahan, J. R., & Hatfield, J. L. 1988. Crop-specific thermal kinetic windows in relation to wheat and cotton biomass production. *Agronomy Journal* 80:553–556.
- Chandler R, Scott M**, 2011. *Statistical Methods for Trend Detection and Analysis in the Environmental Science*. Wiley
- Chen Chao**, Pang Yanmei, Pan Xuebiao, et al., 2015: Impacts of climate change on cotton yield in China from 1961 to 2010 based on provincial data. *J. Meteor. Res.*, 29(3):515–524.
- Constable G. A., Shaw A. J.**, Agfact P5.3.5, first edition 1988. NSW Agriculture & Fisheries. ISSN 0725-7759
- David B. Lobell**, Marshall B. Burke, Claudia Tebaldi, Michael D. Mastrandrea, Walter P. Falcon, Rosamond L. Naylor. 2008. Prioritizing Climate Change Adaptation Needs for Food Security in 2030. *Science* 319(5863):607-610.
- DPL**. 1998. *Deltapine Seed, Cotton Management Guide*. Deltapine Seed. Scott, Mississippi.

- Easterling W. E.,** Kates R. W., 1995. Indexes of leading climate indicators for impact assessment. *Climatic Change*, Volume: 31
- Edward Gérardaux,** Benjamin Sultan, Oumarou Palai, Camille Guiziou, Pascal Oettli, 2013. Positive effect of climate change on cotton in 2050 by CO₂ enrichment and conservation agriculture in Cameroon. *Agronomy for Sustainable Development*, Springer Verlag/ERP Sciences/INRA, 2013, 33 (3), pp.485-495.
- El-Sharkawy,** M. A., Hesketh, J. D., 1964. Effect of stomatal differences among species on leaf photosynthesis. in *Crop Science*. 4:619-621.
- El-Zik, K. M.,** 1980. The cotton plant - its growth and development (pp. 18–21). Western Cotton Production Conference Summary Proceedings, Fresno, CA.
- Erie, L.J.,** O.F. French, D.A. Bucks, and K. Harris, 1981. Consumptive Use of Water by Major
- Fealy R and. Feal R.M,** 2008. The spatial variation in degree days derived from locational attributes for the 1961 to 1990 period. *Irish Journal of Agricultural and Food Research* 47:1–11.
- Freeland,** T.B.Jr., Bill Pettigrew, Peggy Thaxton and Gordon L. Andrews, 2005. Crops in the Southwestern United States. United States Department of Agriculture. Conservation Research Report No. 29, 42 p.,
- Georgakopoulos P.,** Travlos, I. S., Kakabouki, I., Kontopoulou, C.-K., Pantelia, A., & Bilalis, D. J. (2016). Climate Change and Chances for the Cultivation of New Crops. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*
- Giannakopoulos P C.,** Le Sager, M. Bindi, M. Moriondo, E. Kostopoulou, C.M. Goodess, 2009. Climatic changes and associated impacts in the Mediterranean resulting from a 2 °C global warming. *Climate Change and Global Crop Productivity*, Chapter: *Crop Ecosystem*.
- Grigorieva E. A., Matzarakis A, Freitas C. R.,** 2010. Analysis of growing degree-days as a climate impact indicator in a region with extreme annual air temperature amplitude. *Climate Research*, Vol. 42: 143–154, 2010.
- Guinn, G.,** 1982. Causes of square and boll shedding in cotton (USDA Technical Bulletin 1672). Washington, DC: USDA.
- Hake, S.J.,** D.W. Grimes, K.D. Hake, T.A. Kerby, D.J. Munier, and L.J. Zelinski. 1996. Irrigation Scheduling, pp. 228-247. In: Hake, S.J., T.A. Kerby, and K.D. Hake (eds), *Cotton Production Manual*, Publication 3352, University of California, Division of Agriculture and Natural Resources.
- Hall E. Anthony,** 2001. *Crop Responses to Environment*, CRC Press. ISBN 0-8493-1028-8.
- Hearn A.B. and Constable G.A.,** 1984 Cotton. In: P. R. Goldsworthy and N. M. Fisher, editors, *The physiology of tropical field crops*. John Wiley & Sons Ltd, Chichester. p. 495-527.
- Heitholt, J.J.,** 1994. Canopy characteristics associated with deficient and excessive cotton plant population densities. *Crop Sci*. 34:1291-1297.
- Heitholt, J.J.,** W.T. Pettigrew, and W.R. Meredith, Jr. 1992. Light interception and lint yield of narrow-row cotton. *Crop Sci*. 32:728-733.
- Helsel D.R., Hirsch R.M.,** 1992. *Statistical Methods in Water Resources*. Elsevier, Amsterdam. Publication available at: [://water.usgs.gov/pubs/twri/twri4a3/](http://water.usgs.gov/pubs/twri/twri4a3/)
- Hodges, H. F.,** Reddy, K. R., McKinion, J. M., & Reddy, V. R., 1993. Temperature effects on cotton. (*Bulletin Mississippi Agricultural and Forestry Experiment Station* No. 990, p. 15).
- Iglesias Ana,** Luis Garrote, Sonia Quiroga, Marta Moneo, 2009. Impacts of climate change in agriculture in Europe. PESETA-Agriculture study.
- Jagadish SV,** Niteen N.Kadam, GuiXiao, Reneeliza JeanMelgar, Rajeev N.Bahuguna, CherryQuinones, AnandhanTamilselvan, Pagadala Vara V.Prasad, 2014. Chapter Three -

Agronomic and Physiological Responses to High Temperature, Drought, and Elevated CO₂ Interactions in Cereals. *Advances in Agronomy* Volume 127:111-156.

Jagadish SV, Craufurd PQ, Wheeler TR., 2007. High temperature stress and spikelet fertility in rice (*Oryza sativa* L.). *J Exp Bot* 58: 1627–1635

Jen Yu Wang, 1960. A Critique of the Heat Unit Approach to Plant Response Studies. *Ecology*, Vol. 41(4): 785-790.

Jerry L. Hatfield, John H. Prueger, N2015. Weather and Climate Extremes, Volume 10, Part A, Pages 1-72 (December 2015). USDA Research and Programs on Extreme Events.

Kahya, E. and Kalayci, S., 2004. Trend Analysis of Streamflow in Turkey. *Journal of Hydrology*, 289, 128-144.

Hake, K. 1990. Cotton Physiology Today, Volume 1, Number 10, The National Cotton Council (NCC), USA.

Khedhiri S., 2014. Forecasting temperature record in PEI, Canada. *Letters in Spatial and Resource Sciences*, 9:43-55.

Kohel R.J., and Lewis C.F., 1984. COTTON, Number 24 in the series AGRONOMY, American Society of Agronomy, Inc., Crop Science Society of America, Inc., Soil Science Society of America, Inc., Publishers Madison, Wisconsin, USA. ISBN 0-89118-077-X

Libiseller Claudia, Grimvall Anders, 2002. Performance of partial Mann–Kendall tests for trend detection in the presence of covariates. *Environmetrics* Vol. 13(1)

Loka D.A., Oosterhuis D.M. and Ritchie G.L. 2011. Water-deficit stress in cotton. In: D. M. Oosterhuis, editor *Stress physiology in cotton*. The Cotton Foundation, Cordova, TN, USA. p. 37-72.

Loka, D.A., and Oosterhuis, D.M., 2016. Increased night temperatures during cotton's early reproductive stage affect leaf physiology and flower bud carbohydrate content decreasing flower bud retention. *Journal of Agronomy and Crop Science*. *Agro Crop Sci* (2016)

Matzarakis A., Ivanova D., Balafoutis C., Makrogiannis T., 2007. Climatology of growing degree days in Greece. *Climate Research*, Vol. 34: 233–240.

McBean A Edward, Rovers Frank, 1998. *Statistical Procedures for Analysis of Environmental Monitoring Data and Risk Assessment*. Pearson Publications

McMaster and Wilhelm, 1997. Growing degree-days: one equation, two interpretations. *Agricultural and Forest Meteorology*. Volume 87(4):291-300.

Meetpal S. Kukal & Suat Irmak, 2018. U.S. Agro-Climature in 20th Century: Growing degree Days, First and Last Frost, Growing Season Length, and Impacts on Crop Yields. [Nature.com/scientificreports](https://www.nature.com/scientificreports).

Mendelsohn R., Dinar A, Williams L. 2007. The distributional impact of climate change on rich and poor countries. *Environment and Development Economics* 11:159–178 .

Modarres Reza, Vicente de Paulo Rodrigues da Silva, 2007. Rainfall trends in arid and semi-arid regions of Iran. *Journal of Arid Environments* 2007 Vol. 70(2).

Murat Małgorzata, Iwona Malinowska, Magdalena Gos, and Jaromir Krzyszczak, 2018. Forecasting daily meteorological time series using ARIMA and regression models. *Int. Agrophys.*, 32, 253-264.

Neil C. Turner, John C. O'Toole, R.T. Cruz, S. Namco, SayeedAhmad. 1986. Responses of seven diverse rice cultivars to water deficits I, II. Stress development, canopy temperature, leaf rolling and growth. *Field Crops Research*. Volume 13:257-271.

Olesen J.E. and Bind M. 2002. Consequences of Climate Change for European Agricultural. *European journal of agronomy*.

Onoz Bihrat, Bayazit Mehmet, 2003. The Power of Statistical Tests for Trend Detection. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences* 27(4):247-251

- Oosterhuis D.M. and Bondada B.R., 2001.** Canopy photosynthesis, specific leaf weight, and yield components of cotton under varying nitrogen supply. *J. Plant Nutr.* 24:469-477.
- Oosterhuis D.M., Cochran M.J., Tugwell N.P., Bourland F.M. and Danforth D.M., 1986.** University of Arkansas. 1998. Cotman™ Expert System 5.0. Univ. Ark. Agric. Exp. Sta., Fayetteville, AR.
- Oosterhuis, D.M., 1990.** Growth and development of the cotton plant, in W. N., Nitrogen Nutrition in Cotton: Practical Issues, Proceedings, Southern Branch Workshop for Practicing Agronomists. American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 1-24.
- Oosterhuis, D.M., and J. Jernstedt.1999.** Morphology and anatomy of the cotton plant. Cotton: Origin, History, Technology and Production, edited by Wayne C. Smith.
- Paparrizos S., Matzarakis A., 2016.** Present and future assessment of growing degree days over selected Greek areas with different climate conditions. *Meteorol Atmos Phys.*
- Paparrizos S., Matzarakis A., 2017.** Present and future responses of growing degree days for Crete Island in Greece. *Advances Science and Research*, 14, 1–5.
- Parrya M., Nigel Arnellb, Tony McMichaelc, Robert Nichollsd, Pim Martense, Sari Kovatsc, Matthew Livermorea, Cynthia Rosenzweigf, Ana Iglesiasg, Gunther Fischer.** 2004 Million at risk: defining critical climate change threats and targets.
- Parrya, M.L., C. Rosenzweigb, A. Iglesiasc, M. Livermored, G. Fischere.** 2004. Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios. *Global Environmental Change* 14 (2004) 53–67.
- Parthasarathi T., Velu G. and Jeyakumar P., 2013.** Impact of Crop Heat Units on Growth and Developmental Physiology of Future Crop Production: A Review. *Research & Reviews: A Journal of Crop Science and Technology* Volume 2, Issue 1.
- Peng, S., Krieg, D.R. and Hicks, S.K., 1989.** Cotton lint yield response to accumulated heat units and soil water supply. *Field Crops Res.*, 19: 253-262.
- Pettigrew W.T., (2004a)** Moisture deficit effects on cotton lint yield, yield components, and boll distribution. *Agronomy Journal* 96: 377-383.
- Pettigrew W.T. (2004b)** Physiological consequences of moisture deficit stress in cotton. *Crop Science* 44: 1265-1272.
- Pettigrew W.T., Hesketh J.D., Peters D.B. and Woolley J.T. (1990)** A vapor pressure deficit effect on crop canopy photosynthesis. *Photosynthesis Research* 24: 27-34.
- Pettigrew W.T., 2006.** Quantify drought in cotton irrigated based on canopy temperature measurements. *Agronomy Journal* 99: 637-644
- Pinter Jra P.J., B.A.Kimballa, R.L.La Mortea, R.S.Seaya, R.R.Rokeya, D.J.Hunsakera, W.A.Dugasb, M.L.Heuerb,J.R.Mauneyc, G.R.Hendreyd, K.F.Lewind, J.Nagyd.**1994. Effects of free-air CO₂ enrichment on energy balance and evapotranspiration of cotton. *Agricultural and Forest Meteorology*.70(1–4):259-278.
- Price Colin, Silas Michaelides, Stylianos Pashiardis, Pinhas Alpert, 1999.** Long term changes in diurnal temperature range in Cyprus. *Atmospheric Research* 51:85–98.
- Raja Reddy K., Harry F. Hodges and Bruce a. kimball.** 1996. *Crop Ecosystem Responses to Climatic Change: Cotton.*
- Ramasubramanian V., 2015.** Forecasting Techniques in Agriculture. Indian Agricultural Statistics Research Institute
- Ramey H.H., 1991** Stress influences on fiber development. In: J. R. Mauney and J. M. D. Stewart, editors, *Cotton physiology.* Hearn and Constable, 1984.
- Reddy, K. R., Robana, R. R., Hodges, H. F., Liu, X. J., & McKinion, J. M.** 1998. Interactions of CO₂ enrichment and temperature on cotton growth and leaf characteristics. *Environmental and Experimental Botany*, 39, 117–129.

- Reddy, K.R., H.F. Hodges, and J.M. McKinion.** 1997. Crop modeling and applications: a cotton example. *Adv. Agron.* 59:225-290.
- Roltsch et al.,** 1999. Evaluation of several degree-day estimation methods in California climates. *International Journal of Biometeorology* 42(4):169-176.
- Sadras Victor and Milroy Stephen.**1996. Soil-water thresholds for the responses of leaf expansion and gas exchange. *Field crops research* 47 (2-3), 253-266.
- Schrader, S. M.,** Wise, R. R., Wacholtz, W. F., Ort, D. R., & Sharkey, T. D. (2004). Thylakoid membrane responses to moderately high leaf temperature in Pima cotton. *Plant, Cell and Environment*, 27, 725–735.
- Silvertooth J. C.,** E.R. Norton, and P.W. Brown, 1996. Cotton Growth and Development Patterns. Cotton: A College of Agriculture Report Vol 3.
- Spinoni J.,** Vogt J. and Barbosa P., 2015. European degree-day climatologies and trends for the period 1951–2011. *International Journal of Climatology*, *Int J. Climatol.* 35: 25–36.
- Stathis D.,** Stathi E., Myronidis D., Sapountzis M., 2015. Climate change in Greece in the 20th century. Conference: 17th National Scientific Conference of ForestryAt: KefaloniaVolume: e-Proceedings, pp. 452-460.
- Stern N.,** 2007. *The Economics of Climate Change: The Stern Review* 1st Edition. Cambridge University Press; ISBN-10: 0521700809
- Stewart, J. M.,** D. M. Oosterhuis, and J. Heitholt, 1999. Cotton Physiology, Book IL National Cotton Council, Memphis, TN.
- Stiller Warwick,** Readb John, Constablea Gregory and Rei Peter, 2004. Selection for Water Use Efficiency Traits in a Cotton Breeding Program. *Crop Science*, Vol. 45 No. 3: 1107-1113.
- Stockton J.R.** and Walhood V.T. (1960) Effect of Irrigation and Temperature on Fiber Properties. Proc. 14th Annual Beltwide Cotton Defoliation and Physiology Conference, Memphis, Tennessee. National Cotton Council.
- Stockton J.R.,** Doneen L.D. and Walhood V.T. (1961) Boll shedding and growth of the cotton plant in relation to irrigation frequency. *Agronomy Journal* 53: 272-275.
- Tanja Van Hecke,** 2009. Time series analysis to forecast temperature change.: University Collgeg Ghent, Faculty of Applied Engineering Sciences, Ghent, Belgium.
- Tennakoon S.B. and Milroy S.P.** (2003) Crop water use and water use efficiency on irrigated cotton farms in Australia. *Agricultural Water Management* 61: 179-194.
- Theivasigamani,** Parthasarathi & Velu, G & Jeyakumar, Prabhakaran. 2013. Impact of Crop Heat Units on Growth and Developmental Physiology of Future Crop Production: A Review. *Research & Review: Journal of Crop Science & Technology.* 2. 2319-3395.
- Tubiello, F.N.,** J.-F. Soussana, S.M. Howden, and W. Easterling, 2007: Crop and pasture response to climate change. *PNAS* December 11, 2007 104 (50) 19686-19690.
- Ullah K.,** Muhammad Idrees Khan, Zahid Mahmood, Toheed Iqbal, Saeed Muhammad, Hafiz Abdul Haq, Aftab Ahmad, Sabahat Hussain, 2017. Response of Yield and Related Attributes of Upland Cotton to Weather Variables. *American Journal of Plant Sciences*, 2017, 8, 1711-1720.
- Viator, R.P., P.H. Jost, and J.T. Cothren,** 1999. Do cotton varieties respond differently to plant growth regulators? p. 603. In: P. Dugger and D. Richter (eds.). Proc. Beltwide Cotton Conf., National Cotton Council of America, Memphis, Tenn.
- Voloudakis D.,** Karamanos A., Economou G., Kalivas D., Vahamidis P., Kotoulas V., Kapsomenakis J., Zerefos C., 2015. Prediction of climate change impacts on cotton yields in Greece under eight climatic models using the AquaCrop crop simulation model and discriminant function analysis. *Agricultural Water Management*, 147:116-128.
- Waddl B. A.,** 1984. *Crop Growing Practices*, Agronomy Monograph, Cotton, 24:233-263.

Xiao, J.-F., Liu, Z.-G., Yu, X.-G., Zhang, J.-Y., & Duan, A.-W. 2000. Effects of different water application on lint yield and fiber quality of cotton under drip irrigation. *Acta Gossypii Sinica*, 12, 194–197.

Yeatesa S.J., Constable G.A., Mc Cumstiea T., 2010. Irrigated cotton in the tropical dry season. II: Biomass accumulation, partitioning and RUE. *Field Crops Research*, Volume 116(3):290-299

Yu Yun-Sheng, Zou Shimin, Whittemore Donald, 1993. Non-parametric trend analysis of water quality data of rivers in Kansas. *Journal of Hydrology* 1993 Vol. 150(1)

Zakaria M. Sawan, 2017. Cotton production and climatic factors: Studying the nature of its relationship by different statistical methods. *Sawan, Cogent Biology* 3: 1292882

Zalom and colleagues, 1993. *The Psychology of Secrets*. Springer Science & Business Media.

Zhao D., Reddy K.R., Kakani V.G., Koti S. and Gao W. 2005 Physiological causes of cotton fruit abscission under conditions of high temperature and enhanced ultraviolet-B radiation. *Physiologia Plantarum* 124: 189-199.

Zhou, Z.- G., Meng, Y.- L., Pei, Shi, Shen, Y.-Q., & Jia, Z.-K. (2000). Study of the relationship between boll weight in wheat/cotton double cropping and meteorological factors at boll-forming stage. *Acta Gossypii Sinica*, 12, 122–126.

Ζιουάλμα Μ., 2018. Ανάλυση Χρονοσειρών για την Πρόβλεψη Επιχειρήσεων. Πτυχιακή Διατριβή. Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Δυτικής Ελλάδος.

Αυγουλάς Χ. και Α. Κούτρου, 1997. Βαμβάκι, Ψηφιακό Αποθετήριο ΓΠΑ.

Βολουδάκης Σ. Δ. 2015. Προβλέψεις επίδρασης της κλιματικής αλλαγής στις αροτραίες καλλιέργειες στην Ελλάδα. Διδακτορική Διατριβή, Γ.Π.Α. Σχολή Αγροτικής Παραγωγής Υποδομών και Περιβάλλοντος, Τμήμα Επιστήμης της Φυτικής Παραγωγής Εργαστήριο Γεωργίας.

Γαλανοπούλου - Σενδουκά Σ., 1977. Αύξηση και ανάπτυξη βαμβακιού (*Gossypium hirsutum* L.) με διάφορο πληθυσμό φυτών και εποχή σποράς, Διδακτορική διατριβή, Θεσσαλονίκη, σελ. 1/20.

Γαλανοπούλου-Σενδουκά Σ., 2002. Βιομηχανικά φυτά - Βαμβάκι και υπόλοιπα κλωστικά - Ελαιοδοτικά - Ζαχαρότευτλα - Καπνός. Εκδ. Σταμούλης, Αθήνα.

Δαλέζιος Ν., 2015. Κλιματική αλλαγή και γεωργία. *Αγρομετεωρολογία: ανάλυση και προσομοίωση* [ηλεκτρ. βιβλ.], Αθήνα:Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. κεφ. 10.

Δαλέζιος Ν., 2003 *Αγρομετεωρολογία, πανεπιστημιακές παραδόσεις, πανεπιστημιακές εκδόσεις Θεσσαλίας* : 287 - 289.

Δαναλάτος Ν., 2003: *Ειδική Γεωργία II, πανεπιστημιακές εκδόσεις πανεπιστημίου Θεσσαλίας* : 1 – 46.

Δαναλάτος Ν., 2017. Κλιματική Αλλαγή – Ομιλία στην Καρδίτσα, 9 Ιουνίου 2017.

Καραμάνος Α., Βολουδάκης Δ., 2011. Η Επίδραση της Κλιματικής Μεταβολής στη Γεωργία. Επιτροπή Μελέτης των Επιπτώσεων της Κλιματικής Αλλαγής, Τράπεζα της Ελλάδος.

Κεχαγιά Ο., 1999 Τι είναι και πως επηρεάζεται ποιότητα του βαμβακιού. *Γεωργική Τεχνολογία, Βαμβάκι 2000*, σσ.56-62.

Κουγιουμτζής Δ., 2014. Χρονικές Σειρές, Μάθημα του μεταπτυχιακού προγράμματος ειδίκευσης “Στατιστική και Μοντελοποίηση” του Τμήματος Μαθηματικών ΑΠΘ.

Μάπτας, Κ., Μιχαηλίδης, Α. και Πολύμερος, Κ., Εκτίμηση της Ανταγωνιστικότητας του Ελληνικού Βαμβακιού στις Διεθνείς Αγορές με Ολοκληρωμένα Συστήματα, Τελική έκθεση ερευνητικού προγράμματος ΠΕΝΕΔ 1998, Α.Π.Θ. 2000, σελ. 280.

Τόλης Ι. Δ., 1986. Βαμβάκι – Εχθροί, ασθένειες, ζιζάνια., Θεσ/νίκη.

Τόλης Ι. Δ., 1990. Βαμβάκι – Εχθροί, ασθένειες, ζιζάνια., Θεσ/νίκη. Εκδόσεις Σταμούλη.

Τσαούσης Δ., 2018. Ανάλυση Χρηματοοικονομικών Χρονοσειρών και Πρόβλεψη με Γραμμικά Μοντέλα, Διπλωματική Εργασία. Α.Π.Θ τμήμα Πληροφορικής και Οικονομικών Επιστήμων

Φωτιάδη Α., 2014. Μεταβολές του κλίματος στο μέλλον – Επιπτώσεις των κλιματικών μεταβολών. Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα, Πανεπιστήμιο Πατρών.

Χλιχλίας, Α., και Ε. Κατσάμπη- Ζημάκα. 1965. Το βαμβάκι στην Ελλάδα. Θεσσαλονίκη.

Χρήστου Γ., 2007. Εισαγωγή στην Οικονομετρία, τόμος 1, Η έκδοση. Εκδόσεις: Gutenberg.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

4.1.1 ΕΙΚΟΝΕΣ - ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Εικόνα 1 - Εξέλιξη της βαμβακοκαλλιέργειας από το 1960 - 2017 (ΕΛΣΤΑΤ – ΥΠΑΑΤ)

Εικόνα 2 - Χάρτης της Ελλάδος που σημειώνονται οι κύριες περιοχές βαμβακοκαλλιέργειας (στοιχεία ΥΠΑΑΤ).

Εικόνα 3 - Εξέλιξη χρήσης των ξένων ποικιλιών σε σχέση με τις ξένες (στοιχεία Οργανισμός Βάμβακος).

Εικόνα 4 - Παραγωγή Σύσπορου Βαμβακιού παγκοσμίως

Εικόνα 5 - Παραγωγή σε εκ. δέματα ανά χώρα 2018 (Cotton Incorporated US)

Εικόνα 6 - Παραγωγή vs Εξαγωγές σε χιλιάδες δέματα ανά χώρα 2018 (California State University, Fresno, CA)

Εικόνα 7 - Εκτίμηση της επίδρασης της κλιματικής αλλαγής για τα σενάρια A2 και B2, με αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας κατά 2°C για την περίοδο 2031-2060: a) C4 καλοκαιρινά φυτά b) ψυχανθή c) C3 καλοκαιρινά φυτά d) βολβώδη και e) σιτηρά (Giannakopoulos et al, 2009).

Εικόνα 8 - Διάγραμμα μεταβολής της μέσης μέγιστης & ελάχιστης θερμοκρασίας – χρόνου για την περίοδο 1960 – 2010 για το σύνολο των σταθμών.

Εικόνα 9 - Διάγραμμα μεταβολής της ημερήσιας διακύμανσης την περίοδο 1960 -2010 για τα πέντε στάδια ανάπτυξης του βαμβακιού.

Εικόνα 10 - Διάγραμμα μεταβολής της μέσης θερμοκρασίας – χρόνου για την περίοδο 1960 – 2010 για το σύνολο των σταθμών.

Εικόνα 11 - Διάγραμμα μεταβολής της μέσης μέγιστης– χρόνου για την περίοδο 1960 – 2010 για κάθε σταθμό.

Εικόνα 12 - Διάγραμμα μεταβολής της μέσης ελάχιστης– χρόνου για την περίοδο 1960 – 2010 για κάθε σταθμό.

Εικόνα 13 - Διάγραμμα μεταβολής της μέσης θερμοκρασίας καλλιεργητικής περιόδου – χρόνου για την περίοδο 1960 – 2010 για κάθε σταθμό.

Εικόνα 14 - Διάγραμμα της εξέλιξης του μέσου όρου των πενήντα ετών, των αθροιστικών ημερόβαθμων, στην διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου για την περίοδο 1960 – 2010 για κάθε σταθμό.

Εικόνα 15 - Διάγραμμα του ετήσιου μέσου όρου των αθροιστικών ημερόβαθμων της καλλιεργητικής περιόδου – χρόνου για την περίοδο 1960 – 2010 για όλους τους σταθμούς.

Εικόνα 16 - Διάγραμμα των ετήσιων αθροιστικών ημερόβαθμων της καλλιεργητικής περιόδου – χρόνου για την περίοδο 1960 – 2010 για κάθε σταθμό. Υπάρχει συμφωνία στην εξέλιξη των διαγραμμάτων ανά σταθμό.

Εικόνα 17 - Διάγραμμα του μέσου όρου των ημερόβαθμων του σταδίου φυτρώματος – χρόνου για την περίοδο 1960 – 2010 για όλους τους σταθμούς.

Εικόνα 18 - Διάγραμμα του μέσου όρου των ημερόβαθμων του σταδίου πρώτης ανάπτυξης – χρόνου για την περίοδο 1960 – 2010 για όλους τους σταθμούς.

Εικόνα 19 - Διάγραμμα του μέσου όρου των ημερόβαθμων του σταδίου προ άνθησης – χρόνου για την περίοδο 1960 – 2010 για όλους τους σταθμούς.

Εικόνα 20 - Διάγραμμα του μέσου όρου των ημερόβαθμων του σταδίου ανθοκαρποφορίας – χρόνου για την περίοδο 1960 – 2010 για όλους τους σταθμούς.

Εικόνα 21 - Διάγραμμα του μέσου όρου των ημερόβαθμων του σταδίου ωρίμανσης – χρόνου για την περίοδο 1960 – 2010 για όλους τους σταθμούς.

Εικόνα 22 - Διάγραμμα πρόβλεψης της μέσης μέγιστης – χρόνου για την περίοδο 1960 – 2040 για το σύνολο των πέντε σταθμών.

Εικόνα 23 - Διάγραμμα πρόβλεψης της μέσης ελάχιστης – χρόνου για την περίοδο 1960 – 2040 για το σύνολο των πέντε σταθμών.

Εικόνα 24 - Διάγραμμα πρόβλεψης μεταβολής της διαφοράς MAX / MIN για την περίοδο 1960 – 2040 για το σύνολο των πέντε σταθμών.

Εικόνα 25 - Διάγραμμα πρόβλεψης της μέσης θερμοκρασίας – χρόνου για την περίοδο 1960 – 2040 για το σύνολο των πέντε σταθμών.

Εικόνα 26 - Διάγραμμα πρόβλεψης των αθροιστικών ημερόβαθμων – χρόνου για την περίοδο 1960 – 2040 για το σύνολο των πέντε σταθμών.

Εικόνα 27 - Διάγραμμα διόρθωσης της των αθροιστικών ημερόβαθμων για την δημιουργία του μοντέλου Πρόβλεψης ARIMA (1,1,1) για την περίοδο 1960 – 2040 για το σύνολο των πέντε σταθμών.

Εικόνα 28 - Διάγραμμα πρόβλεψης του εύρους διακύμανσης των αθροιστικών ημερόβαθμων – χρόνου για την περίοδο 2011 – 2040 για το σύνολο των πέντε σταθμών, όπως υπολογίζεται από το αντίστοιχο μοντέλο ARIMA (1,1,1).

Εικόνα 29 - Διάγραμμα πρόβλεψης των αθροιστικών ημερόβαθμων – χρόνου για την περίοδο 1960 – 2040 για Αλεξανδρούπολη.

Εικόνα 30 - Διάγραμμα πρόβλεψης των αθροιστικών ημερόβαθμων – χρόνου για την περίοδο 1960 – 2040 για Μίκρα.

Εικόνα 31 - Διάγραμμα πρόβλεψης των αθροιστικών ημερόβαθμων – χρόνου για την περίοδο 1960 – 2040 για Λάρισα.

Εικόνα 32 - Διάγραμμα πρόβλεψης των αθροιστικών ημερόβαθμων – χρόνου για την περίοδο 1960 – 2040 για Αγχίαλο.

Εικόνα 33 - Διάγραμμα πρόβλεψης των αθροιστικών ημερόβαθμων – χρόνου για την περίοδο 1960 – 2040 για Τανάγρα.

4.1.2 ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 1. Μετεωρολογικοί σταθμοί

Πίνακας 2 - Μέση Θερμοκρασία και Μέση Μέγιστη & Ελάχιστη μεταξύ 1960 έως 2010

Πίνακας 3 - Μεταβολές Μέση, Μέγιστης & Ελάχιστης μεταξύ 1960 - 1985 & 1986 - 2010

Πίνακας 4 - Τιμές Μέσης, Μέγιστης και Ελάχιστης ανά σταθμό

Πίνακας 5 - Παραμετρικός έλεγχος Mann-Kendall για δεδομένα των 5 σταθμών.

Πίνακας 5 - Τιμές Μέσης, Μέγιστης και Ελάχιστης ανά δεκαετία

Πίνακας 6 - Αποτύπωση στατιστικού ελέγχου για την χρονοσειρά των ημερόβαθμων ανά σταθμό για την περίοδο 1960 – 2010. Παρατηρούμε ότι η μεταβλητότητα αυξάνεται στους σταθμούς στην Β. Ελλάδα.

Πίνακας 7 - Αποτύπωση του στατιστικού ελέγχου Mann – Kendall για τον προσδιορισμό της τάσης για την χρονοσειρά των ημερόβαθμων για την περίοδο 1960 – 2010

4.1.3 ΧΑΡΤΕΣ

Χάρτης 1 - Πιθανή μεταβολή (σε σύγκριση με τη δεκαετία 1990) στις αποδόσεις καλλιεργειών με(αριστερά) και χωρίς (δεξιά) την επίδραση CO₂ , για το σενάριο A1FI (Parry et al, 2004).

Χάρτης 2 - Πιθανή μεταβολή (σε σύγκριση με τη δεκαετία 1990) στις αποδόσεις καλλιεργειών με (αριστερά) και χωρίς (δεξιά) την επίδραση CO₂ , για το σενάριο A2a (Parry et al, 2004).

Χάρτης 3 - Πιθανή μεταβολή (σε σύγκριση με τη δεκαετία 1990) στις αποδόσεις καλλιεργειών με (αριστερά) και χωρίς (δεξιά) την επίδραση CO₂ , για το σενάριο B2a (Parry et al, 2004).

Χάρτης 4 - Χάρτης με τις ζώνες γεωργικής σημασίας της Ευρώπης (E.E, 2007). Η Ελλάδα ανήκει στη ζώνη 4 μαζί με την Ιταλία, την Ισπανία και την Πορτογαλία. Η ζώνη 4 (Μεσογειακή) θεωρείται ως η πλέον ευαίσθητη στην κλιματική αλλαγή (IPCC, 2007).

Χάρτης 5 - Μεταβολές στη γεωργική παραγωγή στην Ευρώπη για τη δεκαετία 2080, για το σενάριο B2HadAM3h με αύξηση θερμοκρασίας κατά 2,5°C (Peseta Research Project, 2009).

Χάρτης 6 - Μεταβολές στη γεωργική παραγωγή στην Ευρώπη για τη δεκαετία 2080, για το σενάριο A2HadAM3h με αύξηση θερμοκρασίας κατά 3,9°C (Peseta Research Project, 2009).

Χάρτης 7 - Μεταβολές στη γεωργική παραγωγή στην Ευρώπη για τη δεκαετία 2080, για το σενάριο B2 ECHAM4 με αύξηση θερμοκρασίας κατά 4,1°C (Peseta Research Project, 2009).

Χάρτης 8 – Κατανομή αθροιστικών ημερόβαθμων (Andreas Matzarakis et al., 2007).

Χάρτης 8 - Μεταβολές στη γεωργική παραγωγή στην Ευρώπη για τη δεκαετία 2080, για το σενάριο A2 ECHAM4 με αύξηση θερμοκρασίας κατά 5,4°C (Peseta Research Project, 2009).