

**ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ**

**ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΩΝ ΓΕΩΠΟΝΩΝ  
ΚΑΤΕΥΘΗΝΣΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**«Αξιολόγηση της απόδοσης αριθμητικού μετεωρολογικού μοντέλου και  
μοντέλου ανάπτυξης φυτού ως εργαλεία λήψης αποφάσεων στην καλλιέργεια  
του βάμβακος»**



**ΚΟΥΚΙΟΥΜΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΑΜ:2010/0151  
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΠΑΛΑΤΟΣ**

**Θεσσαλονίκη 2018**

## Περίληψη

Η ανάγκη ικανοποίησης των απαιτήσεων του συνεχώς αυξανόμενου πληθυσμού του πλανήτη, καθώς και η επερχόμενη αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη λόγω της κλιματικής αλλαγής κάνουν σήμερα την ανάγκη μετάβασης από την παραδοσιακή γεωργία στην γεωργία ακριβείας επιτακτική ανάγκη. Βασικό πυλώνα της γεωργίας ακριβείας αποτελεί η άρδευση ακριβείας. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας εξετάστηκε η δυνατότητα χρήσης του αριθμητικού μοντέλου πρόβλεψης καιρού TAPM και του αγρονομικού μοντέλου προσομοίωσης ανάπτυξης φυτών AquaCrop ως δυναμικών εργαλείων βελτίωσης του προγραμματισμού των αρδεύσεων της καλλιέργειας του βάμβακος. Για τον σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκε πείραμα στο χωρίο Μαγικό του νομού Ξάνθης σε αγρό 20 στρεμμάτων. Κατά την διάρκεια του πειράματος μετρούνταν η συγκόμωση, η ξηρή υπέργεια βιομάζα, η εδαφική υγρασία, η παραγωγή του σύσπορου βάμβακος καθώς και οι μετεωρολογικές συνθήκες. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το TAPM μπορεί να προβλέψει με ακρίβεια την θερμοκρασία ( $r = 0,95$ ) και την εξατμισοδιαπνοή ( $r = 0,98$ ), όχι όμως και το ύψος της βροχόπτωσης ( $r = 0,6$ ). Το AquaCrop προσομοίωσε με ικανοποιητική ακρίβεια την συγκόμωση, την υπέργεια βιομάζα, την εδαφική υγρασία και την παραγωγή του βάμβακος, δεν έδωσε όμως ρεαλιστικά αποτελέσματα όσο αναφορά την ανάπτυξη της ρίζας του βάμβακος.

## **Abstract**

The necessity to cover the needs of the continuous planet's growing population in combination with the upcoming increase in planet's mean temperature due to climate change effect makes the transition from traditional farming to precision farming mandatory. A basic aspect of the precision farming is the precision irrigation. In the framework of this study we examined the possible use of the weather arithmetic model TAPM and the agronomic crop growth model AquaCrop as potential tools in cotton plant irrigation scheduling process. For this purpose, an experiment was carried out in a 2 ha field at Magiko village in Xanthi province. During the experiment the canopy cover, the dry aboveground biomass, the soil water content, the seed cotton yield and the weather conditions were measured. The results showed that the TAPM could predict with precision the temperature ( $r = 0.95$ ) and the evapotranspiration ( $r = 0.98$ ) but not the rain height ( $r = 0.6$ ). AquaCrop model simulated with satisfactory accuracy the canopy cover, biomass, soil water content and final seed cotton yield but derived unrealistic results regarding cotton root development.

## Ευχαριστίες

Αισθάνομαι την ανάγκη να επισημάνω την απέραντη ευγνωμοσύνη μου στους γονείς μου Γεώργιο και Ελένη που με στήριξαν κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες εκφράζω στον επιβλέποντα καθηγητή κ. Παλάτο Γεώργιο για την ανιδιοτελή προσφορά του και τις πολύτιμες πληροφορίες και γνώση που μου μετέδωσε σε όλη την διάρκεια της συγγραφής αυτής της πτυχιακής εργασίας

Σε αυτό το σημείο, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ Τσακμακη Γιάννη για την εμπιστοσύνη και αφιέρωση πολύτιμου χρόνου ώστε να διεκπεραιωθεί η εργασία αυτή.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω όλα τα μέλη της ομάδας που συνέβαλλαν στην εκτέλεση του πειράματος για την πολύτιμη βοήθεια τους

## Πίνακας Περιεχομένων

1.	Εισαγωγή .....	8
1.1.	Βοτανικά χαρακτηριστικά βάμβακος.....	8
1.2.	Τεχνολογικά χαρακτηριστικά βάμβακος.....	9
1.3.	Προέλευση, χαρακτηριστικά και ονομασία βαμβακιού.....	10
1.4.	Το βαμβάκι ως βιομηχανικό φυτό .....	11
1.5.	Καλλιεργούμενα είδη .....	12
1.6.	Κλιματικές Απαιτήσεις.....	14
1.7.	Εδαφικές Απαιτήσεις.....	15
1.8.	Άρδευση .....	15
1.8.1.	Άρδευτικός προγραμματισμός .....	15
1.8.2.	Τεχνολογία άρδευσης.....	18
1.9.	Κατεργασία του εδάφους.....	20
1.10.	Στόχος παρούσας διπλωματικής.....	20
2.	Μεθοδολογία.....	22
2.1	Οργάνωση του πειραματικού αγρού.....	22
2.2	Προσδιορισμός εδαφολογικών παραμέτρων.....	25
2.3	Παρακολούθηση διακυμάνσεων εδαφικής υγρασίας.....	25
2.4	Συγκόμωση .....	26
2.5	Μετεωρολογικές Παράμετροι .....	28
2.6	Προγραμματισμός άρδευσης.....	29
2.7	Σύστημα λήψης αποφάσεων.....	29
2.8	Διαδικασία βαθμονόμησης αρχείου βάμβακος. ....	30
2.8.1	Βαθμονόμηση αρχείου βάμβακος ως προς τον ρυθμό ανάπτυξης των ριζών 34	
2.9	Στατιστική ανάλυση .....	35
3.1	Εδαφολογικές αναλύσεις .....	37
3.2	Μετεωρολογικές παράμετροι.....	37
3.3	Συγκόμωση .....	38

3.4	Μετρήσεις εδαφικής υγρασίας.....	41
3.5	Μετρήσεις υπερ-εδάφιας ξηρής βιομάζας.....	44
3.6	Προσδιορισμός ανάπτυξης ριζικού συστήματος .....	45
3.7	Επικύρωση της προβλεπόμενης από το AquaCrop παραγωγής .....	46
4.	Συμπεράσματα.....	48
5.	Βιβλιογραφία .....	49

## Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1.	Οργάνωση του πειραματικού αγρού.....	22
Εικόνα 2.	Εφαρμογή καλλιεργητή στα μέσα Ιουλίου.....	23
Εικόνα 3.	Σημεία λήψης διαταραγμένων και αδιατάρακτων δειγμάτων εδάφους.....	25
Εικόνα 4.	(α) Συσκευή μέτρησης εδαφικής υγρασίας Diviner2000, (β) Θέσεις τοποθέτησης σωλήνων.....	26
Εικόνα 5.	Σταθερά σημεία μέτρησης της συγκόμωσης στο πειραματικό αγροτεμάχιο 6.	27
Εικόνα 6.	Διάγραμμα ροής συστήματος προγραμματισμού αρδεύσεων (Tsakmakis et al., 2017). .....	30
Εικόνα 7.	Μεταβολή της εδαφικής υγρασίας σε διάφορα βάθη στη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. ....	35
Εικόνα 8.	Διάγραμμα Taylor για τις μετεωρολογικές παραμέτρους.....	38
Εικόνα 9.	Χρονοσειρές μετρούμενων και προβλεπόμενων τιμών για την μέση ημερήσια θερμοκρασία, ηλιακή ακτινοβολία ( $R_s$ ), σχετική υγρασία και ταχύτητα ανέμου.....	38
Εικόνα 10.	Εκτιμώμενη και μετρούμενη συγκόμωση κατά την διάρκεια των τριών καλλιεργητικών περιόδων στο ΠΑ1. ....	39
Εικόνα 11.	Εκτιμώμενη και μετρούμενη συγκόμωση κατά την διάρκεια των τριών καλλιεργητικών περιόδων στο ΠΑ2. ....	40
Εικόνα 12.	Εκτιμώμενη και μετρούμενη συγκόμωση κατά την διάρκεια των τριών καλλιεργητικών περιόδων στο ΠΑ3. ....	40
Εικόνα 13.	Διάγραμμα Taylor για την συγκόμωση .....	41
Εικόνα 14.	Προσομοιωμένο (AquaCrop) και μετρούμενο (Diviner2000) εδαφικό περιεχόμενο υγρασίας σε βάθος 1 m στο ΠΑ1 κατά την διάρκεια των καλλιεργητικών περιόδων.....	43
Εικόνα 15.	Προσομοιωμένο (AquaCrop) και μετρούμενο (Diviner2000) εδαφικό περιεχόμενο υγρασίας σε βάθος 1 m στο ΠΑ2 κατά την διάρκεια των καλλιεργητικών περιόδων.....	43

Εικόνα 16. Προσομοιωμένο (AquaCrop) και μετρούμενο (Diviner2000) εδαφικό περιεχόμενο υγρασίας σε βάθος 1 m στο ΠΑ3 κατά την διάρκεια των καλλιεργητικών περιόδων.....	44
Εικόνα 17. Χρονοσειρές μετρούμενης και προσομοιωμένης υπέργειας ξηρής βιομάζας στα διάφορα ΠΑ κατά την καλλιεργητική περίοδο 2015. ....	45
Εικόνα 18. Προσομοίωση ανάπτυξης του ριζικού συστήματος του μοντέλου AquaCrop και εκτιμώμενο βάθος ριζών με το όργανο Diviner 2000 κατά της καλλιεργητική περίοδο 2015.....	46
Εικόνα 19. Μετρούμενη και προσομοιωμένη σύσπορη παραγωγή βάμβακος για τα διάφορα ΠΑ τις χρονιές 2013 - 2015. ....	47

## **Πίνακας Πινάκων**

<b>Πίνακας 1. Τροποποιήσεις στην μεθοδολογία προσδιορισμού της συγκόμωσης μεταξύ των καλλιεργητικών περιόδων.....</b>	<b>29</b>
<b>Πίνακας 2. Παράμετροι βαθμονόμησης - επικύρωσης που χρησιμοποιήθηκαν για κάθε χρόνο του πειράματος.....</b>	<b>33</b>
<b>Πίνακας 3. Κύριες παράμετροι του μοντέλου AquaCrop και οι επίδραση που αυτές έχουν στην εξέλιξη της συγκόμωσης, την διαμόρφωση της υπέργειας ξηρής βιομάζας και την τελική παραγωγή σύσπορου βάμβακος.....</b>	<b>34</b>
<b>Πίνακας 4. Παράμετροι των εδαφολογικών αρχείων για τα ΠΑ.....</b>	<b>39</b>
<b>Πίνακας 5. Στατιστική ανάλυση για την μετρούμενο και προσομοιωμένο περιεχόμενο εδαφικής υγρασίας κατά τις καλλιεργητικές περιόδους στα αρδευόμενα με στάγδην ΠΑ. ....</b>	<b>43</b>
<b>Πίνακας 6. Στατιστικοί δείκτες της μετρούμενης και προσομοιωμένης υπερεδάφειας ξηρής βιομάζας στα διάφορα ΠΑ για την καλλιεργητική περίοδο του 2015. ....</b>	<b>46</b>
<b>Πίνακας 7. Στατιστικοί δείκτες της προσομοιωμένης από το AquaCrop και της εκτιμώμενης από το Diviner 2000 ανάπτυξης των ριζών 2015.....</b>	<b>47</b>

## 1. Εισαγωγή

### 1.1. Βοτανικά χαρακτηριστικά βάμβακος

Το βαμβάκι (*Gossypium* sp.) είναι φυτό της οικογένειας Malvaceae. Το γένος *Gossypium* sp. περιλαμβάνει πολυετή είδη, ποώδη ή δενδρώδη, που καλλιεργούνται σαν μονοετή. Το ριζικό σύστημα με πασσαλώδη ρίζα μήκος 60cm έως 1m με ύψος του κυρίου στελέχους να κυμαίνεται μεταξύ 60cm έως 180cm. Τα φύλλα είναι πεντάλοβα με μακρύ μίσχο. Τα άνθη είναι άσπρα, κίτρινα ή κόκκινα και μπορεί στη βάση των πετάλων να έχουν μια κηλίδα κόκκινου χρώματος.

Ο καρπός είναι κάψα (καρύδι) με 3-5 καρπόφυλλα, μόλις ωριμάσει ανοίγει και εμφανίζονται οι ίνες του βαμβακιού, οι οποίες σχηματίζονται από την επιμήκυνση των επιδερμικών τριχών του σπόρου. Σε πολλές ποικιλίες εκτός από αυτές τις μακριές ίνες υπάρχουν και κοντές (χνούδι) που δεν απομακρύνονται με τον εκκοκκισμό.

Το γένος *Gossypium* περιλαμβάνει γύρω στα 20 είδη, αλλά καλλιεργητική σημασία έχουν τα εξής:

α). *Gossypium hirsutum*: το πιο διαδεδομένο καλλιεργούμενο είδος βαμβακιού. Απαντάται στη χώρα μας, στην Τουρκία, στην Κίνα, στην Ινδία, στην Κορέα, στην Αφρική, στη Βραζιλία και στις Η.Π.Α. (όπου αντιπροσωπεύει το 99% της παραγωγής). Τα φυτά έχουν μικρό ύψος, άνθη άσπρα ή ελαφρά κίτρινα, κάψες 4 ή 5 χωρών, μήκος ίνας 25-31mm και σπόροι με χνούδι σε όλη την επιφάνεια.

β). *Gossypium barbadense*: κατάγεται από την Ν. Αμερική, έχει άνθη κίτρινα με κόκκινες κηλίδες, κάψα τριχώρη και σπόρους με χνούδι στα άκρα. Στο είδος αυτό διακρίνουμε δύο τύπους:

i. Το Αιγυπτιακό βαμβάκι, που καλλιεργείται στη κοιλάδα του Νείλου και σε μικρότερη έκταση στο Σουδάν και στις Η.Π.Α., έχει πολύ μακριά ίνα (35-38mm) με ιδιαίτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά (λεπτότητα και αντοχή).

ii. Τύπος *Sea-Island*, ο οποίος καλλιεργείται στη Φλόριντα και την Γεωργία. Έχει τις πιο μακριές ίνες (60mm), η καλλιέργεια του έχει περιοριστεί λόγω των σοβαρών ζημιών που υφίσταται από τις προσβολές του ανθονόμου (*Anthonomus grandis*).



γ). *Gossypium herbaceum*: τύπος που καλλιεργείται στην Ασία με κοντές ίνες μικρής ποιοτικής αξίας.

δ). *Gossypium arboreum*: το είδος αυτό απαντάται στην χώρα μας σαν άγριο είδος, έχει ίνες κοντές (13mm) αλλά πολύ ανθεκτικές. Θα πρέπει να αναφέρουμε ότι τα είδη *G.hirsutum* και *G.barbadense* συγκροτούν την ομάδα του αμερικάνικου βαμβακιού (ομάδα *Hirsuta*, n=26) και τα είδη *G.arboreum* και *G.herbaceum* την ομάδα του ασιατικού βάμβακα (ή είδη του Παλαιού κόσμου, ομάδα *Herbacea*, n=13).

## 1.2. Τεχνολογικά χαρακτηριστικά βάμβακος

Οι ίνες του βαμβακιού προέρχονται από την επιμήκυνση των επιδερμικών τριχών του σπόρου και αποτελούνται επομένως από ένα κύτταρο το οποίο αρχικά επιμηκώνεται. Η επιμήκυνση αρχίζει από την στιγμή της άνθησης και ολοκληρώνεται συνήθως σε 16-20 ημέρες.

Μόλις τελειώσει η επιμήκυνση αρχίζει η πάχυνση η οποία πραγματοποιείται με την εναπόθεση νημάτων κυτταρίνης στο εσωτερικό του κυττάρου της ίνας και καθορίζει την αντοχή της. Συνήθως ολοκληρώνεται μέσα σε 3 εβδομάδες.

Η ποιότητα των ινών του βαμβακιού εκτιμάται με βάση κάποια χαρακτηριστικά τα οποία είναι τα εξής:

α) Μήκος. Είναι από τα σπουδαιότερα τεχνολογικά χαρακτηριστικά. Διεθνώς έχει επικρατήσει η εξής ταξινόμηση των ποικιλιών του βαμβακιού :

i. Μακροίνες : μήκος ίνας μεγαλύτερο των 35mm

ii. Μεσοίνες : μήκος ίνας μεγαλύτερο των 25-35mm

iii. Βραχύνες : μήκος ίνας μεγαλύτερο των 15-19mm

Τα ελληνικά βάμβακα έχουν μήκος γύρω στα 25-30mm.

Μεγάλη σημασία έχει και η ομοιομορφία του μήκους, η οποία ευνοεί τη νηματοποίηση και μειώνει τις απώλειες. Υπάρχουν ειδικές τεχνικές και συσκευές οι οποίες προσδιορίζουν την ομοιομορφία του μήκους.

β) Αντοχή. Υπάρχει αρνητική συσχέτιση μεταξύ του μήκους της ίνας και της αντοχής. Υπάρχουν ειδικά όργανα (*Pressley*, *Stelometer*) για τον υπολογισμό της.

γ) Λεπτότητα. Η λεπτότητα καθορίζεται από τις διαστάσεις κάθε ίνας (πάχος τοιχώματος, διάμετρος, βάρος, κ.λπ.) που επηρεάζει την λεπτότητα και αντοχή του νήματος καθώς επίσης τη γυαλάδα και την απορρόφηση της βαφής. Επιθυμούμε όσο το δυνατόν λεπτότερες ίνες.

δ) Ωριμότητα. Η ωριμότητα επιδρά στη κλωστική αξία, στην ομοιομορφία και στην εμφάνιση του νήματος, η οποία μειώνεται όσο αυξάνει το ποσοστό των ανώριμων και νεκρών ινών.

Βαμβάκι καλής ποιότητας είναι αυτό που έχει μακριές, ομοιόμορφες ίνες, μεγάλη αντοχή, λεπτότητα και λίγες ανώριμες ή νεκρές ίνες.

### **1.3. Προέλευση, χαρακτηριστικά και ονομασία βαμβακιού**

Αγγειόσπερμο, δικότυλο φυτό το βαμβάκι ανήκει στην τάξη των Μαλαχοδών και στην οικογένεια των Μαλαχοειδών. Ιθαγενές των τροπικών περιοχών της Αφρικής και της Ασίας είναι γνωστό από τα πανάρχαια χρόνια και καλλιεργείται για τις ίνες του. Σε ανασκαφές που έγιναν στην Ινδία βρέθηκαν υπολείμματα υφασμάτων από βαμβάκι που υπολογίζονται γύρω στο 3000 π.Χ. Στην Ελλάδα πρωτοήρθε από την Ασία κατά την εποχή του Μεγάλου Αλεξάνδρου γύρω στο 325 π.Χ.

Η καλλιέργεια του βαμβακιού στην Ελλάδα αναφέρεται από τον Πausανία το 2 μ.Χ. αιώνα με την ονομασία “βύσσος”. Το φυτό και το προϊόν του βαμβακιού με το σημερινό όνομα (βάμβαξ) αναφέρεται για πρώτη φορά στη Νομοθεσία του Ιουστινιανού (60 μ.Χ. αιώνα). Το 100 αιώνα το βαμβάκι έχει διαδοθεί σ’ όλη την Ελλάδα. Η καλλιέργεια του επεκτάθηκε σε μεγάλη κλίμακα γύρω στο 550 μ.Χ.

Η επιστημονική του ονομασία είναι *γοσόπιο* και οι βλαστοί του διακλαδώνονται φτάνοντας σε ύψος το 1,5 μέτρο αλλά και τα 6 μέτρα στις δενδροειδείς ποικιλίες. Έχει φύλλα με μακρύ μίσχο, μεγάλα και με έλασμα. Στη βάση του μίσχου βρίσκονται δύο μικρά παράφυλλα συνήθως οδοντωτά. Τα άνθη βγαίνουν από τις μασχάλες των φύλλων και είναι μεγάλα, μοναχικά και παράγονται από ανθοφόρους οφθαλμούς. Οι ανθοφόροι οφθαλμοί στην αρχή τους μοιάζουν με μικρές πυραμίδες και στο στάδιο αυτό τα άνθη του λέγονται χτένια. Ο καρπός του είναι κάψα και έχει 8-10 σπόρια που περιβάλλονται από λευκές ίνες. Οι ώριμες ίνες αποτελούνται κατά μεγάλο ποσοστό από κυτταρίνη.

Σήμερα το βαμβάκι καλλιεργείται σε πολλές χώρες της γης αλλά το μεγαλύτερο τμήμα της παραγωγής προέρχεται από το βόρειο ημισφαίριο (el.wikipedia.org).

Δεν χωρεί αμφιβολία πως το βαμβάκι ήταν γνωστό και καλλιεργούνταν σε προϊστορικούς χρόνους. Δεν είναι γνωστό ποιες χώρες το καλλιέργησαν για πρώτη φορά. Σχετικές όμως έρευνες που γίνονται πολλά τώρα χρόνια δείχνουν πως το βαμβάκι αναπτύχθηκε αρχικά σε δύο χωριστές περιοχές εντελώς ανεξάρτητες και πολύ μακριά η μια από την άλλη : την Ινδία και την Αμερική.

α) Ινδία

Η χώρα αυτή με τον πανάρχαιο πολιτισμό της είναι η μόνη που καλλιέργησε το βαμβάκι από πέντε τουλάχιστον χιλιάδες χρόνια.

Πολλές ενδείξεις παλιές και νέες μαρτυρούν πως η Ινδία υπήρξε η αρχική κοιτίδα του βαμβακιού. Για μερικές χιλιετίδες η παραγωγή και η χρησιμοποίηση του ίσως γίνονταν αποκλειστικά στη χώρα αυτή.

Απ' τον παλιό τουλάχιστον κόσμο καμιά άλλη περιοχή δεν φαίνεται να ήξερε ή να καλλιεργούσε το βαμβάκι σε εποχή που η Ινδία φημιζόταν για τα βαμβακερά της προϊόντα.

β) Αμερική

Εντελώς ανεξάρτητα από την Ινδία, η καλλιέργεια του βαμβακιού αναπτύχθηκε και σε μια άλλη περιοχή, την Κεντρική και Νότια Αμερική. Κι αυτό χιλιάδες χρόνια προτού ανακαλυφθεί η καινούργια Ήπειρος (δηλαδή πριν από το 150 αιώνα).

#### **1.4. Το βαμβάκι ως βιομηχανικό φυτό**

Το βαμβάκι είναι ένα βιομηχανικό φυτό και αποτελεί μια από τις δυναμικότερες καλλιέργειες για τη χώρα μας. Η καλλιέργειά του εντατικοποιήθηκε μετά την ίδρυση του Οργανισμού Βάμβακος, το 1930. Την εποχή εκείνη οι καλλιεργούμενες εκτάσεις δεν ξεπερνούσαν τα 450.000 - 500.000 στρέμματα και η μέση απόδοση ήταν 70 Kg/στρέμμα. Η ίδρυση του Οργανισμού Βάμβακος βοήθησε στη δημιουργία μιας ξεκάθαρης στρατηγικής πάνω στα θέματα που αφορούν τη βαμβακοκαλλιέργεια όπως επιλογή κατάλληλων ποικιλιών προσαρμοσμένων στις επικρατούσες κλιματολογικές συνθήκες, εφαρμογή σύγχρονων καλλιεργητικών πρακτικών και μεθόδων φυτοπροστασίας κ.λπ.

Από τότε μέχρι σήμερα η καλλιέργεια του βαμβακιού εξαπλώθηκε σε ολόκληρη τη χώρα στις καταλληλότερες περιοχές μιας και για την επίτευξη ποιοτικού προϊόντος απαιτούνται κάποιες ιδιαίτερες κλιματολογικές συνθήκες, τις οποίες θα δούμε στη συνέχεια. Σήμερα, στην Ελλάδα το βαμβάκι καλλιεργείται σε έκταση 4.000.000 περίπου στρεμμάτων, με συνολική ετήσια παραγωγή συσπόρου βαμβακιού 1.000.000 - 1.200.000 τόνων.

Σημαντικό είναι το ότι σε παγκόσμια κλίμακα η χώρα μας είναι μια από τις χώρες με τις υψηλότερες αποδόσεις σε βαμβάκι, λόγω των ιδιαίτερων ευνοϊκών κλιματολογικών συνθηκών που επικρατούν στη χώρα μας. Το βαμβάκι αποτελεί μαζί με τον καπνό ένα από τα σημαντικότερα προϊόντα για την αγροτική αλλά και για την εθνική μας οικονομία.

Σημαντική είναι και η θέση της βιομηχανίας που ασχολείται με την επεξεργασία του βαμβακιού προσφέροντας θέσεις εργασίας και εξοικονόμηση συναλλάγματος. Το βαμβάκι χρησιμοποιείται εκτός από την βιομηχανία υφασμάτων, στην φαρμακευτική, στην βιομηχανία ελαστικών, κ.λπ. και τα υποπροϊόντα του στην κτηνοτροφική ως ζωοτροφή, στη σαπυνοποιία κ.λπ., ενώ όπως είναι γνωστό από τον σπόρο εξάγεται το βαμβακέλαιο, προϊόν που χρησιμοποιείται στο τηγάνισμα.

Εδώ θα πρέπει να αναφέρουμε ότι τα τελευταία χρόνια διεθνώς παρατηρείται πτωτική τάση των τιμών και ζήτησης

### **1.5. Καλλιεργούμενα είδη**

Τα είδη που καλλιεργούνται σήμερα είναι τέσσερα:

α). Αδρότριχο βαμβάκι ή Χνουδωτό βαμβάκι (Γοσσύπιον το αδρότριχον – *Gossypium hirsutum*). Το πιο κοινά καλλιεργούμενο δίνει πάνω από το 90% της παγκόσμιας παραγωγής. Είναι και το μοναδικό είδος που καλλιεργείται στην Ελλάδα. Το είδος αυτό είναι πολυετές αλλά στην Ελλάδα καλλιεργείται ως μονοετές γιατί δεν επιβιώνει σε κρύο χειμώνα. Οι ίνες που παράγει φτάνουν τα 45 χιλιοστά μήκος και χαρακτηριστικό του είναι το χνούδι που περικλείει τα σπόρια του. Τα άνθη του είναι λευκά όταν ανοίξουν αλλά στην πορεία αλλάζουν χρώμα και γίνονται κόκκινα ή μοβ. Είναι βαμβάκι υψηλής ποιότητας με μεγάλη αντοχή, ελαστικότητα, πολύ καλή στιλπνότητα και ομοιομορφία.

β). Ποώδες βαμβάκι (Γοσσύπιον το ποώδες - *Gossypium herbaceum*). Βρίσκεται αυτοφυές στο Πακιστάν στην Ινδία και σε ορισμένες περιοχές της Αφρικής.

Παλαιότερα η καλλιέργεια του ήταν πολύ διαδεδομένη αλλά σήμερα οι καλλιέργειες του αντικαταστάθηκαν από το χνουδωτό βαμβάκι που είναι πολύ καλλίτερης ποιότητας. Στην Ελλάδα το καλλιεργούσαν μέχρι το 1950 στη Λιβαδειά όπου ήταν γνωστό με την ονομασία Δαδιώτικο και στις Σέρρες.

γ). Βαρβαδεινό βαμβάκι (Γοσσύπιον το βαρβαδινόν - *Gossypium barbadense*). Πολυετή και ετήσια φυτά που τα περισσότερα είναι δενδροειδή και φτάνουν σε ύψος και τα 6 μέτρα. Η καταγωγή του είδους αυτού είναι η λατινική Αμερική και σήμερα καλλιεργείται στην Αίγυπτο, το Σουδάν, σε πρώην Σοβιετικές χώρες, στις Η.Π.Α., στη Βραζιλία και το Περού. Τα κλαδιά του βαμβακιού αυτού είναι πλάγια και τα φύλλα του έχουν μεγάλες σχισμές. Τα σπόρια του είναι κυανού χρώματος και τα άνθη είναι κιτρινωπά με μία κηλίδα στη βάση του κάθε πέταλου. Οι ίνες του είναι οι μακρύτερες από όλα τα είδη και φτάνουν και τα 50 χιλιοστά είναι καλής ποιότητας, λεπτές και μαλακές.

δ). Δενδρώδες βαμβάκι (Γοσσύπιον το δενδρώδες - *Gossypium arboreum*). Βρίσκεται αυτοφυές στο Πακιστάν, τη Σρι Λάνκα και την Ινδία όπου θεωρείται ιερό φυτό για τον λόγο αυτό βρίσκεται έξω από πολλούς ναούς. Οι ίνες του είναι πολύ κοντές και όχι τόσο καλής ποιότητας για αυτό η καλλιέργεια του είναι πολύ περιορισμένη (el.wikipedia.org).

Οι ποικιλίες που χρησιμοποιούνται σήμερα στη χώρα μας ανήκουν στο βαμβάκι αμερικάνικου τύπου UPLAND (*G.HIRSUTYM*).

Μέχρι το 1989 οι ανάγκες των Ελλήνων βαμβακοπαραγωγών καλύπτονταν αποκλειστικά με τις ελληνικές ποικιλίες βαμβακιού. Τα τελευταία όμως 10 χρόνια με βάση την κοινωνική νομοθεσία έγινε δυνατή η ελευθέρωση των ξένων ποικιλιών βαμβακιού. Έτσι σήμερα οι ελληνικές ποικιλίες καλύπτουν το 16% των αναγκών της εγχώριας αγοράς ενώ οι ξένες το 84%.

Οι σημαντικότερες καλλιεργούμενες ποικιλίες στην Ελλάδα είναι οι εξής :

- ΣΠΥΡΟΥ Α.Ε.Β.Ε.
- Stoneville: Midas, Alegria, Aria, Bravo, 506
- Golden West: Acala Sj-2, Penta, Diva, Bonanza, Turbo
- VETERIN AGRO DIVISION
- Colorado, Sonora, California, Germain's Acala Sj-2,

- Carolina, Iren
- ΧΕΛΛΑΣΙΝΤ Α.Ε.
- Corona-DP 20, Vulcano-DP 50, Clara-DP 5409, Linda-DP
- 5690, Delta Acala 90, ΟΠΑΛ (Delta opalo)
- ΑΓΡΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΒΙΟΣ Α.Ε.
- Sg-125, Acala Sj-2, Sg-404, Χριστίνα, Μυρτώ, Ultima,
- Tropicana, T-16
- ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΣΠΙΤΙ Α.Ε.Β.Ε.
- Express, Maxima
- ΓΕΩΧΗΜ Α.Ε.Β.Ε.
- Vered 171, Carmen, Austral, Ετνα F1
- ΕΛΑΝΚΟ ΕΛΛΑΣ Α.Ε.Β.Ε.
- Zoi, McNair 220, Sj2, Ντρίμα, King
- ΚΕΣΠΥ
- Ζέτα 2, Ζέτα 5, Κορίνα, Εύα, Σίνδος 80, Σάμος, 4Σ
- ΚΛΑΡΟΥΔΑ Θ. ΕΙΡΗΝΗ & ΣΙΑ
- Vaki-230

### **1.6. Κλιματικές Απαιτήσεις**

Το βαμβάκι κατάγεται από υποτροπικές χώρες οπότε οι απαιτήσεις σε θερμοκρασία είναι αυξημένες. Γενικά ευδοκιμεί σε περιοχές όπου η μέση θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 24- 25 °C, γι' αυτό στα εύκρατα κλίματα υποφέρει στην αρχή και στο τέλος του βιολογικού του κύκλου.

Σε χαμηλές θερμοκρασίες παρατηρείται διακοπή της ανάπτυξης ενώ σε υψηλές εκτός από την ανασχεση της ανάπτυξης παρατηρείται πτώση καρυδιών και χτενιών. Η άριστη θερμοκρασία φυτρώματος είναι 30-34 °C, η μέγιστη 40 °C, και η ελάχιστη 14 °C.

Στους 20-30 °C ο σπόρος χρειάζεται 8-10 ημέρες για να βλαστήσει, ενώ στους 15 °C χρειάζεται το διπλάσιο χρόνο.

Όπως καταλαβαίνουμε το βαμβάκι καλλιεργείται στη χώρα μας κάτω από οριακές κλιματολογικές συνθήκες και επομένως επηρεάζεται έντονα από τις επικρατούσες κάθε φορά συνθήκες. Το βαμβάκι για να ολοκληρώσει το βιολογικό του κύκλο χρειάζεται 170-210 ημέρες, ανάλογα με την ποικιλία και τις επικρατούσες κλιματολογικές συνθήκες, έτσι είμαστε υποχρεωμένοι να καταφεύγουμε σε κάποιες καλλιεργητικές επεμβάσεις (π.χ. ρυθμιστές ανάπτυξης) ώστε να περιορίζουμε τις επιδράσεις του κλίματος στη βαμβακοπαραγωγή.

Το βαμβάκι αναπτύσσεται ικανοποιητικά σε περιοχές με ζεστό καλοκαίρι, χωρίς βροχές, με μικρές διακυμάνσεις θερμοκρασίας μεταξύ ημέρας και νύχτας, με υψηλή ατμοσφαιρική υγρασία κατά τη διάρκεια της νύχτας, μεγάλη ηλιοφάνεια, υψηλή εδαφική υγρασία και με φθινόπωρο ξηρό και θερμό, ώστε να ωριμάσουν κανονικά τα καρύδια.

### **1.7. Εδαφικές Απαιτήσεις**

Το βαμβάκι μπορεί να καλλιεργηθεί σε μεγάλη ποικιλία εδαφών. Σπάνια αποκλείεται η καλλιέργειά του για λόγους ακαταλληλότητας εδάφους.

Η χαμηλή σύσταση του εδάφους εκτός από τη συμβολή της στη γονιμότητα να αποβεί κάποτε και περιοριστικός παράγοντας αν η περιεκτικότητα σε ορισμένα συστατικά υπερβαίνει τα επιτρεπτά όρια. Δεν μπορεί να ευδοκιμεί σε παθογενή αλκαλικά ή όξινα εδάφη. Το κατάλληλο pH είναι 7 και 8 μπορεί όμως να καλλιεργηθεί και μεταξύ 5,5-8,5. Δεν αποδίδει ικανοποιητικά σε συνεκτικά εδάφη πολύ υγρά που δεν στραγγίζουν εύκολα.

### **1.8. Άρδευση**

#### **1.8.1. Άρδευτικός προγραμματισμός**

Στις ξηροθερμικές συνθήκες της χώρας μας, η άρδευση στον κατάλληλο χρόνο, στις απαιτούμενες ποσότητες και με ενδεδειγμένη μέθοδο, αποτελεί την πιο αποδοτική καλλιεργητική επέμβαση στη βαμβακοκαλλιέργεια. Παράλληλα, όμως θεωρείται και η πιο δύσκολη, αφού καθορίζεται από αρκετούς παράγοντες, όπως :

- 1) φυσικές και χημικές ιδιότητες εδάφους,
- 2) καιρικές συνθήκες,
- 3) καλλιεργούμενη ποικιλία,
- 4) στάδιο ανάπτυξης των φυτών,
- 5) ποσότητα χορηγούμενων λιπασμάτων,
- 6) στάθμη υπόγειων νερών,
- 7) καλλιεργητικές

φροντίδες που γίνονται, 8) ύψος αποδόσεων και άλλους. Στην περιοχή της Θεσσαλίας και γενικότερα στη Ελλάδα η καλλιέργεια του βαμβακιού είναι σχεδόν κατά 100% ποτιστική καλλιέργεια.

Οι απαιτήσεις των φυτών σε νερό διαφέρουν, ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης στο οποίο βρίσκονται, Έτσι, διακρίνονται οι εξής οχτώ (8) κατηγορίες ποτισμάτων:

#### α) Πότισμα φυτρώματος

Άκαιρες επεμβάσεις κατά την ανοιξιάτικη προετοιμασία των χωραφιών (οργώματα - σβαρνίσματα) και δυσμενείς καιρικές συνθήκες (υψηλές θερμοκρασίες, άνεμοι) που προκαλούν ξήρανση του επάνω εδαφικού στρώματος και κάνουν πολύ δύσκολες τις συνθήκες φυτρώματος. Για να ξεπεράσουμε τη ανεπιθύμητη αυτή κατάσταση κάνουμε πότισμα με τεχνητή βροχή πριν την σπορά σε χωράφια που σχηματίζουν εύκολα κρούστα και μετά στα υπόλοιπα χωράφια.

#### β) Πότισμα αρδευτικής περιόδου

Η περίοδος που γίνονται τα ποτίσματα, η ποσότητα του νερού για κάθε πότισμα και ο χρόνος που με μεσολαβεί μεταξύ δύο ποτισμάτων, εξαρτώνται κατά κύριο λόγο, α) το κλίμα, β) το έδαφος, γ) την ποικιλία και δ) την λίπανση.

Το κλίμα, οι υψηλές θερμοκρασίες και οι δυνατοί άνεμοι πολλαπλασιάζουν τις ανάγκες των φυτών σε νερό όσο πορωράμε από την Β. Ελλάδα προς την Ν. Ελλάδα, η περίοδος των ποτισμάτων και επομένως και ο αριθμός του αυξάνει. Στην περιοχή της Θεσσαλίας λόγω των υψηλών θερμοκρασιών κάνουμε πολλά ποτίσματα.

Η μηχανική σύσταση του εδάφους, η περιεκτικότητά του σε οργανική ουσία, η ομοιομορφία του σε όλο το βάθος του ριζοστρώματος πρέπει να υπολογίζονται στα ποτίσματα και στις λιπάνσεις. Κάθε ποικιλία έχει τις δικές της απαιτήσεις σε νερό. Οι πρώιμες θέλουν το πρώτο πότισμα πολύ νωρίς. Οι ποικιλίες **Acala** θέλουν λιγότερα ποτίσματα και περισσότερο νερό σε κάθε πότισμα.

Μεγαλύτερες απαιτήσεις σε νερό έχουν με τη σειρά οι ποικιλίες : MIDAS, ARIA, και COLORADO

#### γ) Πότισμα για την ανάπτυξη



Κάνουμε ένα έως δύο ποτίσματα μετά τις επιφανειακές λιπάνσεις στα πρώτα στάδια ανάπτυξης των φυτών και είναι απαραίτητα. Τα πρώτα ποτίσματα ανάπτυξης είναι ελαφρά.

#### δ) Πότισμα ανθοφορίας – καρποφορίας

Είναι τα ποτίσματα που γίνονται από την άνθηση μέχρι τις αρχές ή μέσα Αυγούστου, την περίοδο που τα βαμβακόφυτα ανθοφορούν και καρποφορούν. Είναι τα βασικότερα ποτίσματα και ο αριθμός τους κυμαίνεται από 2 – 5.

#### ε) Πότισμα παραγωγής

Γίνονται το δεύτερο 15θήμερο του μήνα Αυγούστου μέχρι 10 Σεπτεμβρίου και είναι συνήθως 1 – 2 ποτίσματα.

Την εποχή αυτή οι ανάγκες του βαμβακιού σε νερό περιορίζονται, αλλά για να ωριμάσουν και να ανοίξουν τα καρύδια τους και να μην πέσουν χρειάζονται νερό.

#### στ) Πότισμα προσπαρτικό

Γίνεται σε αντικατάσταση του ποτίσματος φυτρώματος, σε χωράφια μέσης ως ελαφράς σύστασης ή ιλλοαμμώδη, ώστε να αποφευχθεί η δημιουργία κρούστας (χαρακτηριστικό των εδαφών αυτών μετά από βροχή ή άρδευση), που θα εμπόδιζε το κανονικό φύτεμα.

#### ζ) Πότισμα φυτρώματος

Όπου οι συνθήκες ευνοούν την απώλεια επιφανειακής υγρασίας, είναι απαραίτητο να γίνουν 1 – 2 ποτίσματα για να επιτευχθεί ομοιόμορφο και γρήγορο φύτεμα.

#### η) Πότισμα συντήρησης – ωρίμανσης

Από τα τέλη Αυγούστου μέχρι τα μέσα Σεπτεμβρίου, οι ανάγκες βαμβακόφυτων είναι περιορισμένες και η εδαφική υγρασία χρειάζεται μόνο για να διατηρούνται τα φυτά σε καλή κατάσταση, ώστε να ωριμάσουν και να ανοίξουν κανονικά τα καρύδια.

Υπερβολική υγρασία σε αυτό το στάδιο μπορεί να οψιμίσει το άνοιγμα των καρυδιών και η φυτεία να είναι ευαίσθητη σε διάφορους εχθρούς και ασθένειες. Εάν όμως οι καιρικές συνθήκες είναι ξηροθερμικές, χρειάζεται τις περισσότερες φορές ένα πότισμα (30 – 40 κ.μ./στρ), το λεγόμενο πότισμα συντήρησης.

### 1.8.2. Τεχνολογία άρδευσης

Η μέθοδος άρδευσης επιλέγεται από κάθε βαμβακοκαλλιεργητή ανάλογα με τα αρδευτικά μέτρα που υπάρχουν στην περιοχή, το διαθέσιμο αρδευτικό νερό, τον τύπο του εδάφους, το ανάγλυφο και το σχήμα του χωραφιού, την οργάνωσή του (οικονομική, κοινωνική), πολλές φορές όμως και από την παράδοση της περιοχής.

Οι κυριότεροι τρόποι ποτίσματος είναι :

#### α) Με αυλάκια

Το πότισμα με αυλάκια εφαρμόζεται σε ισοπεδωμένα χωράφια. Σ' αυτήν την περίπτωση σημασία έχει το μήκος και η κλίση των αυλακιών, καθώς και η σύσταση του εδάφους. Το μεγάλο πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι το χαμηλό κόστος επένδυσης που απαιτεί και η εύκολη εφαρμογή του, ενώ μπορεί να δώσει και άριστα αποτελέσματα στα χέρια έμπειρων βαμβακοκαλλιεργητών. Βέβαια προϋποθέτει τη σημαντικήεπάρκεια νερού.

#### β) Με τεχνητή βροχή (καταιονισμός)

Το πότισμα με τεχνητή βροχή ενδείκνυται σε χωράφια επικλινή και πορώδη. Επιτρέπει οικονομία και ομοιόμορφη κατανομή του νερού, αξιοποιεί μικρές παροχές αρδευτικού νερού και θεωρείται ο καλύτερος τρόπος για ελαφρά ποτίσματα (φυτρώματος, συντήρησης).

Παρόλα αυτά μειονεκτεί γιατί κοστίζει σχετικά ακριβά, παρουσιάζει απώλειες νερού με εξάτμιση, επηρεάζεται από τον άνεμο και απαιτεί αρκετές τεχνικές γνώσεις και πείρα από τον χειριστή.

#### γ) Με σταγόνα (στάγδην άρδευση)

Το πότισμα με σταγόνα (στάγδην άρδευση) διαδίδεται πολύ τα τελευταία χρόνια εξαιτίας των πολλών πλεονεκτημάτων που παρουσιάζει. Τα κυριότερα είναι :

- Αποδοτική χρήση του νερού. Δεν υπάρχουνε απώλειες λόγω εξάτμισης ή κίνησης νερού κάτω από την ρίζα. Τελικά , επιτυγχάνεται οικονομία στο νερό και στην ενέργεια.
- Είναι δυνατή η άρδευση καθόλη τη διάρκεια της ημέρας, αφού δεν επηρεάζεται από τον άνεμο.

- Ενδείκνυται για όλους τους τύπους εδαφών, αφού είναι δυνατή η αξιοποίηση φτωχών εδαφών, καθώς και χωραφιών που η τοπογραφία τους θα περιόριζε τη χρήση άλλων μεθόδων άρδευσης.
- Γίνεται αποτελεσματική εφαρμογή λιπασμάτων μέσω του συστήματος με σταγόνες (υδρολίπανση)
- Επιτυγχάνεται έλεγχος και μείωση των ζιζανίων μέσω του συστήματος (τα ζιζάνια περιορίζονται στην έκταση που διαβρέχεται)
- Δίνεται η δυνατότητα ελέγχου της καλλιέργειας και ανάπτυξης των φυτών σύμφωνα με τις καλλιεργητικές συνθήκες και στόχους.
- Είναι δυνατή η ολοκληρωμένη εφαρμογή φυτοφαρμάκων, τα οποία δεν ξεπλένονται από το αρδευτικό νερό (όπως στην τεχνητή βροχή). Επιπλέον, υπάρχει η δυνατότητα οδήγησης των ψεκαστικών μηχανημάτων στα στεγνά τμήματα του αγρού, χωρίς να διακόπτεται η άρδευση.
- Ο αγρός ποτίζεται ομοιόμορφα ακόμα και στα όριά του .
- Μειώνονται οι ασθένειες που ευνοούνται από την υγρασία στα φύλλα (π.χ. αλτερνάρια)
- Επιτυγχάνεται πρωιμότητα και αύξηση της παραγωγής.

Εξαιτίας όλων των προαναφερόμενων πλεονεκτημάτων, η στάγδην άρδευση, σημειώνει αλματώδη επέκταση τα τελευταία χρόνια στη χώρας μας αλλά και ιδιαίτερα στην περιοχή της Θεσσαλίας. Η συνολική έκταση βαμβακοφυτειών είναι περίπου 322.000 στρ. (10%) από τα οποία τα 222.000 στρ βρίσκονται στο Ν. Λάρισα.

Η κατανομή της άρδευσης με σταγόνες στις διάφορες περιοχές της χώρας φαίνεται ότι συμβαδίζει με την έλλειψη σε νερό των περιοχών αυτών, τις υψηλές αποδώσεις, καθώς επίσης και τις ικανοποιητικές τιμές του σύσπορου βαμβακιού.

Αντίθετα ένα μεγάλο εμπόδιο στη ταχύτερη διάδοση της μεθόδου είναι το σχετικά μικρό κόστος της αρχικής εγκατάστασης, σε συνδυασμό με τη μικρή διάρκεια ζωής του δικτύου. Επιπλέον, χρειάζεται προσοχή στον προγραμματισμό της άρδευσης καθώς το σύστημα είναι ευαίσθητο σε τυχόν λάθη, επειδή ο όγκος που βρέχεται είναι περιορισμένος.

Σημειώνεται επίσης ότι ορισμένες ποικιλίες ανταποκρίνονται καλύτερα στην άρδευση με σταγόνες. Μετά από κάθε πότισμα πρέπει να εξετάζεται σε διάφορα σημεία του χωραφιού, σε τι βάθος προχώρησε το νερό του ποτίσματος και πόσο ομοιόμορφα. Η εξέταση γίνεται με μια σιδερένια βέργα, δύο μέρες μετά το πότισμα για τα ελαφρά εδάφη και τέσσερις μέρες για τα βαριά εδάφη

### **1.9. Κατεργασία του εδάφους**

Είναι απ' τις σημαντικότερες καλλιεργητικές επεμβάσεις. Πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή, όταν το χώμα είναι στο ρώγο του. Είναι καλύτερα, πολλές φορές, να μην γίνει καθόλου κάποια κατεργασία, παρά να γίνει σε υγρό χωράφι και να ζυμωθεί το χώμα. Η ζημιά που θα προκληθεί στην δομή του εδάφους, μπορεί να ακολουθεί την καλλιέργεια όλο το καλοκαίρι.

Εντελώς, απαραίτητο είναι το εδαφοσχίσιμο (σε πραγματικό βάθος κατεργασίας μεγαλύτερο από 50 – 60 εκατοστά), κάθε 3-4 χρόνια. Σε χρονιές που το φθινόπωρο δεν έχει πολλές βροχές και τα χωράφια είναι στεγνά μετά την συγκομιδή, δεν πρέπει να χάνουμε την ευκαιρία να κάνουμε αυτήν την πολύ σημαντική διεργασία

### **1.10. Στόχος παρούσας διπλωματικής**

Οι καλλιεργητικές πρακτικές γνώρισαν ουσιώδεις αλλαγές στο δεύτερο μισό του 20<sup>ου</sup> αιώνα, πρώτα με την εκμηχάνιση της γεωργίας την δεκαετία του 1960 και στη συνέχεια με την εισβολή της χημείας υπό την μορφή λιπασμάτων, ζιζανιοκτόνων κ.τ.λ. την δεκαετία του 1970. Οι αλλαγές αυτές είχαν ως αποτέλεσμα την σημαντική αύξηση της γεωργικής παραγωγής και την εγγύηση της ασφάλειας τροφίμων, κυρίως στον δυτικό κόσμο. Οι καλλιεργητές τα προηγούμενα χρόνια εκμεταλλεύτηκαν τις δυνατότητες που προσέφεραν οι τεκταινόμενες αλλαγές στο έπακρο. Σήμερα είναι κατανοητό ότι μια νέα αλλαγή στην γεωργία πρέπει να συντελεστεί προκειμένου να υπάρξει περαιτέρω βελτίωση. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την εισαγωγή του όρου αειφόρος – βιώσιμη ανάπτυξη στην έκθεση «Το κοινό μας μέλλον», η οποία ήταν απόρροια των εργασιών της Παγκόσμιας Επιτροπής για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη (World Commission on Environment and Development), που πραγματοποιήθηκε το 1987, είχαν ως αποτέλεσμα την εισαγωγή της έννοιας «γεωργία ακριβείας» στις αρχές του 1990. Σύμφωνα με την νέα αυτή προσέγγιση, οι πραγματικές ανάγκες κάθε καλλιέργειας είναι μοναδικές για διαφορετικά γεωγραφικά μήκη, πλάτη, υψόμετρα και εδαφολογικά χαρακτηριστικά. Ο καλλιεργητής θα πρέπει

να λαμβάνει υπόψη του όλα τα παραπάνω έτσι ώστε να πετυχαίνει την μέγιστη δυνατή παραγωγή, ενώ ταυτόχρονα να έχει το μικρότερο δυνατό περιβαλλοντικό αποτύπωμα.

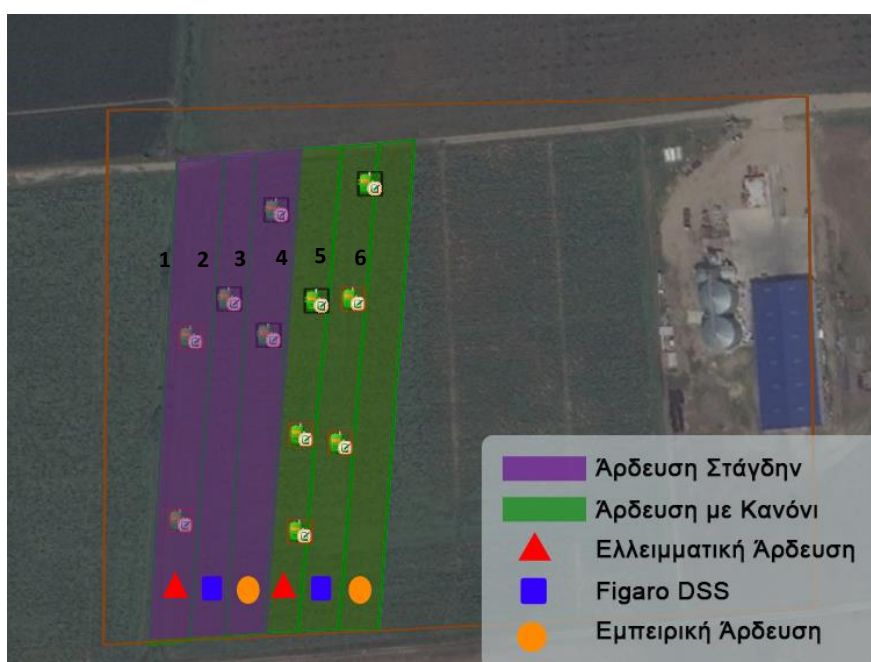
Μια από τις σημαντικότερες συνιστώσες της γεωργίας ακριβείας είναι η άρδευση ακριβείας, η οποία έχει οριστεί ως «η ορθή και ακριβής εφαρμογή του νερού για να καλύψει τις συγκεκριμένες απαιτήσεις των μεμονωμένων μονάδων διαχείρισης και να ελαχιστοποιήσει τις αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον». Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να αξιολογήσει την χρηστικότητα ενός αριθμητικού μοντέλου και ενός μοντέλου ανάπτυξης φυτού στην διαδικασία προγραμματισμού των αρδεύσεων στην καλλιέργεια του βάμβακος.

## 2. Μεθοδολογία

### 2.1 Οργάνωση του πειραματικού αγρού

Για την διεξαγωγή του πειράματος επιλέχθηκε πειραματικός αγρός ο οποίος βρίσκεται στο χωριό Μαγικό (41.046°N; 24.892°E, 13 m υψόμετρο), σε απόσταση περίπου 12 km από την πόλη της Ξάνθης. Ο αγρός έχει τραπεζοειδές σχήμα με παράλληλες πλευρές 103 και 96 m, και μη παράλληλες πλευρές 199 και 200,7 m, καλύπτοντας μία συνολική έκταση 1,97 εκταρίων.

Βάση του αρχικού σχεδιασμού του πειράματος (2012-13) και προκειμένου να εξεταστούν οι διαφορές μεταξύ της στάγδην άρδευσης και άρδευσης με καταιονισμό (κανόνι), όπως και για να αναδειχτεί η δυναμική αύξηση της παραγωγικότητας νερού μέσω της άρδευσης ακριβείας σε σχέση με την εμπειρική πρακτική του αγρότη, ο αγρός χωρίστηκε σε 6 πειραματικά αγροτεμάχια (ΠΑ) (Εικόνα 1). Με βάση την οργάνωση αυτή τα ΠΑ 1, 2 και 3 αρδεύονται με σύστημα άρδευσης στάγδην, ενώ τα ΠΑ 4, 5 και 6 με καταιονισμό (κανόνι). Επιπρόσθετα ο προγραμματισμός των αρδεύσεων στα ΠΑ 2 και 5 γίνεται με την χρήση της πλατφόρμας προγραμματισμού αρδεύσεων FIGARO (άρδευση ακριβείας) (Tsakmakis et al., 2017), ενώ στα ΠΑ 3 και 6 ο προγραμματισμός άρδευσης βασίζεται στην εμπειρική πρακτική του αγρότη. Τέλος για να διερευνηθούν περαιτέρω τα όρια της ελλειμματικής άρδευσης, τα ΠΑ 1 και 4 αρδεύτηκαν με 25% λιγότερο νερό από τις αντίστοιχες ποσότητες που αρδεύτηκαν στα ΠΑ 2 και 4.



Εικόνα 1. Οργάνωση του πειραματικού αγρού

Παρά τον αρχικό σχεδιασμό, περιορισμοί σχετιζόμενοι με την ακτίνα άρδευσης του συστήματος καταιονισμού (κανόνι), εμπόδισαν την εφαρμογή του, με αποτέλεσμα τα ΠΑ 4 και 5 να αρδευτούν τελικά, με την ίδια ποσότητα νερού (η οποία προσδιορίστηκε από την πλατφόρμα FIGARO). Επιπρόσθετα, οι ποσότητες νερού οι οποίες αρδευόνταν από το κανόνι κατά την διάρκεια των γεγονότων άρδευσης, ήταν περίπου σταθερές και δεν μπορούσαν να ρυθμιστούν. Τα γεγονότα άρδευσης ξεκινούσαν περίπου στις 08:00 μ.μ. και τελείωναν στις 12:00 π.μ. την επόμενη ημέρα. Η ποσότητα νερού η οποία χρησιμοποιείται για άρδευση του αγρού κατά την διάρκεια αυτών των γεγονότων εξαρτάται κυρίως από το ύψος του υποκείμενου υδροφόρου και κατά συνέπεια της εν δυνάμει παροχής. Ο περιορισμός αυτός πρόσθεσε ένα ακόμη εμπόδιο στην εφαρμογή του αρχικού σχεδιασμού.

Το σύστημα στάγδην άρδευσης εγκαταστάθηκε στον αγρό στα μέσα Ιουλίου, καθώς οι αγρότες στην περιοχή χρησιμοποιούν έως τότε τον καλλιεργητή (Εικόνα 2) για να αναμοχλεύουν το χώμα και να απομακρύνουν τα ζιζάνια. Κατά συνέπεια, έως τα μέσα Ιουλίου όλα τα ΠΑ αρδεύτηκαν με τις ίδιες ποσότητες νερού μέσω του συστήματος καταιονισμού (κανόνι).



**Εικόνα 2.** Εφαρμογή καλλιεργητή στα μέσα Ιουλίου

Οι απαιτούμενες ποσότητες νερού, την πρώτη χρονιά, αντλήθηκαν από γειτονική γεώτρηση. Εξαιτίας της σημαντικής πτώσης της στάθμης του υποκείμενου υδροφόρου στα τέλη Ιουλίου, ο αγρότης άντλησε νερό και από υδατόρεμα, στο οποίο καταλήγει η εκροή του βιολογικού καθαρισμού της πόλης της Ξάνθης, σε απόσταση περίπου 4 km από τον πειραματικό αγρό. Το νερό του υδατορέματος χρησιμοποιήθηκε μόνο για άρδευση με καταιονισμό. Το ακροφύσιο του κανονιού άλλαξε από 16 χιλιοστά σε 20 χιλιοστά και η ακτίνα όπως και η δυναμική ποσότητα αρδευόμενου νερού μεταβλήθηκαν. Πιο συγκεκριμένα, όσο αναφορά την ακτίνα άρδευσης του κανονιού, αυτή αυξήθηκε από τα 16 στα 25 m, ενώ η ποσότητα του νερού που αρδεύτηκε (εφαρμόστηκε) ανά γεγονός άρδευσης διάρκειας 12 ωρών, από 30 mm που ήταν αρχικά έφτασε τα 40 mm.

Μόνο τρία γεγονότα άρδευσης πραγματοποιήθηκαν κατά την δεύτερη χρονιά του πειράματος (2013-14), εξαιτίας των έντονων και συχνών βροχοπτώσεων κατά την καλλιεργητική περίοδο. Οι περιορισμοί της πρώτης χρονιάς αναφορικά με τα συστήματα καταιονισμού και στάγδην αντιμετωπίστηκαν και πάλι. Μόνο νερό από την γεώτρηση χρησιμοποιήθηκε την χρονιά αυτή.

Κατά την διάρκεια του τρίτου χρόνου (2014-15) παρουσιάστηκε ένα νέο πρόβλημα. Ο αγρότης αποφάσισε να ποτίσει τα πειραματικά αγροτεμάχιά του σύμφωνα με τις συστάσεις της πλατφόρμας FIGARO. Συνεπώς, ο αγρός χωρίστηκε σε τρεις διαχειρίσεις. Μία αρδευόμενη με καταιονισμό (κανόνι) και βάσει της πλατφόρμας FIGARO (αρχικά ΠΑ 4,5 και 6), μία αρδευόμενη με στάγδην και βάση της πλατφόρμας FIGARO (αρχικά ΠΑ 2 και 3) και μία αρδευόμενη με στάγδην και 25% λιγότερο νερό από αυτό του πρότεινε η πλατφόρμα FIGARO (αρχικό ΠΑ 1). Μόνο νερό της γεώτρησης χρησιμοποιήθηκε για άρδευση.

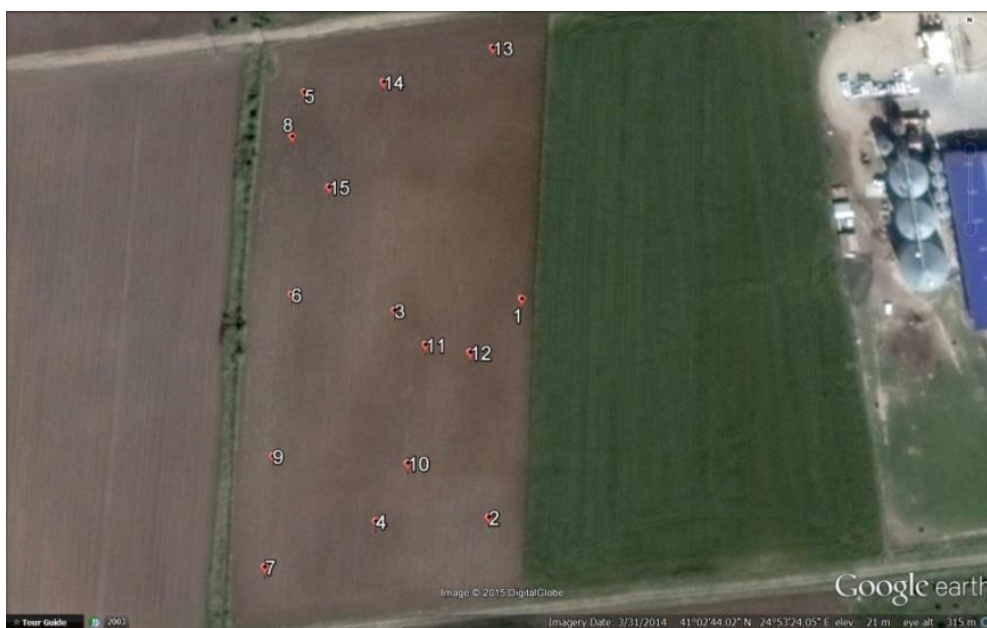
Παρα τις αλλαγές στον αρχικό σχεδιασμό, τα αποτελέσματα του πρώτου χρόνου κατέδειξαν το γεγονός ότι οι αγρότες στην Ελλάδα δεν αρδεύουν με τον βέλτιστο τρόπο τις καλλιέργειες βαμβακιού, καθώς χρησιμοποιούν εμπειρικές μεθόδους χωρίς την χρήση επιστημονικών οργάνων (αισθητήρων υγρασίας, υδρόμετρων) ή σχετικών λογισμικών για να βελτιώσουν τον προγραμματισμό των αρδεύσεών τους. Κάποιοι αγρότες χρησιμοποιούν την τοπική μετεωρολογική πρόβλεψη, η οποία είναι όμως δίνει πληροφορίες μόνο όσο αναφορά τη χρονική στιγμή που θα συμβεί η βροχόπτωση. Επιπρόσθετα, στις περισσότερες περιπτώσεις, υπάρχει έλλειψη γνώσης του κύκλου ανάπτυξης του βάμβακος και των σχετικών



απαιτήσεων νερού σε κάθε φάση ανάπτυξης του. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την υιοθέτηση της χρήσης ρυθμιστών ανάπτυξης, (π.χ. Pix) προκειμένου να ελεγχθεί η βλαστική ανάπτυξη των φυτών, αυξάνοντας όμως με αυτό τον τρόπο το κόστος παραγωγής, ενώ παράλληλα σπαταλούν τους διαθέσιμους υδατικούς πόρους.

## 2.2 Προσδιορισμός εδαφολογικών παραμέτρων.

Για τον προσδιορισμό των εδαφολογικών παραμέτρων πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία διαταραγμένων και αδιατάρακτων δειγμάτων εδαφικού υλικού σε 15 σημεία στον αγρό (Εικόνα 2) έως το βάθος των 100 cm. Σε όλα τα δείγματα (διαταραγμένα και αδιατάραχτα) έγινε προσδιορισμός της κατηγορίας εδαφολογικής υφής με την βελτιστοποιημένη μέθοδο του υδρόμετρου (Βουγουκος 1962). Επιπρόσθετα, στα αδιατάρακτα δείγματα έγινε εργαστηριακός προσδιορισμός του σημείου κορεσμού (SAT), της υδατοχωρητικότητας (FC), του σημείου μαρασμού (PWP) και της κορεσμένης υδραυλικής αγωγιμότητας ( $K_{sat}$ ).

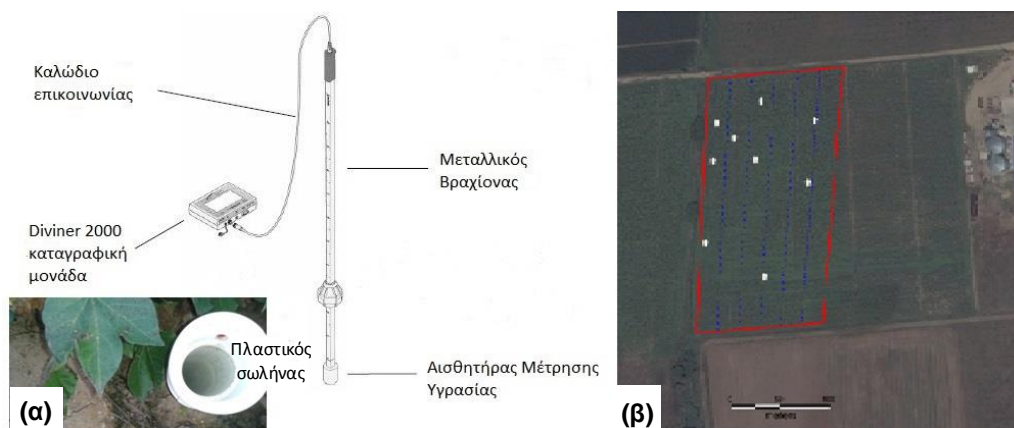


**Εικόνα 3.** Σημεία λήψης διαταραγμένων και αδιατάρακτων δειγμάτων εδάφους

## 2.3 Παρακολούθηση διακυμάνσεων εδαφικής υγρασίας

Για την μέτρηση της εδαφικής υγρασίας χρησιμοποιήθηκε η συσκευή Diviner 2000 του οίκου Sentek Ltd. Η συσκευή αποτελείται από μεταλλικό βραχίονα στη άκρη του οποίου βρίσκεται αισθητήρας μέτρησης της υγρασίας. Ο βραχίονας εισέρχεται σε πλαστικούς σωλήνες, που τοποθετούνται και παραμένουν στον αγρό σε όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, και παίρνει μετρήσεις κάθε 10 cm κατά την κάθοδο και άνοδό του (Εικόνα 3α). Για τον σκοπό αυτό

τοποθετήθηκαν στον αγρό 9 σωλήνες (Εικόνα 3β) και πραγματοποιούνταν μετρήσεις υγρασίας με συχνότητα περίπου δύο φορές την εβδομάδα. Για τον έλεγχο της αξιοπιστίας των μετρούμενων τιμών υγρασίας λαμβάνονταν δείγματα εδάφους, σε κοντινή απόσταση από τους εγκατεστημένους σωλήνες, στα οποία μετρούνταν το περιεχόμενο εδαφικής υγρασίας με τη βαρυμετρική μέθοδο αναφοράς.



**Εικόνα 4.** (α) Συσκευή μέτρησης εδαφικής υγρασίας Diviner2000, (β) Θέσεις τοποθέτησης σωλήνων.

## 2.4 Συγκόμωση

Κατά την διάρκεια των τριών ετών του πειράματος, η συγκόμωση προσδιορίστηκε με την λήψη φωτογραφιών, με κινητό τηλέφωνο το οποίο χρησιμοποιήθηκε ως φωτογραφική μηχανή, στα διάφορα στάδια ανάπτυξης του φυτού. Η μεθοδολογία εκτίμησης της συγκόμωσης τροποποιήθηκε μεταξύ των καλλιεργητικών περιόδων προκειμένου αφενός να αυξηθεί ο αριθμός των μετρήσεων αλλά και αφετέρου να προγραμματιστεί πιο ορθολογικά η κατανομή τους προκειμένου να καλύπτουν ολόκληρο τον κύκλο της καλλιεργητικής περιόδου, συμβάλλοντας με αυτό τον τρόπο τόσο στην βελτίωση της πληρότητας της βάσης δεδομένων των μετρήσεων όσο και η αξιοπιστία της. Στην τελική της μορφή παρατίθεται παρακάτω

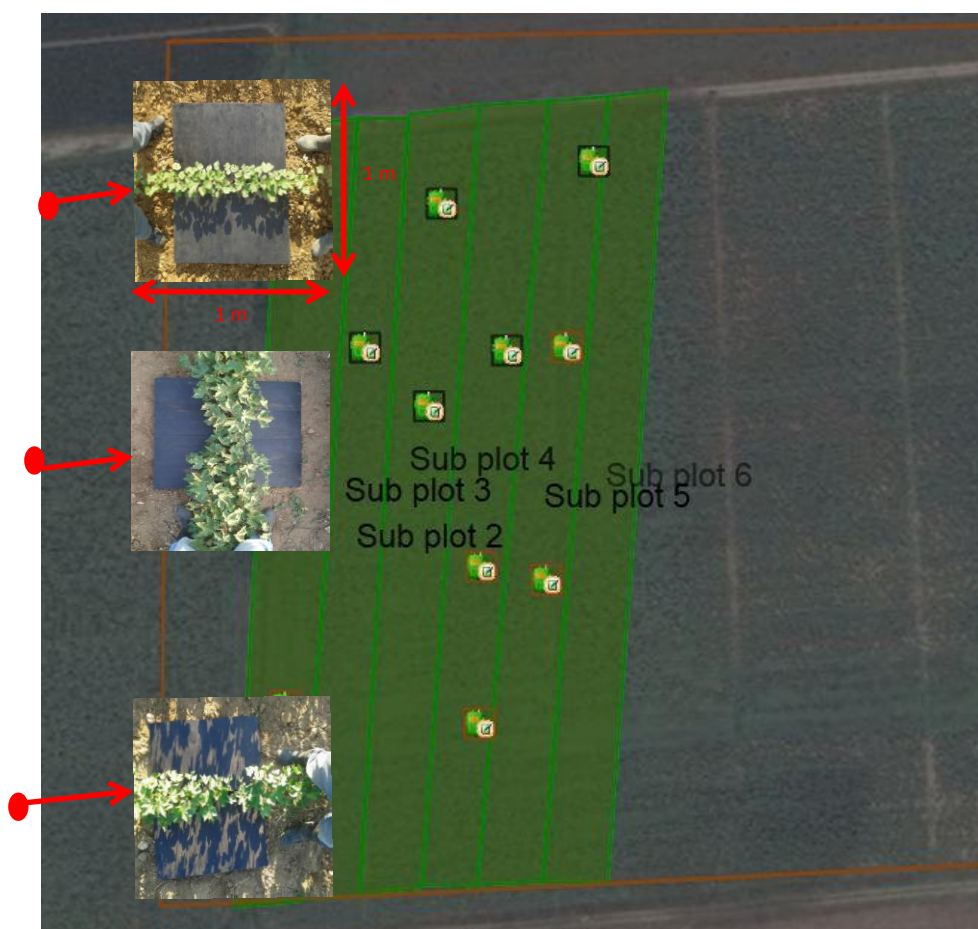
- 3 σταθερά σημεία ορίστηκαν στην αρχή της καλλιεργητικής περιόδου σε κάθε ΠΑ (Εικόνα 5)
- 2 μαύρα χαρτόνια,  $0,5 \text{ m}^2$  το καθένα, τοποθετούνταν εκατέρωθεν της γραμμής των φυτών πρίν την λήψη της φωτογραφίας
- οι φωτογραφίες λαμβάνονταν από σταθερό ύψος περίπου 2 m από την επιφάνεια του εδάφους,

- σε κάθε σταθερό σημείο λαμβάνονταν 3 φωτογραφίες και υπολογίζονταν η μέση τιμή της συγκόμωσης
- η τιμή της συγκόμωσης κάθε ΠΑ υπολογίζονταν ως η μέση τιμή των μετρήσεων των τριών σταθερών σημείων
- η συγκόμωση υπολογίζονταν με επεξεργασία εικόνας, αρχικά με το λογισμικό Photoshop και στην συνέχεια με το λογισμικό GIMP.

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι

- οι φωτογραφίες μπορούν να ληφθούν εύκολα και γρήγορα
- δεν απαιτείται εξειδικευμένος εξοπλισμός, καθώς οι φωτογραφίες μπορούν να ληφθούν από ένα απλό κινητό.

ενώ τα μειονεκτήματα έχουν να κάνουν με την χρονοβόρα διαδικασία επεξεργασίας της εικόνας.



**Εικόνα 5.** Σταθερά σημεία μέτρησης της συγκόμωσης στο πειραματικό αγροτεμάχιο 6.

Κατά την διάρκεια του πειράματος, πραγματοποιήθηκαν αλλαγές και βελτιώσεις στην μεθοδολογία, προκειμένου να ξεπεραστούν δυσκολίες, όσο αναφορά την φωτογράφιση και την επεξεργασία εικόνας. Για παράδειγμα, τα δύο πρώτα χρόνια του πειράματος, οι φωτογραφίες λαμβάνονται από ύψος 1 m από το έδαφος. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα, όταν τα φυτά έφταναν το ύψος των 90 cm, η περαιτέρω λήψη φωτογραφιών να μην είναι δυνατή. Έτσι κατά το τρίτο χρόνο του πειράματος το ύψος αυξήθηκε περίπου στα 2 m. Ο Πίνακας 1 δείχνει τις διαδοχικές βελτιώσεις, στις διάφορες τεχνικές της μεθόδου, μεταξύ των καλλιεργητικών περιόδων. Πρέπει να σημειωθεί ότι είναι σημαντικό οι μετρήσεις της συγκόμωσης να καλύπτουν ολόκληρο τον κύκλο ανάπτυξης του φυτού. Με τον τρόπο αυτό σημαντικές παράμετροι (οι οποίες χρησιμοποιούνται για την βαθμονόμηση και επικαιροποίηση των μοντέλων ανάπτυξης φυτών), όπως ο συντελεστής ανάπτυξης αλλά και ο συντελεστής μείωσης της συγκόμωσης μπορούν να προσδιοριστούν.

**Πίνακας 1.** Τροποποιήσεις στην μεθοδολογία προσδιορισμού της συγκόμωσης μεταξύ των καλλιεργητικών περιόδων.

	2012-13	2013-14	2015-16
Χρήση Χαρτονιών	OXI	OXI	NAI
Ύψος λήψης φωτογραφίας (μ.)	1	1	2
Οι φωτογραφίες λαμβάνονταν από ένα τυχαίο σημείο του ΠΑ	NAI	OXI	OXI
Οι φωτογραφίες λαμβάνονταν από σταθερό σημείο του ΠΑ	OXI	NAI	NAI
Αριθμός σταθερών σημείων	0	1	3
Λήψη φωτογραφιών κατά όλη την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου	OXI	OXI	NAI

## 2.5 Μετεωρολογικές Παράμετροι

### 2.5.1 Το μοντέλο πρόγνωσης καιρού TAPM

Για την πρόγνωση των κλιματικών συνθηκών χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο ατμοσφαιρικής ρύπανσης TAPM το οποίο αναπτύχθηκε από την CSIRO. Το μετεωρολογικό κομμάτι του TAPM χρησιμοποιεί οριακές συνθήκες από μετεωρολογικό μοντέλο μεγαλύτερης κλίμακας και λύνει τις εξισώσεις διατήρησης της ορμής για το οριζόντιο πεδίο ταχυτήτων του ανέμου, την εξίσωση συνέχειας για την κατακόρυφη και βαθμωτές εξισώσεις για την δυναμική θερμοκρασία, την ειδική υγρασία των υδρατμών, των σύννεφων βροχής αλλά και της βροχής και του χιονιού (Luhar and Hurley, 2012). Η ατμοσφαιρική πίεση προσδιορίζεται από το άθροισμα των υδροστατικών και των μη-υδροστατικών όρων.

### **2.5.2 Μετεωρολογικός σταθμός πεδίου**

Για την βελτιστοποίηση του μοντέλου πρόγνωσης τοποθετήθηκε σε απόσταση 50 m από τον αγρό μετεωρολογικός σταθμός, εξοπλισμένος με τηλεμετρική μονάδα της εταιρίας ADCON, που μετρά την ολική ηλιακή ακτινοβολία, την βαρομετρική πίεση, την θερμοκρασία και την σχετική υγρασία, το ύψος της βροχόπτωσης, την ταχύτητα του ανέμου και την κατεύθυνση του ανέμου. Τα δεδομένα των μετρήσεων είναι διαθέσιμα για ανάκτηση, σε πραγματικό χρόνο σε δικτυακό τόπο.

## **2.6 Προγραμματισμός άρδευσης**

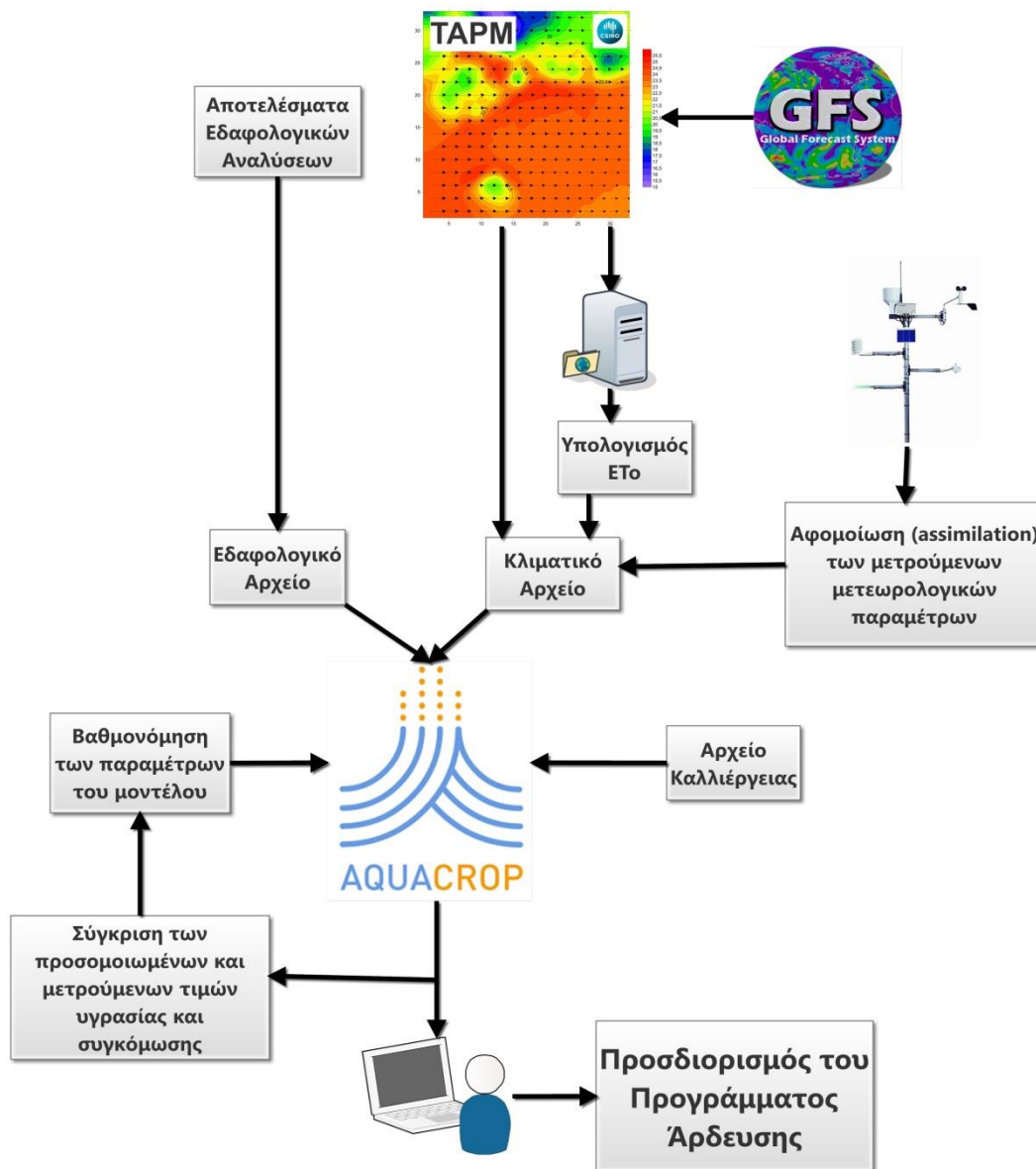
Προκειμένου να καθοριστεί η χρονική στιγμή άρδευσης και η απαιτούμενη ποσότητα αρδευτικού νερού, χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο προσομοίωσης ανάπτυξης φυτών AquaCrop (Raes et al. 2009; Steduto et al. 2009). Πρόκειται για ένα μοντέλο το οποίο προσομοιώνει τον κύκλο ανάπτυξης μονοετών καλλιεργειών χρησιμοποιώντας το ισοζύγιο του νερού, την συγκόμωση και το εδαφικό προφίλ (SAT, FC, PWP, Ksat). Με τη βοήθεια του μοντέλου εξετάζονται διάφορα σενάρια όπου μεταβάλλεται ο χρόνος άρδευσης και η ποσότητα αρδευτικού νερού. Ως εργαλείο για την ανάδειξη του καλύτερου σεναρίου χρησιμοποιείται ο δείκτης Αποδοτικότητας Χρήσης Νερού (WUE,  $\text{kg/m}^3$ ), ο οποίος εκφράζει την ποσότητα συγκομιδής ανά μονάδα όγκου νερού που χάθηκε στην εξατμισοδιαπνοή.

## **2.7 Σύστημα λήψης αποφάσεων**

Η Εικόνα 6 απεικονίζει το διάγραμμα ροής του συστήματος λήψης αποφάσεων. Τα αποτελέσματα των εδαφολογικών αναλύσεων χρησιμοποιούνται για την

δημιουργία των εδαφικών αρχείων του μοντέλου AquaCrop. Η εξατμισοδιαπνοή υπολογίζεται με την εμπειρική εξίσωση FAO 56 Penman – Monteith έχοντας ως δεδομένα εισόδου την πρόβλεψη του μοντέλου TAPM για μία ημέρα. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών εισέρχονται στο AquaCrop για την δημιουργία του κλιματικού αρχείου.

Κάθε δεύτερη ημέρα τα παρελθοντικά δεδομένα του κλιματικού αρχείου που έχει δημιουργηθεί με βάση την πρόβλεψη του TAPM αντικαθίσταται με τις αντίστοιχες μετρούμενες τιμές του μετεωρολογικού σταθμού (Data Assimilation). Στη συνέχεια εκτελείται το μοντέλο AquaCrop. Οι εκτιμώμενες τιμές εδαφικής υγρασίας και συγκόμωσης συγκρίνονται με τις μετρούμενες τιμές. Αν η συσχέτιση είναι ικανοποιητική το προτεινόμενο πρόγραμμα άρδευσης θεωρείται το βέλτιστο, αν η συσχέτιση δεν είναι ικανοποιητική πραγματοποιείται βαθμονόμηση των παραμέτρων του μοντέλου και το AquaCrop εκτελείται εκ νέου.



**Εικόνα 6.** Διάγραμμα ροής συστήματος προγραμματισμού αρδεύσεων (Tsakmakis et al., 2017).

## 2.8 Διαδικασία βαθμονόμησης αρχείου βάμβακος.

Στην βιβλιογραφία υπάρχουν τρεις βασικές δημοσιεύσεις σχετικά με την βαθμονόμηση και επικύρωση του αρχείου καλλιέργειας βάμβακος στο μοντέλο AquaCrop (García et al., 2009; Farahani et al., 2009; Hussein et al., 2011). Κατά την διάρκεια αυτών των πειραμάτων, οι ερευνητές βαθμονόμησαν το αρχείο καλλιέργειας χρησιμοποιώντας πειραματικά δεδομένα μιας χρονιάς και στην συνέχεια το επικύρωσαν εφαρμόζοντάς το σε τουλάχιστον δύο άλλες ομάδες δεδομένων διαφορετικών καλλιεργητικών περιόδων. Το αρχείο του μοντέλου επικυρώθηκε όσο αναφορά τις ακόλουθες παραμέτρους: Συγκόμωση (Green Canopy Cover CC), ξερή υπερεδάφεια βιομάζα (dry aboveground biomass dB), ισοζύγιο περιεχομένου εδαφικής υγρασίας (Soil Water Content balance SWC),

εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας ( $ET_c$ ) και τελική παραγωγή σύσπορου βάμβακος (final Seed Cotton Yield SCY).

Η βαθμονόμηση του αρχείου καλλιέργειας, στο παρόν πείραμα, βασίστηκε στα αποτελέσματα τις χρονιάς 2014-15 και πιο συγκεκριμένα στα δεδομένα που προέκυψαν από το ΠΑ 2 (Στάγδην, FIGARO). Η επιλογή της χρονιάς αυτής για την βαθμονόμηση στηρίχθηκε στα παρακάτω:

- a) οι βάσεις δεδομένων της χρονιάς αυτής ήταν πιο πλήρεις και αξιόπιστες από ότι των προηγούμενων ετών και
- b) η μεθοδολογία προσδιορισμού της συγκόμωσης βελτιώθηκε σημαντικά.

Επιπρόσθετα, η επιλογή της στάγδην διαχείρισης από την άρδευση με καταιονισμό (κανόνι), ήταν αποτέλεσμα της μικρής συσχέτισης μεταξύ του προσομοιωμένου (από το AquaCrop) και του μετρούμενου (Diviner 2000) ισοζυγίου εδαφικής υγρασίας στις αρδευόμενες με κανόνι διαχειρίσεις. Αυτό αποδίδεται κυρίως στην ουσιώδη διαφορά μεταξύ των ποσοτήτων νερού που καταγράφονταν από το υδρόμετρο (το οποίο ήταν τοποθετημένο μεταξύ της γεώτρησης και του συστήματος κανόνι – καρούλι) και του νερού που τελικά κατέληγε στον αγρό (net irrigation), εξαιτίας α) των απωλειών που σχετίζονται με την λειτουργία του συστήματος, και β) την ανομοιόμορφη κατανομή του νερού στον αγρό.

**Πίνακας 2.** Παράμετροι βαθμονόμησης - επικύρωσης που χρησιμοποιήθηκαν για κάθε χρόνο του πειράματος.

Παράμετρος	2012-13 (Επικύρωση)	2013-14 (Επικύρωση)	2014-15 (Βαθμονόμηση)
Συγκόμωση (%)	NAI	NAI	NAI
Υπεργεια ξηρή βιομάζα κατά την καλλιεργητική περίοδο (tn/ha)	OXI	OXI	NAI
Εφαγικό περιεχόμενο υγρασίας (mm)	NAI	NAI	NAI
Υπεργεια ξηρή βιομάζα κατά της	OXI	NAI	NAI



συγκομιδή (tn/ha)			
Προσδιορισμού βαθους ριζών (cm)	OXI	NAI	NAI
Ξηρή τελική σύσπορη παραγωγή βάμβακος (tn/ha)	NAI	NAI	NAI

Κατά την διαδικασία βαθμονόμησης, οι ερευνητές, παραμετροποίησαν έναν σημαντικό αριθμό κύριων παραμέτρων από το αρχικό αρχείο βάμβακος, είτε βασιζόμενοι σε παρατηρήσεις στο πεδίο είτε χρησιμοποιώντας την μέθοδο της δοκιμής και λάθους (trial and error approach). Το μοντέλο AquaCrop χρησιμοποιεί έναν αριθμό βασικών παραμέτρων όπως η συγκόμωση (CC), η υπεργεια ξηρή βιομάζα (dB) και η τελική παραγωγή (SCY), οι οποίες είναι ισχυρά εξαρτόμενες από τις κύριες παραμέτρους. Η τροποποίηση μίας κύρια παραμέτρου έχει άμεση επίπτωση σε μία από τις βασικές παραμέτρους του μοντέλου (CC, dB, SCY) και έμεση επίπτωση στις υπόλοιπες. Για παράδειγμα μία αλλαγή στον συντελεστή μείωσης της συγκόμωσης (Canopy Decline Coefficient) θα έχει άμεση επίπτωση στην εξέλιξη του CC και έμεση στην dB και κατά συνέπεια στην SCY. Σε μία προσπάθεια να βοηθηθούν οι μελλοντικοί ερευνητές κατά την διαδικασία βαθμονόμησης του μοντέλου δημιουργήθηκε ο Πίνακας 3, ο οποίος δείχνει τις κύριες παραμέτρους του μοντέλου και τις επιπτώσεις που αυτές έχουν στο CC, dB και SCY. Τα στρες γονιμότητας και αλατότητας δεν λήφθηκαν υπόψη.

**Πίνακας 3.** Κύριες παράμετροι του μοντέλου AquaCrop και οι επίδραση που αυτές έχουν στην εξέλιξη της συγκόμωσης, την διαμόρφωση της υπεργεια ξηρής βιομάζας και την τελική παραγωγή σύσπορου βάμβακος.

Κύρια παράμετρος	Επίπτωση στην εξέλιξη του CC	Επίπτωση στην διαμόρφωση της dB	Επίπτωση στην SCY
Ημέρες μέχρι το φύτρωμα (d)	Ναι	Όχι	Όχι
Ημέρες έως την μέγιστη CC (d)	Ναι	Όχι	Όχι
Ημέρες έως την μάρανση (d)	Ναι	Όχι	Όχι
Ημέρες έως την ωριμότητα (d)	Ναι	Όχι	Όχι
Συντελεστής μείωσης της CC (%)	Ναι	Όχι	Όχι

Μέγιστη συγκόμωση (%)	Ναι	Όχι	Όχι
Ημέρες έως το μέγιστο βάθος ριζών (d)	Ναι	Όχι	Όχι
Μέγιστο βάθος ριζών (m)	Ναι	Όχι	Όχι
Αρχικό βάθος (Zr) από το οποίο οι σπόροι/νεαρά φυτά μπορούν να δεσμεύουν νερό (m)	Ναι	Όχι	Όχι
Συντελεστής σχήματος ανάπτυξης των ριζών	Ναι	Όχι	Όχι
Ανώτατο όριο υδατικού στρες για την βλαστική ανάπτυξη ( $p_{upper}$ )	Ναι	Όχι	Όχι
Κατώτατο όριο υδατικού στρες για την βλαστική ανάπτυξη ( $p_{lower}$ )	Ναι	Όχι	Όχι
Συντελεστής σχήματος υδατικού στρες για την βλαστική ανάπτυξη	Ναι	Όχι	Όχι
Ανώτατο όριο υδατικού στρες για το κλείσιμο των στοματίων ( $p_{upper}$ )	Ναι	Όχι	Όχι
Συντελεστής σχήματος υδατικού στρες για το κλείσιμο των στοματίων	Ναι	Όχι	Όχι
Ανώτατο όριο υδατικού στρες για την πρόωρη μάρανση ( $p_{upper}$ )	Ναι	Όχι	Όχι
Συντελεστής σχήματος υδατικού στρες πρόωρης μάρανσης	Ναι	Όχι	Όχι
Υδατο-παραγωγικότητα της καλλιέργειας (WP) κανονικοποιημένη για το κλίμα και το CO <sub>2</sub> (g/m <sup>2</sup> )	Όχι	Ναι	Όχι
Δείκτης συγκομιδής αναφοράς (HI)	Όχι	Όχι	Ναι
Θετική επίδραση του υδατικού στρες πριν την ανθοφορία στον HI	Όχι	Όχι	Ναι
Ανώτατο όριο υδατικού στρες κατά την ανθοφορία έως ότου να προκαλεί αποτυχία στην γονιμοποίηση ( $p_{upper}$ )	Όχι	Όχι	Ναι

Υδατικό στρες που έχει επίδραση στην βλαστική ανάπτυξη a (θετική επίδραση στον HI)	Όχι	Όχι	Ναι
Υδατικό στρες που έχει επίδραση στο κλείσιμο των στοματιών b (αρνητική επίδραση στον HI)	Όχι	Όχι	Ναι
Φυτικός συντελεστής στην μέση της καλλιεργητικής περιόδου ( $K_{c_{T,x}}$ )	Όχι	Ναι	Όχι
Ημέρες έως την ανθοφορία (d)	Όχι	Όχι	Ναι
Ημέρες ανθοφορίας (d)	Όχι	Όχι	Ναι

### 2.8.1 Βαθμονόμηση αρχείου βάμβακος ως προς τον ρυθμό ανάπτυξης των ριζών

Μία από τις πιο σημαντικές παραμετρούς, η οποία καθορίζει στην ουσία την διαθέσιμη στο φυτό υγρασία, είναι το βάθος των ριζών. Η γενική σχέση που λύνει το μοντέλο AquaCrop είναι

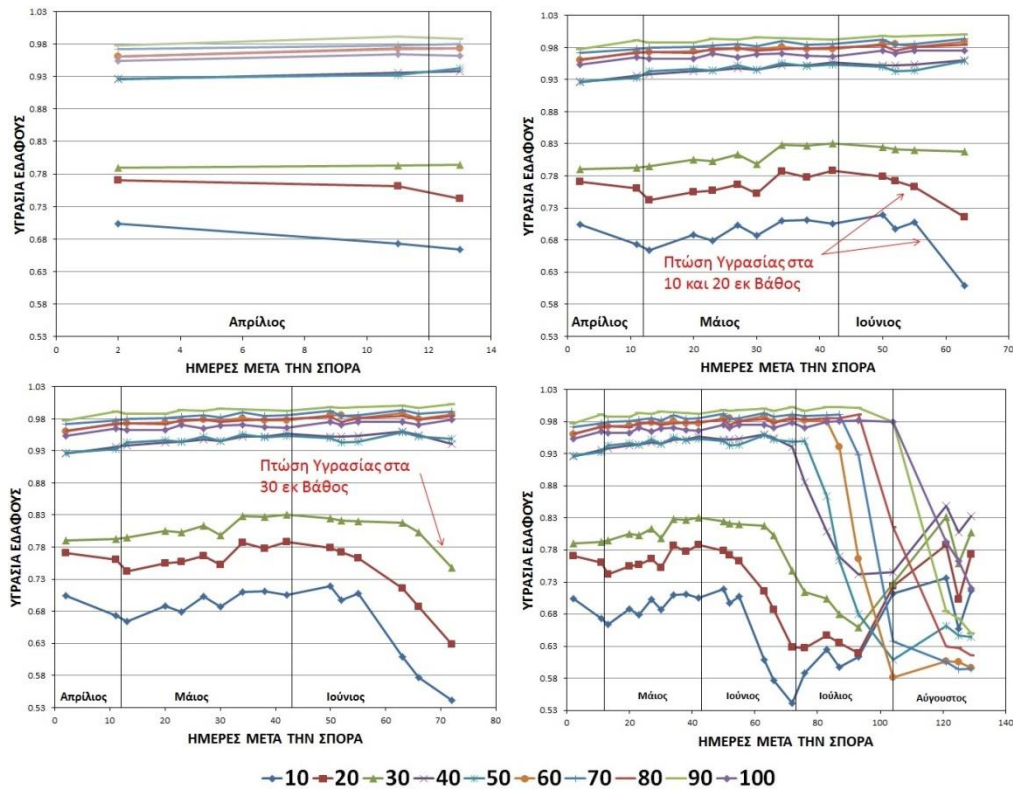
$$W_r = 1000z$$

όπου  $W_r$  το περιεχόμενο υγρασίας στο βάθος του ριζικού συστήματος σε mm,  $\theta$  το μέσο ογκομετρικό περιεχόμενο υγρασίας στο ριζικό σύστημα ( $m^3$  υγρασίας/ $m^3$  εδάφους), το 1000 συντελεστής μετατροπής μονάδων και  $z$  το βάθος των ριζών (m).

Στις προηγούμενες μελέτες οι ερευνητές ανέφεραν το τελικό μέγιστο ενεργό βάθος ριζών το οποίο επέλεξαν, αλλά δεν παρουσίασαν στοιχεία για το πως αυτό προσδιορίστηκε ή το ρυθμό με τον οποίο οι ρίζες αναπτύχθηκαν έως ότου φτάσουν σε αυτό. Ακόμα, σημαντική είναι η διαφορά μεταξύ των προτεινόμενων τιμών για την παράμετρο αυτή, με τους Garcia et al. (2009) να προτείνουν έως μέγιστο βάθος τα 200 cm ενώ οι Farahani et al. (2009) τα 130 cm. Στην παρούσα εργασία έγινε έμμεσος προσδιορισμός του ρυθμού ανάπτυξης των ριζών χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις του οργάνου Diviner 2000. Το όργανο εισέρχεται σε προεγκατεστημένους στον αγρό σωλήνες, και μετρά το περιεχόμενο εδαφικής υγρασίας κάθε δέκα εκατοστά, καθώς εισέρχεται και εξέρχεται, μέχρι το βάθος του ενός μέτρου. Οι διακυμάνσεις τις υγρασίας σε δεδομένο βάθος αποδίδονται:

1. σε γεγονότα άρδευσης,
2. σε γεγονότα βροχόπτωσης,
3. σε κατείσδυση,
4. σε τριχοειδή ανύψωση,
5. σε εξάτμιση,
6. σε διαπνοή,
7. σε σημαντικά ελλείμματα υγρασίας στο κατακόρυφο ή οριζόντια επίπεδο.

Θεωρώντας ότι η επίδραση της εξάτμισης κάτω από το βάθος των 20 cm είναι αμελητέα, ότι τα γεγονότα βροχόπτωσης και άρδευσης καταγράφονται, το βάθος του υδροφόρου στην περιοχή είναι κάτω από τα 50 m και ότι η παρουσία ξαφνικών σημαντικών ελλειμάτων υγρασίας σε βάθη κάτω των 30 cm είναι μάλλον απίθανη, οι μετρούμενες διακυμάνσεις υγρασίας, κάτω από το βάθος των 20 cm, αποδόθηκαν στην διαπνοή, δηλαδή στην δέσμευση της διαθέσιμης υγρασίας από το ενεργό ριζικό σύστημα των φυτών (Εικόνα 7). Στην παρούσα έκθεση προόδου γίνεται μία πρώτη παρουσίαση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν όταν η προσομοίωση ανάπτυξης των ριζών βάσει του μοντέλου AquaCrop συγκρίθηκε με τις εκτιμήσεις που έγιναν βάσει των μετρήσεων του Diviner 2000.



**Εικόνα 7.** Μεταβολή της εδαφικής υγρασίας σε διάφορα βάθη στη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου.

## 2.9 Στατιστική ανάλυση

Τα πρότυπα διαγράμματα Taylor (Taylor, 2001) χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση των μοντέλων TAPM και AquaCrop. Στα διαγράμματα αυτά παρουσιάζονται τρεις στατιστικές παράμετροι: ο δείκτης συσχέτισης ( $r$ )

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})(S_i - \bar{S})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2 \sum_{i=1}^N (S_i - \bar{S})^2}}$$

Η ρίζα της μέσης τετραγωνικής απόκλισης (cRMSD)

$$\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (O_i - S_i)^2}$$

μαζί με τον λόγο της τυπικής απόκλισης πληθυσμού των μετρούμενων και εκτιμώμενων τιμών ( $\sigma_o$ ,  $\sigma_s$ ), όπου  $O_i$  και  $S_i$  οι μετρούμενες και προσομοιωμένες τιμές αντίστοιχα,  $O_m$  και  $S_m$  οι αντίστοιχες μέσες τιμές των μετρούμενων και προσομοιωμένων τιμών, και  $N$  ο αριθμός των μετρήσεων. Και οι τρεις παράμετροι παρουσιάζονται ως ένα σημείο σε ένα δυσδιάστατο πολικό

διάγραμμα, στο οποίο οι άξονες  $x$  και  $y$  αναπαριστούν τις  $\sigma_o$  και  $\sigma_s$ , αντίστοιχα, και η αξιμούθια απόσταση αντιστοιχεί στον  $r$ . Το σημείο αναφοράς σχεδιάζεται στον άξονα  $x'x$  σε ακτινική απόσταση από την αρχή των αξόνων ίση με την  $\sigma_o$ .

Επιπρόσθετα χρησιμοποιήθηκαν ο συντελεστής συσχέτισης του Pearson

$$r = \frac{\sum_i (S_i - \bar{S})(O_i - \bar{O})}{\left[ \sum_i (S_i - \bar{S})^2 \sum_i (O_i - \bar{O})^2 \right]^{1/2}}$$

ο δείκτης συμφωνίας του Willmott

$$d = \frac{\sum_i (S_i - O_i)^2}{\sum_i (S_i - \bar{S})^2 + \sum_i (O_i - \bar{O})^2}$$

η κανονικοποιημένη ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος

$$NRMSE = \frac{\left[ \sum_i (S_i - O_i)^2 \right]^{1/2}}{\left[ \frac{\sum_i (S_i - \bar{S})^2 + \sum_i (O_i - \bar{O})^2}{n} \right]^{1/2}}$$

και ο δείκτης αποδοτικότητας του μοντέλου (modeling efficiency EF)

$$EF = \frac{\sum_i (S_i - O_i)^2}{\sum_i (O_i - \bar{O})^2}$$

όπου  $S_i$  και  $O_i$  οι προσομοιωμένες και μετρούμενες τιμές αντίστοιχα,  $O_m$  η μέση τιμή των μερούμενων τιμών και  $n$  ο αριθμός των μετρήσεων. Η απόδοση του μοντέλου βελτιώνεται όταν οι δείκτες  $r$ ,  $d$  και  $EF$  πλησιάζουν την μονάδα και ο δείκτης  $NRMSE$  το μηδέν.

### 3 Αποτελέσματα

#### 3.1 Εδαφολογικές αναλύσεις

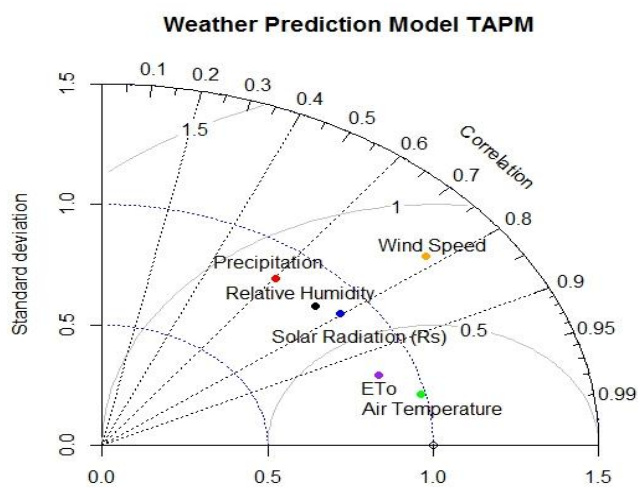
Τα αποτελέσματα των εδαφολογικών αναλύσεων έδειξαν την ύπαρξη δύο εδαφικών οριζόντων. Το εύρος του πρώτου ορίζοντα εκτείνεται από την επιφάνεια του εδάφους έως το βάθος των 30 – 40 cm, ενώ ο δεύτερος ορίζοντας ξεκινά από τα 30 – 40 cm και φτάνει έως το βάθος του ενός μέτρου. Στον Πίνακα 4 φαίνονται τα αρχεία εδάφους τα οποία δημιουργήθηκαν για το AquaCrop βάσει των εδαφικών αναλύσεων.

**Πίνακας 4.** Παράμετροι των εδαφολογικών αρχείων για τα ΠΑ

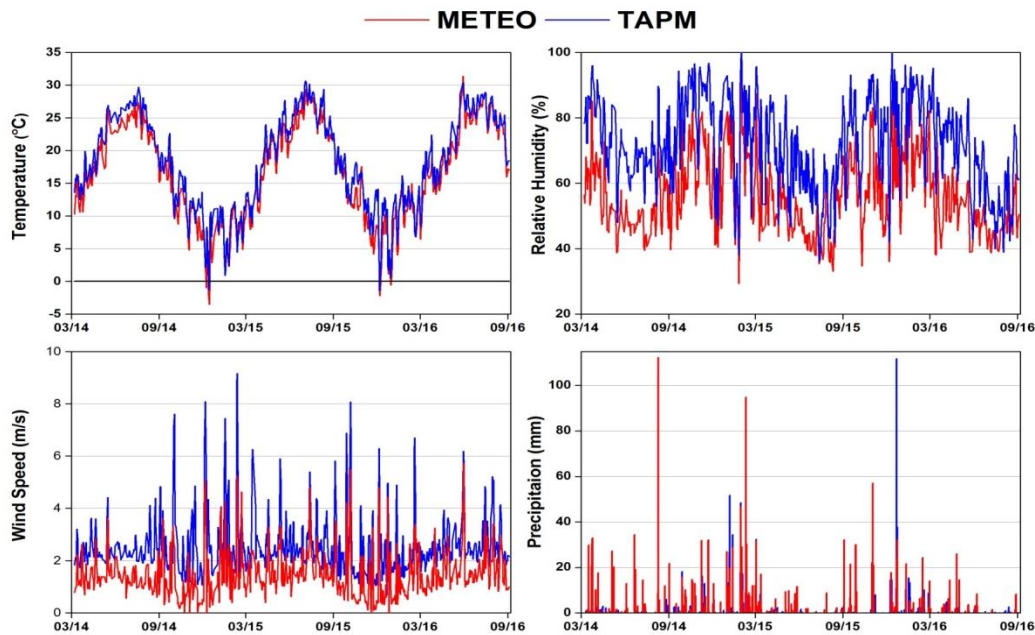
ΠΑ	Layers	Κορεσμός, SAT (%)	Υδατοχωρητικότητα FC (%)	Σημείου Μάρανσης, WP (%)	Κορεσμένη Υδραυλική Αγωγιμότητα, Ksat (mm/d)
1	0-40	38,0	28,1	13,9	196,9
	40-100	42,3	35,1	21,1	52,6
2	0-40	38,0	28,1	13,99	196,9
	40-100	42,3	35,1	21,11	52,6
3	0-40	43,0	33,5	20,9	169,9
	40-100	48,0	41,2	28,5	82,0
4	0-40	37,3	24,5	10,4	169,9
	40-100	41,5	33,5	23,9	82,0
5 & 6	0-40	39,9	27,8	16,6	612,5
	40-100	51,0	36,0	26,2	81,8

### 3.2 Μετεωρολογικές παράμετροι

Στην Εικόνα 9 απεικονίζονται οι χρονοσειρές της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας, ηλιακής ακτινοβολίας (Rs), σχετικής υγρασίας και ταχύτητας του ανέμου όπως μετρήθηκαν από τον μετεωρολογικό σταθμό του πεδίου και προβλέφθηκαν από το TAPM. Για την αξιολόγηση της αξιοπιστίας των προβλέψεων χρησιμοποιήθηκε το διάγραμμα Taylor (Εικόνα 8). Η συσχέτιση μεταξύ των μετρούμενων και προσομοιωμένων από το TAPM παραμέτρων βρέθηκε ίση με 0,95 και 0.98 για την θερμοκρασία και την εξατμισοδιαπνοή αντίστοιχα ενώ για την βροχόπτωση η τιμή αυτή ήταν 0.6.



**Εικόνα 8.** Διάγραμμα Taylor για τις μετεωρολογικές παραμέτρους



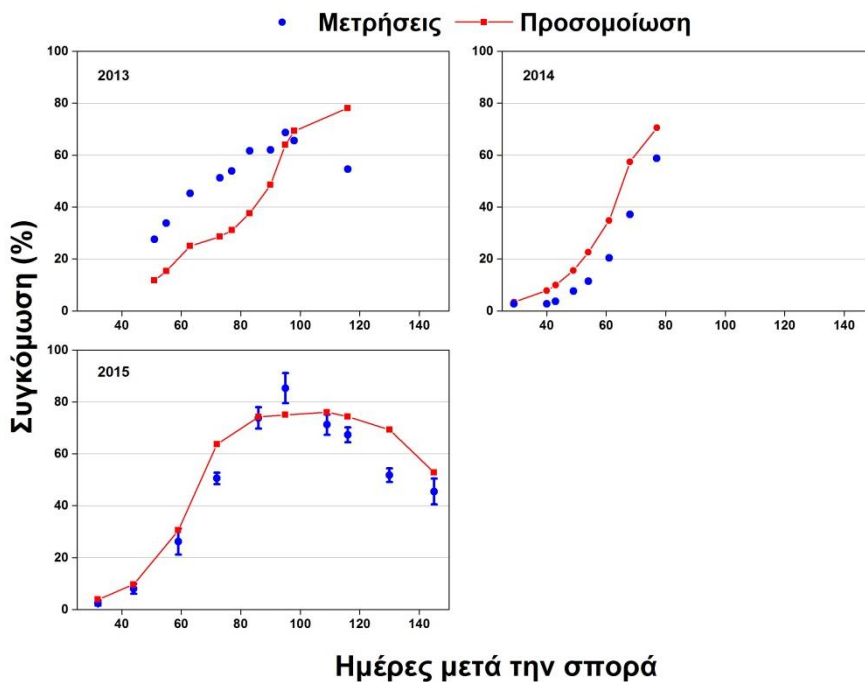
**Εικόνα 9.** Χρονοσειρές μετρούμενων και προβλεπόμενων τιμών για την μέση ημερήσια θερμοκρασία, ηλιακή ακτινοβολία ( $R_s$ ), σχετική υγρασία και ταχύτητα ανέμου.

### 3.3 Συγκόμωση

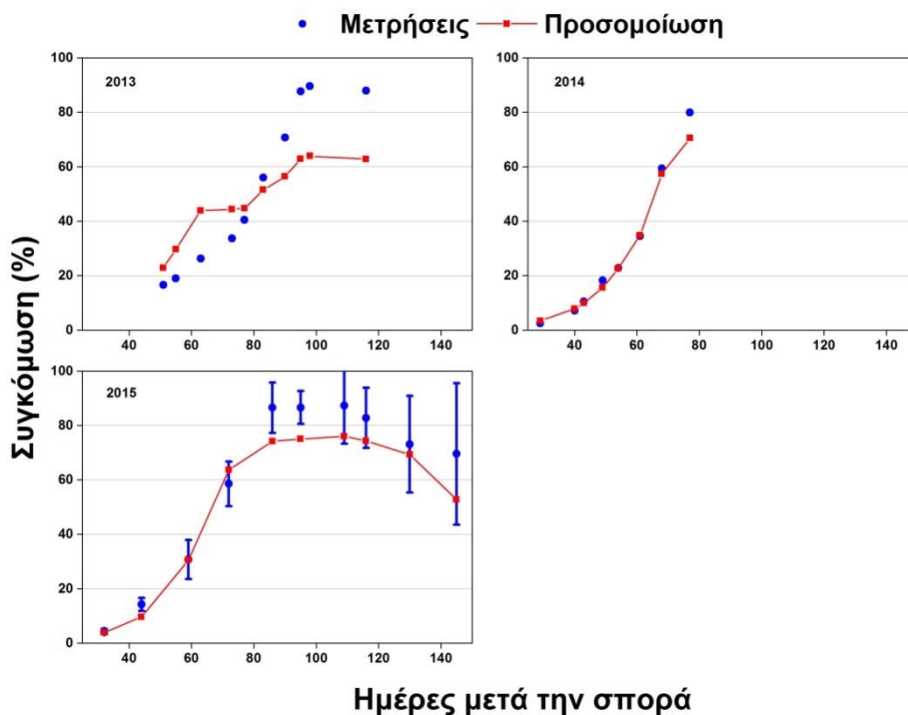
Οι χρονοσειρές για τις μετρούμενες και τις εκτιμώμενες από το Aquacrop τιμές συγκόμωσης, για τα αρδευόμενα με στάγδην ΠΑ, στην διάρκεια των τριών καλλιεργητικών περιόδων απεικονίζονται στις εικόνες 10, 11 και 12. Είναι εμφανές ότι οι βελτιώσεις στην μεθοδολογία μέτρησης της συγκόμωσης, τις χρονιές 2014 και 2015, βελτίωσαν την πληρότητα των βάσεων δεδομένων. Αξιοσημείωτες είναι επίσης και οι διακυμάνσεις που παρατηρήθηκαν, το 2015, μεταξύ των διαφορετικών σημείων μέτρησης στο ίδιο ΠΑ (όπου σε κάθε ΠΑ υπήρχαν τρεις σταθμοί μέτρησης).

Για την αξιολόγηση της απόδοσης του μοντέλου χρησιμοποιήθηκε διάγραμμα Taylor (Εικόνα 13). Τόσο η συσχέτιση όσο και η απόκλιση για το ΠΑ αγροτεμάχιο 2, βάσει του οποίου έγινε η βαθμονόμηση είναι ελαφρώς καλύτερη από τα ΠΑ 2 και 3, ενώ η όλη συμπεριφορά του μοντέλου είναι πολύ ικανοποιητική.

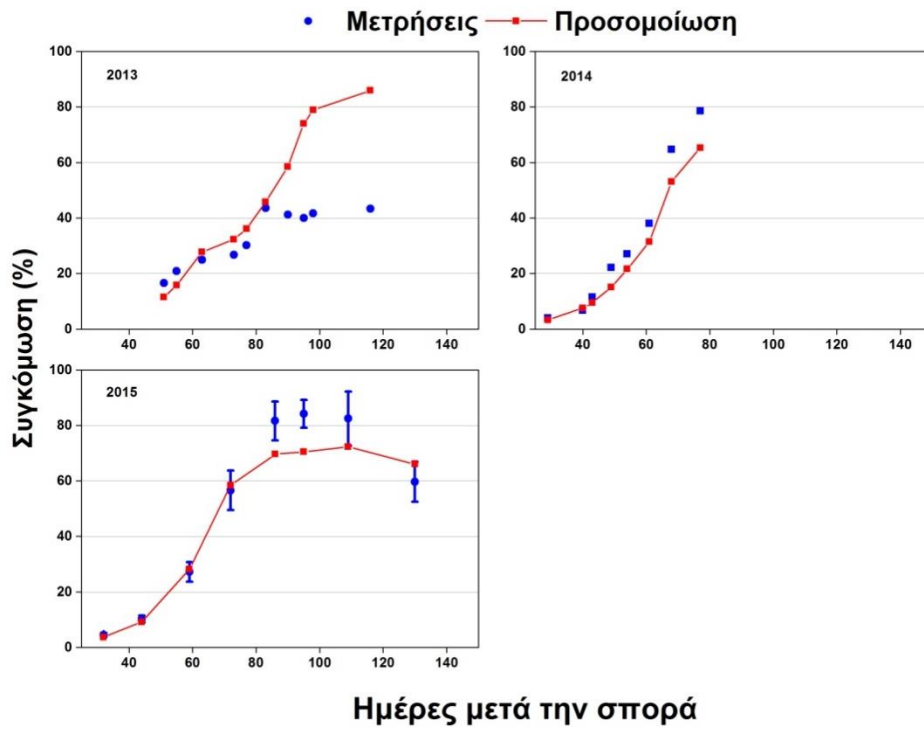




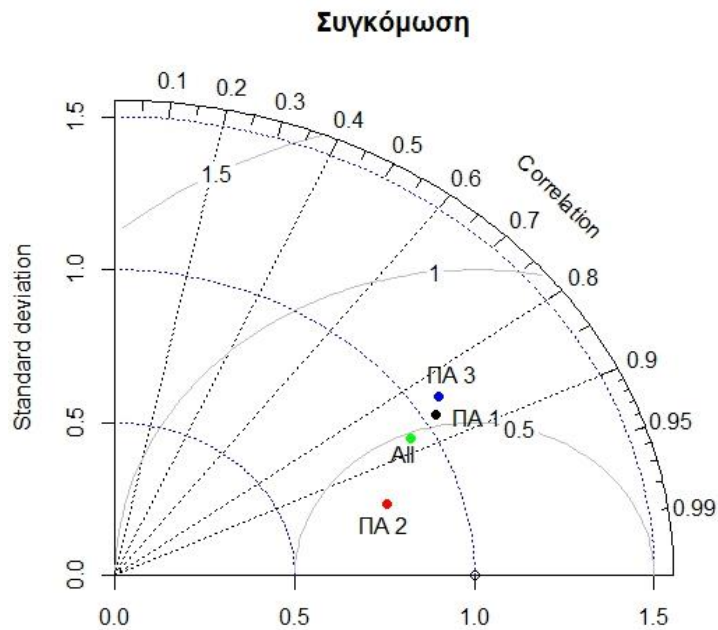
**Εικόνα 10.** Εκτιμώμενη και μετρούμενη συγκόμωση κατά την διάρκεια των τριών καλλιεργητικών περιόδων στο ΠΑ1.



**Εικόνα 11.** Εκτιμώμενη και μετρούμενη συγκόμωση κατά την διάρκεια των τριών καλλιεργητικών περιόδων στο ΠΑ2.



**Εικόνα 12.** Εκτιμώμενη και μετρούμενη συγκόμωση κατά την διάρκεια των τριών καλλιεργητικών περιόδων στο ΠΑ3.



**Εικόνα 13.** Διάγραμμα Taylor για την συγκόμωση

### 3.4 Μετρήσεις εδαφικής υγρασίας

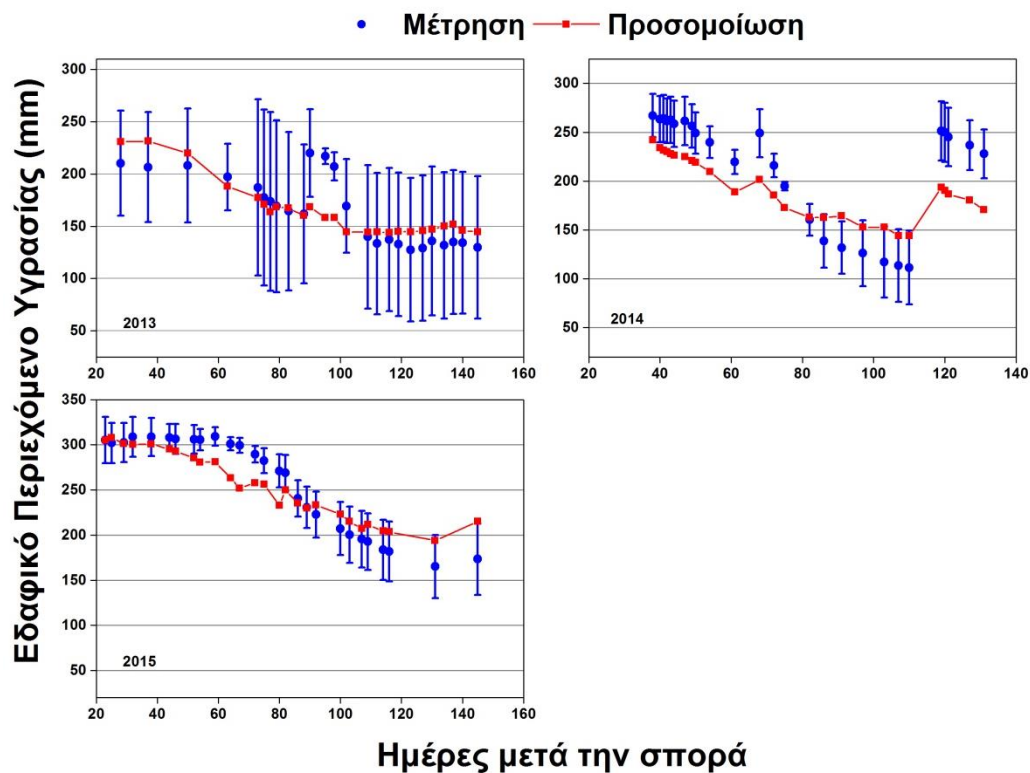
Το μετρούμενο και προσομοιωμένο περιεχόμενο εδαφικής υγρασίας στα τρία πειραματικά αγροτεμάχια κατά την διάρκεια των καλλιεργητικών περιόδων παρουσιάζεται στις Εικόνες 14, 15 και 16, ενώ τα αποτελέσματα της στατιστικής

ανάλυσης παρουσιάζονται στον Πίνακα 5. Στο ΠΑ1 υπήρχαν εγκατεστημένοι τρεις σταθμοί μέτρησης της εδαφικής υγρασίας (σωλήνες Diviner 2000), στο ΠΑ2 ένας και στο ΠΑ3 δύο. Για όλες τις χρονιές το ΠΑ1 έδειξε καλή συσχέτιση μεταξύ των μετρούμενων και προσομοιωμένων τιμών ( $r_p > 0.72$ ,  $d > 0.82$ ). Όσο αναφορά τις απόλυτες τιμές το 2015 τα αποτελέσματα ήταν αξιοσημείωτα καλύτερα (NRMSE 0.09, EF 0.8) ενώ τις προηγούμενες χρονιές η απόδοση δεν ήταν τόσο ικανοποιητική (EF ~ 0.51). Το 2013 η συσχέτιση μεταξύ της μετρούμενης και προσομοιωμένης εδαφικής υγρασίας στο ΠΑ3 δεν ήταν ικανοποιητική τόσο από την πλευρά της συσχέτισης όσο και από την σκοπιά των απόλυτων τιμών ( $r_p -0.17$ , EF -1.9). Η βελτίωση της πληρότητας των βάσεων δεδομένων των μετρήσεων τόσο στο ΠΑ2 όσο και στο ΠΑ3 τις χρονιές 2014 και 2015 είχε ως αποτέλεσμα την βελτίωση των τιμών των δεικτών συσχέτισης  $r_p > 83$  και  $d > 81$ , ενώ ο δείκτης EF πήρε τιμές μεγαλύτερες του 0.56. Επιπρόσθετα, σημαντικές είναι οι τιμές της τυπικής απόκλισης μεταξύ των διαφορετικών σταθμών μέτρησης εντός των ΠΑ1 και ΠΑ3 (Εικόνες 14, 16). Οι αποκλίσεις αυτές μπορεί να οφείλονται σε ετερογενή εδαφολογικά χαρακτηριστικά και κατά συνέπεια διαφορετική δυναμική ικανότητα κατακράτησης υγρασίας μεταξύ των διαφόρων σημείων. Ακόμη, το γεγονός ότι οι σωλήνες τοποθετούνται στην αρχή κάθε καλλιεργητικής περιόδου και απομακρύνονται στο τέλος, αυξάνει την πιθανότητα συστηματικού σφάλματος στις μετρήσεις, καθώς αυξάνεται σημαντικά η πιθανότητα μη σωστής εγκατάστασης των σωλήνων στο πεδίο (κενά αέρα περιμετρικά του σωλήνα, δημιουργία διαύλων υδραυλικής αγωγιμότητας) (Al-Ain et al., 2009; Evett et al., 2006). Το τελευταίο μπορεί να εξηγεί και την ασυνέπεια μεταξύ των μετρήσεων στο ίδιο ΠΑ στις διαφορετικές χρονιές.

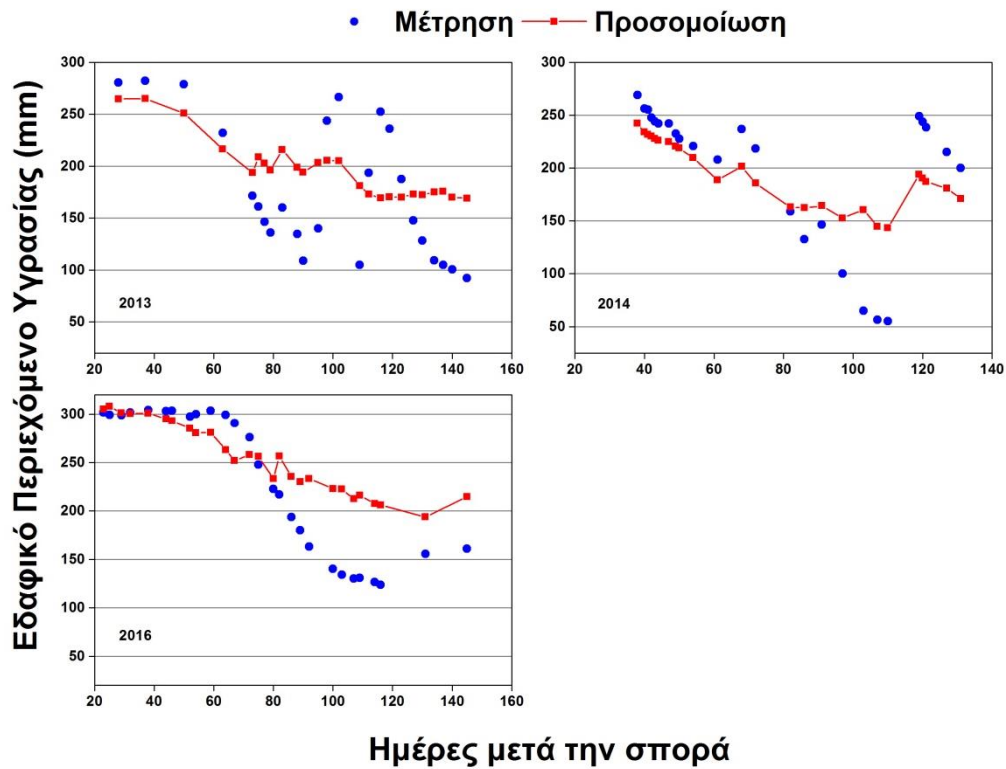
**Πίνακας 5.** Στατιστική ανάλυση για την μετρούμενο και προσομοιωμένο περιεχόμενο εδαφικής υγρασίας κατά τις καλλιεργητικές περιόδους στα αρδευόμενα με στάγδην ΠΑ.

<b>Στατιστικοί Δείκτες</b>	<b>ΠΑ1</b>	<b>ΠΑ2</b>	<b>ΠΑ3</b>
	2013		
<b>NRMSE</b>	0,45	0,31	0,28
<b>EF</b>	0,51	0,24	-1,90
<b>Correlation Coefficient (<math>r_p</math>)</b>	0,72	0,62	-0,17
<b>Willmott's Index of Agreement (d)</b>	0,84	0,65	0,34
	2014		
<b>NRMSE</b>	0,17	0,21	0,10
<b>EF</b>	0,53	0,69	0,63
<b>Correlation Coefficient (<math>r_p</math>)</b>	0,89	0,86	0,83
<b>Willmott's Index of Agreement (d)</b>	0,82	0,88	0,86
	2015		

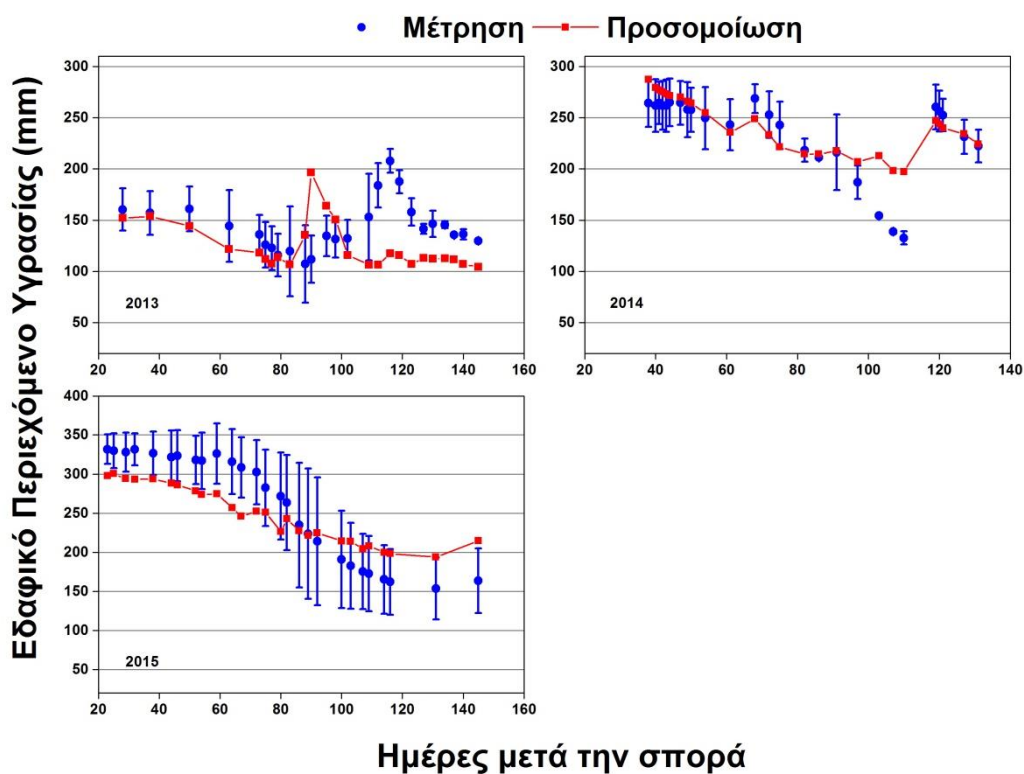
NRMSE	0,09	0,21	0,14
EF	0,80	0,56	0,68
Correlation Coefficient ( $r_p$ )	0,93	0,93	0,93
Willmott's Index of Agreement (d)	0,93	0,81	0,87



**Εικόνα 14.** Προσομοιωμένο (AquaCrop) και μετρούμενο (Diviner2000) εδαφικό περιεχόμενο υγρασίας σε βάθος 1 m στο ΠΑ1 κατά την διάρκεια των καλλιεργητικών περιόδων.



**Εικόνα 15.** Προσομοιωμένο (AquaCrop) και μετρούμενο (Diviner2000) εδαφικό περιεχόμενο υγρασίας σε βάθος 1 m στο ΠΑ2 κατά την διάρκεια των καλλιεργητικών περιόδων



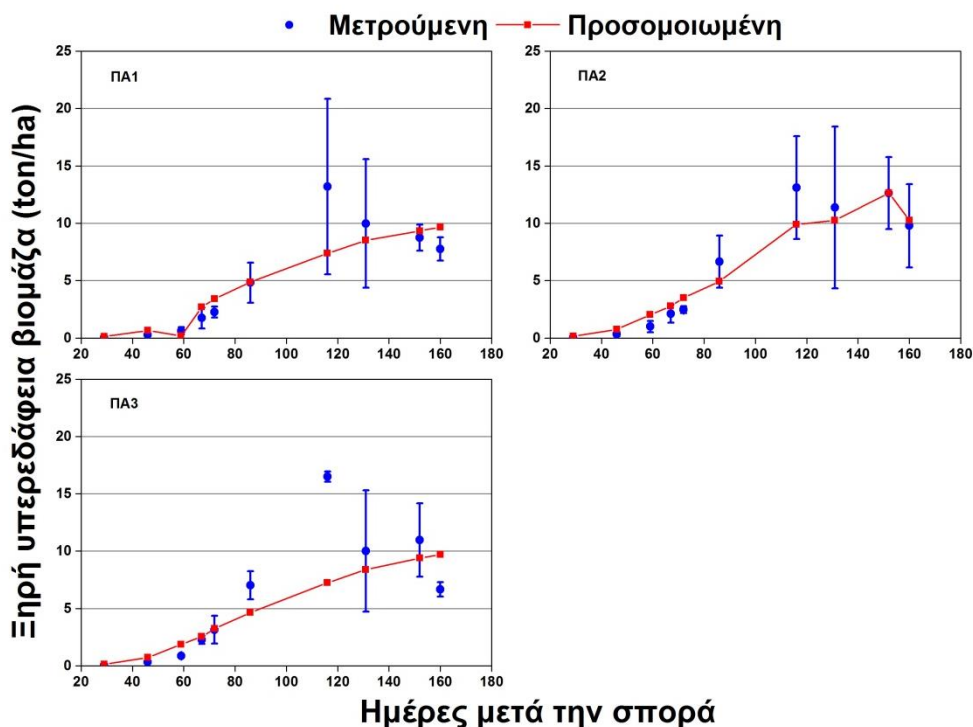
**Εικόνα 16.** Προσομοιωμένο (AquaCrop) και μετρούμενο (Diviner2000) εδαφικό περιεχόμενο υγρασίας σε βάθος 1 m στο ΠΑ3 κατά την διάρκεια των καλλιεργητικών περιόδων.

### 3.5 Μετρήσεις υπερ-εδάφιας ξηρής βιομάζας

Η υπερεδάφια ξηρή βιομάζα μετρούνταν 2 φορές τον μήνα κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου του 2015. Δύο φυτά βάμβακος λαμβάνονται από σημεία κοντά στους σταθμούς μέτρησης της συγκόμωσης που είχαν οριστεί στα ΠΑ, μεταφέρονται στο εργαστήριο, τεμαχίζονται και τοποθετούνται στον κλίβανο στους 65 °C έως σταθερού βάρους. Στην συνέχεια υπολογίζεται η ξηρή βιομάζα ανά m<sup>2</sup> πολλαπλασιάζοντας με την πυκνότητα των φυτών του εκάστοτε γειτονικού σταθμού μέτρησης της συγκόμωσης. Η Εικόνα 17 απεικονίζει τις χρονοσειρές των μετρήσεων και προσομοιώσεων, ενώ τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.

**Πίνακας 6.** Στατιστικοί δείκτες της μετρούμενης και προσομοιωμένης υπερεδάφιας ξηρής βιομάζας στα διάφορα ΠΑ για την καλλιεργητική περίοδο του 2015.

Στατιστικοί δείκτες	ΠΑ1	ΠΑ2	ΠΑ3
<b>NRMSE</b>	0,42	0,22	0,65
<b>EF</b>	0,79	0,93	0,60
<b>Correlation Coefficient (r<sub>p</sub>)</b>	0,89	0,97	0,81
<b>Willmott's Index of Agreement (d)</b>	0,93	0,98	0,85



**Εικόνα 17.** Χρονοσειρές μετρούμενης και προσομοιωμένης υπέργειας ξηρής βιομάζας στα διάφορα ΠΑ κατά την καλλιεργητική περίοδο 2015.

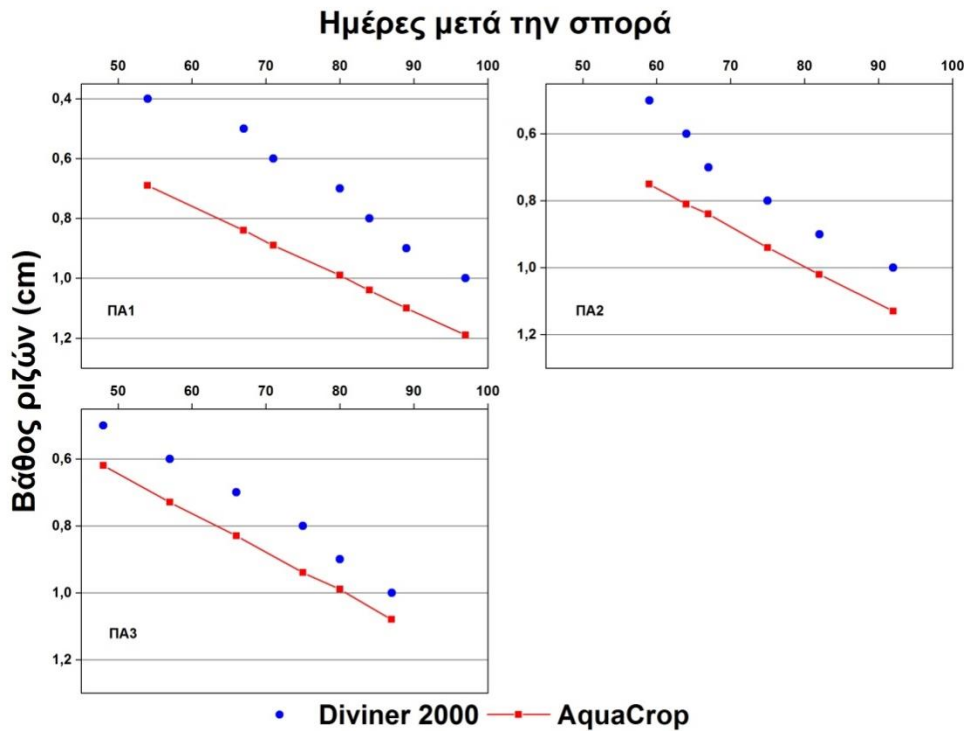
Η συσχέτιση μεταξύ των μετρήσεων και των εκτιμήσεων ήταν σε όλες τις περιπτώσεις πολύ ικανοποιητική ( $r_p > 0.81$ ,  $d > 0.85$ ), ενώ όσο αναφορά τις απόλυτες τιμές το ΠΑ2 παρουσίασε μεγαλύτερη συνέπεια (NRMSE 0.22, EF 0.93). Αυτό γίνεται φανερό και στην Εικόνα 17, όπου στα ΠΑ1 και ΠΑ3 παρατηρούνται ουσιώδεις αποκλίσεις στις μετρήσεις που έγιναν μεταξύ των ημερών 100 και 140, ενώ τις ημερομηνίες αυτές εμφανίζονται και σημαντικές τυπικές αποκλίσεις μεταξύ των μετρήσεων στους σταθμούς μέτρησης εντός των ΠΑ. Οι αποκλίσεις αυτές αποδίδονται σε πιθανή μη αντιπροσωπευτική δειγματοληψία φυτών. Πιο συγκεκριμένα τα φυτά που επιλέχθηκαν μπορεί να ήταν πιο μεγάλα ή πιο μικρά από τον μέσο όρο, με συνέπεια όταν το ξηρό τους βάρος πολλαπλασιάστηκε με την μέση πυκνότητα, να δώσουν υπερβολικά μεγάλες ή μικρές τιμές. Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω η όλη συμπεριφορά του μοντέλου κρίνεται πολύ ικανοποιητική.

### 3.6 Προσδιορισμός ανάπτυξης ριζικού συστήματος

Με βάση τις πληροφορίες που αντλήθηκαν για τις ποικιλίες βάμβακος που καλλιεργούνται στην περιοχή, αρχικά το βάθος ριζών στο αρχείο καλλιέργειας του μοντέλου AquaCrop επιλέχθηκε ίσο με 1,3 m. Όταν συγκρίθηκε η προσομοίωση του βάθους των ριζών βάσει του μοντέλου AquaCrop με τις εκτιμήσεις του βάθους ριζών με το όργανο Diviner 2000, βρέθηκε το μοντέλο να υπερεκτιμά το βάθος των ριζών σε όλες τις περιπτώσεις (Εικόνα 8, Πίνακας 7). Αντίθετα η συσχέτιση μεταξύ των ρυθμών ανάπτυξης είναι ικανοποιητική ( $r_p > 0.83$ ,  $d > 0.77$ ). Τα αποτελέσματα αυτά υποδεικνύουν ότι το αρχείο καλλιέργειας μπορεί να παραμετροποιηθεί περαιτέρω προκειμένου να βελτιωθεί η συσχέτιση μεταξύ των προσομοιώσεων και των εκτιμήσεων, το οποίο θα αποτελέσει αντικείμενο του επόμενου χρόνου.

**Πίνακας 7.** Στατιστικοί δείκτες της προσομοιωμένης από το AquaCrop και της εκτιμώμενης από το Diviner 2000 ανάπτυξης των ριζών 2015.

Στατιστικοί δείκτες	ΠΑ1	ΠΑ2	ΠΑ3
NRMSE	0,38	0,19	0,16
EF	-0,79	-0,012	0,53
Correlation Coefficient ( $r_p$ )	0,91	0,83	0,84
Willmott's Index of Agreement ( $d$ )	0,68	0,77	0,89

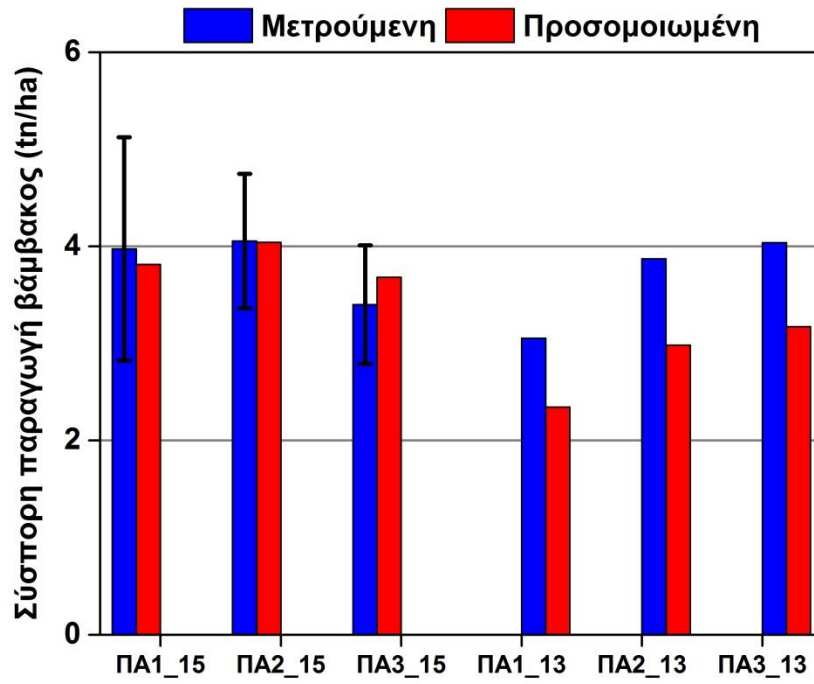


**Εικόνα 18.** Προσομοίωση ανάπτυξης του ριζικού συστήματος του μοντέλου AquaCrop και εκτιμώμενο βάθος ριζών με το όργανο Diviner 2000 κατά της καλλιεργητική περίοδο 2015.

### 3.7 Επικύρωση της προβλεπόμενης από το AquaCrop παραγωγής

Το 2014 εξαιτίας των ισχυρών βροχοπτώσεων κατά την περίοδο συγκομιδής του βάμβακος στην περιοχή (Οκτώβριος), δεν ήταν δυνατό το μάζεμα. Η τελική σύσπορη συγκομιδή όπως μετρήθηκε και προσομοιώθηκε διαφαίνεται στην εικόνα 19. Είναι φανερό ότι τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων του μοντέλου ήταν πολύ καλύτερα για το 2015 ( $d$  0.8, NRMSE 0.19, EF 0.58) σε σχέση με το 2013. Αυτό είναι αποτέλεσμα των κακών συσχετίσεων που υπήρχαν μεταξύ των μετρήσεων και των προσομοιώσεων όσο αναφορά την συγκόμωση, καθώς η τελική σύσπορη παραγωγή (όπως υπολογίζεται από το AquaCrop) είναι ευθέως εξαρτώμενη από τις τιμές της συγκόμωσης.





**Εικόνα 19.** Μετρούμενη και προσομοιωμένη σύσπορη παραγωγή βάμβακος για τα διάφορα ΠΑ τις χρονιές 2013 - 2015.

#### **4. Συμπεράσματα**

Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας έδειξαν ότι το αριθμητικό μετεωρολογικό μοντέλο TAPM μπορεί να προσομοιώσει με ικανοποιητική ακρίβεια την θερμοκρασία και την εξατμισοδιαπνοή, υστερεί όμως σημαντικά όσο αναφορά την πρόβλεψη του ύψους βροχόπτωσης. Κατά συνέπεια το μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα αξιόπιστο εργαλείο όσο αφορά την πρόβλεψη της ατμοσφαιρικής ζήτησης, ενώ περισσότερη έρευνα απαιτείται στο μέλλον για την βελτίωση της πρόβλεψης των βροχοπτώσεων.

Η ανάπτυξη της συγκόμωσης, της βιομάζας, το υδατικό ισοζύγιο αλλά και η τελική παραγωγή σύσπορου βάμβακος προσομοιώθηκαν ικανοποιητικά από το αγρονομικό μοντέλο ανάπτυξης φυτού AquaCrop. Φαίνεται ότι όταν το μοντέλο παραμετροποιηθεί σωστά μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση της ανάπτυξης του βάμβακος υπό υποθετικά σενάρια και να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα, συμβάλλοντας για παράδειγμα στην καλύτερη κατανόηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην καλλιέργεια, ενώ υπό την οπτική της άρδευσης ακριβείας σε συνδυασμό με το αριθμητικό μετεωρολογικό μοντέλο TAPM μπορεί να αποτελέσει ένα πολύτιμο εργαλείο κατά την διαδικασία δημιουργίας του προγραμματισμού αρδεύσεων.

Περισσότερη έρευνα απαιτείται στο μέλλον προκειμένου να βρεθούν νέες εύκολες και αξιόπιστες μέθοδοι για την μέτρηση των χαρακτηριστικών που αφορούν την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος των φυτών. Οι υπάρχουσες μέθοδοι αναφοράς (εκσκαφή, λήψη δειγμάτων εδάφους από διάφορα βάθη σε διαφορετικά χρονικά σημεία του κύκλου ανάπτυξης) είναι χρονοβόρες, επεμβατικές, υψηλού κόστους και η εφαρμογή τους απαιτεί προσωπικό με σχετική εμπειρία. Η δυνατότητα εύκολων και αξιόπιστων μετρήσεων της ρίζας των φυτών αναμένεται να συμβάλει σημαντικά στην καλύτερη αξιολόγηση της ικανότητας των αγρονομικών μοντέλων ανάπτυξης φυτών να προσομοιώνουν με ρεαλιστικό τρόπο την ανάπτυξη της ρίζας των καλλιεργειών και παράλληλα να συμβάλουν στην καλύτερη παραμετροποίηση των μοντέλων όσο αναφορά αυτό το κομμάτι ανάπτυξης των φυτών.

## 5. Βιβλιογραφία

Al-Ain, F., Attar, J., Hussein, F., Heng, L.K., 2009. Comparison of nuclear and capacitance-based soil water measuring techniques in salt-affected soils. *Soil Use and Management* 25, 363-367.

Bouyoucos J.G.(1962). Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. *Agronomy Journal*, 54(5), 464-465.

Evelt, R.S., Tolk, A.J., Howell A.T., 2006. Soil profile water content determination: Sensor Accuracy, Axial Response, Calibration, Temperature Dependence and Precision. *Vadose Zone Journal* 5, 894-907.

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

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

Taylor, K.E., 2001. Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *Journal of Geophysical Research* 106(D7), 7183-7192.

Tsakmakis, I., Kokkos, N., Pisinaras, V., Papaevangelou, V., Hatzigiannakis, E., Arampatzis, G., Gikas, G.D., Linker, R., Zoras, S., Evagelopoulos, V., Tsihrintzis, V.A., Battilani, A., Sylaios, G., 2017. Operational Precise Irrigation for Cotton Cultivation through the Coupling of Meteorological and Crop Growth Models. *Water Resour Manag* 31(1), 563-580. <https://doi.org/10.1007/s11269-016-1548-7>

