Προχωρημένη επιμόρφωση για την αξιοποίηση και εφαρμογή των Τ.Π.Ε. στη διδακτική πράξη

Επιμόρφωση Β2 επιπέδου ΤΠΕ

Συστάδα: ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΑ ΓΗΣ

ΕΠΙΜΟΡΦΩΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ

Υλικό Αναφοράς

Επιμορφωτικό υλικό για την αξιοποίηση λογισμικών γεωπονικού ενδιαφέροντος στη διδασκαλία των Επαγγελμάτων Γης με έμφαση στη χρήση των υδατικών πόρων

Έκδοση 1η

Δεκέμβριος 2019

Πράξη:	ΕΠΙΜΟΡΦΩΣΗ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΣΤΗ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΠΡΑΞΗ (ΕΠΙΜΟΡΦΩΣΗ Β' ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΤΠΕ)
Φορείς Υλοποίησης:	Δικαιούχος φορέας: ΙΤΥΕ "ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ" ινστιτουτο τεχνολογιας υπολογιστων & εκδοσεων
	Συμπράττων φορέας: ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο

Επιχειρησιακό Πρόγραμμα
Ανάπτυξη Ανθρώπινου Δυναμικού, Εκπαίδευση και Διά Βίου Μάθηση
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

ΕΣΠΑ 2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. **Σκοποί - Στόχοι** 4
2. **Υλικό/Λογισμικά** 4
3. **Μεθοδολογία διδασκαλίας** 4
4. **Άρδευση – Συστήματα άρδευσης** 5
4.1. **Τι είναι η άρδευση** 5
4.2. **Συστήματα άρδευσης** 5
4.3. **Ιστορία των αρδεύσεων** 8
4.4. **Κατανομή της χρήσης του νερού** 9
5. **Νερό και απόδοση των καλλιεργειών** 11
5.1. **Εξατμισοδιαπνοή** 11
5.2. **Υδατικό Ισοζύγιο Αγρού – Ωφέλιμη Βροχόπτωση** 13
5.3. **Σχετική απόδοση καλλιέργειας** 18
5.4. **Δόση – Εύρος άρδευσης** 19
6. **Γνωριμία με τα λογισμικά** *CROPWAT 8.0* **και** *ClimWat 2.0* 20
6.1. Το **λογισμικό** *ClimWat 2.0***. Χρήση των βασικών λειτουργιών** 22
6.2. Το **λογισμικό** *CROPWAT 8.0***. Χρήση των βασικών λειτουργιών** 25
7. **Γενική περιγραφή της καλλιέργειας του βαμβακιού** 26
7.1. **Είδη - Ποικιλίες καλλιεργούμενου βαμβακιού** 27
7.2. **Καλλιεργητικές απαιτήσεις βαμβακιού** 27
7.3. **Λίπανση του βαμβακιού** 28
7.4. **Εδαφοκλιματικές απαιτήσεις βαμβακιού** 28
7.5. **Εχθροί και ασθένειες βαμβακιού** 29
8. **Άρδευση του βαμβακιού** 29
9. **Σενάριο 1: Άρδευση καλλιέργειας βαμβακιού στην Περιφερειακή Ενότητα Λάρισας με την χρήση των λογισμικών** *ClimWat 2.0* **και** *CROPWAT 8.0* 31

9.1. **Επιλογή μετεωρολογικών δεδομένων** 31

9.2. **Εφαρμογή του λογισμικού** *CROPWAT 8.0* 32

9.2.1. **Υπολογισμός της Εξατμισοδιαπνοής αναφοράς (*ETo*) και της Αποτελεσματικής βροχόπτωσης** 32

9.2.2. **Επιλογή της καλλιέργειας από την βάση δεδομένων του** *CROPWAT 8.0* 36

9.2.3. **Επιλογή του εδάφους** 37

9.2.4. **Απαιτήσεις σε νερό της καλλιέργειας** 38

10. **Το Πρόγραμμα Άρδευσης** 39

11. **Σενάρια ελλειμματικής άρδευσης** 42

11.1. **Σενάριο 2: Ελλειμματική άρδευση με οριζόντια μείωση νερού σε όλα τα στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας** 42

11.2. **Σενάριο 3: Ελλειμματική άρδευση με μεγαλύτερη εξάντληση νερού από την τιμή του κρίσιμου συντελεστή P** 44

11.3. **Σενάριο 4: Ελλειμματική άρδευση με μείωση της ποσότητας του νερού στο δεύτερο στάδιο της ανάπτυξης των φυτών** 46

12. **Αναφορές** 48

1. Σκοποί - Στόχοι

Το συγκεκριμένο αντικείμενο αποσκοπεί στην γνώση λογισμικού με το οποίο επιτυγχάνεται ορθολογική εφαρμογή του νερού άρδευσης. Αναλυτικότερα αποσκοπεί στην κατανόηση των όρων της άρδευσης και στη σημαντικότητα της ορθολογικής χρήσης του νερού για την παραγωγή τροφίμων και άλλων γεωργικών προϊόντων. Επίσης αποσκοπεί στην γενική κατανόηση του μηχανισμού της κάλυψης των αναγκών των φυτών σε νερό και στη χρήση συγκεκριμένου δωρεάν, ανοικτού λογισμικού του Παγκόσμιου Οργανισμού Τροφίμων (*Food and Agriculture Organization - FAO*) των Ηνωμένων Εθνών (ΟΗΕ), με το οποίο υπολογίζεται η ποσότητα του νερού και η συχνότητα των αρδεύσεων, με στόχο τόσο την εξοικονόμηση νερού όσο και την ελαχιστοποίηση του κόστους, με παράλληλη διασφάλιση της ποσότητας και της ποιότητας του παραγόμενου προϊόντος. Επίσης στοχεύει στην κατανόηση του ότι η άρδευση με περισσότερο από το απαιτούμενο νερό μπορεί να επιδράσει δυσμενώς στην ποιότητα και ποσότητα του προϊόντος, αλλά και να προκαλέσει προβλήματα στο περιβάλλον.

2. Υλικό/Λογισμικά

Το λογισμικό που θα χρησιμοποιηθεί είναι το *CROPWAT 8.0* για *Windows*. Πρόκειται για ελεύθερο, ανοικτού κώδικα, μη εμπορικό, πρόγραμμα ηλεκτρονικού υπολογιστή που έχει αναπτυχθεί από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Τροφίμων (FAO) των Ηνωμένων Εθνών στην προσπάθεια εξοικονόμησης νερού άρδευσης και καλύτερης αξιοποίησής του.

Το λογισμικό *CROPWAT 8.0* χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των απαιτήσεων σε νερό των καλλιεργειών και συνεπώς των απαιτήσεων άρδευσης από υπάρχοντα ή εισαγόμενα κλιματικά δεδομένα και δεδομένα καλλιεργειών. Επιπλέον, το *CROPWAT 8.0* για *Windows* επιτρέπει την κατάστρωση Προγραμμάτων Άρδευσης για διαφορετικές συνθήκες διαχείρισης και διαφορετικές καλλιέργειες και διαθέτει βάση κλιματικών δεδομένων και δεδομένων καλλιεργειών και εδάφους.

Τα κλιματικά δεδομένα που απαιτούνται για την ορθολογική εφαρμογή της άρδευσης παρέχονται για αρκετές περιοχές από το λογισμικό *CLIMWAT 2.0*, το οποίο είναι επίσης του Παγκόσμιου Οργανισμού τροφίμων (FAO) και συνεργάζεται με το προηγούμενο λογισμικό.

Και τα δύο λογισμικά είναι φιλικά στον χρήστη και εξελίσσονται διαρκώς, διατηρώντας όμως τον κεντρικό πυρήνα και τον ίδιο τρόπο χρήσης και λειτουργίας τους.

3. Μεθοδολογία διδασκαλίας

Οι συνεδρίες θα γίνουν με σύγχρονη και ασύγχρονη εκπαίδευση. Θα χρησιμοποιηθούν διαφάνειες, με τις οποίες οι εκπαιδευόμενοι θα κατανοούν και θα υποκινούνται να ερμηνεύουν τα επιμέρους

αντικείμενα σε βάθος. Θα έχουν προεγκατασταθεί στους ηλεκτρονικούς τους υπολογιστές και θα χρησιμοποιηθούν τα λογισμικά *CROPWAT 8.0* και *CLIMWAT 2.0,* στη χρήση των οποίων θα εξοικειωθούν οι εκπαιδευόμενοι. Το υλικό αντιστοιχεί σε μία διά σύγχρονη συνεδρία τριών ωρών και σε ασύγχρονη εκπαίδευση μαθησιακού φόρτου επίσης τριών ωρών.

4. Άρδευση – Συστήματα άρδευσης

4.1. Τι είναι η άρδευση

Με τον όρο άρδευση εννοείται η τεχνητή προσθήκη νερού στο έδαφος με την οποία επιχειρείται να διατηρηθεί η υγρασία του εδάφους σε τέτοια επίπεδα που να εξασφαλίζουν τη βέλτιστη ανάπτυξη και παραγωγή των καλλιεργειών.

4.2. Συστήματα άρδευσης

Τα συστήματα άρδευσης αφορούν στον τρόπο εφαρμογής του νερού στον αγρό και διακρίνονται στα συστήματα επιφανειακής άρδευσης (άρδευση με λεκάνες-κατάκλυση, με λωρίδες, με αυλάκια), στα συστήματα άρδευσης με τεχνητή βροχή, στα συστήματα μικροαρδεύσεων (στάγδην άρδευση και άρδευση με μικροεκτοξευτήρες) και στα συστήματα υπόγειας άρδευσης.

Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Surface_irrigation#/media/File:LevelBasinFloodIrrigation.JPG

Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Surface_irrigation#/media/File:GatedPipe.JPG

Εικόνα 4.1: Άρδευση με κατάκλυση

Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Surface_irrigation#/media/File:Furrow_irrigated_Sugar.JPG

Πηγή: https://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=1571794

Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Surface_irrigation#/media/File:SiphonTubes.JPG

Εικόνα 4.2: Άρδευση με αυλάκια

Πηγή: http://www.climatetechwiki.org/sites/climatetechwiki.org/files/images/teaser/teaser_image_38.jpg

Πηγή: http://sacanasia.org/wp-content/uploads/2013/12/SI.jpg

Πηγή: http://ritefmonline.org/interplast-now-provides-drip-irrigation-services-to-farmers/

Εικόνα 4.3. Άρδευση με τεχνητή βροχή (1/2)

Πηγή: https://www.ypethe.gr/archive/hrisi-ardeysi

Πηγή: https://www.researchgate.net/figure/Sprinkler-irrigation-with-pipe-drum-and-rain-gun-trolley_fig2_280232899

Πηγή: actionradio982.blogspot.gr, 2012

Εικόνα 4.4: Άρδευση με τεχνητή βροχή (αυτοπροωθούμενα συστήματα)

Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Drip_irrigation#/media/File:VineyardDrip.JPG

Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Drip_irrigation#/media/File:Dianthus_caryophyllus_Colori_Joy_(p)_2005-12-04.JPG

Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Drip_irrigation#/media/File:UNIRAM_PLANTA.jpg

Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Drip_irrigation#/media/File:Banana_Drip_Irrigation_At_Chinawal.jpg

Εικόνα 4.5: Άρδευση με σταγόνες (στάγδην άρδευση)

Πηγή: http://www.bambam.gr/ads/show/187610.aspx

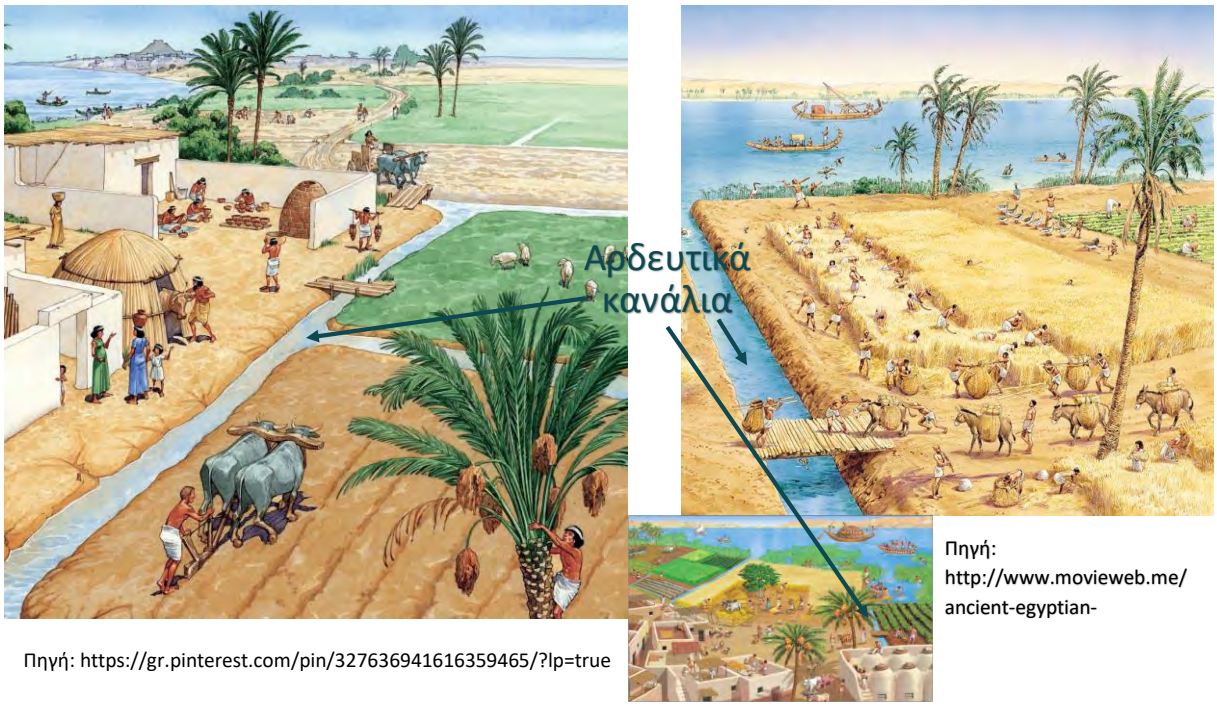
Πηγή: https://www.maddisonwatertech.co.uk/services/agricultural-irrigation/underground-mains/

Εικόνα 4.6: Εγκατάσταση συστήματος υπόγειας άρδευσης

4.3. Ιστορία των αρδεύσεων

Η επινόηση της τεχνικής των αρδεύσεων θεωρείται ως ένα από τα μεγαλύτερα επιτεύγματα του ανθρώπου επειδή η εφαρμογή τους επέτρεψε την εξάπλωση της γεωργίας σε ξηρές και θερμές περιοχές. Στις περιοχές αυτές, στις οποίες επικρατούν υψηλότερες θερμοκρασίες και μεγαλύτερη ηλιοφάνεια, οι καλλιέργειες βρέθηκαν σε ευνοϊκό περιβάλλον ανάπτυξης, με αποτέλεσμα την μεγαλύτερη παραγωγή. Η με αυτόν τον τρόπο εντατικοποίηση της γεωργίας, επέτρεψε τη μόνιμη διαβίωση πληθυσμών σε περιορισμένο χώρο και εξασφάλισε ουσιαστικά τις συνθήκες ανάπτυξης πολιτισμού. Αν και δεν είναι εντελώς εξακριβωμένο, το πιθανότερο είναι ότι οι εφαρμογή της άρδευσης εμφανίστηκε κατά την 6η χιλιετηρίδα π.Χ. στην Μεσοποταμία. Προφανώς στην περιοχή αυτή είχε παρατηρηθεί ότι οι καλλιέργειες τύγχαναν καλύτερης ανάπτυξης και έδιναν μεγαλύτερες αποδόσεις στα εδάφη που κατακλύζονταν περιοδικά από τα νερά του Τίγρη και του Ευφράτη.

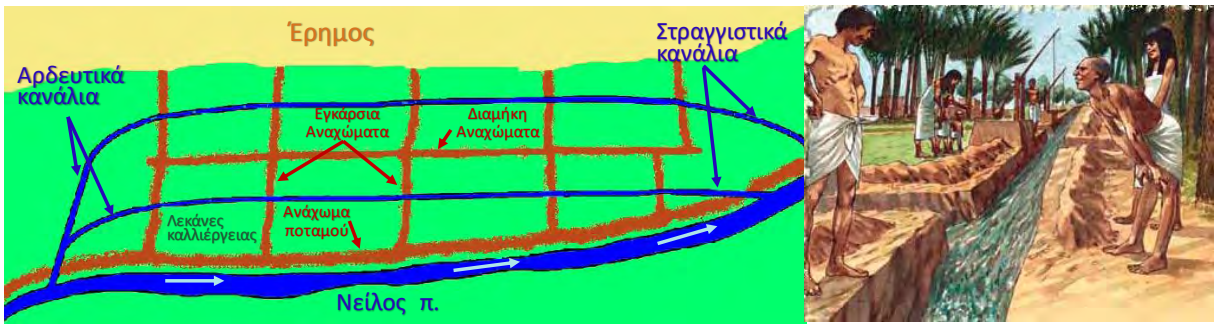
Αργότερα προς τα τέλη της 6ης χιλιετηρίδας π.Χ. η τεχνική των αρδεύσεων φαίνεται να εμφανίζεται στην Αίγυπτο, όπου η προσαρμογή της καλλιέργειας γεωργικών φυτών (κυρίως σίτου) ανάμεσα στις περιόδους των πλημμυρών του Νείλου αποτέλεσε μεγάλη καινοτομία γιατί το ξηροθερμικό κλίμα της Αιγύπτου σε συνδυασμό με το απαιτούμενο νερό εξασφάλιζε πολύ μεγάλη στρεμματική απόδοση. Από την άλλη πλευρά, ο γεωργικός τρόπος ζωής δεν έλυσε όλα τα προβλήματα. Η ύπαρξη τροφής σε αφθονία οδήγησε βαθμιαία στην αύξηση του πληθυσμού και των οικόσιτων ζώων με αποτέλεσμα την ανάγκη για επέκταση της γεωργίας στις ερημικές εκτάσεις της περιοχής. Έτσι δημιουργήθηκε η ανάγκη ελέγχου των πλημμυρών του Νείλου με αντιπλημμυρικά-στραγγιστικά έργα τα οποία τελείωσαν την 4η χιλιετηρίδα π.Χ.



Πηγή: https://gr.pinterest.com/pin/327636941616359465/?lp=true

Πηγή: http://www.movieweb.me/ancient-egyptian-

Εικόνα 4.7: Αναπαράσταση αρδευτικού δικτύου και γεωργικής δραστηριότητας στην αρχαία Μεσοποταμία



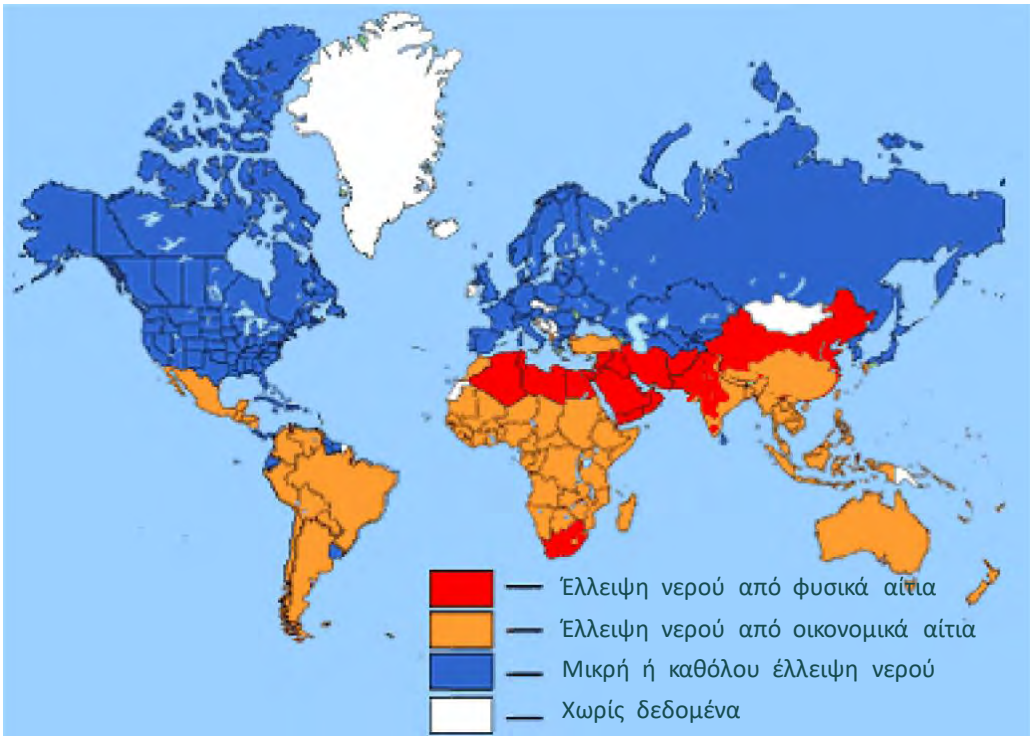
Πηγή: https://lhillancientegypt.weebly.com/irrigation.html

Πηγή: http://www.icid.org/res_irrigation.html

Εικόνα 4.8: Αρδευτικά και στραγγιστικά δίκτυα στην Αρχεία Αίγυπτο

4.4. Κατανομή της χρήσης του νερού

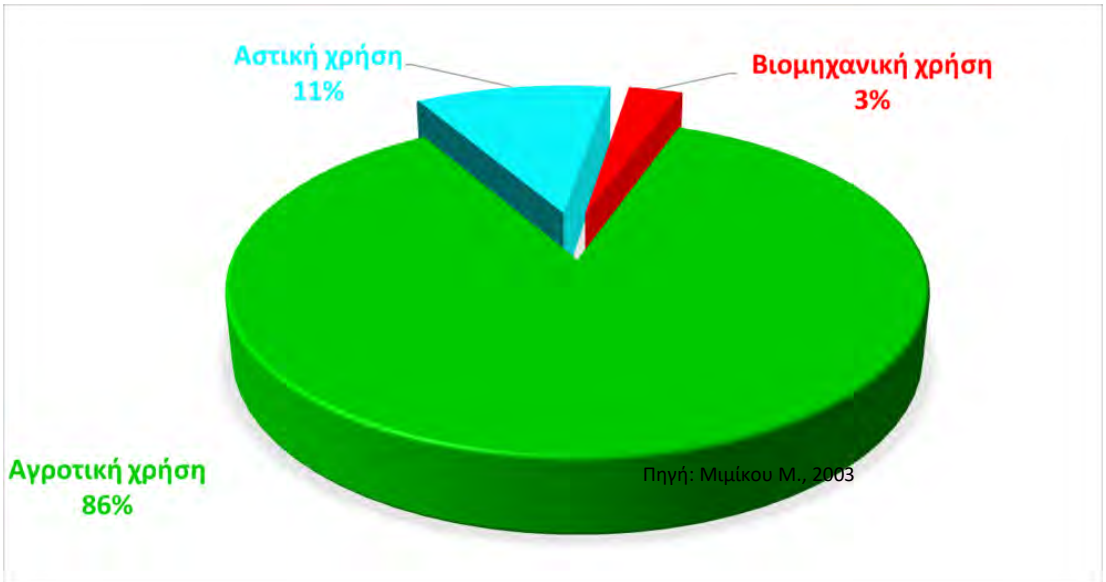
Σήμερα λόγω της αύξησης του πληθυσμού της γης και της βιομηχανικής ανάπτυξης, η ζήτηση νερού κατάλληλης ποιότητας για άρδευση είναι αυξημένη. Παρόλα αυτά τα τελευταία χρόνια η κατασκευή μεγάλων φραγμάτων και λιμνοδεξαμενών έχει μειωθεί σημαντικά, κυρίως λόγου του μεγάλου κόστους κατασκευής και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Η σπανιότητα και η έλλειψη του νερού είναι ένα από τα κυριότερα προβλήματα που θα αντιμετωπίσει ο πλανήτης στο μέλλον και ήδη το πρόβλημα είναι υπαρκτό σε αρκετές περιοχές, ώστε είναι πλέον ορατή η απειλή για την παγκόσμια σταθερότητα. Αξιοσημείωτο είναι ότι περισσότεροι από 1 δισ. άνθρωποι δεν έχουν πρόσβαση σε καθαρό νερό.



Πηγή: http://newatersingapore.blogspot.com/p/global-water-shortage.html

Εικόνα 4.9: Η λειψυδρία στον κόσμο

Η γεωργία είναι ο μεγαλύτερος καταναλωτής νερού. Από τη συνολική χρήση νερού, η γεωργία καταναλώνει το 70% σε παγκόσμιο επίπεδο. Στην Ελλάδα, όπως και στις υπόλοιπες μεσογειακές χώρες, λόγω του ξηροθερμικού κλίματος οι απαιτήσεις της γεωργίας σε νερό είναι μεγαλύτερες. Για την χώρα μας συγκεκριμένα η συνολική κατανομή της χρήσης του έχει ως εξής ως εξής: Αγροτική χρήση το 86%, οικιακή χρήση το 11%, βιομηχανική και ενεργειακή χρήση το 3%.



Εικόνα 4.10: Κατανομή της χρήσης του νερού στην Ελλάδα

5. Νερό και απόδοση των καλλιεργειών

Όπως αναφέρθηκε, η παραγωγή γεωργικών προϊόντων απαιτεί μεγάλες ποσότητες νερού. Για παράδειγμα για να παραχθεί ένα κιλό ξηρής μάζας σίτου απαιτούνται 800-900 κιλά νερού. Με την αύξηση της ποσότητας του χρησιμοποιούμενου νερού η απόδοση των καλλιεργειών αυξάνει. Η αύξηση όμως αυτή παρατηρείται μέχρι ένα όριο χρησιμοποιούμενου νερού πέραν του οποίου, όχι μόνο δεν παρατηρείται καμία αύξηση της απόδοσης, αλλά μπορεί να παρατηρηθεί και μείωση. Όμως, παρά το γεγονός αυτό, επειδή η υπερβολική κατανάλωση νερού στην γεωργία συνήθως δεν έχει άμεσα ορατά αποτελέσματα όπως αντίθετα η στέρηση του νερού που προκαλεί τη μάρανση των φυτών, οι παραγωγοί συνηθίζουν να χρησιμοποιούν μεγαλύτερες από τις απαιτούμενες ποσότητες νερού για να νιώθουν ασφαλείς στο ότι η καλλιέργειά τους δεν θα «*διψάσει*». Στην πραγματικότητα η υπερβολική χρήση νερού, πέραν της σπατάλης, μπορεί να προκαλέσει ασφυκτικές συνθήκες στις ρίζες των φυτών, ανάπτυξη μερικών ασθενειών, απώλεια θρεπτικών στοιχείων λόγω έκπλυσής τους στα βαθύτερα στρώματα του εδάφους, ρύπανση του υπόγειου νερού, υποβάθμιση της ποιότητας των προϊόντων και αύξηση του κόστους παραγωγής.

5.1. Εξατμισοδιαπνοή

Τα φυτά για να μπορέσουν να αναπτυχθούν και να αποδώσουν ικανοποιητικά, πρέπει να είναι σε θέση να εξατμίζουν νερό από τα φύλλα (διαπνοή) με τον ρυθμό που επιβάλει η ατμόσφαιρα. Ο ρυθμός αυτός είναι μεγαλύτερος όσο το κλίμα είναι θερμότερο και ξηρότερο. Όπως είναι φυσικό η απώλεια του νερού από το φύλλωμα θα οδηγούσε στην ξήρανσή των φυτών αν η απώλεια αυτή δεν επαναπληρώνονταν από το νερό του εδάφους. Το νερό βέβαια δεν εξατμίζεται μόνο από το φύλλωμα των φυτών, αλλά και απευθείας από την επιφάνεια του εδάφους. Οι απώλειες του νερού από την διαδικασία της διαπνοής από το φύλλωμα μιας καλλιέργειας και της εξάτμισης απευθείας από την επιφάνεια του εδάφους στο οποίο καλλιεργείται, δεν μπορούν να διαχωριστούν και αποδίδονται αθροιστικά με τον όρο «*εξατμισοδιαπνοή*». Με την άρδευση, δηλ. με την τεχνητή προσθήκη του νερού στο έδαφος, επαναπληρώνεται το νερό που έχει εξατμισοδιαπνεύσει κάθε φορά, ανάλογα με τον ρυθμό απαιτήσεων της ατμόσφαιρας. Συνοψίζοντας, **εξατμισοδιαπνοή (*ET*)** είναι το άθροισμα της απώλειας του νερού με την εξάτμιση από την επιφάνεια του εδάφους (εξάτμιση) και της απώλειας του νερού μέσω της φυτοκόμης (διαπνοής).

Η **Εξατμισοδιαπνοή Αναφοράς (*ETo*)** υπολογίζεται από τα κλιματικά δεδομένα μια περιοχής και ισούται με την εξατμισοδιαπνοή μιας επιφάνειας καλυμμένης με γρασίδι, ύψους 12-15 cm, κανονικής πυκνότητας φύτευσης, απαλλαγμένου ασθενειών που έχει στην διάθεσή του άφθονο νερό. Δεν εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά των καλλιεργειών, τους εδαφικούς παράγοντες και τις πρακτικές

διαχείρισης. Οι μόνοι παράγοντες που επηρεάζουν την *ETo* είναι οι κλιματικές παράμετροι και συνεπώς η τιμή της υπολογίζεται από μετεωρολογικά δεδομένα. Η παρακάτω εξίσωση δίνει την ημερήσια εξατμισοδιαπνοή αναφοράς σε mm/day υπολογισμένης με την μέθοδο *Penman-Monteith*:

$$ETo = \frac{0.408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T+273} \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0.34 \cdot u_2)}$$

όπου:

ETo εξατμισοδιαπνοή αναφοράς [mm/day],
R_n πυκνότητα ροής καθαρής ακτινοβολίας [MJ/m2 day],
G πυκνότητα ροής θερμότητας προς το έδαφος [MJ/m2 day],
T μέση θερμοκρασία αέρα [°C],
u_2 ταχύτητα ανέμου στα 2m ύψος [m/ s],
e_s τάση κορεσμένων υδρατμών ατμόσφαιρας [kPa],
e_a πραγματική τάση υδρατμών [kPa],
$e_s - e_a$ έλλειμμα τάσης υδρατμών [kPa],
Δ κλίση της συνάρτησης πίεσης κορεσμού υδρατμών και θερμοκρασίας [kPa/°C],
γ ψυχρομετρική σταθερά [kPa/°C].

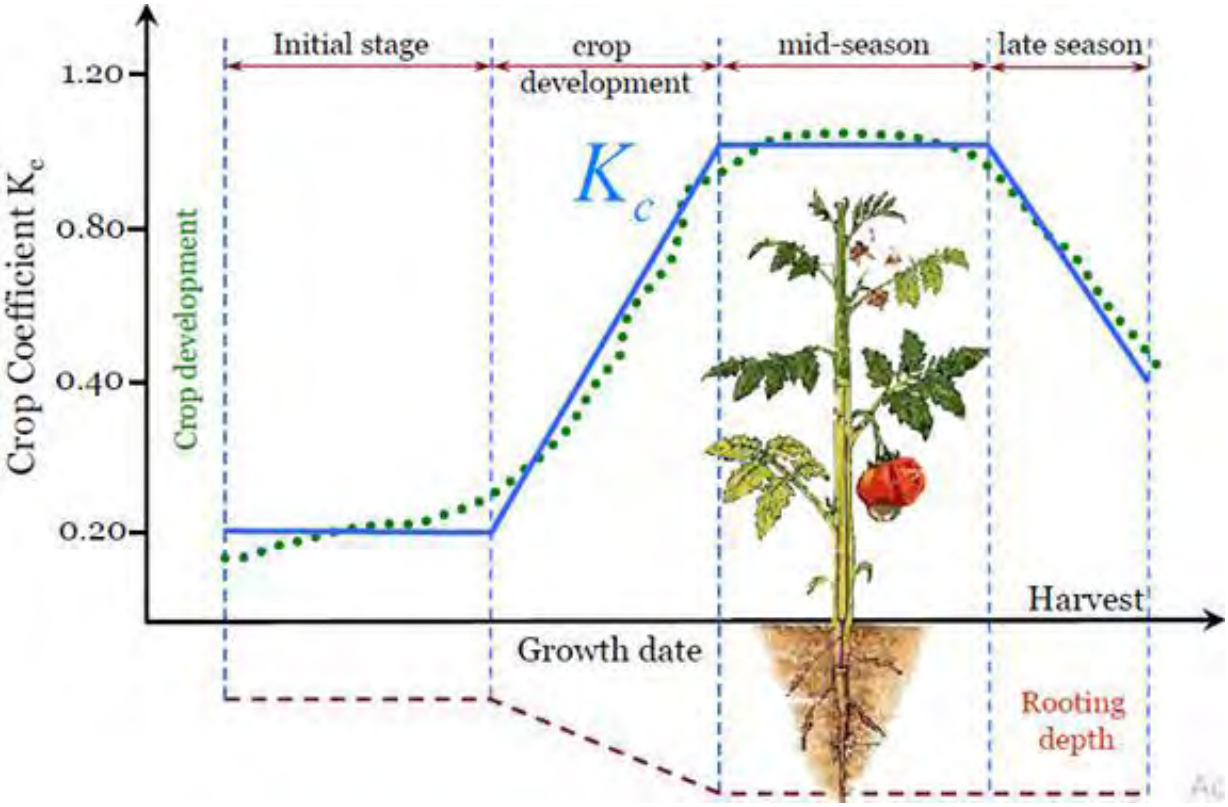
Η **<u>Εξατμισοδιαπνοή Καλλιέργειας (*ETc*)</u>** είναι η εξατμισοδιαπνοή μιας καλλιέργειας που αναπτύσσεται με άριστες εδαφικές συνθήκες, με καλή λίπανση, απαλλαγμένης ασθενειών, με επάρκεια νερού και άριστες καλλιεργητικές τεχνικές για την επίτευξη πλήρους παραγωγής για τις δεδομένες κλιματικές συνθήκες. Δίνεται από την εξίσωση: $ETc = Kc \cdot ETo$

όπου:

ETc Εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας [mm d^{-1}] ,
Kc Φυτικός συντελεστής
ETo Εξατμισοδιαπνοή αναφοράς [mm d^{-1}]

Οι διαφορές στην ανατομία των φύλλων, στα χαρακτηριστικά των στοματίων, στις αεροδυναμικές ιδιότητες και στο *albedo* της καλλιέργειας διαφοροποιεί την εξατμισοδιαπνοή των καλλιεργειών από την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς για τις ίδιες κλιματικές συνθήκες. Επίσης, λόγω των μεταβολών στα χαρακτηριστικά των καλλιεργειών στη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, ο φυτικός συντελεστής για μια καλλιέργεια διαφέρει κατά την διάρκεια ανάπτυξής της. Ο φυτικός συντελεστής *Kc* αντιπροσωπεύει την επίδραση τεσσάρων χαρακτηριστικών, τα οποία διαφοροποιούν μια καλλιέργεια από την επιφάνεια αναφοράς (γρασίδι), στην οποία αναφέρεται η *ETo* και η οποία έχει πάντα σταθερά χαρακτηριστικά και πλήρη εδαφική κάλυψη. Τα χαρακτηριστικά που τον διαφοροποιούν από την καλλιέργεια αναφοράς είναι το ύψος της καλλιέργειας, η ανακλαστικότητα της φυτοκόμης και του εδάφους, η οποία επηρεάζεται από το βαθμό φυτοκάλυψης και την κατάσταση επιφανειακής υγρασίας του εδάφους, η αντίσταση της φυτοκόμης στη μεταφορά των υδρατμών από την

καλλιέργεια στο περιβάλλον και η οποία επηρεάζεται από την επιφάνεια του φυλλώματος (αριθμός στοματίων), την ηλικία των φύλλων και τον έλεγχο και ρυθμό του ανοίγματος των στοματίων και η εξάτμιση απ' το έδαφος και ειδικότερα στην περίπτωση έκθεσης εδάφους (γυμνό έδαφος ανάμεσα στις γραμμές των φυτών κλπ.). Επιπρόσθετα ο *Kc* δεν διαφοροποιείται μόνο από τον τύπο κάθε καλλιέργειας αλλά επηρεάζεται και από τα στάδια ανάπτυξης αυτής, όπως αναφέρθηκε. την Εικόνα 5.1 δίνεται σχηματική παράσταση της μεταβολής του φυτικού συντελεστή στα διάφορα στάδια ανάπτυξης μιας καλλιέργειας.



Εικόνα 5.1: Σχηματική παράσταση της μεταβολής του φυτικού συντελεστή στα διάφορα στάδια ανάπτυξης (πηγή Στ. Αλεξανδρής, Διαφάνειες Μικρομετεωρολογίας, Εργ. Γ. Υδραυλικής ΓΠΑ)

Πραγματική Εξατμισοδιαπνοή (*ETc adj*) αποτελεί κλάσμα της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας και είναι το πραγματικά αφαιρούμενο νερό από το έδαφος. Εξαρτάται από την εκάστοτε επάρκεια ή μη της εδαφικής υγρασίας.

5.2. Υδατικό Ισοζύγιο Αγρού – Ωφέλιμη Βροχόπτωση

Στην Εικόνα 5.2 εμφανίζεται σχηματική παράσταση του υδατικού ισοζυγίου αγρού. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα αυτή, το νερό που είναι απαραίτητο για την ανάπτυξη των καλλιεργειών μπορεί, εκτός

από την άρδευση, να παρέχεται και από τις βροχοπτώσεις ή με συνδυασμό των βροχοπτώσεων και της άρδευσης. Όμως το νερό της βροχής που πέφτει στην επιφάνεια του εδάφους δεν είναι όλο εκμεταλλεύσιμο από τα φυτά. **Ωφέλιμη** ή **Αποτελεσματική** ή **Ενεργή βροχόπτωση** (*Peff - effective rain*) είναι το ποσό του νερού της βροχής που αποθηκεύεται στο ριζικό σύστημα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τα φυτά και εξαρτάται από την κλίση και την δομή του εδάφους, το βάθος του ριζικού συστήματος, το κλίμα κ.λ.π.

Η Αποτελεσματική βροχόπτωση υπολογίζεται με τους εξής τρόπους:

1. Σταθερό ποσοστό: Η αποτελεσματική βροχόπτωση (*effective rainfall*) είναι ένα σταθερό ποσοστό της πραγματικής βροχόπτωσης (*P*), υπολογισμένο σύμφωνα με την εξίσωση:

Reff = ποσοστό % x P

όπου *P* η βροχόπτωση. Το σταθερό ποσοστό εισάγεται από τον χρήστη.

2. *FAO/AGLW formula*: Με βάση μια ανάλυση που διενεργήθηκε για διαφορετικά άνυδρα και υπό-υγρά κλίματα, αναπτύχθηκε μια εμπειρική σχέση από τον FAO για την εκτίμηση της αποτελεσματικής βροχόπτωσης. Ο υπολογισμός γίνεται σύμφωνα με:

*Peff = 0.6 * P - 10 for Pmonth < = 70 mm*

*Peff = 0.8 * P - 24 for Pmonth > 70 mm*

3. Εμπειρικός τύπος (*Empirical formula*): Είναι ο ίδιος τύπος με αυτόν της αξιόπιστης βροχής με τη διαφορά πως στον εμπειρικό τύπο υπάρχει η δυνατότητα να αλλαχθούν οι παράμετροι, οι οποίοι μπορούν να προσδιοριστούν από την ανάλυση των τοπικών κλιματικών εγγραφών.

*Peff = a * Pmonth - b for Pmonth < = z mm*

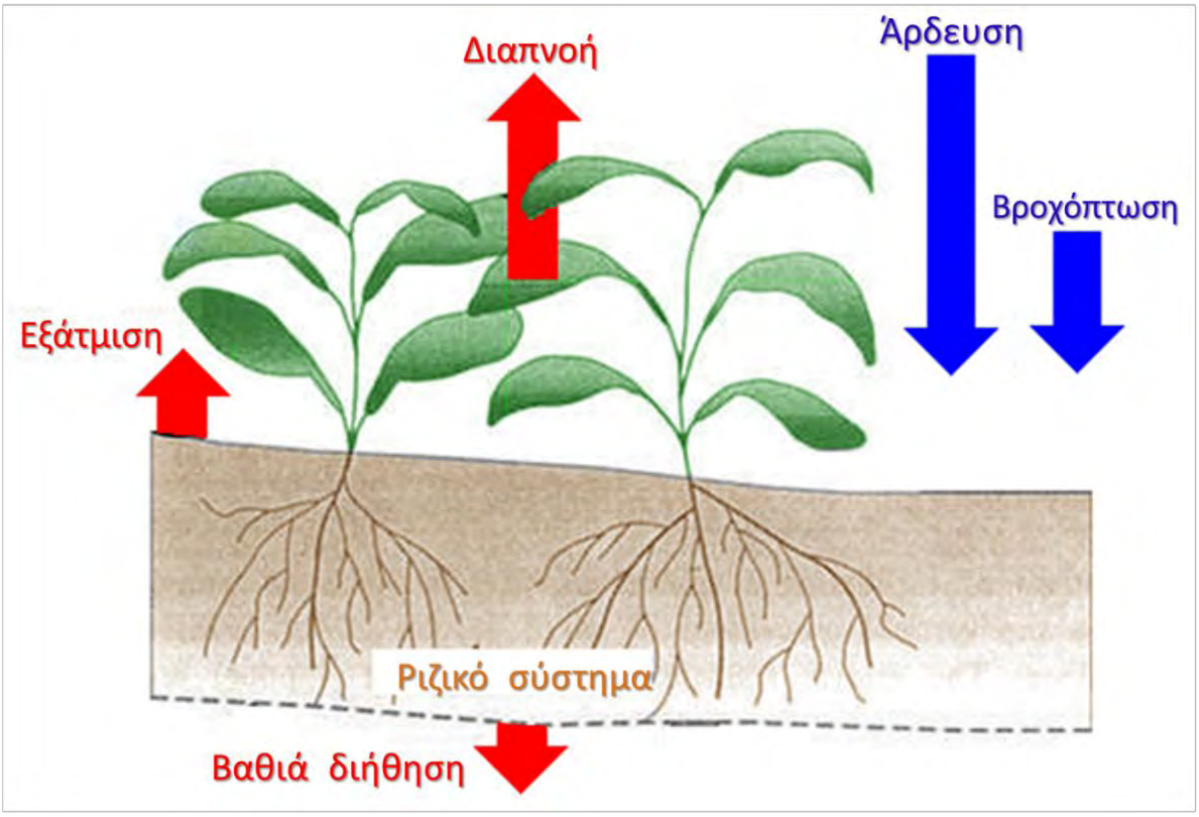
*Peff = c * Pmonth - d for Pmonth > z mm*

όπου οι παράμετροι *a,b,c* και *z* είναι συντελεστές

4. *USDA Formula*: Ο εμπειρικός αυτός τύπος αναπτύχθηκε από την Υπηρεσία Εγγείων Βελτιώσεων των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής (USDA), όπου η αποτελεσματική βροχόπτωση μπορεί να υπολογιστεί σύμφωνα με:

*Peff = Pmonth * (125 - 0.2 * Pmonth)/125 for Pmonth < = 250 mm*

*Peff = 125 + 0.1 * Pmonth for Pmonth > 250 mm*



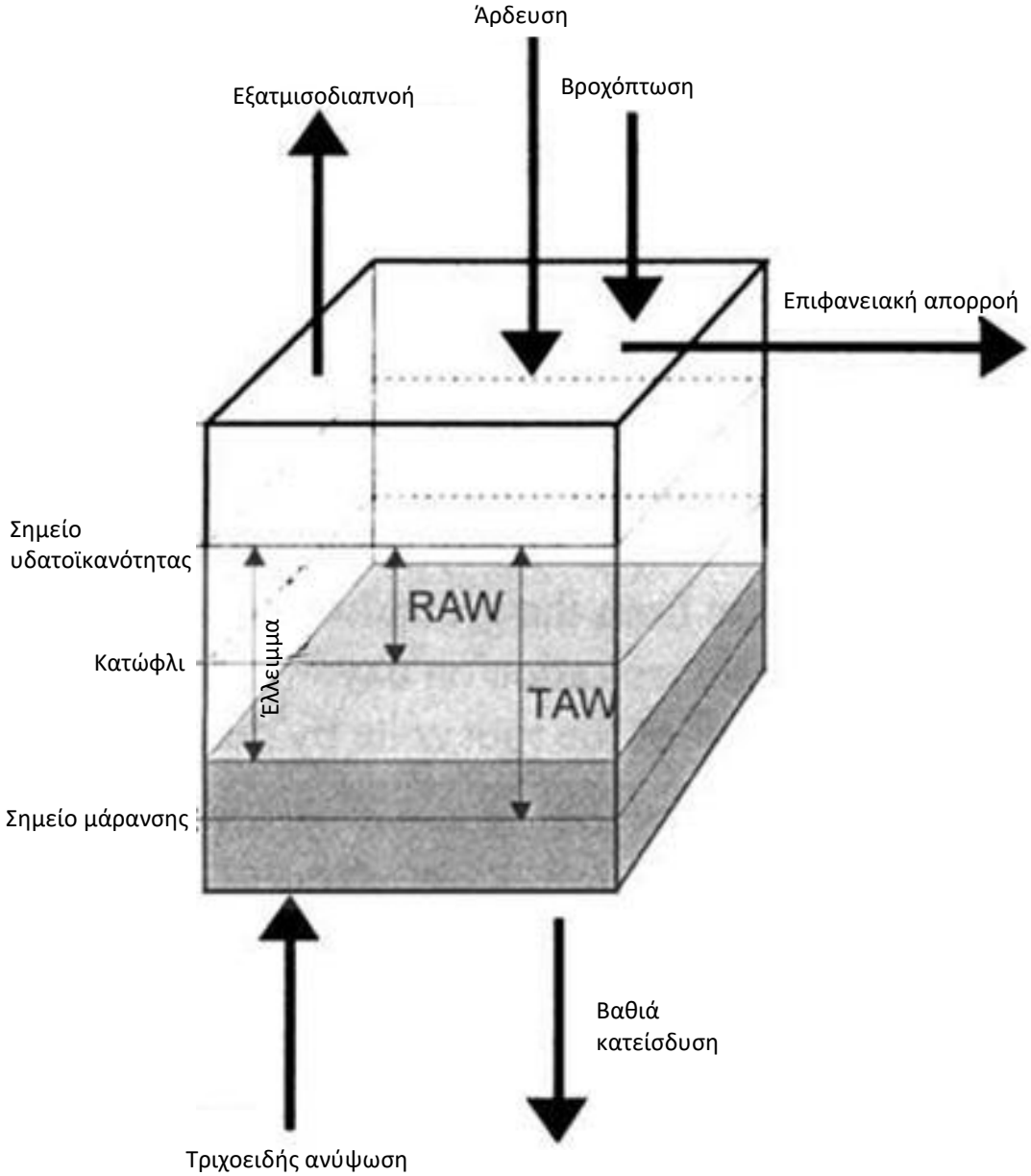
Εικόνα 5.2: Σχηματική παράσταση υδατικού ισοζυγίου

Αν υποθέσουμε ότι η επιφανειακή απορροή, καθώς και η πλευρική υπόγεια απορροή ή ο υπόγειος υδροφόρος δεν συνεισφέρουν στο ισοζύγιο, τότε θα πρέπει όσο νερό προστίθεται στην εδαφική κατατομή της ζώνης του ριζοστρώματος των φυτών με την βροχή και την άρδευση, να ισούται με το νερό που αφαιρείται με την βαθιά κατείσδυση (κάτω από τη ζώνη του ριζοστρώματος) και την εξατμισοδιαπνοή (Εικόνα 5.2).

Γενικά, για να γίνει κατανοητός ο μηχανισμός της εξάντλησης και της επαναπλήρωσης του νερού στην ζώνη του ριζοστρώματος, το νερό που περιέχεται στο έδαφος μέχρι του σημείου κορεσμού (Θs) μπορεί να παρασταθεί ως ένας κύβος με όγκο Vo (Εικόνα 5.3).

Όταν η βροχόπτωση είναι ανεπαρκής και δεν μπορεί να αντισταθμίσει το νερό που χάθηκε από την εξατμισοδιαπνοή, με αποτέλεσμα η εξάντληση του να φτάσει μέχρι το κατώφλι, στο οποίο οφείλουμε να προσθέσουμε νερό για να μην έχουμε μείωση της παραγωγής, τότε απαιτείται να προστεθεί νερό με άρδευση. Πρωταρχικός στόχος της άρδευσης είναι να εφαρμοστεί η σωστή ποσότητα νερού στην κατάλληλη στιγμή. Με τον υπολογισμό του ισοζυγίου του εδαφικού νερού της ζώνης του ριζοστρώματος σε καθημερινή βάση, μπορεί να προγραμματιστεί ο χρόνος και το ύψος του νερού των μελλοντικών αρδεύσεων. Στην Εικόνα 5.3 η σκοτεινότερη περιοχή αντιπροσωπεύει ένα ορισμένο επίπεδο του νερού που συγκρατείται από το χώμα. Η έκφραση του νερού ως ύψος νερού που περιέχεται στην ζώνη

του ριζοστρώματος κάνει την υπολογιστική προσθήκη η αφαίρεση του νερού απλή, καθώς όλες οι διάφορες παράμετροι εκφράζονται σε ύψος νερού. Η βροχόπτωση, η άρδευση και η τριχοειδής ανύψωση του υπόγειου νερού προς τη ζώνη του ριζοστρώματος προσθέτουν νερό, ενώ η εξάτμιση του εδάφους, η διαπνοή από το φύλλωμα και οι απώλειες λόγω βαθιάς κατείσδυσης απομακρύνουν το νερό από τη ζώνη ριζών.



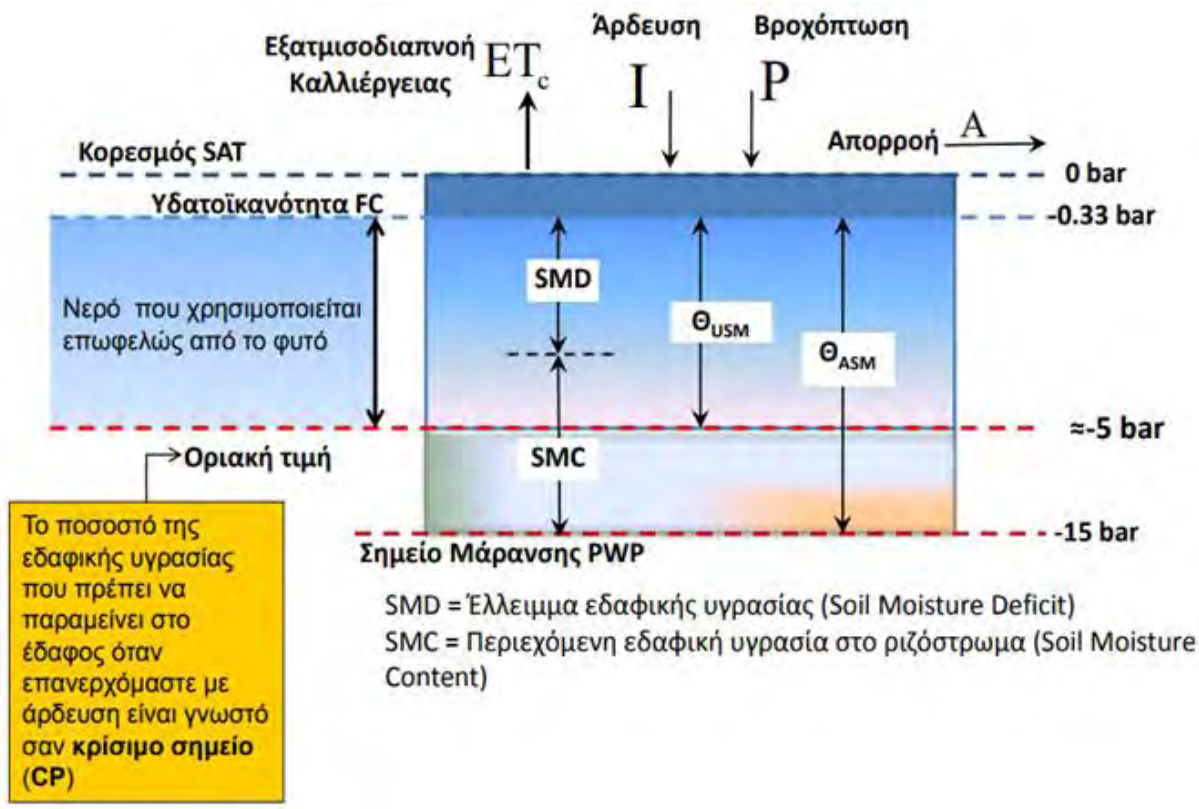
Εικόνα 5.3: Σχηματική παράσταση του περιεχόμενου νερού στην ζώνη του ριζοστρώματος

Το συνολικά διαθέσιμο νερό (*Total available water-TAW*), αντιπροσωπεύει τη συνολική ποσότητα νερού που διατίθεται για την καλλιέργεια. Ορίζεται ως η διαφορά στην περιεκτικότητα σε υγρασία εδάφους μεταξύ του σημείου υδατοϊκανότητας (*FC – Field*

Capacity) και του σημείου μάρανσης (*WP – Wilting Point*). Πάνω από το επίπεδο του σημείου υδατοϊκανότητας το νερό δεν είναι διαθέσιμο για τα φυτά, καθώς δεν μπορεί να συγκρατηθεί από το έδαφος και απομακρύνεται γρήγορα λόγω της βαρύτητας. Ομοίως, το νερό κάτω από το επίπεδο του σημείου μάρανσης δεν μπορεί να διατεθεί για τα φυτά γιατί δεν μπορεί να αντληθεί από τα ριζικά τριχίδια, καθώς διατηρείται σε υψηλές αρνητικές πιέσεις εντός του εδαφικών πόρων. Το συνολικά διαθέσιμο νερό (*TAW*) εξαρτάται από την υφή, τη δομή και την περιεκτικότητα σε οργανική ύλη στο έδαφος και εκφράζεται συνήθως σε mm/meter βάθους εδάφους. Υδατοϊκανότητα (*FC*) είναι η ποσότητα του νερού η οποία μπορεί να συγκρατείται από το έδαφος όταν απομακρυνθεί προς τα βαθύτερα στρώματα το νερό βαρύτητας. Σημείο Μάρανσης (*WP*) είναι η ποσότητα του νερού που συγκρατείται μεν από το έδαφος, αλλά δεν μπορεί να προσληφθεί από τα φυτά λόγω της μεγάλης αρνητικής πίεσης με την οποία συγκρατείται. Το Εύκολα Διαθέσιμο Νερό (*Readily available water-RAW*) είναι το κλάσμα του Συνολικού Διαθέσιμου Νερού (*TAW*) που μπορεί να προσληφθεί από το ριζικό σύστημα μιας καλλιέργειας χωρίς να υπάρξει μείωση της παραγωγής. Αν και το νερό είναι θεωρητικά διαθέσιμο στα φυτά μέχρι μια αρνητική πίεση που ισοδυναμεί με το σημείο μάρανσης (*Wilting Point -WP*), η πρόσληψη νερού μειώνεται από πολύ νωρίτερα σε πολύ μικρότερες εξαντλήσεις νερού. Όταν το έδαφος περιέχει επαρκή ποσότητα υγρασίας, το νερό του εδάφους μπορεί να ικανοποιήσει την ζήτηση της καλλιέργειας που δημιουργεί η ατμόσφαιρα με την εξατμισοδιαπνοή και η πρόσληψη νερού ισούται με την εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας υπό κανονικές συνθήκες (*ETc*). Καθώς μειώνεται η περιεκτικότητα σε εδαφικό νερό, αυτό συγκρατείται ισχυρότερα στο έδαφος και είναι πιο δύσκολο να εξαχθεί. Όταν η περιεκτικότητα σε νερό του εδάφους πέσει κάτω από μια τιμή (κατώφλι), το νερό του εδάφους δεν μπορεί πλέον να μεταφερθεί αρκετά γρήγορα στις ρίζες ώστε να ανταποκριθεί στη ζήτηση για εξατμισοδιαπνοή και τα φυτά αρχίζουν να υφίστανται καταπόνηση που έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της παραγωγής. Το εύκολα διαθέσιμο νερό εκφράζεται ως ποσοστό ή σε mm για το βάθος ριζοστρώματος και δίνεται από την σχέση *RAW = p x TAW*, όπου *p* το ποσοστό εξάντλησης της διαθέσιμης υγρασίας από το Σημείο Υδατοϊκανότητας μέχρι το κατώφλι.

Στην Εικόνα 5.4 δίνεται μια σχηματική παράσταση της υδατικής κατάστασης του ριζοστρώματος των φυτών. Στην εικόνα αυτή η περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό εκφράζεται σε ποσοστά. Όπου *SMD* το έλλειμμα του εδαφικού νερού που αντιστοιχεί στο «Έλλειμμα» του σχήματος της Εικόνας 5.3, *SMC* η περιεχόμενη περιεκτικότητα σε νερό του εδάφους στο ριζόστρωμα, που αντιστοιχεί στην

σκουρότερη ζώνη του σχήματος της Εικόνας 5.3, Θ_{ASM} η διαθέσιμη υγρασία που αντιστοιχεί στο συνολικά διαθέσιμο νερό του σχήματος της Εικόνας 5.3, Θ_{USM} η ωφέλιμη υγρασία, που αντιστοιχεί στο εύκολα διαθέσιμο νερό του σχήματος της Εικόνας 5.3 και *CP* (ή *p*) το κρίσιμο σημείο κάτω από το οποίο προκαλείται καταπόνηση της καλλιέργειας, που αντιστοιχεί στο «Κατώφλι» του σχήματος της Εικόνας 5.3. Στο σχήμα της Εικόνας 5.4 εμφανίζονται και οι τιμές της αρνητικής πίεσης στο σημείο μάρανσης και στο σημείο υδατοϊκανότητας για ένα μέσο έδαφος, ενώ εμφανίζεται ενδεικτικά και η αρνητική πίεση στο κρίσιμο σημείο για την συγκεκριμένη καλλιέργεια του σχήματος.



Εικόνα 5.4: Σχηματική παράσταση της υδατικής κατάστασης του ριζοστρώματος

5.3. Σχετική απόδοση καλλιέργειας

Η μείωση της απόδοσης λόγω υδατικής καταπόνησης εκφράζεται ως το ποσοστό της μέγιστης παραγωγής κάτω από βέλτιστες συνθήκες και μπορεί να εκτιμηθεί στο σύνολο της καλλιεργητικής περιόδου ή σε επί μέρους στάδια. Γενικά ισχύει η παρακάτω σχέση:

$$\left(1-\frac{Ym}{Y\max}\right)=Ky\left(1-\frac{ETc\,adj}{ETc}\right)$$

όπου,

Ym η πραγματική απόδοση,

$Y\max$ η μέγιστη απόδοση της καλλιέργειας

Ky ο συντελεστής απόκρισης παραγωγής

$ETc\,adj$ η πραγματική εξατμισοδιαπνοή

ETc η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας (δυνητική εξατμισοδιαπνοή)

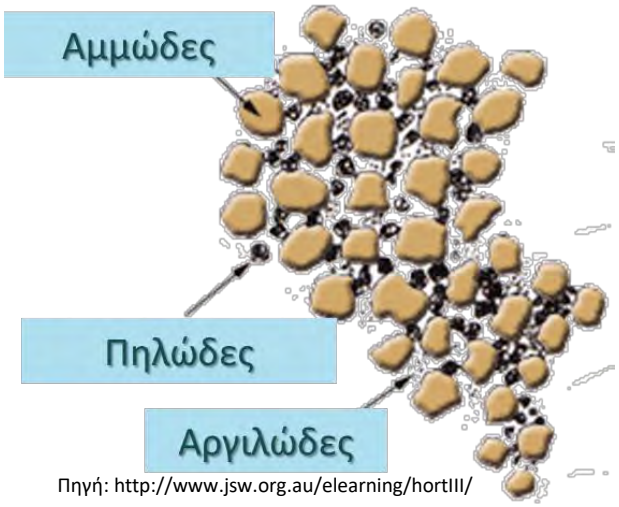
Από την παραπάνω σχέση προκύπτει ότι η σχετική απόδοση της καλλιέργειας δίνεται από την σχέση:

$$\frac{Ym}{Y\max} = 1 - Ky\left(1 - \frac{ETc\,adj}{ETc}\right)$$

Η απόκριση της απόδοσης της καλλιέργειας στο διαθέσιμο νερό ποσοτικοποιείται μέσω του συντελεστή απόκρισης παραγωγής (Ky), ο οποίος συσχετίζει τη μείωση απόδοσης της καλλιέργειας με το έλλειμμα εξατμισοδιαπνοής. Το έλλειμμα νερού, εκφράζεται ως αναλογία της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής ($ETc\,adj$) και εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας (ETc). Με άλλα λόγια ο συντελεστής απόκρισης απόδοσης της καλλιέργειας στο νερό δηλώνει το πόσο η καλλιέργεια είναι ανθεκτική στο υδατικό στρες και συνδέει τη σχετική μείωση της απόδοσης με τη μείωση της εξατμισοδιαπνοής. Για $Ky > 1$ η καλλιέργεια είναι πολύ ευαίσθητη στην έλλειψη νερού και η μείωση της απόδοσης είναι μεγαλύτερη από την αναλογική μείωση της εξατμισοδιαπνοής, για $Ky = 1$ η μείωση της απόδοσης είναι ανάλογη της μείωσης της εξατμισοδιαπνοής και για $Ky < 1$ η καλλιέργεια είναι ανθεκτική στην έλλειψη νερού και παρουσιάζει μικρότερη μείωση παραγωγής από την αναλογική μείωση του νερού. Η τιμή του συντελεστή απόκρισης της παραγωγής, Ky , είναι ανάλογη με το είδος της καλλιέργειας, αλλά και μεταβάλλεται στο σύνολο της καλλιεργητικής περιόδου, ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας. Η μείωση της απόδοσης είναι αναλογικά μικρότερη με την αύξηση έλλειψης νερού κατά την περίοδο βλάστησης και ωρίμανσης ($Ky < 1$) για καλλιέργειες όπως μηδική, αραχίδα, κρόκος και ζαχαρότευτλα, ενώ είναι αναλογικά μεγαλύτερη κατά την περίοδο ανθοφορίας και καρπόδεσης ($Ky > 1$) για καλλιέργειες όπως μπανάνα, αραβόσιτος, ζαχαροκάλαμο.

5.4. **Δόση – Εύρος άρδευσης**

Η ποσότητα του νερού που πρέπει να εφαρμοστεί σε κάθε άρδευση για να καλύψει τις ανάγκες των φυτών ισούται με το *RAW* και ονομάζεται καθαρή δόση άρδευσης. Η δόση άρδευσης εξαρτάται από τον τύπο του εδάφους και είναι συνήθως μεγαλύτερη στα βαριά εδάφη (αργιλώδη) από τα μέση σύστασης (πηλώδη) και τα ελαφρά εδάφη (αμμώδη). Στην Εικόνα 5.5 εμφανίζονται οι διάφοροι τύποι εδαφών και η συγκριτική διαφοροποίηση του μεγέθους των κόκκων του κάθε τύπου.



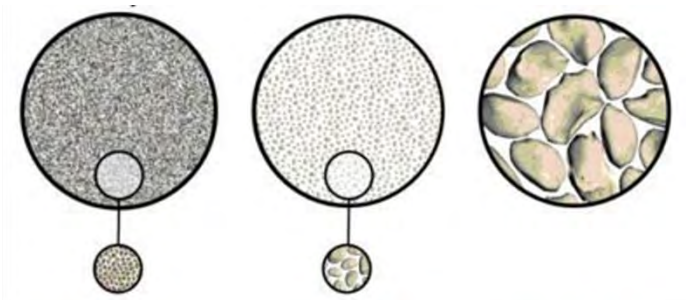
Πηγή: http://www.jsw.org.au/elearning/hortIII/

Αμμώδες Πηλώδες Αργιλώδες

Πηγή: https://botanicseye.com/soil-types-in-the-uk/

Αμμώδες Πηλώδες Αργιλώδες

Πηγή: https://audaxdesign.org/2013/09/22/gqt-soil-structure-texture-and-tilth/



Αργιλώδες Πηλώδες Αμμώδες

Πηγή: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/runoff_cz/print.htm

Εικόνα 5.5: Τύποι εδαφών

Το εύρος άρδευσης (E) είναι ο αριθμός των ημερών που μεσολαβούν μεταξύ δύο διαδοχικών αρδεύσεων και δίνεται από την σχέση: $E = \frac{In}{ETcd}$

όπου:

In Καθαρή δόση άρδευσης

$ETcd$ Ημερήσια εξατμισοδοαπνοή της καλλιέργειας, δηλ οι ημερήσιες ανάγκες της καλλιέργειας σε νερό.

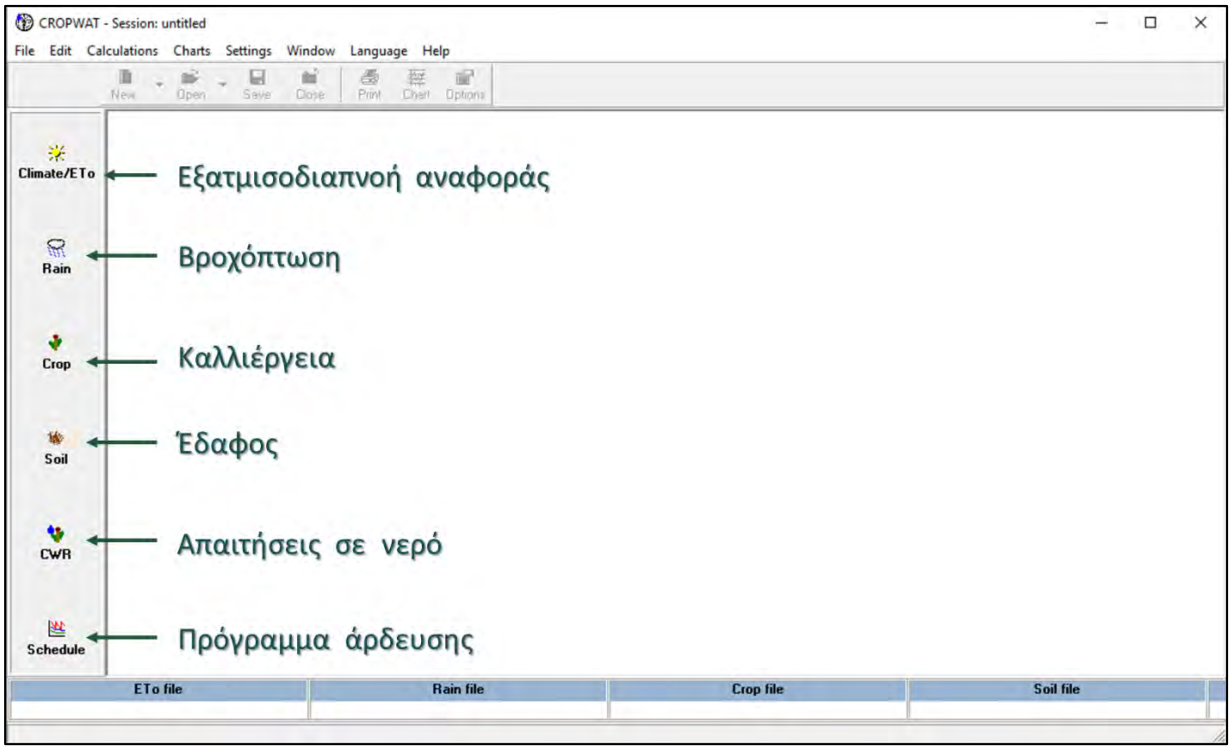
6. Γνωριμία με τα λογισμικά *CROPWAT 8.0* και *ClimWat 2.0*

Στην αδήριτη αναγκαιότητα εξοικονόμησης νερού όπως αναφέρθηκε, ο Παγκόσμιος Οργανισμός Τροφίμων των Ηνωμένων Εθνών (FAO) ανέπτυξε και ανάρτησε στην ιστοσελίδα του το πρόγραμμα ηλεκτρονικού υπολογιστή ελεύθερου, ανοικτού κώδικα λογισμικού *CROPWAT 8.0* για *Windows*. Το

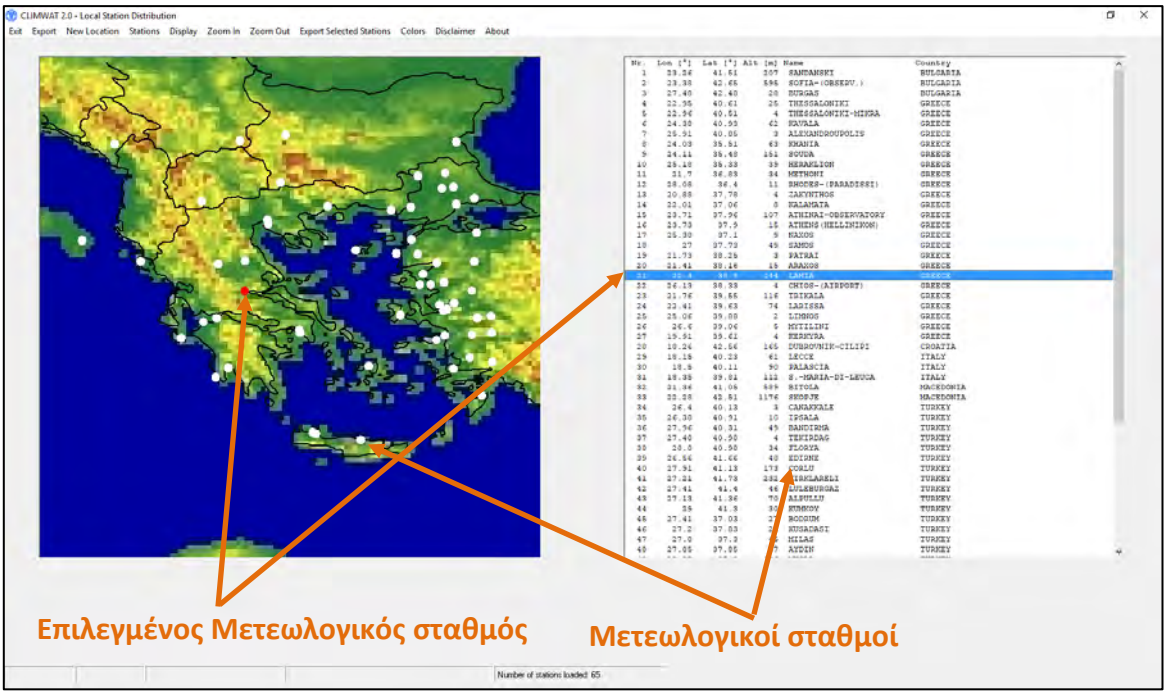
λογισμικό αυτό είναι φιλικό στη χρήση από επιστήμονες ή απλούς χρήστες (αγρότες) και ενσωματώνει όλα τα απαραίτητα στοιχεία για τον προγραμματισμό των αρδεύσεων, δηλαδή στοιχεία καλλιεργειών, ατμόσφαιρας και εδάφους. Με άλλα λόγια το λογισμικό αυτό έχει αντικαταστήσει πολύπλοκες και χρονοβόρες πράξεις και υπολογιστικές διαδικασίες, με τις οποίες αντιμετωπίζονταν στο παρελθόν επιλύσεις του προβλήματος κατάστρωσης του προγράμματος άρδευσης.

Το *ClimWat 2.0 for CropWat* είναι επίσης ένα πρόγραμμα ηλεκτρονικού υπολογιστή ελεύθερου, ανοικτού κώδικα λογισμικού που έχει αναπτυχθεί από τον FAO. Το πρόγραμμα αυτό αποτελεί μία παγκόσμια κλιματική βάση δεδομένων με σχετική αξιοπιστία από πλευράς μεγέθους χρονοσειρών, η οποία περιλαμβάνει μετεωλογικά δεδομένα από περισσοτέρους των 5.000 μετεωρολογικούς σταθμούς σε παγκόσμιο επίπεδο. Τα δεδομένα αφορούν σε μέσες μηνιαίες τιμές των παραμέτρων που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των αρδεύσεων. Τα αποτελέσματα του λογισμικού είναι πλήρως συμβατά και χρησιμοποιούνται από το *CropWat* για την κατάστρωση του προγράμματος άρδευσης.

Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζεται η αρχική σελίδα των λογισμικών *CROPWAT 8.0* και *ClimWat 2.0* και σε μετάφραση παρουσιάζονται τα στοιχεία που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν.



Εικόνα 6.1**: Εισαγωγική σελίδα του λογισμικού** *CROPWAT* ***8.0 (© FAO, 2009)***



Εικόνα 6.2**: Εισαγωγική σελίδα του λογισμικού** *ClimWat 2.0 for CropWat* ***(© FAO, 2009)***

6.1. Το **λογισμικό** *ClimWat 2.0*. **Χρήση των βασικών λειτουργιών**

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο το *ClimWat 2.0* είναι μια κλιματική βάση δεδομένων που αναπτύχθηκε από τον FAO και χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με το λογισμικό *CROPWAT 8.0*. Ο συνδυασμός αυτός επιτρέπει τον υπολογισμό των απαιτήσεων των καλλιέργειών σε νερό και τον προγραμματισμό των αρδεύσεων. Το *ClimWat 2.0* περιλαμβάνει κλιματικά δεδομένα περισσοτέρων των 5.000 μετεωρολογικών σταθμών παγκοσμίως, η κατανομή των οποίων φαίνεται στην Εικόνα 6.3.

Οι παράμετροι που περιλαμβάνονται και διατίθενται από το λογισμικό *ClimWat 2.0* είναι οι μέσες μηνιαίες των εξής παραμέτρων:

Μέση ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία σε °C

Μέση ημερήσια ελάχιστη θερμοκρασία σε °C

Μέση σχετική υγρασία σε %

Μέση ταχύτητα ανέμου σε km/ημέρα

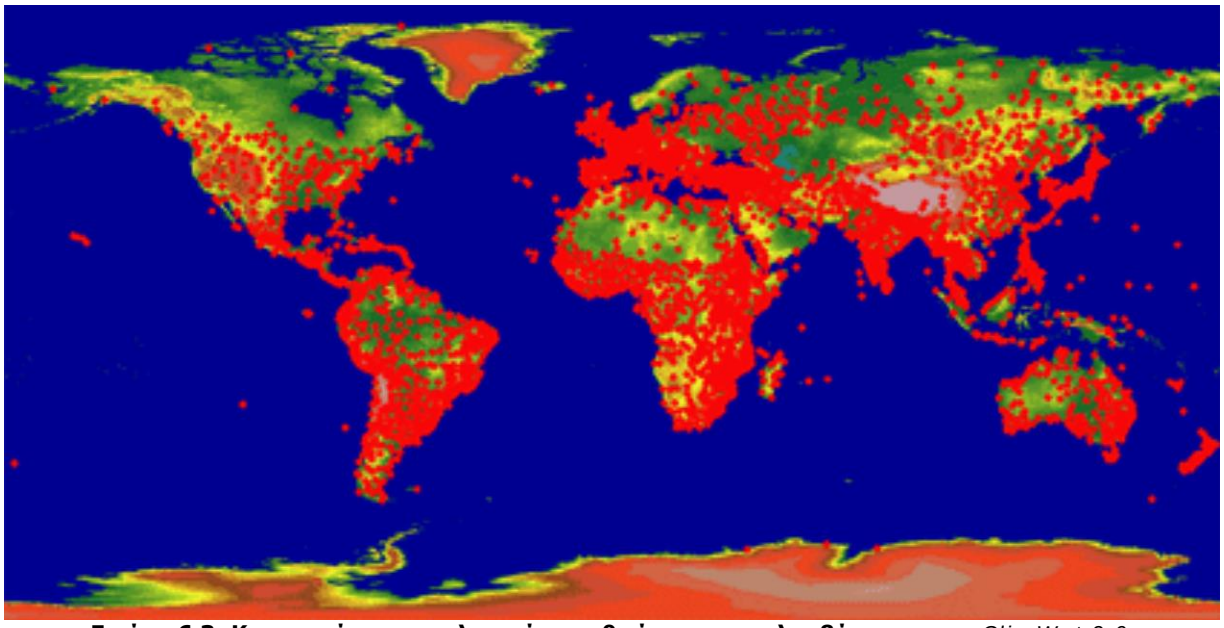
Μέσες ώρες ηλιοφάνειας ανά ημέρα

Μέση ηλιακή ακτινοβολία σε MJ/m^2/ημέρα

Μηνιαία βροχόπτωση σε mm/μήνα

Μηνιαία βροχόπτωση σε mm/μήνα

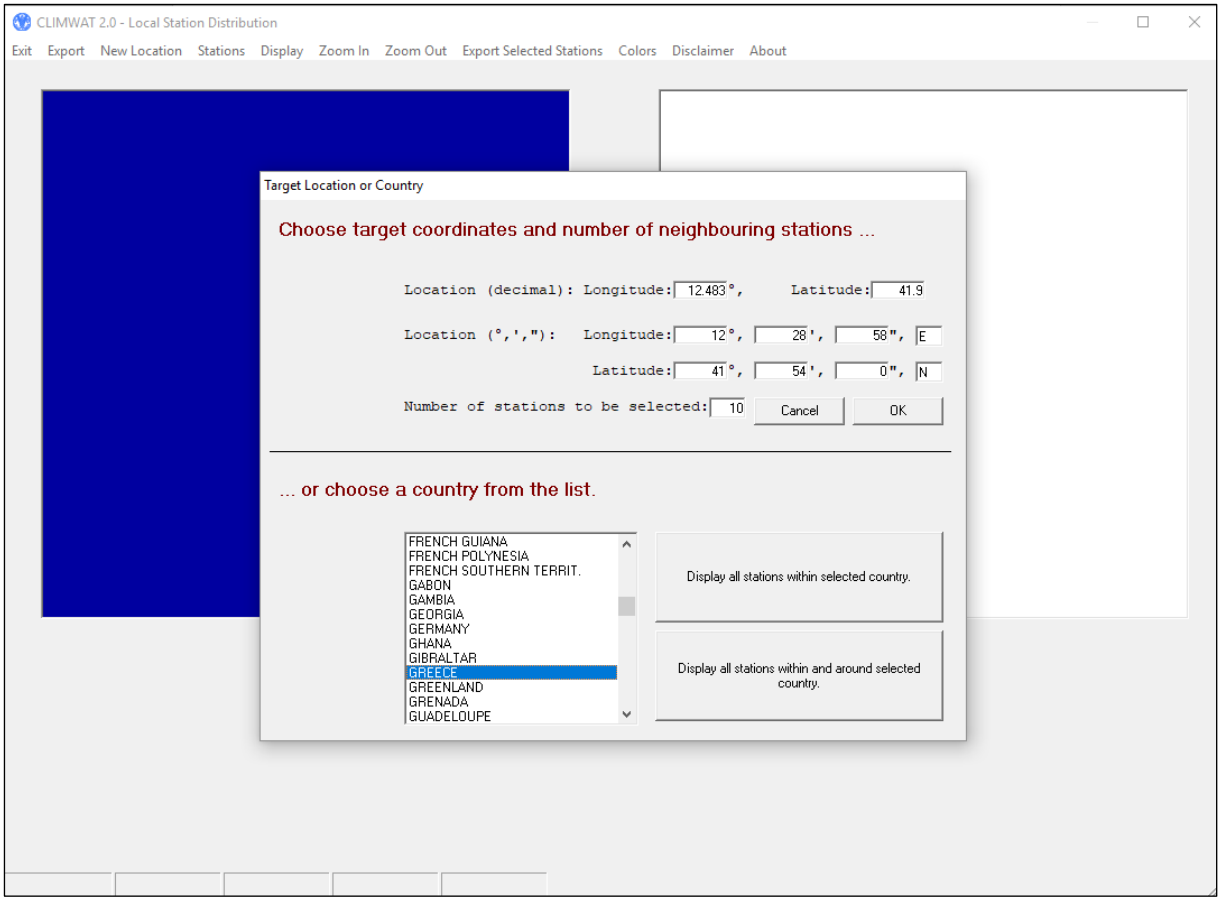
Εξατμισοδιαπνοή αναφοράς υπολογισμένη με τη μέθοδο *Penman-Monteith* σε mm/ημέρα.



Εικόνα 6.3: Κατανομή μετεωρολογικών σταθμών που περιλαμβάνονται στο *ClimWat 2.0*

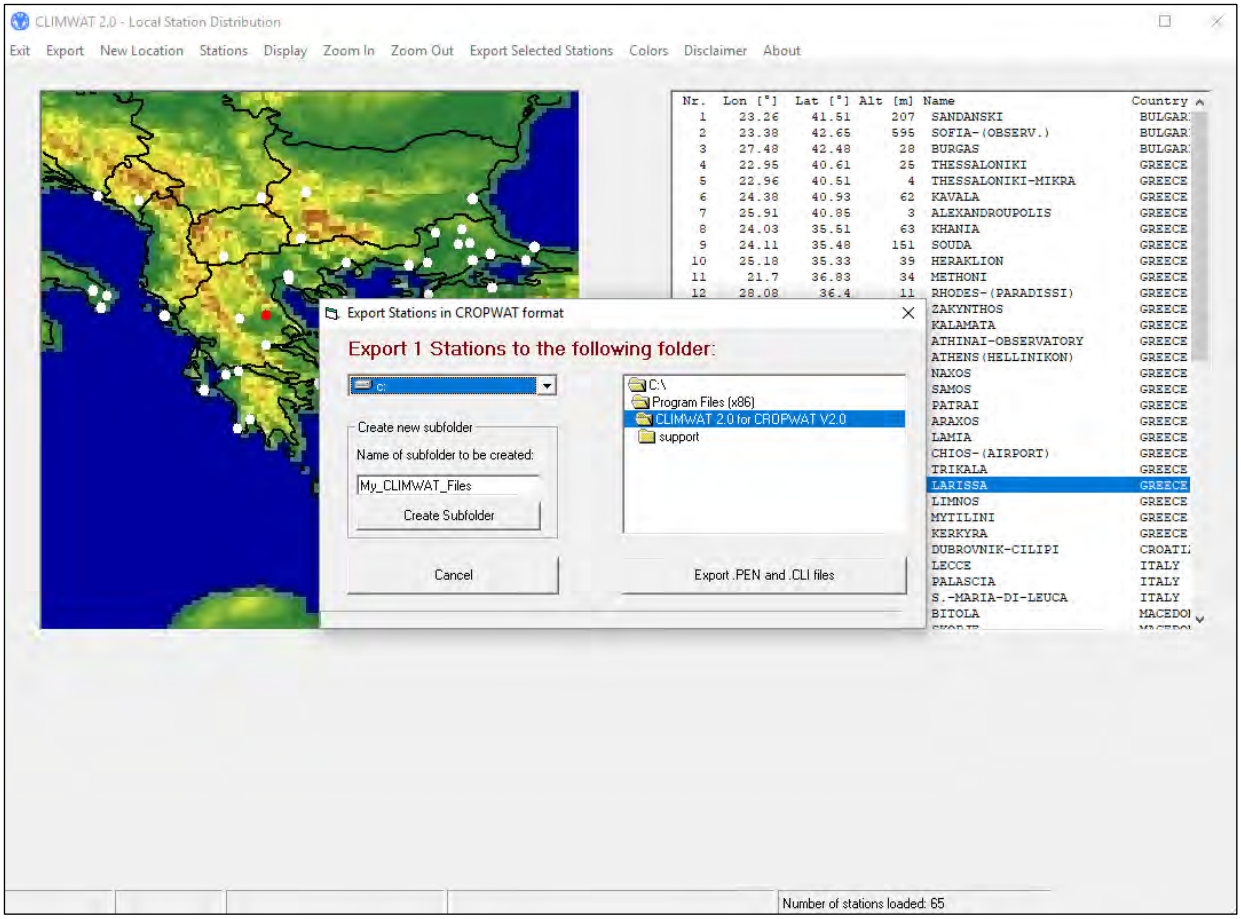
Τα δεδομένα μπορούν να εξαχθούν για κάθε μετεωρολογικό σταθμό σε μορφή που είναι κατάλληλη για εισαγωγή στο λογισμικό *CropWat 8.0*. Για κάθε επιλεγμένο σταθμό δημιουργούνται δύο αρχεία. Το ένα αρχείο περιέχει δεδομένα της μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης σε mm/μήνα. Το δεύτερο αρχείο αποτελείται τις μέσες μηνιαίες τιμές των επτά κλιματικών παραμέτρων που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Σε αυτό το αρχείο περιλαμβάνονται επίσης το υψόμετρο και η θέση του μετεωρολογικού σταθμού. Όλες οι μεταβλητές, εκτός από την εξατμισοδιαπνοή, προέρχονται από άμεσες μετρήσεις ή από κατάλληλες μετατροπές των άμεσων μετρήσεων, απαραίτητες για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής, με την μέθοδο *Penman-Monteith*. Τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται από το *ClimWat 2.0* αφορούν σε περίοδο 30 ετών (1971-2000), εκτός των περιπτώσεων που δεν υπήρχαν διαθέσιμα στοιχεία για ολόκληρη την περίοδο των 30 ετών, σε κάθε περίπτωση όμως τα στοιχεία αφορούν σε περίοδο τουλάχιστον 15 ετών.

Όταν ανοίγουμε το λογισμικό *ClimWat 2.0* εμφανίζεται εισαγωγική σελίδα στην οποία καθορίζουμε την χώρα για την οποία ενδιαφερόμαστε. Στην εισαγωγική αυτή σελίδα μπορούμε να καθορίσουμε αν θέλουμε να δούμε τους σταθμούς μόνο της χώρας που επιλέγουμε ή και τους γειτονικούς των όμορων χωρών (Εικόνα 6.4).



Εικόνα 6.4: Εισαγωγική σελίδα του λογισμικού *ClimWat 2.0*

Με διπλό κλικ στην χώρα που ενδιαφερόμαστε οδηγούμαστε στην αρχική σελίδα του λογισμικού , όπου μπορούμε να επιλέξουμε τον μετεωρολογικό σταθμό της περιοχής για την οποία ενδιαφερόμαστε (Εικόνα 6.2). Ακολούθως με την επιλογή "*Export selected stations*" ανοίγει η επιλογή της Εικόνας 6.5 από την οποία μπορούμε να αποθηκεύσουμε τα δύο αρχεία που αναφέρθηκαν παραπάνω με τις επεκτάσεις *PEN* και *CLI* επιλέγοντας τον φάκελο που επιθυμούμε, τα οποία θα χρησιμοποιηθούν από το λογισμικό *CROPWAT 8.0*.



Εικόνα 6.5: Εξαγωγή από το ClimWat 2.0 των αρχείων που θα χρησιμοποιηθούν από *CropWat 8.0*

6.2. Το **λογισμικό** *CROPWAT 8.0*. **Χρήση των βασικών λειτουργιών**

Το *CROPWAT 8.0* αποτελεί εργαλείο υποστήριξης αποφάσεων που αναπτύχθηκε από τον FAO. Με το λογισμικό αυτό υπολογίζονται οι απαιτήσεις των καλλιεργειών σε νερό βάσει των δεδομένων του κλίματος, του εδάφους και του είδους της καλλιέργειας. Επιπλέον, το λογισμικό επιτρέπει την ανάπτυξη προγραμμάτων άρδευσης για διαφορετικές συνθήκες διαχείρισης και συνεπώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση πρακτικών άρδευσης σε σχέση με την εκτίμηση της απόδοσης των καλλιεργειών. Οι υπολογιστικές διαδικασίες που χρησιμοποιούνται από το *CROPWAT 8.0* βασίζονται στις δύο εκδόσεις του FAO, στην έκδοση αριθ. 56 «*Εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας - Κατευθυντήριες γραμμές για τον υπολογισμό των απαιτήσεων ύδατος καλλιέργειας*» και στην έκδοση αριθ. 33 με τίτλο «*Απόδοση απόκρισης των καλλιεργειών στο νερό*».

Όταν δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα για την περιοχή για την οποία ενδιαφερόμαστε, το *CropWat* ως σημείο αναφοράς λαμβάνει τυπικά δεδομένα σχετικά με την καλλιέργεια και το έδαφος. Όταν

διατίθενται δεδομένα τότε τα αρχεία των δεδομένων του προγράμματος μπορούν να τροποποιηθούν βάσει αυτών των τοπικών δεδομένων ή να δημιουργηθούν νέα αρχεία δεδομένων. Με παρόμοιο τρόπο, αν δεν υπάρχουν τοπικά κλιματολογικά δεδομένα, αυτά μπορούν να ληφθούν από την βάση δεδομένων των περισσοτέρων από 5.000 μετεωρολογικών σταθμών παγκοσμίως του λογισμικού *ClimWat 2.0*. Η ανάπτυξη των προγραμμάτων άρδευσης στο *CROPWAT 8.0* βασίζεται στο καθημερινό ισοζύγιο εδάφους-νερού το οποίο διαμορφώνεται βάσει των διαφόρων επιλογών που καθορίζονται από τον χρήστη για τις συνθήκες διαχείρισης της άρδευσης.

Το *CROPWAT 8.0* περιλαμβάνει ένα πλήθος λειτουργιών και δυνατοτήτων, όπως:

- Μηνιαία εισαγωγή, δεκαετίας ή και καθημερινή εισαγωγή κλιματολογικών δεδομένων για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς (*ETo*).
- Δυνατότητα εκτίμησης των κλιματικών δεδομένων ελλείψει μετρημένων τιμών.
- Τον καθημερινό υπολογισμό των απαιτήσεων ύδατος καλλιέργειας βάσει ενημερωμένων αλγορίθμων υπολογισμού, συμπεριλαμβανομένης της προσαρμογής των τιμών των συντελεστών καλλιέργειας.
- Ημερήσιους πίνακες αποτελεσμάτων ισοζυγίου νερού
- Εύκολη αποθήκευση και ανάκτηση των προγραμμάτων άρδευσης.
- Γραφικές παραστάσεις δεδομένων εισροών, απαιτήσεις νερού καλλιέργειας και χρονοδιαγράμματα άρδευσης.
- Εύκολη εισαγωγή και εξαγωγή δεδομένων και γραφικών μέσω αρχείων κειμένου ή αρχείων *ASCII*.

7. Γενική περιγραφή της καλλιέργειας του βαμβακιού

Το βαμβάκι καλλιεργείται για την παραγωγή ινών για τη χρήση τους στην υφαντουργία. Συγκομίζεται σύσπορο και μετά ακολουθεί διαχωρισμός των σπόρων από τις ίνες. Οι ίνες επεξεργάζονται περαιτέρω ανάλογα με την προοριζόμενη χρήση και το είδος του υφάσματος που θα παραχθεί. Είναι σημαντικό εξαγώγιμο προϊόν για τη χώρα μας. Στην Ελλάδα, λόγω των ξηροθερμικών συνθηκών, καλλιεργείται σχεδόν αποκλειστικά ως ποτιστικό και ένα πολύ μικρό ποσοστό ως μη αρδευόμενο, ξηρικό.

7.1. Είδη - Ποικιλίες καλλιεργούμενου βαμβακιού

Σήμερα καλλιεργούνται παγκόσμια τέσσερα είδη βαμβακιού, το αδρότριχο ή χνουδωτό, το ποώδες, το βαρβαδεινό και το δενδρώδες. Από τα είδη αυτά στην Ελλάδα καλλιεργείται σήμερα μόνο το αδρότριχο ή χνουδωτό βαμβάκι. Το είδος αυτό είναι το περισσότερο κοινό καλλιεργούμενο είδος και καταλαμβάνει πάνω από το 90% της παγκόσμιας παραγωγής. Είναι πολυετές, αλλά στην Ελλάδα καλλιεργείται ως ετήσιο γιατί δεν επιβιώνει στο κρύο του χειμώνα. Οι ίνες που παράγει φτάνουν τα 45 mm 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. Από πλευράς ποικιλιών σήμερα καλλιεργούνται κυρίως οι ποικιλίες *Ζέτα 2* και *Ζέτα 5*.

7.2. Καλλιεργητικές απαιτήσεις βαμβακιού

Το καλό φύτρωμα του βαμβακιού αποτελεί τη μισή επιτυχία της καλλιέργειας. Καλό φύτρωμα όμως προϋποθέτει την άριστη προετοιμασία του αγρού πριν τη σπορά. Η σπορά του βαμβακιού πρέπει να γίνεται όταν το έδαφος του αγρού βρίσκεται στο σημείο της υδατοϊκανότητας (το χωράφι βρίσκεται στον ρώγο του) και η διάμετρος των συσσωματωμάτων του εδάφους είναι 0,5-3 mm. Η κατάσταση, αυτή εξασφαλίζει αρκετή υγρασία για το φύτρωμα του σπόρου, άνετη διείσδυση των ριζών και καλό αερισμό του εδάφους. Το πρώιμο, γρήγορο και ομοιόμορφο φύτρωμα, καθώς και η εξασφάλιση ευνοϊκών συνθηκών κατά τα πρώτα στάδια ανάπτυξης των φυταρίων είναι βασικοί παράγοντες επιτυχίας της καλλιέργειας. Μεγάλη σημασία έχει ο βαμβακόσπορος, ο οποίος θα πρέπει να είναι καλής ποιότητας και υψηλής βλαστικότητας (πάνω από 80%), απεντομωμένος και απολυμασμένος, να έχει αποθηκευτεί σε μέρος ξηρό, να μην είναι παλαιότερος των δύο ετών και φυσικά να ανήκει στην ποικιλία που αποδείχθηκε ότι είναι η καλύτερη για τη συγκεκριμένη περιοχή. Μετά το φύτρωμα αρχίζει η περίοδος της πρώτης ανάπτυξης του φυτού. Για την καλή ανάπτυξη πρέπει να γίνουν έγκαιρα το αραίωμα και το σκάλισμα της βαμβακοφυτείας, αν και οι σύγχρονες σπαρτικές μηχανές τοποθετούν τον επιθυμητό αριθμό σπόρων οπότε δεν χρειάζεται αραίωμα. Με τα σκαλίσματα επιδιώκεται κυρίως καλός αερισμός και θέρμανση του εδάφους (ώστε να αποφευχθούν οι σηψιρριζίες), η καταστροφή των ζιζανίων και σπάσιμο της κρούστας που έχει δημιουργηθεί μετά από βροχή ή άρδευση.

Μια άλλη καλλιεργητική επέμβαση αποτελεί η χημική αποφύλλωση του βαμβακιού, καθώς επιταχύνει την ομοιόμορφη ωρίμανση και το άνοιγμα των καρυδιών, διευκολύνει τη συγκομιδή, διασφαλίζει την προστασία του συλλεγόμενου βάμβακος από την ποιοτική υποβάθμιση λόγω χρωματισμού η λερώματος των ινών και δημιουργεί καλύτερες συνθήκες αποθήκευσης.
Η συγκομιδή του βαμβακιού γίνεται με μηχανοσυλλογή. Για τη μηχανική συγκομιδή του σύσπορου βαμβακιού, επεμβαίνουμε όταν αυτό δεν είναι υγρό, τα φύλλα του βαμβακιού έχουν πέσει και το σύνολο των ώριμων καρυδιών έχει ανοίξει.

7.3. Λίπανση του βαμβακιού

Η λίπανση αποτελεί ένα από τους βασικότερους παράγοντες που συντελούν στην αύξηση των στρεμματικών αποδόσεων και την ποιοτική βελτίωση του βαμβακιού. Το βαμβάκι συγκριτικά με άλλες καλλιέργειες έχει μικρές απαιτήσεις σε λιπάσματα. Οι ανάγκες της βαμβακοφυτείας σε λίπασμα, το είδος του λιπάσματος, ο χρόνος του λιπάσματος και ο τρόπος εφαρμογής του εξαρτώνται από τη μηχανική σύσταση του εδάφους του αγρού, από την ποσότητα και την ποιότητα του νερού, από τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής και από την ποικιλία του βαμβακιού. Γενικά, το άζωτο, ο φώσφορος, και το κάλιο είναι τα κυριότερα θρεπτικά στοιχεία που προστίθενται σε εδάφη που καλλιεργούνται με βαμβάκι, ενώ σπανιότερα έχουν αναφερθεί σε περιορισμένο επίπεδο ελλείψεις μαγγανίου, μαγνησίου, θείου και άλλων ιχνοστοιχείων.

7.4. Εδαφοκλιματικές απαιτήσεις βαμβακιού

Το βαμβάκι για να αναπτυχθεί, χρειάζεται υψηλές θερμοκρασίες σε όλη τη διάρκεια ανάπτυξης του. Ιδανικές συνθήκες φυτρώματος και ανάπτυξης είναι δροσερή άνοιξη, με ελαφριές βροχοπτώσεις, θερμό και μετρίως υγρό καλοκαίρι και ξηρό παρατεταμένο φθινόπωρο. Για το φύτρωμα και την πρώτη ανάπτυξη η κατώτερη θερμοκρασία είναι 14 - 15 ^{o}C για την περεταίρω ανάπτυξη των φυτών η ιδανική θερμοκρασία είναι 30 - 33 ^{o}C. Κατάλληλα εδάφη θεωρούνται τα βαθιά, μέσης μηχανικής σύστασης, πλούσια σε οργανική ουσία και μέσης γονιμότητας. Τα ιδανικό pH εδάφους για το βαμβάκι είναι 6,5-7,5.

7.5. Εχθροί και ασθένειες βαμβακιού

Οι εχθροί του βαμβακιού είναι οι σιδηροσκώληκες, οι αγροτίδες, ο θρίπας, ο λύγκος, οι αφίδες, το πράσινο και το ρόδινο σκουλήκι και ο τετράνυχος. Από τις ασθένειες, που οφείλονται σε μύκητες και βακτήρια οι κυριότερες είναι η τήξη φυταρίων και σηψιρριζία, η αδρομύκωση (βερτισιλλίωση – φουζαρίωση), η αλτερνάρια και η βακτηρίωση

Πηγή: https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%92%CE%B1%CE%BC%CE%B2%CE%AC%CE%BA%CE%B9

Εικόνα 7.1: Το φυτό του Βαμβακιού, κάψα και άνθος

8. Άρδευση του βαμβακιού

Η άρδευση αποτελεί σημαντικό παράγοντα για τη μεγιστοποίηση της απόδοσης. Η καλλιέργεια του βαμβακιού αναπτυσσόμενη σε συνθήκες μειωμένης επάρκειας νερού, εμφανίζει σημαντική μείωση στην παραγωγή σύσπορου και εκκοκκισμένου βαμβακιού, κυρίως λόγω της μειωμένης παραγωγής καρυδιών και της μικρότερης παραγωγής σε ίνες. Τα βασικά στάδια ανάπτυξης του βαμβακιού που επηρεάζονται περισσότερο από την άρδευση είναι η περίοδος ανάπτυξης των χτενιών, η έναρξη και το μέγιστο της άνθησης, η ανάπτυξη και η ωρίμανση των καρυδιών. Η έλλειψη νερού κατά την περίοδο ανάπτυξης των καρυδιών φαίνεται ότι επηρεάζει περισσότερο την απόδοση και την ποιότητα του βαμβακιού, ενώ η έλλειψη νερού στα υπόλοιπα στάδια ανάπτυξης, πριν ή μετά την ανάπτυξη των καρυδιών, επηρεάζει λιγότερο την απόδοση. Το βαμβάκι ανέχεται την έλλειψη νερού μέχρι το σχηματισμό των πρώτων χτενιών, αλλά η έλλειψη νερού μετά από αυτό το στάδιο επηρεάζει αρνητικά την απόδοση. Η ανάγκη σε νερό αγγίζει το μέγιστο κατά τη διάρκεια της άνθησης και του σχηματισμού των καρυδιών. Η άρδευση μπορεί να μειωθεί όταν τα περισσότερα από τα πρώτα καρύδια είναι ώριμα. Η χρήση νερού άρδευσης κακής ποιότητας ή υψηλής αλατότητας υποβαθμίζει σημαντικά την ποιότητα του παραγόμενου βαμβακιού. Η καταπόνηση που υφίσταται το βαμβάκι λόγω έλλειψης νερού προκαλεί πτώση των ανθέων, ενώ η υπερβολική άρδευση προκαλεί αύξηση της βλάστησης σε βάρος του σχηματισμού των καρυδιών.

Ανάλογα με τον χρόνο εφαρμογής, οι αρδεύσεις διακρίνονται σε άρδευση για το φύτρωμα και την πρώτη ανάπτυξη των φυτών, άρδευση για την ανάπτυξη, άρδευση καρποφορίας, άρδευση παραγωγής. Ο συνολικός αριθμός και η συχνότητα των αρδεύσεων εξαρτάται από το έδαφος, τον ρυθμό εξατμισοδιαπνοής και την μέθοδο άρδευσης. Συνήθως γίνονται μία με δύο αρδεύσεις στην αρχή της καλλιέργειας για να βοηθήσουν το φύτρωμα των βαμβακόφυτων και 4 - 6 αρδεύσεις κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου. Οι αρδεύσεις φυτρώματος είναι μικρής ποσότητας νερού και γίνονται μετά τη σπορά και σε περιόδους ξηρασίας. Σε εδάφη που δεν συγκρατούν υγρασία ή έχουν χάσει την υγρασία τους μπορεί να γίνει και μία άρδευση πριν τη σπορά. Οι αρδεύσεις ανάπτυξης γίνονται μέχρι την πρώτη άνθηση, ανάλογα με την ποικιλία, τον τύπο εδάφους και τις συνθήκες ανάπτυξης της καλλιέργειας. Οι αρδεύσεις ανθοφορίας και καρποφορίας γίνονται από την έναρξη της άνθησης μέχρι τα μέσα Αυγούστου. Αυτή η περίοδος είναι η κρισιμότερη και ως εκ τούτου η άρδευση θα πρέπει να γίνεται με μεγάλη προσοχή επειδή η υπερβολική άρδευση μπορεί να οδηγήσει σε χλώρωση και πτώση των ανθικών καταβολών, ενώ η ανεπαρκής ποσότητα νερού μπορεί επίσης να οδηγήσει σε καταστροφή των ανθικών καταβολών. Οι αρδεύσεις μπορούν να συνεχιστούν από το άνοιγμα των πρώτων καρυδιών μέχρι την ωρίμανση του 80% των καρυδιών.

Η μέθοδος άρδευσης επιλέγεται ανάλογα με τα αρδευτικά μέτρα που υπάρχουν στην περιοχή, το διαθέσιμο αρδευτικό νερό, τον τύπο του εδάφους, το ανάγλυφο και το σχήμα του χωραφιού και την παράδοση της περιοχής. Τα συστήματα άρδευσης που εφαρμόζονται είναι η άρδευση με αυλάκια, η άρδευση με τεχνητή βροχή και η στάγδην άρδευση:

- Άρδευση με αυλάκια

Η άρδευση με αυλάκια εφαρμόζεται σε ισοπεδωμένους αγρούς. Σ’ αυτήν την περίπτωση σημασία έχει το μήκος και η κλίση των αυλακιών, καθώς και η σύσταση του εδάφους. Το μεγάλο πλεονέκτημα της μεθόδου είναι το χαμηλό κόστος επένδυσης που απαιτεί και η εύκολη εφαρμογή του. Προϋποθέτει σημαντική επάρκεια νερού.

- Άρδευση με τεχνητή βροχή

Η άρδευση με τεχνητή βροχή ενδείκνυται και σε χωράφια επικλινή. Επιτρέπει οικονομία και ομοιόμορφη κατανομή νερού, αξιοποιεί μικρές παροχές αρδευτικού νερού και θεωρείται ο καλύτερος τρόπος για ελαφρά ποτίσματα (φυτρώματος, συντήρησης). Παρόλα αυτά μειονεκτεί στο ότι κοστίζει σχετικά ακριβά, υπάρχουν απώλειες νερού κατά την διάρκεια του ποτίσματος, επηρεάζεται από τον άνεμο και απαιτεί τεχνικές γνώσεις και πείρα από τον χειριστή.

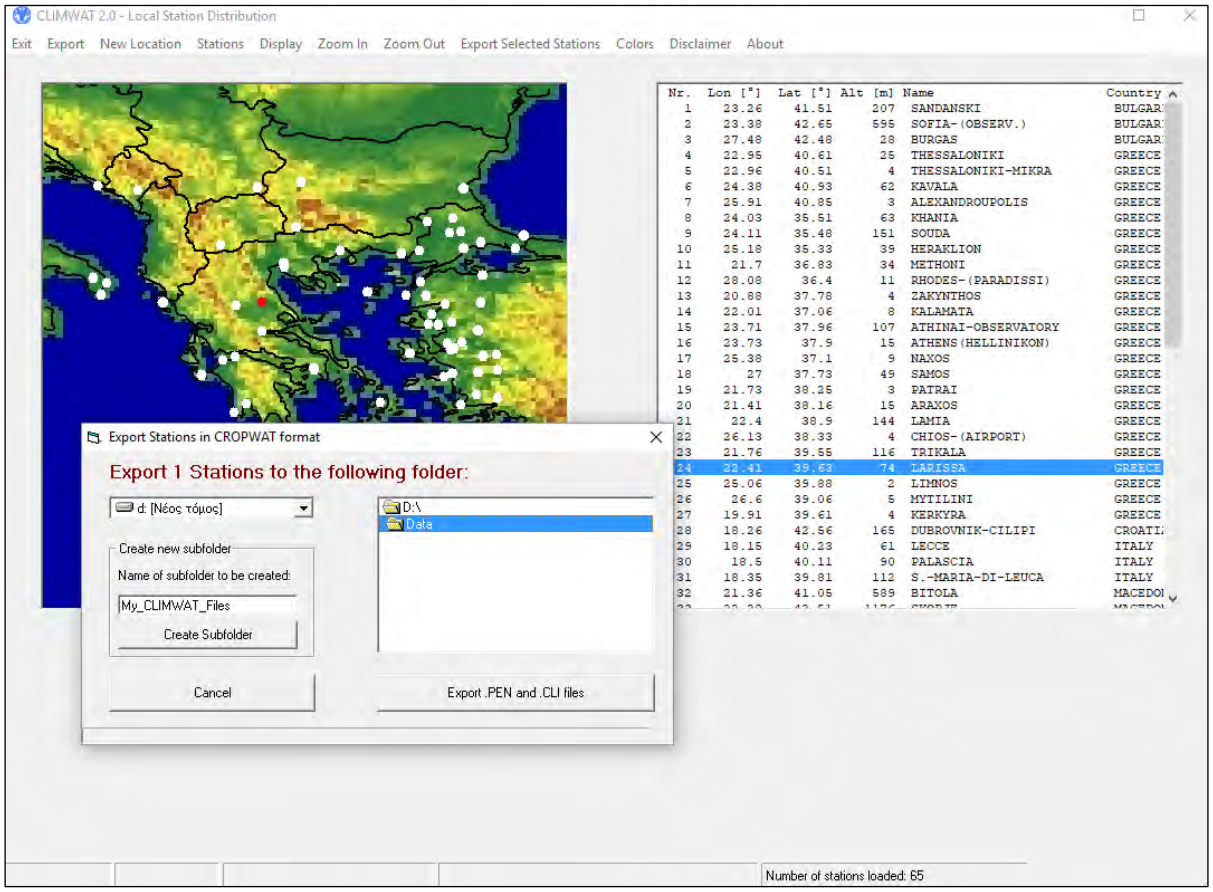
- Με σταγόνα (στάγδην άρδευση)

Η στάγδην άρδευση διαδίδεται πολύ τα τελευταία χρόνια εξαιτίας των πολλών πλεονεκτημάτων που παρουσιάζει, όπως η αποδοτικότερη χρήση του νερού σε σχέση με τα άλλα συστήματα, ο συνδυασμός της με την εφαρμογή λίπανσης (υδρολίπανση), ο έλεγχος και η μείωση των ζιζανίων (τα ζιζάνια περιορίζονται στην επιφάνεια που διαβρέχεται) κ.λ.π..

9. Σενάριο 1: Άρδευση καλλιέργειας βαμβακιού στην Περιφερειακή Ενότητα Λάρισας με την χρήση των λογισμικών *ClimWat 2.0* και *CROPWAT 8.0*

9.1. Επιλογή μετεωρολογικών δεδομένων

Κατ΄ αρχάς εφαρμόζουμε το λογισμικό *ClimWat 2.0* για τα δεδομένα του μετεωρολογικού σταθμού της Λάρισας. Για το σκοπό αυτό ανοίγουμε το πρόγραμμα *ClimWat 2.0* και επιλέγουμε την Ελλάδα (*Greece*). Στην συνέχεια επιλέγουμε τον μετεωρολογικό σταθμό της Λάρισας (*Larisa*) και την επιλογή "*Εξαγωγή του επιλεγμένου σταθμού*" (*Export Selected Stations*) από το κεντρικό μενού. Ακολούθως επιλέγουμε τον φάκελο που επιθυμούμε να αποθηκευτούν τα δεδομένα, στην περίπτωσή μας "*D:\Data*", όπως φαίνεται στην Εικόνα 9.1.

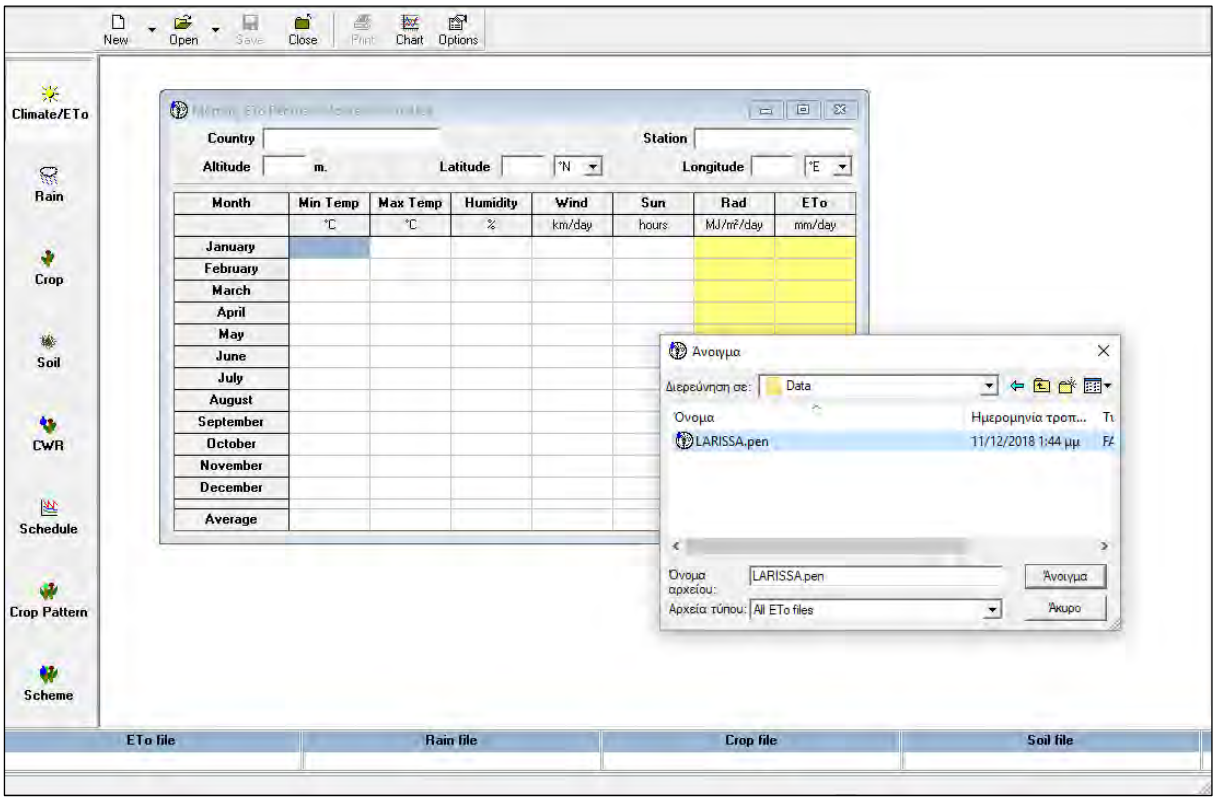


Εικόνα 9.1: Εξαγωγή μετεωρολογικών δεδομένων από το λογισμικό *ClimWat 2.0*

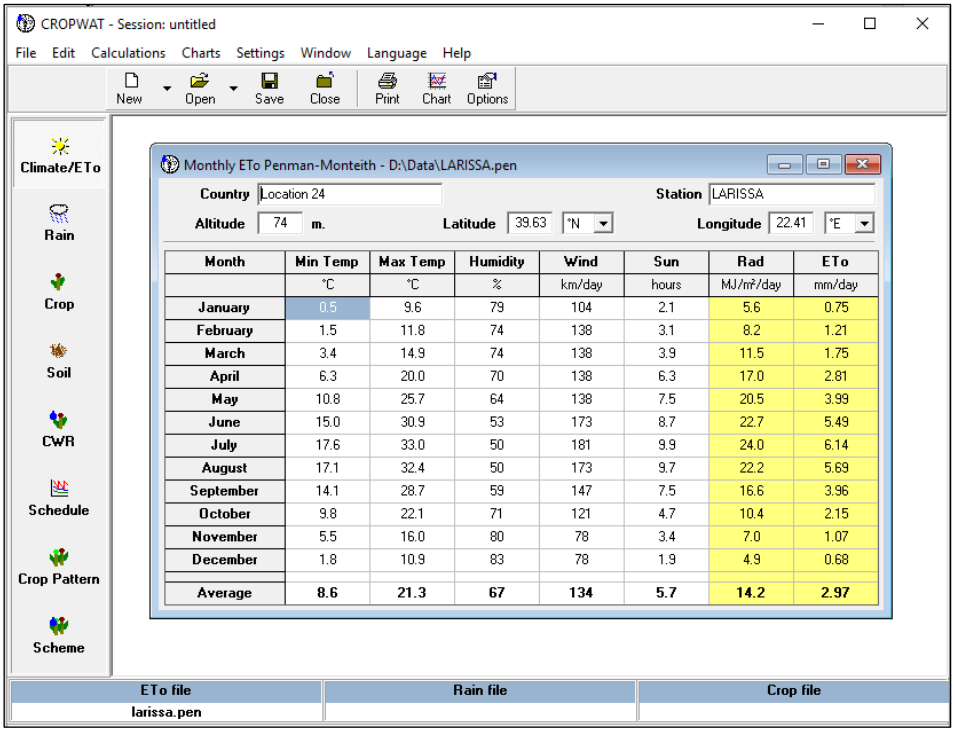
9.2. Εφαρμογή του λογισμικού *CROPWAT 8.0*

9.2.1. Υπολογισμός της Εξατμισοδιαπνοής αναφοράς (*ETo*) και της Αποτελεσματικής βροχόπτωσης

Ανοίγουμε το πρόγραμμα *CROPWAT 8.0*, επιλέγουμε "*Climate ETo*" από το αριστερό μενού και στη συνέχεια την εντολή "*open*" από το κεντρικό. Επιλέγουμε τον φάκελο που έχουμε αποθηκεύσει τα μετεωρολογικά δεδομένα του μετεωρολογικού σταθμού της Λάρισας από το *ClimWat 2.0* και στην συνέχεια με την επιλογή "*Άνοιγμα*" με επιλεγμένο το αρχείο "*Larissa.pen*" (Εικόνα 9.2), λαμβάνουμε πίνακα με την υπολογισμένη εξατμισοδιαπνοή αναφοράς στην τελευταία στήλη σε χιλιοστά ανά ημέρα (mm/day) (Εικόνα 9.3).



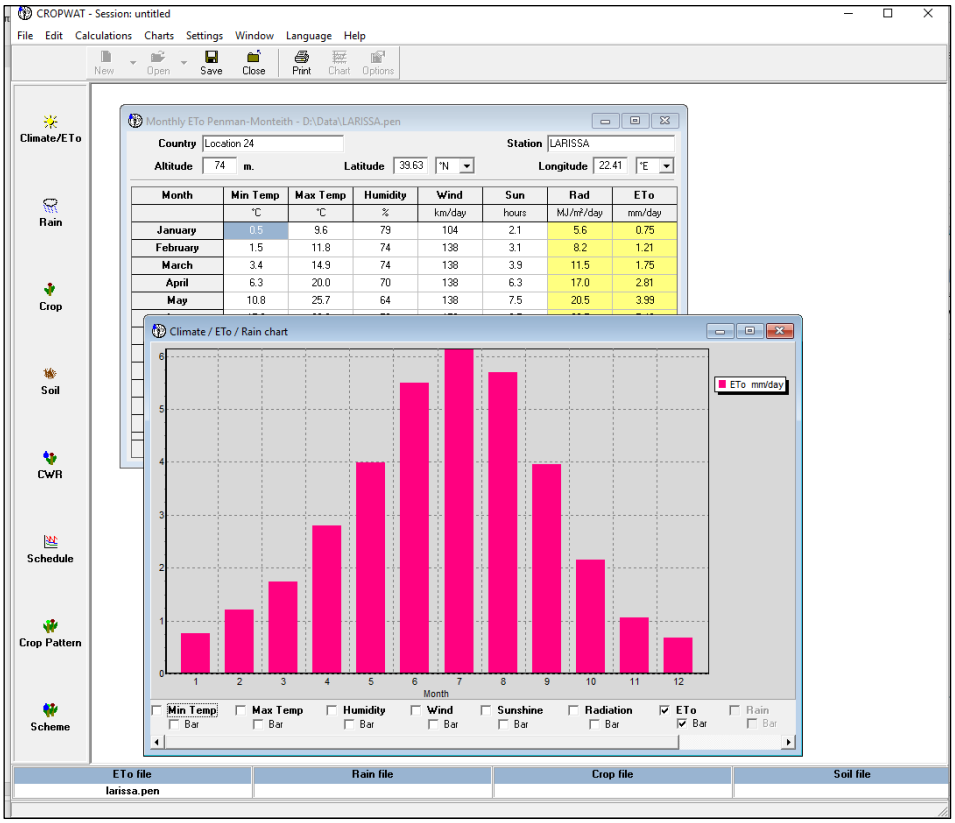
Εικόνα 9.2: Διαδικασία υπολογισμού Εξατμισοδιαπνοής αναφοράς από το *CROPWAT 8.0*



Month	Min Temp	Max Temp	Humidity	Wind	Sun	Rad	ETo
	°C	°C	%	km/day	hours	MJ/m²/day	mm/day
January	0.5	9.6	79	104	2.1	5.6	0.75
February	1.5	11.8	74	138	3.1	8.2	1.21
March	3.4	14.9	74	138	3.9	11.5	1.75
April	6.3	20.0	70	138	6.3	17.0	2.81
May	10.8	25.7	64	138	7.5	20.5	3.99
June	15.0	30.9	53	173	8.7	22.7	5.49
July	17.6	33.0	50	181	9.9	24.0	6.14
August	17.1	32.4	50	173	9.7	22.2	5.69
September	14.1	28.7	59	147	7.5	16.6	3.96
October	9.8	22.1	71	121	4.7	10.4	2.15
November	5.5	16.0	80	78	3.4	7.0	1.07
December	1.8	10.9	83	78	1.9	4.9	0.68
Average	8.6	21.3	67	134	5.7	14.2	2.97

Εικόνα 9.3: **Εξατμισοδιαπνοή Αναφοράς (*ETo*) σε mm/day**

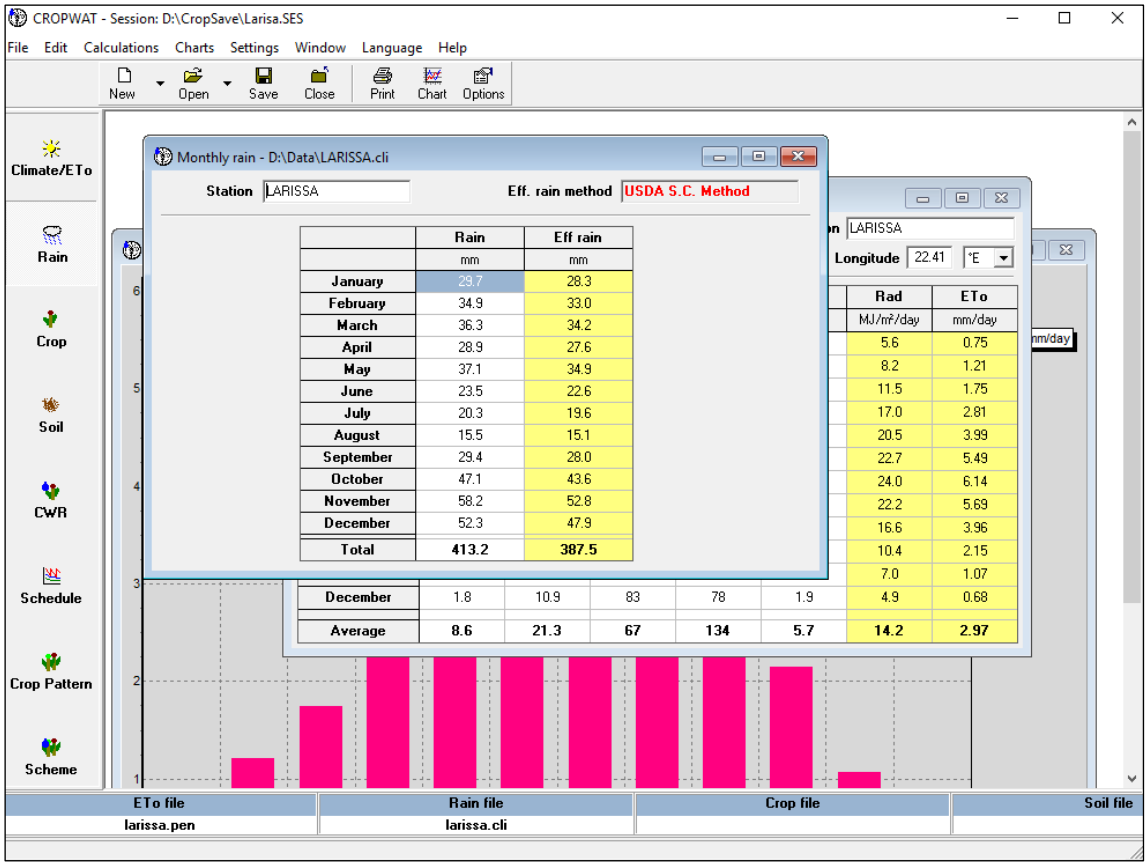
Αν θέλουμε να δούμε γραφική παράσταση της *ETo*, πατάμε την επιλογή "*Chart*" από το κεντρικό μενού (Εικόνα 9.4)



Εικόνα 9**.4: Γραφική παράσταση της** *ETo*

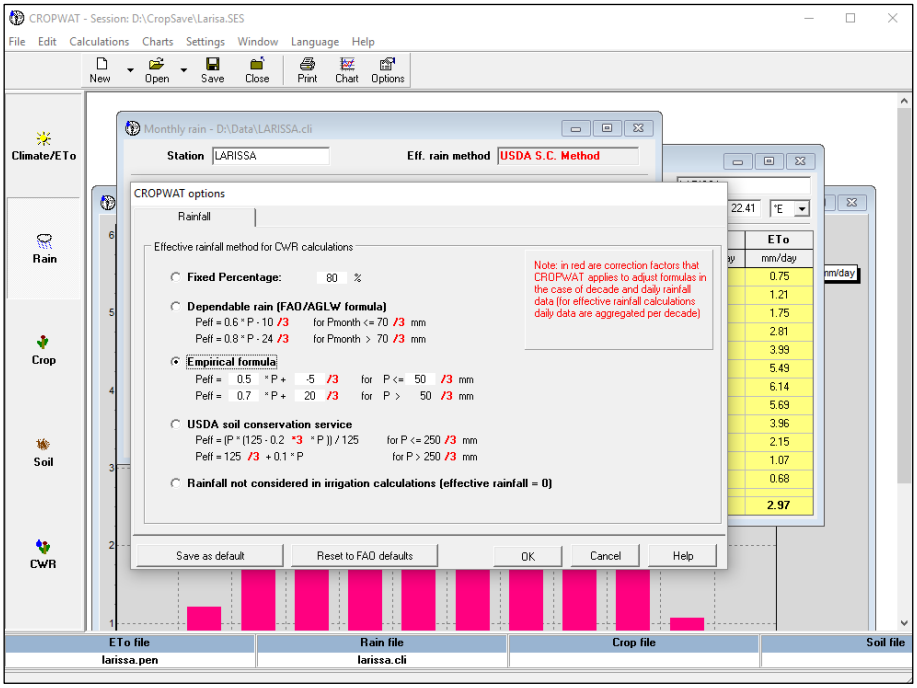
Στη συνέχεια αποθηκεύουμε την εργασία μας για πρώτη φορά με την επιλογή *"Save session as…"* σε κάποιο φάκελο που διαθέτουμε για αυτό τον σκοπό. Τις επόμενες φορές χρησιμοποιούμε την επιλογή *"Save Session"*.

Ακολούθως επιλέγουμε από το αριστερό μενού την επιλογή *"Rain"*, από το κεντρικό μενού την επιλογή *"Open"* και με επιλεγμένο το αρχείο *"Larissa.cli"* από τον φάκελο που έχουμε αποθηκεύσει τα μετεωρολογικά δεδομένα τους σταθμού της Λάρισας επιλέγουμε *"Άνοιγμα"*. Με τον τρόπο αυτό λαμβάνουμε πίνακα με την Αποτελεσματική βροχόπτωση – *Eff rain*. (Εικόνα 9.5).



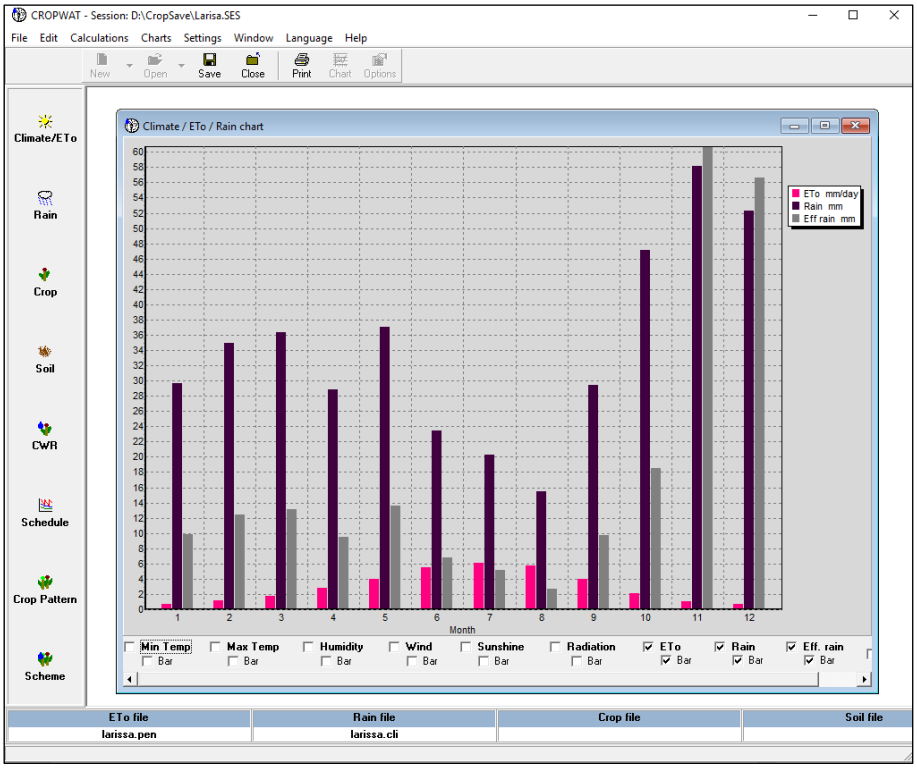
Εικόνα 9.5: Αποτελεσματική βροχόπτωση

Όπως διαπιστώνουμε από την καρτέλα πάνω δεξιά, η αποτελεσματική βροχόπτωση έχει υπολογιστεί με την μέθοδο *USDA S.C Method*, η οποία για τους καλοκαιρινούς μήνες που ενδιαφέρουν για την άρδευση, δίνει τιμές πολύ κοντά στην μετρούμενη βροχόπτωση. Το *CROPWAT 8.0* διαθέτει πέντε μεθόδους υπολογισμού της αποτελεσματικής βροχόπτωσης. Με την επιλογή *"Option"* από το κεντρικό μενού μπορούμε να επιλέξουμε άλλη μέθοδο υπολογισμού της αποτελεσματικής βροχόπτωσης. Προτείνεται να επιλεγεί η Εμπειρική μέθοδος (Εικόνα 9.6). Με την επιλογή αυτή οι τιμές της αποτελεσματικής βροχόπτωσης του πίνακα, αλλάζουν.



Εικόνα 9.6: Αποτελεσματική βροχόπτωση υπολογισμένη με την εμπειρική μέθοδο.

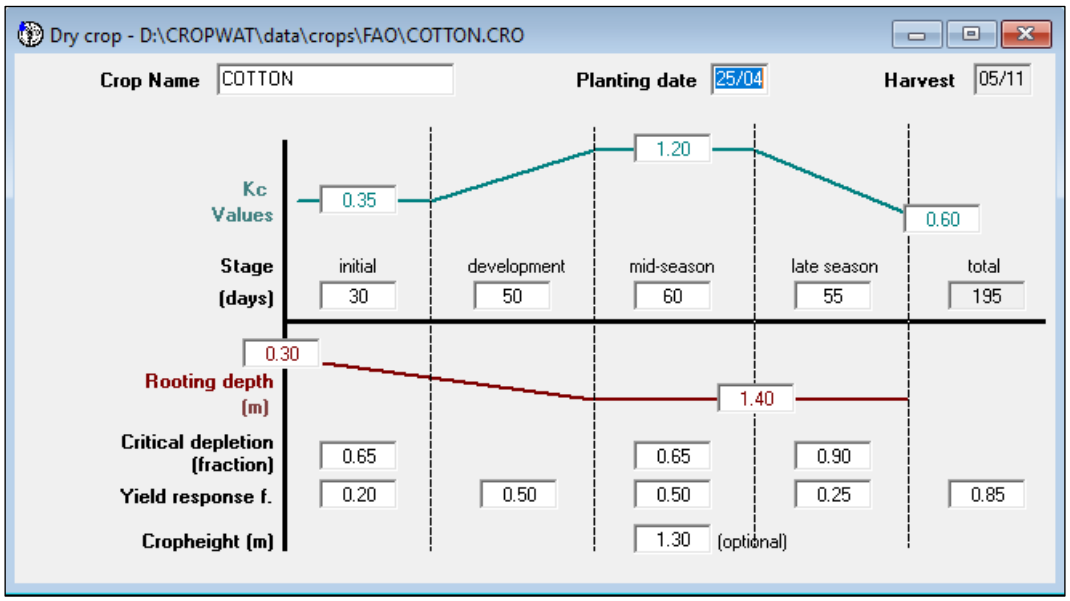
Με την επιλογή "*Chart*" και εδώ λαμβάνουμε όπως και προηγουμένως σχεδιάγραμμα που δείχνει την παρατηρούμενη βροχόπτωση, την αποτελεσματική βροχόπτωση και την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς (Εικόνα 9.7). Στο σχεδιάγραμμα αυτό, με επιλογή των σχετικών παραμέτρων στο κάτω μέρος της καρτέλας, μπορούμε να προσθέσουμε την ελάχιστη και μέγιστη θερμοκρασία, την ατμοσφαιρική υγρασία την ανεμοταχύτητα, την ηλιοφάνεια και την ακτινοβολία.



Εικόνα 9.7: Σχηματική παράσταση της παρατηρούμενης και της αποτελεσματικής βροχόπτωσης

9.2.2. Επιλογή της καλλιέργειας από την βάση δεδομένων του *CROPWAT 8.0*

Με την επιλογή του εργαλείου "*Crop*" αριστερά και "*Open*" από το κεντρικό μενού επιλέγουμε από τον υποφάκελο FAO την καλλιέργεια για την οποία ενδιαφερόμαστε, στην συγκεκριμένη περίπτωση το βαμβάκι (*Cotton*). Με την επιλογή αυτή ανοίγει η καρτέλα της Εικόνας 9.8:



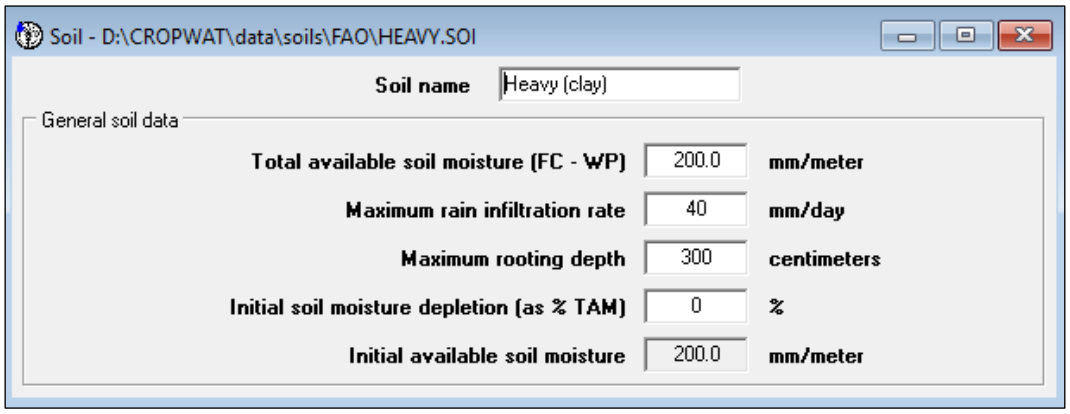
Εικόνα 9.8: Καρτέλα της καλλιέργειας βαμβακιού με στάδια ανάπτυξης

Στην Καρτέλα αυτή χρειάζεται προσοχή στην ημερομηνία σποράς (*Planting date*). Το λογισμικό ως προεπιλογή φέρνει την ημερομηνία της εφαρμογής του. Είναι απαραίτητο να αλλάξει η ημερομηνία αυτή με την συνήθη ημερομηνία σποράς στην περιοχή για την οποία ενδιαφερόμαστε. Δεξιά της επιλογής αυτής υπάρχει η ημερομηνία συγκομιδής η οποία υπολογίζεται αυτόματα από το πρόγραμμα βάσει των ημερών του κάθε σταδίου καλλιέργειας, τα οποία εμφανίζονται από κάτω. Τα στάδια της καλλιέργειας είναι 4, το αρχικό (*initial*), το στάδιο της ανάπτυξης (*development*), το μέσο στάδιο ή το στάδιο της ανθοφορίας (*mid-season*) και το στάδιο της ωρίμανσης (*late season*). Ο αριθμός των ημερών που διαρκεί το κάθε στάδιο της καλλιέργειας εμφανίζεται κάτω από τα ονόματα των σταδίων και μπορεί να προσαρμοστεί στις δικές μας συνθήκες. Πάνω από τα στάδια της καλλιέργειας, δίνεται με πράσινο χρώμα ο φυτικός συντελεστής Kc , ο οποίος διαφέρει από στάδιο σε στάδιο, όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα. Κάτω από τον αριθμό των ημερών των σταδίων της καλλιέργειας δίνεται το βάθος του ριζοστρώματος (*Rooting depth-m*) με κόκκινο χρώμα, όπως περιλαμβάνεται στην βάση δεδομένων του *CROPWAT 8.0*. Κάτω από το βάθος του

ριζοστρώματος δίνεται το ποσοστό εξάντλησης της διαθέσιμης υγρασίας (κατωφλί *CP* ή *P - Critical depletion*), στην οποία πρέπει να εφαρμοστεί άρδευση για να μην υπάρξει υδατική καταπόνηση του φυτού και ως εκ τούτου μείωση της παραγωγής. Κάτω από τον συντελεστή αυτόν υπάρχουν οι τιμές του συντελεστή απόκρισης της παραγωγής (ky) που συσχετίζει την μείωση της απόδοσης της καλλιέργειας με το έλλειμμα εξατμισοδιαπνοής, όπως αναφέρθηκε ($\frac{Ym}{Y\max} = 1 - Ky\left(1 - \frac{ETc\,adj}{ETc}\right)$). Οι περιεχόμενες στο *CROPWAT 8.0* αυτές τιμές είναι πολύ χρήσιμες γιατί η συσχέτιση δίνεται κατά στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας, οπότε σε συνθήκες ελλειμματικής άρδευσης, ο χρήστης μπορεί να δει άμεσα σε ποια στάδια ορισμένες παραλείψεις αρδεύσεων έχουν τις μικρότερες δυνατές επιπτώσεις στην μείωση της παραγωγής. Στην περίπτωση του βαμβακιού για παράδειγμα, στο αρχικό στάδιο, καθώς και στο στάδιο της ωρίμανσης, η παράλειψη των αρδεύσεων επιφέρει μικρότερες επιπτώσεις στην παραγωγή από ότι η παράληψή τους στα άλλα στάδια της ανάπτυξης και της ανθοφορίας.

9.2.3. Επιλογή του εδάφους

Το *CropWat* διαθέτει δεδομένα για μερικούς τύπους εδάφους, ώστε να μπορούμε να επιλέξουμε ανάλογα με το έδαφος του αγρού στον οποίο πρόκειται να καλλιεργήσουμε. Για το σκοπό αυτό επιλέγουμε από το αριστερό μενού το εργαλείο "*Soil*" και από το κεντρικό μενού την επιλογή "*Open*". Υποθέτουμε ότι το έδαφος του αγρού μας είναι αργιλώδες, οπότε μέσα από τον υποφάκελο FAO επιλέγουμε το αρχείο "*HEAVY.SOI*" και με "*Άνοιγμα*". Λαμβάνουμε την καρτέλα της Εικόνας 9.9.



Εικόνα 9.9: Χαρακτηριστικά του εδάφους της καλλιέργειας

Στην καρτέλα αυτή εμφανίζονται τα χαρακτηριστικά του εδάφους της καλλιέργειας, από τα οποία τα σημαντικότερα είναι η Διαθέσιμη Υγρασία σε mm/m (*Total available soil moisture FC-WP*) και η αρχική εδαφική υγρασία κατά την σπορά της καλλιέργειας (*Initial available soil moisture*), η οποία

υποθέτουμε ότι είναι η υγρασία της υδατοϊκανότητας (*FC*) και αυτό είναι μάλλον λογικό, δεδομένου ότι την περίοδο της σποράς το χωράφι βρίσκεται στον ρώγο του.

9.2.4. Απαιτήσεις σε νερό της καλλιέργειας

Με την επιλογή "*CWR*" (*Crop Water Requirement*) από το αριστερό μενού λαμβάνουμε πίνακα με τις απαιτήσεις σε νερό της καλλιέργειας (Εικόνα 9.10), στον οποίο τα στοιχεία εμφανίζονται σε ημερήσια βάση και σε βάση 10ημέρου.

Crop Water Requirements

ETo station: LARISSA — Crop: COTTON

Rain station: LARISSA — Planting date: 25/04

Month	Decade	Stage	Kc	ETc	ETc	Eff rain	Irr. Req.
			coeff	mm/day	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Apr	3	Init	0.35	1.12	6.7	2.0	5.0
May	1	Init	0.35	1.26	12.6	4.4	8.2
May	2	Init	0.35	1.40	14.0	5.0	9.0
May	3	Deve	0.39	1.77	19.5	4.1	15.4
Jun	1	Deve	0.57	2.83	28.3	2.9	25.4
Jun	2	Deve	0.74	4.06	40.6	2.1	38.5
Jun	3	Deve	0.91	5.21	52.1	1.9	50.1
Jul	1	Deve	1.08	6.50	65.0	1.9	63.1
Jul	2	Mid	1.21	7.55	75.5	1.7	73.8
Jul	3	Mid	1.21	7.36	80.9	1.5	79.5
Aug	1	Mid	1.21	7.17	71.7	0.9	70.8
Aug	2	Mid	1.21	7.03	70.3	0.5	69.8
Aug	3	Mid	1.21	6.29	69.2	1.4	67.7
Sep	1	Mid	1.21	5.50	55.0	2.4	52.6
Sep	2	Late	1.16	4.60	46.0	3.2	42.8
Sep	3	Late	1.05	3.52	35.2	4.2	31.0
Oct	1	Late	0.93	2.57	25.7	4.2	21.5
Oct	2	Late	0.82	1.76	17.6	4.6	13.0
Oct	3	Late	0.70	1.25	13.8	9.8	3.9
Nov	1	Late	0.61	0.87	4.3	8.5	0.0
					803.9	67.2	741.1

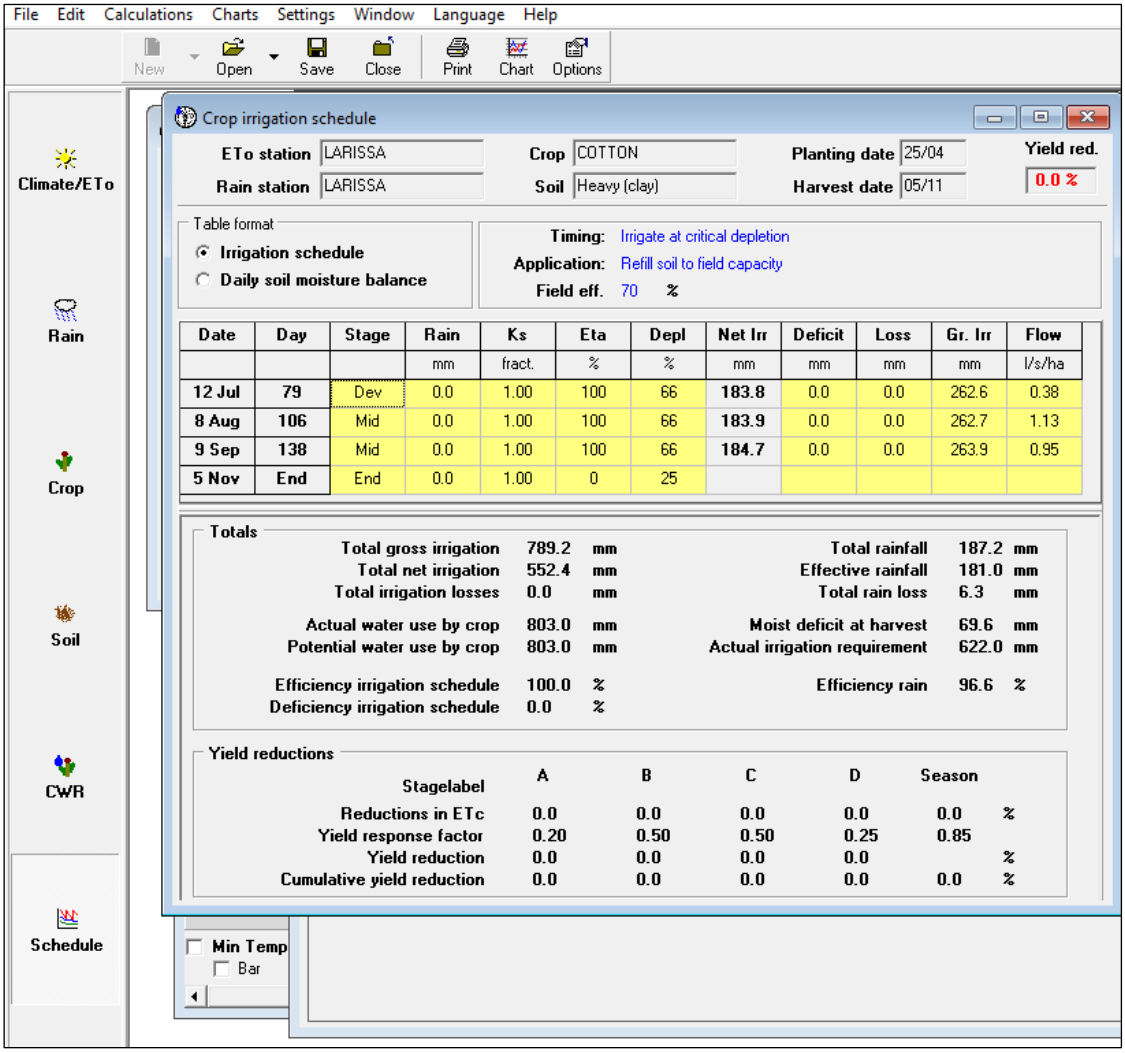
Εικόνα 9.10: Απαιτήσεις της καλλιέργειας σε νερό

Στον πίνακα αυτόν εμφανίζονται τα στάδια της καλλιέργειας (*Stage*), ο φυτικός συντελεστής (Kc), η ημερήσια εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας (*ETc* - mm/d), η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας του 10ημέρου (*ETc* – mm/dec), η αποτελεσματική βροχόπτωση του 10ημέρου (*Eff rain*) και οι ανάγκες σε νερό άρδευσης (*Irr. Req*).

10. Το Πρόγραμμα Άρδευσης

Δεδομένου ότι έχουν υπολογιστεί πλέον όλα τα απαραίτητα στοιχεία για την κατάστρωση του προγράμματος άρδευσης το *CROPWAT 8.0*, μπορεί να υπολογίσει όχι μόνο το συνολικό νερού που απαιτείται, αλλά και ποιες ημερομηνίες οφείλουμε να αρδεύουμε και με πόση ποσότητα νερού την κάθε φορά. Συγκεκριμένα ο υπολογισμός ξεκινά θεωρώντας το έδαφος ως μια αποθήκη νερού βάσει του βάθους ριζοστρώματος. Το νερό που περιέχεται αρχικά στο έδαφος αντιστοιχεί στο νερό της διαθέσιμης υγρασίας (ρώγος), η οποία είναι εξαντλείται σταδιακά σε καθημερινή βάση για να καλυφθούν οι ανάγκες της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας. Όταν η εξάντληση αυτή φτάσει σε ένα κρίσιμο σημείο, διαφορετικό κατά καλλιέργεια, τότε εφαρμόζεται άρδευση, ποσότητας ίσης με το αθροιστικό έλλειμμα που έχει υπολογιστεί από την σταδιακή εξάντληση.

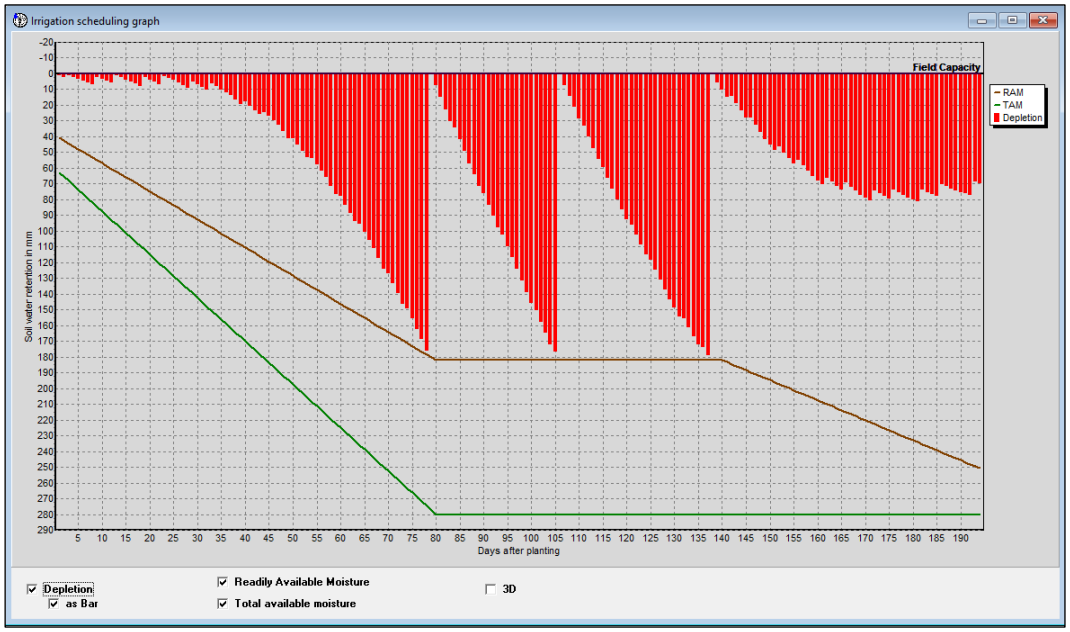
Το πρόγραμμα άρδευσης δίνεται με την επιλογή "*Schedule*" στο αριστερό μενού. Με την επιλογή αυτή λαμβάνουμε τον πίνακα της Εικόνας 10.1.



Εικόνα 10.1: Το Πρόγραμμα άρδευσης

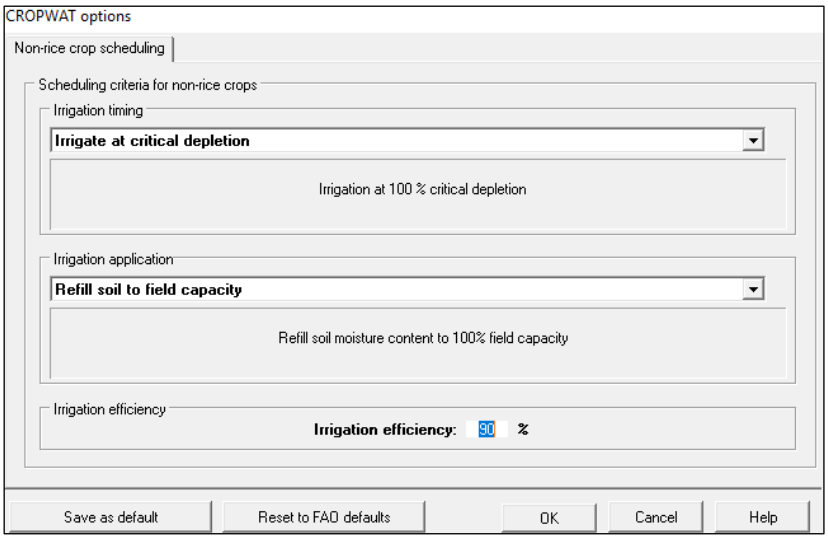
Όπως φαίνεται από την καρτέλα αυτή, στην συγκεκριμένη περιοχή της Περιφερειακής Ενότητας της Λάρισας, στην καλλιέργεια του βαμβακιού πρέπει να γίνουν τρείς αρδεύσεις στις ημερομηνίες 12/7, 8/8 και 9/9 με δόσεις 184, 184 και 185 mm ύψους νερού, δηλ. συνολικά 552,4 mm ύψους νερού ή 552,4 m3/στρ. (*Total net Irrigation*) καθαρής δόσης άρδευσης. Επειδή όμως υπάρχουν και οι απώλειες του νερού κατά την εφαρμογή στον αγρό, υποθέτοντας ότι το σύστημα άρδευσης με το οποίο ποτίζουμε έχει ένα συντελεστή αποδοτικότητας 70% (Field eff) το συνολικό ποσό που πρέπει να παρέχουμε είναι 552,4/0,70 = 789,2 (*Total Gross Irrigation*), ενώ για κάθε μία από τις αρδεύσεις το συνολικό ποσό του νερού που πρέπει να χορηγηθεί εφανίζεται στην στήλη "*Gr. Irr*". Το νερό που χρησιμοποιήθηκε από την καλλιέργεια (*Actual water use by crop*) είναι τελικά το άθροισμα του νερού της άρδευσης (*Total net Irrigation*), της αποτελεσματικής βροχόπτωσης (*Effective rainfall*) και ένα μέρος που λήφθηκε από την υγρασία του εδάφους (*Moist deficit requirements* – Έλλειμμα εδαφικής υγρασίας κατά την συγκομιδή (552,4 mm + 181,0 mm + 69,6 mm = 803,0 mm).

Από εδώ με την επιλογή "*Chart*" στο κεντρικό μενού λαμβάνουμε σχηματική παράσταση του προγράμματος άρδευσης στην οποία εμφανίζεται η αθροιστική εξάντληση του νερού και η επαναπλήρωσή του με την άρδευση, κάθε φορά που η εξάντληση αυτή αγγίζει το κατώφλι της ωφέλιμης υγρασίας. Με κόκκινη γραμμή εμφανίζεται το κατώφλι του εύκολα διαθέσιμου νερού (*RAM*) στο οποίο πρέπει να αρδεύσουμε για να μην έχουμε μείωση της παραγωγής, με πράσινη γραμμή η διαθέσιμη υγρασία για το βάθος ριζοστρώματος της καλλιέργειας (*TAM*), το οποίο είναι μεταβλητό, ανάλογα με το βάθος του ριζοστρώματος. Στο άξονα των *X* είναι οι ημέρες από την σπορά, στον άξονα των *Ψ* είναι το ύψος του νερού κατά περίπτωση.



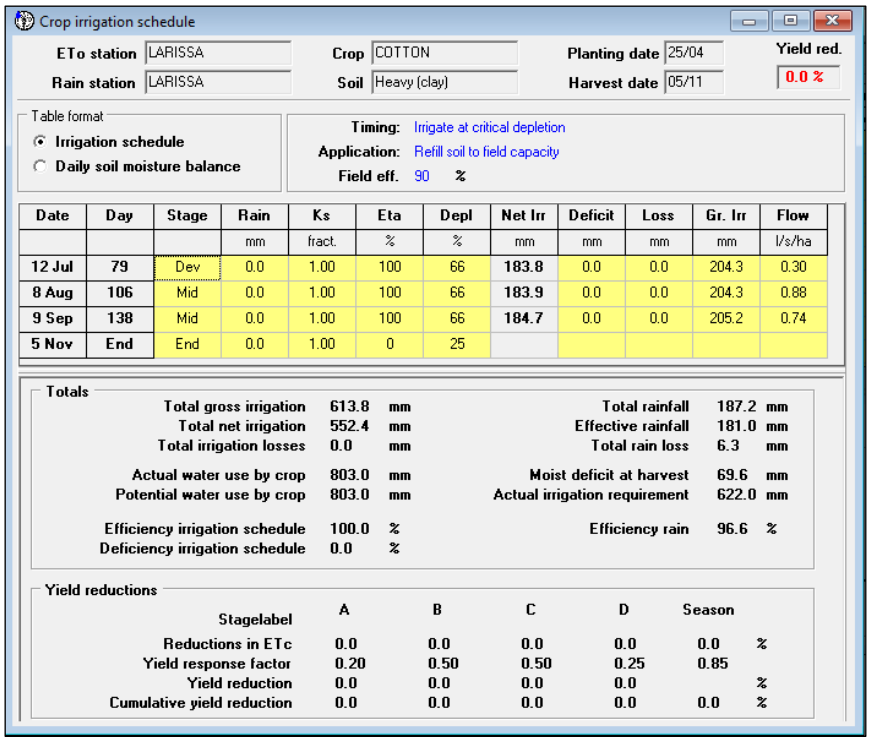
Εικόνα 10.2: Σχηματική παράσταση του προγράμματος άρδευσης

Αν επιθυμούμε να αλλάξουμε τον συντελεστή αποτελεσματικότητας του συστήματος άρδευσης (όταν π.χ. ποτίζουμε με σταγόνες ο συντελεστής της αποτελεσματικότητας του συστήματος είναι αρκετά μεγαλύτερος της τάξεως του 86-90%), τότε επιλέγουμε το εργαλείο "*Options*" από το κεντρικό μενού αλλάζουμε την τιμή στην επιλογή: "*Irrigation efficiency*" (Εικόνα 10.3).



Εικόνα 10.3: Συντελεστής αποτελεσματικότητας του συστήματος άρδευσης

Στην περίπτωση του παραδείγματος, όταν ο συντελεστής αποτελεσματικότητας του συστήματος γίνεται 90% λαμβάνουμε τα δεδομένα της καρτέλας της Εικόνας 10.4, τα οποία δηλώνουν ότι οφείλουμε αρδεύσουμε με 613,8 mm ύψους νερού, αντί για 789,2 που ήταν προηγουμένως.



Date	Day	Stage	Rain	Ks	Eta	Depl	Net Irr	Deficit	Loss	Gr. Irr	Flow
			mm	fract.	%	%	mm	mm	mm	mm	l/s/ha
12 Jul	79	Dev	0.0	1.00	100	66	183.8	0.0	0.0	204.3	0.30
8 Aug	106	Mid	0.0	1.00	100	66	183.9	0.0	0.0	204.3	0.88
9 Sep	138	Mid	0.0	1.00	100	66	184.7	0.0	0.0	205.2	0.74
5 Nov	End	End	0.0	1.00	0	25					

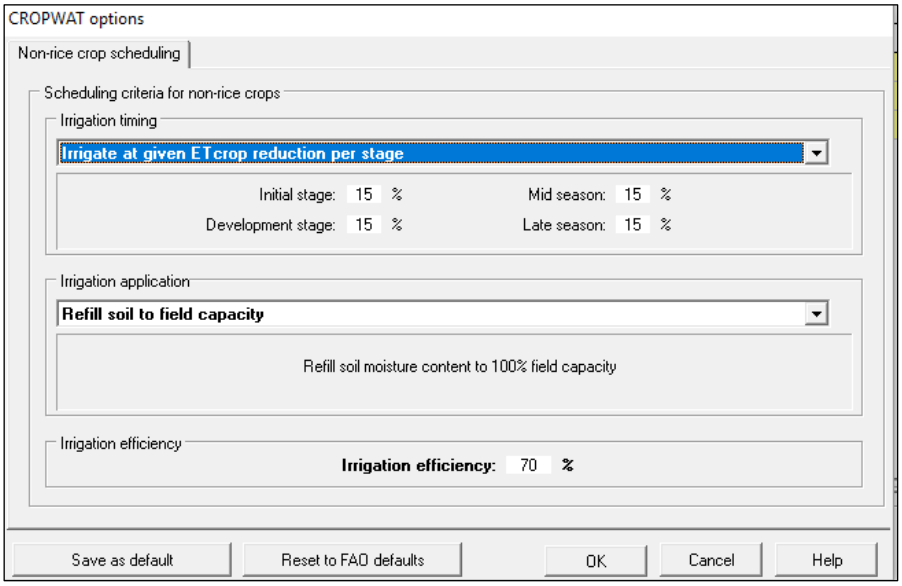
Εικόνα 10.4: Το πρόγραμμα άρδευσης με αλλαγή του συντελεστή αποτελεσματικότητας του συστήματος

Στην καρτέλα του προγράμματος άρδευσης, εκτός των ποσοτήτων του χρησιμοποιούμενου νερού εμφανίζεται και το ποσοστό μείωσης της παραγωγής, πάνω δεξιά με κόκκινα γράμματα. Στις περιπτώσεις που εξετάσαμε μέχρι τώρα, δεν υπήρχε καμία μείωση της παραγωγής επειδή αρδεύσαμε με ορθολογικό τρόπο καλύπτοντας πλήρως τις ανάγκες της καλλιέργειας σε νερό. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις που είτε το νερό κοστίζει αρκετά, είτε δεν υπάρχει, οπότε είμαστε υποχρεωμένοι να αρδεύσουμε ελλειμματικά. Το *CROPWAT 8.0* δίνει την δυνατότητα διερεύνησης όσων σεναρίων ελλειμματικής άρδευσης επιθυμούμε να εφαρμόσουμε και εμφανίζει την μείωση της παραγωγής με την εφαρμογή κάθε ενός από αυτά. Στα επόμενα Κεφάλαια θα εφαρμοστούν τρία σενάρια ελλειμματικής άρδευσης. Εννοείται ότι δεν ξεχνάμε να αποθηκεύουμε τακτικά την εργασία μας με την επιλογή "*Save Session*".

11. Σενάρια ελλειμματικής άρδευσης

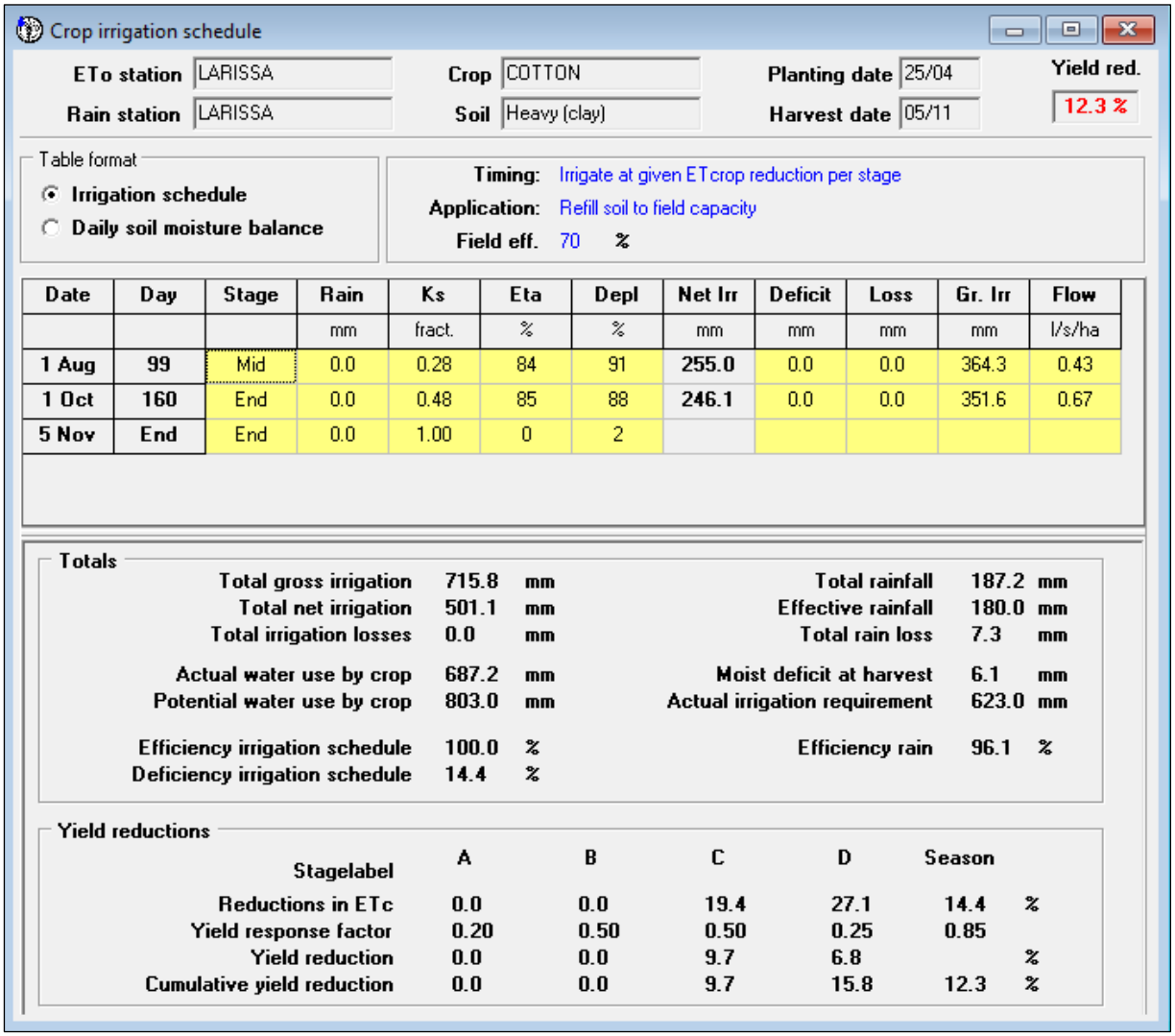
11.1. Σενάριο 2: Ελλειμματική άρδευση με οριζόντια μείωση νερού σε όλα τα στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας

Στην επιλογή "*Options*" του κεντρικού μενού επιλέγουμε "*Irrigate at given ETc reduction per stage*" δηλ. άρδευση θεωρώντας ότι υπάρχει μειωμένη εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας και επιλέγουμε για όλα τα στάδια μία μείωση της εξατμισοδιαπνοής της Καλλιέργειας ίσης με το 15% (Εικόνα 11.1)



Εικόνα 11.1: Επιλογή μειωμένης εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας κατά 15% σε όλα τα στάδια

Αποτέλεσμα της επιλογής αυτής είναι η καρτέλα που εμφανίζεται στην Εικόνα 11.2 και η σχηματική παράσταση του προγράμματος άρδευσης της Εικόνας 11.3. Όπως διαπιστώνεται από τις Εικόνες αυτές θα γίνουν μόνο δύο αρδεύσεις στις 1/8 και στις 1/10 και το συνολικό νερό που θα χρησιμοποιηθεί είναι τα 715,8 mm σε σχέση με τα 789,2 mm που απαιτούσε η άρδευση με την κάλυψη όλων των αναγκών της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας. Η άρδευση με το σενάριο αυτό της μειωμένης με οριζόντιο τρόπο εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας επιφέρει μια μείωση της παραγωγής κατά 12,3%, ποσοστό όχι και τόσο ευκαταφρόνητο σε σχέση με την μείωση της ποσότητας του νερού άρδευσης, η οποία δεν μπορεί επίσης να θεωρηθεί ικανοποιητική.



Crop irrigation schedule

ETo station: LARISSA | Crop: COTTON | Planting date: 25/04 | Yield red.: 12.3 %
Rain station: LARISSA | Soil: Heavy (clay) | Harvest date: 05/11

Table format: Irrigation schedule / Daily soil moisture balance

Timing: Irrigate at given ETcrop reduction per stage
Application: Refill soil to field capacity
Field eff. 70 %

Date	Day	Stage	Rain	Ks	Eta	Depl	Net Irr	Deficit	Loss	Gr. Irr	Flow
			mm	fract.	%	%	mm	mm	mm	mm	l/s/ha
1 Aug	99	Mid	0.0	0.28	84	91	255.0	0.0	0.0	364.3	0.43
1 Oct	160	End	0.0	0.48	85	88	246.1	0.0	0.0	351.6	0.67
5 Nov	End	End	0.0	1.00	0	2					

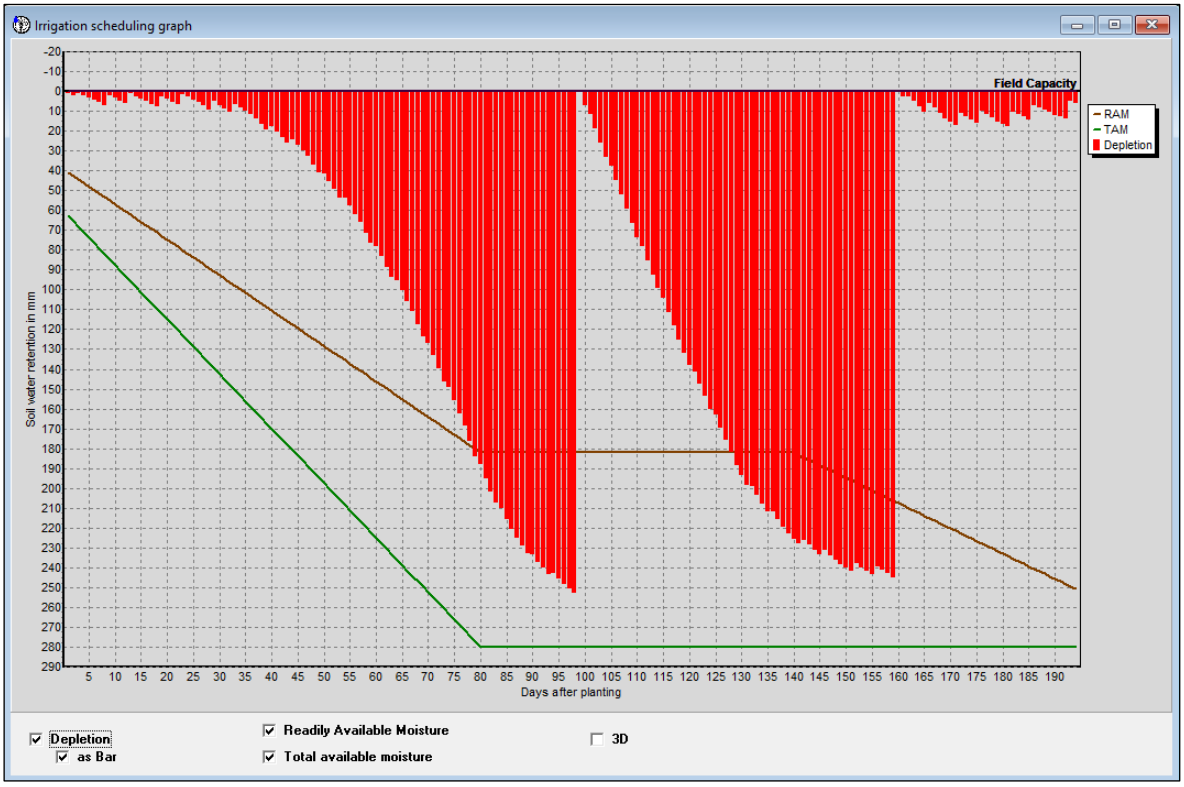
Totals

Total gross irrigation	715.8	mm	Total rainfall	187.2	mm
Total net irrigation	501.1	mm	Effective rainfall	180.0	mm
Total irrigation losses	0.0	mm	Total rain loss	7.3	mm
Actual water use by crop	687.2	mm	Moist deficit at harvest	6.1	mm
Potential water use by crop	803.0	mm	Actual irrigation requirement	623.0	mm
Efficiency irrigation schedule	100.0	%	Efficiency rain	96.1	%
Deficiency irrigation schedule	14.4	%			

Yield reductions

Stagelabel	A	B	C	D	Season	
Reductions in ETc	0.0	0.0	19.4	27.1	14.4	%
Yield response factor	0.20	0.50	0.50	0.25	0.85	
Yield reduction	0.0	0.0	9.7	6.8		%
Cumulative yield reduction	0.0	0.0	9.7	15.8	12.3	%

Εικόνα 11.2: Πρόγραμμα άρδευσης με μειωμένη κατά 15% την εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας για όλα τα στάδια ανάπτυξης των φυτών



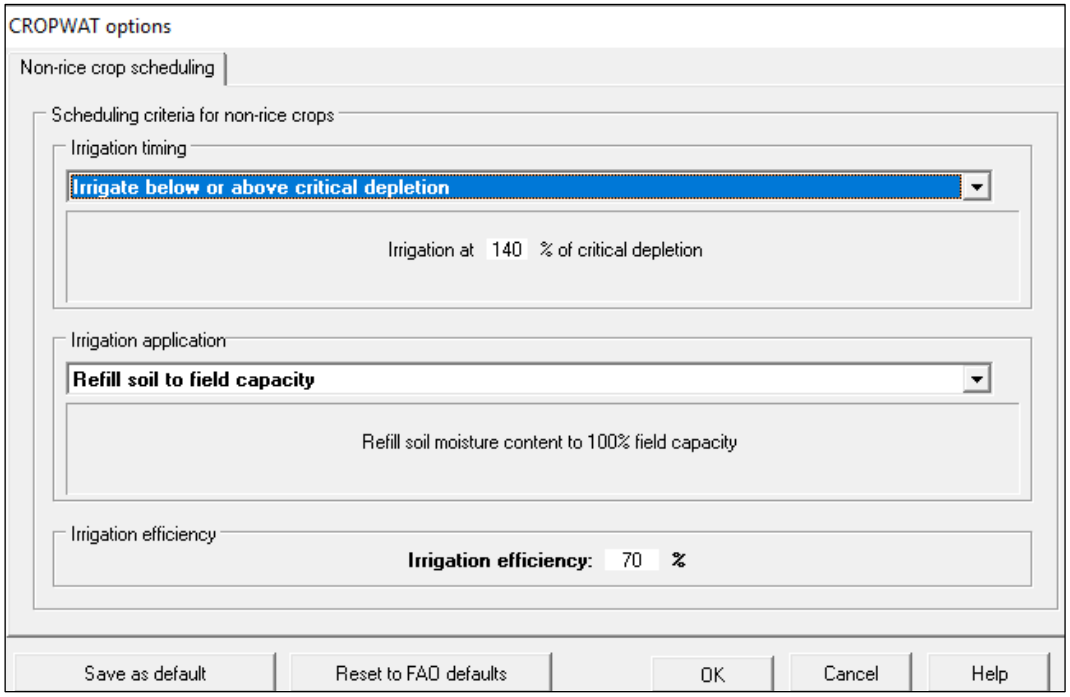
Εικόνα 11.3: Σχηματική παράσταση του προγράμματος άρδευσης με μειωμένη κατά 15% την εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας για όλα τα στάδια ανάπτυξης των φυτών

11.2. Σενάριο 3: Ελλειμματική άρδευση με μεγαλύτερη εξάντληση νερού από την τιμή του κρίσιμου συντελεστή P

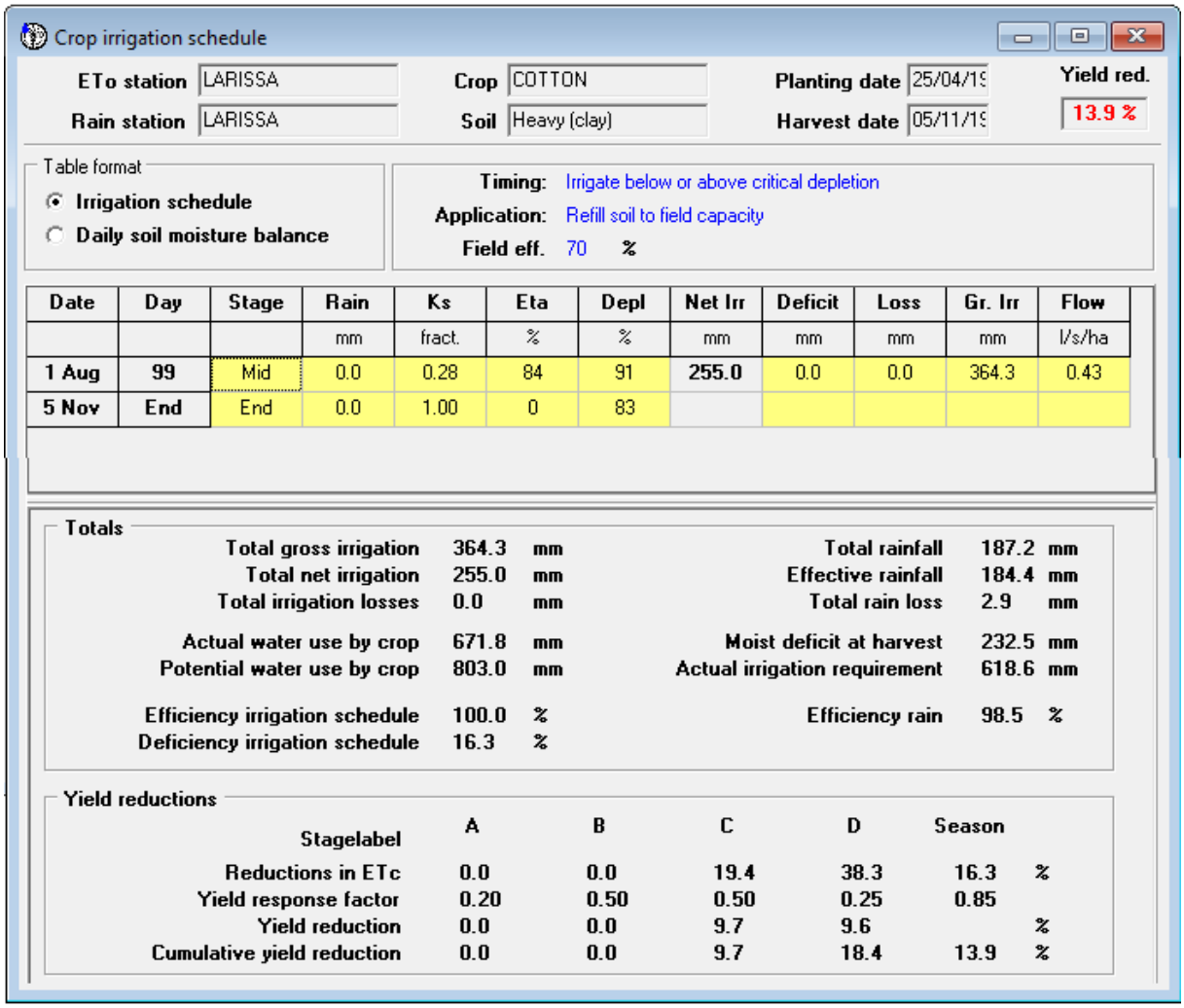
Για το σενάριο αυτό, στην επιλογή "*Options*" του κεντρικού μενού επιλέγουμε "*Irrigate below or above critical depletion*" δηλ. άρδευση με αύξηση ή μείωση της τιμή του κρίσιμου συντελεστή P, που είναι το κατώφλι για την μείωση της παραγωγής. Η αύξηση ή μείωση της τιμής αυτής δίνεται ως ποσοστό του συντελεστή, το οποίο καθορίζεται από τον χρήση (Εικόνα 11.4)

Στις Εικόνες 11.5 και 11.6 εμφανίζονται τα αποτελέσματα του σεναρίου αυτού της Ελλειμματικής άρδευσης για μία αύξηση της τιμής του κρίσιμου συντελεστή κατά 40%.

Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα αυτά υπάρχει μια αρκετά μεγάλη μείωση της ποσότητας του χρησιμοποιούμενου για άρδευση νερού σε σχέση με τον ορθολογικό τρόπο ποτίσματος της τάξεως του 789,2mm - 364,3mm = 424, 9 mm, με μια μείωση της παραγωγής κατά 13,9%. Σε σχέση με το προηγούμενο σενάριο μάλλον υπερτερεί δεδομένου ότι επιφέρει περίπου την ίδια μείωση παραγωγής με την χρήση όμως αρκετά μικρότερης ποσότητας νερού.



Εικόνα 11.4: Επιλογή αυξημένης τιμής του κρίσιμου συντελεστή κατά 40%



Date	Day	Stage	Rain	Ks	Eta	Depl	Net Irr	Deficit	Loss	Gr. Irr	Flow
			mm	fract.	%	%	mm	mm	mm	mm	l/s/ha
1 Aug	99	Mid	0.0	0.28	84	91	255.0	0.0	0.0	364.3	0.43
5 Nov	End	End	0.0	1.00	0	83					

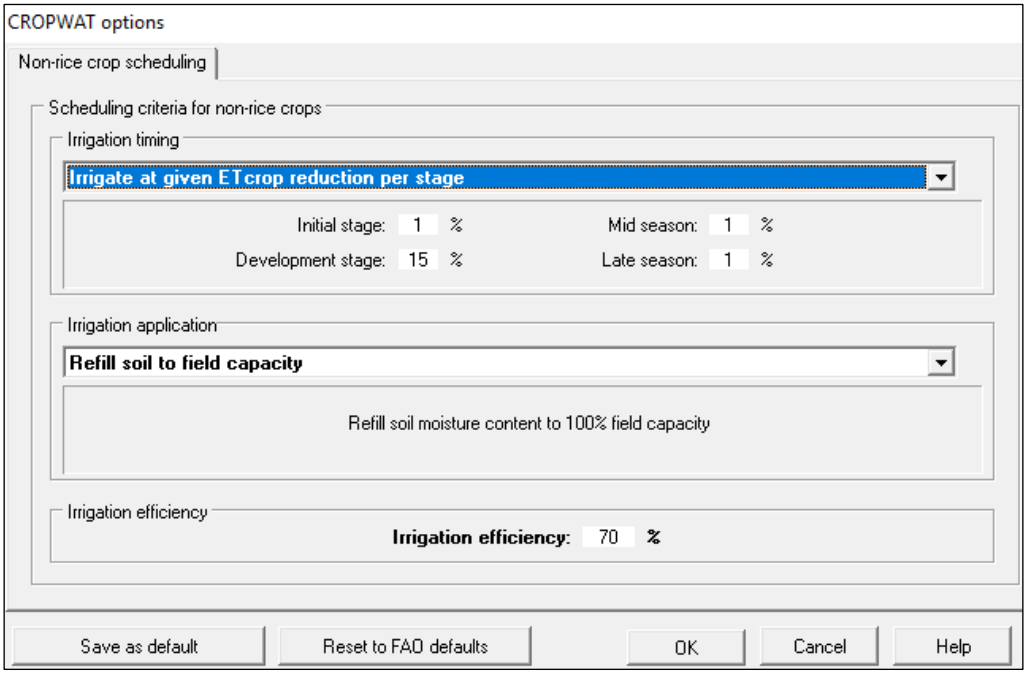
Εικόνα 11.5: Πρόγραμμα άρδευσης για αύξηση της τιμής του κρίσιμου συντελεστή κατά 40%

Εικόνα 11.6: Σχηματική παράσταση του προγράμματος άρδευσης με αύξησης της τιμής του κρίσιμου συντελεστή κατά 40%

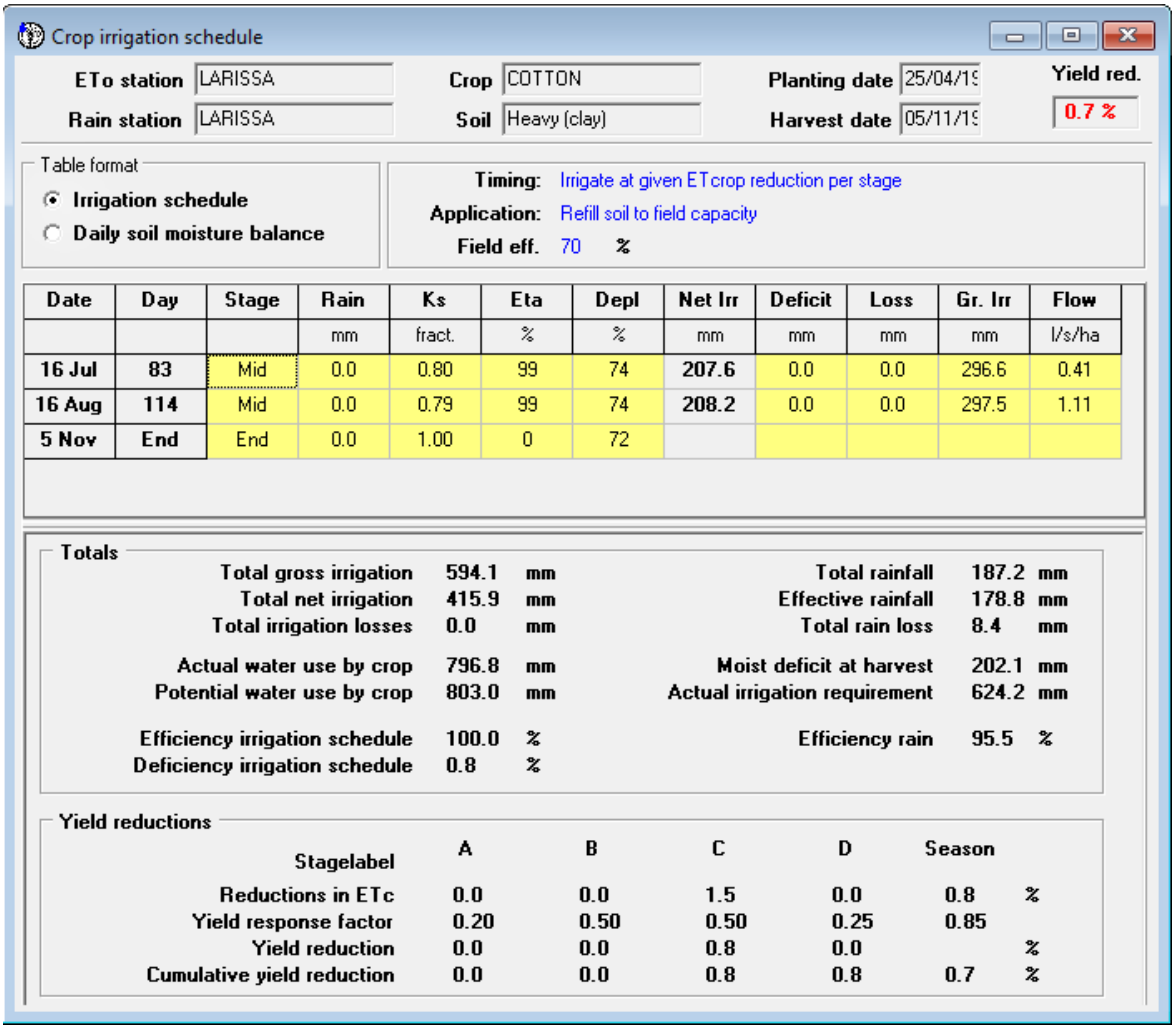
11.3. Σενάριο 4: Ελλειμματική άρδευση με μείωση της ποσότητας του νερού στο δεύτερο στάδιο της ανάπτυξης των φυτών

Για το σενάριο αυτό στην επιλογή "*Options*" του κύριου μενού επιλέγουμε "*Irrigate at given ET crop reduction per stage*" και στα στάδια της καλλιέργειας της καρτέλας που βρίσκονται κάτω από την επιλογή βάζουμε τον αριθμό 1, εκτός από το δεύτερο στάδιο (*Development stage*), στο οποίο βάζουμε την τιμή 15 (Εικόνα 11.7). Με άλλα λόγια για όλα τα στάδια εκτός του δεύτερου θέτουμε μείωση της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας κατά 1%, πρακτικά δηλαδή ασήμαντη, ενώ στο δεύτερο στάδιο θέτουμε μείωση της εξατμισοδιαπνοής κατά 15%.

Τα αποτελέσματα φαίνονται στις Εικόνες 11.8 και 11.9. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτά, το σενάριο αυτό είναι μάλλον το περισσότερο συμφέρον δεδομένου ότι η ποσότητα του χρησιμοποιούμενου για άρδευση νερού μειώνεται κατά 789,2 mm – 594,1 mm = 195,19 mm, ικανοποιητικό ποσοστό, σε σχέση με την μείωση της παραγωγής η οποία μειώνεται μόλις κατά 0,7%, μείωση ουσιαστικά δηλαδή ασήμαντη.



Εικόνα 11.7: Επιλογή μειωμένης εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας κατά 15% στο 2ο στάδιο της καλλιέργειας και και σχεδόν μηδενικής μείωση στα υπόλοιπα στάδια



Date	Day	Stage	Rain	Ks	Eta	Depl	Net Irr	Deficit	Loss	Gr. Irr	Flow
			mm	fract.	%	%	mm	mm	mm	mm	l/s/ha
16 Jul	83	Mid	0.0	0.80	99	74	207.6	0.0	0.0	296.6	0.41
16 Aug	114	Mid	0.0	0.79	99	74	208.2	0.0	0.0	297.5	1.11
5 Nov	End	End	0.0	1.00	0	72					

Εικόνα 11.8: Πρόγραμμα άρδευσης μείωση της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας κατά 15% στο 2ο στάδιο και με μηδενική μείωση στα υπόλοιπα στάδια

Εικόνα 11.9: Σχηματική παράσταση του προγράμματος άρδευσης με μείωση της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας κατά 15% στο 2ο στάδιο και με ασήμαντη μείωση στα υπόλοιπα στάδια της καλλιέργειας.

12. Αναφορές

1) *Μιμίκου Μ. Οι υδατικοί πόροι στην Ελλάδα, παρούσα κατάσταση και προοπτικές, 2003. Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων ΕΜΠ.*
2) *Λιάπης Αργυρίου Ορθολογική διαχείριση του αρδευτικού νερού, μεταπτυχιακή διατριβή, Γεωπονική Σχολή ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη 2008.*
3) *https://en.wikipedia.org/wiki/Surface_irrigation#/media/File:LevelBasinFloodIrrigation.JPG. Ημερ. Αναζήτησης: Οκτώβριος 2018.*
4) *https://en.wikipedia.org/wiki/Surface_irrigation#/media/File:GatedPipe.JPG. Ημερ. Αναζήτησης: Οκτώβριος 2018.*
5) *https://en.wikipedia.org/wiki/Surface_irrigation#/media/File:Furrow_irrigated_Sugar.JPG. Ημερ. Αναζήτησης: Οκτώβριος 2018.*
6) *https://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=1571794. Ημερ. Αναζήτησης: Οκτώβριος 2018.*
7) *https://en.wikipedia.org/wiki/Surface_irrigation#/media/File:SiphonTubes.JPG. Ημερ. Αναζήτησης: Οκτώβριος 2018.*
8) *http://www.climatetechwiki.org/sites/climatetechwiki.org/files/images/teaser/teaser_image_38.jpg. Ημερ. Αναζήτησης: Οκτώβριος 2018.*
9) *http://sacanasia.org/wp-content/uploads/2013/12/SI.jpg. Ημερ. Αναζήτησης: Οκτώβριος 2018.*
10) *http://ritefmonline.org/interplast-now-provides-drip-irrigation-services-to-farmers/. Ημερ. Αναζήτησης: Οκτώβριος 2018.*
11) *https://www.ypethe.gr/archive/hrisi-ardeysi. Ημερ. Αναζήτησης: Οκτώβριος 2018.*
12) *https://www.researchgate.net/figure/Sprinkler-irrigation-with-pipe-drum-and-rain-gun-trolley_fig2_ 280232899. Ημερ. Αναζήτησης: Οκτώβριος 2018.*

13) *actionradio982.blogspot.gr, 2012. Ημερ. Αναζήτησης: Οκτώβριος 2018.*
14) *https://en.wikipedia.org/wiki/Drip_irrigation#/media/File:VineyardDrip.JPG. Ημερ. Αναζήτησης: Οκτώβριος 2018.*
15) *https://en.wikipedia.org/wiki/Drip_irrigation#/media/File:Dianthus_caryophyllus_Colori_Joy_(p)_2005-12-04.JPG. Ημερ. Αναζήτησης: Οκτώβριος 2018.*
16) *https://en.wikipedia.org/wiki/Drip_irrigation#/media/File:Banana_Drip_Irrigation_At_Chinawal.jpg. Ημερ. Αναζήτησης: Οκτώβριος 2018.*
17) *https://en.wikipedia.org/wiki/Drip_irrigation#/media/File:UNIRAM_PLANTA.jpg. Ημερ. Αναζήτησης: Οκτώβριος 2018.*
18) *http://www.bambam.gr/ads/show/187610.aspx. Ημερ. Αναζήτησης: Οκτώβριος 2018.*
19) *https://www.maddisonwatertech.co.uk/services/agricultural-irrigation/underground-mains/. Ημερ. Αναζήτησης: Οκτώβριος 2018.*
20) *https://gr.pinterest.com/pin/327636941616359465/?lp=true. Ημερ. Αναζήτησης: Οκτώβριος 2018.*
21) *http://www.movieweb.me/ancient-egyptian-peasants.html. Ημερ. Αναζήτησης: Οκτώβριος 2018.*
22) *https://lhillancientegypt.weebly.com/irrigation.html. Ημερ. Αναζήτησης: Οκτώβριος 2018.*
23) *http://www.icid.org/res_irrigation.html. Ημερ. Αναζήτησης: Οκτώβριος 2018.*
24) *Α. Καραμάνος. Τα σιτηρά των ευκράτων κλιμάτων. Εκδόσεις: Παπαζήσης, 2008.*
25) *http://www.jsw.org.au/elearning/hortIII/. Ημερ. Αναζήτησης: Οκτώβριος 2018.*
26) *https://botanicseye.com/soil-types-in-the-uk/. Ημερ. Αναζήτησης: Οκτώβριος 2018.*
27) *https://audaxdesign.org/2013/09/22/gqt-soil-structure-texture-and-tilth/. Αναζήτησης: Οκτώβριος 2018.*
28) *http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/runoff_cz/print.htm. Αναζήτησης: Οκτώβριος 2018.*
29) *CropWat 8.0 Software. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2008. http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/en/.*
30) *ClimWat 2.0 software. http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/climwat-for-cropwat/en/.*
31) *FAO 56. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 1998.*
32) *FAO 33. Crop yield response to water. FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 2012.*
33) *Στ. Αλεξανδρής, Διαφάνειες Μικρομετεωρολογίας, Εργ. Γ. Υδραυλικής ΓΠΑ, 2017*
34) *Singh, Y., Rao, S.S. & Regar, P.L., 2010. Deficit irrigation and nitrogen effects on seed cotton yield, water productivity and yield response factor in shallow soils of semi-arid environment. Agricultural Water Management, 97(7), pp.965–970. Available at: http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2010.01.028*
35) *Lovelli, S. et al., 2007. Yield response factor to water (Ky) and water use efficiency of Carthamus tinctorius L. and Solanum melongena L. Agricultural Water Management, 92(1-2), pp.73–80*
36) *Moutonnet, P., Atomic, I. & Agency, E., 1983. Yield response factors of field crops to deficit irrigation. Advances, pp.11–15*
37) *Steduto, P. et al., 2012. Crop yield response to water FAO., Rome*