



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

**ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Αξιολόγηση του συλλογικού συστήματος υποβοήθησης
αποφάσεων σχετικά με την άρδευση που λειτουργεί στην
πεδιάδα της Άρτας**

Φοιτητής:

Δανιηλίδης Μάριος

Επιβλέπων:

Τσιρογιάννης Ιωάννης

Καθηγητής

Άρτα, 2025



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

**ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Αξιολόγηση του συλλογικού συστήματος υποβοήθησης αποφάσεων
σχετικά με την άρδευση που λειτουργεί στην πεδιάδα της Άρτας**

Φοιτητής:

Δανιηλίδης Μάριος

Επιβλέπων:

Τσιρογιάννης Ιωάννης

Καθηγητής

Άρτα, 2025

**Evaluation of the participatory decision support system for
irrigation management that operates at the plain of Arta**

Εγκρίθηκε από τριμελή εξεταστική επιτροπή
Άρτα, 4/7/2025

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Επιβλέπων καθηγητής

Τσιρογιάννης Ιωάννης

2. Μέλος επιτροπής

Πατακιούτας Γεώργιος

3. Μέλος επιτροπής

Καριπίδης Χαράλαμπος

Δήλωση μη λογοκλοπής

Δηλώνω υπεύθυνα και γνωρίζοντας τις κυρώσεις του Ν. 2121/1993 περί Πνευματικής Ιδιοκτησίας, ότι η παρούσα πτυχιακή εργασία είναι εξ ολοκλήρου αποτέλεσμα δικής μου ερευνητικής εργασίας, δεν αποτελεί προϊόν αντιγραφής ούτε προέρχεται από ανάθεση σε τρίτους. Όλες οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν (κάθε είδους, μορφής και προέλευσης) για τη συγγραφή της περιλαμβάνονται στη βιβλιογραφία.

Δανιηλίδης Μάριος

Υπογραφή

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα της πτυχιακής, κ. Τσιρογιάννη. Ι για την δυνατότητα που μου έδωσε να πραγματοποιήσω την πτυχιακή μου εργασία, δείχνοντάς μου εμπιστοσύνη, καθώς και για την υπομονή που έκανε κατά την διάρκεια αυτής και την καθοδήγησή του στην επίλυση των όποιων προβλημάτων παρουσιάστηκαν. Η βοήθειά του υπήρξε πολύτιμη.

Πολλές ευχαριστίες αξίζουν και στα μέλη της ερευνητικής του ομάδας στο τμ. Γεωπονίας του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων.

Ευχαριστίες απευθύνω επίσης στους καθηγητές μου στο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Άρτας, μόνιμους και έκτακτους που προσπάθησαν ώστε να μεταδώσουν χρήσιμες γνώσεις για το επάγγελμα του τεχνολόγου γεωπόνου.

Τέλος, ένα εγκάρδιο ευχαριστώ στους γονείς μου για την στήριξη που μου έδειξαν όλα αυτά τα χρόνια και τα εφόδια για να πετύχω τους στόχους μου και να υπερπηδήσω όλα τα εμπόδια.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Από την αρδευτική περίοδο του 2016 στην πεδιάδα της Άρτας λειτουργεί σε επιχειρησιακό επίπεδο το συλλογικό σύστημα υποβοήθησης αποφάσεων σχετικά με την άρδευση.

Το σύστημα μπορεί να αξιοποιηθεί και για εκπαιδευτικούς σκοπούς. Ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει εικονικά (virtual) αγροτεμάχια ή αρδευτικές ζώνες και να παρακολουθήσει την εξέλιξη μίας ή περισσότερων αρδευτικών περιόδων σύμφωνα με την πληροφορία που δίνει το σύστημα.

Στο πλαίσιο αυτό αποφασίστηκε να δημιουργηθούν εικονικά αγροτεμάχια στην πεδιάδα της Άρτας για τρεις από τις κύριες καλλιέργειες:

- ελιά,
- πορτοκαλιά και
- ακτινίδιο.

Για κάθε μία από τις καλλιέργειες αυτές, δημιουργήθηκαν 4 αγροτεμάχια από τα οποία:

- ένα δεν αρδεύεται, δέχεται δηλαδή ως εισροή νερού μόνο το νερό της βροχής
- ένα αρδεύεται με εφαρμογή κλιματικού προγράμματος άρδευσης για την αντίστοιχη καλλιέργεια
- ένα αρδεύεται με αυστηρή εφαρμογή των συμβουλών που δίνει το σύστημα και
- ένα αρδεύεται λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις συμβουλές που δίνει το σύστημα, την πρόγνωση του καιρού και την πρόβλεψη της καταπόνησης της καλλιέργειας πριν ο χρήστης λάβει την τελική του απόφαση σχετικά με την άρδευση.

Η Άρτα προσφέρεται για τέτοια παραδείγματα λόγω του ότι το καλοκαίρι υπάρχουν βροχές και ο χρήστης μπορεί να εκμεταλλευτεί αυτή την φυσική εισροή ώστε να μειώσει τη χρήση νερού από συλλογικά δίκτυα ή ιδιωτικές γεωτρήσεις.

Στο πλαίσιο της εργασίας έγινε χρήση του συστήματος για εκπαιδευτικούς σκοπούς και αξιολογήθηκε η λειτουργικότητά του από 1/3 έως 31/8/2017.

Η αξιολόγηση έδειξε ότι Το IRMA_SYS μπορεί να αποτελέσει ένα πολύ καλό εργαλείο και στο πλαίσιο εκπαίδευσης όσο αφορά τη διαχείριση της άρδευσης. Μετά την περίοδο εξοικείωσης αποδείχθηκε φιλικό προς το χρήστη και εύκολο στη λειτουργία. Σχετικά με την αξιολόγηση των αρδευτικών μεταχειρίσεων στις καλλιέργειες ελιά, πορτοκαλιά και ακτινιδιά αποδείχθηκε ότι οι συμβουλές του συστήματος οδήγησαν γενικά σε καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με την εφαρμογή κλιματικού προγράμματος άρδευσης. Χρήστες που με τον καιρό αποκτούν μεγαλύτερη εμπειρία αναμένεται να καταφέρουν ακόμη καλύτερα αποτελέσματα. Ποιο συγκεκριμένα:

- Όσο αφορά την ελιά, η μεταχείριση «Ελιά 02 Κλιματικό πρόγραμμα» είχε την καλύτερη επίδοση σε επίπεδο κατανάλωσης νερού με δεύτερη –αλλά με μικρή διαφορά- από τη μεταχείριση «Ελιά 03 Συμβουλή αυστηρά». Όσο αφορά την προσπάθεια συγκράτησης της υγρασίας του εδάφους εντός της ζώνης στόχου η μεταχείριση «Ελιά 03 Συμβουλή αυστηρά» είχε τη μικρότερη αστοχία με πολύ καλύτερη επίδοση από την μεταχείριση «Ελιά 02 Κλιματικό πρόγραμμα», γεγονός

που δημιουργεί ισχυρές ενδείξεις ότι πιθανότατα η καλύτερη διαχείριση συνολικά επετεύχθη στο πλαίσιο της μεταχείρισης «Ελιά 03 Συμβουλή αυστηρά».

- Όσο αφορά την πορτοκαλιά, η διακύμανση της υγρασίας εδάφους για την περίοδο αξιολόγησης είχε τη μικρότερη αστοχία στη μεταχείριση «Πορτοκαλιά 03 Συμβουλή αυστηρά». Επομένως στη συγκεκριμένη μεταχείριση όχι μόνο υπήρξε η μικρότερη κατανάλωση νερού αλλά και η μικρότερη αστοχία όσο αφορά την διατήρηση της εδαφικής υγρασίας εντός της ζώνης στόχου.
- Όσο αφορά το ακτινίδιο, η μεταχείριση «Ακτινίδιο 03 Συμβουλή αυστηρά + Εν. βροχόπτωση» είχε 40% χαμηλότερη χρήση νερού σε σχέση με το κλιματικό πρόγραμμα, ενώ η μεταχείριση «Ακτινίδιο 04 Συμβουλή και Απόφαση + Εν. βροχόπτωση» είχε μικρότερη χρήση νερού σε σχέση πάντα με το κλιματικό πρόγραμμα κατά 39%. Η μεταξύ τους διαφορά δεν ήταν μεγάλη. Για τη μεταχείριση «Ακτινίδιο 03 Συμβουλή αυστηρά» όχι μόνο υπήρξε η μικρότερη κατανάλωση νερού αλλά και η μικρότερη αστοχία όσο αφορά την διατήρηση της εδαφικής υγρασίας εντός της ζώνης στόχου.

SUMMARY

SUMMARY

Since the irrigation period of 2016 in the plain of Arta, the participatory decision-making system for irrigation has been functioning at operational level.

The system can also be used for educational purposes. The user can create virtual parcels or irrigation zones and monitor the progress of one or more irrigation periods according to the information given by the system.

In this context, it was decided to create virtual fields in the plain of Arta for three of the main crops of the area:

- olive,
- orange and
- kiwi.

For each of these crops, four plots were created, of which:

- one is not irrigated; it only receives water from the rainwater (rain fed)
- one is irrigated using a climatic irrigation schedule for the respective crop
- one is irrigated by strictly applying the advice provided by the system and
- one is irrigated, taking into account both the system's advice, the anticipation of crop stress and the user's experience before the user makes his final decision about irrigation.

As for the soil (same for all crops) the choice was such that it corresponds to a typical territory of the region).

Arta offers such examples because there are rains in the summer and the user can take advantage of this natural influx to reduce the use of water from participatory networks or private drilling.

In the context of the work, the system was used for educational purposes and its functionality was assessed.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	6
SUMMARY	8
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	9
ΠΙΝΑΚΕΣ.....	11
ΕΙΚΟΝΕΣ / ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ.....	11
ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ	12
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ	13
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	14
ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	16
Εκτίμηση αρδευτικών αναγκών	16
Δυνητική εξατμισοδιαπνοή και εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας	18
Συντελεστής υδατικής καταπόνησης (KS)	18
Αποτελεσματικότητα άρδευσης.....	19
Συντελεστής βελτιστοποίησης άρδευσης	19
Αρδευόμενη έκταση (m ²)	20
Η διαδικτυακή εφαρμογή IRMA_SYS	21
Εγγραφή	23
Αρχική σελίδα χρήστη	23
Διαχείριση	25
Επιτηρητές άρδευσης.....	25
Όροι χρήσης	26
Ευθύνη.....	26
Μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση.....	26
Λειτουργία του συστήματος	26
Προσωπικά δεδομένα.....	26
Τερματισμός.....	26
Τροποποίηση των όρων	26
IRMA_SYS Forum	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
WATERinMARCH!	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
Αξιολόγηση και ανάπτυξη	27
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΤΑΡΤΙΣΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ	28
Ανάγκες φυτών σε νερό	28
Βασική λογική προγράμματος άρδευσης και σχετικοί υπολογισμοί	28
Όρια χρήσης νερού για άρδευση με βάση την Κ.Υ.Α. Φ16/6631/89 (ΦΕΚ 428 Β / 1989) ..	34

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	36
Η περιοχή εφαρμογής	36
Το κλίμα της περιοχής	37
Υπολογισμός εξατμισοδιαπνοής αναφοράς	39
Όρια χρήσης νερού για άρδευση στην περιοχή με βάση την Κ.Υ.Α. Φ16/6631/89 (ΦΕΚ 428 Β / 1989)	40
Η προσέγγιση της αξιολόγησης.....	41
Ελιά.....	42
Όρια χρήσης νερού για άρδευση ελιάς στην περιοχή, ανάγκες ελιάς σε νερό σύμφωνα με κλιματικά δεδομένα, εκτιμήσεις σχετικά με κάλυψη αναγκών με βροχόπτωση και κλιματικό πρόγραμμα άρδευσης	43
Κλιματικό πρόγραμμα άρδευσης.....	43
Παραμετροποίηση IRMA_SYS για ελιά και σχέδιο εφαρμογής του συστήματος	44
Πορτοκαλιά	45
Όρια χρήσης νερού για άρδευση ελιάς στην περιοχή, ανάγκες ελιάς σε νερό σύμφωνα με κλιματικά δεδομένα, εκτιμήσεις σχετικά με κάλυψη αναγκών με βροχόπτωση και κλιματικό πρόγραμμα άρδευσης	45
Κλιματικό πρόγραμμα άρδευσης.....	46
Παραμετροποίηση IRMA_SYS για πορτοκαλιά και σχέδιο εφαρμογής του συστήματος	46
Ακτινίδιο	47
Όρια χρήσης νερού για άρδευση ακτινιδίου στην περιοχή, ανάγκες ελιάς σε νερό σύμφωνα με κλιματικά δεδομένα, εκτιμήσεις σχετικά με κάλυψη αναγκών με βροχόπτωση και κλιματικό πρόγραμμα άρδευσης	48
Κλιματικό πρόγραμμα άρδευσης.....	48
Παραμετροποίηση IRMA_SYS για ακτινίδιο και σχέδιο εφαρμογής του συστήματος ..	49
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	51
Ελιά.....	55
Πορτοκαλιά	58
Ακτινίδιο	61
ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	64
ΑΝΑΦΟΡΕΣ	65

ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 1 Τύποι αρδευτικών συστημάτων που εμπεριέχονται στο IRMA_SYS και οι αντίστοιχες τιμές του συντελεστή αποδοτικότητας	19
Πίνακας 2 Επιλεγμένα κλιματικά δεδομένα για την Άρτα (EMY, 2017α)	39
Πίνακας 3 Εκτίμηση εξατμισοδιαπνοής αναφοράς	39
Πίνακας 4 Ανάγκες σε αρδευτικό νερό ανά κατηγορία καλλιεργειών για το υδατικό διαμέρισμα Ηπείρου σύμφωνα με την Κ.Υ.Α. Φ16/6631/89 (ΦΕΚ 428 Β / 1989)	40
Πίνακας 5 Καλλιεργητικοί συντελεστές ελιάς (Kc) (Allen et al., 1998)	43
Πίνακας 6 Ανάγκες της ελιάς σε νερό (Allen et al., 1998) στην Άρτα και κλιματικό πρόγραμμα άρδευσης	43
Πίνακας 7 Καλλιεργητικοί συντελεστές πορτοκαλιάς (Allen et al., 1998)	45
Πίνακας 8 Ανάγκες της ελιάς σε νερό (Allen et al., 1998) στην Άρτα και κλιματικό πρόγραμμα άρδευσης	46
Πίνακας 9 Καλλιεργητικοί συντελεστές ακτινιδιάς (Allen et al., 1998)	48
Πίνακας 10 Ανάγκες της ακτινιδιάς σε νερό (Allen et al., 1998) στην Άρτα και κλιματικό πρόγραμμα άρδευσης	49
Πίνακας 11 Σύγκριση κατανάλωσης νερού για ελιά στο πλαίσιο των τεσσάρων μεταχειρίσεων	55
Πίνακας 12 Σύγκριση διαχείρισης άρδευσης σε ελιά σε επίπεδο υγρασίας εδάφους	57
Πίνακας 13 Σύγκριση κατανάλωσης νερού για πορτοκαλιά στο πλαίσιο των τεσσάρων μεταχειρίσεων	58
Πίνακας 14 Σύγκριση διαχείρισης άρδευσης σε πορτοκαλιά σε επίπεδο υγρασίας εδάφους	60
Πίνακας 15 Σύγκριση κατανάλωσης νερού για ακτινίδιο στο πλαίσιο των τεσσάρων μεταχειρίσεων	61
Πίνακας 16 Σύγκριση διαχείρισης άρδευσης σε ακτινίδιο σε επίπεδο υγρασίας εδάφους ..	63

ΕΙΚΟΝΕΣ / ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Εικόνα 1 Αρχική σελίδα του IRMA_SYS	22
Εικόνα 2 Βασικές έννοιες άρδευσης (πηγή: Τσιρογιάννης Ι., 2007)	29
Εικόνα 3 Ενδεικτική διακύμανση εδαφικής υγρασίας σε αρδευόμενο αγρό	31
Εικόνα 4 Παράδειγμα υπολογισμού αρδευόμενης έκτασης όταν δεν διαβρέχεται το σύνολο του αγροτεμαχίου	33
Εικόνα 5 Η πεδιάδα της Άρτας (πηγή: Εργαστήριο Γ. Μηχανικής & Διαχ. Φυσικών Πόρων ΤΕΙ Ηπείρου - ΕΟΧ 2009-2014 Έργο: Ανοξική ζώνη του Αμβρακικού κόλπου: αποτύπωση, επιπτώσεις και διαχείριση)	36
Εικόνα 6 Ομβροθερμικό διάγραμμα (κλιματόγραμμα) Άρτας (με βάση δεδομένα από EMY, 2017α)	38
Εικόνα 7 Χάρτης βροχόπτωσης (EMY, 2017β)	38
Εικόνα 8 Υδροληψία συλλογικού δικτύου σε καλλιέργεια ελιάς στην Άρτα (πηγή: Εργαστήριο Γ. Μηχανικής & Διαχ. Φυσικών Πόρων Τμ. Τεχνολόγων Γεωπόνων ΤΕΙ Ηπείρου)	42
Εικόνα 9 Καλλιέργεια πορτοκαλιάς	45
Εικόνα 10 Σε καλλιέργεια ακτινιδίου στην Άρτα	48
Εικόνα 11 Σύγκριση κατανάλωσης νερού για ελιά στο πλαίσιο των τεσσάρων μεταχειρίσεων	56

Εικόνα 12 Διακύμανση υγρασίας εδάφους για τις διάφορες μεταχειρίσεις σε καλλιέργεια ελιάς	56
Εικόνα 13 Σύγκριση κατανάλωσης νερού για καλλιέργεια πορτοκαλιάς στο πλαίσιο των τεσσάρων μεταχειρίσεων.....	59
Εικόνα 14 Διακύμανση υγρασίας εδάφους για τις διάφορες μεταχειρίσεις σε καλλιέργεια πορτοκαλιού.....	59
Εικόνα 15 Σύγκριση κατανάλωσης νερού για καλλιέργεια ακτινιδίου στο πλαίσιο των τεσσάρων μεταχειρίσεων.....	62
Εικόνα 16 Διακύμανση υγρασίας εδάφους για τις διάφορες μεταχειρίσεις σε καλλιέργεια ακτινιδίου	62

ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ

Εξίσωση 1 $Dr_i = Dr_{i-1} - (Pi - ROi) - IRn_i - CRI + ETc_i + DPi$	17
Εξίσωση 2 $\Theta_s \leq Dr_i \leq TAW$	17
Εξίσωση 3 $TAW = FC - PWP$	17
Εξίσωση 4 $ROi = Pi + \Theta_{i-1} - \Theta_s$ όταν $(Pi + \Theta_{i-1} - \Theta_s) > 0$	17
Εξίσωση 5 $Dr_i = Dr_{i-1} - Pi - IRn_i + ETc_i + ROi$	17
Εξίσωση 6 $Dr_i \geq RAW$	18
Εξίσωση 7 $RAW = MAD \times TAW$	18
Εξίσωση 8 $IRn_i = Dr_{i-1}$	18
Εξίσωση 9 $ETc = Kc \times ET0$	18
Εξίσωση 10 $ETc_{adj} = Ks \times Kc \times ET0$	19
Εξίσωση 11 $Ks = (TAW - Dr) / (TAW - RAW)$	19
Εξίσωση 12 $MF = RAW / ETc$	19
Εξίσωση 13 $IRT = PF / MF$, με $0.1 \leq IRT \leq 1$	20
Εξίσωση 14 $IRn_i = IRT \times Dr_{i-1}$	20
Εξίσωση 15 Μέθοδος Hargreaves για την εκτίμηση της $ET0$	28
Εξίσωση 16 Δόση άρδευσης.....	30
Εξίσωση 17 Εύρος άρδευσης	31
Εξίσωση 18 Πρακτικό εύρος και δόση	31
Εξίσωση 19 Ελάχιστη διάρκεια άρδευσης (δεν απαιτείται η γνώση της παροχής του συστήματος)	32
Εξίσωση 20 Διάρκεια άρδευσης εάν γνωρίζουμε την παροχή του συστήματος.....	32
Εξίσωση 21 Διάρκεια άρδευσης για την περίπτωση αρδευτικού συστήματος με σταλακτηφόρους αγωγούς	33

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Παρατήρηση 1 Διαφορά μεταξύ αρδευτικής ζώνης και στάσης	29
Παρατήρηση 2 Αρδευόμενη επιφάνεια.....	33
Παρατήρηση 3 Μειωτικοί συντελεστές	34
Παρατήρηση 4 Προβλήματα αλατότητας: έκπλυση	34
Παρατήρηση 5 Βροχόπτωση	34
Παρατήρηση 6 – Μετατροπή από mm σε m ³	41
Παρατήρηση 7 Σχετικά με την έκταση, την κλίση και το έδαφος των αγροτεμαχίων που χρησιμοποιήθηκαν στο πλαίσιο της αξιολόγησης.....	41
Παρατήρηση 8 Λήψη δεδομένων από την Αρδευτική Αποδοτικότητα του συστήματος	52
Παρατήρηση 9 Σχετικά με σύγκριση αποτελεσμάτων.....	52
Παρατήρηση 10 Μία εναλλακτική προσέγγιση υπολογισμού της παρέκκλισης από το στόχος διαχείρισης της άρδευσης βασισμένη στη λογική των μεθόδων Monte Carlo.....	53

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην Ελλάδα εκτιμάται ότι το 80% των υδατικών πόρων χρησιμοποιείται για άρδευση (Τσοτσόλης, 2008) και για το λόγο αυτό η γνώση των καλλιεργειών σε νερό και ο βέλτιστος προγραμματισμός των αρδεύσεων αποτελεί έναν -ολοένα και αυξανόμενης σημασίας- καλλιεργητικό στόχο (Οδηγία 2000/60/ΕΚ). Ο επαρκής εφοδιασμός των καλλιεργειών με νερό οδηγεί σε αποτελεσματικότερη χρήση του, βοηθά τα φυτά να αποφύγουν ή να ξεπεράσουν καταστάσεις καταπόνησης και αυξάνει την παραγωγή (Allen κ.α., 1998). Η μεγάλη πλειοψηφία των προσεγγίσεων που χρησιμοποιούνται για την κατάρτιση προγραμμάτων άρδευσης βασίζεται στην εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής με βάση ισοζύγια ενέργειας και μάζας (Allen κ.α., 1998) και καταλήγει σε προτάσεις σχετικά με τη συχνότητα και τη διάρκεια των αρδευτικών γεγονότων.

Για τον προσδιορισμό των ορίων χρήσης νερού ανά υδατικό διαμέρισμα και ανά κατηγορία καλλιέργειας ισχύει η Κ.Υ.Α. Φ16/6631/89 (ΦΕΚ 428 Β / 1989) η οποία συμπληρώνεται από μία σχετική απόφαση του 1992.

Τα τελευταία έτη υπάρχουν πολλά παραδείγματα ανάπτυξης στατικού ή δυναμικού λογισμικού με σκοπό την υποστήριξη των γεωπόνων στον υπολογισμό εξατμισοδιαπνοής και αναγκών των φυτών σε νερό στο πλαίσιο σχεδιασμού και διαχείρισης αρδευτικών συστημάτων.

Η αξιολόγηση των εργαλείων αυτών έχει να επιδείξει εντυπωσιακά αποτελέσματα, μιας και αναφέρεται μείωση της κατανάλωσης νερού σε επίπεδα του 20% για ελαιοκαλλιέργεια στην Κρήτη (Χαρτζουλάκης κ.α., 2007), του 15-45% για αγροτικές καλλιέργειες στην Μακεδονία (Αραμπατζής και Μαλιτσίδου, 2009) και του 44% για άρδευση χώρων πράσινου στην Καλιφόρνια (CIMIS, 2011).

Από την αρδευτική περίοδο του 2012 στην πεδιάδα της Άρτας λειτουργεί σε επιχειρησιακό επίπεδο το συλλογικό σύστημα υποβοήθησης αποφάσεων σχετικά με την άρδευση IRMA_SYS.

Το σύστημα μπορεί να αξιοποιηθεί και για εκπαιδευτικούς σκοπούς. Ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει εικονικά (virtual) αγροτεμάχια ή αρδευτικές ζώνες και να παρακολουθήσει την εξέλιξη μίας ή περισσοτέρων αρδευτικών περιόδων σύμφωνα με την πληροφορία που δίνει το σύστημα.

Στο πλαίσιο αυτό αποφασίστηκε να δημιουργηθούν εικονικά αγροτεμάχια στην πεδιάδα της Άρτας για τρεις από τις κύριες καλλιέργειες:

- ελιά,
- πορτοκαλιά και
- ακτινίδιο.

Για κάθε μία από τις καλλιέργειες αυτές, δημιουργήθηκαν 4 αγροτεμάχια από τα οποία:

- ένα δεν αρδεύεται, δέχεται δηλαδή ως εισροή νερού μόνο το νερό της βροχής
- ένα αρδεύεται με εφαρμογή κλιματικού προγράμματος άρδευσης για την αντιστοιχη καλλιέργεια
- ένα αρδεύεται με αυστηρή εφαρμογή των συμβουλών που δίνει το σύστημα και

- ένα αρδεύεται λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις συμβουλές που δίνει το σύστημα, την πρόγνωση του καιρού και την πρόβλεψη της καταπόνησης της καλλιέργειας πριν ο χρήστης λάβει την τελική του απόφαση σχετικά με την άρδευση.

Η Άρτα προσφέρεται για τέτοια παραδείγματα λόγω του ότι το καλοκαίρι υπάρχουν βροχές και ο χρήστης μπορεί να εκμεταλλευτεί αυτή την φυσική εισροή ώστε να μειώσει τη χρήση νερού από συλλογικά δίκτυα ή ιδιωτικές γεωτρήσεις.

Στο πλαίσιο της εργασίας έγινε χρήση του συστήματος για εκπαιδευτικούς σκοπούς και αξιολογήθηκε η λειτουργικότητά του από 1/3 έως 31/8/2017.

ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Έχοντας ως έμπνευση συστήματα υποβοήθησης λήψης αποφάσεων για την άρδευση που καλύπτουν μεγάλες περιοχές και λειτουργούν εδώ και δεκαετίες (π.χ. το California Irrigation Management Information System (CIMIS), <http://www.cimis.water.ca.gov/>), το 2008 αναπτύχθηκε ένα πολύ απλό σχετικό σύστημα για την πεδιάδα της Άρτας (<http://probiosis.teiep.gr/>, Τσιρογιάννης και Τριάντος, 2009), το οποίο συνέχισε να εξελίσσεται τα χρόνια που ακολούθησαν. Το 2014 το σύστημα μέσω του έργου ETCP GR-IT 2007-2013 IRMA εφαρμόστηκε σε πιο εκτεταμένη μορφή στην πεδιάδα της Άρτας και παρείχε δωρεάν συμβουλευτική άρδευσης σε κάθε ενδιαφερόμενο (Malamos et al., 2014; Tsirogiannis et al., 2015).

Το IRMA_SYS είναι μια εφαρμογή, φιλική προς το χρήστη η οποία σε αρκετό βαθμό βασίζεται σε ανοικτό κώδικα και χρησιμοποιεί ελεύθερα αγρομετεωρολογικά δεδομένα (από το Openmeteo / Ενυδρίς - Χριστοφίδης κ.α., 2011) με στόχο την χωρική εκτίμηση των υδατικών αναγκών συγκεκριμένων καλλιεργειών και τον προγραμματισμό των αρδεύσεων σε πολλαπλές χρονικές κλίμακες, από επίπεδο χωραφιού ως λεκάνης απορροής, χρησιμοποιώντας υψηλή χωρική ανάλυση (Tsirogiannis et al., 2014; Malamos et al., 2015). Κατά τη διάρκεια της αξιολόγησης στο πλαίσιο της πτυχιακής το IRMA_SYS υποστηρίζεται από την Καλές Αγροτικές Πρακτικές AMKE με στόχο την παροχή ενός αξιόπιστου εργαλείου για την επίτευξη αποτελεσματικής χρήσης του νερού άρδευσης (στην Ελλάδα η άρδευση είναι ο βασικότερος χρήστης νερού με ποσοστά που ξεπερνούν σε ορισμένες περιοχές και το 80%). Το IRMA_SYS είναι διαθέσιμο στη διεύθυνση: <http://www.irmasys.eu/>. Έως και την αρδευτική περίοδο του 2017, το σύστημα κάλυπτε σε επιχειρησιακό επίπεδο την πεδιάδα της Άρτας (έκταση περίπου 45.000 ha), ενώ σε πιλοτική μορφή δοκιμάζεται ήδη σε άλλες περιοχές της Ελλάδας.

Το σύστημα λαμβάνει υπόψη ιστορικά δεδομένα (από τους σταθμούς του συστήματος) και προβλέψεις αγρομετεωρολογικών παραμέτρων και βάσει των διαθέσιμων δεδομένων καλλιέργειας και υδραυλικών ιδιοτήτων του εδάφους, πραγματοποιεί τα ανωτέρω. Επίσης, είναι πλήρως παραμετροποιήσιμο, επιτρέποντας στους χρήστες να προσθέσουν συγκεκριμένες πληροφορίες για το χωράφι τους, έτσι ώστε να γίνει καλύτερη προσαρμογή των αποτελεσμάτων του συστήματος με τη χρήση της επιπλέον πληροφορίας.

Το IRMA_SYS απευθύνεται σε επαγγελματίες που ασχολούνται με τις αρδεύσεις, οι οποίοι διαθέτουν το απαραίτητο υπόβαθρο και την εμπειρία ώστε να ερμηνεύσουν τις παρεχόμενες πληροφορίες και να χρησιμοποιήσουν το σύστημα ώστε να καταρτίσουν προγράμματα άρδευσης, να προγραμματίζουν και να καταγράφουν τις αρδεύσεις που πραγματοποιήθηκαν.

Επίσης, το IRMA_SYS μπορεί να αξιοποιηθεί ως ένα εργαλείο εκπαίδευσης για την ορθή διαχείριση των αρδεύσεων.

Για τη χρήση του συστήματος είναι απαραίτητη η δημιουργία λογαριασμού χρήστη. Δοκιμή του συστήματος μπορεί να γίνει και από μη εγγεγραμμένους χρήστες.

Εκτίμηση αρδευτικών αναγκών

Οι αρδευτικές ανάγκες εκτιμώνται με την προσέγγιση του υδατικού ελλείμματος εντός της ζώνης ριζοστρώματος, η οποία είναι ένα απλοποιημένο υδατικό ισοζύγιο που υλοποιείται για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, βασιζόμενο σε μια αρχική συνθήκη εδαφικής υγρασίας.

Η βάση των υπολογισμών είναι η ακόλουθη σχέση (Allen et al., 1998):

$$\text{Εξίσωση 1 } Dr,i = Dr,i-1 - (Pi - ROi) - IRn,i - CRi + ETc,i + DPI$$

Όπου:

- i είναι η τρέχουσα χρονική περίοδος (π.χ. η τρέχουσα μέρα ή ώρα)
- $Dr,i-1$ είναι το υδατικό έλλειμμα της ζώνης ριζοστρώματος στο τέλος της προηγούμενης χρονικής περιόδου (mm)
- Pi είναι η βροχόπτωση (mm)
- ROi είναι η επιφανειακή απορροή
- IRn,i είναι το καθαρό ύψος άρδευσης (mm)
- CRi το ύψος του νερού εξαιτίας της τριχοειδούς ανύψωσης (mm)
- ETc,i είναι η εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας (mm)
- DPI είναι οι απώλειες νερού λόγω της βαθιάς κατεΐσδυσης (mm).

Το Dr,i έχει τα ακόλουθα όρια:

$$\text{Εξίσωση 2 } \Theta_s \leq Dr,i \leq TAW$$

Όπου:

- Θ_s είναι η εδαφική υγρασία στον κορεσμό (mm)
- TAW είναι το συνολικό διαθέσιμο εδαφικό νερό (mm)

Το TAW προκύπτει από τη διαφορά μεταξύ υδατοϊκανότητας (FC) και σημείου μόνιμης μάρανσης, δηλαδή:

$$\text{Εξίσωση 3 } TAW = FC - PWP$$

Η συγκεκριμένη προσέγγιση είναι έχει μία διαφορά από την προτεινόμενη από τους Allen et al. (1998) οι οποίοι υποθέτουν ότι το Dr,i είναι πάντα θετικό.

Η επιφανειακή απορροή, ROi , ισούται με το ύψος νερού που υπερβαίνει την εδαφική υγρασία στον κορεσμό έπειτα από ισχυρή βροχόπτωση, δηλαδή:

$$\text{Εξίσωση 4 } ROi = Pi + \Theta_{i-1} - \Theta_s \text{ όταν } (Pi + \Theta_{i-1} - \Theta_s) > 0$$

όπου:

- Θ_{i-1} είναι η εδαφική υγρασία στο προηγούμενο χρονικό βήμα

Το ύψος του νερού εξαιτίας της τριχοειδούς ανύψωσης, CRi , και οι απώλειες νερού λόγω της βαθιάς κατεΐσδυσης, DPI , θεωρούνται ίσες αφού στην περίπτωση της πεδιάδας της Άρτας ο υδροφόρος ορίζοντας είναι αρκετά ψηλά οπότε θεωρείται ότι υπάρχει ισορροπία μεταξύ των δύο μεγεθών σε ετήσια χρονική κλίμακα.

Έτσι η Εξίσωση 1 γίνεται:

$$\text{Εξίσωση 5 } Dr,i = Dr,i-1 - Pi - IRn,i + ETc,i + ROi$$

Η εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας, ET_c,i , υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς με τους κατάλληλους καλλιεργητικούς συντελεστές, K_c (Allen et al., 1998).

Κάθε φορά που ο χρήστης αρδεύει, το αρχικό υδατικό έλλειμμα προκύπτει από τον όγκο νερού που εφαρμόστηκε. Εφόσον υπολογίζεται το Dr,i σε κάθε χρονική περίοδο, η άρδευση θα πρέπει να πραγματοποιηθεί όταν ισχύσει η παρακάτω συνθήκη:

Εξίσωση 6 $Dr,i \geq RAW$

όπου:

- RAW είναι το άμεσα διαθέσιμο εδαφικό νερό, το οποίο είναι συνάρτηση του TAW και εξαρτάται από το μέγιστο επιτρεπόμενο υδατικό έλλειμμα (MAD):

Εξίσωση 7 $RAW = MAD \times TAW$

Σε αυτή την περίπτωση το καθαρό ύψος άρδευσης (IRn,i) θεωρείται ίσο προς το αντίστοιχο το υδατικό έλλειμμα της ζώνης ριζοστρώματος στο τέλος του προηγούμενου χρονικού βήματος, οπότε ισχύει:

Εξίσωση 8 $IRn,i = Dr,i - 1$

Το σύστημα λαμβάνει υπόψη ιστορικά δεδομένα (από τους εγκατεστημένους σταθμούς στα πλαίσια του έργου), προβλέψεις των απαιτούμενων αγρομετεωρολογικών παραμέτρων και τις υδραυλικές ιδιότητες του εδάφους, ώστε να είναι δυνατός ο υπολογισμός του ανωτέρω υδατικού ισοζυγίου σε όλη της περιοχή μελέτης.

Δυνητική εξατμισοδιαπνοή και εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας

Η Δυνητική Εξατμισοδιαπνοή (ET_0 ή PET) εκτιμάται με βάση του μοντέλου του FAO (Allen et al., 1998) για την εξίσωση Penman-Monteith, σε ημερήσια και ωριαία κλίμακα.

Το σύστημα λαμβάνει υπόψη ιστορικά δεδομένα συναθροισμένα σε ημερήσια κλίμακα (από τους σταθμούς του συστήματος) και τριώρες προβλέψεις αγρομετεωρολογικών παραμέτρων που αναλύονται σε ωριαίες και στη συνέχεια χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής στις θέσεις των σταθμών. Με βάση αυτές τις τιμές και μέσω επιφανειακής ολοκλήρωσης, παράγονται οι αντίστοιχοι χάρτες ET_0 της περιοχής μελέτης.

Η επίδραση των χαρακτηριστικών της καλλιέργειας που διακρίνουν μια καλλιεργούμενη επιφάνεια από την επιφάνεια αναφοράς, ενσωματώνεται στο καλλιεργητικό συντελεστή. Πολλαπλασιάζοντας την ET_0 με το καλλιεργητικό συντελεστή (K_c), εκτιμούμε την εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας (ET_c):

Εξίσωση 9 $ET_c = K_c \times ET_0$

Στο $IRMA_SYS$ ενσωματώθηκαν μέσω βιβλιογραφίας φυτικοί συντελεστές για διάφορες καλλιέργειες, αλλά οι εγγεγραμμένοι χρήστες μπορούν να τροποποιήσουν τις τιμές του K_c εφόσον διαθέτουν τις κατάλληλες πληροφορίες.

Συντελεστής υδατικής καταπόνησης (K_s)

Οι επιπτώσεις της έλλειψης νερού στην εξατμισοδιαπνοή περιγράφονται με την μείωση της τιμής του καλλιεργητικού συντελεστή. Αυτό επιτυγχάνεται πολλαπλασιάζοντας τον

καλλιεργητικού συντελεστή με τον συντελεστή υδατικής καταπόνησης, K_s (Allen et al., 1998), οποίος εκφράζει τις επιπτώσεις της έλλειψης νερού στη διαπνοή των φυτών. Εφόσον στην προκειμένη περίπτωση χρησιμοποιείται η προσέγγιση του μονού καλλιεργητικού συντελεστή, οι επιπτώσεις της έλλειψης νερού στον K_c περιγράφονται ως εξής:

Εξίσωση 10 $ET_c \text{ adj} = K_s \times K_c \times ET_0$

όπου

Εξίσωση 11 $K_s = (TAW - D_r) / (TAW - RAW)$

Όταν υπάρχει έλλειψη νερού τότε $K_s < 1$, ενώ στην αντίθετη περίπτωση $K_s = 1$.

Αποτελεσματικότητα άρδευσης

Η εκτίμηση του ποσοστού του αρδευτικού νερού που αξιοποιείται και του ποσοστού που χάνεται εκφράζεται από την αποτελεσματικότητα της άρδευσης.

Η ποσότητα του νερού που εφαρμόζεται από το σύστημα άρδευσης και παραμένει αδιάθετη στα φυτών είναι σπατάλη και μειώνει την αποτελεσματικότητα της άρδευσης.

Οι κύριες αιτίες για την μειωμένη αποδοτικότητα άρδευσης είναι: η κατείσδυση του πλεονάζοντος νερού άρδευσης σε βαθύτερα στρώματα του εδάφους, κάτω από το βάθος των ενεργών ριζών και οι απώλειες από την εξάτμιση του νερού από την επιφάνεια του εδάφους.

Οι εγγεγραμμένοι χρήστες μπορούν να παρέχουν στο σύστημα προσαρμοσμένες πληροφορίες σχετικά με την αποτελεσματικότητα της άρδευσης των αγροτεμαχίων τους.

Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει τις τιμές του συντελεστή αποδοτικότητας της άρδευσης που είναι διαθέσιμες στο IRMA_SYS.

Πίνακας 1 Τύποι αρδευτικών συστημάτων που εμπεριέχονται στο IRMA_SYS και οι αντίστοιχες τιμές του συντελεστή αποδοτικότητας

Αρδευτικό σύστημα	Αποτελεσματικότητα άρδευσης
Επιφανειακή άρδευση	60%
Καταιονισμός	75%
Μικροεκτοξευτήρες	80%
Στάγδην άρδευση	90%
Υπόγεια στάγδην άρδευση	95%

Συντελεστής βελτιστοποίησης άρδευσης

Το εύρος άρδευσης είναι σημαντική παράμετρος σχεδιασμού των αρδευτικών συστημάτων. Ορίζεται ως η συχνότητα εφαρμογής του νερού σε μια καλλιέργεια σε ένα συγκεκριμένο στάδιο ανάπτυξης και εκφράζεται σε ημέρες. Το μέγιστο εύρος άρδευσης (MF), σε ημέρες εκτιμάται ως εξής:

Εξίσωση 12 $MF = RAW / ET_c$

όπου:

- RAW (mm) είναι το άμεσα διαθέσιμο εδαφικό νερό και ETc είναι η εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας (mm/day).

Παρόλα αυτά ο αριθμός των ημερών μεταξύ δύο διαδοχικών αρδεύσεων εξαρτάται και από:

- την ακολουθούμενη στρατηγική άρδευσης και τις πρακτικές του κάθε αγρότη
- τη διαθεσιμότητα του νερού, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις ύπαρξης συλλογικών αρδευτικών δικτύων
- το μέγεθος του αρδευτικού εξοπλισμού
- άλλες εργασίες της γεωργικής εκμετάλλευσης που πρέπει να πραγματοποιηθούν παράλληλα με την άρδευση

Με βάση τα ανωτέρω, το πραγματικό εύρος άρδευσης είναι πάντα μικρότερο ή ίσο του μέγιστου και από και στο εξής το ορίζουμε ως «εύρος άρδευσης εφαρμογής» (PF).

Σε αυτό το πλαίσιο, εισάγουμε τον «Συντελεστή βελτιστοποίησης άρδευσης –IRT» που ορίζεται ως η αναλογία του εύρους άρδευσης εφαρμογής σε σχέση με το μέγιστο εύρος άρδευσης:

Εξίσωση 13 $IRT = PF / MF$, με $0.1 \leq IRT \leq 1$

Έτσι, η Εξίσωση 8 γίνεται:

Εξίσωση 14 $IR_{n,i} = IRT \times Dr_{i-1}$

Η προκαθορισμένη τιμή για το IRT είναι 0,5, υποδεικνύοντας ότι η επόμενη άρδευση πρέπει να λάβει χώρα στο μισό του μέγιστου εύρους άρδευσης εφαρμόζοντας παράλληλα το μισό ύψος από το υπολογισμένες καθαρές ανάγκες άρδευσης, $IR_{n,i}$.

Με την εισαγωγή του IRT, παρέχεται η δυνατότητα στο χρήστη να δοκιμάσει και να ελέγξει τα αποτελέσματα διάφορων εναλλακτικών λύσεων ώστε τελικά να καταλήξει στη βέλτιστη στρατηγική άρδευσης, δεδομένων των συνθηκών που επικρατούν στην αγροτική του εκμετάλλευση.

Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι μικρές τιμές του IRT καταλήγουν σε συχνότερες αρδεύσεις με μικρότερα ύψη νερού, ενώ τιμές κοντά στο 1 έχουν ως αποτέλεσμα λιγότερο συχνές αρδεύσεις με μεγαλύτερα ύψη νερού, τα οποία θα προσεγγίζουν το ύψος του άμεσα διαθέσιμου εδαφικού νερού, RAW.

Αρδευόμενη έκταση (m^2)

Όταν ο χρήστης καταχωρεί τον όγκο του νερού που εφαρμόστηκε σε μια άρδευση σε m^3 , το IRMA_SYS υπολογίζει το ύψος (mm) του αρδευτικού νερού που εφαρμόστηκε διαιρώντας τον όγκο (m^3) με την αρδευόμενη έκταση (m^2). Άρα, ο όρος του IRMA_SYS «Αρδευόμενη έκταση (m^2)» αντιπροσωπεύει την πραγματική επιφάνεια διαβροχής στην οποία διανέμεται το αρδευτικό νερό.

Στην περίπτωση που έχουμε τοπική άρδευση (στάγδην ή μικροεκτοξευτήρες), κατά την οποία δεν διαβρέχουμε τη συνολική έκταση του αγροτεμαχίου, είναι πολύ σημαντικό να

καταχωρείται από τους χρήστες η πραγματική επιφάνεια διαβροχής και όχι η συνολική έκταση του αγροτεμαχίου.

Ανάλογα με τη διάταξη του αρδευτικού συστήματος, η επιφάνεια διαβροχής κυμαίνεται από 5% ως 100% της συνολικής έκτασης, οπότε η αρδευόμενη έκταση είναι πάντα κλάσμα της συνολικής και μπορεί να εκτιμηθεί χρησιμοποιώντας συντελεστές όπως:

- Ποσοστό διαβροχής - P_w (%)
- Συντελεστής μείωσης ET στην περίπτωση μικροάρδευσης (r), που αναφέρεται στο ποσοστό μείωσης της σκίασης της επιφάνειας του εδάφους το μεσημέρι, με μέγιστη τιμή το 1.

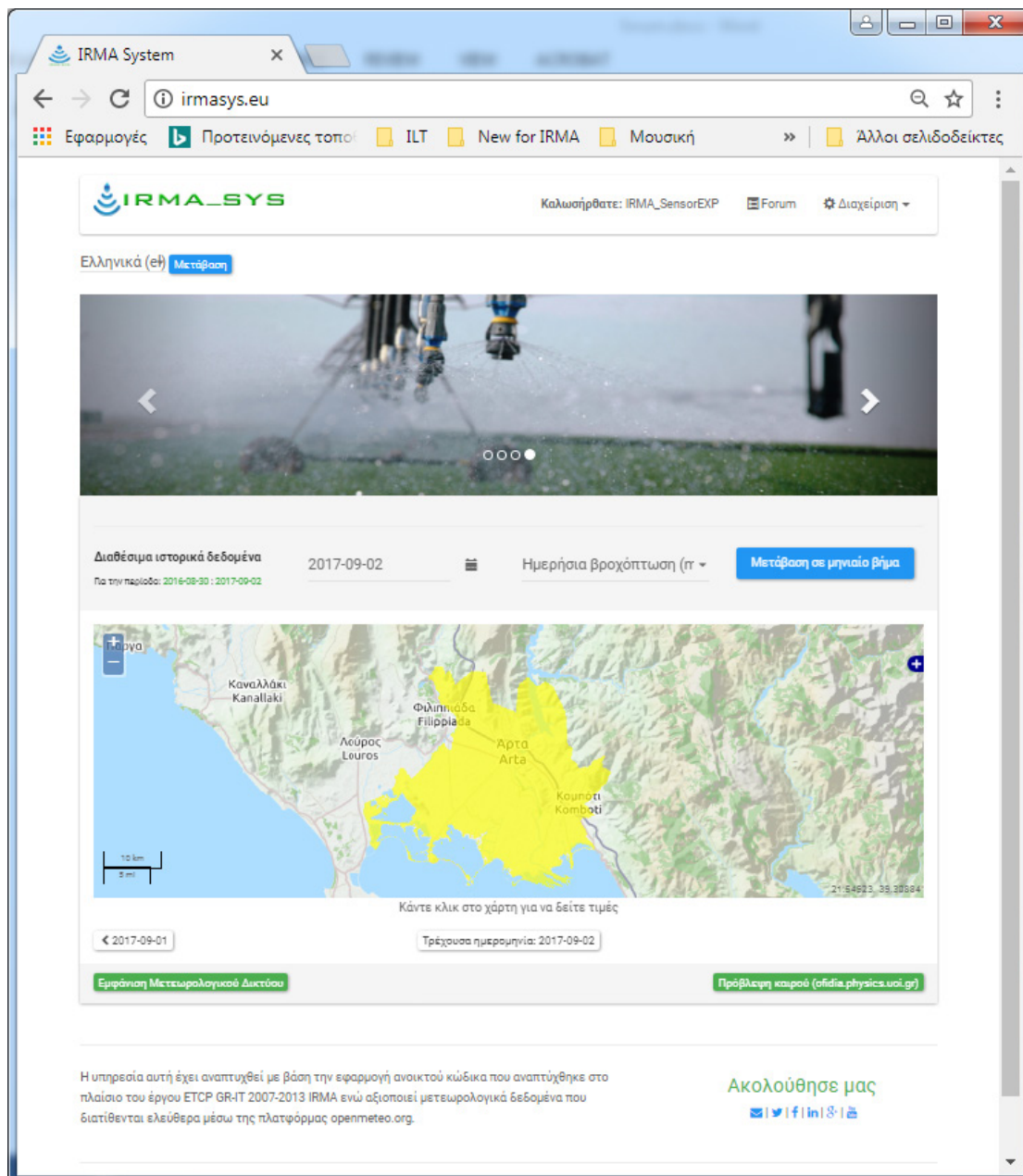
Οι χρήστες μπορούν να εκτιμήσουν την πραγματική επιφάνεια διαβροχής ακολουθώντας τις παρακάτω οδηγίες του FAO για τον σχεδιασμό συστημάτων τοπικής άρδευσης (Savva and Frenken, 2002) ή καταιονισμού (Savva and Frenken, 2001).

Η διαδικτυακή εφαρμογή IRMA_SYS

Το IRMA_SYS είναι διαθέσιμο στη διεύθυνση: <http://www.irmasys.eu/>. Το κύριο χαρακτηριστικό της αρχικής σελίδας είναι η παρουσίαση των χαρτών των μεταβλητών που εμπεριέχονται στον υπολογισμό των αρδευτικών αναγκών, σε ημερήσια κλίμακα, σύμφωνα με την μεθοδολογία που αναπτύχθηκε ανωτέρω. Οι μεταβλητές αυτές είναι:

- η ηλιακή ακτινοβολία
- η θερμοκρασία αέρα
- η σχετική υγρασία αέρα
- η ταχύτητα ανέμου
- η δυνητική εξατμισοδιαπνοή και
- η βροχόπτωση

Οι χάρτες έχουν υψηλή χωρική ανάλυση με μέγεθος κελιού 70x70 m και παράγονται με χρήση της μεθόδου της αντίστροφης απόστασης (Inverse Distance Weighting) που περιλαμβάνεται στη βιβλιοθήκη GDAL.



Εικόνα 1 Αρχική σελίδα του IRMA_SYS

Το σύστημα παρέχει τις συγκεκριμένες πληροφορίες για την περιοχή μελέτης μέσω των υπηρεσιών WMS/WCS του Mapserver.

Η πρόσβαση στους μετεωρολογικούς σταθμούς του δικτύου γίνεται πατώντας το: “Εμφάνιση Μετεωρολογικού Δικτύου” το οποίο βρίσκεται κάτω αριστερά από το χάρτη της αρχικής σελίδας.

Με την επιλογή «Πρόβλεψη καιρού», η οποία βρίσκεται κάτω δεξιά από το χάρτη της αρχικής σελίδας γίνεται σύνδεση στον διαδικτυακό τόπο του έργου OFIDIA, το οποίο δίνει πρόβλεψη 2x2 km που ανανεώνεται κάθε 6 ώρες για την περιοχή της Περιφέρειας Ηπείρου.

Εγγραφή

Η εγγραφή στο IRMA_SYS απαιτεί από τους δυνητικούς χρήστες να παρέχουν ένα όνομα χρήστη, ένα e-mail και έναν κωδικό πρόσβασης.

Αν κάποιος δεν επιθυμεί να εγγραφεί, πατώντας στο: «Δοκιμή» έχει πλήρη πρόσβαση στις δυνατότητες του IRMA_SYS χωρίς όμως την δυνατότητα να αποθηκεύσει οποιεσδήποτε αλλαγές στις ήδη υπάρχουσες πληροφορίες.

Αρχική σελίδα χρήστη

Οι εγγεγραμμένοι χρήστες μπορούν να δουν τα στοιχεία του λογαριασμού τους, μαζί με τις συμβουλές άρδευσης οι οποίες βασίζονται στα διαθέσιμα ιστορικά δεδομένα και προβλέψεις.

Μέσω της σελίδας «Αρδεύσεις» μπορούν να καταχωρήσουν νέες ημερομηνίες άρδευσης και όγκους νερού όπως επίσης και να τροποποιήσουν τις ήδη καταχωρημένες αρδεύσεις.

Επίσης, η σελίδα «Αναφορά Άρδευσης» παρέχει λεπτομερείς πληροφορίες για το υδατικό ισοζύγιο σε ωριαία κλίμακα, ενώ στη σελίδα «Αρδευτική αποδοτικότητα» προβάλλονται για ολόκληρη την αρδευτική περίοδο, μέσω γραφήματος, οι εκτιμήσεις του IRMA_SYS για τις ημερομηνίες και τα ύψη των αρδεύσεων που θα έπρεπε να πραγματοποιηθούν, μαζί με τα ύψη των αρδεύσεων που πραγματοποιήθηκαν και την ενεργό βροχόπτωση.

Παράλληλα παρουσιάζονται η εκτίμηση του συνόλου αρδευτικών αναγκών (mm), το σύνολο αρδεύσεων που πραγματοποιήθηκαν (mm) και η επί τοις εκατό διαφορά τους, μαζί με το σύνολο της ενεργού βροχόπτωσης (mm) που έχει πέσει μέχρι τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή.

Προσθήκη/Επεξεργασία αγροτεμαχίου

Οι εγγεγραμμένοι χρήστες μπορούν να προσθέσουν τα αγροτεμάχια τους με χρήση χάρτη, τοποθετώντας τα στην σωστή γεωγραφική θέση με τη βοήθεια του υπόβαθρου δορυφορικών φωτογραφιών του Εθνικού Κτηματολογίου (<http://gis.ktimanet.gr/wms/ktbasemap>) που επιτρέπει ακρίβεια έως 1 m. Ο χρήστης θα πρέπει να καταχωρίσει πληροφορίες σχετικές με την αρδευόμενη έκταση του χωραφίου, την καλλιέργεια και τον τύπο του αρδευτικού συστήματος. Στη κάτω μέρος της σελίδας υπάρχει λίστα με τα ήδη καταχωρημένα αγροτεμάχια.

Εφόσον υπάρχουν κατάλληλες πληροφορίες διαθέσιμες, οι εγγεγραμμένοι χρήστες μπορούν να τροποποιήσουν τις ιδιότητες κάθε καταχωρημένου αγροτεμαχίου. Με βάση αυτή την πληροφόρηση οι παράμετροι που μπορούν να τροποποιηθούν εμπίπτουν σε τρεις κύριες κατηγορίες:

- Διαχείριση Άρδευσης
- Καλλιέργεια
- Έδαφος

Η κατηγορία «Διαχείριση Άρδευσης» περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με:

- την αποδοτικότητα του αρδευτικού συστήματος και
- την ακολουθούμενη στρατηγική.

Η κατηγορία «Καλλιέργεια» περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με:

- τον καλλιεργητικό συντελεστή (Kc),
- το Μέγιστο Επιτρεπόμενο Υδατικό Έλλειμμα (MAD) και
- το εκτιμώμενο μέγιστο και ελάχιστο βάθος ριζοστρώματος.

Η κατηγορία «Έδαφος» περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με την FC, PWP και το Θ_s .

Για όλες τις παραμέτρους υπάρχουν καταχωρημένα τα αντίστοιχα εύρη τιμών και οι προκαθορισμένες τιμές που υπάρχουν στη βάση δεδομένων του συστήματος, με σκοπό την καθοδήγηση του χρήστη.

Η έννοια του αγροτεμαχίου στο IRMA_SYS ταυτίζεται με την έννοια της αρδευτικής ζώνης, μίας περιοχής δηλαδή όπου εφαρμόζεται ένα συγκεκριμένο πρόγραμμα άρδευσης. Σε ένα φυσικό αγροτεμάχιο μπορεί να υπάρχουν διαφοροποιήσεις ως προς το έδαφος, το ανάγλυφο, το σύστημα άρδευσης, την ηλικία των φυτών και επομένως να υφίσταται η ανάγκη χωρισμού του σε περισσότερες από μία αρδευτικές ζώνες. Σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει στο σύστημα να δημιουργήσουμε τόσα αγροτεμάχια όσες και οι αρδευτικές ζώνες.

Για να δημιουργηθεί ένα όσο το δυνατόν ακριβέστερο σύνολο παραμέτρων για κάθε αγροτεμάχιο προτείνεται η επιθεώρηση του συστήματος άρδευσης (Tsirogiannis et al., 2015) και η μελέτη της βιβλιογραφίας που σχετίζεται με τις καλλιεργητικούς συντελεστές και την διακύμανσή τους κατά την αρδευτική περίοδο για κάθε υπό εξέταση καλλιέργεια.

Αρδεύσεις

Οι εγγεγραμμένοι χρήστες μπορούν να προσθέσουν νέες αρδεύσεις και να δουν μία λίστα με τις ήδη καταχωρημένες.

Στην περίπτωση που ο χρήστης καταχωρίσει μόνο την ημερομηνία άρδευσης, χωρίς τον όγκο εφαρμογής, το σύστημα υποθέτει ότι εφαρμόστηκε τόσο νερό ώστε η εδαφική υγρασία να φτάσει στην υδατοϊκανότητα, δηλαδή σε μηδενικό υδατικό έλλειμμα. Αυτή η ποσότητα νερού (m3) εμφανίζεται στη σελίδα «Αναφορά Άρδευσης» με σκοπό την καθοδήγηση του χρήστη και για μελλοντική αναφορά.

Αναφορά άρδευσης

Η σελίδα «Αναφορά Άρδευσης» παρουσιάζει μια σύνοψη των πληροφοριών που καταχώρισε ο χρήστης, σχετικά με την καλλιέργεια, το αρδευτικό σύστημα και την τελευταία άρδευση, μαζί με ένα πίνακα ο οποίος περιλαμβάνει τις σημαντικότερες παραμέτρους του υδατικού ισοζυγίου, σε ωριαία κλίμακα, για την διαθέσιμη περίοδο πρόγνωσης, δηλαδή 72 ώρες.

Αν ο χρήστης τροποποιήσει τις προκαθορισμένες τιμές του αγροτεμαχίου στην ενότητα «Χρήση προσαρμοσμένων παραμέτρων», τότε εμφανίζεται το εξής μήνυμα: «Χρήση προσαρμοσμένων παραμέτρων».

Αρδευτική αποδοτικότητα

Το γράφημα της «Αρδευτικής αποδοτικότητας» παρέχει στους χρήστες τα μέσα για την παρουσίαση και την πρόσβαση σε πληροφορίες σχετικές με την εκτίμηση των υδατικών αναγκών, τις αρδεύσεις που εφαρμόστηκαν και την ενεργό βροχόπτωση για ολόκληρη την αρδευτική περίοδο, δηλαδή από 1 Απριλίου ως 30 Σεπτεμβρίου. Επίσης, τα δεδομένα του

γραφήματος μπορούν να ληφθούν σε αρχείο μορφής «κείμενο οριοθετημένο με κόμματα - csv» για περαιτέρω επεξεργασία.

Επιπλέον, το σύνολο ενεργού βροχόπτωσης (mm) μαζί με την εκτίμηση του IRMA_SYS για το σύνολο των αρδευτικών αναγκών (mm), το σύνολο των αρδεύσεων που πραγματοποιήθηκαν, με βάση τις καταχωρίσεις (mm) και την ποσοστιαία διαφορά τους, είναι διαθέσιμα στον χρήστη για την συγκεκριμένη χρονική περίοδο.

Διαχείριση

Λογαριασμός χρήστη

Για να ενεργοποιηθεί ο λογαριασμός απαιτείται να γίνει επιβεβαίωση email που θα λάβετε από το σύστημα.

Οι εγγεγραμμένοι χρήστες μπορούν να αλλάξουν τα προσωπικά τους στοιχεία, να ορίσουν το διάστημα που θα μεσολαβεί μεταξύ των ειδοποιήσεων και μπορούν να επιλέξουν τον επιτηρητή του λογαριασμού τους από τη λίστα των διαθέσιμων επιτηρητών. Επίσης, μπορούν να εγγραφούν ως δυνητικοί επιτηρητές. Για περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τους επιτηρητές, ανατρέξτε στην ενότητα: «Επιτηρητές άρδευσης»

Μετατροπές

Η σελίδα «Μετατροπές» περιλαμβάνει μια σειρά από χρήσιμα εργαλεία όπως:

- Μετατροπή από mm σε m^3 αρδευτικού νερού και το αντίστροφο, εφόσον παρέχεται η αντίστοιχη επιφάνεια
- Υπολογισμός της διάρκειας άρδευσης σε ώρες (h) σύμφωνα με τα mm του αρδευτικού νερού και την παροχή της αρδευτικής ζώνης (m^3/h)
- Υπολογισμός της παροχής ζώνης (m^3/h) σύμφωνα με τα mm του αρδευτικού νερού και την επιθυμητή διάρκεια άρδευσης σε ώρες (h)

Επιτηρητές άρδευσης

Ο επιτηρητής άρδευσης επιλέγεται από τον ίδιο τον χρήστη, προκειμένου να αποκτήσει πρόσβαση στα αγροτεμάχια που έχει καταχωρήσει στο λογαριασμό του, στο IRMA_SYS.

Κάθε χρήστης του IRMA_SYS έχει τη δυνατότητα να δηλώσει τον εαυτό του ως διαθέσιμο για επιτηρητή άλλων λογαριασμών, από τη σελίδα «Λογαριασμός».

Παρόλα αυτά, σύμφωνα με τη λογική του IRMA_SYS, επιτηρητής πρέπει να είναι:

- Ένας ειδικός των Αρδεύσεων, δηλαδή ένας επιστήμονας στο πεδίο των Αρδεύσεων – Στραγγίσεων
- Ένας πιστοποιημένος επαγγελματίας, ο οποίος θα μπορεί να επιβλέπει ένα αριθμό αγροτών, ως σύμβουλος ή στα πλαίσια ενός συστήματος διασφάλισης ποιότητας (βιολογική γεωργία ή ολοκληρωμένη διαχείριση κλπ.) ή
- Ένας χρήστης του συστήματος με μεγάλη εμπειρία σε θέματα αρδεύσεων και στραγγίσεων.

Μέσω της λίστας που υπάρχει στη σελίδα «Λογαριασμός» ο χρήστης μπορεί να επιλέξει έναν επιτηρητή και να του δώσει πρόσβαση στα αγροτεμάχιά του.

Ο επιτηρητής δεν έχει πρόσβαση σε καμιά άλλη πληροφορία παρά μόνο στα καταχωρημένα αγροτεμάχια στο IRMA_SYS. Ο χρήστης μέσω της σελίδας «Λογαριασμός», μπορεί όποτε επιθυμεί να αφαιρέσει τον επιτηρητή ή να επιλέξει κάποιον διαφορετικό. Ανάλογα μπορεί ένας επιτηρητής να σταματήσει να επιτηρεί ένα χρήστη.

Σε αυτό το πλαίσιο, οι δυνητικοί επιτηρητές και πιστοποιημένοι επαγγελματίες ενθαρρύνονται να καταχωρήσουν τα στοιχεία επικοινωνίας τους μαζί με το όνομα χρήστη του IRMA_SYS στο Forum του συστήματος ώστε οι χρήστες να μπορούν να έρθουν σε επικοινωνία μαζί τους.

Όροι χρήσης

Σύμφωνα με τους όρους χρήσης η ομάδα ανάπτυξης και υποστήριξης του συστήματος δηλώνει τα ακόλουθα:

Ευθύνη

Δεν εγγυόμαστε ότι οι πληροφορίες που δίνουμε στον διαδικτυακό τόπο (π.χ. τα δεδομένα και τα αποτελέσματα των υπολογισμών, οι συμβουλές άρδευσης, κλπ.) είναι σωστές ή ότι είναι κατάλληλες για τις δικές σας συγκεκριμένες ανάγκες. Αν χρησιμοποιήσετε αυτές τις πληροφορίες, το κάνετε αποκλειστικά με δικιά σας ευθύνη.

Μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση

Παίρνουμε κατάλληλα μέτρα για προστασία του συστήματος από μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση και σε μη εξουσιοδοτημένη ανάκτηση ή τροποποίηση δεδομένων. Όμως, δεν εγγυόμαστε ότι δεν πρόκειται να συμβεί τέτοια μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση.

Λειτουργία του συστήματος

Δεν εγγυόμαστε ότι το σύστημα θα συνεχίσει να λειτουργεί ή ότι τυχόν λάθη στη λειτουργία του θα διορθωθούν.

Προσωπικά δεδομένα

Δεν πρόκειται εκουσίως να δημοσιεύσουμε το όνομά σας, το email σας, τα αγροτεμάχιά σας, και γενικά τα δεδομένα που εισάγετε στο σύστημα, ή να τα δώσουμε σε οποιονδήποτε τρίτο. Μπορεί όμως να τα χρησιμοποιήσουμε για να επικοινωνήσουμε μαζί σας σχετικά με τις υπηρεσίες που παρέχει το σύστημα. Αν διαγράψετε το λογαριασμό σας, τα δεδομένα σας μπορεί να παραμείνουν στο σύστημά μας ή σε αντίγραφα ασφαλείας για μέχρι δύο χρόνια από τη στιγμή που διαγράψετε το λογαριασμό σας. Η χρήση των δεδομένων σας από επιτηρητές δεν καλύπτεται από αυτούς τους όρους· όταν ορίζετε έναν άλλο χρήστη ως επιτηρητή σας, αποκτά πρόσβαση σε κάποια από τα δεδομένα σας και το πώς θα τα χρησιμοποιήσει είναι θέμα δικό σας και του επιτηρητή.

Τερματισμός

Διατηρούμε το δικαίωμα να διακόψουμε την πρόσβασή σας στο σύστημα και να διαγράψουμε το λογαριασμό σας χωρίς προηγούμενη ειδοποίηση.

Τροποποίηση των όρων

Έχουμε το δικαίωμα να τροποποιήσουμε αυτούς τους όρους μονομερώς. Σε μια τέτοια περίπτωση, θα σας ενημερώσουμε έγκαιρα για τις επικείμενες αλλαγές και για το πότε οι αλλαγές θα τεθούν σε ισχύ. Αν διαφωνείτε με τις αλλαγές, τότε οφείλετε να διαγράψετε το

λογαριασμό σας και να σταματήσετε να χρησιμοποιείτε το σύστημα. Η συνέχιση της χρήσης του συστήματος μετά το χρόνο κατά τον οποίο οι αλλαγές τίθενται σε ισχύ συνιστά την αποδοχή εκ μέρους σας των τροποποιημένων όρων.

Αξιολόγηση και ανάπτυξη

Για την αξιολόγησή του IRMA_SYS χρησιμοποιούνται πιλοτικοί αγροί όπου γίνονται συστηματικές μετρήσεις του υδατικού ισοζυγίου. Ακόμη συγκεντρώνονται συστηματικά πληροφορίες από τους επιτηρητές και τους χρήστες του συστήματος.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΤΑΡΤΙΣΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

Ανάγκες φυτών σε νερό

Οι ανάγκες των φυτών σε νερό μπορούν να εκτιμηθούν με βάση τα προτεινόμενα από τους Allen κ.α., (1998). Αυτοί προτείνουν δύο μεθοδολογίες από τις οποίες η απλούστερη είναι η μέθοδος Hargreaves (Εξίσωση 15). Η μέθοδος αυτή προτείνεται για χρήση όταν δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα σχετικά με την ηλιακή ακτινοβολία, την σχετική υγρασία, την ταχύτητα του ανέμου.

Εξίσωση 15 Μέθοδος Hargreaves για την εκτίμηση της ΕΤο

$$ET_o = 0,0023 \times (T_{\text{mean}} + 17,8) \times (T_{\text{max}} - T_{\text{min}})^{0.5} \times R_a$$

όπου ΕΤο (εξατμισοδιαπνοή αναφοράς) και R_a (θεωρητική ενέργεια από ηλιακή ακτινοβολία για τον τόπο και το χρόνο που εξετάζεται) σε mm day^{-1} και T (θερμοκρασία, μέση, μέγιστη και ελάχιστη, σε $^{\circ}\text{C}$).

Το R_a μπορεί να εκτιμηθεί με βάση πληροφορίες για το γεωγραφικό πλάτος μίας περιοχής και την ημέρα του έτους. Συνήθως χρησιμοποιούνται αντιπροσωπευτικές ημέρες για κάθε περίοδο που μας εξετάζεται. Η αντιπροσωπευτικές είναι αυτή για την οποία η ακτινοβολία είναι πιο κοντά στη μέση ακτινοβολία για την περίοδο που εξετάζεται.

Η τελική τιμή της ΕΤο που προκύπτει από την Εξίσωση 15 πρέπει να είναι σε mm day^{-1} και για να γίνει αυτό η R_a πολλαπλασιάζεται το $0,408$ αφού $1 \text{ MJ m}^{-2}\text{day}^{-1} = 0,408 \text{ mm day}^{-1}$

Να σημειωθεί ότι σύμφωνα με τους Allen κ.α. (1998) χρειάζεται μία διόρθωση του αποτελέσματος (Εξίσωση 15) με βάση τους ανέμους της κάθε περιοχής.

Βασική λογική προγράμματος άρδευσης και σχετικοί υπολογισμοί

Η κατάρτιση προγράμματος άρδευσης συνίσταται στον υπολογισμό της ποσότητας νερού - διάρκειας των αρδεύσεων και της συχνότητας αυτών.

Για να γίνουν οι σχετικοί υπολογισμοί πρέπει να εκτιμηθούν οι ανάγκες των φυτών σε νερό, οι φυσικές παράμετροι του εδάφους που σχετίζονται με την κίνηση και την αποθήκευση του νερού καθώς και τα χαρακτηριστικά του συστήματος άρδευσης. Από αυτά οι ανάγκες των φυτών σε νερό δεν είναι σταθερές κατά τη διάρκεια της αρδευτικής περιόδου, λόγω αλλαγών στην φυσιολογία των φυτών και λόγω αλλαγών στις καιρικές συνθήκες.

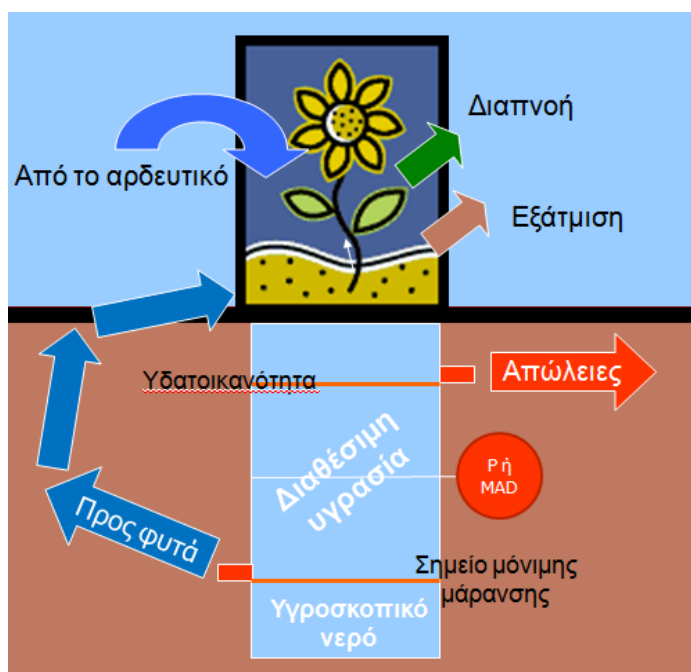
Όσο αφορά την γεωργία, οι ανάγκες των φυτών σε νερό, η συμπεριφορά των εδαφών και η αποτελεσματικότητα των δικτύων άρδευσης έχουν μελετηθεί σε μεγάλη έκταση (τόσο στο εργαστήριο όσο και στον αγρό) για την πλειονότητα των καλλιεργούμενων ειδών.

Στο έδαφος μπορούμε να δώσουμε μία μέγιστη δόση σε κάθε άρδευση, το μέγεθος της οποίας εξαρτάται από:

- την υγρασία του εδάφους και
- την καλλιέργεια μέσω του βάθους του ενεργού ριζοστρώματος και το μετά από ποιο ποσοστό εξάντλησης της διαθέσιμης υγρασίας πρέπει να γίνει ξανά άρδευση (δεν την εξαντλούμε ποτέ όλη -το ποσοστό έχει βρεθεί από μελέτες που αφορούν

την διατήρηση της παραγωγικότητας στο βέλτιστο- γιατί τότε θα φτάναμε και επικίνδυνα κοντά στο σημείο μόνιμης μάρανσης και θα είχαμε μείωση παραγωγής)

Σύμφωνα με την τυπική προσέγγιση κατάρτισης προγράμματος άρδευσης, η καλλιέργεια θεωρείται ως μία ομοιογενής αρδευτική ζώνη (Παρατήρηση 1) τόσο όσο αφορά τις ανάγκες των φυτών σε νερό όσο και το έδαφος (κλίση, μηχανική κατάσταση).



Εικόνα 2 Βασικές έννοιες άρδευσης (πηγή: Τσιρογιάννης Ι., 2007)

Παρατήρηση 1 Διαφορά μεταξύ αρδευτικής ζώνης και στάσης

Αν κάποιος από τους βασικούς παράγοντες που επηρεάζουν το πρόγραμμα αλλάζει σε μία περιοχή του αγρού τότε για εκείνη την περιοχή πρέπει να οριστεί μία ζώνη άρδευσης. Για παράδειγμα αν σε ένα αγρό δέκα στρεμμάτων, τα πέντε στρέμματα έχουν φυτευτεί με ακτινίδια πριν από 10 έτη ενώ στα υπόλοιπα πέντε έγινε φύτευση πριν ένα έτος. Προφανώς οι ανάγκες των φυτών σε νερό είναι διαφορετικές για την κάθε μία από τις περιοχές αυτές και αυτό οδηγεί στην κατάρτιση διαφορετικού προγράμματος άρδευσης για την κάθε μία. Η ανάγκη για εφαρμογή δύο διαφορετικών προγραμμάτων άρδευσης σημαίνει ότι ο αγρός αποτελείται από δύο αρδευτικές ζώνες. Σε κάθε ζώνη θα αντιστοιχεί ανεξάρτητο τμήμα του αρδευτικού συστήματος, μια και μόνο έτσι μπορεί να εφαρμοστεί εύκολα διαφορετικό πρόγραμμα άρδευσης.

Αν η διαθέσιμη παροχή δεν επαρκεί ώστε να αρδεύεται μία ζώνη ταυτόχρονα στο σύνολό της, τότε τη χωρίζουμε σε στάσεις για κάθε μία από τις οποίες εφαρμόζεται το πρόγραμμα της ζώνης στην οποία ανήκει. Στο πλαίσιο του παραδείγματος που αναφέρθηκε, αν η διαθέσιμη παροχή είναι $5 \text{ m}^3/\text{h}$ και για την εφαρμογή του προγράμματος άρδευσης στη ζώνη με τα παλαιά δένδρα χρειάζεται παροχή $10 \text{ m}^3/\text{h}$, ενώ για τη ζώνη με τα νεόφυτα χρειάζεται παροχή $5 \text{ m}^3/\text{h}$, τότε η ζώνη με τα παλαιά δένδρα πρέπει να χωριστεί σε 2 στάσεις ενώ δεν υπάρχει αντίστοιχη ανάγκη για την ζώνη με τα νεόφυτα (στο μέλλον θα χρειαστεί, τώρα όχι).

Ο θεωρητικός υπολογισμός βασίζεται στα ακόλουθα:

- στις μηχανικές ιδιότητες του εδάφους,
- στο βάθος ριζοστρώματος ,
- στην εξατμισοδιαπνοή ,
- στην ενεργό βροχόπτωση και
- στην αποτελεσματικότητα του δικτύου άρδευσης

Η δόση άρδευσης προκύπτει από την Εξίσωση 16. Η δόση αυτή μπορεί να δοθεί με ένα μέγιστο ρυθμό που εξαρτάται από τη διηθητικότητα του εδάφους. Η ποσότητα νερού που χορηγείται στα φυτά σε κάθε άρδευση ονομάζεται δόση άρδευσης. Για να φτάσει στα φυτά η ποσότητα πρέπει συνήθως να ρίξουμε κάτι παραπάνω λόγω του ότι το σύστημα έχει απώλειες (δεν είναι 100% αποτελεσματικό). Από το νερό που είναι διαθέσιμο στα φυτά μετά από κάθε πότισμα ποσότητα ίση με την ημερήσια υδατοκατανάλωση καταναλώνεται κάθε μέρα υπό ιδανικές συνθήκες. Ακόμη όταν κάνουμε μία γενική μελέτη προγράμματος άρδευσης με βάση ιστορικά κλιματικά δεδομένα, συχνά θεωρούμε ότι υπάρχει ομοιόμορφη κατανομή των βροχοπτώσεων, η ενεργός ποσότητα νερού των οποίων αφαιρείται από την ημερήσια υδατοκατανάλωση (δηλαδή κάτι σα να βρέχει το μέσο ημερήσιο όρο κάθε ημέρα, βέβαια αυτό δεν μπορεί να συμβεί στην πραγματικότητα, η υπόθεση αυτή μπορεί να παραληφθεί θεωρώντας μηδενική τη βροχόπτωση κατά τον υπολογισμό του έτσι και αλλιώς θεωρητικού προγράμματος άρδευσης έχοντας κατά νου ότι στην πράξη εάν βρέξει απλά δεν θα γίνει άρδευση –ή χρήση αισθητήρων βροχής-).

Εξίσωση 16 Δόση άρδευσης

$$I_d = \theta_{FC-PW} \times d_e \times MAD \times Ps / IE$$

όπου:

I_d : Δόση εφαρμογής άρδευσης (mm)

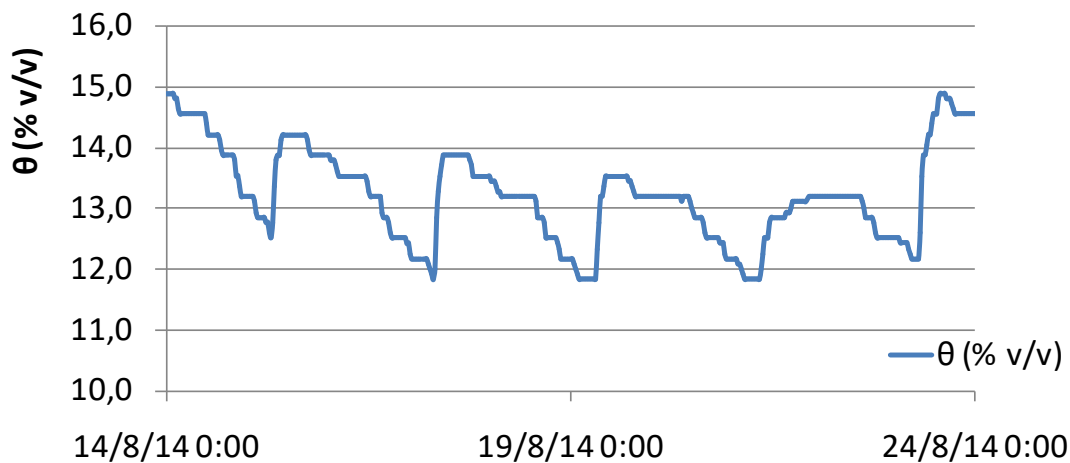
θ_{fc-pw} : Διαθέσιμη υγρασία του εδάφους (% κατ'όγκο, ίση με υδατοικανότητα-σημείο μάρανσης)

D_e : Βάθος ενεργού ριζοστρώματος (mm)

MAD (ή P): Συντελεστής εξάντλησης διαθέσιμης υγρασίας (επιτρεπόμενη μείωση υγρασίας ώστε να μην έχουμε καταπόνηση που μπορεί π.χ. να οδηγήσει σε μείωση παραγωγής).

Ps: Το ποσοστό διαβροχής του εδάφους εκφρασμένο ως κλάσμα του ολικού όγκου του εδάφους που υγραίνεται (για καταιονισμό, Ps=1)

IE: Αποτελεσματικότητα άρδευσης (κυμαίνεται από 50% για επιφανειακή άρδευση έως 95% για υπόγεια άρδευση με σταγόνες).



Εικόνα 3 Ενδεικτική διακύμανση εδαφικής υγρασίας σε αρδευόμενο αγρό

Το εύρος άρδευσης, πόσο καιρός πρέπει να περάσει έως ότου καταναλωθεί η ποσότητα του νερού της δόσης και πρέπει γίνει ξανά άρδευση, προκύπτει από την Εξίσωση 17.

Εξίσωση 17 Εύρος άρδευσης

$$F = \frac{I_d \cdot IE}{ET_{Cday}}$$

όπου:

I_d : δόση άρδευσης σε (mm ή m^3 /στρέμμα)

ET_{Cday} : ημερήσια υδατοκατανάλωση (mm/day)

IE : αποτελεσματικότητα άρδευσης (κυμαίνεται από 50% για επιφανειακή άρδευση έως 95% για υπόγεια άρδευση με σταγόνες)

Πολλές φορές το θεωρητικά υπολογισμένο εύρος άρδευσης σε ημέρες δεν είναι πρακτικά εφαρμόσιμο νούμερο π.χ. 2,9 επομένως αποφασίζουμε εμείς κάποιο πρακτικό εύρος (πάντα μικρότερο του θεωρητικού) π.χ. 2. Αν βάζαμε μεγαλύτερο έπρεπε να ρίξουμε μεγαλύτερη δόση εφαρμογής ώστε να καλύπτουν τα φυτά ανάγκες περισσότερων ημερών άρα θα "εκβιάζαμε" το έδαφος να απορροφήσει μεγαλύτερη καθαρή δόση από αυτή που μπορεί ή από την άλλη μπορεί η εδαφική υγρασία να πέσει κάτω από το όριο που θέλουμε, όμως αυτό θα οδηγήσει σε πρόβλημα. Έτσι προκύπτει μία νέα δόση εφαρμογής (που θα είναι μικρότερη από τη θεωρητική, Εξίσωση 18).

Εξίσωση 18 Πρακτικό εύρος και δόση

$$I_d = \frac{F \cdot ET_{Cday}}{IE}$$

Αν πολλαπλασιάσουμε την δόση αυτή με την επιφάνεια που αντιστοιχεί σε κάθε στάση έχουμε τον όγκο νερού σε κάθε στάση σε κάθε πότισμα.

Όσο αφορά το χρόνο που διαρκεί κάθε άρδευση, θέλουμε να χορηγούμε νερό με ρυθμό το πολύ όσο η τελική ταχύτητα διήθησης (απλοποίηση που μπορεί να γίνει αποδεκτή για πρακτικούς λόγους) επομένως διαιρώντας την ποσότητα νερού κάθε άρδευσης που φθάνει στο έδαφος (I_d/IE) με την τελική ταχύτητα διήθησης (i_f) παίρνουμε ως αποτέλεσμα το μέγιστο χρόνο που πρέπει να διαρκέσει η άρδευση.

Ο χρόνος αυτός είναι ουσιαστικά κάτω όριο στον χρόνο άρδευσης. Αν χρησιμοποιηθεί μικρότερος χρόνος για να χορηγηθεί το νερό η ένταση διαβροχής θα είναι μεγαλύτερη από το ρυθμό με τον οποίο μπορεί να απορροφήσει νερό το έδαφος και θα είχα επιφανειακή συσσώρευση και επιφανειακή απορροή έστω και με την παραμικρή κλίση (απώλεια νερού).

Εξίσωση 19 Ελάχιστη διάρκεια άρδευσης (δεν απαιτείται η γνώση της παροχής του συστήματος)

$$RT_{\min} = \frac{I_d}{i_f}$$

όπου:

RTmin σε h (x60 σε min)

I_d : η δόση άρδευσης (mm)

i_f : τελική ταχύτητα διήθησης (mm h^{-1})

Ανάλογα με τη συνολική παροχή των εξόδων του συστήματος (γιατί δεν μπορούμε να κάνουμε πρόγραμμα με θεωρητική παροχή) προκύπτει η πραγματική διάρκεια άρδευσης που πρέπει να είναι ίση ή μεγαλύτερη του κάτω ορίου που υπολογίστηκε. Αν δεν είναι, πρέπει να επιλεγούν εξοδοί (εκτοξευτήρες ή σταλάκτες) με μικρότερη παροχή (να δίνουν πιο αργά το νερό).

Αυτό που πρέπει να τονιστεί είναι ότι οι χρόνοι που προκύπτουν είναι ουσιαστικά όρια, το τι θα επιλεγεί στο τέλος έχει να κάνει με τη στρατηγική της άρδευσης. Π.χ. βρίσκουμε εύρος 5 ημέρες και αποφασίζουμε να ποτίζουμε κάθε μέρα (με μικρότερη τελική δόση προφανώς) αυτό μπορεί να οδηγήσει τα φυτά π.χ. γρασίδι στην ανάπτυξη αβαθούς ριζικού συστήματος και να τα κάνει ευάλωτα σε πιθανή ξηρασία.

Εξίσωση 20 Διάρκεια άρδευσης εάν γνωρίζουμε την παροχή του συστήματος

$$RT = \frac{I_d / IE}{PR} = \frac{(I_d / IE) \times A}{\sum Q} \quad RT > RT_{\min}$$

όπου:

RT min και RT σε h(x60 σε min)

I_d : Η δόση άρδευσης (mm)

I_f : Τελική ταχύτητα διήθησης (mm h^{-1})

IE: Βαθμός απόδοσης άρδευσης (κυμαίνεται από 50% για επιφανειακή άρδευση έως 95% για υπόγεια άρδευση με σταγόνες)

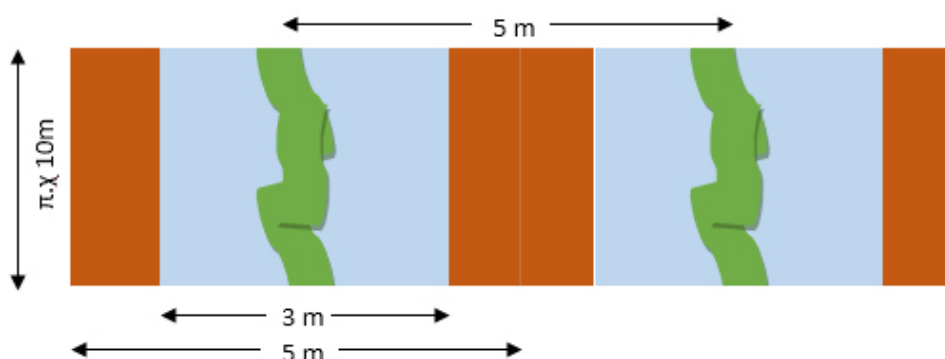
PR: Ένταση (ρυθμός) διαβροχής.

A: Αρδευόμενη επιφάνεια (m²)

ΣQ: Συνολική παροχή συστήματος αρδευτικής ζώνης (m³ h⁻¹ εάν γνωρίζουμε τα χαρακτηριστικά των εξόδων)

Παρατήρηση 2 Αρδευόμενη επιφάνεια

Η αρδευόμενη επιφάνεια (ή εμβαδό που διαβρέχεται) δεν είναι κατ'ανάγκη ίση με το σύνολο της επιφάνειας του αγροτεμαχίου. Για παράδειγμα σε ένα αγρό με τριφύλλι όπου η καλλιέργεια καλύπτει το σύνολο της επιφάνειας του αγροτεμαχίου και η άρδευση γίνεται με τεχνητή βροχή ώστε να διαβρέχεται όλη η καλλιέργεια, τότε η αρδευόμενη επιφάνεια ταυτίζεται με το σύνολο της επιφάνειας του αγροτεμαχίου. Από την άλλη σε μία γραμμική καλλιέργεια με ακτινίδια όπου για παράδειγμα οι γραμμές φύτευσης απέχουν μεταξύ τους 5m και αρδεύεται με μικροεκτοξευτήρες που έχουν διάμετρο διαβροχής 3m και δημιουργούν μία συνεχή ζώνη διαβροχής κατά μήκος των γραμμών φύτευσης τότε η αρδευόμενη έκταση είναι μικρότερη από το σύνολο της επιφάνειας του αγροτεμαχίου (μάλιστα για το συγκεκριμένο παράδειγμα με το ακτινίδιο η αρδευόμενη επιφάνεια θα είναι το 60% της συνολικής επιφάνειας (Εικόνα 4, υπολογισμοί για π.χ. ένα ενδεικτικό μήκος γραμμής φύτευσης ίσο με 10m: $[(10m \times 3m)/(10m \times 5m)] \times 100\% = 60\%$).



Εικόνα 4 Παράδειγμα υπολογισμού αρδευόμενης έκτασης όταν δεν διαβρέχεται το σύνολο του αγροτεμαχίου

Για την περίπτωση άρδευσης με σταλακτηφόρους, η διάρκεια άρδευσης δίνεται από την Εξίσωση 21.

Εξίσωση 21 Διάρκεια άρδευσης για την περίπτωση αρδευτικού συστήματος με σταλακτηφόρους αγωγούς

$$RT = \frac{(I_d / IE) \cdot S_\Phi S_\gamma}{n \cdot q}$$

I_d: Δόση εφαρμογής σε (mm=m³/στρέμμα ή l/m²)

n, q : Αριθμός σταλακτών ανά φυτό και παροχή σταλάκτη (l/h)

S_{ϕ}, S_{γ} : Αποστάσεις μεταξύ φυτών επί της γραμμής και γραμμών εφαρμογής (m)

Παρατήρηση 3 Μειωτικοί συντελεστές

Το P (ποσοστό διαβροχής του εδάφους εκφρασμένο ως κλάσμα του ολικού όγκου του εδάφους που υγραίνεται) είναι ουσιαστικά ένας μειωτικός συντελεστής που έχει πρακτική εφαρμογή στην στάγδην άρδευση (για καταιονισμό, $P=1$). Για αυτόν, υπάρχουν εκτιμήσεις από πειραματικά δεδομένα.

Άλλες προσεγγίσεις, στο πλαίσιο του ότι, στη στάγδην άρδευση παρατηρείται μια μείωση των αναγκών που οφείλεται στο γεγονός ότι αρδεύεται ένα τμήμα μόνο του εδάφους, προτείνουν αντί του P να γίνεται μία μείωση του ET_{cday} . Η μείωση αυτή ονομάζεται μείωση λόγω συστήματος και εκφράζεται από την εμπειρική σχέση:

$ET_{cday}: ET_{cday} * r$ με $r = SP/85 < 1$ όπου:

ET_{cday} : η ημερήσια υδατοκατανάλωση

SP : το ποσοστό της επιφάνειας του εδάφους που σκιάζεται από τα φυτά κατά τις μεσημβρινές ώρες

τυπικές τιμές του r είναι από 0,6 έως 0,9

Προφανώς θα εφαρμόζεται ή μία μείωση ή η άλλη.

Παρατήρηση 4 Προβλήματα αλατότητας: έκπλυση

Αν υπάρχει πρόβλημα αλατότητας θα πρέπει να αυξηθεί τη δόση εφαρμογής με βάση το συντελεστή:

$Leaching\ fraction = EC_{actual} / EC_{opt}$ όπου EC_{actual} και EC_{opt} η υφιστάμενη και η ιδανική αντίστοιχα, ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού άρδευσης.

Αυτό έχει ως σκοπό είτε σε κάθε άρδευση είτε ανά κάποιες αρδεύσεις να γίνεται έκπλυση των αλάτων του νερού άρδευσης που έχουν μείνει στο εδαφικό σύμπλοκο.

Παρατήρηση 5 Βροχόπτωση

Στη μελέτη υδρολογικού ισοζυγίου λαμβάνουμε υπόψη την βροχόπτωση. Στο πλαίσιο κατάρτισης ενός προγράμματος άρδευσης δεν λαμβάνουμε υπόψη βροχόπτωση. Αν προβλέπεται ή αν προκύψει βροχή προφανώς θα αναβληθεί ή άρδευση.

Όρια χρήσης νερού για άρδευση με βάση την Κ.Υ.Α. Φ16/6631/89 (ΦΕΚ 428 Β / 1989)

Μία σχετικά παλαιά απόφαση του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων - ΥΠΑΑΤ (Φ.16/6631, ΦΕΚ 428/Β/2-6-1989) περιλαμβάνει δεδομένα σχετικά με τις την αρδευτική περίοδο και τα όρια χρήσης αρδευτικού νερού βασικών καλλιεργειών στα υδατικά

διαμερίσματα της Ελλάδας, λαμβάνοντας υπόψη και την αποτελεσματικότητα των συστημάτων άρδευσης.

Τα όρια αυτά αντιπροσωπεύουν το νερό που πρέπει να δεχθεί μία καλλιέργεια για να καλύψει τις ανάγκες της σε νερό και έχουν υπολογιστεί με βάση τη μέθοδο Blaney Criddle. Το νερό αυτό η καλλιέργεια θα το λάβει μέσω της βροχής (ενεργός βροχόπτωση) και μέσω της άρδευσης.

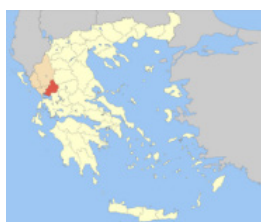
Το Υπουργείο έχει αναγνωρίσει –μέσω της απόφασης του 1989 αλλά και με μία απόφαση του 1992- την ανάγκη συστηματικής έρευνας σχετικά με τις ανάγκες των καλλιεργειών σε νερό με βάση νέες μεθοδολογίες καθώς και την ενημέρωση των καλλιεργητικών συντελεστών.

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Η περιοχή εφαρμογής

Η Περιφέρεια Ηπείρου βρίσκεται στο βορειοδυτικό τμήμα της Ελλάδας. Η Περιφερειακή Ενότητα Άρτας καταλαμβάνει το ΝΑ τμήμα της Περιφέρειας Ηπείρου στην οποία ανήκει γεωγραφικά και διοικητικά. Η συνολική έκταση της Π.Ε Άρτας αντιστοιχεί στο 18,06% της Περιφέρειας Ηπείρου και στο 1,21% της Ελλάδας.

Το μεγαλύτερο ποσοστό του εδάφους της Περιφερειακής Ενότητας Άρτας είναι ορεινό και αντιστοιχεί στο 70,4% του συνολικού εδάφους ενώ το 18,6% είναι πεδινό και το 11% ημιορεινό. Σύμφωνα με την μορφολογία του εδάφους, η πεδινή ζώνη καλύπτει συνολική έκταση 396.000 στρεμμάτων από την οποία καλλιεργούνται τα 185.00 στρέμματα, η ημιορεινή με συνολική έκταση 176.000 στρέμματα από την οποία καλλιεργούνται τα 45.000 στρέμματα και η ορεινή με συνολική έκταση 1.090.000 στρέμματα από την οποία καλλιεργούνται τα 105.000 στρέμματα.



Εικόνα 5 Η πεδιάδα της Άρτας (πηγή: Εργαστήριο Γ. Μηχανικής & Διαχ. Φυσικών Πόρων ΤΕΙ Ηπείρου - ΕΟΧ 2009-2014 Έργο: Ανοξική ζώνη του Αμβρακικού κόλπου: αποτύπωση, επιπτώσεις και διαχείριση)

Η πεδιάδα της Άρτας είναι η μεγαλύτερη πεδιάδα της Ηπείρου. Απαριθμεί 160.000 στρέμματα καλλιεργήσιμης γης με κύριες καλλιέργειες τα πορτοκάλια, τα μανταρίνια, τα ακτινίδια και τις ελιές αλλά και φυτά μεγάλης καλλιέργειας όπως τη μηδική.

Το κλίμα της περιοχής

Τα μετεωρολογικά στοιχεία που παρουσιάζονται προέρχονται από την ΕΜΥ (2017α) αφορούν τα έτη 1976-1997. Το κλίμα της περιοχής της Άρτας, με ξηρό θέρος, υγρό αλλά όχι ψυχρό χειμώνα χαρακτηρίζεται σαν ήπιο μεσογειακού τύπου.

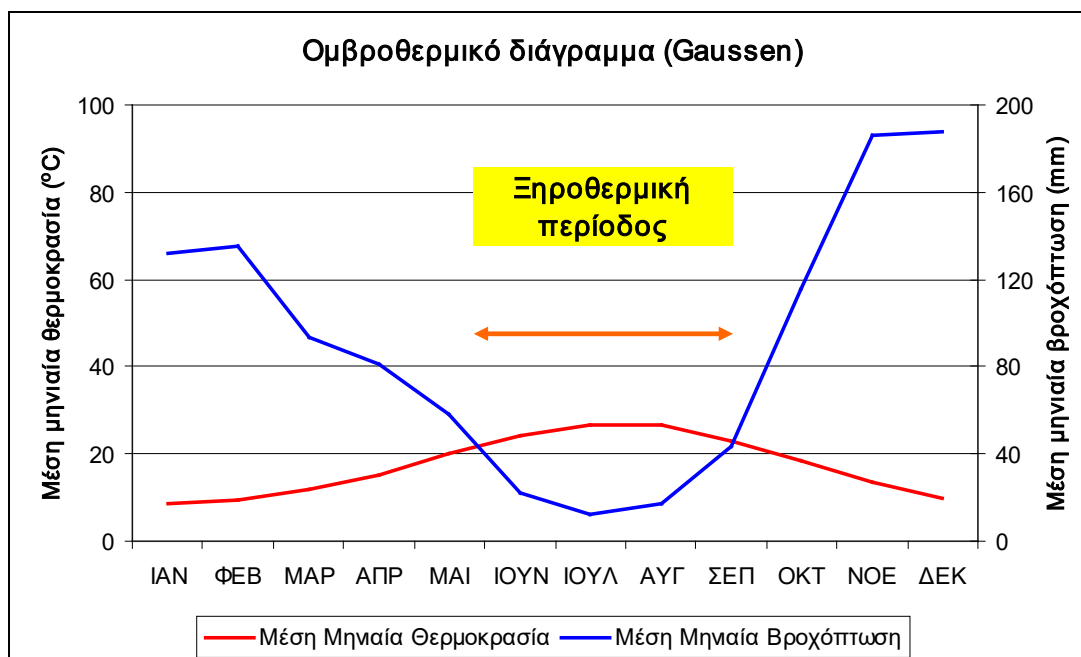
Τα κλιματικά στοιχεία μιας περιοχής παρουσιάζουν πάντοτε διακυμάνσεις μέσα στον χρόνο, κατά τις οποίες φθάνουν σε απόλυτα μέγιστες και απόλυτα ελάχιστες τιμές. Είναι φυσικό όμως ότι, για να πλησιάζουν τις πραγματικές τιμές, μέσα στις οποίες διακυμαίνεται το στοιχείο αυτό, απαιτείται σειρά μακράς χρονικής περιόδου κλιματικών παρατηρήσεων. Η γνώση των απόλυτα μέγιστων και ελάχιστων τιμών της θερμοκρασίας έχει μεγάλη σημασία, τόσο από κλιματικής άποψης, όσο και από πρακτικής εφαρμογής.

Η ηλιοφάνεια φθάνει περίπου τις 2500 ώρες το χρόνο. Ο μέσος ετήσιος αριθμός ημερών ηλιοφάνειας ανέρχεται σε 121,1 ημέρες. Απόλυτα ελάχιστες θερμοκρασίες σημειώνονται συνήθως τον Ιανουάριο και οι απόλυτα μέγιστες θερμοκρασίες σημειώνονται τους ξηροθερμικούς μήνες, δηλαδή τον Ιούλιο και τον Αύγουστο.

Σε γενικές γραμμές η ετήσια πορεία της σχετικής υγρασίας ακολουθεί την ετήσια πορεία των βροχών και είναι αντίστροφη σχεδόν με την ετήσια πορεία της θερμοκρασίας και της ηλιοφάνειας. Οι βροχές στην περιοχή διακρίνονται από άνιση κατανομή στην διάρκεια του έτους, χαρακτηριστικό εξάλλου του Μεσογειακού κλίματος. Έτσι διαμορφώνονται δύο τελείως διαφορετικές περίοδοι, μια πολύομβρη από τα μέσα του φθινοπώρου μέχρι τα μέσα της άνοιξης και μια σχεδόν άνομβρη το θέρος. Οι πρώτες βροχές συμβαίνουν συνήθως στα μέσα Σεπτεμβρίου ή αργότερα στα νότια πεδινά. Συνήθως ακολουθεί μια μικρή περίοδος με ηλιόλουστες και σχετικά ζεστές φθινοπωρινές ημέρες, το γνωστό μικρό καλοκαιράκι και από τα μέσα σχεδόν του Οκτωβρίου αρχίζουν οι έντονες και παρατεταμένες βροχές, που διατηρούνται μέχρι τα μέσα της άνοιξης σχεδόν. Από τον Οκτώβριο και μέχρι τον Ιανουάριο οι βροχές είναι άφθονες.

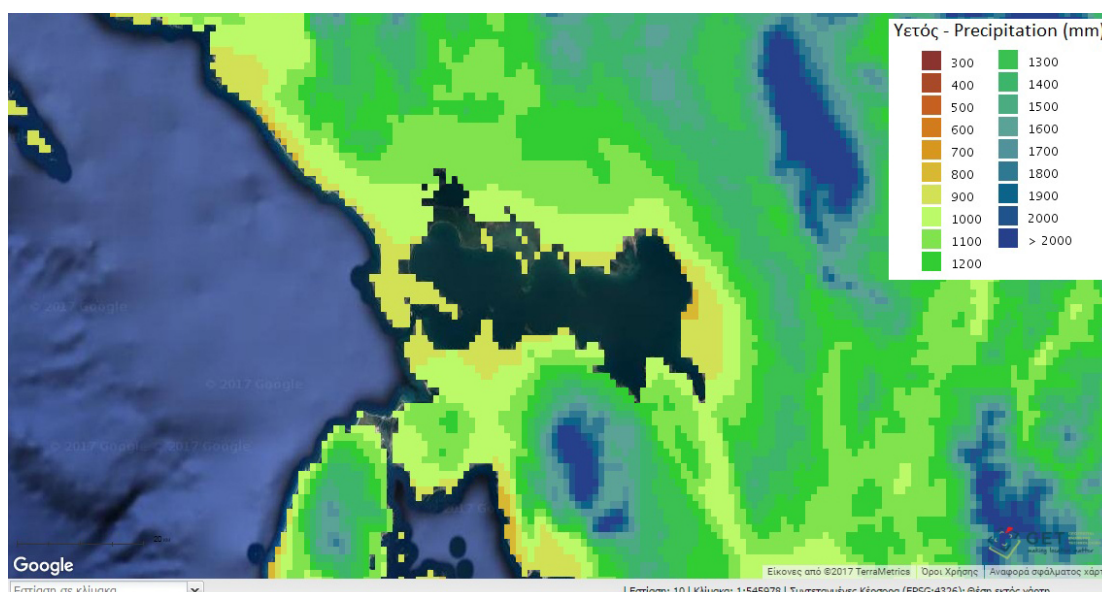
Όσο αφορά τη σχετική υγρασία, το μέγιστο σημειώνεται συνήθως κατά το Νοέμβριο και τον Δεκέμβριο που επικρατούν υψηλές βροχοπτώσεις και νότιοι άνεμοι. Το ελάχιστο σημειώνεται τον Ιούλιο και τον Αύγουστο. Από τον Ιανουάριο η σχετική υγρασία αρχίζει προοδευτική ελάττωση, η οποία γίνεται αλματώδης στο δίμηνο Μαΐου και Ιουνίου, και λαμβάνει τις μικρότερες τιμές τον Ιούλιο και τον Αύγουστο. Ο Ιούλιος και ο Αύγουστος διαφέρουν ελάχιστα και από το Σεπτέμβριο αρχίζει αλματώδης άνοδος μέχρι τα τέλη Νοεμβρίου. Κατά το Δεκέμβριο υπάρχει ελαφρά κάμψη της τιμής της υγρασίας και από τον Ιανουάριο αρχίζει προοδευτικά η ελάττωση. Το φαινόμενο δροσιάς παρατηρείται συνήθως την άνοιξη και στις αρχές φθινοπώρου, ενώ της πάχνης από τα μέσα φθινοπώρου μέχρι την αρχή της άνοιξης και ειδικότερα κατά τις πρωινές ώρες. Η ομίχλη παρουσιάζεται συνήθως τους φθινοπωρινούς και χειμερινούς μήνες και κυρίως τις νυχτερινές και πρωινές ώρες. Ολικόι παγετοί δεν παρατηρούνται στην περιοχή παρά μόνο μερικοί που διαρκούν λίγες ώρες και εμφανίζονται από τον Νοέμβριο μέχρι τον Μάρτιο και κυρίως τον Ιανουάριο με Φεβρουάριο. Οι ημέρες παγετού το χρόνο ανέρχονται σε 12,4 κατά μέσω όρο. Ζημιές από παγετούς παρατηρούνται μόνο στα εσπεριδοειδή για τα οποία λαμβάνονται μέτρα προστασίας. Χαλαζόπτωση παρατηρείται σπανίως κατά φθινοπωρινούς μήνες, είναι μικρής διάρκειας και με κόκκους μικρής διαμέτρου. Στην περιοχή επικρατούν βορειοανατολικοί

άνεμοι και η ένταση τους κυμαίνεται από 4,6 μέχρι και 6,5 Beaufort (EMY, 2017α). Με βάση τα δεδομένα της EMY (2017α) μπορούμε να σχεδιάσουμε το ομβροθερμικό διάγραμμα (ή κλιματόγραμμα) από το οποίο προκύπτει ότι η ξηροθερμική εκτείνεται από Μαίο έως Σεπτέμβριο.



Εικόνα 6 Ομβροθερμικό διάγραμμα (κλιματόγραμμα) Άρτας (με βάση δεδομένα από EMY, 2017α)

Αξίζει να αναφερθεί ότι τα τελευταία έτη έχει αναπτυχθεί από την EMY (2017β) ο Κλιματικός άτλαντας της Ελλάδας, από τον οποίο μπορούν να αντληθούν πολλά χρήσιμα κλιματολογικά δεδομένα.



Εικόνα 7 Χάρτης βροχόπτωσης (EMY, 2017β)

Πίνακας 2 Επιλεγμένα κλιματικά δεδομένα για την Άρτα (ΕΜΥ, 2017α)

Μήνας	Θερμοκρασίες περιόδου αναφοράς (π.χ. μήνα)		
	Tmin data	Tmax data	Tmean
	°C	°C	°C
Ιαν	4,70	13,30	8,70
Φεβ	5,20	14,00	9,40
Μαρ	7,00	16,70	11,90
Απρ	9,90	20,10	15,20
Μαϊ	13,90	25,00	19,90
Ιουν	17,30	29,10	24,00
Ιουλ	19,50	31,80	26,50
Αυγ	19,90	32,00	26,50
Σεπ	17,10	29,00	23,10
Οκτ	13,40	24,10	18,30
Νοε	9,40	19,00	13,50
Δεκ	6,00	14,90	9,90

Υπολογισμός εξατμισοδιαπνοής αναφοράς

Οι ανάγκες των φυτών σε νερό εκτιμήθηκαν με βάση την μέθοδο Hargreaves (Εξίσωση 15, Allen κ.α., 1998). Η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς εκτιμήθηκε σε μηνιαία βάση. Πρέπει να τονιστεί ότι αφού η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς εξαρτάται από τον τόπο και το κλίμα θα είναι ίδια για όλες τις καλλιέργειες που εξετάζονται.

Το γεωγραφικό πλάτος των αγροτεμαχίων λήφθηκε ίδιο για όλα και ίσο με 39,12° (39°, 7' και 12'' ή 0,68 rad)

Με βάση τα δεδομένα που περιέχει ο Πίνακας 2 και με θεωρητικό υπολογισμό της R_a για την αντιπροσωπευτική ημέρα κάθε μήνα, εκτιμήθηκε η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς (Πίνακας 3). Δεν έγινε διόρθωση για τον άνεμο όπως προτείνουν οι Allen et al. (1989).

Πίνακας 3 Εκτίμηση εξατμισοδιαπνοής αναφοράς

Μήνας	Υπολογισμός ακτινοβολίας για χαρακτηριστική ημέρα της περιόδου αναφοράς					Εξατμισοδιαπνοή αναφοράς
	Αριθμός ημέρας	dr	δ	ws	R_a	ET_o
	day no	rad	rad	rad	$MJ\ m^{-2}\ day^{-1}$	$mm\ day^{-1}$
Ιαν	18	1,03	0,36	1,26	15,91	1,16
Φεβ	46	1,02	0,23	1,38	20,88	1,58
Μαρ	75	1,01	0,04	1,54	27,90	2,42
Απρ	105	0,99	0,17	1,71	34,90	3,45

Μήνας	Υπολογισμός ακτινοβολίας για χαρακτηριστική ημέρα της περιόδου αναφοράς					Εξατμισοδιαπνοή αναφοράς
	Αριθμός ημέρας	dr	δ	ωs	R _a	ET _o
	day no	rad	rad	rad	MJ m ⁻² day ⁻¹	mm day ⁻¹
Μαϊ	135	0,98	0,33	1,85	39,78	4,69
Ιουν	162	0,97	0,40	1,92	41,73	5,62
Ιουλ	199	0,97	0,37	1,89	40,55	5,91
Αυγ	229	0,98	0,23	1,76	36,45	5,27
Σεπ	259	0,99	0,03	1,60	30,02	3,97
Οκτ	289	1,01	-	1,43	22,70	2,52
Νοε	318	1,02	-	1,29	16,94	1,54
Δεκ	345	1,03	-	1,22	14,25	1,11

Όρια χρήσης νερού για άρδευση στην περιοχή με βάση την Κ.Υ.Α. Φ16/6631/89 (ΦΕΚ 428 Β / 1989)

Ο Πίνακας 4 παρουσιάζει τα όρια χρήσης αρδευτικού νερού ανά κατηγορία καλλιεργειών σε κυβικά μέτρα ανά στρέμμα καλλιεργούμενης έκτασης (ή mm) για ολόκληρο τον αντίστοιχο μήνα για το υδατικό διαμέρισμα Ηπείρου.

Οι κατηγορίες καλλιεργειών ορίζονται σύμφωνα με τον καλλιεργητικό συντελεστή K ως εξής:

- Κατηγορία Ι με K = 0,55 περιλαμβάνει ελιές, εσπεριδοειδή
- Κατηγορία VI με K = 0,80 περιλαμβάνει το ακτινίδιο

Πίνακας 4 Ανάγκες σε αρδευτικό νερό ανά κατηγορία καλλιεργειών για το υδατικό διαμέρισμα Ηπείρου σύμφωνα με την Κ.Υ.Α. Φ16/6631/89 (ΦΕΚ 428 Β / 1989).

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	I	VI
ΜΗΝΑΣ		
Απρίλης	33-34	48-64
Μάιος	63-80	92-116
Ιούνιος	88-107	128-156
Ιούλιος	102-121	148-176
Αύγουστος	96-115	140-168
Σεπτέμβριος	52-69	76-100

Για να βρεθεί το πραγματικό όριο οι ποσότητες του πίνακα πρέπει να διαιρεθούν με την αποτελεσματικότητα που προβλέπει για κάθε σύστημα άρδευσης η ΚΥΑ. Για μικρά συστήματα με μικροεκτοξευτήρες όπου η μεταφορά νερού γίνεται από μικρή απόσταση (π.χ. γεώτρηση στον ίδιο αγρό), η ΚΥΑ προτείνει συντελεστή αποτελεσματικότητας ίσο με 0,85. Επομένως όλες οι τελικές τιμές του πίνακα θα είναι υψηλότερες.

Όπως αναφέρθηκε ήδη, τα όρια αυτά αντιπροσωπεύουν το νερό που πρέπει να δεχθεί μία καλλιέργεια για να καλύψει τις ανάγκες της σε νερό. Το νερό αυτό θα το λάβει μέσω της βροχής (ενεργός βροχόπτωση) και μέσω της άρδευσης.

Παρατήρηση 6 – Μετατροπή από mm σε m³

Για να μετατραπεί η τιμή από mm σε m³, θα πρέπει να πολλαπλασιαστεί με την αρδευόμενη επιφάνεια. Σχετικά με την αρδευόμενη επιφάνεια έγινε διευκρίνιση στην Παρατήρηση 2

Η προσέγγιση της αξιολόγησης

Το συλλογικό σύστημα υποβοήθησης αποφάσεων σχετικά με την άρδευση που λειτουργεί σε επιχειρησιακό επίπεδο από την αρδευτική περίοδο του 2016 στην πεδιάδα της Άρτας μπορεί να αξιοποιηθεί και για εκπαιδευτικούς σκοπούς.

Ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει εικονικά (virtual) αγροτεμάχια ή αρδευτικές ζώνες και να παρακολουθήσει την εξέλιξη μίας ή περισσότερων αρδευτικών περιόδων σύμφωνα με την πληροφορία που δίνει το σύστημα.

Στο πλαίσιο αυτό αποφασίστηκε να δημιουργηθούν εικονικά αγροτεμάχια στην πεδιάδα της Άρτας για τρεις από τις κύριες καλλιέργειες:

- ελιά,
- πορτοκαλιά και
- ακτινίδιο

Για κάθε μία από τις καλλιέργειες αυτές, δημιουργήθηκαν 4 αγροτεμάχια από τα οποία:

- ένα δεν αρδεύεται, δέχεται δηλαδή ως εισροή νερού μόνο το νερό της βροχής
- ένα αρδεύεται με εφαρμογή κλιματικού προγράμματος άρδευσης για την αντίστοιχη καλλιέργεια
- ένα αρδεύεται με αυστηρή εφαρμογή των συμβουλών που δίνει το σύστημα και
- ένα αρδεύεται λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις συμβουλές που δίνει το σύστημα, την πρόγνωση του καιρού και την πρόβλεψη της καταπόνησης της καλλιέργειας πριν ο χρήστης λάβει την τελική του απόφαση σχετικά με την άρδευση.

Παρατήρηση 7 Σχετικά με την έκταση, την κλίση και το έδαφος των αγροτεμαχίων που χρησιμοποιήθηκαν στο πλαίσιο της αξιολόγησης

Όλα τα αγροτεμάχια είναι έκτασης 2 στρεμμάτων, ενώ η αρδευόμενη έκταση (έκταση που διαβρέχεται από το αρδευτικό σύστημα) θεωρήθηκε ότι είναι 1 στρέμμα, επομένως οι τιμές σε mm είναι ίδιες σε m³ (αφού 1mm = 1m³/στρέμμα).

Όσο αφορά το ανάγλυφο θεωρήθηκε ότι είναι οριζόντιο επίπεδο σε όλα τα αγροτεμάχια.

Τέλος όσο αφορά το έδαφος (ίδιο για όλες τις καλλιέργειες και όλα τα αγροτεμάχια) η επιλογή ήταν τέτοια ώστε να αντιστοιχεί σε ένα τυπικό έδαφος της περιοχής).

Η Άρτα προσφέρεται για τέτοια παραδείγματα λόγω του ότι το καλοκαίρι υπάρχουν βροχές και ο χρήστης μπορεί να εκμεταλλευτεί αυτή την φυσική εισροή ώστε να μειώσει τη χρήση νερού από συλλογικά δίκτυα ή ιδιωτικές γεωτρήσεις.

Στο πλαίσιο της εργασίας έγινε χρήση του συστήματος για εκπαιδευτικούς σκοπούς και αξιολογήθηκε η λειτουργικότητά του.

Η περίοδος αξιολόγησης αφορούσε το διάστημα από 1/3/2017 έως 31/8/2017.

Ελιά

Η ελιά αν και μπορεί να επιβιώνει ή και να αναπτύσσεται κάτω από συνθήκες χαμηλής διαθεσιμότητας εδαφικού νερού, για να δώσει ικανοποιητική παραγωγή απαιτεί επαρκή εφοδιασμό με νερό.

Ο επαρκής εφοδιασμός με νερό γενικά επιδρά θετικά στην αύξηση της βλάστησης, στην καλύτερη ανθοφορία, στο υψηλότερο ποσοστό καρπώσεως, στην αύξηση του μεγέθους του καρπού και στην υψηλότερη παραγωγή ελαιολάδου ανά δέντρο.

Η άρδευση έχει ευνοϊκές επιδράσεις στη βλάστηση, στην ανθοφορία και την καρποφορία της ελιάς. Η ελιά είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στην έλλειψη νερού κατά το στάδιο της ανθοφορίας (Απρίλιο-Μάιο) και για αυτό το λόγο η άρδευση κατά την περίοδο αυτή πρέπει να αρχίσει έγκαιρα έτσι που τα δέντρα να μην διψάσουν, γεγονός που προκαλεί ανθόπτωση και μειώνει την παραγωγή.



Εικόνα 8 Υδροληψία συλλογικού δικτύου σε καλλιέργεια ελιάς στην Άρτα (πηγή: Εργαστήριο Γ. Μηχανικής & Διαχ. Φυσικών Πόρων Τμ. Τεχνολόγων Γεωπόνων ΤΕΙ Ηπείρου)

Επίσης, οι ανάγκες σε νερό της ελιάς κατά τον Ιούνιο που είναι η περίοδος σκλήρυνσης του πυρήνα και τον Αύγουστο που αρχίζει το φούσκωμα του καρπού, είναι ψηλές. Το φθινόπωρο, με ικανοποιητικό νερό στη διάθεσή τους, ολοκληρώνεται ο σχηματισμός του λαδιού και ο καρπός αποκτά το κανονικό του μέγεθος. Αν κατά τη διάρκεια του

φθινοπώρου δεν υπάρχει αρκετό νερό στη διάθεση των ελιών οι καρποί συρρικνώνονται και υποβαθμίζεται η ποιότητα του λαδιού. Αντίθετα, αν το πότισμα γίνεται με μεγαλύτερες ποσότητες από τις πραγματικές ανάγκες σε νερό των ελιών, έχουμε σπατάλη νερού και δημιουργούνται συνθήκες ανάπτυξης διάφορων ασθενειών.

Όρια χρήσης νερού για άρδευση ελιάς στην περιοχή, ανάγκες ελιάς σε νερό σύμφωνα με κλιματικά δεδομένα, εκτιμήσεις σχετικά με κάλυψη αναγκών με βροχόπτωση και κλιματικό πρόγραμμα άρδευσης

Για την ελιά, σύμφωνα με τους Allen et al. (1998) ισχύουν οι ακόλουθοι καλλιεργητικοί συντελεστές (Kc, Πίνακας 5).

Πίνακας 5 Καλλιεργητικοί συντελεστές ελιάς (Kc) (Allen et al., 1998)

Μήνας	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
-	0,70	0,70	0,70	0,65	0,67	0,68	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70

Κλιματικό πρόγραμμα άρδευσης

Με βάση αυτούς, υπολογίζεται η εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας (ETc) σε μηνιαία βάση και στη συνέχεια οι βασικές παράμετροι του προγράμματος άρδευσης που θα εφαρμοστεί κατά την αρδευτική περίοδο (Μάιο – Σεπτέμβριο).

Το πρόγραμμα άρδευσης υπολογίζεται με βάση την τυπική μεθοδολογία που παρουσιάστηκε (Πίνακας 6) λαμβάνοντας υπόψη τα ακόλουθα χαρακτηριστικά εδάφους (ίδια για όλες τις μεταχειρίσεις):

Υδατοικανότητα	29 %
Σημείο μάρανσης:	14 %
Διαθέσιμη υγρασία εδάφους (ΔΥ):	15 %
Τελική ταχύτητα διήθησης (if):	25 mm/h

Πίνακας 6 Ανάγκες της ελιάς σε νερό (Allen et al., 1998) στην Άρτα και κλιματικό πρόγραμμα άρδευσης

Μήνας	ET (mm/μήνα)	Ανάγκες σε νερό U ή ED (mm/ημέρα)	Θεωρητικό εύρος άρδευσης EA (ημέρες)	Πρακτικό εύρος άρδευσης F (ημέρες)	Τελική δόση άρδευσης Id (mm)	Απαιτούμενος όγκος νερού (m3 / πότισμα) για το σύνολο της έκτασης	Ελάχιστη διάρκεια άρδευσης T=id/if (min)
Ιαν	25,18	0,81	144,02	Εκτός αρδευτικής περιόδου			
Φεβ	32,09	1,11	105,73				
Μαρ	52,55	1,70	69,02				

Μήνας	ΕΤ (mm/μήνα)	Ανάγκες σε νερό U ή ED (mm/ημέρα)	Θεωρητικό εύρος άρδευσης ΕΑ (ημέρες)	Πρακτικό εύρος άρδευσης F (ημέρες)	Τελική δόση άρδευσης Id (mm)	Απαιτούμενος όγκος νερού (m ³ / πότισμα) για το σύνολο της έκτασης	Ελάχιστη διάρκεια άρδευσης T=id/If (min)
Απρ	67,32	2,24	52,14	30,00	84,14	84,14	162
Μαϊ	97,38	3,14	37,25	30,00	117,80	117,80	227
Ιουν	114,70	3,82	30,60	30,00	143,37	143,37	276
Ιουλ	128,31	4,14	28,27	30,00	155,21	155,21	299
Αυγ	114,39	3,69	31,71	30,00	138,38	138,38	266
Σεπ	83,46	2,78	42,06	30,00	104,33	104,33	201
Οκτ	54,59	1,76	66,44	Εκτός αρδευτικής περιόδου			
Νοε	32,37	1,08	108,44				
Δεκ	23,98	0,77	151,22				

Παραμετροποίηση IRMA_SYS για ελιά και σχέδιο εφαρμογής του συστήματος

Χρησιμοποιήθηκε το ακόλουθο σύνολο παραμέτρων (δεν υπάρχει πρόβλημα αν στο σύστημα χρησιμοποιώ . ή , για το δεκαδικό μέρος των τιμών των παραμέτρων):

Διαχείριση άρδευσης

- Συντελεστής αρδευτικής αποδοτικότητας: 0.8
- Συντελεστής βελτιστοποίησης άρδευσης : 0.5

Καλλιέργεια

- Μέγιστο επιτρεπόμενο υδατικό έλλειμμα: 0.65
- Εκτιμώμενο μέγιστο βάθος ριζοστρώματος: 1.2
- Εκτιμώμενο ελάχιστο βάθος ριζοστρώματος: 1.2

Έδαφος (για το έδαφος η επιλογή ήταν τέτοια ώστε να αντιστοιχεί σε ένα τυπικό έδαφος της περιοχής)

- Υδατοικανότητα: 0.29
- Σημείο μόνιμης μάρανσης: 0.14
- Εδαφική υγρασία στον κορεσμό: 0.48

Με βάση τη πληροφορία που παρέχεται για την ελιά από τους Allen et al. (1998, Πίνακας 5) έγιναν οι ακόλουθες καταχωρήσεις (αλλαγές) του Kc στο σύστημα:

- 19/4 Kc=0,40
- 1/5 Kc= 0,75
- 1/6 Kc=1,05
- 1/7 Kc=1,05

- $1/8 \text{ Kc}=1,05$

Πορτοκαλιά

Τα εσπεριδοειδή είναι ευαίσθητη καλλιέργεια στην έλλειψη νερού και ιδιαίτερα στα στάδια της άνθησης – καρπόδεσης – καρπιδίων. Η έλλειψη νερού έχει σαν αποτέλεσμα την καρπόπτωση, τη μείωση της συνολικής παραγωγής και του μεγέθους του καρπού και την υποβάθμιση της ποιότητας. Οι ανάγκες των εσπεριδοειδών σε νερό είναι ψηλότερες κατά τους καλοκαιρινούς μήνες όταν η εξατμισοδιαπνοή είναι υψηλή (ΕΘΙΑΓΕ, 2012).



Εικόνα 9 Καλλιέργεια πορτοκαλιάς

Όρια χρήσης νερού για άρδευση ελιάς στην περιοχή, ανάγκες ελιάς σε νερό σύμφωνα με κλιματικά δεδομένα, εκτιμήσεις σχετικά με κάλυψη αναγκών με βροχόπτωση και κλιματικό πρόγραμμα άρδευσης

Για την πορτοκαλιά, σύμφωνα με τους Allen et al. (1998) ισχύουν οι ακόλουθοι καλλιεργητικοί συντελεστές (Kc, Πίνακας 7).

Πίνακας 7 Καλλιεργητικοί συντελεστές πορτοκαλιάς (Allen et al., 1998)

Μήνας	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
-	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,68	0,67	0,66	0,65	0,65	0,65	0,65

Κλιματικό πρόγραμμα άρδευσης

Το πρόγραμμα άρδευσης υπολογίζεται με βάση την τυπική μεθοδολογία που παρουσιάστηκε (Πίνακας 8) λαμβάνοντας υπόψη τα ακόλουθα χαρακτηριστικά εδάφους (ίδια για όλες τις μεταχειρίσεις):

Υδατοικανότητα	29 %
Σημείο μάρανσης:	14 %
Διαθέσιμη υγρασία εδάφους (ΔΥ):	15 %
Τελική ταχύτητα διήθησης (if):	25 mm/h

Πίνακας 8 Ανάγκες της ελιάς σε νερό (Allen et al., 1998) στην Άρτα και κλιματικό πρόγραμμα άρδευσης

Μήνας	ΕΤ (mm/μήνα)	Ανάγκες σε νερό U ή ED (mm/ημέρα)	Θεωρητικό εύρος άρδευσης ΕΑ (ημέρες)	Πρακτικό εύρος άρδευσης F (ημέρες)	Τελική δόση άρδευσης Id (mm)	Απαιτούμενος όγκος νερού (m3 / πότισμα) για το σύνολο της έκτασης	Ελάχιστη διάρκεια άρδευσης T=id/if (min)
Ιαν	25,18	0,81	144,02	Εκτός αρδευτικής περιόδου			
Φεβ	32,09	1,11	105,73				
Μαρ	52,55	1,70	69,02				
Απρ	67,32	2,24	52,14	30,00	84,14	84,14	162
Μαϊ	97,38	3,14	37,25	30,00	117,80	117,80	227
Ιουν	114,70	3,82	30,60	30,00	143,37	143,37	276
Ιουλ	128,31	4,14	28,27	30,00	155,21	155,21	299
Αυγ	114,39	3,69	31,71	30,00	138,38	138,38	266
Σεπ	83,46	2,78	42,06	30,00	104,33	104,33	201
Οκτ	54,59	1,76	66,44	Εκτός αρδευτικής περιόδου			
Νοε	32,37	1,08	108,44				
Δεκ	23,98	0,77	151,22				

Παραμετροποίηση IRMA_SYS για πορτοκαλιά και σχέδιο εφαρμογής του συστήματος
Χρησιμοποιήθηκε το ακόλουθο σύνολο παραμέτρων:

Διαχείριση άρδευσης

- Συντελεστής αρδευτικής αποδοτικότητας: 0,75

- Συντελεστής βελτιστοποίησης άρδευσης : 0,5

Καλλιέργεια

- Μέγιστο επιτρεπόμενο υδατικό έλλειμα: 0,5
- Εκτιμώμενο μέγιστο βάθος ριζοστρώματος: 0,5
- Εκτιμώμενο ελάχιστο βάθος ριζοστρώματος: 0,5

Έδαφος (για το έδαφος η επιλογή ήταν τέτοια ώστε να αντιστοιχεί σε ένα τυπικό έδαφος της περιοχής)

- Υδατοικανότητα: 0,29
- Σημείο μόνιμης μάρανσης: 0,14
- Εδαφική υγρασία στον κορεσμό: 0,47

Με βάση τη πληροφορία που παρέχεται για την ελιά από τους Allen et al. (1998, Πίνακας 7) έγιναν οι ακόλουθες καταχωρήσεις (αλλαγές) του Kc στο σύστημα:

1. 19/4 Kc= 0,70
2. 1/5 Kc= 0,70
3. 1/6 Kc= 0,68
4. 1/7 Kc= 0,67
5. 1/8 Kc= 0,66

Ακτινίδιο

Η ακτινιδιά χρειάζεται σταθερή υγρασία, κυρίως στο επιφανειακό εδαφικό στρώμα, όπου κατανέμονται οι περισσότερες ρίζες, αλλά σε ποσότητα τέτοια που να μην προκαλεί προβλήματα ασφυξίας στο ριζικό σύστημα. Άρα από τον 1ο χρόνο και καθ'όλη τη διάρκεια ζωής του ακτινιδεώνα είναι αναγκαίο να διενεργούνται συχνά ποτίσματα και ιδιαίτερα κατά την καρπόδεση και καθ'όλη τη περίοδο αύξησης του καρπού. Η έλλειψη νερού την άνοιξη προκαλεί συστροφή στα νεαρά φύλλα, με περιφερειακό κάψιμο, ενώ αργά το καλοκαίρι παρατηρείται πρόωρη φυλλόπτωση και αναστέλλεται η ανάπτυξη του καρπού. Η συχνότητα των ποτισμάτων εξαρτάται από την υδατοϊκανότητα του εδάφους και από τις επικρατούσες κλιματικές συνθήκες (GAIApedia, 2017).



Εικόνα 10 Σε καλλιέργεια ακτινιδίου στην Άρτα

Όρια χρήσης νερού για άρδευση ακτινιδίου στην περιοχή, ανάγκες ελιάς σε νερό σύμφωνα με κλιματικά δεδομένα, εκτιμήσεις σχετικά με κάλυψη αναγκών με βροχόπτωση και κλιματικό πρόγραμμα άρδευσης

Για την ακτινιδιά, σύμφωνα με τους Allen et al. (1998) ισχύουν οι ακόλουθοι καλλιεργητικοί συντελεστές (Κς, Πίνακας 9).

Πίνακας 9 Καλλιεργητικοί συντελεστές ακτινιδιάς (Allen et al., 1998)

Μήνας	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
-	0,00	0,00	0,00	0,40	0,75	1,05	1,05	1,05	1,05	0,00	0,00	0,00

Κλιματικό πρόγραμμα άρδευσης

Το πρόγραμμα άρδευσης υπολογίζεται με βάση την τυπική μεθοδολογία που παρουσιάστηκε (Πίνακας 10) υπόψη τα ακόλουθα χαρακτηριστικά εδάφους (ίδια για όλες τις μεταχειρίσεις):

Υδατοικανότητα	29 %
Σημείο μάρανσης:	14 %
Διαθέσιμη υγρασία εδάφους (ΔΥ):	15 %
Τελική ταχύτητα διήθησης (if):	25 mm/h

Πίνακας 10 Ανάγκες της ακτινιδιάς σε νερό (Allen et al., 1998) στην Άρτα και κλιματικό πρόγραμμα άρδευσης

Μήνας	ΕΤ (mm/μήνα)	Ανάγκες σε νερό U ή ED (mm/ημέρα)	Θεωρητικό εύρος άρδευσης ΕΑ (ημέρες)	Πρακτικό εύρος άρδευσης F (ημέρες)	Τελική δόση άρδευσης Id (mm)	Απαιτούμενος όγκος νερού (m3 / πότισμα) για το σύνολο της έκτασης	Ελάχιστη διάρκεια άρδευσης T=id/If (min)
Ιαν				Εκτός αρδευτικής περιόδου			
Φεβ							
Μαρ							
Απρ	41,42	1,38	19,01	15,00	25,89	25,89	50
Μαϊ	109,01	3,52	7,47	7,00	30,77	30,77	60
Ιουν	177,11	5,90	4,45	4,00	29,52	29,52	57
Ιουλ	192,46	6,21	4,23	4,00	31,04	31,04	60
Αυγ	171,59	5,54	4,74	4,00	27,68	27,68	54
Σεπ	125,19	4,17	6,29	7,00	36,51	36,51	71
Οκτ				Εκτός αρδευτικής περιόδου			
Νοε							

Παραμετροποίηση IRMA_SYS για ακτινίδιο και σχέδιο εφαρμογής του συστήματος
Χρησιμοποιήθηκε το ακόλουθο σύνολο παραμέτρων:

Διαχείριση άρδευσης

- Συντελεστής αρδευτικής αποδοτικότητας: 0,8
- Συντελεστής βελτιστοποίησης άρδευσης : 0,5

Καλλιέργεια

- Μέγιστο επιτρεπόμενο υδατικό έλλειμα: 0,35
- Εκτιμώμενο μέγιστο βάθος ριζοστρώματος: 0,6
- Εκτιμώμενο ελάχιστο βάθος ριζοστρώματος: 0,6

Έδαφος (για το έδαφος η επιλογή ήταν τέτοια ώστε να αντιστοιχεί σε ένα τυπικό έδαφος της περιοχής)

- Υδατοικανότητα: 0,29
- Σημείο μόνιμης μάρανσης: 0,14
- Εδαφική υγρασία στον κορεσμό: 0,5

Με βάση τη πληροφορία που παρέχεται για την ελιά από τους Allen et al. (1998, Πίνακας 9) έγιναν οι ακόλουθες καταχωρήσεις (αλλαγές) του K_c στο σύστημα:

1. $19/4$ $K_c = 0,40$
2. $1/5$ $K_c = 0,75$
3. $1/6$ $K_c = 1,05$
4. $1/7$ $K_c = 1,05$
5. $1/8$ $K_c = 1,05$

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Από το σύστημα ανά τακτά χρονικά διαστήματα συγκεντρώνονταν η ακόλουθη πληροφορία:

- Καλλιέργεια
- Χωράφι / Μεταχείριση
- Ημέρα
- Ώρα
- Κς
- Σχήμα/Ενδειξη (! ή ν)
- Συνοπτική συμβουλή
- Πρόταση με βάση συνοπτικό πίνακα
 - Ημερομηνία
 - Δείκτης υδατικής καταπόνησης (Σημείωση: όταν προτείνει άρδευση, είναι πόσο θα γίνει το Ks αν ποτίσουμε με τη δόση που μας προτείνει)
 - Δόση άρδευσης
- Αναφορά άρδευσης (αντιγραφή της γραμμής του πίνακα που αντιστοιχεί στην επόμενη ακέραιη ώρα σε σχέση με την ώρα ελέγχου)
 - Ημερομηνία
 - Κατακρημνίσματα
 - ETc προς
 - Υδατικό έλλειμμα
 - Εδαφική υγρασία
 - Άρδευση; (N/O)
 - Δείκτης υδατικής καταπόνησης
 - Δόση άρδευσης
- Αναφορά άρδευσης (αντιγραφή της γραμμής του πίνακα που αντιστοιχεί στην επόμενη ακέραιη ώρα σε σχέση με την ώρα άρδευσης)
 - Ημερομηνία
 - Κατακρημνίσματα
 - ETc προς
 - Υδατικό έλλειμμα
 - Εδαφική υγρασία
 - Άρδευση? (N/O)
 - Δείκτης υδατικής καταπόνησης
 - Δόση άρδευσης
- Αρδεύσεις (m³)
- Παρατηρήσεις

Οι αρδεύσεις μπορούν να συγκεντρώνονται περιοδικά και από τον πίνακα Αρδεύσεις του συστήματος, ενώ Αρδεύσεις, Πρόταση για άρδευση και Ενεργός Βροχόπτωση μπορούν να συγκεντρώνονται και μέσω λήψης αρχείου από την Αποτελεσματικότητα Άρδευσης του συστήματος (Παρατήρηση 8).

Η σύγκριση των μεταχειρίσεων έγινε στη βάση της ποσότητας νερού που χρησιμοποιήθηκε (άρδευση συν ενεργός βροχόπτωση). Τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν και με τα όρια που προβλέπει η ΚΥΑ του 1989 για την αντίστοιχη περιοχή, καλλιέργεια, περίοδο ώστε να δημιουργηθεί μία αίσθηση του πως κινήθηκε η χρήση νερού σε σχέση με τα όρια που

προβλέπει η ΚΥΑ του 1989 για τις συγκεκριμένες καλλιέργειες για τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο του 2017 (1/3 έως 31/8).

Στη συνέχεια έγινε και σύγκριση (για την περίοδο έως 3/8/2017) όσο αφορά την επίτευξη του στόχου για παραμονή της υγρασίας του εδάφους εντός των ορίων που θέτει το MAD εντός του διαθέσιμου νερού [FC – MAD (FC – PWP)] (Παρατήρηση 9). Για την εκτίμηση του τελευταίου έγινε χρήση της προσέγγισης Monte Carlo αλλά με μία σχετικά ελεύθερη απόδοση (Παρατήρηση 10). Η έκφραση μέθοδος Monte Carlo είναι πολύ γενική. Περιλαμβάνει κυρίως στοχαστικές διαδικασίες, εκείνες δηλαδή που βασίζονται στην χρήση των τυχαίων αριθμών και της στατιστικής για την λύση προβλημάτων. Η ολοκλήρωση Monte Carlo είναι μία αριθμητική τεχνική με την χρήση τυχαίων αριθμών η οποία χρησιμοποιεί αλγορίθμους για την προσέγγιση ολοκληρωμάτων.

Ο συνδυασμός των δύο συγκρίσεων μας δίνει μία ολοκληρωμένη ένδειξη σχετικά με το επίπεδο αποτελεσματικότητας της διαχείρισης σε κάθε μεταχείριση.

Παρατήρηση 8 Λήψη δεδομένων από την Αρδευτική Αποδοτικότητα του συστήματος

Στη σελίδα αρδευτική αποδοτικότητα εμφανίζεται γραφική παράσταση όπου παρουσιάζονται σε χρονική σειρά οι συμβουλές άρδευσης (Estimated Irrigation Water Amount), οι αρδεύσεις που έγιναν (Applied Irrigation Water Amount) και η ενεργός βροχόπτωση (Effective precipitation). Τα δεδομένα αυτά μπορούν να κατέβουν και σε μορφή αρχείου csv (υπάρχει κάτω αριστερά του γραφήματος σχετική επιλογή). Το αρχείο CSV έχει την ακόλουθη μορφή:

```
Date, Estimated Irrigation Water Amount, Applied Irrigation Water Amount, Effective precipitation, amount (mm), amount (mm), amount (mm)
```

```
2017-04-04,0.0,0.0,8.6
```

```
2017-04-05,0.0,0.0,0.0
```

```
2017-04-11,17.8,0.0,0.0
```

```
2017-04-12,0.0,0.0,0.0
```

```
2017-04-18,0.0,0.0,16.9
```

Το αρχείο αυτό μπορεί να εισαχθεί στο MS – Excel για περαιτέρω επεξεργασία. Αν στο MS-Excel χρησιμοποιείται το , για το διαχωρισμό των δεκαδικών, τότε πριν την εισαγωγή πρέπει να γίνει αντικατάσταση στο αρχείο CSV των , με π.χ. ; (ή όποιο άλλο σύμβολο για χωρισμό στηλών) και μετά των . με ,.

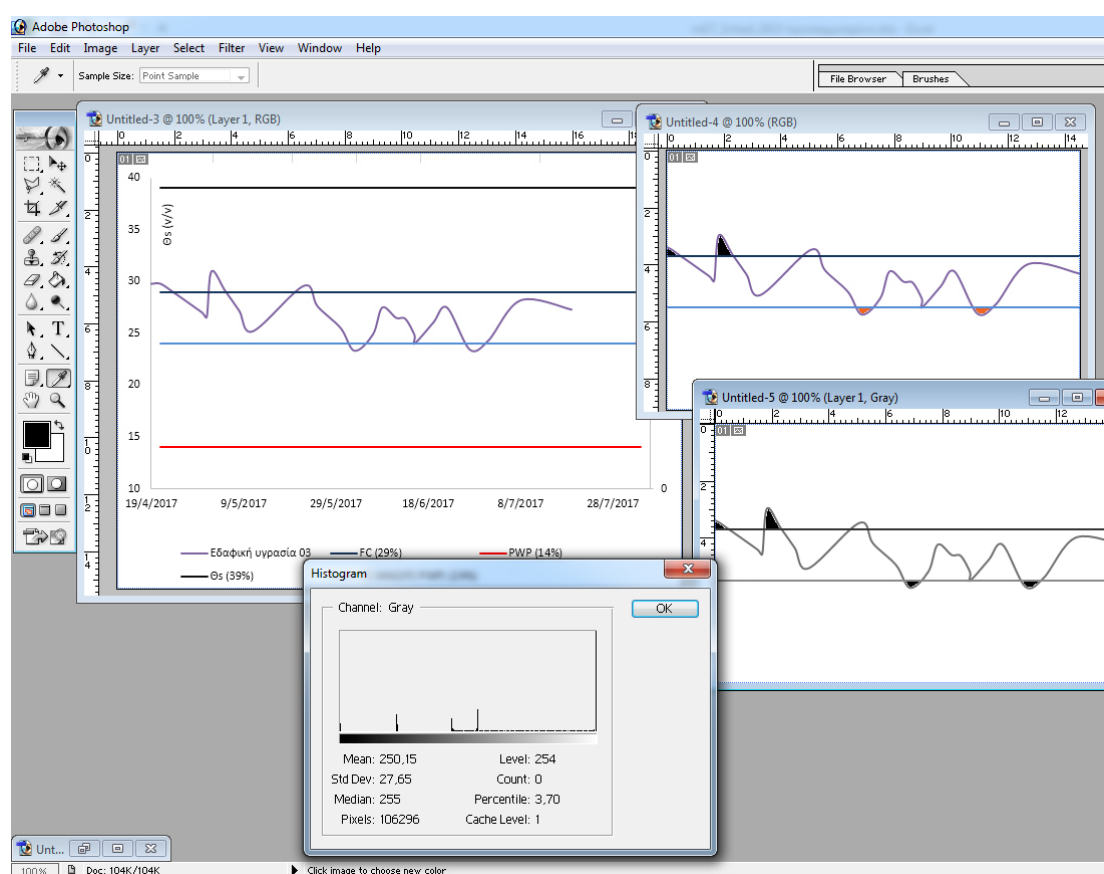
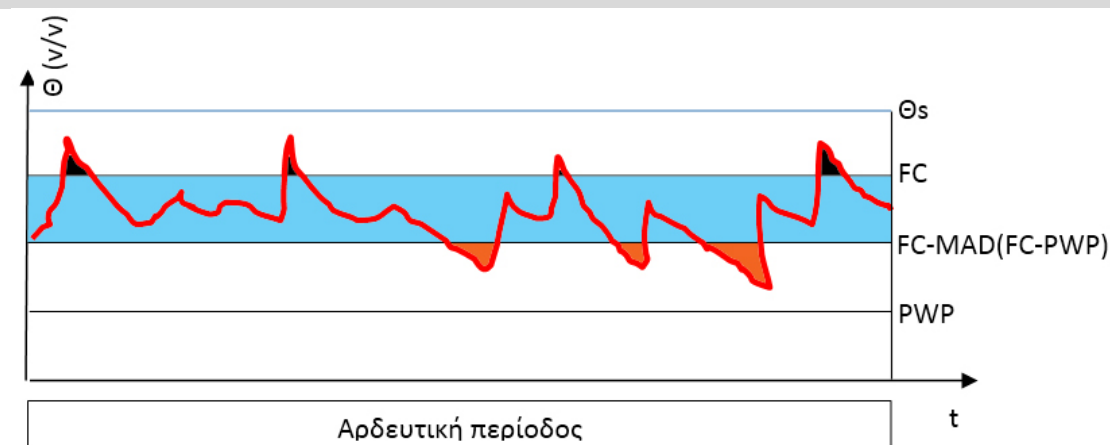
Παρατήρηση 9 Σχετικά με σύγκριση αποτελεσμάτων

Στα εικονικά κτήματα δεν έχουμε δυνατότητα να καταγράψουμε παραγωγή, ένα δείκτη που θα μας έδινε μια σοβαρή ένδειξη σχετικά με το πόσο επιτυχημένη ήταν η διαχείριση της άρδευσης.

Είναι προφανές ότι από τα δεδομένα που συλλέχθηκαν θα μπορούσαν να γίνουν και άλλες συγκρίσεις, όμως αυτό ξεφεύγει από το επίπεδο που έχει τεθεί ως στόχος στην παρούσα εργασία.

Παρατήρηση 10 Μία εναλλακτική προσέγγιση υπολογισμού της παρέκκλισης από το στόχος διαχείρισης της άρδευσης βασισμένη στη λογική των μεθόδων Monte Carlo

Στο πλαίσιο της διαχείρισης της άρδευσης έχει τεθεί ως στόχος να παραμένει η υγρασία του εδάφους εντός των ορίων της υδατοικανότητας (FC) και της υγρασίας που αντιστοιχεί στο $[FC - MAD(FC - PWP)]$ (όπου MAD η επιτρεπτή κατανάλωση νερού για την καλλιέργεια και PWP το σημείο μόνιμης μάρανσης). Όμως στη διάρκεια της αρδευτικής περιόδου είναι πολύ πιθανό να υπάρχουν υπερβάσεις τόσο προς τα πάνω όσο και προς τα κάτω από τη ζώνη αυτή (γαλάζια περιοχή στο σχήμα).



Όπως φαίνεται και στο σχήμα το ποσοστό: $[Επιφάνεια\ μαύρης\ περιοχής / (Αρδευτική\ περίοδος \times (\Theta_s - FC))] \times 100\%$ εκφράζει την αστοχία στη διαχείριση όσο αφορά το να ανέρχεται η εδαφική υγρασία πάνω από το FC και έως τον κορεσμό (Θ_s), ενώ το ποσοστό: $[Επιφάνεια\ πορτοκαλί\ περιοχής / (Αρδευτική\ περίοδος \times ((FC - MAD(FC - PWP)) - PWP))] \times 100\%$

εκφράζει την αστοχία στη διαχείριση όσο αφορά το να κατέρχεται η υγρασία στην περιοχή που θεωρούμε ότι το φυτό δέχεται υδατική καταπόνηση.

Για μία αρδευτική μεταχείριση το άθροισμα αυτών των δύο ποσοστών εκφράζει την επιτυχία της διαχείρισης, π.χ. αν είναι ίσο με 0 σημαίνει ότι ποτέ η υγρασία δεν πέρασε έξω από την επιθυμητή περιοχή (γαλάζια περιοχή στο σχήμα), ενώ αν είναι 100% σημαίνει ότι όλη την ώρα η υγρασία ήταν εκτός των ορίων (π.χ. όλη την ώρα μεταξύ FC-MAD(FC-PWP) και PWP ή όλη την ώρα μεταξύ FC και Θs).

Για να υπολογιστούν τα δύο εμβαδά που εκφράζουν την αστοχία (μαύρο και πορτοκαλί) στο σχήμα, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν αριθμητικές μέθοδοι Monte Carlo (Χαρμανδάρης, 2016; Σταυρακούδης, 2017) ή τα εμβαδά να υπολογιστούν με μεθόδους ανάλυσης εικόνας. Στο πλαίσιο της εργασίας αυτής αξιοποιήθηκε η μέθοδος ανάλυσης εικόνας με χρήση Adobe Photoshop που περιγράφεται από τους Tsirogiannis et al., (2016β) για την εκτίμηση του εμβαδού φύλλων φυτών. Αντί για φύλλα στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν οι εικόνες των διαγραμμάτων. Χρειάζεται προσοχή στο ότι το ιστόγραμμα από όπου εκτιμάται το ποσοστό μαύρων pixels υπολογίζεται ξεχωριστά για την περιοχή μεταξύ FC και Θs και ξεχωριστά για την περιοχή μεταξύ FC-MAD(FC-PWP) και PWP (αποκόπτοντας τα αντίστοιχα τμήματα της εικόνας και μεταφέροντάς τα σε νέες ξεχωριστές εικόνες).

Ελιά

Τα αποτελέσματα όσο αφορά την κατανάλωση νερού από την καλλιέργεια ελιάς συνοψίζονται στην συνέχεια (Πίνακας 11 και Εικόνα 11).

Η μεταχείριση «Ελιά 03 Συμβουλή αυστηρά» είχε 3% μεγαλύτερη χρήση νερού σε σχέση με το κλιματικό πρόγραμμα, ενώ η μεταχείριση «Ελιά 04 Συμβουλή και Απόφαση» είχε μεγαλύτερη χρήση νερού σε σχέση πάντα με το κλιματικό κατά 14%. Η μεταξύ τους διαφορά ήταν μεγάλη, γεγονός που δείχνει ότι χρειαζόταν μεγαλύτερη εμπιστοσύνη στις συμβουλές του συστήματος.

Λαμβάνοντας υπόψη την άρδευση και την ενεργό βροχόπτωση όλες οι μεταχειρίσεις χρησιμοποίησαν μεγαλύτερη ποσότητα νερού από αυτή που προβλέπει η ΚΥΑ του 1989 για την περίοδο αξιολόγησης (1/3 έως 31/8). Αυτή η σύγκριση γίνεται μόνο για να δημιουργηθεί μία αίσθηση του πως κινήθηκε η χρήση νερού για τις συγκεκριμένες καλλιέργειες για το συγκεκριμένο έτος σε σχέση με τα όρια που προβλέπει η ΚΥΑ του 1989.

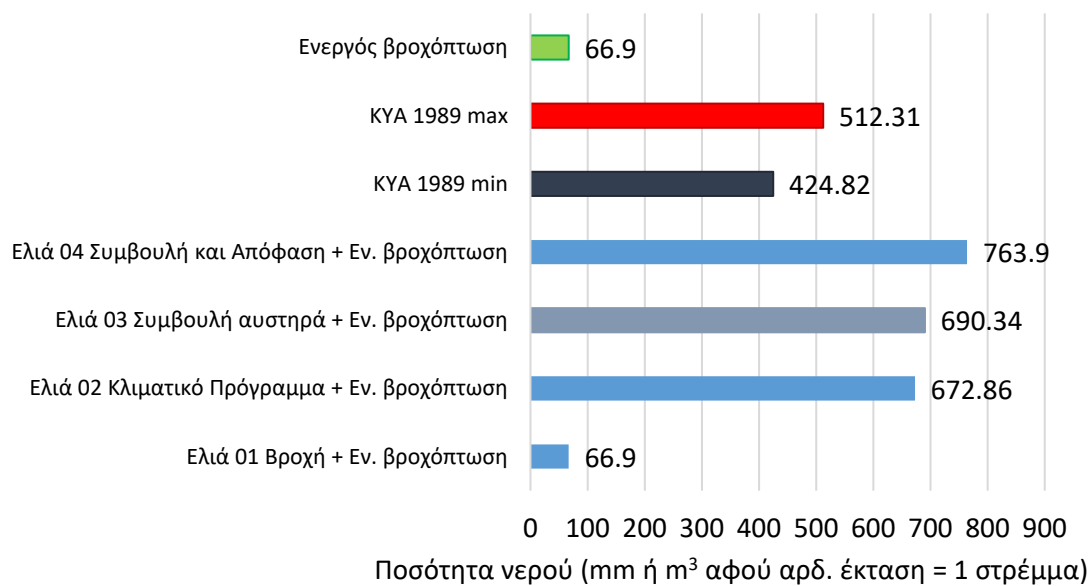
Πίνακας 11 Σύγκριση κατανάλωσης νερού για ελιά στο πλαίσιο των τεσσάρων μεταχειρίσεων

ΚΥΑ 1989 min και max: όρια από ΚΥΑ 1989 (Ποσότητα για Ήπειρο και ελιά / συντ. αποτελεσματικότητας)

		Ποσότητα νερού που χορηγήθηκε (m ³)
Ελιά 01 Βροχή		0
Ελιά 01 Βροχή + Εν. βροχόπτωση		66,9
Ελιά 02 Κλιματικό Πρόγραμμα		605,96
Ελιά 02 Κλιματικό Πρόγραμμα + Εν. βροχόπτωση	Βάση	672,86
Ελιά 03 Συμβουλή αυστηρά		623,44
Ελιά 03 Συμβουλή αυστηρά + Εν. βροχόπτωση	+3%	690,34
Ελιά 04 Συμβουλή και Απόφαση		697
Ελιά 04 Συμβουλή και Απόφαση + Εν. βροχόπτωση	+14%	763,9
ΚΥΑ 1989 min		424,82
ΚΥΑ 1989 max		512,31
Ενεργός βροχόπτωση		66,9

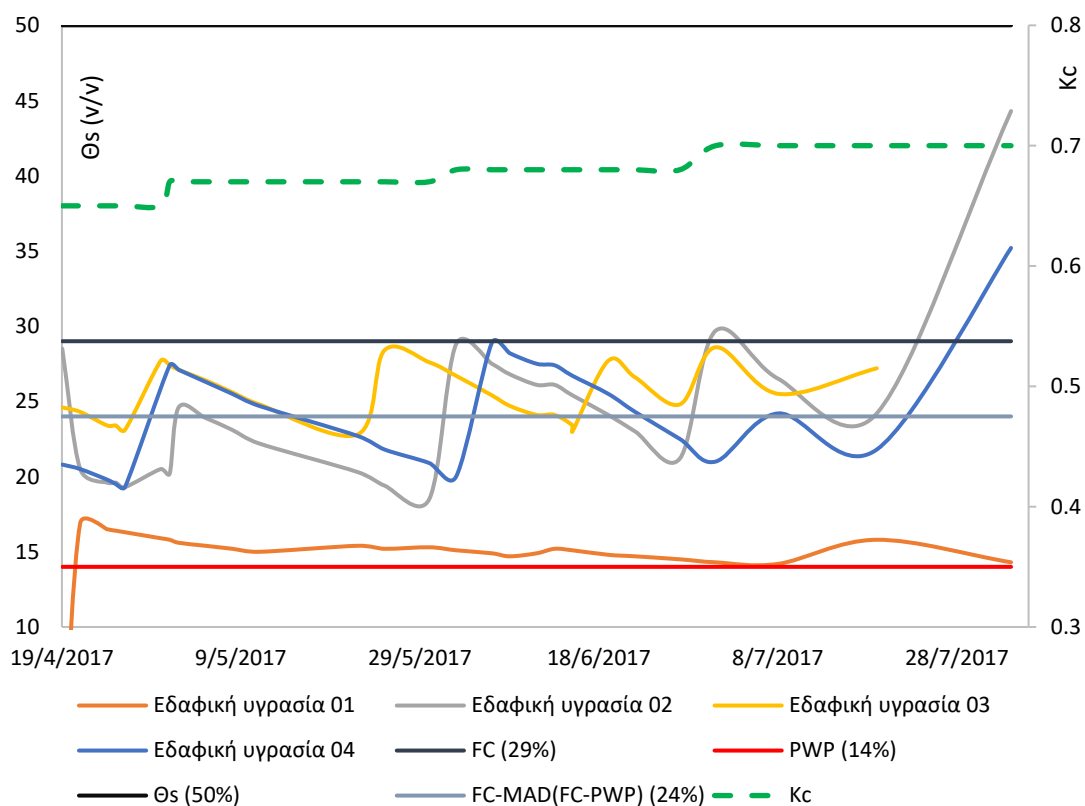
Για την περίοδο αξιολόγησης η διακύμανση της υγρασίας εδάφους για την ελιά παρουσιάζεται στην Εικόνα 12. Με εφαρμογή της προσέγγισης που περιγράφεται στην Παρατήρηση 10 βρέθηκε ότι τη μεταχείριση «Ελιά 03 Συμβουλή αυστηρά» είχε τη μικρότερη αστοχία (Πίνακας 12).

Γενικά η μεταχείριση «Ελιά 02 Κλιματικό πρόγραμμα» είχε την καλύτερη επίδοση σε επίπεδο κατανάλωσης νερού με δεύτερη –αλλά με μικρή διαφορά- τη μεταχείριση «Ελιά 03 Συμβουλή αυστηρά». Όσο αφορά την προσπάθεια συγκράτησης της υγρασίας του εδάφους εντός της ζώνης στόχου η μεταχείριση «Ελιά 03 Συμβουλή αυστηρά» είχε τη μικρότερη αστοχία με πολύ καλύτερη επίδοση από την μεταχείριση «Ελιά 02 Κλιματικό πρόγραμμα», γεγονός που δημιουργεί ισχυρές ενδείξεις ότι πιθανότατα η καλύτερη διαχείριση συνολικά επετεύχθη στο πλαίσιο της μεταχείρισης «Ελιά 03 Συμβουλή αυστηρά».



KYA 1989 min και max: όρια από KYA 1989 (Ποσότητα για Ήπειρο και ελιά / συντ. αποτελεσματικότητας)

Εικόνα 11 Σύγκριση κατανάλωσης νερού για ελιά στο πλαίσιο των τεσσάρων μεταχειρίσεων



Εικόνα 12 Διακύμανση υγρασίας εδάφους για τις διάφορες μεταχειρίσεις σε καλλιέργεια ελιάς

Πίνακας 12 Σύγκριση διαχείρισης άρδευσης σε ελιά σε επίπεδο υγρασίας εδάφους

Μεταχείριση	% πάνω	% κάτω	Σύνολο
Ελιά 01 Βροχή	0	67	67
Ελιά 02 Κλιματικό Πρόγραμμα	8	16	24
Ελιά 03 Συμβουλή αυστηρά	0	2	2
Ελιά 04 Συμβουλή και Απόφαση	4	14	18

% πάνω: αστοχία στην περιοχή μεταξύ FC και Θs

% κάτω: αστοχία στην περιοχή μεταξύ FC-MAD(FC-PWP) και PWP

Πορτοκαλιά

Τα αποτελέσματα όσο αφορά την κατανάλωση νερού από την καλλιέργεια πορτοκαλιάς συνοψίζονται στην συνέχεια (Πίνακας 13 και Εικόνα 13).

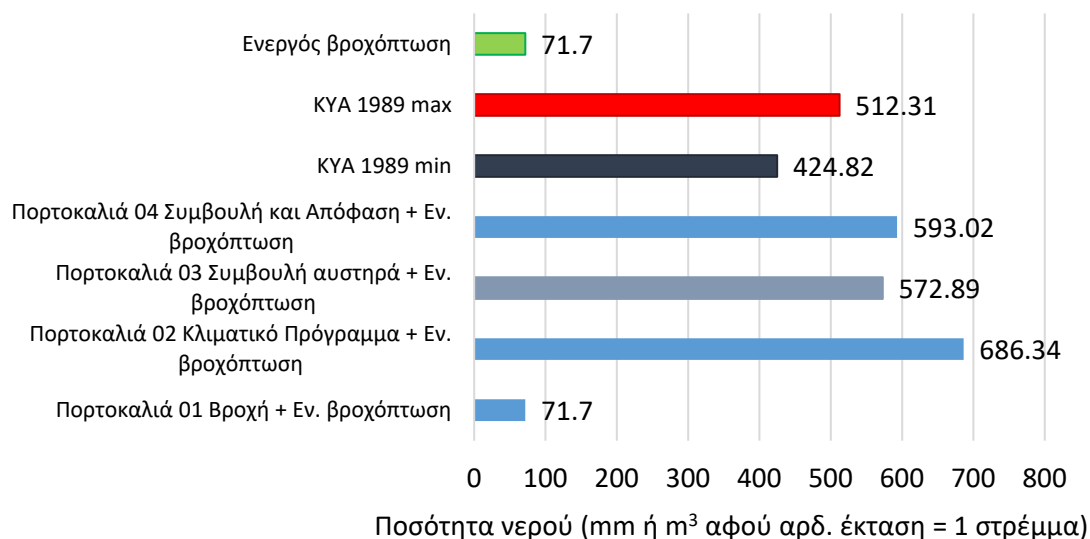
Η μεταχείριση «Πορτοκαλιά 03 Συμβουλή αυστηρά + Εν. βροχόπτωση» είχε 17% χαμηλότερη χρήση νερού σε σχέση με το κλιματικό πρόγραμμα, ενώ η μεταχείριση «Πορτοκαλιά 04 Συμβουλή και Απόφαση + Εν. βροχόπτωση» είχε μικρότερη χρήση νερού σε σχέση πάντα με το κλιματικό κατά 14%. Η μεταξύ τους διαφορά ήταν μεγάλη, γεγονός που δείχνει ότι χρειαζόταν μεγαλύτερη εμπιστοσύνη στις συμβουλές του συστήματος.

Λαμβάνοντας υπόψη την άρδευση και την ενεργό βροχόπτωση όλες οι μεταχειρίσεις χρησιμοποίησαν μεγαλύτερη ποσότητα νερού από αυτή που προβλέπει η ΚΥΑ του 1989 για την περίοδο αξιολόγησης (1/3 έως 31/8). Αυτή η σύγκριση γίνεται μόνο για να δημιουργηθεί μία αίσθηση του πως κινήθηκε η χρήση νερού για τις συγκεκριμένες καλλιέργειες για το συγκεκριμένο έτος σε σχέση με τα όρια που προβλέπει η ΚΥΑ του 1989.

Πίνακας 13 Σύγκριση κατανάλωσης νερού για πορτοκαλιά στο πλαίσιο των τεσσάρων μεταχειρίσεων

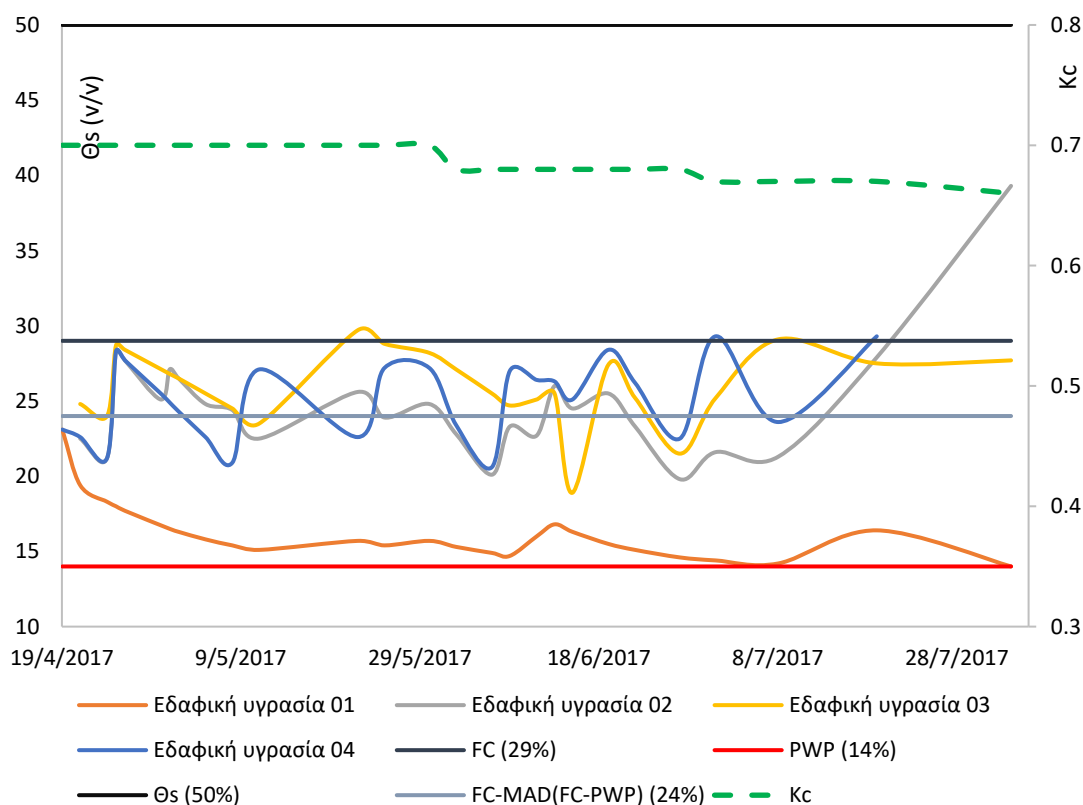
ΚΥΑ 1989 min και max: όρια από ΚΥΑ 1989 (Ποσότητα για Ήπειρο και εσπεριδοειδή / συντ. αποτελεσματικότητας)

		Ποσότητα νερού που χορηγήθηκε (m ³)
Πορτοκαλιά 01 Βροχή		0
Πορτοκαλιά 01 Βροχή + Εν. βροχόπτωση		71,7
Πορτοκαλιά 02 Κλιματικό Πρόγραμμα		614,64
Πορτοκαλιά 02 Κλιματικό Πρόγραμμα + Εν. βροχόπτωση	Βάση	686,34
Πορτοκαλιά 03 Συμβουλή αυστηρά		501,19
Πορτοκαλιά 03 Συμβουλή αυστηρά + Εν. βροχόπτωση	-17%	572,89
Πορτοκαλιά 04 Συμβουλή και Απόφαση		521,32
Πορτοκαλιά 04 Συμβουλή και Απόφαση + Εν. βροχόπτωση	-14%	593,02
ΚΥΑ 1989 min		424,82
ΚΥΑ 1989 max		512,31
Ενεργός βροχόπτωση		71,7



KYA 1989 min και max: όρια από KYA 1989 (Ποσότητα για Ήπειρο και εσπεριδοειδή / συντ. αποτελεσματικότητας)

Εικόνα 13 Σύγκριση κατανάλωσης νερού για καλλιέργεια πορτοκαλιάς στο πλαίσιο των τεσσάρων μεταχειρίσεων



Εικόνα 14 Διακύμανση υγρασίας εδάφους για τις διάφορες μεταχειρίσεις σε καλλιέργεια πορτοκαλιού

Πίνακας 14 Σύγκριση διαχείρισης άρδευσης σε πορτοκαλιά σε επίπεδο υγρασίας εδάφους

Μεταχείριση	% πάνω	% κάτω	Σύνολο
Πορτοκαλιά 01 Βροχή	0	83	83
Πορτοκαλιά 02 Κλιματικό Πρόγραμμα	8	11	19
Πορτοκαλιά 03 Συμβουλή αυστηρά	1	3	4
Πορτοκαλιά 04 Συμβουλή και Απόφαση	1	5	6

% πάνω: αστοχία στην περιοχή μεταξύ FC και Θs

% κάτω: αστοχία στην περιοχή μεταξύ FC-MAD(FC-PWP) και PWP

Για την περίοδο αξιολόγησης, η διακύμανση της υγρασίας εδάφους για την πορτοκαλιά παρουσιάζεται στην Εικόνα 14. Με εφαρμογή της προσέγγισης που περιγράφεται στην Παρατήρηση 10 βρέθηκε ότι τη μεταχείριση «Πορτοκαλιά 03 Συμβουλή αυστηρά» είχε τη μικρότερη αστοχία (Πίνακας 14). Επομένως στη συγκεκριμένη μεταχείριση όχι μόνο υπήρξε η μικρότερη κατανάλωση νερού αλλά και η μικρότερη αστοχία όσο αφορά την διατήρηση της εδαφικής υγρασίας εντός της ζώνης στόχου.

Ακτινίδιο

Τα αποτελέσματα όσο αφορά την κατανάλωση νερού από την καλλιέργεια ακτινιδίου συνοψίζονται στην συνέχεια (Πίνακας 15 και Εικόνα 15).

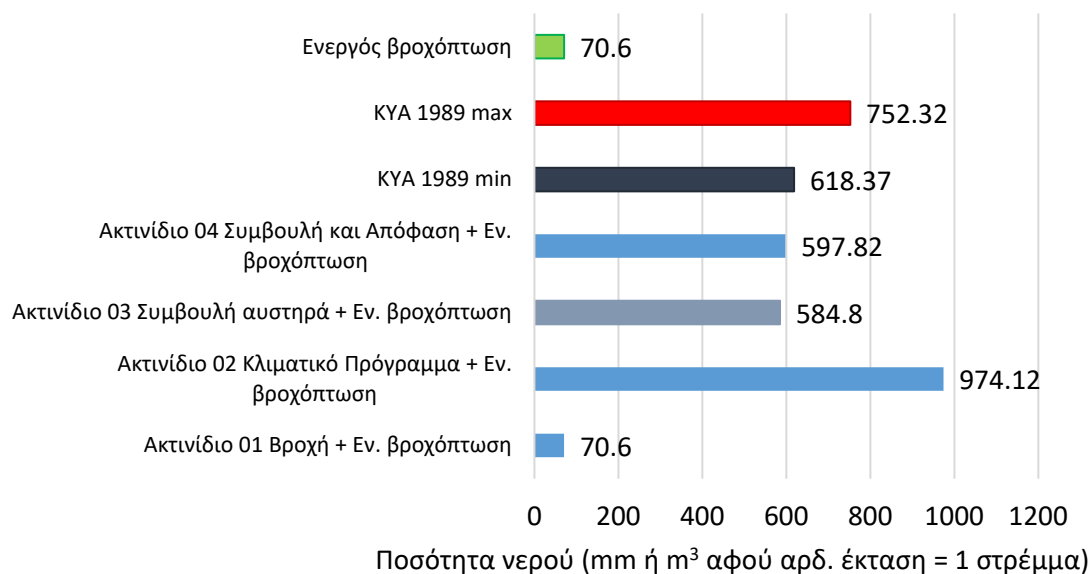
Η μεταχείριση «Ακτινίδιο 03 Συμβουλή αυστηρά + Εν. βροχόπτωση» είχε 40% χαμηλότερη χρήση νερού σε σχέση με το κλιματικό πρόγραμμα, ενώ η μεταχείριση «Ακτινίδιο 04 Συμβουλή και Απόφαση + Εν. βροχόπτωση» είχε μικρότερη χρήση νερού σε σχέση πάντα με το κλιματικό πρόγραμμα κατά 39%. Η μεταξύ τους διαφορά δεν ήταν μεγάλη.

Λαμβάνοντας υπόψη την άρδευση και την ενεργό βροχόπτωση η μεταχείριση «Ακτινίδιο 02 Κλιματικό Πρόγραμμα + Εν. βροχόπτωση» χρησιμοποίησε μεγαλύτερη ποσότητα νερού από αυτή που προβλέπει η ΚΥΑ του 1989 για την περίοδο αξιολόγησης (1/3 έως 31/8) ενώ οι μεταχειρίσεις «Ακτινίδιο 03 Συμβουλή αυστηρά + Εν. βροχόπτωση» και «Ακτινίδιο 04 Συμβουλή και Απόφαση + Εν. βροχόπτωση» μικρότερη. Αυτή η σύγκριση γίνεται μόνο για να δημιουργηθεί μία αίσθηση του πως κινήθηκε η χρήση νερού για τις συγκεκριμένες καλλιέργειες για το συγκεκριμένο έτος σε σχέση με τα όρια που προβλέπει η ΚΥΑ του 1989.

Πίνακας 15 Σύγκριση κατανάλωσης νερού για ακτινίδιο στο πλαίσιο των τεσσάρων μεταχειρίσεων

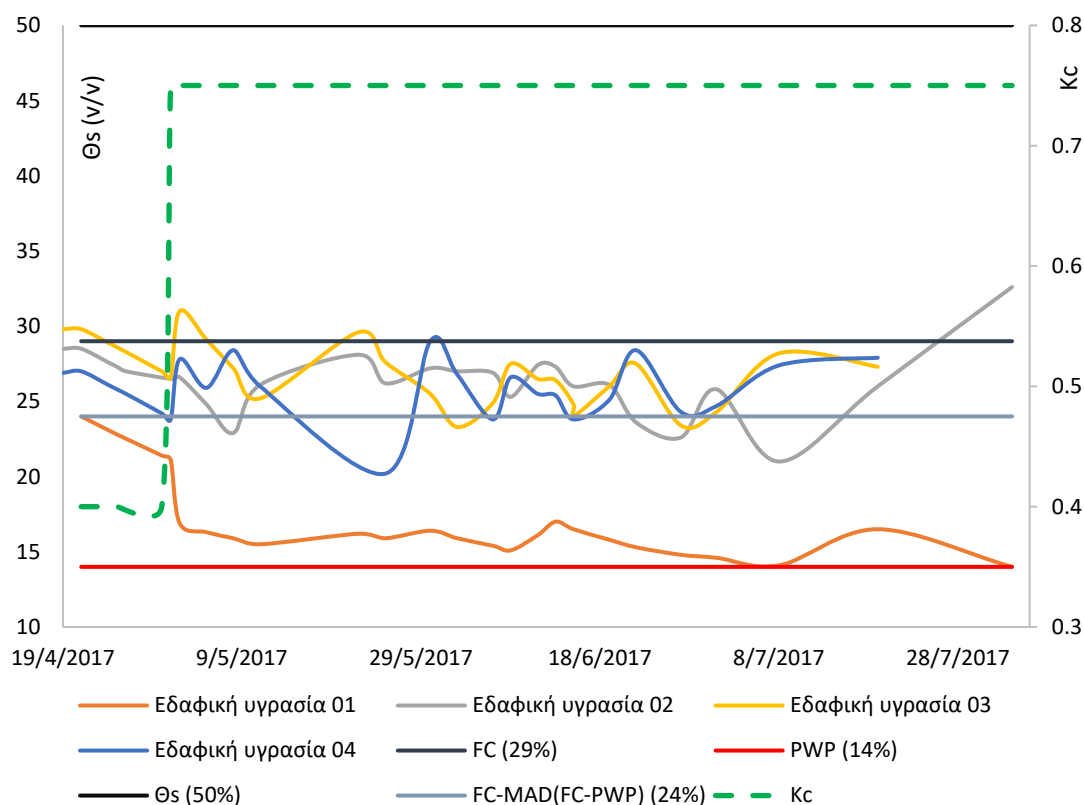
ΚΥΑ 1989 min και max: όρια από ΚΥΑ 1989 (Ποσότητα για Ήπειρο και ακτινίδιο / συντ. αποτελεσματικότητας)

		Ποσότητα νερού (m ³)
Ακτινίδιο 01 Βροχή		0
Ακτινίδιο 01 Βροχή + Εν. βροχόπτωση		70,6
Ακτινίδιο 02 Κλιματικό Πρόγραμμα		903,52
Ακτινίδιο 02 Κλιματικό Πρόγραμμα + Εν. βροχόπτωση	Βάση	974,12
Ακτινίδιο 03 Συμβουλή αυστηρά		514,2
Ακτινίδιο 03 Συμβουλή αυστηρά + Εν. βροχόπτωση	-40%	584,8
Ακτινίδιο 04 Συμβουλή και Απόφαση		527,22
Ακτινίδιο 04 Συμβουλή και Απόφαση + Εν. βροχόπτωση	-39%	597,82
ΚΥΑ 1989 min		618,37
ΚΥΑ 1989 max		752,32
Ενεργός βροχόπτωση		70,6



ΚΥΑ 1989 min και max: όρια από ΚΥΑ 1989 (Ποσότητα για Ήπειρο και ακτινίδιο / συντ. αποτελεσματικότητας)

Εικόνα 15 Σύγκριση κατανάλωσης νερού για καλλιέργεια ακτινιδίου στο πλαίσιο των τεσσάρων μεταχειρίσεων



Εικόνα 16 Διακύμανση υγρασίας εδάφους για τις διάφορες μεταχειρίσεις σε καλλιέργεια ακτινιδίου

Για την περίοδο αξιολόγησης η διακύμανση της υγρασίας εδάφους για το ακτινίδιο παρουσιάζεται στην Εικόνα 16. Με εφαρμογή της προσέγγισης που περιγράφεται στην Παρατήρηση 10 βρέθηκε ότι τη μεταχείριση «Ακτινίδιο 03 Συμβουλή αυστηρά» είχε τη μικρότερη αστοχία (Πίνακας 16). Επομένως στη συγκεκριμένη μεταχείριση όχι μόνο υπήρξε η μικρότερη κατανάλωση νερού αλλά και η μικρότερη αστοχία όσο αφορά την διατήρηση της εδαφικής υγρασίας εντός της ζώνης στόχου.

Πίνακας 16 Σύγκριση διαχείρισης άρδευσης σε ακτινίδιο σε επίπεδο υγρασίας εδάφους

Μεταχείριση	% πάνω	% κάτω	Σύνολο
Ακτινίδιο 01 Βροχή	0,0	80	80
Ακτινίδιο 02 Κλιματικό Πρόγραμμα	3	4	7
Ακτινίδιο 03 Συμβουλή αυστηρά	0	0,5	0,5
Ακτινίδιο 04 Συμβουλή και Απόφαση	0	3	3

% πάνω: αστοχία στην περιοχή μεταξύ FC και Θ_s

% κάτω: αστοχία στην περιοχή μεταξύ FC-MAD(FC-PWP) και PWP

ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το IRMA_SYS μπορεί να αποτελέσει ένα πολύ καλό εργαλείο και στο πλαίσιο εκπαίδευσης όσο αφορά τη διαχείριση της άρδευσης. Μετά την περίοδο εξοικείωσης αποδείχθηκε φιλικό προς το χρήστη και εύκολο στη λειτουργία.

Σχετικά με την αξιολόγηση των αρδευτικών μεταχειρίσεων στις καλλιέργειες ελιά, πορτοκαλιά και ακτινιδιά αποδείχθηκε ότι οι συμβουλές του συστήματος οδήγησαν γενικά σε καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με την εφαρμογή κλιματικού προγράμματος άρδευσης. Χρήστες που με τον καιρό αποκτούν μεγαλύτερη εμπειρία αναμένεται να καταφέρουν ακόμη καλύτερα αποτελέσματα.

Συνοπτικά τα αποτελέσματα ανά καλλιέργεια ήταν:

- Όσο αφορά την ελιά, η μεταχείριση «Ελιά 02 Κλιματικό πρόγραμμα» είχε την καλύτερη επίδοση σε επίπεδο κατανάλωσης νερού με δεύτερη –αλλά με μικρή διαφορά- τη μεταχείριση «Ελιά 03 Συμβουλή αυστηρά». Όσο αφορά την προσπάθεια συγκράτησης της υγρασίας του εδάφους εντός της ζώνης στόχου η μεταχείριση «Ελιά 03 Συμβουλή αυστηρά» είχε τη μικρότερη αστοχία με πολύ καλύτερη επίδοση από την μεταχείριση «Ελιά 02 Κλιματικό πρόγραμμα», γεγονός που δημιουργεί ισχυρές ενδείξεις ότι πιθανότατα η καλύτερη διαχείριση συνολικά επετεύχθη στο πλαίσιο της μεταχείρισης «Ελιά 03 Συμβουλή αυστηρά».
- Όσο αφορά την πορτοκαλιά, η διακύμανση της υγρασίας εδάφους για την περίοδο αξιολόγησης είχε τη μικρότερη αστοχία στη μεταχείριση «Πορτοκαλιά 03 Συμβουλή αυστηρά». Επομένως στη συγκεκριμένη μεταχείριση όχι μόνο υπήρξε η μικρότερη κατανάλωση νερού αλλά και η μικρότερη αστοχία όσο αφορά την διατήρηση της εδαφικής υγρασίας εντός της ζώνης στόχου.
- Όσο αφορά το ακτινίδιο, η μεταχείριση «Ακτινίδιο 03 Συμβουλή αυστηρά + Εν. βροχόπτωση» είχε 40% χαμηλότερη χρήση νερού σε σχέση με το κλιματικό πρόγραμμα, ενώ η μεταχείριση «Ακτινίδιο 04 Συμβουλή και Απόφαση + Εν. βροχόπτωση» είχε μικρότερη χρήση νερού σε σχέση πάντα με το κλιματικό πρόγραμμα κατά 39%. Η μεταξύ τους διαφορά δεν ήταν μεγάλη. Για τη μεταχείριση «Ακτινίδιο 03 Συμβουλή αυστηρά» όχι μόνο υπήρξε η μικρότερη κατανάλωση νερού αλλά και η μικρότερη αστοχία όσο αφορά την διατήρηση της εδαφικής υγρασίας εντός της ζώνης στόχου.

Ιδιαίτερα πρέπει να τονιστεί η μεγάλη εξοικονόμηση νερού που έγινε ακολουθώντας τις συμβουλές του συστήματος στην καλλιέργεια ακτινιδίου, όπου η εξοικονόμηση νερού έφτασε το 40%. Αυτό αποτελεί ισχυρή ένδειξη των μεγάλων δυνατοτήτων του συστήματος για εξοικονόμηση νερού στο πλαίσιο της διαχείρισης άρδευσης υδροβόρων καλλιεργειών.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. And Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome (Διαθέσιμο στο: <http://www.fao.org/docrep/x0490e/x0490e00.htm>). Προσπελάστηκε: 25/2/2017
- GAIApedia, 2017. Ακτινιδιά. Διαθέσιμο στο: <http://www.gaiapedia.gr/gaiapedia/index.php/%CE%91%CE%BA%CF%84%CE%B9%CE%BD%CE%B9%CE%B4%CE%B9%CE%AC>. Προσπελάστηκε: 20/9/2017.
- Malamos N., Tsirogiannis I.L., Barouchas P. Christophidis A., Lagouvardos C., Mamasis N., 2014. Development of an Irrigation Information System for the plain of Arta / ETCP GR-IT 2007-2013 IRMA. Διαθέσιμο στο: http://www.irrigation-management.eu/deliverables/Del531_DPIRMASYS.pdf. Προσπελάστηκε: 6/5/2016.
- Malamos N., Tsirogiannis I.L., Christofides A., Anastasiadis S., Vanino S., 2015. Main features and application of a web-based irrigation management tool for the plain of Arta. 7th International Conference in ICT for Food, Agriculture & environment - HAICTA 2015, Sept 17-22, 2015 Kavala, Greece: 174-185
- Malamos, N., Tsirogiannis, I.L., and Christofides, A., 2016. Modelling irrigation management services: the IRMA_SYS case. International Journal of Sustainable Agricultural Management and Informatics, 2(1): 1–18 DOI: <http://dx.doi.org/10.1504/IJSAMI.2016.077264>
- Savva A.P., Frenken K., 2001. Planning, Development Monitoring and Evaluation of Irrigated Agriculture with Farmer Participation. FAO SAFR Irrigation Manual Volume III Module 8: Sprinkler irrigation systems: planning, design, operation and maintenance. Διαθέσιμο στο: <http://www.fao.org/documents/card/en/c/1aa7029e-a55f-518c-9bca-7d960d72500e/> και στο <http://www.fao.org/3/a-ai597e.pdf>. Προσπελάστηκε: 3/9/2016
- Savva A.P., Frenken K., 2002. Planning, Development Monitoring and Evaluation of Irrigated Agriculture with Farmer Participation. FAO SAFR Irrigation Manual Volume IV Module 9 Localized irrigation systems: planning, design, operation and maintenance. Διαθέσιμο στο: ftp://ftp.fao.org/agl/AGLW/ESPI/CD-ROM/documents/714_e.pdf. Προσπελάστηκε: 3/9/2016
- Tsirogiannis I.L., Chalkidis I., Papanikolaou C., 2015. Irrigation & Drainage Audits Guide and End-User Audit WorkBook and End-User Audit WorkBook - ETCP GR-IT 2007-2013 IRMA. Διαθέσιμο στο: http://www.irrigation-management.eu/deliverables/Del516Audit_PlanandSheets.rar. Προσπελάστηκε: 3/9/2016
- Tsirogiannis I.L., Fragaki V., Malamos N., Barouchas P., Fillis E., Scamarcio L., Vanino S., Parente A., 2014. Evaluation Presentation and Development of a Web Based Irrigation Management Tool. 29th ISHS/IHC, Brisbane Australia, 16-23 August 2014. Acta Horticulturae, 1112, 225-232
- Tsirogiannis I.L., Malamos N., Christofides A., Anastasiadis S., Koliopanos C., Fotia K., Baltzoi P., 2016. Pilot Operation and Evaluation of a Meteorological Data Fed Water Budget

Model for Turfgrass. ISHS International Symposium on Sensing Plant Water Status - Methods and Applications in Horticultural Science, Potsdam (Germany) 5-7/10/2016 (υπό έκδοση στο Acta Horticulturae)

Tsirogiannis, I.L., Karras, G., Lambraki, E., Varras, G., Savvas, D. and Castellano, S., 2016β. Evaluation of a plastic tube based hydroponic system for horizontal and vertical green surfaces on buildings. Acta Hortic. 1108, 323-330 DOI: 10.17660/ActaHortic.2016.1108.43, <http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1108.43>

Αραμπατζής Γ. και Μαλιτσιδου Α., 2009. Εξοικονόμηση νερού μέσω διαδικτύου. Agronews Προσπελάστηκε: 2 Απρ. 2009

ΕΘΙΑΓΕ, 2012. Θεματικός οδηγός για την ορθολογική διαχείριση των αρδευτικών νερών. ΕΘΙΑΓΕ - Ινστιτούτο εγγείων βελτιώσεων). Διαθέσιμο στο: <http://www.sage10.gr/images/orthes-praktikes/ardeutika-nera.pdf>. Προσπελάστηκε: 15/9/2017

ΕΜΥ, 2017α. Κλιματολογία - Άρτα. Διαθέσιμο στο: <http://www.hnms.gr/hnms/greek/climatology/climatology.html>. Προσπελάστηκε: 20/3/2017

ΕΜΥ, 2017β. Κλιματολογικός Χάρτης Ελλάδας. Διαθέσιμο στο: <http://climatlas.hnms.gr/>

Σταυρακούδης Α., 2017. Ολοκλήρωση με τη μέθοδο Monte Carlo με το Excel/Calc. Διαθέσιμο στο: <http://stavrakoudis.econ.uoi.gr/stavrakoudis/?iid=65>. Προσπελάστηκε: 1/9/2017.

Τσιρογιάννης Ι. Λ., Τριάντος Σ., 2009. Καταγραφή Αρδευτικής Πρακτικής και Ανάπτυξη Διαδικτυακού Εργαλείου Διαχείρισης Άρδευσης για την Περιοχή της Άρτας. 6ο Πανελλήνιο Συνέδριο της Ελληνικής Εταιρείας Γεωργικών Μηχανικών, 8-10 Οκτωβρίου 2009, Θεσσαλονίκη (σελ. 51-58)

Τσοτσόλης Ν., 2008. Ορθολογική διαχείριση των υδάτων – Το παράδειγμα της Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας. 4ο Business ECO FORUM/Δημόσιες αρχές και περιβάλλον - ΔΕΘ, 7-9 Σεπτεμβρίου 2008

Υπουργείο Γεωργίας, 1989. Προσδιορισμός κατώτατων και ανώτατων ορίων των αναγκαίων ποσοτήτων για την ορθολογική χρήση νερού στην άρδευση. (ΦΕΚ. 428Β/02-06-1989).

Υπουργείο Γεωργίας, ΓΔ ΕΒ Έργων & Γεωργικών Διαρθρώσεων, 1992. Εκσυγχρονισμός της μεθοδολογίας υπολογισμού των αναγκών των φυτών σε νερό που χρησιμοποιείται στις γεωργοτεχνικές μελέτες των εγγειοβ. έργων και προσαρμογή της στις Ελληνικές συνθήκες

Χαρμανδάρης Ε., 2016. Εισαγωγή σε μεθόδους Monte Carlo. Πανεπιστήμιο Κρήτης – Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα. Διαθέσιμο στο: <https://opencourses.uoc.gr/courses/course/view.php?id=228>. Προσπελάστηκε: 1/9/2017.

Χαρτζουλάκης Κ., Ψαρά Γ. και Κασπάκης Ι., 2007. Ανάπτυξη λογισμικού για το σχεδιασμό άρδευσης της ελιάς. 23ο Συνέδριο της Ελληνικής Εταιρείας Επιστήμης των Οπωροκηπευτικών, Χανιά 23-26 Οκτωβρίου 2007, σελ. 410-417.

Χριστοφίδης Α., Κοζάνης Σ., Καραβοκυρός Γ., Κουκουβίνος Α., 2011. Ενυδρίς, Φιλότης & openmeteo.org: Ελεύθερο λογισμικό περιβαλλοντικής διαχείρισης, Συνέδριο ΕΛ/ΛΑΚ 2011, Αθήνα, <http://conferences.ellak.gr/2011/>, 2011. Διαθέσιμο στο: <http://www.itia.ntua.gr/el/docinfo/1145/>. Προσπελάστηκε: 1/7/2016.