



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΕΙΑΣ – ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΑΓΡΟΧΗΜΕΙΑ ΚΑΙ ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ»

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Λάμπρος Κώστας

**Αξιολόγηση μηχανικών αισθητήρων υγρασίας
εδάφους στο πλαίσιο αποτελεσματικής
διαχείρισης άρδευσης καλλιεργειών**

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΕΙΑΣ – ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ:

«ΑΓΡΟΧΗΜΕΙΑ ΚΑΙ ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ»

**Αξιολόγηση διηλεκτρικών αισθητήρων υγρασίας εδάφους στο πλαίσιο
αποτελεσματικής διαχείρισης άρδευσης καλλιιεργειών**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Λάμπρος Κώστας

2018

Τριμελής συμβουλευτική επιτροπή

1. ΤΣΙΡΟΓΙΑΝΝΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ, ΑΝ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ τμ. ΤΓ, ΤΕΙ ΗΠΕΙΡΟΥ
2. ΜΑΝΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ τμ. ΤΓ, ΤΕΙ ΗΠΕΙΡΟΥ
3. ΠΑΤΑΚΙΟΥΤΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ, ΑΝ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ τμ. ΤΓ, ΤΕΙ ΗΠΕΙΡΟΥ

Ευχαριστήρια

Ευχαριστώ όλους όσους μου συμπαραστάθηκαν σε αυτό το δύσκολο έργο.

Περίληψη

Στην εποχή μας η χρήση αισθητήρων υγρασίας εδάφους για την αποτελεσματικότερη χρήση του νερού άρδευσης στο πλαίσιο των αειφόρων γεωργικών πρακτικών γίνεται συνεχώς και πιο έντονη.

Οι αισθητήρες αυτοί απαιτούν παραμετροποίηση για τους διάφορους τύπους εδάφους ώστε να έχουν αυξημένη ακρίβεια μέτρησης.

Στο πλαίσιο της μεταπτυχιακής αυτής εργασίας παρατίθεται το θεωρητικό υπόβαθρο και την αρχή λειτουργίας των τασιμέτρων, συσκευών που αποτελούν τον πλέον διαδεδομένο τύπο μηχανικών αισθητήρων μέτρησης υγρασίας εδάφους και έγινε εγκατάσταση τασιμέτρων σε καλλιέργειες υπό πραγματικές συνθήκες (καλλιέργεια ακτινιδιάς) με σκοπό να αξιολογηθούν στην πράξη.

Λόγω του ότι οι καταγραφές των τασιμέτρων γίνονταν σε συχνότητα 3 φορές την ημέρα και του γεγονότος ότι η απόκριση των οργάνων αυτών στις αλλαγές της υγρασίας του εδάφους και τις αντίστοιχες αλλαγές της τάσης συγκράτησης του νερού είναι αργή, δεν είναι εύκολο να συγκριθούν τα αποτελέσματα των τασιμέτρων με τις τιμές εδαφικής υγρασίας που καταγράφονταν ανά μία ώρα. Παρόλα αυτά καταγράφηκε η αναμενόμενη αντίστροφη σχέση των δύο παραμέτρων: αύξηση της υγρασίας συνοδεύεται με μείωση της τάσης και το αντίστροφο (Εικόνα 19 και Εικόνα 22).

Επειδή η μέτρηση γίνονταν σε πραγματικό οπωρώνα, η υγρασία συγκρατήθηκε στα επίπεδα του εύκολα διαθέσιμου νερού –και μάλιστα στο ψηλότερο μέρος αυτού– καθ'όλη την περίοδο και έτσι δεν ήταν εύκολο να εξαχθεί μία ευρεία σχέση τάσης και υγρασίας και μία εκτίμηση του κατά πόσο το τασίμετρο θα μπορούσε να αξιοποιηθεί για τον έλεγχο των αρδευτικών γεγονότων.

Summary

In our time the use of soil moisture sensors for more efficient use of irrigation water in the context of sustainable farming practices is becoming ever more intense.

These sensors require parameterization for the different types of ground so that they have increased measurement accuracy.

In the framework of this postgraduate thesis, we present the theoretical background and the principle of operation of the tensiometers, devices that are the most prevalent type of mechanical soil moisture measurement sensors and installation of tensiometers in crops under real conditions (kiwi cultivation) in order to evaluate them in practice.

Due to the fact that the recordings of the tensiometers were at a frequency of 3 times a day and the fact that the response of these instruments to changes in soil moisture and corresponding changes in the water retention voltage is slow, it is not easy to compare the results of the tensiometers with soil moisture values recorded per hour. However, the expected inverse relationship of the two parameters was recorded: increase in humidity is accompanied by a decrease in voltage and vice versa.

Because the measurement was made in a real orchard, moisture was retained at the levels of readily available water - and indeed in the higher part of it - throughout the period, and so it was not easy to derive a wide relationship of voltage and humidity and an estimate of whether a tensiometer could be used to control irrigation events.

Ευρετήρια

Περιεχόμενα

Τριμελής συμβουλευτική επιτροπή	2
Ευχαριστήρια	2
Περίληψη	3
Summary	4
Ευρετήρια	5
Εισαγωγή.....	10
Εδαφική υγρασία, τάση συγκράτησης εδαφικού νερού και βασικές τεχνικές μέτρησης στον αγρό	11
Το νερό στο έδαφος	11
Σχέσης εδαφικής υγρασίας και ανάπτυξης των φυτών	19
Βασικές τεχνικές μέτρησης της εδαφικής υγρασίας και της τάσης	20
Τασίμετρα	23
Τμήματα ενός τασιμέτρου	24
Αρχή λειτουργίας	25
Εγκατάσταση	27
Πρακτικές οδηγίες χρήσης	31
Χρήση για πρώτη φορά	31
Δοκιμή.....	32
Διαδικασία συμπληρώματος με νερό	33
Διαδικασία συμπληρώματος επί τόπου	34
Τοποθέτηση στον αγρό	35
Μέτρηση.....	37

Διόρθωση μετρήσεων (offset).....	38
Παραδείγματα καταγραφών και αξιοποίησης τιμών.....	41
Πιθανά προβλήματα	44
Αέριο και φυσαλίδες ατμού	44
Πάγωμα	47
Άλλα χρήσιμα πρακτικά θέματα.....	47
Αξιολόγηση λειτουργίας τασιμέτρων σε πραγματικές συνθήκες (καλλιέργεια ακτινιδίου)	
.....	48
Υλικά και μέθοδοι	48
Αποτελέσματα.....	54
Συμπεράσματα.....	62
Βιβλιογραφία.....	63
Παράρτημα Ι – Τα τασίμετρα στην ελληνική αγορά οργάνων μέτρησης	66
Ερωτηματολόγιο	66
Απαντήσεις εταιριών πώλησης μετρητικών οργάνων.....	67
Απαντήσεις παραγωγών	67

Εικόνες

Εικόνα 1 Τρίγωνο μηχανικής σύστασης εδαφών	14
Εικόνα 2 Γενικές σχέσεις εδαφικής υγρασίας και τάσεως για διάφορα εδάφη (Σάββας, 2016: σελ. 85, η υδατοικανότητα λαμβάνεται στα -10, -20 και -30 kPa για αμμώδη, πηλώδη και αργιλώδη εδάφη αντίστοιχα, το σημείο μόνιμης μάρανσης αντιστοιχεί σε υδατικό δυναμικό ίσο με -1.500 kPa).....	17
Εικόνα 3 Γενικές χαρακτηριστικές καμπύλες υγρασίας με χρήση pF (Lajos, 2008).....	18
Εικόνα 4 Τιμές υδατικού δυναμικού σε ορισμένα χαρακτηριστικά σημεία της διαδρομής του νερού στο συνεχές έδαφος-φυτό-ατμόσφαιρα (Σάββας 2016: σελ. 462)	19
Εικόνα 5 Τασίμετρο του 1951 (πηγή: Irrigation Museum, 2016).....	23
Εικόνα 6 Διαφορά είδη τασιμέτρων (κατασκευαστές: Irrometer και Skye) που διαθέτει το εργαστήριο Γεωργικής Μηχανικής και Διαχείρισης Φυσικών Πόρων του Τμ. Τεχν. Γεωπόνων του ΤΕΙ Ηπείρου.....	24
Εικόνα 7 Σύστημα ηλεκτρονικό αυτογεμιζόμενο τασίμετρο (UMS TS1)	24
Εικόνα 8 Σχηματική παράσταση τασιμέτρου μέσα στο έδαφος: 1) Σωλήνας τασιμέτρου 2) Πώμα 3) Μανόμετρο 4) Πορώδες κύπελλο 5) Έδαφος (Ουζούνης, 2002). Να σημειωθεί ότι ο σωλήνας του τασιμέτρου πρέπει να είναι άκαμπτος και ανθεκτικός στις διαφορές πίεσης που θα αντιμετωπίσει.	25
Εικόνα 9 Τασίμετρα και διάταξη ελέγχου της άρδευσης σε βαθύρριζες καλλιέργειες με δύο τασίμετρα (σύνθεση από Μιχελάκης, 1988 και Παπαμιχαήλ και Μπαμπατζιμόπουλος, 2014)	28
Εικόνα 10 Σχηματική παράσταση τασιμέτρου και επαφής του πορώδους κυπέλλου με τον γύρω εδαφικό χώρο (Μιχελάκης, 1988)	29
Εικόνα 11 Γραφική αναπαράσταση επαναπλήρωσης επί τόπου στο αγρό (η τεχνική δεν δοκιμάστηκε στο πλαίσιο της πτυχιακής).	35
Εικόνα 12 Ενδείξεις τασιμέτρων σε καλλιέργεια πατάτας (Skye, 2014).....	41
Εικόνα 13 Τασίμετρο που χρειάζεται επαναπλήρωση με νερό (Skye, 2014)	43
Εικόνα 14 Δορυφορική εικόνα του οπωρώνα (bing maps).....	48
Εικόνα 15 Γενική άποψη του οπωρώνα	49

Εικόνα 16 Διάταξη φυτών και αρδευτικού συστήματος.....	50
Εικόνα 17 Τασίμετρα τοποθετημένα στον οπωρώνα και λήψη δεδομένων από καταγραφικό στο οποίο είναι συνδεδεμένοι διηλεκτρικοί πυκνωτικοί αισθητήρες εδαφικής υγρασίας.....	51
Εικόνα 18 Διακύμανση τάσης (ψ σε hPa) και κατ'όγκο υγρασίας εδάφους θ κατά την δεύτερη περίοδο μετρήσεων στη Θέση Α.....	55
Εικόνα 19 Διακύμανση μέσων τιμών τάσης ψ για βάθη 15 και 40 cm και μέσων τιμών κατ'όγκο υγρασίας εδάφους θ για βάθη 15 και 30 cm κατά την δεύτερη περίοδο μετρήσεων στη Θέση Α.....	56
Εικόνα 20 Σχέση μέσων τιμών τάσης ψ για βάθη 15 και 40 cm, ομαδοποιημένων ανά 50 hPa και μέσων τιμών κατ'όγκο υγρασίας εδάφους θ για βάθη 15 και 30 cm κατά την δεύτερη περίοδο μετρήσεων στη Θέση Α.....	57
Εικόνα 21 Διακύμανση τάσης (ψ σε hPa) και κατ'όγκο υγρασίας εδάφους θ κατά την δεύτερη περίοδο μετρήσεων στη Θέση Δ.....	59
Εικόνα 22 Διακύμανση μέσων τιμών τάσης ψ για βάθη 15 και 40 cm και μέσων τιμών κατ'όγκο υγρασίας εδάφους θ για βάθη 20 cm κατά την δεύτερη περίοδο μετρήσεων στη Θέση Δ.....	60
Εικόνα 23 Σχέση μέσων τιμών τάσης ψ για βάθη 15 και 40 cm, ομαδοποιημένων ανά 50 hPa και μέσων τιμών κατ'όγκο υγρασίας εδάφους θ για βάθη 20 cm κατά την δεύτερη περίοδο μετρήσεων στη Θέση Δ.....	61

Πίνακες

Πίνακας 1 Εδαφική υγρασία εκφρασμένη σε κατ'όγκο υγρασία (θ ή VWC – Volumetric Water Content σε % v/v) για βασικούς τύπους εδαφών στην υδατοϊκανότητα (FC - Field Capacity) και στο σημείο (μόνιμης) μάρανσης (PWP ή WP (Permanent) Wilting point) (Πηγή: Soil type (USA Soil Texture Classification) - FAO paper56)	14
Πίνακας 2 Μονάδες μέτρησης τάσης (πίεσης) και μετατροπές αυτών.....	16

Πίνακας 3 Προτεινόμενο βάθος εγκατάστασης του τασιμέτρου (σε cm) σύμφωνα με το εγχειρίδιο της εταιρίας Skye (2014) για την μέτρηση της εδαφικής υγρασίας με την χρήση των τασιμέτρων	30
Πίνακας 4 Μετρήσεις τασιμέτρου σε σχέση με το περιεχόμενο νερό (%) της υγρασίας του εδάφους (κατά βάρος) σε διάφορους τύπους εδαφών (σύμφωνα με το εγχειρίδιο της εταιρίας Skye (2014) για την μέτρηση της εδαφικής υγρασίας με την χρήση των τασιμέτρων)	39
Πίνακας 5 Προτεινόμενες τιμές του άνω τασιμέτρου κατά την οποία πρέπει να ξεκινήσει η άρδευση (σύμφωνα με το εγχειρίδιο της εταιρίας Skye (2014)).	39
Πίνακας 6 Τιμές της εδαφικής τάσης που σηματοδοτούν ανάγκη για άρδευση ώστε να εξασφαλίζεται μέγιστη απόδοση των καλλιεργειών (Taylor και Aschcroft, 1972 από Πουλοβασίλης, 1993).	40
Πίνακας 7 Χαρακτηριστικά εδάφους και καλλιέργειας περίπτωσης Α [ΛΚ – Αγ. Παρασκευή]	49

Εξιιώσεις

Εξίσωση 1 Δυναμικό εδαφικού νερού	15
Εξίσωση 2 Μοντέλο van Genuchten για τις χαρακτηριστικές καμπύλες υγρασίας	18
Εξίσωση 3 Υπολογισμός τιμή pF	18
Εξίσωση 4 Υδατικό δυναμικό κυτταρικού νερού	20

Εισαγωγή

Στην εποχή μας η χρήση αισθητήρων υγρασίας εδάφους για την αποτελεσματικότερη χρήση του νερού άρδευσης στο πλαίσιο των αειφόρων γεωργικών πρακτικών γίνεται συνεχώς και πιο έντονη.

Οι αισθητήρες αυτοί απαιτούν παραμετροποίηση για τους διάφορους τύπους εδάφους ώστε να έχουν αυξημένη ακρίβεια μέτρησης.

Στο πλαίσιο της μεταπτυχιακής αυτής εργασίας παρατίθεται το θεωρητικό υπόβαθρο και την αρχή λειτουργίας των τασιμέτρων, συσκευών που αποτελούν τον πλέον διαδεδομένο τύπο μηχανικών αισθητήρων μέτρησης υγρασίας εδάφους και έγινε εγκατάσταση τασιμέτρων σε καλλιέργειες υπό πραγματικές συνθήκες (καλλιέργεια ακτινιδιάς) με σκοπό να αξιολογηθούν στην πράξη.

Τα συμπεράσματα αναμένεται να είναι άμεσα χρήσιμα στο πλαίσιο βελτίωσης της διαχείρισης της άρδευσης.

Εδαφική υγρασία, τάση συγκράτησης εδαφικού νερού και βασικές τεχνικές μέτρησης στον αγρό

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αναφορά στο θεωρητικό υπόβαθρο της εργασίας. Στο πρώτο μέρος αναλύονται τα σχετικά με την εδαφική υγρασία, τις κατηγορίες της, τη συμπεριφορά της, τις σχέσεις που αναπτύσσονται μεταξύ εδαφικής υγρασίας και ανάπτυξης των φυτών και τις βασικές τεχνικές με τις οποίες προσδιορίζεται αυτή. Στο δεύτερο μέρος αναφέρεται η σχέση εδαφικής υγρασίας και τάσης συγκράτησης (μύζησης) του νερού από τα εδαφικά σωματίδια (χαρακτηριστική καμπύλη υγρασίας), ενώ στο τρίτο μέρος παρουσιάζονται τα τασίμετρα και πιο συγκεκριμένα η αρχή λειτουργίας τους, τα μέρη από τα οποία αποτελούνται, τον τρόπο εγκατάστασης τους, το πώς μπορούν να αξιοποιηθούν οι μετρήσεις που παρέχουν, τα πιθανά προβλήματα που ενδέχεται να παρουσιαστούν κατά την χρήση τους και τέλος ορισμένα βασικά πρακτικά θέματα που αφορούν τη χρήση τους. Ως βάση του κεφαλαίου έχει χρησιμοποιηθεί υφιστάμενη πληροφορία που έχει συγκεντρώσει το εργαστήριο (Δεδελούδη, 2017).

Το νερό στο έδαφος

Σε ένα έδαφος οι πόροι, δηλαδή τα κενά διαστήματα που υπάρχουν ανάμεσα στα συσσωματώματα του εδάφους σχηματίζουν ένα πολύπλοκο δίκτυο από διασυνδεδεμένους αγωγούς κάθε σχήματος, διαμέτρου και μήκους. Αν όλοι οι πόροι του εδάφους -μικροί και μεγάλοι- γεμίσουν με νερό, το έδαφος θεωρείται κορεσμένο, δηλαδή ο κορεσμός αντιπροσωπεύει τη μέγιστη ποσότητα νερού που μπορεί να χωρέσει ένα έδαφος. Αν το έδαφος παραμείνει κορεσμένο με νερό για μεγάλο χρονικό διάστημα, τα φυτά, αλλά και πολλοί ωφέλιμοι μικροοργανισμοί του εδάφους, δεν θα αναπτυχθούν σωστά έως και θα καταστραφούν λόγω ανεπάρκειας οξυγόνου.

Οι βασικές κατηγορίες της εδαφικής υγρασίας είναι (Καρακατσούλης, 1997, σελ. 5-6):

1. Ελεύθερο νερό ή νερό βαρύτητας: έτσι χαρακτηρίζεται το νερό που γεμίζει προσωρινά τους μεγάλους πόρους ή τα κενά του εδάφους, και κάτω από την

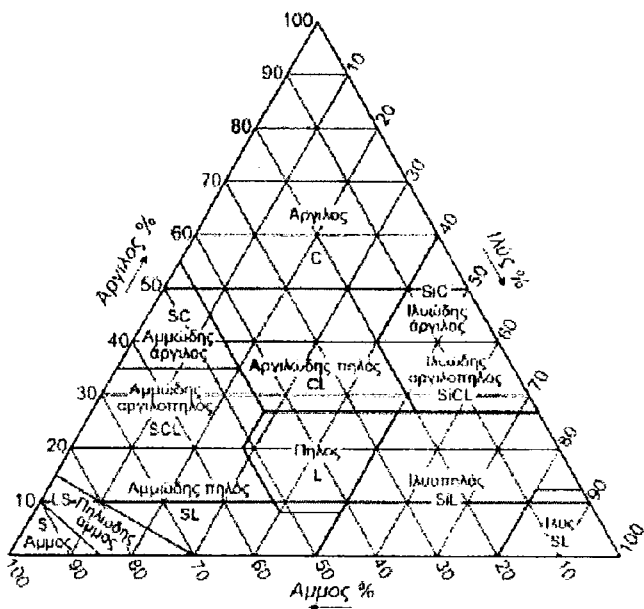
επίδραση της βαρύτητας διηθείται προς τα βαθύτερα στρώματα του εδάφους. Το νερό αυτό χάνεται σχεδόν για τα φυτά. Βέβαια, αν κατά την εφαρμογή των αρδεύσεων ληφθεί μέριμνα, ώστε η δόση αρδεύσεως να είναι τέτοια που η κάθοδος αυτού του νερού να μην ξεπερνά το βάθος της ενεργού ζώνης του ριζικού συστήματος των φυτών (εδαφική ζώνη βάθους που περιλαμβάνει το μεγαλύτερο ποσοστό του ριζικού συστήματος που λαμβάνεται υπόψη για την άρδευση), τότε περιορίζονται στο μέγιστο οι απώλειες λόγω βαθιάς διηθήσεως. Δυστυχώς όμως στην πράξη, λόγω ατελειών των κλασσικών συστημάτων αρδεύσεως, αυτό δεν είναι εύκολο να πραγματοποιηθεί, με αποτέλεσμα ένα ποσοστό αρδευτικού νερού να χάνεται για τα φυτά.

2. Υγροσκοπικό νερό: έτσι χαρακτηρίζεται το νερό που συγκρατείται με τη μορφή λεπτότατων μεμβρανών γύρω από την επιφάνεια των κόκκων του εδάφους λόγω ισχυρών συνεκτικών δυνάμεων και, πρακτικά, δεν μπορεί να απορροφηθεί από το ριζικό σύστημα των φυτών, γιατί η απαιτούμενη αρνητική τάση που πρέπει να ασκηθεί από αυτό είναι πολύ μεγάλη.
3. Τριχοειδές νερό: έτσι χαρακτηρίζεται το νερό που συγκρατείται στους τριχοειδείς πόρους του εδάφους και γύρω από τους κόκκους του εδάφους κάτω από την επίδραση δυνάμεων επιφανειακής τάσεως και μοριακής έλξεως. Το τμήμα αυτό της εδαφικής υγρασίας είναι ουσιαστικά η κύρια πηγή τροφοδοσίας των φυτών σε νερό, γιατί και εύκολα προσφέρεται, αλλά και εύκολα απορροφάται από το ριζικό σύστημα των φυτών.

Εκτός από τον κορεσμό βασικές πληροφορίες για την ικανότητα των διαφόρων τύπων εδαφών (Εικόνα 1) να συγκρατούν νερό και να το διαθέτουν στα φυτά παρέχουν η υδατοϊκανότητα ή υδροχωρητικότητα (υγρασία που συγκρατεί το έδαφος όταν όλοι οι τριχοειδείς πόροι είναι γεμάτοι με νερό) και το σημείο μόνιμης μάρανσης (υγρασία που συγκρατείται ισχυρά από τα εδαφικά σωματίδια ως στρώμα γύρω από αυτά). Η διαφορά μεταξύ υδατοϊκανότητας και σημείου μόνιμης μάρανσης ονομάζεται διαθέσιμη υγρασία (Πίνακας 1).

Πίνακας 1 Εδαφική υγρασία εκφρασμένη σε κατ'όγκο υγρασία (θ ή VWC – Volumetric Water Content σε % v/v) για βασικούς τύπους εδαφών στην υδατοϊκανότητα (FC - Field Capacity) και στο σημείο (μόνιμης) μάρανσης (PWP ή WP (Permanent) Wilting point) (Πηγή: Soil type (USA Soil Texture Classification) - FAO paper56)

Τύπος εδάφους (κατηγορία κοκκομετρικής σύστασης)	θ FC	θ WP
	m ³ /m ³	m ³ /m ³
Αμμώδες (Sand)	0,07 - 0,17	0,02 - 0,07
Πηλοαμμώδες (Loamy sand)	0,11 - 0,19	0,03 - 0,10
Αμμοπηλώδες (Sandy loam)	0,18 - 0,28	0,06 - 0,16
Πηλώδες (Loam)	0,20 - 0,30	0,07 - 0,17
Ιλοοπηλώδες (Silt loam)	0,22 - 0,36	0,09 - 0,21
Ιλυώδες (Silt)	0,28 - 0,36	0,12 - 0,22
Ιλοαργιλοπηλώδες (Silt clay loam)	0,30 - 0,37	0,17 - 0,24
Ιλοαργιλώδες (Silty clay)	0,30 - 0,42	0,17 - 0,29
Αργιλώδες (Clay)	0,32 - 0,40	0,20 - 0,24



Εικόνα 1 Τρίγωνο μηχανικής σύστασης εδαφών

Το δυναμικό του εδαφικού νερού είναι το άθροισμα:

Ωσμωτικό δυναμικό + Δυναμικό θεμελιώδους μάζας

Εξίσωση 1 Δυναμικό εδαφικού νερού

Το ωσμωτικό δυναμικό οφείλεται στα θρεπτικά στοιχεία και τα άλλα ιόντα που είναι διαλυμένα στο νερό ενώ το δυναμικό θεμελιώδους μάζας οφείλεται στην έλξη που ασκούν στο νερό οι επιφάνειες των τεμαχιδίων του εδάφους μέσω ηλεκτροστατικών δυνάμεων. Από τα δύο, σημαντικά μεγαλύτερο είναι το δυναμικό της θεμελιώδους μάζας του εδάφους.

Το δυναμικό της θεμελιώδους μάζας εκφράζεται με τον όρο τάση (tension) ή αρνητική πίεση ή εδαφικό υδατικό δυναμικό (matric potential, Ψ_m), αποτελεί μέτρο του πόσο ισχυρά συγκρατείται το νερό στο έδαφος και είναι αντιπροσωπευτικό του μεγέθους της δύναμης ανά μονάδα επιφάνειας που πρέπει να καταβληθεί για την απομάκρυνση του από τους εδαφικούς πόρους.

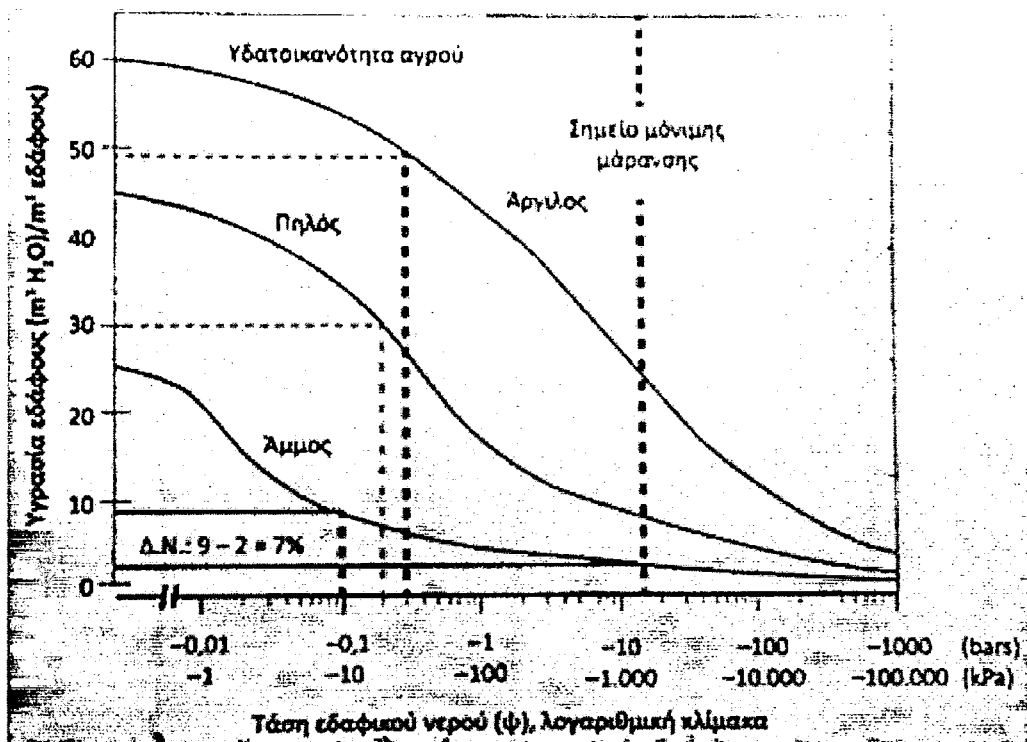
Το εδαφικό υδατικό δυναμικό ωφελείται σε δυνάμεις συνοχής και συνάφειας που συγκρατούν το νερό στους εδαφικούς πόρους. Τα αμμώδη εδάφη διαθέτουν μεγάλους πόρους και δεν συγκρατούν το νερό με μεγάλες δυνάμεις. Αντίθετα τα αργιλώδη εδάφη λόγω των πολλών μικροσκοπικών πόρων συγκρατούν μεγαλύτερες ποσότητες νερού με ισχυρότερες δυνάμεις. Τα αργιλώδη εδάφη επίσης έχουν την ιδιότητα να διαστέλλονται κατά την διαβροχή τους και να συστέλλονται κατά την ξήρανση τους με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν πολλές φορές τις χαρακτηριστικές επιφανειακές ρωγμές.

Το εδαφικό υδατικό δυναμικό εκφράζεται σε ατμόσφαιρες ή σε ισοδύναμο ύψος υδάτινης στήλης (μία ατμόσφαιρα = 1bar = 10 μέτρα στήλης νερού σε θερμοκρασία 21°C, Πίνακας 2). Μια συγκεκριμένη τάση όμως δεν αντιπροσωπεύει απόλυτα την ποσότητα του νερού που υπάρχει σε οποιοδήποτε έδαφος γιατί είναι η συνάρτηση της υφής και της δομής του εδάφους.

Πίνακας 2 Μονάδες μέτρησης τάσης (πίεσης) και μετατροπές αυτών

Μονάδες	Παρατηρήσεις
Atm	φυσική ατμόσφαιρα
at	τεχνητή ατμόσφαιρα ή απλά ατμόσφαιρα
Pa	Pascal
m στήλης νερού	επίσημη μονάδα μέτρησης πίεσης στο SI
kg cm ⁻²	
bar	
PSI	pound per square inch
Χρήσιμες μετατροπές	
1 φυσική ατμόσφαιρα (Atm) = 1,033 at	
1at = 1kgcm ⁻² = 10m νερού = 0,98bar = 14,223PSI	
1 Pa = 1 N m ⁻²	
1 bar = 10.0000 Pa	
1 hPa = 0,001 bar = 1 mbar	
1 cm στήλης νερού = 0.981 hPa	
1 kPa = 0,01 bar = 10 cm στήλης νερού	

Για να μπορέσουμε να εκτιμήσουμε την ποσότητα του νερού που μπορεί να συγκρατήσει ένα έδαφος κάτω από διαφορετικές τάσεις, κατασκευάζονται οι χαρακτηριστικές καμπύλες υγρασίας (ΧΚΥ) οι οποίες συνδέουν την υγρασία του εδάφους με τις αντίστοιχες τάσεις (water retention curves). Αυτές όπως φαίνεται στην Εικόνα 2 είναι αντιπροσωπευτικές του κάθε τύπου εδάφους (Σάββας, 2016: σελ. 85).



Εικόνα 2 Γενικές σχέσεις εδαφικής υγρασίας και τάσεως για διάφορα εδάφη (Σάββας, 2016: σελ. 85, η υδατοικανότητα λαμβάνεται στα -10, -20 και -30 kPa για αμμώδη, πηλώδη και αργιλώδη εδάφη αντίστοιχα, το σημείο μόνιμης μάρανσης αντιστοιχεί σε υδατικό δυναμικό ίσο με -1.500 kPa)

Πολλές φορές οι χαρακτηριστικές καμπύλες υγρασίας παρουσιάζονται με αντιμετάθεση των αξόνων σε σχέση με την Εικόνα 2 ενώ αντί για τον όρο τάση συγκράτησης υγρασίας είναι πιθανό να εμφανίζονται οι όροι μύζηση ή εδαφικό δυναμικό. Οι χαρακτηριστικές καμπύλες υγρασίας προσεγγίζονται πολύ καλά με βάση το μοντέλο van Genuchten (1980).

$$\theta = (\theta_s - \theta_r) [1 + (\alpha h)^n]^{-m} + \theta_r$$

όπου

θ το περιεχόμενο σε νερό που αντιστοιχεί στην τάση h

θ_s και θ_r η υγρασία κορεσμού και η υπολοιπόμενη υγρασία του υποστρώματος

α , n και m εμπειρικοί συντελεστές

Εξίσωση 2 Μοντέλο van Genuchten για τις χαρακτηριστικές καμπύλες υγρασίας

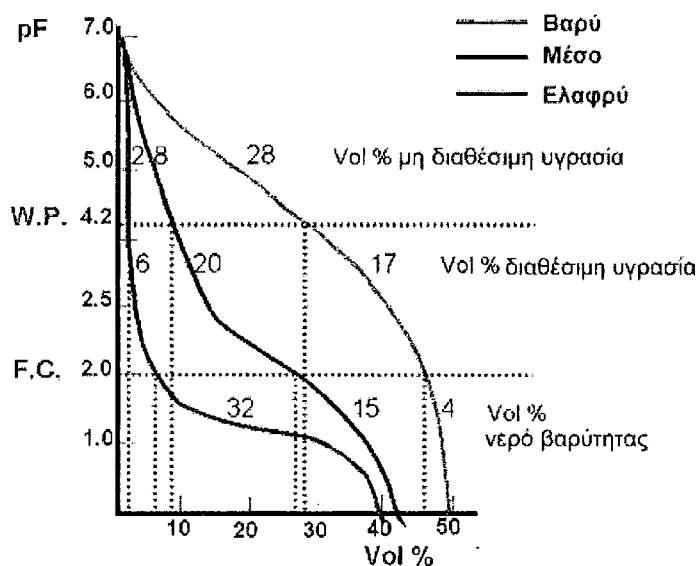
Από την Εικόνα 2 είναι φανερό ότι από κάποιο ποσοστό εδαφικής υγρασίας και πέρα ουσιαστικά η καμπύλη τείνει να γίνει οριζόντια, γεγονός που κάνει δύσκολη την ανάγνωσή της. Πολλές φορές η χαρακτηριστική καμπύλη υγρασίας αναφέρεται και ως καμπύλη pF , όπου pF ο λογάριθμος της απόλυτης τιμής του εδαφικού δυναμικού ($|L|$ και Shukla, 2004):

$$pF = \log |\Psi_m|$$

όπου το Ψ_m είναι το εδαφικό δυναμικό σε cm στήλης νερού

Εξίσωση 3 Υπολογισμός τιμή pF

Είναι φανερό ότι με αυτή την απεικόνιση οι χαρακτηριστικές καμπύλες υγρασίας είναι περισσότερο εύκολο να μελετηθούν (Εικόνα 3). Αν $pF = 0$ το έδαφος είναι σε κατάσταση κορεσμού, σε pF λίγο πριν το 2.0 (-100 hPa) το έδαφος είναι σε κατάσταση υδατοικανότητας και σε τιμές λίγο πάνω από το 4 φτάνει στο σημείο μόνιμης μάρανσης.

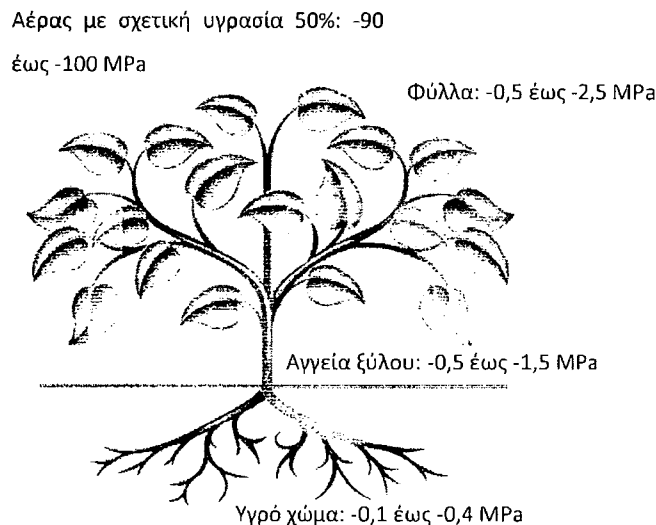


Εικόνα 3 Γενικές χαρακτηριστικές καμπύλες υγρασίας με χρήση pF (Lajos, 2008)

Τέλος πρέπει να σημειωθεί ότι οι χαρακτηριστικές καμπύλες υγρασίας κατά την ύγρανση και ξήρανση του εδάφους διαφέρουν, φαινόμενο που ονομάζεται υστέρηση. Αυτό οφείλεται στην διαφορετική συμπεριφορά του νερού και τις διαφορές στις αντιστάσεις που δέχεται όταν εισέρχεται ή όταν απομακρύνεται από τους πόρους ενός εδάφους.

Σχέσης εδαφικής υγρασίας και ανάπτυξης των φυτών

Υπολογίζεται ότι ποσοστό έως και 99% του νερού που απορροφούν τα φυτά από το έδαφος καταλήγει στην ατμόσφαιρα μέσω της διαπνοής ενώ το υπόλοιπο παραμένει στους φυτικούς ιστούς και συμβάλει στην αύξηση της βιομάζας τους (Σάββας, 2016).



Εικόνα 4 Τιμές υδατικού δυναμικού σε ορισμένα χαρακτηριστικά σημεία της διαδρομής του νερού στο συνεχές έδαφος-φυτό-ατμόσφαιρα (Σάββας 2016: σελ. 462)

Η απορρόφηση εδαφικού νερού από τα φυτά οφείλεται σε διαφορά υδατικού δυναμικού μεταξύ του νερού στο έδαφος και του νερού στα κύτταρα των ριζών (Σάββας, 2016) και η δύναμη ανά μονάδα επιφάνειας που πρέπει να ασκηθεί στο νερό για την λήψη του ονομάζεται μύζηση (suction) του φυτού. Το δυναμικό του νερού των κυττάρων της ρίζας (δυναμικό κυτταρικού νερού, Ψ_m) είναι το άθροισμα του ωσμωτικού τους δυναμικού (εξαρτάται από τις συγκεντρώσεις των διαλυτών ουσιών που περιέχει) και της πίεσης σπαργής.

$$\Psi_m = \Psi_o + \Psi_p$$

όπου Ψ_m το δυναμικό κυτταρικού νερού, Ψ_o το ωσμωτικό δυναμικό των κυττάρων της ρίζας και Ψ_p η πίεση σπαργής

Εξίσωση 4 Υδατικό δυναμικό κυτταρικού νερού

Το υδατικό δυναμικό κυτταρικού νερού πρέπει να είναι σημαντικά χαμηλότερο (υψηλότερο σε απόλυτες τιμές) από αυτό του εδαφικού νερού που τα περιβάλλει ώστε να υπάρχει η αναγκαία διαφορά δυναμικού για την μετακίνηση νερού από το έδαφος προς τα κύτταρα της ρίζας. Για να φθάσει το νερό έως τα φύλλα και από εκεί στην ατμόσφαιρα πρέπει να υπάρχει μία συνεχής αύξηση δυναμικού (σε απόλυτες τιμές) (Εικόνα 4).

Σύμφωνα με τον Καρακατσούλη (1997: σελ.20), η ευνοϊκότερη κατάσταση υγρασίας του εδάφους για τα φυτά είναι εκείνη κατά την οποία η αρνητική τάση (ή πίεση) είναι ίση με το $1/3$ της ατμοσφαιρικής πίεσης. Δηλαδή όταν το έδαφος βρίσκεται στην υδατοϊκανότητα του. Όσο μειώνεται η υγρασία του εδάφους λόγω της διαπνοής των φυτών και της εξάτμισης, τα φυτά, για να αντλήσουν τις αναγκαίες ποσότητες νερού, αναγκάζονται να καταβάλλουν μεγαλύτερη προσπάθεια.

Βασικές τεχνικές μέτρησης της εδαφικής υγρασίας και της τάσης

Σύμφωνα με το εγχειρίδιο της εταιρίας Skye (2014) για την μέτρηση της εδαφικής υγρασίας οι εξής:

1. Η σταθμική τεχνική (Gravimetric Technique), όπου είναι η κλασσική μέθοδος μέτρησης της ποσότητας νερού σε ένα δείγμα εδάφους. Αυτή η μέθοδος περιλαμβάνει το να πάρουμε έναν όγκο εδάφους, που έχει ζυγιστεί ακριβώς, έχει στεγνώσει εντελώς σε έναν φούρνο, έχει ζυγιστεί πάλι το ξηρό δείγμα του και υπολογίζεται η υγρασία του εδάφους επί τις εκατό της απώλειας βάρους. Αυτή είναι μια χρονοβόρα και επίπονη διαδικασία.
2. Η τεχνική με χρήση ραδιενέργειας (Radioactive Technique), όπου όμως το σχετικό όργανο είναι πολύ ακριβό και οι μετρήσεις θα πρέπει –λόγω της ραδιενέργειας-

να ληφθούν από εξειδικευμένο προσωπικό. Συνήθως χρησιμοποιείται για να καταγραφεί η υγρασία του εδάφους σε εβδομαδιαία βάση ενώ τα σημεία μετρήσεων δεν αλλάζουν εύκολα.

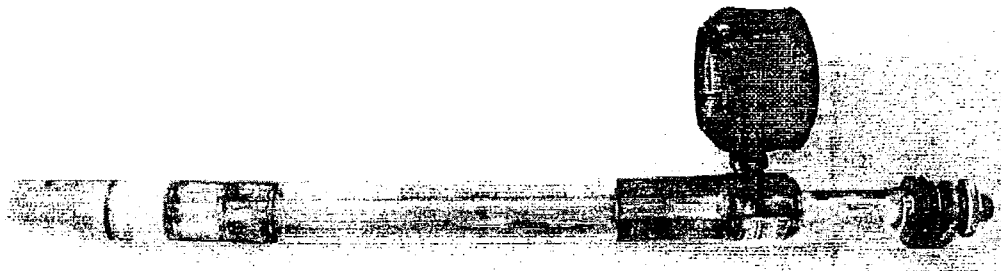
3. Η τεχνική της χωρητικότητας (Capacitive Technique), στην οποία υπάρχουν διάφορα όργανα που δείχνουν το ποσοστό νερού στο έδαφος μετρώντας την χωρητικότητα. Αυτά τα όργανα δίνουν στιγμιαία την περιεχόμενη ογκομετρικά υγρασία γρήγορα και εύκολα μετρώντας τις διηλεκτρικές ιδιότητες του εδάφους που περιέχει νερό. Ανιχνευτές εισέρχονται στο απαιτούμενο βάθος του εδάφους και η μέτρηση εμφανίζεται σε έναν μετρητή ή καταγράφεται σε ένα καταγραφικό σύστημα. Ωστόσο οι διηλεκτρικές ιδιότητες του εδάφους δεν εξαρτώνται μόνο από την ποσότητα νερού που είναι παρούσα αλλά και από τον τύπο του εδάφους, την διάβρωση του και την οργανική ουσία που περιέχει. Έτσι για ακριβείς ογκομετρικές μετρήσεις του περιεχομένου νερού, κάθε σημείο μετρήσεως θα πρέπει να είναι ανεξάρτητα βαθμονομημένο Ένα παράδειγμα της τεχνικής μέτρησης χωρητικότητας είναι η Time Domain Reflectometry (TDR). Παρόλο που οι μεταλλικοί αγωγοί είναι μέτριου προς χαμηλού κόστους, τα ηλεκτρονικά για τον έλεγχο και την ερμηνεία των μετρήσεων είναι δαπανηρά.
4. Η τεχνική της αγωγιμότητας (Conductivity Technique), όπου γενικά η εδαφική αγωγιμότητα μειώνεται με την μείωση της εδαφικής υγρασίας. Ειδικοί αισθητήρες (resistance gypsum blocks) μετράνε την αγωγιμότητα του εδάφους και είναι αρκετά φτηνοί. Ωστόσο η αγωγιμότητα του εδαφικού νερού είναι διαφορετική στους διαφορετικούς τύπους εδαφών και μπορεί να αλλάξει ανάλογα με τους ψεκασμούς ή τα λιπάσματα που εφαρμόζονται. Οπότε οι αισθητήρες αυτοί χρησιμοποιούνται γενικά μόνο για τις τάσεις μεταβολής της υγρασίας του εδάφους
5. Η τεχνική αναρρόφησης (Soil Suction Technique), η οποία μετράει την διαθεσιμότητα του εδαφικού νερού για τα φυτά και όχι το πραγματικό ποσοστό του νερού στο έδαφος. Αυτή η μέτρηση της διαθεσιμότητας του νερού είναι πιο χρήσιμη στην γεωργία και στην άρδευση. Αυτή η μέτρηση είναι ανεξάρτητη από

τον τύπο του εδάφους και δίνει μια ακριβή μέτρηση για τις ανάγκες των φυτών ή του χωραφίου σε νερό. Τα σχετικά φθηνά -σε σχέση με τους ηλεκτρονικούς αισθητήρες- τασίμετρα μετράνε την διαθεσιμότητα ή την πιθανότητα διαθεσιμότητας νερού στο έδαφος. Τα αποτελέσματα δίνονται σε μονάδες πίεσης.

Οι τεχνικές 1 και 5 μπορούν να υλοποιηθούν με μηχανικά μέσα και μόνο αν και σύγχρονα π.χ. τασίμετρα λαμβάνουν και διορθώνουν τις μετρήσεις τους με ηλεκτρονικά κυκλώματα.

Τασίμετρα

Τα τασίμετρα (tensiometers) σε πολλές αναφορές αποδίδονται στα Ελληνικά και με τον όρο τενσιομέτρα. Στην συγκεκριμένη εργασία θα τα αναφέρουμε με τον όρο τασίμετρα και όχι τενσιόμετρα, παρόλο που όπως αναφέραμε και λίγο πιο πάνω και οι δυο ονομασίες είναι σωστές και χρησιμοποιούνται.

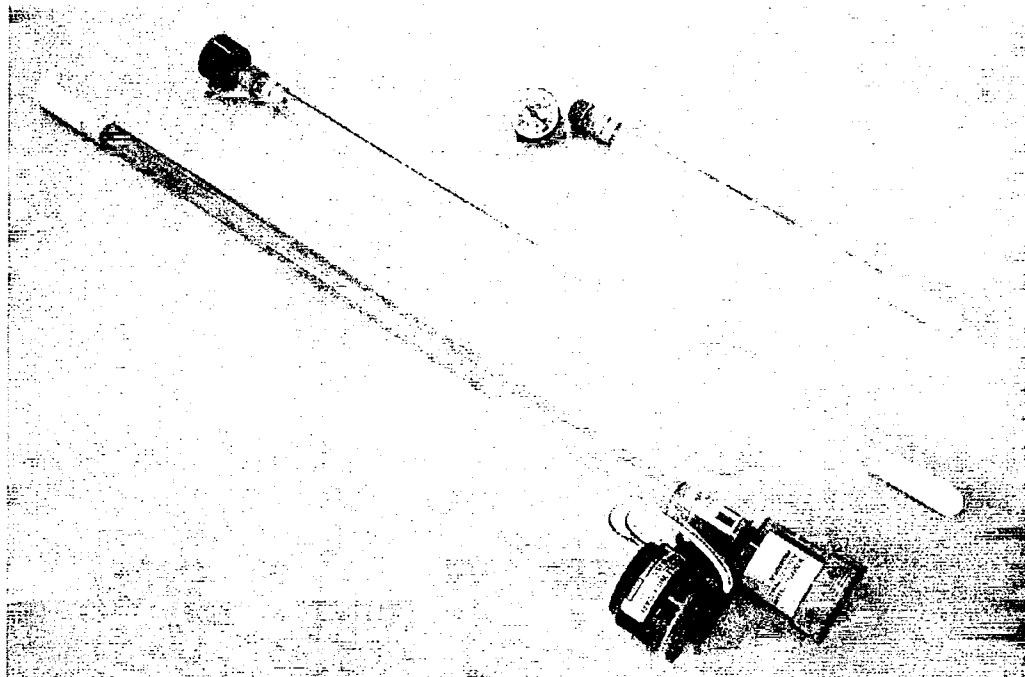


Εικόνα 5 Τασίμετρο του 1951 (πηγή: Irrigation Museum, 2016)

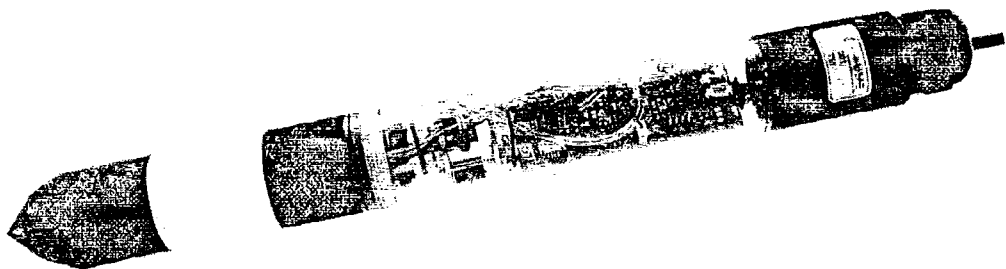
Τα τασίμετρα αποτελούν μια απλή στη σύλληψη συσκευή που επιτρέπει την εκτίμηση της διαθεσιμότητας του εδαφικού νερού. Μετά την εμφάνιση των πρώτων τασιμέτρων, τα οποία επινοήθηκαν από τους L.A Richards και Willard Gardner του πανεπιστημίου της πολιτείας Utah των Η.Π.Α. Αυτά τελειοποιήθηκαν και σήμερα αποδίδουν πάρα πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα (Θεοχάρης, 1998: σελ.36). Παρά το ότι έχουν εμφανιστεί στην αγορά εδώ και σχεδόν 100 έτη και συνεχίζουν να χρησιμοποιούνται σε πολλές περιοχές του κόσμου για τη διαχείριση της άρδευσης, στην Ελλάδα η χρήση τους είναι περιορισμένη. Αναφέρθηκε χρήση τους στο πλαίσιο άρδευσης βιομηχανικής τομάτας στην περιοχή της Ηλείας (Κουβάς, 2016).

Υπάρχει μεγάλη ποικιλία τασιμέτρων στο εμπόριο κατάλληλα τόσο για πειραματικούς σκοπούς, όσο και για εφαρμογές στην πράξη. Από αυτά, άλλα χρησιμοποιούν υδραργυρικά μανόμετρα και άλλα μηχανικά (Μιχελάκης, 1988: σελ.254). Λεπτομερής περιγραφή της αρχής λειτουργίας και των εφαρμογών της μεθόδου δίνεται από τους Cassel και Klute (1986 - από Παπαζαφειρίου, 1999: σελ.41-).

Αξίζει να αναφερθεί ότι τασίμετρα χρησιμοποιούνται και στο πλαίσιο μεθοδολογιών καταγραφής της χαρακτηριστικής καμπύλης υγρασίας εδαφών (Lourenço κ.α., 2007).



Εικόνα 6 Διαφορά είδη τασιμέτρων (κατασκευαστές: Irrometer και Skye) που διαθέτει το εργαστήριο Γεωργικής Μηχανικής και Διαχείρισης Φυσικών Πόρων του Τμ. Τεχν. Γεωπόνων του ΤΕΙ Ηπείρου

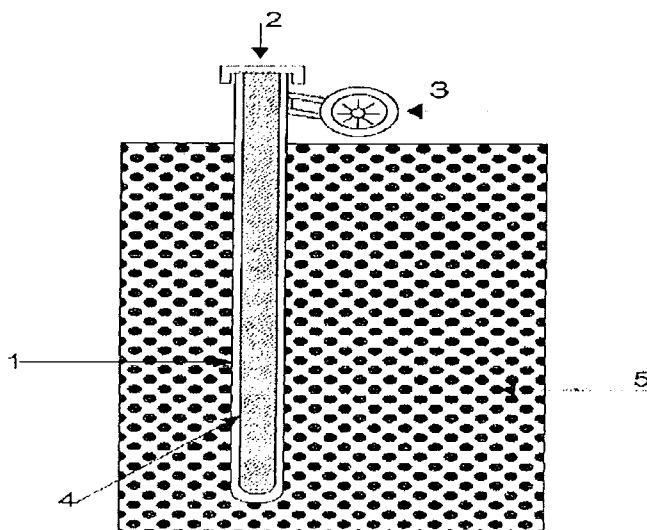


Εικόνα 7 Σύγχρονο ηλεκτρονικό αυτογεμιζόμενο τασίμετρο (UMS TS1)

Τμήματα ενός τασιμέτρου

Ένα τυπικό τασίμετρο αποτελείται από έναν σωλήνα, ο οποίος συνδέεται στο επάνω μέρος με ένα μηχανικό ή υδραγυρικό μανόμετρο και στο κάτω με ένα πορώδες κεραμικό κύπελλο από πορσελάνη και κλείνει στην κορυφή με ένα πώμα (Ουζούνης, 2002: σελ.192-193). Τα σύγχρονα τασίμετρα αντί μανομέτρου είναι εφοδιασμένα με ένα μετατροπέα πίεσης, ο οποίος μετατρέπει τις μεταβολές πίεσης του εσωτερικού των

τασιμέτρων, σε ηλεκτρικό σήμα. Η διαδικασία αυτή επιτρέπει τη συνεχή καταγραφή και ηλεκτρονική αποθήκευση των τιμών της τάσης (Παπαμιχαήλ και Μπαμπατζιμόπουλος, 2014: σελ.256). Ο σωλήνας γεμίζεται με νερό και τοποθετείται μέσα στο έδαφος έτσι ώστε η πορώδης καλύπτρα (αλλού αναφέρεται ως κεραμικός βολβός) να βρίσκεται στο βάθος στο οποίο θέλουμε να μετρήσουμε την υγρασία (Πατακίουτας, 2001: σελ.12). Η πορώδης καλύπτρα είναι διαπερατή στο νερό και τα υδατοδιαλύτα στοιχεία του εδαφικού διαλύματος αλλά όχι στα εδαφικά σωματίδια και αέρια (Παπαζαφειρίου, 1999: σελ.41).



Εικόνα 8 Σχηματική παράσταση τασιμέτρου μέσα στο έδαφος: 1) Σωλήνας τασιμέτρου 2) Πύμα 3) Μανόμετρο 4) Πορώδες κύπελλο 5) Έδαφος (Ουζούνης, 2002). Να σημειωθεί ότι ο σωλήνας του τασιμέτρου πρέπει να είναι άκαμπτος και ανθεκτικός στις διαφορές πίεσης που θα αντιμετωπίσει.

Αρχή λειτουργίας

Σύμφωνα με το εγχειρίδιο της εταιρίας Skye (2014) τα τασίμετρα παρέχουν εκτιμήσεις της διαθεσιμότητας της υγρασίας του εδάφους, υπολογίζοντας την τάση που οφείλεται στην διαδικασία δημιουργίας μιας ισορροπίας μεταξύ του περιεχόμενου νερού μέσα στο «σώμα» του τασιμέτρου και της υγρασίας του εδάφους. Για παράδειγμα:

- στα ξηρά εδάφη το νερό εντός του τασιμέτρου θα ρέει προς τα έξω στο περιβάλλον χώμα μέχρι η διαφορά πίεσης να ισούται με μηδέν
- σε πιο υγρά εδάφη αυτή η διαδικασία θα συμβαίνει όλο και λιγότερο μέχρι που η περιεχόμενη υγρασία να είναι στο 100%, όπου καμία ανταλλαγή νερού δεν θα συμβαίνει
- αυτή η διαδικασία μπορεί να συμβεί και αντίστροφα, όπου εάν το έδαφος είναι ξηρό σε μια στιγμή του χρόνου, το νερό θα ρέει προς τα έξω και εάν συμβεί κατακρήμνιση το νερό θα αρχίσει να ξαναμπαίνει στο τασίμετρο για να διευκολύνει την αλλαγή στην υγρασία του εδάφους και να κρατήσει την πίεση σε ισορροπία.

Η ισορροπία αυτή επιτυγχάνεται με ένα πολύ ειδικό κεραμικό υλικό (διαπερατό από το νερό – αδιαπέραστο από τον αέρα μέσω μιας μεμβράνης). Η πίεση στο «σώμα» του τασιμέτρου παρακολουθείται κατευθείαν από έναν ημιαγωγό μετατροπέα πίεσης ή στα πιο απλά μοντέλα από έναν αναλογικό μετρητή (dial tensiometers).

Συνοπτικά για την λειτουργία του τασιμέτρου αναφέρονται τα ακόλουθα:

1. Πριν την εγκατάσταση στο έδαφος, το τασίμετρο πρέπει να γεμίσει με νερό και να σφραγιστεί.
2. Όταν το κεραμικό θα είναι σε επαφή με το ξηρό έδαφος το νερό ρέει έξω από τασίμετρο.
3. Το κενό αυτό γίνεται ίσο με την αναρρόφηση του εδάφους όπου μετριέται κατευθείαν χρησιμοποιώντας έναν ηλεκτρονικό μετατροπέα πίεσης ή φαίνεται στο μανόμετρο.
4. Οι υψηλές ενδείξεις αναρρόφησης σημαίνουν πιο ξηρά εδάφη ενώ οι χαμηλές ενδείξεις κοντά στο μηδέν σημαίνουν πιο υγρά εδάφη.
5. Αν το έδαφος αρδεύεται ή αν έχει βρέξει, η αναρρόφηση του εδάφους μειώνεται. Το νερό ρέει πίσω προς το τασίμετρο για να μειωθεί το κενό, έτσι ώστε να είναι ίσο με το κενό της αναρρόφησης του εδάφους. Εάν το επίπεδο υγρασίας στο έδαφος φτάσει στον κορεσμό, περισσότερο νερό θα μπει στο τασίμετρο μέχρι το

κενό να γεμίσει. Η ένδειξη θα γίνει μηδέν αφού δεν υπάρχει αναρρόφηση εδάφους στο κορεσμένο έδαφος.

Εγκατάσταση

Το όργανο τοποθετείται στο έδαφος με την καλύπτρα προς τα κάτω, μέσα από την οποία το νερό κινείται από το έδαφος προς τον σωλήνα του οργάνου ή αντίστροφα, μέχρι που η πίεση μέσα στο τασίμετρο εξισωθεί με το δυναμικό πίεσης της εδαφικής υγρασίας του εδάφους, στη θέση της καλύπτρας (Παπαμιχαήλ και Μπαμπατζιμόπουλος, 2014: σελ.256).

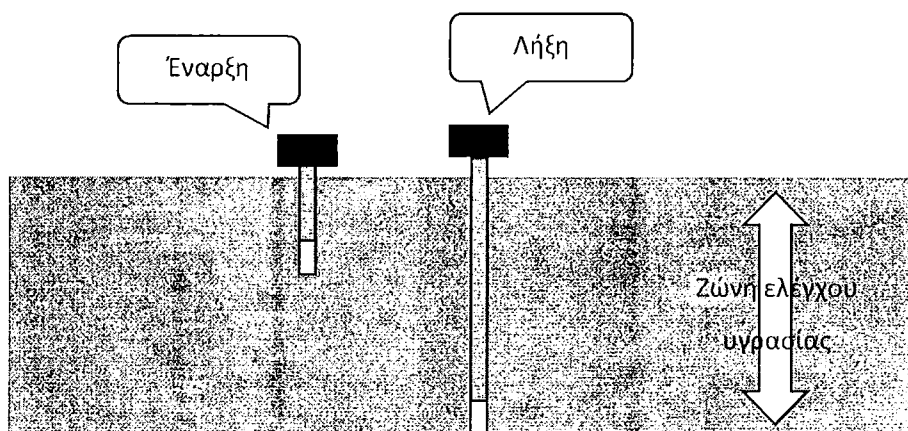
Η εξασφάλιση καλής επαφής μεταξύ της επιφάνειας του πορώδους δοχείου και του εδάφους που το περιβάλλει είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την κανονική λειτουργία του οργάνου:

- Η εγκατάσταση γίνεται αφού στην επιθυμητή θέση με μεταλλικό σωλήνα ανάλογης διαμέτρου προς το σωλήνα του τασιμέτρου, ανοιχτεί μια τρύπα βάθους ίσου προς το βάθος που πρόκειται να τοποθετηθεί το τασίμετρο. Το χώμα που αντιστοιχεί στην τρύπα, πρέπει να αφαιρείται προσεκτικά για να μην συμπιεστούν τα τοιχώματα της τρύπας (Skye, 2014).
- Η εξασφάλιση καλής επαφής επιχειρείται είτε με το άνοιγμα τρύπας της ίδιας ή λίγο μικρότερης διαμέτρου με εκείνης του πορώδους δοχείου, ώστε το τελευταίο να εισέρχεται στην τρύπα με δυσκολία. Τυχόν κενά στην τρύπα γεμίζονται με λάσπη μετά την τοποθέτηση του τασιμέτρου. Γενικά η επαφή βελτιώνεται ύστερα από διαδοχικούς κύκλους αποστράγγισης-διαβροχής του εδάφους που προκαλούν μεταφορά υλικού και απόθεση του στους κενούς χώρους που τυχόν υπάρχουν γύρω από το πορώδες δοχείο (Πουλοβασίλης, 1986: σελ.129-130).
- Σύμφωνα με τον Μιχελάκη (1988: σελ.255) σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να ανοίγεται λάκκος για να τοποθετηθεί το τασίμετρο).

Σε κάθε αμιγή αρδευτική ζώνη (ζώνη στην οποία διαφοροποιούνται οι παράγοντες που επηρεάζουν το πρόγραμμα άρδευσης) ανεξάρτητα από το μέγεθος της τοποθετούνται 1 έως 2 τασίμετρα σε διάφορα βάθη, ανάλογα με το είδος των φυτών και το βάθος του

ριζοστρώματος. Όταν το βάθος του ριζοστρώματος φτάνει τα 40cm τοποθετείται ένα μόνο τασίμετρο, ενώ για βάθη από 40-120 cm τοποθετούνται 2 τασίμετρα. Στις καλλιέργειες που το βάθος των ριζών είναι 40 cm το πορώδες κύπελλο του τασιμέτρου τοποθετείται στα τρία τέταρτα του βάθους αυτών. Επιπλέον χρήσιμο θα ήταν πριν την τοποθέτηση να έχει τοποθετηθεί κάποιο σημάδι στο τασίμετρο με κάποιο δεματικό ή λάστιχο προκειμένου να αυτό να μπει τελικά στο κατάλληλο βάθος.

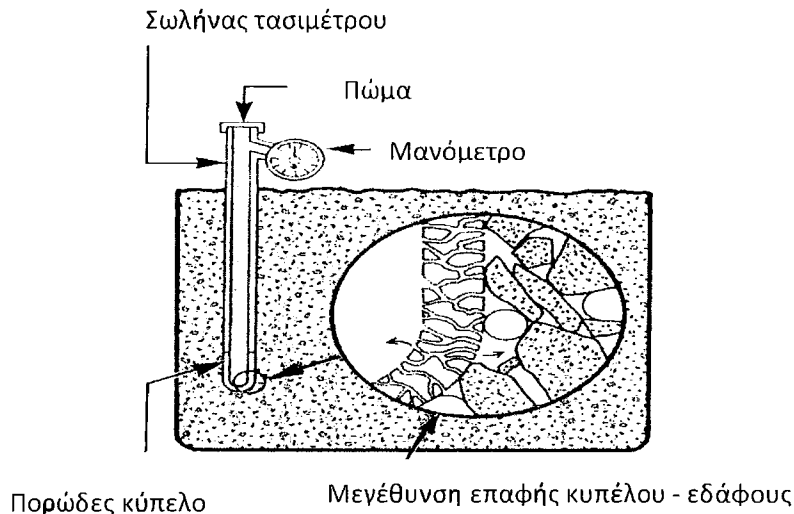
Σε νεαρές καλλιέργειες που το ριζόστρωμα τους είναι αβαθές, το τασίμετρο τοποθετείται αρχικά στα 15-20 cm και αργότερα με την ανάπτυξη των φυτών προχωρεί προς τα κάτω, ώστε να ταυτίζεται πάντοτε με το βάθος του ενεργού ριζοστρώματος.



Εικόνα 9 Τασίμετρα και διάταξη ελέγχου της άρδευσης σε βαθύρριζες καλλιέργειες με δύο τασίμετρα (σύνθεση από Μιχελάκης, 1988 και Παπαμιχαήλ και Μπαμπατζιμόπουλος, 2014)

Στις βαθύρριζες καλλιέργειες με βάθος 40-120 cm το ένα τασίμετρο τοποθετείται στο ένα τέταρτο του ριζοστρώματος και το άλλο στα τρία τέταρτα αυτού. Το πρώτο που τοποθετείται ρηχά, χρησιμεύει για να ρυθμίζει το χρόνο έναρξης της άρδευσης, ενώ το δεύτερο, που είναι τοποθετημένο βαθύτερα, χρησιμεύει κυρίως για να ελέγχει το βάθος που φθάνει το νερό και κατά συνέπεια να κανονίζει το χρόνο λήξης της άρδευσης. Στην στάγδην άρδευση, ανάλογα με το έδαφος τα τασίμετρα τοποθετούνται σε αποστάσεις

από το σταλάκτη περίπου 20 cm στα αμμώδη, 30 cm στα μέσα και 40 cm στα αργιλώδη εδάφη (Ουζούνης, 2002: σελ.194).



Εικόνα 10 Σχηματική παράσταση τασιμέτρου και επαφής του πορώδους κυπέλλου με τον γύρω εδαφικό χώρο (Μιχελάκης, 1988)

Σύμφωνα με τον Πουλοβασίλη (1986: σελ.128-130) το τασίμετρο τείνει να ακολουθεί τις μεταβολές τάσης του εδαφικού νερού που προκαλούνται εξαιτίας αποστράγγισης του ή πρόσληψης του από τα φυτά ή επαναπλήρωσης του ύστερα από βροχές ή άρδευση. Λόγω του ότι τα τοιχώματα του πορώδους δοχείου παρουσιάζουν κάποια υδραυλική αντίσταση και επειδή συνήθως η επαφή τους με το έδαφος δεν είναι πλήρης, οι ενδείξεις του τασιμέτρου παρουσιάζουν κάποια χρονική καθυστέρηση και διαφέρουν από την πίεση της εδαφικής υγρασίας που επικρατεί στον χρόνο της μέτρησης. Η χρήση του ηλεκτρικού μετατροπέα περιορίζει κατά πολύ την ποσότητα νερού που ανταλλάζουν το έδαφος και το τασίμετρο και η καθυστέρηση των ενδείξεων του τασιμέτρου μειώνεται πολύ.

Τέλος σύμφωνα με τον Καρακατσούλη (1997: σελ.14-15) η μέτρηση της υγρασίας, με οποιαδήποτε από τις μεθόδους, δεν έχει παρά περιορισμένη σε έκταση ισχύ. Πολλές φορές μάλιστα, δύο τασίμετρα τοποθετημένα κοντά στο ίδιο φυτό και στο ίδιο βάθος, συμβαίνει να δίνουν διαφορετικά αποτελέσματα, αν τα πορώδη τους κύπελλα τύχει να

βρεθούν σε διαφορετικής πυκνότητας ριζικό σύστημα. Προφανώς το τασίμετρο που θα βρίσκεται σε πλουσιότερο ριζικό σύστημα, θα δείχνει μεγαλύτερο έλλειμα υγρασίας, λόγω εντονότερης αντλήσεως νερού. Για να μετρηθεί λοιπόν σωστά η εδαφική υγρασία και να καθορισθεί ο σωστός τρόπος αρδεύσεως απαιτείται μεγάλος αριθμός μετρήσεων, τόσο οριζόντια όσο και κατακόρυφα, ανάλογα με το βάθος που αναπτύσσεται το κύριο ριζικό σύστημα των καλλιεργούμενων φυτών. Πράγμα το οποίο προϋποθέτει πρόσθετες δαπάνες και ειδικευμένο προσωπικό.

Πίνακας 3 Προτεινόμενο βάθος εγκατάστασης του τασιμέτρων (σε cm) σύμφωνα με το εγχειρίδιο της εταιρίας Skye (2014) για την μέτρηση της εδαφικής υγρασίας με την χρήση των τασιμέτρων

ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ	ΤΑΣΙΜΕΤΡΟ 1	ΤΑΣΙΜΕΤΡΟ 2	ΤΑΣΙΜΕΤΡΟ 3
Μηλιάς	50	100	150
Μπανανιάς	30	60	
Μπρόκολου	30	50	
Λαχανάκια Βρυξελλών	30	50	
Λάχανου	30	50	
Καρότων	30	50	
Σέλινου	20	40	
Κερασιάς	60	120	
Κιτριάς	40	80	
Καφές	50	100	
Βαμβακιού	40	80	120
Αγγουριάς	40	80	
Σταφυλιών	60	120	150
Λυκίσκου	60	120	150
Μαρουλιού	30		
Αραβόσιτου	40	80	
Πεπονιάς	40	80	

ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ	ΤΑΣΙΜΕΤΡΟ 1	ΤΑΣΙΜΕΤΡΟ 2	ΤΑΣΙΜΕΤΡΟ 3
Ελιάς	60	120	150
Κρεμμυδιών	20	30	
Αρακά	40	80	
Αχλαδιάς	40	80	120
Πατάτας	20	30	50
Σόργου	40	80	
Σπανακιού	30	60	
Φράουλας	15	30	
Ηλίανθου	60	120	150
Τσαγιού	30	60	
Καπνού	20	40	70
Ντομάτας	40	80	
Γογγυλιών	40	80	

Πρακτικές οδηγίες χρήσης

Σύμφωνα με το εγχειρίδιο της εταιρίας Skye (2015) για την μέτρηση της εδαφικής υγρασίας με την χρήση των τασιμέτρων περιγράφονται παρακάτω οι διαδικασίες και τα βήματα κατά την πρώτη φορά χρήσης, την δοκιμή και την διαδικασία συμπληρώματος νερού πριν την εγκατάσταση στο έδαφος αλλά και επί τόπου.

Χρήση για πρώτη φορά

Την πρώτη φορά που το στέλεχος είναι γεμάτο ή του έχει επιτραπεί να στεγνώσει πρέπει να γίνει με τον ακόλουθο τρόπο έτσι ώστε να απομακρυνθεί όλος ο παγιδευμένος αέρας που υπάρχει στο πλέγμα του κεραμικού βολβού (κυπέλου):

- Στον αγρό το τασίμετρο θα πρέπει να προστατεύεται από την έκθεση στον ήλιο και παράγοντες που μπορούν να του προκαλέσουν ζημιές. Στην ίδια λογική είναι χρήσιμο η θέση του να είναι φανερή και εύκολα αντιληπτή.
- Γεμίζουμε μια φιάλη ή ένα ποτήρι ζέσεως που να έχει τουλάχιστον 5-10 cm (ανάλογα με το τασίμετρο που υπάρχει διαθέσιμο) βάθος με απιονισμένο –

εξαεριωμένο νερό (Εικόνα 8) και τοποθετούμε το τασίμετρο μέσα, με το στεγνό βολβό. Δεν γεμίζουμε το στέλεχος του τασιμέτρου, περιμένουμε ώστε το νερό να περάσει μέσα από το βολβό από έξω προς τα μέσα, στον κύλινδρο. Με το να επιτρέψουμε στο νερό να κινηθεί μόνο προς τη μια κατεύθυνση απομακρύνεται σε μεγάλο βαθμό ο παγιδευμένος στον κεραμικό βολβό αέρας.

- Όταν το επίπεδο νερού μέσα στο τασίμετρο είναι το ίδιο με το επίπεδο νερού της φιάλης (ή τουλάχιστον πάνω από το κεραμικό στο εσωτερικό του στελέχους), αδειάζουμε το τασίμετρο χρησιμοποιώντας μια σύριγγα και με ένα σωληνίσκο προσαρμοσμένο στην άκρη της.
- Στη συνέχεια γεμίζουμε το στέλεχος έως το χείλος του σωλήνα γεμίσματος με απιονισμένο – εξαεριωμένο νερό χρησιμοποιώντας την σύριγγα και τον σωληνίσκο γεμίσματος και επιβεβαιώνοντας ότι το τέλος της σωλήνωσης είναι πάντα κάτω από το επίπεδο του νερού. Με αυτό θα αποφευχθεί η δημιουργία φυσαλίδων και κατά συνέπεια εγκλωβισμού αέρα μέσα στο νερό. Κλείνουμε το τασίμετρο απαλά από κάτω για να απομακρυνθούν οι φυσαλίδες αέρα και προσθέτουμε λίγο ακόμα νερό καθώς ο λαστιχένιος σωλήνας έχει απομακρυνθεί έτσι ώστε το σώμα του τασιμέτρου είναι τελείως γεμάτο.

Η βίδα στομίου πλήρωσης (με δακτύλιο «Ο») ή το πώμα διαφράγματος βιδώνεται πίσω στην θέση της και να γίνει δοκιμή του τασιμέτρου όπως αναφέρεται στη συνέχεια.

Δοκιμή

Ο σκοπός είναι να σιγουρευτούμε ότι δεν υπάρχουν διαρροές και να αφαιρεθεί όλος ο αέρας από το σύστημα.

Για να δοκιμαστεί ένα τασίμετρο προσομοιώνουμε τις πολύ ξηρές συνθήκες εδάφους. Ο κεραμικός βολβός του τασιμέτρου αφήνεται στον αέρα ή τυλίγεται σε μια στεγνή πετσέτα για τουλάχιστον για 5 ώρες (αλλά ιδανικά όλο το βράδυ). Η πίεση αναμένεται πρέπει να πέσει ραγδαία προσεγγίζοντας τα 850 hPa (0,85 bar). Εάν ο βολβός φαίνεται να «ιδρώνει» έχοντας σταγόνες υγρασίας ή το επίπεδο του νερού στο στέλεχος πέφτει ραγδαία χωρίς να εμφανίζονται πολλές φυσαλίδες ή εάν η πίεση δεν πέφτει καθόλου

τότε είναι πιθανό το σύστημα να έχει διαρροή. Στην περίπτωση που αντιληφθούμε ότι υπάρχει πρόβλημα, ελέγχουμε αν είναι καλά στερεωμένο στην θέση του το πώμα διαφράγματος / πώμα βίδας.

Στα περισσότερα συστήματα η πίεση θα πέσει ραγδαία αλλά μικρές φυσαλίδες από αέρα θα σχηματιστούν στο εσωτερικό του στελέχους. Αυτός είναι αέρας που προέρχεται από ατμό και ρευστοποιημένα αέρια. Αυτές οι φυσαλίδες μπορούν να αφαιρεθούν εφόσον το επιθυμούμε σε ένα δεύτερο στάδιο προετοιμασίας για συμπλήρωση.

Συνίσταται να δοκιμάζονται όλα τα τασίμετρα πριν την χρησιμοποίησή τους παρόλο που η δοκιμή δεν είναι απαραίτητη εάν το τασίμετρο είναι καινούργιο εκτός και εάν υποπτευόμαστε ότι έχει κάποια βλάβη.

Διαδικασία συμπληρώματος με νερό

Όταν αρχικά εγκαθιστούμε το τασίμετρο θα πρέπει να έχουμε φροντίσει το στέλεχος να είναι γεμάτο με νερό. Επίσης μετά από ιδιαίτερα ξηρές περιόδους, όταν θα υπάρχει περίπτωση η στάθμη του νερού στο τασίμετρο να έχει κατέβει πολύ, πρέπει να το γεμίσουμε ξανά μέχρι επάνω (επαναπλήρωση).

Τυπικά σε τασίμετρα που δεν έχουν ειδικό σχετικό μηχανισμό, το τασίμετρο πρέπει να βγει από τη θέση του, να γεμίσει έως επάνω με απιονισμένο - απαεριωμένο νερό και να επανατοποθετηθεί.

Για την επαναπλήρωση προτείνεται να χρησιμοποιήσουμε μια σύριγγα με έναν κατάλληλο μακρύ σωλήνα προσαρμοσμένο στην έξοδό της. Αυτό θα αποτρέψει το πιτσίλισμα του νερού και επομένως τις φυσαλίδες και την εισαγωγή αέρα στο νερό του τασίμετρου. Τα βήματα της διαδικασίας επαναπλήρωσης για τα τασίμετρα της Skye (2014) είναι τα ακόλουθα:

1. Αφαίρεση του πώματος του διαφράγματος (ένα καλό τράβηγμα είναι απαραίτητο και ένας δυνατός ήχος καθώς βγάζουμε το πώμα θα σημαίνει επιτυχία). Η σύσταση αυτή φαίνεται να παρουσιάζει προβλήματα στην πράξη για τα απλά τασίμετρα που χρησιμοποιήθηκαν στο πλαίσιο της πτυχιακής (δείτε παρακάτω

την αναφορά σε πιθανά προβλήματα). Για το ηλεκτρονικό τασίμετρο, ξεβιδώνουμε το πώμα της βίδας προσεχτικά από το πάνω μέρος του τασιμέτρου, προσέχοντας να μην σπάσουμε το πώμα.

2. Γεμίζουμε έως πάνω το τασίμετρο με το απιονισμένο - απαερωμένο νερό
3. Ξαναβάζουμε το πώμα στην θέση του και το τασίμετρο είναι έτοιμο για χρήση.

Διαδικασία συμπληρώματος επί τόπου

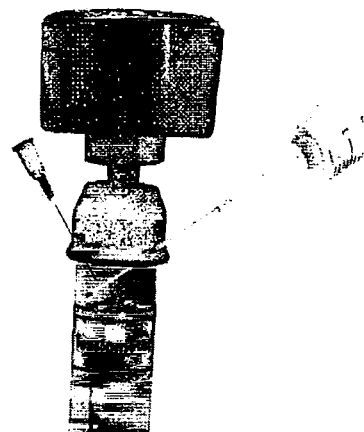
Μπορεί να πραγματοποιηθεί συμπλήρωμα επιτόπου, αλλά χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή. Η Skye (2015) αναφέρει:

- Για τα απλά τασίμετρα: Παίρνουμε μια σύριγγα (50ml) και 2 λεπτές υποδερμικές βελόνες. Εισάγουμε τις βελόνες στην άκρη μιας λεπτής περιοχής του πώματος του διαφράγματος για να ελαχιστοποιήσουμε το μέγεθος από τις τρύπες που θα γίνουν από τις βελόνες. Τοποθετούμε την μια βελόνα έτσι ώστε να δράσει ως αεραγωγός. Χρησιμοποιούμε την άλλη με μια σύριγγα για να εισάγουμε νερό. Το νερό θα πρέπει να εισαχθεί αργά και προς το εσωτερικό τοίχωμα του τασιμέτρου έτσι ώστε να ρεύσει σε επαφή με αυτό προς τα κάτω και να αποφευχθούν πιτσιλίσματα και πιθανή εισαγωγή αέρα στο νερό.
- Για τα ηλεκτρονικά τασίμετρα η μέθοδος είναι πιο απλή: αφαιρούμε την βίδα του πώματος χρησιμοποιώντας ένα απλό κατσαβίδι, και χρησιμοποιούμε μια σύριγγα εφαρμοσμένη με σωληνάκι στην έξοδο ώστε να χορηγήσουμε το νερό. Πρέπει να προσέξουμε να μην μπει αέρας στο νερό από το πιτσιλίσμα ή τις φυσαλίδες κατά την έγχυση του νερού. Σε αυτό βοηθά το να φροντίσουμε ώστε το νερό να κινηθεί προς τα κάτω ρέοντας στην εσωτερική πλευρά του τοιχώματος του τασιμέτρου ή με το να φτάνει το σωληνάκι μέσα στο υφιστάμενο νερό. Τέλος τοποθετούμε την βίδα του πώματος στη θέση της.

Στην περίπτωση του απλού τασιμέτρου θα πρέπει να φροντίσουμε ώστε η διαδικασία να μην κρατήσει πολύ, μια και αν αφήσουμε ένα τασίμετρο γεμάτο με νερό έχοντας την βελόνα εξαερισμού μέσα του για πολλή ώρα μια και το νερό του τασιμέτρου (ωθούμενο

από την ατμοσφαιρική πίεση) θα τείνει να φεύγει διαμέσου του κεραμικού βολβού προς στο έδαφος.

Και στις δύο περιπτώσεις ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί ώστε να μην χυθεί νερό γύρω από το τασίμετρο.



Εικόνα 11 Γραφική αναπαράσταση επαναπλήρωσης επί τόπου στο αγρό (η τεχνική δεν δοκιμάστηκε στο πλαίσιο της πτυχιακής).

Τοποθέτηση στον αγρό

Το εύρος των πιέσεων που μπορεί να μετρηθεί κυμαίνεται από μηδέν μέχρι 0,85 bar ή 850 cm στήλης νερού ή 850 hPa (hectoPascal). Σε μεγαλύτερες πιέσεις (πάνω από τα 850 hPa) εισέρχεται αέρας εντός του οργάνου, ο οποίος επιβραδύνει τη διαδικασία εξισορρόπησης με το δυναμικό πίεσης της εδαφικής υγρασίας και επηρεάζει την ακρίβεια των μετρήσεων. Για το λόγο αυτό, τα τασίμετρα δεν ενδείκνυνται σε συνεκτικά εδάφη, όπου σε δυναμικό πίεσης μικρότερο των 0,85 bar αντιστοιχεί ένα μικρό μόνο μέρος της διαθέσιμης για τα φυτά υγρασίας.

Σύμφωνα με τους Παπαμιχαήλ και Μπαμπατζιμόπουλο (2014: σελ.256), η χρήση των τασιμέτρων είναι πολύ αποτελεσματική σε ελαφρά εδάφη, όπου σε δυναμικό πίεσης μικρότερο των 0,85 bar αντιστοιχεί το μεγαλύτερο μέρος της διαθέσιμης για τα φυτά υγρασίας. Σε συνεκτικά εδάφη, για την κάλυψη όλου του εύρους των πιέσεων

χρησιμοποιείται συνδυασμός τασιμέτρων και αισθητήρων που βασίζονται στη μέθοδο ηλεκτρικής αντίστασης.

Σύμφωνα με το εγχειρίδιο της εταιρίας Skye (2015) για την μέτρηση της υγρασίας του εδάφους με την χρήση τασιμέτρων για την αξιοποίηση των μετρήσεων και για την ακρίβεια των αποτελεσμάτων μας θα πρέπει να ληφθούν πρώτα υπόψιν τα παρακάτω:

1. Προκειμένου να πάρουμε ακριβείς μετρήσεις υγρασίας, τοποθετούμε το τασίμετρο στο έδαφος αφού σιγουρευτούμε ότι δεν καταστρέφουμε την δομή του εδάφους. Έτσι καταρχήν φτιάχνουμε μια δοκιμαστική τρύπα με βάθος σχεδόν ίσο με το μήκος του τασιμέτρου χρησιμοποιώντας ένα τρυπάνι εδάφους ή ένα σωλήνα νερού μήκους 22-25 mm ή ένα κατσαβίδι. Το τασίμετρο δεν πρέπει να βεβιαστεί να μπει στο έδαφος, καθώς αυτό θα καταστρέψει το πώμα του κεραμικού βολβού και έτσι το τασίμετρο δεν θα λειτουργεί.
2. Ο κεραμικός βολβός πρέπει να είναι σε καλή επαφή με το έδαφος και να μην περιβάλλεται από μεγάλα κενά αέρα. Αυτό μπορεί να είναι πιθανό πρόβλημα για παράδειγμα σε εδάφη που έχουν πολλές ρίζες κλπ. Τότε μερικά από τα υλικά του εδάφους μπορούμε να τα βρέξουμε με νερό και να αλεστούν με ένα γουδί για να φτιάξουμε έναν πολτό τον οποίο αδειάζουμε στο κάτω μέρος της τρύπας πριν εισάγουμε το τασίμετρο. Ο αρχικός στόχος είναι να εξασφαλίσουμε ότι το περισσότερο μέρος του κεραμικού βολβού περιβάλλεται από χώμα ίδιας υφής και δομής με αυτό που θέλουμε να μετρήσουμε.
3. Σε τοποθεσίες που υπάρχουν ψηλά χόρτα κλπ., μια σημαία σήμανσης στο μήκος ενός μπαστουνιού μπορεί να είναι πολύ χρήσιμη για να ξαναβρούμε το όργανο όταν τα φυτά του χωραφιού έχουν μεγαλώσει ή είναι ψηλότερα από αυτό. Επίσης τα τασίμετρα πρέπει να τοποθετούνται εκεί που δεν υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να καταστραφούν από ζώα, μηχανήματα, ανθρώπους κλπ. Θα πρέπει επιπλέον να ληφθεί υπόψιν ότι τα καλώδια από τα ηλεκτρονικά τασίμετρα θα πρέπει να θάβονται προσεχτικά και η πρίζα να είναι καλυμμένη από αδιάβροχο καπάκι, όταν δεν χρησιμοποιείται έτσι ώστε οι συνδετικοί πείροι να μην οξειδώνονται.

4. Επιπλέον υπάρχει μια μικρή αντιστάθμιση που θα πρέπει να επιτραπεί για την πρέπουσα υδροστατική πίεση της στήλης του νερού στο εσωτερικό στέλεχος του τασίμετρου. Αυτή η πίεση είναι η αίτια που το νερό ρέει έξω από τον κεραμικό βολβό.

Μέτρηση

Αφού έχουμε κάνει αυτή την προετοιμασία μπορούμε πλέον να περάσουμε στην αξιοποίηση των μετρήσεων μας όπου θα είμαστε σε θέση να συμπεράνουμε τις ανάγκες του εδάφους σε άρδευση ανάλογα με τα αποτελέσματα μας. Δηλαδή (Skye, 2014):

1. Όταν η ένδειξη είναι 0 hPa (mbar) σημαίνει ότι το έδαφος είναι εντελώς κορεσμένο με νερό. Όταν αυτό συμβαίνει για μεγάλες περιόδους υποδηλώνει φτωχές συνθήκες αποστράγγισης και μπορεί να προκαλέσει βλάβες στην ανάπτυξη των φυτών.
2. Όταν η ένδειξη είναι 10-100 hPa (mbar) υπάρχει πλεονάζων νερό στο έδαφος. Οι επίμονα χαμηλές ενδείξεις μπορεί να υποδηλώσουν φτωχές συνθήκες αποστράγγισης.
3. Όταν οι ενδείξεις είναι 100-200 hPa (mbar) υπάρχει αρκετό νερό και αέρα στο έδαφος για την ανάπτυξη ενός υγιούς φυτού. Είναι προτεινόμενο να σταματήσουμε την άρδευση όταν αυτές οι ενδείξεις επιτευχθούν, καθώς το επιπλέον νερό μπορεί να απομακρύνεται και συνεπώς να σπαταλιέται.
4. Όταν οι ενδείξεις είναι 200-400 hPa (mbar) υπάρχει επαρκές νερό και αέρα στο έδαφος για την ανάπτυξη των φυτών. Στα αμμώδη εδάφη ενδείξεις αυτού του επιπέδου σηματοδοτούν ανάγκη για άρδευση.
5. Όταν οι ενδείξεις είναι 400-600 hPa (mbar) υπάρχει επαρκές νερό και αέρα για καλά ή πηλώδη εδάφη, για την ανάπτυξη των φυτών. Στα μεσαία εδάφη η άρδευση είναι προτεινόμενη ενώ στα αμμώδη εδάφη η άρδευση είναι απαραίτητη.

6. Όταν οι ενδείξεις είναι 600-800 hPa (mbar) το εύκολα διαθέσιμο νερό είναι ελάχιστο, με εξαίρεση τα βαριά πηλώδη εδάφη. Η άρδευση είναι απαραίτητη για καλά και μεσαίας σύστασής εδάφη
7. Όταν οι ενδείξεις είναι 800-1000 hPa(mbar) είναι απολύτως απαραίτητο να γίνει άρδευση καθώς μπορεί να προκύψουν μη αναστρέψιμες ζημιές των φυτών.

Οπότε αυτό που επιδιώκουμε είναι το εύρος το τιμών να παραμένει από 100 έως το πολύ (ακραίο) 600 hPa (mbar) όπου χρειάζονται λιγότερες επεμβάσεις από τον καλλιεργητή, συνεπώς λιγότερα έξοδα και λιγότερη κούραση, αλλά και επειδή οι συνθήκες είναι πιο ευνοϊκές για την ανάπτυξη των φυτών και την προστασία τους από ασθένειες.

Ο Πίνακας 4 παρουσιάζει Μετρήσεις τασιμέτρου σε σχέση με το περιεχόμενο νερό (%) της υγρασίας του εδάφους (κατά βάρος) σε διάφορους τύπους εδαφών (σύμφωνα με το εγχειρίδιο της εταιρίας Skye (2014) για την μέτρηση της εδαφικής υγρασίας με την χρήση των τασιμέτρων), ο Πίνακας 5 περιλαμβάνει προτεινόμενες τιμές του άνω τασιμέτρου κατά την οποία πρέπει να ξεκινήσει η άρδευση (σύμφωνα με το εγχειρίδιο της εταιρίας Skye (2014). Επίσης ο Πίνακας 6 παρουσιάζει τιμές της εδαφικής τάσης που σηματοδοτούν ανάγκη για άρδευση ώστε να εξασφαλίζεται μέγιστη απόδοση των καλλιεργειών (Taylor και Aschcroft, 1972 από Πουλοβασίλης, 1993: σελ.33-34).

Διόρθωση μετρήσεων (offset)

Γενικά απαιτείται μία διόρθωση (μετατόπιση – offset) των μετρήσεων λόγω της υδροστατικής πίεσης της στήλης ύδατος εντός του σωλήνα του τασίμετρου. Η πίεση αυτή θα έχει ως αποτέλεσμα μία επιπλέον κίνηση νερού από τον κύλινδρο προς το έδαφος (μέσω του κεραμικού βολβού). Για κάποια τασίμετρα παρέχονται σχετικές πληροφορίες υπολογισμού ανάλογα με το μήκος τους (Skye, 2015). Οι σχετικές τιμές πρέπει να αφαιρούνται από τις ενδείξεις ώστε να έχει κάποιος την αληθινή τιμή της τάσης.

Πίνακας 4 Μετρήσεις τασιμέτρου σε σχέση με το περιεχόμενο νερό (%) της υγρασίας του εδάφους (κατά βάρος) σε διάφορους τύπους εδαφών (σύμφωνα με το εγχειρίδιο της εταιρίας Skye (2014) για την μέτρηση της εδαφικής υγρασίας με την χρήση των τασιμέτρων)

Μετρήσεις τασιμέτρου (hPa)	Εδαφική υγρασία (κατά βάρος) σε αργιλώδη εδάφη (%)	Εδαφική υγρασία (κατά βάρος) σε αμμώδη εδάφη (%)
0	58	32
100	40	15
200	30	10
300	26	9
400	23	8
500	21	7,5
600	20	7
700	19	6,5
800	18	6
900	17,5	5,5
1000	17	5

Πίνακας 5 Προτεινόμενες τιμές του άνω τασιμέτρου κατά την οποία πρέπει να ξεκινήσει η άρδευση (σύμφωνα με το εγχειρίδιο της εταιρίας Skye (2014)).

Τύπος καλλιέργειας	Ένδειξη σε hPa
Μπρόκολο	250
Λαχανάκια Βρυξελλών	250
Λάχανο	350
Κουνουπίδι	350
Σέλινο	250
Σταφύλια	350
Μαρούλι	350
Αραβόσιτος	450
Κρεμμύδια	250
Αρακά	700
Πατάτα	250
Σπανάκι	250
Φράουλα	200
Τομάτας	450
Γογγύλια	450

Πίνακας 6 Τιμές της εδαφικής τάσης που σηματοδοτούν ανάγκη για άρδευση ώστε να εξασφαλίζεται μέγιστη απόδοση των καλλιεργειών (Taylor και Aschcroft, 1972 από Πουλοβασίλης, 1993).

Καλλιεργεία	Αρνητική πίεση σε bars	Βιβλιογραφία
<u>Φυτά καλλιεργούμενα για τη βλάστησή τους</u>		
Μηδική	-1,50	S.A.Taylor
Φασόλια	-0,75 έως -2,00	Vittam et al.(1963)
Λάχανο	-0,60 έως -0,70	Vittam et al., and Pew (1958)
Αρακίς	-0,30 έως -0,50	S.A.Taylor
Σέλινο	-0,20 έως -0,30	A.W. Marsh, and Marsh (1961)
Γρακύδι	-0,30 έως -1,00	Vissar (1959)
Μαρούλι	-0,40 έως -0,60	A.W.Marsh, Vissar (1959),and Pew (1958)
Καπνός	-0,30 έως -0,80	Jones et al. (1960)
Ζαχαροκάλαμο		
Μέτρηση με τασύμετρο	-0,15 έως -0,50	Waterhouse et al.(1954)
Μέτρηση με κορώδη σώματα	-1,00 έως -2,00	Robinson (1963)
Γλυκοαραβόσιτος	-0,50 έως -1,00	S.A.Taylor, and Vittam et al. (1963)
Λευμόνες	-0,24 έως -0,36	Morgan (1964)
Καρότα	-0,55 έως -0,65	Pew (1958)
Μπρόκολα		
Άρχικη βλάστηση	-0,45 έως -0,55	Pew (1958)
Έναρξη άνθισης	-0,60 έως -0,70	Pew (1958)
Κουνουκιάδι	-0,60 έως -0,70	Pew (1958)
<u>Φυτά καλλιεργούμενα για το υπέργειο μέρος τους</u>		
Κρεμμύδια		
Άρχικη ανάπτυξη	-0,45 έως -0,55	Pew (1958)
Έχηματισμός βολβοῦ	-0,55 έως -0,65	Pew (1958)
Ζαχαρότευτλα	-0,40 έως -0,60	S.A. Taylor
Πατάτες	-0,30 έως -0,50	S.A.Taylor, Vittam et al. (1963), and Few (1958)
<u>Φυτά καλλιεργούμενα για τους καρπούς</u>		
Λεμόνια	-0,40	A.W. Marsh
Πορτοκάλια	-0,20 έως -1,00	Stolzy et al. (1963)
Φυλλοβόλα καρποφόρα	-0,50 έως -0,80	A.W.Marsh, and Vissar (1959)
Αβοκάντος	-0,50	Richards et al.(1962)
Σταφύλλια		
Έναρξη περιόδου	-0,40 έως -0,50	A.W. Marsh
Περίοδος ωρύμανσης	>1,00	A.W. Marsh
Φράουλες	-0,20 έως -0,30	A.W.Marsh, and Marsh (1961)
Πεκόνια	-0,35 έως -0,40	Marsh(1961), and Pew (1958)
Τομάτες	-0,80 έως -1,50	Vittam et al.(1958), and Vittam et al.(1963)
Μπανάνες	-0,30 έως -1,50	Schmeuli (1953)
<u>Ξυτιγιά</u>		
Αραβόσιτος		
Περίοδος βλάστησης	-0,50	S.A. Taylor
Περίοδος ωρύμανσης	-8,00 έως -12,00	S.A. Taylor
Λουτά σιτηρά		
Περίοδος βλάστησης	-0,40 έως -0,50	S.A. Taylor
Περίοδος ωρύμανσης	-8,00 έως -12,00	S.A. Taylor

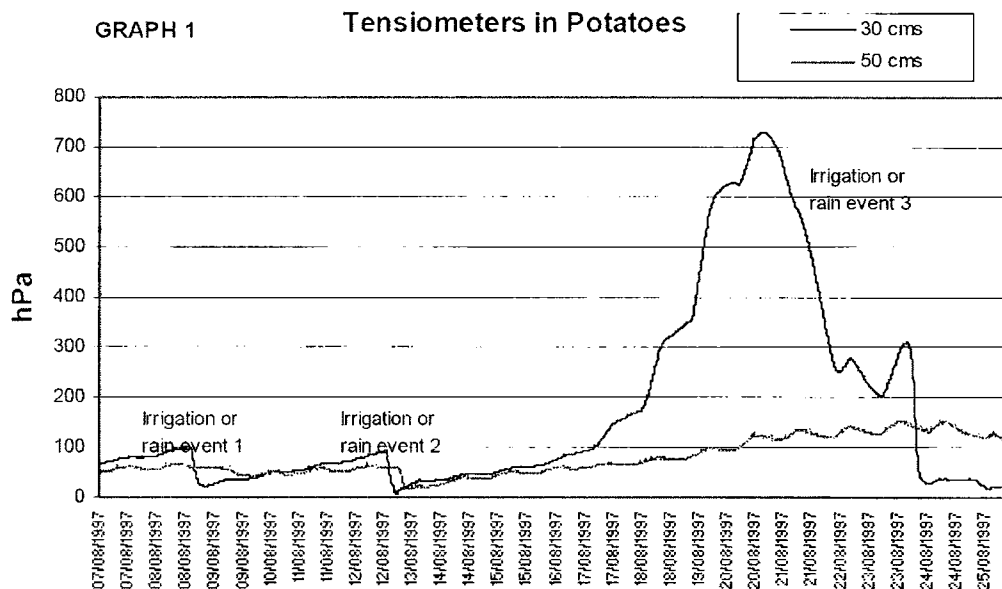
συνεχίζεται

συνέχεια

Καλλιέργεια	Αρνητική κύεση σε λίτρα	Βιβλιογραφία
<u>φυτά καλλιεργούμενα γλά σπόρο</u>		
Μηδική		
Πρὶν ἀπὸ τὴν ἀνοήση	-2,00	Taylor et al. (1959)
Κατὰ τὴ διάρκεια τῆς ἀνοήσης	-4,00 ἕως -8,00	Taylor et al. (1959)
Κατὰ τὴ διάρκεια τῆς ὠρύμανσης	-0,00 ἕως -15,00	Taylor et al. (1959)
Καρόττα		
Σε βάθος 50 ἑκατ.	-4,00 ἕως -6,00	Hawthorn (1951)
Κρεμμύδια		
Σε βάθος 7 ἑκατ.	-4,00 ἕως -6,00	Hawthorn (1951)
Σε βάθος 15 ἑκατ.	-1,50	Hawthorn (1951)
Μαρούλι	-3,00	Hawthorn et al. (1956)
Καφές	Ἀπαιτεῖται μικρὲς περιόδους χα- μηλῆς δυναμικότη γλά νά ἀνοί- ξουν λαμβάνοντας ὀφθαλμοῦ, ἀκολουθοῦμενες ἀπὸ ὕψηλό δυ- ναμικό νερό	Alvin (1960)

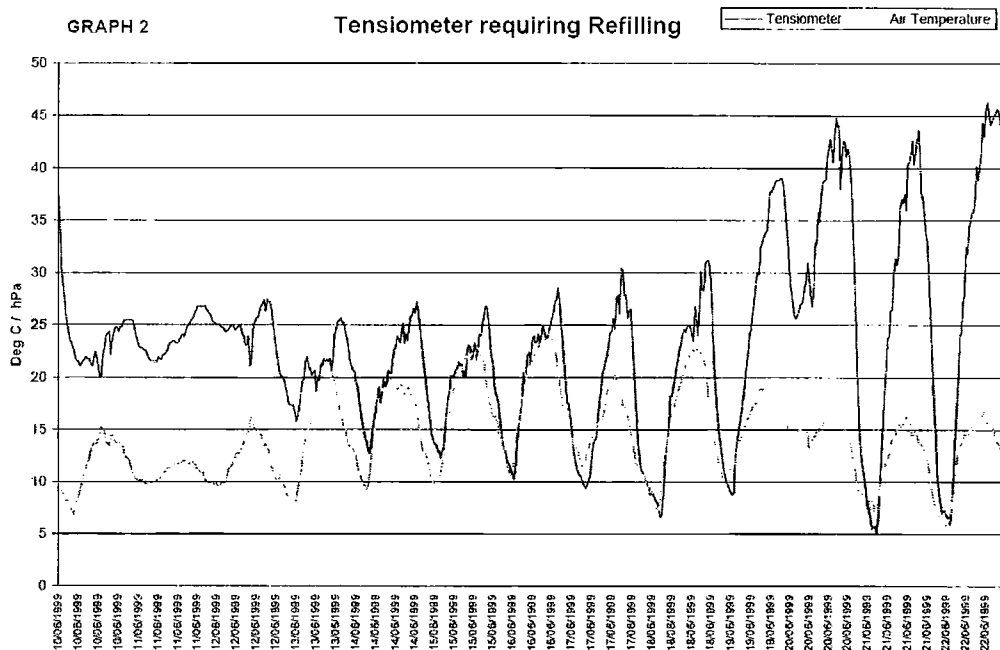
Παραδείγματα καταγραφών και αξιοποίησης τιμών

Στην Εικόνα 12 και στην Εικόνα 13 παρουσιάζονται δύο συνεχείς καταγραφές ενδείξεων τασίμετρου (Skye, 2014).



Εικόνα 12 Ενδείξεις τασίμετρων σε καλλιέργεια πατάτας (Skye, 2014)

Στην Εικόνα 12 οι τιμές αφορούν ένα τασίμετρο με τον κεραμικό βολβό στα 30 cm και ένα στα 50 cm σε καλλιέργεια πατάτας για μία περίοδο 2,5 εβδομάδων. Όπως φαίνεται καθώς η καλλιέργεια καταναλώνει νερό (εδαφική υγρασία) παρουσιάζεται σταθερή αύξηση της απόλυτης τιμής της τάσης. Η τιμή αυτή πέφτει απότομα όταν εισέρχεται υγρασία στο έδαφος μέσω βροχής ή άρδευσης. Το πιο κοντινό στην επιφάνεια (ρηχό 30 cm) τασίμετρο ανταποκρίνεται ταχύτερα στα γεγονότα βροχής ή άρδευσης. Τα γεγονότα 1 και 3 παρέχουν λίγο νερό και έτσι αυτό προκαλεί σοβαρή διαφοροποίηση μόνο στο τασίμετρο των 30 cm. Η περίπτωση 2 έχει ως αποτέλεσμα το νερό να κινηθεί πιο βαθιά στο έδαφος και έτσι να φανεί σοβαρή διαφοροποίηση και στο βαθύ τασίμετρο (50 cm). Με ένα τέτοιο γράφημα μπορεί να γίνει κατανοητό πόσο νερό πρέπει να χορηγηθεί με την άρδευση, να επιβεβαιωθεί ότι χορηγήθηκε αρκετό ώστε να καλύψει το ριζόστρωμα χωρίς όμως να χαθεί προς βαθύτερα εδαφικά στρώματα. Η κορυφή των 700+ hPa που φτάνει το ρηχό τασίμετρο (30 cm) πριν την άρδευση (γεγονός 3) θα μπορούσε να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα – έως καταστροφή- σε νεαρή καλλιέργεια με ρίζες που έφταναν μόνο έως το βάθος αυτό (30 cm). Μία ωριμότερη καλλιέργεια με πολλές ρίζες στα 50 cm δεν θα είχε κανένα πρόβλημα (το αντίστοιχο βαθύ τασίμετρο (50 cm) έδειξε 150 περίπου hPa). Το γράφημα λοιπόν μπορεί να μας πει πότε απαιτείται άρδευση ανάλογα με την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος. Ακόμη από το γράφημα φαίνεται ότι οι ενδείξεις έχουν μία ημερήσια διακύμανση (με μέγιστο ημέρας και κοίλωμα), η οποία σχετίζεται με την απορρόφηση νερού από την καλλιέργεια την ημέρα τη διαφοροποίηση θερμοκρασίας των ηλεκτρονικών στοιχείων του συγκεκριμένου τασίμετρου (Skye, 2014).



Εικόνα 13 Τασίμετρο που χρειάζεται επαναπλήρωση με νερό (Skye, 2014)

Στην Εικόνα 13 παρουσιάζεται μία καταγραφή για μεγαλύτερο διάστημα (Skye, 2014). Για τις 2-3 πρώτες ημέρες το τασίμετρο έχει μία τυπική ημερήσια διακύμανση των 5-10 hPa η οποία οφείλεται στους λόγους που αναφέρθηκαν αμέσως πριν. Μετά όμως αυτή αυξάνει και γίνεται όλο και μεγαλύτερη. Στο γράφημα έχει αποτυπωθεί και η θερμοκρασία του αέρα και φαίνεται ότι οι δύο ενδείξεις έχουν μία παράλληλη πορεία. Ο λόγος για αυτό είναι ότι το νερό στο εσωτερικό του τασίμετρου λιγοστεύει συνεχώς και έτσι ο όλο και περισσότερος αέρας δίνει όλο και μεγαλύτερες διακυμάνσεις πίεσης. Η λύση είναι η επαναπλήρωση του τασίμετρου με απιονισμένο – εξαερωμένο νερό.

Πιθανά προβλήματα

Σύμφωνα με το εγχειρίδιο της εταιρίας Skye (2014) για την μέτρηση της υγρασίας του εδάφους με την χρήση τασίμετρων, το τασίμετρο είναι ένα αξιόπιστο όργανο που μπορεί να εξυπηρετήσει τον διαχειριστή της άρδευσης για πολλά χρόνια εάν εγκατασταθεί και χρησιμοποιηθεί σωστά. Όταν κρατάμε το τασίμετρο πρέπει να προσέχουμε να μην πέσει ή πάθει κάποια ζημία ο κεραμικός βολβός ή το ακρυλικό σώμα. Ακόμα και το πιο μικρό ράγισμα μπορεί να καταστρέψει το τασίμετρο.

Ωστόσο μερικές φορές προβλήματα προκύπτουν αναπόφευκτα. Τα πιο κοινά είναι αυτά που θα αναφέρουμε πιο κάτω, καθώς επίσης θα αναφερθούμε και στις πιθανές λύσεις για κάθε περίπτωση.

Αέριο και φυσαλίδες ατμού

Είναι εξαιρετικά σημαντικό να χρησιμοποιηθεί νερό από το οποίο έχει αφαιρεθεί ο αέρας κατά την εγκατάσταση του τασίμετρου. Έτσι θα αποφευχθεί ο σχηματισμός φυσαλίδων. Σε ξηρές συνθήκες, η φυσαλίδα μπορεί να σχηματιστεί στο πάνω μέρος του στελέχους μετά από μια περίοδο του χρόνου, καθώς περισσότερο νερό απομακρύνεται από το τασίμετρο από ότι ξαναπηγαίνει στις περιόδους άρδευσης. Γενικά, παρόλο που όταν χρησιμοποιείται σε πολλά εδάφη, οι φυσαλίδες δεν είναι τεράστιο πρόβλημα αλλά είναι καλύτερο να αποφεύγεται όσο είναι δυνατόν. Μπορεί να αξίζει να γίνει συμπλήρωση νερού μετά από λίγο καιρό. Ο σχηματισμός των φυσαλίδων είναι αποτέλεσμα κάποιου από τα παρακάτω:

- **Αέρας εγκλωβισμένος στο νερό:** Αυτή είναι η ευκολότερη διαθέσιμη πηγή φυσαλίδων. Μπορούν να σχηματιστούν απλά ως αποτέλεσμα ρευστοποιημένων αερίων που προέρχονται από το διάλυμα, εξαιτίας των χαμηλών πιέσεων στο εσωτερικό του τασίμετρου. Αυτές οι φυσαλίδες θα σχηματιστούν μόλις η πίεση στο εσωτερικό του τασίμετρου αρχίσει να πέφτει. Αυτό μπορεί όμως να αποφευχθεί με την διεξοδική αφαίρεση του αέρα από το νερό πριν αυτό χρησιμοποιηθεί για το γέμισμα του τασίμετρου.

- Υδρατμοί: Εκεί όπου η εξωτερική πίεση στο τασίμετρο είναι χαμηλή και η εσωτερική πίεση στο τασίμετρο είναι υψηλή όπως στα ξηρά εδάφη (ή αν ο βολβός του τασίμετρου έχει αφεθεί στον αέρα) μεγάλες ποσότητες νερού θα φύγουν από το τασίμετρο διάμεσου των πόρων του βολβού. Τα τοιχώματα του τασίμετρου είναι άκαμπτα και έτσι ο εσωτερικός όγκος είναι συνεχής. Το κενό που διαμορφώνεται όταν το νερό φεύγει εξαιτίας της διαφοράς πίεσης, είναι ένα κενό γεμάτο υδρατμούς. Αυτές οι φυσαλίδες θα εξαφανιστούν εντελώς αν ο βολβός του τασίμετρου τοποθετηθεί σε υγρό (νερό) ή βρεγμένο έδαφος, αφού το νερό αυτό έπειτα θα μπει στο σώμα του τασίμετρου.
- Φυσαλίδες αέρα από νερό επαναπλήρωσης: Αυτές οι φυσαλίδες είναι οι πιο δύσκολες. Στην πραγματική ζωή, το έδαφος υπό φυσιολογικές συνθήκες διαφέρει από ξηρό και σε υγρό. Στις ξηρές περιόδους, μια μικρή ποσότητα νερού ρέει από το τασίμετρο. Στην υγρή περίοδο το νερό αντικαθίσταται από το νερό του εδάφους, επειδή όμως το νερό μπορεί να μην αντικατασταθεί πλήρως, μια καθαρή απώλεια νερού μπορεί να συμβεί. Αυτό δεν είναι ιδιαίτερα σημαντικό αν συγκριθεί με το γεγονός ότι το νερό που χορηγείται ξανά στο στέλεχος του τασίμετρου έχει μια υψηλότερη ποσότητα από ρευστοποιημένο αέριο μέσα της. Αυτά τα αέρια προκύπτουν από το διάλυμα στην χαμηλή πίεση του τασίμετρου και δημιουργούνται φυσαλίδες. Η μόνη λύση για αυτό είναι να ξαναγεμιστεί περιοδικά το τασίμετρο με απιονισμένο - εξαερωμένο νερό.
- Μακρά περίοδος διάχυσης αέρα. Δεν είναι πάντα δυνατόν να διαχωριστούν αυτές οι συνέπειες από τις φυσαλίδες αερίου από νερό που επαναχορηγείται, αλλά στην ουσία ακόμα και αν δεν υπάρχει ρευστοποιημένο αέριο που εισέρχεται στον βολβό του τασίμετρου διαμέσου του νερού εξωτερικής προελεύσεως, αέριο μπορεί να διαχέεται μέσω του νερού που περιέχεται στην μήτρα του κεραμικού βολβού και στο ίδιο το εσωτερικό του τασίμετρου. Αυτές οι συνέπειες είναι αρκετά σπάνιες εξαιτίας της φύσης του κεραμικού βολβού και όπως στις φυσαλίδες αερίου από νερό που επαναχορηγείται έτσι και εδώ η μόνη λύση είναι το ξαναγέμισμα ή συμπλήρωση του τασίμετρου.

Γενικά στις περισσότερες περιπτώσεις αν το τασίμετρο είναι σωστά γεμισμένο, τότε οι φυσαλίδες θα πάρουν αρκετό καιρό μέχρι να γίνουν επιζήμιες. Γενικά κανένα σημαντικό σφάλμα δεν θα συμβεί ακόμα και αν το περισσότερο του σώματος γεμίσει με κενό, όσο το κεραμικό είναι εντελώς καλυμμένο και έχει πλήρη επαφή με το έδαφος. Οι συνέπειες από μεγάλες φυσαλίδες είναι οι ακόλουθες και πρέπει να ληφθούν υπόψιν

- Αν οι φυσαλίδες αέρα φτάσουν τον κεραμικό βολβό, τότε το κεραμικό μπορεί να υποστεί σπηλαιώση¹ εκεί όπου το κεραμικό έχει στεγνώσει, και επιτρέπει την ελεύθερη διέλευση του αέρα μέσα στο στέλεχος. Σε αυτή την κατάσταση, το τασίμετρο δεν θα λειτουργεί πλέον και αυτό θα φαίνεται από τα αποτελέσματα, τα οποία πρέπει να αγνοηθούν
- Όταν το τασίμετρο είναι εντελώς γεμισμένο με νερό, τότε ο χρόνος απόκρισης στις αλλαγές της υγρασίας του εδάφους είναι πολύ γρήγορες, μερικές φορές μεταξύ 1-2 min Αυτό συμβαίνει εξαιτίας της μη ελαστικότητας του νερού, δηλαδή δεν μπορεί να μεταβάλλει τον όγκο του κάτω από πίεση. Αν ωστόσο μια μεγάλη φυσαλίδα εμφανιστεί στο στέλεχος, αυτή θα επεκταθεί μέχρι η νέα εισερχόμενη πίεση να είναι σε ισορροπία με την εξωτερική πίεση, η οποία αντικατοπτρίζει την νέα πίεση αναρρόφησης του εδάφους.

Οι πιο μεγάλες φυσαλίδες μπορεί να καθυστερήσουν τον χρόνο αντίδρασης (>1 h). Σε πολλές περιπτώσεις αυτό δεν είναι πρόβλημα, διότι όσο μια ποσότητα νερού παραμένει στο τασίμετρο, η σωστή πίεση θα επιτευχθεί. Ο χρόνος αντίδρασης αυξάνεται από τα περισσότερα αέρια που προκύπτουν από το διάλυμα καθώς η πίεση μειώνεται. Αυτή η συνέπεια θα παρατηρηθεί σε

¹Υπό πίεση 1013,25 hPa, η οποία αντιστοιχεί στην κανονική ατμοσφαιρική πίεση, εξατμίζεται το νερό σε θερμοκρασία 100 °C. Υπό υψηλότερη πίεση είναι η θερμοκρασία εξάτμισης μεγαλύτερη, ενώ υπό χαμηλότερη πίεση συμβαίνει το αντίθετο. Έτσι εξατμίζεται το νερό υπό πίεση 23,37 hPa σε θερμοκρασία 20 °C. Κατά την εξάτμιση σχηματίζονται φυσαλίδες στο νερό, διότι οι υδρατμοί στους 20 °C χρειάζονται πολύ μεγαλύτερο χώρο απ'ότι το νερό σε υγρή μορφή. Από τη στιγμή που η πίεση του νερού αυξάνεται πάλι, σταματάει η διαδικασία της εξάτμισης. Ο προηγούμενος αναγκαίος χώρος γίνεται απότομα μικρότερος και το νερό πρέπει πάλι να γεμίσει ξανά τον χώρο και ρέει ενδορρηκτικά πίσω, όπου μέσα στο νερό δημιουργούνται κρούσεις, οι οποίες μπορούν να πάρουν τιμές ανώτερες των 100 MPa. Από αυτή τη διαδικασία σχηματίζονται κύματα με υψηλές τιμές πίεσης. Αν βρίσκονται οι φυσαλίδες ατμού κοντά ή πάνω σε στερεό τοίχωμα, τότε σχηματίζεται κατά την ενδόρρηξη ροή, η οποία χτυπά με πολύ μεγάλη ταχύτητα πάνω στα τοιχώματα και φθείρει το υλικό.

μεγαλύτερου μήκους τασίμετρα (>40 cm) απ' ότι στα μικρότερου μήκους, αφού ογκομετρικά υπάρχει περισσότερο νερό στα μακρά στελέχη για τα αέρια να βγουν από τον σχηματισμό του διαλύματος.

- Η στήλη του νερού στα τασίμετρα προκαλεί μια συνεχή υδροστατική πίεση να είναι παρούσα. Αν το νερό αντικατασταθεί με αέριο, αυτή η αντιστάθμιση χάνεται. Γενικώς, 10cm αερίου είναι περίπου 10hPa, οπότε αυτό περιέχει ένα μικρό σφάλμα εκτός και αν οι φυσαλίδες είναι πολύ μεγάλες.

Πάγωμα

Όταν το τασίμετρο είναι γεμισμένο, είναι πιθανό να προκύψουν βλάβες σε περίπτωση που παγώσει. Είναι ουσιώδες να αποφευχθεί αυτό. Για την προστασία από τον παγετό, ένα απλό μονωτικό κάλυμμα πάνω από το εκτεθειμένο κομμάτι του σώματος του τασίμετρου θα είναι επαρκές, αλλά υπό δριμείς καιρικές συνθήκες το όργανο δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Πλαστικά μπουκάλια αναψυκτικών με τα καπάκια να έχουν αφαιρεθεί γεμίζονται με άχυρο ή εφημερίδες και τοποθετούνται πάνω από το τασίμετρο ως μια φτηνή και αποτελεσματική λύση.

Άλλα χρήσιμα πρακτικά θέματα

Σε σχέση με το τασίμετρο που χρησιμοποιήθηκε στο πλαίσιο της πτυχιακής εργασίας, πρέπει να σημειωθεί ότι κατά την διαδικασία συμπλήρωσης νερού στο σώμα του τασίμετρου ή κατά την πρώτη φορά χρήσης του δεν πρέπει να βγει από την θέση του ο πλαστικός δακτύλιος διότι είναι δύσκολη η επανατοποθέτηση του.

Αξιολόγηση λειτουργίας τασιμέτρων σε πραγματικές συνθήκες (καλλιέργεια ακτινιδίου)

Υλικά και μέθοδοι

Ο οπωρώνας όπου έγιναν οι δοκιμές βρίσκεται στην Αγία Παρασκευή Άρτας (συντεταγμένες WGS84: 39,1 Β, 20,99 Α), έχει έκταση 1,3 ha και καλλιέργεια ακτινίδιο (*Actinidia deliciosa*) ποικιλία Hayward (Clone 8). Το τμήμα στο οποίο έγιναν οι δοκιμές έχει φυτά ηλικίας 7 ετών με αποστάσεις φύτευσης 2,5 x 5m (2,5 επί της γραμμής και 5 οι γραμμές).



Εικόνα 14 Δορυφορική εικόνα του οπωρώνα (bing maps)



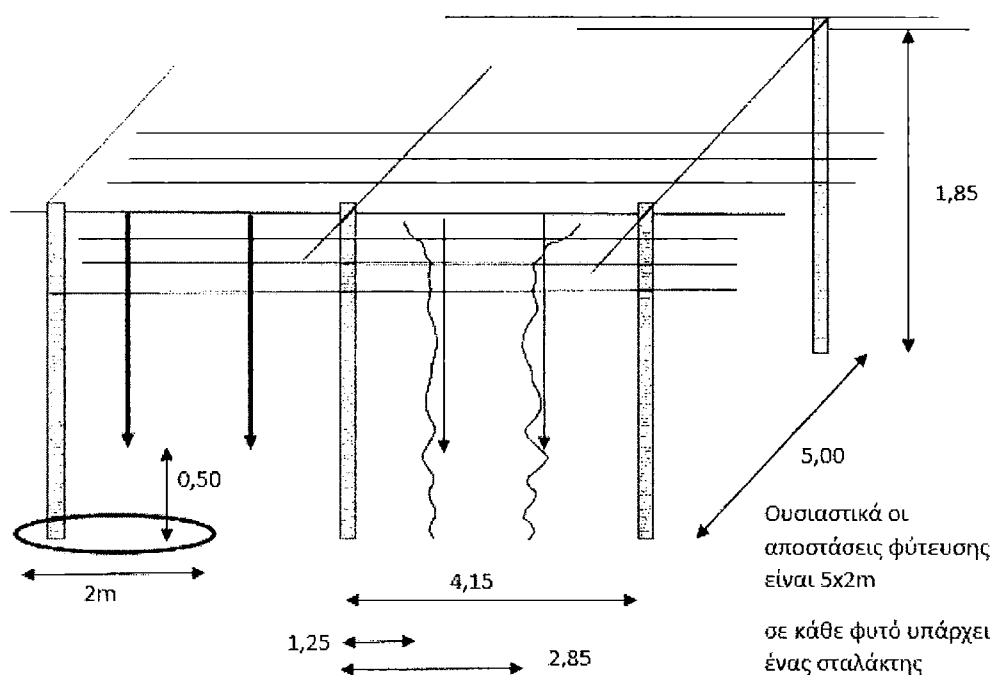
Εικόνα 15 Γενική άποψη του οπωρώνα

Ο Πίνακας 7 περιλαμβάνει τα χαρακτηριστικά του εδάφους και της καλλιέργειας που ενδιαφέρουν στο πλαίσιο της εργασίας αυτής.

Πίνακας 7 Χαρακτηριστικά εδάφους και καλλιέργειας περίπτωσης Α [ΛΚ – Αγ. Παρασκευή]

Καλλιέργεια	Ακτινίδιο, Hayward, 7 ετών
Βάθος ρίζας (εκτίμηση)	30-50 cm
MAD (Allen et al., 1998)	0,35
Τύπος εδάφους (Κατσουλάκου, 2017)	Silt loam – Ιλαιοπηλώδες
Θs, FC, PWP (με βάση τον τύπο του εδάφους από Twarakavi et al., 2009)	Θs ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$): 43% FC ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$): 28% PWR ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$): 14%
Ks (Μαλάμος, 2016 / Normalized Ks at 10°C)	17,5 cm d^{-1}
ρ_b (Μαλάμος, 2016)	1,47 g cm^{-3}

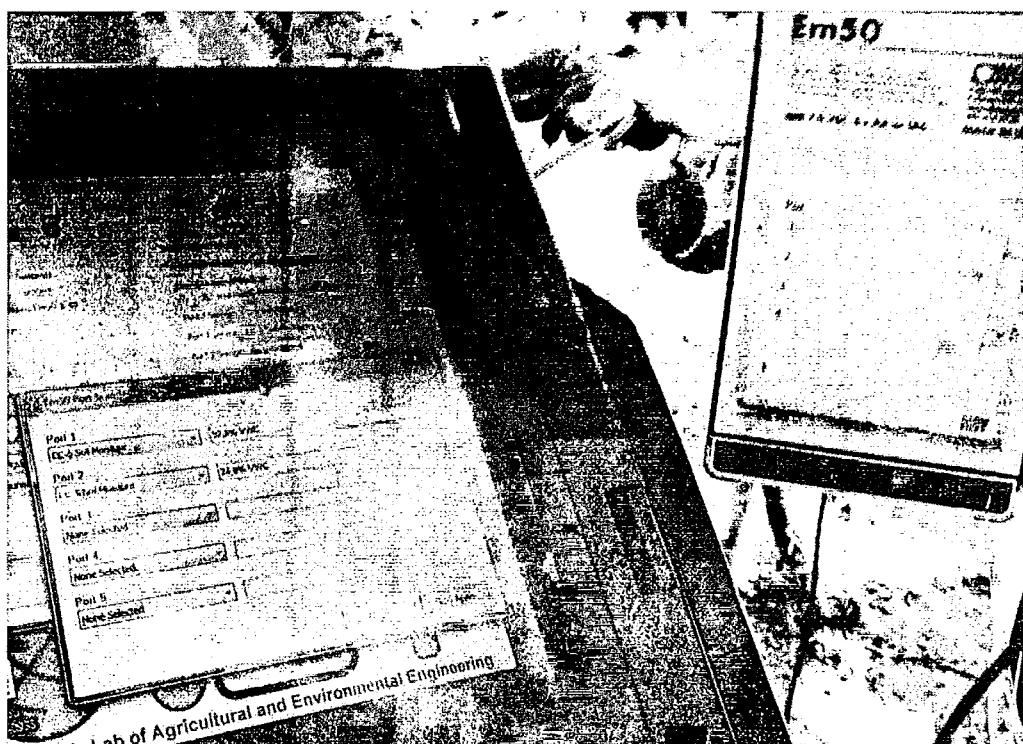
Για την άρδευση της καλλιέργειας χρησιμοποιούνται αναρτημένοι (σε ύψος 0,5 m από το έδαφος) μικροεκτοξευτήρες (Mist Atomizer – Μπεκ Υδρονέφωσης (Κωδ. 3014/0090 – πράσινο, Palaplast, Ελλάδα), ονομαστικής παροχής στις 2 Atm ίσης με 90 L h^{-1} (η πραγματική παροχή βρέθηκε της ίδιας τάξης) και βρεχόμενη διαμέτρου 2m (μέτρηση). Οι αγωγοί εφαρμογής (LDPE Φ25 / 6 Atm) περνούν σε ύψος 1,85m.



Εικόνα 16 Διάταξη φυτών και αρδευτικού συστήματος

Στο πλαίσιο των δοκιμών που έγιναν, χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθες μετρητικές συσκευές:

- 1) Τασίμετρα μήκους 30 και 60cm (Mini dial tensiometer, Skye Instruments, UK), τα οποία έδιναν ενδείξεις τάσης σε hPa
- 2) Πυκνωτικοί διηλεκτρικοί αισθητήρες υγρασίας εδάφους (EC5 και 10HS, Decagon Devices USA) με χρήση της γενικής εξίσωσης μετατροπής τάσης εξόδου σε κατόγγο υγρασία που προτείνει η κατασκευάστρια εταιρεία για ανόργανα εδάφη.



Εικόνα 17 Τασίμετρα τοποθετημένα στον οπωρώνα και λήψη δεδομένων από καταγραφικό στο οποίο είναι συνδεδεμένοι διηλεκτρικοί πυκνωτικοί αισθητήρες εδαφικής υγρασίας

Οι μετρήσεις αφορούσαν δύο περιόδους.

Κατά την πρώτη περίοδο (18/5/2017 έως 29/7/2017) τοποθετήθηκαν συνολικά σε 3 θέσεις (Α, Β και Γ), 8 τασίμετρα:

- | | | |
|------------|---------|----------------|
| 1. A1 30cm | Skye 30 | βάθος (cm): 30 |
| 2. A1 60cm | Skye 60 | βάθος (cm): 60 |
| 3. A2 15cm | Skye 60 | βάθος (cm): 15 |
| 4. A2 40cm | Skye 60 | βάθος (cm): 40 |
| 5. B 15cm | Skye 30 | βάθος (cm): 15 |
| 6. B 40cm | Skye 60 | βάθος (cm): 40 |
| 7. Γ 15cm | Skye 30 | βάθος (cm): 15 |
| 8. Γ 40cm | Skye 60 | βάθος (cm): 40 |

Κατά τη δεύτερη περίοδο (14/8/2017 έως 30/9/2017) οι μετρήσεις έγιναν στην θέση Α (ίδια με αυτή της πρώτης περιόδου) και σε νέα θέση, τη Δ πάλι με 8 τασίμετρα συνολικά:

1. Αα/60-60 (60cm από σταλάκτη, 60cm βάθος) - έμεινε στη θέση που ήταν το Α1 60cm, ως αναφορά.
2. Αβ/15-15 (15cm από σταλάκτη, 15cm βάθος). Στην ίδια θέση/βάθος που ήταν ο Α2 15cm απλά βάλαμε Skye 30cm. Έμεινε στην ίδια θέση ως αναφορά.
3. Αγ/30-40 (30cm από σταλάκτη, 40cm βάθος). Ο Α2 40cm που έμεινε στην ίδια θέση ως αναφορά.
4. Αδ/30-30+ (30cm από σταλάκτη, 30+cm βάθος) - θέλαμε να το βάλουμε στα 40cm αλλά δεν είχε περιθώριο το τασίμετρο
5. Δα/10-60 (10cm από σταλάκτη, 60cm βάθος). Φέραμε το Skye 60cm που ήταν στην θέση Α2 15cm
6. Δβ/90-15 (90cm από σταλάκτη, 15cm βάθος)
7. Δγ/140-40 (140cm από σταλάκτη, 40cm βάθος)
8. Δδ/40-40 (40cm από σταλάκτη, 40cm βάθος)

Κατά την πρώτη περίοδο, στην θέση Α υπήρχαν εγκατεστημένοι διηλεκτρικοί πυκνωτικοί αισθητήρες εδαφικής υγρασίας EC5 και 10HS (οι 10 HS από 11/7/2017):

1. EC-5 30cm (60cm από κολώνα στις 45ο)
2. EC-5 15cm (60cm από κολώνα στις 45ο)
3. 10HS 1 m από σταλάκτη 20-30cm
4. 10HS 1,20m από σταλάκτη 20-30cm 10HS 1,80m από σταλάκτη 20-30cm

Στην θέση Δ εγκαταστάθηκαν διηλεκτρικοί πυκνωτικοί αισθητήρες εδαφικής υγρασίας EC5 και 10HS στις 9/8/2017 (όσο αφορά τις αποστάσεις εκτός από τις οριζόντιες αποστάσεις υπάρχει και κλίση επιφάνειας όσο απομακρυνόμαστε από γραμμή φύτευσης λόγω της διαμόρφωσης στραγγιστικής αύλακας):

1. 10HS, πάνω στη γραμμή φύτευσης, 0,7m από εκτοξευτήρα, κατακόρυφη τοποθέτηση, κεφαλή: 20+ βάθος, γεμάτο ρίζες
2. 10HS, 1,1m μακριά από εκτοξευτήρες, κατακόρυφη τοποθέτηση, κεφαλή: 20+cm βάθος, είχε ρίζες
3. EC5, πάνω στη γραμμή φύτευσης στη μέση της απόστασης 2 εκτοξευτήρων, κατακόρυφη τοποθέτηση, κεφαλή: 20+cm βάθος, γεμάτο ρίζες
4. EC5, 1,2m μακριά από εκτοξευτήρες, κατακόρυφη τοποθέτηση, κεφαλή: 20+cm βάθος, δεν φαινόταν να υπάρχουν ρίζες
5. EC5, 1,8m μακριά από εκτοξευτήρες, κατακόρυφη τοποθέτηση, κεφαλή: 20+cm βάθος, δεν φαινόταν να υπάρχουν ρίζες

Οι μετρήσεις για τα τασίμετρα γινόντουσαν χειροκίνητα τρεις φορές κάθε ημέρα, περίπου στις 8:00, στις 15:00 και στις 20:00, ενώ για τους αισθητήρες υγρασίας εδάφους οι καταγραφές γινόντουσαν αυτόματα ανά 1 ώρα.

Για την ανάλυση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το MS-Excel.

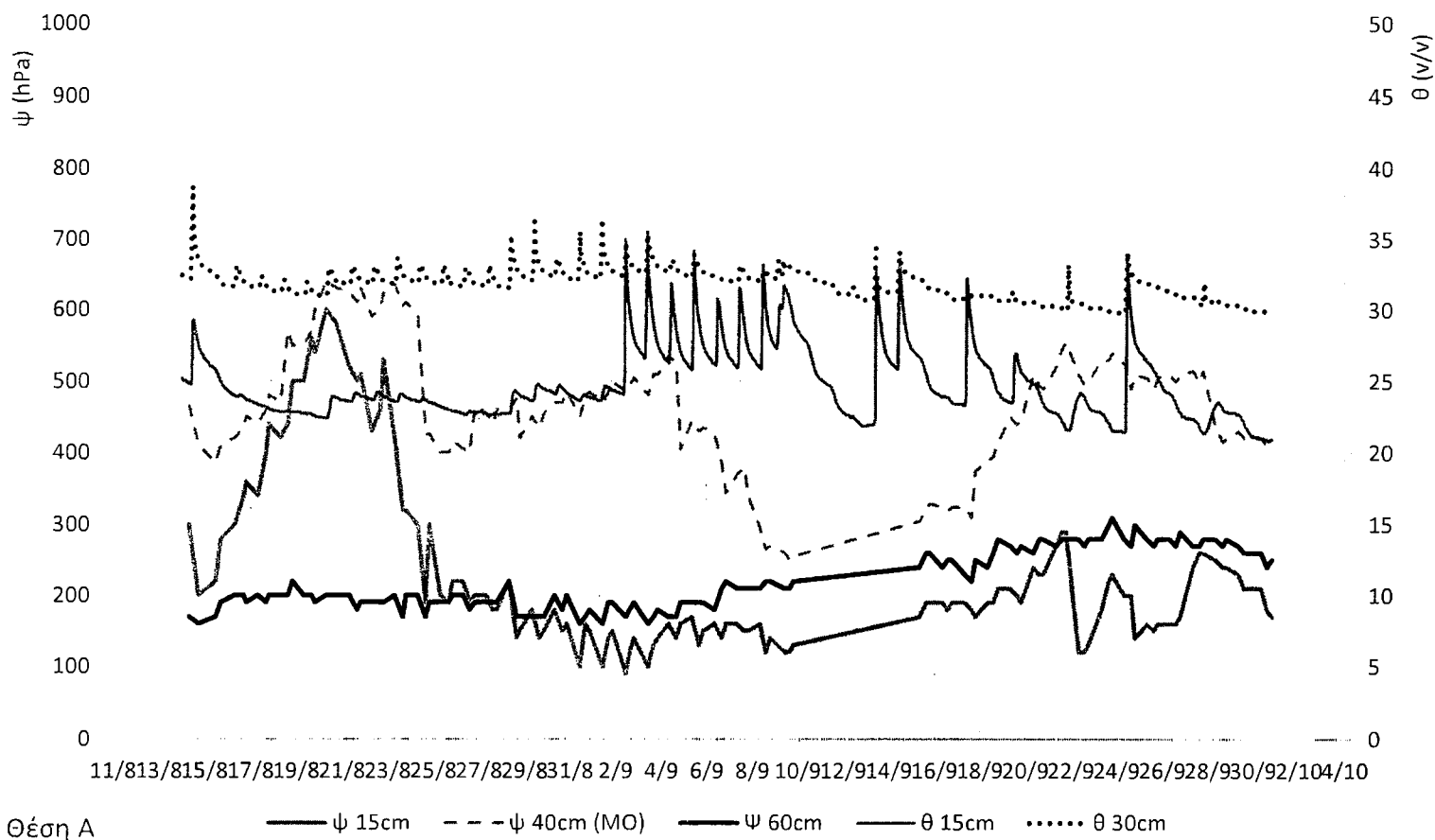
Αποτελέσματα

Από τις δύο περιόδους μετρήσεων και τις δύο θέσεις παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τη δεύτερη περίοδο μετρήσεων και για τις θέσεις Α και Δ.

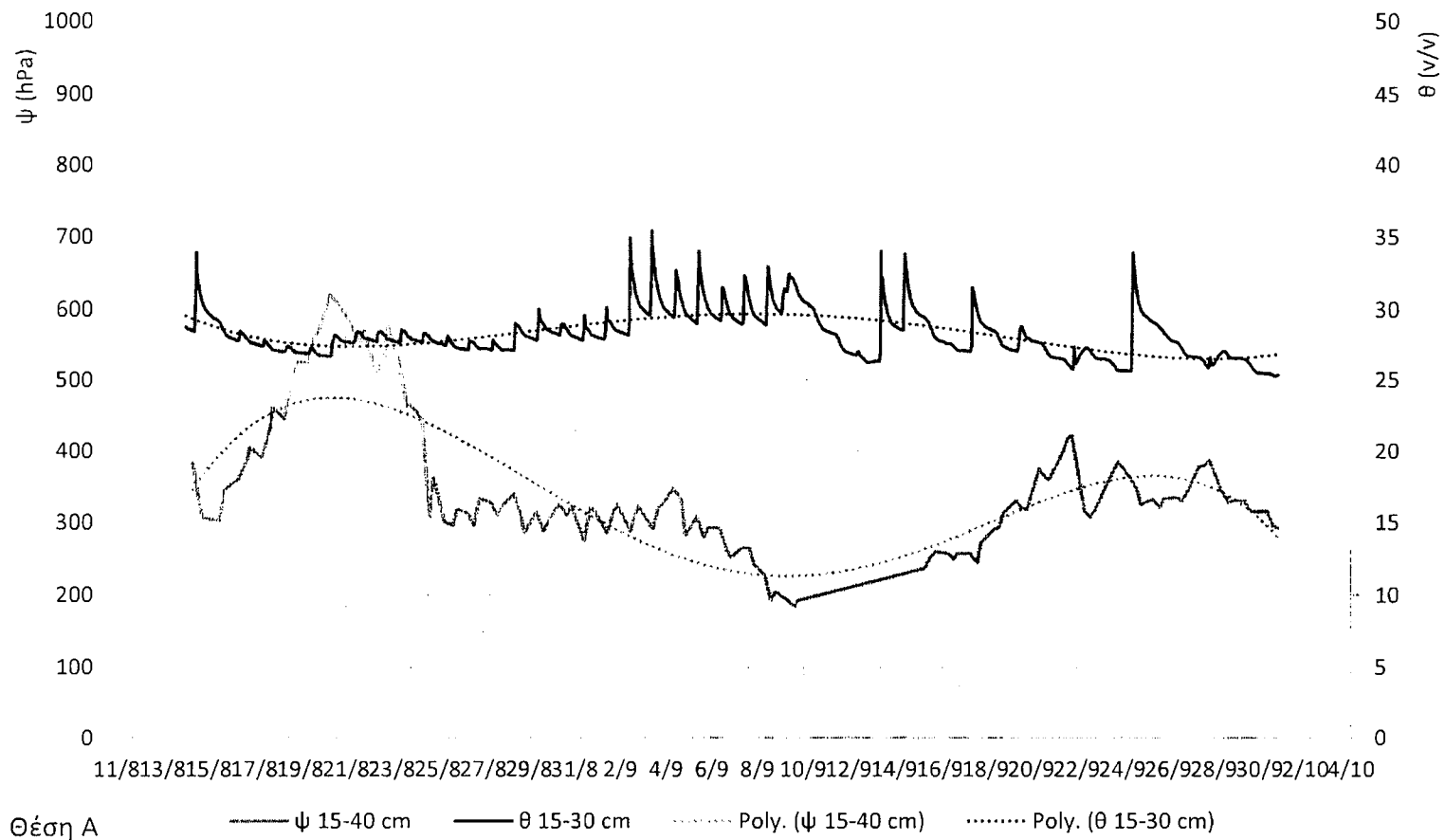
Από την Εικόνα 18 που παρουσιάζει τη διακύμανση της τάσης (ψ σε hPa) και της κατ'όγκο υγρασίας εδάφους θ δεν μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με την σχέση των δύο παραμέτρων.

Στο πλαίσιο της προσπάθειας για αξιοποίηση των αποτελεσμάτων υπολογίστηκαν οι μέσες τιμές τάσης ψ για βάθη 15 και 40 cm καθώς και οι μέσες τιμές κατ'όγκο υγρασίας εδάφους θ για βάθη 15 και 30 cm και η διακύμανσή τους παρουσιάζεται στην Εικόνα 19. Με τη βοήθεια των παρεμβολών (πολυώνυμα 4^{ου} βαθμού) είναι φανερή η αναμενόμενη αντίστροφη σχέση των δύο παραμέτρων: αύξηση της υγρασίας συνοδεύεται με μείωση της τάσης και το αντίστροφο.

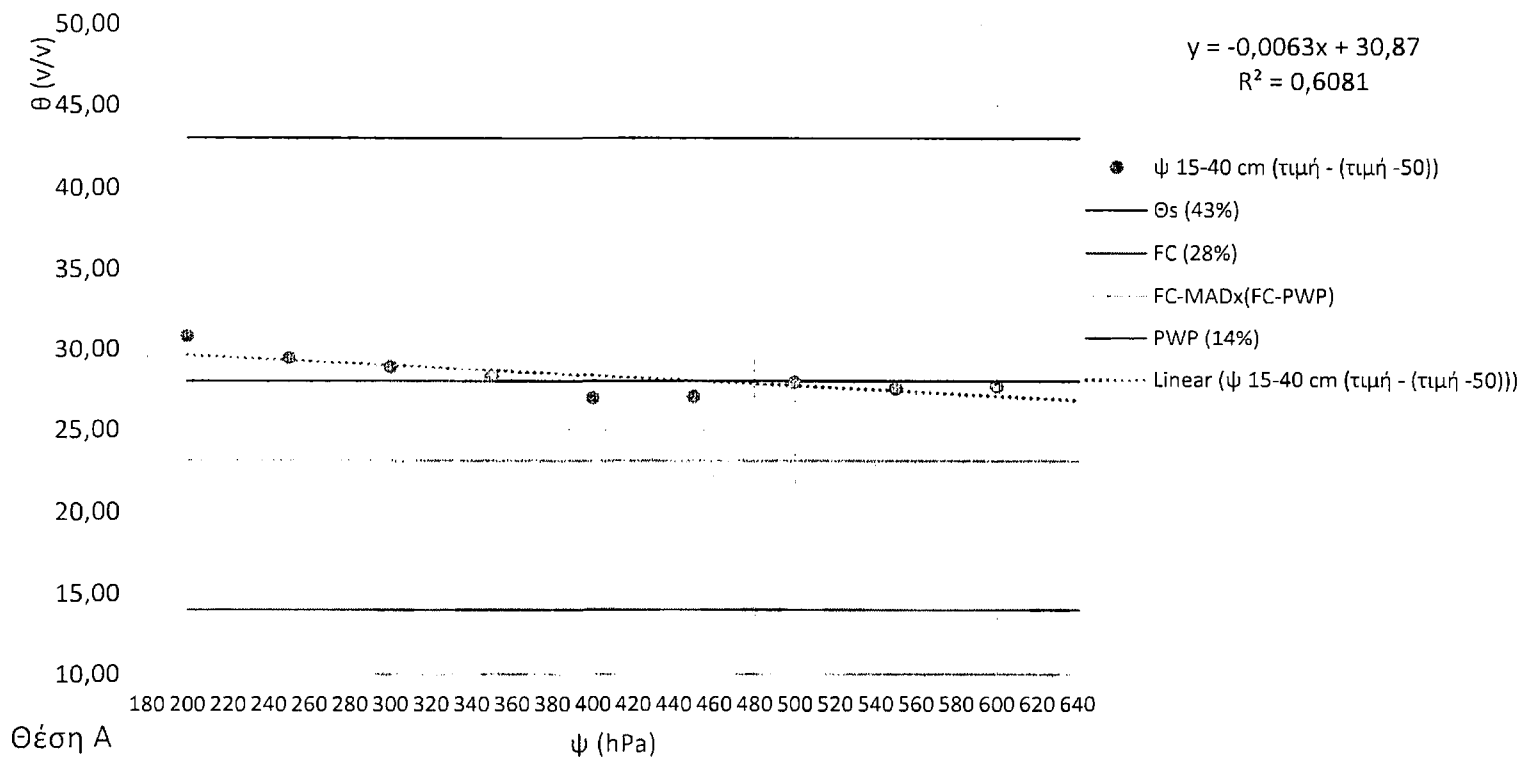
Στην Εικόνα 20 παρουσιάζεται η σχέση μέσων τιμών τάσης ψ για βάθη 15 και 40 cm, ομαδοποιημένων ανά 50 hPa και μέσων τιμών κατ'όγκο υγρασίας εδάφους θ για βάθη 15 και 30 cm (δηλαδή για τιμές τάσης από x έως $x-50$ hPa, υπολογίστηκε η μέση τιμή των αντίστοιχων διαθέσιμων μετρήσεων κατ'όγκο υγρασίας για το τελευταίο τρίωρο έως και το χρόνο λήψης της τιμής της τάσης). Στο διάγραμμα αυτό παρουσιάζονται και οι τιμές που έχουν εκτιμηθεί με βάση τη μηχανική ανάλυση του συγκεκριμένου εδάφους για την υγρασία κορεσμού (θ_s), την υδατοικανότητα (FC), το σημείο μόνιμης μάρανσης (PWP) καθώς και η τιμή υγρασίας που με βάση το συντελεστή μέγιστης επιτρεπόμενης εξάντλησης υγρασίας (MAD) σηματοδοτεί την ανάγκη άρδευσης ώστε να μην υπάρξει υδατική καταπόνηση. Είναι φανερό ότι η υγρασία στη θέση Α συγκρατήθηκε στα επίπεδα της υδατοικανότητας καθ'όλη την περίοδο και έτσι δεν είναι εύκολο να εξαχθεί μία ευρεία σχέση τάσης και υγρασίας και μία εκτίμηση του κατά πόσο το τασίμετρο θα μπορούσε να αξιοποιηθεί για τον έλεγχο των αρδευτικών γεγονότων.



Εικόνα 18 Διακύμανση τάσης (ψ σε hPa) και κατ'όγκο υγρασίας εδάφους θ κατά την δεύτερη περίοδο μετρήσεων στη Θέση Α



Εικόνα 19 Διακύμανση μέσων τιμών τάσης ψ για βάθη 15 και 40 cm και μέσων τιμών κατ'όγκο υγρασίας εδάφους θ για βάθη 15 και 30 cm κατά την δεύτερη περίοδο μετρήσεων στη Θέση Α

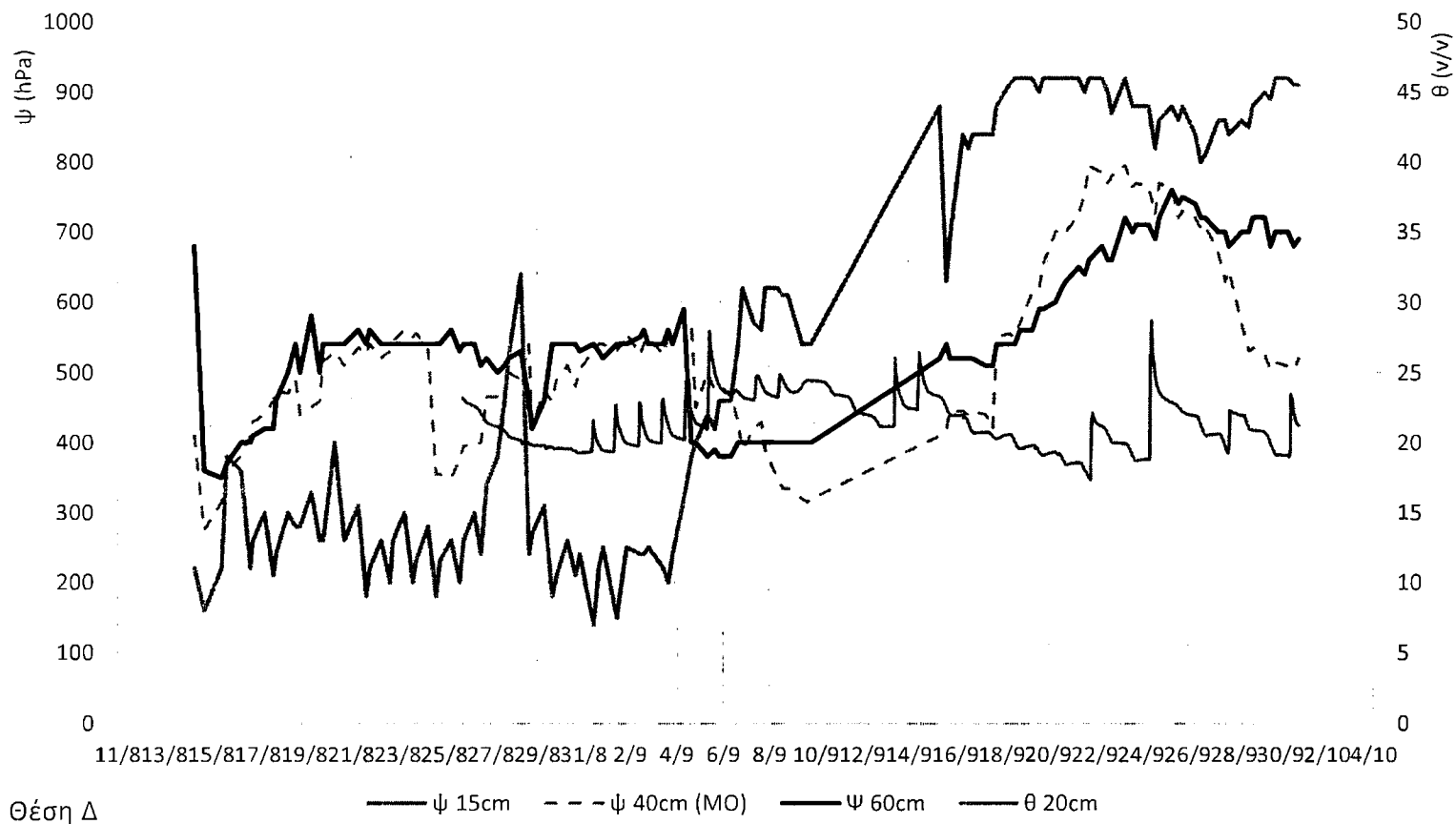


Εικόνα 20 Σχέση μέσων τιμών τάσης ψ για βάθη 15 και 40 cm, ομαδοποιημένων ανά 50 hPa και μέσων τιμών κατ'όγκο υγρασίας εδάφους θ για βάθη 15 και 30 cm κατά την δεύτερη περίοδο μετρήσεων στη Θέση A

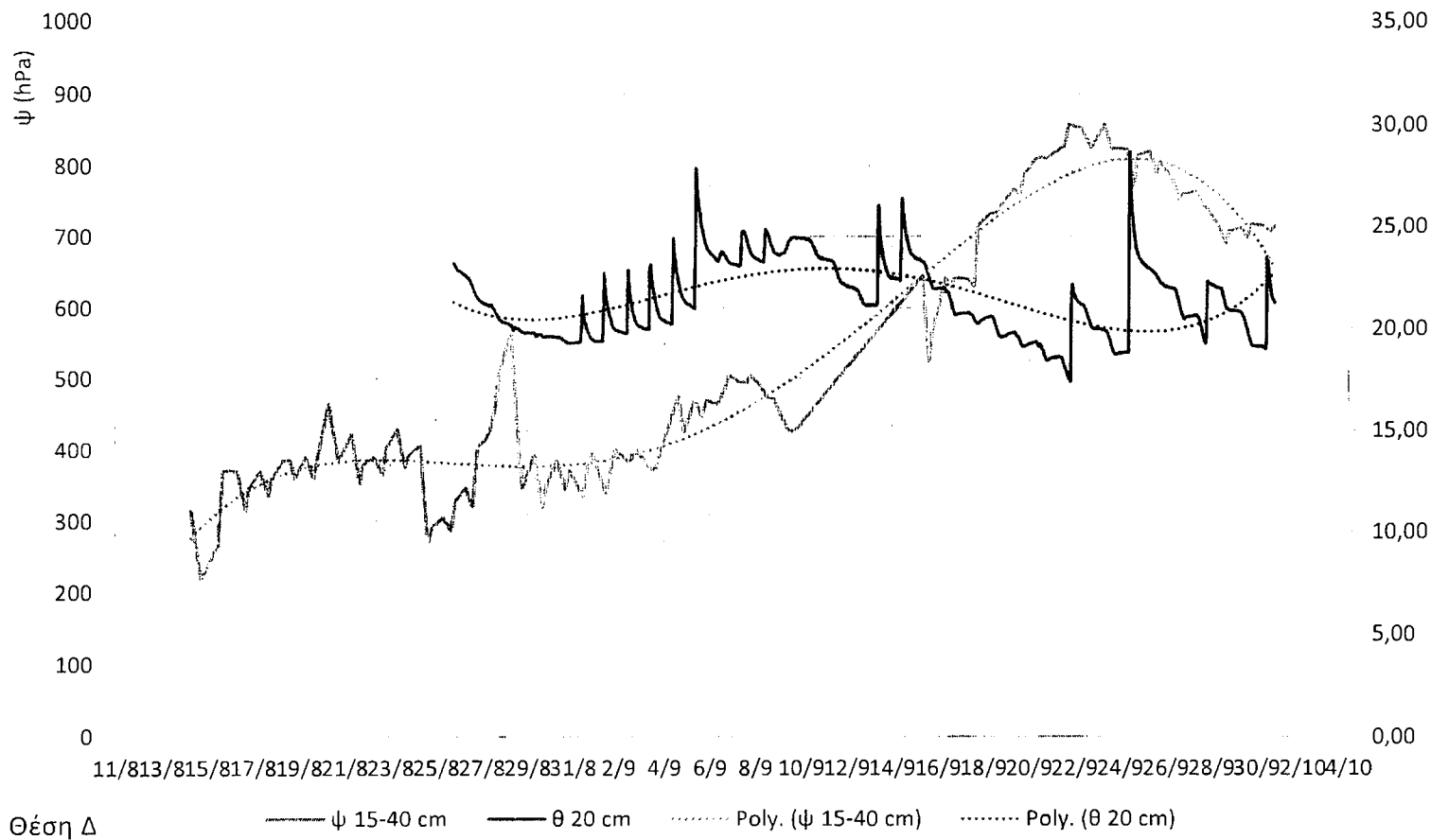
Από την Εικόνα 21 που παρουσιάζει τη διακύμανση της τάσης (ψ σε hPa) και της κατ'όγκο υγρασίας εδάφους για τη θέση Δ δεν μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με την σχέση των δύο παραμέτρων.

Στο πλαίσιο της προσπάθειας για αξιοποίηση των αποτελεσμάτων υπολογίστηκαν οι μέσες τιμές τάσης ψ για βάθη 15 και 40 cm καθώς και οι μέσες τιμές κατ'όγκο υγρασίας εδάφους θ για βάθος 20 cm και η διακύμανσή τους παρουσιάζεται στην Εικόνα 22. Με τη βοήθεια των παρεμβολών (πολυώνυμα 4^{ου} βαθμού) είναι φανερό η αναμενόμενη αντίστροφη σχέση των δύο παραμέτρων: αύξηση της υγρασίας συνοδεύεται με μείωση της τάσης και το αντίστροφο.

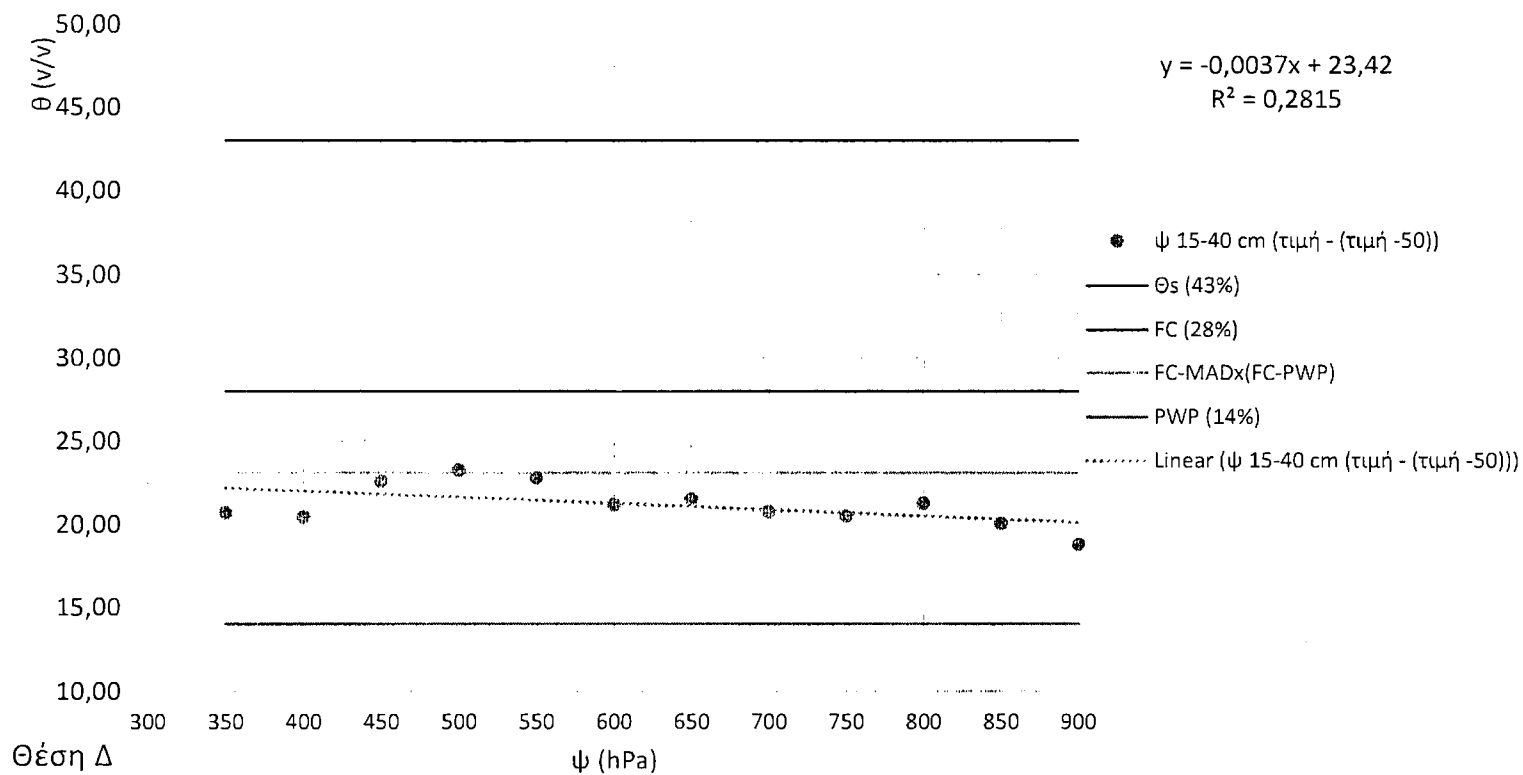
Στην Εικόνα 23 παρουσιάζεται η σχέση μέσων τιμών τάσης ϕ για βάθη 15 και 40 cm, ομαδοποιημένων ανά 50 hPa και μέσων τιμών κατ'όγκο υγρασίας εδάφους θ για βάθος 20 cm (δηλαδή για τιμές τάσης από x έως $x-50$ hPa, υπολογίστηκε η μέση τιμή των αντίστοιχων διαθέσιμων μετρήσεων κατ'όγκο υγρασίας για το τελευταίο τρίωρο έως και το χρόνο λήψης της τιμής της τάσης). Στο διάγραμμα αυτό παρουσιάζονται και οι τιμές που έχουν εκτιμηθεί με βάση τη μηχανική ανάλυση του συγκεκριμένου εδάφους για την υγρασία κορεσμού (θ_s), την υδατοικανότητα (FC), το σημείο μόνιμης μάρανσης (PWP) καθώς και η τιμή υγρασίας που με βάση το συντελεστή μέγιστης επιτρεπόμενης εξάντλησης υγρασίας (MAD) σηματοδοτεί την ανάγκη άρδευσης ώστε να μην υπάρχει υδατική καταπόνηση. Είναι φανερό ότι η υγρασία στη θέση Δ συγκρατήθηκε στα επίπεδα του εύκολα διαθέσιμου νερού καθ'όλη την περίοδο και έτσι δεν είναι εύκολο να εξαχθεί μία ευρεία σχέση τάσης και υγρασίας και μία εκτίμηση του κατά πόσο το τασίμετρο θα μπορούσε να αξιοποιηθεί για τον έλεγχο των αρδευτικών γεγονότων.



Εικόνα 21 Διακύμανση τάσης (ψ σε hPa) και κατ'όγκο υγρασίας εδάφους θ κατά την δεύτερη περίοδο μετρήσεων στη Θέση Δ



Εικόνα 22 Διακύμανση μέσω των τιμών τάσης ψ για βάθη 15 και 40 cm και μέσω των τιμών κατ'όγκο υγρασίας εδάφους θ για βάθη 20 cm κατά την δεύτερη περίοδο μετρήσεων στη Θέση Δ



Εικόνα 23 Σχέση μέσων τιμών τάσης ψ για βάθη 15 και 40 cm, ομαδοποιημένων ανά 50 hPa και μέσων τιμών κατ'όγκο υγρασίας εδάφους θ για βάθη 20 cm κατά την δεύτερη περίοδο μετρήσεων στη Θέση Δ

Συμπεράσματα

Στην εποχή μας η χρήση αισθητήρων υγρασίας εδάφους για την αποτελεσματικότερη χρήση του νερού άρδευσης στο πλαίσιο των αειφόρων γεωργικών πρακτικών γίνεται συνεχώς και πιο έντονη.

Οι αισθητήρες αυτοί απαιτούν παραμετροποίηση για τους διάφορους τύπους εδάφους ώστε να έχουν αυξημένη ακρίβεια μέτρησης.

Στο πλαίσιο της μεταπτυχιακής αυτής εργασίας παρατίθεται το θεωρητικό υπόβαθρο και την αρχή λειτουργίας των τασιμέτρων, συσκευών που αποτελούν τον πλέον διαδεδομένο τύπο μηχανικών αισθητήρων μέτρησης υγρασίας εδάφους και έγινε εγκατάσταση τασιμέτρων σε καλλιέργειες υπό πραγματικές συνθήκες (καλλιέργεια ακτινιδιάς) με σκοπό να αξιολογηθούν στην πράξη.

Λόγω του ότι οι καταγραφές των τασιμέτρων γίνονταν σε συχνότητα 3 φορές την ημέρα και του γεγονότος ότι η απόκριση των οργάνων αυτών στις αλλαγές της υγρασίας του εδάφους και τις αντίστοιχες αλλαγές της τάσης συγκράτησης του νερού είναι αργή, δεν είναι εύκολο να συγκριθούν τα αποτελέσματα των τασιμέτρων με τις τιμές εδαφικής υγρασίας που καταγράφονταν ανά μία ώρα. Παρόλα αυτά καταγράφηκε η αναμενόμενη αντίστροφη σχέση των δύο παραμέτρων: αύξηση της υγρασίας συνοδεύεται με μείωση της τάσης και το αντίστροφο (Εικόνα 19 και Εικόνα 22).

Επειδή η μέτρηση γίνονταν σε πραγματικό οπωρώνα, η υγρασία συγκρατήθηκε στα επίπεδα του εύκολα διαθέσιμου νερού –και μάλιστα στο ψηλότερο μέρος αυτού– καθ'όλη την περίοδο και έτσι δεν ήταν εύκολο να εξαχθεί μία ευρεία σχέση τάσης και υγρασίας και μία εκτίμηση του κατά πόσο το τασίμετρο θα μπορούσε να αξιοποιηθεί για τον έλεγχο των αρδευτικών γεγονότων.

Βιβλιογραφία

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop Evapotranspiration – Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO, Rome, p. 300 (Irrigation and Drainage paper, n. 56). <http://www.fao.org/docrep/x0490e/x0490e00.htm>. Προσπελάσθηκε: 1/9/2016
- Bacci, L., Battista, P., Rapi, B., Sabatini, F., Checcacci, E. 2003. Irrigation control of container crops by means of tensiometers. Acta Hort. (ISHS) 609, 467-474.
- Irrigation Museum, 2016. Soil Tensiometer Irrrometer Co. Διαθέσιμο στο: <http://www.irrigationmuseum.org/item1.aspx?id=39>
- Kargas G., Kerkides P. 2008. Water content determination in mineral and organic porous media by ML2 ThetaProbe. Irrig. and Drain. 57: 435–449.
- Lajos B., 2008. Soil science. Debreceni Egyetem. Διαθέσιμο στο: http://www.tankonyvtar.hu/en/tartalom/tamop425/0032_talajtan/ch07s05.html. Προσπελάσθηκε: 1/9/2016
- Lal R., Shukla A., 2004. Principles of Soil Physics. Books in Soils, Plants, and the Environment Series. Marcel Dekker Incorporated.
- Lourenço S., Gallipoli D., Toll D., Evans F., Medero G., 2007. Determination of the Soil Water Retention Curve with Tensiometers. Experimental Unsaturated Soil Mechanics Part II. Springer Proceedings in Physics, 112: 95-102. Διαθέσιμο στο: http://link.springer.com/chapter/10.1007/3-540-69873-6_9
- Munoz-Carpena R., Dukes M.D., Li Y.C. and Klassen W., 2005. Field comparison of tensiometer and granular matrix sensor automatic drip irrigation on tomato. HortTechnology, 15 584-590.
- Muñoz-Carpena, R. 2009. Field devices for monitoring soil water content. Florida Coop. Ext. Serv. Bull. 2009, 343, 1-17.

Skye, 2014. Soil Moisture Measurement Notes. Διαθέσιμο στο:
<https://www.researchgate.net/file.PostFileLoader.html?id=55d9d948614325877b8b458f&assetKey=AS%3A273837466292224%401442299347359>.

Προσπελάσθηκε: 1/9/2016

Skye, 2015. Tensiometers / SKT 600s Series. Iss. 1.2. Διαθέσιμο στο:
<http://www.skyeinstruments.info/index.htm/files/SKT%20600%20series%20Tensiometers%201.2.pdf>. Προσπελάσθηκε: 1/9/2016

Twarakavi N. K.C., Sakai M., Simunek J., 2009. An objective analysis of the dynamic nature of field capacity Water Resources Research, 45(10). Διαθέσιμο στο:
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2009WR007944/full>. Προσπελάσθηκε: 1/9/2016

Twarakavi, N.K.C., Sakai, M., and Šimůnek, J., 2009. An objective analysis of the dynamic nature of field capacity. Water Resources Research, 45 (10)

van Genuchten, M.Th., 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Science Society of America Journal. 44 (5): 892–898. Διαθέσιμο στο: <http://hydro.nevada.edu/courses/gev719/vg.pdf>. Προσπελάσθηκε: 1/9/2016

ΔT Devices, 1999. ThetaProbe Soil moisture sensor, Type ML2x, User Manual, UK

Δεδελούδη Κ., 2017. Αξιολόγηση μηχανικών αισθητήρων υγρασίας εδάφους στο πλαίσιο αποτελεσματικής διαχείρισης άρδευσης καλλιεργειών. Πτυχ. Εργασία. Τμ. Τεχνολόγων Γεωπόνων ΤΕΙ Ηπείρου / Υπεύθυνος: Τσιρογιάννης Ιωάννης

Θεοχάρης Μ., 1998. Σημειώσεις αρδεύσεις-στραγγίσεις, Άρτα

Καρακατσούλης Π.Γ., 1997. Αρδεύσεις στραγγίσεις και προστασία εδαφών, Αθήνα

Καράταγλης Σ. 1992. ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΦΥΤΩΝ, Εκδόσεις Art of Text, Θεσσαλονίκη

Κουβάς Δ., 2016. Χρήση τασίμετρων στην Ελλάδα για τη διαχείριση άρδευσης. Προσωπική επικοινωνία (Scientact A.E.)

Μιχελάκης Ν., 1998. Συστήματα αυτόματης άρδευσης-άρδευση με σταγόνες, Αθήνα

Ουζούνης Δ., 2002. Συστήματα αυτόματης άρδευσης(άρδευση με σταγόνες και μικροεκτοξευτήρες), Θεσσαλονίκη

Παπαζαφειρίου Ζ.Γ., 1999. Οι ανάγκες σε νερό των καλλιεργειών, Θεσσαλονίκη

Παπαμιχαήλ Δ. και Μπαμπατζιμόπουλος Χ., 2014. Εφαρμοσμένη γεωργική υδραυλική, Θεσσαλονίκη

Πατακιούτας Γ., 2001. Σημειώσεις αρδεύσεις-στραγγίσεις, Άρτα

Σάββας Δ., 2016. Γενική Λαχανοκομία. Εκδόσεις ΠΕΔΙΟ, Αθήνα

Παράρτημα Ι – Τα τασίμετρα στην ελληνική αγορά οργάνων μέτρησης

Ερωτηματολόγιο

Στο πλαίσιο της εργασίας έγινε μία προσπάθεια καταγραφής της χρήσης των τασιμέτρων από τους αγρότες στην Ελλάδα. Για το σκοπό αυτό συνάχθηκε το ακόλουθο ερωτηματολόγιο:

Στοιχεία συνέντευξης

Ημερομηνία:

Τόπος:

Ερωτώμενος

Φωτογραφία

Ονοματεπώνυμο:

Ηλικία:

Σπουδές / Ιδιότητα:

Ερωτήσεις

1. Γιατί θέλατε να μετράτε την εδαφική υγρασία;
2. Ποιες εναλλακτικές είχατε σχετικά με την μέτρηση εδαφικής υγρασίας;
3. Από πού μάθατε για τα τασίμετρα;
4. Πότε αρχίσατε να τα χρησιμοποιείτε;
5. Σε τι καλλιέργεια/ες;
6. Από πού μάθατε λεπτομέρειες σχετικά με εγκατάσταση και χρήση;
7. Πόσα τασίμετρα και σε τι βάθη χρησιμοποιούσατε;
8. Τα χρησιμοποιήσατε τελικά για να διαχειριστείτε την άρδευση;
9. Πως συνδέατε ενδείξεις με αποφάσεις σχετικά με χρόνο και διάρκεια άρδευσης;
10. Ποτίζατε μόνο με βάση τις ενδείξεις ή κάποιες φορές εμπειρικά και κάποιες με ενδείξεις;
11. Κρατήσατε αρχείο αποτελεσμάτων;
12. Ποιες ήταν –αν υπήρχαν- οι δυσκολίες που συναντήσατε κατά τη χρήση τους;
13. Συγκρίνατε ποτέ τα αποτελέσματα με άλλες μεθόδους εκτίμησης της υδατικής κατάστασης του εδάφους (άλλες αισθητήρες, ζυγίσεις κοκ);
14. Τα χρησιμοποιούσαν άλλοι στην περιοχή σας την περίοδο που τα χρησιμοποιούσατε και εσείς;
15. Είχατε επαφές με άλλους που τα χρησιμοποιούσαν στην περιοχή σας ή και αλλού;
16. Έδειξαν άλλοι ενδιαφέρον να δουν την εγκατάσταση – χρήση;
17. Τα συστήσατε ποτέ σε άλλους;

18. Για πόσα έτη τα χρησιμοποιήσατε; - Τα χρησιμοποιείτε ακόμη; Αν όχι γιατί σταματήσατε να τα χρησιμοποιείτε;

19. Θα τα προτείνατε ως εργαλεία για διαχείριση εδαφικής υγρασίας;

Απαντήσεις εταιριών πώλησης μετρητικών οργάνων

Οι εταιρείες που προμηθεύουν μετρητικό εξοπλισμό, διαθέτουν τασίμετρα, έχουν κάνει σχετικές πωλήσεις και σε αγρότες αλλά κυρίως σε εκπαιδευτικούς και ερευνητικούς φορείς. Οι εταιρείες με τις οποίες έγινε επαφή ήταν οι: Scientact, Analytica, Controlla και Λαμπρινός. Οι τιμές των τασιμέτρων 30, 60 και 90cm κυμαίνονταν από 110 έως 130€ (χωρίς ΦΠΑ).

Απαντήσεις παραγωγών

Δεν στάθηκε δυνατό να βρεθούν –ακόμη και στην περιοχή της Πιερίας όπου η καλλιέργεια του ακτινιδίου έχει μακρά ιστορία- καλλιεργητές που το χρησιμοποιούν για τον έλεγχο της άρδευσης.

Ορισμένοι παραγωγοί δήλωσαν ότι έχουν χρησιμοποιήσει παλαιότερα τασίμετρα στο πλαίσιο συνεργασιών για ερευνητικούς σκοπούς αλλά δεν συνέχισαν τη χρήση τους μετά την ολοκλήρωση των σχετικών έργων.

Ποιο συγκεκριμένα:

1. Πισαλίδης Αθανάσιος (Κατερίνη), γεωπόνος και παραγωγός ακτινιδίων ανέφερε ότι δεν χρησιμοποίησε και δε γνώριζε κάποιον που να έβαλε
2. Αλεξανδρίδης (Μυλότοπο Γιαννιτσών), παραγωγός ακτινιδίων, ανέφερε ότι επικοινωνήσε πρόσφατα με εταιρία στη Θεσσαλονίκη και ενδέχεται ανάλογα το κόστος να εγκαταστήσει τασίμετρα.
3. Σιλιώνης Στρατος (Κομπότι Άρτας), φαρμακοποιός και παραγωγός ακτινιδίων, ανέφερε ότι έχει τοποθετήσει στο κτήμα του. Έμαθε για αυτά ψάχνοντας και τα τοποθέτησε πειραματικά για να τα αξιολογήσει. Ο στόχος του δεν ήταν ο έλεγχος της άρδευσης αλλά για να έχει μια μέτρηση προς σύγκριση της πρακτικής που ακολουθούσε. Τα χρησιμοποίησε για δύο περιόδους σε κτήματα με ακτινίδια με πηλώδες έδαφος. Τα τοποθέτησε σε βάθη 15, 45, 30 και 60 εκατοστών. Δεν

κράτησε κάποιο συστηματικό αρχείο μετρήσεων. Από την εμπειρία χρήσης τους κατέληξε στα ακόλουθα: α) δεν είχε πρόβλημα να τα χρησιμοποιήσει, ήταν εύκολα αλλά θα πρέπει να ληφθούν πολλές παράμετροι όσον αφορά το έδαφος και β) το οικονομικό θέμα είναι ζήτημα καθώς κάποιος για να βάλει και να έχει μια αξιόλογη εικόνα πρέπει να τοποθετήσει αρκετά όργανα. Αυτή τη περίοδο δε τα χρησιμοποιεί. Δεν έχει ακούσει άλλον στην περιοχή που να τα χρησιμοποιεί.

4. Κατής Μιχάλης (Ρόκα Άρτας), παραγωγός ακτινιδίων, ανέφερε ότι δοκίμασε αισθητήρια περίπου τα ίδια με το κ. Σιλίωνη. Η γνώμη του εστίασε στο οικονομικό κομμάτι το οποίο κατά την άποψή του είναι απαγορευτικό για κάποιον μέσο αγρότη καθώς θα χρειαστούν πολλά όργανα ώστε να δημιουργηθεί μια καλή εικόνα, με το συνολικό κόστος να είναι τρομακτικό στις τιμές που πουλιούνται από τις εταιρίες.
5. Γάτσιος Αναστάσιος (Πρέβεζα), γεωπόνος ΔΑΟΚ Πρέβεζας, παλαιότερα παραγωγός. Ανέφερε ότι είχε χρησιμοποιήσει τασίμετρα την περίοδο κατά την οποία ήταν παραγωγός. Η πληροφορία / ενημέρωση για τη χρήση τασιμέτρων ήλθε από τη εταιρεία Λαμπρινός, τα χρησιμοποίησε σε τομάτα θερμοκηπίου. Είχε τοποθετήσει ένα μόνο τασίμετρο σε βάθη 15-20 και 20-25 cm. Τα χρησιμοποίησε μετά την εγκατάσταση της καλλιέργειας, μετά το πρώτο 20 ήμερο και έως τη λήξη της (Δεκέμβριο έως Μάιο). Τα χρησιμοποίησε για 3 καλλιέργειες. Στο -30 πότιζε και η άρδευση σταματούσε πριν δείξει το τασίμετρο -10 και εάν μετά από λίγες ώρες πήγαινε στο -10 θεωρούσε ότι η ποσότητα που δόθηκε ήταν καλή, αν έφτανε π.χ. μόνο στο -15, τότε θεωρούσε ότι έριξε λίγο νερό, αν έδειχνε λιγότερο π.χ. -8 τότε την επόμενη φορά έδινε λιγότερο νερό. Είχε κάνει βαθμονόμηση, γνώριζε π.χ. ότι όταν η ένδειξη ήταν -30 και πότιζε για 30 min, τότε μετά λίγες ώρες η ένδειξη θα έφθανε στο -10). Δεν χρησιμοποίησε κάποια άλλη μέτρηση ως σύγκριση με τα δεδομένα που έδινε το τασίμετρο. Πότιζε με βάση τις ενδείξεις του τασιμέτρου. Δεν κράτησε κάποιο αρχείο από τις μετρήσεις αυτές. Δεν αντιμετώπισε κάποιες δυσκολίες στη χρήση του τασιμέτρου. Όσο αφορά το κόστος η άποψή του είναι ότι λαμβάνοντας υπόψη του ότι έδινε λύση για τη

διαχείριση του νερού, το κόστος του ήταν λογικό. Από την πρώτη χρονιά πείστηκε ότι ήταν καλό εργαλείο που έκανε τη δουλειά για την οποία προορίζονταν. Το πρότεινε και σε άλλους παραγωγούς, στους οποίους έδειξε ο ίδιος πως να τα χρησιμοποιούν. Δεν το συνέχισε κανένας όμως. Ο λόγος της δυστοκίας αυτής σχετίζεται κατά τη γνώμη του με το ότι οι παραγωγοί δεν είναι εξοικειωμένοι με χρήση τεχνολογιών και πιστεύουν ότι η εμπειρία τους είναι αρκετή για σωστή άρδευση. Δεν έχει ακούσει να το χρησιμοποιούν τώρα την περιοχή παρόλο που τα ζητήματα με τη χρήση νερού είναι σημαντικά. Εκεί που θεωρεί ότι υπάρχει ζήτημα είναι η εκπαίδευση των παραγωγών και η προβολή παραδειγμάτων χρήσης της τεχνολογίας στην περιοχή.