

# Προσδιορισμός χρόνου έναρξης άρδευσης με τη χρήση ηλεκτρονικού ανιχνευτή

Ιωάννης Γ. Γράβαλος<sup>1</sup>

## Περίληψη

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται το σχέδιο και η αρχή λειτουργίας ενός ηλεκτρονικού ανιχνευτή του μετώπου εδαφικής υγρασίας. Διερευνάται η συμπεριφορά του σε δείγματα εδάφους με διαφορετική συγκέντρωση αλάτων, κάτω από διαφορετικά επίπεδα υγρασίας και για διαφορετικές συχνότητες εφαρμοζόμενης τάσης. Ακολουθεί η πειραματική επαλήθευση των ενδείξεών του ως προς τις μετρήσεις της διακριβωμένης συσκευής VIRRIB για διαφορετικούς τύπους εδαφών. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των δοκιμών η συμπεριφορά του ανιχνευτή κρίνεται απολύτως ικανοποιητική. Ο προτεινόμενος ηλεκτρονικός ανιχνευτής δίνει οπτική ένδειξη, όταν το μέτωπο της υγρασίας απλώνεται εντός του εδάφους σε ένα επιθυμητό επίπεδο. Το κόστος κατασκευής του είναι χαμηλό και η βαθμονόμησή του για διαφορετικούς τύπους εδαφών δεν παρουσιάζει ιδιαίτερη δυσκολία.

**Λέξεις κλειδιά:** Ηλεκτρονικός ανιχνευτής, μέτωπο εδαφικής υγρασίας, άρδευση.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η γνώση της εδαφικής υγρασίας δίνει τη δυνατότητα ελέγχου της, με αντικειμενικό σκοπό να αναπτυχθούν βέλτιστες συνθήκες ανάπτυξης των φυτών. Πολλοί ερευνητές προσπάθησαν να αναπτύξουν συστήματα αυτόματης άρδευσης, βασιζόμενοι στη μέτρηση της εδαφικής υγρασίας (Phene et al., 1973, Richardson και Mueller-Beilschmid, 1989, Campbell και Anderson, 1998). Για το σκοπό αυτό χρησιμοποίησαν διάφορες μεθόδους και συσκευές, όπως της ηλεκτρικής αντίστασης, του τενσιόμετρου, της χρονικής ανακλωμέτρησης (TDR) και άλλες.

Η μέθοδος της ηλεκτρικής αντίστασης βασίζεται στην αρχή ότι κάθε μεταβολή της εδαφικής υγρασίας προκαλεί αντίστοιχη μεταβολή της ηλεκτρικής αντίστασης του εδάφους (Τεργιζίδης και Παπαζαφειρίου, 1987, Μιχαλάκης, 1988). Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό αποτελούνται από δύο ηλεκτρόδια, τα οποία βυθίζονται στο έδαφος σε επιθυμητό βάθος. Βασικό μειονέκτημά τους, είναι η αναγκαιότητα συνεχούς βαθμονόμησης. Η ενσωμάτωση των ηλεκτροδίων σε πορώδες μέσο σταθερής σύνθεσης (Bouyoucos and Mick, 1940, Coleman and Hendricks, 1949) βοήθησε ώστε η βαθμονόμησή τους να γίνει σε μονάδες τάσης ή μητρικού δυναμικού. Παρουσιάζουν ιδιαίτερη ευαισθησία στη μεγάλη συγκέντρωση αλάτων, η οποία δημιουργεί σφάλματα στις μετρήσεις, ιδίως όταν η περιεχόμενη υγρασία είναι αυξημένη. Επίσης παρουσιάζουν χαμηλή ευαισθησία για τάσεις που είναι μικρότερες του 1bar.

Για τους αισθητήρες, των οποίων τα ηλεκτρόδια βυθίζονται στο έδαφος γυμνά, το πρωτεύον πρόβλημα προέρχεται από την ηλεκτρική πόλωση, η οποία λαμβάνει χώρα στο σημείο επαφής του ηλεκτροδίου με το έδαφος. Γενικά, η ηλεκτρική πόλωση (electrical polarization) οφείλεται σε αντίδραση του αισθητήρα στη δίοδο του ρεύματος με τη δημιουργία ανηλεκτρογερτικής δύναμης, η οποία έχει σαν σκοπό να αντισταθμίσει κάθε εξωτερική τάση, που εφαρμόζεται σε αυτόν. Συγκεκριμένα ο Kovar (1982) αναφέρει ότι η πόλωση εμφανίζεται επί της επιφάνειας των ηλεκτροδίων εντός στρώματος πάχους 0,01 cm.

Σύμφωνα με τους Malicki και Hanks (1989), η αγωγιμότητα του υγρού εδάφους έχει ιοντικό χαρακτήρα και επομένως ένας αισθητήρας εδαφικής υγρασίας δύο ηλεκτροδίων συμπεριφέρεται σαν ένα ηλεκτρολυτικό κύτταρο (electrolytic cell). Καθώς ανάμεσα στα ηλεκτρόδια παρεμβάλλεται υγρό έδαφος και εφόσον συνδεθούν με μία ηλεκτρική πηγή συνεχούς τάσης, θα περάσει από αυτό ηλεκτρικό ρεύμα, το οποίο δεν είναι σταθερό και με την πάροδο του χρόνου θα μειωθεί. Αιτία είναι η πόλωση των ηλεκτροδίων και το φαινόμενο

<sup>1</sup> Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Λάρισας, Σχολή Τεχνολόγων Γεωπονίας, Τμήμα Γεωργικών Μηχανών & Αρδεύσεων, 41110, Λάρισα (e-mail: gravalos@in.gr)

αυτό παρατηρείται πιο έντονο όταν το ποσοστό της περιεχόμενης υγρασίας είναι υψηλό. Για τον περιορισμό της πόλωσης προτείνεται η χρήση εναλλασσόμενου ρεύματος αντί του συνεχούς και όσο η συχνότητά του είναι μεγαλύτερη, τόσο μειώνεται ο κίνδυνος εμφάνισης της πόλωσης.

Οι αισθητήρες αυτοί είναι σχετικά απλοί στην κατασκευή τους, είναι χαμηλού κόστους και γι' αυτό χρησιμοποιούνται σε πολλά συστήματα αυτόματης άρδευσης παρά τα όποια μειονεκτήματα που εμφανίζουν.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται το σχέδιο ενός ηλεκτρονικού ανιχνευτή μετώπου εδαφικής υγρασίας δύο ηλεκτροδίων, που δίνει μια αξιόπιστη λύση στο πρόβλημα εμφάνισης του φαινομένου της ηλεκτρικής πόλωσης στα ηλεκτρόδια και ταυτοχρόνως θα μπορούσε να προσφέρει σημαντική βοήθεια στον προγραμματισμό των αρδεύσεων.

## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Για τους αγρότες είναι ιδιαίτερα σημαντικό να γνωρίζουν εάν θα πρέπει να αρδεύσουν τις καλλιέργειές τους. Ο προτεινόμενος ηλεκτρονικός ανιχνευτής δίνει οπτική ένδειξη, όταν το μέτωπο της υγρασίας απλώνεται εντός του εδάφους σε ένα επιθυμητό επίπεδο και αντιστρόφως. Η τοποθέτησή του στο έδαφος γίνεται σχετικά εύκολα, είναι χαμηλού κόστους και η βαθμονόμησή του για διαφορετικούς τύπους εδαφών δεν παρουσιάζει ιδιαίτερη δυσκολία.

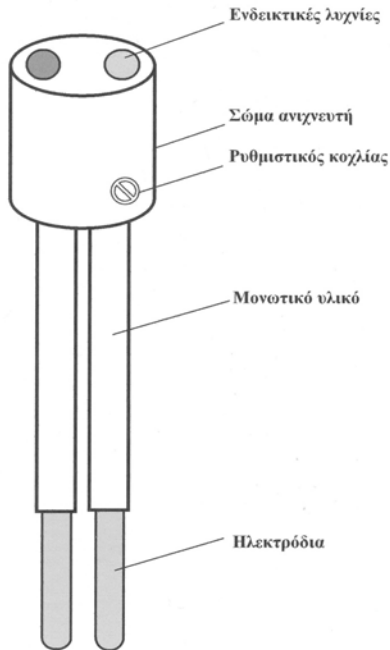
### 2.1 Περιγραφή του ανιχνευτή

Η μέθοδος της ηλεκτρικής αντίστασης, για τον προσδιορισμό της εδαφικής υγρασίας, είναι ευρέως γνωστή και μπορεί εύκολα να αναζητηθεί σε οποιοδήποτε βιβλίο σχετικό με τις αρδεύσεις. Επομένως κρίνεται σκόπιμο να μη γίνει καμία αναφορά σε αυτήν, αλλά να περιοριστούμε αποκλειστικά στην περιγραφή του συγκεκριμένου ανιχνευτή.

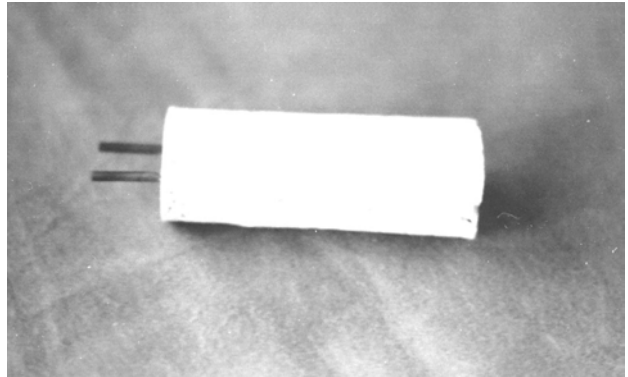
Σύμφωνα με το Σχήμα 1, ο ανιχνευτής αποτελείται από ένα ζεύγος ηλεκτροδίων και την ηλεκτρονική διάταξη, η οποία φυλάσσεται εντός του κυρίως σώματος αυτού. Πυρήνας της ηλεκτρονικής διάταξης είναι το ολοκληρωμένο κύκλωμα ενός πολυδονητή (multivibrator) της σειράς '4000B', το οποίο συνδέθηκε ως ταλαντωτής, με σκοπό να εμφανίζει στις δύο εξόδους του, δύο τετραγωνικά σήματα. Τα δύο αυτά σήματα, επειδή δεν έχουν συγχρόνως την ίδια λογική στάθμη, σχηματίζουν μία τέλεια πηγή εναλλασσόμενης τάσης. Επιλέχθηκε ο τρόπος αυτός για να ελαχιστοποιηθεί ο κίνδυνος εμφάνισης ηλεκτρικής πόλωσης στα ηλεκτρόδια του ανιχνευτή. Τα ηλεκτρόδια βρίσκονται σε συνδεσμολογία γέφυρας. Το δυναμικό που παρατηρείται στην έξοδο της γέφυρας είναι συνάρτηση της αντίστασης μεταξύ των ηλεκτροδίων και επομένως εξαρτάται από την υγρασία του εδάφους. Στη συνέχεια το ολοκληρωμένο κύκλωμα ενός αναλογικού τετραδιακόπτη (quad switch) χαμηλής τάσης αναλαμβάνει την ενεργοποίηση του συγκριτή της διάταξης. Ο τετραδιακόπτης ουσιαστικά αντιμεταθέτει τις εισόδους του συγκριτή. Ως συγκριτής χρησιμοποιήθηκε ένας χαμηλής ισχύος τελεστικός ενισχυτής. Η λειτουργία του συγκριτή είναι σχετικά απλή, συγκρίνει το δυναμικό που παρατηρείται στην έξοδο της γέφυρας με μία τάση αναφοράς, ώστε στην έξοδό του να παρέχεται η πληροφορία για την υδατική κατάσταση του εδάφους. Τέλος δύο ενδεικτικές λυχνίες LED χαμηλού ρεύματος προειδοποιούν για την κατάσταση της υγρασίας. Η επιλογή των ενδεικτικών λυχνιών, αντί οποιοδήποτε άλλου στοιχείου απεικόνισης, έγινε με σκοπό τη διευκόλυνση του χρήστη. Όταν φωτοβολεί η κόκκινη λυχνία σημαίνει ότι το έδαφος είναι πολύ ξηρό. Αντιθέτως η πράσινη λυχνία προειδοποιεί ότι η υγρασία του εδάφους είναι ικανοποιητική. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η ταυτόχρονη φωτοβολία και των δύο λυχνιών. Στην προκειμένη περίπτωση σημαίνει ότι η υγρασία του εδάφους βρίσκεται σε οριακή κατάσταση και επομένως θα πρέπει να αρδεύσουμε. Τα ηλεκτρόδια αποτελούνται από κυλίνδρους ανοξείδωτου χάλυβα και είναι επικαλυμμένα με πορώδες υλικό, ώστε να έχουν καλή επαφή και την αυτή σχεδόν υγρασία με το περιβάλλον του εδάφους. Η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων προσδιορίστηκε πειραματικά στα 4 cm.

### 2.2 Περιγραφή της μεθόδου

Για να διαπιστωθεί η αξιοπιστία του συγκεκριμένου ανιχνευτή εδαφικής υγρασίας δύο ηλεκτροδίων, μελετήθηκε αρχικά η συμπεριφορά του σε δείγματα εδάφους με διαφορετική αλατότητα (salinity), κάτω από διαφορετικά επίπεδα υγρασίας και για διαφορετικές συχνότητες της εφαρμοζόμενης τάσης. Η αντίσταση μεταγωγής του διερευνήθηκε για επίπεδα εδαφικής υγρασίας από 10 % έως 60 % και για εύρος συχνοτήτων



**Σχήμα 1.** Σχηματική αναπαράσταση του ηλεκτρονικού ανιχνευτή μετώπου εδαφικής υγρασίας.



**Σχήμα 2.** Το γύψινο πλακίδιο του ανιχνευτή.

από 0,5 Hz έως 500 Hz. Για το σκοπό αυτό ελήφθησαν δείγματα εδάφους, των οποίων ελέγχθηκαν εκ των προτέρων η αλατότητα και το φαινόμενο ειδικό βάρος και τοποθετήθηκαν σε πλαστικά κυλινδρικά δοχεία. Σε κάθε δοχείο, για τη βύθιση των ηλεκτροδίων στο έδαφος, ανοίχτηκαν οπές, περίπου στο μέσον του πλευρικού τοιχώματος, αντίστοιχης διαμέτρου. Στη συνέχεια έγινε κατακόρυφη διήθηση χλωριούχου ασβεστίου ( $\text{CaCl}_2$ ) σε διαφορετικές ποσότητες με σκοπό να δημιουργηθούν δείγματα εδάφους με διαφορετικές συγκεντρώσεις αλάτων. Συγκεκριμένα στο πρώτο δοχείο η αλατότητα ήταν 7,5 dS/m και στο δεύτερο μετρήθηκε 15 dS/m. Επίσης κρίθηκε σκόπιμο να μελετηθεί η συμπεριφορά του ανι-

χνευτή στην περίπτωση που τα ηλεκτρόδιά του τοποθετηθούν εντός γύψινο πλακιδίου (Σχήμα 2).

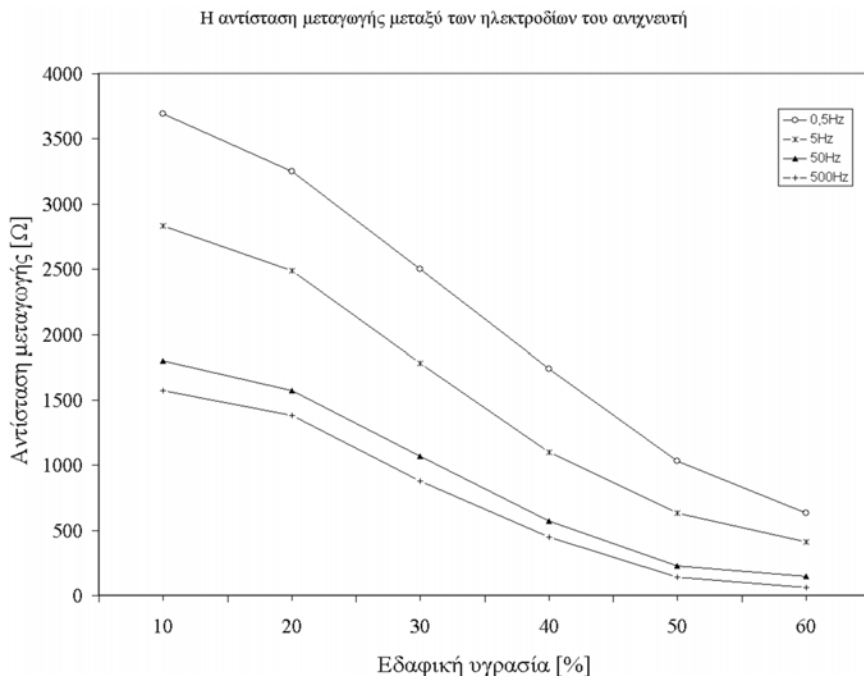
Επίσης για να διαπιστωθεί η ευαισθησία του συγκεκριμένου ανιχνευτή στις μεταβολές της εδαφικής υγρασίας έγινε η σύγκρισή του με τη διακριβωμένη συσκευή παρακολούθησης της εδαφικής υγρασίας VIRRIB (Σχήμα 3). Πρόκειται για μία συσκευή μέτρησης της εδαφικής υγρασίας με τη μέθοδο μετάδοσης φάσης (Phase Transmission). Αναλυτική περιγραφή της συσκευής αυτής γίνεται στη βιβλιογραφία (Munoz-Carpena, 2004). Οι δοκιμές του ανιχνευτή πραγματοποιήθηκαν κάτω από ελεγχόμενες μικροκλιματικές συνθήκες. Η θερμοκρασία του αέρα παρέμεινε σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας στους  $25 \pm 0,2^\circ\text{C}$  και η σχετική υγρασία στο 60 %. Ο ανιχνευτής και η συσκευή VIRRIB τοποθετήθηκαν εντός μεγάλων πλαστικών δοχείων. Για να μελετηθεί καλύτερα η συμπεριφορά του ανιχνευτή χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικοί τύποι εδαφών, ένα χαμηλής και ένα υψηλής διηθητικότητας. Η καταγραφή των μετρήσεων γίνονταν ανά τακτά χρονικά διαστήματα.



**Σχήμα 3.** Η συσκευή παρακολούθησης της εδαφικής υγρασίας VIRRIB.

### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

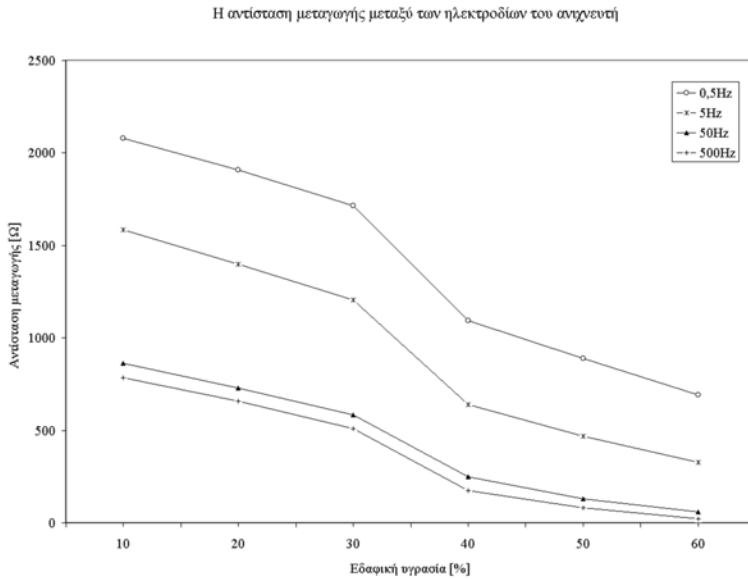
Αρχικά διερευνήθηκε η συμπεριφορά του ανιχνευτή σε εδάφη με διαφορετική συγκέντρωση αλάτων και διαφορετικά επίπεδα εδαφικής υγρασίας. Τα ηλεκτρόδια του ανιχνευτή δεν ήταν γυμνά αλλά επικαλυμμένα με πορώδες υλικό, ώστε να αντιμετωπιστεί η πρόωγη φθορά λόγω του φαινομένου της ηλεκτρόλυσης και για να έχουν καλύτερη πρόσφυση με το έδαφος. Στο Σχήμα 4 παρουσιάζονται συγκριτικά οι καμπύλες της αντίστασης μεταγωγής μεταξύ των ηλεκτροδίων του ανι-



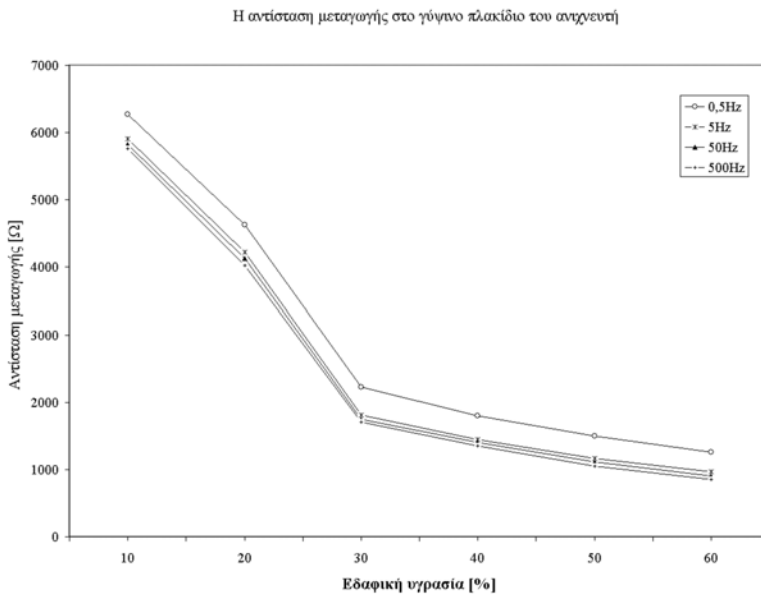
**Σχήμα 4.** Διερεύνηση της αντίστασης μεταγωγής μεταξύ των ηλεκτροδίων του ανιχνευτή στο πρώτο δείγμα εδάφους, αλατότητας 7,5 dS/m, κάτω από διαφορετικά επίπεδα υγρασίας και για διαφορετικές συχνότητες εφαρμοζόμενης τάσης.

χνευτή για το πρώτο δείγμα εδάφους, αλατότητας 7,5 dS/m. Η συνεχής γραμμή με το σύμβολο (ο αναπαριστά τη μεταβολή της αντίστασης κάτω από διαφορετικά επίπεδα υγρασίας και για συχνότητα εφαρμοζόμενης τάσης 0,5 Hz. Με τα σύμβολα (■), (▲) και (+) υποδηλώνονται οι μεταβολές της αντίστασης για τις άλλες εφαρμοζόμενες συχνότητες των 5 Hz, 50 Hz και 500 Hz αντιστοίχως. Στο Σχήμα 5 παρουσιάζονται οι αντίστοιχες καμπύλες της αντίστασης μεταγωγής μεταξύ των ηλεκτροδίων του ανιχνευτή για το δεύτερο δείγμα εδάφους με τη διπλάσια συγκέντρωση αλάτων 15 dS/m. Από τα Σχήματα 4 και 5 προκύπτει ότι η αντίσταση μεταγωγής μεταξύ των ηλεκτροδίων του ανιχνευτή μεταβάλλεται ευκρινώς σε συνάρτηση της μεταβολής της εδαφικής υγρασίας. Όπως ήταν αναμενόμενο, η αυξημένη αλατότητα έχει σαν γενικότερο αποτέλεσμα τη μείωση της αντίστασης, χωρίς όμως να επηρεάζει δυσμενώς τη μεταβολή της. Οι καμπύλες της αντίστασης μεταγωγής, για τις χαμηλές συχνότητες των 0,5 Hz και 5 Hz, αποκλίνουν σημαντικά μεταξύ τους. Αντιθέτως στις καμπύλες της αντίστασης, για συχνότητες μεγαλύτερες των 50 Hz, δεν υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση. Επομένως η συμπεριφορά του συγκεκριμένου ανιχνευτή δύο ηλεκτροδίων σε διαφορετικά επίπεδα υγρασίας και διαφορετική συγκέντρωση αλάτων στο έδαφος είναι αποδεκτή. Ενώ οι καμπύλες της αντίστασης μεταγωγής για τις συχνότητες των 0,5 Hz και 5 Hz παρουσιάζουν μεγαλύτερη ευκρίνεια, εντούτοις από πρακτική άποψη η χρήση εναλλασσόμενου ρεύματος με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη συχνότητα μειώνει τον κίνδυνο εμφάνισης του φαινομένου της ηλεκτρικής πόλωσης και έτσι επιλέγεται η αμέσως μεγαλύτερη συχνότητα, που είναι των 50 Hz.

Στη συνέχεια κρίθηκε σκόπιμο να μελετηθεί η συμπεριφορά του ανιχνευτή με τα ηλεκτρόδια του τοποθετημένα εντός γύψινου πλακιδίου. Οι δοκιμές έγιναν με τον ίδιο τρόπο, δηλαδή για διαφορετικά επίπεδα υγρασίας και διαφορετική συγκέντρωση αλάτων. Στο Σχήμα 6 παρουσιάζονται συγκριτικά οι καμπύλες της αντίστασης μεταγωγής στο γύψινο πλακίδιο, για το πρώτο δείγμα εδάφους. Οι τιμές της αντίστασης για όλες τις εφαρμοζόμενες συχνότητες είναι υψηλότερες σε σύγκριση με εκείνες του Σχήματος 4. Επίσης οι καμπύλες της αντίστασης παρουσιάζουν μικρότερη ευκρίνεια, όταν η περιεχόμενη εδαφική υγρασία ξεπερνά το 30% και

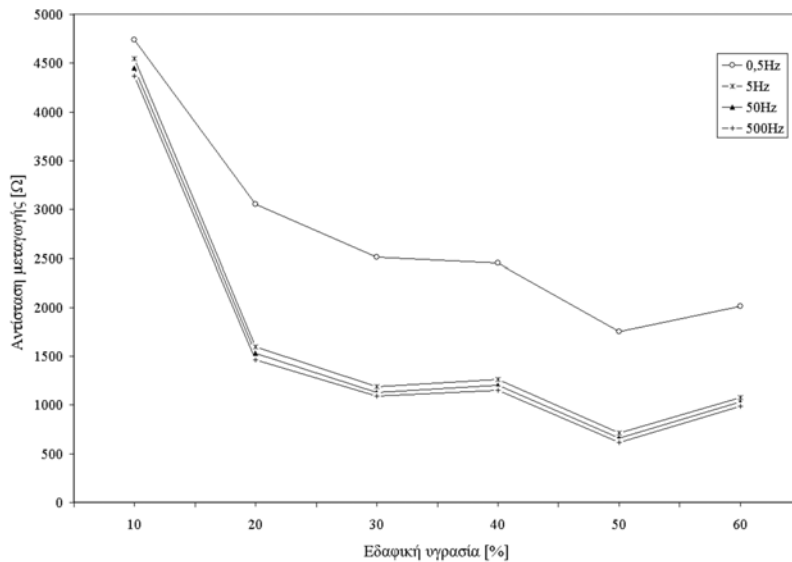


**Σχήμα 5.** Διερεύνηση της αντίστασης μεταγωγής μεταξύ των ηλεκτροδίων του ανιχνευτή στο δεύτερο δείγμα εδάφους, αλατότητας 15 dS/m, κάτω από διαφορετικά επίπεδα υγρασίας και για διαφορετικές συχνότητες εφαρμοζόμενης τάσης.



**Σχήμα 6.** Διερεύνηση της αντίστασης μεταγωγής στο γύψινο πλακίδιο του ανιχνευτή για το πρώτο δείγμα εδάφους, αλατότητας 7,5 dS/m, κάτω από διαφορετικά επίπεδα υγρασίας και για διαφορετικές συχνότητες εφαρμοζόμενης τάσης.

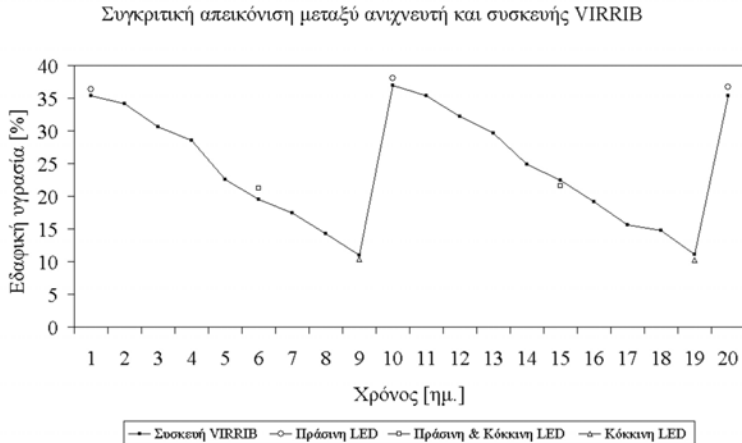
Η αντίσταση μεταγωγής στο γύψινο πλακίδιο του ανιχνευτή



**Σχήμα 7.** Διερεύνηση της αντίστασης μεταγωγής στο γύψινο πλακίδιο του ανιχνευτή για το δεύτερο δείγμα εδάφους, αλατότητας 15 dS/m, κάτω από διαφορετικά επίπεδα υγρασίας και για διαφορετικές συχνότητες εφαρμοζόμενης τάσης.

διαφοροποιούνται ελάχιστα μεταξύ τους, ειδικότερα όταν η εφαρμοζόμενη συχνότητα είναι μεγαλύτερη των 5 Hz. Στο δεύτερο δείγμα εδάφους, οι καμπύλες της αντίστασης (Σχήμα 7) φαίνεται ότι επηρεάζονται περισσότερο από την υψηλή συγκέντρωση αλάτων. Η μεταβολή της αντίστασης σε συνάρτηση της εδαφικής υγρασίας είναι ασαφής, όταν η περιεχόμενη υγρασία ξεπερνά το 20%. Επίσης παρατηρούμε ότι η καμπύλη της αντίστασης, για τη συχνότητα των 0,5 Hz, αποκλίνει σημαντικά σε σχέση με τις υπόλοιπες. Τα ηλεκτροδία τοποθετήθηκαν εντός του γύψινου πλακιδίου για να βελτιωθεί η συμπεριφορά του ανιχνευτή. Όμως κάτι τέτοιο δεν επιβεβαιώνεται από τα αποτελέσματα. Επιπλέον, η διάρκεια ζωής ενός τέτοιου πλακιδίου είναι από 1 έως 3 καλλιεργητικούς κύκλους, υπάρχουν δυσκολίες κατά την τοποθέτησή του στο έδαφος και δεν παρουσιάζει στιγμιαία απόκριση στη μεταβολή της υγρασίας. Για τους ανωτέρω λόγους η επιλογή της τοποθέτησης των ηλεκτροδίων εντός γύψινου πλακιδίου κρίθηκε ως αναποτελεσματική και επομένως εγκαταλείφθηκε.

Τέλος έπρεπε να διαπιστωθεί η ευαισθησία του συγκεκριμένου ανιχνευτή στις μεταβολές της εδαφικής υγρασίας. Για το σκοπό αυτό επιλέχθηκε να επαληθευθούν οι ενδείξεις του με τις μετρήσεις της διακριβωμένης συσκευής VIRRIB. Οι δοκιμές έγιναν κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες περιβάλλοντος, χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικοί τύποι εδαφών και η αρδεύσιμη ποσότητα ήταν σταθερή. Στα Σχήματα 8 και 9 παρουσιάζεται η μεταβολή της εδαφικής υγρασίας όπως αυτή καταγράφηκε με τη βοήθεια της συσκευής VIRRIB και σημειώνονται οι ενδείξεις των λυχνιών του ανιχνευτή. Συγκεκριμένα οι ενδείξεις των λυχνιών σημειώνονται πάνω στα διαγράμματα ως εξής: με τον κύκλο (ο η πράσινη ένδειξη, με το τρίγωνο (▲) η κόκκινη ένδειξη και με το τετράγωνο (■) η ταυτόχρονη ένδειξη και των δύο λυχνιών. Σύμφωνα με τα κατωτέρω διαγράμματα η συμπεριφορά του ανιχνευτή ήταν απολύτως ικανοποιητική και για τους δύο τύπους εδαφών. Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι η ακριβής ρύθμιση της μεταβλητής αντίστασης της γέφυρας θα πρέπει να προσδιορίζεται πειραματικά ανάλογα με τον τύπο του εδάφους και το είδος των καλλιεργούμενων φυτών. Η ρύθμιση πραγματοποιείται εύκολα με τη βοήθεια του ρυθμιστικού κοχλίου. Στις περισσότερες περιπτώσεις λαμβάνονται ικανοποιητικά αποτελέσματα όταν η ρύθμιση γίνεται στο μέσον της διαδρομής της μεταβλητής αντίστασης. Σύμφωνα με το διάγραμμα του Σχήματος 8, για το έδαφος χαμηλής διηθητικότητας η πράσινη λυχνία φωτοβολούσε όταν η εδαφική υγρασία ήταν κοντά στο 36 %, ενώ η κόκκινη λυχνία όταν η υγρασία έφευτε περίπου



**Σχήμα 8.** Πειραματική επαλήθευση των ενδείξεων του ανιχνευτή μετώπου εδαφικής υγρασίας σε συνάρτηση των μετρήσεων της διακριβωμένης συσκευής VIRRIB, στο δείγμα εδάφους χαμηλής διηθητικότητας.

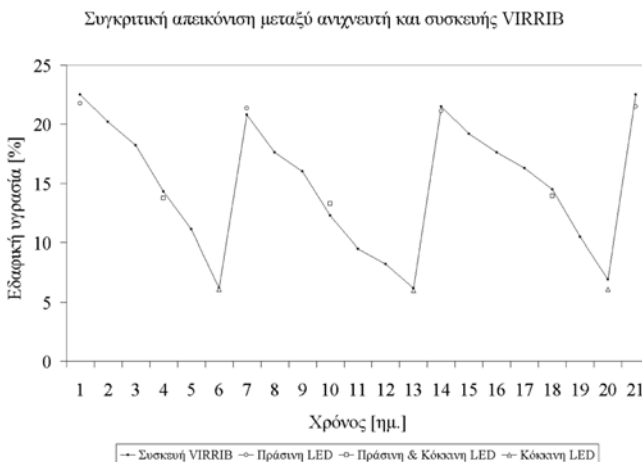
στο 10 %. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η συμπεριφορά του ανιχνευτή όταν η υγρασία προσεγγίζει το 21 %. Τότε αρχίζουν να φωτοβολούν και οι δύο λυχνίες ταυτόχρονα, προειδοποιώντας για κατάσταση οριακής ξηρότητας του εδάφους. Στο Σχήμα 9 δίνονται τα αποτελέσματα της επαλήθευσης του ανιχνευτή στο έδαφος υψηλής διηθητικότητας. Μετά από τη σχετική ρύθμιση του κοχλία, η πράσινη λυχνία φωτοβόλουσε περίπου στο 22 % της υγρασίας και η κόκκινη όταν η υγρασία έπεφτε κάτω από το 6,5 %.

Οι ανωτέρω μετρήσεις στα διαγράμματα των Σχημάτων 8 και 9 ελήφθησαν σε βάθος 20 cm. Για να γίνει εφικτή η παρακολούθηση της υγρασίας σε διαφορετικά βάθη κρίθηκε αναγκαία η κατασκευή ηλεκτροδίων διαφορετικού μήκους και η επικάλυψη τμήματος αυτών με μονωτικό υλικό (σύμφωνα με το Σχήμα 1).

#### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την πειραματική επαλήθευση προκύπτουν η αξιόπιστη συμπεριφορά του ανιχνευτή, σε έδαφος με διαφορετική συγκέντρωση αλάτων και επαληθεύονται η ευαισθησία και η στιγμιαία απόκρισή του στις μεταβολές της εδαφικής υγρασίας. Η πράσινη φωτεινή ένδειξη υποδεικνύει ότι η υγρασία του εδάφους βρίσκεται στο όριο της υδατοϊκανότητας και η κόκκινη ένδειξη προειδοποιεί ότι η υγρασία έχει πέσει κοντά στο σημείο μόνιμης μάρανσης. Όταν έχουμε ταυτόχρονη φωτοβολία των δύο λυχνιών σημαίνει ότι το έδαφος βρίσκεται σε κατάσταση οριακής ξηρότητας και άρα θα πρέπει να ακολουθήσει άρδευση της καλλιέργειας.

Τα βασικά πλεονεκτήματα του ηλεκτρονικού ανιχνευτή μετώπου εδαφικής υγρασίας συνοψίζονται στα ακόλουθα σημεία:



**Σχήμα 9.** Πειραματική επαλήθευση των ενδείξεων του ανιχνευτή μετώπου εδαφικής υγρασίας σε συνάρτηση των μετρήσεων της διακριβωμένης συσκευής VIRRIB, στο δείγμα εδάφους υψηλής διηθητικότητας.

- Στιβαρή κατασκευή, η οποία επιτρέπει την εύκολη τοποθέτησή του στο έδαφος.
- Ευαισθησία στις μεταβολές της εδαφικής υγρασίας.
- Η βαθμονόμησή του για διαφορετικούς τύπους εδαφών δεν παρουσιάζει ιδιαίτερη δυσκολία.
- Ευστάθεια των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών μετά τη βαθμονόμηση.
- Χαμηλού κόστους και απλός στη χρήση του.

### Starting time for determining the irrigation by using electronic wetting front detector

Ioannis G. Gravalos<sup>1</sup>

#### Abstract

This paper presents the principle of operation of electronic wetting–front detector. Its behavior was investigated in different samples of soil with different salinity, under different water content and at different frequencies of applied voltage. The detector’s indications were compared with the Phase Transmission Probe (VIRRI) measurements to be verified. According the test results, the detector’s behavior was adequate. The electronic detector gives an optical signal, when the wetting–front moves into the soil at the level of interest. This device is simple in use, cheap and its calibration for different types of soil is not difficult.

**Key words:** Electronic detector, wetting–front, irrigation.

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Bouyoucos, G. J., Mick, A. H., 1940. An electrical resistance method for the continuous measurement of soil moisture under field conditions. Mich. State Coll. Agric. Exp. St. Tech. Bull 172:1.
- Campbell, G. S., Anderson, R. Y., 1998. Evaluation of simple transmission line oscillators for soil moisture measurement. Comp. El. Agric. 20:31.
- Coleman, E. A., Hendrix, T. M., 1949. The fiber glass electrical soil moisture instrument. Soil Sc. 67:425.
- Kovar, J., 1982. Chemie. Vysoka Skola Zemedelska v Praze.
- Malicki, M. A., Hanks, R. J., 1989. Interfacial contribution to two-electrode soil moisture sensor readings. Irrig. Sc. 10:41.
- Μιγελάνης, Ν., 1988. Συστήματα Αυτόματης Άρδευσης. Άρδευση με σταγόνες. Εκδόσεις Εκδοτική Αγροτεχνική.
- Munoz-Carpena, R., 2004. Field Devices For Monitoring Soil Water Content. Bulletin 343. Department of Agricultural and Biological Engineering, University of Florida.
- Phene, C. J., Hoffman, G. J., Austin, R. S., 1973. Controlling Automated Irrigation With Soil Matric Potential Sensor. Trans. ASAE 71:773.
- Richardson, G., Mueller-Beilschmid, P. M., 1989. Managing irrigation with gypsum blocks. Inform Inc. New York.
- Τεοξίδης, Γ., Παπαζαφειρίου, Ζ., 1987. Γεωργική Υδροαυτική. Εκδόσεις Ζήτη. Θεσσαλονίκη.

<sup>1</sup> *Technological Educational Institute of Larissa, Faculty of Agricultural Technology, Department of Agricultural Machinery & Irrigation, 41110, Larissa, Greece.*