

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ AGRICULTURAL UNIVERSITY OF ATHENS

ΤΜΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ **''ΕΔΑΦΙΚΟΙ, ΥΔΑΤΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ** ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ"

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

''ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΤΩΝ MALICKI AND WALCZAK ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΕΛΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΔΥΣΤΟΥ ΕΥΒΟΙΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΒΟΗΘΕΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ"

ΌΝΟΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΦΟΙΤΗΤΡΙΑΣ: ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ Λ. ΜΟΥΓΙΟΥ

ETIIBAETIΩN: ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΚΑΡΓΑΣ , ΑΝ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Γ.Π.Α.

AOHNA 2018



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ AGRICULTURAL UNIVERSITY OF ATHENS

ΤΜΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ **''ΕΔΑΦΙΚΟΙ, ΥΔΑΤΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ** ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ"

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

''ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΤΩΝ MALICKI AND WALCZAK ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΕΛΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΔΥΣΤΟΥ ΕΥΒΟΙΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΒΟΗΘΕΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ"

ΌΝΟΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΦΟΙΤΗΤΡΙΑΣ: ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ Λ. ΜΟΥΓΙΟΥ

ETIIBAETIΩN: ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΚΑΡΓΑΣ , ΑΝ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Γ.Π.Α.

AOHNA 2018

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

"ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΤΩΝ ΜΑLICKI AND WALCZAK ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΕΔΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΔΥΣΤΟΥ ΕΥΒΟΙΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΒΟΗΘΕΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ"

ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ Λ. ΜΟΥΓΙΟΥ

Τριμελής Εζεταστική Επιτροπή

Κάργας Γεώργιος (Αν. καθηγητής, επιβλέπων)

Βαλιάντζας Ιωάννης (καθηγητής)

Μουστάκας Νικόλαος (καθηγητής)

AOHNA 2018

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ύπαρξη αλάτων στο έδαφος, ένα μείζων ζήτημα για τη βιολογική λειτουργία των φυτών, δημιούργησε την ανάγκη μέτρησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδαφικού διαλύματος πιο άμεσα και σε λιγότερο χρόνο. Μια τέτοια μέθοδος βασίζεται στη μέτρηση της φαινόμενης εδαφικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας (σ_b), και της διηλεκτρικής διαπερατότητας (ε_s) με τις μετρήσεις να πραγματοποιούνται με τη χρήση διηλεκτρικών συσκευών. Οι διηλεκτρικές συσκευές μπορούν να προσδιορίσουν ταυτόχρονα και στο ίδιο σημείο μέτρηση των τιμών της διηλεκτρικής διαπερατότητας (ε_s) και της σ_b. Για τη πρόβλεψη της ηλεκτρικής αγωγιμότητα του διαλύματος του εδάφους (σ_p), οι Malicki και Walczak παρουσίασαν μια μέθοδο βασισμένη στην έννοια του δείκτη αλατότητας, X_s, ο οποίος ορίστηκε ως η μερική παράγωγος της ε_s και σ_b, εμφανίζεται ανεξάρτητος της υγρασίας, ενώ εξαρτάται κυρίως από τη σ_p και την υφή του εδάφους. Σε αυτή τη μελέτη η αξιολόγηση της προσέγγισης αυτής έγινε με χρήση του διηλεκτρικού αισθητήρα WET, σε τέσσερα εδάφη της περιοχής Δύστου Ευβοίας, με διαφορετικά επίπεδα ηλεκτρικής αγωγιμότητας διαλύματος διαβροχής KCL (EC_i). Προέκυψε ότι οι τιμές του αισθητήρα WET βρίσκονται σε εξάρτηση με το τύπο του εδάφους. Το μοντέλο τελικά μπορεί να προσδιορίσει αξιόπιστες τιμές για $\sigma_p < 4 \text{ dSm}^{-1}$ ενώ πάνω από τη τιμή αυτή υποεκτιμά τις τιμές της σ_p .

<u>Λέζεις κλειδιά:</u> αλατότητα, ηλεκτρική αγωγιμότητα, φαινόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα, διηλεκτρική σταθερά, δείκτης αλατότητας, αισθητήρας WET.

ABSTRACT

The existence of salinity in the soil, a huge problem for the plant living, created the need of a direct measurement of the Electrical Conductivity (EC). A method like this is based on the measurement of the Bulk Soil Electrical Conductivity (σ_b) and the Dielectric permittivity (ε_s), using a dielectric device. Dielectric devices can determine simultaneously the values of ε_s and σ_b at the same time. Malicki and Walczak presented a method for the determination of the EC based on the X_s (Salinity Index), the partial derivative of ε_s and σ_b , appears irrespective of the moisture and is mainly dependent on the σ_p and on the soil texture. In this study, the assessment of X_s came through a dielectric sensor, called WET, at four (4) soils, taken from Distos area, saturated with different values of dielectric conductivity solutions KCL (EC_i). The estimation of the WET sensor is in accordance with the type of the soil. Finally, the model can determine reliable values for $\sigma_p < 4$ dSm⁻¹ but over this value the model undervalue the estimations.

<u>Key words:</u> Salinization, Electrical Conductivity, Bulk Soil Electrical Conductivity, dielectric constant, Salinity Index, WET sensor.

' Αυτό που παρατηρούμε δεν είναι η ίδια η φύση αλλά το κομμάτι της φύσης που αποκαλύπτεται στη μέθοδο έρευνας που χρησιμοποιούμε"

Werner Heisenberg, Γερμανός φυσικός

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διατριβή υλοποιήθηκε στο εργαστηρίου Υδραυλικής του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Εδαφικοί, Υδατικοί Πόροι και Διαχείριση Περιβάλλοντος» του Τμήματος Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής

Η μελέτη αυτή μου ανατέθηκε από τον αναπληρωτή καθηγητή του εργαστηρίου υδραυλικής, κύριο Κάργα Γεώργιο, ο οποίος ως επιβλέπων με καθοδήγησε στη σωστή διεξαγωγή και στην ομαλή εξέλιξη του πειράματος. Θα ήθελα να τον ευχαριστήσω θερμά, καθώς μέσα από την ανάθεση της παρούσας μεταπτυχιακής μελέτης και τη βοήθεια του, μου δόθηκε η δυνατότητα κατανόησης σε βάθος του προβλήματος της εδαφικής αλατότητας.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συμφοιτητές μου Δημήτρη Μαρούγκα και Αντωνία Πετσετίδη για τη πολύτιμη και χρήσιμη βοήθεια τους στο πειραματικό μέρος της παρούσας εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους κυρίους Μουστάκα Νικόλαο και Βαλιάντζα Ιωάννη για την επίβλεψη και την συμμετοχή τους στην επιτροπή της παρούσας διπλωματικής διατριβής.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ПЕРІЛНѰН
ASTRACT5
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ9
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ10
ΕΙΣΑΓΩΓΗ11
ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ15
i. MONTEAO MALICKI AND WALCZAK15
ii. ΕΞΙΣΩΣΗ ΤΟΡΡ (Topp et al., 1980)18
ιιι. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ: ΔΥΣΤΟΣ
iv. ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ20
v. ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ WET21
νί. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ23
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ- ΣΥΖΥΤΗΣΗ
ί. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΕΔΑΦΟΥΣ24
ii. EKTIMHΣΗ ΤΗΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΩΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΔΙΑΛΥΜΑΤΟΣ (σp).29
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ41
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ42
ПАРАРТНМА

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ

ΣΥΜΒΟΛΟ	ΟΡΙΣΜΟΣ/ ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
a, b	Σταθερές
С	Χωρητικότητα εδάφους
CL	Αργιλοπηλώδες έδαφος
ECe	Ηλεκτρική αγωγιμότητα του εκχυλίσματος της πάστας
	κορεσμού (dSm ⁻¹)
ECi	Ηλεκτρική αγωγιμότητα διαλύματος διαβροχής (dSm ⁻¹)
EC_{sw}	Ηλεκτρική αγωγιμότητα υδατικού διαλύματος στο
	κορεσμό (πραγματική τιμή) (dSm ⁻¹)
f	Συχνότητα συσκευής (MHz)
FDR	Μέθοδος Ανακλομέτρησης Συχνότητας
1	Κλίση δείκτη αλατότητας
S	Περιεκτικότητα σε άμμο του εδάφους % (κατά βάρος)
SL	Αμμοπηλώδες έδαφος
TDR	Μέθοδος Ανακλομέτρησης Χρόνου
Xs	Δείκτης αλατότητας (dSm ⁻¹)
ε _s	Φαινόμενη διηλεκτρική διαπερατότητα
εο	Διηλεκτρική σταθερά στο κενό χώρο
θ	Εκτιμώμενη εδαφική υγρασία (κατ' όγκον, cm ³ cm ⁻³)
$\theta_{\rm m}$	Πραγματική υγρασία εδάφους (κατ' όγκον, cm³cm⁻³)
σ _b	Φαινόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα εδάφους (dSm ⁻¹)
$\sigma_{ ho}$	Ηλεκτρική αγωγιμότητα εδαφικού διαλύματος (dSm ⁻¹)

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

ΣΧΗΜΑΤΑ

Σχήμα 1: Η σχέση ε_s - θ_m για τον αισθητήρα WET για τα τέσσερα εδάφη μελέτης αντίστοιχα για τα διάφορα επίπεδα αλατότητας (dS m⁻¹) (σύμβολα). Η σχέση σύμφωνα με την εξίσωση Topp et al. (1980) απεικονίζεται ως συμπαγής γραμμή.

Σχήμα 2: Η γραμμική σχέση σ_b και ε_s για τα εδάφη 1,2,3 και 4 αντίστοιχα. Τα δεδομένα έχουν αποκτηθεί από την WET συσκευή. Επίσης παρουσιάζονται αντίστοιχες γραμμικές σχέσεις για το κάθε επίπεδο αλατότητας (EC_i) με το συντελεστή R^2 .

Σχήμα 3: Η σχέση του δείκτη αλατότητας, X_s και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος διαβροχής, EC_i για τα εδάφη 1,2,3 και 4 αντίστοιχα.

Σχήμα 4: Σύγκριση των τιμών της σ_p από το μοντέλο των Malicki και Walczak (οριζόντιος άξονας) με πραγματικές τιμές της σ_p (EC_{sw}) (κατακόρυφος άξονας).

ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 1: Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά εξεταζόμενων εδαφών

Πίνακας 2: Οι τιμές της σ_p (dS m⁻¹) σε μέγιστη θ για τα τέσσερα επίπεδα αλατότητας στα τέσσερα εδάφη μελέτης όπως μετρήθηκαν με το αγωγιμόμετρο.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρουσία αλάτων στο έδαφος υπήρξε ανέκαθεν ένα σημαντικό ζήτημα, καθώς επηρεάζει άμεσα τη λειτουργία των φυτών, προκαλώντας αύξηση της οσμωτικής πίεσης στο ριζικό περιβάλλον τους. Πολλές μελέτες έχουν γίνει για το πώς η εκτίμηση της αλατότητας θα γίνει πιο ακριβής και πιο αξιόπιστη, καθώς αναφερόμαστε σε μια περίπλοκη μέτρηση η οποία συχνά επηρεάζεται από παράγοντες, όπως π.χ. θερμοκρασία, υγρασία και η υφή του εδάφους.

Η συνήθης και πιο διαδεδομένη μέθοδος για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των αλάτων συνίσταται στη μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας EC (dS m⁻¹) και συγκεκριμένα του εκχυλίσματος της πάστας κορεσμού (ECe). Παρά το γεγονός πως η ECe έχει καθιερωθεί ως η πρότυπη μέθοδος εκτίμησης της εδαφικής αλατότητας, δε παύει να αποτελεί μια αρκετά γρονοβόρα και κοπιαστική διαδικασία, που απαιτεί τη λήψη εδαφικών δειγμάτων, τη μεταφορά αυτών στο εργαστήριο, την αεροξήρανση τους, το ανάλογο κοσκίνισμα (με κόσκινο 2 mm), τη δημιουργία πάστας κορεσμού αλλά και τη λήψη του εδαφικού εκχυλίσματος στο εργαστήριο τελικά και την μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητάς του (U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954). Άλλες αποδεκτές μεθοδολογίες για την άμεση εκτίμησή της εδαφικής αλατότητας στηρίζονται στην απευθείας μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδαφικού διαλύματος (σ_p) στον αγρό, όμως είναι πολύ δύσκολο εξίσου να αποκτηθεί εκχύλισμα απευθείας σε in situ συνθήκες, κυρίως γιατί απαιτείται ιδιαίτερος εξοπλισμός, ενώ η υγρασία του εδάφους θα πρέπει να κυμαίνεται σε υψηλά επίπεδα για την απόκτηση ικανής ποσότητας διαλύματος για το προσδιορισμό της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (σ_p).

Μεταξύ των διάφορων μεθόδων που προτάθηκαν για τη μέτρηση της εδαφικής αλατότητας, σ_p, οι μέθοδοι που ήταν βασισμένες στη φαινόμενη εδαφική ηλεκτρική αγωγιμότητα, σ_b, φάνηκαν αρκετά πρακτικές. Η σ_b εξαρτάται από την ηλεκτρική αγωγιμότητα, σ_p, την κατ' όγκο υγρασία, θ αλλά και τα χαρακτηριστικά του εδάφους. Με την βοήθεια μοντέλων (Archie (1942); Rhoades et. al.,1976; Rhoades et. al., 1989; Mualem and Friedman 1991; Malicki et. al., 1994; Malicki and Walczak 1999; Hilhorst 2000; Amente et. al., 2000) που συσχετίζουν τη σ_b με την σ_p, καθίσταται δυνατόν ο υπολογισμός της EC (σ_p) του νερού των πόρων του εδάφους (Pore Water Electrical Conductivity) από τις μετρήσεις της φαινόμενης εδαφικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας, σ $_{\rm b}$ και της διηλεκτρικής διαπερατότητας του εδάφους, ε $_{\rm s}$, αξιοποιώντας δηλαδή τις μετρήσεις των διηλεκτρικών αισθητήρων.

Με την εισαγωγή διάφορων αισθητήρων στο έδαφος και με την κατ' επέκταση ανάλυση των δεδομένων των αισθητήρων, μπορεί να πραγματοποιηθεί ο υπολογισμός της αλατότητας. Η εφαρμογή, βέβαια, αισθητήρων έμμεσης μέτρησης με βάση τις διηλεκτρικές ιδιότητες, δηλαδή TDR και FDR συσκευές, διεύρυνε τις δυνατότητες, αφού διάφορες εδαφικές ιδιότητες όπως η εδαφική υγρασία, η θερμοκρασία και η φαινόμενη διηλεκτρική αγωγιμότητα μπορούν να μετρηθούν σχετικά εύκολα με έναν αισθητήρα. Ωστόσο με τις χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες, για να επιτευχθεί αυξημένη ακρίβεια στις μετρήσεις απαιτείται βαθμονόμηση τους στο συγκεκριμένο έδαφος.

Ως μια από τις πολλές εφαρμογές των TDR συσκευών για ταυτόχρονη και μη καταστροφική μέτρηση της περιεκτικότητας σε νερό του εδάφους και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδαφικού διαλύματος (σ_p) στον αγρό ή στο εργαστήριο, είναι η έννοια του δείκτη αλατότητας, X_s (Salinity Index), όπου πρώτοι παρουσίασαν οι Malicki και Walczak. Ο X_s περιγράφει τη κατάσταση της αλατότητας του εδάφους, σ_p, ορισμένος ως η μερική παράγωγος της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας, σ_b, σε σχέση με τη φαινόμενη διηλεκτρική διαπερατότητα, ε_s, (εξίσωση 1), όπου και οι δύο μεταβλητές προσδιορίστηκαν μέσω TDR συσκευής την ίδια στιγμή για τον ίδιο εδαφικό όγκο:

$$X_{s} = \frac{\partial \sigma_{b}}{\partial \varepsilon_{s}}$$
⁽¹⁾

Ο Salinity Index είναι γενικά ανεξάρτητος από την υγρασία, για εύρος θ > 0.12 cm³cm⁻³ μέχρι το κορεσμό, όπου απαντώνται οι τιμές του ε_s μεγαλύτερες του 6.2, αλλά έχει φανεί ότι είναι πρακτικά ορθός για τιμές θ > 0.2 cm³cm⁻³ (Wilczek

et al., 2012). Oi Malicki and Walczak (1999) αναφέρουν ότι ο δείκτης αλατότητας, X_s , εξαρτάται κυρίως από το σ_p και την υφή του εδάφους. Η σχέση σ_b -ε_s φαίνεται να είναι γραμμική για τιμές ε_s> 6.2 (Kargas and Kerkides 2010, 2012). Υπό αυτές τις συνθήκες και με την προϋπόθεση πως η περιεκτικότητα σε υγρασία είναι μεγαλύτερη από 0.2 cm³cm⁻³, ο δείκτης X_s μπορεί πλέον να υπολογιστεί πρακτικά με την εξίσωση (2), αφού έχουν μετρηθεί με τον διηλεκτρικό αισθητήρα οι τιμές σ_b και ε_s και να χρησιμοποιηθεί στον προσδιορισμό της εδαφικής αλατότητας, ως μια ανεξάρτητη από την εδαφική υγρασία μεταβλητή.

$$X_{s} = \frac{\sigma_{b} - 0.08}{\varepsilon_{s} - 6.2}$$
⁽²⁾

Μετά τον υπολογισμό του δείκτη X_s , προσδιορίζεται η κλίση $l (l = \partial X_s / \partial EC_i)$ της γραμμικής σχέσης X_s -EC_i από μια εμπειρική εξίσωση, στηριζόμενη στη περιεκτικότητα σε άμμο του εδάφους l = 0.0057 + 0.00007S και ακολούθως εκτιμάται η σ_p, από τη σχέση:

$$\sigma_{p} = \frac{Xs}{l} = \frac{\sigma_{b} - 0.08}{(\varepsilon_{s} - 6.2)(0.0057 + 0.00007S)}$$
(3)

με σ_b>0.08 dS m⁻¹ and ϵ_s > 6.2 και S τη σε άμμο περιεκτικότητα, εκφρασμένη επί της % της μάζας του εδάφους

Οι Wilczek et al., (2012) εφάρμοσαν το μοντέλο των Malicki και Walczak (1999) με δεδομένα που αποκτήθηκαν με διαφορετική τεχνική από αυτή του TDR, την τεχνική FDR. Σε μια προσπάθεια ελαχιστοποίησης της επίδρασης της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας επί της ε_s, μετρήθηκε το πραγματικό μέρος της διηλεκτρικής διαπερατότητας σε μια περιοχή συχνότητας λειτουργίας 380-440 MHz.

Ο διηλεκτρικός αισθητήρας WET παρέχει την ικανότητα πρόβλεψης της περιεκτικότητα σε νερό μέσω του ε_s, του εδάφους. Μπορεί επίσης να μετρά την σ_b, διαμέσου του φανταστικού μέρους της σχετικής διηλεκτρικής διαπερατότητας και της θερμοκρασίας του εδάφους (Delta – T Devices Ltd, 2007).

Το αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι να εξετασθεί η αποδοτικότητα του μοντέλου των Malicki and Walczak (1999), ως προς την πρόβλεψη της σ_p με χρήση δεδομένων που αποκτήθηκαν από τον αισθητήρα WET, δηλαδή αισθητήρα χαμηλής συχνότητας λειτουργίας. Για το σκοπό αυτό έγιναν μετρήσεις με τον αισθητήρα WET σε τέσσερα διαφορετικά εδάφη με τη χρήση τεσσάρων διαφορετικών επιπέδων ηλεκτρικής αγωγιμότητας του υγρού διαλύματος σε διαφορετικές τιμές εδαφικής υγρασίας.

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

i. MONTEAO MALICKI AND WALCZAK

Η σχέση μεταξύ της διηλεκτρικής σταθεράς του εδάφους, ε_s, και της υγρασίας, θ, όταν η ε_s μετριέται σε υψηλές συχνότητες π.χ. με TDR είναι ανεξάρτητη από τον τύπο του εδάφους (Topp et al., Malicki, 1993) με τη προϋπόθεση ότι το έδαφος δεν έχει αλατότητα μεγαλύτερη από 10 dS m⁻¹, ενώ η σχέση μεταξύ της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας, σ_b, του εδάφους και της υγρασίας, θ, επηρεάζεται έντονα από την αλατότητα, σ_p. Εξαιτίας του ότι οι σχέσεις σ_b (θ) και ε_s (θ) έχουν παρόμοια μορφή, οι Malicki και Walczak υπέθεσαν ότι ο λόγος τους σε δεδομένη τιμή υγρασίας, θ, δε θα αλλάξει σημαντικά με την αλλαγή της θ. Έτσι εξετάστηκε αν ο λόγος των μερικών παραγώγων

$$\frac{\frac{\partial \sigma}{\partial \theta}}{\frac{\partial \varepsilon}{\partial \theta}} = \frac{\partial \sigma b}{\partial \varepsilon} = f(\sigma_{\rm p}) \neq f(\theta)$$
(4)

εξαρτάται από την σ_p και είναι ανεξάρτητος της θ. Από τα αποτελέσματα προέκυψε ότι η σχέση σ_b- ε_s πράγματι είναι μια γραμμική σχέση η οποία μεταβάλλεται με την σ_p και είναι ανεξάρτητη της θ. Πιο συγκεκριμένα η κλίση της σχέση σ_b- ε_s αυξάνεται με την αύξηση της τιμής της σ_p.

Σε γενικές γραμμές η σ_p, για ανόργανα εδάφη, μπορεί να υπολογιστεί από το δείκτη αλατότητας, X_s, εάν η κλίση (*l*) της σχέσης X_s. EC_w (αγωγιμότητα του

διαλύματος διαβροχής) έχει συσχετιστεί με την περιεκτικότητα % σε άμμο του εδάφους:

$$\sigma_{\rm p} = \frac{XS}{l} \tag{5}$$

Αντικαθιστώντας το X_s από την εξίσωση (2) αποκτάμε τον εμπειρικό τύπο για τον υπολογισμό της σ_p για θ> 0.2 cm³cm⁻³ (ε_s> 10) από ταυτόχρονες μετρήσεις TDR συσκευής για σ_b και ε_s:

$$\sigma_{p} = \frac{Xs}{l} = \frac{\sigma_{b} - 0.08}{(\varepsilon_{s} - 6.2)(0.0057 + 0.00007S)}$$
(6)

Όπου *l*=0.0057+0.00007S

Φαίνεται από την εξίσωση (6) ότι ο υπολογισμός της EC_p μπορεί να γίνει για τιμές της $\varepsilon_s > 6.2$, γεγονός το οποίο δε συνιστά σοβαρό περιορισμό αφού η θ είναι μικρότερη από 0.1 cm³cm⁻³, για $\varepsilon_s \le 6$. Για τις εκτιμήσεις της αλατότητας οι Malicki and Walczak (1999) πρότειναν οι τιμές της θ να είναι πάνω από 0.2 cm³cm⁻³ ($\varepsilon_s > 10$), δεδομένου ότι σε αυτή τη τιμή ο δείκτης αλατότητας φαίνεται να μην επηρεάζεται από τη θ.

Με σκοπό να αποδειχθεί αν η υπολογισμένη σ_p, από τη προσέγγιση του X_s είναι ορθή, θα έπρεπε να συγκριθεί με μια δεδομένη μέθοδο υπολογισμού σ_p, όπως για παράδειγμα της μεθόδου του εκχυλίσματος της πάστας κορεσμού του εδάφους. Αυτό βέβαια δημιουργεί πρόβλημα που προκύπτει από το γεγονός ότι η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους (το οποίο εκχυλίστηκε και τοποθετήθηκε σε ποτήρι ζέσεως) δε θα παραμείνει η ίδια όπως αυτή σε in situ κατάσταση, εξαιτίας της έλλειψης συμβολής της επιφανειακής αγωγιμότητας που συνέβαλε στη σ_P. (Rhoades et al. 1976; Mualem & Friedman, 1991). Επομένως φαίνεται ότι οι μετρήσεις αλατότητας είτε σε πάστα κορεσμού είτε σε αραιωμένο εκχύλισμα π.χ αναλογίες εδάφους νερού 1:1 ή 1:5 δε μπορούν να θεωρηθούν απολύτως αντιπροσωπευτικές της αλατότητας του εδάφους από μόνες τους. Ωστόσο λόγω του ότι αυτή η μέθοδος εκτίμησης είναι η πιο διαδεδομένη για την εκτίμηση της αλατότητας οι τιμές της σ_P που αποκτήθηκαν από το δείκτη αλατότητας συγκρίθηκαν με εκείνες που αποκτήθηκαν από τα εδαφικά διαλύματα με την εφαρμογή αρνητικής πίεσης.

Έρευνες έχουν δείξει ότι το μοντέλο μπορεί να δώσει αξιόπιστες μετρήσεις (κοντά στην 1:1 γραμμή) για αμμοπηλώδη εδάφη. Σε αμμώδη εδάφη έχει παρατηρηθεί ότι για μικρές τιμές αλατότητες οι τιμές που έδωσε το μοντέλο ήταν μικρότερες, ενώ για πηλώδη και αργιλώδη εδάφη τα αποτελέσματα του μοντέλου δε φαίνεται να ήταν αξιόπιστα, είναι όμως εύκολο να τα χειριστούμε λόγω απουσίας παραμέτρων προσαρμογής. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι τιμές τόσο της σ_P όσο και της ε_s αποκτήθηκαν από τους Malicki and Walczak από συσκευή TDR, η οποία είναι συσκευή ευρυζωνικής συχνότητας, με συχνότητες πολύ υψηλότερες απ' ότι η WET συσκευή. Βάση ορισμένων ερευνών σε αλατούχα διαλύματα, η TDR που μέτρησε την ε_s και σ_b έδωσε καλύτερη ακρίβεια από τον αισθητήρα WET από τιμές σ_b και οι μετρήσεις TDR έγιναν μη ρεαλιστικές. Συνεπώς ο αισθητήρας WET, ο οποίος λειτουργεί σε χαμηλές συχνότητες μπορεί να επηρεάζεται περισσότερο από την υψηλή σ_b.

Με τη χρήση συσκευών TDR η υγρασία (θ) του εδάφους μπορεί να υπολογισθεί εύκολα (Topp et al., 1980) καθώς, με μετρήσεις που πραγματοποιούνται σε εύρος συχνότητας από MHz σε GHz, η διηλεκτρική σταθερά (ε) εξαρτάται έντονα από την κατ' όγκο υγρασία του εδάφους (θ_ν).

Οι Topp et al., (1980) αξιολόγησαν αυτή τη τεχνική σε αρκετά εδάφη και σε άλλα πορώδη μέσα και κατέληξαν ότι η διηλεκτρική σταθερά είναι σχετικά ανεξάρτητη στο εύρος συχνοτήτων που λειτουργεί η TDR, από την φαινόμενη εδαφική ηλεκτρική αγωγιμότητα, το τύπο εδάφους, το μέγεθος των σωματιδίων και την αλατότητα. Παρουσίασαν λοιπόν, τη παρακάτω βαθμονομημένη καμπύλη για χρήση σε ανόργανα εδάφη:

$$\theta_{\nu} = -5.3 \times 10^{-2} + 2.92 \times 10^{-2} \varepsilon - 5.5 \times 10^{-4} \varepsilon^2 + 4.3 \times 10^{-6} \varepsilon$$
 (7)

αναφέροντας ότι η σχέση αυτή είναι πολύ ακριβής σε όλα τα εδάφη και τις υγρασίες οι οποίες μελετήθηκαν σε σχέση με τις βαρυμετρικές αναλύσεις $(\pm 0.13 \text{ στη } \theta_v)$.

ΙΙΙ. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ: ΔΥΣΤΟΣ

Ο **Δύστος** είναι χωριό του Δήμου Κύμης - Αλιβερίου του νομού Ευβοίας με πληθυσμό 586 κατοίκους. Βρίσκεται κοντά στην ομώνυμη λίμνη Δύστου, η οποία είναι χαρακτηρισμένη ως ''Ζώνη Ειδικής Προστασίας'' καθώς είναι εξίσου σημαντική περιοχή και για τα πουλιά της Ελλάδος. Η **Λίμνη Δύστος** βρίσκεται νοτιοανατολικά του <u>Αλιβερίου</u> με έκταση περίπου 4,75 Km² και μέγιστο βάθος 6 m. Τα τελευταία χρόνια η λίμνη αποξηραίνεται, λόγω της αλόγιστης άντλησης υδάτων από γειτονικό εργοστάσιο τσιμέντων, με τη θέση της πλέον να παίρνουν χωράφια.



Από την περιοχή έγινε δειγματοληψία τεσσάρων εδαφικών δειγμάτων στα οποία πραγματοποιήθηκαν οι κατάλληλες αναλύσεις, οι οποίες θα παρουσιαστούν εκτενέστερα στα επόμενα κεφάλαια.

ίν. ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ

Στη διεξαγωγή του πειράματος έγινε χρήση τεσσάρων πορώδων μέσων τα οποία ξεράθηκαν σε συνθήκες αέρα και τοποθετήθηκαν σε κόσκινο 2 mm. Η μηχανική ανάλυση των τεσσάρων εδαφών που εξετάστηκαν δίνεται από το παρακάτω πίνακα.

Φυσικοχημικά Χαρακτηριστικά εδάφους	ΕΔΑΦΗ				
	1	2	3	4	
Άμμος %	57.0	35.8	51.8	67.8	
Ιλυς %	26.5	36.0	30.0	16.0	
Άργιλος %	16.5	28.2	18.2	16.2	
Οργ. Ουσία %	0.58	1.87	1.56	0.23	
CaCo₃ %	0.00	0.41	0.00	0.00	
Cation Exchange Capacity (mmol _c / Kg)	9.39	15.47	9.73	8.69	
Saturation extract EC _e (dSm ⁻¹)	2.40	1.21	1.10	1.28	

Πίνακας 1: Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά εξεταζόμενων εδαφών

ν. ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ WET

Όλες οι μετρήσεις στη παρούσα εργασία αποκτήθηκαν από WET αισθητήρα, ο οποίος λειτουργεί στη συχνότητα των 20MHz, δηλαδή σε πολύ χαμηλότερες συχνότητες συγκριτικά με αυτές του TDR. Ο αισθητήρας περιλαμβάνει 3 μεταλλικά ραβδιά, 6.8 cm μήκους, με διάμετρο 10 cm και η μέτρηση αναφέρεται σε έναν εδαφικό όγκο γύρω στα 500ml (Delta- T Devices Ltd., 2007). Η κεντρική ράβδος είναι καλυμμένη με ένα υλικό επικάλυψης, εκτός από την κορυφή, το οποίο βοηθά στην μέτρηση της θερμοκρασίας εδάφους. Ο αισθητήρας συνδέεται με ένα μετρητή υγρασίας HH2. Ο μετρητής αναγνωρίζει τις αλλαγές στο ηλεκτρομαγνητικό κύμα με συχνότητα 20MHz και στέλνει την πληροφορία στο HH2, ο οποίος υπολογίζει τη χωρητικότητα, την αγωγιμότητα και τη θερμοκρασία των υλικών μεταξύ των ράβδων (π.χ. το έδαφος).



Η χωρητικότητα και η αγωγιμότητα χρησιμοποιούνται για το προσδιορισμό του ε_s και της σ_b χρησιμοποιώντας την ήδη ενσωματωμένη βαθμονόμηση. Εκτός από την εδαφική θερμοκρασία, τα υπολογισθέντα επιπλέον δεδομένα είναι η θ και η σ_p, με την τελευταία να βασίζεται στο μοντέλο του Hilhorst (2000). Η εδαφική υγρασία υπολογίζεται από την ε_s, με τη χρήση μιας απλής γραμμικής σχέσης η οποία σχετίζει τη θ με την ε_s

Δεδομένου ότι ο WET δίνει τιμές ε_s η βαθμονόμηση συνίσταται στην εύρεση των τιμών των συντελεστών α και b, με τις τιμές αυτών να ποικίλουν ανάλογα με τον τύπο εδάφους. Οι τιμές των παραμέτρων α και b που προτείνονται από τον κατασκευαστή ανάλογα με τον τύπο εδάφους είναι:

$$\theta = a\sqrt{\varepsilon_s} + b \tag{8}$$

Όπου α και b είναι προσαρμοσμένοι παράμετροι.

Δεδομένου ότι ο WET δίνει τιμές ε_s η βαθμονόμηση συνίσταται στην εύρεση των τιμών των συντελεστών α και b, με τις τιμές αυτών να ποικίλουν ανάλογα με τον τύπο εδάφους. Οι τιμές των παραμέτρων α και b που προτείνονται από τον κατασκευαστή ανάλογα με τον τύπο εδάφους είναι:

ΠΟΡΩΔΗ ΜΕΣΑ	α	Ь
Ανόργανα εδάφη	0.099	-0.178
Οργανικά εδάφη και άμμος	0.119	-0.167
Άργιλος	0.091	0.182
/T		(1, 2007)

(Delta-T Devices Ltd., 2007)

νί. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Τα εδαφικά δείγματα αφού ξεράθηκαν στο φούρνο, κοσκινιστήκαν σε κόσκινο 2 mm και στη συνέχεια διαβρέχθηκαν με διάλυμα KCL γνωστής ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC_i= 0.28, 1.2, 3, 6 dSm⁻¹), σε προκαθορισμένο περιεχόμενο υγρασίας. Η υγρασία των εδαφικών δειγμάτων επιτεύχθηκε προσθέτοντας προκαθορισμένο όγκο διαλύματος με συνεχή ενσωμάτωση $\Delta \theta = 0.05 \text{ cm}^3 \text{cm}^{-3}$ και αναμειγνύοντας προσεκτικά τα δείγματα, ώστε να επιτευχθεί ομοιόμορφη υγρασία στο σύνολο. Αυτό επαναλήφθηκε για κάθε ένα από τα διαλύματα ηλεκτρικής αγωγιμότητας KCL. Συνολικά για κάθε τύπο εδάφους παρασκευάστηκαν 30 περίπου εδαφικές στήλες. Εν συνεχεία τα υγρά εδαφικά δείγματα, με δεδομένο διάλυμα το καθένα, μεταφέρθηκαν σε δοχεία ζέσεως. Τα δοχεία γέμισαν πλήρως και έπειτα ζυγίστηκαν. Στη συνέχεια καλύφθηκαν αεροστεγώς με μια πλαστική μεμβράνη ώστε να αποφθεγτούν τυχών απώλειες λόγω εξάτμισης και αφέθηκαν όλο το βράδυ σε ηρεμία μέγρι να φτάσουν σε συνθήκες θερμοκρασίας περιβάλλοντος $(20 \pm 2^{\circ}C.)$. Μετά από ισορροπία για 24 ώρες έγιναν μετρήσεις με τον αισθητήρα WET, ο οποίος εισήχθη κατακόρυφα στο κέντρο της επιφάνειας κάθε στήλης. Η θ υπολογίζεται με τη χρήση της εξίσωσης 8. Μετά τις μετρήσεις τα εδαφικά δείγματα, τα οποία βρίσκονται σε κατάσταση κορεσμού μεταφέρονται σε ένα χωνί Buchner, όπου εκχυλίζονται εφαρμόζοντας αρνητική πίεση και η σ_p μετριέται τελικά με χρήση αγωγιμόμετρου. Οι τιμές του σ_pυπολογίζονται επίσης και με το μοντέλο Malicki and Walczak, εκτός από το μοντέλο Hilhorst που δίνει αυτόματα η συσκευή.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ- ΣΥΖΥΤΗΣΗ

i. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΕΔΑΦΟΥΣ

Στα παρακάτω διαγράμματα απεικονίζει τη σχέση μεταξύ της $ε_s$ και της πραγματικής εδαφικής υγρασίας ($θ_m$) για τα τέσσερα επίπεδα EC_i. Τα αποτελέσματα τα οποία αποκτήθηκαν από την εξίσωση του Topp (Topp et al., 1980) (εξίσωση 7) εμφανίζονται ως αναφορά (συμπαγής γραμμή) στα επόμενα διαγράμματα και σε όσα θα ακολουθήσουν.









Σχήμα 1: Η σχέση ε_s- θ_m για τον αισθητήρα WET για τα τέσσερα εδάφη μελέτης αντίστοιχα για τα διάφορα επίπεδα αλατότητας (dSm⁻¹) (σύμβολα). Η σχέση σύμφωνα με την εξίσωση Topp et al. (1980) απεικονίζεται ως συμπαγής γραμμή.

Βάση των διαγραμμάτων γίνεται φανερό ότι οι τιμές της $ε_s$ που μετρήθηκαν με αισθητήρα WET για όλα τα εδάφη ήταν μεγαλύτερες από εκείνες της εξίσωσης Topp, ιδιαίτερα σε μεγάλες τιμές θ_m. Οι μεγαλύτερες τιμές της $ε_s$ από τον αισθητήρα WET μπορούν να αποδοθούν στη χαμηλότερη συχνότητα λειτουργίας συγκριτικά με το TDR όπως έχουμε προαναφέρει. Οι διαφορετικές αποκρίσεις σε σχέση με την εξίσωση Topp έδειξαν την ανάγκη για ξεχωριστές εξισώσεις βαθμονόμησης της συσκευής WET για κάθε πορώδες μέσο. Για την βαθμονόμηση της συσκευής αξιοποιήθηκε το γεγονός ότι η σχέση μεταξύ της θ_m και της τετραγωνικής ρίζας της φαινόμενης διηλεκτρικής σταθεράς είναι έντονα γραμμική για όλα τα εδάφη και τα επίπεδα αλατότητας (EC_i) (Kargas et al., 2014). Οι κλίσεις της γραμμικής σχέσης ήταν 0.09, 0.091, 0.091 και 0.092 και οι σταθερές -0.173, -0.16, -0.156 και -0.171 για τα 1, 2, 3, 4 εδάφη αντίστοιχα. Οι τιμές του R² για το 1,2, 3, 4 έδαφος ήταν 0.982, 0.967, 0.966 and 0.984 antístoica, me autés tis timés na apantúntai gia $EC_i = 6 \ dSm^{-1}$.

Ωστόσο, οι αντίστοιχες τιμές των παραμέτρων a και b δε συμπίπτουν με αυτές που προτάθηκαν για τα ανόργανα εδάφη από το κατασκευαστή και πιο συγκεκριμένα για όλα τα πορώδη μέσα οι τιμές ήταν χαμηλότερες από τις προτεινόμενες. Οι παρόμοιες τιμές της παραμέτρου α των τεσσάρων εδαφών που εξετάστηκαν οφείλεται στη παρόμοια κοκκομετρία των εξεταζόμενων εδαφών, όπως φαίνεται από τη μηχανική τους ανάλυση (πίνακας 1).

ii. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΩΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΔΙΑΛΥΜΑΤΟΣ (σ_p)

Στο πίνακα 2 φαίνονται οι τιμές σ_p στην μέγιστη θ_m για κάθε έδαφος και η EC_i που χρησιμοποιήθηκε. Οι μέγιστες τιμές θ_m που επιτεύχθηκαν για τα εδάφη 1, 2, 3, 4 είναι 0.35, 0.45, 0.40, 0.35cm³cm⁻³ αντίστοιχα.

ECi (dSm ⁻¹)	1	2	3	4
	$\sigma_p (dSm^{-1})$	$\sigma_p \\ (dSm^{-1})$	σ_p (dSm ⁻¹)	σ_p (dSm ⁻¹)
0.28	3.65	1.67	1.29	1.76
1.2	3.94	2.54	2.14	2.39
3.00	6.01	4.18	3.76	3.76
6.00	7.40	6.40	6.60	6.60

<u>Πίνακας 2:</u> Οι τιμές της σ_p (dSm⁻¹) σε μέγιστη θ για τα τέσσερα επίπεδα αλατότητας στα τέσσερα εδάφη μελέτης όπως μετρήθηκαν με το αγωγιμόμετρο.

Μέσω των παραπάνω αποτελεσμάτων διαπιστώνεται ότι η μεγαλύτερη διαφορά υπάρχει για $EC_i = 0.28 dSm^{-1}$ για το έδαφος 1, όταν η τιμή της σ_p, για τη μέγιστη θ_m, είναι 3.65dSm⁻¹. Η διαφορά αυτή μας αποδεικνύει ότι στο έδαφος 1 υπήρχαν άλατα πριν από τη προσθήκη του διαλύματος $EC_i = 0.28 dSm^{-1}$. Αυτό φαίνεται και από την τιμή της EC_e στον πίνακα 1. Ανάλογα αποτελέσματα μπορούν να εξαχθούν και για τα υπόλοιπα 3 εδάφη.

Προς έλεγχο της έννοιας του δείκτη αλατότητας, όπως παρουσιάστηκε από τους Malicki και Waczak (1999), παρουσιάζεται στο Σχήμα 2 η σχέση σ_b- ε_s, για κάθε

επίπεδο αλατότητας για τα τέσσερα εδάφη. Η σχέση σ_b- ε_s είναι έγκυρη για κατ' όγκο υγρασία εδάφους $\theta > 0.1$ cm³cm⁻³ (Malicki and Walczak, 1999).

Η σχέση σ_b= f (ε_s, EC_i) είναι έντονα γραμμική (0.99 < R^2 < 0.999) για όλα τα εδάφη και επίπεδα αλατότητας μέχρι 6 dSm⁻¹ και είναι ανεξάρτητη από την περιεκτικότητα σε υγρασία, θ, του εδάφους. Οι τιμές των κλίσεων όπως φαίνεται στο σχήμα 2 αυξάνονται με την αύξηση της EC_i. Η χρήση της τεχνικής FDR έδωσε παρόμοια αποτελέσματα και στους Wilczek et al., (2012).

Στο σχήμα 2 παρουσιάζεται η σχέση σ_b και ε_s των δύο παραγόντων από τους οποίους προκύπτει ο δείκτης αλατότητας, X_s . Βάση των αποτελεσμάτων είναι προφανές ότι ο δείκτης αλατότητας εξαρτάται από την αλατότητα του εδάφους. Πιο συγκεκριμένα και στα τέσσερα εδάφη που εξετάστηκαν η αύξηση της αλατότητας, EC_i, οδήγησε σε αύξηση του X_s , όπως μπορεί να φανεί και στα διαγράμματα που απεικονίζεται η σχέση X_s - EC_i (Σχήμα 3).









E_s



Σχήμα 2: Η γραμμική σχέση σ_b και ε_s για τα εδάφη 1, 2, 3, και 4 αντίστοιχα. Τα δεδομένα έχουν αποκτηθεί από την WET συσκευή. Επίσης παρουσιάζονται οι αντίστοιχες γραμμικές σχέσεις για το κάθε επίπεδο αλατότητας (EC_i) με το συντελεστή R².

Στο σχήμα 3 παρουσιάζεται η σχέση μεταξύ δείκτη αλατότητας, X_s και ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος διαβροχής EC_i. Εκ των αποτελεσμάτων αποδεικνύεται ότι η σχέση αυτών των δύο παραμέτρων είναι έντονα γραμμική ($R^2 \ge 0.989$). Διαπιστώνονται όμως κάποιες διαφορές ανάμεσα στις κλίσεις αυτών των γραμμικών σχέσεων σε σχέση με αυτές που αναφέρθηκαν από τους Malicki και Walczak, 1999, για τους ίδιους τύπους εδάφους. Για παράδειγμα, η κλίση για το έδαφος 1 (Sandy loam) στη παρούσα μελέτη είναι 0.0052, ενώ η αντίστοιχη τιμή για έδαφος Loamy sand των Malicki και Walczak (1999) ήταν 0.0110. Αυτή η διαφορά μπορεί να αποδοθεί στη σχετικά χαμηλή συχνότητα λειτουργίας του αισθητήρα WET εν συγκρίσει με τη συσκευή TDR που χρησιμοποιήθηκε από τους των Malicki και Walczak (1999).









Σχήμα 3: Η σχέση μεταξύ του δείκτη αλατότητας, X_s και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος διαβροχής, EC_i για τα εδάφη 1, 2, 3 και 4 αντίστοιχα.

Συγκρίνοντας, λοιπόν, στα διαγράμματα στο Σχήμα 4, το σ_p υπολογισμένο από το μοντέλο των Malicki και Walczak (εξίσωση 6) με τις πραγματικές τιμές της σ_p, φαίνεται ότι το μοντέλο υπερεκτιμά την σ_p μέχρι ένα κατώτατο όριο τιμών περίπου στα 4 dSm⁻¹. Πάνω επίσης από το όριο αυτό το μοντέλο φαίνεται σε όλες τις περιπτώσεις να υποεκτιμά τις τιμές της σ_p. Αυτή η υποεκτίμηση γίνεται μεγαλύτερη με την αύξηση της αλατότητας. Αυτή η υποτίμηση μπορεί να αποδοθεί στις μεγάλες τιμές της ε_s που μετρήθηκαν με τον αισθητήρα WET. Έτσι με την Εξίσωση 6 ο παρονομαστής αποκτά μεγαλύτερες τιμές με αποτέλεσμα να υποεκτιμάται η σ_p.

Σχήμα 4: Σύγκριση των τιμών της σ_p από το μοντέλο των Malicki και Walczak (οριζόντιος άξονας) με τις πραγματικές τιμές της σ_p (EC_{sw}) (κατακόρυφος άξονας)

Γενικά το μοντέλο των Malicki και Walczak δίνει καλύτερα αποτελέσματα για θ μεγαλύτερη από 0.25 cm³cm⁻³. Έτσι φαίνεται ότι ο αισθητήρας WET ανταποκρίνεται με καλύτερα αποτελέσματα ως προς πρόβλεψη της αλατότητας όταν κυριαρχεί η «κινούμενη» υδατική φάση στο έδαφος.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Βάση όλων όσων εξετάστηκαν λεπτομερώς στα παραπάνω κεφάλαια, συμπεραίνεται ότι οι τιμές της $ε_s$ που προκύπτουν από τον αισθητήρα WET εξαρτώνται από το τύπο του εδάφους και είναι μεγαλύτερες από εκείνες της εξίσωσης Topp για την ίδια $θ_m$. Επίσης η σχέση της θm και της τετραγωνικής ρίζας της $ε_s$ είναι έντονα γραμμική.

Γενικά η προσέγγιση του δείκτη αλατότητας, όπως παρουσιάστηκε από τους Malicki και Walczak με αποτελέσματα από τη συσκευή TDR είναι εφαρμόσιμη ακόμα και αν τα δεδομένα έχουν μετρηθεί μέσω ασθητήρα WET. Η σχέση $\sigma_b = f(\varepsilon_s, EC_i)$ είναι έντονα γραμμική για όλες τις αλατότητες σε όλα τα εδάφη, με μέγιστη τιμή της σ_b γύρω στα 2 dSm⁻¹.

Εν κατακλείδι το μοντέλο προσδιορίζει γενικά αξιόπιστες τιμές $\sigma_p < 4dSm^{-1}$ ενώ πάνω από αυτή τη τιμή υποεκτιμά τις τιμές της σ_p .

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Amente G, Baker M and C. Reece 2000. "Estimation of soil electrical conductivity from bulk soil electrical conductivity in sandy soil." Soil Sci. Soc. Amer. Journal 64:1931-1939

Bouksila Fethi, Persson Magnus, Berndtsson Ronny & Bahri Akissa (2008) **''Soil water content and salinity determination using different dielectric methods in saline gypsiferous soil''** Hydrological Sciences Journal January, 53(1), 253-265.

Dasberg S. & Nadler A. (1988) **''Field sampling of soil water content and bulk electrical conductivity with time domain reflectometry'' in:** Proceedingsof the international conference of Measurements of soil and plant water status, Utah State University, Logan U.T. pp.99-101 Vol. 1.

Delta –T Devices Ltd. 128. Low road Burwell CAMBRIDGE CB5 OEJ. UK. www:http://www.delta-t.co.uk. User manual for the WET sensor (type WET-2), 2007

Hilhorst M.A. 2000. **''A pore water conductivity sensor.''** Soil Sci. Soc. Amer. Journal 64: 1922- 1925.

Kargas G. and Kerkides P., (2010) **''Evaluation of a Dielectric Sensor for Measurement of Soil-Water Electrical Conductivity''** Journal Of Irrigation And Drainage Engineering.

Kargas G., Kerkidis P., M.S. Seyfried, 2014. **''Response of Three Water Sensors to Variable Solution Electrical Conductivity in Different Soils.''**Vadose Zone Journal, doi: 10.213/vzj2013.09.0169.

Kargas G, Kerkides P.. (2012) **'Comparison of two models in predicting pore water electrical conductivity in different porous media''.** Geoderma 189: 563-573.

Mualem Y., Friedman S., (1991). "Theoretical prediction of electrical conductivity in saturated and unsaturated soil". Water Resources Research 27, 2771–2777. Malicki M. A. & Walczak R. T. (1999) **''Evaluation soil salinity** status from bulk electrical conductivity and permittivity ''. Eur. J. Soil Si., 50, 505-514.

Malicki M.A., (1993). "The influence of physical soil properties on the electrode|soil parameters in the aspect of the measurement of soil moisture and salinity". Habilitation Thesis, Acta Agrophysica, Instytute of Agrophysics Polish Academy of Sciences, Lublin (in Polish).

Rhoades, J., Ratts, P., and Prather, R. (1976). "Effects of liquidphase electrical conductivity, water content, and surface conductivity on bulk soil electrical conductivity." *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 40, 651–655.

Tim L., Reeves and Michael A. Smith (1992) **'Time domain reflectometry for measuring soil water in renge survey''** Journal of Range Management 45(5), July, 45: 412-414

Topp, G.C., J.I. Davis and A.P. Annan. (1980). **'Electromagnetic** determination of soil water content: measurements in coaxial transmission lines''. *Water Resources Research* 16:574-582.

U.S. Salinity Laboratory Staff (1954). "Diagnosis and improvement of saline and alkali soils." USDA Agric. Handb. 60. U.S. Gov. Print. Office, Washington, DC.

Wilczek A., Szypłowska A., Skierucha W., Cieśla J., Pichler V. and Janik G. (2012) **''Determination of Soil Pore Water Salinity Using an FDR Sensor Working at Various Frequencies up to 500 MHz''** *Sensors*, *12*, 10890-10905.

"Influence of Moisture and Salinity of Soil on its DIelectric Permittivity" (2011) ActaArgophysica, Lublin.

Κάργας Γ., Κερκίδης Π., 2013. ''Προσδιορισμός της αλατότητας του εδάφους με τη βοήθεια διηλεκτρικών αισθητήρων'', Πρακτικά 8° Συνέδριο ΕΓΜΕ, σελ. 47-51, Βόλος 25-26/09/2013. Κάργας Γ., (2016) **"ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΤΗΣ ΑΛΑΤΟ-ΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΙΑΛΥΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΔΕΔΟ-ΜΕΝΑ ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ"**. Εργαστηριακές σημειώσεις.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Σαν αποτέλεσμα της πειραματικής εργασίας δουλειάς προέκυψε η δημοσίευση «**G. Kargas**, P. Mougiou, A. Petsetidi and P. Kerkides. 2017. Soil water electrical conductivity determination based on the salinity index concept. European Water Journal, 59:343-349»

Παρουσία εργασίας στο 10° διεθνές συνέδριο της "EWRA (5-9/7/2017) στην Aθήνα με τίτλο **'Soil water electrical conductivity determination based on the** salinity index concept".

<u>ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</u>

ΕΔΑΦΟΣ 1

FC=0.28

	WET	ECp	Т	3	ЕСь	MALICKI
0	0,016	0	25,8	3,9	0	3,568545
0,10	0,105	1,83	24,9	8,2	0,1	1,025957
0,15	0,155	2,37	24,2	11,4	0,22	2,762191
0,20	0,228	2,58	23,9	16,9	0,42	3,260049
0,25	0,264	2,56	23,1	19,9	0,51	3,220156
0,30	0,335	2,51	23,4	26,9	0,73	3,221603
0,35	0,374	2,37	23,1	31,1	0,81	3,007825

	WET	ECp	Т	3	ECb	MALICKI
0	0,016	0	25,8	3,9	0	3,568545
0,1	0,136	2,13	23,8	10,1	0,16	2,104527
0,15	0,155	2,55	23,5	11,3	0,23	3,01752
0,20	0,195	2,69	23,1	14,2	0,35	3,462604
0,25	0,261	2,76	22,6	19,7	0,54	3,495852
0,30	0,348	2,8	23	28,3	0,85	3,5746
0,35	0,377	2,71	22,8	31,5	0,94	3,487442

EC=3

	WET	ECp	Т	3	ECb	MALICKI
0	0,016	0	25,8	3,9	0	3,568545
0,10	0,122	2,11	23,8	9,2	0,14	2,051913
0,15	0,166	2,68	23,2	12,1	0,27	3,303928
0,20	0,208	3,06	22,8	15,2	0,43	3,989832
0,25	0,255	3,19	23,1	19,1	0,61	4,215171
0,30	0,348	3,29	22,4	28,3	1	4,270951
0,35	0,385	3,3	22,7	32,3	1,18	4,328955

EC=6

	WET	ECp	Т	3	ECb	MALICKI
0	0,016	0	25,8	3,9	0	3,568545
0,10	0,142	2,44	24,5	10,5	0,2	2,863135
0,15	0,175	3,06	24,1	12,7	0,34	4,103827

0,20	0,199	3,41	23,1	14,5	0,45	4,573542
0,25	0,295	3,95	23,9	22,8	0,94	5,315197
0,30	0,356	4,15	23,8	29,1	1,32	5,55399
0,35	0,394	4,37	23,5	33,5	1,63	5,825029

$E \varDelta A \Phi O \Sigma 2$

EC=0,28

	WET	ECp	Т	3	ECb	MALICKI
0	0,024	0	25,1	4,2	0,01	4,246645
0,10	0,115	1,27	24,9	8,8	0,08	0
0,15	0,138	1,45	23,1	10,2	0,11	0,909995
0,20	0,20	0,157	1,62	24	11,4	0,15
0,25	0,25	0,208	1,77	23,3	15,2	0,25
0,25	0,30	0,276	1,78	24	21	0,38
0,30	0,35	0,4	1,81	24,2	34,1	0,69
0,35	0,45	0,438	1,68	24,3	38,7	0,74

<mark>EC=1,2</mark>

	WET	ECp	Т	3	ECb	MALICKI
						4,246645
0	0,024	0	25,1	4,2	0,01	

						0,418389
0,10	0,12	1,36	24	9,1	0,09	
						1,76484
0,15	0,16	1,63	23,5	11,7	0,16	
						1,797522
0,20	0,158	1,75	23,3	11,6	0,16	
						2,569399
0,25	0,202	1,94	23,5	14,7	0,26	
						2,915137
0,30	0,282	2,04	23,5	21,6	0,45	
						3,009804
0,35	0,382	2,04	22,9	32	0,72	
						3,005826
0,45	0,443	2,02	23,2	39,3	0,9	

EC=3

	WET	ECp	Т	3	ECb	MALICKI
0	0,024	0	25,1	4,2	0,01	4,246645
0,10	0,116	1,43	24,2	8,8	0,09	0,466664
0,15	0,144	1,69	24,1	10,6	0,14	1,654537
0,20	0,181	1,99	23,4	13,2	0,23	2,599987
0,25	0,197	2,2	23,2	14,4	0,29	3,107301
0,30	0,291	2,51	23,7	22,4	0,58	3,744837
0,35	0,372	2,56	23,2	30,9	0,87	3,880682
0,45	0,455	2,67	22,5	39,6	1,2	4,068642

EC=6

	WET	ECp	Т	3	ECb	MALICKI
0	0,024	0	25,1	4,2	0,01	4,246645

0,10	0,121	1,37	24,9	9,1	0,09	0,418389
0,15	0,157	1,85	24	11,5	0,17	2,060367
0,20	0,184	2,31	23,9	13,4	0,27	3,201836
0,25	0,219	2,78	23,8	16,1	0,42	4,166982
0,30	0,3	3,21	23,4	23,4	0,78	4,937959
0,35	0,41	3,45	23,1	35,3	1,36	5,336972
0,40	0,45	3,62	23,3	40,3	1,66	5,621868
0,45	0,463	3,71	23,3	42	1,78	5,76161

ΕΔΑΦΟΣ 3

EC=0.28						
	WET	ECp	Т	3	ECb	MALICKI
0	0,02	0	25,3	4	0	3,87763
0,10	0,096	1,61	23,4	7,7	0,07	-0,7109
0,15	0,147	1,71	23,1	10,8	0,14	1,390889
0,20	0,18	1,69	23,3	13,1	0,19	1,699975
0,25	0,225	1,67	22,9	16,6	0,26	1,845603
0,30	0,333	1,59	23,1	26,6	0,45	1,934063
0,35	0,375	1,53	23,1	31,2	0,52	1,876773
0,40	0,39	1,42	22,9	32,9	0,52	1,757278

<mark>EC=1,2</mark>

	WET	ECp	Т	3	ECb	MALICKI
0	0,02	0	25,3	4	0	3,87763
0,10	0,116	1,75	23,8	8,8	0,1	0,820268
0,15	0,153	1,97	23,3	11,2	0,18	2,132696
0,20	0,182	2,07	23,6	13,2	0,24	2,437367
0,25	0,234	2,1	23	17,4	0,35	2,570661
0,30	0,33	2,09	22,6	26,4	0,59	2,692265
0,35	0,369	2,05	23	30,5	0,69	2,676841
0,40	0,392	2,01	23,4	33,1	0,74	2,61319

EC=3

	WET	ECp	Т	3	ECb	MALICKI
0	0,02	0	25,3	4	0	3,87763
0,10	0,109	1,87	24,2	8,4	0,1	0,969407
0,15	0,142	2,13	23,6	10,5	0,17	2,231892
0,20	0,21	2,44	23,7	15,4	0,35	3,1295
0,25	0,245	2,58	23,6	18,3	0,47	3,43699
0,30	0,336	2,7	23,4	27	0,78	3,588672
0,35	0,375	2,76	23,8	31,2	0,95	3,710892
0,40	0,412	2,82	23,4	35,5	1,12	3,78499

EC=6

	WET	ECp	Т	3	ECb	MALICKI
0	0,02	0	25,3	4	0	3,87763

0,10	0,104	1,8	24,9	8,1	0,09	0,561236
0,15	0,153	2,31	23,9	11,2	0,21	2,772505
0,20	0,19	2,81	23,8	13,9	0,35	3,739143
0,25	0,214	3,32	23,5	15,7	0,49	4,602134
0,30	0,342	3,57	23,3	27,6	1,06	4,883277
0,35	0,398	3,76	23,2	33,9	1,42	5,158507
0,40	0,414	3,91	23,1	35,7	1,56	5,349815

$E \varDelta A \Phi O \Sigma 4$

EC=0.28						
	WET	ECp	Т	3	ECb	MALICKI
0	0,019	0	25,5	4	0	3,458658
0,10	0,101	2,01	24,1	8	0,1	1,184831
0,15	0,158	1,97	23,4	11,5	0,19	2,213175
0,20	0,222	1,86	23,6	16,3	0,29	2,21716
0,25	0,255	1,78	23,5	19,1	0,34	2,149229
0,30	0,314	1,69	23,4	24,7	0,44	2,075056
0,35	0,345	1,58	23,3	27,9	0,48	1,965619

<mark>EC=1,2</mark>

	WET	ECp	Т	3	ECb	MALICKI
0	0,019	0	25,5	4	0	3,458658
0,10	0,093	2,15	23,7	7,5	0,09	0,820268

0,15	0,144	2,16	23,7	10,6	0,18	2,423519
0,20	0,21	2,18	23,1	15,4	0,31	2,66587
0,25	0,253	2,12	23,6	19	0,4	2,66587
0,30	0,312	2,11	23,3	24,5	0,54	2,680438
0,35	0,33	2,01	22,5	26,3	0,56	2,546503

EC=3

	WET	ECp	Т	3	ECb	MALICKI
0	0,019	0	25,5	4	0	3,458658
0,1	0,108	2,31	24,1	8,3	0,12	2,031139
0,15	0,154	2,56	23,4	11,3	0,23	3,136318
0,20	0,205	2,61	23,4	15	0,36	3,392926
0,25	0,259	2,75	23,4	19,5	0,54	3,688122
0,30	0,333	2,8	23,7	26,7	0,8	3,745223
0,35	0,358	2,81	23,4	29,4	0,9	3,768989

EC=6

	WET	ECp	Т	3	ECb	MALICKI
0	0,019	0	25,5	4	0	3,438658
0,10	0,111	2,67	24,7	8,5	0,15	3,245408
0,15	0,148	3,14	23,9	10,8	0,27	4,404482
0,20	0,204	3,5	23,2	14,9	0,48	4,90275
0,25	0,288	3,83	23,9	22,2	0,88	5,331741
0,30	0,344	4,02	23,8	27,8	1,21	5,578581
0,35	0,364	4,21	23,2	30	1,38	5,824591

EC_w

EC	1	2	3	4
0,28	3.65	1.67	1.29	1.765
1,2	3.94	2.54	2.14	2.39
3	6.01	4.18	3.76	3.76
6	7.6	6.4	6.6	6.6