AGRICULTURAL UNIVERSITY OF ATHENS
ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΜΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ
ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Άρδευση ελαιώνα με επεξεργασμένα αστικά απόβλητα Ισοζύγια νερού και αλάτων στην κατατομή και μελέτη υδραυλικών ιδιοτήτων του εδάφους

ΜΠΟΥΡΑΖΑΝΗΣ Θ. ΓΕΩΡΓΙΟΣ
Γεωπόνος (ΓΠΑ)

Ειδικότητα: «Αξιοποίηση Φυσικών Πόρων & Γεωργική Μηχανική»
M.Sc. «Διαχείριση Περιβάλλοντος» (ΓΠΑ)
M.Sc. «Διαχείριση Αποβλήτων» (ΕΑΠ)

Επιβλέπων Καθηγητής: Κερκίδης Πέτρος

ΑΘΗΝΑ
2017

ΑΡΔΕΥΣΗ ΕΛΑΙΩΝΑ ΜΕ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΑ ΑΣΤΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

ΙΣΟΖΥΓΙΑ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΑΛΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΤΟΜΗ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Υπεβλήθη από τον

Μπουραζάνη Θ. Γεώργιο

Γεωπόνο (ΓΠΑ)

Ειδικότητα: «Αξιοποίηση Φυσικών Πόρων & Γεωργική Μηχανική»

M.Sc. «Διαχείριση Περιβάλλοντος» (ΓΠΑ)

M.Sc. «Διαχείριση Αποβλήτων» (ΕΑΠ)

Στο

ΤΜΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

Της

ΣΧΟΛΗΣ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Του

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟΥ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΑΘΗΝΩΝ

ΑΘΗΝΑ 2017

ΑΡΔΕΥΣΗ ΕΛΑΙΩΝΑ ΜΕ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΑ ΑΣΤΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

ΙΣΟΖΥΓΙΑ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΑΛΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΤΟΜΗ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Μπουραζάνης Θ. Γεώργιος

Συμβουλευτική Επιτροπή

Επιβλέπων: Κερκίδης Πέτρος Ομότιμος Καθηγητής Γ.Π.Α.

Μέλη Κοσμάς Κωνσταντίνος Ομότιμος Καθηγητής Γ.Π.Α.

Αργυροκαστρίτης Ιωάννης Αναπληρωτής Καθηγητής Γ.Π.Α.

Επταμελής Εξεταστική Επιτροπή

Κερκίδης Πέτρος Ομότιμος Καθηγητής Γ.Π.Α.

Κοσμάς Κωνσταντίνος Ομότιμος Καθηγητής Γ.Π.Α.

Αντωνόπουλος Ζ. Βασίλειος Καθηγητής ΑΠΘ

Καλαβρουζιώτης Κ. Ιωάννης Καθηγητής Ε.Α.Π.

Αργυροκαστρίτης Γ. Ιωάννης Αναπληρωτής Καθηγητής Γ.Π.Α.

Κάργας Π. Γεώργιος Αναπληρωτής Καθηγητής Γ.Π.Α.

Ψυχογιού Μαρία Επίκουρη Καθηγήτρια Γ.Π.Α.

Το παρόν χρηματοδοτήθηκε μερικώς από:

το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων και

την πρώην Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Λακωνίας

Στον πατέρα μου
που θα ήθελα να είχε προλάβει να το διαβάσει

Στην οικογένειά μου
που υπέμεινε αρκετά

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ανέκαθεν με γοήτευε η έννοια του γεωπόνου εφαρμογών, όπως αυτή μου είχε γίνει γνωστή από βιώματα αγροτών, αλλά και παλαιών συναδέλφων. Η έρευνα δίπλα στον αγρότη, σε μία προσπάθεια μεταφοράς εμπειρίας και γνώσης δια ζώσης, η προσπάθεια του επιστήμονα να σταθεί αρωγός στο δύσκολο έργο του, με τους τόσους αστάθμητους παράγοντες, ώστε να τελεσφορήσει αισίως, χωρίς οικονομικές ζημίες, η εργασία του, η σύνδεση της απτής εφαρμοσμένης έρευνας με τον θεματοφύλακα του αγροτικού περιβάλλοντος, είναι πράγματα που οραματιζόμουν από τις πρώτες στιγμές που βρέθηκα στα έδρανα του «Πράσινου» αμφιθέατρου του ΓΠΑ. Αυτές οι σκέψεις με καθοδήγησαν στο να αναζητήσω ένα θέμα διδακτορικής διατριβής που να συνδέει την επιστήμη και τη μηχανική με την έρευνα, τον αγρό και τον αγρότη. Αυτές ήταν οι σκέψεις που σε συνεργασία με τον Υπεύθυνο Καθηγητή της διατριβής μου, καταλήξαμε σε αυτή την εφαρμογή: **«Άρδευση ελαιώνα με επεξεργασμένα αστικά απόβλητα».** Το εν λόγω θέμα περιέχει μία σειρά από επιλογές που θα επιθυμούσα να διευκρινίσω.

Γιατί επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα (ΕΥΑΑ): Επελέγη η περίπτωση άρδευσης με ΕΥΑΑ, διότι *(μη εξαντλητικός κατάλογος)*:

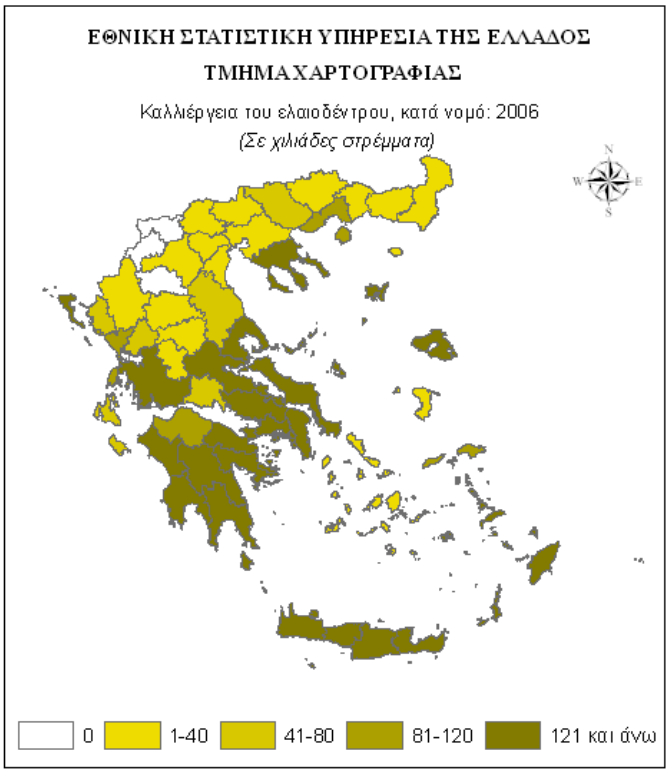
- ✓ Οι πηγές αυτού του ανακτημένου νερού βρίσκονται αναπτυγμένες σε όλο το ανάγλυφο της Ελλάδος και δεν είναι εντοπισμένες σε κάποιες περιοχές ή πέριξ κάποιων χωρικά εντοπισμένων δραστηριοτήτων. Συγκεκριμένα Μονάδες Επεξεργασίας Υγρών Αστικών Αποβλήτων (ΜΕΥΑΑ) έχουν κατασκευασθεί, λειτουργούν αλλά και συνεχώς κατασκευάζονται σε όλη την έκταση της χώρας, προς εξυπηρέτηση μικρών και μεγάλων πόλεων, πάντα κατ' εφαρμογή του σχετικού Ευρωπαϊκού Δικαίου.
- ✓ Πρόκειται για μία πηγή νερού, το οποίο συνήθως είναι κοντά στις αγροτικές περιοχές των πόλεων.
- ✓ Πρόκειται για επεξεργασμένα απόβλητα, που επί το πλείστον, ικανοποιούν τα νομοθετημένα όρια παραμέτρων, καθ' όσον υπάρχει τεχνολογία, μέσω της οποίας αυτό μπορεί να επιτευχθεί, σε αντιπαραβολή με άλλα υγρά απόβλητα κυρίως γεωργοβιομηχανικών μονάδων.
- ✓ Στην παρούσα φάση, το μεγαλύτερο μέρος αυτού του υδάτινου όγκου απορρίπτεται σε ρέματα, ποτάμια και θάλασσα και έτσι παρατηρείται το εξής οξύμωρο: Βεβαρυμένο νερό καθίσταται «καθαρό» κατά τις επιταγές της νομοθεσίας με κατανάλωση πόρων και ακολούθως αυτό απορρίπτεται στο περιβάλλον, χωρίς να γίνει προσπάθεια να ανακτηθεί το κόστος επεξεργασίας, μέσω επαναχρησιμοποίησης. Δηλαδή, το σύστημα αρκείται στο περιβαλλοντικό όφελος που προκύπτει από τη μη απόρριψη ανεπεξέργαστου νερού.
- ✓ Η διάθεση/απόρριψη των επεξεργασμένων εκροών σε υδάτινους αποδέκτες οποιουδήποτε είδους ενέχει τον κίνδυνο, σε περίπτωση υπολειτουργίας της μονάδας, να προξενήσει περιβαλλοντικά προβλήματα, γεγονός που θα αποφευχθεί, εάν η εκροή οδηγείτο σε δεξαμενή αποθήκευσης προς χρήση.

- ✓ Τέλος, η διέξοδος της επαναχρησιμοποίησης των ΕΥΑΑ για άρδευση δίνει μία ακόμα δυνατότητα, σε ό,τι αφορά στον αστικό πληθυσμό που εξυπηρετεί, αφού η υπηρεσία που κατά περίπτωση διαχειρίζεται τη μονάδα είναι σε θέση να μειώσει τους βαθμούς επεξεργασίας προς οικονομικό όφελος πολιτών. Συγκεκριμένα, με δεδομένα αφ' ενός ότι η τριτοβάθμια επεξεργασία στόχο έχει την απομάκρυνση αζώτου και φωσφόρου από τα υγρά αστικά απόβλητα, πριν την απόρριψή τους, με κατανάλωση πόρων και αφ' ετέρου στην επαναχρησιμοποίηση για άρδευση, είναι επιθυμητό να υπάρχουν αυτά τα θρεπτικά στοιχεία στο προς άρδευση νερό, είναι εφικτό να μειωθεί κατά ένα βαθμό η επεξεργασία με πολλαπλό όφελος.

Γιατί ελαιώνας: Η επιλογή της ελαιοκαλλιέργειας για πειραματισμό έγινε για τους κάτωθι λόγους *(μη εξαντλητικός κατάλογος)*:

- ✓ Η ελαιοκαλλιέργεια είναι μία καλλιέργεια που ταχέως αναπτύσσεται, λόγω μίας σειράς από παράγοντες επεκτεινόμενη ακόμα και σε περιθωριακές γαίες προκύπτουσες από την εκχέρσωση δασικής βλάστησης. Επιπλέον, η συγκεκριμένη καλλιέργεια με την πάροδο των ετών έχει πάψει να αποτελεί ξηρική εκτατική καλλιέργεια και έχει μετατραπεί σε εντατική αρδευόμενη καλλιέργεια, γεγονός που επιβαρύνει ακόμα περισσότερο το περιβάλλον, αφού ανορύσσονται γεωτρήσεις μεγάλου βάθους, για την εξεύρεση νερού προς άρδευση.

  Στο χάρτη που ακολουθεί εμφανίζεται η ελαιοκαλλιέργεια με στοιχεία της ΕΣΥΕ του 2006.



- ✓ Από την βιβλιογραφική ανασκόπηση που υλοποιήθηκε διαπιστώθηκε ότι μέχρι εκείνη τη στιγμή δεν υπήρχαν στοιχεία για την όποια ενδεχόμενη

επίδραση της άρδευσης με Επεξεργασμένα Υγρά Αστικά Απόβλητα (ΕΥΑΑ) σε ελιά ποικιλίας «Κορωνέικη».

- ✓ Η ελιά ως καλλιέργεια κατά βάσει εκτείνεται σε λοφώδεις και ορεινές περιοχές για την άρδευση της οποίας γίνεται ανόρυξη γεωτρήσεων για άντληση νερού σε μέσα έως και πολύ μεγάλα βάθη, οπότε η ανάκτηση και μεταφορά της επεξεργασμένης εκροής προς άρδευση θα ήταν οικονομικά ελκυστική, έναντι των εξόδων συντήρησης και λειτουργίας αντλητικού συγκροτήματος καθαρού νερού από αυτά τα βάθη.

Το αντικείμενο της επαναχρησιμοποίησης εν γένει υγρών αποβλήτων (όχι μόνο αστικών) για άρδευση είναι ιδιαιτέρως απαιτητικό σε γνώσεις, δεδομένου ότι εκτείνεται σε ένα ευρύτατο φάσμα επιστημονικών πεδίων. Πραγματεύεται μία σειρά από διαδικασίες, κάθε μία εκ των οποίων απαιτεί διαφορετικό επιστημονικό υπόβαθρο. Μία αδρή περιγραφή του αντικειμένου είναι αυτή που ακολουθεί.

Ξεκινάμε με την επιβάρυνση που προκύπτει από τον χρήστη του καθαρού νερού, η οποία ποικίλει, ποιοτικά και ποσοστικά, ανάλογα με το είδος της δραστηριότητας, πράγμα που οδηγεί στο να αναμένει κάποιος διαφορετικά χαρακτηριστικά κατά την έναρξη της επεξεργασίας (φυσική, χημική, ραδιενεργή κ.λ.π. ρύπανση).

Αυτή η διαφορετικότητα των χαρακτηριστικών των υγρών αποβλήτων, κατά την έξοδο από την όποια διαδικασία χρήσης/επιβάρυνσης, είναι που επιβάλλει και διαφορετικές προσεγγίσεις στο επόμενο στάδιο που είναι η επεξεργασία. Ανάλογα λοιπόν με την επιλεγείσα διαδικασία επεξεργασίας και τον αντίστοιχο βαθμό αυτής, αναμένεται και διαφορετικής σύστασης επεξεργασμένη εκροή προς επανάχρηση και εν προκειμένω προς άρδευση.

Από αυτό το σημείο και μετά αυξάνεται η πολυπλοκότητα του συστήματος, δεδομένου ότι έχουμε ένα νερό με διαφορετικά και ενδεχομένως μεταβαλλόμενα με το χρόνο χαρακτηριστικά, το οποίο θέλουμε να το χρησιμοποιήσουμε για άρδευση διαφορετικών καλλιεργειών, σε εδάφη με διαφορετικές φυσικές και χημικές ιδιότητες και με διαφορετικά συστήματα εφαρμογής.

Από τη στιγμή λοιπόν που ληφθεί η επεξεργασμένη εκροή μπορεί να υποστηριχθεί, ότι η επιστήμη των αρδεύσεων είναι αυτή που δίνει τη δυνατότητα προσέγγισης του θέματος σφαιρικά. Αυτό ισχύει καθ' όσον η άρδευση αποτελεί τη συνισταμένη κλάδων της επιστήμης όπως είναι η υδροχημεία, η φυσιολογία καλλιεργειών, η εδαφοχημεία, η φυσική εδάφους, η μικροβιολογία εδάφους, ο σχεδιασμός και εφαρμογή άρδευσης με περιοριστικούς παράγοντες προκύπτοντες από το νερό το έδαφος και το φυτό, ο σχεδιασμός και εφαρμογή αρδευτικού και στραγγιστικού δικτύου κατάλληλου για επεξεργασμένη εκροή κ.λπ.

Περαιτέρω υπεισέρχονται θέματα οικονομικά, περιβαλλοντικά, δημόσιας υγείας νομικά κ.λπ., όπως το περιβαλλοντικό όφελος και η ενδεχόμενη περιβαλλοντική ζημία από αυτή την ανάκτηση και εφαρμογή, η δυνατότητα αναζήτησης εμπράκτως του κόστους ευκαιρίας για το καθαρό νερό, θέματα κοστολόγησης και τιμολόγησης του ανακτημένου νερού, το νερό ως δημόσιο αγαθό, οι κίνδυνοι που ελλοχεύουν για τη δημόσια υγεία από αυτή την εφαρμογή, η νομική ρύθμιση όλων αυτών των θεμάτων κ.λ.π.

Όλα αυτά καθιστούν το αντικείμενο απαιτητικό και συγχρόνως ιδιαιτέρως ελκυστικό, στη βάση του ότι ήδη έχει αρχίσει και αποτελεί, αλλά και στο μέλλον ακόμα περισσότερο θα αποτελέσει για την Ελλάδα τη διέξοδο της διάθεσης των ΕΥΑΑ αλλά και της κάλυψης αρδευτικών αναγκών, σε περιοχές ελλειμματικού υδατικού ισοζυγίου.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στην παρούσα ενότητα θα ήθελα να απευθύνω ευχαριστίες σε σειρά ανθρώπων που ο καθένας με τον τρόπο του συνέβαλε στο να υλοποιηθεί το έργο και να περατωθεί αυτή η μελέτη.

Ξεκινώντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της παρούσας μελέτης, Ομότιμο Καθηγητή του ΓΠΑ, κο Πέτρο Κερκίδη, ο οποίος απεδέχθη προθύμως την πρόταση που του υπέβαλα να με δεχθεί ως υποψήφιο διδάκτορα και μου ανέθεσε την παρούσα διατριβή. Περαιτέρω, θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για την επιστημονική καθοδήγηση αλλά και την ανθρώπινη συμπαράσταση που είχα από μέρους του σε χρονικές στιγμές δύσκολες για μένα, όταν γεγονότα προσωπικής φύσεως αλλά και σχετικά με τη μελέτη με αποθάρρυναν. Θέλω να τον ευχαριστήσω, γιατί με τίμησε με την εμπιστοσύνη του, όταν εν λευκώ μου έδωσε την οικονομική διαχείριση του προγράμματος το οποίο απετέλεσε τη χρηματοδοτική πηγή της παρούσας διατριβής και μου ανέθεσε όλες τις διαδικασίες προμηθειών, χωρίς ποτέ να φανεί ότι με αμφισβητεί ή ότι με ελέγχει.

Ακολούθως, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Ομότιμο Καθηγητή του ΓΠΑ, κο Κοσμά Κωνσταντίνο, για την τιμή που μου έκανε συμμετέχοντας στην τριμελή συμβουλευτική επιτροπή της παρούσας διατριβής. Θέλω να τον ευχαριστήσω, διότι δεν υπήρξε αίτημα που να του απηύθηνα το οποίο να αφορούσε στην πορεία υλοποίησης της μελέτης, και να μην το ικανοποίησε άμεσα. Η συνεισφορά του στο να υλοποιηθούν τόσες εδαφολογικές αναλύσεις, επαναλαμβανόμενες δύο φορές ετησίως στο εργαστήριο, ήταν καταλυτική. Επίσης η συμβολή του σε θέματα εδαφολογικά ήταν καίρια, αποτρέποντας λάθη που θα έθεταν τη μελέτη εκτός πορείας. Πάνω από όλα όμως, θα ήθελα να τον ευχαριστήσω, διότι για μένα είναι παράδειγμα μη εφησυχασμού και εργατικότητας που, σε συνδυασμό με συμβουλές προσωπικού χαρακτήρα που μου έδωσε, μου απέδειξε ότι με θεωρεί κάτι παραπάνω από έναν υποψήφιο διδάκτορα στον οποίο οφείλει τα προβλεπόμενα.

Θα επιθυμούσα να ευχαριστήσω τον Αναπληρωτή Καθηγητή του ΓΠΑ, κο Αργυροκαστρίτη Ιωάννη, για τη συμμετοχή του στην τριμελή συμβουλευτική επιτροπή, για τις υποδείξεις του σε θέματα πειραματικού σχεδιασμού, αλλά και εν γένει για την άμεση ανταπόκρισή του σε κάθε αίτημα που του υπέβαλα.

Θέλω να ευχαριστήσω και τους τρεις σεβαστούς καθηγητές για τη συνδρομή που μου παρείχαν στην προσπάθεια εξεύρεσης χρηματοδότησης, όπου, με προσωπικές από κοινού παραστάσεις αρμοδίως, έδωσαν βαρύτητα στο αίτημά μου, ώστε να προκύψουν οι δύο χρηματοδοτικές πηγές, χωρίς τις οποίες τίποτα δεν θα είχε υλοποιηθεί.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Ομότιμο Καθηγητή του ΓΠΑ, κο Πουλοβασίλη Αλέξανδρο για τις σημαντικές υποδείξεις του, τις προτάσεις του, αλλά και τη βοήθεια στην αξιολόγηση πειραματικών αποτελεσμάτων.

Ευχαριστίες οφείλονται και στους Διευθυντές του Εργαστηρίου Εδαφικής Χημείας και Εδαφολογίας, κατά τη θητεία των οποίων υλοποίησα τις εδαφικές αναλύσεις και συγκεκριμένα στην Ομότιμη Καθηγήτρια, κα Χαϊντούτη Κωνσταντίνα

και στον Καθηγητή, κο Μουστάκα Νικόλαο, για την άδεια χρήσης του εξοπλισμού του εργαστηρίου που μου παρείχαν.

Θα ήθελα να απευθύνω ευχαριστίες στον Αναπληρωτή Καθηγητή του Εργαστηρίου Γεωργικής Υδραυλικής του ΓΠΑ, κο Κάργα Γεώργιο καθώς και στην Επίκουρη καθηγήτρια του ιδίου εργαστηρίου κα Ψυχογιού Μαρία, διότι συνεισέφεραν στην αξιολόγηση και ακολούθως αξιοποίηση/δημοσίευση πειραματικών αποτελεσμάτων.

Σημαντική ήταν η συμβολή και για το λόγο αυτό οφείλονται ευχαριστίες και στον Αναπληρωτή Καθηγητή του Εργαστηρίου Δενδροκομίας του ΓΠΑ, κο Ρούσσο Πέτρο, του οποίου η συνεισφορά ήταν καταλυτική σε θέματα αξιολόγησης αποτελεσμάτων που είχαν να κάνουν με τη θρεπτική κατάσταση των ελαιοδένδρων, καθώς και την ποσότητα και την ποιότητα των προϊόντων (ελιές-λάδι).

Οφείλονται ευχαριστίες στον Ομότιμο Καθηγητή του ΓΠΑ, κο Γκάρτζο Ευθύμιο, και στον Λέκτορα του Πανεπιστημίου Αθηνών, Σχολή Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, κο Μήτση Ιωάννη, διότι με ενέργειές τους υλοποιήθηκε η ανάλυση και ο προσδιορισμός του τύπου των αργιλικών ορυκτών των εδαφικών δειγμάτων του πειραματικού αγρού.

Δεν θα μπορούσε να μην αναφερθεί η σημαντικότατη συμβολή του Λέκτορα του ΓΠΑ, κου Συμιλλίδη Γεράσιμου, καθώς και του μέλους ΕΔΙΠ του ΓΠΑ, κου Κατσιλέρου Αναστασίου, στην στατιστική επεξεργασία των δεδομένων, γεγονός για το οποίο τους οφείλονται ευχαριστίες.

Σε ό,τι αφορά στη χρηματοδότηση, ευχαριστίες οφείλονται στο Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων και συγκεκριμένα στον τότε Γενικό Γραμματέα συντοπίτη και συνάδελφο, κο Σκιαδά Κωνσταντίνο, ο οποίος άμεσα έδωσε την πολιτική εντολή, ώστε να δοθεί χρηματοδότηση προς υλοποίηση του συγκεκριμένου ερευνητικού έργου, κρίνοντάς το ως αναγκαίο και επωφελές για την Ελληνική γεωργία. Επίσης ευχαριστίες οφείλονται και στη Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Λακωνίας και συγκεκριμένα στον τότε Νομάρχη, κο Φούρκα Κωνσταντίνο και στο τότε Νομαρχιακό Συμβούλιο, οι οποίοι αποδεχόμενοι το αίτημά μου για χρηματοδότηση της μελέτης, αναγνωρίζοντας την αναγκαιότητα αλλά και διαβλέποντας τα οφέλη που μέλλει να προκύψουν, συνεισέφεραν κατ' αυτό τον τρόπο στην υλοποίησή της.

Θα ήταν παράλειψή μου να μην αναφέρω στις ευχαριστίες σειρά ανθρώπων που συνεισέφεραν με τον ένα ή τον άλλο τρόπο στην ολοκλήρωση της παρούσας, όπως τις συναδέλφους κυρίες Βασιλική Θεοδωρουλέα-Μπαλαφούτη, Ελένη Χαριτίδου και Μαργαρίτα Τσανικλίδου, καθ' όσον βοήθησαν στην υλοποίηση αναλύσεων και στην επεξεργασία αποτελεσμάτων, και τον κο Δάλα Στυλιανό, υπεύθυνο του εργαστηρίου Εδαφολογίας και Γεωργικής Χημείας για την πολύτιμη βοήθειά του κατά τη διαδικασία αναλύσεων των εδαφικών δειγμάτων.

Μνεία θα ήθελα να κάνω, σε ένα πολύτιμο συνεργάτη του εργαστηρίου, ο οποίος δεν είναι πια κοντά μας, τον κο Γρηγόρη Γιαννακόπουλο, ο οποίος πάντα με το χαμόγελο και με τα αστεία του κατασκεύασε συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν στην πειραματική διαδικασία.

Πριν κλείσω αυτή την ενότητα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον πατέρα μου, ο οποίος δεν είναι κοντά μας όπου ενώ ήταν αυτός που αρχικά είχε σταθεί εμπόδιο στην προσπάθειά μου αυτή για τους δικούς του λόγους, στο τέλος, αναγνωρίζοντας εμμέσως ίσως το σφάλμα του, συνέδραμε οικονομικά, αλλά και με προσωπική εργασία πέραν του δέοντος στο να ξεκινήσει η υλοποίηση της μελέτης, την οποία δυστυχώς δεν ζει, για να δει ότι περατώθηκε αισίως.

Κλείνοντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη σύζυγό μου και τα τρία μου παιδιά που κυριολεκτικά με ανέχτηκαν όλη αυτή την περίοδο, στηρίζοντάς με παρότι εξ αιτίας της παρούσας με στερήθηκαν σε προσωπικό επίπεδο, αλλά και δέχθηκαν την απώλεια οικονομικών πόρων από τον οικογενειακό προϋπολογισμό, προς χρήση στο πλαίσιο της μελέτης.

ΛΙΣΤΑ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

Ακολουθεί λίστα εργασιών που δημοσιεύθηκαν κατά τη διάκρεια εκπόνησης της παρούσας διατριβής

ΑΡΘΡΑ ΣΕ ΠΕΡΙΟΔΙΚΑ

- ✓ **Eftychia Taktikou, George Bourazanis, Georgia Papaioannou and Petros Kerkides** (2017) Prediction of Soil Moisture from Remote Sensing Data. Procedia Engineering 162:309-316, DOI: 10.1016/j.proeng.2016.11.066
- ✓ **Bourazanis, George, Maria Psychogiou, Natasa Nikolaou** (2016) Chloride transport parameters prediction for a Clay-Loam soil column B. Environ. Contam. Tox. Doi: 10.1007/s00128-016-1867-7
- ✓ **Bourazanis, G., Katsileros, A., Kosmas, C., & Kerkides, P.** (2016). The Effect of Treated Municipal Wastewater and Fresh Water on Saturated Hydraulic Conductivity of a Clay-Loamy, Soil. Water Resour Manage , Vol 30,8: 2867-2880, DOI 10.1007/s11269-016-1307-9.
- ✓ **George Bourazanis, Paraskevi Londra, George Kargas, Ioannis Argyrokastritis, Petros Kerkides** (2015) Evaluation of porous medium hydraulic properties using experimental methods and RETC code, Archives of Agronomy and Soil Science, DOI: 10.1080/03650340.2015.1124095
- ✓ **Bourazanis G., P. A. Roussos, I. Argyrokastritis, C. Kosmas and P. Kerkides** (2015) Evaluation of the use of treated municipal waste water on the yield, oil quality, free fatty acids' profile and nutrient levels in olive trees cv Koroneiki, in Greece. Agricultural Water Management Agricultural Water Management, 163, Pages 1-8 DOI 10.1016/j.agwat.2015.08.023
- ✓ **Bourazanis, G., & Kerkides, P.** (2015). Evaluation of Sparta's municipal wastewater treatment plant's effluent as an irrigation water source according to Greek Legislation. Desalination and Water Treatment, 53:12, pp. 3427-3437, DOI: 10.1080/19443994.2014.965539.
- ✓ **Kargas G, Bourazanis G, Kerkides P** (2013) Could Dielectric Devices Replace Laborious Methodologies in Determining Soil Salinity. Irrigat Drainage Sys Eng 2::113. doi: 10.4172/2168-9768.1000113

ΑΡΘΡΑ ΣΕ ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΜΕ ΚΡΙΤΕΣ (ΔΙΕΘΝΗ)

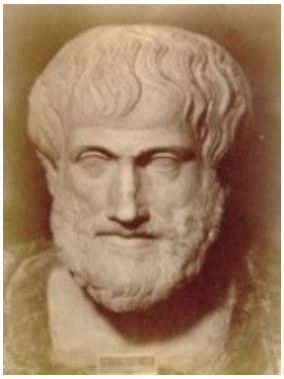
- ✓ **G. Bourazanis, I. Argyrokastritis, P. Kerkides** Proving the contribution of a seasonal shallow water table to Evapotranspiration *In Proccedings of the 10th WORLD CONGRESS on Water Resources and Environment "Panta Rhei", Theme VII Agricultural Water Management* Athens, Greece, Jul 2017
- ✓ **A. Margonis, G. Papaioannou, P. Kerkides & G. Bourazanis,** Parameterization of "canopy resistance" and estimation of hourly latent heat flux over a crop *In Proccedings of the 10th WORLD CONGRESS on Water Resources and Environment "Panta Rhei", Theme VII Agricultural Water Management* Athens, Greece, Jul 2017

- ✓ **Eftychia Taktikou, George Bourazanis, Georgia Papaioannou and Petros Kerkides** Prediction of Soil Moisture from Remote Sensing Data In *Conference Proceedings: 2nd EWaS International Conference, "Efficient & Sustainable Water Systems Management toward Worth Living Development" THEME F: HYDROLOGY*, Chania, Crete, Greece., Volume: 1- 4 June, 2016,
- ✓ **Bourazanis George, Maria Psychogiou, Vasiliki Balafouti and Petros Kerkides** Chloride transport parameters prediction in a clay loam soil column In *Proceedings of 9th WORLD CONGRESS «Water Resources Management in a Changing World: Challenges and Opportunities»*, Istanbul, Turkey 10-13 June 2015
- ✓ **Bourazanis George, Spiros Rizos, and Petros Kerkides** Soil water balance in the presence of a shallow water table In *Proceedings of 9th WORLD CONGRESS «Water Resources Management in a Changing World: Challenges and Opportunities»*, Istanbul, Turkey 10-13 June 2015
- ✓ **Kargas G., Dimitriou V., Maratheutis A., Petsetidou A., Karidas E., Bourazanis G and P. Kerkides** An empirical relaetionship between electrical conductivity of soil saturation paste and the electrical conductivity of saturated paste In *Proceedings of 9th WORLD CONGRESS «Water Resources Management in a Changing World: Challenges and Opportunities»*, Istanbul, Turkey 10-13 June 2015
- ✓ **Bourazanis G.** Kerkides P. Forests and Wastewater Reuse In Proceedings of Regional Symposium on Water, Wastewater and Environment: Traditions and Culture, International Water Association, Patra, Greece, 22-24 March 2014
- ✓ **Bourazanis G. and Kerkides P.** Evaluation of Sparta's municipal wastewater treatment plant's effluent as an irrigation water source according to Greek Legislation In *Proceedings of International Conference «Water is Necessary for life (Win4life)»*, *National Technical University of Athens, School of Chemical Engineers,* Tinos, Greece 19-21 /9/2013

ΑΡΘΡΑ ΣΕ ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΜΕ ΚΡΙΤΕΣ (ΕΛΛΑΔΑ)

- ✓ **Μπουραζάνης Γ., Ι Αργυροκαστρίτης, Π. Κερκίδης** Διερεύνηση της Συνεισφοράς υπόγειας στάθμης νερού στην εξατμισοδιαπνοη ελαιώνα στη Σπάρτη Λακωνίας Στο *Πρακτικά 3ου Κοινού Συνεδρίου:13ο Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης (ΕΥΕ), 9ο Ελληνικής Επιτροπής Διαχείρισης Υδατικών Πόρων (ΕΕΔΥΠ), 1ο Ελληνικού Υδατικού Συνδέσμου (ΕΥΣ), «ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΣΤΗ ΝΕΑ ΕΠΟΧΗ»* Αθήνα, Ελλάδα, 10-12 Δεκεμβρίου 2015
- ✓ **Μπουραζάνης Γ., Κ. Κοσμάς, Π. Κερκίδης** Άρδευση με αστικά απόβλητα και Ελληνική νομοθεσία, Στο *Πρακτικά 3ου Κοινού Συνεδρίου:13ο Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης (ΕΥΕ), 9ο Ελληνικής Επιτροπής Διαχείρισης Υδατικών Πόρων (ΕΕΔΥΠ), 1ο Ελληνικού Υδατικού Συνδέσμου (ΕΥΣ), «ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΣΤΗ ΝΕΑ ΕΠΟΧΗ»* Αθήνα, Ελλάδα, 10-12 Δεκεμβρίου 2015

- ✓ **Γ. Κάργας , Γ. Φλώρος, Γιώργος Μπουραζάνης** Υπολογισμός της εδαφικής υγρασίας με τον διηλεκτρικό αισθητήρα CS655 και η επίδραση της φαινομενικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους, Στο *Πρακτικά 9ο Πανελλήνιο Συνέδριο Εταιρείας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος «Καινοτομία και Νέες Τεχνολογίες στη Γεωργική Μηχανική και τη Διαχείριση Φυσικών Πόρων»* Θεσσαλονίκη, Ελλάδα, 8 & 9 Οκτωβρίου 2015
- ✓ **Γ. Κάργας, Γ. Μπουραζάνης.** Μία γρήγορη μέθοδος υπολογισμού της εδαφικής αλατότητας από δεδομένα της διηλεκτρικής συσκευής triSCAN, Στο *Πρακτικά 9ο Πανελλήνιο Συνέδριο Εταιρείας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος «Καινοτομία και Νέες Τεχνολογίες στη Γεωργική Μηχανική και τη Διαχείριση Φυσικών Πόρων»* Θεσσαλονίκη, Ελλάδα, 8 & 9 Οκτωβρίου 2015
- ✓ **Μπουραζάνης Γ., Π. Λοντρα, Π. Κερκίδης** Αρδευτικές ανάγκες καλλιεργειών-πρόταση ορθής τιμολόγησης νερού άρδευσης Στο *Πρακτικά 27ο Επιστημονικό Συνέδριο της ΕΕΕΟ «Υποστήριξη της Ανάπτυξης του Τομέα των Οπωροκηπευτικών στην Ελλάδα»* Βόλος, Ελλάδα, 28 - 29 Σεπτεμβρίου 2015
- ✓ **Μπουραζάνης Γ. και Π. Κερκίδης** Έργα που αφορούν σε γεωργία και κτηνοτροφία και περιβαλλοντική κατάταξή τους βάσει της κείμενης νομοθεσίας Στο *Πρακτικά 2ο Περιβαλλοντικό Συνέδριο Θεσσαλίας*, Σκιάθος, Ελλάδα 19 - 21 Σεπτεμβρίου 2015.
- ✓ **Μπουραζάνης Γ., Κάργας Γ. και , Κερκίδης Π.** Προσδιορισμός της χαρακτηριστικής καμπύλης υγρασίας με χρήση συσκευής Richards και Διηλεκτρικού Αισθητήρα, Στο *Πρακτικά 8^{ου} Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής διοργανωμένου από την Εταιρεία Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος, με θέμα «Η Γεωργική Μηχανική μοχλός ανάπτυξης του αγροτικού τομέα»* Βόλος, Ελλάδα, 25-26/9/2013
- ✓ **Μπουραζάνης Γ., Χαριτίδου Ε., Αργυροκαστρίτης Ι. και Κερκίδης Π.** Σύγκριση τιμών Υδραυλικής αγωγιμότητας στον κορεσμό αδιατάρακτων και διαταραγμένων δειγμάτων επιφανειακού εδάφους με δύο εφαρμογές άρδευσης (νερό και επεξεργασμένη εκροή τριτοβάθμιου βιολογικού καθαρισμού), Στο *Πρακτικά 8^{ου} Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής διοργανωμένου από την Εταιρεία Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος, με θέμα «Η Γεωργική Μηχανική μοχλός ανάπτυξης του αγροτικού τομέα»* Βόλος Ελλάδα, 25-26/9/2013
- ✓ **Μπουραζάνης Γ., Τσανικλίδου Μ., Αργυροκαστρίτης Ι. και Κερκίδης Π.** Σύγκριση χαρακτηριστικών καμπυλών υγρασίας αδιατάρακτων εδαφικών δειγμάτων από κύτταρα πίεσης και με πεδοσυναρτήσεις, Στο *Πρακτικά 8^{ου} Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής διοργανωμένου από την Εταιρεία Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος, με θέμα «Η Γεωργική Μηχανική μοχλός ανάπτυξης του Αγροτικού Τομέα»* Βόλος, Ελλάδα, 25-26/9/2013
- ✓ **Μπουραζάνης Γ., Κεκρίδης Π., Κοσμάς Κ., Αργυροκαστρίτης Ι..** Προοπτική Επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων αστικών αποβλήτων για άρδευση στο Νομό Λακωνίας. Μία προκαταρτική διερεύνηση Στο *Πρακτικά κοινού συνεδρίου της Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης (ΕΥΕ) (11^{ο}) και της Ελληνικής Επιτροπής Διαχείρισης Υδατικών Πόρων (ΕΕΔΥΠ) (7^{ο}) με θέμα: «Ολοκληρωμένη διαχείριση υδατικών πόρων σε συνθήκες κλιματικών αλλαγών»*, Βόλος, Ελλάδα, 27-30/5/2009



Πάντες ἄνθρωποι τοῦ εἰδέναι ὀρέγονται φύσει.[1]

[1] Αριστοτέλους, *Μετά τά Φυσικά* A1, 980 a 21

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ ii
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ vi
ΛΙΣΤΑ ΕΡΓΑΣΙΩΝ x
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ xvi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ xix
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ xxiii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ xxiv
ΣΥΜΒΟΛΑ – ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ xxvii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ xxviii
ABSTRACT xxxi
1 ΝΕΡΟ 1
1.1. Εισαγωγή 3
1.2. Υγρά Αστικά Απόβλητα και Επεξεργασία τους 12
1.3. Επαναχρησιμοποίηση και Γεωργία 15
1.4. ΕΥΑΑ Σπάρτης- Άρδευση και Ελληνική Νομοθεσία 17
1.4.1. Υλικά και Μέθοδοι 17
1.4.1.1. Επεξεργασία υγρών αστικών αποβλήτων στη Σπάρτη 18
Στάδια Επεξεργασίας 21
Προεπεξεργασία αστικών υγρών αποβλήτων 21
Πρωτοβάθμια επεξεργασία αστικών υγρών αποβλήτων 21
Δυτεροβάθμια και τριτοβάθμια επεξεργασία 21
1.4.1.2. Πειραματικός Αγρός-Όργανα Πεδίου 22
1.4.1.3. Στατιστική Επεξεργασία Αποτελεσμάτων 26
1.4.1.4. Αναλύσεις ΕΥΑΑ και ΚΝ 27
1.4.1.5. Νομοθεσία – Παρατηρήσεις - Συμπεράσματα 28
1.4.2. Πειραματικά Αποτελέσματα –Επεξεργασία 31
1.4.3. Συζήτηση 34
1.4.4. Συμπεράσματα 40
2. ΕΔΑΦΟΣ 43
2.1. Εισαγωγή 45
2.2. Χωροχρονική Εξέλιξη Χημικών Ιδιοτήτων Εδάφους 47
2.2.1. Υλικά και Μέθοδοι 47
2.2.1.1. Εδαφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής 48
2.2.1.2. Δειγματοληψία εδαφών-Αναλύσεις εδαφικών δειγμάτων 57
2.2.2. Αποτελέσματα - Συζήτηση 58

2.2.2.1. Κοκκομετρία 58
2.2.2.2. Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (EC) 60
2.2.2.3. Αντίδραση εδάφους – (pH) 69
2.2.2.4. Ανθρακικό Ασβέστιο - ($CaCO_3$) 74
2.2.2.5. Οργανική Ουσία 77
2.2.2.6. Νάτριο (Na^+) 82
2.2.2.7. Κάλιο – (K^+) 87
2.2.2.8. Μαγνήσιο – (Mg^{2+}) 93
2.2.3. Συμπεράσματα 97
2.3. Ισοζύγιο νερού στην εδαφική κατατομή 100
2.3.1. Υλικά και Μέθοδοι 102
2.3.1.1. Χαρακτηριστικές Καμπύλες Υγρασίας (ΧΚΥ) Κατατομής 102
2.3.1.2. Κατατομές εδαφικής υγρασίας και τιμές υπόγειας στάθμης 104
2.3.1.3. Κατατομές αρνητικής πίεσης 105
2.3.1.4. Υπολογισμός εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας (ETc) με τη μέθοδο του υδατικού ισοζυγίου 107
2.3.1.5. Υπολογισμός εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας (ETc) κατά FAO-56 107
2.3.2. Αποτελέσματα 110
2.3.2.1. Ισοζύγιο νερού κατά το διάστημα από 16/3/2013 έως και 28/4/2013 111
2.3.2.2. Ισοζύγιο νερού κατά το διάστημα από 16/6/2014 έως και 31/8/2014 114
2.3.3. Συζήτηση - Συμπεράσματα 118
2.4. Υδραυλική Αγωγιμότητα Εδάφους (ΕΥΑΑ και ΚΝ) 122
2.4.1. Υλικά και Μέθοδοι 124
2.4.1.1. Δειγματοληψία και χειρισμός δειγμάτων 124
2.4.1.2. Προσδιορισμός της υδραυλικής αγωγιμότητας στον κορεσμό 126
2.4.2. Αποτελέσματα-Συζήτηση 127
2.4.3. Συμπεράσματα 133
3. ΕΛΗΑ – ΕΛΙΑ - ΛΑΔΙ 135
3.1. Εισαγωγή 137
3.2. Άρδευση ελιάς (Olea europaea L.cv. 'Koroneiki') 140
3.2.1. Υλικά και Μέθοδοι 140
3.2.1.1. Απόδοση σε ελιές και λάδι 140
3.2.1.2. Χαρακτηρισμός του λαδιού 141
3.2.1.3. Ανάλυση φύλλων 141
3.2.2. Αποτελέσματα 142
3.2.3. Συζήτηση-Συμπεράσματα 145
3.2.3.1. Απόδοση σε ελιές και λάδι και ποιότητα λαδιού 146

3.2.3.2. Ελεύθερα λιπαρά οξέα και θρεπτική κατάσταση του λαδιού 147
3.2.3.3. Θρεπτική κατάσταση φύλλων 149
4. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ 151
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 155
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ I Πειραματικά Αποτελέσματα 169
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II-ΧΚΥ 187
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ III-Στάθμη υπόγειου υδροφόρου έτους 2012 197
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV-Φωτογραφικό Υλικό 221

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 Ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση ύδατος: αιτιολογία, πιθανά οφέλη, και παράγοντες που καθορίζουν τη μελλοντική εξέλιξη (Metcalf & Eddy, 1991) 5

Πίνακας 2 Σημαντικά γεγονότα στην εξελικτική πορεία της ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων (Από τους (Metcalf & Eddy, 1991) και (Asano, 1998) με ένωση) 6

Πίνακας 3 Ιστορική εξέλιξη των κριτηρίων επαναχρησιμοποίησης των ΕΥΑΑ για άρδευση 8

Πίνακας 4 Κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης ΕΥΑΑ (USEPA & USAID, 1992) και (Tcobanoglous & Kreith, 2010) με ένωση 9

Πίνακας 5 Φυσικά, χημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά των υγρών αστικών αποβλήτων 12

Πίνακας 6 Τυπική Σύσταση ανεπεξέργαστών υγρών αστικών αποβλήτων 13

Πίνακας 7 Κατάταξη των σταδίων που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων και την ανάκτηση του νερού (Crites & Tchobanoglous, 1998) 14

Πίνακας 8 Κατανομή χρήσεων ύδατος ανά υδατικό διαμέρισμα (στοιχεία ΕΛΣΤΑΤ 2011) 15

Πίνακας 9 Στοιχεία καλλικρατικών Δήμων ΠΕ Λακωνίας (Στοιχεία ΕΛΣΤΑΤ 2011) 18

Πίνακας 10 ΜΕΥΑΑ στη Σπάρτη (Πηγή: Δ/νση Υγείας και Πρόνοιας Ν.Α. Λακωνίας) 19

Πίνακας 11 Λίστα αναλύσεων που έγιναν τόσο στο ΚΝ όσο και στο ΕΥΑΑ σε κάθε γεγονός άρδευσης ή μία φορά το χρόνο (Έντονη γραφή) 27

Πίνακας 12 Όρια για μικροβιολογικές και συμβατικές παραμέτρους καθώς και η κατ' ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για περιορισμένη άρδευση (ΚΥΑ 145116/11(ΦΕΚ.354/Β΄/8-3-2011), Παράρτημα Ι, Πίνακας 1) 29

Πίνακας 13 Όρια για μικροβιολογικές και συμβατικές παραμέτρους καθώς και η κατ' ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για απεριόριστη άρδευση (ΚΥΑ 145116/11(ΦΕΚ.354/Β΄/8-3-2011), Παράρτημα Ι, Πίνακας 2) 29

Πίνακας 14 Μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις μετάλλων και στοιχείων (ΚΥΑ 145116/11(ΦΕΚ.354/Β΄/8-3-2011), Παράρτημα ΙΙ, Πίνακας 4) 29

Πίνακας 15 Επιθυμητά αγρονομικά χαρακτηριστικά των προς άρδευση επαναχρησιμοποιούμενων ΕΥΑ (ΚΥΑ 145116/11(ΦΕΚ.354/Β΄/8-3-2011), Παράρτημα ΙΙΙ, πίνακας 5) 30

Πίνακας 16 Στατιστική Επεξεργασία των τιμών των παραμέτρων που αναλύθηκαν για το 2011 32

Πίνακας 17 Στατιστική Επεξεργασία των τιμών των παραμέτρων που αναλύθηκαν για το 2012 33

Πίνακας 18 Σύγκριση χαρακτηριστικών των νερών άρδευσης, ανά εφαρμογή και έτος (οι τιμές είναι οι μέσοι όροι) 33

Πίνακας 19 Περιορισμοί στην εφαρμογή ΚΝ και ΕΥΑΑ για όλα τα γεγονότα άρδευσης κατά το έτος 2011 35

Πίνακας 20 Περιορισμοί στην εφαρμογή ΚΝ και ΕΥΑΑ για όλα τα γεγονότα άρδευσης κατά το έτος 2012 37

Πίνακας 21 Σύγκριση αποτελεσμάτων ανάλυσης μετάλλων και ορίων που θέτει η νομοθεσία 38

Πίνακας 22 Αποτελέσματα σχετικά με τις τιμές του BOD_5 και των SS που αφορούν στην ποιότητα και την καταλληλότητα των ΕΥΑΑ για κάθε είδος άρδευσης 39

Πίνακας 23 Αρδεύσιμες εκτάσεις των ΤΟΕΒ που χωροθετούνται κατάντη της ΜΕΥΑΑ Σπάρτης καθώς και ποσοστιαία κάλυψη της αρδεύσιμης έκτασης από το ΕΥΑΑ της ΜΕΥΑΑ Σπάρτης 40

Πίνακας 24 Πίνακας εδαφικών χαρακτηριστικών των δύο ΧΕΜ που εντοπίζονται στο πειραματικό τεμάχιο, όπως αποτυπώνονται στο εδαφολογικό χαρτογραφικό σύμβολο της αντίστοιχης εδαφικής μονάδας, στη χαρτογράφηση του 1969 52

Πίνακας 25 Πίνακας εδαφικών χαρακτηριστικών των δύο ΧΕΜ που εντοπίζονται στο πειραματικό τεμάχιο, όπως αποτυπώνονται στο εδαφολογικό χαρτογραφικό σύμβολο της αντίστοιχης εδαφικής μονάδας, στη χαρτογράφηση του 2015 55

Πίνακας 26 Χημικές αναλύσεις σε δύο βάθη (0-30 και 30-60) ανά χαρτογραφική μονάδα που εντοπίζεται στο πειραματικό τεμάχιο 57

Πίνακας 27 Μέσες τιμές κοκκομετρικής σύστασης εδάφους ανά εφαρμογή και ορίζοντα..... 60

Πίνακας 28 Μέσες τιμές EC εδάφους (μS/cm) ανά εφαρμογή και ημερομηνία αναλύσεων (αρχή - τέλος κάθε αρδευτικής περιόδου)..... 60

Πίνακας 29 Μέσες τιμές EC εδάφους (μS/cm), ανά εφαρμογή στην αρχή και στο τέλος του πειράματος 67

Πίνακας 30 Ύψος βροχόπτωσης για τα τρία έτη που διήρκησε το πείραμα 67

Πίνακας 31 Μέσες τιμές pH εδάφους, ανά εφαρμογή και ημερομηνία αναλύσεων..... 69

Πίνακας 32 Μέσες τιμές pH, ανά εφαρμογή, στην αρχή και στο τέλος του πειράματος 72

Πίνακας 33 Μέσες τιμές ανθρακικού ασβεστίου (%) ($CaCO_3$) εδάφους, ανά εφαρμογή και ημερομηνία αναλύσεων (αρχή - τέλος κάθε αρδευτικής περιόδου) 75

Πίνακας 34 Μέσες τιμές Οργανικής ουσίας του εδάφους (%), ανά εφαρμογή και ημερομηνία αναλύσεων (αρχή - τέλος κάθε αρδευτικής περιόδου) 77

Πίνακας 35 Μέσες τιμές Οργανικής Ουσίας εδάφους (%), ανά εφαρμογή για όλο το διάστημα του πειράματος (αρχή και τέλος πειράματος) 79

Πίνακας 36 Μέσες τιμές συγκεντρώσεως Na^+ στο έδαφος (meq/100 gr εδάφους), ανά εδαφικό ορίζοντα, εφαρμογή και ημερομηνία αναλύσεων (αρχή - τέλος κάθε αρδευτικής περιόδου) 82

Πίνακας 37 Μέσες τιμές συγκεντρώσεως Νατρίου στο έδαφος (meq/100 gr εδάφους), ανά εφαρμογή, στην αρχή και στο τέλος του πειράματος 86

Πίνακας 38 Μέσες τιμές συγκεντρώσεως K^+ στο έδαφος (meq/100 gr εδάφους) ανά εφαρμογή και ημερομηνία αναλύσεων (αρχή - τέλος κάθε αρδευτικής περιόδου)..... 88

Πίνακας 39 Μέσες τιμές συγκεντρώσεως K^+ στο έδαφος (meq/100 gr εδάφους), ανά ορίζοντα και εφαρμογή στην αρχή και στο τέλος του πειράματος 92

Πίνακας 40 Μέσες τιμές συγκεντρώσεως Mg^{2+} στο έδαφος (meq/100 gr εδάφους), ανά ορίζοντα, εφαρμογή και ημερομηνία αναλύσεων (αρχή - τέλος κάθε αρδευτικής περιόδου) 94

Πίνακας 41 Μέσες τιμές συγκεντρώσεως Mg^{2+} στο έδαφος (meq/100 gr εδάφους), ανά εφαρμογή, στην αρχή και στο τέλος του πειράματος 96

Πίνακας 42 Φυτικός συντελεστής (Kc) κατά μήνα, ελιάς προσαρμοσμένος στις κλιματικές συνθήκες της Ελλάδας για χρήση με τη μέθοδο FAO-56 Penman-Monteith 110

Πίνακας 43 Κατατομές υγρασίας (αρχή και τέλος διαστήματος)..... 111

Πίνακας 44 Πίνακας υπολογισμού μεταβολής ύψους νερού στην κατατομή, κατά το εξεταζόμενο διάστημα 111

Πίνακας 45 Κατατομές αρνητικής πίεσης μετρημένες με πλακίδια Βουγιούκου στην αρχή και στο τέλος του εξεταζόμενου χρονικού διαστήματος 112

Πίνακας 46 Ημερήσιες κατατομές αρνητικής πίεσης εντός του διαστήματος από 16/3/2013 έως και 28/4/2013 113

Πίνακας 47 Υπολογισμένες κλίσεις υδραυλικού φορτίου για κάθε βάθος της εδαφικής κατατομής... 113

Πίνακας 48 Κατατομές υγρασίας (αρχή και τέλος διαστήματος)..... 115

Πίνακας 49 Πίνακας υπολογισμού μεταβολής ύψους νερού στην κατατομή κατά το εξεταζόμενο διάστημα 115

Πίνακας 50 Κατατομές φορτίου πίεσης (αρχή και τέλος διαστήματος) 117

Πίνακας 51 Υπολογισμένες κλίσεις φορτίου πίεσης και υδραυλικού φορτίου, για κάθε βάθος της εδαφικής κατατομής (Bourazanis, Argyrokastritis, & Kerkides, 2017) 118

Πίνακας 52 Προτεινόμενοι μηχανισμοί μείωσης της υδραυλικής αγωγιμότητας στον κορεσμό εδάφους (Magesan, et al., (1999) 122

Πίνακας 53 Ανάλυση Διασποράς 127

Πίνακας 54 Στατιστική ανάλυση εδαφικών χαρακτηριστικών ανά εφαρμογή (ΕΥΑΑ και ΚΝ) 128

Πίνακας 55 Πολυπαραγοντική συσχέτιση μεταξύ εδαφικών παραγόντων και Ks ανά εφαρμογή 130

Πίνακας 56 Κατάταξη των καλλιεργούμενων ποικιλιών ελιάς, ανάλογα με την ανθεκτικότητά τους στην αλατότητα (Chartzoulakis K. S., 2005) 139

Πίνακας 57 Οδηγίες σχετικά με την ποιότητα αρδευτικού νερού και της επίδρασης αυτού στην ελιά 139

Πίνακας 58 Εδαφικά χαρακτηριστικά πριν την έναρξη του πειράματος (1/6/2011) 142

Πίνακας 59 Παραγωγή Ελιάς και Ποιότητα παραχθέντος λαδιού, ανά εφαρμογή κατ' έτος 142

Πίνακας 60 Συγκέντρωση παραχθέντων ελαιολάδων ανά έτος και εφαρμογή σε ελεύθερα λιπαρά οξέα 143

Πίνακας 61 Θρεπτική Αξία ανά 100 ml ελαιολάδου που παρήχθη ανά εφαρμογή κατ' έτος 144

Πίνακας 62 Συγκέντρωση θρεπτικών στοιχείων στα φύλλα για κάθε εφαρμογή κατ' έτος 145

Πίνακας 63 Αποτελέσματα αναλύσεων σε ΚΝ και ΕΥΑΑ για το έτος 2011 171

Πίνακας 64 Αποτελέσματα αναλύσεων σε ΚΝ και ΕΥΑΑ για το έτος 2012 173

Πίνακας 65 Αποτελέσματα κοκκομετρικής αναλύσεως μικτών δειγμάτων όλων των επαναλήψεων τριών οριζόντων 175

Πίνακας 66 Τιμές ΕC εδάφους (μS/cm) ανά επανάληψη, εφαρμογή και ορίζοντα, για τις πέντε χρονικές στιγμές δειγματοληψίας 176

Πίνακας 67 Τιμές pH εδάφους, ανά εφαρμογή, επανάληψη και ορίζοντα, για τις πέντε χρονικές στιγμές δειγματοληψίας 177

Πίνακας 68 Τιμές ανθρακικού ασβεστίου (%) ($CaCO_3$) ανά εφαρμογή, επανάληψη και ορίζοντα, για τις πέντε χρονικές στιγμές δειγματοληψίας 178

Πίνακας 69 Τιμές Οργανικής Ουσίας εδάφους (%), ανά εφαρμογή, επανάληψη και ορίζοντα, για τις πέντε χρονικές στιγμές δειγματοληψίας 179

Πίνακας 70 Τιμές συγκεντρώσεως $Nα^+$ στο έδαφος (meq/100 gr εδάφους) ανά επανάληψη, εφαρμογή και ορίζοντα, για τις πέντε χρονικές στιγμές δειγματοληψίας 180

Πίνακας 71 Τιμές συγκεντρώσεως K^+ στο έδαφος (meq/100 gr εδάφους), ανά επανάληψη, εφαρμογή και ορίζοντα, για τις πέντε χρονικές στιγμές δειγματοληψίας 181

Πίνακας 72 Τιμές συγκεντρώσεως Mg^{2+} στο έδαφος (meq/100 gr εδάφους), ανά εφαρμογή επανάληψη και ορίζοντα, για τις τέσσερις χρονικές στιγμές δειγματοληψίας 182

Πίνακας 73 Υπολογισμός εξατμισοδιαπνοής ελιάς (16/3/2013 έως 28/4/2013) 183

Πίνακας 74 Υπολογισμός εξατμισοδιαπνοής ελιάς (16/6/2014 έως 31/8/2014) 184

Πίνακας 75 Τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας στον κορεσμό εδαφικών δειγμάτων 186

Πίνακας 76 Πειραματική ΧΚΥ που προσδιορίσθηκε για το δείγμα που ελήφθη από βάθος 5-10 cm και προσαρμοιγή στα πειραματικά σημεία καμπύλης με χρήση του προγράμματος RETC (μη δημοσιευμένα στοιχεία) 189

Πίνακας 77 Πειραματική ΧΚΥ που προσδιορίσθηκε για το δείγμα που ελήφθη από βάθος 15-20 cm και προσαρμοιγή στα πειραματικά σημεία καμπύλης με χρήση του προγράμματος RETC (μη δημοσιευμένα στοιχεία) 190

Πίνακας 78 Πειραματική ΧΚΥ που προσδιορίσθηκε για το δείγμα που ελήφθη από βάθος 25-30 cm και προσαρμοιγή στα πειραματικά σημεία καμπύλης με χρήση του προγράμματος RETC (μη δημοσιευμένα στοιχεία) 191

Πίνακας 79 Πειραματική ΧΚΥ που προσδιορίσθηκε για το δείγμα που ελήφθη από βάθος 35-40 cm και προσαρμοιγή στα πειραματικά σημεία καμπύλης με χρήση του προγράμματος RETC (μη δημοσιευμένα στοιχεία) 192

Πίνακας 80 Πειραματική ΧΚΥ που προσδιορίσθηκε για το δείγμα που ελήφθη από βάθος 55-60 cm και προσαρμοιγή στα πειραματικά σημεία καμπύλης με χρήση του προγράμματος RETC (μη δημοσιευμένα στοιχεία) 193

Πίνακας 81 Πειραματική ΧΚΥ που προσδιορίσθηκε για το δείγμα που ελήφθη από βάθος 75-80 cm και προσαρμοιγή στα πειραματικά σημεία καμπύλης με χρήση του προγράμματος RETC (μη δημοσιευμένα στοιχεία) 194

Πίνακας 82 Πειραματική ΧΚΥ που προσδιορίσθηκε για το δείγμα που ελήφθη από βάθος 95-100 cm και προσαρμοιγή στα πειραματικά σημεία καμπύλης με χρήση του προγράμματος RETC (μη δημοσιευμένα στοιχεία) 195

Πίνακας 83 Συντεταγμένες κατά ΕΓΣΑ87 των σημείων και απόλυτο υψόμετρο των σημείων από όπου μετρόταν το βάθος της στάθμης του νερού του υπόγειου ορίζοντα..... 199

Πίνακας 84 Ημερήσιο Ύψος Βροχόπτωσης κατά το διάστημα 14-2-2012 έως 3-4-2012..... 200

Πίνακας 85 Δεδομένα ανά ημερομηνία βάθους υπόγειας στάθμης νερού έτους 2012 καθώς και αντίστοιχοι χάρτες με το απόλυτο υψόμετρο της υπόγειας στάθμης..... 201

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ

Εικόνα 1 Πλήρωση του βυτίου από την έξοδο της δεξαμενής χλωρίωσης (αριστερά) της ΜΕΥΑΑ και άδειασμα στην δεξαμενή, από την οποία αρδευόταν το τμήμα του αγρού, που αποτελούσε την εφαρμογή του αποβλήτου (δεξιά) 22

Εικόνα 2α (Αριστερά) Παρουσίαση των θέσεων των οδηγών τοποθέτησης του αισθητήρα (1) και των πιεζομέτρων (2) στον αγρό και 2β (Δίπλα) Φωτογραφία του οδηγού (1) του αισθητήρα (2) και του μετρητή (3) που χρησιμοποιήθηκαν 25

Εικόνα 3α Όρυγμα στο οποίο τοποθετήθηκαν αισθητήρες υγρασίας και θερμοκρασίας σε διάφορα βάθη 3β Αισθητήρας ML2 της Delta-T που χρησιμοποιήθηκε 26

Εικόνα 4 Φωτογραφία μετεωρολογικού σταθμού 26

Εικόνα 5 Ο δειγματολήπτης αδιατάρακτου με τα τμήματά του καθώς και ο πλαστικός περιέκτης με τα χαρακτηριστικά του. 103

Εικόνα 6 Κύτταρο πίεσης με τα εξαρτήματά του 103

Εικόνα 7 Αεροσυμπιεστής 103

Εικόνα 8 Γραμμή ρύθμισης πίεσης για τον ηλεκτρικό αεροσυμπιεστή και ρυθμιστές πίεσης 104

Εικόνα 9 Πλακίδια Βουγιούκου της εταιρείας Delmhorst 106

Εικόνα 10 Πλακίδια Βουγιούκου τοποθετημένα στην άκρη διάφανων πλαστικών σωλήνων πριν τοποθετηθούν στο έδαφος. 106

Εικόνα 11 Πλακίδια Βουγιούκου (Α), πιεζόμετρο (Β), όρυγμα (Γ) 106

Εικόνα 12 Προσαρμογή υφάσματος και σήτας στη βάση του σωλήνα με σφικτήρα 125

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1. Σχηματική απεικόνιση του υδρολογικού κύκλου 3

Σχήμα 2 Ο ρόλος της επεξεργασίας, ανάκτησης και των εφαρμογών επαναχρησιμοποίησης στον κύκλο του νερού μέσω του υδρολογικού κύκλου (Tcobanoglous & Kreith, 2010) 4

Σχήμα 3Διαθεσιμότητα νερού ανά Περιφέρεια (ΠΑΣΕΓΕΣ, 2014)..... 16

Σχήμα 4 Χάρτης με τις θέσεις των υφιστάμενων των υπό κατασκευή και των υπό μελέτη μονάδων επεξεργασίας υγρών αστικών αποβλήτων 18

Σχήμα 5 Η διεργασία A^2/O (Λυμπεράτος & Βαγενάς, 2012) 21

Σχήμα 6 Δορυφορική απεικόνιση της περιοχής της Σπάρτης όπου σημειώνεται η θέση της ΜΕΥΑΑ (λεπτομέρεια α) και η θέση του πειραματικού αγρού (λεπτομέρεια β).... 22

Σχήμα 7 Παρουσίαση του πειραματικού αγρού όπου εμφανίζονται οι επαναλήψεις των δύο εφαρμογών, τα δύο ανεξάρτητα αντίστοιχα αρδευτικά δίκτυα και οι δύο δεξαμενές αποθήκευσης ΚΝ και ΕΥΑΑ 24

Σχήμα 8 (Επάνω) Παρουσίαση των θέσεων τοποθέτησης των αγωγών οδηγών του αισθητήρα μέτρησης της κατατομής υγρασίας 25

Σχήμα 9 Άπόσπασμα χάρτη Εδαφολογικής Μελέτης Μέσου Ρου Ευρώτα γεωαναφερμένο στον οποίο εμφανίζονται οι τα εδάφη καθώς και η θέση του πειραματικού αγρού 49

Σχήμα 10 Άπόσπασμα χάρτη Εδαφολογικής Μελέτης Μέσου Ρου Ευρώτα γεωαναφερμένο στον οποίο εμφανίζονται οι θέσεις των εδαφοτομών και των δειγματοληψιών κατατομής καθώς και η θέση του πειραματικού αγρού 50

Σχήμα 11 Άπόσπασμα χάρτη Εδαφολογικής Μελέτης Μέσου Ρου Ευρώτα γεωαναφερμένο στον οποίο εμφανίζεται επίθεση των δύο χαρ΄των καθώς και η θέση του πειραματικού αγρού 51

Σχήμα 12 Φύλλο χάρτου εδαφολογικής μελέτης που εμφανίζει την περιοχή πειραματισμού 53

Σχήμα 13 Απόσπασμα χάρτη Εδαφολογικής Μελέτης της περιοχής, όπου εμφανίζονται τα σύμβολα των δύο ΧΕΜ καθώς και η θέση του αγρού 54

Σχήμα 14 Ονομα κάθε επανάληψης και κοκκομετρική κλάση κάθε ορίζοντα (0-30, 30-60 &60-90 cm) 58

Σχήμα 15 Η κοκκομετρία των 12 μικτών δειγμάτων ανά ορίζοντα. Για το σχεδιασμό χρησιμοποιήθηκε το Soil Texture Claculator του USDA διαθέσιμο στην ηλεκτρονική διεύθυνση https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/?cid=nrcs142p2_054167..... 59

Σχήμα 16 Διαγραμματική απεικόνιση των μεταβολών της εδαφικής ΕC (μέσες τιμές) με το χρόνο ανά εφαρμογή και εδαφικό ορίζοντα..... 63

Σχήμα 17 Διαγραμματική απεικόνιση των μεταβολών της κατατομής των μέσων τιμών της εδαφικής ΕC, ανά εφαρμογή (ΕΥΑΑ και ΚΝ) στις πέντε χρονικές στιγμές δειγματοληψίας 66

Σχήμα 18 Διαγραμματική απεικόνηση του ύψους βροχόπτωσης και τα αντίστοιχα διαστήματα που ενδιαφέρουν για το πείραμα 68

Σχήμα 19 Διαγραμματική απεικόνιση των μεταβολών του εδαφικού pH με το χρόνο ανά εφαρμογή και εδαφικό ορίζοντα 70

Σχήμα 20 Διαγραμματική απεικόνιση των μεταβολών της κατατομής των μέσων τιμών του εδαφικού pH ανά εφαρμογή (ΕΥΑΑ και ΚΝ) στις πέντε χρονικές στιγμές δειγματοληψίας 71

Σχήμα 21 Διαγραμματική απεικόνιση των μεταβολών των μέσων τιμών του ανθρακικού ασβεστίου ($CaCO_3$) του εδάφους με το χρόνο, ανά εφαρμογή και εδαφικό ορίζοντα 76

Σχήμα 22 Διαγραμματική απεικόνιση των μεταβολών της κατατομής των μέσων τιμών της συγκέντρωσης ανθρακικού ασβεστίου ($CaCO_3$) ανά εφαρμογή (ΕΥΑΑ και ΚΝ) στις πέντε χρονικές στιγμές δειγματοληψίας 77

Σχήμα 23 Διαγραμματική απεικόνιση των μεταβολών της οργανικής ουσίας του εδάφους με το χρόνο, ανά εφαρμογή και εδαφικό ορίζοντα 78

Σχήμα 24 Διαγραμματική απεικόνιση των μεταβολών των μέσων υιμών της συγκεντρώσεως του $Nα^+$ στο έδαφος με το χρόνο, ανά εφαρμογή και εδαφικό ορίζοντα 84

Σχήμα 25 Διαγραμματική απεικόνιση των μεταβολών της κατατομής των μέσων τιμών της συγκέντρωσης εδαφικού $Nα^+$ ανά εφαρμογή (ΕΥΑΑ και ΚΝ) στις πέντε χρονικές στιγμές δειγματοληψίας 85

Σχήμα 26 Διαγραμματική απεικόνιση των μεταβολών τηε συγκεντρώσεως του K^+ στο έδαφος με το χρόνο, ανά εφαρμογή και εδαφικό ορίζοντα 89

Σχήμα 27 Διαγραμματική απεικόνιση των μεταβολών της κατατομής των μέσων τιμών της συγκέντρωσης εδαφικού K^+ ανά εφαρμογή (ΕΥΑΑ και ΚΝ), στις πέντε χρονικές στιγμές δειγματοληψίας 90

Σχήμα 28 Διαγραμματική απεικόνιση των μεταβολών των μέσων τιμών της συγκεντρώσεως του Mg^{2+} στο έδαφος με το χρόνο, ανά εφαρμογή και εδαφικό ορίζοντα 95

Σχήμα 29 Διαγραμματική απεικόνιση των μεταβολών της κατατομής των μέσων τιμών της συγκέντρωσης εδαφικού Mg^{2+}, ανά εφαρμογή (ΕΥΑΑ και ΚΝ), στις τέσσερις χρονικές στιγμές δειγματοληψίας 96

Σχήμα 30. Σχηματική παρουσίαση του πιεζόμετρου και των αισθητήρων εδαφικής υγρασίας (Μπουραζάνης, Αργυροκαστρίτης, & Κερκίδης, 2015) 105

Σχήμα 31 Διάγραμμα κατατομών υγρασίας για την αρχή και το τέλος του εξεταζόμενου χρονικού διαστήματος..... 111

Σχήμα 32 Διάγραμμα κατατομών αρνητικής πίεσης για την αρχή και το τέλος του εξεταζόμενου χρονικού διαστήματος..... 112

Σχήμα 33 Διαγράμματα ημερήσιων κατατομών φορτίου πίεσης επιλεγμένων ημερομηνιών του εξεταζόμενου διαστήματος..... 113

Σχήμα 34 Διαγράμματα τιμών κλίσεων υδραυλικού φορτίου στην εδαφική κατατομή για επιλεγμένες ημερομηνίες του πρώτου χρονικού διαστήματος..... 114

Σχήμα 35 Διάγραμμα κατατομών υγρασίας για την αρχή και το τέλος του εξεταζόμενου χρονικού διαστήματος..... 115

Σχήμα 36 Πειραματικές ΧΚΥ αδιατάρακτων δειγμάτων που ελήφθησαν από τα βάθη εγκατάστασης των αισθητήρων υγρασίας και προσαρμογή σε αυτές καμπυλών, με τη χρήση του προγράμματος RETC..... 117

Σχήμα 37 Διάγραμμα κατατομών αρνητικής πίεσης για την αρχή και το τέλος του εξεταζόμενου χρονικού διαστήματος..... 117

Σχήμα 38 Διαγράμματα τιμών κλίσεων υδραυλικού φορτίου στην εδαφική κατατομή, για την έναρξη και τη λήξη του δεύτερου χρονικού διαστήματος 118

Σχήμα 39 Σχέδιο του πειραματικού αγρού με τις επαναλήψεις των δύο εφαρμογών καθώς και τα σημεία δειγματοληψίας 126

Σχήμα 40 Χάρτης Κλιμάκωσης της Καλλιέργειας της Ελαιοποιήσιμης Ελιάς Διαθέσιμος στη διεύθυνση: http://wwww.minagric.gr/greek/agro_pol/Maps/Elies_eleop.htm Στοιχεία ΕΛ.ΣΤΑΤ. (2007) από την ετήσια στατιστική έρευνα 2007, ανά δημοτικό και κοινοτικό διαμέρισμα (Καλλικράτης 2007)..... 138

Σχήμα 41 Χάρτης αναγλύφου του αγροτεμαχίου..... 200

ΣΥΜΒΟΛΑ – ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

BOD_5	*Βιοχημική Απαίτηση Οξυγόνου 5 ημερών*
COD	*Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο*
CROSS	*Λόγος κατιόντων της σταθερότητας της δομής του εδάφους*
CV	*Συντελεστής μεταβλητότητας*
EC	*Ηλεκτρική αγωγιμότητα εδαφικού δείγματος*
ECw	*Ηλεκτρική αγωγιμότητα νερού*
ESP	*Ποσοστό ανταλλάξιμου νατρίου*
ETc	*Εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας*
ETo	*Εξατμισοδιαπνοή αναφοράς*
FC	*Fecal Coli forms*
FDS	*Σταθερά διαλυμένα στερεά*
FSS	*Σταθερά Αιωρούμενα Στερεά*
h	*Υδραυλικό φορτίο*
IRCWD,	*International Reference Center for Waste Disposal*
IRCWD,	*International Reference Center for Waste Disposal*
K	*Υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους*
$K_{bare\ soil}$	*Συντελεστής εξάτμισης γυμνού εδάφους*
Kc	*Φυτικός συντελεστής*
Ks	*Υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους στον κορεσμό*
Ks-A, Ks-N	*Υδραυλική αγωγιμότητα στον κορεσμό του εδάφους που αρδεύτηκε με ΕΥΑΑ και ΚΝ αντιστοίχως*
MCAR	*Λόγος απορρόφησης μονοσθενών κατιόντων*
P	*Ύψος Βροχόπτωσης*
R^2	*Συντελεστής προσδιορισμού*
RH_{max}	*Μέγιστη ημερήσια υγρασία ατμόσφαιρας*
RH_{min}	*Ελάχιστη ημερήσια υγρασία ατμόσφαιρας*
SAR	*Λόγος προσροφημένου νατρίου*
TC	*total coliforms*
TDS	*Ολικά Διαλυμένα Στερεά*
TFS	*Ολικά Σταθερά Στερεά*
T_{max}	*Μέγιστη ημερήσια ατμοσφαιρική θερμοκρασία*
T_{mean}	*Μέση ημερήσια ατμοσφαιρική θερμοκρασία*
T_{min}	*Ελάχιστη ημερήσια ατμοσφαιρική θερμοκρασία*
TN	*Ολικό άζωτο*
TOC	*Ολικός οργανικός άνθρακας*
TP	*Ολικός Φώσφορος*
TS	*Ολικά Στερεά*
TVS	*Ολικά Πτητικά στερεά*
U_2	*Ταχύτητα ανέμου μετρημένη σε ύψος 2 μέτρων*
USDA	*United States Department of Agricultural*
USEPA,	*United State Environmental Protection Agency*
VDS	*Πτητικά Διαλυμένα Στερεά*
VOC	*Πτητικός οργανικός άνθρακας*
VSS	*Πτητικά Αιωρούμενα Στερεά*
WHO	*World Health Organization*
BE	*Βαθμοί ελυθερίας*
Δ	*Διακύμανση*
Δh/Δz	*Κλίση υδραυλικού φορτίου*
ΔI	*Μεταβολή της υγρασίας του εδάφους εκφρασμένο σε ύψος νερού*
ΕΥΑΑ	*Επεξεργασμένα Υγρά Αστικά Απόβλητα*
H	*Φορτίο πίεσης εδαφικού νερού*
Θ	*Εδαφική υγρασία*
ι.κ.	*Ισοδύναμος κάτοικος*
ΙΑΚ	*Ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων*
ΚΝ	*Καθαρό Νερό (από υδροληψία για άρδευση)*
ΚΥΑ	*Κοινή Υπουργική Απόφαση*
Μ.Ο.	*Μέσος όρος*
ΜΕΥΑΑ	*Μονάδα Επεξεργασίας Υγρών Αστικών Αποβλήτων*
Τ.Α.	*Τυπική Απόκλιση*
TSS	*Ολικά Αιωρούμενα Στερεά*
ΦΕΚ	*Φύλλο Εφημερίδας της Κυβερνήσεως*
ΧΕΜ	*Χαρτογραφική εδαφική μονάδα*
ΧΚΥ	*Χαρακτηριστική καμπύλη υγρασίας*
Ορίζοντας	*Στο παρόν ως ορίζοντα θεωρούμετα τρία διαφορατικα εύρη βαθών από όπου ελήφθησαν δείγματα και στα οποία έγινε έλεγχος των εδαφικών παραμέτρων*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το παρόν πόνημα πραγματεύεται τη συγκριτική άρδευση ελαιώνα με Κοινοτικό Νερό (ΚΝ) και με Επεξεργασμένα Υγρά Αστικά Απόβλητα (ΕΥΑΑ). Συγκεκριμένα σε ξηρικό αγρό 5 στρεμμάτων με ελαιόδενδρα πλέον της 15ετίας στα οποία δεν είχε γίνει καμία καλλιεργητική φροντίδα τα προηγούμενα χρόνια (πλην χορτοκοπής), εγκαταστάθηκε πείραμα άρδευσης δύο εφαρμογών (ΚΝ, ΕΥΑΑ) και έξι επαναλήψεων ανά εφαρμογή (συνολικά 66 δένδρα ανά εφαρμογή). Έλαβε χώρα άρδευση με ΚΝ και ΕΥΑΑ για δύο έτη (2011, 2012) με επτά (7) και δώδεκα (12) γεγονότα άρδευσης αντιστοίχως εφαρμόζοντας την ίδια ποσότητα νερού ανά ελαιόδενδρο, σε χρονικές στιγμές που η διαθεσιμότητα του ΚΝ το επέτρεπε (συνεταιριστική γεώτρηση). Το ΕΥΑΑ προερχόταν από τη Μονάδα Επεξεργασίας Υγρών Αστικών Αποβλήτων (ΜΕΥΑΑ) της Σπάρτης (τριτοβάθμια επεξεργασία) και λαμβανόταν μετά τη δεξαμενή χλωρίωσης. Στον αγρό αυτό ο οποίος βρίσκεται μόλις 1 km από τον ποταμό Ευρώτα διαπιστώθηκε ότι εμφανίζεται υποεπιφανειακό υδροφόρο στρώμα κατά την περίοδο των βροχοπτώσεων.

Το παρόν είναι δομημένο σε τρία κεφάλαια.

Στο πρώτο κεφάλαιο που τιτλοφορείται ΝΕΡΟ, εξετάζεται ανά γεγονός άρδευσης η ποιότητα, τόσο του ΚΝ όσο και του ΕΥΑΑ και ακολούθως γίνεται σύγκριση των δύο πηγών αρδευτικού ύδατος. Διερευνάται η καταλληλότητα, του ΕΥΑΑ βάσει του κείμενου νομοθετικού πλαισίου και οι ενδεχόμενες επιπτώσεις από τη χρήση του ΕΥΑΑ για άρδευση στο έδαφος (φυσικές και χημικές ιδιότητες) καθώς και στην καλλιέργεια. Συμπεραίνεται βάσει αυτών ότι το ΕΥΑΑ είναι κατάλληλο για «έμμεση περιορισμένη» άρδευση. Επίσης βάσει των αναλύσεων του ΕΥΑΑ και των κριτηρίων της νομοθεσίας υφίστανται μηδαμινοί και μικροί έως μέτριοι βαθμοί περιορισμού για το έδαφος το φυτό και το περιβάλλον. Πέραν των ανωτέρω στο κεφάλαιο αυτό γίνεται διερεύνηση της πρόνοιας που έχει ληφθεί από το υφιστάμενο νομοθετικό πλαίσιο για την προστασία των εδαφών από τις ενδεχόμενες επιπτώσεις της επαναχρησιμοποίησης ΕΥΑΑ για άρδευση. Μέσα από τη διερεύνηση του ισχύοντος νομοθετικού πλαισίου διαπιστώθηκαν αδυναμίες και ελλείψεις στα κριτήρια που αφορούν επιδράσεις σε φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους, των ΕΥΑΑ ως συμπληρωματικής ή και αποκλειστικής πηγής αρδευτικού ύδατος. Συγκεκριμένα η ενσωμάτωση των κριτηρίων που εισηγήθηκαν οι Ayers & Westcot στο Ελληνικό νομοθετικό πλαίσιο έγινε μερικώς, αφού διαπιστώνεται παράληψη ενσωμάτωσης κρίσιμης σημασίας προϋποθέσεων που έχουν να κάνουν με τα ήδη των εδαφών στα οποία οι Ayers & Westcot εισηγήθηκαν ότι ισχύουν τα εν λόγω κριτήρια. Επισημαίνονται λάθη που έχουν να κάνουν με τις περιγραφόμενες μελέτες αφού η άρδευση με ΕΥΑΑ δεν αντιμετωπίζεται ως ένα εγγειοβελτιωτικό έργο με τις μελέτες και τα έργα που αυτό απαιτεί κατά τη νομοθεσία (αρδευτικό, στραγγιστικό κ.λ.π.). Με αφετηρία αυτές τις διαπιστώσεις γίνονται προτάσεις συμπλήρωσης ή τροποποίησης του υφιστάμενου νομοθετικού πλαισίου.

Το δεύτερο κεφάλαιο το οποίο φέρει τον τίτλο ΕΔΑΦΟΣ δομείται σε τρία υποκεφάλαια. Στο πρώτο υποκεφάλαιο εξετάζεται η συγκριτική επίδραση της άρδευσης με ΕΥΑΑ και ΚΝ σε σχέση με το βάθος της εδαφικής κατατομής αλλά και με το χρόνο. Με άλλα λόγια γίνεται σύγκριση κατατομών αλάτων σε σχέση με το

χρόνο και τις δύο εφαρμογές. Οι χρονικές στιγμές των δειγματοληψιών άρα και των συγκρίσεων είναι η έναρξη και η λήξη κάθε αρδευτικής περιόδου δηλαδή η λήξη και η έναρξη κάθε βροχερής περιόδου αντιστοίχως. Εξετάσθηκε η εξέλιξη κατά την περιγραφείσα έννοια εδαφικών παραμέτρων όπως EC, pH, $CaCO_3$, Οργανική Ουσία, Na^+, K^+ και Mg^{2+}. Σε ότι αφορά στην συγκριτική επίδραση των δύο αρδευτικών υδάτων δεν διαπιστώθηκε στατιστικώς σημαντική διαφορά μεταξύ των εδαφών των δύο εφαρμογών σε καμία από τις πιο πάνω μετρηθείσες παραμέτρους, με εξαίρεση το Na^+. Για το Na^+ προέκυψαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των εδαφών των δύο εφαρμογών στον ορίζοντα 0-30 cm, μετά την πρώτη αρδευτική περίοδο (Σεπτέμβριος 2011), η οποία διαφορά διατηρήθηκε στον ορίζοντα 0-30 cm αλλά και επεκτάθηκε στον ορίζοντα 30-60 cm, μετά το πέρας της βροχερής περιόδου (Ιούνιος 2012). Τέλος, η διαφορά αυτή και στους δύο ορίζοντες διατηρήθηκε και ενισχύθηκε, με την παρέλευση και της δεύτερης αρδευτικής περιόδου (Ιούνιος 2012). Σε ό,τι αφορά στις λοιπές παραμέτρους, άποψή μας είναι ότι κατ' αρχήν έγινε καταγραφή μίας αυξητικής πορείας αυτών των παραμέτρων, που δεν αποτυπώθηκε με στατιστικώς σημαντική διαφορά ως αποτέλεσμα των κάτωθι παραγόντων:

- ✓ Του εποχικά εμφανιζόμενου υπόγειου υδροφόρου, μεταβάλλοντας τις σχετικές κινήσεις και κινητικές των εξετασθέντων στοιχείων
- ✓ Της «καλής» ποιότητας των δύο αρδευτικών υδάτων τα οποία, τουλάχιστον κατά την πρώτη αρδευτική περίοδο, βελτίωσαν τα χαρακτηριστικά της εδαφικής κατατομής, ως αποτέλεσμα εκπλύσεως
- ✓ Της καλλιέργειας της ελιάς, η οποία αντλώντας θρεπτικά στοιχεία από την εδαφική κατατομή βελτίωσε τόσο τη θρεπτική κατάσταση των φύλλων όσο και την παραγόμενη ποσότητα (π.χ. K+) μην εμφανίζοντας διαφορά στην εδαφική κατατομή.
- ✓ Της απομάκρυνσης στοιχείων από την εδαφική κατατομή με τη μαζική ροή κατά την υποχώρηση του υποεπιφανειακού φρεάτιου ορίζοντα (π.χ. το K^+).

Στο δεύτερο κεφάλαιο έγινε προσπάθεια τεκμηρίωσης της σχετικής κίνησης του εδαφικού νερού (ανοδικά – καθοδικά) προς και από το υποεπιφανειακό εποχικά εμφανιζόμενο υδροφόρο στρώμα. Με χρήση οργάνων ήταν δυνατή η καταγραφή του προφίλ υγρασίας εδάφους, θ(z, t), κατά την περίοδο της έρευνας, καθώς και η καταγραφή όλων των μετεωρολογικών δεδομένων. Μέσω των δεδομένων αυτών προσδιορίσθηκε η εξατμιοσοδιαπνοή της καλλιέργειας με δύο ανεξάρτητες μεθοδολογίες (μέθοδος ισοζυγίου και μέθοδος Penman Monteith τροποποιούμενη κατά FAO) για τα χρονικά διαστήματα 16/6/2016 έως 28/4/2013 και 16/6/2014 έως 31/8/2014. Διαπιστώθηκαν διαφορές μεταξύ των αποτελεσμάτων των δύο μεθοδολογιών που θα μπορούσαν να ερμηνευθούν υποθέτοντας τροφοδοσία από την εδαφική κατατομή του υδροφόρου στρώματος με νερό κατά το πρώτο χρονικό διάστημα και τροφοδοσία του ριζοστρώματος με νερό από τον υδροφόρο κατά το δεύτερο χρονικό διάστημα. Οι υποθέσεις αυτές επιβεβαιώθηκαν με προσδιορισμό για τα αντίστοιχα χρονικά διαστήματα των κατατομών κλίσεων υδραυλικού φορτίου ($\Delta h/\Delta z$) δηλαδή της αιτίας κίνησης του εδαφικού νερού.

Στο τρίτο υποκεφάλαιο εξετάζεται η συγκριτική επίδραση της άρδευσης με ΕΥΑΑ και ΚΝ στην K_s αδιατάρακτων δειγμάτων που ελήφθησαν από την επιφάνεια του εδάφους του πειραματικού αγρού (12 αδιατάρακτα δείγματα ανά εφαρμογή).

Διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά στις τιμές των K_s-ΕΥΑΑ=33.2 cm/h έναντι των K_s-ΚΝ=47.4 cm/h. Τα εδαφικά δείγματα αναλύθηκαν για διάφορους παράγοντες που επηρεάζουν δυνητικά την K_s. Παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές σε ό,τι αφορά στα pH, EC, SAR, ESP και στις συγκεντρώσεις K^+, Na^+, Mg^{2+} που είναι στοιχεία που σχετίζονται με χαρακτηριστικά ποιότητας των δύο αρδευτικών υδάτων. Διενεργήθηκε πολυπαραγοντική ανάλυση η οποία έδειξε και για τις δύο εφαρμογές θετική συσχέτιση μεταξύ της K_s και των ECe, $CaCO_3$ και αρνητική μεταξύ της K_ς και των SAR, ESP και φαινομενικής πυκνότητας. Παρά την ανάδειξη των συσχετίσεων (ποιοτικά χαρακτηριστικά), τα ποσοτικά χαρακτηριστικά δεν μπορούσαν να εξηγήσουν με βάση τα υπάρχοντα κριτήρια τη μείωση K_s που παρατηρήθηκε μεταξύ των K_s-ΕΥΑΑ και K_s-ΚΝ. Η διαπιστωθείσα διαφορά αποδόθηκε:

- ✓ Στον τύπο της αργίλου των εδαφικών μας δειγμάτων που ήταν ιλλίτης, δηλαδή ένα μη διογκούμενο αργιλικό ορυκτό, το οποίο διασπείρεται και σε μικρές τιμές ESP.
- ✓ Στο ότι τα τύπου 2:1 αργιλικά ορυκτά, στα οποία ανήκει και ο ιλλίτης, είναι ευαίσθητα στην αύξηση του SAR και τη μείωση της συγκέντρωσης του εδαφοδιαλύματος, ως αποτέλεσμα της διήθησης καλύτερης ποιότητας αρδευτικού νερού.

Στο τρίτο κεφάλαιο που τιτλοφορείται ΕΛΗΑ-ΕΛΙΑ-ΛΑΔΙ, γίνεται συγκριτική διερεύνηση της επίδρασης των δύο αρδευτικών υδάτων στη θρεπτική κατάσταση της ελιάς ποικιλία «Κορωνέικη» στην παραγόμενη ποσότητα καρπών και λαδιού αλλά και στην ποιότητα του παραγόμενου ελαιολάδου. Η εφαρμογή του ΕΥΑΑ αύξησε ελαφρώς την παραγωγή καρπού κατά τη διάρκεια του έτους με την μεγάλη παραγωγή (15,92 kg καρπού ανά δέντρο έναντι 12,73 kg ανά δένδρο για την εφαρμογή του ΚΝ) καθώς και την περιεκτικότητα σε λάδι κατά το έτος της χαμηλής παραγωγής (18,21% έναντι 16,43% για άρδευση με ΚΝ). Δεν παρατηρήθηκε σημαντική επίδραση στα χαρακτηριστικά ποιότητας του λαδιού, όπως η ελεύθερη οξύτητα, K270, K232, υπεροξείδιο και ο Delta K. Επίσης δεν παρατηρήθηκε σημαντική επίδραση στο προφίλ του ελεύθερου λιπαρού οξέος του ελαίου. Το ελαϊκό οξύ ήταν το κυρίαρχο ελεύθερο λιπαρό οξύ στο έλαιο (κυμαινόμενο από 77,7 έως 78,6%), ακολουθούμενο από παλμιτικό (10,6-11,1%), λινελαϊκό (5,5-5,8%) και στεατικό οξύ (2,5-2,8%), που εμπίπτουν στο εύρος των τιμών για το χαρακτηρισμό του ως "εξαιρετικό παρθένο ελαιόλαδο". Τέλος τα επίπεδα των K, Ca, Mg, Mn, Fe και Zn στα φύλλα αυξήθηκαν με την εφαρμογή του ΕΥΑΑ σε σύγκριση με την εφαρμογή του ΚΝ, ενώ η συνεχής χρήση του ΕΥΑΑ για δύο χρόνια οδήγησε σε σημαντική αύξηση των συγκεντρώσεων P, Mg, Fe, Mn και Zn.

Επιστημονικό Πεδίο: Επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων για άρδευση

Λέξεις Κλειδιά: Ποιότητα ΕΥΑΑ της ΜΕΥΑΑ Σπάρτης, Ελληνική Νομοθεσία επαναχρησιμοποίησης ΕΥΑΑ, χημικές ιδιότητες εδάφους, εποχιακός υποεπιφανειακός υδροφόρος, εξατμισοδιαπνοή, κατατομές υγρασίας, φορτίου πίεσης και κλίσεως υδραυλικού φορτίου, υδραυλική αγωγιμότητα στον κορεσμό, αργιλικά ορυκτά, Ιλλίτης, Ποικιλία ελιάς «Κορωνέϊκη», ποσότητα-ποιότητα ελιάς & λαδιού

Olive orchard irrigation with treated municipal wastewater

Salt and water balance througought the soil profile and study of the hydraulic properties of soil

ABSTRACT

This work deals with the comparative irrigation of an olive orchard with Treated Municipal Wastewater (TMW) and Fresh Water (FW). In particular, in a 0.5 acre rainfed field of olive groves in Laconia with olive trees over 15 years old, with no cultivation care in the previous years (except for mowing), a two-applications irrigation experiment was installed (TMW, FW) with six repetitions per application (a total of 66 trees per application). In these two years (2011, 2012) seven (7) and twelve (12) irrigation events took place respectively, using the same amount of water per olive tree. The irrigation events took place in time intervals that the availability of FW allowed (cooperative water source). The TMW was provided from Sparta's TMW treatment plant (tertiary treatment) and was pumped after the chlorination tank. In the experimental field, which is only 1 km away from the Evrotas River, a sub-surface water table was shown to make its presence during the rainy period. The present work is structured in three chapters.

In the first chapter titled "NERO" (Water), the irrigation water quality (chemical characteristics) of both FW and TMW are examined and compared. Appropriateness, and possible impacts under the current TMW legislative framework for irrigated soil (physical and chemical properties) as well as irrigated crops are investigated. It is concluded from these that the TMW is suitable for "indirect limited" irrigation. Also based on the TMW analyses and the legislated criteria, there are insignificant and small to moderate levels of soil and plant-based constraints. In addition to the above, this chapter examines the provisions taken from the existing legal framework for protection of soils from possible impacts of TMW for irrigation. The examination of the current legislative framework revealed weaknesses and shortcomings in the criteria concerning effects on physical and chemical properties of the soil being irrigated with TMW as a complementary, or even, exclusive source of irrigation water. In particular, the incorporation of the criteria proposed by Ayers & Westcot in the Greek legislative framework has been partially achieved. This is due to the fact that no critical conditions have been incorporated that have to do with the types of soils in which Ayers & Westcot suggested that these criteria apply. There are shortcomings that have to do with the described studies, since irrigation with TMW is not treated as a land reclamation work, with the studies and the prerequisites required (irrigation, drainage, etc.). Based on these findings, proposals are being made to supplement or amend the existing legislative framework.

The second chapter, which is titled "EDAFOS" (Soil), is structured in three sub-chapters. The first sub-chapter examines the comparative effect of irrigation with TMW and FW in relation to the depth of the soil profile and the time. The sampling times are the start and end of each irrigation period, or in other words the end and start

of each rainy season respectively. The investigated parameters are EC, pH, $CaCO_3$, Organic Matter, Na^+, K^+ and Mg^{2+}. Regarding the comparative effect of the two irrigation waters, there was no statistically significant difference between the two applications in any of the above-mentioned parameters, with the exception of Na^+. As it concerns Na^+, there were statistically significant differences between the applications, concerning the 0-30 cm horizon, after the first irrigation period (September 2011), which was maintained for this horizon and extended to the horizon 30-60 cm after the rainy season (June 2012). Finally, this difference in both horizons was maintained and strengthened, with the expiration of the second irrigation period (June 2012). Regarding the other parameters it is our belief that an increasing trend of these parameters was recorded, which was not reflected by a statistically significant difference as a result of the following factors:

- ✓ The seasonal appearance of a shallow phreatic water table, changing the relative motions and chemical kinetics of the examined soil parameters.
- ✓ The "good" quality of the two irrigation waters, which, at least during the first irrigation period, improved the characteristics of the soil profile.
- ✓ The olive plantation, which, by extracting nutrients from the soil profile, improved both the nutritional status of the leaves and the produced quantity (eg K +) resulting to no differences in the soil profile.
- ✓ The downward movement of some elements (er K+) through the soil profile with mass flow as the free surface of the subsurface aquifer (eg K +) moved downward.

In the second sub-chapter an effort is made to document the relative movement of soil water (upward - downward) to and from the sub - surface seasonal aquifer. Using instrumentation it was possible to record the soil moisture profile, θ (z, t), during the survey period as well as recording of all meteorological data. Through these data, the crop evapotranspiration was determined by two independent methodologies (soil profile water balance method and Penman Monteith method modified by FAO) for the periods 16/6/2016 to 28/4/2013 and 16/6/2014 to 31/8 / 2014. Differences were found between the results of the two methodologies that could be interpreted by assuming downward soil water movement through the soil profile towards the aquifer during the first period and upward soil water movement from the aquifer to the rootzone during the second period. These assumptions were confirmed by the determination of the hydraulic head gradient of the soil profile ($\Delta h / \Delta z$), of the respective time intervals causing soil water movement.

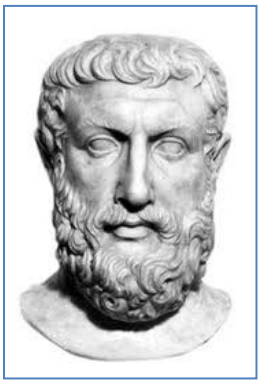
In the third subchapter the effect of irrigating with treated municipal wastewater (TMW) and fresh water (FW) on saturated hydraulic conductivity (Ks) was investigated. Ks was determined in undisturbed soil samples, collected from the upper soil layer (0-15 cm) of an illitic clay-loamy soil, after two irrigation periods. Statistical analysis showed significant diference between Ks-TMW=33.2 cm/h and Ks-FW=47.4 cm/h. Soil samples were analyzed for a number of factors potentially affecting Ks. Analysis of variance for each of these factors was performed between the two treatments in order to detect their differences. Statistically significant differences were found for pH, ECe, SAR, ESP and the concentrations of K^+, Na^+,

Mg^{2+} which are elements related with TMW and FW quality-characteristics. Correlation between all factors and Ks showed that this was positive for soil ECe, $CaCO_3$ and negative for SAR, ESP, and bulk density. Although the influence of each separate factor was investigated and the differences between the two treatments were verified, their quantitative characteristics could not explain based on existing criteria, the Ks reduction observed between the TMW-Ks and FW-Ks. The observed difference attributed to the susceptibility of the 2:1 type clay minerals to SAR increase and EC decrease something which affected Ks values between the two treatments.

The third chapter titled ELHA_ELIA_LADI (Olive fruit-Olive tree-Olive oil) assess the effectiveness in irrigating olive trees cv Koroneiki with treated municipal wastewater (TMW) against fresh water (FW), for two consecutive cultivating periods. The application of TMW slightly increased fruit production during the year of high tree yield (15.92 kg fruit per tree versus 12.73 kg per tree under FW irrigation) as well as the oil content, during the year of low yield (18.21 % versus 16.43% under FW irrigation). It did not have any significant effect on the oil quality characteristics, such as free acidity, K270, K232, peroxide value and Delta K index. The irrigation treatment did not have any significant effect on the free fatty acid profile of the oil. Oleic acid was the dominant free fatty acid in the oil (ranging from 77.7 to 78.6%), followed by palmitic (10.6-11.1%), linoleic (5.5-5.8%) and stearic acid (2.5-2.8%), with their concentration falling within the range of the values for characterizing it as "Extra virgin" olive oil. The levels of K, Ca, Mg, Mn, Fe and Zn in the leaves increased with the application of TMW compared to FW, while the continuous use of TMW for two years led to a significant increase of P, Mg, Fe, Mn and Zn levels.

Scientific Field: Wastewater reuse for irrigation

Key Words: Quality of Sparta's municipal wastewater treatment plant's effluent, Greek legislation for wastewater reuse, soil chemical properties, seasonal shallow water table, evapotranspiration, soil moisture profile, soil water pressure head profiles, soil hydraulic head gradient profiles, saturated hydraulic conductivity, clay minerals, Illite, olive cultivar "Koroneiki", produced olives and olive oil quantity and quality



Γή καί ὕδωρ πάντα έσθ' ὅσα γίνονται ηδέ φύονται.

Ξενοφάνης, 570-480 π.Χ., Αρχαίος Έλληνας φιλόσοφος[2]

1 ΝΕΡΟ

[2] Παπασταματίου Σ. & Χατήρας Α. (1979), «Απάνθισμα Σοφίας. Αρχαία Ρητά και Αποφθέγματα» Αθήνα, ΟΕΕ ΑΤΛΑΣ

1.1. Εισαγωγή

Το νερό σε επίπεδο πλανήτη είναι ένας ανανεώσιμος και ανεξάντλητος φυσικός πόρος (Μιμίκου, 2006; Πουλοβασίλης, 2015). Εάν τώρα επικεντρωθούμε στο καλής ποιότητας νερό και στην ανάγκη του ανθρώπου να έχει ανεξάντλητα πρόσβαση σε αυτό στο χώρο και στο χρόνο, μπορεί κάποιος να κατατάξει το καλής ποιότητας νερό στους δυνητικά ανανεώσιμους φυσικούς πόρους. Το νερό βρίσκεται σε μία συνεχή κίνηση και αλλαγή φάσεων, ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες, φαινόμενα που στο σύνολό τους ορίζουν τον υδρολογικό κύκλο. Στον υδρολογικό κύκλο, υφίσταται μία αέναη δημιουργία αρνητικού ισοζυγίου μάζας στους ωκεανούς, η οποία καλύπτεται μέσω της εκφορτίσεως παραθαλάσσιων υδροφορέων αλλά και επιφανειακών απορροών, μέσω υδατορευμάτων, στη θάλασσα. Αυτό το αρνητικό ισοζύγιο δημιουργείται με προσθήκη ενέργειας, από τον ήλιο, μέσω διαδικασιών, όπως η εξάτμιση, η διαπνοή και η εξάχνωση. Ακολούθως, οι άνεμοι μεταφέρουν τους υδρατμούς στη στεριά, όπου και δημιουργείται κατακρήμνιση, εφ' όσον υπάρξουν τα τρία βασικά στάδια που είναι απαραίτητα, ώστε αυτή να συμβεί (Μιμίκου, 2006):

- ✓ Δημιουργία συνθηκών κορεσμού
- ✓ Αλλαγή φάσης από αυτή του υδρατμού σε υγρή ή στερεή και τέλος
- ✓ Αύξηση των μικρών σταγονιδίων νερού ή κρυστάλλων πάγου σε κατακρημνίσιμο μέγεθος.

Στο Σχήμα 1 απεικονίζεται ο υδρολογικός κύκλος

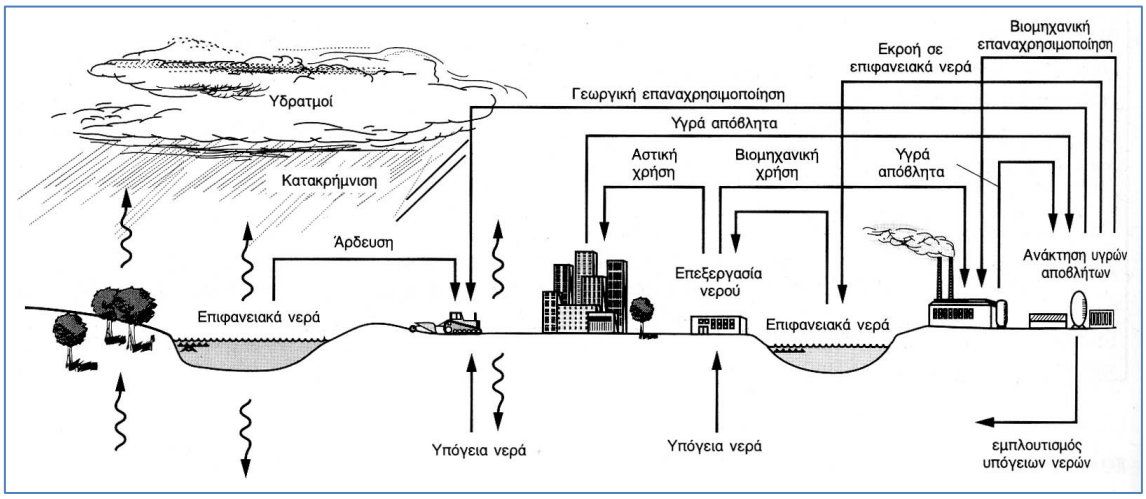
Σχήμα 1. Σχηματική απεικόνιση του υδρολογικού κύκλου
(πηγή: http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclegreekhi.html)

Σύμφωνα με τους Jiménez & Asano (2008), το 11% του παγκόσμιου πληθυσμού υποφέρει από έλλειψη νερού, ενώ οι εκτιμήσεις θέλουν το 38% το 2025 και το 50% το 2050 του παγκόσμιου πληθυσμού να υποφέρει από ανεπάρκεια νερού. Η αύξηση του πληθυσμού οδηγεί σε αύξηση της κατανάλωσης καθαρού νερού, με συνέπεια την αύξηση των παραγόμενων ποσοτήτων επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, τα οποία θα μπορούσαν να αποτελέσουν σημαντική εναλλακτική πηγή νερού (Quadir, et. al., 2010; Meneses, et. al., 2010). Εξ' άλλου, η απόρριψη των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων

σε υδάτινους αποδέκτες έχει θετικά αποτελέσματα, διατηρώντας την οικολογική ροή και αυξάνοντας τη διαθέσιμη προς χρήση ποσότητα νερού στα κατάντη. Την ίδια στιγμή όμως μπορεί να δημιουργηθεί ευτροφισμός (Halliwell, et. al., 2001). Σύμφωνα με τους Vazquez-Montiel, et. al., (1996), Cameron et. al., (1997) και Biswas et. al., (1999), η συνήθης πρακτική διάθεσης των αποβλήτων είναι η απόρριψη σε υδάτινους αποδέκτες χωρίς καμία επεξεργασία, είτε μετά από προεπεξεργασία. Από την άλλη πλευρά, η απευθείας διάθεση για άρδευση, σύμφωνα με την Jiménez-Cisneros (1995), δεν πρέπει να ακολουθείται για σειρά αιτιών που έχουν να κάνουν με τη δημόσια υγεία και καταλήγοντας ότι είναι αναγκαίο να υπάρχει επεξεργασία των υγρών αποβλήτων πριν χρησιμοποιηθούν για άρδευση.

Η ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων όχι μόνο εξοικονομεί καθαρό νερό δίνοντας μία λύση στο πρόβλημα της έλλειψης νερού, αλλά αποτρέπει και την απόρριψη των επεξεργασμένων εκροών σε υδάτινους αποδέκτες, γεγονός που θα μπορούσε να προξενήσει μόλυνση των επιφανειακών και υπόγειων νερών (Kalavrouziotis, et al., 2008; Pedrero, et al., 2010) . Επίσης, μπορεί να παίξει σημαντικό ρόλο στον γεωχημικό κύκλο του νερού, καθώς το ανακτημένο και επαναχρησιμοποιούμενο νερό εισέρχεται σε πολλές και διαφορετικές διαδρομές εντός του υδρολογικού του κύκλου. Κατά τους Huibers & Raschid-Sally (2005), η αύξηση των παραγόμενων ποσοτήτων αποβλήτων δεν πρέπει να αντιμετωπίζεται ως πρόβλημα που πρέπει να επιλυθεί, αλλά πρέπει να ειδωθεί εντός δύο πλαισίων. Συγκεκριμένα, τα πλαίσια αυτά είναι το αστικό περιβάλλον και η υδρολογική λεκάνη. Κατά το πρώτο πλαίσιο, συνδέονται οι χωρικά ανάντη παραγωγοί του αποβλήτου με τους κατάντη ευρισκόμενους χρήστες του αποβλήτου. Επί της ουσίας, πρόκειται για τη σύνδεση του παραγωγού του αποβλήτου με την περιαστική γεωργία. Στο δεύτερο πλαίσιο, αυτό δηλαδή της υδρολογικής λεκάνης, πρέπει να εξεταστεί η κατανομή των υδάτινων πόρων και πώς οι μεταφορές στον αστικό τομέα και οι προκύπτουσες ροές λυμάτων θα επηρεάσουν άλλους χρήστες.

Ο ρόλος αυτός των υγρών αποβλήτων εντός του υδρολογικού κύκλου εμφανίζεται στο Σχήμα 2



Σχήμα 2 Ο ρόλος της επεξεργασίας, ανάκτησης και των εφαρμογών επαναχρησιμοποίησης στον κύκλο του νερού μέσω του υδρολογικού κύκλου (Tcobanoglous & Kreith, 2010)

Στο πλαίσιο αυτό, η επαναχρησιμοποίηση των ΕΥΑΑ αποτελεί μία εδραιωμένη κατάσταση για ξηρές και ημίξηρες περιοχές του κόσμου, κατά τους Qadir, et al. (2007) και Hamilton, et al. (2007), αλλά και μία ελκυστική προοπτική για κάποιες άλλες. Η επαναχρησιμοποίηση αποτελεί μία ολοένα επεκτεινόμενη πρακτική ιδίως σε περιοχές με ελλειμματικό υδατικό ισοζύγιο, όπως είναι η Ευρώπη αλλά και περιοχές γύρω από τη Μεσόγειο (Asano, 1998; Angelakis, et al., 1999; Oron, 2003).

Στη βιβλιογραφία πολλοί είναι οι λόγοι που καθιστούν ελκυστική, αν όχι επιβεβλημένη, την επαναχρησιμοποίηση των ΕΥΑΑ. Οι λόγοι αυτοί σταχυολογημένοι εμφανίζονται στον Πίνακα 1

Πίνακας 1 Ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση ύδατος: αιτιολογία, πιθανά οφέλη, και παράγοντες που καθορίζουν τη μελλοντική εξέλιξη (Metcalf & Eddy, 1991)

Αιτιολογία για ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση ύδατος
✓ Το νερό είναι περιορισμένος φυσικός πόρος. Με αυξανόμενους ρυθμούς η κοινωνία δεν έχει πλέον την πολυτέλεια να χρησιμοποιεί το νερό μόνο μία φορά.
✓ Να αναγνωρισθεί ότι η ανακύκλωση του νερού ήδη συμβαίνει, οπότε να υλοποιηθεί σε μεγαλύτερο βαθμό και ορθότερα.
✓ Η ποιότητα του ανακτώμενου επεξεργασμένου νερού είναι από άποψη ποιότητας κατάλληλο για πολλές εφαρμογές (μη πόσιμο), όπως άρδευση και ψύξη στην καθαριότητα στις βιομηχανίες, παρέχοντας έτσι μία συμπληρωματική πηγή νερού, από την οποία προκύπτει πιο αποτελεσματική και αποδοτική χρήση του νερού.
✓ Για να επιτευχθεί ο στόχος της αειφορικής διαχείρισης του υδατικού πόρου, είναι αναγκαίο να εξασφαλισθεί ότι το νερό χρησιμοποιείται αποδοτικά.
✓ Η ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση του νερού επιτρέπουν την αποδοτικότερη χρήση της ενέργειας αλλά και των πόρων, ακολουθώντας τις απαιτήσεις της επεξεργασίας, προς εξυπηρέτηση των τελικών χρηστών του νερού.
✓ Η επαναχρησιμοποίηση επιτρέπει την προστασία του περιβάλλοντος με τη μείωση του όγκου της επεξεργασμένης εκροής που διατίθεται σε υδάτινους αποδέκτες.
Πιθανά οφέλη από την ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση
✓ Διατήρηση-προστασία των καλής ποιότητας ποσοτήτων νερού
✓ Διαχείριση θρεπτικών στοιχείων που μπορεί να οδηγήσουν σε υποβάθμιση του περιβάλλοντος
✓ Αυξημένη προστασία σε ευαίσθητα υδάτινα περιβάλλοντα, λόγω της μείωσης της διάθεσης εκροών.
✓ Οικονομικά οφέλη, λόγω μείωσης της ανάγκης για συμπληρωματικές πηγές νερού καθώς και των συνοδών έργων. Το ανακτημένο νερό είναι διαθέσιμο κοντά σε περιοχές αστικής ανάπτυξης, όπου η αξιοπιστία παροχής νερού είναι κρίσιμη και η τιμολόγηση του νερού είναι ακριβότερη.
✓ Τα θρεπτικά στοιχεία στο ανακτημένο νερό μπορεί να αντισταθμίσουν την ανάγκη για συμπληρωματική λίπανση, μειώνοντας έτσι την κατανάλωση πόρων. Το ανακτημένο νερό από επεξεργασμένη εκροή περιέχει θρεπτικά στοιχεία. Αν αυτό το νερό χρησιμοποιηθεί για άρδευση γεωργικής γης, λιγότερο λίπασμα απαιτείται για την ανάπτυξη της καλλιέργειας. Με τη μείωση της ρύπανσης των υδάτινων αποδεκτών από θρεπτικά στοιχεία, ο τουρισμός και η αλιεία ωφελείται.
Παράγοντες που οδηγούν σε περαιτέρω εφαρμογή της ανάκτησης και επαναχρησιμοποίηση του νερού
✓ Εγγύτητα: Το ανακτημένο νερό είναι άμεσα διαθέσιμο λόγω εγγύτητας με το αστικό περιβάλλον.
✓ Αξιοπιστία: Το ανακτημένο νερό παρέχει μία αξιόπιστη πηγή νερού, ακόμα και σε ξηρά έτη, αφού η παραγωγή αστικού αποβλήτου παραμένει σχεδόν σταθερή.
✓ Ευελιξία: Τεχνικά και οικονομικά είναι αποδεδειγμένο ότι οι διαδικασίες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων που είναι διαθέσιμες μπορούν να δώσουν νερό για μη πόσιμες εφαρμογές και είναι εφικτό να δώσουν και νερό που καλύπτει τα κριτήρια του πόσιμου νερού.
✓ Ασφάλεια: Τα συστήματα για μη πόσιμη επαναχρησιμοποίηση νερού είναι εν λειτουργία για πάνω από τέσσερις δεκαετίες, χωρίς να έχουν αναφερθεί δυσμενείς επιπτώσεις στη δημόσια υγεία, τόσο στην Αμερική όσο και σε άλλα αναπτυγμένα κράτη.

Πίνακας 1 Ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση ύδατος: αιτιολογία, πιθανά οφέλη, και παράγοντες που καθορίζουν τη μελλοντική εξέλιξη (Metcalf & Eddy, 1991)

✓ Ανταγωνιστικές απαιτήσεις για υδατικούς πόρους: Αυξανόμενες πιέσεις σε υφιστάμενους υδατικούς πόρους, λόγω αύξησης του πληθυσμού και αύξησης της ζήτησης στη γεωργία.
Παράγοντες που κατευθύνουν περαιτέρω εφαρμογές της ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων
✓ Δημοσιονομική ευθύνη: Αύξηση της αναγνώρισης μεταξύ των φορέων διαχείρισης υδατικών πόρων του οικονομικού και περιβαλλοντικού οφέλους που προκύπτει από το ανακτημένο νερό.
✓ Γενικό Συμφέρον: Η αυξανόμενη συνειδητοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που σχετίζονται με την υπερβολική χρήση των αποθεμάτων νερού, και ο ενθουσιασμός της κοινωνίας για την ιδέα της ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης του νερού.
✓ Περιβαλλοντικές και οικονομικές επιπτώσεις από τις παραδοσιακές απόψεις σχετικά με τους υδατικούς πόρους: Ευρύτερη αναγνώριση του περιβαλλοντικού και οικονομικού κόστους των εγκαταστάσεων αποθήκευσης νερού, όπως είναι τα φράγματα και οι δεξαμενές.
✓ Αποδεδειγμένη εμπειρία: Ο αυξανόμενος παγκοσμίως αριθμός των επιτυχημένων έργων ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης νερού.
✓ Μία ακριβέστερη κοστολόγηση του νερού: η εισαγωγή του νέου καθεστώτος τιμολόγησης του νερού (όπως είναι η πλήρης τιμολόγηση του κόστους) που αντικατοπτρίζει με μεγαλύτερη ακρίβεια το πλήρες κόστος της παροχής νερού στους καταναλωτές, καθώς και η αυξανόμενη χρήση αυτών των ρυθμίσεων χρέωσης.
✓ Πιο αυστηρά κριτήρια ποιότητας νερού: Αυξημένο κόστος που συνδέεται με την αναβάθμιση των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων, για να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις υψηλότερης ποιότητας επεξεργασμένης εκροής.
✓ Αναγκαιότητα και ευκαιρία: Κίνητρα για την ανάπτυξη έργων ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης του νερού, όπως είναι η ξηρασία, η λειψυδρία, η πρόληψη της υφαλμύρινσης και περιορισμοί της διάθεσης των επεξεργασμένων εκροών, καθώς επίσης και οι οικονομικές, πολιτικές και τεχνικές συνθήκες δημιουργούν ευνοϊκές συνθήκες για ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση του νερού.

Η εφαρμογή των λυμάτων στο έδαφος είναι παλιά και κοινή πρακτική, η οποία έχει περάσει από διάφορα στάδια ανάπτυξης με τον χρόνο, την εξέλιξη των γνώσεων, την εξέλιξη της τεχνολογίας επεξεργασίας, καθώς και με την εξέλιξη της νομοθεσίας (Angelakis, et. al., 2005). Εξ άλλου, η διάθεση στο έδαφος έγινε ακόμα πιο δημοφιλής ως πρακτική, όταν η ρύπανση των ποταμών έφτασε σε μη αποδεκτά επίπεδα και έτσι αυτή η μεθοδολογία ήταν η μοναδική μέθοδος επεξεργασίας (Metcalf & Eddy, 1991).

Σε ό,τι αφορά στην Ελλάδα όπως και στη λοιπή Ευρώπη, η επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων έχει μακρά ιστορία, έχοντας ασκηθεί αυτή η πρακτική κατά τη διάρκεια του αρχαίου Ελληνικού και Ρωμαϊκού πολιτισμού (Koutsoyiannis, et. al., 2008). Η ιστορική εξέλιξη της ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων εμφανίζεται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2 Σημαντικά γεγονότα στην εξελικτική πορεία της ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων (Από τους (Metcalf & Eddy, 1991) και (Asano, 1998) με ένωση)

3000 π.χ. Κρήτη Μινωικός Πολιτισμός	Χρήση των υγρών αποβλήτων για άρδευση
97 μΧ Ρώμη Ιταλία	Η πόλη της Ρώμης έχει επίτροπο ύδρευσης τον Sexus Julius Frontinus
1500- Γερμανία	Χρήση των υγρών αποβλήτων για άρδευση γεωργικής γης «Φάρμες Αποβλήτων», οι οποίες χρησιμοποιούντω για τη διάθεση των υγρών αποβλήτων
1700- Αγγλία	Χρήση των υγρών αποβλήτων για άρδευση γεωργικής γης «Φάρμες Αποβλήτων», οι οποίες χρησιμοποιούντω για τη διάθεση των υγρών αποβλήτων
1800-1850 Γαλλία, Αγγλία, Αμερική	Νόμιμη χρησιμοποίηση των υπονόμων για διάθεση των υγρών αποβλήτων. Λονδίνο (1815), Βοστόνη (1833) και Παρίσι (1880)

Πίνακας 2 Σημαντικά γεγονότα στην εξελικτική πορεία της ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων (Από τους (Metcalf & Eddy, 1991) και (Asano, 1998) με ένωση)

1842- Αγγλία	Έκθεση για τις υγειονομικές συνθήκες του εργατικού πληθυσμού και μέσα για τη βελτίωσή τους. Chadwick
1850-1875 Λονδίνο Αγγλία	Επιδημία χολέρας συνδέεται με μολυσμένο νερό από πηγάδι από τον Snow.
1850-1875 Αγγλία	Θεωρία πρόληψης του τυφοειδούς πυρετού αναπτύχθηκε από τον Budd
1850-1875 Γερμανία	Σύνδεση του άνθρακα με βακτηριολογική αιτιολογία αποδεικνύεται από τον Koch
1875-1900 Γαλλία, Αγγλία	Μικροβιακή μόλυνση του νερού αποδεικνύεται από τον Pasteur. Στην Αγγλία υποστηρίζεται από τον Down η απολύμανση με υποχλωριώδες νάτριο για να καταστήσει το νερό «καθαρό και υγιεινό»
1890 πόλη του Μεξικού	Στραγγιστικά κανάλια κατασκευάζονται, για να οδηγήσουν τα ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα για άρδευση μία σημαντικής γεωργικής περιοχής βόρεια της πόλης, μία πρακτική που ακόμα συνεχίζεται σήμερα. Ανεπεξέργαστα ή ελάχιστα επεξεργασμένα απόβλητα από την πόλη του Μεξικού οδηγούνται στην κοιλάδα του Μεξικό όπου χρησιμοποιούνται, για να αρδεύσουν περίπου 90.000 ha γεωργικής γης, που συμπεριλαμβάνονται και λαχανικά.
1906 New Jersey city	Χλωρίωση της παροχής νερού της πόλης του New Jersey στην Αμερική
1906 Oxnard CA	Η παλαιότερη αναφορά που σχετίζεται με την οπτική, των απαιτήσεων ποιότητας νερού από άποψη δημόσιας υγείας, για την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων, εμφανίζεται στο μηνιαίο δελτίο του συμβουλίου υγείας της Πολιτείας της Καλιφόρνια στο Όξναρντ «Σηπτικό σύστημα δεξαμενής διάθεσης λυμάτων».
1908 Αγγλία	Η κινητική της απολύμανσης αποσαφηνίζεται από τον Chick.
1913-1914 Αγγλία, Αμερική	Η διαδικασία ενεργού ιλύος αναπτύσσεται στον πειραματικό σταθμό του Lawrence στη Μασαχουσέτη και επιδεικνύεται από τους Ardern και Locket στην Αγγλία.
1918 Καλιφόρνια	Οι πρώτοι κανονισμοί για την χρήση των υγρών αποβλήτων για άρδευση
1926 Αμερική	Στο Εθνικό Πάρκο του Grand Canyon επεξεργασμένο υγρό απόβλητο χρησιμοποιείται για πρώτη φορά ως διπλή παροχή νερού σε καζανάκια τουαλέτας, στην άρδευση πρασίνου, στην ψύξη νερού και τροφοδοσία βραστήρα.
1929 Αμερική	Η πόλη της Pomona ξεκινάει ένα πρόγραμμα που επαναχρησιμοποιεί το ανακτημένο νερό για άρδευση πρασίνου και κήπων.
1932-1985 San Francisco	Το επεξεργασμένο απόβλητο χρησιμοποιείται για άρδευση πρασίνου και παροχή σε τεχνητές διακοσμητικές λίμνες στο πάρκο Golden Gate.
1955 Ιαπωνία	Το βιομηχανικό νερό παροχετεύεται από τη μονάδα επεξεργασίας υγρών αστικών αποβλήτων της Mikawajima από την μητροπολιτική υπηρεσία αποχέτευσης του Τόκυο.
1964 Ισραήλ	Χρήση εκροής δευτεροβάθμιας επεξεργασίας για άρδευση καλλιεργειών.
1968 Ναμίμπια	Ξεκινά άμεση επαναχρησιμοποίηση νερού προερχόμενου από τη μονάδα επεξεργασίας και ανάκτησης του Windhoek Goreangab ως πόσιμου.
1972 Αμερική	Νόμος καθαρών υδάτων για την αποκατάσταση και τη διατήρηση ποιότητας υδάτων για αλίευματα και κολύμβηση.
1977 Αμερική	Μελέτη στην Pomona για ιούς.
1978 Καλιφόρνια	Κριτήρια ανάκτησης υγρών αποβλήτων (τίτλος 22).
1984 Los Angeles	Μελέτη επίδρασης στην υγεία σε περιοχές του Los Angeles.
1987 Monterey	Μελέτη ανάκτησης υγρών αποβλήτων και χρήση στη γεωργία.
1989 WHO	Κατευθυντήριες οδηγίες του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας για επαναχρησιμοποίηση σε γεωργία και υδατοκαλλιέργειες.

Είδαμε ότι από ένα σημείο και μετά άρχισε να υπεισέρχεται και το ζήτημα της νομοθέτησης κανόνων ορίων και εν γένει διατάξεων που αφορούσαν τόσο θέματα δημόσιας υγείας, όσο και ζητήματα ποιότητας του ανακτημένου νερού, ώστε η εφαρμογή να γίνεται με ασφάλεια για το περιβάλλον. Στον Πίνακα 3 εμφανίζονται οι ιστορικοί σταθμοί που αφορούν στη νομοθέτηση σχετικών διατάξεων

Πίνακας 3 Ιστορική εξέλιξη των κριτηρίων επαναχρησιμοποίησης των ΕΥΑΑ για άρδευση (Salgot & Angelakis, 2001)

Έτος	**Δεδομένα και Κριτήρια Ποιότητας**
Πριν το 1918	Επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για άρδευση εφαρμόσθηκε σε πολλές περιοχές αλλά δεν υπήρξαν σχετικά κριτήρια. Μερικά αποτρεπτικά μέτρα εφαρμόζονταν.
1918	Το Συμβούλιο Δημόσιας Υγείας της Πολιτείας της Καλιφόρνια έθεσε τον «Πρώτο κανονισμό για χρήση των υγρών αποβλήτων για άρδευση στην Καλιφόρνια».
1973	Οι πρώτες κατευθύνσεις για επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Τροφίμων (World Health Organization WHO) (100FC[3]/100 ml, 80% των δειγμάτων).
1978	Πολιτεία της Καλιφόρνια. Κανονισμός επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων (2.2 TC[4] /100 ml).
1978	Κανονισμός Ισραήλ (12 FC/100 ml in 80% των δειγμάτων: 2.2 FC/100 ml in 50% των δειγμάτων).
1983	Έκθεση Παγκόσμιας Τράπεζας (Shuval et al., 1986).
1983	Πολιτεία της Φλόριντα: Μη ανιχνεύσιμα E. Coli/100 ml για καλλιέργεια που καταναλώνεται ωμή.
1984	Πολιτεία της Αριζόνα: Πρότυπα για ιούς (ένας ιός/40 l) και Giardia (μία κύστη/40 l).
1985	Αναφορά Feachem (Feachem et al., 1983).
1985	Αναφορά Engelberg (IRCWD[5], 1985).
1989	Οι αναθεωρημένες κατευθυντήριες γραμμές από τον Παγκόσμιο Οργανισμός Τροφίμων[6] για επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων: 1000 FC/100 ml, <ένας αυγό νηματώδους/l.
1990	Πολιτεία του Τέξας 75 FC/100 ml.
1991	Οι συστάσεις της Γαλλίας σχετικά με την υγιεινή είναι επηρεασμένες από τις κατευθυντήριες γραμμές του Παγκόσμιου Οργανισμού Τροφίμων.
1992	Οι κατευθυντήριες γραμμές της USEPA[7] για την επαναχρησιμοποίηση του νερού: Μη ανιχνεύσιμα FC/100 ml.
1999	Αναθεωρημένοι κανονισμός του Ισραήλ: Απεριόριστη άρδευση < 1FC/100 ml και υιοθέτηση της προσέγγισης πολλαπλών φραγμάτων.
2000	Κατευθυντήριες γραμμές της Αυστραλίας.
2000	Αναθεωρημένα κριτήρια ανακύκλωσης νερού από την Πολιτεία της Καλιφόρνια (Title 22).
2004	Αναθεωρημένες οδηγίες του Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής για επαναχρησιμοποίηση του νερού (indirect potable use).
2006	Η 2η αναθεώρηση του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας των κατευθυντήριων ιδηγιών για την χρήση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στη γεωργία: Ανάλυση ρίσκου και διαχείριση κινδύνου.
2006	Οδηγίες της Αυστραλίας για την ανακύκλωση του νερού, διαχείριση θεμάτων υγείας και περιβαλλοντικών κινδύνων: Ανάλυση ρίσκου και διαχείριση κινδύνου.

Βιβλιογραφικά, σε ό,τι αφορά στα ΕΥΑΑ, έχουν προταθεί διάφορες εφαρμογές του ανακτημένου και επαναχρησιμοποιούμενου νερού με βασικότερες τις εμφανιζόμενες στον Πίνακα4

[3] FC, fecal coliforms
[4] TC, total coliforms
[5] IRCWD, International Reference Center for Waste Disposal
[6] WHO, World Health Organization
[7] USEPA, United State Environmental Protection Agency

Πίνακας 4 Κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης ΕΥΑΑ (USEPA & USAID, 1992) και (Tcobanoglous & Kreith, 2010) με ένωση

Κατηγορίες χρήσης υγρών αποβλήτων	**Απαιτούμενη Επεξεργασία**	**Παραδείγματα εφαρμογών**	**Ζητήματα περιορισμοί**
Αστική χρήση			
Χωρίς περιορισμούς	Δευτεροβάθμια επεξεργασία, διήθηση, απολύμανση $BOD_5 \leq 10$mgr/l, θολερότητα≤2NTU, FC: μη ανιχνεύσιμα/100 ml, υπολειμματικό Cl_2 1 mgr/l, pH 6-9	Άρδευση πρασίνου (πάρκα, παιδικές χαρές, προαύλια σχολείων) πυρασφάλεια, στον κατασκευαστικό τομέα, σιντριβάνια, χρήσεις εντός κτηρίων (καζανάκια, κλιματισμός)	✓ Επίδραση της ποιότητας του νερού ιδιαίτερα των αλάτων στο έδαφος και στο φυτό ✓ Θέματα δημόσιας υγείας που σχετίζονται με τους παθογόνους οργανισμούς (π.χ. βακτήρια, ιοί και παράσιτα) ✓ Η χρήση ελεγχόμενων περιοχών που περιλαμβάνει ουδέτερες ζώνες, μπορεί να αυξήσει το κόστος χρήσης -
Με περιορισμούς	Δευτεροβάθμια και απολύμανση $BOD_5 \leq 30$mgr/l, TSS≤30mgr/l, FC≤200/100 ml, υπολειμματικό Cl_2 1 mgr/l, pH 6-9	Άρδευση περιοχών όπου η πρόσβαση του κοινού σπάνια και ελεγχόμενη, γήπεδα του γκολφ, νεκροταφεία, περιοχές κατοικιών, ζώνες πρασίνου	✓
Άρδευση καλλιεργειών			
Καλλιέργειες τροφίμων	Δευτεροβάθμια επεξεργασία, διήθηση, απολύμανση $BOD_5 \leq 10$mgr/l, θολερότητα≤2NTU, FC: μη ανιχνεύσιμα/100 ml, υπολειμματικό Cl_2 1 mgr/l, pH 6-9	Τρόφιμα για ανθρώπινη κατανάλωση, ωμά	✓ Ρύπανση των επιφανειακών και υπόγειων νερών, αν δεν γίνει κατάλληλη διαχείριση ✓ Εμπορευσιμότητα των καλλιεργειών και αποδοχή του κοινού
Καλλιέργειες τροφίμων και μη εδώδιμες καλλιέργειες	Δευτεροβάθμια και απολύμανση BOD5≤30mgr/l, TSS≤30mgr/l, FC≤200/100 ml, υπολειμματικό Cl2 1 mgr/l, pH 6-9	Καλλιέργεια ζωοτροφών, παραγωγής ινών, σποροπαραγωγή, βοσκοτόπια, φυτώρια, παραγωγή έτοιμου χλοοτάπητα, υδατοκαλλιέργεια	

Πίνακας 4 Κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης ΕΥΑΑ (USEPA & USAID, 1992) και (Tcobanoglous & Kreith, 2010) με ένωση

Κατηγορίες χρήσης υγρών αποβλήτων	**Απαιτούμενη Επεξεργασία**	**Παραδείγματα εφαρμογών**	**Ζητήματα περιορισμοί**
Ψυχαγωγία			
Χωρίς περιορισμούς	Δευτεροβάθμια επεξεργασία, διήθηση, απολύμανση BOD5≤10mgr/l, θολερότητα≤2NTU, FC: μη ανιχνεύσιμα/100 ml, υπολειμματικό Cl2 1 mgr/l, pH 6-9	Κανένας περιορισμός στην επαφή με τον άνθρωπο, μικρές και μεγάλες λίμνες, που χρησιμοποιούνται για κολύμβηση ή για παραγωγή χιονιού	✓ Θέματα υγείας που σχετίζονται με την παρουσία βακτηρίων και ιών(π.χ. εντερικές μολύνσεις και μολύνσεις αυτιών, ματιών και μύτης)
Με περιορισμούς	Δευτεροβάθμια και απολύμανση BOD5≤30mgr/l, TSS≤30mgr/l, FC≤200/100 ml, υπολειμματικό Cl_2 1 mgr/l, pH 6-9	Αλιεία, βόλτα με βάρκα, και άλλες ψυχαγωγικές δραστηριότητες, κατά τις οποίες δεν έρχεται σε επαφή το νερό με τον άνθρωπο	✓ Φαινόμενα ευτροφισμού, λόγω της ύπαρξης αζώτου και φωσφόρου στο ανακτημένο νερό ✓ ✓ Τοξικότητα σε υδρόβιους οργανισμούς
Βελτίωση του περιβάλλοντος			
	Βαθμοί επεξεργασίας σε σχέση με την χωρίς περιορισμούς αστική χρήση ανάλογα με τη συγκεκριμένη τοποθεσία. Διαλυμένο οξυγόνο, pH, κολοβακτηρίδια, θρεπτικά στοιχεία	Χρήση του ανακτημένου υγρού αποβλήτου για τη δημιουργία τεχνητών υγροβιοτόπων, ενίσχυση φυσικών υγροβιοτόπων και διατήρηση της ροής σε ρέματα	
Εμπλουτισμός υδροφόρων στρωμάτων			
	Εξαρτάται από τη συγκεκριμένη τοποθεσία	Αναπλήρωση υπόγειου νερού, έλεγχος της υφαλμύρινσης, έλεγχος των εδαφικών υποχωρήσεων ή καταπτώσεων, λόγω εξάντλησης υδροφορέων	✓ Πιθανή ρύπανση υπόγειου υδροφορέα που χρησιμοποιείται ως πηγή πόσιμου νερού, οργανικές ουσίες στο ανακτημένο νερό με τοξική δράση ✓ ✓ Ολικά διαλυμένα στερεά νιτρικά και παθογόνοι οργανισμοί στο ανακτημένο νερό

Πίνακας 4 Κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης ΕΥΑΑ (USEPA & USAID, 1992) και (Tcobanoglous & Kreith, 2010) με ένωση

Κατηγορίες χρήσης υγρών αποβλήτων	Απαιτούμενη Επεξεργασία	Παραδείγματα εφαρμογών	Ζητήματα περιορισμοί
-Βιομηχανική χρήση			
	Δευτεροβάθμια και απολύμανση $BOD_5 \leq 30$mgr/l, TSS≤30mgr/l, FC≤200/100 ml	Ψύξη συστημάτων, νερό διαδικασίας παραγωγής, νερό τροφοδοσίας λέβητα, κατασκευαστικές δραστηριότητες και νερά πλύσης	✓ Συστατικά στο ανακτημένο νερό που μπορεί να προκαλέσουν επικαθήσεις, διάβρωση, ανάπτυξη μικροοργανισμών και διάφορες επιστρώσεις ✓ Θέματα δημόσιας υγείας κυρίως μεταφορά παθογόνων οργανισμών, μέσω σταγονιδίων νερού που προέρχονται από πύργους ψύξης ✓ ✓ Διασταύρωση μεταξύ ανακτημένου και πόσιμου νερού
Επαναχρησιμοποίηση ως πόσιμο			
	Απαιτήσεις ασφαλούς πόσιμου νερού	Ανάμειξη με ακατέργαστο πόσιμο νερό Υδροδότηση μέσω αγωγών	✓ Παρουσία συστατικών στο ανακτημένο νερό, κυρίως υπολειμμάτων οργανικών ουσιών και η τοξική τους δράση ✓ Αισθητική και αποδοχή του κοινού ✓ Θέματα υγείας που σχετίζονται με τη μεταφορά παθογόνων οργανισμών κυρίως εντερικών ιών

1.2. Υγρά Αστικά Απόβλητα και Επεξεργασία τους

Μιλώντας για υγρά απόβλητα εν γένει αναφερόμαστε σε νερό, το οποίο χρησιμοποιούμενο σε κάποια διεργασία επιβαρύνεται σε ό,τι αφορά στις φυσικές, χημικές και βιολογικές του ιδιότητες. Να σημειωθεί ότι πολλές φορές η μία κατηγορία ιδιοτήτων είναι συνδεδεμένη με την άλλη, αφού επί παραδείγματι η αύξηση της θερμοκρασίας επιδρά στη βιολογική δραστηριότητα, κ.λπ.. Σε ό,τι αφορά στα χαρακτηριστικά των υγρών αστικών αποβλήτων αυτά εμφανίζονται στον Πίνακα 5

Πίνακας 5 Φυσικά, χημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά των υγρών αστικών αποβλήτων

Φυσικές Ιδιότητες

Στερεά (APHA, 1992)

Ολικά Στερεά (TS): Η ύλη που μένει μετά από εξάτμιση και ξήρανση του δείγματος υγρού αποβλήτου στους 103-105°C.

Ολικά Πτητικά στερεά (TVS): Τα στερεά που εξαερώνονται μετά από καύση των ολικών στερεών στους 500±50 ^{o}C.

Ολικά Σταθερά Στερεά (TFS): Το υπόλειμμα που απομένει μετά από καύση των ολικών στερεών στους 500±50 ^{o}C.

Ολικά Αιωρούμενα Στερεά (TSS): Τμήμα των ολικών στερεών που απομένει σε υαλώδες ινώδες φίλτρο Whatman με διάμετρο πόρων γύρω στο 1,58 μm και μετράται μετά από ολική ξήρανση στους 105 ^{o}C.

Πτητικά Αιωρούμενα Στερεά (VSS): Τα στερεά που εξαερώνονται και οξειδώνονται κατά την καύση των ολικών αιωρούμενων στερεών (500±50 ^{o}C).

Σταθερά Αιωρούμενα Στερεά (FSS): Το υπόλειμμα που μένει μετά την καύση των ολικών αιωρούμενων στερεών 500±50 ^{o}C.

Ολικά Διαλυμένα Στερεά (TDS) (TS-TSS): Τα στερεά που διαπερνούν το φίλτρο και εξαερώνονται και ξηραίνονται σε συγκεκριμένη θερμοκρασία.

Πτητικά Διαλυμένα Στερεά (VDS) (TVS-TSS): Τα στερεά που εξαερώνονται και οξειδώνονται κατά την καύση των ολικών διαλυμένων στερεών (500±50 ^{o}C).

Σταθερά διαλυμένα στερεά (FDS): Το υπόλειμμα που μένει μετά την καύση των ολικών διαλυμένων στερεών (500±50 ^{o}C).

Καθιζάνοντα στερεά: Αιωρούμενα στερεά σε mgr/l μετά την καύση των ολικών διαλυμένων στερεών (500±50 ^{o}C).

Θολερότητα: Είναι μέτρο της ποιότητας του αποβλήτου, αφού σχετίζεται με την ύπαρξη αιωρούμενων σωματιδίων και κολλοειδών υλικών. Πρόκειται για τη μέτρηση της σκέδασης φωτός που διέρχεται από ένα δείγμα.

Χρώμα: Η ηλικία των υγρών αποβλήτων είναι αυτή που καθορίζει και το χρώμα. Συγκεκριμένα «φρέσκα» υγρά απόβλητα έχουν χρώμα ανοικτό καφέ έως γκρι. Με την ανάπτυξη αναερόβιων συνθηκών (έως ότου να φτάσουν τα υγρά απόβλητα στη μονάδα) αναπτύσσονται αναερόβιες συνθήκες και το χρώμα αλλάζει και γίνεται από γκρι ανοικτό έως μαύρο (σήψη).

Θερμοκρασία Τα υγρά απόβλητα έχουν μεγαλύτερη θερμοκρασία έναντι του καθαρού νερού, καθώς κατά τη διαδικασία χρήσης υπάρχουν διεργασίες που του αυξάνουν τη θερμοκρασία όπως π.χ. θερμοσίφωνες, πλυντήρια, κ.λ.π.. Το εύρος διακύμανσης της θερμοκρασίας είναι μεταξύ 10 και 21,1 ^{o}C με αντιπροσωπευτική τιμή τους 15,6 ^{o}C.

Οσμή: Πρόκειται για την απελευθέρωση αερίων, λόγω διάσπασης της οργανικής ύλης. Γίνεται εντονότερη με την πάροδο του χρόνου και την αύξηση της θερμοκρασίας. Οφείλεται σε αμμίνες, αμμωνία, διαμίνες, υδρόθειο, μερκαπτάνες, οργανικά σουφλίδια, σκατόλη κ.α.

Ηλεκτρική Αγωγιμότητα: Πρόκειται για την ικανότητα διέλευσης ρεύματος δια του υδάτινου

Πίνακας 5 Φυσικά, χημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά των υγρών αστικών αποβλήτων

Φυσικές Ιδιότητες
δείγματος, ως αποτέλεσμα των διαλυμένων ιόντων (αλάτων) στο δείγμα.
Χημικά συστατικά
Οργανικά: Αποτελούνται κυρίως κατά 40-60% από πρωτεΐνες, 25-50% από υδατάνθρακες και 8-12% από λίπη και έλαια. Επίσης, περιέχουν και ουρία, η οποία διασπάται γρήγορα και μπορεί έτσι να ανιχνευθεί μόνο σε «φρέσκα» απόβλητα. Στα οργανικά συστατικά των υγρών αστικών αποβλήτων περιλαμβάνονται και τασιενεργές ουσίες, πτητικά οργανικά συστατικά, κ.α.
Ανόργανα: Τα ανόργανα χαρακτηριστικά ενδιαφέροντος στα υγρά αστικά αποβλητα είναι το pH, η αλκαλικότητα, τα χλωρίδια, το άζωτο, ο φώσφορος, το θείο διάφορες τοξικές ενώσεις ή στοιχεία (Cu^+, Pb^+, Ag^+, Cr^{2+}, As, B, CN, CrO_4^{2-} κ.λ.π.) και κάποια αέρια όπως το υδρόθειο, το μεθάνιο και το οξυγόνο.
Βιολογικά Συστατικά
Βακτήρια, αρχαιοειδή, μύκητες/ζυγομύκητες, πρωτόζωα, έλμινθες, φύκη και ιοί.

Η τυπική σύσταση ανεπεξέργαστων υγρών αστικών αποβλήτων εμφανίζεται στον Πίνακα 6.

Πίνακας 6 Τυπική Σύσταση ανεπεξέργαστών υγρών αστικών αποβλήτων (Crites & Tchobanoglous, 1998)

Ρύποι	**Μονάδες**	**Συγκέντρωση**	
		Εύρος	**Τυπική τιμή Ισχυρό**
Στερεά Ολικά (TS)	mgr/l	350-1200	700
Ολικά Διαλυμένα Στερεά (TDS)	mgr/l	280-850	500
Σταθεροποιημένα	mgr/l	145-525	300
Πτητικά	mgr/l	105-325	200
Ολικά Αιωρούμενα Στερεά (TSS)	mgr/l	100-350	210
Σταθεροποιημένα	mgr/l	20-75	55
Πτητικά	mgr/l	80-275	160
Καθιζάνοντα Στερεά	mgr/l	5-20	10
BOD_5	mgr/l	110-400	210
TOC	mgr/l	80-290	160
COD	mgr/l	250-1000	500
Άζωτο (Ολικό σας N)	mgr/l	20-85	35
Οργανικό	mgr/l	8-35	13
Ελεύθερη Αμμωνία	mgr/l	12-50	22
Νιτρώδη	mgr/l	0-0	0
Νιτρικά	mgr/l	0-0	0
Φώσφορος (ολικός σαν P)	mgr/l	4-15	7
Οργανικός	mgr/l	1-5	2
Ανόργανος	mgr/l	3-10	5
Χλώριο	mgr/l	30-100	50
Θειικά	mgr/l	20-50	30
Έλαια και Λίπη	mgr/l	50-150	90

Πίνακας 6 Τυπική Σύσταση ανεπεξέργαστών υγρών αστικών αποβλήτων (Crites & Tchobanoglous, 1998)

Ρύποι	**Μονάδες**	**Συγκέντρωση**	
		Εύρος	**Τυπική τιμή Ισχυρό**
VOCs	μgr/l	<100->400	100-400
Ολικά κολοβακτηρίδια	no/100 ml	10^6-10^9	10^7-10^8
Κοπρανώδη Κολοβακτηρίδια	no/100 ml	10^3-10^7	10^4-10^5
Cryptosporidium oocystis	no/100 ml	10^{-1}-10^2	10^{-1}-10^1
Giardia lamblia cysts	no/100 ml	10^{-1}-10^3	10^{-1}-10^2

Σε ό,τι αφορά στην επεξεργασία των υγρών αστικών αποβλήτων, αυτή κατατάσσεται ανάλογα με τις βαθμίδες επεξεργασίας όπως εμφανίζεται στον Πίνακα 7.

Πίνακας 7 Κατάταξη των σταδίων που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων και την ανάκτηση του νερού (Crites & Tchobanoglous, 1998)

Βαθμίδα Επεξεργασίας	**Περιγραφή**
Προεπεξεργασία:	Αφαιρεί από το υγρό απόβλητο στοιχεία όπως κουρέλια, ξύλα, επιπλέοντα υλικά, χαλίκια-άμμο και γράσο, τα οποία μπορεί να προξενήσουν προβλήματα τόσο στη συντήρηση όσο και στη λειτουργία των διαδικασιών επεξεργασίας, στις λοιπές διεργασίες, καθώς και στα βοηθητικά συστήματα.
Πρωτοβάθμια:	Απομάκρυνση μέρους των αιωρούμενων στερεών και οργανικής ουσίας από τα υγρά απόβλητα.
Προχωρημένη πρωτοβάθμια:	Ενισχυμένη απομάκρυνση αιωρουμένων σωματιδίων και οργανικής ουσίας από τα υγρά απόβλητα, που επιτυγχάνεται με προσθήκη χημικών παραγόντων ή με διήθηση.
Δευτεροβάθμια:	Απομάκρυνση βιοαποικοδομήσιμης οργανικής ουσίας (διαλυμένη ή αιωρούμενη) και αιωρούμενα στερεά. Απολύμανση συνήθως συμπεριλαμβάνεται στην περίπτωση των μονάδων δευτέρου βαθμού.
Δευτεροβάθμια με αφαίρεση θρεπτικών:	Απομάκρυνση βιοαποικοδομήσιμων, οργανικών, αιωρούμενων σωματιδίων και θρεπτικών στοιχείων (άζωτο, φώσφορος ή και τα δύο).
Τριτοβάθμια:	Απομάκρυνση των υπολειπόμενων αιωρούμενων στερεών (μετά από τη δευτεροβάθμια επεξεργασία) συνήθως μέσω πορώδους φίλτρου κοκκωδών σωματιδίων, φίλτρου επιφανείας ή μεμβρανών. Απολύμανση είναι επίσης ένα μέρος της τριτοβάθμιας επεξεργασίας. Η τριτοβάθμια επεξεργασία συνήθως περιλαμβάνει και αφαίρεση θρεπτικών στοιχείων
Προχωρημένη ή τεταρτοβάθμια:	Απομάκρυνση των ολικών διαλυμένων στερεών και/ή συστατικά σε ίχνη, ανάλογα με τις απατήσεις της συγκεκριμένης εφαρμογής επαναχρησιμοποίησης.

Στην Ελλάδα, σύμφωνα με τους Tsagarakis, et. al., (2004), ένας αριθμός διαφορετικών τεχνολογιών επεξεργασίας αστικών λυμάτων έχουν υιοθετηθεί. Από αυτούς, το 88% είναι συστήματα ενεργού ιλύος, το 10% είναι φυσικά συστήματα και 2% είναι συστήματα προσκολλημένης βιομάζας (π.χ. βιοδίσκοι). Στα συστήματα ενεργού ιλύος, επικρατούν τα συστήματα παρατεταμένου αερισμού (88%), καθώς έχουν σημαντικά πλεονεκτήματα για τις κλιματικές συνθήκες της Μεσογείου. Από τα συστήματα ενεργού ιλύος, στο 44% γίνεται αφαίρεση αζώτου και στο 15% γίνεται αφαίρεση φωσφόρου.

1.3. Επαναχρησιμοποίηση και Γεωργία

Το 70-90% των υδατικών πηγών παγκοσμίως χρησιμοποιούνται για άρδευση (Πανώρας & Ηλίας, 1999). Η ποσότητα του νερού που χρησιμοποιείται για τη γεωργία, σύμφωνα με τον E.P.A. (European Environmental Agency) (2005), διπλασιάστηκε τα τελευταία 20 χρόνια. Στην Ελλάδα, η κατανομή των χρήσεων του νερού ανά υδατικό διαμέρισμα εμφανίζεται στον Πίνακα 8.

Πίνακας 8 Κατανομή χρήσεων ύδατος ανά υδατικό διαμέρισμα (στοιχεία ΕΛΣΤΑΤ 2011)

ΕΤΟΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	**Χρήσεις Ύδατος**									
2011	**Συνολική Ποσότητα Ύδατος**	**Γεωργία, Δασοκομία, Αλιεία**	**Άρδευση**	**% επί του Συνόλου**	**Βιομηχανία**	**% επί του Συνόλου**	**Παραγωγή Ηλεκτρικού Ρεύματος (ψύξη)**	**Υπηρεσίες**	**Κατοικίες**	**% επί του Συνόλου**
		10^6 m^3		%	10^6 m^3	%	10^6 m^3	10^6 m^3\		%
ΕΛΛΑΔΑ[8]										
GR01	234.59	183.10	180.30	78.05	16.43	7.00	12.50		35.05	14.94
GR02	500.50	422.67	416.13	84.45	8.24	1.65			69.58	13.90
GR03	373.41	334.32	329.76	89.53	7.69	2.06			31.40	8.40
GR04	392.50	348.00	340.00	88.66	0.50	0.13			44.00	11.21
GR05[9]	374.00	313.00	303.00	83.69	4.00	1.07			57.00	15.24
GR06	399.73	63.61	61.62	15.91	36.00	9.01		22.05	278.47	69.66
GR07	794.12	723.19	716.47	91.07	26.28	3.31			44.64	5.62
GR08[10]	1,318.00	1,227.00	1,227.00	93.10		0.00			91.00	6.90
GR09[11]	637.93	569.88	560.60	89.33	8.47	1.33			59.58	9.34
GR10[12]	1,339.40	1,191.98	1,183.31	88.99	35.84	2.68		8.13	103.45	7.72
GR11	815.00	762.80	757.60	93.60	16.20	1.99		0.68	35.30	4.33
GR12	751.74	690.40	683.40	91.84	25.40	3.38	8.00	0.94	35.00	4.66
GR13 [13]										
GR14 [14]										

[8] **GR01** Δυτική Πελοπόννησος, **GR02** Βόρεια Πελοπόννησος, **GR03** Ανατολική Πελοπόννησος, **GR04** Δυτική Στερεά Ελλάδα, **GR05** Ήπειρος, **GR06** Αττική, **GR07** Ανατολική Στερεά Ελλάδα, **GR08** Θεσσαλία, **GR09** Δυτική Μακεδονία, **GR10** Κεντρική Μακεδονία, **GR11** Ανατολική Μακεδονία, **GR12** Θράκη, **GR13** Κρήτη, **GR14** Νήσων Αιγαίου

[9] **GR06 ΥΔ Αττικής**: Η ποσότητα νερού που χρησιμοποιείται στο GR06 καλύπτεται μερικώς από τη μεταφορά νερού από το ΥΔ Δυτικής Στερεάς Ελλάδας, GR04 .

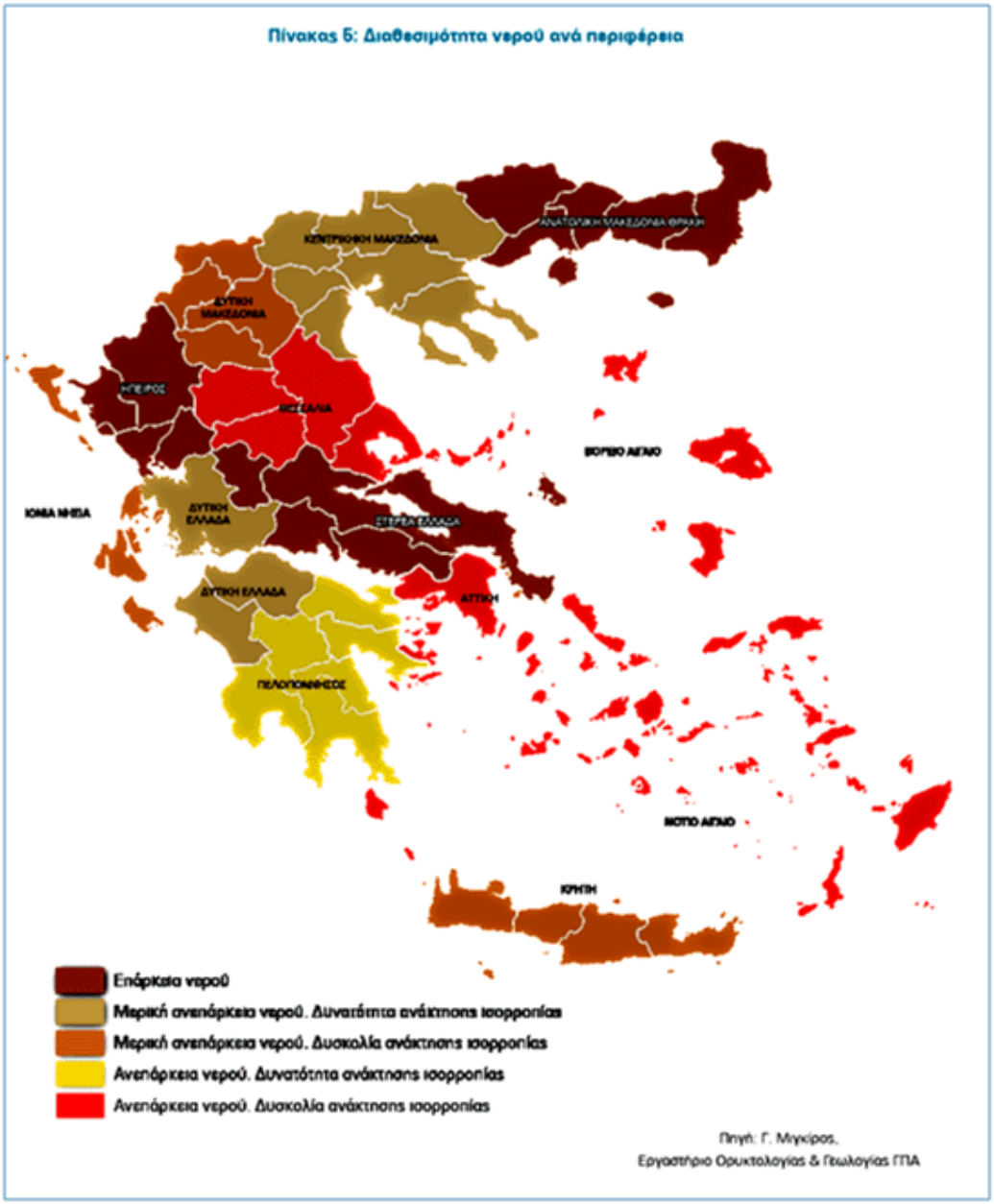
[10] **GR08 ΥΔ Θεσσαλίας**: Η ποσότητα νερού που χρησιμοποιείται για Άρδευση και Ύδρευση περιλαμβάνει τις απώλειες. Η ποσότητα νερού που χρησιμοποιείται στο GR08 καλύπτεται μερικώς από τη μεταφορά νερού από το ΥΔ Δυτικής Στερεάς Ελλάδας, GR04

[11] **GR09 ΥΔ Δυτικής Μακεδονίας**: Η ποσότητα νερού που χρησιμοποιείται για Άρδευση και Ύδρευση δεν περιλαμβάνει απώλειες.

[12] **GR10 ΥΔ Κεντρικής Μακεδονίας**: Η ποσότητα νερού που χρησιμοποιείται στο GR10 καλύπτεται μερικώς από τη μεταφορά νερού από το ΥΔ Δυτικής Μακεδονίας, GR09

[13] **GR13 ΥΔ Κρήτης** Δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία

[14] **GR13 ΥΔ Νήσων Αιγαίου** Δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία



Σχήμα 3Διαθεσιμότητα νερού ανά Περιφέρεια (ΠΑΣΕΓΕΣ, 2014)

Η κατάσταση επάρκειας ή ανεπάρκειας του διαθέσιμου υδατικού δυναμικού ανά περιφέρεια εμφανίζεται στο Σχήμα 3

Περαιτέρω, σύμφωνα με τους Tsagarakis, et. al., (2004), η ανάλυση των δεδομένων, που αφορούν το υδατικό ισοζύγιο των περιοχών που εξυπηρετούνται από εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, έδειξε ότι περισσότερο από το 83% των επεξεργασμένων λυμάτων παράγονται σε περιοχές με αρνητικό υδατικό ισοζύγιο.

Ο Oron, (2002) επισημαίνει ότι η βιώσιμη αγροτική ανάπτυξη απαιτεί νέες προηγμένες λύσεις για το νερό ως συντελεστής παραγωγής διότι υπόκεινται σε περιβαλλοντικούς περιορισμούς. Σύμφωνα με εκτιμήσεις των Corcoran, et al. (2010), τουλάχιστον $20x10^6$ ha αρδεύονται με επεξεργασμένα ή ανεπεξέργαστα απόβλητα. Η χρήση των επεξεργασμένων λυμάτων αποτελεί αξιόπιστη πηγή από άποψη διαθεσιμότητας νερού και θρεπτικών στοιχείων για καλλιέργειες (Jiménez-Cisneros,

1995; Toze, 2006; WHO, 2006), ενώ συγχρόνως μπορεί να αποτελέσει πηγή θρεπτικών στοιχείων για τα πτωχά εδάφη (Jiménez-Cisneros, 1995; Angin, et. al., 2005), κάτι που μπορεί να οδηγήσει σε μείωση των εισροών σε λιπάσματα στις καλλιέργειες (Gil & Ulloa, 1997), ενώ συγχρόνως οδηγεί σε αύξηση της απόδοσής τους (Shende, 1985; Coppola, et al., 2005). Σχετικά με το τελευταίο, ο Pescod (1992) σημειώνει ότι ακόμη και σε περιοχές, όπου τα λύματα δεν είναι η μόνη πηγή νερού για άρδευση, οι αγρότες εξακολουθούν να προτιμούν τη χρήση λυμάτων για άρδευση, λόγω της θρεπτικής τους αξίας, γεγονός που μειώνει τις δαπάνες για χημικά λιπάσματα.

Πέραν των ανωτέρω και σε αντίθεση με τις άλλες κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης, η άρδευση συνήθως απαιτεί λιγότερο αυστηρά ποιοτικά κριτήρια για το χρησιμοποιούμενο νερό και έτσι απαιτείται μικρότερο κόστος επεξεργασίας (Hamoda, 1987). Παρ' όλα αυτά τα αναφερόμενα οφέλη, ο κύριος λόγος που αποτρέπει την επέκταση της επαναχρησιμοποίησης των εκροών σε παγκόσμιο επίπεδο είναι θέματα υγείας και περιβαλλοντικά ζητήματα (Paranychianakis, et. al., 2011). Συγκεκριμένα, ενώ η οργανική ουσία και τα μακρο και μικροστοιχεία που περιέχονται στα απόβλητα επιδρούν θετικά στην ανάπτυξη των καλλιεργειών, την ίδια στιγμή οι ρύποι που επίσης περιέχονται στα απόβλητα, μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα στο έδαφος, στα φυτά και στο περιβάλλον (Pescod, 1992; Mandal, et al., 2008). Εξ' άλλου, όπως επισημαίνει ο Brissaud (2008), στον όρο επαναχρησιμοποίηση περιλαμβάνονται όρια επεξεργασίας, πρακτικές επαναχρησιμοποίησης - παρακολούθησης και ελέγχου.

Μεγάλες δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης ΕΥΑΑ αποβλήτων για την παραγωγή φυτών και άρδευση πρασίνου έχουν αναφερθεί στην Ελλάδα από αρκετούς ερευνητές (Chartzoulakis, et. al., 2001; Panoras & Ilias, 2003; Tsagarakis, et. al., 2004). Την τελευταία δεκαετία, στο πλαίσιο αυτό, σειρά από εργασίες έχουν δημοσιευθεί σχετικά με τη χρήση των επεξεργασμένων λυμάτων για πολλές καλλιέργειες, όπως αμπέλια (Vitis vinifera) (Mendoza-Espinosa, et al., 2008), λεμονιές (Citrus limon) (Pedrero & Alarcon, 2009), γκρέιπφρουτ (Citrus paradisi) (Pereira, He, & Stofella, 2011), νεκταρίνια (Prunus persica) (Vivaldi, et. al., 2013), αγγούρι (Cucumis sativus) (Pilatakis, et. al., 2013), μανταρινιές (Citrus clementina) (Pedrero, et al., 2013) και ελιές (Petousia, et al., 2015)

1.4. ΕΥΑΑ Σπάρτης- Άρδευση και Ελληνική Νομοθεσία

1.4.1. Υλικά και Μέθοδοι

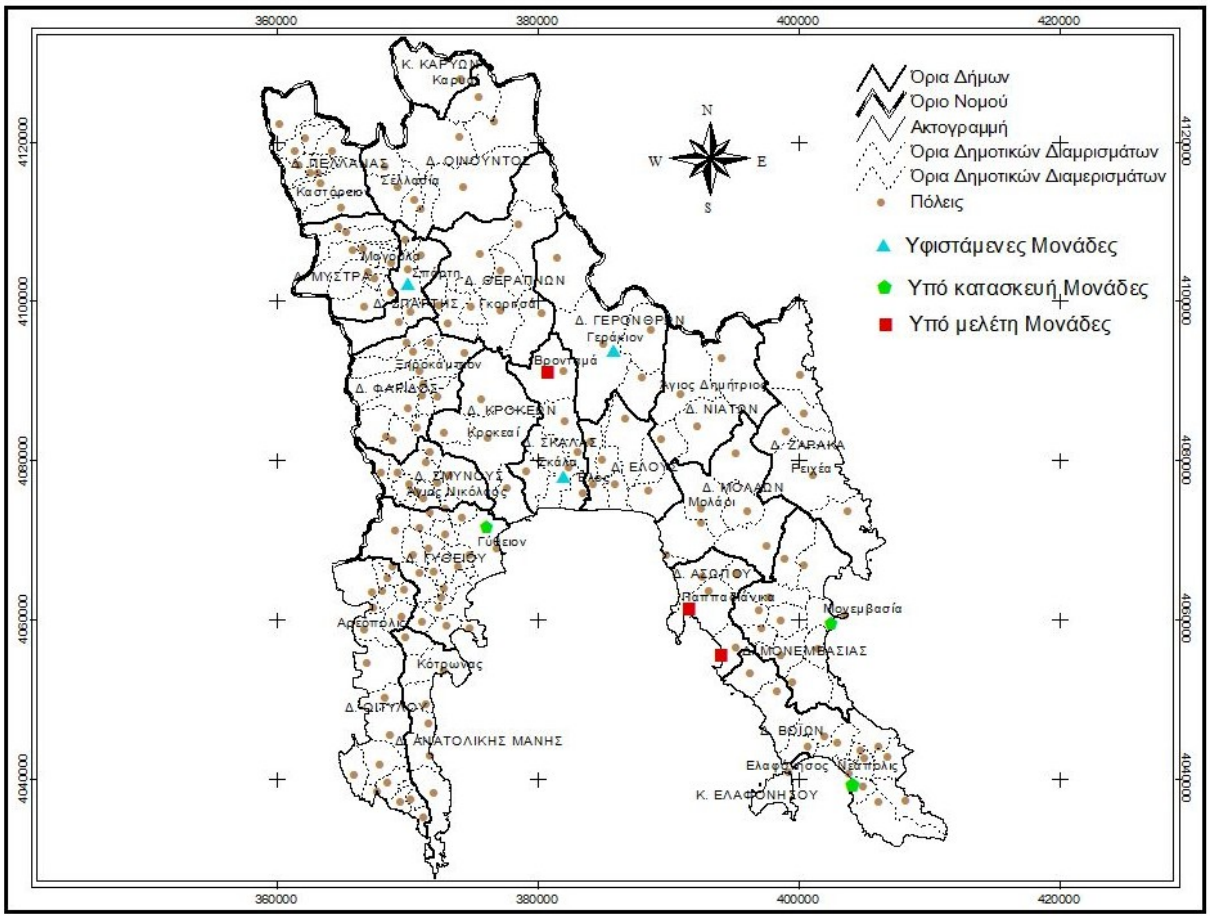
1.4.1.1. Επεξεργασία υγρών αστικών αποβλήτων στη Σπάρτη

Η Περιφερειακή Ενότητα Λακωνίας μετά από τη διοικητική διαίρεση, όπως αυτή υπαγορεύεται από τον Ν.3852/2010(ΦΕΚ 87/Α΄7-6-2010) «Νέα Αρχιτεκτονική της Αυτοδιοίκησης και της Αποκεντρωμένης Διοίκησης − Πρόγραμμα Καλλικράτης», διαιρείται σε τέσσερις Δήμους, των οποίων η έκταση και τα πληθυσμιακά χαρακτηριστικά φαίνονται στον Πίνακα 9.

Πίνακας 9 Στοιχεία καλλικρατικών Δήμων ΠΕ Λακωνίας (Στοιχεία ΕΛΣΤΑΤ 2011)

Καλλικρατικός Δήμος	Έκταση (km^2)	Πληθυσμός	Έδρα	Πληθυσμός Έδρας
Δήμος Σπάρτης	1.181,9	35.259	Σπάρτη	16239
Δήμος Μονεμβασίας	908,2	21.942	Μολάοι	2.534
Δήμος Ευρώτα	654,3	17.891	Σκάλα	3.089
Δήμος Ανατολικής Μανής	510,5	13.005	Γύθειο	4.279

Σε ό,τι αφορά στη χωρική κατανομή των ΜΕΥΑΑ που μελετώνται, κατασκευάζονται ή είναι εν λειτουργία στον νομό, αυτές εμφανίζονται στο Σχήμα 4.



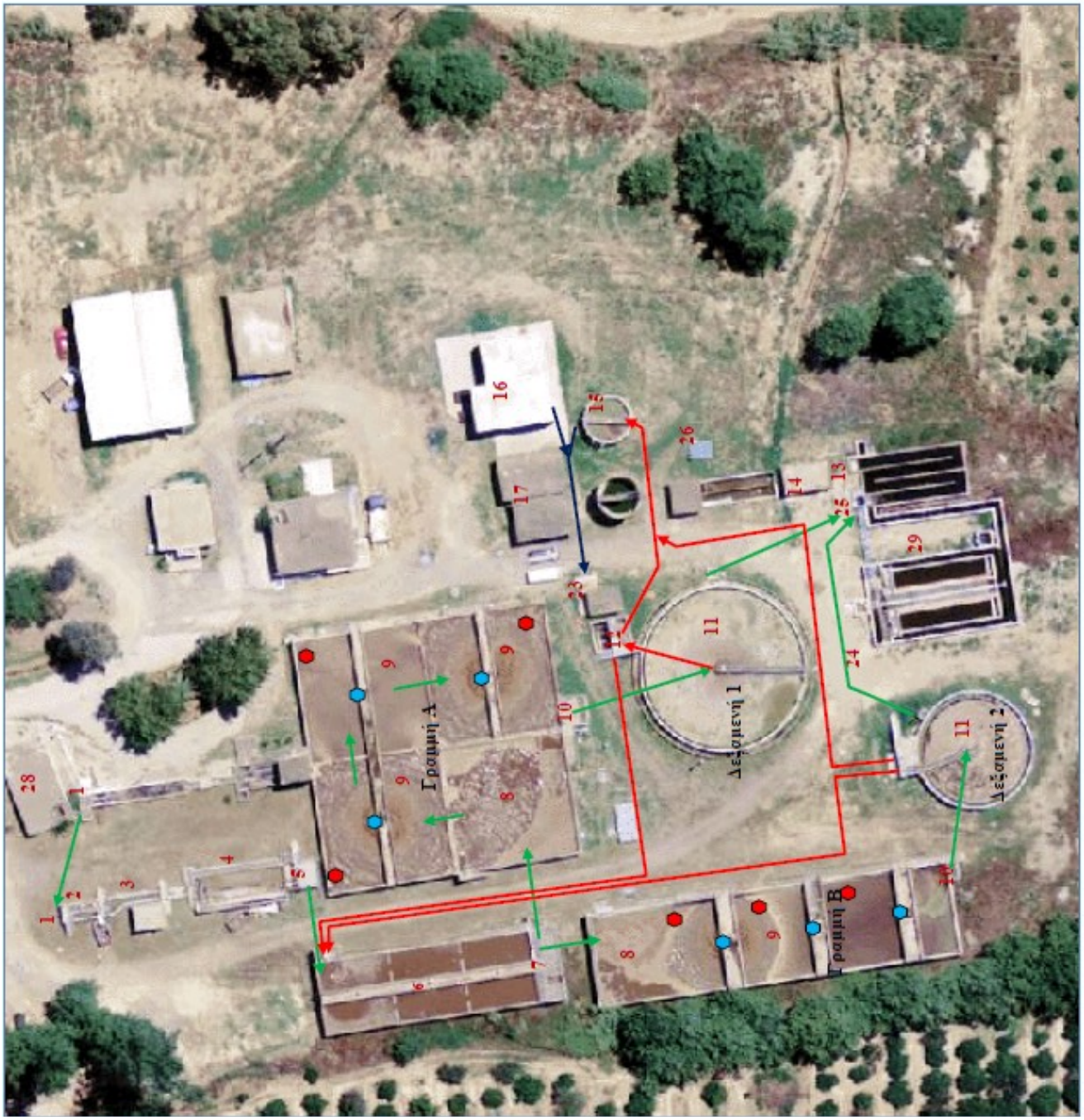
Σχήμα 4 Χάρτης με τις θέσεις των υφιστάμενων των υπό κατασκευή και των υπό μελέτη μονάδων επεξεργασίας υγρών αστικών αποβλήτων

Στον Πίνακα 10 εμφανίζονται σταχυολογημένα με χρονική σειρά όλα τα στάδια μελέτης και κατασκευής τόσο της αρχικής μονάδας, όσο και της επέκτασης-αναβάθμισης αυτής. Επίσης, αναφέρονται οι βαθμοί επεξεργασίας, ο εξυπηρετούμενος πληθυσμός, καθώς και το πεδίο τελικής διάθεσης.

Πίνακας 10 ΜΕΥΑΑ στη Σπάρτη (Πηγή: Δ/νση Υγείας και Πρόνοιας Ν.Α. Λακωνίας)

ΤΟΠΙΚΗ ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΣΠΑΡΤΗΣ (εν λειτουργία)	
Αρχική Μονάδα	
ΕΞΥΠΗΡΕΤΟΥΜΕΝΟ Δ.Δ.	Σπάρτη (νωπά) (αλλά και βοθρολύματα)
ΒΑΘΜΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ	$2^{ος}$ βαθμός
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ	Παρατεταμένος αερισμός
ΤΡΟΠΟΣ ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗΣ	Χλωρίωση
ΤΕΛΙΚΗ ΔΙΑΘΕΣΗ	Ποταμός Ευρώτας
ΣΧΕΔΙΑΣΗ – ΜΕΛΕΤΗ	1985-1989
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ	1989
ΕΞΥΠΗΡΕΤΟΥΜΕΝΟΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ	16.150 κάτοικοι (Πρόβλεψη εικοσαετίας (2005)
ΠΑΡΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ(0.16m^3/ι.κ.&d)	2.630 m^3/d
Νέα Μονάδα	
ΕΞΥΠΗΡΕΤΟΥΜΕΝΟ Δ.Δ.	Σπάρτη (νωπά) (αλλά και βοθρολύματα)
ΒΑΘΜΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ	$3^{ος}$ βαθμός
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ	Παρατεταμένος αερισμός απονίτρωση, αποφωσφόρωση
ΤΡΟΠΟΣ ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗΣ	Χλωρίωση
ΤΕΛΙΚΗ ΔΙΑΘΕΣΗ	Ποταμός Ευρώτας
ΣΧΕΔΙΑΣΗ – ΜΕΛΕΤΗ	1993-1996
ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	2008
ΕΞΥΠΗΡΕΤΟΥΜΕΝΟΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ	40.000 κάτοικοι
ΠΑΡΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ(0.2m^3/ι.κ.&d)	8.000 m^3/d
Αναβάθμιση της Μονάδας	
ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	Διύλιση
ΜΕΛΕΤΗ	2005

Οι εγκαταστάσεις της ΜΕΥΑΑ της Σπάρτης καθώς και το διάγραμμα ροής εμφανίζεται στο Σχήμα 5



1 Φρεάτιο Άφιξης Λυμάτων
2 Εσχάρωση
3 Μετρητής Παροχής
4 Εξάμμωση – Λιποσυλλογή
5 Αντλιοστάσιο Ανύψωσης
6 Βιολογική Αποφοσφόρωση
7 Μερισμός Παροχής
8 Δεξαμενές Απονιτροποίησης
9 Δεξαμενές Αερισμού - Νιτροποίησης
10 Φρεάτιο Εξόδου
11 Δεξαμενή Καθίζησης
12 Αντλιοστάσιο Ανακυκλοφορίας και Περίσσειας Ιλύος
13 Χλωρίωση
14 Οικίσκος Χλωρίωσης
15 Πάχυση Ομογενοποίηση Λάσπης
16 Κτήριο Αφυδάτωσης (ταινιοφιλτρόπρεσσα)
17 Υπόστεγο Δεξαμενής Νερού - Κάδοι Λάσπης
23 Αντλιοστάσιο Στραγγιδίων
24 Μονάδα Δύλισης Ρηχής Κλίνης
25 Αντλιοστάσιο Καθαρών
26 Φρεάτιο Εξόδου Δειγματοληψίας
28 Προεπεξεργασία Βοθρολυμάτων
29 Μονάδα Απολύμανσης με UV
30 Θέσεις νέων μετρητών
Παροχέτευση Αποβλήτου
Παροχέτευση Λάσπης
Παροχέτευση Στραγγιδίων
Θέσεις Νέων Αναδευτήρων
Θέσεις Επιφανειακών Αεριστήρων

Σχήμα 5 Απόσπασμα ορθοφωτοχάρτη που απεικονίζει τη δευτεροβάθμια και τριτοβάθμια επεξεργασία εγκαταστάσεων της ΜΕΥΑΑ Σπάρτης

Τα στάδια επεξεργασίας της μονάδας έχουν ως ακολούθως

Στάδια Επεξεργασίας

Προεπεξεργασία αστικών υγρών αποβλήτων

Στο στάδιο προεπεξεργασίας περιλαμβάνονται:

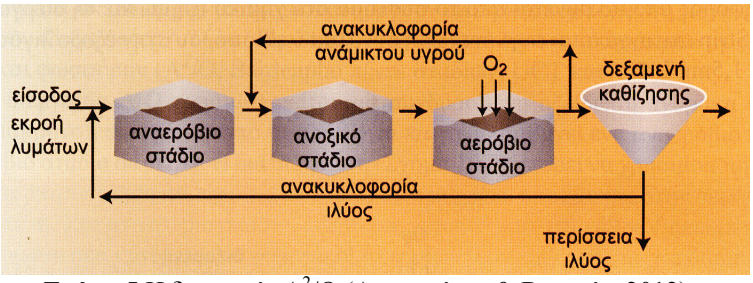
- ✓ **Φρεάτιο άφιξης:** Το φρεάτιο αυτό στόχο έχει να διατηρήσει μία σταθερή παροχή προς τα υπόλοιπα μέρη της μονάδος.
- ✓ **Εσχάρωση:** Σκοπός της εσχάρωσης είναι να συγκρατηθούν και να απομακρυνθούν από τη διαδικασία ογκώδη αντικείμενα, όπως ξύλα, οποιουδήποτε είδους πλαστικού όπως σακούλες κ.λ.π.. Υπάρχουν δύο σχάρες: η μία τοξωτή, αυτοκαθαριζόμενη και η άλλη χειροκίνητη, όπου και των δύο τα διάκενα είναι 0,02m. Η χειροκίνητα καθαριζόμενη εσχάρα χρησιμοποιείται μόνο όταν έχει βλάβη η αυτοκαθαριζόμενη, οπότε απομονώνεται, μέσω θυρίδων, για να επισκευαστεί και μέσω bypass, οδηγούνται τα απόβλητα σε αυτήν.
- ✓ **Εξάμμωση – Λιποσυλλογή:** Πρόκειται για μία κατασκευή, όπου συμβαίνουν δύο διαδικασίες: η αφαίρεση άμμου και η αφαίρεση λιπών. Με επιφανειακό ξέστρο, απομακρύνονται τα λίπη από τη δεξαμενή, ενώ διοχετεύεται και ρεύμα αέρα.

Πρωτοβάθμια επεξεργασία αστικών υγρών αποβλήτων

Στην ΜΕΥΑΑ της Σπάρτης δεν υπάρχει δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης και έτσι τα υγρά απόβλητα μετά την προεπεξεργασία, με ανύψωση, πηγαίνουν στην πρώτη δεξαμενή, που είναι αυτή της μικροβιακής αποφωσφόρωσης.

Δυτεροβάθμια και τριτοβάθμια επεξεργασία

Σε ό,τι αφορά στη δευτεροβάθμια και τριτοβάθμια επεξεργασία στη μονάδα της Σπάρτης, αυτή είναι τύπου A^2/O (βλ. Σχήμα 7)που σημαίνει ταυτόχρονα απομάκρυνση αζώτου φωσφόρου και οργανικού φορτίου.

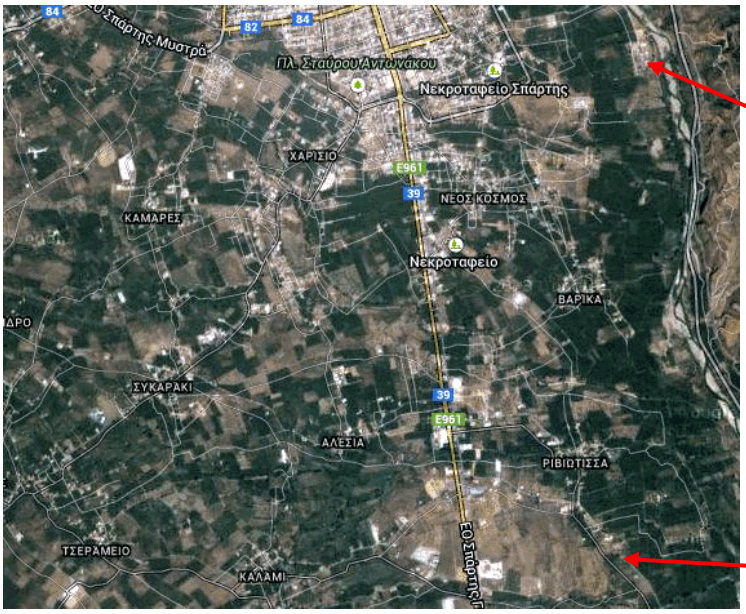


Σχήμα 5 Η διεργασία A^2/O (Λυμπεράτος & Βαγενάς, 2012)

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5, μετά τη διαδικασία της πρωτοβάθμιας επεξεργασίας ακολουθεί η αποφωσφόρωση, στη συνέχεια η νιτροποίηση, ακολούθως η απονίτρωση σε συνδυασμό με την αερόβια επεξεργασία, για μείωση του οργανικού φορτίου, και τέλος η δευτεροβάθμια καθίζηση και η απολύμανση.

1.4.1.2. Πειραματικός Αγρός-Όργανα Πεδίου

Ο πειραματικός αγρός εκτάσεως 5 στρεμμάτων, βρίσκεται 4 km περίπου νότια της πόλης της Σπάρτης και 1,5 km περίπου δυτικά του ποταμού Ευρώτα (37°22’43.33” Β, 22°26’47.10” Ε) (Σχήμα 7).



Λεπτομέρεια α

Λεπτομέρεια β

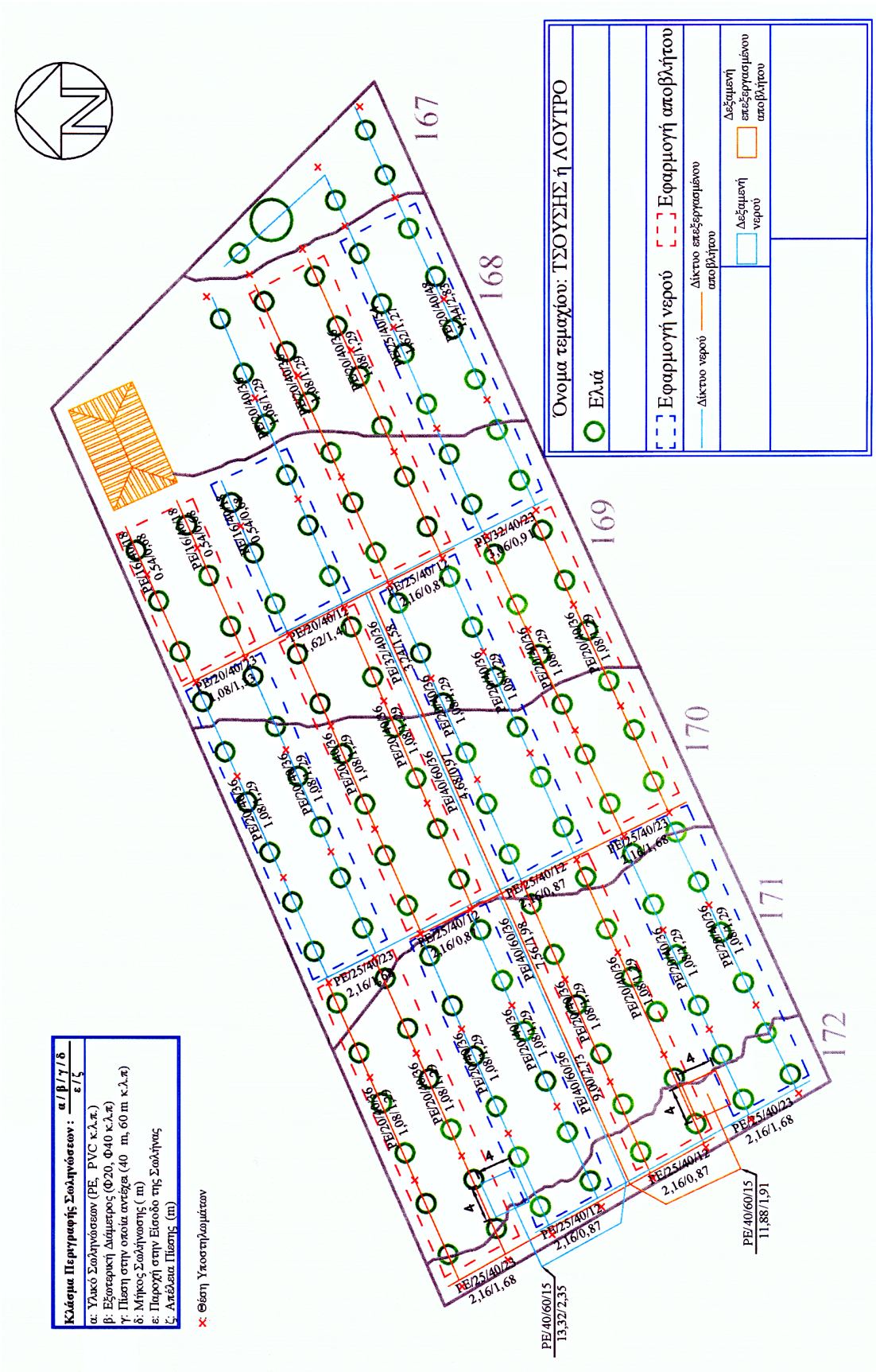
Σχήμα 6 Δορυφορική απεικόνιση της περιοχής της Σπάρτης όπου σημειώνεται η θέση της ΜΕΥΑΑ (λεπτομέρεια α) και η θέση του πειραματικού αγρού (λεπτομέρεια β)

Σε αυτό τον αγρό, υπάρχει εγκατεστημένη καλλιέργεια 140 ελαιοδένδρων δεκαπενταετίας, ποικιλίας «Κορωνέικη» (cv. Koroneiki). Η φύτευση έχει γίνει 6Χ6m. Τα δένδρα δεν έχουν λιπανθεί για περίπου πέντε χρόνια και δεν έχουν αρδευτεί από την φύτευσή τους και μέχρι την υλοποίηση του πειράματος. Τα ζιζάνια καταστρέφονται με χορτοκοπτικό και δεν υπόκειται σε καμία άλλη καλλιέργεια το έδαφος. Δύο εφαρμογές υλοποιήθηκαν. Η πρώτη ήταν άρδευση με κοινοτικό νερό (ΚΝ) και η δεύτερη άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα (ΕΥΑΑ), προερχόμενα από τη ΜΕΥΑΑ της Σπάρτης. Σε κάθε εφαρμογή υλοποιήθηκαν έξι (6) επαναλήψεις εκ των οποίων οι πέντε (5) είχαν δώδεκα (12) δένδρα και η μία (1) έξι (6) δένδρα. Συνολικά στο πείραμα και στην ακόλουθη στατιστική επεξεργασία συμπεριελήφθησαν 132 ελαιόδενδρα.

Εικόνα 1 Πλήρωση του βυτίου από την έξοδο της δεξαμενής χλωρίωσης (αριστερά) της ΜΕΥΑΑ και άδειασμα στην δεξαμενή, από την οποία αρδευόταν το τμήμα του αγρού, που αποτελούσε την εφαρμογή του αποβλήτου (δεξιά)

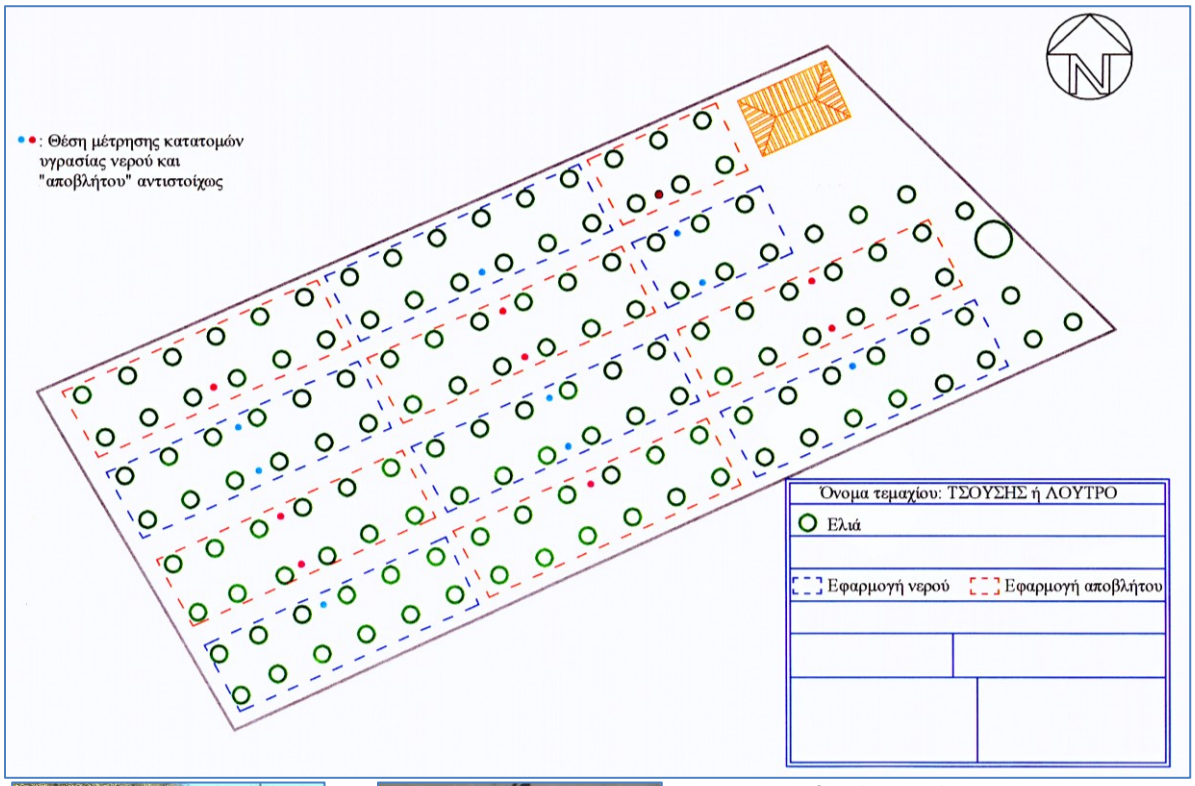
Το ΚΝ προερχόταν από ομαδική γεώτρηση και μεταφερόταν, μέσω αρδευτικών διωρύγων (αυλάκια), ενώ το ΕΥΑΑ προερχόταν από τη ΜΕΥΑΑ της Σπάρτης και μεταφερόταν με φορτηγό βυτίο, το οποίο μπορούσε να μεταφέρει ποσότητα νερού ίση με μία δόση άρδευσης (Εικόνα 1).

Το πείραμα διήρκησε δύο έτη, συγκεκριμένα το 2011 και το 2012, κατά τα οποία εφαρμόσθηκαν επτά (7) και δώδεκα (12) γεγονότα άρδευσης, αντιστοίχως, σε κάθε καλοκαιρινή περίοδο. Η συχνότητα άρδευσης καθοριζόταν από τη διαθεσιμότητα του καθαρού νερού από την ομαδική γεώτρηση, από την οποία το νερό ήταν διαθέσιμο για 1,5 έως 2 ώρες, κάθε 7 με 10 μέρες. Και τα δύο είδη αρδευτικού νερού (ΚΝ και ΕΥΑΑ) αποθηκευόντουσαν σε ανοικτές στεγανές δεξαμενές που είχαν διανοιχθεί στο δυτικό άκρο του αγροτεμαχίου (Σχήμα 8). Ακολουθώντας το πειραματικό σχέδιο των τυχαιοποιημένων πλήρων ομάδων, έγινε η επιλογή της θέσης των επαναλήψεων κάθε εφαρμογής επί του αγρού και μελετήθηκαν και εγκαταστάθηκαν δύο ξεχωριστά αρδευτικά δίκτυα, ήτοι ένα για κάθε εφαρμογή. (Σχήμα 8), με δύο sprayer ανά δένδρο, με παροχή 90 lt/h έκαστο. Η διάρκεια της άρδευσης ήταν περίπου δύο ώρες. Ροόμετρα είχαν εγκατασταθεί στην κεφαλή κάθε επανάληψης, ώστε να ελέγχεται η ομοιομορφία της άρδευσης.



Σχήμα 7 Παρουσίαση του πειραματικού αγρού όπου εμφανίζονται οι επαναλήψεις των δύο εφαρμογών, τα δύο ανεξάρτητα αντίστοιχα αρδευτικά δίκτυα και οι δύο δεξαμενές αποθήκευσης ΚΝ και ΕΥΑΑ

Σε δεκαοκτώ σημεία του αγρού (Σχήμα 9), εγκαταστάθηκαν σωληνώσεις-οδηγοί, εντός των οποίων μπορούσε να τοποθετηθεί αισθητήρας μέτρησης της κατατομής της εδαφικής υγρασίας. Στους οδηγούς αυτούς, τοποθετείτο αισθητήρας με δυνατότητα μέτρησης της εδαφικής υγρασίας στα 10, 20, 30, 40, 60 και 100 cm βάθος. Η μέτρηση γινόταν με την τοποθέτηση εντός των οδηγών του PR2/6 αισθητήρα μέτρησης κατατομής υγρασίας και τη χρήση του μετρητή HH2 (Delta-T Devices, 2013) (Εικόνα 2α και β).

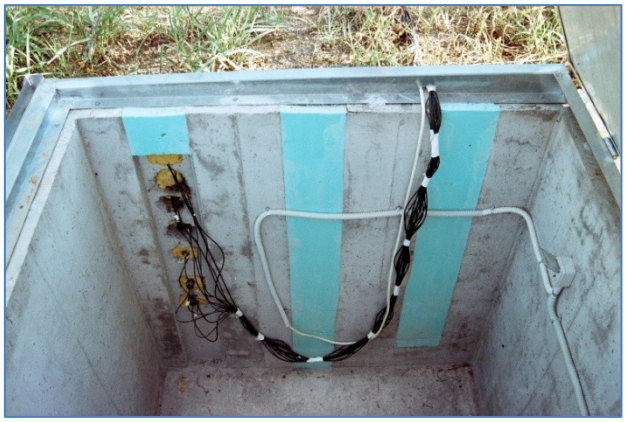


Σχήμα 8 (Επάνω) Παρουσίαση των θέσεων τοποθέτησης των αγωγών οδηγών του αισθητήρα μέτρησης της κατατομής υγρασίας

Εικόνα 2α (Αριστερά) Παρουσίαση των θέσεων των οδηγών τοποθέτησης του αισθητήρα (1) και των πιεζομέτρων (2) στον αγρό και **2β (Δίπλα)** Φωτογραφία του οδηγού (1) του αισθητήρα (2) και του μετρητή (3) που χρησιμοποιήθηκαν

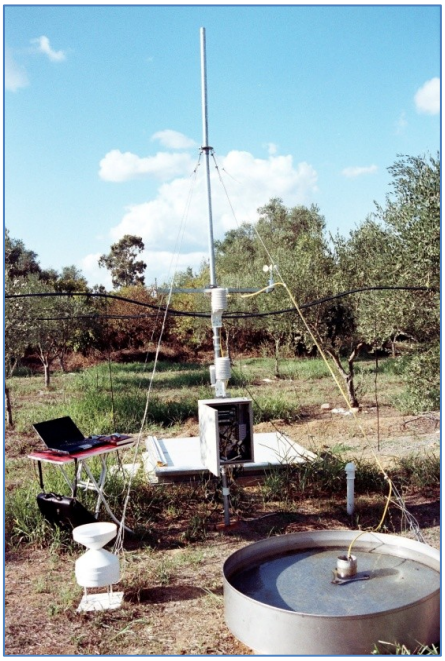
Οι μετρήσεις, μέσω αυτού του κανάβου σημείων, επιβεβαίωναν ότι το βάθος άρδευσης ήταν περίπου 1 m και για τις δύο εφαρμογές. Το ριζικό σύστημα της ελιάς αναπτύσσεται σε βάθος από 1,2-1,7 m, ενώ το ενεργό ριζόστρωμα αναπτύσσεται στο 65% αυτού του βάθους, δηλαδή περίπου μέχρι το 1 m (Allen, et. al., 1998). Επίσης, σε

απόσταση ενός μέτρου περίπου και προς την ίδια κατεύθυνση για όλες τις θέσεις, εγκαταστάθηκαν πιεζόμετρα, για να είναι εφικτή η μέτρηση της στάθμης νερού που εμφανιζόταν κατά τους χειμερινούς μήνες (Εικόνα 2^{α} και παράρτημα ΙΙΙ).



Εικόνα 3α Όρυγμα στο οποίο τοποθετήθηκαν αισθητήρες υγρασίας και θερμοκρασίας σε διάφορα βάθη **3β** Αισθητήρας ML2 της Delta-T που χρησιμοποιήθηκε

Πλέον των ανωτέρω, ανοίχθηκε όρυγμα 1,5Χ1,5Χ1,6 m, εντός του οποίου εγκαταστάθηκαν αισθητήρες υγρασίας και θερμοκρασίας σε βάθη 10, 20, 30, 40, 60, 80 και 100 cm (Εικόνα 3α). Οι αισθητήρες που εγκαταστάθηκαν ήταν οι ML2 (Delta-T, 1999) (Εικόνα 3β). Το όρυγμα ανοίχτηκε σε σημείο που τα τοποθετημένα όργανα να είναι εντός της περιοχής επίδρασης του sprayer, ώστε να καταγράφουν τις μεταβολές της υγρασίας και της θερμοκρασίας με την άρδευση.



Εικόνα 4 Φωτογραφία μετεωρολογικού σταθμού

Κοντά στο σημείο που ανοίχθηκε το όρυγμα, εγκαταστάθηκε και μετεωρολογικός σταθμός με δυνατότητα μέτρησης των εξής παραμέτρων: Υγρασία-θερμοκρασία ατμόσφαιρας, ένταση ανέμου, καθαρή ακτινοβολία, εξάτμιση και ύψος βροχόπτωσης. Τόσο οι αισθητήρες εδάφους εντός του ορύγματος που προαναφέρθηκαν, όσο και οι αισθητήρες του μετεωρολογικού σταθμού ήταν συνδεδεμένοι με τον ίδιο data logger. (Εικόνα 4)

1.4.1.3. Στατιστική Επεξεργασία Αποτελεσμάτων

Η στατιστική επεξεργασία έγινε με τη χρήση του προγράμματος JMP (John's Macintosh Program) έκδοση 8 (Simillides, 2010). Αρχικά έγινε έλεγχος της κατανομής των δεδομένων με το τεστ των Shapiro & Wilk, (1965) και έλεγχος ομοιογένειας της διακύμανσης με το τέστ του Levene, (1960). Περαιτέρω, έγινε έλεγχος για τιμές εκτός ορίων με την μέθοδο του Dixon (Dixon, 1950; 1951; Rorabacher, 1991).

1.4.1.4. Αναλύσεις ΕΥΑΑ και ΚΝ

Όπως αναφέρθηκε κατά τη διάρκεια των δύο ετών που διήρκησε το πείραμα υλοποιήθηκαν επτά (7) αρδεύσεις, κατά το έτος 2011 και δώδεκα (12) αρδεύσεις, κατά το έτος 2012. Για κάθε γεγονός άρδευσης υλοποιήθηκαν αναλύσεις που προβλέπονται από τη νομοθεσία, με στόχο τη διαπίστωση των κινδύνων, εάν και εφ' όσον υπάρχουν, όπως επίσης και να αξιολογηθεί η εκροή της ΜΕΥΑΑ της Σπάρτης, ως πηγή νερού άρδευσης, σύμφωνα με την Ελληνική Νομοθεσία. Οι αναλύσεις που υλοποιήθηκαν σε κάθε γεγονός άρδευσης τόσο για το ΕΥΑΑ όσο και για το ΚΝ, καθώς και οι μεθοδολογίες που χρησιμοποιήθηκαν εμφανίζονται στον Πίνακα 11.

Πίνακας 11 Λίστα αναλύσεων που έγιναν τόσο στο ΚΝ όσο και στο ΕΥΑΑ σε κάθε γεγονός άρδευσης ή μία φορά το χρόνο (Έντονη γραφή)

	ΚΝ	**ΕΥΑΑ**	**Μεθοδολογία**
pH (20°C)	✓	✓	APHA[15] 4500-H^+ B. (APHA, 1992)
ECw (20°C)	✓	✓	APHA 2510 (APHA, 1992)
BOD_5	-	✓	APHA 5210/B (APHA, 1992)
COD	-	✓	APHA 5210/C (APHA, 1992)
Ολική Σκληρότητα	✓	-	E.P.A. 130.2
Ολική Αλκαλικότητα	✓	-	Standard method /0403
TN	-	✓	APHA 4500-N/C (APHA, 2005)
TP	-	✓	APHA 4500-P/C (APHA, 2005)
SS	-	✓	-
NH_4^+	✓	✓	Merck analogous to APHA 4500-NH_4 F
NO_2^-	✓	✓	Merck Analogous to APHA 4500 NO_2 B
NO_3^-	✓	-	Apha 4500 NO_3 B (APHA, 1992)
Cl^-	✓	✓	APHA 4500 Cl B (APHA, 1992)
Ελεύθερο Cl_2	-	✓	APHA 4500-Cl_2 G (APHA, 2005)
K	✓	✓	APHA 3111 B (APHA, 1992)
Na	✓	✓	APHA 3111 B (APHA, 1992)
Ca	✓	✓	APHA 3111 B (APHA, 1992)
Mg	✓	✓	APHA 3111 B (APHA, 1992)
Fe	✓	✓	APHA 3113 (APHA, 1992)
Mn	✓	✓	APHA 3113 (APHA, 1992)
Cu	✓	✓	APHA 3113 (APHA, 1992)
Mo	✓	✓	APHA 3113 (APHA, 1992)
As	✓	✓	APHA 3113 (APHA, 1992)
Pb	✓	✓	APHA 3113 (APHA, 1992)
Cr	✓	✓	APHA 3113 (APHA, 1992)
Ni	✓	✓	APHA 3113 (APHA, 1992)
B	✓	✓	APHA 3113 (APHA, 1992)
Mo	✓	✓	APHA 3113 (APHA, 1992)
Co	✓	✓	APHA 3113 (APHA, 1992)
Al	✓	✓	APHA 3113 (APHA, 1992)
Se	✓	✓	APHA 3113 (APHA, 1992)
Zn	✓	✓	APHA 3113 (APHA, 1992)
Cd	✓	✓	APHA 3113 (APHA, 1992)
SO_4^{-2}	✓	-	APHA 4110B (APHA, 1992)

[15] American Public Health Association (APHA)

1.4.1.5. Νομοθεσία – Παρατηρήσεις - Συμπεράσματα

Με δεδομένο ότι η λειψυδρία, σε ξηρές και ημίξηρες περιοχές, καθιστά αναπόφευκτη τη χρήση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων (ΕΥΑΑ), ως συμπληρωματική πηγή ύδατος, για διάφορες χρήσεις, σειρά οδηγιών έχουν εκδοθεί (WHO, 1973, 1986, 1989, 2006; USEPA & USAID, 1992, 2004, 2012; State-of-Califortnia, 2000; NHMRC-ARMCANZ, 2000; NHMRC-NRMMC, 2004; NRMMC-EPHC, 2006), από διάφορους φορείς, σε μία προσπάθεια να καλυφθούν όλες οι πτυχές της διαχείρισης των υγρών αποβλήτων, που αφορούν στην επεξεργασία και στην εφαρμογή τους. Πολλά κράτη έχουν εισάγει στο νομικό τους σύστημα κανόνες για την ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση των αποβλήτων, υιοθετώντας τμήματα ή και το σύνολο των ανωτέρω οδηγιών.

Στην Ελλάδα, η ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων υιοθετήθηκε με την έκδοση της Κοινής Υπουργικής Απόφασης (ΚΥΑ) με αριθμό 145116/11(ΦΕΚ.354/Β΄/8-3-2011), όπως τροποποιήθηκε και συμπληρώθηκε από την όμοιά της με αριθμό 191002/13 (ΦΕΚ 2220 Β/9-9-2013). Επίσης, οι ανωτέρω ΚΥΑ ερμηνεύθηκαν με τις εγκυκλίους υπ' αριθμ. 145447/23-6-2011 (ΑΔΑ: 4Α3Υ0-4) και 1589/3-11-2011 (Α ΔΑ: 45ΒΜ0-Π8Β). Κατά τη νομοθεσία, η επαναχρησιμοποίηση των ΕΥΑΑ για άρδευση μπορεί να είναι δύο ειδών (άρθρο 4, §1 σημεία α και β):

1. *Η **«περιορισμένη»,** η οποία αφορά μόνο σε καλλιέργειες που τα προϊόντα τους καταναλώνονται μετά από θερμική ή άλλη επεξεργασία ή δεν προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση ή δεν έρχονται σε άμεση επαφή με το έδαφος, όπως καλλιέργειες ζωοτροφών, βιομηχανικές καλλιέργειες, λιβάδια, δέντρα (μη συμπεριλαμβανομένων των οπωροφόρων), με την προϋπόθεση ότι κατά τη συλλογή οι καρποί δεν βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος, καλλιέργειες σπόρων και*
2. *Η **«απεριόριστη»,** η οποία μεταξύ άλλων, αφορά σε όλα τα άλλα είδη καλλιεργειών, όπως λαχανικά, αμπέλια ή καλλιέργειες, των οποίων τα προϊόντα καταναλώνονται ωμά, ανθοκομικά. Κατά την απεριόριστη άρδευση, επιτρέπονται διάφορες μέθοδοι χρήσης του ανακτημένου νερού, συμπεριλαμβανομένου του καταιονισμού και δεν απαιτούνται περιορισμοί στην πρόσβαση.*

Για τα δύο αυτά είδη της άρδευσης απαιτείται η εκπόνηση μελέτης σχεδιασμού και εφαρμογής του συστήματος της άρδευσης ανάλογα με το συγκεκριμένο είδος της καλλιέργειας και τη συγκεκριμένη περιοχή. Η μελέτη αυτή περιλαμβάνει (άρθρο 4, §2 σημεία α έως και στ.):

1. *Το υδατικό ισοζύγιο, σε συνάρτηση και με τις αρδευόμενες καλλιέργειες και το ισοζύγιο οργανικού φορτίου και θρεπτικών, καθώς και κρίσιμων ιχνοστοιχείων, προκειμένου να προσδιορισθεί η ανά μονάδα αρδευόμενης επιφάνειας επιτρεπόμενη φόρτιση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα,*
2. *Τον υπολογισμό της συνολικά απαιτούμενης εδαφικής έκτασης,*
3. *Τα προγράμματα παρακολούθησης των ποιοτικών χαρακτηριστικών των επαναχρησιμοποιούμενων υγρών αποβλήτων και κατά περίπτωση, τα απαιτούμενα προγράμματα παρακολούθησης των χαρακτηριστικών του εδάφους και των αρδευόμενων καλλιεργειών,*

4. *Τα τυχόν απαιτούμενα πρόσθετα μέτρα και όρια για την συγκεκριμένη εφαρμογή (ενδεχόμενη περίφραξη της αρδευόμενης έκτασης, τρόπος άρδευσης, κλπ), καθώς και*
5. *Τα απαιτούμενα μέτρα ενημέρωσης και προστασίας για τους χρήστες και τους καταναλωτές, που πρέπει να λαμβάνονται, με ευθύνη του φορέα υλοποίησης της άρδευσης, ο οποίος μπορεί να είναι ο φορέας διαχείρισης ή ο άμεσος χρήστης του ανακτημένου νερού. Μεταξύ των μέτρων αυτών, μπορεί να υιοθετούνται αυτόματα ή ημιαυτόματα αρδευτικά συστήματα για ελαχιστοποίηση της επαφής των χειριστών με τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα,*
6. *Τον προσδιορισμό των τυχόν ελάχιστων απαιτούμενων αποστάσεων της συγκεκριμένης εφαρμογής από υφιστάμενες ή μελλοντικές υδροληψίες ή άλλες χρήσεις.*

Στο ίδιο άρθρο της ΚΥΑ (άρθρο 4) η § 5, παραπέμπει στους ακόλουθους Πίνακες

Πίνακας 12 Όρια για μικροβιολογικές και συμβατικές παραμέτρους καθώς και η κατ' ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για περιορισμένη άρδευση (ΚΥΑ 145116/11(ΦΕΚ.354/Β΄/8-3-2011), Παράρτημα Ι, Πίνακας 1)

Τύπος Επαναχρησιμοποίησης	Escherichia coli (EC/100 ml)	BOD_5 (mgr/l)	SS (mgr/l)	Θολερότητα (NTU)	Ελάχιστη Επεξεργασία
Περιορισμένη Άρδευση	≤200	25 mgr/l	35 mgr/l	-	Δευτεροβάθμια Βιολογική Επεξεργασία και Απολύμανση
		Σύμφωνα με την 5673/4 00/1997 Υπουργική Απόφαση			

Πίνακας 13 Όρια για μικροβιολογικές και συμβατικές παραμέτρους καθώς και η κατ' ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για απεριόριστη άρδευση (ΚΥΑ 145116/11(ΦΕΚ.354/Β΄/8-3-2011), Παράρτημα Ι, Πίνακας 2)

Τύπος Επαναχρησιμοποίησης	Escherichia coli (EC/100 ml)	BOD_5 (mgr/l)	SS (mgr/l)	Θολερότητα (NTU)	Ελάχιστη Επεξεργασία
Απεριόριστη Άρδευση	≤5 για το 80% των δειγμάτων και ≤50 για το 95% των δειγμάτων	≤10 mgr/l για το 80% των δειγμάτων	≤10 mgr/l για το 80% των δειγμάτων	≤2	Δευτεροβάθμια Βιολογική Επεξεργασία ακολουθούμενη από Τριτοβάθμια Επεξεργασία και Απολύμανση
		Σύμφωνα με την 5673/4 00/1997 Υπουργική Απόφαση			

Πίνακας 14 Μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις μετάλλων και στοιχείων (ΚΥΑ 145116/11(ΦΕΚ.354/Β΄/8-3-2011), Παράρτημα ΙΙ, Πίνακας 4)

Μέταλλο	Μέγιστη Συγκέντρωση (mgr/l)
Al (αργίλιο)	5
As (αρσενικό)	0.1
Be (βηρύλλιο)	0.1
Cd (κάδμιο)	0.01
Co (κοβάλτιο)	0.05
Cr (χρώμιο)	0.1
Cu (χαλκός)	0.2
F (φθόριο)	1.0
Fe (σίδηρος)	3.0

Πίνακας 14 Μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις μετάλλων και στοιχείων (ΚΥΑ 145116/11(ΦΕΚ.354/Β΄/8-3-2011), Παράρτημα ΙΙ, Πίνακας 4)

Μέταλλο	**Μέγιστη Συγκέντρωση (mgr/l)**
Li (λίθιο)	2.5
Mn (μαγγάνιο)	0.2
Mo (μολυβδαίνιο)	0.01
Ni (νικέλιο)	0.2
Pb (μόλυβδος)	0.1
Se (σελήνιο)	0.02
V (βανάδιο)	0.1
Zn (ψευδάργυρος)	2.0
Hg (υδράργυρος)	0.002
B (βόριο)	2

Πίνακας 15 Επιθυμητά αγρονομικά χαρακτηριστικά των προς άρδευση επαναχρησιμοποιούμενων ΕΥΑ (ΚΥΑ 145116/11(ΦΕΚ.354/Β΄/8-3-2011), Παράρτημα ΙΙΙ, πίνακας 5)

Πιθανό Πρόβλημα κατά την Άρδευση	**Μονάδες**	**Βαθμός περιορισμών κατά την εφαρμογή**		
		Μηδαμινός	**Μικρός-Μέτριος**	**Μεγάλος**
Αλατότητα (επηρεάζει τη διαθεσιμότητα νερού στο έδαφος)				
ECw[16]	dS/ m	< 0.7	0.7 -3.0	> 3.0
ή				
TDS (ολικά διαλυμένα στερεά)	mgr/l	< 450	450 -2000	> 2000
Διαπερατότητα				
SAR[17] = 0 - 3 και ECw =		> 0.7	0.7 -0.2	< 0.2
3 – 6		> 1.2	1.2 -0.3	< 0.3
6 -12		> 1.9	1.9 -0.5	< 0.5
12-20		> 2.9	2.9 -1.3	< 1.3
20-40		> 5.0	5.0 -2.9	< 2.9
Ειδική Τοξικότητα Ιόντων				
Νάτριο (Na)				
Επιφανειακή Άρδευση (προσρόφηση δια ριζών)	SAR	< 3	3 -9	> 9
Καταιονισμός (προσρόφηση δια φύλλων)	mgr/l	≤70	> 70	
Χλωριόντα (Cl)				
Επιφανειακή Άρδευση (προσρόφηση δια ριζών)	mgr/l	< 140	140 -350	> 350
Καταιονισμός (προσρόφηση δια φύλλων)	mgr/l	≤ 100	> 100	
Άλλες Επιπτώσεις				
Άζωτο (NO_3-N)[18]	mgr/l	< 5	5 -30	> 30
HCO_3 (Μόνο για άρδευη με καταιονισμό)	mgr/l	< 90	90-500	> 500
pH		Τυπικό διάστημα 6.5-8.5		

[16] ECw Ηλεκτρική αγωγιμότητα σε deciSiemens ανά μέτρο στους 25 ° C
[17] SAR Sodium Adsorption Ratio (βαθμός απορρόφησης νατρίου)
[18] NO_3-N Νιτρικό άζωτο σε όρους αζώτου

Οι παρατηρήσεις επί του νομοθετικού πλαισίου είναι οι ακόλουθες:

1. Η νομοθεσία δίνει, ως εργαλείο αναγνώρισης ενδεχόμενων κινδύνων για το έδαφος από την εφαρμογή του ΕΥΑΑ, τον πίνακα των επιθυμητών αγορανομικών χαρακτηριστικών (Πίνακα 15), όπου πρόκειται για τα κριτήρια που έχουν εισηγηθεί οι (Ayers & Westcot, 1985). Την ίδια στιγμή, δεν έχουν συμπεριληφθεί οι περιορισμοί, που οι ίδιοι οι εισηγητές έχουν θέσει για την ισχύ του πίνακα, δηλαδή την ισχύ των κριτηρίων για:
   - ✓ κοκκομετρία εδαφών από αμμοπηλώδη έως αργιλοπηλώδη με καλή υποστράγγιση,
   - ✓ κλίμα ημίξηρο έως ξηρό με λίγες βροχοπτώσεις,
   - ✓ στράγγιση καλή χωρίς την ύπαρξη ελεύθερου υδροφόρου ορίζοντα εντός δύο μέτρων από την επιφάνεια του εδάφους,
   - ✓ ποσοστό έκπλυσης αλάτων πάνω από 15% της δόσης άρδευσης.
2. Η άρδευση με ΕΥΑΑ δεν αντιμετωπίζεται ως ένα εγγειοβελτιωτικό έργο, στερείται τεκμηρίωσης και αποτύπωσης της υφιστάμενης κατάστασης προ της εφαρμογής, καθώς επίσης δεν επιβάλλεται η μελέτη και εγκατάσταση στραγγιστικού δικτύου.
3. Σε ό,τι αφορά περαιτέρω στο έδαφος, πρέπει να υλοποιείται λεπτομερής εδαφολογικός χάρτης με επιπλέον ιδιότητες (π.χ. ηλεκτρική αγωγιμότητα διηθήματος εδάφους (ECw), pH, ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (ΙΑΚ), ποσοστό του ανταλλάξιμου νατρίου (ESP), ποσοστό οργανικής ουσίας, ποσότητα ολικού αζώτου, φωσφόρου και καλίου (σε μορφή κατατομών) και διηθητικότητα της επιφάνειας του εδάφους).
4. Επίσης, πρέπει να γίνονται μελέτες αρδευτικών αναγκών και εδαφικού συστήματος τύπου 1 (Reed, et. al., 1988; Crites, et. al., 2000), για όλους του ενδεχόμενα περιοριστικούς παράγοντες. Η θεώρηση της άρδευσης με ΕΥΑΑ, ως ένός εδαφικού συστήματος επισημαίνεται και από τους (Huibers & Raschid-Sally, 2005).

1.4.2. Πειραματικά Αποτελέσματα –Επεξεργασία

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων που διενεργήθηκαν για κάθε γεγονός άρδευσης και για τα δύο έτη, τόσο για το ΚΝ, όσο και για το ΕΥΑΑ, εμφανίζονται στους Παράρτημα Ι Πίνακες 63 και 64 Από τους Πίνακες αυτούς μπορεί να υπολογισθεί ο δείκτης SAR (Sodium Adsorption Ratio) για κάθε γεγονός άρδευσης και για τις δύο εφαρμογές (ΚΝ και ΕΥΑΑ)με τη χρήση της ακόλουθης εξίσωσης:

$$SAR = \frac{Na^{+}}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \qquad (1)$$

Όπου Na^{+} = Νάτριο (milliequivalents/liter (meq/l))

Ca^{2+} =Ασβέστιο (meq/l)

Mg^{2+} = Μαγνήσιο (meq/l)

Από τον Πίνακα 63 (Παράρτημα Ι), μετά από στατιστική επεξεργασία, καταλήγουμε, σε ό,τι αφορά στα χαρακτηριστικά των δύο νερών άρδευσης για το 2011, στον Πίνακα 16 που ακολουθεί:

Πίνακας 16 Στατιστική Επεξεργασία των τιμών των παραμέτρων που αναλύθηκαν για το 2011

Στοιχεία/Μονάδες		KN					ΕΥΑΑ				
		Μ.Ο.	**Τ.Α.**	**Δ.**	**min**	**max**	**Μ.Ο.**	**Τ.Α.**	**Δ.**	**min**	**max**
pH (20°C)	-	7.95	0.10	0.01	7.8	8.1	7.84	0.23	0.05	7.5	8.1
ECw (20°C)	μS/cm	559.57	19.97	398.62	535	583	729.57	30.83	950.29	694	784
BOD_5	mgr/l	-	-	-	0	0	16.14	4.41	19.48	10	22
COD	mgr/l	-	-	-	0	0	93.43	21.27	452.29	60	120
Ολική Σκληρότητα	mgr/l	290.71	40.47	1637.57	247	331	-	-	-	-	-
Ολική Αλκαλικότητα	mgr/l	256.43	12.20	148.95	240	273	-	-	-	-	-
TN	mgr/l	-	-	-	-	-	26.71	5.22	27.24	19	33
TP	mgr/l	-	-	-	-	-	9.23	3.13	9.77	5	15
SS	mgr/l	-	-	-	-	-	137.00	-	-	-	-
NH_4^+	mgr/l	0.02			0.02	0.02	23.09	11.00	120.92	4.6	35
NO_2^-	mgr/l	0.12	0.06	0.00	0.02	0.19	-	-	-	-	-
NO_3^-	mgr/l	42.57	2.15	4.62	40	46	-	-	-	-	-
Cl	mgr/l	28.57	13.56	183.95	20	58	66.86	58.77	3454.48	40	200
Ελεύθερο Cl_2	mgr/l	-	-	-	-	-	<0.01	-	-	-	-
K	mgr/l	<2	-	-	-	-	12.00	1.41	2.00	10	14
Na	mgr/l	11.57	1.51	2.29	10	14	42.71	3.04	9.24	38	47
Ca	mgr/l	84.00	10.58	112.00	72	99	75.14	13.15	172.81	57	98
Mg	mgr/l	19.29	1.80	3.24	16	21	13.86	0.38	0.14	13	14
Fe	μgr/l	23.00	17.40	302.80	11	58	137.43	48.18	2320.95	33	172
Mn	μgr/l	5.00	-	-	5	5	18.00	-	-	-	-
Cu	μgr/l	<10	-	-	-	-	<10	-	-	-	-
Mo	μgr/l	10.00	-	-	10	10	<1	-	-	-	-
As	μgr/l	<1	-	-	-	-	<1	-	-	-	-
Pb	μgr/l	<1	-	-	-	-	<1	-	-	-	-
Cr	μgr/l	<1	-	-	-	-	<1	-	-	-	-
Ni	μgr/l	4.00	2.83	8.00	2	6	4.60	2.41	5.80	2	8
B	μgr/l	-	-	-	0	0	21.33	3.83	14.67	17	27
Co	μgr/l	<1	-	-	0	0	<1	-	-	-	-
Al	μgr/l	18.29	3.45	11.90	15	25	54.86	15.39	236.81	23	70
Se	μgr/l	<1	-	-	-	-	<1	-	-	-	-
Zn	μgr/l	<10	-	-	-	-	31.00	-	-	31	31
Cd	μgr/l	<0.2	-	-	-	-	<0.2	-	-	-	-
SO_4^{-2}	mgr/l	27.43	1.72	2.95	25	30	-	-	-	-	-
SAR		0.53	0.61	0.37	0.263	1.910	1.19	0.10	0.01	1.050	1.366

Από τον Πίνακα 64 του Παραρτήματος Ι, μετά από στατιστική επεξεργασία, καταλήγουμε, σε ό,τι αφορά στα χαρακτηριστικά των δύο νερών άρδευσης για το 2012, στον Πίνακα 17 που ακολουθεί

Πίνακας 17 Στατιστική Επεξεργασία των τιμών των παραμέτρων που αναλύθηκαν για το 2012

Στοιχεία/Μονάδες		ΚΝ					ΕΥΑΑ				
		Μ.Ο.	**Τ.Α.**	**Δ.**	**min**	**max**	**Μ.Ο.**	**Τ.Α.**	**Δ.**	**min**	**max**
pH (20°C)	-	7.84	0.16	0.02	7.47	8.03	7.74	0.19	0.03	7.32	7.91
ECw (20°C)	μS/cm	551.25	37.00	1368.93	520	646	645.67	39.99	1598.97	606	725
BOD_5	mgr/l	-	-	-	-	-	34.75	14.91	222.20	20	70
COD	mgr/l	-	-	-	-	-	72.67	15.29	233.70	52	104
Ολική Σκληρότητα	mgr/l	282.58	22.15	490.81	255	322	-	-	-	-	-
Ολική Αλκαλικότητα	mgr/l	296.17	24.53	601.61	244	322	-	-	-	-	-
TN	mgr/l	-	-	-	-	-	18.08	3.75	14.08	14	25
TP	mgr/l	-	-	-	-	-	14.02	16.69	278.40	2.9	64
SS	mgr/l	-	-	-	-	-	28.75	15.14	229.30	7	61
NH_4^+	mgr/l	0.04	0.01	0.00	0.02	0.05	7.89	5.13	26.30	4.12	16.94
NO_2^-	mgr/l	0.13	0.11	0.01	0.05	0.45	0.77	0.36	0.13	0.11	1.29
NO_3^-	mgr/l	39.92	3.96	15.72	32	46	-	-	-	-	-
Cl	mgr/l	22.25	2.77	7.66	20	28	49.00	6.15	37.82	31	56
Ελεύθερο Cl_2	mgr/l	-	-	-	-	-	0.04	0.01	0.00	0.02	0.06
K	mgr/l	1.66	0.33	0.11	1.2	2	18.67	4.14	17.15	10	23
Na	mgr/l	12.92	1.16	1.36	12	16	47.42	4.60	21.17	42	55
Ca	mgr/l	92.75	2.42	5.84	90	97	71.67	9.20	84.61	60	88
Mg	mgr/l	18.33	1.37	1.88	17	21	12.42	1.00	0.99	11	14
Fe	μgr/l	44.67	47.09	2217.88	12	144	238.33	222.12	49335.52	80	764
Ni	μgr/l	10.67	3.79	14.33	8	15	25.25	7.93	62.92	20	37
B	μgr/l	-	-	-	-	-	17.25	5.97	35.58	13	26
Al	μgr/l	51.25	23.58	555.84	24	114	183.33	73.23	5362.79	66	293
Zn	μgr/l	13.00	2.83	8.00	11	17	-	-	-	-	-
SO_4^{-2}	mgr/l	30.25	4.09	16.75	25	39	-	-	-	-	-
SAR		0.32	0.03	0.00	0.291	0.389	1.36	0.12	0.01	1.157	1.612

Συγκρίνοντας τις τιμές των παραμέτρων κάθε πηγής αρδευτικού νερού (ΚΝ και ΕΥΑΑ) εντός κάθε έτους άρδευσης του πειράματος, καταλήγουμε στον Πίνακα 18:

Πίνακας 18 Σύγκριση χαρακτηριστικών των νερών άρδευσης, ανά εφαρμογή και έτος (οι τιμές είναι οι μέσοι όροι)[19]

Στοιχεία/Μονάδες		2011 (7 γεγονότα άρδευσης)		2012 (12 γεγονότα άρδευσης)	
		ΚΝ	**ΕΥΑΑ**	**ΚΝ**	**ΕΥΑΑ**
pH (20°C)	-	7.95 **α**	7.84 **α**	7.84 **α**	7.74 **α**
ECw (20°C)	μS/cm	559.57 **β**	729.57 **α**	551.25 **β**	645.67 **α**
BOD_5	mgr/l	-	16.14	-	34.75
COD	mgr/l	-	93.43	-	72.67
Ολική Σκληρότητα	mgr/l	290.71	-	282.58	-

[19] Τιμές του ίδιου έτους που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν διέφεραν σημαντικά σύμφωνα με το Student's t-test με επίπεδο σημαντικότητας α=0,05

Πίνακας 18 Σύγκριση χαρακτηριστικών των νερών άρδευσης, ανά εφαρμογή και έτος (οι τιμές είναι οι μέσοι όροι)[19]

Στοιχεία/Μονάδες		**2011 (7 γεγονότα άρδευσης)**		**2012 (12 γεγονότα άρδευσης)**	
		ΚΝ	**ΕΥΑΑ**	**ΚΝ**	**ΕΥΑΑ**
Ολική αλκαλικότητα	mgr/l	256.43	-	296.17	-
TN	mgr/l	-	26.71	-	18.08
TP	mgr/l	-	9.23	-	14.02
SS	mgr/l	-	137.00	-	28.75
NH^{4+}	mgr/l	0.02 **β**	23.09 **α**	0.04 **β**	7.89 **α**
NO^{2-}	mgr/l	0.12	-	0.13 **β**	0.77 **α**
NO^{3-}	mgr/l	42.57	-	39.92	-
Cl	mgr/l	28.57 **β**	44.66 **α**	22.25 **β**	49.00 **α**
Ελεύθερο Cl_2	mgr/l	-	<0.01	<0.01	0.04
K	mgr/l	<2 **β**	12.00 **α**	1.66 **β**	18.67 **α**
Nα	mgr/l	11.57 **β**	42.71 **α**	12.92 **β**	47.42 **α**
Cα	mgr/l	84.00 **α**	75.14 **α**	92.75 **α**	71.67 **β**
Mg	mgr/l	19.29 **α**	13.86 **β**	18.33 **α**	12.42 **β**
Fe	mgr/l	23.00 **β**	137.43 **α**	44.67 **β**	238.33 **α**
Ni	mgr/l	4.00	4.60	10.67	25.25
B	mgr/l	-	21.33	<10.00	17.25
Al	μgr/l	18.29 **β**	54.86 **α**	51.25 **β**	183.33 **α**
Zn	μgr/l	<10.00	31.00	13.00	<10.00
SO_4^{2-}	μgr/l	27.43	-	30.25	-
Cu	μgr/l	<10	<10.00		
Mo	μgr/l	10.00	<1.00		
As	μgr/l	<1.00	<1.00		
Pb	μgr/l	<1.00	<1.00		
Cr	μgr/l	<1.00	<1.00		
Co	μgr/l	<1.00	<1.00		
Mn	μgr/l	5.00 β	18.00 α		
Se	μgr/l	<1.00	<1.00		
Cd	μgr/l	<0.20	<0.20		
SAR		0.53	1.19	0.32	1.36

1.4.3. Συζήτηση

Συγκρίνοντας τα χημικά χαρακτηριστικά του ΚΝ και του ΕΥΑΑ, διαπιστώνεται ότι και τα δύο έχουν ελαφρώς αλκαλικό pH, εντός όμως των ορίων καταλληλότητας για άρδευση (Πίνακας 18). Τα ΕΥΑΑ είχαν μεγαλύτερη EC, έναντι του ΚΝ (Πίνακας 18)

όπως έχει αναφερθεί και από τους Bedbabis, et al., (2010b), όμως τέτοιες τιμές αλατότητας δεν προξενούν κανένα πρόβλημα στην καλλιέργεια της ελιάς, που είναι ένα μετρίως ανθεκτικό είδος (Chartzoulakis K. S., 2005). Αντιθέτως με την παρούσα μελέτη, οι Bedbabis, et al., (2010b) έχουν αναφέρει μεγαλύτερες τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας (π.χ. 6300 $S \cdot cm^{-1}$), γεγονός που μπορεί να αποδοθεί στο ότι τα ΕΥΑΑ, που χρησιμοποιήθηκαν για πειραματισμό από τους εν λόγω μελετητές, προέρχονταν από δευτεροβάθμια επεξεργασία αστικών και βιομηχανικών αποβλήτων, ενώ στην παρούσα περίπτωση η πηγή των ΕΥΑΑ ήταν τριτοβάθμια επεξεργασία αποκλειστικά αστικών αποβλήτων.

Από την ανάλυση των μεταλλικών στοιχείων, βρέθηκε ότι τα ΕΥΑΑ είχαν σε μεγαλύτερη συγκέντρωση τα NH_4, NO_2, Cl, Mn,K, Fe, Al and Na από ότι στο ΚΝ, ενώ αντιθέτως διαπιστώθηκε ότι στο ΚΝ υπήρξαν σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις τα Ca και Mg από ότι στο ΕΥΑΑ (Πίνακας 18). Το ίδιο παρατηρήθηκε και από τους Bedbabis, et al., (2009), ενώ αντιθέτως από τους Segal, et al., (2011) αναφέρθηκε μεγαλύτερη συγκέντρωση όλων των στοιχείων στα ΕΥΑΑ από ότι στο ΚΝ. Οι τιμές του SAR ήταν μεγαλύτερες για το ΕΥΑΑ έναντι του ΚΝ όπως έχει αναφερθεί και από τους Segal, et al., (2011), γεγονός που οφείλεται στην αυξημένη συγκέντρωση Na στο ΕΥΑΑ, έναντι του ΚΝ, καθώς και στην αυξημένη τιμή Ca και Mg στο ΚΝ (Πίνακας 20). Οι Palese, Celano, Masi & Xiloyannis (2006) ανέφεραν μεγαλύτερες τιμές Na και K, ελάχιστα μεγαλύτερες τιμές EC και συγκρίσιμες τιμές Ca, Mg για το ΕΥΑΑ, έναντι του ΚΝ. Γενικά, η συγκέντρωση των μεταλλικών στοιχείων του ΕΥΑΑ της περίπτωσής μας ήταν σε χαμηλότερα επίπεδα από ότι τα αντίστοιχα του ΕΥΑΑ που χρησιμοποιήθηκε από τους Batarseh, et. al., (2011), πιθανότατα λόγω της τριτοβάθμιας επεξεργασίας.

Συνδυάζοντας τον Πίνακα 15 και τους Πίνακες 63 και 64 του Παραρτήματος Ι για επιφανειακή άρδευση (sprayers), εξάγονται συμπεράσματα για την επίδραση κάθε εφαρμογής, ανά άρδευση και για τα δύο έτη του πειράματος. Οι επιδράσεις αυτές αποτυπώνονται στους Πίνακες 19 και 20

Πίνακας 19 Περιορισμοί στην εφαρμογή ΚΝ και ΕΥΑΑ για όλα τα γεγονότα άρδευσης κατά το έτος 2011

Ημ/νία άρδευσης	Εφαρμογή	Πίν. 63 Παρ. Ι &εξίσωση (1)	Τιμές από Πίν. 63 Παρ. Ι			Βαθμός περιορισμών κατά την εφαρμογή			
		SAR	ECw (dS/m)	Ph	Cl	Αλατότητα	Διηθητικότητα	Τοξικότητα Cl^-	pH
20-7	ΚΝ	0.277	0.535	8.1	58	M[20]	M-M[21]	M	EO[22]
	ΕΥΑΑ	1.366	0.731	7.8	20	M-M	M	M-M	EO
27-7	ΚΝ	0.318	0.543	8	30	M	M-M	M	EO
	ΕΥΑΑ	1.176	0.722	7.95	45	M-M	M	M	EO
3-8	ΚΝ	0.320	0.578	7.9	20	M	M-M	M	EO

[20] Μηδαμινός (M)
[21] Μικρός έως Μέτριος (M-M)
[22] Εντός Ορίων (EO)

Πίνακας 19 Περιορισμοί στην εφαρμογή ΚΝ και ΕΥΑΑ για όλα τα γεγονότα άρδευσης κατά το έτος 2011

Ημ/νία άρδευσης	Εφαρμογή	Πίν. 63 Παρ. Ι &εξίσωση (1)	Τιμές από Πίν. 63 Παρ. Ι			Βαθμός περιορισμών κατά την εφαρμογή			
		SAR	ECw (dS/m)	Ph	Cl	Αλατότητα	Διηθητικότητα	Τοξικότητα Cl^-	pH
	ΕΥΑΑ	1.261	0.784	8.09	46	Μ-Μ	Μ	Μ	ΕΟ
10-8	ΚΝ	0.338	0.583	7.98	27	Μ	Μ-Μ	Μ	ΕΟ
	ΕΥΑΑ	1.125	0.694	7.48	45	Μ	Μ-Μ	Μ	ΕΟ
26-8	ΚΝ	0.291	0.571	8	20	Μ	Μ-Μ	Μ	ΕΟ
	ΕΥΑΑ	1.140	0.706	8.01	49	Μ-Μ	Μ	Μ	ΕΟ
2-9	ΚΝ	0.263	0.539	7.9	25	Μ	Μ-Μ	Μ	ΕΟ
	ΕΥΑΑ	1.231	0.715	7.96	40	Μ-Μ	Μ	Μ	ΕΟ
16-9	ΚΝ	0.263	0.568	7.8	20	Μ	Μ-Μ	Μ	ΕΟ
	ΕΥΑΑ	1.050	0.755	7.56	43	Μ-Μ	Μ	Μ	ΕΟ

Παρατηρούμε για το έτος 2011:

- ✓ Σε ό,τι αφορά στην διηθητικότητα, σε όλα τα γεγονότα άρδευσης με ΚΝ ο περιορισμός είναι μικρός έως μέτριος, ενώ αντιθέτως στα γεγονότα άρδευσης με ΕΥΑΑ ο περιορισμός είναι Μηδαμινός με εξαίρεση την εφαρμογή του ΕΥΑΑ για την ημερομηνία 10/8/2011, όπου ο βαθμός περιορισμού είναι μικρός έως μέτριος.
- ✓ Σε ό,τι αφορά στην τοξικότητα χλωρίου, ο βαθμός περιορισμού, βάσει των τιμών της συγκέντρωσης χλωρίου, τόσο για το ΚΝ, όσο και για το ΕΥΑΑ, σε όλα τα γεγονότα άρδευσης ήταν Μηδαμινός.
- ✓ Σε ό,τι αφορά στην αλατότητα για το 2011, διαπιστώνεται ότι ο βαθμός περιορισμού για την εφαρμογή του ΚΝ είναι σε όλες τις περιπτώσεις Μηδαμινός, ενώ του ΕΥΑΑ είναι μικρός έως μέτριος, με εξαίρεση ένα γεγονός άρδευσης στις 10 Αυγούστου 2011, οπότε είναι μηδαμινός.
- ✓ Τέλος, σε ό,τι αφορά στο pH, οι τιμές τόσο του ΚΝ όσο και του ΕΥΑΑ ήταν εντός ορίων.

Αντιστοίχως για το 2012 έχουμε τον Πίνακα 20 που ακολουθεί:

Πίνακας 20 Περιορισμοί στην εφαρμογή ΚΝ και ΕΥΑΑ για όλα τα γεγονότα άρδευσης κατά το έτος 2012

Ημ.νία άρδευσης	Εφαρμογή	Πίν. 64 Παρ Ι &εξίσωση (1)	Τιμές από Πίν. 64 Παρ. Ι			Βαθμός περιορισμών κατά την εφαρμογή			
		SAR	ECw (dS/m)	pH	Cl	Αλατότητα	Διηθητικότητα	Τοξικότητα Cl^-	pH
29-6	ΚΝ	0.298	0.602	7.61	28	M[23]	M-M[24]	M	EO[25]
	ΕΥΑΑ	1.157	0.611	7.91	50	M	M-M	M	EO
7-7	ΚΝ	0.388	0.646	7.47	27	M	M-M	M	EO
	ΕΥΑΑ	1.425	0.606	7.78	52	M	M-M	M	EO
13-7	ΚΝ	0.329	0.52	7.83	23	M	M-M	M	EO
	ΕΥΑΑ	1.307	0.629	7.88	31	M	M-M	M	EO
19-7	ΚΝ	0.300	0.55	7.8	20	M	M-M	M	EO
	ΕΥΑΑ	1.335	0.65	7.9	50	M	M-M	M	EO
27-7	ΚΝ	0.329	0.52	7.83	23	M	M-M	M	EO
	ΕΥΑΑ	1.307	0.629	7.88	51	M	M-M	M	EO
3-8	ΚΝ	0.318	0.556	8.03	20	M	M-M	M	EO
	ΕΥΑΑ	1.368	0.612	7.78	46	M	M-M	M	EO
9-8	ΚΝ	0.298	0.537	7.88	20	M	M-M	M	EO
	ΕΥΑΑ	1.479	0.691	7.81	51	M	M-M	M	EO
18-8	ΚΝ	0.291	0.549	7.96	20	M	M-M	M	EO
	ΕΥΑΑ	1.333	0.725	7.77	56	M-M	M	M	EO
24-8	ΚΝ	0.343	0.531	7.95	20	M	M-M	M	EO
	ΕΥΑΑ	1.454	0.7	7.75	48	M	M-M	M	EO
31-8	ΚΝ	0.320	0.528	7.91	22	M	M-M	M	EO
	ΕΥΑΑ	1.338	0.62	7.6	52	M	M-M	M	EO
7-9	ΚΝ	0.329	0.535	7.89	21	M	M-M	M	EO
	ΕΥΑΑ	1.612	0.615	7.32	50	M	M-M	M	EO
13-9	ΚΝ	0.300	0.541	7.9	23	M	M-M	M	EO
	ΕΥΑΑ	1.219	0.66	7.45	51	M	M-M	M	EO

Για το 2012 :

- ✓ Σε ό,τι αφορά στη διηθητικότητα και στις δύο εφαρμογές για όλα τα γεγονότα άρδευσης, ο βαθμός περιορισμού είναι μικρός έως μέτριος, με εξαίρεση την άρδευση με ΕΥΑΑ στις 18 Αυγούστου 2012, όπου ο

[23] Μηδαμινός (M)
[24] Μικρός έως Μέτριος (M-M)
[25] Εντός Ορίων (EO)

βαθμός είναι Μηδαμινός.

- ✓ Σε ό,τι αφορά στην τοξικότητα χλωρίου. ο βαθμός περιορισμού είναι Μηδαμινός για όλα τα γεγονότα άρδευσης και για τις δύο εφαρμογές.
- ✓ Σχετικά με την αλατότητα, διαπιστώνεται ότι ο βαθμός περιορισμού είναι Μηδαμινός, με εξαίρεση ένα γεγονός άρδευσης με ΕΥΑΑ στις 18 Αυγούστου 2012.
- ✓ Τέλος, και για το 2012, διαπιστώνεται ότι το pH είναι εντός των ορίων που θέτει η νομοθεσία.

Γενικά, παρατηρείται ότι ο βαθμός περιορισμού σχετικά με την τοξικότητα χλωρίου είναι ο ίδιος και για τα δύο έτη πειραματισμού και για τις δύο εφαρμογές ήτοι Μηδαμινός. Επίσης, ο βαθμός περιορισμού για το ΚΝ, σε ό,τι αφορά στην αλατότητα, είναι ο ίδιος και για τα δύο έτη εφαρμογής. Αντιθέτως, ο βαθμός περιορισμού για την αλατότητα, σε ό,τι αφορά στην άρδευση με ΕΥΑΑ, για το μεν 2011 είναι μικρός έως μέτριος, ενώ για το 2012 είναι μηδαμινός. Σε ότι αφορά στη διηθητικότητα ο βαθμός περιορισμού για τα γεγονότα άρδευσης με ΚΝ είναι και για τα δύο έτη ο ίδιος (μικρός έως μέτριος). Αντιθέτως, ο βαθμός περιορισμού για τη διηθητικότητα σε ό,τι αφορά στην άρδευση με ΕΥΑΑ, για το μεν 2011 είναι μηδαμινός (εξαίρεσης 10/8/2011-μικρός έως μέτριος), ενώ για το 2012 είναι μικρός έως μέτριος (εξαίρεση 18/8/2012-μηδαμινός). Τέλος, και για τα δύο έτη και για τις δύο εφαρμογές, οι τιμές του pH κινήθηκαν εντός των ορίων της νομοθεσίας.

Συνδυάζοντας τους Πίνακες 14 και 63, 64 Παράρτημα Ι, έγινε έλεγχος της περιεκτικότητας κάθε μετάλλου με τα προβλεπόμενα όρια από τη νομοθεσία, ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα για την ποιότητα και την καταλληλότητα των ΕΥΑΑ για άρδευση. Τα αποτελέσματα αυτής της σύγκρισης για τα δύο έτη εμφανίζονται στον Πίνακα 21.

Πίνακας 21 Σύγκριση αποτελεσμάτων ανάλυσης μετάλλων και ορίων που θέτει η νομοθεσία

Μέταλλο	**Μέγιστη Συγκέντρωση (mgr/l)**	**Χαρακτηρισμός**
Al (Αργίλιο)	5	ΕΟ[26] για όλα τα γεγονότα και για τα δύο έτη και για τις δύο εφαρμογές
As (Αρσενικό)	0,1	ΕΟ και για τα δύο έτη και για τις δύο εφαρμογές
Be (Βηρύλλιο)	0.1	Δεν υλοποιήθηκε ανάλυση
Cd (Κάδμιο)	0.01	ΕΟ και για τα δύο έτη και για τις δύο εφαρμογές
Co (Κοβάλτιο)	0.05	ΕΟ και για τα δύο έτη και για τις δύο εφαρμογές
Cr (Χρώμιο)	0.1	ΕΟ και για τα δύο έτη και για τις δύο εφαρμογές
Cu (Χαλκός)	0.2	ΕΟ και για τα δύο έτη και για τις δύο εφαρμογές
F (Φθόριο)	1.0	Δεν υλοποιήθηκε ανάλυση
Fe (Σίδηρος)	3.0	ΕΟ για όλα τα γεγονότα και για τα δύο έτη και για τις δύο εφαρμογές
Li (Λίθιο)	2.5	Δεν υλοποιήθηκε ανάλυση
Mn (Μαγγάνιο)	0.2	ΕΟ και για τα δύο έτη και για τις δύο εφαρμογές

[26] Εντός Ορίων (ΕΟ)

Πίνακας 21 Σύγκριση αποτελεσμάτων ανάλυσης μετάλλων και ορίων που θέτει η νομοθεσία

Μέταλλο	Μέγιστη Συγκέντρωση (mgr/l)	Χαρακτηρισμός
Mo (Μολυβδαίνιο)	0.01	ΕΟ και για τα δύο έτη και για τις δύο εφαρμογές
Ni (Νικέλιο)	0.2	ΕΟ και για τα δύο έτη και για τις δύο εφαρμογές
Pb (Μόλυβδος)	0.1	ΕΟ και για τα δύο έτη και για τις δύο εφαρμογές
Se (Σελήνιο)	0.02	ΕΟ και για τα δύο έτη και για τις δύο εφαρμογές
V (Βανάδιο)	0.1	Δεν υλοποιήθηκε ανάλυση
Zn (Ψευδάργυρος)	2.0	ΕΟ για όλα τα γεγονότα και για τα δύο έτη και για τις δύο εφαρμογές
Hg (Υδράργυρος)	0.002	Δεν υλοποιήθηκε ανάλυση
B (Βόριο)	2.0	ΕΟ για όλα τα γεγονότα και για τα δύο έτη και για τις δύο εφαρμογές

Είναι εμφανές ότι δεν υπάρχουν περιορισμοί σε ότι αφορά στα μεταλλικά στοιχεία για την επαναχρησιμοποίηση των ΕΥΑΑ της ΜΕΥΑΑ της Σπάρτης. Αυτό προκύπτει, ως αποτέλεσμα των δραστηριοτήτων που έχουν αναπτυχθεί εντός του αστικού ιστού που τροφοδοτεί το αποχετευτικό σύστημα, όπου δραστηριότητες, που θα παρήγαγαν τέτοιους ρύπους (π.χ. συνεργεία κ.λ.π.), έχουν προχωρήσει σε ανακύκλωση των υγρών τους αποβλήτων (λάδια μηχανών κ.λ.π.) και έτσι αυτά δεν απορρίπτονται στο αποχετευτικό σύστημα.

Συνδυάζοντας του Πίνακες 12, 13 και 63, 64 Παράρτημα Ι, συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν σε ό,τι αφορά στην ποιότητα του ΕΥΑΑ και στο είδος της άρδευσης, για το οποίο αυτό είναι κατάλληλο, πάντα σε σχέση με τα προβλεπόμενα από την κείμενη νομοθεσία. Οι παράμετροι, για τις οποίες έγινε έλεγχος, ήταν το BOD_5 και τα SS μόνο, διότι για τεχνικούς λόγους δεν ήταν εφικτό να ελεγχθούν τα ΕΥΑΑ για μικροβιακό φορτίο .

Πίνακας 22 Αποτελέσματα σχετικά με τις τιμές του BOD_5 και των SS που αφορούν στην ποιότητα και την καταλληλότητα των ΕΥΑΑ για κάθε είδος άρδευσης

Παράμετρος	Μέγιστη Τιμή (mgr/l)		Χαρακτηρισμός		
	Περιορισμένη Άρδευση	Απεριόριστη Άρδευση	Έτος	Περιορισμένη Άρδευση	Απεριόριστη Άρδευση
BOD_5	25	≤10 (για το 80% των δειγμάτων)	2011	Όλες οι τιμές εντός ορίων	Όλες οι τιμές πάνω από το όριο
			2012	Από τις 12 τιμές οι 8 ελάχιστα πάνω από το όριο	
SS	35	≤10 (για το 80% των δειγμάτων)	2011	Όλες οι τιμές εντός ορίων	
			2012	Από τις 12 τιμές οι 3 ελάχιστα πάνω από το όριο	

Από τον Πίνακα 22, συνάγεται το συμπέρασμα ότι ποιοτικά το ΕΥΑΑ, σε ό,τι αφορά στο BOD_5 και στα SS, είναι κατάλληλο για έμμεση επαναχρησιμοποίηση και περιορισμένη άρδευση. Οι ελαφρώς πάνω από τα όρια τιμές που παρατηρήθηκαν σε

κάποιες αναλύσεις δεν θα αποτελούσαν πρόβλημα, δεδομένου ότι εκ των αποτελεσμάτων προτείνεται έμμεση επαναχρησιμοποίηση, δηλαδή η αποθήκευση σε επιφανειακές ή υπόγειες δεξαμενές του ΕΥΑΑ πριν την άρδευση, οπότε κατά την παραμονή εντός αυτών των δεξαμενών, θα μειώνονταν οι τιμές των αναφερθεισών παραμέτρων. Να σημειωθεί ότι στο παρόν πείραμα η αποθήκευση πριν την άρδευση κυμάνθηκε μεταξύ μίας και τριών ωρών μόνο.

Τα ανωτέρω τεκμηριώνουν την καταλληλότητα της εκροής της ΜΕΥΑΑ της Σπάρτης για επαναχρησιμοποίηση στον αγροτικό τομέα για άρδευση. Αν τώρα υπολογίσουμε την καλλιεργούμενη έκταση (ελαιώνας) που θα μπορούσε να αρδευτεί απευθείας από την εκροή της ΜΕΥΑΑ της Σπάρτης, χωρίς κατασκευή δεξαμενής αποθήκευσης, δηλαδή υπολογίζοντας για εκμετάλλευση μόνο την ημερήσια παροχή της μονάδος και λαμβάνοντας υπ' όψιν ως αναγκαία ποσότητα άρδευσης για ελιές αυτή που υπαγορεύεται από την ΚΥΑ Φ16/6631/89, καταλήγουμε ότι θα ήταν εφικτό να αρδευτούν από 1989,3 έως 2386,5 στρ.. Οι αναφερθείσες εκτάσεις, οι οποίες δύνανται να αρδευτούν με την εκροή της ΜΕΥΑΑ χωρίς προηγούμενη αποθήκευση, ούτως ώστε να γίνει εκμετάλλευση και του χειμερινού απορριπτόμενου όγκου στον Ευρώτα, είναι πολύ σημαντικές, αν τις συγκρίνουμε με τις αρδεύσιμες εκτάσεις των ΤΟΕΒ, που βρίσκονται κατάντη της ΜΕΥΑΑ (Πίνακας 23).

Πίνακας 23 Αρδεύσιμες εκτάσεις των ΤΟΕΒ που χωροθετούνται κατάντη της ΜΕΥΑΑ Σπάρτης καθώς και ποσοστιαία κάλυψη της αρδεύσιμης έκτασης από το ΕΥΑΑ της ΜΕΥΑΑ Σπάρτης

ΤΟΕΒ	Αρδεύσιμη Έκταση (στρ)	Ελάχιστο % κάλυψης	Μέγιστο % κάλυψης
Ξηροκαμπίου	3.500	56.84%	68.19%
Αμυκλών	2.040	97.51%	116.99%
Ζαχαριά	1.884	105.59%	126.67%
Καλυβίων Σοχάς	2.500	79.57%	95.46%
Ανωγείων	4.600	43.25%	51.88%
Παλαιοπαναγιάς	4.700	42.33%	50.78%

Είναι σαφές από τον Πίνακα 23 ότι η επεξεργασμένη εκροή της ΜΕΥΑΑ Σπάρτης μπορεί να αποτελέσει σημαντικότατη πηγή αρδευτικού νερού. Πέραν αυτού, οι λειτουργούσες ΜΕΥΑΑ αλλά και αυτές που είναι υπό κατασκευή ή υπό μελέτη χωροθετούνται σε τμήματα της Περιφερειακής Ενότητας, με έντονο πρόβλημα λειψυδρίας και επικρατούσα καλλιέργεια την αρδευόμενη ελιά, γεγονός που καθιστά το ΕΥΑΑ σημαντικότατη συμπληρωματική πηγή άρδευσης για την Περιφερειακή Ενότητα.

1.4.4. Συμπεράσματα

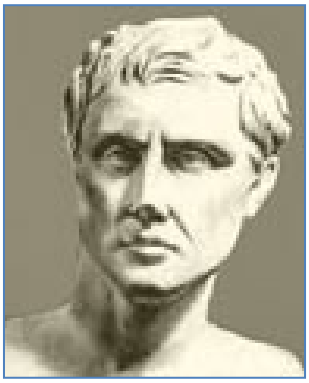
Σε ό,τι αφορά στην καταλληλότητα του ΕΥΑΑ της ΜΕΥΑΑ της Σπάρτης για τα έτη 2011 και 2012 διαπιστώθηκε ότι:

1. Ο κίνδυνος τοξικότητας χλωρίου ήταν μηδαμινός.

2. Ο κίνδυνος επίδρασης στη διηθητικότητα ήταν μηδαμινός κατά το πρώτο έτος και μικρός έως μέτριος κατά το δεύτερο.
3. Ο κίνδυνος που αφορά στην αλατότητα ήταν για το 2011, μικρός έως μέτριος και για το 2012, μηδαμινός.
4. Οι τιμές του pH κινήθηκαν όλες εντός των ορίων ασφαλείας για άρδευση.
5. Οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων σε όλες τις περιπτώσεις ήταν εντός των ορίων ασφαλείας για άρδευση.
6. Οι τιμές του οργανικού φορτίου για το 2011, ήταν όλες εντός ορίων, ενώ για το 2012, 8 από τις 12 ήταν ελάχιστα πάνω από το όριο.
7. Οι τιμές των αιωρούμενων στερεών για το έτος 2011, ήταν όλες εντός ορίων, ενώ το 2012, 3 από τις 12 ήταν ελάχιστα πάνω από το όριο.

Συμπερασματικά, μπορεί να ειπωθεί ότι το ΕΥΑΑ της Σπάρτης για τα έτη 2011 και 2012, κρίνεται κατάλληλο για έμμεση περιορισμένη άρδευση, δεδομένου ότι:

1. Η αποθήκευση θα συμβάλλει στη μείωση παραμέτρων που είναι ελάχιστα πάνω από τα όρια.
2. Οι χημικές αναλύσεις έδειξαν μηδαμινούς και μικρούς έως μέτριους βαθμούς περιορισμού, κατά την εφαρμογή της άρδευσης, για έδαφος, φυτό και περιβάλλον.



Μήτηρ ἁπάντων γαία καί κοινή τροφός.

Μένανδρος, 4ος αιών π.Χ., Αρχαίος Έλληνας ποιητής[27]

2. ΕΔΑΦΟΣ

[27] Παπασταματίου Σ. & Χατήρας Α. (1979), «Απάνθισμα Σοφίας. Αρχαία Ρητά και Αποφθέγματα» Αθήνα, ΟΕΕ ΑΤΛΑΣ

2.1. Εισαγωγή

Έδαφος είναι η ανώτερη στρώση του στερεού φλοιού της γης (Πουλοβασίλης, 2015). Επίσης έδαφος είναι το σαθρό ανόργανο και οργανικό υλικό που βρίσκεται στην επιφάνεια του εδάφους και αποτελεί το μέσο ανάπτυξης των φυτών ή το σαθρό ανόργανο και οργανικό υλικό που βρίσκεται στην επιφάνεια της γης και έχει προκύψει αλλά και εμφανίζει επιδράσεις παραγόντων της διαδικασίας γένεσης και του περιβάλλοντος όπως: το κλίμα, οι μίκρο και μάκρο οργανισμοί και το ανάγλυφο, παράγοντες που επιδρούσαν στο μητρικό υλικό για κάποια χρονική περίοδο (SSSA, 2008). Ο ορισμός του εδάφους διαφέρει ανάλογα με την προσωπική αντίληψη εκείνου που το διαχειρίζεται, αλλά σε κάθε περίπτωση αποτελεί ένα ανοικτό φυσικό δυναμικό σύστημα (Μουστάκας, 2009).

Το έδαφος είναι ο κύριος αποδέκτης όλων των εκδόχων των ανθρώπινων διαδικασιών και κυρίως της γεωργίας, η οποία εκτείνεται σε μεγαλύτερη επιφάνεια έναντι των άλλων δραστηριοτήτων και χρησιμοποιεί το έδαφος, ως έναν από τους συντελεστές παραγωγής. Η επίδραση της γεωργίας επί του εδάφους και εν γένει του περιβάλλοντος έχει ως αποτέλεσμα τη χημική, βιολογική και φυσική υποβάθμισή του. Επειδή όμως η γεωργία δεν είναι κάτι απρόσωπο, η επίδρασή της έχει να κάνει με τους εμπλεκόμενους σε αυτή ανθρώπους (γεωργούς, γεωπόνους, πολιτικούς καταναλωτές κ.λ.π.) και πώς αντιλαμβάνονται τη σχέση τους με το περιβάλλον και το κοινωνικό σύνολο, δηλαδή είναι απόρροια των θεωρήσεων του ατόμου σε ό,τι αφορά στην περιβαλλοντική ηθική, δηλαδή εκείνου του κλάδου της φιλοσοφίας, ο οποίος ασχολείται με τα ήθη (τη διάκριση μεταξύ σωστού και λάθους) και τις αξίες (την απόλυτη αξία των πράξεων και των πραγμάτων). Η επίδραση λοιπόν του ατόμου στους φυσικούς πόρους έχει να κάνει με αποφάσεις, πιέσεις, επιθυμίες, ηθικές και οικονομικές θεωρίες και απόψεις, εν ολίγοις προτεραιότητες-επιδιώξεις, που τίθενται από τον καθένα ξεχωριστά, από την κοινωνία, τους πολιτικούς και εν γένει, κάθε δρώσα, κρίσιμη, ανθρώπινη μάζα, που υποστηρίζει κάθε φορά κάποια δικαιώματά της και κάποια ωφέλη της. (Μπουραζάνης Γ. , 2015).

Μία βασική διαδικασία χημικής και φυσικής υποβάθμισης του εδάφους είναι η άρδευση. Άρδευση καλείται η με τεχνητό και κατά το δυνατόν φιλοπεριβαλλοντικό τρόπο, προσθήκη ποσότητας νερού, ώστε να εξασφαλισθεί η απαιτούμενη εδαφική υγρασία για την ολοκλήρωση του βιολογικού κύκλου των καλλιεργειών, έτσι ώστε το νερό ποσοτικά και ποιοτικά να μην αποτελέσει περιοριστικό παράγοντα ανάπτυξης και απόδοσης της καλλιέργειας (νόμος ελαχίστου. Η άρδευση είναι εκείνη η γεωργική δραστηριότητα που έδωσε τη δυνατότητα στον άνθρωπο να εγκατασταθεί σε συγκεκριμένα σημεία και να αναπτύξει πόλεις και κοινωνική δραστηριότητα. Η εφαρμογή της άρδευσης φαίνεται να έχει αρχίσει στην περιοχή της Μεσοποταμίας κατά τη διάρκεια της $6^{ης}$ χιλιετηρίδας π.Χ. (Πουλοβασίλης, 2015). Ακολούθως, η εφαρμογή της γενικεύθηκε στην περιοχή της Μέσης Ανατολής και της Αιγύπτου, κατά την $4^{η}$ χιλιετηρίδα π.Χ., ενώ ενδείξεις υπάρχουν ότι άρδευση εφαρμοζόταν σε μεγάλες περιοχές της Κίνας, κατά την $3^{η}$ χιλιετηρίδα π.Χ. (Πουλοβασίλης, 2010). Η άρδευση προξένησε δευτερογενή αλάτωση των αρδευόμενων εδαφών σε ημίξηρες και ξηρές περιοχές, γεγονός στο οποίο αποδίδεται και η παρακμή μεγάλων πολιτισμών της αρχαιότητας (Szabolcs, 1996), (Πουλοβασίλης, 2015). Αντιθέτως, η Αίγυπτος

διατήρησε την παραγωγικότητα των εδαφών της για περίπου 7 χιλιετηρίδες, ως αποτέλεσμα της στραγγίσεως που επιτυγχανόταν τις περιόδους που ο Νείλος είχε χαμηλότερη στάθμη από τις λεκάνες κατάκλυσης, απομακρύνοντας το νερό από αυτές, λειτουργώντας κατά τον κύκλο του έτους, τόσο ως αρδευτική διώρυγα, όσο και ως στραγγιστική τάφρος (Πουλοβασίλης, 2015). Η επίδραση της δευτερογενούς αλάτωσης είχε ως αποτέλεσμα τη μετακίνηση των πληθυσμών και την άρδευση νέων διαθέσιμων παρθένων γαιών, δίνοντας έτσι προσωρινά μία λύση στο πρόβλημα. Με την αύξηση όμως του πληθυσμού και με τον περιορισμό των διαθέσιμων για εκ νέου εγκατάσταση γαιών, το πρόβλημα της αλατότητας κατέστη εμφανές (FAO, 1976). Έτσι, σύμφωνα με τον Szabolcs (1996), από τις αρδευόμενες εκτάσεις περισσότερες από τις μισές έχουν εναλατωθεί ή αλκαλιωθεί. Στη χώρα μας, οι εκτάσεις που έχουν εναλατωθεί (αλατούχες, αλκαλιωμένες, και αλατουχοαλκαλιωμένες εκτάσεις) ανέρχονται σε 881.231 στρ. (Κουκουλάκης, & συν., 2000).

2.2. Χωροχρονική Εξέλιξη Χημικών Ιδιοτήτων Εδάφους

Η κατάσταση του υδατικού δυναμικού της Ελλάδας, όπως περιγράφηκε στον Πίνακα 8 και στο Σχήμα 3, επιβάλλει όσο ποτέ άλλοτε να προχωρήσει η ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων εκροών των ΜΕΥΑΑ για άρδευση, πέραν των όποιων άλλων κατά περίπτωση τεχνικών λύσεων μπορεί να εφαρμοστούν. Την ίδια στιγμή όμως οι συνέπειες, που μπορούν να προκύψουν από την ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση του ΕΥΑΑ για άρδευση είναι αντικρουόμενες, λόγω της σύστασης του νέου αυτού υδατικού πόρου. Τα ΕΥΑΑ είναι μια πολύτιμη πηγή θρεπτικών στοιχείων και οργανικής ύλης, που ενισχύουν τη γονιμότητα του εδάφους μέσω της βελτίωσης των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων του (Mohammad & Mazahreh, 2003). Την ίδια στιγμή μπορεί να περιέχουν βαρέα μέταλλα, οργανικούς ρύπους, άλατα κ.λ.π. με κίνδυνο τη ρύπανση των εδαφών, καθώς και μεταβολή της υδρολογίας τους, υποβαθμίζοντας τις φυσικές ιδιότητές τους (Coppola, et al., 2005; Keser & Buyuk, 2012). Επιπλέον, ελλοχεύει ο κίνδυνος μεταφοράς των συσσωρευμένων στο έδαφος, λόγω της εφαρμογής, θρεπτικών στοιχείων και βαρέων μετάλλων στην τροφική αλυσίδα (Kalavrouziotis, et al., 2008a; Kalavrouziotis, et al., 2008b). Λόγω όλων των ανωτέρω, οι Panoras, et al., (2003) αναφέρουν ότι παρά την αυξημένη παραγωγικότητα που υπήρξε λόγω της εφαρμογής του επεξεργασμένου υγρού αστικού αποβλήτου σε καλλιέργεια καλαμποκιού στην κόλπο της Θεσσαλονίκης, είναι αναγκαία η παρακολούθηση τόσο της ποιότητας του υγρού επεξεργασμένου αποβλήτου, όσο και του εδάφους. Αναδεικνύεται λοιπόν η σύνεση που πρέπει να είναι συνυφασμένη με την παρακολούθηση κάθε τέτοιας εφαρμογής, καθ' όσον μπορεί να αποβεί μοιραία για τον εδαφικό πόρο.

2.2.1. Υλικά και Μέθοδοι

Ο πειραματικός αγρός έχει ήδη περιγραφεί στην ενότητα 1.4.1.2. Σε ό,τι αφορά στη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων, αυτή έχει περιγραφεί στην ενότητα 1.4.1.3.

Περαιτέρω, η επεξεργασία των δεδομένων έγινε σύμφωνα με το πειραματικό σχέδιο των πλήρων τυχαιοποιημένων ομάδων. Η ανάλυση έγινε σύμφωνα με το γραμμικό μοντέλο (Simillides, 2010):

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}\,, \qquad (2)$$

Όπου: Y_{ij} είναι η παρατήρηση της ij επανάληψης (i=1, 2 αφορά στις εφαρμογές (1:ΕΥΑΑ και 2:ΚΝ) και j=1-6 αφορά στον αριθμό επαναλήψεων ανά εφαρμογή (δες Σχήμα 8),

μ είναι ο συνολικός μέσος όρος

τ_i και β_j είναι η επίδραση της i εφαρμογής και της j επανάληψης αντιστοίχως

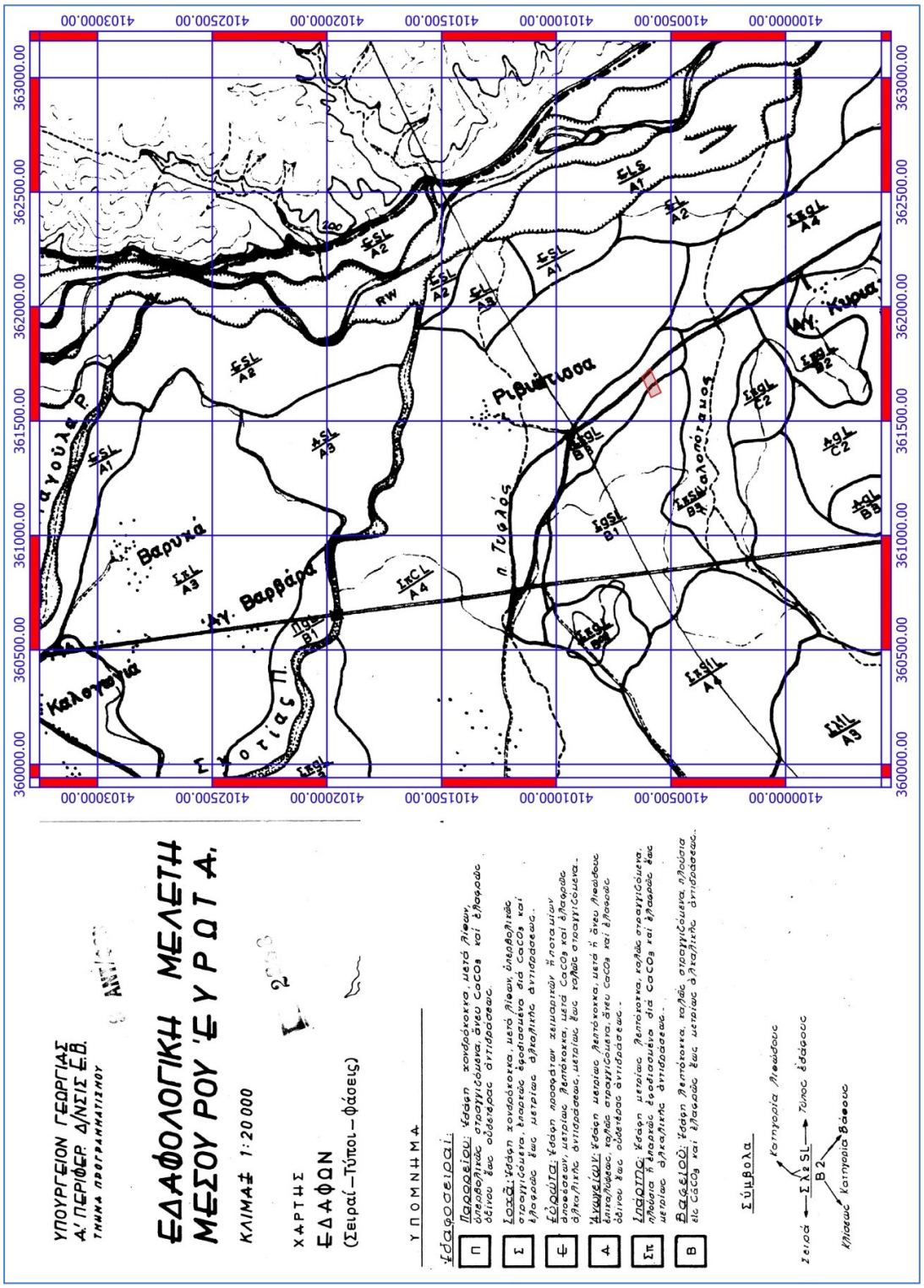
ε_{ij} είναι τυχαίο λάθος της παρατήρησης

2.2.1.1. Εδαφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής

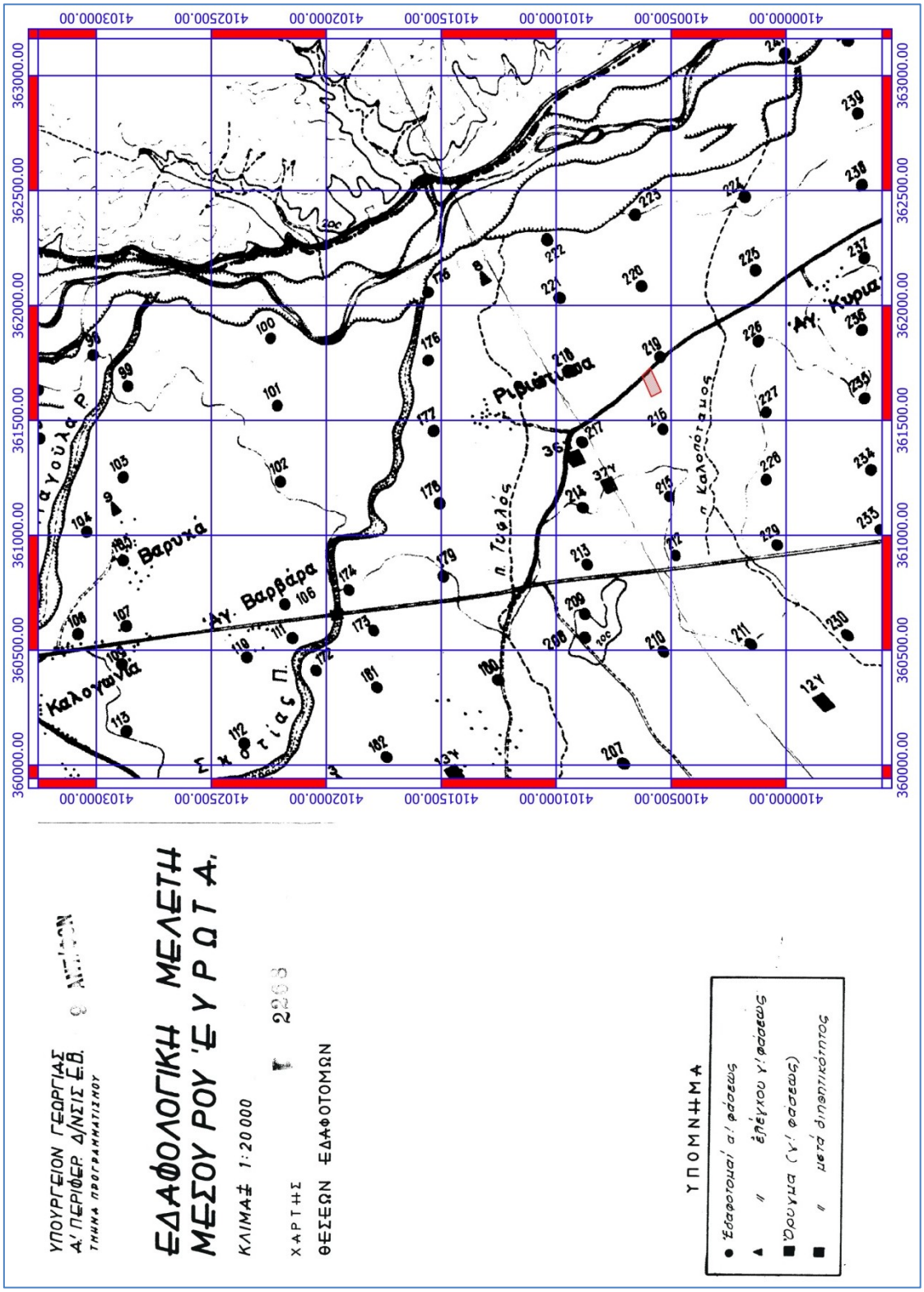
Η περιοχή, στην οποία ανήκει και ο πειραματικός αγρός έχει χαρτογραφηθεί εδαφολογικά δύο φορές. Η πρώτη χαρτογράφηση ήταν το 1969 και συντάχθηκε από τον Γεωπόνο-Εδαφολόγο κο Νικόλαο Μέμμο, με συνεργείο πεδίου τους κους Αν. Πίττη, Χ. Γεωργακόπουλο, Κ. Καραγιαννάκη και Ν. Μέμμο οι οποίοι υλοποίησαν τις εργασίες πεδίου το 1966, σε κλίμακα 1:20.000. Πρόκειται για μελέτη που συντάχθηκε και εκτελέστηκε με απόφαση του Υπουργού Γεωργίας ως δεύτερο τεύχος της μελέτης του Μέσου ρου Ευρώτα Λακωνίας. Τη μελέτη επέβλεψε και παρέλαβε το 1970 η Α΄ Περιφερειακή Διεύθυνση της Υπηρεσίας Εγγείων Βελτιώσεων του Υπουργείου Γεωργίας και συγκεκριμένα οι κ. Κουρκούλης και Ψαρράκης.

Η δεύτερη χαρτογράφηση έγινε το 2015 σε κλίμακα 1:30.000, στο πλαίσιο υλοποίησης τιυ υποέργου 7 της πράξης «Υψηλή προστιθέμενη Αξία Αγροτικές Ψηφιακές Υπηρεσίες με τίτλο «Ανάπτυξη Ενιαίου Συστήματος Γεωοπληροφοριακών Εδαφολογικών Δεδομένων και Οριοθέτηση Αγροτικών Ζωνών της Χώρας», με αναθέτουσα αρχή τον Οργανισμό Πληρομών και Ελέγχου Κοινοτικών Ενισχύσεων Προσανατολισμού και Εγγυήσεων (ΟΠΕΚΕΠΕ) του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων (ΥΠΑΑΤ) και ανάδοχο το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Επιτροπή Ερευνών, Ειδικός Λογαριασμός Κονδυλίων Έρευνας – Ένωση Εταιρειών «Ελληνική Φωτογραμμετρική ΕΠΕ». Επιστημονικός Υπεύθυνος του συγκεκριμένου έργου ήταν ο Καθηγητής του Τμήματος Γεωπονίας του Α.Π.Θ. κ. Μισοπολινός Νικόλαος.

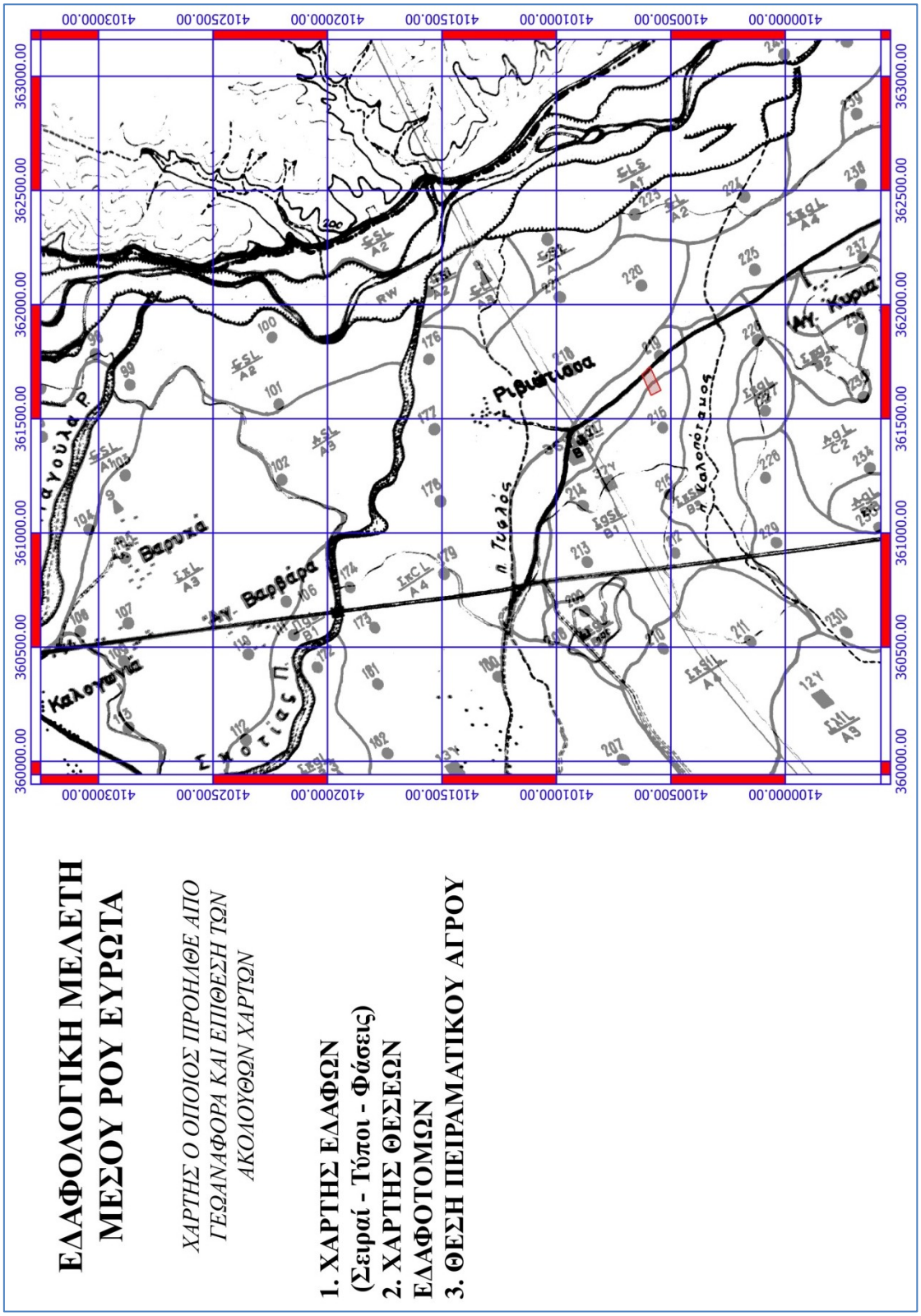
Στο Σχήμα 10 και 11 εμφανίζονται χάρτες της περιοχής από την πρώτη εδαφολογική μελέτη, με σημειωμένη τη θέση του πειραματικού αγρού, μετά από γεωαναφορά. Ο πρώτος είναι ο χάρτης των εδαφοσειρών και ο δεύτερος είναι ο χάρτης με τη θέση των εδαφοτομών και των ορυγμάτων.



Σχήμα 9 Απόσπασμα χάρτη Εδαφολογικής Μελέτης Μέσου Ρου Ευρώτα γεωαναφερμένο στον οποίο εμφανίζονται οι τα εδάφη καθώς και η θέση του πειραματικού αγρού



Σχήμα 10 Απόσπασμα χάρτη Εδαφολογικής Μελέτης Μέσου Ρου Ευρώτα γεωαναφερμένο στον οποίο εμφανίζονται οι θέσεις των εδαφοτομών και των δειγματοληψιών κατατομής καθώς και η θέση του πειραματικού αγρού



Σχήμα 11 Απόσπασμα χάρτη Εδαφολογικής Μελέτης Μέσου Ρου Ευρώτα γεωαναφερμένο στον οποίο εμφανίζεται επίθεση των δύο χαρ΄των καθώς και η θέση του πειραματικού αγρού

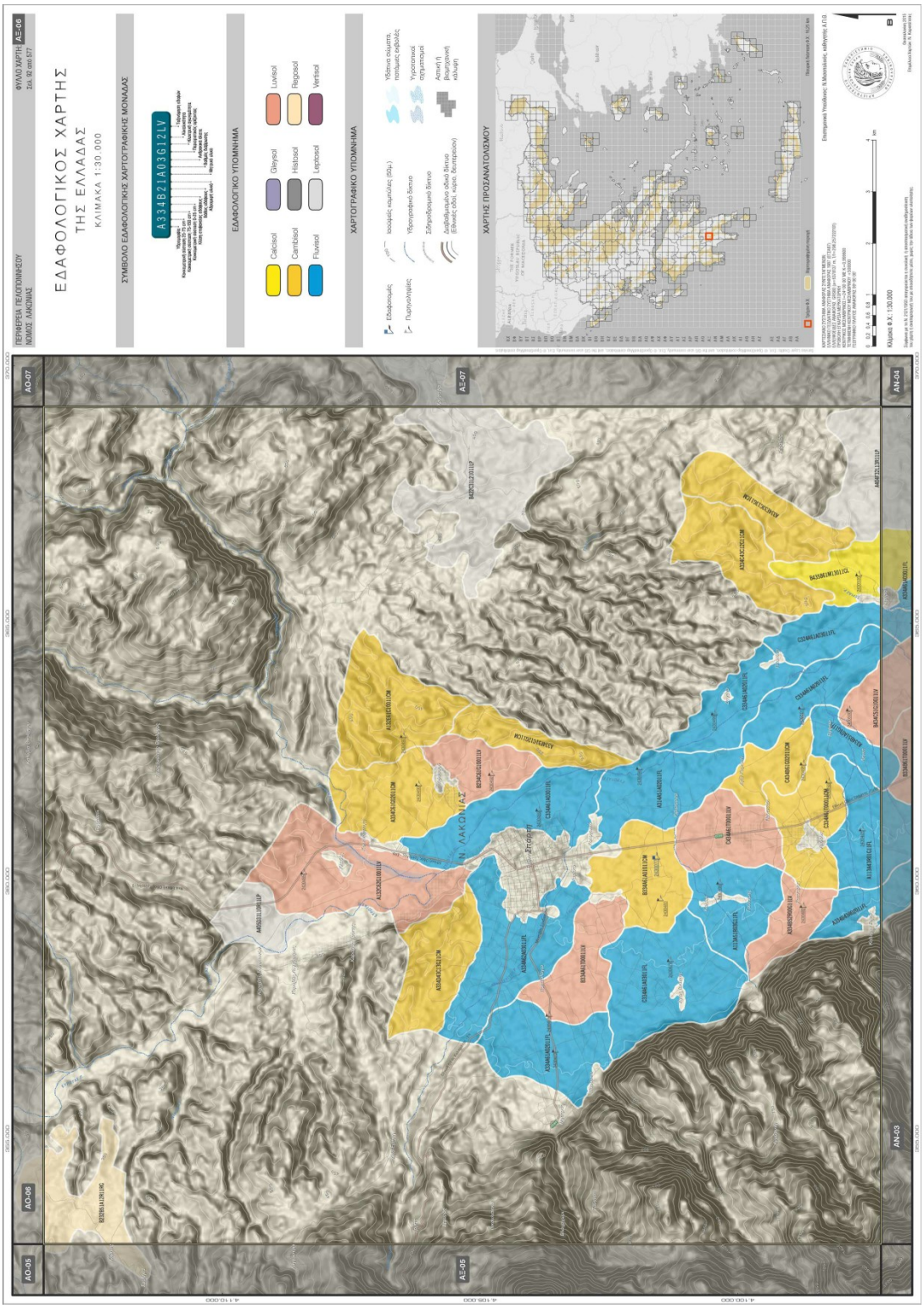
Στο Σχήμα 12 εμφανίζονται οι δύο προηγούμενοι χάρτες, μετά από γεωαναφορά και επίθεση. Σε όλα τα προηγούμενα αποσπάσματα χαρτών εμφανίζεται και η θέση του πειραματικού αγρού.

Σύμφωνα με αυτή την πρώτη εδαφολογική μελέτη της περιοχής, το πειραματικό τεμάχιο ανήκει σε δύο εδαφοσειρές, οι οποίες εμφανίζονται στον Πίνακα 24.

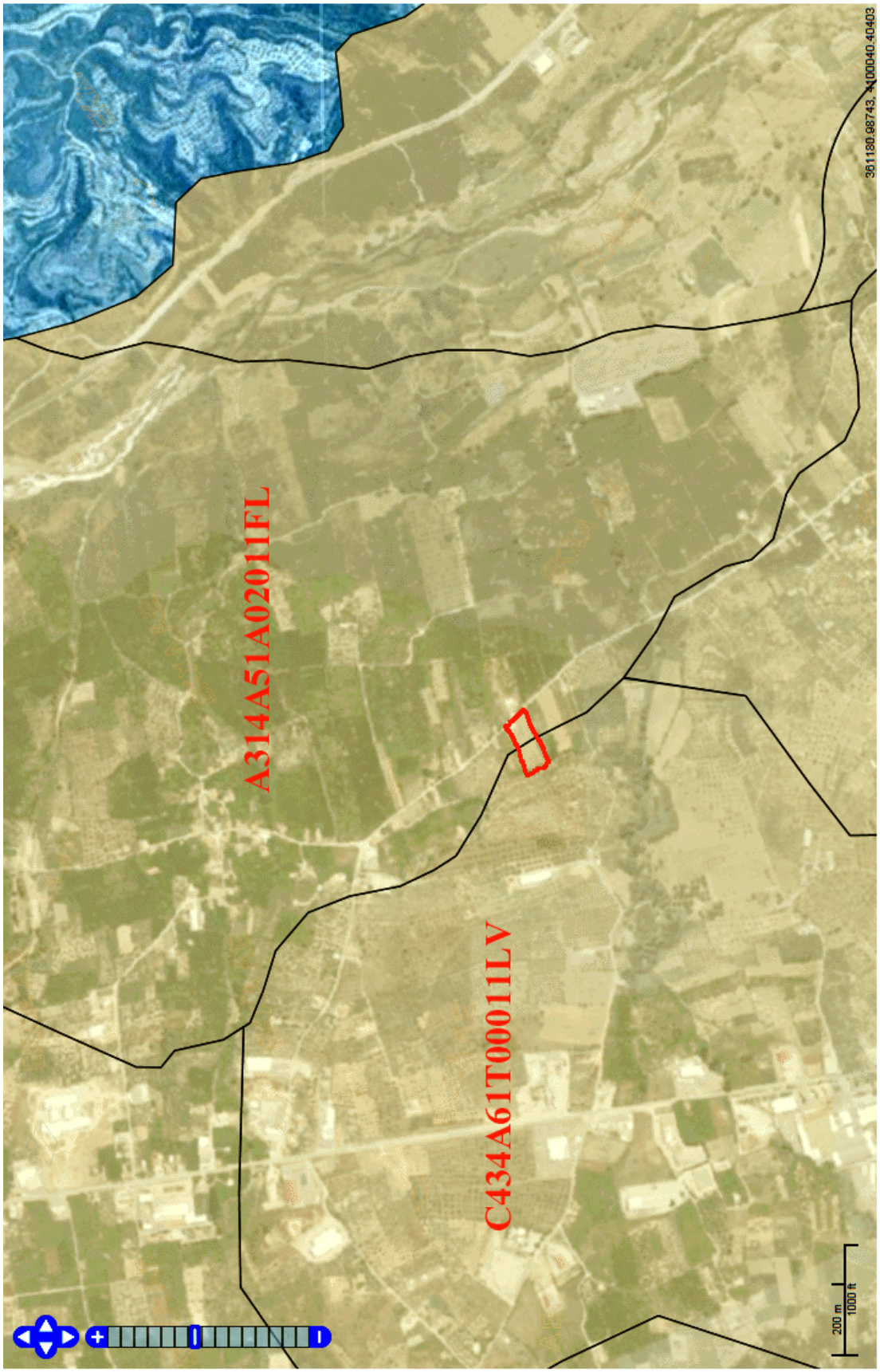
Πίνακας 24 Πίνακας εδαφικών χαρακτηριστικών των δύο ΧΕΜ που εντοπίζονται στο πειραματικό τεμάχιο, όπως αποτυπώνονται στο εδαφολογικό χαρτογραφικό σύμβολο της αντίστοιχης εδαφικής μονάδας, στη χαρτογράφηση του 1969

	$\frac{\Sigma gSL}{B1}$			$\frac{\Sigma \pi gL}{B3}$	
Σειρά	**Σ**	Εδαφοσειρά Σοχάς: Εδάφη χονδρόκοκκα, μετά λίθων, υπερβολικώς στραγγιζόμενα, επαρκώς εφοδιασμένα με ανθρακικό ασβέστιο και ελαφρώς έως μετρίως αλκαλικής αντιδράσεως	**Σπ**	Εδαφοσειρά Σπάρτης: Εδάφη μετρίως λεπτόκοκκα, καλώς αποστραγγιζόμενα, πλούσια ή ελαφρώς εφοδιασμένα με ανθρακικό ασβέστιο, και ελαφρώς έως μετρίως αλκαλικής αντιδράσεως
Κατηγορία λιθώδους	**g**	Ύπαρξη χαλικιών και άμμου	**g**	Ύπαρξη χαλικιών
Τύπος Εδάφους	**SL**	Αμμώδης Πηλός	**L**	Πηλός
Κλίση	**B**	Ελαφριά κλίση	**B**	Ελαφριά κλίση
Βάθος	**1**	Αβαθής	**3**	Μετρίου Βάθους

Στο Σχήμα 13, εμφανίζεται το φύλλο χάρτου με στοιχεία ΑΞ-06/Π. Πελοποννήσου/Ν. Λακωνίας, το οποίο προέκυψε από την χαρτογράφηση των εδαφών το έτος 2015, με κλίμακα 1:30.000. Τα φύλλα χάρτου της συγκεκριμένης εδαφολογικής μελέτης συνεπώς και το συγκεκριμένο φύλλο είναι διαθέσιμα στην ηλεκτρονική διεύθυνση: https://iris.gov.gr/SoilServices/js/pdf/SOIL MAP OF GREECE e-SOILBOOK.pdf. Εντός αυτού το φύλλου χάρτου εντοπίζεται και η εξεταζόμενη περιοχή. Στο Σχήμα 14, εμφανίζεται απόσπασμα του συγκεκριμένου φύλλου χάρτου σε μεγέθυνση, με υπόβαθρο το φυσικό ορθοφωτοχάρτη, ώστε να μπορεί να εντοπιστεί το εξεταζόμενο αγροτεμάχιο. Η συγκεκριμένη λήψη έγινε από την online εφαρμογή του εδαφολογικού χάρτη η οποία είναι αναρτημένη στην ηλεκτρονική διεύθυνση: https://iris.gov.gr/SoilServices/danger.html. Διαπιστώνεται ότι το αγροτεμάχιο τέμνεται από το όριο δύο ΧΕΜ.



Σχήμα 12 Φύλλο χάρτου εδαφολογικής μελέτης που εμφανίζει την περιοχή πειραματισμού



Σχήμα 13 Απόσπασμα χάρτη Εδαφολογικής Μελέτης της περιοχής, όπου εμφανίζονται τα σύμβολα των δύο ΧΕΜ καθώς και η θέση του αγρού

Σύμφωνα με αυτή την εδαφολογική μελέτη της περιοχής, το πειραματικό τεμάχιο ανήκει σε δύο εδαφοσειρές, οι οποίες περιγράφονται στον Πίνακα 25.

Πίνακας 25 Πίνακας εδαφικών χαρακτηριστικών των δύο ΧΕΜ που εντοπίζονται στο πειραματικό τεμάχιο, όπως αποτυπώνονται στο εδαφολογικό χαρτογραφικό σύμβολο της αντίστοιχης εδαφικής μονάδας, στη χαρτογράφηση του 2015

	C434A61T00011LV		**A314A51A02011FL**	
Υδρομορφία	**C**	Εδάφη μετρίως καλώς αποστραγγιζόμενα. Χαρακτηρίζονται από παρουσία εξανθήσεων σιδήρου και μαγγανίου ή γκρίζων εξανθήσεων σε βάθος μεταξύ 50 και 100 cm από την επιφάνεια του εδάφους. Σε μερικά εδάφη της κλάσης αυτής μπορεί να υπάρχουν εξανθήσεις σε βάθος μικρότερο των 50cm, αλλά σε ποσοστό μικρότερο από 2%. Ο υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας τους υγρούς μήνες ανέρχεται και είναι δυνατόν να επηρεάσει δυσμενώς πολυετείς καλλιέργειες. Τα εδάφη αυτά απαιτούν στράγγιση για ευαίσθητες καλλιέργειες.	**A**	Εδάφη πολύ καλώς αποστραγγιζόμενα. Χαρακτηρίζονται από απουσία εξανθήσεων σιδήρου και μαγγανίου σε όλο το βάθος της εδαφοτομής. Επικρατούν τα καστανωπά χρώματα, το έδαφος έχει μεγάλη υδραυλική αγωγιμότητα και το νερό διηθείται στα βαθύτερα στρώματά του. Το έδαφος παραμένει υγρό μόνο κατά την υγρή περίοδο του έτους (διάρκεια υγρών μηνών). Δεν απαιτείται στράγγιση.
Κοκκομετρία 25-75 cm	**4**	Μέτρια λεπτόκοκκο (αμμοαργιλοπηλώδες (SCL), αργιλοπηλώδες (CL), ιλυοαργιλοπηλώδες (SiCL))	**3**	Μέτρια λεπτόκοκκο (αμμοαργιλοπηλώδες (SCL), αργιλοπηλώδες (CL), ιλυοαργιλοπηλώδες (SiCL))
Κοκκομετρία 75-150 cm	**3**	Μέσης κοκκομετρίας, Μέτρια λεπτόκοκκα και Λεπτόκοκκα (Αμμοαργιλοπηλώδες (SCL), αργιλοπηλώδες (CL), ιλυοαργιλοπηλώδες (SiCL), ιλυοαργιλώδες (SiC), αργιλώδες (C) , αμμοαργιλώδες (SC))	**1**	Χονδρόκοκκα, μετρίως χονδόκοκκα. (Άμμος (S), Πηλοαμμώδες (LS), Αμμοπηλώδες (SL)
Κοκκομετρία 0-25 cm	**4**	Μέτρια λεπτόκοκκο (αμμοαργιλοπηλώδες (SCL), αργιλοπηλώδες (CL), ιλυοαργιλοπηλώδες (SiCL))	**4**	Μέτρια λεπτόκοκκο (αμμοαργιλοπηλώδες (SCL), αργιλοπηλώδες (CL), ιλυοαργιλοπηλώδες (SiCL))
Κλίση εδάφους	**A**	0-2%	**A**	0-2%
Βάθος εδάφους	**6**	>150 cm	**5**	100-150
Αδρομερή υλικά	**1**	<20% κ.ο.	**1**	<20% κ.ο.
Μητρικό υλικό	**T**	Αλουβιακοί αναβαθμοί	**A**	Αλλούβιο

Βαθμός διάβρωσης	**0**	Καμία διάβρωση	**0**	Καμία διάβρωση
Ανθρακικά άλατα	**0**	Καμία αντίδραση σε HCl σε όλο το βάθος του εδάφους	**2**	Ασθενής αντίδραση στην επιφάνεια
Περιοριστικός παράγοντας	**0**	Κανένας	**0**	Κανένας
Ηλεκτρική αγωγιμότητα (Ec)	**1**	0-4 dS/m	**1**	0-4 dS/m
Αλκαλικότητα (ESP)	**1**	<6%	**1**	<6%
Ταξινόμηση	**LV**	**Luvisols**: Εδάφη με ισχυρή συσσώρευση αργίλου στο B ορίζοντα χωρίς σκούρο χρώμα (αργιλικός ορίζοντας). Τα εδάφη αυτά παρουσιάζουν ενδείξεις μετακίνησης αργιλοπυριτικών ορυκτών χωρίς υπερβολική έκπλυση βάσεων. Στην τάξη αυτή τείνουν να εξελιχθούν τα περισσότερα Ελληνικά εδάφη. Όσον αφορά στα εδαφογενετικά χαρακτηριστικά, έχουν ωχρό ή ουμβρικό επίπεδο και αργιλικό ορίζοντα (ορίζοντα συσσώρευσης αργίλου)	**FL**	**Fluvisols**: Πρόσφατα αλλουβιακά εδάφη με μικρή ή καμία εδαφογενετική εξέλιξη. Τα Fluvisols είναι εδάφη που μπορούν να υπάρχουν κάτω από οποιοδήποτε κλίμα και κάτω από οποιαδήποτε βλάστηση. Στην τάξη αυτή ανήκουν εδάφη, τα οποία δεν έχουν αναπτύξει γενετικούς ορίζοντες εκτός από ωχρικό επίπεδο, γεγονός που δηλώνει ότι δεν έχουν συντελεστεί κύριες εδαφογενετικές διαδικασίες. Η απουσία εδαφογενετικών οριζόντων οφείλεται κυρίως: • Στο ότι το μητρικό υλικό είναι αδρανές, όπως η χαλαζιακή άμμος, στην οποία δεν μπορούν εύκολα να σχηματισθούν ορίζοντες • Στην έλλειψη ικανού χρόνου για το σχηματισμό οριζόντων, όπως συμβαίνει στις πρόσφατες αλλουβιακές αποθέσεις ή στην ύπαρξη κλίσεων, όπου οι ρυθμοί διάβρωσης είναι μεγαλύτεροι αυτών του εδαφοσχηματισμού ή στην πρόσφατη ανάμειξη από ζώα ή όργωμα, μέχρι βάθους 1 έως 2 μέτρα. Αρκετά από τα εδάφη της κατηγορίας αυτής χαρακτηρίζονται από κακή στράγγιση και συχνά εμφανίζονται σε αυτά εξανθήσεις σιδήρου και μαγγανίου.

Περαιτέρω, οι χημικές αναλύσεις που διενεργήθηκαν, στο πλαίσιο υλοποίησης της εν λόγω εδαφολογικής μελέτης, για δύο βάθη και συγκεκριμένα 0-30 και 30-60 cm, εμφανίζονται στον Πίνακα 26. Οι πληροφορίες αυτές είναι διαθέσιμες, μέσω της

εφαρμογής του διαδραστικού εδαφολογικού χάρτη, διαθέσιμου στη διεύθυνση https://iris.gov.gr/SoilServices/danger.html.

Πίνακας 26 Χημικές αναλύσεις σε δύο βάθη (0-30 και 30-60) ανά χαρτογραφική μονάδα που εντοπίζεται στο πειραματικό τεμάχιο

	C434A61T00011LV	**A314A51A02011FL**
	0-30	
Άμμος (%)	45,3	47,3
Ιλύς (%)	42	36
Άργιλος (%)	12,7	16,7
pH	7,7	7,9
Οργανικός άνθρακας g/kg	2,59	1,72
Ανθρακικά g/kg	6,6	3,9
Διαθέσιμος Φώσφορος mgr/kg	17,9	29,3
Περιεκτικότητα σε ανταλλάξιμο Κάλιο mgr/kg	94	130
ΙΑΚ	19,09	15,81
Ηλεκτρική αγωγιμότητα	1,91	0,73
Αδρόκοκκα θραύσματα	32	1
Οργανική ουσία (%)	4,46	1,96
Άζωτο	2,35	1,6
	30-60	
Άμμος (%)	75,3	45,3
Ιλύς (%)	16	38
Άργιλος (%)	8,7	16,7
pH	8,3	8,3
Οργανικός άνθρακας g/kg	0,95	0,99
Ανθρακικά g/kg	13,5	6,1
Διαθέσιμος Φώσφορος mgr/kg	4,9	10,7
Περιεκτικότητα σε ανταλλάξιμο Κάλιο mgr/kg	39	78
ΙΑΚ	8,42	12,12
Ηλεκτρική αγωγιμότητα	0,58	0,4
Αδρόκοκκα θραύσματα	34,5	4,3
Οργανική ουσία (%)	1,63	1,71
Άζωτο	0,9	0,99

2.2.1.2. Δειγματοληψία εδαφών-Αναλύσεις εδαφικών δειγμάτων

Δύο φορές το έτος (μία πριν την έναρξη της αρδευτικής περιόδου και μία μετά) λαμβάνονταν διαταραγμένα δείγματα από τέσσερα σημεία και τρία βάθη (0-30 cm, 30-60 cm και 60-90 cm) κάθε επανάληψης. Οι ημερομηνίες δειγματοληψίας είναι Ιούνιος 2011, Σεπτέμβριος 2011, Ιούνιος 2012, Σεπτέμβριος 2012 και Ιούνιος 2013. Κατά τη δειγματοληψία, δινόταν ιδιαίτερη προσοχή, ώστε αυτή να γίνεται εντός του ίχνους του κύκλου που άρδευε το sprayer. Με την ανάμειξη των τεσσάρων δειγμάτων ανά ορίζοντα, προέκυπταν τρία μικτά δείγματα ανά επανάληψη. Με δεδομένο ότι οι επαναλήψεις ανά εφαρμογή ήταν έξι, προέκυπτε συνολικός αριθμός 36 μεικτών δειγμάτων προς ανάλυση ($3\,ορίζοντες/επανάληψη \times 6\,επαναλήψεις/εφαρμογή \times 2\,εφαρμογές = 36\,μικτά\,εδαφικά\,δείγματα$). Τα εδαφικά δείγματα αεροξηραίνονταν λειοτρίβονταν και κοσκινίζονταν με κόσκινο ανοίγματος 2 mm. Κατά την πρώτη δειγματοληψία, έγινε ανάλυση κοκκομετρίας με τη μέθοδο Βουγιούκου (Gee & Bauder, 1986). Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) και το pH μετρήθηκαν σε αιώρημα εδάφους:νερού 1:1 (βάρος/όγκο) (Rhoades, 1996). Το ανθρακικό ασβέστιο προσδιορίσθηκε με την μέτρηση του εκλυόμενου όγκου CO_2, μετά από προσθήκη περίσσειας HCl στο εδαφικό δείγμα (Nelson R. E., 1986). Η οργανική ουσία

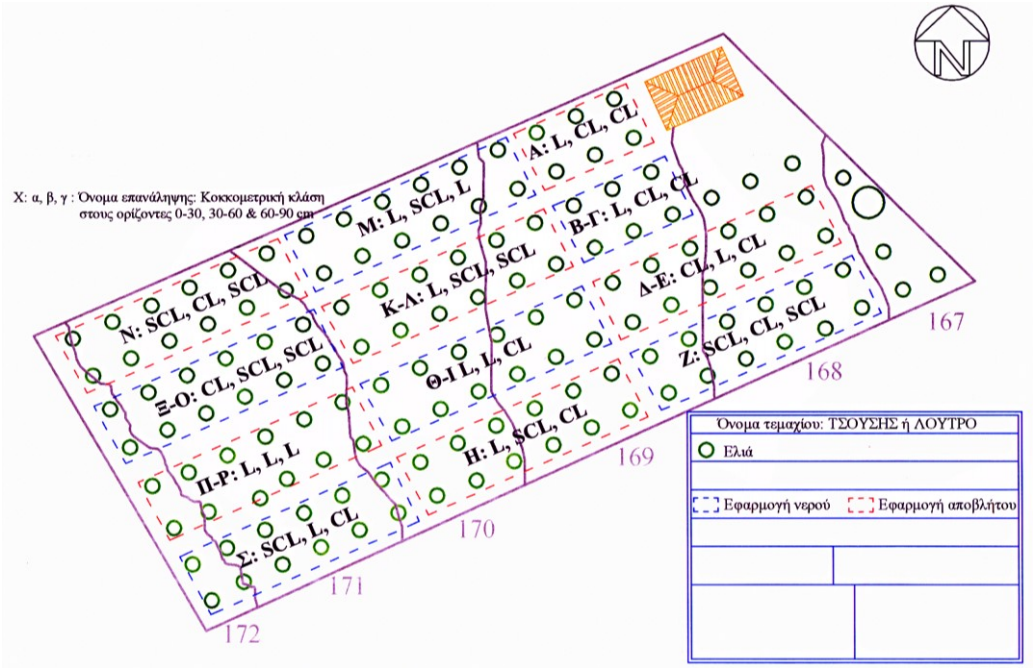
προσδιορίσθηκε με την τροποποιημένη μέθοδο υγρής οξείδωσης των Walkey-Black (Nelson & Sommers, 1996). Τα ανταλλάξιμα κατιόντα ασβεστίου, καλίου, νατρίου και μαγνησίου προσδιορίσθηκαν με τη μέθοδο της εκχύλισης με οξικό αμμώνιο (Helmke & Sparks, 1996).

2.2.2. Αποτελέσματα - Συζήτηση

2.2.2.1. Κοκκομετρία

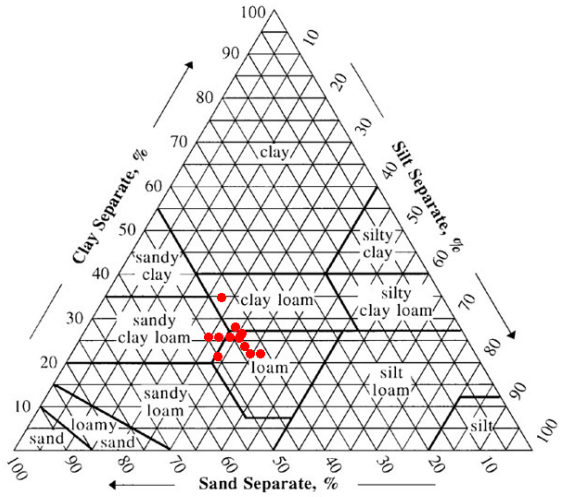
Η κοκκομετρική ανάλυση έλαβε χώρα μόνο κατά την πρώτη δειγματοληψία, δηλαδή κατά τη δειγματοληψία τον Ιούλιο του 2011, και αποσκοπούσε να ελέγξει την ομοιομορφία της κοκκομετρίας στον πειραματικό αγρό και για τα τρία διαφορετικά εύρη βαθών για τα οποία έγινε έλεγχος ακολούθως για όλες τις παραμέτρους. Για οικονομία από τούδε και στο εξής τα τρία αυτά εύρη βαθών θα αποκαλούνται «ορίζοντες». Στον Πίνακα 65 του Παραρτήματος Ι παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των κοκκομετρικών αναλύσεων των δειγμάτων ανά ορίζοντα, καθώς και η κοκκομετρική κλάση του δείγματος.

Στο Σχήμα 15 εμφανίζεται επί σχεδίου, ανά επανάληψη και ορίζοντα, η κοκκομετρική κλάση.

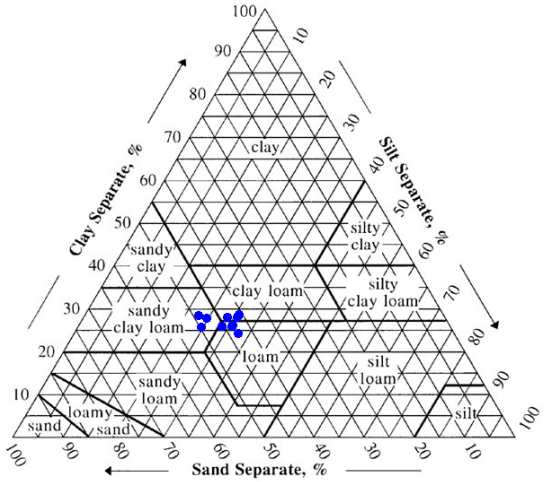


Σχήμα 14 Ονομα κάθε επανάληψης και κοκκομετρική κλάση κάθε ορίζοντα (0-30, 30-60 &60-90 cm)

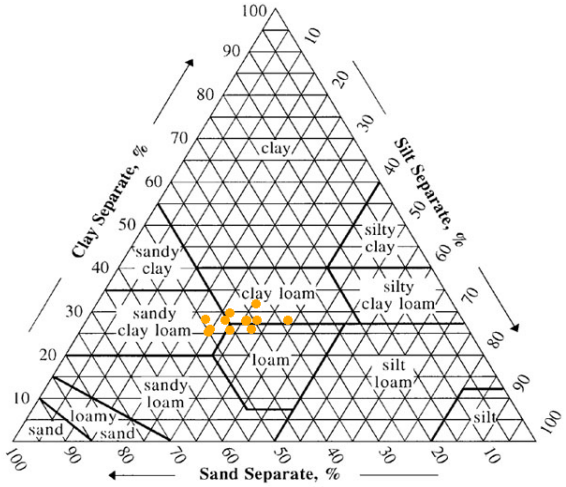
Στο Σχήμα 16 εμφανίζονται, με τη μορφή νέφους σημείων, τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής ανάλυσης των δειγμάτων, ανά ορίζοντα. Βλέπουμε ότι υπάρχει καλή συγκέντρωση αυτών των σημείων.



0-30 cm



30-60 cm



60-90 cm

Σχήμα 15 Η κοκκομετρία των 12 μικτών δειγμάτων ανά ορίζοντα. Για το σχεδιασμό χρησιμοποιήθηκε το Soil Texture Claculator του USDA διαθέσιμο στην ηλεκτρονική διεύθυνση https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/?cid=nrcs142p2_054167

Περαιτέρω, έγινε στατιστική ανάλυση ανά ορίζοντα μεταξύ των δύο εφαρμογών, για να ανιχνευθούν ενδεχόμενες προϋπάρχουσες διαφορές στην κοκκομετρία, οι οποίες θα μπορούσαν ενδεχομένως να οδηγήσουν σε εσφαλμένα συμπεράσματα στη συνέχεια. Η Ανάλυση αυτή παρουσιάζεται στον Πίνακα 27

Πίνακας 27 Μέσες τιμές κοκκομετρικής σύστασης εδάφους ανά εφαρμογή και ορίζοντα[28]

Βάθος (cm)	Είδος Αρδευτικού Νερού	Άμμος (%)	Άργιλος (%)	Ιλύς (%)
0-30	**ΚΝ**	46,17 α	23,83 α	30,00 α
	ΕΥΑΑ	45,73 α	26,5 α	28,03 α
30-60	**ΚΝ**	45,3 β	26,2 β	29,00 β
	ΕΥΑΑ	46,5 β	26,5 β	27,67 β
60-90	**ΚΝ**	45,47 γ	26,87 γ	27,67 γ
	ΕΥΑΑ	43,23 γ	27,43 γ	29,33 γ

Από την στατιστική ανάλυση προκύπτει ότι δεν υπήρξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές, σε ό,τι αφορά στην κοκκομετρία ανά ορίζοντα.

2.2.2.2. Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (EC)

Στον Πίνακα 66 του Παραρτήματος Ι παρουσιάζονται οι τιμές της EC των εδαφικών δειγμάτων ανά επανάληψη, εφαρμογή και ορίζοντα, για τις πέντε χρονικές στιγμές που έγιναν δειγματοληψίες και αναλύσεις. Ακολούθως στον Πίνακα 28 εμφανίζεται η στατιστική επεξεργασία των τιμών αυτών.

Πίνακας 28 Μέσες τιμές EC εδάφους (μS/cm) ανά εφαρμογή και ημερομηνία αναλύσεων (αρχή - τέλος κάθε αρδευτικής περιόδου)[29]

Βάθος (cm)	Είδος Αρδευτικού Νερού	Ιουν 2011	Σεπ 2011	Ιουν 2012	Σεπ 2012	Ιουν 2013
0-30	**ΚΝ**	1.841,00 c **A**	1.296,67 c **α** β	1.360,00 c β γ	1.566,67 c γ **Δ**	1.251,67 c **δ**
	ΕΥΑΑ	1.985,67 c **A**	1.443,33 c **α** β	1.456,67 c β **γ**	1.758,33 c **Γ Δ**	1.322,50 c **δ**
30-60	**ΚΝ**	1.715,33 d **A**	1.236,67 **d α** β	1.315,00 **d** β γ	1.426,67 d γ δ	1.321,67 d δ
	ΕΥΑΑ	1.638,00 d α	1.424,17 **D** α β	1.483,33 **D** β **γ**	1.600,00 d **Γ Δ**	1.420,00 d **δ**
60-90	**ΚΝ**	1.703,33 f **A**	1.245,00 f **α B**	1.532,50 f **β** γ	1.408,33 f γ δ	1.423,33 f δ
	ΕΥΑΑ	1.663,33 f **A**	1.380,00 f **α** β	1.575,00 f β γ	1.558,33 f γ δ	1.506,67 f δ

Από τον Πίνακα 28, διαπιστώνεται ότι:

1. Τον Ιούνιο του 2011, δεν υφίσταται στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των τιμών της EC των δύο εφαρμογών ανά ορίζοντα, δηλαδή δεν διαπιστώνονται εκ των προτέρων διαφορές στην τιμή της EC, ανά ορίζοντα.
2. Μεταξύ των χρονικών στιγμών Ιούνιος 2011 και Σεπτέμβριος 2011 και για τους

[28] Διαδοχικές μέσες τιμές εντός της ίδιας στήλης και στον ίδιο ορίζοντα (διαφορετικές εφαρμογές στον ίδιο ορίζοντα) που ακολουθούνται από το ίδιο μικρό γράμμα του Ελληνικού αλφάβητου δεν διαφέρουν στατιστικά, ενώ, αν ακολουθούνται από το ίδιο μεν γράμμα αλλά μικρό-κεφαλαίο, διαφέρουν στατιστικά σημαντικά.

[29] Διαδοχικές μέσες τιμές εντός της ίδιας στήλης και για τον ίδιο ορίζοντα (διαφορετικές εφαρμογές στην ίδια ημερομηνία αναλύσεως ανά ορίζοντα) που ακολουθούνται από το ίδιο μικρό γράμμα του Αγγλικού αλφάβητου δεν διαφέρουν στατιστικά ενώ αν ακολουθούνται από το ίδιο μεν γράμμα αλλά μικρό-κεφαλαίο διαφέρουν στατιστικά σημαντικά
Διαδοχικές μέσες τιμές εντός της ίδιας γραμμής (διαδοχικές ημερομηνίες αναλύσεων της ίδιας εφαρμογής και ορίζοντα) που ακολουθούνται από το ίδιο μικρό γράμμα του Ελληνικού αλφάβητου δεν διαφέρουν στατιστικά ενώ αν ακολουθούνται από το ίδιο μεν γράμμα αλλά μικρό-κεφαλαίο διαφέρουν στατιστικά σημαντικά

τρεις ορίζοντες και για τις δύο εφαρμογές (με εξαίρεση την εφαρμογή ΕΥΑΑ 30-60 cm), διαπιστώνεται στατιστικά σημαντική μείωση της ΕC. Διαπιστώνεται, δηλαδή, μείωση της ΕC μεταξύ αρχής και τέλους της αρδευτικής περιόδου, κάτι που είναι αντίθετο με το δεδομένο ότι η άρδευση αυξάνει την τιμή της, λόγω προσθήκης αλάτων, με το εφαρμοζόμενο αρδευτικό νερό, στην περίπτωση μάλιστα που αυτή η προσθήκη γίνεται από απόψεως εδαφικής υγρασίας υπό ακόρεστο καθεστώς και συγχρόνως δεν προβλέπεται ποσοστό της δόσης άρδευσης, με στόχο την έκπλυση αλάτων κάτω από το ριζόστρωμα. Το γεγονός αυτό εξηγείται, εάν ληφθεί υπ'όψιν ότι υφίσταται κατά τους χειμερινούς μήνες στάθμη υπόγειου νερού κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, η οποία υποχωρεί κάτω του ενός μέτρου, κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, τροφοδοτώντας, μέσω της εξάτμισης, με άλατα την εδαφική κατατομή. Αυτό σε συνδυασμό με το γεγονός ότι δεν έχει γίνει άρδευση για αρκετά χρόνια πριν την έναρξη του πειράματος, ενέργεια που θα απομάκρυνε τα άλατα από την εδαφική κατατομή, έδωσαν μεγάλες τιμές ΕC κατά την έναρξη του πειράματος, οι οποίες μειώθηκαν ήδη από τον πρώτο χρόνο άρδευσης με «καλής» ποιότητας νερό. Εδώ, υπενθυμίζεται ότι τόσο το ΚΝ, όσο και το ΕΥΑΑ είχαν ECw, της τάξεως των 500-700 μS/cm.

3. Τον Σεπτέμβριο του 2011, διαπιστώνεται στατιστικά μεγαλύτερη τιμή ΕC για την εφαρμογή του ΕΥΑΑ στον ορίζοντα 30-60 cm. Μία εξήγηση του γεγονότος αυτού θα μπορούσε να είναι η έκπλυση των αλάτων που παρατηρήθηκε κατά την περίοδο της άρδευσης, όπως διαπιστώθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, κατά την οποία συνεχείς κύκλοι άρδευσης, εξάτμισης αλλά και λόγω της διαπνοής είχαν ως αποτέλεσμα αυξημένη συγκέντρωση στον ορίζοντα αυτό για την εφαρμογή του ΕΥΑΑ. Υπενθυμίζεται, ότι οι τιμές της ECw του ΕΥΑΑ ήταν στατιστικώς σημαντικά μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες του ΚΝ (Πίνακας 18).
4. Μεταξύ των χρονικών στιγμών Σεπτεμβρίου 2011 και Ιουνίου 2012, δηλαδή με τη μεσολάβηση της βροχερής περιόδου, δεν διαπιστώνεται κάποια στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των τιμών της ΕC, ανά εφαρμογή και ορίζοντα. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι τιμές της τον Ιούνιο του 2012 είναι αυξημένες, έστω και μη στατιστικώς σημαντικά, ανεξαρτήτως εφαρμογής και ορίζοντα, έναντι των τιμών του Σεπτεμβρίου του 2011, κάτι που και πάλι εκ πρώτης όψεως φαίνεται αντίθετο με τα αναμενόμενα, με την αναμενόμενη δηλαδή μείωση της αλατότητας στην εδαφική κατατομή, δεδομένου ότι η βροχόπτωση εκπλένει τα άλατα ανάλογα με το ύψος της. Πιθανή εξήγηση της παρατήρησης αυτής είναι η ύπαρξη του εποχικά εμφανιζόμενου υδροφόρου ορίζοντα κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, σε κάποιες περιπτώσεις ακόμα και μέχρι αυτήν (δες Παράρτημα ΙΙΙ), γεγονός που παρασύρει ανοδικά με μαζική ροή άλατα, κατά την εμφάνισή του, και τροφοδοτεί τα ανώτερα στρώματα με άλατα, κατά την απομάκρυνσή του, λόγω εξάτμισης.
5. Το Ιούνιο του 2012, διαπιστώνεται ξανά στατιστικά μεγαλύτερη τιμή ΕC για την εφαρμογή του ΕΥΑΑ στον ορίζοντα 30-60 cm. Θεωρούμε ότι είναι συνέχεια του φαινομένου που περιγράφηκε στο Σεπτέμβριο του 2011 ανωτέρω, δηλαδή ότι ακόμα το έδαφος είναι σε μία διαδικασία προσαρμογής στα γεγονότα της άρδευσης και στις μεταβολές τις αλατότητας που αυτά επιβάλλουν, λόγω «καλής» ποιότητας αρδευτικού νερού, αλλά και διαφοράς της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των δύο αρδευτικών υδάτων. Τα άλατα για την εφαρμογή του ΚΝ φαίνεται να οδηγήθηκαν στον ορίζοντα 60-90 cm και έτσι παρατηρείται μία εξομοίωση των τιμών της ΕC

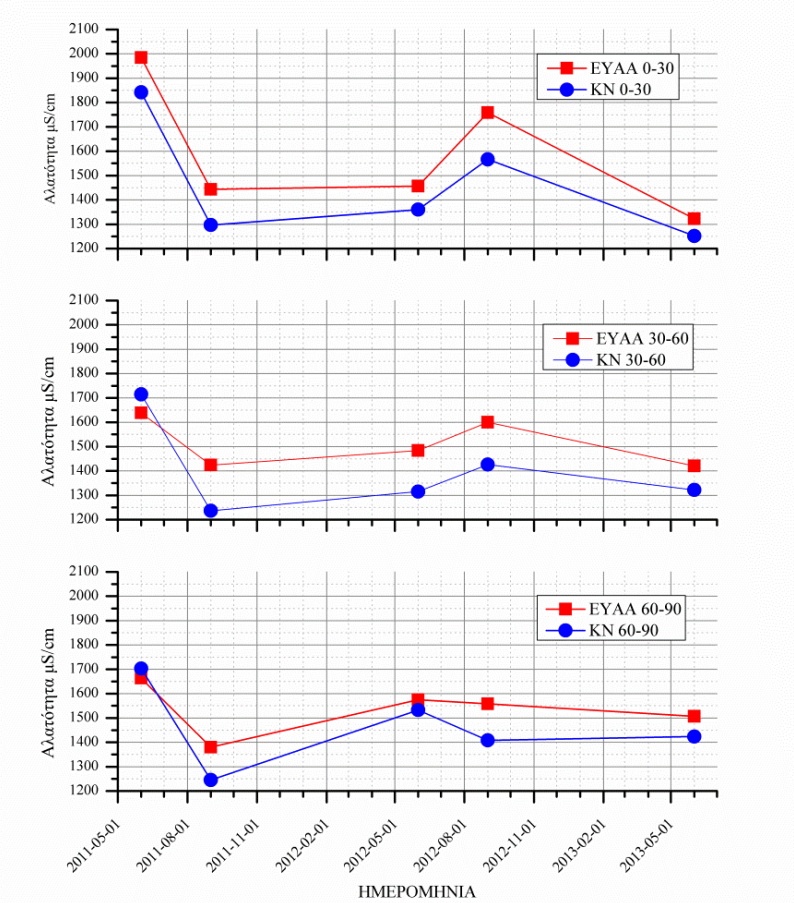
για αυτόν τον ορίζοντα.

6. Μεταξύ Ιουνίου του 2012 και Σεπτεμβρίου του 2012, δηλαδή μεσολαβούσης της αρδευτικής περιόδου, παρατηρείται στατιστικώς σημαντική διαφορά στις τιμές της EC για την εφαρμογή του ΕΥΑΑ και για τους ορίζοντες 0-30 cm και 30-60 cm. Παρατηρείται δηλαδή αύξηση της αλατότητας στους δύο πρώτους ορίζοντες για την εφαρμογή του ΕΥΑΑ, και με δεδομένο ότι κατά τον προγραμματισμό της άρδευσης δεν προβλεπόταν κλάσμα έκπλυσης επί της δόσης άρδευσης, διαπιστώνεται προσθήκη αλάτων στο έδαφος με την άρδευση με ΕΥΑΑ, κάτι που δεν παρατηρείται στην εφαρμογή του ΚΝ.
7. Για τη χρονική στιγμή του Σεπτεμβρίου του 2012, δεν διαπιστώνονται στατιστικά σημαντικές διαφορές της EC μεταξύ των δύο εφαρμογών σε κανένα ορίζοντα. Παρατηρείται δηλαδή ότι, αν και αυξήθηκε η ηλεκτρική αγωγιμότητα στους δύο ανώτερους ορίζοντες της εφαρμογής του ΕΥΑΑ, αυτή η αύξηση δεν ήταν ικανή να δώσει στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο εφαρμογών.
8. Μεταξύ Σεπτεμβρίου του 2012 και Ιουνίου του 2013, δηλαδή με τη μεσολάβηση της βροχερής περιόδου, διαπιστώνεται στατιστικώς σημαντική μείωση της EC στον ορίζοντα 0-30 cm, τόσο στην εφαρμογή του ΕΥΑΑ όσο και στην εφαρμογή του ΚΝ. Επίσης, παρατηρείται στατιστικώς σημαντική μείωση της τιμής της και στον ορίζοντα 30-60 cm για την εφαρμογή του ΕΥΑΑ. Το εύρημα αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η βροχόπτωση μείωσε την ηλεκτρική αγωγιμότητα στους ορίζοντες που αναφέρθηκαν, ανά εφαρμογή.
9. Τέλος, στον Ιούνιο του 2013, δεν παρατηρήθηκε καμία στατιστικώς σημαντική διαφορά στις τιμές της EC μεταξύ των δύο εφαρμογών ανά ορίζοντα, γεγονός που μπορεί να αποδοθεί, στην εμφάνιση υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα σε μικρό βάθος από την επιφάνειά του όπου το οριζοντίως κινούμενο νερό παρασύρει άλατα και ενδεχομένως εξισορροπεί τις τιμές της EC μεταξύ των δύο εφαρμογών. Σε ότι αφορά στην οριζόντια κίνηση του νερού στους εμφανιζόμενους χάρτες του Παραρτήματος ΙΙ όπου πρόκειται για χάρτες που εμφανίζουν την πιεζομετρία πού προέκυψε από σημειακές μετρήσεις στάθμης τεκμηριώνεται η οριζόντις κίνηση. Άλλη αιτία της παρατήρησης αυτής θα μπορούσε να είναι το γεγονός ότι απαιτούνται περισσότερες διαδοχές αρδευτικών και βροχερών περιόδων για την εδραίωση στατιστικά σημαντικής διαφοράς. Αυτό ενισχύεται και από ευρήματα πειράματος που παρουσιάζεται στο υποκλεφάλαιο 2.4 και μνημονεύεται στην υποενότητα 2.2.3 «Συμπεράσματα».

Στο Σχήμα 17 παρουσιάζεται η χρονική εξέλιξη των μέσων τιμών της EC, ανά ορίζοντα και εφαρμογή από όπου διαπιστώνεται :

1. Μεταξύ των χρονικών στιγμών Ιούνιος 2011-Σεπτέμβριος 2011 και για τις δύο εφαρμογές, παρατηρείται σημαντική μείωση των τιμών της EC, γεγονός για το οποίο δόθηκε εξήγηση στην ανάλυση του Πίνακα 28. Αξίζει να παρατηρηθεί η εξέλιξη της EC, σε σχέση με το βάθος μεταξύ των δύο εφαρμογών. Διαπιστώνεται λοιπόν ότι:
    i. Για τον ορίζοντα 0-30cm υφίσταται περίπου ίδια μείωση της EC και στις δύο εφαρμογές διατηρώντας το προβάδισμα, από απόψεως τιμών, η εφαρμογή του ΕΥΑΑ.
    ii. Για τον ορίζοντα 30-60 cm διαπιστώνεται ότι η EC μειώθηκε και για τις δύο

εφαρμογές, αλλά υπήρξε μία αναστροφή των τιμών το Σεπτέμβριο του 2011 έναντι του Ιουνίου του 2011, με αύξηση της μέσης τιμής της EC για το συγκεκριμένο ορίζοντα στην εφαρμογή των ΕΥΑΑ, έναντι της εφαρμογής του ΚΝ που είχε μεγαλύτερη τιμή, κατά τη χρονική στιγμή του Σεπτεμβρίου του 2011. Το εύρημα αυτό, σε συνδυασμό με το ότι η EC στον ορίζοντα 0-30 cm μειώθηκε και για τις δύο εφαρμογές κατά το ίδιο ποσό, αποδίδεται στην αυξημένη τιμή ECw του ΕΥΑΑ έναντι του ΚΝ, προμηθεύοντας τον συγκεκριμένο ορίζοντα με μεγαλύτερη ποσότητα αλάτων για την εφαρμγοή του ΕΥΑΑ.



Σχήμα 16 Διαγραμματική απεικόνιση των μεταβολών της εδαφικής EC (μέσες τιμές) με το χρόνο ανά εφαρμογή και εδαφικό ορίζοντα

iii. Για τον ορίζοντα 60-90 cm γίνεται η ίδια διαπίστωση με τον ορίζοντα 30-60 cm, λόγω του ίδιου φαινομένου. Αξίζει να σημειωθεί ότι για τον ορίζοντα 60-90 cm και για τη χρονική στιγμή του Σεπτεμβρίου του 2011, η διαφορά των μέσων τιμών των δύο εφαρμογών είναι μικρότερη από την αντίστοιχη διαφορά του ορίζοντα 30-60 cm ως αποτέλεσμα της ανοδικής κίνησης της εδαφικής υγρασίας, λόγω εξάτμισης αλλά και απομάκρυνσης νερού από τις ρίζες, φαινόμενα που συμπαρασύρουν τα άλατα από το κατώτερο ορίζοντα προς τον ανώτερο. Επίσης, ο αριθμός των γεγονότων άρδευσης, η δόση άρδευσης αλλά και η μέθοδος εφαρμογής συνεισέφεραν στο να μην υπάρξει απαγωγή αλάτων με βαθύτερη διήθηση. Συγκεκριμένα, τα γεγονότα άρδευσης ήταν μόνο 7, η εφαρμογή της άρδευσης γινόταν με sprayer κύκλου διαβροχής 2m και παροχής 90 lt/h και η δόση άρδευσης ήταν

υπολογισμένη, ώστε να μην επιτυγχάνεται διαφυγή νερού κατά μέσο όρο κάτω από το ένα μέτρο.

2. Μεταξύ των χρονικών στιγμών του Σεπτεμβρίου του 2011 και του Ιουνίου του 2012 δηλαδή με τη μεσολάβηση της βροχερής περιόδου, διαπιστώνεται και για τις δύο εφαρμογές αύξηση της EC, η οποία αύξηση είναι μεγαλύτερη με το βάθος του εξεταζόμενου ορίζοντα. Το γεγονός της αύξησης αντί για μείωση της EC, που θα αναμενόταν λόγω της βροχόπτωσης, δηλαδή λόγω της διήθησης καλής ποιότητας νερού στην εδαφική κατατομή, εξηγήθηκε κατά την ανάλυση του Πίνακα 28. Συγκεκριμένα διαπιστώνεται:
   i. Για τον ορίζοντα 0-30 cm παρατηρείται ελάχιστη αύξηση της EC για την εφαρμογή του ΕΥΑΑ, ενώ η αύξηση αυτή είναι μεγαλύτερη για την εφαρμογή του ΚΝ. Αυτό προκύπτει ως αποτέλεσμα της εμφάνισης υποεπιφανειακού υδροφόρου ορίζοντα κατά τους χειμερινούς μήνες, σε βάθος μέχρι και την επιφάνεια του εδάφους σε κάποια σημεία του πειραματικού αγρού, γεγονός που τροφοδοτεί την εδαφική κατατομή με άλατα, λόγω της μαζικής κίνησής τους ανοδικά εντός της κατατομής. Στην περίπτωση δηλαδή της εφαρμογής του ΚΝ, η έκλυση των αλάτων κατά την αρδευτική περίοδο έφερε την τιμή της EC πολύ πιο κάτω από αυτή που επιβάλει η ECw του ελεύθερου νερού που εμφανίζεται κατά τους χειμερινούς μήνες.
   ii. Για τον ορίζοντα 30-60 cm διαπιστώνεται ότι η EC αυξήθηκε και για τις δύο εφαρμογές και μάλιστα περίπου κατά το ίδιο ποσό, ως αποτέλεσμα της εμφανιζόμενης υποεπιφανειακής στάθμης φαινόμενο που εξηγήθηκε κατά την ανάλυση του Πίνακα 28.
   iii. Για τον ορίζοντα 60-90 cm επίσης διαπιστώνεται και για τις δύο εφαρμογές αύξηση της EC με μεγαλύτερη αύξηση στην εφαρμογή του ΚΝ. Στον ορίζοντα αυτό και για τη χρονική στιγμή του Ιουνίου του 2011, παρατηρείται σχεδόν εξομοίωση των τιμών της EC μεταξύ των δύο εφαρμογών, γεγονός που επαληθεύει την υπόθεση που έγινε κατά την ανάλυση του Πίνακα 28, ότι παρατηρείται εξίσωση της αλατότητας μετά τη λήξη της χειμερινής περιόδου, λόγω πλάγιας κίνησης του εποχικά εμφανιζόμενου υποεπιφανειακού νερού.
3. Μεταξύ των χρονικών στιγμών του Ιουνίου του 2012 και Σεπτεμβρίου του 2012, δηλαδή με τη μεσολάβηση της αρδευτικής περιόδου, διαπιστώνεται και για τις δύο εφαρμογές αύξηση της EC, για τους ορίζοντες 0-30 και 30-60 cm και μείωση της EC, για τον ορίζοντα 60-90 cm. Η αύξηση που παρατηρήθηκε στους δύο ανώτερους ορίζοντες και για τις δύο εφαρμογές βαίνει μειούμενη με το βάθος. Διαπιστώνεται δηλαδή μία κατάσταση αναμενόμενη πια για μία αρδευόμενη κατατομή με αύξηση της αλατότητας επιφανειακά και μείωσή της με το βάθος. Συγκεκριμένα διαπιστώνεται:
   i. Για τον ορίζοντα 0-30 cm παρατηρείται αύξηση της EC και για τις δύο εφαρμογές, με μεγαλύτερη αυτή της εφαρμογής του ΕΥΑΑ. Η αύξηση αυτή και στις δύο εφαρμογές αποδίδεται στην εξάτμιση, η οποία συγκεντρώνει άλατα κοντά στην επιφάνεια, λόγω ανοδικής κίνησης του νερού που επιβάλλει η κλίση του υδραυλικού φορτίου. Το γεγονός ότι η αύξηση της EC στην εφαρμογή του ΕΥΑΑ είναι μεγαλύτερη, εξηγείται από το γεγονός

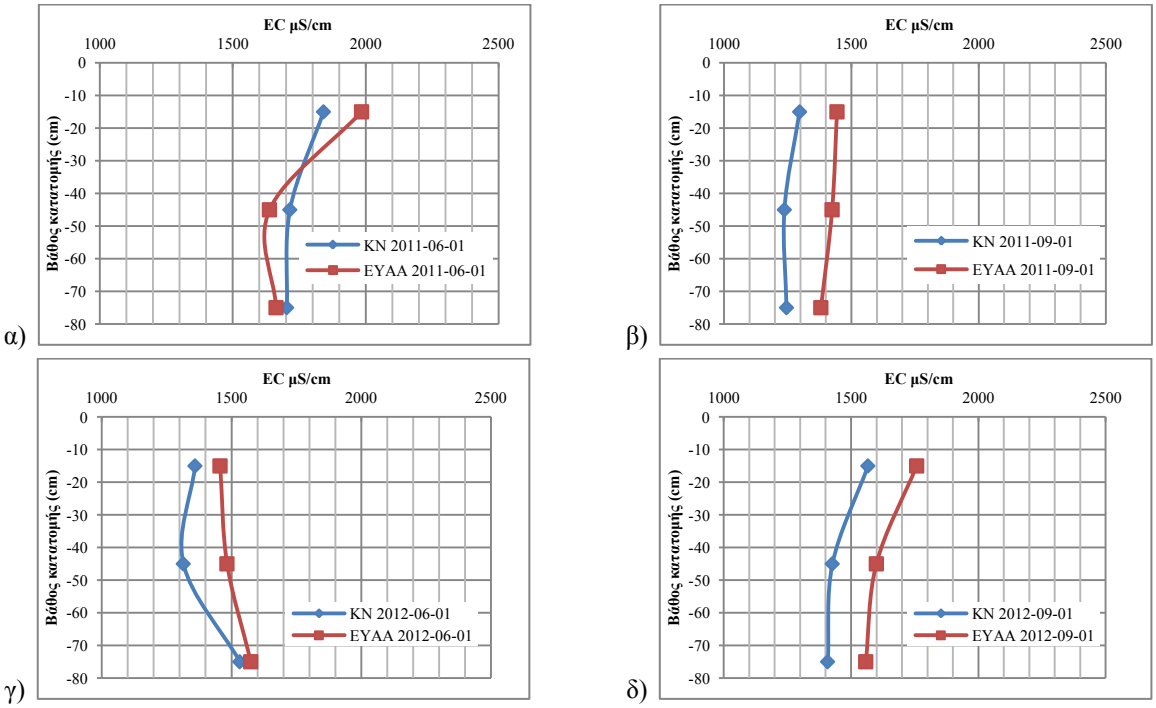
ότι η ECw του ΕΥΑΑ ήταν μεγαλύτερη από αυτή του ΚΝ.

ii. Για τον ορίζοντα 30-60 cm διαπιστώνεται επίσης αύξηση της EC και για τις δύο εφαρμογές και μάλιστα περίπου κατά το ίδιο ποσό. Η εξήγηση της παρατήρησης αυτής είναι ίδια με την εξήγηση που δόθηκε για τον ορίζοντα 0-30 cm, ενώ το μέγεθος της αύξησης είναι μικρότερο, λόγω της κατατομής αλάτων που εμφανίζεται λόγω εξάτμισης.

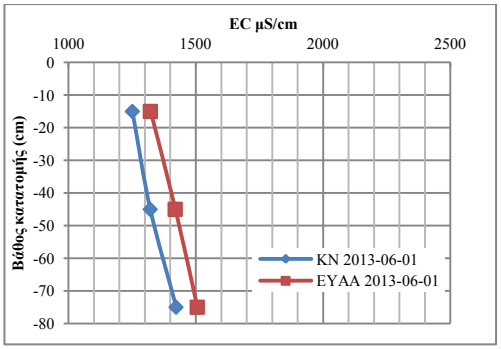
iii. Για τον ορίζοντα 60-90 cm διαπιστώνεται και για τις δύο εφαρμογές μείωση της EC, με μεγαλύτερη μείωση στην εφαρμογή του ΚΝ. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι στη συγκεκριμένη αρδευτική περίοδο, έναντι της προηγούμενη, υλοποιήθηκαν περισσότερα γεγονότα άρδευσης (11 έναντι 7), οδηγώντας ποσοστό της δόσης άρδευσης σε βαθύτερα στρώματα, απάγοντας άλατα σε βαθύτερο στρώμα. Ακολούθως, μέσω της ανοδικής κίνησης της υγρασίας που επιβάλεται από την εξάτμιση αλλά και από την απορρόφηση από το ριζόστρωμα, παρασύρθηκαν ανοδικά άλατα, μειώνοντας την EC στο συγκεκριμένο ορίζοντα.

4. Μεταξύ των χρονικών στιγμών του Σεπτεμβρίου του 2012 και του Ιουνίου του 2013, δηλαδή με τη μεσολάβηση της βροχερής περιόδου, διαπιστώνεται και για τις δύο εφαρμογές μείωση της EC, η οποία μείωση είναι μικρότερη με το βάθος του εξεταζόμενου ορίζοντα. Η παρατήρηση αυτή είναι αναμενόμενη για μία εδαφική κατατομή, στην οποία επιδρά η διήθηση βρόχινου νερού σε συνέχεια αρδευτικής περιόδου.

Στο Σχήμα 18 εμφανίζονται οι κατατομές ηλεκτρικής αγωγιμότητας των δύο εφαρμογών για τις πέντε χρονικές στιγμές της δειγματοληψίας. Οι κατατομές 18 γ και ε, που αφορούν σε τέλος χειμερινής περιόδου έχουν την αναμενόμενη μορφή, δηλαδή εμφανίζουν έκπλυση της κατατομής από άλατα και συνεπώς μικρότερες τιμές EC στον επιφανειακό ορίζοντα, οι οποίες αυξάνονται με το βάθος (με εξαίρεση την κατατομή της εραρμογής ΚΝ στο 18γ που εξηγείται ακολούθως).



ε)



Σχήμα 17 Διαγραμματική απεικόνιση των μεταβολών της κατατομής των μέσων τιμών της εδαφικής EC**,** ανά εφαρμογή (ΕΥΑΑ και ΚΝ) στις πέντε χρονικές στιγμές δειγματοληψίας

Σε ό,τι αφορά στις κατατομές 18 β και δ, αυτές αφορούν σε τέλος αρδευτικής περιόδου, έχοντας την αναμενόμενη μορφή δηλαδή εμφανίζοντας συγκέντρωση αλάτων στον επιφανειακό ορίζοντα, λόγω εξατμισοδιαπνοής και μειούμενη εξέλιξη των τιμών της EC με το βάθος. Η διαφορά τόσο της κλίσης όσο και των τιμών της EC μεταξύ των κατατομών του διαγράμματος 18 β και 18 ε μπορεί να οφείλεται στον αριθμό των γεγονότων άρδευσης που έλαβαν χώρα στα αντίστοιχα διαστήματα (Ιούνιος 2011-Σεπτέμβριος 2011, Ιούνιος 2012-Σεπτέμβριος 2012), τα οποία ήταν 7 και 12 αντιστοίχως. Είναι σαφές ότι κατά το δεύτερο χρονικό διάστημα προστέθηκε μεγαλύτερη ποσότητα αλάτων έναντι του πρώτου στην εδαφική κατατομή, γεγονός που αποτυπώνεται στη μορφή και στις μέσες τιμές. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η μορφή των κατατομών ττου διαγράμματος 18 α, όπου, αν και αφορούν σε μέσες τιμές EC εδάφους στο τέλος της χειμερινής-βροχερής περιόδου, σε αυτές εμφανίζεται υψηλή τιμή EC στον επιφανειακό ορίζοντα και σχεδόν ίδιες τιμές στους άλλους δύο βαθύτερους ορίζοντες. Η μορφή αυτή των κατατομών οφείλεται στο συνδυασμό των γεγονότων της μη άρδευσης του πειραματικού αγρού για σειρά ετών, πριν το πείραμα και της ανάπτυξης υποεπιφανειακού υδροφόρου ορίζοντα, κατά τους χειμερινούς μήνες. Τα δύο αυτά γεγονότα είχαν σαν αποτέλεσμα τη συσσώρευση αλάτων στον επιφανειακό ορίζοντα και την εξίσωση των τιμών στους δύο βαθύτερους ορίζοντες, λόγω οριζόντιας κίνησης του υπόγειου νερού. Σε ό,τι αφορά στην κατατομή μέσων τιμών EC του διαγράμματος 18 γ για την εφαρμογή του ΚΝ, έχει παρόμοια μορφή με αυτές του διαγράμματος 18 α, γεγονός που επιβεβαιώνει την υπόθεση που διατυπώθηκε ανωτέρω κατά την ανάλυση του Πίνακα 28, ότι η στατιστικά σημαντική διαφορά στην EC, που παρατηρήθηκε μεταξύ των δύο εφαρμογών για τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή και για τον ορίζοντα 30-60 cm, οφείλεται στη διαδικασία προσαρμογής των τιμών της εδαφικής EC στα γεγονότα της άρδευσης και μάλιστα της άρδευσης με ΚΝ. Η διαφορά μεταξύ της μορφής των κατατομών του διαγράμματος 18 γ (ΚΝ και ΕΥΑΑ) οφείλεται στην μικρότερη τιμή της ECw του ΚΝ, έναντι της αντίστοιχης του ΕΥΑΑ. Στο διάγραμμα 18 ε παρατηρείται μία παράλληλη τοποθέτηση των δύο κατατομών ακόμα και σε ότι αφορά στον ορίζοντα 60-90 cm και παρά του γεγονότος ότι αναπτύχθηκε υποεπιφανειακός υδροφόρος ορίζοντας, όπου, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, τείνει να εξισορροπήσει τις τιμές. Αντιθέτως, για το συγκεκριμένο ορίζοντα στα διαγράμματα 18 α και γ, δεν παρατηρείται απόσταση αλλά περίπου εξίσωση μεταξύ των δύο τιμών. Η παρατήρηση αυτή ενισχύει ακόμα περισσότερο την άποψη περί προσαρμογής της εδαφικής κατατομής στα γεγονότα άρδευσης, αλλά και συγχρόνως παρουσιάζει μία τάση αύξησης της αλατότητας σε όλο το μήκος της κατατομής, για την εφαρμογή του ΕΥΑΑ έναντι του ΚΝ, ακόμα και αν η διαφορά αυτή δεν τεκμηριώθηκε ως

στατιστικώς σημαντική, κατά την αντίστοιχη ανάλυση στον Πίνακα 28.

Πίνακας 29 Μέσες τιμές EC εδάφους (μS/cm), ανά εφαρμογή στην αρχή και στο τέλος του πειράματος

Βάθος (cm)	Είδος Αρδευτικού Νερού	Ιουν 2011	Ιουν 2013	R^2	CV	Prop
0-30	**ΚΝ**	1841.00	1251.67	0.90	0.11	**0.0021 ****
	ΕΥΑΑ	1985.67	1322.50	0.99	0.03	**<0.0001 *****
30-60	**ΚΝ**	1715.33	1321.67	0.69	0.16	**0.0371 ***
	ΕΥΑΑ	1638.00	1420.00	0.76	0.10	0.0588 $^{\mu\sigma}$
60-90	**ΚΝ**	1703,33	1423.33	0.82	0.09	**0.0168 ***
	ΕΥΑΑ	1663,33	1506.67	0.74	0.08	0.0752 $^{\mu\sigma}$

($^{\mu\sigma}$= μη σημαντικό, *= P<0,05 **=P < 0,01, *** = P < 0001)

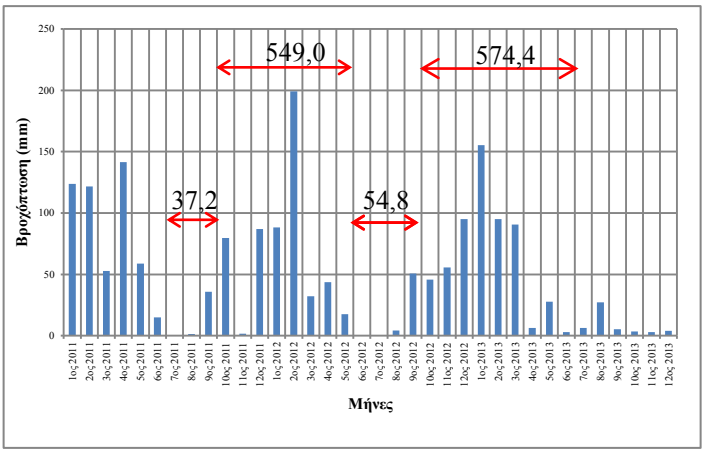
Από τον Πίνακα 29 διαπιστώνεται στατιστικά σημαντική μείωση της μέσης τιμής της EC του εδάφους μεταξύ των χρονικών στιγμών έναρξης και λήξης του πειράματος (Ιούνιος 2011-Ιούνιος 2013) και για τους τρεις ορίζοντες του εδάφους (0-30, 30-60 &60-90 cm) που αρδεύθηκε με ΚΝ. Αντιθέτως, για την εφαμογή του ΕΥΑΑ, διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική μείωση της μέσης τιμής της EC του εδάφους, μεταξύ έναρξης και λήξης του πειράματος, μόνο στον ορίζοντα 0-30 cm. Αξίζει να σημειωθεί ότι για τους άλλους δύο ορίζοντες οριακά δεν καταγράφηκε στατιστικά σημαντική διαφορά. Η μείωση αυτή που παρατηρήθηκε οφείλεται στο γεγονός που αναφέρθηκε και ανωτέρω, δηλαδή στην έκπλυση των αλάτων από την εδαφική κατατομή, μέσω της άρδευσης με «καλής» ποιότητας νερό, καθόσον πριν την έναρξη του πειράματος δεν είχε εφαρμοσθεί άρδευση και συνεπώς η εποχικά εμφανιζόμενη υπόγεια στάθμη είχε ως αποτέλεσμα τη συγκέντρωση αλάτων στα επιφανειακά στρώματα. Το ότι δεν εμφανίσθηκε μείωση της EC του εδάφους στατιστικά σημαντική για τους δύο ορίζοντες της εφαρμογής του ΕΥΑΑ (30-60 και 60-90 cm) μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι η ECw του ΕΥΑΑ ήταν μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του ΚΝ και συνεπώς επιτυγχανόταν μικρότερη απαγωγή αλάτων από την κατατομή από ότι απόθεση.

Στον Πίνακα 30 και στο Σχήμα 19 καταγράφεται το μηνιαίο ύψος βροχόπτωσης για τα έτη 2011, 2012 και 2013 αλλά και το ύψος βροχόπτωσης των εξεταζόμενων περιόδων ήτοι 6^{ος} 2011-9^{ος} 2011, 9^{ος} 2011-6^{ος}2012, 6^{ος} 2012-9^{ος} 2012 και 9^{ος} 2012-6^{ος} 2013.

Πίνακας 30 Ύψος βροχόπτωσης για τα τρία έτη που διήρκησε το πείραμα

	Ύψος Βροχόπτωση (mm)		
Μήνας	Ετήσιο	Μηνιαίο	Διαστήματος
1^{ος} 2011		123.8	
2^{ος} 2011		121.6	
3^{ος} 2011		52.8	
4^{ος} 2011		141.4	
5^{ος} 2011		58.8	
6^{ος} 2011		15	
7^{ος} 2011		0	
8^{ος} 2011		1.4	37.2
9^{ος} 2011		35.8	
10^{ος} 2011		79.6	
11^{ος} 2011		1.6	

12ος 2011	718.8	87	
1ος 2012		88.2	
2ος 2012		199.2	549.0
3ος 2012		32.2	
4ος 2012		43.6	
5ος 2012		17.6	
6ος 2012		0	
7ος 2012		0	54.8
8ος 2012		4.2	
9ος 2012		50.6	
10ος 2012		45.8	
11ος 2012		55.6	
12ος 2012	632	95	
1ος 2013		155.4	574.4
2ος 2013		95	
3ος 2013		90.6	
4ος 2013		6.2	
5ος 2013		27.8	
6ος 2013		3	
7ος 2013		6.4	
8ος 2013		27.2	
9ος 2013		5.4	
10ος 2013		3.5	
11ος 2013		2.9	
12ος 2013	427.3	3.9	



Σχήμα 18 Διαγραμματική απεικόνηση του ύψους βροχόπτωσης και τα αντίστοιχα διαστήματα που ενδιαφέρουν για το πείραμα

Σχετικά με την EC του εδάφους και τις μεταβολές της σε σχέση με την άρδευση με ΕΥΑΑ, οι Pollice, et al., (2004) δεν αναφέρουν μεταβολή της σε πείραμα άρδευσης ντομάτας και μάραθου επί αργιλώδους εδάφους. Η διαφορά, που σύμφωνα με τους ερευνητές διαπιστώθηκε στην ποιότητα των δύο νερών άρδευσης (ΕΥΑΑ και ΚΝ), δεν αποτυπώθηκε και στην EC του εδάφους, πιθανότατα λόγω του τρόπου λήψεως των προς ανάλυση εδαφικών δειγμάτων αφού λάμβαναν ένα ενιαίο δείγμα, ανά επανάληψη μέχρι τα 80 cm, με δειγματοληψία ανά 20 cm, σε ένα και μόνο σημείο του πειραματικού αγρού τους.

Αντιθέτως οι Smith, et al., (1996), Wang, et al., (2003), Heidarpour, et al., (2007), Mutengu, et al., (2007), Kiziloglu, et al., (2008), AL-Jaboobi, et al., (2014) και Bedbabis, et al., (2014) αναφέρουν αύξηση της EC. Οι τελευταίοι αποδίδουν το γεγονός αυτό στη μεγαλύτερη συγκέντρωση αλάτων και ολικών διαλυμένων στερεών στο απόβλητο, ενώ επίσης αναφέρουν ότι μεγαλύτερη αύξηση της αλατότητας παρατηρήθηκε σε μεγαλύτερα βάθη (60-80 cm) από ότι σε μικρότερα βάθη (20-40 cm), εξηγώντας το γεγονός αυτό με τη μετακίνηση αλάτων εντός της εδαφικής κατατομής προς τα κάτω, λόγω των φθινοπωρινών και χειμερινών βροχών, οι οποίες, σύμφωνα με αυτούς, επαρκούν για την έκπλυση των αλάτων. Σύμφωνα με τους Melgar, et al., (2009), ύψος βροχόπτωσης μικρότερο των 250 mm δεν είναι ικανό να εκπλύνει την εδαφική κατατομή από άλατα και έτσι υπάρχει ο κίνδυνος της αλάτωσης. Για το ίδιο ζήτημα, ο Ben-Hur, (2004) θεωρεί ότι, για να υπάρξει ικανοποιητική έκπλυση αλάτων, απαιτείται ύψος βροχόπτωσης 500 mm και περίοδος βροχόπτωσης της τάξεως των 3-4 μηνών. Οι Qian & Mecham, (2005) και Rusan et al., (2007) αναφέρουν ότι η αύξηση της EC σχετίζεται και με τη διάρκεια εφαρμογής του ΕΥΑΑ.

Στην εξεταζόμενη περίπτωση, σε ό,τι αφορά στην εφαρμογή του ΕΥΑΑ, αν και η παρουσία του υποεπιφανειακού υδροφόρου ορίζοντα με εποχικά μεταβαλλόμενο βάθος της ελεύθερης επιφάνειας περιέπλεξε τα πράγμα, όμως ήδη από την 2η εφαρμογή είναι σαφές ότι υπήρξε στατιστικά σημαντική αύξηση της EC για τους δύο ανώτερους ορίζοντες, μεταξύ αρχής και τέλους της αρδευτικής περιόδου, σε ό,τι αφορά στην εφαρμογή του ΕΥΑΑ έναντι αυτής του ΚΝ. Από την άλλη πλευρά, το ύψος

βροχόπτωσης όσο και η διάρκειά της (Πίνακας 30 και Σχήμα 19) είναι της τάξεως που περιγράφεται από τον Ben-Hur, (2004) (500 mm και και 3-4 μήνες). Συγκεκριμένα, για την πρώτη χειμερινή περίοδο, το ύψος είναι της τάξης των 549,0 mm και για τη δεύτερη, 574,4 mm, γεγονός που δίνει σημαντική έκπλυση της κατατομής, παρά την εποχική εμφάνιση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα με εποχικά μεταβαλόμενο βάθος. Η έκπλυση αυτή είναι μεγαλύτερη στον ορίζοντα 0-30 cm και μειώνεται με το βάθος, όπου για το βάθος 60-90 cm, η EC τείνει να εξισώνεται στις δύο εφαρμογές (ΕΥΑΑ και ΚΝ) (Σχήματα 17 και 18). Αυτό οφείλεται στην οριζόντια κίνηση του υπόγειου νερού, παρασύροντας άλατα (δες παράρτημα ΙΙΙ).

2.2.2.3. Αντίδραση εδάφους – (pH)

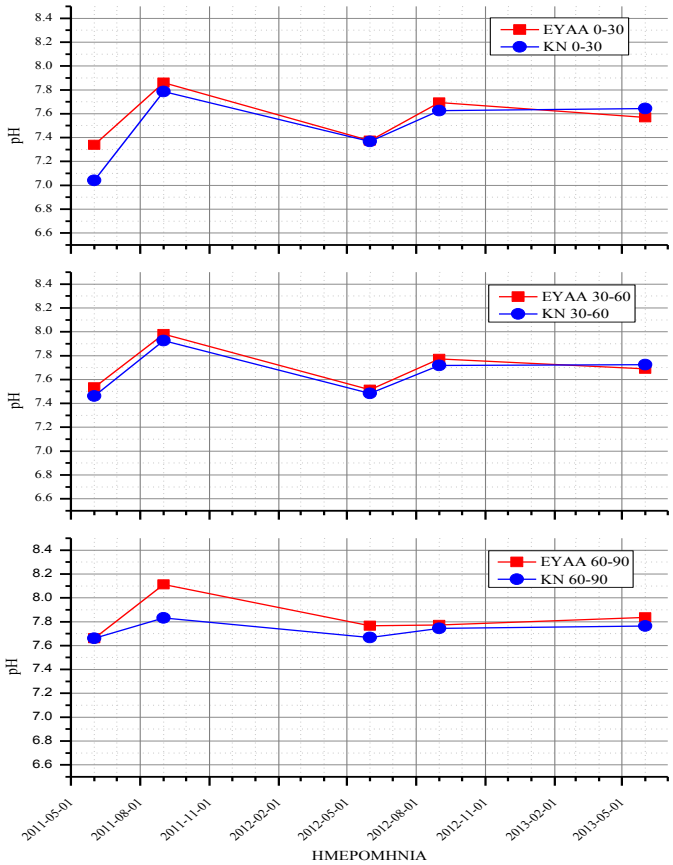
Στον Πίνακα 67 του Παραρτήματος Ι εμφανίζονται οι τιμές του pH, ανά ορίζοντα, επανάληψη και εφαρμογή, για τις πέντε χρονικές στιγμές δειγματοληψίας εδάφους. Στον Πίνακα 31 εμφανίζεται το αποτέλεσμα της στατιστικής επεξεργασίας των τιμών του pH, τόσο ανά χρονική στιγμή δειγματοληψίας μεταξύ των δύο εφαρμογών για τους ίδιους εδαφικούς ορίζοντες όσο και ανά ορίζοντα και εφαρμογή, μεταξύ των διαδοχικών χρονικών στιγμών δειγματοληψίας.

Πίνακας 31 Μέσες τιμές pH εδάφους, ανά εφαρμογή και ημερομηνία αναλύσεων (αρχή - τέλος κάθε αρδευτικής περιόδου)[30]

Βάθος (cm)	Είδος Αρδευτικού Νερού	Ιουν 2011	Σεπ 2011	Ιουν 2012	Σεπ 2012	Ιουν 2013
0-30	**ΚΝ**	7,04 **c α**	7,79 c **A** β	7,37 c β γ	7,63 c γ δ	7,64 c δ
	ΕΥΑΑ	7,33 **C α**	7,86 c **A B**	7,37 c **β** γ	7,69 c γ δ	7,57 c δ
30-60	**ΚΝ**	7,46 d **α**	7,93 d **A B**	7,48 d **β** γ	7,72 d γ δ	7,73 d δ
	ΕΥΑΑ	7,53 d **α**	7,98 d **A B**	7,52 d **β** γ	7,77 d γ δ	7,69 d δ
60-90	**ΚΝ**	7,66 f **α**	7,83 f **A** β	7,67 f β γ	7,75 f γ δ	7,77 f δ
	ΕΥΑΑ	7,66 f α	8,11 f α **B**	7,77 f **β** γ	7,77 f γ δ	7,84 f δ

Από τον Πίνακα 31 δεν διαπιστώνεται καμία στατιστικώς σημαντική διαφορά στις τιμές του pH μεταξύ των δύο εφαρμογών, εντός του ίδιου ορίζοντα και για την ίδια χρονική στιγμή δειγματοληψίας εδαφών (Πίνακας 31, γράμμα Αγγλικού αλφάβητου που ακολουθεί τις μέσες τιμές του pH), με εξαίρεση τον ορίζοντα 0-30 cm, για τη χρονική στιγμή του Ιουνίου του 2011, όπου τα δείγματα, που προήλθαν από τις επαναλήψεις της εφαρμογής του ΕΥΑΑ, έδωσαν βασικότερη αντίδραση, έναντι των δειγμάτων που θα αρδεύονταν με ΚΝ (Σχήμα 21 α & β). Σημειώνεται ότι η παρατήρηση αυτή αφορά σε χρονική στιγμή πριν την έναρξη του πειράματος.

[30] Διαδοχικές μέσες τιμές εντός της ίδιας στήλης και για τον ίδιο ορίζοντα (διαφορετικές εφαρμογές στην ίδια ημερομηνία αναλύσεως ανά ορίζοντα), που ακολουθούνται από το ίδιο μικρό γράμμα του Αγγλικού αλφάβητου, δεν διαφέρουν στατιστικά, ενώ, αν ακολουθούνται από το ίδιο μεν γράμμα αλλά μικρό-κεφαλαίο, διαφέρουν στατιστικά σημαντικά.
Διαδοχικές μέσες τιμές εντός της ίδιας γραμμής (διαδοχικές ημερομηνίες αναλύσεων της ίδιας εφαρμογής και ορίζοντα), που ακολουθούνται από το ίδιο μικρό γράμμα του Ελληνικού αλφάβητου, δεν διαφέρουν στατιστικά, ενώ, αν ακολουθούνται από το ίδιο μεν γράμμα αλλά μικρό-κεφαλαίο, διαφέρουν στατιστικά σημαντικά.

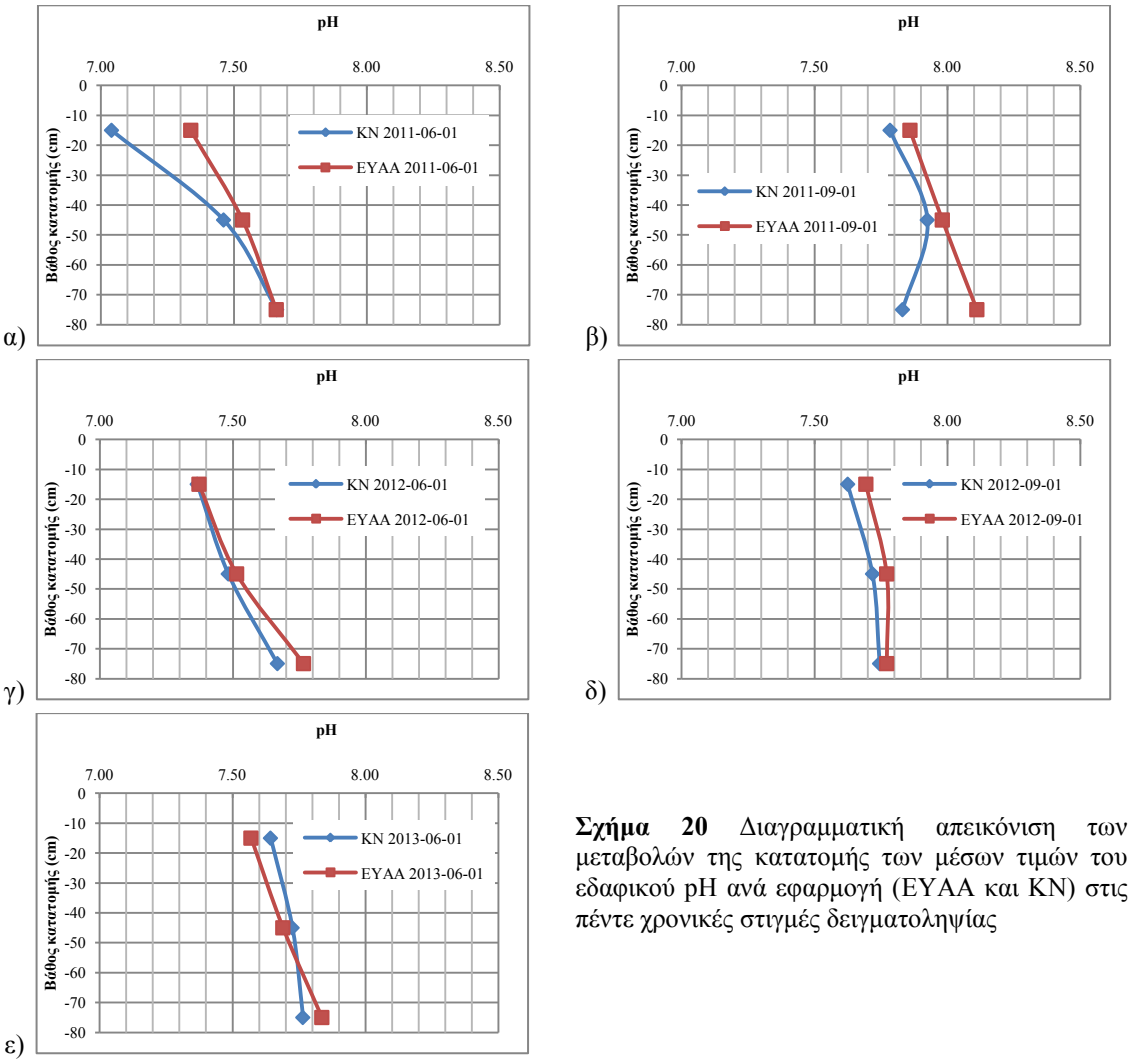


Σχήμα 19 Διαγραμματική απεικόνιση των μεταβολών του εδαφικού pH με το χρόνο ανά εφαρμογή και εδαφικό ορίζοντα

Μεταξύ των χρονικών στιγμών Ιούνιος 2011-Σεπτέμβριος 2011 υφίσταται στατιστικά σημαντική αύξηση των μέσων τιμών του pH, δηλαδή μείωση της όξινης αντίδρασης για όλους τους εδαφικούς ορίζοντες και για τις δύο εφαρμογές (Πίνακας 31 γράμματα Ελληνικού αλφάβητου που ακολουθούν τις τιμές των στηλών Ιουν 2011 και Σεπ 2011, Σχήμα 20 και Σχήμα 21 α & β) . Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί στο συνδυασμό της έκπλυσης των αλάτων από την εδαφική κατατομή, η οποία παρατηρήθηκε για το συγκεκριμένο διάστημα, όπως αναφέρουν και οι Bloom, et al., (2005), Παναγιωτόπουλος, (2010) (Πίνακας 28 & Σχήμα 17), με την τροφοδότηση της εδαφικής κατατομής, μέσω της άρδευσης με βασικά κατιόντα (Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+}, Na^{+} NH_4^{+} κ.λ.π.) (Πίνακας 17) , γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του βαθμού κορεσμού με βάσεις του εδάφους (Γιάσογλου, 1991), (Μήτσιος, 1999), (Brady & Weil, 2008).

Μεταξύ των χρονικών στιγμών Σεπτέμβριος 2011 και Ιούνιος 2012, διαπιστώνεται στατιστικώς σημαντική μείωση του pH, δηλαδή αύξηση της όξινης αντίδρασης (μείωση του pH) , σε όλους του εδαφικούς ορίζοντες της εφαρμογής του ΕΥΑΑ, ενώ στην εφαρμογή του ΚΝ παρατηρείται αύξηση της όξινης αντίδρασης, σε όλους τους ορίζοντες (μείωση του pH) , αλλά μόνο στον ορίζοντα 30-60 cm η αύξηση αυτή είναι στατιστικώς σημαντική (Πίνακας 31 γράμματα Ελληνικού αλφάβητου που ακολουθούν τις τιμές των στηλών Σεπ 2011 και Ιουν 2012, Σχήμα 20 και Σχήμα 21 β & γ). Η παρατήρηση αυτή της αύξησης της όξινης αντίδρασης όλων των οριζόντων

μπορεί να αποδοθεί στο παραγόμενο CO_2, το οποίο προκύπτει, είτε από την αποδόμηση της οργανικής ουσίας (Μουστάκας, 2009; Παναγιωτόπουλος, 2010), ακόμα και αν αυτή είναι σε μικρά ποσοστά (Bloom P. R., 2000) (Πίνακας 50, Σχήμα 30), είτε από την αναπνοή των ριζών (Μήτσιος, 1999; Μουστάκας, 2009). Εδώ να σημειωθεί ότι το εύρημα αυτό, δηλαδή η μείωση της τιμής του pH είναι αντίθετη με το αναμενόμενο σε εδάφη, όπως αυτό του πειραματικού αγρού, δηλαδή εδάφη που περιοδικά εντός του χρόνου, αν και έχουν καλή αποστράγγιση, εμφανίζουν υδροφόρο με επιφάνεια κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Στα εδάφη αυτά παρατηρείται, λόγω αναερόβιων συνθηκών, αύξηση της τιμής του pH, δηλαδή μείωση της όξινης αντίδρασης του εδάφους, καθώς και μεταβολή του χρώματος από ερυθρό σε ωχρό, ως αποτέλεσμα της μείωσης του διαλυμένου οξυγόνου και της έναρξης δραστηριότητος αναερόβιων μικροοργανισμών εντός του εδάφους, οι οποίοι ανάγουν τον τρισθενή σίδηρο σε δισθενή, χρησιμοποιώντας υδρογονοκατιόντα (Brady & Weil, 2008).



Σχήμα 20 Διαγραμματική απεικόνιση των μεταβολών της κατατομής των μέσων τιμών του εδαφικού pH ανά εφαρμογή (ΕΥΑΑ και ΚΝ) στις πέντε χρονικές στιγμές δειγματοληψίας

Ακολούθως, για το διάστημα Ιούνιος 2012 – Σεπτέμβριος 2012, παρατηρείται αύξηση της τιμής του pH, σε όλους του ορίζοντες και σε όλες τις εφαρμογές στατιστικώς μη σημαντική και η αύξηση αυτή βαίνει μειούμενη με το βάθος (Πίνακας 31 γράμματα Ελληνικού αλφάβητου που ακολουθούν τις τιμές των στηλών Ιουν 2012

και Σεπ 2012, Σχήμα 20 και Σχήμα 21 γ & δ). Το εύρημα αυτό μπορεί να αποδοθεί στην εκ νέου τροφοδότηση της εδαφικής κατατομής, μέσω της άρδευσης, με βασικά κατιόντα (Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+}, Na^{+} NH_4^{+} κ.λ.π.) (Πίνακας 17) , γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του βαθμού κορεσμού με βάσεις του εδάφους (Γιάσογλου, 1991; Μήτσιος, 1999; Brady & Weil, 2008).

Μεταξύ των χρονικών σημείων Σεπτεμβρίου 2012 και Ιουνίου 2013, διαπιστώνεται σχετική σταθεροποίηση των μέσων τιμών του pH για όλους τους εδαφικούς ορίζοντες και όλες τις εφαμρογές (Πίνακας 31 γράμματα Ελληνικού αλφάβητου που ακολουθούν τις τιμές των στηλών Σεπ 2012 και Ιουν 2013, Σχήμα 20 και Σχήμα 21 δ & ε). Η παρατήρηση αυτή μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι με τους κύκλους άρδευσης, εξάτμισης, κατάκλυσης και αποστράγγισης οδηγήθηκε, και για τις δύο εφαρμογές, το εδαφικό σύστημα σε μία νέα ισορροπία, διαφορετική από την προηγούμενη, όπου δεν υλοποιείτο άρδευση.

Σε όλα τα ανωτέρω περιγραφέντα φαινόμενα, ρόλο παίζει και το ενεργό ανθρακικό ασβέστιο και η οργανική ουσία, τα οποία θα αναλυθούν σε επόμενη παράγραφο.

Στον Πίνακα 32 διαπιστώνεται ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική μεταβολή της αντίδρασης του εδάφους, για κάθε ορίζοντα, μεταξύ έναρξης και λήξης του πειράματος, παρά μόνο στον ορίζοντα 0-30 cm, στην εφαρμογή που αρδεύτηκε με ΚΝ, όπου διαπιστώνεται μείωση της όξινης αντίδρασης του εδάφους (αύξηση του pH) , φαινόμενο που εξηγήθηκε ανωτέρω.

Πίνακας 32 Μέσες τιμές pH, ανά εφαρμογή, στην αρχή και στο τέλος του πειράματος

Βάθος (cm)	Είδος Αρδευτικού Νερού	Ιουν 2011	Ιουν 2013	R^2	CV	Prop
0-30	**ΚΝ**	7,04	7,64	0.86	0.03	**0.0040 ****
	ΕΥΑΑ	7,33	7,57	0.81	0.02	0.0691 $^{\mu\sigma}$
30-60	**ΚΝ**	7,46	7,72	0.56	0.03	0.0875 $^{\mu\sigma}$
	ΕΥΑΑ	7,66	7,84	0,41	0.04	0.4159 $^{\mu\sigma}$
60-90	**ΚΝ**	7,66	7,77	0.47	0.03	0,4527 $^{\mu\sigma}$
	ΕΥΑΑ	7,66	7,84	0.41	0.04	0.0752 $^{\mu\sigma}$

($^{\mu\sigma}$= μη σημαντικό, *= P<0,05 **=P < 0,01, *** = P < 0,001)

Σε ό,τι αφορά στην μεταβολή του pH, λόγω εφαρμογής ΕΥΑΑ για άρδευση, τα αποτελέσματα που έχουν αναφερθεί ποικίλλουν. Οι Pollice, et al., (2004) και Heidarpour, et al., (2007) δεν αναφέρουν μεταβολή στην όξινη αντίδραση του εδάφους.

Οι Smith, et al., (1996), Rosabal, et al., (2007) και Qishlaqi, et al., (2008) κατέληξαν ότι οι παρατηρηθείσες μεταβολές της όξινης αντίδρασης του εδάφους ήταν εξαρτώμενες από τις τιμές του pH της εκροής που χρησιμοποιείτο για άρδευση. Σημειώνεται ότι πειραματίσθηκαν με υγρό αστικό απόβλητο, μετά από διάφορα στάδια επεξεργασίας ακόμα και ανεπεξέργαστο. Στην ίδια εξάρτηση όξινης αντίδρασης του εδάφους και pH χρησιμοποιούμενης εκροής για άρδευση κατέληξαν και οι Xu, et al., (2010), σύμφωνα με τους οποίους, παρατηρήθηκε αύξηση της όξινης αντίδρασης του εδάφους (μείωση του pH) , σε όλο του το βάθος, μετά από είκοσι χρόνια εφαρμογής

αποβλήτου με όξινο pH.

Πολλοί ερευνητές αναφέρουν αύξηση της όξινης αντίδρασης του εδάφους (μείωση των τιμών του pH). Συγκεκριμένα μείωση του pH, με σύγχρονη αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, αναφέρουν οι Mutengu, et al., (2007) και Kiziloglu, et al., (2008). Επίσης αύξηση της όξινης αντίδρασης του εδάφους αναφέρουν και οι Bedbabis, et al., (2014), μετά από άρδευση με ΕΥΑΑ ελαιώνα, με δένδρα εξαετίας. Οι Vazquezmontiel, et al., (1996) απέδωσαν την παρατηρηθείσα αύξηση της όξινης αντίδρασης του εδάφους σε οξείδωση οργανικών ουσιών και σε νιτροποίηση του αμμωνίου.

Αντιθέτως, σειρά δημοσιεύσεων αναφέρουν μείωση της όξινης αντίδρασης του εδάφους, δηλαδή αύξηση του pH. Συγκεκριμένα οι Tarchouna, et al., (2010) παρατήρησαν μείωση της όξινης αντίδρασης ενός αμμώδους εδάφους, μετά από εφαρμογή ΕΥΑΑ που έχει υποστεί δευτεροβάθμια επεξεργασία. Οι Herpin, et al., (2007) αναφέρουν ότι η μείωση της όξινης αντίδρασης του εδάφους (αύξηση τιμής pH) , μετά από άρδευση με δευτεροβάθμια εκροή βιολογικού καθαρισμού επί τρία χρόνια, είναι μεγαλύτερη στα επιφανειακά στρώματα που εξετάσθηκαν (0-60 cm) από ότι στα βαθύτερα στρώματα (60-120 cm). Στα δε τελευταία παρατηρήθηκε μεγάλη διακύμανση τιμών. Ο Vogeler, (2008), εξετάζοντας συγκριτικά εδαφικά δείγματα από δύο διαφορετικά πεδία μακροχρόνιας απόρριψης ΕΥΑΑ που καλυπτόταν από βοσκήσιμη ύλη και από πεδίο που δεν αρδευόταν με ΕΥΑΑ, αλλά ούτε και καλλιεργείτο διαπίστωσε μείωση της ισχυρής όξινης αντίδρασης των εδαφών που αρδεύονταν με ΕΥΑΑ, έναντι του μάρτυρα. Μείωση της όξινης αντίδρασης του εδάφους (αύξηση της τιμής του pH) σε πειραματικό αγρό (θερμοκήπιο) , μεταξύ μάρτυρα και εφαρμογής ΕΥΑΑ, σε καλλιέργεια B. oleraceavar. Italica (Μπρόκολο) και B. oleracea var. Gemmifera (Λαχανάκι βρυξελών) , παρατηρήθηκε και από τους (Kalavrouziotis, et al., (2008). Οι Kiziloglu, et al., (2007) αναφέρουν επίσης μείωση της όξινης αντίδρασης του εδάφους (αύξηση της τιμής του pH) μετά από άρδευση με ΕΥΑΑ με εκροή προκαταρτικής και πρωτοβάθμιας επεξεργασίας, την οποία απέδωσαν σε ορυκτοποίηση της οργανικής ουσίας και απόδοσης κατιόντων στο εδαφοδιάλυμα, καθότι με τα δύο αυτά είδη επεξεργασίας επιτυγχάνεται μικρό ποσοστό μείωσης της οργανικής ουσίας. Οι Schipper, et al., (1996) αποδίδουν την παρατηρηθείσα μείωση της όξινης αντίδρασης του εδάφους στην προσθήκη βασικών κατιόντων Ca^{2+}, $Nα^{+}$ και Mg^{2+} στο έδαφος μέσω της άρδευσης για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Σε ό,τι αφορά στην τάξη μεγέθους της μείωσης της όξινης αντίδρασης του εδάφους, οι Qian & Mecham, (2005) αναφέρουν αύξηση της τάξεως του 0,3 ενώ οι Schipper, et al., (1996) και Tarchouna, et al., (2010) ανέφεραν αύξηση της τιμής του pH κατά 0,8 μονάδες, μετά από εφαρμογή επεξεργασμένου αποβλήτου τεταρτοβάθμιας επεξεργασίας σε δασική περιοχή, επί 3 χρόνια, με προσθήκη 4,9 cm/week, αποδίδοντας την παρατήρησή τους αυτή στην απονιτροποίηση, η οποία παράγει υδροξυλιόντα. Τέλος, οι Mancino & Pepper, (1992) αναφέρουν αύξηση των τιμών του pH της τάξεως των 0,1-0,2 μονάδων, με εφαρμογή επεξεργασμένης εκροής, μετά από δευτεροβάθμια επεξεργασία, αποδίδοντάς την αφ' ενός στην προσθήκη βασικών κατιόντων Ca^{2+}, $Nα^{+}$ και Mg^{2+} και αφ' ετέρου στην απονιτροποίηση η οποία δίνει υδροξυλιόντα.

Οι Rusan, et al., (2007) αναφέρουν αρχικά αύξηση της όξινης αντίδρασης του εδάφους (μείωση της τιμής του pH) , μετά από 2 χρόνια εφαρμογής ΕΥΑΑ

τριτοβάθμιας επεξεργασίας, και ακολούθως μείωση της όξινης αντίδρασης (αύξηση των τιμών του pH) και σταθεροποίηση, κατά τον 5^{ο} έως και το 10^{ο} χρόνο εφαρμογής.

Ένα ακόμα στοιχείο που πρωτοπαρατηρήθηκε από τον Baver, (1927), σε σχέση με τις μεταβολές του pH, είναι και η εποχική διακύμανσή του. Οι Tarchouna et al., (2010) αναφέρουν εποχική διακύμανση της όξινης αντίδρασης του εδάφους, η οποία ήταν από 6,85-8,35 για το έδαφος που εφαρμοζόταν το απόβλητο και 6,74-6,94 για το μάρτυρα. Η εποχική αυτή διακύμανση εξαρτάται από μετεωρολογικές παραμέτρους και από την ανθρώπινη δραστηριότητα (Bloom, et al., 2005). Ο Παναγιωτόπουλος, (2010) αναφέρει ότι η αντίδραση του εδάφους εξαρτάται και από τη συγκέντρωση του εδαφικού διαλύματος σε άλατα, το σθένος των κατιόντων του εδαφικού διαλύματος και τη μερική πίεση του CO_2 στην εδαφική ατμόσφαιρα και συνεχίζει αναφέροντας ότι η διακύμανση όλων αυτών εξαρτάται από τις κλιματικές συνθήκες (βροχόπτωση, ξηρασία κ.λ.π.) , όπως επίσης και από τις ανθρώπινες δραστηριότητες (αρδεύσεις, στραγγίσεις, λιπάνσεις, οργανικά υπολείμματα κ.λπ.). Σύμφωνα με τον ίδιο, το εδαφικό pH είναι υψηλότερο κατά τους χειμερινούς μήνες από ότι κατά τους θερινούς μήνες. Κατά τον Baver, (1927), η εποχική διακύμανση της τιμής του pH είναι συνδεδεμένη με την απώλεια, δημιουργία και την καθίζιση αλάτων. Σύμφωνα με τον ίδιο, η χαμηλότερη τιμή pH (μέγιστη όξινη αντίδραση) παρουσιάζεται τον Ιούνιο, κινείται σε μέσες τιμές περί το Σεπτέμβριο και η μέγιστη τιμή pH (ελάχιστη όξινη αντίδραση) παρατηρείται τον Απρίλιο. Ο Thomas G. W., (1996) αναπτύσσοντας ένα πιθανό σενάριο που καταλήγει στο εύρημα του Baver, (1927), σε ό,τι αφορά στην εποχική διακύμανση της όξινης αντίδρασης του εδάφους σε υγρά κλίματα, αναφέρει ότι αναμένεται έκπλυση των αλάτων από την εδαφική κατατομή κατά τους χειμερινούς μήνες, λόγω της βροχόπτωσης και της μείωσης της νιτροποίησης, οπότε αύξηση της όξινης αντίδρασης (μείωση της τιμής του pH). Ακολούθως, στην περίοδο της σποράς ή της φύτευσης, στην εδαφική κατατομή αυξάνονται τα άλατα, ως αποτέλεσμα της ταχείας νιτροποίησης αλλά και της προσθήκης λιπασμάτων. Κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης, τα φυτά απομακρύνουν σταδιακά άλατα (θρεπτικά στοιχεία) από το έδαφος, απορροφώντας τα και μειώνοντας έτσι την περιέκτικότητά τους στην εδαφική κατατομή. Μετά όμως από τη συλλογή-θερισμό, η αλατότητα αυξάνεται εκ νέου στην εδαφική κατατομή, ως αποτέλεσμα της έλλειψης νερού, της έλλειψης απορρόφησης θρεπτικών στοιχείων από τα φυτά, της έλλειψης νιτροποίησης κ.λ.π.

Τα παραπάνω είναι αντίθετα με τα δικά μας ευρήματα, τόσο σε ό,τι αφορά στην αλατότητα (δες αντίστοιχο κεφάλαιο) , αλλά και σε ό,τι αφορά στην όξινη αντίδραση του εδάφους (Σχήμα 20) , αφού η μέγιστη τιμή του pH παρατηρείται τον Ιούνιο και η χαμηλότερη το Σεπτέμβριο. Το εύρημα αυτό αποδίδεται στην εμφάνιση του εποχικού υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, παρά του ότι τα εδάφη είναι καλώς αποστραγγιζόμενα, συνέπεια του οποίου είναι η μη έκπλυση των αλάτων τον χειμώνα από την εδαφική κατατομή και αντιστρόφως η μείωση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους, με την άρδευση το καλοκαίρι, ενώ συγχρόνως το έδαφος τροφοδοτείται με βασικά κατιόντα.

2.2.2.4. Ανθρακικό Ασβέστιο - ($CaCO_3$)

Στον Πίνακα 68 του Παραρτήματος Ι εμφανίζονται οι τιμές του $CaCO_3$ ανά επανάληψη, εφαρμογή και ορίζοντα, για τις πέντε χρονικές στιγμές της δειγματοληψίας.

Στον Πίνακα 33 εμφανίζονται τα αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας των τιμών της συγκέντρωσης του εδαφικού $CaCO_3$, τόσο μεταξύ των οριζόντων ανά εφαρμογή και χρονική στιγμή δειγματοληψίας, όσο και μεταξύ των χρονικών στιγμών δειγματοληψίας ανά ορίζοντα, για την ίδια εφαρμογή.

Πίνακας 33 Μέσες τιμές ανθρακικού ασβεστίου (%) ($CaCO_3$) εδάφους, ανά εφαρμογή και ημερομηνία αναλύσεων (αρχή - τέλος κάθε αρδευτικής περιόδου)[31]

Βάθος (cm)	Είδος Αρδευτικού Νερού	Ιουν 2011	Σεπ 2011	Ιουν 2012	Σεπ 2012	Ιουν 2013
0-30	**ΚΝ**	0.15 c **α**	0.40 c **Α** β	0.17 c β γ	0.68 c γ δ	0.67 c δ
	ΕΥΑΑ	0.32 c **α**	0.69 c **Α** β	0.38 c β γ	0.86 c γ δ	0.76 c δ
30-60	**ΚΝ**	1.27 d α	1.08 d α β	0.45 d β **γ**	1.07 d **Γ** δ	0.91 d δ
	ΕΥΑΑ	0.80 d α	1.08 d α β	0.58 d β γ	0.83 d γ δ	0.91 d δ
60-90	**ΚΝ**	1.75 f α	1.82 f α β	1.33 f β γ	1.95 f γ δ	1.76 f δ
	ΕΥΑΑ	2.29 f α	2.26 f α β	0.89 f β **γ**	1.75 f **Γ** δ	1.55 f δ

Διαπιστώνεται ότι δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σε κανένα από τα δύο είδη συγκρίσεων που έγιναν. Είναι γεγονός ότι δεν αναμενόταν αλλαγή της συγκέντρωσης του εδάφους σε $CaCO_3$ με την άρδευση, είτε με ΕΥΑΑ, είτε με ΚΝ. Η διερεύνηση της μεταβολής της συγκέντρωσης του $CaCO_3$ έγινε, για να ελεγχθεί η χρονική κυρίως μεταβολή του και η συσχέτισή του με το pH. Εδάφη που περιέχουν $CaCO_3$ έχουν τιμή pH μεταξύ 7 και 8.3 (Bloom P. R., 2000; Bloom, et al., 2005) και μάλιστα οι μεταβολές του pH στις περιπτώσεις αυτών των εδαφών οφείλεται στη διαλυτότητα του $CaCO_3$, ιδιότητα που συναρτάται με το μέγεθος των κόκκων του $CaCO_3$, τη συγκέντρωσή του (Μήτσιος, 1999) και στην ισορροπία του εκλυόμενου CO_2 με το CO_2 της ατμόσφαιρας (Παναγιωτόπουλος, 2010).

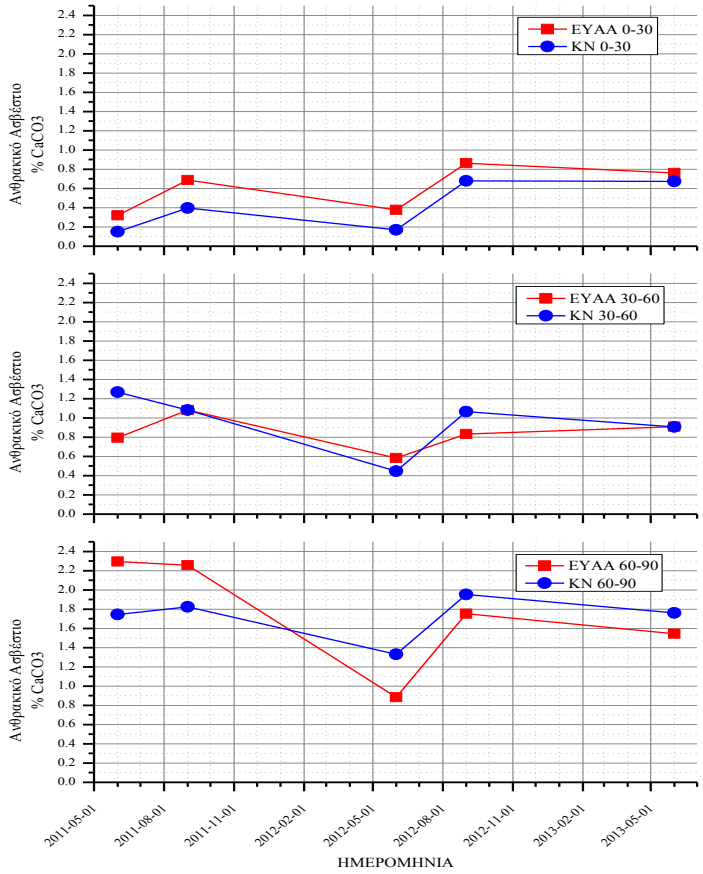
Ουσιαστικά, πρόκειται για τη ρυθμιστική ικανότητα των εδαφών σε ό,τι αφορά στην όξινη αντίδρασή τους, που προξενούν φαινόμενα διαλυτοποίησης και καθίζισης που συμβαίνουν, λόγω των σχετικών συγκεντρώσεων $CaCO_3$, CO_3^{2-}, HCO_3^- H_2CO_3 στο εδαφικό διάλυμα καθώς και της συγκέντρωσης του $CO_2\uparrow$, τόσο στην εδαφική υγρασία, όσο και στην ατμόσφαιρα. Η διαλυτοποίηση και η καθίζιση $CaCO_3$ περιγράφεται από την ακόλουθη αντίδραση (Bloom P. R., 2000).

$$CaCO_{3\,(s)} + CO_{2(g)} + H_2O_{(l)} \leftrightarrow 2HCO_3^- + Ca^{2+}$$

Η διαλυτοποίηση ή η καθίζιση του $CaCO_3$ εξαρτάται από σειρά παραγόντων, όπως (Chadwick & Graham, 2000) το pH, η συγκέντρωση του CO_2 στο εδαφικό νερό και στην ατμόσφαιρα, η εδαφική υγρασία, η μικροβιακή δραστηριότητα. Διερευνώντας την πιο πάνω χημική αντίδραση, διαπιστώνουμε ότι υπό συνθήκες μείωσης της όξινης αντίδρασης (αύξηση του pH) , δηλαδή προσθήκης στο εδαφικό διάλυμα HCO_3^- , η αντίδραση μετακινείται προς τα αριστερά και καθιζάνει $CaCO_3$. Το ίδιο θα συμβεί και

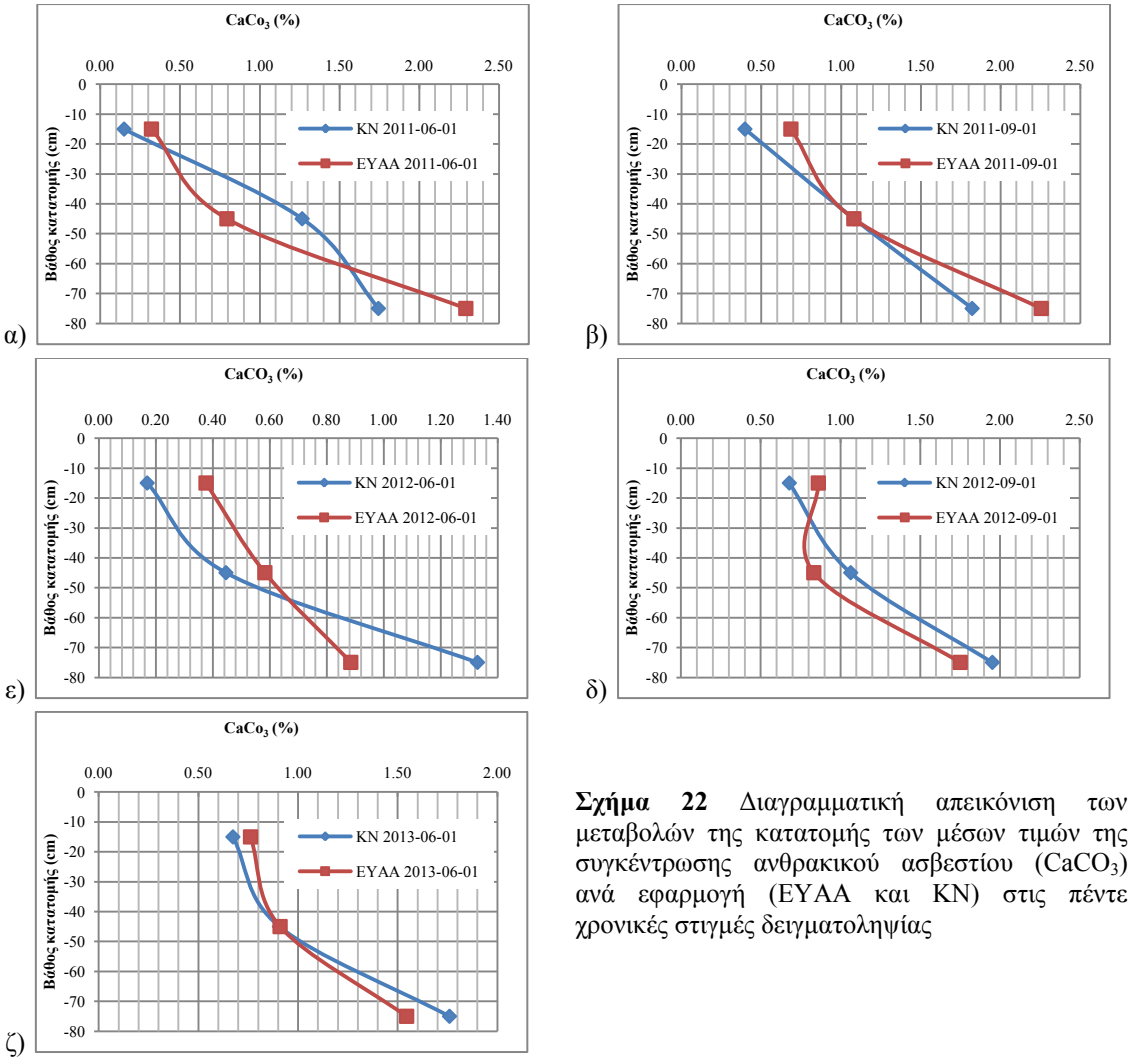
[31] Διαδοχικές μέσες τιμές εντός της ίδιας στήλης και για τον ίδιο ορίζοντα (διαφορετικές εφαρμογές στην ίδια ημερομηνία αναλύσεως ανά ορίζοντα), που ακολουθούνται από το ίδιο μικρό γράμμα του Αγγλικού αλφάβητου, δεν διαφέρουν στατιστικά, ενώ, αν ακολουθούνται από το ίδιο μεν γράμμα αλλά μικρό-κεφαλαίο, διαφέρουν στατιστικά σημαντικά.
Διαδοχικές μέσες τιμές εντός της ίδιας γραμμής (διαδοχικές ημερομηνίες αναλύσεων της ίδιας εφαρμογής και ορίζοντα), που ακολουθούνται από το ίδιο μικρό γράμμα του Ελληνικού αλφάβητου, δεν διαφέρουν στατιστικά, ενώ, αν ακολουθούνται από το ίδιο μεν γράμμα αλλά μικρό-κεφαλαίο, διαφέρουν στατιστικά σημαντικά

εάν μειωθεί το CO_2↑ λόγω διάχυσής του στην ατμόσφαιρα. Αντιθέτως αύξηση της όξινης αντίδρασης (μείωση του pH) , δηλαδή διάλυση CO_2↑ στο εδαφικό νερό από τον αέρα ή από τις αναπνοή των ριζών και συγχρόνως έκπλυση λόγω καλών συνθηκών στράγγισης του Ca^{2+} και του HCO_3^-, μετακινούν την αντίδραση προς τα δεξιά διαλυτοποιώντας το $CaCO_3$. Άλλος παράγοντας που συνεισφέρει στην διαλυτοποίηση ή μη του $CaCO_3$ είναι η εξατμισοδιαπνοή, διαδικασία μέσω της οποίας μειώνεται το εδαφικό νερό και συνεπώς προκαλείται καθίζιση του $CaCO_3$. Λαμβάνοντας υπ' όψιν την χρονική μεταβολή του pH, όπως αναλύθηκε στο προηγούμενο υποκεφάλαιο (2.2.2.3) , διαπιστώνουμε ότι, με τη μείωση της όξινης αντίδρασης του εδάφους (αύξηση του pH) (Σχήμα 20, Ιούνιος 2011- Σεπτέμβριος 2011 και Ιούνιος 2012- Σεπτέμβριος 2012) , παρατηρείται αύξηση της συγκέντρωσης του $CaCO_3$ (Σχήμα 22). Αντιθέτως, σε χρονικά διαστήματα, που παρατηρείται αύξηση της όξινης αντίδρασης (μείωση του pH) (Σχήμα 20 Σεπτέμβριος 2011-Ιούνιος 2012 και Σεπτέμβριος 2012- Ιούνιος 2013) , παρατηρείται μείωση της συγκέντρωσης του $CaCO_3$ (Σχήμα 2).



Σχήμα 21 Διαγραμματική απεικόνιση των μεταβολών των μέσων τιμών του ανθρακικού ασβεστίου ($CaCO_3$) του εδάφους με το χρόνο, ανά εφαρμογή και εδαφικό ορίζοντα

Σε ότι αφορά στις κατατομές του Σχήματος 23, αυτές παρουσιάζουν τη μορφή κατατομής $CaCO_3$ εδάφους καλώς αποστραγγιζόμενου (Chadwick & Graham, 2000).



Σχήμα 22 Διαγραμματική απεικόνιση των μεταβολών της κατατομής των μέσων τιμών της συγκέντρωσης ανθρακικού ασβεστίου ($CaCO_3$) ανά εφαρμογή (ΕΥΑΑ και ΚΝ) στις πέντε χρονικές στιγμές δειγματοληψίας

2.2.2.5. Οργανική Ουσία

Στον Πίνακα 69 του Παραρτήματος Ι εμφανίζονται οι τιμές της οργανικής ουσίας του εδάφους, ανά εφαρμογή, ορίζοντα και επανάληψη. Στον Πίνακα 34 εμφανίζονται τα αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας των τιμών αυτών.

Πίνακας 34 Μέσες τιμές Οργανικής ουσίας του εδάφους (%), ανά εφαρμογή και ημερομηνία αναλύσεων (αρχή - τέλος κάθε αρδευτικής περιόδου)[32]

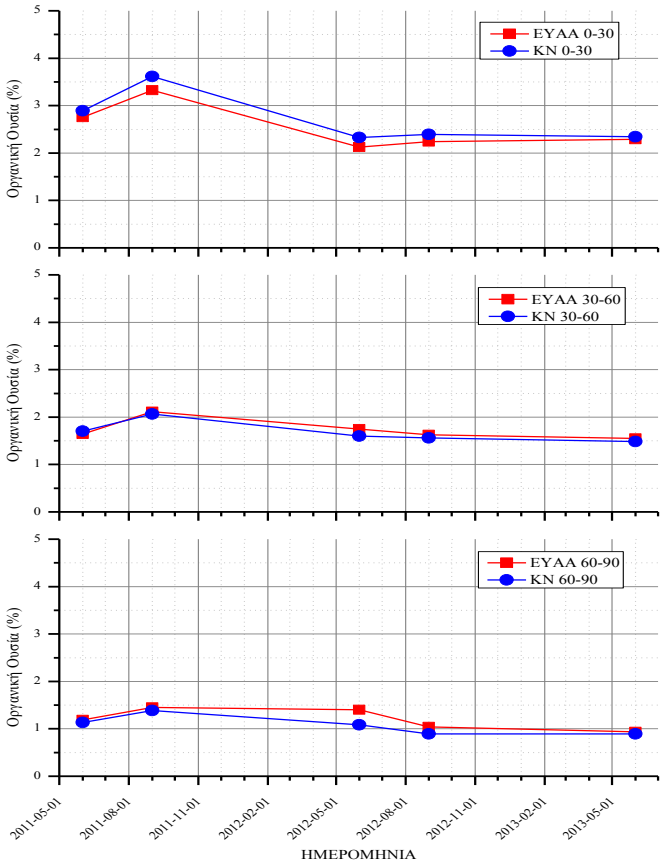
Βάθος (cm)	Είδος Αρδευτικού Νερού	Ιουν 2011	Σεπ 2011	Ιουν 2012	Σεπ 2012	Ιουν 2013
0-30	**ΚΝ**	2,89 c α	3,62 c α **B**	2,33 c **β** γ	2,39 c γ δ	2,35 c δ
	ΕΥΑΑ	2,76 c α	3,33 c α **B**	2,12 c **β** γ	2,24 c γ δ	2,29 c δ
30-60	**ΚΝ**	1,70 d α	2,07 d A **B**	1,60 d **β** γ	1,56 d γ δ	1,49 d δ

[32] Διαδοχικές μέσες τιμές εντός της ίδιας στήλης και για τον ίδιο ορίζοντα (διαφορετικές εφαρμογές στην ίδια ημερομηνία αναλύσεως ανά ορίζοντα), που ακολουθούνται από το ίδιο μικρό γράμμα του Αγγλικού αλφάβητου, δεν διαφέρουν στατιστικά, ενώ, αν ακολουθούνται από το ίδιο μεν γράμμα αλλά μικρό-κεφαλαίο, διαφέρουν στατιστικά σημαντικά.
Διαδοχικές μέσες τιμές εντός της ίδιας γραμμής (διαδοχικές ημερομηνίες αναλύσεων της ίδιας εφαρμογής και ορίζοντα), που ακολουθούνται από το ίδιο μικρό γράμμα του Ελληνικού αλφάβητου, δεν διαφέρουν στατιστικά, ενώ, αν ακολουθούνται από το ίδιο μεν γράμμα αλλά μικρό-κεφαλαίο, διαφέρουν στατιστικά σημαντικά

Πίνακας 34 Μέσες τιμές Οργανικής ουσίας του εδάφους (%), ανά εφαρμογή και ημερομηνία αναλύσεων (αρχή - τέλος κάθε αρδευτικής περιόδου)[32]

Βάθος (cm)	Είδος Αρδευτικού Νερού	Ιουν 2011	Σεπ 2011	Ιουν 2012	Σεπ 2012	Ιουν 2013
	ΕΥΑΑ	1,65 d α	2,12 d α β	1,75 d β γ	1.63 d γ δ	1,55 d δ
60-90	**ΚΝ**	1,14 f α	1,39 f A β	1,08 f β γ	0,90 f γ δ	0,89 f δ
	ΕΥΑΑ	1,19 f α	1,45 f α β	1,40 F β **Γ**	1,04 f **γ** δ	0,94 f δ

Από τον Πίνακα 34 διαπιστώνεται ότι δεν υπήρξε καμία διαφοροποίηση των μέσων τιμών της οργανικής ουσίας, μεταξύ διαφορετικών επαναλήψεων, για τον ίδιο ορίζοντα και την ίδια χρονική στιγμή (Πίνακας 34 1η στήλη μετά τις μέσες τιμές αγγλικό αλφάβητο). Διαπιστώνεται, δηλαδή, ότι δεν υπήρξε στατιστικώς σημαντική επίδραση στην οργανική ουσία του εδάφους, μεταξύ της εφαρμογής ΕΥΑΑ και ΚΝ. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί στις μικρές συγκεντρώσεις οργανικού άνθρακα, που περιείχε το ΕΥΑΑ, οι οποίες, σε συνδιασμό με φαινόμενα αποδόμησης-οξείδωσης της οργανικής ουσίας, δεν έδωσαν διαφορές μεταξύ ΕΥΑΑ και ΚΝ.



Σχήμα 23 Διαγραμματική απεικόνιση των μεταβολών της οργανικής ουσίας του εδάφους με το χρόνο, ανά εφαρμογή και εδαφικό ορίζοντα

Κατά το χρονικό διάστημα μεταξύ Ιουνίου 2011 και Σεπτεμβρίου 2011, παρατηρείται αύξηση του ποσοστού της οργανικής ουσίας (Σχήμα 24). Η αύξηση αυτή είναι στατιστικά μη σημαντική για όλους τους ορίζοντες και για τις δύο εφαρμογές

(Πίνακας 34 ίδιο γράμμα Αγγλικού αλφάβητου στις στήλες Ιουν 2001 και Σεπ 2011). Η αύξηση αυτή μπορεί να αποδοθεί στην επιλογή διαχείρισης της φυτικής βλάστησης με χορτοκοπή. Σε ό,τι αφορά στην κατά βάθος εξέλιξη του φαινομένου, μπορεί να ειπωθεί ότι η αύξηση αυτή έχει μειούμενο μέγεθος με το βάθος και για τις δύο εφαρμογές (Σχήμα 24) και ότι οφείλεται στο ευκίνητο κλάσμα της οργανικής ουσίας

Κατά το χρονικό διάστημα μεταξύ Σεπτεμβρίου 2011 και Ιουνίου 2012, διαπιστώθηκε μείωση του ποσοστού της οργανικής ουσίας του εδάφους στατιστικά σημαντική για τον ορίζοντα 0-30 cm στα εδάφη, τα οποία αρδεύονταν με ΕΥΑΑ, ενώ το αυτό ισχύει για τους ορίζοντες 0-30 και 30-60 cm στα εδάφη, που αρδεύονταν με ΚΝ (Πίνακας 34 ίδιο γράμμα Αγγλικού αλφάβητου στις δύο εξεταζόμενες χρονικές στιγμές και Σήμα 24). Στους λοιπούς εδαφικούς ορίζοντες τόσο της εφαρμογής άρδευσης με ΕΥΑΑ, όσο και της εφαρμογής άρδευσης με ΚΝ, διαπιστώνεται μείωση, αλλά στατιστικά μη σημαντική (Πίνακας 34 ίδιο γράμμα Αγγλικού αλφάβητου στις δύο εξεταζόμενες χρονικές στιγμές και Σχήμα 24). Και εδώ παρατηρείται ότι η μείωση του ποσοστού της οργανικής ουσίας βαίνει μειούμενο με το βάθος (Σχήμα 24).

Κατά τα χρονικά διαστήματα μεταξύ Ιουνίου 2012 - Σεπτεμβρίου 2012 και Σεπτεμβρίου 2012 – Ιουνίου 2013, παρατηρήθηκαν πολύ μικρές μεταβολές της οργανικής ουσίας, με αυξητική τάση για το πρώτο διάστημα και το αντίθετο για το δεύτερο διάστημα (Σχήμα 24).

Πίνακας 35 Μέσες τιμές Οργανικής Ουσίας εδάφους (%), ανά εφαρμογή για όλο το διάστημα του πειράματος (αρχή και τέλος πειράματος)

Βάθος (cm)	Είδος Αρδευτικού Νερού	Ιουν 2011	Ιουν 2013	R^2	CV	Prop
0-30	**ΚΝ**	2,89	2,35	0.67	0.14	0.0491 *
	ΕΥΑΑ	2,76	2,29	0.55	0.23	0,2236 $^{\mu\sigma}$
30-60	**ΚΝ**	1,70	1,49	0,48	0.26	0,4040 $^{\mu\sigma}$
	ΕΥΑΑ	1,65	1,55	0,57	0.15	0.5413 $^{\mu\sigma}$
60-90	**ΚΝ**	1,14	0,89	0.67	0.19	0.0809 $^{\mu\sigma}$
	ΕΥΑΑ	1,19	0,94	0.53	0.24	0.1431 $^{\mu\sigma}$

($^{\mu\sigma}$= μη σημαντικό, *= P<0,05 **=P < 0,01, *** = P < 0001)

Στον Πίνακα 35 παρουσιάζεται η στατιστική επεξεργασία του ποσοστού οργανικής ουσίας για το χρονικό διάστημα έναρξης – λήξης του πειράματος, για τις δύο εφαρμογές και για τους τρεις ορίζοντες, όπου δεν διαπιστώνεται στατιστικά σημαντική μεταβολή, μεταξύ των δύο χρονικών στιγμών σε καμία εφαρμογή και ορίζοντα, πλήν του ορίζοντα 0-30 cm της εφαρμογής του ΚΝ. Γενικά, μπορεί να ειπωθεί ότι παρατηρείται μείωση της οργανικής ουσίας μεταξύ έναρξης – λήξης του πειράματος και η μείωση αυτή βαίνει μειούμενη με το βάθος.

Οι Kiziloglu, et al., (2008) Singh, et al., (2012) και AL-Jaboobi, et al., (2014) αναφέρουν αύξηση της οργανικής ουσίας του εδάφους, μετά από άρδευση με απόβλητο που έχει υποστεί προκαταρτική ή και πρωτοβάθμια επεξεργασία, σύμφωνα με το πείραμα της πρώτης ερευνητικής ομάδας και καθόλου επεξεργασία, σύμφωνα με το πείραμα των δύο άλλων ερευνητικών ομάδων. Κατ' αυτούς, η αύξηση της οργανικής

ουσίας οφείλεται στην απουσία επεξεργασίας του αποβλήτου, γεγονός στο οποίο κατέληξαν και οι Siebe, (1998) και Angin, et al., (2005). Την ίδια αυτή αντιδιαστολή, δηλαδή στο ότι δεν παρατηρείται αύξηση της οργανικής ουσίας στην περίπτωση άρδευσης με ΕΥΑΑ, έναντι της άρδευσης με ανεπεξέργαστο υγρό αστικό απόβλητο, έχουν επισημάνει και οι Qian & Mecham, (2005), συγκρίνοντας τη μεταβολή των ιδιοτήτων των εδαφών πέντε γηπέδων γκόλφ που αρδεύτηκαν επί σειρά ετών (3 έως 44 χρόνια) με ΕΥΑΑ, έναντι πέντε άλλων γηπέδων γκόλφ, στα οποία επικρατούσαν ίδια εδαφολογικά και κλιματολογικά χαρακτηριστικά, ίδιες πρακτικές διαχείρισης και φυτικά είδη και αρδεύονταν με επιφανειακό καθαρό νερό.

Σε ό,τι αφορά στην άρδευση με ΕΥΑΑ, μείωση οργανικής ουσίας του εδάφους αναφέρουν και οι Jueschke, et al., (2008) και Pollice, et al., (2004), με τους τελευταίους να αποδίδουν τη μείωση αυτή στη δραστηριότητα της καλλιέργειας. Το ίδιο αναφέρουν και οι Tarchouna, et al., (2010), με τη διαφορά ότι αναφέρουν μικρότερες τιμές οργανικής ουσίας στο έδαφος που αρδεύτηκε με ΕΥΑΑ από ότι με ΚΝ, παρά το αυξημένο ποσό της οργανικής ουσίας που πρόσθεταν με το ΕΥΑΑ, κάτι το οποίο έχει αναφερθεί και από τους Polglase, et al., (1995) και Gloaguen et al., (2007). Το εύρημά τους αυτό, οι δύο τελευταίες ερευνητικές ομάδες το απέδωσαν στην εντατικοποίηση της μικροβιακής δραστηριότητας, λόγω της ασταθούς ποσότητας C και N, που παρέχεται μέσω του ΕΥΑΑ.

Σε αντίθεση με τα παραπάνω, οι Bedbabis, et al., (2014) αναφέρουν αύξηση της οργανικής ουσίας στο επιφανειακό στρώμα του εδάφους, το οποίο αρδευόταν επί τετραετία με ΕΥΑΑ, γεγονός που το απέδωσαν στις μεγάλες ποσότητες αποβλήτου που εφάρμοζαν (5000 m^3 ha^{-1} $year^{-1}$) ή στην κακή αναλογία C/N στο έδαφος, με αποτέλεσμα την περιορισμένη μικροβιακή δραστηριότητα. Επίσης, αύξηση της οργανικής ουσίας εδάφους, που αρδευόταν με ΕΥΑΑ από ΜΕΥΑΑ, με δεξαμενές βιολογικής σταθεροποίησης, αναφέρουν και οι Munir, et al., (2007), μετά από 2, 5 και 10 χρόνια εφαρμογής. Η αύξηση της οργανικής ουσίας συσχετιζόταν θετικά με το χρόνο εφαρμογής και αρνητικά με το βάθος του εδάφους.

Τέλος, οι Qian & Mecham, (2005) δεν αναφέρουν μεταβολή της οργανικής ουσίας, μετά από άρδευση γηπέδων γκόλφ, για 4, 13, 14, 19, and 33 χρόνια, με ΕΥΑΑ, το οποίο προερχόταν από προχωρημένη (τριτοβάθμια) επεξεργασία, και οι Morugan-Coronado et al., (2011) επίσης δεν αναφέρουν μεταβολή της οργανικής ουσίας του εδάφους μετά από άρδευση με ΕΥΑΑ, που είχαν υποστεί δευτεροβάθμια και τριτοβάθμια επεξεργασία.

Αναφορά πρέπει να γίνει και στην εποχική μεταβολή του ποσοστού της οργανικής ουσίας του εδάφους, ως αποτέλεσμα των παραγόντων που την επηρεάζουν, για να γίνει κατανοητή η χρονική διακύμανση του Σχήματος 24, αλλά και για να συνδεθεί η μεταβολή αυτή με τις αντίστοιχες μεταβολές του pH, αφού υπάρχει αμφίδρομη σχέση μεταξύ μεταβολών οργανικής ουσίας και pH, επηρεάζοντας το τελευταίο σε όλο το εύρος των τιμών οξύτητας του εδάφους (Bloom P. R., 2000: Gregorich & Janzen, 2000; Brady & Weil, 2008). Η εδαφική αντίδραση επηρεάζει την αποδόμηση της οργανικής ουσίας επιδρώντας στην δραστηριότητα των μικροοργανισμών (Gregorich & Janzen, 2000). Ο Martin, (1977) αναφέρει ότι το πλήθος των μικροοργανισμών, που αποδομούν την οργανική ουσία, μειώνεται όσο η

αντίδραση του εδάφους είναι όξινη ή αλκαλική, ενώ αντιθέτως το πλήθος αυτό αυξάνεται, όταν η αντίδραση είναι ουδέτερη (6-7,5). Συγκεκριμένα, ο Μήτσιος, (1999) αναφέρει ότι το optimum εύρος της αντίδρασης του εδάφους για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών είναι 5,5-9 για τα βακτήρια, 4-6 για τους μύκητες και 5-9 για τους ακτινομύκητες. Από την άλλη πλευρά, η αποδόμηση της οργανικής ουσίας επηρεάζει το pH, αφού κατά τη διάρκειά της εκλύονται H^+. Κατά την αποδόμηση της οργανικής ουσίας, δημιουργούνται οργανικά οξέα αλλά και ιόντα αζώτου και θείου, τα οποία με βιολογική οξείδωση δίνουν NO_3^- και SO_4^{2-} ανιόντα (Παναγιωτόπουλος, 2010). Σε ό,τι αφορά στις λοιπές παραμέτρους που συντελούν στην αποδόμηση της οργανικής ουσίας (Μήτσιος, 1999; Gregorich & Janzen, 2000), η υγρασία παίζει σημαντικό ρόλο, αφού, όταν αναπτύσσονται αερόβιες συνθήκες, ευνοείται η μικροβιακή δραστηριότητα και συνεπώς η αποδόμηση της οργανικής ουσίας, ενώ αντιθέτως, υπό αναερόβιες συνθήκες, μειώνεται η αποδόμηση. Στην περίπτωση της αναερόβιας αποδόμησης της οργανικής ουσίας που παρατηρείται στην περίπτωσή μας για τα χειμερινά διαστήματα η έλλειψη O_2 στην εδαφική κατατομή ενεργοποιεί τους αναερόβιους καθώς και τους προαιρετικά αναερόβιους μικροοργανισμούς. Εν γένει η διαδικασία είναι βραδύτερη και καταλήγει σε μερικώς αποδομημένη οργανική ουσία με παραγωγή CO_2 και CH_4 (Brady & Weil, 2008). Η θερμοκρασία παίζει σημαντικό ρόλο στην αποδόμηση με optimum τιμές μεταξύ 25-35 ^oC (Μήτσιος, 1999) ή 20-40 ^oC (Brady & Weil, 2008). Δύο επιπλέον παράγοντες που επηρεάζουν την αποδόμηση της οργανικής ουσίας είναι ο εφοδιασμός του εδάφους με θρεπτικά στοιχεία και το είδος και η ωριμότητα των φυτικών υπολειμμάτων (Μήτσιος, 1999; Brady & Weil, 2008; Παναγιωτόπουλος, 2010).

Η εποχική διακύμανση της οργανικής ουσίας του εδάφους οφείλεται στην εποχική διακύμανση της θερμοκρασίας και της υγρασίας του εδάφους, όπως επίσης και στον κύκλο της ανάπτυξης της φυτικής βλάστησης (Wuest, 2014). Επιπροσθέτως, οι Brady & (Weil, 2008) αναφέρουν ως σημαντικό παράγοντα και την ποιότητα των προστιθέμενων φυτικών υπολειμμάτων ως πηγή τροφής των εδαφικών οργανισμών. Γενικευμένα, το φαινόμενο της εποχικής διακύμανσης του οργανικού άνθρακα έχει να κάνει με την επίδραση της διαχείρισης του καλλιεργούμενου εδάφους στους παραπάνω παράγοντες (Wuest, 2014). Διακύμανση παρατηρήθηκε και στην περίπτωσή μας, (Σχήμα 24) δίνοντας αυξημένη τιμή, στο τέλος της θερινής περιόδου (τέλος αρδευτικής περιόδου-Σεπτέμβριο) και μειωμένη τιμή, στο τέλος της χειμερινής περιόδου (έναρξη αρδευτικής περιόδου-Ιούνιος), γεγονότα που επαναλαμβάνονται και κατά το επόμενο διάστημα, αλλά όχι με την ίδια ένταση. Κατά τον Wuest, (2014), μέρος της διακύμανσης μπορεί να οφείλεται σε πειραματικά σφάλματα που έχουν να κάνουν με τη χρονική επανάληψη της δειγματοληψίας, την δειγματοληψία αυτή καθ' αυτή, την προετοιμασία των δειγμάτων κ.λ.π.. Βάσει αυτών, σημειώνεται ότι τόσο τα χρονικά σημεία δειγματοληψίας που ταυτίζονται από έτος σε έτος, όσο και η μεθοδολογία-αντιπροσωπευτικότητα λήψης και διαχείρισης των εδαφικών δειγμάτων μπορούν να μας οδηγήσουν στη βεβαιότητα ότι κατεβλήθησαν προσπάθειες, ώστε να μην επηρεαστεί η διακύμανση αυτή από ενδεχόμενα πειραματικά σφάλματα. Υπενθυμίζεται δε ότι τόσο πριν την έναρξη του πειράματος, όσο και κατά το πείραμα, δεν υλοποιήθηκε καλλιέργεια εδάφους, διαδικασία που προάγει την οξείδωση της οργανικής ουσίας, και επίσης ότι η μόνη καλλιεργητική φροντίδα ήταν η κοπή των χόρτων με χορτοκοπτικό, κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Τα παραπάνω ευρήματα

έρχονται σε συμφωνία με τα ευρήματα του Wuest, (2014) για έδαφος, το οποίο καλλιεργήθηκε με χειμερινά σιτηρά και που δεν εφαρμοζόταν καλλιέργεια εδάφους. Αντιθέτως, οι Salim, et al., (2015) αναφέρουν ότι η εποχική διακύμανση των τιμών συγκέντρωσης εδαφικού οργανικού άνθρακα ήταν ίδια σε τρεις διαφορετικές χρήσεις γης (δάσος, καλλιεργούμενο έδαφος και λειβάδι) με μέγιστη τιμή συγκέντρωσης το χειμώνα, οπότε οι διαδικασίες αποδόμησης της οργανικής ουσίας επιβραδύνονται έως και αναστέλλονται, λόγω ύπαρξης συνθηκών που δεν ευνοούν τη μικροβιακή δραστηριότητα (θερμοκρασία, υγρασία κ.λ.π.), και ελάχιστη τιμή παρατηρήθηκε τους καλοκαιρινούς μήνες, οπότε επικρατούν συνθήκες που ευνοούν την μικροβιακή δραστηριότητα. Μεταξύ των τιμών του χειμώνα και του καλοκαιριού, προσδιορίσθηκαν, κατά τάξη μεγέθους, οι τιμές της ανοίξεως και ακολούθως του φθινωπόρου.

2.2.2.6. Νάτριο (Na^+)

Στον Πίνακα 70 του Παραρτήματος Ι παρουσιάζονται τα πειραματικά αποτελέσματα της συγκέντρωσης του εδαφικού Na^+ για τους τρεις ορίζοντες (0-30 cm, 30-60 cm και 60-90 cm), για τις δύο εφαρμογές (ΕΥΑΑ και ΚΝ) και για τις πέντε χρονικές στιγμές δειγματοληψίας. Στον Πίνακα 36 παρουσιάζεται η στατιστική επεξεργασία των τιμών του εδαφικού Na^+ μεταξύ των δύο εφαρμογών (ΕΥΑΑ & ΚΝ) , ανά ορίζοντα, και χρονική στιγμή, καθώς και η ύπαρξη ή όχι στατιστικά σημαντικής διαφοράς μεταξύ των τιμών του Na^+ του εδάφους, για κάθε ορίζοντα και εφαρμογή, μεταξύ δύο διαδοχικών χρονικών στιγμών δειγματοληψίας.

Πίνακας 36 Μέσες τιμές συγκεντρώσεως Na^+ στο έδαφος (meq/100 gr εδάφους), ανά εδαφικό ορίζοντα, εφαρμογή και ημερομηνία αναλύσεων (αρχή - τέλος κάθε αρδευτικής περιόδου)[33]

Βάθος (cm)	Είδος Αρδευτικού Νερού	Ιουν 2011	Σεπ 2011	Ιουν 2012	Σεπ 2012	Ιουν 2013
0-30	**ΚΝ**	0.30 c α	0.22 **c** α β	0.22 **c** β **γ**	0.33 **c** **Γ** δ	0.34 c δ
	ΕΥΑΑ	0.25 c α	0.30 **C** α β	0.27 **C** β **γ**	0.55 **C** **Γ** δ	0.58 C δ
30-60	**ΚΝ**	0.27 d α	0.22 d α β	0.21 **d** β **γ**	0.31 d **Γ** δ	0.32 d δ
	ΕΥΑΑ	0.27 d α	0.24 d α β	0.27 **D** β **γ**	0.38 D **Γ** δ	0.38 d δ
60-90	**ΚΝ**	0.34 f A	0.23 f α β	0.24 f β **γ**	0.31 f **Γ** δ	0.33 f δ
	ΕΥΑΑ	0.29 f α	0.22 f α β	0.25 f β **γ**	0.32 f **Γ** δ	0.30 f δ

Σε ό,τι αφορά στον Πίνακα 36 διαπιστώνονται τα ακόλουθα:

1. Τον Ιούνιο του 2011 (έναρξη πειράματος) δεν διαπιστώνεται καμία προϋπάρχουσα διαφορά στην τιμή του εδαφικού Na^+, ανά ορίζοντα μεταξύ των δύο εφαρμογών (Πίνακας 36 στήλη Ιούν. 2011, αγγλικό αλφάβητο, μετά τις αριθμητικές τιμές).

[33] Διαδοχικές μέσες τιμές εντός της ίδιας στήλης και για τον ίδιο ορίζοντα (διαφορετικές εφαρμογές στην ίδια ημερομηνία αναλύσεως ανά ορίζοντα), που ακολουθούνται από το ίδιο μικρό γράμμα του Αγγλικού αλφάβητου, δεν διαφέρουν στατιστικά, ενώ, αν ακολουθούνται από το ίδιο μεν γράμμα αλλά μικρό-κεφαλαίο, διαφέρουν στατιστικά σημαντικά.
Διαδοχικές μέσες τιμές εντός της ίδιας γραμμής (διαδοχικές ημερομηνίες αναλύσεων της ίδιας εφαρμογής και ορίζοντα), που ακολουθούνται από το ίδιο μικρό γράμμα του Ελληνικού αλφάβητου, δεν διαφέρουν στατιστικά, ενώ, αν ακολουθούνται από το ίδιο μεν γράμμα αλλά μικρό-κεφαλαίο, διαφέρουν στατιστικά σημαντικά

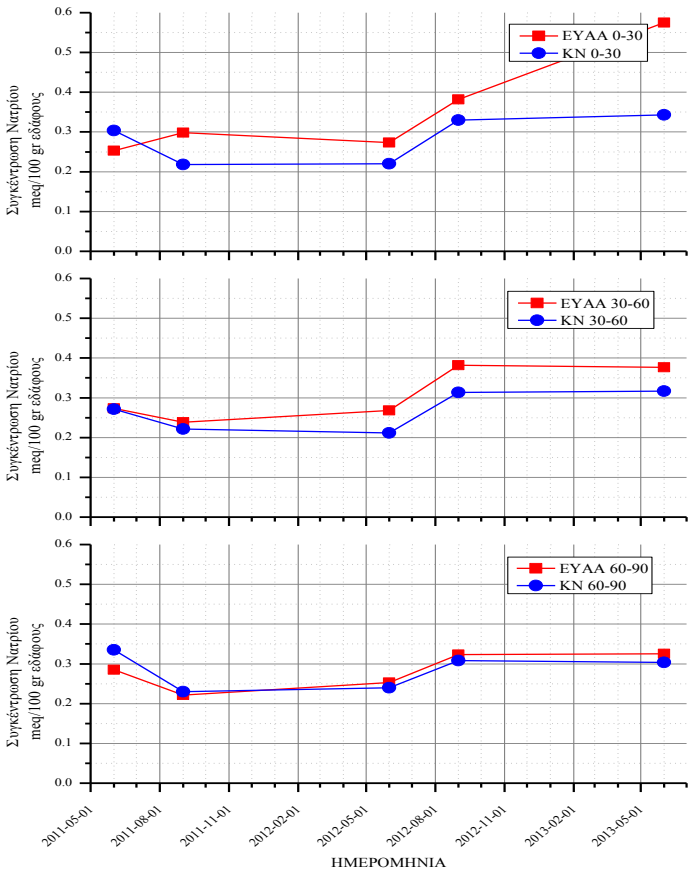
2. Το Σεπτέμβριο του 2011, δηλαδή μετά τη λήξη της πρώτης αρδευτική περιόδου (7 γεγονότα άρδευσης), διαπιστώνεται στατιστικά σημαντική διαφορά στις τιμές συγκέντρωσης Na^+ στον πρώτο εδαφικό ορίζοντα (0-30 cm) , μεταξύ των δύο εφαρμογών (ΕΥΑΑ , ΚΝ) (Πίνακας 36 στήλη Σεπ. 2011, αγγλικό αλφάβητο, μετά τις αριθμητικές τιμές) (Σχήμα 26 β). Αυτό οφείλεται στην αυξημένη συγκέντρωση Na^+ που υπάρχει στο ΕΥΑΑ, έναντι του καθαρού νερού για το έτος 2011. Συγκεκριμένα, ο Μ.Ο. της τιμής της συγκέντρωσης του Na^+ στο ΕΥΑΑ έναντι της αντίστοιχης στο ΚΝ, για το έτος 2011, είναι 42,71 mgr/l έναντι 11,57 mgr/l, δηλαδή παρατηρήθηκε μία αναλογία της τάξεως του $C_{Na\text{-}EYAA}/C_{Na\text{-}KN}=4/1$.

   Περαιτέρω, δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των συγκεντρώσεων του εδαφικού Na^+ στους άλλους εδαφικούς ορίζοντες.
3. Τον Ιούνιο του 2012, δηλαδή μετά την πάροδο της βροχερής περιόδου, διαπιστώνεται στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των τιμών του εδαφικού Na^+, για τις δύο εφαρμογές στους δύο πρώτους εδαφικούς ορίζοντες ήτοι 0-30 και 30-60 cm (Πίνακας 36 στήλη Ιουν, 2012, αγγλικό αλφάβητο μετά τις αριθμητικές τιμές) (Σχήμα 26 γ). Διαπιστώνεται δηλαδή καθοδική κίνηση του Na^+, με αποτέλεσμα τη μείωση της συγκέντρωσής του στον ορίζοντα 0-30 cm, και αύξηση στον ορίζοντα 30-60 cm καθιστώντας τις τιμές του εδαφικού Na^+, και για τους δύο ορίζοντες, στατιστικώς σημαντικά μεγαλύτερες, έναντι των αντίστοιχων τιμών της εφαρμογής του ΚΝ.
4. Το Σεπτέμβριο του 2012, δηλαδή μετά την έλευση της αρδευτικής περιόδου, διαπιστώνεται ότι παραμένει η διαφορά στις τιμές του εδαφικού Na^+ για τους δύο πρώτους ορίζοντες, και μάλιστα κατ' απόλυτες τιμές, οι συγκεντρώσεις Na^+ έχουν αυξηθεί (Πίνακας 36 στήλη Σεπ 2012, αγγλικό αλφάβητο μετά τις αριθμητικές τιμές) (Σχήμα 26 δ). Το γεγονός αυτό οφείλεται στις ποσότητες Na^+ που προστέθηκαν στην εδαφική κατατομή και κινήθηκαν εντός αυτής με την άρδευση με ΕΥΑΑ, έναντι των αντίστοιχων του ΚΝ. Ο μέσος όρος της συγκέντρωσης του Na^+ στο ΕΥΑΑ, έναντι της αντίστοιχης στο ΚΝ, ήταν 47,42 mgr/l, έναντι 12,92 mgr/l αντιστοίχως, διατηρώντας την αναλογία $C_{Na\text{-}EYAA}/C_{Na\text{-}KN}=4/1$. Πέραν αυτού όμως, το ανωτέρω γεγονός δεν εξηγεί την αύξηση των τιμών του εδαφικού Na^+ και στις δύο εφαρμογές για τον ορίζοντα 60-90 cm, έναντι των τιμών του Ιουνίου του 2012 (Σχήμα 26 δ). Η παρατήρηση αυτή θα μπορούσε να εξηγηθεί με την ανακατανομή του εδαφικού Na^+, η οποία συμβαίνει, λόγω της εποχικής εμφάνισης του υπόγειου υδροφόρου αλλά και της πλάγιας κίνησης του νερού αυτού, διαδικασία που τείνει να εξισώσει τις συγκεντρώσεις του Na^+ όλο και περισσότερο, όσο εξετάζουμε βαθύτερο ορίζοντα.
5. Τον Ιούνιο του 2013, δηλαδή μετά και την έλευση της βροχερής περιόδου, διαπιστώνεται ότι υφίσταται στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των τιμών της συγκεντρωσης του εδαφικού Na^+ στον πρώτο ορίζοντα, μεταξύ των δύο εφαρμογών, ενώ οριακά δεν είναι στατιστικώς σημαντική η διαφορά, στον ορίζοντα 30-60 cm (prob=0.0690>0.05=F) (Πίνακας 36 στήλη Ιουν 2013, αγγλικό αλφάβητο μετά τις αριθμητικές τιμές) (Σχήμα 26 ε). Επίσης, παρατηρείται και αύξηση των τιμών συγκέντρωσης του εδαφικού Na^+ στους ορίζοντες, που αρδεύθηκαν με ΚΝ. Οι δύο αυτές παρατηρήσεις, δηλαδή το ότι δεν συνέχισε να υφίσταται στατιστικώς σημαντική διαφορά, στον ορίζοντα 30-60 cm, μεταξύ των δύο εφαρμογών, και η αύξηση των τιμών του εδαφικού Na^+ σε όλους τους ορίζοντες, μετά την έλευση της

βροχερής περιόδου, στο έδαφος που αρδεύτηκε με ΚΝ, αποδίδονται στην οριζόντια κίνηση νερού που συμβαίνει στον εποχιακά εμφανιζόμενο υδροφόρο ορίζοντα, κατά τη βροχερή περίοδο, η οποία μετακίνησε ποσότητες Na^+ μεταξύ των δύο εφαρμογών.

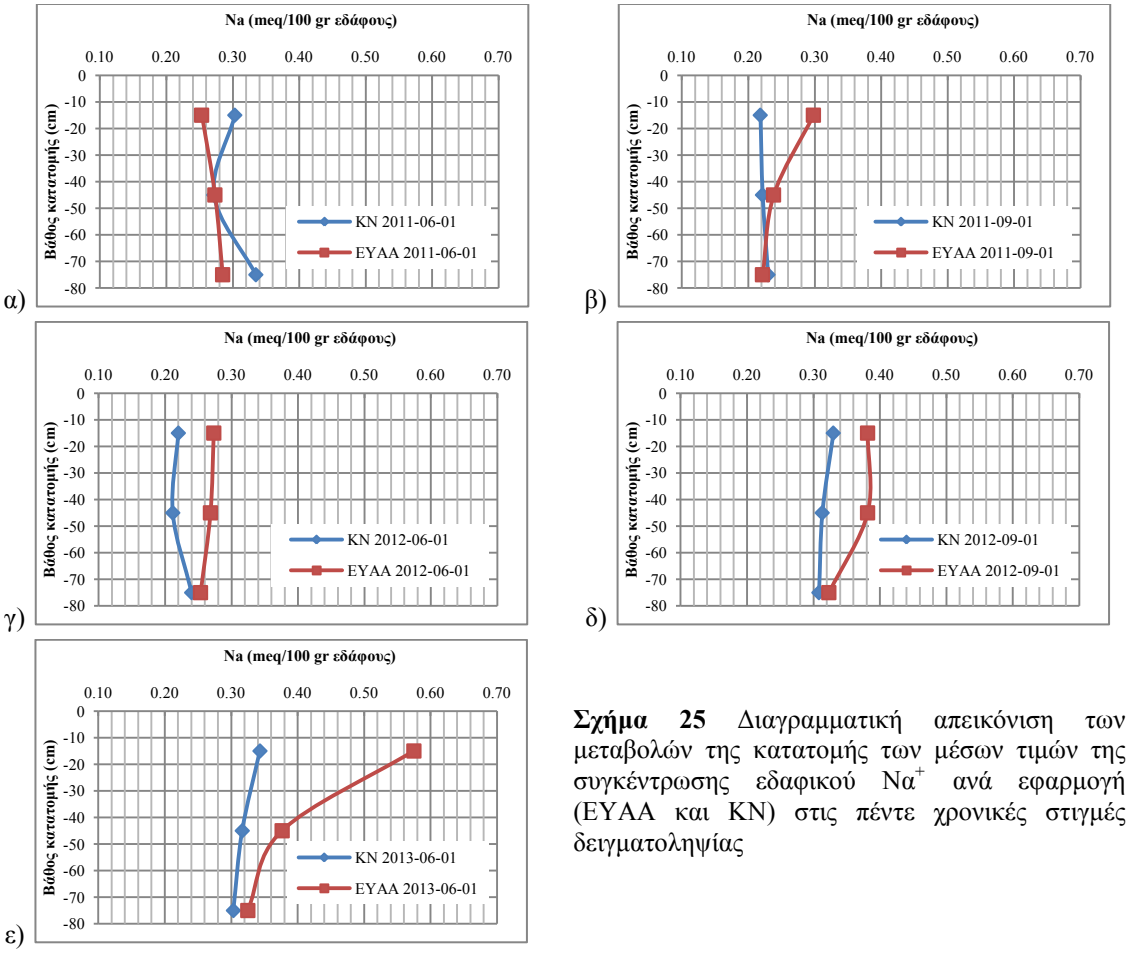
Σε ό,τι αφορά στα Σχήματα 25 και 26 διαπιστώνονται τα ακόλουθα:

1. Μεταξύ των χρονικών στιγμών Ιουνίου 2011 και Σεπτεμβρίου 2011, παρατηρείται αναστροφή σε ό,τι αφορά στην μέση τιμή της συγκέντρωσης του εδαφικού Na^+ για τον ορίζοντα 0-30 cm μεταξύ των δύο εφαρμογών (Σχήμα 25) & (Σχήμα 26 α & β). Παρατηρείται, δηλαδή, ότι, ενώ κατά την έναρξη του ανωτέρω διαστήματος ήταν μικρότερη η μέση τιμή συγκέντρωσης εδαφικού Na^+ στις επαναλήψεις, που αρδεύονταν με ΕΥΑΑ, έναντι των αντίστοιχων που αρδεύονταν με ΚΝ, στο τέλος του εξεταζόμενου διαστήματος, η κατάσταση είχε αναστραφεί, με μεγαλύτερη την τιμή στην εφαρμογή του ΕΥΑΑ και μάλιστα, στατιστικώς σημαντικά, έναντι της τιμής στην εφαρμογή του ΚΝ.
2. Στην εφαρμογή του ΚΝ καθώς και στους δύο βαθύτερους ορίζοντες της εφαρμογής του ΕΥΑΑ παρατηρείται μείωση της συγκεντρώσεως του εδαφικού Na^+, με τη μείωση αυτή να βαίνει μειούμενη με το βάθος (Σχήμα 25) & (Σχήμα 26 α & β). Η παρατήρηση αυτή θα μπορούσε να αιτιολογηθεί, λαμβάνοντας υπ' όψιν τον εποχικά εμφανιζόμενο υποεπιφανειακό υδροφόρο ορίζοντα και το γεγονός ότι το πειραματικό τεμάχιο, δεν είχε αρδευθεί, κατά το παρελθόν.



Σχήμα 24 Διαγραμματική απεικόνιση των μεταβολών των μέσων υιμών της συγκεντρώσεως του Na^+ στο έδαφος με το χρόνο, ανά εφαρμογή και εδαφικό ορίζοντα

Τα δύο αυτά γεγονότα είχαν ως αποτέλεσμα τη μετακίνηση και συγκέντρωση του Na^+ στα επιφανειακά στρώματα. Με την άρδευση, το ΚΝ νερό, έχοντας μικρή συγκέντρωση Na^+, επιδρούσε στην εδαφική κατατομή, εκπλένοντας το Na^+ και οδηγώντας το βαθύτερα. Αντιθέτως, το ΕΥΑΑ, έχοντας μεγαλύτερη συγκέντρωση Na^+, αύξησε τη συγκέντρωση του εδαφικού Na^+ στον ορίζοντα 0-30 cm και ακολούθως στους βαθύτερους ορίζοντες έχοντας απαλλαχθεί από το μεγαλύτερο μέρος του Na^+, και λειτουργούσε με τον ίδιο τρόπο που λειτουργούσε το ΚΝ.



Σχήμα 25 Διαγραμματική απεικόνιση των μεταβολών της κατατομής των μέσων τιμών της συγκέντρωσης εδαφικού Na^+ ανά εφαρμογή (ΕΥΑΑ και ΚΝ) στις πέντε χρονικές στιγμές δειγματοληψίας

3. Μεταξύ των χρονικών στιγμών Σεπτεμβρίου 2011 και Ιουνίου 2012, δεν διαπιστώνεται στατιστικά σημαντική διαφορά (Πίνακας 36 στήλες Σεπτέμβριος 2011 και Ιουν 2012, Ελληνικό γράμμα β). Πέραν αυτού, όμως, σε ό,τι αφορά στην εφαρμογή του ΕΥΑΑ, διαπιστώνεται μείωση της συγκέντρωσης του Na^+ στον ορίζοντα 0-30 cm και αύξηση στους ορίζοντες 30-60 cm και 60-90 cm, με την αύξηση αυτή να είναι μικρότερη στο βαθύτερο ορίζοντα (Σχήμα 25). Επίσης, στην εφαρμογή του ΚΝ παρατηρείται μείωση στον ορίζοντα 30-60 cm και αύξηση στον ορίζοντα 60-90 cm. Τα γεγονότα αυτά μπορούν να αποδοθούν τόσο στις βροχοπτώσεις της χειμερινής περιόδου, όσο και στον εποχικά εμφανιζόμενο υδροφόρο ορίζοντα, συνδυασμός των οποίων οδήγησε στην περιγραφείσα ανακατανομή του εδαφικού νατρίου, συμπαρασύροντάς το καθοδικά αλλά και αυξάνοντας και εξισώνοντας τις τιμές του εδαφικού Na^+ του ορίζοντα 60-90 cm και για τις δύο εφαρμογές (Σχήμα 26 β & γ)

4. Μεταξύ των χρονικών στιγμών Ιουνίου 2012 και Σεπτεμβρίου 2012, δηλαδή κατά τη δεύτερη αρδευτική περίοδο, διαπιστώνεται αύξηση της συγκέντρωσης του εδαφικού Na^+, σε όλους τους ορίζοντες και για τις δύο εφαρμογές. Η αύξηση αυτή βαίνει μειούμενη με το βάθος και για τις δύο εφαρμογές (Σχήμα 25) (Σχήμα 26 δ). Το γεγονός αυτό θα μπορούσε να οφείλεται αφ' ενός στην συγκέντρωση του Na^+, το οποίο προστέθηκε με τα αρδευτικά νερά, και αφ' ετέρου σε ποσότητα Na^+, η αποία κινούμενη ανοδικά, με την επίδραση της εξατμισοδιαπνοής, εναποτέθηκε στην εδαφική κατατομή. Την υπόθεση της συνεισφοράς Na^+ στην εδαφική κατατομή με την ανοδική κίνηση του εδαφικού νερού, λόγω εξατμισοδιαπνοής, ενισχύει και το γεγονός ότι οι αυξήσεις, που παρατηρούνται στις δύο εφαρμογές, βαίνουν παράλληλα, κάτι που, αν οφειλόταν μόνο στις συγκεντρώσεις του Na^+ στο αρδευτικό νερό, δεν θα έπρεπε να ισχύει. Από τον Πίνακα 20, έχουμε αφ'ενός ότι $C_{Na}^{EYAA}/C_{Na}^{KN} = 47{,}42\frac{mgr}{lt}/12.92\frac{mgr}{lt} = 4/1$ και αφ' ετέρου ότι υλοποιήθηκαν έντεκα γεγονότα άρδευσης.

   Ο συνδυασμός του γεγονότος της προσθήκης Na^+ με τα δύο αρδευτικά ύδατα και της υπόθεσης περί ανοδικής κίνησης του Na^+, λόγω εξατμισοδιαπνοής, εξηγεί και τη διαφορετική μορφή που εμφανίζουν οι δύο περίοδοι άρδευσης, στην εξέλιξή τους (Σχήμα 25). Κατά την πρώτη, έχουμε μείωση της συγκέντρωσης του Na^+, πλην του ορίζοντα 0-30 cm, για την εφαρμογή του ΕΥΑΑ, ενώ κατά τη δεύτερη, έχουμε αύξηση σε όλους τουw ορίζοντες και για τις δύο εφαρμογές.
5. Μεταξύ των χρονικών στιγμών Σεπτεμβρίου 2012 και Ιουνίου 2013, διαπιστώνεται σταθεροποίηση της μέσης τιμής του εδαφικού Na+ για τις δύο εφαρμογές και για τους ορίζοντες 30-60 και 60-90 cm, με τις τιμές στον τελευταίο να απέχουν λιγότερο, από ότι στον πρώτο ορίζοντα (Σχήμα 25). Σε ό,τι αφορά στον ορίζοντα 0-30 cm, διαπιστώνεται αύξηση της τιμής του εδαφικού Na+, ως αποτέλεσμα της εναπόθεσής του στο επιφανειακό στρώμα του εδάφους. Η εναπόθεση αυτή οφείλεται στην εποχική διακύμανση του βάθους της ελεύθερης στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα (Σχήμα 26 ε).

Πίνακας 37 Μέσες τιμές συγκεντρώσεως Νατρίου στο έδαφος (meq/100 gr εδάφους), ανά εφαρμογή, στην αρχή και στο τέλος του πειράματος

Βάθος (cm)	Είδος Αρδευτικού Νερού	Ιουν 2011	Ιουν 2013	R^2	CV	Prop
0-30	**ΚΝ**	0,30	0.34	0.58	0.27	0.4560 $^{\mu\sigma}$
	ΕΥΑΑ	0.25	0.58	0.78	0.40	**0.0196 ***
30-60	**ΚΝ**	0,27	0.32	0.78	0.13	0.1050 $^{\mu\sigma}$
	ΕΥΑΑ	0.27	0.38	0.90	0.12	**0.0062 ***
60-90	**ΚΝ**	0,34	0.33	0.76	0.14	0.2713 $^{\mu\sigma}$
	ΕΥΑΑ	0,29	0.30	0.47	0.19	0.2956 $^{\mu\sigma}$

6. ($^{\mu\sigma}$= μη σημαντικό, *= P<0,05 **=P < 0,01, *** = P < 0001)

Στον Πίνακα 37 εμφανίζονται τα αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας των τιμών της συγκέντρωσης εδαφικού Na^+, ανά ορίζοντα και εφαρμογή, για τις χρονικές στιγμές της έναρξης και λήξης του πειράματος. Διαπιστώνεται στατιστικώς σημαντική αύξηση της συγκέντρωσης του εδαφικού Na^+ στους δύο ανώτερους ορίζοντες για την εφαρμογή του ΕΥΑΑ, ενώ σε όλες τις άλλες περιπτώσεις δεν

διαπιστώθηκε στατιστικώς σημαντική διαφορά, μεταξύ έναρξης και λήξης του πειράματος.

Σε παρόμοια ευρήματα, έχουν καταλήξει και άλλοι ερευνητές, όπως οι Pollice, et al., (2004), οι οποίοι σε πείραμα άρδευσης επί αργιλώδους εδάφους, ανέφεραν αύξηση της συγκέντρωσης του Na^+, λόγω αυξημένης συγκέντρωσής του στο απόβλητο. Κατέληξαν δε σε αυτό το συμπέρασμα, παρά του ότι για τις εδαφολογικές αναλύσεις τους λάμβαναν ένα ενιαίο δείγμα, ανά επανάληψη μέχρι τα 80 cm, με δειγματοληψία ανά 20 cm, σε ένα και μόνο σημείο.

Οι Qian & Mecham, (2005) διενεργώντας έρευνα στις πόλεις Ντένβερ και Φορτ Κόλλινς του Κολοράντο, σε γήπεδα του γκόλφ που είχαν αρδευθεί για 4, 13, 14, 19, και 33 χρόνια με ΕΥΑΑ, προερχόμενα από μονάδα ενεργού ιλύος, διαπίστωσαν αύξηση της συγκέντρωσης του εδαφικού Na^+, έναντι άλλων γηπέδων, που αρδεύονταν με ΚΝ για ίδια διάρκεια, σε επίπεδα στατιστικώς σημαντικά. Στο ίδιο συμπέρασμα, κατέληξαν και οι Rusan, et al., (2007), υλοποιώντας έρευνα σε αρδευόμενες καλλιέργειες στην Ιορδανία, που αρδεύονταν για 2, 5 και 10 χρόνια με ΕΥΑΑ, από δεξαμενές βιολογικής σταθεροποίησης. Και οι δύο ανέφεραν συσχέτιση της συγκέντρωσης του Na^+ στο έδαφος με το χρονικό διάστημα εφαρμογής του ΕΥΑΑ για άρδευση. Αύξηση Na^+ στο έδαφος έχουν αναφέρει και οι Bedbabis et al., (2014), λόγω αυξημένης συγκέντρωσης του Na^+ στα αστικά απόβλητα, σε τριετούς διάρκειας πείραμα άρδευσης ελαιώνα, με ελιά ποικιλίας 'Chemlali', στην κεντροανατολική Τυνησία. Οι τρεις εφαρμογές, που συγκρίθηκαν, ήταν ξηρική καλλιέργεια, άρδευση με ΚΝ και άρδευση με ΕΥΑΑ. Αύξηση του εδαφικού Na^+ ανέφεραν και οι (Morugan-Coronado, et al., (2011), πειραματιζόμενοι επί πηλώδους εδάφους, συγκρίνοντας τρεις διαφορετικές εφαρμογές άρδευσης νεόφυτου αμπελιού. Οι τρεις εφαρμογές ήταν ΚΝ, ΕΥΑΑ δευτεροβάθμιας επεξεργασίας ενεργού ιλύος και ΕΥΑΑ τριοβάθμιας επεξεργασίας, που επιτυγχάνετο με αμμόφιλτρο. Η διάκρεια του πειράματος ήταν από τον 8° του 2006 έως και το 4° του 2009. Τέλος, αύξηση Na^+ σε πηλώδες έδαφος και μάλιστα από το πρώτο έτος εφαρμογής ανέφεραν και οι Petousia, et al., (2015) σε πείραμα άρδευσης ελαιώνα, διάρκειας τριών αρδευτικών περιόδων, με ΚΝ και ΕΥΑΑ που προερχόταν από δευτεροβάθμια και τριτοβάθμια επεξεργασία. Το πείραμα υλοποιήθηκε σε πειραματικό αγρό του ΤΕΙ Κρήτης στο Ηράκλειο, φυτεμένο με ελιές, ποικιλίας 'Κορωνέικη», ηλικίας τριών ετών. Η αύξηση αυτή ήταν μεγαλύτερη κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, οπότε και γινόταν η εφαρμογή, ενώ το χειμώνα, λόγω βροχόπτωσης, υπήρχε κίνηση στα βαθύτερα στρώματα. Το τελευταίο έρχεται σε αντίθεση με τα δικά μας ευρήματα, καθ' όσον η εμφάνιση του υπόγειου υδροφόρου στρώματος, κατά τους χειμερινούς μήνες, είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση ή τη διατήρηση των τιμών της συγκέντρωσης του εδαφικού Na^+, στα ίδια επίπεδα.

2.2.2.7. Κάλιο – (K^+)

Στον Πίνακα 71 του Παραρτήματος Ι παρουσιάζονται τα πειραματικά αποτελέσματα που αφορούν στις τιμές εδαφικού K^+ ανά επανάληψη, εφαρμογή και ορίζοντα για τις έξι χρονικές στιγμές που έλαβε χώρα η δειγματοληψία στον πειραματικό αγρό. Στον Πίνακα 38 παρουσιάζεται η στατιστική επεξεργασία των τιμών αυτών που αφορά στη σύγκριση των τιμών για κάθε χρονική στιγμή, μεταξύ των δύο οριζόντων των δύο εφαρμογών (ίδια γράμματα Αγγλικού αλφάβητου που ακολουθούν τη μέση τιμή της συγκέντρωσης K^+ εντός της στήλης) , αλλά και τη σύγκριση τιμών, εντός του κάθε ορίζοντα, μεταξύ δύο διαδοχικών ημερομηνιών (ίδια γράμματα

Ελληνικού αλφάβητου που ακολουθούν εντός της γραμμής για κάθε ζεύγος χρονικών τιμών).

Πίνακας 38 Μέσες τιμές συγκεντρώσεως K^+ στο έδαφος (meq/100 gr εδάφους) ανά εφαρμογή και ημερομηνία αναλύσεων (αρχή - τέλος κάθε αρδευτικής περιόδου)[34]

Βάθος (cm)	Είδος Αρδευτικού Νερού	Ιουν 2011	Σεπ 2011	Ιουν 2012	Σεπ 2012	Ιουν 2013
0-30	**ΚΝ**	0.27 c α	0.24 c α **Β**	0.20 c **β** γ	0.22 c γ δ	0.20 c δ
	ΕΥΑΑ	0.26 c **Α**	0.23 c **α Β**	0.20 c **β** γ	0.20 c γ δ	0.24 c δ
30-60	**ΚΝ**	0.16 d α	0.17 d α β	0.17 d β γ	0.18 d γ δ	0.20 d δ
	ΕΥΑΑ	0.18 d α	0.17 d α **β**	0.18 d **Β** γ	0.17 d γ δ	0.18 d δ
60-90	**ΚΝ**	0.18 f α	0.17 **F** α β	0.18 f β γ	0.17 f γ δ	0.17 f δ
	ΕΥΑΑ	0.18 f **Α**	0.15 **f α β**	0.18 f **Β Γ**	0.16 f **γ** δ	0.17 f δ

Σε όλες τις χρονικές στιγμές που παρουσιάζονται στον Πίνακα 38 δεν παρατηρείται στατιστικώς σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο εφαρμογών, ανά ορίζοντα στις τιμές του εδαφικού K^+ (Πίνακας 38 εντός κάθε στήλης, Αγγλικό αλφάβητο).

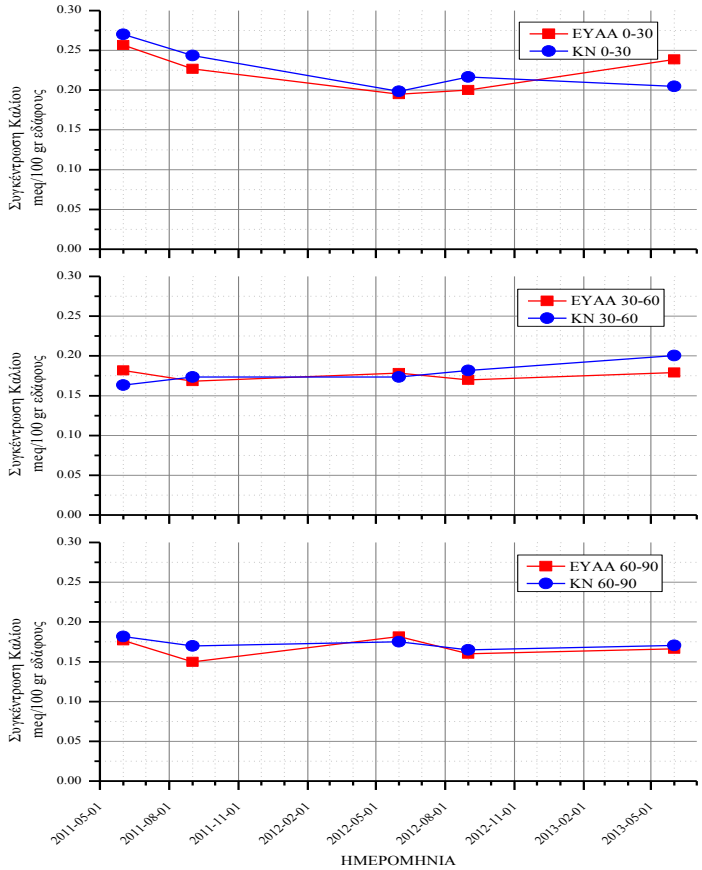
Σε ό,τι αφορά στα Σχήματα 27 και 28 μπορούν να γίνουν οι ακόλουθες παρατηρήσεις:

1. Μεταξύ των χρονικών στιγμών Ιουνίου 2011 και Σεπτεμβρίου 2011, δηλαδή μετά την πρώτη αρδευτική περίοδο, παρατηρείται μείωση των τιμών του εδαφικού K^+, μη στατιστικώς σημαντική, και στους τρεις ορίζοντες και για τις δύο εφαρμογές, με εξαίρεση τον ορίζοντα 30-60 cm της εφαρμογής του ΚΝ, όπου υπήρξε αύξηση, στατιστικώς σημαντική (Πίνακας 38) & (Σχήμα 27). Σημειώνεται ότι με την άρδευση με ΕΥΑΑ, γινόταν προσθήκη καλίου σε κάθε γεγονός άρδευσης $\left(MO_{C_{K-EYAA}}^{2011} = 12.00\frac{mgr}{lt}\right)$, ενώ αντιθέτως με την άρδευση με ΚΝ, δεν γινόταν προσθήκη διότι δεν περιείχε Κάλιο $\left(MO_{C_{K-KN}}^{2011} < 2.00\frac{mgr}{lt}\right)$ (Πίνακας 18). Θα ανέμενε λοιπόν κάποιος να παρατηρηθεί αύξηση του εδαφικού K^+ στην εδαφική κατατομή, όμως αυτό δεν παρατηρείται (Σχήμα 27) , καθόσον η απορρόφησή του από τα ελαιόδενδρα μείωνε την συγκέντρωσή του στην εδαφική κατατομή. Σε ό,τι αφορά στην εφαρμογή του ΚΝ, διαπιστώνεται μείωση του εδαφικού K^+ στον ορίζοντα 0-30 cm και 60-90 cm, ενώ παρατηρείται αύξηση στον ορίζοντα 30-60 cm. Το γεγονός μπορεί να αποδοθεί σε μικρή έκπλυση του καλίου από τον επιφανειακό ορίζοντα και εναπόθεσή του στον αμέσως βαθύτερο. Να σημειωθεί ότι και στην περίπτωση του ΚΝ, η παρατηρηθείσα μείωση της τιμής του εδαφικού K^+ αποδίδεται και στην απορρόφηση από την καλλιέργεια. Η υπόθεση της απορρόφησης από τα ελαιόδενδρα του εδαφικού K^+, ειδικά στην περίπτωση της

[34] Διαδοχικές μέσες τιμές εντός της ίδιας στήλης και για τον ίδιο ορίζοντα (διαφορετικές εφαρμογές στην ίδια ημερομηνία αναλύσεως ανά ορίζοντα), που ακολουθούνται από το ίδιο μικρό γράμμα του Αγγλικού αλφάβητου, δεν διαφέρουν στατιστικά, ενώ, αν ακολουθούνται από το ίδιο μεν γράμμα αλλά μικρό-κεφαλαίο, διαφέρουν στατιστικά σημαντικά.
Διαδοχικές μέσες τιμές εντός της ίδιας γραμμής (διαδοχικές ημερομηνίες αναλύσεων της ίδιας εφαρμογής και ορίζοντα), που ακολουθούνται από το ίδιο μικρό γράμμα του Ελληνικού αλφάβητου, δεν διαφέρουν στατιστικά, ενώ, αν ακολουθούνται από το ίδιο μεν γράμμα αλλά μικρό-κεφαλαίο, διαφέρουν στατιστικά σημαντικά

άρδευσης με ΕΥΑΑ, οπότε και δεν εμφανίζεται αύξηση της στυγκέντρωσης του καλίου στην εδαφική κατατομή, ενισχύεται και από τα αποτελέσματα της θρεπτικής κατάστασης των ελαιοδένδρων, όπου ήδη από τον 1^{ο} χρόνο άρδευσης με ΕΥΑΑ, η μέση τιμή της συγκέντρωσης του καλίου στα φύλλα είναι ($C_{K-EYAA}^{\Phi\acute{\upsilon}\lambda\lambda\alpha-2011} = 0{,}70\%$), έναντι ($C_{K-KN}^{\Phi\acute{\upsilon}\lambda\lambda\alpha-2011} = 0{,}56\%$), που είναι η συγκέντρωση του καλίου στα φύλλα των ελαιοδένδρων, που αρδεύτηκαν με ΚΝ, όταν οι τιμές αναφοράς, για να υπάρχει επάρκεια καλίου, είναι 0,7%-0,9% (Πίνακας 75).

Στη μείωση της συγκέντρωσης του εδαφικού K^+, κυρίως στον επιφανειακό ορίζοντα, αλλά και στους λοιπούς ορίζοντες και για τις δύο εφαρμογές (Σχήμα 27) και (Σχήμα 28 α & β) , συνεισφέρει και η έκπλυση της κατατομής, λόγω άρδευσης, δεδομένου ότι, όπως έχει αναφερθεί, δεν αρδευόταν το συγκεκριμένο τεμάχιο, επί σειρά ετών, οπότε, και σε συνδυασμό με την ύπαρξη εποχικά εμφανιζόμενου υπόγειου υδροφόρου στρώματος, υπήρχε αύξηση της συγκέντρωσης των ευκίνητων ιόντων εντός της κατατομής.

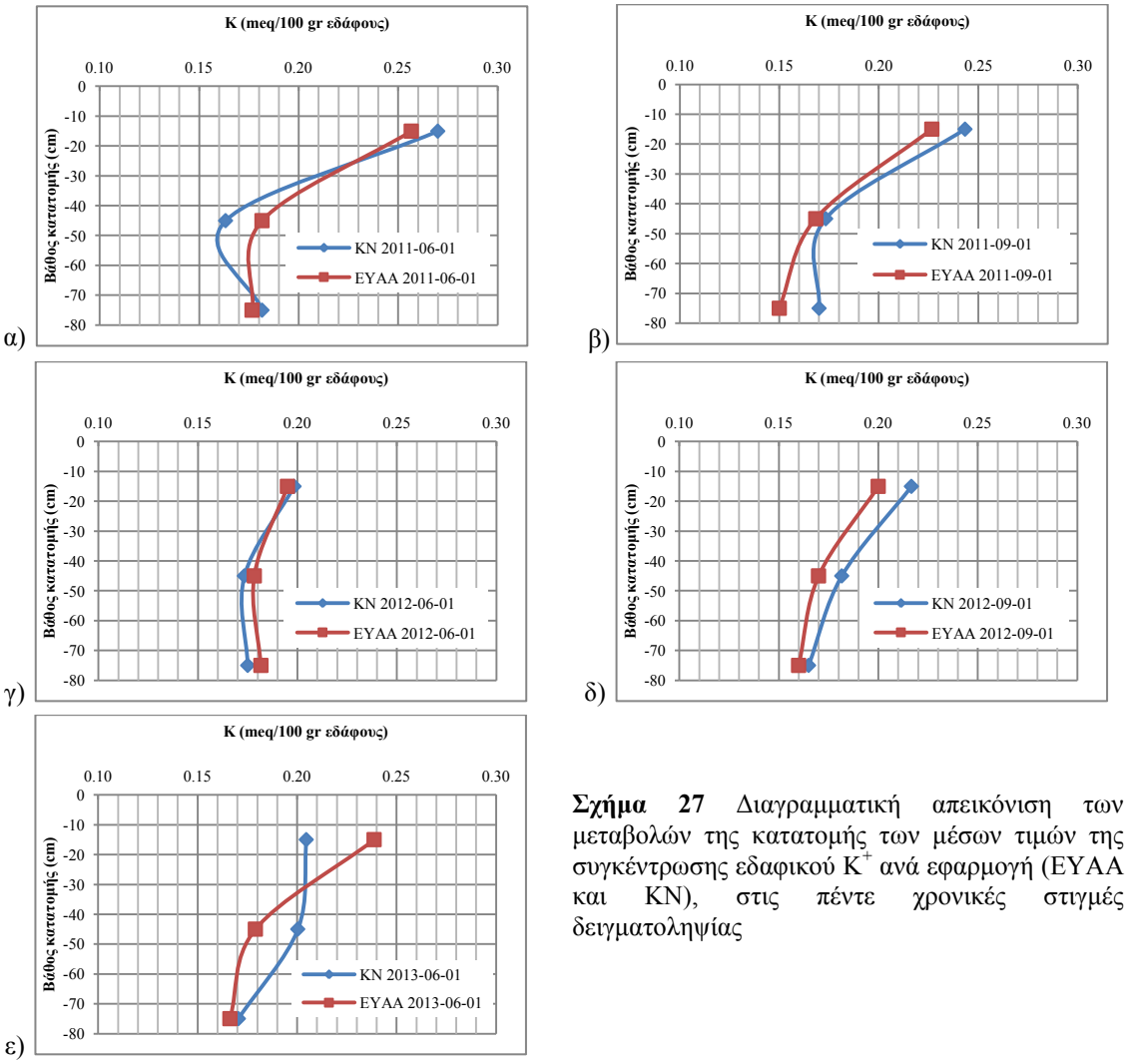


Σχήμα 26 Διαγραμματική απεικόνιση των μεταβολών τηε συγκεντρώσεως του K^+ στο έδαφος με το χρόνο, ανά εφαρμογή και εδαφικό ορίζοντα

2. Μεταξύ των χρονικών στιγμών Σεπτεμβρίου 2011 και Ιουνίου 2012, παρατηρείται για την εφαμρογή του ΚΝ μείωση της συγκεντρώσεως του εδαφικού K^+ στον ορίζοντα 0-30 cm και μάλιστα στατιστικώς σημαντικά (Πίνακας 38), και σταθεροποίηση των τιμών του εδαφικού K^+ για τους δύο άλλους ορίζοντες (Πίνακας 38) και (Σχήμα 27). Σε ό,τι αφορά στην εφαρμογή του ΕΥΑΑ για το ίδιο χρονικό διάστημα, παρατηρείται στατιστικώς σημαντική μείωση του εδαφικού K^+

στον ορίζοντα 0-30 cm και στατιστικώς σημαντικη αύξηση στους ορίζοντες 30-60 και 60-90 cm (Πίνακας 38) & (Σχήμα 27). Το φαινόμενο της μείωσης της συγκέντρωσης και για τις δύο εφαρμογές στον ορίζοντα 0-30 cm θα μπορούσε να αποδοθεί στην έκπλυση του εδαφικού K^+ που συμβαίνει στο επιφανειακό στρώμα, λόγω της βροχόπτωσης της χειμερινής περιόδου. Η κίνηση αυτή του K^+, όπως εξηγήθηκε, οφείλεται στο ότι το K^+ αντικαθίσταται στα εδαφικά κολλοειδή από άλλα ιόντα, όπως το $Cα^{2+}$, Mg^{2+} κ.λπ., γεγονός που το καθιστά ευκίνητο, συμπαρασυρόμενο με τη μαζική ροή του κατεισδύοντος βρόχινου νερού.

Η σταθεροποίηση των τιμών του εδαφικού K^+ στους δύο βαθύτερους ορίζοντες της εφαρμογής του ΚΝ και η αύξηση στους αντίστοιχους της εφαρμογής του ΕΥΑΑ μπορεί να αποδοθεί στην επίδραση του υδροφόρου ορίζοντα, ο οποίος εμφανιζόμενος εποχικά δεν επέτρεψε περαιτέρω έκπλυση του K^+, εναποθέτοντάς το εντός της εδαφικής κατατομής. Στην εφαρμογή του ΕΥΑΑ, η διαφορά αυτή είναι στατιστικώς σημαντική, λόγω του ότι το ΕΥΑΑ προσέθεσε ποσότητες καλίου στην εδαφική κατατομή έναντι του ΚΝ.



Σχήμα 27 Διαγραμματική απεικόνιση των μεταβολών της κατατομής των μέσων τιμών της συγκέντρωσης εδαφικού K^+ ανά εφαρμογή (ΕΥΑΑ και ΚΝ), στις πέντε χρονικές στιγμές δειγματοληψίας

3. Μεταξύ των χρονικών στιγμών Ιουνίου 2012 και Σεπτεμβρίου 2012, δηλαδή μετά την δεύτερη αρδευτική περίοδο, παρατηρείται, σε ό,τι αφορά στο ΚΝ, αύξηση

στατιστικώς μη σημαντική της συγκέντρωσης του εδαφικού K^+ στους ορίζοντες 0-30 cm και 30-60 cm, ενώ παρατηρείται μείωση, επίσης, στατιστικώς μη σημαντική, για τις αντίστοιχες τιμές στον βαθύτερο ορίζοντα (Πίνακας 38) & (Σχήμα 27). Το γεγονός αυτό θα μπορούσε να αποδοθεί, αφ' ενός στην κίνηση του εδαφικού K^+ υπό την επίδραση της εξατμισοδιαπνοής, και αφ' ετέρου στην δημιουργία κλίσης που επιβάλλεται από την απορρόφηση του K^+ από τα ριζικά τριχίδια. Αντιθέτως, στην εφαρμογή του ΕΥΑΑ, παρατηρείται στατιστικώς μη σημαντική αύξηση της συγκέντρωσης του εδαφικού K^+ στον επιφανειακό ορίζοντα, ενώ παρατηρείται μείωση της συγκέντρωσης στους άλλους δύο βαθύτερους ορίζοντες (Πίνακας 38) & (Σχήμα 27). Μάλιστα η μείωση της συγκέντρωσης του εδαφικού K^+ στον ορίζοντα 60-90 cm, για την εφαρμογή του ΕΥΑΑ, είναι στατιστικώς σημαντική (Πίνακας 38). Σημειώνεται ότι με την άρδευση με ΕΥΑΑ γινόταν προσθήκη K^+ σε κάθε γεγονός άρδευσης $\left(MO_{C_{K-EYAA}}^{2012} = 18{,}67\frac{mgr}{lt}\right)$, ενώ αντιθέτως, με την άρδευση με ΚΝ, γινόταν αμελητέα προσθήκη καλίου σε κάθε γεγονός άρδευσης $\left(MO_{C_{K-KN}}^{2012} = 1{,}66\frac{mgr}{lt}\right)$ (Πίνακας 18). Και στην περίπτωση αυτή η ελάχιστη αύξηση της συγκέντρωσης του εδαφικού K^+ για τον ορίζοντα 0-30 cm και η μείωση της συγκέντρωσης στους άλλους δύο ορίζοντες, παρά την προσθήκη ποσότητας K^+ με κάθε γεγονός άρδευσης, εξηγείται, σύμφωνα με τα όσα αναφέρθηκαν και σε προηγούμενη παράγραφο. Αφ' ενός η απορρόφηση του K^+ από την καλλιέργεια, αφ' ετέρου η έκπλυση του από την εδαφική κατατομή, δημιούργησαν αυτή την εικόνα της συγκέντρωσης του εδαφικού K^+ . Σε ό,τι αφορά στην απορρόφηση του K^+ από την καλλιέργεια, ειδικά στην περίπτωση της άρδευσης με ΕΥΑΑ, τεκμηριώνεται και από τα αποτελέσματα της θρεπτικής κατάστασης των ελαιοδένδρων, όπου κατά το 2ο έτος άρδευσης με ΕΥΑΑ, η μέση τιμή της συγκέντρωσης του καλίου στα φύλλα είναι $\left(C_{K-EYAA}^{\Phi\acute{\upsilon}\lambda\lambda\alpha-2012} = 0{,}81\%\right)$ έναντι $\left(C_{K-KN}^{\Phi\acute{\upsilon}\lambda\lambda\alpha-2012} = 0{,}56\%\right)$ που είναι η συγκέντρωση του καλίου στα φύλλα των ελαιοδένδρων, που αρδεύτηκαν με ΚΝ, όταν οι τιμές αναφοράς, για να υπαρχει επάρκεια καλίου, είναι 0,7%-0,9% (Πίνακας 75). Παρατηρείται, δηλαδή, περαιτέρω αύξηση της συγκέντρωσης του K^+ στα φύλλα των ελαιοδένδρων που αρδεύθηκαν με ΕΥΑΑ, καθιστώντας τα σε επάρκεια K^+ ακόμα περισσότερο, έναντι του 1ου έτους.

4. Μεταξύ των χρονικών στιγμών Σεπτεμβρίου 2012 και Ιουνίου 2013, παρατηρείται για την εφαρμογή του ΕΥΑΑ στατιστικώς μη σημαντική αύξηση της συγκέντρωσης του εδαφικού K^+ και στους τρεις εδαφικούς ορίζοντες (Πίνακας 38) (Σχήμα 27). Η παρατήρηση αυτή εξηγείται, λόγω της ανοδικής κίνησης του υπόγειου νερού, κατά τους χειμερινούς μήνες, συμπαρασύροντας το K^+ προς τα επάνω και εναποθέτωντάς το στην εδαφική κατατομή. Η παρατήρηση αυτή όμως επαληθεύει και την υπόθεση της βαθύτερης κίνησης του K^+, κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, μέσω της άρδευσης. Η αύξηση των τιμών του εδαφικού K^+ είναι πολύ μικρή για τους δύο βαθύτερους ορίζοντες, έναντι αυτής του επιφανειακού ορίζοντα (Πίνακας 38), (Σχήμα 27) & (Σχήμα 28 δ & ε) , γεγονός που μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η ποσότητα εδαφικού K^+, που προστέθηκε στον επιφανειακό ορίζοντα, έχει προέλθει με τη βοήθεια του υπόγειου υδροφόρου, από στρώματα βαθύτερα από τα εξεταζόμενα. Τεκμηριώνεται δηλαδή κίνηση του εδαφικού K^+ σε βαθύτερο εδαφικό στρώμα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, το οποίο, παρουσία του υδροφόρου, το επαναφέρει στο επιφανειακό στρώμα. Δηλαδή, τεκμηριώνεται ενδεχόμενος κίνδυνος ρύπανσης του υπόγειου νερού, λόγω της βαθύτερης κίνησης του καλίου.

Σε ό,τι αφορά στην εφαρμογή του ΚΝ, παρατηρείται στατιστικώς μη σημαντική μείωση της τιμής του εδαφικού K^+ στον ορίζοντα 0-30 cm και αύξηση για τους δύο βαθύτερους ορίζοντες (Πίνακας 38) (Σχήμα 27) & (Σχήμα 28 δ & ε). Σχετικά με τον ορίζοντα 0-30 cm, η μείωση της συγκέντρωσης του εδαφικού K^+ αποδίδεται στην επίδραση της βροχόπτωσης, η οποία το συμπαρασύρει βαθύτερα. Σχετικά με τους άλλους δύο ορίζοντες, η αύξηση που παρατηρείται και κυρίως αυτή του ορίζοντα 30-60 cm, θα μπορούσε να αποδοθεί τόσο στην προσθήκη K^+ από την μείωση της συγκέντρωσης στον επιφανειακό ορίζοντα, λόγω καθοδικής κίνησης του βρόχινου νερού, όσο και στην μετακίνηση K^+, μεταξύ των εφαρμογών, λόγω πλάγιας κίνησης του ύδατος του υπόγειου υδροφόρου.

Πίνακας 39 Μέσες τιμές συγκεντρώσεως K^+ στο έδαφος (meq/100 gr εδάφους), ανά ορίζοντα και εφαρμογή στην αρχή και στο τέλος του πειράματος

Βάθος (cm)	Είδος Αρδευτικού Νερού	Ιουν 2011	Ιουν 2013	R^2	CV	Prop
0-30	**ΚΝ**	0.27	0.20	0.87	0.12	**0.0089** **
	ΕΥΑΑ	0.26	0.24	0,89	0.09	0.1672 μσ
30-60	**ΚΝ**	0.16	0.20	0.72	0.14	0.0529 μσ
	ΕΥΑΑ	0.18	0.18	0.89	0.06	0.6383 μσ
60-90	**ΚΝ**	0.18	0.17	0.62	0.14	0.4428 μσ
	ΕΥΑΑ	0.18	0.17	0.71	0.12	0.4024 μσ

(μσ= μη σημαντικό, *= P<0,05 **=P < 0,01, *** = P < 0001)

Από τον Πίνακα 39 διαπιστώνεται ότι δεν υπάρχει στατιστικώς σημαντική διαφορά στη συγκέντρωση του εδαφικού K^+ για καμία εφαρμογή και για κανένα ορίζοντα, μεταξύ της έναρξης και της λήξης του πειράματος, με εξαίρεση τον ορίζοντα 0-30 cm, στην εφαρμογή του ΚΝ, όπου διαπιστώνεται μείωση στατιστικώς σημαντική, οφειλόμενη τόσο στην έκπλυση του ορίζοντα αυτού, κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, λόγω άρδευσης, όσο και κατά τους χειμερινούς, λόγω βροχόπτωσης. Γενικά, η κινητικότητα του K^+ εντός της εδαφικής κατατομής είναι μικρότερη από την κινητικότητα του αζώτου και μεγαλύτερη από την κινητικότητα του φωσφόρου. Σε κάθε περίπτωση, η κινητικότητα αυτή εξαρτάται από την περιεκτικότητα του εδάφους σε άργιλο, καθώς και από το είδος της αργίλου, εν γένει, δηλαδή στην ΙΑΚ του εδάφους (Ασημακόπουλος, 2013). Έτσι, σε εδάφη με μεγάλο ποσοστό αργίλου και μεγάλη ΙΑΚ το K^+ συμπεριφέρεται ως μη κινητικό, είτε δεσμευόμενο επί των επιφανειών ή των ακμών των αγριλικών φυλλιδίων, είτε τέλος εισχωρώντας μεταξύ των φυλλιδίων των 2:1 αργιλικών ορυκτών (Ασημακόπουλος, 2013). Η διαδικασία αυτή, δηλαδή η εισχώρηση και δέσμευση ιόντων K^+ ενδιάμεσα στα φυλλίδια αργιλικών ορυκτών τύπου 2:1, είναι η αντιστροφή της εξέλιξης των 2:1 αργιλικών ορυκτών, με επίδραση των εδαφογενετικών διαδικασιών (Κοσμάς, 2005).

Σχετικά με το K^+ και τις μεταβολές της συγκεντρώσεώς του στο έδαφος, σε σχέση με εφαρμογή άρδευσης με ΚΝ και ΕΥΑΑ, οι Qian & Mecham, (2005) δεν ανέφεραν στατιστικώς σημαντική μεταβολή του εδαφικού K^+, παρά του γεγονότος ότι υπήρχε σημαντική διαφορά μεταξύ συγκεντρώσεως καλίου στο ΕΥΑΑ και ΚΝ. Το εύρημα αυτό συμφωνεί με τα ευρήματα της παρούσας εργασίας, σύμφωνα με τα οποία δεν υπήρξε στατιστικώς σημαντική διαφορά στη συγκέντρωση του εδαφικού K^+, μεταξύ έναρξης και λήξης του πειράματος. Την παρατήρηση αυτή την απέδωσαν στην απορρόφηση K^+ από τις καλλιέργειες. Την ίδια εξήγηση έδωσαν και οι Bedbabis, et al.,

(2014), για το γεγονός ότι στο πείραμά τους παρατηρήθηκαν μικρές τιμές συγκέντρωσης εδαφικού K^+ στα βαθύτερα στρώματα. Αντιθέτως με τα ανωτέρω, οι Monnett, et al., (1996), Emongor & Ramolemana, (2004), Heidarpour, et al., (2007), Rusan, et al., (2007), Bedbabis, et al., (2010b) και Petousia, et al., (2015) ανέφεραν αύξηση της συγκέντρωσης του εδαφικού K^+ (οι τελευταίοι από το 3° έτος πειραματισμού) , αποδίδοντας τη διαφορά αυτή στη διαφορά συγκέντρωσης K^+ μεταξύ ΚΝ και ΕΥΑΑ. Οι Bedbabis, et al., (2014) και οι Nasini, et al., (2013) αναφέρουν ότι η μεγαλύτερη αύξηση της συγκέντρωσης του εδαφικού K^+ παρατηρήθηκε στον επιφανειακό ορίζοντα, γεγονός που το απέδωσαν στη δέσμευση του καλίου από τα κολλοειδή του επιφανειακού στρώματος. Τα ανωτέρω ευρήματα είναι σε αντίθεση με το πόρισμα της παρούσας εργασίας, όπου δεν παρατηρήθηκε εν γένει αύξηση στη συγκέντρωση του εδαφικού K^+.

Οι Arienzo, et al., (2009) εξέτασαν τα πορίσματα σειράς εργασιών, σε ό,τι αφορά και στην τύχη του K^+ εντός της εδαφικής κατατομής, λαμβάνοντας υπ' όψιν επεξεργασμένα υγρά απόβλητα διαφόρων δραστηριοτήτων, όπως αστική, οινοποιεία, χοιροτροφεία κ.λπ., και κατέληξαν ότι ακόμα και στην περίπτωση των ΕΥΑΑ, όπου οι τιμές της συγκέντρωσης του K^+ είναι μικρές, παρατηρείται συσσώρευση K^+ στο έδαφος. Στην δική μας περίπτωση, δεν παρουσιάστηκε αυτό που αναφέρουν οι εν λόγω ερευνητές, λόγω της ύπαρξης του υπόγειου υδροφόρου, αλλά και της ύπαρξης στο εδαφοδιάλυμα ιόντων που επιλεκτικά αντικαθιστούν τα K^+ και συνεπώς το καθιστούν ευκίνητο. Οι ίδιοι αναφέρουν ότι υψηλές συγκεντρώσεις K^+ (500-20000 mgr/l) σε έδαφος με μεγάλη ποσότητα Ιλλίτη έχει ως αποτέλεσμα την επανεισχώρηση καλίου εντός των φυλλιδίων της αργίλου, κάτι που στην περίπτωσή μας δεν ισχύει, καθόσον και μικρές είναι οι ποσότητες καλίου που προστίθενται αλλά και μικρή η συγκέντρωση του Ιλλίτη στην εδαφική άργιλο (δες επόμενο υποκεφάλαιο). Πέραν αυτού, οι Oborn, et al., (2005) αναφέρουν ότι η προσθήκη K^+ σε εδάφη με λίγες ανταλλάξιμες θέσεις όπως είναι εδάφη που περιέχουν Βερμικουλίτη ή Ιλλίτη αυξάνει τον κίνδυνο κατακόρυφης κίνησης του K^+ με την κίνηση του νερού και συνεπώς ρύπανσης του υπόγειου νερού. Το εύρημα αυτό διαπιστώθηκε και στην εξεταζόμενη περίπτωση, ειδικότερα μετά το 2° έτος εφαρμογής του ΕΥΑΑ.

2.2.2.8. Μαγνήσιο – (Mg^{2+})

Στον Πίνακα 72 του Παραρτήματος Ι παρουσιάζονται οι πειραματικές τιμές της συγκέντρωσης του εδαφικού Mg^{2+}, ανά επανάληψη, εφαρμογή και ορίζοντα, για τις χρονικές στιγμές της δειγματοληψίας. Να σημειωθεί ότι δεν υλοποιήθηκαν αναλύσεις για εδαφικό Mg^{2+} τον Ιούνιο του 2012, λόγω αδυναμίας.

Στον Πίνακα 40 παρουσιάζεται η στατιστική επεξεργασία των τιμών του εδαφικού Mg^{2+}, τόσο μεταξύ των δύο εφαρμογών, ανά ορίζοντα για την ίδια χρονική στιγμή, όσο και για κάθε εφαρμογή και ορίζοντα, μεταξύ δύο διαδοχικών χρονικών στιγμών δειγματοληψίας. Από τον Πίνακα 40 διαπιστώνεται ότι δεν παρατηρήθηκε καμία στατσιτικώς σημαντική διαφορά στις τιμές της συγκέντρωσης του εδαφικού Mg^{2+} μεταξύ των δύο εφαρμογών (ΕΥΑΑ & ΚΝ), για όλους του ορίζοντες και για όλες τις χρονικές στιγμές δειγματοληψίας (Πίνακας 40 $1^η$ στήλη αγγλικό αλφάβητο μετά τις μέσες τιμές).

Πίνακας 40 Μέσες τιμές συγκεντρώσεως Mg^{2+} στο έδαφος (meq/100 gr εδάφους), ανά ορίζοντα, εφαρμογή και ημερομηνία αναλύσεων (αρχή - τέλος κάθε αρδευτικής περιόδου)[35]

Βάθος (cm)	Είδος Αρδευτικού Νερού	Ιουν 2011	Σεπ 2011	Σεπ 2012	Ιουν 2013
0-30	**ΚΝ**	2.393 c α	2.518 c α β	3.312 c β **Γ**	3.062 c **γ**
	ΕΥΑΑ	2.848 c α	2.460 c α β	3.100 c β **Γ**	2.817 c **γ**
30-60	**ΚΝ**	1.953 d α	2.162 d α β	2.408 d β **Γ**	2.127 d **γ**
	ΕΥΑΑ	2.228 d α	2.255 d α β	2.627 d β γ	2.555 d γ
60-90	**ΚΝ**	2.007 f α	2.197 f α β	2.837 f β **γ**	2.437 f γ
	ΕΥΑΑ	2.295 f α	2.588 f α β	2.343 f β γ	2.238 f γ

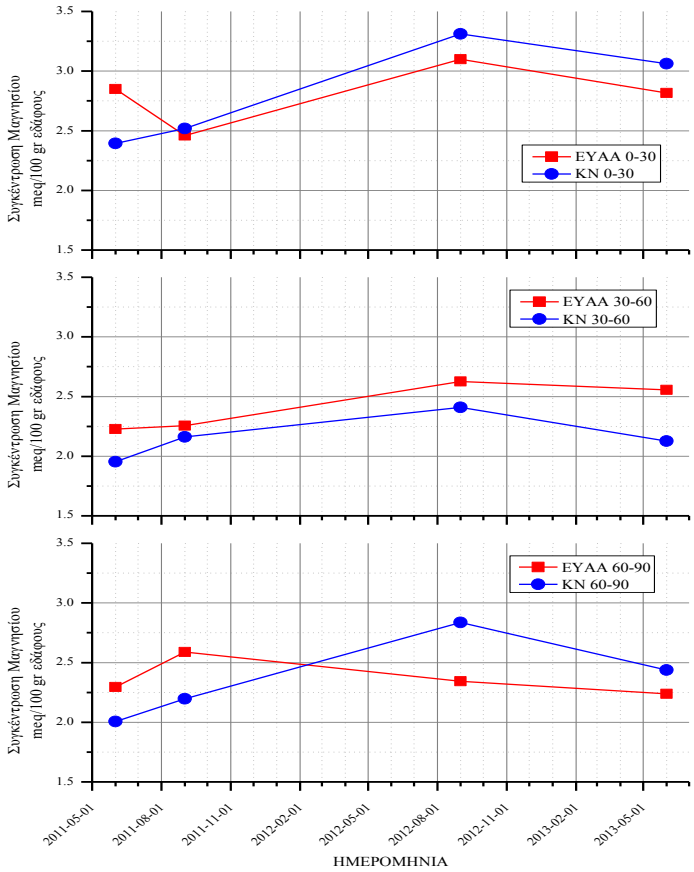
Σε ό,τι αφορά στα Σχήματα 29 και 30, διαπιστώνονται τα ακόλουθα:

1. Μεταξύ των χρονικών στιγμών Ιουνίου 2011 Σεπτεμβρίου 2011, διαπιστώνεται αύξηση της συγκέντρωσης του εδαφικού Mg^{2+}, στατιστικώς μη σημαντική, σε όλους τους ορίζοντες και για τις δύο επαναλήψεις, με εξαίρεση τον ορίζοντα 0-30 cm της εφαρμογής του ΕΥΑΑ (Πίνακας 40) (Σχήμα 29). Η εικόνα αυτή της αύξηση της συγκέντρωσης του εδαφικου΄ Mg^{2+} οφείλεται στο γεγονός ότι, με την άρδευση και για τις δύο εφαρμογές γινόταν προσθήκη Mg^{2+}. Συγκεκριμένα, με την άρδευση με ΚΝ, γινόταν μεγαλύτερη προσθήκη Mg^{2+} $\left(\mathrm{MO}^{2011}_{\mathrm{C_{Mg-KN}}} = 19{,}29\,\frac{\mathrm{mgr}}{\mathrm{lt}}\right)$, έναντι της εφαρμογής του ΕΥΑΑ $\left(\mathrm{MO}^{2011}_{\mathrm{C_{Mg-EYAA}}} = 13{,}86\,\frac{\mathrm{mgr}}{\mathrm{lt}}\right)$, ανά γεγονός άρδευσης (7 γεγονότα άρδευσης κατά το 2011) (Πίνακας 20). Η παρατήρηση της ελάχιστης μείωσης του εδαφικού Mg^{2+} στον ορίζοντα 0-30 cm θα μπορούσε να αποδοθεί, τόσο σε έκπλυσή του με την άρδευση προς βαθύτερα στρώματα, όσο και σε απορρόφηση από την καλλιέργεια. Σε ό,τι αφορά στην έκπλυση, υπενθυμίζεται ότι δεν είχε εφαρμοσθεί άρδευση, επί σειρά ετών, γεγονός που αύξανε την αλατότητα του επιφανειακού ορίζοντα, λόγω του εποχικά εμφανιζόμενου υδροφόρου στρώματος. Παρατηρούμε λοιπόν (Σχήμα 30 α & β) ότι η άρδευση τείνει να εξισώσει τις συγκεντρώσεις του εδαφικού Mg^{2+} στον ορίζοντα 0-30 cm και 30-60 cm, για τις δύο εφαρμογές, ενώ διατηρεί τη διαφορά στη συγκέντρωση μεταξύ των δύο εφαμρογών στον ορίζοντα 60-90 cm, λόγω τροφοδοσίας από τον επιφανειακό ορίζοντα αλλά και προσθήκης με την άρδευση.

   Σε ό,τι αφορά στην απορρόφηση από την καλλιέργεια, διαπιστώνεται ότι η συγκέντρωση Mg^{2+} στα φύλλα των ελαιοδένδρων, που αρδεύτηκαν με ΕΥΑΑ, είναι μεγαλύτερη $\left(C^{\Phi\acute{\upsilon}\lambda\lambda\alpha-2011}_{Mg-EYAA} = 0{,}19\%\right)$, από την αντίστοιχη των φύλλων των δένδρων, που αρδεύθηκαν με ΚΝ $\left(\mathrm{C}^{\Phi\acute{\upsilon}\lambda\lambda\alpha-2011}_{\mathrm{Mg-KN}} = 0{,}12\%\right)$, παρά το γεγονός ότι με το ΚΝ, όπως αναφέρθηκε, γινόταν προσθήκη μεγαλύτερης ποσότητας Mg^{2+}, από ότι με το ΕΥΑΑ (Πίνακας 75). Διαπιστώνεται λοιπόν θρεπτική επάρκεια για το Mg^{2+}, με τα όρια της επάρκειας κυμαινόμενα μεταξύ 0,1-0,3% (Πίνακας 75). Το γεγονός ότι η θρεπτική κατάσταση των φύλλων των ελαιοδένδρων, που αρδεύτηκαν με

[35] Διαδοχικές μέσες τιμές εντός της ίδιας στήλης και για τον ίδιο ορίζοντα (διαφορετικές εφαρμογές στην ίδια ημερομηνία αναλύσεως ανά ορίζοντα), που ακολουθούνται από το ίδιο μικρό γράμμα του Αγγλικού αλφάβητου, δεν διαφέρουν στατιστικά, ενώ, αν ακολουθούνται από το ίδιο μεν γράμμα αλλά μικρό-κεφαλαίο, διαφέρουν στατιστικά σημαντικά.
Διαδοχικές μέσες τιμές εντός της ίδιας γραμμής (διαδοχικές ημερομηνίες αναλύσεων της ίδιας εφαρμογής και ορίζοντα), που ακολουθούνται από το ίδιο μικρό γράμμα του Ελληνικού αλφάβητου, δεν διαφέρουν στατιστικά, ενώ, αν ακολουθούνται από το ίδιο μεν γράμμα αλλά μικρό-κεφαλαίο, διαφέρουν στατιστικά σημαντικά

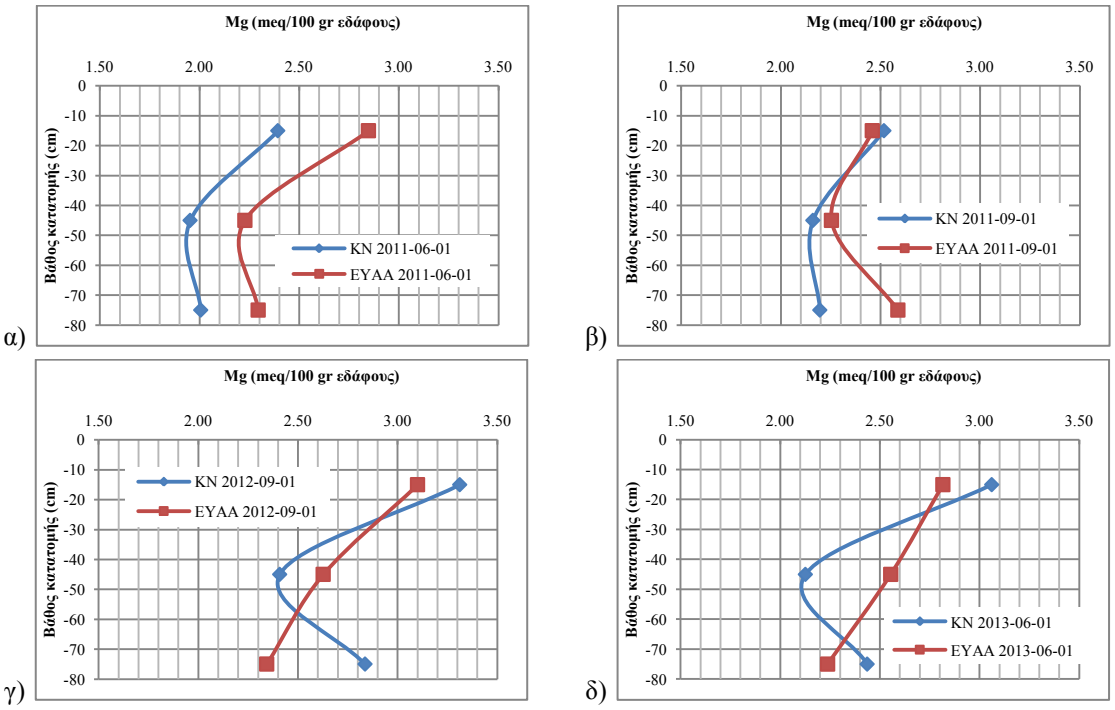
ΕΥΑΑ, είναι καλύτερη, από την αντίστοιχη αυτών που αρδεύθηκαν με ΚΝ, αν και το τελευταίο προσέθετε μεγαλύτερες πσοσότητες Mg^{2+} στο έδαφος, μέσω της άρδευσης μπορεί να εξηγηθεί στο ότι, με την εφαρμογή άρδευσης με ΕΥΑΑ, βελτιώθηκε εν γένει η γονιμότητα του εδάφους, καθιστώντας το Mg^{2+} ευκολότερα απολήψιμο από την καλλιέργεια.



Σχήμα 28 Διαγραμματική απεικόνιση των μεταβολών των μέσων τιμών της συγκεντρώσεως του Mg^{2+} στο έδαφος με το χρόνο, ανά εφαρμογή και εδαφικό ορίζοντα

2. Μεταξύ των χρονικών στιγμών Σεπτεμβρίου 2011 και Σεπτεμβρίου 2012, διαπιστώνεται αύξηση της συγκέντρωσης του εδαφικού Mg^{2+}, σε όλους τους ορίζοντες και για τις δύο εφαρμογές, με εξαίρεση τον ορίζοντα 60-90 cm, στην εφαρμογή του ΕΥΑΑ (Πίνακας 40) (Σχήμα 29). Στην αναφερθείσα περίοδο, περιέχεται μία βροχερή περίοδος και μία αρδευτική περίοδος, καθ' όσον, όπως ήδη έχει αναφερθεί, δεν κατέστη δυνατό να υλοποιηθούν αναλύσεις εδαφικού Mg^{2+}, πριν την έναρξη της αρδευτικής περιόδου, δηλαδή τον Ιούνιο του 2012. Η αύξηση που παρατηρείται και στους τρεις ορίζοντες της εφαρμογής του ΚΝ, όπως και στους δύο ανώτερους της εφαρμογής του ΕΥΑΑ, μπορεί να οφείλεται τόσο στην ανοδική κίνησης του εδαφικού Mg^{2+} στην εδαφική κατατομή, λόγω του εποχικά εμφανιζόμενου υδροφόρου στρώματος, όσο και στην προσθήκη Mg^{2+}, με την άρδευση, κατά την περίοδο Ιουνίου 2012-Σεπτεμβρίου 2012. Υπενθυμίζεται ότι η συγκέντρωση του Mg^{2+} στο ΚΝ ήταν μεγαλύτερη $\left(MO^{2012}_{C_{Mg-KN}} = 18.33\frac{mgr}{lt}\right)$, έναντι του ΕΥΑΑ $\left(MO^{2012}_{C_{Mg-EYAA}} = 12.42\frac{mgr}{lt}\right)$, ανά γεγονός άρδευσης (12 γεγονότα άρδευσης κατά το 2012) (Πίνακας 18). Σε ό,τι αφορά στη μείωση της συγκεντρώσεως του

εδαφικού Mg^{2+} στον ορίζοντα 60-90 cm, για την εφαρμογή του ΕΥΑΑ, αλλά και εν γένει στις μορφές των κατατομών (Σχήμα 30 γ) , αυτό μπορεί να οφείλεται στην απορρόφηση, του Mg^{2+} από την καλλιέργεια. Σημειώνεται ότι και σε αυτή την περίπτωση η θρεπτική κατάσταση των φύλλων των ελαιοδένδρων που αρδεύθηκαν με ΕΥΑΑ ήταν καλύτερη $\left(C_{Mg-ΕΥΑΑ}^{Φύλλα-2012} = 0{,}22\%\right)$, από την αντίστοιχη των φύλλων που αρδεύθηκαν με ΚΝ $\left(C_{Mg-ΚΝ}^{Φύλλα-2012} = 0{,}12\%\right)$, αν και το ΚΝ, όπως αναφέρθηκε, προσέθετε μεγαλύτερες ποσότητες Mg^{2+} στο έδαφος, ανά άρδευση (Πίνακας 75).



Σχήμα 29 Διαγραμματική απεικόνιση των μεταβολών της κατατομής των μέσων τιμών της συγκέντρωσης εδαφικού Mg^{2+}, ανά εφαρμογή (ΕΥΑΑ και ΚΝ), στις τέσσερις χρονικές στιγμές δειγματοληψίας

3. Μεταξύ των χρονικών στιγμών Σεπτεμβρίου 2012 και Ιουνίου 2013, διαπιστώνεται μείωση της συγκέντρωσης του Mg^{2+} σε όλους του ορίζοντες και στις δύο εφαρμογές (Πίνακας 40) (Σχήμα 29). Το γεγονός αυτό θα μπορούσε να αποδοθεί στην απομάκρυνση Mg^{2+} από την εδαφική κατατομή με την κίνηση του νερού του εποχικά εμφανιζόμενου υπόγειου υδροφόρου στρώματος.

Πίνακας 41 Μέσες τιμές συγκεντρώσεως Mg^{2+} στο έδαφος (meq/100 gr εδάφους), ανά εφαρμογή, στην αρχή και στο τέλος του πειράματος

Βάθος (cm)	Είδος Αρδευτικού Νερού	Ιουν 2011	Ιουν 2013	R^2	CV	Prop
0-30	**ΚΝ**	2.393	3.062	0,41	0.47	0.4056 ^{μσ}
	ΕΥΑΑ	2.848	2.817	0.75	0.26	0.9428 ^{μσ}
30-60	**ΚΝ**	1.953	2.127	0.24	0.25	0.5736 ^{μσ}
	ΕΥΑΑ	2.228	2.555	0.94	0.13	0,1313 ^{μσ}
60-90	**ΚΝ**	2.007	2.437	0.40	0.29	0.3121 ^{μσ}
	ΕΥΑΑ	2.295	2.238	0.84	0.13	0.7417 ^{μσ}

(^{μσ}= μη σημαντικό, *= P<0,05 **=P < 0,01, *** = P < 0001)

Από τον Πίνακα 41, όπου εμφανίζονται τα αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας μεταξύ έναρξης και λήξης του πειράματος, ανά ορίζοντα και εφαρμογή, διαπιστώνεται ότι δεν υπήρξε στατιστικώς σημαντική διαφορά, μεταξύ έναρξης και λήξης του πειράματος, στη συγκέντρωση του εδαφικού Mg^{2+}, σε όλους τους ορίζοντες. Το εύρημα αυτό έρχεται σε αντίθεση με τα όσα ανέφεραν οι Heidarpour, et al., (2007), σύμφωνα με τους οποίους, παρατηρήθηκε αύξηση του Mg^{2+}, εξαρτώμενη από τον τρόπο εφαρμογής του αποβλήτου, στα επιφανειακά στρώματα. Η παρατηρηθείσα αύξηση από τους συγκεκριμένους ερευνητές, έναντι των δικών μας ευρημάτων, μπορεί να εξηγηθεί από τη διαφορά στην κοκκομετρία του εδάφους του πειραματικού τους αγρού. Συγκεκριμένα η κοκκομετρία του εδάφους του αγρού, στον οποίο πειραματίσθηκαν, ήταν άργιλος 71%, ιλύς 27% και άμμος 2%, σε αντίθεση με την κοκκομετρία του δικού μας πειραματικού αγρού, η οποία είναι άργιλος 45,43%, ιλύς 26,18% και άμμος 28,51%.

Αντιθέτως οι Bedbabis et al., (2010b) αναφέρουν μείωση του Mg^{2+} σε όλα τα εδαφικά στρώματα στο τέλος της τετραετίας, που διήρκησε το πείραμα. Τη μείωση αυτή την απέδωσαν σε κατακρήμνιση του Mg^{2+} με τη μορφή του μαγνεσίτη και του χλωριούχου μαγνησίου. Στην περίπτωσή μας, δεν μπορεί να αποκλειστεί η κατακρήμνιση Mg^{2+}, δεδομένου ότι και τα δύο αρδευτικά ύδατα είχαν ικανή συγκέντρωση χλωρίου και συγκεκριμένα η περιεκτικότητα σε Cl^- του ΚΝ για το 2011 ήταν $\left(MO_{C_{Cl-KN}}^{2011} = 28.57\ \frac{\text{mgr}}{\text{lt}}\right)$, έναντι $\left(\text{MO}_{\text{C}_{Cl-\text{ΕΥΑΑ}}}^{2011} = 44.66\ \frac{\text{mgr}}{\text{lt}}\right)$, που ήταν η συγκέντρωση του Cl^- στο ΕΥΑΑ (Πίνακας 18). Σε ό,τι αφορά στο 2012 η συγκέντρωση Cl^- σε ΚΝ και ΕΥΑΑ ήταν $\left(MO_{C_{Cl-KN}}^{2012} = 22{,}25\ \frac{\text{mgr}}{\text{lt}}\right)$ και $\left(\text{MO}_{\text{C}_{\text{Cl}-\text{ΕΥΑΑ}}}^{2012} = 49.00\ \frac{\text{mgr}}{\text{lt}}\right)$, αντιστοίχως (Πίνακας 18). Μείωση επίσης αναφέρουν και οι Qian & Mecham, (2005) στη συγκέντρωση Mg^{2+} στο έδαφος που αρδευόταν με ΕΥΑΑ, έναντι του αντίστοιχου που αρδευόταν με ΚΝ, κατά 15%, αν και το ΕΥΑΑ περιείχε τη διπλάσια ποσότητα Mg^{2+}, έναντι του ΚΝ. Το γεγονός αυτό το απέδωσαν, τόσο στην κάλυψη μέρους της ΙΑΚ από το Na^+ των ΕΥΑΑ, όσο και από το γύψο που προσέθεσαν, αφού και το Ca^{2+} υποκαθιστά το Mg^{2+} και έτσι δεν εμφανίστηκε στο έδαφος η μεγάλη ποσότητα Mg^{2+}, που υπήρχε στα ΕΥΑΑ.

2.2.3. Συμπεράσματα

Στα προηγούμενα υποκεφάλαια εξετάσθηκε η μεταβολή μίας σειράς χημικών εδαφικών παραμέτρων (EC, pH, $CaCO_3$, Οργανική Ουσία, Na^+, K^+ και Mg^{2+}), σε σχέση με σειρά παραγόντων. Ειδικότερα, η μεταβολή κάθε ιδιότητας εξετάσθηκε σε σχέση με:

- ✓ την έναρξη και λήξη κάθε περιόδου, όπως και του πειράματος συνολικά, για κάθε εφαρμογή και ορίζοντα.
- ✓ το βάθος δειγματοληψίας, για κάθε χρονική στιγμή δειγματοληψίας και εφαρμογή
- ✓ τις δύο εφαρμογές, για κάθε χρονική στιγμή και βάθος δειγματοληψίας.

Από τις πιο πάνω μεταβολές, οι οποίες αναλύθηκαν σε προηγούμενες υποενότητες, η τελευταία είναι αυτή που έχει και το μεγαλύτερο ενδιαφέρον, δεδομένου ότι αυτή έχει να κάνει με τις μεταβολές που προκύπτουν, λόγω των διαφορών των δύο εφαρμοζόμενων αρδευτικών υδάτων. Συγκεκριμένα, δεν διαπιστώθηκε στατιστικώς σημαντική διαφορά μεταξύ των εδαφών των δύο εφαρμογών σε καμία από τις πιο πάνω μετρηθείσες παραμέτρους, με εξαίρεση το Na^+. Σχετικά με το Na^+ ,προέκυψαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των εδαφών των δύο εφαρμογών στον

ορίζοντα 0-30 cm, μετά την πρώτη αρδευτική περίοδο (Σεπτέμβριος 2011), δίνοντας μεγαλύτερες συγκεντρώσεις Na^+ τα εδάφη που αρδεύτηκαν με ΕΥΑΑ. Η παρατηρηθείσα διαφορά διατηρήθηκε στον ορίζοντα 0-30 cm αλλά και επεκτάθηκε στον ορίζοντα 30-60 cm, μετά το πέρας της βροχερής περιόδου (Ιούνιος 2012). Τέλος, η διαφορά αυτή και στους δύο ορίζοντες διατηρήθηκε και ενισχύθηκε, με την παρέλευση και της δεύτερης αρδευτικής περιόδου (Ιούνιος 2012).

Διαπιστώνει κανείς λοιπόν, ότι μετά από δύο χρόνια άρδευσης με ΕΥΑΑ και με ΚΝ, δεν προκύπτουν γενικά στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο εφαρμογών, ανά ορίζοντα και χρονική στιγμή. Η εικόνα αυτή όμως δεν είναι απολύτως ακριβής και άποψή μας είναι ότι κατ' αρχήν έγινε καταγραφή μίας αυξητικής πορείας αυτών των παραμέτρων, που δεν αποτυπώθηκε με στατιστικώς σημαντική διαφορά διότι:

Επέδρασε ο εποχικά εμφανιζόμενος υπόγειος υδροφόρος, μεταβάλλοντας τις σχετικές κινήσεις και κινητικές των εξετασθέντων στοιχείων.

Εφαρμόσθηκαν δύο αρδευτικά ύδατα, που ήταν «καλής» ποιότητας και τα οποία, τουλάχιστον κατά την πρώτη αρδευτική περίοδο, βελτίωσαν τα χαρακτηριστικά της εδαφικής κατατομής, ως αποτέλεσμα εκπλύσεως. Υπενθυμίζεται ότι επί της ουσίας επρόκειτο για έναν ακαλλιέργητο αγρό, του οποίου τα χαρακτηριστικά της εδαφικής κατατομής είχαν διαμορφωθεί, ως αποτέλεσμα της χειμερινής βροχόπτωσης, της ανοδικής και καθοδικής, εποχικά, κίνησης της επιφάνειας του υποεπιφανειακού υδροφόρου, της εξατμισοδιαπνοής και των ριζών.

Επέδρασε η καλλιέργεια της ελιάς, όπως στην περίπτωση του K^+, όπου η αύξησή του αποτυπώθηκε στην αύξηση της συγκέντρωσής του σε φύλλα και καρπούς, κάτι που παρατηρήθηκε και για άλλα στοιχεία, όπως ο Fe και το B (βλέπε 3.2.2., 3.2.3. και 3.3.

Στοιχεία απομακρύνθηκαν από την εδαφική κατατομή με την υποχώρηση του υποεπιφανειακού υδροφόρου στρώματος, όπως π.χ. το K^+.

Προς επίρρωση των απόψεών μας, ας πάρουμε την χρονική στιγμή του Σεπτεμβρίου του 2012, δηλαδή μετά και το πέρας της δεύτερης αρδευτικής περιόδου. Με την εκτεθείσα δειγματοληψία και ανάλυση, δεν διαπιστώνεται στατιστικώς σημαντική διαφορά για καμία από της παραμέτρους που εξετάσθηκαν και για κανένα ορίζοντα, μεταξύ των εδαφών των δύο εφαμρογών, με εξαίρεση το Na^+, όπως ειπώθηκε, για το οποίο οι αναλύσεις έδειξαν στατιστικώς μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στους ορίζοντες 0-30 και 30-60 cm του εδάφους, που αρδεύτηκε με ΕΥΑΑ, ένατι αυτού που αρδεύθηκε με ΚΝ. Η εικόνα όμως είναι τελείως διαφορετική, αν επικεντρωθούμε στα ανώτερα 10 cm των δύο εφαρμογών.Συγκεκριμένα, σε πείραμα που περιγράφεται στο υποκεφάλαιο 2.4 (δες Πίνακα που ακολουθεί), ελήφθησαν αδιατάρακτα 24 δείγματα (12 από κάθε εφαρμογή). Τα δείγματα αυτά προήλθαν από τα ανώτερα 10 cm του εδάφους και ελήφθησαν χρονικά μετά τη $2^η$ αρδευτική περίοδο (Σεπτέμβριος 2012). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των αναλύσεων που διενεργήθηκαν, παρατηρείται στατιστικώς σημαντική διαφορά για όλες τις παραμέτρους που αναφέρθηκαν, εκτός του $CaCO_3$ και της οργανικής ουσίας. Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η εφαρμογή του ΕΥΑΑ για άρδευση προξένησε μεταβολές σε χημικές ιδιότητες του εδάφους στα επιφανειακά 10 cm, οι οποίες δεν αποτυπώθηκαν σε εδαφικά δείγματα που περιλάμβαναν εδαφικό υλικό από μεγαλύτερο βάθος. Το εάν και κατά πόσο αυτή η επίδραση του ΕΥΑΑ θα επεκταθεί και στα βαθύτερα στρώματα μετά από σειρά κύκλων

βροχόπτωσης-άρδευσης με ΕΥΑΑ είναι εξάρτηση σειράς παραγόντων που αναφέρθηκαν στις προηγούμενες υποενότητες.

Πίνακας Στατιστική ανάλυση εδαφικών χαρακτηριστικών ανά εφαρμογή (ΕΥΑΑ και ΚΝ) (μέρος του **Πίνακα 67** που παρουσιάζεται στο υποκεφάλαιο 2.4)

Παράμετρος	**ΕΥΑΑ**	**ΚΝ**	**R^2**	**CV%**	**Prob>F**
pH	**7.83**	**7.41**	**0.63**	**2.5%**	**<0.0001*** **
Οργανική Ουσία (%)	2,86	2,96	0,13	21%	0,5852 μσ
$CaCO_3$ (%)	0,63	0,50	0,34	100%	0,4311 μσ
ECe (μS/cm)	**1392**	**1179**	**0,50**	**12,6%**	**<0.0001*** **
K^+ (mgr·kg^{-1})	**5,9**	**5,0**	**0,29**	**19,4%**	**0,0043** **
Na^+ (mgr·kg^{-1})	**7,08**	**4,66**	**0,71**	**16,7%**	**<0.0001*** **
Mg^{2+} (mgr·kg^{-1})	**17,1**	**15,2**	**0,35**	**9,7%**	**<0.0001*** **

2.3. Ισοζύγιο νερού στην εδαφική κατατομή

Η άρδευση ήταν από τους πρώτους παράγοντες που έτυχαν του ερευνητικού ενδιαφέροντος προς την κατεύθυνση της προσθήκης της ακριβούς ποσότητας που απαιτείται, ώστε να μην υπάρχει σπατάλη νερού. Από πολύ νωρίς, οι ερευνητές Mead, (1887), Mills, (1895) και Buffum, (1900) επιχείρησαν να προσδιορίσουν με ακρίβεια τις απαιτούμενες ποσότητες νερού για άρδευση, σε διάφορες καλλιέργειες. Έτσι, εισήχθησαν έννοιες, όπως η δυνητική εξατμισοδιαπνοή (Thornthwaite, 1942), η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς (Wright & Jensen, 1973; Jensen, 1974; Doorenbos & Pruitt, 1977a ,1977b), σε μία προσπάθεια να προσδιοριστούν οι ανάγκες των καλλιεργειών σε νερό. Στο πλαίσιο αυτό, διάφορες μέθοδοι αναπτύχθηκαν, με σκοπό τον προσδιορισμό του νερού που εξατμισοδιαπνέεται, οι οποίες ομαδοποιούνται σε άμεσες και έμμεσες (Παπαζαφειρίου, 1999) και (Παπαμιχαήλ & Μπαμπατζιμόπουλος, 2014). Αρωγός σε αυτή την προσπάθεια υπήρξε η εξέλιξη της τεχνολογίας, όπου, μεταξύ άλλων, με την ανάπτυξη αισθητήρων κατέστη δυνατό να προσδιορίζονται με ακρίβεια παράμετροι, που αφορούν, είτε στις έμμεσες μεθόδους, είτε στις άμεσες. Όπως και να έχει όμως, η προσπάθεια της δημιουργίας μίας επιφάνειας εξατμισοπιαπνοής και η παρακολούθηση των παραμέτρων που εμπλέκονται στο φαινόμενο είναι δύσκολη, οικονομικά ασύμφορη και προσεγγίζουν την πραγματικότητα σε πολύ μικρή κλίμακα (Σταχτέας, 1998).

Η εξατμισοδιαπνοή ως όρος συμπεριλαμβάνει δύο φαινόμενα. Το πρώτο είναι η εξάτμιση νερού απευθείας από την επιφάνεια του εδάφους, ενώ το δεύτερο είναι η διαπνοή δηλαδή απώλεια νερού από την καλλιέργεια ή εν γένει από τη φυτική βλάστηση, μέσω των στοματίων.

Ο Philip, (1957) τεκμηρίωσε θεωρητικά την ύπαρξη τριών σταδίων, κατά την εξάτμιση εδαφικού νερού από την επιφάνεια γυμνού εδάφους, υπό συνθήκες σταθερών ατμοσφαιρικών συνθηκών και η υπόγεια στάθμη του νερού εντοπίζεται πολύ βαθιά και δεν επηρεάζει την διαδικασία της εξάτμισης. Τα στάδια αυτά είχαν ήδη τεκμηριωθεί πειραματικά στο εργαστήριο από τους Fisher, (1923) και Penman, (1941), ενώ οι Idso, et al., (1974) απέδειξαν την ύπαρξη και των τριών σταδίων, κάτω από συνθήκες ξήρανσης στο αγρό. Συγκεκριμένα, τα τρία αυτά στάδια έχουν ως ακολούθως (Hillel, 1998):

Στο πρώτο στάδιο ο ρυθμός εξάτμισης είναι σχετικά σταθερός και σχεδόν ίδιος με τον μέγιστο ρυθμό εξάτμισης ο οποίος επιβάλλεται αποκλειστικά από τις εξωτερικές ατμοσφαιρικές συνθήκες. Η εξατμιζόμενη ποσότητα λοιπόν καθορίζεται αποκλειστικά από μετεωρολογικές-περιβαλλοντικές συνθήκες. Η διάρκεια αυτού του σταδίου είναι μικρή και μπορεί να κυμαίνεται από μερικές ώρες μέχρι και μερικές μέρες, εξαρτώμενη από τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας του εδάφους, όπως ανακλαστικότητα, απορροφητικότητα κ.λ.π. και συνεπώς από κάθε παρέμβαση που μπορεί να μεταβάλλει αυτές τις ιδιότητες, όπως καλλιέργεια του εδάφους, κάλυψη με υπολείμματα της καλλιέργειας, καταστροφή ζιζανίων με χορτοκοπή κ.λ.π.

Το δεύτερο στάδιο (στάδιο μειούμενου ρυθμού, στάδιο απώλειας νερού ρυθμιζόμενο από το έδαφος) είναι εκείνο το στάδιο, κατά το οποίο η εξατμιζόμενη ποσότητα από την επιφάνεια του εδάφους καθορίζεται από τον ρυθμό που το έδαφος μπορεί να παροχετεύσει νερό ανοδικά, μέσω της εδαφικής κατατομής και όχι από τον

ρυθμό, με τον οποίο μπορεί η ατμόσφαιρα να εξατμίσει, δηλαδή καθορίζεται από την τιμή της κλίσης του υδραυλικού φορτίου και τη σχέση της υδραυλικής αγωγιμότητας του εδάφους, με το φορτίο πίεσης του εδαφικού νερού (Η). Η διάρκεια αυτού του σταδίου είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή του πρώτου σταδίου.

Το τρίτο στάδιο (στάδιο μειωμένου ρυθμού) (στάδιο διάχυσης ατμού) είναι εκείνο το στάδιο, κατά το οποίο έχει πλέον καταστεί ξηρή, η επιφάνεια του εδάφους τόσο που δεν υπάρχει κίνηση νερού εντός αυτής σε υγρή μορφή, αλλά μόνο σε αέρια, μέσω διάχυσης, αφού το επίπεδο εξάτμισης έχει υποχωρήσει κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Η διάρκεια αυτού του σταδίου μπορεί να είναι από μέρες έως και μήνες.

Να σημειωθεί ότι στα δύο πρώτα στάδια η εξάτμιση συμβαίνει στο ανώτερο 1 cm του εδάφους, όπου γίνεται και η συγκέντρωση των αλάτων, ενώ σε προχωρημένο στάδιο και πάλι το στρώμα, από το οποίο γίνεται η εξάτμιση, είναι πάχους ενός εκατοστού, απλά τότε έχει υποχωρήσει κάτω από την επιφάνεια του εδάφους (Marshall, et al., 1996). Με άλλα λόγια, η μετατροπή του νερού από υγρή σε αέρια φάση γίνεται σε ένα διακριτό επίπεδο, το οποίο καλείται μέτωπο ξήρανσης κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, το οποίο με την πρόοδο του φαινομένου κινείται βαθύτερα. Το νερό μέχρι το μέτωπο ξήρανσης κινείται ανοδικά ως υγρό, στο μέτωπο, μετατρέπεται από υγρό σε αέριο και στα υπερκείμενα στρώματα, κινείται μέσω της διάχυσης των ατμών (Hillel, 1998).

Πρέπει να σημειωθεί ότι τα ανωτέρω αναφέρονται σε συνθήκες σταθερών ατμοσφαιρικών συνθηκών, οι οποίες είναι δύσκολο να υπάρξουν στο πεδίο, καθόσον οι αιτίες ανάπτυξης κλίσεων μεταβάλλονται με το χρόνο π.χ. μέρα – νύχτα, αλλά και εντός της ημέρας, ηλιοφάνεια, ένταση ανέμου κ.λπ..

Το φαινόμενο της εξάτμισης σε γυμνό έδαφος εξελίσσεται διαφορετικά, όταν υπάρχει υπόγειο υδροφόρο στρώμα, ώστε να τροφοδοτείται από αυτό η κατατομή. Η όλη εξέλιξη του φαινομένου έχει να κάνει με το συνδυασμό του βάθους που βρίσκεται η ελεύθερη επιφάνεια του υδροφόρου στρώματος και της μύζησης που μπορεί να αναπτυχθεί στην επιφάνεια του εδάφους, πάντα σε σχέση με τη δυνατότητα του εδάφους να τροφοδοτήσει αυτή την απώλεια νερού. Έτσι, το βάθος που βρίσκεται η ελεύθερη επιφάνεια του υδροφόρου στρώματος, σε συνδυασμό με τις σχέσεις Κ-Θ-Η της εδαφικής κατατομής, προσδιορίζουν ποιες από τις δύο διαδικασίες εξάτμισης έχει την χαμηλότερη τιμή και συνεπώς ρυθμίζει την εξατμιζόμενη ποσότητα νερού ως περιοριστικός παράγοντας (Hillel, 1998). Συγκεκριμένα, εάν το υδροφόρο στρώμα είναι κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, τότε η εξατμιζόμενη ποσότητα καθορίζεται από τη δυνατότητα της ατμόσφαιρας να εξατμίζει, ενώ, αν το βάθος αυτό είναι μεγάλο, τότε η εξατμιζόμενη ποσότητα καθορίζεται από τη δυνατότητα της κατατομής που μεσολαβεί (κλίση υδραυλικού φορτίου και ακόρεστη υδραυλική αγωγιμότητα) να τροφοδοτήσει την επιφάνεια εξάτμισης. Γίνεται λοιπόν αντιληπτό ότι το εάν θα εμφανισθεί ή όχι δεύτερο στάδιο εξάτμισης υπό συνθήκες σταθερής κατάστασης, σε ό,τι αφορά στην εξάτμιση, εξαρτάται από το βάθος του υδροφόρου και το είδος του εδάφους. Και σε αυτή την περίπτωση, στο πεδίο είναι αδύνατο να καταστούν συνθήκες σταθερής κατάστασης, διότι, πέραν των όσων έχουν αναφερθεί ανωτέρω, υπάρχει και η διακύμανση της θέσης της ελεύθερης επιφάνειας του υδροφόρου στρώματος.

Πρέπει να σημειωθεί ότι σε κάθε περίπτωση η εξάτμιση που καταγράφεται από ένα γυμνό έδαφος είναι μικρότερη από την εξατμισοδιαπνοή και αυτό συμβαίνει διότι συνεισφέρουν στην απομάκρυνση νερού από την εδαφική κατατομή τα φυτά, τα οποία, μέσω του ριζικού τους συστήματος, εκμεταλλεύονται την υγρασία βαθύτερων στρωμάτων (Allen, et al., 1998, Miyazaki, 2002).

Σε κάθε περίπτωση, η παρουσία υδροφόρου ορίζοντα σε μικρό βάθος, από την επιφάνεια του εδάφους, μπορεί να τροφοδοτήσει τις καλλιέργειες, συμβάλλοντας σημαντικά στην αύξηση της απόδοσής τους σε ημίξηρες περιοχές (Sepaskhah, et al., 2003), από τη μια μειώνοντας τις απαιτήσεις για άρδευση (Saini & Ghildyal, 1977; Ragab & Amer, 1986; Guitjens, 1990; Ayars & Hutmacher, 1994), ενώ από την άλλη μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα αλατότητας (Rhoades & Loveday, 1990; Hillel, 1998). Πειράματα σχετικά με την συνεισφορά του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα στην ανάπτυξη των φυτών έχουν υλοποιηθεί κυρίως με λυσίμετρα (Kang et al., 2001; Stenitzer, et al., 2007; Luo & Sophocleous, 2010; Ghamarnia, et al., 2013).

Ακολούθως, γίνεται προσπάθεια διαπίστωσης της κίνησης του εδαφικού ύδατος, είτε προς την κατεύθυνση της συνεισφοράς στην εξατμισοδιαπνοή (ανοδικά) , είτε αντιθέτως (καθοδικά) τροφοδοτώντας τον υδροφόρο ορίζοντα. Επιχειρείται η απόδειξη αυτής τη κίνησης, μέσω της χρησιμοποίησης δύο ανεξάρτητων μεθοδολογιών υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής, ήτοι με τη χρήση μετεωρολογικών δεδομένων (μέθοδος FAO-56) και με τη χρήση κατατομών εδαφικής υγρασίας (μέθοδος ισοζυγίου). Περαιτέρω, η σχετική κίνηση του νερού τεκμηριώνεται με δεδομένα κλίσεων υδραυλικού φορτίου που αντλούνται είτε από τις ΧΚΥ της κατατομής στα σημεία, όπου βρίσκονται οι αισθητήρες δηλαδή, εκει που υπάρχουν συγχρόνως τιμές της εδαφικής υγρασίας, Θ, είτε από δεδομένα πλακιδίων Βουγιούκου, τα οποία είχαν τοποθετηθεί στην κατατομή.

2.3.1. Υλικά και Μέθοδοι

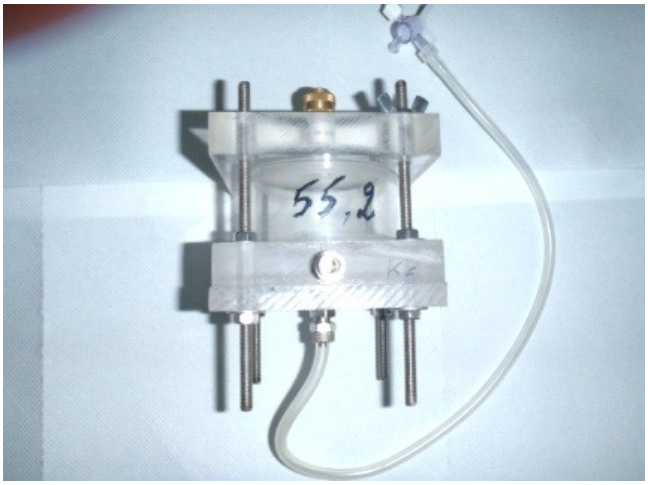
Ο πειραματικός αγρός, στον οποίο υλοποιήθηκε το πείραμα έχει περιγραφεί στην ενότητα 1.4.1.2. Στο αγροτεμάχιο αυτό, λόγω γειτνίασης με τον Ευρώτα, εμφανίζεται εποχικός υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου. Βάσει αυτών, έχει διατυπωθεί η εκτίμηση ότι συνεισφέρει στην εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας.

2.3.1.1. Χαρακτηριστικές Καμπύλες Υγρασίας (ΧΚΥ) Κατατομής

Κατά την ορχική εγκατάσταση των οργάνων στα διάφορα βάθη (Εικόνα 3β) , ελήφθησαν αδιατάρακτα δείγματα εδάφους, με χρήση εδαφολήπτη, στον οποίο μπορούσε να ενσωματωθεί ο πλαστικός δακτύλιος των κυττάρων, διάταξη που εμφανίζεται στην Εικόνα 5.

Εικόνα 5 Ο δειγματολήπτης αδιατάρακτου με τα τμήματά του καθώς και ο πλαστικός περιέκτης με τα χαρακτηριστικά του.

Για τον προσδιορισμό των ΧΚΥ χρησιμοποιήθηκαν κύτταρα πίεσης, με κεραμική πλάκα 2.5 bar, τα οποία κατασκευάστηκαν στο μηχανουργείο του ΓΠΑ.

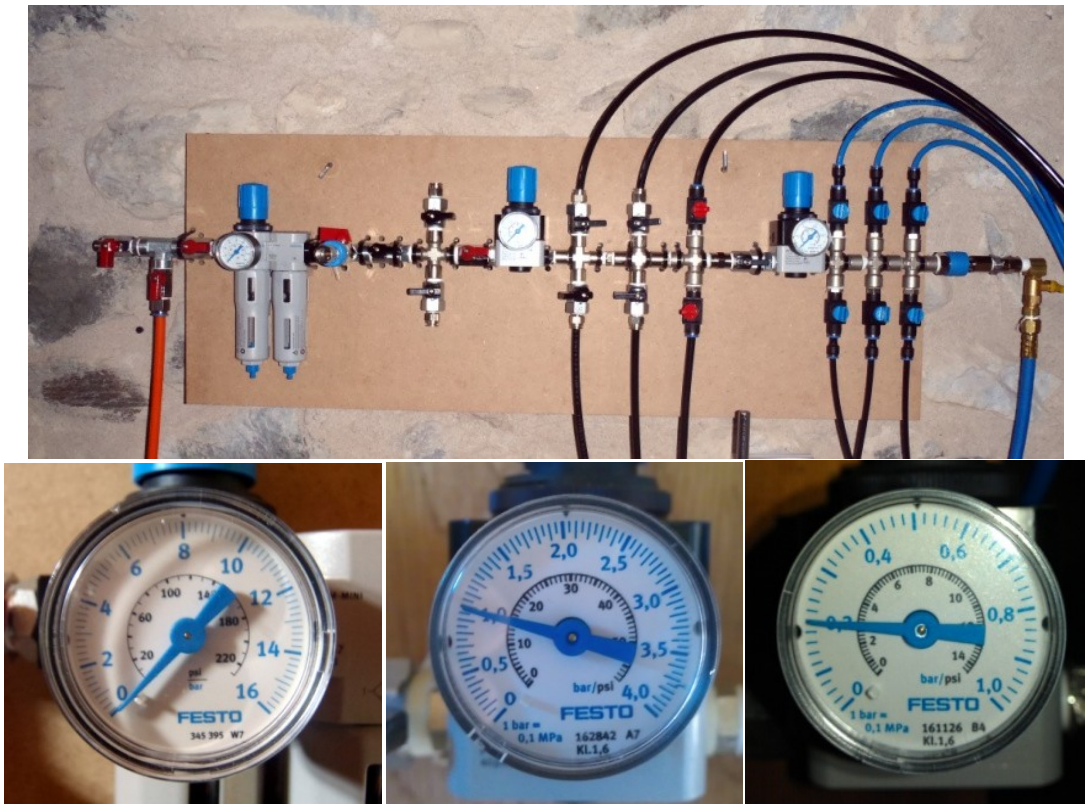


Εικόνα 6 Κύτταρο πίεσης με τα εξαρτήματά του

Ως πηγές αέρα υπό πίεση, χρησιμοποιήθηκε ένας ηλεκτρικός αεροσυμπιεστής, με αεροθάλαμο, με δυνατότητα διατήρησης πίεσης στις 6 Atm.

Εικόνα 7 Αεροσυμπιεστής

Η διάταξη ρύθμισης πίεσης αποτελείτο από ζεύγος υδατοπαγίδας και ελαιοπαγίδας και από τρεις ρυθμιστές ακριβείας, διαφορετικού εύρους ρύθμισης, ο καθένας.



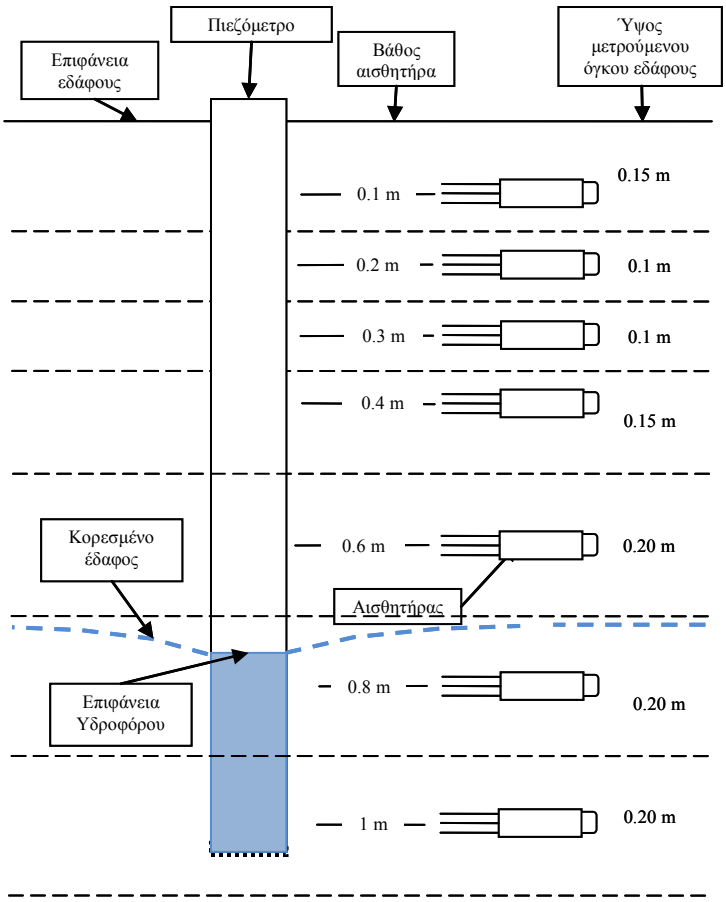
Εικόνα 8 Γραμμή ρύθμισης πίεσης για τον ηλεκτρικό αεροσυμπιεστή και ρυθμιστές πίεσης

Η διαδικασία προσδιορισμού των ΧΚΥ των εδαφικών αδιατάρακτων δειγμάτων με κύτταρα πίεσης περιγράφεται σε αρκετά συγγράμματα, όπως (Or & Wraith, 2004; Lu. & Likos, 2002; και Klute, 2006). Ακολούθως, στα πειραματικά σημεία έγινε προσαρμογή αναλυτικής σχέσης Θ(Η) , με τη χρήση του προγράμματος RETC (van Genuchten, et al., 1991).

2.3.1.2. Κατατομές εδαφικής υγρασίας και τιμές υπόγειας στάθμης

Περίπου 1 m μακριά από το όρυγμα της Εικόνας 3α, στο οποίο είχαν τοποθετηθεί αισθητήρες υγρασίας ML2 (Delta-T, 1999), στα βάθη (-10, -20, -30 ,-40, -60, -80 και -100) (Εικόνα 3β) , εγκαταστάθηκε πιεζόμετρο κατά την έννοια του Σχήματος 31.

Ο υπολογισμός των μεταβολών του ύψους νερού στην εδαφική κατατομή, για τα εξεταζόμενα χρονικά διαστήματα (16/3/2013 έως 28/3/2013 και 16/6/2014 έως 31-8-2014) , γίνεται θεωρώντας ότι οι μετρήσεις του κάθε αισθητήρα αντιπροσωπεύουν ύψος εδάφους, όπως φαίνεται στο Σχήμα 31.



Σχήμα 30. Σχηματική παρουσίαση του πιεζόμετρου και των αισθητήρων εδαφικής υγρασίας (Μπουραζάνης, Αργυροκαστρίτης, & Κερκίδης, 2015)

Το ύψος νερού εντός της κατατομής υπολογίζεται με την εξίσωση:

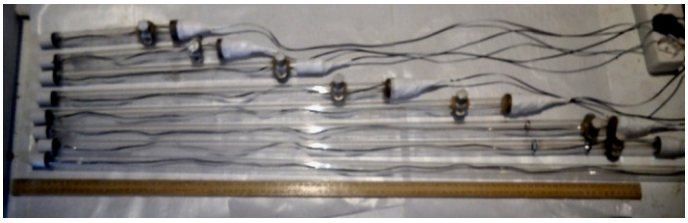
$$\mathbf{I} = \sum_{i=1}^{7}(\Theta_{si} * d_{si}) \qquad (1)$$

όπου: I είναι το συνολικό ύψος νερού της κατατομής, Θ_{si} είναι το ύψος νερού που αντιστοιχεί στην μετρούμενη υγρασία κάθε αισθητήρα (i=1-7 με 1° τον υποεπιφανειακό αισθητήρα και 7° αυτόν που βρίσκεται στο 1 m)) και d_{si} είναι το πάχος του εδάφους που θεωρούμε ότι αντιπροσωπεύει η μέτρηση του κάθε αισθητήρα (d_{s1}= d_{s4}=15 cm, d_{s2}=d_{s3}=10 cm, ds5=d_{s6}=d_{s7}=20 cm).

2.3.1.3. Κατατομές αρνητικής πίεσης

Στο ίδιο σημείο του πειραματικού αγρού και σε ίδια βάθη δηλαδή (-10, -20, -30, -40, -60, -80, -100 cm) τοποθετήθηκαν πλακίδια Βουγιούκου της εταιρείας Delmhorst (Delmhorst, 1999) (Εικόνα 9) , αφού είχαν προηγουμένως, κατάλληλα βαθμονομηθεί εργαστηριακά, δηλαδή είχε εξευρεθεί η σχέση R=f(H), όπου R= η ηλεκτρική αντίσταση του πλακιδίου στο κάθε ποσοστό υγρασίας, κάτω από το συγκεκριμένο, εκάστοτε επιβαλλόμενο φορτίο πίεσης. Τα πλακίδια, πρώτα ενσωματώθηκαν στην άκρη σωλήνων στην άκρη σωλήνων από διάφανο πλαστικό (Εικόνα 10), ώστε η εγκατάστασή τους να είναι δυνατό να γίνει με δειγματολήπτη εδάφους

Εικόνα 9 Πλακίδια Βουγιούκου της εταιρείας Delmhorst



Εικόνα 10 Πλακίδια Βουγιούκου τοποθετημένα στην άκρη διάφανων πλαστικών σωλήνων πριν τοποθετηθούν στο έδαφος.

Η συνολική εγκατάσταση των οργάνων που χρησιμοποιήθηκαν εμφανίζεται στην εικόνα 11:

Εικόνα 11 Πλακίδια Βουγιούκου (Α), πιεζόμετρο (Β), όρυγμα (Γ)

Να σημειωθεί ότι κατατομές αρνητικής πίεσης ήταν εφικτό να προσδιορισθούν και εμμέσως με τη χρήση της ΧΚΥ. Συγκεκριμένα, μέσω της ΧΚΥ που είχε προσδιορισθεί για αδιατάρακτο εδαφικό δείγμα, που είχε ληφθεί κατά την εγκατάσταση του αισθητήρα υγρασίας, σε κάποιο βάθος, ήταν δυνατό να εξαχθεί η αρνητική πίεση που αντιστοιχούσε στην τιμή της εδαφικής υγρασίας που μας έδινε ο αισθητήρας αυτός, Για να ισχύσει αυτό, προϋπόθεση είναι να αποφευχθεί ή να ληφθεί υπόψη η επίδραση του φαινομένου της υστέρησης. Για την επίτευξη του, έγινε προσπάθεια λήψης τιμών φορτίου πίεσης, τέτοιων που να εξασφαλίζεται αυτή η προυπόθεση, δηλαδή ελήφθησαν τέτοιες χρονικές στιγμές που αντιστοιχούσαν στον οριακό κλάδο αποστράγγισης και αυτό μπορούσε να εξασφαλισθεί με την λήψη μετρήσεων φορτίου πίεσης, Η, στις κατάλληλες συνθήκες, πράγμα που προϋπέθετε απομάκρυνση της στάθμης, σε βάθος μεγαλύτερο του 1 μέτρου.

2.3.1.4. Υπολογισμός εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας (ETc) με τη μέθοδο του υδατικού ισοζυγίου

Η εξατμισοδιαπνοή μπορεί να υπολογισθεί με τη μέθοδο του υδατικού ισοζυγίου, η οποία συνοψίζεται στην εξίσωση που ακολουθεί:

$$\mathbf{ETc = P + Ir - (SRO + DP) \pm \Delta I} \qquad (2)$$

όπου: ETc = ύψος νερού, που απομακρύνεται από την εδαφική κατατομή, με την εξατμισοδιαπνοή, για το υπό μελέτη χρονικό διάστημα Δt

P = ύψος βροχόπτωσης, που δέχεται το αγροτεμάχιο, για το υπό μελέτη χρονικό διάστημα Δt

Ir = ύψος νερού άρδευσης, που δέχεται το αγροτεμάχιο, για το υπό μελέτη χρονικό διάστημα Δt

SRO = ύψος νερού επιφανειακής απορροής στην έξοδο του αγροτεμαχίου, για το υπό μελέτη χρονικό διάστημα Δt

DP = ύψος νερού βαθειάς διήθησης και

ΔI = ύψος νερού, όπως υπολογίζεται από τη διαφορά στις κατατομές υγρασίας, στην αρχή και στο τέλος του χρονικού διαστήματος. Αυτό μπορεί να είναι θετικό (αύξηση) ή αρνητικό (μείωση) ή και μηδενικό.

2.3.1.5. Υπολογισμός εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας (ETc) κατά FAO-56

Η λήψη μετεωρολογικών δεδομένων έγινε από σταθμό του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (http://penteli.meteo.gr/stations/sparti/), που βρίσκεται στο Διοικητήριο Λακωνίας (2° χλμ Σπάρτης - Γυθείου) και απέχει 1.300 m από τον πειραματικό αγρό. Ο υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς, ETo, με τη μέθοδο Penman-Monteith τροποποιημένη κατά FAO (Allen, et. al., 1998) απαιτεί ως δεδομένα: τη μέγιστη, μέση και ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία ατμόσφαιρας, την ατμοσφαιρική υγρασία, την ταχύτητα ανέμου, τη βροχόπτωση, την ακτινοβολία, το στίγμα του σταθμού και το υψόμετρό του και οι υπολογισμοί γίνονται με το ακόλουθο τυπολόγιο.

$$\mathbf{ET_o = \frac{0{,}408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T_{mean}+273} \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0{,}34 \cdot u_2)}} \qquad (3)$$

όπου:

ET_o= Εξατμισοδιαπνοή αναφοράς ($mm \cdot day^{-1}$)

R_n= Καθαρή ακτινοβολία στην επιφάνεια της καλλιέργειας ($MJ \cdot m^{-2} \cdot day^{-1}$)

G= Ροή θερμότητας στο έδαφος ($MJ \cdot m^{-2} \cdot day^{-1}$) ≈0 για ημερήσιους υπολογισμούς

T_{mean}= Μέση ημερήσια θερμοκρασία ατμόσφαιρας σε ύψος 2 m (^oC)

u_2= Ταχύτητα ανέμου σε ύψος 2 ($m \cdot sec^{-1}$)

e_s= Πίεση υδρατμών στον κορεσμό (kPa)

e_a= Πραγματική τιμή της πίεσης υδρατμών (kPa)

e_s-e_a= Έλλειμμα πίεσης υδρατμών κοροπλήρωμα (kPa)

Δ= Κλίση της καμπύλης πίεσης κορεσμένων υδρατμών ως προς τη θερμοκρασία ($kPa \cdot {}^oC^{-1}$)

γ= Ψυχρομετρική σταθερά ($kPa \cdot {}^oC^{-1}$)

$$\mathbf{T_{mean} = \frac{T_{max} + T_{min}}{2}} \qquad (4)$$

όπου:
T_{mean}= Μέση ημερήσια θερμοκρασία (^oC)
T_{max}= Μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία (^oC)
T_{min}= Ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία (^oC)

$$\mathbf{e_s = \frac{e^o(T_{max})+e^o(T_{min})}{2}} \quad (5)$$

$$\mathbf{e_a = \frac{e^o(T_{min})\cdot\frac{RH_{max}}{100}+e^o(T_{min})\cdot\frac{RH_{min}}{100}}{2}} \quad (6)$$

$$\mathbf{e^o(T) = 0.6108 \cdot exp\left[\frac{17.27\cdot T}{T+237.3}\right]} \quad (7)$$

όπου:
e_s, e_a, T_{mean}, T_{max} & T_{min}, έχουν ήδη αναφερθεί
e_o= Πίεση ατμών κορεσμού σε θερμοκρασία T (kPa)
RH_{max}= Μέγιστη ημερήσια τιμή ατμοσφαιρικής υγρασίας (%)
RH_{min}= Ελάχιστη ημερήσια τιμή ατμοσφαιρικής υγρασίας (%)

$$\mathbf{\Delta = \frac{4098\cdot\left[0{,}6108\exp\left(\frac{17.27\cdot T_{mean}}{T_{mean}+237.3}\right)\right]}{(T_{mean}+237.3)^2}} \quad (8)$$

όπου:
Δ, & T_{mean} έχουν ήδη αναφερθεί

$$\mathbf{\gamma = \frac{c_p\cdot P}{\varepsilon\cdot\lambda} = 0{,}665\cdot 10^{-3}\cdot P} \quad (9)$$

όπου:
γ έχει ήδη αναφερθεί
P= Ατμοσφαιρική πίεση (kPa)
λ= Λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης = 2,45 $MJ\cdot kg^{-1}$
c_p= Ειδική θερμότητα αέρα σε σταθερή πίεση = 1.013.10-3 $MJ\cdot kg^{-1}.^oC^{-1}$
ε= Αναλογία μοριακού βάρους υγρού προς ξηρού αέρα =0.622

$$\mathbf{P = 101.3\cdot\left(\frac{293-0.0065\cdot z}{293}\right)^{5.26}} \quad (10)$$

όπου:
P έχει ήδη αναφερθεί
z= Απόλυτο υψόμετρο (m)

Στην περίπτωση που δεν είναι διαθέσιμα δεδομένα σχετικής ατμοσφαιρικής υγρασίας, οι τιμές μέγιστης ελάχιστης και μέσης ατμοσφαιρικής υγρασίας υπολογίζονται ως ακολούθως:

$$\mathbf{e_a = e^o(T_{dew}) = 0{,}6108\, exp\left[\frac{17.27\, T_{dew}}{T_{dew}+237.3}\right]} \xRightarrow{\textit{υποθέτοντας } T_{dew}\approx T_{min}}$$
$$\mathbf{e_a = e^o(T_{min}) = 0{,}611\, exp\left[\frac{17.27\, T_{min}}{T_{min}+237.3}\right]} \quad (11)$$

$$\mathbf{e^o(T) = 0.6108\cdot exp\left[\frac{17.27\cdot T}{T+237.3}\right]}\begin{cases}\xRightarrow{T=T_{min}} \mathbf{e^o(T_{min}) = 0.6108\cdot exp\left[\frac{17.27\cdot T_{min}}{T_{min}+237.3}\right]} \\ \xRightarrow{T=T_{max}} \mathbf{e^o(T_{min}) = 0.6108\cdot exp\left[\frac{17.27\cdot T_{max}}{T_{max}+237.3}\right]}\end{cases} \quad (12)$$

$$\mathbf{e_s} = \frac{\mathbf{e^o(T_{max})+e^o(T_{min})}}{\mathbf{2}} \quad (13)$$

$$RH = 100\frac{e_a}{e^o(T)}\begin{cases} RH_{min} = 100\frac{e_a}{e^o(T_{min})} \\ RH_{max} = 100\frac{e_a}{e^o(T_{max})} \end{cases} \xRightarrow{(12),(13)} \begin{cases} RH_{min} \\ RH_{max} \end{cases} \quad (14)$$

$$RH_{mean} = \frac{RH_{max}+RH_{min}}{2} \quad (15)$$

Στην περίπτωση που δεν είναι διαθέσιμα δεδομένα ακτινοβολίας, οι τιμές υπολογίζονται ως ακολούθως:

$$R_a = \frac{24(60)}{\pi}G_{sc}d_r[\omega_s \sin(\varphi)\sin(\delta) + \cos(\varphi)\cos(\delta)\sin(\omega_s)] \quad (16)$$

$$d_r = 1 + 0.033\cos\left(\frac{2\pi}{365}J\right) \quad (17)$$

$$\delta = 0.409\sin\left(\frac{2\pi}{365}J - 1.39\right) \quad (18)$$

$$\omega_s = \arccos[-\tan(\varphi)\tan(\delta)] \quad (19)$$

$$[\text{radians}] = \frac{\pi}{180}[\text{decimal degrees}] \quad (20)$$

Όπου:
R_a :Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία εξωτερικά της ατμόσφαιρας ($MJ \cdot m^{-2}\ d^{-1}$)
G_{sc} : Σταθερά = 0,0820 $MJ \cdot m^{-2}\ d^{-1}$
d_r : Αντίστροφη σχετική απόσταση γης ηλίου
ω_s : Γωνία κατά τη δύση του ηλίου
φ : Γεωγραφικό πλάτος (rad)
d : Ηλιακή απόκλιση
J : Αριθμός ημέρας εντός του έτους μεταξύ $1^{ης}$ Ιανουαρίου και $365^{ης}$ ή $366^{ης}$ ($31^{η}$ δεκεμβρίου) δίνονται από πίνακα.

$$R_s = k_{Rs}\sqrt{(T_{max} + T_{min})R_a} \quad (21)$$

Όπου:
R_s : Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία μικρού μήκους στην επιφάνεια του εδάφους ($MJ \cdot m^{-2}\ d^{-1}$)
k_{Rs} : Συντελεστής προσαρμογής (0,16-0,19) [$^oC^{-0.5}$)

$$R_{so} = (0{,}75 + 2 \cdot 10^{-5}z)R_a \quad (22)$$

Όπου:
R_{so} : Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος υποθέτωντας καθαρό ουρανό ($MJ \cdot m^{-2}\ d^{-1}$)
z : Απόλυτο υψόμετρο του σταθμού (m)

$$R_{ns} = (1 - \alpha)R_s \quad (23)$$

Όπου:
R_{ns} : Ακτινοβολία μικρού κύματος που απορροφάται από την προσπίτουσα επιφάνεια ($MJ \cdot m^{-2}\ d^{-1}$)
α : Albedo ή Σταθερά ανάκλασης της προσπίπτουσας επιφάνειας = 0,23 για την υποθετική επιφάνεια αναφοράς (αδιάστατο)

$$R_{nl} = \sigma\left[\frac{T^4_{max.K}+T^4_{min.K}}{2}\right]\left(0.34 - 0.14\sqrt{e_a}1 - \alpha\right)\left(1.35\frac{R_s}{R_{so}} - 0.35\right) \quad (24)$$

Όπου:

R_{nl} : Καθαρή ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος, δηλαδή το αλγεβρικό άθροισμα της προσπίπτουσας και της ανακλώμενης ακτινοβολία, μεγάλου μήκους κύματος ($MJ \cdot m^{-2}\ d^{-1}$)

σ : Σταθερά Stefan-Boltzmann = 4,903 10^{-9} MJ K^{-4} m^{-2} d^{-1} (υπολογισμός από πίνακα για διάφορες θερμοκρασίες)

$T_{max.K}$, $T_{min.K}$: Μέγιστη και Ελάχιστη απόλυτη θερμοκρασία σε περίοδο 24 h (K=^{o}C+273.16) εκφρασμένη σε ^{o}K

R_s/R_{so} : Λόγος ακτινοβολίας μικρού κύματος (≤1,0)

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (25)$$

Η μέθοδος αυτή, (υπολογισμός με ελλειπή δεδομένα) σύμφωνα με τους Allen, et. al., (1998) και Παπαμιχαήλ & Μπαμπατζιμόπουλος, (2014), δίνει μικρότερες εκτιμήσεις της ETo, έναντι άλλων μεθόδων του FAO. Για τους υπολογισμούς της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής αναφοράς (ETo), χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα ETo-Calculator του παγκόσμιου Οργανισμού Τροφίμων (FAO, 2012), το οποίο χρησιμοποιεί τη μέθοδο FAO Penman-Monteith (Allen, et. al., 1998). Η ημερήσια εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας (ETc) υπολογίστηκε με την εξίσωση:

$$ETc=ETo*Kc, \quad (26)$$

όπου ETc είναι η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας (mm d^{-1}), Kc είναι αδιάστατος φυτικός συντελεστής και ETo είναι η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς (mm d^{-1}). Η τιμή του φυτικού συντελεστή ελήφθη από τον ακόλουθο πίνακα

Πίνακας 42 Φυτικός συντελεστής (Kc) κατά μήνα, ελιάς προσαρμοσμένος στις κλιματικές συνθήκες της Ελλάδας για χρήση με τη μέθοδο FAO-56 Penman-Monteith
(Παπαζαφειρίου, 1991; Παπαζαφειρίου, 1999; Παπαμιχαήλ & Μπαμπατζιμόπουλος, 2014)

Καλλιέργεια	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο
Ελιά		0,40	0,45	0,50	0,50	0,40	

Ο υπολογισμός εξάτμισης από γυμνό έδαφος που υλοποιείται γίνεται και πάλι με το ίδιο λογισμικό, μόνο που στη θέση του φυτικού συντελεστή μπαίνει ο συντελεστής $k_{bare\ soil}$, ο οποίος κυμαίνεται από 0,15-0,2 (Allen, et. al., 1998).

2.3.2. Αποτελέσματα

Όπως ήδη έχει αναφερθεί, τα χρονικά διαστήματα, κατά τα οποία ελέγχθηκε η σχετική κίνηση του νερού στην εδαφική κατατομή είναι δύο και συγκεκριμένα το πρώτο διάστημα ήταν από 16/3/2013 έως και 28/3/2013 και το δεύτερο διάστημα ήταν από 16/6/2014 έως και 31/8/2014. Το πρώτο διάστημα επελέγη, διότι η πρώτη μέρα της περιόδου ήταν εκείνη η ημέρα που η ελεύθερη στάθμη έπαψε να είναι ορατή εντός του πιεζομέτρου, διότι εισχώρησε σε μεγαλύτερο βάθος από αυτό του ενός μέτρου, που ήταν το βάθος του πιεζομέτρου. Αντιθέτως, κατά το δεύτερο χρονικό διάστημα, η ελεύθερη στάθμη εντός των εγκατεστημένων πιεζομέτρων στον αγρό έπαψε να είναι

ορατή ήδη από τις 3/4/2014. Επίσης καθ' όλη τη διάρκεια του διαστήματος αυτού δεν υλοποιήθηκε άρδευση.

2.3.2.1. Ισοζύγιο νερού κατά το διάστημα από 16/3/2013 έως και 28/4/2013

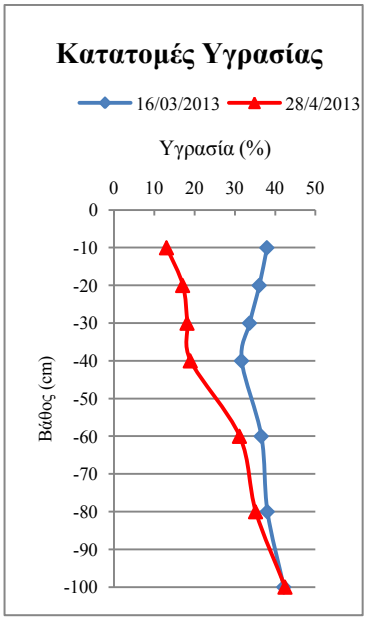
Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν από το μετεωρολογικό σταθμό για υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής εμφανίζονται στον Πίνακα 73 του Παραρτήματος Ι. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών για ο διάστημα 16/3/2013-28-4-2013 με Kc=0,4 για όλο το διάστημα είναι:

Βροχόπτωση P=11,6 mm
ETo=162.2 mm
Etc=64.8 mm

Οι κατατομές υγρασίας στην αρχή και στο τέλος του διαστήματος εμφανίζονται ακολούθως:

Πίνακας 43 Κατατομές υγρασίας (αρχή και τέλος διαστήματος)

Βάθος Αισθητήρων	Θ (%)	
	16/03/2013	28/4/2013
-10	38	13.1
-20	36.1	17.1
-30	33.7	18.2
-40	31.7	19
-60	36.6	31.2
-80	38.1	35.2
-100	42.2	42.5



Σχήμα 31 Διάγραμμα κατατομών υγρασίας για την αρχή και το τέλος του εξεταζόμενου χρονικού διαστήματος

Πίνακας 44 Πίνακας υπολογισμού μεταβολής ύψους νερού στην κατατομή, κατά το εξεταζόμενο διάστημα

Ύψος εδάφους στο οποίο αντιστοιχίζεται η μέτρηση υγρασίας κάθε αισθητήρα (cm) (δες Σχήμα 31)	Βάθος αισθητήρα (cm)	Θ (%)		Ύψος νερού (mm)	
		16/03/2013	28/4/2013	16/03/2013	28/4/2013
15	-10	38	13.1	57	19.65
10	-20	36.1	17.1	36.1	17.1
10	-30	33.7	18.2	33.7	18.2
15	-40	31.7	19	47.55	28.5
20	-60	36.6	31.2	73.2	62.4
20	-80	38.1	35.2	76.2	70.4
20	-100	42.2	42.5	84.4	85
Ύψος νερού που υπάρχει στην εδαφική κατατομή (mm)				**408.15**	**301.25**
ΔΙ (mm)				**106,9**	

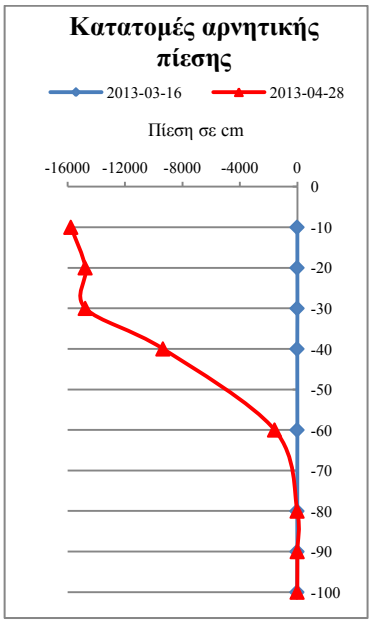
Από τον Πίνακα 44 διαπιστώνουμε ότι η εδαφική κατατομή (1 m) απώλεσε νερό ύψους 106,9 mm. Αντικαθιστώντας στην εξίσωση 3 και θεωρώντας όλο το ύψος της βροχόπτωσης ήταν ωφέλιμο προκύπτει:

ETc = εξατμισοδιαπνοή της εξεταζόμενης λεκάνης (εξίσωση (3))	**95.3**
P = βροχόπτωση που δέχεται η λεκάνη	11.6
Ir = άρδευση	0
SRO = επιφανειακή απορροή στην έξοδο της λεκάνης	0
DP = βαθειά διήθηση	0
ΔI = μεταβολή της υγρασίας στην κατατομή εντός του εξεταζόμενου χρονικού διαστήματος, η οποία μπορεί να είναι είτε θετική (αύξηση), είτε αρνητική (μείωση), μεταξύ των δύο εξεταζόμενων χρονικών στιγμών (αρχική-τελική)	-106.9

Για το ίδιο διάστημα, η τροποποιημένη Penman Monteith, κατά FAO, έδωσε ETc=64,88 mm νερού, ενώ η μέθοδος του ισοζυγίου έδωσε ETc=95,3 mm νερού. Δηλαδή, η υπολογιζόμενη εξατμισοδιαπνοή, βάσει των μετεωρολογικών συνθηκών, υπολείπεται της ποσότητας, που υπολογίζεται με τη μέθοδο του ισοζυγίου, κατά 30,42 mm, γεγονός που μας οδηγεί στην υπόθεση ότι πρέπει να υπάρχει κατακόρυφη κίνηση νερού στην εδαφική κατατομή προς τα κάτω, διότι σε άλλη περίπτωση η διαφορά των δύο υπολογισμών πρέπει να αποδοθεί αποκλειστικά σε σφάλματα των μεθόδων και των μετρήσεων. Όπως έχει ήδη αναφερθεί στην συγκεκριμένη κατατομή είχαν εγκατασταθεί πλακίδια Βουγιούκου, τα οποία για τις συγκεκριμένες δύο ημερομηνίες μας έδωσαν τις ακόλουθες κατατομές.

Πίνακας 45 Κατατομές αρνητικής πίεσης μετρημένες με πλακίδια Βουγιούκου στην αρχή και στο τέλος του εξεταζόμενου χρονικού διαστήματος

	Αρνητική πίεση (cm)	
Βάθος Πλακιδίου	16/3/2013	28/4/2013
-10	-10.71	-15758.47
-20	-10.52	-14761.56
-30	-8.00	-14756.35
-40	-14.70	-9349.46
-60	-10.90	-1575.46
-80	-15.79	-5.17
-90	-11.97	0.00
-100	-19.69	-5.12



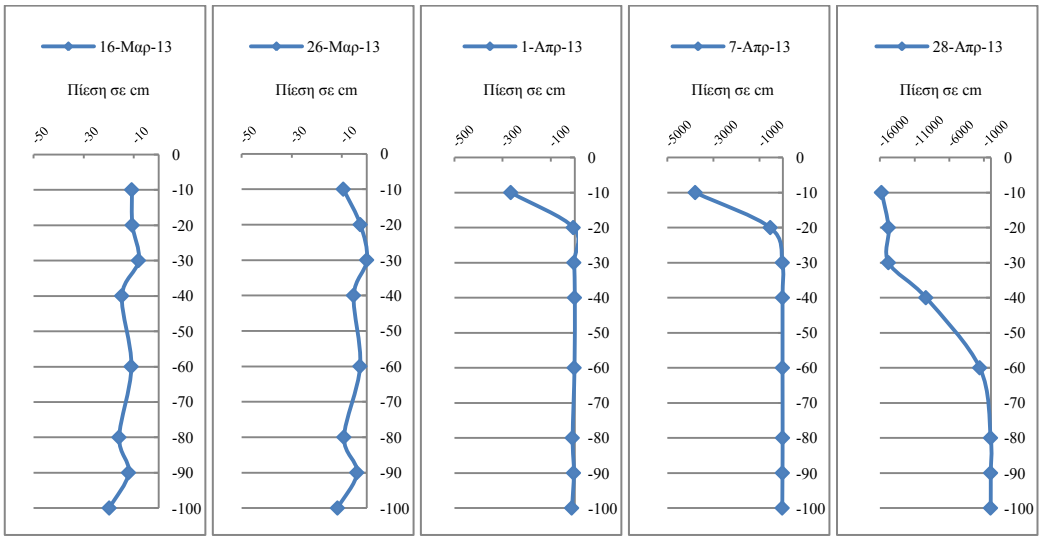
Σχήμα 32 Διάγραμμα κατατομών αρνητικής πίεσης για την αρχή και το τέλος του εξεταζόμενου χρονικού διαστήματος

Στον Πίνακα 45 εμφανίζονται οι σημειακές τιμές του φορτίου πίεσης για επιλεγμένες ημερομηνίες του εξεταζόμενου χρονικού διαστήματος.

Πίνακας 46 Ημερήσιες κατατομές αρνητικής πίεσης εντός του διαστήματος από 16/3/2013 έως και 28/4/2013

Ημ/νία	Αρνητική Πίεση μετρούμενη σε διάφορα βάθη (cm)							
	-10	-20	-30	-40	-60	-80	-90	-100
16/3/2013	-10.71	-10.52	-8.00	-14.70	-10.90	-15.79	-11.97	-19.69
26/3/2013	-9.35	-2.60	0.00	-5.26	-2.69	-9.11	-3.94	-11.66
1/4/2013	-265.01	-5.21	-2.64	0.00	-1.34	-9.11	-3.94	-11.66
7/4/2013	-3780.45	-530.30	-9.35	-3.94	-4.04	0.00	-6.59	-14.31
28/4/2013	-15758.47	-14761.56	-14756.35	-9349.46	-1575.46	-5.17	0.00	-5.12

Στο Σχήμα 34 που ακολουθεί εμφανίζονται και διαγραμματικά οι συγκεκριμένες κατατομές.



Σχήμα 33 Διαγράμματα ημερήσιων κατατομών φορτίου πίεσης επιλεγμένων ημερομηνιών του εξεταζόμενου διαστήματος

Ακολούθως, για τις ημερομηνίες αυτές, υπολογίστηκε η κλίση του υδραυλικού φορτίου, η οποία είναι διάνυσμα και είναι αυτή που επιβάλλει την κίνηση του εδαφικού νερού (Πουλοβασίλης, 2010). Οι υπολογισμένες κατατομές κλίσεων εμφανίζονται στον Πίνακα 47.

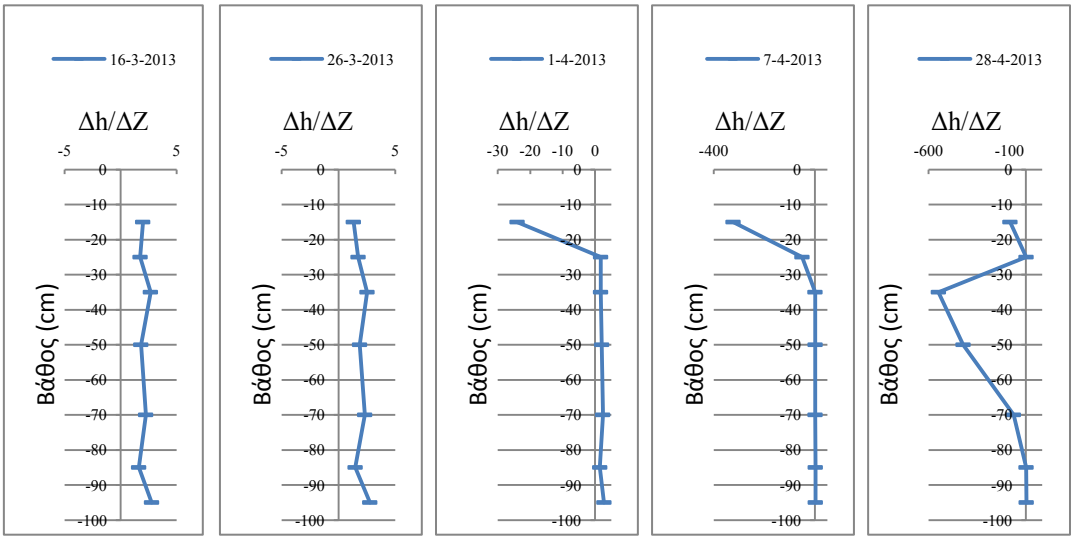
Πίνακας 47 Υπολογισμένες κλίσεις υδραυλικού φορτίου για κάθε βάθος της εδαφικής κατατομής

			16/3/2013	26/3/2013	1/4/2013	7/4/2013	28/4/2013
Βάθος Αισθητήρα	ΔΖ	Βάθος Αντιστοίχισης της κλίσης	Δh/ΔΖ	Δh/ΔΖ	Δh/ΔΖ	Δh/ΔΖ	Δh/ΔΖ
-10							
	10	-15	1.98	1.32	-23.98	-323.01	-97.69
-20							
	10	-25	1.75	1.74	1.74	-50.09	1.48
-30							
	10	-35	2.67	2.53	1.74	1.46	-538.69
-40							
	20	-50	1.81	1.87	2.07	2.01	-386.70
-60							

Πίνακας 47 Υπολογισμένες κλίσεις υδραυλικού φορτίου για κάθε βάθος της εδαφικής κατατομής

			16/3/2013	26/3/2013	1/4/2013	7/4/2013	28/4/2013
Βάθος Αισθητήρα	ΔΖ	Βάθος Αντιστοίχισης της κλίσης	Δh/ΔΖ	Δh/ΔΖ	Δh/ΔΖ	Δh/ΔΖ	Δh/ΔΖ
	20	-70	2.24	2.32	2.39	1.80	-76.51
-80		-85	1.62	1.48	1.48	2.66	1.48
-90	10	-95	2.77	2.77	2.77	2.77	2.51
-100							

Στο Σχήμα 35 απεικονίζονται οι κατατομές κλίσεως υδραυλικού φορτίου για κάθε μία από τις επιλεγείσες ημερομηνίες διαγραμματικά.



Σχήμα 34 Διαγράμματα τιμών κλίσεων υδραυλικού φορτίου στην εδαφική κατατομή για επιλεγμένες ημερομηνίες του πρώτου χρονικού διαστήματος

2.3.2.2. Ισοζύγιο νερού κατά το διάστημα από 16/6/2014 έως και 31/8/2014

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν από τον μετεωρολογικό σταθμό για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής εμφανίζονται στον Πίνακα 74 του Παραρτήματος Ι.

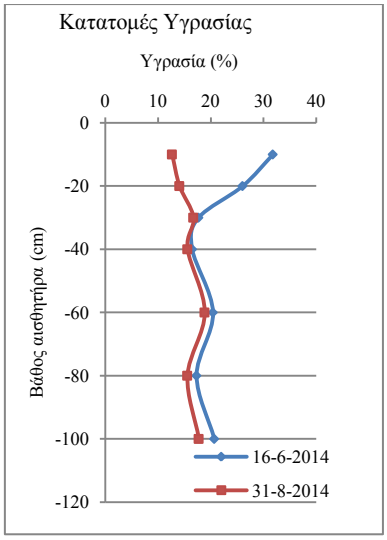
Τα αποτελέσματα των υπολογισμών για ο διάστημα 16/6/2014-31/8/2014 με Kc=0,45 για το διάστημα 16/6/2014-30/6/2014 και 0,5 για το διάστημα 1/7/2014-31/8/2014 είναι:

Βροχόπτωση P=22,8 mm
ETo=235,19 mm
Etc=72,03 mm

Οι κατατομές υγρασίας στην αρχή και στο τέλος του διαστήματος εμφανίζονται ακολούθως:

Πίνακας 48 Κατατομές υγρασίας (αρχή και τέλος διαστήματος) (Bourazanis, Argyrokastritis, & Kerkides, 2017)

Βάθος Αισθητήρων	Θ (%)	
	16/06/2014	31/8/2014
-10	31.78	12.67
-20	26.04	14.07
-30	17.69	16.71
-40	16.49	15.59
-60	20.43	18.85
-80	17.32	15.57
-100	20.68	17.74



Σχήμα 35 Διάγραμμα κατατομών υγρασίας για την αρχή και το τέλος του εξεταζόμενου χρονικού διαστήματος

Στον Πίνακα 48 γίνεται μετατροπή των τιμών υγρασίας σε ύψους νερού.

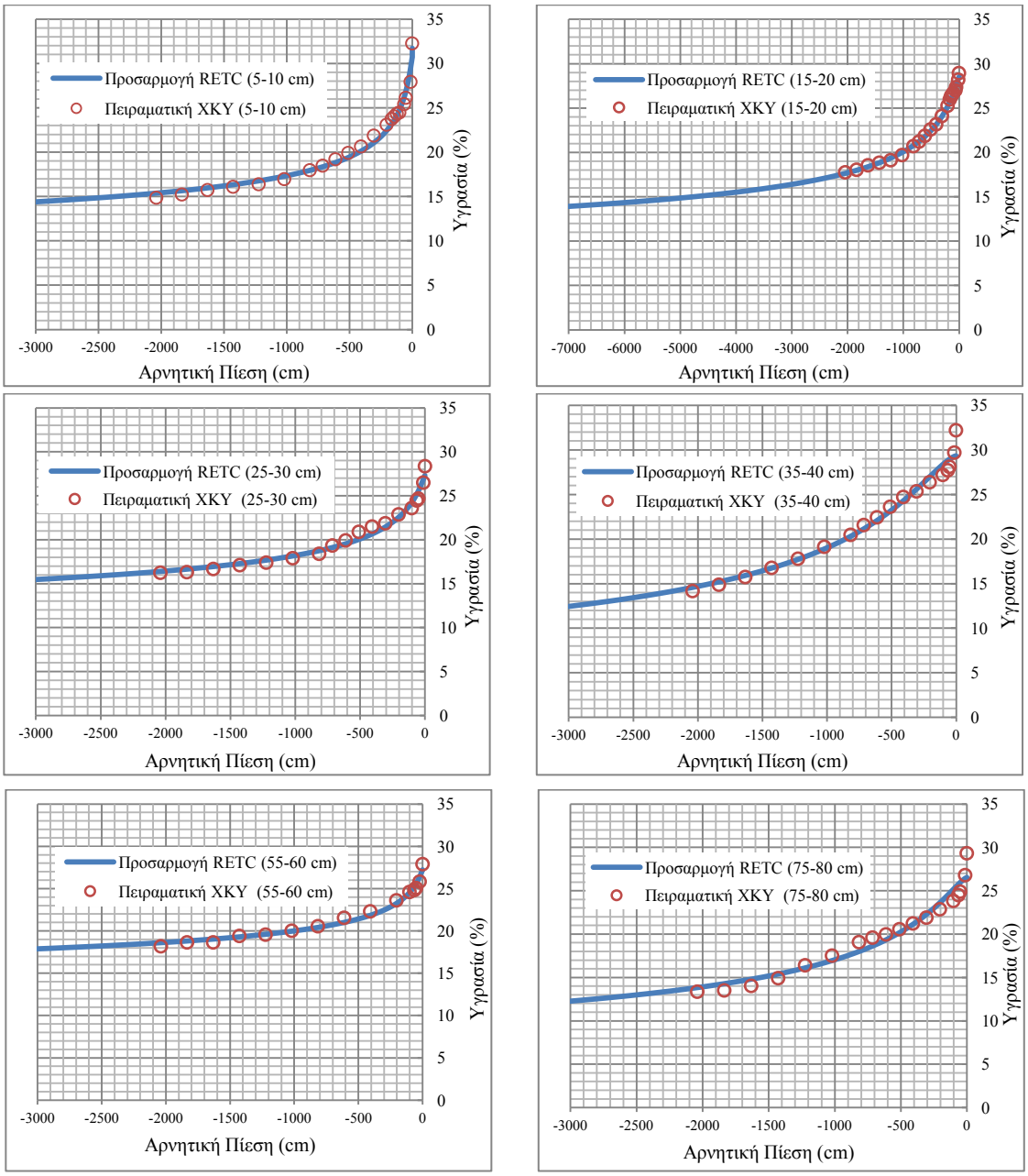
Πίνακας 49 Πίνακας υπολογισμού μεταβολής ύψους νερού στην κατατομή κατά το εξεταζόμενο διάστημα

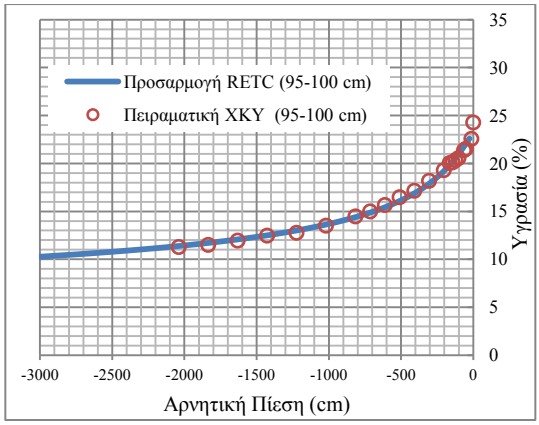
Ύψος εδάφους στο οποίο αντιστοιχίζεται η μέτρηση υγρασίας κάθε αισθητήρα (cm) (δες Σχήμα 31)	Βάθος αισθητήρα (cm)	Θ (%)		Ύψος νερού (mm)	
		16/06/2014	31/8/2014	16/06/2014	31/8/2014
15	-10	31.78	12.67	47.7	19.0
10	-20	26.04	14.07	26.0	14.1
10	-30	17.69	16.71	17.7	16.7
15	-40	16.49	15.59	24.7	23.4
20	-60	20.43	18.85	40.9	37.7
20	-80	17.32	15.57	34.6	31.1
20	-100	20.68	17.74	41.4	35.5
Ύψος νερού που υπάρχει στην εδαφική κατατομή (mm)				**233.0**	**177.5**
ΔΙ (mm)				**55.5**	

Από τον Πίνακα 49 διαπιστώνουμε ότι η εδαφική κατατομή (1 m) απώλεσε νερό ύψους 55,5 mm. Αντικαθιστώντας στην εξίσωση 3 και θεωρώντας ότι όλο το ύψος της βροχόπτωσης ήταν ωφέλιμο, προκύπτει:

ETc = εξατμισοδιαπνοή της εξεταζόμενης λεκάνης (Εξίσωση (3))	**32.7**
P = βροχόπτωση που δέχεται η λεκάνη	22.8
Ir = άρδευση	0
SRO = επιφανειακή απορροή στην έξοδο της λεκάνης	0
DP = βαθειά διήθηση	0
ΔΘ = μεταβολή της υγρασίας στην κατατομή εντός του εξεταζόμενου χρονικού διαστήματος, η οποία μπορεί να είναι είτε θετική (αύξηση), είτε αρνητική (μείωση), μεταξύ των δύο εξεταζόμενων χρονικών στιγμών (αρχική-τελική)	-55.5

Για το ίδιο διάστημα, η Τροποποιημένη Penman Monteith, κατά FAO, έδωσε ETc=235,2 mm νερού, ενώ η μέθοδος του ισοζυγίου έδωσε ETc=32.7 mm νερού. Δηλαδή, η υπολογιζόμενη εξατμισοδιαπνοή, βάσει των μετεωρολογικών συνθηκών, είναι κατά πολύ μεγαλύτερη και της ποσότητας που υπολογίζεται με τη μέθοδο του ισοζυγίου και συγκεκριμένα κατά 202,5 mm νερού, γεγονός που μας οδηγεί στην υπόθεση ότι πρέπει να υπάρχει κατακόρυφη κίνηση νερού στην εδαφική κατατομή προς τα επάνω, διότι σε άλλη περίπτωση η διαφορά των δύο υπολογισμών πρέπει να αποδοθεί αποκλειστικά σε σφάλματα των μεθόδων και των μετρήσεων. Επιπλέον, η υπολογισθείσα εξατμισοδιαπνεόμενη ποσότητα νερού με τη μέθοδο του ισοζυγίου είναι μικρότερη ακόμα και από την υπολογισθείσα ποσότητα εξατμιζόμενου νερού από γυμνό έδαφος, για τις ίδιες μετεωρολογικές συνθήκες (Πίνακας 74 Παράρτημα I $E_{bare\ soil}$= 72.03 mm).





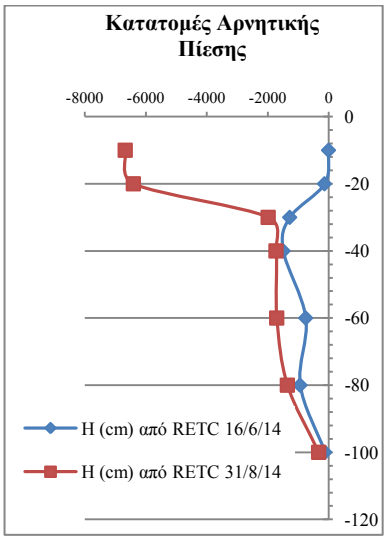
Σχήμα 36 Πειραματικές ΧΚΥ αδιατάρακτων δειγμάτων που ελήφθησαν από τα βάθη εγκατάστασης των αισθητήρων υγρασίας και προσαρμογή σε αυτές καμπυλών, με τη χρήση του προγράμματος RETC
(Για τις τιμές δες Παράρτημα ΙΙ)

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, στην συγκεκριμένη κατατομή κατά την εγκατάσταση των αισθητήρων υγρασίας, είχαν ληφθεί από τα ίδια βάθη αδιατάρακτα δείγματα και είχαν υλοποιηθεί πειράματα προσδιορισμού της ΧΚΥ. Στο σχήμα που ακολουθεί εμφανίζονται οι ΧΚΥ των αδιατάρακτων δειγμάτων, καθώς και η προσαρμογή που έγινε με τη χρήση του προγράμματος RETC, δεδομένου ότι με τα κύτταρα πίεσης ήταν εφικτό να εφαρμοστούν πιέσεις μέχρι 2 bar.

Υποθέτοντας τώρα ότι οι τιμές υγρασίας, που καταγράφονται από τους αισθητήρες, ανήκουν στην οριακή καμπύλη αποστράγγισης, διότι πριν την εξεταζόμενη ημερομηνία δεν είχε προστεθεί με κανένα τρόπο νερό στην εδαφική κατατομή (άρδευση, βροχόπτωση) για διάστημα 20 ημερών, με τη χρήση των ΧΚΥ του σχήματος 37 υπάρχει δυνατότητα, εκκινώντας από κατατομές υγρασίας, να εξάγουμε κατατομές αρνητικής πίεσης. Βάσει αυτών, στον Πίνακα 50 εμφανίζονται οι κατατομές αρνητικής πίεσης στην έναρξη και τη λήξη του εξεταζόμενου χρονικού διαστήματος γίνεται:

Πίνακας 50 Κατατομές φορτίου πίεσης (αρχή και τέλος διαστήματος)
(Bourazanis, Argyrokastritis, & Kerkides, 2017)

Βάθος Αισθητήρων	H (cm)	
	16/06/2014	31/8/2014
-10	-1	-6667
-20	-134	-6400
-30	-1275	-1980
-40	-1489	-1723
-60	-750	-1700
-80	-934	-1350
-100	-121	-325



Σχήμα 37 Διάγραμμα κατατομών αρνητικής πίεσης για την αρχή και το τέλος του εξεταζόμενου χρονικού διαστήματος

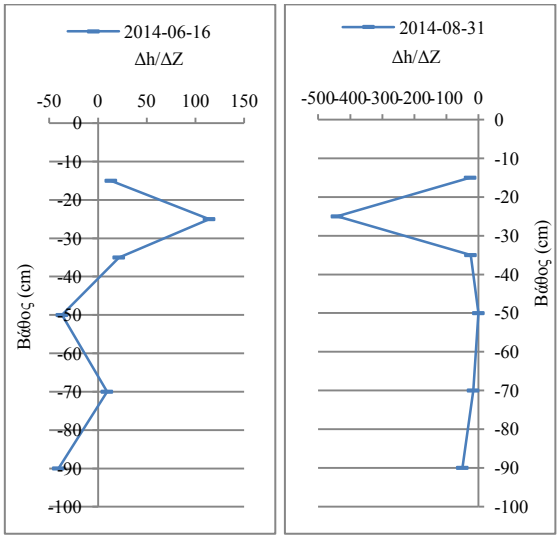
Από την κατατομή πιέσεων στις 31/8/2014, διαπιστώνεται η συνεχής μείωση των τιμών του φορτίου πίεσης (αύξηση κατ' απόλυτες τιμές) κατά τη θετική φορά του άξονα ψψ΄, το οποίο σημαίνει διαμόρφωση κλίσεων τέτοιων που επιβάλλουν την

ανοδική κίνηση του νερού. Προς επιβεβαίωση αυτού, στον Πίνακα 51 εμφανίζονται οι κατατομές του υδραυλικού φορτίου για τις δύο εξεταζόμενες ημερομηνίες, δηλαδή για την έναρξη και λήξη της περιόδου.

Πίνακας 51 Υπολογισμένες κλίσεις φορτίου πίεσης και υδραυλικού φορτίου, για κάθε βάθος της εδαφικής κατατομής (Bourazanis, Argyrokastritis, & Kerkides, 2017)

			16/6/2014		31/8/2014	
Βάθος Αισθητήρα	ΔΖ	Βάθος Αντιστοίχισης της κλίσης	ΔΗ/ΔΖ	Δh/ΔΖ	ΔΗ/ΔΖ	Δh/ΔΖ
-10						
	10	-15	13.3	14.3	-26.7	-25.7
-20						
	10	-25	114.1	115.1	-442	-441
-30						
	10	-35	21.4	22.4	-25,7	-24,7
-40						
	20	-50	-36.95	-35.95	-1,15	-0,15
-60						
	20	-70	9.2	10.2	-17,5	-16,5
-80						
	20	-90	-40,65	-39,65	-51,25	-50,25
-100						

Στο Σχήμα 39 εμφανίζονται και διαγραμματικά οι κατατομές της κλίσεως του υδραυλικού φορτίου, για την έναρξη και τη λήξη του εξεταζόμενου χρονικού διαστήματος.



Σχήμα 38 Διαγράμματα τιμών κλίσεων υδραυλικού φορτίου στην εδαφική κατατομή, για την έναρξη και τη λήξη του δεύτερου χρονικού διαστήματος

2.3.3. Συζήτηση - Συμπεράσματα

Στο παρόν υποκεφάλαιο, εξετάσθηκε η κίνηση του νερού εντός της εδαφικής κατατομής, σε δύο συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα. Αρχικά και στις δύο

περιπτώσεις συγκρίθηκε η υπολογιζόμενη εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας, μέσω μετεωρολογικών δεδομένων (τροποποιημένη Penman-Monreith κατά FAO ($1^{η}$ μέθοδος), με αυτή που προκύπτει από την εφαρμογή της εξίσωσης του ισοζυγίου νερού ($2^{η}$ μέθοδος).

Για το πρώτο χρονικό διάστημα (16/3/2013 έως 28/3/2013) , διαπιστώθηκε ότι το αποτέλεσμα της πρώτης μεθόδου (64,88 mm) υπολείπεται αυτού της δεύτερης (95.3 mm) , κατά 30,42 mm νερού. Δηλαδή, διαπιστώθηκε ότι η υπολογισμένη εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας, όπως αυτή υπαγορεύεται από τις μετεωρολογικές-περιβαλλοντικές συνθήκες, ήταν μικρότερη αυτής που υπολογίσθηκε από το εδαφικό ισοζύγιο. Επίσης, να σημειωθεί ότι η καταγραφείσα βροχόπτωση ελήφθη εξ ολοκλήρου ως αποτελεσματική, γεγονός που μειώνει την υπολογισθείσα τιμή της εξατμισοδιαπνοής. Θα μπορούσε εδώ να γίνει η υπόθεση ότι υπάρχει κίνηση νερού κατακόρυφα προς βαθύτερα στρώματα (συντελεστής που θεωρήθηκε μηδενικός στον τύπο του ισοζυγίου) και έτσι να υπάρξει εξίσωση των δύο υπολογισμένων τιμών. Αυτό από μόνο του θα ήταν μία ένδειξη του ότι όντως λαμβάνει χώρα κατακόρυφη κίνηση του εδαφικού νερού. Προχωρώντας παραπέρα και με στοιχεία που ελήφθησαν από πλακίδια Βουγιούκου, διαπιστώνεται (Πίνακας 47 Σχήμα 35):

1. Την $16^{η}$ και $26^{η}$ $3^{ου}$ 2013, σε όλο το εδαφικό προφίλ διαμορφώνονται θετικές κλίσεις υδραυλικού φορτίου, δηλαδή τεκμηριώνεται η κίνηση του νερού προς το υδροφόρο στρώμα. Η βεβαιότητα αυτή ενισχύεται και από το γεγονός ότι οι τιμές υγρασίας στο 1 m του Πίνακα 44, Σχήμα 32 είναι τιμές κορεσμού (≈42%) και σημειώνεται ότι παρέμεινε σταθερή κατά το εξεταζόμενο διάστημα. Επίσης, έχει αναφερθεί ότι η αρχή των μετρήσεων ξεκίνησε με την εξαφάνιση του ελεύθερου νερού από τη βάση του πιεζομέτρου.
2. Την $1^{η}$ $4^{ου}$ 2013, διαπιστώνεται η ύπαρξη αρνητικής κλίσης υδραυλικού φορτίου στο βάθος των -15 cm, ενώ αντιθέτως όλη η υπόλοιπη κατατομή έχει θετικές κλίσεις. Αυτό σημαίνει ότι, με εξαίρεση το επιφανειακό στρώμα των πρώτων 20 cm, που συνεισφέρει στην εξάτμιση νερού από την επιφάνεια του εδάφους, τα βάθη από -20 cm και κάτω συνεισφέρουν στον υπόγειο υδροφόρο. Η ανοδική κίνηση που επιβάλλεται από την μετρηθείσα αρνητική κλίση στα -15 cm, σε συνδυασμό με τη θετική κλίση που επιβάλλει καθοδική κίνηση στα -25 cm, μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι πρέπει να δημιουργείται ένα έλλειμμα νερού στο βάθος των -20 cm.
3. Την $7^{η}$ $4^{ου}$ 2013, διαπιστώνεται ότι η αρνητική κλίση του υδραυλικού φορτίου έχει επεκταθεί βαθύτερα στο εδαφικό προφίλ φτάνοντας μέχρι τα -25 cm προς ικανοποίηση της εξάτμισης από την επιφάνεια του εδάφους, ενώ στο υπόλοιπο εδαφικό προφίλ συνεχίζει να υφίσταται καθοδική κίνηση του νερού λόγω θετικής κλίσεως υδραυλικού φορτίου. Καταγράφοντας αρνητική κλίση στα -25 cm και θετική κλίση στα -35 cm διαπιστώνουμε ότι η ζώνη ελλείμματος νερού βρίσκεται στα -30 cm.
4. Την $28^{η}$ $4^{ου}$ 2013 διαπιστώνεται ανάπτυξη αρνητικών κλίσεων σε όλο το άνω τμήμα της εδαφικής κατατομής, με εξαίρεση τα -25 cm, όπου πιθανότατα πρόκειται για ανακατανομή νερού, ενώ συνεχίζει να υπάρχει θετική κλίση στο βάθος των -85 και -95 cm. Δηλαδή, η εδαφική κατατομή συνεχίζει να τροφοδοτεί το υπόγειο

υδροφόρο στρώμα, το βάθος της ελεύθερης επιφάνειας του οποίου δεν είναι γνωστό.

Συμπερασματικά λοιπόν, για το πρώτο χρονικό διάστημα μπορεί να ειπωθεί με βεβαιότητα ότι υπήρξε κίνηση του εδαφικού νερού προς το υδροφόρο στρώμα που υπαγορεύθηκε από τις θετικές κλίσεις του υδραυλικού φορτίου. Το γεγονός αυτό δίνει απάντηση στη διαφορά μεταξύ των δύο μεθόδων που εφαρμόσθηκαν, αφού η τεκμηριωθείσα βαθύτερη κίνηση νερού μπορεί να αιτιολογήσει τη διαφορά στις τιμές.

Για το δεύτερο χρονικό διάστημα (16/6/2014 έως 31/8/2014) , το αποτέλεσμα της πρώτης μεθόδου (235.19 mm) είναι κατά πολύ μεγαλύτερο αυτού της δεύτερης (32.7 mm) και συγκεκριμένα κατά 202,5 mm νερού. Για το διάστημα αυτό μάλιστα έγινε σύγκριση της υπολογιζόμενης ποσότητας εξατμισοδιαπνοής, με τη μέθοδο του ισοζυγίου, ($2^{η}$ μέθοδος) με την εξατμιζόμενη ποσότητα από γυμνό έδαφος, για τις ίδιες καιρικές συνθήκες (72.03 mm). Η σύγκριση έδειξε ότι η υπολογισθείσα ποσότητα με τη $2^{η}$ μέθοδο (32.7 mm) υπολειπόταν της εξατμιζόμενης ποσότητας, κατά 39,33 mm νερού. Σύμφωνα με τους Allen, et. al., (1998) και Miyazaki, (2002) η εξάτμιση που καταγράφεται από ένα γυμνό έδαφος είναι μικρότερη από την εξατμισοδιαπνοή και αυτό συμβαίνει, διότι συνεισφέρουν στην απομάκρυνση νερού από την εδαφική κατατομή τα φυτά, τα οποία, μέσω του ριζικού τους συστήματος, εκμεταλλεύονται την υγρασία βαθύτερων στρωμάτων.

Με δεδομένο αυτό η διαφορά που παρατηρήθηκε θα μπορούσε να οφείλεται:

1. Στο ότι όλη η βροχόπτωση θεωρήθηκε ως αποτελεσματική, οπότε και προέκυψε μειωμένη εξατμισοδιαπνοή από τον τύπο του υδατικού ισοζυγίου. Διερευνώντας την εξήγηση αυτή και κάνοντας την υπόθεση ότι δεν υπήρξε καθόλου βροχόπτωση, δηλαδή θεωρώντας όλη την ποσότητα της βροχόπτωσης μη αποτελεσματική, καταλήγουμε ότι η εξατμιοσοδιαπνοή με τη μέθοδο του ισοζυγίου θα ήταν 55,5 mm και πάλι μικρότερη της εξατμιζόμενης ποσότητας από γυμνό έδαφος (72,03 mm) , όπως επίσης και από την υπολογιζόμενη τιμή μέσω της $1^{ης}$ μεθόδου (235,19 mm). Δηλαδή, είτε πάρουμε την περίπτωση του γυμνού εδάφους, είτε την περίπτωση της καλλιέργειας, θα πρέπει να έχει υπάρξει συνεισφορά νερού με κάποιο τρόπο από τα βαθύτερα υγρά στρώματα, για να ερμηνευθούν τα αποτελέσματα.
2. Στο ότι υπολογιστικά φαίνεται να είναι μικρότερη της εξατμιζόμενης ποσότητας αλλά ουσιαστικά είναι μεγαλύτερη, αφού υπάρχει συνεισφορά του υπόγειου υδροφόρου, η οποία δεν καταγράφεται ως διαφορά υγρασίας της κατατομής.
3. Στο γεγονός ότι η διαπνοή των καλλιεργουμένων φυτών, η οποία ως διαδικασία συνεχίζει να τροφοδοτείται από βαθύτερα και πιο υγρά στρώματα, λόγω ανάπτυξης βαθιού ενεργού ριζικού συστήματος, μεταφέρει νερό από το έδαφος στην ατμόσφαιρα, μέσω των φυτικών ιστών.

Σε κάθε περίπτωση όμως, η εξέταση του φαινομένου μόνο με αυτά τα στοιχεία δεν επαρκεί, καθόσον τα μέχρι τώρα παρουσιασθέντα αποτελούν έμμεσες αποδείξεις, αν όχι απλά ενδείξεις, για τη συνεισφορά του υδροφόρου στην εξατμισοδιαπνοή. Λόγω αυτού, εξετάσθηκε η κλίση του υδραυλικού φορτίου εντός της εδαφικής κατατομής, με στόχο να τεκμηριωθεί η ανοδική κίνηση του νερού, γεγονός που θα συνηγορήσει στην υπόθεση της συνεισφοράς του υπόγειου υδροφόρου στρώματος.

Στο πρώτο διάγραμμα του Σχήματος 39 (16/6/2014) διαπιστώνουμε ότι εντός της κατατομής, στα σημεία -15, -25, -35 και -70 cm, η κλίση του υδραυλικού φορτίου είναι θετική, δηλαδή η κίνηση του νερού είναι καθοδική, ενώ στα βάθη -50 και -90 cm, η κλίση του υδραυλικού φορτίου είναι αρνητική, που σημαίνει ότι η κίνηση του νερού στα βάθη αυτά είναι ανοδική. Αποτέλεσμα αυτού είναι η αύξηση της υγρασίας στα βάθη -40 και -80 cm αντιστοίχως. Σε ό,τι αφορά στο δεύτερο διάγραμμα του Σχήματος 39, διαπιστώνουμε ότι σε όλο το βάθος της κατατομής, η κλίση είναι αρνητική που σημαίνει ότι η κίνηση του νερού είναι ανοδική, με όριο την επιφάνεια του εδάφους, απ' όπου και εξατμίζεται. Το εύρημα αυτό τεκμηριώνει την άποψη ότι η διαφορά μεταξύ των δύο τρόπων υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής που διαπιστώθηκε, οφείλεται στην ανοδική κίνηση του νερού εντός της κατατομής, χωρίς να αποκλείεται και η απομάκρυνση υγρασίας από την κατατομή, μέσω της διαπνοής της καλλιέργειας. Συγκεκριμένα, το ενεργό ριζικό σύστημα της ελιάς μπορεί να επεκταθεί και κάτω από το ένα μέτρο, προς αναζήτηση νερού και θρεπτικών στοιχείων 1,2-1,7 m (Allen, et. al., 1998), οπότε πρέπει να θεωρηθεί εξ ίσου βέβαιη και η συνεισφορά της διαπνοής της καλλιέργειας στη διαφορά των δύο τιμών.

2.4. Υδραυλική Αγωγιμότητα Εδάφους (ΕΥΑΑ και ΚΝ)

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, θετικές και αρνητικές επιπτώσεις μπορεί να εμφανισθούν στο έδαφος και, εν προκειμένω, στις φυσικές του ιδιότητες, ως αποτέλεσμα του συνδυασμού των χαρακτηριστικών του αποβλήτου και των ιδιοτήτων του εδάφους. Ένας αριθμός κριτηρίων έχει προταθεί, βάσει των οποίων εξάγονται συμπεράσματα για την επίδραση της άρδευσης στις φυσικές ιδιότητες του εδάφους, στηριζόμενα σε χαρακτηριστικά του αρδευτικού νερού (US Department of Agriculture, 1969; Ayers, 1977; Ayers & Westcot, 1985, 1988; Al-Khashman, 2009; El Ayni, et al., 2011). Οι υδραυλικές ιδιότητες του εδάφους εξετάσθηκαν σε σειρά εργασιών ενδεικτικά αναφέρονται οι Levy, et. al., (1986), Kosmas & Moustakas, (1990), Cook, et. al., (1994), Levy, et al., (1999), Magesan, et al., (1999) και Levy G. J., et al., (2014).

Η υδραυλική αγωγιμότητα στον κορεσμό (Ks) είναι σημαντική παράμετρος στην αρδευόμενη γεωργία, καθ' όσον παίζει σημαντικό ρόλο στη διήθηση και στην ανακατανομή του εδαφικού νερού, καθώς και στην εξατμισοδιαπνοή. Επιπλέον, στη μελέτη και διαστασιολόγηση μερικών αρδευτικών συστημάτων, το Ks είναι σημαντική παράμετρος. Οι επιδράσεις της άρδευσης με ΕΥΑΑ στις φυσικές ιδιότητες του εδάφους διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες: τις Άμεσες και τις Έμμεσες. Οι άμεσες επιδράσεις είναι αυτές που εμφανίζονται κατά τη διάρκεια της άρδευσης, δηλαδή, κατά το χρονικό διάστημα κίνησης του ΕΥΑΑ στην εδαφική κατατομή, ενώ Έμμεσες είναι οι επιδράσεις που εμφανίζονται, όταν νερό καλύτερης ποιότητας από το ΕΥΑΑ ή νερό βροχής διηθείται στο εδαφικό προφίλ, κατόπιν μεγάλου χρονικού διαστήματος εφαρμογής των ΕΥΑΑ. Υπό το συγκεκριμένο πρίσμα, οι έμμεσες επιδράσεις παρατηρούνται μετά από αρκετά έτη κύκλων άρδευσης με ΕΥΑΑ, κατά τους καλοκαιρινούς μήνες και βροχοπτώσεων, κατά τους χειμερινούς (Lado & Ben-Hur, 2009). Για τις άμεσες επιδράσεις της άρδευσης με ΕΥΑΑ στην υδραυλική αγωγιμότητα, στον κορεσμό, ένας αριθμός μηχανισμών έχουν προταθεί, οι οποίοι φαίνονται στον Πίνακα 52.

Πίνακας 52 Προτεινόμενοι μηχανισμοί μείωσης της υδραυλικής αγωγιμότητας στον κορεσμό εδάφους (Magesan, et al., (1999)

Μηχανισμός	Πηγή
Συσσώρευση των αιωρούμενων στερεών στην επιφάνεια του εδάφους	(De Vries, 1972; Siegrist, 1987)
Απόφραξη των εδαφικών πόρων με αιωρούμενα στερεά, όπως κολλοειδής άργιλος και κύτταρα φυκών	(Berend, 1967; Bouwer & Chaney, 1974)
Εγκλωβισμένες φυσαλίδες αέρα	(Rice, 1974)
Σχηματισμός βιολογικών φίλμ	(Kristiansen, 1981; Balks, McLay, & Harfoot, 1997)
Βιολογική απόφραξη συμπεριλαμβανομένης και αυτής που προκαλείται από παράγωγα των κυττάρων, όπως πολυσακχαρίτες	(Thomas, et. al., 1966; McAuliffe, et. al., 1982; Kawanishi, et. al., 1990; Taylor & Jaffe, 1990)
Κατάρρευση της δομής του εδάφους, ως αποτέλεσμα της διαλυτοποιήσεως της οργανικής ουσίας	(Nevo & Mitchell, 1967; Vandevivere & Baveye, 1992; Lieffering & McLay, 1996)

Οι έμμεσες επιδράσεις δεν έχουν μελετηθεί εκτενώς (Lado & Ben-Hur, 2009). Οι κύριοι παράγοντες που επιδρούν στην υδραυλική αγωγιμότητα είναι (Assouline & Narkis, 2011):

- ✓ η εδαφική αλατότητα
- ✓ η συγκέντρωση του νατρίου στο έδαφος
- ✓ η οργανική ουσία του εδάφους,
- ✓ η δομή και το είδος των αργιλικών ορυκτών.

Είναι εμφανές ότι η επί πολλά έτη εφαρμογή άρδευσης με ΕΥΑΑ μεταβάλλει τις χημικές ιδιότητες του εδάφους. Αυτές οι αλλαγές μπορούν να επηρεάσουν τη δομή του εδάφους, λόγω της διαβροχής και της βαθύτερης διήθησης. Σε αυτή την περίπτωση, χαμηλής αλατότητας εδαφικό διάλυμα, λόγω της υψηλής ποιότητας του εφαρμοζόμενου νερού (βροχόπτωση ή πειραματισμός με απιονισμένο) , προκαλεί διόγκωση του εδάφους και διασπορά της αργίλου (Naghshineh-Pour, et. al., 1970; Oster & Scroer, 1979; Oster, et. al., 1980; Lado & Ben-Hur, 2009; Assouline & Narkis, 2011). Οι Mace & Amrhein, (2001) συμπέραναν ότι οι μηχανισμοί που επιδρούν στην υδραυλική αγωγιμότητα είναι η καταστροφή των συσσωματωμάτων, η διόγκωση του εδάφους και η διασπορά μικρών τεμαχιδίων. Καθένας από τους τρεις αυτούς μηχανισμούς συμμετέχει σε διαφορετικό βαθμό. Η διασπορά της αργίλου, η οποία καταλήγει σε μετακίνηση μικρών τεμαχιδίων εντός του πορώδους και έμφραξη κάποιων πόρων, προξενεί τη μείωση της υδραυλικής αγωγιμότητας. Αυτό συμβαίνει, όταν καλύτερης ποιότητας νερό (βροχόπτωση ή απιονισμένο νερό) διηθείται στην εδαφική κατατομή (McNeal, et. al., 1966; Felhendler, et. al., 1974; Frenkel, et. al., 1978; Shainberg, et. al., 1981; Minhas & Sharma, 1986). Η διόγκωση του εδάφους θεωρείται σημαντική, ώστε να επιδράσει και να μεταβάλλει της υδραυλική αγωγιμότητα, σε τιμές ποσοστού ανταλλάξιμου νατρίου (ESP) , μεγαλύτερου του 15%, αν και έχει παρατηρηθεί μείωση της υδραυλικής αγωγιμότητας και σε τιμές ESP, κοντά στο 5%. Το φαινόμενο της καταστροφής των συσσωματωμάτων αυξάνεται, όσο αυξάνεται η τιμή του SAR. Μεταξύ αυτών των τριών μηχανισμών, η μείωση της Ks οφείλεται πρωτίστως στην καταστροφή των συσσωματωμάτων και στη διασπορά της αργίλου, διαδικασίες που οδηγούν σε έμφραξη του πορώδους, και έτσι μείωσή της (Sumner, 1993).

Σε ό,τι αφορά στην οργανική ουσία, η άρδευση με ΕΥΑΑ προσθέτει θρεπτικά στοιχεία, γεγονός που ενισχύει την ανάπτυξη των μικροοργανισμών, κάτι που μπορεί να οδηγήσει σε εμφράξεις του πορώδους και έτσι σε μείωση της Ks (Lado & Ben-Hur, 2009; Assouline & Narkis, 2011). Άλλοι ερευνητές έχουν αναφέρει ότι η αύξηση της οργανικής ουσίας, ως αποτέλεσμα της άρδευσης με ΕΥΑΑ, οδήγησε σε αύξηση της σταθερότητας των συσσωματωμάτων και έτσι εμποδίστηκε η μείωση της Ks, ως αποτέλεσμα της διήθησης απιονισμένου νερού (Auerswald, 1995; Lado, Paz, & Ben-Hur, 2004b).

Σε ό,τι αφορά στον τύπο των αργιλικών ορυκτών, η Ks μειώνεται, όταν αυξάνεται ο SAR και μειώνεται η αλατότητα του εδαφοδιαλύματος, ειδικότερα για εδάφη που περιέχουν αργιλικά ορυκτά του τύπου 2:1 (McNeal, et. al., 1966; Yaron & Thomas, 1968).

Από την βιβλιογραφική ανασκόπηση, σε ό,τι αφορά στην επίδραση της χρήσης ΕΥΑΑ για άρδευση, προκύπτουν εργασίες, στις οποίες τα συμπεράσματα ήταν αντικρουόμενα μεταξύ τους Assouline & Narkis, (2011). Από τους Levy, et. al., (1999) και Levy, et. al., (2005) αναφέρθηκε ότι σε τρία εδάφη του Ισραήλ δεν παρατηρήθηκαν διαφορές στην υδραυλική αγωγιμότητα, μεταξύ των εφαρμογών άρδευσης με ΕΥΑΑ

και με καθαρό νερό. Μάλιστα σε μία περίπτωση ενός αργιλώδους εδάφους, παρατηρήθηκε ότι η Ks της εφαρμογής άρδευσης με καθαρό νερό ήταν μεγαλύτερη από αυτή της εφαρμογής του ΕΥΑΑ. Παρόμοια αποτελέσματα αναφέρθηκαν από τους Bhardwaj, et. al., (2007), τόσο για αδιατάρακτα, όσο και για διαταραγμένα και ξαναπακεταρισμένα δείγματα, που ελήφθησαν από καλλιέργεια που αρδεύτηκε με τοπική άρδευση, αλλά με διαφορετικά μέσα εφαρμογής (Spreyer και σταγόνα) και στην οποία ακολουθήθηκαν δύο συστήματα καλλιέργειας (ακαλλιέργεια και κατεργασία εδάφους). Αντιθέτως, ο Mathan, (1994) για ένα αμμοπηλώδες έδαφος με χαμηλά ποσοστά οργανικής ουσίας, το οποίο αρδευόταν για δέκα χρόνια με ΕΥΑΑ, ανέφερε ότι η Ks του εδάφους που αρδευόταν με ΕΥΑΑ ήταν μεγαλύτερη από την Ks του εδάφους που αρδευόταν με καθαρό νερό. Αυτό, σύμφωνα με τους ερευνητές, συνέβη, διότι οι τιμές του SAR του ΕΥΑΑ ήταν χαμηλότερες από τις αντίστοιχες τιμές του καθαρού νερού. Οι Cook, et. al., (1994) ανέφεραν για τα ίδια εδάφη της Νέας Ζηλανδίας μείωση της Ks, μετά από εφαρμογή άρδευσης με ΕΥΑΑ, για πέντε χρόνια. Είναι εμφανές ότι τα αποτελέσματα κυμαίνονται, ανάλογα με την κοκκομετρία του εδάφους και εν γένει τις συνθήκες που επικρατούν στο έδαφος (Levy & Assouline, 2011).

Στην παρούσα ενότητα, γίνεται προσπάθεια να αναδειχθεί η σημαντικότητα του τύπου των αργιλικών ορυκτών, που περιέχονται στο έδαφος στην μείωση της Ks, ως αποτέλεσμα της βροχόπτωσης που ακολουθεί την αρδευτική περίοδο με ΕΥΑΑ, πάντα σε σχέση με το μάρτυρα, που είναι η Ks εδάφους που αρδεύεται με καθαρό νερό. Επίσης, επιχειρείται να αναδειχθεί η αδυναμία των υφιστάμενων κριτηρίων, σύμφωνα με τα οποία κάποιος, βασιζόμενος στα φυσικο-χημικά χαρακτηριστικά του αρδευτικού νερού, μπορεί να εξάγει συμπεράσματα για τις επιδράσεις του νερού αυτού, επί των φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους. Ειδικότερα, η περιγραφείσα αδυναμία προκύπτει για εδάφη, όπου η μείωση της Ks προκύπτει ως αποτέλεσμα κυρίως της διασποράς της αργίλου και δευτερευόντως της διόγκωσης αυτής.

2.4.1. Υλικά και Μέθοδοι

Ο πειραματικός αγρός, στον οποίο υλοποιήθηκε το εν λόγω πείραμα έχει περιγραφεί στην ενότητα 1.4.1.2

2.4.1.1. Δειγματοληψία και χειρισμός δειγμάτων

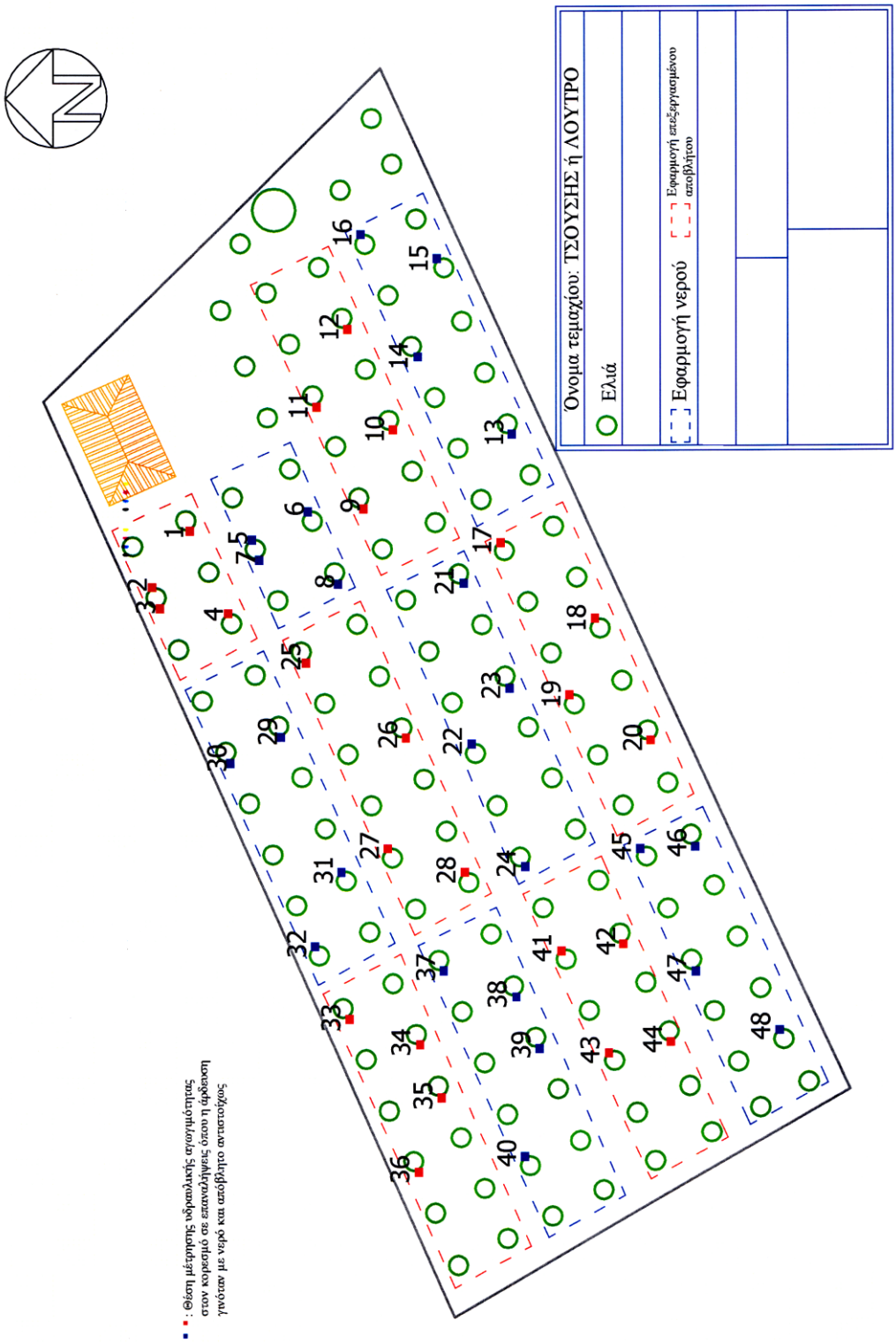
Σε ό,τι αφορά στη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων, αυτή έχει περιγραφεί στις ενότητες 1.4.1.3. και 2.2.1.1. Σε ό,τι αφορά στις αναλύσεις των εδαφικών δειγμάτων, αυτές έχουν αναφερθεί στην ενότητα 2.2.1.1 Ο δείκτης προσρόφησης νατρίου (SAR) προσδιορίσθηκε με τη χρήση της εξίσωσης 1. Ο προσδιορισμός του είδους των αργιλικών ορυκτών έγινε με τη χρήση ενός διαθλασίμετρο ακτίνων Χ, μάρκας Siemens (Bruker AXS) D-5005, σε συνδυασμό με τη χρήση του λογισμικού DIFFRACplus.

Για τις ανάγκες του πειράματος στο τέλος της δεύτερης αρδευτικής περιόδου και πριν την έναρξη των βροχοπτώσεων (Σεπτέμβριος 2012) , ελήφθησαν επιφανειακά αδιατάρακτα δείγματα, χρησιμοποιώντας μεταλλικούς κυλίνδρους, λεπτού τοιχώματος και όγκου 640 cm^3 (Εικόνα 12).

Εικόνα 12 Προσαρμογή υφάσματος και σήτας στη βάση του σωλήνα με σφικτήρα

Οι κύλινδροι εισήλθαν στο έδαφος σε βάθος τέτοιο, ώστε να προκύπτει εδαφικό δείγμα, ύψους 10 cm. Ακολούθως, γινόταν αφαίρεση του κυλίνδρου με το δείγμα ,σκάβοντας περιφερειακά μέχρι τη βάση του κυλίνδρου και κόβοντας με μαχαίρι κάθετα το έδαφος στη βάση του. Με τη μέθοδο αυτή, ελήφθησαν τέσσερα δείγματα ανά επανάληψη, συνεπώς 24 δείγματα, ανά εφαρμογή. Στο κάτω μέρος των δειγμάτων τοποθετήθηκε ύφασμα μαζί με λεπτή σήτα και δέθηκαν πάνω στην μεταλλική σωλήνα με σφικτήρα.

Οι θέσεις, από τις οποίες ελήφθησαν τα δείγματα εμφανίζονται στο Σχήμα 40. Οι θέσεις αυτές ήταν εντός του διαβρεχόμενου κύκλου που δημιουργούνταν κατά την άρδευση από το sprayer.



Σχήμα 39 Σχέδιο του πειραματικού αγρού με τις επαναλήψεις των δύο εφαρμογών καθώς και τα σημεία δειγματοληψίας σωλήνων

2.4.1.2. Προσδιορισμός της υδραυλικής αγωγιμότητας στον κορεσμό

Για τον προσδιορισμό της Ks χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος περατόμετρου σταθερού φορτίου (Klute & Dirksen, 1986). Εφαρμόσθηκε σταθερό φορτίο στην επιφάνεια του εδαφικού δείγματος και καταγραφόταν ο όγκος νερού (V) , που

εξερχόταν από τη βάση του δείγματος με το χρόνο, ως αποτέλεσμα της κλίσης του φορτίου. Η μακροσκοπική ταχύτητα μπορούσε να υπολογισθεί σύμφωνα με την εξίσωση:

$$\boldsymbol{u_z = \frac{4\,V\,(t)}{\pi\,D^2 t}} \qquad (27)$$

Η μακροσκοπική ταχύτητα μπορούσε να υπολογισθεί επιπλέον και με το νόμο του Darcy:

$$u_z = K_s\,\frac{H+L}{L} \qquad (28)$$

Με αντικατάσταση από τις εξισώσεις 27 και 28 έχουμε:

$$K_s = \frac{4\,V\,(t)L}{\pi\,D^2\,t\,(H+L)} \qquad (29)$$

Όπου D και L είναι η διάμετρος και το ύψος των δειγμάτων, αντιστοίχως.Το H είναι το ύψος του φορτίου νερού που εφαρμόζεται στην επιφάνεια του εδαφικού δείγματος, το οποίο διατηρείτο σταθερό, V(t) είναι ο όγκος του εξερχόμενου νερό από τη βάση του δείγματος με ρο χρόνο και Ks είναι η υδραυλική αγωγιμότητα στον κορεσμό του δείγματος.

2.4.2. Αποτελέσματα-Συζήτηση

Στον Πίνακα 75 του Παραρτήματος Ι εμφανίζονται οι τιμές της Ks των αδιατάρακτων δειγμάτων, ανά εφαρμογή. Μετά από έλεγχο και αντικατάσταση των ακραίων τιμών ακολούθησε στατιστική επεξεργασία και τα αποτελέσματα εμφανίζονται στον Πίνακα 53.

Πίνακας 53 Ανάλυση Διασποράς

Πηγή Παραλλακτικότητας	ΒΕ	Άθροισμα τετραγώνων	Μέσο Τετράγωνο	F Ratio	Prob > F[36]
Επέμβαση	1	2411,73	2411,73	4,7258	0,0355*
Ομάδα	5	31670,97	6334,19	12,411	<,0001*
Υπόλοιπο	41	20923,74	510,34		
Σύνολο	47	55006,44			

Η ανάλυση έδειξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μέσων όρων των τιμών της Ks, για τις δύο εφαρμογές (ΕΥΑΑ και ΚΝ) (Prob>F 0,0355). Επίσης, έδειξε σημαντική επίδραση των ομάδων (P>0,0001) , γεγονός που σημαίνει ότι ορθώς χρησιμοποιήθηκε το πειραματικό σχέδιο των πλήρων τυχαιοποιημένων ομάδων, καθ' όσον η όποια χωρική παραλλακτικότητα αφαιρέθηκε μέσω αυτού. Πέραν αυτού, το συγκεκριμένο πειραματικό σχέδιο εξήγησε ικανοποιητικά το 61,9% (R^2) της διακύμανσης. Ο μέσος όρος των Ks των εδαφικών δειγμάτων της εφαρμογής που αρδεύτηκε με ΕΥΑΑ (Ks-A=33.18 cm/h)) ήταν μικρότερος, από τον αντίστοιχο των δειγμάτων, που αρδεύτηκε με ΚΝ (Ks-N=47.35 cm/h)).

[36] Student's t-test με επίπεδο σημαντικότητας α=0,05

Μείωση της υδραυλικής αγωγιμότητας έχει αναφερθεί και από άλλους ερευνητές, με τη διαφορά ότι στην παρούσα περίπτωση, αυτό δεν ήταν αναμενόμενο καθ' όσον τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των δύο αρδευτικών νερών ήταν παρόμοια και δεν θα έπρεπε να δώσουν διαφορές στις εδαφικές φυσικές ιδιότητες, λαμβάνοντας υπ' όψιν τα κριτήρια των (Ayers & Westcot, 1985). Δεδομένου αυτού του αντιφατικού αποτελέσματος, προχωρήσαμε σε ανάλυση όλων εκείνων των εδαφικών παραγόντων που παίζουν ρόλο στη διαμόρφωση της τιμής της Ks, με στόχο κατ' αρχήν να διαπιστωθεί εάν οι διαφορές στις τιμές των Ks των δύο εφαρμογών ήταν αποτέλεσμα των δύο διαφορετικών νερών άρδευσης ή προϋπήρχαν του πειράματος.

Η ανάλυση της διακύμανσης όλων των εδαφικών παραμέτρων που θα μπορούσαν να επηρεάσουν τις τιμές της υδραυλικής αγωγιμότητας, ανά δείγμα, εμφανίζεται στον Πίνακα 54.

Πίνακας 54 Στατιστική ανάλυση εδαφικών χαρακτηριστικών ανά εφαρμογή (ΕΥΑΑ και ΚΝ)

Παράμετρος	ΕΥΑΑ	ΚΝ	R^2	CV%	Prob>F
Άμμος (%)	40,5	40,3	0,22	8,6%	0,8348 μσ
Ιλύς (%)	32,9	33,7	0,17	8,2%	0,2672 μσ
Άργιλλος (%)[37]	26,5	25,7	0,32	9,9%	0,2649 μσ
B>2 mm (% B ολικού)	8,8	8,9	0,15	38%	0,8471 μσ
Φαινομενική Πυκνότητα (d) (gr/cm^3)	1,35	1,33	0,43	6,3%	0,2655 μσ
pH	7.83	7.41	0.63	2.5%	**<0.0001*** **
ΙΑΚ (meq·100 gr^{-1}=cmole·kg^{-1})	16.93	17.37	0.02	9.8 %	0.6646 μσ
Οργανική Ουσία (%)	2,86	2,96	0,13	21%	0,5852 μσ
$CaCO_3$ (%)	0,63	0,50	0,34	100%	0,4311 μσ
ECe (μS/cm)	1392	1179	0,50	12,6%	**<0.0001*** **
K^+ (cmole·kg^{-1})	5,9	5,0	0,29	19,4%	**0,0043** **
Na^+ (cmole·kg^{-1})	7,08	4,66	0,71	16,7%	**<0.0001*** **
Ca^2 (cmole·kg^{-1})	155	167	0,13	44%	0,5671 μσ
Mg^{2+} (cmole·kg^{-1})	17,1	15,2	0,35	9,7%	**<0.0001*** **
SAR	0,14	0,09	0,70	19%	**<0.0001*** **
ESP (%)	4.22	2.68	0.68	18.6 %	**<0.0001*** **
Ks (cm/h)	**33,2**	**47,4**	**0,61**	**55%**	**0,0355***

(μσ= μη σημαντικό, *= P<0,05, **= P<0,01, ***= P<0,001)

Η ανωτέρω ανάλυση έδειξε στατιστικά σημαντική διαφορά για εδαφικές παραμέτρους, των οποίων οι τιμές είναι κατά βάσει αποτέλεσμα των χαρακτηριστικών των δύο νερών άρδευσης. Συγκεκριμένα, τα εδαφικά δείγματα ήταν διαφορετικά, σε ό,τι αφορά στο pH, ECe, K^+, Na^+, Mg^{2+} , SAR και ESP (τουλάχιστον Prob>F 0,01). Τα

[37] Το αργιλικό ορυκτό ήταν Ιλλίτης

εδαφικά δείγματα, που είχαν αρδευτεί με ΕΥΑΑ, έδωσαν μεγαλύτερες μέσες τιμές των συγκεκριμένων επτά παραμέτρων (pH_{mean}=7.83>7.41, ECe_{mean}=1392>1179 μS/cm, K^{+}_{mean}=5.9>5.0 $cmole^{\cdot}kg^{-1}$, Na^{+}_{mean}=7.08>4.66 $cmole^{\cdot}kg^{-1}$, Mg^{2+}_{mean}=17.1>4.66 $cmole^{\cdot}kg^{-1}$, SAR_{mean}=0.14>0.09, and ESP_{mean}=4.22>2.68). Από τις παραμέτρους αυτές, οι έξι (εξαιρώντας το pH) εξαρτώνται από τις αντίστοιχες σχετικές τιμές των δύο εφαρμοζόμενων νερών άρδευσης (Πίνακας 18) , όπου εκεί φαίνεται ότι στο ΕΥΑΑ οι τιμές είναι μεγαλύτερες, από ότι αυτές του ΚΝ. Οι παρατηρηθείσες διαφορές στο pH οφείλονται κυρίως στην έμμεση επίδραση, εν γένει, των χημικών χαρακτηριστικών των δύο εφαρμοζόμενων νερών και όχι λόγω της άμεσης επίδρασης του pH των δύο αρδευτικών νερών, δεδομένου ότι οι μέσες τιμές του pH των δύο αρδευτικών νερών ήταν παραπλήσιες ($pH_{ΕΥΑΑ\ μέσο}$=7.84, $pH_{FKN\ μέσο}$ =7.95 για το έτος 2011 και 7.74≈7.58 για το έτος 2012). Επίσης, η στατιστική ανάλυση έδειξε ότι δεν προϋπήρχαν διαφορές στα εδαφικά δείγματα, τέτοιες που θα οδηγούσαν σε διαφορετικές τιμές Ks, εκ των υστέρων. Συγκεκριμένα, στις μέσες τιμές όλων των άλλων παραμέτρων που εμφανίζονται στον Πίνακα 54 δεν διαπιστώθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο εφαρμογών. Ακολούθως, υλοποιήθηκε ανάλυση πολυπαραμετρικής συσχέτισης (Πίνακας 55) των τιμών όλων αυτών των εδαφικών ιδιοτήτων, αφ' ενός μεν για να αναδειχθούν οι επιδράσεις μεταξύ όλων αυτών των παραγόντων ανά εφαρμογή, και αφ' ετέρου για να εξετασθεί η επιρροή καθ' ενός από αυτούς τους παράγοντες στις τιμές της Ks των δύο εφαρμογών (Ks-A: εφαρμογή ΕΥΑΑ, Ks-N: εφαρμογή ΚΝ).

Πίνακας 55 Πολυπαραγοντική συσχέτιση μεταξύ εδαφικών παραγόντων και Ks ανά εφαρμογή

ΕΥΑΑ ΚΝ	Άμμος	Ιλύς	Άργιλος	B>2 mm	d	pH	O.M.	$CaCO_3$	EC	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SAR	ESP	Ks_{-EYAA}
Άμμος		**-0.542****	**-0.775*****	**0.446***	-0.047	-0.263	0.129	-0.258	-0.204	-0.244	-0.201	-0.207	-0.209	-0.068	-0.025	-0.139
Ιλύς	**-0.737*****		-0.110	**-0.447***	-0.173	-0.051	0.317	0.158	0.116	**0.418***	0.222	-0.132	-0.130	0.255	0.198	0.074
Άργιλλος	**-0.775*****	-0.110		-0.191	0.185	0.349	-0.391	0.187	0.155	-0.026	0.071	0.344	0.345	-0.111	-0.119	0.109
B>2 mm	**-0.501***	-0.168	0.302		-0.196	**0.489***	-0.226	0.377	0.285	-0.217	-0.318	**0.455***	0.149	**-0.442***	-0.302	0.202
d	-0.150	0.245	-0.085	0.090		-0.042	-0.333	-0.359	**-0.467***	**-0.401***	**0.481***	-0.323	0.087	**0.523*****	**0.549*****	**-0.670*****
pH	**-0.487***	0.199	0.344	0.283	**-0.510***		-0.278	**0.605***	**0.511***	-0.073	0.091	**0.615****	0.238	-0.192	-0.035	0.320
Ορ.Ουσ	-0.284	0.233	0.116	**0.472***	0.307	0.055		-0.115	0.159	0.326	-0.077	-0.156	0.051	0.005	-0.029	0.131
$CaCO_3$	-0.183	0.090	-0.069	-0.057	**-0.432***	**0.676*****	-0.178		**0.681*****	0.030	-0.030	**0.860*****	0.321	**-0.403***	-0.181	**0.652*****
EC	0.275	-0.127	-0.267	-0.281	-0.366	0.010	**-0.523****	0.396		0.207	-0.134	**0.693*****	0.050	**-0.414***	-0.312	**0.770*****
K^+	-0.133	0.060	0.120	-0.102	-0.133	0.138	0.232	-0.074	-0.172		0.180	-0.011	-0.038	0.128	0.127	0.141
Na^+	-0.140	0.261	-0.050	-0.004	0.177	-0.263	0.220	-0.139	-0.101	**0.428***		-0.184	0.206	**0.884*****	**0.963*****	-0.280
Ca^{2+}	-0.015	0.113	-0.129	-0.119	**-0.527****	**0.462***	-0.073	**0.527****	0.281	0.044	-0.024		**0.411***	**-0.613***	-0.348	**0.582****
Mg^{2+}	-0.128	0.168	0.090	-0.058	0.059	-0.068	-0.021	-0.251	-0.102	0.099	-0.076	0.166		-0.020	0.119	0.140
SAR	-0.055	0.148	-0.034	-0.006	**0.410***	**-0.518****	0.233	**-0.431***	-0.276	0.336	**0.875*****	**-0.469***	-0.163		**0.931*****	**-0.452***
ESP	-0.207	0.380	-0.131	0.068	0.169	-0.196	0.197	0.059	0.068	0.334	**0.862*****	-0.042	-0.101	**0.728*****		**-0.433***
Ks_{-KN}	0.293	-0.359	-0.076	-0.212	**-0.706*****	0.386	-0.368	**0.441***	**0.467***	0.006	**-0.477***	0.335	0.187	**-0.603****	**-0.409***	

(Sample size = 24, *= P<0,05, **= P<0,01, ***= P<0,001)

Ως ήταν αναμενόμενο, και για τις δύο εφαρμογές οι Ks συσχετίσθηκαν αρνητικά, με τον SAR (ΕΥΑΑ=-0.452, ΚΝ=-0.603), τον ESP (ΕΥΑΑ=-0.433, ΚΝ=-0.409) και τη φαινομενική πυκνότητα (d) (ΕΥΑΑ=-0.670, ΚΝ=-0.706) και θετικά, με τη συγκέντρωση $CaCO_3$ (ΕΥΑΑ=0.652, ΚΝ=0.441) και την ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) (ΕΥΑΑ=0.770, ΚΝ=0.467).

Από τη ίδια ανάλυση προκύπτει ότι η αρνητική συσχέτιση μεταξύ Ks και SAR είναι ισχυρότερη στα εδαφικά δείγματα που αρδεύτηκαν με ΚΝ, από ότι σε εκείνα που αρδεύτηκαν με ΕΥΑΑ. Η διαπίστωση αυτή θα μπορούσε να αποδοθεί στη μεγαλύτερη τιμή EC που παρατηρήθηκε στα εδαφικά δείγματα που αρδεύτηκαν με ΕΥΑΑ (EC=1392 μS/cm) , από ότι σε αυτά που αρδεύτηκαν με ΚΝ (EC=1179 μS/cm) (Πίνακας 54). Αυτό θα μπορούσε να συμβαίνει, διότι στα δείγματα που αρδεύτηκαν με ΕΥΑΑ, έχοντας μεγαλύτερη EC, κατά τη διαδικασία προσδιορισμού της Ks, μπορούσε να διατηρηθεί πιο πυκνό το εδαφοδιάλυμα, από ότι στα δείγματα που αρδεύτηκαν με ΚΝ (Levy G. J., 2000). Αυτό, δηλαδή η διατήρηση πυκνού εδαφοδιαλύματος στα δείγματα που είχαν αρδευτεί με ΕΥΑΑ, λόγω αυξημένης EC, θα μπορούσε να μετριάσει την επίδραση της τιμής του SAR στα εδαφοδείγματα που είχαν αρδευτεί με ΕΥΑΑ, και αντιθέτως να ενισχύσει την επίδραση της συγκέντρωσης του Να σε εκείνα που αρδεύτηκαν με ΚΝ, παρότι η συγκέντρωση του Na^+, στα δεύτερα ήταν μικρότερη, από ότι στα πρώτα. Να σημειωθεί ότι η επίδραση της μείωσης της συγκέντρωσης του εδαφοδιαλύματος στην Ks είναι ισχυρότερη, όταν ο επικρατών μηχανισμός για τη μείωση της Ks είναι η διασπορά της αργίλου (Shainberg & Letey, 1984). Τα ευρήματα αυτά μπορούν να υποστηριχθούν και από την παρατήρηση ότι η συσχέτιση της Ks με την ECe είναι ισχυρότερη στα εδαφικά δείγματα που αρδεύτηκαν με ΕΥΑΑ, από ότι σε εκείνα που αρδεύτηκαν με ΚΝ(Πίνακας 55).

Η επίδραση του ESP στην Ks φαίνεται παρόμοια και στις δύο εφαρμογές (Πίνακας 27) , αν και οι τιμές του ESP των εδαφοδειγμάτων των δύο εφαρμογών διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους (Πίνακας 54). Αυτό θα μπορούσε να αποδοθεί στην συγκέντρωση του Μαγνησίου, το οποίο δρώντας ως δισθενές ιόν μειώνει την επίδραση των ιόντων Νατρίου (USSL Staff, 1954). Η συγκέντρωση του Μαγνησίου στα δείγματα που αρδεύτηκαν με ΕΥΑΑ είναι στατιστικά σημαντικότερη, από ότι αυτή των εδαφοδειγμάτων που αρδεύτηκαν με ΚΝ (Πίνακας 54).

Η επίδραση του ανθρακικού ασβεστίου στην Ks είναι σημαντικότερη στα εδαφικά δείγματα που αρδεύτηκαν με ΕΥΑΑ, από ότι σε αυτά που αρδεύτηκαν με ΚΝ (Πίνακας 27), παρ' ότι δεν διαπιστώθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των δειγμάτων των δύο εφαρμογών (Πίνακας 54). Το εύρημα αυτό μπορεί να αποδοθεί αφ' ενός στο γεγονός ότι το ανθρακικό ασβέστιο δρα ως κολλητική ουσία των αργιλικών κολλοειδών (USSL Staff, 1954), και εφ' ετέρου στο ότι, διαλυτοποιούμενο, διατηρεί τη συγκέντρωση του εδαφοδιαλύματος, σε τιμή πάνω από το όριο κροκίδωσης (Shainberg, et. al., 1981; Shainberg & Gal, 1982). Περαιτέρω, τα αποτελέσματα μάς έδειξαν ότι η συσχέτιση του ανταλλάξιμου ασβεστίου με την Ks είναι ισχυρότερη στα εδαφικά δείγματα που αρδεύτηκαν με ΕΥΑΑ, από ότι σε αυτά που αρδεύτηκαν με ΚΝ (Πίνακας 55). Παρόλ' αυτά, τόσο οι τιμές των παραμέτρων που μπορούν να ρυθμίσουν την Ks, όσο και οι μεταξύ των εφαρμογών συσχετίσεις τους δεν είναι τέτοιου μεγέθους, ώστε να δώσουν μία τέτοια στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των Ks των δύο εφαρμογών, με τέτοια μείωση της Ks-A, έναντι της Ks-N.

Τα ευρήματά μας συμφωνούν με αυτά των Mace & Amrhein, (2001) και Assouline & Narkis, (2011), οι οποίοι ανέφεραν ότι μείωση της υδραυλικής αγωγιμότητας μπορεί να παρατηρηθεί και για τιμές ESP κοντά στο 5%, όπου κυμαίνονται και οι τιμές ESP των εδαφικών δειγμάτων, που αρδεύτηκαν με ΕΥΑΑ του πειράματός μας (Πίνακας 54). Απέδωσαν τη μείωση της υδραυλικής αγωγιμότητας σε διασπορά της αργίλου, σε διόγκωσή της και σε καταστροφή της δομής των συσσωματωμάτων. Σύμφωνα με αυτούς, κάθένας από αυτούς του μηχανισμούς συμμετέχει σε διαφορετικό βαθμό, εξαρτώμενο από τις σχετικές τιμές των SAR και ESP. Οι Shainberg & Letey, (1984) αναφέρουν ότι σε μικρές τιμές ESP, η κύρια διαδικασία προξένησης μεταβολών στις φυσικές ιδιότητες του εδάφους είναι η διασπορά της αργίλου, ενώ η διόγκωση είναι αντιστοίχως η κύρια διαδικασία για τιμές ESP>15% . Οι Frenkel, et. al., (1978) αναφέρουν ότι, όταν γίνεται άρδευση με νερό μέσου ή μικρού SAR που είναι το σύνηθες, τότε η ορυκτολογία του εδάφους είναι αυτή που παίζει τον πρωτεύοντα ρόλο στο να προσδιορισθεί σε ποιο σημείο θα επηρεαστεί το έδαφος από τη συγκέντρωση του νατρίου.

Στην περίπτωσή μας, το είδος του αργιλικού ορυκτού των εδαφοδειγμάτων μας ήταν ιλλίτης, ένα ορυκτό τύπου 2:1, μη διαστελλόμενο (Μουστάκας, 2009; Παναγιωτόπουλος, 2010). Τα εδάφη με ιλλίτη, στα οποία υπάρχει Μαγνήσιο (όπως η περίπτωσή μας) , η διασπορά της αργίλου ενισχύεται σε μικρές τιμές ESP, λόγω της παρουσίας του Μαγνησίου περισσότερο απ' ότι αν υπήρχε Ασβέστιο (Rengasamy, et. al., 1986). Οι Emerson & Bakker, (1973) κόρεσαν συσσωματώματα με διαλύματα νατρίου, μαγνησίου και νατρίου ασβεστίου και διαπίστωσαν διασπορά της αργίλου σε μικρότερες τιμές ESP στα πρώτα, έναντι των δεύτερων. Επιπλέον, οι McNeal & Coleman, (1966) αναφέρουν ότι τα αργιλικά ορυκτά του τύπου 2:1 είναι πιο ευαίσθητα στην αύξηση του SAR και τη μείωση της EC ως αποτέλεσμα διήθησης στην εδαφική κατατομή νερού, καλύτερης ποιότητας απ' ότι οι άλλοι τύποι των αργιλικών ορυκτών, καταλήγοντας έτσι σε μείωση της Ks. Περαιτέρω, ο Sumner, (1993) ανέφερε ότι οι επιπτώσεις του νατρίου μπορεί να παρατηρηθούν σε κάθε τιμή ESP και για αυτό το λόγο, δεν πρέπει αυστηρά να θεωρείται ότι μείωση της Ks παρατηρείται, για τιμές ESP μεγαλύτερες από 5, για τα εδάφη της Αυστραλίας (McIntyre, 1979) και 15 και τα εδάφη της Αμερικής (USSL Staff, 1954). Συγκεκριμένα, συγκρίνοντας τις μεθοδολογίες που ακολούθησαν οι ερευνητές, για να καταλήξουν σε αυτή τους τη θεώρηση, διαπίστωσε ότι οι διαφορές οφείλονταν στην διαφορετική αγωγιμότητα του νερού που χρησιμοποιήθηκε για τον πειραματισμό, αφού στην Αμερική, χρησιμοποιήθηκε νερό βρύσης με ECw 3-10 mmole/l, ενώ στην Αυστραλία χρησιμοποιήθηκε νερό με αγωγιμότητα ECw <0.7 mmole/l. Επιπλέον, έδειξε ότι εδάφη με τιμές ESP μικρότερες του 1% μπορεί να έχουν συμπεριφορά νατριωμένου εδάφους, κάτι που εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του εδάφους, αλλά και από την αγωγιμότητα του χρησιμοποιούμενου νερού. Έτσι, κατέληξε ότι η επίδραση του νατρίου μπορεί να γίνει εμφανής, ανεξαρτήτως τιμής ESP. Οι Alperovitch, et. al., (1985) αναφέρουν μείωση της Ks για τιμές ESP γύρω στο 5% και επίσης αναφέρουν μείωση της Ks σε μείγμα 3% ιλλίτη-άμμου, όταν διηθήθηκε απιονισμένο νερό. Η μεγάλη διασπορά του ιλλίτη αποδόθηκε από τους Oster, et. al., (1980) στην αδύνατη σύνδεση των φιλλιδίων ιλλίτη μεταξύ τους, κατά την επαφή αυτών σε διάταξη άκρη ενός φυλλιδίου με επιφάνεια ενός άλλου. Η ύπαρξη του φαινομένου στη δική μας περίπτωση επιβεβαιώθηκε από την ύπαρξη τεμαχιδίων στην εκροή των δειγμάτων, που

είχαν αρδευτεί με ΕΥΑΑ. Η καταστροφή της δομής των συσσωματωμάτων ήταν ισχυρότερη στα δείγματα που είχαν αρδευτεί με ΕΥΑΑ από ότι αυτά που είχαν αρδευτεί με ΚΝ, λόγω μεγαλύτερης τιμής του SAR, ευρήματα που συμφωνούν με τα αντίστοιχα του Sumner, (1993).

Από τα ανωτέρω, κάποιος μπορεί να υποστηρίξει ότι σε μερικές περιπτώσεις, η επίδραση των χημικών χαρακτηριστικών ενός αρδευτικού ύδατος στις φυσικές ιδιότητες ενός εδάφους, λόγω μεταβολών της αργίλου, δεν μπορεί με σιγουριά να προβλεφτεί από τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του αρδευτικού ύδατος, βάσει των μέχρι τώρα υφιστάμενων κριτηρίων. Αυτό εξ άλλου έχει αναδειχθεί και από ερευνητές που έχουν εισηγηθεί άλλα νέα κριτήρια, στην προσπάθειά τους να συμπεριλάβουν και άλλες παραμέτρους. Τέτοιοι δείκτες είναι ο MCAR (Monovalent Cation Adsorption Ratio) , μία τροποποιημένη μορφή του SAR, στον οποίο έχει γίνει προσπάθεια να συμπεριληφθεί και η επίδραση του καλίου στο φαινόμενο (Smiles & Smith, 2004).

$$MCAR = \frac{Na+K}{\sqrt{\frac{Ca+Mg}{2}}} \qquad (30)$$

Δεδομένου ότι στον MCAR δεν έχει γίνει διαχωρισμός μεταξύ του μεγέθους που το νάτριο και το κάλιο συνεισφέρουν στη διασπορά της αργίλου ή όπως επίσης και του μεγέθους που το ασβέστιο και το μαγνήσιο συνεισφέρουν στην κροκίδωση της αργίλου, ερευνητές εισηγήθηκαν τον δείκτη CROSS (Cation Ratio Of Soil Structural Stability) (Rengasamy & Marchuk, 2011). Στο συγκεκριμένο δείκτη, έγινε προσπάθεια να συμπεριληφθεί και η σχετική επίδραση διασποράς των ιόντων καλίου και νατρίου, καθώς επίσης και η επίδραση συμπλοκοποίησης των ιόντων μαγνησίου και ασβεστίου, ως σταθερές.

$$CROSS = \frac{Na+0.56\,K}{\sqrt{\frac{Ca+0.60\,Mg}{2}}} \qquad (31)$$

Να σημειωθεί ότι αυτές οι σταθερές προκύπτουν ως ο λόγος των δυνάμεων κροκίδωσης, οι οποίες έχουν υπολογισθεί από τους Rengasamy & Sumner, (1998). Έτσι, ο συντελεστής του καλίου εκφράζει τη σχετική δύναμη διασποράς, σε σχέση με το νάτριο, και ο συντελεστής του μαγνησίου εκφράζει τη σχετική δύναμη κροκίδωσης, σε σχέση με το ασβέστιο. Περαιτέρω, άλλοι ερευνητές, όπως οι Smith, et. al., (2015), έχουν εισηγηθεί βελτιώσεις του δείκτη CROSS, σε ό,τι αφορά στον προσδιορισμό των συντελεστών.

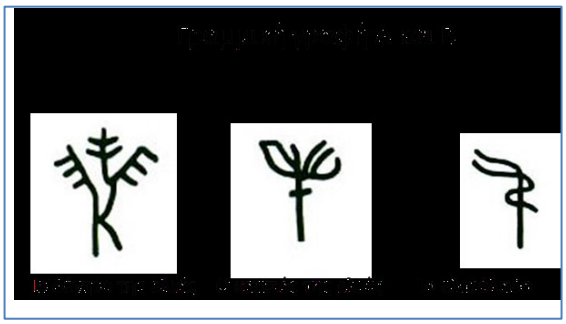
2.4.3. Συμπεράσματα

Σε αυτήν την ενότητα παρουσιάστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές των τιμών της υδραυλικής αγωγιμότητας αδιατάρακτων εδαφοδειγμάτων που προήλθαν από έδαφος που αρδεύτηκε με ΕΥΑΑ, έναντι αυτών που αρδεύτηκαν με ΚΝ (ΚΝ-Ks_{mean}=47.35 $cm \cdot h^{-1}$> ΕΥΑΑ-Ks_{mean}=33.18 $cm \cdot h^{-1}$) , στο τέλος διετούς πειράματος συγκριτικής άρδευσης ελαιώνα με ΕΥΑΑ και με ΚΝ. Με δεδομένα τα χαρακτηριστικά των δύο αρδευτικών υδάτων (ΕΥΑΑ και ΚΝ) και με τη χρήση υφιστάμενων κριτηρίων, μέσω των οποίων είναι εφικτό να προβλεφθεί η επίδραση των χαρακτηριστικών αυτών στις εδαφικές ιδιότητες, δεν προέκυπτε ενδεχόμενος κίνδυνος. Παρόλ' αυτά, διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική μείωση της υδραυλικής αγωγιμότητας στα

εδαφικά δείγματα που είχαν αρδευτεί με ΕΥΑΑ, γεγονός που ερχόταν σε αντίθεση με την πρόβλεψη, βάσει των κριτηρίων. Η μείωση αυτή της Ks διαπιστώθηκε με τη διήθηση καλύτερης ποιότητας νερού «βρόχινου νερού». Η στατιστική ανάλυση των παραγόντων, που ενδέχεται να επηρεάσουν τις τιμές της Ks μεταξύ των δύο εφαρμογών, έδειξε ότι μόνο οι τιμές του εδαφικού pH, EC, K^+, Na^+, Mg^{2+}, SAR και ESP διέφεραν στατιστικώς σημαντικά στα εδαφοδείγματα που αρδεύτηκαν με ΕΥΑΑ, από ότι σε εκείνα που αρδεύτηκαν με ΚΝ, με τα πρώτα να έχουν μεγαλύτερες τιμές, γεγονός που οφείλεται στη μεγαλύτερη συγκέντρωση των στοιχείων αυτών στα ΕΥΑΑ, έναντι του ΚΝ. Επίσης, η ίδια ανάλυση έδειξε ότι δεν προϋπήρχαν διαφορές σε παράγοντες που μπορούσαν να επηρεάσουν τις τιμές της Ks μεταξύ των δειγμάτων των δύο εφαρμογών. Η πολυπαραγοντική ανάλυση έδειξε τη συσχέτιση των παραγόντων αυτών μεταξύ τους, καθώς και με τις τιμές των Ks των δύο εφαρμογών. Διαπιστώθηκε και στις δύο εφαρμογές θετική συσχέτιση μεταξύ EC και Ks και αρνητική μεταξύ SAR, ESP και d με την Ks, ευρήματα που ήταν αναμενόμενα. Παρόλ' αυτή τη διερεύνηση, δεν διαπιστώθηκε κάποιος παράγοντας που το μέγεθός του να μπορεί να αποφέρει τη διαφορά των τιμών της υδραυλικής αγωγιμότητας που παρατηρήθηκε. Μία πιθανή απάντηση, η οποία δικαιολογεί και τα εκτεθέντα ευρήματα, θα μπορούσε να είναι η διασπορά της αργίλου και η έμφραξη των πόρων, καθώς και η καταστροφή των συσσωματωμάτων, με αποτέλεσμα την μείωση της τιμής της Ks. Αυτό συμβαίνει διότι:

- ✓ Ο τύπος της αργίλου των εδαφικών μας δειγμάτων ήταν ιλλίτης, ένα μη διογκούμενο αργιλικό ορυκτό, το οποίο διασπείρεται και σε μικρές τιμές ESP.
- ✓ Τα τύπου 2:1 αργιλικά ορυκτά, στα οποία ανήκει και ο ιλλίτης, είναι ευαίσθητα στην αύξηση του SAR και τη μείωση της συγκέντρωσης του εδαφοδιαλύματος, ως αποτέλεσμα της διήθησης καλύτερης ποιότητας αρδευτικού νερού.

Από τα ευρήματά μας, φαίνεται ότι ούτε τα υφιστάμενα κριτήρια πρόβλεψης των επιπτώσεων της ποιότητας του αρδευτικού νερού στις εδαφικές ιδιότητες, αλλά ούτε και συγκεκριμένα χημικά χαρακτηριστικά του εδάφους είναι απολύτως κατάλληλα, για να εξηγήσουν αλλαγές των φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους, που συμβαίνουν, όταν εφαρμόζεται για άρδευση ΕΥΑΑ. Όλοι αυτοί οι παράγοντες πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν σε συνδυασμό με τα χαρακτηριστικά των αργιλικών ορυκτών, για να είναι εφικτή η πρόβλεψη πιθανών επιδράσεων. Ο Rhoades, (1972) μάλιστα επισημαίνει ότι είναι ειρωνικό το γεγονός ότι ο μεγαλύτερος κίνδυνος από την εφαρμογή του αποβλήτου στο έδαφος που είναι ο κίνδυνος αύξησης της συγκέντρωσης νατρίου, δηλαδή η μειωμένη διαπερατότητα του νερού στο έδαφος, είναι και εκείνη που είμαστε λιγότερο ικανοί να προβλέψουμε.

 [38]

3. ΕΛΗΑ – ΕΛΙΑ - ΛΑΔΙ

[38] Συλλογικό έργο (2007) «Ο δε τόπος … ελαιοφόρος» Η Παρουσία της ελιάς στην Πελοπόννησο, Αθήνα, Πολιτιστικό Ίδρυμα Ομίλου Πειραιώς

3.1. Εισαγωγή

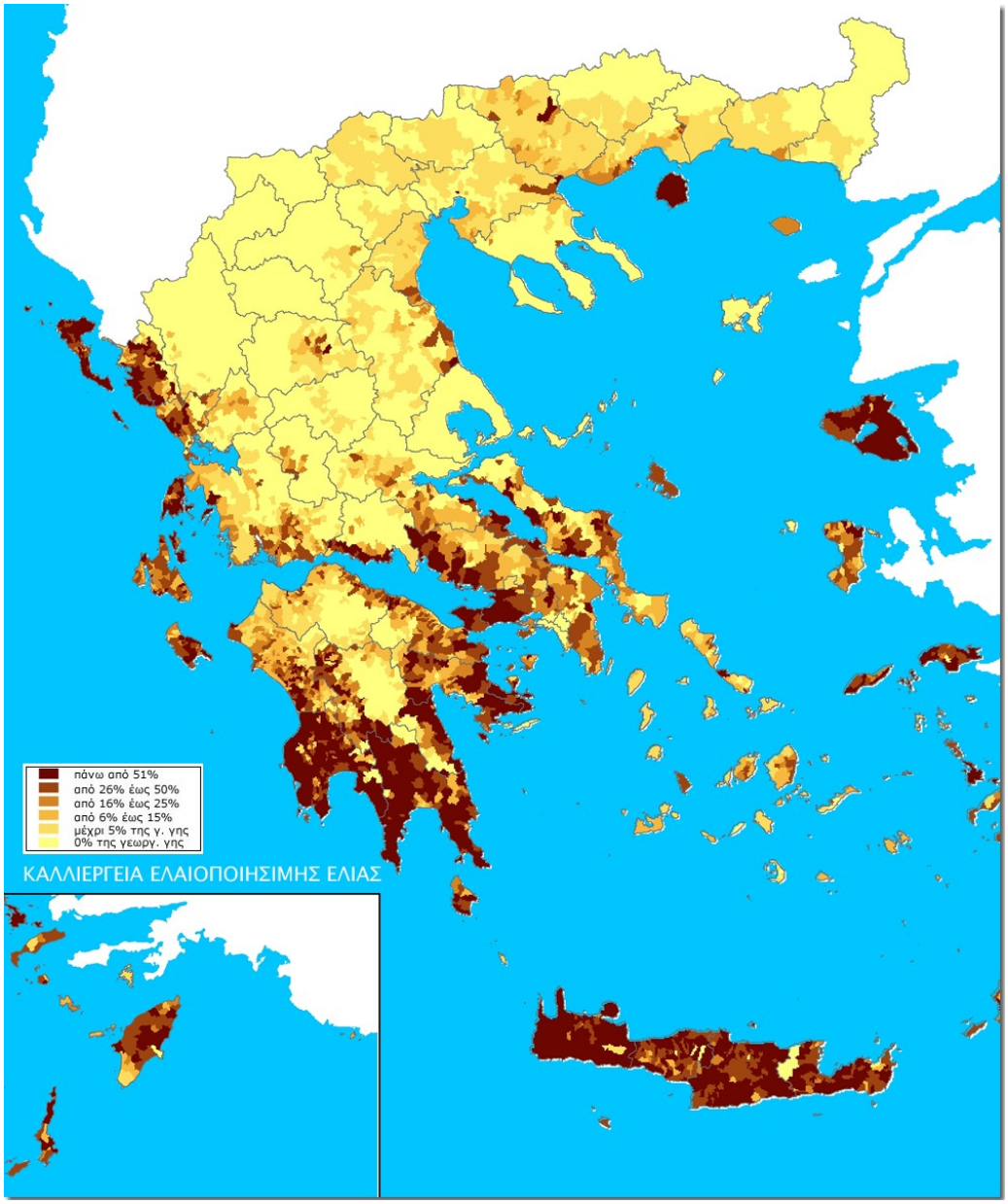
Είναι γεγονός ότι η ελιά διεκδικεί την πρώτη θέση ανάμεσα στα άλλα καρποφόρα δένδρα, που επέδρασαν στις κοινωνικοοικονομικές πραγματικότητες, αλλά και στη σφαίρα της λατρευτικής πρακτικής, των δοξασιών και των εθίμων. (Μπουλώτης, 1996). Από τη νεολιθική τουλάχιστον εποχή, πιστεύεται ότι μαζί με τους βρώσιμους καρπούς διαφόρων δένδρων, θα γινόταν ευκαιριακά και συλλογή των καρπών της αγριελιάς (Olea Europea Oleaster) , για τη συμπλήρωση και τον εμπλουτισμό διαιτολογίου (Renfrew, 1972). Από τους τελευταίους μάλιστα αιώνες της περιόδου αυτής, διαθέτουμε και τα παλαιότερα έως τώρα δείγματα γύρης ελιάς –τρείς στην Κρήτη (Gennett, 1982) και ένα στη Βοιωτία (Hansen, 1988).

Οι απαρχές της ελαιοκαλλιέργειας τοποθετούνται συνήθως στο χρονικό ορίζοντα της λεγόμενης «Πρώιμης Χαλκοκρατίας» (Renfrew, 1972), δηλαδή την Τρίτη χιλιετία π.Χ. , με την Κρήτη να φαίνεται να έχει το προβάδισμα έναντι των υπόλοιπων περιοχών της Ελλάδος, στην εξημέρωση της ελιάς, λόγω του εύκρατου κλίματος και της γεωμορφολογίας της, της εντατικοποίησης της πρωτογενούς γεωργικής παραγωγής αλλά και των επαφών της με τους πολιτισμούς της ανατολικής Μεσογείου, όπου η συστηματική εκμετάλλευση της ελιάς είχε χρονικά προηγηθεί (Liphschnitz, 1987).

Από την Ύστερη Χαλκοκρατία, μέσα από πινακίδα της Γραμμικής Β΄ από το ανάκτορο της Πύλου, διαθέτουμε την παλαιότερη ρητή μαρτυρία για την ενσωμάτωση του ελαιοκάρπου στις διαιτητικές συνήθειες της εποχής (Ventris & Chadwick, 1973), ενώ και σε μικρές ποσότητες ελαιοκάρπου που βρέθηκαν σε υστερομινωικα αγγεία, από την Κνωσσό, τις Αρχάνες και την Κάτω Ζάκρο (Πλάτων, 1974), καθώς και σε τάφους της περιοχής της Μεσαράς (Levi, 1976), έχει αποδοθεί βρώσιμος χαρακτήρας.

Από την άλλη, η χρήση του ελαιολάδου στη διατροφή δεν πιστοποιείται με σαφήνεια, αν και εύλογα θα μπορούσαμε να υποθέσουμε ότι θα γινόταν σε περιορισμένη έστω κλίμακα. Στην πλειονότητά του, ωστόσο, το καταχωρηθέν στις πινακίδες λάδι, είτε ήταν αρωματικό, είτε προοριζόταν ως βάση για την παρασκευή αρωμάτων και αλοιφών, για τη φροντίδα του σώματος, ενδεχομένως και με θεραπευτικές ιδιότητες. Πιθανές είναι και οι βιοτεχνικές χρήσεις του ελαιολάδου, λ.χ. στη βυρσοδεψία και την υφαντική (Melena, 1983), ενώ το λάδι θα ήταν κατάλληλο και ως μέσον καθαρισμού (Chandwick, 1976) ή ως συντηρητικό για την επάλειψη και προστασία ξύλινων και ελεφαντοστέινων επιφανειών (Σακελλαράκης, 1979). Επιπλέον, όταν αποστελλόταν σε διάφορα ιερά, θα κάλυπτε τόσο πρακτικές, όσο και λατρευτικές ανάγκες (Melena, 1983), με μία από τις πιο διαδεδομένες πρακτικές χρήσης του να είναι πιθανότατα για φωτισμό (Renfrew, 1972).

Στη σύγχρονη Ελλάδα, η εξάπλωση των ελαιοποιήσιμων ποικιλιών ελιάς εμφανίζονται στο σχήμα που ακολουθεί:



Σχήμα 40 Χάρτης Κλιμάκωσης της Καλλιέργειας της Ελαιοποιήσιμης Ελιάς Διαθέσιμος στη διεύθυνση: http://wwww.minagric.gr/greek/agro_pol/Maps/Elies_eleop.htm Στοιχεία ΕΛ.ΣΤΑΤ. (2007) από την ετήσια στατιστική έρευνα 2007, ανά δημοτικό και κοινοτικό διαμέρισμα (Καλλικράτης 2007)

Η Ελλάδα είναι από τις πλουσιότερες χώρες σε αυτόχθονες ποικιλίες, σε παγκόσμιο επίπεδο, με περίπου 44 να έχουν καταγραφεί στον εθνικό κατάλογο (1985) , αν και ο αριθμός αυτός εκτιμάται ότι είναι μεγαλύτερος, αγγίζοντας τις 100 ποικιλίες, σύμφωνα με τον Kostelenos, (2010). Η ποικιλία Κωρονέικη είναι η σημαντικότερη ποικιλία για λάδι που καλύπτει πάνω από 55-60% της συνολικής ελαιοκομικής έκτασης, σε επίπεδο χώρας, με κύρια εξάπλωση στην Πελοπόννησο και στην Κρήτη (Χαρτζουλάκης, 2013).

Η ελιά εν γένει χαρακτηρίζεται ως ανθεκτικό είδος, σε ότι αφορά στην ξηρασία, και αντιδρά θετικά στην άρδευση, αυξάνοντας την απόδοσή της και βελτιώνοντας την ποιότητα του λαδιού. Οι Ayers & Westcot, (1976) και οι Rugini & Fedeli, (1990) θεωρούν την ελιά μετρίως ανθεκτικό φυτό, σε ό,τι αφορά στην αλατότητα, αν και, συγκρίνοντας την ελιά με τα λοιπά είδη που καλλιεργούνται στη Μεσόγειο, όπως επί

παραδείγματι τα εσπεριδοειδή, αυτή χαρακτηρίζεται ως ανθεκτικότερη στην αλατότητα. Η ανθεκτικότητα διαφόρων ποικιλιών ελιάς στην αλατότητα εμφανίζεται στον Πίνακα 56.

Πίνακας 56 Κατάταξη των καλλιεργούμενων ποικιλιών ελιάς, ανάλογα με την ανθεκτικότητά τους στην αλατότητα (Chartzoulakis K. S., 2005)

Ανθεκτικότητα	Ποικιλία	Χώρα	Βιβλιογραφική πηγή
Ανθεκτικές	Μεγαρείτικη, Λιανολιά, Κερκύρας Καλαμάτας, Κοθρέικη,	Ελλάδα	(Therios & Misopolinos, 1988; Chartzoulakis, et. al., 2002a; Chartzoulakis, et. al., 2002b)
	Frantoio,	Ιταλία	(Tattini, et. al., 1992; Tattini, 1994)
	Arbequina, Picual, Jabaluna Nevadillo, Lechin de Sevilla, Canivano, Esscarabajuelo	Ισπανία	(Benlloch, et. al., 1994; Marin, et. al., 1995)
	Hamed	Αίγυπτος	(El-Sayed Emtithal, et. al., 1996)
	Chemlali	Τυνησία	(Bouaziz, 1990)
Μετρίως ανθεκτικές	Αμφίσσης, Κορωνέικη, Μαστοειδής Βαλανολιά, Αδραμιτινή	Ελλάδα	(Therios & Misopolinos, 1988; Chartzoulakis, et. al., 2002a; Chartzoulakis, et. al., 2002b)
	Maurino, Coratina, Carolca, Maraiolo	Ιταλία	(Briccoli Bati, et. al., 1994; Tattini, et. al., 1992; Bartolini, et. al., 1991)
	Aggezi, Toffahi	Αίγυπτος	(El-Sayed Emtithal, et. al., 1996)
	Nabali Muhassan	Ιορδανία	(Al-Absi, et. al., 2003)
Ευαίσθητες	Χαλκιδικής Θρουμπολιά, Αγουρομανάκι	Ελλάδα	(Therios & Misopolinos, 1988; Chartzoulakis, et. al., 2002a; Chartzoulakis et. al., 2002b)
	Leccino	Ιταλία	(Tattini, et. al., 1992)
	Bouteillan, Nabal	Αίγυπτος	(El-Sayed Emtithal, et. al., 1996)
	Pajarero, Chetoui, Calego, Cobrancosa, Meski	Ισπανία	(Benlloch, et. al., 1994; Marin, et. al., 1995)

Η ανάπτυξη της ελιάς αναστέλλεται για μέτριες και μεγάλες τιμές αλατότητας, ενώ η επίδραση αυτή φαίνεται να εξαρτάται σημαντικά και από το χρονικό διάστημα της έκθεσης της ποικιλίας στην αλατότητα. Επίσης η ανθεκτικότητα των παραγωγικών δένδρων σε συνθήκες αγρού μπορεί να δώσει διαφορετικά αποτελέσματα, από ότι δίνουν πειράματα σε γλάστρες με νεαρά φυτά. Σύμφωνα με τον Chartzoulakis K. S., (2005), η ανθεκτικότητα του φυτού της ελιάς στην αλατότητα εξαρτάται και από τα είδη των αλάτων που περιέχονται στο αρδευτικό νερό, καθώς επίσης και από την ποικιλία. Η διαβάθμιση του προβλήματος της αλατότητας στο αρδευτικό νερό, σε ό,τι αφορά στην επίδραση επί των ελιών, φαίνεται στον Πίνακα 57.

Πίνακας 57 Οδηγίες σχετικά με την ποιότητα αρδευτικού νερού και της επίδρασης αυτού στην ελιά

Πρόβλημα που προκύπτει από την άρδευση	Διαβάθμιση του προβλήματος		
	Κανένα	Αυξανόμενο	Σοβαρό
Αλατότητα ECw (dS/m)	<2.5	3.5	>5.5
Τοξικότητα σε συγκεκριμένα ιόντα			
Νάτριο (gr/l)	0.25	0.3-1.0	>1.2

Πίνακας 57 Οδηγίες σχετικά με την ποιότητα αρδευτικού νερού και της επίδρασης αυτού στην ελιά

Πρόβλημα που προκύπτει από την άρδευση	Διαβάθμιση του προβλήματος		
	Κανένα	Αυξανόμενο	Σοβαρό
Χλώριο (gr/l)	0.35	0.4-1.5	>1.8
Βόριο (gr/l)	1-2		

Τα μεγάλα οφέλη που προκύπτουν για την υγεία του ανθρώπου από το ελαιόλαδο έχουν αναγνωρισθεί και η χρήση του, στο πλαίσιο της υγιεινούς διατροφής αυξάνει συνεχώς. Τα χημικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του ελαιόλαδου εξαρτώνται από ένα σύνολο παραγόντων, όπως είναι η ποικιλία, ο γονότυπος, το κλίμα, το έδαφος, η διαχείριση της καλλιέργειας και οι χρησιμοποιούμενες τεχνολογικές πρακτικές. Ανάμεσα σε όλα αυτά, η άρδευση διαδραματίζει σημαντικό ρόλο, επηρεάζοντας την ποσότητα και την ποιότητα του λαδιού (Bedbabis, et al., 2009). Δέντρα που βρίσκονται υπό καθεστώς «στρές» , λόγω ελλείψεως νερού, παράγουν λάδι κατώτερης ποιότητας, ενώ η άρδευση έχει αποδειχθεί ότι αυξάνει την απόδοση σε λάδι (Bedbabis, et al., 2009).

Η ζώνη ανάπτυξης της ελιάς στη Μεσόγειο ταυτίζεται με τις περιοχές, όπου υπάρχει έλλειψη νερού και έτσι η επαναχρησιμοποίηση των ΕΥΑΑ για την άρδευση της ελιάς εμφανίζεται ως μία σημαντική εναλλακτική λύση (Gharsallaoui, et al., 2011).

Μέχρι σήμερα, λίγες μελέτες έχουν επικεντρωθεί στην επίδραση των ΕΥΑΑ στην ποιότητα του ελαιολάδου, ενώ οι περισσότερες από αυτές τις μελέτες αξιολογούν τις επιδράσεις στην ποιότητα του ελαιολάδου, προερχόμενου από ποικιλίες ελιών Τυνησιακής προέλευσης (Bedbabis, et al., 2009, 2010a, 2010b; Batarseh, et. al., 2011 και Khabou, et al., 2009). Η μοναδική βιβλιογραφική αναφορά που αξιολογεί την επίδραση της άρδευσης με ΕΥΑΑ σε ελιά ποικιλίας Κορωνέικη είναι η (Petousia, et al., 2015).

3.2. Άρδευση ελιάς (Olea europaea L.cv. 'Koroneiki')

3.2.1. Υλικά και Μέθοδοι

Το εν λόγω πείραμα έλαβε χώρα στον πειραματικό αγρό που περιγράφηκε στην ενότητα 1.4.1.2, για τα έτη 2011 και 2012.

3.2.1.1. Απόδοση σε ελιές και λάδι

Η συλλογή των ελιών γινόταν ηλεκτρομηχανικά με λανάρες, όταν ο καρπός είχε φτάσει στο κατάλληλο στάδιο ωρίμανσης. Γινόταν ξεχωριστή συλλογή κάθε επανάληψης κάθε εφαρμογής, ώστε να είναι εφικτός ο προσδιορισμός της απόδοσης κάθε εφαρμογής, ανά επανάληψη. Από το συλλεγέντα καρπό, εξάγονταν 7 δείγματα των 100 καρπών, ανά επανάληψη, εκ των οποίων προσδιορίσθηκε το μέσο βάρος καρπού, ανά εφαρμογή. Ο καρπός διαχωρισμένος ανά εφαρμογή, οδηγείτο προς

έκθλιψη σε ελαιοτριβείο, όπου ακολουθήθηκαν τα στάδια: Ζύγιση, Πλύση, Άλεση, Μάλαξη (28° C για 30 min), Διαχωρισμός, Φίλτρανση. Από το εξαχθέν λάδι, δείγμα λαμβανόταν και αποθηκευόταν στους 4° C εντός αδιαφανούς φιάλης, προς ανάλυση.

3.2.1.2. Χαρακτηρισμός του λαδιού

Η ελεύθερη οξύτητα δίνεται ως επί τοις εκατό του ελαϊκού οξέος, το οποίο προσδιορίστηκε με τιτλοδότηση διαλύματος λαδιού σε αιθανόλη-αιθέρα (1:1) , με αιθανολικό υδροξείδιο του καλίου. Οι συντελεστές απόσβεσης K232 και K270 μετρήθηκαν με φασματοφωτόμετρο σε μήκη κύματος 232 και 270 nm. Οι τιμές υπεροξειδίου προσδιορίστηκαν με τιτλοδότηση, με θειοθειικό νάτριο και ο δείκτης Delta-K υπολογίστηκε, σύμφωνα με τον ΚΑΝΟΝΙΣΜΟ(ΕΟΚ), αριθμ. 2568/91. Δεδομένου ότι το ΕΥΑΑ περιείχε υψηλές συγκεντρώσεις AI, B και Fe σε σύγκριση με το ΚΝ, το B προσδιορίστηκε χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της αζωμεθίνης, ενώ ο Fe και το AI, με ατομική απορρόφηση (Varian SpectrAA300). Τα λιπαρά οξέα μετατράπηκαν σε μεθυλεστέρες λιπαρών οξέων, σύμφωνα με τη μέθοδο AOAC 969.33 (AOAC, 1995). Οι μεθυλεστέρες λιπαρών οξέων εκχυλίστηκαν από το διάλυμα ελαίου με εξάνιο και αναλύθηκαν με αέρια χρωματογραφία, χρησιμοποιώντας ένα HP 5890 Series II (Hewlett Packard, USA) , αέριο χρωματογράφο, εξοπλισμένο με ένα ανιχνευτή ιονισμού φλόγας και τριχοειδή στήλη (DB-23, J & W Scientific , UK, 60 m μήκος × 0,25 mm πλάτος × 0,25; πάχος φιλμ). Το ήλιο χρησιμοποιήθηκε ως φέρον αέριο, με ρυθμό διάσπασης 50:1. Η θερμοκρασία του εγχυτήρα και του ανιχνευτή ήταν 270 και 280°C, αντιστοίχως. Η θερμοκρασία του κλιβάνου διατηρήθηκε στους 190°C για 30 min, στη συνέχεια αυξήθηκε στους 230°C, με ρυθμό αύξησης 10°C/min και στη συνέχεια παρέμεινε στους 230°C, για 5 min. Πρότυπο διάλυμα μεθυλεστέρων αγοράστηκε από την Supelco και χρησιμοποιήθηκε για την ποιοτική και ποσοτική ανάλυση των λιπαρών οξέων. Τα αποτελέσματα εκφράστηκαν ως σχετική εκατοστιαία αναλογία. Η θρεπτική αξία του ελαίου εκτιμήθηκε, με βάση την ανάλυση των λιπαρών οξέων.

3.2.1.3. Ανάλυση φύλλων

Η δειγματοληψία (μία κατ' έτος) διενεργήθηκε κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου. Συνελέγησαν περίπου 40 πλήρως αναπτυγμένα φύλλα από τη βλάστηση της τρέχουσας περιόδου, περιφερειακά του θόλου των δένδρων, σε ύψος περίπου 1 με 2 m από το έδαφος, ανά εφαρμογή. Τα φύλλα τοποθετήθηκαν σε χάρτινες σακούλες και μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο, όπου πλύθηκαν προσεκτικά με τρεχούμενο νερό βρύσης και τρεις φορές με απιονισμένο νερό, πριν από την ξήρανση τους σε φούρνο στους 70°C, μέχρι αποκτήσεως σταθερού βάρους, οπότε και αλέσθηκαν, δίνοντας μία λεπτή σκόνη. Ξεραμένοι ιστοί φύλλων αποτεφρώθηκαν σε κλίβανο (6h στους 500°C), ώστε ακολούθως να γίνει η ανάλυση για μεταλλικά στοιχεία. Η τέφρα υποβλήθηκε σε υγρή χώνευση σε πυκνό νιτρικό οξύ. Το άζωτο των ιστών των φύλλων αναλύθηκε με τη μέθοδο Kjeldahl, ενώ ο P χρωματομετρικά, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο πέψης H_2SO_4 / H_2O_2 (Gasparatos & Haidouti, 2001) . Το K και το Na μετρήθηκαν με φασματοσκοπία εκπομπής φλόγας και τα Ca, Mg, Fe, Μη, Cu, AI, Νί , Co, Mo, Zn με φασματοφωτομετρία ατομικής απορρόφησης (Varian SpectrAA300). Το B προσδιορίστηκε χρωματομετρικά στα 420 nm, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της

αζωμεθίνης-Η. Τα N, P, K, Ca, Mg και Na εκφράστηκαν ως ποσοστό του ξηρού βάρους, ενώ τα ιχνοστοιχεία εκφράστηκαν σε mgr ή μgr kg-1 ξηρού βάρους.

3.2.2. Αποτελέσματα

Τα εδαφικά χαρακτηριστικά ,όπως αυτά προσδιορίσθηκαν, πριν την έναρξη του πειράματος, ανά ορίζοντα (0-3, 30-60 και 60-90 cm) , εμφανίζονται στον Πίνακα 58.

Πίνακας 58 Εδαφικά χαρακτηριστικά πριν την έναρξη του πειράματος (1/6/2011)

Βάθος (cm)		0-30	30-60	60-90
pH	-	7.19±0.25	7.5±0.17	7.66±0.27
EC	(μS cm-1)	1963±230	1677±258	1683±196
Κοκκομετρική κλάση	-	SCL, CL, L	SCL, CL, L	SCL, CL, L
Οργανική ουσία	%	6.3±0.94	3.7±0.28	2.5±0.27
N (Kjeldahl)	%	0.2±0.015	0.1±0.064	0.07±0.02
$CaCO_3$	%	0.51±0.31	1.02±1.45	2.02±2.53
Na	meq 100 gr^{-1}	0.28±0.09	0.27±0.07	0.31±0.07
K	meq 100 gr^{-1}	0.26±0.049	0.18±0.022	0.18±0.034
Mg	meq 100 gr^{-1}	2.62±0.80	2.09±0.62	2.15±0.50
Ca	meq 100 gr^{-1}	11.77±6.95	17.79±10.90	23.06±13.49
P	meq 100 gr^{-1}	1.54±0.48	1.17±0.52	0.72±0.22

Στον Πίνακα 59 εμφανίζονται τα πειραματικά αποτελέσματα που αφορούν στην απόδοση των ελαιοδένδρων σε καρπό και ελαιόλαδο, καθώς επίσης και στην ποιότητα του παραχθέντος ελαιολάδου, για τα δύο χρόνια πειραματισμού και υπό τις δύο εφαρμογές. Στον ίδιο Πίνακα γίνεται και σύγκριση των ευρεθεισών τιμών, με τις τιμές αναφοράς, δυνάμει του Καν ΕΕ 2568/91, όπως έχει τροποποιηθεί και ισχύει.

Πίνακας 59 Παραγωγή Ελιάς και Ποιότητα παραχθέντος λαδιού, ανά εφαρμογή κατ' έτος[39]

Χαρακτηριστικά	**Έτος**				**Τιμή Αναφοράς[40]**
	2011		**2012**		
	ΚΝ	**ΕΥΑΑ**	**ΚΝ**	**ΕΥΑΑ**	
Μέση απόδοση ανά δένδρο (kg)	12.73 a	15.92 a	9.4 a	8.82 a	-
Βάρος 100 Ελιών (gr)	64.4 a	73.8 a	70.3 b	120.0 a	

[39] Μέσοι όροι εντός της ίδιας γραμμής και για το ίδιο έτος, που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα, δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά, σύμφωνα με το Student's t-test με επίπεδο σημαντικότητας α=0,05.
[40] Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές παραμέτρων για τον χαρακτηρισμό του λαδιού ως έξτρα παρθένου.

Πίνακας 59 Παραγωγή Ελιάς και Ποιότητα παραχθέντος λαδιού, ανά εφαρμογή κατ' έτος[39]

Χαρακτηριστικά	Έτος				Τιμή Αναφοράς[40]
	2011		2012		
	ΚΝ	ΕΥΑΑ	ΚΝ	ΕΥΑΑ	
Λάδι (% του βάρους καρπού)	16.48	16.03	16.43	18.21	-
Λάδι ανά δένδρο (kg)	2.09	2.55	1.54	1.61	
Ελεύθερη οξύτητα (% w/v ολεϊκού οξέως)	0.15	0.12	0.22	0.2	≤ 0.8
K270	0.117	0.116	0.129	0.139	≤ 0.22
K232	1.627	1.602	1.426	1.353	≤ 2.5
Τιμή Υπεροξειδίου (meq O_2 kg^{-1})	7.63	7.13	6.08	6.34	≤ 20
Delta K index	-0.001	-0.001	-0.007	-0.008	≤ 0.01
Al (mgr kg^{-1})	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	-
B (mgr kg^{-1})	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	≤ 0.4
Fe (mgr kg^{-1})	0.02	0.7	0.18	0.19	≤ 5.0

Οι αναλύσεις των παραχθέντων λαδιών για τα δύο χρόνια πειραματισμού και για τις δύο εφαρμογές, σε ό,τι αφορά στα ελεύθερα λιπαρά οξέα (ΕΛΟ) , καθώς και η σύγκριση αυτών, με τις τιμές αναφοράς εμφανίζονται στον Πίνακα 60.

Πίνακας 60 Συγκέντρωση παραχθέντων ελαιολάδων ανά έτος και εφαρμογή σε ελεύθερα λιπαρά οξέα

Ελεύθερα λιπαρά οξέα	Συγκέντρωση (%)				Τιμές Αναφοράς[41]
	2011		2012		
	ΚΝ	ΕΥΑΑ	ΚΝ	ΕΥΑΑ	
Μυριστικό (C14:0)	0.02	0.02	0.03	0.02	≤ 0.05
Παλμιτικό (C16:0)	10.60	10.60	11.10	11.10	-
Παλμητελαϊκό (C16:1)	0.90	0.80	0.90	0.80	-
Δεκαεπτανικό (C17:0)	0.10	0.30	0.10	0.10	-
Δεκαεπτενικό (C17:1)	0.10	0.10	0.10	0.10	-
Στεατικό (C18:0)	2.50	2.50	2.80	2.60	-
Ελαϊκό (C18:1)	78.60	78.20	77.70	77.80	-
Λινελαϊκό (C18:2)	5.50	5.80	5.70	5.80	-
Λινολενικό (C18:3)	0.70	0.70	0.70	0.80	≤ 1.00
Αραχιδικό (C20:0)	0.40	0.50	0.50	0.50	≤ 0.60

[41] Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές ώστε να χαρακτηριστεί ένα ελαιόλαδο ως έξτρα παρθένου

Πίνακας 60 Συγκέντρωση παραχθέντων ελαιολάδων ανά έτος και εφαρμογή σε ελεύθερα λιπαρά οξέα

Ελεύθερα λιπαρά οξέα	Συγκέντρωση (%)				Τιμές Αναφοράς[41]
	2011		2012		
	ΚΝ	ΕΥΑΑ	ΚΝ	ΕΥΑΑ	
Εικοσενοϊκό (C20:1)	0.30	0.30	0.30	0.30	≤ 0.40
Βεχενικό (C22:1)	0.10	0.20	0.20	0.20	≤ 0.20
Ερουκικό (C22:1)	0.00	0.00	0.00	0.00	-
Λιγνοκηρικό (C23:0)	0.00	0.10	0.10	0.10	≤ 0.20
Ολεϊκό/Λινολεϊκό	14.29	13.48	13.63	13.41	
ΚΛΟ[42]	13.72	14.22	14.83	14.62	
ΜΑΛΟ[43]	79.90	79.40	79.00	79.00	
ΠΑΛΟ[44]	6.2	6.5	6.4	6.6	
ΜΑΛΟ/ΠΑΛΟ	12.89	12.22	12.34	11.97	
C 18:1 Trans	0.01	0.00	0.02	0.02	≤ 0.05
C 18:2+C 18:3 Trans	0.00	0.00	0.00	0.00	≤ 0.05

Περαιτέρω, η ανάλυση της θρεπτικής αξίας των παραχθέντων λαδιών για τα δύο χρόνια πειραματισμού και για τις δύο εφαρμογές και η σύγκριση των προσδιορισμένων τιμών με τις τιμές αναφοράς, δυνάμει του Καν ΕΕ 2568/91, όπως έχει τροποποιηθεί και ισχύει, για χαρακτηρισμό αυτών ως έξτρα παρθένων ή όχι, δίνονται στον Πίνακα 61

Πίνακας 61 Θρεπτική Αξία ανά 100 ml ελαιολάδου που παρήχθη ανά εφαρμογή κατ' έτος

Χαρακτηριστικά	2011		2012		Τιμές Αναφοράς[45]
	ΚΝ	ΕΥΑΑ	ΚΝ	ΕΥΑΑ	
Ενέργεια **(kcal)** **(kj)**	824 3389	824 3389	824 3389	824 3389	
Πρωτεΐνες (gr)	0	0	0	0	
Υδρογονάνθρακες (gr) ***Εκ των οποίων***	0	0	0	0	
Σάκχαρα	0	0	0	0	
Ολικά Λιπαρά (gr) ***Εκ των οποίων***	91.6	91.6	91.6	91.6	
Κορεσμένα	12.8	12.9	13.5	13.2	14.9
Μονοακόρεστα	73.1	72.8	72.3	72.4	78.8
Πολυακόρεστα	5.7	5.9	5.8	6	6.3
Εδώδιμες Ίνες (gr)	0	0	0	0	
Na (gr)	0	0	0	0	

[42] ΚΛΟ: Κορεσμένα Λιπαρά Οξέα
[43] ΜΑΛΟ: Μονο-Ακόρεστα Λιπαρά Οξέα
[44] ΠΑΛΟ: Πολύ-Ακόρεστα Λιπαρά Οξέα
[45] Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές για το χαρακτηρισμό του ελαιολάδου ως έξτρα παρθένου.

Χολιστερίνη (gr)	0	0	0	0	
Πολυαλκοόλες (gr)	0	0	0	0	

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων φύλλων για σειρά θρεπτικών στοιχείων που διαπιστώθηκε από τις αναλύσεις του ΚΝ και του ΕΥΑΑ ότι υφίσταται στα νερά άρδευσης, καθώς και τα εύρη επάρκειας εμφανίζονται στον Πίνακα 62. Επίσης, εμφανίζονται στον ίδιο Πίνακα και τα αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας μεταξύ των τιμών που αφορούν στις δύο εφαρμογές και στα δύο έτη πειραματισμού.

Πίνακας 62 Συγκέντρωση θρεπτικών στοιχείων στα φύλλα για κάθε εφαρμογή κατ' έτος[46]

Θρεπτικά Στοιχεία	**Έτος**				**Εύρος Επάρκειας**
	2011		**2012**		
	ΚΝ	**ΕΥΑΑ**	**ΚΝ**	**ΕΥΑΑ**	
N (%)	1.64 **α Α**	1.66 **α Α**	1.64 **α Α**	1.66 **α Α**	1.6-1.8
P (%)	0.08 **α Α**	0.09 **α Β**	0.08 **β Α**	0.11 **α Α**	0.09-0.11
K (%)	0.56 **β Α**	0.70 **α Α**	0.56 **β Α**	0.81 **α Α**	0.7-0.9
Ca (%)	1.67 **β Α**	2.23 **α Α**	1.67 **β Α**	2.29 **α Α**	1-2.5
Mg (%)	0.12 **β Α**	0.19 **α Β**	0.12 **β Α**	0.22 **α Α**	0.1-0.3
Fe (mgr kg^{-1})	48.20 **α Α**	57.09 **α Β**	48.20 **β Α**	58.23 **α Α**	50-150
Mn (mgr kg^{-1})	17.68 **β Α**	21.05 **α Β**	17.68 **β Α**	22.84 **α Α**	20-60
Zn (mgr kg^{-1})	9.58 **β Α**	15.11 **α Β**	9.58 **β Α**	16.30 **α Α**	10-30
Co (mgr kg^{-1})	0.04 **α Α**	0.05 **α Α**	0.04 **α Α**	0.05 **α Α**	-
Na (%)	0.09 **α Α**	0.08 **β Α**	0.09 **α Α**	0.08 **β Α**	-
B (mgr kg^{-1})	23.01 **α Α**	22.03 **α Α**	23.01 **α Α**	22.03 **α Α**	20-50
Cu (mgr kg^{-1})	6.10 **α Α**	5.55 **α Α**	6.10 **α Α**	5.55 **α Α**	5-20
Mo (mgr kg^{-1})	0.02 **α Α**		0.02 **α Α**	0.04 **α Α**	-
Al (μgr kg^{-1})	<10		<10	<10	-
Ni (μgr kg^{-1})	<2		<2	<2	-

3.2.3. Συζήτηση-Συμπεράσματα

Το πρώτο που πρέπει να επισημανθεί είναι ότι το συγκεκριμένο τεμάχιο δεν είχε λάβει αγωγή λίπανσης πλέον της πενταετίας, ούτως ώστε να είναι ευδιάκριτες οι επιδράσεις των δύο διαφορετικών εφαρμογών. Στον Πίνακα 58 είναι εμφανές το

[46] Τιμές εντός της ίδιας γραμμής που ακολουθούνται από το ίδιο μικρό ή κεφαλαίο γράμμα, δεν διαφέρουν σημαντικά, σύμφωνα με το Student's t-test, με επίπεδο σημαντικότητας α=0,05. Τα μικρά γράμματα δεικνύουν ανάλυση μεταξύ εφαρμογών εντός του ίδιου έτους, ενώ τα κεφαλαία γράμματα δεικνύουν ανάλυση μεταξύ διαφορετικών ετών για την ίδια εφαρμογή.

γεγονός ότι τα περισσότερα στοιχεία είναι σε χαμηλά επίπεδα, ως αποτέλεσμα της μη εφαρμογής λίπανσης.

3.2.3.1. Απόδοση σε ελιές και λάδι και ποιότητα λαδιού

Κατά τη διάρκεια της λεγόμενης «καλής» χρονιάς (2011) (χρονιά κατά την οποία αναμένεται παραγωγή από τα ελαιόδενδρα λόγω παρενιαυτοφορίας) , τα ελαιόδενδρα ανταποκρίθηκαν καλά στην εφαρμογή άρδευσης με ΕΥΑΑ, αποδίδοντας σχεδόν 25% υψηλότερη παραγωγή, απ' ότι τα δέντρα που αρδεύτηκαν με ΚΝ, χωρίς όμως να καταγραφεί στατιστικά σημαντική διαφορά (Πίνακας 59). Επίσης, στον ίδιο Πίνακα, διαφορά στατιστικά μη σημαντική παρατηρήθηκε και στο βάρος των 100 καρπών μεταξύ των αυτών που προέκυψαν από δένδρα που αρδεύτηκαν με ΕΥΑΑ, έναντι αυτών που αρδεύτηκαν με ΚΝ με τους πρώτους να είναι βαρύτεροι.

Κατά την λεγόμενη «κακή» χρονιά (2012) (χρονιά κατά την οποία αναμένεται μειωμένη παραγωγή από τα ελαιόδενδρα λόγω παρενιαυτοφορίας) , τα ελαιόδενδρα που αρδεύτηκαν με ΚΝ, έδωσαν μεγαλύτερη μέση απόδοση καρπού ανά δένδρο, απ' ότι έδωσαν τα δένδρα που αρδεύτηκαν με ΕΥΑΑ. Αντιθέτως, σημειώθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ του βάρους 100 ελιών, με βαρύτερες τις ελιές που συνελέγησαν από ελαιόδενδρα που αρδεύτηκαν με ΕΥΑΑ (Πίνακας 59). Το γεγονός αυτό εν μέρει θα μπορούσε να αποδοθεί στην καταγεγραμμένη μικρότερη παραγωγή των δένδρων που αρδεύτηκαν με ΕΥΑΑ, έναντι αυτών που αρδεύτηκαν με ΚΝ.

Τέλος και για τις δύο χρονιές, η ποσότητα του λαδιού που παρήχθη ανά δένδρο ήταν υψηλότερη στην εφαρμογή του ΕΥΑΑ (Πίνακας 59).

Παρόμοια αποτελέσματα έχουν αναφερθεί για τις ποικιλίες Barnea και Leccino από τους Segal, et al.,(2011), αναφέροντας μικρή αλλά μη σημαντική αύξηση της απόδοσης της ελιάς, καθώς και της παραγωγής λαδιού, κατά τη διάρκεια τετραετούς πειράματος με ΕΥΑΑ. Αντιθέτως, σημαντική αύξηση της απόδοσης της ποικιλίας Chemlali, μετά από εφαρμογή ΕΥΑΑ, έχει αναφερθεί από τους Bedbabis, et al., (2010a) αποδίδοντας τα ευρήματα στα θρεπτικά στοιχεία που ανιχνεύτηκαν στα ΕΥΑΑ, καθιστώντας την άρδευση επί της ουσίας υδρολίπανση. Η επίδραση της άρδευσης με ΕΥΑΑ άλλοτε είναι θετική και άλλοτε ουδέτερη, σε ό,τι αφορά στην απόδοση της ελιάς, γεγονός που μπορεί να αποδοθεί:

1. Σε διαφορές των χαρακτηριστικών των χρησιμοποιούμενων ΕΥΑΑ,
2. Στις διαφορετικές ποικιλίες ελιάς που χρησιμοποιούνται για πειραματισμό και
3. Στις διαφορετικές εδαφοκλιματικές συνθήκες των περιοχών πειραματισμού.

Τα χαρακτηριστικά της ποιότητας του ελαιολάδου, δηλαδή η ελεύθερη οξύτητα, τα Κ232 και Κ270, η τιμή υπεροξειδίου και ο δείκτης DELTA-K ήταν εντός του εύρους για τον χαρακτηρισμό των ελαιολάδων ως εξαιρετικά παρθένων και για τις δύο εφαρμογές (Πίνακας 59).

Παρόμοια αποτελέσματα, χωρίς σημαντικές διαφορές μεταξύ ΕΥΑΑ και ΚΝ έχουν αναφερθεί από άλλους ερευνητές (Bedbabis, et al., 2009, 2010b; Mousa, 2009; Palese, et. al., 2006). Αυτό θα μπορούσε να αποδοθεί κυρίως στην υγιή κατάσταση των

ελιών, αφού δεν υπήρξε προσβολή από δάκο ή άλλους βιοτικούς παράγοντες. Σε αντίθεση με αυτά τα αποτελέσματα, οι Benincasa, et al., (2012) διαπίστωσαν ότι η άρδευση με ΕΥΑΑ οδήγησε σε ελαιόλαδο χαμηλότερης ποιότητας, που χαρακτηρίστηκε ως ελαιόλαδο «λαμπάντε»[47], λόγω της υψηλής οξύτητας. Στην ίδια εργασία οι Benincasa, et al., (2012) ανέφεραν υψηλή συγκέντρωση Al και Fe και B στο ελαιόλαδο, τόσο για την εφαρμογή ΕΥΑΑ όσο και για αυτή του ΚΝ. Στη παρούσα περίπτωση, οι συγκεντρώσεις και των τριών στοιχείων ήταν σημαντικά κάτω από το όριο χαρακτηρισμού του ελαιολάδου ως έξτρα παρθένου. Αυτό συνέβη, αν και στο ΕΥΑΑ, οι συγκεντρώσεις των τριών αυτών στοιχείων ήταν πολύ μεγαλύτερες, από τις αντίστοιχες του ΚΝ (Πίνακες 16. 17 και 18).

Οι Batarseh, et. al., (2011) αναφέρουν ότι η ελιά παρουσιάζει μια επιλεκτική πρόσληψη των θρεπτικών στοιχείων, με προτίμηση στα αναγκαία μεταλλικά στοιχεία και όχι στα βαρέα μέταλλα, όπως το Fe (ένα βαρύ μέταλλο και επίσης απαραίτητο θρεπτικό συστατικό) .Η υψηλότερη συγκέντρωση του Fe στο ελαιόλαδο, στην περίπτωσή μας, για την εφαρμογή του ΕΥΑΑ έχει επίσης παρατηρηθεί από τους Batarseh, Rawajfeh, Ioannis, & Prodromos, (2011), για το λάδι που προήλθε από ελιές που αρδεύτηκαν με ΕΥΑΑ, ενώ οι Al-Shdiefat et. al., (2009) δεν εντόπισαν την παρουσία Fe σε ελιές που παρήχθησαν υπό τις δύο εφαρμογές (ΕΥΑΑ και ΚΝ). Πέραν των ανωτέρω, η συγκέντρωση του Fe που ανιχνεύθηκε στο ελαιόλαδο της εφαρμογής του ΕΥΑΑ, στην περίπτωσή μας, είναι πολύ κάτω από το όριο χαρακτηρισμού του λαδιού ως έξτρα παρθένου (Πίνακας 59).

3.2.3.2. Ελεύθερα λιπαρά οξέα και θρεπτική κατάσταση του λαδιού

Το κύριο ΕΛΟ ήταν το ελαϊκό οξύ, το οποίο αποτελούσε περίπου το 78% των ΕΛΟ που ανιχνεύθηκαν (Πίνακας 60). Το δεύτερο ΕΛΟ ήταν το παλμιτικό και τρίτο ήταν ένα ΠΑΛΟ, το λινελαϊκό. Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα είναι σε συμφωνία με αυτά που αναφέρθηκαν, ειδικά για την ποικιλία «Κορωνέικη» από τους Vekiari, et al., (2010) αλλά και γενικότερα για το ελαιόλαδο από τους Bedbabis, et al., (2009) και Bedbabis, et al., (2010b) με μικρές διαφορές σε ό,τι αφορά στην ποσοστιαία συμμετοχή κάθε ΕΛΟ, φαινόμενο που επηρεάζεται από την ποικιλία (Agiomyrgianaki, et. al., 2012; Bedbabis, et al., 2009). Όλα τα ΕΛΟ ανιχνεύθηκαν σε συγκεντρώσεις εντός των ορίων για χαρακτηρισμό των ελαιολάδων ως έξτρα παρθένων και υπό τις δύο εφαρμογές. Δεν υπήρξαν διαφορές στην ποσοστιαία συγκέντρωση των ΕΛΟ, τόσο μεταξύ των δύο εφαρμογών όσο και μεταξύ των ετών πειραματισμού (Πίνακας 60).

Η εφαρμογή του ΕΥΑΑ δεν αύξησε τη συγκέντρωση του παλμιτελαϊκού ή του λινολενικού, όπως αναφέρθηκε ότι συνέβη σε πειραματισμό με την ποικιλία Chemlali από τους Bedbabis, et al., (2009). Σύμφωνα με αυτούς, η υψηλή συγκέντρωση K στις ελιές υπό την εφαρμογή του ΕΥΑΑ θα μπορούσε να αποτελέσει το έναυσμα για αύξηση της ενζυμικής δραστηριότητας στην βιοσύνθεση του παλμιτελαϊκού και λινολενικού οξέως. Αν και δεν υπάρχουν δεδομένα συγκέντρωσης K^+ στις ελιές του παρόντος πειράματος, η διαφορά της συγκέντρωσης του K^+ που παρατηρήθηκε στα φύλλα, (Πίνακας 61) μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι θα έπρεπε να είχε παρατηρηθεί

[47] **Ελαιόλαδο λαμπάντε (labante):** (Καν (ΕΚ) 1234/2007 Παράρτημα XVI*)* παρθένο ελαιόλαδο ακατάλληλο για κατανάλωση με κακή γεύση και οσμή και οξύτητα μεγαλύτερη από 2%. Προορίζεται μόνο για ραφινάρισμα ή βιομηχανική χρήση.

αύξηση των δύο αυτών λιπαρών οξέων στο λάδι, το οποίο δεν συνέβη. Η ασυμφωνία αυτή θα μπορούσε να αποδοθεί σε πιο περίπλοκες αλληλεπιδράσεις, κατά τη βιοσύνθεση των λιπών, αλλά και γενικότερα στη φυσιολογία και θρέψη του φυτού. Αυτή η διαφορά θα μπορούσε επίσης, να οφείλεται στο συνδυασμό της ποικιλίας και/ή στη διαφορά των πηγών άρδευσης, καθ' όσον το ΕΥΑΑ που χρησιμοποιήθηκε από τους Bedbabis, et al., (2009) είχε πολύ υψηλότερη EC και συγκέντρωση K, έναντι του ΕΥΑΑ του δικού μας πειράματος.

Οι συγκεντρώσεις των δύο λιπαρών οξέων (παλμιτελαϊκού και λινολενικού) , στη δική μας περίπτωση, ήταν μικρότερες από αυτές που αναφέρθηκαν για την ποικιλία Κορωνέικη από τους Vekiari, et al., (2010), γεγονός που μπορεί να αποδοθεί σε διαφορές εδαφοκλιματικές, καλλιεργητικών πρακτικών και όγκου ηρτημένης εσοδείας, αποκαλύπτοντας έτσι την πολυπλοκότητα των διαδικασιών βιοσύνθεσης λιπαρών οξέων, καθώς και των παραγόντων που τις επηρεάζουν.

Οι Bedbabis, et al., (2009) και Bedbabis, et al., (2010b) ανέφεραν μεγάλες αυξήσεις στις συγκεντρώσεις συγκεκριμένων ΕΛΟ (λινολενικό, στεατικό, παλμιτικό, παλμιτολενικό και λινολενικό) υπό την εφαρμογή ΕΥΑΑ στην ποικιλία «Chemlali», γεγονός που δεν συμφωνεί με τα ευρήματα της παρούσας μελέτης. Αντιθέτως, τα ευρήματά μας είναι σε συμφωνία με τα ευρήματα των Al-Shdiefat, Ayoub, & Jamjoum, (2009), οι οποίοι πειραματίσθηκαν με την ποικιλία «Nabali» και των Ayoub, et al., (2014), οι οποίοι πειραματίσθηκαν με την ποικιλία «Nabali Myhassan». Αυτό μπορεί να αποδοθεί σε όλους τους παράγοντες που αναφέρθηκαν προηγουμένως, με σημαντικότερους την ποικιλία και τη μεγάλη διαφορά στα χαρακτηριστικά των ΕΥΑΑ, μεταξύ των δύο πειραμάτων.

Είναι αξιοσημείωτο ότι η τιμή της περιεκτικότητας σε ελαϊκό οξύ (77,7 - 78,6%), καθώς και η τιμή της αναλογίας ΜΑΛΟ/ΠΑΛΟ στην «Κορωνέικη» (Πίνακας 60) είναι σημαντικά υψηλότερες, από εκείνες που αναφέρθηκαν για τις ποικιλίες «Chemlali» και «Nabali» από τους Al-Shdiefat, Ayoub, & Jamjoum, (2009) και Bedbabis, et al., (2009) αντιστοίχως, υποδεικνύοντας ότι στην ποικιλία «Κορωνέικη» κατά τη βιοσύνθεση λιπιδίων, ευνοείται ο σχηματισμός ελαϊκού και όχι λινελαϊκό οξέως. Επιπλέον, η αναλογία ελαϊκό/λινελαϊκό, στην παρούσα μελέτη υποδηλώνει ότι δεν υπάρχει μετατροπή του ελαϊκού σε λινελαϊκό, γεγονός που οφείλεται στην αύξηση της δεσατουράσης[48] υπό την εφαρμογή ΕΥΑΑ, όπως έχει αναφερθεί και από τους Bedbabis, et al., (2009). Συνεπώς, η εφαρμογή ΕΥΑΑ δεν προκάλεσε μεταβολή στο προφίλ των ΕΛΟ του ελαιολάδου της ποικιλίας «Κορωνέικη» όπως έχει αναφερθεί και για την ποικιλία «Nabali» από τους Al-Shdiefat, et. al., (2009).

Η ανάλυση της θρεπτική αξίας των ελαιολάδων που παρήχθησαν υπό τις δύο εφαρμογές (ΚΝ, ΕΥΑΑ) εμφανίζονται στον (Πίνακα 61). Οι τιμές που αφορούν στα ολικά λιπαρά είναι εντός ορίων για το χαρακτηρισμό των ελαιολάδων ως έξτρα παρθένων, πράγμα που σημαίνει ότι δεν είχε καμία αρνητική επίδραση η εφαρμογή του ΕΥΑΑ στην θρεπτική αξία του παραχθέντος ελαιολάδου, γεγονός που είναι σε συμφωνία με τα ευρήματα των Ayoub, et al., (2014).

[48] Δεσατουράση είναι ένζυμο το οποίο αφαιρεί από ένα ΕΛΟ δύο Η από γειτονικούς άνθρακες και ακολούθως δημιουργεί διπλό δεσμό μεταξύ αυτών των ατόμων άνθρακα

3.2.3.3. Θρεπτική κατάσταση φύλλων

Όπως ήταν αναμενόμενο, τα δέντρα που αρδεύτηκαν με ΚΝ εμφάνισαν έλλειψη σε P, K, Fe, Mn και Zn, κατά τη διάρκεια των ετών πειραματισμού, σε αντίθεση με την εφαρμογή του ΕΥΑΑ, στην οποία διαπιστώθηκε επάρκεια σε όλα τα θρεπτικά συστατικά, κατά τη διάρκεια ολόκληρης της περιόδου (Πίνακας 62) (Therios I. , 2009). Αυτό θα μπορούσε να αποδοθεί στην υψηλότερη συγκέντρωση αυτών των θρεπτικών ουσιών στο ΕΥΑΑ. Ελαιόδεντρα, υπό την εφαρμογή του ΕΥΑΑ, έδωσαν αναλύσεις φύλλων και για τα δύο έτη με σημαντικά υψηλότερες συγκεντρώσεις K, Ca, Mg, Mn και Zn, έναντι των αντιστοίχων υπό την εφαρμογή του ΚΝ, ενώ το ίδιο συνέβη κατά το δεύτερο έτος και για το P και το Fe. Στην εφαρμογή του ΕΥΑΑ, κατά το δεύτερο έτος, παρατηρήθηκαν σημαντικά υψηλότερες τιμές συγκεντρώσεων στα φύλλα, για τα στοιχεία P, Mg, Fe, Mn και Zn, από ότι κατά το πρώτο έτος (Πίνακας 62).

Η συγκέντρωση του Να ήταν χαμηλότερη στα φύλλα των ελαιοδένδρων που αρδεύτηκαν με ΕΥΑΑ, έναντι των αντίστοιχων που αρδεύτηκαν με ΚΝ πιθανώς, λόγω της υψηλότερης συγκεντρώσεως K στα ΕΥΑΑ, η οποία θα μπορούσε να έχει ενεργήσει ανταγωνιστικά προς την πρόσληψη του Na, καθώς επίσης και στην επιλεκτική συσσώρευση στη ρίζα του Να, όπως έχει αναφερθεί από τους Ahmed, Rouina, & Boukhris, (2008), Bedbabis, et al., (2010a), Kchaou, et al., (2010), Melgar, et al., (2009) και Therios & Misopolinos, (1988). Αυτό ήταν αναμενόμενο, λόγω των σημαντικών διαφορών που διαπιστώθηκαν στη συγκέντρωση του καλίου στα φύλλα για τις δύο εφαρμογές, όπου τα φύλλα των δένδρων υπό τη εφαρμογή του ΕΥΑΑ εμφάνισαν επάρκεια K ενώ αντιθέτως το K, ήταν σε ανεπάρκεια στα φύλλα των δένδρων υπό την εφαρμογή του ΚΝ. (Πίνακας 62). Η διαπιστωθείσα χαμηλή συγκέντρωση Να στα φύλλα θα μπορούσε να αποδοθεί και στην ανταγωνιστική αλληλεπίδραση του Να με το Mn, η οποία έχει αναφερθεί από τους Batarseh, Rawajfeh, Ioannis, & Prodromos, (2011), για ελαιόδενδρα που αρδεύονται με ΕΥΑΑ. Έτσι, η υψηλή συγκέντρωση Mn που ανιχνεύτηκε στα φύλλα των ελαιοδένδρων που αρδεύτηκαν με ΕΥΑΑ θα μπορούσε να προκαλέσει τη μειωμένη συγκέντρωση του Να, δρώντας ανταγωνιστικά στην πρόσληψή του.

Τα στοιχεία K, N και Να βρέθηκαν σε αυξημένες συγκεντρώσεις σε φύλλα της ποικιλίας «Nabali» μετά από δύο χρόνια εφαρμογής ΕΥΑΑ, έναντι μάρτυρα, ενώ η συγκέντρωση των Mg και Mn ήταν υψηλότερες υπό τη συγκεκριμένη εφαρμογή (Al-Shdiefat, et. al., 2009). Οι διαφορές που παρατηρήθηκαν μπορεί να αποδοθούν στην διαφορετική συγκέντρωση θρεπτικών συστατικών στα δύο ΕΥΑΑ που χρησιμοποιήθηκαν στα δύο πειράματα, αφού στο παρόν πείραμα η συγκέντρωσης του Mn στο ΕΥΑΑ ήταν τρεις φορές υψηλότερη, έναντι του ΚΝ.

Ίδια αποτελέσματα με της παρούσας μελέτης έχουν αναφερθεί από τους Bedbabis, et al., (2010a), οι οποίοι διαπίστωσαν μεγαλύτερη συγκέντρωση N, P, K, Zn and Mn στα φύλλα ελαιοδένδρων που αρδεύτηκαν με ΕΥΑΑ κατά τη διάρκεια διετούς πειράματος, ως αποτέλεσμα της υψηλότερης συγκέντρωσης των στοιχείων αυτών στο ΕΥΑΑ.

Παρόμοια αποτελέσματα έχουν αναφερθεί επίσης από τους Charfi, Trigui & Medhioub, (1999), οι οποίοι πειραματίσθηκαν με την ποικιλία «Chemlali of Sfax», ενώ

αυξημένη συγκέντρωση P σε φύλλα ελαιοδένδρων που αρδεύτηκαν με ΕΥΑΑ έχει αναφερθεί και από τους Segal, et al., (2011), επίσης.

Βαρέα μέταλλα βρέθηκαν σε παρόμοιες συγκεντρώσεις στα φύλλα και υπό τις δύο εφαρμογές, υποδεικνύοντας ότι η πρόσληψη και η συσσώρευση αυτών των μετάλλων σε ελαιόδεντρα δεν σχετίζεται πάντα με τα επίπεδα συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων στο ΕΥΑΑ, όπως έχει προταθεί και από τους Batarseh, et. al., (2011).

4. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στο παρόν κεφάλαιο επιχειρείται μία προσπάθεια εντοπισμού σημείων επί των οποίων αξίζει κάποιος να ενσκήψει και να ασχοληθεί προς την κατεύθυνση της περαιτέρω έρευνας, αλλά και της επισήμανσης των κακώς κείμενων.

Συγκεκριμένα:

Μία πρώτη επισήμανση αφού δεν αποτελεί επί της ουσίας πρόταση περαιτέρω έρευνας είναι η ανάγκη ενασχόλησης επιστημόνων του ακαδημαϊκού χώρου με την ορθότητα των νομοθετημάτων που αφορούν σε επιστημονικά θέματα. Είναι γνωστό ότι η σε πράξη εφαρμογή της επιστήμης περνάει μέσα από το νομοθετικό πλαίσιο. Τα νομοθετήματα και οι προβλέψεις του σε πεδία όπως το πραγματευόμενο είναι εκείνο το διάγραμμα ροής που είναι αναγκαία και ικανή συνθήκη να ακολουθηθεί για να υλοποιηθεί ένα έργο. Στο παρόν επισημάνθηκαν σημεία όπου το νομοθετικό πλαίσιο όντας ελλιπές αφήνει πιθανότητες ζημίωσης του πραγματευόμενου πόρου (π.χ. έδαφος). Οποιαδήποτε ενέργεια συμπλήρωσης των ελλείψεων αυτών από τον εφαρμοστή της νομοθεσίας (Δημόσια Διοίκηση) προς διασφάλιση του εκάστοτε πραγματευόμενου πόρου θα χαρακτηριζόταν ως γραφειοκρατική υπερβολή χωρίς να κρίνεται επί της ουσίας η συγκεκριμένη επιπλέον προσθήκη στο νομοθετικό πλαίσιο. Συνεπώς εκτίμησή μας αποτελεί ότι πρέπει μεγαλύτερο μέρος της ακαδημαϊκής κοινότητας να ασχολείται κρίνοντας το νομοθετικό πλαίσιο και παρεμβαίνοντας κατά τη νομοθετική διαδικασία αλλά και μετά τη νομοθέτηση διότι στην πράξη κάθε νομοθέτημα αποτελεί τον εφαρμοστικό κανόνα είτε είναι σωστός είτε είναι λάθος είτε είναι ελλιπής επιστημονικά. Αν τώρα κάποιος αναλογισθεί ότι ένα νομοθετικό πλαίσιο μπορεί να κληθεί να το εφαρμόσουν και περισσότεροι του ενός επιστημονικοί κλάδοι λόγω συνάφειας με διαφορετικές αφετηρίες και επιστημονική επάρκεια στο πραγματευόμενο αντικείμενο τότε είναι ακόμα πιο επιτακτικό το περιγραφόμενο ώστε να είναι εξασφαλισμένη η αειφορική διαχείριση των όποιων πόρων εμπλέκονται στις περιγραφόμενες εφαρμογές.

Με δεδομένο ότι η επεξεργασμένη εκροή ενός βιολογικού καθαρισμού μπορεί να περιέχει χημικές ουσίες, που προκύπτουν από την ανθρώπινη δραστηριότητα-επιβάρυνση του πόσιμου νερού, ενώ συγχρόνως κάποιες από αυτές δεν υπάρχουν ελεύθερες στο περιβάλλον, αξίζει να διερευνηθεί περαιτέρω η επίδραση των ουσιών αυτών στις μικροβιακές, χημικές αλλά και φυσικές ιδιότητες του εδάφους. Μάλιστα κάποιες από αυτές τις ουσίες προξενούν υδροφοβικότητα στο έδαφος (έχουν γίνει πειράματα άρδευσης με απόβλητα σε άμμο) γεγονός που χρήζει διερεύνησης, τόσο ως προς την χημική σύσταση αυτών των ουσιών και το μηχανισμό επίδρασης, όσο και ως προς τις ενδεδειγμένες ενέργειες για την εκ των προτέρων αποτροπή, αλλά και εκ των υστέρων αναστροφή του φαινομένου.

Σε ότι αφορά στην επίδραση της εφαρμογής του υγρού αστικού αποβλήτου στις χημικές ιδιότητες του εδάφους, μετά από οποιαδήποτε μορφή επεξεργασίας, από την βιβλιογραφική ανασκόπηση διαπιστώθηκε ότι μεγάλος αριθμός εργασιών αρκούνται στην αποτύπωση του αποτελέσματος και ενδεχόμενα και στη στατιστική του τεκμηρίωση, αλλά δεν γίνεται ανάλυση σε ότι αφορά στα αίτια των όποιων φαινομένων παρατηρούνται. Το γεγονός αυτό εντείνεται, εάν ληφθεί υπ' όψιν η περιορισμένη πληροφορία, που δίνεται σε σχέση με το είδος της επεξεργασίας ή με την αποτελεσματικότητά της. Από αυτή την αφετηρία πρότασή μας είναι η ανασκόπηση της

βιβλιογραφίας στον τομέα της επίδρασης στις χημικές ιδιότητες του εδάφους, η αναζήτηση περισσότερων δεδομένων από τους συγγραφείς, που να αφορούν στο σύνολο των παραμέτρων της εφαρμογής, ώστε με ομαδοποίηση των παραμέτρων αυτών να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με την επίδραση στις χημικές ιδιότητες του εδάφους.

Έχει αναδειχθεί, ότι υφίσταται ανάγκη επανεξέτασης και επαναπροσδιορισμού των υφιστάμενων κριτηρίων, μέσω των οποίων μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα για την επίδραση του αρδευτικού νερού στις φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους. Στον τομέα αυτό αξίζει να γίνει προσπάθεια, κατ' αρχήν στην εξέταση των νέων προτεινόμενων δεικτών και κατά πόσο αυτοί προβλέπουν καλύτερα τις όποιες επιδράσεις του αρδευτικού νερού στο έδαφος, έναντι των παλαιότερων και ακολούθως στη δημιουργία νέων πινάκων-νομογραφημάτων-διαγραμμάτων, όπου βάσει αυτών να εξάγονται συμπεράσματα για την ενδεχόμενη επίδραση του αρδευτικού νερού στις φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους.

Σχετικά με το κομμάτι ελιά-λάδι, πρέπει να εξετασθεί περαιτέρω η επίδραση της επεξεργασμένης εκροής βιολογικού καθαρισμού στην θρεπτική κατάσταση, αλλά και στην ποσότητα και ποιότητα του λαδιού και για άλλες ποικιλίες ελιάς, που έχουν οικονομικό ενδιαφέρον για την Ελλάδα. Επιπλέον, θα πρέπει να εξετασθεί ο ενδεχόμενος κίνδυνος της αύξησης της συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων στο παραγόμενο λάδι, που συναντώνται στην επεξεργασμένη εκροή βιολογικού καθαρισμού. Ένα τέτοιο στοιχείο είναι το Βόριο.

Σε ότι αφορά στην επίδραση του υπόγειου υδροφόρου, τόσο στη διαμόρφωση κατατομών υγρασίας και αλάτων, όσο και στην ανακατανομή αυτών στο έδαφος, όπως επίσης και στην συνεισφορά του υδροφόρου στην εξατμισοδιαπνοή, εκτιμησή μας αποτελεί ότι, ο σχεδιασμός ενός νέου πειράματος, με πυκνότερη και σε μεγαλύτερο βάθος καταγραφή της υγρασίας και αλατότητας, όπως επίσης και η εγκατάσταση βαθύτερων πιεζομέτρων, για τη σε μεγαλύτερο χρόνο παρακολούθηση της κίνησης της επιφάμειας του υδροφόρου αλλά και της χημικής σύστασης αυτού, σε κάθε χρονική στιγμή, θα δώσει ασφαλέστερα στοιχεία για την περιγραφή του φαινομένου.

Τελειώνοντας, θα επιθυμούσαμε να επισημανθεί ότι, επειδή η επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένης εκροής βιολογικού καθαρισμού για άρδευση, είναι ένα σύστημα πολυπαραγοντικό αλλά και μεταβλητό στο χρόνο και στο χώρο, θα πρέπει να υπάρξει εντονότερη χρηματοδότηση προς την κατεύθυνση της εγκατάστασης πειραματικών αγρών εφαρμογής επεξεργασμένου υγρού αστικού αποβλήτου, σε όλη την επικράτεια της Ελλάδας. Τα πειραματικά αυτά, αφ' ενός θα εξετάσουν σε τοπικό επίπεδο, κατά περίπτωση, τις επιδράσεις σε έδαφος, καλλιέργεια κ.λ.π., αλλά και θα αποτελέσουν αγρό επίδειξης, τόσο για αυτούς που θα λάβουν τις πολιτικές αποφάσεις (Δήμοι-ΔΕΥΑ), όσο και για τους καλλιεργητές στο να πειστούν να χρησιμοποιήσουν για άρδευση αυτό το νερό.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Agiomyrgianaki, A., Petrakis, P. V., & Dais, P. (2012). Influence of harvest year, cultivarand geographical origin on Greek extra virgin olive oils composition: a study by NMR spectroscopy and biometric analysis. *Food Chem.* , 135, 2561–2568.

Ahmed, C. B., Rouina, B. B., & Boukhris, M. (2008). Changes in water relations,photosynthetic activity and proline accumulation in one-year-old olive trees(Olea europaea L. cv. Chemlali) in response to NaCl salinity. *Acta Physiol. Plant* , 30, 553–560.

Al-Absi, K., Qrunfleh, M., & Abu-Sharar, T. (2003). Mechanism of salt tolerance of two olive (Olive europaea L.) cultivars as related to electrolyte concentration and toxicity. *Acta Horticult.* , 618, 281–290.

AL-Jaboobi, M., Tijane, M., EL-Ariqi, S., El Housni, ,. A., Zouahri, A., & Bouksaim, M. (2014). Assessment of the impact of wastewater use on soil properties. *J. Mater. Environ. Sci.* , 5 (3) 747-752.

Al-Khashman, O. A. (2009). Chemical Evaluation of Ma'an Sewage Effluents and its Reuse in Irrigation Purposes. *Water Resour Manage* , 23:1041–1053.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop Evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements) FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56.* Rome, Italy: FAO, Water Resources, Development and Management Service.

Alperovitch, N., Shainberg, I., & Keren, R. (1985). Effect of clay mineralogy and aluminum and iron oxides on the hydraulic conductivity of Clay sand mixtures. *Clays and clay minerals* , 5, 443-450.

Al-Shdiefat, S., Ayoub, S., & Jamjoum, K. (2009). Effect of irrigation with reclaimedwastewater on soil properties and olive oil quality. *Jordan J. Agric. Sci.* , 5,128–140.

Angelakis, A. N., Koutsoyiannis, D., & Tchobanoglous, G. (2005). Water resources technologies in the ancient Greece. *Water Res.* , 39, 210–216.

Angelakis, A. N., Marecos Do Monte, M. H., Bontoux, L., & Asano, T. (1999). The status of wastewater reuse practice in the Mediterranean basin: need for guidelines. *Water Res.* , 33 (10) 2201–2217.

Angin, I., Yaganoglu, A. V., & Turan, M. (2005). Effects of long-term wastewater irrigation on soil properties. *J. Sust. Agric.* , 26, 31–42.

Angin, I., Yaganoglu, A. V., & Turan, M. (2005). Effects of long-term wastewater irrigation on soil properties. *J. Sustain. Agric.* , 26, 31-42.

AOAC. (1995). Oils and Fats. In M. Horwitz, & G. W. Latimer, *Officials Ficials Methods of Analysis* (16 εκδ.). Arlington, USA.: AOAC.

APHA. (1992). *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (18th εκδ.). Washington DC: American Public Healt Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.

APHA. (2005). *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (21st εκδ.). Washington DC: American Public Healt Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.

Arienzo, M., Christen, E. W., Quale, W., & Kumar, A. (2009). A review of the fate of potassium in the soil–plant system after land application of wastewaters. *Journal of Hazardous Materials* , 164, 415–422. doi:10.1016/j. jhazmat.2008.08.095.

Asano, T. (1998). *Wastewater Reclamation and Reuse. Water Quality ManagementLibrary, volume 10.* Lancaster, USA: Technomic Publishing Company.

Assouline, S., & Narkis, K. (2011). Effects of long-term irrigation with treated wastewater on the hydraulic properties of a clayey soil. *Water Resour. Res.* , 47, W08530, doi:10.1029/2011WR010498.

Auerswald, K. (1995). Percolation stability of aggregates from arable topsoils. *Soil Sci.* , 159, 142–148.

Ayars, J. E., & Hutmacher, R. B. (1994). Crop coefficients for irrigating cotton in the presence of groundwater. *Irrig Sci* , 15:45–52.

Ayers, R. S. (1977). Quality of Water for irrigation. In *Jouyrnal Irrigation and Drainage Division* (103(1):135-154). A.S.C.E.

Ayers, R. S., & Westcot, D. W. (1988). Irrigation with Reclaimed Municipal Wastewater - A Guidance Manual. In *Irrigation Water Quality* (3.1-3.36). Chelsea, USA: eds. G. S. Pettygrove and T. Asano Lewis Publishers.

Ayers, R. S., & Westcot, D. W. (1985). water Quality for Agriculture . In *Irrigation and Drainage Paper* (29:99-104). Rev.1: FAO.

Ayers, R. S., & Westcot, D. W. (1976). *Water Quality for Agriculture . FAO Irrigation and Drainage Paper No, 29 (Rev 1),*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Ayoub, S., Al-Absi, K., Al-Shdiefat, S., Al-Majali, D., & Hijazean, D. (2014). Effect of olivemill wastewater land-spreading on soil properties, olive tree performance andoil quality. *Sci. Hortic.* , 175, 160–166.

Balks, M. R., McLay, C. A., & Harfoot, C. G. (1997). Determination of the progression in soil microbial response, and changes in soil permeability, following application of meat processing effluent to soil. *Applied Soil Ecology* , 6, 109–116.

Bartolini, G., Mazuelos, C., & Troncoso, A. (1991). Influence of Na2SO4 and NaCl salts on survival, growth and mineral composition of young olive plants in inert sand culture. *Adv. Horticult. Sci.* , 5, 73–79.

Batarseh, M., Rawajfeh, A., Ioannis, K., & Prodromos, K. (2011). Treated municipalwastewater irrigation impact on olive trees (Olea Europaea L.) at Al-Tafilah,Jordan. *Water Air Soil Pollut.* , 217, 185–196.

Baver, L. D. (1927). Factors affecting the H+ -ion concentration of soils. *Soil Sci.* , 23:399-414.

Bedbabis, S., Ferrara, G., Ben Rouina, B., & Boukhris, M. (2010a). Effects of irrigationwith treated wastewater on olive tree growth, yield and leaf mineral elementsat short term. *Sci. Hortic.* , 126, 345–350.

Bedbabis, S., Palese, A. M., Rouina, B., Rhouma, A., Gargouri, K., & Boukhris, M. (2009). The effect of irrigation with treated wastewater on Chemlali olive oilquality. *J. Food Qual.* , 32, 141–157.

Bedbabis, S., Rouina, B. B., & Boukhris, M. (2010b). The effect of waste water irrigationon the extra virgin olive oil quality from the Tunisian cultivar Chemlali. *Sci.Hortic.* , 125, 556–561.

Bedbabis, S., Rouina, B. B., Boukhris, M., & Ferrara, G. (2014). Effect of irrigation with treated wastewater on soil chemical properties and infiltration rate. *J. Environ. Manage.* , 133, 45–50.

Ben-Hur, M. (2004). Sewage water treatments and reuse in Israel. In F. Zereini, & W. Jaeschke, *Water in the Middle East and in North Africa* (167-180). Springer, Berlin.

Benincasa, C., Gharsallaoui, M., Perri, E., Briccoli, B. C., Ayadi, M., Khlif, M., και συν. (2012). Quality and trace element profile of tunisian olive oils obtained fromplants irrigated with treated wastewater. *Sci. World J.* , 1–11.

Benlloch, M., Marin, L., & Fernandez-Escobar, R. (1994). Salt tolerance of various olive varieties. *Acta Horticult.* , 356, 215–217.

Berend, J. E. (1967). An analytical approach to the clogging effect of suspended matter. *Bulletin International Association of Hydrology* , 12, 42–55.

Bhardwaj, A. K., Goldstein, D., Azenkot, A., & Levy, G. J. (2007). Irrigation with treated wastewater under two irrigation methods: effects on hydraulic conductivity of a clay soil. *Georderma* , 140, 199–206.

Biswas, T. K., Higginson, F. R., & Shannon, I. (1999). Effluent nutrient management and resource recovery in intensive rural industries for the protection of natural waters. *Water Sci. Technol.* , 40 (2), 19–27.

Bloom, P. R. (2000). Soil Ph and Ph Buffering. In S. E. Malcom, *Handbook of Soil Science* (B 333-351). New york: CRC Taylor and Francis.

Bloom, P. R., Skylberg, U. L., & Summer, M. E. (2005). Soil Acidity. In W. A. Dick, *Chemical Processes in Soils, SSSA Book Series 8* (411-460). Madison, Wisconsin, USA: Soil Science Society of America inc.

Bouaziz, A. (1990). Behaviour of some olive varieties irrigated with brackish water and grown intensively in the central part of Tunisia. *Acta Horticult.* , 286, 247–250.

Bouwer, H., & Chaney, R. L. (1974). Land treatment of wastewater. *Advances in Agronomy* , 26, 133–176.

Brady, N. C., & Weil, R. R. (2008). *The nature and properties of soils.* Pearson Prentice Hall.

Briccoli Bati, C., Basta, P., Tocci, C., & Turco, D. (1994). Influenza dell' irrigazione con acqua salmastra su giovani piante di olivo. *Olivae* , 53, 35–38.

Brissaud, F. (2008). Criteria for water recycling and reuse in the Mediterranean countries. *Desalination* , 218 24–33.

Buffum, B. C. (1900). The use of water for irrigation in Wyioming and its relation to the ownership and distribution to the natural supply . *USDA Office Exp. Sta. Bull. No 81* , σ. 56.

Cameron, K. C., Di, H., & McLaren, R. G. (1997). Is soil an appropriate dumping ground for our wastes? *Aust. J. Soil Res.* , 35, 995–1035.

Chadwick, O. A., & Graham, R. C. (2000). Pedogenic Processes. In M. E. Sumner, *Handbook of Soil Science* (E41-75). USA: CRC Press Taylor and Francis Corp.

Chandwick, J. (1976). *The Mycenaean World* .

Chapman, H. D. (1965). Cation-exchange Capacity. In C. A. Black (ed.), *Method of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties* (pp. 891-900). Am. Soc. Agron., Madison, Wisconsin.

Charfi, D., Trigui, A., & Medhioub, K. (1999). Effects of irrigation with treatedwastewater on olive trees cv Chemlali of Sfux at the station of El-Hajeb. *Acta Hortic.* , 474, 385–389.

Chartzoulakis, K. S. (2005). Salinity and olive: Growth, salt tolerance, photosynthesis and yield . *Agric. Water Manage.* , 78 108–121.

Chartzoulakis, K. S., Paranychianakis, N. V., & Angelakis, A. N. (2001). Water resources management in the island of Crete, Greece: With emphasis the agricultural use. . *Water Policy* , 3, 193–205.

Chartzoulakis, K., Loupassaki, M., & Androulakis, I. (2002a). Comparative study on NaCl salinity of six olive cultivars. *Acta Horticult.* , 586 (1), 497–502.

Chartzoulakis, K., Loupassaki, M., Bertaki, M., & Androulakis, I. (2002b). Effects of NaCl salinity on growth, ion content and CO2 assimilation rate of six olive cultivars. *Scientia Horticult.* , 96, 235–247.

Cook, F. J., Kelliher, F. M., & McMahon, S. D. (1994). Changes in infiltration and drainage during wastewater irrigation of a highly permeable soil. *J. Environ. Qual.* , 23, 476–482.

Coppola, A., Santini, A., Botti, P., Vacca, S., Comegna, V., & Severino, G. (2005). Methodological approach for evaluating the response of soil hydrological behaviour to irrigation with municipal wastewater. *J. Hydrol.* , 292, 114-134.

Corcoran, E., Nellemann, C., Baker, E., Bos, R., Osborn, D., & Savelli, H. (2010). *Sick Water? The Central Role of Wastewater Management in Sustainable Development. A Rapid Response Assessment. United Nations Environment Programme, UN-HABITAT, GRID-Arendal.* Norway.

Crites, R. W., Reed, S. C., & Bastian, R. K. (2000). *Land Treatment Systems for Municipal and Industrial Wastes.* New York: Mc Graw-Hill.

Crites, R., & Tchobanoglous, G. (1998). *Small and Decentralized Wastewater Management Systems.* McGraw-Hill.

De Vries, J. (1972). Soil infiltration of wastewater effluent and the mechanisms of pore clogging. *Journal of Water Pollution Control Federation* , 44, 565–573.

Delmhorst. (1999). *KS-D1 Owner's Manual.* N. J. USA: Delmhorst Instrument-Co,.

Delta-T Devices, L. (2013). *User manual of the Moisture meter type HH2 Ver. 4.0.1.* UK.

Delta-T, D. (1999). *User Manual ML2x-UM-1.21.* Cambridge, England: Delta-T.

Dixon, W. J. (1951). Ratios involving extreme values. . *Ann. Math. Stat.* , 22, 1, 68-78.

Dixon, W. J. (1950). Analysis of extreme values. . *Ann. Math. Stat.* , 21, 4, 488-506.

Doorenbos, J., & Pruitt, W. O. (1977b). *"Crop water reqirements" FAO Irrigation and Drainage Papper 24.* Rome: UN Food and Agricultural Organization.

Doorenbos, J., & Pruitt, W. O. (1977a). *"Guidelines for prodicting crop water reqirements" FAO Irrigation and Drainage Papper 24.* Rome: UN Food and Agricultural Organization.

E.P.A.(European Environmental Agency). (2005). *The European Environment-State and Outlook 2005.* Office for Official Publications of the European Communities.

El Ayni, F., Cherif, S., Jrad, A., & Trabelsi-Ayadi, M. (2011). Impact of Treated Wastewater Reuse on Agriculture and Aquifer Recharge in a Coastal Area: Korba Case Study. *Water Resour Manage* , 25:2251–2265.

El-Sayed Emtithal, H., El-Said, M. E., El-Sherif, A. H., & Sari El-Diem, S. A. (1996). Chemical studies on the salt tolerance of some olive cultivars. *Olivae* , 64, 52–57.

Emerson, W. W., & Bakker, A. C. (1973). The comparative effects of exchangeable calcium, magnesium, and sodium on some physical properties of red-brown earth subsoils. II. The spontaneous dispersion of aggregates in water. *Australian Journal of Soil Research* , 11, 151-157.

Emongor, V. E., & Ramolemana, G. M. (2004). Treated sewage effluent (water) potential to be used for horticultural production in Bostwana. *Phys. Chem. Earth* , 29, 1101-1108.

FAO. (2012). *ETo Calculator, ver. 3.2, Land and Water Digital media Series No 56.* Rome, Italy: FAO.

FAO. (1976). *Prognosis of salinity and alkalinity. Bulletin 31.* Rome: FAO.

Felhendler, R., Shainberg, I., & Frenkel, H. (1974). Dispersion and hydraulic conductivity of soils in mixed solution. *Trans. 10th Int. Congr. Soil Sci. (Moscow),* , 1: 103-112.

Fisher, E. A. (1923). Some factors affecting the evaporation of water from soil. *J. Agri. Sci.* , 13, (2) 121-143.

Frenkel, H., Goertzen, J. O., & Rhoades, J. D. (1978). Effects of clay type and content, exchangeable sodium percentage and electrolyte concentration on clay dispersion and soil hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* , 42: 32-39.

Gasparatos, D., & Haidouti, C. (2001). A comparison of wet oxidation methods fordetermination of total phosphorus in soils. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* , 164, 435–439.

Gee, G. W., & Bauder, J. W. (1986). Particle-size analysis. In A. Klute, *Agron. Monograph No 9 Methods of soil analysis. Part 1 Physical and Mineralogical Methods* (2nd εκδ., 383-411). Madison, Wisconsin, USA: ASA Inc. & SSSA Inc.

Gennett, J. (1982). Three Holocene Pollen Records from Southern Greece. *Palynology* , 6, 282.

Ghamarnia, H., Golamian, M., Sepehri, S., Arji, I., & Norozpour, S. (2013). The contribution of shallow groundwater by safflower (Carthamus tinctorius L.) under high water table conditions, with and without supplementary irrigation. *Irrig Sci* , 31:285–299, DOI 10.1007/s00271-011-0304-2.

Gharsallaoui, M., Benincasa, C., Ayadi, M., Perri, E., Khlif, M., & Gabsi, S. (2011). Study on the impact of wastewater irrigation on the quality of oils obtained from olives harvested by hand and from the ground and extracted at different times after the harvesting. *Sci. Hortic.* , 128, 23-29.

Gil, I., & Ulloa, J. J. (1997). Positive aspects of the use of water: the reuse of urban wastewater and its effect on areas of tourism. *Opt. Medit.* , 31, 218 -229.

Gloaguen, T. V., Forti, M. C., Lucas, Y., Lucas, Y., Montes, C. R., Goncalves, R. A., και συν. (2007). Soil solution chemistry of a Brazilian Oxisol irrigated with treated sewage effluent. *Agric. Water Manage.* , 88, 119–131.

Gregorich, E. G., & Janzen, H. H. (2000). Decomposition. In S. E. Malcom, *Handbook of Soil Science* (C-106-119). New york: CRC Taylor and Francis.

Guitjens, J. C. (1990). Alfalfa. In B. A. Stewart, & D. R. Nielsen, *Irrigation of agricultural crops. Agronomy Series 30* (pp 537–568). Madison, WI,: American Society of Agronomy.

Halliwell, D. J., Barlow, K. M., & Nash, D. M. (2001). A review of the effects of wastewater sodium on soil physical properties and their implications for irrigation systems. *Aust. J. Soil Res.* , 39, 1259–1267.

Hamilton, A., Stagnitti, F., Xiong, X., Kreidl, S. L., Benke, K. K., & Maher, P. (2007). Wastewater irrigation: the state of play. *Vadose Zone J.* , 6, 823-840.

Hamoda, M. F. (1987). Effluent quality variation to water reuse for irrigation. *Joournal of Environ. Health Science* , A 22:161-187.

Hansen, J. (1988). Agriculture in the prehistoric Aegean: data versus speculation. *American Journal of Archaelogy* , 92, 47.

Heidarpour, M., Mostafazadeh-Fard, B., Abedi Koupai, J., & Malekian, R. (2007). The effects of treated wastewater on soil chemical properties using subsurface and surface irrigation methods. *Agric. Water Manag.* , 90, 87–94.

Helmke, P. A., & Sparks, D. L. (1996). Lithium, Sodium, Potassium, Rubidium, and Cesium . In J. M. Bigham, *Methods of soil analysis. Part 3 Chemical Methods* (551-574). Madison, Wiscinsin, USA: ASA Inc. & SSSA Inc.

Herpin, U., Gloaguen, T. V., Fonseca, A. F., Montes, C. l., Mendonca, F. C., Piveli, R. P., και συν. (2007). Chemical effects on the soil–plant system in a secondary treated wastewater irrigated coffee plantation—A pilot field study in Brazil . *agricultural water management* , 89, 105 – 115.

Hillel, D. (1998). *Environmental Soil Physics.* New York: Academic Press.

Huibers, F. P., & Raschid-Sally, L. (2005). Design domestic wastewater irrigation. *Irrig. and Drain.* , 54: S113–S118.

Idso, S. B., Reginato, R. J., Jackson, R. D., Kimball, B. A., & Nakayama, F. S. (1974). The three stages of drying of a field soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* , 38, 831-836.

Jensen, M. E. (1974). Consumptive use of water and irrigation water requirements. *Tech. Com. on Irrigation Water Requirements Irrig. and Drain. Div. ASCE* , σ. 227.

Jiménez, B., & Asano, T. (2008). Water reclamation and reuse around the World. In B. Jiménez, & T. Asano, *(Eds.), Water Reuse: An International Survey of Current Practice, Issues and Needs.* (3–26.). London: IWA Publishing.

Jiménez-Cisneros, B. (1995). Wastewater reuse to increase soil productivity. *Water Sci. Technol.* , 32 (12) 173-180.

Jueschke, E., Marschner, B., Tarchitzky, J., & Chen, Y. (2008). Effects of treated wastewater irrigation on the dissolved and soil organic carbon in Israeli soils. *Water Sci. Technol.* , 57, 727-733.

Kalavrouziotis, I. K., Koukoulakis, P. H., Robolas, P. K., Papadopoulos, A. H., & Pantazis, V. (2008a). Essential plant nutrients interactions in a soil cropped with Brassica oleracea var. Italica,irrigated with Treated Municipal Wastewater, and their environmental implications. *Fresenius Environmental Bulletin* , 17(9a), 1272-1280.

Kalavrouziotis, I. K., Koukoulakis, P. H., Robolas, P. K., Papadopoulos, A. H., & Pantazis, V. (2008b). Interrelationships of heavy metals, macro and micronutrients, and properties of soil cultivated with Brassica oleracea var. Italica (Broccoli) under the effect of treated municipal reclaimed wastewater. *Water Air and Soil Pollut* , 190(1-4), 309-321.

Kalavrouziotis, I. K., Robolas, P., Koukoulakis, P. H., & Papadopoulos, A. H. (2008). Effectsof municipal reclaimed wastewater on the macro- and micro-elements statusof soil and of

Brassica oleracea var. Italica, and B. oleracea var. Gemmifera. *Agric.Water Manage.* , 95, 419–426.

Kang, S., Zhang, F., Hu, X., Jerie, P., & Zhang, L. (2001). Effects of shallow water table on capillary contribution, evapotranspiration, and crop coefficient of maize and winter wheat in a semi-arid region ,. *Aust. J. Agric. Res.* , 52, 317–327.

Kawanishi, T., Kawashima, H., Chihara, K., & Suzuki, M. (1990). Effect of biological clogging on infiltration rate in soil treatment systems. *Water Science and Technology* , 22, 101–108.

Kchaou, H., Larbi, A., Gargouri, K., Chaieb, M., Morales, F., & Msallem, M. (2010). Assessment of tolerance to NaCl salinity of five olive cultivars, based on growthcharacteristics and Na+ and Cl- exclusion mechanisms. *Sci. Hortic.* , 124,306–315.

Keser, G., & Buyuk, G. (2012). Effects of wastewater irrigation on chemical and physical properties of Petroselinum crispum. *Biological Trace Element Research* , 146, 369–375.

Khabou, W., Amar, F. B., Rekik, H., Beghir, M., & Touir, A. (2009). Performanceevaluation in olive trees irrigated by treated wastewater. *Desalination* , 246,329–336.

Kiziloglu, F. M., Turan, M., Sahin, U., Angin, I., Anapali, O., & Okuroglu, M. (2007). Effects of wastewater irrigation on soil and cabbage-plant (brassica olerecea var. capitate cv. yalova-1) chemical properties . *J. Plant Nutr. Soil Sci.* , 170, 166-172.

Kiziloglu, F., Tuean, M., Sahin, U., Kuslu, Y., & Dursum, A. (2008). Effects of untreated and treated wastewater irrigation on some chemical properties of cauliflower (Brassica olerecea L. var. botrytis) and red cabbage (Brassica olerecea L. var. rubra) grown on calcareous soil in Turkey. *Agricultural water management* , 95 (6), 716-724.

Klute, A. (2006). Water retention, Laboratory methods. In A. Klute, *Methods of Soil Analysis Part 1-Physical and Mineralogical Methods, 2nd Ed.,* (635-656). SSSA Book Series 5.

Klute, A., & Dirksen, C. (1986). Hydraulic Conductivity and Diffusivity : Laboratory Methods. In A. Klute, *Agron. Monograph No 9 Methods of Soil Analysis Part 1-Physical and Mineralogical Methods* (2nd εκδ., 694-700). SSSA Book Series 5.

Kosmas, C., & Moustakas, N. (1990). Hydraulic conductivity and leaching of an organic soil. *Geoderma* , 46, 363-370.

Kostelenos, G. (2010). *Elements of Olive Culture. History description and geographical distribution of olivw cultivars in Greece.* Athens.

Koutsoyiannis, D., Zarkadoulas, N., Angelakis, A. N., & Tchobanoglous, G. (2008). Urban water management in ancient Greece: Legacies and lessons. *ASCE J. Water Resour. Plan. Manag.* , 134, 45–54.

Kristiansen, R. (1981). Sand-filter trenches for purification of septic tank effluent: I. The clogging mechanism and soil physical environment. *Journal of Environmental Quality* , 10, 353–357.

Lado, M., & Ben-Hur, M. (2009). Treated domestic sewage irrigation effects on soil hydraulic properties in arid and semiarid zones: A review. *Soil & Tillage Research* , 106: 152–163.

Lado, M., Paz, A., & Ben-Hur, M. (2004b). Organic matter and aggregate size interactions in saturated hydraulic conductivity. . *Soil Sci. Soc. Am. J.* , 68, 234–242.

Levene, H. (1960). Robust testes for equality of variances. In *Contributions to Probability and Statistics* (278–292). Palo Alto, CA.: Stanford Univ. Press.

Levi, D. (1976). *Festos e civilta Minoica I.*

Levy, G. J. (2000). Sodicity . In S. E. Malcom, *Handbook of Soil Science* (G 27-63). New York: CRC Taylor and Francis.

Levy, G. J., & Assouline, S. (2011). Physical aspects . In G. J. Levy., P. Fine, & A. Bar-Tal, *Treated Wastewater in Agriculture, Use and impacts on the Soil Environment and Crops* (306-322). Willey-Blackwell.

Levy, G. J., Fine, P., Goldstein, D., Azenkot, A., Zilberman, A., Chazan, A., και συν. (2014, G. J. Levy, P. Fine, D. Goldstein, A. Azenkot, A. Zilberman, A. Chazan, T. Grinhut). Long term

irrigation with treated wastewater (TWW) and soil sodification. *Biosystems Engineering* , 1 -7.

Levy, G. J., Goldstein, D., & Mamedov, A. I. (2005). Saturated Hydraulic Conductivity of Semiarid Soils: Combined Effects of Salinity, Sodicity, and Rate of Wetting . *Soil Science Society of America Journal* , 69: 653-662.

Levy, G. J., Rosenthal, A., Tarchitzky, J., Shainberg, I., & Chen, Y. (1999). Soil hydraulic conductivity changes caused by irrigation with reclaimed waste water. *J. Environ. Qual.* , 28, 1658–1664.

Levy, R., Fine, P., & Feigin, A. (1986). Sodicity levels of soils equilibrated with wastewaters. *Soil Sci. Soc. Am. J.* , 50, 35–39.

Lieffering, R. E., & McLay, C. A. (1996). The effects of strong hydroxide solutions on the stability of aggregates and hydraulic conductivity of soil. *European Journal of Soil Science* , 47, 43–50.

Liphschnitz, N. (1987). Olives in Ancient Israel in View of Dendroarchaeological Investigations. In *Olive Oil in Antiquity. Israel and Neighbouring Countries from Neolithic to Early Arab Period* (139-145). Heltzer M. - Eitam D.

Lu., N., & Likos, W. J. (2002). *Unsaturated Soil mechanics.* John Wiley & Sons INC,.

Luo, Y., & Sophocleous, M. (2010). Seasonal groundwater contribution to crop-water use assessed with lysimeter observations and model simulations. *Journal of Hydrology* , 389: 325–335.

Mace, J. E., & Amrhein, C. (2001). Leaching and Reclamation of a Soil Irrigated with Moderate SAR Waters. *Soil Science Society of America Journal* , 65:199-204 .

Magesan, G. N., Williamson, J. C., Yeates, G. W., Sparling, G. P., Schipper, I. A., & Lloyd-Jones, A. R. (1999). Hydraulic conductivity in soils irrigated with wastewaters of differing strengths: field and laboratory studies. *Aust. J. Soil Res.* , 37, 391–402.

Mancino, C. F., & Pepper, I. L. (1992). Irrigation of turfgrass with secondary sewage effluent. *Soil Quality Agron. J.* , 84, 650-654.

Mandal, U. K., Bhardwaj, A. K., Warrington, D. N., Goldstein, D., Bar Tal, A., & Levy, G. J. (2008). Changes in soil hydraulic conductivity, runoff, and soil loss due to irrigation with different types of saline–sodic water. *Geoderma* , 144, 509–516.

Marin, L., Benlloch, M., & Fernandez-Escobar, R. (1995). Screening for olive cultivars for salt tolerance. *Scientia Horticult.* , 64, 113–116.

Marshall, T. J., Holmes, T. W., & Rose, C. W. (1996). *Soil Physics* (3rd εκδ.). New York. USA: Cambridge University Press.

Martin, A. (1977). *Introduction to soil microbilogy.* New York: John Wiley and Sons.

Mathan, K. K. (1994). Studies on the influence of long-term municipal sewageeffluent irrigation on soil physical properties. *Bioreso. Technol.* , 48, 275–276.

McAuliffe, K. W., Scotter, D. R., McGregor, A. N., & Earl, K. D. (1982). Casein whey wastewater effects on soil permeability. *Journal of Environmental Quality* , 11, 31–34.

McIntyre, D. S. (1979). Exchangeable sodium, subplasticity and hydraulic conductivity of some Australian soils. *Australian Journal of Soil Research* , 17, 115–120.

McNeal, B. L., & Coleman, N. T. (1966). Effect of solution composition on soil hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* , 30: 308-312.

McNeal, B. L., Norvell, W. A., & Coleman, N. T. (1966). Effect of solution composition on the swelling of extracted soil clays. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* , 30:313-317.

Mead, E. (1887). Report of experiments in irrigation and meteorlogy. *Colorado Agr. Exp Bull. No 1* , σ. 12.

Melena, J. L. (1983). Olive Oil and other Sorts of Oil in the Mycenaean Tablets . *Minos* , 18, 89-123.

Melgar, J. C., Mohamed, Y., Serrano, N., García-Galavís, P. A., Navarro, C., Parra, M. A., και συν. (2009). Long term responses of olive treesto salinity. *Agric. Water Manage.* , 96, 1105–1113.

Mendoza-Espinosa, L. G., Cabello-Pasini, A., Macias-Carranza, V., Daessle-Heuser, W., Orozco-Borbon, M. V., & Quintanilla-Montoy, A. L. (2008). The effect of reclaimed wastewater on the quality and growth of grapevines. *Water Sci Technol.* , 57(9):1445-50.

Meneses, M., Pasqualino, J. C., & Castells, F. (2010). Environmental assessment of urban wastewater reuse: treatment alternatives and application. *Chemosphere* , 81,.266–272.

Metcalf, & Eddy. (1991). *WASTEWATER ENGINEERING Treatment-Disposal-Reuse Third Edition.* New York: McGraw-Hil.

Mills, A. A. (1895). Farm irrigation. *Utah Agr. Exp. Sta. Bull. No 39* , σ. 76.

Minhas, P. S., & Sharma, D. R. (1986). Hydraulic conductivity and clay dispersion as affected by application sequence of saline and simulated rain water. *Irrig. Sci.* , 7:159-167.

Miyazaki, T. (2002). *Water Flow in Soils* (2nd εκδ.). Japan: CRC Press.

Mohammad, M. J., & Mazahreh, N. (2003). Changes in Soil Fertility Parameters in Response to Irrigation of Forage Crops with Secondary Treated Waste Water. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* , 34, 1281-1294 http://dx.doi.org/10.1081/CSS-120020444.

Monnett, G. T., Reneau, R. B., & Hagedorn, C. (1996). Evaluation of spray irrigation for on-site wastewater treatment and disposal on marginal soils. *Water Environ. Res.* , 68 (1) 11–18.

Morugan-Coronado, A., Garcia-Orenes, F., Mataix-Solera, J., Arcenegui, V., & Mataix-Beneyto, J. (2011). Short-term effects of treated wastewater irrigation on Mediterranean calcareous soil . *Soil & Tillage Research* , 112 18–26.

Morugan-Coronado, A., Garcia-Orenes, F., Mataix-Solera, J., Arcenegui, V., & Mataix-Beneyto, J. (2011). Short-term effects of treated wastewater irrigation on Mediterranean calcareous soil . *Soil & Tillage Research* , 112 18–26.

Mousa, A. (2009). Growth and biochemical constituents of olives as influencedby irrigation with treated industrial wastewater. *J. Plant Nutr.* , 33 (1), 1–14.

Munir, J., Rusan, M., Hinnawi, S., & Rousan, L. (2007). Long term effect of wastewater irrigation of forage crops on soil and plant quality parameters. *Desalination* , 215 143–152.

Mutengu, S., Hoko, Z., & Makoni, F. (2007). An assessment of the public health hazard potential of wastewater reuse for crop production. A case of Bulawayo city, Zimbabwe. *Physics and Chemistry of the Earth* , 32 1195-1203.

Naghshineh-Pour, F., Kunze, G. W., & Carson, C. D. (1970). The effect of electrolyte composition on hydraulic conductivity of certain Texas soils. *Soil Sci.* , 110:124-127.

Nasini, L., Gigliotti, G., Balduccini, M. A., Federici, E., Cenci, G., & Proietti, P. (2013). Effect of solide olive-mill waste amendement on soil fertility and olive (Olea europaea L.) tree activity. *Agric. Ecosyst. Environ.* , 164, 292-297.

Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1996). Total Carbon, Organic Carbon 7 Organic Matter. In J. M. Bigham, *Methods of soil analysis. Part 3 Chemical Methods* (961-1010). Madison, Wiscinsin, USA: ASA Inc. & SSSA Inc.

Nelson, R. E. (1986). Carbonate and gypsum. In A. L. Page, R. H. Miller, & D. R. Keerney, *Agronomy Monograph No 9 Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties* (2nd εκδ., 181-196). Madison, WIsconsin, USA: ASA Inc. & SSSA Inc.

Nevo, Z., & Mitchell, K. (1967). Factors affecting biological clogging of sand associated with groundwater recharge. *Water Research* , 1, 231–236.

NHMRC-ARMCANZ. (2000). *(National Health and Medical Research Council and Agriculture and Resource Management Council of Australia and new Zeland) Guidelines for Sewarage Systems, Use of Reclaimed Water. National Water Quality Management Strategy.* Canberra: NHMRC and ARMCANZ.

NHMRC-NRMMC. (2004). *(National Health and Medical Research Council and Agriculture and Natural Resource Management Ministerial Council)Australian Drinking Water Guidelines.* Canberra: Australian Government National Health and Medical Research Council and Agriculture and Natural Resource Management Ministerial Council.

NRMMC-EPHC. (2006). *Australian Guidelines for Water Recycling: Managing health and Environmental Risks.* Canberra: Natural Resource Management Ministerial Council and the Environment Protection and Heritage Council.

Oborn, I., Andrist-Rangel, Y., Askegaard, M., Grant, C. A., Watson, A. C., & Dwards, A. C. (2005). Critical aspects of potassium management in agricultural systems. *Soil Use Manag.* , 102-112.

Or, D., & Wraith, J. M. (2004). Soil water content and water potential relationships. In W. A. Warrick, *Soil Physics Companion* (49-82). CRC Press.

Oron, G. (2002). Agriculture, Water and the Environment: Future Challenges. In *Proceedings of IWA Regional Symposium on Water Recycling in Mediterranean Region.* Iraklio, Greece 26-29 September 2002.

Oron, G. (2003). Agriculture, water and the environment: future challenges. *Water Sci. Technol.: Water Supply* , 3, 51–57.

Oster, J. D., & Scroer, F. W. (1979). Infiltration as influenced by water quality. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* , 43: 429-433.

Oster, J. D., Shainberg, I., & Wood, J. D. (1980). Flocculation value and gel structure of Na/Ca montmorillonite and illite suspension. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* , 44, 955-959.

Palese, A. M., Celano, G., Masi, S., & Xiloyannis, C. (2006). Treated municipalwastewater for irrigation of olive trees: effects on yield and oil quality. Italy. In T. Caruso, A. Motisi, & L. Sebastiani, *Proceedings Olivebioteq 2006, Second International Seminar—Biotechnology and Quality of Olive TreeProducts Around the Mediterranean Basin, Mazara del Vallo, vol. II, pp.123–129, 5–10th November.*

Panoras, A., & Ilias, A. (2003). Reclaimed municipal wastewater reuse in Thessaloniki. In *Proceedings of the International Symposium on Wastewater Reclamation and Reuse* (137–145). Thessalonki, Greece, 13–14 February 2003.

Panoras, A., Evgenios, G., Bladenopoullou, S., Melidis, V., Doitsinis, A., Samaras, I., και συν. (2003). Corn irrigation with reclaimed municipal wastewater. *Global Nest: the Int. J.* , 5 (1) 39-45.

Paranychianakis, N. V., Salgot, M., & Angelakis, A. N. (2011). Irrigation with recycled water: Guidelines and regulations. In G. Levy, A. Fine, & A. Bar-Tal, *Treated Wastewater in Agriculture: Use and Impacts on the Soil Environments and Crops* (Chapter 3, pp. 77–111.). Hoboken, NJ, USA; Oxford, UK: Willey-Blackwell.

Pedrero, F., & Alarcon, J. J. (2009). Effects of treated wastewater irrigation on lemontrees. *Desalination* , 246, 631–639.

Pedrero, F., Kalavrouziotis, I., Alarcon, J. J., Koukoulakis, P., & Asano, T. (2010). Use of treated municipal wastewater in irrigated agriculture- Review of some practices in Spain and Greece. *Agricultural Water Management* , 97:1233-1241.

Pedrero, F., Mounzer, O., Alarcon, J. J., Bayona, J. M., & Nicolas, E. (2013). The viability ofirrigating mandarin trees with saline reclaimed water in a semi-aridMediterranean region: a preliminary assessment. *Irrig. Sci.* , 31,759–768.

Penman, H. L. (1941). Laboratory experiments on evaporation from fallow soil. *Journal of Agricultural Science* , 31, (4) 454-465.

Pereira, B. F., He, Z. L., & Stofella, P. J. (2011). Reclaimed wastewater: effects on citrusnutrition. *Agric. Water Manage.* , 98, 1828–1833.

Pescod, M. B. (1992). *Wastewater treatment and use in agriculture.* Rome: Food and Agriculture Organization.

Petousia, I., Fountoulakis, M. S., Saru, M. L., Nikolaidis, N., Fletcher, L., Stentiford, E. I., και συν. (2015). Effects of reclaimed wastewater irrigation on olive (Olea europaea L.cv. 'Koroneiki') trees. *Agr. Water Manage.* , 160, 33–40.

Philip, J. R. (1957). Evaporation and moisture and heat fields in the soil. *Journal of meteorology* , 14, 354-366.

Pilatakis, G., Manios, T., & Tzortzakis, N. (2013). The use of primary and secondarytreated municipal wastewater for cucumber irrigation in hydroponic system. *Water Practice Technol.* , 8, 433–439.

Polglase, P. J., Tomkins, L. G., Steward, L. G., & Falkiner, R. A. (1995). Mineralization and leaching of nitrogen in an effluent irrigated pine plantation. *J. Environ. Qual.* , 24, 911–920.

Pollice, A., Lopez, A., Laera, G., Rubino, P., & Lonigr, A. (2004). Tertiary filtered municipal wastewater as alternative water source in agriculture: a field investigation in Southern Italy. *Science of the Total Environment* , 324 201–210 doi:10.1016/j.scitotenv.2003.10.018.

Qadir, M., Sharma, B. R., Bruggeman, A., Choukr-Allah, R., & Karajeh, F. (2007). Nonconventional water resources and opportunities for water augmentation to achieve food security in water scarce countries. *Agric. Water Manage.* , 87, 2-22.

Qian, Y. L., & Mecham, B. (2005). Long-term effects of recycled wastewater irrigation on soil chemical properties on golf course fairways. *Agron. J.* , 97, 717-721.

Qishlaqi, A., Moore, F., & Forghani, G. (2008). Impact of untreated wastewater irrigation on soils and crops in Shiraz suburban area, SW Iran, . *Environ. Monit. Assess.* , 141, 257–273.

Quadir, M., Wichelns, D., Raschid-Sally, L., McCornick, P. G., Drechsel, P., Bahri, A., και συν. (2010). The challenges of wastewater irrigation in developing countries. . *Agric. Water Manage.* , 97, 561–568.

Ragab, R. A., & Amer, F. (1986). Estimating water table contribution to the water supply of maize. *Agric Water Manag* , 11:221–230.

Reed, S. C., Crites, R. W., & Middlebrooks, J. E. (1988). *Natural Systems for Waste Management and Treatment.* New York: McGraw-Hill.

Renfrew, C. (1972). *The Emergence of Civilization. The Cyclades and the Aegean in the Third Millennium B.C.* London.

Rengasamy, P., & Marchuk, A. (2011). Cation ratio of soils structural stability (CROSS). *Soil Res.* , 49, 280–285.

Rengasamy, P., & Sumner, M. E. (1998). Processes involved in sodic behaviour. In M. E. Sumner, & R. Naidu, *Sodic Soils. Distribution,Properties, Management, and Environmental Consequences* (35-50). New York: New York Press.

Rengasamy, P., Greene, R., & Ford, G. W. (1986). Influence of magnesium on aggregate stability in sodic red-brown earths. *Australian Journal of Soil Research* , 24, 229–237.

Rhoades, J. D. (1972). Quality of water for irrigation. *Soil Science* , 113, 277–284.

Rhoades, J. D. (1996). Salinity: Electrical Conductivity and Total Dissolved Solids. In J. M. Bigham, *Methods of soil analysis. Part 3 Chemical Methods* (417-435). Madison, Wiscinsin, USA: ASA Inc. & SSSA Inc.

Rhoades, J. D., & Loveday, J. (1990). Salinity in irrigated agriculture . In B. A. Stewart, & D. R. Nielsen, *Irrigation of agricultural crops. Agronomy Series 30* (1089–1142). Madison, WI: American Society of Agronomy.

Rice, R. C. (1974). Soil clogging during infiltration of secondary effluent. *J. Water Pollut. Control Fed.* , 46, 708–716.

Rorabacher, D. B. (1991). Statistical Treatment for Rejection of Deviant Values: Critical Values of Dixon Q Parameter and Related Subrange Ratios at the 95 percent Confidence Level. . *Anal. Chem.* , 83, 2, 139-146.

Rosabal, A., Morillo, E., Undabeytia, T., Maqueda, C., Justo, A., & Herencia, J. F. (2007). Longterm impacts of wastewater irrigation on Cuban soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* , 71, 1292–1298.

Rugini, E., & Fedeli, E. (1990). Olive (Olea europea L.) as an oilseed crop. In Y. S. Bajaj, *Bio-technology in Agriculture and Forestry Legume and Oilseed Crops I* (Τόμ. 1, 593–641). Berlin: Springer.

Rusan, ,. M., Hinnawi, S., & Rousan, L. (2007). Long term effect of wastewater irrigation of forage crops on soil and plant quality parameters. *Desalination* , 215 143–152.

Rusan, M. J., Hinnawi, S., & Rousan, L. (2007). Long term effect of wastewater irrigation of forage crops on soil and plant quality parameters. *Desalination* , 215, 143-152.

Rusan, M. J., Sami Hinnawi, S., & Laith Rousan, L. (2007). Long term effect of wastewater irrigation of forage crops on soil and plant quality parameters . *Desalination* , 215 143–152.

Saini, B. C., & Ghildyal, B. P. (1977). Seasonal water use by winter wheat grown under shallow water table conditions. *Agric Water Manag* , 1:201–298.

Salgot, M., & Angelakis, A. N. (2001). Guidelines and regulations on wastewater reuse. In P. Lens, G. Zeeman, & G. Lettinga, *Decentralized Sanitation and Reuse, Intergated Environmental Technology Series,* (446-466). International Water Assosiation.

Salim, M., Kumar, P., Gupta, M. K., & Kumar, S. (2015). Seasonal Variation in some Chemical Characteristics of the Soil under different Land Uses of Jhilmil Jheel Wetland, Haridwar-Uttrakhand, India. *IJSRP* , 5, 10, 2250-3153.

Schipper, L. A., Williamson, J. C., Kettles, H. A., & Speir, T. W. (1996). Impact of land-applied tertiary-treated effluent on soil biochemical properties. *J. Environ. Quality* , 25 (5) 1073–1077.

Schipper, L. A., Williamson, J. C., Kettles, H. A., & Speir, T. W. (1996). Impact of land-applied tertiary-treated effluent on soil biochemical properties. . *J. Environ. Qual.* , 25:1073–1077.

Segal, E., Dag, A., Ben-Gal, A., Zipori, I., Erel, R., Suryano, S., και συν. (2011). Olive orchard irrigation with reclaimed wastewater: agronomic andenvironmental considerations. *Agric. Ecos. Environ.* , 140, 454–461.

Sepaskhah, A. R., Kanooni, A., & Ghasemi, M. M. (2003). Estimating water table contributions to corn and sorghum water use. *Agricultural Water Management* , 58, 67–79.

Shainberg, I., & Gal, M. (1982). The effect of lime on the response of soils to sodic conditions. . *Journal of Soil Science* , 33, 489–498.

Shainberg, I., & Letey, J. (1984). Responce of soils to sodic and saline conditions. *Hilgardia* , 52:1-57.

Shainberg, I., Rhoades, J. D., & Prather, R. J. (1981). Effect of low electrolyte concentration on clay dispersion and hydraulic conductivity of a sodic soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* , 45: 273-277.

Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples) . *Biometrika* , 52 (3-4): 591–611.

Shende, G. B. (1985). FAO. Seminar on the Treatment and Use of Sewage Effluent for Irrigation. In *Mexican experience in using sewage effluent for large scale irrigation.* Nicosia, Cyprus, 7-9 October 1985.

Siebe, C. (1998). Nutrient inputs to soils and their uptake by alfalfa through longterm irrigation with untreated sewage effluent in Mexico. *Soil Use Manage* , 14, 119-122.

Siegrist, R. L. (1987). Soil clogging during subsurface wastewater infiltration as affected by effluent composition and loading rate. *Journal of Environmental Quality* , 16, 181–187.

Simillides, C. (2010). *Research - Experimentation. Handbook of applications in agricultural and other biological sciences.* Athens: Agricultural University of Athens Publications (in Greek).

Singh, P. K., Deshbhratar, P. B., & Ramteke, D. S. (2012). Effects of sewage wastewater irrigation on soil properties, crop yield and environment. *Agricultural Water Management* , 103: 100– 104.

Smiles, D. E., & Smith, C. J. (2004). Absorption of artificial piggery effluents by soil: alaboratory study. *Aust. J. Soil Res.* , 42, 961–975.

Smith, C. J., Hopmans, P., & Cook, F. J. (1996). Accumulation of Cr, Pb, Cu, Ni, Zn, and Cd in soil following irrigation with treated urban effluent . *Australia, Environ. Pollut.* , 94, 317–323.

Smith, C. J., Osterb, J. D., & Sposito, G. (2015). Potassium and magnesium in irrigation water quality assessment. *Agr. Water Manage.* , 157, 59–64.

SSSA. (2008). *Glossary of oil Science Terms* (2nd εκδ.). Soil Science Society of America Inc.

State-of-Califortnia. (2000). *Code of Regulations Title 22Division 4 Chapter 3. Water recycling criteria. Sections 60301 et. seq.* Dec. Berkeley, C.A.

Stenitzer, E., Diestel, H., Zenker, T., & Schwartengräber, R. (2007). Assessment of Capillary Rise from Shallow Groundwater by the Simulation Model SIMWASER Using Either Estimated Pedotransfer Functions or Measured Hydraulic Parameters. *Water Resour Manage* , 21:1567–1584, DOI 10.1007/s11269-006-9113-4.

Sumner, M. E. (1993). Sodic soils: New perspectives. *Aust. J. Soil Res.* , 31:683–750.

Szabolcs, I. (1996). Agronomical and Ecological Impact of Irrigation on Soil and Water Salinity. In B. A. Stewart, *Advances in Soil Science Xolume 4* (189-218). New York : Spinger-Verlag.

Tarchouna, L. G., Merdy, P., Raynaud, M., Pfeifer, H. R., & Lucas, Y. (2010). Effects of longterm irrigation with treated wastewater. Part I: evolution of soil-chemical properties. *Appl. Geochem.* , 25, 1703-1710.

Tattini, M. (1994). Ionic relations of aeroponically grown olive plants during salt stress. *Plant Soil* , 161, 251–256.

Tattini, M., Bertoni, P., & Caselli, S. (1992). Genotypic responses of olive plants to sodium chloride. *J. Plant Nutr.* , 15 (9), 1467–1485.

Taylor, S. W., & Jaffe, P. R. (1990). Biofilm growth and related changes in the physical properties of a porous medium. 1. Experimental investigation. *Water Resources Research* , 26, 2153–2169.

Tcobanoglous, G., & Kreith, F. (2010). *Εγχειρίδιο Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων* (4η εκδ., Τόμ. Β΄). (Α. Κούγκολος, Α. Καραγιαννίδης, & Π. Σαμαράς, Μεταφρ.) Αθήνα: Εκδόσεις Τζιόλα.

Therios, I. N., & Misopolinos, N. D. (1988). Genotypic response to sodium chloride salinity of four major olive cultivars (Olea europea L.). *Plant Soil* , 106, 105–111.

Therios, I. (2009). Olives: Crop Production Science. In *Horticulture 18* (179–209). Wallingford, UK: CABIPublishing.

Thomas, G. W. (1996). Soil pH and Soil Acidity. In J. M. Bigham, *Methods of soil analysis. Part 3 Chemical Methods* (475-490). Madison, Wiscinsin, USA: ASA Inc. & SSSA Inc.

Thomas, R. E., Schwartz, W. A., & Benedixen, T. W. (1966). Soil chemical changes and infiltration rate reduction under sewerage spreading. *Soil Science Society of America Proceedings* , 30, 641–646.

Thornthwaite, C. W. (1942). Measurement of evaporation from land and water surface. *USDA Tech. Bull. 817* , 1-75.

Toze, S. (2006). Reuse of effluent water e benefits and risks. *Agric.Water Manage.* , 80, 147-159.

Tsagarakis, K. P., Dialynas, G. E., & Angelakis, A. N. (2004). Water resources management in Crete (Greece) including water recycling and reuse and proposed quality criteria. *Agric. Water Manag.* , 66, 35–47.

US Department of Agriculture, S. L. (1969). *Diagnosis and improvements of saline and alkali soils.* . Washington, DC: US Government Printing Office.

USEPA, & USAID. (2012). *Guidelines for water reuse* . Washington: Environmental Protection Agency. Office of Wastewater Enforcement and Compliance (Tecknical Report no.2012 EPA/600/R-12/618.

USEPA, & USAID. (1992). *Guidelines for Water Reuse,*. Washington DC.: Environmental Protection Agency. Office of Wastewater Enforcement and Compliance (Tecknical Report no. EPA/625/R-92/004).

USEPA, & USAID. (2004). *Guidelines for Water reuse.* Washington DC.: Environmental Protection Agency. Office of Wastewater Enforcement and Compliance (Tecknical Report no. EPA 625/R-04/108.).

USSL Staff. (1954). *Diagnosis and Improvement of saline and alkali soils. Agricultural Handbook 60.* Washington D.C.: USDA.

van Genuchten, M. T., Leij, F. J., & Yates, S. R. (1991). *The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils.* Riverside, California.: U.S.D.A.

Vandevivere, P., & Baveye, P. (1992). Saturated hydraulic conductivity reduction caused by aerobic bacteria in sand columns. *Soil Science Society of America Journal* , 56, 1–13.

Vazquezmontiel, O., Horan, N. J., & Mara, D. D. (1996). Management of domestic waste-water for reuse in irrigation. *Water Sci. Technol* , 33 (10–11) 355–362.

Vazquez-Montiel, O., Horan, N. J., & Mara, D. D. (1996). Management of domestic wastewater for reuse in irrigation. *Water Sci. Technol.* , 33, 355–362.

Vekiari, S. A., Oreopoulou, V., Kourkoutas, Y., Kamoun, N., Msallem, M., Psimouli, V., και συν. (2010). Characterization and seasonal variation of the quality ofvirgin olive oil of the Throumbolia and Koroneiki varieties from SouthernGreece. *Grasas y Aceites* , 61, 221–231.

Ventris, M., & Chadwick, J. (1973). *Documents in Mycenaean Greek.*

Vivaldi, G. A., Campseo, S., Rubino, P., & Lonigro, A. (2013). Microbial impact ofdifferent types of municipal watewaters used to irrigate nectarines inSouthern Italy. *Agric. Ecosyst. Environ.* , 181, 50–57.

Vogeler, I. (2008). Effect of Long-term Wastewater Application on Physical Soil Properties. *Water Air Soil Pollut* , DOI 10.1007/s11270-008-9785-x.

Wang, Z., Chang, A. C., Wu, L., & Crowley, D. (2003). Assessing the soil quality of long-term reclaimed wastewater-irrigated cropland . *Geoderma* , 114, 261– 278.

WHO. (1986). *Environmental Health Criteria 37: Aquatic(Marine and Freshwater) biotoxins.* Geneva, Switzerland: World Health Organization .

WHO. (2006). *Guidelines for the safe use of of Wastewater, Excerta and Greywater. Vol. 3 Wastewater use in Agriculture 3rd ed.* . Geneva, Switzerland: World Health Organization.

WHO. (1989). *Health Guidelines for the use of wastewater in Agriculture and Aquaculture. Report of a WHO Scientific Group, Technical report Series 778.* . Geneva, Switzerland: World Health Organization.

WHO. (1973). *Reuse of TWWs: Methods of Wastewater Treatment and health Safeguards. Report of a WHO meeting of Experts, Technical Report series No 17.* . Geneva, Switzeerland: World Health Organization.

Wright, J. L., & Jensen, M. E. (1973). Peak water requirements of crops in southern Idaho. *J. Irrig. and Drain. Div. ASCE 96* , 193-201.

Wuest, S. (2014). Seasonal Variation in Soil Organic Carbon as it was published. *SSSAJ* , Vol. 78 No. 4, p. 1442-1447.

Xu, J., Wu, L., Chang, A. C., & Zhang, Y. (2010). Impact of long-term reclaimed wastewater irrigation on agricultural soils: A preliminary assessment. *Journal of Hazardous Materials* , 183, 780–786.

Yaron, B., & Thomas, G. W. (1968). Soil hydraulic conductivity as affected by sodic water. *Water Resources Res.* , 4, 545-552.

Ασημακόπουλος, Ι. Η. (2013). *Λιπάσματα και Λιπάνσεις.* Αθήνα: Έμβρυο.

Γιάσογλου, Ν. Ι. (1991). *Μαθηματα Γεωργικής Χημείας (Εδαφολογία) Περιγραφή του εδαφικού συστήματος* (Τόμ. Ι). Αθήνα: Εκδόσεις ΓΠΑ.

ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ(ΕΟΚ). (αριθμ. 2568/91). *ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ της 11ης Ιουλίου 1991 (ΕΕ L 248 της 5.9.1991, σ. 1) σχετικά με τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών των ελαιολάδων και των πυρηνελαίων καθώς και με τις μεθόδους προσδιορισμού.*

Κοσμάς, Κ. (2005). *Σημειώσεςι Γενικής Εδαφολογίας Ι.* Αθήνα: Γ.Π.Α.

Κουκουλάκης, Π. Χ., Σιμώνης, Α. Δ., Γκέρτσης, Α. Κ., Πασχαλίδης, Χ., & Ρήγας, Γ. (2000). Χάρτες παθογενών λόγω αλάτων εδαφών και αρχές λίπανσής τους. *8ο Πανελλήνιο Εδαφολογικό Συνέδριο* , 178-189.

ΚΥΑ 145116/11(ΦΕΚ.354/Β΄/8-3-2011). *Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και άλλες διατάξεις.*

Λυμπεράτος, Γ., & Βαγενάς, Δ. (2012). *Διαχείριση Υγρών Αποβλήτων.* Αθήνα: Τζιόλα.

Μήτσιος, Ι. Κ. (1999). *Εδαφολογία.* Θεσσαλονίκη: Zymel.

Μιμίκου, Μ. Α. (2006). *Τεχνολογία Υδατικών Πόρων.* Αθήνα: Παπασωτηρίου.

Μουστάκας, Ν. Κ. (2009). *Γενική Εδαφολογία.* Αθήνα: Γ.Π.Α.

Μπουλώτης, Χ. (1996). η ελιά και το λάδι στις ανακτορικές κοινωνίες της Κρήτης και της Μυκηναϊκής Ελλάδας: Όψεις και Απόψεις. Στο *Πρακτικά Δ' Τριημέρου Εργασίας "Ελιά και Λάδι"* (19-58). Καλαμάτα 7-9/5/1993: Πολιτιστικό Τεχνολογικό Ίδρυμα ΕΤΒΑ.

Ν.3852/2010(ΦΕΚ 87/Α΄7-6-2010). *Νέα Αρχιτεκτονική της Αυτοδιοίκησης και της Αποκεντρωμένης Διοίκησης − Πρόγραμμα Καλλικράτης.*

Παναγιωτόπουλος, Κ. Π. (2010). *Εδαφολογία.* Θεσσαλονίκη: Γαρταγάνης.

Πανώρας, Α., & Ηλίας, Α. (1999). *Άρδεσυη με Επεξεργασμένα Υγρά Αστικά Απόβλητα.* Θεσσαλονίκη.

Παπαζαφειρίου, Ζ. (1999). *Οι ανάγκες σε νερό των καλλιεργειών.* Θεσσαλονίκη: Ζήτη.

Παπαζαφειρίου, Ζ. (1991). *Προσδιορισμός φυτικών συντελεστών προσαρμοσμένων στις Ελληνικές συνθήκες. Έκσθεση προόδου στο ερευνητικό πρόγραμμα Πειραματική εφαρμογή νεότερων μεθόδων άρδευσης.*

Παπαμιχαήλ, Δ. Μ., & Μπαμπατζιμόπουλος, Χ. Σ. (2014). *Εφαρμοσμένη Γεωργική Υδραυλική.* Θεσσαλονίκη: Ζήτη .

ΠΑΣΕΓΕΣ. (2014). *Νερό και Γεωργία στην Ελλάδα.* Αθήνα: ΠΑΣΕΓΕΣ.

Πλάτων, Ν. (1974). *Ζάκρος. Το νέον Μινωικόν Ανάκτωρον.* Αθήνα.

Πουλοβασίλης, Α. (2010). *Εισαγωγή στις Αρδεύσεις.* Αθήνα: Εκδόσεις Έμβρυο.

Πουλοβασίλης, Α. (2015). *Υδρολογία Γεωργικών Εδαφών Στραγγίσεις.* Αθήνα: Έμβρυο.

Σακελλαράκης, Γ. (1979). *Το ελεφαντόδοντο και η κατεργασία του στα Μυκηναϊκά Χρόνια.* Αθήνα.

Σταχτέας, Χ. (1998). *Εξατμισοδιαπνοή, με έμφαση στο γεωργικό περιβάλλον.* Αθήνα: Σταμούλης.

Φ16/6631/89, Κ. *Προσδιορισμός κατωτάτων και ανωτέτων ορίων των αναγκαίων ποσοτήτων για την ορθολογική χρήση νερού στην άρδευση.*

Χαρτζουλάκης, Κ. Σ. (2013). Ακολουθώντας το Αποτύπωμα της Ελιάς στην Ελλάδα. Στο M. El-Kholy, D. Avanzato, J. M. Caballero, Κ. Σ. Χαρτζουλάκης, & F. V. Serman, *Ακολουθώντας τα Αποτυπώματα της Ελιάς (Olea europaea L.)* (Κ. Σ. Χαρτζουλάκης, Μεταφρ., 103-128). Χανιά.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι Πειραματικά Αποτελέσματα

Πίνακας 63 Αποτελέσματα αναλύσεων σε ΚΝ και ΕΥΑΑ για το έτος 2011

Ημ/νίες Άρδευσης	**Μονάδες**	**20/7**		**27/7**		**03/8**		**10/8**		**26/8**		**02/9**		**16/9**	
Στοιχείο		ΚΝ	ΕΥΑΑ	ΚΝ	ΕΥΑΑ	ΚΝ	ΕΥΑΑ	ΚΝ	ΕΥΑΑ	ΚΝ	ΕΥΑΑ	ΚΝ	ΕΥΑΑ	ΚΝ	ΕΥΑΑ
pH (20°C)	-	8.1	7.8	8	7.95	7.9	8.09	7.98	7.48	8	8.01	7.9	7.96	7.8	7.56
ECw (20°C)	μS/cm	535	731	543	722	578	784	583	694	571	706	539	715	568	755
BOD_5	mgr/l	0	12	0	14	0	20	0	10	0	19	0	16	0	22
COD	mgr/l		79		85		120		60		115		90		105
Ολική Σκληρότητα	mgr/l	247	-	250	-	247	-	325	-	310	-	325	-	331	-
Ολική Αλκαλικότητα	mgr/l	240	-	256	-	268	-	273	-	263	-	245	-	250	-
TN	mgr/l	-	22	-	25	-	32	-	19	-	30	-	26	-	33
TP	mgr/l	-	7.6	-	9	-	15	-	5	-	8	-	9	-	11
SS	mgr/l	-	19	-	28	-	39	-	32	-	45	-	19	-	28
NH_4^+	mgr/l	<0.01	4.6	<0.01	20	<0.01	35	<0.01	14	<0.01	33	<0.01	25	0.02	30
NO_2^-	mgr/l	0.12	-	0.19	-	0.17	-	0.08	-	0.12	-	0.02	-	<0.01	-
NO_3^-	mgr/l	41	-	42	-	44	-	44	-	40	-	41	-	46	-
Cl	mgr/l	58	20	30	45	20	46	27	45	20	49	25	40	20	43
Ελεύθερο Cl_2	mgr/l	-	<0.01	-	<0.01	-	<0.01	-	<0.01	-	<0.01	-	<0.01	-	<0.01
K	mgr/l	<2	11	<2	13	<2	12	<2	11	<2	13	<2	10	<2	14
Na	mgr/l	10	44	12	43	13	47	14	45	11	40	10	42	11	38
Ca	mgr/l	72	57	75	78	90	82	95	98	77	70	80	65	99	76
Mg	mgr/l	16	13	20	14	21	14	21	14	19	14	18	14	20	14
Fe	μgr/l	<10	33	20	150	58	165	17	147	17	130	15	165	11	172
Mn	μgr/l	5	18												
Cu	μgr/l	<10	<10												
Mo	μgr/l	10	<1												
As	μgr/l	<1	<1												
Pb	μgr/l	<1	<1												

Πίνακας 63 Αποτελέσματα αναλύσεων σε ΚΝ και ΕΥΑΑ για το έτος 2011

Ημ/νίες Άρδευσης	**Μονάδες**	**20/7**		**27/7**		**03/8**		**10/8**		**26/8**		**02/9**		**16/9**	
Στοιχείο		ΚΝ	ΕΥΑΑ	ΚΝ	ΕΥΑΑ	ΚΝ	ΕΥΑΑ	ΚΝ	ΕΥΑΑ	ΚΝ	ΕΥΑΑ	ΚΝ	ΕΥΑΑ	ΚΝ	ΕΥΑΑ
Cr	μgr/l	<1	<1												
Ni	μgr/l	6	8	<2	6	2	2	<2	<2	<2	4	<2	3	<2	<2
B	μgr/l	<10	<10	<10	19	<10	17	<10	20	<10	20	<10	25	<10	27
Co	μgr/l	<1	<1												
Al	μgr/l	15	23	17	60	16	51	25	66	16	70	19	58	20	56
Se	μgr/l	<1	<1												
Zn	μgr/l	<10	31												
Cd	μgr/l	<0.1	<0.1												
SO_4^{-2}	mgr/l	28	-	27	-	27	-	30	-	25	-	29	-	26	-

Πίνακας 64 Αποτελέσματα αναλύσεων σε ΚΝ και ΕΥΑΑ για το έτος 2012

Ημ/νίες Άρδευσης	**Μονάδες**	**29/6**		**07/7**		**13/7**		**19/7**		**27/7**		**03/8**		**09/8**		**18/8**		**24/8**		**31/8**		**07/9**		**13/9**	
Στοιχείο		ΚΝ	ΕΥΑΑ	ΚΝ	ΕΥΑΑ	ΚΝ	ΕΥΑΑ	ΚΝ	ΕΥΑΑ	ΚΝ	ΕΥΑΑ	ΚΝ	ΕΥΑΑ	ΚΝ	ΕΥΑΑ	ΚΝ	ΕΥΑΑ	ΚΝ	ΕΥΑΑ	ΚΝ	ΕΥΑΑ	ΚΝ	ΕΥΑΑ	ΚΝ	ΕΥΑΑ
pH (20°C)	-	7.61	7.91	7.47	7.78	7.83	7.88	7.8	7.9	7.83	7.88	8.03	7.78	7.88	7.81	7.96	7.77	7.95	7.75	7.91	7.6	7.89	7.32	7.9	7.45
ECw (20°C)	μS/cm	602	611	646	606	520	629	550	650	520	629	556	612	537	691	549	725	531	700	528	620	535	615	541	660
BOD_5	mgr/l	-	29	-	30	-	22	-	20	-	35	-	35	-	50	-	70	-	50	-	30	-	22	-	24
COD	mgr/l	-	66	-	78	-	60	-	52	-	67	-	85	-	86	-	104	-	79	-	80	-	55	-	60
Ολική Σκληρότητα	mgr/l	308	-	322	-	296	-	302	-	296	-	257	-	259	-	269	-	285	-	275	-	255	-	267	-
Ολική Αλκαλικότητα	mgr/l	304	-	318	-	280	-	299	-	244	-	317	-	307	-	322	-	263	-	311	-	278	-	311	-
TN	mgr/l	-	15	-	14	-	21	-	25	-	21	-	14	-	19	-	22	-	20	-	15	-	14	-	17
TP	mgr/l	-	3.7	-	6.8	-	2.9	-	10	-	2.9	-	64	-	9	-	13.9	-	22	-	15	-	10	-	8
SS	mgr/l	-	20	-	43	-	19	-	26	-	19	-	7	-	37	-	61	-	35	-	42	-	15	-	21
NH_4^+	mgr/l	0.04	4.3	0.02	4.12	0.04	4.56	0.02	4.42	0.04	4.56	0.03	4.38	0.05	13.6	0.04	16.94	0.03	15.9	0.02	12.2	0.05	4.5	0.04	5.25
NO_2^-	mgr/l	0.2	1.14	0.45	1.29	0.1	0.77	0.09	1.1	0.1	0.77	0.07	0.11	0.11	0.35	0.06	0.53	0.07	0.64	0.05	0.95	0.1	1.1	0.11	0.53
NO_3^-	mgr/l	37	-	32	-	41	-	40	-	41	-	45	-	46	-	42	-	42	-	35	-	38	-	40	-
Cl	mgr/l	28	50	27	52	23	31	20	50	23	51	20	46	20	51	20	56	20	48	22	52	21	50	23	51
Ελεύθερο Cl_2	mgr/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.03	<0.01	0.02	<0.01	0.03	<0.01	0.02	<0.01	0.04	<0.01	0.06	<0.01	0.05	<0.01	0.04	<0.01	0.06	<0.01	0.03
K	mgr/l	2	10	2	12	2	22		20	2	22	1.5	15	1.4	21	1.3	19	1.4	21	1.2	19	2	23	1.5	20
Na	mgr/l	12	44	16	48	13	42	12	46	13	42	13	48	12	54	12	50	14	52	13	46	13	55	12	42
Ca	mgr/l	95	88	97	66	90	60	93	70	90	60	95	70	91	81	94	85	95	77	92	68	90	65	91	70
Mg	mgr/l	17	13	19	12	17	11	17	12	17	11	19	14	19	12	21	13	19	12	20	13	17	14	18	12
Fe	μgr/l	122	764	144	578	73	258	15	321	73	258	12	80	14	155	19	94	25	80	14	92	12	95	13	85
Mn	μgr/l	6	16																						

Πίνακας 64 Αποτελέσματα αναλύσεων σε ΚΝ και ΕΥΑΑ για το έτος 2012

Ημ/νίες Άρδευσης	Μονάδες	29/6		07/7		13/7		19/7		27/7		03/8		09/8		18/8		24/8		31/8		07/9		13/9	
Στοιχείο		ΚΝ	ΕΥΑΑ	ΚΝ	ΕΥΑΑ	ΚΝ	ΕΥΑΑ	ΚΝ	ΕΥΑΑ	ΚΝ	ΕΥΑΑ	ΚΝ	ΕΥΑΑ	ΚΝ	ΕΥΑΑ	ΚΝ	ΕΥΑΑ	ΚΝ	ΕΥΑΑ	ΚΝ	ΕΥΑΑ	ΚΝ	ΕΥΑΑ	ΚΝ	ΕΥΑΑ
Cu	μgr/l	<10	<10																						
Mo	μgr/l	8	<1																						
As	μgr/l	<1	<1																						
Pb	μgr/l	<1	<1																						
Cr	μgr/l	<1	<1																						
Ni	μgr/l	15	20	<2	<2	<2	<2	<2	21	<2	<2	<2	<2	8	37	<2	<2	<2	<2	9	23	<2	<2	<2	<2
B	μgr/l	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	14	<10	<10	<10	<10	<10	13	<10	26	<10	<10	<10	<10	<10	16	<10	<10
Co	μgr/l	<1	<1																						
Al	μgr/l	25	76	59	117	53	180	50	210	53	180	42	273	114	293	24	66	60	150	58	210	47	265	30	180
Se	μgr/l	<1	<1																						
Zn	μgr/l	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	17	<10	11	<10	11	<10	13	<10	<10	<10	<10	<10
Cd	μgr/l	<0.1	<0.1																						
SO_4^{-2}	mgr/l	31	-	39	-	33	-	35	-	33	-	27	-	27	-	28	-	28	-	30	-	25	-	27	-

Πίνακας 65 Αποτελέσματα κοκκομετρικής αναλύσεως μικτών δειγμάτων όλων των επαναλήψεων τριών οριζόντων

Ονομασία Επανάληψης	Επέμβαση	Ορίζοντας	Άμμος %	Άργιλος %	Ιλύς %	Κοκκομετρική Κλάση
Α	ΚΝ	0-30	44.6	21.4	34	L
		30-60	44.6	27.4	28	CL
		60-90	34.6	27.4	38	CL
Β-Γ	ΕΥΑΑ	0-30	45	25	30	L
		30-60	41.8	28.2	30	CL
		60-90	40.6	27.4	32	CL
Δ-Ε	ΚΝ	0-30	43.8	34.2	22	CL
		30-60	44.4	25.6	30	L
		60-90	42.6	27.4	30	CL
Ζ	ΕΥΑΑ	0-30	51.2	20.8	28	SCL
		30-60	41.6	27.4	30	CL
		60-90	46.6	27.4	26	SCL
Η	ΚΝ	0-30	44.6	25.4	30	L
		30-60	50	28	22	SCL
		60-90	38.8	31.2	30	CL
Θ-Ι	ΕΥΑΑ	0-30	42.6	21.4	36	L
		30-60	44.2	23.8	32	L
		60-90	44.8	29.2	26	CL
Κ-Λ	ΚΝ	0-30	46.6	25.2	28.2	L
		30-60	50.8	25.2	24	SCL
		60-90	50.6	25.4	24	SCL
Μ	ΕΥΑΑ	0-30	44.8	23.2	32	L
		30-60	50.8	25.2	24	SCL
		60-90	46.8	25.2	28	SCL
Ν	ΚΝ	0-30	50.8	25.2	24	SCL
		30-60	42.6	27.4	30	CL
		60-90	50.2	27.8	22	SCL
Ξ-Ο	ΕΥΑΑ	0-30	44.6	27.4	28	CL
		30-60	48.8	27.2	28	SCL
		60-90	51.2	24.8	24	SCL
Π-Ρ	ΚΝ	0-30	44	26	30	L
		30-60	46.6	25.4	32	L
		60-90	42.6	25.4	32	L
Σ	ΕΥΑΑ	0-30	48.8	25.2	26	SCL
		30-60	44.6	25.4	30	L
		60-90	42.8	27.2	30	CL

Πίνακας 66 Τιμές EC εδάφους (μS/cm) ανά επανάληψη, εφαρμογή και ορίζοντα, για τις πέντε χρονικές στιγμές δειγματοληψίας

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΕΠΑΝΑΛΗΨΗΣ	ΕΠΕΜΒΑΣΗ	ΒΑΘΟΣ (cm)	Ιουν 2011	Σεπ 2011	Ιουν 2012	Σεπ 2012	Ιουν 2013
Α	ΕΥΑΑ	0-30	2.160	1.650	1.600	1.750	1.520
		30-60	1.750	1.405	1.500	1.600	1.520
		60-90	1.850	1.410	1.500	1.500	1.740
Β-Γ	ΚΝ	0-30	1.850	1.350	1.410	1.400	1.220
		30-60	1.800	1.300	1.500	1.600	1.280
		60-90	1.850	1.300	1.250	1.500	1.480
Δ-Ε	ΕΥΑΑ	0-30	2.050	1.430	1.250	1.900	1.250
		30-60	1.350	1.420	1.420	1.600	1.470
		60-90	1.600	1.420	1.490	1.500	1.470
Ζ	ΚΝ	0-30	1.500	1.300	1.060	1.400	1.280
		30-60	1.300	1.090	1.090	1.200	1.500
		60-90	1.420	1.100	1.645	1.200	1.390
Η	ΕΥΑΑ	0-30	1.750	1.100	1.400	1.800	1.180
		30-60	1.550	1.600	1.410	1.600	1.450
		60-90	1.700	1.580	1.600	1.600	1.450
Θ-Ι	ΚΝ	0-30	1.850	1.270	1.420	1.950	1.220
		30-60	1.500	1.370	1.340	1.600	1.240
		60-90	1.500	1.350	1.650	1.650	1.390
Κ-Λ	ΕΥΑΑ	0-30	1.950	1.500	1.410	1.600	1.265
		30-60	1.550	1.320	1.410	1.550	1.320
		60-90	1.460	1.200	1.650	1.550	1.460
Μ	ΚΝ	0-30	2.050	1.380	1.410	1.600	1.260
		30-60	1.950	1.200	1.340	1.460	1.320
		60-90	1.800	1.240	1.550	1.400	1.370
Ν	ΕΥΑΑ	0-30	2.100	1.580	1.550	2.000	1.480
		30-60	2.050	1.550	1.750	1.600	1.520
		60-90	1.850	1.550	1.750	1.600	1.400
Ξ-Ο	ΚΝ	0-30	2.250	1.280	1.500	1.400	1.370
		30-60	2.100	1.250	1.400	1.200	1.330
		60-90	2.050	1.340	1.550	1.200	1.520
Π-Ρ	ΕΥΑΑ	0-30	1.900	1.400	1.530	1.500	1.240
		30-60	1.580	1.250	1.410	1.650	1.240
		60-90	1.520	1.120	1.460	1.600	1.520
Σ	ΚΝ	0-30	1.550	1.200	1.360	1.650	1.160
		30-60	1.640	1.210	1.220	1.500	1.260
		60-90	1.600	1.140	1.600	1.750	1.520

Πίνακας 67 Τιμές pH εδάφους, ανά εφαρμογή, επανάληψη και ορίζοντα, για τις πέντε χρονικές στιγμές δειγματοληψίας

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΕΠΑΝΑΛΗΨΗΣ	ΕΠΕΜΒΑΣΗ	ΒΑΘΟΣ (cm)	Ιουν 2011	Σεπ 2011	Ιουν 2012	Σεπ 2012	Ιουν 2013
Α	ΕΥΑΑ	0-30	7.35	7.93	7.49	7.80	7.51
		30-60	7.62	8.12	7.82	7.85	7.53
		60-90	7.84	8.12	7.77	7.83	7.67
Β-Γ	ΚΝ	0-30	7.09	7.79	6.86	7.44	7.35
		30-60	7.46	7.94	7.56	7.80	7.60
		60-90	7.63	8.15	7.75	7.85	7.88
Δ-Ε	ΕΥΑΑ	0-30	7.04	7.69	6.87	7.49	7.30
		30-60	7.64	7.78	7.45	7.60	7.40
		60-90	7.89	7.99	7.76	7.40	7.61
Ζ	ΚΝ	0-30	6.89	7.24	6.91	7.22	7.31
		30-60	7.59	7.26	6.85	7.10	7.29
		60-90	7.71	6.19	6.94	7.15	7.20
Η	ΕΥΑΑ	0-30	7.13	7.75	6.85	7.45	7.30
		30-60	7.66	7.94	6.88	7.15	7.28
		60-90	7.88	8.15	7.76	7.76	7.80
Θ-Ι	ΚΝ	0-30	6.89	8.01	6.90	7.80	7.91
		30-60	7.35	8.02	6.95	7.90	7.83
		60-90	7.73	8.08	7.75	7.91	7.89
Κ-Λ	ΕΥΑΑ	0-30	7.31	7.93	7.60	8.00	7.96
		30-60	7.75	8.11	7.54	8.10	8.17
		60-90	7.85	8.03	7.83	8.08	8.10
Μ	ΚΝ	0-30	7.25	7.92	7.75	7.55	7.63
		30-60	7.49	8.17	7.88	7.85	7.86
		60-90	7.78	8.29	7.87	7.90	7.89
Ν	ΕΥΑΑ	0-30	7.44	7.93	7.66	7.88	7.70
		30-60	7.15	8.08	7.79	8.10	8.05
		60-90	6.90	8.14	7.82	7.75	7.96
Ξ-Ο	ΚΝ	0-30	7.06	7.86	7.89	7.89	7.85
		30-60	7.44	8.08	7.83	7.86	7.94
		60-90	7.56	8.14	7.85	7.78	7.89
Π-Ρ	ΕΥΑΑ	0-30	7.76	7.93	7.77	7.54	7.65
		30-60	7.38	7.86	7.61	7.83	7.71
		60-90	7.60	8.24	7.66	7.81	7.88
Σ	ΚΝ	0-30	7.06	7.89	7.89	7.85	7.81
		30-60	7.44	8.08	7.83	7.80	7.83
		60-90	7.56	8.14	7.85	7.88	7.84

Πίνακας 68 Τιμές ανθρακικού ασβεστίου (%) ($CaCO_3$) ανά εφαρμογή, επανάληψη και ορίζοντα, για τις πέντε χρονικές στιγμές δειγματοληψίας

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΕΠΑΝΑΛΗΨΗΣ	ΕΠΕΜΒΑΣΗ	ΒΑΘΟΣ (cm)	Ιουν 2011	Σεπ 2011	Ιουν 2012	Σεπ 2012	6ος 2013
Α	ΕΥΑΑ	0-30	0.41	1.03	0.21	1.60	0.61
		30-60	0.00	1.64	0.21	0.30	0.20
		60-90	0.41	0.89	0.20	0.61	0.00
Β-Γ	ΚΝ	0-30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		30-60	1.44	0.55	0.20	1.23	1.10
		60-90	0.41	0.75	0.20	1.25	1.20
Δ-Ε	ΕΥΑΑ	0-30	0.00	0.00	0.00	0.20	0.20
		30-60	0.21	0.75	0.21	0.20	0.41
		60-90	0.21	0.27	0.20	0.40	0.41
Ζ	ΚΝ	0-30	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20
		30-60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		60-90	1.85	0.00	0.20	0.00	0.00
Η	ΕΥΑΑ	0-30	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00
		30-60	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00
		60-90	1.03	1.44	1.23	2.05	1.85
Θ-Ι	ΚΝ	0-30	0.00	0.41	0.00	0.50	0.00
		30-60	0.00	0.68	0.00	0.71	0.00
		60-90	1.03	1.98	0.41	2.05	2.00
Κ-Λ	ΕΥΑΑ	0-30	0.00	0.14	0.21	0.30	0.41
		30-60	0.00	0.27	0.21	0.82	0.41
		60-90	0.62	1.23	1.64	2.25	1.90
Μ	ΚΝ	0-30	0.00	0.41	0.41	0.61	0.61
		30-60	0.00	0.55	0.61	0.82	0.49
		60-90	0.41	0.62	1.43	1.84	1.80
Ν	ΕΥΑΑ	0-30	0.70	1.37	1.23	2.15	2.23
		30-60	3.49	2.19	2.46	2.66	2.60
		60-90	5.13	3.35	1.43	2.72	2.51
Ξ-Ο	ΚΝ	0-30	0.41	0.82	0.20	1.64	1.70
		30-60	3.90	4.03	0.87	2.20	2.05
		60-90	6.77	6.22	3.90	3.30	2.90
Π-Ρ	ΕΥΑΑ	0-30	0.82	1.44	0.61	0.92	1.12
		30-60	1.07	1.50	0.41	1.02	1.84
		60-90	6.36	6.36	0.61	2.48	2.60
Σ	ΚΝ	0-30	0.49	0.75	0.41	1.23	1.53
		30-60	2.26	0.68	1.00	1.43	1.80
		60-90	0.00	1.03	1.84	3.28	2.66

Πίνακας 69 Τιμές Οργανικής Ουσίας εδάφους (%), ανά εφαρμογή, επανάληψη και ορίζοντα, για τις πέντε χρονικές στιγμές δειγματοληψίας

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΕΠΑΝΑΛΗΨΗΣ	ΕΠΕΜΒΑΣΗ	ΒΑΘΟΣ (cm)	Ιουν 2011	Σεπ 2011	Ιουν 2012	Σεπ 2012	Ιουν 2013
Α	ΕΥΑΑ	0-30	2.91	2.25	1.23	1.27	1.40
		30-60	1.71	1.43	1.64	1.40	1.62
		60-90	1.20	1.88	1.60	1.38	1.27
Β-Γ	ΚΝ	0-30	3.36	3.08	2.50	1.94	1.99
		30-60	2.67	2.55	1.77	1.34	1.42
		60-90	1.29	1.35	1.00	0.50	0.61
Δ-Ε	ΕΥΑΑ	0-30	2.94	3.15	2.40	1.94	1.95
		30-60	1.71	2.18	1.50	1.42	1.20
		60-90	1.35	0.75	1.34	0.88	0.53
Ζ	ΚΝ	0-30	2.73	3.30	2.24	2.71	2.42
		30-60	1.53	2.10	1.47	1.70	1.48
		60-90	1.32	1.65	1.10	1.03	0.97
Η	ΕΥΑΑ	0-30	1.83	3.15	1.87	2.44	2.73
		30-60	1.50	2.85	1.57	1.37	1.11
		60-90	1.20	1.73	1.10	0.78	0.84
Θ-Ι	ΚΝ	0-30	3.21	3.08	2.78	2.58	2.64
		30-60	1.50	1.73	1.77	1.67	1.69
		60-90	1.14	1.43	0.60	0.98	0.91
Κ-Λ	ΕΥΑΑ	0-30	2.91	3.00	1.77	2.24	2.18
		30-60	1.35	1.80	1.13	1.88	1.77
		60-90	1.14	1.35	0.93	0.79	0.67
Μ	ΚΝ	0-30	2.64	4.35	1.27	1.84	1.82
		30-60	1.56	1.88	1.23	1.07	1.00
		60-90	0.96	0.98	1.10	0.80	0.78
Ν	ΕΥΑΑ	0-30	3.39	4.50	3.00	3.11	3.08
		30-60	1.71	2.18	2.31	1.98	1.92
		60-90	1.11	1.50	1.64	1.23	1.20
Ξ-Ο	ΚΝ	0-30	2.82	4.05	2.85	2.44	2.41
		30-60	1.35	1.80	1.57	1.70	1.65
		60-90	1.14	1.50	1.44	1.18	1.29
Π-Ρ	ΕΥΑΑ	0-30	2.55	3.90	2.47	2.45	2.38
		30-60	1.89	2.25	2.34	1.70	1.68
		60-90	1.14	1.50	1.80	1.18	1.10
Σ	ΚΝ	0-30	2.58	3.83	2.34	2.84	2.79
		30-60	1.62	2.33	1.77	1.87	1.68
		60-90	0.96	1.43	1.27	0.88	0.80

Πίνακας 70 Τιμές συγκεντρώσεως Na^+ στο έδαφος (meq/100 gr εδάφους) ανά επανάληψη, εφαρμογή και ορίζοντα, για τις πέντε χρονικές στιγμές δειγματοληψίας

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΕΠΑΝΑΛΗΨΗΣ	ΕΠΕΜΒΑΣΗ	ΒΑΘΟΣ (cm)	Ιουν 2011	Σεπ 2011	Ιουν 2012	Σεπ 2012	Ιουν 2013
Α	ΕΥΑΑ	0-30	0.24	0.30	0.24	0.42	0.41
		30-60	0.23	0.23	0.20	0.35	0.35
		60-90	0.37	0.25	0.21	0.30	0.31
Β-Γ	ΚΝ	0-30	0.19	0.24	0.20	0.30	0.39
		30-60	0.20	0.24	0.21	0.26	0.30
		60-90	0.37	0.23	0.17	0.34	0.30
Δ-Ε	ΕΥΑΑ	0-30	0.28	0.33	0.27	0.65	1.04
		30-60	0.22	0.30	0.29	0.35	0.35
		60-90	0.21	0.26	0.23	0.30	0.29
Ζ	ΚΝ	0-30	0.19	0.25	0.27	0.26	0.28
		30-60	0.25	0.22	0.21	0.30	0.30
		60-90	0.37	0.30	0.25	0.26	0.26
Η	ΕΥΑΑ	0-30	0.23	0.32	0.28	0.40	0.39
		30-60	0.40	0.24	0.28	0.48	0.48
		60-90	0.32	0.23	0.24	0.26	0.26
Θ-Ι	ΚΝ	0-30	0.34	0.25	0.19	0.37	0.35
		30-60	0.20	0.34	0.22	0.30	0.30
		60-90	0.42	0.34	0.32	0.35	0.35
Κ-Λ	ΕΥΑΑ	0-30	0.30	0.26	0.27	0.48	0.48
		30-60	0.32	0.20	0.26	0.37	0.35
		60-90	0.25	0.17	0.27	0.37	0.39
Μ	ΚΝ	0-30	0.37	0.19	0.21	0.37	0.35
		30-60	0.29	0.16	0.21	0.35	0.35
		60-90	0.23	0.15	0.24	0.26	0.26
Ν	ΕΥΑΑ	0-30	0.22	0.32	0.29	0.61	0.48
		30-60	0.20	0.25	0.31	0.40	0.39
		60-90	0.25	0.24	0.28	0.37	0.35
Ξ-Ο	ΚΝ	0-30	0.50	0.20	0.24	0.34	0.35
		30-60	0.30	0.20	0.21	0.30	0.30
		60-90	0.37	0.20	0.25	0.34	0.35
Π-Ρ	ΕΥΑΑ	0-30	0.25	0.26	0.29	0.74	0.65
		30-60	0.27	0.21	0.27	0.34	0.34
		60-90	0.31	0.18	0.29	0.34	0.35
Σ	ΚΝ	0-30	0.23	0.18	0.21	0.34	0.34
		30-60	0.39	0.17	0.21	0.37	0.35
		60-90	0.25	0.16	0.21	0.30	0.30

Πίνακας 71 Τιμές συγκεντρώσεως K^+ στο έδαφος (meq/100 gr εδάφους), ανά επανάληψη, εφαρμογή και ορίζοντα, για τις πέντε χρονικές στιγμές δειγματοληψίας

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΕΠΑΝΑΛΗΨΗΣ	ΕΠΕΜΒΑΣΗ	ΒΑΘΟΣ (cm)	Ιουν 2011	Σεπ 2011	Ιουν 2012	Σεπ 2012	Ιουν 2013
Α	ΕΥΑΑ	0-30	0.31	0.26	0.22	0.23	0.26
		30-60	0.21	0.19	0.20	0.18	0.23
		60-90	0.23	0.18	0.21	0.18	0.18
Β-Γ	ΚΝ	0-30	0.25	0.25	0.21	0.23	0.20
		30-60	0.18	0.19	0.18	0.15	0.18
		60-90	0.24	0.20	0.17	0.18	0.18
Δ-Ε	ΕΥΑΑ	0-30	0.32	0.26	0.19	0.15	0.28
		30-60	0.20	0.16	0.17	0.21	0.18
		60-90	0.19	0.16	0.19	0.18	0.18
Ζ	ΚΝ	0-30	0.27	0.26	0.19	0.21	0.20
		30-60	0.16	0.18	0.17	0.18	0.18
		60-90	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
Η	ΕΥΑΑ	0-30	0.20	0.20	0.17	0.15	0.20
		30-60	0.16	0.18	0.19	0.15	0.15
		60-90	0.20	0.16	0.18	0.15	0.15
Θ-Ι	ΚΝ	0-30	0.25	0.22	0.21	0.21	0.18
		30-60	0.15	0.17	0.18	0.15	0.18
		60-90	0.20	0.18	0.20	0.15	0.15
Κ-Λ	ΕΥΑΑ	0-30	0.24	0.20	0.17	0.23	0.20
		30-60	0.17	0.15	0.16	0.15	0.15
		60-90	0.14	0.13	0.16	0.15	0.15
Μ	ΚΝ	0-30	0.27	0.27	0.19	0.26	0.23
		30-60	0.17	0.17	0.17	0.28	0.26
		60-90	0.16	0.14	0.16	0.15	0.18
Ν	ΕΥΑΑ	0-30	0.25	0.23	0.24	0.23	0.28
		30-60	0.18	0.17	0.19	0.18	0.18
		60-90	0.16	0.14	0.19	0.15	0.18
Ξ-Ο	ΚΝ	0-30	0.37	0.23	0.20	0.21	0.23
		30-60	0.13	0.15	0.15	0.15	0.20
		60-90	0.14	0.15	0.17	0.15	0.15
Π-Ρ	ΕΥΑΑ	0-30	0.22	0.21	0.18	0.21	0.20
		30-60	0.17	0.16	0.16	0.15	0.18
		60-90	0.14	0.13	0.16	0.15	0.15
Σ	ΚΝ	0-30	0.21	0.23	0.19	0.18	0.18
		30-60	0.19	0.18	0.19	0.18	0.20
		60-90	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18

Πίνακας 72 Τιμές συγκεντρώσεως Mg^{2+} στο έδαφος (meq/100 gr εδάφους), ανά εφαρμογή επανάληψη και ορίζοντα, για τις τέσσερις χρονικές στιγμές δειγματοληψίας

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΕΠΑΝΑΛΗΨΗΣ	ΕΠΕΜΒΑΣΗ	ΒΑΘΟΣ (cm)	Ιουν 2011	Σεπ 2011	Σεπ 2012	Ιουν 2013
Α	ΕΥΑΑ	0-30	5.08	3.70	4.13	3.87
		30-60	3.90	3.86	4.47	4.25
		60-90	3.32	3.48	2.90	2.80
Β-Γ	ΚΝ	0-30	2.63	3.46	2.78	2.50
		30-60	2.12	2.73	1.96	1.50
		60-90	1.89	2.38	3.35	3.14
Δ-Ε	ΕΥΑΑ	0-30	2.36	2.19	4.65	4.21
		30-60	1.88	1.74	2.08	2.20
		60-90	1.89	1.88	2.14	1.97
Ζ	ΚΝ	0-30	2.50	2.09	2.83	2.60
		30-60	2.21	1.73	2.68	2.30
		60-90	2.27	1.88	2.24	2.25
Η	ΕΥΑΑ	0-30	2.40	2.16	2.53	2.34
		30-60	1.85	1.67	2.16	1.98
		60-90	2.15	2.02	2.25	2.13
Θ-Ι	ΚΝ	0-30	2.47	2.11	2.11	2.10
		30-60	1.99	2.41	1.97	1.74
		60-90	2.39	2.62	2.09	1.97
Κ-Λ	ΕΥΑΑ	0-30	2.53	2.19	2.67	2.33
		30-60	1.92	1.90	2.06	2.00
		60-90	2.13	3.74	2.67	2.40
Μ	ΚΝ	0-30	2.29	2.51	4.10	4.07
		30-60	2.13	1.98	2.21	1.98
		60-90	2.25	2.16	1.87	1.56
Ν	ΕΥΑΑ	0-30	2.47	2.26	2.00	1.87
		30-60	2.29	2.54	2.22	2.20
		60-90	2.68	2.48	2.01	2.13
Ξ-Ο	ΚΝ	0-30	2.55	2.71	1.97	1.40
		30-60	1.74	2.03	2.55	2.37
		60-90	1.81	2.17	5.17	3.40
Π-Ρ	ΕΥΑΑ	0-30	2.25	2.26	2.62	2.28
		30-60	1.53	1.82	2.77	2.70
		60-90	1.60	1.93	2.09	2.00
Σ	ΚΝ	0-30	1.92	2.23	6.08	5.70
		30-60	1.53	2.09	3.08	2.87
		60-90	1.43	1.97	2.30	2.30

Πίνακας 73 Υπολογισμός εξατμισοδιαπνοής ελιάς (16/3/2013 έως 28/4/2013)

	P (mm)	T_{mean} (°C)	T_{max} (°C)	T_{min} (°C)	RH_{max} (%)	RH_{min} (%)	U_2 (m/sec)	ETo (mm/d)	Kc	ETc (mm/d)
16/03/2013	0.8	8.4	13.7	4.6	92	50	2.75	2.3		0.92
17/03/2013	0	8.9	14.8	3	80	44	2.06	2.6		1.04
18/03/2013	0.2	8.2	13.8	1.6	91	65	0.72	1.9		0.76
19/03/2013	0.2	12.2	19.6	5.6	93	67	1	2.4		0.96
20/03/2013	0	14.3	20.2	8.6	91	59	1.58	2.6		1.04
21/03/2013	0.8	17.1	20.4	12.4	87	48	2.72	2.8		1.12
22/03/2013	0	13.8	17.7	9.4	69	38	5.31	4.2		1.68
23/03/2013	0	12.7	19.4	6.2	82	26	1.81	3.4		1.36
24/03/2013	0	11.2	18.9	2.6	91	46	1.47	2.9		1.16
25/03/2013	0	12.2	19.9	4.6	92	56	2.14	3		1.2
26/03/2013	3.2	13.9	17.6	10	92	54	2.11	2.5		1
27/03/2013	0	14.5	20.9	9.7	88	50	0.97	2.8		1.12
28/03/2013	0	13.7	22.8	6.9	92	49	0.92	3.1		1.24
29/03/2013	0.2	14	22.9	6.9	93	46	0.81	3.1		1.24
30/03/2013	0	16.5	25.1	7.8	92	39	1.25	3.7		1.48
31/03/2013	0	15.2	23	8.7	91	45	0.39	2.9		1.16
01/04/2013	0	15.4	22.6	7.5	92	33	1.89	3.8		1.52
02/04/2013	0	14.7	21.5	7.1	91	45	2.14	3.6		1.44
03/04/2013	0.4	14.5	18	11.2	91	50	2.36	2.8		1.12
04/04/2013	0	16	21.2	11	82	38	3.06	4		1.6
05/04/2013	0	13.4	22.2	4.3	91	34	1.78	3.9		1.56
06/04/2013	0	14.5	20.8	7.2	91	52	0.75	3		1.2
07/04/2013	1	16.9	22.2	12.8	84	40	2.08	3.6	**0.4**	1.44
08/04/2013	2.8	13.8	17	11.5	92	55	2.58	2.6		1.04
09/04/2013	0	14	20.8	8.2	89	46	1.97	3.5		1.4
10/04/2013	0	14.6	23.6	4.7	93	34	1.56	4.1		1.64
11/04/2013	0	15.6	24.4	7.8	88	29	1.78	4.4		1.76
12/04/2013	0	15.2	24.1	7.2	91	39	1.47	4		1.6
13/04/2013	0	18.3	29.1	7.5	89	30	1.75	5.2		2.08
14/04/2013	0	19.2	27	11.4	74	25	2.28	5.3		2.12
15/04/2013	2	14.3	21.5	8.3	91	40	1.08	3.4		1.36
16/04/2013	0	13.3	20.9	6.3	89	38	1.69	3.7		1.48
17/04/2013	0	14.1	21.2	7.3	86	31	1.92	4		1.6
18/04/2013	0	13.6	20.3	6.8	66	28	2.19	4.3		1.72
19/04/2013	0	13.8	21.2	7.4	83	30	1.28	3.7		1.48
20/04/2013	0	12.9	20.7	5.7	88	33	1.44	3.8		1.52
21/04/2013	0	14.3	24.2	6.7	89	36	1.25	4.2		1.68
22/04/2013	0	16	25.8	8.3	87	32	1.47	4.5		1.8
23/04/2013	0	15.2	23.4	6.2	90	38	1.14	4		1.6
24/04/2013	0	17.7	28.8	6.9	91	18	1.28	5.2		2.08
25/04/2013	0	17.9	30	6.4	94	25	1.22	5.2		2.08
26/04/2013	0	19.8	30.8	9.1	89	22	1.5	5.7		2.28
27/04/2013	0	18.2	28.7	7.7	87	26	1.44	5.3		2.12
28/04/2013	0	18.3	29.4	7.2	87	25	1.11	5.2		2.08
ΣΥΝΟΛΟ	**11.6**							**162.2**		**64.88**

Πίνακας 74 Υπολογισμός εξατμισοδιαπνοής ελιάς (16/6/2014 έως 31/8/2014)

	P (mm)	T_{mean} (°C)	T_{max} (°C)	T_{min} (°C)	U_2 (m/sec)	ETo (mm/d)	Kc	ETc (mm/d)	Kc bare soil	E bare soil (mm/d)
16/06/2014	0	23.3	31.4	15.2	1.36	5.7		2.57		0.86
17/06/2014	0	24.9	34.9	16.7	1.50	6.6		2.97		0.99
18/06/2014	0	23.5	32.9	16.2	1.53	6.1		2.75		0.92
19/06/2014	0	24.4	32.2	15.6	2.11	6.4		2.88		0.96
20/06/2014	0	23.2	27.3	18.2	2.39	4.7		2.12		0.71
21/06/2014	0	23.6	32.3	17.1	2.25	6.4		2.88		0.96
22/06/2014	0	24.3	31.8	15.6	2.06	6.3		2.84		0.95
23/06/2014	0	24.3	34.4	15.6	1.50	6.5	**0.45**	2.93		0.98
24/06/2014	0	25.5	34.8	16.9	1.78	6.7		3.02		1.01
25/06/2014	0	28.9	40.3	19.5	2.44	6.6		2.97		0.99
26/06/2014	0	30.2	39.7	18.9	2.08	8.2		3.69		1.23
27/06/2014	0	28.3	38.4	18.1	2.06	7.9		3.56		1.19
28/06/2014	0	27.1	34.1	21	1.97	6.1		2.75		0.92
29/06/2014	0	26.1	35.6	17.6	2.00	7		3.15		1.05
30/06/2014	0	25.2	34.4	16.6	2.39	7.1		3.20		1.07
01/07/2014	0	27.3	37.2	18.9	1.81	7.2		3.60		1.08
02/07/2014	0	25.7	35.1	14.7	1.42	6.7		3.35		1.01
03/07/2014	0	26.8	36.1	18.4	1.69	6.8		3.40		1.02
04/07/2014	0	26.4	34.7	19.8	1.78	6.3		3.15		0.95
05/07/2014	0	26.4	34.3	18.9	2.11	6.5		3.25		0.98
06/07/2014	0	24.6	34.3	14.5	1.17	6.3		3.15		0.95
07/07/2014	0	26.2	35.3	17	1.58	6.6		3.30		0.99
08/07/2014	0	28.4	36.9	20.3	1.42	6.5		3.25		0.98
09/07/2014	0	29.2	36.8	20.6	2.33	7.2		3.60		1.08
10/07/2014	0	28.9	38.2	21.3	2.03	7.2		3.60		1.08
11/07/2014	0	26.9	35.3	18.8	2.17	6.9		3.45		1.04
12/07/2014	0	25.6	32.2	19.9	2.56	5.9		2.95		0.89
13/07/2014	0	26.3	35	16.7	1.69	6.6		3.30	**0.15**	0.99
14/07/2014	0	26.3	33.3	20.1	2.47	6.2		3.10		0.93
15/07/2014	0	25.6	32.3	19.2	1.92	5.7		2.85		0.86
16/07/2014	0	24	30.6	17.6	1.25	5.1		2.55		0.77
17/07/2014	0.2	23.8	32.2	17.8	1.17	5.4		2.70		0.81
18/07/2014	7	23.7	33.6	18.7	1.81	6.1		3.05		0.92
19/07/2014	3.2	22.2	33.1	17.7	1.22	5.6		2.80		0.84
20/07/2014	0	24.5	33.4	18.8	1.06	5.4	**0.5**	2.70		0.81
21/07/2014	0	26.8	36.5	18.8	1.08	6.1		3.05		0.92
22/07/2014	0	27.2	36.5	18.6	1.33	6.4		3.20		0.96
23/07/2014	0	25	33.6	16.7	1.44	6		3.00		0.90
24/07/2014	0	26.2	33.2	20.6	1.67	5.5		2.75		0.83
25/07/2014	1.8	26.3	34.8	21.1	1.50	5.7		2.85		0.86
26/07/2014	0	26.9	36.3	20	1.31	6.1		3.05		0.92
27/07/2014	0	27.1	36.3	19.1	1.14	6		3.00		0.90
28/07/2014	0	27.3	36.2	17.7	0.97	5.9		2.95		0.89
29/07/2014	0	28.5	37.3	21.6	1.89	6.6		3.30		0.99
30/07/2014	0	28.4	37.6	21.3	1.56	6.4		3.20		0.96
31/07/2014	0	27.4	36.2	18.6	1.42	6.2		3.10		0.93
01/08/2014	0	27	34.2	21.1	2.19	5.9		2.95		0.89
02/08/2014	0	26.2	34.1	18.8	1.92	6.1		3.05		0.92
03/08/2014	0	27.6	37.5	20.1	1.47	6.4		3.20		0.96
04/08/2014	0	28.8	39.1	20.1	1.39	6.7		3.35		1.01
05/08/2014	0	28.9	37.8	21.4	1.67	6.4		3.20		0.96
06/08/2014	0	27.3	35.3	20.6	2.11	6.2		3.10		0.93
07/08/2014	7	24.3	32.8	18.2	1.83	5.6		2.80		0.84
08/08/2014	3.4	24.4	32.2	18.8	1.78	5.4		2.70		0.81
09/08/2014	0.2	25.6	34.8	19.1	1.42	5.7		2.85		0.86

Πίνακας 74 Υπολογισμός εξατμισοδιαπνοής ελιάς (16/6/2014 έως 31/8/2014)

	P (mm)	**T_{mean} (^oC)**	**T_{max} (^oC)**	**T_{min} (^oC)**	**U_2 (m/sec)**	**ETo (mm/d)**	Kc	**ETc (mm/d)**	**Kc $_{bare\ soil}$**	**E $_{bare\ soil}$ (mm/d)**
10/08/2014	0	27.4	37.3	19.7	1.47	6.2		3.10		0.93
11/08/2014	0	28.1	38.2	20.5	1.78	6.6		3.30		0.99
12/08/2014	0	28.6	38.7	20.3	1.72	6.7		3.35		1.01
13/08/2014	0	29.3	39.4	20.4	1.75	6.2		3.10		0.93
14/08/2014	0	28.4	39.8	19.3	1.28	6.5		3.25		0.98
15/08/2014	0	30.5	41.2	19.3	1.56	7.2		3.60		1.08
16/08/2014	0	29.3	37.5	23.1	2.36	6.5		3.25		0.98
17/08/2014	0	27.4	35.4	21	2.78	6.4		3.20		0.96
18/08/2014	0	25.1	31.8	20.4	1.81	4.9		2.45		0.74
19/08/2014	0	25.3	35.6	17.8	1.64	6		3.00		0.90
20/08/2014	0	24.5	35.3	15.2	1.22	5.7		2.85		0.86
21/08/2014	0	26.7	37.7	16.1	1.42	6.3		3.15		0.95
22/08/2014	0	29.5	40.9	20.5	1.22	6.4		3.20		0.96
23/08/2014	0	30.9	40.7	18.8	1.44	6.7		3.35		1.01
24/08/2014	0	30.1	40.9	19.5	1.42	6.7		3.35		1.01
25/08/2014	0	29.3	38.2	19.7	1.61	6.2		3.10		0.93
26/08/2014	0	25.7	35.2	15.8	1.31	5.6		2.80		0.84
27/08/2014	0	27.1	35.9	20.6	1.58	5.5		2.75		0.83
28/08/2014	0	28.2	37.8	20.8	1.83	6.1		3.05		0.92
29/08/2014	0	26.6	36	19.1	1.75	5.8		2.90		0.87
30/08/2014	0	26.1	34.6	20	1.78	5.3		2.65		0.80
31/08/2014	0	24.3	33.9	18.3	1.22	4.9		2.45		0.74
	22.8							**235.19**		**72.03**

Πίνακας 75 Τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας στον κορεσμό εδαφικών δειγμάτων

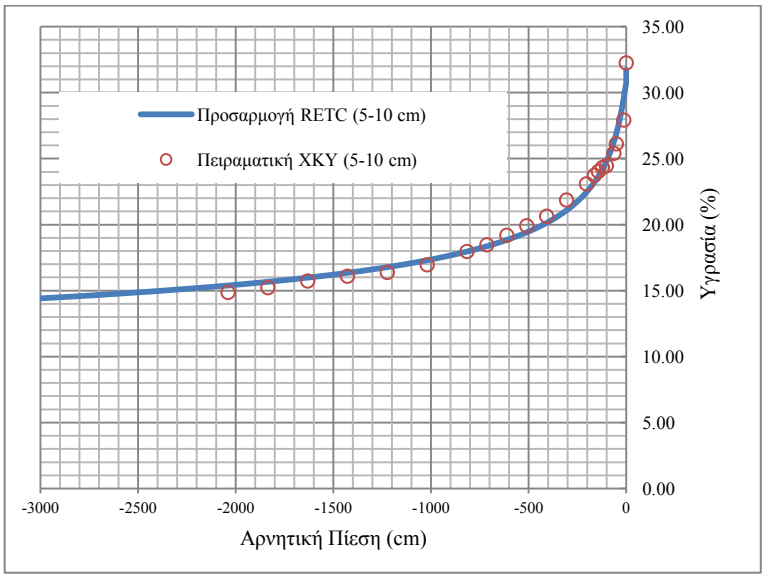
α/α Δείγματος	Εφαρμογή[49]	Ks (cm/h)	α/α Δείγματος	Εφαρμογή	Ks (cm/h)
1	ΕΥΑΑ	53.31	25	ΕΥΑΑ	25.92
2	ΕΥΑΑ	5.54	26	ΕΥΑΑ	9.46
3	ΕΥΑΑ	81.71	27	ΕΥΑΑ	49.20
4	ΕΥΑΑ	50.10	28	ΕΥΑΑ	12.98
5	ΚΝ	2.29	29	ΚΝ	81.49
6	ΚΝ	12.02	30	ΚΝ	91.54
7	ΚΝ	42.16	31	ΚΝ	54.05
8	ΚΝ	12.18	32	ΚΝ	88.87
9	ΕΥΑΑ	1.18	33	ΕΥΑΑ	67.75
10	ΕΥΑΑ	27.51	34	ΕΥΑΑ	71.82
11	ΕΥΑΑ	1.16	35	ΕΥΑΑ	30.14
12	ΕΥΑΑ	0.78	36	ΕΥΑΑ	55.07
13	ΚΝ	22.57	37	ΚΝ	101.42
14	ΚΝ	1.65	38	ΚΝ	105.48
15	ΚΝ	6.98	39	ΚΝ	100.04
16	ΚΝ	5.73	40	ΚΝ	24.03
17	ΕΥΑΑ	33.08	41	ΕΥΑΑ	75.52
18	ΕΥΑΑ	12.13	42	ΕΥΑΑ	70.19
19	ΕΥΑΑ	1.85	43	ΕΥΑΑ	59.63
20	ΕΥΑΑ	5.78	44	ΕΥΑΑ	39.18
21	ΚΝ	26.62	45	ΚΝ	45.77
22	ΚΝ	7.39	46	ΚΝ	47.75
23	ΚΝ	3.96	47	ΚΝ	110.80
24	ΚΝ	11.73	48	ΚΝ	108.03

[49] Α: Απόβλητο και Ν: Νερό

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ-ΧΚΥ

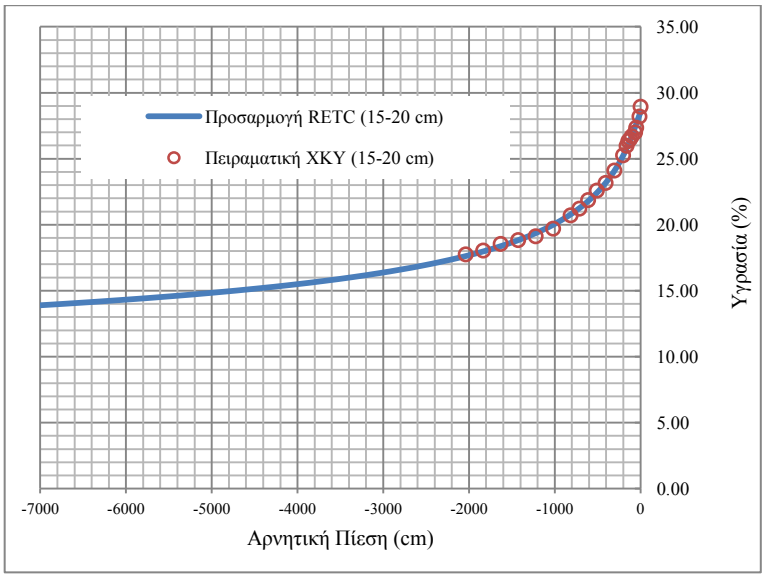
Πίνακας 76 Πειραματική ΧΚΥ που προσδιορίσθηκε για το δείγμα που ελήφθη από βάθος 5-10 cm και προσαρμογή στα πειραματικά σημεία καμπύλης με χρήση του προγράμματος RETC (μη δημοσιευμένα στοιχεία)

Πειραματική ΧΚΥ (5-10 cm)		Προσαρμογή στην πειραματική ΧΚΥ με το RETC					
H (cm)	Θ (%)	Θ (%)	H (cm)	Θ (%)	H (cm)	Θ (%)	H (cm)
0.0	32.26	11.01	-14510.0	18.21	-750.4	25.40	-83.9
-12.7	27.93	11.33	-12320.0	18.52	-677.3	25.72	-75.9
-51.0	26.13	11.64	-10500.0	18.83	-612.1	26.03	-68.6
-63.7	25.41	11.95	-8989.0	19.15	-553.9	26.34	-61.7
-102.0	24.47	12.26	-7726.0	19.46	-501.9	26.65	-55.4
-122.4	24.32	12.58	-6666.0	19.77	-455.2	26.97	-49.5
-142.8	24.04	12.89	-5772.0	20.08	-413.2	27.28	-44.0
-163.2	23.75	13.20	-5015.0	20.40	-375.5	27.59	-38.9
-203.9	23.10	13.52	-4371.0	20.71	-341.5	27.90	-34.1
-305.9	21.87	13.83	-3822.0	21.02	-310.8	28.22	-29.6
-407.9	20.64	14.14	-3351.0	21.34	-283.1	28.53	-25.4
-509.9	19.92	14.45	-2947.0	21.65	-257.9	28.84	-21.4
-611.8	19.20	14.77	-2598.0	21.96	-235.1	29.16	-17.7
-713.8	18.48	15.08	-2297.0	22.27	-214.4	29.47	-14.1
-815.8	17.97	15.39	-2035.0	22.59	-195.5	29.78	-10.6
-1019.7	16.96	15.71	-1807.0	22.90	-178.3	30.09	-7.2
-1223.6	16.38	16.02	-1609.0	23.21	-162.6	30.41	-3.9
-1427.6	16.10	16.33	-1435.0	23.53	-148.3	30.56	-2.1
-1631.5	15.74	16.64	-1282.0	23.84	-135.1	30.64	-1.2
-1835.5	15.23	16.96	-1148.0	24.15	-123.1	30.69	-0.5
-2039.4	14.87	17.27	-1030.0	24.46	-112.1	30.72	-0.1
		17.58	-925.2	24.78	-101.9	31.72	0.0
		17.89	-832.6	25.09	-92.5		



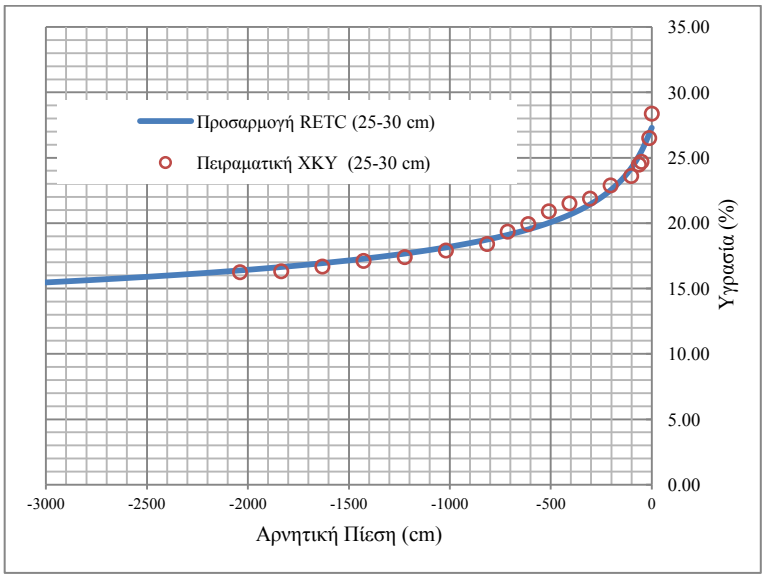
Πίνακας 77 Πειραματική ΧΚΥ που προσδιορίσθηκε για το δείγμα που ελήφθη από βάθος 15-20 cm και προσαρμοιγή στα πειραματικά σημεία καμπύλης με χρήση του προγράμματος RETC (μη δημοσιευμένα στοιχεία)

Πειραματική ΧΚΥ (15-20 cm)		Προσαρμογή στην πειραματική ΧΚΥ με το RETC					
H (cm)	Θ (%)	Θ (%)	H (cm)	Θ (%)	H (cm)	Θ (%)	H (cm)
0.0	28.94	11.97	-15010.0	18.07	-1791.0	24.16	-298.6
-12.7	28.20	12.26	-13290.0	18.36	-1644.0	24.45	-271.0
-51.0	27.36	12.55	-11800.0	18.65	-1509.0	24.75	-245.0
-63.7	26.99	12.84	-10510.0	18.94	-1387.0	25.04	-220.6
-102.0	26.71	13.13	-9376.0	19.23	-1275.0	25.33	-197.7
-122.4	26.49	13.42	-8388.0	19.52	-1173.0	25.62	-176.0
-142.8	26.35	13.71	-7520.0	19.81	-1079.0	25.91	-155.5
-163.2	25.98	14.00	-6757.0	20.10	-993.4	26.20	-136.1
-203.9	25.26	14.29	-6084.0	20.39	-914.6	26.49	-117.6
-305.9	24.11	14.58	-5488.0	20.68	-842.1	26.78	-100.0
-407.9	23.17	14.87	-4959.0	20.97	-775.4	27.07	-83.1
-509.9	22.59	15.16	-4490.0	21.26	-713.8	27.36	-66.8
-611.8	21.87	15.45	-4071.0	21.55	-657.0	27.65	-50.9
-713.8	21.22	15.74	-3697.0	21.84	-604.4	27.94	-35.2
-815.8	20.72	16.03	-3363.0	22.13	-555.8	28.23	-19.1
-1019.7	19.70	16.33	-3063.0	22.42	-510.7	28.37	-10.6
-1223.6	19.13	16.62	-2793.0	22.71	-468.8	28.45	-5.9
-1427.6	18.84	16.91	-2550.0	23.00	-429.8	28.49	-2.7
-1631.5	18.55	17.20	-2331.0	23.29	-393.5	28.52	-0.4
-1835.5	18.04	17.49	-2133.0	23.58	-359.7	28.52	-0.1
-2039.4	17.76	17.78	-1954.0	23.87	-328.1	28.52	0.0



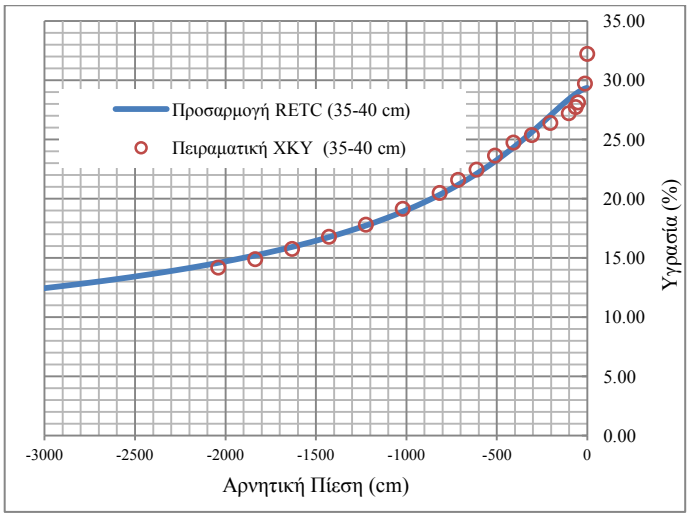
Πίνακας 78 Πειραματική ΧΚΥ που προσδιορίσθηκε για το δείγμα που ελήφθη από βάθος 25-30 cm και προσαρμοιγή στα πειραματικά σημεία καμπύλης με χρήση του προγράμματος RETC (μη δημοσιευμένα στοιχεία)

Πειραματική ΧΚΥ (25-30 cm)		Προσαρμογή στην πειραματική ΧΚΥ με το RETC					
H (cm)	Θ (%)	Θ (%)	H (cm)	Θ (%)	H (cm)	Θ (%)	H (cm)
0.0	28.37	12.02	-15990.0	17.57	-1272.0	23.13	-161.3
-12.7	26.50	12.30	-13750.0	17.85	-1143.0	23.41	-144.2
-51.0	24.69	12.57	-11870.0	18.13	-1028.0	23.68	-128.5
-63.7	24.47	12.85	-10270.0	18.41	-925.6	23.96	-114.1
-102.0	23.60	13.13	-8916.0	18.69	-834.1	24.24	-100.8
-203.9	22.88	13.41	-7763.0	18.96	-752.3	24.52	-88.5
-305.9	21.87	13.69	-6778.0	19.24	-679.0	24.80	-77.1
-407.9	21.50	13.96	-5933.0	19.52	-613.3	25.07	-66.5
-509.9	20.90	14.24	-5207.0	19.80	-554.2	25.35	-56.6
-611.8	19.92	14.52	-4581.0	20.07	-501.0	25.63	-47.4
-713.8	19.34	14.80	-4039.0	20.35	-453.0	25.91	-38.8
-815.8	18.40	15.07	-3569.0	20.63	-409.6	26.18	-30.7
-1019.7	17.90	15.35	-3160.0	20.91	-370.4	26.46	-22.9
-1223.6	17.40	15.63	-2804.0	21.19	-334.9	26.74	-15.5
-1427.6	17.11	15.91	-2492.0	21.46	-302.7	27.02	-8.2
-1631.5	16.67	16.19	-2219.0	21.74	-273.4	27.16	-4.4
-1835.5	16.31	16.46	-1980.0	22.02	-246.7	27.23	-2.4
-2039.4	16.24	16.74	-1769.0	22.30	-222.4	27.27	-1.1
		17.02	-1583.0	22.57	-200.2	27.29	-0.1
		17.30	-1418.0	22.85	-179.9	27.30	0.0



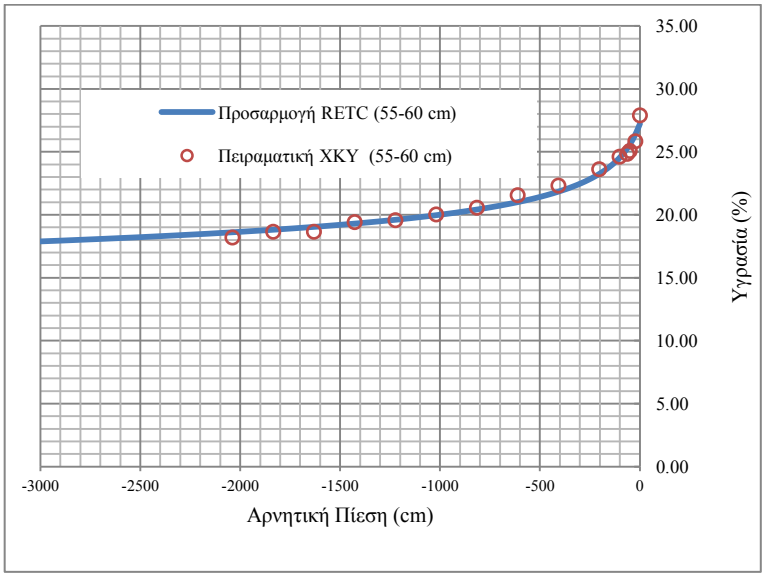
Πίνακας 79 Πειραματική ΧΚΥ που προσδιορίσθηκε για το δείγμα που ελήφθη από βάθος 35-40 cm και προσαρμοιγή στα πειραματικά σημεία καμπύλης με χρήση του προγράμματος RETC (μη δημοσιευμένα στοιχεία)

Πειραματική ΧΚΥ (35-40 cm)		Προσαρμογή στην πειραματική ΧΚΥ με το RETC					
H (cm)	Θ (%)	Θ (%)	H (cm)	Θ (%)	H (cm)	Θ (%)	H (cm)
0.0	32.21	6.04	-15840.0	14.41	-2106.0	22.78	-545.6
-12.7	29.70	6.34	-14200.0	14.71	-2001.0	23.07	-517.5
-51.0	28.11	6.64	-12790.0	15.00	-1903.0	23.37	-490.3
-63.7	27.72	6.93	-11580.0	15.30	-1810.0	23.67	-463.8
-102.0	27.20	7.23	-10520.0	15.60	-1723.0	23.97	-438.1
-203.9	26.38	7.53	-9595.0	15.90	-1640.0	24.27	-413.0
-305.9	25.35	7.83	-8783.0	16.20	-1563.0	24.57	-388.6
-407.9	24.72	8.13	-8065.0	16.50	-1489.0	24.87	-364.8
-509.9	23.62	8.43	-7428.0	16.80	-1420.0	25.17	-341.4
-611.8	22.44	8.73	-6859.0	17.10	-1354.0	25.46	-318.6
-713.8	21.57	9.03	-6351.0	17.40	-1292.0	25.76	-296.1
-815.8	20.47	9.33	-5893.0	17.69	-1232.0	26.06	-274.0
-1019.7	19.13	9.62	-5481.0	17.99	-1176.0	26.36	-252.1
-1223.6	17.80	9.92	-5108.0	18.29	-1123.0	26.66	-230.5
-1427.6	16.77	10.22	-4769.0	18.59	-1071.0	26.96	-208.9
-1631.5	15.75	10.52	-4461.0	18.89	-1023.0	27.26	-187.4
-1835.5	14.88	10.82	-4179.0	19.19	-976.3	27.56	-165.8
-2039.4	14.17	11.12	-3922.0	19.49	-931.8	27.86	-143.8
		11.42	-3685.0	19.79	-889.3	28.15	-121.4
		11.72	-3468.0	20.09	-848.6	28.45	-98.0
		12.02	-3268.0	20.38	-809.5	28.75	-72.9
		12.31	-3082.0	20.68	-772.0	29.05	-44.5
		12.61	-2911.0	20.98	-735.9	29.20	-27.4
		12.91	-2752.0	21.28	-701.3	29.28	-16.9
		13.21	-2604.0	21.58	-667.9	29.32	-9.0
		13.51	-2467.0	21.88	-635.7	29.35	-1.8
		13.81	-2338.0	22.18	-604.6	29.35	-0.4
		14.11	-2218.0	22.48	-574.6	29.35	0.0



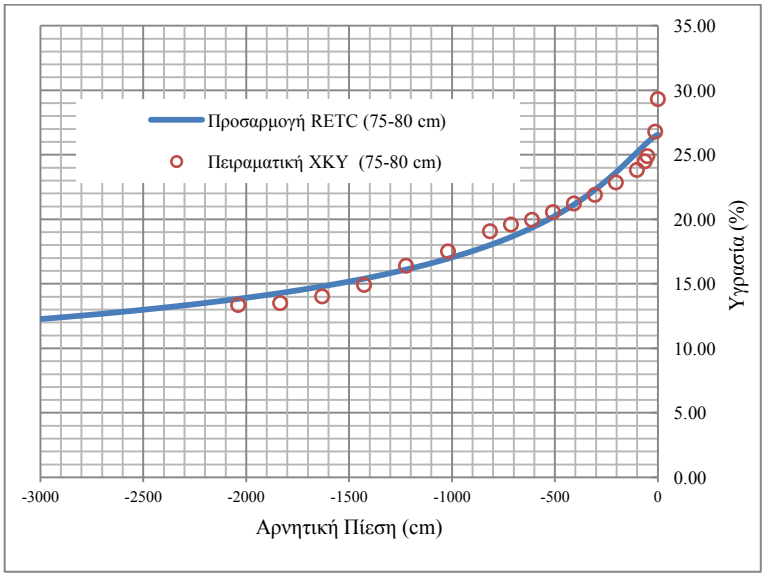
Πίνακας 80 Πειραματική ΧΚΥ που προσδιορίσθηκε για το δείγμα που ελήφθη από βάθος 55-60 cm και προσαρμοιγή στα πειραματικά σημεία καμπύλης με χρήση του προγράμματος RETC (μη δημοσιευμένα στοιχεία)

Πειραματική ΧΚΥ (55-60 cm)		Προσαρμογή στην πειραματική ΧΚΥ με το RETC					
Η (cm)	Θ (%)	Θ (%)	Η (cm)	Θ (%)	Η (cm)	Θ (%)	Η (cm)
0.0	27.90	15.03	-15980.0	19.74	-1140.0	24.45	-106.7
-22.9	25.83	15.31	-13410.0	20.02	-992.7	24.73	-90.6
-51.0	25.07	15.59	-11290.0	20.29	-865.3	25.00	-76.2
-63.7	24.84	15.86	-9528.0	20.57	-755.0	25.28	-63.3
-102.0	24.61	16.14	-8067.0	20.85	-659.2	25.56	-51.7
-203.9	23.62	16.42	-6848.0	21.13	-576.0	25.83	-41.2
-407.9	22.32	16.69	-5828.0	21.40	-503.4	26.11	-31.7
-611.8	21.55	16.97	-4973.0	21.68	-440.1	26.39	-23.0
-815.8	20.56	17.25	-4254.0	21.96	-384.7	26.66	-15.1
-1019.7	20.02	17.53	-3647.0	22.23	-336.2	26.94	-7.6
-1223.6	19.56	17.80	-3133.0	22.51	-293.5	27.08	-4.0
-1427.6	19.41	18.08	-2697.0	22.79	-256.0	27.15	-2.1
-1631.5	18.65	18.36	-2327.0	23.06	-223.0	27.19	-0.9
-1835.5	18.65	18.63	-2011.0	23.34	-193.8	27.22	-0.1
-2039.4	18.19	18.91	-1741.0	23.62	-168.0	27.22	0.0
		19.19	-1510.0	23.90	-145.1		
		19.46	-1311.0	24.17	-124.8		



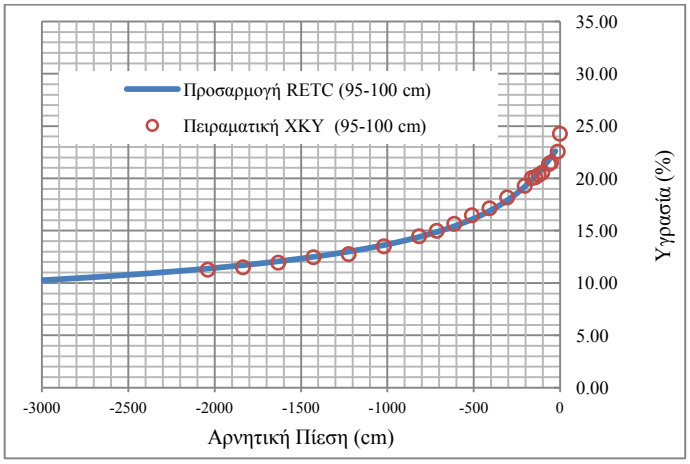
Πίνακας 81 Πειραματική ΧΚΥ που προσδιορίσθηκε για το δείγμα που ελήφθη από βάθος 75-80 cm και προσαρμοιγή στα πειραματικά σημεία καμπύλης με χρήση του προγράμματος RETC (μη δημοσιευμένα στοιχεία)

Πειραματική ΧΚΥ (75-80 cm)		Προσαρμογή στην πειραματική ΧΚΥ με το RETC					
H (cm)	Θ (%)	Θ (%)	H (cm)	Θ (%)	H (cm)	Θ (%)	H (cm)
0.0	29.33	7.37	-14510.0	14.39	-1792.0	21.41	-382.2
-12.7	26.80	7.64	-13000.0	14.66	-1685.0	21.68	-357.5
-51.0	24.90	7.91	-11690.0	14.93	-1585.0	21.95	-333.9
-63.7	24.50	8.18	-10550.0	15.20	-1492.0	22.22	-311.1
-102.0	23.83	8.45	-9547.0	15.47	-1405.0	22.49	-289.1
-203.9	22.87	8.72	-8668.0	15.74	-1324.0	22.76	-267.9
-305.9	21.90	8.99	-7893.0	16.01	-1249.0	23.03	-247.5
-407.9	21.23	9.26	-7206.0	16.28	-1178.0	23.30	-227.6
-509.9	20.56	9.53	-6595.0	16.55	-1111.0	23.57	-208.4
-611.8	19.97	9.80	-6050.0	16.82	-1049.0	23.84	-189.6
-713.8	19.60	10.07	-5562.0	17.09	-990.0	24.11	-171.3
-815.8	19.08	10.34	-5124.0	17.36	-934.7	24.38	-153.4
-1019.7	17.52	10.61	-4730.0	17.63	-882.6	24.65	-135.8
-1223.6	16.41	10.88	-4374.0	17.90	-833.4	24.92	-118.5
-1427.6	14.92	11.15	-4052.0	18.17	-786.9	25.19	-101.2
-1631.5	14.03	11.42	-3760.0	18.44	-743.0	25.46	-83.8
-1835.5	13.51	11.69	-3494.0	18.71	-701.4	25.73	-66.2
-2039.4	13.36	11.96	-3251.0	18.98	-661.9	26.00	-47.9
		12.23	-3030.0	19.25	-624.5	26.27	-27.9
		12.50	-2827.0	19.52	-588.9	26.41	-16.4
		12.77	-2640.0	19.79	-555.0	26.48	-9.7
		13.04	-2469.0	20.06	-522.8	26.52	-4.9
		13.31	-2312.0	20.33	-492.1	26.54	-0.9
		13.58	-2166.0	20.60	-462.7	26.54	-0.2
		13.85	-2032.0	20.87	-434.7	26.54	0.0
		14.12	-1907.0	21.14	-407.9		



Πίνακας 82 Πειραματική ΧΚΥ που προσδιορίσθηκε για το δείγμα που ελήφθη από βάθος 95-100 cm και προσαρμογή στα πειραματικά σημεία καμπύλης με χρήση του προγράμματος RETC (μη δημοσιευμένα στοιχεία)

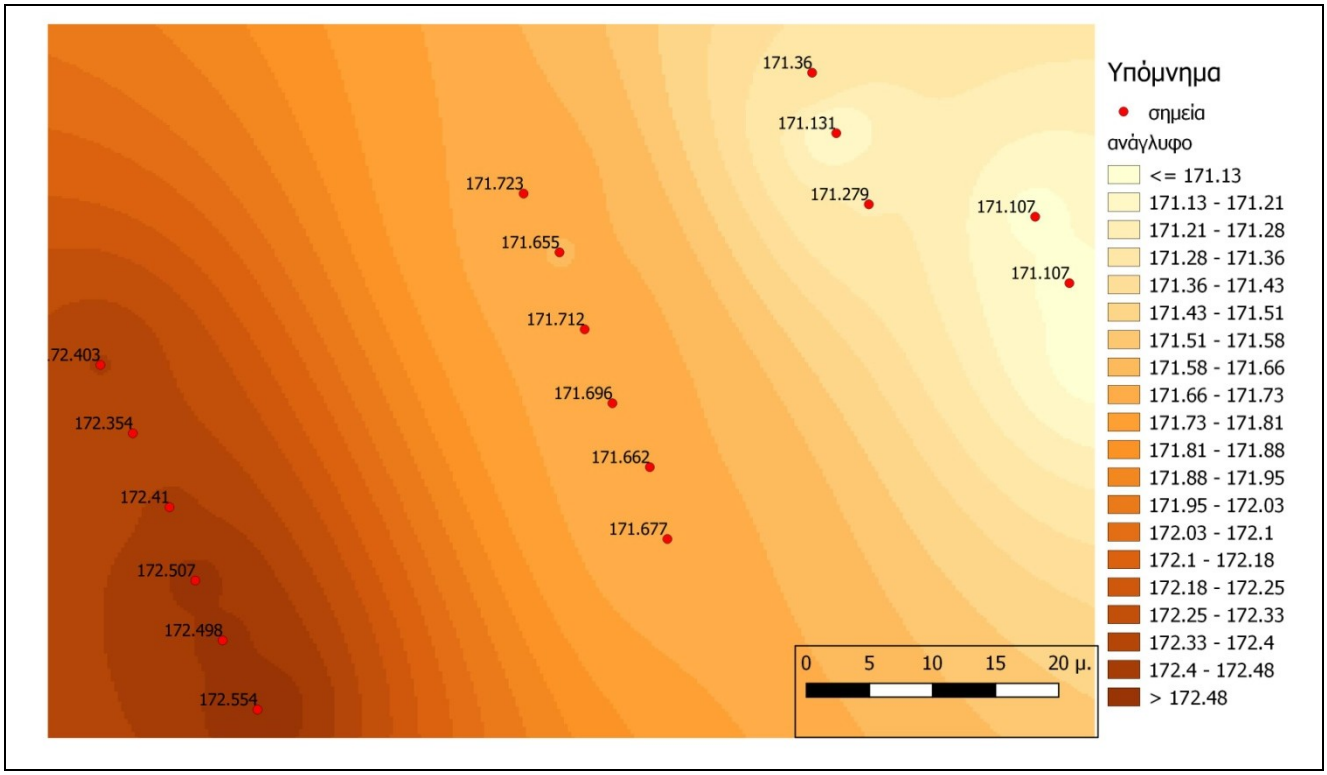
Πειραματική ΧΚΥ (95-100 cm)		Προσαρμογή στην πειραματική ΧΚΥ με το RETC					
H (cm)	Θ (%)	Θ (%)	H (cm)	Θ (%)	H (cm)	Θ (%)	H (cm)
0.0	24.28	6.66	-14720.0	12.76	-1319.0	18.86	-228.7
-12.7	22.57	6.89	-12970.0	12.99	-1229.0	19.10	-212.1
-51.0	21.53	7.13	-11480.0	13.23	-1146.0	19.33	-196.4
-63.7	21.38	7.36	-10190.0	13.46	-1070.0	19.56	-181.3
-102.0	20.56	7.60	-9088.0	13.70	-998.8	19.80	-166.9
-122.4	20.34	7.83	-8130.0	13.93	-933.3	20.03	-153.1
-142.8	20.12	8.07	-7297.0	14.17	-872.6	20.27	-139.9
-163.2	20.05	8.30	-6568.0	14.40	-816.3	20.50	-127.2
-203.9	19.30	8.54	-5930.0	14.64	-764.0	20.74	-114.9
-305.9	18.19	8.77	-5367.0	14.87	-715.3	20.97	-103.1
-407.9	17.15	9.01	-4871.0	15.11	-669.9	21.21	-91.6
-509.9	16.48	9.24	-4431.0	15.34	-627.5	21.44	-80.5
-611.8	15.66	9.48	-4039.0	15.58	-587.9	21.68	-69.6
-713.8	15.00	9.71	-3690.0	15.81	-550.9	21.91	-58.9
-815.8	14.48	9.94	-3378.0	16.04	-516.2	22.15	-48.3
-1019.7	13.51	10.18	-3098.0	16.28	-483.7	22.38	-37.6
-1223.6	12.77	10.41	-2846.0	16.51	-453.2	22.61	-26.8
-1427.6	12.47	10.65	-2620.0	16.75	-424.5	22.85	-15.2
-1631.5	11.95	10.88	-2415.0	16.98	-397.5	22.97	-8.7
-1835.5	11.51	11.12	-2229.0	17.22	-372.0	23.03	-5.1
-2039.4	11.28	11.35	-2061.0	17.45	-348.0	23.06	-2.5
		11.59	-1908.0	17.69	-325.3	23.08	-0.4
		11.82	-1768.0	17.92	-303.9	23.08	-0.1
		12.06	-1641.0	18.16	-283.6	23.08	0.0
		12.29	-1524.0	18.39	-264.3		
		12.53	-1417.0	18.63	-246.0		



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ-Στάθμη υπόγειου υδροφόρου έτους 2012

Πίνακας 83 Συντεταγμένες κατά ΕΓΣΑ87 των σημείων και απόλυτο υψόμετρο των σημείων από όπου μετρόταν το βάθος της στάθμης του νερού του υπόγειου ορίζοντα

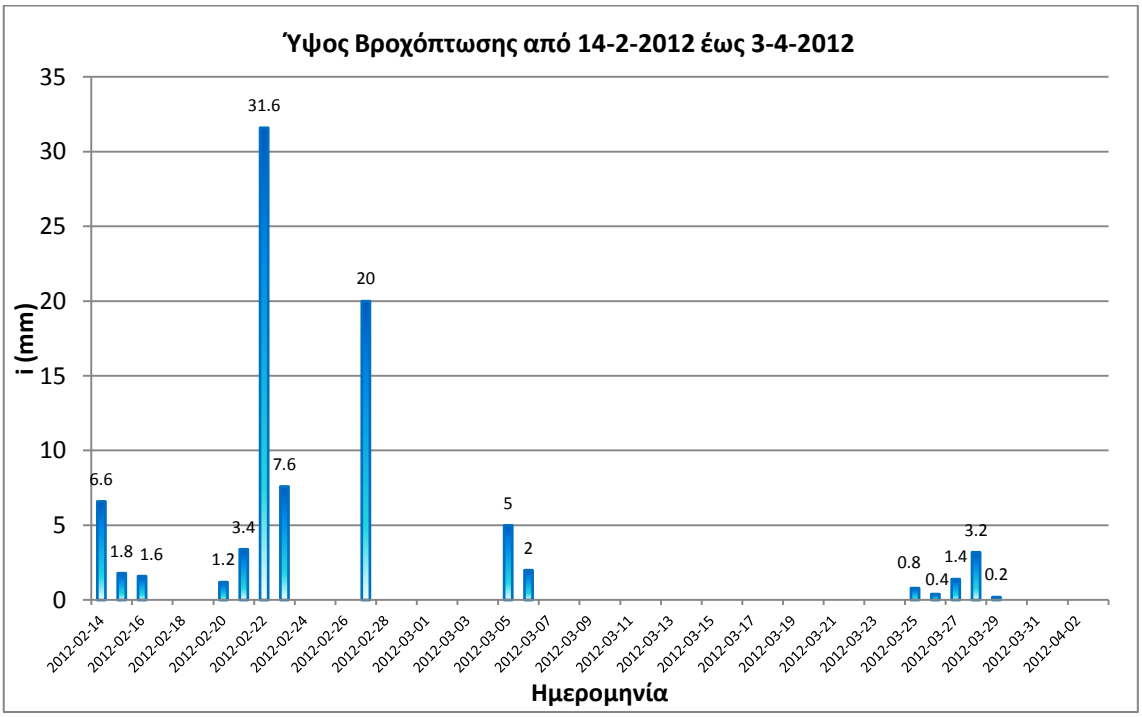
ΟΝΟΜΑ	Χ	Ψ	Ζ
Α	361674.6	4100605	171.36
Β	361676.5	4100600	171.131
Γ	361679.1	4100595	171.279
Δ	361692.3	4100594	171.107
Ε	361695	4100589	171.107
Ζ	361697.5	4100583	171.057
Η	361663.1	4100568	171.677
Θ	361661.7	4100574	171.662
Ι	361658.8	4100579	171.696
Κ	361656.6	4100585	171.712
Λ	361654.6	4100591	171.655
Μ	361651.7	4100596	171.723
Ν	361618.2	4100582	172.403
Ξ	361620.7	4100577	172.354
Ο	361623.7	4100571	172.41
Π	361625.7	4100565	172.507
Ρ	361627.9	4100560	172.498
Σ	361630.6	4100555	172.554



Σχήμα 41 Χάρτης αναγλύφου του αγροτεμαχίου

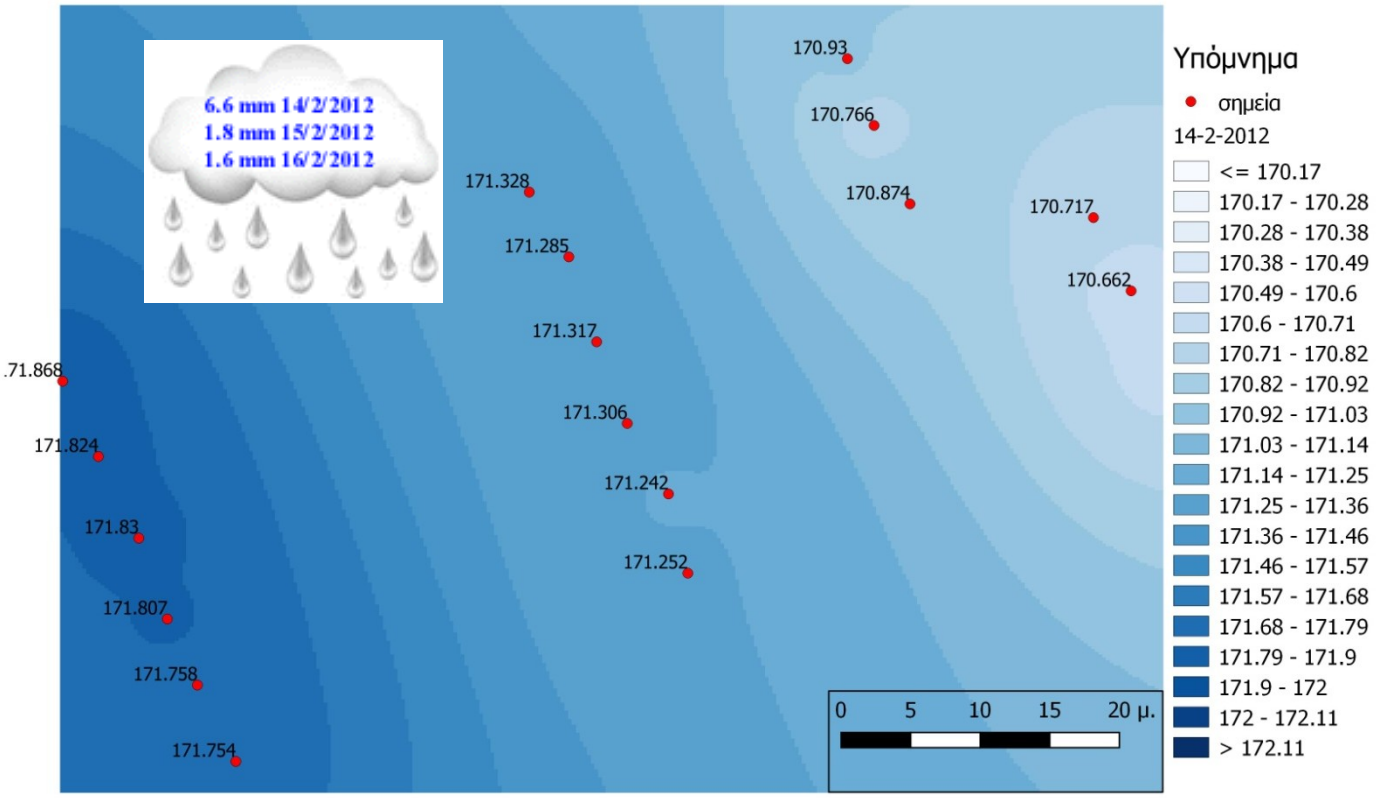
Πίνακας 84 Ημερήσιο Ύψος Βροχόπτωσης κατά το διάστημα 14-2-2012 έως 3-4-2012

Ημ/νία	**i (mm)**	**Ημ/νία**	**i (mm)**
2012-02-14	6.6	2012-03-04	0
2012-02-15	1.8	2012-03-05	5
2012-02-16	1.6	2012-03-06	2
2012-02-17	0	2012-03-20	0
2012-02-18	0	2012-03-21	0
2012-02-19	0	2012-03-22	0
2012-02-20	1.2	2012-03-23	0
2012-02-21	3.4	2012-03-24	0
2012-02-22	31.6	2012-03-25	0.8
2012-02-23	7.6	2012-03-26	0.4
2012-02-24	0	2012-03-27	1.4
2012-02-25	0	2012-03-28	3.2
2012-02-26	0	2012-03-29	0.2
2012-02-27	20	2012-03-30	0
2012-02-28	0	2012-03-31	0
2012-02-29	0	2012-04-01	0
2012-03-02	0	2012-04-02	0
2012-03-03	0	2012-04-03	0

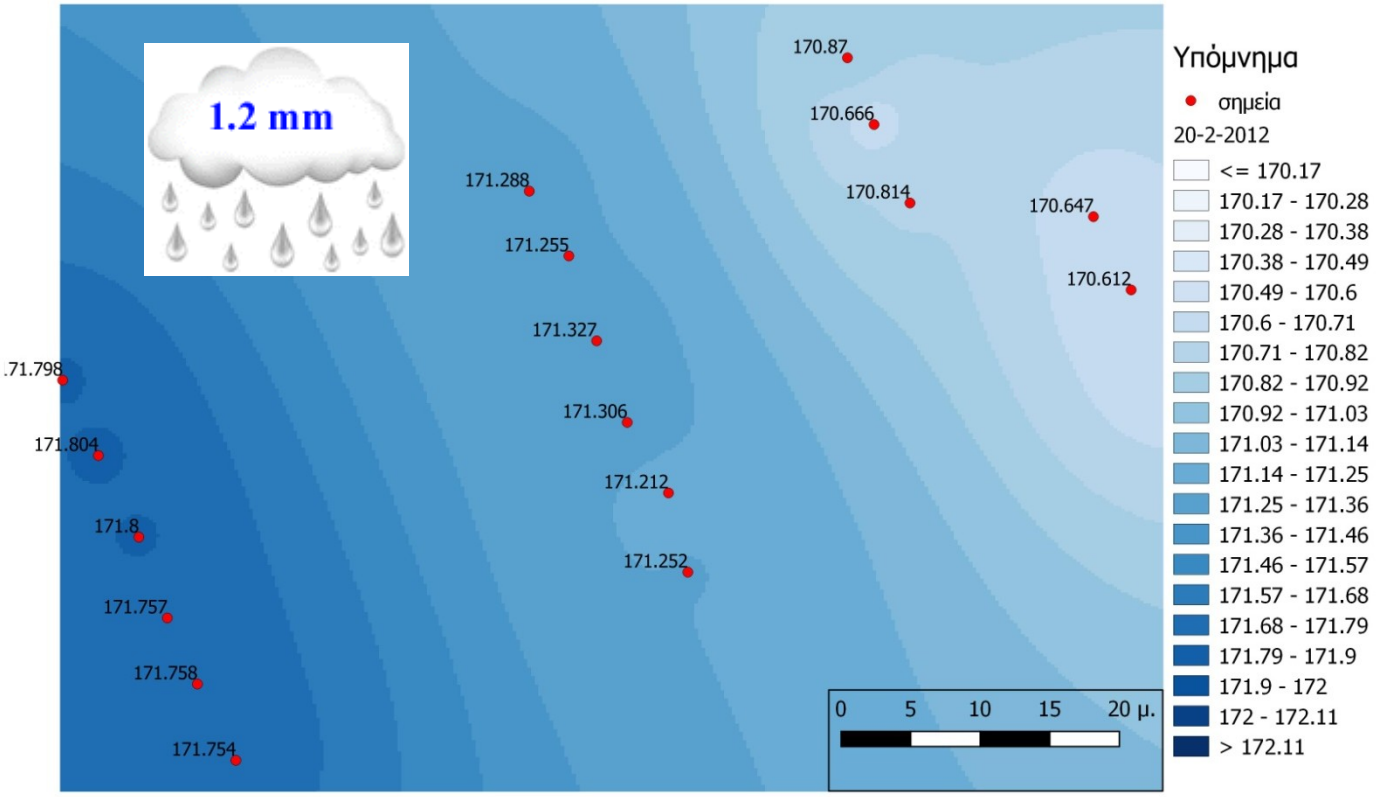


Πίνακας 85 Δεδομένα ανά ημερομηνία βάθους υπόγειας στάθμης νερού έτους 2012 καθώς και αντίστοιχοι χάρτες με το απόλυτο υψόμετρο της υπόγειας στάθμης

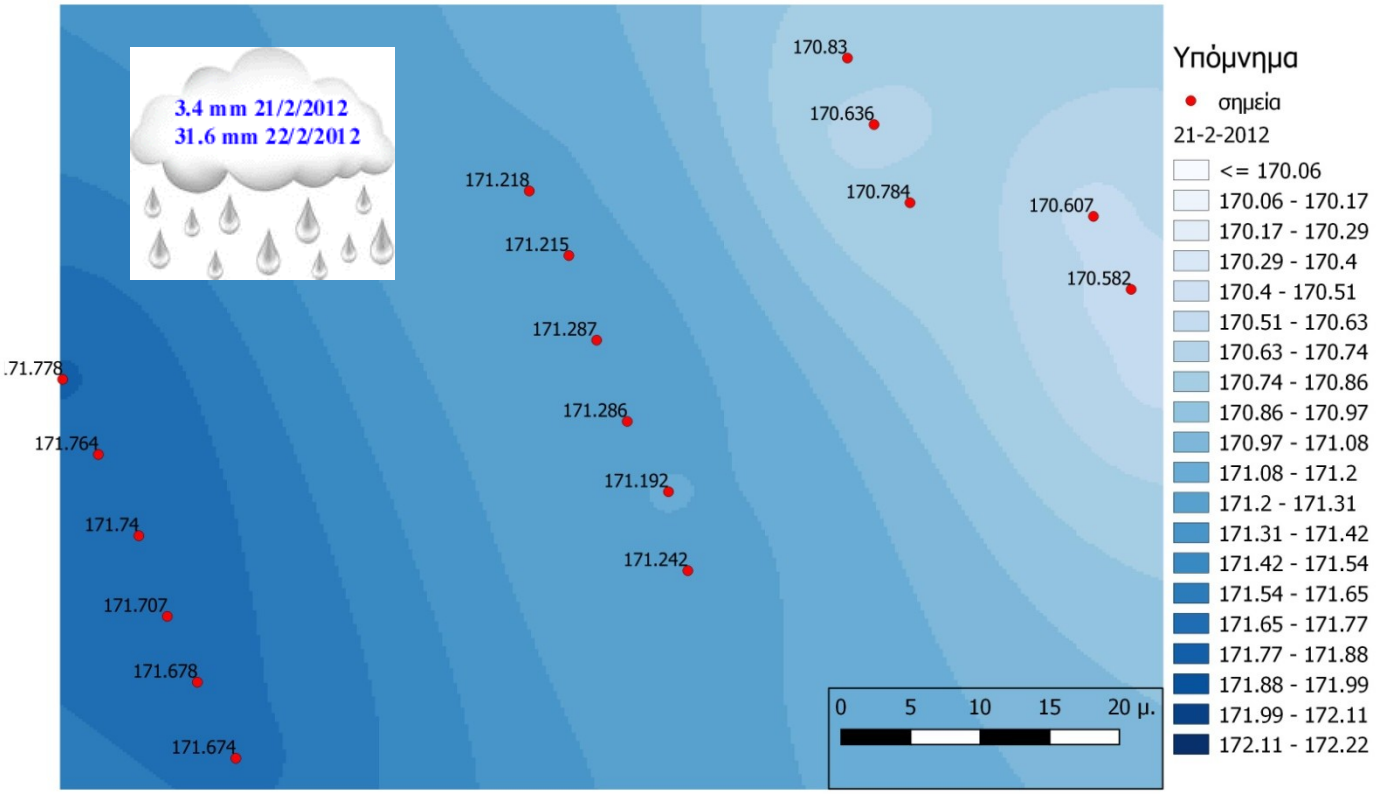
ΟΝΟΜΑ	Α	Β	Γ	Δ	Ε	Ζ	Η	Θ	Ι	Κ	Λ	Μ	Ν	Ξ	Ο	Π	Ρ	Σ
14-2-2012	-43	-36.5	-40.5	-39	-44.5	-39.5	-42.5	-42	-39	-39.5	-37	-39.5	-53.5	-53	-58	-70	-74	-80



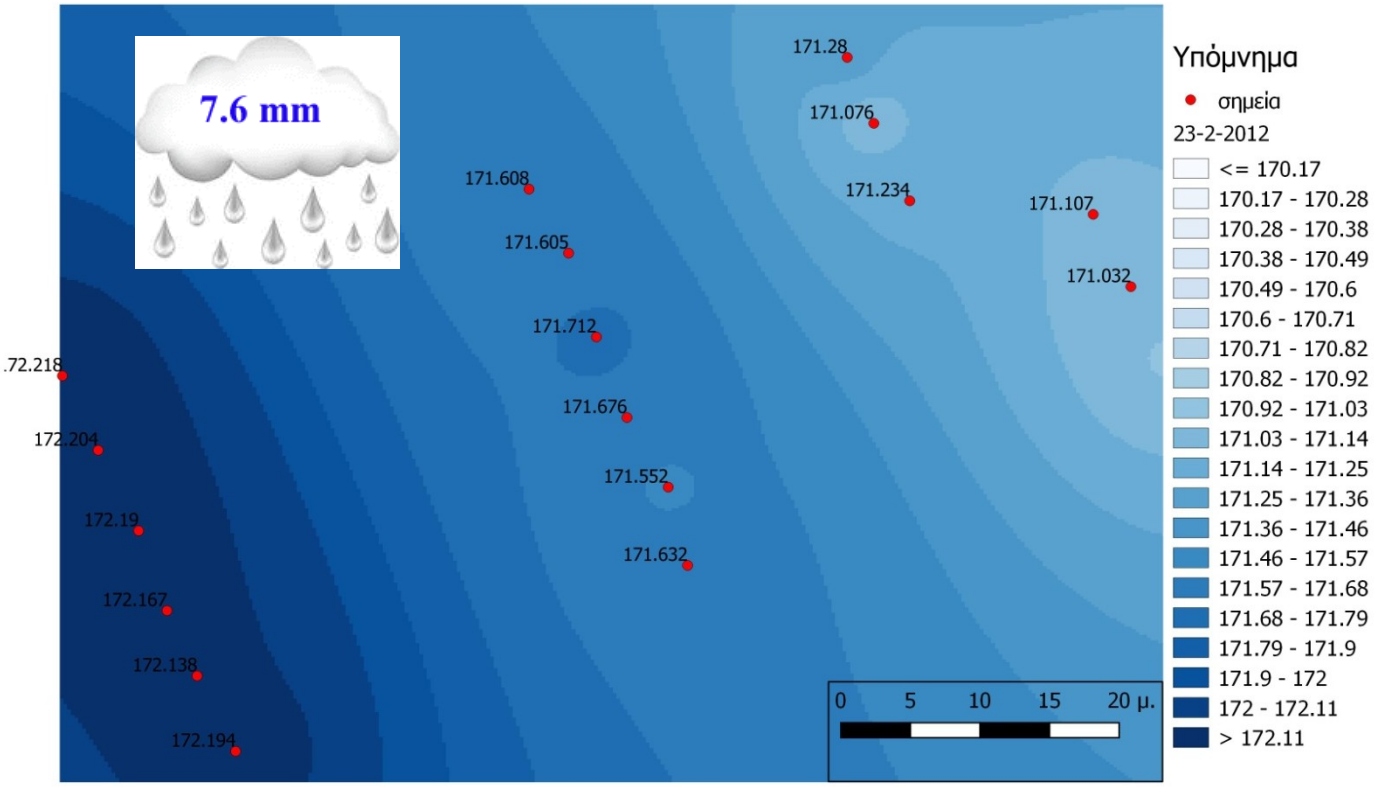
20-2-2012	-49	-46.5	-46.5	-46	-49.5	-44.5	-42.5	-45	-39	-38.5	-40	-43.5	-60.5	-55	-61	-75	-74	-80



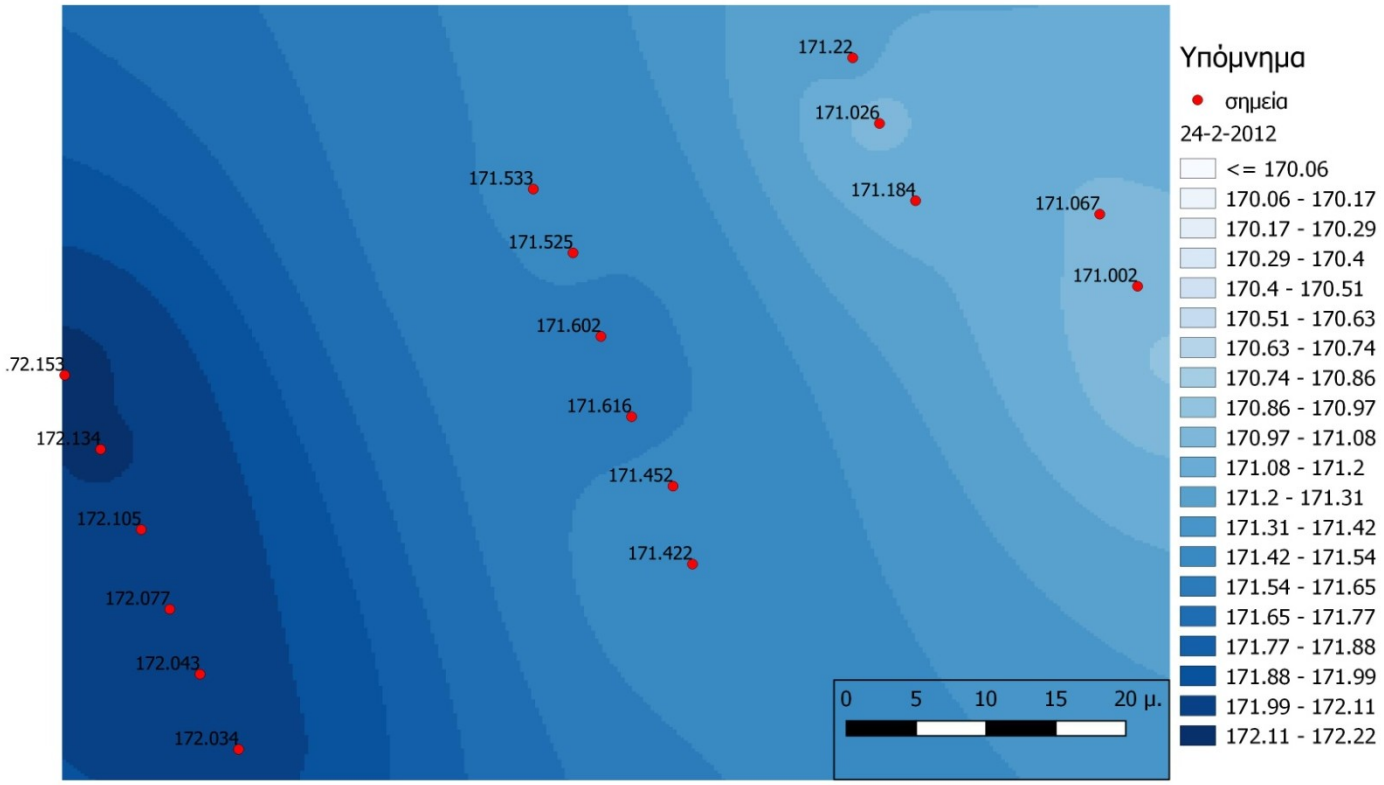
21-2-2012	-53	-49.5	-49.5	-50	-52.5	-46.5	-43.5	-47	-41	-42.5	-44	-50.5	-62.5	-59	-67	-80	-82	-88



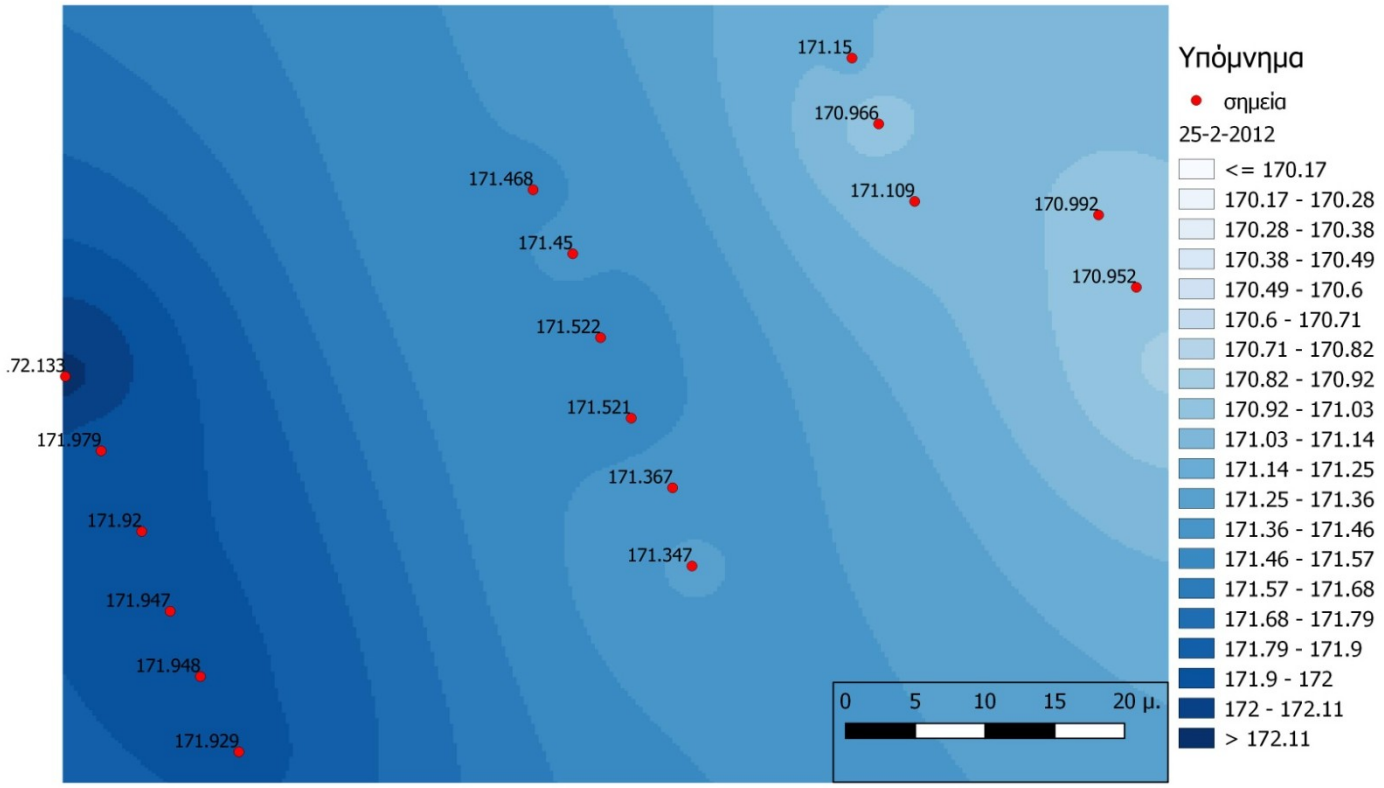
23-2-2012	-8	-5.5	-4.5	0	-7.5	-3.5	-4.5	-11	-2	0	-5	-11.5	-18.5	-15	-22	-34	-36	-36



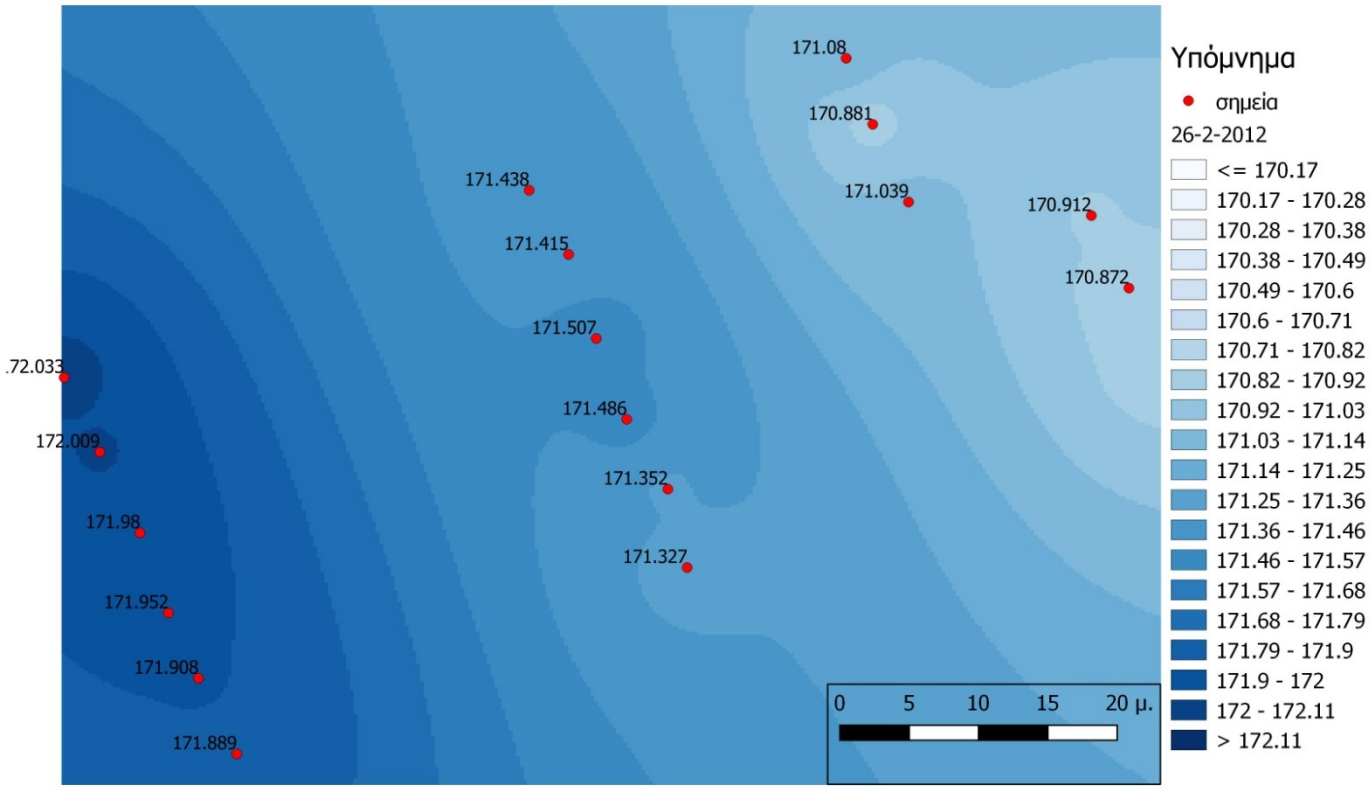
24-2-2012	-14	-10.5	-9.5	-4	-10.5	-10.5	-25.5	-21	-8	-11	-13	-19	-25	-22	-30.5	-43	-45.5	-52



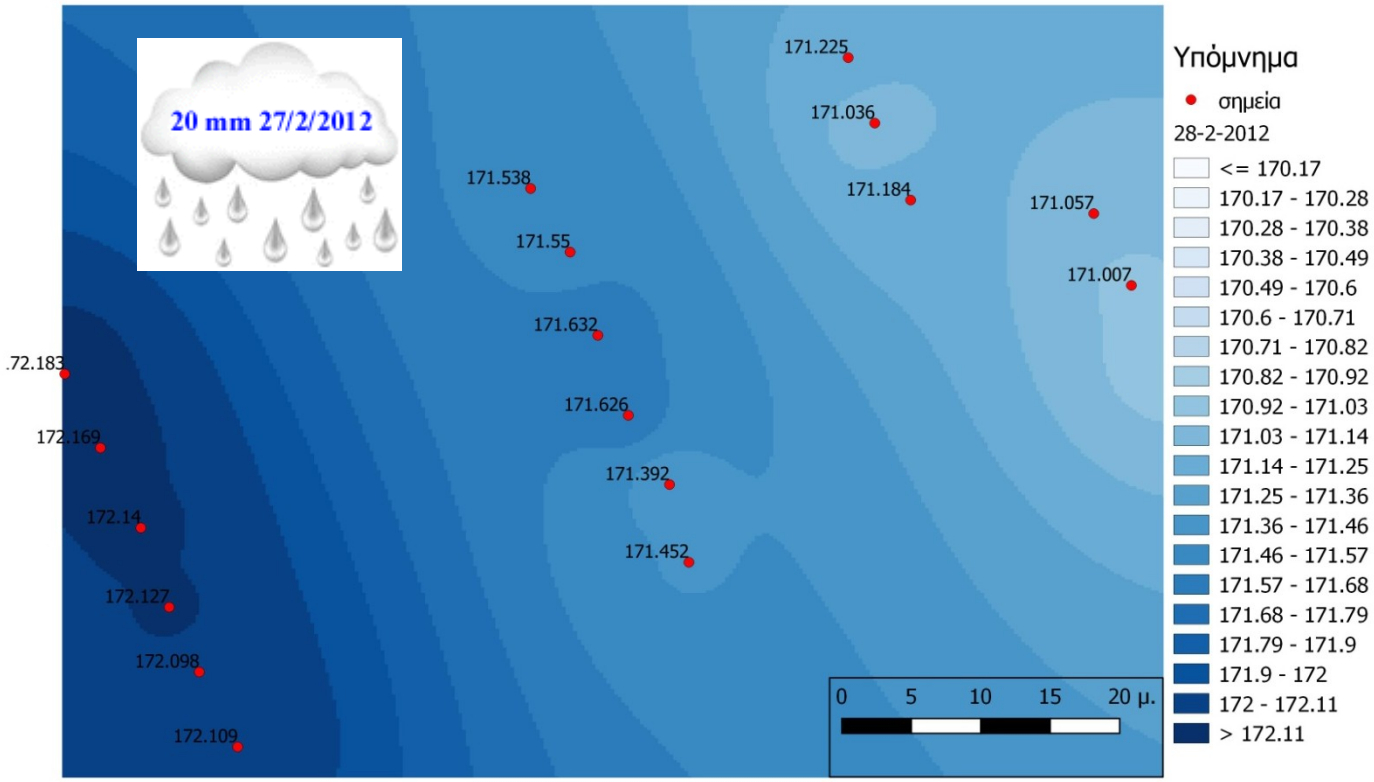
25-2-2012	-21	-16.5	-17	-11.5	-15.5	-16.5	-33	-29.5	-17.5	-19	-20.5	-25.5	-27	-37.5	-49	-56	-55	-62.5



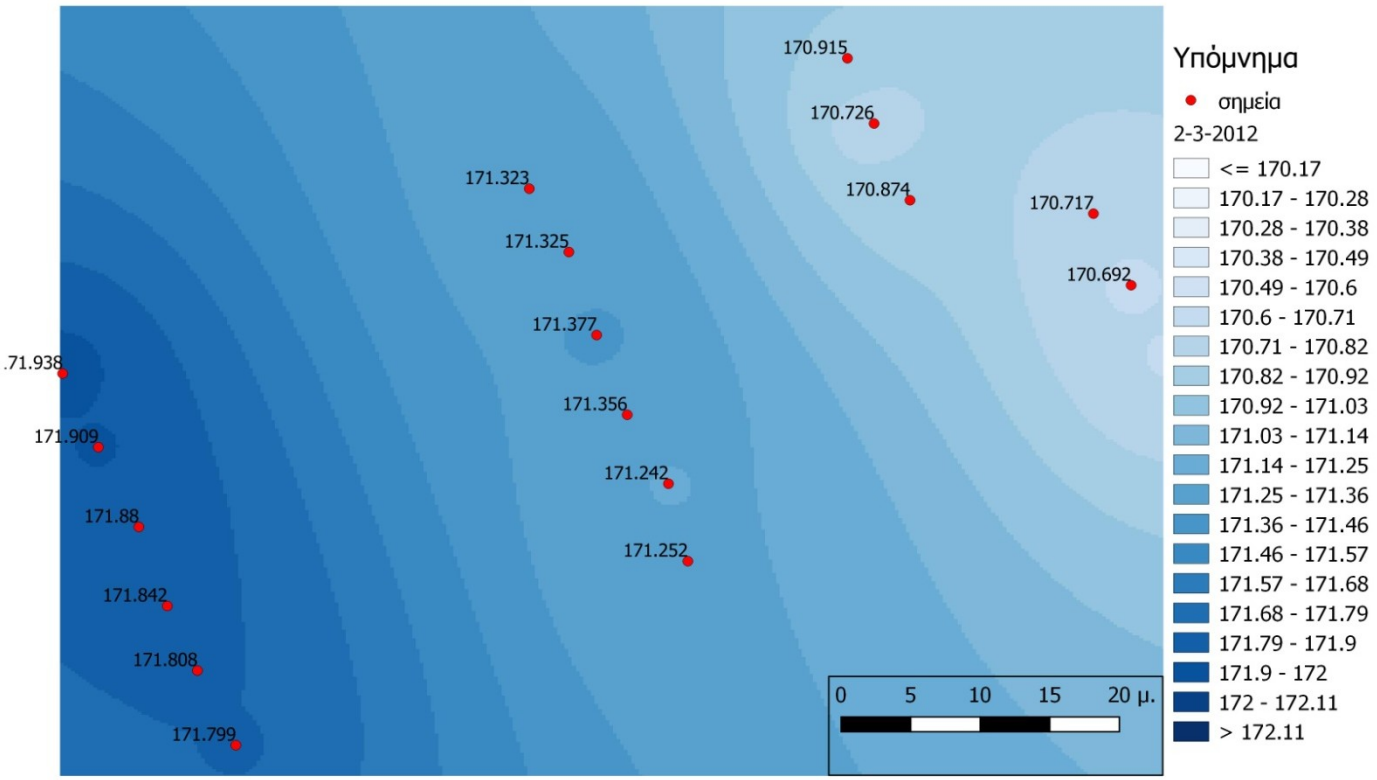
26-2-2012 -28 -25 -24 -19.5 -23.5 -20.5 -35 -31 -21 -20.5 -24 -28.5 -37 -34.5 -43 -55.5 -59 -66.5



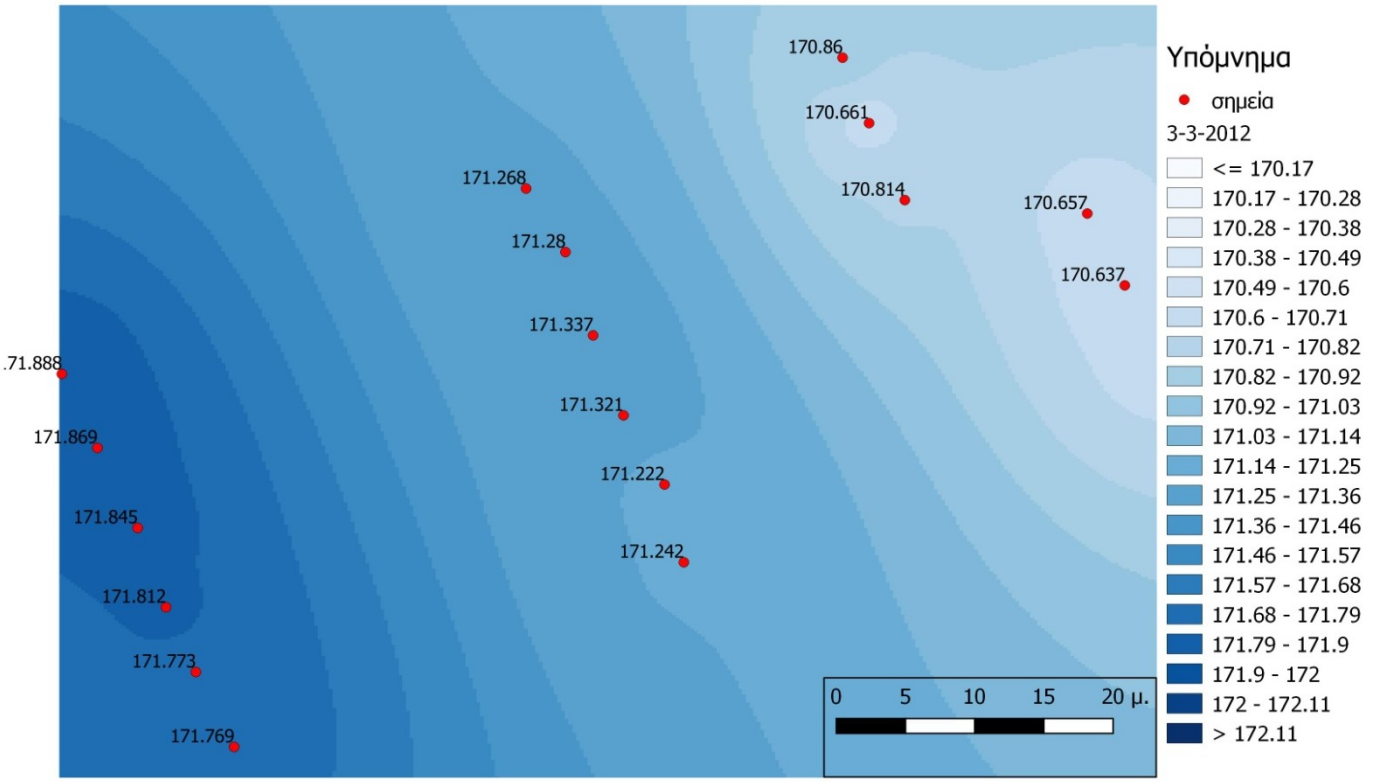
28-2-2012 -13.5 -9.5 -9.5 -5 -10 -10.5 -22.5 -27 -7 -8 -10.5 -18.5 -22 -18.5 -27 -38 -40 -44.5



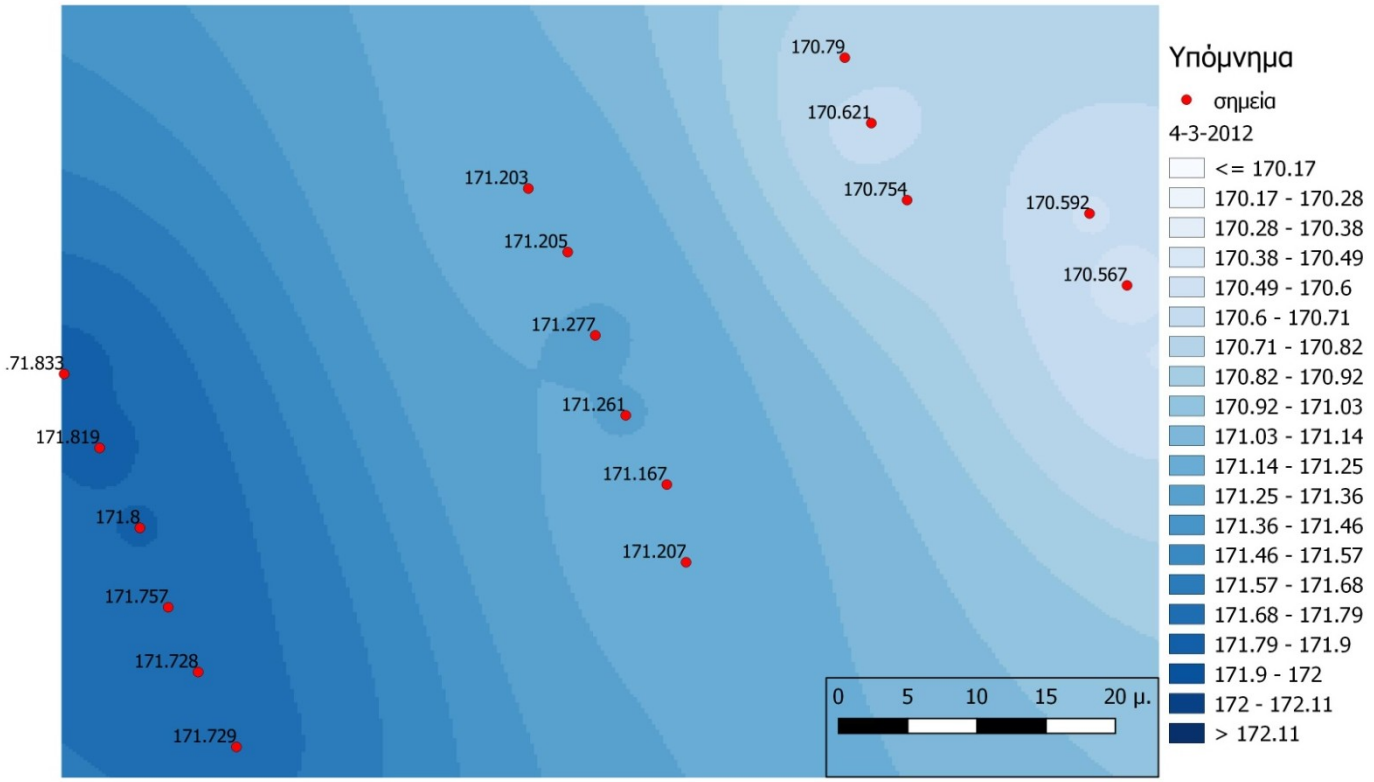
2-3-2012	-44.5	-40.5	-40.5	-39	-41.5	-35.5	-42.5	-42	-34	-33.5	-33	-40	-46.5	-44.5	-53	-66.5	-69	-75.5



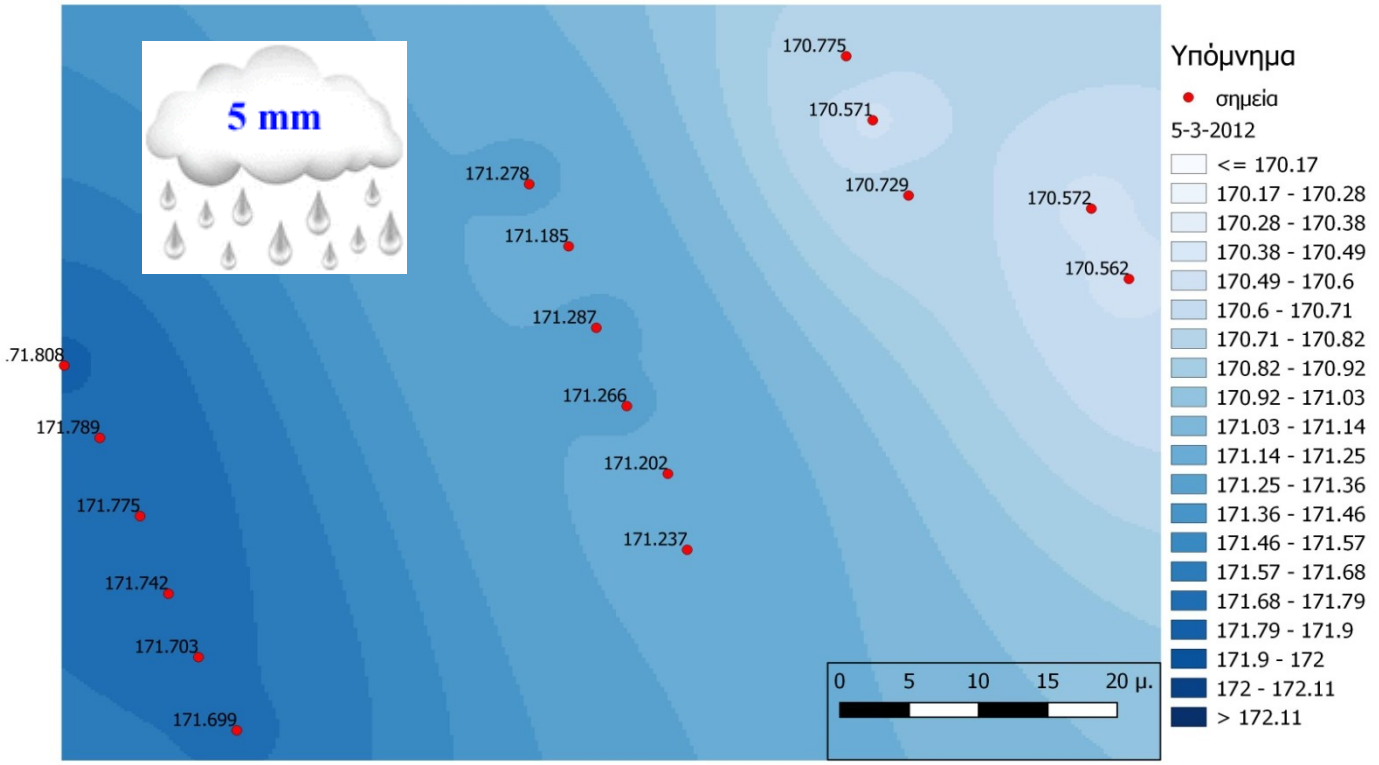
3-3-2012	-50	-47	-46.5	-45	-47	-40.5	-43.5	-44	-37.5	-37.5	-37.5	-45.5	-51.5	-48.5	-56.5	-69.5	-72.5	-78.5



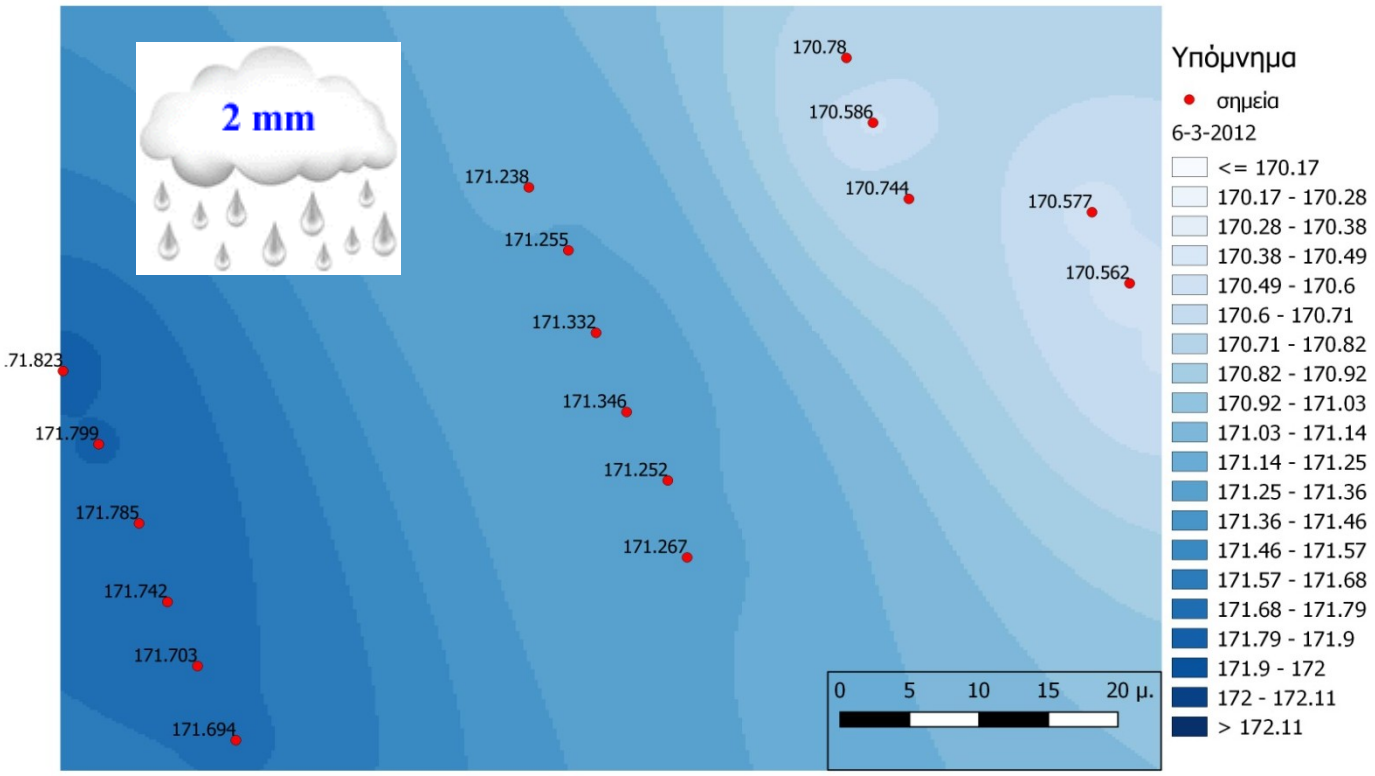
4-3-2012 -57 -51 -52.5 -51.5 -54 -46 -47 -49.5 -43.5 -43.5 -45 -52 -57 -53.5 -61 -75 -77 -82.5



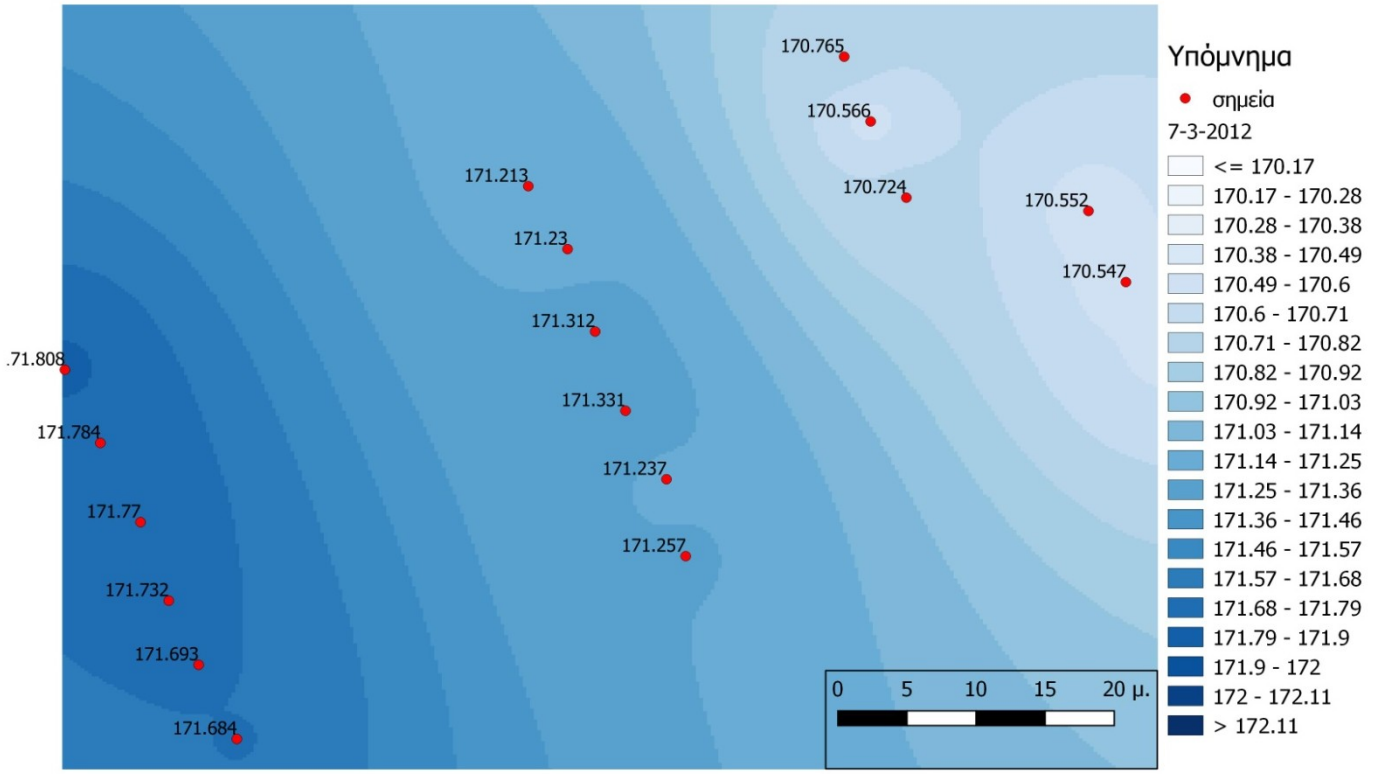
5-3-2012 -58.5 -56 -55 -53.5 -54.5 -45.5 -44 -46 -43 -42.5 -47 -44.5 -59.5 -56.5 -63.5 -76.5 -79.5 -85.5



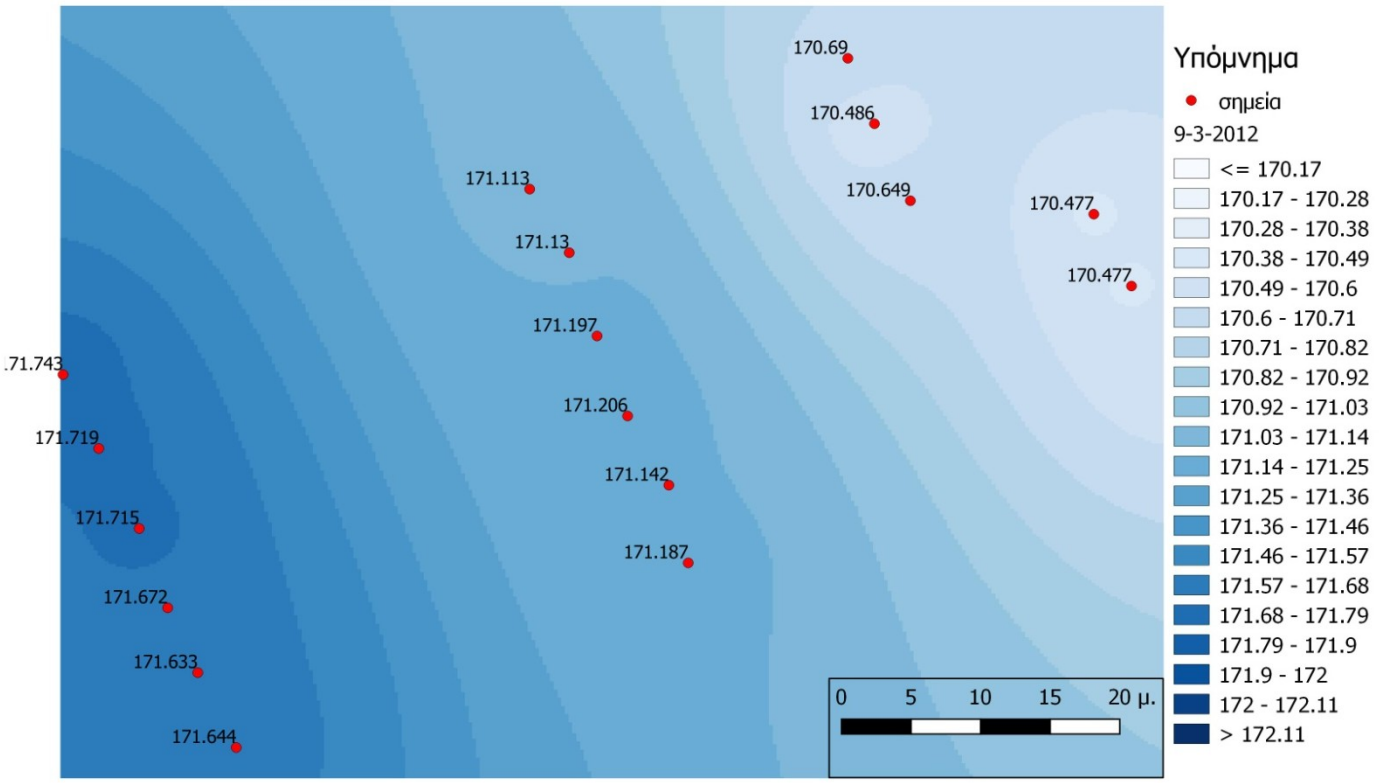
6-3-2012	-58	-54.5	-53.5	-53	-54.5	-46.5	-41	-41	-35	-38	-40	-48.5	-58	-55.5	-62.5	-76.5	-79.5	-86



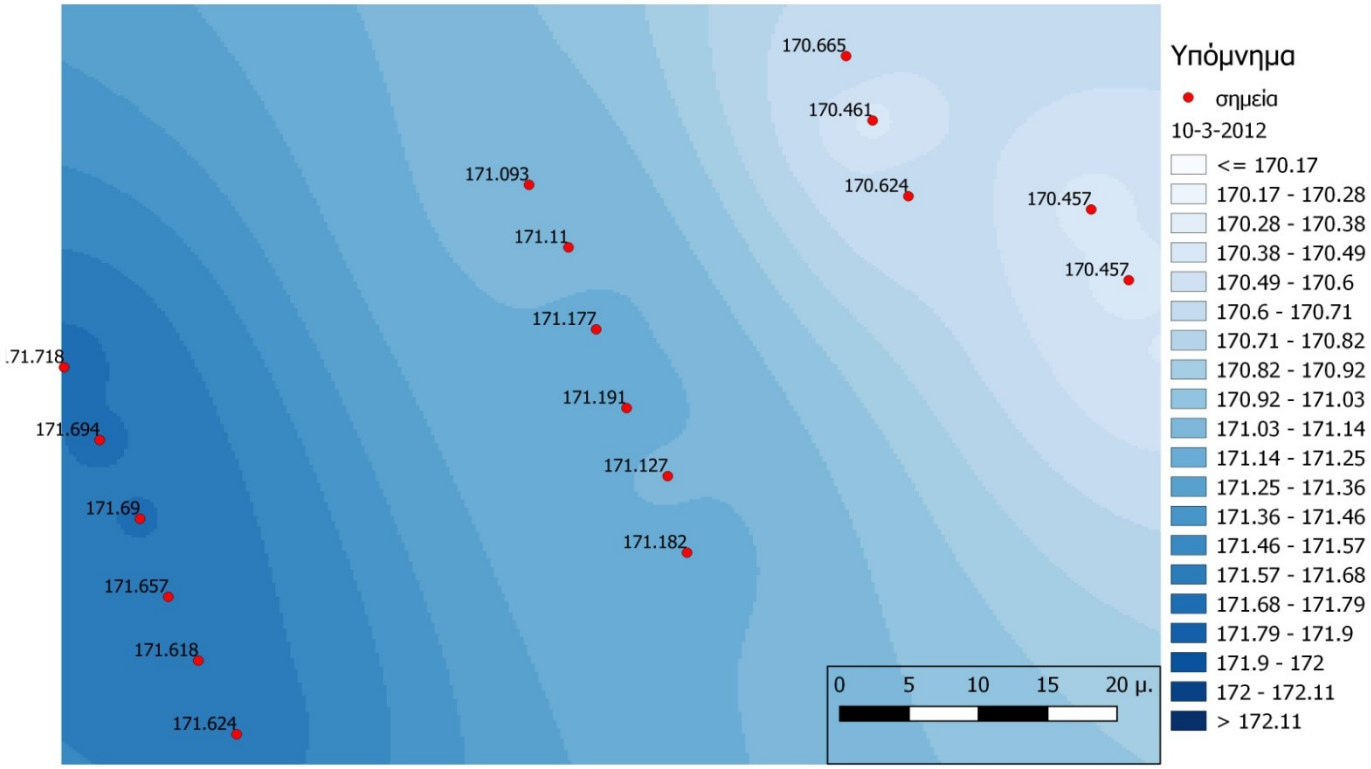
7-3-2012	-59.5	-56.5	-55.5	-55.5	-56	-47.5	-42	-42.5	-36.5	-40	-42.5	-51	-59.5	-57	-64	-77.5	-80.5	-87



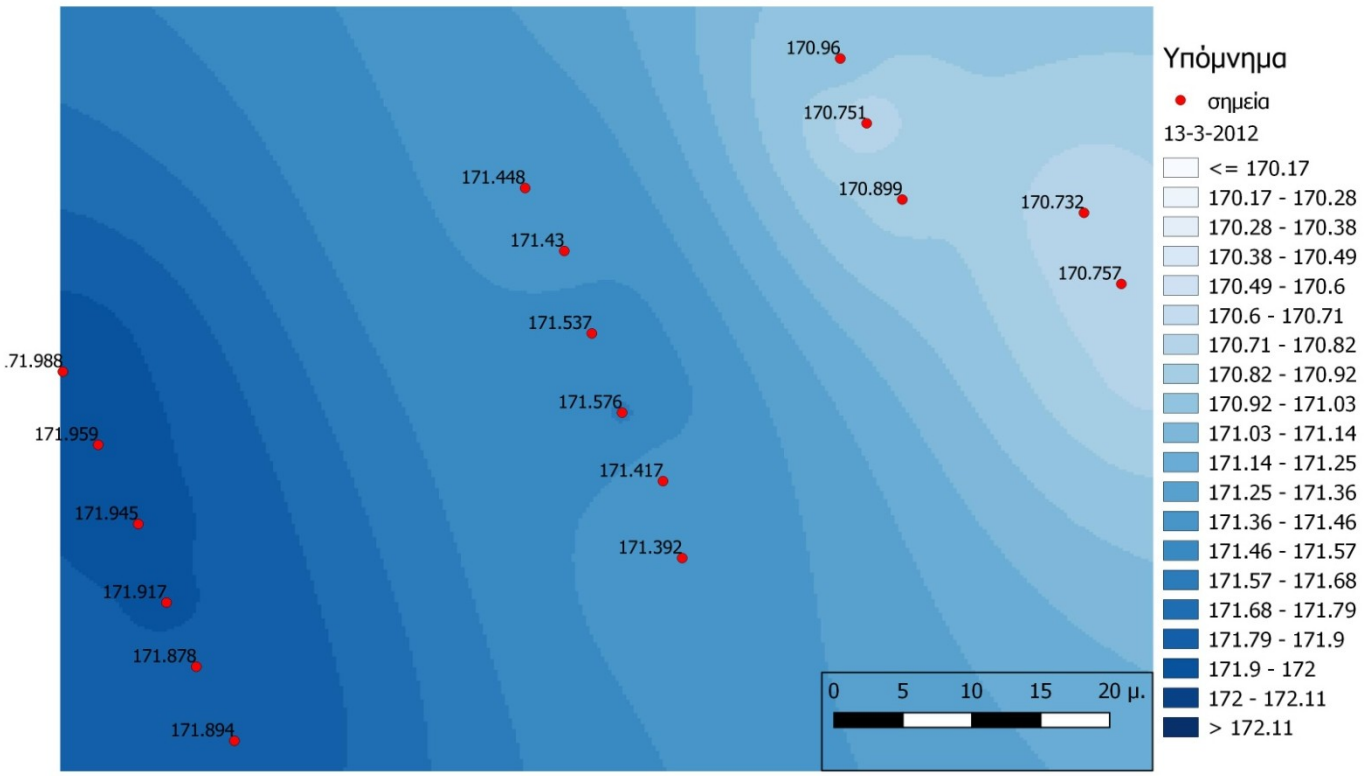
9-3-2012	-67	-64.5	-63	-63	-63	-54	-49	-52	-49	-51.5	-52.5	-61	-66	-63.5	-69.5	-83.5	-86.5	-91



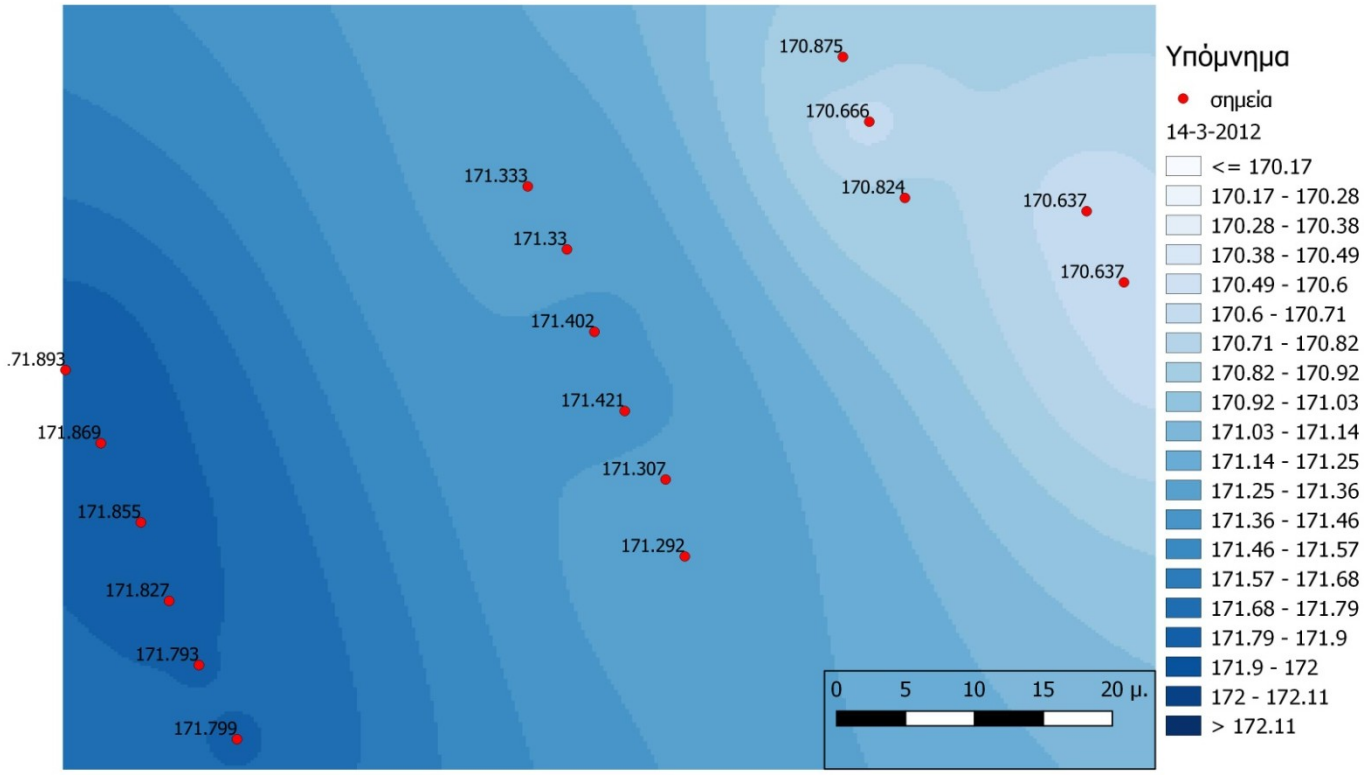
10-3-2012	-69.5	-67	-65.5	-65	-65	-57	-49.5	-53.5	-50.5	-53.5	-54.5	-63	-68.5	-66	-72	-85	-88	-93



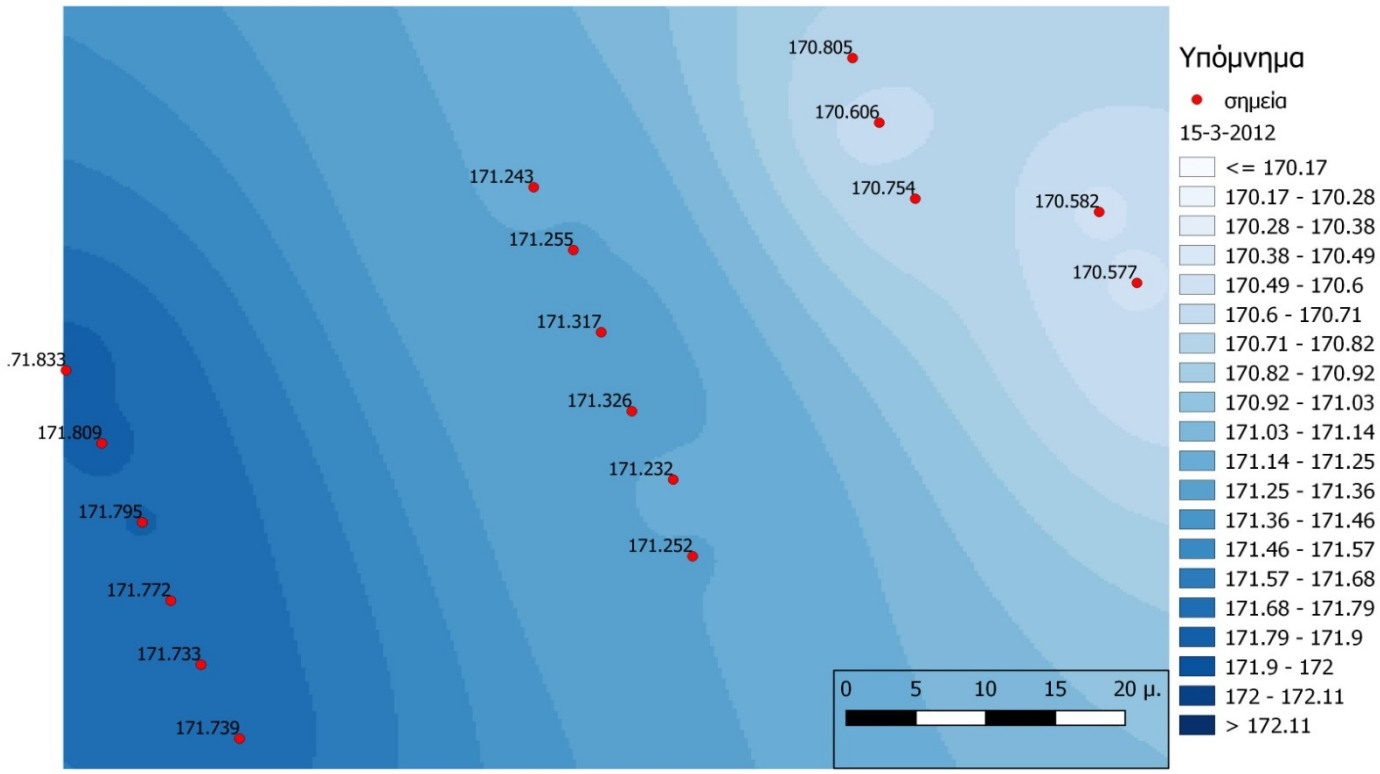
13-3-2012	-40	-38	-38	-37.5	-35	-28.5	-28.5	-24.5	-12	-17.5	-22.5	-27.5	-41.5	-39.5	-46.5	-59	-62	-66



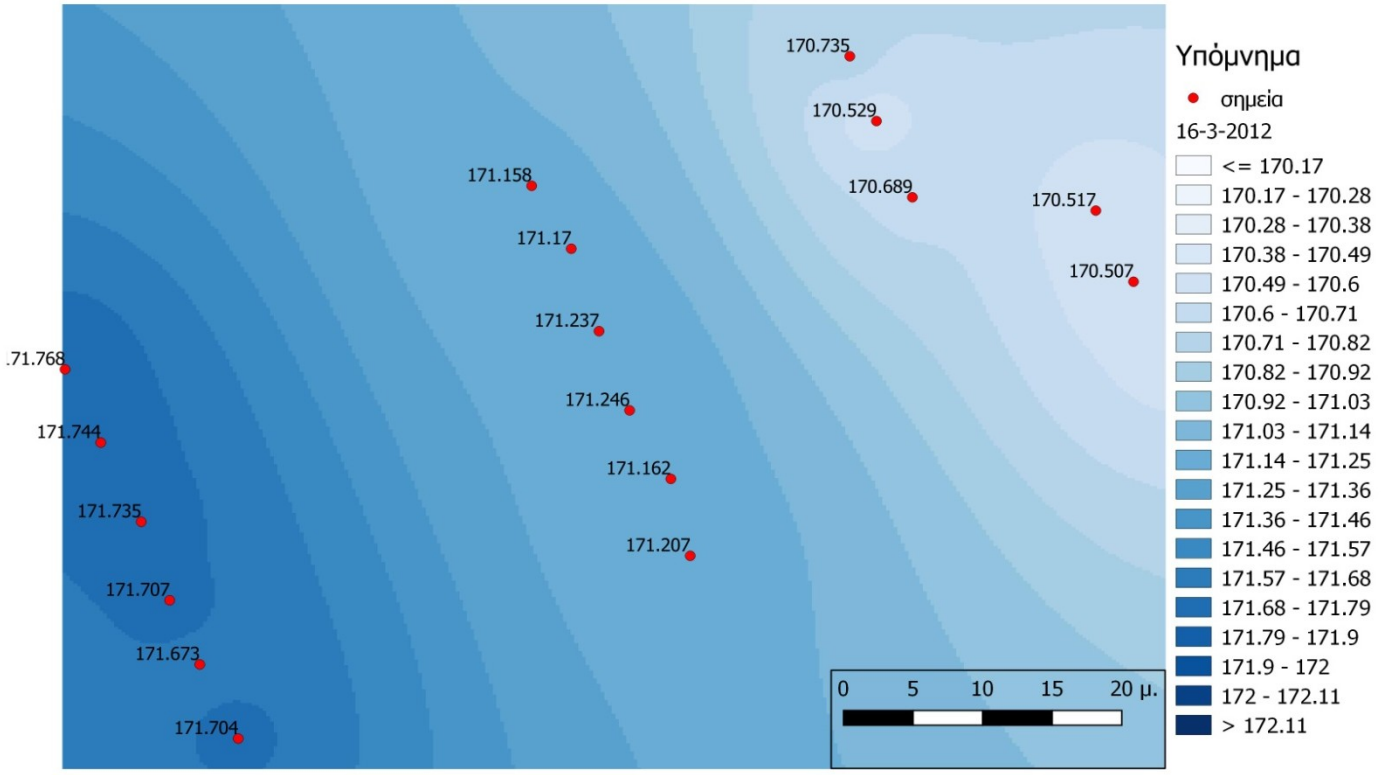
14-3-2012	-48.5	-46.5	-45.5	-47	-47	-39.5	-38.5	-35.5	-27.5	-31	-32.5	-39	-51	-48.5	-55.5	-68	-70.5	-75.5



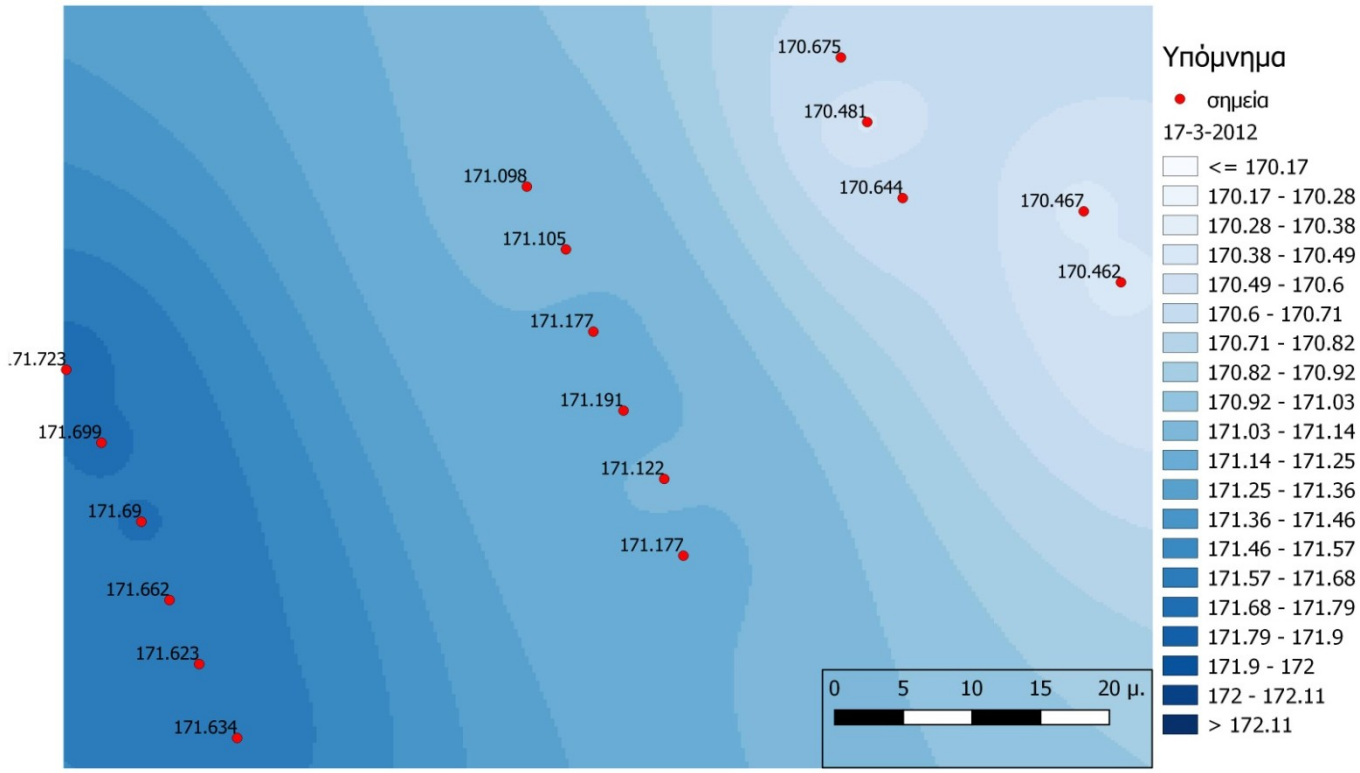
15-3-2012	-55.5	-52.5	-52.5	-52.5	-53	-44.5	-42.5	-43	-37	-39.5	-40	-48	-57	-54.5	-61.5	-73.5	-76.5	-81.5



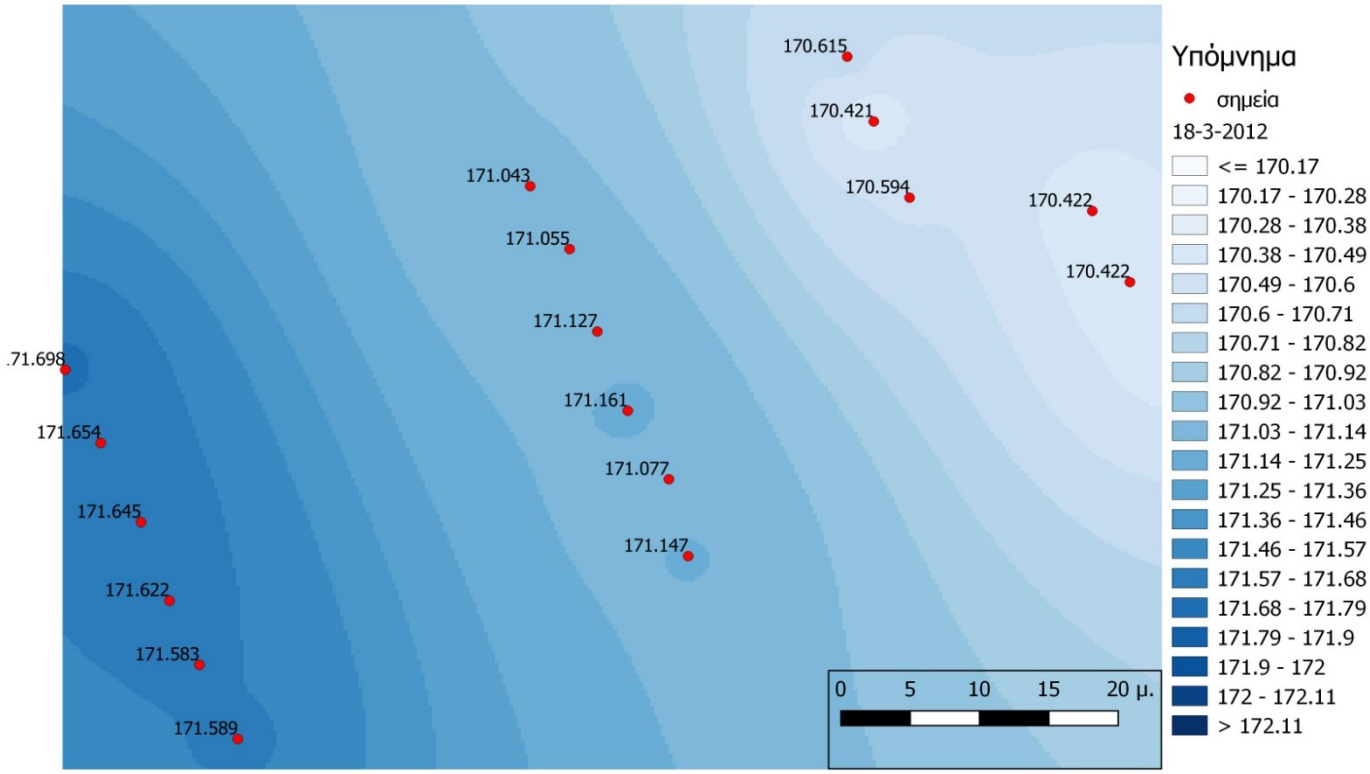
16-3-2012	-62.5	-60.2	-59	-59	-60	-50	-47	-50	-45	-47.5	-48.5	-56.5	-63.5	-61	-67.5	-80	-82.5	-85



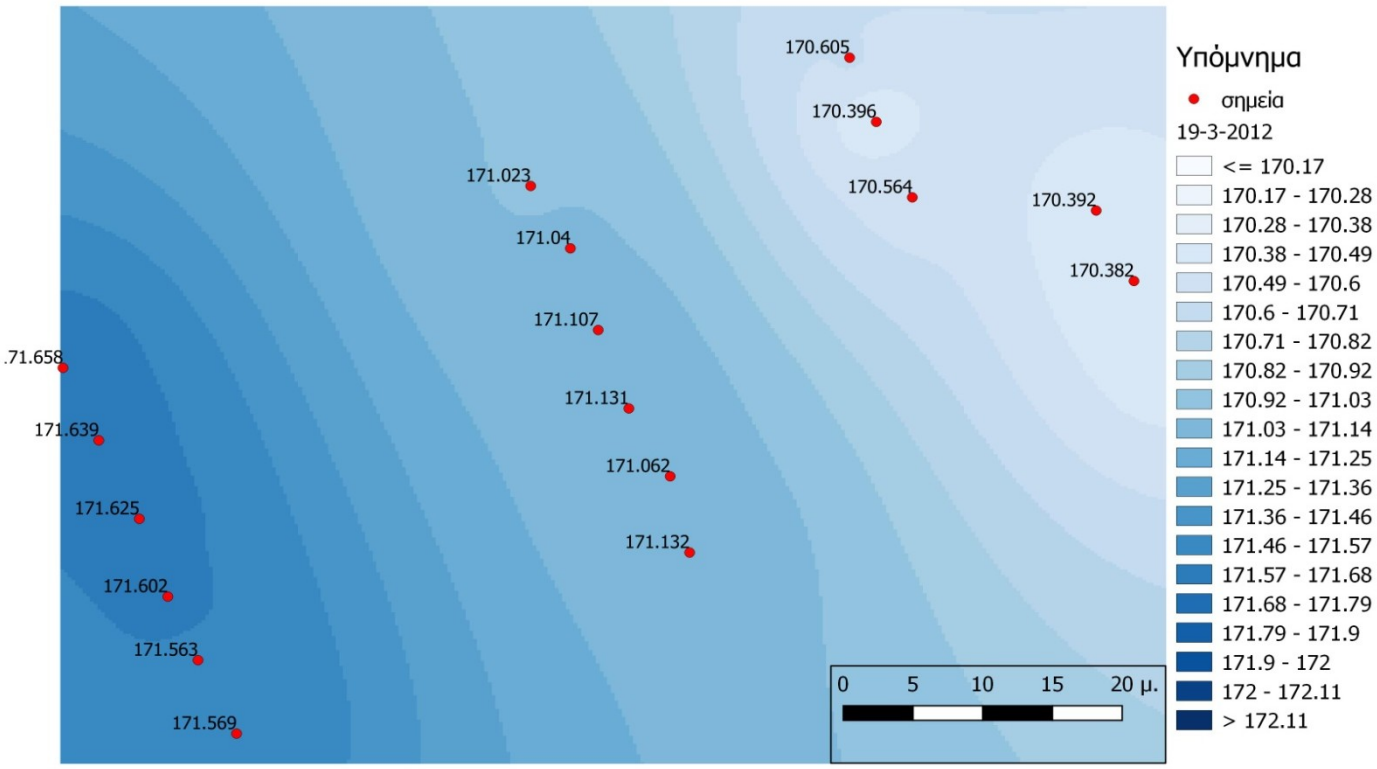
17-3-2012	-68.5	-65	-63.5	-64	-64.5	-56.5	-50	-54	-50.5	-53.5	-55	-62.5	-68	-65.5	-72	-84.5	-87.5	-92



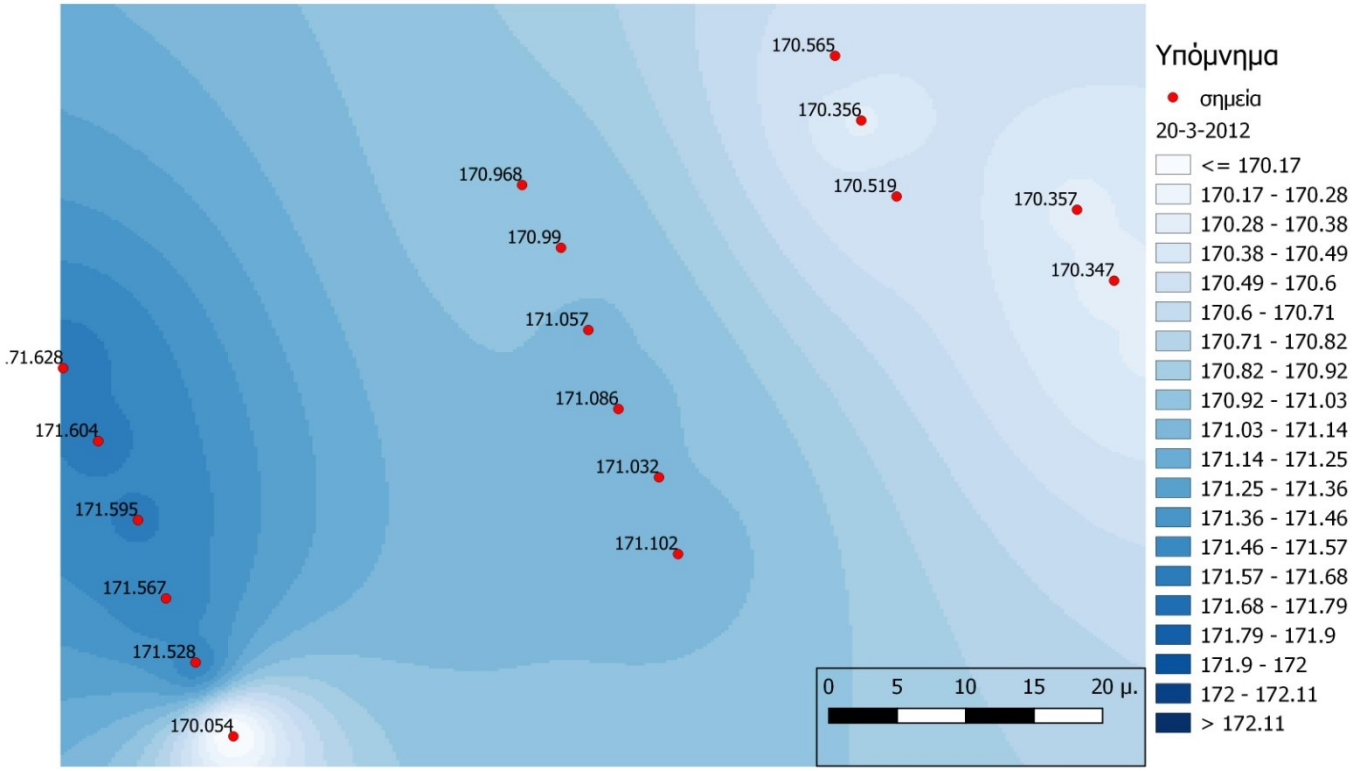
18-3-2012	-74.5	-71	-68.5	-68.5	-68.5	-61	-53	-58.5	-53.5	-58.5	-60	-68	-70.5	-70	-76.5	-88.5	-91.5	-96.5



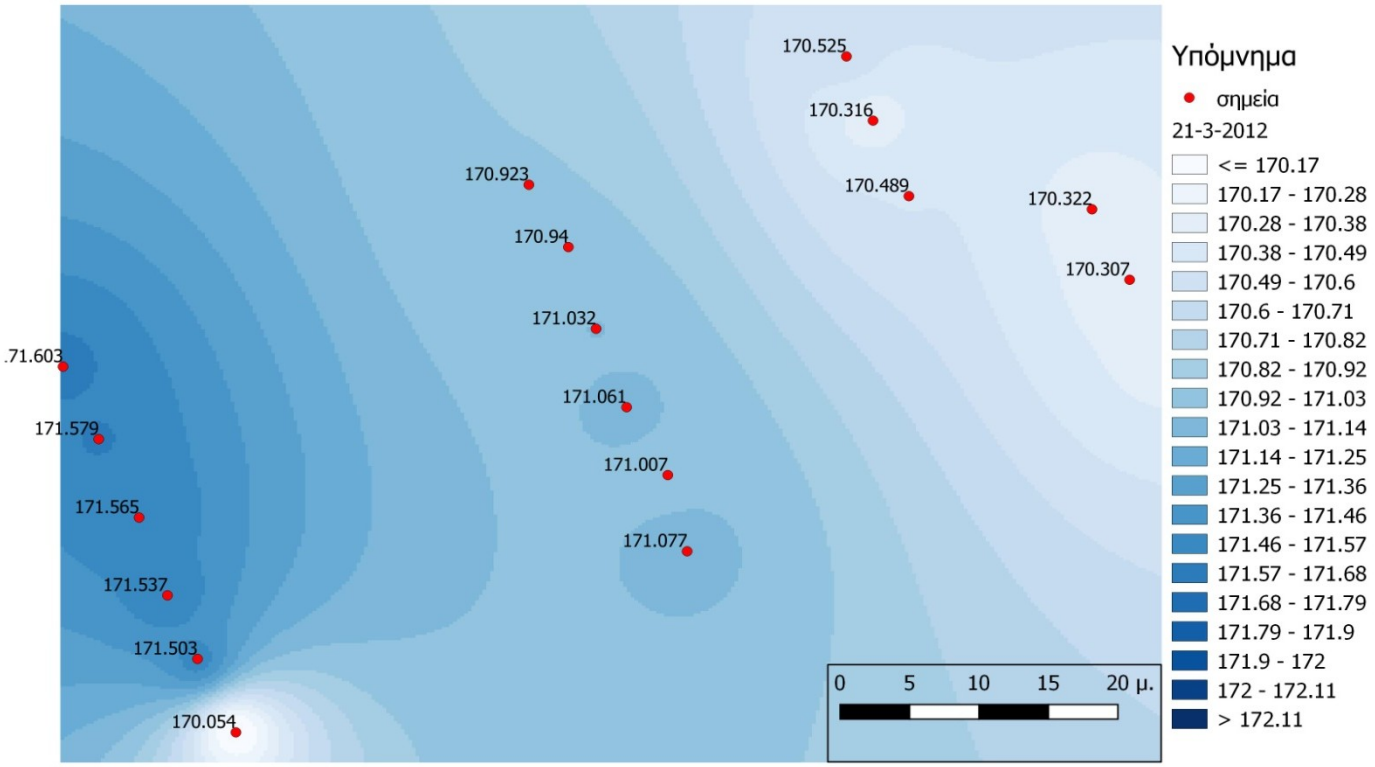
19-3-2012	-75.5	-73.5	-71.5	-71.5	-72.5	-64.5	-54.5	-60	-56.5	-60.5	-61.5	-70	-74.5	-71.5	-78.5	-90.5	-93.5	-98.5



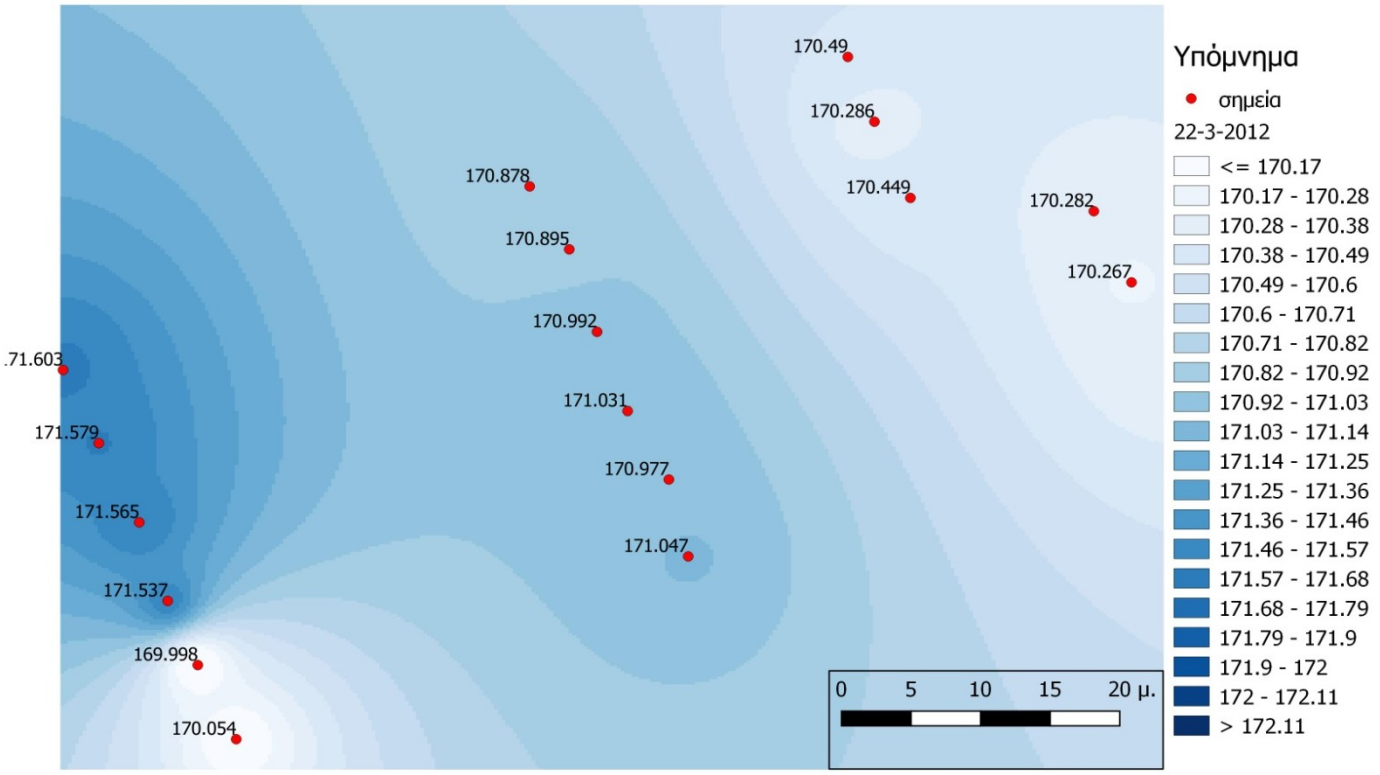
20-3-2012	-79.5	-77.5	-76	-75	-76	-69	-57.5	-63	-61	-65.5	-66.5	-75.5	-77.5	-75	-81.5	-94	-97	>-100



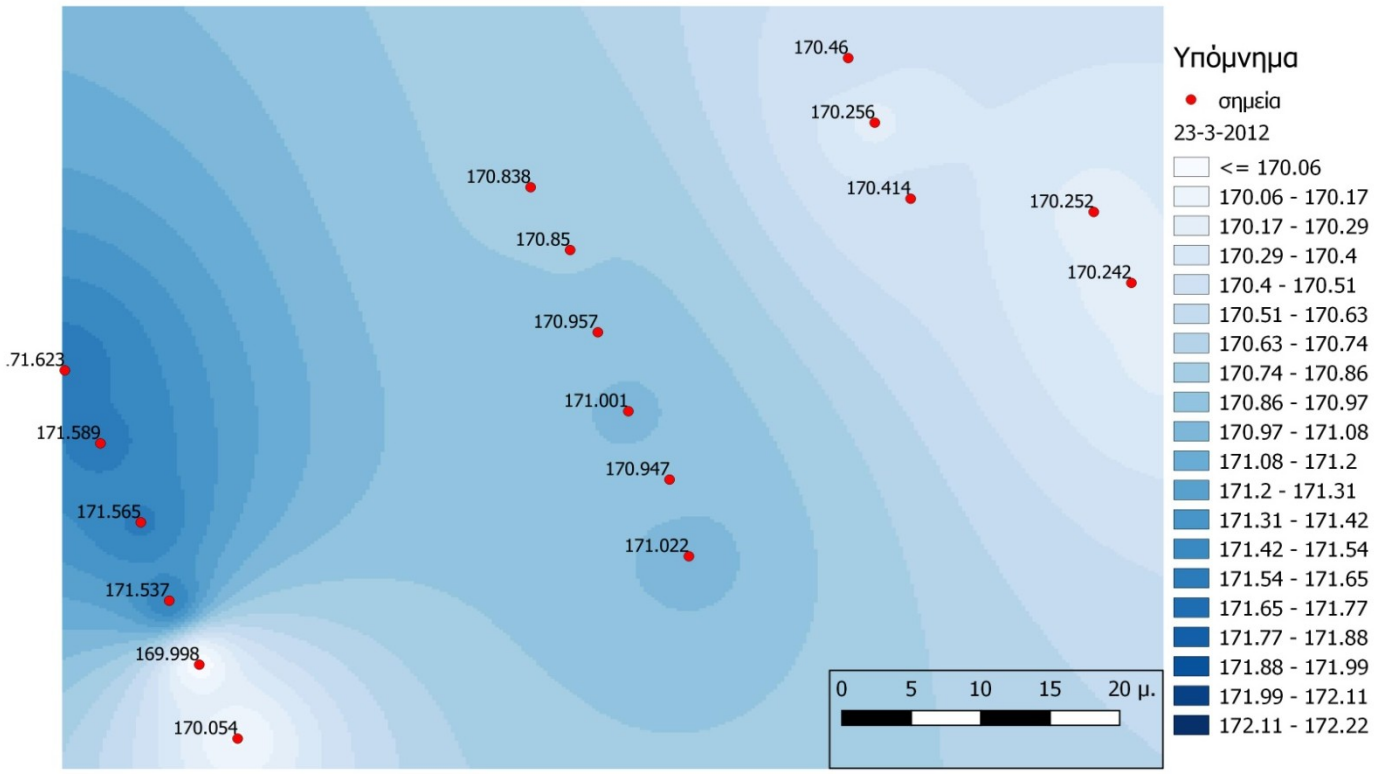
21-3-2012	-83.5	-81.5	-79	-78.5	-80	-72.5	-60	-65.5	-63.5	-68	-71.5	-80	-80	-77.5	-84.5	-97	-99.5	>-100



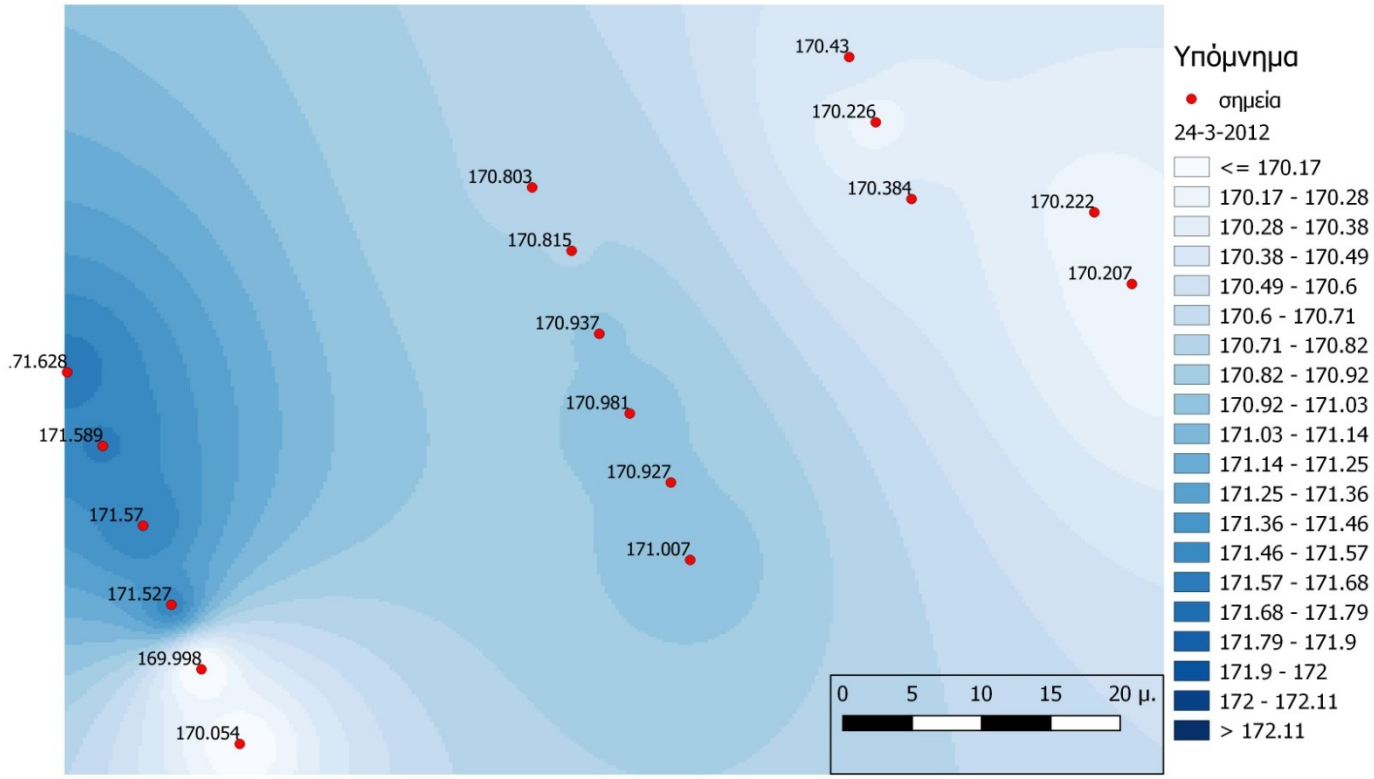
22-3-2012	-87	-84.5	-83	-82.5	-84	-76.5	-63	-68.5	-66.5	-72	-76	-84.5	-80	-77.5	-84.5	-97	>-100	>-100



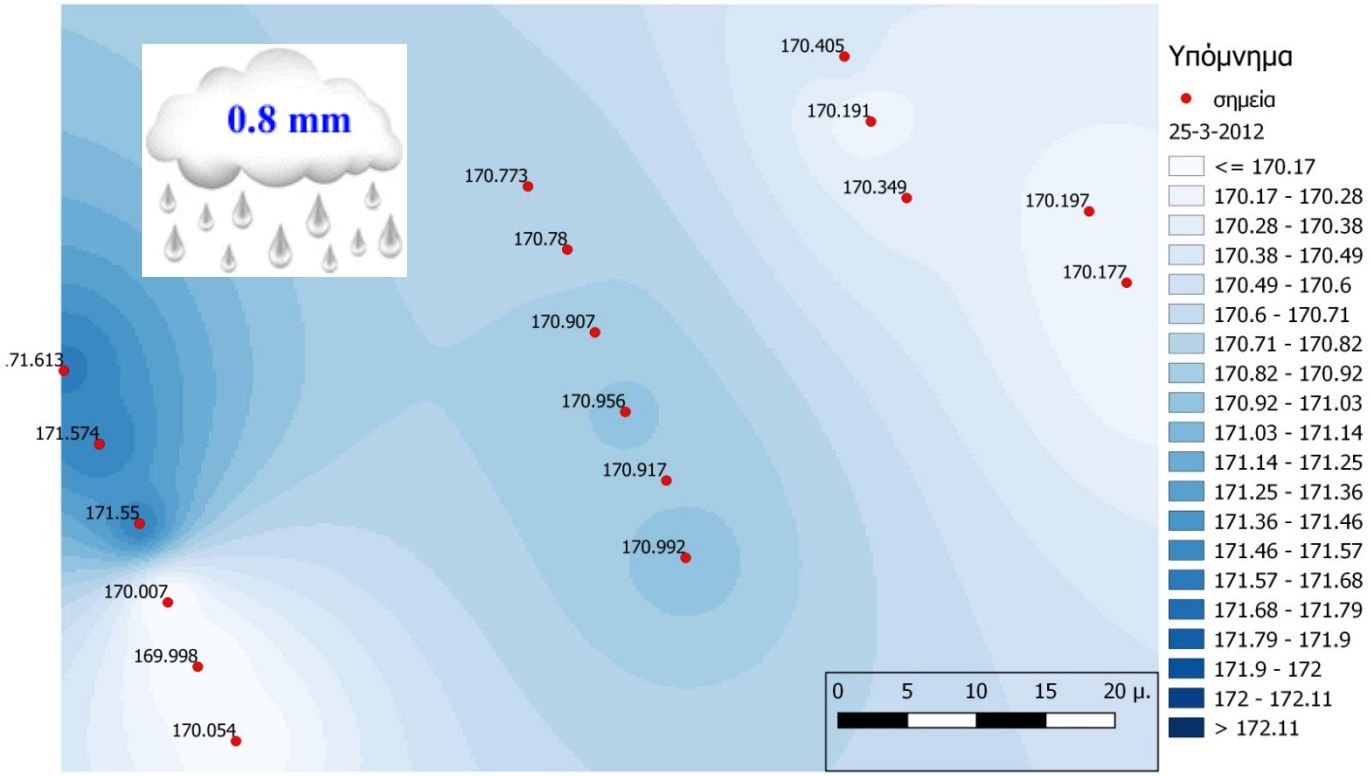
23-3-2012	-90	-87.5	-86.5	-85.5	-86.5	-79.5	-65.5	-71.5	-69.5	-75.5	-80.5	-88.5	-78	-76.5	-84.5	-97	>-100	>-100



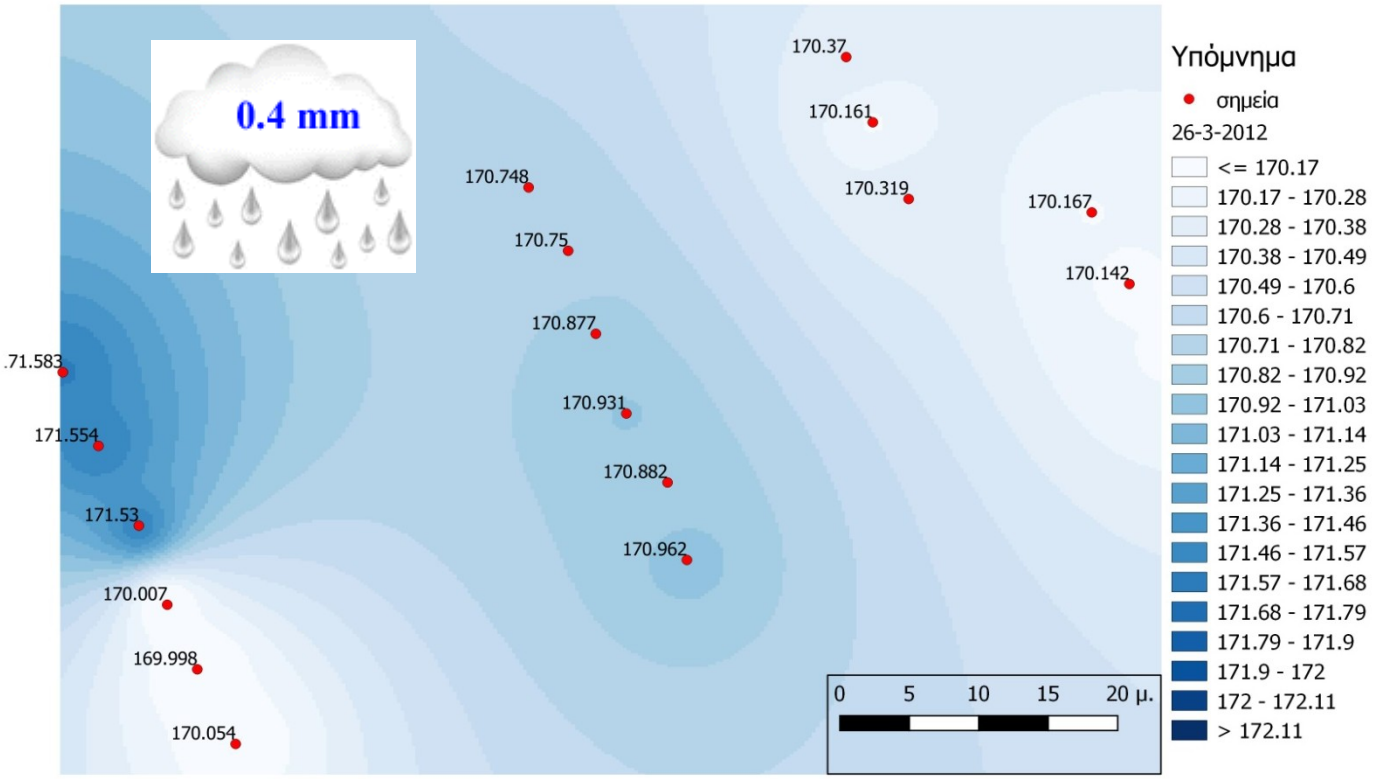
24-3-2012	-93	-90.5	-89.5	-88.5	-90	-83	-67	-73.5	-71.5	-77.5	-84	-92	-77.5	-76.5	-84	-98	>-100	>-100



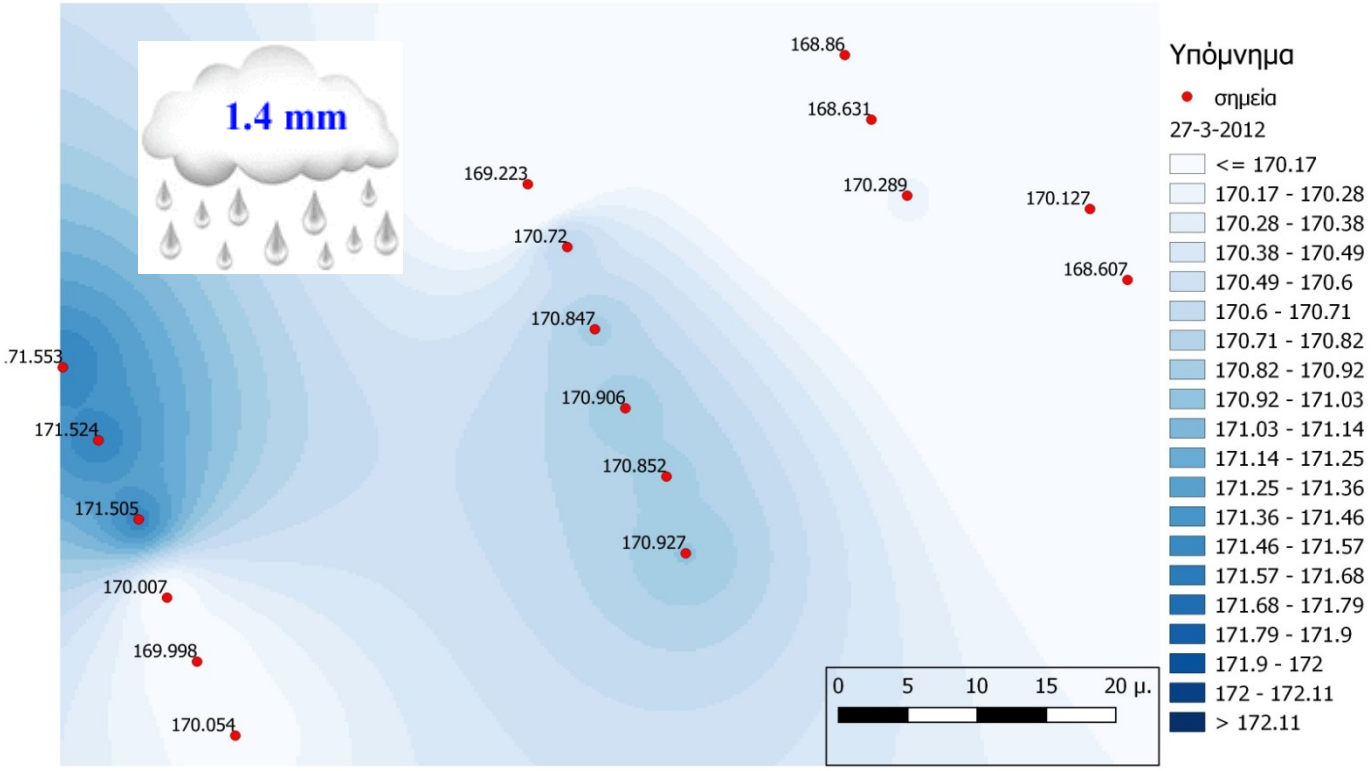
25-3-2012	-95.5	-94	-93	-91	-93	-87.5	-68.5	-74.5	-74	-80.5	-87.5	-95	-79	-78	-86	>-100	>-100	>-100



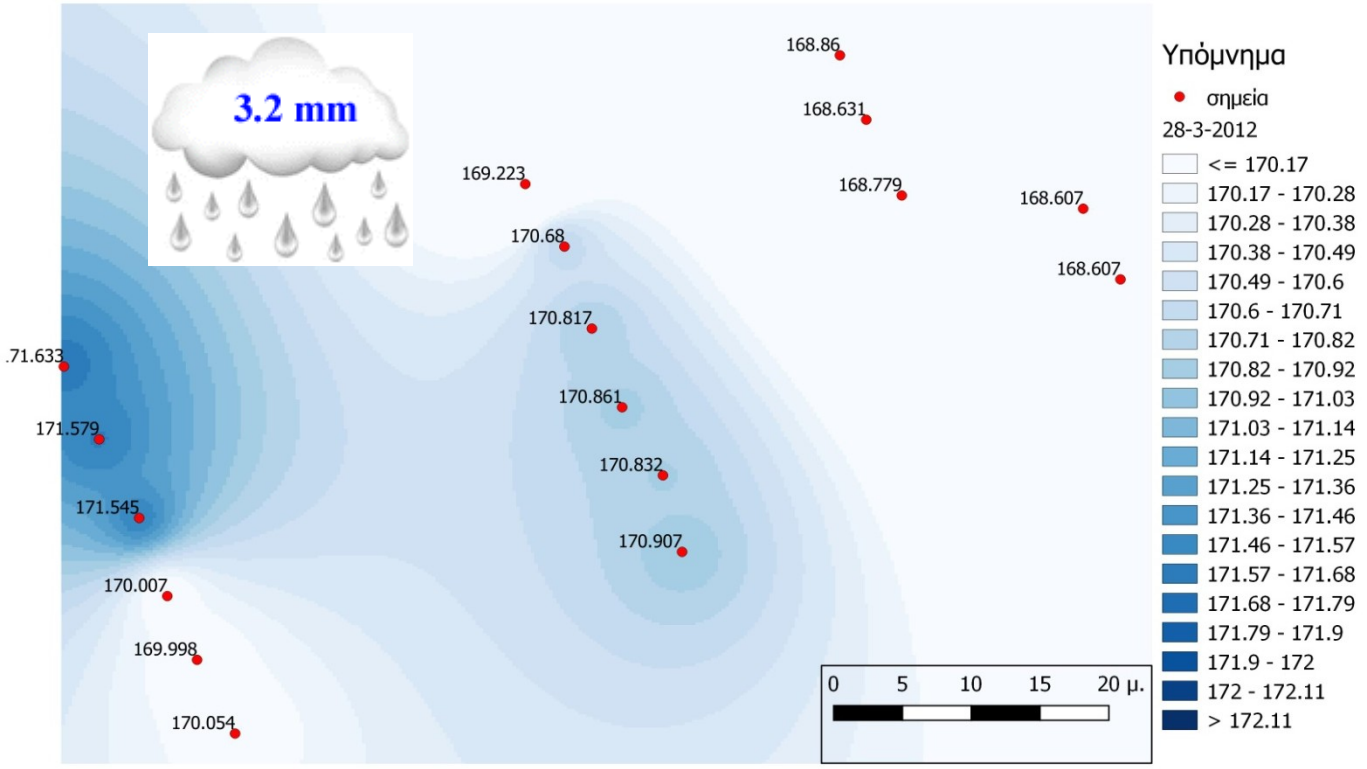
26-3-2012	-99	-97	-96	-94	-96.5	-90	-71.5	-78	-76.5	-83.5	-90.5	-97.5	-82	-80	-88	>-100	>-100	>-100



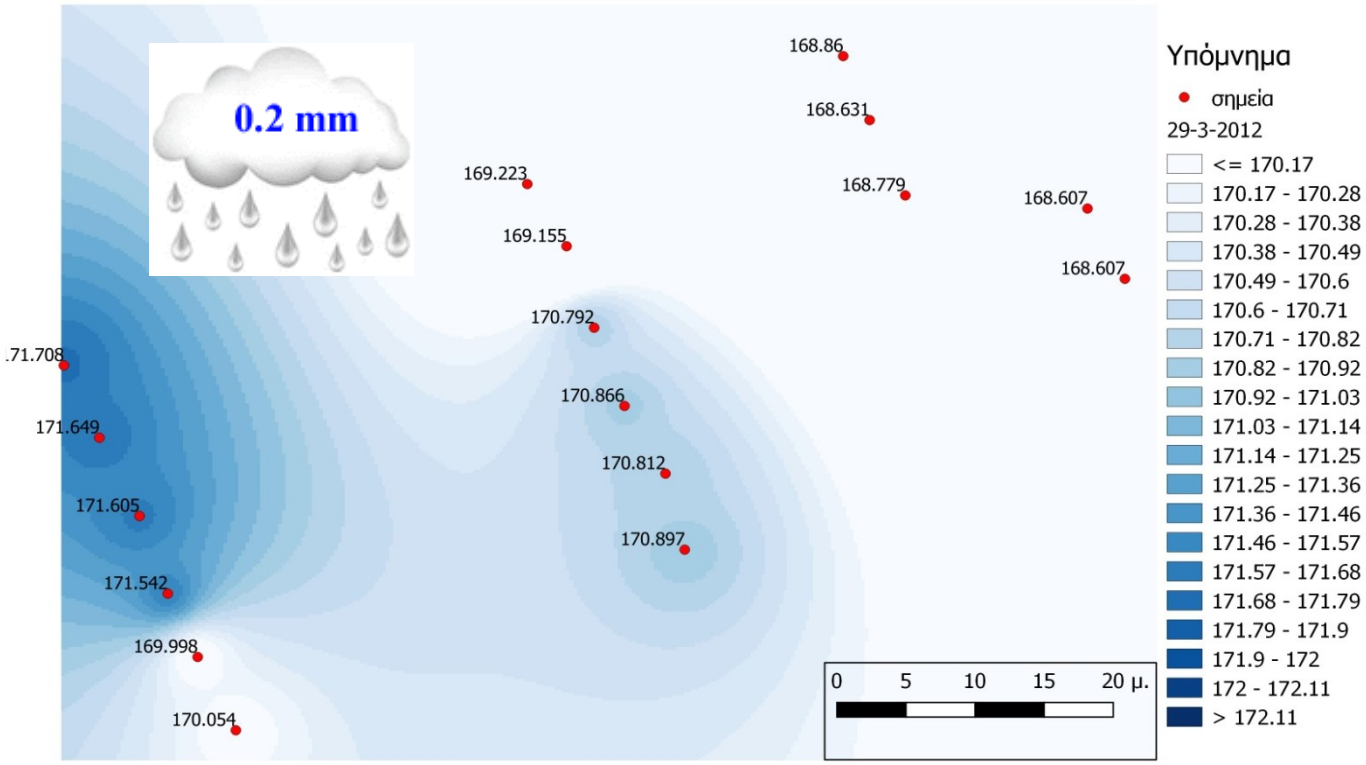
27-3-2012	>-100	>-100	-99	-98	>-100	-94	-75	-81	-79	-86.5	-93.5	>-100	-85	-83	-90.5	>-100	>-100	>-100



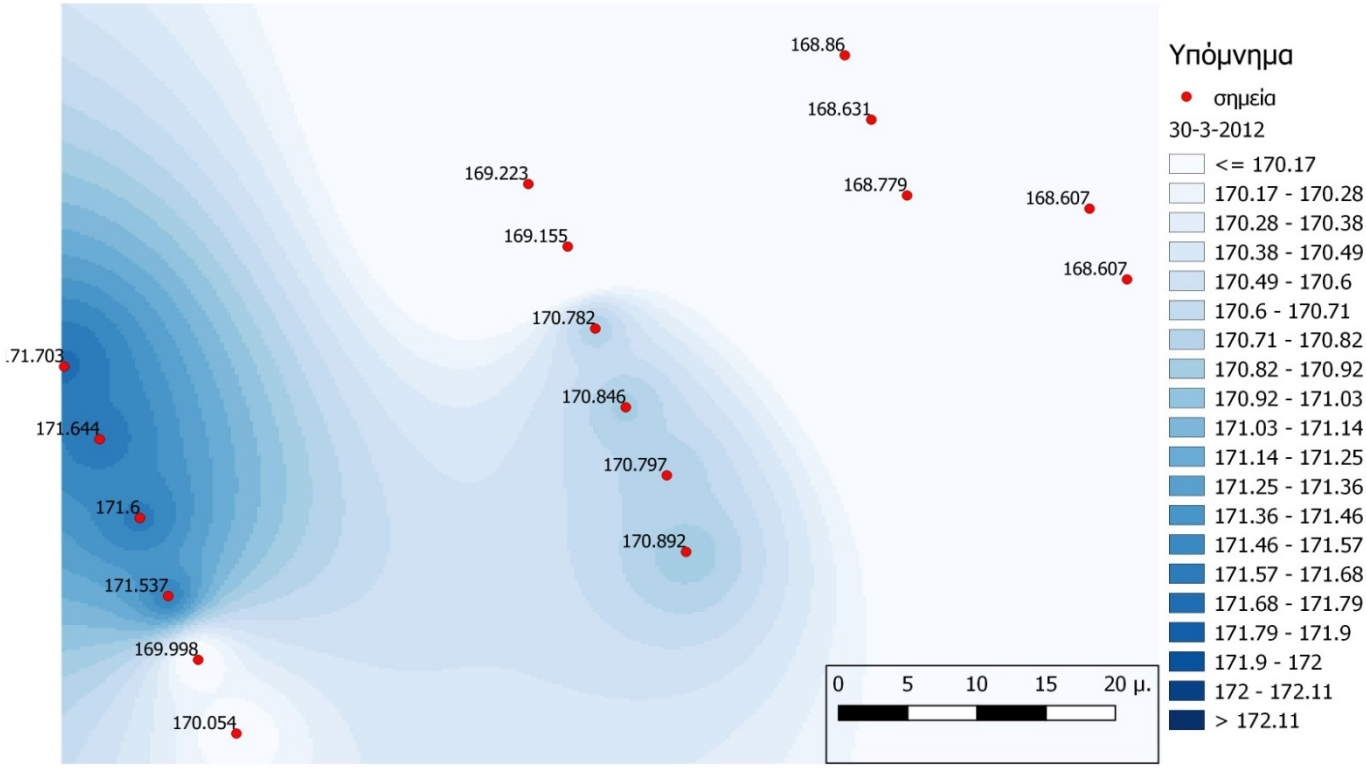
28-3-2012	>-100	>-100	>-100	>-100	>-100	-96.5	-77	-83	-83.5	-89.5	-97.5	>-100	-77	-77.5	-86.5	>-100	>-100	>-100



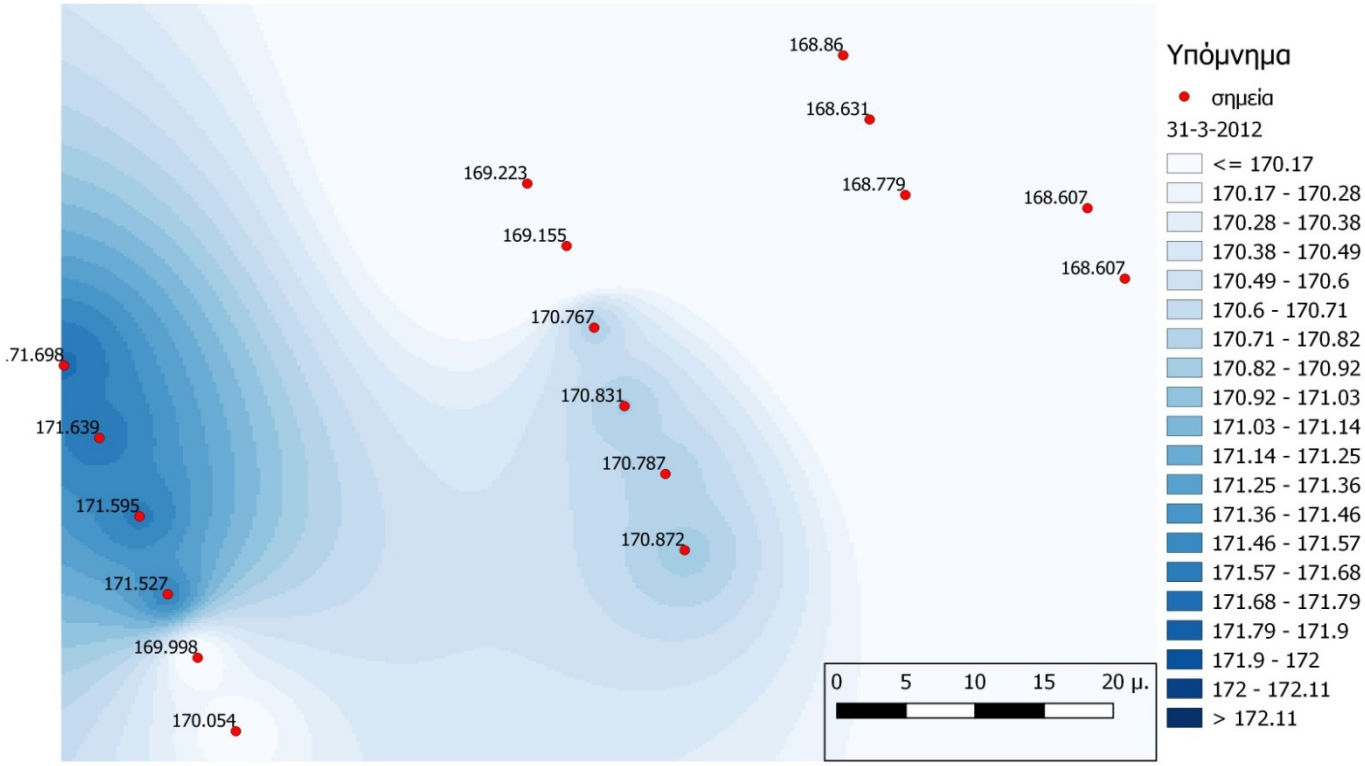
29-3-2012	>-100	>-100	>-100	>-100	>-100	>-100	-78	-85	-83	-92	>-100	>-100	-69.5	-70.5	-80.5	-96.5	>-100	>-100



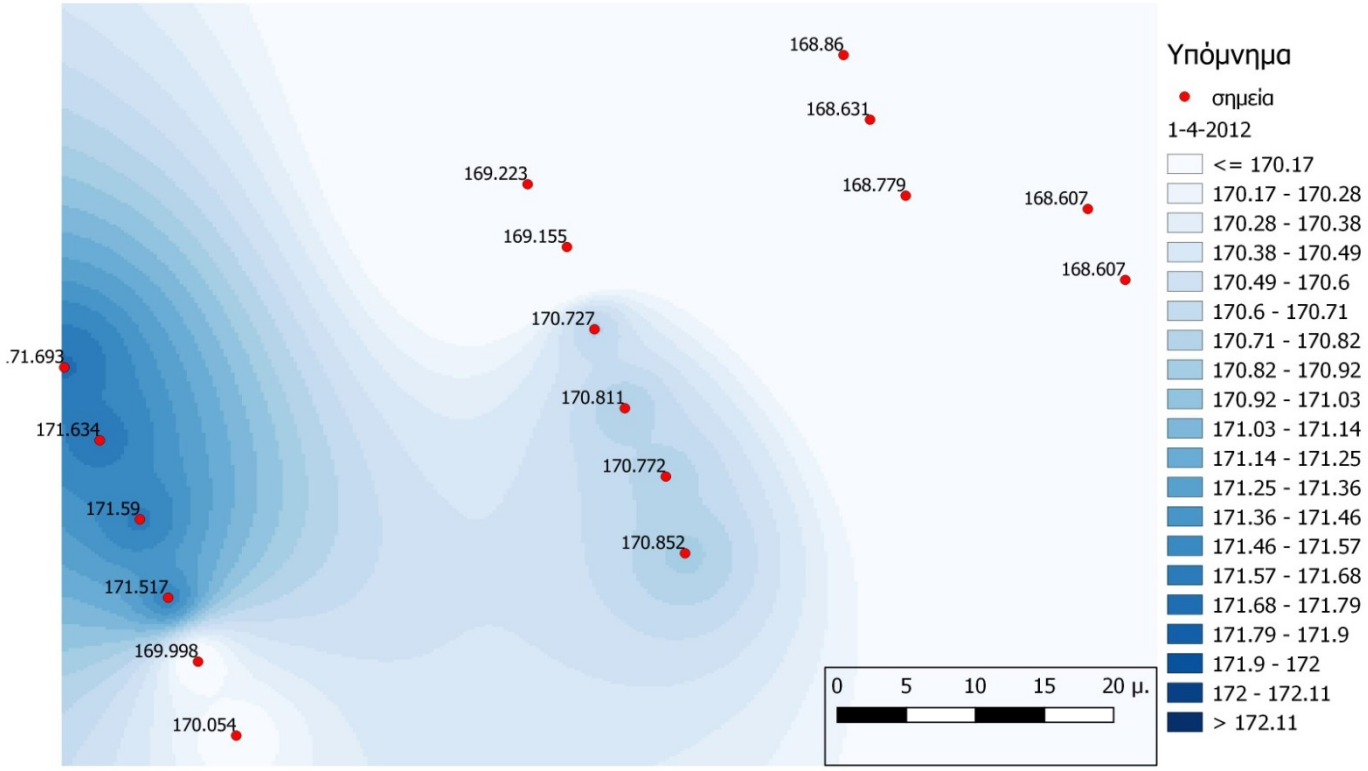
30-3-2012	>-100	>-100	>-100	>-100	>-100	>-100	-78.5	-86.5	-85	-93	>-100	>-100	-70	-71	-81	-97	>-100	>-100



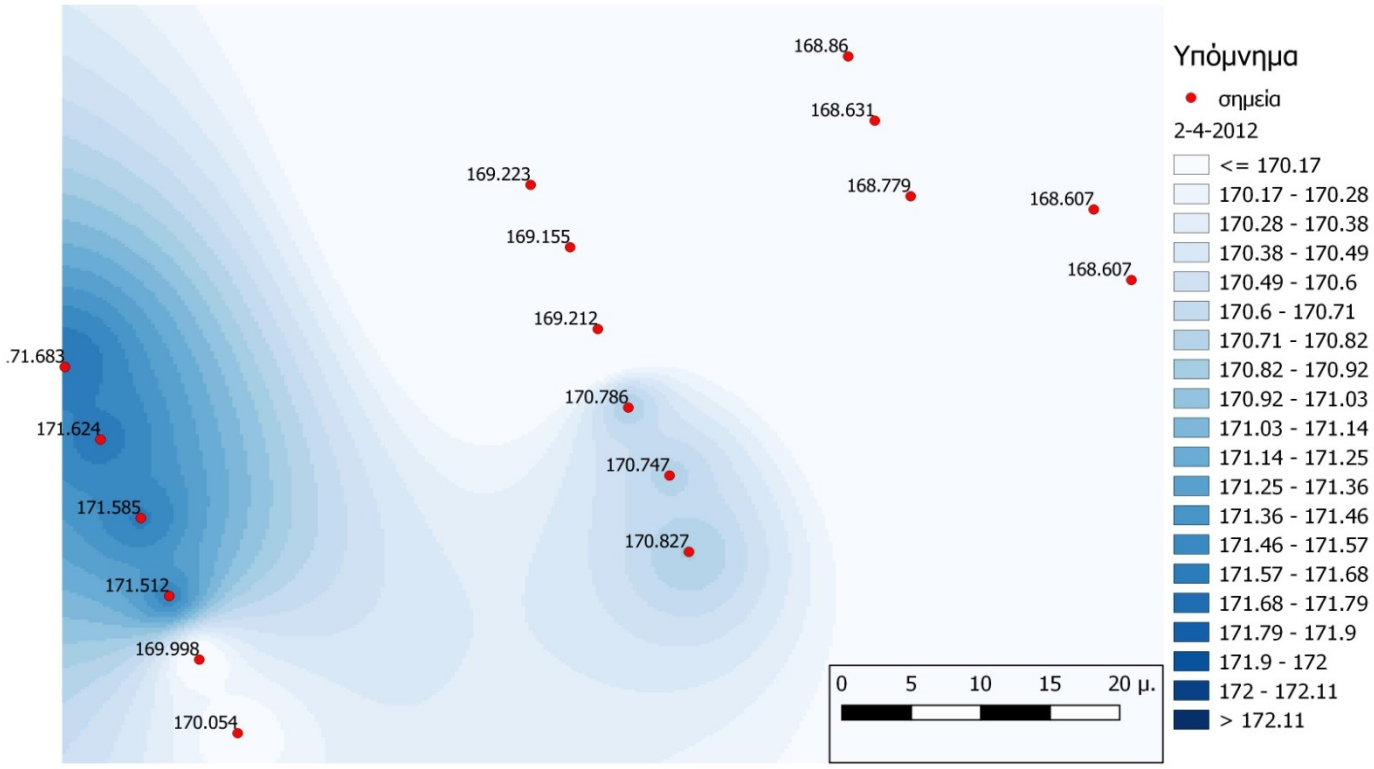
31-3-2012	>-100	>-100	>-100	>-100	>-100	>-100	-80.5	-87.5	-86.5	-94.5	>-100	>-100	-70.5	-71.5	-81.5	-98	>-100	>-100



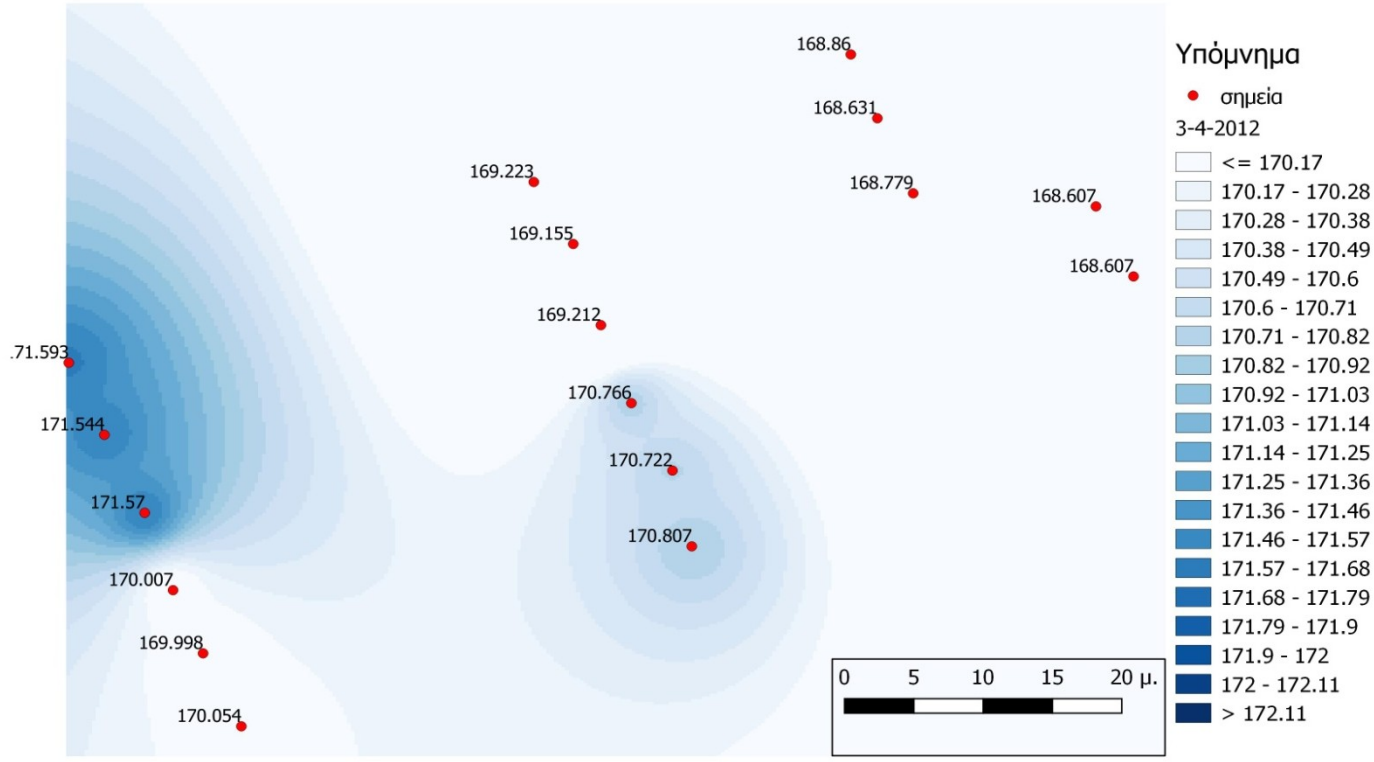
1-4-2012	>-100	>-100	>-100	>-100	>-100	>-100	-82.5	-89	-88.5	-98.5	>-100	>-100	-71	-72	-82	-99	>-100	>-100



2-4-2012	>-100	>-100	>-100	>-100	>-100	>-100	-85	-91.5	-91	>-100	>-100	>-100	-72	-73	-82.5	-99.5	>-100	>-100



3-4-2012	>-100	>-100	>-100	>-100	>-100	>-100	-87	-94	-93	>-100	>-100	>-100	-81	-81	-84	>-100	>-100	>-100



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV-Φωτογραφικό Υλικό

Α. Κατασκευή Δεξαμενών

Δεξαμενή αποθήκευσης αποβλήτου

α

β

γ

δ

ε

ζ

η

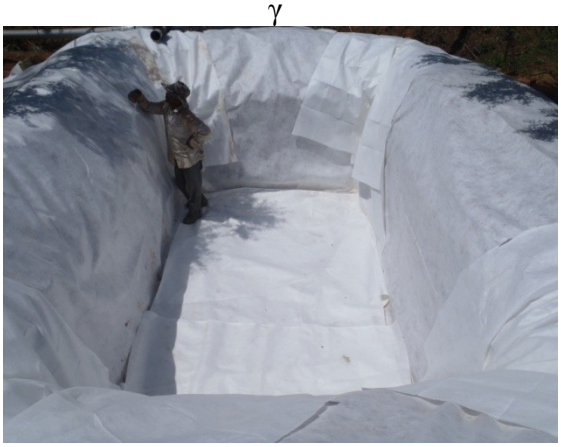
α Εκσκαφή και γκρέμισμα λόγω φλέβας νερού
β Κατασκευή αντιστήριξης
γ Διασκόρπιση ασβέστη που δρα απωθητικά για τα ποντίκια
δ Η δεξαμενή χωρίς στάθμη νερού
ε Στρώσιμο γεωυφάσματος που αποτρέπει τα πονκτίκια
ζ Άποψη των τριών δεξαμενών (3 tm/δεξ.) που χρησίμευαν στο να χωρέσει όλη η δόση
η Κάλυψη με πλαστικό

Δεξαμενή αποθήκευσης νερού

α

β

γ



δ

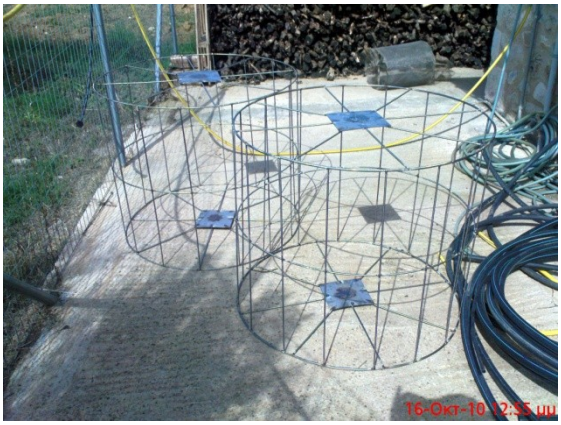
ε

α Εκσκαφή
β Διασκόρπιση ασβέστη που δρα απωθητικά για τα ποντίκια
γ Στρώσιμο γεωυφάσματος που αποτρέπει τα ποντκτίκια
δ Κάλυψη με πλαστικό
ε Κάλυψη με δίχτυ για να μην πέφτουν σκουπίδια εντός της δεξαμενής

Β. Αρδευτικό

Προμήθεια νερού/αποβλήτου, αποθήκευση, εφαρμογή

α



β

γ

Απόβλητο

ΕΥΑΑ 1

Νερό

ΚΝ 1

ΕΥΑΑ 2

ΚΝ 2

ΕΥΑΑ 3

ΚΝ 3

ΕΥΑΑ 4

ΚΝ 4

ΕΥΑΑ 5

ΚΝ 5

δ

α Ανοξείδωτος σκελετός στον οποίο τοποθετήθηκε εντός η αναρρόφηση των αντλιών
β Κάλυψη σκελετού με ανοξείδωτη σήτα
γ Η κατασκευή εντός της οποίας έχει τοποθετηθεί η αναρρόφηση με ποδοβαλβίδα

ΕΥΑΑ	ΚΝ
1: Παραλαβή αποβλήτου από δεξαμενή χλωρίωσης από ΜΕΥΑΑ Σπάρτης	1: Διάταξη απόληψης παροχής από αυλάκι
2: Άδχειασμα στη δεξαμενή αποθήκευσης	2: Αγωγός από αυλάκι
3: Αγωγός αδειάσματαος βυτίου	3: Αγωγός προς δεξαμενή
4: Αντλητική μονάδα με πίνακα ΕΥΑΑ	4: Αντλητική μονάδα με πίνακα ΚΝ
5 Δεξαμενή ΕΥΑΑ με τα τρλια βυτία	5 Δεξαμενή νερού κατά τηνν πλήρωση

δ Γενική άποψη τη στιγμή της άρδευσης

Γ. Όρυγμα

α

β

γ

δ

ε

ζ

η

θ

ι

κ

α: Στήλη εδάφους που ελήφθη από το όρυγμα

β και γ: Απόψεις από το όρυγμα

δ και ε: εξανθήσεις

ζ: χώρος εντός του ορύγματος που θα τοποθετηθούν τα υγρασιόμετρα

η: Ο χώρος τοποθέτησης των υγρασιομέτρων με έτοιμες τις θέσεις τους

θ και ι: απόψεις του ορύγματος και της θέσεως των οργάνων σε σχέση με την γραμμή φύτευσης και άρδευσης

Δ. Διάφορα

Παγετός

Μανιτάρια εντός του πειραματικού

Ζημιές (τρωκτικά)