



ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΩΝ ΓΕΩΠΟΝΩΝ



**Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών (ΠΜΣ)**

*«Καινοτόμα Συστήματα Αειφόρου Αγροτικής Παραγωγής»*

**Κατεύθυνση: Ορθολογική Διαχείριση Φυτικού Κεφαλαίου  
και Εδαφοϋδατικών Πόρων**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

**ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ  
ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΤΟΥ Δ.Δ. ΤΡΙΛΟΦΟΥ  
ΔΗΜΟΥ ΘΕΡΜΗΣ**

**του  
ΙΩΑΝΝΗ ΠΑΝΩΡΑ**

**Επιβλέπων Καθηγητής: Ηλίας Τελόγλου  
Αναπληρωτής Καθηγητής**

**Θεσσαλονίκη**

**Ιούνιος 2017**



ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΩΝ ΓΕΩΠΟΝΩΝ



**Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών (ΠΜΣ)**

*«Καινοτόμα Συστήματα Αειφόρου Αγροτικής Παραγωγής»*

**Κατεύθυνση: Ορθολογική Διαχείριση Φυτικού κεφαλαίου  
και Εδαφοϋδατικών Πόρων**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

**ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ  
ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΤΟΥ Δ.Δ. ΤΡΙΛΟΦΟΥ  
ΔΗΜΟΥ ΘΕΡΜΗΣ**

**του  
ΙΩΑΝΝΗ ΠΑΝΩΡΑ**

**Επιβλέπων Καθηγητής: Ηλίας Τελόγλου  
Αναπληρωτής Καθηγητής**

**Θεσσαλονίκη**

**Ιούνιος 2017**

*Στους γονείς μου*

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Εκφράζω τις θερμές μου ευχαριστίες στον Επιβλέποντα Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Ηλία Τελόγλου για την αμέριστη συμπαράσταση, τη συνεχή καθοδήγηση και την ενεργή συμμετοχή του με βελτιώσεις και σημαντικές προσθήκες στη διατριβή αυτή.

Ευχαριστώ τον αδελφό μου, Γεώργιο Πανώρα Περιβαλλοντολόγο, για τη συμβολή του σε θέματα που σχετίζονται με την αξιολόγηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των αρδευτικών νερών καθώς και τη Γεωλόγο Ελένη Αβραμίδου για τη στήριξή της σε όλη τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών.

Επίσης, ευχαριστώ θερμά το προσωπικό του Ινστιτούτου Εγγείων Βελτιώσεων (Ι.Ε.Β.) του ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε. για την πολυποίκιλη υποστήριξη που μου παρείχε σε εργαστηριακό και επιστημονικό επίπεδο, ιδιαίτερα τους κ.κ. Ευάγγελο Χατζηγιαννάκη, Ανδρέα Ηλία, Πασχάλη Δαλαμπάκη, Δήμητρα Τσεκούρα, Χάϊδω Καλογιάννη, Γεωργία Καντουνάτου, Σάββα Τσολακίδη. Ιδιαίτερα θα ήθελα να τονίσω τη συμβολή του Υδρογεωλόγου κ. Ανδρέα Παναγόπουλου στη μελέτη της γεωλογίας και υδρογεωλογίας της ευρύτερης περιοχής μελέτης.

Σημαντική ήταν επίσης η συμπαράσταση και κατανόηση που είχα από το επιστημονικό προσωπικό του Ινστιτούτου στο οποίο εργάζομαι, Γενετικής Βελτίωσης και Φυτογενετικών Πόρων του ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε. κ.κ. Ελένη Μαλούπα, Ελένη Τσαλίκη, Απόστολο Καλύβα, Ιωάννη Γρηγοριάδη και Χρήστο Λελούδη.

Πολύ σημαντική ήταν επίσης και η βοήθεια που είχα από το γραμματέα του Αγροτικού Συνεταιρισμού Τριλόφου κ. Αθανάσιο Αλεξάκη τον οποίο ευχαριστώ ιδιαίτερα.

Η διατριβή αυτή δε θα μπορούσε να υλοποιηθεί εάν δεν είχα τη βοήθεια των γεωργών ιδιοκτητών των γεωτρήσεων, οι οποίοι όχι μόνο επέτρεψαν τη λήψη δειγμάτων νερού και εδάφους αλλά ήταν πρόθυμοι να συζητήσουν και να εκφράσουν τον προβληματισμό τους και τις χρήσιμες παρατηρήσεις τους για τη δυσμενή επίδραση των ποιοτικών χαρακτηριστικών ορισμένων νερών σε εδάφη και φυτά.

Επίσης καθοριστική ήταν και η βοήθεια των κ.κ. Χρήστου Αλεξάκη και Χρήστου Στρομπίνη σε θέματα αρχικής αναγνώρισης της περιοχής και υλοποίησης των πρώτων καθοριστικών επαφών μου με τους γεωργούς.

Τέλος, ευχαριστώ τους γονείς μου που με στήριξαν ποικιλοτρόπως σε όλη τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών.

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Συμμετέχοντας σε διάφορα ερευνητικά προγράμματα του Ινστιτούτου Εγγείων Βελτιώσεων (I.E.B), ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε. έγινα κοινωνός των προβληματισμών που έχουν οι γεωργοί σε πολλές περιοχές της Χώρας μας σε ότι αφορά στη διαχείριση αρδευτικών νερών υποβαθμισμένης ποιότητας. Μεταξύ αυτών ήταν και ορισμένοι γεωργοί του αγροκτήματος Τριλόφου του Δήμου Θέρμης, οι οποίοι αρδεύουν τις καλλιέργειές τους με τα υπόγεια νερά της περιοχής. Οι γεωργοί αυτοί δεν γνώριζαν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των νερών που χρησιμοποιούσαν για την άρδευση των καλλιεργειών τους, αλλά είχαν διαπιστώσει σημαντικές μειώσεις της αγροτικής παραγωγής και επιπτώσεις στα εδάφη (υπερβολική συγκράτηση υγρασίας, μείωση διηθητικής ικανότητας, δυσκολίες στις καλλιεργητικές εργασίες). Για το λόγο αυτό έφεραν δείγματα νερού στο I.E.B. προκειμένου να εξετασθεί η ποιότητα των νερών αυτών και τα αποτελέσματα δικαίωσαν τον προβληματισμό τους.

Επίσης, καταγόμενος από το Δ.Δ. Τριλόφου, έχω αρκετές επαφές με νεαρούς κυρίως γεωργούς και συχνό θέμα συζήτησής μας είναι η ποιότητα των υπόγειων νερών που χρησιμοποιούν στην άρδευση των καλλιεργειών και οι δυσάρεστες και εμφανείς πλέον επιπτώσεις στην απόδοση των καλλιεργειών.

Έχοντας τα ερεθίσματα αυτά, συζήτησα με τον Καθηγητή μου, κ. Τελόγλου, και αποφασίσαμε στο πλαίσιο της μεταπτυχιακής μου διατριβής να εξετασθούν με λεπτομέρεια τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των υπόγειων νερών που χρησιμοποιούν οι γεωργοί στο αγρόκτημα Τριλόφου και να διερευνηθεί η καταλληλότητα των νερών αυτών για αρδευτική χρήση.

Βασική προϋπόθεση υλοποίησης της εργασίας αυτής ήταν η συνεργασία μου με τους ιδιοκτήτες των γεωτρήσεων, με τον Αγροτικό Συνεταιρισμό (Α.Σ.) Τριλόφου, με διάφορους γεωργούς καθώς και με το επιστημονικό προσωπικό του I.E.B. Αυτή όμως η συνεργασία έπρεπε να εξασφαλισθεί εκ των προτέρων γιατί προέκυπταν υποχρεώσεις α) για τους αγρότες όπως: δημοσιοποίηση στοιχείων γεώτρησης, συνέπεια σε χρόνους υλοποίησης διαφόρων δράσεων (συμπλήρωση ερωτηματολογίου, δειγματοληψίες νερών και εδαφών), εφαρμογή πρωτοκόλλων δειγματοληψίας, μετακινήσεις β) για τον Α.Σ. όπως παροχή χαρτογραφικού υλικού, στοιχεία γεωτρήσεων και γ) για το I.E.B. όπως παροχή εξοπλισμού για την καταγραφή των θέσεων των γεωτρήσεων (G.P.S.),

την εκτέλεση χημικών αναλύσεων καθώς και τη δυνατότητα αφιέρωσης χρόνου για συζητήσεις ή απόψεις σε διάφορα θέματα κατά τη φάση υλοποίησης της εργασίας.

Αφού εξασφαλίστηκαν όλα αυτά, αποφασίσαμε με τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Ηλία Τελόγλου να προχωρήσουμε στην υλοποίηση της εργασίας.

Οι ιδιοκτήτες των γεωτρήσεων, αλλά και κάθε ενδιαφερόμενος, σύντομα θα γίνουν κοινωνοί των αποτελεσμάτων της έρευνας προκειμένου να αντιμετωπίσουν τα υφιστάμενα προβλήματα που δημιουργεί η χρήση των νερών ορισμένων γεωτρήσεων για αρδευτικούς σκοπούς.

Επειδή η ανάγκη αξιολόγησης της καταλληλότητας των υφιστάμενων υδατικών πόρων για αρδευτικούς σκοπούς διευρύνεται συνεχώς είτε λόγω της αύξησης των αρδευόμενων εκτάσεων, είτε λόγω της ποιοτικής υποβάθμισης πολλών πηγών νερού εξαιτίας ανθρωπογενών δράσεων (μη ορθολογική διαχείριση – ρύπανση), κρίναμε εξαιρετικά χρήσιμο να αναπτυχθεί κατάλληλο λογισμικό που να δίνει τη δυνατότητα τόσο στους φορείς διαχείρισης αρδευτικών νερών (Οργανισμοί Εγγείων Βελτιώσεων, Δήμοι, Ομάδες γεωργών) όσο και στους μεμονωμένους αρδευτές να αξιολογούν την καταλληλότητα ή μη μιας πηγής νερού για αρδευτικούς σκοπούς.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η γνώση της καταλληλότητας των διαθέσιμων υδατικών πόρων για αρδευτική χρήση καθώς και των προϋποθέσεων ορθολογικής διαχείρισης αυτών προστατεύουν τα καλλιεργούμενα εδάφη, τα φυτά και τους ανθρώπους από ανεπιθύμητες συνέπειες. Η γνώση αυτή προκύπτει από λεπτομερή διερεύνηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των νερών άρδευσης, σε συνδυασμό με τις υφιστάμενες εδαφοκλιματικές συνθήκες, το είδος φυτικής κάλυψης και τις πρακτικές διαχείρισης των νερών αυτών.

Στην εργασία αυτή διερευνήθηκε η ποιοτική κατάσταση των υπόγειων νερών του Δ.Δ. Τριλόφου και πιο συγκεκριμένα αξιολογήθηκε η καταλληλότητα του υπόγειου υδατικού δυναμικού της προαναφερθείσας περιοχής για την άρδευση των καλλιεργειών αυτής αναδεικνύοντας πιθανούς κινδύνους για το σύστημα έδαφος, φυτά, σύστημα άρδευσης, ενώ ταυτόχρονα προτείνονται τρόποι αντιμετώπισης των κινδύνων αυτών.

Από την έρευνα αυτή προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

- ❖ Ο κίνδυνος επίδρασης της αλατότητας στο έδαφος και στα φυτά είναι υπαρκτός κυρίως για τα νερά των γεωτρήσεων **Γ2, Γ6, Γ8, Γ12, Γ13, Γ14**, ιδιαίτερα δε για τα νερά της γεώτρησης **Γ16**. Για την αντιμετώπιση του κινδύνου αυτού συνιστάται τακτικός έλεγχος της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC<sub>w</sub>) των νερών, εφαρμογή εκπλύσεων, καλή στράγγιση των εδαφών, ανθεκτικές στα άλατα καλλιέργειες, διατήρηση ικανοποιητικής υγρασίας στο έδαφος, αποφυγή των αρδεύσεων τις θερμές ώρες της ημέρας και εάν είναι εφικτό ανάμειξη διαφορετικής ποιότητας νερών άρδευσης, αλλαγή τρόπου άρδευσης και καλλιεργητικών πρακτικών. Επίσης, διαπιστώθηκε ότι με την αύξηση του βάθους των γεωτρήσεων αυξήθηκε και η αλατότητα των νερών.
- ❖ Ο συνδυασμός της EC<sub>w</sub> και του λόγου προσρόφησης νατρίου (SAR) των νερών των 17 γεωτρήσεων έδειξε ότι δεν υπάρχει κίνδυνος μείωσης της διηθητικής ικανότητας του εδάφους, σε αντίθεση με άλλους δείκτες όπως υπολειμματικό ανθρακικό νάτριο (RSC), ποσοστό νατρίου (Na%), SAR, pH που δείχνουν ότι τα νερά των γεωτρήσεων **Γ2, Γ5, Γ6, Γ8, Γ13, Γ14** και ιδιαίτερα τα νερά της γεώτρησης **Γ16** ενέχουν τον κίνδυνο μείωσης της διηθητικής ικανότητας του εδάφους. Άλλωστε οι τιμές των παραμέτρων SAR και pH ορισμένων εδαφών που αρδεύονται με νερά των προαναφερθεισών



γεωτρήσεων δείχνουν το υφιστάμενο πρόβλημα. Όπου υπάρχει πρόβλημα συνιστάται αύξηση του χρόνου άρδευσης με αργότερους ρυθμούς παροχέτευσης του νερού, ανάμειξη αρδευτικών νερών διαφορετικής ποιότητας, συχνότερες αρδεύσεις με μικρότερες ποσότητες, χρήση βελτιωτικών εδάφους (φωσφογύψος), ενσωμάτωση φυτικών υπολειμμάτων στο έδαφος, καλλιεργητικές εργασίες όταν το έδαφος βρίσκεται στο ρώγο του. Διαπιστώθηκε επίσης ότι με την αύξηση του βάθους των γεωτρήσεων αυξήθηκαν και οι τιμές των προαναφερθεισών παραμέτρων.

- ❖ Τα νερά των γεωτρήσεων **Γ2, Γ5, Γ6, Γ8, Γ13, Γ14** και ιδιαίτερα τα νερά της γεώτρησης **Γ16** μπορούν να ασκήσουν τοξική δράση στα φυτά εξαιτίας των ιόντων νατρίου (Na) τόσο στην άρδευση με ροή όσο και στον καταιονισμό (τεχνητή βροχή). Συνιστάται εφαρμογή εκπλύσεων, καλή στράγγιση των εδαφών, διατήρηση ικανοποιητικής υγρασίας στο έδαφος, αποφυγή των αρδεύσεων τις θερμές ώρες της ημέρας, αποφυγή της διαβροχής των φύλλων και εάν είναι εφικτό ανάμειξη διαφορετικής ποιότητας νερών άρδευσης. Επισημαίνεται ότι οι συγκεντρώσεις Na αυξήθηκαν με την αύξηση του βάθους των γεωτρήσεων.
- ❖ Η τοξική επίδραση των ιόντων χλωρίου (Cl) στα φυτά είναι αρκετά μικρότερη από εκείνη του Na και αφορά στα νερά των γεωτρήσεων **Γ6, Γ8, Γ14** και **Γ16** τόσο στην άρδευση με ροή όσο και στον καταιονισμό (τεχνητή βροχή). Συνιστώνται τα ίδια μέτρα με εκείνα που προαναφέρθηκαν για το Na. Ισχύει η ίδια επισήμανση με το νάτριο σε σχέση με την αύξηση του βάθους των γεωτρήσεων.
- ❖ Οι συγκεντρώσεις βορίου (B) είναι αυξημένες στα νερά των γεωτρήσεων **Γ2, Γ5** και **Γ13** και η χρήση τους απαιτεί καλλιεργειες από μέτρια ανθεκτικές έως ανθεκτικές στο B. Ιδιαίτερα για τα νερά των γεωτρήσεων **Γ6, Γ8, Γ14** και **Γ16** οι συγκεντρώσεις του B είναι πολύ αυξημένες και η χρήση τους περιορίζεται μόνο στις πολύ ανθεκτικές στο B καλλιεργειες. Οι αυξημένες συγκεντρώσεις B στα περισσότερα αρδευτικά νερά του αγροκτήματος Τριλόφου σε συνδυασμό με τη μακροχρόνια χρήση αυτών είχε ως αποτέλεσμα την υπερέπάρκεια B στα αρδευόμενα εδάφη με τα νερά αυτά. Το πρόβλημα είναι πιο έντονο στα νερά των βαθέων γεωτρήσεων.

- ❖ Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων αρσενικό, κάδμιο, χρώμιο, χαλκός, σίδηρος, υδράργυρος, μαγγάνιο, νικέλιο, μόλυβδος και ψευδάργυρος είναι πολύ μικρές ή ελάχιστες σε σύγκριση με τις συνιστώμενες μέγιστες συγκεντρώσεις αυτών για συνεχή χρήση στα αρδευτικά νερά όλων των γεωτρήσεων του αγροκτήματος Τριλόφου και δεν υπάρχει κανένας κίνδυνος για φυτά, ζώα και ανθρώπους.
- ❖ Οι συγκεντρώσεις του αζώτου στα νερά όλων των γεωτρήσεων είναι εξαιρετικά χαμηλές και δεν εγκυμονούν κανένα κίνδυνο τόσο για τα φυτά όσο και για το περιβάλλον.
- ❖ Τα νερά όλων των γεωτρήσεων απαιτούν επαγρύπνηση λόγω των συγκεντρώσεων των όξινων ανθρακικών. Σε ότι αφορά όμως στα νερά των γεωτρήσεων **Γ2, Γ5, Γ6, Γ8, Γ13, Γ14** και ιδιαίτερα στα νερά της γεώτρησης **Γ16**, ο κίνδυνος σχηματισμού κηλίδων αλάτων στην επιφάνεια των καρπών είναι αυξημένος. Για την αποφυγή του κινδύνου αυτού συνιστώνται νυχτερινές αρδεύσεις, μπεκ ταχείας περιστροφής, μη διαβροχή των καρπών.
- ❖ Οι τιμές του pH όλων των γεωτρήσεων είναι έντονα αλκαλικές και ορισμένες τιμές βρίσκονται (γεωτρήσεις **Γ4** και **Γ16**) πολύ κοντά στη μέγιστη τιμή 8,5. Στις περιπτώσεις αυτές συνιστάται τακτικός έλεγχος του pH των νερών άρδευσης και των εδαφών που αρδεύονται με τα νερά αυτά, ανάμειξη των νερών αυτών με άλλα μικρότερης τιμής pH, παρακολούθηση της πορείας των φυτών και χρήση οξινοποιών λιπασμάτων.
- ❖ Ο κίνδυνος έμφραξης των σταλακτήρων από τη χρήση των νερών των 17 γεωτρήσεων του Δ.Δ. Τριλόφου στην άρδευση με σταγόνες είναι υπαρκτός και προκειμένου να προληφθεί συνιστάται τακτικός εργαστηριακός έλεγχος των παραμέτρων που εγκυμονούν πιθανό κίνδυνο έμφραξης, έλεγχος των παροχών των σταλακτήρων, χρήση αραιού υδροχλωρικού οξέος εάν και όταν κριθεί απαραίτητο και συνεργασία με εξειδικευμένους επιστήμονες.

Θα πρέπει να γίνει σαφές σε όλους τους καλλιεργητές της γεωργικής γης του Δ.Δ. Τριλόφου, αλλά και σε κάθε άλλο ενδιαφερόμενο ότι τα βασικά ποιοτικά προβλήματα των υπόγειων νερών της περιοχής εντοπίζονται κυρίως στις βαθιές γεωτρήσεις (βάθος >250 m) και αφορούν πρωτίστως στην αλατότητα, στο νάτριο, στο βόριο, στο pH και δευτερευόντως στα όξινα ανθρακικά.

Παρόλα αυτά, τα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τριλόφου (17 γεωτρήσεις) αξιολογούνται ως κατάλληλα για αρδευτικούς σκοπούς με τις προϋποθέσεις όμως που έχουν αναφερθεί (επαγρύπνηση – εφαρμογή των προτεινόμενων μέτρων).

Μεταξύ των μέτρων, επισημαίνεται ότι θα πρέπει να εξετάζεται η δυνατότητα ανάμειξης νερών υποβαθμισμένης ποιότητας με νερά καλύτερης ποιότητας, αυξάνοντας έτσι τη συνολική διαθέσιμη ποσότητα νερού προς αρδευτική χρήση. Για την διερεύνηση της δυνατότητας ανάμειξης του νερού άρδευσης, προτείνεται η εφαρμογή της μεθόδου του Γραμμικού προγραμματισμού και στο αντίστοιχο κεφάλαιο της διατριβής παρουσιάζονται παραδείγματα μοντέλων βελτιστοποίησης.

Τέλος, κατά την εκπόνηση της διατριβής αναπτύχθηκε λογισμικό για την αξιολόγηση της καταλληλότητας μιας πηγής νερού προς αρδευτική χρήση. Με τη χρησιμοποίηση του λογισμικού αποφεύγεται η χρονοβόρα και κοπιαστική διαδικασία αναζήτησης και σύγκρισης των οριακών τιμών συγκέντρωσης μέσα από πίνακες προκειμένου να επιτευχθεί η ποιοτική κατάταξη του νερού. Στο λογισμικό αυτό αποδόθηκε το ακρωνύμιο (Λ.Α.Κ.Α.Ν.) που προέρχεται από τις λέξεις: **Λογισμικό-Αξιολόγησης Καταλληλότητας Αρδευτικών-Νερών**.

**Λέξεις Κλειδιά:** Αξιολόγηση ποιότητας αρδευτικών νερών, Λογισμικό Λ.Α.Κ.Α.Ν., Ανάμειξη νερών με χρήση γραμμικού προγραμματισμού, Δήμος Θέρμης, Ελλάδα

## SUMMARY

The knowledge of water resources suitability for irrigation purposes and the assumptions of rational management protects arable land, plants and humans from undesirable consequences. This knowledge results from the evaluation of the qualitative classification of irrigation water based on its quality, combined with the existing soil conditions, plants and water management practices.

This thesis evaluates the quality characteristics of the groundwater of Trilofos field area and more specifically an assessment of the suitability of this groundwater is conducted for irrigation purposes highlighting potential risks to the soil, plants and irrigation system, while it suggests different methods of meeting these risks.

The most important results in terms of evaluating the Trilofos's groundwater with regard to assessing its suitability for irrigation purposes are presented below:

- ❖ The risk effect of water salinity to the soil and plants is real mainly for wells W2, W6, W8, W12, W13, W14, particularly for the W16. It is also showed that by increasing the drilling depth increases the water salinity. The suggestion for meeting this danger are: frequent monitoring of electrical conductivity (EC<sub>w</sub>), leaching, good drainage, crops resistant to salts, adequate soil moisture, no irrigation during the hot hours of the day, mixing of different quality irrigation water, change of irrigation method and cultivation practices.
- ❖ The combination of EC<sub>w</sub> and the sodium adsorption ratio (SAR) of the groundwater showed that there is no risk of reducing the soil infiltration, in contrast to other indexes such as residual sodium carbonate (RSC), sodium percentage (Na%) , SAR, pH showing that waters of the wells W2, W5, W6, W8, W13, W14 and W16 are in particular risk of reducing the soil infiltration. It also showed that by increasing the depth of drilling the values of the aforementioned parameters are increased. Besides the values of SAR and pH parameters of certain soils irrigated by waters of the before mentioned wells show the existing problem. Where there is a problem it is recommended: increasing the irrigation time with simultaneous slower rate of water, mixing different quality of irrigation water, frequent irrigation with smaller quantities, use of soil amendments (gypsum), incorporation of plant residues in soil, soil cultivation when the ground has the proper soil moisture.
- ❖ The waters of wells W2, W5, W6, W8, W13, W14 and W16 particularly can exert toxic effects on plants because of the sodium ions (Na) either at the irrigation flow or at the sprinkler irrigation. As the drilling depth is increased the Na concentrations is also increased. It is recommended good leaching and drainage of

soils, adequate soil moisture, no irrigation during the hot hours of the day, avoid wetting the leaves, mixing of different quality irrigation water, preventing irrigation hot hours of the day.

- ❖ The toxic effect of chloride ions (Cl) in plants is much lower than that of Na and concerns in drilling water W6, W8, W14 and W16 both flow and sprinkler irrigation. The concentrations of Cl increase with increasing drilling depth. It is recommended the same measures as those mentioned above for the Na.
- ❖ The boron concentrations (B) are increased in the drilling water of W2, W5 and W13 and the use of them requires crops which are moderate resistant to resistant to B. Especially for drilling water W6, W8, W14 and W16 the concentrations of B are greatly increased and their use is limited to very resistant to B crops. The high concentrations of B in most irrigation waters of Trilofos village combined with long-term use has resulted in an excess of B concentration in fields irrigated with these waters. The problem is more pronounced in the waters of deep drilling.
- ❖ The concentrations of micronutrients as arsenic, cadmium, chromium, copper, iron, mercury, manganese, nickel, lead and zinc in all drilling waters are very small compared to the recommended maximum concentrations and there is no risk to plants, animals and humans.
- ❖ The nitrogen concentrations in all drilling waters are extremely low and do not pose any danger to plants and the environment.
- ❖ The waters of all wells require vigilance in the case of fruit trees, because of the bicarbonate concentrations, but with respect to W2, W5, W6, W8, W13, W14 wells and especially to W16, the above mentioned risks are high and irrigation during the night, high speed sprinklers, adoption of another irrigation method in the case of fresh fruit production (apples, pears, etc.) and vegetables (cucumbers, etc.) are recommended.
- ❖ The pH values of all drillings are strongly alkaline and some values, like W4 and W16, are very close to the maximum value of 8.5. In such cases, close monitoring of pH of irrigation water and soils irrigated with these waters, mixing of these waters with other having smaller pH value, check of plant situation and use of acidic fertilizers are recommended.
- ❖ The risk of drippers clogging by using the water of 17 wells of Trilofos area is real and to prevent this problem frequent a number of actions are recommended like chemical analysis of irrigation water which pose a potential risk of blocking, discharge control of drippers, use of hydrochloric acid if and when is necessary and cooperation with experienced scientific personnel.

- ❖ It should also be noted that the potential of the groundwater of Trilofos area is limited and the replenishing rate is small, while the constant overpumping can cause a severe decrease of the groundwater in the semi hill area of Trilofos and/or excessive burden of the groundwater quality of the lowland coastal area. For this area it is possible to experience the start of seawater intrusion if there is an additional pumping of the ground water system. In terms of the semi hill area, there is a risk of a progressive increase in groundwater salinity through the activation of the deeper water aquifers.

It should be clear to all farmers of Trilofos village and other interested people that the main quality problems of groundwater in this region are mainly located in the deep drillings (depth > 250 m) and they are related primarily to salinity, sodium, boron, the pH and secondarily to bicarbonates.

However, the groundwater of the 17 wells of Trilofos village are assessed as suitable for irrigation purposes under the conditions which have been reported (vigilance –and implementation of the above mentioned measures).

Among the measures, it is pointed out that consideration should be given to blending the poorer with the better quality supply, thus increasing the total amount of usable water. To investigate the possibility of mixing irrigation water, it is proposed the application of linear programming method. In the corresponding chapter of this thesis, examples of water quality optimization models are presented.

Finally, in this thesis a software tool (Λ.A.K.A.N.) was developed to assess the suitability of irrigation water. By using this software it is avoided the time-consuming and laborious process of searching and comparing concentration limits through tables to achieve the water quality classification. The Greek acronym stands for software for evaluating the irrigation water suitability.

**Key Words:** Assessment of irrigation water quality, Software Λ.A.K.A.N., Water mixing using linear programming, Municipality of Thermi, Greece

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	σελ.
<b>ΑΦΙΕΡΩΣΗ</b> .....	<b>i</b>
<b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ</b> .....	<b>ii</b>
<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</b> .....	<b>iv</b>
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	<b>vi</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>x</b>
<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</b> .....	<b>xiii</b>
<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ</b> .....	<b>xvi</b>
<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑΤΑ</b> .....	<b>xviii</b>
<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΕΣ ΟΘΟΝΕΣ</b> .....	<b>xxi</b>
<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ</b> .....	<b>xxii</b>
<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΙ ΧΑΡΤΕΣ</b> .....	<b>xxv</b>
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ</b> .....	<b>xxvi</b>
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>1</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ</b> .....	<b>6</b>
<b>1.1. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ</b> .....	<b>6</b>
<b>1.2. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ</b> .....	<b>6</b>
<b>1.3. ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ</b> .....	<b>8</b>
<b>1.4. ΧΡΗΣΕΙΣ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΓΗΣ</b> .....	<b>8</b>
<b>1.5. ΕΔΑΦΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ</b> .....	<b>11</b>
<b>1.6. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ</b> .....	<b>15</b>
<b>1.7. ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ</b> .....	<b>16</b>
<b>1.8. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΤΟΥ Δ.Δ. ΤΡΙΛΟΦΟΥ</b> .....	<b>18</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΟ Δ.Δ. ΤΡΙΛΟΦΟΥ</b> .....	<b>24</b>
<b>2.1. ΓΕΩΛΟΓΙΑ – ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ</b> .....	<b>24</b>
<b>2.2. ΥΔΡΟΧΗΜΙΣΜΟΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ Δ.Δ. ΤΡΙΛΟΦΟΥ</b> .....	<b>28</b>
<b>2.3. ΣΥΝΟΨΗ</b> .....	<b>35</b>

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΑΡΔΕΥΣΗΣ.....</b>	<b>38</b>
<b>3.1. ΚΛΙΜΑ.....</b>	<b>38</b>
<b>3.2. ΣΤΡΑΓΓΙΣΗ.....</b>	<b>39</b>
<b>3.3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΡΔΕΥΣΗΣ .....</b>	<b>39</b>
<b>3.4. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ.....</b>	<b>40</b>
<b>3.5. ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΤΑ ΑΛΑΤΑ .....</b>	<b>41</b>
<b>3.6. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΟΝ ΑΓΡΟ.....</b>	<b>42</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΠΟΙΟΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΤΑΞΗΣ ΤΩΝ ΝΕΡΩΝ ΑΡΔΕΥΣΗΣ .....</b>	<b>44</b>
<b>4.1. ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΥΣ SCOLFIED – EATON.....</b>	<b>44</b>
<b>4.2. ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΥΣ WILCOX - MAGISTAD.....</b>	<b>45</b>
<b>4.3. ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΥΣ THORNE - THORNE .....</b>	<b>47</b>
<b>4.4. ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ U.S.S.L. ....</b>	<b>47</b>
<b>4.5. ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ DONEEN .....</b>	<b>50</b>
<b>4.6. ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΥΣ CHRISTIANSEN ET AL.....</b>	<b>55</b>
<b>4.7. ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΥΣ AYERS- WESTCOT.....</b>	<b>56</b>
<b>4.8. ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ ΑΡΔΕΥΣΗΣ .....</b>	<b>82</b>
<b>4.9. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΡΔΕΥΣΗΣ .....</b>	<b>85</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ .....</b>	<b>90</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΤΟΥ Δ.Δ. ΤΡΙΛΟΦΟΥ ΓΙΑ ΑΡΔΕΥΣΗ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ .....</b>	<b>94</b>
<b>6.1. ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΔΥΣΝΕΝΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΣΤΑ ΕΔΑΦΗ ΚΑΙ ΣΤΑ ΦΥΤΑ ΛΟΓΩ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΑΡΔΕΥΤΙΚΩΝ ΝΕΡΩΝ .....</b>	<b>94</b>
<b>6.2. ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΝΑΤΡΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ.....</b>	<b>103</b>
<b>6.3. ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΤΟΞΙΚΗΣ ΔΡΑΣΗΣ ΟΡΙΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΑ ΦΥΤΑ.....</b>	<b>115</b>
<b>6.4. ΛΟΙΠΟΙ ΚΙΝΔΥΝΟΙ .....</b>	<b>136</b>



6.5. ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ (W.Q.I.) .....	145
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΓΙΑ ΑΡΔΕΥΤΙΚΗ ΧΡΗΣΗ.....</b>	<b>148</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΣΕΝΑΡΙΑ ΑΝΑΜΕΙΞΗΣ ΝΕΡΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕ ΣΚΟΠΟ ΤΗ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ .....</b>	<b>157</b>
<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>166</b>
<b>ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ .....</b>	<b>170</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>179</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1<sup>ο</sup> Ερωτηματολόγιο.....</b>	<b>193</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2<sup>ο</sup> Φωτογραφικό υλικό .....</b>	<b>195</b>

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

	σελ.
<b>Διάγραμμα 1.1.</b> Ισαριθμικές καμπύλες του βάθους 17 αρδευτικών γεωτρήσεων του Δ.Δ. Τριλόφου	23
<b>Διάγραμμα 2.1.</b> Κοκκομετρική κατάταξη και περατότητα κατά Hazen	27
<b>Διάγραμμα 2.2.</b> Προβολή των συγκεντρώσεων των κύριων ιόντων των υπόγειων νερών του Δ.Δ. Τριλόφου	29
<b>Διάγραμμα 4.1.</b> Ποιοτική κατάταξη αρδευτικού νερού κατά Wilcox	46
<b>Διάγραμμα 4.2.</b> Κίνδυνος Na από τη χρήση του αρδευτικού νερού κατά Wilcox	46
<b>Διάγραμμα 4.3.</b> Ποιοτική κατάταξη αρδευτικού νερού κατά Thorne and Thorne	47
<b>Διάγραμμα 4.4.</b> Ποιοτική κατάταξη αρδευτικού νερού κατά U.S.S.L.	49
<b>Διάγραμμα 4.5.</b> Νομογράφημα για τον υπολογισμό του SAR	49
<b>Διάγραμμα 4.6.</b> Ταξινόμηση αρδευτικών νερών για εδάφη μέσης περατότητας κατά Doneen	54
<b>Διάγραμμα 4.7.</b> Σχετική αντοχή στην αλατότητα των καλλιεργούμενων φυτών κατά Maas	66
<b>Διάγραμμα 4.8.</b> Μεταβολή της διηθητικότητας σε σχέση με την EC <sub>w</sub> και το SAR του νερού άρδευσης	71
<b>Διάγραμμα 4.9.</b> Νομογράφημα για τον υπολογισμό των SAR και ESP από τις τιμές των Ca, Mg, και Na κατά U.S.S.L.	74
<b>Διάγραμμα 6.1.</b> Ισαριθμικές καμπύλες EC <sub>w</sub> των νερών 17 αρδευτικών γεωτρήσεων του Δ.Δ. Τριλόφου	96
<b>Διάγραμμα 6.2.</b> Ισαριθμικές καμπύλες ECs των εδαφών των αγροτεμαχίων τα οποία αρδευόταν επί σειρά ετών με τα νερά 17 γεωτρήσεων του Δ.Δ. Τριλόφου	102
<b>Διάγραμμα 6.3.</b> Ισαριθμικές καμπύλες RSC των νερών 17 αρδευτικών γεωτρήσεων του Δ.Δ. Τριλόφου	105
<b>Διάγραμμα 6.4.</b> Ισαριθμικές καμπύλες Na (%) των νερών 17 αρδευτικών γεωτρήσεων του Δ.Δ. Τριλόφου	107
<b>Διάγραμμα 6.5.</b> Ισαριθμικές καμπύλες SAR των νερών 17 αρδευτικών γεωτρήσεων του Δ.Δ. Τριλόφου	109
<b>Διάγραμμα 6.6.</b> Ισαριθμικές καμπύλες pH των νερών 17 αρδευτικών γεωτρήσεων του Δ.Δ. Τριλόφου	110

<b>Διάγραμμα 6.7.</b>	Ισαριθμικές καμπύλες SAR των εδαφών των αγροτεμαχίων τα οποία αρδεύονταν επί σειρά ετών με τα νερά 17 γεωτρήσεων του Δ.Δ. Τριλόφου	<b>113</b>
<b>Διάγραμμα 6.8.</b>	Ισαριθμικές καμπύλες pH των εδαφών των αγροτεμαχίων τα οποία αρδεύονταν επί σειρά ετών με τα νερά 17 γεωτρήσεων του Δ.Δ. Τριλόφου	<b>114</b>
<b>Διάγραμμα 6.9.</b>	Ισαριθμικές καμπύλες συγκέντρωσης Na στα νερά 17 αρδευτικών γεωτρήσεων του Δ.Δ. Τριλόφου	<b>118</b>
<b>Διάγραμμα 6.10.</b>	Ισαριθμικές καμπύλες συγκέντρωσης Cl στα νερά 17 αρδευτικών γεωτρήσεων του Δ.Δ. Τριλόφου	<b>121</b>
<b>Διάγραμμα 6.11.</b>	Ισαριθμικές καμπύλες συγκέντρωσης B στα νερά 17 αρδευτικών γεωτρήσεων του Δ.Δ. Τριλόφου	<b>123</b>
<b>Διάγραμμα 6.12.</b>	Ισαριθμικές καμπύλες συγκέντρωσης B στα εδάφη αγροτεμαχίων τα οποία αρδεύονταν επί σειρά ετών με τα νερά 17 γεωτρήσεων του Δ.Δ. Τριλόφου	<b>125</b>
<b>Διάγραμμα 6.13.</b>	Ισαριθμικές καμπύλες συγκέντρωσης As στα νερά 17 αρδευτικών γεωτρήσεων του Δ.Δ. Τριλόφου	<b>128</b>
<b>Διάγραμμα 6.14.</b>	Ισαριθμικές καμπύλες συγκέντρωσης Fe στα νερά 17 αρδευτικών γεωτρήσεων του Δ.Δ. Τριλόφου	<b>131</b>
<b>Διάγραμμα 6.15.</b>	Ισαριθμικές καμπύλες συγκέντρωσης Mn στα νερά 17 αρδευτικών γεωτρήσεων του Δ.Δ. Τριλόφου	<b>133</b>
<b>Διάγραμμα 6.16.</b>	Ισαριθμικές καμπύλες συγκέντρωσης HCO <sub>3</sub> στα νερά 17 αρδευτικών γεωτρήσεων του Δ.Δ. Τριλόφου	<b>139</b>
<b>Διάγραμμα 6.17.</b>	Ισαριθμικές καμπύλες συγκέντρωσης TDS στα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τριλόφου που εκφράζουν την επικινδυνότητα έμφραξης των σταλακτήρων	<b>142</b>
<b>Διάγραμμα 6.18.</b>	Ισαριθμικές καμπύλες LSI των υπόγειων νερών του Δ.Δ. Τριλόφου που εκφράζουν την επικινδυνότητα έμφραξης των σταλακτήρων	<b>144</b>
<b>Διάγραμμα 6.19.</b>	Σύγκριση εκτίμησης του W.Q.I. με την εξίσωση (6.1) και τη συνήθη υπολογιστική διαδικασία των Meireles et al. (2010)	<b>147</b>
<b>Διάγραμμα 8.1.</b>	Σχετικές θέσεις των γεωτρήσεων στη νότια περιοχή του Δ.Δ. Τριλόφου	<b>157</b>

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑΤΑ

	σελ.
<b>Ιστόγραμμα 1.1.</b> Πληθυσμός Δ.Ε. Μίκρας και Δ.Δ Τριλόφου στις απογραφές των ετών 2001 και 2011	8
<b>Ιστόγραμμα 6.1.</b> Κατηγοριοποίηση των τιμών ηλεκτρικής αγωγιμότητας των νερών (ECw) 17 γεωτρήσεων του Δ.Δ. Τριλόφου	95
<b>Ιστόγραμμα 6.2.</b> Κατηγοριοποίηση των τιμών ηλεκτρικής αγωγιμότητας των εδαφών (ECs) που αρδεύονταν επί σειρά ετών με τα νερά 17 γεωτρήσεων του Δ.Δ. Τριλόφου	101
<b>Ιστόγραμμα 6.3.</b> Κατηγοριοποίηση του κινδύνου νατρίωσης των εδαφών που αρδεύονται με τα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τριλόφου με βάση τις τιμές του RSC των νερών άρδευσης	104
<b>Ιστόγραμμα 6.4.</b> Κατηγοριοποίηση του κινδύνου νατρίωσης των εδαφών που αρδεύονται με τα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τριλόφου με βάση τις τιμές του Na% των νερών άρδευσης	106
<b>Ιστόγραμμα 6.5.</b> Κατηγοριοποίηση του κινδύνου νατρίωσης των εδαφών που αρδεύονται με τα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τριλόφου με βάση τις τιμές του SAR των νερών άρδευσης	108
<b>Ιστόγραμμα 6.6.</b> Κατηγοριοποίηση του κινδύνου αντίδρασης των αρδευτικών νερών με βάση τις τιμές του pH των υπόγειων νερών του Δ.Δ. Τριλόφου	108
<b>Ιστόγραμμα 6.7.</b> Κατηγοριοποίηση των τιμών του λόγου προσρόφησης νατρίου (SAR) των εδαφών που αρδεύονταν επί σειρά ετών με τα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τριλόφου	112
<b>Ιστόγραμμα 6.8.</b> Κατηγοριοποίηση των τιμών αντίδρασης (pH) των εδαφών που αρδεύονταν επί σειρά ετών με τα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τριλόφου	112
<b>Ιστόγραμμα 6.9.</b> Κατηγοριοποίηση του κινδύνου τοξικής δράσης στα φυτά των ιόντων νατρίου με βάση τις τιμές του SAR των υπόγειων νερών του Δ.Δ. Τριλόφου όταν αρδεύονται με ροή	117
<b>Ιστόγραμμα 6.10.</b> Κατηγοριοποίηση του κινδύνου τοξικής δράσης στα φυτά των ιόντων νατρίου (Na) που περιέχονται στα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τριλόφου όταν αρδεύονται με καταποτισμό	117
<b>Ιστόγραμμα 6.11.</b> Κατηγοριοποίηση του κινδύνου τοξικής δράσης στα φυτά των συγκεντρώσεων χλωρίου (Cl) που περιέχονται στα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τριλόφου όταν αρδεύονται με ροή	120

<b>Ιστόγραμμα 6.12.</b> Κατηγοριοποίηση του κινδύνου τοξικής δράσης στα φυτά των συγκεντρώσεων χλωρίου (Cl) που περιέχονται στα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τριλόφου όταν αρδεύονται με καταιονισμό	<b>120</b>
<b>Ιστόγραμμα 6.13.</b> Κατηγοριοποίηση του κινδύνου τοξικής δράσης στα φυτά των συγκεντρώσεων βορίου (B) που περιέχονται στα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τριλόφου	<b>122</b>
<b>Ιστόγραμμα 6.14.</b> Κατηγοριοποίηση βαθμού επάρκειας συγκεντρώσεων βορίου (B) σε 19 αγρούς που αρδευόταν επί σειρά ετών με τα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τριλόφου	<b>124</b>
<b>Ιστόγραμμα 6.15.</b> Κατηγοριοποίηση του κινδύνου των συγκεντρώσεων αρσενικού (As) που περιέχονται στα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τριλόφου	<b>127</b>
<b>Ιστόγραμμα 6.16.</b> Κατηγοριοποίηση του κινδύνου των συγκεντρώσεων καδμίου (Cd) που περιέχονται στα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τριλόφου	<b>129</b>
<b>Ιστόγραμμα 6.17.</b> Κατηγοριοποίηση του κινδύνου των συγκεντρώσεων χρωμίου (Cr) που περιέχονται στα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τριλόφου	<b>129</b>
<b>Ιστόγραμμα 6.18.</b> Κατηγοριοποίηση του κινδύνου των συγκεντρώσεων χαλκού (Cu) που περιέχονται στα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τριλόφου	<b>130</b>
<b>Ιστόγραμμα 6.19.</b> Κατηγοριοποίηση του κινδύνου των συγκεντρώσεων σιδήρου (Fe) που περιέχονται στα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τριλόφου	<b>130</b>
<b>Ιστόγραμμα 6.20.</b> Κατηγοριοποίηση του κινδύνου των συγκεντρώσεων υδραργύρου (Hg) που περιέχονται στα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τριλόφου	<b>132</b>
<b>Ιστόγραμμα 6.21.</b> Κατηγοριοποίηση του κινδύνου των συγκεντρώσεων μαγγανίου (Mn) που περιέχονται στα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τριλόφου	<b>132</b>
<b>Ιστόγραμμα 6.22.</b> Κατηγοριοποίηση του κινδύνου των συγκεντρώσεων νικελίου (Ni) που περιέχονται στα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τριλόφου	<b>134</b>
<b>Ιστόγραμμα 6.23.</b> Κατηγοριοποίηση του κινδύνου των συγκεντρώσεων μολύβδου (Pb) που περιέχονται στα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τριλόφου	<b>134</b>
<b>Ιστόγραμμα 6.24.</b> Κατηγοριοποίηση του κινδύνου των συγκεντρώσεων ψευδαργύρου (Zn) που περιέχονται στα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τριλόφου	<b>135</b>
<b>Ιστόγραμμα 6.25.</b> Κατηγοριοποίηση του κινδύνου των συγκεντρώσεων αζώτου (Nt) που περιέχονται στα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τριλόφου	<b>137</b>
<b>Ιστόγραμμα 6.26.</b> Κατηγοριοποίηση του κινδύνου των συγκεντρώσεων όξινων ανθρακικών (HCO <sub>3</sub> ) που περιέχονται στα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τριλόφου	<b>138</b>

	<b>σελ.</b>
<b>Ιστόγραμμα 6.27.</b> Κατηγοριοποίηση του κινδύνου έμφραξης των σταλακτήρων με βάση τις τιμές του pH στα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τριλόφου	<b>141</b>
<b>Ιστόγραμμα 6.28.</b> Κατηγοριοποίηση του κινδύνου έμφραξης των σταλακτήρων με βάση τις συγκεντρώσεις των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) που περιέχονται στα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τριλόφου	<b>141</b>
<b>Ιστόγραμμα 6.29.</b> Κατηγοριοποίηση του κινδύνου έμφραξης των σταλακτήρων με βάση το δείκτη κορεσμού του Langelier (LSI) των υπόγειων νερών του Δ.Δ. Τριλόφου	<b>143</b>
<b>Ιστόγραμμα 6.30.</b> Κατηγοριοποίηση του κινδύνου έμφραξης των σταλακτήρων με βάση τις συγκεντρώσεις σιδήρου (Fe) που περιέχονται στα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τριλόφου	<b>143</b>
<b>Ιστόγραμμα 6.31.</b> Κατηγοριοποίηση του κινδύνου έμφραξης των σταλακτήρων με βάση τις συγκεντρώσεις μαγγανίου (Mn) που περιέχονται στα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τριλόφου	<b>145</b>

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΕΣ ΟΘΟΝΕΣ

	σελ.
<b>Οθόνη 7.1.</b> Οθόνη εισόδου αποτελεσμάτων χημικών και μικροβιολογικών αναλύσεων στο λογισμικό Λ.Α.Κ.Α.Ν.	<b>150</b>
<b>Οθόνη 7.2.</b> Οθόνη εισόδου αποτελεσμάτων μικροβιολογικών και χημικών αναλύσεων στο λογισμικό Λ.Α.Κ.Α.Ν. στην περίπτωση των επεξεργασμένων αστικών λυμάτων	<b>151</b>
<b>Οθόνη 7.3.</b> Οθόνη αξιολόγησης κινδύνου αλατότητας, μείωσης της διηθητικότητας και νατρίωσης του εδάφους με το λογισμικό Λ.Α.Κ.Α.Ν.	<b>152</b>
<b>Οθόνη 7.4.</b> Οθόνη αξιολόγησης κινδύνου τοξικής δράσης ορισμένων στοιχείων του αρδευτικού νερού στα φυτά σύμφωνα με το λογισμικό Λ.Α.Κ.Α.Ν.	<b>153</b>
<b>Οθόνη 7.5.</b> Οθόνη αξιολόγησης κινδύνου τοξικής δράσης ορισμένων στοιχείων του αρδευτικού νερού στα φυτά και λοιπών κινδύνων με το λογισμικό Λ.Α.Κ.Α.Ν.	<b>154</b>
<b>Οθόνη 7.6.</b> Οθόνη αξιολόγησης κινδύνου έμφραξης των σταλακτήρων της στάγδην άρδευσης και υπολογισμού της προσθήκης μακροστοιχείων στο έδαφος με τη χρήση του αρδευτικού νερού με το λογισμικό Λ.Α.Κ.Α.Ν.	<b>155</b>
<b>Οθόνη 8.1.</b> Εντολές για την επίλυση του προβλήματος μεγιστοποίησης του ποιοτικού δείκτη W.Q.I. με το λογισμικό Mathematica και τα αποτελέσματα της λύσης	<b>161</b>
<b>Οθόνη 8.2.</b> Εντολές για την επίλυση του προβλήματος μεγιστοποίησης του ποιοτικού δείκτη W.Q.I. με το λογισμικό Mathematica και τα αποτελέσματα της λύσης	<b>163</b>
<b>Οθόνη 8.3.</b> Εντολές για την επίλυση του προβλήματος μεγιστοποίησης του ποιοτικού δείκτη W.Q.I. με το λογισμικό Mathematica και τα αποτελέσματα της λύσης	<b>163</b>

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ

	σελ.
<b>Πίνακας 1.1.</b> Μέσες μηνιαίες τιμές κλιματικών παραμέτρων την 20ετία 1961-1980	<b>8</b>
<b>Πίνακας 1.2.</b> Εκτάσεις (στρμ.) γεωργικών καλλιεργειών ανά είδος στο Δ.Δ. Τριλόφου το έτος 2016	<b>10</b>
<b>Πίνακας 1.3.</b> Εκτάσεις (στρμ.) γεωργικών καλλιεργειών ανά είδος στο Δ.Δ. Τριλόφου το έτος 2016	<b>10</b>
<b>Πίνακας 1.4.</b> Εκτάσεις (στρ.) γεωργικών καλλιεργειών ανά είδος στο Δ.Δ. Τριλόφου το έτος 2016	<b>10</b>
<b>Πίνακας 1.5.</b> Στοιχεία 17 αρδευτικών γεωτρήσεων στο Δημοτικό Διαμέρισμα Τριλόφου του Δήμου Θέρμης	<b>21</b>
<b>Πίνακας 1.5α.</b> Στοιχεία 17 αρδευτικών γεωτρήσεων στο Δημοτικό Διαμέρισμα Τριλόφου του Δήμου Θέρμης	<b>22</b>
<b>Πίνακας 3.1.</b> Αντιστοιχία οσμωτικής πίεσης εδαφοδιαλύματος και τιμής απορρόφησης νερού από το ριζικό σύστημα του καλαμποκιού	<b>42</b>
<b>Πίνακας 4.1.</b> Επιτρεπτά όρια για την ποιοτική κατάταξη του αρδευτικού νερού	<b>44</b>
<b>Πίνακας 4.2.</b> Επιτρεπτά όρια RSC για την ποιοτική κατάταξη του αρδευτικού νερού	<b>45</b>
<b>Πίνακας 4.3.</b> Ποιοτική κατάταξη αρδευτικών νερών κατά Wilcox-Magistad	<b>45</b>
<b>Πίνακας 4.4.</b> Ποιοτική κατάταξη των αρδευτικών νερών σε σχέση με την περιεκτικότητά τους σε βόριο και με την ευπάθεια των καλλιεργειών στο στοιχείο αυτό	<b>51</b>
<b>Πίνακας 4.5.</b> Διαλυτότητα των αλάτων στο νερό	<b>51</b>
<b>Πίνακας 4.6.</b> Ταξινόμηση των αρδευτικών νερών ανάλογα με τη δυνατότητα δημιουργίας αλατότητας στο έδαφος	<b>52</b>
<b>Πίνακας 4.7.</b> Ποιοτική κατάταξη των αρδευτικών νερών σε σχέση με την περιεκτικότητά τους σε βόριο	<b>55</b>
<b>Πίνακας 4.8.</b> Εκτίμηση της ποιότητας των αρδευτικών νερών κατά Christiansen et al.	<b>56</b>
<b>Πίνακας 4.9.</b> Κριτήρια ποιοτικής κατάταξης των αρδευτικών νερών κατά Ayers–Westcot	<b>57</b>
<b>Πίνακας 4.10.</b> Προβλεπόμενη μείωση της παραγωγής σε σχέση με την αλατότητα του αρδευτικού νερού (EC <sub>w</sub> ) και του εδάφους (EC <sub>e</sub> )	<b>62</b>
<b>Πίνακας 4.11.</b> Σχετική ανθεκτικότητα ορισμένων φυτών στην αλατότητα	<b>65</b>



<b>Πίνακας 4.12.</b>	Σχετική ανθεκτικότητα ορισμένων καλλιεργειών στην περίοδο του φυτρώματος	<b>68</b>
<b>Πίνακας 4.13.</b>	Όρια αλατότητας πέρα από τα οποία εμφανίζονται ζημιές στα φύλλα και μείωση της παραγωγής από τον καταιονισμό και την εδαφική αλατότητα	<b>69</b>
<b>Πίνακας 4.14.</b>	Γενική κατάταξη των νερών άρδευσης σε σχέση με την τιμή του SAR	<b>69</b>
<b>Πίνακας 4.15.</b>	Αντοχή των καλλιεργειών στο ποσοστό ανταλλάξιμου νατρίου (ESP) κάτω από μη αλατούχες συνθήκες	<b>73</b>
<b>Πίνακας 4.16.</b>	Ανθεκτικότητα ορισμένων φυτών στο ESP	<b>73</b>
<b>Πίνακας 4.17.</b>	Ανθεκτικότητα ορισμένων φυτών σε ζημιές της φυλλικής επιφάνειας κατά την εφαρμογή άρδευσης με καταιονισμό ανάλογα με τη συγκέντρωση Na ή Cl στο νερό άρδευσης	<b>75</b>
<b>Πίνακας 4.18.</b>	Ανθεκτικότητα αγροτικών καλλιεργειών στο βόριο	<b>77</b>
<b>Πίνακας 4.19.</b>	Συνιστώμενες μέγιστες συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων στο αρδευτικό νερό για συνεχή χρήση	<b>79</b>
<b>Πίνακας 4.20.</b>	Μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων σε νερά που χρησιμοποιούνται συνεχώς ή για χρονικό διάστημα μικρότερο από 20 χρόνια	<b>81</b>
<b>Πίνακας 4.21.</b>	Οριακές τιμές ποιοτικών παραμέτρων νερού	<b>82</b>
<b>Πίνακας 4.22.</b>	Συντελεστές βαρύτητας των διαφόρων παραμέτρων	<b>83</b>
<b>Πίνακας 4.23.</b>	Χαρακτηριστικές κατηγορίες και συστάσεις διαχείρισης με βάση το δείκτη ποιότητας νερού W.Q.I.	<b>84</b>
<b>Πίνακας 4.24.</b>	Καταλληλότητα συστημάτων άρδευσης και προϋποθέσεις χρησιμοποίησής τους	<b>86</b>
<b>Πίνακας 4.25.</b>	Εκτίμηση της καταλληλότητας τεσσάρων μεθόδων άρδευσης όταν χρησιμοποιούνται υφάλμυρα νερά	<b>88</b>
<b>Πίνακας 4.26.</b>	Πιθανοί κίνδυνοι έμφραξης σταλακτήρων στην άρδευση με σταγόνες	<b>89</b>
<b>Πίνακας 5.1.</b>	Μέθοδοι χημικών αναλύσεων εδαφών	<b>91</b>
<b>Πίνακας 5.2.</b>	Μέθοδοι χημικών αναλύσεων αρδευτικών νερών	<b>92</b>
<b>Πίνακας 6.1.</b>	Τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC <sub>w</sub> ) σε δείγματα νερών 17 αρδευτικών γεωτρήσεων του Δ.Δ. Τριλόφου	<b>94</b>
<b>Πίνακας 6.2.</b>	Τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC <sub>s</sub> ) σε σύνθετα δείγματα εδάφους 19 αγροτεμαχίων που αρδεύονται με τα νερά των γεωτρήσεων του Δ.Δ. Τριλόφου	<b>101</b>

<b>Πίνακας 6.3.</b>	Τιμές παραμέτρων RSC, Na%, SAR και pH στα δείγματα νερών 17 αρδευτικών γεωτρήσεων του Δ.Δ. Τριλόφου	<b>103</b>
<b>Πίνακας 6.4.</b>	Τιμές λόγου προσρόφησης νατρίου (SAR) και αντίδρασης (pH) σε σύνθετα δείγματα εδάφους 19 αγροτεμαχίων που αρδεύονται με τα νερά των γεωτρήσεων του Δ.Δ. Τριλόφου	<b>111</b>
<b>Πίνακας 6.5.</b>	Τιμές παραμέτρων Na, Cl και B στα δείγματα νερών 17 αρδευτικών γεωτρήσεων του Δ.Δ. Τριλόφου	<b>116</b>
<b>Πίνακας 6.6.</b>	Τιμές συγκεντρώσεων βορίου (B) σε σύνθετα δείγματα εδάφους 19 αγροτεμαχίων που αρδεύονται με τα νερά των γεωτρήσεων του Δ.Δ. Τριλόφου	<b>122</b>
<b>Πίνακας 6.7.</b>	Τιμές συγκεντρώσεων ιχνοστοιχείων As, Cd και Cr στα δείγματα νερών 17 αρδευτικών γεωτρήσεων του Δ.Δ. Τριλόφου	<b>126</b>
<b>Πίνακας 6.8.</b>	Τιμές συγκεντρώσεων ιχνοστοιχείων Cu, Fe και Hg στα δείγματα νερών 17 αρδευτικών γεωτρήσεων του Δ.Δ. Τριλόφου	<b>126</b>
<b>Πίνακας 6.9.</b>	Τιμές ιχνοστοιχείων Mn, Ni, Pb και Zn στα δείγματα νερών 17 αρδευτικών γεωτρήσεων του Δ.Δ. Τριλόφου	<b>127</b>
<b>Πίνακας 6.10.</b>	Συγκεντρώσεις Nt και HCO <sub>3</sub> στα δείγματα νερών 17 αρδευτικών γεωτρήσεων του Δ.Δ. Τριλόφου	<b>135</b>
<b>Πίνακας 6.11.</b>	Τιμές TDS και LSI στα δείγματα νερών 17 αρδευτικών γεωτρήσεων του Δ.Δ. Τριλόφου	<b>136</b>
<b>Πίνακας 6.12.</b>	Σύγκριση τιμών W.Q.I. υπολογισμένων με χρήση πινάκων και την εξίσωση 6.1	<b>146</b>
<b>Πίνακας 7.1.</b>	Παράμετροι εισόδου στο λογισμικό Λ.Α.Κ.Α.Ν. για τη διερεύνηση της καταλληλότητας του αρδευτικού νερού	<b>148</b>
<b>Πίνακας 7.2.</b>	Πρόσθετες παράμετροι εισόδου στο λογισμικό Λ.Α.Κ.Α.Ν. για τη διερεύνηση της καταλληλότητας των Ε.Α.Λ. ως αρδευτικό νερό	<b>149</b>
<b>Πίνακας 8.1.</b>	Ποιοτικά χαρακτηριστικά των γεωτρήσεων στη Νότια περιοχή του Δ.Δ. Τριλόφου	<b>158</b>
<b>Πίνακας 8.2.</b>	Προσφερόμενες παροχές Qi-opt των γεωτρήσεων για τη βελτιστοποίηση του δείκτη W.Q.I. όταν η απαιτούμενη παροχή $Q_{\max} = 325 \text{ m}^3/\text{h}$	<b>162</b>
<b>Πίνακας 8.3.</b>	Προσφερόμενες παροχές Qi-opt των γεωτρήσεων για τη βελτιστοποίηση του δείκτη W.Q.I. όταν η απαιτούμενη παροχή $Q_{\max} = 216.7 \text{ m}^3/\text{h}$	<b>163</b>
<b>Πίνακας 8.4.</b>	Προσφερόμενες παροχές Qi-opt των γεωτρήσεων για τη βελτιστοποίηση του δείκτη W.Q.I. όταν η απαιτούμενη παροχή $Q_{\max} = 162.5 \text{ m}^3/\text{h}$	<b>164</b>

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΙ ΧΑΡΤΕΣ

	<b>σελ.</b>
<b>Χάρτης 1.1.</b> Θέση Δ.Δ. Τριλόφου στο Νομό Θεσσαλονίκης	<b>7</b>
<b>Χάρτης 1.2.</b> Θέση Δημοτικής Ενότητας Μίκρας του Δήμου Θέρμης στο Νομό Θεσσαλονίκης	<b>7</b>
<b>Χάρτης 1.3.</b> Εδαφολογικός χάρτης της Ελλάδας	<b>12</b>
<b>Χάρτης 1.4.</b> Εδαφολογικός χάρτης της Ελλάδας	<b>13</b>
<b>Χάρτης 1.5.</b> Λ.Α.Π. Χαλκιδικής του Υ.Δ. Κεντρικής Μακεδονίας (GR10)	<b>16</b>
<b>Χάρτης 1.6.</b> Υπόγεια υδάτινα συστήματα της ευρύτερης περιοχής	<b>17</b>
<b>Χάρτης 1.7.</b> Ποσοτική κατάσταση υπόγειων υδάτινων συστημάτων της ευρύτερης περιοχής	<b>18</b>
<b>Χάρτης 1.8.</b> Ποιοτική κατάσταση υπόγειων υδάτινων συστημάτων της ευρύτερης περιοχής	<b>18</b>
<b>Χάρτης 1.9.</b> Θέσεις αρδευτικών γεωτρήσεων στο αγρόκτημα Τριλόφου	<b>19</b>
<b>Χάρτης 1.10.</b> Θέσεις αρδευτικών γεωτρήσεων στο βορεινό τμήμα του αγροκτήματος Τριλόφου	<b>20</b>
<b>Χάρτης 1.11.</b> Θέσεις αρδευτικών γεωτρήσεων στο νοτιοδυτικό τμήμα του αγροκτήματος Τριλόφου	<b>20</b>
<b>Χάρτης 2.1.</b> Γεωτεκτονικό σχήμα των Ελληνίδων ζωνών	<b>25</b>
<b>Χάρτης 2.2.</b> Απόσπασμα σεισμοτεκτονικού χάρτη	<b>26</b>

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

**dS/m** = deciSiemens/meter = mmho/cm

**E.Ce** (dS/m) = Electrical Conductivity of Soil = Ηλεκτρική Αγωγιμότητα Εκχυλίσματος Πάστας Κορεσμού

**E.Cs** (dS/m) = Electrical Conductivity of Soil = Ηλεκτρική Αγωγιμότητα Εκχυλίσματος Πάστας Κορεσμού

**E.Cw** (dS/m) = Electrical Conductivity of Water = Ηλεκτρική Αγωγιμότητα Νερού

**E.S.P.** = Exchangable Sodium Percent = Ποσοστό Εναλλακτικού νατρίου

**Λ.Α.Κ.Α.Ν.** = Λογισμικό Αξιολόγησης Καταλληλότητας Αρδευτικού Νερού

**L.Rs** = Leaching Requirement of Soil = Συντελεστής Έκπλυσης Εδάφους

**L.SI<sub>50</sub>** = Langelier Saturation Index = Δείκτης Κορεσμού Langelier για 50°C

**mmho/cm** = millimho/centimeter

**μmho/cm** = micromho/centimeter

**R.S.C.** (mg/l) = Residual Sodium Carbonate = Υπολειμματικό Ανθρακικό Νάτριο

**S.A.R.** (meq/l)<sup>0.5</sup> = Sodium Adsorption Ratio = Λόγος προσρόφησης Νατρίου

**T.D.S.** (mg/l) = Total Dissolved Solids = Ολικά Διαλυμένα Στερεά

**W.Q.I.** = Water Quality Index = Δείκτης Ποιότητας Νερού

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το νερό αποτελεί καθοριστική παράμετρο για τη στήριξη της ζωής και την ανάπτυξη της κοινωνικο-οικονομικής δραστηριότητας καταλαμβάνοντας το 70% περίπου του πλανήτη, όσο δηλαδή και το ποσοστό του νερού στο ανθρώπινο σώμα. Σύμφωνα με παλαιότερες εκτιμήσεις, που ωστόσο δεν έχουν ανατραπεί (Ward & Robinson, 1990), περίπου 0,5% του νερού του πλανήτη είναι γλυκό, ενώ το πραγματικά διαθέσιμο για την κάλυψη κάθε δραστηριότητας του ανθρώπου και τη στήριξη του βιοτικού περιβάλλοντος ανέρχεται στο ποσοστό του 0,3%. Το νερό αυτό είναι διαθέσιμο σε λίμνες και ποτάμια (επιφανειακά νερά) ή σε υδροφόρους ορίζοντες (υπόγεια νερά). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι δεν έχει ληφθεί υπόψη η ποιοτική υποβάθμιση των υδατικών πόρων που σε πολλές περιπτώσεις καθιστά σημαντικό ποσοστό του γλυκού νερού απαγορευτικό για μια σειρά χρήσεων (F.A.O., 2011). Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι σε κλίμακα πλανήτη οι διαθέσιμες ποσότητες γλυκού νερού είναι πολύ περιορισμένες και εντοπισμένες μόνο σε μια μικρή έκταση του πλανήτη.

Δυστυχώς όμως τα παγκόσμια αποθέματα νερού καλής ποιότητας άρχισαν να μειώνονται ανησυχητικά για μία σειρά από λόγους (Rossi et al., 2003, Fedoroff, 2011, Chartzoulakis & Bertaki, 2015). Στην όξυνση αυτού του προβλήματος συνέβαλλαν και συνεχίζουν να συμβάλλουν τόσο τα φυσικά αίτια (άνυδρη κατάσταση, ξηρασία) όσο και οι ανθρωπογενείς δράσεις (αστική, γεωργική, βιομηχανική χρήση) όπως αναφέρουν οι Goosen & Shayya (2001), I.P.C.C. (2001), Gleick (2002), Yermiyahu et al. (2007), Awasthi & Awasthi (2016). Ο Shiklomanov (2000) εκτιμά ότι σε παγκόσμιο επίπεδο το έτος 2025 η αρδευόμενη γη θα είναι  $329 \cdot 10^6$  ha, η δε κατανάλωση νερού για γεωργική χρήση θα προσεγγίσει τα  $3.189 \text{ km}^3/\text{έτος}$ .

Η 4η έκθεση της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Αλλαγή του Κλίματος (Alcamo et al., 2007) επιβεβαιώνει τη διεύρυνση των διαφορών ως προς τους υδατικούς πόρους μεταξύ της βόρειας και της νότιας Ευρώπης. Έτσι, ενώ στην βόρεια Ευρώπη προβλέπεται από μικρή έως σημαντική αύξηση των βροχοπτώσεων, στη νότια Ευρώπη η εικόνα είναι εντελώς διαφορετική, αφού προβλέπεται μείωση των βροχοπτώσεων, η οποία σύμφωνα με το δυσμενέστερο σενάριο και ειδικότερα για την περιοχή της Μεσογείου μπορεί να ξεπεράσει σε ετήσια βάση ακόμα και το 30%. Σύμφωνα με τους Philandras et al. (2011), η ετήσια βροχόπτωση στην περιοχή της Μεσογείου για την περίοδο 2071-2100 είναι πολύ πιθανό να μειωθεί κατά 20%. Αντίστοιχες τάσεις

υποδεικνύονται και από τη μελέτη των Giorgi & Lionello (2008), σύμφωνα με τα αποτελέσματα της οποίας οι βροχοπτώσεις για το νότιο τμήμα της Μεσογείου είναι πιθανό να μειωθούν έως και 40%, ενώ στο βόρειο τμήμα δεν προσομοιώθηκαν μεταβολές.

Οι Διεθνείς Οργανισμοί F.A.O., U.N.E.S.C.O., O.E.C.D. αλλά και η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θεσπίσει σειρά νομοθετικών μέτρων υπό μορφή Οδηγιών που στοχεύουν αφενός στην ορθή διαχείριση των υδατικών πόρων και αφετέρου στην προστασία και αποκατάστασή τους. Μεταξύ των Οδηγιών αυτών αναφέρονται η Οδηγία Πλαίσιο για τα Νερά 2000/60/E.E. (E.E., 2000), η Θυγατρική Οδηγία για τα Υπόγεια Νερά 2006/118/E.E. (E.E., 2006) καθώς και η Οδηγία για τη Νιτρορρύπανση των Υπόγειων Νερών Γεωργικής Προέλευσης 1991/676/E.O.K. (E.O.K., 1991). Σε αυτές τις βασικές Οδηγίες, θα πρέπει να προστεθούν τα εργαλεία της χώρας μας προς την κατεύθυνση της εναρμόνισης των κοινοτικών με την εθνική νομοθεσία, όπως είναι ο Νόμος 3199 (2003) και το Π.Δ. 51 (2007). Πρόσφατα, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή αναγνωρίζοντας τη συνέργεια μεταξύ αγροτικής παραγωγής και προστασίας των υπόγειων υδατικών πόρων, ανέπτυξε στο πλαίσιο της νέας Κ.Α.Π. πολιτικές για την ανάπτυξη και λήψη μέτρων ορθών γεωργικών πρακτικών με σκοπό την προστασία των υπόγειων νερών από την ρύπανση που έχει ως προέλευση τις αγροτικές δραστηριότητες.

Ωστόσο δεν είναι μόνο η ποσότητα των βροχοπτώσεων που σηματοδοτεί τάσεις σημαντικής μεταβολής, αλλά και η κατανομή των βροχοπτώσεων μέσα στο έτος. Αναλυτικότερα, η πλειονότητα των μελετών υποδεικνύουν σημαντικότερη μείωση κατά την ξηρά περίοδο του καλοκαιριού. Σύμφωνα με τους Giorgi & Lionello (2008), η μείωση της καλοκαιρινής βροχόπτωσης στη Μεσόγειο έως τα τέλη του αιώνα θα κυμανθεί από 25 έως 30%. Ωστόσο σε ορισμένες περιοχές η μείωση αυτή ενδέχεται να φτάσει το 50%. Επιπρόσθετα, για το μεγαλύτερο τμήμα της Μεσογείου αναμένεται αύξηση της διάρκειας των ξηρών διαστημάτων. Η υψηλή πιθανότητα αύξησης των γεγονότων ξηρασίας τις επόμενες δεκαετίες έχει τεκμηριωθεί από διάφορες έρευνες (Baettig et al., 2007, Goubanova & Li, 2007, Giorgi & Coppola, 2009). Άλλος ένας παράγοντας ο οποίος πρέπει να ληφθεί υπόψη, ως προς τη μεταβολή της κατανομής των βροχοπτώσεων στη Μεσόγειο, είναι το γεγονός ότι παρά τη μείωση της βροχόπτωσης, η συχνότητα και η ένταση των ακραίων γεγονότων βροχόπτωσης προβλέπεται να παρουσιάσει αυξητική τάση. Σύμφωνα με τους Giorgi & Lionello (2008), η καλοκαιρινή βροχόπτωση ενδέχεται να παρουσιάσει μειωτική τάση τις

επόμενες δεκαετίες, αλλά η ένταση των γεγονότων βροχόπτωσης δεν αναμένεται να μειωθεί.

Ένα από τα φαινόμενα, που έχει ήδη προβληματίσει την ανθρωπότητα τις τελευταίες δεκαετίες και σχετίζεται με τη σημαντική υποβάθμιση του εδάφους, είναι αυτό της ερημοποίησης, το οποίο παρουσιάζεται πιο έντονο σε ημίξηρες ή ξηρές περιοχές, όπως αυτές που απαντώνται σε ένα σημαντικό τμήμα της Μεσογείου. Η ένταση και η έκταση της ερημοποίησης αναμένεται να ενταθούν τις επόμενες δεκαετίες στις ημίξηρες και ξηρές περιοχές, εξαιτίας και της κλιματικής αλλαγής (Kumar et al., 2012). Η Μεσόγειος συμπεριλαμβάνεται στις πιο ευάλωτες περιοχές της υφελίου ως προς την ερημοποίηση. Είναι προφανές ότι καθώς κατευθυνόμαστε νοτιότερα, η ευαισθησία στην ερημοποίηση αυξάνεται. Από τις διεργασίες αυτές, η διάβρωση και η αλάτωση των εδαφών είναι αυτές που συμβάλλουν περισσότερο στο φαινόμενο της ερημοποίησης στις ημίξηρες και ξηρές περιοχές της Μεσογείου (Kosmas et al., 2002).

Μέχρι το τέλος του 21ου αιώνα αναμένεται μείωση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων (βροχή, χιόνι, χαλάζι, αχλή) από 5 έως 19% και ταυτόχρονη αύξηση της θερμοκρασίας από 3 έως 4.5<sup>0</sup>C (Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής, 2011). Παράλληλα, αναμένεται αύξηση των πλημμυρικών επεισοδίων καθώς επίσης και των περιόδων ξηρασίας (Ducharne, 2010, Panagoroulos et al., 2014). Επίσης, οι Panagoroulos et al. (2016) εκτιμούν για τη Χώρα μας ότι ποσοστό μεγαλύτερο από 80% γλυκού νερού καταναλώνεται στις αγροτικές δραστηριότητες, ενώ στις μεγάλες πεδιάδες το ποσοστό αυτό υπερβαίνει το 85%. Δε θα ήταν υπερβολή να λεχθεί ότι το 70% περίπου του συνόλου της ζήτησης νερού από τη γεωργία επικεντρώνεται στους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο (Παπαζαφειρίου κ.ά., 2000) και ότι η Ελληνική γεωργία καταναλώνει περισσότερο από το 88% των απολήψεων της χώρας (Strasser et al., 1999, Karamanos et al., 2005).

Η ποσοτική μείωση των υδατικών πόρων συχνά οδηγεί και στην ποιοτική υποβάθμιση αυτών (Grattan & Rhoades, 1990, Hanson et al., 1996, Sarwar & Bastianssen, 2001, Grattan, 2002, Pereira et al., 2002, Pereira, 2005). Η χρήση των νερών κακής ποιότητας στη γεωργία έχει επιπτώσεις στο έδαφος, στα φυτά και στον άνθρωπο δημιουργώντας τόσο βραχυπρόθεσμα όσο και μακροπρόθεσμα προβλήματα (Pla Sentis, 2005, Awasthi & Awasthi, 2016).

Η αναμενόμενη αυξητική τάση μείωσης των υδατικών αποθεμάτων παγκοσμίως, καθιστά επιτακτική ανάγκη την ορθολογική χρήση των νερών καλής ποιότητας που

διατίθενται για την αγροτική παραγωγή αλλά και στην αξιοποίηση νερών υποβαθμισμένης ποιότητας όπως υφάλμυρα νερά, επεξεργασμένα αστικά λύματα κλπ. Απαραίτητη όμως προϋπόθεση για την εφαρμογή των ανωτέρω ορθών πρακτικών είναι ο έλεγχος της καταλληλότητας του νερού για άρδευση και η γνώση των προϋποθέσεων εφαρμογής του στους αγρούς. Με τις ενέργειες αυτές, προστατεύονται τα καλλιεργούμενα εδάφη, τα φυτά και οι άνθρωποι από ανεπιθύμητες συνέπειες (Cooley et al., 2009).

Ακόμη και νερά υποβαθμισμένης ποιότητας μπορούν με κατάλληλη διαχείριση, να χρησιμοποιηθούν από τους γεωργούς χωρίς να δημιουργηθούν ιδιαίτερα προβλήματα σε εδάφη και φυτά (Maas, 1990, Meiri et al., 1992, Pereira et al., 2002, Li et al., 2001, DeMalach et al., 2002, Bustan et al., 2004, Maggio et al., 2004, Feitosa et al., 2005, Kaman et al., 2006, Blanco et al., 2008, Magan et al., 2008, Nagaz et al., 2008, Rosema & Flowers, 2008, Kahlaoui et al., 2011a,b, Ladeiro, 2012, Baath et al., 2016, Boari et al., 2016, Lamont, 2016).

Για την αξιολόγηση της ποιότητας του αρδευτικού νερού εξετάζονται συγκεκριμένες παράμετροι που προκύπτουν από χημικές και μικροβιολογικές αναλύσεις, σε συνδυασμό με τις υφιστάμενες εδαφοκλιματικές συνθήκες, το είδος της φυτικής κάλυψης και τις πρακτικές διαχείρισης του νερού αυτού (Ayers & Westcot, 1976, Ayers, 1977, Christiansen et al., 1977, Ayers & Westcot, 1985, Kandiah, 1990b, Hergert & Knudsen, 1997, Πανώρας & Ηλίας, 1999, Katerji et al., 2001, Bruton, 2011, Bauder et al., 2014, Bhat et al., 2014, 2016).

Σκοπός της διατριβής αυτής είναι η εκτίμηση της ποιοτικής κατάστασης των υπόγειων νερών του Δ.Δ. Τριλόφου και πιο συγκεκριμένα η διερεύνηση της καταλληλότητας του υπόγειου υδατικού δυναμικού της περιοχής για άρδευση καλλιεργειών αναδεικνύοντας πιθανούς κινδύνους για το σύστημα έδαφος, φυτά, σύστημα άρδευσης, ενώ ταυτόχρονα προτείνονται τρόποι αντιμετώπισης των κινδύνων αυτών.

Επειδή η λεπτομερής αξιολόγηση της ποιότητας του αρδευτικού νερού είναι μια χρονοβόρα και κοπιαστική διαδικασία, στην παρούσα διατριβή αναπτύχθηκε σχετικό λογισμικό με το ακρωνύμιο Λ.Α.Κ.Α.Ν. (Λογισμικό Αξιολόγησης της Καταλληλότητας των Αρδευτικών Νερών) προκειμένου να απλοποιείται και να επιταχύνεται η αξιολόγηση μιας οποιασδήποτε πηγής νερού συμπεριλαμβανομένων των επεξεργασμένων αστικών λυμάτων.



Εκτός από την αναλυτική διαδικασία αξιολόγησης, έχουν επινοηθεί διεθνώς διάφοροι ποιοτικοί δείκτες κατάταξης του αρδευτικού νερού οι οποίοι βασίζονται σε επιλεγμένο αριθμό παραμέτρων και αποδίδουν μια γενική εικόνα ως προς το βαθμό καταλληλότητάς τους. Ένας από αυτούς είναι και ο δείκτης ποιότητας W.Q.I. κατά τους Meireles et al., 2010, ο υπολογισμός του οποίου ενσωματώθηκε στο λογισμικό Λ.Α.Κ.Α.Ν. Για την περαιτέρω απλοποίηση της διαδικασίας υπολογισμού του δείκτη W.Q.I., προτείνεται η χρήση μιας εξίσωσης που παρουσιάζει εξαιρετικά υψηλό βαθμό ακρίβειας και προέκυψε έπειτα από ανάλυση πολλαπλής παλινδρόμησης.

Τέλος, με τη βοήθεια του Γραμμικού προγραμματισμού, εξετάστηκε η δυνατότητα ανάμειξης υποβαθμισμένης ποιότητας νερού με καλύτερης ποιότητας γειτονικών γεωτρήσεων, αποσκοπώντας στη βελτίωση των χαρακτηριστικών του αρδευτικού νερού. Με τον τρόπο αυτό αξιοποιείται υδατικό δυναμικό που διαφορετικά δεν θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί λόγω ακαταλληλότητας και επιπλέον δίνεται η δυνατότητα επέκτασης των αρδευόμενων εκτάσεων.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

## 1.1. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ

Μέχρι το 1927 ο Τρίλοφος είχε την ονομασία Ζουμπάτ ή Ζουμπάτες ή Σπάτες. Πρώτη αναφορά του Τριλόφου με το παλιό όνομα γίνεται το 1240 σε αγιορείτικο έγγραφο. Η κατοίκησή του συνεχίστηκε αδιάκοπα σε όλη τη διάρκεια της τουρκοκρατίας. Το χωριό ανήκε διοικητικά στο ναχιγιέ (Δήμο) της Καλαμαριάς και ειδικότερα στο χάσι (μεγάλη έκταση) του Λόγγου (Ανώνυμος, 2010). Η σημερινή ονομασία Τρίλοφος προέρχεται από το γεγονός ότι το χωριό είναι κτισμένο πάνω σε τρεις λόφους: το Κοτρώνι ανατολικά, τον Προφήτη Ηλία νότια και την Τούμπα ή Συγκουνά δυτικά.

Ο οικισμός του Τριλόφου παρουσιάζει έντονη οικιστική ανάπτυξη εντός και πέρα των ορίων του, ενώ στην ευρύτερη περιοχή του αγροκτήματος κυριαρχεί η γεωργική δραστηριότητα. Συνορεύει βόρεια με το αγρόκτημα Πλαγιαρίου, νότια με το αγρόκτημα Επανομής και Μεσημερίου, ανατολικά με τα αγροκτήματα Καρδίας, Νέου Ρυσίου και με τον οικιστικό θύλακα του Άνω Σχολαρίου, ενώ δυτικά συνορεύει με τα αγροκτήματα Πλαγιαρίου, Επανομής και Περαίας.

Το Δημοτικό Διαμέρισμα (Δ.Δ.) Τριλόφου βρίσκεται 25 km νοτιοανατολικά του κέντρου της Θεσσαλονίκης, 6 km ανατολικά του Θερμαϊκού κόλπου και 11 km βορειοανατολικά της παραλίας της Επανομής (Χάρτης 1.1). Ανήκει στο Δήμο Θέρμης και είναι έδρα της Δημοτικής Ενότητας (Δ.Ε.) Μίκρας που περιλαμβάνει τα Δ.Δ. Πλαγιαρίου, Τριλόφου και Καρδίας και την Τοπική Κοινότητα Κάτω Σχολαρίου (Χάρτης 1.2). Η Δ.Ε. Μίκρας καταλαμβάνει έκταση 80.827 km<sup>2</sup>, ενώ το μέσο σταθμικό επίπεδο των Δ.Δ. είναι 170 m από τη θάλασσα και το ψηλότερο σημείο είναι στα 223 m.

## 1.2. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ

Το Δ.Δ. Τριλόφου μέχρι το 2010 ήταν μία από τις 4 κοινότητες (Τρίλοφος, Πλαγιάρι, Καρδία, Κάτω Σχολάρι) που αποτελούσαν το Δήμο Μίκρας σύμφωνα με το Πρόγραμμα Καποδίστριας (Νόμος 2539, 1997). Το έτος 2010 με το Πρόγραμμα Καλλικράτης (Νόμος 3852, 2010) εντάχθηκε στο Δήμο Θέρμης, ως Δημοτική Ενότητα Μίκρας.

Από τις αρχές της δεκαετίας 2000-2010 η Δ.Ε. Μίκρας και ιδιαίτερα το Δ.Δ. Τριλόφου αναπτύχθηκε οικιστικά με ταχείς ρυθμούς, αφού βρίσκεται πολύ κοντά στην πόλη της Θεσσαλονίκης (25 km από το κέντρο της). Ο πληθυσμός της Δ.Ε. Μίκρας τα έτη 2001

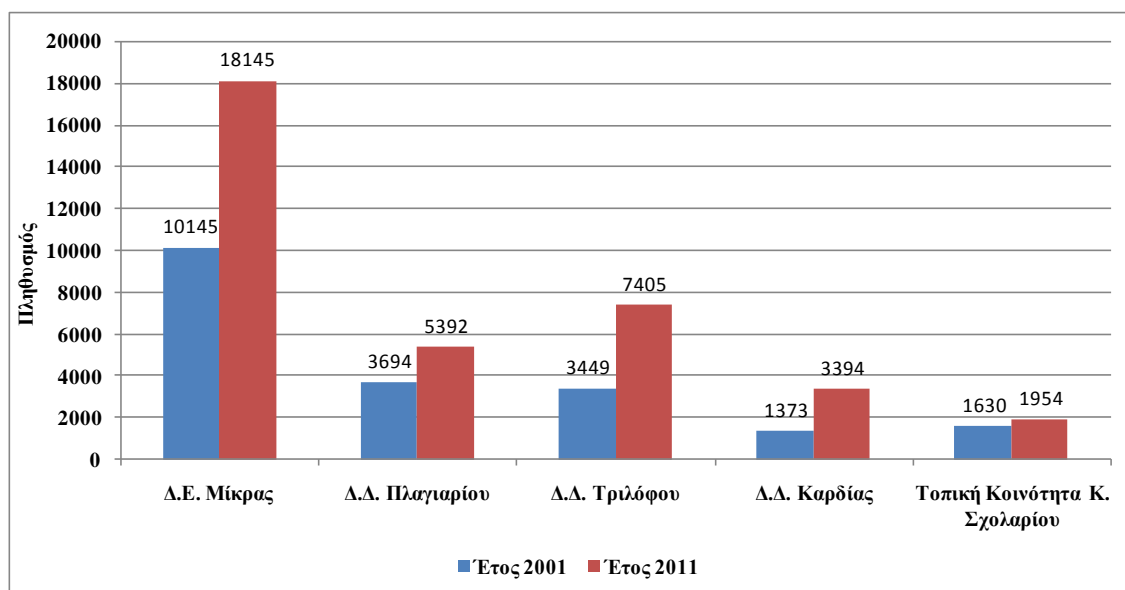
και 2011 ήταν 10.145 και 18.145 κάτοικοι αντίστοιχα (ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2001, 2011), (Ιστογράμμα 1.1).



Χάρτης 1.1. Θέση Δ.Δ. Τριλόφου στο Νομό Θεσσαλονίκης



Χάρτης 1.2. Θέση Δημοτικής Ενότητας Μίκρας του Δήμου Θέρμης στο Νομό Θεσσαλονίκης



**Ιστόγραμμα 1.1. Πληθυσμός Δ.Ε. Μίκρας και Δ.Δ Τριλόφου στις απογραφές των ετών 2001 και 2011**

### 1.3. ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Για την παρουσίαση των κλιματολογικών στοιχείων της περιοχής χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα της εικοσαετίας 1961-1980 του Μετεωρολογικού Σταθμού του Α.Π.Θ. (Πίνακας 1.1). Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής με βάση τα στοιχεία της εικοσαετίας 1961-1980 ήταν 484,6 mm.

**Πίνακας 1.1. Μέσες μηνιαίες τιμές κλιματικών παραμέτρων την 20ετία 1961-1980**

Μήνας	Θερμοκρασία T°C	Βροχή mm	Ηλιοφάνεια Ώρες	Μήνας	Θερμοκρασία T°C	Βροχή mm	Ηλιοφάνεια Ώρες
ΙΑΝ	6,06	43,5	108,8	ΙΟΥΛ	27,27	41,8	341,4
ΦΕΒ	7,79	41,0	118,8	ΑΥΓ	27,15	24,5	317,3
ΜΑΡ	10,14	47,8	162,0	ΣΕΠ	22,80	31,4	250,3
ΑΠΡ	15,36	37,9	212,5	ΟΚΤ	17,17	39,1	182,1
ΜΑΙ	20,54	56,9	275,9	ΝΟΕ	12,57	45,4	142,0
ΙΟΥΝ	24,87	33,9	311,5	ΔΕΚ	8,32	41,4	125,5

Δήμος Θέρμης (2015)

### 1.4. ΧΡΗΣΕΙΣ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΓΗΣ

Η μορφολογία του εδάφους ορίζεται από δύο πλαγιές, με βόρεια οπτική προς την πόλη και τον κόλπο της Θεσσαλονίκης και νότια οπτική προς το Θερμαϊκό κόλπο και τον κάμπο της Επανομής. Στις ομαλές κλίσεις εντοπίζονται καλλιεργήσιμες εκτάσεις και

στις απότομες διαμορφώνονται πολλά ρέματα μεγάλου βάθους. Οι τρεις από τους τέσσερις οικισμούς (Πλαγιάρι, Τρίλοφος, Καρδία) με τους αντίστοιχους οικιστικούς θύλακες βρίσκονται στη βορειοδυτική πλαγιά της ευρύτερης περιοχής της Δ.Ε. και μόνο ο οικισμός του Κάτω Σχολαρίου βρίσκεται στο νότιο τμήμα της πλαγιάς.

Το οικοσύστημα της περιοχής χαρακτηρίζεται από τα ρέματα που καθορίζουν τη μορφολογία αυτής και φιλοξενούν την άγρια πανίδα. Υψηλό πράσινο διακρίνεται σε μικρές εκτάσεις σε συστάδες στους λοφίσκους, πλησίον της κορυφογραμμής, άνωθεν των οικισμών.

Η μεγαλύτερη επιφάνεια της περιοχής χαρακτηρίζεται ως καλλιεργήσιμη γη. Η αγροτική περιοχή, πέραν εκείνης της υψηλής παραγωγικότητας και ιδιαίτερα πέριξ των οικισμών, τείνει να περιορισθεί. Η παράκτια περιοχή στη βορειοδυτική πλευρά παρουσιάζει μικρό γεωργικό ενδιαφέρον (μικρές εκτάσεις λαχανοκήπων), αφενός λόγω του ελώδους εδάφους και αφετέρου λόγω της γειτνίασής της με το αεροδρόμιο. Η πρωτογενής παραγωγή και δραστηριότητα, πλην της γεωργίας, εντοπίζεται σε μικρές μονάδες αιγοπροβάτων και βοοειδών.

Σε ότι αφορά στο Δ.Δ. Τριλόφου, αυτό διαθέτει ακανόνιστο οδικό δίκτυο, σημαντικές κλίσεις και διασχίζεται από ρέματα, τα οποία αποκόπτουν τον οικισμό σε τμήματα και δυσχεραίνουν την προσβασιμότητα. Παρουσιάζει έντονη οικιστική ανάπτυξη εντός και πέρα των ορίων του οικισμού όπου υπάρχουν και παραδοσιακού χαρακτήρα κτίσματα, ενώ στην ευρύτερη περιοχή του αγροκτήματος κυριαρχεί η γεωργική δραστηριότητα.

Σημαντικός αριθμός στρεμμάτων βρίσκεται σε αγρανάπαυση ή σε διατήρηση καλής κατάστασης με επιδότηση, αφενός λόγω της αστικοποίησης που ελάμβανε χώρα τα τελευταία χρόνια στην περιοχή αυτή και αφετέρου λόγω των επιδοτήσεων της Ε.Ε.

Στη συνέχεια καταγράφονται οι εκτάσεις γεωργικών καλλιεργειών κατά είδος, το έτος 2016 σύμφωνα με τα στοιχεία του Αγροτικού Συνεταιρισμού Τριλόφου (Πίνακες 1.2, 1.3, 1.4).

Η καλλιέργεια του σιταριού κυριαρχεί με ποσοστό 58%. Ακολουθούν οι ελαιώνες (12,3%), το βαμβάκι (8,8%), ο βίκος (6,9%), τα κτηνοτροφικά κουκιά (3,8%), το κριθάρι (3,8%) και 5,5% οι υπόλοιπες καλλιέργειες.

Από τα όσπρια σημαντική θέση έχουν τα ρεβίθια και οι φακές, ενώ στη κατηγορία των βιομηχανικών φυτών το βαμβάκι είναι το κυρίαρχο είδος. Από τα κτηνοτροφικά είδη καλλιεργείται κυρίως βίκος για ζωοτροφή.

**Πίνακας 1.2. Εκτάσεις (στρ.) γεωργικών καλλιεργειών ανά είδος στο Δ.Δ. Τριλόφου το έτος 2016**

Καλλιέργειες						
Σιτάρι	Ελαιώνες	Βαμβάκι	Βίκος	Κουκιά κτηνοτροφικά	Κριθάρι	Ρεβόθι
11.000	2.300	1.650	1.280	700	700	400

Αγροτικός Συνεταιρισμός Τριλόφου (2016)

**Πίνακας 1.3. Εκτάσεις (στρ.) γεωργικών καλλιεργειών ανά είδος στο Δ.Δ. Τριλόφου το έτος 2016**

Καλλιέργειες							
Αμπέλι	Λαχανικά	Τριφύλλια	Γλοκάνισος	Καρπούζια	Κρεμμύδια	Μπιζέλια Κτηνοτροφικά	Πεπόνια
90	90	90	70	50	50	40	40

Αγροτικός Συνεταιρισμός Τριλόφου (2016)

**Πίνακας 1.4. Εκτάσεις (στρ.) γεωργικών καλλιεργειών ανά είδος στο Δ.Δ. Τριλόφου το έτος 2016**

Καλλιέργειες							
Φασόλια ξερά	Αμυγδαλιές	Ιπποφάεις	Μπάμιες	Λούπινα	Ροδιές	Λαθούρι	Συνολική έκταση Πινάκων 3, 4, 5
38	20	15	15	10	10	6	<b>18.664</b>

Αγροτικός Συνεταιρισμός Τριλόφου (2016)

Οι ελιές, όπως είναι αναμενόμενο, κατέχουν το μεγαλύτερο ποσοστό του συνόλου των δενδρωδών καλλιεργειών, ενώ οι υπόλοιπες δενδρώδεις εκτάσεις είναι κυρίως αμυγδαλιές.

Τα τελευταία χρόνια γίνεται μία προσπάθεια επιλογής καλλιεργειών με συμβόλαια αγοράς της παραγωγής όπως συμβαίνει με την καλλιέργεια της ροδιάς, του ηλίανθου, των κτηνοτροφικών κουκιών, του κριθαριού κλπ.

Παρόλο που η υιοθέτηση καλλιεργειών πιο αποδοτικών και καινοτόμων παρουσιάζει μικρό ενδιαφέρον, στο πλαίσιο ανεύρεσης διεξόδων για την ενίσχυση του εισοδήματος, παρουσιάζεται μία τάση καλλιέργειας αρωματικών φυτών στη περιοχή (90 στρέμματα γλυκάνισος) με στοιχεία που ελήφθησαν από τις Δηλώσεις Ο.Σ.Δ.Ε. (Ολοκληρωμένο Σύστημα Διαχείρισης και Ελέγχου) των αγροτών κατά το έτος 2013.

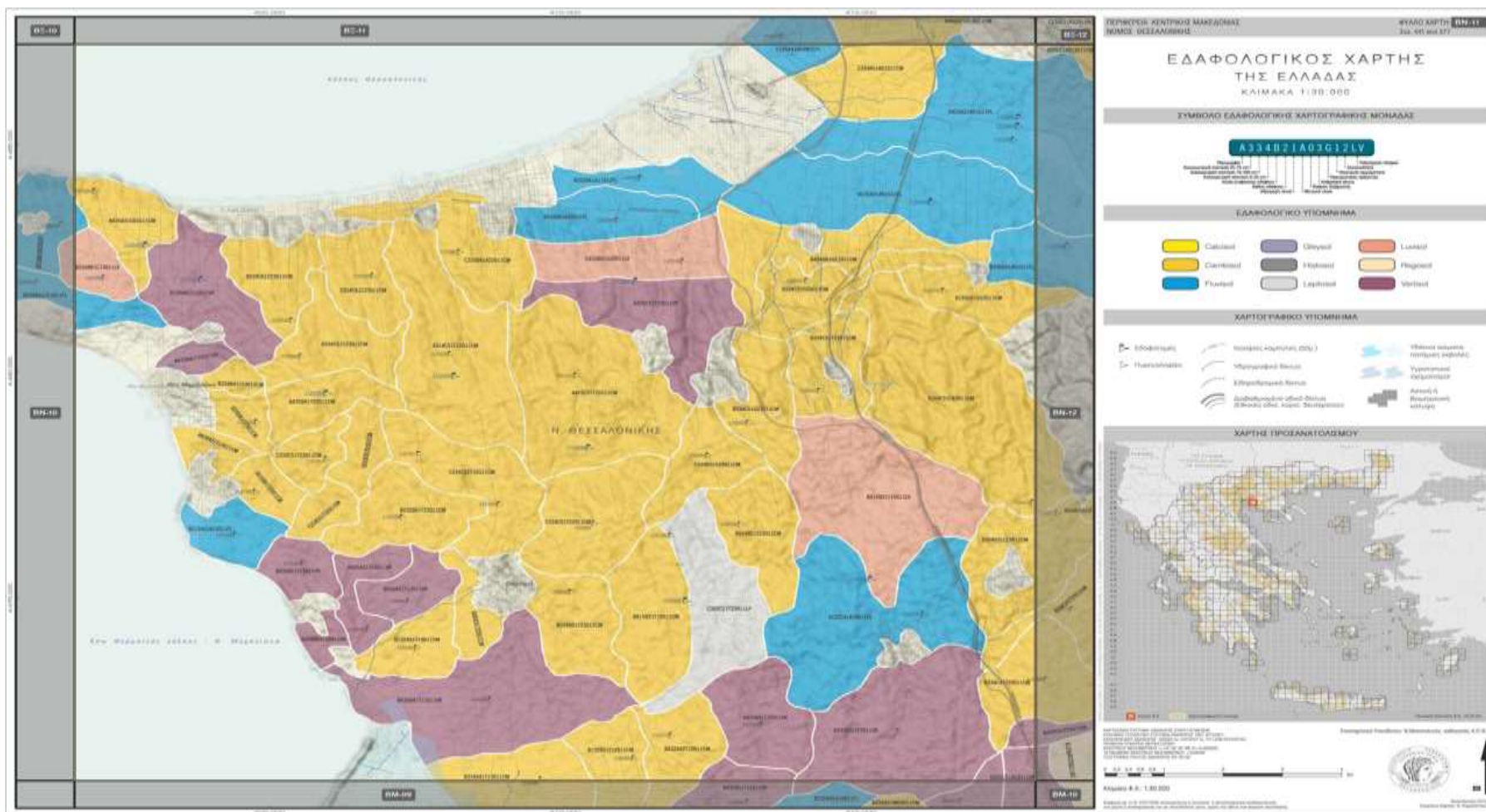
Συμπερασματικά προκύπτει ότι όπως συμβαίνει σε όλη τη χώρα, ειδικά μετά την εφαρμογή της νέας Κ.Α.Π., έτσι και στο Δ.Δ. Τριλόφου, παρουσιάζεται μία σταθερή επιλογή καλλιεργειών και συγκεκριμένα των επιδοτούμενων από την Ευρωπαϊκή Ένωση, ήτοι σιτάρι και βαμβάκι. Οι καλλιέργειες αυτές παρουσιάζουν σχετικά ικανοποιητική στρεμματική απόδοση, αν ληφθεί υπόψη το γεγονός ότι δεν υπάρχει αρκετό νερό στη ευρύτερη περιοχή. Γενικότερα, η τάση που επικρατεί είναι η συνέχιση καλλιέργειας των επιδοτούμενων καλλιεργειών και σε μερικές περιπτώσεις η εγκατάλειψη της γεωργικής εργασίας και η ενασχόληση με άλλες δραστηριότητες.

## **1.5. ΕΔΑΦΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ**

Στα εδάφη του αγροκτήματος Τριλόφου κυριαρχεί η τάξη των Cambisols (Χάρτης 1.3 και 1.4) που εκτείνονται μέχρι τους γειτονικούς οικισμούς Πλαγιάρι, Περαία, Αγία Τριάδα, Μηχανιώνα, Επανωμή, Μεσημέρι, Σχολάρι, Καρδία και Ρύσιο. Εντός αυτής της κυριαρχίας υπάρχουν σε πολύ μικρά ποσοστά η τάξη των Fluvisols στην παράκτια ζώνη, βόρεια του Τριλόφου και μέχρι την αρχή του λοφώδους αναγλύφου, ακολουθεί η ζώνη των Luvisols (βορειοδυτικά και νοτιοανατολικά), τα Vertisols (βόρεια και δυτικά) και τέλος μία μικρή ζώνη της τάξης των Leptosols μεταξύ Επανωμής και Σχολαρίου (Μισοπολινός, 2016). Ακολουθεί μία σύντομη περιγραφή των προαναφερθέντων εδαφών.

### **1.5.1. Cambisols**

Είναι εδάφη με μικρή ή μέτρια ανάπτυξη εδαφογενετικών οριζόντων. Στην τάξη αυτή ανήκουν εδάφη μέτρια εξελιγμένα τα οποία έχουν χάσει ένα ποσοστό βάσεων Fe και Al και ένα μέρος από τα εύκολα αποσαθρωμένα ορυκτά. Δεν έχουν ιλλουβιακούς ορίζοντες (στρώσεις δηλαδή με συσσώρευση ορισμένων συστατικών) και εμφανίζονται κυρίως σε περιοχές με γεωλογικές αποθέσεις νεότερες της πλειστοκαίνου περιόδου. Ο διαγνωστικός ορίζοντας που χαρακτηρίζει τα Cambisols είναι ο καμβικός συνήθως σε συνδυασμό με ένα υποκείμενο ωχρικό ορίζοντα. Έχουν κοκκομετρική σύσταση λεπτότερη της πηλοαμμώδους (LS), με μέτρια ή υψηλή ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων.



Χάρτης 1.3. Εδαφολογικός χάρτης της Ελλάδας, Κλίμακα 1:30.000





Πρόκειται για εδάφη που αναπτύσσονται συνήθως είτε σε αυτόχθονα μητρικά υλικά είτε σε αλλουβιακές αποθέσεις και χαρακτηρίζονται από ικανοποιητική γονιμότητα. Τα εδάφη αυτά, στο χαρτογραφικό σύμβολο χαρακτηρίζονται με το αρχικό γράμμα CM.

#### **1.5.2. Fluvisols**

Είναι πρόσφατα αλλουβιακά εδάφη με μικρή ή καμία εδαφογενετική εξέλιξη. Τα Fluvisols είναι εδάφη που μπορούν να υπάρχουν σε οποιαδήποτε κλίση και κάτω από οποιαδήποτε βλάστηση. Στην τάξη αυτή ανήκουν εδάφη τα οποία δεν έχουν αναπτύξει γενετικούς ορίζοντες, εκτός από το ωχρικό επίπεδο, γεγονός που δηλώνει ότι δεν έχουν συντελεστεί κύριες εδαφογενετικές διαδικασίες. Η απουσία εδαφογενετικών οριζόντων οφείλεται κυρίως:

- στην αδράνεια του μητρικού υλικού, όπως είναι 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.

Αρκετά από τα εδάφη της κατηγορίας αυτής χαρακτηρίζονται από κακή αποστράγγιση και συχνά εμφανίζονται σε αυτά εξανθήσεις (mottles) Fe και Mn. Τα εδάφη αυτά, στο χαρτογραφικό σύμβολο χαρακτηρίζονται με το αρχικό γράμμα FL.

#### **1.5.3. Luvisols**

Είναι εδάφη με ισχυρή συσσώρευση αργίλου στο B ορίζοντα χωρίς σκούρο χρώμα (αργιλικός ορίζοντας). Τα εδάφη αυτά παρουσιάζουν ενδείξεις μετακίνησης αργίλου πυριτικών ορυκτών χωρίς υπερβολική έκπλυση βάσεων. Στην τάξη αυτή τείνουν να εξελιχθούν τα περισσότερα Ελληνικά εδάφη. Όσο αφορά στα εδαφογενετικά χαρακτηριστικά έχουν ωχρο επίπεδο και αργιλικό ορίζοντα (ορίζοντας συσσώρευσης αργίλου). Τα εδάφη αυτά στο χαρτογραφικό σύμβολο χαρακτηρίζονται με το αρχικό γράμμα LV.

#### **1.5.4. Vertisols**

Είναι αργιλώδη εδάφη με ρωγμές βάθους >50 cm και πλάτους >1 m, όταν το έδαφος είναι ξηρό. Τα εδάφη της τάξης αυτής χαρακτηρίζονται από μεγάλο ποσοστό αργίλου στην οποία επικρατούν τα διαστελλόμενα αργιλοπυριτικά δευτερογενή ορυκτά του τύπου 2:1. Κατά την ξήρανση σχηματίζονται στην επιφάνεια των εδαφών αυτών ρωγμές πλάτους μερικών εκατοστών και βάθος μερικών δεκάδων εκατοστών. Στις ρωγμές πέφτουν εδαφικά υλικά από τα ανώτερα στρώματα της κατατομής του εδάφους, γεγονός που μπορεί να θεωρηθεί ως αναστροφή του εδάφους. Στη φυσική αυτή

αναστροφή οφείλουν και το όνομά τους (Vertisols-αναστρεφόμενα εδάφη). Τα Vertisols σχηματίζονται πάνω σε μοντμοριλλονιτικά υλικά τα οποία προήλθαν από την αποσάθρωση του ασβεστολίθου ή βασικών πυριτικών πετρωμάτων. Λόγω της μεγάλης περιεκτικότητας σε μοντμοριλλονιτική άργιλο έχουν μεγάλη ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων. Δημιουργούν επιφάνειες ολίσθησης σε κάποιο βάθος μεταξύ 25 και 100 cm εξαιτίας της διαφορετικής συστολής και διαστολής. Επίσης όταν δεν καλλιεργούνται εμφανίζουν τοπογραφικό ανάγλυφο με εξάρσεις και κοιλώματα, γνωστό ως gilgai. Στο χαρτογραφικό σύμβολο χαρακτηρίζονται με το γράμμα VR.

#### **1.5.5. Leptosols**

Εδάφη ρηχά με ασθενή εδαφογενετική εξέλιξη που έχουν περιορισμένο βάθος λόγω της παρουσίας συνεχούς συμπαγούς πετρώματος ή λόγω αφθονίας ασβεστούχων υλικών (ισοδύναμο ανθρακικό ασβέστιο >40%) ή λόγω συνεχούς σιμεντοποιημένου επιπέδου εντός 30 cm.

### **1.6. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ**

Η περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται από ήπιες κλίσεις, σε αντίθεση με τη βορειότερη ορεινή περιοχή όπου επικρατούν σημαντικές κλίσεις του αναγλύφου. Το υδρογραφικό δίκτυο της ευρύτερης περιοχής είναι δενδριτικής μορφής στα βόρεια τμήματά της και μεταβαίνει προοδευτικά σε παράλληλης μορφής στην ημιλοφώδη και πεδινή ζώνη όπου εντοπίζεται ο πυρήνας της περιοχής ενδιαφέροντος. Αντίστοιχα διαφοροποιείται και η υδρομορφολογία των ρεμάτων αυτών. Έτσι, στην ορεινή βόρεια ζώνη τα ρέματα σχηματίζουν βαθιές και στενές κοιλάδες με πρηνή έντονων κλίσεων, ενώ στην περιοχή μελέτης μεταπίπτουν σε αβαθείς κοίτες σημαντικού πλάτους και συχνά ασαφών ορίων. Η υδροφορία τους είναι κατά βάση περιστασιακή και συμπίπτει με τα επεισόδια βροχοπτώσεων που δέχεται η ευρύτερη περιοχή. Η παραπάνω μορφή των ρεμάτων σε συνδυασμό με τις συχνά σημαντικές και μη μελετημένες ανθρωπογενείς παρεμβάσεις κατά μήκος των κοιτών του υδρογραφικού δικτύου, οδηγούν συχνά σε ανάπτυξη πλημμυρικών φαινομένων, με καταστροφικά για την περιοχή αποτελέσματα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η απόκριση του υδρογραφικού δικτύου στο υψηλής ραγδιαιότητας επεισόδιο βροχόπτωσης της 6-7/9/2016 που είχε σαν αποτέλεσμα την κατάκλυση εκτεταμένων περιοχών και την απορροή σημαντικών όγκων γόνιμου επιφανειακού εδαφικού ορίζοντα προς τα κατόντη. Η λειτουργία αυτή του υδρογραφικού δικτύου επηρεάζει εμμέσως πλην σαφώς και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του υδροφόρου συστήματος, καθώς όπως αναλύεται παρακάτω, οι

μικρού βάθους γεωτρήσεις της παράκτιας ζώνης μπορούν να γίνουν αποδέκτες υψηλού ρυπαντικού φορτίου αγροτικής προέλευσης που έχει απορρεύσει από τις ανάντη ζώνες κατά τη διάρκεια έντονων βροχοπτώσεων, λόγω της διαβρωτικής δράσης των κατακρημνισμάτων.

### **1.7. ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ**

Σύμφωνα με το διαχειριστικό σχέδιο των λεκανών απορροής ποταμών (Λ.Α.Π.) του υδατικού διαμερίσματος (Υ.Δ.) Κεντρικής Μακεδονίας (GR10), η περιοχή μελέτης ανήκει στη Λ.Α.Π. Χαλκιδικής. Το Υ.Δ. Κεντρικής Μακεδονίας αποτελείται από 4 Λ.Α.Π. (Φ.Ε.Κ. Β/1383, 2010, Φ.Ε.Κ. 1572/Β, 2010):

- Αξιού (GR03), με έκταση 3.327 km<sup>2</sup>
- Γαλλικού (GR04), με έκταση 1.051 km<sup>2</sup>
- Χαλκιδικής (GR05), με έκταση 5.546 km<sup>2</sup> (Χάρτης 1.5)
- Άθω (GR43), με έκταση 239 km<sup>2</sup>

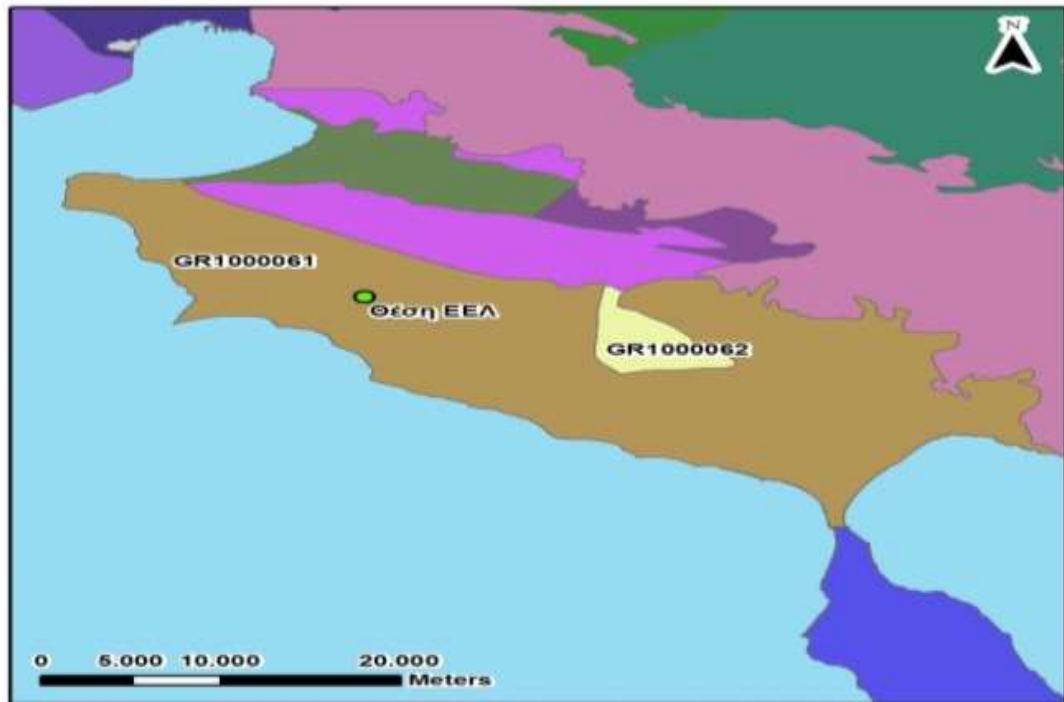


**Χάρτης 1.5. Λ.Α.Π. Χαλκιδικής του ΥΔ Κεντρικής Μακεδονίας (GR10)**

Η Λ.Α.Π. Χαλκιδικής αποτελείται από τις υπολεκάνες απορροής των λιμνών Βόλβη και Λαγκαδά (Κορώνεια), την τεχνητή λίμνη Μαυρούδας, των ποταμών Ανθεμούντα και Χαβρία, τις υδρολογικές λεκάνες του Πολεοδομικού Συγκροτήματος Θεσσαλονίκης και περίξ αυτού, καθώς και άλλες μικρότερες υπολεκάνες.

Η συντριπτική πλειοψηφία των ποτάμιων υδάτινων συστημάτων(Υ.Σ.) στη Λ.Α.Π. Χαλκιδικής ως προς το μήκος (93%), αλλά και ως προς το πλήθος τους (85%) ανήκει στον τύπο NsL1 (μικρή απορροή, χαμηλό υψόμετρο, μεγάλη κλίση).

Υδρογεωλογικά, η περιοχή μελέτης βρίσκεται εντός του κοκκώδους υποσυστήματος Επανομής - Μουδανιών (GR1000061), του συστήματος Επανομής - Μουδανιών (GR1000060) (Χάρτης 1.6).

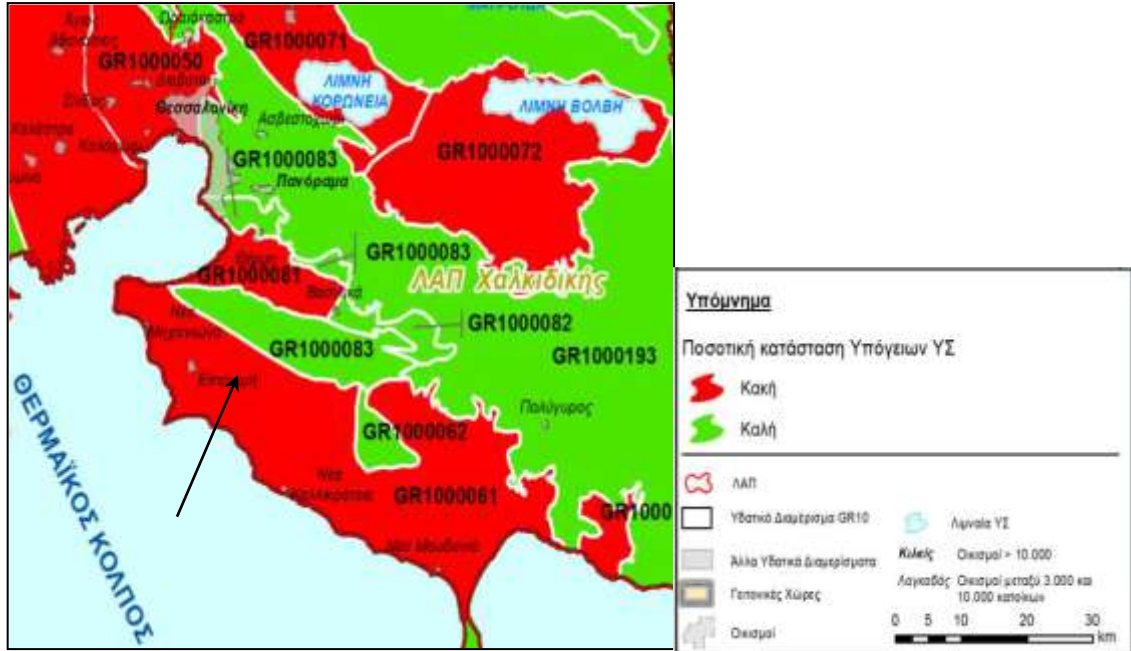


**Χάρτης 1.6. Υπόγεια υδάτινα συστήματα της ευρύτερης περιοχής**

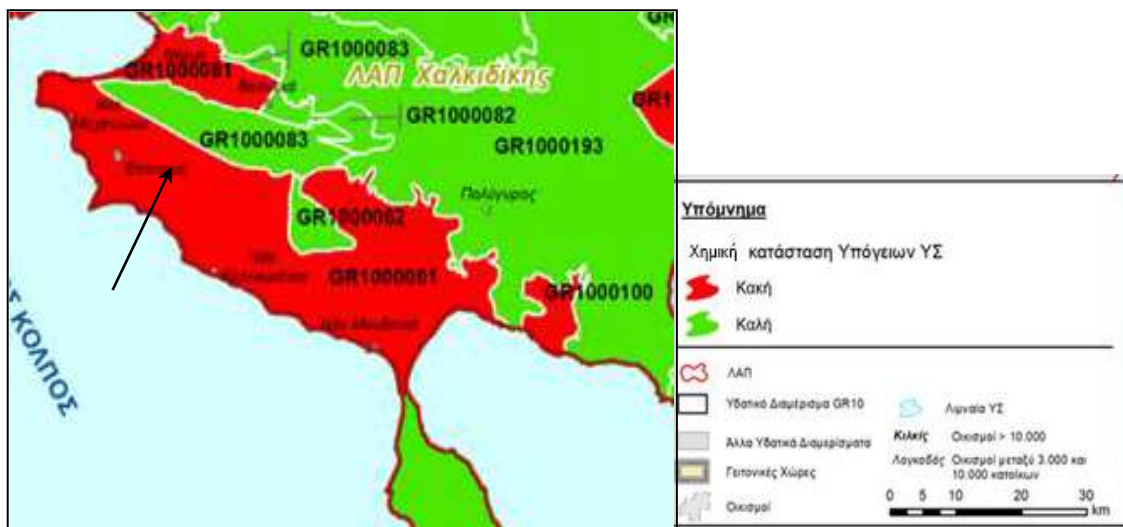
Σύμφωνα με το Σχέδιο Διαχείρισης των Υδάτων του Υ.Δ. Κεντρικής Μακεδονίας (GR10) (Φ.Ε.Κ. 182, 2014), οι απολήψεις υδάτων από το υπόγειο υδατικό σύστημα Επανομής - Μουδανιών (GR1000060) για την ικανοποίηση των κύριων χρήσεων είναι οι ακόλουθες: Ύδρευση = 4,56\* hm<sup>3</sup>/έτος, Άρδευση = 115,70 hm<sup>3</sup>/έτος, Βιομηχανία = 0,85 hm<sup>3</sup>/έτος και Κτηνοτροφία = 0,21 hm<sup>3</sup>/έτος, δηλαδή συνολικά 121,32 hm<sup>3</sup>/έτος. Τα ανανεώσιμα αποθέματα του συστήματος υπολογίζονται σε 97,83 hm<sup>3</sup>/έτος. Επομένως, το σύστημα αυτό βρίσκεται σε αρνητικό καθεστώς υδατικού ισοζυγίου και ως εκ τούτου σε κακή ποσοτική κατάσταση, καθώς αντλείται σημαντικά μεγαλύτερος όγκος νερού από τον όγκο φυσικής τροφοδοσίας, όπως αυτός αντικατοπτρίζεται από τα ετήσια ρυθμιστικά αποθέματα (Χάρτης 1.7).

Από χημική κατάσταση, το σύστημα επίσης χαρακτηρίζεται ως ευρισκόμενο σε κακή κατάσταση λόγω της υπεράντλησής του, η οποία προκαλεί πτώση της στάθμης και τοπική υφαλμύριση αυτού (Χάρτης 1.8). Τοπικά εντοπίζεται αυξημένη συγκέντρωση

NO<sub>3</sub> λόγω γεωργικής δραστηριότητας. Σύμφωνα με τη διαχειριστική μελέτη, οι εξάρσεις αυτές των συγκεντρώσεων NO<sub>3</sub> παρατηρούνται τόσο στο ΝΔ όσο και στο ΒΔ τμήμα του, το οποίο έχει ενταχθεί στο μητρώο ευπρόσβλητων περιοχών, σύμφωνα με τα οριζόμενα στην Οδηγία της νιτρορύπανσης 1991/676/Ε.Ο.Κ. (Ε.Ο.Κ., 1991).



**Χάρτης 1.7. Ποσοτική κατάσταση υπόγειων υδάτινων συστημάτων της ευρύτερης περιοχής**



**Χάρτης 1.8. Ποιοτική κατάσταση υπόγειων υδάτινων συστημάτων της ευρύτερης περιοχής**

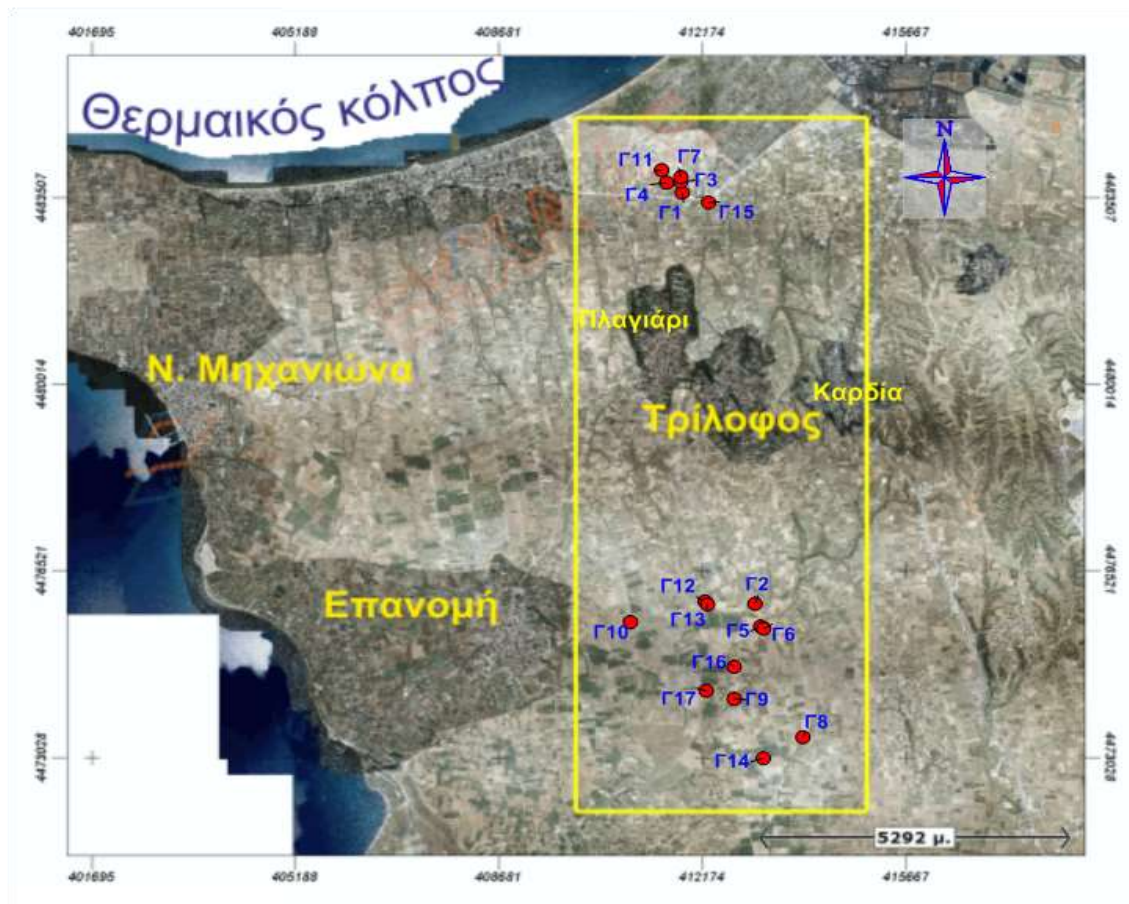
## 1.8. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΤΟΥ Δ.Δ. ΤΡΙΛΟΦΟΥ

Στο αγρόκτημα του Δ.Δ. Τριλόφου υπάρχουν 17 αρδευτικές γεωτρήσεις καταναμημένες σε δύο ομάδες (Χάρτης 1.9). Η μία ομάδα γεωτρήσεων βρίσκεται βόρεια του οικισμού

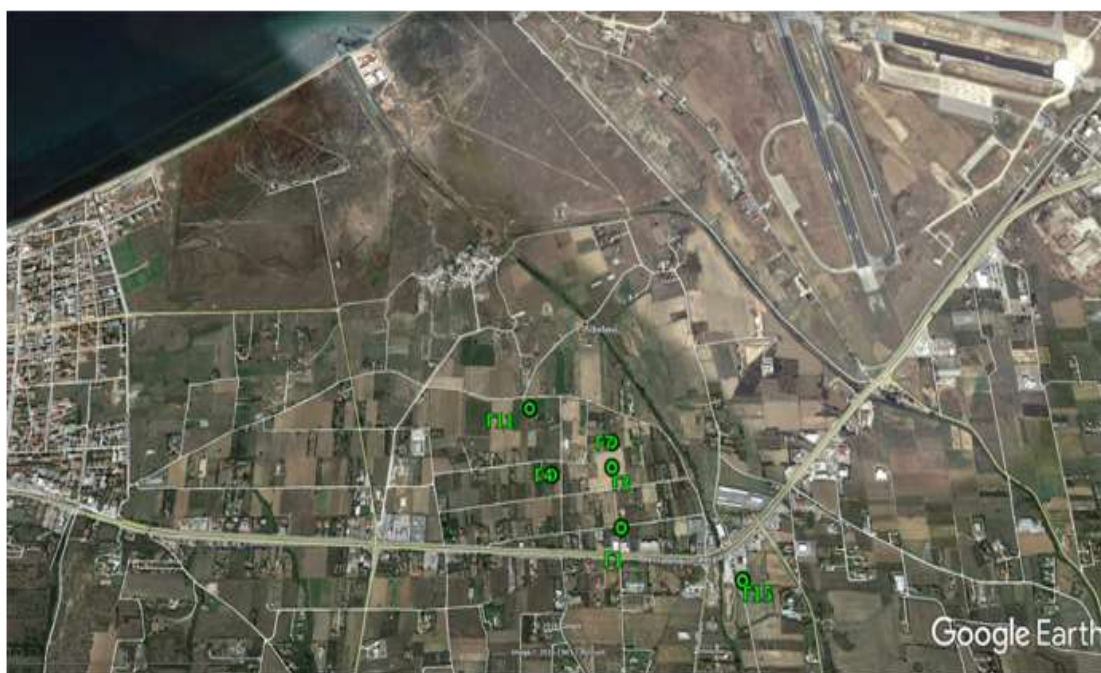
Τριλόφου, στην παράκτια ζώνη (Χάρτης 1.10), ενώ η δεύτερη ομάδα βρίσκεται νοτιοδυτικά του Τριλόφου στην ημιλοφώδη περιοχή (Χάρτης 1.11). Οι γεωτρήσεις αυτές χρησιμοποιούνται στην άρδευση εκτατικών κυρίως καλλιεργειών με κυρίαρχο τρόπο άρδευσης τους μεγάλους αυτοκινούμενους εκτοξευτήρες (καρούλια). Ελάχιστοι αγροί (αμπελώνες, λαχανικά) αρδεύονται με σύστημα τοπικής άρδευσης (σταγόνες).

Στους Πίνακες 1.5, 1.5α φαίνονται τα ονόματα των ιδιοκτητών και των περιοχών που βρίσκονται, οι συντεταγμένες, τα βάθη ανόρυξης, η παροχή, το έτος κατασκευής και ο αριθμός του αγροτεμαχίου που έχει ανορυχθεί κάθε γεώτρηση. Στο Διάγραμμα 1.1 φαίνονται οι ισარიθμικές καμπύλες του βάθους των 17 αρδευτικών γεωτρήσεων του αγροκτήματος Τριλόφου, το οποίο βάθος παίζει καθοριστικό ρόλο στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των νερών των γεωτρήσεων αυτών.

Τα προαναφερθέντα στοιχεία των γεωτρήσεων δεν καταγράφουν απλά τη χωροτακτική θέση ή ορισμένα τεχνικά χαρακτηριστικά τους, αλλά χρησιμοποιήθηκαν στην αξιολόγηση τόσο των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής όσο και της διερεύνησης της καταλληλότητας των υπόγειων νερών για αρδευτικούς σκοπούς.



Χάρτης 1.9. Θέσεις αρδευτικών γεωτρήσεων στο αγρόκτημα Τριλόφου



**Χάρτης 1.10. Θέσεις αρδευτικών γεωτρήσεων στο βορεινό τμήμα του αγροκτήματος Τριλόφου**



**Χάρτης 1.11. Θέσεις αρδευτικών γεωτρήσεων στο νοτιοδυτικό τμήμα του αγροκτήματος Τριλόφου**

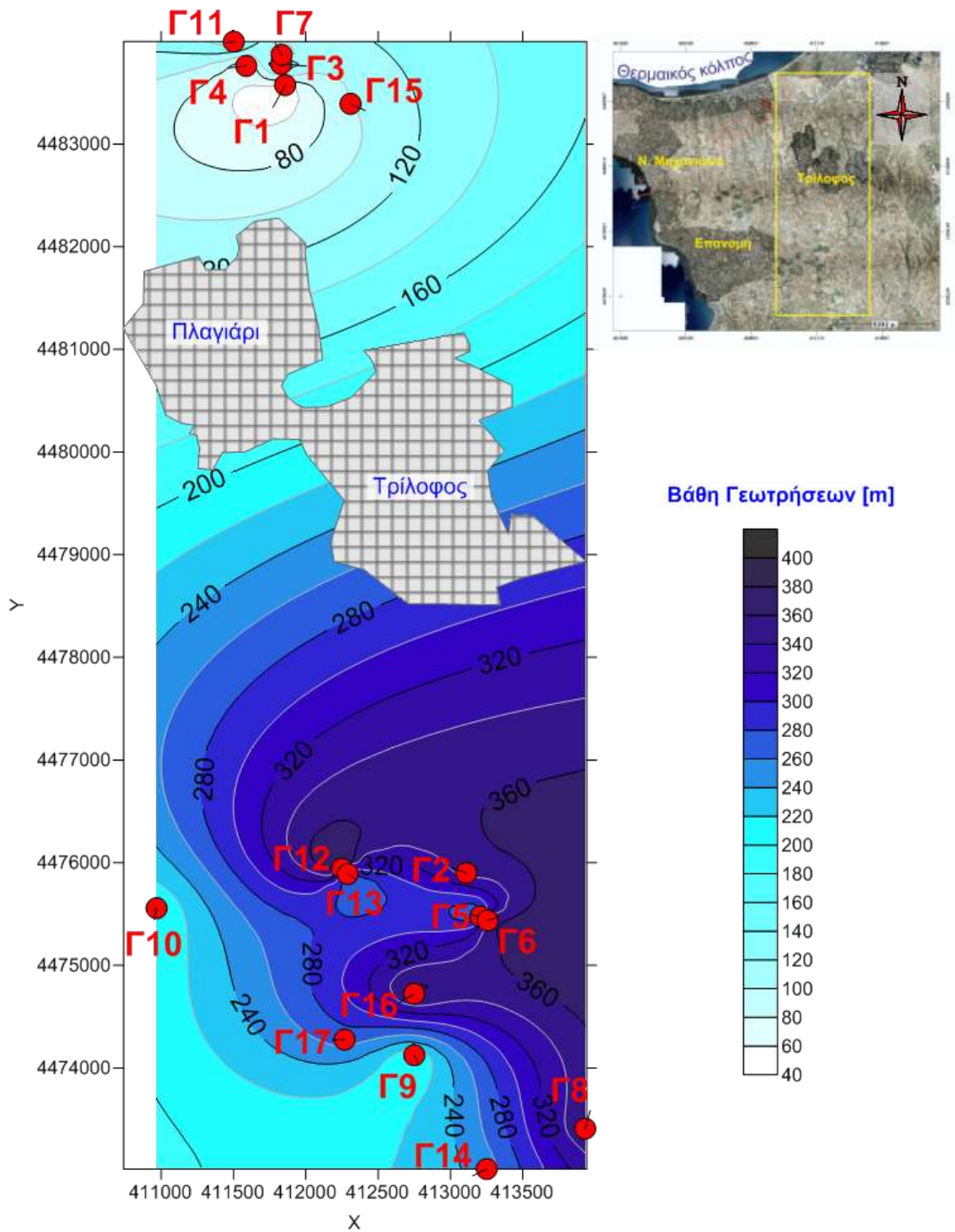


**Πίνακας 1.5. Στοιχεία 17 αρδευτικών γεωτρήσεων στο Δημοτικό Διαμέρισμα Τριλόφου του Δήμου Θέρμης**

Αριθμός γεώτρησης	Ονοματεπώνυμο	Περιοχή	Συντεταγμένες	Βάθος γεώτρησης σε m	Παροχή m <sup>3</sup> /h	Έτος κατασκευής	Αριθμός αρδευόμενου αγρού
Γ1	Αλεξάκης Νικ.	Κάμπος	X 411857 Y 4483573	46	12	1993	3279
Γ2	Αλεξάκης Νικ.	Καλαμούδια	X 413110 Y 4475900	350	60	1997	2713
Γ3	Γιοβανούδης Θ.	Κάμπος	X 411829 Y 4483780	180	80	1980	3243
Γ4	Γκαρίπης Χρ.	Κάμπος	X 411588 Y 4483760	60	20	1985	3231
Γ5	Κορπέτης Αθ.	Καλαμούδια	X 413207 Y 4475477	250	15	1985	2730
Γ6	Κορπέτης Αθ.	Καλαμούδια	X 413207 Y 4475477	360	80	1994	2730
Γ7	Λιόλιος Ευαγγ.	Κάμπος	X 411833 Y 4483868	80	20	1996	3195
Γ8	Μάτζαρης Αρ.	Λυγερού	X 413932 Y 4473410	360	35	1999	4343
Γ9	Ντελμπίζης Γ-Π	Πατράλια	X 412750 Y 4474125	200	60	1990	3115

**Πίνακας 1.5α. Στοιχεία 17 αρδευτικών γεωτρήσεων στο Δημοτικό Διαμέρισμα Τριλόφου του Δήμου Θέρμης**

Αριθμός γεώτρησης	Ονοματεπώνυμο	Περιοχή	Συντεταγμένες	Βάθος γεώτρησης σε m	Παροχή m <sup>3</sup> /h	Έτος κατασκευής	Αριθμός αρδευόμενου αγρού
Γ10	Πάνος Γεώργ.	Συναδού	X 410968 Y 4475557	200	45	1990	2635
Γ11	Παπασάββας Γ.	Κάμπος	X 411502 Y 4483997	160	30	1989	3158
Γ12	Παπασάββας Γ.	Κλίμα	X 412250 Y 4475942	390	50	1999	2678
Γ13	Παπασάββας Γ.	Κλίμα	X 412250 Y 4475942	260	30	1994	2677
Γ14	Παπασάββας Γρ.	Λυγερού	X 413251 Y 4473016	250	50	1998	4279
Γ15	Παπασάββας Γρ.	Κάμπος	X 412309 Y 4483391	100	80	1999	19
Γ16	Καλιγάς Αστ. Λιόλιος Ιωάν. Μητρούδης Κ. Πάνος Απ. Πατσάλας Αστ.	Καλαμούδια	X 412749 Y 4474724	370	70	2000	3050
Γ17	Τσιλιάς Δ.	Κ. Πηγάδι	X 412268 Y 4474277	270	30	1990	3093



**Διάγραμμα 1.1. Ισαριθμικές καμπύλες του βάθους 17 αρδευτικών γεωτρήσεων στο Δ.Δ. Τρίλοφου**

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΟ Δ.Δ. ΤΡΙΑΛΟΦΟΥ**

### **2.1. ΓΕΩΛΟΓΙΑ - ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ**

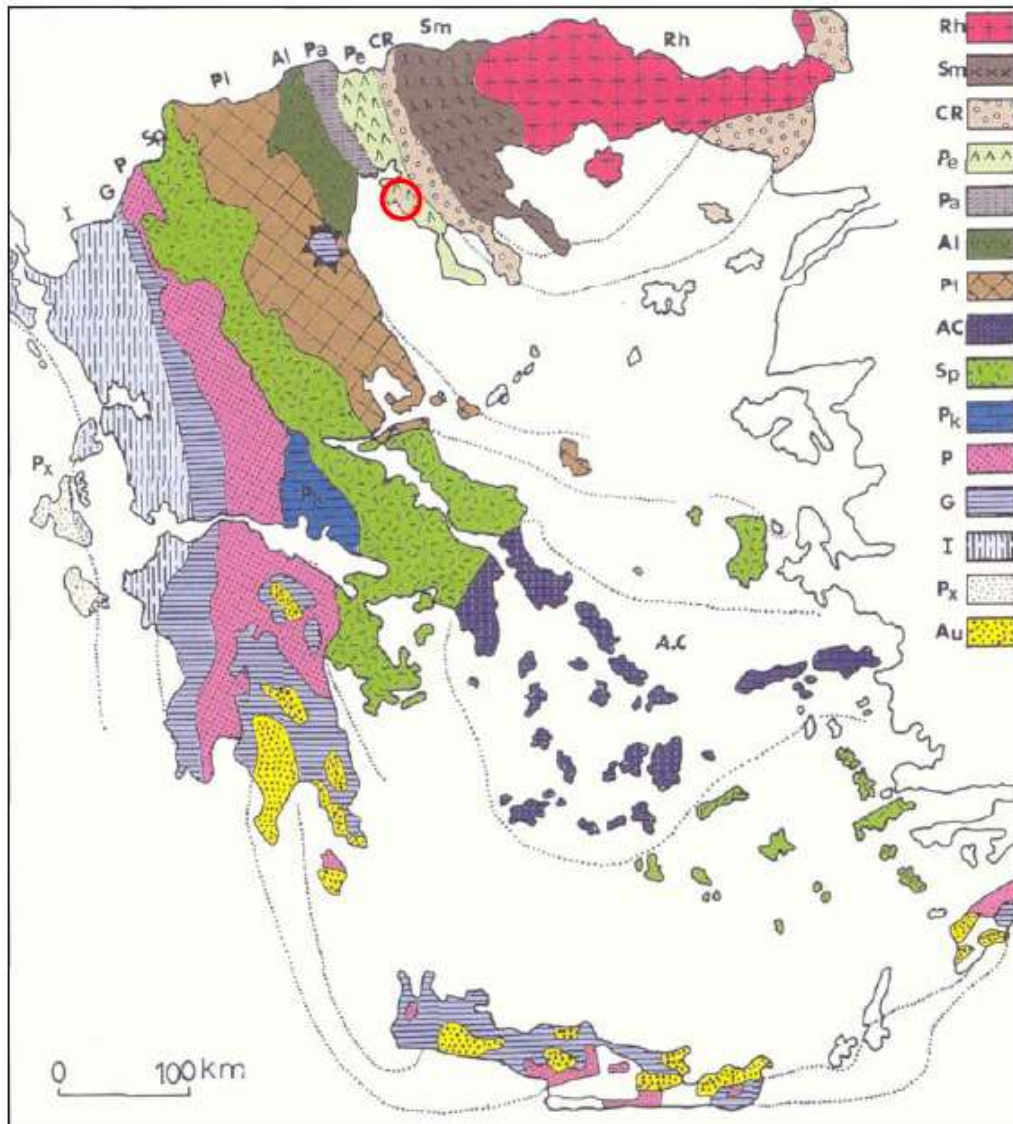
Η περιοχή ενδιαφέροντος βρίσκεται εντός της γεωτεκτονικής ζώνης Αξιού και πιο συγκεκριμένα εντός της Παιονίας ζώνης (Χάρτης 2.1) και αποτελεί τμήμα των εσωτερι-κών Ελληνίδων ζωνών.

Το υπόβαθρο της ζώνης Παιονίας αποτελείται από ασβεστόλιθους, ψαμμίτες, μάρμαρα, πυριγενή (γάββροι, δολερίτες), φυλλίτες και σχιστόλιθους. Η περιοχή μελέτης καθώς και ολόκληρη η δυτική παραλιακή περιοχή του Ν. Χαλκιδικής καλύπτεται από Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις μεγάλου πάχους που καλύπτουν το γεωλογικό υπόβαθρο.

Η σημερινή γεωτεκτονική αντίληψη για τη ζώνη Παιονίας είναι ότι αντιπροσωπεύει τμήμα της παλιάς ωκεάνιας περιοχής της Τηθύος και δομείται από ιζημάτα ανοικτής βαθιάς θάλασσας. Βασικό χαρακτηριστικό της ζώνης Παιονίας είναι η λεπιοειδής τεκτονική. Η ευρύτερη περιοχή έχει δεχθεί τέσσερις κύριες φάσεις τεκτονικής καταπόνησης (ρηγματογόνου και πτυχοσιγενούς τεκτονισμού με επεισόδια ηφαιστειότητας), δύο κατά την ορογενετική περίοδο και δύο μεταγενέστερες (Χάρτης 2.2). Η ιδιαιτερότητα αυτή της γεωτεκτονικής δομής της Παιονίας μπορεί σε πολλές περιπτώσεις να ελέγχει την υδρογεωλογική δομή και να διαμορφώνει τα όρια των υπόγειων υδατικών συστημάτων που αναπτύσσονται στην περιοχή εξάπλωσής της.

Εξαιτίας της φύσης των ιζημάτων που δομούν την περιοχή μελέτης, δεν υπάρχουν εμφανή ίχνη της δράσης του τεκτονισμού στην περιοχή μελέτης. Έμμεση μόνο μαρτυρία της δράσης αυτής αποτελεί η μορφή του υδρογραφικού δικτύου στα ανάντη της περιοχής μελέτης ορεινά τμήματα της λεκάνης (βαθιές χαραδρώσεις στο υδρογραφικό δίκτυο με εμφανίσεις έντονης διαβρωτικής δράσης).

Οι βασικοί υδροπερατοί σχηματισμοί που απαντούν στην περιοχή και εντός των οποίων φιλοξενούνται τα υπόγεια υδατικά αποθέματα είναι κυρίως νεογενείς σχηματισμοί όπως η ψαμμιτομαργαϊκή σειρά. Η υδροφορία τους διαφοροποιείται από θέση σε θέση εξαρτώμενη κυρίως από την κοκκομετρία, τη διάταξη λόγω των συνθηκών μεταφοράς-απόθεσης και τη φύση τους. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα γεωτεχνικής μελέτης (Δαλα-

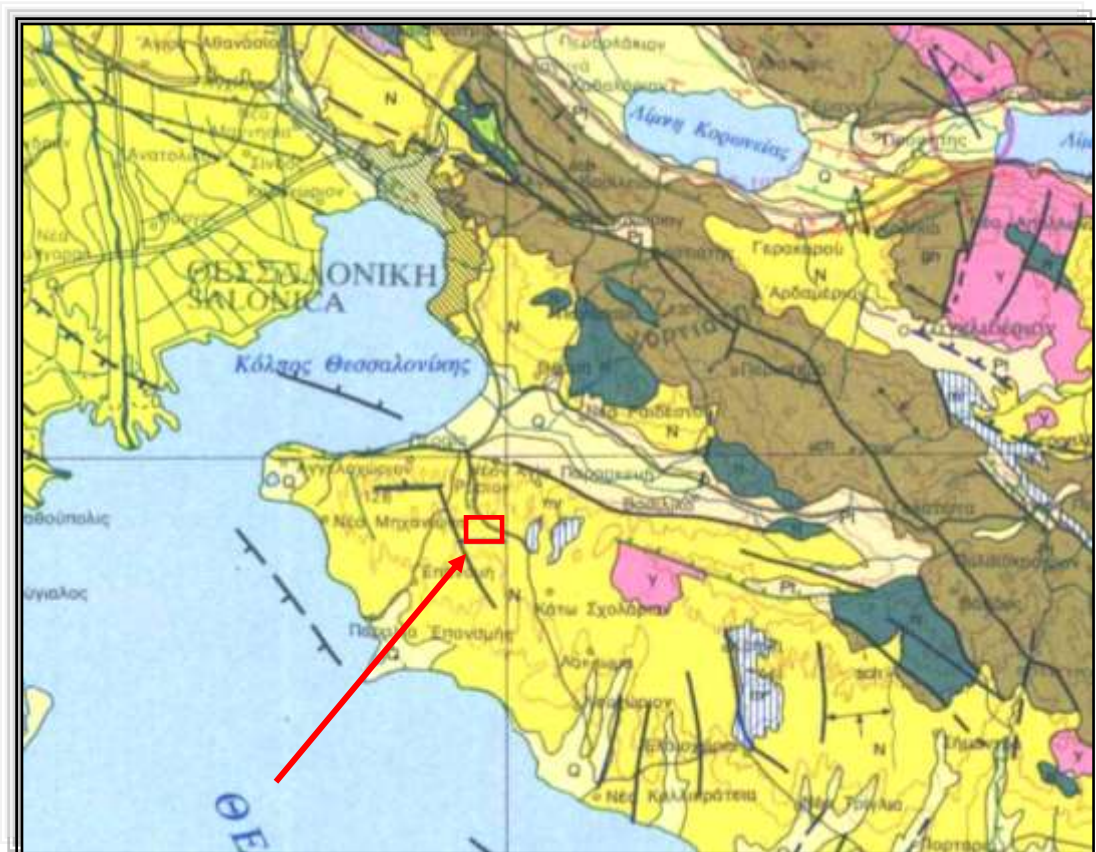


**Χάρτης 2.1. Γεωτεκτονικό σχήμα των Ελληνίδων ζωνών**

Rh: Μάζα της Ροδόπης, Sm: Σερβομακεδονική μάζα, CR: Περιροδοπική ζώνη, Ζώνη Αξιού (Pe: Υποζώνη Παιονίας, Pa: Υποζώνη Πάϊκου, Al: Υποζώνη Αλμωπίας), Pl: Πελαγονική ζώνη, Ac: Αττικο-Κυκλαδική ζώνη, Sr: Υποπελαγονική ζώνη, Pk: Ζώνη Παρανασσού - Γκιώνας, P: Ζώνη Πίνδου, G: Ζώνη Γαβρόβου - Τρίπολης, I: Ιόνιος ζώνη, Px: Ζώνη Παξών ή Προαπούλια, Au: Ενότητα πλακωδών ασβεστόλιθων - Ταλέα όρη.

(Mountrakis et al. 1983)

μπάκης, 2003), συνίστανται κυρίως από εναλλαγές ιλυωδών άμμων και αμμούχων ιλύων. Αναλυτικά δεδομένα δοκιμαστικών αντλήσεων δεν υπάρχουν για την περιοχή μελέτης. Ως εκ τούτου ως έμμεση προσέγγιση των υδραυλικών χαρακτηριστικών των κοκκωδών σχηματισμών που φιλοξενούν την υπόγεια υδροφορία, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα γεωτεχνικών δοκιμών περατότητας (Δαλαμπάκης, 2003) καθώς επίσης και οι



Χάρτης 2.2. Απόσπασμα σεισμοτεκτονικού χάρτη (κλίμακα 1:5000000)

**Υπόμνημα**

Περιοχή ενδιαφέροντος



$V_p^* = 300-1400$  m/sec  $\rho^{**} = 1.8-2.0$  gr/cm<sup>3</sup>

Πρόσφατοι έως σύγχρονοι σχηματισμοί. Κυρίως προσχώσις, υλικό του ελυνθιακού γαυδού, ποτάμιες αποθέσεις, κώνες κορημάτων, πλευρικά κορήματα, ρητίδια, θίνες ηφαιστειακά συμφυρματοστέγη (λαχέρ Μήλου Οκ): Άμμοι, άργιλοι, αμμοχάλι ή ι-λιωσχυρί άργιλοι, κροκάλες και λατύπες, συνήθως χωρίς επιφανειακό υδροφόρο ορίζοντα.

Χαλαροί σχηματισμοί και τοπικά ελάχιστα συνεκτικοί, λεπτοκοκκώδεις έως χονδροκλαστικοί, συνήθως χωρίς στρώση και με ταχεία και συχνή εναλλαγή των λιθολογικών φάσεων οριζόντια και κατακόρυφα.

Φυσικό και μηχανικό χαρακτηριστικό κυμαίνόμενα σε ευρεία κλίμακα, ανάλογα με τη λιθολογική σύσταση και κατακομμετρική διαβάθμιση.

Το πάχος τους κυμαίνεται από μερικά μέχρι μερικές δεκάδες μέτρα που κατά θέσεις υπερβαίνει τα 100 μ.



$V_p = 4300-6000$  m/sec  $\rho = 2.5-2.96$  gr/cm<sup>3</sup>

γ) Κρυσταλλικοί σχιστώδεις (ισπ) γνεύσσιοι και σφειδωίτες (στ): Φυλλίτες, γραφίτες, παλαιώτικοι σχιστομαρμάρεις, ηρωστασιοζητματογενείς ηρωστατομορφωμένοι σχισματοί και ηρωστατώδεις (στ), μάρμαρα, κρυσταλλικοί ασβεστολιθώδεις και απολίθεις (στ): Σχηματισμοί με μεγάλο συνήθως πάχος και υψηλή συνεκτικότητα που συνιστούν το γεωλογικό υπόθετο.



$V_p = 1300-2000$  m/sec  $\rho = 2.0-2.5$  gr/cm<sup>3</sup>

α) Αποθέσεις παράλιες, ποτάμιες, δέλταϊκές, τενογόνες: Άμμοι, άργιλοι, πηλοί, αργιλοίμοι άμμοι, αμμοχάλι άργιλοι, κατά κανόνα λεπτομερείς και χαλαροί. Διακριτικά τους γνωρίσματα είναι η παρουσία επιφανειακού υδροφόρου οριζόντια (με μικρή εποχική διακρίμανση της στάθμης), τα αυξημένα ενεργά παραλίτες και η υψηλή συμπίεστος. Στους σχηματισμούς αυτών παρατηρείται το φαινόμενο της ρεοσπασίσεως.

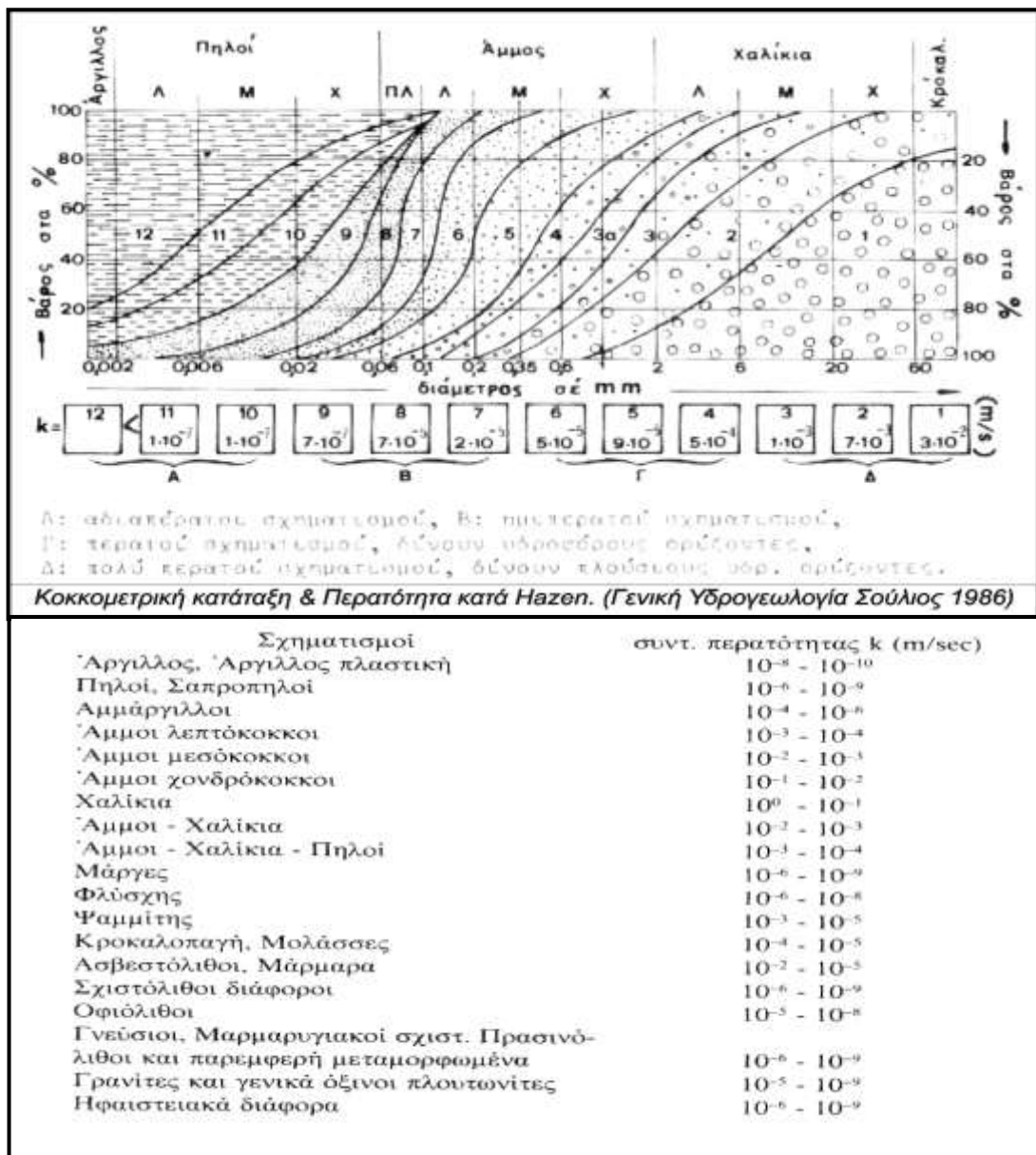
Πάχος μέχρι 60 μ. περίπου.

β) Παλιές προσχώσις, πλευρικά κορήματα, κώνες κορημάτων και αναθεωμιδες, ηλαιοτακτινηής κυρίως ηλικίας: Ερωστροπ, αμμοβάδες, άργιλοι, ψηφίδες, κροκάλες και λατύπες μικρών συνήθως διαστάσεων, που παρουσιάζουν σφήη εναλλαγή των αδρομερών και λεπτομερών λιθολογικών φάσεων. Αμμιέες άργιλοί (λεπτομερείς) οριζόντιες είναι σπάνιοι. Στρώση στέλης, συνεκτικότητα συνήθως μέτρια που οφείλεται σε αργιλοαεραϊκό συγκολλητικό υλικό.

(Μουντράκης, 1985)

κατατάξεις που στηρίζονται σε βιβλιογραφικά δεδομένα που αφορούν στις γενικές ιδιότητες των αποθέσεων αυτών. Οι συντελεστές υδροπερατότητας, σύμφωνα με τη κοκκομετρική κατάταξη και περατότητα κατά Hazen (Σούλιος 1986) για τους σχηματισμούς αυτούς κυμαίνονται από  $10^{-4}$  m/s έως  $10^{-5}$  m/s (Διάγραμμα 2.1).

Οι μη διαπερατοί σχηματισμοί είναι κυρίως νεογενείς των ερυθρών αργίλων. Οι παραπάνω σχηματισμοί υπόκεινται της ψαμμιτομαργαϊκής σειράς. Με τον όρο μη διαπερατοί σχηματισμοί χαρακτηρίζονται αυτοί που έχουν ελάχιστη υδροπερατότητα σε σχέση με τα γειτονικά υδροπερατά. Οι συντελεστές υδροπερατότητας, σύμφωνα με την κοκκομετρική κατάταξη και περατότητα κατά



Διάγραμμα 2.1. Κοκκομετρική κατάταξη και περατότητα κατά Hazen

Hazen (Σούλιος,1986) για τέτοιους σχηματισμούς κυμαίνονται από  $10^{-7}$  m/s έως  $10^{-10}$  m/s (Διάγραμμα 2.1).

## **2.2. ΥΔΡΟΧΗΜΙΣΜΟΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ Δ.Δ. ΤΡΙΛΟΦΟΥ**

Για το σύνολο των χημικών δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν, το σφάλμα ιοντικής ισορροπίας (Ionic Balance Error –I.B.E.) που υπολογίστηκε δεν υπερβαίνει το 9%, ενώ για τα 16 από τα 17 δείγματα που εξετάστηκαν το σφάλμα προσδιορίζεται σε μικρότερο από 5% (μόνο για ένα δείγμα το σφάλμα πλησιάζει το 9%). Ως σφάλμα ιοντικής ισορροπίας ορίζεται ο λόγος της διαφοράς των αθροισμάτων κατιόντων-ανιόντων προς το άθροισμα αυτών, εκφρασμένο σε ποσοστό %. Το γεγονός αυτό πιστοποιεί την αξιοπιστία των εργαστηριακών δοκιμών και την ακρίβεια των παραγόμενων αποτελεσμάτων, τουλάχιστον για το σύνολο των κύριων ιόντων που συνυπολογίζονται στον υπολογισμό της παραπάνω παραμέτρου. Οι συγκεντρώσεις των κύριων ιόντων των υπόγειων νερών προβλήθηκαν σε διάγραμμα DUROV (Durov, 1948) από το οποίο προσδιορίστηκε ο υδροχημικός τους τύπος (Διάγραμμα 2.2).

Σύμφωνα με το ακριβές πεδίο προβολής εντός του τετραγωνικού τομέα του παραπάνω διαγράμματος, διακρίνονται μικτοί τύποι νερού που μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε 2 βασικές ομάδες, εντός των οποίων μπορούν να αναγνωριστούν από 3 υπο-ομάδες:

### **Ομάδα I**

Υποομάδα Ia: Υδροχημικός χαρακτήρας  $\text{Ca-Na-Mg-HCO}_3$ ,  $\text{Ca-Mg-Na-HCO}_3$ .  
Εντάσσονται τα δείγματα των γεωτρήσεων **Γ9, Γ10, Γ15**.

Υποομάδα Ib: Υδροχημικός χαρακτήρας  $\text{Ca-Mg-Na-HCO}_3$ ,  $\text{Mg-Na-Ca-HCO}_3$ .  
Εντάσσονται τα δείγματα των γεωτρήσεων **Γ4, Γ11, Γ17**.

Υποομάδα Ic: Υδροχημικός χαρακτήρας  $\text{Ca-Mg-Na-HCO}_3\text{-Cl}$ . Εντάσσονται τα δείγματα των γεωτρήσεων **Γ1, Γ3, Γ7**.

### **Ομάδα II**

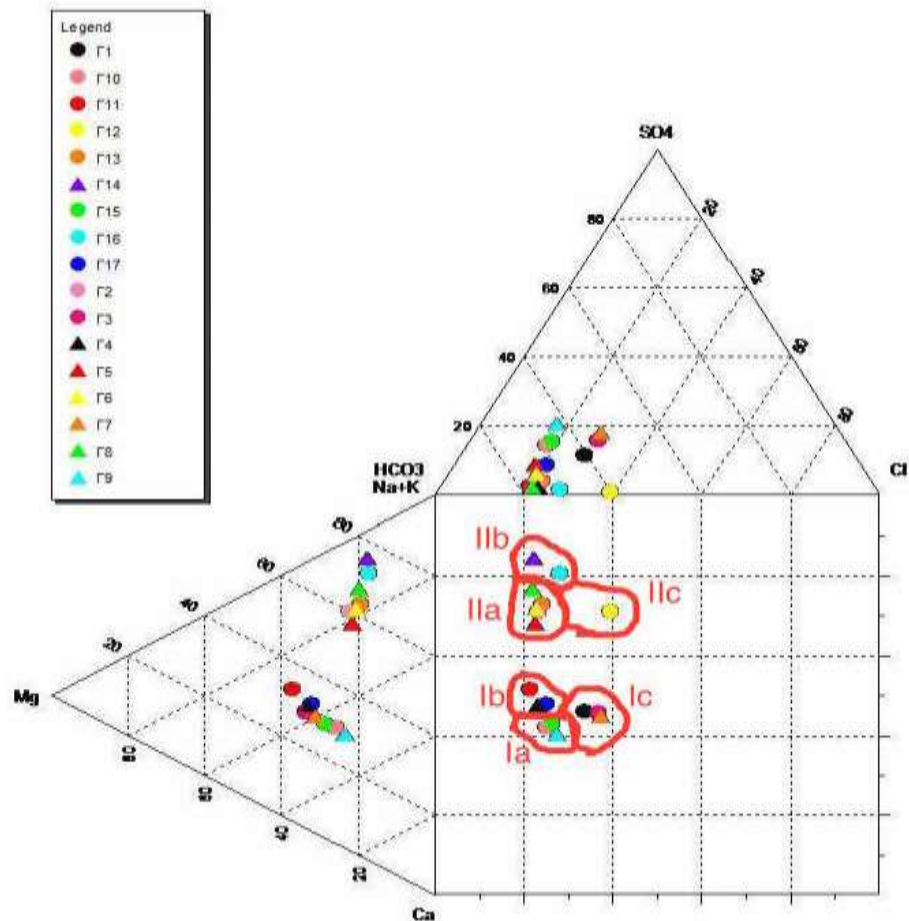
Υποομάδα IIa: Υδροχημικός χαρακτήρας  $\text{Na-Mg-HCO}_3\text{-Cl}$ ,  $\text{Na-Mg-Ca-HCO}_3$ ,  $\text{Na-HCO}_3\text{-Cl}$ . Εντάσσονται τα δείγματα των γεωτρήσεων **Γ2, Γ5, Γ6, Γ8, Γ13**.

Υποομάδα IIb: Υδροχημικός χαρακτήρας  $\text{Na-HCO}_3$ ,  $\text{Na-HCO}_3\text{-Cl}$ . Εντάσσεται το δείγμα της γεώτρησης **Γ14, Γ16**.

Υποομάδα IIc: Υδροχημικός χαρακτήρας  $\text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-Cl}$ . Εντάσσεται το δείγμα της γεώτρησης **Γ12**.

Σύμφωνα με το ακριβές πεδίο προβολής εντός του τετραγωνικού τομέα του παραπάνω διαγράμματος, διακρίνονται μικτοί τύποι νερού που μπορούν να ομαδοποιηθούν σε δύο





**Διάγραμμα 2.2. Προβολή των συγκεντρώσεων των κύριων ιόντων των υπόγειων νερών του Δ.Δ. Τριλόφου**

ομάδες. Τα δείγματα των δύο ομάδων χαρακτηρίζονται από διακριτές υδροχημικές ταυτότητες και εντός της κάθε ομάδας παρατηρούνται μικρότερες αλλά σαφείς διαφοροποιήσεις. Στις επόμενες παραγράφους επιχειρείται η περιγραφή των βασικών γνωρισμάτων των ομάδων και υποομάδων που διακρίνονται, καθώς επίσης και η συσχέτιση αυτών με τον υδρογεωλογικό χώρο και το βάθος των γεωτρήσεων απ' όπου προέρχονται τα δείγματα νερού που αναλύθηκαν.

### 2.2.1. Ομάδα I

Πρόκειται για νερά με χαρακτηριστικό μικτό υδροχημικό τύπο που βρίσκονται σε τμήμα του υδροφόρου συστήματος που δέχεται την επίδραση σύγχρονης μη έντονης τροφοδοσίας. Ειδικότερα,

#### Υποομάδα Ia

Το κυρίαρχο ανιόν στην υποομάδα αυτή είναι τα  $\text{HCO}_3$ , γεγονός που παραπέμπει στην επίδραση σύγχρονης τροφοδοσίας. Ωστόσο αυτή δεν είναι έντονη, όπως μαρτυρά η μη επικράτηση ενός από τα κύρια κατιόντα. Έτσι, παρατηρείται ανάλογα με την περιοχή

προέλευσης του κάθε δείγματος η επικράτηση Ca ή Mg, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις ακόμα και η συμμετοχή του Na στη διαμόρφωση του υδροχημικού τύπου. Πρόκειται λοιπόν για νερά με εμφανή σημάδια επίδρασης από σύγχρονη τροφοδοσία και επομένως ανανέωση του υπόγειου υδατικού δυναμικού. Ωστόσο, η ανανέωση αυτή δεν είναι έντονη ή/και η ζώνη τροφοδοσίας απέχει από την περιοχή μελέτης. Η εμφάνιση σε ορισμένα δείγματα νερού της υποομάδας αυτής του έντονου χαρακτήρα του Mg μπορεί να αποδοθεί στην τοπική επικράτηση οξειδοαναγωγικών συνθηκών ή/και στη διαλυτοποίηση ιζημάτων πλουσιότερων σε δολομιτικό υλικό (μητρικό υλικό ασβεστοδολομιτικό) με προέλευση πιθανότατα από τη διάβρωση ασβεστολιθικών σχηματισμών πλούσιων τοπικά σε Mg (δολομιτώσεις) που εμφανίζονται στην ευρύτερη περιοχή. Στα δείγματα της υποομάδας αυτής το Na συμμετέχει στη διαμόρφωση του υδροχημικού χαρακτήρα (αν και όχι με πρωτεύοντα ρόλο). Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί σε μια ή περισσότερες από τις παρακάτω αιτίες: α) μερική επίδραση σύγχρονης θαλάσσιας διείσδυσης (ωστόσο η περίπτωση αυτή δεν υποστηρίζεται από τη μελέτη της συνολικής υδροχημικής ταυτότητας των δειγμάτων νερού που αναλύθηκαν), β) μερική επίδραση από ανάμειξη με απολιθωμένα νερά πλούσια σε ιόντα Na (αποτελεί μια πιθανότητα χωρίς και πάλι ωστόσο να είναι σημαντική εξαιτίας της συνολικής εικόνας του χημισμού των νερών), γ) απελευθέρωση ιόντων νατρίου από τη μήτρα του υδροφόρου συστήματος προερχόμενο από αργιλικά ορυκτά του γεωλογικού υποβάθρου της ευρύτερης περιοχής μελέτης (αυτή θεωρείται ίσως και η πιθανότερη προέλευση των ιόντων αυτών στην συγκεκριμένη ζώνη ενδιαφέροντος).

Γενικότερα, η εικόνα του συγκεκριμένου υδροχημικού τύπου υποδεικνύει νερά όπου τόσο η ανάμειξη/διαλυτοποίηση, όσο και κυριότερα ίσως η ιοντοανταλλαγή αποτελούν βασικές υδροχημικές διεργασίες από τις οποίες έχουν προέλθει οι παρατηρούμενοι υδροχημικοί τύποι. Οι γεωτρήσεις των οποίων τα δείγματα νερού περιλαμβάνονται σε αυτήν την υποομάδα είναι βάθους 200 m στην ημιλοφώδη ζώνη (Γ9 και Γ10) και 100 m στην πεδινή ζώνη (Γ15) με μέσες υπόγειες στάθμες 60-70 m. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα των νερών αυτών είναι μικρότερη του 1 dS/m (0,87-0,96 dS/m) και οι συγκεντρώσεις νατρίου κυμαίνονται σε σχετικά χαμηλά επίπεδα για την περιοχή (65-70 mg/L). Κατ' ανάλογο τρόπο, οι συγκεντρώσεις χλωρίου είναι οι χαμηλότερες της περιοχής (58-68 mg/L). Παράλληλα, οι συγκεντρώσεις νιτρικών ιόντων στο σύνολο των δειγμάτων κυμαίνονται μεταξύ 8-14 mg/L, γεγονός που υποδηλώνει περιορισμένη ή μηδενική ρύπανση ανθρωπογενούς προέλευσης (π.χ. αζωτούχα λίπανση, βόθροι, κοιμητήρια κλπ). Σημειώνεται ότι ως όριο ανθρωπογενούς προέλευσης ρύπανσης όσον αφορά στα νιτρικά ιόντα θεωρείται η συγκέντρωση των 10 mg/L. Χωροτακτικά, όπως προαναφέρθηκε, οι γεωτρήσεις αυτές αφορούν σχετικά βαθιά γεώτρηση (μέσο βάθος) στην πεδινή ζώνη και γεωτρήσεις μέσου βάθους στην ημιλοφώδη ζώνη. Παρά το

γεγονός ότι τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των αρδευτικών γεωτρήσεων είναι τέτοια που υδρομαστεύουν το σύνολο των υδροφόρων στρωμάτων που έχουν διατρήσει, ως κυρίαρχο υδροφόρο στρώμα που επικρατεί στην διαμόρφωση του υδροχημικού τύπου θα μπορούσε να θεωρηθεί ένας υπό πίεση υδροφόρος ορίζοντας μέσου βάθους.

#### Υποομάδα Ib

Η βασικότερη διαφοροποίηση στον υδροχημικό τύπο των νερών που εντάσσονται σε αυτήν την υποομάδα, σε σχέση με την υποομάδα Ia αφορά την σημαντικότητα των κατιόντων που τον διαμορφώνουν. Έτσι, στην υποομάδα αυτήν φαίνεται να παίζει σημαντικότερο ρόλο σε σχέση με την προηγούμενη υποομάδα το Mg και δευτερευόντως το Na. Το πεδίο προβολής των δειγμάτων αυτών βρίσκεται μετατοπισμένο ελαφρά δεξιότερα της προηγούμενης υποομάδας στο κεντρικό τμήμα του τετραγωνικού διαγράμματος DUROV. Ως εκ τούτου κυρίαρχος μηχανισμός διαμόρφωσης του χημισμού είναι η ιοντοανταλλαγή και σε μικρότερο βαθμό η ανάμειξη-διαλυτοποίηση/καθίζηση. Επομένως από πλευράς σύνδεσης με την υδροδυναμική εξέλιξη του συστήματος, τα νερά αυτά αντιπροσωπεύουν και πάλι ζώνες του υδροφόρου συστήματος που δέχονται τροφοδοσία για την ανανέωση των αποθεμάτων του υδροφορέα, ωστόσο αυτή δεν είναι σημαντική ή/και η απόσταση της ζώνης τροφοδοσίας δεν είναι εγγύς.

Οι γεωτρήσεις των οποίων τα δείγματα νερού περιλαμβάνονται σε αυτήν την υποομάδα είναι μικρού-μέσου βάθους (60-160 m) στην πεδινή ζώνη (Γ4 και Γ11) με μικρά βάθη στάθμης (11-20 m) και μέσου βάθους (250 m) στην ημιλοφώδη ζώνη (Γ17) με μέσο βάθος στάθμης. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα των νερών αυτών είναι μικρή όπως και στην προηγούμενη υποομάδα και κυμαίνεται από 0,87-0,99 dS/m, ενώ και οι συγκεντρώσεις νατρίου κυμαίνονται σε ανάλογα με την προηγούμενη υποομάδα επίπεδα (62-69 mg/L). Ομοίως, οι συγκεντρώσεις χλωρίου είναι χαμηλές (60-67 mg/L). Όσον αφορά στις συγκεντρώσεις νιτρικών ιόντων, αυτές παρουσιάζουν ομαδοποιήσεις: η ομάδα των γεωτρήσεων που βρίσκονται στην πεδινή ζώνη της περιοχής μελέτης ανεξαρτήτως βάθους, παρουσιάζουν συγκεντρώσεις που κυμαίνονται μεταξύ 20-26 mg/L, ενώ η βαθύτερη γεώτρηση της υποομάδας στην ημιλοφώδη ζώνη παρουσιάζει συγκέντρωση νιτρικών της τάξεως των 5 mg/L. Επομένως, οι γεωτρήσεις της πεδινής ζώνης εμφανίζουν σαφείς επιδράσεις από την ασκούμενη στην περιοχή ανθρωπογενή δραστηριότητα, σε αντίθεση με την βαθύτερη και πλέον ηπειρωτική όπου καμία τέτοια επίδραση δεν αποτυπώνεται. Το γεγονός αυτό θα μπορούσε να αποδοθεί στην επίδραση που δέχεται η υδροφορία στην παράκτια ζώνη από απ'ευθείας κατείσδυση ρύπων σε διάχυτη μορφή ή και μέσω των κοιτών των ρεμάτων. Όταν μάλιστα έπονται επεισόδια έντονης βροχόπτωσης, οι παραπάνω μηχανισμοί θεωρείται ότι λαμβάνουν

σημαντική βαρύτητα. Σημειώνεται και πάλι ότι ως όριο ανθρωπογενούς προέλευσης ρύπανσης όσον αφορά τα νιτρικά ιόντα θεωρείται η συγκέντρωση των 10 mg/L.

#### Υποομάδα Ic

Κύρια διαφοροποίηση στον υδροχημικό τύπο των νερών που εντάσσονται σε αυτήν την υποομάδα, σε σχέση με την υποομάδα Ia και Ib αποτελεί η συμμετοχή των χλωριόντων στην διαμόρφωσή του. Το πεδίο προβολής των δειγμάτων αυτών βρίσκεται μετατοπισμένο προς το κέντρο του τετραγωνικού διαγράμματος DUROV, σε σχέση με τις προηγούμενες δύο υποομάδες. Η ανάμιξη-διαλυτοποίηση/καθίζηση αποτελεί βασικό μηχανισμό διαμόρφωσης του χημισμού, ωστόσο η ιοντοανταλλαγή συνεισφέρει σχεδόν εξίσου. Από πλευράς σύνδεσης με την υδροδυναμική εξέλιξη του συστήματος, τα νερά αυτά αντιπροσωπεύουν και πάλι ζώνες του υδροφόρου συστήματος που δέχονται τροφοδοσία για την ανανέωση των αποθεμάτων του υδροφορέα, ωστόσο αυτή δεν είναι σημαντική ή/και η απόσταση της ζώνης τροφοδοσίας δεν είναι εγγύς.

Οι γεωτρήσεις των οποίων τα δείγματα νερού περιλαμβάνονται σε αυτήν την υποομάδα βρίσκονται στην πεδινή ζώνη και οι δύο (Γ1 και Γ7) είναι μικρού βάθους (46-80 m) στην πεδινή ζώνη, ενώ η τρίτη γεώτρηση (Γ3) είναι μέσου βάθους (180 m). Η ηλεκτρική αγωγιμότητα των νερών αυτών είναι ελαφρά αυξημένη σε σχέση με αυτήν των προηγούμενων δύο υποομάδων και κυμαίνεται από 1,1-1,2 dS/m, ενώ και οι συγκεντρώσεις νατρίου παραμένουν σε χαμηλά για την περιοχή επίπεδα, αλλά ελαφρά αυξημένες σε σχέση με τις προηγούμενες υποομάδες (82-89 mg/L). Οι συγκεντρώσεις χλωρίου στην υποομάδα αυτή εμφανίζουν υψηλότερο εύρος κύμανσης (110-120 mg/L), το οποίο δικαιολογεί και την συμμετοχή του ιόντος αυτού στην διαμόρφωση του υδροχημικού τύπου των νερών. Όσον αφορά στις συγκεντρώσεις νιτρικών ιόντων, αυτές εμφανίζουν υψηλότερες τιμές σε σχέση με τις προηγούμενες υποομάδες και κυμαίνονται μεταξύ 32 και 69 mg/L, ενώ η υψηλότερη συγκέντρωση παρατηρείται στην βαθύτερη γεώτρηση. Προκύπτει λοιπόν αβίαστα το συμπέρασμα ότι τα νερά των γεωτρήσεων αυτών έχουν σαφείς επιδράσεις από την ασκούμενη στην περιοχή ανθρωπογενή δραστηριότητα. Το γεγονός αυτό θα μπορούσε να αποδοθεί στην επίδραση που δέχεται η υδροφορία στην παράκτια ζώνη από απ' ευθείας κατείσδυση ρύπων σε διάχυτη μορφή ή και μέσω των κοιτών των ρεμάτων. Όταν μάλιστα έπονται επεισόδια έντονης βροχόπτωσης, οι παραπάνω μηχανισμοί θεωρείται ότι λαμβάνουν σημαντική βαρύτητα, όπως άλλωστε έχει ήδη συζητηθεί για την προηγούμενη υποομάδα. Ειδικότερα η εικόνα των συγκεντρώσεων των νιτρικών ιόντων κύρια στην βαθύτερη γεώτρηση θα μπορούσε να αποδοθεί στα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της γεώτρησης (υδρομάστευση του συνόλου των υδροφόρων στρωμάτων που έχουν διατρηθεί), με αποτέλεσμα την ανάμιξη νερού από τον

επιφανειακό και τον επάλληλο βαθύτερο υπό πίεση υδροφόρο ορίζοντα. Ένα άλλο πιθανό αίτιο θα μπορούσε να είναι η ενοποίηση του φρεατίου με το βαθύτερο υδροφόρο ορίζοντα λόγω συνθηκών ιζηματογένεσης ή/και λόγω τεκτονικών αιτίων. Αμφότερα τα παραπάνω αίτια θεωρούνται πιθανά με βάση τη γενικότερη γνώση για τη γεωλογική εξέλιξη της περιοχής.

## **Ομάδα II**

### Υποομάδα IIa

Το κυρίαρχο ανιόν της υποομάδας αυτής είναι τα  $\text{HCO}_3$ , ενώ κύριο ρόλο παίζει και το Cl. Βασικό κατιόν είναι το Na και δευτερευόντως το Mg. Από τον υδροχημικό χαρακτήρα των νερών αυτών απουσιάζει πλήρως το Ca. Ο τομέας προβολής των δειγμάτων αυτών στο τετραγωνικό τμήμα του διαγράμματος DUROV υποδεικνύει την σημαντικότητα της ανταλλαγής ιόντων, ως μηχανισμού διαμόρφωσης του χημισμού του νερού. Προφανώς πρόκειται για νερά όπου κυρίαρχη διεργασία είναι η ιοντική ανταλλαγή, ενώ η συνεισφορά της ανάμιξης ως μηχανισμού διαμόρφωσης του υδροχημικού χαρακτήρα είναι περιορισμένη. Ως εκ τούτου, τα δείγματα που αναλύθηκαν και εντάσσονται σε αυτήν την υποομάδα, προέρχονται από τμήματα του υδροφόρου συστήματος όπου η κίνηση του υπόγειου νερού είναι περιορισμένη και ο ρυθμός ανανέωσής τους είναι μικρός. Οι συνθήκες αυτές επιτρέπουν τη διαμόρφωση της παρατηρούμενης εικόνας, καθώς ο μεγάλος χρόνος παραμονής του υπόγειου νερού στον υδροφόρο επιτρέπει την ανάπτυξη ανταλλαγής ιόντων μεταξύ της μήτρας του υδροφόρου συστήματος και του υπόγειου νερού. Η κυριαρχία ωστόσο ή τουλάχιστον η μερική επικράτηση των  $\text{HCO}_3$ , συνηγορεί στο γεγονός ότι δεν πρόκειται για τμήμα του υδροφόρου συστήματος που δεν δέχεται καμία φυσική τροφοδοσία για την ανανέωση των υπόγειων υδατικών αποθεμάτων. Μια πιθανή ερμηνεία της παρατηρούμενης εικόνας είναι η ανάμιξη νερού από έναν ανώτερο υδροφόρο ορίζοντα (μάλλον σχετικά αβαθή υπό πίεση), με νερό από έναν ή περισσότερους βαθύτερους υπό πίεση υδροφόρους ορίζοντες μικρότερου δυναμικού με υψηλότερες τιμές αλατότητας. Εξαιτίας της πιθανής εξάντλησης του δυναμικού του άβαθους υδροφόρου ορίζοντα, προκαλείται ενεργοποίηση του βαθύτερου υπό πίεση υδροφόρου που είναι πλουσιότερος σε άλατα και ανάμιξη με το νερό του αβαθούς.

Οι τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι σημαντικά υψηλότερες από αυτές της προηγούμενης ομάδας και κυμαίνονται από 1,2-2,2 dS/m, διαμορφώνονται δε ευθέως ανάλογα με το βάθος του υδροληπτικού έργου (μεγαλύτερο βάθος, υψηλότερη τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας). Κατ' αναλογία, οι τιμές Na είναι υψηλές και κυμαίνονται από 180-390 mg/L. Όσον αφορά στις συγκεντρώσεις χλωρίου και αυτές παρουσιάζουν υψηλότερες τιμές σε σχέση με αυτές της ομάδας I και κυμαίνονται από 85-186 mg/L (όπου αν εξαιρεθεί η γεώτρηση Γ5 που παρουσιάζει συγκέντρωση 85 mg/L, οι λοιπές

παρουσιάζουν τιμές μεγαλύτερες από 135 mg/L). Οι συγκεντρώσεις αυτές είναι από τις υψηλότερες της περιοχής, ωστόσο δεν μπορούν να αποδοθούν σε θαλάσσια διείσδυση (ιδιαίτερα μικρές για συσχέτιση με το φαινόμενο αυτό), παρά ως μια μικρή πιθανότητα ένδειξης ενός τέτοιου φαινομένου (στην ύπαρξη του οποίου δε συνηγορεί ωστόσο κάποιο άλλο σημαντικό στοιχείο). Η κυρίαρχη ερμηνεία του φαινομένου αυτού είναι η ενεργοποίηση ενός υφάλμυρου εγκλωβισμένου (και επομένως με μικρή έως αμελητέα ταχύτητα ανανέωσης των υδατικών αποθεμάτων του) υδροφόρου ορίζοντα. Η συγκέντρωση νιτρικών ιόντων είναι ιδιαίτερα περιορισμένη στο σύνολο των δειγμάτων της υποομάδας αυτής (<10 mg/L, που αποτελεί το εμπειρικό όριο ανθρωπογενούς ρύπανσης), συνηγορώντας έτσι στην προηγούμενη υπόθεση.

Στην ομάδα αυτή εντάσσονται γεωτρήσεις μεγάλου έως πολύ μεγάλου βάθους (250-360 m) και μέσου έως μεγάλου βάθους άντλησης (50-110 m). Υπάρχει μάλιστα αντιστρόφως ανάλογη σχέση μεταξύ βάθους υδροληπτικού έργου και παρατηρούμενου βάθους υπόγειας στάθμης. Έτσι, τα βαθύτερα υδροληπτικά έργα παρουσιάζουν μικρότερα βάθη στάθμης από τα μικρότερου βάθους υδροληπτικά έργα. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί στην ανάπτυξη υψηλών πιέσεων στην υδρομαστευόμενη από τις βαθιές γεωτρήσεις υπό πίεση υδροφορία σε σχέση με την ρηχότερη υδροφορία, ή/και στην εξασθένηση της ρηχότερης υδροφορίας λόγω συνθηκών υπεράντλησης (συνάδει με την διαμόρφωση του υδροχημικού χαρακτήρα των νερών αυτών). Το σύνολο των γεωτρήσεων αυτών βρίσκονται στην ημιλοφώδη ζώνη της περιοχής μελέτης και επομένως έχουν την μεγαλύτερη απόσταση από την ακτογραμμή. Αυτός είναι ένας ακόμα λόγος αποκλεισμού του ενδεχομένου της θαλάσσιας διείσδυσης στη διαμόρφωση του υδροχημικού χαρακτήρα των υπόγειων νερών της ζώνης αυτής.

#### Υποομάδα IIb

Βασική διαφοροποίηση του υδροχημικού τύπου σε αυτήν την υποομάδα που εντάσσονται δύο γεωτρήσεις, αποτελεί η παρουσία του Na ως μοναδικού κατιόντος σε αυτόν. Η συνεισφορά των όξινων ανθρακικών είναι σημαντική και σημαντική επίσης είναι και η συμμετοχή των ιόντων Cl σε ένα από τα δύο δείγματα νερού. Ο χαρακτήρας οξύτητας είναι έντονα βασικός (pH>8), όπως άλλωστε στο σύνολο των δειγμάτων της ομάδας II.

Οι τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι σημαντικά υψηλότερες από αυτές της προηγούμενης ομάδας και κυμαίνονται από 2,2-2,9 dS/m, διαμορφώνονται δε ευθέως ανάλογα με το βάθος του υδροληπτικού έργου (μεγαλύτερο βάθος, υψηλότερη τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας), όπως και στην υποομάδα IIa. Οι τιμές αυτές είναι και οι υψηλότερες που απαντήθηκαν στα δείγματα που εξετάστηκαν. Ομοίως, οι τιμές Na είναι οι υψηλότερες που εντοπίστηκαν και κυμαίνονται από 411-486 mg/L και πάλι ευθέως ανάλογες του βάθους των υδροληπτικών έργων, όπως επίσης και οι συγκεντρώσεις χλωρίου που παρουσιάζουν τις υψηλότερες τιμές και κυμαίνονται από

173-306 mg/L. Όπως αναφέρθηκε και για την προηγούμενη υποομάδα και για τους ίδιους λόγους, οι τιμές αυτές δεν μπορούν να αποδοθούν σε θαλάσσια διείσδυση παρά ως μια μικρή πιθανότητα ένδειξης ενός τέτοιου φαινομένου, το οποίο όμως δεν μπορεί και να αποκλειστεί. Η κυρίαρχη ερμηνεία του φαινομένου αυτού είναι η ενεργοποίηση ενός υφάλμυρου εγκλωβισμένου (και επομένως με μικρή έως αμελητέα ταχύτητα ανανέωσης των υδατικών αποθεμάτων του) υδροφόρου ορίζοντα. Η συγκέντρωση νιτρικών ιόντων είναι ιδιαίτερα περιορισμένη στο σύνολο των δειγμάτων της υποομάδας αυτής (<10 mg/L, που αποτελεί το εμπειρικό όριο ανθρωπογενούς ρύπανσης), συνηγορώντας έτσι στην προηγούμενη υπόθεση. Προς την κατεύθυνση αυτή, συνηγορεί και η υψηλή συγκέντρωση  $\text{NH}_4$  στην γεώτρηση **G16** (0,51 mg/L) που θα μπορούσε να συνδεθεί με την αποικοδόμηση οργανικού υλικού στα ιζήματα του υδροφόρου συστήματος. Δεν υπάρχουν βιβλιογραφικές πληροφορίες σχετικά με την πιθανότητα αυτή, ωστόσο η γεωλογική δομή του χώρου καθώς επίσης η ηλικία των ιζημάτων και οι συνθήκες ιζηματογένεσης συνηγορούν σε μια τέτοια πιθανότητα, όπως έχει παρατηρηθεί σε παρεμφερείς συνθήκες άλλων περιοχών του ελλαδικού χώρου (π.χ. βόρεια παράκτια Κορινθία, δέλτα Πηνειού Λαρίσης κ.α.).

Οι δύο γεωτρήσεις της υποομάδας αυτής (**G14** και **G16**) είναι μεγάλου και πολύ μεγάλου βάθους (250 και 370 m) αντίστοιχα. Οι γεωτρήσεις αυτές, όπως άλλωστε και το σύνολο των γεωτρήσεων της ομάδας II, βρίσκονται στην ημιλοφώδη ζώνη, όπου επικρατεί στη λιθολογία ανθρακικό συνδετικό υλικό των ιζημάτων (σύμφωνα με τον Γεωλογικό χάρτη-Φύλλο Βασιλικά), γεγονός που θα μπορούσε να δικαιολογήσει την υψηλή συγκέντρωση όξινων ανθρακικών ιόντων στην διαμόρφωση του υδροχημικού τύπου των νερών που εξετάστηκαν, τόσο αυτής όσο και σε ένα βαθμό και της υποομάδας IIIa.

#### Υποομάδα IIIc

Στην υποομάδα αυτή εντάσσεται μόνο η γεώτρηση **G12**. Το σύνολο των υδροχημικών της χαρακτηριστικών, συμπεριλαμβανομένου του υδροχημικού τύπου της, αποτελούν το μέσο όρο μεταξύ των δύο προηγούμενων υποομάδων της ομάδας II. Πρόκειται για γεώτρηση στην ημιλοφώδη ζώνη, πολύ μεγάλου βάθους. Δεν παρατηρούνται ακραίες τιμές υδροχημικών παραμέτρων και εκτιμάται ότι ισχύουν οι μηχανισμοί εξέλιξης που περιγράφηκαν για τις προηγούμενες δύο υποομάδες.

### **2.3. ΣΥΝΟΨΗ**

Από την ανάλυση των υδροχημικών χαρακτηριστικών των δειγμάτων νερού που προέρχονται από τις γεωτρήσεις της περιοχής μελέτης και λαμβάνοντας υπόψη τη γεωλογική δομή του χώρου, προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα, η πιστοποίηση των οποίων θα έρχοζε πρόσθετων εργασιών και πρωτογενών δεδομένων που ωστόσο δεν υπάρχουν σήμερα διαθέσιμα.

Στην περιοχή εκτιμάται ότι αναπτύσσεται ένα σύστημα υπόγειας υδροφορίας που αποτελείται από ένα φρεάτιο υδροφορέα μικρού πάχους και δυναμικού και από ένα βαθύτερο υπό πίεση υδροφορέα, ή ένα σύστημα επάλληλων υπό πίεση υδροφορέων. Το υπόγειο δυναμικό των υδροφορέων αυτών πρέπει να είναι σχετικά περιορισμένο και ειδικά αυτό του βαθύτερου συστήματος φαίνεται να διακρίνεται και από μικρό βαθμό ανανεωσιμότητας των υδατικών του αποθεμάτων. Ενδέχεται να υπάρχει περιορισμένη υδραυλική επικοινωνία μεταξύ των υδροφόρων αυτών οριζόντων, ενώ όσον αφορά στην πεδινή ζώνη, ο υδροφόρος ορίζοντας που αναπτύσσεται εκεί φαίνεται να δέχεται τροφοδοσία απευθείας μέσω κατεισδύσεων διάχυτης ή εστιασμένης μορφής (αγροτικές εκμεταλλεύσεις και κοίτες ρεμάτων, αντίστοιχα). Στην πεδινή ζώνη, είτε λόγω συνθηκών ιζηματογένεσης είτε/και λόγω τεκτονικών αιτιών, ο φρεάτιος ορίζοντας θα πρέπει να ενοποιείται ή να επικοινωνεί με τον υποκείμενο υπό πίεση υδροφόρο ορίζοντα.

Δε διαφαίνεται εμφανώς θαλάσσια διείσδυση, αν και σημάδια αυτής θα μπορούσαν να αναγνωριστούν στην πεδινή ζώνη της περιοχής μελέτης. Παράλληλα, δεν είναι γνωστή η εξέλιξη της υπόγειας υδροφορίας, καθότι είναι αδύνατη η παρακολούθηση της εξέλιξης της υπόγειας στάθμης λόγω της απουσίας κατάλληλης υποδομής για σταθμημέτρηση στα υφιστάμενα υδροληπτικά έργα. Η πορεία εξέλιξης ωστόσο των υδροληπτικών έργων (σταδιακή μετακίνηση των αντλητικών συγκροτημάτων σε μεγαλύτερα βάθη, κατασκευή προοδευτικά βαθύτερων γεωτρήσεων), αλλά και των υδρολιθολογικών χαρακτηριστικών της περιοχής, όπως αυτά αναλύθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο, αποτελούν σοβαρές ενδείξεις ότι η περιοχή βρίσκεται σε καθεστώς έντονης εκμετάλλευσης και αρνητικού υδατικού ισοζυγίου. Η παρατήρηση αυτή συνάδει με τους υπολογισμούς του υδατικού ισοζυγίου ολόκληρης της Λ.Α.Π., όπως προέκυψε από την πρόσφατη διαχειριστική μελέτη για το υδατικό δυναμικό του διαμερίσματος GR 10.

Στην περιοχή παρατηρείται παντελής έλλειψη παρακολούθησης της εξέλιξης των ποσοτικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών των υδατικών πόρων και συνεχής εκβάθυνση μέσω αντικαταστάσεων των υφιστάμενων υδροληπτικών έργων. Ταυτόχρονα, δεν είναι γενικευμένη η εικόνα χρήσης με συστηματικό τρόπο μη υδροβόρων μεθόδων άρδευσης. Κατά κοινό κανόνα της χώρας μας, τα περισσότερα των αντλητικών συγκροτημάτων που βρίσκονται εγκατεστημένα στις γεωτρήσεις είναι υπερδιαστασιολογημένα όσον αφορά στη δυναμικότητά τους, σε σχέση με τη δυναμικότητα του υδροφόρου συστήματος. Ως αποτέλεσμα, αναμένεται να έχουν προκληθεί σημαντικές πτώσεις στάθμης που κατά πάσα πιθανότητα δεν ανακάμπτουν εντός του υδρολογικού έτους. Παράλληλα, η άντληση από μεγάλα βάθη προκαλεί αύξηση του ενεργειακού κόστους ανάκτησης του νερού και επομένως σημαντική επιβάρυνση στο κόστος παραγωγής. Ταυτόχρονα, η άντληση νερού με τους παραπάνω



όρους προκαλεί περαιτέρω φθορές στα αντλητικά συγκροτήματα, αυξάνοντας με τον τρόπο αυτό επιπρόσθετα το κόστος συντήρησης και λειτουργίας τους.

Η εκτεταμένη και συστηματική άσκηση αγροτικών δραστηριοτήτων αποτυπώνεται στα δείγματα νερού της χαμηλής πεδινής ζώνης όπου τα υδροληπτικά έργα είναι μικρού βάθους και κατά πάσα πιθανότητα υδρομαστεύουν τη ρηχότερη φρεάτια ή μερικώς ελεύθερη υδροφορία. Τούτο αποτυπώνεται στις υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών ιόντων που παρατηρούνται κατ' αποκλειστικότητα στη ζώνη αυτή. Όπως έχει αναλυθεί και στο προηγούμενο κεφάλαιο, η εικόνα αυτή των σχετικά αυξημένων συγκεντρώσεων νιτρικών θα μπορούσε να συσχετίζεται και με την επιλεκτική ή/και διάχυτη κατείσδυση συγκεντρώσεων ρύπων κατά τις περιόδους ισχυρών βροχοπτώσεων όπου παρατηρείται πλημμύριση των κοιτών των ρεμάτων και κατάκλυση μεγάλων πεδινών εκτάσεων. Τα ύδατα των πλημμυρικών απορροών χαρακτηρίζονται από υψηλές στερεοπαροχές αποτελούμενες από διαβρωμένες γεωργικές γαίες των ανάντη καλλιεργούμενων ζωνών.

Εκτιμάται ότι η συνέχιση αυτής της μορφής διαχείρισης των γεωργικών γαιών και των υδατικών πόρων μπορεί σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα να προκαλέσει σημαντική βλάβη στο υδροφόρο σύστημα και αδυναμία κάλυψης των υδατικών αναγκών της περιοχής. Καθώς το υδατικό δυναμικό του συστήματος είναι περιορισμένο και ο ρυθμός ανανεωσιμότητάς του μικρός, η συνεχής υπεράντληση αφενός και η «τροφοδοσία του» με ρύπους αφετέρου μπορεί να προκαλέσουν στέρηση του συστήματος στα ανάντη τμήματα αυτού καθώς επίσης και επιδείνωση ή/και επιβάρυνση της ποιότητάς του στα πεδινά παραλιακά τμήματα. Τέλος, για την πεδινή τουλάχιστον ζώνη δεν μπορεί να αποκλειστεί και η εκκίνηση θαλάσσιας διείσδυσης σε περίπτωση επιπρόσθετης επιβάρυνσης του υδροφόρου συστήματος. Η συνεχιζόμενη ή και η εντατικοποίηση των αντλήσεων στην ανάντη ζώνη που αναπτύσσεται η βαθύτερη υδροφορία θα μπορούσε πέραν της στέρησης αυτής, ή πριν την πρόκλησή της να οδηγήσει στην προοδευτική αύξηση της αλατότητας μέσω της ενεργοποίησης βαθύτερων εγκλωβισμένων υδροφοριών. Με βάση την ανάλυση των δεδομένων που συλλέχτηκαν, η εικόνα αυτή ήδη φαίνεται να αποτυπώνεται στην ημιλοφώδη ζώνη, όπως παρουσιάστηκε στις προηγούμενες παραγράφους.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΑΡΔΕΥΣΗΣ**

Το αρδευτικό νερό περιέχει διαλυμένα άλατα. Η συγκέντρωση αυτών και η σύσταση τους ποικίλει ανάλογα με την πηγή του νερού και την εποχή του χρόνου. Νερό υψηλής αλατότητας μπορεί να προκύψει είτε με τη διάσπαση του μέσα από γεωλογικούς σχηματισμούς πλούσιους σε διαλυτά άλατα είτε με τη μετακίνηση του μέσα από ένα υπερβολικά αλατούχο υπόγειο ορίζοντα (Καλλέργης, 1985, Μαλεφάκης, 1998). Κατά τη θερινή περίοδο, οι συγκεντρώσεις των αλάτων είναι συνήθως μεγαλύτερες από εκείνες του χειμώνα.

Η αξιολόγηση της καταλληλότητας ενός νερού για άρδευση δεν πρέπει να βασίζεται μόνο στα ποιοτικά του χαρακτηριστικά και στην κατάταξή του με βάση κάποια υφιστάμενη μεθοδολογία, αλλά πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και άλλοι παράγοντες που αναφέρονται παρακάτω (Fireman & Hayward, 1955, Bernstein & Fireman, 1957, Fireman & Branson, 1965, Aziz, 1968; Maas & Hoffman, 1977, Maas, 1985, Πανώρας, 1985, Bucks et al., 1990, Πανώρας κ.ά., 1994, Πανώρας, 1995, Gupta & Gupta, 1997, Navarro et al., 1999, Oron et al., 2002, Tyagi et al., 2003, Katerji et al., 2004, Malsh et al., 2005, Kaman et al., 2006, Mousavi et al., 2009, Perez-Perez et al., 2009, Kizilgoz, & Sakin, 2010, Nagaz et al., 2008, 2012a,b, Noshadi et al., 2013, Rahil et al., 2013, Tavousi et al., 2015, Rameshwaran et al., 2016).

### **3.1. ΚΛΙΜΑ**

Το ύψος βροχόπτωσης παίζει σημαντικό ρόλο στη διαχρονική χρήση των αρδευτικών νερών γιατί μπορεί να συμβάλλει στην έκπλυση ή όχι των εδαφών από τα άλατα που συσσωρεύονται κατά την αρδευτική περίοδο. Σε υγρές περιοχές, όπου η άρδευση γίνεται συμπληρωματικά, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί νερό υψηλής αλατότητας χωρίς κανένα κίνδυνο για το έδαφος και τις καλλιέργειες. Αντίθετα, σε περιοχές όπου επικρατούν άνεμοι και υψηλές θερμοκρασίες σε συνδυασμό με χαμηλή ετήσια βροχόπτωση, χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή κατά την εκτίμηση της καταλληλότητας του αρδευτικού νερού.

Το κλίμα παίζει σπουδαίο ρόλο στην αντοχή των καλλιεργειών. Γενικά, καλλιέργειες αναπτυσσόμενες σε δροσερά κλίματα ή κατά τη διάρκεια δροσερής εποχής του χρόνου είναι πιο ανθεκτικές στα άλατα από εκείνες που αναπτύσσονται σε θερμές περιόδους χαμηλής υγρασίας ή υψηλής εξατμισοδιαπνοής.

### **3.2. ΣΤΡΑΓΓΙΣΗ**

Η εξασφάλιση συνθηκών πλήρους στράγγισης έχει πολύ μεγάλη σημασία για το έδαφος και το φυτό (Τερζίδης & Καραμούζης, 1986, Τερζίδης & Παπαζαφειρίου, 1998). Μπορούν να αναφερθούν πολλά παραδείγματα χρήσης νερών υψηλής αλατότητας σε περιπτώσεις που εξασφαλίζεται η στράγγιση, π.χ. όπου η υπόγεια στάθμη του νερού βρίσκεται σ' ένα ικανοποιητικό βάθος κάτω από την επιφάνεια του εδάφους λόγω ικανοποιητικής φυσικής ή τεχνητής στράγγισης. Αντίθετα, εκεί που η στράγγιση δεν είναι πλήρης, δηλαδή ο υπόγειος ορίζοντας είναι σε βάθος μικρότερο του 1 m από την επιφάνεια του εδάφους, το νερό που εφαρμόζεται με τις αρδεύσεις δεν μπορεί να παρασύρει τα άλατα του εδάφους και έτσι δημιουργούνται αλατούχα και νατριομένα εδάφη (U.S.S.L, 1954, Mohamed & Amer, 1972).

### **3.3. ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ**

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι άρδευσης και η επιλογή της κάθε μίας προϋποθέτει εκτός των άλλων και τη γνώση της ποιότητας του νερού που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί (U.S.D.A., 1956, 1971, 1974a,b, 1984, Bernstein & Francois, 1973, F.A.O., 1968, 1974, 1980, Bucks et al., 1982, Dedrick et al., 1982, Παπαζαφειρίου, 1976, 1984, Kandiah, 1990a, Παπαμιχαήλ, 2000, Παπαμιχαήλ & Μπαμπατζιμόπουλος, 2014).

Η άρδευση με κατάκλιση προσφέρεται για χρήση νερών υψηλής αλατότητας επειδή, η κατακόρυφη κίνηση του νερού στο έδαφος εξασφαλίζει καλή έκπλυση των αλάτων, εφόσον βέβαια υπάρχουν ικανοποιητικές συνθήκες φυσικής ή τεχνητής στράγγισης (Παπαζαφειρίου, 1976). Καλή έως άριστη έκπλυση των αλάτων, ιδιαίτερα από την επιφανειακή στρώση του εδάφους, επιτυγχάνει και η άρδευση με καταιονισμό (Παπαζαφειρίου, 1984). Γι' αυτό όλο και περισσότερο χρησιμοποιείται στο πρώτο πότισμα ευαίσθητων στην αλατότητα γραμμικών καλλιιεργειών, όπως είναι το μαρούλι. Οι επόμενες αρδεύσεις μπορούν να γίνουν με ροή. Βέβαια, η διαβροχή των φύλλων προκαλεί συμπίκνωση των αλάτων σε αυτά, γεγονός αρκετά επιζήμιο για αρκετές καλλιέργειες. Στην άρδευση με αυλάκια παρατηρείται υψηλή συγκέντρωση αλάτων στη στέψη αυτών. Η μέθοδος άρδευσης με σταγόνες εφαρμόζεται με επιτυχία χρησιμοποιώντας νερά με υψηλότερα επίπεδα αλατότητας απ' ό,τι στις άλλες μεθόδους (Hanson et al., 1996, Hanson & May, 2011). Στην περίπτωση αυτή είναι πολύ σημαντικό να υπάρχουν ποσοτικά επαρκείς εποχιακές βροχοπτώσεις, που θα μετακινήσουν τα άλατα κάτω από τη ζώνη του ριζοστρώματος. Οι μέθοδοι υπέρδευσης χρειάζονται ιδιαίτερη προσοχή και δε συνιστώνται όταν τα νερά είναι αλατούχα ή ακόμη και μέτρια αλατούχα.

### 3.4. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΕΛΑΦΟΥΣ

Με την άρδευση των καλλιεργειών, το έδαφος εμπλουτίζεται με άλατα, πολλά ή λίγα, ανάλογα με την ποιότητα του νερού. Η εξάτμιση της υγρασίας από την επιφάνεια του εδάφους δεν αφαιρεί τα άλατα, αντίθετα τα μετακινεί προς τις ανώτερες εδαφικές στρώσεις. Επίσης, με το φαινόμενο της διαπνοής, μικρό μόνο ποσοστό αλάτων απορροφείται από τις ρίζες των φυτών. Συνεπώς, η χρήση αλατούχων νερών έχει σαν αποτέλεσμα τη συγκέντρωση των διαλυτών αλάτων στο έδαφος, εκτός κι αν εφαρμόζεται έκπλυση και στράγγιση του εδάφους (Grattan & Rhoades, 1990, Αντωνόπουλος, 1993, 1998, Gupta & Gupta, 1997, Hanson et al., 1999, AgSource, 2006).

Ακόμη και νερό εξαιρετικής ποιότητας εμπλουτίζει το έδαφος με άλατα. Εφαρμογή 500 mm ( $m^3$ /στρέμμα) νερού που περιέχει μόνο 250 mg/l διαλυμένα άλατα, προσθέτει 125 Kg αλάτων σε κάθε στρέμμα το χρόνο. Αν τα άλατα αυτά δε μετακινηθούν ή δεν απομακρυνθούν από τη ζώνη του ριζοστρώματος των καλλιεργειών, η αλάτωση των εδαφών μέσα σε 20-30 χρόνια είναι βέβαιη (Rhoades, 1972, Grattan, 2002).

Γενικά, η συγκέντρωση των αλάτων στο εδαφικό διάλυμα αυξάνει με το βάθος και η καλλιέργεια παίρνει το περισσότερο νερό από τα ανώτερα στρώματα του εδάφους, όπου η συγκέντρωση των αλάτων είναι χαμηλότερη (Ayers & Westcot, 1985). Έτσι, η επίδραση της συγκέντρωσης των αλάτων στην ανάπτυξη και απόδοση των φυτών είναι μικρότερη από ότι θα αναμενόταν, εάν η συγκέντρωση των αλάτων ήταν σταθερή σε όλο το βάθος του ριζοστρώματος. Επομένως, η διαχείριση της επάνω κριτικής ζώνης του ριζοστρώματος ίσως είναι τόσο σημαντική όσο είναι η διενέργεια πλήρους έκπλυσης για την παρεμπόδιση της συγκέντρωσης των αλάτων στο σύνολο της ριζικής ζώνης.

Μερικά άλατα ή ιόντα που είναι επωφελή σε μικρές συγκεντρώσεις, μπορεί να συγκεντρωθούν στο εδαφικό διάλυμα σε τέτοιες ποσότητες ώστε να προκαλέσουν τοξικές επιδράσεις στα φυτά όπως B, Na, Cl.

Επιπλέον, υψηλή συγκέντρωση Na στο αρδευτικό νερό μπορεί να απορροφηθεί από το εδαφικό σύμπλοκο και να προκαλέσει ανεπιθύμητες φυσικές ιδιότητες στο έδαφος, όπως είναι η μείωση της διηθητικής ικανότητας και της υδραυλικής αγωγιμότητας του εδάφους. Τα προβλήματα αυτά σχετίζονται και με νερά πολύ χαμηλής αλατότητας (Rhoades, 1977, Oster & Schroer, 1979).

Αν και η δυσμενής επίδραση του Na στην περατότητα του εδάφους έχει αναγνωρισθεί από πολλά χρόνια, για την εκτίμηση του κινδύνου δημιουργίας εδαφών με μειωμένη περατότητα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και άλλοι παράγοντες όπως είναι:

- η συγκέντρωση του Na σε σχέση με τη συγκέντρωση Ca + Mg
- η συγκέντρωση των CO<sub>3</sub> και των HCO<sub>3</sub>
- η συνολική συγκέντρωση του νερού σε άλατα

Ιχνοστοιχεία όπως Al, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Zn που συσσωρεύονται στο έδαφος ως αποτέλεσμα του συνδυασμού υψηλών συγκεντρώσεων στο αρδευτικό νερό και κακής διαχείρισης αυτού μπορούν να προκαλέσουν τοξικά φαινόμενα στα φυτά και να εκθέσουν σε κίνδυνο τους καταναλωτές των γεωργικών προϊόντων (USEPA, 1973, Ayers & Westcot, 1985, Page & Chang, 1985, Westcot & Ayers, 1985). Οι φυσικές ιδιότητες του εδάφους παίζουν σημαίνοντα ρόλο στην αξιολόγηση της καταλληλότητας του αρδευτικού νερού, αλλά πάντοτε πρέπει να λαμβάνεται υπόψη τόσο η στράγγιση όσο και η μέθοδος άρδευσης. Σε γενικές γραμμές, εδάφη χαρακτηριζόμενα ως βαριά έχουν μεγάλο μικροπορώδες και μικρή τιμή διηθητικότητας, πράγμα το οποίο αποτελεί πρόβλημα στη χρήση, όχι μόνο του ποιοτικά υποβαθμισμένου νερού, αλλά και του άριστου ποιοτικά νερού. Το αντίθετο βέβαια συμβαίνει με τα ελαφρά εδάφη.

### **3.5. ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΤΑ ΑΛΑΤΑ**

Οι καλλιέργειες ποικίλουν όσον αφορά στο όριο αντοχής τους σε άλατα, και ορισμένες μπορούν να αντέξουν πολύ περισσότερο την αλατότητα απ' ό,τι άλλες, χωρίς να παρατηρείται υπερβολική μείωση της παραγωγής. Η αντοχή των καλλιεργειών διαφοροποιείται ανάλογα με τον τρόπο διαχείρισης του νερού, το στάδιο ανάπτυξης του φυτού, το ριζόστρωμα, την ποικιλία του φυτού και το κλίμα (Maas & Hoffman, 1977, Maas, 1984, 1985, 1990).

Για πολλές καλλιέργειες (τεύτλα, ρύζι, σιτάρι, κριθάρι και αρκετά λαχανικά) το φύτευμα των σπόρων είναι το πλέον ευαίσθητο στάδιο. Εάν η εδαφική αλατότητα στο επιφανειακό στρώμα του εδάφους (περιοχή τοποθέτησης σπόρου) είναι μεγαλύτερη από 4 dS/m (για ορισμένες ευαίσθητες καλλιέργειες μεγαλύτερες από 2 dS/m), τότε είναι πιθανό να εμποδιστεί ή να καθυστερήσει το φύτευμα και η ανάπτυξη των βλαστιδίων κατά τα πρώτα στάδια (Maas, 1990, Μισοπολινός, 1991).

Το ριζικό σύστημα επιδρά στην αντοχή ορισμένων δενδρωδών καλλιεργειών στην αλατότητα, όπως τα εσπεριδοειδή. Διάφορες ποικιλίες εμφανίζουν σημαντικές διαφορές σε ότι αφορά στην

αντοχή τους στην αλατότητα. Οι διαφορές αυτές χρησιμοποιήθηκαν για την επιλογή εμπορικών φυτών τόσο από πλευράς ποικιλίας όσο και ριζικού συστήματος.

Η αλατότητα επηρεάζει την ανάπτυξη των καλλιεργειών κατά δύο τρόπους: α) με την αύξηση της οσμωτικής πίεσης του εδαφικού διαλύματος και β) με την τοξική δράση ορισμένων ιόντων.

Η αύξηση της οσμωτικής πίεσης μειώνει τη δυνατότητα πρόσληψης από το φυτό της απαραίτητης ποσότητας νερού (Πίνακας 3.1) παρά την ύπαρξη επαρκούς εδαφικής υγρασίας.

Η μείωση τόσο της ανάπτυξης όσο και της απόδοσης των καλλιεργειών είναι περίπου ανάλογη, με τη συγκέντρωση των αλάτων στο εδαφικό διάλυμα στη ζώνη του ριζοστρώματος και είναι ανεξάρτητη κατά μεγάλο μέρος από το είδος των αλάτων. Κάτω όμως από αρδευόμενες συνθήκες, το ριζικό σύστημα της αναπτυσσόμενης καλλιέργειας δεν εκτίθεται σε ομοιόμορφη συγκέντρωση αλάτων σε όλο το βάθος της ριζικής ζώνης. Τα λιπάσματα γενικά δε θεωρείται ότι αυξάνουν την αντοχή των καλλιεργειών στην αλατότητα.

**Πίνακας 3.1. Αντιστοιχία οσμωτικής πίεσης εδαφοδιαλύματος και τιμής απορρόφησης νερού από το ριζικό σύστημα του καλαμποκιού**

Οσμωτική πίεση εδαφοδιαλύματος Atm	Τιμή απορρόφησης από τις ρίζες mm <sup>3</sup> /mm <sup>2</sup> /ώρα
0,8	0,249
2,8	0,075
4,8	0,030

Rhoades et al. (1992)

### **3.6. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΟΝ ΑΓΡΟ**

Ο παράγοντας αυτός είναι πολύ σημαντικός. Η σωστή διαχείριση του αρδευτικού νερού μπορεί να εξουδετερώσει πολλά μειονεκτήματα ενός νερού κακής ποιότητας. Για παράδειγμα, εάν εφαρμόζονται δόσεις άρδευσης που περιλαμβάνουν και νερό έκπλυσης σε σχετικά μικρά χρονικά διαστήματα είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν νερά αρκετά αλατούχα χωρίς συσσώρευση υψηλών συγκεντρώσεων αλάτων στο εδαφικό προφίλ, αρκεί να εξασφαλίζεται καλή στράγγιση. Εδάφη με μικρή διαπερατότητα σε όλο το βάθος των ριζών δύσκολα μπορούν να αρδευθούν με αλατούχο νερό.

Στην αρδευόμενη γεωργία απαιτείται συνεχής έλεγχος του ισοζυγίου των πολύ διαλυτών αλάτων νατρίου σε όλη τη ζώνη ριζοστρώματος. Κάθε διαχείριση νερού που δε διατηρεί το ισοζύγιο των

αλάτων Na, θα μειώσει τελικά την παραγωγικότητα του εδάφους. Αυτός ο τύπος του αλατικού ισοζυγίου μπορεί κάλλιστα να επιτευχθεί αυξάνοντας την ομοιομορφία εφαρμογής του νερού και της αρδευτικής αποδοτικότητας, εφαρμόζοντας πλήρεις αλλά όχι υπερβολικές ποσότητες νερού, και λαμβάνοντας υπόψη την έκπλυση που ολοκληρώνεται από τις εποχιακές βροχοπτώσεις (F.A.O., 1984). Σε κάθε περίπτωση, η επίτευξη καλής έως άριστης στράγγισης των γεωργικών εδαφών αποτελεί προαπαιτούμενο της ορθολογικής διαχείρισης του αρδευτικού νερού (Ayars et al., 1993, Hanson et al., 1999).

Τα αρδευτικά νερά δε δημιουργούν προβλήματα στο έδαφος και τα φυτά, εάν ο χρήστης γνωρίζει τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά και τον τρόπο ορθολογικής διαχείρισης του συστήματος έδαφος-φυτό-νερό κάτω από τις υφιστάμενες κλιματικές συνθήκες. Βέβαια, υπάρχουν και ακραίες περιπτώσεις νερών άρδευσης, αυτές όμως είναι σπάνιες και οι ελλοχεύοντες σοβαροί κίνδυνοι για το προαναφερθέν σύστημα συμπεριλαμβανομένου και του ανθρώπου μπορούν να αντιμετωπισθούν εφόσον υπάρχει συνεργασία με εξειδικευμένους επιστήμονες.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΠΟΙΟΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΤΑΞΗΣ ΝΕΡΩΝ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΡΔΕΥΣΗΣ**

Για την αξιολόγηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των αρδευτικών νερών έχουν προταθεί κατά καιρούς διάφορες ποιοτικές κατατάξεις που εκτιμούν τους κινδύνους που είναι πιθανό να εμπεριέχει η χρήση των νερών για το σύστημα έδαφος-φυτό. Οι κατατάξεις αυτές δίνονται με τη μορφή πινάκων, διαγραμμάτων ή συνδυασμό πινάκων και διαγραμμάτων. Οι σημαντικότερες των ποιοτικών κατατάξεων που χρησιμοποιήθηκαν επιτυχώς επί σειρά ετών και χρησιμοποιούνται έως σήμερα καθώς και οι πλέον πρόσφατες κατατάξεις που προσέθεσαν νέα στοιχεία διερεύνησης της ποιότητας των αρδευτικών νερών αναφέρονται στην ενότητα αυτή.

### **4.1. ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΥΣ SCOLFIELD-EATON**

Οι Scolfield (1933) και ο Eaton (1942, 1950) έδειξαν με τις έρευνές τους ότι, νερά με ποσοστό Na μεγαλύτερο από 70% είναι ακατάλληλα για άρδευση. Αργότερα, ο Scofield (1935) δημιούργησε τον Πίνακα 4.1 με τα επιτρεπτά όρια των αρδευτικών νερών σε σχέση με τη συγκέντρωση των συνολικών διαλυτών αλάτων, το ποσοστό Na (%) και τη συγκέντρωση των ανιόντων Cl<sup>-</sup> και SO<sub>4</sub><sup>-</sup>.

**Πίνακας 4.1. Επιτρεπτά όρια για την ποιοτική κατάταξη του αρδευτικού νερού**

Κατηγορίες αρδευτικού νερού	Συγκέντρωση συνολικών διαλυτών αλάτων			Συγκέντρωση ιόντων	
	Ηλεκτρική αγωγιμότητα μS/cm	Άλατα ppm	Na %	Χλώριο meq/L	Θειικά meq/L
<b>Άριστο</b>	<250	<175	<20	<4	<4
<b>Καλό</b>	250-750	175-525	20-40	4-7	4-7
<b>Ανεκτό</b>	750-2000	525-1400	40-60	7-12	7-12
<b>Αμφίβολο</b>	2000-3000	1400-2100	60-80	12-20	12-20
<b>Επιβλαβές</b>	>3000	>2100	>80	>20	>20

Scofield (1933), Eaton (1942, 1950)

Ο Eaton (1954) αναφέρει για το Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ότι, νερά με περισσότερο από 2,5 meq/L δεν είναι κατάλληλα για άρδευση και η συνεχής χρήση τέτοιων νερών εγκυμονεί κινδύνους



νατρίωσης των καλλιεργούμενων εδαφών. Νερά που περιέχουν 1,25-2,5 meq/L  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  μπορούν να χρησιμοποιηθούν για άρδευση κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις όπως, συχνοί εργαστηριακοί έλεγχοι εδάφους και φυτών, πιθανές προσθήκες ασβεστούχων υλικών συνδυασμένες με εκπλύσεις και στραγγίσεις. Τέλος, νερά που έχουν τιμές μικρότερες από 1,25 meq/L είναι ασφαλή για συνεχή αρδευτική χρήση (Πίνακας 4.2).

**Πίνακας 4.2. Επιτρεπτά όρια RSC για την ποιοτική κατάταξη του αρδευτικού νερού**

Συγκέντρωση υπολειμματικού ανθρακικού νατρίου (RSC) σε meq/L	Ποιοτική εκτίμηση νερού άρδευσης
<1,25	Κατάλληλο
1,25-2,5	Κατάλληλο με προϋποθέσεις
>2,5	Ακατάλληλο

Eaton (1954)

#### **4.2. ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΥΣ WILCOX – MAGISTAD**

Οι Wilcox & Magistad (1943) υιοθετούν μία πιο απλή κατάταξη, όπως δίνεται στον Πίνακα 4.3, όπου περιλαμβάνονται μερικές υποσημειώσεις που καθορίζουν τρεις κατηγορίες νερού. Η κατάταξη αυτή χρησιμοποιήθηκε και από τους Magistad & Christiansen (1944) ως οδηγός για την εκτίμηση της ποιότητας του νερού. Αν το νερό κατατάσσεται στην τρίτη κατηγορία έστω και σε ένα μόνο παράγοντα, τότε χαρακτηρίζεται ακατάλληλο για άρδευση κάτω από τις περισσότερες συνθήκες.

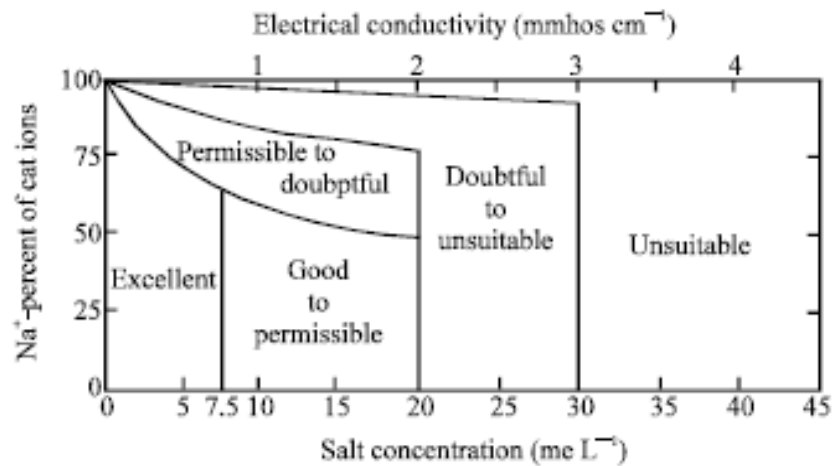
**Πίνακας 4.3. Ποιοτική κατάταξη αρδευτικών νερών κατά Wilcox - Magistad**

Κατηγορίες αρδευτικού νερού	Ηλεκτρική αγωγιμότητα $\mu\text{S}/\text{cm}$	Άλατα ppm	Na %	Βόριο ppm
Άριστο ως καλό. Κατάλληλο για τις περισσότερες καλλιέργειες κάτω από όλες τις συνθήκες.	<1000	<700	<60	<0.5
Καλό ως επιζήμιο. Πιθανά επιβλαβές σε πολλές ευαίσθητες καλλιέργειες.	1000-3000	700-2000	60-70	0.5-2.0
Επιζήμιο ως μη ικανοποιητικό. Πιθανά βλαβερό στις περισσότερες καλλιέργειες και μη ικανοποιητικό για όλες, εκτός των πολύ ανθεκτικών.	>3000	>2000	>70	>2.0

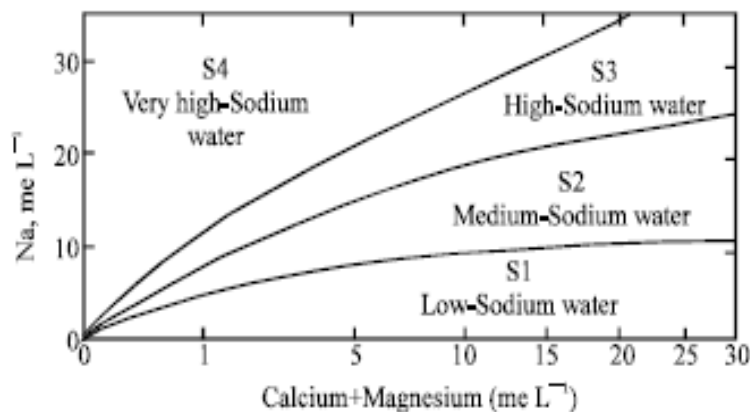
Wilcox & Magistad (1943)

Το 1948, ο Wilcox πρότεινε μία διαφορετική κατάταξη με το Διάγραμμα 4.1 και παρουσίασε ένα πίνακα με τα επιτρεπτά όρια, παρόμοιο με εκείνο που δόθηκε από το Scofield (1933), χωρίς να περιλαμβάνει όρια για τα ανιόντα χλώριο και θειϊκά. Η κύρια διαφορά μεταξύ του Διαγράμματος 4.1 και των προηγούμενων κατατάξεων είναι ότι νερά που έχουν χαμηλή συγκέντρωση αλάτων σε σχέση με υψηλό ποσοστό νατρίου (60-90 %), κατατάσσονται ως άριστα.

Το 1958, ο Wilcox δέχεται τέσσερις παράγοντες που επιδρούν στην ποιότητα του αρδευτικού νερού: αλατότητα, Na, B,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Σε ότι αφορά στην αλατότητα δέχεται τις κατηγορίες που πρότεινε το U.S.S.L. (1954). Για την κατάταξη όμως του νερού σε σχέση με τον κίνδυνο του Na παρουσιάζει το Διάγραμμα 4.2 όπου:  $S_1$  είναι νερό με μικρό κίνδυνο στο Na,  $S_2$  είναι νερό με μέσο κίνδυνο στο Na,  $S_3$  είναι νερό με υψηλό κίνδυνο στο Na και  $S_4$  είναι νερό με πολύ υψηλό κίνδυνο στο Na.



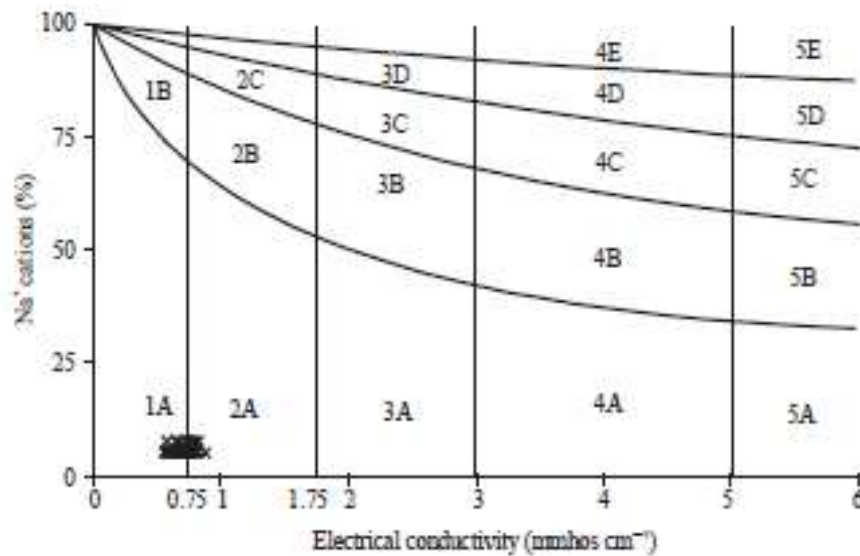
**Διάγραμμα 4.1. Ποιοτική κατάταξη αρδευτικού νερού**  
(Wilcox, 1948)



**Διάγραμμα 4.2. Κίνδυνος Na από τη χρήση του αρδευτικού νερού**  
(Wilcox, 1958)

### 4.3. ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΥΣ THORNE – THORNE

Σε μελέτη νερών της Utah, οι Thorne & Thorne (1951) παρουσίασαν το Διάγραμμα 4.3 κατάταξης του νερού, το οποίο είναι παρόμοιο με εκείνο του Wilcox (1948). Το Διάγραμμα 4.3 αναφέρεται σε δύο βασικά κριτήρια: α) ηλεκτρική αγωγιμότητα με διαβάθμιση από 1-5 και β) επίδραση νατρίου από Α-Ε. Το διάγραμμα αυτό δίνει 1Α διαβάθμιση για νερό που έχει χαμηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC κάτω των 750  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) και υψηλό Na % (πάνω από 60%).



**Διάγραμμα 4.3. Ποιοτική κατάταξη αρδευτικού νερού**  
(Thorne & Thorne, 1951)

### 4.4. ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ U.S.S.L.

Το εργαστήριο αλατότητας των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής (U.S.S.L., 1954) δημιούργησε το ημιλογαριθμικό Διάγραμμα 4.4, όπου τα νερά κατατάσσονται με βάση την περιεκτικότητά τους σε άλατα και νάτριο. Οι τρεις πλάγιες γραμμές που χωρίζουν τις τέσσερις κατηγορίες κινδύνου αλκαλικότητας/νατρίωσης εκφράζονται μαθηματικά από τις σχέσεις 4.1, 4.2 και 4.3.

$$\text{Ανώτερη γραμμή} \quad S = 17,14 - 8,87 * \log_{10} C \quad (4.1)$$

$$\text{Μεσαία γραμμή} \quad S = 11,33 - 6,66 * \log_{10} C \quad (4.2)$$

$$\text{Κάτω γραμμή} \quad S = 5,55 - 4,44 * \log_{10} C \quad (4.3)$$

όπου S= ο λόγος προσροφημένου νατρίου [ $\text{meq}/\text{L}$ ]<sup>1/2</sup> και C=η ηλεκτρική αγωγιμότητα [ $\text{mS}/\text{cm}$ ].

Οι Bernstein & Francois (1963), Rhoades et al. (1973) and Rhoades (1974) αναφέρουν ότι η χρήση αλατούχων νερών στην άρδευση των καλλιεργειών δεν προκαλεί σημαντική μείωση της παραγωγής όταν η συγκέντρωση των αλάτων στο ανώτερο τμήμα του ριζικού συστήματος είναι μικρότερη από εκείνη του κατώτερου τμήματος του ριζικού συστήματος. Για το λόγο αυτό, τα όρια αντοχής των φυτών στην αλατότητα που προτείνει το U.S.S.L. (1954) μπορούν να αναθεωρηθούν έτσι ώστε περισσότερα νερά να θεωρηθούν κατάλληλα για άρδευση. Επίσης, αναδεικνύεται και η μεγάλη σημασία της έκπλυσης και της στράγγισης των γεωργικών εδαφών (U.S.D.A., 1971, Τερζίδης & Καραμούζης, 1986, Grattan & Rhoades, 1990, Hanson et al., 1999, Cross, 2001, Kiremit & Arslan, 2016).

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή προσδιορίζονται στο εργαστήριο, η ηλεκτρική αγωγιμότητα σε μhos/cm ( $EC * 10^6$ ) σε 25°C και ο λόγος προσρόφησης νατρίου (SAR, meq/L<sup>0.5</sup>) βάσει της περιεκτικότητας του νερού σε Na<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup> και Mg<sup>++</sup> σε meq/L. Από τη συγκέντρωση των τριών αυτών κατιόντων προκύπτει ο λόγος προσρόφησης νατρίου που δίνεται από τη Σχέση 4.4 (Richards, 1968).

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2}} \quad (4.4)$$

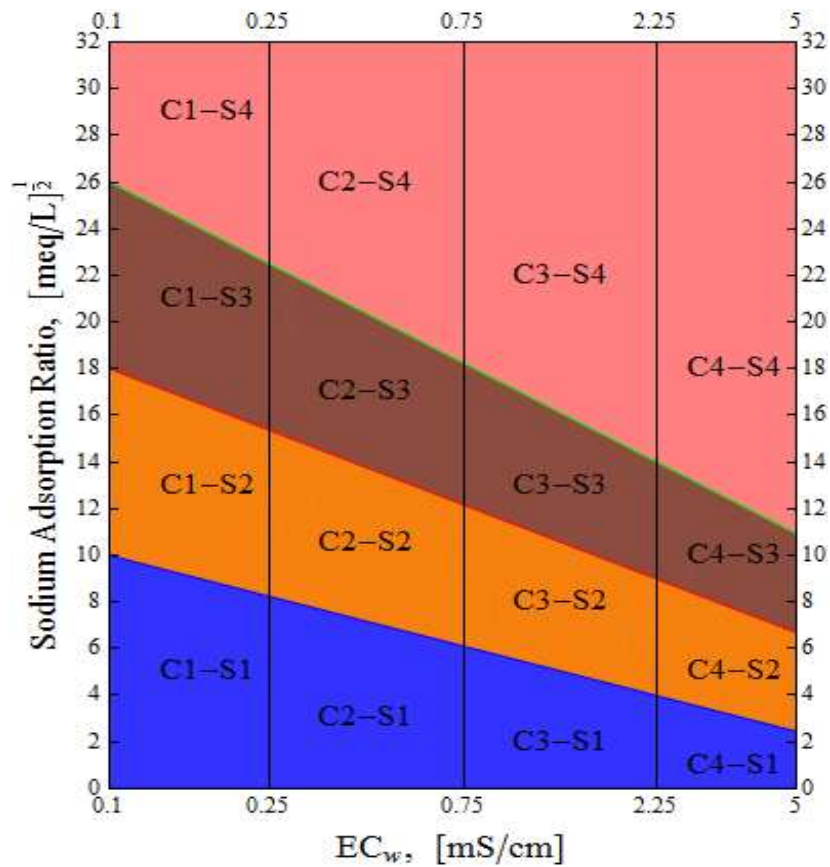
Ο λόγος αυτός βρίσκεται επίσης και με τη βοήθεια του Διαγράμματος 4.5, ως σημείο τομής της ευθείας που δίνουν οι τιμές των συγκεντρώσεων των ιόντων του αρδευτικού νερού Na<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, με τη γραμμή του SAR.

Η κατηγορία που ανήκει το αρδευτικό νερό καθορίζεται από τις τιμές του SAR και της EC<sub>w</sub>, με βάση το Διάγραμμα 4.4. Οι κατηγορίες του Διαγράμματος αυτού αναλύονται ως εξής:

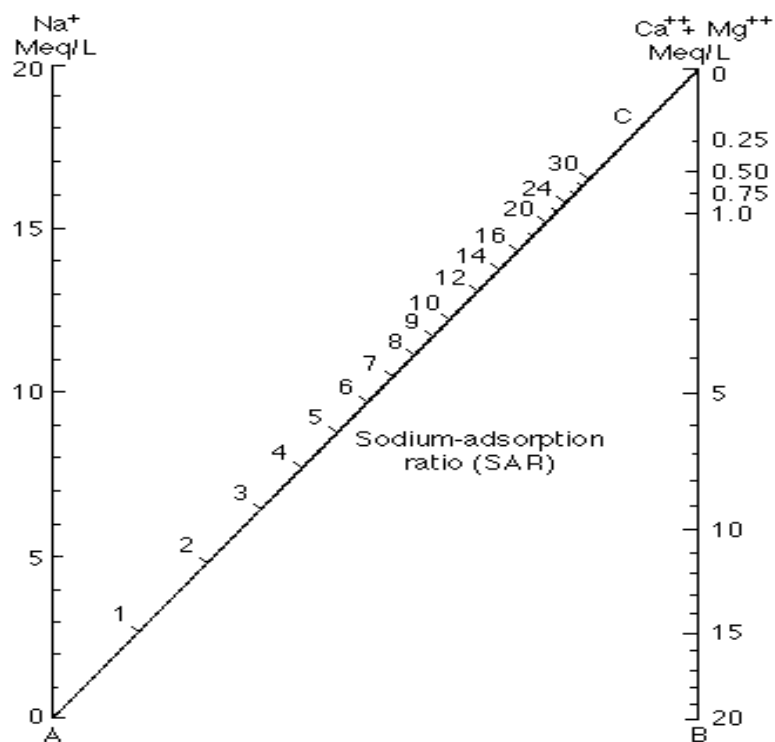
#### **4.4.1. Κατηγορίες ηλεκτρικής αγωγιμότητας ή αλατότητας**

**Κατηγορία C<sub>1</sub>.** Είναι νερό μικρής αλατότητας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση όλων σχεδόν των καλλιεργειών σε όλα σχεδόν τα εδάφη. Απαιτείται ελαφρά έκπλυση των εδαφών, η οποία συνήθως συμβαίνει στην πράξη κατά την εφαρμογή των αρδεύσεων, εκτός και αν πρόκειται για εδάφη με υπερβολικά μικρή υδατοπερατότητα.

**Κατηγορία C<sub>2</sub>.** Είναι νερό μέσης αλατότητας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς δυσμενείς επιπτώσεις επί των φυτών, εφόσον εφαρμόζεται μέτρια έκπλυση στα εδάφη, τα οποία πρέπει να στραγγίζουν καλά. Μπορούν να αναπτυχθούν φυτά μέτριας ανθεκτικότητας στα άλατα, χωρίς να παρθούν ειδικά μέτρα ελέγχου της αλατότητας.



Διάγραμμα 4.4. Ποιοτική κατάταξη αρδευτικού νερού (U.S.S.L., 1954)



Διάγραμμα 4.5. Νομογράφημα για τον υπολογισμό του SAR (Richards, 1968)

**Κατηγορία C<sub>3</sub>.** Είναι νερό υψηλής αλατότητας και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εδάφη με ανεπαρκή στράγγιση. Ακόμη και στις περιπτώσεις κατά τις οποίες η στράγγιση είναι επαρκής, απαιτούνται συνήθως μέτρα ελέγχου της αλατότητας και καλλιέργειες ανθεκτικές στα άλατα.

**Κατηγορία C<sub>4</sub>.** Είναι νερό πολύ υψηλής αλατότητας και το νερό της κατηγορίας αυτής είναι ακατάλληλο για άρδευση κάτω από συνηθισμένες συνθήκες. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε ειδικές περιπτώσεις, δηλαδή όταν το έδαφος είναι πολύ διαπερατό, η στράγγιση είναι επαρκής, εφαρμόζεται περίσσεια νερού για να επιτυγχάνεται σημαντική έκπλυση και καλλιεργούνται φυτά πολύ ανθεκτικά στα άλατα.

#### **4.4.2. Κατηγορίες αλκαλικότητας**

**Κατηγορία S<sub>1</sub>.** Είναι νερό μικρής αλκαλικότητας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση όλων σχεδόν των εδαφών χωρίς κίνδυνο ανάπτυξης αλκαλίωσης σε βαθμό επικίνδυνο για τα φυτά. Παρόλα αυτά σε ορισμένα πολύ ευαίσθητα φυτά, όπως είναι τα εσπεριδοειδή, είναι δυνατό να προξενηθούν βλάβες στα φύλλα, όταν αρδεύονται με καταιόνιση.

**Κατηγορία S<sub>2</sub>.** Είναι νερό μέσης αλκαλικότητας και μπορεί να προξενήσει σοβαρή ζημιά σε πολύ λεπτόκοκκα εδάφη, ιδίως όταν η στράγγιση και η έκπλυση είναι ανεπαρκής. Όταν στο έδαφος υπάρχει επαρκής ποσότητα γύψου, ο κίνδυνος για την πρόκληση ζημιών είναι πρακτικά αμελητέος λόγω της χρήσης νερού της κατηγορίας αυτής.

**Κατηγορία S<sub>3</sub>.** Είναι νερό υψηλής αλκαλικότητας και μπορεί να αποβεί επικίνδυνο στα περισσότερα εδάφη. Χρειάζεται πλήρης στράγγιση, ισχυρή έκπλυση και προσθήκη οργανικής ουσίας. Όταν το νερό έχει χαμηλή ή μέση αλατότητα (C<sub>1</sub> ή C<sub>2</sub>) μπορεί να χρησιμοποιηθεί, εφόσον προστεθούν εδαφοβελτιωτικά, όπως είναι η γύψος, για την αντικατάσταση του ανταλλάξιμου νατρίου από το ασβέστιο.

**Κατηγορία S<sub>4</sub>.** Είναι νερό πολύ υψηλής αλκαλικότητας και γι' αυτό είναι ακατάλληλο για άρδευση σε όλες τις συνηθισμένες περιπτώσεις. Όταν όμως συνδυάζεται με χαμηλή περιεκτικότητα σε άλατα (C<sub>1</sub>), μπορεί να χρησιμοποιηθεί με προσθήκη γύψου.

Όσον αφορά στα επιτρεπτά όρια του βορίου σε σχέση με την ανθεκτικότητα των καλλιεργειών, αυτά δίνονται στον Πίνακα 4.4.

#### **4.5. ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ DONEEN**

Για την ποιοτική κατάταξη των αρδευτικών νερών ο Doneen (1954, 1958) χρησιμοποίησε τρία κριτήρια α) τη δυνατότητα δημιουργίας αλατότητας β) το δείκτη περατότητας και γ) τις τοξικές ουσίες.

**Πίνακας 4.4. Ποιοτική κατάταξη των αρδευτικών νερών σε σχέση με την περιεκτικότητά τους σε βόριο και με την ευπάθεια των καλλιέργειών στο στοιχείο αυτό**

Κατηγορίες αρδευτικού νερού	Καλλιέργειες		
	Ευπαθείς	Μέτρια ανθεκτικές	Ανθεκτικές
	ppm	ppm	Ppm
<b>Άριστο</b>	<0,33	<0,67	<1
<b>Καλό</b>	0,33-0,67	0,67-1,33	1-2
<b>Ανεκτό</b>	0,67-1	1.33-2	2-3
<b>Αμφίβολο</b>	1-1,25	2-2,5	3-3,75
<b>Επιβλαβές</b>	>1,25	>2,5	>3,75

U.S.S.L. (1954)

#### 4.5.1. Δυνατότητα δημιουργίας αλατότητας και κατάταξη των νερών από την άποψη κινδύνου αλάτωσης του εδάφους

Τα άλατα σύμφωνα με τη διαλυτότητά τους διακρίνονται σε μικρής και μεγάλης διαλυτότητας στο νερό και παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.5. Η διαλυτότητα επηρεάζεται από τη συγκέντρωση του CO<sub>2</sub> στο διάλυμα και στον αέρα του εδάφους.

**Πίνακας 4.5. Διαλυτότητα των αλάτων στο νερό**

Άλατα με μικρή διαλυτότητα	Άλατα με μεγάλη διαλυτότητα
Ανθρακικό ασβέστιο, CaCO <sub>3</sub>	Χλωριούχο ασβέστιο, CaCl <sub>2</sub>
Όξινο ανθρακικό ασβέστιο, Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Θειικό μαγνήσιο, MgSO <sub>4</sub>
Θειικό ασβέστιο, CaSO <sub>4</sub>	Χλωριούχο μαγνήσιο, MgCl
Ανθρακικό μαγνήσιο, MgCO <sub>3</sub>	Όξινο ανθρακικό νάτριο, NaHCO <sub>3</sub>
Όξινο ανθρακικό μαγνήσιο, Mg(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Θειικό νάτριο, Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
	Χλωριούχο νάτριο, NaCl

Donnen (1954)

Αν σε μία αρδευόμενη έκταση οι βροχές είναι περιορισμένες και η εφαρμογή του αρδευτικού νερού γίνεται με τρόπο που να μην υπάρχει αξιόλογη έκπλυση, τότε το εδαφο-διάλυμα γίνεται πιο αλατούχο, με αποτέλεσμα να καθιζάνουν τα άλατα με μικρή διαλυτότητα, ενώ τα περισσότερα διαλυτά άλατα συσσωρεύονται και αυξάνουν την αλατότητα του εδαφοδιαλύματος.

Η αλατότητα του εδάφους δημιουργείται από τα χλωριούχα και νατριούχα άλατα και από το θειϊκό μαγνήσιο. Η δυνατότητα δημιουργίας αλατότητας στο έδαφος από ένα αρδευτικό νερό μπορεί να υπολογιστεί από τη συγκέντρωση των χλωριούχων και το μισό των θειϊκών ανιόντων,  $Cl + \frac{1}{2} SO_4$  σε meq/L.

Ο Πίνακας 4.6 ταξινομεί τα αρδευτικά νερά σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με τη δυνατότητα δημιουργίας αλατότητας στο έδαφος.

**Πίνακας 4.6. Ταξινόμηση των αρδευτικών νερών ανάλογα με τη δυνατότητα δημιουργίας αλατότητας στο έδαφος**

Συνθήκες εδάφους	Cl + ½ SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> σε meq/L		
	Κατηγορία 1η	Κατηγορία 2η	Κατηγορία 3η
Μικρή έως μηδαμινή έκπλυση του εδάφους	< 3	3 - 5	> 5
Περιορισμένη έκπλυση Στράγγιση μικρή	< 5	5 – 10	>10
Εδάφη διαπερατά Στράγγιση καλή	< 7	7 - 15	>15

Doneen (1954)

Οι κατηγορίες του Πίνακα 4.6 αναλύονται ως εξής:

**Κατηγορία 1.** Νερό κατάλληλο για άρδευση. Δεν υπάρχει κανένας κίνδυνος αλάτωσης του εδάφους, εκτός από ορισμένες ακραίες περιπτώσεις που δεν παρουσιάζουν όμως γενικό ενδιαφέρον.

**Κατηγορία 2.** Το νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση. Κατά διαστήματα όμως (κάθε 2-3 αρδεύσεις) πρέπει να γίνεται υπεράρδευση για την έκπλυση των αλάτων που συσσωρεύονται στο έδαφος με τις αρδεύσεις. Η περιοδική αυτή έκπλυση έχει σκοπό να απομακρύνει τα άλατα από το έδαφος, με την προϋπόθεση βέβαια ότι η υπόγεια στάθμη του νερού βρίσκεται σε βάθος μεγαλύτερο από 1,2-1,5 m. Αν όμως η στάθμη είναι σε μικρότερο βάθος, με την υπεράρδευση υπάρχει κίνδυνος να ανέβει ακόμα ψηλότερα και να δημιουργήσει, εκτός από την αλατότητα, και άλλα σοβαρά προβλήματα, όπως έλλειψη αερισμού κλπ. Στην περίπτωση αυτή πρέπει, μέχρις ότου κατασκευαστεί το απαραίτητο στραγγιστικό έργο, η έκπλυση να γίνεται μόνο την εποχή που η υπόγεια στάθμη βρίσκεται στο μεγαλύτερο της βάθος (φθινόπωρο). Με τη χρησιμοποίηση νερών της κατηγορίας αυτής επιβάλλεται να ελέγχεται περιοδικά η αλατότητα των εδαφών για τυχόν εντατικοποίηση ή χαλάρωση των μέτρων έκπλυσης. Όπου το ύψος βροχόπτωσης είναι σημαντικό, ο κίνδυνος αλάτωσης είναι μικρότερος.



**Κατηγορία 3.** Ακόμη και το νερό αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση. Επειδή όμως, στην περίπτωση αυτή τα προβλήματα είναι οξύτερα από τη δεύτερη κατηγορία, πρέπει να παίρνονται πιο αυστηρά μέτρα σχετικά με τις εκπλύσεις, ενώ επί πλέον χρειάζεται να γίνεται και επιλογή καλλιεργειών ανθεκτικών στα άλατα. Ο εργαστηριακός έλεγχος πρέπει να γίνεται συχνότερα. Βέβαια, στις περιπτώσεις εκείνες που τα νερά έχουν υπερβολικές συγκεντρώσεις αλάτων, πρέπει να αποφεύγεται η χρησιμοποίησή τους.

#### **4.5.2. Δείκτης περατότητας και κατάταξη των νερών από άποψη κινδύνου αλκαλίωσης του εδάφους**

Πρόσφατες μελέτες έχουν δείξει ότι οι παράγοντες που επηρεάζουν την περατότητα με μακρόχρονη χρήση ενός αρδευτικού νερού είναι οι εξής α) η ολική συγκέντρωση των αλάτων στο νερό β) το περιεχόμενο νάτριο γ) τα περιεχόμενα όξινα ανθρακικά και δ) το ίδιο το έδαφος.

Οι τρεις πρώτοι παράγοντες περιλαμβάνονται σε ένα εμπειρικό τύπο που ονομάζεται δείκτης περατότητας και εκφράζεται με τη Σχέση 4.5.

$$\text{Δείκτης περατότητας} = \frac{\text{Na}^+ + \sqrt{\text{HCO}_3^-}}{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+} \times 100 \quad (4.5)$$

Τα ιόντα εκφράζονται σε meq/L αρδευτικού νερού.

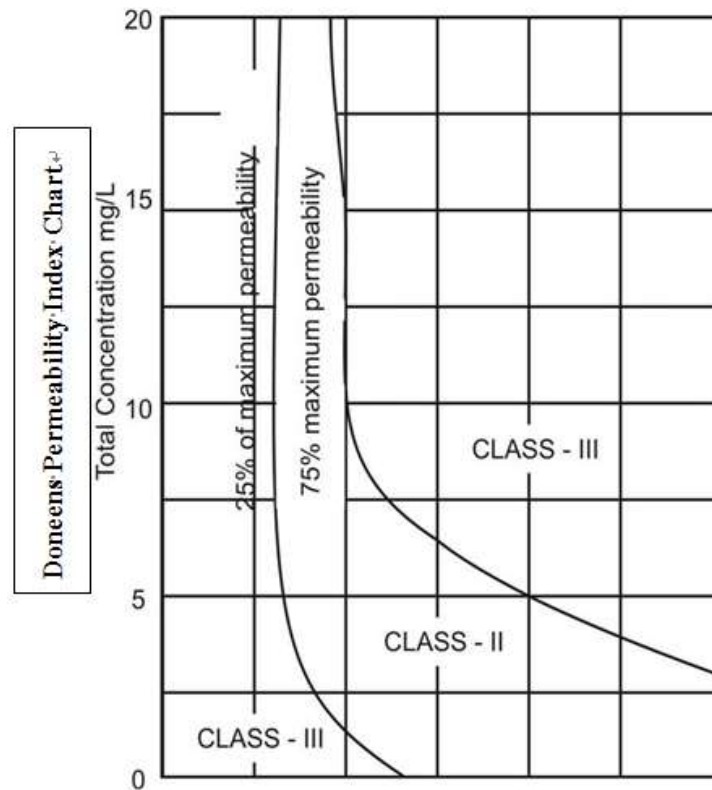
Γνωρίζοντας την τιμή του δείκτη περατότητας καθώς και το χαρακτηρισμό του εδάφους από πλευράς περατότητας, μπορεί να γίνει η κατάταξη του αρδευτικού νερού από την άποψη του κινδύνου αλκαλίωσης του εδάφους, με τη βοήθεια τριών διαγραμμάτων που αναφέρονται σε έδαφος μικρής, μέσης και μεγάλης περατότητας αντίστοιχα. Το Διάγραμμα 4.6 αφορά σε έδαφος μέσης περατότητας.

Η ανάλυση των κατηγοριών των παραπάνω σχημάτων έχει ως εξής:

**Κατηγορία 1 (class I).** Το νερό είναι κατάλληλο για άρδευση και δεν υπάρχει κίνδυνος αλκαλίωσης του εδάφους.

**Κατηγορία 2 (class II).** Το νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση. Συνιστάται όμως στο κύριο αρδευτικό αυλάκι να τοποθετείται ένας υφασμάτινος σάκος με γύψο, ώστε το νερό να εμπλουτίζεται συνέχεια με ασβέστιο. Παράλληλα επιβάλλεται να γίνονται κατά διαστήματα και αναλύσεις του εδάφους για να ελέγχεται ο βαθμός αλκαλίωσής του. Αν ο έλεγχος αυτός, παρά το προτεινόμενο μέτρο "γύψωσης", δείξει

ότι ο βαθμός αλκαλίωσης του εδάφους αυξήθηκε (κάτι που σε προχωρημένο στάδιο γίνεται αντιληπτό και από το "ταράτσωμα" του εδάφους), τότε πρέπει να προστεθεί γύψος και στο έδαφος. Μετά από την προσθήκη της γύψου πρέπει να γίνουν εκπλύσεις του εδάφους για την απομάκρυνση του νατρίου που αντικαταστάθηκε από το ασβέστιο της γύψου.



**Διάγραμμα 4.6. Ταξινόμηση αρδευτικών νερών για εδάφη μέσης περατότητας**  
(Doneen, 1954)

**Κατηγορία 3 (class III).** Το νερό αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση. Όμως τα μέτρα για την προστασία του εδάφους πρέπει να είναι πολύ πιο εντατικά απ' ότι στην προηγούμενη κατηγορία.

#### 4.5.3. Κατάταξη των νερών σε σχέση με την περιεκτικότητα σε βόριο

Ορισμένα ιόντα όταν εμφανιστούν ακόμη και σε μικρές συγκεντρώσεις είναι δυνατό να προκαλέσουν τοξικά φαινόμενα όπως είναι το βόριο, το χλώριο, το νάτριο και άλλα.

Η τοξικότητα των ιόντων του νατρίου, του χλωρίου και των θειικών έχει βεβαιωθεί για ορισμένα φυτά, αλλά τα όρια των συγκεντρώσεών τους στα αρδευτικά νερά δεν έχουν ακόμη προσδιοριστεί. Το βόριο είναι πολύ τοξικό για τα φυτά και χρησιμοποιείται η ταξινόμηση του Πίνακα 4.7 για την ποιοτική κατάταξη των αρδευτικών νερών.

**Πίνακας 4.7. Ποιοτική κατάταξη των αρδευτικών νερών σε σχέση με την περιεκτικότητά τους σε βόριο**

Κατηγορίες νερού	Περιεκτικότητα Βορίου σε ppm
1 <sup>η</sup>	<0.5
2 <sup>η</sup>	0.5-2.0
3 <sup>η</sup>	>2.0

Doneen (1954)

Η ερμηνεία των κατηγοριών του Πίνακα 4.7 είναι η εξής:

**Κατηγορία 1.** Νερό κατάλληλο για άρδευση.

**Κατηγορία 2.** Όταν χρησιμοποιούνται νερά της κατηγορίας αυτής επιβάλλεται να γίνονται εκπλύσεις για την απομάκρυνση των αλάτων βορίου. Οι εκπλύσεις αυτές πρέπει να είναι πιο έντονες, δηλαδή να γίνονται με περισσότερο νερό, απ' ότι στις περιπτώσεις με τα κοινά άλατα, γιατί τα άλατα του βορίου ξεπλένονται πολύ πιο δύσκολα. Επίσης πρέπει να γίνεται και επιλογή ανθεκτικών καλλιεργειών στο βόριο.

**Κατηγορία 3.** Το νερό της κατηγορίας αυτής παρουσιάζει τα προβλήματα της προηγούμενης κατηγορίας, αλλά πολύ εντονότερα, ενώ πρακτικά είναι δύσκολη η αξιοποίησή τους.

#### **4.6. ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΥΣ CHRISTIANSEN ET AL.**

Οι Christiansen et al. (1977), αναγνώρισαν τους παρακάτω υποβαθμιστικούς παράγοντες της ποιότητας του αρδευτικού νερού EC, Na %, SAR,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , Cl, B και πρότειναν την κατάταξη που δίνεται στον Πίνακα 4.8. Η παρουσία του  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  καθορίζεται με πλήρη ανάλυση και με αφαίρεση της συγκέντρωσης των κατιόντων ( $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$ ) από εκείνη των ανιόντων ( $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ ). Εάν, το άθροισμα των ανιόντων είναι μεγαλύτερο του αθροίσματος των κατιόντων τότε η διαφορά δίνει το  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Αν συμβαίνει το αντίθετο δεν υπάρχει υπολειμματικό ανθρακικό νάτριο (Wilcox & Durum, 1967). Οι παράγοντες Na, SAR και  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  δείχνουν τον πιθανό κίνδυνο δημιουργίας αλκαλιωμένων εδαφών.

Με την εκτίμηση αυτή, νερό που βαθμολογήθηκε με 1 σε όλους τους παράγοντες θεωρείται άριστο για γεωργική χρήση, ενώ νερό βαθμολογημένο με 6 δεν είναι χρήσιμο για άρδευση κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες διαχείρισης ή στράγγισής του. Η ποιοτική αξιολόγηση των νερών βασίζεται χωριστά σε κάθε παράγοντα και δεν πρέπει να συνδυάζονται οι τιμές σε ένα απλό δείκτη. Ένα νερό μπορεί να

βαθμολογηθεί με 1 για όλους τους παράγοντες εκτός ενός που μπορεί να είναι 5. Αυτός ο ένας υποβαθμιστικός παράγοντας είναι αρκετός για να καθορίσει τη χρήση του νερού σε πολλές καλλιέργειες.

**Πίνακας 4.8. Εκτίμηση της ποιότητας των αρδευτικών νερών κατά Christiansen et al**

Κατηγορίες ποιότητας νερού	EC mS/cm	Na %	SAR (meq/L) <sup>0.5</sup>	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> meq/L	Cl meq/L	B ppm
<b>Άριστο</b>	<0,5	<40	<3	<0.5	<3	<0.5
<b>Καλό</b>	0,5-1	40-60	3-6	0.5-1	3-6	0.5-1
<b>Ανεκτό</b>	1-2	60-70	6-9	1-2	6-10	1-2
<b>Αμφίβολο</b>	2-3	70-80	9-12	2-3	10-15	2-3
<b>Επιβλαβές</b>	3-4	80-90	12-15	3-4	15-20	3-4
<b>Ακατάλληλο</b>	>4	>90	>15	>4	>20	>4

Christiansen et al. (1977)

Η ικανοποιητική χρήση ενός νερού που βαθμολογήθηκε με 4 ή 5 σε ένα ειδικό υποβαθμιστικό παράγοντα, εξαρτάται από τον τύπο του εδάφους, τις συνθήκες στράγγισης και την ανοχή της καλλιέργειας στον παράγοντα αυτόν. Η αποτελεσματικότητα της στράγγισης και της διαχείρισης του νερού, θα καθορίσει αν η παρουσία των αλάτων συμπεριλαμβανομένου και του βορίου μπορεί να εμπλουτίσει το έδαφος κάτω από κανονική εφαρμογή των αρδεύσεων.

#### **4.7. ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΥΣ AYERS - WESTCOT**

Τα πλέον πρόσφατα, περιεκτικά και κοινής αποδοχής διεθνή κριτήρια ποιοτικής κατάταξης των νερών για άρδευση δίνονται από τους Ayers & Westcot (1985), όπου τα νερά κατατάσσονται σε τρεις ομάδες ανάλογα με τον κίνδυνο δημιουργίας αλατούχων εδαφών, μείωσης του ρυθμού διεύδυσης του νερού στο έδαφος (διηθητικότητα), τοξικής δράσης ιόντων και διάφορες άλλες επιδράσεις, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.9. Ο πίνακας αυτός εμπλουτίστηκε με πρόσθετες πληροφορίες εκτίμησης της ποιότητας των αρδευτικών νερών (U.C.C.C., 1974, Ayers, 1977, Ayers & Tanji, 1981, Westcot & Ayers, 1985).

Με τα κριτήρια αυτά καθώς και με άλλα συμπληρωματικά διεθνή κριτήρια, που παρατίθενται στη συνέχεια, αξιολογείται η καταλληλότητα των νερών άρδευσης για χρήση στη γεωργία με βάση τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά, σε συνδυασμό με

**Πίνακας 4.9. Κριτήρια ποιοτικής κατάταξης των αρδευτικών νερών**

Ενδεχόμενο αρδευτικό πρόβλημα	Μονάδες	Βαθμός κινδύνου από τη χρήση του νερού		
		Κανένας	Μικρός έως μέτριος	Μεγάλος
<b>Αλατότητα</b> (επηρεάζει τη διαθεσιμότητα του νερού στα φυτά) <b>EC<sub>w</sub> 25 °C</b> <b>Διηθητικότητα</b> (επηρεάζει το ρυθμό διήθησης του νερού στο έδαφος και εκτιμάται από το συνδυασμό των SAR και EC <sub>w</sub> ) <sup>1,2</sup> <b>SAR =</b> 0 - 3 και EC <sub>w</sub> →: 3 - 6 6 - 12 12 - 20 20 - 40	dS/m	<0.7	0.7-3.0	>3.0
<b>Τοξικότητα ιόντων</b> (Επηρεάζει τα ευαίσθητα φυτά) <b>Νάτριο (Na)</b> <sup>3,4</sup> <u>Επιφανειακή άρδευση</u> (προσρόφηση διά των ριζών) <b>SAR:</b> <u>Άρδευση με καταιονισμό</u> (προσρόφηση διά των φύλλων) <b>Χλώριο (Cl)</b> <sup>3,4</sup> <u>Επιφανειακή άρδευση</u> (προσρόφηση διά των ριζών) <u>Άρδευση με καταιονισμό</u> (προσρόφηση δια των φύλλων) <b>Βόριο (B)</b> <b>Ιχνοστοιχεία</b> (Πίνακες 4.19, 4.20)	me/L mg/L me/L mg/L me/L mg/L	<3 <3 <69 <4 <142 <3 <106 <0.7	3-9 >3 >69 4-10 142-355 >3 >106 0.7-3.0	>9   >10 >355   >3.0
<b>Διάφορες επιδράσεις</b> (επηρεάζει τα ευπαθή φυτά) <b>Άζωτο (Ολικό-N)</b> <sup>5</sup> <b>Οξίνα Ανθρακικά (HCO<sub>3</sub>)</b> (μόνο για την άρδευση με καταιονισμό) <b>Υπολειμματικό χλώριο</b> <b>pH</b>	mg/L me/L mg/L mg/L	<5 <1.5 <90 <1.0	5-30 1.5-8.5 90-520 1.0-5.0	>30 >8.5 >520 >5.0

Σύνηθες εύρος 6.5-8.5

1. Για δεδομένο SAR, ο ρυθμός διήθησης του νερού στο έδαφος αυξάνει με την αύξηση της EC<sub>w</sub>.
2. Για τα λύματα συνιστάται η χρήση του adj.SAR αντί του SAR, για να επιτυγχάνεται μια πιο σωστή εκτίμηση του ασβεστίου του εδαφικού νερού μετά την άρδευση.
3. Οι περισσότερες δενδρώδεις καλλιέργειες και τα ξυλώδη διακοσμητικά φυτά είναι ευαίσθητα στο νάτριο και το χλώριο. Οι περισσότερες ετήσιες καλλιέργειες δεν είναι ευαίσθητες.
4. Όταν η άρδευση γίνεται με καταιονισμό σε χαμηλή σχετική υγρασία (<30%), και οι συγκεντρώσεις νατρίου και χλωρίου είναι μεγαλύτερες από 70 και 100 mg/L αντίστοιχα, προκαλείται μεγάλη απορρόφηση αυτών από τα φύλλα των φυτών, με αποτέλεσμα τα ευαίσθητα φυτά να υφίστανται σημαντικές βλάβες.
5. Στο ολικό άζωτο πρέπει να συμπεριλαμβάνεται το νιτρικό, το αμμωνιακό και το οργανικό άζωτο.

Ayers & Westcot (1985)

εδαφοκλιματικούς και άλλους παράγοντες που έχουν περιγραφεί στο Κεφάλαιο 3.

Οι περιορισμοί που τίθενται στον Πίνακα 4.9 δεν είναι απόλυτοι, καθώς στη φύση δεν υπάρχουν σαφείς διαχωριστικές γραμμές μεταξύ των τριών κατηγοριών κινδύνου από τη χρήση του αρδευτικού νερού που ορίζονται στον προαναφερθέντα πίνακα. Για το λόγο αυτό, διαφορές της τάξης του 10-20% μπορεί να έχουν μικρή σημασία σε σχέση με άλλους παράγοντες που επηρεάζουν το έδαφος και τις καλλιέργειες. Η κατάταξη ενός νερού στην πρώτη κατηγορία, στην οποία δεν υπάρχει κανένας κίνδυνος από τη χρήση του νερού και συνεπώς δεν τίθεται κανένας περιορισμός στη χρήση του, δείχνει ότι η παραγωγή της καλλιέργειας θα είναι πλήρης. Αντίθετα, αν το νερό κατατάσσεται στην κατηγορία στην οποία υπάρχει μεγάλος κίνδυνος από τη χρήση του αρδευτικού νερού και επομένως τίθενται μεγάλοι περιορισμοί στη χρήση του, τότε είναι σχεδόν βέβαιο ότι οι αγρότες θα συναντήσουν προβλήματα τόσο με το έδαφος όσο και με την καλλιέργεια, η δε παραγωγή θα είναι μειωμένη λόγω της χρήσης του υποβαθμισμένου νερού. Μεγάλος βαθμός κινδύνου από τη χρήση του αρδευτικού νερού σημαίνει ότι ειδικές πρακτικές διαχείρισης του συστήματος έδαφος-νερό-φυτό είναι απαραίτητες για να αποφευχθούν δυσμενείς επιπτώσεις στο έδαφος, στην καλλιέργεια, ενίοτε και στο αρδευτικό σύστημα, από τη χρήση του νερού αυτού.

Στη συνέχεια ακολουθεί μία σύντομη αλλά περιεκτική ανάλυση των βασικών παραμέτρων που λαμβάνει υπόψη της η προαναφερθείσα ποιοτική κατάταξη του νερού, όπως είναι η αλατότητα, η διηθητικότητα, τα ιχνοστοιχεία και η τοξικότητά τους, διάφορες άλλες επιδράσεις καθώς και κάποια άλλα συμπληρωματικά κριτήρια που σχετίζονται με την επιλογή των καλλιεργειών σε σχέση με την αλατότητα του αρδευτικού νερού, τις επιτρεπτές συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων καθώς και την επιλογή της μεθόδου άρδευσης.

Η χρήση των κριτηρίων της ποιοτικής κατάταξης του Πίνακα 4.9 προϋποθέτει τις παρακάτω παραδοχές:

#### **Χρήση νερού**

Η σύσταση του εδάφους πρέπει να είναι αμμοπηλός ως αργιλοπηλός. Το κλίμα να είναι ημίξηρο ως ξερό με χαμηλή ωφέλιμη ετήσια βροχόπτωση. Τα κριτήρια αυτά ίσως χρειαστούν προσαρμογές για περιοχές με υψηλά κατακρημνίσματα στη διάρκεια του χρόνου. Η στράγγιση υποτίθεται ότι είναι καλή και δεν υπάρχει υψηλός ανεξέλεγκτος υπόγειος ορίζοντας. Όταν με βάση τα κριτήρια του Πίνακα 4.9 δεν υπάρχει πρόβλημα στο αρδευτικό νερό, θεωρείται ότι όλες οι καλλιέργειες θα έχουν πλήρη παραγωγή. Σε

περίπτωση ύπαρξης ενδεχόμενου προβλήματος πρέπει να χρησιμοποιηθούν ανθεκτικές καλλιέργειες προκειμένου να αντιμετωπιστεί η μείωση της παραγωγής και να μη θεωρηθεί το νερό ακατάλληλο για κάθε καλλιέργεια.

### **Μέθοδοι και χρόνοι άρδευσης**

Γίνονται δεκτές επιφανειακές μέθοδοι όπως κατάκλυση, λωρίδες, αυλάκια και καταϊόνιση. Με τις μεθόδους αυτές, περίπου 15% του εφαρμοζόμενου νερού θεωρείται ότι διηθείται κάτω από τη ζώνη του ριζοστρώματος. Τα κριτήρια πιστεύεται ότι είναι πολύ αυστηρά για τη στάγδην άρδευση και την καταϊόνιση μεγάλης συχνότητας (σχεδόν καθημερινή). Επίσης χρειάζεται τροποποίηση για την υπάρδευση. Σε ότι αφορά στο χρόνο άρδευσης πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα σημαντικό τμήμα του αποθηκευμένου νερού πριν από την επόμενη άρδευση.

### **Πρόσληψη νερού από τις καλλιέργειες**

Η πρόσληψη του νερού από τις καλλιέργειες σε ομοιογενή εδάφη γίνεται από τα σημεία εκείνα της ριζικής ζώνης όπου το νερό είναι περισσότερο διαθέσιμο. Έτσι, από το ανώτερο τέταρτο αυτής παίρνεται το 40% της υγρασίας, από το δεύτερο το 30% και από το τρίτο και τέταρτο το 20 και 10% αντίστοιχα. Κάθε άρδευση εκπλύνει το ανώτερο τμήμα του εδάφους και το διατηρεί σε ένα επίπεδο σχετικά χαμηλής αλατότητας. Τα εκπλυθέντα άλατα θα κινηθούν από την ανώτερη ριζική ζώνη και ίσως συγκεντρωθούν σε κάποιο βαθμό στη χαμηλότερη ζώνη. Αν λοιπόν η καλλιέργεια είναι εφοδιασμένη με υγρασία στο ανώτερο και περισσότερο ενεργό τμήμα του ριζοστρώματος, τότε η αλατότητα του κάτω τμήματος της ριζικής ζώνης έχει μικρή μόνο σημασία. Αλλά και τα άλατα αυτά μπορούν να ελεγχθούν με κατάλληλες εκπλύσεις.

### **Βαθμός κινδύνου**

Η κατάταξη του Πίνακα 4.9 σε τρεις βαθμούς κινδύνου και επομένως σε τρεις κατηγορίες περιορισμού στη χρήση του νερού “κανένας”, “μικρός έως μέτριος” και “μεγάλος” είναι κάπως αυθαίρετη επειδή συμβαίνουν βαθμιαίες αλλαγές και δεν υπάρχει σαφές σημείο διαχωρισμού. Όπως προαναφέρθηκε, μεταβολές 10-20% από τις αναγραφόμενες τιμές των κριτηρίων έχουν μικρή σημασία εφόσον μελετούνται σε συνδυασμό με άλλους παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση.

Κανονικά δεν πρέπει να υπάρχει πρόβλημα εδάφους ή καλλιέργειας οφειλόμενο στην ποιότητα του νερού όταν χρησιμοποιείται νερό με τιμές μικρότερες από εκείνες της στήλης με την ένδειξη “κανένας κίνδυνος και επομένως κανένας περιορισμός στη

χρήση του νερού”. Από την άλλη πλευρά, αν χρησιμοποιείται νερό που είναι ίσο ή υπερβαίνει την ένδειξη “μεγάλος κίνδυνος και επομένως μεγάλος περιορισμός στη χρήση του νερού” ο αρδευτής πρέπει να έχει εμπειρία των εδαφικών ή καλλιεργητικών προβλημάτων σε σχέση με τη χρήση του νερού αυτού.

Μεγάλες αποκλίσεις από τις παραδοχές αυτές ίσως οδηγούσαν σε λανθασμένα συμπεράσματα σχετικά με τη χρήση του νερού. Όπου είναι διαθέσιμη ικανοποιητική εμπειρία, πειράματα, έρευνα ή παρατηρήσεις, τα κριτήρια μπορούν να τροποποιηθούν για να προσεγγίσουν τις τοπικές συνθήκες. Ειδικές συνθήκες που τροποποιούν τις τιμές αυτές είναι η έκπλυση, η στράγγιση, οι μέθοδοι άρδευσης, το κλίμα και οι βροχοπτώσεις, οι φυσικές συνθήκες του εδάφους, οι χημικές ιδιότητες του εδάφους και η ανθεκτικότητα καλλιεργειών στην αλατότητα.

#### **4.7.1. Αλατότητα**

Η αλατότητα, μετρούμενη με την ηλεκτρική αγωγιμότητα (Electrical Conductivity of water-ECw), είναι μία από τις πιο σημαντικές παραμέτρους για την εκτίμηση της καταλληλότητας ενός νερού για άρδευση. Συνδέεται άμεσα με τη συνολική συγκέντρωση των αλάτων στο νερό και με τα πιθανά προβλήματα που προκαλούν τα άλατα αυτά στα εδάφη και τα φυτά. Οι ζημιές που προκαλούνται στα φυτά, τόσο από το συνολικό ποσό των διαλυμένων αλάτων στο νερό όσο και από συγκεκριμένα ιόντα, συνδέονται στενά με την αυξημένη αλατότητα.

Τα άλατα συσσωρεύονται στο έδαφος με την εφαρμογή του αρδευτικού νερού και τα προβλήματα παρουσιάζονται όταν οι συγκεντρώσεις των αλάτων φθάσουν σε επίπεδα που είναι βλαπτικά για το έδαφος ή/και τα φυτά. Ο ρυθμός συσσώρευσης των αλάτων εξαρτάται από το ρυθμό απόθεσής τους στο έδαφος με το αρδευτικό νερό και από το ρυθμό απομάκρυνσής τους με την έκπλυση. Η ποσότητα των αλάτων που εισέρχεται στο έδαφος σε μία χρονική περίοδο πρέπει να είναι ίση με την ποσότητα που απομακρύνεται κατά την ίδια περίοδο. Τα περισσότερα άλατα είναι διαλυτά και μετακινούνται εύκολα με το εφαρμοζόμενο νερό. Η μόνη διαδικασία που μπορεί να διατηρήσει την αλατότητα του εδάφους στα επιθυμητά επίπεδα είναι η έκπλυση που επιτυγχάνεται με την εφαρμογή περισσότερου νερού από αυτό που μπορεί να συγκρατήσει το έδαφος και να καταναλώσουν τα φυτά. Για την εφαρμογή της έκπλυσης είναι απαραίτητη η καλή έως άριστη στράγγιση του εδάφους, έτσι ώστε να είναι δυνατή η συνεχής ροή του νερού από τη ζώνη του ριζοστρώματος προς τα κάτω.



Στον Πίνακα 4.9 θεωρείται ότι, κάτω από συνθήκες κανονικής άρδευσης, ένα κλάσμα του νερού διηθείται βαθιά μέσα από τη ζώνη του ριζοστρώματος και απομακρύνει τα άλατα. Αυτό λέγεται “κλάσμα έκπλυσης” και για τις τιμές του Πίνακα 4.9 θεωρείται ότι έχει μία μέση τιμή της τάξης του 15%. Υπό αυτή την προϋπόθεση, δεν αναμένεται να υπάρξει πρόβλημα αλατότητας για νερά με ηλεκτρική αγωγιμότητα μικρότερη από 0,7 dS/m και δεν απαιτείται καμιά άλλη ιδιαίτερη πρακτική διαχείρισης. Για άρδευση με νερά ηλεκτρικής αγωγιμότητας 0,7-3,0 dS/m πιθανώς να απαιτούνται ειδικές πρακτικές διαχείρισης, ώστε να μην υπάρξει μείωση της παραγωγής. Η ανάγκη για ειδικές πρακτικές διαχείρισης αυξάνει με την αύξηση της αλατότητας. Νερά με ηλεκτρική αγωγιμότητα μεγαλύτερη από 3,0 dS/m απαιτούν ιδιαίτερα δραστικά μέτρα και προσεκτικές πρακτικές διαχείρισης για να ελεγχθεί η αλατότητα. Η επιλογή καλλιεργειών ανθεκτικών στα άλατα, οι συχνότερες αρδεύσεις με μικρές αρδευτικές δόσεις, η αύξηση του κλάσματος έκπλυσης και η άρδευση κατά τη διάρκεια της νύχτας είναι ορισμένες από τις σημαντικότερες πρακτικές που πρέπει να εφαρμόζονται όταν η άρδευση γίνεται με νερά υψηλής αλατότητας. Η ανθεκτικότητα των φυτών στα άλατα καθώς και η προβλεπόμενη μείωση της παραγωγής τους σε σχέση με την αλατότητα του εδάφους (ECe) και την αλατότητα του αρδευτικού νερού (ECw) φαίνεται στον Πίνακα 4.10.

Σε περιοχές με ανεπαρκή στράγγιση, η υψηλή υπόγεια στάθμη μπορεί να αποτελέσει ένα επιπρόσθετο παράγοντα που συμβάλλει σημαντικά στη συσσώρευση αλάτων στο έδαφος (υπόγεια στάθμη σε βάθος μικρότερο από 1 έως 2 m). Στα περισσότερα εδάφη με υψηλή υπόγεια στάθμη, το νερό ανέρχεται τριχοειδώς μέχρι το ριζόστρωμα και εφοδιάζει συνεχώς το ριζόστρωμα με άλατα καθώς το νερό διαπνέεται από το φυτό ή εξατμίζεται από την επιφάνεια του εδάφους. Ο ρυθμός αλάτωσης του εδάφους εξαρτάται από τη μέθοδο άρδευσης, τη συγκέντρωση των αλάτων στο νερό, το βάθος της υπόγειας στάθμης, τον τύπο του εδάφους και το κλίμα (Van Hoom, 1979).

Για λόγους σύγκρισης, ο Maas (1990) κατέταξε τις καλλιεργείες σε ομάδες, ανάλογα με την ανθεκτικότητα τους στα άλατα (Πίνακας 4.11). Εάν τα στοιχεία αντοχής παρουσιαστούν με γραφική μορφή (Maas, 1990), όπου καλλιεργείες με όμοια αντοχή στα άλατα σχηματίζουν ομάδες, τότε φαίνονται τα όρια και η σχετική διαβάθμιση της αντοχής των καλλιεργειών (Διάγραμμα 4.7). Το διάγραμμα αυτό είναι χρήσιμο σε γενικούς σχεδιασμούς και συγκρίσεις μεταξύ των καλλιεργειών (Maas, 1990).

Οι σχετικές πληροφορίες για την αντοχή των φυτών στην αλατότητα βρίσκουν εφαρμογή κυρίως από το τέλος του φυτρώματος έως την ωρίμανση των καλλιεργειών.

**Πίνακας 4.10. Προβλεπόμενη μείωση της παραγωγής σε σχέση με την αλατότητα του αρδευτικού νερού (ECw) και του εδάφους (ECe)**

Καλλιέργειες	0%		10%		25%		50%		100%	
	ECe	ECw	ECe	ECw	ECe	ECw	ECe	ECw	ECe	ECw
<b>Εκτατικές καλλιέργειες</b>										
Κριθάρι ( <i>Hordeum vulgare</i> )	8.0	5.3	10.0	6.7	13.0	8.7	18.0	12.0	28.0	19.0
Βαμβάκι ( <i>Gossypium hirsutum</i> )	7.7	5.1	9.6	6.4	13.0	8.4	17.0	12.0	27.0	18.0
Ζαχαρότευτλα ( <i>Beta vulgaris</i> )	7.0	4.7	8.7	5.8	11.0	7.5	15.0	10.0	24.0	16.0
Σόργο ( <i>Sorghum bicolor</i> )	6.8	4.5	7.4	5.0	8.4	5.6	9.9	6.7	13.0	8.7
Σιτάρι ( <i>Triticum aestivum</i> )	6.0	4.0	7.4	4.9	9.5	6.3	13.0	8.7	20.0	13.0
Σιτάρι σκληρό ( <i>T. turgidum</i> )	5.7	3.8	7.6	5.0	10.0	6.9	15.0	10.0	24.0	16.0
Σόγια ( <i>Glycine max</i> )	5.0	3.3	5.5	3.7	6.3	4.2	7.5	5.0	10.0	6.7
Κτηνοτροφικό Μπιζέλι ( <i>Vigna unguiculata</i> )	4.9	3.3	5.7	3.8	7.0	4.7	9.1	6.0	13.0	8.8
Αράπικο φυτόκι ( <i>Arachis hypogea</i> )	3.2	2.1	3.5	2.4	4.1	2.7	4.9	3.3	6.6	4.4
Ρύζι ( <i>Oryza sativa</i> )	3.0	2.0	3.8	2.6	5.1	3.4	7.2	4.8	11.0	7.6
Καλαμπόκι ( <i>Zea mays</i> )	1.7	1.1	2.5	1.7	3.8	2.5	5.9	3.9	10.0	6.7
Λινάρι ( <i>Linum usitatissimum</i> )	1.7	1.1	2.5	1.7	3.8	2.5	5.9	3.9	10.0	6.7
Κουκιά ( <i>Vicia faba</i> )	1.5	1.1	2.6	1.8	4.2	2.0	6.8	4.5	12.0	8.0
Φασόλια ( <i>Phaseolus vulgaris</i> )	1.0	0.7	1.5	1.0	2.3	1.5	3.6	2.4	6.3	4.2
<b>Λαχανοκομικά</b>										
Κολοκυθάκια ( <i>Cucurbita pepo melopepo</i> )	4.7	3.1	5.8	3.8	7.4	4.9	10.0	6.7	15.0	10.0
Κοκκινόγούλια ( <i>Beta vulgaris</i> )	4.0	2.7	5.1	3.4	6.8	4.5	9.6	6.4	15.0	10.0
Κολοκύθι ( <i>Cucurbita pepo melopepo</i> )	3.2	2.1	3.8	2.6	4.8	3.2	6.3	4.2	9.4	6.3
Μπρόκολα ( <i>Brassica oleracea</i> )	2.8	1.9	3.9	2.6	5.5	3.7	8.2	5.5	14.0	9.1
Τομάτα ( <i>Lycopersicon esculentum</i> )	2.5	1.7	3.5	2.3	5.0	3.4	7.6	5.0	13.0	8.4
Αγγούρι ( <i>Cucumis sativus</i> )	2.5	1.7	3.3	2.2	4.4	2.9	6.3	4.2	10.0	6.8
Σπανάκι ( <i>Spenacea oleracea</i> )	2.0	1.3	3.3	2.2	5.3	3.5	8.6	5.7	15.0	10.0
Σέλινο ( <i>Apium braveo lens</i> )	1.8	1.2	3.4	2.3	5.8	3.9	9.9	6.6	18.0	12.0
Μάππα ( <i>Brassica oleracea capitata</i> )	1.8	1.2	2.8	1.9	4.4	2.9	7.0	4.6	12.0	8.1
Πατάτα ( <i>Solanum tuberosum</i> )	1.7	1.1	2.5	1.7	3.8	2.5	5.9	3.9	10.0	6.7

Συνέχεια του Πίνακα 4.10										
Καλλιέργειες	0%		10%		25%		50%		100%	
	ECe	ECw	ECe	ECw	ECe	ECw	ECe	ECw	ECe	ECw
<b>Λαχανοκομικά</b>										
Γλυκό Καλαμπόκι (Zea Mays)	1.7	1.1	2.5	1.7	3.8	2.5	5.9	3.9	10.0	6.7
Γλυκοπατάτα (Ipomoea batatas)	1.5	1.0	2.4	1.6	3.8	2.5	6.0	4.0	11.0	7.1
Πιπεριά (Cpsicum annuum)	1.5	1.0	2.2	1.5	3.3	2.2	5.1	3.4	8.6	5.8
Μαρούλι (Lactuca sativa)	1.3	0.9	2.1	1.4	3.2	2.1	5.1	3.4	9.0	6.0
Ρεπανάκι (Raphanus sativus)	1.2	0.8	2.0	1.3	3.1	2.1	5.0	3.4	8.9	5.9
Κρεμμύδι (Allium cepa)	1.2	0.8	1.8	1.2	2.8	1.8	4.3	2.9	7.4	5.0
Καρρότο (Daucus carota)	1.0	0.7	1.7	1.1	2.8	1.9	4.6	3.0	8.1	5.4
Φασόλια (Phaseolus vulgaris)	1.0	0.7	1.5	1.0	2.3	1.5	3.6	2.4	6.3	4.2
Γογγύλι (Brassica rapa)	0.9	0.6	2.0	1.3	3.7	2.5	6.5	4.3	12.0	8.0
<b>Οπωροφόρα</b>										
Χουρμαδιά (Phoenix dactylifera)	4.0	2.7	6.8	4.5	11.0	7.3	18.0	12.0	32.0	21.0
Ελιά (Olea europea L.)										
Κορωνέικη	-	1.5	-	2.6	-	6.5	-	13.4	-	26.0
Αμφίσης	-	1.5	-	3.0	-	5.6	-	11.2	-	22.0
Μεγαρίτικη	-	1.5	-	3.0	-	5.6	-	10.2	-	20.0
Χονδρολιά Χαλκιδικής	-	1.5	-	1.8	-	3.6	-	8.4	-	19.0
Υποκείμενα Μηλιάς										
M-9	-	<0.7	-	0.7	-	1.7	-	3.7	-	7.5
M-106	-	<0.8	-	0.8	-	1.6	-	3.3	-	6.6
M-26	-	<0.6	-	0.6	-	1.3	-	3.0	-	6.3
Γκρέιπφρουτ (Citrus Paradisi)	1.8	1.2	2.4	1.6	3.4	2.2	4.9	3.3	8.0	5.4
Πορτοκαλιά (Citrus sinensis)	1.7	1.1	2.3	1.6	3.3	2.2	4.8	3.2	8.0	5.3
Ροδακινιά (Prunus persica)	1.7	1.1	2.2	1.5	2.9	1.9	4.1	2.7	6.5	4.3
Βερυκοκιά (Prunus armeniaca)	1.6	1.1	2.0	1.3	2.6	1.8	3.7	2.5	5.8	3.8
Αμπέλι (Vitis sp.)	1.5	1.0	2.5	1.7	4.1	2.7	6.7	4.5	12.0	7.9
Αμυγδαλιά (Prunus dulcis)	1.5	1.0	2.0	1.4	2.8	1.9	4.1	2.8	6.8	4.5
Λαμασκηνιά (Prunus domesticus)	1.5	1.0	2.1	1.4	2.9	1.9	4.3	2.9	7.1	4.7
Φράουλα (Fragaria sp.)	1.0	0.7	1.3	0.9	1.8	1.2	2.5	1.7	4.0	2.7

Συνέχεια του Πίνακα 4.10										
Καλλιέργειες	0%		10%		25%		50%		100%	
	ECe	ECw	ECe	ECw	ECe	ECw	ECe	ECw	ECe	ECw
<b>Χορτοδοτικά φυτά</b>										
Αγρόπυρο ( <i>Agropyron elongatum</i> )	7.5	5.0	9.9	6.6	13.0	9.0	19.0	13.0	31.0	21.0
Αγρόπυρο ( <i>Agropyron cristatum</i> )	7.5	5.0	9.0	6.0	11.0	7.4	15.0	9.8	22.0	15.0
Βερμούδα ( <i>Cynodon dactylon</i> )	6.9	4.6	8.5	5.6	11.0	7.2	15.0	9.8	23.0	15.0
Κριθάρι ( <i>Hordeum vulgare</i> )	6.0	4.0	7.4	4.9	9.5	6.4	13.0	8.7	20.0	13.0
Λόλιο, Ηρα (πολυετή) ( <i>Lolium perene</i> )	5.6	3.7	6.9	4.6	8.9	5.9	12.0	8.1	19.0	13.0
Λωτός ( <i>Lotus corniculatus tenuifolium</i> )	5.0	3.3	6.0	4.0	7.5	5.0	10.0	6.7	15.0	10.0
Φάλαρη ( <i>Phalaris tuberosa</i> )	4.6	3.1	5.9	3.9	7.9	5.3	11.0	7.4	18.0	12.0
Φεστούκα ( <i>Festuca elatior</i> )	3.9	2.6	5.5	3.6	7.8	5.2	12.0	7.8	20.0	13.0
Αγρόπυρο ( <i>Agropyron sibiricum</i> )	3.5	2.3	6.0	4.0	9.8	6.5	16.0	11.0	28.0	19.0
Αγριοκουκί, Αγριόραχο ( <i>Vicia angustifolia</i> )	3.0	2.0	3.9	2.6	5.3	3.5	7.6	5.0	12.0	8.1
Σόργο του Σουδάν ( <i>Sorghum sudanense</i> )	2.8	1.9	5.1	3.4	8.6	5.7	14.0	9.6	26.0	17.0
Ελυμος ( <i>Elymus triticoides</i> )	2.7	1.8	4.4	2.9	6.9	4.6	11.0	7.4	19.0	13.0
Βίγκνα ( <i>Vigna unguiculata</i> )	2.5	1.7	3.4	2.3	4.8	3.2	7.1	4.8	12.0	7.8
Λωτός ( <i>Lotus uliginosus</i> )	2.3	1.5	2.8	1.9	3.6	2.4	4.9	3.3	7.6	5.0
Σεμπάνια ( <i>Sesbania exaltata</i> )	2.3	1.5	3.7	2.5	5.9	3.9	9.4	6.3	17.0	11.0
<i>Sphaerophysa salsula</i>	2.2	1.5	3.6	2.4	5.8	3.8	9.3	6.2	16.0	11.0
Μηδική ( <i>Medicago sativa</i> )	2.0	1.3	3.4	2.2	5.4	3.6	8.8	5.9	16.0	10.0
<i>Eragrostis</i> sp.	2.0	1.3	3.2	2.1	5.0	3.3	8.0	5.3	14.0	9.3
Καλαμπόκι ( <i>Zea mays</i> )	1.8	1.2	3.2	2.1	5.2	3.5	8.6	5.7	15.0	10.0
Αλεξανδρινό τριφύλι ( <i>Trifolium alexandrinum</i> )	1.5	1.0	3.2	2.2	5.9	3.9	10.0	6.8	19.0	13.0
Δακτυλίσ ( <i>Dactylis glomerata</i> )	1.5	1.0	3.1	2.1	5.5	3.7	9.6	6.4	12.0	12.0
Ασβελιαφός, Αλεποπουρά ( <i>Alopecurus pratensis</i> )	1.5	1.0	2.5	1.7	4.1	2.7	6.7	4.5	12.0	7.9
Τριφύλι το λειμώνιο ( <i>Trifolium pratense</i> )	1.5	1.0	2.3	1.6	3.6	2.4	5.7	3.8	9.8	6.6
Αγριοτριφύλο ( <i>Trifolium hybridum</i> )	1.5	1.0	2.3	1.6	3.6	2.4	5.7	3.8	9.8	6.6
Ασπροτριφύλο ( <i>Trifolium repens</i> )	1.5	1.0	2.3	1.6	3.6	2.4	5.7	3.8	9.8	6.6
Τριφύλι το χαμοκέρασο ( <i>Trifolium fragiferum</i> )	1.5	1.0	2.3	1.6	3.6	2.4	5.7	3.8	9.8	6.6

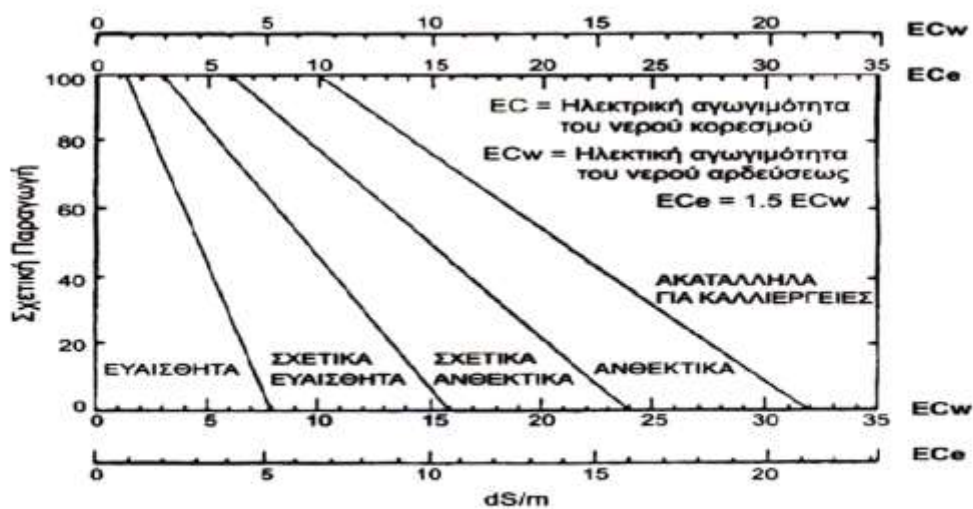
Maas & Hoffman (1977), Maas (1984, 1990)

**Πίνακας 4.11. Σχετική ανθεκτικότητα ορισμένων φυτών στην αλατότητα**

<b>ΑΝΘΕΚΤΙΚΑ</b>	
<b>Φυτά για σπόρο, ίνες, ζάχαρη</b> Κριθάρι ( <i>Hordeum vulgare</i> ) Βαμβάκι ( <i>Gossypium hirsutum</i> ) Ζαχαρότευτλα ( <i>Beta vulgaris</i> )  <b>Λαχανικά</b> Σπαράγγι ( <i>Asparagus officinalis</i> )  <b>Οπωροφόρα</b> Χουρμαδιά ( <i>Phoenix dactylifera</i> )	<b>Χορτοδοτικά</b> <i>Puccinellia airoides</i> <i>Sporobolus airoides</i> <i>Cynodon dactylon</i> <i>Diplache fusca</i> <i>Distichlis stricta</i> <i>Agropyron cristatum</i> <i>Agropyron elongatum</i> <i>Elymus angustus</i> <i>Elymus junceus</i>
<b>ΜΕΤΡΙΑ ΑΝΘΕΚΤΙΚΑ</b>	
<b>Φυτά για σπόρο, ίνες, ζάχαρη</b> Κτηνοτροφικό μπιζέλι ( <i>Vigna unguiculata</i> ) Βρώμη ( <i>Avena sativa</i> ) Σίκαλη ( <i>Secale sereale</i> ) Σαφράνα ( <i>Carthamus tinctorius</i> ) Σόργο ( <i>Sorghum bicolor</i> ) Σόγια ( <i>Clycine max</i> ) X <i>Triticosecale</i> Σιτάρι μαλακό ( <i>Triticum aestivum</i> ) Σιτάρι σκληρό ( <i>Triticum turgidum</i> )  <b>Λαχανικά</b> Αγγινάρα ( <i>Helianthus tuberosus</i> ) Κοκκινογούλια ( <i>Beta vulgaris</i> ) Κολοκυθάκια ( <i>Cucurbita pepo melopepo</i> )  <b>Οπωροφόρα</b> Συκιά ( <i>Ficus carica</i> ) Ελιά ( <i>Olea europea</i> ) Ανανάς ( <i>Ananas comosus</i> ) Ροδιά ( <i>Punica granatum</i> )	<b>Χορτοδοτικά</b> <i>Hordeum vulgare</i> <i>Bromus marginatus</i> <i>Phalaris arundinacea</i> <i>Melilotus alba</i> <i>Festuca pratensis</i> <i>Festuca elatior</i> <i>Phalaris tuberosa</i> <i>Panicum antidotale</i> <i>Brassica napus</i> <i>Bromus unioloides</i> <i>Chloris gayana</i> <i>Lolium italicum multiflorum</i> <i>Lolium perenne</i> <i>Sorghum Sudanese</i> <i>Lotus corniculatus tenuifolium</i> <i>Lotus corniculatus arvensis</i> <i>Triticum aestivum</i> <i>Agropyron sibiricum</i> <i>Agropyron intermedium</i> <i>Agropyron trachycaulum</i> <i>Agropyron emithii</i> <i>Elymus triticoides</i> <i>Elymus canadensis</i>
<b>ΜΕΤΡΙΑ ΕΥΑΙΣΘΗΤΑ</b>	
<b>Φυτά για σπόρο, ίνες, ζάχαρη</b> Κουκιά ( <i>Vicia faba</i> ) Ρετινολαδιά ( <i>Ricinus communis</i> ) Καλαμπόκι ( <i>Zea mays</i> ) Λινάρι ( <i>Linum usitatissimum</i> ) Κεχρί ( <i>Setaria italica</i> ) Φυστικιά υπόγεια ( <i>Arachis hypogaea</i> ) Ρύζι ( <i>Oryza sativa</i> ) Ηλίανθος ( <i>Helianthus annuus</i> )	<b>Οπωροφόρα</b> Αμπέλι ( <i>Vitis sp.</i> ) <i>Annona cherimoia</i> Κερασιά ( <i>Prunus anium</i> ) <i>Prunus besseyi</i> <i>Ribes sp.</i> Γκρέϊπφρουτ ( <i>Citrus paradisi</i> ) Λεμονιά ( <i>Citrus limon</i> ) Γλυκολεμονιά ( <i>Citrus aurantifolia</i> ) Μουσμουλιά ( <i>Eriobotrya japonica</i> )

Συνέχεια του Πίνακα 4.11	
<b>Χορτοδοτικά</b> Medicago sativa Agrostis stolonifera palustris Dichanthium aristatum Μαρούλι (Lactuca sativa) Πεπόνι (Cucumis melo) Πιπεριά (Capsicum annuum) Πατάτα (Solanum tuberosum) Ρεπάνι (Raphanus sativus) Σπανάκι (Spinacia oleracea) Κολοκούθι (Cucurbita pepo melopepo) Γλυκοπατάτα (Ipomoea batatas) Τομάτα (Lycopersicon lycopersicum) Γογγύλι (Brassica rapa) Καρπούζι (Citrulus lanatus)	Μάνγκο (Mangifera indica) Πορτοκαλιά (Citrus sinensis) Passiflora edulis Ροδακινιά (Prunus persica) Αχλαδιά (Pyrus communis) Diospyros virginiana Δαμασκηλιά (Prunus domestica) Citrus maxima Rubus idaeus Syzgium jambos Casimiroa edulis Φράουλα (Fragaria sp.) Μανδαρινιά (Citrus reticulata)
<b>ΕΥΑΙΣΘΗΤΑ ΦΥΤΑ</b>	
<b>Φυτά για σπόρο, ίνες, ζάχαρη</b> Φασόλι (Phaseolus vulgaris) Σουσάμι (Sesamum indicum) Φασολάκι (Phaseolus vulgaris) Καρότο (Daucus carota) Μπάμια (Abelmoschus esculentus) Κρεμμύδι (Allium cepa) Pastinaca sativa	<b>Οπωροφόρα</b> Αμυγδαλιά (Prunus dulcis) Μηλιά (Malus sylvestris) Βερυκοκιά (Prunus armeniaca) Αβοκάντο (Persea americana) Rubus sp. Rubus ursinus

Maas (1990)



Διάγραμμα 4.7. Σχετική αντοχή στην αλατότητα των καλλιεργούμενων φυτών (Maas, 1990)

Η αντοχή στο φύτευμα διαφέρει από φυτό σε φυτό και είναι γνωστή μόνο για ορισμένα φυτά. Στον Πίνακα 4.12 υπάρχουν στοιχεία που δείχνουν την κατά 50% μείωση της φυτρωτικής ικανότητας των σπόρων ορισμένων φυτών σε διάφορες τιμές εδαφικής αλατότητας (Maas, 1990).

Γενικά, εάν η εδαφική αλατότητα στην επιφανειακή στρώση του εδάφους (περιοχή τοποθέτησης του σπόρου) είναι μεγαλύτερη από 4,0 dS/m, τότε είναι πιθανό να εμποδιστεί ή να καθυστερήσει το φύτευμα και η ανάπτυξη του βλαστιδίου κατά τα πρώτα στάδια.

Η καθυστερημένη βλάστηση δημιουργεί κινδύνους ασθενειών, που τελικά έχουν επιπτώσεις στην παραγωγή. Βροχή ή άρδευση πριν από τη σπορά, ωφελεί στην αντιμετώπιση της αλατότητας, εμποδίζει τη δημιουργία κρούστας και δημιουργεί τις προϋποθέσεις ενός καλού φυτώματος.

Μείωση των αποδόσεων των καλλιεργειών παρατηρείται και στην περίπτωση που η άρδευση γίνεται με καταιονισμό και με νερό που ξεπερνά τα μέγιστα όρια της EC<sub>w</sub> του Πίνακα 4.13. Στην περίπτωση αυτή παρουσιάζονται ζημιές στα φύλλα των καλλιεργειών όταν αρδεύονται επί 5 ή περισσότερες ώρες την εβδομάδα σε όλη τη διάρκεια της αρδευτικής περιόδου. Ο βαθμός ζημιών επηρεάζεται ιδιαίτερα από τις κλιματικές συνθήκες.

#### **4.7.2. Νατρίωση**

Αν και η ανάπτυξη των φυτών περιορίζεται πρωτίστως από την αυξημένη αλατότητα, η άρδευση των φυτών με νερό υψηλής συγκέντρωσης νατρίου μπορεί να μειώσει περαιτέρω την παραγωγή κάτω από ορισμένες συνθήκες εδάφους. Το βασικό πρόβλημα της συγκέντρωσης νατρίου στο αρδευτικό νερό είναι η υποβάθμιση των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του αρδευόμενου εδάφους. Η μείωση της διήθησης του εδάφους μπορεί να εμφανισθεί όταν το αρδευτικό νερό περιέχει μεγάλη συγκέντρωση νατρίου σε σχέση με τις συγκεντρώσεις ασβεστίου και μαγνησίου. Αυτή η κατάσταση ονομάζεται νατρίωση ως αποτέλεσμα των υψηλών συγκεντρώσεων νατρίου. Το νατριωμένο νερό δεν είναι ίδιο με το αλατούχο νερό. Η νατρίωση προκαλεί διασπορά και διόγκωση της εδαφικής αργίλου, το έδαφος γίνεται σκληρό και συμπαγές όταν είναι ξηρό και μειώνεται η κίνηση του νερού όταν το έδαφος είναι υγρό (Bauder et al., 2014). Η υποβάθμιση αυτή της εδαφικής δομής μειώνει τη διηθητική ικανότητα του εδάφους και συμβάλλει στην αύξηση της απορροής. Επίσης, μειώνεται η καθοδική κίνηση του νερού και η τροφοδοσία με νερό και θρεπτικές ουσίες των φυτών.

**Πίνακας 4.12. Σχετική ανθεκτικότητα ορισμένων καλλιεργειών στην περίοδο του φυτρώματος**

<b>Καλλιέργεια</b>	<b>Τιμές εδαφικής αλατότητας που μειώνουν κατά 50% τη φυτρωτική ικανότητα (dS/m)</b>
<b>Κριθάρι (Hordeum vulgare)</b>	16 - 24
<b>Βαμβάκι (Gossypium hirsutum)</b>	15.5
<b>Ζαχαρότευτλα (Beta vulgaris)</b>	6 – 12.5
<b>Σόργο (Sorghum bicolor)</b>	13
<b>Κάρδαμος (Carthamus tinctorius)</b>	12.3
<b>Σιτάρι μαλακό (Triticum aestivum)</b>	14 - 16
<b>Κοκκινογούλια (Beta vulgaris)</b>	13.8
<b>Μηδική (Medicago sativa)</b>	8.2 – 13.4
<b>Τομάτα (Lycopersicon lycopersicum)</b>	7.6
<b>Ρύζι (Oryza sativa)</b>	18
<b>Μάπα (Brassica oleracea)</b>	13
<b>Πεπόνι (Cucumis melo)</b>	10.4
<b>Καλαμπόκι (Zea mays)</b>	21 - 24
<b>Μαρούλι (Lactuca sativa)</b>	11.4
<b>Κρεμμύδι (Allium cepa)</b>	5.6 – 7.5
<b>Φασόλια (Phaseolus vulgaris)</b>	8.0

Maas (1990)

Οι πιο γνωστοί δείκτες που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση του κινδύνου νατρίωσης των εδαφών από την πολυετή άρδευση καλλιεργειών είναι το SAR, το RSC (υπολειμματικό ανθρακικό νάτριο), το ποσοστό νατρίου (Na%) και το pH.

Για τα περισσότερα αρδευτικά νερά, ο δείκτης SAR (Σχέση 4.4) εκφράζει την πιθανότητα κινδύνου νατρίωσης του εδάφους. Παρόλα αυτά, για αρδευτικά νερά με υψηλή συγκέντρωση  $\text{HCO}_3 > 200 \text{ mg/L}$  ή  $\text{pH} > 8,5$  πρέπει να υπολογιστεί το προσαρμοσμένο SAR (Suarez, 1981). Πολλοί παράγοντες όπως αλατότητα νερού άρδευσης (Ayers & Westcot, 1985), εδαφική δομή, οργανική ουσία, σύστημα καλλιέργειας, αρδευτικό σύστημα και διαχείριση καθορίζουν τον κίνδυνο νατρίωσης ενός εδάφους. Εδάφη που είναι πιθανό να εμφανίσουν μειωμένη διήθηση και κρούστα από νερά αυξημένου λόγου προσρόφησης νατρίου ( $\text{SAR} > 6$ ) είναι εκείνα που έχουν άργιλο μεγαλύτερη του 30%. Μία γενική ταξινόμηση του κινδύνου νατρίου του αρδευτικού νερού με βάση τις τιμές SAR δίνεται στον Πίνακα 4.14.



**Πίνακας 4.13. Όρια αλατότητας πέρα από τα οποία εμφανίζονται ζημιές στα φύλλα και μείωση της παραγωγής από τον καταιονισμό και την εδαφική αλατότητα**

Καλλιέργεια	Μέγιστη EC <sub>w</sub> (dS/m) χωρίς ζημιά από απορρόφηση στα φύλλα	Καλλιέργεια	Μέγιστη EC <sub>w</sub> (dS/m) χωρίς ζημιά από απορρόφηση στα φύλλα
Αμυγδαλιά (Prunus communis)	<0.5	Βρώμη (Avena sativa)	1.0-2.0
Βερυκοκιά (Prunus armeniaca)	<0.5	Αραβόσιτος (Zea mays)	1.0-2.0
Εσπεριδοειδή (Citrus spp.)	<0.5	Αγγούρι (Cucumis)	1.0-2.0
Δαμασκηγιά (Prunus domestica)	<0.5	Σουσάμι (Sesamum indicum)	1.0-2.0
Αμπέλι (Vitis spp.)	0.5-1.0	Σόργο (Sorghum bicolor)	1.0-2.0
Πιπεριά (Capsicum annuum)	0.5-1.0	Φράουλα (Fragaria spp.)	2.0-4.0
Πατάτα Solanum tuberosum)	0.5-1.0	Βαμβάκι (Gossypium hirsutum)	3.0-6.0
Τομάτα (Lycopersicum esculentum)	0.5-1.0	Ζαχαρότευτλα (Beta vulgaris)	3.0-6.0
Μηδική (Medicago sativa)	1.0-2.0	Ηλίανθος (Helianthus annuus)	3.0-6.0

Maas (1985)

**Πίνακας 4.14. Γενική κατάταξη των νερών άρδευσης σε σχέση με την τιμή του SAR**

SAR	Κίνδυνος νατρίου	Σχόλια
1 – 9	Χαμηλή	Η χρήση ευαίσθητων στο νάτριο φυτών πρέπει να επισημανθεί
10 – 17	Μέτρια	Χρειάζεται εφαρμογή βελτιωτικών και έκπλυσης
18 – 25	Υψηλή	Γενικά ακατάλληλα για συνεχή χρήση
> 26	Πολύ υψηλή	Γενικά ακατάλληλο για χρήση

Wilcox (1958)

Τα όξινα ανθρακικά ιόντα ( $\text{HCO}_3^-$ ) έχουν την τάση να σχηματίζουν δυσδιάλυτες ενώσεις με ιόντα  $\text{Ca}^{2+}$  και  $\text{Mg}^{2+}$  με αποτέλεσμα να αυξάνεται η συγκέντρωση των ιόντων  $\text{Na}^+$ .

Εκτός των  $\text{HCO}_3^-$  υπάρχουν και ουδέτερα ανθρακικά ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) σε αμελητέες όμως συγκεντρώσεις. Η επίδραση των ανθρακικών ιόντων (όξινων και ουδέτερων) στην ποιο-τητα του αρδευτικού νερού εκφράζεται ως υπολειμματικό ανθρακικό νάτριο (Re-

sidual Sodium Carbonate, RSC) και υπολογίζεται από τη Σχέση 4.6, η δε εκτίμηση του κινδύνου νατρίωσης του εδάφους από τη χρήση των νερών για άρδευση των καλλιεργειών και συνεπώς μείωσης της διηθητικότητας και της περατότητας του εδάφους έχει παρουσιασθεί στον Πίνακα 4.2. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι για την εκτίμηση του προαναφερθέντος κινδύνου θα πρέπει να εξετάζεται και ο τύπος του εδάφους (Τσακίρης, 2004). Νερό με δεδομένο RSC μπορεί να εγκυμονεί κινδύνους για έδαφος αλκαλικής αντίδρασης, αλλά να έχει βελτιωτική επίδραση σε όξινα εδάφη.

$$RSC = (HCO_3^- + CO_3^{2-}) - (Ca^{2+} + Mg^{2+}) \quad (4.6)$$

Σε σχέση με το Na%, αυτό υπολογίζεται από τη Σχέση 4.7, η δε εκτίμηση του κινδύνου νατρίωσης του εδάφους έχει παρουσιασθεί στον Πίνακα 4.1. Τα ίδια σχόλια που έγιναν για το RSC ισχύουν και το Na%.

$$Na\% = \frac{Na^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+} \quad (4.7)$$

Σε ότι αφορά στην αντίδραση των αρδευτικών νερών, το pH τους σπάνια αποτελεί από μόνο του πρόβλημα. Ωστόσο, τιμές του pH περίξ ή μεγαλύτερες του 8,5 αποτελούν ένδειξη ότι η χρήση τους για αρδευτική χρήση εγκυμονεί κινδύνους τόσο για το έδαφος όσο και για τα φυτά.

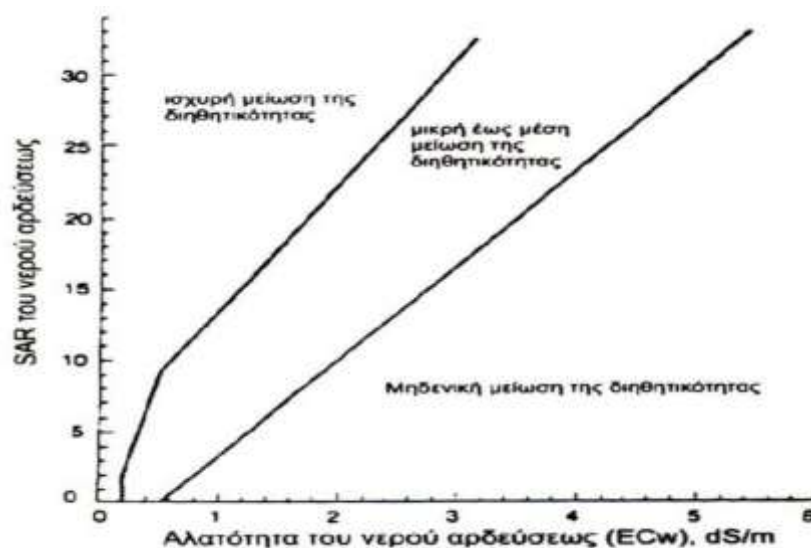
### 4.7.3. Διηθητικότητα

Τα άλατα του νατρίου στο αρδευτικό νερό, εκτός από τις άμεσες δυσμενείς επιδράσεις στα φυτά, μπορεί να επιδράσουν και στην εδαφική δομή μειώνοντας τόσο το ρυθμό με τον οποίο το νερό διεισδύει στο έδαφος όσο και τον αερισμό του εδάφους. Εάν η διηθητικότητα μειωθεί δραστικά, μπορεί να καταστεί αδύνατη η εφαρμογή της απαραίτητης ποσότητας νερού για την καλή ανάπτυξη των φυτών. Επακόλουθο της καταστροφής της εδαφικής δομής είναι το επιφανειακό λίμνασμα του νερού, η δημιουργία κρούστας, η υπερβολική ανάπτυξη ζιζανίων και η έλλειψη επαρκούς αερισμού του εδάφους.

Τα προβλήματα διηθητικότητας αφορούν συνήθως ένα μικρό βάθος του επιφανειακού εδάφους και σχετίζονται κυρίως με υψηλή περιεκτικότητα νατρίου ή πολύ χαμηλή περιεκτικότητα ασβεστίου στη ζώνη αυτή ή στο εφαρμοζόμενο νερό. Τα προβλήματα

έλλειψης ασβεστίου δημιουργούνται από άρδευση με νερά πολύ μικρής αλατότητας, τα οποία διαλύουν και ξεπλένουν το ασβέστιο του εδάφους ή με νερά πολύ υψηλής περιεκτικότητας σε νάτριο, που προκαλούν μεγάλη συσσώρευση νατρίου στο έδαφος σε σχέση με το ασβέστιο. Νερά με υψηλή αλατότητα αυξάνουν τη διηθητικότητα και μερικώς αντισταθμίζουν τα προβλήματα που προκαλεί το αυξημένο SAR, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.9.

Για δεδομένη τιμή SAR, η διηθητικότητα αυξάνεται όσο αυξάνει η αλατότητα του νερού άρδευσης και μειώνεται όσο μειώνεται η αλατότητά του. Για το λόγο αυτό οι τιμές του SAR και της  $EC_w$  πρέπει να λαμβάνονται υπόψη συνδυασμένα για την εκτίμηση και αντιμετώπιση των προβλημάτων διηθητικότητας (Διάγραμμα 4.8).



**Διάγραμμα 4.8. Μεταβολή της διηθητικότητας σε σχέση με την  $EC_w$  και το SAR του νερού άρδευσης**  
(Rhoades, 1977, Oster & Schroer, 1979)

Βέβαια, περίσσεια νατρίου στο νερό άρδευσης προωθεί την εδαφική διασπορά και την καταστροφή των εδαφικών συσσωματωμάτων μόνο όταν η σχέση του νατρίου με το ασβέστιο (ή ασβέστιο και μαγνήσιο) είναι μεγαλύτερη από 3:1. Τότε δημιουργούνται σοβαρά προβλήματα διηθητικότητας από διασπορά της αργίλου και κλείσιμο των εδαφικών πόρων, όπως ακριβώς συμβαίνει και με το νερό μικρής τιμής ηλεκτρικής αγωγιμότητας.

Για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που δημιουργεί η μικρή εδαφική περατότητα και την επιτυχή χρησιμοποίηση νερών με αυξημένο SAR υπάρχουν ειδικές πρακτικές διαχείρισης του συστήματος έδαφος - νερό άρδευσης, με την προϋπόθεση ότι αυτές οι

πρακτικές εφαρμόζονται συνεχώς ώστε να μην προκληθεί καταστροφή της εδαφικής δομής (Misopolinos, 1985, Misopolinos & Ambas, 1989, Μισοπολινός 1985, 1991, Μήτσιοι, 1994). Τέτοιες πρακτικές διαχείρισης θα αυξήσουν την περατότητα και θα μειώσουν τα δευτερογενή προβλήματα που σχετίζονται με το σχηματισμό επιφανειακής κρούστας, την παρεμπόδιση του φυτρώματος, τον πλημμυλή αερισμό, τις ασθένειες των ριζών και τον έλεγχο των ζιζανίων και των εντόμων (κυρίως κουνουπιών).

#### **4.7.4. Τοξικότητα ιόντων**

Ορισμένα ιόντα που προσλαμβάνονται από τα φυτά, ακόμη και σε μικρές ποσότητες, ασκούν τοξική δράση σε αυτά με αποτέλεσμα την πρόκληση ζημιών στα φυτά και τη μείωση της παραγωγής. Τα προβλήματα τοξικότητας των ιόντων παρουσιάζονται συχνά μαζί με εκείνα της αλατότητας, καθιστώντας αυτά πιο πολύπλοκα, παρόλο που μερικές φορές προβλήματα τοξικότητας εμφανίζονται και σε χαμηλές τιμές αλατότητας. Τα ιόντα στα οποία πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή είναι το νάτριο, το χλώριο και το βόριο. Η συγκέντρωση των δύο πρώτων είναι αυξημένη όταν χρησιμοποιούνται αποσκληρυντικά νερού, ενώ του βορίου όταν χρησιμοποιούνται απορρυπαντικά.

Γενικά, είναι δύσκολο να περιοριστεί η τοξική δράση ορισμένων ιόντων στις ευαίσθητες καλλιέργειες, χωρίς αλλαγή νερού άρδευσης, αρδευτικού συστήματος, καλλιέργειας ή συνδυασμό αυτών. Τα συμπτώματα εμφανίζονται σχεδόν σε όλες τις καλλιέργειες, όταν οι συγκεντρώσεις είναι αρκετά υψηλές, ενώ το πρόβλημα γίνεται εντονότερο στα θερμά κλίματα.

#### **Νάτριο**

Γενικά η τοξική δράση του νατρίου δεν είναι εύκολο να διαγνωσθεί. Συμπτώματα τοξικότητας είναι το κάψιμο των φύλλων και ιδίως η ξήρανση και η νέκρωση των ιστών κατά μήκος των εσωτερικών άκρων των φύλλων. Συμπτώματα τοξικότητας νατρίου εμφανίζονται στα φύλλα των φυτών, όταν η συγκέντρωση ανέρχεται σε 0,25-0,5 % της ξηράς ουσίας των φύλλων.

Στον Πίνακα 4.9 χρησιμοποιείται η τιμή του SAR για να δειχθεί ο πιθανός κίνδυνος τοξικής δράσης του νατρίου, όταν το νερό εφαρμόζεται με επιφανειακές μεθόδους άρδευσης και καταιονισμό. Στους Πίνακες 4.15 και 4.16 φαίνεται η ανθεκτικότητα ορισμένων φυτών στο ποσοστό εναλλακτικού νατρίου του εδάφους (ESP). Ο όρος ανθεκτικότητα

**Πίνακας 4.15. Αντοχή των καλλιέργειών στο ποσοστό ανταλλάξιμου νατρίου (ESP) κάτω από μη αλατούχες συνθήκες**

Αντοχή στο ESP	Καλλιέργεια	Επίπτωση στην ανάπτυξη σε συνθήκες χωραφιού
<b>Πολύ ευαίσθητες</b> ESP = 2 - 10	Οπωροφόρα φυλλοβόλα Καρδιά Εσπεριδιειδή Avocado Φασόλια	Συμπτώματα τοξικότητας Νατρίου ακόμη και σε χαμηλές τιμές ESP .
<b>Ευαίσθητες</b> ESP = 10 - 20		Αναστολή της ανάπτυξης ακόμη και με καλές φυσικές συνθήκες εδάφους .
<b>Μέτρια ανθεκτικές</b> ESP = 20 - 40	Τριφύλι Βρώμη Ρύζι	Αναστολή της ανάπτυξης λόγω θρεπτικών παραγόντων και δυσμενών εδαφικών συνθηκών .
<b>Ανθεκτικές</b> ESP = 40 - 60	Σιτάρι Βαμβάκι Αλάφα Κριθάρι Τομάτα Τεύτλα	Αναστολή της ανάπτυξης συνήθως λόγω δυσμενών φυσικών εδαφικών συνθηκών .
<b>Πολύ ανθεκτικές</b> ESP > 60	Αγρόπυρον	Αναστολή της ανάπτυξης συνήθως λόγω δυσμενών φυσικών εδαφικών συνθηκών .

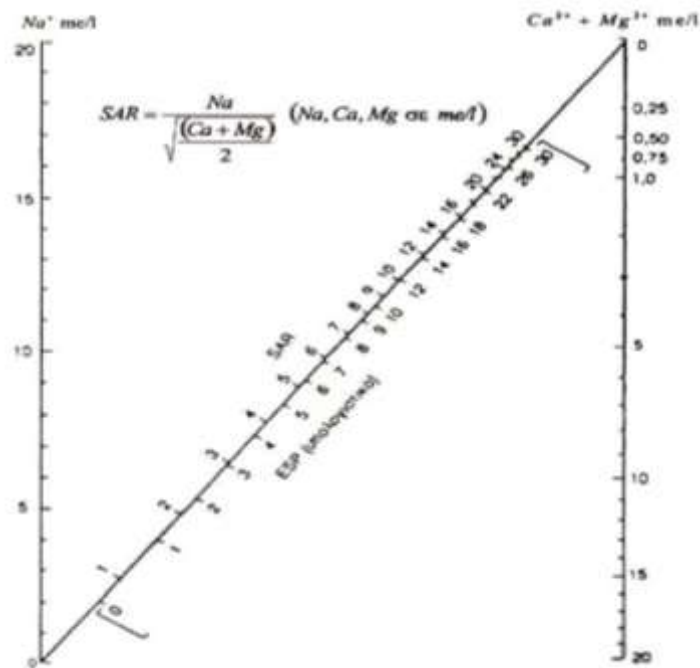
Pearson (1960)

**Πίνακας 4.16. Ανθεκτικότητα ορισμένων φυτών στο ESP**

Ευαίσθητες (ESP<15)	Ημιανθεκτικές (ESP=15-40)	Ανθεκτικές (ESP>40)
Αβοκάντο ( <i>Persea americana</i> )	Καρότο ( <i>Daucus carota</i> )	Μηδική ( <i>Medicago sativa</i> )
Φασολιά ( <i>Phaseolus vulgaris</i> )	Τριφύλλι ( <i>Trifolium repens</i> )	Κριθάρι ( <i>Hordeum vulgare</i> )
Βαμβάκι στη βλάστηση ( <i>Gossypium hirsutum</i> )	Φεστούκα ( <i>Festuca arundinacea</i> )	Ζαχαρότευτλα ( <i>Beta vulgaris</i> )
Καλαμπόκι ( <i>Zea mays</i> )	Μαρούλι ( <i>Lactuca sativa</i> )	Βαμβάκι ( <i>Gossypium hirsutum</i> )
Μπιζέλι ( <i>Pisum aestivum</i> )	Τριφύλλι το Αλεξανδρινό	Αγρόπυρο ( <i>Agr. elongatum</i> )
Γκρέιπφρουτ ( <i>Citrus paradisi</i> )	Μηδική ( <i>Melilotus parviflora</i> )	<i>Diplacha fusca</i>
Πορτοκαλιά ( <i>Citrus sinensis</i> )	Λάχανο ( <i>Brassica juncea</i> )	
Ροδακινιά ( <i>Prunus persica</i> )	Βρώμη ( <i>Avena sativa</i> )	
Εσπεριδοειδή ( <i>Citrus reticulata</i> )	Κρεμμύδι ( <i>Allium cepa</i> )	
Φασολιά ( <i>Phaseolus aureus</i> )	Ραπανάκι ( <i>Raphanus sativus</i> )	
Φασολιά ( <i>Phaseolus mango</i> )	Ρύζι ( <i>Oryza sativus</i> )	
Φακή ( <i>Lens culinaris</i> )	Σίκαλη ( <i>Secale cereale</i> )	
Αράπικο Φιστίκι ( <i>Ar. hypogaea</i> )	Λόλιο ( <i>Lolium multiflorum</i> )	
Κτηνοτροφικό Μπιζέλι ( <i>Vigna sinensis</i> )	Σόργο ( <i>Sorghum vulgare</i> )	
	Σπανάκι ( <i>Spinacia oleracea</i> )	
	Τομάτα ( <i>Lycopers. esculentum</i> )	
	Κουκιά ( <i>Vicia sativa</i> )	
	Σιτάρι ( <i>Triticum vulgare</i> )	

Ayers & Westcot (1985)

είναι σχετικός, επειδή ελλιπής θρέψη και δυσμενείς εδαφικές συνθήκες μπορούν να περιορίσουν την ανάπτυξη πριν το ESP φθάσει σε υψηλές τιμές. Όταν το ESP ξεπερνά το 30, οι φυσικές ιδιότητες του εδάφους είναι πολύ άσχημες για να επιτευχθεί καλή παραγωγή. Η εκτίμηση της τιμής ESP που αναμένεται ως αποτέλεσμα της μακροχρόνιας χρήσης ενός αρδευτικού νερού δεδομένου SAR, μπορεί να γίνει με το Διάγραμμα 4.9.



**Διάγραμμα 4.9. Νομογράφημα για τον υπολογισμό των SAR και ESP από τις τιμές των Ca, Mg, και Na**  
(U.S.S.L, 1954)

### Χλώριο

Τα φαινόμενα τοξικότητας του χλωρίου παρουσιάζονται στα φύλλα των φυτών υπό μορφή καψίματος ή ξήρανσης των ιστών. Αρχικά προσβάλλονται οι κορυφές των φύλλων, σύμπτωμα που είναι χαρακτηριστικό της τοξικότητας του χλωρίου. Εκτεταμένες νεκρώσεις φύλλων συνοδεύονται από έντονη πτώση τους που μπορεί να φθάσει και στην αποφύλλωση των φυτών. Στα ευαίσθητα φυτά, τα συμπτώματα της τοξικότητας εμφανίζονται όταν η συγκέντρωση του χλωρίου στα φύλλα ανέρχεται στο 0,3-1,0 % της ξηράς ουσίας τους. Πολλά δένδρα παρουσιάζουν φαινόμενα τοξικότητας χλωρίου, όταν η συγκέντρωση στα φύλλα είναι μεγαλύτερη από το 0,3 % της ξηράς ουσίας αυτών. Η πρόσληψη του χλωρίου από τα φυτά εξαρτάται όχι μόνο από την ποιότητα του νερού άρδευσης αλλά και από τη συγκέντρωση του χλωρίου στο εδαφικό διάλυμα. Επίσης, εξαρτάται από τις συνθήκες στράγγισης του χωραφιού και από την

ικανότητα του φυτού να αποκλείει το χλώριο κατά την πρόσληψη των θρεπτικών στοιχείων από τις ρίζες του.

Είναι δύσκολο να περιοριστεί η τοξική δράση ορισμένων ιόντων στις ευαίσθητες καλλιέργειες, χωρίς αλλαγή νερού άρδευσης, αρδευτικού συστήματος, καλλιέργειας ή συν-δυσασμό αυτών. Το πρόβλημα γίνεται εντονότερο στα θερμά κλίματα. Τα συμπτώματα εμφανίζονται σχεδόν σε όλες τις καλλιέργειες, όταν οι συγκεντρώσεις είναι αρκετά υψηλές. Στην άρδευση με καταιονισμό, το νάτριο ή/και το χλώριο απορροφώνται απευθείας από τη φυλλική επιφάνεια και προκαλούν ζημιές στα φυτά. Τέτοιες τοξικότητες συμβαίνουν σε μικρότερες συγκεντρώσεις νατρίου και χλωρίου από αυτές που προκαλούν τοξικότητες λόγω απορρόφησης από το ριζικό σύστημα των φυτών κατά την άρδευση με ροή. Η άρδευση με καταιονισμό σε περιόδους υψηλών θερμοκρασιών, ισχυρών ανέμων και χαμηλής σχετικής υγρασίας αυξάνει την πιθανότητα εμφάνισης τοξικότητας χλωρίου ή νατρίου. Σε αυτές τις περιπτώσεις συνιστάται άρδευση κατά τη διάρκεια της νύχτας, οπότε αποφεύγονται οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες καθώς και η χαμηλή σχετική υγρασία. Στον Πίνακα 4.17 δίνονται τα όρια της συγκέντρωσης του νατρίου

**Πίνακας 4.17. Ανθεκτικότητα ορισμένων φυτών σε ζημιές της φυλλικής επιφάνειας κατά την εφαρμογή άρδευσης με καταιονισμό ανάλογα με τη συγκέντρωση Na ή Cl στο νερό άρδευσης <sup>1</sup>**

Συγκεντρώσεις Na <sup>+</sup> ή Cl <sup>-</sup> σε meq/L <sup>2</sup>			
< 5	5 - 10	10 - 20	> 20
Αμυγδαλιά (Pirus dulcis)	Αμπέλι (Vitis spp.)	Μηδική (Medicago sativa)	Κουνουπίδι (Brassica oleracea)
Βερυκοκιά (Pirus armeniaca)	Πιπεριά (Capsicum annum)	Κριθάρι (Hordeum vulgare)	Βαμβάκι (Gossypium spp.)
Εσπεριδοειδή (Citrus spp.)	Πατάτα (Solanum tuberosum)	Καλαμπόκι (Zea mays)	Ζαχαρότευτλα (Beta vulgaris)
Δαμασκηλιά (Prunus domestica)	Ντομάτα (L. lycopersicum)	Αγγούρι (Cucumis sativus)	Ηλίανθος (Helianthus annuus)
		Κάρδαμος (Carthamus tinctorius)	
		Σουσάμι (Sesamum indicum)	
		Σόργο (Sorghum bicolor)	

1. Ευαίσθησία βασισμένη στην απευθείας απορρόφηση αλάτων από τα φύλλα.

2. Οι βλάβες των φύλλων επηρεάζονται από τις καλλιεργητικές και περιβαλλοντικές συνθήκες. Οι τιμές του πίνακα δίνονται ενδεικτικά και αφορούν άρδευση με καταιονισμό κατά τη διάρκεια της ημέρας. Maas (1990)

και του χλωρίου στο νερό άρδευσης, ώστε το νερό να μην προκαλεί ζημιές στη φυλλική επιφάνεια ορισμένων φυτών, όταν η άρδευση γίνεται με καταιονισμό.

Στην Καλιφόρνια άρδευση εσπεριδοειδών με καταιονισμό και συγκέντρωση νατρίου ή χλωρίου ίση με 3 meq/L προκάλεσε τοξικά φαινόμενα στα φύλλα, γεγονός που δεν παρατηρήθηκε κατά την άρδευση με το ίδιο νερό αλλά με επιφανειακές μεθόδους (λωρίδες και αυλάκια). Ο ρυθμός εφαρμογής του νερού έχει επίσης σημασία στην πρόκληση ή μη τοξικών φαινομένων στα φύλλα. Ο Robinson (1980) έδειξε ότι όσο αυξάνει ο ρυθμός εφαρμογής του νερού άρδευσης τόσο μειώνονται τα εγκαύματα στα φύλλα μηδικής. Οι δε Busch & Turner (1967) κατέληξαν στην έρευνά τους ότι η συγκέντρωση νατρίου στα φύλλα του βαμβακιού όταν η άρδευση γίνεται με καταιονισμό εξαρτάται από το χρόνο που γίνεται η άρδευση, το ρυθμό εφαρμογής του νερού και την ποικιλία.

### **Βόριο**

Μία συχνά εμφανιζόμενη τοξικότητα στη γεωργία είναι αυτή του βορίου και προέρχεται από τη χρήση υπόγειων νερών που έχουν υψηλές συγκεντρώσεις καθώς και νερών που είναι αποδέκτες είτε οικιακών λυμάτων πλούσιων σε απορρυπαντικά είτε βιομηχανικών εκροών. Γενικά, συγκεντρώσεις βορίου μεγαλύτερες από 3 ppm επηρεάζουν τις περισσότερες καλλιέργειες. Ορισμένες όμως φορές δεν παρουσιάζεται πρόβλημα στα φυτά, ακόμη και σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 3 ppm. Αυτό εξαρτάται από την περιεκτικότητα του εδάφους σε άργιλο, ανθρακικό ασβέστιο καθώς και από το pH του εδάφους (Μισοπολινός, 1991).

Αρχικά τα συμπτώματα τοξικότητας του βορίου παρουσιάζονται στα ώριμα φύλλα σαν κίτρινες κηλίδες ή ξήρανση των ιστών στις κορυφές και στις άκρες αυτών. Όταν η συγκέντρωση του βορίου αυξάνει, η ξήρανση επεκτείνεται προς το κέντρο των φύλλων και στις περιοχές που βρίσκονται μεταξύ των νεύρων. Τα συμπτώματα τοξικότητας στα φύλλα εμφανίζονται όταν η συγκέντρωση του βορίου ξεπεράσει τα 250-300 mg/Kg ξηράς ουσίας φύλλων. Σε ορισμένα δενδρώδη όπως η κερασιά, η δαμασκηλιά, η αμυγδαλιά κ.α. δεν παρουσιάζονται τα τυπικά συμπτώματα τοξικότητας στα φύλλα, αλλά είναι εμφανής η παρουσία κόλλας στους κλάδους και τους κορμούς των δένδρων. Στα δενδρώδη, ροδακινιά, δαμασκηλιά, αμυγδαλιά, αχλαδιά, μηλιά κ.λ.π. το βόριο δε συγκεντρώνεται στα φύλλα και επομένως δεν έχει νόημα η φυλλοδιαγνωστική. Στις περιπτώσεις αυτές συνιστάται να γίνεται χημική ανάλυση του εδαφικού διαλύματος.



Στον Πίνακα 4.18 παρουσιάζεται η ανθεκτικότητα διαφόρων αγροτικών φυτών στο βόριο.

**Πίνακας 4.18. Ανθεκτικότητα αγροτικών καλλιεργειών στο βόριο <sup>1</sup>**

Αγροτικές καλλιέργειες	
<p><b>Πολύ ευαίσθητες</b> (&lt;0.5 mg/L) Λεμονιά (Citrus limon) Βατόμουρο (Rubus spp.)</p> <p><b>Ευαίσθητες</b> (0.5 - 0.75 mg/L) Αβοκάντο (Persea americana) Γκρέιπφρουτ (Citrus X paradisi) Πορτοκαλιά (Citrus sinensis) Βερυκοκιά (Prunus armeniaca) Ροδακινιά (Prunus persica) Κερασιά (Prunus avium) Δαμασκηνιά (Prunus domestica) Διόσπυρος (Diospyros kaki) Συκιά (Ficus carica) Αμπέλι (Vitis vinifera) Καρυδιά (Juglans regia) Ελαιοκάρυο (Carya illinoensis) Βίγκνα (Vigna unguiculata) Κρεμμύδι (Allium cepa)</p> <p><b>Ευαίσθητα</b> (0.75 - 1.0 mg/L) Σκόρδο (Allium sativum) Γλυκοπατάτα (Ipomea batatas) Σιτάρι (Triticum aestivum) Κριθάρι (Hordeum vulgare) Ηλιάνθος (Helianthus annuus) Φασολιά (Vigna radiata) Σουσάμι (Sesamum indicum) Λούπινο (Lupinus hartwegii) Φραουλιά (Fragaria spp.) Αγκινάρα Jerusalem (Helianthus tuberosus) Φασολιά (Phaseolus vulgaris) Φασολιά (Phaseolus lunatus) Αράπικο Φυστίκι (Arachis hypogaea)</p>	<p><b>Μέτρια ευαίσθητες</b> (1.0 - 2.0 mg/L) Πιπεριά κόκκινη (Capsicum annum) Μπιζέλι (Pisum sativa) Καρότο (Daucus carota) Ραπανάκι (Raphanus sativus) Πατάτα (Solanum tuberosum) Αγγούρι (Cucumis sativus)</p> <p><b>Μέτρια ανθεκτικές</b> (2.0 - 4.0 mg/L) Μαρούλι (Lactuca sativa) Μάππα (Brassica oleracea capitata) Σέλινο (Apium graveolens) Γογγύλι - κράμβη η ράπυς (Brassica rapa) Γρασιδί Κεντάκι (Poa pratensis) Βρώμη (Avena sativa) Καλαμπόκι (Zea Mays) Αγκινάρα (Cynara scolymus) Καπνός (Nicotiana tabacum) Σινάπι (Brassica juncea) Μελίλωτος (Clover, Melilotus indica) Κολοκυθάκια (Cucurbita pepo) Αρωματικό πεπόνι (Cucumis melo)</p> <p><b>Ανθεκτικές</b> (4.0 - 6.0 mg/L) Σόργο (Sorghum bicolor) Τομάτα (Lycopersicon lycopersicum) Μηδική (Alfalfa, Medicago sativa) Βίκος (Vicia benghalensis) Μαϊντανός (Petroselinum crispum) Κοκκινογούλια (Beta vulgaris) Ζαχαρότευτλα (Beta vulgaris)</p> <p><b>Πολύ ανθεκτικές</b> (6.0 - 15.0 mg/l) Βαμβάκι (Gossypium hirsutum) Σπαράγγι (Asparagus officinalis)</p>

1. Μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις στο εδαφικό νερό χωρίς να παρατηρείται μείωση της παραγωγής. Η ανθεκτικότητα στο βόριο ποικίλει ανάλογα με τις κλιματικές και εδαφικές συνθήκες καθώς επίσης και με τις καλλιεργούμενες ποικιλίες. Οι μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις βορίου στο αρδευτικό νερό είναι περίπου ίσες ή λίγο μικρότερες από εκείνες του εδαφικού νερού.

Maas (1990)

#### 4.7.5. Ιχνοστοιχεία

Στο νερό άρδευσης, αλλά και στα εδαφικά διαλύματα, υπάρχουν διάφορα στοιχεία που βρίσκονται είτε σε σχετικά μεγάλες συγκεντρώσεις (μακροστοιχεία) είτε σε συγκεντρώσεις μικρότερες από μερικά mg/L, με συνήθεις τιμές μικρότερες από 100 µg/L (ιχνοστοιχεία). Μερικά από αυτά αν και είναι πολύ σημαντικά για την ανάπτυξη των φυτών σε μικρές συγκεντρώσεις, γίνονται τοξικά με την αύξηση των συγκεντρώσεών τους.

Οι συνιστώμενες μέγιστες συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων για νερά που χρησιμοποιούνται συνεχώς στην άρδευση του ίδιου αγρού δίνονται στον Πίνακα 4.19. Όταν η άρδευση γίνεται για χρονικά διαστήματα μικρότερα της εικοσαετίας σε εδάφη λεπτόκοκκης υφής με pH μεταξύ 6.0-8.5, υπάρχει η δυνατότητα να ξεπεραστούν είτε τα όρια συγκεντρώσεων των ιχνοστοιχείων (Πίνακας 4.20) είτε οι δόσεις άρδευσης. Στην περίπτωση αυτή πρέπει σύντομα να αποκατασταθούν τα κανονικά επίπεδα συγκέντρωσης των ιχνοστοιχείων και εφαρμογής του αρδευτικού νερού στον αγρό. Συνιστώνται επίσης, περιοδικοί έλεγχοι τόσο του εδάφους όσο και του νερού άρδευσης, ώστε να εκτιμάται ο ρυθμός συσσώρευσης ιχνοστοιχείων και να σχεδιάζονται οι μελλοντικοί χειρισμοί.

Οι κατευθυντήριες γραμμές που δίνονται στον Πίνακα 4.19 εφαρμόζονται στην άρδευση φυτών τοπίου και εκτατικών καλλιεργειών και βασίζονται στη γενική επιδίωξη να διατηρηθεί η παραγωγικότητα του εδάφους και των καλλιεργειών. Κανένα από τα στοιχεία του Πίνακα 4.20 δεν προκαλεί τοξικότητες, εφόσον τηρούνται τα αναγραφόμενα επίπεδα συγκέντρωσης. Επομένως, τα νερά πρέπει να θεωρούνται ασφαλή για συνεχή άρδευση, για όλες τις καλλιέργειες και όλους τους εδαφικούς τύπους, όταν δεν υπερβαίνονται οι συγκεντρώσεις αυτές. Τα περισσότερα ιχνοστοιχεία συνδέονται στενά με τα εδαφικά τεμαχίδια και συσσωρεύονται με το χρόνο. Επαναλαμβανόμενες αρδεύσεις με νερό που περιέχει κάποια ιχνοστοιχεία σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από αυτές του Πίνακα 4.19 θα αυξήσουν τελικά τη συγκέντρωση αυτών σε επίπεδα που είναι πιθανό να προκαλέσουν φυτοτοξικότητες. Συνιστάται, οι τιμές του Πίνακα 4.19 να θεωρούνται ως οι μέγιστες συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων στο νερό που χρησιμοποιείται για μεγάλα χρονικά διαστήματα και με κανονικές δόσεις εφαρμογής του νερού στον αγρό.

#### 4.7.6. Διάφορα προβλήματα

Με τον όρο διάφορα προβλήματα γίνεται αναφορά στις συγκεντρώσεις  $\text{NO}_3$  και  $\text{HCO}_3$ , στο pH, καθώς επίσης και στον κίνδυνο έμφραξης των συστημάτων άρδευσης με σταγόνες. Τα προβλήματα αυτά, όταν παρουσιάζονται, πρέπει να εκτιμώνται και να αντιμετωπίζονται κατά περίπτωση.

**Πίνακας 4.19. Συνιστώμενες μέγιστες συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων στο αρδευτικό νερό για συνεχή χρήση**

Στοιχεία	Συνιστώμενη μέγιστη συγκέντρωση (mg/L) <sup>1</sup>	Παρατηρήσεις
<b>Al</b> (αργίλιο)	5	Μπορεί να προκαλέσει σημαντική μείωση της παραγωγής σε όξινα εδάφη, αλλά σε νατριωμένα εδάφη τα ιόντα του Al καθιζάνουν και ελαχιστοποιείται η τοξικότητά του.
<b>As</b> (αρσενικό)	0.1	Η φυτοτοξικότητά του ποικίλει σε μεγάλο βαθμό και κυμαίνεται από 12 mg/L για το Sudan grass έως λιγότερο από 0.05 mg/L για το ρύζι.
<b>Be</b> (βηρύλλιο)	0.1	Η φυτοτοξικότητά του ποικίλει σε μεγάλο βαθμό και κυμαίνεται από 5 mg/l για την ουλόφυλλο κράμβη έως 0.5mg/L για τα νάνα φασόλια.
<b>Cd</b> (κάδμιο)	0.01	Είναι τοξικό στα φασόλια, παντζάρια, ζαχαρότευτλα και κοκκινογούλια, όταν η συγκέντρωσή του στο θρεπτικό διάλυμα είναι έως 0.1 mg/L. Συνιστώνται συντηρητικά όρια εξαιτίας της τάσης του να συσσωρεύεται σε φυτικούς ιστούς και εδάφη σε συγκεντρώσεις που μπορεί να είναι επιβλαβείς για τους ανθρώπους.
<b>Co</b> (κοβάλτιο)	0.05	Είναι τοξικό στη ντομάτα, όταν η συγκέντρωσή του στο θρεπτικό διάλυμα φθάνει τα 0.1 g/L. Σε ουδέτερα και νατριωμένα εδάφη καθίσταται αδρανές.
<b>Cr</b> (χρώμιο)	0.1	Θεωρείται, όχι πάντα, βασικό στοιχείο στην ανάπτυξη των φυτών. Εξαιτίας της περιορισμένης γνώσης πάνω στην φυτοτοξικότητα, συνιστώνται συντηρητικές συγκεντρώσεις.
<b>Cu</b> (χαλκός)	0.2	Είναι τοξικό σε αρκετά φυτά, όταν οι συγκεντρώσεις του στο θρεπτικό διάλυμα κυμαίνονται από 0.1 έως 1.0 mg/L.
<b>F</b> (φθόριο)	1	Αδρανοποιείται σε ουδέτερα και νατριωμένα εδάφη.
<b>Fe</b> (σίδηρος)	5	Σε αεριζόμενα εδάφη δεν είναι τοξικό για τα φυτά. Μπορεί όμως να συμβάλλει στην οξίνιση των εδαφών και να μειώσει τη διαθεσιμότητα του φωσφόρου και του μολυβδαινίου που είναι σημαντικά στοιχεία για τα φυτά. Άρδευση με καταιονισμό δημιουργεί αποθέσεις σε φυτά, εξοπλισμό και κτίσματα.
<b>Li</b> (λίθιο)	2.5	Ανεκτό από τα περισσότερα φυτά έως 5 mg/L. Ευκίνητο στο έδαφος. Τοξικό για τα εσπεριδοειδή σε χαμηλές συγκεντρώσεις (<0.075 mg/L). Επιδρά όμοια με το βόριο.
<b>Mn</b> (μαγγάνιο)	0.2	Τοξικό σε διάφορα φυτά σε συγκεντρώσεις από μερικά δέκατα έως μερικά mg/L, αλλά συνήθως μόνο σε όξινα εδάφη.
<b>Mo</b> (μολυβδαινίο)	0.01	Μη τοξικό για τα φυτά όταν βρίσκεται σε κανονικές συγκεντρώσεις στο έδαφος και στο νερό. Μπορεί να είναι τοξικό για τα ζώα, όταν βοσκήσουν σε εδάφη με υψηλές συγκεντρώσεις διαθέσιμου μολυβδαινίου.

Συνέχεια του Πίνακα 4.19		
Στοιχεία	Συνιστώμενη μέγιστη συγκέντρωση (mg/L) <sup>1</sup>	Παρατηρήσεις
<b>Ni</b> (νικέλιο)	0.2	Τοξικό σε διάφορα φυτά σε συγκεντρώσεις από 0.5 έως 1.0 mg/L. Μειωμένη τοξικότητα σε ουδέτερα ή αλκαλικά pH.
<b>Pb</b> (μόλυβδος)	5	Σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να προκαλέσει ανάσχεση της αύξησης των φυτικών κυττάρων
<b>Se</b> (σελήνιο)	0.02	Τοξικό στα φυτά ακόμα και σε μικρές συγκεντρώσεις, όπως 0.025 mg/L. Επίσης, είναι τοξικό στα ζώα που βόσκουν σε εδάφη με σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις εφαρμοζόμενου σεληνίου. Αντίθετα, σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις είναι απαραίτητο στα ζώα.
<b>Sn</b> (κασσίτερος)		Δεν προσλαμβάνεται από τα φυτά. Συγκεκριμένα επίπεδα ανεκτικότητας άγνωστα.
<b>Ti</b> (τιτάνιο)		Δεν προσλαμβάνεται από τα φυτά. Συγκεκριμένα επίπεδα ανεκτικότητας άγνωστα.
<b>W</b> (βολφράμιο)		Δεν προσλαμβάνεται από τα φυτά. Συγκεκριμένα επίπεδα ανεκτικότητας άγνωστα.
<b>V</b> (βανάδιο)	0.1	Τοξικό σε πολλά φυτά σε σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις.
<b>Zn</b> (ψευδάργυρος)	2	Τοξικό σε πολλά φυτά σε μεγάλο εύρος συγκεντρώσεων. Η τοξικότητά του μειώνεται όταν το pH>6 και τα εδάφη είναι καλής δομής ή οργανικά.

1. Η μέγιστη συγκέντρωση βασίζεται στην εφαρμογή αρδευτικού νερού ύψους 1000 mm/χρόνο σε εδάφη υπό ορθολογική διαχείριση. Εάν το εφαρμοζόμενο ύψος νερού ξεπερνάει σημαντικά αυτό το όριο, οι μέγιστες συγκεντρώσεις πρέπει να μειωθούν κατάλληλα. Για μικρότερα ύψη νερού δε χρειάζονται προσαρμογές στις μέγιστες συγκεντρώσεις. Οι συγκεντρώσεις που δίνονται αφορούν συνεχή χρήση του ίδιου νερού στον αγρό.

U.S.E.P.A. (1973), Ayers & Westcot (1985), Westcot & Ayers (1985)

## Άζωτο

Η συνολική ποσότητα αζώτου που περιέχεται στο αρδευτικό νερό και ιδιαίτερα το άζωτο που απαντάται υπό μορφή νιτρικής ρίζας είναι πιθανό να δημιουργήσει προβλήματα όταν υπερβαίνει τα όρια του Πίνακα 4.9. Το άζωτο που φθάνει στο έδαφος με το νερό άρδευσης είναι ισοδύναμο με το άζωτο των χημικών λιπασμάτων, αλλά δε ρυθμίζεται εύκολα. Σε κάθε άρδευση μαζί με το νερό εφαρμόζεται και άζωτο που λιπαίνει τα φυτά. Ο τρόπος αυτός λίπανσης είναι ευνοϊκός κατά τα πρώτα στάδια ανάπτυξης των φυτών, αλλά δημιουργεί προβλήματα κατά το στάδιο της ωριμότητας. Περίσσεια αζώτου μπορεί να προκαλέσει προβλήματα σε κάποιες καλλιέργειες, όπως αυξημένη βλάστηση, καθυστέρηση στην ωρίμανση του καρπού και υποβάθμιση της

ποιότητάς του. Σε τέτοιες περιπτώσεις συνιστάται η αλλαγή του νερού άρδευσης με άλλο διαθέσιμο νερό χαμηλής περιεκτικότητας σε άζωτο ή η ανάμειξή του με άλλο

**Πίνακας 4.20. Μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων σε νερά που χρησιμοποιούνται συνεχώς ή για χρονικό διάστημα μικρότερο από 20 χρόνια**

Συστατικό	Επιτρεπόμενη συγκέντρωση (mg/L)	
	Σε νερά που χρησιμοποιούνται συνεχώς για όλα τα εδάφη	Σε νερά που χρησιμοποιούνται το πολύ 20 χρόνια και σε εδάφη λεπτόκοκκης υφής με pH 6.0- 8.5
Αλουμίνιο (Al)	5	20
Αρσενικό (As)	0.1	2
Βηρύλιο (Be)	0.1	0.5
Βόριο (B)	0.75	2
Κάδμιο (Cd)	0.01	0.05
Χρόμιο (Cr)	0.1	1
Κοβάλτιο (Co)	0.05	5
Χαλκός (Cu)	0.2	5
Φθόριο (F)	1	15
Σίδηρος (Fe)	5	20
Μόλυβδος (Pb)	5	0.075
Λίθιο (Li)	2.5	2.5
Μαγγάνιο (Mn)	0.2	10
Μολυβδαίνιο (Mo)	0.01	0.05
Νικέλιο (Ni)	0.2	2
Σελήνιο (Se)	0.02	0.05
Βανάδιο (V)	0.1	1
Ψευδάργυρος (Zn)	2	10

Ayers & Westcot (1985)

αρδευτικό νερό επίσης μικρής περιεκτικότητας σε άζωτο για τη μείωση της συγκέντρωσής του.

#### **Όξινα ανθρακικά**

Νερό υψηλής περιεκτικότητας σε  $\text{HCO}_3$ , μπορεί επίσης να δημιουργήσει πρόβλημα, εφαρμοζόμενο με καταιόνιση προκαλώντας λευκές κηλίδες στα φρούτα ή τα φύλλα της αρδευόμενης καλλιέργειας, ιδίως κάτω από συνθήκες χαμηλής υγρασίας και υψηλής εξάτμισης. Επίσης, ισχύουν και όσα αναφέρθηκαν στο υποκεφάλαιο 4.7.2 (Τσακίρης, 2004).

### Αντίδραση νερών (pH)

Το pH των νερών άρδευσης συνήθως δεν αποτελεί από μόνο του πρόβλημα. Ωστόσο, τιμές πέρα από τα συνηθισμένα όρια (6.5-8.5) αποτελούν ένδειξη ότι τα νερά είναι υπο-

βαθμισμένης ποιότητας με πιθανή παρουσία τοξικών ιόντων. Τιμές pH εκτός των παραπάνω ορίων πρέπει να αποτελούν προειδοποίηση και να οδηγούν σε περαιτέρω αναλύσεις και εκτιμήσεις για την ποιότητά τους.

### 4.8. ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

Ο δείκτης ποιότητας του νερού άρδευσης (Water Quality Index-W.Q.I.) που προτάθηκε από τους Meireles et al., 2010, αντανακλά τους κινδύνους αλατότητας και νατρίωσης ενός εδάφους καθώς και της τοξικότητας του νερού άρδευσης στα φυτά. Για τον προσδιορισμό του δείκτη απαιτούνται οι μετρήσεις EC, Na, Cl, HCO<sub>3</sub> και ο υπολογισμός του SAR. Σύμφωνα με τα κριτήρια που ορίστηκαν από τους Ayers & Westcot, (1985) και τις προτάσεις της συμβουλευτικής επιτροπής του Πανεπιστημίου της Καλιφόρνιας (UCCC), έγινε ομαδοποίηση των τιμών των παραμέτρων σε τέσσερις κατηγορίες και για κάθε κατηγορία αντιστοιχεί ένα συγκεκριμένο εύρος τιμών ποιότητας (q<sub>i</sub>), όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.21.

Πίνακας 4.21. Οριακές τιμές ποιοτικών παραμέτρων νερού

q <sub>i</sub>	EC (mS/cm)	SAR (meq/L) <sup>1/2</sup>	Na <sup>+</sup> (meq/L)	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
85-100	0.20<EC<0.75	2<SAR<3	2<Na<3	1<Cl<4	1<HCO <sub>3</sub> <1.5
60-85	0.75<EC<1.50	3<SAR<6	3<Na<6	4<Cl<7	1.5<HCO <sub>3</sub> <4.5
35-60	1.50<EC<3.00	6<SAR<12	6<Na<9	7<Cl<10	4.5<HCO <sub>3</sub> <8.5
0-35	EC<0.20 ή EC>3.0	SAR<2 ή SAR>12	Na<2 ή Na>9	Cl<1 ή Cl>10	HCO <sub>3</sub> <1 ή HCO <sub>3</sub> >8.5

Meireles et al. (1999)

Οι τιμές ποιότητας q<sub>i</sub> για κάθε παράμετρο υπολογίζονται από την εξίσωση:

$$q_i = q_{i \max} \left[ \frac{X_{ij} - X_{\inf}}{X_{\text{amp}}} q_{i\text{amp}} \right] \quad (4.8)$$

όπου: q<sub>i max</sub> η μέγιστη τιμή q<sub>i</sub> για την αντίστοιχη κατηγορία

X<sub>ij</sub> οι μετρημένες τιμές των παραμέτρων

$x_{inf}$  η αντίστοιχη τιμή του κάτω ορίου της κατηγορίας στην οποία ανήκει η εκάστοτε παράμετρος

$q_{i\ amp}$  το εύρος τιμών του  $q$  στην  $i$ -οστή κατηγορία

$x_{amp}$  το εύρος τιμών της παραμέτρου για την αντίστοιχη κατηγορία στην οποία ανήκει

Για τον υπολογισμό του  $x_{amp}$  κάθε παραμέτρου στην τελευταία κατηγορία ( $0 < q_i < 35$ ) (Πίνακας 4.21), ως άνω όριο θεωρείται η μέγιστη μετρημένη τιμή που προκύπτει από την φυσικοχημική ανάλυση των δειγμάτων νερού.

Κάθε παράμετρος μέτρησης συμμετέχει στον προσδιορισμό του δείκτη ποιότητας με ένα συντελεστής βαρύτητας, οι τιμές των οποίων δίνονται στον Πίνακα 4.22.

**Πίνακας 4.22. Συντελεστές βαρύτητας των διαφόρων παραμέτρων**

Παράμετρος	Συντελεστής βαρύτητας, $w_i$
Ηλεκτρική αγωγιμότητα, EC	0.211
Νάτριο, Na	0.204
Όξινα ανθρακικά, $HCO_3^-$	0.202
Χλώριο, Cl	0.194
Λόγος προσροφημένου νατρίου, SAR	0.189
<b>Σύνολο</b>	<b>1.000</b>

Ο υπολογισμός του δείκτη ποιότητας νερού προκύπτει από τη σχέση:

$$W.Q.I. = \sum_{i=1}^5 q_i w_i \quad (4.9)$$

όπου: W.Q.I. αδιάστατη παράμετρος που οι τιμές της κυμαίνονται μεταξύ 0 και 100.

$q_i$  η ποιότητα της  $i$ -οστής παραμέτρου με εύρος τιμών (0–100) η οποία είναι συνάρτηση της συγκέντρωσης ή της μετρούμενης τιμής.

$w_i$  ο συντελεστής βαρύτητας της  $i$ -οστής παραμέτρου, που απεικονίζει την σημαντικότητά του στην συνολική μεταβλητότητα της ποιότητας του νερού.

Ο δείκτης ποιότητας νερού (W.Q.I.), αντιστοιχεί σε πέντε ποιοτικές κατηγορίες. Η διάκριση των κατηγοριών καθορίστηκε με βάση τον κίνδυνο δημιουργίας αλατότητας, μείωσης της διηθητικότητας του εδάφους καθώς και την τοξικότητα στα φυτά.

Ανάλογα με την τιμή του δείκτη ποιότητας καθορίζονται και οι περιορισμοί της χρήσης νερού για κάθε κατηγορία, όπως φαίνονται στον Πίνακα 4.23.

**Πίνακας 4.23. Χαρακτηριστικές κατηγορίες και συστάσεις διαχείρισης με βάση το δείκτη ποιότητας νερού W.Q.I.**

Δείκτης ποιότητας νερού	Περιορισμοί	Σύσταση	
		Φυτό	Έδαφος
85-100	Κανένας περιορισμός.	Κανένας κίνδυνος τοξικότητας για περισσότερα φυτά.	Χρήση των νερών για την πλειοψηφία των εδαφών με μικρή πιθανότητα δημιουργίας προβλημάτων αλατότητας ή νατρίωσης. Συνιστάται έκπλυση των εδαφών εκτός αυτών με υπερβολικά χαμηλή περατότητα.
70-85	Μικρός περιορισμός.	Αποφυγή ευαίσθητων στην αλατότητα φυτών.	Συνιστάται χρήση των νερών σε ελαφρά εδάφη ή μέτριας περατότητας με εφαρμογή έκπλυσης. Μπορεί να εμφανισθεί νατρίωση σε βαριά εδάφη. Συνιστάται η αποφυγή άρδευσης εδαφών με υψηλό ποσοστό αργίλου.
55-70	Μέτριος περιορισμός.	Φυτά με μέτρια αντοχή στην αλατότητα.	Πιθανή χρήση σε εδάφη με μέτρια έως υψηλή περατότητα. Συνιστάται μέτρια έκπλυση αλάτων.
40-55	Μεγάλος περιορισμός.	Φυτά που αρδεύονται από νερά μέτριας έως υψηλής αλατότητας με ειδικές πρακτικές ελέγχου αυτής, εκτός από νερά με χαμηλές συγκεντρώσεις Na, Cl και HCO <sub>3</sub> .	Πιθανή χρήση σε εδάφη υψηλής περατότητας χωρίς συμπαγείς στρώσεις. Συνιστώνται συχνές αρδεύσεις με νερά EC > 2000 dS/m και SAR > 7.
0- 40	Σοβαρός περιορισμός.	Μόνο φυτά με μεγάλη αντοχή στην αλατότητα. Εξαιρούνται τα νερά με πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις Na, Cl και HCO <sub>3</sub> .	Θα πρέπει να αποφεύγεται η χρήση του για άρδευση σε κανονικές συνθήκες. Σε ειδικές περιπτώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν περιστασιακά. Νερά χαμηλής αλατότητας και υψηλών τιμών SAR χρειάζονται εφαρμογή γύψου. Όταν τα νερά έχουν υψηλή αλατότητα τότε τα εδάφη πρέπει να έχουν μεγάλη περατότητα και να γίνονται ισχυρές εκπλύσεις για να αποφεύγεται η συγκέντρωση αλάτων.

Meireles et al. (1999)



#### **4.9. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΡΔΕΥΣΗΣ**

Η ορθολογική χρήση του αρδευτικού νερού είναι το κυρίαρχο ζήτημα στη γεωργία. Όσο μικρότερος είναι ο βαθμός της αρδευτικής αποδοτικότητας, τόσο μεγαλύτερη είναι η σπατάλη νερού και ο κίνδυνος ρύπανσης ή μόλυνσης εδάφους και νερών (επιφανειακών ή υπόγειων). Η μέθοδος άρδευσης που θα επιλεγεί πρέπει να λαμβάνει υπόψη της την παροχή και την ποιότητα του νερού, το κλίμα, το έδαφος, το είδος των καλλιεργειών που θα εναλλάσσονται, το κόστος της μεθόδου και την ικανότητα του αγρότη να διαχειρίζεται το σύστημα άρδευσης. Η καταλληλότητα διαφόρων συστημάτων άρδευσης και οι προϋποθέσεις χρησιμοποίησής τους φαίνονται στον Πίνακα 4.24.

Επίσης, η επιλογή της μεθόδου άρδευσης πρέπει να λαμβάνει υπόψη της και άλλους παράγοντες, όπως η διαβροχή ή μη του φυλλώματος και των καρπών, ο τρόπος κατανομής νερού - αλάτων στο έδαφος, η δυνατότητα διατήρησης της εδαφικής υγρασίας σε υψηλά επίπεδα, η αποδοτικότητα εφαρμογής του νερού και η πιθανότητα πρόκλησης ζημιών στο αρδευτικό σύστημα (Sifola & Roupael, 2015).

Στις περιπτώσεις που τα αρδευτικά νερά είναι αυξημένης αλατότητας, πρέπει να υιοθετούνται κατάλληλες πρακτικές διαχείρισης για να αποφεύγεται ο κίνδυνος δημιουργίας αλατούχων εδαφών. Επομένως, η έκπλυση και η στράγγιση είναι δύο πρακτικές διαχείρισης των νερών άρδευσης που συμβάλλουν αποφασιστικά στην αποφυγή δημιουργίας αλατούχων εδαφών. Η σωστή οργάνωση των αρδεύσεων και η ανάμειξη των υφάλμυρων νερών με άλλα μικρότερης ηλεκτρικής αγωγιμότητας αποτελούν άλλες δύο πρακτικές ελαχιστοποίησης των πιθανών προβλημάτων συγκέντρωσης αλάτων στο έδαφος.

Ο Πίνακας 4.25 δίνει τη δυνατότητα επιλογής της πλέον κατάλληλης μεθόδου άρδευσης με κριτήρια τη διαβροχή της φυλλικής επιφάνειας, τη συσσώρευση αλάτων στο ριζό-στρωμα, τη διαθεσιμότητα της εδαφικής υγρασίας και την καταλληλότητά τους να χρησιμοποιούν υφάλμυρα νερά.

Στον Πίνακα 4.26 παρουσιάζονται οι πιθανοί κίνδυνοι έμφραξης ενός συστήματος άρδευσης με σταγόνες λόγω φυσικών, χημικών και βιολογικών αιτιών. Η ύπαρξη στερεών τεμαχιδίων και η ανάπτυξη μικροοργανισμών στους σταλακτήρες μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα που ξεπερνιούνται με τη χρήση χαλκίκο φίλτρων και το συχνό καθάρισμά τους με άφθονο νερό (Papadopoulos & Stylianiou, 1988). Στην άρδευση με σταγόνες απαιτείται η ύπαρξη κατάλληλων φίλτρων στην αρχή του

συστήματος (Gilbert et al. 1979, 1981, English, 1985, Padmakumari & Sivanappan, 1985, Gilbert & Ford,

**Πίνακας 4.24. Καταλληλότητα συστημάτων άρδευσης και προϋποθέσεις  
χρησιμοποίησής τους**

Σύστημα άρδευσης	Καλλιέργεια	Κλίση εδάφους	Έδαφος	Νερό	Αποδοτικότητα εφαρμογής <sup>1</sup>
<b>ΑΡΔΕΥΣΗ ΜΕ ΡΟΗ</b>					
<b>Λωρίδες μέχρι 30m πλάτους</b>	Βοσκές, μηδική, σιτηρά, δενδρώδη	Κατά μήκος <1% Εγκάρσια 0.2%	TΔmin=7.6 <sup>2</sup> TΔmax=150 Βάθος:επαρκές	Ποσότητα: μεγάλη παροχή	65-85
<b>Επίπεδες λωρίδες</b>	Φυτά μεγάλης καλλιέργειας, ρύζι, δενδρώδη	Κατά μήκος 0% Εγκάρσια 0.2%	TΔmin=2.5 TΔmax=150 Βάθος:επαρκές	Ποσότητα: ενδιάμεση παροχή	75-90
<b>Αύλακες ευθείς</b>	Λαχανικά, δενδρώδη, αμπελώνες	Κατά μήκος 3% Εγκάρσια 10% (κίνδυνος διάβρωσης)	TΔmin=2.5 TΔmax=XΠ <sup>7</sup> όταν το μήκος των αυλάκων έχει καθοριστεί με βάση τη διηθητικότητα. Βάθος:επαρκές	Ποσότητα: ενδιάμεση παροχή	70-80
<b>Αύλακες κατά ισούψεις</b>	Λαχανικά, δενδρώδη, αμπελώνες	Κατά μήκος 8% Εγκάρσια 10% (κίνδυνος διάβρωσης)	TΔmin=2.5 TΔmax=XΠ όταν το μήκος των αυλάκων έχει καθοριστεί με βάση τη διηθητικότητα.	Ποσότητα: ενδιάμεση παροχή	70-85
<b>ΚΑΤΑΙΟΝΙΣΜΟΣ</b>					
<b>Συστήματα που μετακινούνται χειρωνακτικά</b>	Δενδρώδη, βοσκές, λαχανικά, αμπελώνες, φυτά μεγάλης καλλιέργειας	Κατά μήκος 20%	TΔmin=2 YI=7.6 <sup>4</sup>	Ποσότητα:ΧΠ Ποιότητα: υψηλή συγκέντρωση TDS μπορεί να προξενήσει ζημιές στο φύλλωμα.	70-80
<b>Συστήματα που μετακινούνται μηχανικά (δια τροχών)</b>	Φυτά που δεν υπερβαίνουν σε ύψος το 1m	Κατά μήκος 15%	TΔmin=2 YI=7.6	Ποσότητα:ΧΠ Ποιότητα: υψηλή συγκέντρωση TDS μπορεί να προξενήσει ζημιές στο φύλλωμα.	70-80
<b>Μόνιμα συστήματα</b>	XΠ <sup>3</sup>	XΠ	TΔmin=1.3	Ποσότητα:ΧΠ Ποιότητα: υψηλή συγκέντρωση TDS μπορεί να προξενήσει ζημιές στο φύλλωμα.	70-80

<b>Συνέχεια του Πίνακα 4.24</b>					
<b>Σύστημα άρδευσης</b>	<b>Καλλιέργεια</b>	<b>Κλίση εδάφους</b>	<b>Εδαφος</b>	<b>Νερό</b>	<b>Αποδοτικότητα εφαρμογής<sup>1</sup></b>
<b>Κεντρικά συστήματα με περιστρεφόμενη πλευρική γραμμή</b>	Όλα τα φυτά (εκτός από δενδρώδη και αμπελώνες)	Κατά μήκος 15%	TΔmin=7.6 YI=5	Ποσότητα: μεγάλη παροχή Ποιότητα: υψηλή συγκέντρωση TDS μπορεί να προξενήσει ζημιές στο φύλλωμα.	70-80
<b>Μετακινούμενος εκτοξευτής (κανόνι)</b>	Βοσκές, μηδική, λαχανικά, φυτά μεγάλης καλλιέργειας	Κατά μήκος 15%	TΔmin=7.6 YI=5	Ποσότητα: 24-240 m <sup>3</sup> /h κατά μονάδα. Ποιότητα: υψηλή συγκέντρωση TDS μπορεί να προξενήσει ζημιές στο φύλλωμα.	70-80
<b>ΤΟΠΙΚΗ ΑΡΔΕΥΣΗ</b>					
<b>Στάγδην</b>	Κηπευτικά, φυτωριακές καλλιέργειες, αμπελώνες, δενδρώδη	XΠ	TΔmin=5	Ποσότητα: XΠ Ποιότητα: Καλή έως άριστη για την αποφυγή εμφράξεων.	70-85

1. Βασίζεται σε ορθολογική διαχείριση του νερού και στην επαναχρησιμοποίηση του νερού απορροής
2. TΔ είναι η ταχύτητα ή ρυθμός διήθησης σε mm/h
3. XΠ σημαίνει χωρίς περιορισμό
4. YI είναι η υδατοϊκανότητα

U.S.E.P.A.(1981); F.A.O.(1968,1974,1980,1984), U.S.D.A., (1971,1974a,b,1984), Παπαζαφειρίου, (1976), Παπαμιχαήλ, (2000)

1986, Adin & Elimelech, 1989). Οι Oron et al. (1991) συστήνουν φίλτρα με ανοίγματα μεγαλύτερα από 0.125 mm (120 mesh) για να αποφευχθούν πιθανές εμφράξεις των φίλτρων.

Εάν το νερό της γεώτρησης που χρησιμοποιεί ο αγρότης έχει αυξημένη τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας, τότε μπορεί να γίνει ανάμειξη του νερού αυτού με νερό μικρότερης τιμής ηλεκτρικής αγωγιμότητας για να προκύψει νερό άρδευσης αποδεκτής αλατότητας (Rhoades, 1984, Grattan & Rhoades, 1990, Rhoades et al., 1992). Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η διαθεσιμότητα τέτοιου νερού και η απουσία τεχνικών δυσκολιών. Περισσότερες λεπτομέρειες αναφέρονται στο Κεφάλαιο 8.

**Πίνακας 4.25. Εκτίμηση της καταλληλότητας τεσσάρων μεθόδων άρδευσης, όταν χρησιμοποιούνται υφάλμυρα νερά**

Παράμετροι που εκτιμούνται	Μέθοδος άρδευσης			
	Αυλάκια	Λωρίδες	Καταιονισμός	Σταγόνες
<b>Βρέξιμο φύλλων και ζημιές αυτών με αποτέλεσμα τη μείωση της παραγωγής.</b>	Δεν παρατηρούνται ζημιές στα φύλλα επειδή τα φυτά βρίσκονται στον αυχένα των αυλακιών και δεν έρχονται σε επαφή με το νερό.	Μερικά από τα κάτω φύλλα μπορεί να βραχούν, αλλά η ζημιά είναι μικρή για να προκαλέσει μείωση της παραγωγής.	Μπορεί να προκληθούν μεγάλες ζημιές στα φύλλα με αποτέλεσμα σημαντική μείωση της παραγωγής.	Δε συμβαίνει καμία ζημιά στα φύλλα.
<b>Συσσώρευση αλάτων στο ριζόστρωμα, με τις επαναλαμβανόμενες αρδεύσεις.</b>	Συσσώρευση αλάτων στον αυχένα των αυλακιών με πιθανή πρόκληση ζημιών στα φυτά.	Τα άλατα κινούνται κατακόρυφα προς τα κάτω και δε συγκεντρώνονται στο ριζόστρωμα.	Τα άλατα κινούνται κατακόρυφα προς τα κάτω και δε συγκεντρώνονται στο ριζόστρωμα.	Η συγκέντρωση των αλάτων γίνεται περιφερειακά. Άλατα συσσωρεύονται μεταξύ των σημείων ενστάλαξης.
<b>Δυνατότητα διατήρησης της εδαφικής υγρασίας σε υψηλή διαθεσιμότητα για τα φυτά.</b>	Τα φυτά μπορεί να υποστούν stress από την έλλειψη νερού μεταξύ των αρδεύσεων.	Τα φυτά μπορεί να υποστούν stress από την έλλειψη νερού μεταξύ των αρδεύσεων.	Δεν μπορεί να εξασφαλίσει υψηλή διαθεσιμότητα εδαφικής υγρασίας σε όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου.	Μπορεί να εξασφαλίσει υψηλή διαθεσιμότητα νερού σε όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου και να μειώσει την επίδραση της αλατότητας.
<b>Καταλληλότητα για χρησιμοποίηση υφάλμυρων αποβλήτων, χωρίς σημαντική μείωση της παραγωγής.</b>	Καλή έως μέτρια. Με καλή διαχείριση του νερού και στράγγιση μπορεί να επιτευχθούν ανεκτές αποδόσεις.	Καλή έως μέτρια. Με καλή διαχείριση του νερού και στράγγιση μπορεί να επιτευχθούν ανεκτές αποδόσεις.	Μέτρια έως ανεπαρκής. Οι περισσότερες καλλιέργειες υποφέρουν από ζημιές στη φυλλική τους επιφάνεια με συνέπεια μειωμένη παραγωγή.	Εξαιρετική έως καλή. Σχεδόν όλες οι καλλιέργειες μπορούν να αναπτυχθούν με πολύ μικρή μείωση της παραγωγής.

Kandiah (1990b)

Επίσης υπάρχουν και διάφορες καλλιεργητικές πρακτικές που μπορούν να υιοθετηθούν για την ελαχιστοποίηση ή αποφυγή διαφόρων προβλημάτων (αλατότητα, νατρίωση) ό-

ταν οι αγροί αρδεύονται με υφάλμυρα νερά. Η ισοπέδωση των αγρών, η βαθιά άροση και η σωστή τοποθέτηση του σπόρου είναι πρακτικές που συμβάλλουν σημαντικά στην πρόληψη πιθανών προβλημάτων και τη διατήρηση της παραγωγικότητας του εδάφους (Bernstein & Ayers, 1955, Bernstein et al., 1955, Bernstein & Fireman, 1957).

**Πίνακας 4.26. Πιθανοί κίνδυνοι έμφραξης σταλακτήρων στην άρδευση με σταγόνες**

Αίτια έμφραξης	Περιορισμός στη χρήση του νερού		
	Μικρός	Μικρός έως μέσος	Μεγάλος
<b>Φυσικά</b>			
Αιωρούμενα στερεά (mg/L)	<50	50 - 100	>100
<b>Χημικά</b>			
pH	<7.0	7.0 - 8.0	>8.0
Διαλυμένα στερεά (mg/L)	<500	500 - 2000	>2000
Μαγγάνιο (mg/L)	<0.1	0.1 - 1.5	>1.5
Σίδηρος (mg/L)	<0.1	0.1 - 1.5	>1.5
Υδρόθειο (mg/L)	<0.5	0.5 - 2.0	>2.0
<b>Βιολογικά</b>			
Βακτηριακοί πληθυσμοί (μέγιστος αριθμός/mL)	<10 <sup>4</sup>	10 <sup>4</sup> - 5*10 <sup>4</sup>	>5*10 <sup>4</sup>

Nakayama (1982), Nakayama & Bucks (1985,1986)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Για την υλοποίηση του αντικειμένου της μεταπτυχιακής μου διατριβής προηγήθηκαν αρκετές συναντήσεις με τον Επιβλέποντα Καθηγητή κ. Ηλία Τελόγλου κατά τις οποίες οργανώθηκαν τα διαδοχικά βήματα δράσης που θα λάβαιναν χώρα στο πεδίο, στο εργαστήριο και κατά τη φάση της επεξεργασίας των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων νερών και εδαφών. Ενημερωτικές επαφές για την πρόοδο της εργασίας υπήρχαν και σε όλο το χρονικό διάστημα υλοποίησης της διατριβής.

Οι πρώτες ενέργειες (Άνοιξη 2016) είχαν ως στόχο τη δημιουργία ενός στενού δικτύου επαφών με τοπικούς παράγοντες που θα συνέβαλλαν στην ενημέρωσή μου και στην παροχή διαφόρων μορφών βοήθειας (μετακινήσεις, γενικότερη πληροφόρηση, δειγματοληψία νερών και εδαφών) με κύριο συντονιστή το γραμματέα του Α.Σ. Τριλόφου.

Στη συνέχεια και πριν από την έλευση της αρδευτικής περιόδου έγιναν αρκετές αναγνωριστικές περιοδείες στην περιοχή μελέτης (θέσεις γεωτρήσεων και παραπλήσιοι αγροί) και συναντήσεις με το γραμματέα του Α.Σ., τους ιδιοκτήτες των γεωτρήσεων και προσωπικό του Ι.Ε.Β.

Από το γραμματέα του Α.Σ. έγινε η προμήθεια του χαρτογραφικού υλικού με σημειωμένες τις θέσεις των 17 γεωτρήσεων του αγροκτήματος Τριλόφου, ονόματα ιδιοκτητών και τρόπο επικοινωνίας μαζί τους, ορισμένα τεχνικά χαρακτηριστικά των ανορυχθεισών γεωτρήσεων καθώς και η στατιστική των καλλιεργειών.

Στη συνέχεια συντάξα ερωτηματολόγιο (Παράρτημα 1ο) για τη συλλογή στοιχείων που αφορούσαν σε α) προσωπικές πληροφορίες, των ιδιοκτητών των γεωτρήσεων β) τεχνικά χαρακτηριστικά των γεωτρήσεων γ) καλλιέργειες δ) αρδευτικό σύστημα και ε) λοιπά προβλήματα ή δυσκολίες που αντιμετωπίζουν σε σχέση με την ποιότητα και ποσότητα του αρδευτικού νερού. Το ερωτηματολόγιο αυτό συμπληρώθηκε με προσωπική επικοινωνία, ύστερα από προκαθορισμένη συνάντηση στον αγρό. Ταυτόχρονα επισημάνθηκε η θέση των γεωτρήσεων με σύστημα GPS προκειμένου να απεικονιστούν με ακρίβεια στους χάρτες ισαριθμικών καμπυλών η μεταβολή των διαφόρων ποιοτικών παραμέτρων του νερού.

Στο μέσο της αρδευτικής περιόδου, Ιούλιος 2016, ύστερα από συνεννόηση με τους ιδιοκτήτες των γεωτρήσεων ελήφθησαν δείγματα νερού από κάθε γεώτρηση και σύνθετα δείγματα εδάφους από γειτονικούς προς αυτές αγρούς που επί σειρά ετών αρδευόταν με τα νερά αυτά. Οι δειγματοληψίες, αλλά και η γενικότερη διαχείριση των

δειγμάτων νερού και εδάφους έγιναν σύμφωνα με τα ειδικά πρωτόκολλα δειγματοληψίας του I.E.B. (Χατζηγιαννάκης κ.ά., 2012α,β) και οδηγίες της διεθνούς βιβλιογραφίας (Spectrum Analytic Inc., 2016).

Τα δείγματα μεταφερόταν αυθημερόν στο διαπιστευμένο (ISO 17025) εργαστήριο χημικών αναλύσεων νερών και εδαφών του I.E.B., όπου είχε προηγηθεί συζήτηση με εξειδικευμένους επιστήμονες και τον Καθηγητή μου για το είδος των αναλύσεων και των προσδιορισμών που θα ελάμβαναν χώρα (Πίνακες 5.1, 5.2).

**Πίνακας 5.1. Μέθοδοι χημικών αναλύσεων εδαφών**

<b>Παράμετρος</b>	<b>Μεθοδολογία</b>
<b>pH</b>	Προσδιορισμός σε εδαφική πάστα
<b>EC</b>	Προσδιορισμός στο εκχύλισμα κορεσμού
<b>Μηχανική σύσταση</b>	Μέθοδος Βουγιούκου
<b>Υδατοδιαλυτό Na</b>	Προσδιορισμός στο εκχύλισμα κορεσμού/μέτρηση σε φλογοφωτόμετρο
<b>Υδατοδιαλυτό Ca</b>	Προσδιορισμός στο εκχύλισμα κορεσμού/μέτρηση σε φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης/μέθοδος φλόγας
<b>Υδατοδιαλυτό Mg</b>	Προσδιορισμός στο εκχύλισμα κορεσμού/μέτρηση σε φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης/μέθοδος φλόγας
<b>SAR</b>	Υπολογιστικός προσδιορισμός
<b>CEC</b>	Κορεσμός με οξικό νάτριο/αποκορεσμός με οξικό αμμώνιο
<b>ESP</b>	Υπολογιστικός προσδιορισμός
<b>Ανταλλάξιμο Na</b>	Εκχύλιση με οξικό αμμώνιο/μέτρηση σε φλογοφωτόμετρο
<b>B</b>	Εκχύλιση με ζέον ύδωρ/μέτρηση σε φασματοφωτόμετρο UV-VIS

Η αξιολόγηση της καταλληλότητας των υπόγειων νερών του Δ.Δ. Τριλόφου βασίσθηκε όχι μόνο στα διεθνή επιστημονικά πρότυπα που έχουν ήδη αναφερθεί στο Κεφάλαιο 4 αλλά και στην τεκμηριωμένη διεθνή γνώση που αφορά στη διαχείριση του αρδευτικού νερού που έχει παρατεθεί στο Κεφάλαιο 3 της διατριβής αυτής.

Τα κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση των νερών των 17 γεωτρήσεων του αγροκτήματος Τριλόφου αναφέρονται στη συνέχεια.

- ποιοτική κατάταξη των νερών άρδευσης (Scofield, 1933, Eaton, 1942,1950, 1954, Ayers & Westcot, 1985)
- επιλογή κατάλληλων καλλιεργειών, επίπτωση στο φύτρωμα και στην παραγωγή σε σχέση με την ηλεκτρική αγωγιμότητα του αρδευτικού νερού (Maas & Hoffman, 1977, Maas, 1984, 1985, 1990)

**Πίνακας 5.2. Μέθοδοι χημικών αναλύσεων αρδευτικών νερών**

<b>Παράμετρος</b>	<b>Μεθοδολογία</b>
<b>pH</b>	Προσδιορισμός με πεχάμετρο
<b>EC</b>	Προσδιορισμός με αγωγιμόμετρο
<b>K</b>	Μέτρηση σε φλογοφωτόμετρο
<b>Na</b>	Μέτρηση σε φλογοφωτόμετρο
<b>Ca</b>	Μέτρηση σε φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης/μέθοδος φλόγας
<b>Mg</b>	Μέτρηση σε φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης/μέθοδος φλόγας
<b>Ολική Σκληρότητα</b>	Υπολογιστικός προσδιορισμός
<b>Cl</b>	Ογκομετρικός προσδιορισμός/εξουδετέρωση AgNO <sub>3</sub>
<b>CO<sub>3</sub></b>	Ογκομετρικός προσδιορισμός/εξουδετέρωση H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
<b>HCO<sub>3</sub></b>	Ογκομετρικός προσδιορισμός/εξουδετέρωση H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
<b>SO<sub>4</sub></b>	Μέθοδος BaCl/μέτρηση σε φασματοφωτόμετρο UV-VIS σε 210 και 270 nm
<b>N-NO<sub>3</sub></b>	Μέτρηση σε φασματοφωτόμετρο UV-VIS σε 210 και 270 nm
<b>N-NH<sub>4</sub></b>	Μέτρηση σε φασματοφωτόμετρο UV-VIS σε 210 και 270 nm
<b>N-NO<sub>2</sub></b>	Μέτρηση σε φασματοφωτόμετρο UV-VIS σε 210 και 270 nm
<b>Nk</b>	Μέθοδος Kjeldalh
<b>SAR</b>	Υπολογιστικός προσδιορισμός
<b>B</b>	Μέθοδος αζωμεθίνης ή μέτρηση σε φασματοφωτόμετρο UV-VIS
<b>As</b>	Μέτρηση σε φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης/μέθοδος φούρνου γραφίτη
<b>Cd</b>	μέτρηση σε φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης/μέθοδος φούρνου γραφίτη
<b>Cr</b>	Μέτρηση σε φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης/μέθοδος φούρνου γραφίτη
<b>Cu</b>	Μέτρηση σε φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης/μέθοδος φούρνου γραφίτη
<b>Fe</b>	Μέτρηση σε φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης/μέθοδος φούρνου γραφίτη
<b>Hg</b>	Μέτρηση σε φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης/μέθοδος Υδριδίων
<b>Mn</b>	Μέτρηση σε φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης/μέθοδος φούρνου γραφίτη
<b>Ni</b>	Μέτρηση σε φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης/μέθοδος φούρνου γραφίτη
<b>Pb</b>	Μέτρηση σε φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης/μέθοδος φούρνου γραφίτη
<b>Zn</b>	Μέτρηση σε φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης/μέθοδος φλόγας



- συνιστώμενες μέγιστες συγκεντρώσεις βορίου και ιχνοστοιχείων για συνεχή ή μη χρήση αρδευτικού νερού (U.S.E.P.A., 1973, Ayers & Westcot, 1985, Westcot & Ayers, 1985, Maas, 1990)
- επιλογή μεθόδων άρδευσης (F.A.O., 1968, 1974, 1980, 1984, U.S.D.A., 1971, 1974α,β, 1984, U.S.E.P.A., 1981, Παπαζαφειρίου, 1976, 1984, Kandiah, 1990β, Παπαμιχαήλ, 2000)
- πιθανοί κίνδυνοι έμφραξης των σταλακτήρων (Nakayama, 1982, Nakayama & Bucks, 1985, 1986)

Σε ότι αφορά στη δημιουργία του λογισμικού Λ.Α.Κ.Α.Ν. για την αξιολόγηση της καταλληλότητας των νερών για άρδευση, κατεβλήθη ιδιαίτερη προσπάθεια να είναι εύχρηστη η καταχώρηση των απαραίτητων δεδομένων (αποτελέσματα χημικών αναλύσεων) και κατανοητές οι προτεινόμενες συστάσεις. Για την ανάπτυξη του λογισμικού χρησιμοποιήθηκαν τα υπολογιστικά φύλλα Excel όπου ενσωματώθηκαν τα προαναφερθέντα κριτήρια με τις απαραίτητες προϋποθέσεις χρήσης.

Επίσης, στην αρχική οθόνη του λογισμικού γίνεται εκτίμηση των πιθανών κινδύνων των νερών άρδευσης σύμφωνα με τα κριτήρια (C-S) του U.S.S.L. (1954) καθώς και με το δείκτη W.Q.I. των Meireles et al. (2010) που έχει εφαρμοσθεί από τους Khalaf & Hassan (2013), Spandana et al., (2013) και Salef (2016), επειδή αμφότεροι οι μέθοδοι χρησιμοποιούνται ευρύτατα παγκοσμίως. Θα πρέπει όμως να επισημανθεί ότι η μέθοδος του U.S.S.L. (1954) επικεντρώνεται μόνο στην ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC<sub>w</sub>) και στο λόγο προσρόφησης του νατρίου (SAR), το δε λογισμικό των Meireles et al. (2010) λαμβάνει υπόψη του μόνο πέντε παραμέτρους (EC<sub>w</sub>, SAR, Na, Cl, HCO<sub>3</sub>) που ενσωματώνονται στο δείκτη ποιότητας αρδευτικού νερού (W.Q.I.), σε αντίθεση με το λογισμικό Λ.Α.Κ.Α.Ν. που δημιουργήθηκε στην εργασία αυτή και διερευνά εκτός από τις προαναφερθείσες παραμέτρους, τους πιθανούς κινδύνους από το βόριο, τα βαρέα μέταλλα, το άζωτο, το pH και τις εμφράξεις συστημάτων άρδευσης με σταγόνες. Επιπλέον διερευνά την καταλληλότητα για άρδευση των επεξεργασμένων αστικών λυμάτων.

Τέλος, για τη διερεύνηση της δυνατότητας ανάμειξης νερών γεωτρήσεων με διαφορετικά ποιοτικά χαρακτηριστικά στην περιοχή μελέτης, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του Γραμμικού Προγραμματισμού. Υπάρχει σημαντικός αριθμός εφαρμογών (λογισμικού) βελτιστοποίησης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επίλυση τέτοιων προβλημάτων. Στην παρούσα διατριβή χρησιμοποιήθηκε το περιβάλλον του λογισμικού Mathematica 9.0.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΤΟΥ Δ.Δ. ΤΡΙΛΟ- ΦΟΥ ΓΙΑ ΑΡΔΕΥΣΗ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ**

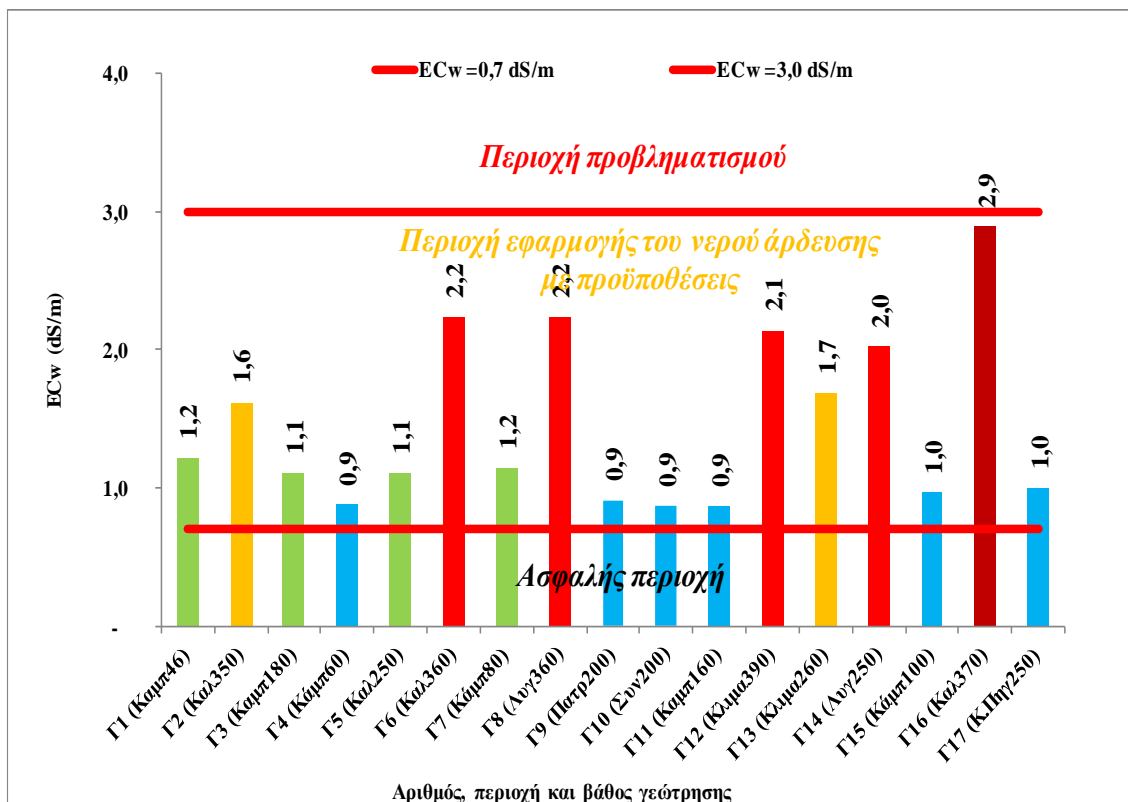
Στο Κεφάλαιο αυτό παρατίθενται τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων και προσδιορισμών τόσο σε πίνακες όσο και σε γραφική απεικόνιση (Ιστογράμματα και Διαγράμματα Ισαριθμικών Καμπυλών) για άμεση κατανόηση αλλά και παρουσίαση της ύπαρξης πιθανών κινδύνων για καλλιέργειες, εδάφη και αρδευτικά συστήματα.

### **6.1. ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΔΥΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΣΤΑ ΕΛΑΦΗ ΚΑΙ ΣΤΑ ΦΥΤΑ ΛΟΓΩ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΑΡΔΕΥΤΙΚΩΝ ΝΕΡΩΝ**

Στον Πίνακα 6.1 δίνονται οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC<sub>w</sub>) των δειγμάτων νερού που συλλέχθηκαν στο μέσο της αρδευτικής περιόδου (Ιούλιος) του έτους 2016 από 17 αρδευτικές γεωτρήσεις του Δ.Δ. Τριλόφου του Δήμου Θέρμης. Επίσης, δίνεται και το Ιστόγραμμα 6.1, το οποίο απεικονίζει γραφικά την κατηγοριοποίηση των τιμών της EC<sub>w</sub> για τα νερά των 17 γεωτρήσεων, όπου η σήμανση της γεώτρησης συνοδεύεται από την περιοχή (συντομογραφία) που βρίσκεται η κάθε γεώτρηση και το βάθος εξόρυξης αυτής. Στο Ιστόγραμμα αυτό φαίνεται ότι υπάρχει έντονη συσχέτιση των αυξημένων τιμών της ηλεκτρικής αγωγιμότητας με τα μεγάλα βάθη των γεωτρήσεων.

**Πίνακας 6.1. Τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC<sub>w</sub>) σε δείγματα νερών  
17 αρδευτικών γεωτρήσεων του Δ.Δ. Τριλόφου**

<b>A/A γεώτρησης</b>	<b>Ιδιοκτήτης γεώτρησης</b>	<b>EC<sub>w</sub> (dS/m)</b>	<b>A/A γεώτρησης</b>	<b>Ιδιοκτήτης γεώτρησης</b>	<b>EC<sub>w</sub> (dS/m)</b>
<b>Γ1</b>	Αλεξιάκης Νικ.	1,22	<b>Γ10</b>	Πάνος Γεώργ.	0,87
<b>Γ2</b>	Αλεξιάκης Νικ.	1,62	<b>Γ11</b>	Παπασάββας Γ.	0,87
<b>Γ3</b>	Γιοβανούδης Θ.	1,11	<b>Γ12</b>	Παπασάββας Γ.	2,14
<b>Γ4</b>	Γκαρίπης Χρ.	0,88	<b>Γ13</b>	Παπασάββας Γ.	1,69
<b>Γ5</b>	Κορπέτης Αθ.	1,11	<b>Γ14</b>	Παπασάββας Γρ.	2,02
<b>Γ6</b>	Κορπέτης Αθ.	2,24	<b>Γ15</b>	Παπασάββας Γρ.	0,97
<b>Γ7</b>	Λιόλιος Ευαγγ.	1,15	<b>Γ16</b>	Καλιγιάς Αστ. Λιόλιος Ιωάν. Μητρούδης Κων. Πάνος Απ. Πατσάλας Αστ.	2,89
<b>Γ8</b>	Μάτζαρης Αρ.	2,24	<b>Γ17</b>	Τσιλιάς Δ.	0,99
<b>Γ9</b>	Ντελμπίζης Γ-Π	0,91			

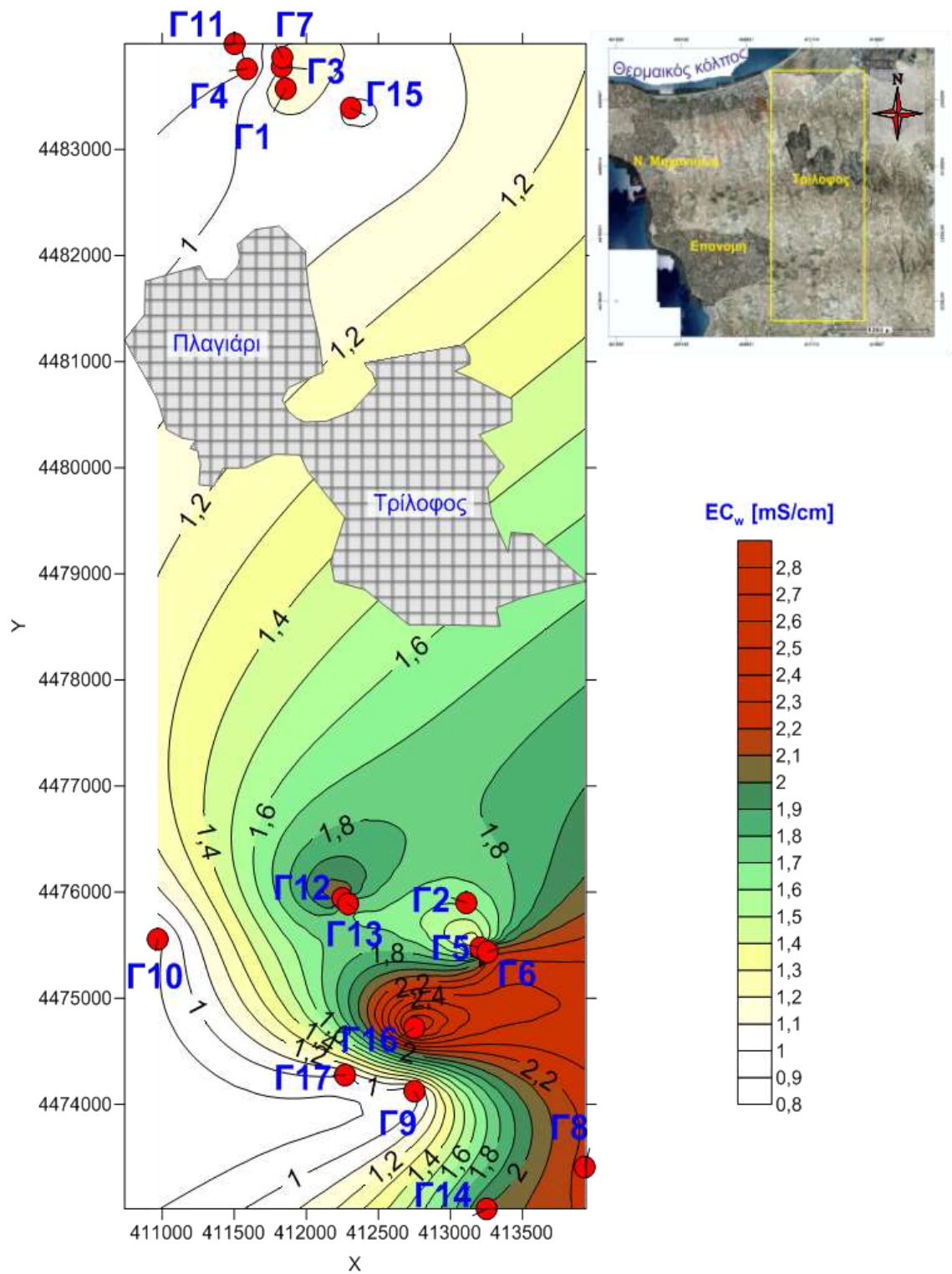


**Ιστόγραμμα 6.1. Κατηγοριοποίηση των τιμών ηλεκτρικής αγωγιμότητας των νερών (EC<sub>w</sub>) 17 γεωτρήσεων του Δ.Δ. Τριλόφου**

Η προαναφερθείσα συσχέτιση φαίνεται και στο Διάγραμμα 6.1 όπου οι ισαριθμικές καμπύλες της ηλεκτρικής αγωγιμότητας με τα έντονα χρώματα περιχαράκωνουν ή διέρχονται από τις γεωτρήσεις που έχουν μεγάλο βάθος, όπως φαίνεται στον οριζόντιο άξονα του Ιστογράμματος 6.1.

Με βάση τα κριτήρια αξιολόγησης των αρδευτικών νερών των Ayers & Westcot (1985) σε σχέση με την ποσότητα των αλάτων που περιέχονται σε αυτά, διερευνάται τόσο η επίδραση των αλάτων στην εδαφική αλατότητα όσο και η τυχόν δυσκολία πρόσληψης του νερού από τα φυτά.

Τα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τριλόφου που χρησιμοποιούνται για άρδευση των καλλιεργειών κατατάσσονται σε 5 κατηγορίες από την άποψη του κινδύνου της αλάτωσης του εδάφους και της δυσκολίας πρόσληψης του νερού από το ριζικό σύστημα των φυτών. Στο πλαίσιο αυτής της αξιολόγησης προτείνεται ένας αριθμός καλλιεργειών προς αποφυγή ή επιλογή, χωρίς να αποκλείεται ότι και άλλα εμπορικά φυτά δεν μπορούν ενδεχομένως να καλλιεργηθούν με τις υφιστάμενες ηλεκτρικές αγωγιμότητες των νερών αυτών.



**Διάγραμμα 6.1. Ισαριθμικές καμπύλες  $EC_w$  των νερών 17 αρδευτικών γεωτρήσεων του Δ.Δ Τρίλοφου (1/7/2016-30/07/2016)**

Σε κάθε περίπτωση όμως, η επιλογή των καλλιεργειών θα πρέπει να αποφασίζεται σε συνεργασία με ειδικούς επιστήμονες. Επίσης είναι γνωστό ότι η ποιότητα ενός αρδευτικού νερού μπορεί να μεταβάλλεται με το χρόνο. Για το λόγο αυτό χρειάζεται τακτικός έλεγχος από εξειδικευμένα εργαστήρια.

### **Κατηγορία Α**

Για τα νερά των γεωτρήσεων **Γ4, Γ9, Γ10, Γ11, Γ15** και **Γ17**, ο κίνδυνος δημιουργίας εδαφικής αλατότητας από τη χρήση των νερών αυτών για αρδευτικούς σκοπούς είναι μικρός και αντιμετωπίζεται εφόσον το έδαφος δέχεται ικανοποιητικές χειμερινές βροχοπτώσεις ή επαρκείς δόσεις νερού και η στράγγιση των εδαφών είναι ικανοποιητική. Συνιστάται ο έλεγχος της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους σε τακτικά χρονικά διαστήματα.

Σε ότι αφορά στις πιθανές επιπτώσεις των νερών στα φυτά επισημαίνεται ότι, η αλατότητα των νερών δεν έχει δυσμενή επίδραση στην ευκολία πρόσληψής τους από τις καλλιέργειες με εξαίρεση τα φυτά: φράουλα, σουσαμιά, πιπεριά, μπάμια, μαρούλια, ραπανάκια, κρεμμύδια, καρότα, φασόλια και γογγύλια. Εάν παρατηρηθούν ζημιές στο φύλλωμα των φυτών αμυγδαλιά, βερικοκιά, εσπεριδοειδή, δαμασκηλιά, αμπέλι, πιπεριά, πατάτα, τομάτα λόγω εφαρμογής του καταιονισμού και διαβροχής των φύλλων, ιδιαίτερα κατά τις θερμές ώρες της ημέρας, συνιστάται η υιοθέτηση άρδευσης με ροή (όπου είναι δυνατό) ή με σταγόνες.

### **Κατηγορία Β**

Τα νερά των γεωτρήσεων **Γ1, Γ3, Γ5** και **Γ7** έχουν μικρό έως μέτριο κίνδυνο αύξησης της αλατότητας του εδάφους από τη χρήση τους για αρδευτικούς σκοπούς και ο κίνδυνος αυτός αντιμετωπίζεται όταν το έδαφος δέχεται ικανοποιητικές χειμερινές βροχοπτώσεις ή εξασφαλίζεται η έκπλυση των αλάτων και η καλή στράγγιση των εδαφών. Συνιστάται α) ο έλεγχος της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους σε τακτικά χρονικά διαστήματα και β) η διατήρηση της υγρασίας του εδάφους σε ικανοποιητικό επίπεδο μέσω συχνότερων αρδεύσεων με μικρότερες ποσότητες νερού.

Σε σχέση με τις πιθανές επιπτώσεις των νερών αυτών στα φυτά επισημαίνεται ότι, η αλατότητα των νερών αρχίζει να έχει επίδραση στην ευκολία πρόσληψής τους από ορισμένες καλλιέργειες όπως: καλαμπόκι, λινάρι, κουκιά, σπανάκι, σέλινο, σουσάμι, πατάτα, γλυκό καλαμπόκι, γλυκοπατάτα, πιπεριά, μαρούλι, ραπανάκι, μπάμια, κρεμμύδι, καρότο, φασόλια, γογγύλια, φράουλα, αμπέλι και τα περισσότερα οπωροφόρα δένδρα. Εάν παρατηρηθούν ζημιές στο φύλλωμα των φυτών αμυγδαλιά, μηλιά, βερικοκιά, εσπεριδοειδή, δαμασκηλιά, αμπέλι, πιπεριά, πατάτα, τομάτα, μηδική,

βρώμη, αραβόσιτος, αγγούρι, σουσάμι, σόργο λόγω εφαρμογής του καταιονισμού και διαβροχής των φύλλων, ιδιαίτερα κατά τις θερμές ώρες της ημέρας, συνιστάται η υιοθέτηση άρδευσης με ροή (όπου είναι δυνατό) ή με σταγόνες ή ανάμειξη του νερού με άλλο καλύτερης ποιότητας. Τέλος, συνιστάται η υιοθέτηση καλλιεργειών ανθεκτικών σε αυξημένες τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας (κριθάρι, βαμβάκι, ζαχαρότευτλα, σόργο, σιτάρι, σόγια, αράπικο φυστίκι, ρύζι, κολοκυθάκια, κοκκινογούλια, κολοκύθια, μπρόκολα, τομάτα, αγγούρι, κτηνοτροφικό μπιζέλι, ηλιάνθος, ελιά). Σε κάθε περίπτωση χρειάζεται η γνώμη ειδικών επιστημόνων για την επιλογή της καλλιέργειας.

### **Κατηγορία Γ**

Ο κίνδυνος δημιουργίας εδαφικής αλατότητας από τη χρήση των νερών των γεωτρήσεων **Γ2** και **Γ13** για αρδευτικούς σκοπούς είναι μέτρια αυξημένος και συνιστάται η εφαρμογή ειδικών μέτρων διαχείρισης εδάφους, φυτού και νερών άρδευσης, όπως: α) συμβουλές από εξειδικευμένους επιστήμονες β) έλεγχος της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους ανά ζετία σε 2 βάθη 0-30 και 30-60 cm γ) καλλιεργητικές εργασίες εδάφους προσαρμοσμένες στα αποτελέσματα της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των 2 βαθών εδάφους δ) έκπλυση του εδάφους από τα άλατα πέραν της φυσικής από βροχοπτώσεις ε) εξασφάλιση πολύ καλών συνθηκών στράγγισης στ) διατήρηση της υγρασίας του εδάφους σε ικανοποιητικό επίπεδο μέσω συχνότερων αρδεύσεων με μικρότερες ποσότητες νερού.

Σε ότι αφορά στις πιθανές επιπτώσεις των νερών αυτών στα φυτά επισημαίνεται ότι, η αλατότητα των νερών αυτών αρχίζει να έχει επίδραση στην ευκολία πρόσληψής τους από ορισμένες καλλιέργειες όπως: καλαμπόκι, λινάρι, κουκιά, μπρόκολα, τομάτα, αγγούρι, σπανάκι, σέλινο, σουσάμι, πατάτα, γλυκό καλαμπόκι, γλυκοπατάτα, πιπεριά, μαρούλι, ραπανάκι, μπάμια, κρεμμύδι, καρότο, φασόλια, γογγύλια, φράουλα, αμπέλι και τα περισσότερα οπωροφόρα δένδρα συμπεριλαμβανομένης οριακά και της ελιάς. Εάν παρατηρηθούν ζημιές στο φύλλωμα των φυτών αμυγδαλιά, μηλιά, βερικοκιά, εσπεριδοειδή, δαμασκηλιά, αμπέλι, πιπεριά, πατάτα, τομάτα, μηδική, βρώμη, αραβόσιτος, αγγούρι, σουσάμι, σόργο λόγω εφαρμογής του καταιονισμού και διαβροχής των φύλλων, ιδιαίτερα κατά τις θερμές ώρες της ημέρας, συνιστάται η υιοθέτηση άρδευσης με ροή (όπου είναι δυνατό) ή με σταγόνες ή με ανάμειξη των νερών αυτών με άλλα καλύτερης ποιότητας. Τέλος, συνιστάται η υιοθέτηση καλλιεργειών ανθεκτικών σε αυξημένες τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας (κριθάρι, βαμβάκι, ζαχαρότευτλα, σόργο, σιτάρι, σόγια, κτηνοτροφικό μπιζέλι, ηλιάνθος,

σπαράγγι). Σε κάθε περίπτωση χρειάζεται η γνώμη ειδικών επιστημόνων για την επιλογή της καλλιέργειας.

### **Κατηγορία Δ**

Σχετικά με τον κίνδυνο δημιουργίας εδαφικής αλατότητας από τη χρήση των νερών των γεωτρήσεων **Γ6, Γ8, Γ12** και **Γ14** για αρδευτικούς σκοπούς είναι αυξημένος και συνιστάται η εφαρμογή απολύτως εξειδικευμένων μέτρων διαχείρισης εδάφους, φυτού, νερών άρδευσης, όπως: α) συμβουλές από εξειδικευμένους επιστήμονες β) έλεγχος της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους ανά 2ετία ή συχνότερα σε 2 βάθη 0-30 και 30-60 cm γ) καλλιεργητικές εργασίες εδάφους προσαρμοσμένες στα αποτελέσματα της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των 2 βαθών εδάφους δ) ετήσια έκπλυση του εδάφους από τα άλατα πέραν της φυσικής από βροχοπτώσεις ε) εξασφάλιση πολύ καλών συνθηκών στράγγισης στ) διατήρηση της υγρασίας του εδάφους σε ικανοποιητικό επίπεδο μέσω συχνότερων αρδεύσεων με μικρότερες ποσότητες νερού.

Σε ότι αφορά στις πιθανές επιπτώσεις των νερών αυτών στα φυτά επισημαίνεται ότι, η αλατότητα των νερών αρχίζει να έχει επίδραση στην ευκολία πρόσληψής τους από τις καλλιέργειες αράπικο φυστίκι, ρύζι, καλαμπόκι, λινάρι, κουκιά, μπρόκολα, τομάτα, αγγούρι, σπανάκι, σέλινο, σουσάμι, πατάτα, γλυκό καλαμπόκι, γλυκοπατάτα, πιπεριά, μαρούλι, ραπανάκι, μπάμια, κρεμμύδι, καρότο, φασόλια, γογγύλια, φράουλα, αμπέλι και τα περισσότερα οπωροφόρα δένδρα συμπεριλαμβανομένης και της ελιάς. Σε ορισμένες μάλιστα καλλιέργειες μπορεί να παρατηρηθεί μείωση της παραγωγής που ξεπερνά το 10% (καλαμπόκι, πολλά λαχανικά και τα περισσότερα οπωροφόρα). Εάν παρατηρηθούν ζημιές στο φύλλωμα των φυτών αμυγδαλιά, μηλιά, βερικοκιά, εσπεριδοειδή, δαμασκηλιά, αμπέλι, πιπεριά, πατάτα, τομάτα, μηδική, βρώμη, αραβόσιτος, αγγούρι, σουσάμι, σόργο φράουλα λόγω εφαρμογής του καταιονισμού και διαβροχής των φύλλων, ιδιαίτερα κατά τις θερμές ώρες της ημέρας, συνιστάται η υιοθέτηση άρδευσης με ροή (όπου είναι δυνατό) ή με σταγόνες ή με ανάμειξη των νερών αυτών με άλλα καλύτερης ποιότητας. Τέλος, συνιστάται η υιοθέτηση καλλιεργειών ανθεκτικών σε αυξημένες τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας (κριθάρι, βαμβάκι, ζαχαρότευτλα, σόργο, σιτάρι, σόγια, κτηνοτροφικό μπιζέλι, σπαράγγι). Σε κάθε περίπτωση χρειάζεται η γνώμη ειδικών επιστημόνων για την επιλογή της καλλιέργειας.

### **Κατηγορία Ε**

Στην κατηγορία αυτή κατατάσσεται μόνο η γεώτρηση **Γ16** το νερό της οποίας έχει ιδιαίτερα αυξημένο κίνδυνο δημιουργίας εδαφικής αλατότητας από τη χρήση του για

αρδευτικούς σκοπούς και συνιστάται η εφαρμογή απολύτως εξειδικευμένων μέτρων διαχείρισης εδάφους, φυτού, αρδευτικού νερού, όπως: α) συμβουλές από εξειδικευμένους επιστήμονες β) ετήσιος έλεγχος της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους σε 2 βάθη 0-30 και 30-60 cm γ) καλλιεργητικές εργασίες εδάφους προσαρμοσμένες στα αποτελέσματα της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των 2 βαθών εδάφους δ) ετήσια έκπλυση του εδάφους από τα άλατα πέραν της φυσικής από βροχοπτώσεις (άρδευση πριν από τις βροχές) ε) εξασφάλιση άριστων συνθηκών στράγγισης στ) διατήρηση της υγρασίας του εδάφους σε ικανοποιητικό επίπεδο μέσω συχνότερων αρδεύσεων με μικρότερες ποσότητες νερού.

Σε ότι αφορά στις πιθανές επιπτώσεις του νερού στα φυτά επισημαίνεται ότι, η αλατότητά του δυσκολεύει την πρόσληψη αυτού από αρκετές καλλιέργειες όπως αράπικο φυστίκι, ρύζι, καλαμπόκι, λινάρι, κουκιά, κοκκινογούλια, μπρόκολα, τομάτα, αγγούρι, σπανάκι, σέλινο, σουσάμι, πατάτα, γλυκό καλαμπόκι, γλυκοπατάτα, πιπεριά, μαρούλι, ραπανάκι, μπάμια, κρεμμύδι, καρότο, φασόλια, γογγύλια, φράουλα, αμπέλι και τα περισσότερα οπωροφόρα δένδρα συμπεριλαμβανομένης και της ελιάς. Σε ορισμένες μάλιστα καλλιέργειες μπορεί να παρατηρηθεί μείωση της παραγωγής που ξεπερνά σημαντικά το 10% (καλαμπόκι, πολλά λαχανικά και τα περισσότερα οπωροφόρα). Η διαβροχή των φύλλων πρέπει να αποφεύγεται, ιδιαίτερα κατά τις θερμές ώρες της ημέρας γιατί θα προκληθούν ζημιές στο φύλλωμα των φυτών αμυγδαλιά, μηλιά, βερικοκιά, εσπεριδοειδή, δαμασκηλιά, αμπέλι, πιπεριά, πατάτα, τομάτα, μηδική, βρώμη, αραβόσιτος, αγγούρι, σουσάμι, σόργο και φράουλα. Συνιστάται η υιοθέτηση άρδευσης με ροή (όπου είναι δυνατό) ή με σταγόνες και έκπλυση του εδάφους από τα άλατα. Τέλος, συνιστάται η ανάμειξη του νερού αυτού με άλλο καλύτερης ποιότητας και η υιοθέτηση καλλιεργειών ανθεκτικών σε αυξημένες τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας (κριθάρι, βαμβάκι, ζαχαρότευτλα, σόργο, σιτάρι, σόγια, κτηνοτροφικό μπιζέλι, σπαράγγι). Σε κάθε περίπτωση χρειάζεται η γνώμη ειδικών επιστημόνων για την επιλογή της καλλιέργειας.

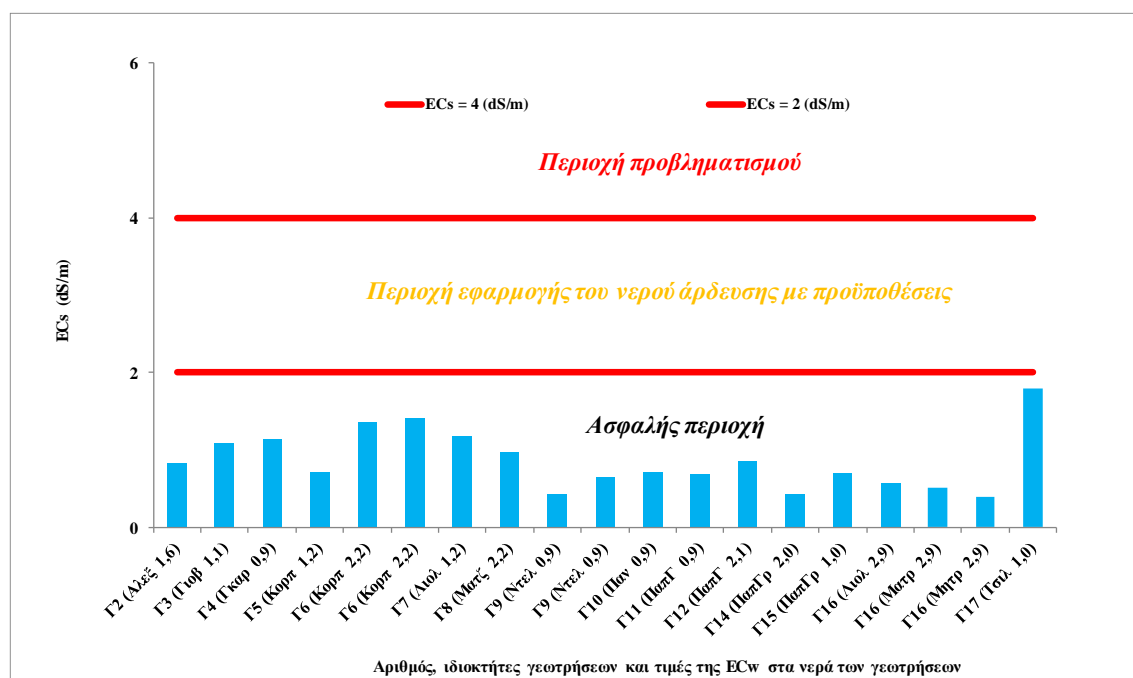
Παράλληλα με τη δειγματοληψία του νερού, κρίθηκε σκόπιμο να γίνει και δειγματοληψία εδαφών από 19 αγρούς που επί σειρά ετών αρδεύονταν με τα νερά των 17 γεωτρήσεων για να ελεγχθούν, έστω και αποσπασματικά, οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους (ECs). Οι αγροί αυτοί ήταν δίπλα στις γεωτρήσεις, τα δείγματα που ελήφθησαν ήταν σύνθετα (1 από κάθε αγρό) και προέκυψαν από 10 επί μέρους υποδείγματα σε βάθος 15 cm. Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων των εδαφών σε ότι αφορά στην ECs δίνονται στον Πίνακα 6.2.



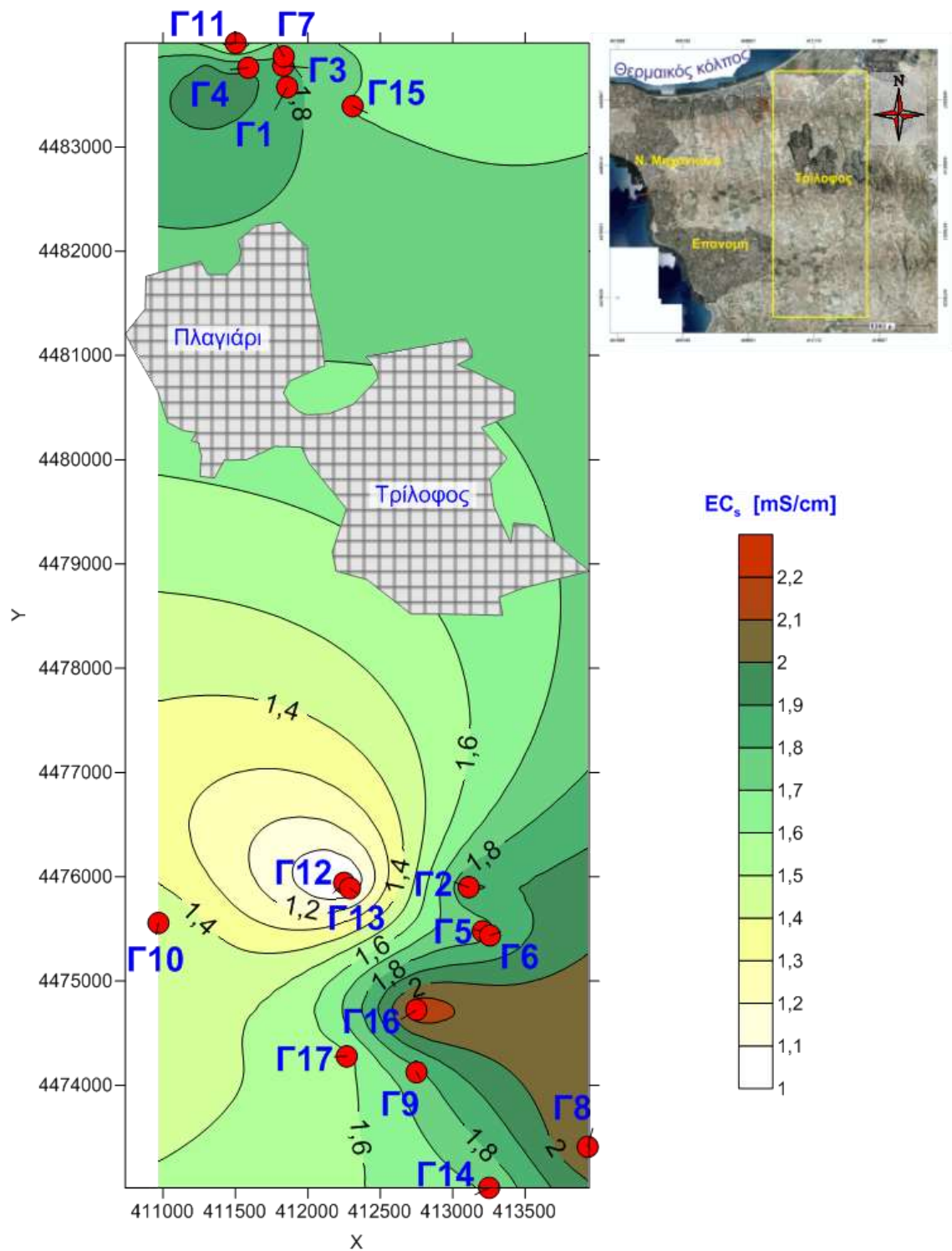
Επίσης, στο Ιστόγραμμα 6.2 εμφανίζεται γραφικά η κατηγοριοποίηση των τιμών της ECs. Στον οριζόντιο άξονα δίνεται ο αριθμός των γεωτρήσεων και σε παρένθεση σημειώνεται η τοποθεσία αυτών (συντομογραφία) καθώς και η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του νερού της κάθε γεώτρησης. Χωρική απεικόνιση των τιμών της ECs στο αγρόκτημα του Τριλόφου εμφανίζεται στο Διάγραμμα 6.2.

**Πίνακας 6.2. Τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας (ECs) σε σύνθετα δείγματα εδάφους 19 αγροτεμαχίων που αρδεύονται με τα νερά των γεωτρήσεων του Δ.Δ. Τριλόφου**

A/A γεώτρησης	Ιδιοκτήτης γεώτρησης	ECs (dS/m)	A/A γεώτρησης	Ιδιοκτήτης γεώτρησης	ECs (dS/m)
Γ2	Αλεξιάκης Νικ,	0,83	Γ10	Πάνος Γεώργ.	0,71
Γ3	Γιοβανουόδης Θ.	1,09	Γ11	Παπασάββας Γ.	0,68
Γ4	Γκαρίπης Χρ.	1,14	Γ12	Παπασάββας Γ.	0,85
Γ5	Κορπέτης Αθ.	0,72	Γ14	Παπασάββας Γρ.	0,42
Γ6	Κορπέτης Αθ.	1,35	Γ15	Παπασάββας Γρ.	0,70
Γ6	Κορπέτης Αθ.	1,40	Γ16	Λιόλιος Ιωάννης	0,57
Γ7	Λιόλιος Ευαγγ.	1,17	Γ16	Ματράκας Δημ.	0,51
Γ8	Μάτζαρης Αρ.	0,96	Γ16	Μητρούδης Κ.	0,39
Γ9	Ντελμπίζης Γ-Π	0,42	Γ17	Τσιλιάς Δ.	1,79
Γ9	Ντελμπίζης Γ-Π	0,65			



**Ιστόγραμμα 6.2. Κατηγοριοποίηση των τιμών της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των εδαφών (ECs) που αρδεύονται επί σειρά ετών με τα νερά 17 γεωτρήσεων του Δ.Δ. Τριλόφου**



**Διάγραμμα 6.2. Ισαριθμικές καμπύλες ECs των εδαφών των αγροτεμαχίων τα οποία αρδεύονταν επί σειρά ετών με τα νερά 17 γεωτρήσεων του Δ.Α. Τρίλοφου (1/7/2016-30/07/2016)**

Από τα γραφήματα αυτά (Ιστόγραμμα 6.2 και Διάγραμμα 6.2) φαίνεται ότι οι τιμές της ECs βρίσκονται εντός ασφαλούς ορίου στους συγκεκριμένους αγρούς. Τα αποτελέσματα αυτά δεν μπορούν σε καμία περίπτωση να θεμελιώσουν την ύπαρξη ή όχι εδαφικής αλατότητας σε όλη την αρδευόμενη έκταση και σε υποκείμενα βάρη (0-30, 30-60 cm) του αγροκτήματος του Τριλόφου και πολύ περισσότερο να υποκαταστήσουν μία συνολική και εμπειριστατωμένη εδαφολογική μελέτη που έχει ανάγκη το αγρόκτημα αυτό. Παρόλα αυτά, αγροί που αρδεύονται με υπόγεια νερά που έχουν αυξημένες τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας (>1,5 dS/m) πρέπει να ελέγχονται σε τακτά χρονικά διαστήματα και να υπάρχει συχνή επαφή με εξειδικευμένους επιστήμονες για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων.

## 6.2. ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΝΑΤΡΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Για τον έλεγχο της ύπαρξης κινδύνου νατρίωσης των εδαφών από τη χρήση των νερών των 17 γεωτρήσεων χρησιμοποιούνται οι παράμετροι: υπολειμματικό ανθρακικό νάτριο (RSC), ποσοστό νατρίου (Na%), λόγος προσρόφησης νατρίου (SAR) και αντίδραση του εδάφους (pH). Οι τιμές των παραμέτρων αυτών δίνονται στον Πίνακα 6.3.

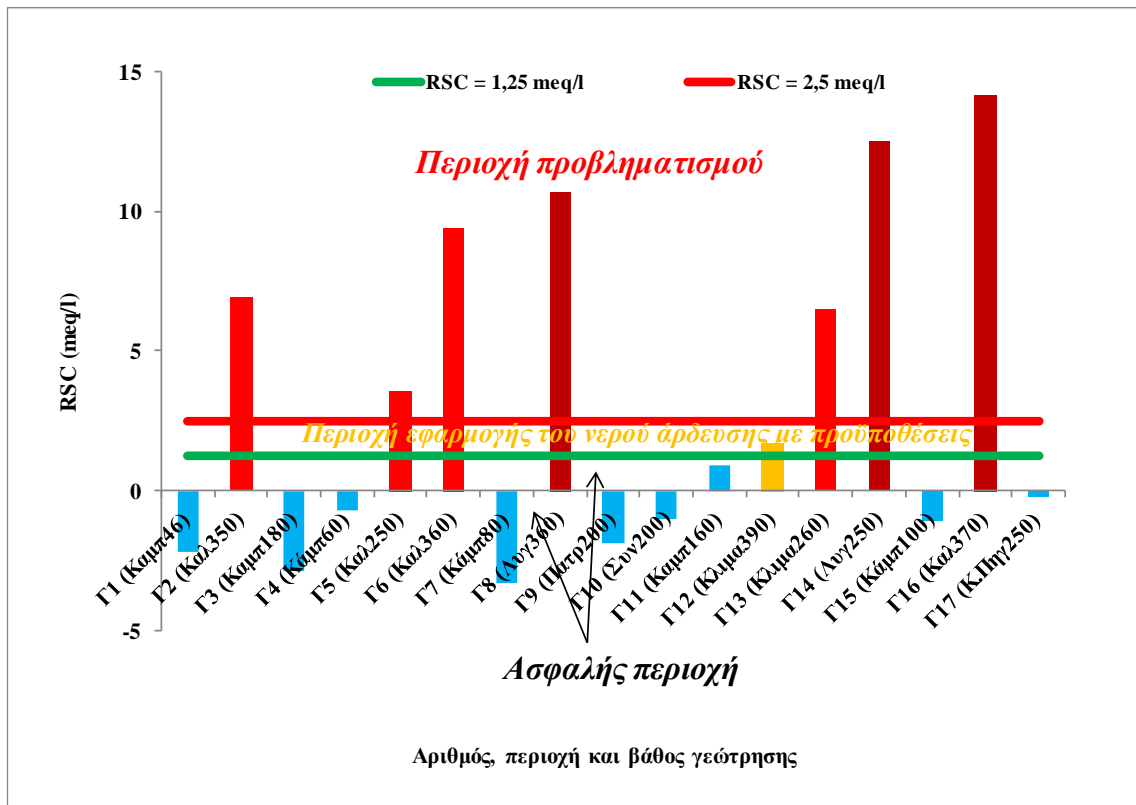
**Πίνακας 6.3. Τιμές παραμέτρων RSC, Na% , SAR και pH στα δείγματα νερών 17 αρδευτικών γεωτρήσεων του Δ.Δ. Τριλόφου**

A/A και βάθος γεώτρησης	RSC meq/L	Na %	SAR (meq/L) <sup>0,5</sup>	pH	A/A και βάθος γεώτρησης	RSC meq/L	Na %	SAR (meq/L) <sup>0,5</sup>	pH
Γ1(46)	-2,2	28,1	1,7	8,1	Γ10(200)	-1,0	27,8	1,5	7,9
Γ2(350)	6,9	58,1	5,5	8,0	Γ11(160)	0,9	31,7	1,6	8,3
Γ3(180)	-2,9	28,1	1,7	8,2	Γ12(390)	1,7	58,6	3,9	8,2
Γ4(60)	-0,7	29,7	1,6	8,5	Γ13(260)	6,5	61,5	6,2	8,2
Γ5(250)	3,6	55,5	4,4	8,1	Γ14(250)	12,5	74,0	10,2	8,2
Γ6(360)	9,4	58,6	6,4	7,7	Γ15(100)	-1,1	27,1	1,5	8,0
Γ7(80)	-3,3	28,1	1,7	8,2	Γ16(370)	14,2	69,4	10,1	8,4
Γ8(360)	10,7	65,2	8,0	8,2	Γ17(270)	-0,2	30,3	1,6	8,2
Γ9(200)	-1,9	25,8	1,4	8,1					

### 6.2.1. Υπολειμματικό ανθρακικό νάτριο (RSC)

Χρησιμοποιώντας ως κριτήριο κινδύνου νατρίωσης του εδάφους το RSC διαπιστώνεται ότι τα νερά των γεωτρήσεων Γ1, Γ3, Γ4, Γ7, Γ9, Γ10, Γ11, Γ15 και Γ17 δε δημιουργούν κανένα κίνδυνο στα αρδευόμενα εδάφη, ενώ τα αρδευόμενα εδάφη με τα νερά της γεώτρησης Γ12 απαιτούν έλεγχο της τιμής RSC ανά ζετία. Αυξημένος

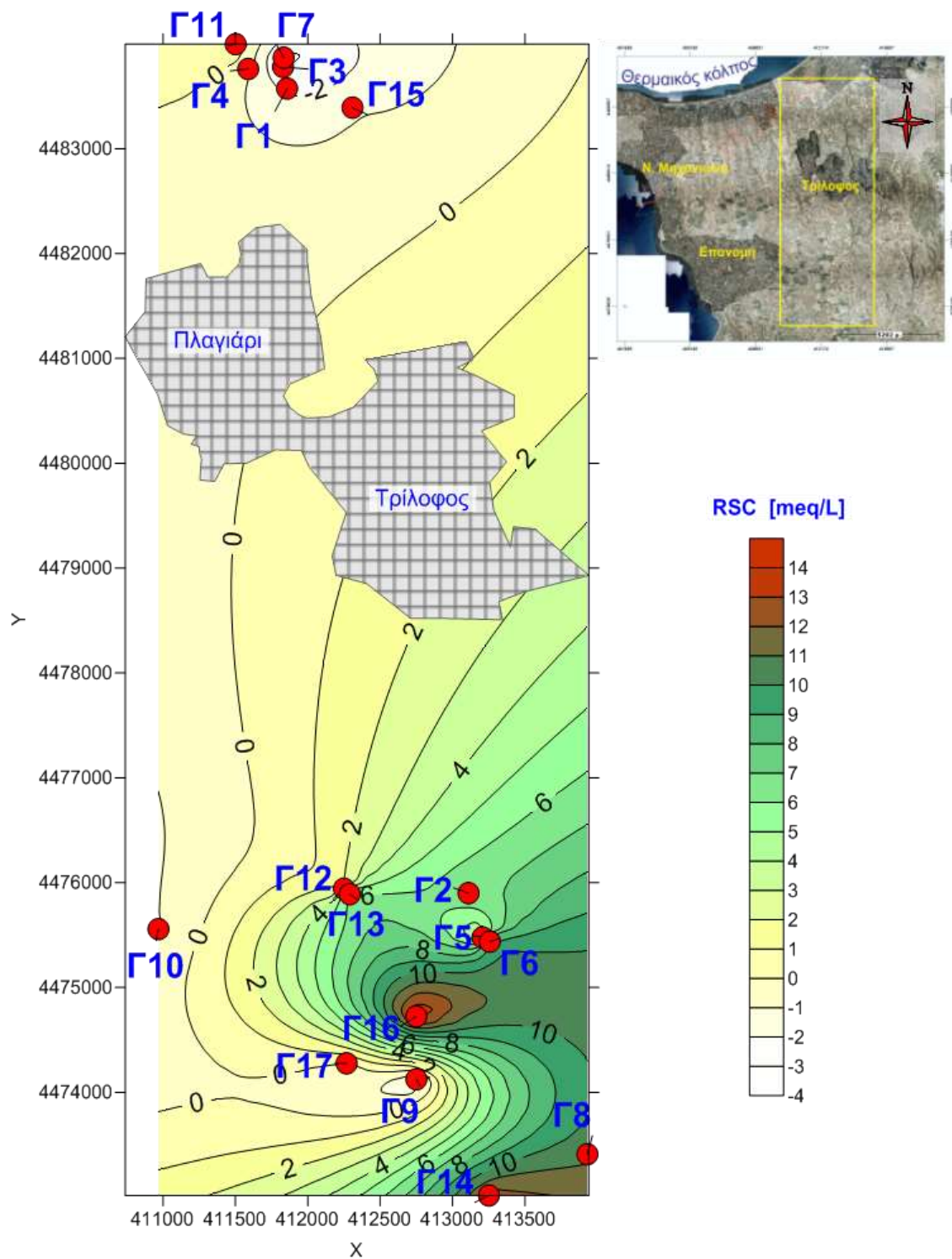
κίνδυνος υπάρχει για τα εδάφη που αρδεύονται με τα νερά των γεωτρήσεων Γ2, Γ5, Γ6, Γ13 και ιδιαίτερα αυξημένος κίνδυνος για τα εδάφη που αρδεύονται με τα νερά των γεωτρήσεων Γ8, Γ14 και Γ16. Τα εδάφη που αρδεύονται με τα νερά αυτά χρειάζονται έλεγχο ανά 2ετία. Στο Ιστόγραμμα 6.3 εμφανίζεται γραφικά η κατηγοριοποίηση των τιμών του RSC στα νερά των 17 γεωτρήσεων, ενώ στο Διάγραμμα 6.3 εμφανίζεται η χωρική απεικόνιση των τιμών αυτών.



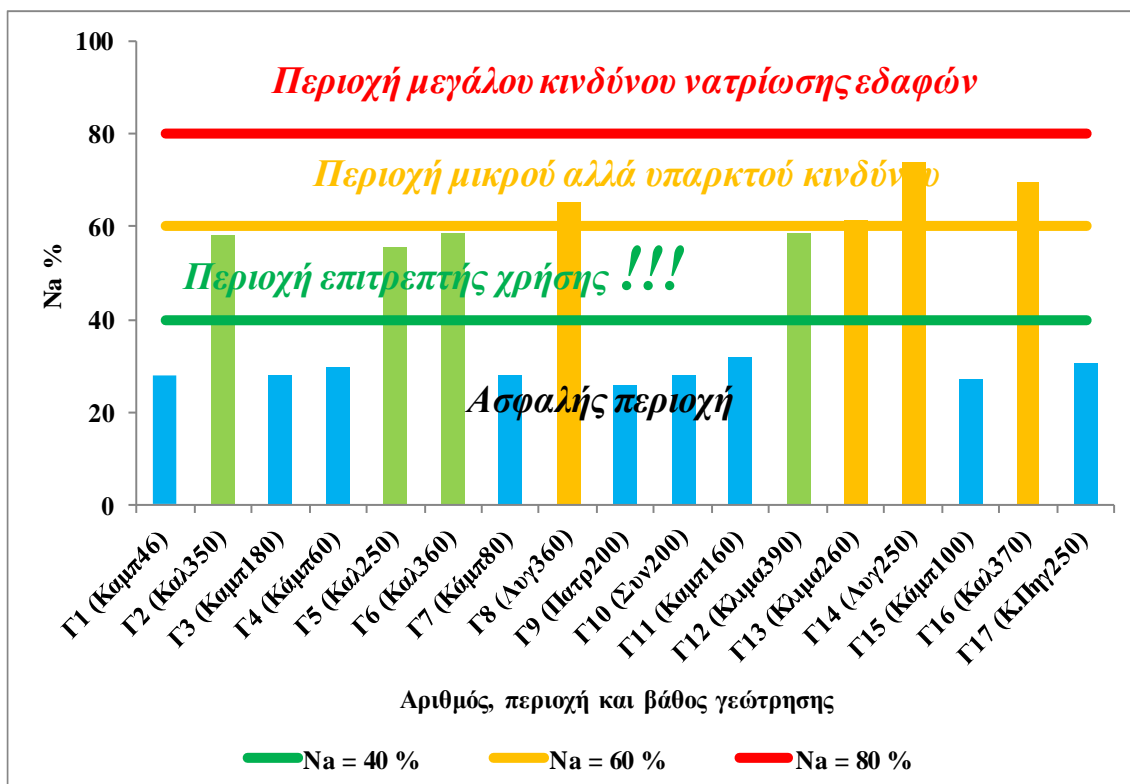
**Ιστόγραμμα 6.3. Κατηγοριοποίηση του κινδύνου νατρίωσης των εδαφών που αρδεύονται με τα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τριλόφου με βάση τις τιμές του RSC των νερών άρδευσης**

### 6.2.2. Ποσοστό νατρίου (Na%)

Με βάση το Na%, τα νερά των γεωτρήσεων Γ1, Γ2, Γ3, Γ4, Γ5, Γ6, Γ7, Γ9, Γ10, Γ11, Γ12, Γ15 και Γ17 δε δημιουργούν κίνδυνο νατρίωσης των αρδευομένων εδαφών, ενώ τα αρδευόμενα εδάφη με τα νερά των γεωτρήσεων Γ8, Γ13, Γ14 και Γ16 χρειάζονται έλεγχο σε τακτικά διαστήματα (ανά 3ετία). Στο Ιστόγραμμα 6.4 και στο Διάγραμμα 6.4 απεικονίζεται γραφικά η κατηγοριοποίηση των ποσοστών Na% στα νερά των 17 γεωτρήσεων και η χωρική απεικόνιση των ποσοστών αυτών.



**Διάγραμμα 6.3. Ισαριθμικές καμπύλες RSC των νερών 17 αρδευτικών γεωτρήσεων του Δ.Δ Τρίλοφου (1/7/2016-30/07/2016)**



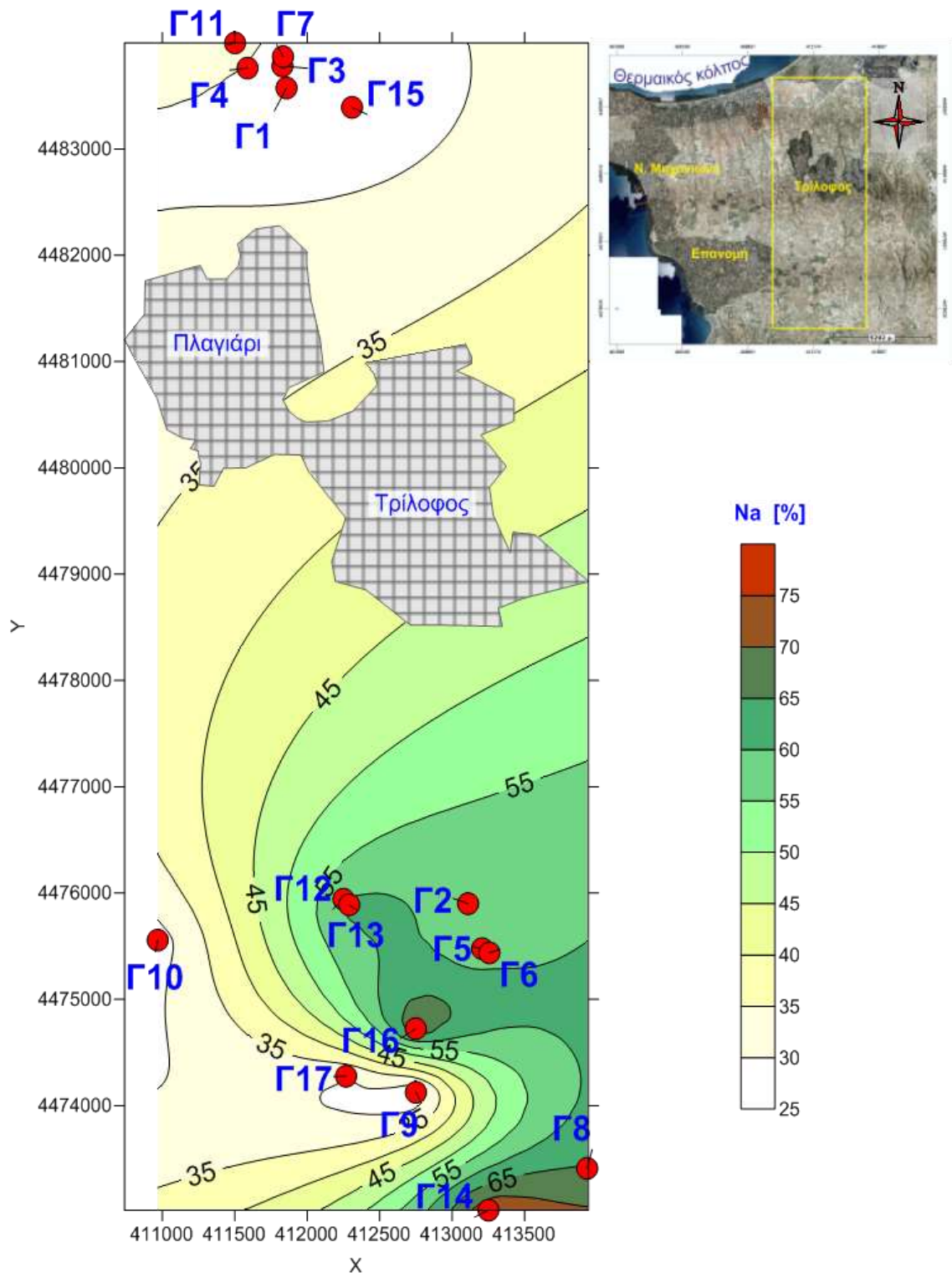
**Ιστόγραμμα 6.4. Κατηγοριοποίηση του κινδύνου νατρίωσης των εδαφών που αρδεύονται με τα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τριλόφου με βάση τις τιμές του Na% των νερών άρδευσης**

### 6.2.3. Λόγος προσρόφησης νατρίου (SAR)

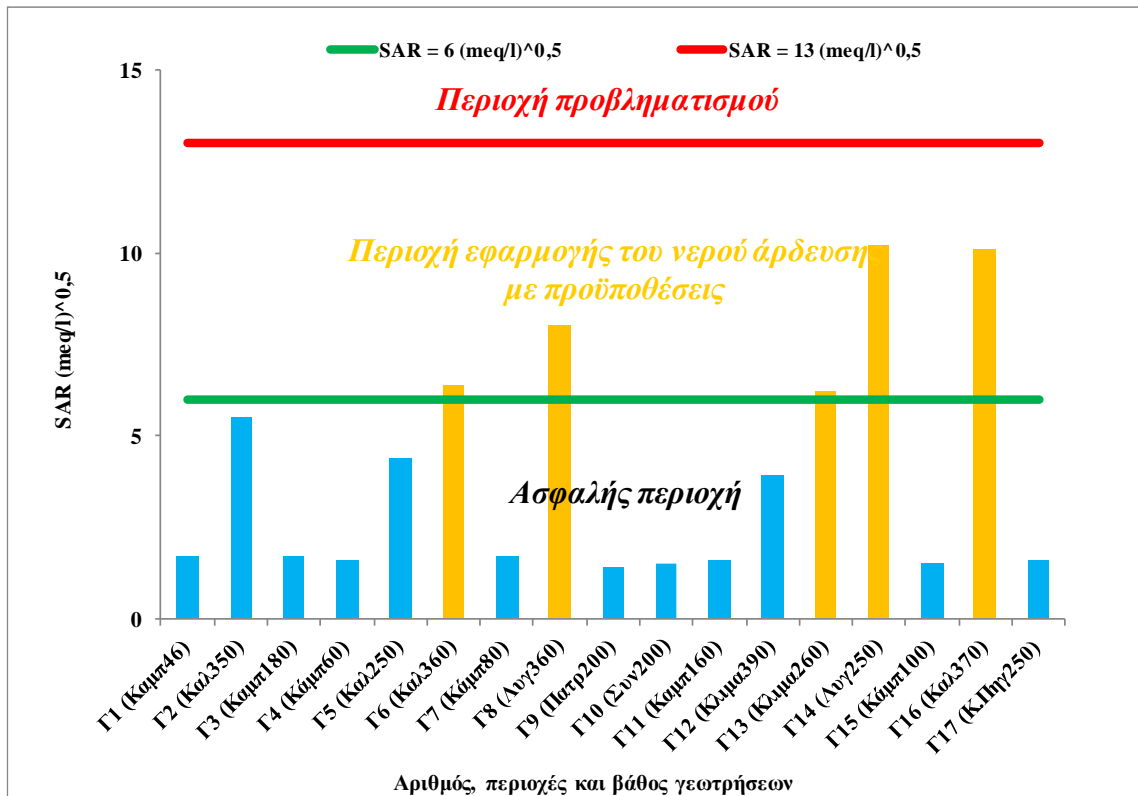
Σύμφωνα με τις τιμές του SAR, τα νερά των γεωτρήσεων Γ1, Γ2, Γ3, Γ4, Γ5, Γ7, Γ9, Γ10, Γ11, Γ12, Γ15 και Γ17 δεν έχουν κίνδυνο νατρίωσης των αρδευόμενων εδαφών, ενώ τα αρδευόμενα εδάφη με τα νερά των γεωτρήσεων Γ6, Γ8, Γ13, Γ14 και Γ16 χρειάζονται έλεγχο ανά ζετία. Στο Ιστόγραμμα 6.5 απεικονίζεται γραφικά η κατηγοριοποίηση των τιμών του SAR στα νερά των 17 γεωτρήσεων και η χωρική κατανομή αυτών (Διάγραμμα 6.5).

### 6.2.4. Αντίδραση νερών (pH)

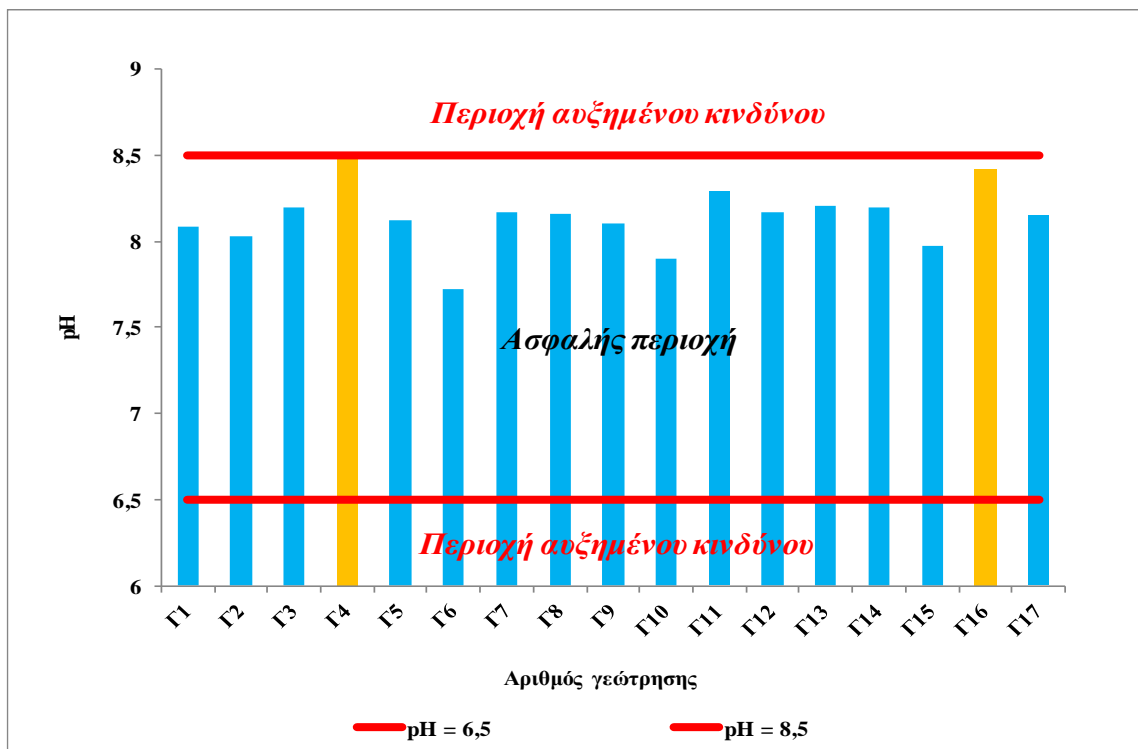
Αν και οι τιμές του pH όλων των γεωτρήσεων είναι μικρότερες από τη μέγιστη οριακή τιμή του 8,5, θα πρέπει να γίνουν οι εξής επισημάνσεις α) μόνο τα νερά των γεωτρήσεων Γ6 και Γ10 έχουν τιμές μικρότερες του 8 β) τα νερά των υπολοίπων γεωτρήσεων έχουν τιμές pH > 8,0 και ιδιαίτερα τα νερά των γεωτρήσεων Γ4 και Γ16 έχουν τιμές 8,5 και 8,4 αντίστοιχα και απαιτείται έλεγχος αυτών ανά ζετία. Στο Ιστόγραμμα 6.6 και στο Διάγραμμα 6.6 απεικονίζεται γραφικά η κατηγοριοποίηση των τιμών του pH στα νερά των 17 γεωτρήσεων και η χωρική κατανομή αυτών.



**Διάγραμμα 6.4. Ισαριθμικές καμπύλες Na (%) των νερών 17 αρδευτικών γεωτρήσεων του Δ.Δ Τρίλοφου (1/7/2016-30/07/2016)**

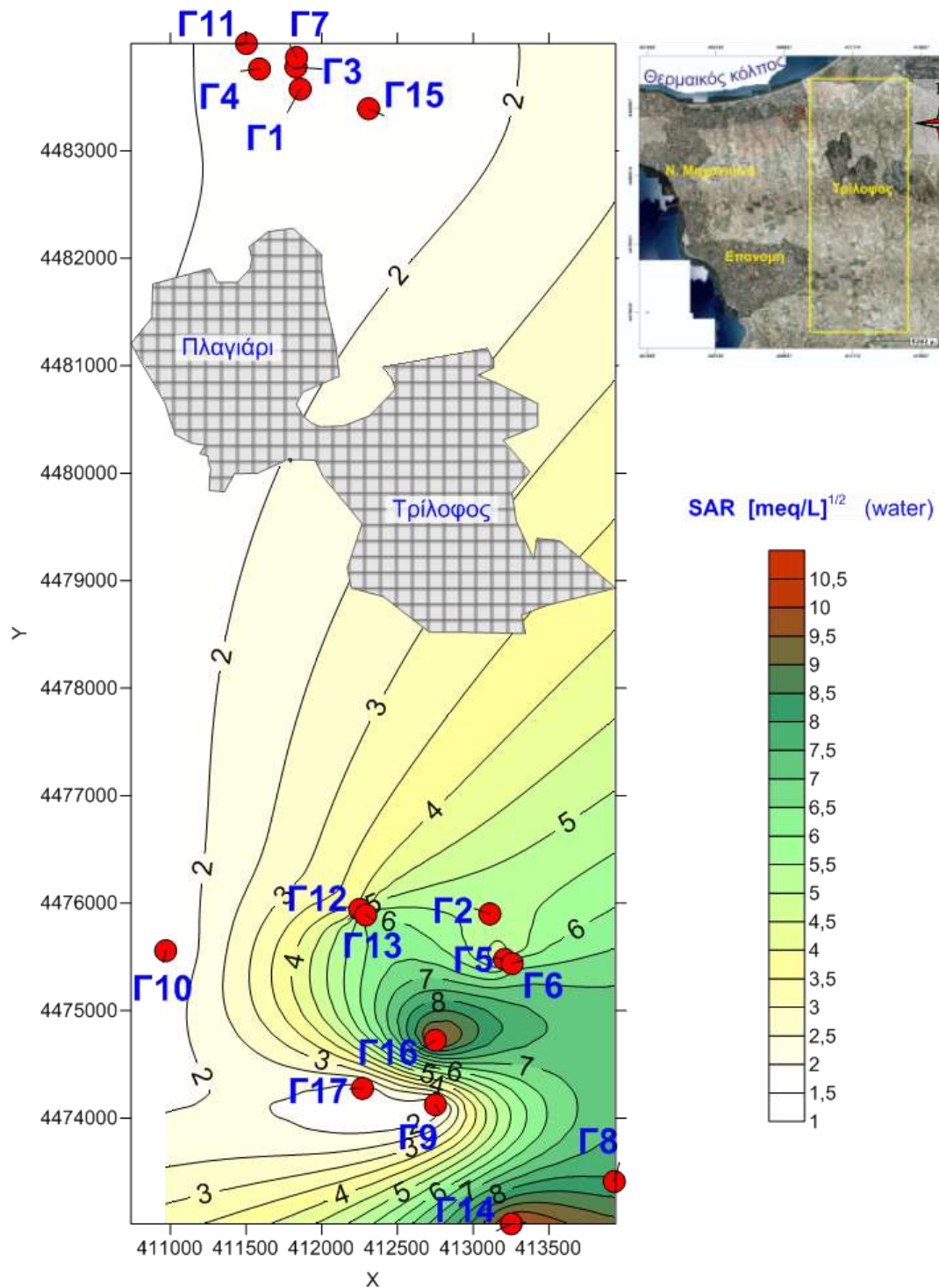


**Ιστόγραμμα 6.5. Κατηγοριοποίηση του κινδύνου νατρίωσης των εδαφών που αρδεύονται με τα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τριλόφου με βάση τις τιμές του SAR των νερών άρδευσης**

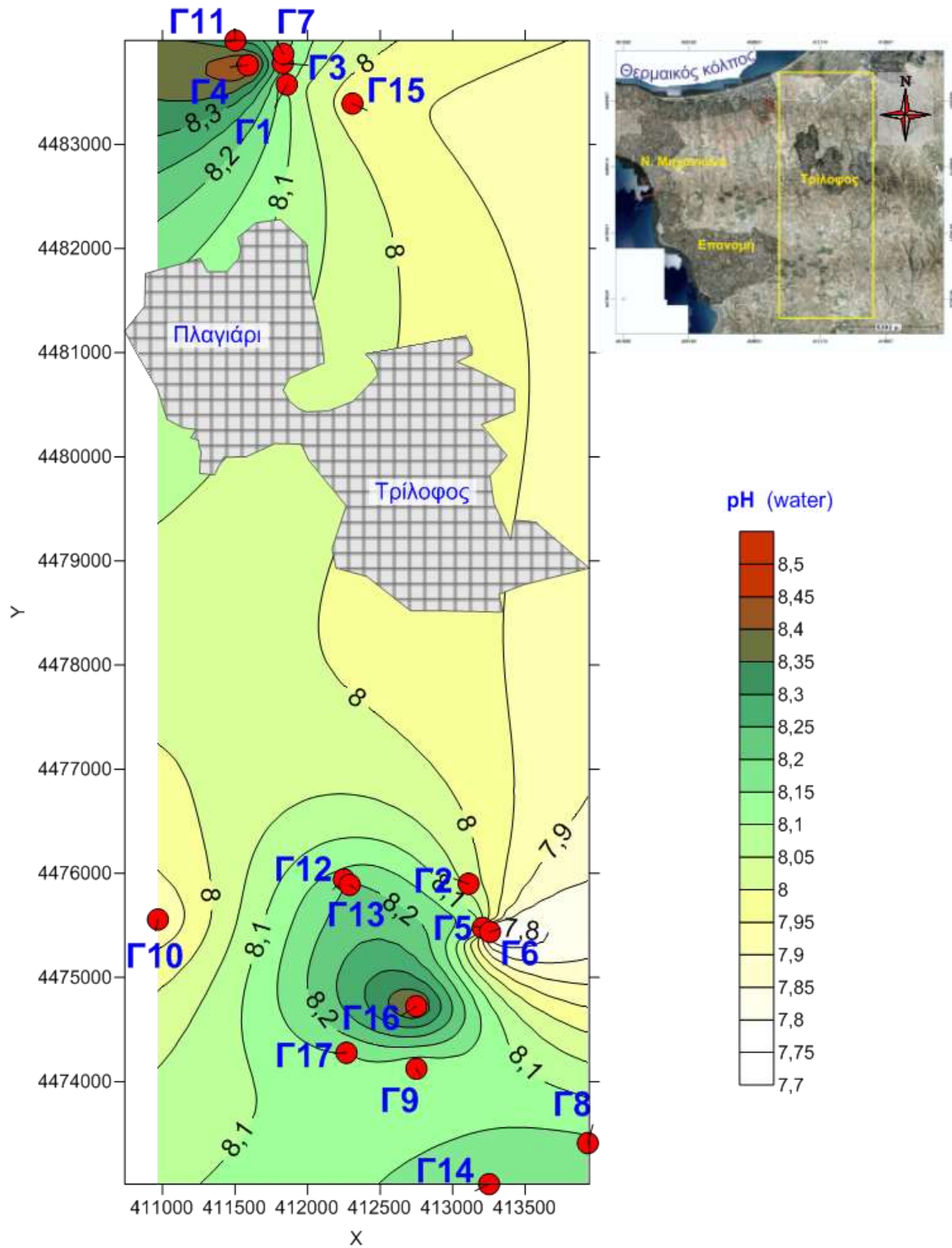


**Ιστόγραμμα 6.6. Κατηγοριοποίηση του κινδύνου αντίδρασης των αρδευτικών νερών με βάση τις τιμές του pH των υπόγειων νερών του Δ.Δ. Τριλόφου**





Διάγραμμα 6.5. Ισαριθμικές καμπύλες SAR των νερών 17 αρδευτικών γεωτρήσεων του Δ.Δ Τρίλοφου (1/7/2016-30/07/2016)



**Διάγραμμα 6.6. Ισαριθμικές καμπύλες pH των νερών 17 αρδευτικών γεωτρήσεων του Δ.Δ Τρίλοφου (1/7/2016-30/07/2016)**

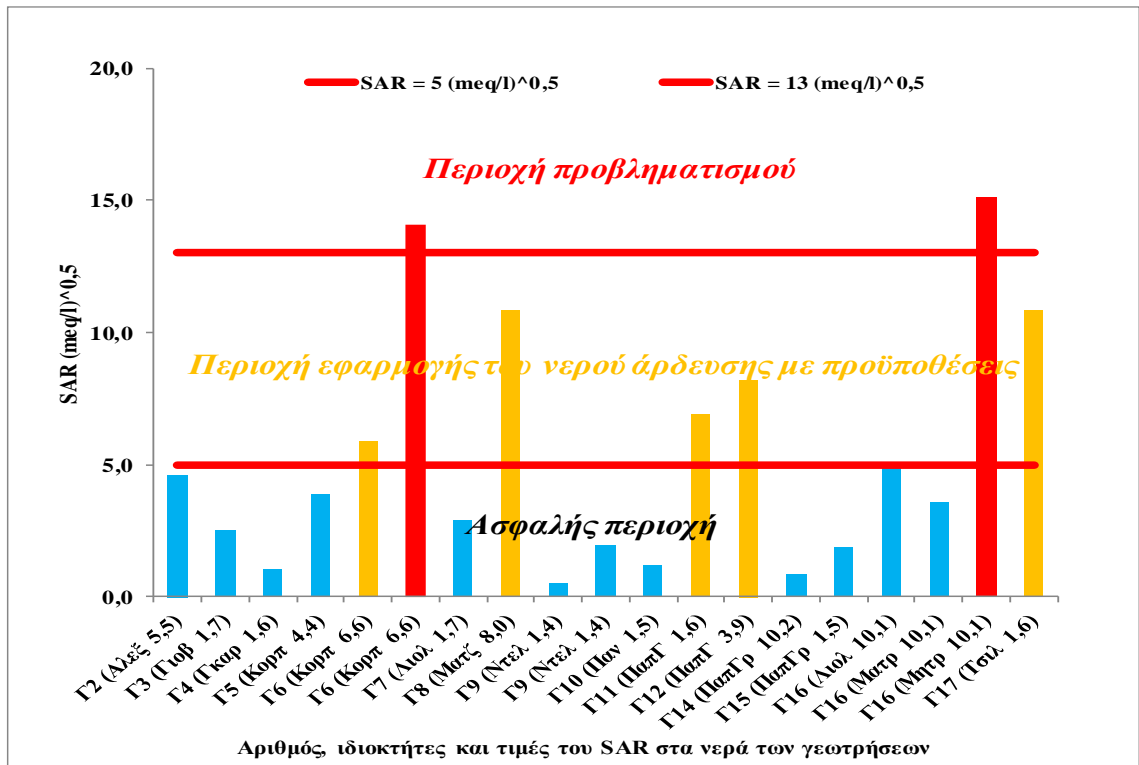
Παρατηρείται ότι όλα τα προαναφερθέντα κριτήρια ανίχνευσης του κινδύνου νατρίωσης των εδαφών που αρδεύονται με τα νερά που μελετώνται έχουν έντονη συσχέτιση του κινδύνου αυτού με γεωτρήσεις που έχουν ανορυχθεί σε μεγάλα βάθη. Στην

περίπτωση αυξημένου κινδύνου νατρίωσης του εδάφους, χρειάζεται α) τακτικός έλεγχος νερού και αρδευόμενου εδάφους, β) χρήση φωσφογύψου γ) επιλογή ανθεκτικών στη νατρίωση καλλιεργειών (Πίνακες 4.15, 4.16) δ) μειωμένος αριθμός καλλιεργητικών εργασιών και όταν το έδαφος βρίσκεται στο ρώγο του ε) προτιμητέες είναι οι χορτοδοτικές καλλιέργειες (μηδική κλπ) στ) ενσωμάτωση φυτικών υπολειμμάτων στο έδαφος και όχι κάψιμο αυτών ([http://www.lenntech.com/applications/irrigation/sar/sar-hazard\\_of\\_irrigation\\_water.htm#ixzz4JM1uPeuc](http://www.lenntech.com/applications/irrigation/sar/sar-hazard_of_irrigation_water.htm#ixzz4JM1uPeuc), [http://www.spectrumanalytic.com/support/libra-ry/pdf/guide\\_to\\_interpreting\\_irrigation\\_water\\_analysis.pdf](http://www.spectrumanalytic.com/support/libra-ry/pdf/guide_to_interpreting_irrigation_water_analysis.pdf)). Σε κάθε περίπτωση συνιστάται η συνεργασία των αγροτών με ειδικούς επιστήμονες. Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων σε ότι αφορά στο SAR και το pH των 19 σύνθετων εδαφών που αρδεύουν οι γεωτρήσεις του Δ.Δ. Τριλόφου δίνονται στον Πίνακα 6.4. Η κατηγοριοποίηση των τιμών SAR και pH απεικονίζεται γραφικά στα Ιστογράμματα 6.7 και 6.8 και η χωρική τους απεικόνιση φαίνεται στα Διαγράμματα 6.7 και 6.8.

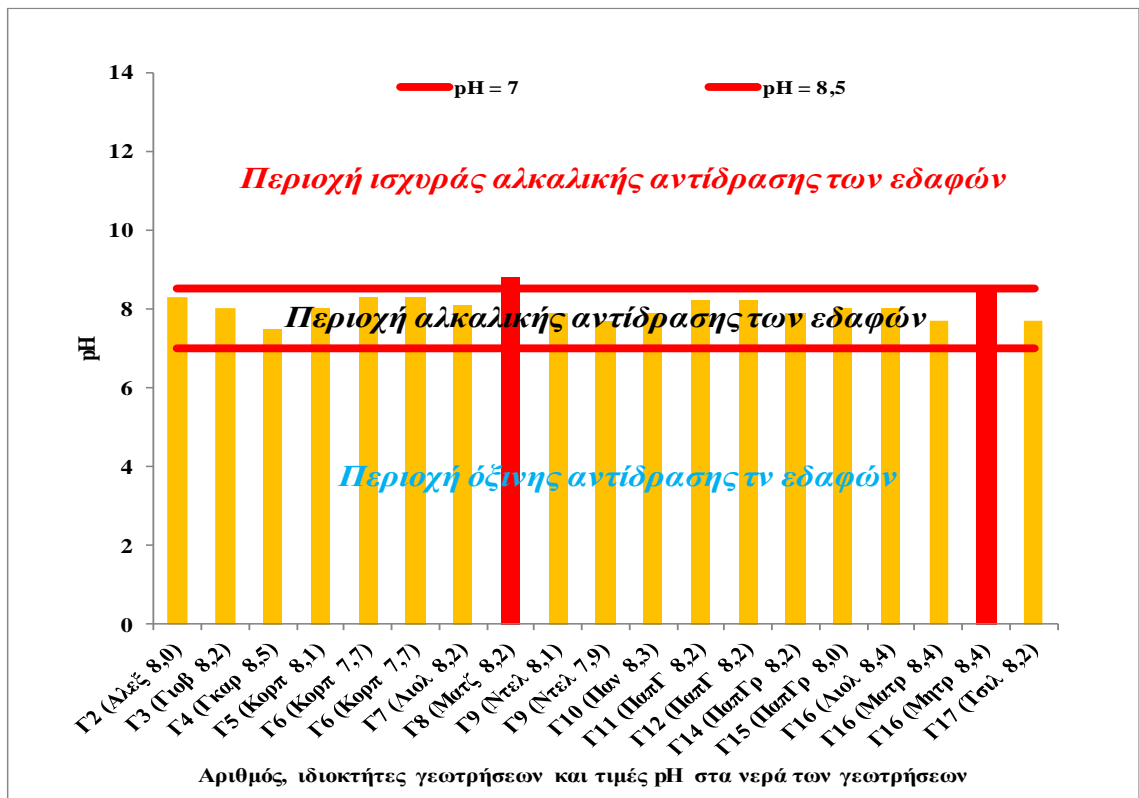
**Πίνακας 6.4. Τιμές λόγου προσρόφησης νατρίου (SAR) και αντίδρασης (pH) σε σύνθετα δείγματα εδάφους 19 αγροτεμαχίων που αρδεύονται με τα νερά των γεωτρήσεων του Δ.Δ. Τριλόφου**

A/A γεώτρησης	SAR (meq/L) <sup>0,5</sup>	pH	A/A γεώτρησης	SAR (meq/L) <sup>0,5</sup>	pH
Γ2	4,61	8,3	Γ10	1,19	7,9
Γ3	2,49	8,0	Γ11	6,87	8,2
Γ4	1,04	7,5	Γ12	8,22	8,2
Γ5	3,86	8,0	Γ14	0,86	7,9
Γ6	5,88	8,3	Γ15	1,86	8,0
Γ6	14,1	8,3	Γ16	4,83	8,0
Γ7	2,88	8,1	Γ16	3,56	7,7
Γ8	10,84	8,8	Γ16	15,1	8,4
Γ9	0,49	7,9	Γ17	10,84	7,7
Γ9	1,94	7,7			

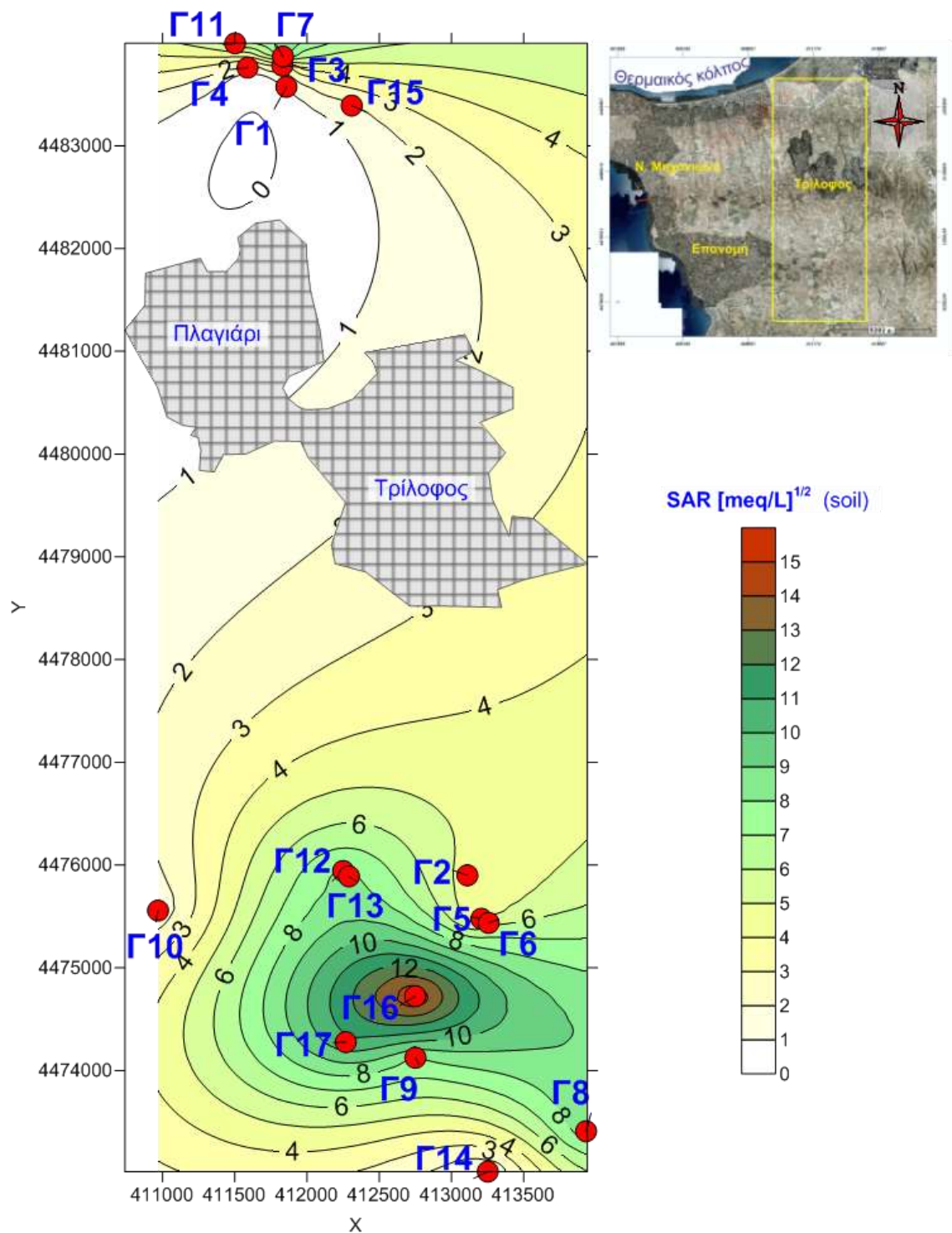
Η περίπτωση του αγρού Μητρούδη που αρδεύεται από τα νερά της γεώτρησης Γ16 είναι ιδιαίτερα σοβαρή (SAR=15, ESP>17, pH=8,4). Ακολουθούν η γεώτρηση Γ6 (πρώ-



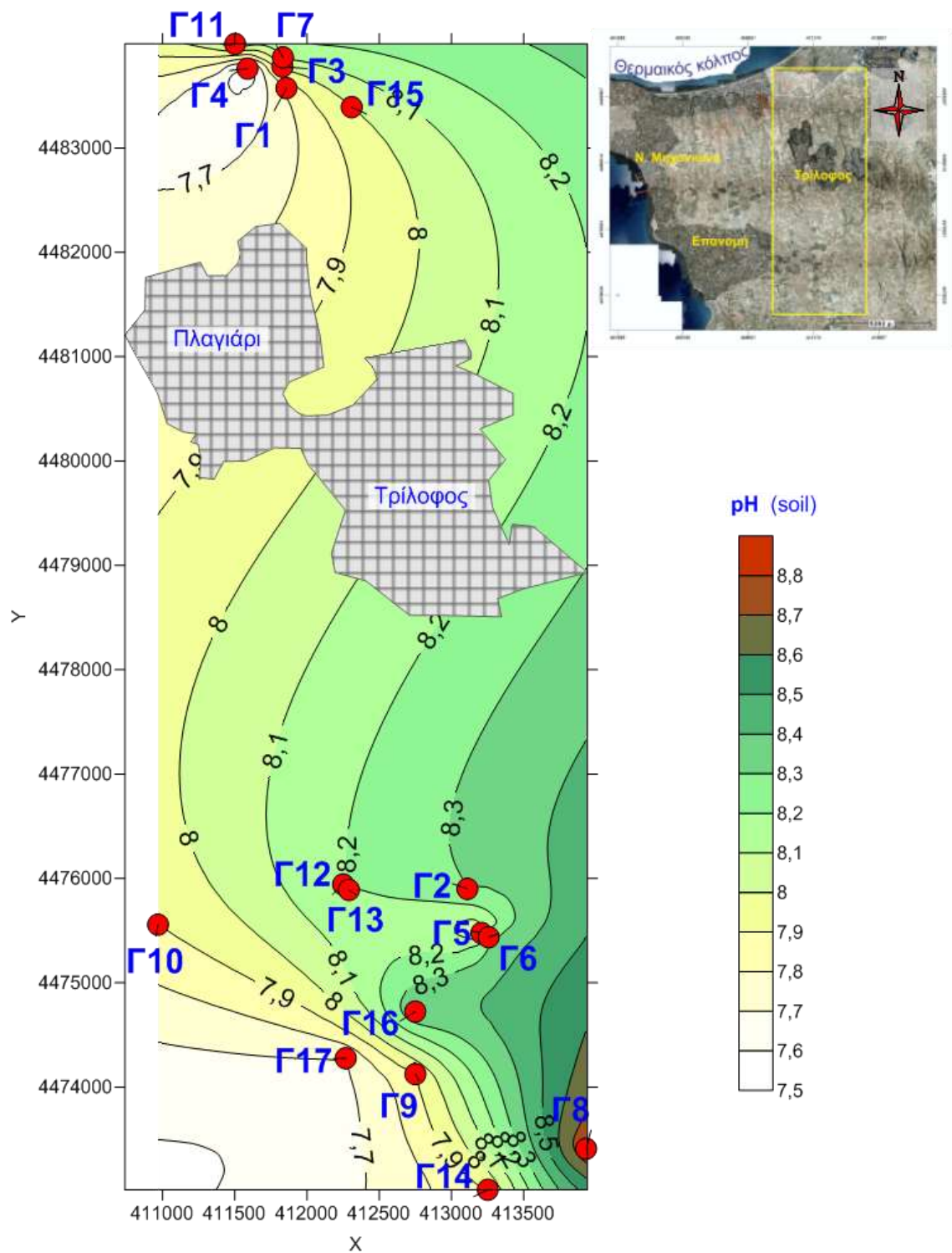
Ιστόγραμμα 6.7. Κατηγοριοποίηση των τιμών λόγου προσρόφησης νατρίου (SAR) των εδαφών που αρδεύονται επί σειρά ετών με τα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τριλόφου



Ιστόγραμμα 6.8. Κατηγοριοποίηση των τιμών αντίδρασης (pH) των εδαφών που αρδεύονται επί σειρά ετών με τα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τριλόφου



**Διάγραμμα 6.7. Ισαριθμικές καμπύλες SAR των εδαφών των αγροτεμαχίων τα οποία αρδεύονταν επί σειρά ετών με τα νερά 17 γεωτρήσεων του Δ.Α. Τρίλοφου (1/7/2016-30/07/2016)**



**Διάγραμμα 6.8. Ισαριθμικές καμπύλες pH των εδαφών των αγροτεμαχίων τα οποία αρδεύονταν επί σειρά ετών με τα νερά 17 γεωτρήσεων του Δ.Α. Τρίλοφου (1/7/2016-30/07/2016)**

τος αγρός Κορπέτη), SAR=14, ESP>16, pH=8,3), η Γ17 (αγρός Τσιλιά, SAR=10,8, ESP=13, pH=7,7), η Γ8 (αγρός Μάτζαρη, SAR=10,8, ESP=13, pH=8,8) και η Γ12 (αγρός Παπασάββα Γ., περιοχή Κλίμα, SAR=6,9, ESP=10, pH=8,2) που έχουν αυξανόμενο κίνδυνο νατρίωσης.

Οι καλλιεργητές ορισμένων αγρών του Δ.Δ. Τριλόφου βιώνουν ήδη την υποβάθμιση της παραγωγικότητας των εδαφών τους (έως και ακαλλιέργεια αγρών), την οποία έχουν συνδέσει με την ποιότητα του αρδευτικού νερού και προσπαθούν να αντιμετωπίσουν την επεκτεινόμενη νατρίωση του εδάφους με επιλογή διαφόρων φυτών.

Οι Ayers & Westcot (1985) θεωρούν ότι η διηθητικότητα του εδάφους, δηλαδή η ευκολία ή δυσκολία εισχώρησης του νερού στα λίγα πρώτα εκατοστά αυτού εξαρτάται από το συνδυασμό των τιμών των παραμέτρων EC<sub>w</sub> και SAR (Πίνακας 4.9).

Με βάση το συνδυασμό των τιμών αυτών δεν υπάρχει κίνδυνος μείωσης της διηθητικότητας των εδαφών από τη χρήση των υπόγειων νερών του Δ.Δ. Τριλόφου. Ακόμη και στις περιπτώσεις που οι τιμές του SAR είναι αυξημένες, οι αντίστοιχες υψηλές τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας μειώνουν σε ένα βαθμό τον κίνδυνο αυτό. Βέβαια, αρδευόμενα εδάφη με νερά γεωτρήσεων όπου οι παράμετροι RSC, Na%, SAR και pH είναι αυξημένοι θα πρέπει να ελέγχονται σε τακτικά διαστήματα, όπως έχει προαναφερθεί στο Υποκεφάλαιο 4.7.2.

Άλλωστε, οι τιμές τόσο του pH όσο και του SAR που μετρήθηκαν σε σύνθετα εδαφικά δείγματα που ελήφθησαν από αγρούς που επί σειρά ετών αρδεύονται με τα νερά των γεωτρήσεων αυτών δικαιολογούν σε πολλές περιπτώσεις μία αυξημένη επαγρύπνηση.

### **6.3. ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΤΟΞΙΚΗΣ ΔΡΑΣΗΣ ΟΡΙΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΑ ΦΥΤΑ**

Στο υποκεφάλαιο αυτό θα αξιολογηθεί ο κίνδυνος τοξικής δράσης των στοιχείων: νάτριο (Na), χλώριο (Cl), βόριο (B) και των ιχνοστοιχείων αρσενικό (As), κάδμιο (Cd), χρώμιο (Cr), χαλκός (Cu), σίδηρος (Fe), υδράργυρος (Hg), μαγγάνιο (Mn), νικέλιο (Ni), μόλυβδος (Pb) και ψευδάργυρος (Zn). Στην περίπτωση του Na και του Cl ο κίνδυνος τοξικής δράσης τους στα φυτά εξετάζεται τόσο στην άρδευση με ροή όσο και στον καταιονισμό (τεχνητή βροχή).

Οι συγκεντρώσεις των στοιχείων Na, Cl, B στα νερά των 17 γεωτρήσεων δίνονται στον Πίνακα 6.5, η δε γραφική παράσταση της κατηγοριοποίησης του κινδύνου τοξικής δράσης αυτών φαίνεται στα Ιστογράμματα 6.9, 6.10, 6.11, 6.12, 6.13 και 6.14. Η χωρική απεικόνιση των συγκεντρώσεων αυτών στα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τριλόφου

**Πίνακας 6.5. Τιμές παραμέτρων Na, Cl και B στα δείγματα νερών  
17 αρδευτικών γεωτρήσεων του Δ.Δ. Τριλόφου**

A/A και βάθος γεώτρησης	Na mg/L	Cl mg/L	B mg/L	A/A και βάθος γεώτρησης	Na mg/L	Cl mg/L	B mg/L
Γ1(46)*	88,7	121	0,13	Γ10(200)	66,1	58,2	0,09
Γ2(350)	239	139	4,17	Γ11(160)	62,5	60,0	0,23
Γ3(180)	82,7	113	0,19	Γ12(390)	123	122	0,10
Γ4(60)	69,6	65,1	0,37	Γ13(260)	272	142	4,68
Γ5(250)	178	84,5	4,0	Γ14(250)	411	173	9,29
Γ6(360)	316	174	6,55	Γ15(100)	70,1	68,0	1,08
Γ7(80)	84,7	111	0,18	Γ16(370)	486	306	9,81
Γ8(360)	388	186	10,7	Γ17(270)	68,5	67,3	0,23
Γ9(200)	65,1	58,2	0,27				

\* Σε παρένθεση το βάθος της γεώτρησης σε m

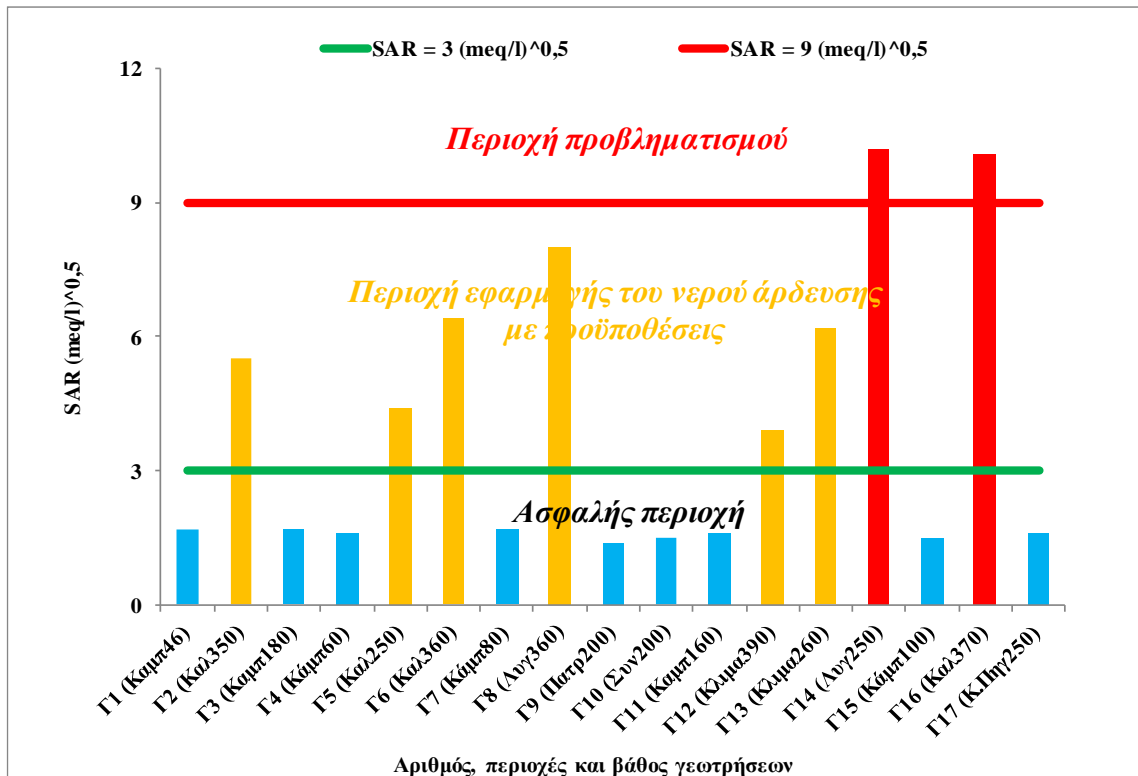
φαίνεται στα Διαγράμματα 6.9, 6.10, 6.11 και 6.12.

### 6.3.1. Νάτριο

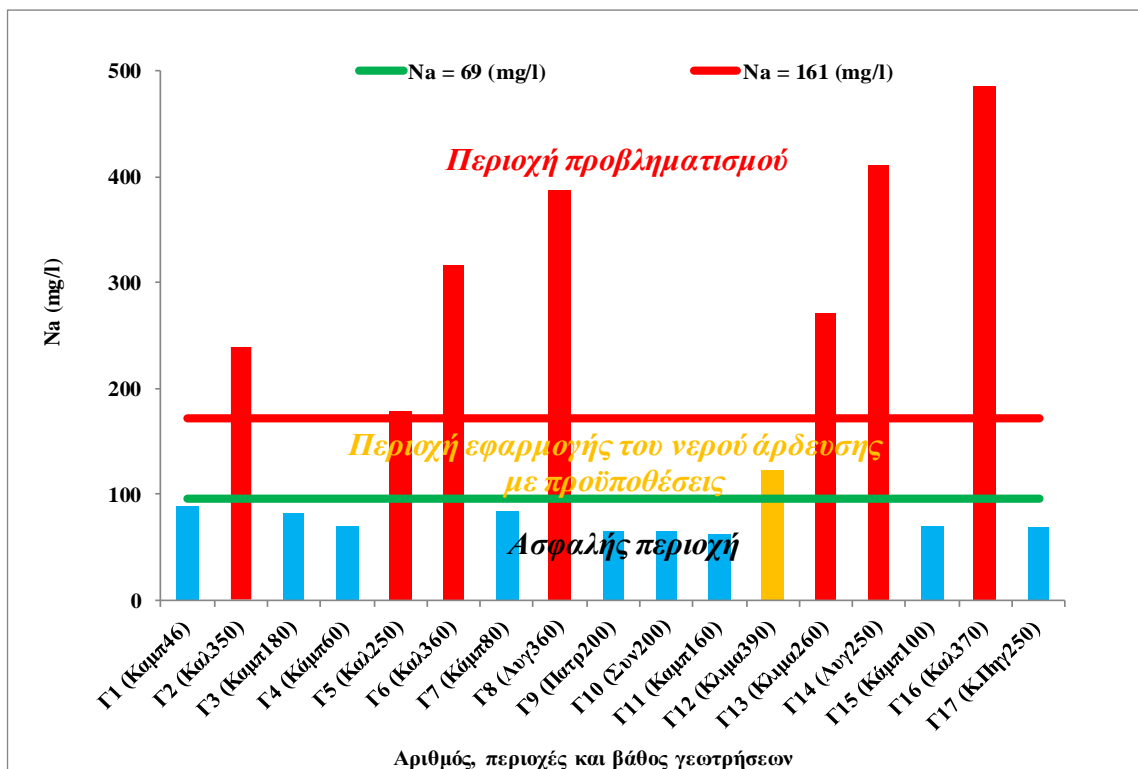
Ο κίνδυνος τοξικής δράσης των ιόντων νατρίου στην άρδευση με ροή (Ιστόγραμμα 6.9) λόγω απορρόφησης αυτών από τις ρίζες των φυτών αξιολογείται με βάση την τιμή του SAR. Τα νερά των γεωτρήσεων **Γ1, Γ3, Γ4, Γ7, Γ9, Γ10, Γ11, Γ15** και **Γ17** δεν έχουν κανένα κίνδυνο τοξικής δράσης στα φυτά. Αντίθετα, τα νερά των γεωτρήσεων **Γ14** και **Γ16** έχουν αυξημένο κίνδυνο και συνιστάται α) η διατήρηση της εδαφικής υγρασίας σε ικανοποιητικά επίπεδα σε όλη την καλλιεργητική περίοδο και β) η επιλογή καλλιεργειών ανθεκτικών σε αυξημένες συγκεντρώσεις νατρίου. Τα νερά των γεωτρήσεων **Γ2, Γ5, Γ6, Γ8, Γ12** και **Γ13** θα πρέπει να βρίσκονται σε παρακολούθηση όπως και τα φυτά που αρδεύονται με τα νερά αυτά.

Στην περίπτωση της άρδευσης με καταιονισμό (Ιστόγραμμα 6.10), τα νερά των γεωτρήσεων **Γ1, Γ3, Γ4, Γ7, Γ9, Γ10, Γ11, Γ15** και **Γ17** δεν έχουν κανένα κίνδυνο τοξικής δράσης των **ιόντων νατρίου** λόγω απορρόφησης αυτών από τα φύλλα. Αντίθετα, τα νερά των γεωτρήσεων **Γ2, Γ5, Γ6, Γ8, Γ13, Γ14** και **Γ16** έχουν αυξημένο κίνδυνο και συνιστάται η μη διαβροχή του φυλλώματος των καλλιεργειών, ιδίως κατά τις θερμές ώρες της ημέρας και η υιοθέτηση νυχτερινών ή πρωϊνών αρδεύσεων. Τα νερά της γεώτρησης **Γ12** θα πρέπει να βρίσκονται σε παρακολούθηση όπως και τα φυτά που αρδεύονται με αυτά.



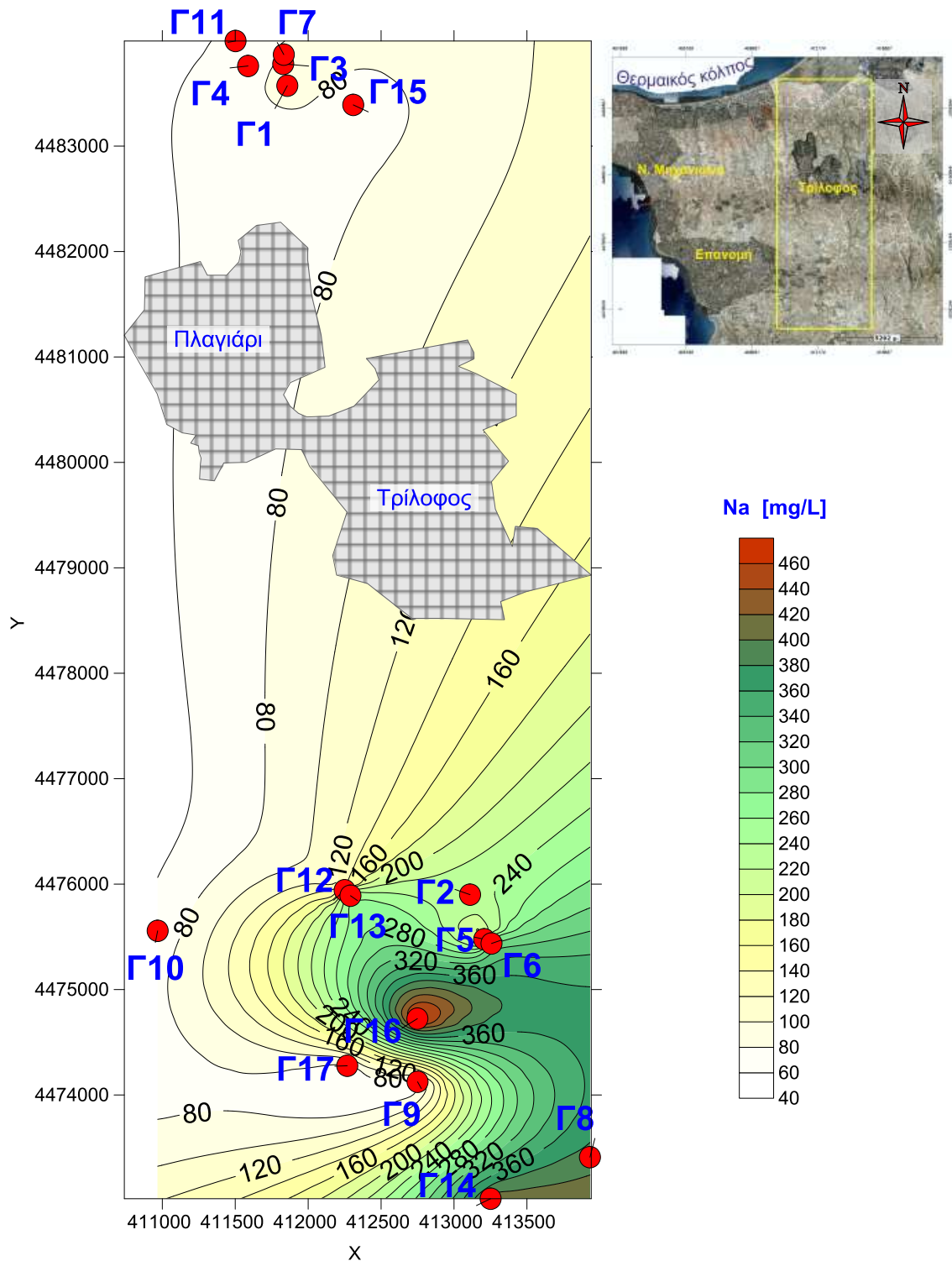


**Ιστόγραμμα 6.9. Κατηγοριοποίηση του κινδύνου τοξικής δράσης στα φυτά των ιόντων νατρίου με βάση τις τιμές του SAR των υπόγειων νερών του Δ.Δ. Τριλόφου όταν αρδεύονται με ροή**



**Ιστόγραμμα 6.10. Κατηγοριοποίηση του κινδύνου τοξικής δράσης στα φυτά των ιόντων νατρίου (Na) που περιέχονται στα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τριλόφου όταν αρδεύονται με καταιονισμό**

Η γραφική απεικόνιση των συγκεντρώσεων νατρίου στα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τρίλοφου φαίνεται στο Διάγραμμα 6.9.



**Διάγραμμα 6.9. Ισαριθμικές καμπύλες συγκέντρωσης Na στα νερά 17 αρδευτικών γεωτρήσεων του Δ.Δ Τρίλοφου (1/7/2016-30/07/2016)**

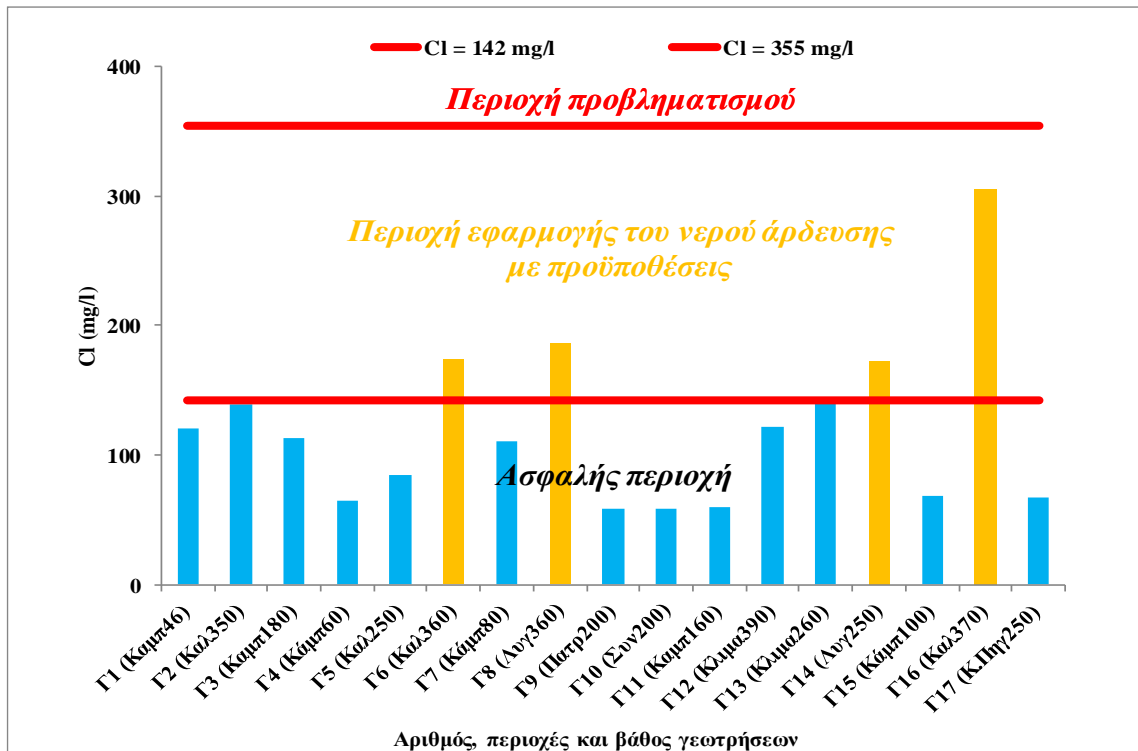
### 6.3.2. Χλώριο

Δεν υπάρχει κίνδυνος τοξικής δράσης των ιόντων χλωρίου στα φυτά λόγω απορρόφησης αυτών από τις ρίζες των φυτών, όταν η άρδευση γίνεται με ροή (Ιστόγραμμα 6.11) με τα νερά των γεωτρήσεων **Γ1, Γ2, Γ3, Γ4, Γ5, Γ7, Γ9, Γ10, Γ11, Γ12, Γ13, Γ15** και **Γ17**. Αντίθετα, στα νερά των γεωτρήσεων **Γ6, Γ8, Γ14** και **Γ16**, η συγκέντρωση των ιόντων χλωρίου είναι σχετικά αυξημένη (ιδιαίτερα η **Γ16**) και συνιστάται α) η διατήρηση της εδαφικής υγρασίας σε ικανοποιητικά επίπεδα σε όλη την καλλιεργητική περίοδο και β) η παρακολούθηση της ανάπτυξης των φυτών.

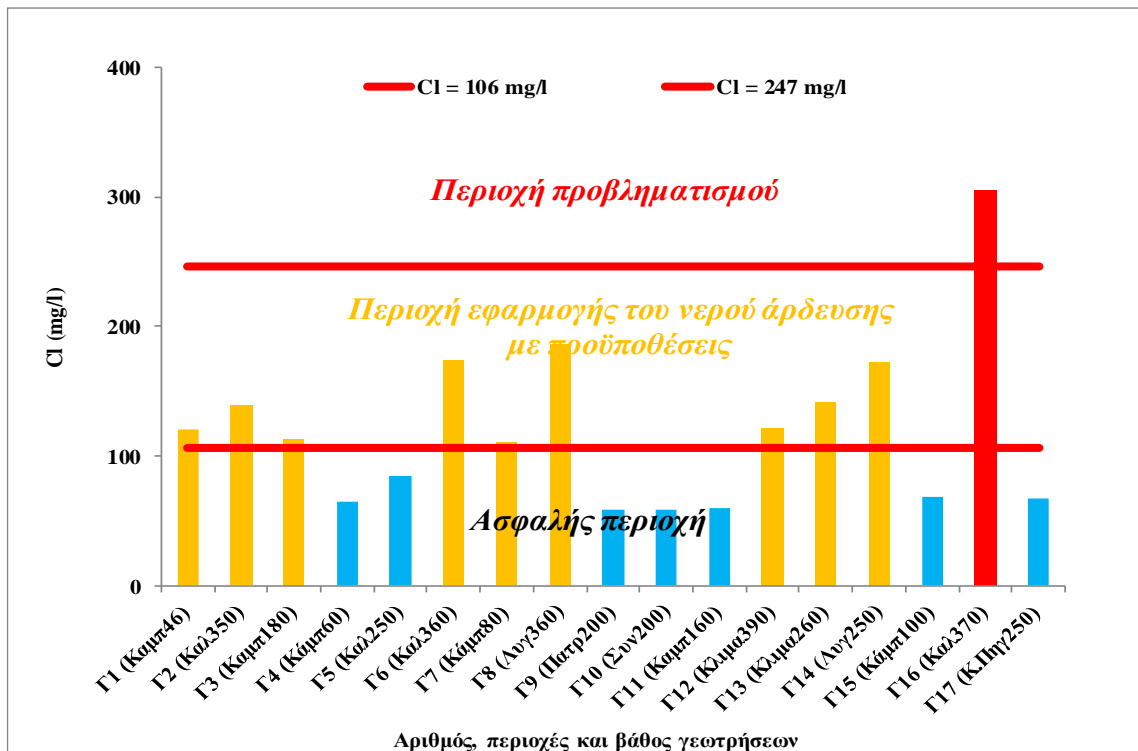
Στην περίπτωση της άρδευσης με καταιονισμό (Ιστόγραμμα 6.12), τα νερά των γεωτρήσεων **Γ4, Γ5, Γ9, Γ10, Γ11, Γ15** και **Γ17** δεν έχουν κανένα κίνδυνο τοξικής δράσης των **ιόντων χλωρίου** λόγω απορρόφησης αυτών από τα φύλλα. Αντίθετα, τα νερά της γεώτρησης **Γ16** έχουν αυξημένο κίνδυνο και συνιστάται α) η μη διαβροχή του φυλλώματος των καλλιεργειών, ιδίως κατά τις θερμές ώρες της ημέρας β) η υιοθέτηση νυχτερινών ή πρωϊνών αρδεύσεων και γ) η παρακολούθηση της ανάπτυξης των φυτών. Τα νερά των γεωτρήσεων **Γ1, Γ2, Γ3, Γ6, Γ7, Γ8, Γ12, Γ13** και **Γ14** θα πρέπει α) να βρίσκονται σε παρακολούθηση καθώς και τα φυτά που αρδεύονται με αυτά τα νερά και β) να αποφεύγεται η διαβροχή του φυλλώματος των καλλιεργειών, ιδίως κατά τις θερμές ώρες της ημέρας και η υιοθέτηση νυχτερινών ή πρωϊνών αρδεύσεων.

### 6.3.3. Βόριο

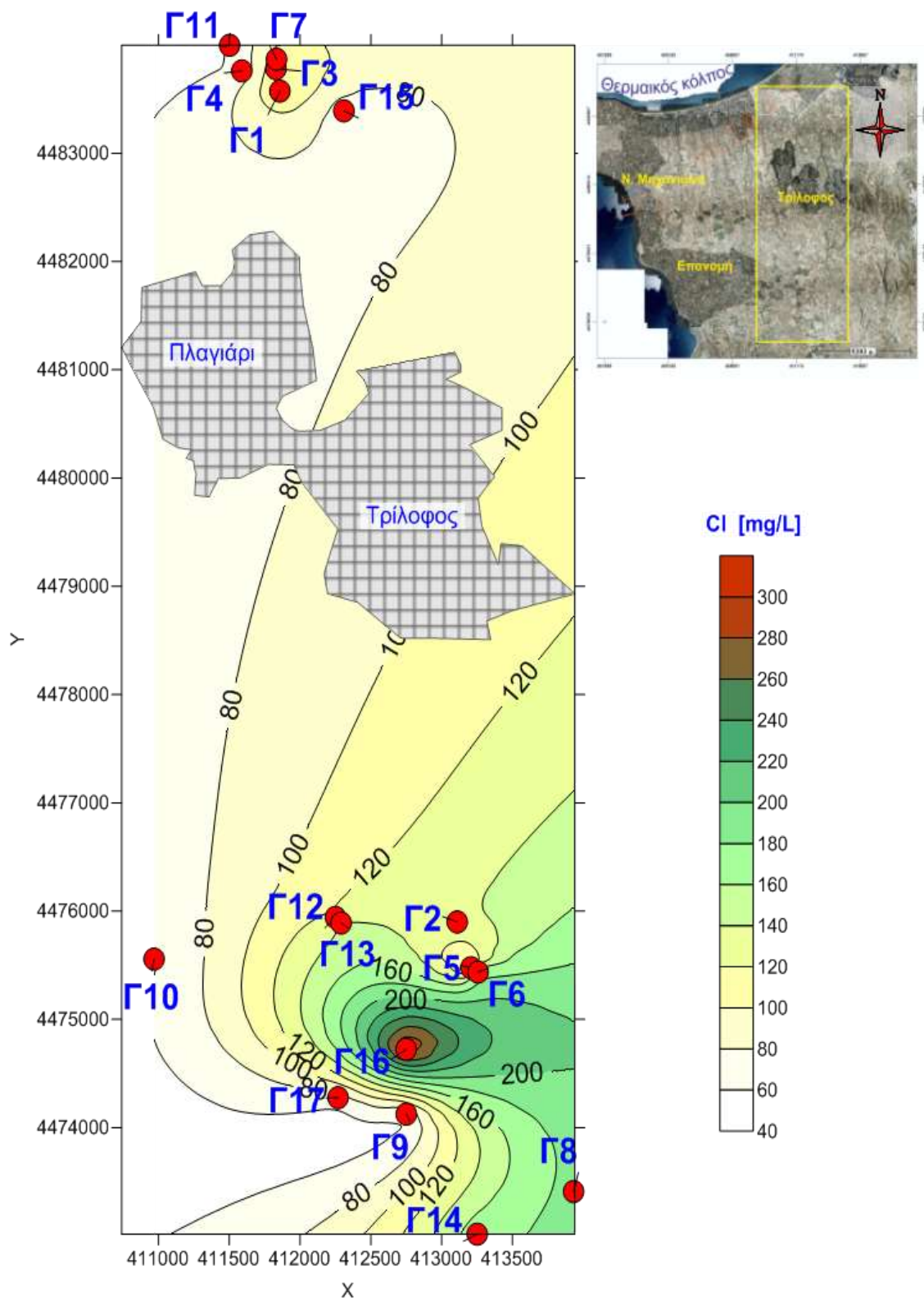
Όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.5, στο Ιστόγραμμα 6.13 και στο Διάγραμμα 6.11, οι συγκεντρώσεις του βορίου στα νερά των γεωτρήσεων **Γ1, Γ3, Γ4, Γ7, Γ9, Γ10, Γ11, Γ12** και **Γ17** είναι μικρές και δεν υπάρχει κίνδυνος ούτε για τις ευαίσθητες στο βόριο καλλιέργειες. Το νερό της γεώτρησης **Γ15** επιτρέπει χωρίς κίνδυνο την αρδευτική χρήση των μέτρια ευαίσθητων καλλιεργειών, ενώ οι συγκεντρώσεις του βορίου στα νερά των γεωτρήσεων **Γ2** και **Γ5** επιτρέπουν την άρδευση των μέτρια ανθεκτικών καλλιεργειών. Στη γεώτρηση **Γ13**, η συγκέντρωση του βορίου είναι αρκετά αυξημένη και δεν υπάρχει κίνδυνος τοξικής δράσης στις ανθεκτικές καλλιέργειες. Τέλος, η αρδευτική χρήση των νερών των γεωτρήσεων **Γ6, Γ8, Γ14** και **Γ16** επιτρέπεται μόνο στις πολύ ανθεκτικές καλλιέργειες. Τελικά επτά από τις 17 γεωτρήσεις έχουν νερά με αυξημένες συγκεντρώσεις βορίου που η αρδευτική χρήση αυτών απαιτεί όχι μόνο καλλιέργειες από μέτρια έως πολύ ανθεκτικές στο βόριο, αλλά αυξάνει μακροπρόθεσμα και τη συγκέντρωση του βορίου στο έδαφος. Στον Πίνακα 6.6 δίνονται οι συγκεντρώσεις του βορίου στο έδαφος, ενώ στο Ιστόγραμμα 6.14 φαίνεται γραφικά η κατηγοριοποίηση του βαθμού επάρκειας



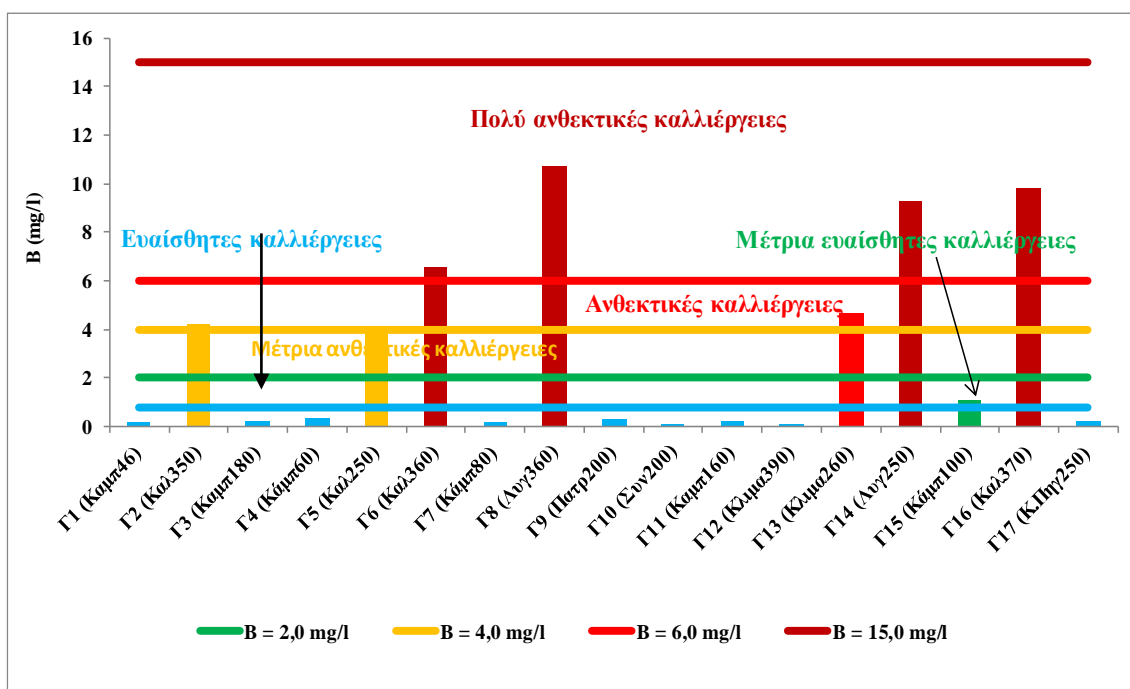
Ιστόγραμμα 6.11. Κατηγοριοποίηση του κινδύνου τοξικής δράσης στα φυτά των ιόντων χλωρίου (Cl) που περιέχονται στα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τριλόφου όταν αρδεύονται με ροή



Ιστόγραμμα 6.12. Κατηγοριοποίηση του κινδύνου τοξικής δράσης στα φυτά των ιόντων χλωρίου (Cl) που περιέχονται στα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τριλόφου όταν αρδεύονται με καταιονισμό



**Διάγραμμα 6.10. Ισαριθμικές καμπύλες συγκέντρωσης Cl στα νερά 17 αρδευτικών γεωτρήσεων του Δ.Δ Τρίλοφου (1/7/2016-30/07/2016)**



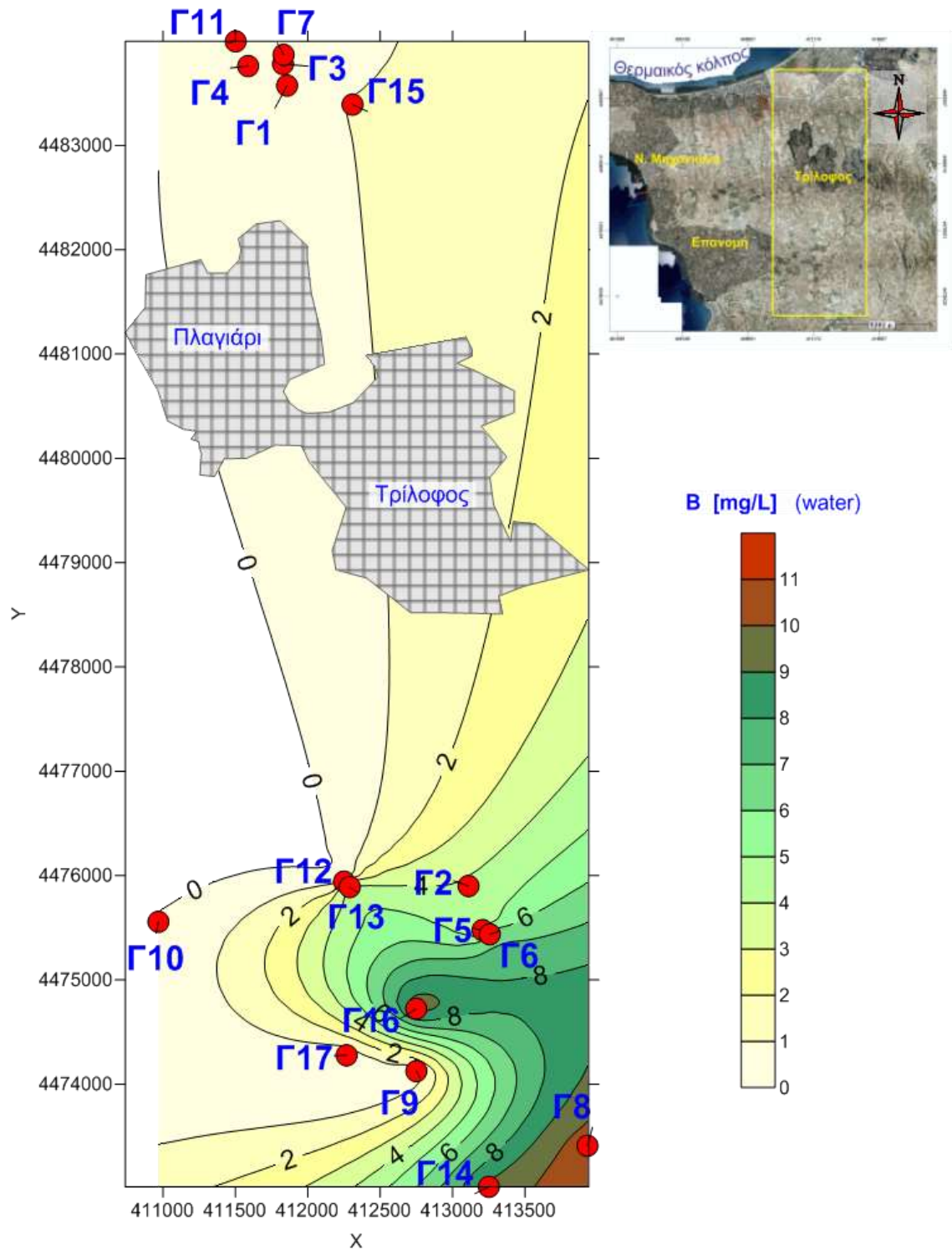
**Ιστόγραμμα 6.13. Κατηγοριοποίηση του κινδύνου τοξικής δράσης στα φυτά των συγκεντρώσεων βορίου (B) που περιέχονται στα υπόγεια νερά του Δ.Α. Τριλόφου**

**Πίνακας 6.6. Τιμές συγκεντρώσεων βορίου (B) σε σύνθετα δείγματα εδάφους 19 αγροτεμαχίων που αρδεύονται με τα νερά των γεωτρήσεων του Δ.Α. Τριλόφου**

A/A γεώτρησης	Ιδιοκτήτης γεώτρησης	B (mg/kg)	A/A γεώτρησης	Ιδιοκτήτης γεώτρησης	B (mg/kg)
Γ2	Αλεξιάκης Νικ,	6,1*	Γ10	Πάνος Γεώργ.	0,32
Γ3	Γιοβανούδης Θ.	0,89	Γ11	Παπασάββας Γ.	5,97
Γ4	Γκαρίτης Χρ.	1,12	Γ12	Παπασάββας Γ.	7,41
Γ5	Κορπέτης Αθ.	2,4	Γ14	Παπασάββας Γρ.	1,15
Γ6	Κορπέτης Αθ.	12,8	Γ15	Παπασάββας Γρ.	0,42
Γ6	Κορπέτης Αθ.	11,3	Γ16	Λιόλιος Ιωάννης	5,7
Γ7	Λιόλιος Ευαγγ.	0,56	Γ16	Ματράκας Δημ.	4,2
Γ8	Μάτζαρης Αρ.	17,5	Γ16	Μητρούδης Κ.	9,5
Γ9	Ντελμπίζης Γ-Π	0,42	Γ17	Τσιλιάς Δ.	2,4
Γ9	Ντελμπίζης Γ-Π	0,59			

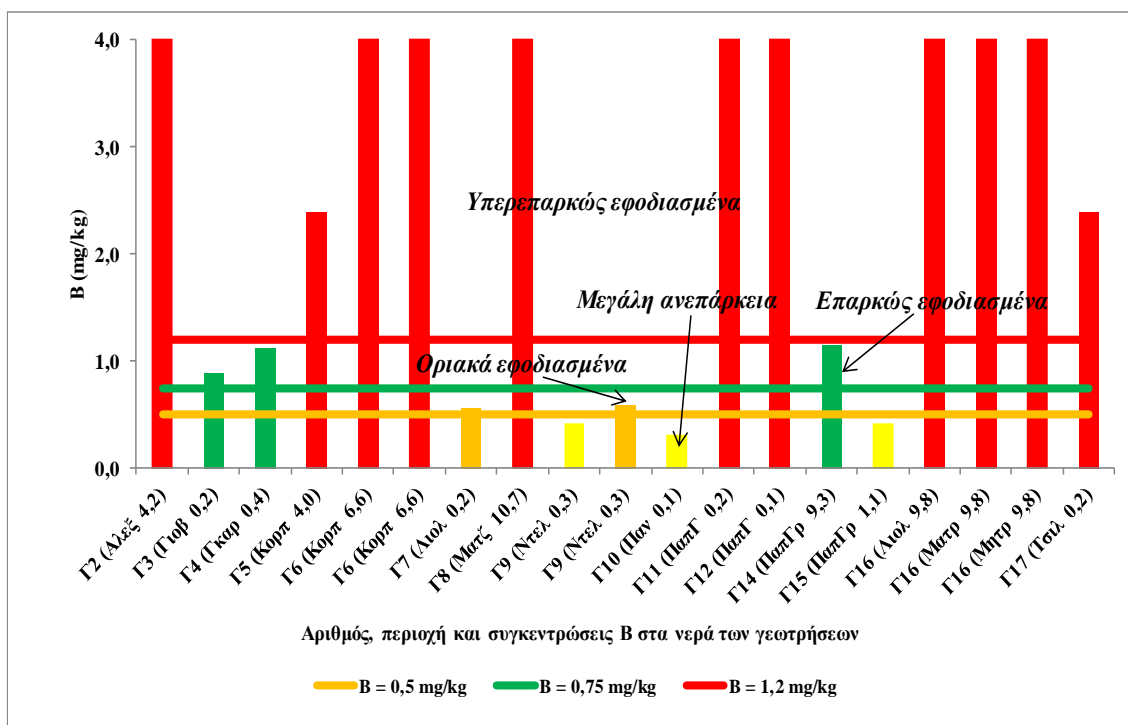
\*Στο Ιστόγραμμα 6.14, εμφανίζονται ως ισότιμες οι συγκεντρώσεις  $B > 4$  mg/L των γεωτρήσεων Γ1, Γ6, Γ8, Γ11, Γ12, Γ16, που ούτως ή άλλως κατατάσσονται στην κατηγορία των «υπερπερκαώς εφοδιασμένων», προκειμένου να εμφανισθεί η κατηγοριοποίηση των μικρότερων συγκεντρώσεων B.

για τα φυτά των συγκεντρώσεων του βορίου στο έδαφος. Το αποτέλεσμα είναι εντυπωσιακό αφού τα εδάφη ένδεκα αγρών που αρδεύονται με τα νερά ορισμένων γεωτρήσεων



**Διάγραμμα 6.11. Ισαριθμικές καμπύλες συγκέντρωσης B στα νερά 17 αρδευτικών γεωτρήσεων του Δ.Δ Τρίλοφου (1/7/2016-30/07/2016)**

του Δ.Δ. Τριλόφου Γ2, Γ5, Γ6, Γ8, Γ11, Γ12, Γ16 και Γ17 χαρακτηρίζονται ως υπερεπαρκώς εφοδιασμένοι με βόριο, γεγονός που πρέπει να τύχει ιδιαίτερης έρευνας για πιθανές επιπτώσεις αυτών των συγκεντρώσεων στη μείωση της παραγωγικότητας των εδαφών αυτών. Αντίθετα, τα εδάφη που αρδεύονται με τα νερά των γεωτρήσεων Γ7, Γ9, Γ10, και Γ15 χαρακτηρίζονται ως ανεπαρκώς ή οριακά εφοδιασμένα με βόριο.

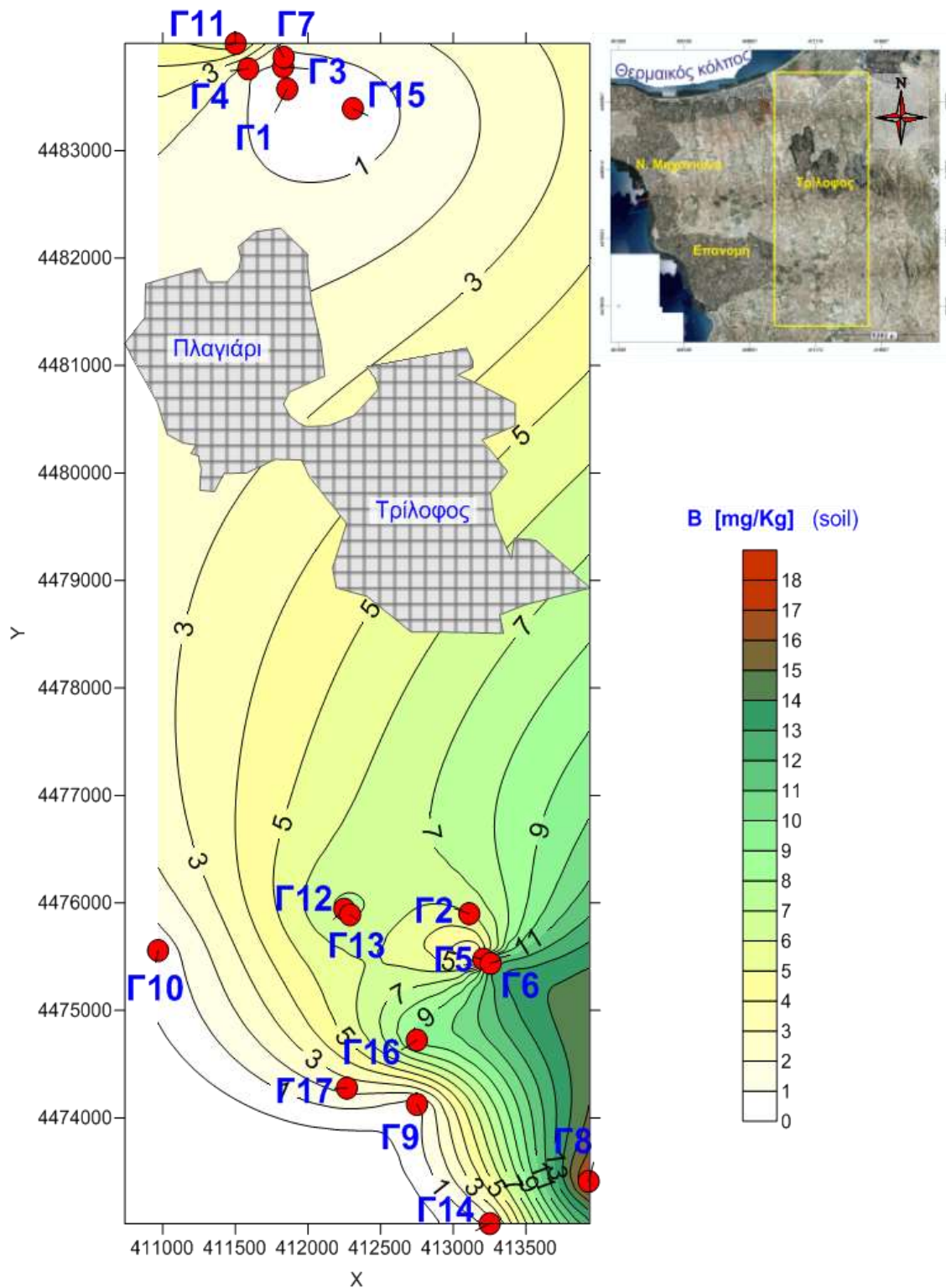


**Ιστογράμμα 6.14. Κατηγοριοποίηση βαθμού επάρκειας συγκεντρώσεων βορίου (B) στα εδάφη 19 αγρών που αρδεύονται με τα υπόγεια νερά του Δ.Δ.Τριλόφου**

### 6.3.4. Ιχνοστοιχεία

Σε ότι αφορά στις συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb και Zn, αυτές είναι πολύ μικρές ή ελάχιστες σε σύγκριση με τις συνιστώμενες μέγιστες συγκεντρώσεις αυτών στα αρδευτικά νερά όλων των γεωτρήσεων του αγροκτήματος Τριλόφου και επομένως δεν υπάρχει κανένας κίνδυνος συγκέντρωσής τους στο έδαφος και στα καλλιεργούμενα φυτά. Οι τιμές των συγκεντρώσεων δίνονται στους Πίνακες 6.7, 6.8, 6.9 και η γραφική απεικόνιση της κατηγοριοποίησης των συγκεντρώσεών τους φαίνεται στα Ιστογράμματα 6.15, 6.16, 6.17, 6.18, 6.19, 6.20, 6.21, 6.22, 6.23, 6.24. Η χωρική κατανομή επικεντρώνεται μόνο στα ιχνοστοιχεία As, Fe και Mn στα οποία υπάρχει διαφοροποίηση των συγκεντρώσεων και φαίνεται στα Διαγράμματα 6.13, 6.14 και 6.15.





**Διάγραμμα 6.12. Ισαριθμικές καμπύλες συγκέντρωσης B στα εδάφη αγροτεμαχίων τα οποία αρδεύονταν επί σειρά ετών με τα νερά 17 γεωτρήσεων του Δ.Δ. Τρίλοφου (1/7/2016-30/07/2016)**

**Πίνακας 6.7. Τιμές συγκεντρώσεων ιχνοστοιχείων As, Cd και Cr στα δείγματα νερών 17 αρδευτικών γεωτρήσεων του Δ.Δ. Τριλόφου**

A/A και βάθος γεώτρησης	As μg/L	Cd μg/L	Cr μg/L	A/A και βάθος γεώτρησης	As μg/L	Cd μg/L	Cr μg/L
Γ1(46)*	1,54	<0,3	<2,00	Γ10(200)	1,15	<0,3	<2,00
Γ2(350)	16,1	<0,3	<2,00	Γ11(160)	1,68	<0,3	<2,00
Γ3(180)	1,41	<0,3	<2,00	Γ12(390)	1,55	<0,3	<2,00
Γ4(60)	2,26	<0,3	<2,00	Γ13(260)	<1,00	<0,3	<2,00
Γ5(250)	1,03	<0,3	<2,00	Γ14(250)	25,6	<0,3	<2,00
Γ6(360)	13,6	<0,3	<2,00	Γ15(100)	3,05	<0,3	<2,00
Γ7(80)	1,35	<0,3	<2,00	Γ16(370)	98,1	<0,3	<2,00
Γ8(360)	2,65	<0,3	<2,00	Γ17(270)	1,47	<0,3	<2,00
Γ9(200)	<1,0	<0,3	<2,00				

\* Σε παρένθεση το βάθος της γεώτρησης σε m

**Πίνακας 6.8. Τιμές συγκεντρώσεων ιχνοστοιχείων Cu, Fe και Hg στα δείγματα νερών 17 αρδευτικών γεωτρήσεων του Δ.Δ. Τριλόφου**

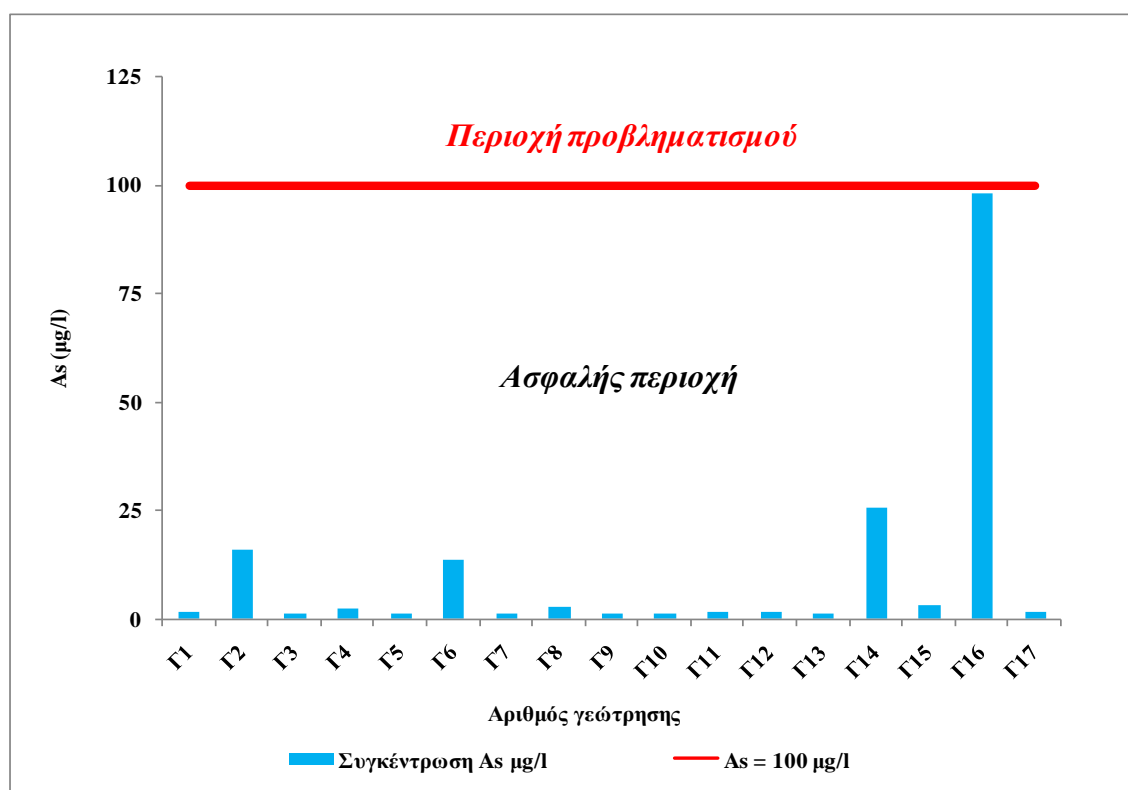
A/A και βάθος γεώτρησης	Cu μg/L	Fe μg/L	Hg μg/L	A/A και βάθος γεώτρησης	Cu μg/L	Fe μg/L	Hg μg/L
Γ1(46)*	<10,0	33,1	<1	Γ10(200)	<10,0	25,4	<1
Γ2(350)	<10,0	24,2	<1	Γ11(160)	<10,0	54,7	<1
Γ3(180)	<10,0	39,7	<1	Γ12(390)	<10,0	35,5	<1
Γ4(60)	<10,0	<10,0	<1	Γ13(260)	<10,0	45,9	<1
Γ5(250)	<10,0	20,0	<1	Γ14(250)	<10,0	110	<1
Γ6(360)	<10,0	49,5	<1	Γ15(100)	<10,0	77,9	<1
Γ7(80)	<10,0	14,2	<1	Γ16(370)	<10,0	35,8	<1
Γ8(360)	14,8	12,9	<1	Γ17(270)	<10,0	203	<1
Γ9(200)	<10,0	39,7	<1				

\* Σε παρένθεση το βάθος της γεώτρησης σε m

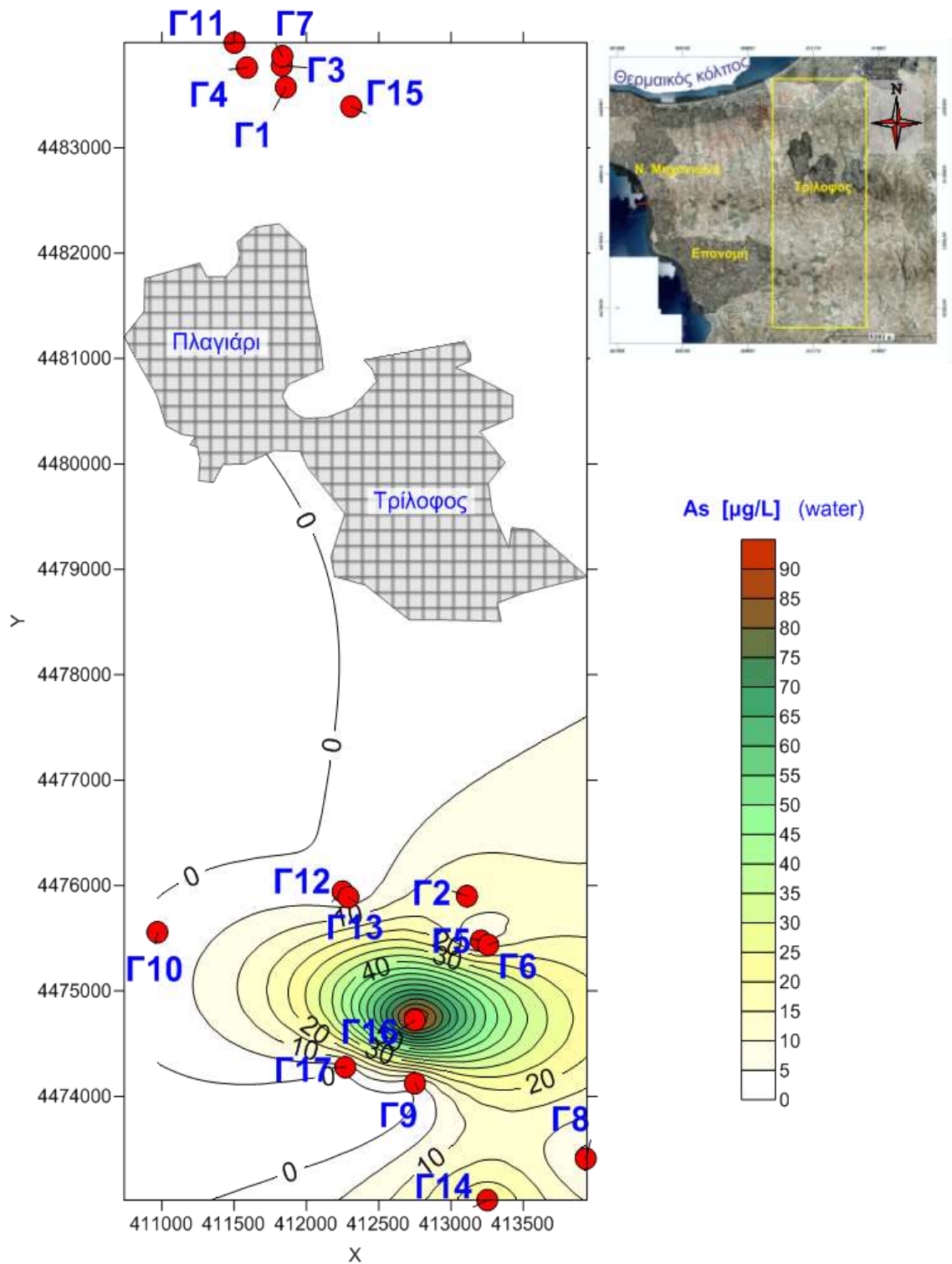
**Πίνακας 6.9. Τιμές συγκεντρώσεων ιχνοστοιχείων Mn, Ni, Pb και Zn στα δείγματα νερών 17 αρδευτικών γεωτρήσεων του Δ.Δ. Τριλόφου**

A/A και βάθος γεώτρησης	Mn μg/L	Ni μg/L	Pb μg/L	Zn mg/L	A/A και βάθος γεώτρησης	Mn μg/L	Ni μg/L	Pb μg/L	Zn mg/L
Γ1(46)*	<6,52	<5,0	<5,0	<0,25	Γ10(200)	<6,52	<5,0	<5,0	<0,25
Γ2(350)	114	<5,0	<5,0	<0,25	Γ11(160)	6,1	<5,0	<5,0	<0,25
Γ3(180)	<6,52	<5,0	<5,0	<0,25	Γ12(390)	112	<5,0	<5,0	<0,25
Γ4(60)	<6,52	<5,0	<5,0	<0,25	Γ13(260)	7,69	<5,0	<5,0	<0,25
Γ5(250)	31,1	<5,0	<5,0	<0,25	Γ14(250)	48,2	<5,0	<5,0	<0,25
Γ6(360)	53,8	<5,0	<5,0	<0,25	Γ15(100)	78,2	<5,0	<5,0	<0,25
Γ7(80)	<6,52	<5,0	<5,0	<0,25	Γ16(370)	54,9	<5,0	<5,0	<0,25
Γ8(360)	78,1	<5,0	<5,0	0,32	Γ17(270)	55,4	<5,0	<5,0	<0,25
Γ9(200)	<6,52	<5,0	<5,0	<0,25					

\* Σε παρένθεση το βάθος της γεώτρησης σε m



**Ιστόγραμμα 6.15. Κατηγοριοποίηση του κινδύνου των συγκεντρώσεων αρσενικού (As) που περιέχονται στα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τριλόφου**



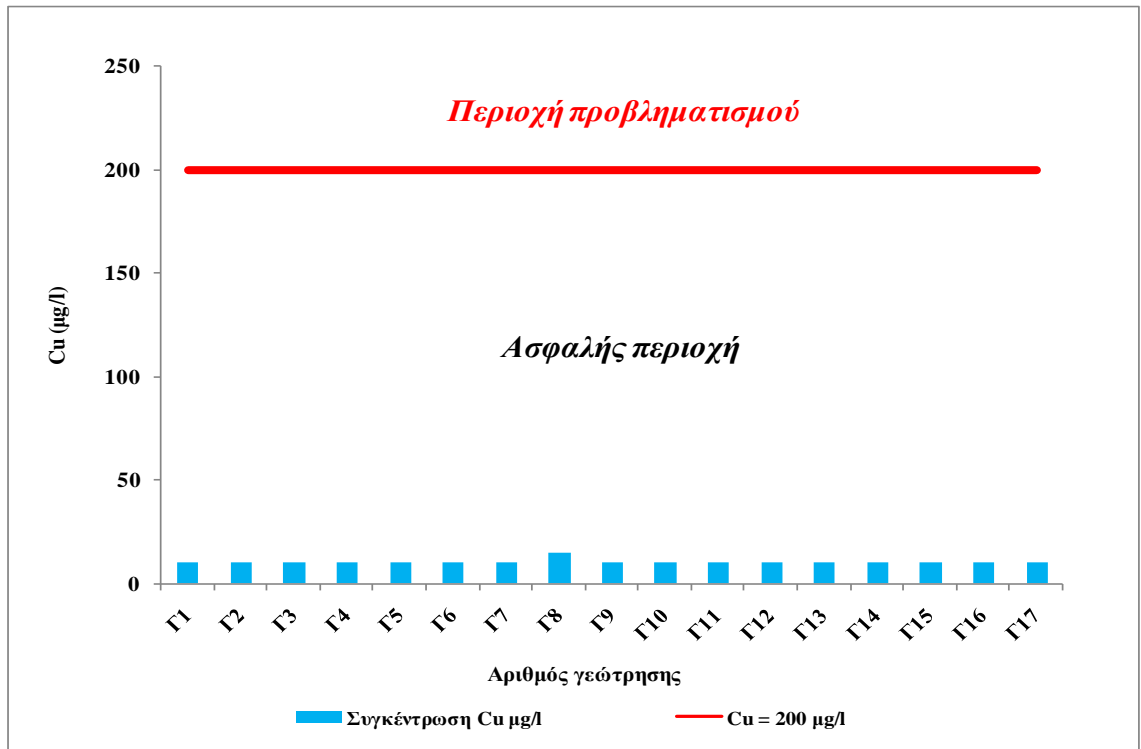
**Διάγραμμα 6.13. Ισαριθμικές καμπύλες συγκέντρωσης As στα νερά 17 αρδευτικών γεωτρήσεων του Δ.Δ Τρίλοφου (1/7/2016-30/07/2016)**



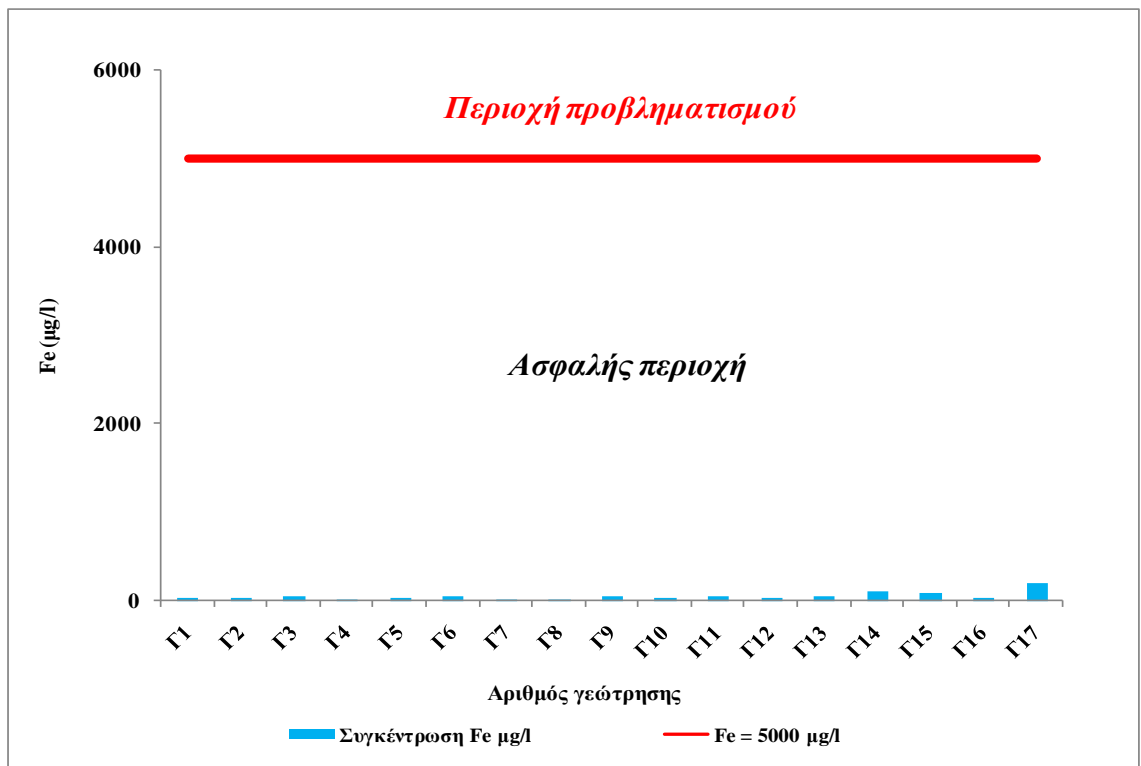
**Ιστόγραμμα 6.16. Κατηγοριοποίηση του κινδύνου των συγκεντρώσεων καδμίου (Cd) που περιέχονται στα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τριλόφου**



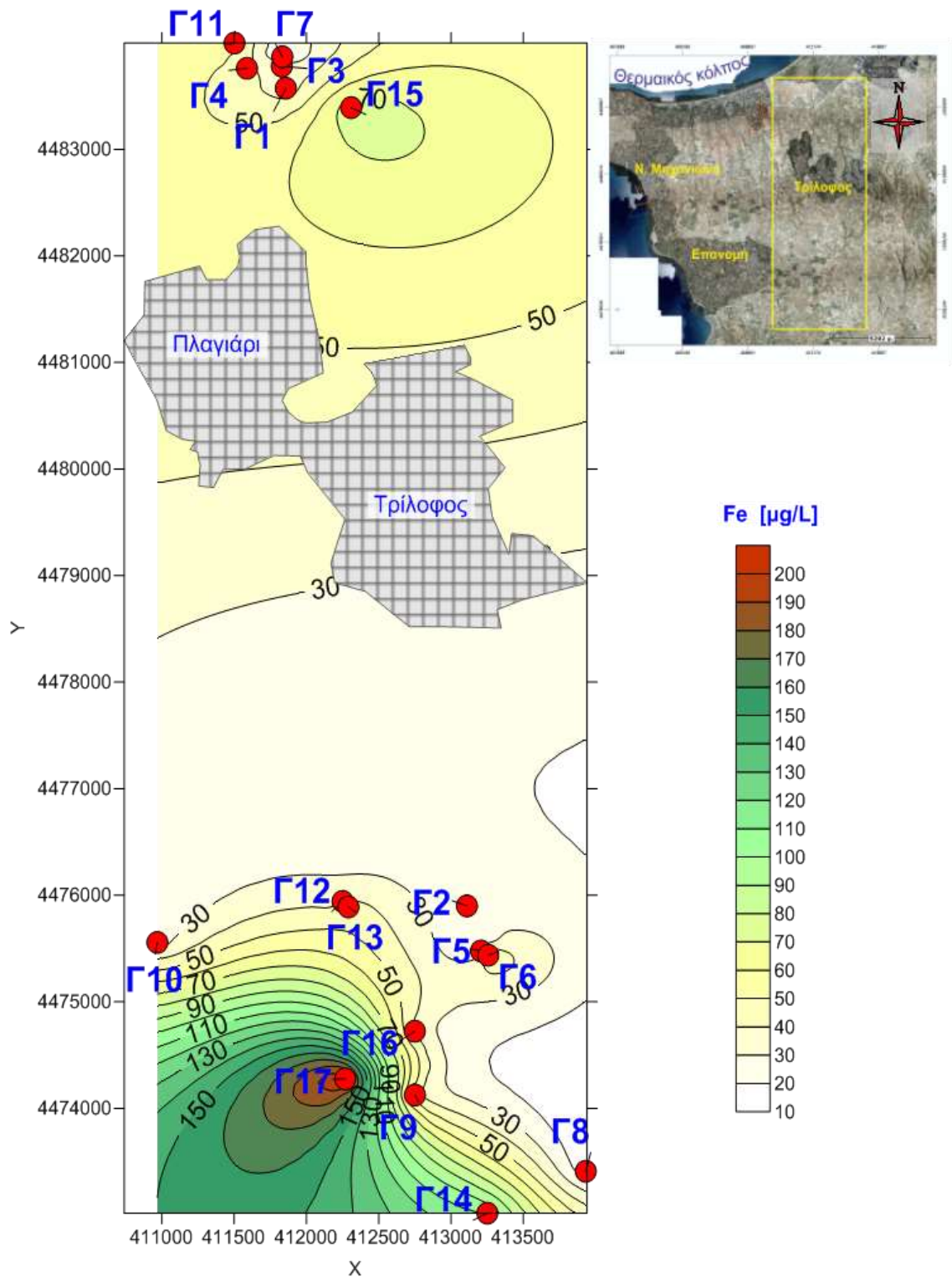
**Ιστόγραμμα 6.17. Κατηγοριοποίηση του κινδύνου των συγκεντρώσεων χρωμίου (Cr) που περιέχονται στα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τριλόφου**



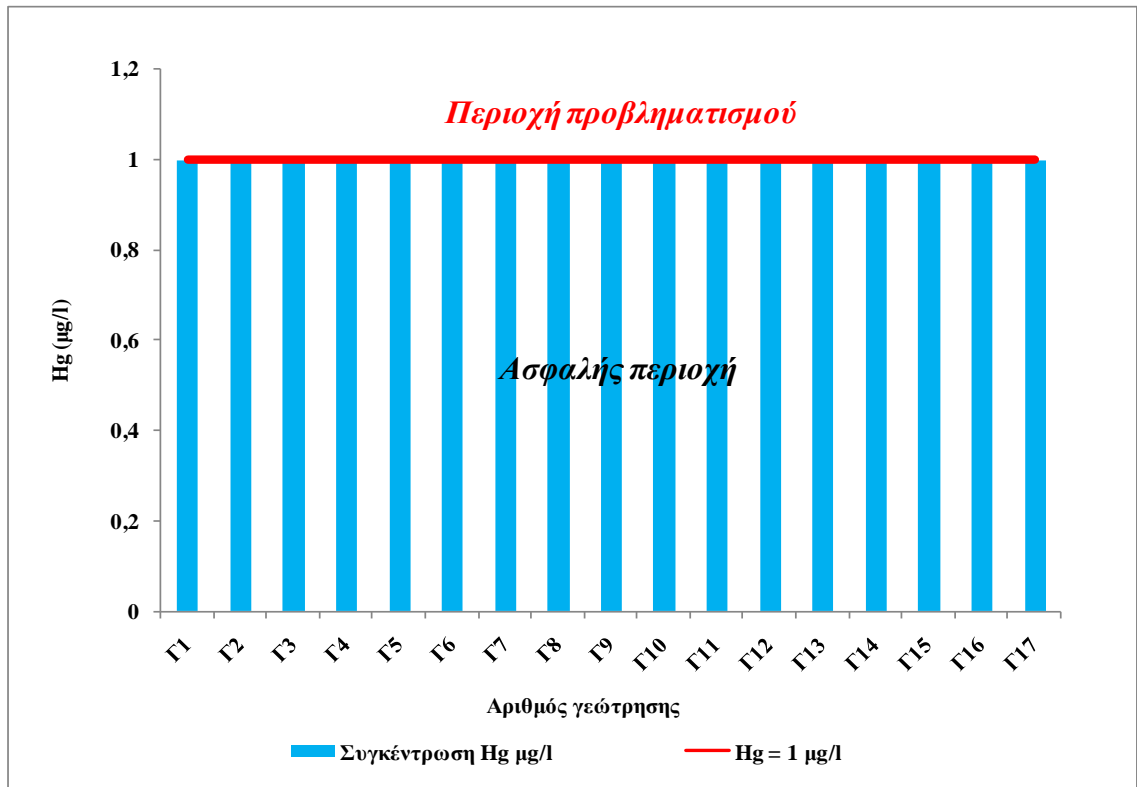
**Ιστόγραμμα 6.18. Κατηγοριοποίηση του κινδύνου των συγκεντρώσεων χαλκού (Cu) που περιέχονται στα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τριλόφου**



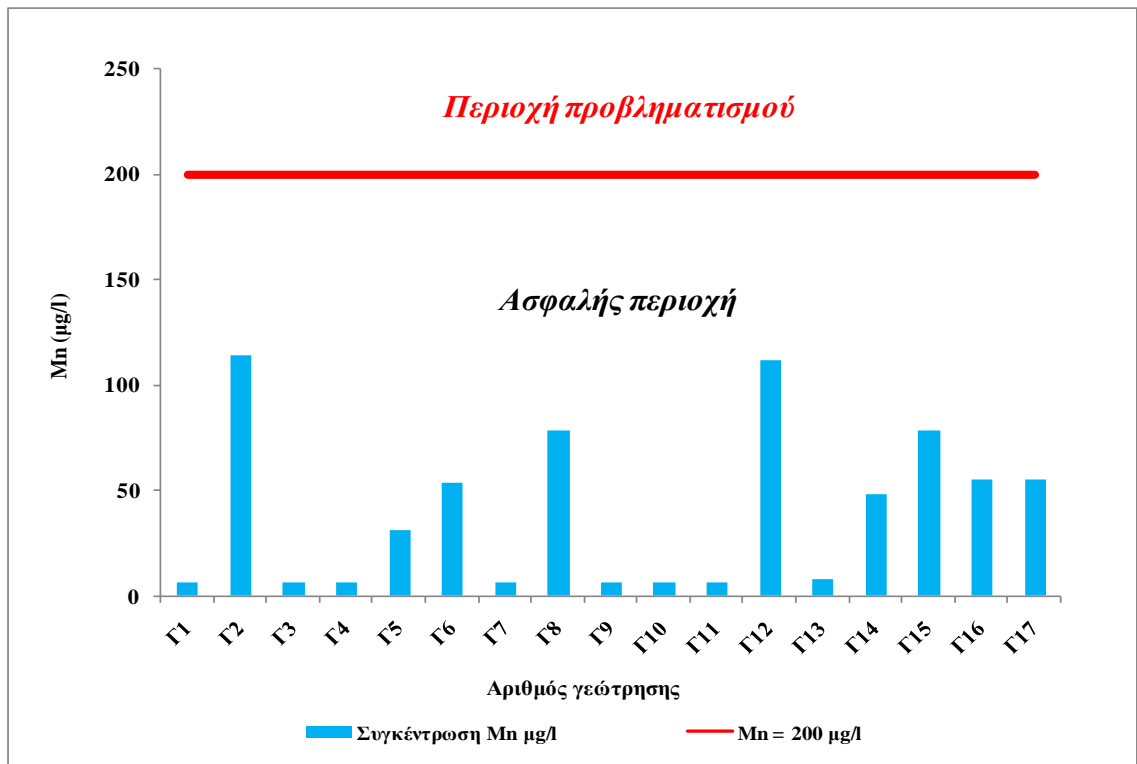
**Ιστόγραμμα 6.19. Κατηγοριοποίηση του κινδύνου των συγκεντρώσεων σιδήρου (Fe) που περιέχονται στα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τριλόφου**



**Διάγραμμα 6.14. Ισαριθμικές καμπύλες συγκέντρωσης Fe στα νερά 17 αρδευτικών γεωτρήσεων του Δ.Δ Τρίλοφου (1/7/2016-30/07/2016)**

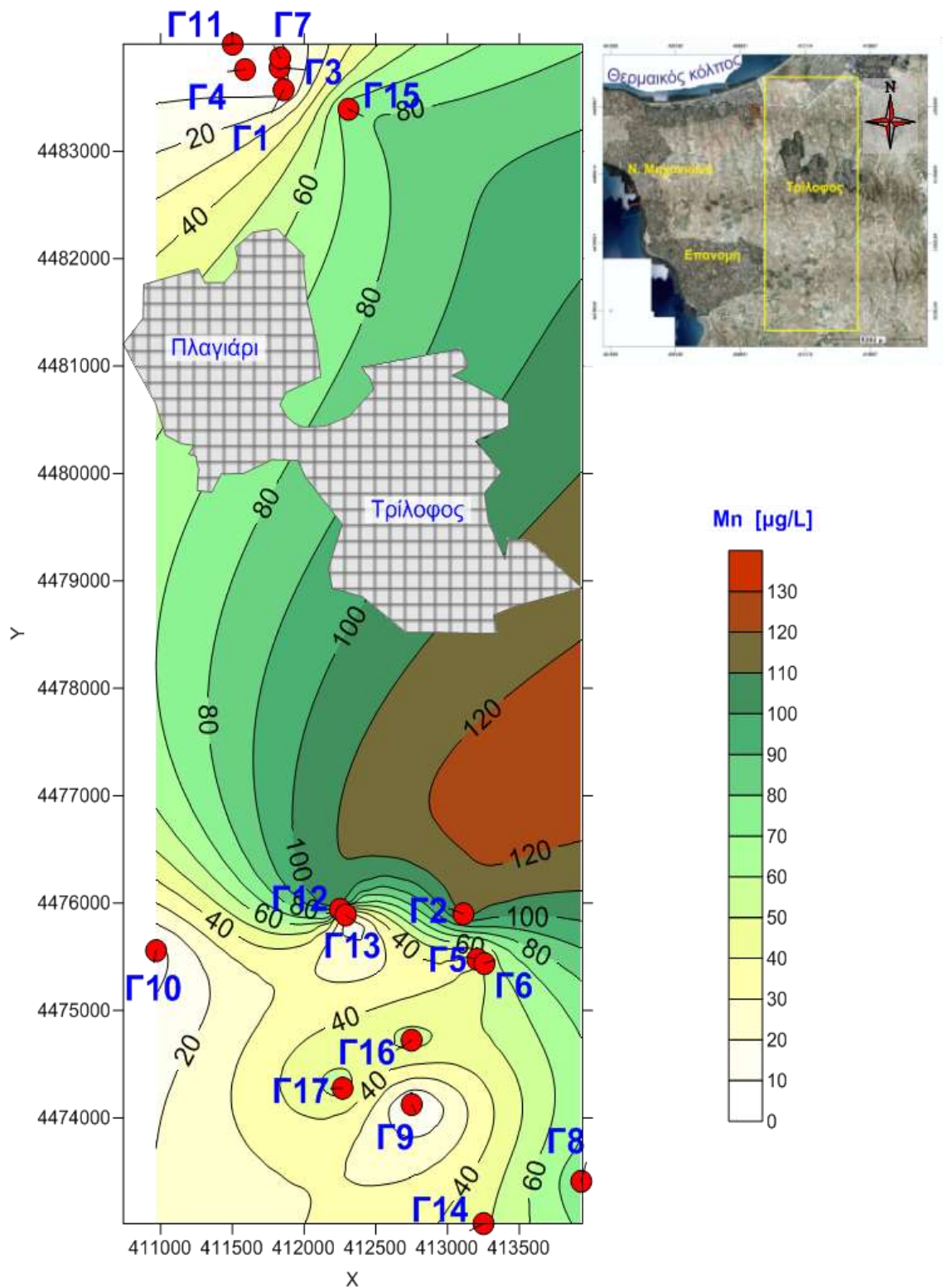


**Ιστόγραμμα 6.20. Κατηγοριοποίηση του κινδύνου των συγκεντρώσεων υδραργύρου (Hg) που περιέχονται στα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τριλόφου**



**Ιστόγραμμα 6.21. Κατηγοριοποίηση του κινδύνου των συγκεντρώσεων μαγγανίου (Mn) που περιέχονται στα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τριλόφου**

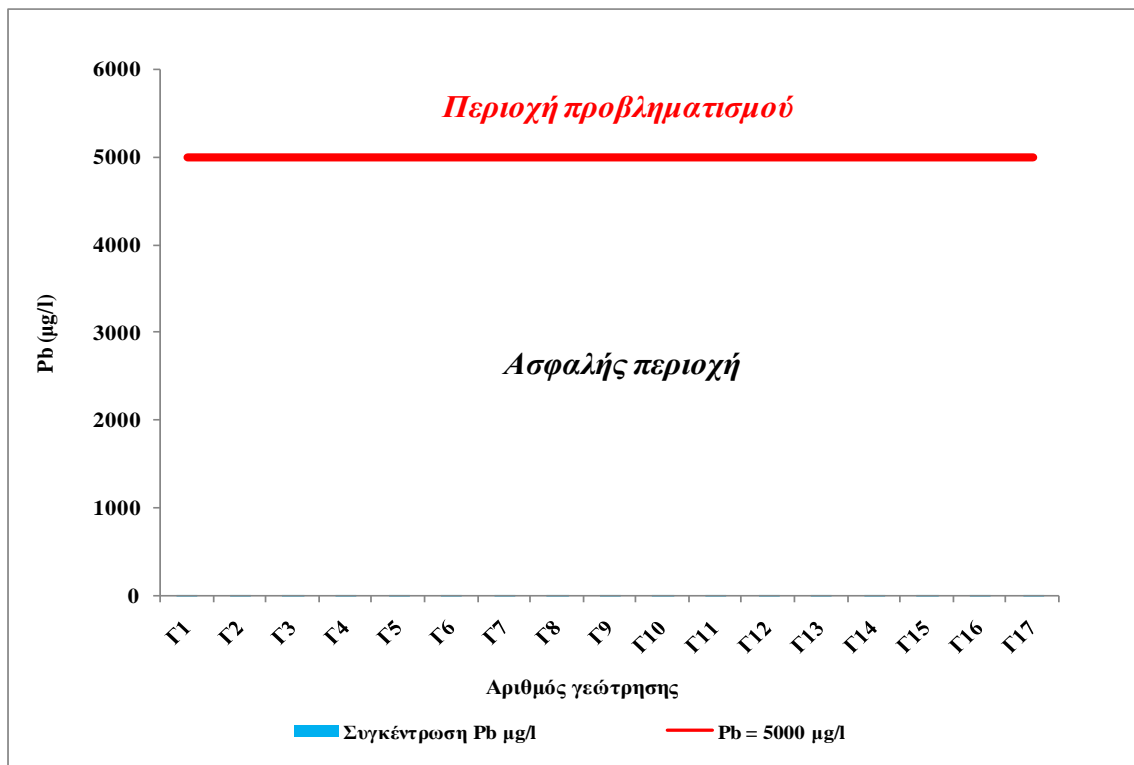




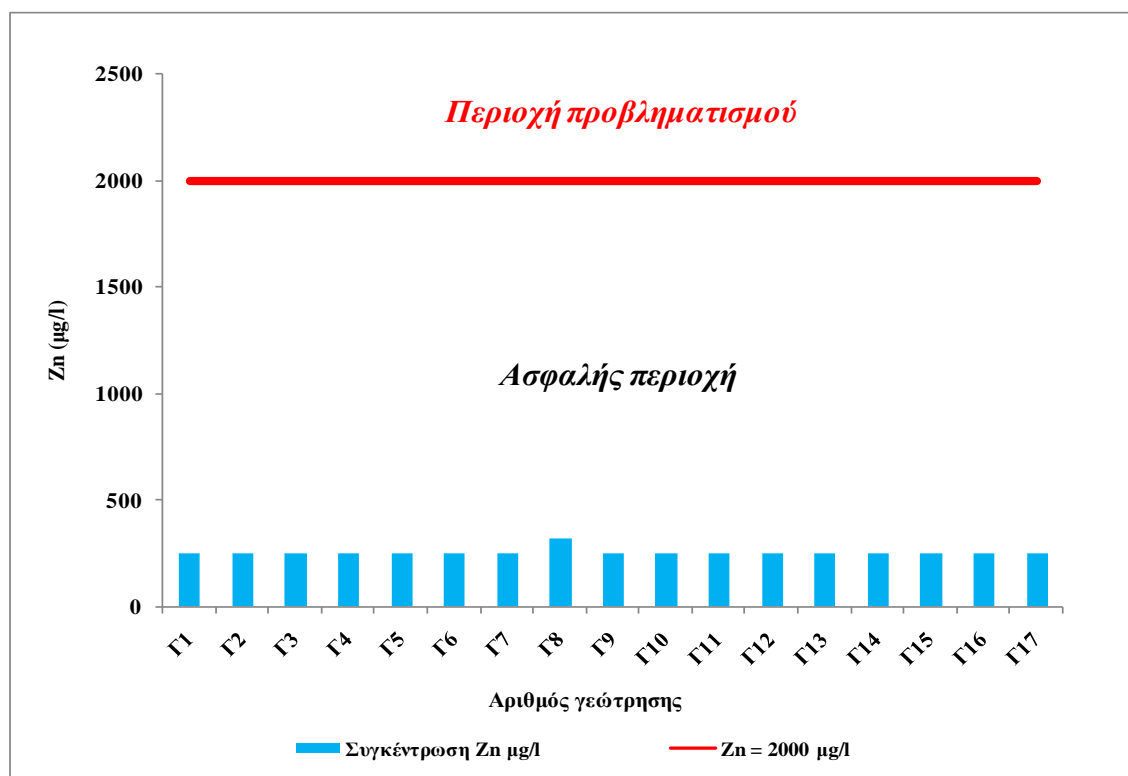
**Διάγραμμα 6.15. Ισαριθμικές καμπύλες συγκέντρωσης Mn στα νερά 17 αρδευτικών γεωτρήσεων του Δ.Δ Τρίλοφου (1/7/2016-30/07/2016)**



**Ιστόγραμμα 6.22. Κατηγοριοποίηση του κινδύνου των συγκεντρώσεων νικελίου (Ni) που περιέχονται στα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τριλόφου**



**Ιστόγραμμα 6.23. Κατηγοριοποίηση του κινδύνου των συγκεντρώσεων μολύβδου (Pb) που περιέχονται στα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τριλόφου**



**Ιστόγραμμα 6.24.** Κατηγοριοποίηση του κινδύνου των συγκεντρώσεων ψευδαργύρου (Zn) που περιέχονται στα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τριλόφου

**Πίνακας 6.10.** Συγκεντρώσεις Nt και HCO<sub>3</sub> στα δείγματα νερών 17 αρδευτικών γεωτρήσεων του Δ.Δ. Τριλόφου

A/A και βάθος γεώτρησης	Nt mg/L	HCO <sub>3</sub> mg/L	A/A και βάθος γεώτρησης	Nt mg/L	HCO <sub>3</sub> mg/L
Γ1(46)*	7,43	462	Γ10(200)	3,19	389
Γ2(350)	0,72	861	Γ11(160)	6,09	409
Γ3(180)	15,57	380	Γ12(390)	0,54	330
Γ4(60)	4,48	387	Γ13(260)	1,25	838
Γ5(250)	1,19	590	Γ14(250)	0,54	1134
Γ6(360)	0,62	1142	Γ15(100)	1,65	427
Γ7(80)	12,63	369	Γ16(370)	0,86	1403
Γ8(360)	1,17	1188	Γ17(270)	1,31	402
Γ9(200)	2,06	367			

\* Σε παρένθεση το βάθος της γεώτρησης σε m

Θα πρέπει να επισημανθεί ότι σε ότι αφορά στην κατηγοριοποίηση των συγκεντρώσεων του Hg (Ιστόγραμμα 6.20) το όριο του 1 µg/L που απεικονίζεται στο γράφημα είναι η επιτρεπόμενη μέγιστη συγκέντρωση Hg για το πόσιμο νερό (Φ.Ε.Κ. 892, 2001). Μέγι-

**Πίνακας 6.11. Τιμές TDS και LSI στα δείγματα νερών 17 αρδευτικών γεωτρήσεων του Δ.Δ. Τριλόφου**

A/A και βάθος γεώτρησης	TDS mg/L	LSI	A/A και βάθος γεώτρησης	TDS mg/L	LSI
Γ1(46)*	781	1,92	Γ10(200)	558	1,50
Γ2(350)	1037	1,91	Γ11(160)	557	1,50
Γ3(180)	710	1,81	Γ12(390)	1370	0,96
Γ4(60)	563	1,90	Γ13(260)	1082	2,13
Γ5(250)	710	1,75	Γ14(250)	1293	1,71
Γ6(360)	1434	1,81	Γ15(100)	618	1,69
Γ7(80)	736	1,82	Γ16(370)	1850	2,19
Γ8(360)	1434	2,10	Γ17(270)	639	1,57
Γ9(200)	584	1,77			

\* Σε παρένθεση το βάθος της γεώτρησης σε m

στο όριο για το αρδευτικό νερό δεν υπάρχει. Επίσης, το αποτέλεσμα της χημικής ανάλυσης που δίνει συγκέντρωση  $Hg < 1 \mu g/L$ , σημαίνει ότι στα νερά των 17 γεωτρήσεων του Δ.Δ. Τριλόφου οι συγκεντρώσεις του Hg είναι πολύ μικρότερες του  $1 \mu g/L$ , αλλά δεν είναι ανιχνεύσιμες με τα υφιστάμενα επιστημονικά όργανα.

## 6.4. ΛΟΙΠΟΙ ΚΙΝΔΥΝΟΙ

Στο υποκεφάλαιο αυτό διερευνάται η ύπαρξη ή μη κινδύνων που μπορούν να δημιουργηθούν από το άζωτο (N), τα όξινα ανθρακικά ( $HCO_3$ ) και το pH. Στον Πίνακα 6.10 δίνονται οι τιμές των παραμέτρων αυτών. Σε ότι αφορά στον κίνδυνο έμφραξης των σταλακτήρων, οι συγκεντρώσεις των συνολικών διαλυμένων στερεών (TDS) και του δείκτη κορεσμού Langelier (LSI) (Langelier & Ludwig, 1942) δίνονται στον Πίνακα 6.11. Οι τιμές του pH και οι συγκεντρώσεις των Fe και Mn έχουν ήδη δοθεί στους Πίνακες 6.3, 6.8 και 6.9.

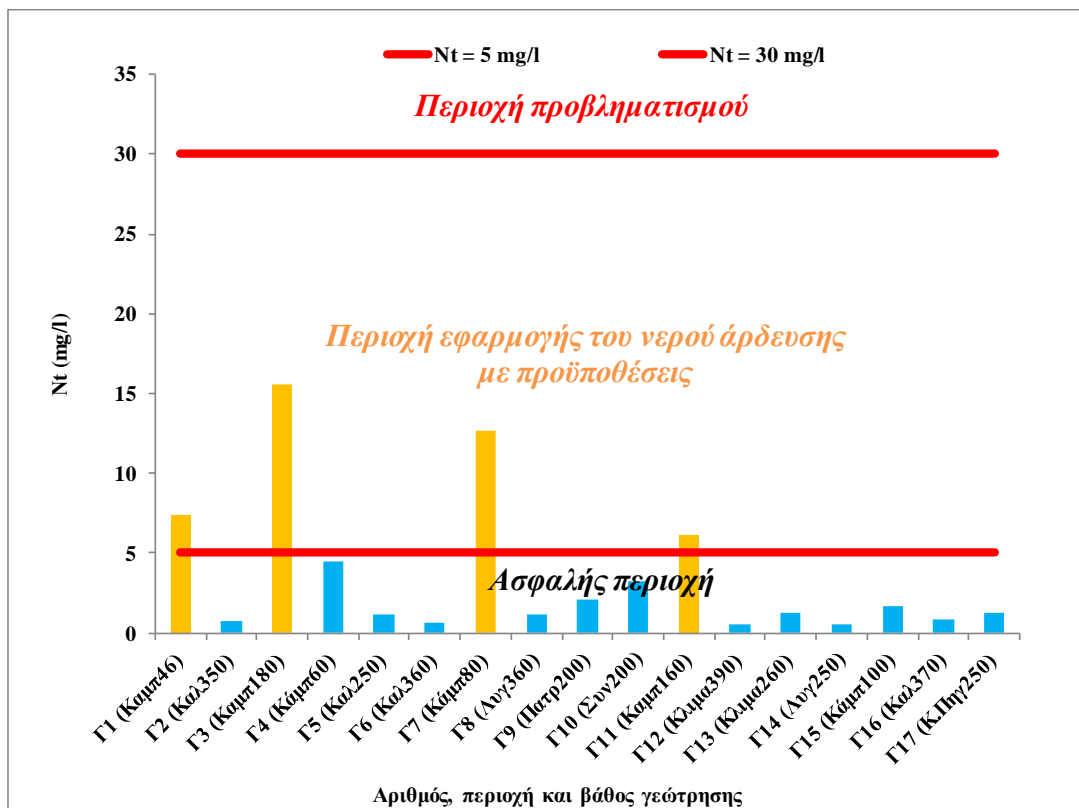
### 8.4.1. Άζωτο

Οι συγκεντρώσεις του αζώτου στα νερά όλων των γεωτρήσεων είναι εξαιρετικά χαμηλές (Πίνακας 6.10) και δεν εγκυμονούν κανένα κίνδυνο τόσο για τα φυτά με την πρόκληση αναβλαστήσεων (τεύτλα) ή υπερβολικής βλάστησης και οψίμισης της παραγωγής όσο και ρύπανσης του περιβάλλοντος. Παρόλα αυτά καλό θα ήταν να λαμβάνεται υπόψη η συγκέντρωση του αζώτου για να μειώνεται ανάλογα η εφαρμοζόμενη από το γεωργό χημική λίπανση. Στο Ιστόγραμμα 6.25 απεικονίζεται

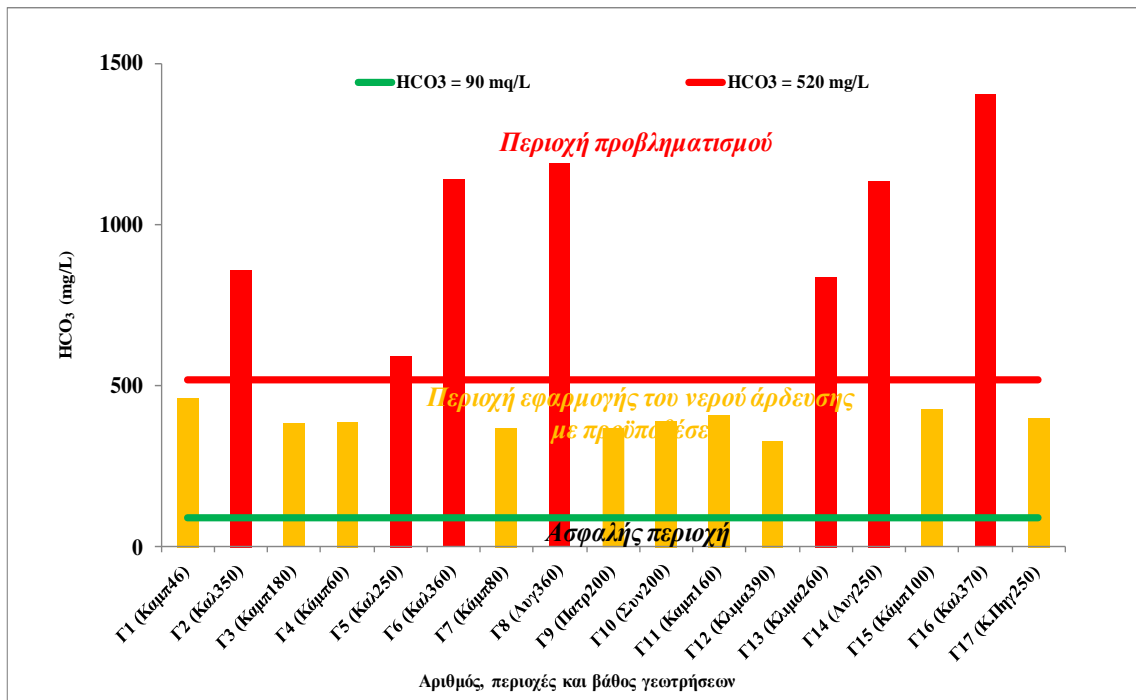
γραφικά η κατηγοριοποίηση του κινδύνου από τις συγκεντρώσεις του αζώτου στα νερά όλων των γεωτρήσεων.

#### 8.4.2. Όξινα ανθρακικά

Τα όξινα ανθρακικά ιόντα έχουν την τάση να σχηματίζουν δυσδιάλυτες ενώσεις με τα ιόντα του  $\text{Ca}^{++}$  και του  $\text{Mg}^{++}$  με αποτέλεσμα τη σχετική αύξηση της συγκέντρωσης του  $\text{Na}^+$ . Επίσης, υπάρχει κίνδυνος δημιουργίας λευκών στιγμάτων σε καρπούς όταν η άρδευση των φυτών γίνεται με καταιονισμό (τεχνητή βροχή) και διαβρέχεται η κόμη των φυτών, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια των θερμών ωρών της ημέρας. Στο Ιστόγραμμα 6.26 και στο Διάγραμμα 6.16 απεικονίζεται γραφικά η κατηγοριοποίηση του κινδύνου από τις συγκεντρώσεις των όξινων ανθρακικών ιόντων στα νερά του αγροκτήματος Τριλόφου. Τα νερά των γεωτρήσεων Γ1, Γ3, Γ4, Γ7, Γ9, Γ10, Γ11, Γ12, Γ15 και Γ17 απαιτούν επαγρύπνηση στην περίπτωση των οπωροφόρων δένδρων. Σε ότι αφορά στις γεωτρήσεις Γ2, Γ5, Γ6, Γ8, Γ13, Γ14 και ιδιαίτερα στη Γ16, οι προαναφερθέντες κίνδυνοι είναι αυξημένοι και συνιστώνται α) νυχτερινές αρδεύσεις β) μπεκ ταχείας περιστροφής γ) αλλαγή μεθόδου άρδευσης στην περίπτωση παραγωγής νωπών καρπών (μήλα, αχλάδια κλπ) και λαχανικών (αγγούρια κλπ).



Ιστόγραμμα 6.25. Κατηγοριοποίηση του κινδύνου των συγκεντρώσεων ολικού αζώτου (Nt) που περιέχονται στα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τριλόφου



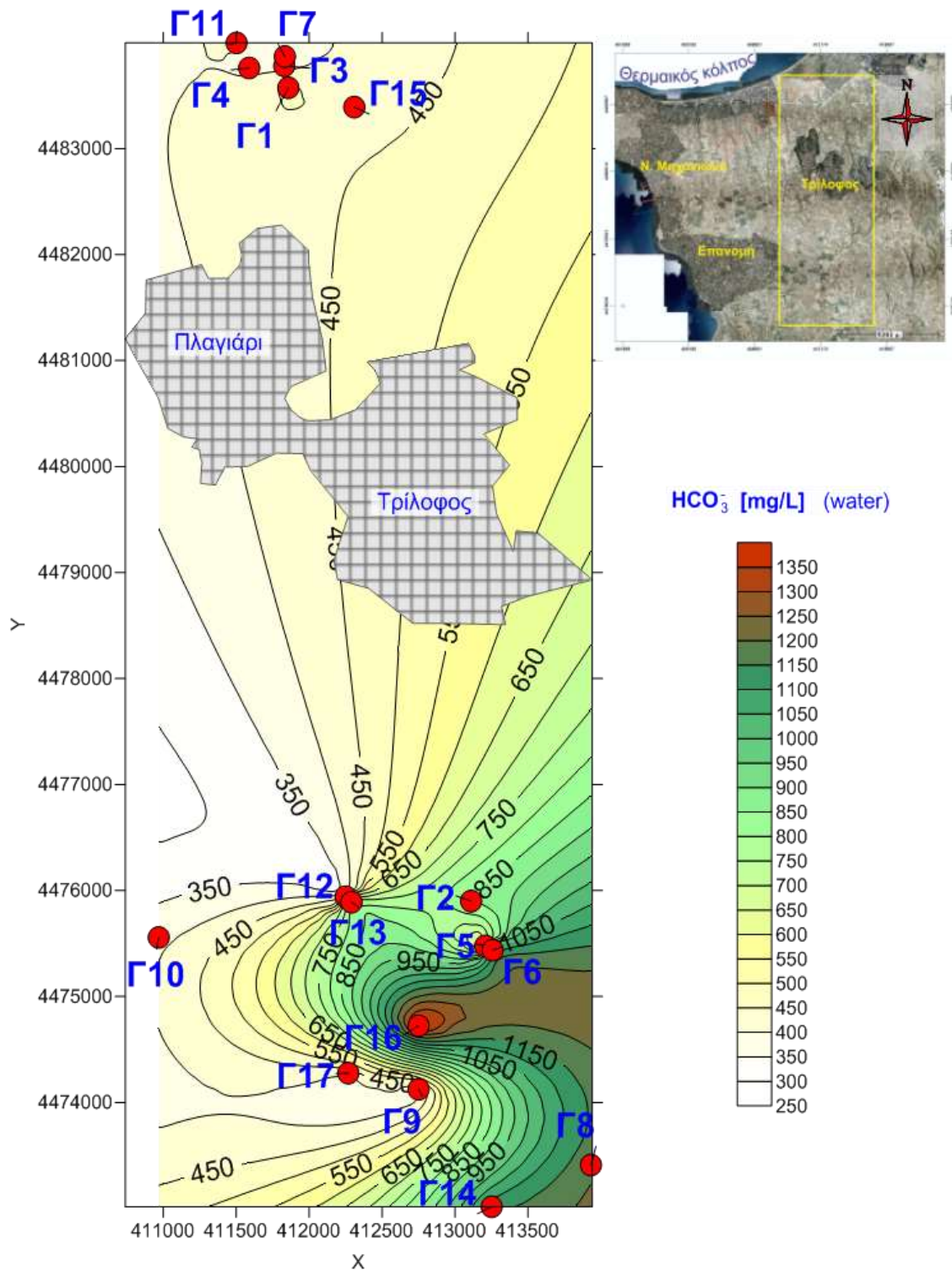
**Ιστόγραμμα 6.26. Κατηγοριοποίηση του κινδύνου των συγκεντρώσεων όξινων ανθρακικών (HCO<sub>3</sub>) που περιέχονται στα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τριλόφου**

#### 6.4.3. Αντίδραση νερών (pH)

Δεν υπάρχει ιδιαίτερο πρόβλημα από το pH των νερών όλων των γεωτρήσεων (Πίνακας 6.3). Θα πρέπει όμως να επισημανθεί ότι όλες οι τιμές του pH (Ιστόγραμμα 6.6) είναι έντονα αλκαλικές και ορισμένες τιμές (γεωτρήσεις Γ4 και Γ16) βρίσκονται πολύ κοντά στη μέγιστη τιμή 8,5. Στις περιπτώσεις αυτές συνιστώνται τα εξής: α) τακτικός έλεγχος του pH των νερών άρδευσης και των εδαφών που αρδεύονται με τα νερά αυτά β) ανάμειξη των νερών αυτών με άλλα μικρότερης τιμής pH γ) παρακολούθηση της πορείας των φυτών δ) χρήση οξινοποιών λιπασμάτων ε) συμβουλή ειδικών επιστημόνων.

#### 6.4.4. Κίνδυνος έμφραξης σταλακτήρων στη στάγδην άρδευση

Σε ότι αφορά στον κίνδυνο έμφραξης των σταλακτήρων, στην περίπτωση της άρδευσης με σταγόνες, θα γίνει κατ' αρχάς μεμονωμένη αξιολόγηση των τιμών των παραμέτρων pH (Πίνακας 6.3), συνολικά διαλυμένα στερεά (TDS, Πίνακας 6.11), σίδηρος (Fe, Πίνακας 6.8), μαγγάνιο (Mn, Πίνακας 6.9), δείκτης κορεσμού του Langelier (LSI, Πίνακας 6.11) των 17 νερών άρδευσης και στη συνέχεια ύστερα από συνεκτίμηση αυτής της αξιολόγησης θα προκύψει η τελική κρίση για πιθανό κίνδυνο έμφραξης ενός συστήματος άρδευσης με σταγόνες.



**Διάγραμμα 6.16. Ισαριθμικές καμπύλες συγκέντρωσης  $\text{HCO}_3^-$  στα νερά 17 αρδευτικών γεωτρήσεων του Δ.Δ Τρίλοφου (1/7/2016-30/07/2016)**

### **Αντίδραση νερού (pH)**

Τα συστήματα άρδευσης με σταγόνες που χρησιμοποιούν τα νερά των γεωτρήσεων Γ6 και Γ10 χρήζουν επαγρύπνησης, ενώ τα νερά των γεωτρήσεων Γ1, Γ2, Γ3, Γ4, Γ5, Γ7, Γ8, Γ9, Γ11, Γ12, Γ13, Γ14, Γ15, Γ16 και Γ17 έχουν αυξημένο κίνδυνο έμφραξης των σταλακτήρων. Η κατηγοριοποίηση του πιθανού κινδύνου έμφραξης των σταλακτήρων λόγω των τιμών του pH των νερών των 17 γεωτρήσεων φαίνεται γραφικά στο Ιστόγραμμα 6.27.

### **Συνολικά διαλυμένα στερεά (TDS)**

Ο κίνδυνος έμφραξης των σταλακτήρων από τη συγκέντρωση των συνολικά διαλυμένων στερεών (TDS) είναι μέτριος με ιδιαίτερη προσοχή στις γεωτρήσεις Γ6, Γ8, Γ12, Γ14 και Γ16. Η κατηγοριοποίηση του πιθανού κινδύνου έμφραξης των σταλακτήρων λόγω των τιμών του TDS των νερών των 17 γεωτρήσεων φαίνεται γραφικά στο Ιστόγραμμα 6.28 και στο Διάγραμμα 6.17.

### **Δείκτης κορεσμού του Langelier (LSI<sub>50</sub>)**

Τα νερά όλων των γεωτρήσεων έχουν κίνδυνο έμφραξης των σταλακτήρων. Η κατηγοριοποίηση του πιθανού κινδύνου έμφραξης των σταλακτήρων λόγω των τιμών του LSI<sub>50</sub> των νερών των 17 γεωτρήσεων φαίνεται γραφικά στο Ιστόγραμμα 6.29 και στο Διάγραμμα 6.18.

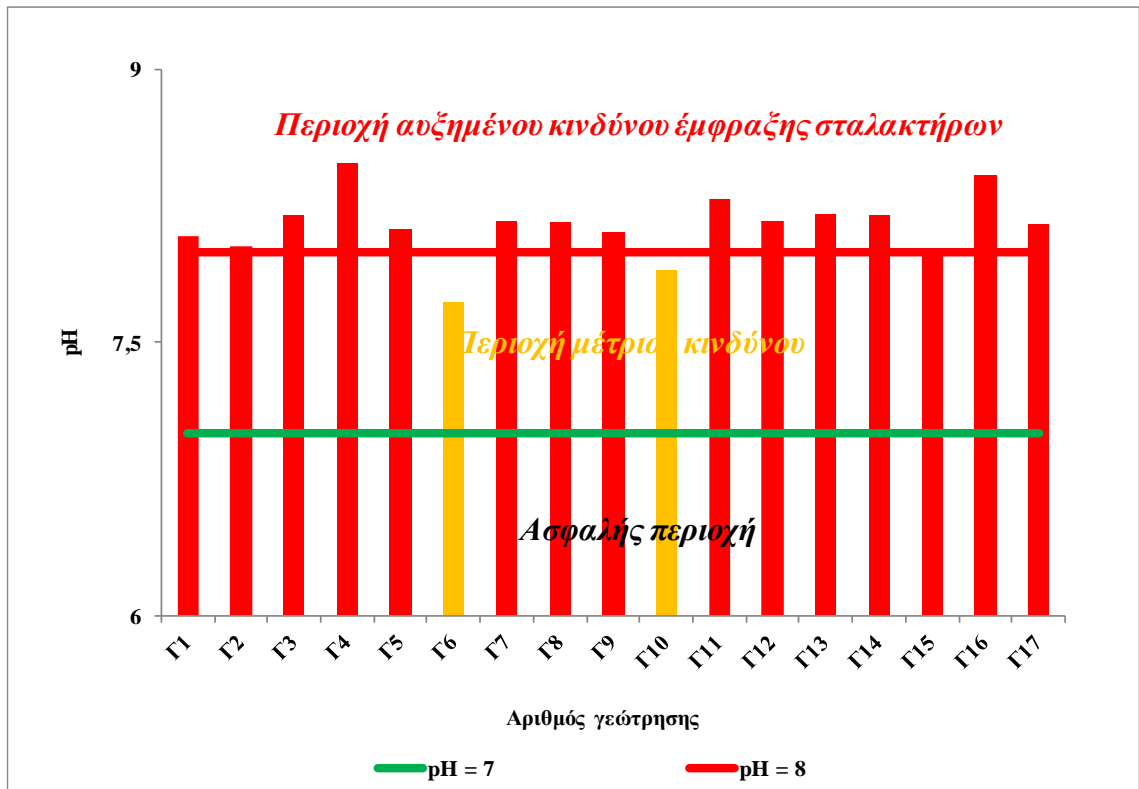
### **Σίδηρος (Fe)**

Δεν υπάρχει κίνδυνος έμφραξης λόγω της συγκέντρωσης του σιδήρου στα νερά όλων των γεωτρήσεων, εκτός από τις γεωτρήσεις Γ14 και Γ17 τα νερά των οποίων χρειάζονται τακτικό έλεγχο και το σύστημα στάγδην άρδευσης απαιτεί παρακολούθηση. Η κατηγοριοποίηση του πιθανού κινδύνου έμφραξης των σταλακτήρων λόγω των συγκεντρώσεων του Fe των νερών των 17 γεωτρήσεων φαίνεται γραφικά στο Ιστόγραμμα 6.30.

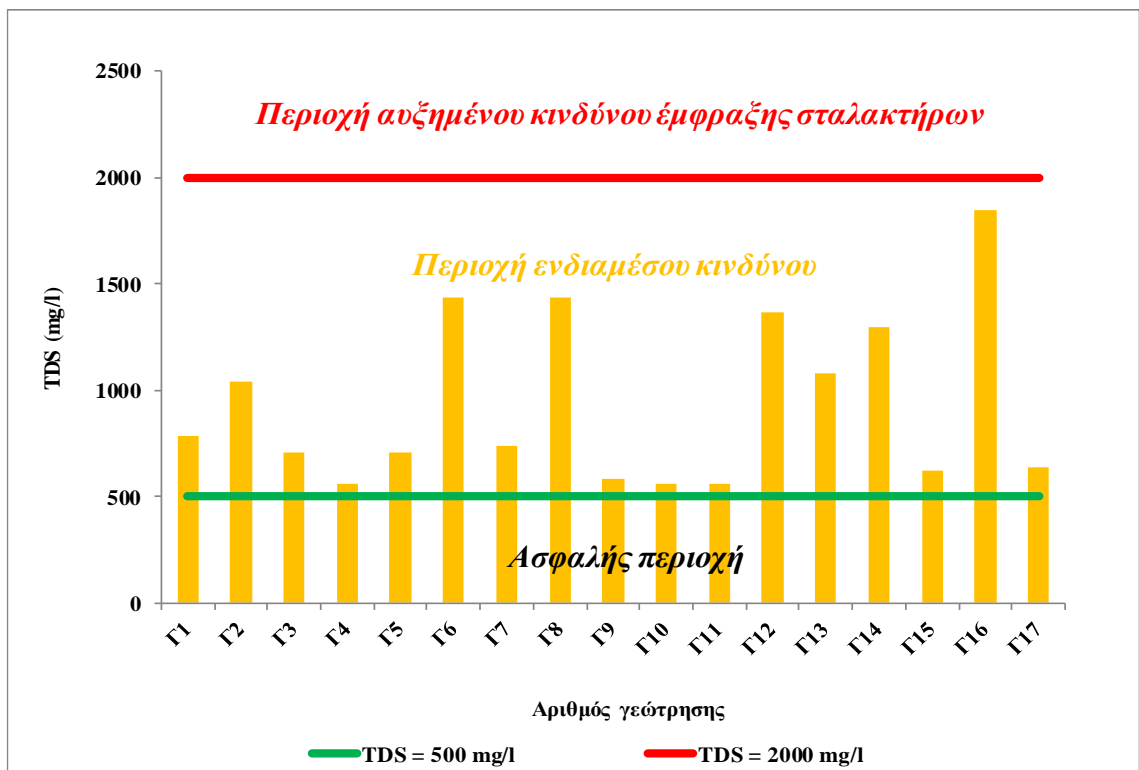
### **Μαγγάνιο (Mn)**

Δεν υπάρχει κίνδυνος έμφραξης λόγω της συγκέντρωσης του μαγγανίου στα νερά όλων των γεωτρήσεων, εκτός από τις γεωτρήσεις Γ2 και Γ12 τα νερά των οποίων χρειάζονται τακτικό έλεγχο και το σύστημα στάγδην άρδευσης απαιτεί παρακολούθηση. Η κατηγοριοποίηση του πιθανού κινδύνου έμφραξης των σταλακτήρων λόγω των συγκεντρώσεων του Mn των νερών των 17 γεωτρήσεων φαίνεται γραφικά στο Ιστόγραμμα 6.31.

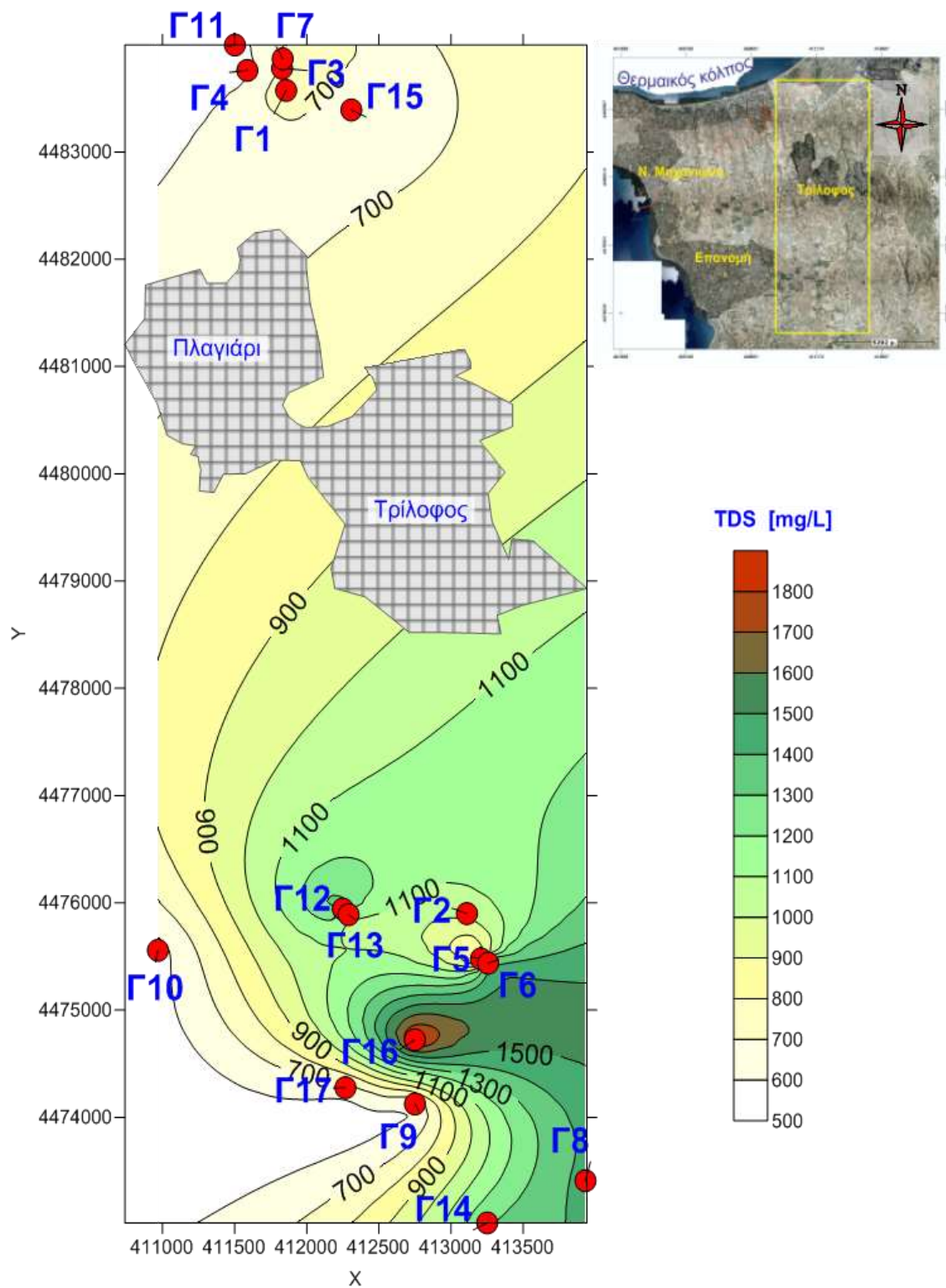




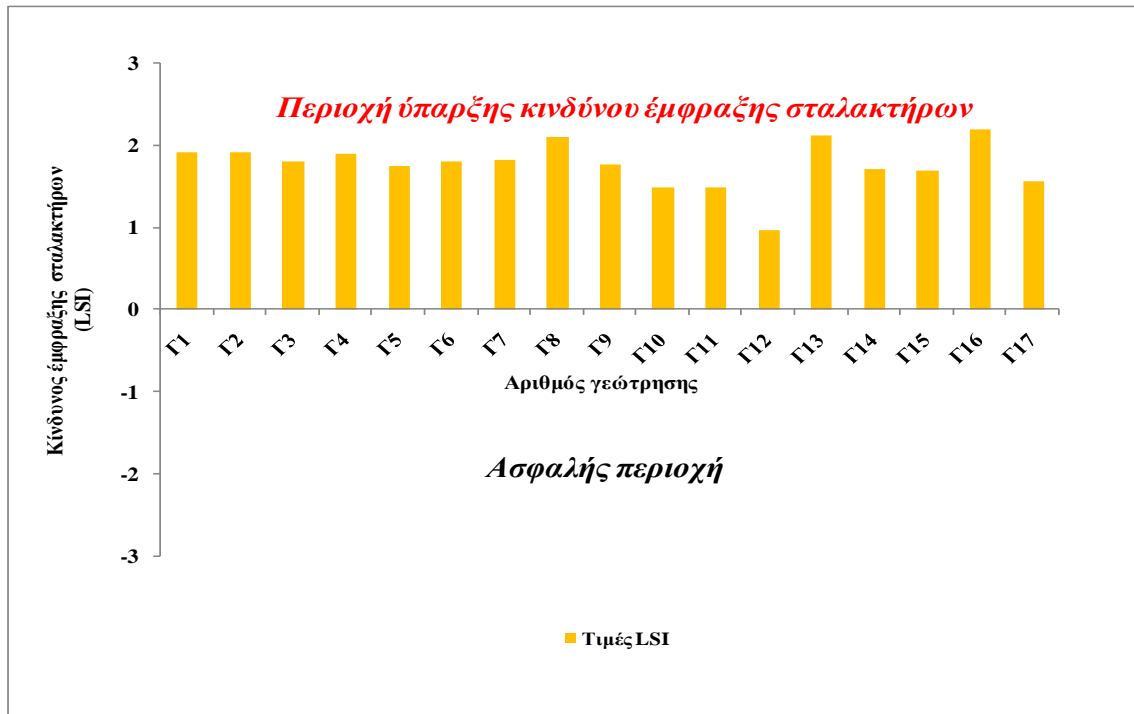
**Ιστόγραμμα 6.27. Κατηγοριοποίηση του κινδύνου έμφραξης των σταλακτήρων με βάση τις τιμές του pH στα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τριλόφου**



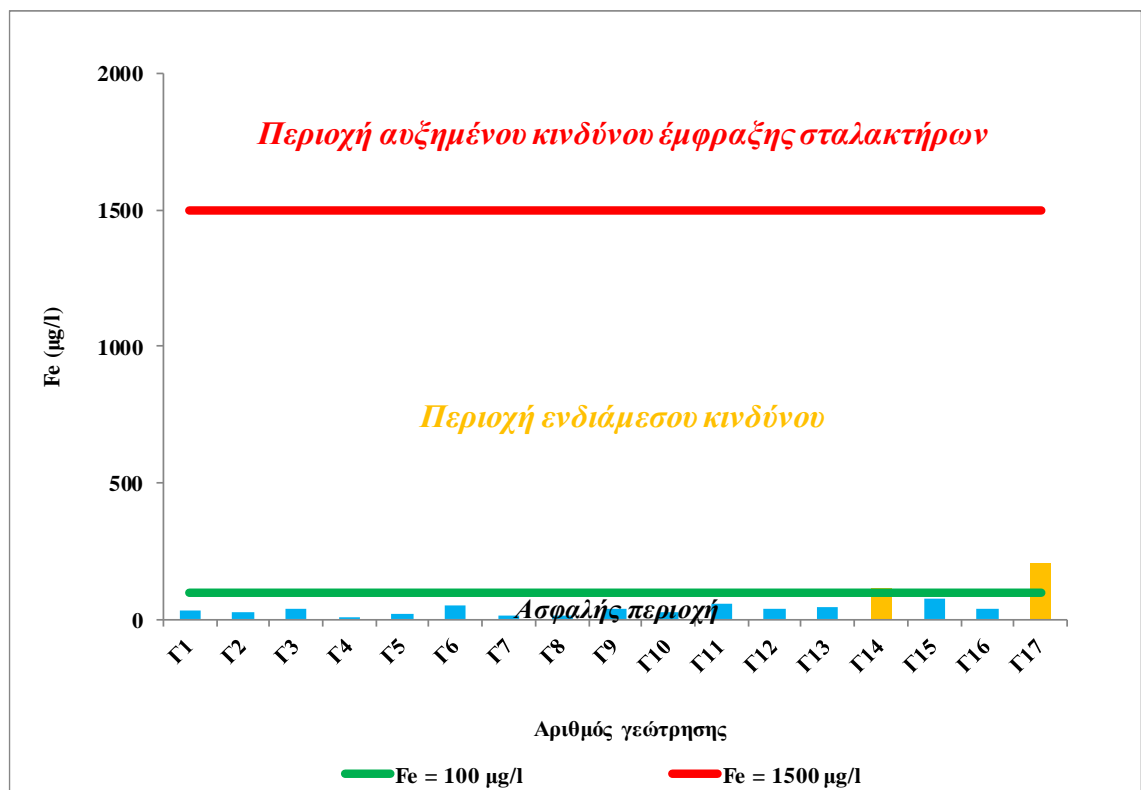
**Ιστόγραμμα 6.28. Κατηγοριοποίηση του κινδύνου έμφραξης των σταλακτήρων με βάση τις συγκεντρώσεις των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) που περιέχονται στα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τριλόφου**



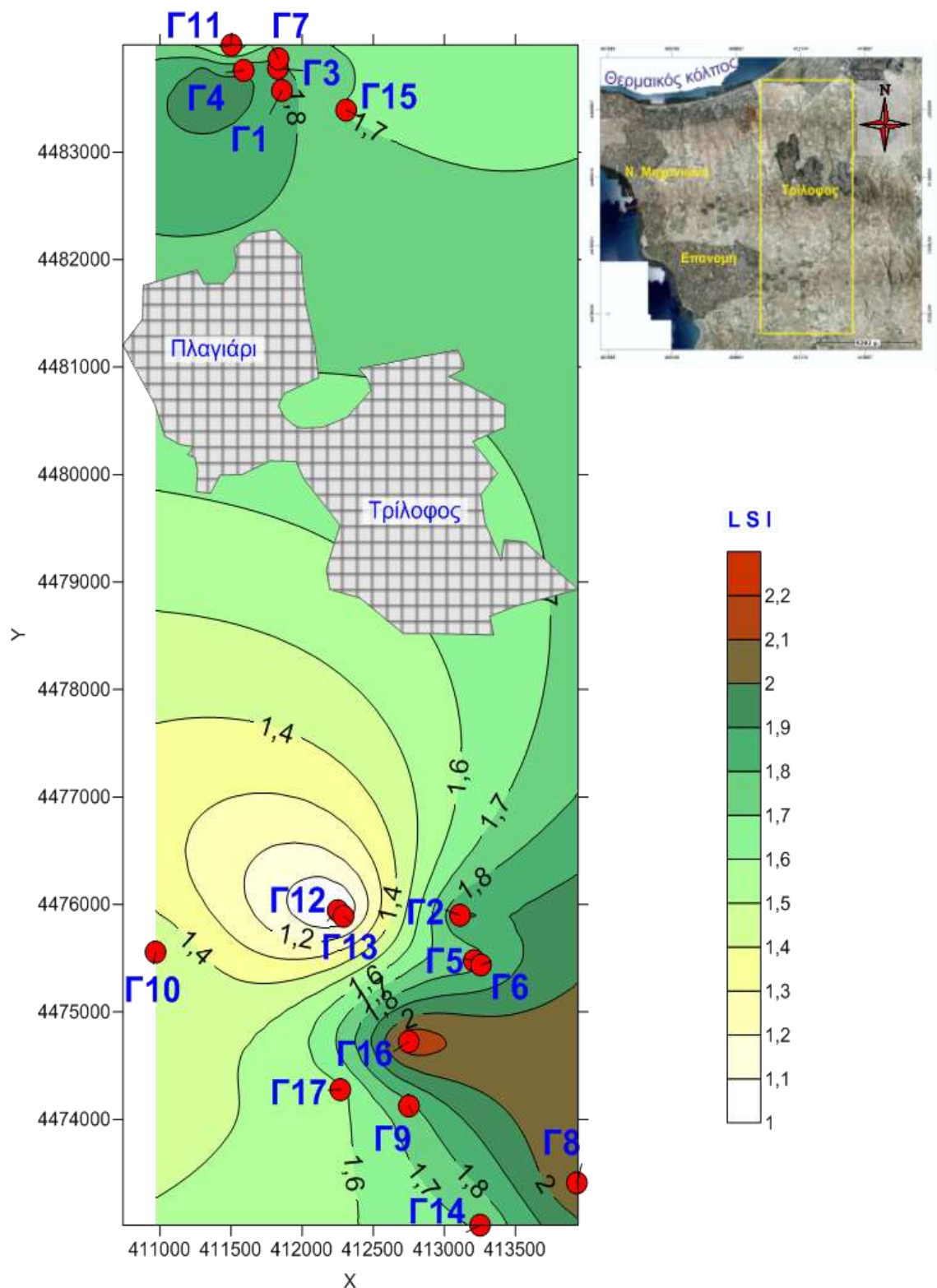
**Διάγραμμα 6.17. Ισαριθμικές καμπύλες συγκέντρωσης TDS στα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τρίλοφου που εκφράζουν την επικινδυνότητα έμφραξης των σταλακτιήρων (1/7/2016-30/07/2016)**



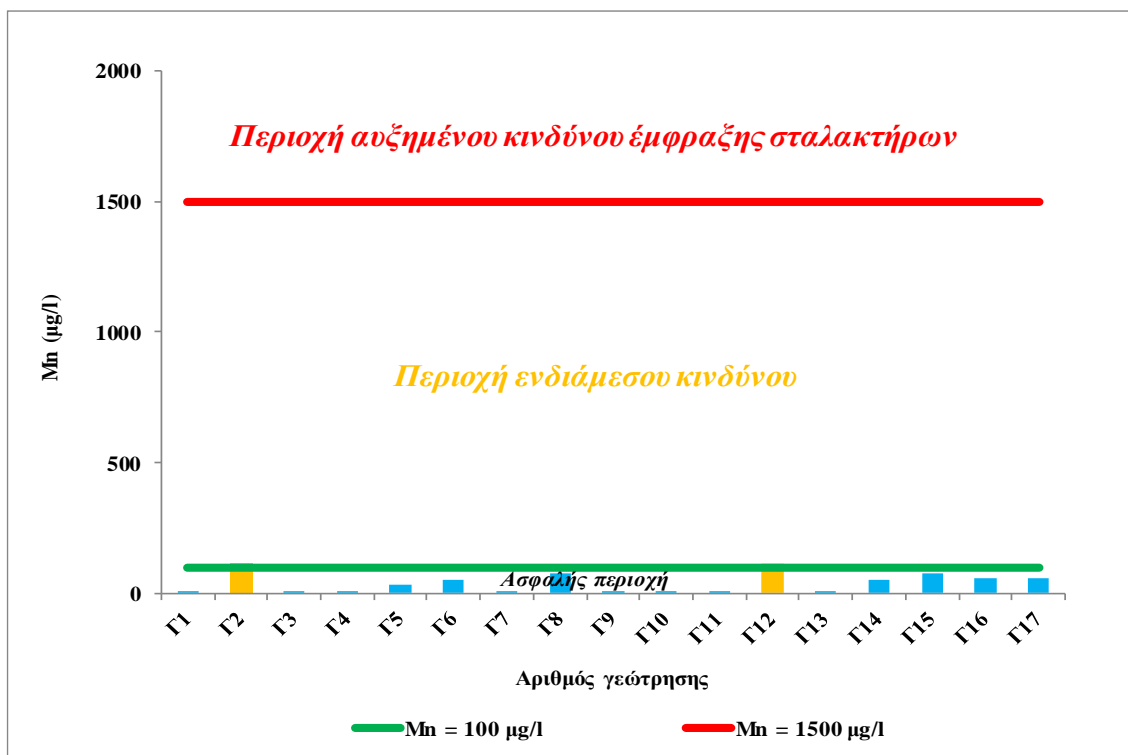
**Ιστόγραμμα 6.29. Κατηγοριοποίηση του κινδύνου εμφραξης των σταλακτήρων με βάση το δείκτη κορεσμού του Langelier (LSI<sub>50</sub>) των υπόγειων νερών του Δ.Δ. Τριλόφου**



**Ιστόγραμμα 6.30. Κατηγοριοποίηση του κινδύνου εμφραξης των σταλακτήρων με βάση τις συγκεντρώσεις σιδήρου (Fe) που περιέχονται στα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τριλόφου**



**Διάγραμμα 6.18.** Ισαριθμικές καμπύλες LSI των υπόγειων νερών του Δ.Δ. Τρίλοφου που εκφράζουν την επικινδυνότητα εμφραξης των σταλακτιών (1/7/2016-30/07/2016)



**Ιστόγραμμα 6.31. Κατηγοριοποίηση του κινδύνου έμφραξης των σταλακτήρων με βάση τις συγκεντρώσεις μαγγανίου (Mn) που περιέχονται στα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τριλόφου**

#### Συνολική αξιολόγηση του κινδύνου έμφραξης σταλακτήρων στη στάγδην άρδευση

Από τις παραπάνω πέντε αξιολογήσεις προκύπτει ότι ο κίνδυνος έμφραξης των σταλακτήρων από τη χρήση των νερών των 17 γεωτρήσεων του Δ.Δ. Τριλόφου στην άρδευση με σταγόνες είναι υπαρκτός και προκειμένου να προληφθεί συνιστάται α) τακτικός εργαστηριακός έλεγχος των παραμέτρων που εγκυμονούν πιθανό κίνδυνο έμφραξης, β) έλεγχος των παροχών των σταλακτήρων, γ) χρήση αραιού υδροχλωρικού οξέος εάν και όταν κριθεί απαραίτητο και δ) συνεργασία με εξειδικευμένους επιστήμονες.

#### 6.5. ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ (W.Q.I.)

Ο υπολογισμός του δείκτη W.Q.I. με τη χρήση των πινάκων είναι μια κοπιαστική διαδικασία και για την περίπτωση μεγάλου αριθμού δειγμάτων νερού προς αξιολόγηση καθίσταται χρονοβόρα. Για τη διευκόλυνση των υπολογισμών απαιτείται ο προγραμματισμός της όλης διαδικασίας και για το λόγο αυτό ενσωματώθηκε στο λογισμικό που παρουσιάζεται στην παρούσα διατριβή.

Ωστόσο, η εύρεση μιας εξίσωσης που να συσχετίζει τις μετρήσεις των ποιοτικών παραμέτρων από την ανάλυση του νερού και το δείκτη W.Q.I. θα ήταν χρήσιμη για τον

άμεσο προσδιορισμό του καθώς και σε προβλήματα βελτιστοποίησης κατά τη διαδικασία ανάμειξης νερών με διαφορετικά ποιοτικά χαρακτηριστικά. Εφαρμόζοντας τη διαδικασία πολλαπλής παλινδρόμησης, μετά από δοκιμές, προέκυψε η εξίσωση:

$$\begin{aligned}
 WQI = & 107.256 - 2.622(EC) - 0.033(Na) - 0.0778(Cl) - 0.0123(HCO_3) \\
 & - 9.594(SAR) - 0.00039(Na)(HCO_3) + 8.37 \times 10^{-5}(Cl)(HCO_3) \\
 & + 6.04 \times 10^{-4}(Cl)(Na) - 0.01863(EC)(HCO_3) + 0.02083(SAR)(HCO_3) \quad (6.1) \\
 & + 0.0161(Na)(SAR) - 0.02377(Na)(EC) + 0.0333(EC)^2(Na) \\
 & - 0.00581(SAR)^2(Cl)
 \end{aligned}$$

όπου οι μονάδες των παραμέτρων είναι EC [mS/cm], Na [mg/L], Cl [mg/L], HCO<sub>3</sub> [mg/L], SAR [meq/L]<sup>1/2</sup>. Ο συντελεστής προσδιορισμού είναι R<sup>2</sup>=0.999 και το τυπικό σφάλμα εκτίμησης SEE=0.023.

Στον Πίνακα 6.12 φαίνονται οι τιμές του δείκτη W.Q.I. όπως υπολογίστηκαν τόσο με τη χρήση πινάκων όσο και με τη χρήση της εξίσωσης 6.1.

**Πίνακας 6.12. Σύγκριση τιμών W.Q.I. υπολογισμένων με χρήση πινάκων και την εξίσωση 6.1**

Κωδικός Γεώτρησης	EC mS/cm	Na mg/l	Cl mg/l	HCO <sub>3</sub> mg/l	SAR (meq/L) <sup>1/2</sup>	W.Q.I. με χρήση πινάκων	W.Q.I. με εξίσωση (6.1)
Γ1	1,2	88,7	121	462	1,7	72,90	72,90
Γ2	1,6	238,9	139,1	861,2	5,5	51,50	51,50
Γ3	1,1	82,7	113	380,4	1,7	76,00	76,01
Γ4	0,9	69,6	65,1	387,3	1,6	79,50	79,49
Γ5	1,2	177,8	84,5	590,2	4,4	61,80	61,80
Γ6	2,2	315,5	174,4	1141,8	6,4	42,30	42,30
Γ7	1,1	84,7	111,3	368,5	1,7	75,90	75,89
Γ8	2,2	388,2	185,7	1187,7	8	38,20	38,20
Γ9	0,9	65,1	58,2	366,7	1,4	80,60	80,59
Γ10	0,9	66,1	58,2	389,1	1,5	80,20	80,22
Γ11	0,9	62,5	60	408,6	1,6	80,20	80,19
Γ12	2,1	123,5	122,1	329,8	3,9	66,20	66,20
Γ13	1,7	272,2	142,1	838,5	6,2	49,40	49,40
Γ14	2	410,7	172,9	1134,3	10,2	37,70	37,70
Γ15	1	70,1	68	427,1	1,5	78,10	78,09
Γ16	2,9	485,8	306,1	1402,6	10,1	24,40	24,40
Γ17	1	68,5	67,3	402,3	1,6	78,40	78,41

Τέλος, στο Διάγραμμα (6.19), γίνεται σύγκριση (1:1) μεταξύ της προτεινόμενης εξίσωσης 6.1 και των υπολογισμένων τιμών W.Q.I. με την υπολογιστική διαδικασία (χρήση πινάκων) που προτείνεται από τους Meireles et al., (2010).



**Διάγραμμα 6.19. Σύγκριση εκτίμησης του W.Q.I. με την εξίσωση (6.1) και τη συνήθη υπολογιστική διαδικασία των Meireles et al. (2010)**

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΓΙΑ ΑΡΔΕΥΤΙΚΗ ΧΡΗΣΗ

Η διερεύνηση της καταλληλότητας των υδατικών πόρων για αρδευτικούς σκοπούς βασίζεται σε σειρά κριτηρίων της διεθνούς βιβλιογραφίας, όπως αυτά επιλέγονται από επιστήμονες με εξειδικευμένες γνώσεις στο θέμα των σχέσεων ποιότητας νερού και πιθανών κινδύνων για διάφορα φυτικά είδη, έδαφος και σύστημα άρδευσης.

Προκειμένου όμως να τυποποιηθεί η προαναφερθείσα διαδικασία διερεύνησης και να είναι δυνατή η εφαρμογή της από επιστημονικό ή τεχνικό προσωπικό με μη εξειδικευμένες γνώσεις δημιουργήθηκαν διαχρονικά διάφορα λογισμικά (Rhoades et al., 1992, Simsek & Cunduz, 2007, Meireles et al., 2010, Spandana et al., 2013).

Στο πλαίσιο της εργασίας αυτής, η διερεύνηση της καταλληλότητας των υπόγειων νερών του Δ.Δ. Τριλόφου που χρησιμοποιούνται στην άρδευση των καλλιεργειών διεύρυνε σημαντικά τις ελεγχόμενες παραμέτρους σε σχέση με τα προαναφερθέντα λογισμικά και επιπλέον δημιουργήθηκε ένα λογισμικό με το όνομα Λ.Α.Κ.Α.Ν. (Λογισμικό Αξιολόγησης Καταλληλότητας Αρδευτικών Νερών) που είναι εύκολο στη χρήση και απαιτεί τις παραμέτρους που δίνονται στον Πίνακα 7.1, εφόσον επιζητείται η πλήρης ποιοτική διερεύνηση των νερών σε ότι αφορά στην καταλληλότητά τους για αρδευτική χρήση. Εάν οι προς διερεύνηση υδατικοί πόροι είναι επεξεργασμένα αστικά λύματα ή νερά ειδικής προέλευσης, τότε εκτός των παραμέτρων του Πίνακα 7.1 απαιτούνται και οι παράμετροι του Πίνακα 7.2.

**Πίνακας 7.1. Παράμετροι εισόδου στο λογισμικό Λ.Α.Κ.Α.Ν. για τη διερεύνηση της καταλληλότητας του αρδευτικού νερού**

Παράμετρος	Παράμετρος	Παράμετρος	Παράμετρος
EC	Νολικό	Al	Hg
pH	K	As	Li
Na	B	Be	Mn
Ca	HCO <sub>3</sub>	Cd	Mo
Mg	CO <sub>3</sub>	Co	Ni
Cl	SO <sub>4</sub>	Cr	Pb
NO <sub>3</sub>	Σκληρότητα	Cu	Se
NO <sub>2</sub>	TSS	F	V
NO <sub>4</sub>	Βακτηριακός πληθυσμός	Fe	Zn

Στην υποενότητα 3 του λογισμικού Λ.Α.Κ.Α.Ν. με τίτλο «Υπολογισμός Ποιοτικών Παραμέτρων», Οθόνη 1, εμφανίζονται οι τιμές των παραμέτρων SAR, RSC, Na%, TDS, LSI<sub>50</sub> όπως αυτές προκύπτουν από τις τιμές των παραμέτρων που έχουν ήδη καταχωρηθεί στην υποενότητα 2 με τίτλο «Αποτελέσματα Χημικών και μικροβιολογικών αναλύσεων»



**Πίνακας 7.2. Πρόσθετες παράμετροι εισόδου στο λογισμικό Λ.Α.Κ.Α.Ν. για τη διερεύνηση της καταλληλότητας των Ε.Α.Λ. ως αρδευτικό νερό**

Παράμετρος	Παράμετρος	Παράμετρος
Υπολειμματικό Cl	Endrin	Οκτυλοφαινόλη [(4-(1,1, 3,3-τετραμεθυλβουτυλική)-φαινόλη)]
E. coli	Isodrin	Πενταχλωροβενζόλιο
BOD <sub>5</sub>	DDT ολικό	Πενταχλωροφαινόλη
TSS	Para-para-DDT	Βενζο(α)πυρένιο
Θολότητα	1,2 Διχλωροαιθάνιο	Βενζο(β)φλουορανθένιο Βενζο(κ)φλουορανθένιο
Alachlor	Διχλωροαιθάνιο	Βενζο(ζ,η,θ)-περιλένιο Ινδενο(1,2,3-γδ)πυρένιο
Ανθρακένιο	Φθαλικόδι (2-αιθυλεξίλιο)- (ΦΔΕΕ-DEHP)	Σιμαζίνη
Ατραζίνη	Diuron	Τετραχλωροαιθυλένιο
Βενζόλιο	Ενδοσουλφάνιο	Τριχλωροαιθυλένιο
Βρωμιούχος διφαινυλαιθέρας	Φλουορανθένιο	Ενώσεις τριβουτυλτίνης (κατιόν)
Ανθρακο- τετραχλωρίδιο	Εξαχλωροβενζόλιο	Τριχλωροβενζόλια (όλα ισομερή)
C10-13 Χλωροαλκάνια	Εξαχλωροβουταδιένιο	Τριχλωρομεθάνιο
Chlorfenvinphos	Εξαχλωροκυκλοεξάνιο	Τριφθοραλίνη
Chlorpyrifos (Chlorpyrifos-ethyl)	Isoproturon	Οξεία τοξικότητα στον οργανισμό δείκτη Daphnia- Magna (πριν από την απολύμανση)
Aldrin	Ναφθαλένιο	
Dieldrin	Εννεύλοφαινόλη (4- εννεύλοφαινόλη)	

Στην υποενότητα 3, Οθόνη 1, εκτός των προαναφερθέντων παραμέτρων, υπολογίζονται και οι δείκτες C-S (U.S.S.L., 1954) και W.Q.I. (Meireles et al., 2010). Η ανάλυση των διαφόρων κατηγοριών του δείκτη C-S παρουσιάζεται στο υποκεφάλαιο 4.4, ενώ του δείκτη ποιότητας νερού W.Q.I. παρουσιάζεται στο υποκεφάλαιο 4.8. Αμφότεροι οι δείκτες χρησιμοποιούνται ευρέως από διάφορους ερευνητές στις ποιοτικές διερευνήσεις των νερών άρδευσης αλλά δεν αξιολογούν τον κίνδυνο των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων, του βορίου, του αζώτου, του pH, του βακτηριακού πληθυσμού, της έμφραξης των σταλακτήρων καθώς και των παραμέτρων E. Coli, BOD<sub>5</sub>, TSS, θολότητα σε ότι αφορά στις εκροές των εγκαταστάσεων επεξεργασίας αστικών λυμάτων. Στη συνέχεια δίνεται ένα παράδειγμα εφαρμογής του λογισμικού προκειμένου να διερευνηθεί η

καταλληλότητα μιας πηγής νερού (γεώτρηση Γ1), όπου στην Οθόνη 7.1 φαί-

File Home Insert Page Layout Formulas Data Review View

**ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ**

**1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ**

<b>Όνοματεπώνυμο :</b>	Πανώρας Ιωάννης	
<b>Δήμος / Νομός :</b>	Θερμαϊκού / Θεσσαλονίκης	
<b>Περιοχή :</b>		
<b>Καλλιέργεια :</b>	Βαμβάκι	
<b>Προέλευση νερού :</b>	Γεώτρηση	

**2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΧΗΜΙΚΩΝ & ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ**

Παράμετρος	Τιμή	Μονάδα	Παράμετρος	Τιμή	Μονάδα
EC =	1,22	mS/cm	Al =		μg/L
pH =	8,1	–	As =	1,54	μg/L
Na =	88,7	mg/L	Be =		μg/L
Ca =	102	mg/L	Cd =	0,05	μg/L
Mg =	56,3	mg/L	Co =		μg/L
Cl =	121	mg/L	Cr =	8,45	μg/L
NO <sub>3</sub> -N =	7,34	mg/L	Cu =	1	μg/L
NO <sub>2</sub> -N =	0,08	mg/L	F =		μg/L
NO <sub>x</sub> -N =	0,01	mg/L	Fe =	33,1	μg/L
N <sub>ολοκ.</sub> =	7,43	mg/L	Hg =	0,05	μg/L
P =	2,5	mg/L	Li =		μg/L
K =	2,91	mg/L	Mn =	1	μg/L
B =	0,13	mg/L	Mo =		μg/L
HCO <sub>3</sub> =	462	mg/L	Ni =	1	μg/L
CO <sub>3</sub> =	0	mg/L	Pb =	1	μg/L
SO <sub>4</sub> =	63,5	mg/L	Se =		μg/L
Σκληρότητα =	487	F°	V =		μg/L
TSS =	50	mg/L	Zn =	0,05	μg/L
Βακτ. Πληθ. =	1000	No/ml			

**3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ**

<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead style="background-color: #ff0000; color: white;"> <tr> <th>Παράμετρος</th> <th>Τιμή</th> <th>Μονάδα</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>SAR =</td><td>1,74</td><td>meq/L<sup>0.5</sup></td></tr> <tr><td>RSC =</td><td>-2,22</td><td>meq/L</td></tr> <tr><td>Na =</td><td>28,10</td><td>%</td></tr> <tr><td>TDS =</td><td>781</td><td>mg/L</td></tr> <tr><td>LSI<sub>10</sub> =</td><td>1,93</td><td>–</td></tr> </tbody> </table>	Παράμετρος	Τιμή	Μονάδα	SAR =	1,74	meq/L <sup>0.5</sup>	RSC =	-2,22	meq/L	Na =	28,10	%	TDS =	781	mg/L	LSI <sub>10</sub> =	1,93	–	<div style="background-color: #ff0000; color: white; padding: 2px; text-align: center; font-weight: bold;">                     Ποιότητα νερού κατά U.S.S.L.                 </div> <div style="background-color: #cccccc; padding: 2px; text-align: center; font-weight: bold;">                     ΙΚΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΗ - ΑΡΙΣΤΗ (C3-S1)                 </div> <div style="background-color: #ff0000; color: white; padding: 2px; text-align: center; font-weight: bold; margin-top: 10px;">                     Δείκτης ποιότητας (Meireles et al. 2010)                 </div> <div style="background-color: #cccccc; padding: 2px; text-align: center; font-weight: bold;">                     W.Q.I. = 72,9                 </div>
Παράμετρος	Τιμή	Μονάδα																	
SAR =	1,74	meq/L <sup>0.5</sup>																	
RSC =	-2,22	meq/L																	
Na =	28,10	%																	
TDS =	781	mg/L																	
LSI <sub>10</sub> =	1,93	–																	

Εκτύπωση

Αν η πηγή νερού είναι επεξεργασμένα αστικά λύματα

Συνεχίστε εδώ

Οθόνη 7.1. Οθόνη εισόδου αποτελεσμάτων χημικών και μικροβιολογικών αναλύσεων στο λογισμικό Λ.Α.Κ.Α.Ν.

νονται οι καταγραφείσες τιμές των παραμέτρων που έδωσε το εργαστήριο. Στην περίπτωση που απαιτείται η αξιολόγηση νερού προερχόμενου από εγκατάσταση επεξεργασίας αστικών λυμάτων εκτός από την καταχώρηση δεδομένων στην Οθόνη 7.1, πρέπει να εισάγονται και τα δεδομένα της Οθόνης 7.2.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΧΗΜΙΚΩΝ & ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ (ΕΠΕΞ. ΑΣΤ. ΛΥΜ.)					
Παράμετρος	Τιμή	Μονάδα	Παράμετρος	Τιμή	Μονάδα
<b>Υπολειμματικό Cl =</b>					
mS/cm					
<b>ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΗ ΑΡΔΕΥΣΗ</b>			<b>ΑΠΕΡΙΟΡΙΣΤΗ ΑΡΔΕΥΣΗ</b>		
E. coli (διάμεση τιμή) =		No/100 mL	E. Coli =		80% δεσγμ. (No/100mL)
BOD <sub>5</sub> =		mg/L	E. Coli =		95% δεσγμ. (No/100mL)
TSS =		mg/L	BOD <sub>5</sub> =		80% δεσγμ. (mg/L)
<b>ΑΣΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΑΣΤΙΚΗ ΧΡΗΣΗ</b>			TSS =		80% δεσγμ. (mg/L)
Ολικά E. Coli =		80% δεσγμ. (No/100mL)	Θολότητα (διάμεση τιμή) =		NTU
Ολικά E. Coli =		95% δεσγμ. (No/100mL)			
BOD <sub>5</sub> =		80% δεσγμ. (mg/L)			
TSS =		80% δεσγμ. (mg/L)			
Θολότητα (διάμεση τιμή) =		NTU			
<b>ΟΥΣΙΕΣ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ</b>					
Alachlor		μg/L	Εξαχλωροβενζόλιο MA		μg/L
Ανθρακένιο		μg/L	Εξαχλωροβουταδιένιο		μg/L
Ατραζίνη		μg/L	Εξαχλωροκυκλοεξάνιο		μg/L
Βενζόλιο		μg/L	Isoprotruron		μg/L
Βρωμιούχος διφαινυλαιθέρας		μg/L	Ναφθαλένιο		μg/L
Ανθρακο-τετραχλωρίδιο		μg/L	Εννεύλοφαινόλη (4-)		μg/L
C10-13 χλωροαλκάνια		μg/L	Οκτυλοφαινόλη [(4-(1,1,3,3-τετραμεθυλοβουτυλική)-φαινόλη)]		μg/L
Chlorfenvinphos		μg/L	Πενταχλωροβενζόλιο		μg/L
Chlorpyrifos-ethyl		μg/L	Πενταχλωροφαινόλη		μg/L
Aldrin		μg/L	Βενζο(α)πυρένιο		μg/L
Dieldrin		μg/L	Βενζο(β)φλουορανθένιο		μg/L
Endrin		μg/L	Βενζο(κ)φλουορανθένιο		μg/L
Isodrin		μg/L	Αθροιστικά=0,33		
DDT ολικό		μg/L	Βενζο(ζ,η,θ)-περιλένιο		μg/L
Papa-papa-DDT		μg/L	Ινδανο(1,2,3-γδ)πυρένιο		μg/L
1,2 Διχλωροαιθάνιο		μg/L	Αθροιστικά=0,02		
Διχλωροαιθάνιο		μg/L	Σιμαζίνη		μg/L
Φθαλικό δι (2-αιθυλεξίλιο)		μg/L	Τετραχλωροαιθυλένιο		μg/L
Diuron		μg/L	Τριχλωροαιθυλένιο		μg/L
Ενδοσουλφάνιο		μg/L	Ενώσεις τριβουτυλτίνης (κατιόν)		μg/L
Φλουορανθένιο		μg/L	Τριχλωροβενζόλια (όλα ισομερή)		μg/L
			Τριχλωρομεθάνιο		μg/L
			Τριφθοραλίνη		μg/L
			Οξεία τοξικότητα στον οργανισμό δείκτη Daphnia Magna (πριν από την απολύμανση)		TU 50

Εκτύπωση

Επιστροφή στην ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Οθόνη 7.2. Οθόνη εισόδου αποτελεσμάτων μικροβιολογικών και χημικών αναλύσεων στο λογισμικό Λ.Α.Κ.Α.Ν. στην περίπτωση των επεξεργασμένων αστικών λυμάτων

Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης της ποιότητας του νερού της γεώτρησης Γ1, δίνονται στις Οθόνες 7.3, 7.4, 7.5 και 7.6.



4/4/2017 10:43

## ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΟΡΘΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

### 1. ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΗ ΑΥΤΗΣ ΣΤΑ ΦΥΤΑ

Ο κίνδυνος αύξησης της αλατότητας του εδάφους από τη χρήση του νερού αυτού για αρδευτικούς σκοπούς είναι μικρός έως μέτριος και αντιμετωπίζεται όταν το έδαφος δέχεται ικανοποιητικές χειμερινές βροχοπτώσεις ή εξασφαλίζεται η έκπλυση των αλάτων και η καλή στράγγιση των εδαφών. Συνιστάται α) ο έλεγχος της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους σε τακτικά χρονικά διαστήματα και β) η διατήρηση της υγρασίας του εδάφους σε ικανοποιητικό επίπεδο μέσω συχνότερων αρδεύσεων με μικρότερες ποσότητες νερού.

Η αλατότητα του νερού άρδευσης δεν επηρεάζει τη διαθεσιμότητα του εδαφικού νερού στα φυτά: κριθάρι, βρώμη, βαμβάκι, ζαχαρότευτλα, σόργο, σιτάρι, σιτάρι σκληρό, σόγια, κτηνοτροφικό μπιζέλι, αράπικο φυστίκι, ρύζι, καλαμπόκι, λινάρι, κουκιά, κολοκυθάκια, κοκκινογούλια, κολοκύθια, μπρόκολα, τομάτα, αγγούρι, σπανάκι, σέλινο, μάπα, πατάτα, γλυκό καλαμπόκι, χουρμαδιά, ελιά, ορισμένα υποκείμενα μηλιάς, γκρέιπφρουτ, πορτοκαλιά, ροδακινιά, βερυκοκιά, αγρόπυρο, βερμούδα, λόλιο, λωτός, φάλαρη, φεστούκα, αγριοκουκιά, σόργο του σουδάν, έλυμος, βίγκνα, σεσμπάνια, σφαιρόφυσα, μηδική, εραγρώστις και επομένως δε μειώνει την απόδοσή τους. Όταν γίνεται χρήση καταιονισμού (τεχνητή βροχή) συνιστώνται καλλιέργειες όπως: βαμβάκι, ζαχαρότευτλα, ηλιάνθος και φράουλα, σόργο, σουσάμι, αγγούρι, αραβόσιτος, μηδική και βρώμη. Παρόλα αυτά καλό είναι να αποφεύγονται οι αρδεύσεις κατά τις θερμές ώρες της ημέρας όλων των φυτών.

### 2. ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΔΙΗΘΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

Δεν υπάρχει κίνδυνος μείωσης της διηθητικότητας των εδαφών από τη χρήση του νερού αυτού.

### 3. ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΝΑΤΡΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

#### i. λόγω SAR

Δεν υπάρχει κίνδυνος νατρίωσης των εδαφών από τη χρήση του νερού αυτού.

#### ii. λόγω Na%

Δεν υπάρχει κίνδυνος νατρίωσης των εδαφών από τη χρήση του νερού αυτού.

#### iii. λόγω RSC

Δεν υπάρχει κίνδυνος νατρίωσης των εδαφών από τη χρήση του νερού αυτού.

Σελίδα 1 από 4

**Οθόνη 7.3. Οθόνη αξιολόγησης κινδύνου αλατότητας, μείωσης της διηθητικότητας και νατρίωσης του εδάφους με το λογισμικό Λ.Α.Κ.Α.Ν.**

**ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΟΡΘΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ****4. ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΤΟΞΙΚΗΣ ΔΡΑΣΗΣ ΣΤΑ ΦΥΤΑ****i. λόγω Νατρίου (άρδευση με ροή)**

Στην περίπτωση της άρδευσης με ροή (αυλάκια-λωρίδες-λεκάνες) υπάρχει μεγάλος κίνδυνος τοξικής δράσης των ιόντων νατρίου λόγω απορρόφησης αυτών από τις ρίζες των φυτών. Συνιστάται α) διατήρηση της εδαφικής υγρασίας σε ικανοποιητικά επίπεδα σε όλη την καλλιεργητική περίοδο β) προσθήκη ασβεστούχων υλικών στο έδαφος γ) επιλογή καλλιεργειών ανθεκτικών σε αυξημένες τιμές ESP (καρότα, τριφύλλι, φεστούκα, μαρούλι, μηδική, λάχανο, βρώμη, κρεμμύδι, ραπανάκι, ρύζι, σίκαλη, λόλιο, σόργο, σπανάκι, τομάτα, κουκιά, σιτάρι, κριθάρι, ζαχαρότευτλα, αγριάδα, βαμβάκι, αγρόπυρο) και δ) συμβουλή εξειδικευμένων επιστημόνων.

**ii. λόγω Νατρίου (άρδευση με καταιονισμό)**

Στην περίπτωση της άρδευσης με καταιονισμό (τεχνητή βροχή) υπάρχει κίνδυνος τοξικής δράσης των ιόντων νατρίου λόγω απορρόφησης αυτών από τα φύλλα. Συνιστάται α) μη διαβροχή του φυλλώματος των καλλιεργειών, ιδίως κατά τις θερμές ώρες τις ημέρες και η υιοθέτηση νυχτερινών ή πρωινών αρδεύσεων β) επιλογή μεθόδου άρδευσης που δε διαβρέχει το φύλλωμα της καλλιέργειας γ) επιλογή καλλιεργειών ανθεκτικών σε αυξημένες συγκεντρώσεις νατρίου (αμπέλι, πιπεριά, τομάτα, μηδική, κριθάρι, καλαμπόκι, αγγούρι, κάρδαμος, σουσάμι, σόργο, κουνουπίδι, βαμβάκι, ζαχαρότευτλα, ηλιάνθος) και δ) συμβουλή εξειδικευμένων επιστημόνων.

**iii. λόγω χλωρίου (άρδευση με ροή)**

Στην περίπτωση της επιφανειακής άρδευσης (αυλάκια-λωρίδες-λεκάνες) δεν υπάρχει κανένας κίνδυνος τοξικής δράσης των ιόντων χλωρίου λόγω απορρόφησης αυτών από τις ρίζες των φυτών.

**iv. λόγω χλωρίου (άρδευση με καταιονισμό)**

Στην περίπτωση της άρδευσης με καταιονισμό (τεχνητή βροχή) υπάρχει κίνδυνος τοξικής δράσης των ιόντων χλωρίου λόγω απορρόφησης αυτών από τα φύλλα. Συνιστάται α) η μη διαβροχή του φυλλώματος των καλλιεργειών, ιδίως κατά τις θερμές ώρες τις ημέρες και η υιοθέτηση νυχτερινών ή πρωινών αρδεύσεων β) επιλογή μεθόδου άρδευσης που δε διαβρέχει το φύλλωμα της καλλιέργειας γ) επιλογή καλλιεργειών ανθεκτικών σε αυξημένες συγκεντρώσεις χλωρίου (αβοκάντο, φράουλα, μούρα, αμπέλι, πυρηνόκαρπα, εσπεριδοειδή) και δ) συμβουλή εξειδικευμένων επιστημόνων.

**v. λόγω βορίου**

Δεν υπάρχει κίνδυνος τοξικής δράσης του βορίου ακόμη και για τις πολύ ευαίσθητες καλλιέργειες (λεμονιά, βατόμουρο, mahonia aquifolium, photinia X fraseri, xylosma congestum, eleagnus pungens, viburnum tinus, ligustrum japonicum, feijoa sellowiana, euonymus japonica, pittosporum tobira, ilex cornuta, juniperus chnensis, lantana camara, ulmus americana).

**vi. λόγω βαρέων μετάλλων**

<b>Al</b>	
<b>As</b>	Δεν υπάρχει κίνδυνος τοξικής δράσης του As από συνεχή χρήση του νερού άρδευσης. Η φυτοτοξικότητά του ποικίλει σε μεγάλο βαθμό και κυμαίνεται από 12 mg/l για το Sudan grass έως λιγότερο από 0,05 mg/l για το ρύζι.
<b>Be</b>	
<b>Cd</b>	Δεν υπάρχει κίνδυνος τοξικής δράσης του Cd από συνεχή χρήση του νερού άρδευσης. Είναι τοξικό στα φασόλια, παντζάρια, ζαχαρότευτλα και κοκκινόγouλια, όταν η συγκέντρωσή του στο θρεπτικό διάλυμα είναι έως 0,1 mg/l. Συνιστώνται συντηρητικά όρια εξαιτίας της τάσης του να συσσωρεύεται σε φυτικούς ιστούς και εδάφη, σε συγκεντρώσεις που μπορεί να είναι επιβλαβείς για τους ανθρώπους.
<b>Co</b>	

**Οθόνη 7.4. Οθόνη αξιολόγησης κινδύνου τοξικής δράσης ορισμένων στοιχείων του αρδευτικού νερού στα φυτά σύμφωνα με το λογισμικό Λ.Α.Κ.Α.Ν.**

**ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΟΡΘΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ**

<b>Cr</b>	Δεν υπάρχει κίνδυνος τοξικής δράσης του Cr από συνεχή χρήση του νερού άρδευσης. Θεωρείται, όχι πάντα, βασικό στοιχείο στην ανάπτυξη των φυτών. Εξαιτίας της περιορισμένης γνώσης πάνω στη φυτοτοξικότητα, συλλίστανται συντηρητικές συγκεντρώσεις.
<b>Cu</b>	Δεν υπάρχει κίνδυνος τοξικής δράσης του Cu από συνεχή χρήση του νερού άρδευσης. Είναι τοξικό σε αρκετά φυτά, όταν οι συγκεντρώσεις του στο θρεπτικό διάλυμα κυμαίνονται από 0,1 έως 1,0 mg/l.
<b>F</b>	
<b>Fe</b>	Δεν υπάρχει κίνδυνος τοξικής δράσης του Fe από συνεχή χρήση του νερού άρδευσης. Σε αεριζόμενα εδάφη δεν είναι τοξικό για τα φυτά. Μπορεί όμως να συμβάλλει στην οξίνιση των εδαφών και να μειώσει τη διαθεσιμότητα του φωσφόρου και του μολυβδαινίου που είναι σημαντικά στοιχεία για τα φυτά. Άρδευση με καταιονισμό δημιουργεί αποθέσεις σε φυτά, εξοπλισμό και κτίσματα.
<b>Hg</b>	Δεν υπάρχει κίνδυνος τοξικής δράσης του Hg από συνεχή χρήση του νερού άρδευσης.
<b>Li</b>	
<b>Mn</b>	Δεν υπάρχει κίνδυνος τοξικής δράσης του Mn από συνεχή χρήση του νερού άρδευσης. Τοξικό σε διάφορα φυτά σε συγκεντρώσεις από μερικά δέκατα έως μερικά mg/l, αλλά συνήθως μόνο σε όξινα εδάφη.
<b>Mo</b>	
<b>Ni</b>	Δεν υπάρχει κίνδυνος τοξικής δράσης του Ni από συνεχή χρήση του νερού άρδευσης. Τοξικό σε διάφορα φυτά σε συγκεντρώσεις από 0,5 έως 1,0 mg/l. Μειωμένη τοξικότητα σε ουδέτερα ή αλκαλικά pH.
<b>Pb</b>	Δεν υπάρχει κίνδυνος τοξικής δράσης του Pb από συνεχή χρήση του νερού άρδευσης. Σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να προκαλέσει ανάσχεση της αύξησης των φυτικών κυττάρων.
<b>Se</b>	
<b>V</b>	
<b>Zn</b>	Δεν υπάρχει κίνδυνος τοξικής δράσης του Zn από συνεχή χρήση του νερού άρδευσης. Τοξικό σε πολλά φυτά σε μεγάλο εύρος συγκεντρώσεων. Η τοξικότητά του μειώνεται όταν το pH>6 και τα εδάφη είναι καλής δομής ή οργανικά.

**5. ΛΟΠΠΟΙ ΚΙΝΔΥΝΟΙ****i. λόγω αζώτου (N<sub>o</sub>)**

Η συγκέντρωση του αζώτου στο αρδευτικό νερό είναι αξιολογή. Η ποσότητα αυτή προστίθεται συνολικά στο έδαφος κατά τη διάρκεια της αρδευτικής περιόδου και πρέπει να λαμβάνεται υπόψη έτσι ώστε να μειώνεται ανάλογα η εφαρμοζόμενη από το γεωργό χημική λίπανση. Με τον τρόπο αυτό εξοικονομούνται αντίστοιχες ποσότητες χημικών λιπασμάτων και προστατεύονται οι υδάτινοι αποδέκτες από πιθανή ρύπανση και φαινόμενα ευτροφισμού.

**ii. λόγω όξινων ανθρακικών**

Ο κίνδυνος δημιουργίας λευκών στιγμάτων σε καρπούς από τη συγκέντρωση των όξινων ανθρακικών ιόντων στο νερό είναι αυξημένος και εκδηλώνεται όταν η άρδευση των καλλιεργειών γίνεται με καταιονισμό (τεχνητή βροχή) και διαβρέχεται η κόμη των φυτών, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια των θερμών ωρών της ημέρας. Συλλίστανται α) νυχτερινές αρδεύσεις β) μπεκ ταχείας περιστροφής γ) αλλαγή μεθόδου άρδευσης και δ) ανάμειξη νερού με άλλο μικρότερης συγκέντρωσης σε όξινα ανθρακικά. Η δέσμευση ιόντων Ca και Mg του εδάφους εγκυμονεί κίνδυνο μείωσης της περατότητας του εδάφους. Συλλίστανται έλεγχος των SAR και pH εδάφους καθώς και πιθανή προσθήκη ασβεστούχων υλικών ύστερα από συμβουλή εξειδικευμένων

**iii. λόγω pH**

Δεν υπάρχει κανένα πρόβλημα από το pH του νερού αυτού.

**iv. λόγω σκληρότητας**

Υπάρχει κίνδυνος για το έδαφος, το αρδευτικό σύστημα και λευκές αποθέσεις ανθρακικών αλάτων στα φύλλα και στους καρπούς. Συλλίσταται συμβουλή ειδικών επιστημόνων.

**Οθόνη 7.5. Οθόνη αξιολόγησης κινδύνου τοξικής δράσης ορισμένων στοιχείων του αρδευτικού νερού στα φυτά και λοιπών κινδύνων με το λογισμικό Λ.Α.Κ.Α.Ν.**

**ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΟΡΘΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ****6. ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΕΜΦΡΑΞΗΣ ΣΤΑΛΑΚΤΗΡΩΝ****i. λόγω pH**

Υπάρχει μεγάλος κίνδυνος έμφραξης των σταλακτήρων λόγω του pH του συγκεκριμένου νερού στην περίπτωση της άρδευσης με σταγόνες. Συνιστάται η αποφυγή της εγκατάστασης στάγδην άρδευσης. Εάν είναι ήδη εγκατεστημένη, τότε συνιστάται α) έλεγχος των παροχών των σταλακτήρων β) συχνή χρήση αραιού υδροχλωρικού οξέος σε διάλυση με το νερό άρδευσης γ) ανάμειξη του νερού άρδευσης με άλλο χαμηλότερου pH και δ) συμβουλή ειδικών επιστημόνων.

**ii. λόγω TDS**

Ο κίνδυνος έμφραξης των σταλακτήρων λόγω της συγκέντρωσης των διαλυμένων αλάτων στο συγκεκριμένο νερό στην περίπτωση της χρήσης άρδευσης με σταγόνες, είναι μικρός έως μέτριος. Συνιστάται α) έλεγχος των παροχών των σταλακτήρων και β) χρήση αραιού υδροχλωρικού οξέος εάν και όταν κριθεί απαραίτητο.

**iii. λόγω LSI**

Σύμφωνα με την τιμή του δείκτη LSI, υπάρχει κίνδυνος έμφραξης των σταλακτήρων από την απόθεση αλάτων στις σπές εξόδου του νερού άρδευσης. Συνιστάται η αλλαγή της μεθόδου άρδευσης. Εάν υπάρχει ήδη εγκατάσταση στάγδην άρδευσης, τότε συνιστάται α) έλεγχος των παροχών των σταλακτήρων β) χρήση αραιού υδροχλωρικού οξέος σε διάλυση με το νερό άρδευσης γ) ανάμειξη του νερού άρδευσης με άλλο χαμηλότερου pH και δ) συμβουλή ειδικών επιστημόνων.

**iv. λόγω Fe**

Δεν υπάρχει κανένας κίνδυνος έμφραξης των σταλακτήρων από τη χρήση του νερού αυτού λόγω της συγκέντρωσης του Fe σε αυτό.

**v. λόγω Mn**

Δεν υπάρχει κανένας κίνδυνος έμφραξης των σταλακτήρων από τη χρήση του νερού αυτού λόγω της συγκέντρωσης του Mn σε αυτό.

**vi. λόγω TSS****vii. λόγω βακτηριακού πληθυσμού**

Δεν υπάρχει κανένας κίνδυνος έμφραξης των σταλακτήρων από τη χρήση του νερού αυτού λόγω βακτηριακού πληθυσμού σε αυτό.

**7. ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΜΑΚΡΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΟΝ ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΟ ΑΓΡΟ**

Για κάθε 100 κυβ. μέτρα νερού/στρ. προστίθενται στον αγρό 0,743 Kg/στρ. N

Για κάθε 100 κυβ. μέτρα νερού/στρ. προστίθενται στον αγρό 0,25 Kg/στρ. P

Για κάθε 100 κυβ. μέτρα νερού/στρ. προστίθενται στον αγρό 0,291 Kg/στρ. K

**Οθόνη 7.6. Οθόνη αξιολόγησης κινδύνου έμφραξης των σταλακτήρων της στάγδην άρδευσης και υπολογισμού της προσθήκης μακροστοιχείων στο έδαφος με τη χρήση του αρδευτικού νερού με το λογισμικό Λ.Α.Κ.Α.Ν.**

Στο τέλος της Οθόνης 7.6 υπολογίζονται οι ποσότητες των μακροστοιχείων N, P και K που προστίθενται στο έδαφος με την εφαρμογή 100 m<sup>3</sup> αρδευτικού νερού στο στρέμμα. Η πληροφορία αυτή είναι σημαντική γιατί συμβάλλει στην ορθολογική διαχείριση των θρεπτικών αυτών, εξοικονομώντας σημαντικές ποσότητες χημικών λιπασμάτων, εάν οι συγκεντρώσεις αυτών είναι αυξημένες, με αντίστοιχα οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη.

Επισημαίνεται ιδιαίτερος ότι η συνεχής προσθήκη των θρεπτικών αυτών στο έδαφος μέσω του αρδευτικού νερού θα πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη γιατί ενδέχεται να προκαλέσει υπερβολική βλαστική δραστηριότητα σε ορισμένα φυτά (βαμβάκι, ζαχαρότευτλα κλπ) με δυσμενείς επιπτώσεις στην ποσότητα και ποιότητα της παραγωγής.

Η έλλειψη οποιονδήποτε παραμέτρων εισόδου στο λογισμικό Λ.Α.Κ.Α.Ν. δε δημιουργεί πρόβλημα στη δυνατότητα αξιολόγησης της καταλληλότητας ενός υδατικού πόρου για αρδευτική χρήση. Βέβαια, στην περίπτωση αυτή, το λογισμικό αξιολογεί μόνο τις παραμέτρους εκείνες για τις οποίες δίνονται τιμές.



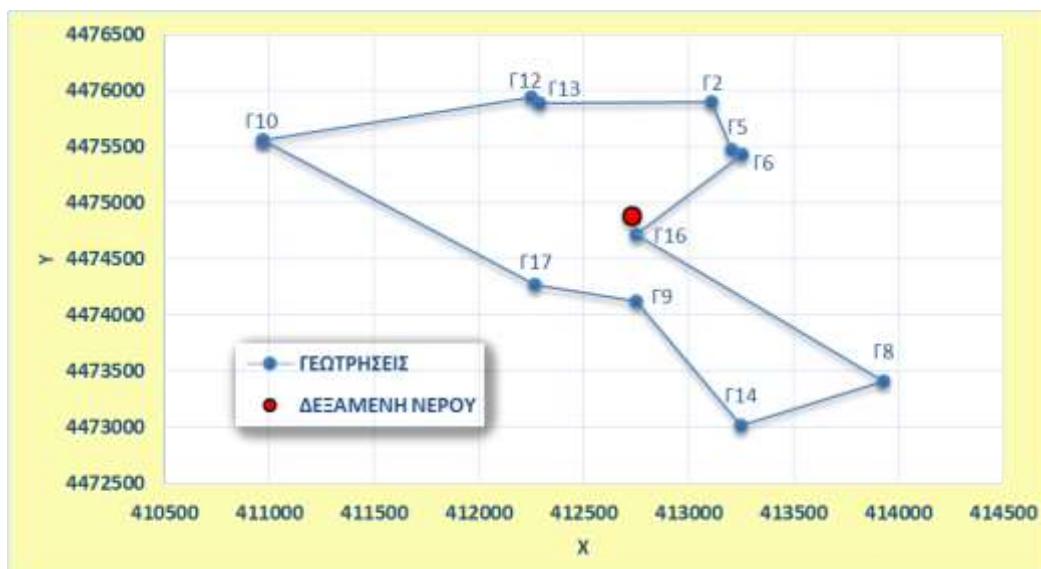
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΣΕΝΑΡΙΑ ΑΝΑΜΕΙΞΗΣ ΝΕΡΩΝ ΤΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕ ΣΚΟΠΟ ΤΗ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

Είναι γνωστό ότι κατά τις περιόδους έντονης λειψυδρίας σε αγροτικές περιοχές, αναζητούνται επικουρικές λύσεις για την άρδευση των καλλιεργειών. Ως πιθανές λύσεις για την αντιμετώπιση του προβλήματος θα μπορούσαν να είναι η ανάμειξη περιορισμένων ποσοτήτων νερών άρδευσης με επεξεργασμένα αστικά λύματα ή με νερά στραγγιστικών δικτύων της περιοχής.

Σε περίπτωση ανάμειξης δύο νερών άρδευσης μπορεί να εφαρμοσθεί η σχέση 8.1 με την οποία υπολογίζεται η αλατότητα του μείγματος ή υπολογίζονται οι ποσότητες νερού που πρέπει να αναμειχθούν για να προκύψει μείγμα νερού επιθυμητής αλατότητας.

$$EC_{WA} \left( \frac{Q_A}{Q_A + Q_B} \right) + EC_{WB} \left( \frac{Q_B}{Q_A + Q_B} \right) = EC_{W \text{ μείγματος}} \quad (8.1)$$

όπου τα γράμματα A και B συμβολίζουν τα προς ανάμειξη νερά, ECw είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα των νερών σε dS/m, και Q<sub>A</sub> και Q<sub>B</sub> είναι οι ποσότητες νερών που αναμειγνύονται. Επειδή στην περιοχή του Δ.Δ. Τριλόφου κύρια πηγή αρδευτικού νερού είναι οι γεωτρήσεις (Διάγραμμα 8.1), πολλές από τις οποίες (Νότια περιοχή του Δ.Δ. Τριλόφου) εμφανίζουν σημάδια ποιοτικής υποβάθμισης, κρίνεται σκόπιμο να εξετασθούν σενάρια ανάμειξης του νερού με εκείνο γειτονικών γεωτρήσεων οι οποίες διαθέτουν καλύτερης ποιότητας νερό (Πίνακας 8.1).



Διάγραμμα 8.1. Σχετικές θέσεις των γεωτρήσεων στη νότια περιοχή του Δ.Δ. Τριλόφου

**Πίνακας 8.1. Ποιοτικά χαρακτηριστικά των γεωτρήσεων στη Νότια περιοχή του Δ.Δ. Τριλόφου με τις αντίστοιχες παροχές**

Μετα-βλητή $x_j$	Κωδικός Γεώ-τρησης	Βάθος Γεώτρησης (m)	EC <sub>w</sub> (mS/cm)	SAR (meq/L) <sup>1/2</sup>	W.Q.I.	B (mg/L)	Q (m <sup>3</sup> /h)
1	Γ2	350	1,62	5,45	51,5	4,17	60,0
2	Γ5	250	1,23	4,43	61,8	4,00	15,0
3	Γ6	360	2,24	6,37	42,3	6,55	80,0
4	Γ8	360	2,24	8,04	38,2	10,68	35,0
5	Γ9	200	0,91	1,42	80,6	0,27	60,0
6	Γ10	200	0,87	1,49	80,2	0,09	45,0
7	Γ12	390	2,14	3,92	66,2	0,10	50,0
8	Γ13	260	1,69	6,21	49,4	4,68	30,0
9	Γ14	250	2,02	10,22	37,7	9,29	50,0
10	Γ16	370	2,89	10,05	24,4	9,81	70,0
11	Γ17	270	1,00	1,62	78,4	0,23	30,0

Οι διαγραμμισμένες τιμές των παραμέτρων EC και SAR στον Πίνακα 8.1, αντιστοιχούν σε γεωτρήσεις με σχετικά υψηλές τιμές, σύμφωνα με τη μέθοδο κατάταξης των Meireles et al., (2010), τα όρια των οποίων παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.21. Επίσης, στον Πίνακα 8.1 εμφανίζονται με διαγράμμιση οι χαμηλές τιμές του δείκτη ποιότητας νερού άρδευσης W.Q.I. όπου σύμφωνα με τον Πίνακα 4.23 απεικονίζουν νερά που πρέπει να χρησιμοποιούνται με ιδιαίτερη προσοχή. Όσον αφορά στις υψηλές τιμές του B, αυτές εμφανίζονται στις διαγραμμισμένες αντίστοιχες στήλες του Πίνακα 8.1.

Προκειμένου να μετριαστούν οι επιπτώσεις από τη χρήση των συγκεκριμένων γεωτρήσεων, εξετάζεται η δυνατότητα ανάμειξης των νερών όμορων γεωτρήσεων (Διάγραμμα 8.1). **Το πρόβλημα συνίσταται στην επιλογή εκείνων των γεωτρήσεων που θα μπορούσαν να συνεισφέρουν μέρος ή το σύνολο της παροχής τους ώστε το νερό που θα προκύψει μετά την ανάμειξη να έχει βελτιωμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά και να ελαχιστοποιηθούν οι αρνητικές επιπτώσεις στις καλλιέργειες και στο έδαφος.** Για την ανάμειξη των νερών θα πρέπει να κατασκευαστεί μια δεξαμενή σε κεντρική θέση της περιοχής όπου βρίσκονται οι γεωτρήσεις.

Για ανάμειξη νερών περισσότερων των δύο γεωτρήσεων με διαφορετικές συγκεντρώσεις ιόντων, υπό σταθερές συνθήκες, η αναμενόμενη τιμή της συγκέντρωσης υπολογίζεται από τη σχέση 8.2.

$$C_{mix} = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i \cdot C_i)}{\sum_{i=1}^n Q_i} \quad (8.2)$$

όπου:  $C_{mix}$  είναι η τελική σταθμισμένη τιμή της συγκέντρωσης μετά την ανάμειξη των νερών,  $Q_i$  είναι η παροχή της γεώτρησης  $i$ ,  $C_i$  είναι η συγκέντρωση μιας ουσίας ή η τιμή μιας ποιοτικής παραμέτρου στο νερό της γεώτρησης  $i$  και  $n$  είναι ο μέγιστος αριθμός των γεωτρήσεων.

Για τη διερεύνηση της δυνατότητας ανάμειξης νερών γεωτρήσεων με διαφορετικά ποιοτικά χαρακτηριστικά στην περιοχή μελέτης, χρησιμοποιείται η μέθοδος του **Γραμμικού Προγραμματισμού**. Η μέθοδος αναπτύχθηκε κατά τα μέσα του 20<sup>ου</sup> αιώνα και έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλούς επιστημονικούς τομείς για την ανεύρεση βέλτιστων λύσεων κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις και συνθήκες. Μεταξύ των πεδίων εφαρμογής της μεθόδου συγκαταλέγεται και η διαχείριση των υδατικών πόρων. Σχετικές μελέτες αναφέρονται στις εργασίες των Lynn et al., (1962), Deininger, (1965), Bear, (1979), Tzimopoulos & Ginidi, (2005). Επίσης, στις εργασίες των Smith, (1966), Shamir, (1974), Alperovits & Shamir, (1977), Stephenson, (1981), Morgan & Goulter, (1985), Fujiwara, (1987), Ιωαννίδης, (1992), Θεοχάρης, (2004), Κανάκης, (2010) παρουσιάζονται λύσεις σε προβλήματα μεταφοράς και διανομής νερού σε δίκτυα σωληνωτών αγωγών. Στοιχεία της θεωρίας του γραμμικού προγραμματισμού αναφέρονται με λεπτομέρεια σε πληθώρα συγγραμμάτων, μεταξύ των οποίων: Hadley, (1972), Μάνος, (1991), Hillier & Lieberman, (1995), Bertsimas & Tsitsiklis, (1997), Βασιλείου κ.ά., (2001), Dantzig & Thapa, (1997, 2003).

Σκοπός της εφαρμογής του Γραμμικού Προγραμματισμού στο συγκεκριμένο πρόβλημα είναι η διερεύνηση της δυνατότητας ανάμειξης των νερών των 11 γεωτρήσεων του Πίνακα 8.1, ώστε η υποβαθμισμένη ποιότητα νερού των έξι γεωτρήσεων (**Γ2, Γ6, Γ8, Γ13, Γ14, Γ16**) να βελτιωθεί και να μπορεί να χρησιμοποιείται χωρίς περιορισμούς τουλάχιστον στις μετρίως ανθεκτικές καλλιέργειες ( $55 < WQI < 70$ ). Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.23 τα νερά αυτών των γεωτρήσεων κατατάσσονται στις δύο τελευταίες κατηγορίες ποιότητας υποδηλώνοντας την αυστηρά περιορισμένη έως και απαγορευμένη χρήση τους. Ο βασικός στόχος στην επίλυση του προβλήματος είναι η προκύπτουσα σταθμισμένη τιμή του W.Q.I. να είναι μεγαλύτερη ή ίση από 55 καθώς αυτή αντιστοιχεί στο κάτω όριο της τρίτης ομάδας κατάταξης με βάση τον Πίνακα 4.23 και συγχρόνως η συνολική παροχή να είναι ίση με μια προκαθορισμένη απαιτούμενη τιμή. Ειδικότερα, για το ύψος της παροχής εξετάζονται τρία διαφορετικά σενάρια: α) η συνολική παροχή  $Q_{max}$  να είναι ίση με το άθροισμα των παροχών των 6 γεωτρήσεων οι οποίες έχουν τιμές  $W.Q.I. < 55$  β) η  $Q_{max}$  να ισούται με τα 2/3 του αθροίσματος

των παροχών των 6 γεωτρήσεων  $\gamma$ ) η  $Q_{\max}$  να είναι ίση με το 1/2 του αθροίσματος των παροχών των 6 γεωτρήσεων.

Υπάρχει σημαντικός αριθμός εφαρμογών (λογισμικού) βελτιστοποίησης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επίλυση τέτοιων προβλημάτων. Στην παρούσα διατριβή χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Mathematica 9.0 (<https://www.wolfram.com/mathematica>).

### Μοντέλο Γραμμικού προγραμματισμού

Ορίζουμε με  $x_j$  ( $j=1, \dots, 11$ ) τις αντίστοιχες παροχές των γεωτρήσεων που συμμετέχουν στην επίλυση του προβλήματος. Η μέγιστη απαιτούμενη παροχή για να καλυφθούν οι αρδευτικές ανάγκες των καλλιεργειών που εξυπηρετούνται από τις παραπάνω γεωτρήσεις θα ισούται με το άθροισμα των παροχών τους, δηλαδή  $Q_{\max} = 325 \text{ m}^3/\text{h}$ . Η αντικειμενική συνάρτηση του προβλήματος δίνεται από τη σχέση (8.3).

$$WQI_{mix} = (51.5 x_1 + 61.8 x_2 + 42.3 x_3 + 38.2 x_4 + 80.6 x_5 + 80.2 x_6 + 66.2 x_7 + 49.4 x_8 + 37.7 x_9 + 24.4 x_{10} + 78.4 x_{11}) / Q_{\max} \quad (8.3)$$

Ζητούνται οι βέλτιστες παροχές  $x_j$  των γεωτρήσεων που μεγιστοποιούν την παραπάνω αντικειμενική συνάρτηση, όταν ικανοποιούνται:

**α)** οι περιορισμοί των παροχών

$$\left. \begin{array}{lll} x_1 \leq 60 & x_2 \leq 15 & x_3 \leq 80 \\ x_4 \leq 35 & x_5 \leq 60 & x_6 \leq 45 \\ x_7 \leq 50 & x_8 \leq 30 & x_9 \leq 50 \\ x_{10} \leq 70 & x_{11} \leq 30 & \\ \sum_{j=1}^{11} x_j = Q_{\max} & & x_j \geq 0, \quad j=1, 2, \dots, 11 \end{array} \right\} \quad (8.4)$$

**β)** ο περιορισμός της επιθυμητής τιμής ηλεκτρικής αγωγιμότητας

$$EC_{mix} = (1.62 x_1 + 1.23 x_2 + 2.24 x_3 + 2.24 x_4 + 0.91 x_5 + 0.87 x_6 + 2.14 x_7 + 1.69 x_8 + 2.02 x_9 + 2.89 x_{10} + 1.0 x_{11}) / Q_{\max} \leq 1.5 \quad (8.5)$$

**γ)** ο περιορισμός της επιθυμητής τιμής του λόγου προσροφημένου νατρίου

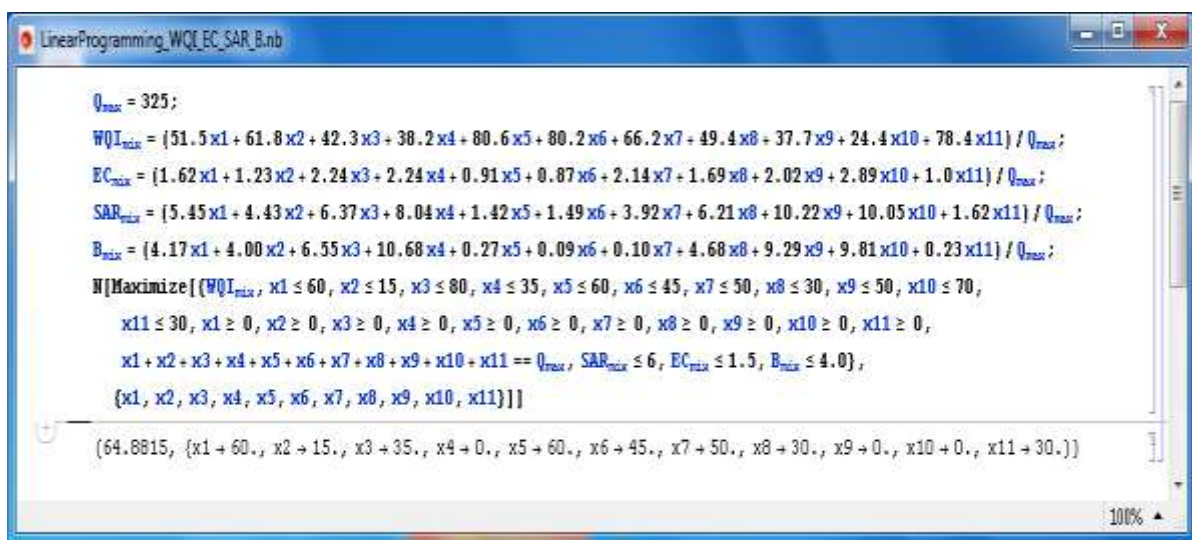
$$SAR_{mix} = (5.45 x_1 + 4.43 x_2 + 6.37 x_3 + 8.04 x_4 + 1.42 x_5 + 1.49 x_6 + 3.92 x_7 + 6.21 x_8 + 10.22 x_9 + 10.05 x_{10} + 1.62 x_{11}) / Q_{\max} \leq 6.0 \quad (8.6)$$

**δ)** ο περιορισμός της επιθυμητής συγκέντρωσης του βορίου

$$B_{mix} = (4.17 x_1 + 4.00 x_2 + 6.55 x_3 + 10.68 x_4 + 0.27 x_5 + 0.09 x_6 + 0.10 x_7 + 4.68 x_8 + 9.29 x_9 + 9.81 x_{10} + 0.23 x_{11}) / Q_{\max} \leq 4.0 \quad (8.7)$$

### 1ο Σενάριο ανάμειξης νερών των γεωτρήσεων

Στην περίπτωση που η δεξαμενή αποθήκευσης νερού είναι άδεια και οι ιδιοκτήτες των γεωτρήσεων Γ2, Γ6, Γ8, Γ13, Γ14, Γ16 επιθυμούν ταυτόχρονα να αντλήσουν νερό προκειμένου να αρδεύσουν τις καλλιέργειές τους, τότε η απαιτούμενη παροχή θα ισούται με το άθροισμα των μέγιστων παροχών που μπορεί να αποδώσει η κάθε γεώτρηση, δηλαδή  $Q_{\max}=325 \text{ m}^3/\text{h}$ . Εξετάζοντας το σενάριο αυτό υπό τους περιορισμούς των τιμών EC, SAR και B, η βέλτιστη λύση φαίνεται στην Οθόνη 8.1 του λογισμικού **Mathematica**, όπου ο δείκτης ποιότητας (W.Q.I.) ανέρχεται σε 64.88 με τη συμμετοχή των οκτώ ποιοτικά καλύτερων γεωτρήσεων. Στην τελευταία σειρά του παραθύρου εμφανίζονται τα αποτελέσματα, δηλαδή η μέγιστη τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης  $W.Q.I._{\text{mix}} = 64.88$  καθώς και οι παροχές των γεωτρήσεων. Στην παρούσα λύση οι γεωτρήσεις  $x_4$  (Κωδ. Γ8),  $x_9$  (Κωδ. Γ14) και  $x_{10}$  (Κωδ. Γ16), έχουν μηδενική συνεισφορά παροχής.



```
LinearProgramming_WQI_EC_SAR_B.nb

Q_max = 325;
WQI_mix = (51.5 x1 + 61.8 x2 + 42.3 x3 + 38.2 x4 + 80.6 x5 + 80.2 x6 + 66.2 x7 + 49.4 x8 + 37.7 x9 + 24.4 x10 + 78.4 x11) / Q_max;
EC_mix = (1.62 x1 + 1.23 x2 + 2.24 x3 + 2.24 x4 + 0.91 x5 + 0.87 x6 + 2.14 x7 + 1.69 x8 + 2.02 x9 + 2.89 x10 + 1.0 x11) / Q_max;
SAR_mix = (5.45 x1 + 4.43 x2 + 6.37 x3 + 8.04 x4 + 1.42 x5 + 1.49 x6 + 3.92 x7 + 6.21 x8 + 10.22 x9 + 10.05 x10 + 1.62 x11) / Q_max;
B_mix = (4.17 x1 + 4.00 x2 + 6.55 x3 + 10.68 x4 + 0.27 x5 + 0.09 x6 + 0.10 x7 + 4.68 x8 + 9.29 x9 + 9.81 x10 + 0.23 x11) / Q_max;
N[Maximize[{WQI_mix, x1 <= 60, x2 <= 15, x3 <= 80, x4 <= 35, x5 <= 60, x6 <= 45, x7 <= 50, x8 <= 30, x9 <= 50, x10 <= 70,
x11 <= 30, x1 >= 0, x2 >= 0, x3 >= 0, x4 >= 0, x5 >= 0, x6 >= 0, x7 >= 0, x8 >= 0, x9 >= 0, x10 >= 0, x11 >= 0,
x1 + x2 + x3 + x4 + x5 + x6 + x7 + x8 + x9 + x10 + x11 == Q_max, SAR_mix <= 6, EC_mix <= 1.5, B_mix <= 4.0},
{x1, x2, x3, x4, x5, x6, x7, x8, x9, x10, x11}]]

{64.8815, {x1 -> 60., x2 -> 15., x3 -> 35., x4 -> 0., x5 -> 60., x6 -> 45., x7 -> 50., x8 -> 30., x9 -> 0., x10 -> 0., x11 -> 30.}}
```

Οθόνη 8.1. Εντολές για την επίλυση του προβλήματος μεγιστοποίησης του ποιοτικού δείκτη W.Q. I. με το λογισμικό Mathematica και τα αποτελέσματα της λύσης

Από την εφαρμογή του συγκεκριμένου σεναρίου παρατηρούμε την αύξηση του δείκτη ποιότητας W.Q.I., ως προς τους δείκτες των 6 γεωτρήσεων ξεχωριστά, με αποτέλεσμα το νερό ανάμειξης να εντάσσεται στην αμέσως καλύτερη κατηγορία (55-70) του Πίνακα 4.23. Ταυτόχρονα, ικανοποιούνται όλοι οι περιορισμοί και οι τιμές των παραμέτρων στο νερό ανάμειξης διαμορφώνονται σαφώς βελτιωμένες, δηλαδή  $EC_w=1.46 \text{ mS/cm}$ ,  $SAR=3.69 \text{ (meq/L)}^{1/2}$  και  $B=2.19 \text{ mg/L}$ .

Στον Πίνακα 8.2, παρουσιάζονται οι παροχές συνεισφοράς της κάθε γεώτρησης για τη διαμόρφωση του βελτιστοποιημένου δείκτη ποιότητας (W.Q.I.) του νερού ανάμειξης.

Επισημαίνεται ότι οι μηδενικές τιμές παροχών υποδεικνύουν τους πλέον υποβαθμισμένους δείκτες ποιότητας μεταξύ των γεωτρήσεων και γι' αυτό το λόγο αποκλείονται υπολογιστικά από τη διαδικασία της ανάμειξης.

**Πίνακας 8.2. Προσφερόμενες παροχές  $Q_{i-opt}$  των γεωτρήσεων για τη βελτιστοποίηση του δείκτη W.Q.I. όταν η απαιτούμενη παροχή  $Q_{max} = 325 \text{ m}^3/\text{h}$**

$x_j$	Γεώτρηση	ECw (mS/cm)	SAR (meq/L) <sup>1/2</sup>	B (mg/L)	W.Q.I.	$Q_{i-opt}$ (m <sup>3</sup> /h)
1	Γ2	1,62	5,5	4,17	51,5	60,0
2	Γ5	1,23	4,4	4,00	61,8	15,0
3	Γ6	2,24	6,4	6,55	42,3	35,0
4	Γ8	2,24	8,0	10,68	<u>38,2</u>	<b>0,0</b>
5	Γ9	0,91	1,4	0,27	80,6	60,0
6	Γ10	0,87	1,5	0,09	80,2	45,0
7	Γ12	2,14	3,9	0,10	66,2	50,0
8	Γ13	1,69	6,2	4,68	49,4	30,0
9	Γ14	2,02	10,2	9,29	<u>37,7</u>	<b>0,0</b>
10	Γ16	2,89	10,1	9,81	<u>24,4</u>	<b>0,0</b>
11	Γ17	1,00	1,6	0,23	78,4	30,0
<b>Σταθμισμένες Τιμές</b>		<b>1,46</b>	<b>3,69</b>	<b>2,19</b>	<b>64,88</b>	

### **2ο Σενάριο ανάμειξης νερών των γεωτρήσεων**

Θεωρούμε την περίπτωση όπου η ταυτόχρονα απαιτούμενη παροχή από τις έξι προαναφερθείσες γεωτρήσεις είναι μικρότερη από το άθροισμα των παροχών της κάθε μιας ξεχωριστά. Αυτό μπορεί να συμβαίνει σε περιόδους όπου οι ανάγκες των καλλιεργειών σε νερό είναι περιορισμένες καθώς επίσης όταν στην δεξαμενή προϋπάρχει αποθηκευμένο νερό.

Εξετάζεται το ενδεχόμενο όπου η ταυτόχρονα απαιτούμενη παροχή από τις έξι προαναφερθείσες γεωτρήσεις ισούται με τα δύο τρίτα της συνολικής μέγιστης παροχής τους, δηλαδή  $Q_{max} = 216.67 \text{ m}^3/\text{h}$ . Το αποτέλεσμα της βελτιστοποίησης δίνεται στην Οθόνη 8.2. Είναι φανερό ότι ο δείκτης ποιότητας βελτιώνεται ακόμη περισσότερο ( $W.Q.I. = 73.35$ ) και ο αριθμός των γεωτρήσεων που συμμετέχουν στην ανάμειξη νερού περιορίζεται στις έξι ποιοτικά καλύτερες. Συγκεκριμένα, στην παρούσα λύση οι γεωτρήσεις  $x_3$  (Κωδ. Γ6),  $x_4$  (Κωδ. Γ8),  $x_8$  (Κωδ. Γ13),  $x_9$  (Κωδ. Γ14), και  $x_{10}$  (Κωδ. Γ16) έχουν μηδενική συνεισφορά παροχής.

Με τη βελτίωση του δείκτη ποιότητας ( $Q.W.I. = 73.35$ ) το νερό εντάσσεται στην κατηγορία (70-85) του Πίνακα 4.23, δηλαδή με μικρούς περιορισμούς στη χρήση του. Επίσης, οι παράμετροι ποιότητας του νερού ανάμειξης μειώνονται περαιτέρω (Πίνακας 8.3) και παίρνουν τις τιμές:  $ECw = 1.28 \text{ mS/cm}$ ,  $SAR = 2.56 \text{ (meq/L)}^{1/2}$  και  $B = 0.75 \text{ mg/L}$ .

```

LinearProgramming_WQI_EC_SAR_B.nb

Q_max = 216.67;
WQI_max = (51.5 x1 + 61.8 x2 + 42.3 x3 + 38.2 x4 + 80.6 x5 + 80.2 x6 + 66.2 x7 + 49.4 x8 + 37.7 x9 + 24.4 x10 + 78.4 x11) / Q_max;
EC_max = (1.62 x1 + 1.23 x2 + 2.24 x3 + 2.24 x4 + 0.91 x5 + 0.87 x6 + 2.14 x7 + 1.69 x8 + 2.02 x9 + 2.89 x10 + 1.0 x11) / Q_max;
SAR_max = (5.45 x1 + 4.43 x2 + 6.37 x3 + 8.04 x4 + 1.42 x5 + 1.49 x6 + 3.92 x7 + 6.21 x8 + 10.22 x9 + 10.05 x10 + 1.62 x11) / Q_max;
B_max = (4.17 x1 + 4.00 x2 + 6.55 x3 + 10.68 x4 + 0.27 x5 + 0.09 x6 + 0.10 x7 + 4.68 x8 + 9.29 x9 + 9.81 x10 + 0.23 x11) / Q_max;
N[Maximize[{WQI_max, x1 ≤ 60, x2 ≤ 15, x3 ≤ 80, x4 ≤ 35, x5 ≤ 60, x6 ≤ 45, x7 ≤ 50, x8 ≤ 30, x9 ≤ 50, x10 ≤ 70,
x11 ≤ 30, x1 ≥ 0, x2 ≥ 0, x3 ≥ 0, x4 ≥ 0, x5 ≥ 0, x6 ≥ 0, x7 ≥ 0, x8 ≥ 0, x9 ≥ 0, x10 ≥ 0, x11 ≥ 0,
x1 + x2 + x3 + x4 + x5 + x6 + x7 + x8 + x9 + x10 + x11 == Q_max, SAR_max ≤ 6, EC_max ≤ 1.5, B_max ≤ 4.0},
{x1, x2, x3, x4, x5, x6, x7, x8, x9, x10, x11}]]
{73.3489, {x1 → 16.67, x2 → 15., x3 → 0., x4 → 0., x5 → 60., x6 → 45., x7 → 50., x8 → 0., x9 → 0., x10 → 0., x11 → 30.}}

```

**Οθόνη 8.2.** Εντολές για την επίλυση του προβλήματος μεγιστοποίησης του ποιοτικού δείκτη W.Q. I. με το λογισμικό Mathematica και τα αποτελέσματα της λύσης

**Πίνακας 8.3.** Προσφερόμενες παροχές  $Q_{i-opt}$  των γεωτρήσεων για τη βελτιστοποίηση του δείκτη W.Q.I. όταν η απαιτούμενη παροχή  $Q_{max} = 216.7 \text{ m}^3/\text{h}$

$x_j$	Γεώτρηση	ECw (mS/cm)	SAR (meq/L) <sup>1/2</sup>	B (mg/L)	W.Q.I.	$Q_{i-opt}$ (m <sup>3</sup> /h)
1	Γ2	1,62	5,5	4,17	51,5	16,7
2	Γ5	1,23	4,4	4,00	61,8	15,0
3	Γ6	2,24	6,4	6,55	<u>42,3</u>	<b>0,0</b>
4	Γ8	2,24	8,0	10,68	<u>38,2</u>	<b>0,0</b>
5	Γ9	0,91	1,4	0,27	80,6	60,0
6	Γ10	0,87	1,5	0,09	80,2	45,0
7	Γ12	2,14	3,9	0,10	66,2	50,0
8	Γ13	1,69	6,2	4,68	<u>49,4</u>	<b>0,0</b>
9	Γ14	2,02	10,2	9,29	<u>37,7</u>	<b>0,0</b>
10	Γ16	2,89	10,1	9,81	<u>24,4</u>	<b>0,0</b>
11	Γ17	1,00	1,6	0,23	78,4	30,0
<b>Σταθμισμένες τιμές</b>		<b>1,28</b>	<b>2,56</b>	<b>0,75</b>	<b>73,35</b>	

### 3ο Σενάριο ανάμειξης νερών των γεωτρήσεων

Υποθέτουμε ότι η απαιτούμενη παροχή νερού από τις έξι γεωτρήσεις με υποβαθμισμένη ποιότητα νερού ανέρχεται στο 50% του αθροίσματος των μέγιστων παροχών τους, δηλαδή ( $Q_{max} = 162.5 \text{ m}^3/\text{h}$ ). Εφαρμόζοντας το γραμμικό προγραμματισμό, προκύπτει επιπλέον αύξηση του δείκτη ποιότητας νερού ( $W.Q.I. = 77.64$ ) και ο αριθμός των γεωτρήσεων που συμμετέχουν στην ανάμειξη περιορίζεται στις τέσσερις ποιοτικά καλύτερες,  $x_5$  (Κωδ. Γ9),  $x_6$  (Κωδ. Γ10),  $x_7$  (Κωδ. Γ12) και  $x_{11}$  (Κωδ. Γ17), ενώ οι υπόλοιπες έξι γεωτρήσεις,  $x_1$  (Κωδ. Γ2),

$x_2$  (Κωδ. Γ5),  $x_3$  (Κωδ. Γ6),  $x_4$  (Κωδ. Γ8),  $x_8$  (Κωδ. Γ13) και  $x_{10}$  (Κωδ. Γ16) έχουν μηδενική συνεισφορά παροχής (Οθόνη 8.3). Στην περίπτωση αυτή το νερό εντάσσεται επίσης στην κατηγορία (70-85) του Πίνακα 4.23 και η χρήση του είναι δυνατή με μικρούς περιορισμούς.

```

Qmax = 162.5;
WQImax = {51.5 x1 + 61.8 x2 + 42.3 x3 + 38.2 x4 + 80.6 x5 + 80.2 x6 + 66.2 x7 + 49.4 x8 + 37.7 x9 + 24.4 x10 + 78.4 x11} / Qmax;
ECmax = {1.62 x1 + 1.23 x2 + 2.24 x3 + 2.24 x4 + 0.91 x5 + 0.87 x6 + 2.14 x7 + 1.69 x8 + 2.02 x9 + 2.89 x10 + 1.0 x11} / Qmax;
SARmax = {5.45 x1 + 4.43 x2 + 6.37 x3 + 8.04 x4 + 1.42 x5 + 1.49 x6 + 3.92 x7 + 6.21 x8 + 10.22 x9 + 10.05 x10 + 1.62 x11} / Qmax;
Bmax = {4.17 x1 + 4.00 x2 + 6.55 x3 + 10.68 x4 + 0.27 x5 + 0.09 x6 + 0.10 x7 + 4.68 x8 + 9.29 x9 + 9.81 x10 + 0.23 x11} / Qmax;
N[Maximize[{WQImax, x1 ≤ 60, x2 ≤ 15, x3 ≤ 80, x4 ≤ 35, x5 ≤ 60, x6 ≤ 45, x7 ≤ 50, x8 ≤ 30, x9 ≤ 50, x10 ≤ 70,
x11 ≤ 30, x1 ≥ 0, x2 ≥ 0, x3 ≥ 0, x4 ≥ 0, x5 ≥ 0, x6 ≥ 0, x7 ≥ 0, x8 ≥ 0, x9 ≥ 0, x10 ≥ 0, x11 ≥ 0,
x1 + x2 + x3 + x4 + x5 + x6 + x7 + x8 + x9 + x10 + x11 == Qmax, SARmax ≤ 6, ECmax ≤ 1.5, Bmax ≤ 4.0},
{x1, x2, x3, x4, x5, x6, x7, x8, x9, x10, x11}]]
{77.6462, {x1 → 0., x2 → 0., x3 → 0., x4 → 0., x5 → 60., x6 → 45., x7 → 27.5, x8 → 0., x9 → 0., x10 → 0., x11 → 30.}}
  
```

**Οθόνη 8.3. Εντολές για την επίλυση του προβλήματος μεγιστοποίησης του ποιοτικού δείκτη W.Q. I. με το λογισμικό Mathematica και τα αποτελέσματα της λύσης**

Η βελτίωση του δείκτη ποιότητας W.Q.I., έχει σαν αποτέλεσμα την περαιτέρω μείωση των τιμών των παραμέτρων  $EC_w=1.13$  mS/cm,  $SAR=1.90$  (meq/L)<sup>1/2</sup> και  $B=0.18$  mg/L για το νερό ανάμειξης (Πίνακας 8.4).

**Πίνακας 8.4. Προσφερόμενες παροχές  $Q_{i-opt}$  των γεωτρήσεων για τη βελτιστοποίηση του δείκτη W.Q.I. όταν η απαιτούμενη παροχή  $Q_{max} = 162.5$  m<sup>3</sup>/h**

$x_j$	Γεώτρηση	EC <sub>w</sub> (mS/cm)	SAR (meq/L) <sup>1/2</sup>	B (mg/L)	W.Q.I.	$Q_{i-opt}$ (m <sup>3</sup> /h)
1	Γ2	1,62	5,5	4,17	51,5	<b>0,0</b>
2	Γ5	1,23	4,4	4,00	61,8	<b>0,0</b>
3	Γ6	2,24	6,4	6,55	<u>42,3</u>	<b>0,0</b>
4	Γ8	2,24	8,0	10,68	<u>38,2</u>	<b>0,0</b>
5	Γ9	0,91	1,4	0,27	80,6	60,0
6	Γ10	0,87	1,5	0,09	80,2	45,0
7	Γ12	2,14	3,9	0,10	66,2	27,5
8	Γ13	1,69	6,2	4,68	<u>49,4</u>	<b>0,0</b>
9	Γ14	2,02	10,2	9,29	<u>37,7</u>	<b>0,0</b>
10	Γ16	2,89	10,1	9,81	<u>24,4</u>	<b>0,0</b>
11	Γ17	1,00	1,6	0,23	78,4	30,0
<b>Σταθμισμένες τιμές</b>		<b>1,13</b>	<b>1,90</b>	<b>0,18</b>	<b>77,65</b>	



Συμπερασματικά, από την εφαρμογή των τριών σεναρίων προκύπτει ότι στην περιοχή μελέτης η ανάμειξη των νερών των γεωτρήσεων μπορεί να επιφέρει σημαντική βελτίωση στην ποιότητά του, ελαχιστοποιώντας τους κινδύνους αλατότητας ή νατρίωσης των εδαφών και της τοξικότητας του Β στα φυτά.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την αναλυτική διερεύνηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των υπόγειων νερών του Δ.Δ. Τριλόφου με τη χρήση του λογισμικού Λ.Α.Κ.Α.Ν., που δημιουργήθηκε στο πλαίσιο της διατριβής αυτής, διαπιστώθηκε η ανάγκη συνεχών και ενδεδειγμένων ελέγχων των νερών αυτών και η αντιμετώπιση των υφιστάμενων προβλημάτων.

Η λεπτομερής αξιολόγηση των νερών αυτών, κατέληξε στα παρακάτω συμπεράσματα:

- Ο κίνδυνος επίδρασης της αλατότητας στο έδαφος και στα φυτά είναι υπαρκτός κυρίως για τα νερά των γεωτρήσεων **Γ2, Γ6, Γ8, Γ12, Γ13, Γ14** και ιδιαίτερα για τη **Γ16**. Επίσης, επισημαίνεται ότι με την αύξηση του βάθους των γεωτρήσεων αυξάνει και η αλατότητα των νερών. Συνιστάται τακτικός έλεγχος της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (ECw), εφαρμογή εκπλύσεων, καλή στράγγιση των εδαφών, ανθεκτικές στα άλατα καλλιέργειες, διατήρηση ικανοποιητικής υγρασίας στο έδαφος, αποφυγή των αρδεύσεων τις θερμές ώρες της ημέρας και εάν είναι εφικτό ανάμειξη διαφορετικής ποιότητας νερών άρδευσης, αλλαγή τρόπου άρδευσης και καλλιεργητικών πρακτικών.
- Παρόλο που ο συνδυασμός της ECw και του λόγου προσρόφησης νατρίου (SAR) όλων των νερών δείχνει ότι δεν υπάρχει κίνδυνος μείωσης της διηθητικής ικανότητας του εδάφους, οι δείκτες υπολειμματικό ανθρακικό νάτριο (RSC), ποσοστό νατρίου (Na%), SAR και pH δείχνουν ότι τα νερά των γεωτρήσεων **Γ2, Γ5, Γ6, Γ8, Γ13, Γ14** και ιδιαίτερα της **Γ16** ενέχουν κίνδυνο νατρίωσης του εδάφους και κατ' επέκταση μείωση της διηθητικής ικανότητας αυτού. Επισημαίνεται ότι η αύξηση του βάθους των γεωτρήσεων είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση των τιμών των προαναφερθεισών δεικτών. Άλλωστε οι τιμές των παραμέτρων SAR και pH ορισμένων εδαφών που αρδεύονται με νερά των προαναφερθεισών γεωτρήσεων δείχνουν το υφιστάμενο πρόβλημα. Όπου υπάρχει πρόβλημα συνιστάται αύξηση του χρόνου άρδευσης με αργότερους ρυθμούς παροχέτευσης του νερού, ανάμειξη αρδευτικών νερών διαφορετικής ποιότητας, συχνότερες αρδεύσεις με μικρότερες ποσότητες, χρήση βελτιωτικών εδαφούς (φωσφογύψος), σε συνδυασμό με ικανοποιητική έκπλυση και στράγγιση, καλή ενσωμάτωση φυτικών υπολειμμάτων στο έδαφος, καλλιεργητικές εργασίες όταν το έδαφος βρίσκεται στο ρώγο του.
- Τα νερά των γεωτρήσεων **Γ2, Γ5, Γ6, Γ8, Γ13, Γ14** και ιδιαίτερα της **Γ16** μπορούν να ασκήσουν τοξική δράση στα φυτά εξαιτίας των ιόντων νατρίου (Na)

τόσο στην άρδευση με ροή όσο και στον καταιονισμό (τεχνητή βροχή). Με την αύξηση του βάθους των γεωτρήσεων αυξάνουν και οι συγκεντρώσεις Na. Συνιστάται εφαρμογή εκπλύσεων, καλή στράγγιση των εδαφών, διατήρηση ικανοποιητικής υγρασίας στο έδαφος, αποφυγή των αρδεύσεων τις θερμές ώρες της ημέρας, αποφυγή της διαβροχής των φύλλων και εάν είναι εφικτό ανάμειξη διαφορετικής ποιότητας νερών άρδευσης.

- Η τοξική επίδραση των ιόντων χλωρίου (Cl) στα φυτά είναι αρκετά μικρότερη από εκείνη του Na και αφορά στα νερά των γεωτρήσεων **Γ6, Γ8, Γ14** και **Γ16** τόσο στην άρδευση με ροή όσο και στον καταιονισμό (τεχνητή βροχή). Με την αύξηση του βάθους των γεωτρήσεων αυξάνουν και οι συγκεντρώσεις Cl. Συνιστώνται τα ίδια μέτρα με εκείνα που προαναφέρθηκαν για το Na.
- Οι συγκεντρώσεις βορίου (B) είναι αυξημένες στα νερά των γεωτρήσεων **Γ2, Γ5** και **Γ13** και η χρήση τους απαιτεί καλλιέργειες από μέτρια ανθεκτικές έως ανθεκτικές στο B. Ιδιαίτερα για τα νερά των γεωτρήσεων **Γ6, Γ8, Γ13, Γ14** και **Γ16** οι συγκεντρώσεις του B είναι πολύ αυξημένες και η χρήση τους περιορίζεται μόνο σε πολύ ανθεκτικές στο B καλλιέργειες. Οι αυξημένες συγκεντρώσεις B στα περισσότερα αρδευτικά νερά του Τριλόφου σε συνδυασμό με τη μακροχρόνια χρήση αυτών είχε ως αποτέλεσμα την υπερέπάρκεια B στα αρδευόμενα εδάφη με τα νερά αυτά. Το πρόβλημα είναι πιο έντονο στα νερά των βαθέων γεωτρήσεων.
- Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων αρσενικό, κάδμιο, χρώμιο, χαλκός, σίδηρος, υδράργυρος, μαγγάνιο, νικέλιο, μόλυβδος και ψευδάργυρος είναι πολύ μικρές ή ελάχιστες σε σύγκριση με τις συνιστώμενες μέγιστες συγκεντρώσεις αυτών στα αρδευτικά νερά όλων των γεωτρήσεων του αγροκτήματος Τριλόφου και δεν υπάρχει κανένας κίνδυνος για φυτά, ζώα και ανθρώπους.
- Οι συγκεντρώσεις του αζώτου στα νερά όλων των γεωτρήσεων είναι εξαιρετικά χαμηλές και δεν εγκυμονούν κανένα κίνδυνο τόσο για τα φυτά όσο και για το περιβάλλον.
- Τα νερά όλων των γεωτρήσεων απαιτούν επαγρύπνηση στην περίπτωση των οπωροφόρων δένδρων, λόγω των συγκεντρώσεων των όξινων ανθρακικών, αλλά σε ότι αφορά στις γεωτρήσεις **Γ2, Γ5, Γ6, Γ8, Γ13, Γ14** και ιδιαίτερα στη **Γ16**, οι προαναφερθέντες κίνδυνοι είναι αυξημένοι και συνιστώνται νυχτερινές αρδεύσεις, μπεκ ταχείας περιστροφής και αλλαγή μεθόδου άρδευσης στην

περίπτωση παραγωγής νωπών καρπών (μήλα, αχλάδια κλπ) και λαχανικών (αγγούρια κλπ).

- Οι τιμές του pH όλων των γεωτρήσεων είναι έντονα αλκαλικές και ορισμένες τιμές βρίσκονται (γεωτρήσεις **Γ4** και **Γ16**) πολύ κοντά στη μέγιστη τιμή 8,5. Στις περιπτώσεις αυτές συνιστάται τακτικός έλεγχος του pH των νερών άρδευσης και των εδαφών που αρδεύονται με τα νερά αυτά, ανάμειξη των νερών αυτών με άλλα μικρότερης τιμής pH, παρακολούθηση της πορείας των φυτών και χρήση οξινοποιών λιπασμάτων (π.χ. αμμωνιακά).
- Ο κίνδυνος έμφραξης των σταλακτήρων από τη χρήση των νερών των 17 γεωτρήσεων του Δ.Δ. Τριλόφου στην άρδευση με σταγόνες είναι υπαρκτός και προκειμένου να προληφθεί συνιστάται τακτικός εργαστηριακός έλεγχος των παραμέτρων που εγκυμονούν πιθανό κίνδυνο έμφραξης, έλεγχος των παροχών των σταλακτήρων, χρήση αραιού υδροχλωρικού οξέος εάν και όταν κριθεί απαραίτητο και συνεργασία με εξειδικευμένους επιστήμονες.
- Θα πρέπει επίσης να επισημανθεί ότι το υδατικό δυναμικό των υπόγειων υδροφόρων του Δ.Δ. Τριλόφου είναι περιορισμένο και ο ρυθμός ανανεωσιμότητάς του είναι μικρός, η δε συνεχής υπεράντλησή του μπορεί να προκαλέσει στέρηση των υδροφόρων στην ημιλοφώδη περιοχή και στέρηση ή/και εκτεταμένη επιβάρυνση της ποιότητάς του στα πεδινά παραλιακά τμήματα. Για την παράκτια ζώνη δεν μπορεί να αποκλειστεί και η εκκίνηση θαλάσσιας διείσδυσης σε περίπτωση επιπρόσθετης άντλησης του υδροφόρου συστήματος. Η συνεχιζόμενη ή και η εντατικοποίηση των αντλήσεων στην ημιλοφώδη ζώνη, όπου αναπτύσσεται η βαθύτερη υδροφορία, θα μπορούσε πέραν της στέρησης αυτής, ή πριν την πρόκλησή της να οδηγήσει στην προοδευτική αύξηση της αλατότητας μέσω της ενεργοποίησης βαθύτερων εγκλωβισμένων υδροφοριών.

Επίσης, η χρήση του δείκτη ποιότητας των αρδευτικών νερών (W.Q.I.) έδειξε ότι τα υπόγεια νερά που βρίσκονται στο αγρόκτημα Τριλόφου μπορούν βέβαια να χρησιμοποιηθούν στην άρδευση των καλλιεργειών με ορισμένους όμως περιορισμούς. Συγκεκριμένα για τα νερά των γεωτρήσεων **Γ8**, **Γ14**, **Γ16** και **Γ17** υπάρχει σοβαρός περιορισμός χρήσης, για τα νερά των γεωτρήσεων **Γ2**, **Γ6** και **Γ13** ο περιορισμός είναι μεγάλος, ενώ για τα νερά των γεωτρήσεων **Γ5** και **Γ12** ο περιορισμός είναι μέτριος. Τέλος για τα νερά των γεωτρήσεων **Γ1**, **Γ3**, **Γ4**, **Γ7**, **Γ9**, **Γ10**, **Γ11** και **Γ15** ισχύουν μικροί περιορισμοί.

Σημαντικός τρόπος αξιοποίησης των νερών υποβαθμισμένης ποιότητας (χρήση νερών με σοβαρούς περιορισμούς) ορισμένων γεωτρήσεων είναι και η ανάμειξή τους με νερά άλλων γεωτρήσεων καλύτερης ποιότητας. Η χρήση του γραμμικού προγραμματισμού έδειξε ότι αποτελεί χρήσιμο επιστημονικό εργαλείο για την κατάρτιση και επιλογή σεναρίων ανάμειξης των νερών των διαφόρων γεωτρήσεων του αγροκτήματος Τριλόφου.

Ολοκληρώνοντας τη διατριβή αυτή θα πρέπει να γίνει σαφές ότι τα βασικά ποιοτικά προβλήματα των υπόγειων νερών της περιοχής εντοπίζονται κυρίως στις βαθιές γεωτρήσεις (βάθος >250 m) και αφορούν πρωτίστως στην αλατότητα, στο νάτριο, στο βόριο, στο pH και δευτερευόντως στα όξινα ανθρακικά.

Παρόλα αυτά, τα υπόγεια νερά του Δ.Δ. Τριλόφου (17 γεωτρήσεις) είναι κατάλληλα για αρδευτικούς σκοπούς με τις προϋποθέσεις που έχουν αναφερθεί (επαγρύπνηση-λήψη μέτρων-ανάμειξεις) τόσο στις μεμονωμένες για κάθε γεώτρηση αξιολογήσεις του Ειδικού Παραρτήματος, όσο και στη συνολική αξιολόγηση που αναλύθηκε στο κείμενο της διατριβής αυτής.

## ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Εκτός από τις προαναφερθείσες συστάσεις που έγιναν στα Συμπεράσματα και αφορούσαν στην αντιμετώπιση πιθανών κινδύνων για το έδαφος, τα φυτά και το αρδευτικό σύστημα από τη χρήση των υπόγειων νερών του Δ.Δ. Τριλόφου για αρδευτικούς σκοπούς προτείνεται μια δέσμη μέτρων προς την κατεύθυνση της ορθής διαχείρισης, προστασίας και αποκατάστασης του υπόγειου υδατικού δυναμικού της ευρύτερης περιοχής.

Η εφαρμογή των μέτρων αυτών απαιτεί δεδομένα που θα συλλέγονται συστηματικά και διαχρονικά για το σύνολο των παραμέτρων που ελέγχουν και επηρεάζουν την εξέλιξη του συστήματος έδαφος-νερό καθώς και των δραστηριοτήτων που αναπτύσσονται στα μέσα αυτά. Τα προτεινόμενα μέτρα είναι τα εξής:

### **ΑΝΑΠΤΥΞΗ-ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΓΝΩΣΗΣ ΔΟΜΗΣ, ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ**

#### ***1. Απόκτηση γνώσης γεωμετρίας υπόγειας υδραυλικής μέσω γεωηλεκτρικών διασκοπήσεων***

Προτείνεται η εκτέλεση μιας σειράς γεωηλεκτρικών διασκοπήσεων επιφανείας και τομογραφιών βάθους, με στόχο την απόκτηση σαφέστερης γνώσης για τον αριθμό των υδροφόρων στρωμάτων που αναπτύσσονται στα ιζήματα της λεκάνης, τη γεωμετρία τους, τις βασικές τους υδραυλικές ιδιότητες και τη συσχέτισή τους με το γεωλογικό χώρο της ευρύτερης περιοχής. Συμπληρωματικά και προκειμένου να καταστεί δυνατή η βαθμονόμηση των διασκοπήσεων αυτών, προτείνεται η εκτέλεση διασκοπήσεων βάθους μέσα σε ερευνητικές γεωτρήσεις μικρής διαμέτρου που επιλεγμένα θα ανορυχθούν στη λεκάνη, καθώς επίσης και η σύνταξη λιθολογικών τομών υψηλής ακρίβειας γι' αυτές.

#### ***2. Απόκτηση γνώσης εδαφολογικών – γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών περιοχής***

Η γεωργική παραγωγή στηρίζεται στην αξιοποίηση των υφιστάμενων εδαφικών πόρων της λεκάνης, οι οποίοι διακρίνονται από συγκεκριμένες ιδιότητες. Το σύνολο των ιδιοτήτων αυτών πρέπει να είναι γνωστό ώστε με το βέλτιστο δυνατό τρόπο να προγραμματιστεί αφενός η γεωργική παραγωγή στο μέλλον και αφετέρου να σχεδιαστούν και να υλοποιηθούν τα απαραίτητα μέτρα προστασίας των εδαφικών πόρων και ενδεχομένως βελτίωσης των ιδιοτήτων τους προς την κατεύθυνση αύξησης της γονιμότητάς τους και άμβλυνσης πιθανών προβλημάτων που θα διαγνωστούν. Έτσι, αποτελεί βασική προϋπόθεση η λεπτομερής εδαφολογική και γεωμορφολογική - πεδολογική αποτύπωση και μελέτη της λεκάνης με βασικούς στόχους την επισήμανση

ζωνών διάβρωσης, υψηλής εν δυνάμει έκπλυσης και ζωνών όπου έχουν αναπτυχθεί ή παρατηρείται υψηλός κίνδυνος να αναπτυχθούν παθογένειες (αλάτωση, αλκαλίωση κλπ). Παράλληλα, είναι απαραίτητη η αποτύπωση βασικών παραμέτρων του εδάφους σε κλίμακα λεκάνης, όπως για παράδειγμα η μηχανική του σύσταση, η οξύτητά του, η περιεκτικότητά του σε οργανικό άνθρακα και σε βασικά θρεπτικά στοιχεία ή μικροθρεπτικά.

### ***3. Κατασκευή υδροληπτικών έργων βάσει προδιαγραφών***

Η ανόρυξη ενός υδροληπτικού έργου εκμετάλλευσης των υπόγειων υδατικών πόρων της περιοχής (πηγάδι-γεώτρηση), αποτελεί δαπανηρή επένδυση. Εάν η επένδυση αυτή βασισθεί σε ορθή μελέτη του υφιστάμενου υδατικού δυναμικού και σε σχεδίαση - εξοπλισμό με βάση τους στοιχειώδεις κανόνες υδραυλικής και τεχνικής κατασκευής τέτοιων έργων, μπορεί να στηρίξει με επιτυχία τη γεωργική παραγωγή σε μια περιοχή. Σε αντίθετη περίπτωση μπορεί να αποβεί: α) καταστροφική για το υδατικό δυναμικό της περιοχής β) ενεργοβόρα για το διαχειριστή της γ) επιβαρυντική για τους εδαφικούς πόρους συνεισφέροντας στην αλάτωση του εδάφους δ) περιορισμένη αποτελεσματικότητας ή μη ικανή να καλύψει τις υδατικές ανάγκες για τις οποίες κατασκευάζεται ε) δαπανηρή λόγω της ανάγκης συχνής συντήρησης του αντλητικού συγκροτήματος και στ) πολύ μικρού χρόνου ζωής λόγω ολοκληρωτικής καταστροφής. Επιβάλλεται λοιπόν η ορθή κατασκευή και ο εξοπλισμός κάθε υδροληπτικού έργου, ειδικά των νέων έργων, βάσει προδιαγραφών καθώς επίσης και η επένδυση στην ορθή κατασκευή μέσω της ανάθεσης καθηκόντων σε επιβλέποντα εξειδικευμένο επιστήμονα για το σκοπό αυτό. Σε κάθε περίπτωση «καλή» γεώτρηση δεν είναι ούτε η φθηνή, ούτε αυτή που μπορεί να αντλήσει μεγάλους όγκους νερού για μικρό χρονικό διάστημα ή αυτή που μπορεί να αποδώσει νερό με υψηλή πίεση στην επιφάνεια. Καλή γεώτρηση είναι αυτή που αποδίδει παροχή που δεν υπερβαίνει το δυναμικό του υδροφόρου συστήματος, προκαλώντας την ελάχιστη δυνατή πτώση στάθμης, διατηρώντας τα παραπάνω στοιχεία και την ποιότητα του αντλούμενου νερού σταθερά για μεγάλο χρονικό διάστημα και χωρίς την εκφόρτιση φερτών υλικών. Η κατασκευή των νέων υδροληπτικών έργων θα πρέπει να συνοδεύεται από την εγκατάσταση πιεζομετρικού σωλήνα μέσω του οποίου είναι δυνατή η συνεχής παρακολούθησης της κύμανσης της υπόγειας στάθμης, που αποτελεί βασικό στοιχείο παρακολούθησης της υδροφορίας κάθε περιοχής. Τέλος, βασικό στοιχείο για την ανάπτυξη γνώσης στη λεκάνη αποτελεί η σύνταξη λιθολογικών τομών κατά το στάδιο της ανόρυξης, ώστε να καθίσταται δυνατή η προοδευτική

βελτίωση της πραγματικής γνώσης για τη γεωμετρία και τα χαρακτηριστικά του υδροφόρου συστήματος.

#### ***4. Εκτέλεση δοκιμαστικών αντλήσεων για απόκτηση γνώσης υδραυλικών παραμέτρων***

Η ακριβής γνώση των υδραυλικών παραμέτρων ενός υδροφόρου συστήματος μπορεί να αποκτηθεί μέσω εναλλακτικών μεθόδων, ωστόσο η ακριβέστερη όλων είναι η εκτέλεση δοκιμαστικών αντλήσεων μακράς διάρκειας. Η γνώση των τιμών των υδραυλικών παραμέτρων προσδιορίζει σε μεγάλο βαθμό στοιχεία για το δυναμικό του και για τον προγραμματισμό του τρόπου διαχείρισής του, ώστε να εξασφαλιστεί η προστασία του και εμμέσως η προστασία των κοινωνικο-οικονομικών δραστηριοτήτων που αναπτύσσονται στη λεκάνη και στηρίζονται στην ύπαρξη επαρκούς όγκου νερού κατάλληλης ποιότητας. Η ορθή εκτέλεση δοκιμαστικών αντλήσεων βέβαια προϋποθέτει την ύπαρξη δορυφόρου πιεζομέτρου για την εκτέλεση των μετρήσεων, σε ικανή απόσταση από την παραγωγική γεώτρηση. Ωστόσο, ακόμα και η εκτέλεση μετρήσεων στην παραγωγική γεώτρηση μπορούν να αποδώσουν πολύτιμα στοιχεία που θα οδηγήσουν στην εκτίμηση των υδραυλικών παραμέτρων της υπόγειας υδροφορίας.

#### ***5. Τοποθέτηση πιεζομέτρων***

Για την ορθή παρακολούθηση της εξέλιξης της υπόγειας υδροφορίας και τη σχεδίαση ασφαλών μέτρων προστασίας και διαχείρισης, είναι απαραίτητη η διαχρονική παρακολούθηση της κύμανσης της υπόγειας στάθμης. Αν και σύμφωνα με τις πρότυπες προδιαγραφές κατασκευής γεωτρήσεων η τοποθέτηση πιεζομετρικού σωλήνα παρακολούθησης για το σκοπό αυτό είναι απαραίτητη, στην πράξη αυτό δεν συμβαίνει. Η τάση απλούστευσης-επιτάχυνσης της κατασκευής της γεώτρησης, της μείωσης του κόστους και η άγνοια των ιδιοκτητών των υδροληπτικών έργων έχουν οδηγήσει στη μη εγκατάσταση πιεζομετρικών σωλήνων στα περισσότερα υδροληπτικά έργα. Ως αποτέλεσμα, η παρακολούθηση της υπόγειας στάθμης είναι προβληματική και πλημμελής. Στα νέα υδροληπτικά έργα προτείνεται η λήψη πρόνοιας για την εγκατάσταση πιεζομετρικών σωλήνων. Στα υφιστάμενα έργα, θα μπορούσε προοδευτικά να πραγματοποιηθεί προσθήκη πιεζομετρικών σωλήνων μεταξύ σωλήνωσης γεώτρησης και καταθλιπτικού αγωγού του αντλητικού συγκροτήματος. Η εργασία αυτή είναι μικρού σχετικά κόστους και είναι εφικτή σε όλες τις γεωτρήσεις που είναι εξοπλισμένες με υποβρύχιο αντλητικό συγκρότημα και σε αρκετές που είναι εξοπλισμένες με αντλία κατακόρυφου άξονα.



## **6. Συστηματική παρακολούθηση ποιότητας νερού και στάθμης αυτού**

Έχοντας εξασφαλίσει σημεία μέτρησης της υπόγειας στάθμης μέσω της εγκατάστασης πιεζομετρικών σωλήνων, η διαχρονική παρακολούθηση της κύμανσής της καθίσταται ευχερής είτε με συμβατικό είτε με αυτογραφικό τρόπο μέτρησης. Παράλληλα, η λήψη δειγμάτων νερού και η εκτέλεση χημικών δοκιμών σε διαπιστευμένο εργαστήριο επιτρέπει τη διαχρονική παρακολούθηση της εξέλιξης της ποιότητας των υπόγειων υδατικών πόρων. Τα στοιχεία αυτά, σε συνδυασμό με τη γνώση της εξέλιξης των απολήψεων από κάθε υδροληπτικό έργο επιτρέπουν τη διαμόρφωση σαφούς εικόνας για την εξέλιξη της υπόγειας υδροφορίας της λεκάνης ενδιαφέροντος και μπορούν να σχεδιαστούν και να εφαρμοστούν κατάλληλα μέτρα διαχείρισης.

## **ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΛΟΙΠΩΝ ΧΡΗΣΕΩΝ**

### **1. Ενημέρωση – ευαισθητοποίηση κοινού για ανάγκη ορθής διαχείρισης**

Η λεκάνη Τριλόφου-Μεσημερίου χαρακτηρίζεται όπως έχει ήδη αναλυθεί από σημαντικές υδροβόρες δραστηριότητες και περιορισμένο υδατικό δυναμικό. Επομένως, η ανάγκη ορθολογικής διαχείρισης είναι επιβεβλημένη προκειμένου να εξασφαλιστεί αφενός η βιωσιμότητα των παραγωγικών δραστηριοτήτων και αφετέρου η αειφορία των φυσικών της πόρων. Η επιτυχής όμως εφαρμογή κατάλληλων μέτρων διαχείρισης απαιτεί την αποδοχή και τη συναίνεση της τοπικής κοινωνίας (των χρηστών). Παράλληλα, η ορθή σχεδίαση των μέτρων προστασίας και διαχείρισης του υδατικού δυναμικού προϋποθέτει τη γνώση των αναγκών σε νερό και των ιδιοτεροτήτων της περιοχής. Για το σκοπό αυτό απαιτείται μια συστηματική προσέγγιση από τη «βάση» ή τους χρήστες του νερού, προς τους «λήπτες αποφάσεων», προκειμένου τα σχεδιαζόμενα μέτρα να λαμβάνουν υπόψη τις πραγματικές ανάγκες και ιδιαιτερότητες του χώρου. Παράλληλα, η αποδοχή των μέτρων ορθής διαχείρισης απαιτεί την καταβολή μιας συστηματικής προσπάθειας προς τους χρήστες ώστε αυτοί να γίνουν κοινωνοί της ανάγκης για ορθή διαχείριση. Είναι απαραίτητο η τοπική κοινωνία να γνωρίζει τις ιδιαιτερότητες της περιοχής, τη σημερινή κατάσταση των υδατικών πόρων και τους λόγους που έχουν οδηγήσει στην κατάσταση αυτή. Επίσης, είναι επιβεβλημένο να γνωρίζει την εξέλιξη που αναμένεται, εάν δεν ληφθούν κάποια μέτρα προστασίας και ορθής διαχείρισης. Η άγνοια οδηγεί στη διαμόρφωση εσφαλμένης εικόνας, στην άρνηση και τελικά στην επιδείνωση ποσοτικά και ποιοτικά τόσο του υδατικού όσο και του εδαφικού πόρου.

## ***2. Εγκατάσταση μετεωρολογικών σταθμών***

Η άρδευση είναι ο μεγαλύτερος καταναλωτής νερού της λεκάνης και η αγροτική παραγωγή μία από τις βασικότερες οικονομικές δραστηριότητες. Η εξασφάλιση λοιπόν της αγροτικής παραγωγής είναι σημαντική για την περιοχή, όπως είναι και η προστασία και ορθή διαχείριση του αρδευτικού νερού. Προς την κατεύθυνση αυτή απαιτείται σαφής γνώση του ισοζυγίου νερού της εδαφικής ζώνης. Για το σκοπό αυτό, είναι απαραίτητη η εγκατάσταση μετεωρολογικού ή μετεωρολογικών σταθμών πλήρους κάλυψης της λεκάνης με καταγραφή του συνόλου των βασικών παραμέτρων που σχετίζονται με τον υπολογισμό των συνιστωσών του υδρολογικού ισοζυγίου: βροχόπτωση, θερμοκρασία, ταχύτητα ανέμου, σχετική υγρασία, ηλιακή ακτινοβολία. Με τις παραπάνω παραμέτρους είναι γνωστή η εξέλιξη του ύψους βροχής στη λεκάνη και ο υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής των καλλιεργειών.

## ***3. Τιμές φυτικών συντελεστών***

Επόμενο βήμα για τη βελτίωση της διαχείρισης του αρδευτικού νερού αποτελεί ο προσδιορισμός των φυτικών συντελεστών για τις κύριες καλλιέργειες της περιοχής. Το στοιχείο θα μπορούσε ωστόσο με κάποια επισφάλεια να προκύψει και από βιβλιογραφικές αναφορές ή/και το εθνικό νομοθετικό πλαίσιο. Για το σκοπό αυτό απαιτούνται συστηματικές μετρήσεις πεδίου.

## ***4. Εκτέλεση έργου προγραμματισμού άρδευσης***

Έχοντας ολοκληρώσει τα παραπάνω 2 βήματα, είναι δυνατό να αναπτυχθεί για την περιοχή λογισμικό υπολογισμού της υδατοκατανάλωσης για κάθε κυρίαρχο εδαφικό τύπο και καλλιέργεια. Με βάση το λογισμικό αυτό και τη γνώση του ύψους, του τρόπου και της ημερομηνίας εφαρμογής άρδευσης σε ένα αγροτεμάχιο, είναι δυνατός ο υπολογισμός της απαραίτητης δόσης άρδευσης που πρέπει να εφαρμοστεί κάθε φορά που ο παραγωγός θέλει να αρδεύσει. Η εφαρμογή της μεθόδου αυτής στη λεκάνη θα μπορούσε να συνεισφέρει σημαντικά στον περιορισμό της κατανάλωσης του αρδευτικού νερού, προστατεύοντας έτσι τους περιορισμένους υδατικούς πόρους από εξάντληση και υποβάθμιση της ποιότητάς τους.

## ***5. Περιοριστικά μέτρα στην ανόρυξη νέων γεωτρήσεων***

Βασικό μέτρο που υιοθετείται στο σύνολο των υδατικών συστημάτων της χώρας που έχουν χαρακτηριστεί ως ευρισκόμενα σε κακή κατάσταση (ποιοτική ή/και ποσοτική) αποτελεί η καθολική απαγόρευση ανόρυξης νέων γεωτρήσεων ή ο περιορισμός αυτών σε έργα αντικατάστασης παλαιών γεωτρήσεων. Ακόμα και τις περιπτώσεις που είναι δυνατή

η κατασκευή νέου έργου, αυτό θα πρέπει να κατασκευάζεται με τη δέουσα προσοχή, τηρώντας υψηλές τεχνικές προδιαγραφές και λαμβάνοντας υπόψη το δυναμικό του υδροφόρου συστήματος και όχι μόνο τις ανάγκες σε αρδευτικό νερό.

#### ***6. Προοδευτική αντικατάσταση υφιστάμενων αντλητικών συγκροτημάτων με νέα χαμηλής απόδοσης ή τοποθέτηση inverter***

Ένα σχετικά οικονομικό μέτρο αποτελεί η προοδευτική αντικατάσταση των υφιστάμενων αντλητικών συγκροτημάτων με νέα συγκροτήματα χαμηλότερης απόδοσης (διαστασιολογημένα για το δυναμικό της υδροφορίας). Παράλληλα, σημαντικό στοιχείο αποτελεί και η εγκατάσταση inverter που εξασφαλίζει την ομαλότερη λειτουργία του κινητήρα με βάση τις πραγματικές ανάγκες άντλησης νερού κάθε φορά, γεγονός που μεταξύ άλλων εξασφαλίζει και οικονομικότερη άντληση.

#### ***7. Προοδευτική αντικατάσταση βαθιών με ρηχές γεωτρήσεις***

Η αντικατάσταση των παλαιών με νέες υψηλών τεχνικών προδιαγραφών γεωτρήσεις θα μπορούσε να αμβλύνει το πρόβλημα ποσοτικής και ποιοτικής υποβάθμισης των υδατικών πόρων της περιοχής. Προς την κατεύθυνση αυτή, τα νέα έργα θα πρέπει να έχουν το μικρότερο δυνατό βάθος, να είναι χωροθετημένα στις ζώνες όπου παρουσιάζονται τα μικρότερα προβλήματα υποβάθμισης ή σε ζώνες επιλεκτικής ή τουλάχιστον υψηλότερης υδροφορίας.

#### ***8. Έργα αντιπλημμυρικής και αντιδιαβρωτικής προστασίας***

Όπως έχει ήδη αναλυθεί σε προηγούμενα κεφάλαια της εργασίας αυτής, το υπόγειο υδατικό δυναμικό στα κατάντη της λεκάνης ενδέχεται να επιβαρύνεται από ρύπους γεωργικής προέλευσης. Πέραν της τοπικής ρύπανσης, κατά τις περιόδους πλημμυρικών φαινομένων παρατηρείται διάβρωση γεωργικών γαιών στις ανάντη ζώνες της λεκάνης και απόθεση των εδαφών αυτών στις κατάντη πεδινές ζώνες. Τα εδάφη αυτά μεταφέρουν σημαντικό ρυπαντικό φορτίο από τις αγροτικές δραστηριότητες που επιτελούνται στην περιοχή. Είναι εύλογο λοιπόν ότι απαιτούνται κατάλληλα διαμορφωμένα έργα αντιπλημμυρικής και αντιδιαβρωτικής προστασίας, ώστε να διασφαλιστεί αφενός η ποιότητα των υδατικών πόρων στις κατάντη ζώνες και ο εδαφικός μανδύας (επομένως και η γεωργική παραγωγή) στις ανάντη ζώνες.

#### ***9. Προοδευτική μετάβαση σε αρδευτικά συστήματα υψηλής απόδοσης***

Η αντικατάσταση αρδευτικών συστημάτων χαμηλής απόδοσης με άλλα υψηλής απόδοσης αποτελεί μια σημαντική επένδυση που είναι δύσκολο να εφαρμοστεί γενικευμένα. Ωστόσο, εκτιμάται ότι η προοδευτική μετάβαση σε τέτοια συστήματα (π.χ.

στάγδην άρδευση ή μικρο-καταιονισμός), θα μπορούσε να συνεισφέρει σημαντικότητα σε εξοικονόμηση και προστασία των υδατικών πόρων, παρέχοντας ταυτόχρονα και αντιδιαβρωτική προστασία στις επικλινείς λοφώδεις ζώνες.

#### ***10. Προοδευτική εφαρμογή ελλειμματικής άρδευσης***

Η εφαρμογή ελλειμματικής άρδευσης αποτελεί μια σύγχρονη τάση στις ημίξηρες-ξηρές γεωγραφικές ζώνες, ως μεθοδολογία προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή. Τα αποτελέσματα υπό τις κατάλληλες συνθήκες δείχνουν εντυπωσιακή ικανότητα προσαρμογής για ορισμένες καλλιέργειες, οδηγώντας σε ελάχιστη απώλεια παραγωγής και θεαματική μείωση των εφαρμοζόμενων όγκων νερού άρδευσης. Η προσπάθεια υιοθέτησης της μεθόδου αυτής θα είχε σημαντικότητα οφέλη για την περιοχή, καθώς θα μείωνε δραματικά τον όγκο του αρδευτικού νερού και θα εξασφάλιζε τη διαθεσιμότητα νερού για τη γεωργία ή άλλες χρήσεις. Ταυτόχρονα, θα περιόριζε το κόστος παραγωγής μέσω της μείωσης της κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος για άντληση αρδευτικού νερού από την υπόγεια υδροφορία.

#### ***11. Εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού με χειμερινές επιφανειακές απορροές***

Η εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού με τη χρήση των χειμερινών ανεκμετάλλευτων επιφανειακών απορροών αποτελεί μεθοδολογία ευρέως εφαρμοζόμενη στο δυτικό κόσμο. Αν και δεν αποτελεί πανάκεια για τον εμπλουτισμό του υπόγειου υδατικού δυναμικού, αφού για την εφαρμογή της απαιτείται να συντρέχουν αρκετές προϋποθέσεις, πρόκειται για προσέγγιση που συχνά υιοθετείται και ως μέτρο αντιπλημμυρικής προστασίας. Προτείνεται η διερεύνηση της εφαρμογής της μεθόδου στην ευρύτερη περιοχή, καθώς η μορφή του υδρογραφικού δικτύου μαρτυρά την ύπαρξη επαρκών ποσοτήτων πλημμυρικών απορροών για τον σκοπό αυτό.

Η δημιουργία μικρών ταμιευτήρων μπορεί να εξασφαλίσει πρόσθετους όγκους νερού για αρδευτική χρήση κατά την περίοδο αιχμής του καλοκαιριού, ενώ παράλληλα επιτυγχάνεται η συνεισφορά στην αντιπλημμυρική και αντιδιαβρωτική προστασία της περιοχής.

#### ***12. Εγκατάσταση υδρομέτρων και οργάνων μέτρησης και περιορισμού αντλήσεων βάσει στάθμης και ποιότητας (ηλεκτρικής αγωγιμότητας)***

Ήδη έχει αναφερθεί η αναγκαιότητα εγκατάστασης υδρομέτρων σε κάθε υδροληπτικό έργο ως μέσο εξασφάλισης δεδομένων για τη διαχείριση του υδατικού δυναμικού της περιοχής. Ωστόσο, η εγκατάσταση υδρομέτρων αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση και για τη διαχείριση κάθε υδροληπτικού έργου μιας γεωργικής εκμετάλλευσης. Έτσι, η

επίτευξη εξοικονόμησης και ορθής διαχείρισης του νερού άρδευσης απαιτεί τη γνώση των εφαρμοζόμενων ποσοτήτων νερού σε κάθε δόση άρδευσης, πληροφορία που επιτυγχάνεται μόνο με τη χρήση υδρομέτρου. Παράλληλα, η χρήση υδρομέτρου σε κάθε γεώτρηση είναι απαραίτητη καθώς σε συνδυασμό με την παρακολούθηση της μεταβολής της στάθμης της υπόγειας υδροφορίας κατά την άντληση και μετά την παύση αυτής αποδίδει τα απαραίτητα δεδομένα για την εκτίμηση των υδραυλικών παραμέτρων της υπόγειας υδροφορίας, αλλά και της κατάστασης του ίδιου του υδροληπτικού έργου. Η ορθή και συστηματική εξέταση των δεδομένων αυτών μπορεί να εξασφαλίσει τον ορισμό των βέλτιστων συνθηκών λειτουργίας του έργου, αλλά και την πρόληψη σημαντικών βλαβών τόσο της γεώτρησης όσο και του αντλητικού συγκροτήματος. Παράλληλα, εξαιτίας της ιδιαιτερότητας της περιοχής (υψηλές αλατότητες, μεγάλες πτώσεις στάθμης), είναι χρήσιμη η εγκατάσταση διάταξης αυτόματης διακοπής της άντλησης κάτω από ένα βάθος στάθμης, καθώς επίσης και η εγκατάσταση αισθητήρα μέτρησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας με διάταξη πάλι αυτόματης διακοπής της άντλησης μετά την υπέρβαση ενός κατωφλίου. Τα όργανα αυτά μάλιστα με τις κατάλληλες διατάξεις θα μπορούσαν να ελέγχουν τον τρόπο λειτουργίας του αντλητικού συγκροτήματος δίνοντας τις κατάλληλες εντολές σε inverter για την ομαλότερη/εντονότερη λειτουργία του, ανάλογα με τις συνθήκες που κάθε φορά διαμορφώνονται. Οι παραπάνω διατάξεις οδηγούν σε εξοικονόμηση ρεύματος για την άντληση, προστασία του υδροφόρου συστήματος από υπεράντληση ή/και υφαλμύριση, προστασία της καλλιέργειας από άρδευση με νερά υψηλής αλατότητας και σε προστασία των εδαφικών πόρων από αλάτωση/αλκα-λίωση ή/και τελικά ερημοποίηση λόγω προοδευτικής αύξησης της περιεκτικότητάς του σε άλατα.

### ***13. Ανάμειξη νερών διαφορετικής ποιότητας – συλλογική διαχείριση υδροληπτικών έργων***

Πολύ συχνά, σε περιοχές με ελλειμματικό υδατικό ισοζύγιο ή σε περιοχές με επιβαρυνμένη ποιότητα υπόγειων υδατικών πόρων λόγω ανθρωπογενών δραστηριοτήτων, θαλάσσιας διείσδυσης ή γεωλογικών αιτίων, η ποιότητα νερού μιας γεώτρησης είναι ακατάλληλη για την κάλυψη αρδευτικών αναγκών. Συνήθης πρακτική που συχνά εφαρμόζεται με επιτυχία στην Ελλάδα και στο εξωτερικό είναι η ανάμειξη του νερού αυτού σε κατάλληλη αναλογία με το νερό που προέρχεται από άλλη πηγή υδροδότησης ώστε να εξασφαλιστεί τελικά μια αποδεκτή για την άρδευση ποιότητα νερού. Με τον τρόπο αυτό δεν αχρηστεύεται το υδροληπτικό έργο με την υποβαθμισμένη ποιότητα, ενώ παράλληλα δεν αντλείται υπερβολικά το υδροληπτικό έργο που αποδίδει υψηλότερης

ποιότητας νερό. Συχνά, η διαχείριση τέτοιων έργων είναι οικονομικά συμφερότερη και αποδοτικότερη για το υδατικό περιβάλλον όταν πραγματοποιείται από κοινού με όλους τους ενδιαφερόμενους χρήστες μέσω μιας ομάδας διαχείρισης, όταν οι εμπλεκόμενοι είναι πολλοί. Λεπτομέρειες για τον επιτυχή τρόπο ανάμειξης των νερών πολλαπλών γεωτρήσεων αναφέρθηκαν στο Κεφάλαιο 8.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### ΑΓΓΛΟΦΩΝΗ

- Adin, A. & Elimelech, M. (1989). Particle filtration for wastewater irrigation. *Journal Irrigation and Drainage Division* 115(3):474-487.
- Adin, A. & Sacks, M. (1991). Dripper clogging factors in wastewater irrigation. *Journal Irrigation and Drainage Division* 117(6):813-826.
- AgSource. (2006). Understanding water quality. *Cooperative Services*, p.8.
- Alcamo J., Moreno J. M., Nováky B., Bindi M., Corobov R., Devoy R. J. & Shvidenko A. (2007). *Europe. In Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- Alperovits, E. & Shamir, U. (1977). Design of optimal water distribution. *Water Resources Research*, 13(6):885-900.
- Awasthi, D.K. & Awasthi, G. (2016). Desertification in the world, *International Journal of Pure and Applied Researches* 1(2):146-150.
- Ayars J.E., Hutmacher R.B., Schoneman, R.A., Vail, S.S. & Pflaum, T. (1993). Long term use of saline water for irrigation, *Irrigation Science* 14(1):27-34.
- Ayers, R. & Westcot, D. (1976). *Water quality for agriculture*. Irrigation and Drainage Paper 29, 97 p., FAO, Rome.
- Ayers, R. (1977). Quality of water for irrigation. *Journal Irrigation and Drainage Division* 103(2): 135-154.
- Ayers, R.S. & Tanji, K.K. (1981). *Agronomic aspects of crop irrigation with wastewater*. Proceedings Water Forum 1981, 1, A.S.C.E., N.Y., 579-586
- Ayers, R.S. & Westcot, D.W. (1985). *Water quality for agriculture*. F.A.O. Irrigation and Drainage Paper 29:99-104, Rev.1.
- Aziz, M.H.A. (1968). *Crop water requirements and water quality. Salinity control in Kuwait*. F.A.O. Project Report.
- Baath, G.S., Shukla, M.K., Bosland, P.W., Steiner, R.L. & Walker, S.J. (2016). Irrigation water salinity influences at various growth stages of capsicum annum. *Agricultural Water Management* (in press).
- Baettig, M. B., Wild, M. & Imboden, D. M. (2007). A climate change index: Where climate change may be most prominent in the 21st century. *Geophysical Research Letters* 34(1).
- Bauder, T.A., Waskom, R.M. & Davis, J.G. (2014). Irrigation water quality criteria, *Colorado State University, Extension*, 506:8
- Bear, J. (1979). *Hydraulics of groundwater*. McGraw-Hill Publishing Company.
- Bernstein, L. & Ayers, R.S. (1955). Sloping seedbeds. *California Agriculture* p. 8.
- Bernstein, L. & Fireman, M. (1957). Laboratory studies on salt distribution in furrow irrigated soil with special reference to the pre-emergence period. *Soil Science* 83:249-263.

- Bernstein, L. & Francois, L.E. (1973). Comparison of drip, furrow and sprinkler irrigation. *Soil Science* 115:73-86.
- Bernstein, L. & Francois, L.E. (1981). *Salinity in irrigation and water resources*. Ed. Yaron, D., Marcel Dekker, INC, N.Y. and Basel.
- Bernstein, L., Fireman, M. & Reeve, R.C. (1955). Control of salinity in the Imperial Valley. U.S.D.A., *Agricultural Research Service Bulletin* 41(4).
- Bertsimas, D. & Tsitsiklis, J. N. (1997). *Introduction to Linear Optimization*. Athena Scientific, Nashua, NH.
- Bhat, N. A., Jeelani, G. H. & Bhat, M. Y. (2014). Hydrogeochemical assessment of groundwater in karst environments, Bringi watershed, Kashmir Himalayas, India. *Current Science* 106: 1000-1007.
- Bhat, N. A., Bhat, A. A., Nath, S., Singh, B. P. & Guha, D.B. (2016). Assessment of drinking and irrigation water quality of surface water resources of South-West Kashmir, India. *Journal of Civil and Environmental Engineering* 6(2):1-7.
- Blanco, F.F., Folegatti, M.V., Gheyi, H.R. & Fernandes, P.D. (2008). Growth and yield of corn irrigated with saline water, *Science Agriculture* 65(6):574-580.
- Boari, F., Donadio, A., Pace, B., Schiattone, M. I. & Cantore, V. (2016). Kaolin improves salinity tolerance, water use efficiency and quality of tomato. *Agricultural Water Management* 167:29-37.
- Bruton, V. O. (2011). Irrigation water quality. NSW Government, Department of primary Industries, *Prime fact* 1164:3
- Bucks D.A., Sammis, T.W. & Dickey, J.L. (1990). *Irrigation for arid areas*. In: Hoffman, G.J.,
- Bucks, D.A., Nakayama, F.S. & Warrick, A.W. (1982). Principles, practices and potentialities of trickle (drip) irrigation. In: *Advances in Irrigation*, I:219-298.
- Busch, C.D. & Turner, F.J. (1967). Sprinkler irrigation with high salt content water. *Transactions of A.S.A.E.* 10(4):494-496.
- Bustan, A., Sagi, M., De Malach, Y. & Pasternak, D. (2004). Effects of saline irrigation water and heat waves on potato production in an arid environment. *Field Crops Research* 90(2-3):275-285.
- Chartzoulakis, K. & Bertaki, M. (2015). Sustainable water management in agriculture under climate change. *Agriculture and Agricultural Science Procedia* 4:88-98.
- Christiansen, J., Olsen, E. & Willardson, L.S. (1977). Irrigation water quality evaluation. *Journal Irrigation and Drainage* 103 (IR2): 155-169.
- Cooley H., Smith, J. C. & Gleick, P. (2009). *More with less: Agricultural water conservation and efficiency in California, Special focus on the Delta*. Pacific Institute, 15pp.
- Cross, N. (2001). Using saline water for irrigation. NSW Department of primary Industries, *Series: Agnote DPI-389*.
- Dantzig, G. B. & Thapa, M. N. (1997). *Linear Programming 1: Introduction*. Springer Series in Operations Research and Financial Engineering, Springer Verlag, New York.



- Dantzig, G. B. & Thapa, M. N. (2003). *Linear Programming 2: Theory and Extensions*. Springer Series in Operations Research and Financial Engineering, Springer Verlag, New York.
- De Malach, Y., Gillerman, L., David, I. & Lurie, S. (2002). "Effect of Water Salinity and Irrigation Technology on Yield and Quality of Pears. *Biosystem Engineering* 81(2):237-247.
- Dedrick, A.R., Erie, L.J. & Clemmens, A.J. (1982). Level basin irrigation. In: *Advances in Irrigation* edited by D. Hillel, Academic Press, N.Y., 105-145.
- Deininger, R. A. (1965). *Water quality management in the planning of economically optimal pollution control systems*. Proc. 1<sup>st</sup> Ann. Meeting, Amer. Water Resources Assoc., Univ. of Chicago.
- Doneen, L. (1958). Studies of water quality criteria. *Proc. of the conference on Quality for water irrigation*. Water Resources Center, Univ. of California, Davis. Kovda, V., Yaron, B.,
- Doneen, L.D. (1954). Salinization of soil by salts in the irrigation water. *Transaction American Geophysical Union* 35:943-950.
- Ducharne, A., Habets, F., Pagé, C., Sauquet, E., Viennot, P., Déqué, M. & Terray, L. (2010). Climate change impacts on water resources and hydrological extremes in northern France. In *XVIII Conference on Computational Methods in Water Resources*.
- Durov, S.A. (1948). Classification of natural waters and graphic representation of their composition. *Doklady, Ak. Nauk. SSSR* 59(1):87-90.
- Eaton, F. M. (1942). Toxicity and accumulation of chloride and sulfate salts in plants. *Journal of Agricultural Research* 64:357-399.
- Eaton, F. M. (1950). Significance of carbonate in irrigation water. *Soil Science* 69:2-133.
- Eaton, F.M. (1954). Formulas for estimating leaching and gypsum requirements or irrigation waters. *Texas Agricultural Experimental Station, Misc. Pub. 111*.
- English, D., (1985). Filtration and water treatment for micro irrigation. *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Drip/Trickle Irrigation Congress*, Fresno, California, 1:50-57.
- F.A.O. (1968). Sprinkler irrigation. *Agricultural Development Paper 88*, Rome.
- F.A.O. (1974). Surface irrigation. *Agricultural Development Paper 95*, Rome.
- F.A.O. (1980). Localized irrigation. *Irrigation and Drainage Paper 36*, Rome.
- F.A.O. (1984). Irrigation practice and water management. *Irrigation and Drainage Paper 1 (Rev.)*, Rome.
- Fedoroff, N.V., Battisti, D.S., Beachy, R.N., Cooper, P.J.M., Fischhoff, D.A., Hodges, C.N., Knauf, V.C., Lobell, D., Mazur, B.J., Molden, D., Reynolds, M.P., Ronald, P.C., Rosegrant, M.W., Sanchez, P.A., Vonshak, A. & Zhu, J.K. (2011). Radically rethinking agriculture for the 21<sup>st</sup> century. *HHS Public Access* 12:327 (5967):833-834.
- Feitosa, L., Cambraia, J., Oliva, M. & Ruiz, H. (2005). Changes in Growth and in Solute Concentration in Sorghum Leaves and Roots during Salt Stress Recovery. *Environmental and Experimental Botany* 54(1):69-76.

- Fireman, M. & Branson, R.L. (1965). Gypsum and other chemical amendments for soil improvement. *California Exp. Sta. and Ext. Serv. Leaflet 149*, 4p.
- Fireman, M. & Hayward, H.E. (1955). Irrigation water and saline and alkali soils. Water. *The Year Book of Agriculture*.
- Fujiwara, O., Gnanedran, S.K. & Ohgaki, S. (1987). Chance constrained model for river water quality management. *Journal of Environmental Engineering*, ASCE, 113(5):1018-1031.
- Gilbert, R. G. & Ford, H. W. (1986). Operational principles emitters clogging. In *Trickle irrigation for crop production*. Eds. F.S. Nakayama and D.A. Bucks, New York, p. 42-163.
- Gilbert, R., Nakayama, F., Bucks, D., French, O. & Adamson, K. (1981). Trickle irrigation: emitter clogging and other flow problems. *Agricultural Water Management* 3:159–178.
- Gilbert, R.G., Nakayama, F.S. & Bucks, D.A. (1979). Trickle irrigation. Prevention of clogging. *Transactions of A.S.A.E.* 22(3):514-519.
- Giorgi, F. & Coppola, E. (2009). Projections of twenty-first century climate over Europe. In *EPJ Web of Conferences EDP Sciences* 1:29-46.
- Giorgi, F. & Lionello, P. (2008). Climate change projections for the Mediterranean region. *Global and Planetary Change* 63(2): 90-104.
- Gleick, P. (2002). *The World's Water 2002-2003*. Island Press, Washington.
- Goosen, M.F.A. & Shayya, W.H. (Eds.) (2001). *Water Management, Purification and Conservation in Arid Climates*. Technomic Publ. Co., Lancaster, Penn.
- Goubanova, K. & Li, L. (2007). Extremes in temperature and precipitation around the Mediterranean basin in an ensemble of future climate scenario simulations. *Global and Planetary Change* 57(1):27-42.
- Grattan, S. R. (2002). Irrigation water salinity and crop production. *ANR Publication 8066*, University of California, 9 pp.
- Grattan, S.R. & Rhoades, J.D. (1990). Irrigation with saline groundwater and drainage water. In: *Agricultural Salinity Assessment and Management Manual*. K.K. Tanji (ed.), A.S.C.E., New York, 432-449.
- Gupta, S. K. & Gupta, I. C. (eds) (1997). *Management of Saline Soils and Waters*, Scientific Publishers, Jodhpur, pp.97–116.
- Hadley, G., 1972. *Linear Programming*. Addison-Wesley, Reading, Massachusetts.
- Hanson, B. & May, D. (2011). Drip irrigation salinity management for row crops. *UC, ANR Publication 8447*.
- Hanson, B., Grattan, S. & Fulton, A. (1999). Agricultural salinity and drainage. *UC, Davis, ANR Publication 3376*.
- Hanson, B., Schwankl, L., Grattan, S. & Prichard, T. (1996). Drip irrigation for row crops. *UC, Davis, ANR Publication 3375*.
- Hergert, G.W. & Knudsen, D. (1997). *Irrigation water quality criteria*. Neb Guide, File G328, Water Resource Management, A-6, Water Quality, CE, USDA, University of Nebraska, USA.

- Hillier, F.S. & Lieberman, G.J. (1995). *Introduction to Operations Research*, McGraw-Hill, San Francisco.
- I.P.C.C. 2001. *Climate Change. (2001). Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Report of Working Group II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (6th Session, Geneva).*
- Kahlaoui, B., Hachicha, M., Rejeb, S., Rejeb, M.N., Hanchi, B. & Misle, E. (2011b). Effect of saline water on tomato under subsurface drip irrigation: Yield and fruit quality, *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 5(9):517-529.
- Kahlaoui, B., Hachicha, M., Rejeb, S., Rejeb, M.N., Hanchi, B. & Misle, E. (2011a). Effect of saline water on tomato under subsurface drip irrigation: nutritional and foliar aspects. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 11(1): 69-86.
- Kaman, H., Kirda, C., Cetin, M. & Topcu, S. (2006). Salt accumulation in the root zones of tomato and cotton irrigated with partial root-drying technique. *Irrigation and Drainage* 55(5):533-544.
- Kandiah, A. (1990 $\alpha$ ). Water quality management for sustainable agricultural development. *Natural Resources Forum* 14(1): 22-32.
- Kandiah, A. (1990 $\beta$ ) (ed). *Criteria and classification of saline water*. In: Water, Soil and Crop Management Practices Relating to the Use of Saline Water. AGL/MIC/16, F.A.O., Rome, 34-51.
- Karamanos, A., Aggelides, S. & Londra, P. (2005). Irrigation systems performance in Greece. In Lamaddalena, N. (ed.), Lebdi, F. (ed.), Todorovic, M. (ed.), Bogliotti, C. (ed.). *Irrigation systems performance*. Bari, CIHEAM, 99-110 (Options Méditerranéennes : Série B. Etudes et Recherches; n . 52
- Katerji N., van Hoorn J.W., Hamdy A. & Mastrorilli M. (2001). Salt tolerance of crops according to three classification methods and examination of some hypothesis about salt tolerance. *Agricultural Water Management* 47(1): 1-8.
- Katerji, N., van Hoorn, J., Hamdy, A. & Mastrorilli, M. (2004). Comparison of Corn Yield Response to Plant Water Stress Caused by Salinity and by Drought. *Agricultural Water Management* 65(2):95-101.
- Khalaf, R.M. & Hassan, W.H. (2013). Evaluation of irrigation water quality index (IWQI) for Al-Damman confined aquifer in the west and southwest of Karbala city, Iraq. *International Journal of Civil Engineering (IJCE)*, 2(3):21-34.
- Kiremit, M.S. & Arslan, H. (2016). Effects of irrigation water salinity on drainage water salinity, evapotranspiration and other leek (*Allium porrum* L.) plant parameters. *Scientia Horticulturae* 201:211-217.
- Kizilgoz, I. & Sakin, E. (2010). The effects of soil boron and calcium applications on boron and calcium uptake in Durum wheat (*Triticum durum* L.). *African Journal of Agricultural Research* 5(15):2073-2076.
- Kosmas, K., Danalatos, N.G., Lopez-Bermudez, F. & Romero Diaz, M.A. (2002). The effect of land use and soil erosion on land degradation under Mediterranean Conditions. In *Mediterranean Desertification. A Mosaic of Processes and Responses*, Eds Geeson, Brandt, Thornes, 57-70.
- Kumar, A. (2012). Salinity is a global problem especially in arid and semi-arid regions. *Science 2.0* pp.1-3.

- Ladeiro, B. (2012). Saline agriculture in the 21<sup>st</sup> century: Using salt contaminated resources to cope food requirements. *Journal of Botany*, p.7.
- Lamont, W.Jr. (2016). Understanding your turf irrigation water analysis report (WT01). Agricultural Analytical Services Lab, *Penn State College of Agricultural Sciences* p.3.
- Langelier, W. E. & Ludwig, H.F. (1942) Graphical method for indicating the mineral character of natural water. *J Am Wat WorAssoc* 34:335-352.
- Li Y.L., Stanghellini, C. & Challa, H. (2001). Effect of electrical conductivity and transpiration on production of green house tomato (*Lycopersicon esculentum* L). *Scientia Horticulturae* 88: 11-29.
- Lynn, W.R., Logan, J.A. & Charnes, A. (1962). System analysis for planning wastewater treatment plants. *Journal of Water Pollution Control Federation*, 34(6):565-581.
- Maas, E.V. & Hoffman, G.L. (1977). Crop salt tolerance: current assessment. *Journal of Irrigation and Drainage*, 103(2):115-134.
- Maas, E.V. (1984). Crop tolerance. *California Agriculture* 38(10).
- Maas, E.V. (1985). Crop tolerance to saline sprinkling water. *Plant and Soil* 89:273-284.
- Maas, E.V. (1990). Crop salt tolerance. In: *Agricultural Salinity Assessment and Management Manual*. K.K. Tanji (ed.), A.S.C.E., New York., pp 262-304.
- Magan, J.J., Gallardo, M., Thompson, R.B. & Lorenzo, P. (2008). Effects of salinity on fruit yield and quality of tomato grown in soil-less culture in greenhouses in Mediterranean. *Agricultural Water Management* 95: 1104-1055.
- Maggio, A., De Pascale, S., Angelino, G., Ruggiero, C. & Barbieri, G. (2004). Physiological response of tomato to saline irrigation in long term salinized soils. *European Journal of Agronomy* 21: 149-159.
- Magistad, O.C. & Christiansen, J.E. (1944). Saline soils, their nature and management. *Circular 707*, U.S.D.A.
- Malsh, N., Flowers, T. & Ragab, R. (2005). Effect of Irrigation Systems and Water Management Practices Using Saline and Non-Saline Water on Tomato Production. *Agricultural Water Management* 78(1-2):25- 38.
- Meireles, A., Andrade, E. M., Chaves, L., Frischkorn, H. & Crisostomo, L. A. (2010). A new proposal of the classification of irrigation water. *Revista Ciência Agronômica*, 41(3):349-357.
- Meiri, A., Frenkel, H. & Mantell, A. (1992). Cotton response to water and salinity under sprinkler and drip irrigation. *Agronomy Journal* 84: 44-50.
- Misopolinos, N.D. (1985). A new concept for reclaiming sodic soils with high salt water. *Soil Science* 140:69-74.
- Misopolinos, N.D. & Ambas, A. (1989). A computer program for calculating parameters necessary for reclaiming sodic soils using high salt water. *Soil Technology* 2:243.
- Mohamed, N.A. & Amer, F. (1972). Sodium carbonate formation in Ferhash area and possibility of biological dealkalinization. *Proceedings of the International Sympos-*

- sium on New Developments in the Field of Salt Affected Soils*. Ministry of Agriculture, Cairo.
- Molle, F. & Berkoff, J. (2006). *Cities versus Agriculture: Revisiting intersectoral water transfers, potential gains, and conflicts*. Vol. 10 IWMI.
- Morgan D.R. & Goulter I.C. (1985). Optimal urban water distribution design, *Water Resources Research*, 21(5):642-652.
- Mountrakis, D., Psilovikos, A. & Papazachos, B. (1983). The geotectonic regime of the 1978 Thessaloniki earthquakes. In: Papazachos, B. C. and P. G. Carydis (eds.), *The Thessaloniki, Northern Greece, earthquake of June 20, 1978 and its seismic sequence*, Technical Chamber of Greece 11 - 27.
- Mousavi, S.F., Mostafazadeh-Fard, B., Farkhondeh, A. & Feizi, M. (2009). Effects of deficit irrigation with saline water on yield, fruit quality and water use efficiency of Cantaloupe in an arid region. *Journal of Agricultural Science and Technology* 11:469-479.
- Nagaz, K., Masmoudi, M.M. & Ben Mechlia, N. (2012 $\alpha$ ). Impacts of irrigation regimes with saline water on carrot productivity and soil salinity, *Journal of the Saudi society of agricultural sciences* 11(1):19-27.
- Nagaz, K., Masmoudi, M.M. & Ben Mechlia, N. (2012 $\beta$ ). Effect of deficit drip-irrigation scheduling regimes with saline water on pepper yield, water productivity and soil salinity under arid conditions of Tunisia. *Journal of Applied Horticulture* 14(1):18-24.
- Nagaz, K., Toumi, I., Masmoudi, M. & Ben Mechlia, N. (2008). Soil salinity and barley production under full and deficit with saline water in arid conditions of southern Tunisia. *Research Journal of Agronomy* 2(3):90-95.
- Nakayama, F.S. & Bucks, D.A. (1985). Drip/trickle irrigation in action: Temperature effect on calcium carbonate precipitate clogging of trickle emitters. *Proceedings of 3<sup>rd</sup> International Drip/Trickle Irrigation Congress*, November 18-21, Fresno, California, 1: 45-50.
- Nakayama, F.S. (1982). Water analysis and treatment techniques to control emitter plugging. *Proceedings of Irrigation Association Conference*, 21-24 February, Portland, Oregon.
- Nakayama, F.S. & Bucks, D.A. (1986). *Trickle irrigation for crop production, design, operation and management*. Elsevier, Amsterdam.
- Navarro, J.M., Botella, M.A. & Martinez, V. (1999). Yield and fruit quality of melon plants grown under saline conditions in relation to phosphate and calcium nutrition. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 74: 573-578.
- Noshadi, M., Fahandej, S. & Sepaskhah, A.R. (2013). Effects of salinity and irrigation water management on soil and tomato in drip irrigation. *International Journal of Plant Production* 7(2):295-312.
- Oron G., DeMalach, Y., Gillerman, L., David, I. & Lurie, S. (2002). Effect of Water Salinity and Irrigation Technology on Yield and Quality of Pears. *Biosystems Engineering* 81(2): 237-247.
- Oron, G., Demalach, J., Hoffman, Z. & Cibotaru, R. (1991). Subsurface Microirrigation with Effluent. *Journal Irrigation and Drainage*, 117(1):25-36.

- Oster, J.D. & Schroer, F.W. (1979). Infiltration as influenced by irrigation water quality. *Soil Science* 43:444-447.
- Padmakumari, O. & Sivanappan, R.K. (1985). Study on clogging of emitters in drip systems. *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Drip/Trickle Irrigation Congress*, November 18-21, Fresno, California, 1:80-83.
- Page, A.L. & Chang, A.C. (1985). Fate of wastewater constituents in soil and groundwater trace elements. In *Irrigation with Reclaimed Municipal Wastewater-A guidance manual*. 2<sup>nd</sup> Edition, Pettygrove, G.S., and Asano, T. (Eds.), Lewis Publishers, Inc., Chelsea, MI.
- Panagopoulos, A., Arampatzis, G., Herrmann, F., Kunkel, R., Pisinaras, V., Tziritis, E. & Wendland, F. (2016). Assessment of climate change impact on runoff in Pinios river basin, Greece. *E-Proc. Int. Conference EWaS 2*, Chania, 1-8.
- Panagopoulos, A., Arampatzis, G., Tziritis, E., Pisinaras, V., Herrmann, F., Kunkel, R. & Wendland, F. (2014). Assessment of climate change impact in the hydrological regime of River Pinios Basin, Central Greece. *Desalination and Water Treatment* 1-12.
- Papadopoulos, I. & Stylianou, Y. (1988). Trickle irrigation of cotton with sewage treated effluent. *Journal of Environmental Quality* 17:574-580.
- Pearson, G.A. (1960). Tolerance of crops to exchangeable sodium. *USDA Inform. Bulletin* 216:4.
- Pereira, L.S., (2005). Water and Agriculture: Facing Water Scarcity and Environmental Challenges. *Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development*. Invited Overview Paper. Vol. VII.
- Pereira, L.S., Cordery, I & Iacovides, I. (2002 $\alpha$ ). Coping with Water Scarcity. UNESCO IHP VI, *Technical Documents in Hydrology No. 58*, UNESCO, Paris, 267 p. (accessible through <http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001278/127846e.pdf>)
- Pereira, L.S., Oweis, T & Zairi, A, (2002 $\beta$ ). Irrigation management under water scarcity. *Agricultural Water Management* 57: 175-206.
- Pérez-Pérez, J.G., Robles, J.M., Tovar, J.C. & Botia, P. (2009). Response to drought and salt stress of lemon 'Fino 49' under field conditions: Water relations, osmotic adjustment and gas exchange. *Scientia Horticulturae* 122: 83-90.
- Philandras, C. M., Nastos, P. T., Kapsomenakis, J., Douvis, K. C., Tselioudis, G. & Zerefos, C. S. (2011). Long term precipitation trends and variability within the Mediterranean region. *Natural Hazards and Earth System Science* 11(12):3235-3250.
- PlaSentis, I. (2005). Soil salinization and land desertification. *College on Soil Physics, SMR.1674-24* p.14.
- Rahil, M., Hajjeh, H. & Qanadillo, A., (2013). Effect of saline water application through different irrigation intervals on tomato yield and soil properties. *Journal of Soil Science* 3:143-147.
- Rameshwaran, P., Tepe, A., Yazar, A. & Ragab, R. (2016). Effects of drip-irrigation regimes with saline water on pepper productivity and soil salinity under greenhouse conditions, *Scientia horticulturae* 199:114-123.

- Rhoades, J. D. (1974). Drainage for salinity control. In *Drainage for agriculture*, J. van Schilfgaarde, ed., Agronomy Monograph No. 17:433-461, SSSA, Madison, Wisc.
- Rhoades, J. D., Ingvalson, R. D., Tucker, J.M. & Clark, M. (1973). Salts in irrigation drainage waters: Effects of irrigation water composition, leaching fraction and time of year on the salt compositions of irrigation drainage waters. *SSCA 77(5):770-774*.
- Rhoades, J.D. (1972). Quality of water for irrigation. *Soil Science* 113(4):277-284.
- Rhoades, J.D. (1977). Potential for using saline agricultural drainage for irrigation. *Proceedings of Water Management for Irrigation and Drainage*, A.S.C.E., Reno, Nevada, July, 177:85-116.
- Rhoades, J.D. (1984). Use of saline water for irrigation. *California Agriculture* 38(10).
- Rhoades, J.D., Kandiah, A. & Mashali, A.M. (1992). The Use of Saline Waters for Crop Production. *FAO Irrigation and Drainage Paper. 48*, FAO, Rome, 133 pp.
- Richards, L. A. (1968). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *USDA Agriculture Hand Book No 60*, Oxford and IBH Publishing Company, New Delhi.
- Robinson, F.E. (1980). *Irrigation rates critical in Imperial valley alfalfa*. California.
- Rosema, J. & Flowers, T. (2008). Crops for a salinized world. *Science, Perspectives* 322:1478-1480.
- Rossi G., Cancellieri, A., Pereira, L.S., Oweis, T., Shatanawi, M. & Zairi, A. (Eds.) (2003). *Tools for Drought Mitigation in Mediterranean Regions*. Kluwer, Dordrecht, 357 p.
- Saleh, L.A.M. (2016). Assessment of the Irrigation Water Quality for Al-Kifl River in Al-Hindya City. *Journal of Babylon University /Engineering Sciences*, 24(1):266-276.
- Sarwar, A. & Bastiaanssen, W.G.M. (2001). Long-term effects of irrigation water conservation on crop production and environment in semi-arid areas. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 127(6). 331-338.
- Scofield, C. S. (1935). The salinity of irrigation water. *Smithsonian Institute Annual Report* 275-287.
- Scofield, C.S. (1933). Quality of irrigation waters. South Coastal Basin Investigation. California Department of Public Works, Division of Water Resources. *Bulletin 40*, Sacramento, California.
- Shamir, U., 1974. Optimal design and operation. *Water Resources Research*, 10(1): 27-36.
- Shiklomanov, I.A. (2000). Appraisal and assessment of world water resources. *Water International* 25(1):11-32.
- Simsek, C. & Gunduz, O. (2007). IWQ index: A GIS-integrated technique to assess irrigation water quality. *Environmental Monitoring Assessment*, 128:277–300.
- Smith D.V. (1966). *Minimum cost design of linearly restrained water distribution networks*. MSc. Thesis, Dept. of Civil Eng., Mass. Inst. of Technology, Cambridge.

- Spandana, M.P., Suresh, K.R. & Prathima, B. (2013). Developing an irrigation water quality index for Vrishabavathi command area. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 2(6):821-830.
- Stephenson D. (1981). *Pipeline design for water Engineers*. Elsevier Science Publishers B.V, Amsterdam-Oxford-New York.
- Strasser, P., Pau Vall, M. & Plötscher, E. (1999). *Water and agriculture: contribution to an analysis of a critical but difficult relationship*. The European Commission.
- Tavousi M., Kaveh, F., Alizadeh, A., Babazadeh, H. & Tehranifar, A. (2015). Effects of drought and salinity on yield and water use efficiency in pomegranate tree. *J. Mater. Environ. Sci.* 6(7):1975-1980.
- Thorne, J.P. & Thorne, D.W. (1951). Irrigation waters of Utah. Utah Agricultural Experiment Station, *Bulletion 346*.
- Tyagi, N.K. (2003). Managing Saline and Alkaline Water for higher productivity. In *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvements* (eds) Kojne, Barker, Molden, CAB International, 69-87.
- Tzimopoulos, C. & Ginidi, P. (2005). Optimized aquifer management, using linear programming. An application to the Agia Varvara aquifer, Drama, Greece, *Global NEST Journal*, 7(3):395-404.
- U.C.C.C. (1974). *Guidelines for interpretation of water quality for agriculture*. Memo Report. U.S. Bureau of Plant Industry, Soils and Agr. Eng. Washington.
- U.S.D.A., Soil Conservation Service (1956). Methods of evaluating irrigation systems. *Handbook No 82*. Gov't Printing Office, Washington D.C.
- U.S.D.A., Soil Conservation Service (1971). Drainage of agricultural land. *National Engineering Handbook Section 16*.
- U.S.D.A., Soil Conservation Service (1974a). Border irrigation. *National Engineering Handbook, Section 15, Chapter 4*.
- U.S.D.A., Soil Conservation Service (1974b). Sprinkler irrigation. *National Engineering Handbook, Section 15, Chapter 11*.
- U.S.D.A., Soil Conservation Service (1984). Furrow irrigation (2nd edition). *National Engineering Handbook, Section 15, Chapter 5*.
- U.S.E.P.A. (1973). Water quality criteria. Ecological Research Series, *E.P.A. R3-73-033*, U.S.E.P.A., Washington, D.C.
- U.S.S.L. Staff (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils, *USDA Handbook 60*, Washington D.C., pp. 69-82.
- Van Hoorn, J.W. (1979). Effect of capillary flow on salinization and the concept of critical depth for determining drain depth. *Proceedings of the International Drainage Workshop, I.L.R.I. Publication No 25*, Wageningen, 686-700.
- Ward, R. C. & Robinson, M. (1967). *Principles of hydrology*. 551.49/W262, New York: McGraw-Hill.
- Westcot, D.W. & Ayers, R.S. (1985). *Irrigation water criteria. In irrigation with Reclaimed Municipal Wastewater - A guidance manual*. 2nd Edition, Pettygrove, G.S., and Asano, T. (Eds), Lewis Publishers, Inc., Chelsea, MI.



- Wilcox, L.V. & Magistad, O.C. (1943). *Interpretation of analysis of irrigation waters and the relative tolerance of crop plants*. U.S. Bureau of Plant Industry, Soils and Agricultural Engineering, Washington, D.C.
- Wilcox, L.V. (1948). The quality of water for irrigation use. *Technical Bull.* 962, U.S.D.A., Washington.
- Wilcox, L.V. (1958). Water quality from the standpoint of irrigation. *Journal of the American Waterworks Association* 5.
- Wilcox, L.V. & Durum, W.H. (1967). Quality of irrigation water, Irrigation of Agricultural Lands, *American Society of Agronomy*.
- Yermiyahu, U., Tal, A., Ben-Gal, A., Bar-Tal, A., Tarchitzky, J. & Lahav, O. (2007). Rethinking desalinated water quality and agriculture, 318, *Environmental Science*, p.2.

### **ΕΛΛΗΝΟΦΩΝΗ**

- Α.Π.Θ. (1980). *Μετεωρολογικά στοιχεία εικοσαετίας 1961 - 1980*. Μετεωρολογικός Σταθμός Α.Π.Θ.
- Αγροτικός Συνεταιρισμός Τριλόφου (2016). *Στοιχεία καλλιεργούμενων εκτάσεων στο Δ.Δ. Τριλόφου*.
- Αντωνόπουλος, Β. (1993). *Ποιότητα και ρύπανση των υπόγειων νερών*. Υπηρεσία Δημοσιεύσεων του Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, σ.208.
- Βασιλείου, Π.Χ., Τσακλίδης, Γ. & Τσάντας, Ν.Δ. (2001). *Ασκήσεις στην Επιχειρησιακή Έρευνα*. Τόμος 1, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- Δαλαμπάκης, Π. (2003). *Ανόρυξη γεωθερμικών γεωτρήσεων εκμετάλλευσης και επανεισαγωγής στο Γ/Π Θέρμης (Ν. Θεσσαλονίκης)*, Αγρόκτημα Ταγαράδων Δ. Θέρμης. ΜΠΕ.
- Δήμος Θέρμης (2015). *Επιχειρησιακό πρόγραμμα Δήμου Θέρμης 2014-2019, Α΄ Φάση: Στρατηγικός Σχεδιασμός, Θέρμη.*, Νοέμβριος 2015.
- Ε.Ε. (2006). *Οδηγία 2006/118/Ε.Κ. του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 12ης Δεκεμβρίου 2006, σχετικά με την προστασία των υπογείων υδάτων από τη ρύπανση και την υποβάθμιση*. Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, L372/19.
- Ε.Ε. (2000). *Οδηγία 2000/60/Ε.Κ. του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000, σχετικά με τη θέσπιση πλαισίου Κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων*, Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, L327/1.
- Ε.Ο.Κ., 676 (1991). *Οδηγία του Συμβουλίου της 12ης Δεκεμβρίου 1991, για την προστασία των υδάτων από τη νιτρορρύπανση γεωργικής προέλευσης*. Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, L375/1.
- ΕΛ.ΣΤΑΤ. (2001). *Απογραφή πληθυσμού Ελλάδας το έτος 2001*.
- ΕΛ.ΣΤΑΤ. (2011). *Απογραφή πληθυσμού Ελλάδας το έτος 2011*.

- Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής (2011). *Οι περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα*. Τράπεζα της Ελλάδος, Αθήνα, 520σ.
- Θεοχάρης, Μ. (2004). *Βελτιστοποίηση των αρδευτικών δικτύων. Έγερση των οικονομικών διαμέτρων*. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Αγρονόμων, Τοπογράφων Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή ΑΠΘ.
- Ιωαννίδης, Δ. (1992). *Ανάλυση και εφαρμογή του γραμμικού προγραμματισμού σε συλλογικά δίκτυα υπό πίεση και σύγκριση με τη μη γραμμική μέθοδο και τη μέθοδο του Labye*. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Γεωπονίας Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
- Καλλέργης, Γ. (1985). *Εφαρμοσμένη Υδρογεωλογία*. Έκδοση Τ.Ε.Ε., Αθήνα, Β (17): 1-29.
- Κανάκης, Π. (2010). *Ελαχιστοποίηση κόστους με ασαφή γραμμικό προγραμματισμό και ανάλυση λειτουργίας υπό πίεση αρδευτικών δικτύων*. Μεταπτυχιακή διατριβή, Τμήμα Γεωπονίας ΑΠΘ.
- Μαλεφάκης, Γ. (1998). *Ποιότητα επιφανειακών και υπόγειων νερών*. Ινστιτούτο Εδαφολογίας και Εδαφοϋδρολογικού Εργαστηρίου, ΥΕΒ, ΥΠ.
- Μάνος, Β. (1991). *Θέματα Οικονομικών Μαθηματικών και Επιχειρησιακής Έρευνας*. Εκδόσεις Ζήτη.
- Μήτσιος, Ι.Κ. (1994). *Αλατούχα και νατριούχα εδάφη. Ποιοτικά κριτήρια των νερών άρδευσης-Διαχείριση των αρδευόμενων αλατούχων και νατριούχων εδαφών*. Βόλος.
- Μισοπολινός, Ν. (2015). *Εδαφολογικός χάρτης της Ελλάδας*. ΥΠΑΑΤ, ΟΠΕΚΕΠΕ, ΑΠΘ.
- Μισοπολινός, Ν.Δ. (1985). *Κίνδυνοι υποβάθμισης εδαφών-Βελτίωση νατριωμένων εδαφών*. Θεσσαλονίκη.
- Μισοπολινός, Ν.Δ. (1991). *Προβληματικά εδάφη. Μελέτη, προβλήματα, βελτίωση*. Έκδοση Γιαχούδη-Γιαπούλη.
- Μουντράκης, Δ. Μ. (1985). *Γεωλογία της Ελλάδας*. 1<sup>η</sup> έκδοση, University Studio Press, σ.208.
- Νόμος 2539 (1997). *Πρόγραμμα Καποδίστριας. Συγκρότηση της πρωτοβάθμιας τοπικής αυτοδιοίκησης*.
- Νόμος 3199 (2003). *Προστασία και Διαχείριση των Υδάτων-Εναρμόνιση με την Οδηγία 2000/60/Ε.Κ. του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου του 2000 (Φ.Ε.Κ. 280Α/09-12-2003)*.
- Νόμος 3852 (2010). *Πρόγραμμα Καλλικράτης. Συγκρότηση της πρωτοβάθμιας τοπικής αυτοδιοίκησης (Φ.Ε.Κ. 87/τ.Α/2010)*.
- Π.Δ. 51 (2007). *Καθορισμός Μέτρων και Διαδικασιών για την Ολοκληρωμένη Προστασία και Διαχείριση των Υδάτων σε Συμμόρφωση με τις Διατάξεις της Οδηγίας 2000/60/Ε.Κ. «Για τη Θέσπιση Πλαισίου Κοινοτικής Δράσης στον Τομέα της Πολιτικής των Υδάτων» του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000 (Φ.Ε.Κ. 54Α/08-03-2007)*.
- Πανώρας, Α. Γ. & Ηλίας, Α. (1999). *Άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα*. Έκδοση Γιαχούδη – Γιαπούλη.

- Πανώρας, Α.Γ. (1985). *Ποιότητα αρδευτικών νερών. Εκτίμηση της ποιότητας των αρδευτικών νερών*. Έκδοση Ι.Ε.Β., Σίνδος Θεσσαλονίκης.
- Πανώρας, Α.Γ. (1995). Οδηγίες συντήρησης συστήματος άρδευσης με σταγόνες. *Γεωπονικά*, 357:82-87.
- Πανώρας, Α.Γ., Μαυρουδής, Ι.Γ. & Βαφειάδης, Π.Π., (1994). Αξιολόγηση της καταλληλότητας τού αρδευτικού νερού για γεωργική χρήση. *Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα* 5(4):22-28.
- Παπαζαφειρίου, Ζ, Αντωνόπουλος, Β., Καραμούζης, Δ., Μακραντωνάκη, Μ., Παγώνης, Κ., Πανώρας, Α., Παπαμιχαήλ, Δ., Σκούλλος, Μ., Τερζίδης, Γ., Τσιχριντζής, Β., Τσουμάνης, Π. & Τηλιγάδας, Ε. (2000). Εθνική στρατηγική για τους υδατικούς πόρους. *Πρακτικά Συνεδρίου Συνάντησης Εργασίας*, Αθήνα, 25 Φεβρουαρίου, 23-64.
- Παπαζαφειρίου, Ζ.Γ. (1976). Εκτίμηση και βελτίωση της αποδοτικότητας αρδεύσεων με τη μέθοδο της περιορισμένης διάχυσης. *Επιστημονικό Δελτίο της Ε.Ε.Α.Α.* τεύχος Α:27-36.
- Παπαζαφειρίου, Ζ.Γ. (1984). *Αρχές και πρακτική των αρδεύσεων*. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- Παπαμιχαήλ, Δ. (2000). Εξοικονόμηση αρδευτικού νερού- Αρδευτικές μέθοδοι. Στο βιβλίο με τίτλο «*Διαχείριση υδατικών και ενεργειακών πόρων*» Σακελλαριάδης Σπ. (εκδ.), ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.
- Παπαμιχαήλ, Δ.Μ. & Μπαμπατζιμόπουλος, Χ.Σ. (2014). *Εφαρμοσμένη γεωργική υδραυλική*. Εκδόσεις Ζήτη, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.
- Σούλιος, Γ. (1986). *Γενική Υδρογεωλογία*. University Studio press.1986
- Τερζίδης, Γ.Α. & Καραμούζης, Δ.Ν. (1986). *Στραγγίσεις γεωργικών εδαφών*. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- Τερζίδης, Γ.Α. & Παπαζαφειρίου, Ζ.Γ. (1998). *Γεωργική υδραυλική*. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- Τσακίρης, Γ. (2004). *Υδατικοί πόροι – Ποιότητα αρδευτικού νερού*. ΕΜΠ, Αθήνα.
- Φ.Ε.Κ. 182, (2014). *Έγκριση του Σχεδίου Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Κεντρικής Μακεδονίας*. Ε.Γ.Υ.
- Φ.Ε.Κ. 892, (2001). *Ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης σε συμμόρφωση με την οδηγία 98/83/Ε.Κ. του Συμβουλίου της Ε.Ε. της 3<sup>ης</sup> Νοεμβρίου 1998 (Κ.Υ.Α. Υ2/2600/2001)*.
- Φ.Ε.Κ. Β/1383, (2010). *Καθορισμός των λεκανών απορροής ποταμών της χώρας και ορισμού των αρμόδιων Περιφερειών για τη διαχείριση και προστασία τους*. Απόφαση της Εθνικής Επιτροπής Υδάτων 706/15.7.2010.
- Χατζηγιαννάκης, Ε., Ηλίας, Α. & Βρουχάκης, Ι. (2012a). *Οδηγίες δειγματοληψίας και προκατεργασίας εδάφους*. ΥΠ.Α.Α.Τ., ΕΛ.Γ.Ο. «ΔΗΜΗΤΡΑ».
- Χατζηγιαννάκης, Ε., Ηλίας, Α. & Βρουχάκης, Ι. (2012b). *Οδηγίες δειγματοληψίας νερού*. ΥΠ.Α.Α.Τ., ΕΛ.Γ.Ο. «ΔΗΜΗΤΡΑ».

## ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

Ανώνυμος (2010). Δουμπιά Χαλκιδικής Macedonia Greece. <http://doumbia-istoria.blogspot.com/2010/12/18.html> (ανάκτηση 8/7/2016).

Ευρωπαϊκή Επιτροπή, Γενική Διεύθυνση Γεωργίας & Αγροτικής Ανάπτυξης, (2008). Η γεωργία στην ΕΕ απαντώντας στη πρόκληση των κλιματικών αλλαγών. [http://ec.europa.eu/agriculture/publi/fact/climate\\_change/leaflet\\_el.pdf](http://ec.europa.eu/agriculture/publi/fact/climate_change/leaflet_el.pdf) (ανάκτηση 11/11/2016).

F.A.O. (2011). Fast facts: The state of world's land and water resources. From [http://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/newsroom/docs/en-solaw-acts\\_1.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/newsroom/docs/en-solaw-acts_1.pdf) (ανάκτηση 7/6/2016).

<https://www.wolfram.com/mathematica> (ανάκτηση 3/4/2017).

Lenntech, B.V., (2016). Irrigation water quality. <http://www.lenntech.com/applications/irrigation/sar/sar-hazard-of-irrigation-water> (ανάκτηση 7/6/2016).

Lenntech, B.V., (2016). SAR hazard of Irrigation water. <http://www.lenntech.com/applications/irrigation/sar/sar-hazard-of-irrigation-water> (ανάκτηση 7/6/2016).

Spectrum Analytic Inc., (2016). Guide to interpreting irrigation water analysis. [http://www.spectrumanalytic.com/support/library/pdf/guide\\_to\\_interpreting\\_irrigation\\_water\\_analysis.pdf](http://www.spectrumanalytic.com/support/library/pdf/guide_to_interpreting_irrigation_water_analysis.pdf) (ανάκτηση 7/6/2016).

Spectrum Analytic Inc., (2016). Soil sampling guide. [http://www.spectrumanalytic.com/support/library/pdf/guide\\_to\\_interpreting\\_irrigation\\_water\\_analysis.pdf](http://www.spectrumanalytic.com/support/library/pdf/guide_to_interpreting_irrigation_water_analysis.pdf) (ανάκτηση 11/2/2016).

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1ο**  
***ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ***

**ΕΝΤΥΠΟ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΠΟΥ ΑΦΟΡΟΥΝ ΣΤΗΝ ΚΑΘΕ ΓΕΩΤΡΗΣΗ**

<b>ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ</b>	
<b>ΔΗΜΟΣ ΘΕΡΜΗΣ</b>	
<b>Δ.Δ. ΤΡΙΑΛΟΦΟΥ</b>	
Χαρακτηρισμός γεώτρησης:	
Όνομα ιδιοκτήτη γεώτρησης:	
Επώνυμο ιδιοκτήτη γεώτρησης:	
Τοπώνυμο αγροκτήματος:	
Αριθμός αγροτεμαχίου:	
Συντεταγμένες: X	Y
Βάθος ανόρυξης γεώτρησης:	
Στάθμη ηρεμίας νερού:	
Παροχή (m <sup>3</sup> /h):	
Έτος έναρξης λειτουργίας:	
Τρόπος άρδευσης:	
Καλλιέργεια (2016):	
Υπάρχει δεξαμενή:	
Υπάρχει δεύτερη γεώτρηση:	
Γίνεται ανάμειξη νερού:	
Υπάρχει παλαιότερη ανάλυση νερού: NAI	OXI
Υπάρχει παλαιότερη ανάλυση εδάφους: NAI	OXI
Προβλήματα/Απόψεις/Εμπειρίες ιδιοκτήτη γεώτρησης:	

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2ο**  
***ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ***



Θέση Δ.Δ. Τριλόφου στον πρώην Νομό Θεσσαλονίκης



Άποψη οικισμού και γεωργικών εκτάσεων Δ.Δ. Τριλόφου





**Κενά εδάφους λόγω αλατότητας και κάλυψη αυτών από ζιζάνια. Μειωμένη ανάπτυξη καλλιέργειας βάμβακος. Επικλινή εδάφη**



**Κενά εδάφους λόγω αλατότητας και κάλυψη αυτών από ζιζάνια. Μειωμένη ανάπτυξη βάμβακος. Επικλινή εδάφη**



**Κενά εδάφους λόγω αλατότητας, κάλυψη αυτών από ζιζάνια, μειωμένη ανάπτυξη βαμβακοκαλλιέργειας, εδάφη επιρρεπή σε διάβρωση**



**Κενά εδάφους λόγω αλατότητας και μειωμένη ανάπτυξη φυτών**



**Δεξαμενή ανάμειξης υπόγειων νερών διαφορετικής ποιότητας**



**Εγκαταλειμμένη δεξαμενή ανάμειξης υπόγειων νερών διαφορετικής ποιότητας**



**Συστήματα άρδευσης με αυτοπροωθούμενο εκτοξευτήρα**