

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ  
ΘΕΤΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΣΤΗ ΓΕΩΠΟΝΙΑ

ΚΛΑΔΟΣ : Γεωλογικό και Ατμοσφαιρικό Περιβάλλον για τον Σχεδιασμό  
Έργων Υποδομής

ΤΟΜΕΑΣ: ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία  
με τίτλο:

«ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ – ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΑΛΣΟΥΣ  
ΤΡΙΤΣΗ»

ΔΗΜΗΤΡΑ Γ. ΠΑΝΑΓΙΩΤΟΠΟΥΛΟΥ  
Γεωπόνος

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2011

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ  
ΘΕΤΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΣΤΗ ΓΕΩΠΟΝΙΑ

ΚΛΑΔΟΣ : Γεωλογικό και Ατμοσφαιρικό Περιβάλλον για τον Σχεδιασμό  
Έργων Υποδομής

ΤΟΜΕΑΣ: ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία  
με τίτλο:

«ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ – ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΑΛΣΟΥΣ  
ΤΡΙΤΣΗ»

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Κος Γεώργιος Σταμάτης, Αναπληρωτής Καθηγητής  
Κος Ευθύμιος Γκάρτζος, Καθηγητής  
Κος Κωνσταντίνος Σερέλης, Επίκουρος Καθηγητής

Ορισμός θέματος μελέτης και Επιβλέποντα Καθηγητή:

Γεώργιος Σταμάτης,  
Αναπληρωτής Καθηγητής Γ.Π.Α ως επιβλέπων Καθηγητής

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Κος Γεώργιος Σταμάτης, Αναπληρωτής Καθηγητής  
Κος Ευθύμιος Γκάρτζος, Καθηγητής  
Κος Κωνσταντίνος Σερέλης, Επίκουρος Καθηγητής

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

*Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο « Εδαφικές και Υδρογεωλογικές – Υδρολογικές συνθήκες άλσους Τρίτση» πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών του Γενικού τμήματος στο κλάδο «Γεωλογικό και Ατμοσφαιρικό Περιβάλλον για το Σχεδιασμό Έργων Υποδομής».*

*Αρχικά θα ήθελα να εκφράσω θερμότερες ευχαριστίες στον Επιβλέποντα Αναπληρωτή Καθηγητή του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών Σταμάτη Γεώργιο, για την ευκαιρία που μου έδωσε να εκπονήσω την εργασία αυτή, την πολύτιμη προσφορά γνώσεων στο αντικείμενο της Υδροχημείας, τη συνεχή καθοδήγηση και παρακολούθηση του θέματος καθώς και για τις εύστοχες παρατηρήσεις κατά τη συγγραφή της μελέτης.*

*Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τα υπόλοιπα μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής τον καθηγητή Γκάρτζο Ευθύμιο και τον Επίκουρο Καθηγητή Σερέλη Κωνσταντίνο για τη συμμετοχή τους. Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στον Επίκουρο Καθηγητή Σερέλη Κωνσταντίνο, για το αμέριστο ενδιαφέρον αλλά και τις πολύτιμες συμβουλές του, καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης αυτής της εργασίας.*

*Θεωρώ υποχρέωση να εκφράσω τις θερμότερες ευχαριστίες μου σε όλους όσους με οποιονδήποτε τρόπο συνέβαλαν στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας και ειδικότερα:*

*Στο προσωπικό του Πάρκου, για τις πολύτιμη βοήθεια και τις χρήσιμες πληροφορίες κατά τη δειγματοληψία των δειγμάτων νερού.*

*Σον Παρπώδη Κωνσταντίνο, υποψήφιο διδάκτορα, για την καθοδήγηση και το διαρκές ενδιαφέρον στις εργαστηριακές μετρήσεις των εδαφικών δειγμάτων.*

*Στον υποψήφιο διδάκτορα Καραμουσαλή Θεόδωρο για την βοήθειά του στο πειραματικό μέρος των εδαφικών αναλύσεων.*

*Στην αγαπητή φίλη και μεταπτυχιακή συμφοιτήτρια Καλομοίρη Ασπασία, για τη φιλική ατμόσφαιρα και συνεργασία κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών καθώς των εργαστηριακών αναλύσεων.*

*Στους φίλους μου για την ηθική στήριξη και τις παρατηρήσεις τους, καθώς επίσης και Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου που με βοήθησε ποικιλοτρόπως με την ουσιαστική και την ηθική συμπαράστασή της σε όλη τη διάρκεια της μελέτης αυτής.*



## - ΠΕΡΙΛΗΨΗ -

Η περιοχή μελέτης, το Πάρκο Περιβαλλοντικής Ευαισθητοποίησης «Αντώνης Τρίτσης», εντοπίζεται ανάμεσα στους Δήμους Ιλίου, Αγίων Αναργύρων και Καματερού. Αποτελεί τμήμα ενός μεγαλύτερου κτήματος 2.500 στρεμ. γνωστό ως «Πύργος Βασιλίσσης».

Βασικός στόχος της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη των υδάτινων και εδαφικών πόρων του Πάρκου Περιβαλλοντικής Ευαισθητοποίησης καθώς και της περιβάλλουσας περιοχής του Πύργου Βασιλίσσης. Σκοπός ήταν να εκτιμηθεί η ποιότητά τους και να διαπιστωθεί αν και σε ποιά έκταση οι ανθρώπινες δραστηριότητες (αστικά λύματα, διαρροές αποχευτικού, κοιμητήρια) έχουν επηρεάσει την ποιότητά τους.

Η περιοχή μελέτης δομείται από το σύστημα των Τεταρτογενών και Νεογενών σχηματισμών. Το σύστημα αυτό αποτελείται από αλλουβιακές αποθέσεις που καλύπτουν την πεδινή περιοχή (αργιλλοαμμώδη υλικά, άμμοι, κροκαλολατύπες και γενικά μηχανικά ιζήματα ποικίλης κοκκομετρίας) και προέρχονται από τη μεταφορά και απόθεση των υλικών διάβρωσης των νεογενών αποθέσεων της λοφώδους ζώνης. Στους λόφους της περιοχής έρευνας αναπτύσσεται η νεογενής σειρά ιζηματογενών πετρωμάτων (εναλλασσόμενα στρώματα λιμναίας φάσης μαργών, αργίλων και ψαμμιτών με παρεμβολές κροκαλοπαγών).

Ο πρακτικά ελεύθερος υδροφορέας αναπτύσσεται στους Τεταρτογενείς και Νεογενείς σχηματισμούς συμπεριλαμβανομένου του μανδύα αποσαθρώσεως των Αθηναϊκών σχιστολίθων.

Η αξιολόγηση της ποιότητας πραγματοποιήθηκε με την εφαρμογή ποσοτικοποιημένης μεθόδου αξιολόγησης ποιοτικών δεικτών.

Στο χρονικό διάστημα 22-23/07/2010 πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία οχτώ πηγαδιών στον περιμετρικό αστικό ιστό του Πάρκου και 1 εντός του Πάρκου. Οι πειραματικές μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν ήταν ο προσδιορισμός δεκτών ποιότητας νερού όπως φυσικοχημικές παράμετροι αλλά και τυχόν χημικές επιβαρύνσεις, ορισμένα βαρέα – τοξικά στοιχεία.

Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων προέκυψαν συμπεράσματα που αφορούσαν στην ποιότητα των υπόγειων νερών και τα επίπεδα συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων. Τα νερά ταξινομήθηκαν με βάση την παρουσία των κυριότερων ανιόντων και κατιόντων. Από την αξιολόγηση των υδροχημικών κατάξεων προέκυψαν πληροφορίες για την προέλευση των νερών και τις φυσικοχημικές διεργασίες που συμβαίνουν στον υδροφορέα.

Στη ποιοτική σύσταση του υδροφορέα αποκαλύπτεται η επιβάρυνση από ανθρωπογενείς επιδράσεις. Η επιβάρυνση αυτή εκδηλώνεται με τις υψηλές συγκεντρώσεις των ιόντων χλωρίου, νιτρικών, θεικών και φωσφορικών.

Οι σημαντικότερες υπερβάσεις των ορίων ποσιμότητας με βάση την Οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης 98/83 παρατηρήθηκαν στα νιτρικά ιόντα (89.2 mg/L). Πολύ τοπικά παρουσιάστηκαν συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων που ξεπερνούν τις ανώτατες επιτρεπτές τιμές ποσιμότητας της οδηγίας.

Το ασβέστιο και το μαγνήσιο ξεπερνούν το 50% του συνόλου των κατιόντων. Ενώ, τα χλωριόντα και τα οξυανθρακικά ξεπερνούν το 50% του συνόλου των ανιόντων.

Τα δείγματα νερού ανήκουν στους τύπους(α) Ca-Mg-Na-HCO<sub>3</sub>-Cl-SO<sub>4</sub> (β) Ca-HCO<sub>3</sub> (γ) Ca-Na-Cl (δ) Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>-Cl (ε) Ca-Mg-Na-HCO<sub>3</sub>-Cl. Η διάλυση του ασβεστίτη και του δολομίτη είναι υπεύθυνη για τις αυξημένες περιεκτικότητες των νερών σε HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>. Οι σχετικά όμως υψηλές συγκεντρώσεις των χλωριόντων, και των θεικών να σχετίζεται με την διάλυση υπολειμματικών εβαποριτικών αλάτων, που προφανώς συνυπάρχουν εντός των Νεογενών σχηματισμών της περιοχής.

Η αξιολόγηση της ποιότητας του εδάφους έγινε με τη χρήση δεικτών ποιότητας εδάφους. Οι δείκτες αυτοί είναι: κοκκομετρική/μηχανική σύσταση (soil texture), pH, ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC/Electrical Conductivity), υγρασία εδάφους (soil moisture), οργανική ουσία (SOM), ανθρακικό ασβέστιο (CaCO<sub>3</sub>) καθώς και τυχόν χημικές επιβαρύνσεις – βαρέα μέταλλα (heavy metals).

Τα εδαφικά δείγματα που πάρθηκαν ήταν πέντε ανά εδαφική ζώνη (πέντε στη πρώτη με 0 – 15 cm βάθος και πέντε στη δεύτερη με 15 – 25 cm βάθος).

Το pH των εδαφών προσδίδει αλκαλικό χαρακτήρα. Από άποψη ηλεκτρικής αγωγιμότητας δεν παρουσιάζουν κίνδυνο αλατότητας. Τα εδάφη χαρακτηρίζονται ασβεστούχα χωρίς να επηρεάζουν την ευνοϊκή ανάπτυξη των υφιστάμενων καλλιεργειών. Τα μέσα ποσοστά υγρασίας βρίσκονται κάτω από το σημείο μάρανσης. Τα βαρέα μέταλλα δεν ανιχνεύθηκαν σε συγκεντρώσεις άνω των ανώτατων επιτρεπτών επιπέδων στα εδάφη σύμφωνα με την οδηγία EU 86/278.

Προκειμένου να διαπιστωθούν τυχόν σχέσεις μεταξύ των βαρέων μετάλλων καθώς και αυτών με την οργανική ουσία, χρησιμοποιήθηκε η ανάλυση συσχέτισης (correlation analysis). Υπολογίστηκε ο συντελεστής συσχέτισης κατά Pearson (Pearson correlation coefficient, r) με τη χρήση στατιστικού πακέτου StatPlus. Διαπιστώθηκε θετική συσχέτιση των βαρέων μετάλλων Cd, Zn, Cu, Ni με τα οξυυδροξείδια Fe-Mn, μεταξύ των Cu-Cd, Cd-Pb, Ni-Cu, Cu-Zn και της οργανικής ουσίας με Pb, Fe, Cu.

Συμπερασματικά, τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των εξετασθέντων νερών τα καθιστούν ακατάλληλα για ανθρώπινη κατανάλωση αλλά κατάλληλα για άρδευση χώρων πρασίνου.

Όσο αφορά στα εξετασθέντα εδάφη, όλα τα δείγματα εμφανίζουν έναν ποιοτικό δείκτη, (εδαφική υγρασία), σε χαμηλά επίπεδα δημιουργώντας μη ευνοϊκές συνθήκες για την ανάπτυξη πράσινων εκτάσεων.

## - ABSTRACT -

The studied area, which covers 1.000.000 square meters, is located among the municipalities of Ilion, Kamatero and St. Anargyroi, Antonis Tritsis Park of Environmental information & Sensitization. The studied Park is part of a bigger plot of 2.500.000 square meters that was also known as the Queen's Tower.

The aim of this study is to evaluate the quality of groundwater and soil and investigate the extent to which groundwater and soil quality is influenced by natural geochemical processes or by human activities.

The examined Park and the surrounding area of Queen's Tower is characterized by rapid population growth and the presence of various manufactures, cemeteries and surrounding places for Sanitary Burial.

Aquifer is found in sedimentary terrain of recent geologic age (Quaternary deposits).

The plain of the area is a sub-basin of Kifissos drainage basin.

Groundwater samples were collected from eight wells during the period 22-24/07/2010.

The assessment of groundwater quality was performed using indicators. These indicators was: temperature, pH – Redox potential (Eh), electrical conductivity (EC), dissolved oxygen (DO),  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{PO}_4^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  and heavy – toxic elements (Cd, Pb, Ni, Cu, Zn, Fe, Mn).

The main results obtained from this study are the following:

- High concentrations of nitrate (exceeding the EU 98/83 quality standard of 50 mg/L) were found in groundwater probably from human activities.
- Calcium and magnesium are the major cations in groundwater exceeding 50% of the total cation sum. In some wells of the examined area increased Sodium concentrations were found. This is, probably, a result of ion exchange processes.
- Bicarbonates and chlorides are the major ions in groundwater exceeding 50% of the total anion sum.
- Groundwater was classified, according to the predominant ions, in four water types: Ca-Mg-Na-HCO3-Cl-SO4, Ca-Mg-Na-HCO3-Cl, Ca-Mg-HCO3-Cl, Ca – HCO3, Ca-Na-Cl. The increased calcium, magnesium and bicarbonates concentrations were found probably due to the presence of calcite and dolomite materials in aquifer. But the high concentrations of chlorides are probably related with residual evaporate salts.
- In general, heavy metal content of groundwater was low. Although some violations (Cd, Ni, Pb, Mn) of the EU 98/83 quality standards were observed. High concentrations of cadmium (exceeding the EU 98/83 quality standard value of 0.005 mg/L) were found for all wells.

Soil samples were collected from two soils zones with five replications from each depth of 0-15 and 15-25 cm. The geology of sites sampled includes Neogene and Quaternary formations and deposits.

Soil quality was assessed using a set of physical, chemical indicators. These indicators were: soil texture, electrical conductivity (EC), pH, soil moisture, soil organic matter (SOM), calcium carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ) and any chemical violations-heavy metals (Cd, Pb, Ni, Cu, Zn, Fe, Mn).

In general, all samples had one indicator (soil moisture) outside the target range for soil quality.

The percents of calcium carbonate in two depths are  $>10\%$ , without affecting the development of Park's crops.

The low nutrient levels (Cu, Mn, Zn) were observed in soils.

Total heavy metal content of soils was low according to the EU 86/278 for heavy metals in soils.

The correlation analysis was used for determinate any relationship between heavy metals and between them and soil organic matter.

The correlation established between Cu-Cd, Cd – Pb, Ni – Cu και Cu – Zn Cr total content suggests its common origin through the fertilizers. The correlation between Cd – Pb could be also due to vehicles emissions, lubricating oils and/or old tires.

Furthermore, iron and manganese oxides were the soil components with greater effect in the correlation of heavy metals (Cd, Zn, Cu, Ni).

Correlation analysis between metals and soil organic matter indicates significant positive correlation. Especially, in soil zone 0-15cm: SOM vs. Pb -  $r = 0.81$  and in soil zone 15-25 cm: SOM vs. Fe -  $r = 0.79$ , SOM vs. Cu -  $r = 0.76$ .

# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι μια γενική ανασκόπηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των υδατικών και εδαφικών πόρων της έκταση του Πύργου Βασιλίσσης – Πάρκο Περιβαλλοντικής Ευαισθητοποίησης που λειτουργεί ως υπερτοπικός πόλος αναψυχής και πολιτιστικών λειτουργιών σε μια τόσο εντατικά αστικοποιημένη περιοχή.

Η ποιότητα των υπόγειων νερών άρχισε να γίνεται αντικείμενο μελέτης όταν εμφανίστηκαν έντονα προβλήματα υποβάθμισης αλλά και ρύπανσης των νερών. Τα υπόγεια νερά αποτελούν ένα σημαντικό υδάτινο πόρο.

Το «πράσινο» στις πόλεις αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους δείκτες που καθορίζουν την ποιότητα της αστικής ζωής. Η κατάσταση στις ελληνικές πόλεις όσον αφορά την ύπαρξη χώρων πρασίνου δεν είναι καλή σε σχέση με τις ευρωπαϊκές, αφού ο δομημένος χώρος υπερτερεί του ελεύθερου.

Η υποβάθμιση της ποιότητας ζωής στα μεγάλα αστικά κέντρα συνδέεται και με τις περιορισμένες εκτάσεις αστικού πρασίνου και την απουσία επαφής με το φυσικό περιβάλλον. Έτσι και στην Αθήνα, η έλλειψη περιβαλλοντικού σχεδιασμού έχει οδηγήσει στην έλλειψη χώρων πρασίνου για τα άτομα κάθε ηλικίας. Επομένως, το αστικό πράσινο σε μια πόλη που τη μαστίζει η συμπίεση και ο κατακερματισμός των ελεύθερων χώρων, αναγνωρίζεται ως κυρίαρχο και ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση του φυσικού περιβάλλοντος μέσα στη πόλη.

Η αντίληψη της αειφορικής ανάπτυξης ή της οικολογικής πόλης αναφέρεται στη στρατηγική που μπορεί να αλλάξει τις αρνητικές επιπτώσεις του αστικού περιβάλλοντος (Heidt and Neef 2008). Αυτή συνήθως περιλαμβάνει την επαναφορά του φυσικού περιβάλλοντος μέσα στις πόλεις, διότι το πράσινο προσφέρει σημαντικές οικολογικές λειτουργίες και υπηρεσίες μέσα στον αστικό ιστό, οι οποίες προάγουν την ποιότητα της ζωής των ανθρώπων. Η αύξηση της κυκλοφορίας των οχημάτων στις πόλεις και η αύξηση της θερμοκρασίας στα αστικά κέντρα όχι μόνο καταστρέφουν το περιβάλλον, αλλά συνεπάγονται και κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις. Οι μικρές αλλαγές (π.χ. δενδροφυτεύσεις, δημιουργία πάρκων, ανοιχτών χώρων, υδάτινων χώρων) στο υπάρχον αστικό περιβάλλον, μπορούν να συνεισφέρουν σημαντικά στην εξοικονόμηση ενέργειας αλλά και στη βελτίωση του μικρο-κλίματος (Fezer 1995).

Το πάρκο περιβαλλοντικής ευαισθητοποίησης «Αντώνης Τρίτσης» αποτελεί πραγματική όαση στο υποβαθμισμένο περιβάλλον της δυτικής Αθήνας. Συμβάλλει ταυτόχρονα στην

περιβαλλοντική ευαισθητοποίηση, ενημέρωση και εκπαίδευση των πολιτών με κάθε πρόσφορο και σύγχρονο μέσο, με την ανάπτυξη δραστηριοτήτων εντός του πάρκου αλλά και εκτός αυτού. Οι πράσινες εκτάσεις του υπηρετούν σαν ζώνες διασποράς για πολλά είδη χλωρίδας και πανίδας και συνεισφέρουν σημαντικά στην αύξηση της βιοποικιλότητας στις πόλεις.

Ένα πάρκο δεν είναι απλά τα «υπολείμματα» ενός φυσικού τοπίου αλλά ένας χώρος που δημιουργείται για να «συναντηθούν» και να ικανοποιηθούν κοινωνικές και ψυχαγωγικές ανάγκες. Η απασχόληση και ψυχαγωγία των παιδιών, παραμένει ένας από τους πρωταρχικούς λόγους που οι άνθρωποι χρησιμοποιούν τα πάρκα.

Επομένως η συντήρηση του κρίνεται απαραίτητη και μια επιτυχημένη συντήρηση πρέπει να ανταποκρίνεται στις μεταβολές των φυσικών γνωρισμάτων του. Γι' αυτό και κρίνεται απαραίτητος ο συστηματικός έλεγχος και καταγραφή της ποιότητας των υδάτινων και εδαφικών πόρων στις περιοχές που συνιστούν το αστικό πράσινο. Σε αυτό θα εστιάσουμε εξετάζοντας την περίπτωση του πάρκου περιβαλλοντικής ευαισθητοποίησης «Αντώνης Τρίτσης».

## **2. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ**

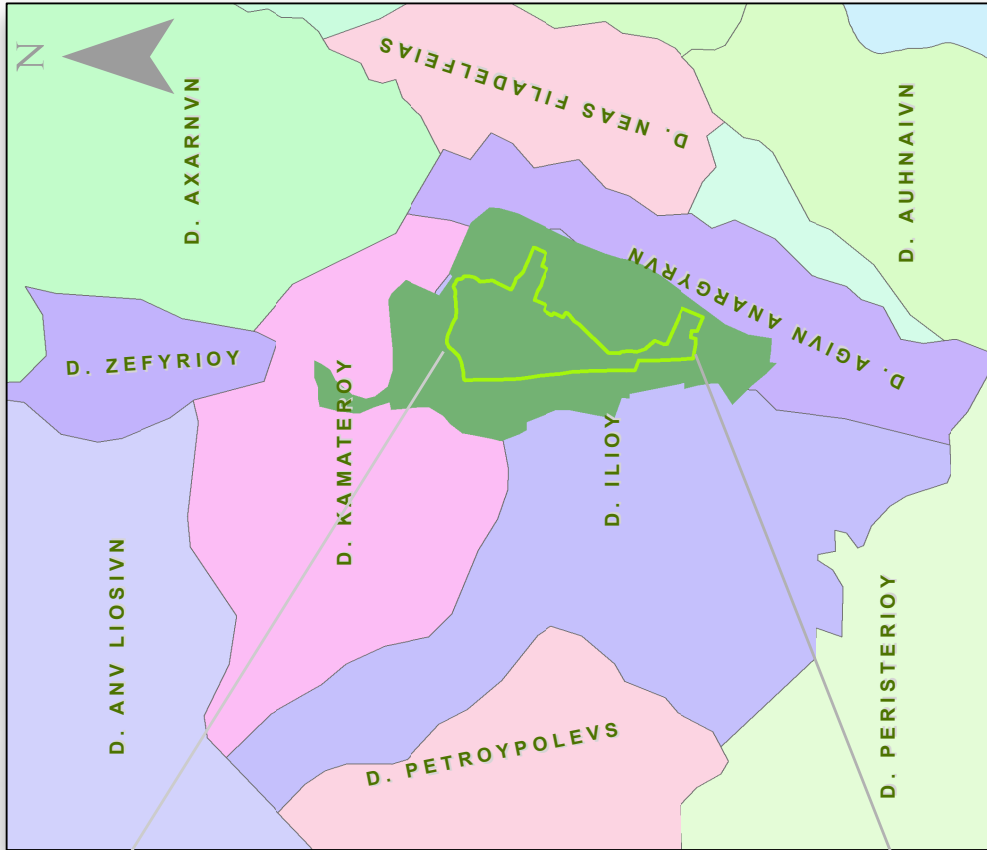
### **2.1. Γεωγραφική επισκόπηση περιοχή μελέτης**

Γεωγραφικά η έκταση Πάρκο Περιβαλλοντικής Ευαισθητοποίησης «Αντώνης Τρίτσης», ανάμεσα στους Δήμους Ιλίου, Αγίων Αναργύρων και Καματερού. Αποτελεί τμήμα ενός μεγαλύτερου κτήματος 2.500 στρεμ. γνωστό ως "Πύργος Βασιλίσσης". Βρίσκεται στο βόρειο άκρο της λεκάνης απορροής του Κηφισού (υπολεκάνη Περιστερίου) από τον οποίο απέχει 600μ ενώ πολύ κοντύτερα του διέρχεται το ρέμα Λιοσίων, το οποίο συναντά τον Κηφισό στη θέση Τρεις Γέφυρες, σχηματίζοντας τρίγωνο στο κέντρο του οποίου βρίσκεται το πάρκο.

Δυτικά και βορειοδυτικά οριοθετείται από το όρος Αιγάλεω, βόρεια από το όρος Πάρνηθα ενώ ανατολικά και βορειοανατολικά ορίζεται από λόφους μικρού υψομέτρου. Ανατολικά η υπολεκάνη αυτή οριοθετείται από τους Νεογενείς λόφους της περιοχής του Πύργου Βασιλίσσης.

Η όλη έκταση, τριγωνικής μορφής περιορίζεται από τις σιδηροδρομικές γραμμές του τρένου προς Λαμία και Πελοπόννησο και από τους οδικούς άξονες προς Μενίδι και Φυλή. Στη συνέχεια περιβάλλεται από συνεχή και πυκνό οικιστικό ιστό κατοικιών.

ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ



ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΑ ΠΕΡΙΟΧΗ ΠΑΡΚΟΥ\_ΠΥΡΓΟΣ ΒΑΣΙΛΙΣΣΗΣ



ΠΑΡΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΤΟΠΟΙΗΣΗΣ Α. ΤΡΙΤΣΗΣ

0 480 960 1.920 2.880 3.840 Meters



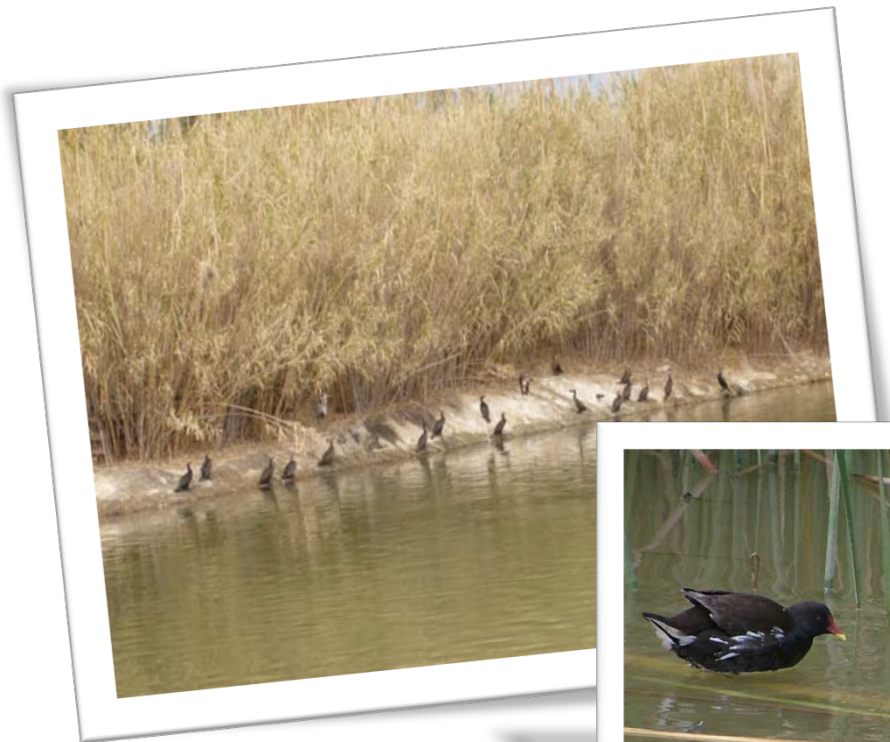
## 2.2 Ιστορικά στοιχεία – Εξέλιξη

### 2.2.1 Γενικά

Το Πάρκο Περιβαλλοντικής Ευαισθητοποίησης «Αντώνης Τρίτσης», ανάμεσα στους Δήμους Ιλίου, Αγίων Αναργύρων και Καματερού. Αποτελεί τμήμα ενός μεγαλύτερου κτήματος 2.500 στρεμ. (γνωστό ως "Πύργος Βασιλίσσης") που είχε διαμορφωθεί κατά την Οθωνική περίοδο σε Πρότυπο Κέντρο Γεωργίας & Κτηνοτροφίας.

Οι ενέργειες για τη δημιουργία ενός σύγχρονου πάρκου ξεκίνησαν το 1987 και τα τελευταία χρόνια η Πολιτεία προχώρησε στην υλοποίηση σημαντικών έργων διαμόρφωσης του χώρου. Το υγρό στοιχείο των γλυκών νερών, σπάνιο στην Αττική, αναδείχθηκε σε κυρίαρχο χαρακτηριστικό του τοπίου με τη δημιουργία σειράς τεχνητών λιμνών. Έτσι, η οικολογική αξία του κτήματος που είχε γλιτώσει από την ισοπέδωση της μεγαλούπολης έγινε ακόμη μεγαλύτερη προσελκύοντας νέα είδη άγριων ζώων.

Σήμερα, το Πάρκο "Αντώνης Τρίτσης" έχει έκταση 1000 στρ. (έξι φορές μεγαλύτερο από τον Εθνικό Κήπο) και αποτελεί ένα από τα τελευταία καταφύγια άγριας ζωής στο αστικό περιβάλλον της Αθήνας. Μέλη της Ελληνικής Ορνιθολογικής Εταιρείας, την τελευταία δεκαετία, παρατηρούν τα πουλιά του Πάρκου και έχουν καταγράψει 168 διαφορετικά είδη. Φυλλοβόλα δέντρα, πεύκα και άλλα κωνοφόρα, αγροτικές καλλιέργειες και καλαμιώνες σφύζουν από ζωή, ιδιαίτερα κατά τη μετανάστευση των πουλιών ([www.ornithologiki.gr](http://www.ornithologiki.gr)).



### 2.2.2 Εξέλιξη της περιοχής

Όταν ιδρύθηκε το «Κτήμα Βασιλίσσης», ως πρότυπο εκπαιδευτικό αγρόκτημα γύρω στα 1850 από τη Βασίλισσα Αμαλία. Η ευρύτερη περιοχή του ήταν καθαρά γεωργική και κάλυπτε τις ανάγκες σε αγροτικά προϊόντα της τότε μικρής πόλης των Αθηνών και των οικισμών που βρίσκονταν διάσπαρτοι στο λεκανοπέδιο. Σήμερα, και κυρίως κάτω από την πίεση του ρεύματος εσωτερικής μετανάστευσης των πρώτων μεταπολεμικών δεκαετιών, οι οικισμοί αυτοί έχουν επεκταθεί σε βαθμό να καλύπτουν με πυκνό αστικό ιστό όλη την περιβάλλουσα έκταση του κτήματος, με μόνη εξαίρεση το παρακείμενο τμήμα της ιδιοκτησίας Σερπιέρη που παραμένει καλλιεργούμενο.



Ο Πύργος Βασιλίσσης αποτελείται κατά μεγάλο μέρος από φυσικούς πευκόφυτους λόφους και οργανωμένες δενδροκαλλιέργειες, κυρίως ελαιόδεντρων και φυσικόδεντρων, που του προσδίδουν αξιόλογη περιβαλλοντική υπόσταση και φυσιογνωμία.

Μεγάλα τμήματα του είχαν κατά καιρούς παραχωρηθεί σε δημόσιους ή ημιδημόσιους κοινωνικούς φορείς, όπως το Σώμα Ελλήνων Προσκόπων (ΣΕΠ), το Εθνικό Ίδρυμα Νεότητας (ΕΙΝ), το Ίδρυμα Αναπήρων Παιδών (ΠΗΚΠΑ), την Γενική Γραμματεία Αθλητισμού (ΓΓΑ) και το Υπουργείο Γεωργίας. Οι παραπάνω φορείς, πλην του ΕΙΝ, δεν διέθεταν αξιόλογες εγκαταστάσεις στο κτήμα και έτσι έγινε δυνατόν, το 1992, να αρθεί αυτός ο κατακερματισμός και να παραχωρηθεί ενιαία η έκταση στον Οργανισμό Αθήνας, κατά χρήση, για την δημιουργία κοινόχρηστου οικολογικού πάρκου. Στην περίμετρό του έχουν παραμείνει ορισμένες κοινωφελείς χρήσεις (σχολεία, βρεφοκομεία κ.λπ.), που καλύπτουν τις ανάγκες των γειτονικών δήμων και του λεκανοπεδίου γενικότερα ([www.parkotritsi.gr](http://www.parkotritsi.gr)).

### 2.3. Δημογραφικά – οικονομικά στοιχεία

Η ευρύτερη περιοχή Πύργος Βασιλίσσης, είναι μια μεγάλη έκταση του Δημοσίου, που βρίσκεται στο δυτικό μέρος του λεκανοπεδίου της Αττικής. Στο δυτικό λεκανοπέδιο, που διακρίνεται από το υπόλοιπο αστικό συγκρότημα με τον ποταμό Κηφισό (στις όχθες του οποίου διέρχεται η Εθνική Οδός Πειραιά - Αθηνών Λαμίας) στεγάζεται σήμερα το 25% περίπου του πληθυσμού του αστικού συγκροτήματος, κυρίως το εργατικό του δυναμικό και μεγάλο μέρος μικρομεσαίων βιοτεχνικών επιχειρήσεων και εμπορικών καταστημάτων.

Η ραγδαία αύξηση του πληθυσμού του λεκανοπεδίου την τελευταία εκατονταετία είχε ως αποτέλεσμα την συνεχή άναρχη επέκταση του αστικού ιστού και την ανάμειξη λειτουργιών στον ίδιο χώρο. Παράλληλα έντονη ήταν η υποβάθμιση του φυσικού περιβάλλοντος.

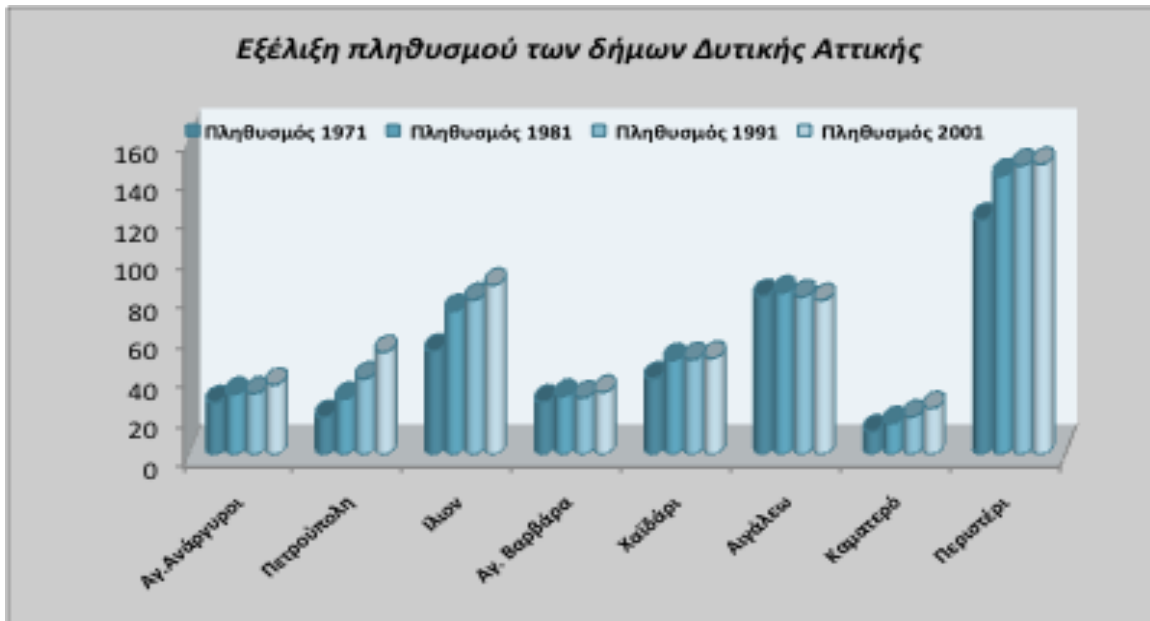
Στον παρακάτω πίνακα δίνεται η εξέλιξη του πληθυσμού των δήμων της Δυτικής Αττικής σύμφωνα με τα στοιχεία της ΕΣΥΕ από την απογραφή του 1971 έως και την τελευταία απογραφή του 2001.

*Πίνακας 1: Εξέλιξη πληθυσμού των δήμων Δυτικής Αττικής*

Δήμος	Πληθυσμός 1971	Πληθυσμός 1981	Πληθυσμός 1991	Πληθυσμός 2001
Αγ.Ανάργυροι	26.094	30.32	30.62	35.072
Πετρούπολη	18.631	27.902	38.154	51.559
Ίλιον	52.217	72.427	78.029	85.572
Αγ. Βαρβάρα	26.409	29.259	28.447	31.354
Χαϊδάρι	38.121	47.396	47.882	48.494
Αιγάλεω	79.961	81.744	79.56	77.917
Καματερό	11.382	15.593	18.759	23.172

*Πηγή : ΕΣΥΕ*

Ο συνολικός πληθυσμός και των οχτώ δήμων παρουσιάζει σταδιακή αύξηση την τελευταία τριακονταετία κατά 35% περίπου, από 371.228 κατοίκους το '71 σε 499.883 κατοίκους το '01 έχουμε δηλαδή αύξηση του πληθυσμού κατά 128655 κατοίκους.



*Σχήμα 1: Εξέλιξη πληθυσμού των δήμων Δυτικής Αττικής*

Από τα στοιχεία της απογραφής σύμφωνα με την ΕΣΥΕ προκύπτει το συμπέρασμα ότι η πλειοψηφία των απασχολούμενων απορροφάται από τον τριτογενή τομέα παραγωγής σημειώνοντας σημαντική αύξηση κατά τη διάρκεια της περιόδου 1991-2001. Συγκεκριμένα το 1991 στον τριτογενή τομέα απασχολούνταν 54,2% ενώ το 2001 το αντίστοιχο ποσοστό ανήλθε σε 62,8%, καταγράφοντας αύξηση 15,9%. Ο δευτερογενής τομέας κατέλαβε τη δεύτερη θέση με ποσοστό απασχόλησης 26,5% το 2001 έναντι 31,2% το 1991 σημειώνοντας μείωση 15,1%.

## 2.4 Κάλυψη - Χρήση γης

Μέσα στη περιοχή του αστικού ιστού της λεκάνης διακρίνεται η εκτατική ζώνη χρήσης μητροπολιτικού χαρακτήρα όπως είναι η ευρύτερη περιοχή μελέτης Πύργος Βασιλίσσης και τα νότια πρανή της Πάρνηθας, που έχει χαρακτηριστεί ως Τοπίο Ιδιαίτερου Φυσικού Κάλλους με την υπ' αρ. 25638/1969 απόφαση του Υπ. Γεωργίας και έχει ενταχθεί στο Ευρωπαϊκό Δίκτυο Προστατευμένων Περιοχών «NATURA 2000» με κωδικό GR300.000.1 (Οδηγία 92/43) και ως Ζώνη Ειδικής Προστασίας (SPA) για την προστασία ορνιθοπανίδας (Οδηγία 79/409/ΕΕ).

Εντός όμως του περιγράμματος του ορεινού όγκου του Αιγάλεω ή τις παρυφές του εντοπίζονται διάσπαρτα πολλαπλές ειδικές χρήσεις, που γειτνιάζουν άμεσα με την περιοχή μελέτης, ΧΥΤΑ Άνω Λιοσίων – Φυλής – Σχιστού και Σταθμός Μεταφόρτωσης απορριμμάτων, εγκαταστάσεις ΟΔΔΥ, Βιομηχανικές περιοχές. Επίσης εντός της περιοχής μελέτης λειτουργεί ανατολικά του Πάρκου το κοιμητήριο Αγ. Αναργύρων - Λ. Δημοκρατίας. Σε γενικές γραμμές οι διάφορες κατηγορίες κάλυψης – χρήσης γης της λεκάνης είναι οι ακόλουθες:

10% χαρακτηρίζεται από τη κατηγορία: περιοχή πυκνής δόμησης. Πρόκειται για περιοχές με πολλές κατοικίες, που βρίσκονται πολύ κοντά μεταξύ τους και δεν υπάρχει καθόλου πράσινο σε κανένα σημείο της περιοχής. Επίσης, δεν υπάρχουν καθόλου ακάλυπτοι χώροι μεταξύ των σπιτιών. Οι δρόμοι είναι ασφαλτοστρωμένοι και η κάλυψη με κατοικίες αγγίζει το 100%.

20% χαρακτηρίζεται από τη κατηγορία: περιοχή αραιής δόμησης. Σε αυτή την περιοχή υπάρχουν αρκετές κατοικίες, πολλές από τις οποίες βρίσκονται σε απόσταση μεταξύ τους (δεν εφάπτονται). Υπάρχει λίγο πράσινο, κυρίως λόγω της απόστασης των σπιτιών και σε ορισμένα σημεία υπάρχουν ακάλυπτοι χώροι, είναι όμως περιορισμένης έκτασης. Σε αυτή την περιοχή οι δρόμοι είναι ασφαλτοστρωμένοι. Η κάλυψη με κατοικίες εκτιμάται ότι ανέρχεται στο 80%.

5% χαρακτηρίζεται από τη κατηγορία: περιοχή πολύ αραιής δόμησης. Πρόκειται για περιοχή στην οποία οι κατοικίες σε σχέση με την έκταση είναι λίγες και βρίσκονται διασκορπισμένες σε αρκετή απόσταση η μια από την άλλη. Υπάρχουν αρκετά ακάλυπτα σημεία λόγω της απόστασης των κατοικιών χωρίς όμως να υπάρχει αρκετό πράσινο. Οι δρόμοι της περιοχής είναι ασφαλτοστρωμένοι και η κάλυψη με κατοικίες εκτιμάται ότι ανέρχεται στο 40%.

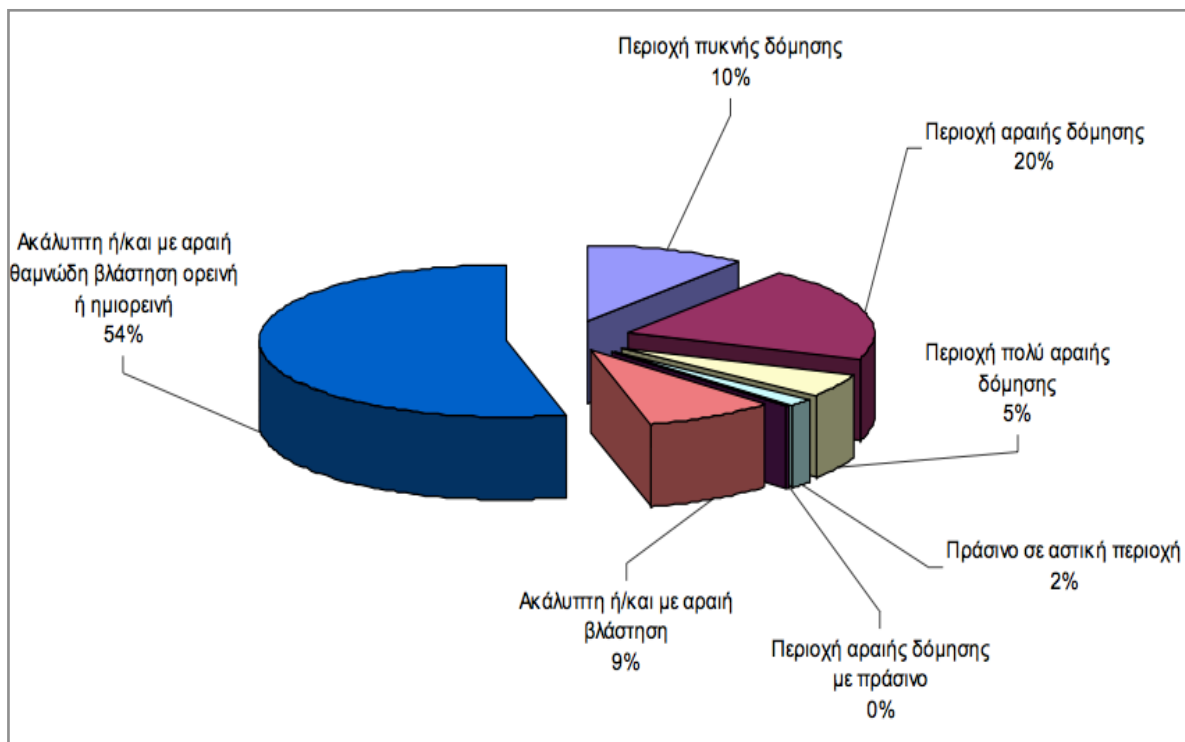
9% χαρακτηρίζεται από τη κατηγορία: ακάλυπτη περιοχή ή /και με αραιή βλάστηση. Η περιοχή αυτή βρίσκεται σε κατοικημένη ζώνη και μπορεί να είναι πεδινή, χωρίς όμως

κανενός είδους κάλυψη, δηλαδή χωρίς κατοικίες ή πράσινο. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν και ορεινές ή ημιορεινές περιοχές που έχουν θαμνώδη βλάστηση.

2% χαρακτηρίζεται από τη κατηγορία: πράσινο σε αστική περιοχή. Πρόκειται για χώρους μέσα στην αστική περιοχή στους οποίους ουσιαστικά δεν υπάρχει καμία κατοικία. Είναι πεδινές περιοχές ή μικροί λόφοι που καλύπτονται αποκλειστικά με πράσινο.

0% χαρακτηρίζεται από τη κατηγορία: περιοχή αραιής δόμησης με πράσινο. Σε αυτή την περιοχή υπάρχουν αρκετές κατοικίες διασκορπισμένες σε κάποια απόσταση μεταξύ τους. Σημαντικό ποσοστό της περιοχής καλύπτεται από πράσινο το οποίο βρίσκεται διασκορπισμένο στους χώρους μεταξύ των κατοικιών. Η περιοχή έχει ασφαλτοστρωμένους δρόμους και η κάλυψη με κατοικίες ανέρχεται στο 60%.

54% χαρακτηρίζεται από τη κατηγορία: ακάλυπτη ή / και με αραιή θαμνώδη βλάστηση ημιορεινή ή ορεινή περιοχή. Πρόκειται για ορεινές ή ημιορεινές περιοχές που έχουν κάποιο υψόμετρο και βρίσκονται στην περιφέρεια της κατοικημένης ζώνης. Δεν υπάρχουν καθόλου κατοικίες, αλλά μόνο αραιή θαμνώδη βλάστηση (Αντωνίου Β., 2002).



Σχήμα 2: Ποσοστιαία κατανομή χρήσεων γης λεκάνης υδρολογικής λεκάνης περιοχή μελέτης.

### 3. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

#### 3.1. Μορφολογία

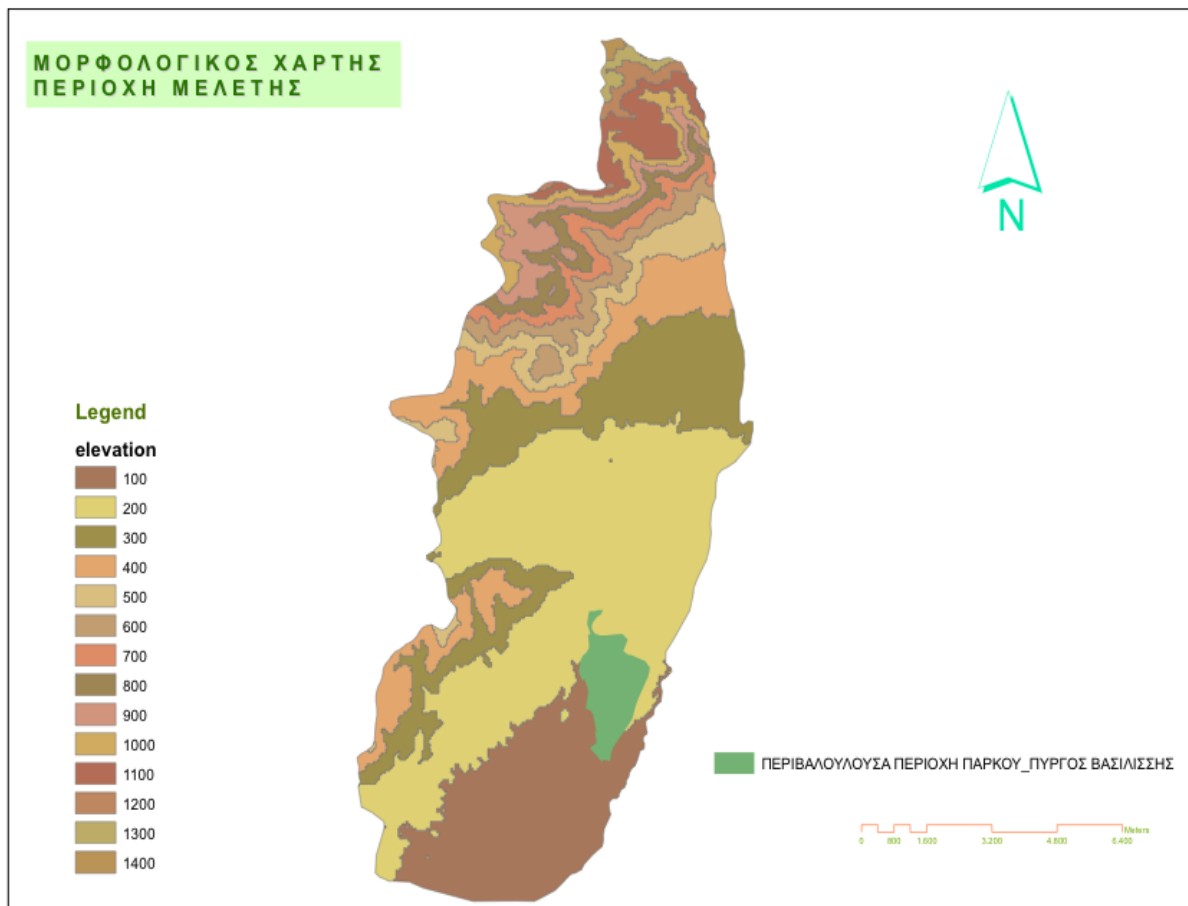
Η ανάλυση των μορφολογικών χαρακτηριστικών στηρίχθηκε στον μορφολογικό χάρτη της υπολεκάνης του Κηφισσού – υπολεκάνη Περιστερίου, κλίμακας 1:100.000, που δημιουργήθηκε για το σκοπό αυτό.

Μορφολογικά, η υπολεκάνη Περιστερίου αποτελεί μία επιμήκης λεκάνη που οριοθετείται φυσικά από τους ορεινούς όγκους Αιγάλεω δυτικά και Πάρνηθα βόρεια.

Οι κλιτύες που το περιβάλλουν χαρακτηρίζονται ως απότομες και γραμμικές.

Για τη δημιουργία του τοπογραφικού υποβάθρου χρησιμοποιήθηκε ο τοπογραφικός χάρτης της Γ.Υ.Σ (φύλλο τοπογραφικού χάρτη, κλίμακας 1:50.000 - έκδοσης 1988: «Αθήναι – Ελευσίς»).

Το τοπογραφικό υπόβαθρο του χάρτη συντάχθηκε με σταθερή ισοδιάσταση (100m) και του μορφολογικού αναγλύφου (200m). Τα όρια του τοπογραφικού χάρτη αποτελούν και τον κύριο υδροκρίτη της λεκάνης απορροής της ευρύτερης περιοχής.



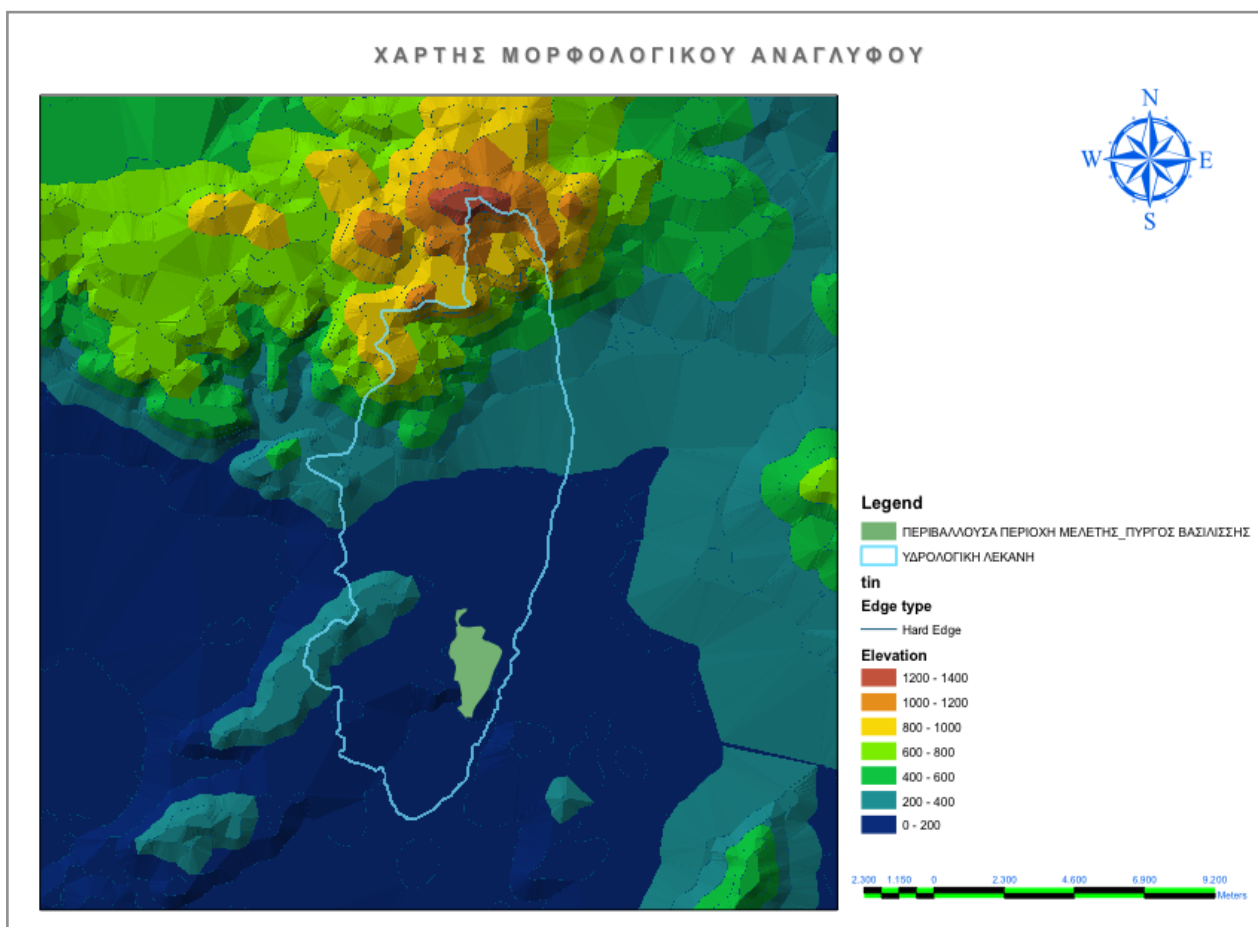
Σχήμα 3: Μορφολογικός χάρτης υδρολογικής λεκάνης περιοχή μελέτης.



Ο χάρτης μορφολογικού αναγλύφου διακρίνεται σε κλάσεις υψομετρικών υποδιαιρέσεων. Η λεκάνη μορφολογικά αποτελεί μια επιμήκη λεκάνη χαμηλού αναγλύφου (0-300 m), η οποία περιβάλλεται από όρη υψηλού αναγλύφου (μέχρι και 1413 m, όρος Πάρνηθα).

Συγκεκριμένα, στα νότια και νοτιοδυτικά της υπολεκάνης αναπτύσσεται το όρος Αιγάλεω, του οποίου τα ανατολικά πρηνή εντάσσονται σε αυτή. Βόρεια αναπτύσσεται το όρος Πάρνηθα, του οποίου τα νότια πρηνή εντάσσονται σε αυτή. Στο εσωτερικό της λεκάνης, η τιμή της μορφολογικής κλίσης μειώνεται και κυμαίνεται από 1.5- 6.5%.

Συγκεκριμένα, παρατηρούνται ΒΔ μεγάλες τιμές μορφολογικής κλίσης, οι οποίες μειώνονται νοτιοδυτικά προς το εσωτερικό του.



Σχήμα 4: Χάρτης μορφολογικού αναγλύφου.



### **3.2. Υδρογραφικό δίκτυο – Υδρολογική λεκάνη**

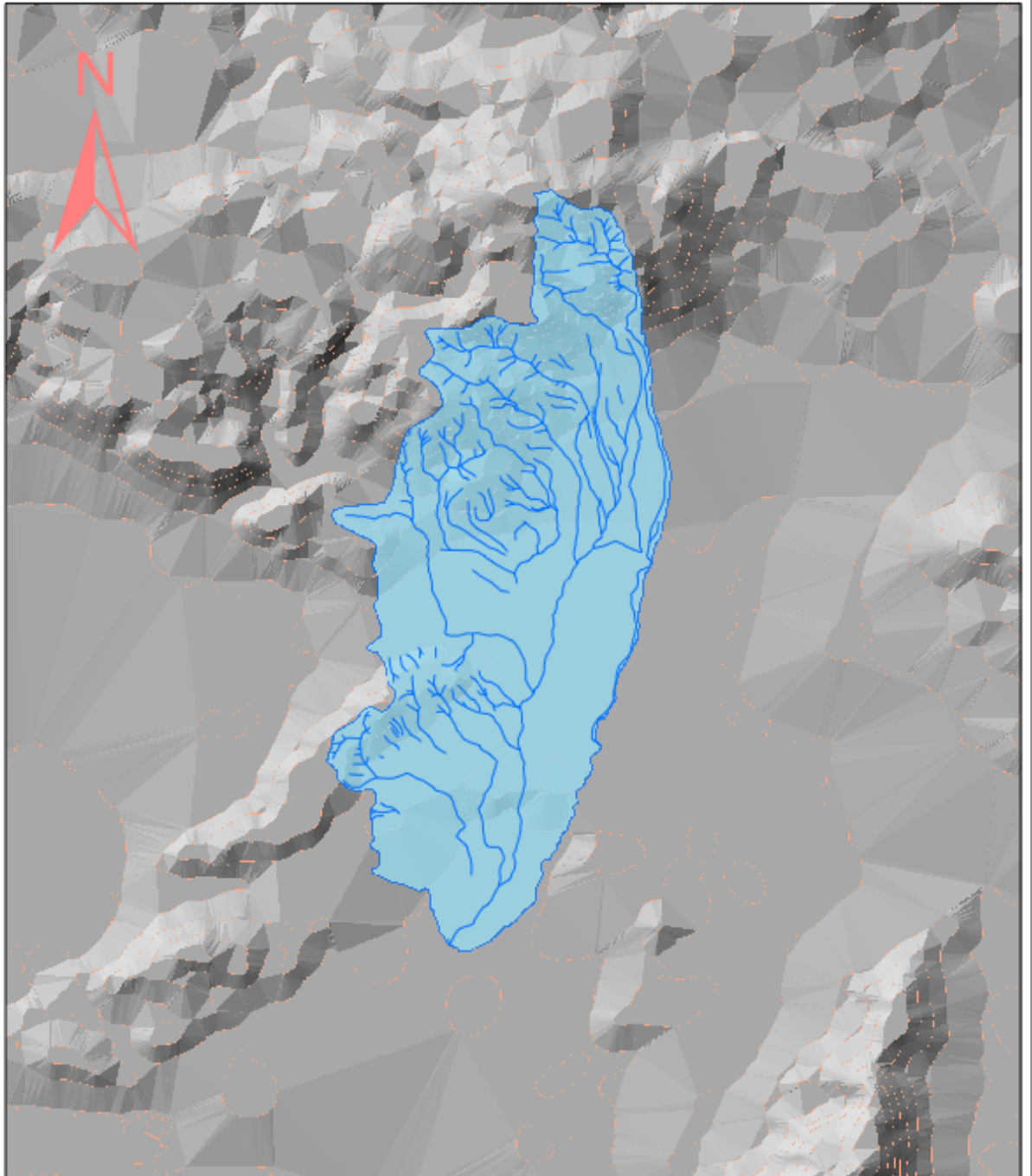
Η λεκάνης απορροής του πάρκου είναι η δεύτερη σε έκταση υπολεκάνη του ευρύτερου λεκανοπεδίου Αθηνών και εντοπίζεται στο βορειοδυτικό τμήμα του λεκανοπεδίου Αθηνών.

Ο υδροκρίτης που ορίζει την υπολεκάνη ακολουθεί την κορυφογραμμή των ορεινών όγκων Αιγάλεω και Πάρνηθα καθώς και μικρότερου υψομέτρου λόφους (σε δεξιόστροφη πορεία).

Η μορφή της υδρολογικής λεκάνης χαρακτηρίζεται ως ορεινή ΒΔ, δυτικά προς νότια ημιορεινή και εσωτερικά πεδινή με ελάχιστη κλίση, που διατρέχεται από τα ρέματα της Πικροδάφνης που είναι καλυμμένο κατά ένα τμήμα (διατρέχει τις περιοχές του Καματερού, των Άνω Λιοσίων και των Αχαρνών) και της οδού Αλφειού. Τα παραπάνω ρέματα αποστραγγίζουν τμήματα των ορεινών όγκων του Αιγάλεω και της Πάρνηθας.

Το υδρογραφικό δίκτυο είναι τύπου δενδριτικού.

## ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΛΕΚΑΝΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ



0 2.125 4.250 8.500 12.750 17.000 Meters

### ΥΠΟΜΝΗΜΑ

— ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

■ ΥΔΡΟΚΡΙΤΗΣ

Σχήμα 5: Χάρτης απεικόνισης υδρολογικής λεκάνη - υδρογραφικού δικτύου.

## 4. ΓΕΩΛΟΓΙΑ - ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

### 4.1. Γεωτεκτονική ένταξη

Στην υδρολογική λεκάνη Περιστερίου, αναπτύσσονται σχηματισμοί, οι οποίοι γεωτεκτονικά εντάσσονται σε δύο μεγάλες ενότητες στην Ενότητα Αττικής και Υποπελαγονική ενιαία ή υποδιαιρούμενη σε δύο υποζώνες Μαλιακή και Βοιωτική ή Ενότητα Ανατολικής Ελλάδας ή Ενότητα μη μεταμορφωμένης Πελαγονικής κατά τον Jacobshagen (1979), άποψη περί ενιαίας γεωτεκτονικής πελαγονικής ενότητας, η οποία είναι επωθημένη σε αυτούς της προηγούμενης ενότητας.

#### *Υποπελαγονική Ενότητα*

Κατά τον Μουντράκη (1985), τα βουνά Οθρυς, Καλλίδρομο, Ελικών, Κιθαιρών, Πάρνηθα, Χλωμόν και Γεράνια ανήκουν στην Υποπελαγονική ζώνη. Η ζώνη αυτή είχε χαρακτηριστεί αρχικά από τον Renz (1955) με το όνομα ζώνη Ανατολικής Ελλάδας. Ο όρος Υποπελαγονική δόθηκε από τον Aubouin (1965) για να υπογραμμίσει τη στενή σύνδεσή της με την Πελαγονική. Κύριο χαρακτηριστικό γνώρισμα της Υποπελαγονικής είναι οι μεγάλες οφιολιθικές μάζες και η παρουσία της σχιστοκερατολιθικής διάπλασης, η οποία και έχει μεγάλη εξάπλωση. Στην ενότητα αυτή, από κάτω προς τα επάνω, διακρίνονται:

- Προαλπικό υπόβαθρο. Στην περιοχή της Αττικής εκφράζεται με στρώματα του Ανω Παλαιοζωικού από ασβεστόλιθους, ψαμμίτες, γραφιτικούς σχιστόλιθους και γραουβάκες, η ηλικία των οποίων προσδιορίστηκε Λιθανθρακοφόρος – Πέρμιος.
- Τριαδικά ιζήματα.
- Σχιστοκερατολιθική διάπλαση και οφιολίθοι.
- Ασβεστόλιθοι Ιουρασικού.
- Ιζήματα της Μέσο- Ανω Κρητιδικής επίκλυσης.

Κατά τον Παπανικολάου (1986), πρόκειται για ένα πλήθος ενοτήτων, που είναι παλαιοτεκτονισμένες, έχουν όμως ομογενοποιηθεί από την Ανωκρητιδική επίκλυση. Έτσι, δεν υφίστανται συνεχείς στρωματογραφικές στήλες Τριαδικό – Καινοζωϊκό, αλλά μια σειρά από ακολουθίες, είτε πελαγικές, είτε νηριτικές, είτε μεταμορφωμένες, είτε μη μεταμορφωμένες, με ή χωρίς οφιολίθους, που αναπτύσσονται διαφοροποιημένες στο διάστημα Τριαδικό – Ιουρασικό. Στη συνέχεια επικάθονται ασύμφωνα σε αυτές τα ιζήματα της Ανωκρητιδικής Κενομάνιας επίκλυσης. Η επίκλυση αυτή περιλαμβάνει ένα

κροκαλοπαγές στη βάση, το φλύσχη στην οροφή και ενδιάμεσα μια μάζα από ασβεστόλιθους συνήθως νηριτικούς, αλλά μερικές φορές και πελαγικούς, με παρεμβολές κλαστικών τουρβιδιτικών σχηματισμών. Η Τριαδική – Ιουρασική ακολουθία περιλαμβάνει κυρίως νηριτικού τύπου πετρώματα μιας ασβεστολιθικής πλατφόρμας (νηριτικοί ασβεστόλιθοι, Ανωτριάτικοί και εν μέρει Ιουρασικοί), που διακόπτεται κατά ορισμένες περιόδους (όχι παντού) από τις γνωστές σαν σχιστοψαμμιτοκερατολιθικές διαπλάσεις. Ιδιαίτερα στην οροφή, η ανώτερη σχιστοκερατολιθική διάπλαση παίρνει τη μορφή τεκτονικού μίγματος που υπόκειται του καλύμματος των οφιολίθων. Αυτό δεν ισχύει μόνο για αυτή την ενότητα, αλλά και για τη Μαλιακή, που σε ορισμένες θέσεις κάτω από την Κενομάνια επίκλυση, υπάρχει το κάλυμμα των οφιολίθων, δηλαδή κομμάτια του ωκεανικού φλοιού που έχουν τοποθετηθεί κατά τον πρώιμο αλπικό ορογενετικό κύκλο (Κάτω Κρητιδικό). Επίσης, σε πολλές θέσεις παρατηρούνται ένας ή δύο βωξιτικοί ορίζοντες, κυρίως στο Κιμμερίδιο, κάτω από ασβεστόλιθους με *Cladocoropsis mirabilis*. Στο Ανώτερο Παλαιοζωικό – Κάτω Τριαδικό παρατηρούνται πολλοί κλαστικοί σχηματισμοί, που λιθοοψικά μοιάζουν με φλύσχη και περιέχουν ολισθόλιθους ασβεστόλιθων Παλαιοζωικής ηλικίας (Αττική, Εύβοια, Χίος), ενώ σε ορισμένες θέσεις παρατηρείται νηριτική ανθρακική ιζηματογένεση (Υδρα, Αλλόχθονο Χίου). Στο Μέσο Τριαδικό παρατηρούνται συχνά ερυθροϊώδεις ή πρασινωποί κονδυλώδεις μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι φάσεως *ammonitico rosso* που συνδέονται με υποθαλάσσια ηφαιστειότητα.

Κατά τον *Μιγκίρο (1991)*, η Υποπελαγονική ζώνη ή ζώνη Ανατολικής Ελλάδος αναπτύσσεται δυτικότερα της Πελαγονικής και είναι ιδιόρρυθμη σε σχέση με τις άλλες ζώνες των Ελληνίδων. Η ιδιόρρυθμία της αυτή οφείλεται τόσο στον τρόπο ανάπτυξής της, όσο και στις έντονες λιθοστρωματογραφικές μεταβολές που παρουσιάζονται κατά τον άξονα ανάπτυξής της. Το γεγονός αυτό, κατά κύριο λόγο, αποδίδεται στην άμεση σύνδεση της ζώνης αυτής με το Μεσοζωικό ωκεανό του δυτικού Οφιολιθικού Τόξου, ο οποίος αναπτυσσόταν δυτικότερα της Πελαγονικής και ανατολικότερα της ζώνης της Πίνδου. Διακρίνει τέσσερις υποζώνες: (i) την Υποζώνη Θεόπετρας – Γρεβενών, (ii) την Μαλιακή Υποζώνη, (iii) την Βοιωτική Υποζώνη και (iv) την Υποζώνη Παρνασσού-Γκιώνας. Στην περιοχή της Αττικής εμφανίζονται δύο από αυτές:

*Μαλιακή υποζώνη.* Αυτή αναλύεται, από κάτω προς τα επάνω, σε:

- Νεοπαλαιοζωικούς σχηματισμούς, που αποτελούνται κυρίως από ψαμμίτες, φυλλίτες, σερικιτικούς και χλωριτικούς σχιστόλιθους, ενώ συχνά παρεμβάλλονται βασικά κυρίως ηφαιστειακά πετρώματα.

- Κάτω-Μεσοτριάδικους σχηματισμούς, που αποτελούνται κυρίως από τρεις ομάδες πετρωμάτων, (i) τα κλαστικά πετρώματα, κατά το πλείστον ψαμμίτες, (ii) τα βασικά εκρηξιγενή πετρώματα, που είναι κυρίως υποθαλάσσιες εκχύσεις βασικής σύστασης που κατά θέσεις παίρνουν μεγάλη έκταση και (iii) τις ασβεστολιθικές ενστρώσεις ποικίλου πάχους. Συχνά παρεμβάλλονται βασικά κυρίως ηφαιστειακά πετρώματα.

- Μεσοτριάδικους – Ανωιουρασικούς ασβεστόλιθους, δηλαδή ιζήματα πλατφόρμας τα οποία προς τα επάνω περνούν σε ιζήματα βαθύτερης θάλασσας που είναι πηλίτες και ραδιολαρίτες, ενώ συχνά παρεμβάλλονται βασικά κυρίως ηφαιστειακά πετρώματα.

- Προ-Ανωκρητιδικό τεκτονικό κάλυμμα, από σχηματισμούς οι οποίοι καταλαμβάνουν σχετικά μεγάλη έκταση και διακρίνονται γενικά σε δύο ενότητες, (i) μία κατώτερη, από ηφαιστειοϊζηματογενείς κυρίως σχηματισμούς και (ii) μία ανώτερη, επωθημένη, από οφιολιθικούς σχηματισμούς, οι οποίοι κατά θέσεις συγκροτούν οφιολιθικά συμπλέγματα (περιοχή Όθρυος). Κατά τους περισσότερους ερευνητές η επώθηση αυτή έλαβε χώρα στο τέλος του Ιουρασικού αρχές του Κατώτερου Κρητιδικού.

- Κατωκρητιδικά κλαστικά πετρώματα, από ψαμμίτες και αργιλικούς σχιστόλιθους μέσα στους οποίους απαντούν ολισθόλιθοι και ολισθοστρώματα κυρίως οφιολιθικών πετρωμάτων. Τα πετρώματα αυτά υπέρκεινται ασύμφωνα των οφιολίθων του Προ-Ανωκρητιδικού καλύμματος.

- Ανωκρητιδικοί σχηματισμοί από επικλυσιγενείς ασβεστόλιθους, οι οποίοι προς τα επάνω περνούν σε ιζήματα φλύσχη Μαιστριχτίου – Παλαιοκαίνου ηλικίας.

Βοιωτική υποζώνη. Οι σχηματισμοί της εμφανίζονται κυρίως στα Γεράνεια στη Βοιωτία, στον Παρνασσό, στη Δυτική Όθρυ, στον Κόζιακα και στη Βόρεια Πίνδο και διακρίνεται από κάτω προς τα επάνω σε:

- Μια κατώτερη σειρά κλαστικών σχηματισμών, Περμοτριάδικής ηλικίας αποτελούμενη κυρίως από ψαμμίτες με αργιλικές και ασβεστολιθικές ενστρώσεις.

-Εναλλαγές ασβεστολίθων, κερατολίθων και αργιλικών σχιστολίθων ηλικίας Ανωτριάδικής – Μεσοϊουρασικής. Κατά θέσεις τα πετρώματα αυτά μεταβαίνουν πλευρικά σε συμπαγείς ασβεστόλιθους.

- Ανωιουρασικούς σχηματισμούς, από ψαμμίτες, ασβεστόλιθους και κροκαλοπαγή.

- Μια ανώτερη σειρά κλαστικών σχηματισμών (Βοιωτικός φλύσχη), ηλικίας

Ανωιουρασικής – Κατωκρητιδικής, από ρυθμικές εναλλαγές κυρίως ασβεστολίθων και ψαμμιτών με παρεμβολές κροκαλοπαγών κυρίως από οφιολιθικά στοιχεία. Ο Βοιωτικός φλύσχη είναι τυπικός ορίζοντας της υποζώνης αυτής.

-Ασβεστόλιθους Σενωνίου, οι οποίοι προς τα επάνω περνούν σε ιζήματα φλύσχη ηλικίας Μαιστριχτίου – Παλαιοκαίνου.

Κατά τον *Κατσικάτσο (1992)*, το τμήμα της Πελαγονικής ζώνης με μη μεταμορφωμένους σχηματισμούς, κατέχει γενικά το δυτικό περιθώριο του πελαγονικού υβώματος. Εμφανίζεται στην Ανατολική Στερεά Ελλάδα (ανατολικά των ζωνών Βοιωτίας και Παρνασσού), Βόρεια Αττική, Αργολίδα, Εύβοια (κεντρική και βόρεια), Όθρυ και στον ορεινό όγκο της Πίνδου. Στον Ελλαδικό χώρο, από κάτω προς τα επάνω, αποτελείται από:

Ένα Παλαιοζωικό κρυσταλλικό υπόβαθρο.

Νεοπαλαιοζωικούς ημιμεταμορφωμένους, κυρίως κλαστικούς σχηματισμούς.

Σχηματισμούς του Κατώτερου – Μέσου Τριαδικού από κλαστικούς σχηματισμούς, εκρηξιγενή πετρώματα και ασβεστόλιθους.

Μη μεταμορφωμένους ανθρακικούς σχηματισμούς του Μέσου–Ανώτερου Τριαδικού – Ανώτερου Ιουρασικού.

Επωθημένες στους προηγούμενους σχηματισμούς μεγάλες μάζες οφιολιθικών πετρωμάτων, που συνοδεύονται από ιζήματα βαθιάς θάλασσας, συμπεριλαμβανομένων και των σχηματισμών της Μαλιακής ζώνης και γενικότερα του Ηωελληνικού τεκτονικού καλύμματος.

Επικλυσιγενείς Ανωκρητιδικούς ασβεστόλιθους.

Ιζήματα φλύσχη.

Κατά τον *Lepsius (1893)*, η ενότητα Αττικής είναι ενιαία και λιθοστρωματογραφικά αναλύεται, από κάτω προς τα επάνω, στους ακόλουθους σχηματισμούς:

A. Προκάμβριοι:

- Σχιστόλιθοι Βάρης.
- Δολομίτες και Σχιστόλιθοι Πιρναρής.
- Κατώτερο Μάρμαρο.
- Σχιστόλιθοι Καισαριανής.
- Ανώτερο Μάρμαρο.

B. Ιουρασικοί – Κάτω Κρητιδικοί:

- Κατώτερη Ασβεστολιθική βαθμίδα από ασβεστόλιθους και σχιστόλιθους (στρώματα Καρά), τα οποία θεωρεί ότι επικάθονται ασύμφωνα των προηγούμενων.

Γ. Κρητιδικοί:

- Σχιστόλιθοι των Αθηνών με τράπεζες ασβεστολίθων.

- Ανώτεροι ασβεστόλιθοι (Λυκαβηττού, κλπ.), που υπέρκεινται ασύμφωνα των προηγούμενων σχηματισμών.

Κατά τον Παπανικολάου (1986), η Ενότητα Αττικής, που αποτελεί και την κατώτερη τεκτονικά ενότητα, πάνω στην οποία βρίσκονται επωθημένες διάφορες άλλες τεκτονικές ενότητες, όπως της Ανατολικής Ελλάδας, του Λαυρίου και του Αλμυροπόταμου. Είναι μεταμορφωμένη και έντονα παραμορφωμένη με αρχικές πτυχωσιγενείς δομές σε διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ και νεότερες σε ΒΔ-ΝΑ (Μαριολάκος 1971, Mariolakos & Papanikolaou 1973) και αποτελείται από μεγάλη μάζα μαρμάρων, συχνά δολομιτικών και από μαρμαρυγιακούς, αμφιβολιτικούς, κλπ. σχιστόλιθους με λεπτούς ορίζοντες ενδιάμεσων μαρμάρων. Μέσα στους σχιστόλιθους υπάρχουν και βασικά – υπερβασικά μεταμορφωμένα πετρώματα. Η στρωματογραφική στήλη παραμένει περίπου όπως την καθόρισε ο Lepsius (1893), στην περιοχή του Υμηττού με: (α) Σχιστόλιθοι της Βάρης στη βάση, (β) Δολομίτες Πιρναρής, (γ) Κατώτερο Μάρμαρο, (δ) Σχιστόλιθοι ως Κατώτερο Μάρμαρο.

## 4.2. Γεωλογικοί σχηματισμοί

Η γεωλογική δομή της περιοχής, βασίστηκε κυρίως στους γεωλογικούς χάρτη Αθήναι-Ελευσίς του ΙΓΜΕ, κλίμακας 1:50.000, που καλύπτουν την περιοχή και σε βιβλιογραφικές παρατηρήσεις από έρευνα του ΙΓΜΕ με τίτλο «Υδρογεωλογική έρευνα και μελέτη περιοχής Πύργου Βασιλίσσης-Αττικής» Κούνη Γ.Δ., Βικτωρίου-Γεωργούλη Α., 1998) καθώς και από τη μελέτη «Διαχείριση και ενίσχυση υδατικού δυναμικού πάρκου Περιβαλλοντικής Ευαισθητοποίησης Αντώνης Τρίτσης» (Παυλόπουλος Κ., Καρυμπάλης Ε., Χαλκιάς Χ., Λιόνης Μ., Λιόνη Α., Αποστολόπουλος Γ., Στουρνάρας Γ., Σταυροπούλου Μ. 2005)

Η ευρύτερη περιοχή μελέτης, περιλαμβάνει κυρίως νηρητικούς ασβεστόλιθους στο Α.Τριαδικό - Κ.Ιουρασικό και κλαστικούς σχηματισμούς του Α.Παλαιοζωϊκού - Κ.Τριαδικού.

### *Αλπικοί σχηματισμοί*

Οι Αλπικοί σχηματισμοί διακρίνονται σε δύο κύριες ενότητες που είναι η ενότητα Αττικής και η Υποπελαγονική ενότητα.

Στην Υποπελαγονική ενότητα (υποενότητα Μαλιακή) διακρίνονται οι:

- Νεοπαλαιοζωϊκοί - Μεσοτριαδικοί σχηματισμοί: αρκόζες, γραουβάκες και αργιλικοί σχιστόλιθοι σε εναλλαγές με φυλλίτες και χαλαζιακά κροκαλοπαγή κατά θέσεις. Αποτελούν τους χαμηλότερους στρωματογραφικά σχηματισμούς και απαντώνται σε περιορισμένη έκταση. Αποτελούν το στρωματογραφικό υπόβαθρο του όρους Αιγάλεω. Δεν απαντώνται στην περιοχή του δήμου Ιλίου παρά μόνο σε περιορισμένες εμφανίσεις στην ευρύτερη περιοχή (Καματερό, Πετρούπολη). Μέσα στη σειρά αυτή απαντώνται φακοειδείς ενστρώσεις ή και ορίζοντες απολιθωματοφόρων ασβεστολίθων (κυρίως μεσολεπτροστρωματώδων), ποικίλου πάχους (κατά θέσεις μέχρι και 200m) με βάση τους οποίους και καθορίστηκε η ηλικία τους (Κατσικάτσος κ.α., 1986). Τοπικά, μέσα σε αυτά, απαντώνται σώματα εκρηξιγενών πετρωμάτων (κυρίως κερατοφυρών) που συνοδεύονται από τοφίτες.
- Ανθρακικοί σχηματισμοί: ασβεστόλιθοι, δολομιτικοί ασβεστόλιθοι και δολομίτες (Μέσου Τριαδικού - Κατώτερου Ιουρασικού). Ανοιχτότεφροι μέχρι μελανότεφροι μέσο μέχρι πάχυστρωματώδεις και κατά θέσεις άστρωτοι. Εμφανίζονται έντονα κερματισμένοι και κατά θέσεις κρυσταλλικοί, μέτρια και συνήθως εκλεκτικά καρστικοποιημένοι κατά τις ρηξιγενείς γραμμές. Πάχος εκτιμώμενο 500 - 700 m περίπου και αποτελούν την κύρια μάζα του όρους Αιγάλεω.



- Κρητιδικόι εκπλυσιγενείς ασβεστόλιθοι λεπτο μέχρι μεσοστρωματώδεις τοπικά μαργαϊκοί που υπέρκεινται ασύμφωνα των παλαιότερων σχηματισμών. Πάχος ορατό 200 m περίπου. Απαντώνται στους λόφους του Αιγάλεω, επικλυσιγενώς υπερκείμενοι, σε όλες τις θέσεις εμφάνισής τους, των Μέσο Τριαδικών – Ιουρασικών ανθρακικών πετρωμάτων. Στη βάση τους, κατά θέσεις απαντώνται φακοειδούς – στρωματοειδούς μορφής σιδηρονικελιούχες αποθέσεις. Η επαφή τους με τους σχιστόλιθο Αθηνών σε όλες τις θέσεις είναι τεκτονική.

Στην ενότητα Αττικής, διακρίνονται οι:

- Σχιστόλιθοι των Αθηνών. Πρόκειται για φλυσχοειδή ιζήματα που αποτελούνται από τεφρούς αργλικούς, ψαμμιτικούς σχιστόλιθους, ασβεστιτικούς ψαμμίτες και γραουβάκες, με ενστρώσεις ασβεστόλιθων και σχιστωδών μαργών με μικρά σώματα εκρηξιγενών πετρωμάτων. Το πάχος τους υπερβαίνει τα 200 m και εμφανίζονται στην περιοχή του Αγ. Φανουρίου.

### **Μεταλλικοί σχηματισμοί**

Οι μεταλλικοί σχηματισμοί, διακρίνονται σε Τεταρτογενείς σχηματισμούς και αποθέσεις και σε Νεογενείς σχηματισμούς.

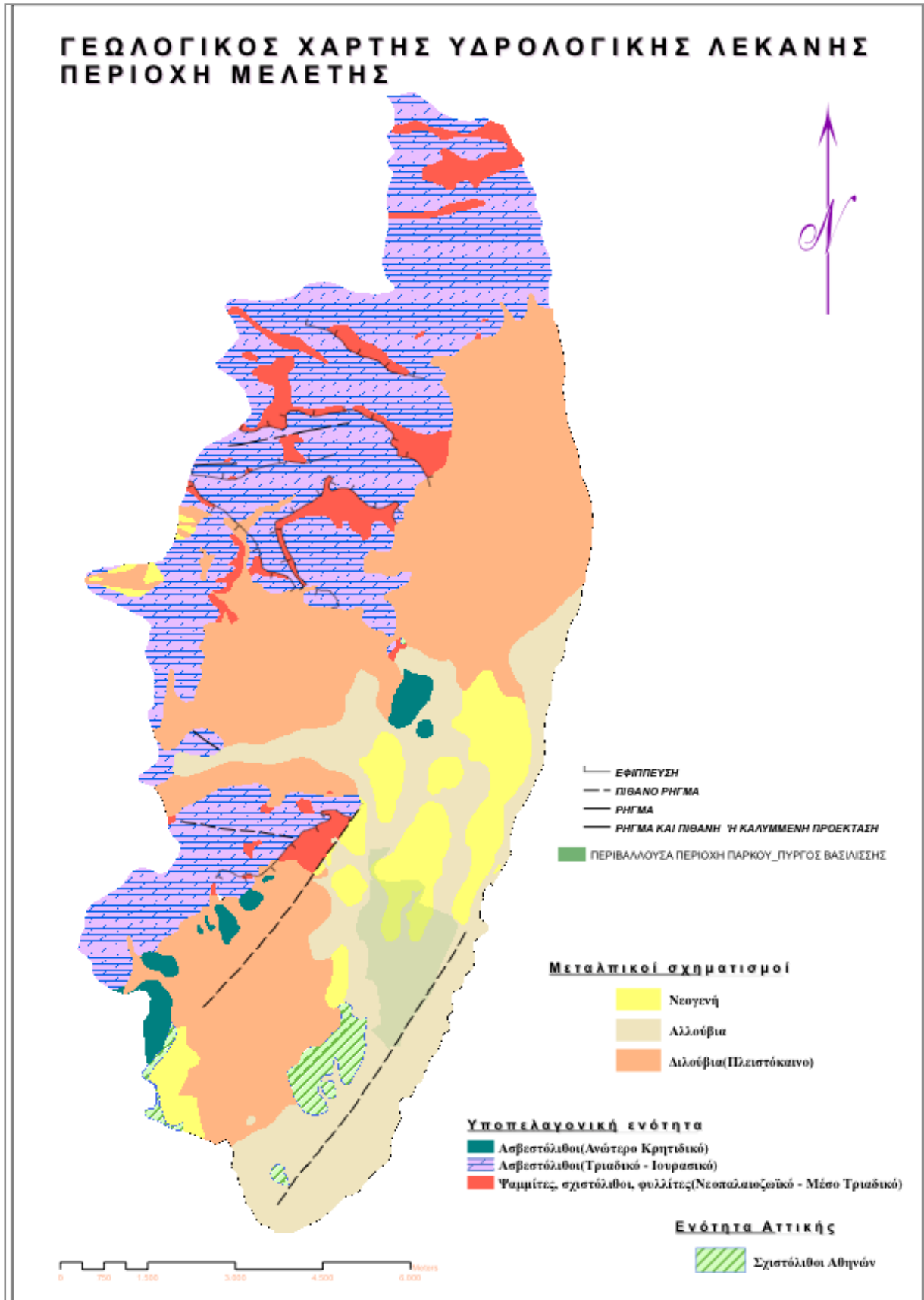
Νεογενείς σχηματισμοί που στη βάση τους αποτελούνται από εναλλασσόμενα στρώματα λιμναίας φάσης μαργών, αργίλων και ψαμμιτών, με παρεμβολές κροκαλοπαγών και κοιτάσματα λιγνιτών (περιοχή Περιστερίου). Προς τα πάνω εξελίσσονται προς χερσαίους σχηματισμούς κυρίως από ερυθρόπηλους, αργίλους και κροκαλοπαγή. Μέγιστο πάχος 100 m περίπου. Εμφανίζονται στον Πύργο Βασιλίσσης και στις ανατολικές περιοχές του Δήμου Ν.Λιοσίων.

### Τεταρτογενείς σχηματισμοί και αποθέσεις.

Κοκκώδεις σχηματισμοί μέγιστου πάχους 50m καλύπτουν μορφολογικές ταπεινώσεις και κοιλώματα (αλλούβια) ως ασύνδετα, χαλαρή και σπάνια μέτριας συνεκτικότητας. Με τη μορφή ριπιδίων, τεμνόμενων από τη διάβρωση (Πλειστόκαινο) εκπτώσσονται από τους πρόποδες της Πάρνηθας και εξελίσσονται κατόπιν στα αλλούβια.

- Ολοκαινικές αποθέσεις, που διακρίνονται σε αλλουβιακές προσχώσεις από χαλαρά αργιλοαμμώδη υλικά, ασύνδετα υλικά από άμμους και κροκαλολατύπες, κώνι κορημάτων και πλευρικά κορήματα ασύνδετα η μικρής συνεκτικότητας.
- Πλειστοκαινικές αποθέσεις από λατυποκροκάλες ποικίλου μεγέθους ισχυρά συνδεδεμένες με συνδετικό υλικό ψαμμιτομαργαϊκό, με κυμαινόμενο πάχος από 30 - 100 m κατά θέσεις.

# ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ



Σχήμα 6: Γεωλογικός χάρτης περιοχής μελέτης.

### 4.3. Τεκτονική δομή

Το λεκανοπέδιο των Αθηνών, στο οποίο ανήκει η υδρολογική λεκάνη της περιοχής, αποτελεί ένα τεκτονικό βύθισμα BBA-NNΔ διεύθυνσης, το οποίο αναπτύσσεται μεταξύ των ορεινών όγκων Πεντέλης – Υμηττού (ανατολικά) και Πάρνηθας – Αιγάλεω (δυτικά) (Αντωνίου Β., 2002).

Τα κύρια ρήγματα αναγνωρίζονται με διευθύνσεις παράλληλες και εγκάρσιες στη γενική δομή και επιπλέον τα μεγάλα απ' αυτά έχουν προπαρασκευάσει τις τάφρους κλαστικής πληρώσεως της νεότερης γεωλογίας (Κούνης Γ. 1998).

Η ανάλυση της τεκτονικής δομής βασίζεται σε προγενέστερη μελέτη των Κούνη Γ. Και Βικτωρίου – Γεωργούλη Α., στην υδρογεωλογική έρευνα και μελέτη της περιοχής Πύργου Βασιλίσσης – Αττική (1994).

Η γενικευμένη τεκτονική δομή χαρακτηρίζεται από την έπαρση του υποβάθρου (μεσοζωϊκού-παλαιοζωϊκού), την βαθειά προνεογενή του διάβρωση, την επακόλουθη ρηξιγενή του τακτοποίηση, την νεογενή πλήρωση των βυθισμένων ζωνών του και την μετανεογενή ρηξιγενή και προσχωσιγενή συμπλήρωση.

Η δομή αντανακλά ουσιαστικά τις συνθήκες που υπαγορεύει το κύριο αντικλινόριο Πάρνηθας διευθυνόμενο βυθιζόμενο δυτικά. Ενώ παράλληλα η εναλλαγή ηπιότερων συγκλίνων – αντικλίνων ιδιαίτερα στη νότια πτέρυγα συμπληρώνει τη δομή. Συγκεκριμένα, το κυρίαρχο μέλος της δομής αποτελεί το ΒΑ διεύθυνσης, με ελαφρά προς τα εκεί κλίση, αντίκλινο του Αιγάλεω, το οποίο αφενός, από την διάβρωση αποκαλύπτει άνετα τον πάλαιοζωϊκό του πυρήνα (Καματερό, Αχαρνές, Λιόσια), αφ' ετέρου δε ρηγνύεται στις ζώνες καμπής των πτερύγων του και εγκάρσια. Τα ρήγματα της διαδικασίας αυτής τάσσονται ΒΑ και ΒΔ και κατ' αυτές τις διευθύνσεις επαναδραστηριοποιήθηκαν, είτε σχηματίστηκαν άλλα στους επόμενους γεωλογικούς χρόνους.

Η κατάτμηση των ανθρακικών σχηματισμών είναι πυκνή και πολλαπλή, λόγω της αυξημένης γενικά τραχύτητας που κατά τόπους κυριαρχούνται τη δολομιτική συμμετοχή και λεπτόκλαση χωρίς διαβρωσιγενή επεξεργασία, στο βάθος ιδιαίτερα. ΒΔ τα πρηνή της Πάρνηθας (Αχαρνές, Φυλή) αποτελούν μέρος πτέρυγας του τεκτονικού επάρματος (αντίκλινο Πάρνηθας), που έχει ρηξιγενώς κυρίως, αφορισθεί από το αντίκλινο του Αιγάλεω.

Οι επαφές μεσοζωϊκού-ανθρακικού καλύμματος και παλαιοζωϊκού υποβάθρου κλίνουν γενικά ήπια ΝΑ και σπάνια άνω των 30° στα πρηνή της Πάρνηθας, ενώ το γεωμορφολογικό προφίλ είναι συγκριτικά απότομο και βαθειά χαραγμένο.

Από την πρωτογενώς συγκλινική δομή του Λεκανοπεδίου Αθηνών και ειδικότερα της ζώνης Περιστερίου-N. Λιοσίων και ΒΑ η προνεογενής κυρίως έντονη διάβρωση έχει αφαιρέσει τοπικά σημαντικό μέρος των ανωτέρων στοιβάδων της εν λόγω δομής.

## 5. ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑ - ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ

### 5.1. Κλιματολογικά στοιχεία

Τα ατμοσφαιρικά κατακρημνισμάτα, η θερμοκρασία, η ηλιακή ακτινοβολία, η υγρασία του αέρα, η εξάτμιση αποτελούν σημαντικά κλιματικά στοιχεία. Η ποσότητα και η κατανομή τους διαμορφώνουν τις κλιματολογικές συνθήκες μιας περιοχής και καθορίζουν σε σημαντικό βαθμό το υδατινο δυναμικό της (Καλλέργης 2000).

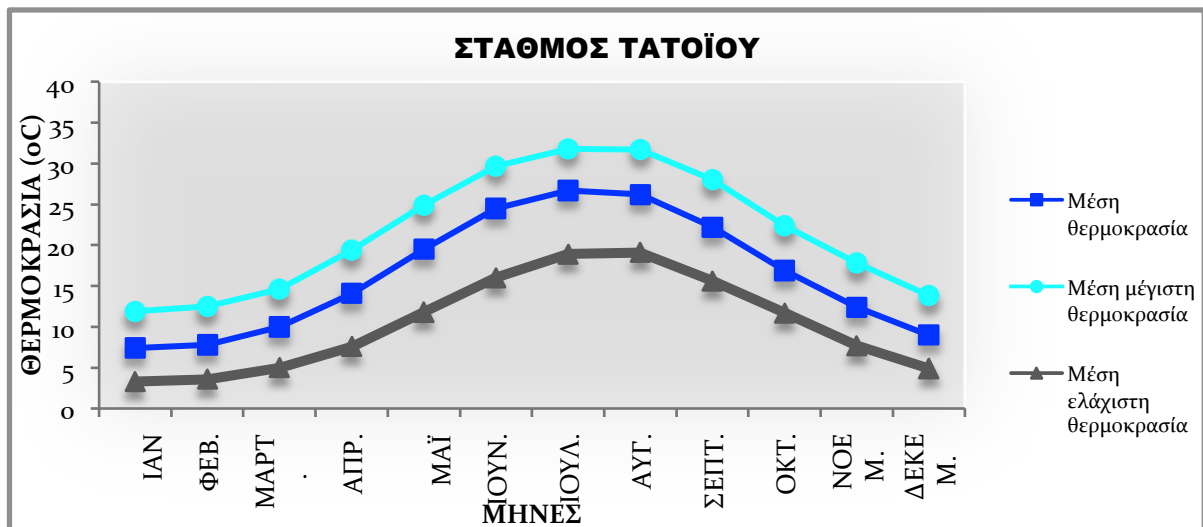
Για τη μελέτη του κλιματικών συνθηκών της περιοχή μελέτης χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα που προέρχονται από τους μετεωρολογικούς σταθμούς της Ε.Μ.Υ. στο Τατόι και στη Ν.Φιλαδέλφεια. Οι παρατηρήσεις καλύπτουν χρονική διάρκεια 31 χρόνων (1956-1997) και αναφέρονται στη βροχοπτώση, στις θερμοκρασία αέρα (μέση, ελάχιστη, μέγιστη) και στη σχετική υγρασία. Τα γεωγραφικά δεδομένα των μετεωρολογικών σταθμών παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

<b>Μετεωρολογικός σταθμός Τατοΐου</b>			
Γεωγραφικό πλάτος	Γεωγραφικό μήκος	Υψόμετρο	Χρονική περίοδος λειτουργίας
38 <sup>0</sup> 06 '	23 <sup>0</sup> 47 '	236 μ	1956 - 1997
<b>Μετεωρολογικός σταθμός Ν.Φιλαδέλφειας</b>			
Γεωγραφικό πλάτος	Γεωγραφικό μήκος	Υψόμετρο	Χρονική περίοδος λειτουργίας
38 <sup>0</sup> 03 '	23 <sup>0</sup> 40 '	136.1 μ	1956 - 1997

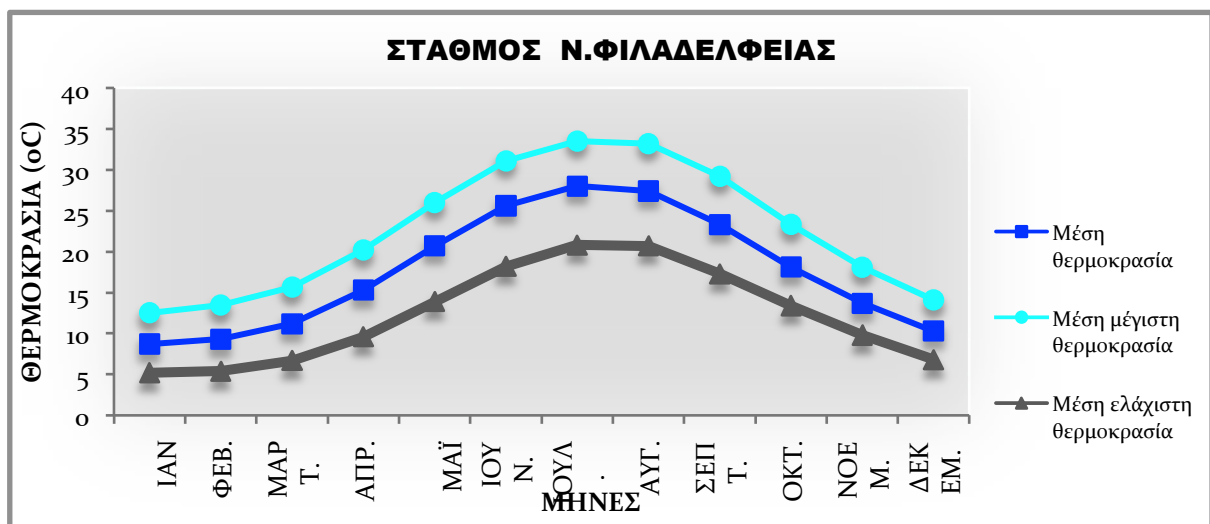
Για τους μετεωρολογικούς σταθμούς Ν. Φιλαδέλφειας και Τατοΐου, η μέση ετήσια θερμοκρασία αέρα είναι 17.6 °C και 16.4 °C αντίστοιχα για τη χρονική περίοδο 1956-1997 με μέγιστες τιμές τον Ιούλιο με 28.0 °C και 26.7 °C και ελάχιστες τον Ιανουάριο με 8.7 °C και 7.4 °C αντίστοιχα.

Η μέση ετήσια θερμοκρασία για την περιοχή μελέτης του πάρκου Περιβαλλοντικής Ευαισθητοποίησης ανέρχεται σε 17.0 °C περίπου, παρουσιάζοντας μέγιστη τιμή τον Ιούλιο με 27.4 °C και ελάχιστη τον Ιανουάριο με 8.05 °C.

Η μέση σχετική υγρασία του αέρα παρουσιάζεται αυξημένη κατά τούς χειμερινούς μήνες και γενικά εμφανίζει υψηλές τιμές 70.5 - 73.2 %.



Σχήμα 7: Διάγραμμα θερμοκρασίας (μέση, μέγιστη, ελάχιστη) σύμφωνα με τα κλιματικά δεδομένα σταθμού Τατοΐου.



Σχήμα 8: Διάγραμμα θερμοκρασίας (μέση, μέγιστη, ελάχιστη) σύμφωνα με τα κλιματικά δεδομένα σταθμού Ν.Φιλαδέλφειας.

- Θερμοκρασία αέρα

Στην περιοχή μελέτης επικρατούν γενικά ήπιες θερμοκρασίες, χωρίς όμως έντονες και απότομες διακυμάνσεις. Η θερμοκρασία του έρα κυμαίνεται κατά τους χειμερινούς μήνες μεταξύ 9 και 11 °C και κατά τους θερινούς μεταξύ 25 και 27.5 °C.

- Άνεμος

Οι άνεμοι που επικρατούν στη λεκάνη των Αθηνών είναι σχεδόν όλο το χρόνο από βόρειες και βορειοανατολικές διευθύνσεις, και λιγότερο από νότιες. Η ταχύτητα του επιφανειακού ανέμου ελαττώνεται τα τελευταία χρόνια, καθώς η αστικοποίηση της περιοχής αυξάνεται.

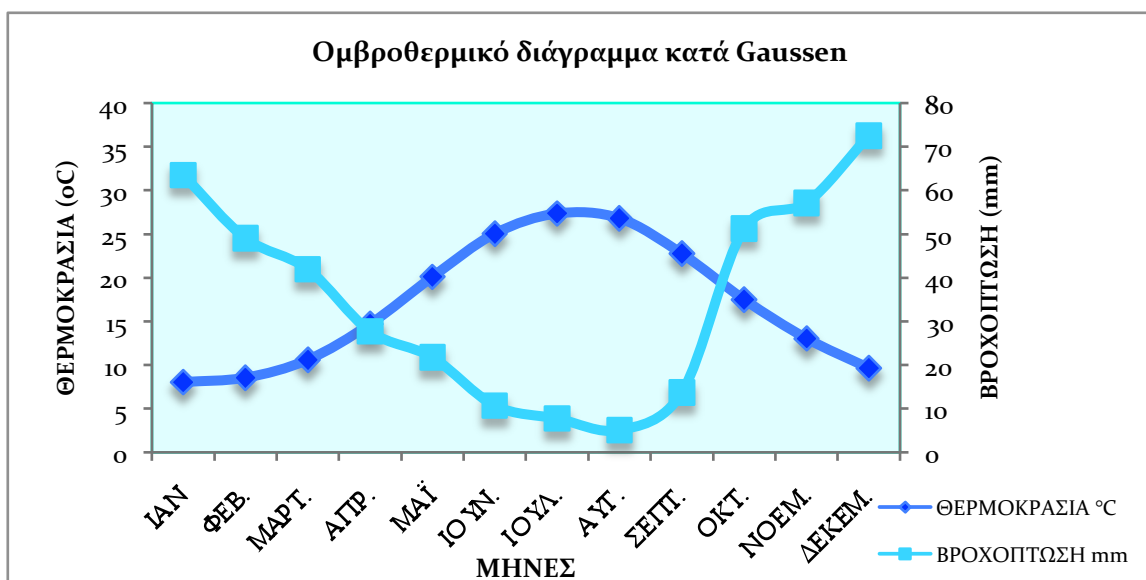
Σύμφωνα με τα δεδομένα του Αστεροσκοπείου των Αθηνών για το λεκανοπέδιο προκύπτει η μέση ταχύτητα του ανέμου να κυμαίνεται συνήθως από 2 έως 4 m/second.

- Σχετική υγρασία

Ως σχετική υγρασία ορίζεται το πηλίκο της μάζας των υδρατμών τους οποίους περιέχει ορισμένος όγκος αέρα, δια της μάζας των υδρατμών τους οποίους θα έπρεπε να περιέχει ο ίδιος όγκος για να είναι κορεσμένος στην ίδια θερμοκρασία. Η σχετική υγρασία εκφράζεται επί τις εκατό και κυμαίνεται από 71,4% ανώτερη τιμή κατά τους χειμερινούς μήνες έως 45,1% κατά τους καλοκαιρινούς (Αστεροσκοπείο Αθηνών 1992).

- Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα

Από τον Ιανουάριο ξεκινά μια σημαντική καθοδική τάση των βροχοπτώσεων, ενώ τους μήνες Μάρτιο και Απρίλιο παρατηρούμε ανοδική τάση των βροχοπτώσεων όπως και τους θερινούς μήνες. Τους φθινοπωρινούς μήνες παρατηρείται μια καθοδική πορεία των βροχοπτώσεων.



Σχήμα 9: Ομβροθερμικό διάγραμμα κατά Gaussen.

Από το διαγράμματα προκύπτει ότι η ξηροθερμική περίοδος για την υπό μελέτη περιοχή, δηλαδή η περίοδος κατά την οποία η μέση μηνιαία θερμοκρασία υπερέρχει του διπλάσιου της μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης, διαρκεί από τέλη Απριλίου έως τις αρχές Οκτωβρίου.

Σε ότι αφορά τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα το έτος διακρίνεται σε μια υγρή περίοδο. Αυτή εμφανίζεται από τον Οκτώβριο μέχρι το Μάρτιο όπου σημειώνεται περίπου το 80% των βροχοπτώσεων και για τους δυο σταθμούς. Η μέση ετήσια βροχόπτωση για τους

μετεωρολογικούς σταθμούς Ν. Φιλαδέλφειας και Τατοΐου, εκτιμήθηκε στα 414 mm και 430 mm αντίστοιχα. Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής είναι 422.1 mm.

## 5.2. Ποσοτικός Υπολογισμός Υδρολογικού Ισοζυγίου

Ο υδρολογικός κύκλος (hydrologic cycle) περιλαμβάνει μια σειρά διαδικασιών με τις οποίες το νερό κυκλοφορεί μεταξύ υδρόσφαιρας, ατμόσφαιρας, ξηράς και θάλασσας. Σε αυτή την αλυσίδα το νερό εμφανίζεται με όλες τις μορφές: υγρό, αέριο (υδρατμοί), στερεό (χιόνι, χαλάζι). Το σύνολο της ενέργειας που κατευθύνει τον κύκλο του νερού προέρχεται σχεδόν αποκλειστικά από τον ήλιο.

Το συνολικό φαινόμενο της κυκλοφορίας και κατανομής του νερού στην ατμόσφαιρα και τη γη μπορεί να εκφρασθεί από τη σχέση:  $P=A+E$  ή  $(R+I)+E$  (βασική εξίσωση υδρολογικού ισοζυγίου)

Όπου:  $A$  = η ολική απορροή (runoff)

$R$  = η επιφανειακή απορροή (runoff)

$I$  = η κατείσδυση (infiltration)

$P$  = τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (precipitation)

$E$  = η πραγματική εξιτμισιοδιαπνοή (evapotranspiration)

Τα παραπάνω μεγέθη μπορούν να εκφραστούν σε ύψος νερού (mm) ή σε όγκο νερού ( $m^3$ ) ή σε ποσοστό επί τοις εκατό (%) (Καλλέργης 2000).

Για εκτίμηση του υδατικού ισοζυγίου σε όλη την έκταση της υδρολογικής λεκάνης συλλέχτηκαν όλα τα διαθέσιμα στοιχεία βροχόπτωσης και θερμοκρασίας για τα έτη από το 1956 έως το 1997 που εντοπίζονται στην ευρύτερη περιοχή: μετεωρολογικός σταθμός Τατοΐου και μετεωρολογικός σταθμός Ν.Φιλαδέλφειας. Ενδεικτικά των κλιματικών συνθηκών της λεκάνης απορροής είναι τα ετήσια ύψη βροχής που ανέρχονται στα **422.1 mm** με το μεγαλύτερο ποσοστό βροχόπτωσης να εντοπίζεται τη περίοδο μέσα Σεπτέμβη με Απρίλιο. Οι μέσες ετήσιες θερμοκρασίες ανέρχονται στους **17°C** κατατάσσουν το κλίμα της περιοχής στο χερσαίο Μεσογειακό.

Η πραγματική εξιτμισιοδιαπνοή υπολογίζεται με διάφορες ημιεμπειρικές μεθόδους όπως: α) GOUTAGNE, β) TURC (διορθωμένος ή όχι), γ) THORNWAITE, δ) BURTON – ΠΑΠΑΚΗ για καρστικές περιοχές και ε) σχέση ημερών βροχόπτωσης και αντίστοιχης εξάτμισης.



Για την περιοχή μελέτης, η πραγματική εξατμισιοδιαπνοή υπολογίστηκε με το δείκτη *BURTON – ΠΑΠΑΚΗ* (καρστικά συστήματα), που δέχονται ότι 50% των βροχοπτώσεων της χειμερινής περιόδου και το 100% της θερινής περιόδου καταλήγουν στην εξατμισιοδιαπνοή (E),

$$E = [(51.25+57.1+72.55+63.5+49.05+41.95)/2 + (27.7+21.75+10.7+7.75+5.51+13.7)] = 254.81\text{mm} \text{ ή ποσοστό } 60.4\% \text{ των βροχοπτώσεων.}$$

Ενώ τα υπόλοιπα 167.29 mm ή το ποσοστό 39.6% των βροχοπτώσεων καταλήγουν στην απορροή και στην κατείδυση – διήθηση.

Συνήθως μία λεκάνη δεν έχει σε όλα τα σημεία της την ίδια λιθολογική σύσταση μάλιστα ο κανόνας είναι το αντίθετο. Στην περίπτωση αυτή κάθε πέτρωμα ή σχηματισμός έχει κάτι ιδιαίτερο, δικό του, συντελεστή κατείδυσης (Καλλέργης 2000).

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που εμφανίζονται στην υδρολογικής λεκάνη της περιοχής μελέτης από τους νεότερους προς τους παλαιότερους και η αντίστοιχη επιφανειακή τους εξάπλωση είναι οι εξής:

*Νεογενείς σχηματισμοί: 7.8 km<sup>2</sup>*

*Τεταρτογενείς σχηματισμοί: 56.1 km<sup>2</sup>*

*Ανθρακικοί σχηματισμοί: 33.6 km<sup>2</sup>*

*Σχιστόλιθοι: 7.2 km<sup>2</sup>*

Κάθε γεωλογικός σχηματισμός, ανάλογα με το ποσοστό εμφάνισής του, δέχεται έναν συγκεκριμένο όγκο νερού, ο οποίος υπολογίστηκε και παρουσιάζεται στον πίνακα 2.

Στα Τεταρτογενή ο συντελεστής κατείδυσης ανέρχεται περίπου σε 18% επί του ολικού όγκου των κατακρημνισμάτων. Ο συντελεστής αυτός, δεν ξεπερνά το 13% στα νεογενή ιζήματα, στη μολάσσα προσδιορίζεται σε 7%, ενώ στο φλύσχη η αντίστοιχη τιμή είναι 6%. Στους οφιόλιθους ο ίδιος συντελεστής είναι της τάξης του 5%. Στα Ανθρακικά πετρώματα ανέρχεται σε 45%, ενώ οι Φυλλίτες – Γνεύσιοι - Σχιστόλιθοι, παρουσιάζουν συντελεστή 5% (Σούλιος 1979).

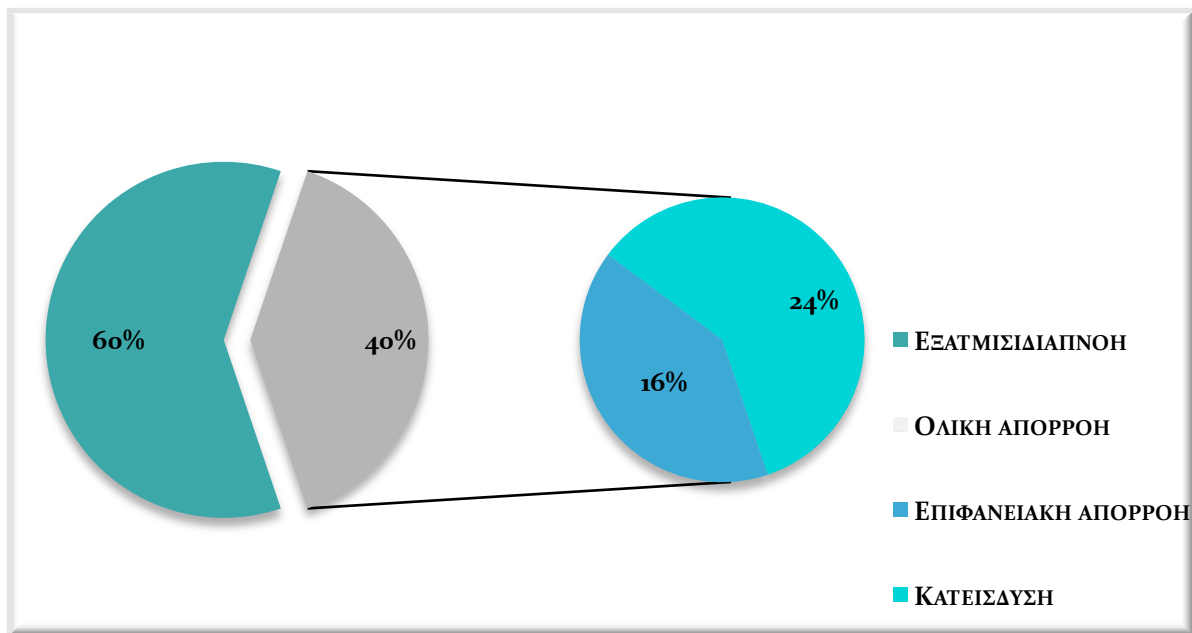
Με βάση την επιφανειακή εξάπλωση των διαφόρων υδρολιθολογικών σχηματισμών το ύψος των κατακρημνισμάτων και της εξατμισιοδιαπνοής, το υδρολογικό ισοζύγιο για την υπό μελέτη περιοχή, θα έχει ως εξής:

Πίνακας 2: Συγκεντρωτικός πίνακας εκτίμησης του υδρολογικού ισοζυγίου της υδρολογικής λεκάνης.

<b>Μέσος ετήσιος όγκος βροχόπτωσης</b>	<b>VP = 422.1mm * 104.7 km<sup>2</sup> = 44.193,9 * 10<sup>3</sup> m<sup>3</sup></b>	
<b>Κατανομή όγκου κατακρημνισμάτων ανά υδρολιθολογικό σχηματισμό:</b>	<i>Τεταρτογενείς σχηματισμοί</i>	56.1 km <sup>2</sup> * 422.1mm = 23.679,8 * 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
	<i>Νεογενείς σχηματισμοί</i>	7.8 km <sup>2</sup> * 422.1mm = 3.292,4 * 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
	<i>Ανθρακικοί σχηματισμοί</i>	33.6 km <sup>2</sup> * 422.1mm = 14.182,6 * 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
	<i>Σχιστόλιθοι</i>	7.2 km <sup>2</sup> * 422.1mm = 3.039,4 * 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
<b>Μέσο ετήσιο ύψος Εξατμισοδιαπνοής</b>	<b>254.81 mm</b>	
<b>Μέσος ετήσιος όγκος Εξατμισοδιαπνοής της Λεκάνης</b>	<b>VE = Fολ * E = 104.7 * 254.81 = 26.678,6 * 10<sup>3</sup> m<sup>3</sup></b>	
<b>Μέσος ετήσιος όγκος ολικής απορροής της Λεκάνης</b>	<b>VA = VP - VE = (44.193,9 - 26.678,6) * 10<sup>3</sup> m<sup>3</sup> = 17.515,3 * 10<sup>3</sup> m<sup>3</sup></b>	
<b>Όγκος νερού που κατεισδύει ανά λιθολογικό σχηματισμό, ανάλογα με το συντελεστή κατείσδυσης που έχει οριστεί.</b>	<i>Τεταρτογενείς σχηματισμοί</i>	23.679,8 * 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> * 18% = 4.262,4 * 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
	<i>Νεογενείς σχηματισμοί</i>	3.292,4 * 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> * 13% = 428 * 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
	<i>Ανθρακικοί σχηματισμοί</i>	14.182,6 * 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> * 40% = 5.673 * 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
	<i>Σχιστόλιθοι</i>	3.039,4 * 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> * 5% = 151.9 * 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
<b>Μέσος ετήσιος όγκος επιφανειακής απορροής</b>	<b>VR = 7.000 * 10<sup>3</sup> m<sup>3</sup></b>	
<b>Μέσος ετήσιος όγκος υπόγειας ροής</b>	<b>VI = 10.515,3 * 10<sup>3</sup> m<sup>3</sup></b>	

Συμπερασματικά, προκύπτει ότι η υδρολογική λεκάνη Περιστερίου δέχεται ετησίως όγκο νερού της τάξεως των  $44.193,9 * 10^3 \text{ m}^3$ . Από αυτόν τον όγκο νερού τα  $10.515,3 * 10^3 \text{ m}^3$  κατεισδύουν (υπόγεια απορροή), ενώ τα  $7.000 * 10^3 \text{ m}^3$  απορρέουν επιφανειακά.

Παρακάτω παρουσιάζεται γραφικά το ποσοστό του όγκου νερού που κατανέμεται για την εξατμισιοδιαπνοή 60.4%, την επιφανειακή απορροή 15.8% και την κατείσδυση 23.7%, από το συνολικό όγκο νερού που δέχεται η λεκάνη Περιστερίου.



Σχήμα 10: Ποσοστιαία κατανομή παραμέτρων του υδρολογικού ισοζυγίου επί του συνόλου των κατακρημνισμάτων της υδρολογικής λεκάνης.

## 6. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

### 6.1. Υδρολιθολογία

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται η υδρολιθολογική συμπεριφορά των διαφόρων γεωλογικών σχηματισμών που δομολούν την ευρύτερη περιοχή. Η συμπεριφορά αυτή εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την υδροπερατότητα των σχηματισμών. Στους χαλαρούς σχηματισμούς η υδροπερατότητα εξαρτάται από το ενεργό πορώδες (πρωτογενές πορώδες), ενώ στους βραχώδεις σχηματισμούς κυρίως από το βαθμό κατάτμησης-κερματισμού και της καρστικής διάβρωσης.

Οι σχηματισμοί που διακρίθηκαν ταξινομήθηκαν σε:

#### Περατοί σχηματισμοί.

Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται οι έντονα καρστικοποιημένοι ασβεστόλιθοι του Κρητιδικού και Α.Τριαδικού-Κ.Ιουρασικού, τα κροκαλοπαγή και οι ψαμμίτες που συχνά περικλείονται από αργιλικούς και μαργαϊκούς σχηματισμούς. Οι ασβεστόλιθοι του Κρητιδικού και Α.Τριαδικού-Κ.Ιουρασικού, λόγω έντονου κερματισμού και κυρίως λόγω έντονης ισχυρής καρστικής διάβρωσης, έχουν αναπτύξει ιδιαίτερα μεγάλο δευτερογενές πορώδες και τροφοδοτούν με τη σειρά τους και με το μεγάλο δευτερογενές ενεργό πορώδες που διαθέτουν τις αλλουβιακές προσχώσεις, τους ψαμμίτες και τα κροκαλοπαγή των Νεογενών και Πλειστοκαινικών αποθέσεων.

#### Περατοί-ημιπερατοί σχηματισμοί.

Οι Νεογενείς και Τεταρτογενείς, συνεκτικοί, ημισυνεκτικοί και χαλαροί σχηματισμοί δημιουργούν υδροφόρους ορίζοντες περιορισμένης υδροφορίας. Η περατότητα του σχηματισμού των αλλουβιακών αποθέσεων και των Νεογενών, που αποτελούν και τους κύριους υδροφορείς της περιοχής μελέτης, κρίνεται μέτρια εξαιτίας των αργιλικών και μαργαϊκών διαστρώσεων που εμφανίζονται κατά θέσεις. Η υδροφορία των σχηματισμών αυτών επιτυγχάνεται στην περιοχή κυρίως από πλευρικές τροφοδοσίες, δηλαδή από τους ασβεστόλιθους Α.Τριαδικού-Κ.Ιουρασικού.

#### Υδατοστεγείς-αδιαπέρατοι ως ημιπερατοί σχηματισμοί.

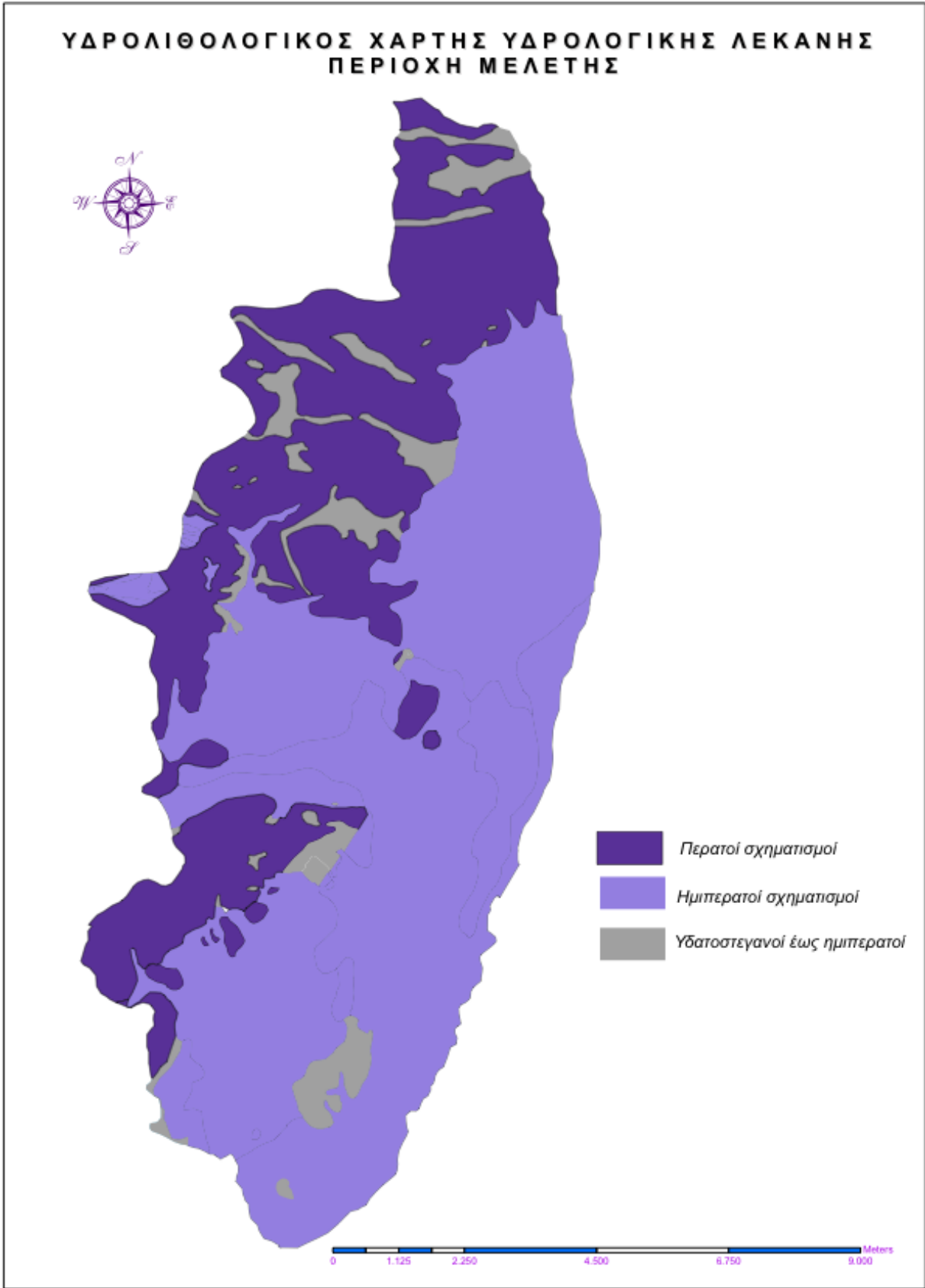
Σε αυτούς υπάγεται κύρια ο σχηματισμός του *Αθηναϊκού σχιστόλιθου* και οι σχιστολιθικοί σχηματισμοί υποβάθρου.

*Κατώτερος ορίζοντας.* Πρόκειται για εναλλαγές ιλυολίθων, αργιλικών σχιστολίθων, μαργών και ψαμμιτών που στο σύνολό τους μπορούν να χαρακτηριστούν ως υδατοστεγείς. Οι

ψαμμίτες ανάλογα με το βαθμό της διάρρηξης και της διαγένεσής τους είναι δυνατόν να θεωρηθούν ως ημιπερατοί σχηματισμοί. Οι ασβεστολιθικές ενστρώσεις παρουσιάζουν μεγάλη σχετικά υδατοπερατότητα και υδαταγωγιμότητα, παρόλα αυτά όμως έχουν μικρή αποθηκευτική ικανότητα. Σε αντίθεση, οι ψαμμούχοι μαύροι ασβεστόλιθοι συμπεριφέρονται σαν υδατοστεγείς ή ημιπερατοί σχηματισμοί. Ο κατώτερος ορίζοντας του συστήματος των σχιστόλιθων έχει περιορισμένη υδροφορία, κυρίως κοντά στην επιφάνεια (φρεατική), όπου και παρουσιάζεται αρκετά αποσαθρωμένος. Στο βάθος αυτή περιορίζεται και πρακτικά απουσιάζει (Δούνας κ.ά., 1976, Κούνης, 1980-81, Σταμάτης, κ.ά. 1998).

*Ανώτερος ορίζοντας.* Χαρακτηρίζεται από τη μεγαλύτερη συμμετοχή αδροκλαστικών υλικών και ανθρακικών πετρωμάτων με αυξημένη υδραυλική αγωγιμότητα. Η τεκτονική τους καταπόνηση εκδηλώνεται με ασυνεχείς τεκτονικές επιφάνειες (διακλάσεις). Θεωρείται σαν ένα ημιπερατό σύνολο μικρής αποθηκευτικής ικανότητας με παρουσία συχνών στεγανών διαφραγμάτων. Η υδατοπερατότητα των πετρωμάτων αυτών μειώνεται αισθητά στην περιοχή μελέτης εξαιτίας της έντονης πτύχωσής τους (Αντωνίου Β., 2002).

Το υδρολογικό υπόβαθρο της περιοχής αποτελεί ο φλυσχοειδής σχηματισμός του Αθηναϊκού σχιστόλιθου (Δούνας κα., 1976; Κακαβάς κα., 1978).



Σχήμα 11: Υδρολιθολογικός χάρτης υδρολογικής λεκάνης.

## 6.2. Υδροφορία

Με βάση τα στοιχεία που έδωσε ο μεγάλος αριθμός των γεωτρήσεων, αλλά και τα υπάρχοντα πολλά φρέατα στην περιοχή του Πύργου Βασιλίσσης στην «Υδρογεωλογική έρευνα και μελέτη περιοχής Πύργου Βασιλίσσης-Αττικής» (Κούνη Γ.Δ., Βικτωρίου-Γεωργούλη Α., 1994), διαπιστώνεται η ύπαρξη ενός πρακτικά ελεύθερου υδροφόρου ορίζοντα που αναπτύσσεται στο ανώτερο τμήμα του αθηναϊκού σχιστόλιθου και στα χαλαρά ιζήματα του καλύμματος παρουσιάζοντας συνθήκες υδραυλικής συνέχειας. Το τεταρτογενές κάλυμμα μπορεί να αποδώσει με παροχή από φρέατο μέχρι 10δες  $m^3/h$ . Στους μεσοζωϊκούς ασβεστόλιθους της υδρογεωλογικής λεκάνης υπολογίστηκε εισφορά  $25 m^3/h.km^2$  ή  $500m^3/h$  εφ'όλης της έκτασης σχεδόν.

### *Τεταρτογενές*

Η υδροφορία είναι ασθενής έως μέτρια με βελτίωση κατά τη ζώνη σύγκλισης των ροών, ενιαία, ενδοπορικής ροής και εγκατάστασης με πηγή ελεύθερη στάθμη. Η αναμενόμενη γενική περατότητα περιορίζεται μεταξύ  $10^{-5} m/sec$  -  $10^{-3} m/sec$ . Συντηρεί υδροφορία με φρέατα στάθμη μεταξύ 75 μ.υ.θ. και 145 μ.υ.θ. περίπου. Η μορφολογία της στάθμης είναι ελαφρά συγκλίνουσα, σε μέσο υψόμετρο 110 m και μέγιστο κυμαινόμενο βάθος 2m-12m, ενώ η μέση ετήσια κύμανση της στάθμης αναγνωρίζεται σχετικά μικρή, περίπου 1.7m. Είναι χωροκατανεμημένη μεταξύ 0.2 m και 6 m στους αδρόκοκκους τομείς της μάζας του. Συνέχεται υδραυλικά με τις ανώτερες αδρομερέστερες στοιβάδες του Νεογενούς, το οποίο αναγκάζει σε μεγαλύτερες υδραυλικές κλίσεις.

### *Νεογενές*

Γενικά αποτελεί πολυστρωματικό υδροφορέα, με υδροφορία ενδοπορικής ροής έκδηλη στις αμμούχες και αδρότερες περιοχές της μάζας του. Συνήθως βρίσκεται υπό πίεση με αναμενόμενη γενική περατότητα από  $10^{-8} cm/sec$  -  $10^{-4} cm/sec$ . Στην περιοχή η κλαστική στήλη είναι ανεπαρκής λόγω της κυρίαρχης παρουσίας λεπτομερούς κλάσματος, που μειώνει εξαιρετικά την υδραυλική αγωγιμότητα.

Οι ανώτερες αδρομερέστερες, στοιβάδες συνεχονται υδραυλικά με τις προσχώσεις με τις οποίες θεωρούνται υδρογεωλογικά ως ενιαίος ημιυδροφόρος σχηματισμός αθροιστικού πάχους κορεσμού μικρότερου των 30m.

### ***Μεσοζωϊκό***

Το Μεσοζωϊκό αποτελεί γενικά εκτεταμένο υπόστρωμα του κοκκώδους σχηματισμού επί του σχιστολιθικού-ψαμμιτικού Παλαιοζωϊκού υποστρώματος, σε τεκτονική ασυνέχεια.

Ο ρωγματικός σχηματισμός του Μεσοζωϊκού διαθέτει ρωγματικό δίκτυο καλής πυκνότητας, αλλά ασθενής καρστικοποίησης. Η γενική περατότητα του εκτιμάται από 10-7 cm/sec - 10-2 cm/sec. Γενικά η περατότητα του σχηματισμού είναι πολύ καλή μόνο σε γραμμές ή ζώνες ρήξεως ή πυκνώσης της κατάτμησης από εκλεκτική καταπόνηση. Στην υπόλοιπη μάζα η περατότητα αποβαίνει συγκριτικά ιδιαίτερα χαμηλή. Η υδροχωρητικότητά του είναι αξιόλογη και η ετήσια ανηγμένη αναπλήρωσή του εκτιμάται σε 25 m<sup>3</sup>/h.km<sup>2</sup>.

Πρόσθετα, από γεωτρητικό έλεγχο αναγνωρίζεται έντονα η δολομιτική παρουσία στις βαθύτερες στοιβάδες και ασθενή εσωτερική διάβρωση, με αποτέλεσμα χαμηλή περατότητα, που επιτείνει την υδραυλική ανεπάρκεια, με εξαίρεση των άνω εκλεκτικών οδών.

### ***Παλαιοζωϊκό***

Το Παλαιοζωϊκό, παρουσιάζει μεγάλο εύρος υδρογεωλογικής συμπεριφοράς και γενικά αγνωρίζεται ως άνυδρος σχηματισμός ή υδρεπιβραδυντής και μόνο κατά τόπους, όπου είναι έντονη η ανθρακική παρουσία ή γενικώς αυξάνει η τραχύτητα των μελών και αποβαίνει ημιυδροφόρος, με την στραγγιστική λειτουργία των ευνοϊκών μελών ασθενέστατη λόγω του καλού υδραυλικού αποκλεισμού τους.

Συμπερασματικά:

- Ο Παλαιοζωϊκός σχηματισμός δεν ευνοεί αξία λόγου υδροφορία (λεπτοκλαστική συμμετοχή, 'πλαστικοί' σχιστόλιθοι, δολομιτική παρουσία, υδραυλικός αποκλεισμός των ανθρακικών και τραχειών παρεμβολών).
- Ο Μεσοζωϊκός ανθρακικός ρωγματικός σχηματισμός χαρακτηρίζεται από χαμηλή περατότητα (έντονη δολομιτική συμμετοχή, ασθενής εσωτερική διάβρωση) και έπαρση σε θετικά υψόμετρα, έτσι ώστε κατά εκλεκτικές θέσεις καταπόνησης να γίνεται υδρογεωλογικά σημαντικός.
- Οι νεογενείς σχηματισμοί μπορούν να αποδώσουν γενικά λίγα μόνο m<sup>3</sup>/h από στήλη 150m.
- Οι τεταρογενείς σχηματισμοί μπορούν να αποδώσουν μέχρι 10δες m<sup>3</sup>/h, από φρεάτιο, βάθους μέχρι 30m, μέσω αμφίπλευρων στοών κυρίως κατά τη ζώνη σύγκλισης των ροών



## 7. Υδροχημεία

### 7.1. Γενικά

#### 7.1.1. Σύσταση υπόγειων νερών

Η σύσταση των υπόγειων νερών διαφέρει από τη σύσταση των νερών εμπλουτισμού (βροχοπτώσεις, επιφανειακά νερά κ.α) και μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της κίνησης τους στον υδροφόρο ορίζοντα.

Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την σύσταση του υπόγειου νερού είναι (J.I. Drever 1988; K. Tanji and L. Valoppi 1989; Matthes 1982):

Σύσταση του υδροφορέα: Οι γεωλογικοί σχηματισμοί ενός υδροφόρου ορίζοντα επηρεάζουν τη σύσταση του υπόγειου νερού. Αυτό εξαρτάται από το είδος των πετρωμάτων που υπάρχουν και τη χημική τους σύσταση. Καθώς το νερό κινείται στο υπέδαφος η αρχική του σύσταση σταδιακά μεταβάλλεται και το νερό μπορεί να κορεστεί σε ορισμένα ιόντα ως αποτέλεσμα διαφόρων αντιδράσεων μεταξύ υγρής και στερεής φάσης. Πολλές από αυτές τις αντιδράσεις εξαρτώνται από διάφορες παραμέτρους, όπως το pH, το δυναμικό οξειδοαναγωγής Eh και την ιοντική ισχύ I.

Οι κυριότερες διεργασίες που παρατηρούνται όταν το νερό περνά μέσα από τα πετρώματα είναι (C.W Francis 1983):

- Διάλυση ορισμένων υλικών του υδροφορέα. Η διάλυση των πετρωμάτων είναι συνήθως ο κυριότερος παράγοντας που καθορίζει τη σύσταση των υπόγειων νερών.
- Απομάκρυνση ορισμένων συστατικών από την υδατική φάση που μπορεί να οφείλεται σε προσρόφηση ή καταβύθιση τους. Η προσρόφηση ορισμένων ιόντων ή διαλυμένης οργανικής ύλης από τα υλικά του υδροφορέα, τα αδιάλυτα συστατικά ή τα κolloειδή που σχηματίζονται κατά τη χημική αλλαγή των ορυκτών, αποτελεί σημαντικό μηχανισμό απομάκρυνσής τους. Συνήθως, τα δευτερογενή υλικά έχουν μεγαλύτερη προσροφητική ικανότητα και επηρεάζουν σημαντικά την κίνηση των ρύπων στο υπέδαφος. Καταβύθιση ορισμένων στοιχείων παρατηρείται όταν αλλάζουν οι οξειδοαναγωγικές συνθήκες ή όταν τα υπόγεια νερά είναι κορεσμένα ως προς κάποιο συστατικό.
- Εκρόφηση ορισμένων συστατικών τα οποία ελευθερώνονται στην υγρή φάση. Τέτοια φαινόμενα παρατηρούνται σε περιπτώσεις παραβίασης ορισμένων γεωχημικών ορίων, όπως μεταβολή της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου, ουδετεροποίηση του

ασβεστόλιθου από όξινα νερά, ανάμιξη υπόγειων νερών διαφορετικής προέλευσης ή αντιδράσεις ιονανταλλαγής.

Χρόνος παραμονής: Το χρονικό διάστημα κατά το οποίο το νερό είναι σε επαφή με το έδαφος στην ακόρεστη ζώνη ή με τους διάφορους γεωλογικούς σχηματισμούς στη ζώνη κορεσμού, αποτελεί σημαντικό παράγοντα που επηρεάζει τη σύσταση του νερού. Ο παράγοντας αυτός επηρεάζεται από διάφορες περιβαλλοντικές παραμέτρους.

-Βροχοπτώσεις μεγάλης έντασης οδηγούν σε γρήγορη κατείδυση του νερού και επομένως μικρό χρόνο επαφής με το έδαφος.

-Σε περιοχές με καλή αποστράγγιση παρατηρείται επίσης και γρήγορη κατείδυση του νερού. Στη ζώνη κορεσμού ο χρόνος παραμονής του υπόγειου νερού στον υδροφορέα εξαρτάται από τη διαπερατότητα των γεωλογικών σχηματισμών. Ο χρόνος παραμονής επηρεάζει και τη θερμοκρασία του υπόγειου νερού.

Κλίμα: Το ποσό του νερού που εισέρχεται στον υδροφορέα είναι ανάλογο των βροχοπτώσεων που παρατηρούνται. Όσο ελαττώνονται οι βροχοπτώσεις, τόσο αυξάνεται ο ρυθμός εξατμισοδιαπνοής και ο χρόνος επαφής νερού και πετρωμάτων. Σε περιοχές όπου τα περιστατικά όξινης βροχής είναι συχνά παρατηρήθηκαν αλλαγές στη σύσταση του υπόγειου νερού. Η εισροή νερού χαμηλού pH σε υδροφόρους με μικρή ρυθμιστική χωρητικότητα έχει ως αποτέλεσμα αυξημένες συγκεντρώσεις μετάλλων στα υπόγεια νερά (C.W Francis 1983). Σύμφωνα με τον Millot το κλίμα είναι ο βασικότερος παράγοντας που ρυθμίζει την έκταση του φαινομένου της απόπλυσης σε μια περιοχή (G. Millot 1979).

Ανάγλυφο του εδάφους: Όσο πιο έντονο είναι το ανάγλυφο του εδάφους, τόσο αυξάνει η χημική αποσάθρωση. Αυτό οφείλεται κυρίως στη φυσική διάβρωση των πετρωμάτων, οπότε αποκαλύπτονται νέες επιφάνειες. Είναι δύσκολο να διαχωρισθεί η επίδραση μόνο αυτού του παράγοντα γιατί, συνήθως, διαφορές στο εδαφικό ανάγλυφο οφείλονται σε διαφορετικά είδη πετρωμάτων, βλάστησης και κλίματος.

Βλάστηση: Η επίδραση της βλάστησης στη σύσταση του νερού είναι σύνθετη και εξαρτάται από άλλους παράγοντες όπως το κλίμα, τα πετρώματα που υπάρχουν και το ανάγλυφο του εδάφους. Σε περιοχές με πυκνή βλάστηση το έδαφος σταθεροποιείται και εμποδίζεται η διάβρωση του, όμως το διοξείδιο του άνθρακα και τα οργανικά οξέα που ελευθερώνονται διευκολύνουν τη χημική αποσάθρωση.

## **7.1.2. Έλεγχοι ποιότητας νερού**

### **7.1.2.1. Πόσιμο νερό**

Το πόσιμο νερό αποτελούσε ανά τους αιώνες πολύτιμο αγαθό. Στα σύγχρονα αστικά και οικιστικά κέντρα η διασφάλιση της ποιότητας του είναι ένα ζήτημα άμεσης προτεραιότητας.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση καθορίζει τις βασικές ποιοτικές προδιαγραφές τις οποίες πρέπει να ικανοποιούν τα νερά που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση σύμφωνα με την οδηγία 98/83/ΕΚ. Το «νερό ανθρώπινης κατανάλωσης», δεν εντάσσεται στην έννοια του τροφίμου, παρέχεται με υποχρέωση της Πολιτείας σε όλους τους πολίτες της επικράτειας ως «δημόσιο αγαθό», μη υπαγόμενο στους κανόνες της αγοράς και διέπεται από τους νόμους της υγειονομικής μηχανικής.

Η Οδηγία αποσκοπεί στην προστασία της υγείας του κοινού με την καθιέρωση κριτηρίων υγιεινής και καθαριότητας στα οποία πρέπει να ανταποκρίνεται το πόσιμο νερό στην Κοινότητα. Τα κράτη μέλη μεριμνούν ώστε το πόσιμο νερό να μην περιέχει συγκεντρώσεις μικροοργανισμούς, παράσιτα ή κάθε άλλη ουσίας σε συγκέντρωση τέτοια που μπορεί να δημιουργήσει κίνδυνο για την υγεία των ανθρώπων. Να τηρεί τις μίνιμουμ απαιτήσεις (μικροβιολογικές, χημικές και ραδιενεργές παράμετροι) που καθορίζονται στην Οδηγία 98/83/ΕΚ.

Οι αρμόδιες Αρχές επιβάλλεται να λαμβάνουν όλα τα αναγκαία μέτρα ώστε να εξασφαλίσουν ότι παρακολουθείται τακτικά η ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης, προκειμένου να ελέγχεται αν το διατιθέμενο στους καταναλωτές νερό πληρεί τις απαιτήσεις της διάταξης, και ιδίως τις παραμετρικές τιμές που καθορίζονται σύμφωνα με το άρθρο 5. Οι παραμετρικές τιμές για το νερό ορίζονται έτσι, ώστε να υπάρχει ένα περιθώριο ασφαλείας για την υγεία των καταναλωτών του νερού ακόμη και εάν προκύψουν μικρές αποκλίσεις. Σε περίπτωση αποκλίσεων από αυτές τις τιμές, ο διαχειριστής της ύδρευσης έχει την δυνατότητα να αναλάβει δράσεις για την άρση των αιτίων που τις προκαλούν ή και την εξάλειψη της κακής ποιότητας των διαθέσιμων υδάτινων πόρων με μηχανικές, φυσικοχημικές και βιολογικές διορθωτικές ενέργειες.

Στον Πίνακα 3 δίνονται τα ενδεικτικά επίπεδα και οι ανώτατες επιτρεπτές τιμές των διαφόρων παραμέτρων ποιότητας του νερού που προορίζεται για κατανάλωση από τον άνθρωπο, όπως καθορίζονται από την οδηγία 98/83 της ΕΕ.

Πίνακας 3: Παράμετροι ποιότητας νερού σε σχέση με τη φυσική σύσταση νερού.

	Μονάδες	Ενδεικτικό επίπεδο/Guide level (GL)	Ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση /Maximum admissible concentration (MAC)
Θερμοκρασία (T <sub>w</sub> °C)	°C	12	25
Συγκέντρωση υδρογόνων	pH	6.5 ≤ pH ≤ 8.5	9.5
Αγωγιμότητα	μS/cm1έως 20°C	400	2500
Χλώριο	mg/L Cl <sup>-</sup>	25	250
Θειικά	mg/L SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	25	250
Ασβέστιο	mg/L Ca	100	
Μαγνήσιο	mg/L Mg	30	50
Νάτριο	mg/L Na	20	200
Κάλιο	mg/L K	10	12
Ολ.Σκληρότητα	mg/L.Ca	60	150
TDS	mg/L		1500
Νιτρικά	mg/L NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	25	50
Αμμωνιακά	mg/L NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.05	0.5
Σίδηρος	μg/L Fe	50	200
Μαγγάνιο	μg/L Mn	20	50
Χαλκός	μg/L Cu	100	200
Ψευδάργυρος	μg/L Zn	100	
Φώσφορος	μg/L PO <sub>4</sub>	40	50
Κάδμιο	μg/L Cd		5
Νικέλιο	μg/L Ni		20
Μόλυβδος	μg/L Pb		1

### 7.1.2.2. Νερό άρδευσης

Οι απαιτήσεις ποιότητας του νερού άρδευσης ποικίλλουν ανάλογα με τα είδη των καλλιεργειών, τον τύπο του εδάφους, τη δυνατότητα αποστράγγισης και το κλίμα (Καλλέργης 1986).

Τα κριτήρια ποιότητας του νερού άρδευσης σχετίζονται με:

- τη συγκέντρωση αλάτων στο νερό. Νερά άρδευσης με υψηλές τιμές αλατότητας προκαλούν αύξηση της οσμωτικής πίεσης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα φυτά να μη μπορούν να προσλάβουν το νερό που χρειάζονται και να μην αναπτύσσονται κανονικά.
- την παρουσία ορισμένων συστατικών σε αυξημένες συγκεντρώσεις που θεωρούνται τοξικά για τα φυτά, όπως το βόριο.
- την παρουσία ορισμένων κατιόντων που μπορεί να προκαλέσουν αποκροκίδωση της αργίλου στο έδαφος με αποτέλεσμα τη μείωση της διαπερατότητας και της δυνατότητας αερισμού του (π.χ. το Na ανταλλάσσεται με τα ιόντα Ca, Mg και προκαλεί αποκροκίδωση του εδάφους).
- την αυξημένη περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά. Πολλές φορές, παρατηρείται υπέρμετρη ανάπτυξη της βλάστησης όταν το νερό άρδευσης περιέχει υψηλές συγκεντρώσεις αζώτου από τα λιπάσματα που χρησιμοποιούνται.

Προφανώς όλες οι παραπάνω ποσότητες δεν χρησιμοποιούνται μαζί για την ταξινόμηση του αρδευτικού νερού σε κατηγορίες ούτε υπάρχει ένα κοινά παραδεκτό σύστημα ταξινόμησης του αρδευτικού νερού. Τα βασικά κριτήρια ποιότητας του αρδευτικού νερού παρουσιάζονται πιο κάτω:

Το αρδευτικό νερό ταξινομείται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με το συντελεστή SAR, την ειδική αγωγιμότητα του και τη συγκέντρωση νατρίου.

#### **Περιεκτικότητα σε Νάτριο**

Κριτήριο για την καταλληλότητα ενός νερού για άρδευση αποτελεί ο συντελεστής προσρόφησης νατρίου (SAR).

Η περιεκτικότητα σε Νάτριο χρησιμοποιείται ως δείκτης της ποιότητας του αρδευτικού νερού κυρίως λόγω της επίδρασης του Νατρίου στις φυσικές ιδιότητες του εδάφους όπως η διαπερατότητα, η διηθητικότητα και η καταλληλότητα για γεωργική χρήση.

Επειδή η επίδραση του νατρίου τόσο στο έδαφος όσο και στις καλλιεργείες είναι σημαντική, Διάφορες ποσότητες έχουν προταθεί ως βάσεις για την ταξινόμηση του νερού ως προς τον κίνδυνο που προέρχεται από τη συγκέντρωση διαλυτού νατρίου.

Η σχέση μεταξύ διαλυτού Νατρίου ( $\text{Na}^+$ ) και των άλλων διαλυτών επίσης κατιόντων Ασβεστίου και Μαγνησίου ( $\text{Ca}^{2+}$  και  $\text{Mg}^{2+}$ ) δίνεται από το "Λόγο Προσροφήσεως Νατρίου" (Sodium Absorption Ratio) γνωστό ως S.A.R που προτάθηκε από το Υπουργείο Γεωργίας των Η. Π. Α. (U.S Salinity Laboratory - 1954) βάση της ακόλουθης σχέσης:

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}$$

Οι συγκεντρώσεις των Na, Ca και Mg εκφράζονται σε meq/l (RICHARDS, LA. 1954; Καλλέργης 1980).

Η ταξινόμηση απεικονίζεται στο ακόλουθο ημιλογαριθμικό διάγραμμα στο οποίο είναι τοποθετημένες οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και το ποσοστό του προσροφημένου νατρίου του αρδευτικού νερού.

Η τιμή του S.A.R. εκφράζει την ενεργητικότητα των ιόντων νατρίου και καθορίζει την ικανότητα εναλλαγής τους με κατιόντα όπως Ca και Mg που έχουν προσροφηθεί από τα κolloειδή του εδάφους. Με βάση την τιμή του S.A.R. διακρίνονται τέσσερις κατηγορίες σύμφωνα με την ταξινόμηση του Υπουργείου Γεωργίας των Η. Π. Α. Οι κατηγορίες αυτές για ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα 100μmho/cm είναι οι ακόλουθες:

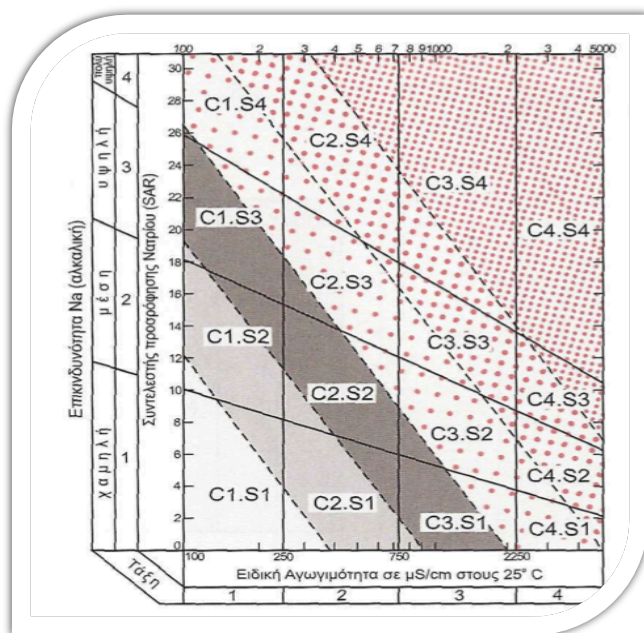
Κατηγορία 1: S.A.R <10, κίνδυνος νατρίου μικρός

Κατηγορία 2: S.A.R από 10 έως 18, κίνδυνος νατρίου μέσος

Κατηγορία 3: S.A.R από 18 έως 26, κίνδυνος νατρίου μεγάλος

Κατηγορία 4: S.A.R >26, κίνδυνος νατρίου πολύ μεγάλος

Οι παραπάνω τέσσερις κατηγορίες μεταβάλλονται ως συνάρτηση της ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας του νερού. Έτσι για ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα  $E=2250 \mu\text{mho/cm}$  οι παραπάνω τέσσερις κατηγορίες γίνονται S.A.R.< 4, 4, από 4.4 έως 9, από 9 έως 14 και >14 αντίστοιχα.



Σχήμα 12: Διάγραμμα για την ταξινόμηση του νερού άρδευσης σε κατηγορίες κατά το U.S Salinity Laboratory(1954)

Η ποιοτική ταξινόμηση σύμφωνα με το **Σύστημα Ταξινόμησης του Richards** τα νερά κατατάσσονται σε 16 κατηγορίες με διαφορετικά ποιοτικά χαρακτηριστικά και διαφορετική καταλληλότητα για άρδευση καλλιεργειών. Επομένως, υπάρχουν 16 ποιοτικές κατηγορίες νερού (C<sub>1</sub>-S<sub>1</sub>, C<sub>1</sub>-S<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>-S<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>-S<sub>2</sub> κ.α) οι οποίες δείχνουν κατά πόσο τα αρδευόμενα νερά μπορεί να προκαλέσουν αλάτωση στο έδαφος.

Κατηγορίες καταλληλότητας αρδευτικού νερού κατά Richards

**1:** C<sub>1</sub>-S<sub>1</sub>, ποιότητα καλή. Νερό με χαμηλή περιεκτικότητα σε άλατα.

**2:** C<sub>1</sub>-S<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>-S<sub>1</sub>, ποιότητα καλή μέχρι μέτρια. Το νερό πρέπει να χρησιμοποιείται με προφύλαξη στα βαρεία εδάφη που δεν αποστραγγίζονται καλά και επίσης με επιφύλαξη για ευαίσθητα φυτά.

**3:** C<sub>1</sub>-S<sub>3</sub>, C<sub>2</sub>-S<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>-S<sub>1</sub>, ποιότητα μέτρια, μέχρι πολύ μέτρια. Μπορεί να χρησιμοποιείται με μέτρα προφύλαξης. Το έδαφος πρέπει να αποστραγγίζεται καλά ή πρέπει να προστίθεται σε αυτό γύψος.

**4:** C<sub>1</sub>-S<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>-S<sub>3</sub>, C<sub>3</sub>-S<sub>2</sub>, C<sub>4</sub>-S<sub>1</sub>, ποιότητα πολύ μέτρια μέχρι κακή. Δεν πρέπει να χρησιμοποιείται για ευαίσθητα φυτά, ούτε γενικά για βαρεία εδάφη. Μπορεί να χρησιμοποιείται με μέτρα προφύλαξης σε ελαφρά εδάφη που αποστραγγίζονται καλά ή να προστίθεται γύψος.

**5:** C<sub>2</sub>-C<sub>4</sub>, C<sub>3</sub>-S<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>-S<sub>2</sub>, ποιότητα κακή. Δεν συνίσταται η χρήση του για αρδευτικούς σκοπούς. Παρόλαυτά μπορεί να χρησιμοποιηθεί με αυστηρούς περιορισμούς σε καλώς

αποστραγγιζόμενα εδάφη και φυτά ανθεκτικά. Κίνδυνος αύξησης αλατότητας εδάφους γι' αυτό συνίσταται η περιοδική έκπλυση αλάτων.

**6:** C<sub>3</sub>-S<sub>4</sub>, C<sub>4</sub>-S<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>-S<sub>4</sub>, πολυ κακή ποιότητα δεν πρέπει να χρησιμοποιείται σε καμία περίπτωση.

### Περιεκτικότητα σε άλατα

Η ολική συγκέντρωση των διαλυτών αλάτων που παρέχει ενδείξεις για τον κίνδυνο αλατώσεως του εδάφους μετράται με την ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα που εκφράζεται σε  $\mu\text{mho/cm}$  στους 25° C. Το αρδευτικό νερό με βάση την ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) κατατάσσεται στις ακόλουθες τέσσερις κατηγορίες ποιότητας (US Salini Laboratory, 1954).

Κατηγορία	Κίνδυνος αλατώσεως
C1	Ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) μικρότερη των 250 $\mu\text{mho/cm}$ στους 25° C, περιεκτικότητα σε άλατα μικρότερη των 160 ppm κίνδυνος αλατώσεως μικρός.
C2	EC μεταξύ 250-750 $\mu\text{mho/cm}$ στους 25° C, περιεκτικότητα σε άλατα μεταξύ 160 έως 480 ppm, κίνδυνος αλατώσεως μέσος.
C3	EC μεταξύ 750-2250 $\mu\text{mho/cm}$ στους 25° C, περιεκτικότητα σε άλατα 480 έως 1470 ppm κίνδυνος αλατώσεως μεγάλος
C4	EC > 2250 $\mu\text{mho/cm}$ στους 25° C, περιεκτικότητα σε άλατα >1470 ppm κίνδυνος αλατώσεως πολύ μεγάλος.

\* Η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι εξ ορισμού το αντίστροφο της ηλεκτρικής αντίστασης. Ως προς τις μονάδες  $1\text{mho}=1/\text{ohm}=1\text{ Siemens}=10^3\text{ mmho}=10^6\mu\text{mho}$ . Η ειδική αγωγιμότητα (EC) έχει τις μονάδες  $\text{mho/cm}$ ,  $\text{mmho/cm}$ ,  $\mu\text{mho/cm}$  και στο σύστημα SI υπάρχει η μονάδα Siemens/m.

Η ίδια ταξινόμηση έγινε επίσης από τον Wilcox (1948).



### 7.1.3. Παράμετροι ποιότητας υπόγειων νερών

Το φυσικό νερό περιέχει σε διάλυση διάφορα ιόντα και σε αιώρηση στοιχεία, ενώσεις και σωματίδια. Τα υπόγεια νερά, κατά τη διαδρομή τους στους γεωλογικούς σχηματισμούς, αντιδρούν με τα πετρώματα και εμπλουτίζονται απ' αυτά σε ανόργανα, μεταλλικά και μη μεταλλικά, συστατικά (Στουρνάρας Γ. 2007). Το είδος και η περιεκτικότητα σε αυτά προσδίδουν ορισμένες φυσικοχημικές ιδιότητες που χαρακτηρίζουν την ποιότητά του. Περιεκτικότητα σε ορισμένα από αυτά πάνω από ορισμένες οριακές τιμές το καθιστούν ακατάλληλο για κάποια/ες χρήση/σεις (Σούλιος Γ. 2006).

Οι παράμετροι ποιότητας των υπόγειων νερών που παρακολουθούνται είναι (Βουδούρης Κ. 2009; Σούλιος Γ. 2006):

- A) Φυσικοχημικές παράμετροι (π.χ Ηλεκτρική αγωγιμότητα, pH, θερμοκρασία που συνήθως μετρούνται επι τόπου).
- B) Κύρια ιόντα (Ca, Mg, Na, K, Cl,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{HCO}_3$ )
- Γ) Δευτερεύοντα (π.χ Fe, Mn, Br )
- Δ) Βαρέα μέταλλα (π.χ Zn, Cd, Ni, Cu, Pb)

#### A) Φυσικοχημικές παράμετροι

Οι κυριότερες φυσικοχημικές παράμετροι που καθορίζουν την ποιότητα του νερού είναι:

**Θερμοκρασία (T<sub>w</sub>).** Η θερμοκρασία των υπόγειων νερών καθορίζεται κυρίως από τη θερμοκρασία των πετρωμάτων, τα οποία τα περιβάλλουν. Οι θερμοκρασίες του υπόγειου νερού τείνουν να παραμείνουν σταθερές, εκτός από τα επιφανειακά νερά που παρουσιάζουν διακυμάνσεις ως αποτέλεσμα των μεταβολών της ηλιακής ενέργειας πάνω στην επιφάνεια της γης (Βουδούρης Κ. 2009). Η θερμοκρασία του υπόγειου νερού, στο ίδιο σημείο είναι σταθερή με το χρόνο, γιατί βρίσκεται στη ζώνη ομοιθερμίας, ή μεταβάλλεται ελάχιστα εφόσον πρόκειται για πολύ ρηχό υδροφόρο στρώμα. Με εξαίρεση περιοχές γεωθερμικών πεδίων, η μέση θερμοκρασία του υπόγειου νερού σε συνήθη βάθη είναι περίπου 14-15°C, η δε χωρική διακύμανση είναι 10 °C έως 20 °C. Αντίθετα η θερμοκρασία του νερού των πηγών και κυρίως των καρστικών μεταβάλλεται συνήθως κατά 4-5 °C, ενίοτε περισσότερο όταν η ζώνη τροφοδοσίας είναι ορεινή (Σούλιος Γ. 2006).

**Ηλεκτρική αγωγιμότητα (Electrical Conductivity/EC).** Το καθαρό νερό δεν είναι καλός αγωγός του ηλεκτρισμού. Η τιμή του συντελεστή ηλεκτρικής αγωγιμότητας συνδέεται με το

σύνολο διαλυμένων ουσιών (T.D.S) στο νερό (Σούλιος Γ. 2006). Η αύξηση της ποσότητας των διαλυμένων αλάτων και η αύξηση της θερμοκρασίας συνεπάγονται και αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, γι' αυτό η μέτρησή της πρέπει να γίνεται σε συγκεκριμένη θερμοκρασία (συνήθως 25 °C). Έτσι η ηλεκτρική αγωγιμότητα συνδέεται άμεσα με την ποσότητα και τη φύση των διαλυμένων ηλεκτρολυτών. Το ενδεικτικό επίπεδο της αγωγιμότητας στο πόσιμο νερό είναι 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Αυξημένη αγωγιμότητα υποδηλώνει αυξημένες ποσότητες αλάτων, που ανάλογα με τη φύση τους και τη συγκέντρωσή τους μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα υγείας (Βουδούρης Κ. 2009). Πάντως σε συνήθεις περιπτώσεις των υπόγειων νερών παίρνει τιμές από 140 έως 1100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Τα ελαφρά νερά έχουν ηλεκτρική αγωγιμότητα έως 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ενώ τα βαρεια νερά πάνω από 900  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Τα υφάλμυρα νερά έχουν συνήθως πάνω από 2000 – 3000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , ενώ κάποιες παλιές «σαλαμούρες» (παλιά υφάλμυρα νερά) ληχουν ηλεκτρική αγωγιμότητα έως και πάνω από 100.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Σούλιος Γ. 2006).

**Ενεργός οξύτητα (pH).** Η έννοια του pH αφορά σε όλες τις περιπτώσεις των ιδανικών διαλυμάτων και σχετίζεται με το πόσο ένα διάλυμα είναι όξινο, ουδέτερο ή αλκαλικό. Τα φυσικά νερά είναι στην πραγματικότητα, υδατικά διαλύματα, καθώς περιέχουν εν διάλυσει οργανικά και ανόργανα συστατικά. Το καθαρό (απεσταγμένο) νερό στη φυσιολογική του μορφή παρουσιάζει μία ισορροπία, η οποία του επιτρέπει να περιέχει ελεύθερα ιόντα υδρογόνου ( $\text{H}^+$ ) και ρίζες υδροξιλίου ( $\text{OH}^-$ ). Η οριακή αυτή κατάσταση κάνει ώστε τοιχόν πλεόνασμα υδρογόνων ( $\text{H}^+$ ), να μετατρέπει το διάλυμα σε όξινο και σε αντίθετη περίπτωση, σε αλκαλικό (πλεόνασμα  $\text{OH}^-$ ). Η αριθμητική τιμή, για το pH, των ουδέτερων διαλυμάτων είναι 7, ενώ τιμές μικρότερες αναφέρονται σε όξινα διαλύματα και μεγαλύτερες σε αλκαλικά. Τα φυσικά νερά είναι μετρίως όξινα ή ελαφρώς αλκαλικά, με τα τελευταία να είναι τα καλύτερα από πλευράς υγιεινής (Στουρνάρας Γ. 2007).

**Δυναμικό οξειδοαναγωγής Eh (Redox potential).** Αυτό δίνει πληροφορίες για την κατάσταση οξείδωσης των στοιχείων του υδατικού διαλύματος. Εάν το δυναμικό αυτό είναι αρνητικό το διάλυμα είναι αναγωγικό, έχει έλλειμμα ηλεκτρονίων, ενώ αν είναι θετικό είναι οξειδωτικό, έχει περίσσεια π.χ. ηλεκτρονίων (Σούλιος Γ. 2006).

Το δυναμικό οξειδοαναγωγής (Eh) ενός υδατικού διαλύματος μπορεί να υπολογισθεί από την εξίσωση του Nerst. Μετράται με ευαίσθητα ηλεκτρόδια και εξαρτάται από τη θέση ισορροπίας της αντίδρασης:  $\text{Οξειδωμένη μορφή} + e^- \leftrightarrow \text{Ανηγμένη μορφή}$

Η θέση ισορροπίας εξαρτάται από τις συγκεντρώσεις του οξειδωτικού και αναγωγικού μέσου. Το πιο άφθονο και ισχυρό οξειδωτικό στη φύση είναι το οξυγόνο, ενώ το ισχυρότερο αναγωγικό το υδρογόνο. Οξειδωτικές συνθήκες ευνοούνται εκεί όπου υπάρχει οξυγόνο.

Η μεταβολή του pH στο περιβάλλον προκαλεί σημαντική μεταβολή της τιμής του δυναμικού οξειδοαναγωγής, λόγω της συμμετοχής των OH<sup>-</sup> στις αντιδράσεις οξειδοαναγωγής. Γνωρίζοντας τις τιμές του δυναμικού οξειδοαναγωγής σε συνάρτηση με το pH, είναι δυνατός ο προσδιορισμός των μορφών με τις οποίες βρίσκεται ένα χημικό στοιχείο σε ένα συγκεκριμένο περιβάλλον (Βουδούρης Κ. 2009).

**Σύνολο Διαλυμένων Στερεών (T.D.S.).** Μπορεί να εκφραστεί και διαφορετικά (αλλά όχι ακριβώς ταυτόσημα) ως συνολική αλατότητα. Εξαρτάται από τη διαλυτότητα των σχηματισμών οι οποίοι περιέχουν το υπόγειο νερό ή έχουν διαρρευθεί από αυτό. Υπάρχουν σχηματισμοί, όπως οι γρανιτικοί, στους οποίους τα φιλοξενούμενα υπόγεια νερά έχουν πολύ μικρή τιμή T.D.S. (συνήθως 200-300 mg/L), ενώ άλλοι, όπως οι ιζηματογενείς στους οποίους το T.D.S. είναι αρκετά μεγάλο (1000 έως 1200 mg/L) καθώς και στα υφάλμυρα και πολύ περισσότερο στα αλμυρά νερά, στα οποία όπου οι τιμές του T.D.S. είναι τεράστιες: 30.000 mg/l στο αλμυρό νερό, έως 100.000 mg/l στα υπεράλμυρα νερά (Σούλιος Γ. 2006).

Γενικά το T.D.S. στα υπόγεια νερά αυξάνεται με το χρόνο παραμονής στο υπέδαφος, άρα με το μήκος της υπόγειας διαδρομής την οποία αυτά έχουν διανύσει (Σούλιος Γ. et al. 2001).

Ανάμεσα στο T.D.S. και στην ηλεκτρική αγωγιμότητα (E.C.) υπάρχει μία περίπου γραμμική σχέση. Κατά τον Matthes G. (1973) αν πολλαπλασιάσουμε την E.C. σε μS/cm επί 0.65 θα βρούμε την τιμή TDS σε mg/L.

Κατά τους Davis S.N. και De Wiest R.J. (1966) γίνεται κατάταξη των υπόγειων νερών ανάλογα με την τιμή T.D.S. όπως φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα.

Χαρακτηρισμός	T.D.S
Γλυκό νερό	<1000 mg/L
Υφάλμυρο ή γλυφό νερό	1.000 – 10.000 mg/L
Αλμυρό νερό	10.000 – 35.000 mg/L
Υπεράλμυρο νερό (σαλαμούρα)	>35.000 mg/L

Το θαλασσίνο νερό έχει κατά μέσο όρο T.D.S = 34.000 mg/L

**Διαλυμένο Οξυγόνο (Dissolved Oxygen, DO).** Πολλές οργανικές και ανόργανες ενώσεις επιδρούν στην ποιότητα. Ένα χαρακτηριστικό είναι το Διαλυμένο Οξυγόνο (Dissolved Oxygen, DO). Όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό του διαλυμένου οξυγόνου τόσο η ποιότητα του νερού αυξάνεται. Το οξυγόνο είναι ελαφρά διαλυτό στο νερό, έτσι η συγκέντρωση κορεσμού στους 20° C είναι 9.2 milligrams/liter (mg/L) και στους 30° C κατέρχεται στα 7.6 mg/L. Αποτελεί σημαντική παράμετρο αφού μεγάλες ποσότητες διαλυμένου οξυγόνου στο νερό αφενός μεν σημαίνει καθαρό νερό, αφετέρου επιτρέπει την ύπαρξη ζωής σε αυτό. Το διαλυμένο οξυγόνο όχι μόνο είναι απαραίτητο για τους περισσότερους υδρόφιλους οργανισμούς αλλά και η φύση τους εξαρτάται από το επίπεδό του. Ισχυρή οργανική ρύπανση προκαλεί μείωση του DO, καθώς τα βακτήρια χρησιμοποιούν οξυγόνο για την αποδόμηση της οργανικής ουσίας (π.χ. σε CO<sub>2</sub> και H<sub>2</sub>O) (Καραβίτης 2005). Επίσης, παλιά νερά που δεν ανανεώνονται έχουν μικρή ποσότητα διαλυμένου οξυγόνου, ενώ νερά που ανανεώνονται και βρίσκονται σε αβαθείς ορίζοντες έχουν σχετικά μεγαλύτερη ποσότητα διαλυμένου οξυγόνου (Σούλιος Γ. 2006).

### **Σκληρότητα (Hardness)**

Η σκληρότητα των νερών προέρχεται από την παρουσία μεταλλικών κατιόντων τα οποία αντιδρούν με το σαπούνι και σχηματίζουν ίζημα ή μαζί με ορισμένα ανιόντα, που βρίσκονται στο νερό και δημιουργούν κρούστα (Camp 1963).

Η σκληρότητα διακρίνεται σε:

Παροδική ή ανθρακική σκληρότητα (temporary) που προέρχεται από την παρουσία όξινων ανθρακικών αλάτων όπως Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> και Mg(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>. Τα άλατα αυτά προέρχονται από τη διάλυση αλάτων Ca<sup>2+</sup> και Mg<sup>2+</sup>, που υπάρχουν στα διάφορα πετρώματα ή στο έδαφος μέσα από τα οποία διέρχεται το νερό. Η διάλυση αυτή διευκολύνεται από το CO<sub>2</sub> που ελευθερώνεται από τη βακτηριακή δράση σε οργανικές ουσίες του εδάφους ή προσλαμβάνεται από την ατμόσφαιρα. Όταν το νερό θερμανθεί τα άλατα αυτά αποσυντίθεται στα αντίστοιχα ανθρακικά και πέφτουν ως ίζημα.

Μόνιμη σκληρότητα ή μη ανθρακική (permanent) που προέρχεται οφείλεται στην παρουσία χλωριούχων και θειϊκών αλάτων του ασβεστίου και του μαγνησίου και δεν αίρεται με το βρασμό, αφού κατά τη διεργασία αυτή δεν είναι δυνατόν να καταβυθισθούν τα αντίστοιχα άλατα των δύο μετάλλων (Βουδούρης Κ. 2009).

Ολική σκληρότητα (Total Hardness): Είναι το άθροισμα της ανθρακικής και της μόνιμης σκληρότητας. Εκφράζεται σε ισοδύναμο CaCO<sub>3</sub> (mg/L), αλλά και σε βαθμούς σκληρότητας.

Ο Γαλλικός βαθμός ισοδυναμεί με 10 mg/L CaCO<sub>3</sub> και ο Γερμανικός βαθμός ισοδυναμεί με 17.86 mg/L Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> (Βουδούρης Κ. 2006). Η ολική σκληρότητα του νερού αποτελεί την παράμετρο προσδιορισμού της ολικής συγκέντρωσης κυρίως των αλάτων ασβεστίου Ca<sup>2+</sup> και μαγνησίου Mg<sup>2+</sup> σε mg/L ισοδύναμου CaCO<sub>3</sub> και δίνεται από τη σχέση (οι περιεκτικότητες των ιόντων είναι εκφρασμένες σε mg/L)  $TH(Total\ Hardness)=2.5Ca+4.1Mg$  (R. Allan Freeze and John A. Cherry 1979).

## **B) Κύρια ιόντα**

\* Των οποίων η συνήθης περιεκτικότητα στο υπόγειο νερά είναι από 1mg/L έως 1000 mg/L (Σούλιος Γ. 2006).

### **Κατιόντα**

#### **Ασβέστιο (Ca<sup>2+</sup>) - Μαγνήσιο (Mg<sup>2+</sup>)**

Η ύπαρξη Ασβεστίου στα υπόγεια νερά οφείλεται στη διάλυση ορυκτών, πλούσια σε Ca όπως ο ασβεστίτης (CaCO<sub>3</sub>), το επίδοτο [Ca<sub>2</sub>(FeAl)Al<sub>2</sub>(SiO<sub>4</sub>)(SiO<sub>7</sub>)O(OH)], ο δολομίτης, το ολιγόκλαστο, ο γύψος (CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O), ο ανυδρίτης (CaSO<sub>4</sub>), ο ανορθίτης (CaAl<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub>), οι αμφίβολοι, οι πυρόξενοι, οι άστριοι, οι αραγωνίτες και τα αργιλικά ορυκτά ή σε διάλυση πετρωμάτων όπως ο ασβεστόλιθος, τα κροκαλοπαγή, οι ασβεστολιθικοί ψαμμίτες κι οι ασβεστολιθικές μάργες. Οι συνήθεις συγκεντρώσεις του ασβεστίου σε φυσικά νερά κυμαίνονται μεταξύ 0,05 και 5 mmol/L (Appelo and Postma 1996).

Κύριες πηγές προέλευσης του μαγνησίου στα υπόγεια νερά είναι τα μαγνησιούχα ορυκτά όπως ο δολομίτης, ο μαγνησίτης, ο ολιβίνης, ο καρναλίτης, ο πολυαλίτης, οι αμφίβολοι, οι πυρόξενοι, οι μαγνησίτες, οι σερπεντίνες, οι μαρμαρυγίες και τα αργιλικά ορυκτά. Τα πετρώματα που διακρίνονται για την υψηλή περιεκτικότητά τους σε μαγνήσιο είναι οι δολομιτικοί ψαμμίτες, οι δολομιτικές κι οι μαγνησιούχες μάργες (Καλλέργης 2000).

Ο λόγος Ca/Mg στο θαλασσινό νερό είναι περίπου 0.25, σε υφάλμυρα νερά 1.5-3.7, ενώ σε ασβεστολιθικά νερά 1.6 και σε δολομιτικά νερά 1.25.

Τα παραπάνω στοιχεία είναι απαραίτητα για την υγεία του ανθρώπου γιατί το ασβέστιο είναι διουρητικό, αντιυπερτασικό και αντιαλλεργικό και βοηθά στην πήξη του αίματος, ενώ το μαγνήσιο βοηθά στην ομαλή λειτουργία του νευρομυϊκού συστήματος (Βουδούρης Κ. 2009).

#### **Νάτριο (Na<sup>+</sup>) – Κάλιο (K<sup>+</sup>)**

Τα αλκάλια Na και K συνδέουν την παρουσία τους με τους αστρίους. Το μεν νάτριο στον αλβίτη (NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>), το δε κάλιο στο ορθόκλαστο και στον μικροκλινή (KAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>). Το Na<sup>+</sup>

απαντά επίσης στους νατριούχους αμφιβόλους (γλαυκοφανή) και στον αλίτη (NaCl) και το  $K^+$  στον συλβίνη (KCl). Το κάλιο σχετίζεται επίσης και με καλιούχα λιπάσματα. Η παρουσία των αλκαλίων σχετίζεται και με τη διείσδυση της θάλασσας σε παράκτιους υδροφόρους ορίζοντες ή με αερομεταφερόμενα σταγονίδια από τη θάλασσα (Βουδούρης Κ. 2009).

Το  $K^+$  απαντάται στα φυσικά υπόγεια νερά σε συγκεντρώσεις οι οποίες κυμαίνονται από 0.01 έως 0.2mmol/L και 0.1-2 mmol/L για το  $Na^+$  (Appelo and Postma 1996).

Το κάλιο είναι ένα απαραίτητο στοιχείο για τον άνθρωπο και σπάνια, αν όχι ποτέ, βρίσκεται στο νερό ύδρευσης σε επίπεδα που θα μπορούσαν να είναι μια επικίνδυνα για τον άνθρωπο.

Εμφανίζεται σε μεγάλο βαθμό στο περιβάλλον, συμπεριλαμβανομένων όλων των φυσικών υδάτων. Μπορεί επίσης να εμφανιστεί σε νερό ύδρευσης, ως συνέπεια της χρήσης του υπερμαγνητικού καλίου ως οξειδωτικό στην επεξεργασία του νερού (WHO 2009).

## **Ανιόντα**

### **Χλώριο (Cl<sup>-</sup>)**

Κύρια προέλευση είναι τα ιζηματογενή πετρώματα, που περιέχουν αργιλικά ορυκτά θαλάσσιας γένεσης, καθώς και οι εβαπορίτες. Άλλη πηγή αποτελεί η διείσδυση της θάλασσας στους παράκτιους υδροφόρους. Η ύπαρξή τους παρατηρείται σε απόβλητα βιομηχανικής, αστικής και γεωργικής προέλευσης. Στις βιομηχανικές περιοχές αύξηση του  $Cl^-$  προέρχεται από την καύση των πλαστικών και τα θερμοηλεκτρικά εργοστάσια (Βουδούρης 2006).

Οι συνήθεις συγκεντρώσεις σε μη ρυπασμένα νερά είναι 0.05–2mmol/L για το  $Cl^-$  και (Appelo and Postma 1996). Σύμφωνα με την οδηγία 98/83 της ΕΕ τα ανώτατα επιτρεπτά επίπεδα για τα ιόντα  $Cl^-$  είναι 250 mg/L. Τιμές  $Cl^-$  μεγαλύτερες των 250 mg/L θεωρούνται τοξικές για την ανθρώπινη υγεία. Συγκέντρωση ιόντων χλωρίου πάνω από 100 mg/L δίνει αλμυρή γεύση στο νερό, το καθιστά διαβρωτικό κι ανεπιθύμητο στη βιομηχανική χρήση (Καλλέργης 2000).

### **Όξινα ανθρακικά ιόντα (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)**

Τα οξυανθρακικά ή όξινα διττανθρακικά  $HCO_3^-$  αποτελούν δείκτη για την ύπαρξη οργανικών ουσιών στα νερά. Το  $H_2CO_3$ , προέρχεται απ' την οργανική ύλη και δίσταται σε πρωτόνια και οξυανθρακικά σύμφωνα με την αντίδραση:

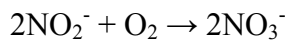
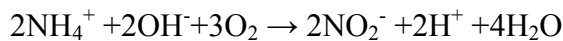
$H_2CO_3 \rightarrow H^+ + HCO_3^-$  και τα οξυανθρακικά με τη σειρά τους δίστανται σε άτομα υδρογόνου και ανθρακική ρίζα:  $HCO_3^- \rightarrow H^+ + CO_3^{2-}$

Τα πρωτόνια ( $H^+$ ) που προέρχονται από τα  $H_2CO_3$  και  $HCO_3^-$  παίζουν σημαντικό ρόλο στη διαδικασία αποσάθρωσης των ορυκτών. Η συγκέντρωση των οξυανθρακικών στα ύδατα μπορεί να οφείλεται και στη διάλυση του ασβεστίτη προς  $Ca^{2+}$  και  $HCO_3^-$  (Καλλέργης 2000; Appello and Postma 1994).

### **Νιτρικά ιόντα ( $NO_3^-$ )**

Τα νιτρικά ιόντα είναι το τελικό προϊόν της φυσικής αποσύνθεσης οργανικών αζωτούχων ενώσεων, όπως φυτικής και ζωικής πρωτεΐνης. Μπορεί να προέρχεται από ζωικά περιττώματα, λιπάσματα ή προηγούμενη χρήση του νερού από τον άνθρωπο.

Η οξείδωση του ιόντος  $NH_4^+$  που προκύπτει από την αποσύνθεση πραγματοποιείται σε δύο στάδια με τη βοήθεια μικροοργανισμών:



Μεγάλη περιεκτικότητα σε νιτρικό ανιόν υποδηλώνει την παρουσία βιολογικών ρύπων ή επίδραση ή ανάμειξη με νερά άρδευσης από λιπαινόμενες γαίες. Το ανώτατο όριο συγκέντρωσης νιτρικών στο πόσιμο νερό έχει καθορισθεί σε 50 mg/L, ενώ το επιθυμητό όριο είναι 25 mg/L. Εξαιτίας της μεγάλης διαλυτότητάς του σπανίζει στα πετρώματα, όμως λόγω της ευρείας χρήσης αζωτούχων λιπασμάτων οι ενώσεις του αζώτου βρίσκονται σε αφθονία στα υπόγεια νερά (Βουδούρης Κ. 2009). Οι συνήθεις συγκεντρώσεις σε φυσικά υπόγεια νερά είναι πολύ χαμηλές, μεταξύ 0.001-0.2 mmol/L (Appello and Postma 1996).

Αυξημένες συγκεντρώσεις νιτρικών στα ύδατα παρουσιάζουν τον κίνδυνο πρόκλησης στα βρέφη της νόσου της κυάνωσης, ενώ στο όξινο περιβάλλον του στομάχου των οργανισμών ενδέχεται να μετατραπούν όπως και τα νιτρώδη, σε νιτροζαμίνες που είναι δυνητικά καρκινογόνες ουσίες.

### **Θειϊκά ανιόντα ( $SO_4^{2-}$ )**

Τα θειϊκά ιόντα στα υπόγεια νερά προέρχονται κυρίως από τη διάλυση των ορυκτών όπως ο σιδηροπυρίτης ( $FeS_2$ ), ο γύψος ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ), ο ανυδρίτης ( $CaSO_4$ ) και ο πολυαλίτης [ $K_2Ca_2Mg(SO_4)_4 \cdot 2H_2O$ ].

Ανθρωπογενείς παράγοντες όπως η προσθήκη λιπασμάτων, οι εκπομπές καυσαερίων από οχήματα κι εργοστάσια και η οικιακή θέρμανση ή φυσικές δραστηριότητες στην επιφάνεια της γης όπως οι πυρκαγιές δασών και τα ηφαίστεια συμβάλλουν στην αύξηση των θειϊκών στα υπόγεια νερά.

Γενικά στα φυσικά νερά τα θειικά ιόντα δεν ξεπερνούν τα 300 mg/L. Η υπέρβαση αυτής της συγκέντρωσης οφείλεται είτε στην ύπαρξη γύψου και ανυδρίτη είτε σε φαινόμενα ρύπανσης. Στα πόσιμα νερά, το ενδεικτικό επίπεδο συγκέντρωσης θειικών ιόντων ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε. είναι 25 mg/L με ανώτατο όριο τα 250 mg/L. Συγκέντρωση θειικών ιόντων μεγαλύτερη των 250 mg/L κάνει τη χρήση του νερού προβληματική για πόση και βιομηχανική χρήση, ιδιαίτερα για τις βιομηχανίες γάλακτος, πάγου και ζάχαρης. Συγκεντρώσεις μεγαλύτερες των 500 mg/L προσδίδουν πικρή γεύση στο νερό ενώ μεγαλύτερες των 1000 mg/l του δίνουν καθαρτικές ιδιότητες (Καλλέργης 2000).

### **Γ) Δευτερεύοντα**

\* *Των οποίων η συνήθης περιεκτικότητα στο υπόγειο νερά είναι από 0.1mg/L έως 1 mg/L (Σούλιος Γ. 2006).*

### **Φωσφορικά ( $\text{PO}_4^-$ )**

Βρίσκονται στο υπόγειο νερό, ανάλογα με το pH με διάφορες μορφές:  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  (R. Allan Freeze and John A. Cherry 1979).

Οι συνήθεις ιοντικές συγκεντρώσεις  $\text{PO}_4^{3-}$  που απαντώνται στα φυσικά υπόγεια νερά είναι 0 – 0.02 mmol/L, προερχόμενες κυρίως από οργανική ύλη ή φωσφορικά πετρώματα (Appelo and Postma 1996). Η συγκέντρωση του φωσφόρου ανέρχεται στα μαγματικά πετρώματα στα 1.100mg/kg, στους ψαμμίτες 539mg/kg, στους αργίλους 733 mg/kg και στα ανθρακικά πετρώματα 281mg/kg (Matthess 1973).

Τα φωσφορικά στα ύδατα προέρχονται από γεωργικές δραστηριότητες (κυρίως από τη χρήση λιπασμάτων) καθώς και από την απόρριψη αστικών λυμάτων και υγρών βιομηχανικών αποβλήτων.

### **Αμμωνιακά ( $\text{NH}_4^+$ )**

Η αμμωνία με τη μορφή  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NH}_4\text{OH}$  και  $\text{NH}_3$ , βρίσκεται σε χαμηλές συγκεντρώσεις σε όλα τα επιφανειακά ύδατα και σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στα αστικά λύματα και σε απόβλητα συγκεκριμένων βιομηχανικών κλάδων ως αποτέλεσμα της υδρόλυσης της ουρίας και της αποδόμησης αζωτούχων ενώσεων).

Η παρουσία αμμωνίας και νιτρικών στα ύδατα αποτελεί ένδειξη ρύπανσης των υδάτων από γεωργικές και βιομηχανικές δραστηριότητες. Πιο συγκεκριμένα, η ύπαρξη υψηλών συγκεντρώσεων αμμωνίας υποδηλώνει πρόσφατη ρύπανση ενώ οι υψηλές συγκεντρώσεις



νιτρικών που αποτελούν και το τελικό προϊόν της οξείδωσης της αμμωνίας και γενικά των αζωτούχων ενώσεων, υποδηλώνει ρύπανση μεγαλύτερης διάρκειας.

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO) η ανώτατη αποδεκτή συγκέντρωση αμμωνιακών ιόντων στα πόσιμα νερά είναι 0.05 mg/L, ενώ η Ε.Ε. έχει θεσπίσει σαν ανώτατο όριο τα 0.5mg/L.

### **Σίδηρος (Fe)**

Στα νερά ο σίδηρος συναντάται με τη δισθενή και την τρισθενή μορφή του. Προέρχεται από μαγματικά πετρώματα, οξείδια (αιματίτης, λειμονίτης, μαγνητίτης), σουλφίδια (σιδηροπυρίτης,  $FeS_2$ ), ανθρακικά ορυκτά (σιδηρίτης,  $FeCO_3$ ).

Στα φυσικά νερά, οι συνήθεις συγκεντρώσεις στις οποίες απαντάται ο  $Fe^{2+}$  είναι 0-0.5 mmol/l, προερχόμενες από διάλυση πυριτικών πετρωμάτων, σιδηρίτων, υδροξειδίων και σουλφιδίων (Appelo-Postma 1996). Ο σίδηρος είναι πιο ευδιάλυτος σε όξινα νερά με  $pH < 4$ , και αν ξεπεραστεί το όριο 0.2 mg/l που θέτει η Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά, το νερό γίνεται ακατάλληλο όχι μόνο για ύδρευση αλλά και για βιομηχανικές χρήσεις (Καλλέργης 2000).

Τα επιφανειακά νερά έχουν τον σίδηρο με την τρισθενή μορφή, ενώ αντίθετα μερικά υπόγεια νερά περιέχουν ιόντα δισθενούς σιδήρου, λόγω έλλειψης οξυγόνου. Όταν τα νερά αυτά οξυγονωθούν οι δισθενείς ενώσεις του σιδήρου οξειδώνονται προς τρισθενείς και κατακρημνίζονται, προσδίδοντας καφέ-κόκκινο χρώμα. Καλά οξυγονωμένα επιφανειακά νερά σε φυσιολογικές συνθήκες δεν περιέχουν σχεδόν καθόλου διαλυμένο σίδηρο.

Ο σίδηρος είναι απαραίτητο ιχνοστοιχείο για τον άνθρωπο και η έλλειψή του προκαλεί αναιμία. Σε μεγάλες περιεκτικότητες προξενεί βλάβη στους ιστούς, λόγω της συσσώρευσής του (Βουδούρης Κ. 2009).

### **Μαγγάνιο (Mn)**

Το μαγγάνιο έχει ευρεία κατανομή στον στερεό φλοιό της γης και βρίσκεται σε μικρές σχετικά συγκεντρώσεις, όπως στα μαγματικά πετρώματα με 937 mg/kg, στα ιζήματα όπως στις αργίλους με 575 mg/kg, στους ψαμμίτες με 392 mg/kg, στα ανθρακικά με 842 mg/kg και στους εβαπορίτες με 4.4 mg/kg. Η μέση συγκέντρωση του στο εδάφη ανά τον κόσμο είναι 437 ppm (Alloway 1995).

Η διαλυτότητα και η εμφάνισή του εξαρτάται από το pH και το Eh. Σε υπόγεια νερά με υψηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου και  $pH=7$ , το μαγγάνιο βρίσκεται στη δισθενή μορφή σε συγκεντρώσεις από 1-10 mg/L. Αυξημένες συγκεντρώσεις εμφανίζονται στα θερμομεταλλικά

νερά, μέχρι 42 mg/L, στα νερά κοιτασμάτων υδρογονανθράκων μέχρι 30 mg/L (Matthess 1973).

Το Mn είναι ένα απαραίτητο ιχνοστοιχείο τόσο στην ανάπτυξη του ανθρώπου όσο και στην ανάπτυξη των φυτών. Σε μεγάλες συγκεντρώσεις παρουσιάζει τοξικότητα (Alloway 1995).

### **Βρώμιο (Br)**

Η συγκέντρωση του Br στα μαγματικά πετρώματα ανέρχεται στα 2.37mg/kg, στους ψαμμίτες στο 1.0 mg/kg, στους αργίλους στα 4.3 mg/kg, στα ανθρακικά πετρώματα στα 6.6 mg/kg και στους εβαπορίτες στα 33 mg/kg. Στο θαλασσινό νερό η συγκέντρωση του Br ανέρχεται στα 7.3mg/kg (Matthess 1973).

Επίσης, το βρώμιο βρίσκεται σαν συστατικά λιπασμάτων (ή φωσφορικών) ή ζιζανιοκτόνων. Τα ιόντα του βρωμίου έχουν την ίδια συμπεριφορά με το χλώριο μόνο που αυτά συναντώνται σπανιότερα απ' αυτό (Whitehead 1974).

### **Δ) Βαρέα μέταλλα**

Βαρέα μέταλλα ονομάζονται, συνήθως, εκείνα που έχουν πυκνότητα μεγαλύτερη από 5g/cm<sup>3</sup>. Η προέλευσή τους τοποθετείται σε φυσικές διεργασίες αλλά και στην ανθρώπινη δραστηριότητα. Από τις πρώτες, δύο είναι οι κυριότερες πηγές τροφοδοσίας του υπόγειου νερού με βαρέα μέταλλα. Η χημική αποσάθρωση και η απόπλυση εδαφών. Από πλευράς ανθρώπινης χρήσης τα βαρέα μέταλλα χρησιμοποιούνται ευρέως στη βιομηχανία ή σαν καταλύτες χημικών αντιδράσεων και διαδικασιών. Χρησιμοποιούνται επίσης σε λιπάσματα και φυτοφάρμακα (Στουρνάρας Γ. 2007). Οι σημαντικότερες ανθρωπογενείς πηγές εκπομπής τους στο περιβάλλον είναι τα αερολύματα διαφόρων βιομηχανιών, τα καυσαέρια, τα υγρά και τα στερεά απόβλητα.

Μερικά από αυτά μελετώνται στα υπόγεια νερά με βάση τη παρουσία τους στους γεωλογικούς σχηματισμούς της περιοχής, την επικινδυνότητα στον άνθρωπο, την ευκινησία τους και την πιθανή παρουσία τους λόγω ανθρωπογενών δραστηριοτήτων.

Κάποια από τα συνήθη μεταλλικά στοιχεία που απαντώνται στα υπόγεια νερά και έχουν μελετηθεί και στην παρούσα εργασία είναι τα ακόλουθα (εκτενέστερη αναφορά για την προέλευσή τους αναφέρεται στο κεφάλαιο 9).

### **Κάδμιο(Cd)**

Σε μη ρυπασμένα νερά οι συγκεντρώσεις του καδμίου είναι κάτω από 1  $\mu\text{g/L}$ . Πηγές του καδμίου στο νερό είναι τα βιομηχανικά απόβλητα και η διάβρωση των γαλβανισμένων σωλήνων. Σε συστήματα ύδρευσης, που τροφοδοτούνται με νερό μαλακό χαμηλού pH, μπορεί να βρεθούν ψηλές συγκεντρώσεις καδμίου, επειδή αυτά τα νερά είναι πιο διαβρωτικά και η διαλυτότητα του καδμίου στο νερό εξαρτάται από το pH και τη σκληρότητα. (Friberg et al., 1986). Δόσεις 350-3500 mg μέσω της διατροφής είναι θανατηφόρες για τον άνθρωπο (Krajnc et al., 1987).

Το κάδμιο προσβάλλει το συκώτι, τα νεφρά, το σπλήνα και το θυρεοειδή αδένα, εναποτίθεται στα οστά, όπου αντικαθιστά το ασβέστιο προκαλώντας τη νόσο ITAI-ITAI. Έχει βρεθεί ότι προκαλεί καρκίνο σε πειραματόζωα και ορισμένες επιδημιολογικές μελέτες το συνδέουν με καρκίνο στον άνθρωπο (JECFA, 1989; Krajnc et al., 1987).

### **Ψευδάργυρος (Zn)**

Αν και οι συγκεντρώσεις του ψευδαργύρου στα επιφανειακά και στα υπόγεια νερά συνήθως δεν υπερβαίνουν τα 0,01 και 0,05mg/L, αντίστοιχα, οι συγκεντρώσεις στο νερό της βρύσης μπορεί να είναι πολύ υψηλότερες, ως αποτέλεσμα της διάβρωσης των γαλβανισμένων σωλήνων. Δεν έχουν παρατηρηθεί αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία (WHO 2003).

### **Μόλυβδος (Pb)**

Ο μεταβολισμός του μολύβδου είναι πολύπλοκος και εξαρτάται από την ηλικία. Το ανθρώπινο σώμα μπορεί να επηρεαστεί από χρόνια ή οξεία έκθεση (ATSDR.,1993).Οι ενήλικες απορροφούν περίπου το 10% του μολύβδου που περιέχεται στα τρόφιμα, αλλά τα μικρά παιδιά απορροφούν 4-5 φορές περισσότερο (Alexander FW., 1974; Ziegler EE et al., 1978). Η απορρόφηση αυξάνεται όταν υπάρχει έλλειψη σιδήρου ή ασβεστίου και του φωσφόρου (Van Barneveld AA and Van den Hamer CJA 1985; Blake KC and Mann M 1983).

### **Νικέλιο (Ni)**

Στο πόσιμο νερό αναφέρονται χαμηλές συγκεντρώσεις 2-5  $\mu\text{g Ni /L}$  (Matthess 1973). Η ημερήσια απαίτηση του ανθρώπου δεν ξεπερνά τα 100  $\mu\text{g}$ .

Το νικέλιο χρησιμοποιείται ευρέως στη βιομηχανία, για την παραγωγή μπαταριών στην μεταλλική επικάλυψη, στην ηλεκτρική επιμετάλλωση αποτελώντας κύριο συστατικό των

βιομηχανικών αποβλήτων. Αναφέρονται πολλές περιπτώσεις ρύπανσης των επιφανειακών και υπόγειων νερών με νικέλιο από τα βιομηχανικά απόβλητα εξαιτίας της ευδιαλυτότητας των αλάτων του νικελίου.

### **Χαλκός (Cu)**

Η παρουσία του χαλκού στο νερό εξαρτάται από το pH και το Eh. Στα υπόγεια φυσικά νερά η συγκέντρωση του χαλκού βρίσκεται πολύ κάτω του 1.0 mg/l. Στο πόσιμο νερό οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται μεταξύ 0.01-0.5 mg/l. Στο νερό ύδρευσης παρατηρούνται συχνά υψηλές συγκεντρώσεις χαλκού (1.2 mg/l) λόγω της διάβρωσης των χρησιμοποιούμενων χαλκοσωλήνων. Στο θαλασσινό νερό η συγκέντρωση ανέρχεται σε 0.0009 mg/l (Matthess 1973).

#### **7.1.4. Ποιοτική υποβάθμιση ποιότητας υπόγειων νερών**

Οι μεταβολές στην ποιότητα (κυρίως) και στην ποσότητα των υδατικών συστημάτων, είτε είναι φυσιολογικές, σαν αποτέλεσμα των φυσικών διαδικασιών και της εξελίξεως των υδρολογικών δεδομένων, είτε είναι ανθρωπογενείς, από τις ανθρώπινες, άμεσες και έμμεσες δραστηριότητες. Η ποιοτική υποβάθμιση των υδατικών συστημάτων εμφανίστηκε με τους όρους pollution και contamination, που αντιστοίχως αποδόθηκαν στην Ελληνική γλώσσα ως ρύπανση και μόλυνση. Η αύξηση του πληθυσμού, η συγκέντρωση του σε συγκεκριμένες περιοχές και η ποιοτική άνοδος του βιοτικού επιπέδου συνιστούν, με τη σειρά τους, αιτίες λειψυδρίας, ανεπάρκειας, υπερκαταναλωτισμού και τρομακτικών διαφοροποιήσεων ανάμεσα στις διάφορες περιοχές και τους διάφορους πληθυσμούς στην υδρόγειο (Στουρνάρας Γ. 2007).

Σύμφωνα με την οδηγία 2000/60 της Ε.Ε για την πολιτική των νερών, ρύπανση ορίζεται: η συνέπεια ανθρώπινων δραστηριοτήτων, άμεση ή έμμεση εισαγωγή, στον αέρα, το νερό ή το έδαφος, ουσιών ή θερμότητας που μπορούν να είναι επιζήμια για την υγεία του ανθρώπου ή την ποιότητα των υδατικών οικοσυστημάτων ή των χερσαίων οικοσυστημάτων που εξαρτώνται άμεσα από υδατικά οικοσυστήματα, συντελούν στη φθορά υλικής ιδιοκτησίας, ή επηρεάζουν δυσμενώς ή παρεμβαίνουν σε λειτουργίες αναψυχής ή σε λοιπές νόμιμες χρήσεις του περιβάλλοντος.

Σύμφωνα με τον Matthess, το υπόγειο νερό θεωρείται ρυπασμένο εξαιτίας ανθρώπινων δραστηριοτήτων όταν τα ολικά διαλυμένα και αιωρούμενα στερεά, που οφείλονται άμεσα ή έμμεσα στον άνθρωπο, έχουν τιμές μεγαλύτερες από τις ανώτατες επιτρεπτές τιμές που ισχύουν σε εθνικό ή διεθνές επίπεδο για το πόσιμο νερό.

Ως ρύπανση ή μόλυνση θεωρείται οποιαδήποτε υποβάθμιση της φυσικής ποιότητας του νερού, που είναι αποτέλεσμα των δραστηριοτήτων του ανθρώπου. Η ρύπανση μπορεί να αποβεί απαγορευτικός παράγοντας στη χρήση του νερού ή να δημιουργήσει κινδύνους στη δημόσια υγεία, μέσω της τοξικότητας ή της μετάδοσης ασθενειών (Καλλέργης 2000).

Το «επτακέφαλο τέρας» της υδατικής ποιοτικής υποβαθμίσεως σύμφωνα με τους Laborde A. και Motec J. είναι:

1. Η αγροτική παραγωγή. Με τη μετατροπή της σε παραγωγή εντατικών εκμεταλλεύσεων, υποβαθμίζει, με τρόπο άμεσο, τα νερά της επιφανειακής απορροής με τα εντομοκτόνα, ποντικοφάρμακα, ζιζανιοκτόνα, συνθετικά λιπάσματα κ.λ.π.
2. Η χημική βιομηχανία. Μόλυνση από τα απόβλητα της στο υδατικό περιβάλλον ή στην ατμόσφαιρα. Προστίθεται και η υπόλοιπη βιομηχανία.

3. Οι κινητήρες των οχημάτων. Άμεση και εντατική επίδραση στο νερό της βροχής από τα συστατικά των εξατμίσεων (οξείδια του άνθρακα, ιόντα, μόλυβδος).
4. Τα πυρηνικά εργοστάσια. Αυτά και τα παραρτήματα τους επιφέρουν θερμική μόλυνση, ραδιενεργή, καθώς και μόλυνση από τα ορυκτά αποπλύσεως.
5. Η παραγωγή και επεξεργασία πετρελαιοειδών.
6. Οι ιδιώτες. Οικιακά απόβλητα, λίγο ή καθόλου επεξεργασμένα.
7. Οι αρχές. Πρωταρχικοί υπεύθυνοι λόγω της εφαρμοζόμενης υποκριτικής πολιτικής και των παραχωρήσεων που επιβάλλει ο φόβος του «πολιτικού κόστους».

Η ανθρωπογενής δραστηριότητα, μαζί με τις εξωγενείς και ενδογενείς γεωλογικές δυνάμεις και διαδικασίες, αποτελεί ένα νέο και διαρκή παράγοντα μετασχηματισμού της γήινης επιφάνειας, της λιθόσφαιρας και της υδρόσφαιρας. Η απόκριση του υδρογεωλογικού συστήματος στην ανθρώπινη δραστηριότητα δεν είναι άμεση αλλά είναι διαρκής. Αυτό που σήμερα, ονομάζεται «ρύπανση των υπόγειων νερών», είναι το τελευταίο στάδιο αυτής της διαδικασίας.

Σήμερα, επίσης, υπάρχει αρκετή εμπειρία και επιστημονική γνώση για την πρόβλεψη τις ανθρωπογενείς επιπτώσεις, στην ποιότητα, αλλά και ποσότητα το υπόγειου νερού. Πάραταύτα, σημειώνεται συνεχώς επαναλαμβανόμενη προσβολή των υδάτινων πόρων, κυρίως από βιομηχανικά, οικιακά, γεωργικά και άλλου είδους απόβλητα (Στουρνάρας Γ. 2007).

Τα αστικά λύματα (κάθε άτομο στην Ελλάδα παράγει κατά μέσο όρο 150-350 lt ανά ημέρα) είναι φορτισμένα με πολλούς ρύπους. Αν μπούν στο υπέδαφος, σε όλη τη διαδρομή τους τα αστικά λύματα είναι δυνατό να προκαλούν ρύπανση στο υπόγειο νερό και επομένως να έχουμε (Σούλιος Γ. 2006; Στουρνάρας Γ. 2007).

- Ρύπανση από διαρροή υπονόμων (διαρροές που με τη σειρά τους οφείλονται σε ατάλειες κατασκευής, θραύσεις από μεγάλα φορτία κυκλοφορίας ή ανωδομών ή από σεισμούς, στη δράση ριζικού συστήματος κ.λ.π.)
- Ρύπανση από βόθρους (προέρχεται κυρίως από τους διηθητικούς βόθρους αλλά σε κάποιο βαθμό και από τους στεγανούς λόγω διαρροών υγρής φάσης ή διάφυγλων αερίων NH<sub>4</sub> και PO<sub>4</sub>).
- Ρύπανση από χρησιμοποίηση επεξεργασμένων λυμάτων.
- Ρύπανση από λυματολάσπη.

## 7.2. Υλικά και μέθοδοι αναλύσεων νερού

### 7.2.1. Δειγματοληψία – Μέθοδοι προσδιορισμού

Για τη μελέτη της υδροχημείας των υπόγειων νερών ελήφθησαν δείγματα νερού του υδροφορέα των Τεταρτογενών - Νεογενών σχηματισμών που περιλαμβάνει και το μανδύα αποσαθρώσεως των Αθηναϊκών σχιστολίθων. Τα δείγματα ελήφθησαν από 8 πηγάδια κατά τη περίοδο 22-24/07/2010.

Το αντλούμενο νερό των πηγαδιών χρησιμοποιείται για της ανάγκες άρδευσης δημόσιων και ιδιωτικών χώρων πρασίνου. Επομένως, άρδευση είναι ο κύρια χρήση του υπογείου νερού στη περιοχή μελέτης.

Οι εργαστηριακές αναλύσεις των δειγμάτων πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Γεωλογίας – Ορυκτολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών.

Τα αποτελέσματα των φυσικοχημικών αναλύσεων παρουσιάζονται στον *Πίνακα 4* και οι θέσεις των σημείων δειγματοληψίας στο *Σχήμα 13*.

Για τον προσδιορισμό των γεωγραφικών συντεταγμένων της κάθε θέσης δειγματοληψίας, χρησιμοποιήθηκε η συσκευή G.P.S Garmin *e-map*.

Η χρήση γυάλινων φιαλών αποφεύχθηκε, εξαιτίας πιθανών προβλημάτων αλλοίωσης του δείγματος, λόγω φαινομένων προσρόφησης ή ιοντοανταλλαγής μερικών κατιόντων με τα τοιχώματα των φιαλών (Rainwater and Thatcher 1960). Τα δείγματα αποθηκεύονταν σε δύο φιάλες πολυαιθυλενίου. Πριν τη λήψη του κάθε δείγματος, ξεπλένονταν με το νερό της δειγματοληψίας Η πρώτη φιάλη, όγκου 1lt, χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση των ανιόντων και περιείχε δείγμα χωρίς καμία περαιτέρω επεξεργασία. Αντίθετα, η δεύτερη φιάλη, όγκου 100 ml, περιείχε νερό, το οποίο είχε επί τόπου διηθηθεί και οξινιστεί και προορίζονταν για την ανάλυση των βαρέων μετάλλων. Για τη διήθηση των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκαν φίλτρα μεμβράνης των 0,45 μm και κατάλληλη αντλία κενού. Η οξίνιση των δειγμάτων έγινε με προσθήκη 0,5 ml υπερκάθαρου (suprapure) νιτρικού οξέος (HNO<sub>3</sub>), έτσι ώστε το pH να γίνει μικρότερο από 2 (Appelo and Postma, 1994), με σκοπό να αποτραπούν η ανάπτυξη βακτηρίων, οι οξειδωτικές αντιδράσεις και η προσρόφηση ή καθίζηση κατιόντων (Lloyd and Heathcote, 1985). Προκειμένου τα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης να είναι αντιπροσωπευκά, η συνολική διάρκεια της κάθε δειγματοληψίας δεν ξεπέρασε τις 48 ώρες, ενώ ο χρόνος που μεσολάβησε ανάμεσα στη δειγματοληψία και την ολοκλήρωση της χημικής ανάλυσης, ήταν μικρότερος από μία εβδομάδα.

Πιο συγκεκριμένα, κατά την συλλογή των δειγμάτων πραγματοποιήθηκαν επιτόπου μετρήσεις, με την αντίστοιχη χρήση συσκευής, στις φυσικοχημικές παράμετρους: θερμοκρασία νερού ( $T_w$  °C), ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα (E.C/ Electrical Conductivity), διαλυμένο οξυγόνο (D.O/ Dissolved Oxygen) με χρήση αγωγιμόμετρου εταιρίας WTW τύπου LF 330/SET, pH και δυναμικό οξειδοαναγωγής (Eh) με τη χρήση πεχάμετρου WTW Ph 330i /SET. Ενώ η αλκαλικότητα και τα  $(Cl^-)$ ,  $(Ca^{2+})$  προσδιορίστηκαν με τη μέθοδο τιτλοδότησης της Hach®.

Οι τιμές του συνόλου των διαλυμένων στερεών (T.D.S) σε κάθε δείγμα, υπολογίσθηκαν με τη χρήση του προγράμματος Aqqa.

Συγκεκριμένα για τον προσδιορισμό της ολικής σκληρότητας και των οξυανθρακικών έγινε τιτλοδότηση με EDTA 0.2N, για την ανθρακική σκληρότητα χρησιμοποιήθηκε HCl 0.1N και για τα χλωριόντα  $AgNO_3$ .

Επιπλέον, στο εργαστήριο προσδιορίστηκαν τα νιτρικά ( $NO_3^-$ ), τα αμμωνιακά ( $NH_4^+$ ), τα θειικά ( $SO_4^{2-}$ ), τα φωσφορικά ( $PO_4^{3-}$ ) και  $Br^-$  ιόντα με τη μέθοδο της φασματοφωτομετρίας μοριακής απορρόφησης, σε φασματοφωτόμετρο της Hach® (DR/3000). Τα ιόντα  $Na^+$  και  $K^+$  μετρήθηκαν με τη μέθοδο προσδιορίστηκαν με φλογοφωτόμετρο CORNING Flame Photometer 410.

Οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων του νερού προσδιορίστηκαν με τη μέθοδο της ατομικής απορρόφησης (GBC 908AA).

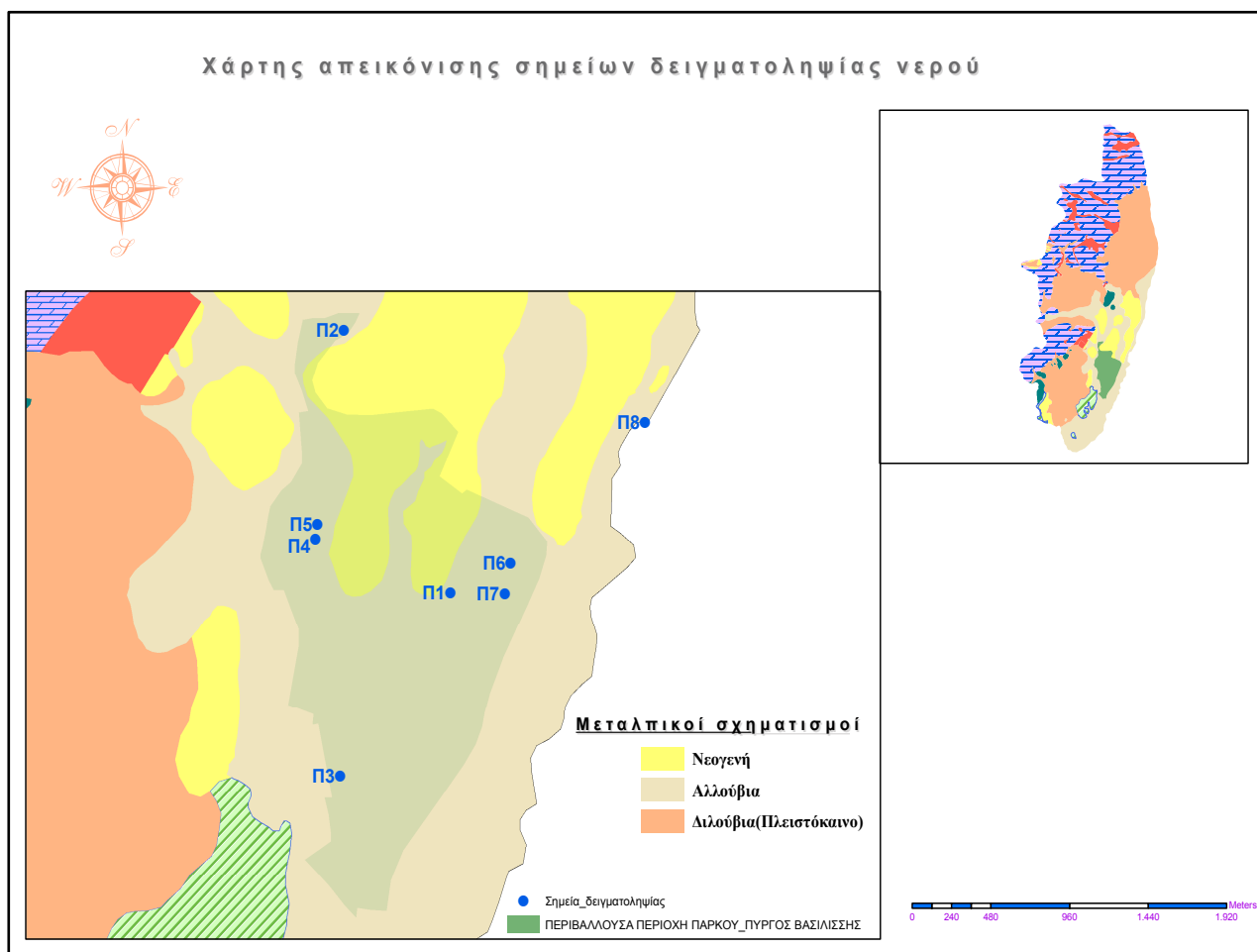


*Πίνακας 4: Αποτελέσματα αναλύσεων.*

Α/Α	T <sub>w</sub> (°C)	D.O (mg/L)	E.C (μS/cm)	Σκληρότητα (°dH)			TDS (mg/L)	pH	Eh (mvolts)	Συγκεντρώσεις κατιόντων (mg/L)					Συγκεντρώσεις ανιόντων (mg/L)					
				Ολ.	Παρ.	Μον.				Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Br-
Π1	21.3	4.4	1298	31.69	15.12	16.57	870.60	7.39	38.30	94.40	80.30	68.70	2.80	0	329.40	136.20	72.60	127.66	0.11	0.01
Π2	19.6	2.3	705	17.98	12.32	5.66	556.19	6.98	14.60	95.20	20.22	31.20	3.70	0.01	268.40	39.10	64.24	35.46	0.10	0
Π3	22.7	0.8	1216	31.46	17.36	14.10	869.20	7.08	16.60	111.20	69.10	78.80	3.10	0.04	378.20	117.20	57.20	156.03	0.29	0.08
Π4	24.9	2	1162	31.46	10.36	21.10	992.83	7.24	26.50	104.80	72.99	91.70	5.40	0.05	225.70	122.00	150.70	191.49	0.29	0.01
Π5	20.3	3.8	1885	29.44	11.76	17.68	1034.40	7.30	29.60	168.00	25.73	110.70	4.20	0.32	256.20	33.46	154.00	283.69	0.16	0.15
Π6	18.9	3.5	1779	35.96	15.12	20.84	865.50	7.71	55.40	101.60	94.48	14.30	4.90	0.06	329.40	50.90	58.30	212.77	0.15	0.02
Π7	20.4	4	1620	32.02	11.76	20.26	992.29	7.54	44.10	147.20	49.63	96.30	8.30	0.25	256.20	121.71	108.90	205.67	0.11	0.14
Π8	17.2	4.4	1285	31.69	15.12	16.57	866.00	7.40	197.00	101.60	40.30	75.60	12.40	1.11	372.10	76.60	48.00	120.60	0.14	0.2
max	24.9	4.4	1885	35.96	17.36	21.10	1034.40	7.71	197.00	168.00	94.48	110.70	12.40	1.11	378.20	136.20	154.00	283.69	0.29	0.20
min	17.2	0.8	705	17.98	10.36	5.66	556.19	6.98	14.60	94.40	20.22	14.30	2.80	0	225.70	33.46	48.00	35.46	0.10	0
average	20.66	3.15	1369	30.21	13.62	16.60	880.88	7.33	52.76	115.50	56.59	70.91	5.60	0.23	301.95	87.15	89.24	166.67	0.17	0.08
stdev	2.36	1.31	381	5.26	2.39	5.05	148.63	0.24	59.86	32.31	28.28	32.80	3.25	0.37	57.78	41.98	43.00	74.57	0.08	0.08

Πίνακας 5: Πίνακας συντεταγμένων σημείων δειγματοληψίας (πηγάδια)

Ιδιοκτησία	X	Y
Πάρκο Α. Τρίτσης	475643	4210441
Πηγάδι τροφοδοσίας λιμνών (Καματερό)	475000	4211944
Βιοτεχνία	474974	420938
Συνεργείο αυτοκινήτων Λουγιάκης	474826	4210748
Οικία	474832	4210828
Οικία	476008	4210618
Οικία	475973	4210443
Οικία	476833	4211422



Σχήμα 13: Χάρτης απεικόνισης σημείων δειγματοληψίας δειγμάτων νερού.

### 7.2.2. Έλεγχος αποτελεσμάτων χημικών αναλύσεων

Για τον έλεγχο της αξιοπιστίας των χημικών αναλύσεων έγινε υπολογισμός του σφάλματος του ισοζυγίου ανιόντων– κατιόντων (Λαμπράκης 1991) ή ηλεκτρική ουδετερότητα (Appelo et al., 1999) από τη σχέση:

$$\text{Σφάλμα ισοζυγίου ιόντων (\%)} = (\text{Σκατιόντων} - \text{Σανιόντων} / \text{Σκατιόντων} + \text{Σανιόντων}) * 100$$

$$\text{όπου Σκατιόντων} = C_{Ca^{2+}} + C_{Mg^{2+}} + C_{Na^+} + C_{K^+}$$

$$\text{Σανιόντων} = C_{Cl^-} + C_{HCO_3^-} + C_{SO_4^-} + C_{NO_3^-}$$

Διαφορές στην ηλεκτρική ουδετερότητα έως και 2% είναι αναπόφευκτες σε όλες τις χημικές αναλύσεις. Μερικές φορές είναι αποδεκτό και μεγαλύτερο σφάλμα έως και 5%, αλλά μεγαλύτερες διαφορές πρέπει να εξετάζονται (Appelo et al., 1999).

Το ποσοστό του σφάλματος/ ηλεκτρικής ουδετερότητας κυμαίνεται από 0.14% έως 5.1%. Όλα τα υπό ανάλυση δείγματα, βρίσκονται κάτω του ορίου του 5% εκτός του δείγματος Π7, που παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή 5.1%.

## 8. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

### ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ

#### 8.1. Περιγραφή ποιοτικών παραμέτρων νερού

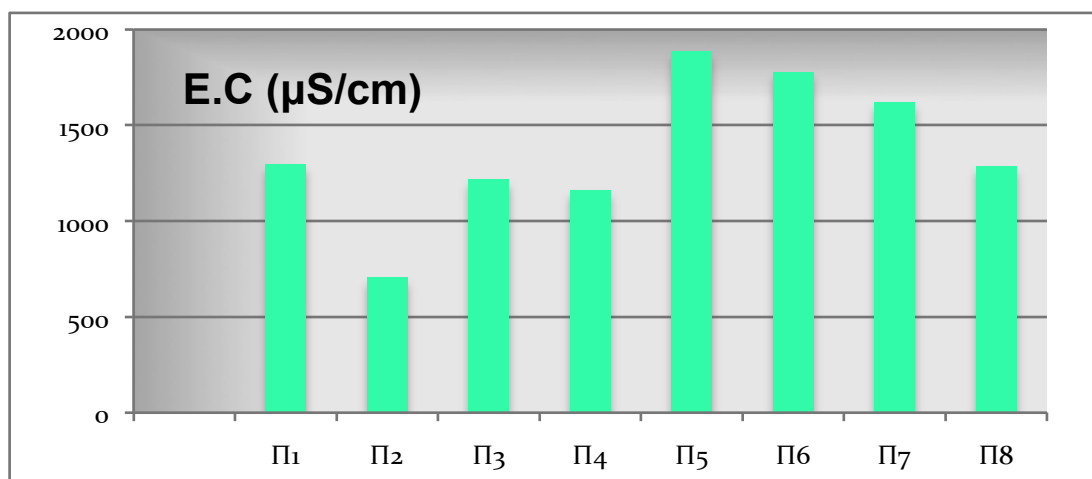
Η χημική σύσταση των υπόγειων νερών της περιοχής είναι αποτέλεσμα της επαφής του νερού με τους σχηματισμούς και τις αποθέσεις που πληρούν τον υδροφορέα.

Στη ποιοτική σύσταση του φρεάτιου προσχωματικού υδροφορέα αποκαλύπτεται η επιβάρυνση από ανθρωπογενείς επιδράσεις. Η επιβάρυνση αυτή εκδηλώνεται με τις υψηλές συγκεντρώσεις των ιόντων χλωρίου, νατρίου, νιτρικών, θεικών και φωσφορικών.

Τα δείγματα νερού σχεδόν στο σύνολό τους ανταποκρίνονται σε θέσεις εντός του αστικού ιστού. Οι θέσεις αυτές γειτνιάζουν με βιοτεχνικές μονάδες, με σηπτικούς βόθρους κατοικιών και με κοιμητήρια.

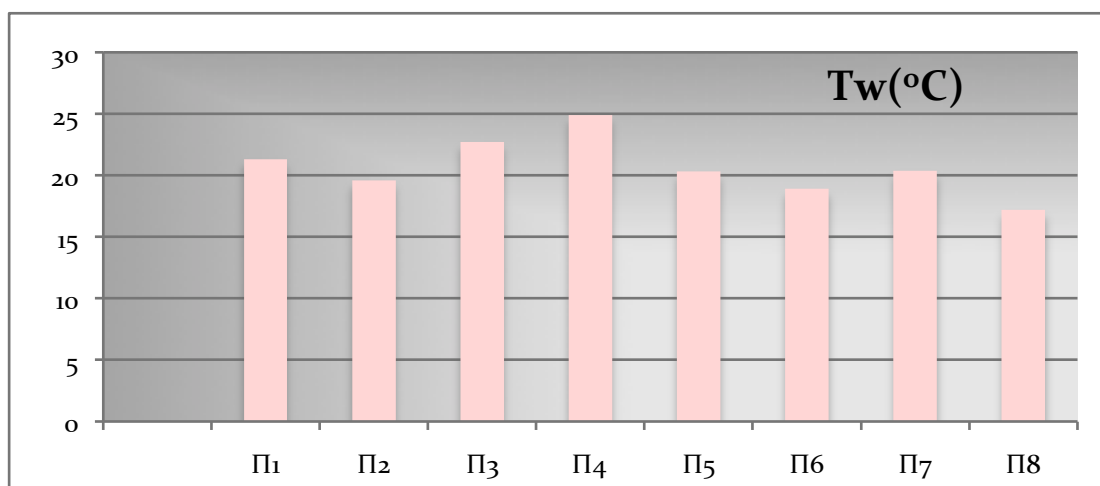
Ειδικότερα από τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι τα ακόλουθα:

- Γενικά τα νερά της περιοχής παρουσιάζουν σχετικά χαμηλές τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας που κυμαίνονται μεταξύ 705 και 1885  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Σχήμα 14), ως αποτέλεσμα της συγκέντρωσης των διαλελυμένων στερεών στο υπόγειο νερό. Το ενδεικτικό επίπεδο της αγωγιμότητας στο πόσιμο νερό είναι 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας δεν ξεπερνούν την ανώτατη επιτρεπτή τιμή των 2.500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  για τα πόσιμα νερά (EU 98/83).



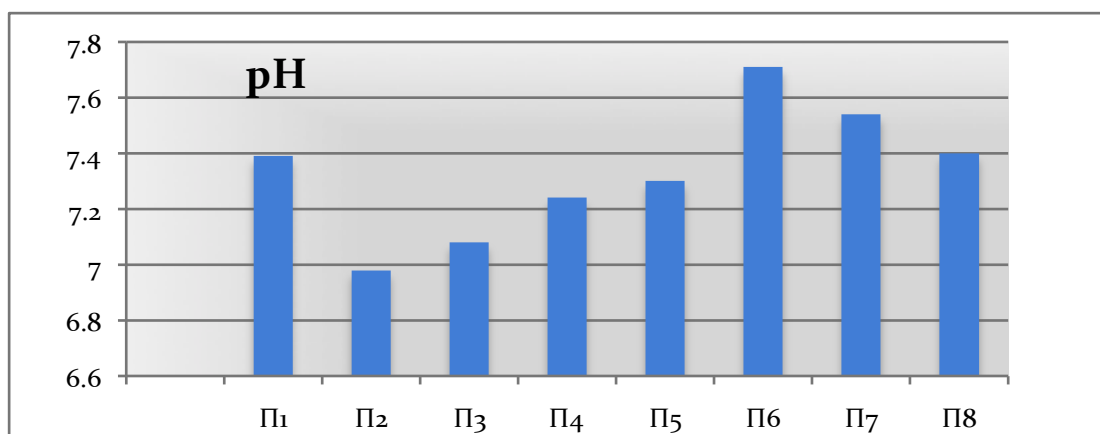
Σχήμα 14: Διάγραμμα Ηλεκτρικής αγωγιμότητας νερού EC σε  $\mu\text{S}/\text{cm}$

- Η θερμοκρασία του υπόγειου νερού κυμαίνεται από 19.6 έως 24.9 °C (Σχήμα 15). Σαν μέγιστο επιτρεπτό όριο θερμοκρασίας για το πόσιμο νερό τίθεται η τιμή 25°C (EU 98/83). Τα δείγματα νερού συλλέχθηκαν από πηγάδια μικρού βάθους και επομένως ήταν άμεσα εκτεθειμένα στη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας. Αποτέλεσμα αυτού ήταν να παρουσιάζουν σχετικά αυξημένες θερμοκρασίες τη θερινή περίοδο όπου πραγματοποιήθηκε η δειγματοληψία τους.



Σχήμα 15: Διάγραμμα θερμοκρασίας νερού  $T_w$  (°C)

- Το pH παίρνει τιμές μεταξύ 6.98-7.71, με μέσο όρο 7.33. Γενικά τα νερά χαρακτηρίζονται ελαφρώς αλκαλικά, χωρίς εκτός των μέγιστων επιτρεπτών τιμών της οδηγίας 98/83 (6.5 - 9.5) (Σχήμα 16).
- Οι θετικές τιμές του δυναμικού οξειδοαναγωγής (Eh), υποδεικνύουν οξειδωτικό περιβάλλον.



Σχήμα 16: Διάγραμμα pH νερού.

- Οι χαμηλές τιμές του διαλυμένου οξυγόνου (DO) φανερώνουν την ύπαρξη ρύπανσης ή μόλυνσης. Οι δυσμενείς υδρολογικές συνθήκες της ξηρής περιόδου (θέρος) του έτους, επηρεάζουν το διαλυμένο οξυγόνο επειδή η παροχή ουσιαστικά διαμορφώνεται λύματα (διάθεση επεξεργασμένων και μη λυμάτων).
- Τα νερά των πηγαδιών παρουσιάζουν σχετικά υψηλή ολική σκληρότητα 12.5 έως 36 °dH (Γερμανικοί βαθμοί σκληρότητας) και χαρακτηρίζονται ως σκληρά νερά. Η σκληρότητα οφείλεται στην έντονη παρουσία του ασβεστίου και μαγνησίου, τα οποία είναι στοιχεία γεωγενούς προέλευσης. Περιέχουν σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις διαλυμένων αλάτων (558 – 1036 mg/L) χαρακτηρίζοντας τα ως «γλυκά» νερά.
- Τα επικρατέστερα στοιχεία από τα κατιόντα, θεωρούνται το ασβέστιο  $\text{Ca}^{2+}$  (94.40 – 168, με μέση τιμή 115.50 mg/L) και το μαγνήσιο  $\text{Mg}^{2+}$  ( 26.22 – 94.48, με μέση τιμή 56.59 mg/L) και σε δευτερεύουσα θέση το νάτριο  $\text{Na}^+$  (14.30 – 110.70, με μέση τιμή 70.91 mg/L). Αυξημένο είναι το περιεχόμενο των νερών σε ιόντα  $\text{Ca}^{2+}$ , οφειλόμενο στη παρουσία ανθρακικού περιβάλλοντος. Αυτό προέρχεται είτε από τη διαλυτοποίηση και απόθεση των ασβεστιτικών περιθωρίων της λεκάνης, είτε από τη αποσάθρωση των νεογενών σχηματισμών με πλούσια συμμετοχή μαργών και μαργαϊκών ασβεστολίθων. Επίσης αυξημένο είναι το περιεχόμενο τους και σε ιόντα  $\text{Mg}^{2+}$ , οφειλόμενο προφανώς από την παρουσία δολομιτικού (κλαστικού) καθώς και σχιστολιθικού περιβάλλοντος. Οι σχετικά αυξημένες συγκεντρώσεις του νατρίου σε ορισμένα δείγματα, φανερώνουν το μέγεθος της επιβάρυνσης του υδροφόρου από επιφανειακούς παράγοντες.
- Οι σημαντικότερες υπερβάσεις των ορίων ποσιμότητας παρατηρούνται στα νιτρικά ιόντα, που αποτελούν και δείκτες αστικής ρύπανσης (διαρροές αποχευτικού δικτύου, βόθροι, κοιμητήρια κ.λ.π.). Στα νιτρικά παρατηρούνται ιδιαίτερα υψηλές συγκεντρώσεις 89.2 mg/L μέση συγκέντρωση ενώ το όριο ποσιμότητας είναι μόλις 50mg/L. Ας σημειωθεί ότι δεν συνοδεύονται από αυξημένες συγκεντρώσεις ρυπαντικών δεικτών, όπως τα αμμωνιακά ιόντα (<0.05 mg/L) αλλά από φωσφορικά (μέση τιμή - 0.17 mg/L), αντικατοπτρίζοντας την επιδεκτικότητά τους στις επιφανειακές επιδράσεις (αστικό φορτίο).
- Αυξημένες συγκεντρώσεις παρουσιάζονται στα χλωριόντα (35.5-283.7, με μέση 166.67 mg/L), που αποτελούν γενικά δείκτη υφαλμύρωσης ή αστικής ρύπανσης. Οι σχετικά όμως υψηλές συγκεντρώσεις των χλωριόντων, του νατρίου (14.3–110.7, με μέση 70.91 mg/L) και των θεικών (39.1-122, με μέση 88.65 mg/L) φανερώνουν επιβάρυνση των υπόγειων νερών της περιοχής. Πλήν την επίδραση ανθρωπογενών δραστηριοτήτων στις αυξημένες

συγκεντρώσεις των παραπάνω στοιχείων, πιθανόν επιδρά και η διάλυση υπολειμματικών εβαποριτικών αλάτων. Επίσης, η παρουσία εβαποριτικών αλάτων ενισχύεται και από το λόγο  $Cl/Br = 14.667$  ( $<360$ : θαλάσσια διείσδυση) (Πίνακας 6).

*Πίνακας 6: Τιμές ιοντικού λόγου  $Cl/Br^-$  των υπόγειων νερών.*

<b>α/α</b>	<b><math>Cl/Br^-</math></b>
Π1	28.800
Π2	8.000
Π3	4.400
Π4	43.200
Π5	4.207
Π6	24.000
Π7	3.314
Π8	1.360

Η σχέση  $Br^- / Cl^-$  συχνά χρησιμοποιείται για τη διάκριση μεταξύ πηγών αλμυρού νερού. Ιδιαίτερα δε για τη διάκριση ανάμεσα στη θαλάσσια διείσδυση και σε αύξηση αλάτων λόγω παρουσίας εβαποριτών, αφού τα τελευταία επιδεικνύουν σημαντικά υψηλότερες τιμές από ότι στο θαλάσσιο νερό.

- Οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στα νερά της περιοχής παρουσιάστηκαν σε ορισμένες περιπτώσεις υπέρτερες των ορίων ποσιμότητας της Οδηγίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης 98/83.

	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Zn (mg/L)	Cu (mg/L)	Pb (mg/L)	Cd (mg/L)	Ni (mg/L)
Π1	0.17	0.04	<0.01	<0.01	0.04	0.03	<0.01
Π2	0.13	0.01	<0.01	0.10	0.02	0.04	<0.01
Π3	0.68	0.92	0.10	0.02	0.13	0.04	<0.01
Π4	0.21	0.04	0.05	0.01	<0.01	0.05	<0.01
Π5	0.16	0.03	<0.01	<0.01	<0.01	0.03	<0.01
Π6	0.16	0.03	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	0.21
Π7	0.14	0.02	0.03	0.04	<0.01	0.02	<0.01
Π8	0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.06	<0.01

Ειδικότερα, όπως παρουσιάζεται και στον παραπάνω πίνακα οι τιμές του Cd στο σύνολο τους υπερβαίνουν την οριακή τιμή των 0.005 mg/L (EU 88/93). Οι συγκεντρώσεις του Ni πολύ τοπικά (πηγάδι Π6) υπερβαίνει την οριακή τιμή των 0.02 mg/L. Ομοίως το Mn και ο Fe παρουσιάζουν αυξημένες συγκεντρώσεις υπερβαίνοντας την οριακή τιμή 0.05 και 0.2 αντίστοιχα στο πηγάδι Π3. Οι συγκεντρώσεις των παραπάνω οφείλονται προφανώς στο ρηχό σχιστολιθικό περιβάλλον, πλούσιο ορυκτολογικώς περιβάλλον, επί του οποίου φέρεται ο αλλουβιακός υδροφορέας καθώς και στην εμφάνιση των σιδερονικελιούχων κοιτασμάτων.

Όσο αφορά στο Pb κατά περιπτώσεις (Π1, Π2, Π3) ξεπερνάει τα όρια ποσιμότητας 0.01 mg/L (EU 88/93). Η παρουσία του πιθανώς να συνδέεται με γεωλογικούς παράγοντες όπως, της μεταλλοφορίας σιδερονικελιούχων ορυκτών, της έντονης παρουσίας αργιλικού υλικού καθώς και της οργανικής ύλης. Η παρουσία της οργανικής ύλης είναι χαρακτηριστική σε λιμνοθαλάσσια περιβάλλοντα, Νεογενή ιζήματα. Επιπρόσθετα, η παρουσία του στο νερό όπως και στο έδαφος προφανώς σχετίζεται και με ανθρωπογενείς παράγοντες (καυσαέρια οχημάτων κλπ).

Εκτός από τους γεωγενείς παράγοντες προέλευσης των βαρέων μετάλλων, επιδρούν και ανθρωπογενείς. Η σημαντική υποβάθμιση στα υπόγεια νερά της περιοχής, η αποδίδεται κυρίως στις ασκούμενες έντονες πιέσεις των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων (βιοτεχνίες, πυκνό οδικό δίκτυο, αστικά λύματα, κοιμητήρια.



## 8.2. Ταξινόμηση των υπόγειων νερών

Η έρευνα της συγκέντρωσης και κατανομής των κύριων ιόντων ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  και  $\text{NO}_3^-$ ) αποτελεί βασικό στοιχείο στη διερεύνηση των υδροχημικών διεργασιών και γενικά των μηχανισμών λειτουργίας των υδροφόρων σχηματισμών (Hem1992; Lloyd and Heathcote 1985; Appelo and Postma 2005). Σημαντικά εργαλεία για την συγκεκριμένη κατεύθυνση είναι η προβολή των χημικών αναλύσεων σε διάφορα υδροχημικά διαγράμματα όπως Piper, Durov ή χάρτες.

Στο *σχήμα 19* παρουσιάζεται η προβολή των υδροχημικών αναλύσεων σε διάγραμμα Durov, στο *σχήμα 18* σε διάγραμμα Piper και στο *σχήμα 17* απεικονίζεται η μέση συγκέντρωση των υδροχημικών αναλύσεων καθώς και οι ανώτατες επιτρεπτές τιμές αντίστοιχα σύμφωνα με την 98/83 της ΕΕ.

Στη περιοχή μελέτης είναι γεγονός οι εισροές από τα μεταγγίζοντα νερά των ασβεστόλιθων καθώς και των δολομιτικών ασβεστόλιθων των ορεινών όγκων Πάρνηθα και Αιγάλεω. Η ανθρωπογενής συνιστώσα πρέπει να θεωρείται επίσης βέβαιη.

Σύμφωνα με το διάγραμμα του *σχήματος 17*, μια γενικευμένη παρατήρηση προκύπτει για την συγκέντρωση των κύριων ιόντων των δειγμάτων νερού.

Κυριαρχούν τα ιόντα ασβεστίου ( $\text{Ca}^{2+}$ ), τα ασθενή οξέα τα οξυανθρακικά ( $\text{HCO}_3^-$ ), τα χλωριόντα ( $\text{Cl}^-$ ) και τα ιόντα μαγνησίου ( $\text{Mg}^{2+}$ ) με ποσοστιαία εμφάνιση 22%, 19% και 18% αντίστοιχα.

Το ασβέστιο κυριαρχεί με ένα ποσοστό 42% επί του συνόλου των κατιόντων και έπειτα ακολουθούν τα ιόντα  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  με 34% και 23% αντίστοιχα επί του συνόλου των κατιόντων. Τα οξυανθρακικά ( $\text{HCO}_3^-$ ) και τα χλωριόντα ( $\text{Cl}^-$ ) εμφανίζουν ποσοστιαία εμφάνιση 38% και 36% αντίστοιχα επί του συνόλου των ανιόντων.



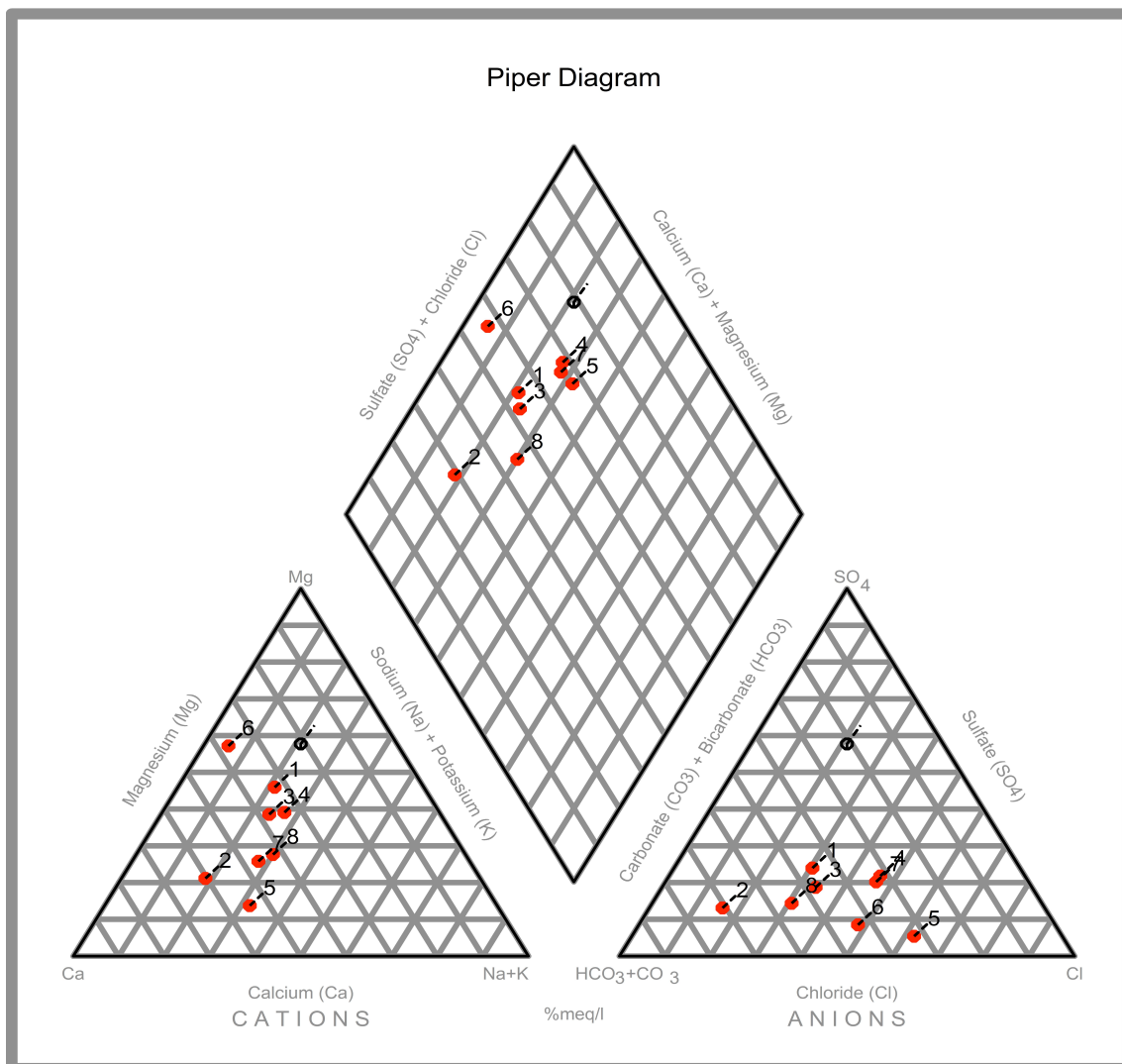
*Σχήμα 17: Ποσοστιαία συγκέντρωση κύριων ιόντων υπόγειων νερών περιοχή έρευνας.*

### 8.2.1. Ταξινόμηση κατά Piper

Στο διάγραμμα Piper (σχήμα 18) παρουσιάζεται η κατανομή των κύριων ιόντων των υπόγειων νερών της περιοχής με βάση την εκατοστιαία συμμετοχή τους στο σύνολο των ανιόντων και κατιόντων. Από το διάγραμμα φαίνεται ότι στα υπόγεια νερά της περιοχής από την πλευρά των κατιόντων επικρατούν τα ιόντα Ca, Mg και Na ενώ από την πλευρά των ανιόντων τα ιόντα Cl, HCO<sub>3</sub> και SO<sub>4</sub>.

Από τη μεταφορά των αποτελεσμάτων των αναλύσεων στο διάγραμμα Piper (1944) του σχήματος 18, προκύπτει ότι στην περιοχή μελέτης διακρίνονται οι τύποι I και III, δηλαδή κανονικά γαιοαλκαλικά νερά και γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων.

Ειδικότερα, τα νερά στο τύπο I χαρακτηρίζονται ως οξυανθρακικά-θεικά (Π6) και οξυανθρακικά (Π2). Τα νερά στο τύπο II χαρακτηρίζονται ως οξυανθρακικά (Π8) και θεικά (Π1, Π3, Π4, Π7).



Σχήμα 18: Υδροχημικό διάγραμμα Piper για τα δείγματα νερού της περιοχή μελέτης.

- Υδροχημικοί τύποι

Τα νερά της περιοχής εντοπίζονται στον ελεύθερο υδροφόρο ορίζοντα που αναπτύσσεται στους Τεταρτογενείς – Νεογενείς σχηματισμούς. Εμφανίζουν ποιοτικές διακυμάνσεις που οφείλονται στις συνθήκες τροφοδοσίας και τη λιθολογία των σχηματισμών εντός των οποίων κινούνται. Στη υδρολογική λεκάνη της περιοχής είναι γεγονός οι εισροές από τα μεταγγίζοντα νερά των ασβεστολίθων – δολομιτικών ασβεστολίθων από τη Πάρνηθα και το Αιγάλοιω.

Ειδικότερα, από τη κυριαρχία των ιόντων  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  και  $\text{Na}^+$  διαπιστώνεται η ενεργοποίηση της διαδικασίας της ανταλλαγής ιόντων. Η διάλυση του ασβεστίτη και του δολομίτη είναι υπεύθυνη για τις αυξημένες περιεκτικότητες των νερών σε  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ . Οι σχετικά όμως υψηλές συγκεντρώσεις των χλωριόντων, και των θεικών πιθανώς σχετίζεται με την διάλυση υπολειμματικών εβαποριτικών αλάτων.

Εντούτοις ο υδροφορέας δεν εμφανίζει κοινό υδροχημικό τύπο σε όλη την έκτασή του. Πέρα από τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ νερού-σχηματισμών έντονες είναι και οι ανθρωπογενείς επεμβάσεις. Οι τελευταίες προκαλούν αλλοίωση των υδροχημικών χαρακτηριστικών και υποβάθμιση της ποιότητας των νερών.

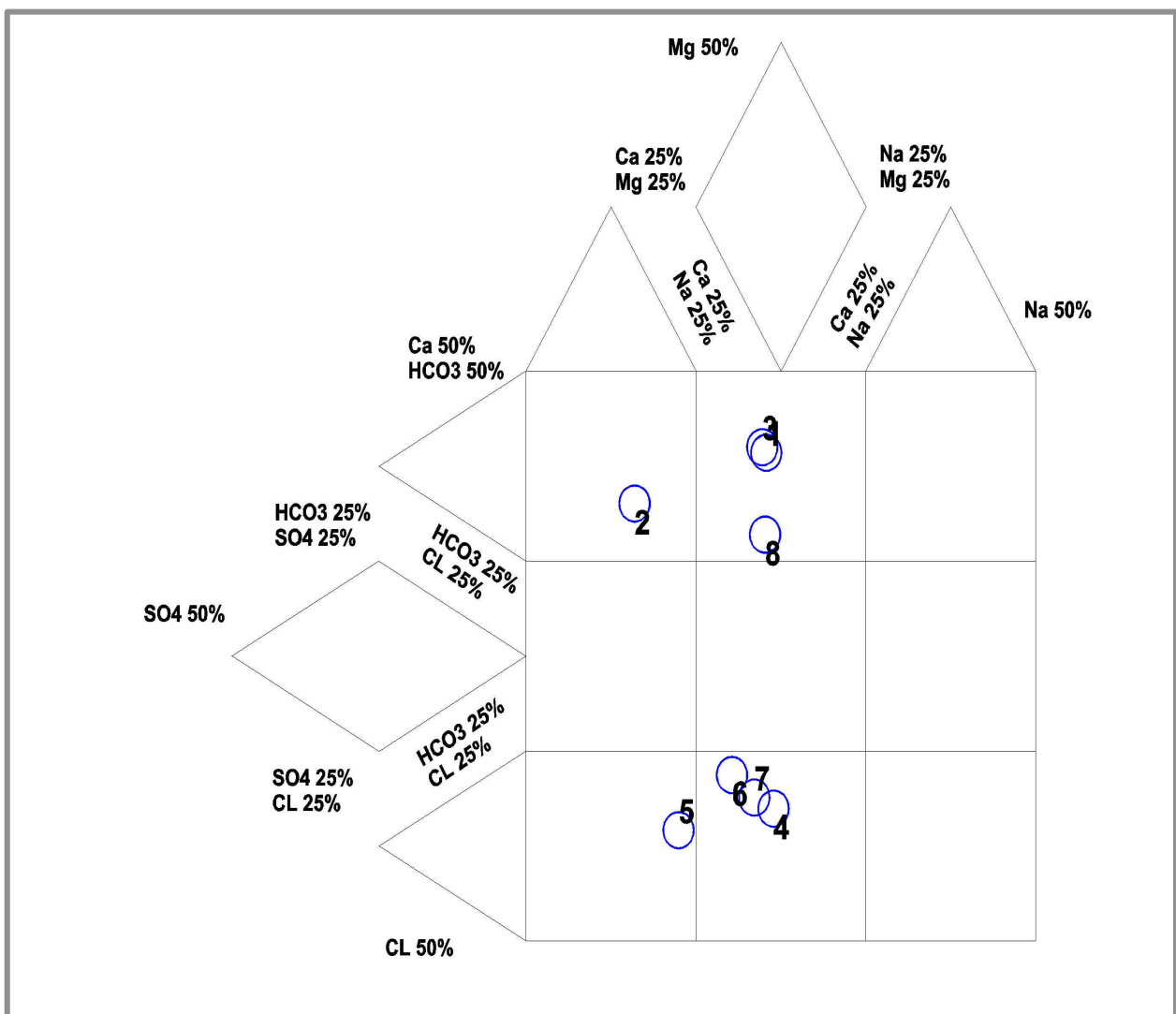
Ειδικότερα, κυριαρχούν νερά μικτού τύπου, γεγονός που υποδηλώνει ότι δεν έχουν αποκτήσει σταθερό υδροχημικό τύπο γιατί οι διαδικασίες κατιονταλλαγής βρίσκονται σε εξέλιξη.

*Πίνακας 7: Πίνακας υδροχημικών τύπων υπόγειων νερών.*

A/A	Υδροχημικός τύπος
<b>Π1</b>	Ca-Mg-Na-HCO3-Cl-SO4
<b>Π2</b>	Ca – HCO3
<b>Π3</b>	Ca-Mg-Na HCO3-Cl-SO4
<b>Π4</b>	Ca-Mg-Na HCO3-Cl-SO4
<b>Π5</b>	Ca-Na-Cl
<b>Π6</b>	Ca-Mg-HCO3-Cl
<b>Π7</b>	Ca-Mg-Na-HCO3-Cl-SO4
<b>Π8</b>	Ca-Mg-Na-HCO3-Cl

## 8.2.2. Ταξινόμηση κατά Durov

Όπως φαίνεται και στο εκτεταμένο διάγραμμα *Durov* τα δείγματα νερού αναπτύσσονται στα επιμέρους πεδία του διαγράμματος 1,2,7,8. Το φαινόμενο αυτό αποκαλύπτει το φάσμα διεργασιών κατιοανταλλαγής. Φρέσκα νερά εμπλουτισμού του τύπου Ca-HCO<sub>3</sub> και Mg-HCO<sub>3</sub>. Επίσης, έντονη είναι η παρουσία νερά παλαιότερα των προηγούμενων που ανήκουν στους τύπους Mg-Cl και Ca-Cl, τα οποία είναι επιβαρυσμένα σε άλατα.



Σχήμα. 19: Υδροχημικό διάγραμμα *Durov* για τα δείγματα νερού της περιοχή μελέτης.

Κατά την ταξινόμηση των υπόγειων νερών κατά *Durov* όπως φαίνεται και από το παραπάνω διάγραμμα το 50% των εξετασθέντων νερών ανήκει στα πεδία 1 και 2 όπου ανήκουν νερά τα οποία έχουν υποστεί το φαινόμενο της κατιοανταλλαγής και τα χαρακτηρίζουν οι αυξημένες

συγκεντρώσεις των  $\text{HCO}_3^-$   $\text{Ca}^{2+}$   $\text{Mg}^{2+}$ . Όλα τα υπο μελέτη δείγματα νερού της περιοχής προέρχονται από χαλαρούς σχηματισμούς των Τεταρτογενών που αποτελούνται από κλαστικά υλικά προερχόμενα από την διάλυση ανθρακικών πετρωμάτων που είναι πλούσια σε μαγνησιούχα – ανθρακικά ορυκτά.

Ενώ το υπόλοιπο 50% στα πεδία 7 και 8 όπου ανήκουν νερά που έχουν υποστεί το φαινόμενο της αντίστροφης κατιοανταλλαγής.

---

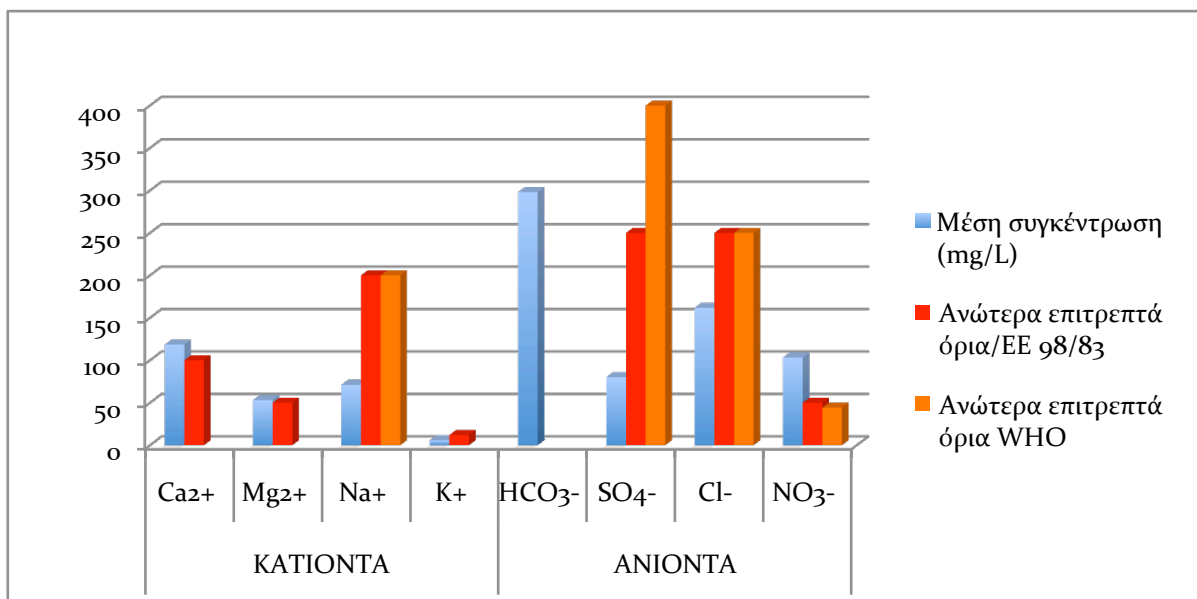
**Χαρακτηρισμός πεδίου διαστελλόμενου διαγράμματος Durov  
(LLOYD, HEATHCOTE 1985).**

---

- Πεδίο 1:** Κυριαρχούν τα  $\text{HCO}_3^-$  και τα  $\text{Ca}^{2+}$  και συνήθως αφορά φρέσκα νερά φυσικής αναπλήρωσης που κατεισδύουν διαμέσου ασβεστόλιθων, ψαμμιτών αλλά και άλλων ανθρακικών πετρωμάτων.
- Πεδίο 2:** Κυριαρχεί η ρίζα  $\text{HCO}_3^-$  και είτε κυριαρχεί το  $\text{Mg}^{2+}$  είτε κανένα κατιόν. Πρόκειται για νερά που έχουν σχέση με δολομίτες. Αν παρατηρηθεί ότι το  $\text{Na}^+$  αρχίζει να αυξάνεται, αυτό φανερώνει ότι ο μηχανισμός 3 έχει αρχίσει να ενεργοποιείται.
- Πεδίο 7:** Κυριαρχούν τα  $\text{Ca}^{2+}$  και τα  $\text{Cl}^-$ . Σπάνιο υπόγειο νερό εκτός και αν έχει προέλθει σαν τελικό προϊόν αντίστροφης κατιοανταλλαγής από νερά Na-Cl.
- Πεδίο 8:** Κυριαρχεί το  $\text{Cl}^-$ , χωρίς να κυριαρχεί κανένα κατιόν. Υπόγεια νερά όπου το φαινόμενο της αντίστροφης κατιοανταλλαγής βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη.
-

### 8.3. Καταλληλότητα νερού

- Από την γενικευμένη εξέταση των τιμών των κύριων ιόντων του νερού προκύπτει ότι, οι συγκεντρώσεις τους κυμαίνονται σε επίπεδα μικρότερα ή σχετικά οριακά των ανώτερων επιτρεπτών με βάση την Οδηγία 98/83/EC για την ποιότητα των νερών που προορίζονται για την ανθρώπινη κατανάλωση. Εξαίρεση αποτελούν οι τιμές στα νιτρικά, το ασβέστιο και το μαγνήσιο για τις οποίες ισχύει το αντίθετο (Σχήμα 20). Αποτέλεσμα αυτού είναι να μην ενδείκνυνται στο σύνολό τους τα εξετασθέντα νερά κατάλληλα για ανθρώπινη κατανάλωση.



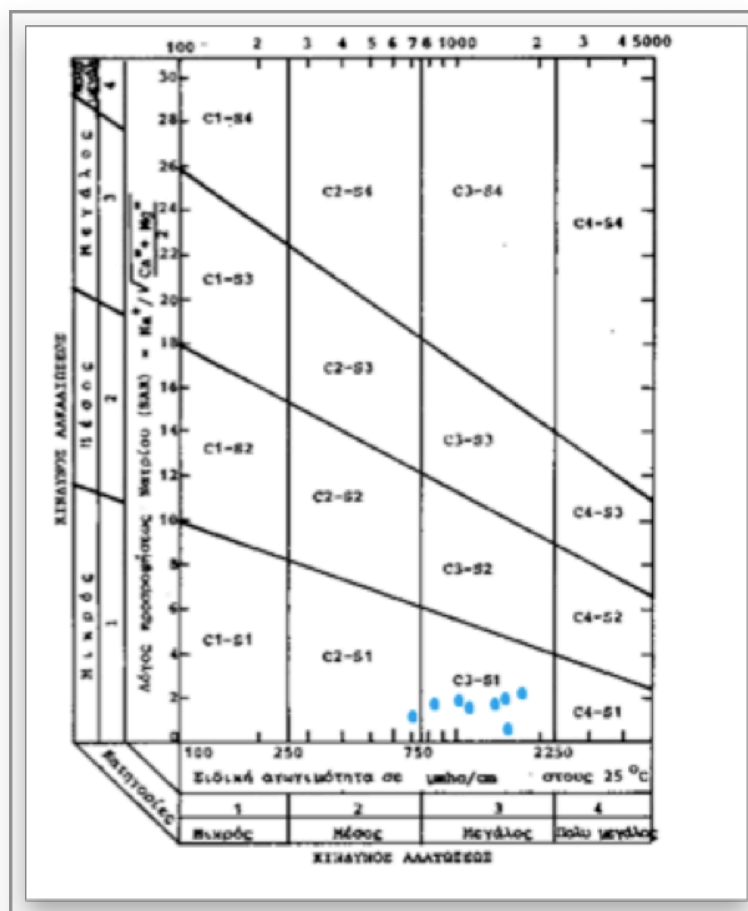
Σχήμα 20: Ραβδογράμμο μέσης τιμής κύριων ιόντων και ανώτατων επιτρεπτών ορίων βάσει EU 98/83 και WHO.

Οι σημαντικότερες υπερβάσεις των ορίων ποσιμότητας παρατηρούνται στα νιτρικά ιόντα. Αποτελούν την κυριάρχουσα προσβολή της ποιότητας των εξετασθέντων νερών και είναι ανθρωπογενούς προέλευσης όπως αποκαλύπτουν οι συγκεντρώσεις τους (διαρροές αποχευτικού δικτύου, βόθροι, κοιμητήρια κ.λ.π.). Οι συγκεντρώσεις των νιτρικών σχεδόν σε όλα τα πηγάδια (εξαίρεση αποτελεί το Π8), κυμαίνονται από 48 έως 154 mg/L με μέση τιμή 89.2 mg/L ξεπερνώντας το ανώτατο επιτρεπτό όριο των 50 mg/L.

Οι συγκεντρώσεις των ιόντων του ασβεστίου παρουσιάζονται σε γενικές γραμμές αυξημένες (63.2-168 mg/L με μέση τιμή 11.6mg/L). Οι τιμές των δειγμάτων νερού από τα πηγάδια Π3, Π4, Π5, Π6, Π7, Π8 ξεπερνούν το ανώτατο επιτρεπτό όριο των 100 mg/L.

Οι συγκεντρώσεις των ιόντων του μαγνησίου παρουσιάζονται σε γενικές γραμμές αυξημένες (15.57-94.48 mg/L με μέση τιμή 48.58 mg/L). Οι τιμές των δειγμάτων νερού από τα πηγάδια Π3, Π4, Π6, ξεπερνούν το ανώτατο επιτρεπτό όριο των 50 mg/L.

- Για τον χαρακτηρισμό της καταλληλότητας των δειγμάτων νερού για άρδευση χρησιμοποιήθηκε το διάγραμμα κατά Richards (1954) που κατατάσσει τα υπόγεια νερά σύμφωνα με το δείκτη SAR και την ηλεκτρική αγωγιμότητα EC. Επομένως σύμφωνα με το διάγραμμα του σχήματος 21 τα νερά των φρεάτιων της περιοχής κατατάσσονται στις κατηγορίες **C3-S1**, ποιότητα μέτρια, μέχρι πολύ μέτρια. Μπορεί να χρησιμοποιείται με μέτρα προφύλαξης. Το έδαφος πρέπει να αποστραγγίζεται καλά ή πρέπει να προστίθεται σε αυτό γύψος με εξαίρεση το πηγάδι 2 (Π2) που κατατάσσεται στην κατηγορία **C2-S1**, ποιότητα καλή μέχρι μέτρια. Το νερό πρέπει να χρησιμοποιείται με προφύλαξη στα βαριά εδάφη που δεν αποστραγγίζονται καλά και επίσης με επιφύλαξη για ευαίσθητα φυτά.



Σχήμα 21: Διάγραμμα ποιοτικής κατάταξης για αρδευτικές χρήσεις των πηγαδιών της περιοχής σύμφωνα με το U.S Salinity Laboratory (Richard 1954).

## 9. ΕΔΑΦΟΣ - ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΔΑΦΟΥΣ

### 9.1. Ορισμοί

#### Έδαφος

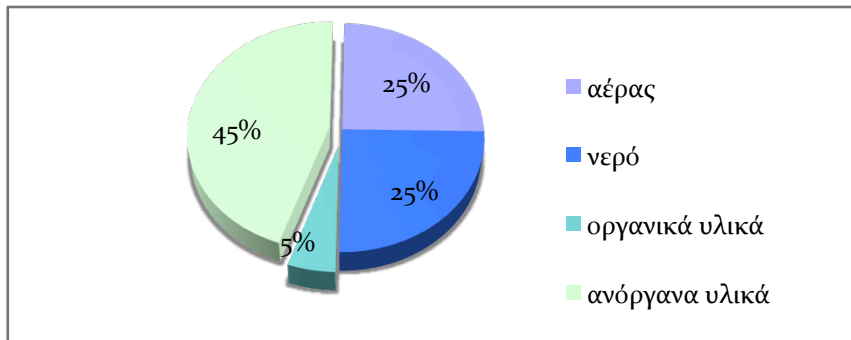
Κατά καιρούς έχουν δοθεί αρκετοί ορισμοί της λέξης «έδαφος». Μεταξύ αυτών, από γεωργικής πλευράς, αναφέρονται οι εξής:

- Έδαφος είναι το μη συμπαγές υλικό, πάνω στο οποίο ζουν τα φυτά, αντλούν τα θρεπτικά τους στοιχεία και βρίσκουν τις κατάλληλες συνθήκες αναπτύξεως (Hilgard , 1914).
- Έδαφος είναι το αποτελούμενο από χαλαρά υλικά, ανώτερο στρώμα του φλοιού της γης, το οποίο προήλθε από την αποσάθρωση πετρωμάτων και τη διαφοροποίηση, στην ίδια ή άλλη θέση, του χαλαρού υλικού που προέκυψε απ' αυτή.
- Έδαφος είναι ένα φυσικό σώμα, διαφοροποιημένο σε ορίζοντες από ορυκτά και οργανικά συστατικά, ποικίλου βάθους, που διαφέρει από το πέτρωμα από το οποίο προήλθε ως προς τη μορφολογία, τις φυσικές και χημικές ιδιότητες και τα βιολογικά χαρακτηριστικά (Joffe , 1936).
- Έδαφος είναι η συλλογή φυσικών «σωμάτων» σε θέσεις πάνω στην επιφάνεια της γης από τροποποιημένα, ακόμη και από την ανθρώπινη επέμβαση, εδαφικά υλικά, τα οποία περιέχουν και ζωντανούς οργανισμούς (living matter) και έχουν τη δυνατότητα να υποστηρίξουν την ανάπτυξη φυτών (Soil Survey Staff , 1975).

Αυτό που αποκαλούμε «έδαφος» στην ουσία απαρτίζεται από τρεις συνιστώσες (φάσεις). Η πρώτη είναι η στερεά, δηλαδή το χώμα με απλά λόγια. Η άλλη είναι η υγρή όπου μέσα στο νερό βρίσκονται διαλυμένα τα θρεπτικά στοιχεία. Η τελευταία τρίτη συνιστώσα είναι η αέρια όπου κυκλοφορούν χρήσιμα στοιχεία όπως το οξυγόνο ή επιβλαβή στοιχεία τα οποία είναι αποτέλεσμα των λειτουργιών του ριζικού συστήματος, μικροοργανισμών κλπ.

Ένα αντιπροσωπευτικό έδαφος, κατάλληλο για την ανάπτυξη των φυτών, αποτελείται κατά το μισό περίπου του όγκου του από στέρεα συστατικά (ανόργανα και οργανικά) και κατά το άλλο μισό από αέρα και νερό (Σχήμα 22). Ο αέρας και το νερό βρίσκονται στους εδαφικούς πόρους δηλ. στα κενά ανάμεσα στους κόκκους των ανόργανων υλικών.





Σχήμα 22: Σύσταση κατ' όγκο αντιπροσωπευτικού εδάφους, κατάλληλου για την ανάπτυξη των φυτών.

### Ποιότητα εδάφους

Ο όρος ποιότητα του εδάφους αναφέρεται στα φυσικά, χημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά του, τα οποία το καθιστούν «μέσο» ή «υπόστρωμα» ανάπτυξης των φυτών, ρυθμίζουν την κατανομή του νερού και το διαχωρισμό της ροής του στο περιβάλλον και ενεργούν ρυθμιστικά κατά το σχηματισμό, την αραίωση και τη διάσπαση των περιβαλλοντικά επικίνδυνων ουσιών (Larson and Pierce 1991).

Η «ποιότητα» του εδάφους ορίζεται ως «ο βαθμός προσαρμογής του στη συγκεκριμένη εξειδικευμένη χρήση του εδάφους» (Gregorich et al., 1994), ενώ σύμφωνα με τους Anderson and Gregorich (1993) «ποιότητα» είναι «η ικανότητα ενός εδάφους να δέχεται και να συσσωρεύει καθώς και να ανακυκλώνει το νερό, τα θρεπτικά και την ενέργεια». Ένας άλλος ορισμός της ποιότητας είναι «η ικανότητα του εδάφους να συγκρατεί, διασπείρει και να αναμορφώνει τις χημικές και βιολογικές ουσίες και να ενεργεί ως περιβαλλοντικό φίλτρο ή ως «ρυθμιστικός παράγοντας» (Gregorich et al., 1994).

Ο πλέον ολοκληρωμένος ορισμός της ποιότητας του εδάφους είναι αυτός που δόθηκε από τους Doran and Parkin (1994) κατά τους οποίους ποιότητα εδάφους ορίζεται η ικανότητα του εδάφους να λειτουργεί μέσα στα πλαίσια του οικοσυστήματος και των διαφορετικών χρήσεων γης, έτσι ώστε να διατηρεί τη βιολογικά παραγωγικότητα και την περιβαλλοντική ποιότητα και να προάγει την υγεία των φυτών, ζώων και ανθρώπων.

Εξαιτίας, της μεγάλης σημασίας της ποιότητας, η διαχρονική βιωσιμότητα του εδάφους, η αειφορία του, εξαρτάται από τη διατήρηση της ποιότητάς του σε ικανοποιητικά επίπεδα, η οποία και αποτελεί τον παράγοντα «κλειδί». Και αυτό επειδή η «καλή ποιότητα» ενός εδάφους, όχι μόνο εξασφαλίζει την υψηλή παραγωγικότητα του (ποσοτική και ποιοτικά), αλλά ταυτόχρονα, ενεργεί ως σταθεροποιητικός παράγοντας του φυσικού οικοσυστήματος.

Εδάφη υψηλής ποιότητας συμβάλλουν επιπλέον και στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα και των νερών (Gregorich et al., 1994).

## **9.2. Αξιολόγηση ποιότητας του εδάφους – Δείκτες Ποιότητας**

Από πρακτικής πλευράς σήμερα όσο ποτέ άλλοτε, είναι έντονη η ανάγκη για ποσοστικό προσδιορισμό της ποιότητας σε τρόπο ώστε να διευκολυνθούν οι άνθρωποι της καθημερινής πράξης κατά την αξιολόγηση της ποιότητας γης.

Η αξιολόγηση της ποιότητας του εδάφους γίνεται με τη χρήση δεικτών, οι οποίοι ορίζουν τις λειτουργία του εδάφους και είναι ευαίσθητοι στις μεταβολές που προκαλούνται από την εφαρμογή των διαφόρων διαχειριστικών συστημάτων. Μία σειρά δεικτών που μπορούν να είναι χρήσιμοι στην εκτίμηση ποιότητας των εδαφικών πόρων είναι: η κοκκομετρική σύσταση του εδάφους, η εδαφική δομή και η σταθερότητα των συσσωματωμάτων, η περιεχόμενη οργανική ουσία στο έδαφος, pH, η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων, διαθέσιμο για τα φυτά νερό, ηλεκτρική αγωγιμότητα, μικροβιακή δραστηριότητα, χημικές επιβαρύνσεις. Μία μέθοδος ή προσέγγιση της αξιολόγησης της ποιότητας είναι η μέτρηση φυσικών, χημικών και βιολογικών ιδιοτήτων του εδάφους σε διάφορα συστήματα διαχείρισης και σε τακτά χρονικά διαστήματα (Σταματιάδης κ.α 1998).

Σύμφωνα με το άρθρο 2 της υπ αριθμ. 168040/03-09-2010 των Υπουργών Αγροτικής Ανάπτυξης και Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, έχουν καθοριστεί οχτώ κριτήρια με τα οποία διαβαθμίζεται η αγροτική γή σε ποιότητες και κατατάσσεται σε κατηγορίες παραγωγικότητας.

Τα κριτήρια (ΚΠ) διαβάθμισης σε ποιότητες της Γεωργικής (Αγροτικής) Γης, διαιρούνται σε περαιτέρω κατηγοριοποιήσεις με αντίστοιχους συμβολισμούς και ανάλογα με τις κατηγοριοποιήσεις διαβαθμίζεται και η Γεωργική (Αγροτική) Γη σε ποιότητες.

Τα οχτώ κριτήρια (ΚΠ) διαβάθμισης σε ποιότητες της Γεωργικής (Αγροτικής) Γης είναι τα ακόλουθα:

**ΚΠ1.** Υδρομορφία εδάφους (συνθήκες στράγγισης εδάφους)

**ΚΠ2.** Μηχανική σύσταση εδάφους (κοκκομετρική σύσταση)

**ΚΠ3.** Βάθος εδάφους

**ΚΠ4.** Οξύτητα εδάφους (pH)

**ΚΠ5.** Περιεκτικότητα σε αδρομερή υλικά (χαλίκια, πέτρες)

**ΚΠ6.** Ηλεκτρική αγωγιμότητα

**ΚΠ7.** Κλίση εδάφους

**ΚΠ8.** Περιεκτικότητα σε ανθρακικό ασβέστιο ( $\text{CaCO}_3$ ).

Επομένως, οι δείκτες σχετίζονται με φυσικές και χημικές ιδιότητες των εδαφών, εκ των οποίων οι σημαντικότερες είναι η μηχανική (κοκκομετρική) σύσταση, εδαφική δομή, το pH, η οργανική ουσία το ανθρακικό ασβέστιο ( $\text{CaCO}_3$ ) και οι χημικές επιβαρύνσεις.

### **9.2.1. Κοκκομετρική (Μηχανική) Σύσταση Εδάφους/ Soil Texture**

Η κοκκομετρική σύσταση του εδάφους (soil texture) είναι μια έκφραση του κυρίαρχου μέγεθος ή εύρος μεγέθους, των σωματιδίων/ κόκκων που απαρτίζουν ένα έδαφος, δηλαδή αν είναι μεγάλου, μικρού ή ενδιάμεσης κατηγορίας μεγέθους (Hillel, D. 1980). Αφού στην πραγματικότητα δεν είναι δυνατόν να προσδιοριστεί το κάθε ένα διαφορετικό κοκκομετρικό μέγεθος αλλά το εύρος των διαφόρων μεγεθών που συμμετέχουν σε ένα συγκεκριμένο έδαφος, γι' αυτό ποσοτικά η κοκκομετρική σύσταση (soil texture) αναφέρεται στην σχετικές αναλογίες των διαφόρων μεγεθών των κόκκων σε ένα συγκεκριμένο έδαφος. Για τον ποσοτικό προσδιορισμό πολλές τυποποιημένες τεχνικές έχουν επινοηθεί και τα αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης παράγουν τη μηχανική σύσταση του εδάφους, ένας όρος που χρησιμοποιείται συχνά εναλλακτικά με την κοκκομετρική σύσταση (Ashman M.R. and Puri G. 2002).

#### ❖ Σημαντικότητα κοκκομετρικής (μηχανικής) συστάσεως

Η γνώση της κοκκομετρικής σύστασης του εδαφών είναι σημαντική για το σχεδιασμό χρήσης γής, τον έλεγχο διαβρώσεως των εδαφών αφού οδηγεί σε μία σειρά εκτιμήσεων για πολλές από τις εδαφικές ιδιοτητες όπως για την ικανότητα συγκράτησης νερού, τον αερισμό των εδαφών, την οργανική ουσία, τη ρυθμιστική ικανότητα, τη στράγγιση και συνεπώς για την συμπεριφορά των εδαφών.

Η κοκκομετρική σύσταση επηρεάζει τη κίνηση νερού, μέσω της συμβολής της στις υδραυλικές ιδιότητες του εδάφους (Sperry et al. 1998, Hacke et al. 2000a, Sperry and Hacke 2002), επειδή η υδραυλική αγωγιμότητα κορεσμού του εδάφους είναι άμεσα συναρτώμενη του μεγέθους των πορών. Η ικανότητα του εδάφους να μεταφέρει νερό θεωρείται η σημαντικότερη και περιγράφεται από μια υδροδυναμική παράμετρο, την υδραυλική αγωγιμότητα. Τα πιο χονδρόκοκκα εδάφη κατέχοντας μεγαλύτερους πόρους εκδηλώνουν και μεγαλύτερη υδραυλική αγωγιμότητα κορεσμού απ'ότι τα λεπτόκοκκα εδάφη (Jury et al., 1991). Επομένως, τα αμμώδη εδάφη αφού έχουν μεγάλους πόρους μέσω των οποίων διευκολύνεται η κίνηση νερού και αέρα, διευκολύνουν την ανάπτυξη ριζικού συστήματος, στραγγίζουν πολύ εύκολα απ'ότι στα αργιλώδη εδάφη. Επίσης, η κοκκομετρική σύσταση

επιδρά στη διαθεσιμότητα νερού ως προς τα φυτά, τα αργιλώδη εδάφη έχουν μεγάλη ικανότητα συγκράτησης νερού ενώ τα αμμώδη όχι. Τα αργιλώδη εδάφη, ανάλογα και με την ορυκτολογική τους σύσταση, λόγω μεγάλης ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων αποδίδουν θρεπτικά στοιχεία στα φυτά. Εδάφη με υψηλό ποσοστό ιλύος και αργίλου είναι πιο επιρρεπή στη διάβρωση απ'ότι τα αμμώδη κάτω από τις ίδιες συνθήκες. Οι διαφορές στην κοκκομετρική σύσταση προσκρούουν επίσης στα επίπεδα της οργανικής ουσίας, η οργανική ουσία αποσυντίθεται ταχύτερα στα αμμώδη εδάφη απ'ότι σε λεπτόκοκκα εδάφη, υπό τις ίδιες συνθήκες, λόγω υψηλότερου διαθέσιμου οξυγόνου για την αποσύνθεσή της. Η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων των εδαφών αυξάνεται σε μεγάλα ποσοστά αργίλου και οργανικής ουσίας όπως και η ρυθμιστική ικανότητα των εδαφών στην αλλαγή του pH.

#### ❖ Κλάσματα μηχανικής συστάσεως

Το έδαφος αποτελείται από στερεά (ανόργανα και οργανικά) υλικά, αέρα και νερό. Τα ανόργανα χαλαρά στερεά συστατικά του εδάφους αποτελούνται από κομμάτια πετρωμάτων του μητρικού υλικού και από τεμαχίδια πρωτογενών και δευτερογενών ορυκτών, το είδος και το μέγεθος των οποίων ποικίλλει και εξαρτάται από τη φύση του μητρικού υλικού και το βαθμό της αποσάθρωσής του. Το μέγεθος των στερεών ανόργανων υλικών ποικίλλει από αρκετά μεγάλο (πέτρες, χαλίκια) έως και τεμαχίδια με μικρού και πολύ μικρού μεγέθους, μη ορατά με γυμνό μάτι.

Για πρακτικούς λόγους προέκυψε η ανάγκη της ταξινόμησης αυτών των τεμαχιδίων του εδάφους με βάση το μέγεθός τους σε ομάδες, που ονομάζονται κλάσματα κοκκομετρικής ή μηχανικής συστάσεως. Τα κλάσματα μηχανικής συστάσεως είναι τρία: η άμμος, η ιλύς και η άργιλος. Η εργαστηριακή τεχνική με τη βοήθεια της οποίας γίνεται ο ποσοτικός προσδιορισμός της εκατοστιαίας περιεκτικότητας του εδάφους στα τρία κλάσματα, δηλαδή της κοκκομετρικής συστάσεως, ονομάζεται κοκκομετρική ή αλλιώς μηχανική ανάλυση. Η γνώση της μηχανικής συστάσεως των εδαφών προσανατολίζει για τις φυσικές ιδιότητές τους και εν μέρει και για τις χημικές.

Πολλά συστήματα ταξινόμησης που έχουν αναπτυχθεί σε όλο τον κόσμο (Steinhardt 1979, Gee and Bauder 1986). Η διάκριση στηρίζεται στη διάμετρο των τεμαχιδίων/ κόκκων, που πρακτικά γίνεται με τη χρήση κοσκίνων γνωστής διαμέτρου από τα οποία κοσκινίζεται ποσότητα εδάφους. Τα δύο συστήματα παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον περιλαμβάνονται στους παρακάτω πίνακες.

Στον Πίνακα 8 φαίνεται η διάκριση των σπουδαιότερων κλασμάτων μηχανικής συστάσεως, όπως ορίστηκαν με διεθνή σύμβαση το 1927. Από τον Πίνακα αυτό φαίνεται καθαρά, πως σε μικρή μείωση του μεγέθους των τεμαχιδίων αντιστοιχεί πολύ μεγάλη αύξηση του αριθμού τους, καθώς και της ειδικής τους επιφάνειας. Επομένως, τα μικρότερου μεγέθους κλάσματα του εδάφους παρουσιάζουν μεγαλύτερη ενεργό επιφάνεια από ότι τα μεγαλύτερου και αυτό είναι πολύ σημαντικό για τη συγκράτηση του νερού και των θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος.

**Πίνακας 8: Κλάσματα μηχανικής συστάσεως κατά το Διεθνές σύστημα**

Κλάσμα	Διάμετρος σε mm	Αριθμός τεμαχιδίων ανά g	Ειδική επιφάνεια σε cm <sup>2</sup> /g
Χονδρή άμμος	2 - 0.2	5*10 <sup>2</sup>	20
Λεπτή άμμος	0.2 – 0.02	5*10 <sup>5</sup>	200
Ίλύς	0.02 – 0.002	5*10 <sup>8</sup>	2.000
Άργιλος	< 0.002	5*10 <sup>11</sup>	20.000

Η άμμος (τεμαχίδια διαμέτρου 2-0,02 mm) αποτελείται από αποστρογγυλωμένους, γωνιώδεις ή ακανόνιστους κόκκους, οι οποίοι εξαιτίας της μικρής τους επιφάνειας, σε σχέση με τον όγκο τους, δεν εμφανίζουν πλαστικότητα και συνοχή. Συγκρατεί ελάχιστο νερό, λόγω του μεγάλου πορώδους μεταξύ των κόκκων της. Το κλάσμα αυτό του εδάφους αποτελείται κυρίως από πρωτογενή ορυκτά (π.χ. χαλαζία, αστρίους ) τα οποία, ως γνωστό, δεν εκδηλώνουν αρνητικά φορτία και επομένως δεν μπορούν να συγκρατήσουν κατίοντα (θρεπτικά στοιχεία), αδυνατεί δηλαδή να σχηματίσει ετεροπολικούς δεσμούς με τα θρεπτικά στοιχεία όταν αυτά βρίσκονται υπό την μορφή ιόντων. Το νερό διέρχεται μέσα από την άμμο με μεγάλη ταχύτητα και δημιουργεί πολύ καλές συνθήκες αερισμού και στράγγισης για την ανάπτυξη των φυτών.

Η ίλύς (τεμαχίδια διαμέτρου 0,02-0,002 mm) αποτελείται από κόκκους με ακανόνιστο σχήμα, οι οποίοι παρουσιάζουν ασθενή πλαστικότητα και συνοχή. Δημιουργεί λεπτούς πόρους και συγκρατεί μεγάλες ποσότητες νερού. Προκαλεί δυσμενείς συνθήκες αερισμού για την ανάπτυξη των φυτών. Αποτελείται κυρίως από πρωτογενή και μικρές ποσότητες δευτερογενών ορυκτών και ως εκ τούτου παρουσιάζει μικρή ικανότητα συγκράτησης θρεπτικών στοιχείων.

Η άμμος και η ίλύς χαρακτηρίζονται ως αδρανή-σκελετικά συστατικά του εδάφους.

Η άργιλος (τεμαχίδια διαμέτρου < 2 μm) αποτελείται από κόκκους πεπλατυσμένους. Εξαιτίας του μικρού τους μεγέθους εμφανίζουν μεγάλη ειδική επιφάνεια, γεγονός που επιτρέπει στην άργιλο να συγκρατεί μεγάλες ποσότητες νερού με διάφορες τάσεις και σε ειδικές περιπτώσεις

με τόσο μεγάλες δυνάμεις, που το νερό αποκτά τις ιδιότητες του πάγου. Κατά κανόνα αποτελείται από δευτερογενή ορυκτά τα οποία, εκδηλώνουν αρνητικά φορτία, επομένως η άργιλος έχει και ικανότητα συγκρατήσεως θρεπτικών στοιχείων (ασβέστιο, μαγνήσιο, κάλιο, νάτριο, σίδηρο, κλπ.). Δημιουργούνται έτσι ετεροπολικοί δεσμοί μεταξύ αυτής και των θετικών ιόντων ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  κλπ), μορφή που βρίσκονται τα θρεπτικά στοιχεία στο εδαφικό διάλυμα. Η ταχύτητα κίνησης του νερού είναι πολύ μικρή λόγω των πολύ μικρών πόρων που δημιουργούνται μεταξύ των τεμαχιδίων της αργίλου. Προκαλεί δυσμενείς συνθήκες αερισμού και μεγάλη πλαστικότητα και συνοχή. Η άργιλος όταν διαβρέχεται διαστέλλεται και γίνεται κολλώδης αποβάλλοντας θερμότητα, θερμότητα διαβροχής. Το σύνολο των τεμαχιδίων της αργίλου σε ένα έδαφος αποτελούν το εδαφικό κολλοειδές, ενώ το νερό που εμπλουτισμένο με θρεπτικά στοιχεία κυκλοφορεί μεταξύ του εδαφικού πορώδους καλείται εδαφικό διάλυμα (Nyle C. Brady and Ray R. Weil., 2004).

Για τις συνήθεις εδαφολογικές αναλύσεις κοκκομετρικής συστάσεως έχει καθιερωθεί το Αμερικανικό σύστημα κατάταξης των εδαφικών τεμαχιδίων/κόκκων (Πίνακας 9).

*Πίνακας 9: Κλάσματα μηχανικής συστάσεως κατά U.S Department of Agriculture*

Κλάσμα	Διάμετρος σε mm	Κλάσμα	Διάμετρος σε mm
Πολύ χονδρή άμμος	2 – 1	Χονδρή ιλύς	0.05 – 0.02
Χονδρή άμμος	1 – 0.5	Μέση ιλύς	0.02 – 0.005
Μέση άμμος	0.5 – 0.25	Λεπτή ιλύς	0.005 – 0.002
Λεπτή άμμος	0.25 – 0.1	Χονδρή άργιλος	0.002 – 0.0002
Πολύ λεπτή άμμος	0.1 – 0.05	Λεπτή άργιλος	0.0002

#### ❖ Κλάσεις Μηχανικής Συστάσεως

Τα περισσότερα εδάφη αποτελούνται από μείγμα κάποιου συγκεκριμένου ποσοστού καθ' ενός από τα τρία κλάσματα (άμμος, ιλύς, άργιλος). Επειδή έτσι δημιουργούνται άπειροι συνδυασμοί στο έδαφος, καθίσταται απαραίτητο η ταξινόμηση των εδαφών από πλευράς μηχανικής συστάσεως σε ανά πρακτικό χρήσιμο αριθμό. 12 κατηγορίες/κλάσεις μηχανικής συστάσεως (αμερικανικό σύστημα) (Soil Survey Division Staff, 1993) του εδάφους αναφέρονται στην αναλογία των τριών κλασμάτων, δηλαδή της άμμου, της ιλύος και της αργίλου, στη λεπτή γη (έδαφος που έχει περάσει από κόσκινο 2 mm). Εδάφη με διαφορετικά ποσοστά άμμου, ιλύος και αργίλου κατατάσσονται σε διαφορετικές κλάσεις όπως φαίνεται στο τρίγωνο των κλάσεων μηχανικής συστάσεως (Σχήμα 23). Οι 12 κατηγορίες/ κλάσεις

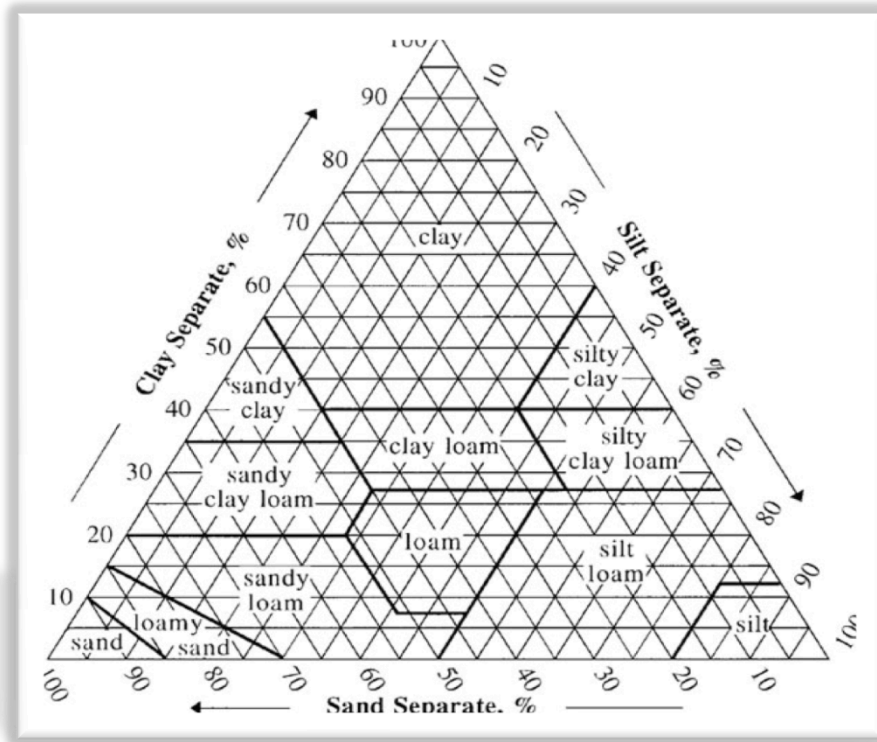
μηχανικής συστάσεως παρατίθονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 10) και είναι ταξινομημένες κατά σειρά μειώσεως του ποσοστού της άμμου και κατά σειρά αύξησεως του ποσοστού της αργίλου, από τα χονδρόκοκκα προς τα λεπτόκοκκα.

**Πίνακας 10: Κλάσεις/κατηγορίες μηχανικής σύστασης**

Αμμώδες	S (sandy)	<b>Χονδρόκοκκα</b>
Πηλοαμμώδες	LS (loam sandy)	
Αμμοπηλώδες	SL (sandy loam)	<b>Μετρίως χονδρόκοκκα</b>
Πηλώδες	L (loam)	<b>Μέσης</b>
Ιλυοπηλώδες	SiL (silty loam)	
Ιλύωδες	Si (silty)	
Αμμοαργιλοπηλώδες	SCL (sandy clay loam)	<b>Μετρίως λεπτόκοκκα</b>
Αργιλοπηλώδες	CL (clay loam)	
Ιλυοαργιλοπηλώδες	SiCL (silty clay loam)	
Αμμοαργιλώδες	SC (sandy clay)	<b>Λεπτόκοκκα</b>
Ιλυοαργιλώδες	SiC (silty clay)	
Αργιλώδες	C (clay)	

Η κατάταξη ενός εδάφους σε κάποια κλάση/ κατηγορία γίνεται με τη βοήθεια του τριγώνου μηχανικής συστάσεως (USDA textural triangle), αφού έχουν προηγουμένως προσδιοριστεί τα ποσοστά της άμμου, της ίλυος και της αργίλου στο έδαφος.

Το τρίγωνο κλάσεων μηχανικής σύστασης (USDA textural triangle) αναπτύχθηκε αρχικά ως κατευθυντήρια οδός στη σωστή διαχείριση μιας καλλιέργειας και στις περαιτέρω γεωργικές πρακτικές, δηλαδή, πώς η κοκκομετρική σύσταση επηρεάζει τις γεωργικές επεμβάσεις. Το τρίγωνο κλάσεων μηχανικής συστάσεως, αποτελεί ουσιαστικά ένα τριγωνικό σύστημα συντεταγμένων, ένα ισόπλευρο τρίγωνο που κάθε πλευρά του παριστά ένα από τα τρία κλάσματα σε ποσοστιαία κλίμακα (0 -100%) (Σχήμα 23). Στο εσωτερικό του τριγώνου υπάρχουν οριοθετημένες οι κλάσεις μηχανικής συστάσεως τους.



Σχήμα 23: Τριγωνικό σύστημα ταξινόμησης εδαφών του U.S. Department of Agriculture  
 Πηγή: [www.usda.gov](http://www.usda.gov)

Εδάφη διαφορετικών κατηγοριών εκδηλώνουν διαφορετικές ιδιότητες:

Τα *αμμώδη (αμμώδες, πηλοαμμώδες)* ή ελαφρά εδάφη στα οποία επικρατεί η άμμος, αερίζονται καλά και θερμαίνονται εύκολα. Δεν μπορούν να συγκρατήσουν υγρασία και θρεπτικά στοιχεία και γι' αυτό χαρακτηρίζονται γενικώς ως πτωχά εδάφη. Είναι δυνατόν όμως με κατάλληλη μεταχείριση (συχνή λίπανση και πότισμα με μικρές δόσεις νερού, όπου υπάρχει η δυνατότητα) τα εδάφη αυτά να γίνουν παραγωγικά. Τα αμμώδη εδάφη είναι εύκολα στην κατεργασία τους και οι ρίζες των φυτών δεν συναντούν αντίσταση στην ανάπτυξή τους. Όμως, φυτά που δεν αναπτύσσουν βαθύ ριζικό σύστημα, έχουν ασθενή στήριξη.

Τα *αργιλώδη (αμμοαργιλώδες, ιλοαργιλώδες, αργιλώδες)* ή *βαριά εδάφη*, στα οποία επικρατεί η άργιλος, δεν αερίζονται καλά ούτε θερμαίνονται εύκολα (έχουν μεγάλη θερμοχωρητικότητα). Συγκρατούν μεγάλες ποσότητες νερού και θρεπτικά στοιχεία και συνήθως δεν είναι εύκολα στην κατεργασία τους (το τελευταίο εξαρτάται από το είδος του ορυκτού που επικρατεί στην άργιλο).



Τα *μέσης συστάσεως* (οι υπόλοιπες 7 κατηγορίες) εδάφη, στα οποία συμμετέχουν και τα τρία κλάσματα περίπου ισόποσα, εκδηλώνουν ενδιάμεσες ιδιότητες των προαναφερόμενων κατηγοριών και θεωρούνται ως τα πιο κατάλληλα για γεωργική εκμετάλλευση (Nyle C. Brady and Ray R. Weil., 2004; Hillel D. 1998).

### **9.2.2 Εδαφική δομή (Soil structure)**

Ο τρόπος ταξινόμησης και ομαδοποίησης των πρωτογενών εδαφικών τεμαχιδίων (μεμονομένων κόκκων) καθορίζει τη μηχανική σύσταση του εδάφους. Ενώ ο τρόπος ταξινόμησης και ομαδοποίησης των δευτερογενών τεμαχιδίων του εδάφους, καθορίζει τη δομή του εδάφους. Τα δευτερογενή τεμαχίδια είναι αποτέλεσμα συνένωσης πρωτογενών κόκκων του εδάφους και ονομάζονται συσσωματώματα (Μουστάκας 2006).

Η δομή του εδάφους επηρεάζει σημαντικά τη διαθεσιμότητα και την κίνηση του νερού, του αέρα και των στοιχείων (G. Scroth 2003). Διαδραματίζει σημαντικό ρόλο σε πολλές διεργασίες στο έδαφος όπως, στη διάβρωση, στη διήθηση, στην ανάπτυξη του ριζικού συστήματος (William A. Jury, Robert Horton 2004d.) που περιορίζεται σε συμπαγή, ξηρά και κακώς αεριζόμενα εδάφη. Σε μεγάλο βαθμό η δομή του εδάφους επηρεάζεται από τις καλλιεργητικές επεμβάσεις (G. Scroth 2003).

Η εδαφική δομή συνδέεται με την διάταξη των μεμονομένων τεμαχιδίων του εδάφους και κυρίως με την συνένωσή τους σε συσσωματώματα, την σταθερότητα αυτών καθώς και με την προκύπτουσα κατανομή των πόρων σε διάφορα μεγέθη (Payne 1988). Η συγκράτηση νερού από το έδαφος, η στράγγιση και ο αερισμός της εδαφικής μάζας, εξαρτώνται από το μέγεθος των εδαφικών πόρων και επομένως η δομή του καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την καταλληλότητά του ως μέσου αναπτύξεως των φυτών.

Η δημιουργία συσσωματωμάτων προϋποθέτει την παρουσία στο έδαφος και των τριών κλασμάτων, δηλαδή της αργίλου, της ιλύος και της άμμου. Τα τεμαχίδια τους επικαλύπτονται από  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  και οξείδια ή υδροξείδια Fe, Al και ενώνονται μεταξύ τους ή κατά ομάδες (Payne 1988). Η σημασία των προαναφερόμενων επικαλύψεων, που χαρακτηρίζονται και σαν συνδετικό ή συγκολλητικό υλικό είναι πολύ μεγάλη, ιδιαίτερα για τη σταθερότητα των συσσωματωμάτων.

#### **❖ Σχηματισμός εδαφικής δομής**

Στο έδαφος η δημιουργία συσσωματωμάτων προϋποθέτει την ύπαρξη διαφόρων συστατικών και κατάλληλων συνθηκών.

Για να δημιουργηθεί εδαφική δομή χρειάζονται ελκτικές δυνάμεις (ηλεκτροστατικές και Van de Waals) για τη συνένωση των πρωτογενών κόκκων σε συσσωματώματα.

Οι δυνάμεις αυτές διακρίνονται σε δυνάμεις συνοχής (αναπτύσσονται μεταξύ όμοιων μορίων) και σε δυνάμεις συνάφειας (αναπτύσσονται μεταξύ διαφορετικών μορίων) Ο βαθμός συνοχής εξαρτάται από τον αριθμό των μορίων και συσχετίζεται με την ειδική επιφάνεια. Η ειδική επιφάνεια αναφέρεται στην επιφάνεια υλικού ανά μονάδα βάρους και εξαρτάται από το σχήμα, το μέγεθος των κόκκων και το είδος των αργιλικών ορυκτών που συνυπάρχουν. Η συνάφεια εκδηλώνεται με την παρουσία συνδετικών υλικών (ηλεκτρολύτες, νερό, χουμικές ενώσεις) μεταξύ των διαφόρων συστατικών του εδάφους.

Διάφορες φυσικές διεργασίες στο έδαφος που έχουν σαν αποτέλεσμα την συρρίκνωση και διόγκωση του εδάφους, η τήξη και η πήξη του εδαφικού νερού καθώς και οι διεργασίες του ριζικού συτήματος όπως η απορρόφηση νερού, η διείσδυση κατά την ανάπτυξή τους και η δράση των οργανισμών του εδάφους, συμβάλλουν στο σχηματισμό της εδαφικής δομής (Milo I. Harpstead., Thomas J. Sauer and William F. Bennett. 2001).

Επομένως, ο σχηματισμός αλλά και η σταθερότητα των συσσωματωμάτων εξαρτώνται από φυσικούς, χημικούς και βιολογικούς παράγοντες και σύμφωνα με τον Rowell (1944) παρουσιάζονται παρακάτω:

**Φυσικοί:** Διαβροχή και αποξήρανση, τήξη και πήξη εδαφικού νερού.

Με την εναλλαγή ύγρανσης – ξήρανσης τα σωματίδια της αργίλου προσανατολίζονται με τέτοιο τρόπο, που έρχονται σε καλύτερη επαφή μεταξύ τους, αυξάνοντας έτσι τις δυνάμεις συνοχής.

Η τήξη και η πήξη του εδαφικού νερού, επηρεάζουν σημαντικά την εδαφική δομή. Η πήξη του εδαφικού νερού έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του όγκου των πόρων, καθώς σχηματίζεται ο πάγος, και κατ' επέκταση προκαλείται συμπίεση μεταξύ των συσσωματωμάτων. Ενώ παράλληλα μετακινείται νερό λόγω της διαφοράς μζήσεώς του, με αποτέλεσμα να αφυδατώνονται τα κολλοειδή. Η απότομη πήξη, οδηγεί πολλές φορές στη διάσπαση των εδαφικών συσσωματωμάτων. Με την απότομη τήξη ο πάγος λιώνει και στο έδαφος επέρχεται υδάτινος κορεσμός. Δεδομένου ότι τα εδαφικά συσσωματώματα έχουν διασπαστεί, το εδαφικό κολλοειδές διασπείρεται.

**Χημικοί:** Αργιλικά ορυκτά και ανταλλάξιμα κατιόντα, οργανική ύλη.

Τα σωματίδια της αργίλου είναι πεπλατυσμένα με μεγάλη χημική επιφάνεια. Έτσι δημιουργούνται μεταξύ τους μεγάλες δυνάμεις συνοχής με αποτέλεσμα την αύξηση

συνεκτικότητας του εδάφους και την δημιουργία εδαφικής δομής. Όσο περισσότερα αργιλικά ορυκτά υπάρχουν στο έδαφος, και όσο

πιο λεπτόκοκκα είναι αυτά, τόσο μεγαλύτερη συνεκτικότητα έχει το έδαφος.

Για να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει η άργιλος να είναι θρομβωμένη. Δηλαδή να είναι κορεσμένη από κατιόντα μεγάλου σθένους και μικρής ακτίνας ενυδάτωσης όπως  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ . Όταν η άργιλος είναι κορεσμένη από μικρού σθένους και μεγάλης ακτίνας ενυδάτωσης, όπως  $\text{Na}^+$ , ευνοείται η διασπορά της αργίλου και η κατστροφή του εδαφικού κολλοειδούς.

Αυτή η διαφορά οφείλεται :

α) Λόγω του μεγάλου φορτίου των ιόντων, οι δυνάμεις μεταξύ αυτών και των ορυκτών της αργίλου είναι μεγαλύτερες και κατά συνέπεια τα ορυκτά της αργίλου συγκρατούνται πιο ισχυρά.

β) Λόγω της μικρής ακτίνας ενυδάτωσης τα ορυκτά της αργίλου είναι πιο κοντά με αποτέλεσμα η διασπορά τους να είναι πιο δύσκολη (Κοσμάς 1998).

Η οργανική ύλη αποτελεί σημαντικό παράγοντα στο σχηματισμό συσσωματωμάτων και στη δημιουργία σταθερών μορφών εδαφικής δομής. Τα οργανικά κολλοειδή συνδέουν τους πρωτογενείς κόκκους μεταξύ τους, δημιουργώντας σταθερή δομή (H. Don Scott 2000).

**Βιολογικοί:** Μικροοργανισμοί εδάφους και ριζικό σύστημα.

Καθώς οι ρίζες των φυτών αναπτύσσονται και διεισδύουν στο έδαφος, ασκούν μηχανική πίεση στα στερεά τεμαχίδια του εδάφους, αυξάνοντας τα συσσωματώματα. Απορροφούν νερό και έτσι συμβάλλουν στη συρρίκνωση του εδάφους. Επίσης, λόγω των υπολειμμάτων τους αυξάνεται η οργανική ουσία του εδάφους.

Οι γαιοσκώληκες διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη συσσωμάτωση του εδαφικού υλικού. Η συσσωμάτωση αυτή επιτυγχάνεται με την ανάμιξη στον πεπτικό τους σύστημα οργανικών ουσιών και ανόργανων εδαφικών συστατικών. Η συσσωμάτωση ευνοείται επίσης από τις στοές που διανοίγουν οι γαιοσκώληκες και από τη μεταφορά οργανικού υλικού σε διάφορα σημεία του εδάφους κατά τη μετακίνησή τους.

Ανάλογα με το πόσο καλά είναι οργανωμένη η δομή ενός εδάφους, τόσο πιο ανεπτυγμένο είναι και το εδαφικό του πορώδες. Το μέγεθος των εδαφικών πόρων, η κατανομή τους και ο συνολικός τους όγκος εξαρτάται από τη δομή και την υφή του εδάφους (H. Don Scott 2000).

Το επιθυμητό πορώδες εξαρτάται από την χρήση γης. Σε γενικές γραμμές, το επιθυμητό πορώδες περιλαμβάνει τόσο μεγάλους όσο και τριχοειδείς πόρους, δηλαδή εδάφη μέσης κοκκώδους ή ψιχοειδούς δομής, πλούσια σε οργανική ύλη και κατεργασμένη από γαιοσκώληκες. Για τις καλλιέργειες η εδαφική δομή εξαρτάται από παράγοντες όπως:

το είδος φυτού, οι κλιματικές συνθήκες, οι καλλιεργητικές τεχνικές και το τοπογραφικό ανάγλυφο.

### 9.2.3. pH

Πολλά φυσικοχημικά φαινόμενα εξαρτώνται από την οξύτητα δηλ. την συγκέντρωση των ιόντων  $H^+(aq)$  των διαλυμάτων. Για την αποφυγή αρνητικών εκθετικών εκφράσεων και την εν γένει απλοποίηση των υπολογισμών που περιλαμβάνουν συγκεντρώσεις ιόντων  $H^+(aq)$  ο S.P.L. Sorensen εισήγαγε το 1909 τον όρο pH. Σύμφωνα προς τον ορισμό κατά Sorensen pH είναι ο αρνητικός δεκαδικός λογάριθμος της συγκεντρώσεως (moles/l) των ιόντων υδρογόνου στο εδαφικό διάλυμα συμβολίζεται δε με pH, από τα αρχικά των γαλλικών λέξεων Prouvoir Hydrogene. Είναι δηλαδή:

$$pH = -\log[H^+] = \log(1/[H^+]).$$

Η κλίμακα των τιμών του pH έχει θεωρητικά σ' ένα υδατικό σύστημα άκρα όρια το 0 και το 14. Επειδή δε είναι λογαριθμική οι αντίστοιχες συγκεντρώσεις υδρογονιόντων είναι:

$$pH = 0 \rightarrow 0 = -\log [H^+] \Leftrightarrow [H^+] = 10^0 = 1 \text{ mol/l}$$

$$pH = 14 \rightarrow 14 = -\log [H^+] \Leftrightarrow [H^+] = 10^{-14} \text{ moles/l}$$

Οι τιμές του pH 0 έως 7 χαρακτηρίζουν το διάλυμα όξινο, ενώ οι τιμές πάνω από 7 έως 14 το χαρακτηρίζουν αλκαλικό.

Καθώς ανεβαίνει η τιμή του pH έχουμε μείωση της συγκέντρωσης των ιόντων  $[H^+]$  και αύξηση της συγκέντρωσης των  $[OH^-]$ , γιατί τα  $[H^+]$  βρίσκονται σε ισορροπία με τα  $[OH^-]$  και συνδέονται με τη σχέση  $[H^+].[OH^-] = k_w = 10^{-14}$ . Όταν το pH είναι ίσο με 7 τότε ισχύει  $[H^+] = [OH^-] = 10^{-7}$

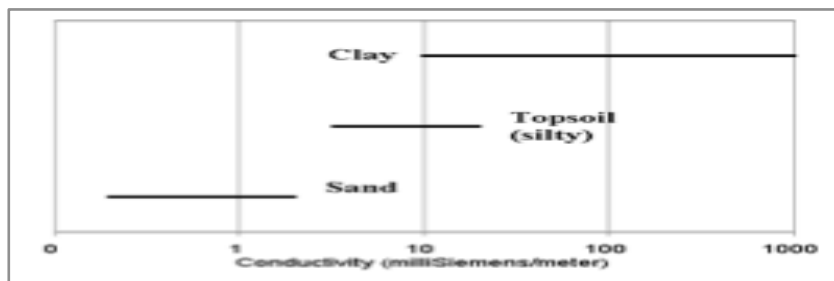
Το pH καθορίζει τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων για τα φυτά και τους μικροοργανισμούς ελέγχοντας τη διαλυτότητά τους και την προσρόφηση ή τη δέσμευσή τους στη στερεά φάση (Arshad and Martin 2002). Επαρκής ανάπτυξη των καλλιεργούμενων φυτικών ειδών επιτρέπεται σε τιμές pH από 6-7.5, σε αυτό το εύρος συμβαίνει λόγω αυξημένης διαθεσιμότητας των θρεπτικών στοιχείων και επειδή ευνοείται η δραστηριότητα των μικροοργανισμών. Οι τιμές του pH επηρεάζονται από παράγοντες όπως η εδαφογένεση (μητρικό υλικό, κλίμα, τοπογραφία), η βιολογική δραστηριότητα, η λίπανση και η οργανική ουσία του εδάφους (Smith and Doran 1996). Το pH αποτελεί δείκτη της διαθεσιμότητας του εδάφους σε θρεπτικά συστατικά, καθώς επίσης και της παρουσίας ελευθέρων οξέων, ιόντων τρισθενούς αργιλίου, υδροξυ-αργιλίου, ανθρακικού ασβεστίου και ανθρακικού νατρίου

(Thomas 1996). Αύξηση του συνεπάγεται αύξηση της ΙΑΚ (Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων- Cation Exchange Capacity, CEC) εκτός των άλλων παραγόντων που προκαλούν την αύξησή της (κοκκομετρική σύσταση, ορυκτολογική σύσταση π.χ χλωρίτης λόγω ισόμορφης αντικατάστασης, οργανική ουσία).

#### 9.2.4 Ηλεκτρική αγωγιμότητα (Electrical Conductivity/EC)

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα ενός υλικού είναι ένα μέγεθος που εκφράζει την ικανότητα του αυτού να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα στην πραγματικότητα είναι η ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα ενός αγωγού ηλεκτρικού ρεύματος, η οποία ως γνωστόν εξαρτάται από την φύση του αγωγού.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα ενός υλικού είναι μία φυσική ιδιότητα όπως το πορώδες, η φαινομενική πυκνότητα κ.α. Η χρησιμότητα της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ενός εδάφους έγκειται στο γεγονός ότι η άμμος παρουσιάζει χαμηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα, η ιλύς μέση και η άργιλος υψηλή (Σχήμα 24). Επομένως, η ηλεκτρική αγωγιμότητα συσχετίζεται έντονα με το μέγεθος των εδαφικών κόκκων και την κοκκομετρική σύσταση (Williams and Hoey, 1987). Σύμφωνα με μελέτες, έχει αποδειχθεί σημαντική συσχέτιση της EC με την υδατοϊκανότητα του εδάφους (Kachanoski et al., 1990; Kachanoski et al., 1988), οργανική ύλη του εδάφους (Jaynes et al., 1995; Banton et al., 1997), αλατότητα και τη μηχανική σύσταση του εδάφους (Williams and Hoey 1987; Banton et al., 1997).



Σχήμα 24: Ηλεκτρική αγωγιμότητα (mS/m) ανάλογα με τη κοκκομετρική-μηχανική σύσταση.  
Πηγή: Lund E.D., Christy C.D., Drummond P.E. 1999

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα εκτός από την κοκκομετρική σύσταση όπως προαναφέρθηκε, συσχετίζεται σημαντικά και με άλλες φυσικές εδαφικές ιδιότητες, οι οποίες επιδρούν στην παραγωγικότητα/ αποδοτικότητα ενός εδάφους, όπως:

- Οργανική ουσία: ο οργανικός άνθρακας συσσωρεύεται σε κακώς αποστραγγιζόμενα εδάφη με υψηλά ποσοστά άργιλου (Jaynes et al., 1994).
- Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων, ΙΑΚ (Cation Exchange Capacity, CEC): Η ΙΑΚ σχετίζεται με το ποσοστό της οργανικής ουσίας και της άργιλου, αύξηση της οργανικής

ουσίας καθώς και της αργίλου αυξάνουν την ΙΑΚ. Επομένως η συσχέτιση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας με την ΙΑΚ, βασίζεται στη σχέση της ΙΑΚ με την άργιλο (McBride et al., 1990).

- Βάθος αργλικού ορίζοντα: η ανταπόκριση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στη παρουσία αργίλου, χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του βάθους του αργλικού ορίζοντα από την επιφάνεια του εδάφους (Doolittle et al., 1994; Jaynes 1996).

- Υδατοϊκανότητα: περιοχές ξηρές ή με υπερβολική υγρασία, παρουσιάζουν συνήθως σημαντικές διαφορές στην κοκκομετρική τους σύσταση και αυτό μπορεί να ανιχνευθεί μέσω της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (Jaynes 1996). Εδάφη μέσης ηλεκτρικής αγωγιμότητας, μέσης σύστασης και που βρίσκονται σε μέσα επίπεδα υδατοϊκανότητας, μπορεί να είναι και τα πιο παραγωγικά (Kitchen et al., 1996). Όταν η εδαφική υγρασία, απαρτίζεται από υψηλό επίπεδο σε άλατα, δεν είναι διαθέσιμη ως προς τις ρίζες του φυτού, προκαλώντας τα συμπτώματα της ξηρασίας, ακόμα και όταν υπάρχει άφθονο νερό. Γι' αυτό και πρέπει η διαθέσιμη υγρασία να διατηρείται σε υψηλά επίπεδα.

- Αλατότητα: περίσσεια υδατοδιαλυτών αλάτων στο εδαφικό διάλυμα συσχετίζεται σημαντικά με την ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους (Rhoades and Corwin 1981). Η υψηλή αλατότητα ενός εδάφους επιβεβαιώνεται από τις σημαντικά υψηλότερες τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας που παρουσιάζει απ' ότι σε μη αλατούχα εδάφη.

Ανάλογα με τη τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εκχυλίσματος κορεσμού έχουμε και διαφορετικές επιδράσεις στις καλλιέργειες (Πίνακας 11).

**Πίνακας 11: Τιμές EC του εκχυλίσματος κορεσμού και επιδράσεις επί καλλιεργειών.**

<b>EC dS/m</b>	<b>ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ</b>	<b>ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ</b>
<b>0 - 0.98</b>	ΜΗ ΑΛΑΤΟΥΧΟ	ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΔΕΝ ΕΧΟΥΝ ΔΥΣΜΕΝΕΙΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΟΙ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ
<b>0.98 - 1.71</b>	ΕΛΑΦΡΑ ΑΛΑΤΟΥΧΟ	ΕΠΗΡΕΑΖΟΝΤΑΙ ΟΙ ΠΟΛΥ ΕΥΑΙΣΘΗΤΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ
<b>1.71 - 3.16</b>	ΑΛΑΤΟΥΧΟ	ΜΕΙΩΝΟΝΤΑΙ ΟΙ ΑΠΟΔΟΣΕΙΣ ΤΩΝ ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ
<b>3.16 - 6.07</b>	ΜΕΤΡΙΑ ΑΛΑΤΟΥΧΟ	ΜΟΝΟ ΟΙ ΑΝΘΕΚΤΙΚΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ ΕΧΟΥΝ ΙΚΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΕΣ ΑΠΟΔΟΣΕΙΣ
<b>&gt; 6.07</b>	ΙΣΧΥΡΑ ΑΛΑΤΟΥΧΟ	ΣΧΕΔΟΝ ΟΛΕΣ ΟΙ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ ΕΜΦΑΝΙΖΟΥΝ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΑΤΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

Πηγή : Soil Survey Staff (1993) ; Smith and Doran (1996).

### 9.2.5. Υγρασία εδάφους (soil moisture)

Το νερό αποτελεί θεμελιώδες συστατικό των φυτών και το μοναδικό μέσο μεταφοράς των θρεπτικών στοιχείων που προσλαμβάνει το φυτό με τις ρίζες από το έδαφος. Επομένως, η ανάπτυξη των φυτών επηρεάζεται άμεσα από την περίσσεια ή την έλλειψη του στο έδαφος. Η ποσότητα του νερού που υπάρχει στο έδαφος σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή χαρακτηρίζεται ως υγρασία και ορίζεται ως το πηλικό της μάζας του νερού προς τη μάζα του εδάφους. Κάθε έδαφος μπορεί να συγκρατήσει μια καθορισμένη ποσότητα νερού, η οποία εξαρτάται κυρίως από το πορώδες, την κοκκομετρική σύσταση και την περιεχόμενη σε αυτό οργανική ουσία (Σιδηράς 2002). Κατά τους Gardner et al. (1991) ο όρος περιεχόμενο στο έδαφος νερό που είναι ταυτόσημος με τον όρο εδαφική υγρασία, αναφέρεται στο νερό που θα απομακρυνθεί από το έδαφος, όταν αυτό θερμανθεί σε θερμοκρασία μεταξύ 100 και 110 °C έως ότου σταθεροποιηθεί το βάρος του. Ο ορισμός αυτός της εδαφικής υγρασίας κατά τους ίδιους συγγραφείς δεν στηρίζεται σε θεωρητική επιστημονική βάση, αποτελεί όμως την αρχή στην οποία στηρίζεται η σταθμική μέθοδος προσδιορισμού της εδαφικής υγρασίας.

Η κίνηση του νερού στο έδαφος καθοδηγείται από πολλές δυνάμεις που δημιουργούν δυναμικά πεδία και επενεργούν στο εδαφικό διάλυμα. Μερικές απ' αυτές τις δυνάμεις οφείλονται στη βαρύτητα, στην ατμοσφαιρική πίεση και στη στερεά φάση του εδάφους. Επίσης οι θερμοκρασιακές διαφορές, η συγκέντρωση αλάτων και η δράση των ριζών των φυτών επηρεάζουν την κίνηση του εδαφικού νερού. Υπό την επίδραση των δυνάμεων αυτών το νερό βρίσκεται σε συνεχή κίνηση και μπορεί να κινηθεί προς διάφορες κατευθύνσεις. Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της κίνησης διαμορφώνονται κατά περίπτωση από τη μορφή και τη διάταξη των εδαφικών πόρων.

Η ικανότητα του εδάφους να συγκρατεί νερό, ενάντια στη δύναμη της βαρύτητας εξαρτάται από διάφορα χαρακτηριστικά, όπως η κοκκομετρική σύσταση (Aina και Periaswamy, 1985) η δομή του εδάφους (Jamison, 1953; Boix et al., 1996) και η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία (Salter et al., 1966; Vereecken et al., 1989). Μεγάλη ικανότητα συγκράτησης υγρασίας όπως έχει προαναφερθεί έχουν τα αργιλώδη εδάφη, ( με δυνάμεις ίσες ή μεγαλύτερες των 15 bar) διότι αυτά εμφανίζουν σχετικά μεγάλο ποσοστό μικροπόρων. Το κλάσμα της ιλύος συμβάλει σημαντικά στην ικανότητα συγκράτησης νερού (Peterson et al., 1968) καθώς και η συμβόλη της οργανικής ουσίας στην αυξημένη ικανότητα συγκράτησης νερού (De Jong et al., 1983; Vereecken et al., 1989).

Οι κλιματικές συνθήκες όπως η φωτοπερίοδος, η ηλιακή ακτινοβολία και η θερμοκρασία του περιβάλλοντος, επηρεάζουν άμεσα την ανάπτυξη του φυτού και το σχηματισμό φυτικής μάζας, αλλά και έμμεσα, διαμορφώνοντας το έλλειμμα κορεσμού της ατμόσφαιρας. Το τελευταίο καθορίζει την ποσότητα του νερού που θα μεταφερθεί από το έδαφος προς την ατμόσφαιρα με τη διαδικασία της εξάτμισης και της διαπνοής. Η μεταφορά αυτή του νερού είναι σημαντική για την κανονική λειτουργία του φυτού, συντελείται κυρίως με τη διαδικασία της διαπνοής και εξαρτάται από την υγρασιακή κατάσταση του φυτού. Η τελευταία με τη σειρά της εξαρτάται από το επισφαλές ισοζύγιο μεταξύ της απώλειας νερού προς την ατμόσφαιρα και της πρόσληψης νερού από το έδαφος (Wenkert, 1983). Η πρόσληψη νερού από το έδαφος είναι συνάρτηση της ανάπτυξης του ριζικού συστήματος, των υδραυλικών και φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους και της εδαφικής υγρασίας.

Η εδαφική υγρασία προέρχεται από τις βροχοπτώσεις, την άρδευση και την τριχοειδή ανύψωση από τους υπόγειους υδροφορείς και η κατανομή της με το βάθος είναι αποτέλεσμα της κίνησης του νερού στο έδαφος. Σύμφωνα με βιβλιογραφικές αναφορές, παράγοντες όπως η χρήση γής (Fu et al., 2000), η κλίση του εδάφους (Moore et al., 1988) καθώς και η έκθεση/προσανατολισμός (Western et al., 1999), το υψόμετρο (Grave and Gascuel-odux, 1997), ιδιότητες του εδάφους (Reynolds, 1970a), τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (Famiglietti et al., 1998) και η ηλικία ακτινοβολία (Western et al., 1999) επηρεάζουν το ποσοστό και την κατανομή της εδαφικής υγρασίας.

Υδατοχωρητικότητα, ορίζεται η ποσότητα του νερού σε κατάσταση κορεσμού του εδάφους, δηλαδή όταν όλοι οι εδαφικοί πόροι πληρούνται με νερό. Κατα τη διαδικασία όμως της πληρώσεως των πόρων με νερό εγκλωβίζεται μέσα σ' αυτούς και αέρας. Τα φυτά μπορούν μεν να προσλαμβάνουν εύκολα υγρασία, υποφέρουν όμως από ανεπάρκεια οξυγόνου.

Η ποσότητα του νερού που παραμένει στο έδαφος μετά την αποστράγγιση του και την καθοδική κίνηση προς τα βαθύτερα εδαφικά στρώματα καλείται υδατοϊκανότητα (*FC, Field Capacity*). Η υδατοϊκανότητα εκφράζει την ποσότητα της εδαφικής υγρασίας που μπορεί να συγκρατήσει ένα έδαφος μετά από 2 ή 3 μέρες μετά τον κορεσμό του από φυσική ή τεχνητή βροχή. Είναι το νερό που μπορεί να συγκρατήσει το έδαφος και να το διαθέσει και για τα φυτά (Norton E.R and J.C Silvertooth 1997).

Το ποσοστό του νερού που υπάρχει στο έδαφος όταν τα φυτά μαραίνονται οριστικά, επειδή δεν μπορούν να απορροφήσουν τα φυτά από το έδαφος, αφού πρέπει να ασκήσουν υποπίεση μεγαλύτερη από 15 atm, καλείται σημείο μάρανσης ή σημείο μόνιμης μάρανσης (*WP, Wilting Point or PWP, Permanent Wilting Point*). Σε αντίθεση με τον όρο της υδατοϊκανότητας, ο



όρος του σημείου μάρανσης είναι συνηφασμένος με τους γνωστούς επιστήμονες, Briggs and Shantz (1912). Προσδιόρισαν τον «δείκτη μάρανσης» (σημείο μάρανσης) ως «το ποσοστό της υγρασίας στο έδαφος, όταν τα φύλλα των φυτών που αναπτύσσονται σ' αυτό υποβληθούν σε μείωση της υδατικής τους υγρασίας και σε μόνιμο μαρασμό ως αποτέλεσμα της ανεπάρκειας διαθέσιμης εδαφικής υγρασίας» (Briggs and Shantz 1912).

Το διαθέσιμο νερό *PAW* (*Plant Available Water*) για τα φυτά προκύπτει από τη διαφορά μεταξύ της υδατοϊκανότητας *FC* (*Field Capacity*) και του σημείου μάρανσης *WP* (*Wilting Point*) ( $PAW = FC - WP$ ). Είναι το τριχοειδές νερό που βρίσκεται στους μέσους πόρους. Σε γενικές γραμμές, *PAW* προσδιορίζεται (Miller and Donohue 1995), ως η διαφορά μεταξύ της ικανότητας συγκράτησης νερού υπό δυνάμεις -33 kPa (*FC*) και υπό -1500 kPa (*PWP*). Η διαθέσιμη ποσότητα νερού ως προς τα φυτά (*PAW*) εξαρτάται έντονα από την μηχανική σύσταση του εδάφους (Norton E.R and J.C Silvertooth 1997).

Η γνώση της εδαφικής υγρασίας και η δυνατότητα ελέγχου αυτής, ώστε να επιτευχθούν βέλτιστες συνθήκες για την ανάπτυξη των φυτών, οπωσδήποτε δεν είναι καινούργια ιδέα. Ήταν γνωστή και προέτρεψε πολλούς ερευνητές να αναπτύξουν συστήματα αυτόματης άρδευσης.

Η εξάρτηση της γεωργικής παραγωγής από το νερό είναι εμφανής και καταγραμμένη με τη μορφή εξισώσεων σε πλήθος ερευνητικών εργασιών (Doorenbos, J. and Kassam, A. H., 1979; Hexen, R. W. and Heady E. O., 1978; Stewart, J. R. and Hagan, R. M., 1973).

Για τη μέτρηση της εδαφικής υγρασίας χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι που ταξινομούνται σε άμεσες και έμμεσες (Gardner et al., 1991). Οι άμεσες μέθοδοι απαιτούν τη λήψη δειγμάτων από το έδαφος, κάθε φορά που επιζητείται η μέτρηση της υγρασίας του. Από τα δείγματα αφαιρείται το νερό με θέρμανση ή με κάποια χημική διαδικασία και προσδιορίζεται η ποσότητα του νερού που απομακρύνεται. Η κυριότερη μέθοδος αυτής της κατηγορίας είναι η σταθμική μέθοδος στην οποία το νερό απομακρύνεται από το εδαφικό δείγμα με θέρμανση στους 105 °C έως ότου σταθεροποιηθεί το βάρος του (Gardner et al., 1991). Στις έμμεσες μεθόδους η εδαφική υγρασία προσδιορίζεται έμμεσα από τις μετρήσεις φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους, οι οποίες συναρτώνται με την εδαφική υγρασία. Οι μετρήσεις των φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους γίνονται με μόνιμα τοποθετημένους στο έδαφος αισθητήρες, οι οποίοι συνδέονται με μία μονάδα μέτρησης, κάθε φορά που απαιτείται η μέτρηση της υγρασίας.

### **9.2.6. Ανθρακικό ασβέστιο (CaCO<sub>3</sub>)**

Τα ελεύθερα ανθρακικά άλατα υπάρχουν στο έδαφος ως αποτέλεσμα της αποσάθρωσης ιζηματογενών (ασβεστόλιθοι, δολομίτες κ.α.) και μεταμορφωμένων (μάρμαρα) πετρωμάτων και εμφανίζονται σε εδάφη που προέρχονται ή έχουν μεταφερθεί από τέτοια μητρικά πετρώματα. Αποτελούνται κυρίως από ανθρακικό ασβέστιο και δευτερευόντως από ανθρακικό μαγνήσιο και άλλα ανθρακικά άλατα. Λόγω της συντριπτικής υπεροχής της περιεκτικότητας σε ανθρακικό ασβέστιο έχει στην πράξη καθιερωθεί να αναφέρεται ως εργαστηριακός προσδιορισμός ως μέθοδος του ανθρακικού ασβεστίου.

Η παρουσία τους στο έδαφος, αποτελεί εγγύηση ότι αυτό δεν κινδυνεύει να οξινοσθεί, εξασφαλίζει τη καλή στράγγιση του εδάφους αποφεύγοντας έτσι τον κίνδυνο νατρίωσης. Το CaCO<sub>3</sub> αποτελεί μία από τις πηγές προμήθειας των εδαφών σε Ca<sup>2+</sup> που είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη συσσωματωμάτων. Συνέπεια αυτών είναι η δημιουργία κατάλληλης δομής και ευνοϊκού πορώδους για την καλή στράγγιση και τον αερισμό των εδαφών, συνθήκες που είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη των φυτών.

### **9.2.7. Οργανική ουσία εδάφους (SOM/Soil Organic Matter)**

Μεταξύ των παραμέτρων που προσδιορίζουν την ποιότητα του εδάφους, βασική θέση κατέχει η οργανική ουσία. Σχετικά, οι Larson and Pierce (1991), Dalal and Parkin (1994) και Doran and Parkin (1994), υποστηρίζουν ότι η οργανική ουσία αποτελεί το «βασικό» και «μοναδικό» κριτήριο – δείκτη της ποιότητας του εδάφους γιατί είναι η πρωτογενής πηγή και παρακαταθήκη θρεπτικών για τα φυτά. Είναι απαραίτητη για την διατήρηση επιθυμητής δομής του εδάφους, τη συγκράτηση υγρασίας, τη μείωση της διάβρωσης τη διήθηση του νερού και του αέρα και τέλος για τον έλεγχο της αποτελεσματικότητας και της τύχης των εφαρμοζόμενων στο έδαφος, γεωργικών φαρμάκων.

Επιδρά στην αποσάθρωση των πετρωμάτων και των ορυκτών, στη γένεση του εδάφους, στη διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων και στη γονιμότητα, στις ιοντοανταλλακτικές αντιδράσεις, στο επίπεδο του νερού, στον εφοδιασμό των φυτών με θρεπτικά, στο σχηματισμό της δομής και στις διάφορες ζωτικής σημασίας διεργασίες του εδάφους όπως: στη νιτροποίηση, απονοτροποίηση και βιολογική δέσμευση του N.

Η οργανική ύλη είναι το πιο ενεργό τμήμα του εδάφους, ενεργεί ως δεξαμενή απαραίτητων θρεπτικών στοιχείων, κυρίως C, N, S και P (Hinrich L. Bohn., Brian L. McNeal. and George A. O' Connor. 2001). Το έδαφος περιλαμβάνει μια ποικιλία από οργανικά υλικά, που

κυμαίνεται από πρόσφατα υπολείμματα ριζών, τη πανίδα καθώς και από νεκρούς ιστούς σε διάφορα στάδια αποσύνθεσης τους μέχρι και τα σχετικά σταθερά, ανθεκτικά προϊόντα χημικής αποσύνθεσης, ενώσεις με δυσκολία προσδιορισμού της χημικής δομής τους που αποτελούν τον απόκαλουμενο χούμο (Jenkinson 1988b). Κατά μία ευρύτερη έννοια ο όρος της οργανικής ουσίας, συμπεριλαμβάνει το σύνολο των ενώσεων του άνθρακα πλην των ανθρακικών αλάτων (Stevenson 1982; Schnitzer and Schulten 1998).

Συμπερασματικά, η οργανική ουσία του εδάφους διαιρείται σε τρία μέρη: 1) στους ζωντανούς οργανισμούς (μικροχλωρίδα και μικροπανίδα) ή βιομάζα, 2) στα νεκρά φυτικά και ζωικά υπολείμματα και 3) στη χουμοποιημένη οργανική ύλη ή χούμο. Τα ζωντανά και τα νεκρά υπολείμματα (μη χουμικές ενώσεις) αποτελούν βασική πηγή ενέργειας για τους ζωντανούς οργανισμούς οι οποίοι υποβάλλουν την οργανική ύλη σε συνεχείς διεργασίες αποσύνθεσης και σύνθεσης νέων ουσιών με τελικό προϊόν το χούμο (Henry D. Foth and Boyd G. Ellis 1997)

Τα εδάφη διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό ως προς το περιεχόμενο ποσοστό τους σε οργανική ουσία. Εδάφη που φιλοξενούν βοσκότοπους, λειμώνια φυτά (ποολίβαδα) (Mollisols) μπορεί να περιέχουν 5-6% SOM κατ'όγκο σε βάθος των 15 εκατοστών, ενώ αμμώδες εδάφος (Aridisols) περιέχει λίγο περισσότερο από 0,1%. Τα κακώς αποστραγγιζόμενα εδάφη (Aquipts) συχνά κατέχουν οργανική ουσία σε ποσοστό άνω του 10%, και εδάφη τυρφώδη/οργανικά (Histosols) περιέχουν περίπου 100% οργανική ουσία. Αν και η οργανική ουσία στα περισσότερα εδάφη κυμαίνεται σε 0,5 - 5% κατ'όγκο, την ενεργό κολλοειδή συμπεριφορά της οργανικής ουσίας επηρεάζουν σημαντικά οι φυσικές και χημικές εδαφικές ιδιότητες (Hinrich L. Bohn., Brian L. McNeal. and George A. O' Connor. 2001).

Η συσσώρευση της οργανικής ουσίας στο έδαφος είναι αποτέλεσμα ισορροπίας μεταξύ του ρυθμού χουμοποίησης και οξείδωσης της, της διαφοράς μεταξύ του σχηματισμού της οργανικής ουσίας και των απωλειών της. Ο μεν σχηματισμός της εξαρτάται από το ρυθμό εισροής στο έδαφος φυτικών και ζωικών υπολειμμάτων, οι δε απώλειες της οφείλονται στην οξείδωση και στη διάβρωση του εδάφους. Την ισορροπία αυτή επηρεάζουν διάφοροι παράγοντες, που ανάλογα με την έκταση της επίδρασης που ασκούν, συμβάλλουν στην αντίστοιχη συσσώρευση της οργανικής ουσίας στο έδαφος. Οι παράγοντες αυτοί είναι κατά σειρά σπουδαιότητας οι εξής: κλίμα, βλάστηση, τοπογραφία, μητρικό υλικό και ο χρόνος. Επίσης, σημαντικό ρόλο παίζει και το σύστημα διαχείρισης των καλλιεργειών και του εδάφους (Jenny 1930, 1960).

- Το κλίμα επηρεάζει (1) τη ποικιλία των αναπτυσσόμενων φυτικών ειδών, (2) τη ποσότητα του φυτικού υλικού που παράγεται, και (3) τη ένταση της μικροβιακής δραστηριότητας. Η υψηλή θερμοκρασία επιταχύνει τη μικροβιακή οξείδωση της οργανικής ουσίας (Hinrich L. Bohn., Brian L. McNeal. and George A. O' Connor. 2001).
- Το επίπεδο της οργανικής ουσίας σχετίζεται άμεσα με τη *βλάστηση* της περιοχής. Τα εδάφη των ποολιβάδων, που επικρατούν λειμώνια φυτά, έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε οργανική ουσία που οφείλεται στην παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων «φυτομάζας», η οποία αποτελεί την πρώτη ύλη για το σχηματισμό της οργανικής ουσίας. Οποιαδήποτε μεταβολή της φυτικής κάλυψης του εδάφους συνεπάγεται αντίστοιχες μεταβολές στην περιεκτικότητα της οργανικής ουσίας.
- Η *τοπογραφική διαμόρφωση* δοθείσης περιοχής δηλ. το μικροανάγλυφο, επηρεάζει τις επιδράσεις του μικροκλίματος, της επιφανειακής απορροής, στράγγισης, εξάτμισης και διαπνοής στη ανάπτυξη της βλάστησης. Εδάφη που βρίσκονται σε τοπογραφικές υφέσεις (κοιλώματα) είναι κατά κανόνα πλούσια σε οργανική ουσία από τα αντίστοιχα των περιοχών που βρίσκονται σε τοπογραφικές εξάρσεις. Αυτό εξηγείται από το ότι στις υφέσεις η στράγγιση είναι ανεπαρκής λόγω συσσώρευσης αργίλου ή λεπτόκοκκου εδάφους.
- Η μηχανική σύσταση του εδάφους σχετίζεται στενά με τη φύση του *μητρικού πετρώματος* και δεδομένης της σχέσης μεταξύ της κοκκομετρικής σύστασης του εδάφους και κυρίως της αργίλου με την οργανική ουσία, γίνεται φανερή η σπουδαιότητα του μητρικού πετρώματος στην οργανική ουσία. Η άργιλος προσροφά την οργανική ουσία στην επιφάνειά της και την κάνει απρόσβλητη από τους μικροοργανισμούς. Έτσι, την προστατεύει από την αποσύνθεση και διατηρεί το επίπεδό της περίπου σταθερό (Stevenson 1982).
- Με την πάροδο του *χρόνου* και με την επίδραση των παραγόντων της εδαφογένεσης επιτυγχάνεται μια ισορροπία μεταξύ της παραγωγής οργανικής ουσίας και των απωλειών της. Κατ' αρχήν ο ρυθμός συσσώρευσης είναι υψηλός, στη συνέχεια όμως μειώνεται και σταθεροποιείται στο επίπεδο ισορροπίας, το οποίο για να επιτευχθεί, απαιτούνται 110 χρόνια για τα λεπτόκοκκα εδάφη και μέχρι 1500 χρόνια για τα αμμώδη (Π.Χ Κουκουλάκης, Α.Δ. Σιμώνης, Α.Κ Γκέρτσης, 2000).

Η μηχανική κατεργασία του εδάφους επιταχύνει τον ρυθμό οξείδωσης της οργανικής ουσίας. Όταν μια περιοχή τίθεται για πρώτη φορά σε καλλιέργεια, κατ' αρχήν παρατηρείται μία μείωση της οργανικής ουσίας (Stevenson 1965).

### 9.2.8. Χημικές επιβαρύνσεις – Βαρέα μέταλλα (Heavy Metals)

Η ρύπανση του περιβάλλοντος με βαρέα μέταλλα είναι ένα μεγάλο πρόβλημα που προκαλεί ανησυχία για το περιβάλλον και για τη δημόσια υγεία σε πολλές περιοχές του κόσμου. Βαρέα μέταλλα είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για μια μεγάλη ομάδα ιχνοστοιχείων που έχουν μεγάλη σημασία και στη βιομηχανία και στην βιολογία ( Alloway, 1995). Τα βαρέα μέταλλα υπάρχουν στα πετρώματα και στα εδάφη, κυρίως σε μορφές που δεν είναι διαθέσιμες στους ζώντες οργανισμούς( φυτά, ζώα και άνθρωπο). Αυτά τα μέταλλα συσσωρεύονται στα εδάφη μέσω της διαδικασίας της αποσάθρωσης των πετρωμάτων και οι συγκεντρώσεις τους ποικίλουν μεταξύ των τύπων των εδαφών.

Τα βαρέα μέταλλα απαντώνται κανονικά συνήθως στα εδάφη σε σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις, ως αποτέλεσμα εδαφογενετικών διαδικασιών που πραγματοποιούνται στα πετρώματα πάνω στα οποία σχηματίζονται τα εδάφη (Alloway 1995).

Στα εδάφη τα βαρέα μέταλλα υπάρχουν σε διάφορες μορφές όπως (Cummingham and Berti 1993):

- Σύμπλοκα και ελεύθερα ιόντα στο εδαφικό διάλυμα,
- Προσροφημένα στην επιφάνεια των αργιλικών ορυκτών, των οξυυδροξειδίων του Fe και Mn ή στην οργανική ουσία,
- Στο πλέγμα δευτερογενών ορυκτών,
- Κατακρημνίσματα Fe και Mn,
- Στα πλέγματα πρωτογενών ορυκτών.

❖ Εδαφογένεση και μετακίνηση των βαρέων μετάλλων στο εδαφικό προφίλ.

Το εδαφικό προφίλ αποτελείται από διαφορετικά στρώματα (που ονομάζονται εδαφικοί ορίζοντες) που διαφέρουν ως προς το χρώμα, την μηχανική σύσταση, τη δομή, την παρουσία ή απουσία ανθρακικών και γενικά στην μορφολογία και τις διάφορες ιδιότητες, αποτελώντας την βάση της ταξινόμησης των εδαφών. Οι ορίζοντες οι οποίοι έχουν χάσει συστατικά, λόγω εδαφογενετικών διεργασιών, ονομάζονται ελουβιακοί ορίζοντες και αποτελούν την ελουβιακή ζώνη της εδαφικής κατατομής. Ενώ οι ορίζοντες οι οποίοι έχουν εμπλουτισθεί σε εδαφικά συστατικά, τα οποία προέρχονται από υπερκείμενους ορίζοντες, ονομάζονται ιλλουβιακοί ορίζοντες και αποτελούν την ιλλουβιακή ζώνη της εδαφικής κατατομής.

Όσον αφορά τη συσχέτιση των βαρέων μετάλλων με το σύστημα έδαφος – φυτό σε καλλιεργούμενα εδάφη, κυρίαρχο ρόλο διαδραματίζουν η σύνθεση και οι ιδιότητες του ορίζοντα άροσης (Ap), επειδή αυτό το άνω άκρο του εδαφικού προφίλ περιλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος της ριζόσφαιρας. Ο ορίζοντας Ap σχηματίζεται πάνω ή κάτω από έναν οργανικό (O) ορίζοντα καθώς και, σε ορισμένες περιπτώσεις, περιλαμβάνουν το πάνω μέρος του υποκείμενου E ή B ορίζοντες. Χαρακτηρίζονται από συσσώρευση χουμοποιημένης οργανικής ουσίας καλώς αναμειγμένης με το ανόργανο κλάσμα.

Εντός των χαρακτηριστικών του εδάφους, Ag, As, Cd, Cu, Hg, Pb, Sb και Zn εντοπίζονται στην επιφάνεια του ορίζοντα, ως αποτέλεσμα των φυτοπροστατευτικών της βλάστησης, των ατμοσφαιρικών εναποθέσεων και της προσρόφησης από την οργανική ύλη του εδάφους. Ενώ τα στοιχεία που απαιτούνται στους κατώτερους ορίζοντες περιλαμβάνουν τα Al, Fe, Ca, Mg, Ni, Sc, Ti, V και Zr, που φαίνεται να συνδέεται με την διασπορά της αργίλου και ένυδρων οξειδίων (Duchaufour P., 1977). Ωστόσο, πρόσφατα μολυσμένα εδάφη συχνά έχουν υψηλότερο ποσοστό βαρέων μετάλλων στους επιφανειακούς ορίζοντες, επειδή οι εδαφογενετικές διεργασίες δεν έδρασαν αρκετά για να πραγματοποιηθεί μια ανακατανομή εντός του εδαφικού προφίλ.

Τα διάφορα είδη των εδαφών προκύπτουν από διαφορετικούς συνδυασμούς των πέντε παραγόντων της εδαφογένεσης που μεταβάλλονται ανεξάρτητα, του κλίματος, των ζώντων οργανισμών, της βλάστησης, του τοπογραφικού ανάγλυφου, του μητρικού πετρώματος και του χρόνου. Σύμφωνα με τον (Jenny H., 1941,) η επίδραση αυτή μπορεί να περιγραφεί από την μαθηματική συνάρτηση της μορφής :

$$s = f ( cl, o, r, p, t )$$

όπου

*s* = εδαφική ιδιότητα

*cl* = κλίμα (*clime*)

*o* = οργανισμοί (*organism*)

*r* = τοπογραφία (*topography*)

*p* = μητρικό υλικό (*parent material*)

*t* = χρόνος (*time*)

Κατά τον Jenny το έδαφος θεωρείται ως ανοικτό σύστημα (δεδομένου ότι δέχεται τις επιδράσεις του περιβάλλοντος και ασκεί επιδράσεις σ'αυτό), ως φυσικό (σε αντίθεση με το

λογικό) σύστημα, όπως το περιέγραψε μέσα από τις μαθηματικές σχέσεις και μεταβλητές. Οι πιο σημαντικές πτυχές της εδαφογένεσης σχετικά με τη συμπεριφορά των βαρέων μετάλλων στα εδάφη είναι εκείνες που αφορούν:

- A) την απελευθέρωση των μετάλλων από το μητρικό υλικό από καιρικές συνθήκες, και
- B) η δυνατότητα διακίνησης και συσσώρευσης των εδαφικών συστατικών που απορροφούν τα μέταλλα, όπως οι άργιλοι, τα ένυδρα οξειδία και η οργανική ουσία.

Διάφορες ευδιάκριτες εδαφογενετικές διεργασίες όπως η φυσική, χημική, βιολογική αποσάθρωση, η μετακίνηση και έκπλυση εδαφικών συστατικών και η προσθήκη υλικών στο έδαφος είναι αρμόδιες για την ανάπτυξη των εδαφικών οριζόντων και των εδαφοτομών.

Η χημική αποσάθρωση του μητρικού υλικού περιλαμβάνει την υδρόλυση, την ενυδάτωση, τη θρόμβωση και διασπορά, την οξείδωση και την αναγωγή, την ανταλλαγή κατιόντων. Αυτές οι αντιδράσεις εξαρτώνται από το νερό, τόσο για να προχωρήσει η αντίδραση όσο και για να μετακινηθούν τα προϊόντα. Τα ποσοστά των αντιδράσεων συσχετίζονται άμεσα με τη θερμοκρασία, ως εκ τούτου τα ποσοστά είναι υψηλά στους υγρούς τροπικά και χαμηλά στα ψυχρά και ξηρά περιβάλλοντα.

#### ❖ Δυναμική των βαρέων μετάλλων στο έδαφος

Η οργανική ουσία του εδάφους είναι σημαντικός παράγοντας δέσμευσης των μετάλλων σε ιδιαίτερα σταθερές οργανομεταλλικές ενώσεις με μείωση της γεωχημικής ευκινησίας τους και κατ' επέκταση της τοξικότητας αυτών στα φυσικά συστήματα.

Τα βαρέα μέταλλα συσσωρεύονται κυρίως στον επιφανειακό ορίζοντα, ως αποτέλεσμα της παρουσίας υψηλότερου ποσοστού οργανικής ουσίας και σχηματισμού οργανομεταλλικών συμπλόκων (Sterckeman et al., 2000).

Η επιστατική επίδραση της οργανικής ουσίας στη δυναμική και την κινητικότητα των βαρέων μετάλλων μέσα στο εδαφικό σύστημα έχει αποδειχθεί από ένα μεγάλο αριθμό ερευνητικών εργασιών (Li and Shuman, 1996; Sauve et al., 1997; Hooda and Aloyay, 1998). Όπως είναι γνωστό ο κύριος όγκος της οργανικής ουσίας συνίσταται από χουμικά και φουλβικά οξέα, τα οποία παρουσιάζουν την ικανότητα να σχηματίζουν σύμπλοκα διαφορετικής σταθερότητας με κατιόντα.

Η σταθερότητα των οργανομεταλλικών συμπλόκων, εκτός άλλων, εξαρτάται από τη σειρά ηλεκτραρνητικότητας των μετάλλων η οποία είναι:  $Pb > Cu > Fe = Al > Mn = Co > Zn > Cd$

Από την παραπάνω σειρά είναι φανερό ότι ο μόλυβδος σχηματίζει τα πιο σταθερά σύμπλοκα και γι'αυτό δεν μετακινείται εύκολα στην εδαφοτομή, ενώ το κάδμιο το οποίο βρίσκεται τελευταίο στη σειρά δεν σχηματίζει και τόσο σταθερά σύμπλοκα.

Σημαντικό ρόλο στη συμπεριφορά των βαρέων μετάλλων στα εδαφικά συστήματα διαδραματίζει και το εδαφικό pH. Έχει αποδειχθεί ότι σε όξινες συνθήκες τα βαριά μέταλλα γίνονται πιο ευδιάλυτα και εκτός του ότι αυξάνεται η κινητικότητα τους μέσα στην εδαφοτομή αυξάνεται και η διαθεσιμότητα τους στα φυτά. Μείωση του pH έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση του αρνητικού ηλεκτρικού φορτίου των κolloειδών και επομένως μείωση της προσροφητικής τους ικανότητας και τελικά μικρότερη δέσμευση των βαρέων μετάλλων (Alloway 1995).

### 9.2.8.1. Σίδηρος – Iron/Fe

Ο σίδηρος (Fe), ανήκει στη 1η σειρά των στοιχείων μετάπτωσης (4η περίοδο) μαζί με Sr, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu και Zn, στη 8η ομάδα του περιοδικού πίνακα, μαζί με Ru και Os. Έχει ατομικό αριθμό 26, ατομικό βάρος 56 και κύριους αριθμούς οξείωσης +2, +3. Στη φύση εμφανίζονται τα ισότοπα  $^{54}\text{Fe}$ ,  $^{56}\text{Fe}$ ,  $^{57}\text{Fe}$ ,  $^{58}\text{Fe}$  από τα οποία το  $^{56}\text{Fe}$  να κατέχει το μεγαλύτερο ποσοστό ύπαρξης 92% (De Vos W. and Tarvainen T. 2006).

Είναι γνωστό από την αρχαιότητα μαζί με τα άλλα έξι μέταλλα που χρησιμοποιούνταν ευρέως τότε, το χρυσό, το χαλκό, το ασήμι, τον υδράργυρο, τον κασσίτερο και τον μόλυβδο. Ο σίδηρος είναι το τέταρτο πιο άφθονο στοιχείο στον στερεό φλοιό της γης μετά το Οξυγόνο (O), το Πυρίτιο (Si) και το Αργίλιο (Al) (De Vos W. and Tarvainen T. 2006). Αποτελεί κύριο συστατικό της λιθόσφαιρας και καταλαμβάνει περίπου 5% κατά βάρος του φλοιού της γης. Η γωχημική συμπεριφορά του Fe είναι στενά συνδεδεμένη με την ιδιότητά του να ενώνεται με το οξυγόνο O, θείο S και άνθρακα C (Kabata – Pendias 2001). Παρουσιάζει ιδιοτητες τόσο ως χαλκόφιλο όσο και ως λιθόφιλο, γι' αυτό και εμφανίζεται ως οξειδία σιδήρου όπως, ο αιματίτης ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) και ο μαγνητίτης ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), θειούχα (σιδηροπυρίτης –  $\text{FeS}_2$ , ιμμενίτης –  $\text{FeSO}_3$ ) και ως ανθρακικά  $\text{FeCO}_3$ . Επίσης, περιέχεται στο πλέγμα πρωτογενών ορυκτών, στα σιδηρομαγνησιούχα πυριτικά, όπως οι μαρμαρυγίες, οι ολιβίνες, οι πυρόξενοι και οι αμφίβολοι.

Ο σίδηρος αποτελεί σημαντικό στοιχείο του εδάφους, με μέση περιεκτικότητα 2.1% (Rose et al., 1979). Παρουσιάζεται με τη δισθενή μορφή του στα σιδηρομαγνησιούχα πυριτικά, όπως



οι ολιβίνες, πυρόξενοι, αμφίβολοι και βιοτίτες. Ενώ υπό τη τρισθενή μορφή του ως οξείδια και υδροξείδια (De Vos W. and Tarvainen T. 2006).

Η συγκέντρωση υδατοδιαλυτής μορφής σιδήρου στο έδαφος σε σχέση με τις ολικές είναι πάρα πολύ μικρή. Οι διαλυτές μορφές του Fe περιλαμβάνουν  $Fe^{3+}$ ,  $Fe(OH)_2^+$ ,  $FeOH^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Fe(OH)_3^-$ , και  $Fe(OH)_4^{2-}$ . Σε καλώς αεριζόμενα εδάφη ο Fe είναι ελάχιστος, εκτός αν το pH του εδάφους είναι υψηλό. Όταν το έδαφος βρίσκεται υπό συνθήκες κατάκλυσης με νερό, ο  $Fe^{3+}$  (δυσδιάλυτη μορφή) ανάγεται  $Fe^{2+}$  και κατ' επέκταση αυξάνεται η διαλυτότητά του. Η διαδικασία της αναγωγής του τρισθενούς σιδήρου σε δισθενή, προκαλείται από μία μεγάλη ποικιλία αναερόβιων βακτηρίων του εδάφους. Αυξημένη διαλυτότητα του σιδήρου μπορεί να' ναι αποτέλεσμα ανθρωπογενών παρεμβάσεων όπως, η προσθήκη όξινων λιπασμάτων και η μεγάλη προσθήκη οργανικής ουσίας (Zopp, S. V., 1982). Ο σίδηρος λόγω αυξημένης ηλεκτραρνητικότητας, σχηματίζει σταθερά οργανομεταλλικά σύμπλοκα με την οργανική ουσία, η οποία είναι υπεύθυνη για την έκπλυση και μεταφορά του Fe στο εδαφικό προφίλ. Ο διαλυτός Fe εξαρτάται και καθορίζεται από τη διαλυτότητα των ένυδρων οξειδίων του  $Fe^{3+}$ . Οι συγκεντρώσεις του Fe σε ουδέτερα pH, κυμαίνονται από 30 έως 550  $\mu g L^{-1}$ , ενώ σε ισχυρά όξινα συνθήκες φτάνουν μέχρι και 2000  $\mu g L^{-1}$ . Ο υδατοδιαλυτός Fe είναι ελάχιστος σε αλκαλικά εδάφη. Σε γενικές γραμμές σε αλκαλικές συνθήκες που ευνοείται η οξείδωση, επικρατεί με τη μορφή ιζημάτων. Ενώ σε όξινα συνθήκες ευνοούνται οι αναγωγικές συνθήκες είναι εξαιρετικά κινητικός, και ο  $Fe^{2+}$  αποτελεί σημαντικό μέρος του κλάσματος του υδατοδιαλυτού και του ανταλλάξιμου σιδήρου, με την αναλογία του ανταλλάξιμου να αυξάνεται με την αύξηση του pH. Επομένως σε όξινα εδάφη παρουσιάζεται σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις η διαλυτή μορφή του σιδήρου απ' ότι σε ουδέτερα και πλούσια σε ανθρακικά άλατα εδάφη. Παρόλαυτα σε όξινα εδάφη μπορεί σε δημιουργηθούν τοξικότητες εξαιτίας της αυξημένης διαλυτότητας, ενώ σε αλκαλικά καλώς αεριζόμενα εδάφη, η χαμηλή συγκέντρωση διαλυτού σιδήρου μπορεί να οδηγήσει σε τροφопενία του στοιχείου (Kabata – Pendias 2001). Τα υδροξείδια του  $Fe^{3+}$ , συχνά αντιδρούν με άλλα μέταλλα όπως, Mn, Ti, V, Sc, Cu, Co, παράγοντας διάφορες ενώσεις.

Οι *ανθρωπογενείς πηγές* σιδήρου περιλαμβάνουν τις βιομηχανίες σιδήρου και χάλυβα και τα λύματα και τη σκόνη από την εξόρυξη σιδήρου (Reimann και de Caritat 1998). Επίσης ο θειϊκός σίδηρος χρησιμοποιείται επίσης ως λίπασμα και ζιζανιοκτόνο (Reimann et al., 2003).

### 9.2.8.2. Μαγγάνιο – Manganese/Mn

Το μαγγάνιο είναι ένα από τα αφθονότερα ιχνοστοιχεία της λιθόσφαιρας, με συγκεντρώσεις στα πετρώματα από 350 έως 2000 ppm (Kabata – Pendias 2001).

Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις (έως και αρκετές χιλιάδες mg / kg) βρίσκονται σε βασικά πετρώματα, όπως βασάλτη και γάββρο. Αυτό συμβαίνει επειδή το Mn κυρίως λειτουργεί ως αντικαταστάτης  $Fe^{2+}$  σε οκταεδρικές θέσεις των σιδηρομαγνησιούχων ορυκτών (Cilkes R.J. and McKenzie R.M. 1988). Οι συγκεντρώσεις ποικίλουν ευρέως σε όξινα πετρώματα (γρανίτες, ρυόλιθους, κλπ) και μεταμορφωμένα πετρώματα, όπως σχιστόλιθοι, αλλά είναι γενικά κυμαίνεται μεταξύ 200-1000 mg/kg. Στα ιζηματογενή πετρώματα, το εύρος συγκέντρωσης σε ασβεστολιθικούς σχηματισμούς είναι περίπου 400-600 mg / kg, αλλά σε πολύ χαμηλότερες στους ψαμμίτες (20-500 mg / kg) (Aubert H. and Pinta M., 1977; Cilkes R.J. and McKenzie R.M., 1988).

Οι σταθερές οξειδωτικές καταστάσεις του μαγγανίου είναι Mn (II) του Mn (VII), εκ των οποίων το (II), (III) και (IV) ενωμένες με οξυγόνο να εμφανίζονται σε ορυκτά, ανθρακικά και διοξείδιο του πυριτίου. Παραδείγματα ορυκτών κοιτασμάτων μαγγανίου είναι ο πυρολουσίτης ( $MnO_2$ ), ροδοχρωσίτης ( $MnCO_3$ ) και ροδονίτης ( $MnSiO_3$ ) (Krauskopf K.B. 1972), και πολλά άλλα οξείδια και υδροξείδια στα οποία η αντικατάσταση του Mn(II) και Mn(III) από Mn(IV) εμφανίζεται σε μεγάλο βαθμό (Cilkes R.J. and McKenzie R.M., 1988; McKenzie R.M., 1972)

Εκτός από τη φυσικές πηγές προέλευσης του μαγγανίου μέσω των ορυκτών που απαντάται, προέρχεται και από την άμεση εφαρμογή (διαφυλλική λίπανση) του σε καλλιέργειες που εμφανίζουν τροφοπενίες μαγγανίου, υπό τη μορφή  $MnSO_4$  και MnO είτε μέσω λιπασμάτων (Walter 41) Οι απαιτούμενες ποσότητες μπορεί να κυμαίνονται από <10 μέχρι >100 kg Mn/ha, με τις ποσότητες που εφαρμόζονται απευθείας σε φύλλα των φυτών (ένα ποσοστό εισχωρεί αναπόφευκτα το έδαφος) να κυμαίνονται στις χαμηλότερες τιμές και αντιπροσωπεύουν μόνο ένα πολύ μικρό ποσοστό από τις απαιτούμενες ποσότητες (Alloway 1995).

Η ευδιάλυτη μορφή του είναι η δισθενής Mn(II) με την οποία βρίσκεται στο εδαφικό διάλυμα και στην επιφάνεια των κολλοειδών σαν ανταλλάξιμο. Η οξειδωσή του σε τρισθενές (III) και τετρασθενές (IV) το καθιστά μη αφομοιώσιμο για τα φυτά. Αναγώμενο σε κακώς αποστραγγιζόμενα εδάφη γίνεται ευδιάλυτο. Τη διαθεσιμότητα του μαγγανίου επηρεάζουν

παράγοντες όπως οι διαδικασίες οξειδοαναγωγής, το pH, η οργανική ουσία, η μικροβιακή δραστηριότητα και η υγρασία του εδάφους (Kabata – Pendias 2001).

Υπό συνθήκες κατακλύσεως που επικρατούν οι αναγωγικές συνθήκες τα ποσά του διαλυτού Mn(II) αυξάνουν σε βαθμό επικίνδυνα υψηλό και αν τα εδάφη είναι όξινα με υψηλό ποσό ενεργού Mn η συγκέντρωση του διαλυτού φθάνει εύκολα σε επίπεδα τοξικότητας. Σε αλκαλικά εδάφη οι συγκεντρώσεις του Mn(II) δεν αυξάνουν με την κατάκλυση αλλά αντίθετα μειώνονται και μάλιστα μετά από κατάκλυση μπορεί να εμφανιστεί έλλειψη μαγγανίου. Η οξείδωση του μαγγανίου προς MnO<sub>2</sub> ενοείται από το υψηλό pH και αυτή είναι η επικρατούσα μορφή του σε ασβεστούχα εδάφη. Η διαθεσιμότητα του Mn είναι μεγαλύτερη σε όξινα εδάφη λόγω της μεγαλύτερης διαλυτότητας του Mn σε χαμηλό pH.

Τα αρνητικά φορτισμένα Mn(OH)<sub>4</sub> και MnO<sub>2</sub> είναι υπεύθυνα για τον υψηλό βαθμό συσχέτισης των συγκεντρώσεων Mn με ορισμένα βαρέα μέταλλα, ιδίως με τα Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Ba, Tl, W, και Mo. Επίσης, η οξείδωση των As, Cr, V, Se, Hg, και Pu από τα οξειδία του Mn πιθανόν ελέγχει την οξειδοαναγωγική συμπεριφορά αυτών των στοιχείων στα εδάφη (Barlett R.J. 1986).

### 9.2.8.3. Κάδμιο - Cadmium/Cd

Το κάδμιο (Cd), ανήκει στη 2<sup>η</sup> σειρά των στοιχείων μετάπτωσης ( 5<sup>η</sup> περίοδο) στη 12<sup>η</sup> ομάδα του περιοδικού πίνακα, μαζί με τον ψευδάργυρο (Zn) και τον υδράργυρο (Hg). Έχει ατομικό αριθμό 48, ατομικό βάρος 112 και αριθμό οξείωσης 2+. Εμφανίζονται οχτώ ισότοπα στη φύση (<sup>106</sup>Cd, <sup>108</sup>Cd και <sup>110</sup>Cd έως <sup>116</sup>Cd) από τα οποία τα <sup>114</sup>Cd, <sup>112</sup>Cd, <sup>111</sup>Cd, <sup>110</sup>Cd και <sup>113</sup>Cd με ποσοστά συγκέντρωσης 28.73%, 24.13%, 12.80%, 12.49% και 12.22% αντίστοιχα (Smith 1999b). Στη γεωχημεία του συσχετίζεται ισχυρά με τον ψευδάργυρο (De Vos W. and Tarvainen T. 2006).

Το κάδμιο βρίσκεται στη φύση σε μικρές ποσότητες και ως χαλκόφιλο στοιχείο απαντάται κυρίως σε ορυκτά που περιέχουν θειούχες ενώσεις του υδραργύρου, χαλκού, μολύβδου και ψευδαργύρου (κυρίως σε θειούχο ψευδάργυρο-σφαλερίτη ZnS) και σε μικρότερο ποσοστό σε ορυκτά του ψευδαργύρου όπως στο σμισθονίτη - ανθρακικός ψευδάργυρος ZnCO<sub>3</sub>. Η περιεκτικότητα του καδμίου στο σφαλερίτη κυμαίνεται από 0.02 έως 1.5%, με μία μέση τιμή περίπου 3%, αν και περιέχεται και σε ποσοστά μέχρι και 5% (Fergusson 1990). Περιστασιακά παίρνει την μορφή των ορυκτών CdS (γρηνοκίτης), CdCO<sub>3</sub> (οκταβίτης), CdO (μοντεπονίτης) (Reimann and de Caritat 1998). Οι ενώσεις του Cd είναι γνωστό ότι είναι με αντίστοιχες ενώσεις των κατιόντων Zn<sup>2+</sup>, Co<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> και σε μερικές περιπτώσεις

του  $\text{Ca}^{2+}$ . Κατά την αποσάθρωση, το Cd μεταπίπτει εύκολα σε διάλυμα, και παρ' όλο που εμφανίζεται σαν  $\text{Cd}^{2+}$  μπορεί επίσης να πάρει την μορφή ποικίλων συμπλόκων ιόντων ( $\text{CdCl}^+$ ,  $\text{CdOH}^+$ ,  $\text{CdHCO}_3^+$ ,  $\text{CdCl}_3^-$ ,  $\text{CdCl}_4^{2-}$ ,  $\text{Cd}(\text{OH})_3^-$ ,  $\text{Cd}(\text{OH})_4^{2-}$  και σε οργανικές χηλικές ενώσεις (Kabata Pendias, A. and Pendias, H., 1999).

Κατά τους Page and Bingham οι συγκεντρώσεις του Cd σε εδάφη που έχουν σχηματισθεί σε πυριγενή πετρώματα κυμαίνονται μεταξύ 0.1-0.3 mg/kg, σε μεταμορφωμένα μεταξύ 0.1-11mg/kg και σε ιζηματογενή μεταξύ 0.3-11 mg/kg. Σε γενικές γραμμές, τα περισσότερα εδάφη κατέχουν Cd σε συγκεντρώσεις <1mg/kg. Εξαιρέση αποτελούν τα εδάφη που έχουν επιβαρυνθεί είτε λόγω διάφορων σημειακών πηγών είτε λόγω μητρικού υλικού πλούσιου σε Cd όπως η τεφρή άργιλος.

Δεδομένου ότι δισθενή μορφή του καδμίου ( $\text{Cd}^{2+}$ ) είναι η μόνη σταθερή οξειδωτική κατάσταση, η διαλυτότητα του Cd δεν επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τις διακυμάνσεις του δυναμικού οξειδοαναγωγής (Fergusson 1990, Brookins 1988). Ωστόσο, τα  $\text{CdS}$ ,  $\text{CdCO}_3$  είναι λιγότερο διαλυτά από τα θειικά και ανθρακικά άλατα του Zn (Rubin 1976) και επομένως περιορίζεται η κινητικότητα της δισθενούς μορφής του καδμίου σε ανθρακικά ιζήματα και εδάφη (Bowen 1982). Η παρουσία άλλων στοιχείων όπως Ca, Co, Cr, Ni και Pb εμποδίζουν την προσρόφηση του Cd. Εδάφη με περιεκτικότητα σε  $\text{CaCO}_3$  έχουν την τάση να δεσμεύουν το Cd και συνεπώς να μειώνεται η βιοδιαθεσιμότητά του στα εδάφη αυτά (Alloway et al., 1988). Αργιλικά ορυκτά, οξυδροξείδια σιδήρου και οξείδια μαγγανίου αποτελούν θέσεις προσρόφησης του Cd (Hem 1992), αλλά σημαντικότερη επίδραση στην κατανομή του Cd παρουσιάζουν οι συγκεντρώσεις του Fe και Mn στο έδαφος (Kabata-Pendias 2001).

Οι πιο σημαντικοί παράγοντες που καθορίζουν την κινητικότητα του ιόντος του Cd είναι το pH και το δυναμικό οξειδοαναγωγής. Σε κατάσταση ισχυρής οξείδωσης, το Cd παίρνει τη μορφή ορυκτών  $\text{CdO}$  (μπετονίτης) και  $\text{CdCO}_3$  (οκταβίτης) και συνηθίζει να συσσωρεύεται σε φωσφορικά ιζήματα. (Kabata – Pendias 2001). Ενώ σε όλα τα εδάφη, η ενεργότητα του Cd εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το pH, στα όξινα εδάφη η οργανική ύλη ελέγχει τη διαλυτότητα του Cd, ενώ σε αλκαλικά η καθίζηση των ενώσεων του Cd φαίνεται να ερμηνεύει την ισορροπία του. Σε όξινα εδάφη σε pH από 4.5 έως 5.5, το Cd είναι περισσότερο κινητικό, ενώ σε αλκαλικά εδάφη το Cd είναι μάλλον μη κινητικό (De Vos W. and Tarvainen T. 2006).

Στα όξινα εδάφη οι κυρίαρχες μορφές του στο εδαφικό διάλυμα είναι:  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{CdSO}_4$ ,  $\text{CdCl}_4^+$  και  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{CdSO}_4$ ,  $\text{CdCl}^+$ ,  $\text{CdHCO}^+$  σε αλκαλικά (Hutton M. 1982) εδάφη (Sposito, G. And Harrison, R.M., 1984). Επίσης το Cd σχηματίζει λιγότερο σταθερά σύμπλοκα με τα χουμικά

και φουλβικά οξέα από ότι ο Cu και Pd (Tjell, J.C., Christensen, T.H. and Bro-Rasmussen, B., 1983; Livens, F.R., 1991).

Στο εδαφικό προφίλ το Cd συσσωρεύεται στους επιφανειακούς ορίζοντες, ως αποτέλεσμα συνδυασμού παραγόντων όπως, υψηλότερη περιεκτικότητα σε οργανική ουσία που χαρακτηρίζει τους επιφανειακούς ορίζοντες και τα μέταλλα μπορούν να διατηρούνται σε αυτό, ή από τις εφαρμογές του Cd που περιέχουν τα λιπάσματα, ή από την υγρή και ξηρή εναπόθεση από την ατμόσφαιρα (Alloway 1995). Όμως, σε αντίθεση με Cu και Pb, το Cd (μαζί με Zn και Ni) έχει την τάση να μετακινείται προς τους κατώτερους εδαφικούς ορίζοντες, σε βαθμό που εξαρτάται από πολλούς εδαφικούς παράγοντες (Kabata Pendias A. and Pendias H., 1992; Merington G. and Alloway B.J., 1994).

Οι κύριες πηγές των ατμοσφαιρικών εκπομπών είναι μη σιδηρούχων μετάλλων, καύση ορυκτών καυσίμων, αποτέφρωση απορριμάτων και η παραγωγή σιδήρου και χάλυβα (Tiller K.G. 1989) Τυπικές συγκεντρώσεις των ατμοσφαιρικών συγκεντρώσεων Cd στην Ευρώπη είναι 1-6 ng/m<sup>3</sup> για τις αγροτικές περιοχές, 3,6 έως 20 ng/m<sup>3</sup> για τις αστικές περιοχές και 16,5 έως 54 ng/m<sup>3</sup> για βιομηχανικές περιοχές (Hutton M. 1982). Οι ετήσιες ατμοσφαιρικές εκπομπές Cd παγκοσμίως κατά Nriagu Nriagu J.E. (1980). φτάνουν τους 8100 τόνους (800 τόνοι από φυσικές πηγές και 7300 από ανθρωπογενείς πηγές). Η ηφαιστειακή δραστηριότητα είναι μια σημαντική φυσική πηγή απελευθέρωσης καδμίου στην ατμόσφαιρα. Η ετήσια παγκόσμια ροή καδμίου από την πηγή αυτή, έχει εκτιμηθεί ότι είναι 820 τόνοι. Επίσης κάποιες άλλες πηγές καδμίου, όπου το κάδμιο εισέρχεται στην ατμόσφαιρα σε μορφή σωματιδίων, είναι τα αερομεταφερόμενα σωματίδια του εδάφους, το βιογενές υλικό και οι δασικές πυρκαγιές. Ακόμα μια άλλη πηγή καδμίου θεωρείται η μετεωρική σκόνη, η οποία εισέρχεται στη βιόσφαιρα σε αμελητέες ποσότητες.

Τα φωσφορικά λιπάσματα θεωρούνται ως η πλέον πανταχού πηγή ρύπανσης Cd των γεωργικών εδαφών. Σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις Cd (<500 mg / kg) μπορεί να βρεθεί στους φωσφορίτες που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή των φωσφορικών λιπασμάτων (Alloway 1995).

Συμπερασματικά, τις σημαντικότερες *ανθρωπογενείς πηγές* αποτελούν τα φωσφορικά λιπάσματα (54-58%), οι ατμοσφαιρικές αποθέσεις (39-41%) και η ενεργός λάσπη (2-5%) (Yost K.J. and Miles L.J., 1979).

#### 9.2.8.4. Ψευδάργυρος – Zinc/Zn

Ο ψευδάργυρος είναι το βαρύτερο μέλος της πρώτης σειράς του περιοδικού πίνακα, που αποτελείται από Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu και Zn, και ανήκει στην 12η ομάδα του περιοδικού πίνακα, μαζί με το Cd και Hg. Γενικά, εδάφη προερχόμενα από αποσάθρωση αλκαλικών και ασβεστολιθικών πετρωμάτων είναι πλουσιότερα σε ψευδάργυρο σε σύγκριση με αυτά που σχηματίστηκαν από γνεύσιους ή χαλαζία (De Vos W. and Tarvainen T. 2006).

Σε μαγματικά πετρώματα Zn φαίνεται να είναι ομοιόμορφα κατανεμημένος. Η μέση συγκέντρωση Zn κυμαίνεται από 40 mg / kg σε όξινα πετρώματα (γρανίτες) και στα 100 mg / kg σε βασαλτικά πετρώματα. Σε ιζηματογενή πετρώματα, περιέχεται σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις, σε σχιστόλιθους και αργιλώδη ιζήματα (80-120 mg / kg), ενώ οι ψαμίτες, ασβεστόλιθοι και οι δολομίτες έχουν γενικά χαμηλότερες συγκεντρώσεις, που κυμαίνονται από 10 έως 30 mg / kg (Kabata Pendias A. and Pendias H. 1992).

Τα αμμώδη εδάφη θεωρούνται φτωχότερα σε διαθέσιμο Zn από ότι τα λεπτότερης υφής εδάφη. Ο ψευδάργυρος του εδάφους προέρχεται από την αποσάθρωση του ορυκτού σφαλερίτη (ZnS) καθώς και διαφόρων σιδηρομαγνησιούχων ορυκτών (αυγίτης, κεροστίλβης, βιοτίτης κλπ), και δευτερογενών ορυκτών της αργίλλου, όπου ο Zn βρίσκεται σαν δευτερεύον συστατικό τους. Σημαντική επίσης πηγή ψευδαργύρου, ιδιαίτερα στα οργανικά εδάφη, είναι η ισχυρότερη δεσμευσή του από την οργανική ύλη σε σχέση με το  $Cd^{2+}$  (Tipping και Hurley 1992), που με την αποικοδόμησή τους απελευθερώνουν  $Zn^{2+}$  στο έδαφος. Το ιόν  $Zn^{2+}$  που απελευθερώνεται με τις παραπάνω διαδικασίες μπορεί να παραμείνει στο εδαφικό διάλυμα σαν ενυδατωμένο ιόν ή σαν διαλυτό σύμπλοκο με ενώσεις του χούμου ή άλλες διαλυτές βιοχημικές ενώσεις που εκκρίνονται από τις ρίζες των φυτών. Όπως αναφέρουν οι Hodgson et al (1965, 1966), ένα σημαντικό ποσοστό γύρω στο 60% του υδατοδιαλυτού ψευδαργύρου στο έδαφος είναι συμπλοκοποιημένο με διάφορα διαλυτά οργανικά μόρια. Παρόλα αυτά, ένα σημαντικό μέρος του απελευθερωμένου, από τις διαδικασίες, αποσάθρωσης και αποικοδόμησης, ψευδαργύρου, απορροφάται από την άργιλλο, την οργανική ουσία και τα οξείδια του εδάφους (σιδήρου, μαγγανίου, αργιλίου) υπό τη μορφή  $Zn^{2+}$ ,  $ZnOH^+$  ή  $ZnCl^+$ . Ο ψευδάργυρος προσροφάται εύκολα σε οξείδιο του τρισθενούς σιδήρου (Robinson 1981), αν και όταν οξείδια Fe απουσιάζουν συνδέεται συχνά σε ανθρακικές και πυριτικές φάσεις (Carroll et al. 1998). Μέρος του απορροφούμενου, από τα συστατικά του εδάφους, ψευδαργύρου, συγκρατείται πολύ ισχυρά υπό μη ανταλλάξιμη μορφή. Το  $Zn^{2+}$  που απορροφάται δεν ανταλλάσσεται με ιόντα  $Ca^{2+}$  και αναφέρεται συχνά στην βιβλιογραφία σαν «ειδικό προσροφημένο κλάσμα». Ο μηχανισμός της συγκράτησης αυτής από τα εδαφικά

συστατικά, που έχει παρατηρηθεί σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό και για τα κατιόντα άλλων βαρέων μετάλλων όπως του χαλκού, του κοβαλτίου και του καδμίου, δεν έχει πλήρως διευκρινιστεί αλλά φαίνεται να περιλαμβάνει την υδρόλυση του μετάλλου και την χημική προσρόφηση της ενυδατωμένης μορφής (MOH<sup>+</sup>). Η εξήγηση αυτή ενισχύεται από το γεγονός ότι η ειδική προσρόφηση των μετάλλων αυξάνεται με την αύξηση του pH του εδάφους.

Η καύση του άνθρακα και άλλων ορυκτών καυσίμων και η επεξεργασία μη σιδηρούχων μετάλλων είναι οι σημαντικότερες πηγές που συμβάλλουν στην ατμοσφαιρική ρύπανση από Zn (Alloway 1995).

Η λυματολάσπη ως εδαφοβελτιωτικό περιέχει N, P και οργανική ουσία ως κύρια ευεργετικά συστατικά του για τα φυτά και τα εδάφη. Ωστόσο, η ιλύς των υπονόμων συχνά περιέχει σημαντικές ποσότητες Zn. Με τη διαδικασία του βιολογικού καθαρισμού αφαιρείται περίπου 40 με 74% Zn (Davis R.D. 1960). Συγκεντρώσεις που έχουν αναφερθεί στην ενεργό λάσπη: 700-49000 mg / kg (Berrow M.L. and Webber J. 1972), 600 έως 20000 mg /kg (Davis R.D. 1960) 91-28766 mg /kg (O'Riordan E.G. 1986). Οι αντίστοιχες μέσες συγκεντρώσεις Zn είναι αντίστοιχα 4100, 1500, 2790 και 1579 mg /kg ξηράς ουσίας. Είναι σαφές ότι η ανεξέλεγκτη χρήση της λυματολάσπης σε γεωργικές εκτάσεις οδηγεί στη συσσώρευση του Zn και άλλων βαρέων μετάλλων στο έδαφος και, κατά συνέπεια, αποτελούν μόνιμο κίνδυνο για τα φυτά και καλλιέργειες (Webber M.D., Kloke A. and Chr. Tjell J. 1984).

Εκτός από την ατμοσφαιρικές πηγές Zn και τα λύματα που προέρχονται από υλικά που περιέχουν Zn, τα λιπάσματα και τα φυτοφάρμακα και επεμβάσεις σε διάφορα εδαφικά χαρακτηριστικά, επίσης αυξάνουν τις συγκεντρώσεις Zn των εδαφών. Όλα τα λιπάσματα, καθώς και βιολογικά, περιέχουν Zn, τις περισσότερες φορές ως προσμείξεις. Οι συγκεντρώσεις σε ανόργανα φωσφορικά λιπάσματα κυμαίνονται από 50 έως 1450 mg /kg, σε ασβεστόλιθους από 10 - 450 mg /kg, ενώ σε κοπριές από 15 έως 250 mg /kg, Zn, έχουν αναφερθεί (Kabata Pendias A. and Pendias H. 1992; Adriano D.C. 1986; Andersson A. 1977). Ορισμένα φυτοφάρμακα περιέχουν Zn συγκεντρώσεις έως και 25%.

#### **9.2.8.5. Μόλυβδος – Lead/Pb**

Μόλυβδος ανήκει στην 14η ομάδα του περιοδικού πίνακα, η οποία περιλαμβάνει, επίσης, C, Si, Ge και Sn. Ο μόλυβδος απαντάται στη φύση με δύο σταθερές οξειδωτικές καταστάσεις κυρίως σε [Pb(II) και Pb(IV)] αλλά κυρίως με ανόργανο μορφή (Pb<sup>2+</sup>). Η κινητικότητα του μπορεί να περιοριστεί λόγω προσρόφησης από την άργιλο, οργανική ύλη, οξείδια Fe - Mn,

και η παρουσία του σε αγγλεσίτη  $PbSO_4$  και σε κερουσίτη  $PbCO_3$  (De Vos W. and Tarvainen T. 2006).

Είναι το πιο άφθονο από τα στοιχεία μετάπτωσης μετάλλων (Greenwood και Earnshaw 1984). Ο μόλυβδος πηγάζει από σημαντικά ανόργανα άλατα, συμπεριλαμβανομένων  $PbS$  γαληνίτης, αγγλεσίτης  $PbSO_4$ , κερουσίτης  $PbCO_3$  και  $Pb_3O_4$ . Όπως επίσης σε μια σειρά άλλων ορυκτών, συμπεριλαμβανομένων των Κ-άστριων, πλαγιόκλαστων, μαρμαρυγιών και του μαγνητίτη. Ο μόλυβδος είναι ένα από τα επτά μέταλλα που ήταν γνωστά στην αρχαιότητα, λόγω της σχετικής ευκολίας της εξορυξής τους. Κατά το ρωμαϊκό πολιτισμό, ιδίως, ο μόλυβδος χρησιμοποιήθηκαν σε μεγάλες ποσότητες για λόγους υγιεινής.

Η φυσική περιεκτικότητα σε Pb στο έδαφος σχετίζεται με τη σύνθεση του μητρικού πετρώματος. Αν και η μορφή του Pb ποικίλλουν σημαντικά με τον τύπο του εδάφους, που συνδέεται κυρίως με αργιλικά ορυκτά, οξείδια Mn, Fe και Al υδροξείδια και οργανική ύλη. Σε ορισμένους τύπους εδάφους, ο Pb μπορεί να παρουσιάζει υψηλό βαθμό συγκέντρωσης σε ανθρακικά άλατα ασβεστίου ή σε φωσφορικά). Μια βασικά τιμή της συγκέντρωσης του μολύβδου στην επιφάνεια του εδάφους σε παγκόσμια κλίμακα έχει εκτιμηθεί ότι είναι  $25 \text{ mg kg}^{-1}$ . Επίπεδα πάνω από αυτό υποδηλώνουν ανθρωπογενείς επιδράσεις (Kabata-Pendias 2001). Κράματα Pb/Sb χρησιμοποιούνται κυρίως για την κατασκευή ηλεκτρικών συσσωρευτών, χρησιμοποιείται επίσης σε σβόλους καραμπίνα και κράματα Pb/Sn χρησιμοποιούνται συχνά ως συγκολλητικό υλικό για ψυχρές κολλήσεις. Ο μόλυβδος σε συνδυασμό με το διοξείδιο μολύβδου  $PbO_2$ , χρησιμοποιείται για την κατασκευή της μπαταρίας τύπου συσσωρευτής μολύβδου (χρησιμοποιείται κυρίως σε αυτοκίνητα).

- Ατμοσφαιρικές αποθέσεις μολύβδου στα εδάφη αστικών περιοχών.

Ο μόλυβδος είχε μεγάλη ζήτηση τον 18<sup>ο</sup> και 19<sup>ο</sup> αιώνα κατά την διάρκεια της βιομηχανικής επανάστασης και αργότερα (1923) με την χρήση των οργανικών ενώσεων του μόλυβδου ως αντικροτικών στα καύσιμα των οχημάτων. Σύμφωνα με τους Warren και Delavault (Warren H.V. and Delavault R.E. 1860) σε εδαφικά και φυτικά δείγματα κοντά σε δρόμους περιείχαν ασυνήθιστα υψηλή περιεκτικότητα σε Pb. Στη συνέχεια, οι Cannon και Bowles (Cannon H.L. and Bowles J.M. 1962) αναφέρουν υψηλές συγκεντρώσεις μολύβδου σε εκτάσεις γρασιδιού σε ακτίνα 152 m κατάντη των δρόμων στο Denver, Colorado, ΗΠΑ και η συσχέτιση μεταξύ της περιεκτικότητας σε μόλυβδο και απόστασης ήταν υψηλή. Η σημαντική αυτή πηγή προέλευσης Pb για τα εδάφη επιβεβαιώθηκε από άλλους ερευνητές στις ΗΠΑ (Singer M.J. and Hanson L. 1969; Lagerwerff J.V. and Specht A.W. 1970). Στην Αγγλία, επίσης αυξημένες συγκεντρώσεις Pb στο έδαφος έχουν αναφερθεί έξω από το Μπέρμιγχαμ, και τα



επίπεδα στο έδαφος και στη βλάστηση μειώνονταν καθώς αυξανόταν η απόσταση από το δρόμο (Davies B.E. and Holmes P.L. 1972). Ομοίως βιβλιογραφικές αναφορές υπάρχουν και για άλλες χώρες όπως και για την Ελλάδα (Fytianow K., Vasilikiotos g. and Samidov V. 1985).

Σύμφωνα με βιβλιογραφικές αναφορές, υπάρχει μια ζώνη ακτίνας 15m εκατέρωθεν των αυτοκινητόδρομων, όπου η συγκέντρωση του Pb υπερβαίνει το background level και η επιβάρυνση του περιβάλλοντος σε περιοχές που απαρτίζονται από αυτοκινητόδρομους και οφείλεται σε παγκόσμιο επίπεδο στη χρήση βενζίνης με μόλυβδο.

Οι εκπομπές από καυσαέρια αυτοκινήτων έχουν μειωθεί σημαντικά με την κατάργηση της βενζίνης με αντικροτικά μόλυβδου. Σημαντικό ποσοστό μόλυβδου καταλήγει στο περιβάλλον με τις βιομηχανικές διεργασίες και απόβλητα, καθώς και με τα αστικά απορρίμματα που περιέχουν προϊόντα μόλυβδου (Eisler R. 1988).

Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων σε εδάφη αστικών περιοχών δεν πρέπει να θεωρούνται ασήμαντα και ας μην αποτελούν αγροτικά εδάφη. Γιατί τα παρκά και οι κήποι λειτουργούν ως χώροι ψυχαγωγίας των παιδιών, προβάλλοντάς τα άμεσα αν τα εδάφη είναι επιβαρυνμένα (Wixson N.G. and Davies B.E. 1994). Τα αεροζόλς που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα από τις εξατμίσεις οχημάτων ή τους γενικούς καπνούς των βιομηχανιών μπορούν να μεταφερθούν σε μεγάλες αποστάσεις (Nriagu J.O. 1989; Nriagu J.O. and Pacyna J.F. 1988). Οι Fleming και Parle (Fleming G.A. and Parle P.J. 1977) στο Δουβλίνο βρήκαν συγκεντρώσεις μέχρι 540 mg Pb/kg. Οι περισσότερες τιμές κυμαίνονταν στα 70-150 mg/kg. Θεώρησαν ότι ο Pb σε εδάφη αστικών περιοχών θα μπορούσε να προέλθει από τα καυσαέρια των οχημάτων, το εκτριμμένο υλικό ελαστικών αυτοκινήτου, εργοστάσια πλαστικών, τα εντομοκτόνα και τις μπαταρίες αυτοκινήτων. Επίσης, τα χρώμα παλαιών κτηρίων θα μπορούσε επίσης να αποτελέσει μια πηγή του Pb.

#### **9.2.8.6. Χαλκός - Cooper/Cu**

Το μεγαλύτερο μέρος του χαλκού στο έδαφος βρίσκεται υπό δισθενή μορφή στο κρυσταλλικό πλέγμα των πρωτογενών και δευτερογενών ορυκτών, το υπόλοιπο είναι ενωμένο, σε οργανικές/ θειούχες ενώσεις, προσροφημένο στα κolloειδή του εδάφους και στο εδαφικό διάλυμα. Για εδάφη ανά το κόσμο η μέση συγκέντρωσή του φτάνει τα 30mg/kg.

Το κύριο χαρακτηριστικό της κατανομής του χαλκού σε μια εδαφοτομή είναι η συσσώρευσή του στους επιφανειακούς ορίζοντες Αυτό οφείλεται στη βιοσυσσώρευση του και στις ανθρωπογενείς πηγές (Kabata – Pendias 2001).

Η προσρόφησή του είναι μια συνάρτηση του pH και του Eh. Ο χαλκός σχηματίζει σταθερότερα οργανικά σύμπλοκα από ότι άλλα κατιόντα όπως  $Zn^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ . Τα οργανικά αυτά σύμπλοκα διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη ρύθμιση κινητικότητας και διαθεσιμότητας του στο έδαφος. Οι μορφές του είναι συνήθως ιοντικές  $Cu^{2+}$ ,  $Cu(OH)^+$ .

Οι ανθρωπογενείς εισροές Cu στο έδαφος ποικίλουν. Ο χαλκός χρησιμοποιείται σε διάφορες καλλιεργητικές τεχνικές ως πρόσμειξη, σε λιπάσματα που χρησιμοποιούνται σε συνθήκες τροφοπενίας του, σε μυκητοκτόνα, στη κοπριά, στην ενεργό λάσπη και στις ατμοσφαιρικές αποθέσεις (Alloway 1995).

Έχει εκτιμηθεί, ότι στην ατμόσφαιρα εκλύεται σημαντική ποσότητα χαλκού Cu, υπό μορφή αέριων οξειδίων της τάξης  $397 \cdot 10^6$  t/yr και είναι περίπου διπλάσια της ποσότητας που περιέχεται σε στρώμα εδάφους 0-2 cm σε όλο το πλανήτη (Alloway 1995). Μέσω της ατμόσφαιρας ο χαλκός μεταφέρεται και στις πιο απμακρυσμένες περιοχές. Ο χαλκός στην ατμόσφαιρα μπορεί να προέρχεται από τον εμπλουτισμό του εδάφους με συστατικά που το περιέχουν, όπως τα αστικά απόβλητα (ενεργός λάσπη) 50-3300 mg/kg, τα φωσφορικά λιπάσματα 1-300 mg/kg, τα γεωργικά φάρμακα 12-50 mg/kg, τα κτηνοτροφικά απόβλητα 2-60 mg/kg και τα αζωτούχα λιπάσματα 1-15 mg/kg (Kabata – Pendias and Pendias 1992).

#### 9.2.8.7. Νικέλιο – Nickel/Ni

Υπάρχει σχεδόν ομοιόμορφη κατανομή του νικελίου, του κοβαλτίου και του σιδήρου στον φλοιό της γης. Έτσι οι συγκεντρώσεις του νικελίου Ni είναι μεγαλύτερες στα υπερβασικά πετρώματα (1400 – 2000 ppm) και μειώνονται με την αύξηση της οξύτητας των πετρωμάτων κάτω από 5ppm και 15ppm στους γρανίτες.

Γεωχημικά, το Ni αντιδρά εύκολα με τον σίδηρο (Fe). Επίσης η μεγάλη του χημική συγγένεια με το θείο (S), εξηγεί την συχνή του σύνδεση με αυτό. Το Ni στα πετρώματα, βρίσκεται σε θειούχες (μιλερίτης NiS) και αρσενικές (νικολίτης NiAs) μορφές. Ιδιαίτερα βρίσκεται στα σιδηρομαγνησιούχα αντικαθιστώντας το σίδηρο (Fe). Τέλος αντιδρά με ανθρακικά, φωσφορικά και πυριτικά άλατα (Kabata – Pendias 2001).

Το υδροξείδιο του Νικελίου  $Ni(OH)^+$  και η δισθενής μορφή του  $Ni^{2+}$ , είναι οι κύριες ιοντικές μορφές του σε εδαφικό διάλυμα με pH=8, ενώ σε όξινα εδάφη οι ιοντικές μορφές ως  $Ni^{2+}$ ,  $NiSO_4^0$   $NiHPO_4$ . Οι Sposito and Page (1984) συμφωνούν με την παρουσία του Ni στις παραπάνω μορφές υπογραμμίζοντας την συμμετοχή του στα ανθρακικά και οξυανθρακικά άλατα ( $NiHCO_3^+$   $NiSO_4^0$ ) και οργανικά σύμπλοκα. Στα αλκαλικά εδάφη εμφανίζεται ως  $NiCO_3^0$ ,  $NiHCO_3^+$ ,  $Ni^{2+}$  και  $NiB(OH)^{4+}$ .

Το νικέλιο Ni κινητοποιείται εύκολα κατά την διάρκεια της αποσύνθεσης και κατακρημνίζεται κυρίως με τα οξείδια του σιδήρου Fe και του μαγγανίου Mn. Ωστόσο, αντίθετα με τα ιόντα  $Mn^{2+}$  και  $Pb^{2+}$  το ιόν  $Ni^{2+}$  είναι σχετικά σταθερό σε υδάτινα διαλύματα και έχει τη δυνατότητα μετακίνησης σε μεγάλη απόσταση. Αν και το νικέλιο που βρίσκεται στο έδαφος θεωρείται ότι είναι στενά συνδεδεμένο με τα οξείδια του μαγγανίου Mn και του σιδήρου Fe στα περισσότερα εδάφη, λιγότερο από (15-30)% του συνολικού νικελίου αποσπάται με τα οξείδια του μαγγανίου (Norris K. 1975).

Στους επιφανειακούς ορίζοντες του εδάφους το νικέλιο βρίσκεται κυρίως σε οργανομεταλλικές μορφές ένα μέρος των οποίων μπορεί να είναι ευδιάλυτες χηλικές ενώσεις (Barlett B.R. and James B.R. 1983). Ωστόσο ο Morris (1972) δήλωσε ότι το κλάσμα του νικελίου που είναι προσροφημένο στα οξείδια του σιδήρου Fe και μαγγανίου Mn φαίνεται ότι είναι περισσότερο διαθέσιμο στα φυτά.

Η περιεκτικότητα στα εδάφη εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το περιεχόμενο Ni των μητρικών πετρωμάτων (Vinogradov A.P. 1959). Ωστόσο η περιεκτικότητα του νικελίου Ni στην επιφάνεια των εδαφών αντανακλά τις διαδικασίες σχηματισμού του εδάφους και την ρύπανση. Τα εδάφη παγκοσμίως περιέχουν 1 έως 100 ppm νικέλιο Ni. Η μέση συγκέντρωση των εδαφών σε Ni κυμαίνεται περίπου στα 20mg/kg, το οποίο ποικίλει ανάλογα με τον κάθε τύπο εδάφους (Alloway 1995). Η κατανομή του νικελίου στο έδαφος σχετίζεται είτε με την οργανική ουσία, είτε με άμορφα οξείδια και κλάσματα της αργίλου, γεγονός που εξαρτάται από τους τύπους των εδαφών.

Η μεγαλύτερη ανθρωπογενής πηγή εκπομπών Ni είναι η καύση φυσικών καυσίμων (fuel) και υπολειμμάτων διύλισης πετρελαίου (residual fuel oil), εκπέμποντας 26.700 t Ni/yr παγκοσμίως (Schmidt J.A. and Andren A.W. 1980). Τα καύσιμα diesel περιέχουν συγκεντρώσεις Ni από 500 έως 10.000 mg/L (Frey J.W. and Corn M. 1967).. Το πετρέλαιο περιέχει μεγαλύτερες ποσότητες Ni από βενζίνη, και όπως ισχύει για το μόλυβδο, το χαλκό και το ψευδάργυρο, ομοίως υπάρχει έντονη συσχέτιση των συγκεντρώσεών του στα εδάφη και στην βλάστηση με την απόσταση από αυτοκινητόδρομους μεγάλης κυκλοφορίας (Lagerwerff J.V. and Specht A.W. 1970). Η επόμενη σημαντική πηγή εκπομπή Ni είναι οι τεχνικές επεξεργασίας του μετάλλου, η καύση άνθρακα και η χρήση αστικών και βιομηχανικών (επιμετάλλωσης αντικειμένων και βυρσοδεψείας) απόβλητων στη λυματολάσπη. Κάποια φωσφορικά λιπάσματα είναι επίσης σημαντικές πηγές Ni.

Σημαντικές φυσικές πηγές εκπομπής Ni αποτελούν ηφαιστειακές δραστηριότητες, δασικές πυρκαγιές, μετεωρική σκόνη κ.α. Βέβαια, το 80% των εκπομπών Ni προέρχεται από ανθρωπογενείς πηγές.

Εκτιμώμενες τιμές συγκεντρώσεων κυμαίνονται από 2 kg/km<sup>2</sup>/yr σε αγροτικές περιοχές μέχρι στα 88 kg/km<sup>2</sup>/yr σε αστικές και βιομηχανικές (Schmidt J.A. and Andren A.W. 1980).

## 10. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

### 10.1. Δειγματοληψία – Μέθοδοι προσδιορισμού

Για την εκτίμηση της ποιότητας των εδαφών της περιοχής μελέτης προσδιορίστηκαν ποσοτικά μετρήσιμες ιδιότητες του εδάφους. Για τη ποσοτικοποίηση των δεικτών οι οποίοι σχετίζονται με τις φυσικοχημικές εδαφικές ιδιότητες, πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες στο υπο μελέτη πάρκο, Πάρκο Περιβαλλοντικής Ευαισθητοποίησης.

Κατά τη περίοδο 28/08/2010 λήφθηκαν εδαφικά δείγματα 5 (1kg) σε εδαφικές ζώνες: 0 – 15 cm και 15 – 25 cm. Επομένως, συλλέχθηκαν 5 δείγματα σε βάθος 0 – 15 cm και 5 δείγματα σε βάθος 15 – 25 cm. Σε κάθε θέση με τη βοήθεια κατάλληλων εργαλείων όπως ο εδαφολήπτης/εδαφοτρύπη πραγματοποιήθηκε διάνοιξη οπών για την παραλαβή των εδαφικών δειγμάτων. Μετά τη συλλογή των δειγμάτων το κάθε δείγμα ανακατεύτηκε πολύ καλά ώστε να γίνει ομοιογενές. Στη συνέχεια το κάθε δείγμα συσκευάζεται σε καθαρή πλαστική σακούλα και τοποθετείται μέσα σε αυτή η καρτέλα με τα στοιχεία του δείγματος. Τα τελικά δείγματα μεταφέρονταν άμεσα στο χώρο του εργαστηρίου.

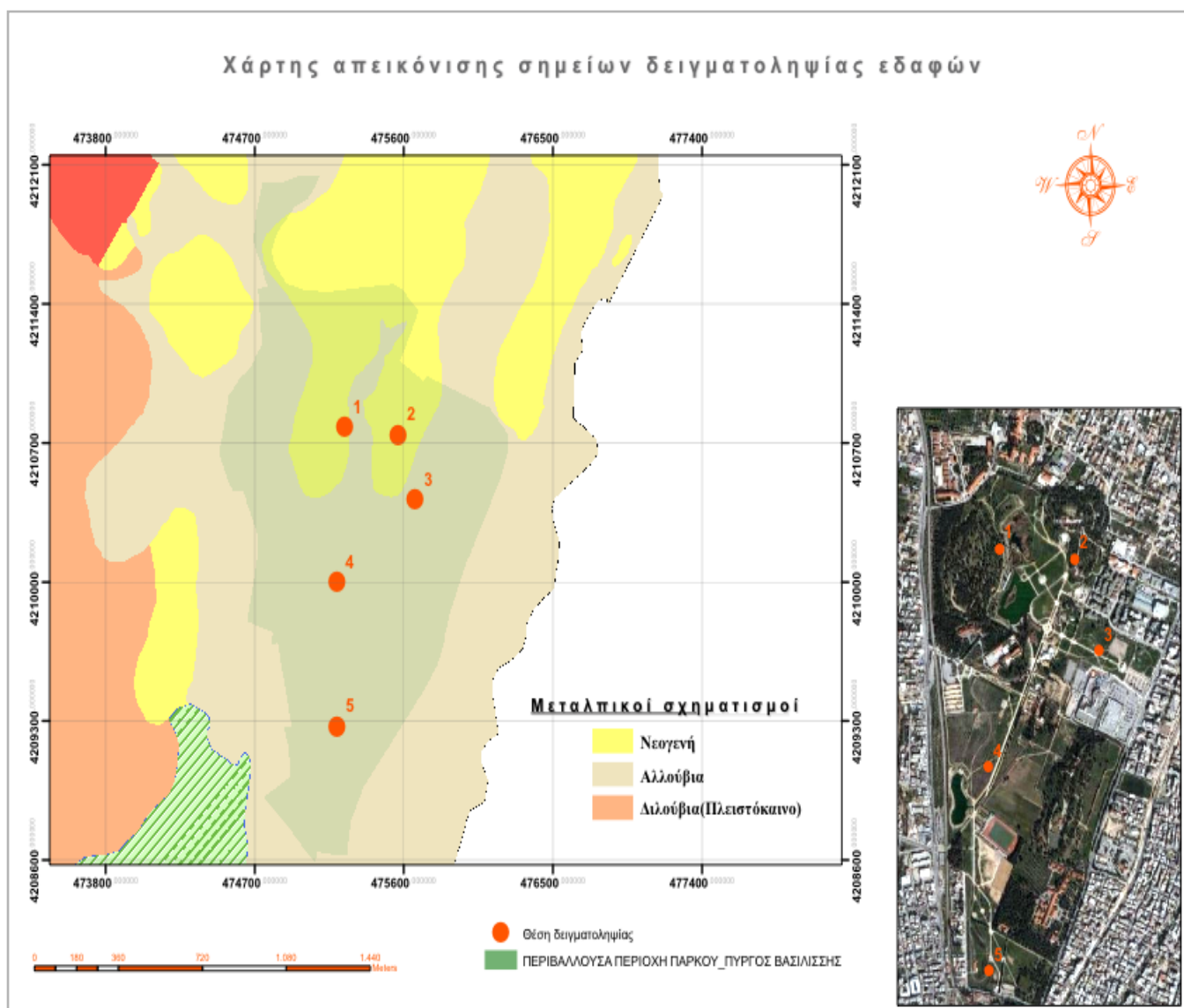
Στα πλαίσια της εργασίας αυτής διερευνήθηκαν εδαφικοί σχηματισμοί που δομούν τους ανώτερους ορίζοντες ανάπτυξης του συστήματος των Τεταρτογενών και Νεογενών σχηματισμών της έκτασης της περιοχής έρευνας. Το σύστημα αυτό αποτελείται από αλλουβιακές αποθέσεις που καλύπτουν την πεδινή περιοχή (αργιλλοαμμώδη υλικά, άμμοι, κροκαλολατύπες και γενικά μηχανικά ιζήματα ποικίλης κοκκομετρίας) και προέρχονται από τη μεταφορά και απόθεση των υλικών διάβρωσης των νεογενών αποθέσεων της λοφώδους ζώνης. Στους λόφους της στενής περιοχής έρευνας αλλά και της ευρύτερης αναπτύσσεται η νεογενής σειρά ιζηματογενών πετρωμάτων (εναλλασσόμενα στρώματα λιμναίας φάσης μαργών, αργίλων και ψαμμιτών με παρεμβολές κροκαλοπαγών).

Οι θέσεις δειγματοληψίας των εδαφικών δειγμάτων κατανέμονται στην λοφώδη έκταση και στην πεδινή έκταση του Πάρκου όπως παρουσιάζονται στο χάρτη του σχήματος 25 και οι συντεταγμένες στον Πίνακα 12.

Οι θέσεις δειγματοληψίας 3, 4 και 5, αφορούν εκτάσεις καρποφόρων δένδρων, αρδευόμενων στάγδην στους αλλουβιακούς σχηματισμούς της λεκάνης. Ενώ, στα ΒΑ όρια του πάρκου στις θέσεις 1 και 2 κυριαρχεί η Χαλέπιος Πεύκη (*Pinus halepensis*) καλύπτοντας τους νεογενείς λόφους του Πάρκου.

**Πίνακας 12: Πίνακας συντεταγμένων των θέσεων δειγματοληψίας.**

A/A	X	Y
Soil sample 1	475573	4210751
Soil sample 2	475236	4210789
Soil sample 3	475668	4210427
Soil sample 4	475189	4210002
Soil sample 5	475189	4210275



**Σχήμα 25: Χάρτης απεικόνισης θέσεων δειγματοληψίας εδαφικών δειγμάτων.**

### 10.1.1. Προσδιορισμός Μηχανικής Συστάσεως

Ο εργαστηριακός προσδιορισμός των τριών κλασμάτων της μηχανικής συστάσεως του εδάφους έγινε με τη μέθοδο Βουγιούκου αφού έχει προηγηθεί διαμερισμός του εδαφικού δείγματος.

- Μέθοδος υδρομέτρου Βουγιούκου.

Κατά τη μέθοδο αυτή, το εδαφικό δείγμα, διασπείρεται σε μία στήλη ύδατος και η πυκνότητα του αιωρήματος μετράται σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα. Επειδή τα χονδρόκοκκα υλικά καθιζάνουν ταχύτερα απ' ό,τι τα λεπτόκοκκα εδαφικά υλικά (Νόμος Stokes) επιλέγονται οι χρόνοι μετρήσεως της πυκνότητας έτσι ώστε να έχουν καθιζήσει η άμμος και δεύτερον η άμμος και ιλύς (η άργιλος παραμένει σε αιώρηση). Κατόπιν υπολογίζεται η εκατοστιαία αναλογία άμμου, ιλύος και αργίλου στο έδαφος.

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί ένα πυκνόμετρο (υδρόμετρο Βουγιούκου) για την μέτρηση της πυκνότητας του αιωρήματος εδάφους – ύδατος.

Συγκεκριμένα χρησιμοποιείται ειδικός (συγκεκριμένων διαστάσεων) ογκομετρικός κύλινδρος/ κύλινδρος καθιζήσεως Βουγιούκου, στον οποίο έχει βρεθεί ότι σε 40 δευτερόλεπτα (στους 19,4 °C), από την έναρξη της πτώσης των πρωτογενών εδαφικών κόκκων, έχει καθιζήσει το κλάσμα της άμμου και βρίσκονται σε αιώρηση τα κλάσματα της ιλύος και της αργίλου. Σε δύο ώρες έχει βρεθεί ότι αιωρείται μόνο το κλάσμα της αργίλου. Χρησιμοποιώντας το υδρόμετρο Βουγιούκου πραγματοποιούνται μετρήσεις πυκνότητας του αιωρήματος στις δύο προαναφερθείσες χρονικές στιγμές.

Αναλυτικά τα βήματα που ακολουθήθηκαν είναι:

- Ζύγισμα 50 gr αεροξηραθέντος δείγματος και προσθήκη του ζυγισμένου δείγματος σε ποτήρι-δοχείο ηλεκτρικού αναμεικτή, στο οποίο προστίθεται 50 mL διάλυμα διασποράς (Calgon ή μεταφωσφορικό νάτριο  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ) και απεσταγμένο νερό μέχρι τα  $\frac{3}{4}$  του ύψους του ποτηριού. Ανακινούμε το περιεχόμενο του ποτηριού για 5 λεπτά, έτσι ώστε να επιτευχθεί ο διαμερισμός του εδάφους με ένα συνδυασμό χημικών και μηχανικών μέσων. Προσθήκη του αιωρήματος στο κύλινδρο Βουγιούκου των 1205 ml με προσθήκη απεσταγμένου νερού μέχρι την τιμή των 1020 ml. Ανάμειξη του δείγματος (αναστρέφοντας τον κύλινδρο για καλή ανάμειξη) για 1 λεπτό.
- Ομοίως, γίνεται προσθήκη σε άλλο κύλινδρο Βουγιούκου, χωρίς εδαφικό δείγμα μόνο με απεσταγμένο νερό και 50mL διαλύματος διασποράς, λαμβάνεται η ένδειξη του υδρομέτρου, η οποία θα αφαιρείται από κάθε ένδειξη του υδρομέτρου για κάθε εδαφικό δείγμα.

- Τοποθέτηση κυλίνδρου σε σταθερό μέρος και παράλληλη τοποθέτηση του υδρόμετρου μέσα στο αιώρημα και με το πέρας 40 δευτερολέπτων από την τοποθέτηση του υδρόμετρου σημειώνεται η πρώτη μέτρηση. Στον ίδιο χρόνο λαμβάνεται και η μέτρηση της θερμοκρασίας του αιωρήματος. Η δεύτερη μέτρηση σημειώνεται μετά από δύο ώρες.

### Υπολογισμοί

$\Delta$ : διόρθωση ενδείξεως θερμοκρασίας = (θερμοκρασία αιωρήματος – 20°C) \* 0.3

A: διορθωμένη ένδειξη υδρομέτρου = πραγματική ένδειξη υδρομέτρου +  $\Delta$  –ένδειξη υδρομέτρου χωρίς δείγμα.

40' ενδείξεις  $\Rightarrow$  %Silt + %Clay = ((A /Βάρος δείγματος)\*100  $\rightarrow$  (A/50)\*100  $\rightarrow$  A\*2  
%Sand = 100 – (%Silt + %Clay)

2 hrs ενδείξεις  $\Rightarrow$  %Clay = A\*2

Υπολογισμός ιλύος (Silt)  $\Rightarrow$  %Silt = 100 – (%Sand + %Clay)

### **10.1.2. Προσδιορισμός pH**

- Προσδιορίστηκαν σε εκχύλισμα εδάφους 1:1 H<sub>2</sub>O

Σε ποτήρι ζέσεως 100ml τοποθετούνται 40 gr κοσκινισμένου αεροξηραθέντος δείγματος εδάφους και προστίθονται 40 mL απεσταγμένο νερό. Περιοδικώς και για το χρονικό διάστημα 30 λεπτών το αιώρημα αναδεύεται και μετά τη παρέλευση του διαστήματος των 30 λεπτών αφήνεται το αιώρημα για ηρεμία και μερική καθίζηση για 1 ώρα. Μετά την καθίζηση εισέρχονται προσεκτικά στο αιώρημα τα ηλεκτρόδια και μετράται το pH με πεχάμετρο.

### **10.1.3. Προσδιορισμός Ηλεκτρικής αγωγιμότητας (Electrical Conductivity/ EC)**

- Προσδιορίστηκε σε εκχύλισμα κορεσμού με αγωγιμόμετρο

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους προσδιορίζεται από το εκχύλισμα κορεσμού που προκύπτει από την πάστα κορεσμού.

Για την παραγωγή εδαφικής πάστας ζυγίζονται 40 gr εδαφικού δείγματος και σταδιακά προσθέτονται μικρές ποσότητες νερού μέχρι τον κορεσμό του. Το σημείο κορεσμού έχει επιτευχθεί όταν το έδαφος έχει διαβραχεί με τόση ποσότητα απεσταγμένου νερού ώστε α) να “ρέει βραδέως”, β) να μην παρουσιάζεται ελεύθερο νερό στην επιφάνεια του δοχείου που



περιέχει την εδαφική πάστα, γ) στην επιφάνεια της όταν χαράζεται αυλάκι να μην παραμένουν ίχνη. Στη συνέχεια παραλαμβάνεται με τη χρήση αντλίας κενού το εκχύλισμα κορεσμού και πραγματοποιείται μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας.

#### 10.1.4. Προσδιορισμός εδαφικής υγρασίας

- Προσδιορίστηκε με τη μέθοδο TDR

Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις της κατ' όγκον υγρασίας του εδάφους. Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της Χωροχρονικής Ανακλασιμετρίας ή TDR (Time Domain Reflectometry) η οποία είναι μία μη ραδιενεργός μέθοδος γρήγορη και εύκολη. Έγινε χρήση της συσκευής TDR η οποία έχει τη δυνατότητα να δίνει μετρήσεις σε βάθος 0-15 cm, εξασφαλίζοντας πολύ καλή ακρίβεια μετρήσεων, αφού ο αισθητήρας προσδιορισμού της εδαφικής υγρασίας βρίσκεται σε συνεχή επαφή με το έδαφος. Η ενσωμάτωση αισθητήρων εδαφικής υγρασίας προϋποθέτει τον προσδιορισμό ορισμένων σημαντικών δεικτών όπως είναι: η υδατοϊκανότητα, το σημείο μόνιμης μάρανσης και η διαθέσιμη υγρασία.

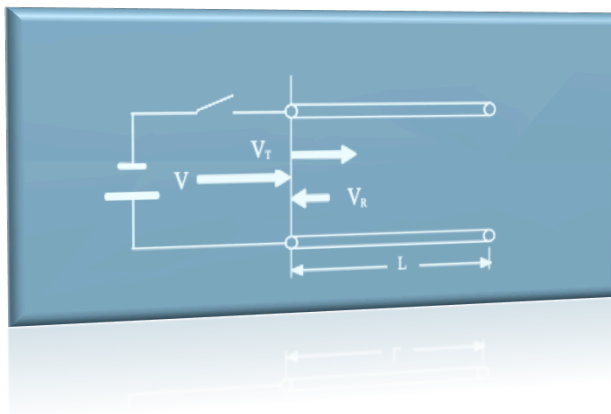
Η μέθοδος μέτρησης χρόνου ανάκλασης ηλεκτρομαγνητικού παλμού, που είναι γνωστή στη διεθνή βιβλιογραφία ως TDR (Time Domain Reflectometry), χρησιμοποιείται ευρέως τις τελευταίες δεκαετίες για το προσδιορισμό της εδαφικής υγρασίας. Η μέθοδος μέτρησης της εδαφικής υγρασίας TDR, βασίζεται στην έντονη συσχέτιση που παρουσιάζεται μεταξύ της διηλεκτρικής σταθεράς σε υγρό έδαφος και της κατ' όγκον υγρασίας εδάφους  $\theta$  (Campbel., 1990), Η αρχή της μεθόδου συνίσταται στη μέτρηση του χρόνου  $T_p$  που απαιτείται για να διατρέξει ένας ηλεκτρομαγνητικός παλμός υψηλής συχνότητας (600-1200 MHz) το μήκος  $L_p$  ενός βυθισμένου στο έδαφος κυματοδηγού. Από τις τιμές του χρόνου αυτού υπολογίζεται η φαινόμενη διηλεκτρική σταθερά  $\epsilon_f$  του εδάφους και από αυτή προσδιορίζεται η κατ' όγκον υγρασία του.

Η φαινόμενη διηλεκτρική σταθερά επηρεάζεται από την ταχύτητα διάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών παλμών κατά μήκος του μεταλλικού κυματοδηγού. Ο χρόνος που μεσολαβεί από την είσοδο του παλμού στον κυματοδηγό μέχρι την επιστροφή του είναι ο χρόνος διαβίβασης, από την ακριβή μέτρηση του οποίου προσδιορίζεται η φαινόμενη διηλεκτρική σταθερά του εδάφους, σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση (Topp et al., 1980)

$$K_b = (c_0 T_p / 2L_p)^2, \text{ όπου } c_0 \text{ η ταχύτητα του φωτός στο κενό (cm ns}^{-1}\text{)}$$

Μία απλοποιημένη σχηματική αναπαράσταση της αρχής λειτουργίας της μεθόδου TDR φαίνεται στο Σχήμα 26. Ένας παλμός τάσης  $V$  εφαρμόζεται στις παράλληλες γραμμές

διαβίβασης. Ένα κλάσμα της εφαρμοζόμενης τάσης  $V_T$  διαδίδεται κατά μήκος των κυματοδηγών. Μετά την ανάκλαση του παλμού από το έδαφος στο τέλος των κυματοδηγών, ένα κλάσμα  $V_R$  επιστρέφει στην αρχή. Ο χρόνος διαβίβασης και κατ' επέκταση η διηλεκτρική σταθερά του υγρού εδάφους εξαρτάται από την αναλογία των τριών φάσεων του εδάφους (νερό, αέρας και στερεά συστατικά). Η διηλεκτρική σταθερά του νερού εξαρτάται από τη θερμοκρασία και κυμαίνεται από 74 μέχρι 84 (80.2 στους 20 °C), είναι περίπου εικοσαπλάσια εκείνης των στερεών συστατικών του εδάφους (3 έως 5) και 80 φορές μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του αέρα (1.0005 στους 20 °C).



Σχήμα 26: Σχηματική αναπαράσταση της αρχής λειτουργίας μεθόδου TDR.

Οι μεγάλες διαφορές μεταξύ των τιμών της διηλεκτρικής σταθεράς του νερού και των άλλων φάσεων του εδάφους, καθιστά τη φαινόμενη διηλεκτρική σταθερά του εδάφους, ευαίσθητη στην εδαφική υγρασία (Topp et al., 1980). Βασιζόμενοι σ' αυτό, οι Topp et al. (1980) πρότειναν μία εμπειρική σχέση για τον υπολογισμό της κατ' όγκο εδαφικής υγρασίας,  $\theta$ , από τη φαινόμενη διηλεκτρική σταθερά του εδάφους,  $K_b$ , όπως αυτή υπολογίζεται με την τεχνική TDR:

$$\theta = -0,053 + 0,0292K_b - 0,00055K_b^2 + 0,0000043K_b^3$$

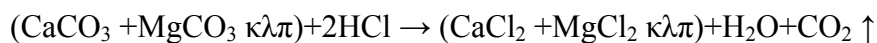
Η εμπειρική αυτή σχέση των Topp et al. (1980), ισχύει για ευρύ φάσμα ανόργανων εδαφών και υπολογίζει με ικανοποιητική ακρίβεια (λάθος εκτίμησης περίπου 0.013) την εδαφική υγρασία όταν αυτή είναι μικρότερη από 0.5 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>. Δεν μπορεί όμως να περιγράψει τη σχέση  $\theta$ - $K_b$  όταν η εδαφική υγρασία είναι μεγαλύτερη από 0.5 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>, όπως επίσης σε οργανικά εδάφη και σε ανόργανα εδάφη με υψηλή περιεκτικότητα σε οργανική ουσία ή άργιλο (Jones et al., 2002). Στις περιπτώσεις που η εξίσωση των Topp et al. (1980) αδυνατεί να περιγράψει τη σχέση  $\theta$ - $K_b$ , απαιτείται βαθμονόμηση της μεθόδου για τις ειδικές συνθήκες της κάθε περίπτωσης.

Οι μετρήσεις της εδαφικής υγρασίας με τη μέθοδο TDR επηρεάζονται σε κάποιο βαθμό από τη διηλεκτρική σταθερά των εδαφικών υλικών, και ως εκ τούτου από τον τύπο του εδάφους. Για υγρασία εδάφους παραδείγματος χάριν 20%, η αλλαγή της διηλεκτρικής σταθεράς των εδαφικών υλικών από 3 σε 5 ισοδυναμεί με αλλαγή της υγρασίας του εδάφους από 20% σε 21,5% (Gardner et al., 1991). Οι ιδιότητες του εδάφους που επηρεάζουν τις μετρήσεις της εδαφικής υγρασίας με τη μέθοδο TDR είναι η φαινόμενη πυκνότητα, η μηχανική σύσταση, κυρίως η περιεκτικότητα σε άργιλο (Sun et al., 2001, Jones et al., 2002, Gong et al., 2003) και η δομή των συσσωματωμάτων του εδάφους (Miyamoto et al., 2003). Για το λόγο αυτό, ακόμη και στις περιπτώσεις που η εξίσωση των Torpp et al. (1980) περιγράφει τη σχέση  $\theta$ -Kb με την ακρίβεια που αναφέρεται παραπάνω (λάθος εκτίμησης περίπου 0,013), αλλά επιδιώκεται μεγάλη ακρίβεια στις μετρήσεις της εδαφικής υγρασίας, είναι απαραίτητη η βαθμονόμηση της μεθόδου ως προς τον τύπο του εδάφους.

#### **10.1.5. Προσδιορισμός ανθρακικού ασβεστίου (CaCO<sub>3</sub>)**

- Προσδιορίστηκε με τη μέθοδο Bernard

Το ποσοστό των ανθρακικών αλάτων που περιέχονται στο έδαφος, (CaCO<sub>3</sub>, MgCO<sub>3</sub> κλπ) εκφράζονται ως CaCO<sub>3</sub>. Η μέθοδος βασίζεται στην ογκομετρική ανάλυση του διοξειδίου του άνθρακα, CO<sub>2</sub>, που απελευθερώνεται από το έδαφος υπό την επίδραση υδροχλωρικού οξέος, HCl και τη σύγκριση με το CO<sub>2</sub> που απελευθερώνεται από καθαρό CaCO<sub>3</sub> υπό τις ίδιες συνθήκες. Η αντίδραση περιγράφεται ως:



Η μέτρηση του CO<sub>2</sub> γίνεται με ασβεστόμετρο Bernard, μια ειδική συσκευή, με σκοπό να μπορεί να μετρηθεί η εκλυόμενη ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα κατά την αντίδραση συγκεκριμένης ποσότητας εδάφους. Η συσκευή παρέχει απ' ευθείας ανάγνωση του εκλυόμενου όγκου.

Αρχικά στα δείγματα γίνεται μια προσεγγιστική εκτίμηση της περιεκτικότητας τους σε ανθρακικό ασβέστιο, έτσι ώστε να βρεθεί η σωστή ποσότητα δείγματος, ώστε ο όγκος του διοξειδίου του άνθρακα που εκλύεται κατά την αντίδραση του υδροχλωρικού οξέως με το ανθρακικό ασβέστιο να μην ήταν ούτε υπερβολικά μεγάλος ούτε υπερβολικά μικρός, έτσι ώστε να αποτρεπόταν τυχόν σφάλμα στη μέτρηση. Έτσι, χρησιμοποιήθηκαν δείγματα εδάφους, τα οποία τοποθετήθηκαν σε κάψες από πορσελάνη και έγινε προσθήκη σταγόνων


διαλύματος υδροχλωρικού οξέος. Κατά την προσθήκη των σταγόνων το άφρισμα ήταν έντονο και έτσι πάρηταν από το κάθε δείγμα 2 γραμμάρια εδάφους.

Αναλυτικότερα, ποσότητα 2 γραμμάρια εδάφους εισάγεται στην κωνική φιάλη της συσκευής καθώς ο μικρός δοκιμαστικός σωλήνας της συσκευής κατά τα 2/3 συμπληρωμένος με υδροχλωρικό οξύ (HCL 1:1) και πωματίζουμε καλά τη φιάλη χωρίς να έρχεται σε επαφή το διάλυμα του με το εδαφικό δείγμα.

Η στάθμη του νερού μέσα στον ογκομετρικό σωλήνα μέτρησης βρίσκεται πάνω από το μηδέν έτσι ώστε όταν πωματίζουμε την κωνική φιάλη να κατέλθει ακριβώς στο μηδέν. Λαμβάνοντας τη γυάλινη χοάνη που είναι αναρτημένη στη συσκευή από αριστερά και με τη κωνική φιάλη με το εδαφικό δείγμα από δεξιά, ανακινούμε με το δεξι χέρι έτσι ώστε το διάλυμα του υδροχλωρικού οξέως να διαβρέξει όλη τη ποσότητα του εδάφους και παράλληλα από αριστερά μετακινούμε τη χοάνη έτσι ώστε η ελεύθερη στάθμη του νερού που υπάρχει μέσα σ' αυτή να είναι στο ίδιο επίπεδο με τη στάθμη μέσα στον ογκομετρικό σωλήνα μέτρησης. Στο τέλος της αντίδρασης σημειώνεται ο όγκος του CO<sub>2</sub> που παρήχθη από την αντίδραση.

#### Υπολογισμοί

Η περιεκτικότητα των ανθρακικών αλάτων εδαφικού δείγματος εκπεφρασμένων σε CaCO<sub>3</sub> δίνεται από τη σχέση:


$$\text{CaCO}_3 \text{ σε g\%} = k * V_{\text{CO}_2}/g$$

Όπου:  $V_{\text{CO}_2}$  = Ο όγκος του CO<sub>2</sub> σε ml που μετρήθηκε με τη βοήθεια του ασβεστομέτρου

$g$  = Τα γραμμάρια του εδάφους που χρησιμοποιήθηκαν

$k$  = Συντελεστής μετατροπής του ενός ml CO<sub>2</sub> σε g CaCO<sub>3</sub> ανά 100 g εδάφους

Η τιμή του  $k$  μεταβάλλεται ανάλογα με τη θερμοκρασία και την πίεση, έτσι:

$k = 0,44$  για θερμοκρασία 0 και πίεση 760mm Hg

$k = 0,42$  για θερμοκρασία 15 και πίεση 760mm Hg

$k = 0,41$  για θερμοκρασία 20 και πίεση 760mm Hg

$k = 0,40$  για θερμοκρασία 30 και πίεση 760mm Hg

### 10.1.6. Προσδιορισμός Οργανικής ουσίας

▪ Προσδιορίστηκε με τη μέθοδο της υγρής οξειδωσης με διχρωμικό κάλιο (Walkley, 1946) Ζυγίζονται 0.5 gr εδάφους και το μεταφέρουμε σε στεγνή κωνική φιάλη των 500 ml. Προσθέτονται 10 ml διχρωμικό κάλιο  $K_2Cr_2O_7$  και αναδεύονται ήπια, στη συνέχεια προσθέτονται 20 ml πυκνού  $H_2SO_4$  και ακολουθεί ανάδευση για 1 λεπτό κάτω από τον απαγωγό. Κατόπιν το διάλυμα αφήνεται 30 λεπτά σε ηρεμία και στη συνέχεια προσθέτονται 200 ml νερό και 10 ml πυκνού  $H_3PO_4$  και αφήνουμε να ψυχθεί. Επίσης προσθέτονται και 15 σταγόνες δείκτη διφαινολαμινικό – σουλφανικό βάριο για να χρωματιστεί το δείγμα μαύρο. Τέλος ακολουθεί η ογκομέτρηση του δείγματος με τον θειικό σίδηρο, μέχρι το τελικό χρώμα να γίνει πράσινο. Προς το τέλος της τιτλόδοτησης το χρώμα γίνεται σκούρο κυανώδες και από το σημείο αυτό η προσθήκη του διαλύματος θειικού σιδήρου γίνεται με σταγόνες θπό ανάδευση. Παράλληλα ετοιμάζεται και ένα τυφλό δείγμα (μάρτυρας) με όλα τα αντιδραστήρια εκτός του εδάφους. Ο τύπος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της οργανικής ουσίας στο έδαφος είναι:

$$\text{Οργανική ουσία σε gr \%εδάφους} = (T - T') \cdot N \cdot (0.3 \cdot 1.3 \cdot 1.72 / B)$$

*Οπου:*

*T = τα ml του διαλύματος του δισθενούς θειικού σιδήρου που καταναλώθηκαν για την ογκομέτρηση του δείγματος,*

*T' = τα ml του δισθενούς θειικού σιδήρου που καταναλώθηκαν για την ογκομέτρηση του μάρτυρα,*

*N = η κανονικότητα του διαλύματος θειικού σιδήρου,*

*B = το βάρος του εδαφικού δείγματος που χρησιμοποιήθηκε,*

*0.3 = συντελεστής μετατροπής του 1 ml  $K_2Cr_2O_7$  1N σε g άνθρακα % ,*

*1.3 = συντελεστής που αναφέρεται στο ποσοστό του άνθρακα της οργανικής ουσίας που οξειδώνεται με τη μέθοδο αυτή,*

*1.72 = συντελεστής που αναφέρεται στη μετατροπή του ποσοστού του άνθρακα σε ποσοστό οργανικής ουσίας (περιεκτικότητα ουσία σε C = 58%).*

### 10.1.7. Προσδιορισμός ολικών μορφών βαρέων μετάλλων (Pb, Cd, Zn, Ni, Fe, Mn).

- Προσδιορίστηκαν με τη μέθοδο A/R. (Aqua Regia /βασιλικό νερό) (μείγμα πυκνού υδροχλωρικού οξέος με νιτρικό οξύ σε αναλογία 3:1[HCL(37%):HNO<sub>3</sub>(65%)]).

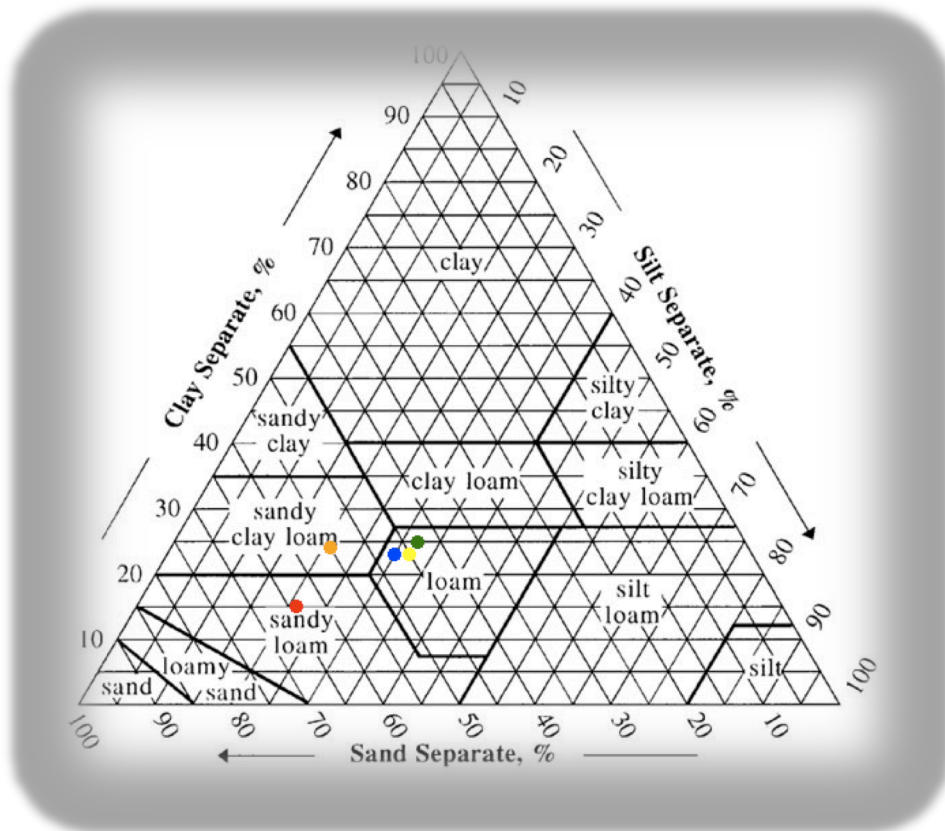
Ζυγίστηκε ποσότητα 2 γραμμάρια εδάφους και τοποθετήθηκε σε δοκιμαστικό σωλήνα. Αρχικά απομακρύνθηκε η περιεχόμενη οργανική ουσία των δειγμάτων, τεχνική ξηράς καύσης με υπεροξείδιο του υδρογόνου H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Στη συνέχεια τοποθετήθηκαν οι δοκιμαστικοί σωλήνες του φούρνου μικροκυμάτων (Milestone microwave) σε απαγωγό εστία και κατόπιν προστέθηκε σε κάθε δοκιμαστικό σωλήνα A.R και αφού αναδεύτηκαν ελαφρά, τοποθετήθηκαν σε φούρνο μικροκυμάτων (Milestone microwave) για 20'. Με τη λήξη του προγράμματος του φούρνου μικροκυμάτων, οι δοκιμαστικοί σωλήνες τοθετήθηκαν για ψύξη σε υδρόλουτρο.

Η μέτρηση των ολικών μορφών πραγματοποιήθηκε στην υγρή φάση του προηγούμενου βήματος, στην ατομική απορρόφηση GBC 908AA.

# 11. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

## ΕΛΑΦΩΝ

### 11.1 Μηχανική (κοκκομετρική) σύσταση



<i>Soil sample 1</i>	Αμμοαπηλώδες (SL)	Πηλώδη ή μέσης συστάσεως
<i>Soil sample 2</i>	Αμμοαργιλοπηλώδες (SCL)	
<i>Soil sample 3</i>	Πηλώδες (L)	
<i>Soil sample 4</i>	Πηλώδες (L)	
<i>Soil sample 5</i>	Πηλώδες (L)	

Και τα πέντε εδαφικά δείγματα της περιοχής μελέτης, ταξινομούνται στη ζώνη των πηλωδών ή μέσης συστάσεως εδάφη. Σύμφωνα με βιβλιογραφικές αναφορές τα μέσης συστάσεως εδάφη παρουσιάζουν τα μικρότερα προβλήματα και συνδυάζουν τις επιθυμητές ιδιότητες της

αργίλου και της άμμου, εκπροσωπώντας τα καταλληλότερα για γεωργική εκμετάλλευση εδάφη.

Το υλικό των δειγμάτων χαρακτηρίζεται μέσης κοκκομετρικής σύστασης, με το κλάσμα της άμμου να εμφανίζει κατά κανόνα το υψηλότερο ποσοστό συμμετοχής. Το κλάσμα της ιλύος αποτελεί το δεύτερο σε αφθονία συστατικό, ενώ η άργιλος συμμετέχει σε μικρότερα ποσοστά.

*Πίνακας 13: Ποσοστά συγκέντρωσης των κλασμάτων της άμμου, αργίλου και της ιλύος.*

Soil samples	Sand %	Clay %	Silt %
Soil sample 1	66	14	20
Soil sample 2	57	23	20
Soil sample 3	49	22	29
Soil sample 4	45	24	31
Soil sample 5	47	22	31

### **Πηλώδη (Loam)**

- Τα εδαφικά δείγματα (3, 4, 5) κατατάσσονται με βάση το τρίγωνο κλάσεων μηχανικής συστάσεως στην κλάση των πηλωδών/ μεσαίων εδαφών (loam). Τα πηλώδη εδάφη αποτελούν τον ιδανικό τύπο του εδάφους για την ανάπτυξη των φυτών και αυτό βασίζεται στις ιδανικές σχετικές αναλογίες των τριών κλασμάτων άμμο – ιλύ – άργιλο. Τα πηλώδη εδάφη διατηρούν ένα επωφελές ποσοστό υγρασίας για την ανάπτυξη των φυτών. Συγκρατούν μικρότερες ποσότητες νερού απ' ότι τα αργιλώδη εδάφη και μεγαλύτερες απ' ότι τα αμμώδη. Το νερό διέρχεται εύκολα, αλλά όχι με μεγάλη ταχύτητα και προκαλεί επαρκείς συνθήκες αερισμού και στράγγισης για την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος.
- Το εδαφικό δείγμα 1 κατατάσσεται σύμφωνα με το τρίγωνο κλάσεων μηχανικής συστάσεως στην κλάση των αμμοπηλωδών εδαφών (Sandy Loam) ή μετρίως χονδρόκοκκων. Εμφανίζουν ελαφρώς μεγαλύτερο ποσοστό των κλασμάτων ιλύος και αργίλου απ' ότι τα αμμώδη εδάφη και ως εκ τούτου εκδηλώνουν και συνεκτικότητα κατά τη διαβροχή τους.
- Το εδαφικό δείγμα 2 κατατάσσεται σύμφωνα με το τρίγωνο κλάσεων μηχανικής συστάσεως στην κλάση των Αμμοαργιλοπηλωδών εδαφών (Sandy clay loam) ή μετρίως λεπτόκοκκων. Η συμπεριφορά τους καθορίζεται από τις ιδιότητες των κλασμάτων της άμμου και της αργίλου.

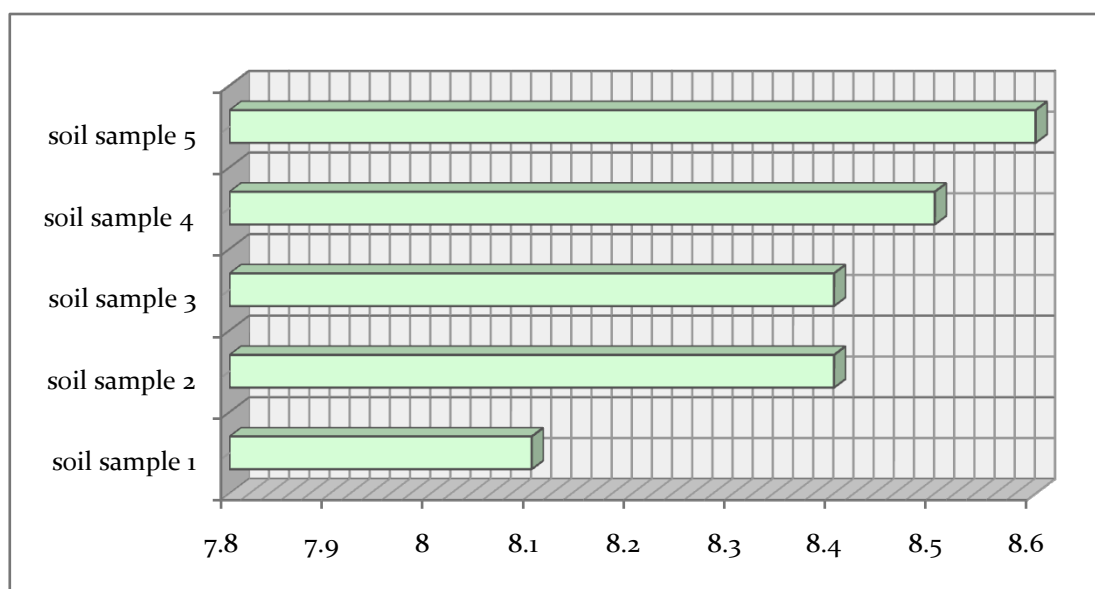


- Τα εδαφικά δείγματα 1,2 παρουσιάζουν παρόμοιες ιδιοτητες, παρουσιάζοντας και τα δύο σημαντικά ποσοστά άμμου. Η διαφορά μεταξύ τους έγκειται στο μεγαλύτερο ποσοστό αργίλου που απαρτίζει το εδαφικό δείγμα 2, με αποτέλεσμα να εκδηλώνει σε μεγαλύτερο βαθμό συνεκτικότητα και πλαστικότητα.

## 11.2. pH

Τα εδάφη σε όλες τις θέσεις δειγματοληψίας (Σχήμα 27), χαρακτηρίζονται από μετρίως αλκαλικό χαρακτήρα (εύρος pH: 8.1 – 8.6) (υψηλές συγκεντρώσεις  $\text{OH}^-$ ). Οφειλόμενο προφανώς στην ύπαρξη ανθρακικών σχηματισμών και στους μηχανισμούς διάβρωσής τους. Αύξηση του pH εμφανίζεται σε εδάφη με μεγάλες συγκεντρώσεις  $\text{CaCO}_3$  και επομένως κορεσμένα σε ιόντα  $\text{Ca}^{2+}$ . Το pH σε αυτά τα εδάφη κυμαίνεται από 7 έως 8, ανάλογα με τις συγκεντρώσεις του  $\text{CO}_2$  από τις βιολογικές δραστηριότητες. Αυτό αποτελεί γεγονός που υποδηλώνει ότι ανθρακικοί σχηματισμοί περισσότερο διαλυτοί από το  $\text{CaCO}_3$  όπως το  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  μπορούν να προκαλέσουν σημαντική αύξηση στο pH (Nyle C. Brady and Ray R. Weil 2004).

Τα εδάφη έχουν σχηματισθεί σε αλλουβιακούς σχηματισμούς πλούσιους σε ανθρακικά καθώς και σε μαργαϊκούς σχηματισμούς. Επομένως, οι τιμές του pH των εδαφών που μελετήθηκαν εκφράζουν μεγάλες ποσότητες προσροφημένων βασικών κατιόντων, όπως  $\text{Ca}^{2+}$ , στα εδαφικά κolloειδή.



Σχήμα 27: Ραβδόγραμμα pH των εδαφών.

### 11.3. Ηλεκτρική αγωγιμότητα

Τα αποτελέσματα προσδιορισμών της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (Electrical Conductivity) των δειγμάτων της περιοχής παρουσιάζονται αναλυτικά στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 14).

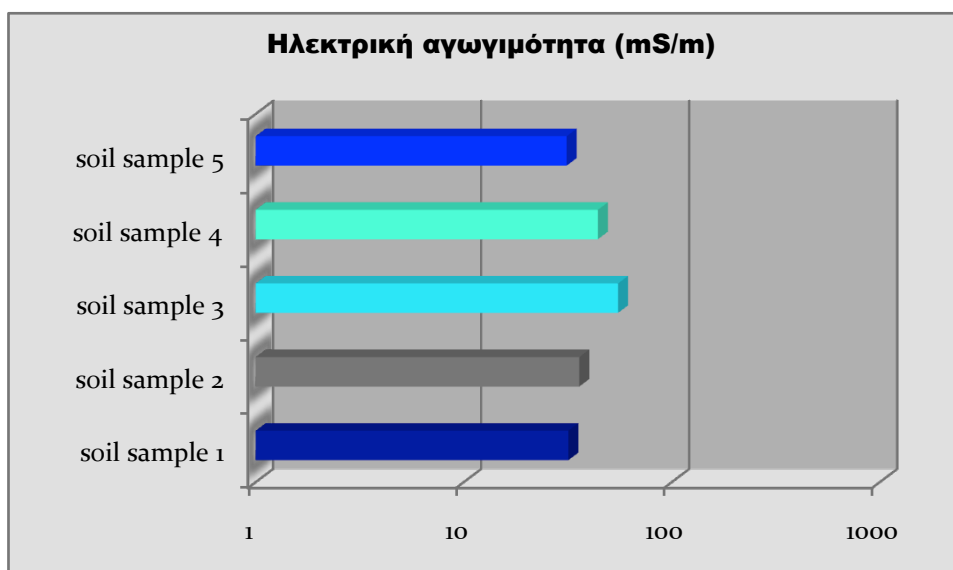
Πίνακας 14: Πίνακας τιμών ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε  $mS/cm$ ,  $mS/m$ .

Soil samples	EC ( $\mu S/cm$ )	EC ( $mS/m$ )
Soil sample 1	319	31.9
Soil sample 2	360	36
Soil sample 3	553	55.3
Soil sample 4	442	44.2
Soil sample 5	313	31.3

Τα εδάφη ως μέσης σύστασης εμφανίζουν τις μέσες τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας που αναφέρονται βιβλιογραφικά όπως παρουσιάζεται και στο ραβδόγραμμα.

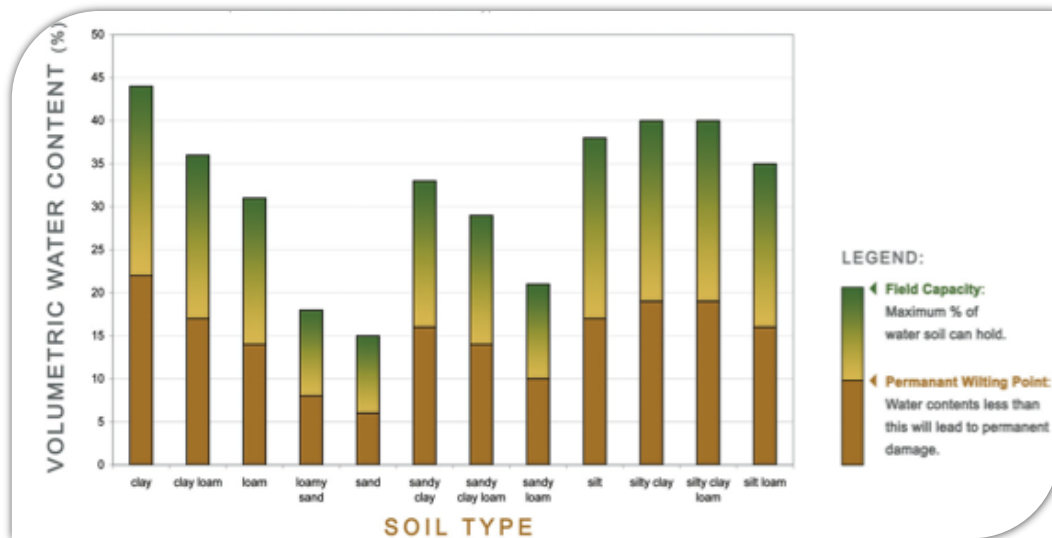
Για τιμές ηλεκτρική αγωγιμότητας από 0 – 980  $\mu S/cm$  το έδαφος χαρακτηρίζεται ως μη αλατούχο και κρίνεται κατάλληλο για την καλλιέργεια φυτών (Soil survey Staff 1993; Smith and Doran 1996).

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα για τα πηλώδη, που συμμετέχουν και τα τρία κλάσματα (άμμος, ιλύς, άργιλος) όπως παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα κυμαίνεται από 1 έως 100  $mS/m$ . Επομένως, οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας αντικατοπτρίζουν την κοκκομετρική σύσταση των εξετασθέντων εδαφών (Σχήμα 28).



Σχήμα 28: Διάγραμμα ηλεκτρικής αγωγιμότητας εδαφών περιοχή μελέτης σε  $mS/cm$ .

## 11.4. Εδαφική υγρασία



Σχήμα 29: Water Holding Capacity By Soil Type

Πηγή 1: New Mexico State University Climate Center <http://weather.nmsu.edu/models/inisch/soiltype.html>

Από το σχεδιάγραμμα στο σχήμα 29 απορρέουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά για τα υπο μελέτη εδαφικά δείγματα ανάλογα με την μηχανική τους σύσταση.

Soil sample 1/ sandy loam: PWP = 10 % ή  $0.1 \text{ cm}^3 \text{ water/ cm}^3 \text{ soil}$ .

FC = 21% ή  $0.21 \text{ cm}^3 \text{ water/ cm}^3 \text{ soil}$ .

⇒ PAW =  $(0.21-0.1) \text{ cm}^3 \text{ water/ cm}^3 \text{ soil} = 0.11 \text{ cm}^3 \text{ water/ cm}^3 \text{ soil/ 11\%}$ .

Soil sample 2/ sandy clay loam: PWP = 14 % ή  $0.14 \text{ cm}^3 \text{ water/ cm}^3 \text{ soil}$ .

FC = 29 % ή  $0.29 \text{ cm}^3 \text{ water/ cm}^3 \text{ soil}$ .

⇒ PAW =  $(0.29-0.14) \text{ cm}^3 \text{ water/ cm}^3 \text{ soil} = 0.15 \text{ cm}^3 \text{ water/ cm}^3 \text{ soil/ 15\%}$ .

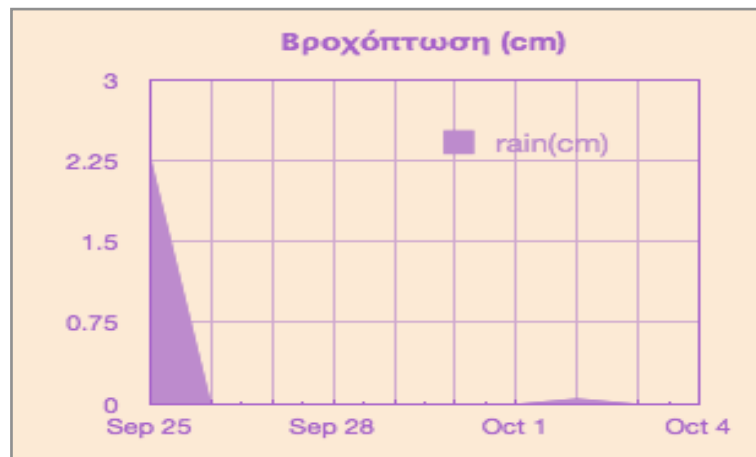
Soil samples 3,4,5/ loam: PWP = 14 % ή  $0.14 \text{ cm}^3 \text{ water/ cm}^3 \text{ soil}$ .

FC = 31 % ή  $0.31 \text{ cm}^3 \text{ water/ cm}^3 \text{ soil}$ .

⇒ PAW =  $(0.31-0.14) \text{ cm}^3 \text{ water/ cm}^3 \text{ soil} = 0.17 \text{ cm}^3 \text{ water/ cm}^3 \text{ soil/ 17\%}$ .

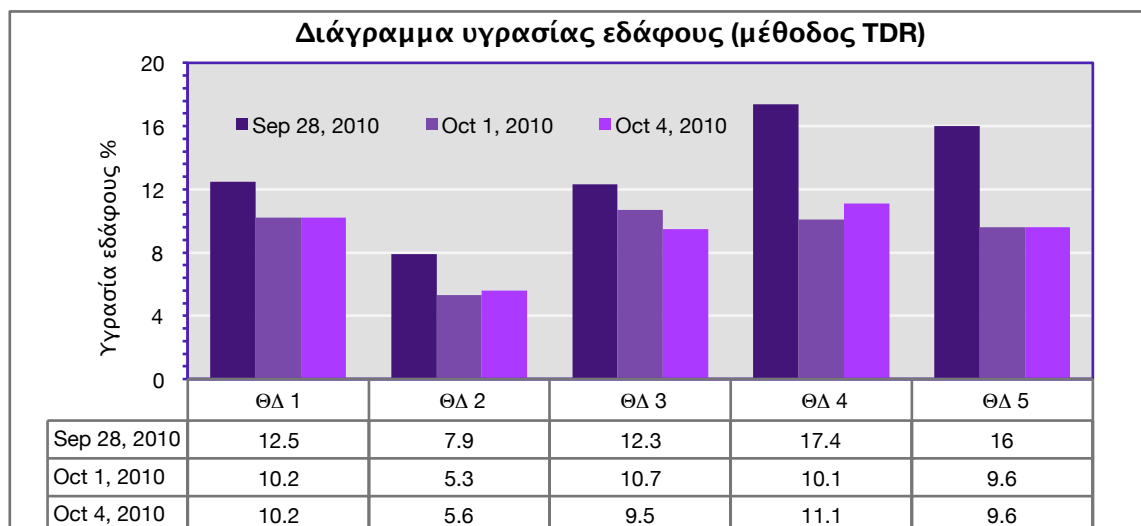
Πραγματοποιήθηκαν 3 επεμβάσεις μετρήσεων με 50 μετρήσεις σε κάθε θέση δειγματοληψίας στο χρονικό διάστημα 28/09/2010 – 04/10/2010 (ανά 2 ημέρες). Ο μέσος όρος των μετρήσεων καταγράφονταν ως υγρασία εδάφους της εν λόγω θέσης.

Σύμφωνα με τα μετεωρολογικά δεδομένα του ηλεκτρονικού σταθμού στη Ν. Φιλαδέλφεια η διακύμανση της βροχόπτωσης κατά τη περίοδο των μετρήσεων παρουσιάζεται στο ακόλουθο σχήμα.



Σχήμα 30: Διακύμανση βροχόπτωσης κατά τη περίοδο μετρήσεων.

Η μέση τιμή των μετρήσεων με το TDR σε κάθε επέμβαση παρουσιάζεται στο ακόλουθο διάγραμμα.



Σχήμα 31: Διάγραμμα περιεχόμενης εδαφικής υγρασίας των εδαφών.

Σε όλες τις επεμβάσεις η διακύμανση της εδαφικής υγρασίας ήταν εκτός των επιθυμητών τιμών [FC-PWP] που οριοθετούν κλάσμα της διαθέσιμης υγρασίας και κάτω από το σημείο

μόνιμου μαρασμού (Permanent Wilting Point). Εξαίρεση αποτελεί η πρώτη επέμβαση όπου οι θέσεις δειγματοληψίας 1, 4 και 5 εμφανίζουν ποσοστό εδαφικής υγρασίας, στην πρώτη επέμβαση, άνω του οριακού επιπέδου του σημείου μάρανσης αλλά στο κρίσιμο επίπεδο (1/2 PAW). Σε αυτό το επίπεδο όπου έχει εξαντληθεί κατά το μισό η διαθέσιμη εδαφική υγρασία απαιτείται αύξηση των δόσεων άρδευσης.

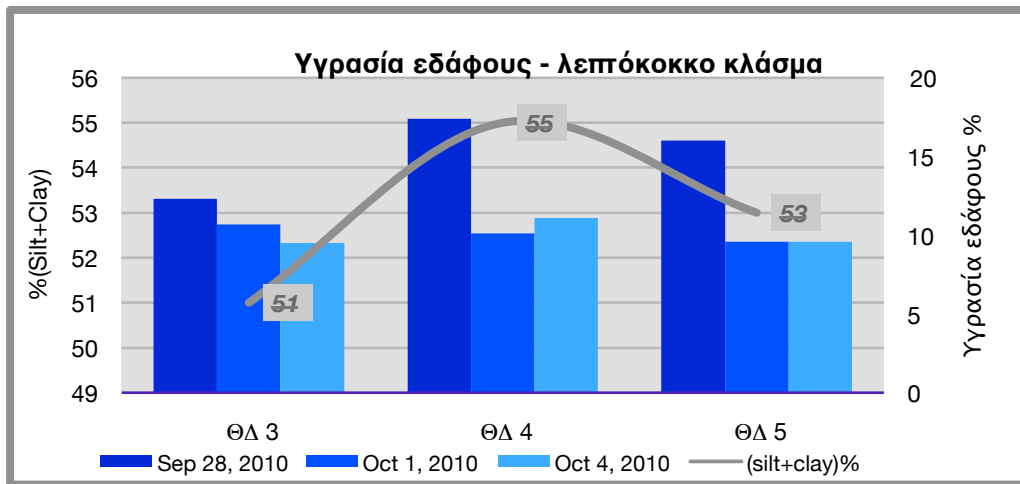
Το σχετικά αυξημένο ποσοστό της εδαφικής υγρασίας στην πρώτη επέμβαση, οφείλεται προφανώς στο μετεωρολογικό φαινόμενο, βροχόπτωση δύο εικοσιτετράωρα πριν.

Όπως έχει προαναφερθεί η διαθέσιμη υγρασία ενός εδάφους σχετίζεται έντονα με την κοκκομετρική/μηχανική σύσταση, την οργανική ουσία και τη δομή (Aina και Periaswamy, 1985; Jamison, 1953; Boix et al., 1996; Salter et al., 1966; Vereecken et al., 1989).

Τα ελάχιστα ποσοστά εδαφική υγρασίας κατέχει το έδαφος στη θέση δειγματοληψίας 2. Στη θέση αυτή η μηχανική σύσταση (57% άμμο) σε συνδυασμό με της μεγαλύτερης κλίσης τοπογραφικό ανάγλυφο (λοφώδης έκταση) επιδρούν αρνητικά στην σχετική υγρασία. Το κλάσμα της άμμου λόγω μεγάλης διηθητικότητας συνεπάγεται ταχύτερη διείσδυση στο εδαφικό προφίλ.(M.R. Ashman and G. Puri 2001). Το τοπογραφικό ανάγλυφο συμβάλει στη μειωμένη ικανότητα συγκράτησης υγρασίας λόγω της μεγαλύτερης ταχύτητας απορροής του νερού.

Επιπρόσθετα, το ποσοστό οργανικής ουσίας, που συγκρατεί πολύ νερό σε συνθήκες υδατοκορεσμού, είναι ελάχιστο (Ashman M.R. and Puri G. 2002). Σε αντίθεση με την θέση 1 που ισχύει το αντίθετο.

Στις θέσεις 3, 4, 5 τα ποσοστά της εδαφικής υγρασίας αυξάνονται λόγω της επιστατικής επίδρασης της κοκκομετρίας του λεπτόκκου υλικού. Η μέση τιμή της εδαφικής υγρασίας των παραπάνω θέσεων κυμαίνεται από 10.8% (Θ.Δ. 3) έως 12.9% (Θ.Δ. 4). Όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό συγκέντρωσης της ιλύος και της αργίλου στα εδάφη, τόσο και η μέση τιμή της εδαφικής υγρασίας τείνει να αυξηθεί. (Nyle C. Brady and Ray R. Weil 2004). Αυτό διαπιστώνεται και από το ακόλουθο διαγραμμα (Σχήμα 32).



Σχήμα 32: Διάγραμμα υγρασίας εδάφους - λεπτόκοκκων κλάσματος.

Σε γενικές γραμμές, τα χαμηλά ποσοστά υγρασίας προφανώς επιβεβαιώνουν την ύπαρξη ξηρών περιόδων στην περιοχή των επιφανειακών στρωμάτων κατά τους θερμότερους μήνες και άρα την εξάντληση του ποσοστού της διαθέσιμης υγρασίας από τα φυτά υπό τη διαδικασία της εξατμισοδιαπνοής.

Επίσης, τα εδάφη περιέχουν αυξημένες ποσότητες ανθρακικών αλάτων, όπως φαίνεται και παρακάτω, που επιδρούν αρνητικά στη διαθέσιμη υγρασία παρά το υψηλό ποσοστό υδατοϊκανότητας τους (Lund E.D., Christy C.D., Drummond P.E. (1999). Η αυξημένη συγκέντρωση των ανθρακικών αλάτων στο εδαφοδιάλυμα δυσχεραίνει την πρόσληψη εδαφικής υγρασίας από τα φυτά, καθώς αυξάνει η δύναμη μζήσεως του νερού από το έδαφος.

Πιθανώς μεγαλύτερο εύρος αρδεύσεων, μικρότερα διαστήματα μεταξύ των δόσεων άρδευσης να εφοδίαζαν με επαρκή ποσότητα διαθέσιμης/ωφέλιμης υγρασίας τα φυτά κατά την ξηρή περίοδο αποφεύγοντας τον άμεσο κίνδυνο τη μη ισόρροπη ανάπτυξή τους. Αν και οι υφιστάμενες καλλιέργειες είναι εξαιρετική προσαρμόσιμες σε ξηροθερμικά περιβάλλοντα.

## 11.5. Ανθρακικό ασβέστιο (CaCO<sub>3</sub>)

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων για τον υπολογισμό της περιεκτικότητας, των δειγμάτων σε ανθρακικό ασβέστιο καθώς και τα αντίστοιχα pH παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακα 15).

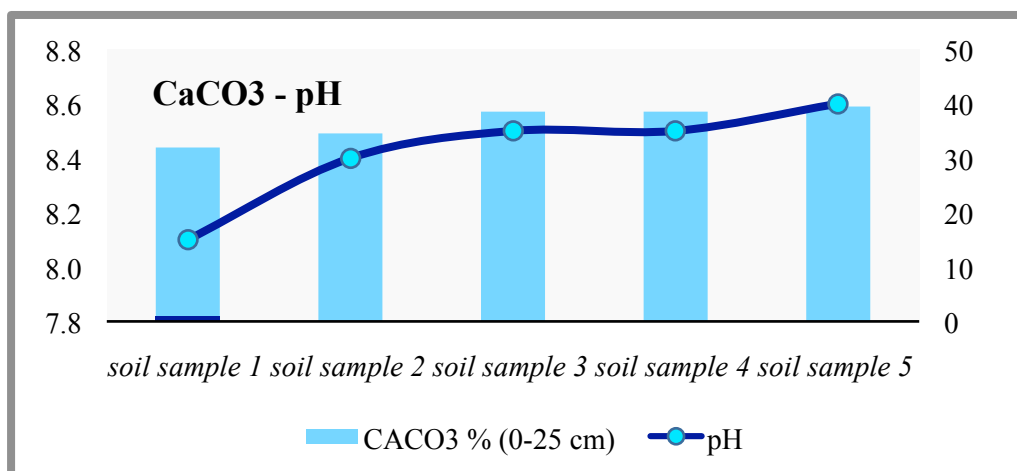
Πίνακας 15: Περιεκτικότητα σε ανθρακικό ασβέστιο των εδαφών και αντίστοιχα pH.

soil samples	CaCO <sub>3</sub> %	pH
soil sample 1(0-15 cm)	33	8.1
soil sample 1(15-25 cm)	31	
soil sample 2(0-15cm)	33	8.4
soil sample 2(15-25cm)	36	
soil sample 3(0-15 cm)	37	8.5
soil sample 3(15-25 cm)	40	
soil sample 4(0-15 cm)	40	8.5
soil sample 4(15-25 cm)	37	
soil sample 5(0-15 cm)	40	8.6
soil sample 5(15-25 cm)	39	

Οι περιεκτικότητες CaCO<sub>3</sub> ξεπερνούν το 10% σε όλα τα εδαφικά δείγματα. Οι μεγαλύτερες περιεκτικότητες, ποσοστά που ξεπερνούν το 35%, παρουσιάζονται στα εδαφικά δείγματα 3, 4 και 5, τα οποία παρουσιάζουν και τις μεγαλύτερες τιμές pH.

Στο ακόλουθο σχήμα (Σχήμα 33) παρουσιάζεται η παράλληλη τάση αύξησης του CaCO<sub>3</sub> με αντίστοιχη του pH. Οι αυξημένες τιμές του pH, αντανακλούν την ύπαρξη ανθρακικών σχηματισμών.

Πηγή συγκέντρωσης CaCO<sub>3</sub> στα υπο μελέτη εδάφη αποτελεί η χημική αποσάθρωση ανθρακικών σχηματισμών με αποτέλεσμα τη διαλυτοποίηση και μετακίνηση των υδατοδιαλυτών ενώσεων.



Σχήμα 33: Περιεκτικότητα ανθρακικού ασβεστίου σε σχέση με το pH.

Επιπρόσθετα, στις χαμηλές τοποθεσίες της περιοχής που τα υπόγεια νερά βρίσκονται σε μικρό βάθος η εξάτμιση την περίοδο των μετρήσεων (ξηρή περίοδο) είναι έντονη. Η τριχοειδής ανοδική κίνηση του νερού μεταφέρει τα διαλυμένα σε αυτό άλατα στο ανώτερο στρώμα του εδάφους όπου συσσωρεύονται.

Ως ασβεστούχα εδάφη χαρακτηρίζονται τα εδάφη που περιέχουν  $\text{CaCO}_3$  σε ποσοστό μεγαλύτερο του 10%. Η μεγάλη περιεκτικότητα σε ανθρακικό ασβέστιο επηρεάζει καθοριστικά τις φυσικές και χημικές ιδιότητες των εδαφών αυτών, όπως τις σχέσεις εδάφους νερού και τη δυνατότητα πρόσληψης θρεπτικών στοιχείων (μικρή διαθεσιμότητα φωσφόρου, προβλήματα σχετικά με τη διαθεσιμότητα των Mg και K) (Μουστάκας Ν., 2007).

Επομένως, τα υπο μελέτη εδάφη χαρακτηρίζονται ως ασβεστούχα, χωρίς να εμφανίζουν ανεπτυγμένη εδαφοτομή, προσχωσιγενή εδάφη χωρίς τη παρουσία καλσικού ορίζοντα.

Η επιλογή των καλλιεργειών στα ασβεστούχα εδάφη θα πρέπει να αντιμετωπίζεται με ιδιαίτερη προσοχή διότι μόνο ανθεκτικές σε μεγάλα ποσά  $\text{CaCO}_3$  μπορούν να αποδώσουν ικανοποιητικά. Οι καλλιέργειες στα σημεία δειγματοληψίας αφορούν δενδρώδεις καλλιέργειες που αναπτύσσονται ικανοποιητικά σε τέτοια εδάφη (φιστικιές και ελιές, χαλέπιος πεύκη).

Θα πρέπει να γίνονται πιο συχνές λιπάνσεις με φώσφορο και εφαρμογή μικροθρεπτικών διαφυλλικά, μόλις διαπιστωθούν τα πρώτα συμπτώματα έλλειψής τους.

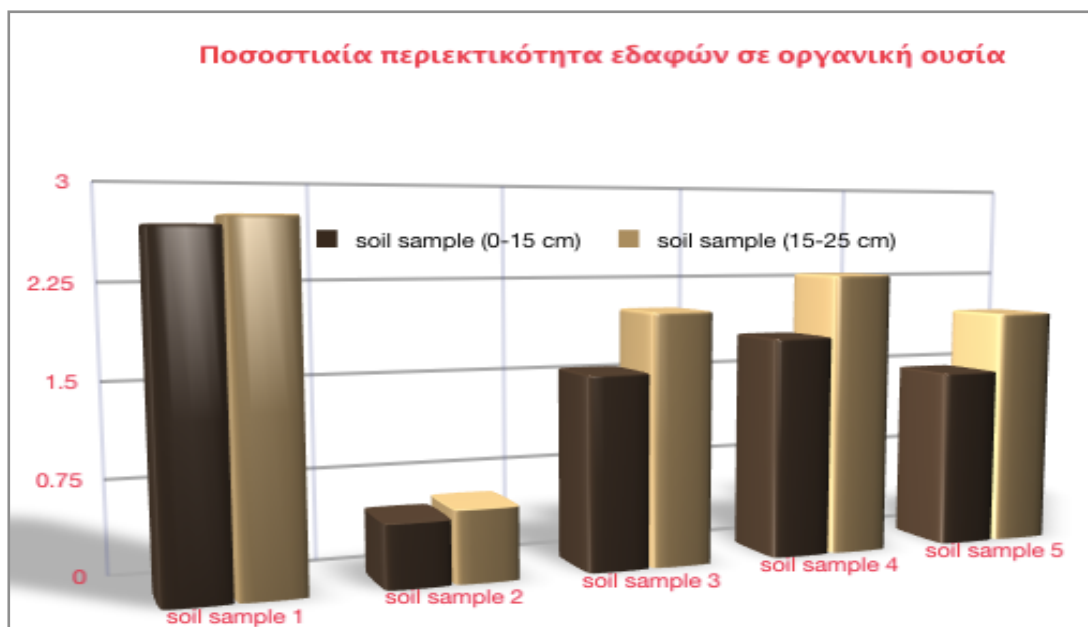


## 11.6. Οργανική ουσία

Τα ποσοστά της οργανικής ουσίας κυμαίνονται από 0.5 έως 2.7 %, με τις χαμηλότερες τιμές να χαρακτηρίζουν το εδαφικό δείγμα 2 (soil sample 2) και οι υψηλότερες το εδαφικό δείγμα 1 (soil sample 1) που προέρχονται από τους νεογενείς λόφους του πάρκου. Στα υπόλοιπα εδαφικά δείγματα η οργανική ουσία κυμαίνεται από 1.5 έως 2.3%, που προέρχονται από καλλιεργούμενες εκτάσεις καρποφόρων δένδρων. Τα εδάφη γενικά χαρακτηρίζονται επαρκώς εφοδιασμένα σε οργανική ουσία, με εξαίρεση το εδαφικό δείγμα 2 (πολύ φτωχό) (Σχήμα 34).

Οι διαφορές των ποσοστών της οργανικής ουσίας μεταξύ των δύο βάθων αντανακλά τις εδαφογενετικές διαδικασίες. Ειδικότερα, η σταθερή διαφορά κατά 0.2% ανάμεσα στα δύο βάθη των εδαφικών δειγμάτων 1 και 2 αντανακλούν όμοιες εδαφογενετικές επιδράσεις και επομένως την ίδια εδαφογενετική εξέλιξη. Παρομοίως, η σταθερή διακύμανση της διαφοράς (0.5 %) που εμφανίζουν τα εδαφικά δειγμάτα 3, 4 και 5 ανάμεσα στα δύο βάθη, αντανακλά την ίδια εδαφογενετική εξέλιξη.

Συμπερασματικά, οι ποσοστιαίες συγκεντρώσεις της οργανικής ουσίας στα εδάφη των νεογενών λόφων και στα εδάφη των αλλουβιακών σχηματισμών υποδεικνύουν αντίστοιχα την ίδια εδαφογενετική διαδικασία.



Σχήμα 34: Περιεκτικότητα εδαφών σε οργανική ουσία

## 11.7. Ολικές μορφές βαρέων μετάλλων

Με τη μέθοδο της ατομικής απορρόφησης εκτός από τις ολικές μορφές των βαρέων μετάλλων στα εδάφη της περιοχής προσδιορίστηκαν και οι ολικές μορφές των μετάλλων του σιδήρου και μαγγανίου. Ο σίδηρος και το μαγγάνιο αποτελούν βασικά στοιχεία του εδάφους. Οι τιμές των ολικών μορφών των βαρέων μετάλλων που προσδιορίστηκαν στα εδάφη της περιοχής, είναι κατά πολύ μικρότερες από τις οριακές τιμές συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων για το έδαφος. Αυτές ορίζονται σύμφωνα με την Οδηγία 86/278/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου για το έδαφος (Υ.Α. 80568/4225/91).

Πίνακας 16: Τιμές ολικών μορφών βαρέων μετάλλων (Pb, Cd, Zn, Cu, Ni) των εδαφών της περιοχής ανά εδαφική ζώνη.

	<b>Pb</b>		<b>Cd</b>		<b>Zn</b>		<b>Cu</b>		<b>Ni</b>	
	0-15cm	15-25cm	0-15cm	15-25cm	0-15cm	15-25cm	0-15cm	15-25cm	0-15cm	15-25cm
soil sample 1	4.44	4.42	0.14	0.2	10.92	8.28	7.16	6.6	15.48	13.5
soil sample 2	12.94	0.44	0.06	0.1	7.9	5.6	2.38	3.28	12.32	10.02
soil sample 3	4.22	2.36	0.02	0.02	5.94	8.28	2	1.7	14.34	7.82
soil sample 4	6.82	5.16	0.02	0.42	6.78	5.94	2.24	2.1	6	9.22
soil sample 5	1.4	1.3	0.04	0.06	12.62	10.32	2.26	5.3	12.82	10.74
min	1.4	0.44	0.02	0.02	5.94	5.46	2	1.7	6	7.82
max	12.9	5.16	0.14	0.42	12.62	10.32	7.16	6.6	15.48	13.5
average	5.95	2.74	0.06	0.16	8.83	7.12	3.21	3.8	12.19	10.26
stdev	4.35	2.01	0.05	0.16	2.84	2.12	2.21	2.1	12.19	10.26
<b>86/27/EK</b>	<b>50-300</b>		<b>1 - 3</b>		<b>150-300</b>		<b>50-140</b>		<b>30-75</b>	

Πίνακας 17: Τιμές ολικών μορφών σιδήρου και μαγγανίου των εδαφών της περιοχής ανά εδαφική ζώνη.

	<b>Fe</b>		<b>Mn</b>	
	0-15cm	15-25cm	0-15cm	15-25cm
soil sample 1	4130	3770	47.06	39.18
soil sample 2	3550	3260	52.36	29.04
soil sample 3	3510	3070	30.42	21.4
soil sample 4	3930	3030	34.8	32.62
soil sample 5	3500	3830	53.88	39.62
min	3600	3030	30.42	21.4
max	4130	3830	53.88	39.62
average	3724	3392	43.7	32.37
stdev	288.8	383	10.55	7.59

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι επιθυμητές και οι ανώτατες αποδεκτές τιμές για τα μέταλλα σε εδάφη σύμφωνα με την Ολλανδική λίστα/ Dutch List (2000), που χρησιμοποιείται κατά κόρον στην Ευρώπη που και πάλι τα αποτελέσματα των εδαφολογικών αναλύσεων είναι κατα πολύ μικρότερα των ανώτατων τιμών.

*Πίνακας 18: Επιθυμητές και ανώτατες τιμές μετάλλων στα εδάφη*

<b>Μέταλλο</b>	<b>Επιθυμητή τιμή (mg/kg)</b>	<b>Ανώτατη αποδεκτή τιμή (mg/kg)</b>
Κάδμιο - Cd	0.8	12
Χαλκός - Cu	36	190
Μόλυβδος - Pb	85	530
Νικέλιο - Ni	35	210
Ψευδάργυρος - Zn	140	720

*Πηγή: Dutch List, table 1 a, 2 a*

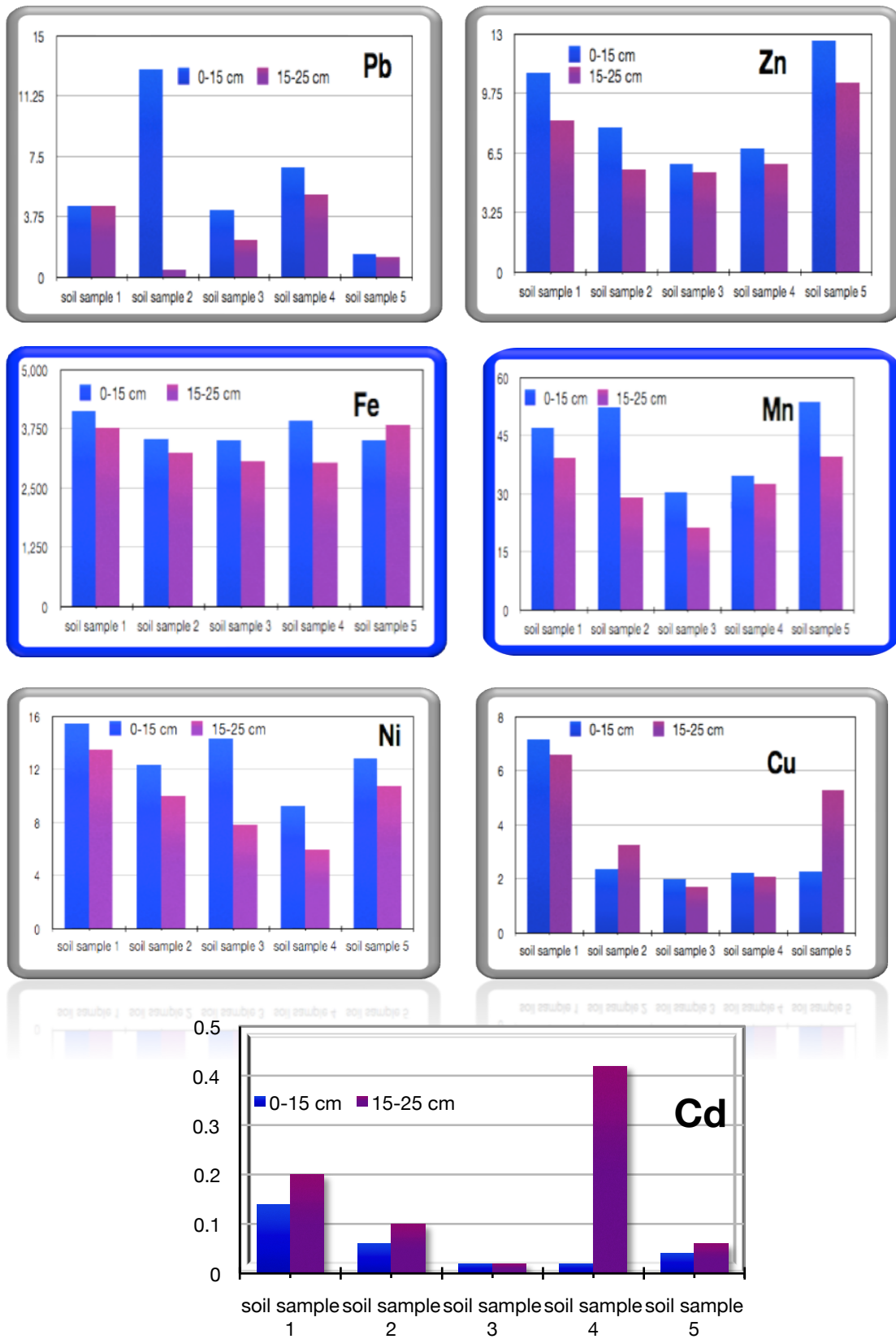
Οι ολικές μορφές του σιδήρου (Fe), μαγγανίου (Mn), χαλκού (Cu), μολύβδου (Pb), ψευδαργύρου (Zn) και του νικελίου (Ni) παρουσιάζουν μείωση της συγκέντρωσής τους με την αύξηση του εδαφικού βάθους. Αυτό μπορεί να αποδοθεί σε ένα συνδυασμό παραγόντων όπως η εφαρμογή λίπανσης καθώς και οι ατμοσφαιρικές εναποθέσεις τους από τις εξατμίσεις οχημάτων. Αντίθετα, το κάδμιο (Cd) παρουσιάζει αύξηση με το βάθος, αντικατροπίζοντας τη γεωχημική του προέλευση.

Η ευρύτερη περιοχή μελέτης αποτελεί υποβαθμισμένη περιοχή γεγονός που οφείλεται στην ατμοσφαιρική ρύπανση που μαστίζει το ευρύτερο λεκανοπέδιο της Αττικής. Η περιοχή παρουσιάζει ιδιαίτερα προβλήματα αφενός μεν λόγω της γειννίας με τη βιομηχανική περιοχή του Θριάσιου πεδίου τις χωματερές των Άνω Λιοσίων και της Φυλής και αφετέρου λόγω της ύπαρξης ενός μεγάλου μέρους του οδικού δικτύου που συνδέει την περιοχή της πρωτεύουσας με τις δυτικές περιοχές της Αττικής. Οι πηγές αυτές της ρύπανσης συνεισφέρουν σημαντικά στην επιβάρυνση της ατμόσφαιρας με κύριο αποδέκτη τα εδάφη.

Οι συγκεντρώσεις των στοιχείων σιδήρου (Fe), μαγγανίου (Mn), χαλκού (Cu) και του ψευδαργύρου (Zn) συνιστάται να προστίθονται στα υπό μελέτη εδάφη αφού αποτελούν απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία για την ανάπτυξη των φυτών. Παρ' αυτά, τα παραπάνω

στοιχεία συμμετέχουν και ως προσμίξεις στα χρησιμοποιούμενα ορυκτέλαια – λιπαντικά. Αυτά με τη σειρά τους χρησιμοποιούνται ως καύσιμα μηχανών εσωτερικής καύσης παράγοντας καυσαέρια που επιβαρύνουν το περιβάλλον σύμφωνα με την οδηγία 87/101/ΕΟΚ και με δημοσιεύσεις αμερικάνικης υπηρεσίας περιβάλλοντος (EPA).

Όπως ήδη έχει αναφερθεί, τα καύσιμα κινητήρων τύπου diesel περιέχουν συγκεντρώσεις μεγάλες συγκεντρώσεις Ni (Schmidt J.A. and Andren A.W., 1980). Το πετρέλαιο περιέχει Ni, Pb, Cu σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις από τη βενζίνη (Lagerwerff J.V. and Specht A.W., 1970). Η λεωφόρος Χασιάς – Φυλής που οριοθετεί ανατολικά την υπο μελέτη περιοχή, αποτελεί βασικό οδικό άξονα για τα απορριματοφόρα κατά τη μεταφορά τους προς τις χωματερές των Άνω Λιοσίων και Φυλής για απόθεση των απορριμάτων. Όμως, τα απορριματοφόρα για να καλύψουν τις ανάγκες συγκομιδής, είναι πολλά στον αριθμό και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκαλούν, υπολογίσιμες. Οι επιπτώσεις αυτές έχουν να κάνουν με το θόρυβο, τις οσμές, την όχληση στην κυκλοφορία των οχημάτων και τις εκπομπές καυσαερίων που συνοδεύουν τα απορριματοφόρα αυτά, που έχουν δηλαδή κινητήρα θερμικό (diesel).



Σχήμα 26: Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων (Pb, Zn, Fe, Mn, Cu, Cd) στα εδάφη της περιοχής.

### 11.7.1. Ανάλυση συσχέτισης (Correlation analysis)

Για τη διερεύνηση τυχόν σχέσεων που δημιουργούνται μεταξύ των βαρέων μετάλλων καθώς και αυτών με την οργανική ουσία σε κάθε εδαφική ζώνη εφαρμόστηκε ανάλυση συσχέτισης (correlation analysis). Η ανάλυση παρέχει έναν πίνακα αποτελεσμάτων, μια μήτρα συσχέτισης (correlation matrix), που εμφανίζει την τιμή του συντελεστή συσχέτισης σε κάθε δυνατό ζεύγος μεταβλητών μέτρησης.

Ο συντελεστής συσχέτισης  $r$  (correlation coefficient) αποτελεί το στατιστικό κριτήριο που χρησιμοποιούμε για να διαπιστώσουμε αν υπάρχει αλληλεξάρτηση μεταξύ δύο μεταβλητών (αν μεταβολές σε μία μεταβλητή συνδυάζεται με μεταβολές σε άλλη μεταβλητή).

Αποτελείται από 2 στοιχεία : το πρόσημο (πληροφορίες για την κατεύθυνση της σχέσης) και μία αριθμητική τιμή (πληροφορίες για το βαθμό/ένταση της σχέσης (γραμμικής)). Το εύρος τιμών του συντελεστή συσχέτισης είναι από -1.00 έως +1.00. Τιμές κοντά στο -1.00 και +1.00 υποδεικνύουν τέλεια (ισχυρή) συσχέτιση. Ενώ κοντά στο 0 υποδηλώνουν ότι οι δύο μεταβλητές δεν σχετίζονται γραμμικά. Αρνητικές τιμές υποδεικνύουν αρνητική συσχέτιση, ενώ θετικές τιμές υποδεικνύουν θετική συσχέτιση.

Οι μεταβλητές (variables) που χρησιμοποιούνται στην παρούσα μελέτη είναι οι συγκεντρώσεις των εδαφών της περιοχής σε βαρέα μέταλλα. Μεταξύ αυτών των εφτά μεταβλητών υποθέτουμε ότι δημιουργούνται ορισμένες σχέσεις. Επιπλέον, υποθέτουμε ότι δημιουργούνται ομοίως και μεταξύ των παραπάνω εφτά μεταβλητών και της οργανικής ουσίας. Προκειμένου να διαπιστωθούν οι σχέσεις μεταξύ των παραπάνω μεταβλητών χρησιμοποιήθηκε η ανάλυση συσχέτισης (correlation analysis), υπολογίστηκε ο συντελεστής συσχέτισης κατά Pearson (Pearson correlation coefficient,  $r$ ) με τη χρήση στατιστικού πακέτου StatPlus.

Οι συσχετίσεις μεταξύ των εφτά μεταβλητών για την εδαφική ζώνη των 0 – 15 cm παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα συσχέτισης (correlation matrix) (Πίνακας 19):

*Πίνακας 19: Πίνακας συσχέτισης για την εδαφική ζώνη 0 - 15 cm.*

Correlation Coefficients Matrix							
	Pb	Fe	Cd	Zn	Cu	Ni	Mn
Pb	1						
Fe	-0.05	1					
Cd	0.01	0.65	1				
Zn	-0.48	0.11	0.51	1			
Cu	-0.16	0.79	0.96	0.43	1		
Ni	-0.25	-0.13	0.56	0.37	0.48	1	
Mn	0.13	-0.12	0.45	0.79	0.23	0.29	1

Η ανάγνωση του παραπάνω πίνακα μας επιτρέπει να ελέγξουμε την ισχύ των υποθέσεων μας. Όπως παρατηρούμε, υπάρχει ισχυρή συσχέτιση στη εδαφική ζώνη των 0-15 cm μεταξύ Cd, Cu με το Fe και του Zn με το Mn. Το γεγονός αυτό τονίζει την προσρόφηση των παραπάνω μετάλλων στην επιφάνεια των οξυυδροξειδίων του Fe και Mn. Επιπλέον, διαπιστώνουμε ισχυρή συσχέτιση μεταξύ Cu και Cd.

Οι συσχετίσεις μεταξύ των εφτά μεταβλητών για την εδαφική ζώνη των 15 – 25 cm παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα συσχέτισης (correlation matrix) (Πίνακας 20):

*Πίνακας 20: Πίνακας συσχέτισης για την εδαφική ζώνη 15 - 25 cm.*

Correlation Coefficients Matrix							
	Pb	Fe	Cd	Zn	Cu	Ni	Mn
Pb	1						
Fe	-0.14	1					
Cd	0.8	-0.28	1				
Zn	-0.08	0.92	-0.19	1			
Cu	0.03	0.96	-0.12	0.8	1		
Ni	0.22	0.81	0.12	0.61	0.95	1	
Mn	0.22	0.83	0.28	0.84	0.85	0.82	1

Όπως παρατηρούμε, υπάρχει ισχυρή συσχέτιση στη εδαφική ζώνη των 15-25 cm στα ζεύγη μετάλλων: Cd – Pb, Ni – Cu και Cu – Zn. Γεγονός που τονίζει την ανθρωπογενή προέλευσή τους. Η συσχέτιση μεταξύ του Cu και των Ni, Zn, καθώς και Cd – Pb αντικατοπτρίζει την

εφαρμογή λίπανσης. Τα παραπάνω βαρέα μέταλλα συμμετέχουν σε διάφορες τεχνικές λίπανσης όπως, σε χημικά αλλά και σε οργανικά λιπάσματα (κομπόστ) (Alloway 1995).

Η θετική συσχέτιση μεταξύ των Cd – Pb μπορεί επίσης να οφείλεται και σε άλλους ανθρωπογενείς παράγοντες όπως καυσαέρια οχημάτων, λιπαντικά ελαίων και ελαστικά αυτοκινήτων.

Επιπρόσθετα, παρατηρείται ισχυρή συσχέτιση του Cu και του Zn με το Fe καθώς και των Ni, Zn, Cu, Fe με το Mn. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει την προσρόφηση των παραπάνω μετάλλων στην επιφάνεια των οξυδροξειδίων Fe και Mn. Η συσχέτιση μεταξύ Ni – Fe δικαιολογείται από την εμφάνιση των σιδερονικελιούχων κοιτασμάτων επίσης.

Για την εδαφική ζώνη των 0-15 cm δεκτή επίσης γίνεται η υπόθεση για τη σχέση μεταξύ οργανικής ουσίας και μολύβδου Pb (SOM vs. Pb = 0.81) ενώ οι υπόλοιπες απορρίπτονται. Ενώ για την εδαφική ζώνη των 15-25 cm, καλή συσχέτιση εμφανίζεται μεταξύ οργανικής ουσίας και των βαρέων μετάλλων σιδήρου Fe (SOM vs. Fe = 0.79) και χαλκού Cu (SOM vs. Cu = 0.76). Επομένως, από την ανάλυση συσχέτισης των παραπάνων μεταβλητών τονίζεται ο σχηματισμός οργανομεταλλικών συμπλόκων. Τα χουμικά και φουλβικά οξέα, σηματοποιούν σύμπλοκα διαφορετικής σταθερότητας με τα παραπάνω μέταλλα ανάλογα με την ηλεκτραρνητικότητα. Ο μολύβδος σχηματίζει σταθερότερα σύμπλοκα απ'ότι ο σίδηρος και ο χαλκός και γι'αυτό δεν μετακινείται εύκολα στους εδαφικό προφίλ. Συνέπεια αυτού είναι συσσώρευση του επιφανειακά. Ενώ, ο σίδηρος και ο χαλκός σχηματίζουν λιγότερο σταθερά σύμπλοκα με την οργανική ουσία και έτσι μετακινούνται πιο εύκολα.



## - Συμπερασματα -

Στα πλαίσια της μελέτης αξιολογήθηκαν οι ποιοτικοί δείκτες των υδάτινων και εδαφικών πόρων της περιοχής μελέτης.

Η περιοχή μελέτης αποστραγγίζεται από την υπολεκάνη του Κηφισσού, την λεκάνη Περιστερίου.

Ο ελεύθερος πρακτικά υδροφόρος ορίζοντας αναπτύσσεται στα χαλαρά ιζήματα της υδρολογικής λεκάνης συμπεριλαμβανομένου του μανδύα αποσάθρωσης του Αθηναϊκού σχιστόλιθου.

Στα υπόγεια νερά προσδιορίστηκαν οι εξής δείκτες: θερμοκρασία, pH, δυναμικό οξειδοαναγωγής Eh, διαλυμένο οξυγόνο D.O., ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC), σκληρότητα, οξυανθρακικά, ασβέστιο, μαγνήσιο, νάτριο, κάλιο, χλωριούχα, θειικά, νιτρικά, φωσφορικά ιόντα, σίδηρος, μαγγάνιο και βαρέα μέταλλα όπως, καδμιο, μόλυβδος, ψευδάργυρος, χαλκός και νικέλιο.

Τα κυριότερα συμπεράσματα που προέκυψαν μπορούν να συνοψισθούν στα παρακάτω:

- Τα νερά των πηγαδίων παρουσιάζουν σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις διαλυμένων αλάτων (558 – 1036 mg/L) χαρακτηρίζοντας τα ως «γλυκά» νερά. Σχετικά υψηλή ολική σκληρότητα 12.5 έως 36 °dH (Γερμανικοί βαθμοί σκληρότητας) και χαρακτηρίζονται ως σκληρά νερά.
- Οι σημαντικότερες υπερβάσεις των ορίων ποσιμότητας με βάση την Οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης 98/83 παρατηρούνται στα νιτρικά ιόντα 89.2 mg/L καθώς συνοδεύονται και από σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> (0.10 – 0.29 mg/L), αντικατοπτρίζοντας την επιδεκτικότητά τους στις επιφανειακές επιδράσεις (αστικό φορτίο).
- Το ευρύ φάσμα συγκέντρωσης των ιόντων Cl<sup>-</sup> (35.5-283.7, με μέση 166.67 mg/L), Na<sup>+</sup>(14.3–110.7, με μέση 70.91 mg/L) και των SO<sub>4</sub><sup>-</sup> (39.1-122, με μέση 88.65 mg/L). Εκτός από την επίδραση ανθρωπογενών δραστηριοτήτων μπορούν να αποδοθούν και στη διάλυση υπολειμματικών εβαποριτικών αλάτων που συνυπάρχουν εντός των Νεογενών σχηματισμών.
- Τέλος, πολύ τοπικά παρουσιάσθηκαν συγκεντρώσεις μεταλλικών στοιχείων υπέρτερες των ορίων ποσιμότητας της Οδηγίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης 98/83. Ειδικότερα, οι συγκεντρώσεις του Ni στα πηγάδια Π11 και Π6 υπερβαίνει την οριακή τιμή των 0.02

mg/L. Οι συγκεντρώσεις των παραπάνω οφείλονται προφανώς στο πλούσιο ορυκτολογικώς περιβάλλον, επί του οποίου φέρεται ο αλλουβιακός υδροφορέας καθώς και στην εμφάνιση των σιδερονικελιούχων κοιτασμάτων (συγκεντρώσεις Fe, Ni). Οι συγκεντρώσεις του Cd στο σύνολο των πηγαδιών υπερβαίνει την οριακή τιμή των 0.005 mg/L (EU 88/93). Όσο αφορά στο Pb κατά περιπτώσεις (Π1, Π3) ξεπερνάει τα όρια ποσιμότητας 0.01 mg/L (EU 88/93). Η παρουσία του συνδέεται κυρίως με γεωλογικούς παράγοντες όπως, της μεταλλοφορίας σιδερονικελιούχων ορυκτών, της έντονης παρουσίας αργιλικού υλικού καθώς και της οργανικής ύλης. Η παρουσία της οργανικής ύλης είναι χαρακτηριστική σε λιμνοθαλάσσια περιβάλλοντα, Νεογενή ιζήματα. Η παρουσία του στο νερό όπως και στο έδαφος οφείλεται και στις πιέσεις ανθρωπογενών δραστηριοτήτων (εξατμίσεις των οχημάτων) πέρα από τους γεωγενείς παράγοντες.

- Αναφορικά ως προς την καταλληλότητα των νερών για ανθρώπινη χρήση, στο σύνολό τους κρίνονται ακατάλληλα, καθώς δεν αποκλείονται και οι επιφανειακές επιδράσεις να επιβαρύνουν και με μικροβιακό φορτίο.
- Η χρησιμότητά του, για τη διατήρηση του πράσινου θεωρείται περιορισμένη εάν ληφθεί υπόψη η υψηλή επικινδυνότητα της αλατότητας που εμφανίζεται στο νερό ορισμένων πηγαδιών.

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής διερευνήθηκαν εδαφικοί σχηματισμοί που δομούν τους ανώτερους ορίζοντες ανάπτυξης του συστήματος των νεογενών – τεταρτογενών σχηματισμών της έκτασης της περιοχής έρευνας. Το σύστημα αυτό αποτελείται από αλλουβιακές αποθέσεις που καλύπτουν την πεδινή περιοχή (αργιλλοαμμώδη υλικά, άμμοι, κροκαλολατύπες και γενικά μηχανικά ιζήματα ποικίλης κοκκομετρίας) και προέρχονται από τη μεταφορά και απόθεση των υλικών διάβρωσης των νεογενών αποθέσεων της λοφώδους ζώνης. Στους λόφους της στενής περιοχής έρευνας αλλά και της ευρύτερης αναπτύσσεται η νεογενής σειρά ιζηματογενών πετρωμάτων (εναλλασσόμενα στρώματα λιμναίας φάσης μαργών, αργίλων και ψαμμιτών με παρεμβολές κροκαλοπαγών) .

Επομένως, τα εδαφικά δείγματα τα οποία αναλύθηκαν, αποτελούνται από χαλαρά ασύνδετα υλικά, στο οποίο μπορούν και αναπτύσσονται φυτά. Δεν συνιστούν όμως έδαφος, με την αυστηρή εδαφολογική έννοια. Στα υλικά αυτά δεν έχουν επιδράσει οι παράγοντες της εδαφογένεσης όπως ο χρόνος, το κλίμα, η βλάστηση, το τοπογραφικού ανάγλυφου κ.λ.π. Πρόκειται δηλαδή για πρόσφατες αποθέσεις χαλαρού υλικού.

Αξιολογώντας τα αποτελέσματα των εδαφολογικών αναλύσεων, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα, τα οποία αφορούν την ποιότητα των εδαφών του πάρκου:

- Η μηχανική σύσταση χαρακτηρίζεται ευνοϊκή για την ανάπτυξη των διαφόρων ειδών δενδροκαλλιεργειών του Πάρκου.
- Το pH των εδαφών είναι αλκαλικό (pH: 7.6 – 8.5) αποτελώντας δείκτη υψηλής περιεκτικότητας σε ανθρακικό ασβέστιο (CaCO<sub>3</sub>). Η περιεκτικότητα σε CaCO<sub>3</sub> θεωρείται μη περιοριστικός δείκτης για την ανάπτυξη των δενδροκαλλιεργειών του Πάρκου.
- Οι περιεκτικότητες CaCO<sub>3</sub> ξεπερνούν το 10% σε όλα τα εδαφικά δείγματα. Επομένως, χαρακτηρίζονται στο σύνολό τους ασβεστούχα.
- Οι ιδιαίτερα υψηλές συγκεντρώσεις ανθρακικού ασβεστίου (CaCO<sub>3</sub>) προδίδουν την γεωλογική προέλευσή του. Η κατανομή του με το βάθος σχεδόν στο σύνολό παρουσιάζει μείωση με το βάθος προφανώς λόγω της πρόσφατης απόθεσής τους στην επιφάνεια. Επομένως δεν έχουν προλάβει να εκπλυθούν και διατηρούν τις υψηλές συγκεντρώσεις επιφανειακά.
- Η ηλεκτρική αγωγιμότητα κυμαίνεται μεταξύ 313 – 553 μS/cm. Συνεπώς, χαρακτηρίζονται ως μη αλατούχα και κρίνονται κατάλληλα για την ανάπτυξη των διαφόρων δενδροκαλλιεργειών του Πάρκου.
- Σε γενικές γραμμές, τα ποσοστά υγρασίας είναι χαμηλά (6.3 - 12.9%). Αντικατοπτρίζοντας την ύπαρξη ξηρών περιόδων στην περιοχή των επιφανειακών στρωμάτων κατά τους θερμότερους μήνες και κατ' επέκταση την εξάντληση του ποσοστού της διαθέσιμης υγρασίας από τα φυτά υπό τη διαδικασία της εξατμισοδιαπνοής.
- Τα εδάφη είναι επαρκώς εφοδιασμένα με οργανική ουσία και πλούσια σε ασβέστιο και σίδηρο, συνεπώς μπορούν να αξιοποιηθούν. Τα ποσοστά της οργανικής ουσίας κυμαίνονται από 0.5 έως 2.7 %. Τα εδάφη γενικά χαρακτηρίζονται ως επαρκώς εφοδιασμένα σε οργανική ουσία με εξαίρεση το εδαφικό δείγμα 2 που χαρακτηρίζεται ως φτωχό.
- Η κατανομή της οργανικής ουσίας αυξάνεται με το βάθος, σε αντίθεση με τα γεωργικά εδάφη, όπου συμβαίνει το αντίθετο.
- Έχουν ιδιαίτερα χαμηλές συγκεντρώσεις σε τοξικά – βαρέα μέταλλα (Cd, Pb, Ni, Cu, Zn,) με αποτέλεσμα να μην παρουσιάζονται κίνδυνοι για το φυσικό περιβάλλον (ανάπτυξη φυτικών ειδών).
- Χαρακτηρίζονται από ελαφρώς χαμηλή περιεκτικότητα σε μαγγάνιο (Mn), χαλκό (Cu), ψευδάργυρο (Zn). Επομένως απαιτούν προσθήκη των κατάλληλων λιπασμάτων για την ευνοϊκή ανάπτυξη των δενδρώδων εκτάσεων του Πάρκου.

Από τη στατιστική επεξεργασία των παραπάνω μεταβλητών στα εξετασθέντα εδάφη απορρέουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Ισχυρή συσχέτιση υπάρχει στη εδαφική ζώνη των 0-15 cm μεταξύ Cd, Cu με το Fe και του Zn με το Mn (προσρόφηση στην επιφάνεια των οξυδροξειδίων του Fe και Mn). Επιπλέον, διαπιστώνεται ισχυρή συσχέτιση μεταξύ Cu και Cd. Αυτό προφανώς οφείλεται στη παρουσία τους ως προσμίξεις σε λιπάσματα χημικά ή οργανικά (κομπόστ).
- Στη εδαφική ζώνη των 15-25 cm υπάρχει ισχυρή συσχέτιση στα ζεύγη μετάλλων: Cd – Pb, Ni – Cu και Cu – Zn. Η συσχέτιση μεταξύ του Cd-Pb αντανακλά τους ανθρωπογενείς παράγοντες (καυσέρια αυτοκινήτων, λιπαντικά ελαίων και ελαστικά αυτοκινήτων). Ενώ η συσχέτιση μεταξύ Cu και των Ni, Zn, αντικατοπτρίζει την χρήση τους σε εφαρμογές λίπανσης. Επιπρόσθετα, παρατηρείται ισχυρή συσχέτιση του Cu και του Zn με το Fe καθώς και των Ni, Zn, Cu, Fe με το Mn. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει την προσρόφηση των παραπάνω μετάλλων στην επιφάνεια των οξυδροξειδίων Fe και Mn. Η συσχέτιση μεταξύ Ni – Fe δικαιολογείται από την εμφάνιση των σιδερονικελιούχων κοιτασμάτων επίσης.

Επίσης, ελέγχθηκε και η υπόθεση δημιουργίας σχέσεων μεταξύ των επτά βαρέων μετάλλων και της οργανικής ουσίας.

- Στην εδαφική ζώνη των 0-15 cm δεκτή γίνεται η υπόθεση για τη σχέση μεταξύ οργανικής ουσίας και μολύβδου Pb (SOM vs. Pb = 0.81) ενώ οι υπόλοιπες απορρίπτονται.
- Στην εδαφική ζώνη των 15-25 cm, καλή συσχέτιση εμφανίζεται μεταξύ οργανικής ουσίας και των βαρέων μετάλλων σιδήρου Fe (SOM vs. Fe = 0.79) και χαλκού Cu (SOM vs. Cu = 0.76). Γεγονός που τονίζει το σχηματισμό οργανομεταλλικών συμπλόκων.

## - Βιβλιογραφία -

### Ελληνική

- ΑΙΓΑΙΟΥ, ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ. (2000). *Φυτοφάρμακα. Υγεια-Περιβάλλον*. Εκδόσεις Φιλλόποτη.
- Αντωνίου Β. (2002). *Το φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον του λεκανοπεδίου Αθηνών*.
- Δούνας Α., Καλλέργης Γ., Μορφης Α., Τάσιος Ν. & Γάκης Α. (1976). Υδρογεωλογική έρευνα εντός των πλαισίων της μελέτης του Μητροπολιτικού Σιδηρόδρομου Αθηνών (ΜΕΤΡΟ). Εκδόσεις Ι.Γ.Μ.Ε., Υδρολογικά και Υδρογεωλογικά Έρευνα. 19:1-47.
- Καββαδάς Μ. (1996). *Στοιχεί Περιβαλλοντικής Μηχανικής*. ΑΘΗΝΑ: Ε.Μ.Π.
- Καλλέργης Α.Γ. (2000). *Εφαρμοσμένη - Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία*. Αθήνα: Έκδοση Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας, Β΄ έκδοση.
- Κατσικάτος Γ. (1992). *Γεωλογία της Ελλάδας*
- Κουκουλάκης Π., Σιμώνης Α., Γκέρτσης Α., . (2000). *Οργανική ουσία του εδάφους. Το πρόβλημα των ελληνικών εδαφών* . Αθήνα: Εκδόσεις Σταμούλη.
- Κούνης Γ. (1980-1981). *Υδρογεωλογική έρευνα ΜΕΤΡΟ Αθηνών. I. Μετρήσεις, II. Ανάλυση υδρογεωλογικών συνθηκών*. Εκδόσεις Ι.Γ.Μ.Ε., Υδρολογικές και Υδρογεωλογικές Έρευνες, 34.
- Κούνη Γ.Δ., Βικτωρίου-Γεωργούλη Α. (1994). *Υδρογεωλογική έρευνα και μελέτη περιοχής Πύργου Βασιλίσσης-Αττικής*. Αθήνα: ΙΓΜΕ.
- Καραβίτης Χ., Αγγελίδης Σ (2005). *Διαχείριση Περιβάλλοντος. Διαχείριση Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος*. Αθήνα: Εκδ. Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών
- Μιγκίρος Γ. (1991). *Στρωματογραφία - Εφαρμοσμένη Γεωλογία*. Αθήνα: Εκδ. Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών
- Μουντράκης Δ. (1985). *Γεωλογία της Ελλάδας*. Θεσσαλονίκη: Univ. Studio Press
- Οδηγία του Συμβουλίου της 12ης Ιουνίου 1986 σχετικά με την προστασία του περιβάλλοντος και ιδίως του εδάφους κατά τη χρησιμοποίηση της ιλύος καθαρισμού λυμάτων στη γεωργία (86/278/ΕΟΚ)
- Οδηγία του Συμβουλίου της 3<sup>ης</sup> Νοεμβρίου 1998 σχετικά με την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης (98/83/ΕΚ).

Παυλόπουλος Κ., Καρυμπάλης Ε., Χαλκιάς Χ., Λιόνης Μ., Λιόνη Α., Αποστολόπουλος Γ., Στουρνάρας Γ., Σταυροπούλοι Μ. Διαχείριση και ενίσχυση υδατικού δυναμικού Πάρκου Περιβαλλοντικής Ευαισθητοποίησης “Αντώνης Τρίτσης”. *Πρακτικά 7ου Διεθνές Υδρογεωλογικού Συνεδρίου*. Αθήνα.

Παπανικολάου Δ. (1986). *Γεωλογία της Ελλάδας*. Εκδόσεις Επτάλοφος.

Σούλιος Χ. Γ. (1979). *Γενική Υδρογεωλογία . Τόμος Πρώτος*. Θεσσαλονίκη.

Στουρνάρας Γ. (2007). *Νερό: Περιβαλλοντική διάσταση και διαδομή*. Αθήνα: ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ.

Στουρνάρας Γ. (1966). Απορρίματα στο γεωλογικό περιβάλλον. Γενική θεώρηση και εμπειρία από τους νέους ΧΥΤΑ Αττικής. *Ημερ. ΕΕΥ της Ε.Γ.Ε* (pp. 59-65). Πρακτικά.

## Διεθνής

Adriano D.C. (1986). *Trace Elements in the Terrestrial Environment*. New York: Springer-Verlag.

Aina, P.O., Periaswamy, S.P. (1985). Estimating available water-holding capacity of western Nigerian soils from soil texture and bulk density, using core and sieved samples. *Soil Sci.* 140:Y-58.

Alexander FW (1974). The uptake of lead by children in differing environments. *Environmental health perspectives*, 7:155-159.

Alloway B.J., Thornton I., Smart G.A., Sherlock J. and Quinn M.J. (1988). *Sci. Total Environ.* , 75:41-69.

Alloway, B. J. (1977). *Heavy metals in soils* 2nd edition. Chapman & Hall.

Andersson A. (1977). 7. *Swed. J. Agric. Res.*

Appelo C.A.J. and Postma D. (2005). *Geochemistry, Groundwater and Pollution*. 2<sup>nd</sup> Edition. Brookfield: A.A. Balkema Rotterdam.

Ashman M.R. and Puri G. (2002). *Essential soil science. A clear and concise introduction to soil science*. Blackwell Science Ltd.

Aubouin J. (1965). *Geosynclines. Developments in geotectonics*, Elsevier Science Ltd., 1, 350p., Amsterdam.

- Banton, O., Seguin, M. K., and Cimon, M. A. (1997). Mapping field-scale physical properties of soil with electrical resistivity. *Soil Sci. Soc. of Am. J.* 61:1010-1017.
- Barlett B.R. and James B.R. . (1983). *J. Environ. Qual.* , 8:31-35.
- Barlett R.J. (1986). Soil Redox Behavior. In S. D.J., *Soil physical Chemistry* (p. 179). Boca Raton, FL: CRS Press.
- Baver, L. D., Gardner, W. R., and Gardner, W. H. (1973). *Soil Physics*, New York: Wiley
- Berrow M.L. and Webber J. (1972). *J. Sci. Fd. Agric.* , 23:93.
- Boix, C., Calvo. A., Schoorl, J.M., Soriano Soto, M.D. (1996). Influencia de la estructura y usos del suelo en las características de retención hídrica de suelos mediterráneos sobre litología caliza. *Cadernos* 21:588-596.
- Bowen, H.J.M. (1982). *Environmental chemistry*. Royal Society of Chemistry Specialist Periodical Report Series, London, UK.
- Brady, N. a. (1999). *The Nature and Properties of Soils*. Prentice-Hall, N.J, Upper Saddle River.
- Briggs, L.J., and Shantz, H.L. (1912). The wilting coefficient for different plants and its indirect determination. *USDA Bur Plant Industry Bull No. 230*. U.S. Dept. Agr: Washington,DC.
- Campbell, C. S. (1986). Extraction coefficients for radiation in plant canopies using an ellipsoidal inclination angle distribution. *Agricultural and Forest Meteorology*, 36: 317- 321.
- Campbell, J.E. (1990). Dielectric properties and influence of conductivity in soils at one to fifty megahertz. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54, 332–341.
- Cannon H.L. and Bowles J.M. (1962). *Science* , 137:765-766.
- Carolina Boix Fayos. (1997). The roles of texture and structure in the water retention capacity of burnt Mediterranean soils with varying rainfall. *Catena* 31:219-236.
- Carroll, S.A., O'Day, P.A. & Piechowski, M. (1998). Rock-water interactions controlling zinc, cadmium, and lead concentrations in surface waters and sediments, US Tri-State Mining District. 2. Geochemical interpretation. *Environmental Science & Technology*, 32(7).
- C.A, ANGELL. (1982). Les anomalies de l'eau. *La Recherche* , 13, pp. 584-593.
- Cilkes R.J. and McKenzie R.M. (1988). Manganese in soils and Plants. In H. R. Graham R.D., *Chapter 2*. Dordrecht: Kluwer.
- CIVITA M., DE MAIO M. (1997). *Un sistema parametrico per la valutazione e la cartografia della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento (methodologia e automatizzazione)*. Bologna: Pitagora Editrice.

- Clarholm, M. (1985). Interactions of bacteria , protozoa and plants leading to mineralization of soil nitrogen. *Soil Biol. Biochem.* , 17:181-187.
- Coleman, D. a. (1997). *Fundamentals of Soil Ecology*. San Diego, CA: Academic Press.
- Coleman, D. C. (1984). Decomposition, organic turnover and nutrient dynamics in agroecosystems. In R. S. In Lowrance, *Agricultural Ecosystems - Unifying Concepts* (pp. 83-104). New York: Wiley-Interscience.
- Crave, A., Gascuel-odux, C. (1997). The influence of topography on the time and space distribution of soil surface water content. *Hydrological Processes*. 11:203–210.
- Davies B.E. and Holmes P.L. (1972). *J. Agric. Sci. (Camb.)* , 79:479-484.
- Davis R.D. (1960). *Control of Contamination Problems in the Treatment and Disposal of Sewage Sludge*. WRC Technical Report TR 156, Stevenage.
- De Jong, R. and D.R. Cameron (1979). Computer simulation model for predicting soil water content profiles. *Soil Science*, 128: 41-48.
- De Vos W. and Tarvainen T. (2006). *Part 2 -Interpretation of Geochemical maps, Additional Tables, Figures, Maps and Related Publications.* . ISBN 951 - 690 - 960 - 4 (electronic version).
- De Jong, R., 1983. Soil water desorption curves estimated from limited data. *Can. J. Soil Sci.* 63:697–703.
- Doolittle, J. A., Sudduth, K.A., Kitchen, N.R., Indorante, S.J. (1994) Estimating Depth to Claypans Using Electromagnetic Induction Methods. *Journal of Soil and Water Conservation*, 49:572-575.
- Doorenbos, J. and A. H. Kassam, (1979). Yield Response to Water. *FAO Irrigation and Drainage Paper*, No 33, FAO, Rome, 193 p.
- Duchaufour, P. (1997). *Pedology*. London: George Allen & Unwin.
- Durov S.A.. (1948). Natural water and graphical representation of their composition. *Dokl. Akad. Nauk. U.S.S.R.* , 59, pp. 87-90.
- Eleftheriou M., Kostopoulos S., KAujala K., Stournaras G. (1997). *Proc. Intern. Sympos. Eng. Geology and the Environment* , 2, 1805-1810.
- Famiglietti, J.S., Rudnicki, J.W., Rodell, M., 1998. Variability in surface moisture content along a hillslope transect: Rattlesnake Hill, Texas. *Journal of Hydrology* 210:259–281.
- Fergusson J.E. (1990). *The Heavy Elements: Chemistry, Environmental impact and Health Effects*. Oxford: Pergamon.
- Fezer F., (1995). *Das Klima der Stadte*. Gotha, Germany: Justus Perthes.



- Fleming G.A. and Parle P.J. . (1977). *Irish J. Agric. Res.* , 16:35-48.
- Frey J.W. and Corn M. (1967). *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* , 28:468.
- Fytianow K., Vasilikiotos g. and Samidov V. (1985). *Chemosphere* , 14:271-277.
- Fu, B., Chen, L., Ma, K., Zhou, H., Wang, J. (2000). The relation- ships between land use and soil conditions in the hilly area of the Loess Plateau in northern Shaanxi, China. *Catena* 36: 69–78.
- Gardner, C. M. K., Bell J. P., Cooper J. D., Dean T. J., Gardner N., Hodnett M. G. (1991). Soil water content. In: *Soil analysis: physical methods*, K. A. Smith, C. E. Mullins (Eds), Marcel Dekker, Inc, New York, USA,1-73.
- G., LINDH. (1993). *Water and the City*. UNESCO.
- G. Scroth and F.L. Sinclair. (2003). *Trees, Cropw and Soil fertility: Concepts and research methods*. CABI.
- Gong, Y., Q. Cao and Z. Sun, (2003). The effects of bulk density, clay content and temperature on soil water content measurements using time domain reflectometry. *Hydrological Processes*, 17: 3601-3614.
- Greenwood, N.N. & Earnshaw, A. (1984). *Chemistry of the elements*. Oxford: Pergamon Press. 1542.
- Gregorich, E.G., Carter, M.R., Angers, D.A., Monreal, C.M and Ellert, B.H. (1994). Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Canadian Journal of Soil Science* ,74:367-385.
- H. Don Scott. (2000). *Soil Physics: agricultural and environmental applications*. United States of America: Iowa State University Press.
- Hem, J.D., (1992). Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water. *United States Geological Survey Water Supply Paper* 2254, Third Edition, 263.
- Hem J.D. (1970). Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. *U.S. Geologicl syrvey, Water Supply* , (p. 362). Washington.
- Hem J.D. (1992). Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. 4<sup>th</sup> Edition. *U.S. Geologicl syrvey, Water Supply* , (p. 263). Washington.
- Heidith V., Neef M. (2008). *Benefits of urban green space for improving urban climate*. In: Carreiro, M.M.
- Hillel, D. (1980). *Fundamentals of Soil Physics*. New York: Academic Press.
- Hillel, D. (1998). *Environmental Soil Physics*. Orlando, Flo: Academic Press.
- Hilgard, E.W. (1914). *Soils*. New York: The Macmillan Company.

- Hinrich L. Bohn., Brian L. McNeal. and George A. O' Connor. (2001). *Soil Chemistry Second edition.3d Edition*. Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- Hooda P.S. and Alloway B.V. . (1993). *J. Soil Sci.* , 44:97.
- Hutton M. (1982). *Cadmium in the European Community*. MARC Re. No2. London: MAARC.
- Jacobshagen V. (1979). Structure and geotectonic evolution of the Hellenides. *VI Coll. Geol. Aegean Region*, Athens, 1977, 3:1355-67.
- Jamison, V.C. (1953). Changes in air-water relationships due to structural improvement of soils. *Soil Sci.* 76:143-151.
- Jaynes, D.B., Novak, J.M., Moorman, T.B., Cambardella,C.A. (1994) Estimating Herbicide Partition Coefficients from Electromagnetic Induction Measurements. *Journal of Environmental Quality*, 24:36-41.
- Jaynes, D. B., Novak, J. M., Moorman, T. B., and Cambardella, C. A. (1995). Estimating herbicide partition coefficients from electromagnetic induction measurements. *J. Environ. Qual.* 24:36-41.
- Jenny, H. (1989). *The Soil Resource. Origin and Behavior*. Springer-Verlag
- Jenny, H. (1941). *Factors of Soil Formation. A system of Quantitative Pedology*. New York: McGraw-Hill Book Company, Inc.
- Joffe, J. S., *Pedology* (1936). New Bruswick, N.J.: Rutgers University Press.
- Jones, S.B., J.M. Wraith and D. Or. (2002). Time domain reflectometry measurement principles and applications. *Hydrological Processes*, 16:141-153.
- Kabata-Pendias A. (2001). *Trace elements in soils and plants*. Boca Raton, Florida: CRC Press, Inc.
- Kabata-Pendias, A. & Pendias, H. (1984). *Trace Elements in Soils and Plants*. Boca Raton, Florida: CRC Press, Inc.
- Kachanoski, R. G., Gregorich, E. G., and Van-Wesenbeeck, I. J. (1988). Estimating spatial variations of soil water content using noncontacting electromagnetic inductive methods. *Can. J. Soil Sci.* 68:715-722.
- Krauskopf K.B. (1972). *Micronutrients in Agriculture*. In G. P. Mordvedt J.J., *Chapter 2* . Madison Wis.: Soil Sci. Soc. Am.
- Laborde A., Motec J. (1980). *Questions d'eau*. Paris: Ed. Alternative et Paralleles.
- Lagerwerff J.V. and Specht A.W. (1970). *Environ. Sci. Technol.* 4:583-586.

- Li, H., Wang, M., Chai, B. (1999). Characteristics of soil water in Robinia Pseudoacacia population. *Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation* 5 (6), 6–10 (in Chinese).
- Lloyd J.W. (1965). The hydrochemistry of the aquifers on northeastern Jordan. *Jorn. Hydrol.* , 3, pp. 319-330.
- Lund E.D., Christy C.D., Drummond P.E. (1999). Practical applications on soil electrical conductivity maps. *2nd European Conference on Precision Agriculture*.
- McBride, R.A., Gordon, A.M., Shrive, S.C. (1990). Estimating Forest Soil Quality from Terrain Measurements of Apparent Electrical Conductivity. *Soil Science Society of America Journal*, 54:290-293.
- Mihaljevic, M., Zinc. In: C.P. Marshall & R.W. Fairbridge (1999b). *Encyclopedia of Geochemistry*. Dordrecht. Germany: Kluwer Academic Publishers.
- Milo I. Harpstead., Thomas J. Sauer and William F. Bennett. (2001). *Soil Science Simplified*. State University Press.
- Mitchell, R. L. (1964). *Chemistry of the Soil* 2nd edition. New York
- Miyamoto, T., T. Annaka and J. Chikushi (2003). Soil aggregate structure on dielectric permittivity of an andisol measured by time domain reflectometry. *Vadose Zone Journal*, 2: 90-97. HYPERLINK <http://www.vadosezonejournal.org>
- Moore, I.D., Burch, G.J., Mackenzie, D.H. (1988). Topographic effects on the distribution of surface soil water and the location of ephemeral gullies. *Transactions of the American Society of Agriculture Engineering* 31:1098–1107.
- Norrish K. (1975). The geochemistry and mineralogy of trace elements. . In N. D. R., *Trace Elements in Soil-Plant Animal Systems* (p. 55). New York: Academic Press.
- Norton D.C. (1979). Relationship of physical and chemical factors to populations of plant parasitic nematodes, *Ann. Rev. Phytopathol.* 17:279-299.
- Norton D.C (1989). Abiotic soils factors and plant-parasitic nematodes communities, *J. Nematol.* 21:299-307.
- Nriagu J.E. . (1980). *Cadmium in the Environment, 1: Ecological Cycling*. New York: John Wiley.
- Nriagu J.O. (1989). *Nature (London)* , 338:47-49.
- Nriagu J.O. and Pacyna J.F. . (1988). *Sci. Total Environ.* , 333:134-139.
- O'Riordan E.G. (1986). *Ir. J. Agric. Res.* , 25:239.
- Page A.L. and Bingham F.T. (1973). *Residue Rev.* 48.

- Piper M. . (1944). A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis. *Trans. Amer. geophysical. Union. , 25*, pp. 914-928.
- Power, J. (1994). Understanding the nutrient cycling process. *J. Water Soil Conserv. , 49*: 921-927.
- Petersen, G.W., Cunningham, R.L., Matelski, R.P., 1968. Moisture characteristics of Pennsylvania Soils: II. Factors affecting moisture retention within a textural class silt loam. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 32:866-870.
- R. Allan Freeze and John A. Cherry. (1979). *GROUNDWATER*. Englewood Cliffs , New Jersey: PRENTICE HALL.
- R.A., Anderson. (1981). *Sci Total Environ. , 17*:13-29.
- Reimann, C. & de Caritat P. (1998). *Chemical elements in the environment - Factsheets for the geochemist and environmental scientist*. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag , 398.
- Reimann, C., Siewers, U., Tarvainen, T., Bityukova, L., Eriksson, J., Gilucis, A., Gregorauskiene, V., Lukashev, V.K., Matinian, N.N. & Pasieczna, A. (2003). *Agricultural soils in Northern Europe: A Geochemical Atlas*. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 279.
- Renz, C. (1955). Die vorneogene stratigraphie der normalsedimentaren formationen Griechenlands. *Inst. Geol. Sub. Res., Athens ,637*.
- Reynolds, S.G. (1970a). The gravimetric method of soil moisture determination. I: A study of equipment, and methodological problems. *Journal of Hydrology* 11:258–273.
- Rhoades, J.D., Corwin, D.L. (1992) Determining Soil Electrical Conductivity-depth Relations Using an Inductive Electromagnetic Conductivity Meter. *Soil Science Society of America Journal*, 45:255-260.
- Richards I.A. (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils. *U.S. Depart. Agric. , p.* 160.
- Robinson, G. E. (1981). Adsorption of Cu, Zn and Pb near sulfide deposits by hydrous manganese-iron oxide coatings on stream alluvium. *Chemical Geology*, 33
- Rose, A.W., Hawkes, H.E. & Webb, J.S. (1979). *Geochemistry in mineral exploration*. London: AcademicPress, 657.
- Rubin, A.J. (1976). *Aqueous-environmental chemistry of metals*. Michigan: Ann Arbor Science Publishers Inc. 390.

- Ruz-Jerez, B. B. (1992). Laboratory assessment of the nutrient release from pasture soil receiving grass or clover residues in the presence and absence of *Lumbricus rubellus* or *Eisenia fetida*. *Soil Biol. Biochem.* , 24:1529-1534.
- Schmidt J.A. and Andren A.W. (1980). Chapter 4. In N. J.O., *Nickel in the Environment* . New York : John Wiley.
- Scow, K. (1997). Soil microbial communities and carbon flow in agroecosystems. In L. (. In Jakson, *Ecology in Agriculture.* , San Diego: Academic Press. 367-413.
- Singer M.J. and Hanson L. (1969). *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* , 33:152-153.
- Smith, K.S. (1999b). Cadmium. In: C.P. Marshall & R.W. Fairbridge (Eds.), *Encyclopedia of geochemistry*. Dordrecht, Germany: Kluwer Academic Publishers , 50-51.
- Soil Survey Staff (1975). *Soil Taxonomy – a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*. Arg. Handb No 436, U.S. Dep. Of Arg., Washigton, D.C.
- Sposito G. and Page A.L. (1984). Circulation of Metal Ions in the Environment. Metal Ions in Biological Systems. In S. H., *Vol. 18*. New York: Marcel Dekker.
- Stevenson F.J. (1976). *Soil Sci. Soc. Am* , 40:665-672.
- Stevenson, F. (1986). *Cycles of the Soil*. New York: Wiley-Interscience.
- Stournaras G. (1994). A trashyard to a graveyard. Environmental aspects. *Journal of Environmental Hydrology* , 2 (2).
- Sun, Z.J. and G.D. Young. (2001). Saline clayey soil moisture measurement using time domain reflectometry, TDR 2001-2nd International symposium and workshop on TDR for innovative geotechnical applications, Illinois, p. 225-235.  
<http://www.iti.northwestern.edu/tdr/tdr2001/proceedings/>
- Tebbutt T.H.Y. (1983). Relationship between natural water quality and health. *International Hydrological Programme, United Nations Educational Scientific and Cultural Organization* . Paris
- Tiller K.G. (1989). *Advances in Soil Sci.* , 9:113-142
- Tipping, E. & Hurley, M.A. (1992). *A unifying model of cation binding by humic substances*. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 56.
- Topp, G.C., Davis, J.L., and Annan A.P. (1980). Electromagnetic determination of soil water content: measurement in coaxial transmission lines. *Water Resources Research*, 16: 574-582.
- Van Barneveld AA, Van den Hamer CJA (1985). Drinking water hardness, trace elements and cardiovascular diseases: main effects of Ca and Mg on metabolism of Mn, Pb and Cd in mice. *Nutrition research*, Suppl. 1:345.

- Vereecken, H., J. Maes, J. Feyen and P. Darius, 1989. Estimating the soil moisture retention characteristic from texture, bulk density and carbon content. *Soil Science*, 148: 389-403.
- Vinogradov A.P. (1959). *The Geochemistry of Rare and Dispersed Chemical Elements in Soils*. New York: Bureau Inc.
- Vrba J. Impact of domestic and industrial wastes and agricultural activities on groundwater quality. *18th Congress "Hydrogeology in the service of man"* (pp. 91-117). V XVII Keynote papers.
- Walkley, A., Black, IA. (1934). An examination of the Degtjaredd method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic titration method. *Soil Sci.* 37:29-38.
- Warren H.V. and Delavault R.E. (1860). *Trans. Roy. Soc. Can* , 54:1-20.
- Webber M.D., Kloke A. and Chr. Tjell J. (1984). In L. P. H., *Processing and Use of Sewage Sludge*. Reidel, Dordrecht. 371.
- Wenkert W. (1983). Water transport and balance within plant: An overview. In: Limitations to efficient water use in crop production. H. M. Taylor, W. R. Jordan and T. R. Sinclair (Eds.), Madison, USA: ASA-CSSA-SSSA, 137-172.
- Western, A.W., Grayson, R.B., Bloschl, G., Willgoose, G.R., McMahon, T.A. (1999). Observed spatial organization of soil moisture and its relation to terrain indices. *Water Researces Research* 35 (3), 797–810.
- WHO (2003) Zinc in drinking-water. *Background document for preparation of WHO Guidelines for drinking-water quality*. Geneva, World Health Organization (WHO/SDE/WSH/03.04/17).
- Wilcox L.V. (1955). Classification and use of irrigation waters. *U.S. Depart. Agric. , Circ. 969*, p. 19.
- William A. Jury, Robert Horton. (2004). *Soil physics*. Hoboken, New Jersey: John & Sons.
- Williams, B., Hoey, D. (1987) The Use of Electromagnetic Induction to Detect the Spatial Variability of the Salt and Clay Content of Soils. *Australian Journal Soil Research*, 25:21-27.
- Wixson N.G. and Davies B.E. (1994). 28. *Environ. Sci. Technol.* , 26A-31A.
- Yang Qiu., Bojie Fu and Liding Chen. (2001). Soil moisture variation in relation to topography and land use in a hillslope catchment of the Loess Plateau, China. *Journal og Hydrology* , 243-263.
- Yost K.J. and Miles L.J. . (1979). *J. Environ. Sci. Health* , 14:285-311.

620, COST action. (2004). Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate aquifers, Final Report. *European Commission, Directorate-General, Science, Research and Development, Final Report* (p. 209 11). EUR.

Ziegler EE et al. (1978). Absorption and retention of lead by infants. *Pediatric research*, 12:29-34.

▪ **ΠΗΓΕΣ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ**

[www.parkotritsi.gr](http://www.parkotritsi.gr)

[www.ornithologiki.gr](http://www.ornithologiki.gr)

[www.usda.gov](http://www.usda.gov).

**- ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ -**



**ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ**

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ:** 22/07/2010

**ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:** Π1

ΦΥΣΙΚΟΙ & ΧΗΜΙΚΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	Μονάδα μέτρησης	Τιμή μέτρησης στο ύπαιθρο		Ανώτατα επιτρεπτά όρια πόσιμου νερού	
				ΕΕ 98/83*	WHO**
Θερμοκρασία νερού	( <sup>0</sup> C)	21.3			
Θερμοκρασία ατμόσφαιρας	( <sup>0</sup> C)				
Ηλεκτρική Αγωγιμότητα	(μS/cm)	1298		2,500	-
Τιμή pH	..	7.4		6,5-9,5	6,5-8,5
Τιμή Eh	(mVolt)				
<b>ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ</b>	<b>Βαθμοί Σκληρότητας</b>				
	<b>mg/l CaCO<sub>3</sub></b>	<b><sup>0</sup>dH</b>	<b><sup>0</sup>f</b>		
	Ολική	564	31.69		
Παροδική	331	15.12			
Μόνιμη	233	16.57			
<b>ΚΥΡΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ</b>	<b>Συγκέντρωση σε mg/l</b>	<b>Συγκέντρωση σε meq/l</b>	<b>Συγκέντρωση σε meq/l %</b>	<b>Συγκέντρωση σε mg/l</b>	
Ασβέστιο (Ca <sup>2+</sup> )	94.4	4.71	33	100	--
Μαγνήσιο (Mg <sup>2+</sup> )	80.3	6.60	46	50	--
Νάτριο (Na <sup>+</sup> )	68.7	2.98	21	200	200
Κάλιο (K <sup>+</sup> )	2.8	0.07	0.5	12	--
Οξίνα ανθρακικά (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	329.4	5.4	42	--	--
Χλωριούχα (Cl <sup>-</sup> )	127.7	3.6	28	250	250
Θειικά (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	136.2	2.83	22	250	400
Νιτρικά (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	72.6	1.17	9	50	44,3
<b>ΛΟΙΠΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ</b>					
Αμμωνιακά (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	0			0,5	--
Νιτρώδη (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )				0,5	--
Φωσφορικά (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	0.1			5,0	--
Βόριο (B <sup>-</sup> )	0.01			1,0	--
Βρώμιο (Br <sup>-</sup> )				0,01	--
Πυριτικά (SiO <sub>2</sub> )				--	--
<b>ΔΙΑΛΥΜΕΝΑ ΑΕΡΙΑ</b>					
Οξυγόνο (O <sub>2</sub> )	4.4		57		
Διοξείδιο του άνθρακα (CO <sub>2</sub> )					
Υδρόθειο (H <sub>2</sub> S)					
<b>ΟΞΕΙΑΩΣΙΜΟΤΗΤΑ</b>					
Ανάλυση KMnO <sub>4</sub>					
<b>ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ</b>					
Κάδμιο (Cd)	0.03			0,005	0,005
Κασσίτερος (Sn)				--	--
Κοβάλτιο (Co)				--	--
Μαγγάνιο (Mn)	0.02			0,050	0,100
Μόλυβδος (Pb)	< 0,01			0,010	0,050
Νικέλιο (Ni)	0.22			0,020	--
Σίδηρος (Fe)	0.1			0,200	0,300
Χαλκός (Cu)	< 0,01			2,000	1,000
Χρώμιο ολικό (Cr-tot.)				0,050	0,050
Ψευδάργυρος (Zn <sup>2+</sup> )	0.04			--	5,000
<b>ΣΥΝΟΛΟ ΑΛΑΤΩΝ (TDS)</b>	870.6				

**ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ**

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ:** 22/07/2010

**ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:** Π2

ΦΥΣΙΚΟΙ & ΧΗΜΙΚΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	Μονάδα μέτρησης	Τιμή μέτρησης στο ύπαιθρο	Ανώτατα επιτρεπτά όρια πόσιμου νερού	
			ΕΕ 98/83*	WHO**
Θερμοκρασία νερού	( <sup>0</sup> C)	19.6		
Θερμοκρασία ατμόσφαιρας	( <sup>0</sup> C)			
Ηλεκτρική Αγωγιμότητα	(μS/cm)	705	2,500	-
Τιμή pH	..	7	6,5-9,5	6,5-8,5
Τιμή Eh	(mVolt)	14.6		

ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ	Βαθμοί Σκληρότητας				
	mg/l CaCO <sub>3</sub>	<sup>0</sup> dH	<sup>0</sup> f		
Ολική	300	17.98			
Παροδική	273	12.32			
Μόνιμη	27.2	5.66			
ΚΥΡΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	Συγκέντρωση σε mg/l	Συγκέντρωση σε meq/l	Συγκέντρωση σε meq/l %	Συγκέντρωση σε mg/l	
Ασβέστιο (Ca <sup>2+</sup> )	95.2	4.75	41	100	--
Μαγνήσιο (Mg <sup>2+</sup> )	20.22	1.66	17	50	--
Νάτριο (Na <sup>+</sup> )	31.2	1.36	40	200	200
Κάλιο (K <sup>+</sup> )	3.7	0.09	2	12	--
Όξινα ανθρακικά (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	268.4	4.4	46	--	--
Χλωριούχα (Cl <sup>-</sup> )	35.46	1	27	250	250
Θειικά (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	39.1	0.81	17	250	400
Νιτρικά (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	64.24	1.03	10	50	44,3

**ΛΟΙΠΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ**

Αμμωνιακά (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	0.01			0,5	--
Νιτρώδη (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )				0,5	--
Φωσφορικά (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	0.1			5,0	--
Βόριο (B <sup>-</sup> )	0			1,0	--
Βρώμιο (Br <sup>-</sup> )				0,01	--
Πυριτικά (SiO <sub>2</sub> )				--	--

**ΔΙΑΛΥΜΕΝΑ ΑΕΡΙΑ**

Οξυγόνο (O <sub>2</sub> )	2.3				
Διοξειδίο του άνθρακα (CO <sub>2</sub> )					
Υδρόθειο (H <sub>2</sub> S)					

**ΟΞΕΙΑΩΣΙΜΟΤΗΤΑ**

Ανάλωση KMnO <sub>4</sub>					
---------------------------	--	--	--	--	--

**ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ**

Κάδμιο (Cd)	0.03			0,005	0,005
Κασσίτερος (Sn)				--	--
Κοβάλτιο (Co)				--	--
Μαγγάνιο (Mn)	< 0,01			0,050	0,100
Μόλυβδος (Pb)	< 0,01			0,010	0,050
Νικέλιο (Ni)	< 0,01			0,020	--
Σίδηρος (Fe)	0.13			0,200	0,300
Χαλκός (Cu)	0.02			2,000	1,000
Χρώμιο ολικό (Cr-tot.)				0,050	0,050
Ψευδάργυρος (Zn <sup>2+</sup> )	< 0,01			--	5,000
<b>ΣΥΝΟΛΟ ΑΛΑΤΩΝ (TDS)</b>	556.19				

**ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ**

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ:** 22/07/2010

**ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:** Π3

ΦΥΣΙΚΟΙ & ΧΗΜΙΚΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	Μονάδα μέτρησης	Τιμή μέτρησης στο ύπαιθρο		Ανώτατα επιτρεπτά όρια πόσιμου νερού	
				ΕΕ 98/83*	WHO**
Θερμοκρασία νερού	( <sup>0</sup> C)	22.7			
Θερμοκρασία ατμόσφαιρας	( <sup>0</sup> C)				
Ηλεκτρική Αγωγιμότητα	(μS/cm)	1216		2,500	-
Τιμή pH	..	7.1		6,5-9,5	6,5-8,5
Τιμή Eh	(mVolt)	16.6			
<b>ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ</b>	<b>Βαθμοί Σκληρότητας</b>				
	<b>mg/l CaCO<sub>3</sub></b>	<b><sup>0</sup>dH</b>	<b><sup>0</sup>f</b>		
	Ολική	560	31.46		
Παροδική	384	17.36			
Μόνιμη	176	14.1			
<b>ΚΥΡΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ</b>	<b>Συγκέντρωση σε mg/l</b>	<b>Συγκέντρωση σε meq/l</b>	<b>Συγκέντρωση σε meq/l %</b>	<b>Συγκέντρωση σε mg/l</b>	
Ασβέστιο (Ca <sup>2+</sup> )	111.2	5.55	38	100	--
Μαγνήσιο (Mg <sup>2+</sup> )	69.1	5.68	39	50	--
Νάτριο (Na <sup>+</sup> )	78.8	3.43	1	200	200
Κάλιο (K <sup>+</sup> )	3.1	0.08	23	12	--
Οξίνα ανθρακικά (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	378.2	6.2	44	--	--
Χλωριούχα (Cl <sup>-</sup> )	156.03	4.4	32	250	250
Θειικά (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	117.2	2.44	17	250	400
Νιτρικά (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	57.23	0.92	7	50	44,3
<b>ΛΟΙΠΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ</b>					
Αμμωνιακά (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	0.04			0,5	--
Νιτρώδη (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )				0,5	--
Φωσφορικά (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	0.29			5,0	--
Βόριο (B <sup>-</sup> )	0.08			1,0	--
Βρώμιο (Br <sup>-</sup> )				0,01	--
Πυριτικά (SiO <sub>2</sub> )				--	--
<b>ΔΙΑΛΥΜΕΝΑ ΑΕΡΙΑ</b>					
Οξυγόνο (O <sub>2</sub> )	0.8				
Διοξείδιο του άνθρακα (CO <sub>2</sub> )					
Υδρόθειο (H <sub>2</sub> S)					
<b>ΟΞΕΙΔΩΣΙΜΟΤΗΤΑ</b>					
Ανάλωση KMnO <sub>4</sub>					
<b>ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ</b>					
Κάδμιο (Cd)	0.04			0,005	0,005
Κασσίτερος (Sn)				--	--
Κοβάλτιο (Co)				--	--
Μαγγάνιο (Mn)	0.8			0,050	0,100
Μόλυβδος (Pb)	0.13			0,010	0,050
Νικέλιο (Ni)	< 0,01			0,020	--
Σίδηρος (Fe)	0.68			0,200	0,300
Χαλκός (Cu)	0.02			2,000	1,000
Χρώμιο ολικό (Cr-tot.)				0,050	0,050
Ψευδάργυρος (Zn <sup>2+</sup> )	0.1			--	5,000
<b>ΣΥΝΟΛΟ ΑΛΑΤΩΝ (TDS)</b>	869.2				

**ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ**

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ:** 23/07/2010

**ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:** Π4

ΦΥΣΙΚΟΙ & ΧΗΜΙΚΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	Μονάδα μέτρησης	Τιμή μέτρησης στο ύπαιθρο		Ανώτατα επιτρεπτά όρια πόσιμου νερού	
				ΕΕ 98/83*	WHO**
Θερμοκρασία νερού	( <sup>0</sup> C)	22.9			
Θερμοκρασία ατμόσφαιρας	( <sup>0</sup> C)				
Ηλεκτρική Αγωγιμότητα	(μS/cm)	1162		<b>2,500</b>	-
Τιμή pH	..	7.2		<b>6,5-9,5</b>	<b>6,5-8,5</b>
Τιμή Eh	(mVollt)	26.5			
<b>ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ</b>	<b>Βαθμοί Σκληρότητας</b>				
	<b>mg/l CaCO<sub>3</sub></b>	<b><sup>0</sup>dH</b>	<b><sup>0</sup>f</b>		
Ολική	560	31.46			
Παροδική	229	10.36			
Μόνιμη	331	21.1			
<b>ΚΥΡΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ</b>	<b>Συγκέντρωση σε mg/l</b>	<b>Συγκέντρωση σε meq/l</b>	<b>Συγκέντρωση σε meq/l %</b>	<b>Συγκέντρωση σε mg/l</b>	
Ασβέστιο (Ca <sup>2+</sup> )	104.8	5.23	34	<b>100</b>	--
Μαγνήσιο (Mg <sup>2+</sup> )	72.99	6	39	<b>50</b>	--
Νάτριο (Na <sup>+</sup> )	91.7	3.99	1	<b>200</b>	<b>200</b>
Κάλιο (K <sup>+</sup> )	5.4	0.14	26	<b>12</b>	--
<b>Σύνολο Κατιόντων</b>					
Οξίνα ανθρακικά (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	225.7	3.7	26	--	--
Χλωριούχα (Cl <sup>-</sup> )	191.49	5.4	38	<b>250</b>	<b>250</b>
Θειικά (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	122	2.54	18	<b>250</b>	<b>400</b>
<b>ΛΟΙΠΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ</b>					
Αμμωνιακά (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	0.05			<b>0,5</b>	--
Νιτρώδη (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )				<b>0,5</b>	--
Φωσφορικά (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	0.29			<b>5,0</b>	--
Βόριο (B <sup>-</sup> )	0.01			<b>1,0</b>	--
Βρώμιο (Br <sup>-</sup> )				<b>0,01</b>	--
Πυριτικά (SiO <sub>2</sub> )				--	--
<b>ΔΙΑΛΥΜΕΝΑ ΑΕΡΙΑ</b>					
Οξυγόνο (O <sub>2</sub> )	2				
Διοξείδιο του άνθρακα (CO <sub>2</sub> )					
Υδρόθειο (H <sub>2</sub> S)					
<b>ΟΞΕΙΔΩΣΙΜΟΤΗΤΑ</b>					
Ανάλωση KMnO <sub>4</sub>					
<b>ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ</b>					
Κάδμιο (Cd)	0.05			<b>0,005</b>	<b>0,005</b>
Κασσίτερος (Sn)				--	--
Κοβάλτιο (Co)				--	--
Μαγγάνιο (Mn)	0.04			<b>0,050</b>	<b>0,100</b>
Μόλυβδος (Pb)	< 0,01			<b>0,010</b>	<b>0,050</b>
Νικέλιο (Ni)	< 0,01			<b>0,020</b>	--
Σίδηρος (Fe)	0.21			<b>0,200</b>	<b>0,300</b>
Χαλκός (Cu)	0.01			<b>2,000</b>	<b>1,000</b>
Χρώμιο ολικό (Cr-tot.)				<b>0,050</b>	<b>0,050</b>
Ψευδάργυρος (Zn <sup>2+</sup> )	0.05			--	<b>5,000</b>
<b>ΣΥΝΟΛΟ ΑΛΑΤΩΝ (TDS)</b>	992.83				

**ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ**

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ:** 23/07/2010

**ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:** Π5

ΦΥΣΙΚΟΙ & ΧΗΜΙΚΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	Μονάδα μέτρησης	Τιμή μέτρησης στο ύπαιθρο			Ανώτατα επιτρεπτά όρια πόσιμου νερού	
					ΕΕ 98/83*	WHO**
Θερμοκρασία νερού	( <sup>0</sup> C)	20.3				
Θερμοκρασία ατμόσφαιρας	( <sup>0</sup> C)					
Ηλεκτρική Αγωγιμότητα	(μS/cm)	1885			2,500	-
Τιμή pH	..	7.3			6,5-9,5	6,5-8,5
Τιμή Eh	(mVolt)	29.6				
<b>ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ</b>	<b>Βαθμοί Σκληρότητας</b>					
	mg/l CaCO <sub>3</sub>	<sup>0</sup> dH	<sup>0</sup> f			
Ολική	524	29.44				
Παροδική	260	11.76				
Μόνιμη	264	17.68				
<b>ΚΥΡΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ</b>	<b>Συγκέντρωση σε mg/l</b>	<b>Συγκέντρωση σε meq/l</b>	<b>Συγκέντρωση σε meq/l %</b>	<b>Συγκέντρωση σε mg/l</b>		
Ασβέστιο (Ca <sup>2+</sup> )	168	8.38	54	100	--	
Μαγνήσιο (Mg <sup>2+</sup> )	25.73	2.12	14	50	--	
Νάτριο (Na <sup>+</sup> )	110.7	4.82	1	200	200	
Κάλιο (K <sup>+</sup> )	4.2	0.11	31	12	--	
<b>Σύνολο Κατιόντων</b>						
Οξίνα ανθρακικά (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	256.2	4.2	27	--	--	
Χλωριούχα (Cl <sup>-</sup> )	283.69	8	52	250	250	
Θειικά (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	33.46	0.7	5	250	400	
Νιτρικά (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	154	2.48	16	50	44,3	
<b>ΛΟΙΠΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ</b>						
Αμμωνιακά (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	0.32			0,5	--	
Νιτρώδη (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )				0,5	--	
Φωσφορικά (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	0.16			5,0	--	
Βόριο (B <sup>-</sup> )	0.15			1,0	--	
Βρώμιο (Br <sup>-</sup> )				0,01	--	
Πυριτικά (SiO <sub>2</sub> )				--	--	
<b>ΔΙΑΛΥΜΕΝΑ ΑΕΡΙΑ</b>						
Οξυγόνο (O <sub>2</sub> )	3.8					
Διοξείδιο του άνθρακα (CO <sub>2</sub> )						
Υδρόθειο (H <sub>2</sub> S)						
<b>ΟΞΕΙΔΩΣΙΜΟΤΗΤΑ</b>						
Ανάλωση KMnO <sub>4</sub>						
<b>ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ</b>						
Κάδμιο (Cd)	0.03			0,005	0,005	
Κασσίτερος (Sn)				--	--	
Κοβάλτιο (Co)				--	--	
Μαγγάνιο (Mn)	0.03			0,050	0,100	
Μόλυβδος (Pb)	< 0,01			0,010	0,050	
Νικέλιο (Ni)	< 0,01			0,020	--	
Σίδηρος (Fe)	0.16			0,200	0,300	
Χαλκός (Cu)	< 0,01			2,000	1,000	
Χρώμιο ολικό (Cr-tot.)				0,050	0,050	
Ψευδάργυρος (Zn <sup>2+</sup> )	< 0,01			--	5,000	
<b>ΣΥΝΟΛΟ ΑΛΑΤΩΝ (TDS)</b>	1034.4					

**ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ**

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ:** 24/07/2010

**ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:** Π6

ΦΥΣΙΚΟΙ & ΧΗΜΙΚΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	Μονάδα μέτρησης	Τιμή μέτρησης στο ύπαιθρο		Ανώτατα επιτρεπτά όρια πόσιμου νερού	
				ΕΕ 98/83*	WHO**
Θερμοκρασία νερού	( <sup>0</sup> C)	18.9			
Θερμοκρασία ατμόσφαιρας	( <sup>0</sup> C)				
Ηλεκτρική Αγωγιμότητα	(μS/cm)	1779		2,500	-
Τιμή pH	..	7.7		6,5-9,5	6,5-8,5
Τιμή Eh	(mVolt)	55.4			
<b>ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ</b>	<b>Βαθμοί Σκληρότητας</b>				
	<b>mg/l CaCO<sub>3</sub></b>	<b><sup>0</sup>dH</b>	<b><sup>0</sup>f</b>		
	Ολική	640	35.96		
Παροδική	335	15.12			
Μόνιμη	305	20.84			
<b>ΚΥΡΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ</b>	<b>Συγκέντρωση σε mg/l</b>	<b>Συγκέντρωση σε meq/l</b>	<b>Συγκέντρωση σε meq/l %</b>	<b>Συγκέντρωση σε mg/l</b>	
Ασβέστιο (Ca <sup>2+</sup> )	101.6	5.07	37	100	--
Μαγνήσιο (Mg <sup>2+</sup> )	94.48	7.77	57	50	--
Νάτριο (Na <sup>+</sup> )	14.3	0.62	1	200	200
Κάλιο (K <sup>+</sup> )	4.9	0.13	5	12	--
Οξίνα ανθρακικά (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	329.4	5.4	40	--	--
Χλωριούχα (Cl <sup>-</sup> )	212.77	6	45	250	250
Θειικά (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	50.9	1.06	8	250	400
Νιτρικά (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	58.3	0.94	7	50	44,3
<b>ΛΟΙΠΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ</b>					
Αμμωνιακά (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	0.06			0,5	--
Νιτρώδη (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )				0,5	--
Φωσφορικά (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	0.15			5,0	--
Βόριο (B <sup>-</sup> )	0.02			1,0	--
Βρώμιο (Br <sup>-</sup> )				0,01	--
Πυριτικά (SiO <sub>2</sub> )				--	--
<b>ΔΙΑΛΥΜΕΝΑ ΑΕΡΙΑ</b>					
Οξυγόνο (O <sub>2</sub> )	3.5				
Διοξείδιο του άνθρακα (CO <sub>2</sub> )					
Υδρόθειο (H <sub>2</sub> S)					
<b>ΟΞΕΙΑΩΣΙΜΟΤΗΤΑ</b>					
Ανάλωση KMnO <sub>4</sub>					
<b>ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ</b>					
Κάδμιο (Cd)	0.01			0,005	0,005
Κασσίτερος (Sn)				--	--
Κοβάλτιο (Co)				--	--
Μαγγάνιο (Mn)	0.03			0,050	0,100
Μόλυβδος (Pb)	< 0,01			0,010	0,050
Νικέλιο (Ni)	0.21			0,020	--
Σίδηρος (Fe)	0.16			0,200	0,300
Χαλκός (Cu)	< 0,01			2,000	1,000
Χρόμιο ολικό (Cr-tot.)				0,050	0,050
Ψευδάργυρος (Zn <sup>2+</sup> )	< 0,01			--	5,000
<b>ΣΥΝΟΛΟ ΑΛΑΤΩΝ (TDS)</b>	865.5				

**ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ**

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ:** 24/07/2010

**ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:** Π7

ΦΥΣΙΚΟΙ & ΧΗΜΙΚΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	Μονάδα μέτρησης	Τιμή μέτρησης στο ύπαιθρο		Ανώτατα επιτρεπτά όρια πόσιμου νερού	
				ΕΕ 98/83*	WHO**
Θερμοκρασία νερού	( <sup>0</sup> C)	20.4			
Θερμοκρασία ατμόσφαιρας	( <sup>0</sup> C)				
Ηλεκτρική Αγωγιμότητα	(μS/cm)	1620		2,500	-
Τιμή pH	..	7.5		6,5-9,5	6,5-8,5
Τιμή Eh	(mVolt)	44.1			
<b>ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ</b>	<b>Βαθμοί Σκληρότητας</b>				
	<b>mg/l CaCO<sub>3</sub></b>	<b><sup>0</sup>dH</b>	<b><sup>0</sup>f</b>		
Ολική	570	32.02			
Παροδική	260	11.76			
Μόνιμη	310	20.26			
<b>ΚΥΡΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ</b>	<b>Συγκέντρωση σε mg/l</b>	<b>Συγκέντρωση σε meq/l</b>	<b>Συγκέντρωση σε meq/l %</b>	<b>Συγκέντρωση σε mg/l</b>	
Ασβέστιο (Ca <sup>2+</sup> )	147.2	7.35	46	100	--
Μαγνήσιο (Mg <sup>2+</sup> )	49.63	4.08	26	50	--
Νάτριο (Na <sup>+</sup> )	96.3	4.19	1	200	200
Κάλιο (K <sup>+</sup> )	8.3	0.21	26	12	--
Οξίνα ανθρακικά (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	256.2	4.2	29	--	--
Χλωριούχα (Cl <sup>-</sup> )	205.67	5.8	41	250	250
Θειικά (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	121.71	2.53	18	250	400
Νιτρικά (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	108.9	1.75	12	50	44,3
<b>ΛΟΙΠΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ</b>					
Αμμωνιακά (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	0.25			0,5	--
Νιτρώδη (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )				0,5	--
Φωσφορικά (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	0.11			5,0	--
Βόριο (B <sup>-</sup> )	0.14			1,0	--
Βρώμιο (Br <sup>-</sup> )				0,01	--
Πυριτικά (SiO <sub>2</sub> )				--	--
<b>ΔΙΑΛΥΜΕΝΑ ΑΕΡΙΑ</b>					
Οξυγόνο (O <sub>2</sub> )	4				
Διοξείδιο του άνθρακα (CO <sub>2</sub> )					
Υδρόθειο (H <sub>2</sub> S)					
<b>ΟΞΕΙΔΩΣΙΜΟΤΗΤΑ</b>					
Ανάλωση KMnO <sub>4</sub>					
<b>ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ</b>					
Κάδμιο (Cd)	0.02			0,005	0,005
Κασσίτερος (Sn)				--	--
Κοβάλτιο (Co)				--	--
Μαγγάνιο (Mn)	0.02			0,050	0,100
Μόλυβδος (Pb)	< 0,01			0,010	0,050
Νικέλιο (Ni)	< 0,01			0,020	--
Σίδηρος (Fe)	0.14			0,200	0,300
Χαλκός (Cu)	0.04			2,000	1,000
Χρώμιο ολικό (Cr-tot.)				0,050	0,050
Ψευδάργυρος (Zn <sup>2+</sup> )	0.03			--	5,000
<b>ΣΥΝΟΛΟ ΑΛΑΤΩΝ (TDS)</b>	992.29				

**ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ**

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ:** 24/07/2010

**ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:** Π8

ΦΥΣΙΚΟΙ & ΧΗΜΙΚΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	Μονάδα μέτρησης	Τιμή μέτρησης στο ύπαιθρο			Ανώτατα επιτρεπτά όρια πόσιμου νερού	
					ΕΕ 98/83*	WHO**
Θερμοκρασία νερού	( <sup>0</sup> C)	17.2				
Θερμοκρασία ατμόσφαιρας	( <sup>0</sup> C)					
Ηλεκτρική Αγωγιμότητα	(μS/cm)	1285			2,500	-
Τιμή pH	..	7.4			6,5-9,5	6,5-8,5
Τιμή Eh	(mVolt)	197				
<b>ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ</b>	<b>Βαθμοί Σκληρότητας</b>					
		mg/l CaCO <sub>3</sub>	<sup>0</sup> dH	<sup>0</sup> f		
	Ολική	418	23.5			
Παροδική	372	17				
<b>ΚΥΡΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ</b>	Συγκέντρωση σε mg/l	Συγκέντρωση σε meq/l	Συγκέντρωση σε meq/l %	Συγκέντρωση σε mg/l		
Ασβέστιο (Ca <sup>2+</sup> )	101.6	5.07	42	100	--	
Μαγνήσιο (Mg <sup>2+</sup> )	40.3	3.31	28	50	--	
Νάτριο (Na <sup>+</sup> )	75.6	3.29	27	200	200	
Κάλιο (K <sup>+</sup> )	12.4	0.32	3	12	--	
Οξίνα ανθρακικά (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	372.1	6.1	51	--	--	
Χλωριούχα (Cl <sup>-</sup> )	120.6	3.4	29	250	250	
Θειικά (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	76.6	1.59	13	250	400	
Νιτρικά (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	48	0.77	7	50	44,3	
<b>ΛΟΙΠΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ</b>						
Αμμωνιακά (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	1.11			0,5	--	
Νιτρώδη (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )				0,5	--	
Φωσφορικά (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	0.14			5,0	--	
Βόριο (B <sup>-</sup> )	0.01			1,0	--	
Βρώμιο (Br <sup>-</sup> )	0.2			0,01	--	
Πυριτικά (SiO <sub>2</sub> )				--	--	
<b>ΔΙΑΛΥΜΕΝΑ ΑΕΡΙΑ</b>						
Οξυγόνο (O <sub>2</sub> )						
Διοξείδιο του άνθρακα (CO <sub>2</sub> )						
Υδρόθειο (H <sub>2</sub> S)						
<b>ΟΞΕΙΔΩΣΙΜΟΤΗΤΑ</b>						
Ανάλωση KMnO <sub>4</sub>						
<b>ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ</b>						
Κάδμιο (Cd)	0.06			0,005	0,005	
Κασσίτερος (Sn)				--	--	
Κοβάλτιο (Co)				--	--	
Μαγγάνιο (Mn)	0.01			0,050	0,100	
Μόλυβδος (Pb)	< 0,01			0,010	0,050	
Νικέλιο (Ni)	< 0,01			0,020	--	
Σίδηρος (Fe)	0.01			0,200	0,300	
Χαλκός (Cu)	< 0,01			2,000	1,000	
Χρώμιο ολικό (Cr-tot.)				0,050	0,050	
Ψευδάργυρος (Zn <sup>2+</sup> )	0.01			--	5,000	
<b>ΣΥΝΟΛΟ ΑΛΑΤΩΝ (TDS)</b>	866					



Πίνακας 20: Κλιματολογική βάση δεδομένων – μετεωρολογικός σταθμός Ν. Φιλαδέλφεια 701 (περίοδος 1956 – 1997).

ΜΗΝΕΣ	Μεση πίεση σε hPa στην επιφ. Της θάλασσας	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ °C											Μέση σχετική υγρασίας%		ΥΕΤΟΣ					
		Μέση	Τυπική απόκλιση	Μέση μέγιστη	Τυπική απόκλιση	Μέση ελάχιστη	Τυπική απόκλιση	Απολύτως μέγιστη	Απολύτως ελάχιστη	Μέση των απολύτως μέγιστων	Τυπική απόκλιση	Μέση των απολύτως ελαχίστων	Τυπική απόκλιση	Μέση νέφωση σε όγδοα	Μέσο ύψος σε χλσμ	Μέγιστο 24ώρο σε χλσμ	Επικρατούσα διεύθυνση ανέμου	Μέση ένταση ανέμου σε κόμβους		
ΙΑΝ	1017.4	7.4	1	11.9	1.3	3.3	1.2	22	-8.8	17.7	1.6	-3	2.3	76.6	4.6	4.7	70.1	138.8	B	6.6
ΦΕΒ.	1016.3	7.8	1.6	12.5	2	3.6	1.3	24.4	-8.2	18.9	2	-2.2	2.4	74.7	4.5	4.7	51.4	68.5	B	6.5
ΜΑΡΤ.	1015.1	10	1.3	14.6	1.9	5	1.2	26	-7	21.2	1.7	-0.8	2	71.1	11.7	4.5	43.2	37	B	6.7
ΑΠΡ.	1012.6	14.1	1.3	19.4	1.6	7.6	1.1	30	-1.8	25.2	2	2.2	1.5	64.6	14.7	3.9	24.6	55.2	BA	5.3
ΜΑΪ	1013	19.5	1.3	24.9	1.6	11.8	1.1	39	2.4	31.6	2.8	6.8	1.6	56.4	10.2	3.1	20.8	37.3	BA	5.1
ΙΟΥΝ.	1012.1	24.5	0.8	29.7	1.1	16	1	42	7	36.1	2.2	11.3	1.6	47.9	4	2	10.8	29.4	B	5.3
ΙΟΥΛ.	1011	26.7	1	31.8	1.1	18.9	1.1	48	7	38	2.9	14.1	1.5	44.7	6	1.1	9.7	46	B	7.1
ΑΥΓ.	1011.5	26.2	1.2	31.7	1.1	19.1	1.2	43	10.5	37	1.8	14.6	1.6	45.8	5.8	1	4.2	21.9	B	7.4
ΣΕΠΤ.	1014.7	22.2	1.2	28	1.4	15.6	1.3	39.6	6.1	34.5	2	10.7	2.1	54.6	5.8	1.7	13.5	44	B	6.7
ΟΚΤ.	1017.2	16.9	1.5	22.4	2	11.7	1.5	38	1.5	28.9	2.6	6.2	2.3	66.6	5.6	3.2	49.9	110.7	B	6.9
ΝΟΕΜ.	1017.6	12.4	1.4	17.8	1.9	7.7	1.6	33.6	-2.1	23.1	2.1	1.9	2	75.4	4.5	4.2	55.9	175.1	B	5.2
ΔΕΚΕΜ.	1016.9	9	1.3	13.8	1.7	4.9	1.2	33.6	-5	18.9	2	-0.7	1.4	77.9	4.2	4.7	76	111	B	5.6
ΕΤΟΣ	1014.6	16.4		21.5		10.4		48	-8.8	27.6		5.1		63		3.2	430.1	175.1		6.2

Πίνακας 21: Κλιματολογική βάση δεδομένων – μετεωρολογικός σταθμός Τατόϊ 715 (περίοδος 1956 – 1997).

ΜΗΝΕΣ	Μέση πίεση σε hPa στην επιφ. της θάλασσας	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ °C											Μέση σχετική υγρασίας%		ΥΕΤΟΣ					
		Μέση	Τυπική απόκλιση	Μέση μέγιστη	Τυπική απόκλιση	Μέση ελάχιστη	Τυπική απόκλιση	Απολύτως μέγιστη	Απολύτως ελάχιστη	Μέση των απολύτως μέγιστων	Τυπική απόκλιση	Μέση των απολύτως ελαχίστων	Τυπική απόκλιση	Μέση νέφωση σε όγδοα	Μέσο ύψος σε χλσμ	Μέγιστο 24ώρο σε χλσμ	Επικρατούσα διεύθυνση ανέμου	Μέση ένταση ανέμου σε κόμβους		
ΙΑΝ	1017.7	8.7	1.2	12.5	1.3	5.2	1.3	21.2	-5.8	17.9	1.6	-1.1	2.1	74.5	3.8	4.8	56.9	109.8	BA	5.6
ΦΕΒ.	1016.3	9.3	1.7	13.5	1.9	5.4	1.4	25.8	-5.2	19.6	2	-0.3	2	72.2	4.1	4.7	46.7	56.2	BA	6
ΜΑΡΤ.	1015.4	11.2	1.3	15.7	1.8	6.7	1.1	26.8	-3.6	22.1	1.7	0.7	1.7	68.8	4.7	4.4	40.7	36.5	BA	6.1
ΑΠΡ.	1013.1	15.3	1.3	20.2	1.6	9.6	1	30.7	0.2	25.9	1.6	4.4	1.6	61.7	5.4	3.9	30.8	74.6	ΝΔ	5.3
ΜΑΪ	1013.4	20.7	0.9	26	1.6	13.9	1.1	39	6	32.4	1.7	9	1.7	53.9	5.1	3.3	22.7	34.7	ΝΔ	5
ΙΟΥΝ.	1012.5	25.6	1	31.1	1.2	18.2	0.7	44.6	9	36.9	1.6	13.6	1.6	46.1	3.9	2.2	10.6	25.5	ΝΔ	5.4
ΙΟΥΛ.	1011.7	28	1.2	33.5	1.1	20.8	0.9	45	14	38.9	1.2	16.7	1.2	43.1	4.7	1.2	5.8	40	BA	6.7
ΑΥΓ.	1011.9	27.4	1.1	33.2	1.2	20.7	1.1	43.6	13.8	38	1.4	16.5	1.4	45.3	4.7	1.2	6	23.8	BA	6.6
ΣΕΠΤ.	1015.1	23.3	1.5	29.2	1.4	17.3	1	38	8.4	34.5	1.8	12.6	1.8	53.7	4.5	1.8	13.9	74.4	BA	5.8
ΟΚΤ.	1017.5	18.1	1.3	23.3	1.7	13.4	1.4	38.2	4.6	29.6	2	7.9	2	66.1	4.8	3.3	52.6	90.1	BA	5.6
ΝΟΕΜ.	1017.8	13.7	1.3	18.1	1.6	9.8	1.2	28.6	0	23.4	1.8	3.6	1.8	74.3	3.8	4.3	58.3	115.6	BA	4.6
ΔΕΚΕΜ.	1017.1	10.3	1.3	14.1	1.5	6.8	1.2	22.6	-4.4	19.5	1.5	1.1	1.6	76.1	3.2	4.7	69.1	67	BA	4.8
ΕΤΟΣ	1015	17.6		22.5		12.3		45	-5.8	28.2		7.1		61.3		3.3	414.1	115.6		5.6