ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ & ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ – ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΜΕΛΕΤΗ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΔΑΦΩΝ ΑΠΟ ΑΡΣΕΝΙΚΟ ΚΑΙ ΑΝΤΙΜΟΝΙΟ ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΘΕΙΟΥΧΟΥ ΜΕΤΑΛΛΟΦΟΡΙΑΣ ΤΟΥ ΒΔ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΧΙΟΥ

ΜΑΡΙΑ ΦΑΝΟΥΡΑΚΗ
Γεωλόγος M.Sc.

ΑΘΗΝΑ 2011

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Α. Κελεπερτζής*: Καθηγητής Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Τομέας Οικονομικής Γεωλογίας – Γεωχημείας.

Μ. Σταματάκης**: Καθηγητής Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Τομέας Οικονομικής Γεωλογίας – Γεωχημείας.

Ν. Σκαρπέλης**: Καθηγητής Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Τομέας Οικονομικής Γεωλογίας – Γεωχημείας.

Γ. Στουρνάρας: Καθηγητής Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Τομέας Δυναμικής, Τεκτονικής και Εφαρμοσμένης Γεωλογίας.

Γ. Σταμάτης: Καθηγητής Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, Γενικό Τμήμα, Εργαστήριο Ορυκτολογίας και Γεωλογίας.

Α. Αργυράκη: Επίκουρη Καθηγήτρια Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Τομέας Οικονομικής Γεωλογίας – Γεωχημείας.

Ι. Μήτσης: Λέκτορας Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Τομέας Οικονομικής Γεωλογίας – Γεωχημείας.

* Επιβλέπων Καθηγητής, Μέλος της Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής

** Μέλος της Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα μελέτη αναφέρεται στη ρύπανση υπόγειων υδάτων και εδαφών από αρσενικό και αντιμόνιο σε περιοχές εμφάνισης θειούχου μεταλλοφορίας του ΒΔ τμήματος της νήσου Χίου. Το αρσενικό (As) και το αντιμόνιο (Sb) είναι δύο μεταλλοειδή τα οποία εμφανίζονται στο επιφανειακό περιβάλλον (έδαφος, νερό, αέρας και βιόκοσμος) σε ιχνο-ποσότητες και χαρακτηρίζονται από παρόμοιες χημικές ιδιότητες. Η παρουσία τους στο φυσικό περιβάλλον συνδέεται στενά με εμφανίσεις θειούχου μεταλλοφορίας και υδροθερμικών συστημάτων. Σε αυξημένες συγκεντρώσεις είναι τοξικά για τους οργανισμούς και η κύρια οδός έκθεσης είναι το πόσιμο νερό. Η τοξικότητα και η βιοδιαθεσιμότητα των δύο στοιχείων εξαρτάται από τις χημικές ενώσεις τους. Το αρσενικό μπορεί να εμφανίζεται στο περιβάλλον με ορισμένες οξειδωτικές καταστάσεις (-3, 0, +3 και 5) αλλά στα φυσικά νερά βρίσκεται κυρίως με τη μορφή ανόργανων ενώσεων ως οξυανιόντα τρισθενούς (arsenite) και πεντασθενούς (arsenate) αρσενικού. Οι πιο συνηθισμένες οξειδωτικές καταστάσεις του αντιμονίου είναι -3, +3, +5. Η τρισθενής οξειδωτική κατάσταση και των δύο στοιχείων είναι περισσότερο τοξική απ' ότι η πεντασθενής.

Η νήσος Χίος είναι το πέμπτο σε μέγεθος από τα ελληνικά νησιά υπάγεται στα νησιά του Ανατολικού Αιγαίου. Το βορειοδυτικό τμήμα του νησιού, το οποίο αποτελεί την περιοχή μελέτης, βρίσκεται μεταξύ γεωγραφικού πλάτους $38^{o}28'$ και $38^{o}35'$ και γεωγραφικού μήκους $25^{o}50'$ και $25^{o}59'$. Το τοπογραφικό ανάγλυφο είναι έντονο με απότομες κλίσεις και βαθιές χαράδρες. Η βλάστηση της περιοχής αποτελείται από θάμνους, ελιές, καρυδιές καθώς επίσης και από δάση πεύκων. Η γεωλογική δομή της ΒΔ Χίου χαρακτηρίζεται από το Παλαιοζωικό αυτόχθονο σύστημα το οποίο περιέχει γραουβάκες με παρεμβολές κροκαλοπαγών, αργιλικών και πυριτικών σχιστόλιθων, ασβεστολιθικών φακών και ηφαιστιτών. Δύο τύποι θειούχου μεταλλοφορίας εμφανίζονται εντός του συστήματος: α) Η αντιμονιούχος μεταλλοφορία (Sb_2S_3), η οποία αναπτύσσεται κατά μήκος μιας νοητής γραμμής που ξεκινάει βόρεια από την περιοχή των Αγιασμάτων και επεκτείνεται νότια στην περιοχή της Βολισσού όπου οι κύριες αποθέσεις του αντιμονίου εμφανίζονται στην περιοχή της Κεράμου, ανατολικά και δυτικά του Αλβανού ποταμού και β) η μεταλλοφορία μικτών θειούχων (PBG) η οποία βρίσκεται σε μία ζώνη παράλληλη με αυτή των εμφανίσεων του αντιμονίου και ανατολικά από αυτή. Οι δύο τύποι μεταλλοφορίας είναι υδροθερμικής προέλευσης. Υδρογεωλογικά το Παλαιοζωϊκό σχιστοψαμμιτικό σύστημα που αναπτύσσεται έχει περιορισμένη υδρολογική σημασία. Οι περισσότερες πηγές είναι επαφής και δημιουργούνται είτε εξαιτίας των εναλλαγών των κλαστικών αποθέσεων (υδροπερατών και μη), είτε λόγω της ύπαρξης φακών και παρενστρώσεων ανθρακικών πετρωμάτων μέσα στην κλαστική σειρά αλλά και στην παραμόρφωση των πετρωμάτων. Θερμή πηγή εμφανίζεται στο χωριό Αγιάσματα στις βόρειες ακτές.

Οι στόχοι της έρευνας ήταν:

α) Ο ποσοτικός και ποιοτικός προσδιορισμός του As και του Sb στο έδαφος και το υπόγειο νερό στην περιοχή μελέτης.

β) Ο προσδιορισμός των κύριων ορυκτολογικών φάσεων που ενεργούν ως πηγές για τον εμπλουτισμό As και Sb στο έδαφος και το υπόγειο νερό.
γ) Ο καθορισμός των χημικών αντιδράσεων, μέσω εφαρμογής γεωχημικού μοντέλου στο λογισμικό PHREEQC, οι οποίες ελέγχουν τις εποχιακές αλλαγές του περιεχομένου Sb στο νερό
δ) Ο προσδιορισμός της ποιότητας του εδάφους και του υπόγειου νερού όσον αφορά τις συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων.

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης έχουν αξιολογηθεί βασιζόμενα στη συλλογή 151 δειγμάτων νερού. Δείγματα υπόγειου νερού συλλέχθηκαν από πηγές εντός των Παλαιοζωικών πετρωμάτων, πηγαδιών και γεωτρήσεων. Επίσης 100 δείγματα εδάφους συλλέχθηκαν και αναλύθηκαν για τον καθορισμό των βαρέων μετάλλων και μεταλλοειδών. Η ορυκτολογική μελέτη εστίασε σε δείγματα πετρωμάτων από τη μεταλλοφόρο ζώνη του Sb στην περιοχή Κεράμου – Αγιασμάτων. Οι χημικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο Οικονομικής Γεωλογίας και Γεωχημείας του Πανεπιστημίου Αθηνών με χρήση ποικίλων αναλυτικών μεθόδων. Οι κύριες αναλυτικές τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν για τη μέτρηση των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων στο έδαφος και στο νερό ήταν η φασματοφωτομετρία ατομικής απορρόφησης (AAS) (με φλόγα και εξαχνωτή θερμαινόμενου γραφίτη) ενώ οι συγκεντρώσεις As και Sb στο νερό μετρήθηκαν με τη μέθοδο παραγωγής υδριδίων και μέτρηση με AAS. Δέκα εδαφικά δείγματα από την περιοχή της Κεράμου αναλύθηκαν επίσης με τη μέθοδο Φασματοσκοπίας Ατομικής Εκπομπής με Διέγερση Πλάσματος Αργού (ICP- AES) στο Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου της εταιρίας Ελληνικός Χρυσός. Τα περισσότερα από τα ανιόντα στο νερό καθορίστηκαν με τη μέθοδο της φασματοφωτομετρίας HACH. Οι ορυκτολογικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM – EDS) και με την τεχνική της περιθλασιμετρίας ακτίνων Χ (XRD)

Τα αποτελέσματα φανέρωσαν ότι το πρόβλημα της ρύπανσης σχετίζεται με το αντιμόνιο και έχει επιπτώσεις στην ποιότητα του νερού και του εδάφους. Όμως η παρατηρούμενη ρύπανση έχει τοπικό χαρακτήρα και εμφανίζεται μόνο εντός της περιοχής που εκτείνεται γύρω από τη μεταλλοφόρο ζώνη και τα εγκαταλειμμένα ορυχεία Sb της Κεράμου. Οι συγκεντρώσεις του αντιμονίου στο νερό έφτασαν στη μέγιστη τιμή των 480 μg L^{-1}, στις πηγές της Κεράμου – Αγιασμάτων αλλά τα περισσότερα από τα δείγματα στην περιοχή μελέτης είχαν συγκεντρώσεις κάτω από 5 μg L^{-1} που είναι το όριο για το πόσιμο νερό. Η συγκέντρωση του αρσενικού στο νερό ήταν πάντα κάτω από 10 μg L^{-1}. Τα εδαφικά δείγματα από την περιοχή της αντιμονιούχου μεταλλοφορίας ήταν εμπλουτισμένα σε αντιμόνιο. Τα προσδιοριζόμενα ορυκτά που ενεργούν ως πηγές αντιμονίου ήταν ο αντιμονίτης και ο βαλλεντινίτης. Επιπλέον, οι παρατηρήσεις με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης έδειξαν επίσης στέρεες φάσεις οξειδίων και ένυδρων οξειδίων του Fe οι οποίες περιέχουν μικρά ποσά του Sb (κατά μέσο όρο 2%) καθώς επίσης και As. Αυτά ερμηνεύονται ως δευτερογενή προϊόντα της οξείδωσης των πρωτογενών ορυκτών και υποδεικνύουν ένα μηχανισμό απελευθέρωσης των μεταλλοειδών μέσα στο νερό. Ο διαχωρισμός των ειδών (speciation) και η κινητικότητα του As και του Sb στο υπόγειο νερό προσδιορίστηκε με το αντίστροφο γεωχημικό μοντέλο (inverse modeling) χρησιμοποιώντας το

υπολογιστικό πρόγραμμα PHREEQC βασιζόμενο στις χημικές αναλύσεις των δειγμάτων νερού και στις ορυκτολογικές παρατηρήσεις. Στην περιοχή της Κεράμου της ΒΔ Χίου παρατηρήθηκε μεγάλη επιρροή της μεταλλοφορίας του Sb στο υπόγειο νερό. Η συνεχιζόμενη διάλυση του αντιμονίτη (Sb_2S_3) έχει ως αποτέλεσμα τον εμπλουτισμό του Sb στο νερό. Όσον αφορά το επικρατέστερο ιόν Sb στα δείγματα υπόγειου νερού της περιοχής της Κεράμου στις δύο περιόδους για τα νερά των πηγών επικρατεί η τρισθενής μορφή του Sb ενώ η πεντασθενής μορφή του αντιμονίου επικρατεί κατά την ξηρή περίοδο για την πηγή που βρίσκεται κατάντη των παλαιών εκμεταλλεύσεων, εντός της κοιλάδας Κεράμου-Αγιασμάτων.

Ένα δεύτερο πρόβλημα ρύπανσης του νερού είναι η υφαλμύρινση η οποία παρατηρήθηκε στα αλλούβια υδροφόρα στρώματα στα νότια παράλια της περιοχής έρευνας, γύρω από την πόλη της Βολισσού. Αυτό το φαινόμενο απεικονίζεται στις χημικές αναλύσεις του νερού των ρηχών πηγαδιών, δείχνοντας υψηλές συγκεντρώσεις και καλούς συντελεστές συσχέτισης ανάμεσα στις παραμέτρους K, Na, Cl, SO_4. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις που καταγράφηκαν ήταν για την υγρή περίοδο K= 267 mg l^{-1}, Na = 2277 mg l^{-1}, Cl = 3530 mg l^{-1}, SO_4^{2-} = 287 mg l^{-1}, Mn = 750 μg l^{-1}, Fe = 210 μg l^{-1}, B = 2135 μg l^{-1} και την ξηρή περίοδο K= 328 mg l^{-1}, Na = 2300 mg l^{-1}, Cl = 3870 mg l^{-1}, Mn = 750 μg l^{-1}, Fe = 215 μg l^{-1}. Τα επίπεδα συγκεντρώσεων των υπόλοιπων παραμέτρων στο νερό συμπεριλαμβανομένων και των βαρέων μετάλλων ήταν εντός των κανονικών ορίων των φυσικών νερών. Γενικά η ποιότητα του περιβάλλοντος στην περιοχή είναι σε πολύ καλή κατάσταση. Τα περισσότερα νερά των πηγών έχουν χημικές συστάσεις σχετιζόμενες με τον τύπο πετρώματος που διέρχονται όπως για παράδειγμα ψαμμίτες, γραουβάκες, σχιστόλιθοι και ο επικρατέστερος υδροχημικός τύπος νερού είναι Ca-Na-Mg-HCO_3-Cl-SO_4. Η ρύπανση του εδάφους δεν εμφανίζεται να είναι πρόβλημα δεδομένου ότι καμία σημαντική συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων και των μεταλλοειδών δεν ανιχνεύθηκε.

Αυτή η έρευνα εντόπισε τις συγκεκριμένες περιοχές όπου εμφανίζονται περιβαλλοντικά προβλήματα στην ΒΔ Χίο και προσδιόρισε ποσοτικώς τα επίπεδα ρύπανσης. Τα αποτελέσματα της έρευνας είναι δυνατό να αξιοποιηθούν από τις τοπικές αρχές προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η μελλοντική ανάπτυξη της περιοχής. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στην ενημέρωση των κατοίκων και των επισκεπτών για τις υψηλές συγκεντρώσεις Sb στα νερά των πηγών της περιοχής της Κεράμου. Η ποιότητα του νερού θα πρέπει να ελέγχεται συνεχώς ώστε να παρατηρηθούν οποιεσδήποτε αλλαγές συμβούν με το χρόνο. Επίσης το πρόβλημα της διείσδυσης του θαλασσινού νερού γύρω από την περιοχή της Βολισσού χρειάζεται την προσοχή των τοπικών αρχών ως μέρος της βιώσιμης διαχείρισης των υδάτινων πόρων στην περιοχή. Επίσης, ευκαιρίες για την τουριστική ανάπτυξη της περιοχής εναπόκεινται στα εγκαταλειμμένα ορυχεία της Κεράμου – Αγιασμάτων. Η περιοχή μπορεί να θεωρηθεί ως φυσικό καθώς και ιστορικό μνημείο. Θα μπορούσαν να δημιουργηθούν κατάλληλες υποδομές με στόχο να κατανοήσει ο επισκέπτης τη γεωλογία και την ανάπτυξη της μεταλλοφορίας στην περιοχή και να πληροφορηθεί σχετικά με την μεταλλευτική τεχνολογία και ιστορία της. Η φυσική θέση της περιοχής είναι ιδανική για την ανάπτυξη ενός γεωπάρκου – τόπου αναψυχής από την περιοχή της Κεράμου και των παλαιών μεταλλείων έως τη θερμή πηγή των Αγιασμάτων ή οποία με την ανάπτυξη κατάλληλων υποδομών μπορεί να συνεισφέρει στην ευμάρεια του τόπου.

ABSTRACT

This Thesis presents the results of research on environmental pollution by arsenic and antimony in the soil and groundwater of NW Chios Island, Greece. Arsenic (As) and antimony (Sb) are two metalloids which occur in the surface environment (soil, water, air and biota) in trace quantities and are characterized by similar chemical properties. Their presence in the natural environment is closely linked to sulfide ore occurrences and hydrothermal systems. Both elements can form toxic chemical species for human, their main intake pathway being drinking water. Toxicity, reactivity and bioavailability of the elements depend on their chemical forms. Arsenic can occur in the environment in several oxidation states (-3, 0, +3 and +5) but in natural waters is mostly found in inorganic form as oxyanions of trivalent arsenite or pentavalent arsenate. The most common oxidation states of Sb are -3, +3, +5. The trivalent oxidation state of both elements is more toxic than the pentavalent one.

Chios is the fifth biggest island of Greece and is located in eastern Aegean Sea. The study area in NW Chios lies between latitudes $38^{o}28'$ and $38^{o}35'$ and longitudes $25^{o}50'$ and $25^{o}59'$. The topographic pattern of NW Chios is uneven with steep slopes and cliffs. The area's vegetation consists of bushes, olive and walnut trees, as well as pine tree forest. The geological structure of NW Chios is characterized by a Paleozoic autochthonous system consisting of greywacke with conglomerate intercalations, shale and chert, limestone lenses and volcanic rocks. Two types of sulfide mineralization occur within this system: (a) a stibnite (Sb_2S_3) mineralization, extending on a north-south direction from Agiasmata to Volissos where the main deposits of antimony are located at the village of Keramos, east and west of the Albanos river (b) a mixed sulfide mineralization (PBG) extending in a parallel direction to Sb mineralization on the eastern edge of the study area. Both types of mineralization are of hydrothermal origin. Aquifers of limited dimensions occur due to alternation of permeable and impermeable clastic deposits as well as due to localized occurrences of limestone lenses and layers. A hot spring occurs in the village of Agiasmata on the northern coast.

The objectives of the research were: (a) The qualitative and quantitative assessment of As and Sb concentrations in soil and groundwater of the study area. (b) The identification of the main mineralogical phases that act as sources for As and Sb enrichment in soil and groundwater. (c) The application of geochemical modeling by using the PHREEEQC software in order to define the reactions which control the changes in groundwater chemistry between the wet and the dry seasons and calculate the saturation index of the minerals which take part in these reactions. (d) The assessment of quality of soil and groundwater in respect to main and trace element concentrations.

The groundwater quality characteristics of the study area have been assessed based on the collection of a total of 151 water samples. Groundwater samples were collected from overflow springs occurring within the Paleozoic rocks of the area and wells over a course of one year. Also 100 soil samples were collected and analyzed for the determination of heavy metals and metalloids. The mineralogical study focused on samples from the Sb mineralized zone within the Keramos- Agiasmata area. Chemical analysis was performed in the Laboratory of Economic Geology and Geochemistry of the University of Athens by utilizing several analytical methods. The main analytical technique that was used for measuring concentrations of heavy metals in soil and water was the atomic absorption spectroscopy (AAS) (flame and graphite furnace) while concentrations of As and Sb in water were measured by hydride generation- AAS. Ten soil samples from the Keramos area were also analyzed by ICP-AES in the Laboratory of Quality Control of Hellas Gold S.A. Most of the anions in water were determined by HACH

spectrophotometric methods. Scanning Electron Microscopy (SEM-EDS) and X-Ray Diffraction were used for mineralogical analysis.

The results revealed that there is a pollution problem related to Sb affecting the quality of water and soil; however the observed pollution has a local character as it is observed only within the area extending around the mineralized zone and the abandoned Sb mines of Keramos. Antimony concentrations in water reached a maximum of 480μg L^{-1}, in springs of Keramos- Agiasmata but most of the samples in the study area had concentrations below the 5 μg L^{-1} limit for drinking water. Arsenic concentration in water was always below 10 μg L^{-1} . Accordingly soil samples from the mineralized area were enriched in Sb. The identified minerals that act as sources of Sb were stibnite and vallentinite. Also, SEM –EDS observations indicated several solid phases of Fe oxides- hydroxides containing small amounts of Sb (average 2%) as well as As. These are interpreted as secondary products of oxidation of the primary minerals and indicate a mechanism of release of the metalloids into the water. The speciation and mobility of As and Sb in groundwater was assessed by geochemical inverse modeling using the PHREEQC software based on water analysis samples and mineralogical observations. In the Keramos area of NW Chios a heavy influence of Sb mineralization on the groundwater quality is observed. The continuous dissolution of stibnite (Sb_2S_3) results in Sb enrichment in the water. The predicted dominant species in spring water from Keramos is Sb(III) while Sb(V) is the dominant species in spring water downstream in the valley.

A secondary water pollution problem in the study area is sea water intrusion affecting the alluvial aquifers on the south coast of the study area, around the town of Volissos. This phenomenon is reflected in water analysis data from shallow wells, displaying high concentrations and good correlation coefficients between the parameters K, Na, Cl, SO_4. The highest recorded concentrations were K= 267 mg l^{-1}, Na = 2277 mg l^{-1}, Cl = 3530 mg l^{-1}, SO_4^{2-} = 287 mg l^{-1}, Mn = 750 μg l^{-1}, Fe = 210 μg l^{-1}, B = 2135 μg l^{-1} (wet period) and K= 328 mg l^{-1}, Na = 2300 mg l^{-1}, Cl = 3870 mg l^{-1}, Mn = 750 μg l^{-1}, Fe = 215 μg l^{-1} (dry period). Concentration levels of all other parameters in water including heavy metals were within normal limits of natural waters. In general the quality of the environment in the area is in a good state. Most of the spring waters display a bulk chemical composition related to the rock type from which the water was extracted, i.e. sandstone, greywacke, schist and belong to Ca-Na-Mg-HCO_3-Cl-SO_4 type of water. Soil pollution does not appear to be a problem since no significant concentrations of heavy metals and metalloids were detected.

This research indicated the specific areas where environmental problems occur and quantified pollution levels. These data could and *should* be utilized by the local authorities in order to optimize the future development of the area. Particular attention should be paid in informing locals and visitors about the high Sb concentrations in spring water of the Keramos area. The quality of water should be monitored continuously to observe any changes over time. Also the problem of sea water intrusion around Volissos needs the attention of local authorities as part of the sustainable management of water resources in the area. Many opportunities for touristic development lie with the abandoned mines of the Keramos- Agiasmata. The area can be considered as a natural as well as a historical monument. Special trails could introduce visitors to the geology and ore occurrences and explain mining technology of the past. The natural setting of the mineralized area is ideal for trekking through the natural forest of Albanos creek leading to the coastal village of Agiasmata. The hot spring located in Agiasmata could also be exploited for recreation.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διδακτορικής διατριβής θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλους όσους συνέβαλαν στην πραγματοποίησή της.

Αρχικά θα πρέπει να αναφέρω ότι η παρούσα έρευνα δεν θα είχε πραγματοποιηθεί χωρίς την οικονομική υποστήριξη του ερευνητικού προγράμματος ενίσχυσης ερευνητικού δυναμικού (ΠΕΝΕΔ 2003) με χρηματοδότηση από το Υπουργείο Ανάπτυξης και το Ευρωπαϊκό Κοινοτικό Γραφείο (Γ' Κοινοτικό Πλαίσιο Στήριξης- Επιχειρησιακό Πρόγραμμα 'Ανταγωνιστικότητα'). Ευχαριστώ θερμά τον Επιβλέποντα Καθηγητή κ. Α. Κελεπερτζή για την ανάθεση του θέματος, την αμέριστη κατανόηση, συμπαράστασή του και την καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια της ερευνητικής προσπάθειας καθώς επίσης για τις διορθώσεις και πολύτιμες συμβουλές του στην συγγραφή του κειμένου. Τον Καθηγητή κ. Μ. Σταματάκη, Μέλος της Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής, για τις επιστημονικές συμβουλές και υποδείξεις του στην συγγραφή της διατριβής. Τον Καθηγητή κ. Ν. Σκαρπελη, Μέλος της Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής, για την κριτική ανάγνωση του κειμένου και τις πολύτιμες υποδείξεις του. Τον Καθηγητή κ. Γ. Σταμάτη, Μέλος της Επταμελούς Επιτροπής, για την αμέριστη βοήθειά του τόσο στην εργασία υπαίθρου όσο και στην συγγραφή του κειμένου. Τον Καθηγητή κ. Γ. Στουρνάρα, Μέλος της Επταμελούς Επιτροπής, για τις πολύτιμες συμβουλές και παρατηρήσεις του. Την Επίκουρη Καθηγήτρια κ. Αριάδνη Αργυράκη Μέλος της Επταμελούς Επιτροπής, ευχαριστώ ιδιαιτέρως για την αμέριστη συμπαράσταση στον τομέα εργασίας υπαίθρου, εργαστηριακής έρευνας καθώς για της πολύτιμες συμβουλές και παρατηρήσεις της σε θέματα επεξεργασίας και αποτίμησης γεωχημικών δεδομένων και τις κριτικές υποδείξεις και παρατηρήσεις στη συγγραφή του κειμένου. Τον Λέκτορα κ. Ι. Μήτση, Μέλος της Επταμελούς Επιτροπής, για την πολύτιμη βοήθεια του κατά τη διάρκεια των χημικών αναλύσεων αλλά και για της πολύτιμες πληροφορίες όσον αφορά τις αναλυτικές μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν, ιδιαίτερα στην προσαρμογή της μεθοδολογίας για τον προσδιορισμό των μεταλλοειδών Sb και As με γεννήτρια υδριδίων. Τον κ. Ευάγγελο Μιχαηλίδη για τη βοήθεια του και τις συμβουλές του όσον αφορά την χρήση του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης (SEM). Τον κ. Δημήτριο Αλεξάκη για τη βοήθεια του κατά τις εργασίες υπαίθρου και για τις διευκρινήσεις του σε σχέση με θέματα στατιστικής επεξεργασίας.

Το Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου της εταιρείας Ελληνικός Χρυσός στη Χαλκιδική για τις χημικές αναλύσεις των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής της Κεράμου. Τους Δημάρχους κ Ι. Μαλαφή και κ. Γ. Χρίτη του Δήμου Αμανής για την άριστη συνεργασία κατά τη διάρκεια διεκπεραίωσης της διδακτορικής διατριβής. Επίσης τους κατοίκους του Δ. Αμανής οι οποίοι ήταν πάντα πρόθυμοι να βοηθήσουν. Επίσης ευχαριστώ για τη φιλία, την ευγένειά τους και την απλόχερη φιλοξενία τους.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ από τα βάθη της ψυχής μου στους γονείς μου που πάντα με ωθούσαν να προοδεύω και να γίνομαι καλύτερος άνθρωπος. Για την υπομονή τους και την ψυχολογική στήριξη που μου έδωσαν στις δύσκολες στιγμές της ερευνητικής εργασίας. Στην γιαγιά μου Αγγελική που κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών στην Χίο ήταν πάντα δίπλα μου και με φρόντιζε. Στο σύζυγό μου Κωνσταντίνο για την πολύτιμη βοήθεια που μου πρόσφερε για να πραγματοποιηθεί η δειγματοληψία στην περιοχή της ΒΔ Χίου καθώς επίσης και σε θέματα πληροφορικής. Επίσης για την υποστήριξη, την υπομονή και το κουράγιο που μου έδινε όλο αυτό το διάστημα της μελέτης. Στα δυο γλυκύτατα μου παιδιά Ελένη και Στέλιο που πραγματικά σε δύσκολες στιγμές ένα χαμογελό τους μου έδινε δύναμη να συνεχίσω. Στην αδερφή μου και τον συζυγό της και στον ανιψούλη μου Στέλιο που η αγάπη του μου με γέμιζε ακόμη περισσότερο θέληση για να φέρω σε πέρας αυτή την προσπάθεια. Τέλος θα ήθελα να αφιερώσω αυτή την διδακτορική διατριβή στα παιδιά μου Ελένη και Στέλιο και στον ανιψιό μου Στέλιο που ο ερχομός τους γέμισε τη ζωή μου με αισιοδοξία και δύναμη.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ *iii*
ABSTRACT *vi*
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ *viii*
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ *ix*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή
1.1 Σκοπιμότητα και Αντικείμενο χρήσεις Έρευνας 13
1.2 Στόχοι της Έρευνας 15
1.3 Μεθοδολογία Εκτέλεσης Έρευνας 16

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Γεωμορφολογία – Γεωλογία – Υδρογεωλογία Κοιτασματολογία Νήσου Χίου
2.1 Θέση – Μορφολογία της νήσου Χίου 18
2.2 Γεωλογία της νήσου Χίου 19
2.3 Υδρολογικά στοιχεία της νήσου Χίου 26
2.4 Υδρογεωλογία της νήσου Χίου 29
2.5 Κοιτασματολογία της νήσου Χίου 32
2.5.1 Αντιμονιούχος μεταλλοφορία 33
2.5.1.1 Εμφανίσεις της αντιμονιούχου μεταλλοφορίας 33
2.5.1.2 Ορυκτολογία της αντιμονιούχου μεταλλοφορίας 38
2.5.1.3 Γεωλογικά στοιχεία και αντιμονιούχος μεταλλοφορία 40
2.5.1.4 Μεταλλογένεση 41
2.5.2 Μεταλλοφορία μικτών θειούχων (PBG) 41

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Βιβλιογραφική Επισκόπηση – Ποιοτικά χαρακτηριστικά υδάτων και κινητικότητα των χημικών στοιχείων στα διαλύματα
3.1 Ποιοτικά χαρακτηριστικά υδάτων 45
3.2 Φυσικοχημικές παράμετροι 49
3.3 Κινητικότητα χημικών στοιχείων στα διαλύματα 53
3.3.1 Εισαγωγή 53
3.3.2 Παράγοντες που ελέγχουν την ευκινησία των στοιχείων 54
3.3.3. Προέλευση και συμπεριφορά διαλυμένων ιόντων σε φυσικά νερά 56
3.3.3.1 Κύρια ιόντα 56
3.3.3.2 Αντιμόνιο (Sb) και αρσενικό (As) 58
3.3.3.3 Άλλα ιχνοστοιχεία στο νερό 68

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Μεθοδολογία Γεωχημικής Έρευνας
4.1 Δειγματοληψία υπαίθρου 76
4.1.1 Υπόγειο νερό 76
4.1.2 Έδαφος 83
4.1.3 Πετρώματα – Μεταλλεύματα 83
4.2 Επεξεργασία και χημική ανάλυση δειγμάτων 93
4.2.1 Υπόγειο νερό 93
4.2.2 Έδαφος 100

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Αποτελέσματα Ορυκτολογικής Μελέτης
5.1 Εισαγωγή 105
5.2 Μέθοδος Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας (SEM – EDS) 106
5.3 Ορυκτολογική ανάλυση αιωρούμενων στερεών 113

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Αποτελέσματα Χημικής Ανάλυσης των Εδαφικών Δειγμάτων
6.1 Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων των εδαφών 115
6.2 Ποιοτικός έλεγχος και αβεβαιότητα των μετρήσεων 115
6.2.1 Ακρίβεια 116
6.2.2 Επαναληψιμότητα 119
6.3 Περιγραφικά Στατιστικά Χημικών Παραμέτρων 123
6.3.1 Αρσενικό 125
6.3.2 Αντιμόνιο 127
6.3.3 Βαρέα μέταλλα 129
6.3.4 Άλλα στοιχεία 145

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Αποτελέσματα Χημικών Αναλύσεων Υπόγειου Νερού
7.1 Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων δειγμάτων υπόγειου νερού 148
7.2 Ποιοτικός έλεγχος των χημικών αναλύσεων 148
7.3 Ταξινόμηση του υπόγειου νερού 152
7.3.1 Ταξινόμηση κατά Piper 152
7.3.2 Ταξινόμηση κατά Durov 171
7.4. Τιμή pH – Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (E.C.) 176
7.5 Περιγραφικά στατιστικά παραμέτρων νερού 178
7.5.1 Κύρια κατιόντα 180
7.5.2 Κύρια ανιόντα 199
7.5.3 Βαρέα μέταλλα 224

7.5.4. Αρσενικό (As) και Αντιμόνιο (Sb) 243
7.5.5. Άλλα στοιχεία 253
7.6 Εποχιακή διακύμανση της χημικής σύστασης του υπόγειου νερού στα κύρια στοιχεία και ιχνοστοιχεία 255
7.7 Δείκτες Κορεσμού και προσδιορισμός των ειδών Sb και As στο νερό 257
7.8 Καταλληλότητα υπόγειων νερών για διάφορες χρήσεις 266
7.8.1 Ποσιμότητα 266
7.8.2 Άρδευση 272

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: Συζήτηση των Αποτελεσμάτων
8.1 Αρσενικό (As) και αντιμόνιο (Sb) στο σύστημα πέτρωμα-έδαφος νερό 285
8.2 Εδάφη 286
8.3 Υπόγεια νερά 290

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: Συμπεράσματα και Προτάσεις
9.1 Συμπεράσματα 297
9.2 Προτάσεις 302

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 304

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α': Διαγράμματα Περιθλασιμετρίας Αιωρούμενων Στερεών στα Υπόγεια Νερά 313
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β':Αναλυτικά Αποτελέσματα Χημικών Αναλύσεων Εδαφών 318
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ': Αναλυτικά Αποτελέσματα Χημικών Αναλύσεων Υπόγειου Νερού 330
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ': Ποσιμότητα και Διαγράμματα Waterlot 347

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Εισαγωγή

1.1. Σκοπιμότητα και Αντικείμενο της Έρευνας

Το πρόβλημα της ρύπανσης των πόσιμων υδάτων και των εδαφών από τοξικά χημικά στοιχεία έχει αναγνωριστεί διεθνώς ως ένα σημαντικό πεδίο έρευνας αφού σχετίζεται άμεσα με την ανθρώπινη υγεία. Οι αυξημένες συγκεντρώσεις των μεταλλικών στοιχείων στο υπόγειο νερό και στο έδαφος μπορεί να οφείλονται είτε στην ορυκτολογική και χημική σύσταση των πετρωμάτων του γεωλογικού υποβάθρου της κάθε περιοχής, είτε στην ύπαρξη άλλων πηγών ρύπανσης που σχετίζονται με τον άνθρωπο όπως: μεταλλευτικές μονάδες, βιομηχανικές μονάδες, βιοτεχνίες, σκουπιδότοποι, αυτοκινητόδρομοι, καλλιέργειες κ.ά. Η τοξικότητα ενός χημικού στοιχείου εξαρτάται από την συγκέντρωσή του, τη χημική του μορφή, το pH, το Eh, την κινητικότητα του. Κυρίως σε περιοχές εξόρυξης θειούχων μεταλλευμάτων το πρόβλημα της ρύπανσης είναι ιδιαίτερα έντονο και άξιο γεωχημικής έρευνας για την κατανόηση των μηχανισμών που προκαλούν την υποβάθμιση των υπόγειων υδροφορέων και του εδαφικού συστήματος.

Η παρούσα διδακτορική διατριβή πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος ενίσχυσης ερευνητικού δυναμικού (ΠΕΝΕΔ 2003) με χρηματοδότηση από το Υπουργείο Ανάπτυξης και το Ευρωπαϊκό Κοινοτικό Γραφείο (Γ' Κοινοτικό Πλαίσιο Στήριξης-Επιχειρησιακό Πρόγραμμα 'Ανταγωνιστικότητα'). Ανάδοχος του έργου ήταν το Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος και φορέας συγχρηματοδότησης η Δημοτική Επιχείρηση Περιβάλλοντος και Ανάπτυξης (Δ.Ε.Π.Α.Α.) του Δήμου Αμανής της νήσου Χίου. Αντικείμενο του χρηματοδοτούμενου έργου ήταν η μελέτη της ρύπανσης των υπόγειων υδάτων και των εδαφών από αρσενικό και αντιμόνιο σε περιοχές εμφάνισης θειούχου μεταλλοφορίας. Η παρούσα έρευνα σχετίζεται με το ευαίσθητο θέμα της ποιότητας του πόσιμου νερού και τη διασφάλιση της δημόσιας υγείας. Η περιοχή μελέτης ανήκει στην Ελληνική περιφέρεια η ανάπτυξη της οποίας έχει ανάγκη υποστήριξης από ερευνητικά προγράμματα που σχετίζονται με τα ζωτικά προβλήματα των περιοχών και των κατοίκων της. Τα αποτελέσματα του έργου μπορεί να αποτελέσουν τη βάση για το σχεδιασμό δικτύου παρακολούθησης της ποιότητας του νερού συμβάλλοντας έτσι στην καλύτερη διαχείριση των φυσικών πόρων της περιοχής και στην εναρμόνιση με τη νομοθεσία περί διαχείρισης των υδάτων της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Οι στόχοι ανάπτυξης της Νήσου Χίου περιλαμβάνουν την προστασία του περιβάλλοντος και τη βελτίωση της ποιότητας ζωής των κατοίκων καθώς και την κατασκευή, βελτίωση και

ολοκλήρωση έργων υποδομής σε όλους τους τομείς (υγεία, περιβάλλον, μεταφορές, τουρισμός κ.λ.π.). Ειδικά το ΒΔ τμήμα του νησιού, παρά το φυσικό του κάλλος και τις δυνατότητες τουριστικής ανάπτυξης, χαρακτηρίζεται σήμερα από πληθυσμιακή συρρίκνωση και έλλειψη έργων υποδομής. Η παρουσία των εγκαταλελειμμένων μεταλλείων εξόρυξης αντιμονίου και των θειούχων μεταλλοφόρων σωμάτων στο υπόβαθρο της περιοχής είναι δυνατό να εγκυμονεί κινδύνους για το οικοσύστημα και να επηρεάζει αρνητικά τις δυνατότητες της κοινωνικής και οικονομικής ανάπτυξης. Συγκεκριμένα στην περιοχή της ΒΔ Χίου αναπτύσσονται δύο είδη θειούχου μεταλλοφορίας, α) αντιμονιούχος και β) μικτών θειούχων Pb – Zn. Μικρές εμφανίσεις αντιμονίου άνευ οικονομικής σημασίας αναπτύσσονται στις περιοχές Ποταμιά, Χάλανδρα, Αφροδίσια, Λεπτόποδα και Αγιάσματα. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η αντιμονιούχος μεταλλοφορία στην περιοχή της Κεράμου όπου από το 1917 έως τα μέσα δεκαετίας του 1970 υπήρξε έντονη μεταλλευτική δραστηριότητα λόγω εξόρυξης του αντιμονίου υπό την επίβλεψη διαφόρων ιδιωτικών φορέων.

Το αρσενικό και το αντιμόνιο είναι δύο χημικά στοιχεία με παραπλήσιες χημικές ιδιότητες, τα οποία απαντώνται στο επιφανειακό γήινο περιβάλλον (έδαφος, νερό, αέρα, έμβιο κόσμο) σε ιχνο-ποσότητες. Η κύρια προέλευσή τους είναι γεωγενής, με υψηλότερες συγκεντρώσεις εντοπισμένες σε περιοχές συγκεκριμένης γεωλογίας, π.χ. εμφανίσεις θειούχου μεταλλοφορίας ή ανάπτυξης γεωθερμικών συστημάτων. Τυπικές συγκεντρώσεις αρσενικού σε ιζήματα κυμαίνονται μεταξύ 5 και 3000 μg g^{-1}, με τις υψηλότερες συγκεντρώσεις σε ρυπασμένες περιοχές και μεταξύ 1 και 2 μg l^{-1} σε νερά εκτός περιοχών ηφαιστειακών πετρωμάτων ή θειούχου μεταλλοφορίας (WHO, 2003). Οι αντίστοιχες συγκεντρώσεις του αντιμονίου είναι 0.5 - 5000 μg g^{-1} για τα εδάφη και 0.1 – 0.2 μg l^{-1} για τα νερά. Παρά τις χαμηλές συγκεντρώσεις του στο νερό, το αρσενικό είναι ένας πολύ επικίνδυνος ρύπος με αποδειγμένη τοξικότητα και καρκινογενετική δράση στον άνθρωπο, ιδιαίτερα όταν εμφανίζεται με την τρισθενή μορφή του (WHO, 2003). Το αντιμόνιο, το οποίο μπορεί να συνοδεύει το αρσενικό ως ρύπος στο νερό, είναι δυνατό να δρα συνεργικά με το αρσενικό και να επιδρά στο βαθμό τοξικότητάς του (Gebel, 1999). Τα δύο στοιχεία παρουσιάζουν αυξημένη κινητικότητα στο νερό ενώ οι λιγότερο διαλυτές μορφές τους παραμένουν προσροφημένες στα αργιλικά ορυκτά και τα οξείδια σιδήρου (Crecelius et al, 1975). Τα μέγιστα προτεινόμενα από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO) επιτρεπτά όρια συγκέντρωσης στο νερό είναι 10 μg l^{-1} για το αρσενικό και 5 μg l^{-1} για το αντιμόνιο (WHO, 2003).

Συνεπώς, η αποτύπωση της παρούσας κατάστασης πιθανής ρύπανσης και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από αρσενικό, αντιμόνιο και άλλα στοιχεία, τα οποία επιβαρύνουν τα εδάφη και τα υπόγεια νερά της ΒΔ Χίου, είναι απαραίτητη για την αντικειμενική οριοθέτηση του προβλήματος και αποτελεί βάση για την ορθολογική διαχείριση των φυσικών πόρων και τη διασφάλιση της δημόσιας υγείας στην περιοχή.

1.2. Στόχοι της Έρευνας

Οι στόχοι της παρούσας έρευνας συνοψίζονται ως εξής:

i) Ο ποιοτικός και ποσοτικός προσδιορισμός του αρσενικού και αντιμονίου στο έδαφος και το νερό. Ο ακριβής ποσοτικός προσδιορισμός των χημικών στοιχείων κρίθηκε σκόπιμος προκειμένου να γίνει σύγκριση των επιπέδων ρύπανσης με τα θεσμοθετημένα αποδεκτά όρια. Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στο σχεδιασμό των δειγματοληψιών και των χημικών αναλύσεων ώστε να είναι εφικτός ο ποιοτικός έλεγχος των μετρήσεων και η μεγαλύτερη δυνατή αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.

ii) Τα πρωτογενή ορυκτά της μεταλλοφορίας και τα προϊόντα εξαλλοίωσής τους αποτελούν πιθανότατα την κύρια πηγή αρσενικού και αντιμονίου στο υπόγειο νερό στην υπό μελέτη περιοχή. Συνεπώς δευτερεύων στόχος της διδακτορικής διατριβής είναι η ορυκτολογική μελέτη δειγμάτων των μεταλλοφόρων σωμάτων ώστε να τεθεί ένα ρεαλιστικό πλαίσιο ως προς τις ορυκτολογικές φάσεις που λαμβάνουν μέρος σε χημικές αντιδράσεις εμπλουτισμού των υδάτων στα υπό μελέτη χημικά στοιχεία.

iii) Η μελέτη της κινητικότητας του αντιμονίου στο σύστημα έδαφος – πέτρωμα- υπόγειο νερό. Για την εκπλήρωση του στόχου αυτού έγινε χρήση κατάλληλου λογισμικού (PHREEQC) που επιτρέπει την εξαγωγή γεωχημικών μοντέλων προσομοίωσης των χημικών αντιδράσεων που συντελούν στη διαμόρφωση του χημισμού του νερού. Η εξαγωγή των μοντέλων έγινε μετά από κατάλληλη παραμετροποίηση που βασίστηκε στις μετρήσεις φυσικοχημικών παραμέτρων του νερού και την ορυκτολογία των στερεών φάσεων του υδροφορέα.

iv) Η διερεύνηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των εδαφών και των υδάτων της περιοχής ως προς τα κύρια ιόντα και τα ιχνοστοιχεία (βαρέα μέταλλα και μεταλλοειδή) και της καταλληλότητας του νερού για διάφορες χρήσεις π.χ. ποσιμότητα και άρδευση.

1.3. Μεθοδολογία Εκτέλεσης Έρευνας

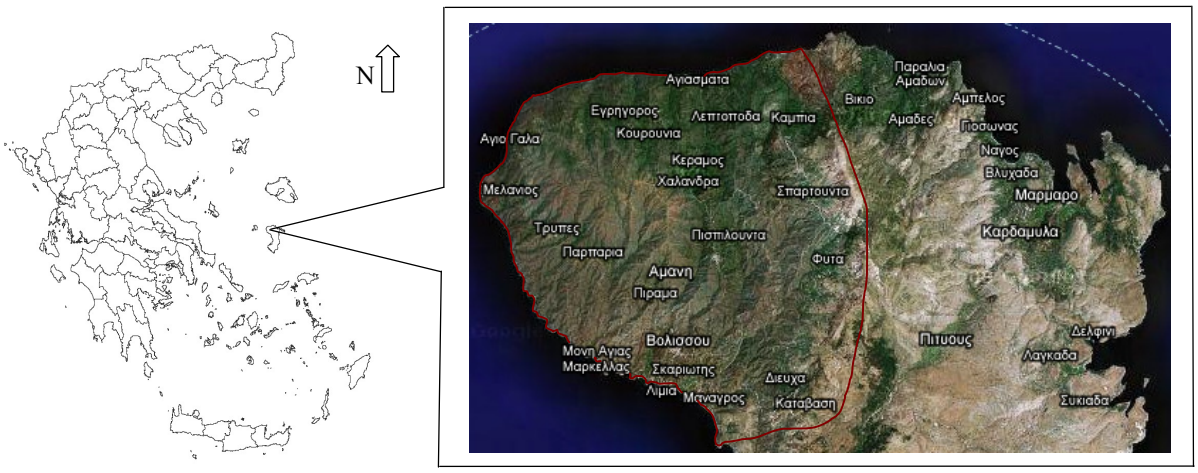
Για την εκπόνηση της διδακτορικής διατριβής αρχικά συγκεντρώθηκε η σχετική βιβλιογραφία για την περιοχή μελέτης, έγινε συλλογή τοπογραφικών, γεωλογικών και τεκτονικών χαρτών και έγινε σχεδιασμός της δειγματοληψίας εδάφους, πετρωμάτων και υπόγειου νερού. Η δειγματοληψία κάλυψε τις περιοχές: Χάλανδρα, Άγιο Γάλας, Εγρήγορος, Διευχά, Βολισσός, Αφροδίσια, Παρπαριά, Πίραμα, Πισπιλούντα, Ποταμιά, Λεπτόποδα, Κέραμος, Κατάβαση, Κηπουριές, Κουρούνια, Μελανειός, Νενητούρια, Τρύπες, Φυτά του Δήμου Αμανής, Σπαρτούντα και Καμπιά. Κατά τις εργασίες υπαίθρου πραγματοποιήθηκε συλλογή δειγμάτων εδάφους, πετρωμάτων και νερού και έγιναν επιτόπου μετρήσεις φυσικών παραμέτρων για το νερό. Δείγματα νερού συλλέχθηκαν επαναληπτικά ώστε να ελεγχθεί η εποχιακή μεταβολή της ποιότητας του νερού. Κατόπιν ακολούθησε η εργαστηριακή ανάλυση των δειγμάτων στο Εργαστήριο Οικονομικής Γεωλογίας και Γεωχημείας του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αθηνών η οποία περιελάμβανε την προετοιμασία τους για την πραγματοποίηση των χημικών αναλύσεων με τις κατάλληλες μεθόδους καθώς και ορυκτολογικές αναλύσεις όπου ήταν απαραίτητο. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων και κατασκευή εδαφογεωχημικών και υδρογεωχημικών χαρτών με χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Κατόπιν έγινε ερμηνεία των συγκεντρώσεων των τοξικών στοιχείων και παράλληλη σύγκρισή τους με τη διεθνή βιβλιογραφία για την επισήμανση υψηλών τιμών στα εδάφη και τα υπόγεια νερά και εξαγωγή συμπερασμάτων όσον αφορά την καταλληλότητα των εδαφών και των υπόγειων νερών στην περιοχή έρευνας και επισήμανσή εκείνων που θεωρούνται ρυπασμένες με στόχο την προστασία της δημόσιας υγείας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Γεωμορφολογία – Γεωλογία - Υδρογεωλογία – Κοιτασματολογία Νήσου Χίου

2.1. Θέση – Μορφολογία της νήσου Χίου

Η νήσος Χίος είναι το πέμπτο σε μέγεθος από τα ελληνικά νησιά με έκταση 842Km^2 ενώ το μήκος των ακτών της φτάνει τα 213Km και υπάγεται στα νησιά του Κεντρικού – Ανατολικού Αιγαίου. Στο μεγαλύτερο σύνολό το νησί είναι ορεινό ενώ στα νοτιοανατολικά και νότια σχηματίζονται μικρές πεδινές εκτάσεις. Το βορειοδυτικό τμήμα του νησιού, το οποίο αποτελεί την περιοχή μελέτης, βρίσκεται μεταξύ γεωγραφικού πλάτους 38^{o}28΄ και 38^{o}35΄ και γεωγραφικού μήκους 25^{o}50΄ και 25^{o}59΄ (Εικ. 2.1.). Το τοπογραφικό ανάγλυφο είναι έντονο με απότομες κλίσεις και βαθιές χαράδρες. Υψώνονται τα όρη Πελιναίο (1297m) και Αμανή (809m). Το υδρογραφικό δίκτυο είναι πολύ καλά διαμορφωμένο με δενδριτικού τύπου ανάπτυξη ρεμάτων. Η ύπαρξη των υπόγειων νερών γίνεται φανερή κυρίως μέσω των πολυάριθμων πηγών ή της άντλησής τους από πηγάδια. Το έδαφος είναι πετρώδες και η βλάστηση που επικρατεί είναι κυρίως χαμηλή θαμνώδης που αναπτύσσεται στο σχιστοψαμμιτικό σύστημα του Παλαιοζωικού και στους ανθρακικούς σχηματισμούς. Παρατηρούνται επίσης κατά τόπους δάση από πεύκα. Στις κοιλάδες καλλιεργείται κυρίως η ελιά, η αμυγδαλιά, η καρυδιά, η άμπελος. Στο νότιο και ανατολικό τμήμα του νησιού το τοπογραφικό ανάγλυφο είναι ομαλό με κύρια την εμφάνιση νεογενών ιζημάτων. Παρατηρούνται ομαλές κλίσεις στις πλαγιές των λόφων και αβαθή κυρίως ρέματα. Το έδαφος είναι καλλιεργήσιμο. Επικρατεί η καλλιέργεια των μαστιχόδεντρων που αναπτύσσονται στα νεογενή ιζήματα. Το κλίμα του νησιού είναι εύκρατο – μεσογειακό με βροχομετρικό υψόμετρο 600 – 800mm ετησίως. Βροχοπτώσεις κυρίως παρατηρούνται τέλος φθινοπώρου μέχρι μέσα άνοιξης.



Εικόνα 2.1.: *Δορυφορική εικόνα της Βορειοδυτικής Χίου. Με την κόκκινη γραμμή οριοθετείται η περιοχή έρευνας.*

2.2. Γεωλογία της νήσου Χίου

Με τη γεωλογική δομή της Χίου έχουν ασχοληθεί πολλοί ερευνητές όπως ο Teller (1880), ο Phillipson (1911) και ο Μαραβελάκης (1914) που υποστηρίζουν την ύπαρξη ενός συστήματος ψαμμιτών και αργιλικών σχιστών ηλικίας Λιθανθρακοφόρου – Περμίου στην οροφή του οποίου υπάρχουν φουσουλινοφόροι ασβεστόλιθοι στους οποίους υπέρκεινται ασύμφωνα Τριαδικά ανθρακικά και χαλαζιακά κροκαλοπαγή. Επιπλέον ο Κτενάς (1921 – 1931) παρουσιάζει μια πρώτη αναλυτική εικόνα της στρωματογραφίας του Παλαιοζωικού στη Χίο. Ο Paeckelmann (1939) και ο Holl (1940) υποστηρίζουν ότι στη Χίο εμφανίζεται στρωματογραφικό κενό τόσο κατά το Δεβόνιο όσο και κατά το Κατώτερο Λιθανθρακοφόρο.

Ένα μεγάλο μέρος των προβλημάτων που αφορούν τη στρωματογραφία της Χίου επιλύεται από ομάδα ερευνητών όπως Kauffman, Herget, Roth, Besenecker κατά τη περίοδο 1965 – 1971 οι οποίοι χαρτογράφησαν τα νησιά Χίος – Οινούσσες σε κλίμακα 1:50000 (έκδοση ΥΓΕΥ, 1971). Από τις έρευνες που πραγματοποιήθηκαν κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η Χίος αποτελείται από δύο τεκτονικές ενότητες:

1. Αυτόχθονη ενότητα: Αποτελείται από διάφορες σειρές σχηματισμών με ασυνεχή ακολουθία ηλικίας Σιλούριου – Ιουρασικού (Εικ. 2.2.). Αναλυτικότερα από τα παλαιότερα στρώματα προς τα νεότερα αναπτύσσεται:

- Το μεταμορφωμένο σχιστοψαμμιτικό σύστημα το οποίο εμφανίζεται αποκλειστικά στο νησί Οινούσσες και σε μικρή έκταση στο ΒΑ άκρο της Χίου το οποίο έχει Προ –Παλαιοζωική ηλικία. Αποτελείται από αργιλικούς και ψαμμιτικούς σχιστόλιθους, χαλαζιακούς ψαμμίτες και κροκαλοπαγή με βαθμό μεταμόρφωσης χαμηλό.

- Το σχιστοψαμμιτικό σύστημα του Παλαιοζωικού (Εικ. 2.3.) το οποίο εμφανίζεται σε μεγάλη έκταση στη ΒΔ Χίο άλλα και σε μικρότερες εκτάσεις σε άλλες περιοχές του νησιού ηλικίας Κατώτερου Σιλούριου έως Λιθανθρακοφόρου με απουσία του Περμίου. Αποτελείται από γραουβάκες, αργιλικούς και πυριτικούς σχιστόλιθους, ασβεστολιθικούς φακούς και ηφαιστίτες.

- Μία σειρά σχηματισμών που επικάθεται ασύμφωνα στο σχιστοψαμμιτικό σύστημα του παλαιοζωικού ηλικίας Τριαδικού – Ιουρασικού και αποτελείται από ψαμμίτες, κροκαλοπαγή και σε μεγάλο ποσοστό από ανθρακικά πετρώματα (ψαμμιτικούς ασβεστόλιθους, πλακώδεις ασβεστόλιθους, δολομιτικούς ασβεστόλιθους). Καταλαμβάνουν μια κεντρική ζώνη από το βόρειο προς το νότιο άκρο του νησιού.

- Ηφαιστειακά πετρώματα σύστασης όξινης ή βασικής, ηλικίας Λιθανθρακοφόρου.

Οι Παπανικολάου – Σίδερης (1983) μετά από έρευνες στο σχιστοψαμμιτικό σύστημα του Παλαιοζωικού εμφανίζουν μια διαφορετική στρωματογραφική διάρθρωση. Αιτία είναι ότι στη ΒΔ Χίο δεν υπάρχει στρωματογραφική συνέχεια από το Σιλούριο στο Δεβόνιο και το Λιθανθρακοφόρο διότι παρατηρείται:

- Ανάμειξη τεμαχών διαφορετικής ηλικίας (Σιλούριο – Λιθανθρακοφόρο).

- Ανάμειξη λιθολογιών (νηριτικοί – πελαγικοί ασβεστόλιθοι, ηφαιστειακά, σχιστόλιθοι).

- Ανάμειξη πετρωμάτων με διαφορετική παραμόρφωση (παραμορφωμένη ψαμμιτική ακολουθία εγκλείει τεμάχη σχιστόλιθων και ασβεστόλιθων έντονα πτυχωμένων).

Ειδικότερα χαρακτηρίζουν το σχιστοψαμμιτικό σύστημα του Παλαιοζωικού ως «άγριο φλύσχη» Περμικής ηλικίας (ίσως και ανώτερου Λιθανθρακοφόρου) που κυριαρχούν βαθύτεφροι ή ερυθροί συμπαγείς ψαμμίτες μεγάλου πάχους μέσα στους οποίους εμφανίζονται σε χαοτική διάταξη ολισθόλιθοι διαφορετικού μεγέθους, ηλικίας, λιθολογίας και παραμόρφωσης.

Στο ΒΔ τμήμα της Χίου οι ολισθόλιθοι διατάσσονται σε 4 διαφορετικούς σχηματισμούς (Εικ. 2.2.) που κλίνουν ανατολικά, βυθίζονται κάτω από τα τριαδικά πετρώματα και ξαναεμφανίζονται στο ανατολικό τμήμα του νησιού δημιουργώντας συγκλινική δομή. Οι σχηματισμοί αυτοί είναι από τους παλαιότερους προς τους νεότερους:

- Σχηματισμός Μελανιού: Αποτελείται από ολισθόλιθους ασβεστόλιθων ηλικίας Κατώτερου Λιθανθρακοφόρου και ηφαιστειακών.

- Σχηματισμός Νενητουρίων: Αποτελείται από σχιστόλιθους, ηφαιστειακά και ασβεστόλιθους Κατώτερου Λιθανθρακοφόρου.

- Σχηματισμός Δρυμώνα: Αποτελείται από πελαγικούς ασβεστόλιθους ηλικίας Δεβόνιου, νηριτικούς ασβεστόλιθους Κατώτερου Λιθανθρακοφόρου, ηφαιστειακά.

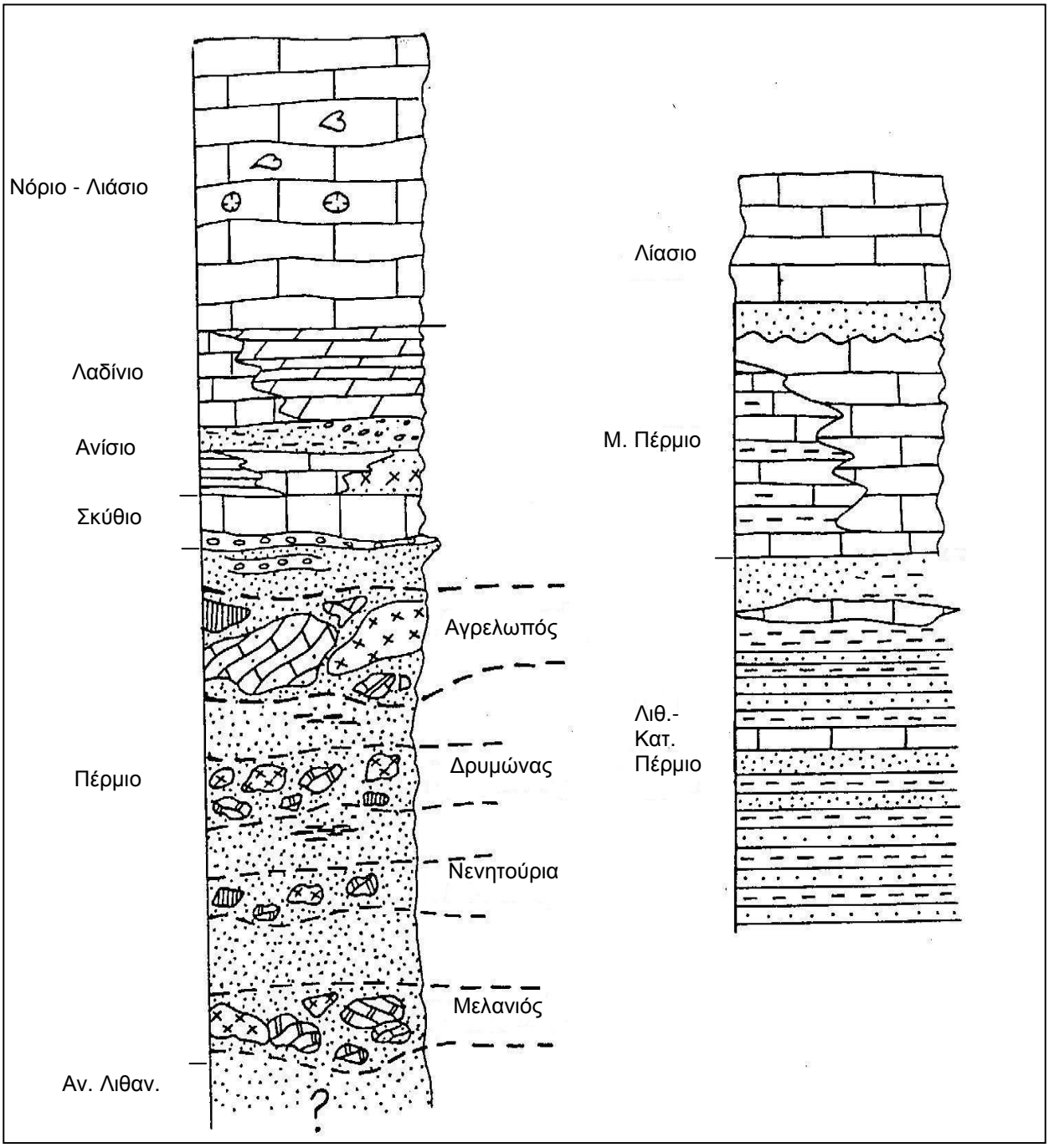
- Σχηματισμός Αγρελωπού: Το μήκος του είναι γύρω στα 15χλμ. Αποτελείται από μεγάλους ολισθόλιθους ασβεστόλιθων ηλικίας Σιλουρίου.

Η διάταξη των παραπάνω σχηματισμών είναι πιθανό να οφείλεται σε δύο μηχανισμούς:

- Στην τεκτονική θρυμματισμού από κανονικά ρήγματα ή και οριζόντιες μεταπτώσεις που σχετίζονται με τη διάνοιξη της μεσοζωικής Τιθύος.

- Στις κινήσεις των Βαρίσκιων καλυμμάτων (εφαπτομενικός τεκτονισμός).

Επιπλέον υποστηρίζουν ότι είναι πολύ πιθανό να υπάρχει συνεχή ακολουθία μεταξύ του σχιστοψαμμιτικού συστήματος του Παλαιοζωικού και της Τριαδικοιουρασικής σειράς.



Εικόνα 2.2.: *Στρωματογραφικές κολώνες της αυτόχθονης (αριστερά) και της αλλόχθονης (δεξιά) ενότητας της Χίου (Σίδερης, 1986).*

2. Αλλόχθονη ενότητα: Πρόκειται για μια ασυνεχή ακολουθία (Εικ. 2.2.) ηλικίας Μέσου Λιθανθρακοφόρου – Ιουρασικού (Λιάσιο). Αποτελείται από πηλιτοψαμμιτικές εναλλαγές ηλικίας Λιθανθρακοφόρου – Κατώτερου Πέρμιου οι οποίες μεταβαίνουν σε νηρητικούς ασβεστόλιθους ηλικίας Μέσου Πέρμιου. Στους Ανωπαλαιοζωικούς σχηματισμούς επικάθονται ασύμφωνα οι παχυστρωματώδεις νηριτικοί ασβεστόλιθοι ηλικίας Λιάσιου, λείπει δηλαδή ολόκληρο το Τριαδικό. Η αλλόχθονη ενότητα εμφανίζεται στη ΒΑ Χίο (π.χ. περιοχή Καρδάμυλων) και σε μικρής έκτασης εμφανίσεις. Πάνω από τα αυτόχθονα και αλλόχθονα εμφανίζονται:

- Οι Νεογενείς σχηματισμοί που καταλαμβάνουν κυρίως το ΝΑ τμήμα του νησιού είναι ποτάμιες και λιμναίες αποθέσεις. Διακρίνονται 3 ορίζοντες:

- Στη βάση εμφανίζονται σιδηρούχοι ψαμμίτες ηλικίας Ανώτερου Πλειόκαινου. Κατά θέσεις περιέχουν θραύσματα από το υπόβαθρο, κυρίως.

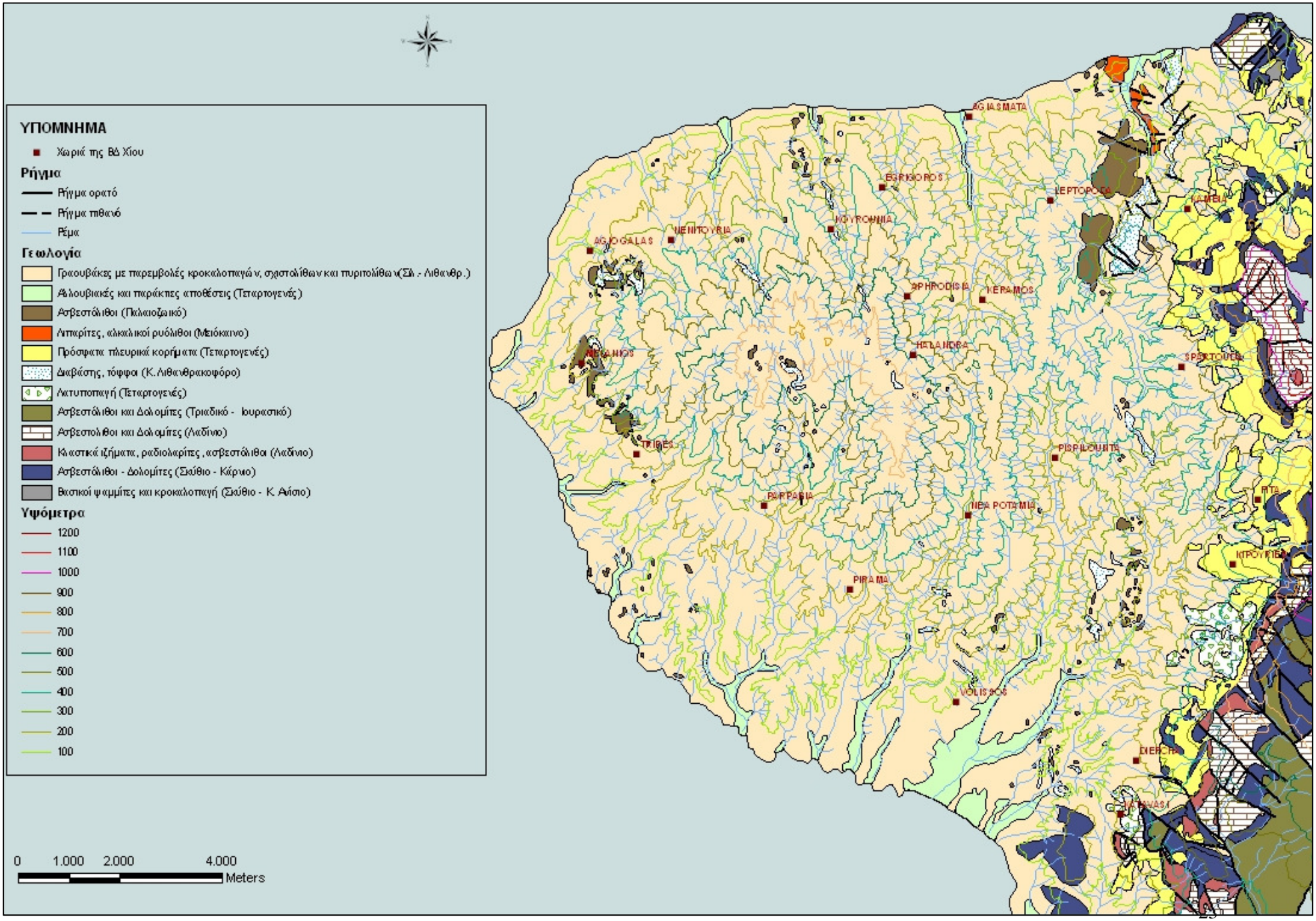
- Ακολουθούν εναλλαγές αργίλων – ψαμμιτών ηλικίας Ανώτερου Μειόκαινου με ένα χαρακτηριστικό παρεμβαλλόμενο ορίζοντα ηφαιστειακού τόφου.

- Στη συνέχεια απαντούν μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι ηλικίας Ανώτερου Μειόκαινου – Κατώτερου Πλειόκαινου μέσα στους οποίους παρεμβάλλονται μάργες με πράσινη άργιλο και άμμο. Εντός των μαργαϊκών ασβεστόλιθων εμφανίζονται πυριτολιθικοί κόνδυλοι είτε παράλληλοι προς τη στρώση είτε υπό μορφή φακών.

Εντός των ψαμμιτών και των μαργαϊκών ασβεστόλιθων εμφανίζονται λιγνιτικοί ορίζοντες μικρού πάχους με λεπτές στρώσεις τόφφων Μειοκαινικής ηλικίας.

- Οι Τεταρτογενείς σχηματισμοί που συμπληρώνουν τη γεωλογική δομή του νησιού και σε αυτούς περιλαμβάνονται κορήματα κλιτύων ή και κώνοι κορημάτων, παράκτιες ή αλλουβιακές αποθέσεις, τεκτονικά λατυποπαγή. Επικάθονται ασύμφωνα στους προνεογενείς και νεογενείς σχηματισμούς.

Όσον αφορά την ένταξη της νήσου Χίου στις Ελληνίδες παλαιότεροι μελετητές μέχρι το 1966 την κατέτασσαν στη «Ζώνη του Αξιού». Νεότερες μελέτες όμως καταρρίπτουν αυτή τη θεώρηση. Οι Brinkmann, Bender και Romermann (1966) διακρίνουν λιθολογικές ομοιότητες με Αττική – Αργολίδα – Ύδρα, ενώ οι Besenecker, Kauffman, Herget, Roth (1968) διακρίνουν ομοιότητες με την Ανατολική Μικρά Ασία.



Εικόνα 2.3.: *Γεωλογικός χάρτης της περιοχής της ΒΔ Χίου. Ανασχεδιάστηκε από το γεωλογικό χάρτη - φύλλο Βολισσός – κλίμακας 1:50000 (Ι.Γ.Μ.Ε., 1971).*

Οι Meinhold και Κωστόπουλος (2007) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι τα άνω παλαιοζωικά ιζήματα της Χίου αποτέθηκαν σε ένα ηπειρωτικό νησιωτικό τόξο τοποθετημένο μέχρι τουλάχιστον το Ανώτερο Πέρμιο στο περιθώριο της Παλαιοτηθύος.

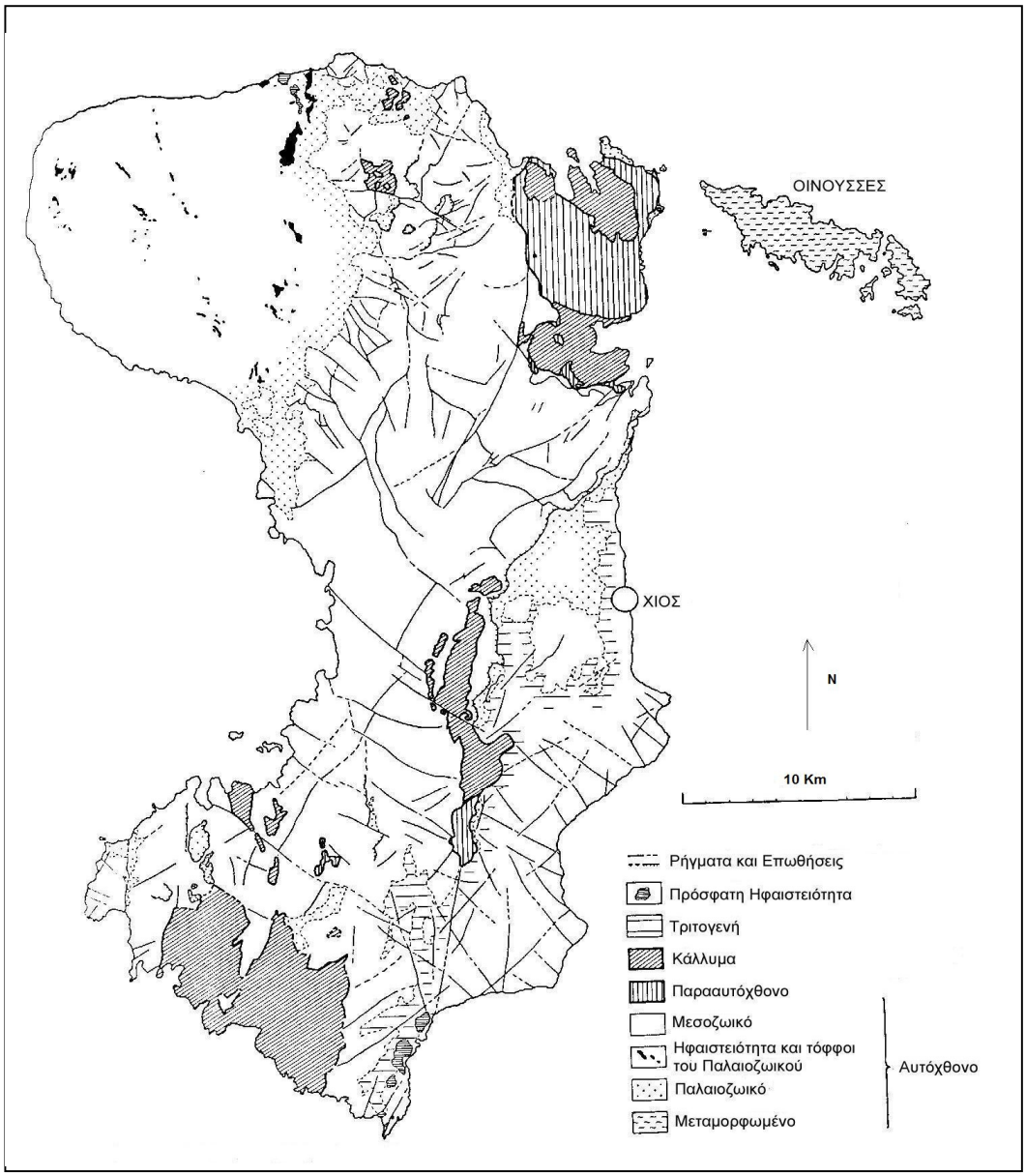
Όσον αφορά την ηφαιστειότητα της Χίου έλαβε χώρα κατά το Λιθανθρακοφόρο και την Τριτογενή περίοδο. Κατά την Λιθανθρακοφόρο περίοδο εμφανίζονται στην αυτόχθονη ενότητα της Χίου πυριτικά μαφικά ηφαιστειακά πετρώματα ως λάβες και υποαβυσσικές διεισδύσεις και πυροκλάστες (Pe-Piper et al, 1994). Πολλές ενδιάμεσες έως φελσικές λάβες και διεισδύσεις έχουν πορφυριτικές δομές με φαινοκρυστάλλους αστρίων και σπάνια βιοτίτη μέσα σε μια μικροκρυσταλλική μάζα. Περισσότερες μαφικές λάβες και διεισδύσεις αποτελούνται από πλαγιόκλαστο, κλινοπυρόξενο και χλωρίτη. Τα πυροκλαστικά πετρώματα περιλαμβάνουν μαφικά κροκαλοπαγή με φελσικούς έως μαφφικούς τόφφους (Pe-Piper et al, 1994). Οι πυροκλάστες στα ηφαιστειακά κροκαλοπαγή είναι θραύσματα που αποτελούνται από ιδιόμορφους κλινοπυρόξενους, πλαγιόκλαστα και τεμάχια ηφαιστειακών πετρωμάτων. Στους μαφικούς τόφφους οι πυροκλάστες είναι θραύσματα πλαγιόκλαστου, κλινοπυρόξενου και μαφικών ηφαιστειακών πετρωμάτων. Οι πυροκλάστες στους φέλσικους τόφους είναι κρύσταλλοι χαλαζία, αστρίου και βιοτίτη σε μικροκρυσταλλική μάζα. Τα ηφαιστειακά πετρώματα είναι χαμηλο – Κ ασβεσταλκαλικής συγκέντρωσης. Η υψηλή αναλογία των θραυσματοποιημένων πετρωμάτων είναι συνέπεια υποθαλάσσιας ηφαιστειότητας.

Κατά τη Τριτογενή περίοδο μερικά μικρά μέσο – Μειοκαινικά ηφαιστειακά κέντρα με υψηλό – Mg ασβεσταλκαλικό ανδεσίτη, βασάλτη και ασβεσταλκαλικό ρυόλιθο εμφανίζονται στη Χίο (Pe-Piper et al., 1995). Στην περιοχή Πυργί (νότια Χίος) εμφανίζεται βασαλτικός και ανδεσιτικός τόφφος. Επίσης ανδεσίτης χαμηλότερης περιεκτικότητας σε TiO_2 από τον ανδεσίτη του Πυργίου απαντά στις περιοχές Μαύρα Βόλια, Άγιος Γεώργιος Συκούσης και Κάτω Λάκα. Δακιτικός κρυσταλλικός τόφφος και ρυόλιθος εμφανίζεται στην περιοχή Καμπιά. Ρυόλιθος επίσης εμφανίζεται στις περιοχές Άγιοι Πάντες, Βρουλίδια, Κόμη. Αναλυτικά ((Pe-Piper et al., 1995):

Ο βασάλτης έχει πορφυριτική δομή με φαινοκρύσταλλους Ti-αυγίτη και ολιβίνη μέσα σε μια μάζα κλινοπυρόξενου, πλαγιόκλαστου και αδιαφανών οξειδίων. Επίσης περιέχει βασικούς ξενόλιθους και ξενοκρύσταλλους χαλαζία. Ο ανδεσίτης είναι επίσης πορφυριτικός, με φαινοκρύσταλλους πλαγιοκλάστων, ολιβίνη, ορθοπυρόξενο και κλυνοπυρόξενο. Η κύρια μάζα έχει υαλοπιλητική δομή και περιέχει βελονοειδείς μικρόλιθους πλαγιόκλαστου, κλινοπυρόξενο

καφέ ύαλο και αδιαφανή οξείδια. Ο ρυόλιθος έχει φαινοκρύσταλλους σανίδινου, χαλαζία πλαγιόκλαστου και βιοτίτη. Η κύρια μάζα είναι μικροκρυσταλλική. Ο δακιτικός κρυσταλλικός τόφφος έχει φαινοκρύσταλλους χαλαζία, Κ–άστριο, πλαγιόκλαστο και βιοτίτη.

Η τεκτονική δομή της Χίου (Εικ. 2.4.) είναι αποτέλεσμα τριών ορογενετικών φάσεων: της Καληδόνιας, της Βαρίσκιας και της Αλπικής (Besenecker, 1968). Η Καληδόνια και η Βαρίσκια ορογενετική φάση αναφέρονται στα πετρώματα του Παλαιοζωικού – κατώτερου Τριαδικού.



Εικόνα 2.4.: *Τεκτονική δομή της Χίου (Besenecker, 1968)*

Για την Καληδόνια υπάρχουν μόνο ενδείξεις ενώ η Βαρίσκια εμφανίζεται στις Οινούσσες και τα διπλανά νησιά όπου η διεύθυνση των αξόνων των πτυχών είναι ΒΒΔ – ΒΔ καθώς και στη Βορειοδυτική Χίο. Η διάκρισή τους είναι δύσκολη γιατί οι τεκτονικές δομές που δημιούργησαν έχουν σχεδόν εξαλειφθεί από τη νεότερη Αλπική ορογένεση. Η επώθηση της αλλόχθονης ενότητας πάνω στην αυτόχθονη έλαβε χώρα κατά τη διάρκεια της Αλπικής ορογένεσης και χαρακτηρίζει την τεκτονική δομή του νησιού.

Κατά τη διάρκεια της Αλπικής ορογένεσης διακρίνονται τρεις φάσεις παραμόρφωσης:

- Πρώτη φάση: Εμφανίζονται πτυχές με διεύθυνση αξόνων ΒΑ – ΒΒΑ. Η ηλικία αυτής της παραμόρφωσης είναι προμαιστρίχτιος.

- Δεύτερη φάση: Στις αρχές του Τριτογενούς (Παλαιοτριτογενές) δημιουργείται η επώθηση του αλλόχθονου πάνω στο αυτόχθονο με διεύθυνση Βορρά – Νότο. Συνοδεύεται από πτυχές με διεύθυνση αξόνων Α – Δ και ρήγματα της ίδιας διεύθυνσης.

- Τρίτη φάση: Κατά το Κατώτερο Μειόκαινο εμφανίζεται δεύτερη γενεά πτυχών με διεύθυνση αξόνων ΒΑ – ΒΒΑ ενώ δημιουργούνται ρήγματα της ίδιας διεύθυνσης.

Στη συνέχεια ακολουθεί ο κατακόρυφος μεταλπικός ρηγματογόνος τεκτονισμός που χαρακτηρίζεται από κανονικά ρήγματα και σε ελάχιστες περιπτώσεις από ανάστροφα με διευθύνσεις ΔΒΔ – ΑΝΑ έως ΒΔ – ΝΑ. Επηρεάζει τόσο τα μεταλπικά ιζήματα όσο και τα πετρώματα του νησιού.

2.3. Υδρολογικά στοιχεία της νήσου Χίου

Τα κλιματικά στοιχεία που παρατίθενται πιο κάτω προέρχονται από τους βροχομετρικούς σταθμούς του νησιού και καλύπτουν την περίοδο 1996-2008 (http://www.chios.gr/na/chios_rainstatios.asp). Επίσης από το Μετεωρολογικό Σταθμό της ΕΜΥ που είναι εγκατεστημένος κοντά στο αεροδρόμιο παρουσιάζονται τα μηνιαία στοιχεία, βροχόπτωσης, θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας που καλύπτουν την χρονική περίοδο 1974-2004 (Παΐδας, 2011).

Σε γενικές γραμμές το κλίμα της περιοχής χαρακτηρίζεται ως θερμό μεσογειακό, χαρακτηριστικό των νησιών του Αν. Αιγαίου. Ο αριθμός των ξηρών ημερών κατά την θερμή και ξηρή περίοδο είναι μεγαλύτερος των 125 με χειμώνα ύφυγρο και μέση ελάχιστη θερμοκρασία του ψυχρότερου μήνα 5,8°C. Οι άνεμοι είναι γενικά βορείων κατευθύνσεων.

Παρατηρείται μεταβολή της έντασής τους, με μέγιστη τους μήνες Δεκέμβριο - Μάρτιο και ελάχιστη τους Απρίλιο - Ιούνιο.

Βροχόπτωση

Στον πίνακα 2.1, που ακολουθεί παρουσιάζονται οι μέσες ετήσιες τιμές των εν ενεργεία πέντε (5) σταθμών: α) Καρδάμυλων, β) Ν. Μονής, γ) Καρυές, δ) Αγ. Σαράντα (Δαφνώνας), ε) Βαβίλων και ζ) Πυργίου.

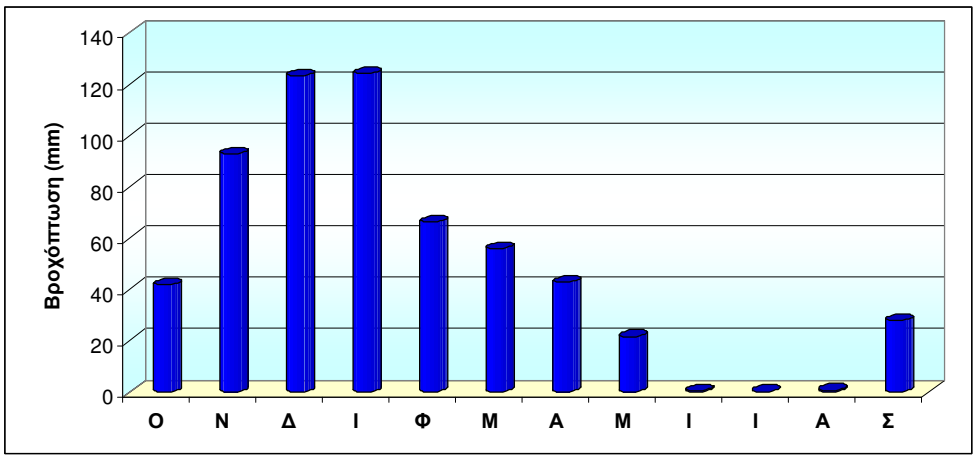
Πίνακας 2.1*: Ετήσιο ύψος βροχόπτωσης στους σταθμούς του νησιού*

	Βροχομετρικοί σταθμοί						
	Καρδάμυλα	Ν. Μονής	Καρυές	Άγ. Σαράντα	Βαβίλων	Πυργίου	**Μ.Ο**
1996	1675	987	959	733	785	53	**865.3**
1997	778	650	613	714	521	58	**555.7**
1998	1638	853	978	924	578	61	**838.7**
1999	1487	923	985	1083	1032	77	**931.2**
2000	505	442	206	346	431	19	**324.8**
2001	750	550	547	464	529	41	**480.2**
2002	637	779	893	907	847	67	**688.3**
2003	…	1234	1483	1370	1181	107	**1075.0**
2004	992	1025	936	780	677	63	**745.5**
2005	1097	1116	961	1022	840	65	**850.2**
2006	1096	1236	1080	911	867	59	**874.8**
2007	579	807	818	699	661	41	**600.8**
2008	836	870	828	836	795	46	**701.8**
Μ.Ο	**1005.8**	**882.5**	**868.2**	**829.9**	**749.5**	**58.2**	**733.3**

Διαπιστώνονται έντονες διαφοροποιήσεις μεταξύ του βόρειου και νότιου τμήματος του νησιού. Οι υψηλότερες βροχοπτώσεις παρατηρούνται στο βόρειο τμήμα του νησιού (Σταθμός Καρδάμυλα), ενώ οι χαμηλότερες στο νότιο τμήμα (Σταθμός Πυργίου). Το κεντρικό τμήμα του νησιού καταλαμβάνει μια ενδιάμεση θέση.

Στην περίοδο μεταξύ 1996-2008 η μέση τιμή που προκύπτει ανέρχεται σε 733,3mm. Οι υψηλότερες ετήσιες τιμές παρατηρήθηκαν το 2003.

Στην εικόνα 2.5 που ακολουθεί παρουσιάζεται η μέση μηνιαία βροχόπτωση στο σταθμό του αεροδρομίου. Οι υψηλότερες βροχοπτώσεις παρατηρούνται στους μήνες Δεκέμβριο, Ιανουάριο και Φεβρουάριο, ενώ οι χαμηλότερες τιμές εμφανίζονται την περίοδο μεταξύ Ιουνίου έως και Αυγούστου.



Εικόνα 2.5 : *Διάγραμμα τιμών μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης στη Χίο (1974-2004).*

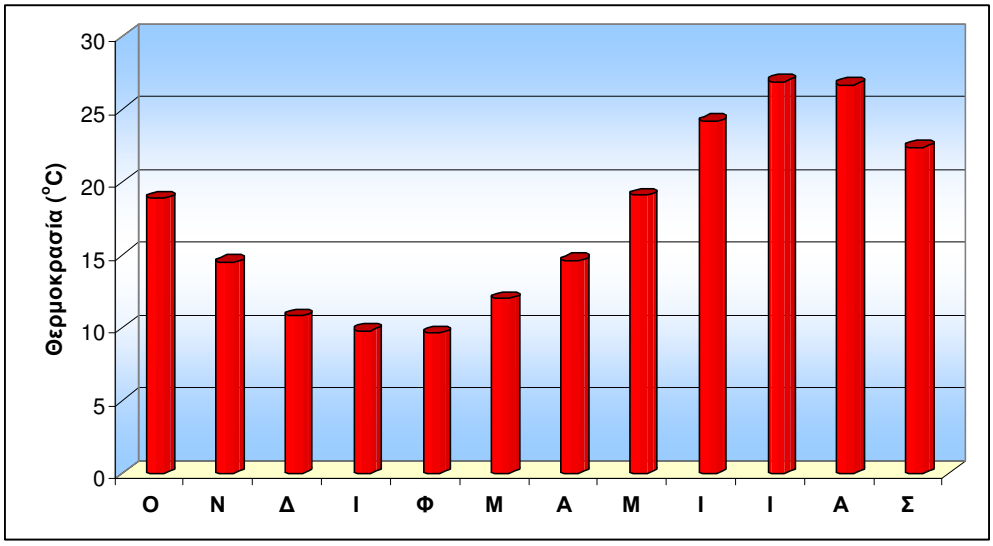
Θερμοκρασία

Στην εικόνα 2.6 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι μέσες μηνιαίες τιμές της θερμοκρασίας που καλύπτουν την χρονική περίοδο 1974-2004. Οι υψηλότερες θερμοκρασίες παρατηρούνται τους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο που κυμαίνονται μεταξύ 24,2 και 26,9 ^{o}C. Οι χαμηλότερες τιμές παρατηρούνται την χρονική περίοδο μεταξύ Δεκεμβρίου και Φεβρουαρίου. Οι τιμές κατέρχονται συνήθως κάτω των 10 ^{o}C (Παΐδας, 2011).

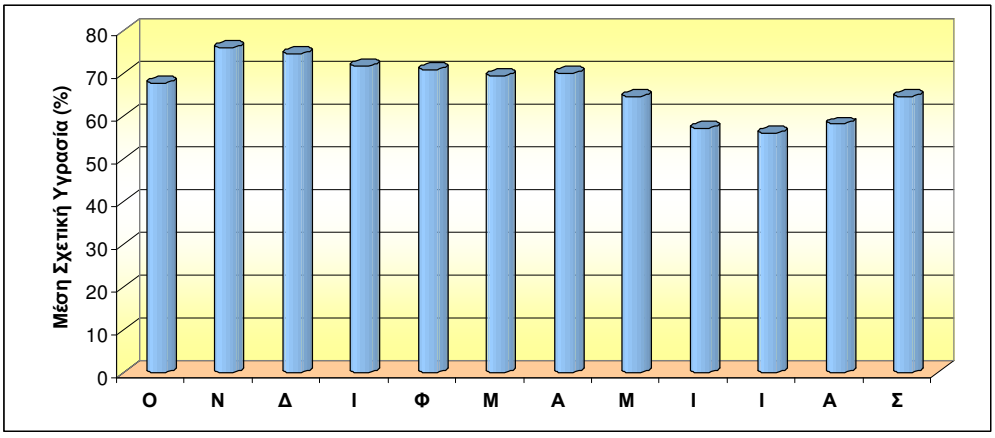
Η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι σχετικά υψηλή και κυμαίνεται περί τους 17,4 °C. Η μέση μέγιστη θερμοκρασία παρατηρείται τον Ιούλιο και είναι 31,4 °C, ενώ η μέση ελάχιστη παρατηρείται τον Φεβρουάριο με 6,2 °C. Οι ημέρες παγετού είναι ελάχιστες και κυμαίνονται γύρω στις 5, ενώ δεν παρατηρούνται ημέρες ολικού παγετού.

Σχετική υγρασία

Στην εικόνα 2.7 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι μέσες μηνιαίες ποσοστιαίες τιμές της σχετικής υγρασίας. Οι υψηλότερες τιμές παρατηρούνται την περίοδο μεταξύ Οκτωβρίου και Απριλίου. Η μέγιστη τιμή σχετικής υγρασίας 76% παρατηρείται τον μήνα Νοέμβριο. Οι χαμηλότερες τιμές παρατηρούνται την περίοδο μεταξύ Ιουνίου και Αυγούστου. Η ελάχιστη τιμή 56% σχετικής υγρασίας εμφανίζεται τον Ιούλιο. Η μέση ετήσια σχετική υγρασία είναι περίπου 66,75%.



Εικόνα 2.6: *Διάγραμμα τιμών μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας στη Χίο (1974-2004).*



Εικόνα 2.7: *Διάγραμμα τιμών μέσης μηνιαίας σχετικής υγρασίας στη Χίο (1974-2004).*

2.4. Υδρογεωλογία της νήσου Χίου

Λαμβάνοντας υπόψη τη γεωλογική δομή του νησιού, την τεκτονική, την κλίση των στρωμάτων σε συνδυασμό με τους υδρολογικούς χαρακτήρες των πετρωμάτων, μπορούν να διακριθούν τρεις υδρογεωλογικές περιοχές οι οποίες είναι (Εικ. 2.8.):

1. Υδρογεωλογική περιοχή Α: Η περιοχή βρίσκεται ΒΔ του άξονα βαθειά Λαγκάδια – Άκρα Ουρά στην οποία ανήκει η περιοχή μελέτης. Το Παλαιοζωϊκό σχιστοψαμμιτικό σύστημα που αναπτύσσεται είναι μακροπερατό και κατά θέσεις διασχίζεται από ρήγματα στις οποίες παρατηρείται σχετική υδροφορία (Παρασκευαΐδης, 1974). Οι απαιτήσεις σε νερό της περιοχής

καλύπτονται κύρια από υπάρχουσες πηγές ύδατος. Οι περισσότερες πηγές είναι επαφής ενώ υπάρχουν και πηγές υπερπλήρωσης (Μπάνος και άλλοι, 1995). Δημιουργούνται είτε εξαιτίας των εναλλαγών των κλαστικών αποθέσεων (υδροπερατών και μη), είτε λόγω της ύπαρξης φακών και παρενστρώσεων ανθρακικών πετρωμάτων μέσα στην κλαστική σειρά αλλά και στην παραμόρφωση των πετρωμάτων (Ζεληλίδης & Αβραμίδης, 2001). Γενικά είναι πηγές χαμηλών παροχών και εμφανίζουν εποχιακές διακυμάνσεις.

Επιπλέον βόρεια στην περιοχή των Αγιασμάτων δυτικά του οικισμού και κοντά στην ακτή αναβλύζει θερμό νερό (πηγή S9) με θερμοκρασία 50.5^0C φανερώνοντας έτσι την ύπαρξη γεωθερμικού πεδίου. Το νερό κυκλοφορεί μέσα στα ρήγματα και στις διακλάσεις των συμπαγών πετρωμάτων και κατεβαίνει προς τα βαθύτερα στρώματα και λόγω της γεωθερμικής βαθμίδας ανεβαίνει θερμό στην επιφάνεια (Δημητρόπουλος, 1985). Κατά την ανοδική του πορεία αναμιγνύεται με το θαλασσινό νερό οπότε εμπλουτίζεται με χλωριόντα (Καβουρίδης & Βακαλόπουλος, 2002).

β) Υδρογεωλογική περιοχή Β: Η περιοχή αναπτύσσεται δυτικά του άξονα Όρμος Λιθίου – Όρμος Καλαμωτής και ανήκει η Δ – ΝΔ Χίος. Στην περιοχή αναπτύσσονται κυρίως οι Μεσοζωϊκοί σχηματισμοί. Στο σύνολό τους τα πετρώματα αυτά είναι έντονα κατακερματισμένα από ρήγματα ΒΑ/κής και ΝΔ/κής διεύθυνσης. Τα ανθρακικά ιζήματα κατά θέσεις είναι έντονα κατακερματισμένα και καρστικοποιημένα όπως αυτό γίνεται αντιληπτό από τις διάφορες εξωκαρστικές μορφές που εμφανίζονται στην επιφάνεια τους. Η εκτόνωση του καρστικού συστήματος γίνεται μέσω παράκτιων πηγών και υποθαλάσσιων αναβλύσεων. Στις περισσότερες περιπτώσεις ο καρστικός υδροφορέας εμφανίζει έντονη υφαλμύρωση λόγω της καρστικοποίησης του και της ανεμπόδιστης διείσδυσης του θαλασσινού νερού. Οι απαιτήσεις σε νερό της περιοχής καλύπτονται από την τρίτη υδρογεωλογική περιοχή (Ζεληλίδης, Αβραμίδης, 2001).

γ) Υδρογεωλογική περιοχή Γ: Η περιοχή αναπτύσσεται ανατολικά του άξονα Όρμος Καλαμωτής – Όρμος Λιθίου – Άκρα Ουρά και ανήκει η Κ – Α Χίος. Χωρίζεται σε τρεις υποπεριοχές (Ζεληλίδης & Αβραμίδης, 2001):

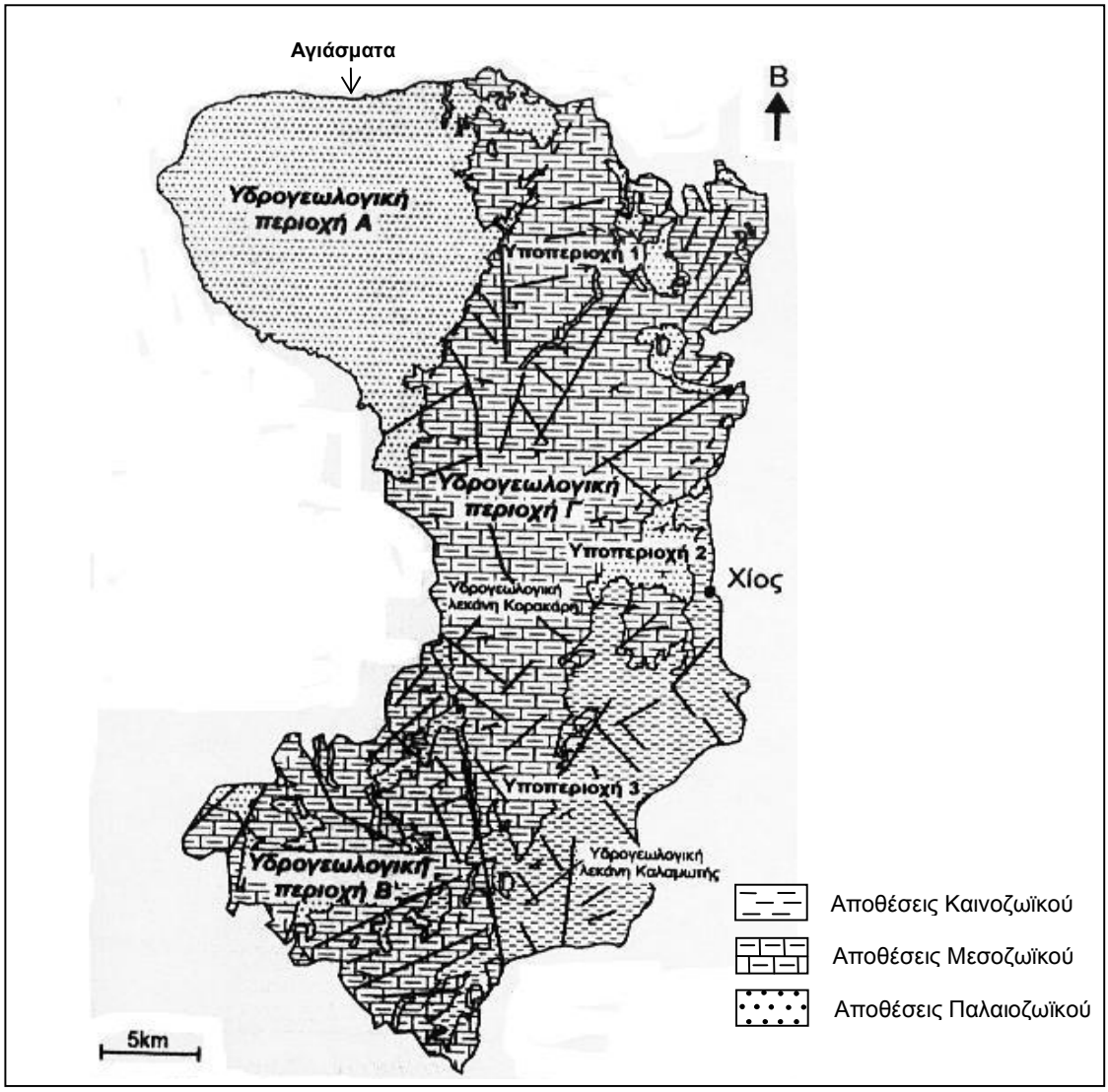
- Υποπεριοχή 1 (βόρειο τμήμα περιοχής Γ): Το μεγαλύτερο μέρος της στρωματογραφικά καλύπτεται από τους Μεσοζωϊκούς σχηματισμούς ενώ κατά θέσεις εμφανίζονται οι Παλαιοζωϊκοί σχηματισμοί. Η επαφή αυτών των δύο διαφορετικής στρωματογραφικής σύνθεσης περιοχών ελέγχεται τεκτονικά μέσω ρηγμάτων ΒΒΑ/κής διεύθυνσης όπου

παροχετεύονται μεγάλες ποσότητες νερού. Οι πηγές που εμφανίζονται είναι επαφής και υπερπλήρωσης.

- Υποπεριοχή 2 (κεντρικό τμήμα περιοχής Γ): Το μεγαλύτερο μέρος του καλύπτεται από τις κλαστικές αποθέσεις του Καινοζωϊκού ενώ κατά θέσεις εμφανίζονται Παλαιοζωϊκοί και Μεσοζωϊκοί σχηματισμοί κατακερματισμένοι εξαιτίας της ύπαρξης ΒΔ/κής και ΒΑ/κής διεύθυνσης ρηγμάτων.

Στο εσωτερικό της επιφανειακής εμφάνισης της κλαστικής σειράς του Καινοζωικού υπάρχει απομονωμένη επιφανειακή εμφάνιση ανθρακικών πετρωμάτων του Μεσοζωϊκού (όρος Κορακάρη). Αυτός ο αποκομμένος ανθρακικός όγκος μαζί με τις περιβάλλουσες σύγχρονες αλλουβιακές αποθέσεις συνιστούν την υδρογεωλογική λεκάνη «Κορακάρη». Στην λεκάνη έχουν εκτελεστεί πολλές γεωτρήσεις και πηγάδια και το αντλούμενο νερό καλύπτει > 80% της ύδρευσης του πληθυσμού και το >70% της άρδευσης των αρδευόμενων εκτάσεων του νησιού. Η υπάρχουσα υδροφορία του ασβεστολιθικού αυτού όγκου κύρια στο νότιο τμήμα του οφείλεται στην ύπαρξη ενός ΒΒΑ διευθυνόμενου ρήγματος και στη Ν–ΝΑ/κή διεύθυνση κλίσης των στρωμάτων. Η υποπεριοχή αυτή χαρακτηρίζεται από πολλές θέσεις με επιφανειακές εκφορτίσεις.

- Υποπεριοχή 3 (νότιο τμήμα περιοχής Γ): Το μεγαλύτερο μέρος της καλύπτεται από τα ανθρακικά ιζήματα του Μειόκαινου ενώ υπάρχουν εμφανίσεις ανθρακικών ιζημάτων Μεσοζωϊκού. Εμφανίζονται ρήγματα ΒΑ/κής και ΝΑ/κής διεύθυνσης. Οι ανάγκες σε νερό καλύπτονται από γεωτρήσεις στην περιοχή Καλαμωτής (υδρογεωλογική λεκάνη Καλαμωτής).



Εικόνα 2.8.: *Υδρογεωλογικές περιοχές της νήσου Χίου (Ζεληλίδης, Αβραμίδης,2001).*

2.5. Κοιτασματολογία της νήσου Χίου

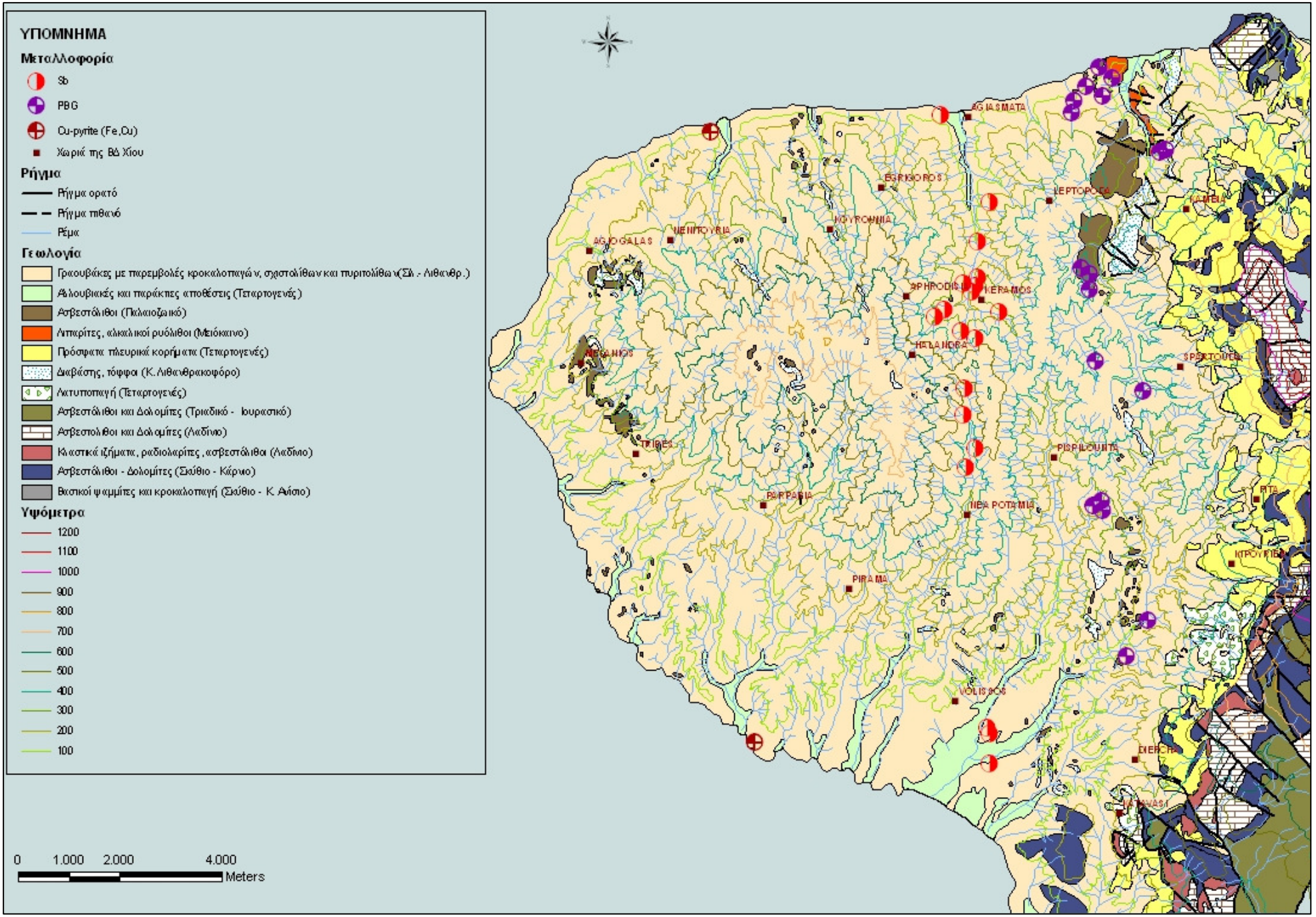
Από κοιτασματολογικής άποψης, η Χίος παρουσίασε αρκετό ενδιαφέρον κατά το παρελθόν για τις εμφανίσεις κυρίως του αντιμονίτη και κατά δεύτερο λόγο των μικτών θειούχων που απαντούν στο βορειοδυτικό τμήμα της, ενώ υπάρχουν και μικρότερες εμφανίσεις μεταλλευμάτων. Αναλυτικές βιβλιογραφικές πληροφορίες δίνονται στις επόμενες παραγράφους.

2.5.1. Αντιμονιούχος μεταλλοφορία

2.5.1.1. Εμφανίσεις της αντιμονιούχου μεταλλοφορίας

Οι εμφανίσεις του αντιμονίτη (Sb_2S_3) βρίσκονται κατά μήκος μιας νοητής γραμμής που ξεκινάει βόρεια από την περιοχή των Αγιασμάτων και επεκτείνεται νότια στην περιοχή της Βολισσού. Σύμφωνα με τους Τσαμαντουρίδη & Χωριανοπούλου(1977), Δήμου και άλλοι (1986), Τάσσιο (1990), Βογιατζάκη (1989) η αντιμονιούχος μεταλλοφορία εντοπίζεται σε 27 συνολικά θέσεις όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.9. Μικρές εμφανίσεις αντιμονίτη άνευ οικονομικής σημασίας αναπτύσσονται στις περιοχές Ποταμιά, Χάλανδρα, Αφροδίσια, Λεπτόποδα, Αγιάσματα και Χωρή της Βολισσού. Το μεγαλύτερο μέρος των εμφανίσεων του αντιμονίου βρίσκεται στο χωριό Κέραμος και εντοπίζονται ανατολικά και δυτικά του Αλβανού ποταμού. Οι θέσεις είναι:

- Θέση Α4 – «Διχάλι»: Βρίσκεται σε απόσταση 500m βόρεια του χωριού Κέραμος και δυτικά του Αλβανού ποταμού. Εντός κατακλάσεων εντοπίζεται η μεταλλοφορία.
- Θέση Α5-15 – «Ξύγκρεμος 1»: Βρίσκεται σε απόσταση 750m Β-ΒΑ του χωριού Κέραμος. Υπάρχει παλαιά στοά εκμετάλλευσης με διεύθυνση νοτιοανατολική. Η μεταλλοφορία αντιμονίτου αναπτύσσεται εντός κερατολιθικών σχιστόλιθων, σχιστόλιθων, λυδιτών, χαλαζιακών τόφφων και τοφφικών λατυποπαγών με πάχος 10 – 15cm.



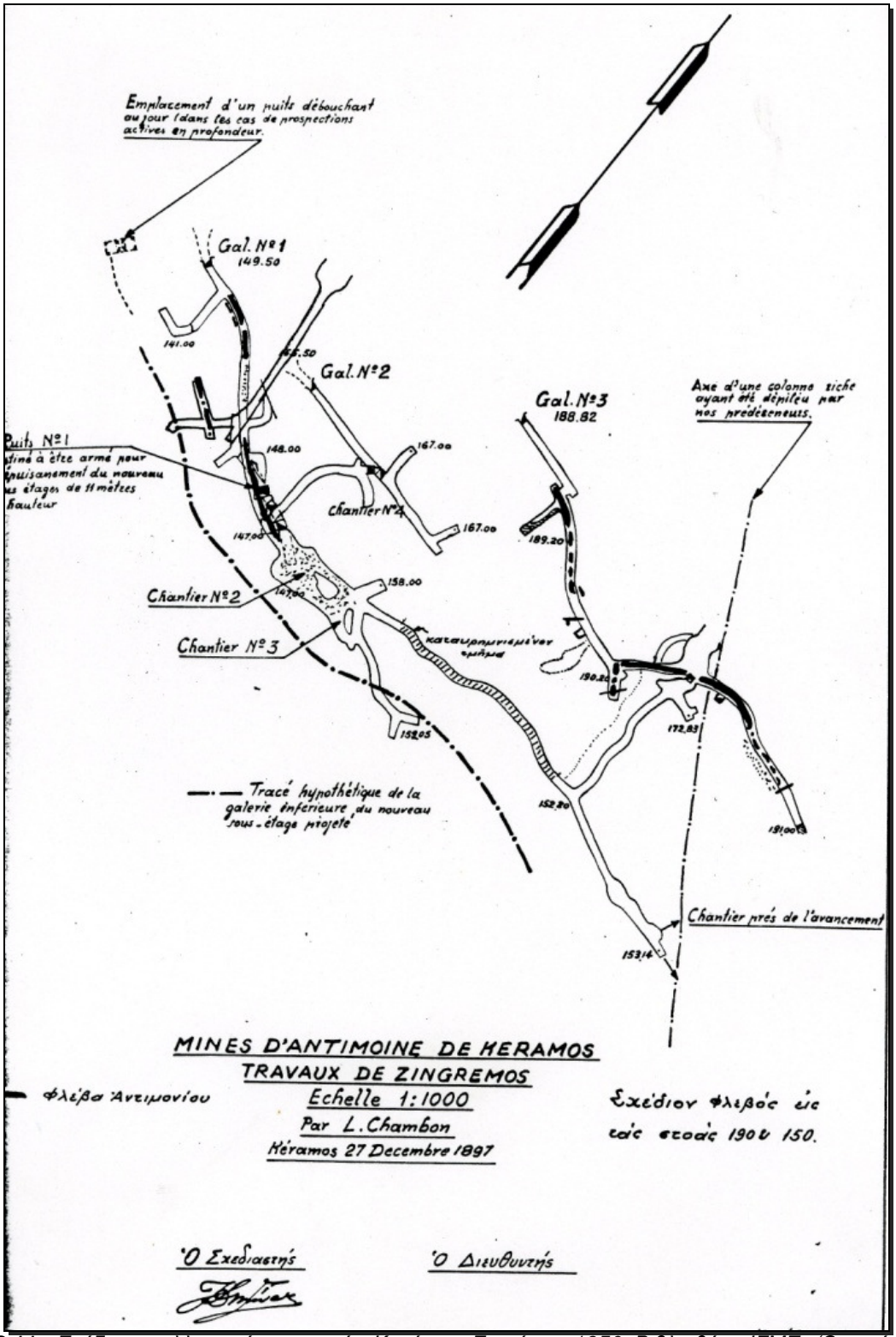
Εικόνα 2.9.: *Θέσεις εμφάνισης των μεταλλοφοριών α) αντιμονίτη, β) μικτών θειούχων και γ) χαλκούχου σιδηροπυρίτη στην περιοχή μελέτης.*

▸ Θέση Α5-15 – «Ξύγκρεμος 2»: Βρίσκεται σε απόσταση 450m Β-ΒΑ του χωριού Κέραμος και ανατολικά του Αλβανού ποταμού. Υπάρχει φρέαρ που τέμνει 4 επάλληλες στοές. Η μεταλλοφορία έχει διεύθυνση προς Β-Ν και πάχος 25 – 30cm. Βρίσκεται εντός των ίδιων γεωλογικών σχηματισμών όπως στη θέση S5-15 – «Ξύγκρεμος 1».

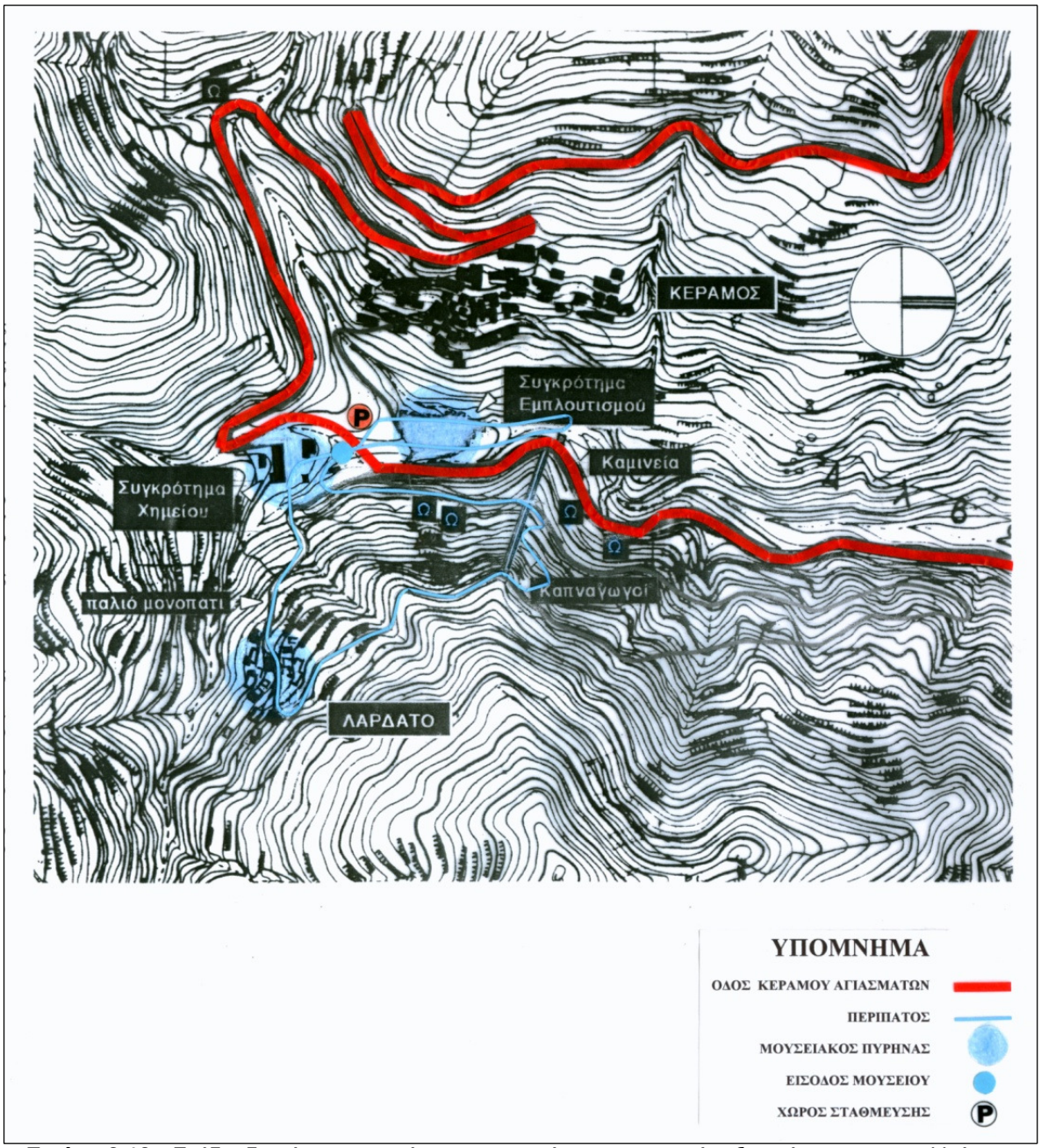
▸ Θέση Α5-15 – «Κουτσονίκος»: Βρίσκεται σε απόσταση 200m ανατολικά του χωριού Κέραμος. Υπάρχει στοά εντός γραουβακών, αργιλικών σχιστόλιθων και πηλιτικών σχιστόλιθων. Η μεταλλοφορία απαντάται εντός κατακλάσεων. Σε απόσταση 50m από την παραπάνω στοά υπάρχουν άλλες δύο παράλληλες μεταξύ τους με διεύθυνση 110^0 ΝΑ. Επικρατούν οι ίδιοι γεωλογικοί σχηματισμοί εντός των οποίων εμφανίζεται μεταλλοφόρος ορίζοντας πάχους 10 – 15cm.

Τα μεταλλεία Κεράμου είναι γνωστά (Δρούβας & Τζανικιάν, 1977 – Τσαμαντουρίδης & Χωριανοπούλου, 1977) από το 1917 που ξεκίνησε η εκμετάλλευσή τους και κατά καιρούς συνεχίστηκε (1918, 1949, 1952 – 1954) κυρίως από Γαλλικές Εταιρείες στις οποίες οφείλονται και οι πρώτες εγκαταστάσεις (Εικόνα 2.10, Εικόνα 2.11). Εξαιτίας όμως της πτώσεως της τιμής του αντιμονίου και της ασύμφορης πλέον εκμετάλλευσης των μεταλλείων, εγκαταλείφθηκαν. Το 1955 λειτούργησαν υπό την επίβλεψη της Ελληνικής Μεταλλευτικής Επιχείρησης (Ε.Μ.Ε) η οποία προέβλεψε αύξηση της τιμής του αντιμονίου. Η Ε.Μ.Ε κατασκευάζει το εργοστάσιο εμπλουτισμού (flotation) που είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της ποσότητας του μεταλλεύματος από 200 τόνους σε 1200 – 1600 τόνους και την αύξηση εξαγωγής τους. Τα μεταλλεία Κεράμου σταμάτησαν να λειτουργούν περίπου το 1976. Η οριστική εξαίρεση των μεταλλείων υπέρ του Δημοσίου δημοσιεύθηκε το 1987.

Εικόνα 2.10.: *Ερείπια της καπνοδόχου και των καπναγωγών των εγκαταστάσεων της Γαλλικής Εταιρείας 1875-1908. (Οικονόμου, 2009).*



Εικόνα 2.11.: *Σχέδια μεταλλευτικών εργασιών Κεράμου. Σημείωμα 1950, Βιβλιοθήκη ΙΓΜΕ. (Οικονόμου, 2009).*



Εικόνα 2.12.: *Σχέδιο διαμόρφωσης χώρου με σκοπό την τουριστική αξιοποίηση των μεταλλείων Κεράμου. (Οικονόμου, 2009).*

Πρόσφατα έχουν γίνει προτάσεις για την τουριστική αξιοποίηση των παλαιών εγκαταστάσεων των μεταλλείων (Οικονόμου, 2009). Οι δράσεις ανάδειξης της περιοχής προτείνεται να περιλαμβάνουν διαμόρφωση του χώρου με σήμανση, πέτρινα τοιχία και μονοπάτια, (Εικόνα 2.12), αναστήλωση κτηρίων, αποκατάσταση συγκροτήματος εμπλουτισμού, καμινείας και

καπναγωγών, διαμόρφωση επισκέψιμων στοών, κατασκευή υπαίθριου θεάτρου και ίδρυση μουσείου με θέμα τις δραστηριότητες των μεταλλείων Κεράμου.

2.5.1.2. Ορυκτολογία της αντιμονιούχου μεταλλοφορίας

Παρατηρώντας τις θέσεις εμφάνισης αντιμονίτη και λαμβάνοντας υπόψη τις μικροσκοπικές παρατηρήσεις από παλαιότερες μελέτες (Δήμου και άλλοι 1986 – Βογιατζάκης, 1989) προκύπτει ότι η αντιμονιούχος μεταλλοφορία εμφανίζεται αποκλειστικά και μόνο στην αυτόχθονη ενότητα της Ν. Χίου (Παλαιοζωικό). Η μεταλλοφορία φιλοξενείται κυρίως σε ιζηματογενή πετρώματα όπως γραουβάκες, άστρωτοι ψαμμίτες, μαύροι κερατόλιθοι λεπτοστρωσιγενείς και γραφιτικοί ή αργιλικοί σχιστόλιθοι. Σε ορισμένες θέσεις παρατηρούνται παρεμβολές τόφφων και τοφφιτών ενώ σπανιότερα εμφανίζονται πυροκλαστικά ανδεσιτικής – διαβασικής και κερατοφυρικής σύστασης. Επομένως η μεταλλοφορία είναι συνδεδεμένη με ορίζοντες που έχουν άφθονη οργανική ύλη και ηφαιστειοιζηματογενή χαρακτήρα. Τα ιζηματογενή πετρώματα παρουσιάζουν έντονο κατακερματισμό λόγω της διαγενετικής διεργασίας και της τεκτονικής καταπόνησης που έχουν υποστεί.

Με βάση νεότερη μελέτη (Σκαρπέλης, 1999) η μεταλλοφορία ελέγχεται από τις δομές που επικρατούν στην περιοχή κόβει εγκάρσια την στρώση των προυπαρχόντων ιζηματογενών πετρωμάτων και αναπτύσσεται με τη μορφή φλεβών. Τα κλαστικά ιζήματα είναι λεπτο – μεσοκοκκώδη, ψαμμίτες με δετριτικούς Κ-μαρμαρυγίες και χαλαζία. Οι κόκκοι του χαλαζία είναι γωνιώδεις έως υπογωνιώδεις με χαμηλή σφαιρικότητα και συνήθως πολυκρυσταλλικοί. Ο δετριτικός Κ – μαρμαρυγίας αλλάζει υδροθερμικά σε σερικίτη. Στη θέση Ξύγκρεμος μία ΒΔ έως ΝΑ διάρρηξη μέσα σε κλαστικά πετρώματα του αυτόχθονου φιλοξενεί πλέγμα ακανόνιστων φλεβιδίων χαλαζία σε πυριτιωμένο και τοπικώς υδροθερμικό λατυποπαγές (breccia). Τα ορυκτά αντιμονίτης και βερθιερίτης της μεταλλοφορίας εμφανίζονται σε ακτινωτά συσσωματώματα από ιδιόμορφους έως υπιδιόμορφους κρυστάλλους πάνω στο τοίχος του breccia.

Από παλαιότερες και νεότερες μακροσκοπικές και μικροσκοπικές παρατηρήσεις που έγιναν (Τσαμαντουρίδη & Χωριανοπούλου, 1977 – Δήμου και άλλοι, 1986 – Σκαρπέλης, 1999) η ορυκτολογική σύσταση του μεταλλεύματος αποτελείται κυρίως από αντιμονίτη (Sb_2S_3), βερθιερίτη ($FeSb_2S_4$), μελνικοβίτη (FeS_2) ενώ σε μικρότερο ποσοστό συμμετέχουν κατά θέσεις

σιδηροπυρίτης, χαλκοπυρίτης, σφαλερίτης, αρσενοπυρίτης και προϊόντα οξείδωσής τους. Μη μεταλλικά ορυκτά που συναντώνται είναι κυρίως χαλαζίας και σερικίτης. Στη συνέχεια περιγράφονται αναλυτικά οι ορυκτολογικές φάσεις του μεταλλεύματος (Δήμου και άλλοι, 1986).

- Αντιμονίτης (Sb_2S_3): Είναι το κύριο μεταλλικό ορυκτό. Παρατηρούνται δύο τύποι αντιμονίτη α) ο πρώτος τύπος είναι ο αυθιγενής και β) ο δεύτερος τύπος προέρχεται από την εξαλλοίωση του βερθιερίτη. Ο αυθιγενής αντιμονίτης εμφανίζεται είτε σαν το μοναδικό ορυκτό του αντιμονίου είτε μαζί με τον βερθιερίτη. Περιέχει μερικές φορές εγκλείσματα χαλκοπυρίτη τα οποία γίνονται αιτία για την εμφάνιση κοβελλίνη στα προϊόντα οξείδωσης του (αντιμονιούχες ώχρες). Το σχήμα και το μέγεθος των κρυστάλλων του αντιμονίτη εξαρτάται από τον τρόπο εμφάνισής του. Εμφανίζεται είτε αρκετά λεπτόκοκκος είτε κατακερματισμένος είτε σε πρισματική μορφή. Ο αντιμονίτης που προέρχεται από την εξαλλοίωση του βερθιερίτη είναι πιο λεπτόκοκκος από τον αυθιγενή και σχηματίζει μικροκρυσταλλικά συσσωματώματα. Είναι στενά συνδεδεμένος με τον μελνικοβίτη ο οποίος αποτελεί προϊόν εξαλλοίωσης του βερθιερίτη.

- Βερθιερίτης ($FeSb_2S_4$): Βρίσκεται συνήθως μαζί με τον αντιμονίτη είτε εγκλωβισμένος είτε υπολλειματικός λόγω μετατροπής του σε αντιμονίτη και μελνικοβίτη. Σχηματίζει ιδιόμορφους επιμήκεις κρυστάλλους διάφορων μεγεθών.

- Μελνικοβίτης (FeS_2): Είναι ένα από τα προϊόντα της εξαλλοίωσης του βερθιερίτη και συνυπάρχει με τον αντιμονίτη δεύτερου τύπου. Απαντάται στα διακρυσταλλικά κενά του νεοσχηματισμένου αντιμονίτη ή σε τριχοειδή φλεβίδια. Πολλές φορές συγχέεται με τον μαγνητοπυρίτη γιατί έχει μια χρυσίζουσα όψη.

- Σιδηροπυρίτης (FeS_2): Εμφανίζεται σε μικρούς κόκκους και συμμετέχει σε πολύ μικρό ποσοστό στις αντιμονιούχες εμφανίσεις.

- Χαλκοπυρίτης ($CuFeS_2$): Απαντάται είτε με τη μορφή μεμονομένων κόκκων είτε με τη μορφή εγκλεισμάτων στον αντιμονίτη.

- Σφαλερίτης (ZnS): Εμφανίζεται σπάνια με τη μορφή κόκκων.

- Αρσενοπυρίτης (FeAsS): Εμφανίζεται σπάνια με τη μορφή κόκκων να συνοδεύει την αντιμονιούχο μεταλλοφορία.

▸ Βαλλεντινίτης (Sb_2O_3): Αποτελεί προϊόν οξείδωσης του αντιμονίτη. Απαντάται σε μικροσκοπικούς, λεπτούς, πρισματικούς κρυστάλλους σαν κρούστα στην επιφάνεια του αντιμονιούχου μεταλλεύματος.

▸ Σερβαντίτης (Sb_2O_4): Είναι το πιο συνηθισμένο οξείδιο του αντιμονίου και σχηματίζει συσσωματώματα μικροσκοπικών κόκκων με κίτρινο χρώμα (κίτρινη σκόνη).

2.5.1.3. Γεωλογικά στοιχεία και αντιμονιούχος μεταλλοφορία

Παλαιότερες μελέτες (Δήμου και άλλοι, 1986) δείχνουν ότι η ηλικία των γεωλογικών σχηματισμών που συνδέεται η αντιμονιούχος μεταλλοφορία είναι Ανώτερο Δεβόνιο. Τα ηφαιστειακά πετρώματα όπως τόφφοι, διαβάσες – ανδεσίτες κ.λ.π που εμφανίζονται στο περιβάλλον ανάπτυξης της αντιμονιούχου μεταλλοφορίας έχουν διαβασικό – ανδεσιτικό χαρακτήρα. Η υφή τους φανερώνει υποθαλάσσια ηφαιστειότητα με κλαστική ταχεία ιζηματογένεση μικρού βάθους. Η πηγή τροφοδοσίας των υδροθερμικών διαλυμάτων πλούσια σε Sb αναζητείται στην παλιά ηφαιστειότητα που επικρατούσε στην περιοχή. Οι Δήμου και άλλοι (1986) υποστηρίζουν ότι η ηλικία των ηφαιστειακών πετρωμάτων είναι παλαιοζωική στηριζόμενοι α) στην συμπτύχωσή τους με το υπόλοιπο παλαιοζωικό σύστημα και β) στην ανάπτυξη τόσο των διαβασικών φλεβών όσο και των τόφφων κατά την διεύθυνση των κύριων αξόνων b της Βαρίσκειας ορογένεσης. Υποστηρίζουν επίσης όσον αφορά την τεκτονική ότι η αντιμονιούχος μεταλλοφορία δεν συνδέεται με την Αλπική άλλα με τη Βαρίσκεια ορογένεση. Αυτό το συμπέρασμά τους προκύπτει διότι οι εμφανίσεις του αντιμονίου βρίσκονται γραμμικά τοποθετημένες σε μια ζώνη που αντιπροσωπεύει απόλυτα την Βαρίσκεια τεντονική δομή. Η νεότερη τεκτονική δομή, Αλπική και μετέπειτα, παίζει σημαντικό ρόλο στην τελική τοποθέτηση στο χώρο και σε περιπτώσεις επανακινητοποίησης της μεταλλοφορίας.

Νεότερη όμως μελέτη (Σκαρπέλης, 1999) δείχνει ότι η μεταλλοφορία συνδέεται γενετικά με τους μέσο – Μειοκαινικούς πορφυριτικούς ρυόλιθους, οι οποίοι διεισδύουν εντός της αυτόχθονης ενότητας. Σύμφωνα με αυτή τη θεωρία, η μεταλλοφορία σχηματίστηκε από ανοδικά υδροθερμικά ρευστά. Η απαραίτητη θερμότητα που οδήγησε τα υδροθερμικά ρευστά στην επιφάνεια μπορεί να παραχθεί από την υποηφαιστειακή μαγματική δραστηριότητα. Επιφανειακές εκφράσεις αυτού του μαγματισμού είναι οι υψηλώς πορφυρικοί και υδροθερμικώς εξαλλοιωμένοι ρυόλιθοι στους Αγίους Πάντες και στα Καμπιά..

2.5.1.4. Μεταλλογένεση

Σύμφωνα με τους Δήμου και άλλοι (1986) η δημιουργία των μεταλλικών ορυκτών της αντιμονιούχου μεταλλοφορίας είναι πιθανόν να έγινε σε τρία στάδια. Το πρώτο στάδιο που είναι πλούσιο σε σίδηρο περιλαμβάνει την απόθεση του βερθιερίτη, του σιδηροπυρίτη και του σφαλερίτη. Το δεύτερο στάδιο στο οποίο επικρατούν τα αντιμονιούχα διαλύματα με έλλειψη σιδήρου περιλαμβάνει την απόθεση καθαρού αντιμονίτου ο οποίος εγκλωβίζει τον ήδη δημιουργημένο βερθιερίτη από το πρώτο στάδιο. Βέβαια υπάρχει η πιθανότητα ήδη στο πρώτο στάδιο να προέκυψε μετά τις αποθέσεις των ορυκτών έλλειψη σιδήρου και έτσι λόγω περίσσειας αντιμονίου να κρυσταλλώθηκε απευθείας αντιμονίτης. Το τρίτο στάδιο αποτελείται από ορυκτά τα οποία προέρχονται από τις αντιδράσεις διαλυμάτων με την προϋπάρχουσα μεταλλοφορία. Τα διαλύματα αυτά μπορεί να είναι είτε του δεύτερου σταδίου, είτε εναπομείναντα, είτε ξένα προς τη μεταλλοφορία. Σε αυτό το στάδιο δημιουργείται ο αντιμονίτης δεύτερου τύπου και ο μελνικοβίτης που προέρχονται από την εξαλλοίωση του βερθιερίτη σύμφωνα με την αντίδραση:

$$2(FeSb_2S_4) + S_2 \rightarrow 2(FeS_2) + 2(Sb_2S_3)$$

Η θερμοκρασία σχηματισμού της μεταλλοφορίας δεν είναι σε όλα τα στάδια ίδια. Ο βερθιερίτης σχηματίζεται σε θερμοκρασία 260^0C – 300^0C ενώ ο αντιμονίτης σχηματίζεται σε χαμηλότερη θερμοκρασία περίπου 250^0C – 260^0C (Keighin & Honea, 1969).

Σύμφωνα με τον Σκαρπέλη (1999) τα ορυκτολογικά και τα γεωχημικά δεδομένα επιτρέπουν την ταξινόμηση της μεταλλοφορίας στον τύπο θερμών πηγών (hot spring type) χαμηλής περιεκτικότητας σε χρυσό με βάση τις εξής παρατηρήσεις:

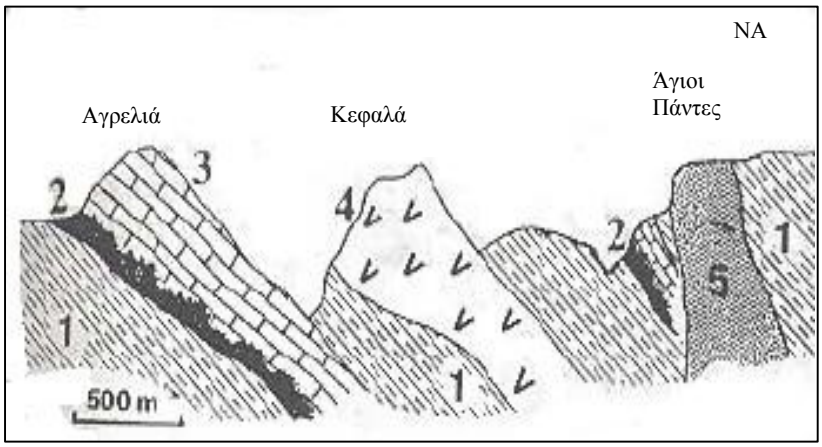
- Η μεταλλοφορία ελέγχεται από διαρρήξεις πετρωμάτων που τέμνουν την στρώση.
- Τα τοπικά πετρώματα στην Κέραμο εμφανίζουν έντονη πυριτίωση.
- Η ορυκτολογία του μεταλλεύματος και τα γεωχημικά χαρακτηριστικά της μεταλλοφορίας είναι κοινή με αυτά των αποθέσεων θερμών πηγών (hot spring type).

2.5.2. Μεταλλοφορία μικτών θειούχων (PBG)

Οι εμφανίσεις των μικτών θειούχων βρίσκονται σε μία ζώνη παράλληλη με αυτή των εμφανίσεων του αντιμονίου και ανατολικά από αυτή. Είναι διευθετημένες από Βορρά προς

Νότο, ακολουθούν σχεδόν πάντοτε τους ασβεστολιθικούς φακούς της σειράς του Αγρελωπού και ξεκινούν Βόρεια από την παραλία του Αγ. Γεωργίου μέχρι την περιοχή του παλιού μεταλλείου της Παναγίας, ανατολικά του ποταμού Μαλαγκιώτη. Σε 19 συνολικά θέσεις εντοπίζεται η μεταλλοφορία Pb – Zn όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.9. (Τσαμαντουρίδης & Χωριανοπούλου, 1977).

Σύμφωνα με τον Σκαρπέλη (1999) στην περιοχή Αγρελιά η μεταλλοφόρος ζώνη είναι περιορισμένη στην χαμηλότερη επαφή των ασβεστόλιθων Σιλούριου ηλικίας και των κλαστικών ιζημάτων Περμίου ηλικίας (Εικ. 2.13.). Η επαφή της ζώνης μεταλλεύματος με τα ανθρακικά πετρώματα είναι χαρακτηριστική του τύπου αντικατάστασης. Τα ανθρακικά Σιλουρίου ηλικίας έχουν αγκεριτιωθεί. Παρατηρήσεις δείχνουν ότι πρώτο στάδιο είναι η απόθεση πυριτίου με αποτέλεσμα τον σχηματισμό μαύρης πυριτικής ζώνης εξαλλοίωσης με πάχος πάνω από 6 μέτρα, ακολουθούμενο από τη δημιουργία υδροθερμικού λατυποπαγούς (breccia) και στη συνέχεια ακολουθεί απόθεση θειούχων ορυκτών. Εμφανίζονται σερικίτης, χαλαζίας και σιδηροπυρίτης. Τοπικά η μεταλλοφόρος ζώνη περιέχει ανοικτά διαστήματα που είναι πιθανό αποτέλεσμα της διάλυσης του ασβεστίτη. Αργά αποτίθενται μεγάλοι ρομβοεδρικοί κρύσταλλοι ασβεστίτη και δολομίτη εντός της μεταλλοφόρου ζώνης και των ανθρακικών πετρωμάτων ηλικίας Σιλουρίου. Γαληνίτης, σφαλερίτης, χαλκοπυρίτης, σιδηροπυρίτης και τετραεδρίτης προσδιορίστηκαν να πληρούν φλεβίδια ή ήταν αναπτυγμένοι ανάμεσα σε κόκκους χαλαζία. Παρατηρήθηκαν βουρνονίτης ($CuPbSbS_3$), φρειμπεργίτης ($(Cu, Ag, Fe)_{12}Sb_4S_{13}$) να εγκλείονται σε γαληνίτη και απομίξεις χαλκοπυρίτη σε σφαλερίτη. Υψηλό ποσοστό αργύρου βρέθηκε στον τετραεδρίτη.



Εικόνα 2.13.: *Σχηματική τομή που δείχνει τη θέση της μεταλλοφορίας στην περιοχή Αγρελιά.1.Πετρώματα Περμίου. 2. Μεταλλοφόρος ζώνη. 3. Ανθρακικά πετρώματα Σιλουρίου. 4.Ηφαιστειακά πετρώματα Παλαιοζωικής ηλικίας. 5. Μεσο - Μειοκαινικός πορφυριτικός ρυόλιθος. (Σκαρπέλης, 1999),*

Με βάση παλαιότερη μελέτη (Δήμου και άλλοι, 1986) η ηλικία των γεωλογικών σχηματισμών που φιλοξενούν τη μεταλλοφορία είναι Ανώτερο Δεβόνιο. Η μεταλλοφορία δεν υπερβαίνει πουθενά το Ανώτερο Δεβόνιο και υπόκεινται της κύριας ηφαιστειακής δράσης του Ανώτερου Δεβονίου – Λιθανθρακοφόρου. Τα ηφαιστειακά πετρώματα που εμφανίζονται κατά τόπους δείχνουν υποθαλάσσια ηφαιστειότητα σε περιβάλλον κλαστικής και ταχείας ιζηματογένεσης σε μικρά βάθη. Νεότερη όμως μελέτη (Σκαρπέλης, 1999) δείχνει ότι η μεταλλοφορία συνδέεται γενετικά με τους μέσο – Μειοκαινικούς πορφυριτικούς ρυόλιθους, οι οποίοι διεισδύουν εντός της αυτόχθονης ενότητας και κατατάσσεται στον τύπο θερμών πηγών (hot spring type) χαμηλής περιεκτικότητας σε χρυσό.

Ακόμη πρέπει να σημειωθεί ότι στην περιοχή της ΒΔ Χίου εμφανίζεται μεταλλοφορία χαλκούχου σιδηροπυρίτη. Συγκεκριμένα στην περιοχή της Βολισσού, επί της ακτής, απαντά μικρή εμφάνιση χαλκούχου σιδηροπυρίτη (Εικ. 2.9.) με οξείδια μαλαχίτη και χαλαζία μέσα σε περιβάλλον ψαμμιτών – σχιστόλιθων που διασχίζονται από φλέβες ασβεστίτη (Λαμπρόπουλος, Καμινάρη, 1989). Επιπλέον βόρεια του χωριού Νενητούρια επί της ακτής, απαντά εμφάνιση χαλκούχου σιδηροπυρίτη με οξείδια μαλαχίτη σε πυριτιωμένο υλικό και περιβάλλον από διαβάση, ψαμμίτες – σχιστόλιθους που διασχίζονται από φλέβες ασβεστίτη (Λαμπρόπουλος & Καμινάρη, 1989).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Βιβλιογραφική Επισκόπηση- Ποιοτικά χαρακτηριστικά υδάτων και κινητικότητα των χημικών στοιχείων στα διαλύματα

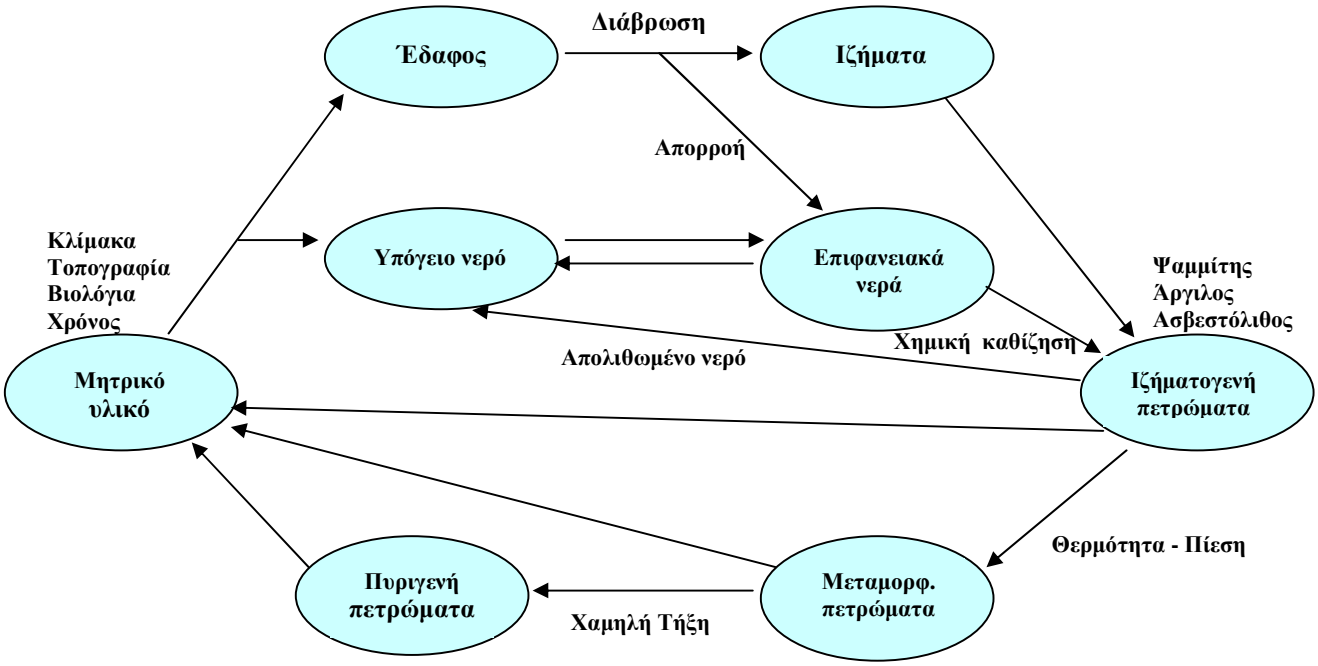
3.1. Ποιοτικά χαρακτηριστικά υδάτων

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των υδάτων και ειδικά των υπογείων εξαρτώνται άμεσα από τη σύσταση των πετρωμάτων του υδροφορέα. Συγκεκριμένα, οι παράγοντες που επηρεάζουν την σύσταση του υπόγειου νερού συνοψίζονται ως εξής (Hounslow, 2002):

1. Η μηχανική διάβρωση και χημική αποσάθρωση που προκαλείται εξαιτίας της αλληλεπίδρασης των πετρωμάτων με την ατμόσφαιρα και την υδρόσφαιρα. Η σχέση και η αλληλεπίδραση του γεωλογικού και του υδρολογικού κύκλου φαίνονται στην Εικόνα 3.1. Τα ποικίλα προϊόντα της αποσάθρωσης έχουν ταξινομηθεί σύμφωνα με τη συμπεριφορά τους στο περιβάλλον ως εξής (Hounslow, 1995):

- Ανθεκτικά πρωτογενή ορυκτά (resistates), τα οποία αντέχουν στη χημική και μηχανική διάσπαση. Σχηματίζουν ψαμμίτες ή εδάφη που περιέχουν ορυκτά (στοιχεία) όπως χαλαζία (Si), ζιρκόνιο (Zr), τουρμαλίνη (B), ρουτίλιο (Ti), κασσιτερίτη (Sn) και χρυσό (Au).
- Προϊόντα ασύμπτωτης υδρόλυσης πρωτογενών πυριτικών ορυκτών (hydrolysates), τα οποία είναι δευτερεύοντα προϊόντα χημικής διάσπασης των αργιλοπυριτικών ορυκτών όπως ο άστριος. Αποτελούνται από αργιλικά ορυκτά (ένυδρα αργιλοπιριτικά ορυκτά) ή οξείδια και υδροξείδια του αργιλίου. Αυτά μπορούν να προσροφούν στοιχεία όπως το κάλιο.
- Δευτερογενή οξείδια (oxidates), τα οποία προκύπτουν από την οξείδωση του σιδήρου και την απόθεσή του ως ένυδρο οξείδιο του Fe^{3+}. Το αποτιθέμενο ένυδρο οξείδιο του Fe^{3+} μετατρέπεται σε λειμονίτη (FeOOH). Επειδή το αποτιθέμενο $Fe(OH)_3$ είναι θετικώς φορτισμένο κολλοειδές μπορεί να απορροφά ανιόντα. Από την άλλη μεριά το MnO_2 που είναι αρνητικώς φορτισμένο κολλοειδές απορροφά κατιόντα.
- Προϊόντα αναγωγής (reduzates), τα οποία αποτελούνται από τα οργανικά υλικά και ιζηματογενή σουλφίδια.
- Ανθρακικά ορυκτά (carbonates), τα οποία είναι αποτέλεσμα της οργανικής ή ανόργανης απόθεσης του ασβεστίτη, αραγωνίτη, δολομίτη. Σχηματίζουν ασβεστόλιθους, δολομίτες και τραβερτίνες.
- Χημικά ιζήματα (evaporates), τα οποία είναι συνήθως ευδιάλυτα άλατα που συσσωρεύονται στους ωκεανούς και με την εξάτμιση σχηματίζουν εβαπορίτες. Συνήθως

περιέχουν αλίτη (NaCl), συλβίτη (KCL), γύψο ($CaSO_4.2SO_4$) και πιθανά καρναλλίτη ($KCl.MgCl_2.H_2O$).



Εικόνα 3.1.: *Υδρολογικός και γεωλογικός κύκλος (Hounslow, 2002).*

2. Η ορυκτολογία και η γεωχημεία των περιβαλλόντων πετρωμάτων. Πολλές από της χημικές ιδιότητες του υπόγειου νερού αποκτώνται κατά τη διάρκεια κίνησης του εντός του εδάφους και της ακόρεστης ζώνης και η κατανόηση των αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα είναι ιδιαίτερης σπουδαιότητας σε υδρογεωχημικές μελέτες. Αν και μπορεί να υπάρξει μικρή αλλαγή στη συνολική σύσταση των πετρωμάτων εντός της κορεσμένης ζώνης σημειώνεται ότι αντιδράσεις ανταλλαγής και άλλες διαδικασίες τροποποιούν αργά τη χημεία του υπόγειου νερού. Επίσης η απαλλαγή ή η τροποποίηση επιβλαβών ουσιών στο νερό μπορεί να λάβει χώρα μέσω της προσρόφησης, της καθίζησης και των οξειδοαναγωγικών αντιδράσεων. Οι αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στην ακόρεστη ζώνη και επηρεάζουν την σύσταση του υπόγειου νερού είναι (Mather, 1997):

➤ Η διάλυση και ανακατανομή αέριου CO_2 σύμφωνα με τις αντιδράσεις:

$CO_2\ (g) + H_2O = H_2CO_3$

$H_2CO_3 = HCO_3^- + H^+$

$HCO_3^- = CO_3^{2-} + H^+$

Άμεσο αποτέλεσμα της διάλυσης του CO_2 είναι γρήγορη αύξηση της συνολικής περιεκτικότητας σε ανθρακικό οξύ και μείωση του pH. Σημαντική επίσης είναι και η διάλυση του O_2. Οι προκύπτουσες συγκεντρώσεις του διαλυμένου οξυγόνου ελέγχουν την οξειδοαναγωγική χημεία των υπόγειων νερών.

➢ Η ανθρακική και πυριτική διάλυση σύμφωνα με τις αντιδράσεις:

Ασβεστίτης: $CaCO_3(s) + H+ = Ca^{2+} + HCO_3^-$

Ανορθίτης: $CaAl_2Si_3O_8(s) + 2H+ H_2O$ = καολινίτης (s) + Ca^{2+}

Αλβίτης: $2Na\ AlSi_3O_8(s) + 2H+ 5H_2O$ = καολινίτης (s) + $4H_2SiO_3+ 2Na^+$

Ενστατίτης: $MgSiO_3(s) + 2H^+ = Mg^{2+} + H_2SiO_3$

Οι πιο κοινές αντιδράσεις περιλαμβάνουν τα ασθενή οξέα των ανθρακικών και πυριτικών συστημάτων και τις ισχυρές βάσεις από τη διάλυση των ανθρακικών, πυριτικών και αργιλοπυριτικών ορυκτών. Η διάλυση του ασβεστίτη είναι πιθανώς η σημαντικότερη αντίδραση στην ακόρεστη ζώνη.

➢ Η οξείδωση θειούχων ορυκτών όπως ο σιδηροπυρίτης και ο μαρκασίτης παράγουν $Fe(OH)_3$ (s). Αυτού του είδους οι αντιδράσεις θεωρούνται από τις πιο σημαντικές των γεωλογικών συστημάτων γιατί συνδέονται με τη δημιουργία σοβαρών προβλημάτων ρύπανσης σε περιοχές ανάπτυξης θειούχου μεταλλοφορίας.

➢ Η απόθεση και διάλυση γύψου με βάση την αντίδραση:

$CaSO_4.2H_2O = Ca^{2+} + SO_4^{2-} + 2H_2O$

➢ Οι ανταλλαγή κατιόντων όπως δείχνουν οι αντιδράσεις:

$Ca^{2+} + 2Na – X(s) = 2Na^+ + Ca\text{-}X(s)$

$Ca^{2+} + Mg – X(s) = Mg^{2+} + Ca\text{-}X(s)$

$Mg^{2+} + 2Na – X(s) = 2Na^+ + Mg\text{-}X(s)$

όπου Na – X είναι Να προσροφημένο σε αργιλικά ορυκτά.

Οι περισσότερες σημαντικές αντιδράσεις ιοντοανταλλαγής είναι όταν το ασβέστιο και το μαγνήσιο στο νερό ανταλλάσσονται με το προσροφημένο νάτριο στα αργιλικά ορυκτά. Τα δισθενή ιόντα όπως το ασβέστιο και το μαγνήσιο αντικαθιστούν τα μονοσθενή ιόντα όπως το νάτριο και τα ιόντα με μικρότερη ακτίνα όπως το ασβέστιο αντικαθιστούν αυτά με τη μεγαλύτερη ακτίνα όπως το μαγνήσιο.

➢ Οι οργανικές αντιδράσεις. Η διάλυση των οργανικών υπολειμμάτων είναι η σημαντικότερη πηγή διαλυμένου οργανικού άνθρακα (DOC) στα υπόγεια νερά. Τα πιο σπουδαία είδη είναι τα χουμικά και τα φουλβικά οξέα. Η συμπλοκοποίηση σιδήρου και αργιλίου με την οργανική ύλη είναι μια σημαντική διαδικασία στη μεταφορά των μετάλλων μέσα στο εδαφικό νερό. Εντούτοις, είναι δευτερεύοντος σημασίας στα συστήματα υπόγειων νερών, επειδή τα περισσότερα από τα συμπλεκόμενα μέταλλα απορροφώνται στους κατώτερους εδαφολογικούς ορίζοντες. Διαλυμένες οργανικές ενώσεις που δημιουργούνται στο ανώτερο μέρος του εδάφους δεν είναι ιδιαίτερα ευκίνητες λόγω της προσρόφησης. Η οξείδωση της διαλυμένης οργανικής ουσίας αποτελεί πηγή CO_2 μέσα στην ακόρεστη ζώνη.

Οι αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στην κορεσμένη ζώνη είναι περισσότερο σύνθετες από αυτές της ακόρεστης ζώνης (Mather, 1997). Οι περισσότερες είναι ίδιες με της ακόρεστης ζώνης. Έτσι όσον αφορά την ανθρακική και πυριτική διάλυση, εάν στο υπόγειο νερό δεν έχει αποκατασταθεί η ισορροπία με τα ανθρακικά, πυριτικά και αργιλοπυριτικά ορυκτά, αυτά συνεχίζουν να διαλύονται στην κορεσμένη ζώνη. Επίσης πραγματοποιούνται συνηθισμένες αντιδράσεις διάλυσης αλάτων όπως γύψου, αλίτη, ανυδρίτη. Οι οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις που γίνονται σε ένα σύστημα ροής είναι σημαντικές για τον έλεγχο της υδροχημείας του σιδήρου, του μαγγανίου και του άνθρακα όπως και των ειδών του αζώτου και το θείου. Επίσης πολλές από αυτές γίνονται με την παρουσία βακτηρίων. Ακόμα λαμβάνουν χώρα αντιδράσεις ανταλλαγής κατιόντων.

3. Ο χρόνος παραμονής του νερού στην ακόρεστη και στην κορεσμένη ζώνη (Mather, 1997). Μεγαλύτερος χρόνος παραμονής δίνει την ευκαιρία για αντιδράσεις μεταξύ νερού και υλικών με τα οποία έρχεται σε επαφή. Ο παράγοντας αυτός επηρεάζεται και από τις κλιματικές συνθήκες. Βροχοπτώσεις μεγάλης έντασης οδηγούν σε γρήγορη κατείσδυση του νερού και επομένως μικρό χρόνο επαφής με το έδαφος.

4. Οι εδαφικοί πόροι καθορίζουν την πορεία του νερού και με ποιους γεωλογικούς σχηματισμούς θα έρθει σε επαφή. Αυτοί εμφανίζονται είτε με τη μορφή εδαφικών κόκκων (πρωτεύον πορώδες), είτε με τη μορφή ρωγμών, διακλάσεων, ρηγματώσεων, καρστικών έγκοιλων εντός της μάζας των πετρωμάτων (δευτερογενές πορώδες).

3.2. Φυσικοχημικές παράμετροι

Μία σειρά φυσικοχημικών παραμέτρων που καθορίζουν την ποιότητα του υπόγειου νερού και είναι απαραίτητο να μετρώνται *in-situ* κατά τη λήψη του υδατικού δείγματος στην ύπαιθρο ή το ταχύτερο δυνατό στο εργαστήριο περιγράφονται περιληπτικά στη συνέχεια.

Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία των υπόγειων νερών είναι αναγκαίο να λαμβάνεται υπόψη κατά τη μελέτη της χημείας τους γιατί παρέχει πληροφορίες ακόμα και για την προέλευσή τους. Η θερμοκρασία των υπόγειων νερών οφείλεται στη θερμότητα που προέρχεται από το εσωτερικό της γης και συνδέεται με τη «γεωθερμική βαθμίδα» κάθε περιοχής αυξάνοντας περίπου κατά 1^oC ανά 33m βάθος από την επιφάνεια της γης. Η θερμοκρασία του υπόγειου νερού επηρεάζεται και από τις μεταβολές της πιεζομετρικής επιφάνειας του υδροφορέα (Καλλέργης, 2000).

Συγκέντρωση του ιόντος υδρογόνου (pH)

Το pH αποτελεί μέτρο πυκνότητας των ιόντων υδρογόνου σ' ένα υδάτινο διάλυμα. Συγκεκριμένα το pH συμβολίζει τον αρνητικό δεκαδικό της συγκέντρωσης των ιόντων υδρογόνου $[H^+]$ στο διάλυμα. Οι τιμές του pH κυμαίνονται από 0 (πολύ όξινο) - 14 (πολύ βασικό). Το pH εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Τα περισσότερα φυσικά νερά έχουν pH μεταξύ 4 (όξινα) και 9 (αλκαλικά). Κοντά σε οξειδωμένα θειούχα οι συγκεντρώσεις του θειικού οξέος μπορεί να είναι τέτοιες ώστε να διαμορφώνουν pH = 2 ή μικρότερο, ενώ αλκαλικές συνθήκες pH=9 απαντούν σε ερημικά εδάφη και λίμνες (Κελεπερτζής, 2000)

Δυναμικό οξειδοαναγωγής (Eh)

Στις αντιδράσεις οξειδοαναγωγής τα στοιχεία που συμμετέχουν σε αυτές αλλάζουν το σθένος τους με την πρόσληψη ή την απώλεια ηλεκτρονίων. Όταν προσληφθεί ένα ηλεκτρόνιο τότε προκαλείται απώλεια ενός θετικού σθένους και το αποτέλεσμα είναι η αναγωγή του στοιχείου. Το αντίθετο συμβαίνει εάν χάσει το στοιχείο ένα ηλεκτρόνιο, οπότε το αποτέλεσμα είναι η οξείδωση του στοιχείου. Επομένως η οξείδωση και η αναγωγή συνυπάρχουν ταυτόχρονα στην ίδια αντίδραση που ονομάζεται οξειδοαναγωγή (redox). Η κάθε επιμέρους δράση ονομάζεται ημιαντίδραση (οξείδωση ή αναγωγή). Εάν το δυναμικό οξειδοαναγωγής

αντιπροσωπεύει οξειδωτικές συνθήκες έχει θετική τιμή ενώ όταν αντιπροσωπεύει αναγωγικές συνθήκες έχει αρνητική τιμή.

Ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα (E.C.)

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού αναφέρεται στην ικανότητά του να μεταφέρει – άγει ηλεκτρικά φορτία. Ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα (E.C.) ορίζεται ως η αγωγιμότητα ενός cm^3 νερού στη θερμοκρασία των 25^0C. Είναι το αντίστροφο της ηλεκτρικής αντίστασης και επειδή οι τιμές της είναι πολύ μικρές σαν μονάδα μέτρησης χρησιμοποιείτε το μS cm^{-1} (microSiemens ανά cm). Παράγοντες που επηρεάζουν την ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι η συγκέντρωση των διαφόρων ιόντων στο νερό που αύξησή της συγκέντρωσής τους προκαλεί αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, η ευκινησία τους το σθένος τους και η θερμοκρασία. Όσον αφορά τον τελευταίο παράγοντα αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1^oC προκαλεί αύξηση της αγωγιμότητας κατά 2% περίπου (Καλλέργης, 2000).

Γνωρίζοντας την τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας μπορεί να εκτιμηθεί η τιμή των ολικών διαλυμένων στερεών (T.D.S.) σύμφωνα με την εξίσωση:

$$T.D.S. = Ke \times E.C.$$

Όπου το Ke παίρνει τιμές από 0.55 – 0.80 ανάλογα με τις συνθήκες.

Ολικά διαλυμένα στερεά (T.D.S.)

Τα ολικά διαλυμένα στερεά δείχνουν την συνολική συγκέντρωση διαλυμένων στο νερό αλάτων, η οποία κυμαίνεται μεταξύ 100-100000 mg/l (συνήθως είναι μικρότερη των 500 mg/l). Στο T.D.S. δεν περιλαμβάνονται τα αιωρούμενα ιζήματα, τα κολλοειδή και τα διαλυμένα αέρια και αποτελεί ασφαλή δείκτη της μεταλλικότητας των υπόγειων νερών. Η συγκέντρωση και το είδος των διαλυμένων αλάτων εξαρτάται από τη φύση των πετρωμάτων, την ταχύτητα ροής και το χρόνο παραμονής του υπόγειου νερού. Κατά κανόνα τα υπόγεια νερά παρουσιάζουν υψηλότερη συγκέντρωση διαλυμένων αλάτων από τα επιφανειακά νερά γιατί τα πρώτα βρίσκονται για μεγαλύτερο χρόνο σε επαφή με ευδιάλυτα υλικά στα γεωλογικά στρώματα (Καλλέργης, 2000).

Στον παρακάτω πίνακα 3.1. δίνονται οι χαρακτηρισμοί του υπόγειου νερού σε σχέση με τα ολικά διαλυμένα στερεά (T.D.S.) με βάση την ταξινόμηση κατά Davis – De Wiest (1966).

Πίνακας 3.1.: *Χαρακτηρισμός του υπόγειου νερού με βάση τα ολικά διαλυμένα στερεά (T.D.S.) (Davis – De Wiest, 1966)*

Ολικά διαλυμένα στερεά (T.D.S.) (mg/l)	Χαρακτηρισμός Νερού
0 - 1000	γλυκό
1000 - 10000	Υφάλμυρο ή γλυφό
10000 - 100000	Αλμυρό
> 100000	Σαλαμούρα

Σκληρότητα

Η σκληρότητα του νερού προέρχεται από την παρουσία σ' αυτό δισθενών μεταλλικών κατιόντων ασβεστίου και μαγνησίου, που αντιδρούν με το σαπούνι, σχηματίζοντας ίζημα (Καλλέργης, 2000). Η σκληρότητα διακρίνεται σε παροδική (carbonate hardness), η οποία οφείλεται στη διάλυση όξινων ανθρακικών αλάτων ασβεστίου και μαγνησίου και σε μόνιμη (non carbonate hardness) που οφείλεται στη διάλυση θειικών και χλωριούχων αλάτων ασβεστίου και μαγνησίου. Το άθροισμα της παροδικής και της μόνιμης σκληρότητας αποτελεί την ολική σκληρότητα (total hardness). Η ολική σκληρότητα μετριέται είτε απ' ευθείας με τη μέθοδο της τιτλοδότησης είτε υπολογίζεται σύμφωνα με τις συγκεντρώσεις των ιόντων ασβεστίου και μαγνησίου με τον ακόλουθο τύπο:

$$Hτ=2.5Ca + 4.1Mg$$

Η σκληρότητα εκφράζεται σε ισοδύναμο $CaCO_3$ σε mg l^{-1} αλλά και σε βαθμούς σκληρότητας. Επειδή όμως οι διάφορες χώρες (Γαλλία, Αγγλία, Αμερική, Γερμανία, Ρωσία) ανέπτυξαν η κάθε μία δικούς τους βαθμούς μέτρησης σκληρότητας, εγκαταλείφθηκε αυτός ο τρόπος παρουσίασης της σκληρότητας και επικράτησε αυτός του ισοδύναμου $CaCO_3$ σε mg l^{-1}.

Στον πίνακα 3.2. που ακολουθεί δίνονται οι χαρακτηρισμοί του υπόγειου νερού σε σχέση με την ολική σκληρότητα σύμφωνα με την ταξινόμηση κατά Sawyer et.al. (1994).

Πίνακας 3.2.: *Χαρακτηρισμός του υπόγειου νερού με βάση την ολική σκληρότητα (Sawyer et.al, 1994).*

Ολική Σκληρότητα mg/l $CaCO_3$	**Χαρακτηρισμός Νερού**
0 - 75	Μαλακό
75 - 150	Μέτρια σκληρό
150 - 300	Σκληρό
> 300	Πολύ σκληρό

Αλκαλικότητα

Αλκαλικότητα είναι η ικανότητα του νερού να εξουδετερώνει οξέα και οφείλεται στην παρουσία των όξινων ανθρακικών (HCO_3^-), των ανθρακικών (CO_3^{2-}) και των υδροξυλιακών ιόντων (OH^-) στο νερό. Το μεγαλύτερο μέρος των ανθρακικών και δισανθρακικών ιόντων στα υπόγεια νερά προέρχεται από τη διάλυση των ανθρακικών πετρωμάτων, η οποία διευκολύνεται από το διοξείδιο του άνθρακα, το οποίο το νερό προσλαμβάνει από την ατμόσφαιρα και το έδαφος (Καλλέργης, 2000). Έτσι τα όξινα ανθρακικά ιόντα παρουσιάζονται σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό έναντι των άλλων ιόντων. Εξαιτίας των παραπάνω η μετρούμενη αλκαλικότητα εκφράζεται σε mg l^{-1} ισοδύναμου $CaCO_3$. Ο προσδιορισμός της αλκαλικότητας εργαστηριακά επιτυγχάνεται με τιτλοδότηση με διάλυμα H_2SO_4.

Οξύτητα

Είναι η ικανότητα του νερού να αντιδρά με ιόντα υδροξυλίου. Οξύτητα (pH<7) προσδίδουν στο νερό η ύπαρξη διαλυμένου CO_2, η ύπαρξη H_2SO_4 ή HCl στην περίπτωση που το υπόγειο νερό κυκλοφορεί σε ηφαιστειακά πετρώματα ή η περιοχή παρουσιάζει ηφαιστειακή ατμιδική δράση και επίσης το μετεωρικό νερό σε περιοχές που η ατμόσφαιρα περιέχει υψηλά ποσοστά από τις πιο πάνω ενώσεις, λόγω υψηλής ρύπανσης (Καλλέργης, 2000).

3.3. Κινητικότητα χημικών στοιχείων στα διαλύματα

3.3.1. Εισαγωγή

Ο όρος ευκινησία ενός στοιχείου εκφράζει την ευκολία με την οποία μπορεί να διασπαρεί το στοιχείο, σε σχέση προς την κύρια μάζα άλλων υλικών που το περιβάλλουν (Rose et al, 1979 – Levinson, 1980). Η πρώτη μέθοδος υπολογισμού της ευκινησίας των στοιχείων χρησιμοποιήθηκε από τον Perel'man. Υπολογίστηκε ο συντελεστής της υδάτινης μετανάστευσης K που εκφράζει το λόγο του περιεχόμενου του στοιχείου στα διαλυμένα στερεά μιας επιφάνειας ή υπόγειου νερού προς το περιεχόμενό του στο πέτρωμα.

Η σχέση είναι:

$$K = 100M/a \cdot N$$

όπου M: η συγκέντρωση του στοιχείου στο νερό εκφρασμένη σε mg l^{-1}.

a: το ολικό ορυκτολογικό υπόλοιπο στο νερό (%).

N: η συγκέντρωση του στοιχείου στα πετρώματα.

Παρακάτω δίνονται οι πίνακες 7.1. και 7.2. με την σχετική ευκινησία των στοιχείων σε διάφορες συνθήκες περιβάλλοντος.

Πίνακας 3.3.: *Σχετικές ευκινησίες διαφόρων στοιχείων στο υδάτινο δευτερογενές περιβάλλον. Δεδομένα βασισμένα στον Perel'man.*

ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΕΥΚΙΝΗΣΙΕΣ	**ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**		
	Οξειδωτικές (pH > 4)	**Αναγωγικές χωρίς H_2S**	**Αναγωγικές με H_2S**
Πολύ ευκίνητα K = 10 - 100	S, Cl, Br, I, B, He, Rn	Cl, Br, I, B, He, Rn	Cl, Br, I, B, He, Rn
Ευκίνητα K = 10	Ca, Na, Mg, F, Sr, Zn, U, Mo, V, Se, Te, Re	Ca, Na, Mg, F, Sr, Mn^{2+}, Zn, Cu, Ni, Pb, Cd	Ca, Na, Mg, F, Sr
Ελαφρώς ευκίνητα K = 0.1 – 1.0	Si, K, Mn, P, Ba, Li, Rb, Cs, Pb, Ni, Cu, Co, As, Cd, Ti, Ra, Hg, Ag	Fe^{2+}, Co, Hg, Ag, Si, K, P, Ba, Li, Rb, Cs, As, Ti, Ra, Hg, Ag	Si, K, P, Ba, Li, Rb, Cs, Ti, Ra
Δυσκίνητα K = < 0.1	Fe	U, Mo, V, Se, Te, Re	S, V, Mo, Se, Te, U, Re, Mn, Zn, Cu, Ni, Pb, Cd, Fe, Co, As, Hg, Ag

Πίνακας 3.4.: *Κατάταξη στοιχείων του περιοδικού πίνακα που παρουσιάζουν περιβαλλοντικό ενδιαφέρον σύμφωνα με την κινητικότητά τους σε διάφορες συνθήκες Eh – pH του εδάφους (Smith and Huyck, 1999).*

ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑ	**ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**				
	Eh > 0 pH < 3	**Eh > 0 pH > 5 – 7 Χωρίς Fe**	**Eh > 0 pH > 5 – 7 Με Fe**	**Eh < 0 pH > 5**	**Eh < 0 pH > 5 Με HS**
Πολύ υψηλή	S, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Rn, Cl	S, Zn, Cd, Rn, Cl	S, Cl	Cl	Cl
Υψηλή	Na, Mg, K, Ca, Al, Si,P, Mn, Fe, As, Se, Sr, Hg, REE	Na, Mg, Ca, Se, Sr, Mo	Na, Mg, Ca, Sr, Zn, Cd	Na, Mg, Ca, Sr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb	Na, Mg, Ca, Sr, Mn
Μέση	Cr, Pb, Ag, Au, Mo, Sb, Bi	K, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Si, P, As, Pb, Bi, REE	K, Mn, Co, Ni, Si, Bi	K, Cr, Co, Si,P, As, Hg	K, Si, P
Χαμηλή	Zr, Nb, Sn	Fe, Al, Sc, Ti, Zr, Nb, Sn, Ag, Au	Fe, Al, P, Cu, Pb, Sc, Ti, V, Cr, Zr, Nb, Mo, Sn, Ag, Au, REE	Al, Sc, Ti, V, Zr, Nb, Mo, Sn, Sb, Ag, Au, Bi, REE	S, Al, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd, Sc, Ti, V, Zr, Nb, Mo, Au, Bi, REE

3.3.2. Παράγοντες που ελέγχουν την ευκινησία των στοιχείων

Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την ευκινησία ενός χημικού στοιχείου είναι : η διαλυτότητα του στοιχείου σε υδατικά διαλύματα, το pH, το Eh και η προσρόφηση στην επιφάνεια σωματιδίων.

Διαλυτότητα

Στο επιφανειακό περιβάλλον η ευκινησία ενός στοιχείου χαρακτηρίζεται από τη μεταφορά του σε υδατικά διαλύματα (Rose et al, 1979) . Η ευκινησία σε τέτοια διαλύματα καθορίζεται μέσω του ιοντικού δυναμικού που εκφράζεται ως ο λόγος του φορτίου του στοιχείου προς την ιοντική ακτίνα.

Επομένως:

- Στοιχεία με χαμηλό ιοντικό δυναμικό όπως το Ca και το Na είναι διαλυτά σαν απλά κατιόντα.

- Στοιχεία με πολύ υψηλό ιοντικό δυναμικό έλκουν ιόντα οξυγόνου με αποτέλεσμα να σχηματίζουν διαλυτά οξυ-ανιόντα όπως PO_4^{3-}, SO_4^{2-}, MoO_4^{2-}.

- Στοιχεία με ενδιάμεσο ιοντικό δυναμικό είναι αδιάλυτα εξαιτίας της πολύ χαμηλής διαλυτότητας και λόγω της ισχυρής προσρόφησης σε διάφορες επιφάνειες (Al, Ti, Sn).
- Μεταβατικά στοιχεία όπως ο Fe, Cu, Cr, Ag είναι λιγότερο διαλυτά και προσροφώνται σε διάφορες επιφάνειες όπως αργιλικών ορυκτών περισσότερο σε σχέση με τα μη μεταβατικά στοιχεία που έχουν όμοιο φορτίο και ιοντική ακτίνα.
- Σε διαφορετική ευκινησία καταλήγουν οι διαφορετικές καταστάσεις σθένους όπως για παράδειγμα ο Fe^{2+} και ο Fe^{3+}.

Συγκέντρωση του ιόντος υδρογόνου – pH

Ένας μεγάλος αριθμός μεταλλικών στοιχείων είναι πολύ ευδιάλυτος σε όξινα διαλύματα και αποτίθενται σαν οξείδια ή υδροξείδια με αύξηση του pH. Όσον αφορά τα αλκάλια και τις αλκαλικές γαίες είναι ευδιάλυτα σε όλο το εύρος των κανονικών τιμών του pH (Hawkes – Webb, 1962 – Rose et al, 1979).

Δυναμικό οξειδοαναγωγής – Eh

Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει την ευκινησία των στοιχείων είναι η συγκέντρωση των ηλεκτρονίων στο περιβάλλον διάλυμα. Ο ρόλος του συγκεκριμένου παράγοντα είναι πολύ σημαντικός διότι πολλά στοιχεία απαντούν σε περισσότερες από μία καταστάσεις σθένους με αποτέλεσμα οι ιδιότητές τους να αλλάζουν σημαντικά τόσο στα διαλύματα όσο και στα στερεά από το ένα σθένος στο άλλο. Η συγκέντρωση αυτή των ηλεκτρονίων εκφράζεται και μετράται σαν δυναμικό οξειδοαναγωγής. Στη γεωχημεία υψηλές τιμές Eh δείχνουν οξειδωτικό σύστημα ενώ χαμηλές τιμές Eh δείχνουν αναγωγικό σύστημα (Κελεπερτζής, 1993).

Προσρόφηση

Μια άλλη διαδικασία που επηρεάζει την ευκινησία των στοιχείων είναι η προσρόφηση και η ανταλλαγή ιόντων που έλκονται στην επιφάνεια ή στο πλέγμα των κολλοειδών σωματιδίων με διάμετρο 10 – 10000 Å (10^{-7} – 10^{-4} cm). Τα ιόντα που προσροφώνται στις επιφάνειες των κολλοειδών είναι σε ενεργή ισορροπία με το περιβάλλον διάλυμα, αλλά με το πέρασμα του χρόνου τα ιόντα αυτά μπορούν είτε να μετακινηθούν σε θέσεις πλέγματος είτε να ενσωματωθούν στο ορυκτό που τα φιλοξενεί. Η προσρόφηση λαμβάνει χώρα σε αργιλικά ορυκτά, οξείδια και υδροξείδια του Fe, Mn, Al, στην οργανική ύλη, στο SiO_2 κ.α. Τα αργιλικά

ορυκτά κυρίως ο μοντμοριλλονίτης, βερμικουλίτης και η οργανική ύλη έχουν τις μεγαλύτερες ικανότητες ιοντοανταλλαγής (Fergusson,1990).

3.3.3. Προέλευση και συμπεριφορά διαλυμένων ιόντων σε φυσικά νερά

3.3.3.1. Κύρια ιόντα

Θετικά φορτισμένα ιόντα (κατιόντα) τα οποία βρίσκονται στα φυσικά νερά σε συγκεντρώσεις της τάξης των mg/ L περιλαμβάνουν τα Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+} ,K^{+}. Κύρια πηγή προέλευσης του ασβεστίου (Ca) είναι τα ανθρακικά ιζηματογενή πετρώματα (ασβεστόλιθοι, δολομίτες) και τα μάρμαρα. Επίσης προέρχεται από τους ασβεστονατριούχους άστριους, τη γύψο, τους πυρόξενους, τους αμφιβόλους, καθώς και σε ορυκτά της ομάδας του επίδοτου. Το μαγνήσιο απαντάται σε σιδηρομαγνησιούχα ορυκτά όπως ο ολιβίνης, στους αμφίβολους και πυρόξενους. Επίσης στα ανθρακικά πετρώματα, στα οποία είναι περισσότερο άφθονο όταν περιέχουν μαγνησίτη ($MgCO_3$) και δολομίτη ($CaCO_3$. $MgCO_3$). Προέρχεται και από τη διάλυση αργιλικών ορυκτών, όπου βρίσκεται προσροφημένο στο πλέγμα τους. Το νάτριο προέρχεται από άστριους (αλβίτης), αργιλικά ορυκτά και εβαπορίτες (αλίτης). Επίσης απαντά και στους νατριούχους αμφίβολους (γλαυκοφανής). Οι αργιλικοί σχιστόλιθοι ακόμα μπορούν να τροφοδοτήσουν το υπόγειο νερό με μεγάλη περιεκτικότητα νατρίου. Παρουσία νατρίου στο υπόγειο νερό μπορεί να οφείλεται στην διείσδυση θαλασσινού νερού ή σε αερομεταφερόμενα σταγονίδια από τη θάλασσα. Επιπλέον μια πιθανή προέλευση είναι τα βιομηχανικά απόβλητα. Πηγή προέλευσης του καλίου είναι οι άστριοι (ορθόκλαστο, μικροκλινής), αστριοειδή, μαρμαρυγίες. Απαντά επίσης σε αργιλικά ορυκτά και σε εβαπορίτες (συλβίνης). Το κάλιο σχετίζεται επίσης και με καλιούχα λιπάσματα.

Τα κυριότερα αρνητικά φορτισμένα ιόντα των φυσικών νερών είναι τα HCO_3^{-}, Cl^{-} , SO_4^{2-}, NO_3^{-} , NO_2^{-}, PO_4^{3-}. Το όξινο ανθρακικό ιόν είναι το επικρατέστερο ανιόν στα γλυκά υπόγεια νερά. Προέρχεται από το CO_2 της ατμόσφαιρας, σύμφωνα με την αντίδραση:

$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O \rightarrow Ca^{2+} + 2(HCO_3^{-})$$

Επίσης προέρχονται από τη διάλυση των ανθρακικών πετρωμάτων από το νερό:

$$CaCO_3 + H^+ \rightarrow Ca^{2+} + HCO_3^-$$

Κύρια προέλευση του χλωρίου είναι τα ιζηματογενή πετρώματα, που περιέχουν αργιλικά ορυκτά θαλάσσιας γένεσης, καθώς και οι εβαπορίτες. Άλλη πηγή αποτελεί η διείσδυση της θάλασσας στους παράκτιους υδροφόρους όπως και η μεταφορά λόγω ανέμων σταγονιδίων από τη θάλασσα στο εσωτερικό της χέρσου. Η παρουσία του χλωρίου στο υπόγειο νερό μπορεί να οφείλεται από τη χρήση λιπασμάτων, λύματα και βιομηχανικά απόβλητα. Κύρια προέλευση των θειϊκών ανιόντων είναι η διάλυση της γύψου και του ανυδρίτη, σύμφωνα με τις αντιδράσεις:

$$CaSO_4\ 2H_2O\ _{(s)} \leftrightarrow Ca^{2+} + SO_4^{2-} + 2H_2O$$

$$CaSO_{4\ (s)} \leftrightarrow Ca^{2+} + SO_4^{2-}$$

Άλλη πηγή προέλευσης είναι η οξείδωση θειούχων ενώσεων και η χρήση θειϊκών λιπασμάτων τύπου $(NH_4)_2SO_4$ σύμφωνα με τις παρακάτω αντιδράσεις:

$$FeS_2 + 15/4O_2 + 7/2H_2O \rightarrow Fe(OH)_3 + 2SO_4^{2-} + 4H^+$$

$$(NH_4)_2SO_4 + 2H_2O \rightarrow 2NH_4OH + 2H^+ + SO_4^{2-}$$

Παρουσία οργανικής ύλης τα SO_4^{2-} μπορεί να αναχθούν, κυρίως σε υδρόθειο (H_2S), το οποίο έχει δυσάρεστη οσμή, σύμφωνα με την αντίδραση:

$$SO_4^{2-} + 2CH_2O \rightarrow H_2S + 2HCO_3^-$$

Τα νιτρικά ιόντα είναι το τελικό προϊόν της φυσικής αποσύνθεσης οργανικών αζωτούχων ενώσεων, όπως φυτικής και ζωικής πρωτεΐνης. Μπορεί να προέρχεται από ζωικά περιττώματα, αζωτούχα λιπάσματα, προϊόντα αποσύνθεσης οργανικών λιπασμάτων και φυτικών υπολειμμάτων προηγούμενων καλλιεργειών. Η οξείδωση του ιόντος NH_4^+ που προκύπτει από την αποσύνθεση πραγματοποιείται σε δύο στάδια με τη βοήθεια μικροοργανισμών:

$$2NH_4^+ + 2OH^- + 3O_2 \rightarrow 2NO_2^- + 2H^+ + 4H_2O$$

$$2NO_2^- + O_2 \rightarrow 2NO_3^-$$

Μεγάλη περιεκτικότητα σε νιτρικό ανιόν υποδηλώνει την παρουσία βιολογικών ρύπων.

Το νιτρώδες ιόν (NO_2^-) εμφανίζεται ως ένα ενδιάμεσο στάδιο της βιολογικής ανασύνθεσης από ενώσεις που περιέχουν οργανικό άζωτο και είναι εξαιρετικά ασταθές. Η αμμωνία μετατρέπεται κάτω από αερόβιες συνθήκες σε νιτρώδη με τη βοήθεια βακτηριδίων. Η παρουσία νιτρωδών αλλά και αμμωνίας υποδηλώνει ρύπανση από λύματα. Στα επιφανειακά νερά η παρουσία των νιτρωδών ιόντων είναι περιορισμένη γιατί οξειδώνονται σε νιτρικά με την παρουσία φωτός και βακτηριδίων. Κύρια φυσική πηγή προέλευσης PO_4^{3-} είναι ο απατίτης. Επιπλέον βρίσκονται στο υπόγειο νερό, ανάλογα με την τιμή του pH με διάφορες μορφές: $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-}, PO_4^{3-}. Η παρουσία τους επίσης σχετίζεται με τη χρήση φωσφορικών λιπασμάτων στη γεωργία, καθώς και με τη ρύπανση από αστικά λύματα. Μαζί με τα νιτρικά αποτελούν τους σπουδαιότερους παράγοντες δημιουργίας φαινομένων ευτροφισμού.

3.3.3.2. Αντιμόνιο (Sb) και αρσενικό (As)

Ιδιαίτερη σημασία στην παρούσα έρευνα δίνεται στα μεταλλοειδή στοιχεία Sb και As τα οποία πιθανά αποτελούν τις πλέον τοξικές ουσίες που υποβαθμίζουν την ποιότητα των νερών της περιοχής μελέτης. Τα χαρακτηριστικά και η συμπεριφορά τους στα φυσικά νερά με βάση βιβλιογραφικά δεδομένα συνοψίζονται στη συνέχεια.

Αρσενικό και αντιμόνιο εμφανίζονται σε ιχνοποσότητες στην ατμόσφαιρα, το γήινο φλοιό και τον έμβιο κόσμο. Κύρια προέλευσή τους αποτελούν ορυκτά και πετρώματα που συνδέονται με ζώνες θειούχου μεταλλοφορίας ή υδροθερμικής δραστηριότητας. Το κύριο αυθιγενές ορυκτό του αρσενικού είναι ο αρσενοπυρίτης (FeAsS), ενώ το κύριο θειούχο ορυκτό του αντιμονίου είναι ο αντιμονίτης (Sb_2S_3). Και τα δύο στοιχεία ανήκουν χημικά στην ομάδα των μεταλλοειδών και παρουσιάζουν ιδιόμορφη χημική συμπεριφορά ως προς τη διαλυτότητα και την κινητικότητά τους στο περιβάλλον. Το αρσενικό εμφανίζεται με σθένη –3, 0, 3 και 5, με κύριες μορφές εμφάνισης στα φυσικά νερά την τρισθενή (arsenite) και την πεντασθενή (arsenate), ενώ το αντιμόνιο κυρίως με σθένη -3, 3 και 5 (Alloway, 1990).

Η κατάσταση σθένους σχετίζεται με την τοξικότητα των δύο στοιχείων με την τρισθενή μορφή να θεωρείται πιο τοξική. Ιδιαίτερη σημασία για τη δέσμευση των δύο στοιχείων έχουν τα προϊόντα εξαλλοίωσης των ορυκτολογικών φάσεων, δηλαδή τα οξείδια σιδήρου, μαγγανίου και τα αργιλικά ορυκτά (Korte et al,1991 and Belzile et al, 2000). Η μέχρι σήμερα έρευνα σχετικά με τους παράγοντες που επιδρούν στην κινητικότητα του αρσενικού και του αντιμονίου

και επομένως στη συγκέντρωσή τους στο υπόγειο νερό υποδεικνύει ότι το δυναμικό οξειδοαναγωγής (Eh) και το pH παίζουν τον κυρίαρχο ρόλο στην απελευθέρωση των δύο στοιχείων στο νερό. Έτσι, το αρσενικό και ειδικά με την πεντασθενή μορφή του ελευθερώνεται από τη στερεά φάση στο διάλυμα σε υψηλό pH (>8.5) καθώς επίσης σε ουδέτερο pH όταν επικρατούν αναγωγικές συνθήκες, οπότε το αρσενικό εμφανίζεται με την ασθενέστερα συγκρατούμενη τρισθενή μορφή του. Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την κινητικότητα του αρσενικού περιλαμβάνουν την παρουσία φωσφορικών, δισανθρακικών, πυριτικών ιόντων και οργανικής ύλης καθώς είναι δυνατό να δρουν ανταγωνιστικά για τις θέσεις συγκράτησης στη στερεά φάση (Smedley & Kinniburgh, 2001).

Το αντιμόνιο σε ουδέτερο pH μπορεί να εμφανίζεται στο διάλυμα με την πεντασθενή ή την τρισθενή μορφή του σε οξειδωτικές ή αναγωγικές συνθήκες αντίστοιχα. Υπό αναγωγικές συνθήκες, χαμηλό pH και παρουσία θείου σχηματίζεται αντιμονίτης, ενώ σε υψηλότερο pH αυτός αντικαθίσταται από ιόντα SbS_2^- (Filella et al, 2002). Η ακριβής κυρίαρχη μορφή εμφάνισης του αντιμονίου στα φυσικά νερά δεν έχει ακόμη επιβεβαιωθεί, αλλά υπάρχουν ενδείξεις ότι αυτό εμφανίζεται με τη λιγότερο τοξική πεντασθενή μορφή του. Η μορφή αυτή ωστόσο είναι δυνατό να επιδρά στην τοξικότητα του αρσενικού και να προάγει την καρκινογένεση.

Με βάση τα αποτελέσματα της επιστημονικής έρευνας ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO) έχει συστήσει από το 1993 την ελάττωση του μέγιστου επιτρεπτού ορίου συγκέντρωσης αρσενικού στο νερό από τα 50 μg l^{-1} σε 10 μg l^{-1}. Το όριο αυτό ενδέχεται να ελαττωθεί περισσότερο με την εξέλιξη των αναλυτικών μεθόδων προσδιορισμού του στοιχείου στο νερό. Η συγκέντρωση των 10 μg l^{-1} αποτελεί επίσης τη μέγιστη αποδεκτή τιμή στην Ευρωπαϊκή Ένωση (Council of the European Union, 1998) και στις ΗΠΑ (USEPA, 2001). Το προτεινόμενο μέγιστο επιτρεπτό όριο συγκέντρωσης του αντιμονίου στο πόσιμο νερό έχει καθοριστεί από τον WHO σε 5 μg l^{-1}.

Έρευνες σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των υψηλών συγκεντρώσεων αρσενικού σε εδάφη, ιζήματα και φυσικά ύδατα που συνδέονται με την παρουσία και την εξόρυξη θειούχου μεταλλοφορίας έχουν εκπονηθεί σε διάφορα μέρη του κόσμου όπως στην Ταϊλάνδη (Williams, 1997), Γκάνα (Bowell, 1993 and Smedley et al, 1996), ΗΠΑ (Welch et al., 2000) και την Ελλάδα (Komnitsas et al, 1995). Παρά την κεκτημένη γνώση επί του πεδίου έρευνας, ο μηχανισμός της διασποράς της ρύπανσης είναι δυνατό να διαφέρει ανάλογα με τις

εκάστοτε γεω-περιβαλλοντικές συνθήκες, έτσι κάθε περίπτωση πρέπει να εξετάζεται στα πλαίσια του συγκεκριμένου γεωλογικού περιβάλλοντος.

Ειδικότερα για τη συμπεριφορά του Sb σε χερσαία συστήματα και υδατικά διαλύματα αναφέρεται ότι οι καταστάσεις σθένους 3+ και 5+ είναι συνηθισμένες σε είδη πολύπλοκων ενώσεων και ευδιάλυτων αλάτων (Cox, 1997). Εξαιτίας των πολλαπλών οξειδωτικών καταστάσεων του Sb και της τάσης να σχηματίζει διαλυμένα σύμπλοκα και πολύπλοκες ενώσεις η γεωχημεία του είναι περίπλοκη και όχι καλά μελετημένη. Στον Πίνακα 3.5. φαίνεται η συγκέντρωση του αντιμονίου στα χερσαία συστήματα (Filella et al, 2002).

Πίνακας 3.5.: *Συγκέντρωση του αντιμονίου στα χερσαία συστήματα (Filella et al., 2002).*

Υλικό	**Συγκέντρωση Sb σε ppm**
Χονδρίτες	0.1
Μέσος φλοιός	0.2
Ανώτερος φλοιός	0.31
Κατώτερος φλοιός	0.3
Βασάλτης	0.15
Γρανιτικά πετρώματα	0.2
Ιζηματογενή πετρώματα	1-2
Ανθρακικά ορυκτά	0.2
Άργιλοι βαθέων θαλασσών	1

Το αντιμόνιο σχηματίζει ποικιλία ενώσεων ως Sb^{3+} και ως Sb^{5+}, θειούχα ορυκτά και θειοάλατα. Τα κυριότερα ορυκτά του αντιμονίου είναι ο στιβνίτης ή αντιμονίτης (Sb_2S_3), ο τετραεδρίτης ($Cu_{12}Sb_4S_{13}$), ο βουλανζερίτης ($Pb_5Sb_4S_{11}$) και ο πυραργυρίτης (Ag_3SbS_3). Τα πιο συνηθισμένα ορυκτά του αντιμονίου που προέρχονται από οξείδωση θειούχων ενώσεων και θειοαλάτων είναι κυρίως ο στιβικονίτης ($Sb_3O_6(OH)$) και ο κερμεσίτης (Sb_2OS_2) . Επίσης συναντάται μαζί με τον σφαλερίτη, σιδηροπυρίτη, γαληνίτη ενώ έχουν βρεθεί ελάχιστα ποσά σε αποθέσεις Hg.

Τα ιόντα του Sb προσροφώνται από ένυδρα οξείδια του σιδήρου, από αργιλικά ορυκτά και από την οργανική ύλη. Γενικά το Sb θεωρείται αρκετά δυσκίνητο στοιχείο τόσο σε όξινο όσο και σε αλκαλικό περιβάλλον.

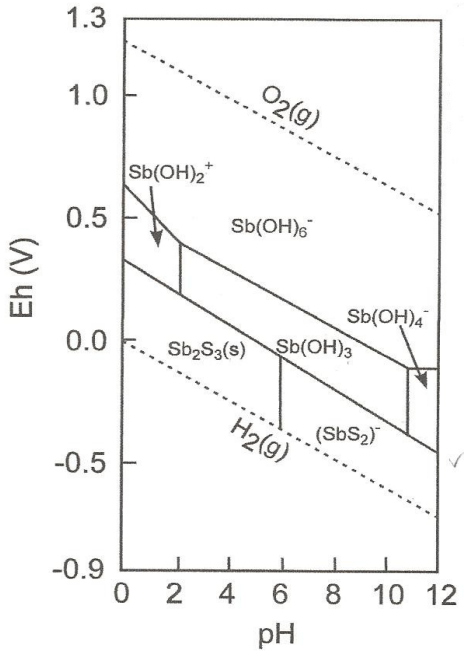
Οι μορφές που το Sb συναντάται στη φύση είναι οι εξής (Alloway, 1990):

- Ως στοιχείο, Sb(0). Το αντιμόνιο έχει σχετικά χαμηλή πτητικότητα.
- Ως υδρίδιο SbH_3. Αυτή η ένωση είναι αέριο πολύ ασταθές.
- Ως πτητική ένωση. Ένας αριθμός ενώσεων του αντιμονίου εμφανίζει πτητικότητα σε θερμοκρασία $<400^0$C όπως $SbCl_3$, Sb_2O_3, Sb_2S_3 και άλλα. Η υγροποίηση των ατμών ή οι αντιδράσεις με στοιχεία ή ενώσεις σε πετρώματα ξενιστές, ή σε υπόγεια νερά μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την καθίζηση πολλών ορυκτών του αντιμονίου.
- Ως χλωρίδιο, $SbCl_3$. Αυτή η ένωση είναι άκρως πτητική και όταν υδρολύεται παράγει SbOCl. Έτσι λοιπόν το αντιμόνιο μπορεί να εμφανίζεται με τη μορφή χλωριδίου ή ως ποικιλία πολύπλοκων ενώσεων του χλωρίου του τύπου $(SbCl_6)^{3-}$. Η αντίδραση των όξινων διαλυμάτων των χλωριδίων του αντιμονίου παράγει στιβνίτη.
- Ως θειϊκό, $Sb_2(SO_4)_3$. Είναι σχετικά ασταθής σε νερά άλλα μπορεί να υπάρχει σε χαμηλές θερμοκρασίες σε μερικά υδροθερμικά διαλύματα με τη μορφή πολύπλοκων ενώσεων.
- Ως πολυμερικά thioantimonites $(SbS_2)^-$ και thiantimonates. Αυτές οι ενώσεις κυμαίνονται από $(SbS_2)^-$ έως $(Sb_{14}S_{27})^{n-}$. Συνδέονται με διάφορα μέταλλα σχηματίζοντας πολύπλοκες ενώσεις. Τα περισσότερα από αυτά τα πολύπλοκα πολυμερή είναι σταθερά μόνο σε ουδέτερα και αλκαλικά μέσα, τα περισσότερο διαλυτά είναι εκείνα που περιέχουν Ca και Mg. Ο στιβνίτης όταν διαλυθεί σε αλκαλικά θειούχα διαλύματα δίνει πολυμερή θειοειδή.
- Ως ποικιλία ειδών αντιμονίου, αντιμονικώδη *antimonites* (Sb^{3+}) και αντιμονικά *antimonates* (Sb^{5+}). Σε όξινα μέσα τα είδη του Sb(3+) μπορούν να χαρακτηριστούν ως $[Sb(OH)_2]^+$. Σε αλκαλικά μέσα τα αντιμονικώδη και τα αντιμονικά ιόντα είναι αντιστοίχως $[Sb(OH)^4]^-$ και $[Sb(OH)_6]^-$. Σε ενδογενή περιβάλλοντα με χαμηλή οξείδωση είναι πιθανόν τα είδη του Sb(3+) να επικρατούν. Αν η οξείδωση είναι υψηλή τότε τα είδη του Sb(5+) είναι πιο σταθερά. Τα θειούχα ιόντα (H_2S, alkali sulphides κά) και πιθανά επίσης και πολυμερή θειούχα ιόντα αποθέτουν στιβνίτη, θειοάλατα του αντιμονίου από διαλύματα που περιέχουν αντιμονικώδη και αντιμονικά ιόντα σε όξινες συνθήκες. Πολύπλοκες αντιδράσεις μεταξύ των ειδών Sb(3+), Sb(5+), θειούχων ιόντων, πολυμερών θειούχων ιόντων, σιδήρου, χαλκού, άργυρου και άλλων στοιχείων δίνουν ποικιλία ορυκτών αντιμονίου όπως τετραεδρίτης κά.

Η πορεία του αντιμονίου κατά τη διάρκεια της οξείδωσης των αντιμονιούχων αποθέσεων έχει μελετηθεί εκτενέστερα από πολλούς συγγραφείς. Η πεντασθενής κατάσταση του αντιμονίου είναι πιο σταθερή σε οξειδωτικά περιβάλλοντα και γίνεται συστατικό σε ένα αριθμό οξειδίων όπως σερβατίτης ($Sb_2O_3.Sb_2O_5$), στιβικονίτης ($Sb_3O_6(OH)$) και ποικίλων πολύπλοκων ενώσεων antimonates (Brookins, 1972).

Η οξείδωση του αυτοφυούς αντιμονίου, του στιβνίτη και ποικιλίας antimonites και θειο-antimonites παράγουν μια ποικιλία ορυκτών Sb που εξαρτάται από τις οξειδοαναγωγικές συνθήκες και την παρουσία δεσμευμένων συστατικών στα οξειδωτικά διαλύματα. Μερικά από αυτά τα ορυκτά είναι: σεναρμοτίτης (Sb_2O_3, κυβικό), βαλεντινίτης (Sb_2O_3, ορθορομβικό), στιβικονίτης ($Sb_3O_6(OH)$), κερμεσίτης (Sb_2OS_2) και πλήθος άλλων antimonites και antimonates. Κιτρινωπές και λευκές ώχρες αντιμονίτη χαρακτηρίζουν τις οξειδωτικές ζώνες πολλών αποθέσεων περιέχοντας άφθονα υπογενή ορυκτά του αντιμονίου. Οι περισσότερες αποθέσεις αντιμονίου περιέχουν σιδηροπυρίτη, μαρκασίτη, πυροτίτη οι οποίες κατά την οξείδωση δίνουν θειϊκές ενώσεις και συνήθως ορισμένα sulpuric οξέα (Alloway, 1990).

Κάτω από όξινες συνθήκες (pH<3) το περισσότερο αντιμόνιο απομακρύνεται από τις αποθέσεις κατά τη διάρκεια οξειδωτικών διαδικασιών με τη μορφή θειϊκών ενώσεων η άλλων πολύπλοκων ενώσεων του Sb^{3+}. Σε υψηλό pH>8 το στοιχείο είναι ευκίνητο κυρίως ως alkali antimonites ή antimonite ειδών. Σε pH που κυμαίνεται από 4 έως 8 το αντιμόνιο συγκρατείται στις οξειδωτικές ζώνες με τη μορφή οξειδίων και ποικίλων antimonites και antimonates και προσροφάται σε αργιλικά ορυκτά, μαύρη ώχρα και άλλα κολλοειδή υλικά (Alloway, 1990). Η Εικόνα 3.2. δείχνει το διάγραμμα του Eh – pH για το σύστημα Sb – S – H_2O με διαλυμένη συγκέντρωση αντιμονίου Sb 10^{-8}mol/l και διαλυμένου θείου 10^{-3}mol/l. Σύμφωνα με το διάγραμμα το αντιμόνιο εμφανίζεται ως διαλυτό με τη μορφή $Sb(OH)_6^-$ σε όξινες συνθήκες και με τη μορφή $Sb(OH)_3$ σε τιμές pH βασικές έως ουδέτερες. Κάτω από αναγωγικές συνθήκες σε χαμηλές έως ενδιάμεσες τιμές pH επικρατεί το Sb_2S_3. Σε υψηλές τιμές είδη της μορφής SbS_2^- αντικαθιστούν τον αντιμονίτη (Filella et al, 2002). Το αντιμόνιο είναι παρόν στο υδάτινο περιβάλλον εξαιτίας της αποσάθρωσης των πετρωμάτων και των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων. Τυπικές συγκεντρώσεις του αντιμονίου σε νερά μη ρυπασμένα είναι της τάξης του 1μg l^{-1}, αλλά λόγω ανθρωπογενών δραστηριοτήτων οι συγκεντρώσεις του μπορούν να φθάσουν και τα 100μg l^{-1} *(Filella et al, 2002)*.



Εικόνα 3.2: *Διαχωρισμός των ειδών του αντιμονίου με βάση το pH (Filella et al, 2002).*

Το ανώτατο όριο ποσιμότητας για το αντιμόνιο η Ευρωπαϊκή Ένωση το ορίζει στα 5μg l^{-1}.

Η συγκέντρωση του αντιμονίου στα ιζήματα και στα εδάφη είναι της τάξης μερικών μg l^{-1}. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις συνδέονται άμεσα με τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες και κυρίως με τις μεταλλευτικές εργασίες. Αυξημένες συγκεντρώσεις έχουν επίσης παρατηρηθεί σε ιζήματα που είναι κοντά σε εκροές λυμάτων από υπόνομους και χρήση λιπασμάτων (Alloway, 1990).

Όσον αφορά την υγεία η έκθεση σε αντιμόνιο κατά τη λήψη του από την στοματική οδό έχει ως αποτέλεσμα να προκληθούν γαστρεντερικές διαταραχές που μπορεί να οδηγήσουν στο θάνατο. Τα συμπτώματα είναι εμετός, διάρροια, λιποθυμία, δυσκολία στην αναπνοή και υποθερμία (Young, 1992). Η είσοδος της σκόνη του αντιμονίου από την αναπνευστική οδό σε εργαζόμενους μεταλλείων για μικρό χρονικό διάστημα μπορεί να προκαλέσει γαστρεντερικούς ερεθισμούς, λαρυγγίτιδα, βρογχίτιδα, πνευμονία (Young, 1992). Εργαζόμενοι μεταλλείων οι οποίοι εισπνέουν σκόνη αντιμονίου για μεγάλο χρονικό διάστημα έχει ως αποτέλεσμα να προκληθεί πνευμονοκονίαση η οποία χαρακτηρίζεται από χρόνιο βήχα και δύσπνοια, χρόνια βρογχίτιδα, χρόνιο εμφύσημα, καρδιακά προβλήματα. Επαγγελματική έκθεση σε σκόνη μεταφερόμενη από τον αέρα έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ρινίτιδας, δερματίτιδας και

οφθαλμικής επιπεφυκίτιδας (ATSDR, 1992). Οι επιδράσεις γίνονται περισσότερο δραστικές σε υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Σχετικά με την πιθανότητα το αντιμόνιο να προκαλεί στον ανθρώπινο οργανισμό καρκίνο η EPA, η DHHS και η IARK δεν το έχουν ταξινομήσει στα καρκινογόνα στοιχεία.

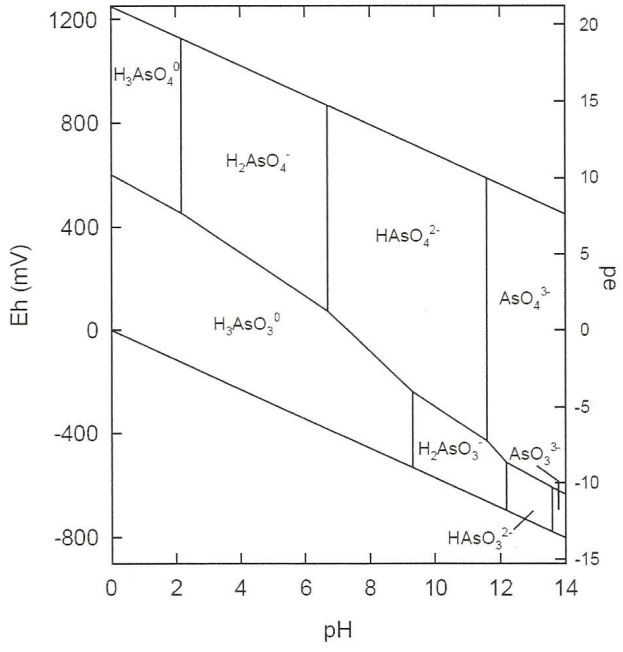
Το αρσενικό είναι ευρύτατα διαδεδομένο στο φλοιό της γης και αποτελεί το κύριο συστατικό περισσότερων από 245 ορυκτά. Έτσι ορισμένες κατηγορίες ειδών που περιέχουν As είναι: arsenous οξέα (As^{3+}), τα arsenic οξέα (As^{5+}), arsenites(As^{3+}), arsenates(As^{5+}), οξείδια του τρισθενούς και πεντασθενούς As, εστέρες των arsenous και arsenic οξέων, σουλφίδια, σουλφοάλατα και οργανικές ενώσεις αρσενικού λόγω μεθυλίωσης (Smedley & Kinniburgh, 2002). Τα κυριότερα ορυκτά του αρσενικού είναι: αρσενοπυρίτης (FeAsS), σανδαράχη (AsS), κοβαλίτης (CoAsS), νικολίτης (NiAs), τεναντίτης $(Cu, Fe)_{12}As_4S_{13}$, εναργίτης (Cu_3AsS_4), αρσενολίτης (As_2O_3), κλαυδετίτης (As_2O_3), σκοροδίτης ($FeAsO_4.2H_2O$), αναβεργίτης ($(Ni,Co)_3(AsO_4)_2.8H_2O$), χορνεσίτης ($Mg_3(AsO_4)_2.8H_2O$), αιματολίτης $(Mn,Mg)_4Al(AsO_4)(OH)_8$, κονικαλσίτης ($CaCu(AsO_4)(OH)$), φαρμακοσιδερίτης ($Fe_3(AsO_4)_2(OH)_3.5H_2O$).

Το As είναι καλός δείκτης για τις διάφορες γεωχημικές έρευνες γιατί χρησιμοποιείται για την εύρεση μεταλλοφόρων αποθέσεων. Συχνά οι ενώσεις του είναι περισσότερο πτητικές και διαλυτές από ότι τα κύρια στοιχεία με τα οποία συνδέεται. Το As είναι ειδικά χρήσιμο για τις αποθέσεις του Au και του Ag αλλά επίσης συνδέεται και με τα στοιχεία Bi, Cd, Co, Cu, Fe, Hg, Mo, Ni, Pb, Pt, Sb, Se, Sn, U, Wn, Zn (Hale, 1981 and Alloway, 1990).

Σε κανονικές οξειδωτικές συνθήκες ευνοείται ο σχηματισμός οξυανιόντων με +5 οξειδωτική κατάσταση. Οι κυμάνσεις του Eh και του pH στα εδάφη μπορούν να οδηγήσουν είτε σε παρουσία As^{3+} είτε σε As^{5+}. Με μικροβιακή δραστηριότητα μπορεί να προκληθεί μεθυλίωση, διμεθυλίωση ή αλλαγή στην οξειδωτική κατάσταση και την παρουσία ειδών του S, αν το οξειδοαναγωγικό δυναμικό είναι αρκετά χαμηλό, ευνοείται ο σχηματισμός των θειούχων αρσενικών ορυκτών. Οποιαδήποτε συγκράτηση του αρσενικού στα εδάφη λαμβάνει χώρα κατά τη διαδικασία της προσρόφησης σε αργιλικά ορυκτά, οξείδια του Fe και του Al και οργανική ύλη (Crecelius et all, 1975). Όσον αφορά την οργανική ύλη το αρσενικό μπορεί να είναι δεσμευμένο σε αυτή και απελευθερώνεται μέσα στα εδαφικά διαλύματα επειδή οξειδώνεται το οργανικό υλικό και έτσι στη συνέχεια απορροφάται από τα φυτά ή δεσμεύεται από τα κατιόντα του εδάφους (Alloway, 1990).

Η αλλαγή στο λόγο του As^{5+}/As^{3+} μπορεί να γίνει σε έναν ανόργανο μηχανισμό με αλλαγές στο pH και το Eh, αλλά η παρουσία των μικροοργανισμών μπορεί να επηρεάσει την πορεία της αντίδρασης. Ειδική μεθυλίωση των οξυανιόντων μπορεί να λάβει χώρα σχηματίζοντας $CH_3AsO(OH)_2$ (monomethylarsonic acid), $(CH_3)_3AsO$ (trimethylarsenic acid), $(CH_3)_2AsO(OH)$ (thimethylarsinic acid), $(CH_3)_3As$ (trimethylarsine), $(CH_3)_2AsH$ (dimethylarsine). Οι βιομεθυλικές αντιδράσεις πραγματοποιούνται και εξαρτώνται από δύο παράγοντες του μικροοργανισμούς και τις ενώσεις του As που εμφανίζονται (Alloway, 1990).

Το As στα εδάφη έχει υψηλή κινητικότητα. Το pH επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την κινητικότητά του. Έτσι σε pH 5,8 το As(5+) είναι ελαφρώς περισσότερο κινητικό από ότι το As(3+). Οι αλλαγές του pH από όξινες σε ουδέτερες και αλκαλικές συνθήκες έχεις ως αποτέλεσμα το As(3+) να τείνει να γίνει περισσότερο κινητικό αν και η κινητικότητα και των δύο σθενών του As αυξάνει όταν αυξάνει το pH (Gebel, 1999). Η εικόνα 3.3 δείχνει το διάγραμμα Eh – pH για τα είδη του αρσενικού στο σύστημα $As – O_2 – H_2O$ στους 25^0C και σε πίεση 1 bar. Έτσι κάτω από οξειδωτικές συνθήκες επικρατεί το $H_2AsO_4^{-1}$ σε χαμηλό pH (λιγότερο από 6.9), ενώ σε μεγαλύτερο pH επικρατεί το $HAsO_4^{-2}$. Σε αναγωγικές συνθήκες σε pH μικρότερο του 9.2 επικρατεί το $H_3AsO_3^0$. Αναγωγικές, όξινες συνθήκες οδηγούν στην καθίζηση του AsS και του As_2S_3 ή άλλων σουλφιδίων που περιέχουν αρσενικό που έχει συγκαθιζήσει (Smedley & Kinniburgh, 2002).



Εικόνα 3.3: *Διαχωρισμός των ειδών του αρσενικού με βάση το pH* (Smedley & Kinniburgh, 2002).

Κάτω από φυσικές συνθήκες το μεγαλύτερο εύρος και οι υψηλότερες συγκεντρώσεις του αρσενικού βρίσκονται στα υπόγεια νερά ως αποτέλεσμα της δυνατής επίδρασης μεταξύ νερού και πετρώματος και εξαιτίας των υπόγειων υδροφορέων όπου με τις φυσικές και γεωχημικές τους ιδιότητες ευνοούν την συγκέντρωση και κινητικότητα του αρσενικού. Το αρσενικό εισάγεται στη ατμόσφαιρα λόγω διάβρωσης από τον άνεμο, από ηφαιστειακές εκπομπές, από την χαμηλής θερμοκρασίας εξαέρωση από τα εδαφικά και θαλάσσια αεροσόλς και επιστρέφει στην επιφάνεια της γης από την υγρή και την ξηρή απόθεση. Οι πιο σπουδαίες ανθρωπογενείς εισαγωγές αρσενικού στην ατμόσφαιρα οφείλονται στη λειτουργία χυτηρίων και στην καύση των fossil – fuel (Smedley & Kinniburgh, 2002).

Συγκεντρώσεις του αρσενικού σε διάφορα υδατικά συστήματα όπως και σε πετρώματα, ιζήματα και εδάφη φαίνονται στους πίνακες 3.6.και 3.7 αντίστοιχα.

Πίνακας 3.6.: *Συγκέντρωση του αρσενικού στα χερσαία συστήματα (*Smedley & Kinniburgh, 2002).

Είδος νερού	**Συγκέντρωση As (μg l^{-1})**
Βρόχινο	< 0.005 - 16
Ποτάμιο	<0.02 - 21800
Λιμναίο	<0.2 - 1000
Θαλασσινό	0.5 – 3.7
Υπόγειο	<0.5 - 480000
Όξινη απορροή	1 - 850000

Το ανώτατο όριο ποσιμότητας για το αρσενικό η Ευρωπαϊκή Ένωση το ορίζει στα 6μgl^{-1}. Όσον αφορά την υγεία οι ανόργανες ενώσεις του αρσενικού είναι περισσότερο βλαβερές για τον ανθρώπινο οργανισμό από ότι οι οργανικές ενώσεις του (ATSDR, 2007). Έκθεση σε υψηλά επίπεδα ανόργανων ενώσεων αρσενικού στην τροφή, στο νερό και στον αέρα έχει ως αποτέλεσμα να προκαλούνται καταστροφές σε πολλούς ιστούς περιλαμβάνοντας τα νεύρα, το στομάχι, τα έντερα και το δέρμα. Επίσης μπορεί να προκληθεί διάτρηση του ρινικού φράγματος, πληγή στο λάρυγγα και ερεθισμός στους πνεύμονες.

Πίνακας 3.7.: *Συγκεντρώσεις του αρσενικού σε πετρώματα, ιζήματα και εδάφη (Smedley & Kinniburgh, 2002).*

Πέτρωμα/ίζημα/έδαφος	**Μέση συγκέντρωση As και κύμανση (mg/Kg l^{-1}).**
Περιδοτίτης, δουνίτης, κιμπερλίτης	1.5 (0.03 – 15.8)
Βασάλτης	2.3(0.18 – 113)
Γάββρος, δολερίτης	1.5 (0.06 – 28)
Ανδεσίτης, τραχύτης, λατίτης	2.7 (0.5 – 5.8)
Ρυόλιθος	4.3 (3.2 – 5.4)
Γρανίτης	1.3 (0.2 – 15)
Σχιστόλιθος	1.1 (<0.1 – 18.5)
Φυλλίτης	18 (0.5 – 143)
Ασβεστόλιθος/Δολομίτης	2.6 (0.1 – 20.1)
Εβαπορίτες (γύψος/ανυδρίτης)	3.5 (0.1 – 10)
Ποτάμια ιζήματα	5
Εδάφη κοντά σε θειούχες αποθέσεις	126 (2 – 8000)

Χαμηλά επίπεδα ανόργανων ενώσεων αρσενικού μπορεί να είναι η αιτία για ναυτία, εμετό, διάρροια, αυξανόμενη παραγωγή σε ερυθρά και λευκά αιμοσφαίρια, ανωμαλία ρυθμών στην καρδιά, καταστροφή των αιμοφόρων αγγείων, μούδιασμα στα χέρια και στα πόδια. Μελέτες αναφέρουν ότι οι ενώσεις του αρσενικού μπορούν να προκαλέσουν μεταλλάξεις στους ανθρώπινους οργανισμούς.

Η EPA και η DHHS καθόρισαν το αρσενικό ως καρκινογενές στοιχείο. Επιδημιολογικές μελέτες απέδειξαν ότι οι ανόργανες ενώσεις του είναι καρκινογόνες τόσο για το δέρμα όσο και για τους πνεύμονες όπως συνέβη στις χώρες Αργεντινή, Ταιβάν, Φιλανδία, Κίνα, Αγγλία, Βεγγάλη, Μπαγκλαντές (Hopenhayn, 2006). Αναφέρονται επίσης εμφανίσεις όγκου στην ουροδόχο κύστη, στα νεφρά και στο συκώτι.

3.3.3.3. Άλλα ιχνοστοιχεία στο νερό

Χαλκός (Cu)

Στη φύση οι ενώσεις του Cu είναι κυρίως θειούχες (sulphides), θειϊκές (sulphates), θειοάλατα (sulphosalts) και ανθρακικές(carbonates), ενώ εμφανίζεται ως αυτοφυές στοιχείο κάτω από αναγωγικά περιβάλλοντα. Το μεγαλύτερο κλάσμα του χαλκού δεσμεύεται i) στο πλέγμα των πρωτογενών και δευτερογενών αργιλικών ορυκτών, ii) στα εδαφικά κολλοειδή οργανικά και ανόργανα ως ανταλλάξιμο κατιόν, iii) στα οξείδια του Fe και του Mn (Alloway, 1990). Ο δεσμός του χαλκού και της οργανικής ουσίας είναι πολύ πιο ισχυρός από ότι είναι με τα άλλα κατιόντα για παράδειγμα Zn^{2+}, Mn^{2+}. Έτσι ο χαλκός δε θεωρείται ευκίνητο μέταλλο διότι συνδέεται ισχυρά με την οργανική ουσία. Από έρευνες που έχουν διεξαχθεί είναι πιθανό ο Cu να υπάρχει στα περισσότερα εδάφη ως $Cu(H_2O)_6^{2+}$ προσροφημένος σε επιφάνειες ορυκτών, πυριτικές ή μη πυριτικές αργίλους και σε πολύπλοκες οργανικές ενώσεις. Αν και ο Cu^{2+} είναι το κυριότερο ιόν στη διαλυτή φάση του όξινου εδάφους το εδαφικό διάλυμα ανάλογα με το pH περιέχει και μερικές άλλες ενώσεις Cu περιλαμβάνοντας $CuSO_4^0$, $Cu(OH)_2^0$, $CuCO_3^0$, $CuCl^0$, $Cu(Cl_2)^-$ και πολυάριθμες πολύπλοκες οργανικές ενώσεις του Cu (Alloway 1990).

Χρόνια έκθεση σε υψηλά επίπεδα χαλκού μπορεί να προκαλέσει πονοκεφάλους, ναυτία, διάρροια, στομαχικό πόνο, καταστροφές στο συκώτι και στα νεφρά, δερματίτιδα, λευκοκυττάρωση, ερεθισμό στη μύτη, στο στόμα και στα μάτια (ATSDR, 2004).

Ακόμα έχει αναφερθεί η περίπτωση του «πυρετού ατμού μετάλλου» («metal fume fever») σε εργαζόμενους που εκτίθενται σε σκόνη χαλκού και καπνούς με Cu.

Η EPA (Environmental Protection Agency) έχει καθορίσει ότι ο χαλκός δεν ταξινομείται ως στοιχείο υπεύθυνο για την καρκινογένεση στον άνθρωπο

Μόλυβδος (Pb)

Δύο είναι οι καταστάσεις σθένους του μολύβδου Pb^{2+} και Pb^{4+} που είναι σταθερές αλλά στην περιβαλλοντική γεωχημεία του στοιχείου επικρατεί το Pb^{2+}. Ο Pb^{2+} προσροφάται στα αργιλικά ορυκτά, στα οξείδια του Fe και του Mn, στην οργανική ύλη ενώ καθιζάνει με τη μορφή αδιάλυτων ενώσεων. Μερικές από τις αδιάλυτες ενώσεις του μολύβδου είναι: $Pb(OH)_2$, $PbCO_3$, PbS, $PbSO_4$, PbO, $PbOPbSO_4$, $Pb_3(PO_4)_2$, $Pb_40(PO_4)_2$, $Pb_3(PO_4)_3(OH)$ (Κελεπερτζής, 1993). Από έρευνες προέκυψε ότι η διαλυτότητα του μολύβδου σε μη ασβεστολιθικά εδάφη ρυθμίζεται από τις ενώσεις $Pb(OH)_2$, $Pb_3(PO_2)_2$, $Pb_5(PO_4)_2OH$ και σε ασβεστολιθικά εδάφη ο

ρόλος του $PbCO_3$ είναι σημαντικός. Ακόμα μελετήθηκαν οι χημικές αλλαγές οι οποίες λαμβάνουν χώρα κατά τη μεταφορά των πλούσιων σε Pb μορίων από τις μηχανές των οχημάτων στο έδαφος. Έτσι όταν εκπέμπονται από την εξάτμιση αυτοκινήτου τα μόρια αυτά αποτελούνται κυρίως από $PbBr_2$, PbBrCl, Pb(OH)Br, $(PbO)_2PbBr_2$, $(PbO)_2$, $(PbBrO)_2PbBrCl$ και γρήγορα μετατρέπονται σε ενώσεις του Pb ανθρακικές, οξυανθρακικές και οξείδια (Κελεπερτζής, 1993). Έτσι λοιπόν το είδος των ενώσεων που εμφανίζονται, εξαρτάται από το pH, την πηγή του μολύβδου, τα παρόντα ανιόντα και τις συνθήκες οξειδοαναγωγής που επικρατούν. Προέκυψε ακόμη ότι το pH αποτελεί την κύρια ιδιότητα που έχει ως συνέπεια την ακινητοποίηση του μολύβδου ενώ τα εδαφικά οργανικά υλικά παίζουν σπουδαίο ρόλο σε αυτή τη διαδικασία από ότι η καθίζηση ως ανθρακικό ορυκτό ή η προσρόφηση σε ένυδρα οξείδια (Alloway, 1990).

Η έκθεση σε υψηλά επίπεδα μολύβδου είναι ιδιαίτερα επικίνδυνη για την ανθρώπινη υγεία. Η δηλητηρίαση από μόλυβδο, γνωστή και ως μολυβδίαση, ήταν πάντοτε η περισσότερο ενδιαφέρουσα από τις επαγγελματικές ασθένειες. Από το μόλυβδο προσβάλλονται τόσο το κεντρικό όσο και το περιφερικό νευρικό σύστημα. Στις σοβαρές περιπτώσεις δηλητηρίασης κυριαρχούν οι βαριές εκδηλώσεις και περιλαμβάνουν σπασμούς, παραλήρημα και κώμα. Στις ελαφρότερες περιπτώσεις τα συμπτώματα είναι πονοκέφαλοι, ζάλη, διαταραχές του ύπνου, της μνήμης και ευερεθιστότητα. Τα νευρολογικά ευρήματα στη δηλητηρίαση από μόλυβδο μπορεί να κυμαίνονται από πολύ ελαφρά μέχρι βαριά εγκεφαλοπάθεια. Ο μόλυβδος επιδρά στο αναπνευστικό σύστημα δημιουργώντας σοβαρές επιπτώσεις στους πνεύμονες προκαλώντας ακόμα και καρκίνο. Επιπλέον προσβάλλει το αίμα , τα νεφρά και το γαστρεντερικό σύστημα με συμπτώματα ναυτία, ανορεξία, απώλεια βάρους και δυσπεψία (ATSDR, 2007).

Ψευδάργυρος (Zn)

Ορισμένα από τα κυριότερα ορυκτά του εδάφους που περιέχουν ψευδάργυρο είναι ο σμισθονίτης($ZnCO_3$), ο σφαλερίτης(ZnS), ο βιλλεμίτης(Zn_2SiO_4) και ο ζιγκίτης (ZnO). Ο ψευδάργυρος βρίσκεται σε θέσεις εναλλαγής τόσο στην άργιλο όσο και στην οργανική ουσία. Κυρίως ο ψευδάργυρος στα περισσότερα εδάφη βρίσκεται στα σιδηρομαγνησιούχα ορυκτά όπως είναι ο αυγίτης, η κεροστίλβη και ο βιοτίτης. Η ύπαρξη ψευδάργυρου στα ορυκτά αυτά οφείλεται στην ισόμορφη αντικατάσταση των Fe^{2+} και Mg^{2+} από Zn^{2+}(Alloway, 1990).

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την κινητικότητα του ψευδάργυρου είναι (Alloway, 1990):

1. pH. Η διαλυτότητα του Zn είναι συνάρτηση του pH. Αύξηση pH συνεπάγεται μείωση της κινητικότητας του Zn λόγω σχηματισμού αδιάλυτου ZnOH. Επομένως σε περιοχές ανθρακικών πετρωμάτων ο Zn θα είναι δυσκίνητος.

2. Οργανική ύλη. Ο ψευδάργυρος αντιδρά με την οργανική ύλη και σχηματίζει αδιάλυτα σύμπλοκα. Οι διαλυτές μορφές του Zn με οργανική ουσία συνδέονται κυρίως με τα φουλβικά οξέα ενώ οι αδιάλυτες με τα χουμικά οξέα. Σε πλούσια οργανικά εδάφη η κινητικότητα του Zn είναι μικρή.

3. Προσρόφηση από αργιλικά ορυκτά. Ως δισθενές κατιόν προσροφάται ισχυρά από την άργιλο. Η ισχύς συγκράτησής του σε σχέση με άλλα στοιχεία δίνεται κατά σειρά H>Zn>Ca>Mg>K.

4. Δέσμευση στο πλέγμα ορυκτών. Προσροφάται ισχυρά στα ανθρακικά άλατα Ca^{2+} και Mg^{2+}. Στα μαγνησιούχα άλατα ο Zn καταλαμβάνει τη θέση του Mg στο πλέγμα. Επίσης σχηματίζει δυσδιάλυτα φωσφορικά άλατα και υδροξείδια.

5. Προσρόφηση από τα οξείδια του Fe και του Mn. Η προσρόφηση του Zn από τα οξείδια του Fe και του Mn προκαλεί μείωση της κινητικότητάς του.

Λήψη μεγάλων ποσοτήτων Zn μέσω τροφών για μικρό χρονικό διάστημα προκαλούν στομαχικό πόνο, ναυτία και εμετό ενώ για μεγάλο χρονικό διάστημα προκαλούν αναιμία και καταστροφές στο πάγκρεας (ATSDR, 2005).Αναπνέοντας μεγάλα ποσά ψευδαργύρου (σκόνης ή καπνού) προκαλείται η νόσος «πυρετός ατμού μετάλλου» η οποία επηρεάζει τα πνευμόνια και τη θερμοκρασία του σώματος. Όσον αφορά την επίδραση του στοιχείου για τη δημιουργία καρκίνου στον ανθρώπινο οργανισμό η DHHS (The Department of Health and Human Services), η IARK (The International Agency for Research on Cancer) και η EPA (Environmental Protection Agency) δεν το θεωρούν υπεύθυνο.

Μαγγάνιο (Mn)

Το μαγγάνιο μπορεί να υπάρχει σε όλες τις οξειδωτικές καταστάσεις από Mn(+2) έως (+7) των οποίων τα σθένη +2, +3 και +4 συναντώνται σε ορυκτά που το μαγγάνιο είναι συνδεδεμένο είτε με οξυγόνο, είτε με άνθρακα, είτε με πυρίτιο (Alloway, 1990). Για παράδειγμα τα ορυκτά πυρολουσίτης(MnO_2), ροδοχρωσίτης($MnCO_3$) και ροδονίτης($MnSiO_3$) και πολλά άλλα οξείδια και οξυδροξείδια των οποίων η αντικατάσταση του Mn^{2+} και Mn^{3+} σε Mn^{4+} λαμβάνει χώρα.

Το Mn δεσμεύεται σχεδόν αποκλειστικά και μόνο σε οξείδια του Fe και του Mn. Σε καλά αεριζόμενα εδάφη, σε ουδέτερες ή σε ελαφρώς αλκαλικές καταστάσεις το Mn(+4) σε οξειδωτική κατάσταση είναι το πιο σταθερό και η έκθεση σε οξείδια του Mn κυμαίνεται από Mn_3O_4 έως MnO_2, ενώ σε αναγωγικές συνθήκες ευννοείται το Mn^{2+}(Alloway, 1990) .

Έκθεση σε μεγάλες ποσότητες μαγγανίου μπορεί να προκαλέσει σοβαρές ασθένειες (ATSDR, 2008). Εργαζόμενοι μεταλλείων που βρίσκονται εκτεθειμένοι και εισπνέουν σκόνη μαγγανίου εμφανίζουν πνευματικές και νευρολογικές διαταραχές ενώ οι κινήσεις του σώματος είναι αργές. Αυτός ο συνδυασμός των συμπτωμάτων προκαλεί μια ειδική ασθένεια που ονομάζεται μαγγανισμός (“manganism”). Μερικά από τα συμπτώματα του μαγγανισμού μπορεί να βελτιωθούν προσωρινά με ειδικές θεραπείες ενώ οι επιπτώσεις του στον εγκέφαλο είναι μόνιμες.

Έκθεση σε υψηλές ποσότητες μαγγανίου από την στοματική οδό μπορεί να προκαλέσει αδυναμία, ακαμψία στους μύες και τρεμούλα στα άκρα.Ακόμη εισπνοή και λήψη από το στομάχι σκόνης Mn μπορεί να γίνει αιτία να προκληθεί η νόσος «Parkinson», η νόσος «πυρετός ατμού μετάλλου», αϋπνία, πνευματική σύγχυση, αδυναμία πρόβλημα στο περπάτημα, παράλυση, βήχας, δύσπνοια, εμετός, ερεθισμό στο λάρυγγα, σφίξιμο στο στήθος, δυσφορία, κόπωση.

Η EPA έχει καθορίσει ότι το μαγγάνιο δεν προκαλεί καρκίνο στον ανθρώπινο οργανισμό.

Κοβάλτιο (Co)

Το κοβάλτιο σχηματίζει ορυκτά όπως κοβαλτίτης(CoAsS) και σκουτερουδίτης($CoAs_3$) κ.λ.π. Ενώ συναντάται και στα ορυκτά: ολιβίνης, πυρόξενος, αμφίβολος, και βιοτίτης τα οποία συγκεντρώνονται σε βασικά και υπερβασικά πετρώματα. Αυτά τα ορυκτά περιέχουν κυρίως κατιόντα Mg^{2+} και Fe^{2+} και ιόντα όπως Co^{2+} τα οποία ενσωματώνονται μέσα στο κρυσταλλικό πλέγμα με ισόμορφη αντικατάσταση. Σε αντίθεση, πλούσια σε πυρίτιο όξινα πυριγενή πετρώματα όπως ο γρανίτης έχουν χαμηλό περιεχόμενο σε Co. Χαμηλές συγκεντρώσεις Co εμφανίζουν τα ψαμμιτικά πετρώματα όπως οι ψαμμίτες ενώ υψηλές συγκεντρώσεις εμφανίζουν τα αργιλικά πετρώματα (Alloway, 1990).

Το Co συγκεντρώνεται κυρίως σε εκείνους τους ορίζοντες που είναι πλούσιοι σε οργανικά υλικά και αργίλους ενώ δεσμεύεται και από τα οξείδια του Fe και του Mn. Τα οξείδια, τα υδροξείδια και τα ανθρακικά του Co είναι αδιάλυτα, το στοιχείο σε αλκαλικές συνθήκες είναι

δυσκίνητο. Σε όξινες συνθήκες η διάλυση του Co είναι πιο πολύ πιθανόν να λάβει χώρα (Alloway, 1990).

Έκθεση σε κοβάλτιο κατά τη λήψη μεγάλων ποσοτήτων από την στοματική οδό μπορεί να προκαλέσει ναυτία, εμετό, διάρροια, βλάβες στο συκώτι και σοβαρές επιπτώσεις στην καρδιά (ATSDR, 2004).

Η συσσώρευση του κοβαλτίου στον ανθρώπινο οργανισμό από την αναπνευστική οδό προκαλεί συμπτώματα μικρής και χρόνια διάρκειας. Μικρής διάρκειας είναι: ανωμαλίες στην πνευμονική λειτουργία, πνευμονική συμφόρηση και αιμορραγία των πνευμόνων. Χρόνιας διάρκειας είναι: άσθμα, πνευμονία, ίνωση, καρδιομυοπάθειες, ανωμαλίες στη λειτουργία των νεφρών, ανοσοποιητικές επιδράσεις (ATSDR, 2004).

Κάδμιο (Cd)

Το κάδμιο είναι ευρέως διαδεδομένο στον φλοιό της γης, με μέση περιεκτικότητα 0.1 mg/kg, συνδεδεμένο συνήθως με ψευδάργυρο. Κύρια πηγή καδμίου για το υδάτινο και εδαφικό περιβάλλον αποτελούν τα μεταλλεία μη σιδηρούχων μεταλλευμάτων. Η ρύπανση μπορεί να προέλθει από τις απορροές των μεταλλείων, τα υγρά απόβλητα από την κατεργασία του μεταλλεύματος, τις απορροές από δεξαμενές σταθεροποίησης και γενικά από τους χώρους αποθήκευσης του μεταλλεύματος, όταν δεν λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα.

Σε παγκόσμιο επίπεδο η μεγαλύτερη απελευθέρωση καδμίου σε υδατικό περιβάλλον γίνεται από τις μεταλλουργίες κατεργασίας των μεταλλευμάτων αυτών, τόσο από τα υγρά απόβλητα τους όσο και από τα αέρια. Σημαντικές ποσότητες καδμίου απελευθερώνονται και από την παραγωγή φωσφορικών λιπασμάτων, όταν περιέχεται κάδμιο στο φωσφορικό πέτρωμα που χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη και γίνει διάθεση του γύψου που παράγεται τελικά σε παράκτια νερά. Σημαντική είναι, σε παγκόσμιο επίπεδο, και η κατακρήμνιση ατμοσφαιρικού καδμίου στα επιφανειακά νερά. Η οξίνιση των εδαφών και των λιμνών μπορεί να προκαλέσει αύξηση της κινητικότητας του καδμίου στα εδάφη και αύξηση των ποσοτήτων του στα επιφανειακά νερά. Οι μορφές του Cd σε μεταλλευτικές περιοχές είναι το CdS και το Cd διασκορπισμένο σε άλλα θειούχα ορυκτά. Σε όξινες συνθήκες, το Cd^{2+} είναι αρκετά διαλυτό και απαντά ως κατιόν είτε ως $CdCl^{+}$. Σε αλκαλικές συνθήκες, το Cd συμπλοκοποιείται ώστε να σχηματίσει $CdCO_3$ ή $CdSO_4$ (Hayes and Traina, 1998). Γενικά το κάδμιο είναι περισσότερο διαλυτό και κινητικό σε όξινες συνθήκες εδάφους.

Το κάδμιο έχει βρεθεί ότι προκαλεί δύσπνοια, βήχα, βάρος στο στήθος και αίσθημα καύσου, καταστροφή των νεφρών, ηπατοπάθεια (ATSDR, 2008).

Σίδηρος (Fe)

Ο σίδηρος απαντάται στη φύση ως Fe^{2+} και Fe^{3+}, κυρίως με τη μορφή οξειδίων ή υδροξειδίων και όπου υπάρχει άφθονο οργανικό υλικό με τη μορφή χημικών ενώσεων. Το κύριο πρωτογενές ορυκτό του Fe είναι ο σιδηροπυρίτης FeS_2. Οι οξειδωτικές και αλκαλικές συνθήκες συμβάλλουν στην καθίζηση του σιδήρου ενώ οι όξινες και αναγωγικές συμβάλλουν στη διάλυση των συστατικών. Στα εδάφη, ο Fe^{2+} εμφανίζεται αρκετά ευκίνητος, ενώ ο Fe^{3+} καθιζάνει κυρίως με τη μορφή οξυ-υδροξειδίων όπως ο γκαιτίτης (α-FeOOH) ή οξειδίων όπως ο αιματίτης (Fe_2O_3) και των οποίων η διαλυτότητα είναι πάρα πολύ μικρή. Ο εδαφικός Fe παρουσιάζει μεγάλη τάση να σχηματίζει οργανικά σύμπλοκα. Αυτές οι ενώσεις είναι υπεύθυνες σε μεγάλο βαθμό για τη μετακίνηση του Fe μεταξύ των εδαφικών οριζόντων και για την έκπλυσή του.

Χρώμιο (Cr)

Το χρώμιο βρίσκεται κυρίως σε υπερβασικά πετρώματα όπως περιδοτίτες, δουνίτες. Είναι γνωστές ενώσεις του χρωμίου με αριθμούς οξείδωσης από -1 έως +6, ωστόσο οι πιο συνήθεις είναι οι ενώσεις του δισθενούς χρωμίου Cr(II) (ισχυρό αναγωγικό, ασταθές παρουσία οξυγόνου), του τρισθενούς χρωμίου Cr(III) (οι πλέον σταθερές ενώσεις του χρωμίου) και του εξασθενούς χρωμίου Cr(VI) (χρωμικά και διχρωμικά άλατα: σταθερές ενώσεις αλλά και σχετικώς ισχυρά οξειδωτικά) (Alloway, 1990). Το χρώμιο βρίσκεται στη φύση κυρίως ως τρισθενές, με κυριότερο ορυκτό τον χρωμίτη ($Fe(Mg)Cr_2O_{4)}$, που αποτελεί το βασικό μετάλλευμα χρωμίου. Υπάρχουν και ορισμένα σπάνια ορυκτά όπου το χρώμιο είναι εξασθενές από τα οποία το γνωστότερο είναι ο κροκοΐτης, με χημικό τύπο $PbCrO_4$ (χρωμικός μόλυβδος). Η συγκέντρωση του χρωμίου στα εδάφη κυμαίνεται από 5 – 1000 μg g^{-1}. Έχει παρατηρηθεί ότι το τρισθενές χρώμιο είναι σχετικά ευκίνητο σε πολύ όξινες συνθήκες. Αντίθετα το εξασθενές χρώμιο είναι ευκίνητο και σε όξινο και σε αλκαλικό περιβάλλον.

Αναπνέοντας αέρα που περιέχει υψηλά επίπεδα εξασθενούς χρωμίου είναι δυνατόν να προκληθούν, ανάλογα με την ποσότητα στον αέρα, ερεθισμός στη μύτη, ρινοραγίες, έλκη και οπές στο ρινικό διάφραγμα.(ATSDR, 2008). Η εισαγωγή στον οργανισμό μεγάλων ποσοτήτων

εξασθενούς χρωμίου μέσω των μολυσμένων τροφών ή του πόσιμου νερού είναι δυνατόν, να προκαλέσουν στομαχικές διαταραχές και έλκη, σπασμούς, καταστροφή των νεφρών και του ήπατος ακόμα και θάνατο, ανάλογα με το επίπεδο μόλυνσης. Η επαφή με το δέρμα ορισμένων ενώσεων του εξασθενούς χρωμίου είναι δυνατό να προκαλέσει έλκη. Επίσης ορισμένοι άνθρωποι είναι εξαιρετικά ευαίσθητοι στο τρισθενές ή το εξασθενές χρώμιο.

Μελέτες και στατιστικά αποτελέσματα απέδειξαν τον αυξημένο κίνδυνο εκδήλωσης καρκίνου μετά από έκθεση σε εξασθενές χρώμιο. Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (The World Health Organization, WHO), η Διεύθυνση Υγείας και Ανθρωπίνων Υπερεσιών των U.S.A. (The Department of Health and Human Services, DHHS) κατέταξε τις ενώσεις του εξασθενούς χρωμίου ως καρκινογόνες για τον άνθρωπο. Η Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος των U.S.A. (Environmental Protection Agency, EPA) όρισε ότι το εξασθενές χρώμιο στον αέρα είναι καρκινογόνο για τον άνθρωπο.

Νικέλιο (Ni)

Το νικέλιο βρίσκεται ως σουλφίδιο του νικελίου πετλανδίτης $(Fe,Ni)_9S_8$) σε μεγάλες θολειτικές διεισδύσεις και σε υπερβασικά πετρώματα. Το εύρος των τιμών σε εδάφη κυμαίνεται από 5 – 5000 μg g^{-1}. Το νικέλιο στα εδάφη βρίσκεται με τη μορφή ιόντων και συμπλόκων (Alloway, 1990). Ο κυριότερος παράγοντας που καθορίζει την κατανομή του νικελίου ανάμεσα στη διαλυτή και στερεή φάση είναι το pH. Η ευκινησία του νικελίου στο έδαφος αυξάνεται καθώς το pH μειώνεται. Το νικέλιο και τα άλατά του προκαλούν δερματίτιδες. Επίσης προκαλεί καρκίνο στους πνεύμονες και στον λάρυγγα, κυρίως σε εργαζόμενους που εκτίθενται σε αδιάλυτη σκόνη θειούχου νικελίου, οξείδια του νικελίου, διαλυτό θειούχο νικέλιο, νιτρικό και χλωρικό, καθώς και στο αέριο καρβονυλικό νικέλιο (ATSDR, 2005). Επίσης από μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί διαπιστώθηκε ότι το νικέλιο φέρει αυξημένο κίνδυνο γαστρικού και νεφρικού καρκίνου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Μεθοδολογία Γεωχημικής Έρευνας

4.1. Δειγματοληψία υπαίθρου

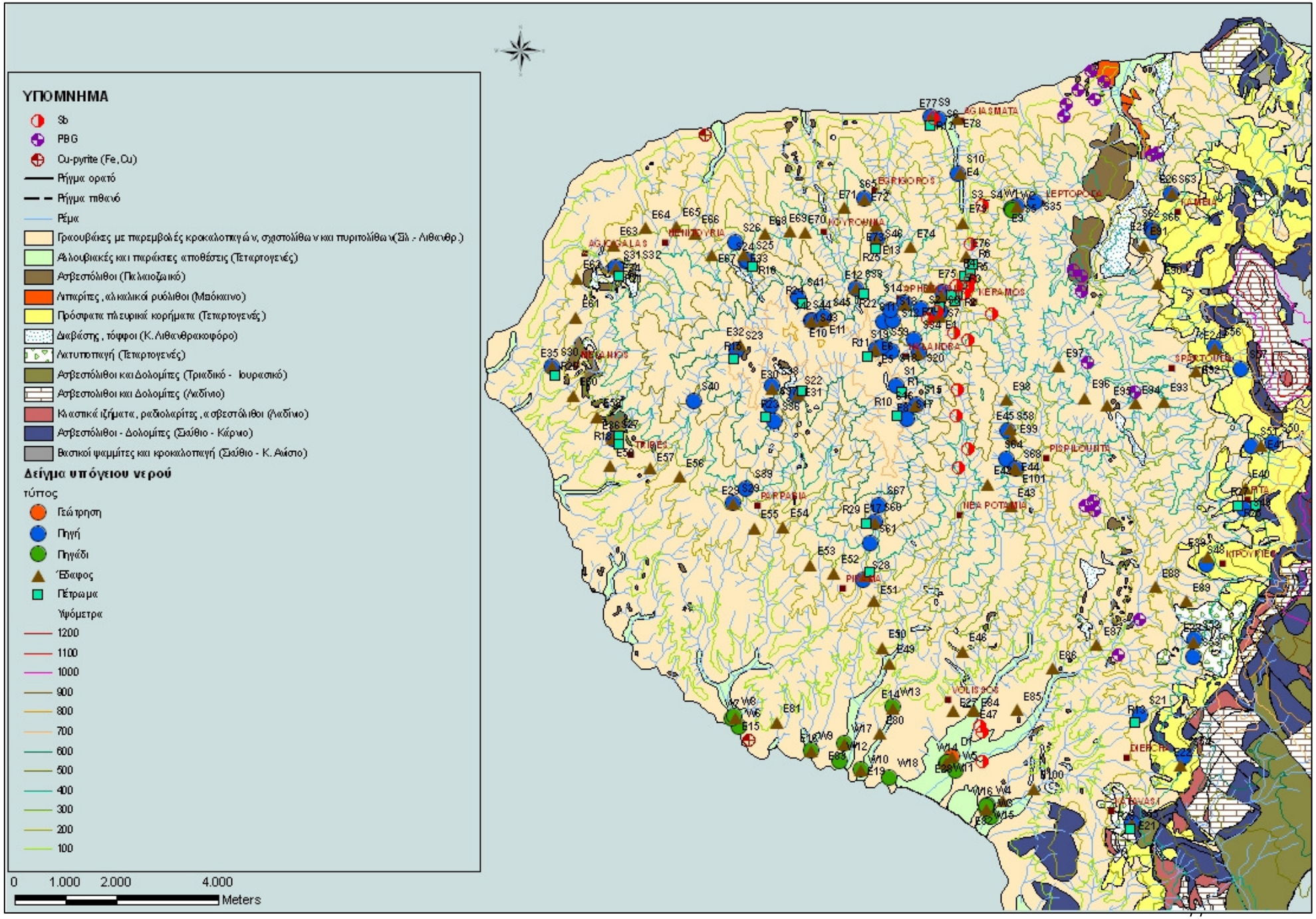
4.1.1. Υπόγειο νερό

Για τη διερεύνηση του ποιοτικού χαρακτήρα του υπόγειου νερού στην περιοχή της ΒΔ Χίου πραγματοποιήθηκαν επαναληπτικές δειγματοληψίες νερού σε δύο υδρολογικές περιόδους (υγρή και ξηρή). Έτσι συλλέχθηκαν 14 δείγματα υπόγειου νερού το Νοέμβριο του 2005 (ξηρή περίοδος), 64 δείγματα υπόγειου νερού τον Ιανουάριο 2006 – Απρίλιο 2006 (υγρή περίοδος), 54 δείγματα υπόγειου νερού τον Αύγουστο 2006 – Σεπτέμβριο 2006 (ξηρή περίοδος) και 19 δείγματα υπόγειου νερού τον Απρίλιο 2007 (υγρή περίοδος). Ο συνολικός αριθμός των δειγμάτων που πάρθηκε είναι 151 (83 δείγματα υγρής περιόδου και 68 δείγματα ξηρής περιόδου) από 85 θέσεις, οι οποίες αντιπροσωπεύουν στο μεγαλύτερο μέρος τους πηγές και μικρότερο αριθμό πηγαδιών και γεωτρήσεων (Εικ. 4.1. και 4.2.) ενώ οι περισσότερες από αυτές υδροδοτούν τα χωριά του Δ. Αμανής.

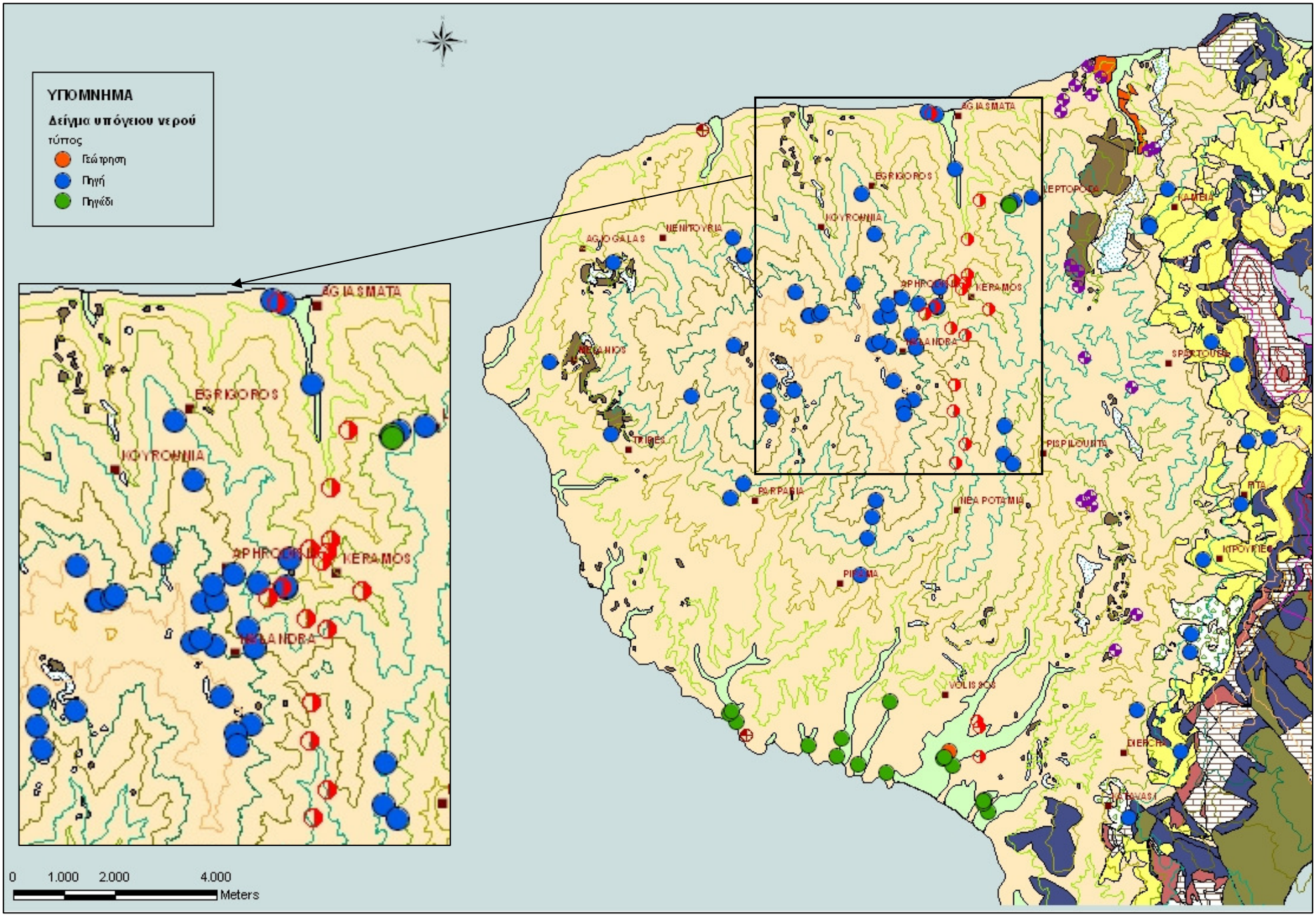
Τα δείγματα συλλέχθηκαν σε δοχεία πολυαιθυλενίου όγκου 1000ml, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για τη χημική ανάλυση των ανιόντων. Σε κάθε θέση δειγματοληψίας πραγματοποιήθηκε διήθηση του δείγματος με τη βοήθεια σύριγγας των 50ml και φίλτρου μεμβράνης 0.45μm. Κατόπιν το κάθε διηθημένο δείγμα φυλάχθηκε σε δοχείο πολυαιθυλενίου όγκου 100ml και οξυνίστηκε προσθέτοντας 1ml πυκνού HNO_3 για να διατηρηθεί το pH σε χαμηλές τιμές και να αποφευχθεί ο κίνδυνος σχηματισμού οξειδίων και η προσρόφηση ή καθίζηση κατιόντων. Τα διηθημένα δείγματα νερού χρησιμοποιήθηκαν για τον ποσοτικό προσδιορισμό των ιχνοστοιχείων. Μετά τη συλλογή τα δείγματα διατηρήθηκαν σε ψυγείο για όσο χρονικό διάστημα μεσολάβησε μέχρι να αναλυθούν.

Κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας για κάθε δείγμα υπόγειου νερού πραγματοποιήθηκε επί τόπου μέτρηση των φυσικοχημικών παραμέτρων: θερμοκρασία (Τ), β) pH, γ) δυναμικό οξειδοαναγωγής Eh, δ) ολικά διαλυμένα στερεά (T.D.S) και ε) ηλεκτρική αγωγιμότητα (E.C) με τη χρήση ειδικής φορητής συσκευής (πολύμετρο WTW 350i).

Οι γεωγραφικές συντεταγμένες των θέσεων δειγματοληψίας του υπόγειου νερού προσδιορίστηκαν με τη βοήθεια συσκευής GPS (Πίν. 4.1.).



Εικόνα 4.1.: *Γεωλογικός χάρτης της περιοχής της ΒΔ Χίου με απεικόνιση των θέσεων δειγματοληψίας α) υπόγειου νερού, β)εδάφους και γ) πετρώματος.*



Εικόνα 4.2.: *Γεωλογικός χάρτης της περιοχής της ΒΔ Χίου με απεικόνιση των θέσεων δειγματοληψίας του υπόγειου νερού.*

Πίνακας 4.1.: *Απογραφή των θέσεων δειγματοληψίας του υπόγειου νερού στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*

Α/Α	Δείγμα	Ημερομηνία Δειγματοληψίας		ΕΓΣΑ '87		WGS '84		Τύπος υπόγειου νερού	Περιοχή
		Υγρή Περίοδος	Ξηρή Περίοδος	X	Y	X	Y		
1	S1	6/4/2006	18/11/2005	667523	4267220	25,92387	38,54019	Πηγή	Όρος Αμανής (Κέραμος)
2	S2	6/4/2006	18/11/2005	668009	4268745	25,92981	38,55383	Πηγή	Κέραμος
3	S3_S4	5/4/2006	18/11/2005	669792	4270701	25,95073	38,57111	Πηγή	Λεπτόποδα
4	S5	5/4/2006	18/11/2005	669898	4270765	25,95197	38.57167	Πηγή	Λεπτόποδα
5	S6	19/1/2006	18/11/2005	668352	4272466	25,93464	38,58728	Πηγή	Αγιάσματα
6	S7	19/1/2006	19/11/2005	668381	4268675	25,93406	38,55313	Πηγή	Κέραμος
7	S8	19/1/2006	19/11/2005	668387	4268687	25,93413	38,55324	Πηγή	Κέραμος
8	S9	19/1/2006	19/11/2005	668205	4272515	25,93297	38,58775	Πηγή	Αγιάσματα
9	S10	6/4/2006	19/11/2005	668738	4271383	25,93881	38,57746	Πηγή	Αγιάσματα
10	S11	5/4/2006	19/11/2005	667273	4268470	25,92130	38,55150	Πηγή	Αφροδίσια
11	S12	5/4/2006	19/11/2005	667447	4268507	25,92330	38,55180	Πηγή	Αφροδίσια
12	S13	5/4/2006	19/11/2005	667407	4268712	25,92289	38,55365	Πηγή	Αφροδίσια
13	S14	19/1/2006	19/11/2005	667697	4268842	25,92625	38,55476	Πηγή	Αφροδίσια
14	S15	19/1/2006	29/8/2006	667912	4266851	25,92824	38,53679	Πηγή	Όρος Αμανής (Ν.Ποταμιά)
15	S16	19/1/2006	29/8/2006	667713	4266728	25,92593	38,53572	Πηγή	Όρος Αμανής (Ν.Ποταμιά)
16	S17	19/1/2006		667726	4266555	25,92604	38,53416	Πηγή	Όρος Αμανής (Ν.Ποταμιά)
17	S18	19/1/2006	29/8/2006	667422	4267893	25,92287	38,54628	Πηγή	Χάλανδρα
18	S19	19/1/2006	29/8/2006	667123	4267947	25,91945	38,54681	Πηγή	Χάλανδρα
19	S20	19/1/2006	29/8/2006	667957	4267867	25,92900	38,54594	Πηγή	Χάλανδρα
20	S21	20/1/2006	31/8/2006	672331	4260728	25,97740	38,48080	Πηγή	Διευχά
21	S22	20/1/2006	31/8/2006	665553	4267035	25,90123	38,53889	Πηγή	Παρπαριά
22	S23	20/1/2006	31/8/2006	664385	4267914	25,88804	38,54703	Πηγή	Νενητούρια - Άγιο Γάλας
23	S24	20/1/2006	31/8/2006	664568	4269669	25,89056	38,56280	Πηγή	Νενητούρια
24	S25	20/1/2006	31/8/2006	664580	4269680	25,89070	38,56290	Πηγή	Νενητούρια
25	S26	20/1/2006		664340	4270031	25,88802	38,56610	Πηγή	Νενητούρια
26	S27	20/1/2006	31/8/2006	661940	4266171	25,85959	38,53178	Πηγή	Τρύπες
27	S28	5/4/2006	30/8/2006	666878	4263401	25,91556	38,50591	Πηγή	Πιραμά

Πίνακας 4.1.(συνέχεια): *Απογραφή των θέσεων δειγματοληψίας του υπόγειου νερού στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*

Α/Α	Δείγμα	Ημερομηνία Δειγματοληψίας		ΕΓΣΑ '87		WGS '84		Τύπος υπόγειου νερού	Περιοχή
		Υγρή Περίοδος	Ξηρή Περίοδος	X	Y	X	Y		
28	S29	5/4/2006	31/8/2006	664301	4264903	25,88637	38,51992	Πηγή	Παρπαριά
29	S30	5/4/2006	31/8/2006	660736	4267597	25,84612	38,54484	Πηγή	Μελανιός
30	S31S32	5/4/2006		661989	4269555	25,86094	38,56225	Πηγή	Άγιο Γάλας
31	S33	5/4/2006	29/8/2006	666726	4269125	25,91518	38,55750	Πηγή	Κουρούνια
32	S34	5/4/2006	29/8/2006	667871	4268124	25,92808	38,54827	Πηγή	Χάλανδρα
33	S35	5/4/2006		670257	4270841	25,95610	38,57228	Πηγή	Λεπτόποδα
34	S36	6/4/2006	31/8/2006	665109	4266524	25,89602	38,53437	Πηγή	Παρπαριά
35	S37	6/4/2006	31/8/2006	665045	4266819	25,89535	38,53704	Πηγή	Παρπαριά
36	S38	6/4/2006	31/8/2006	665068	4267226	25,89571	38,54070	Πηγή	Παρπαριά
37	S39	6/4/2006	31/8/2006	664555	4265193	25,88935	38,52249	Πηγή	Παρπαριά
38	S40	6/4/2006		663523	4266925	25,87793	38,53828	Πηγή	Τρύπες
39	S41	6/4/2006	29/8/2006	665596	4268978	25,90218	38,55639	Πηγή	Κουρούνια
40	S42	6/4/2006	29/8/2006	665838	4268502	25,90485	38,55205	Πηγή	Κουρούνια
41	S43	6/4/2006	29/8/2006	665857	4268495	25,90506	38,55199	Πηγή	Κουρούνια
42	S44	6/4/2006	29/8/2006	666054	4268518	25,90733	38,55216	Πηγή	Κουρούνια
43	S45	6/4/2006	29/8/2006	666099	4268567	25,90786	38,55259	Πηγή	Κουρούνια
44	S46	6/4/2006	29/8/2006	667141	4270102	25,92018	38,56622	Πηγή	Κουρούνια
45	S47	6/4/2006	31/8/2006	668439	4269066	25,93482	38,55664	Πηγή	Κέραμος
46	S48	7/4/2006	31/8/2006	673626	4263699	25,99298	38,50731	Πηγή	Κηπουριές
47	S49	7/4/2006	31/8/2006	674390	4264785	26,00201	38,51694	Πηγή	Φυτά
48	S50	7/4/2006	31/8/2006	674942	4266096	26,00866	38,52864	Πηγή	Φυτά
49	S51	7/4/2006	31/8/2006	674514	4266020	26,00374	38,52804	Πηγή	Φυτά
50	S52	7/4/2006	30/8/2006	673392	4262220	25,98993	38,49403	Πηγή	Κηπουριές
51	S53	7/4/2006	30/8/2006	673373	4261889	25,98963	38,49105	Πηγή	Διευχά
52	S54	7/4/2006	30/8/2006	673200	4259922	25,98716	38,47337	Πηγή	Διευχά
53	S55	7/4/2006	30/8/2006	672169	4258621	25,97503	38,46185	Πηγή	Κατάβαση
54	S56	8/4/2006	30/8/2006	673793	4267980	25,99596	38,54583	Πηγή	Σπαρτούντα

Πίνακας 4.1.(συνέχεια): *Απογραφή των θέσεων δειγματοληψίας του υπόγειου νερού στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*

Α/Α	Δείγμα	Ημερομηνία Δειγματοληψίας		ΕΓΣΑ '87		WGS '84		Στάθμη (m)		Τύπος υπόγειου νερού	Περιοχή
		Υγρή Περίοδος	Ξηρή Περίοδος	X	Y	X	Y	Υγρή Περίοδος	Ξηρή Περίοδος		
55	S57	8/4/2006	30/8/2006	674312	4267544	26,00180	38,54180			Πηγή	Σπαρτούντα
56	S58	8/4/2006	1/9/2006	669709	4266322	25,94872	38,53169			Πηγή	Πισπιλούντα
57	S59		29/8/2006	667245	4267995	25,92086	38,54722			Πηγή	Χάλανδρα
58	S60	28/4/2007	30/8/2006	667103	4264545	25,91841	38,51618			Πηγή	Πιραμά
59	S61	28/4/2007	30/8/2006	667018	4264109	25,91733	38,51226			Πηγή	Πιραμά
60	S62	27/4/2007	30/8/2006	672556	4270317	25,98235	38,56712			Πηγή	Καμπιά
61	S63	27/4/2007	30/8/2006	672926	4271007	25,98677	38,57326			Πηγή	Καμπιά
62	S64	28/4/2007	1/9/2006	669701	4265775	25,94849	38,52676			Πηγή	Πισπιλούντα
63	S65	26/4/2007		666887	4270893	25,91745	38,57339			Πηγή	Εγρηγόρος
64	S66	27/4/2007		672590	4270247	25,98272	38,56648			Πηγή	Καμπιά
65	S67	28/4/2007		667177	4264865	25,91933	38,51904			Πηγή	Πιραμά
66	S68	28/4/2007		669871	4265582	25,95039	38,52499			Πηγή	Πισπιλούντα
67	D1	20/1/2006	31/8/2006	668627	4259924	25,93477	38,47427	18	18	Γεώτρηση	Βολισσός
68	W1	5/4/2006	18/11/2005	669819	4270716	25,95105	38,57124	3	3	Πηγάδι	Λεπτόποδα
69	W2	5/4/2006	29/8/2006	669816	4270665	25,95100	38,57078	3	5	Πηγάδι	Λεπτόποδα
70	W3	8/4/2006	1/9/2006	669389	4258738	25,94321	38,46344	6.5	7	Πηγάδι	Μάναγρος Βολισσού
71	W4	8/4/2006	1/9/2006	669324	4258954	25,94252	38,46540	2	4	Πηγάδι	Μάναγρος Βολισσού
72	W5	8/4/2006	31/8/2006	668684	4259648	25,93535	38,47177	3	7	Πηγάδι	Βολισσός
73	W6	8/4/2006	30/8/2006	664417	4260499	25,88667	38,48023	2	3	Πηγάδι	Αγία Μαρκέλλα Βολισσού
74	W7	8/4/2006		664278	4260672	25,88511	38,48182	0.8		Πηγάδι	Αγία Μαρκέλλα Βολισσού
75	W8	26/4/2007	30/8/2006	664323	4260712	25,88564	38,48217	4	4.3	Πηγάδι	Αγία Μαρκέλλα Βολισσού
76	W9	26/4/2007	30/8/2006	665839	4260028	25,90285	38,47572	2.5	2.7	Πηγάδι	Αγία Μαρκέλλα Βολισσού
77	W10		30/8/2006	666816	4259655	25,91395	38,47219		3.6	Πηγάδι	Λήμνος Βολισσού
78	W11	26/4/2007	30/8/2006	668494	4259789	25,93321	38,47308	9.5	10	Πηγάδι	Βολισσός
79	W12	26/4/2007		666399	4259817	25,90921	38,47372	4		Πηγάδι	Λήμνος Βολισσού
80	W13	26/4/2007		667443	4260901	25,92143	38,48329	5		Πηγάδι	Βολισσός
81	W14	26/4/2007		668522	4259804	25,93354	38,47321	6		Πηγάδι	Βολισσός

Πίνακας 4.1.(συνέχεια): *Απογραφή των θέσεων δειγματοληψίας του υπόγειου νερού στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*

Α/Α	Δείγμα	Ημερομηνία Δειγματοληψίας		ΕΓΣΑ '87		WGS '84		Στάθμη (m)		Τύπος υπόγειου νερού	Περιοχή
		Υγρή Περίοδος	Ξηρή Περίοδος	X	Y	X	Y	Υγρή Περίοδος	Ξηρή Περίοδος		
82	W15	26/4/2007		669296	4258895	25,94218	38,46487	5		Πηγάδι	Μάναγρος Βολισσού
83	W16	26/4/2007		669297	4258939	25,94221	38,46527	6		Πηγάδι	Μάναγρος Βολισσού
84	W17	26/4/2007		666496	4260182	25,91041	38,47699	10		Πηγάδι	Λήμνος Βολισσού
85	W18	27/4/2007		667392	4259505	25,92052	38,47073	7		Πηγάδι	Λήμνος Βολισσού

4.1.2. Έδαφος

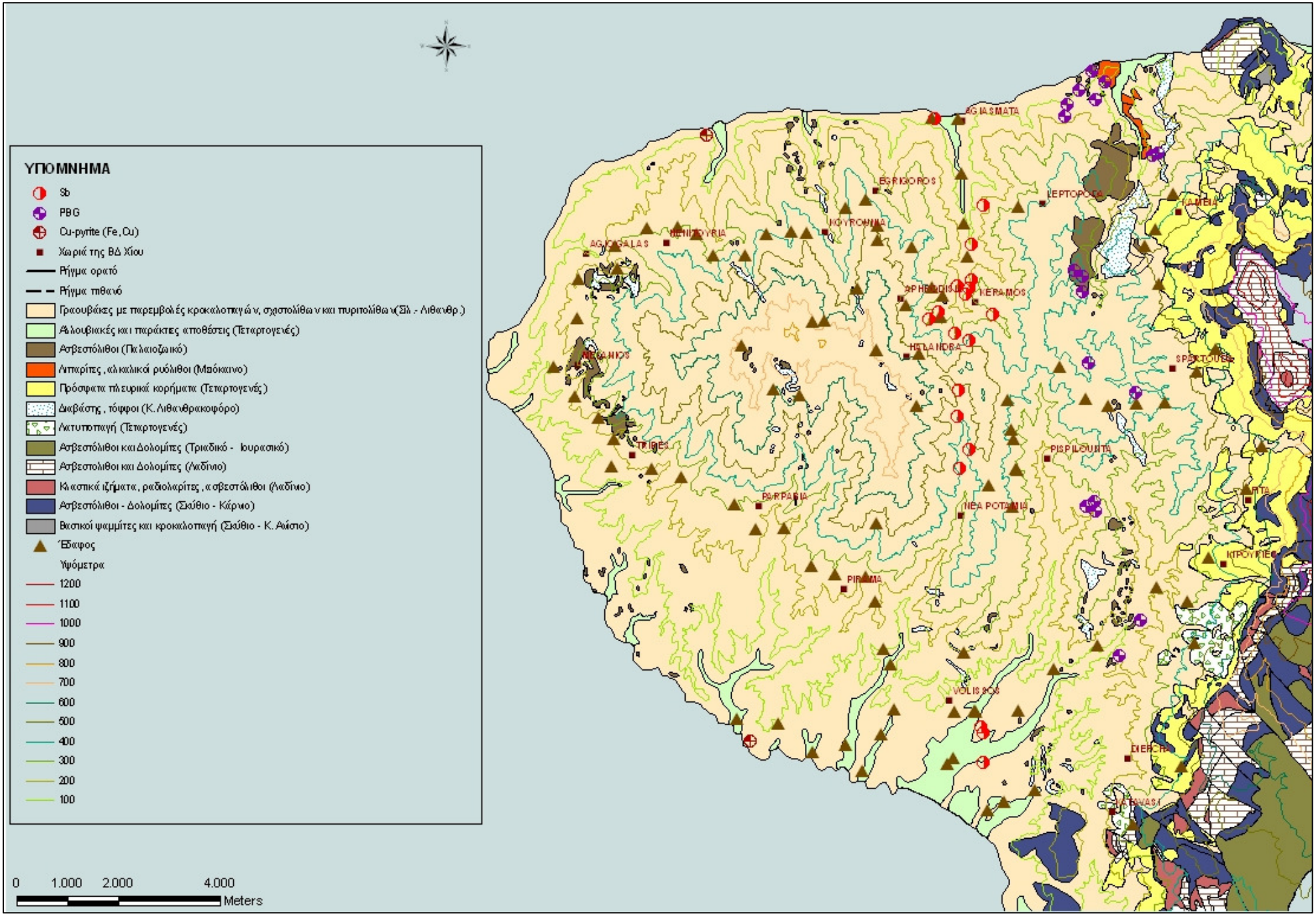
Η δειγματοληψία εδάφους πραγματοποιήθηκε τον Αύγουστο / Σεπτέμβριο του 2006 και τον Απρίλιο του 2007 στο ΒΔ τμήμα της νήσου Χίου. Ο συνολικός αριθμός των εδαφικών δειγμάτων που ελήφθησαν από την περιοχή είναι 100 σε βάθος 10-15cm (Εικ. 4.1. και 4.3.). Για τη λήψη των δειγμάτων εδάφους χρησιμοποιήθηκε γεωτρύπανο χειρός (hand auger). Σε κάθε σημείο δειγματοληψίας πάρθηκε σύνθετο δείγμα με ανάμειξη τριών υποδειγμάτων από επιφάνεια εμβαδού $1m^2$ μετά την απομάκρυνση φυτών και νεκρών φύλλων της επιφάνειας. Τα εδαφικά δείγματα τοποθετήθηκαν σε αριθμημένες πλαστικές σακούλες για τη μεταφορά τους στο εργαστήριο. Επιπλέον ελήφθησαν 17 διπλά δείγματα εδάφους για τον ποιοτικό έλεγχο (επαναληψιμότητα) των χημικών αναλύσεων και σε απόσταση περίπου 10m των αρχικών θέσεων. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στη συλλογή αριθμού διπλών δειγμάτων (ελάχιστος αριθμός 8) σε τυχαία επιλεγμένες θέσεις δειγματοληψίας και ακολούθως διπλές χημικές αναλύσεις για κάθε διπλό δείγμα και εξισορροπημένη ανάλυση της μεταβλητότητας των τιμών (balanced ANOVA) (Ramsey and Argyraki, 1997). Με αυτό τον τρόπο είναι δυνατή η διάκριση του ποσοστού μεταβλητότητας των τιμών που οφείλεται σε σφάλματα κατά τη δειγματοληψία και από το ποσοστό μεταβλητότητας που προκαλείται από αναλυτικά σφάλματα (Ramsey, 1998)

Οι γεωγραφικές συντεταγμένες των θέσεων δειγματοληψίας του εδάφους προσδιορίστηκαν με τη βοήθεια συσκευής GPS (Πίν. 4.2.).

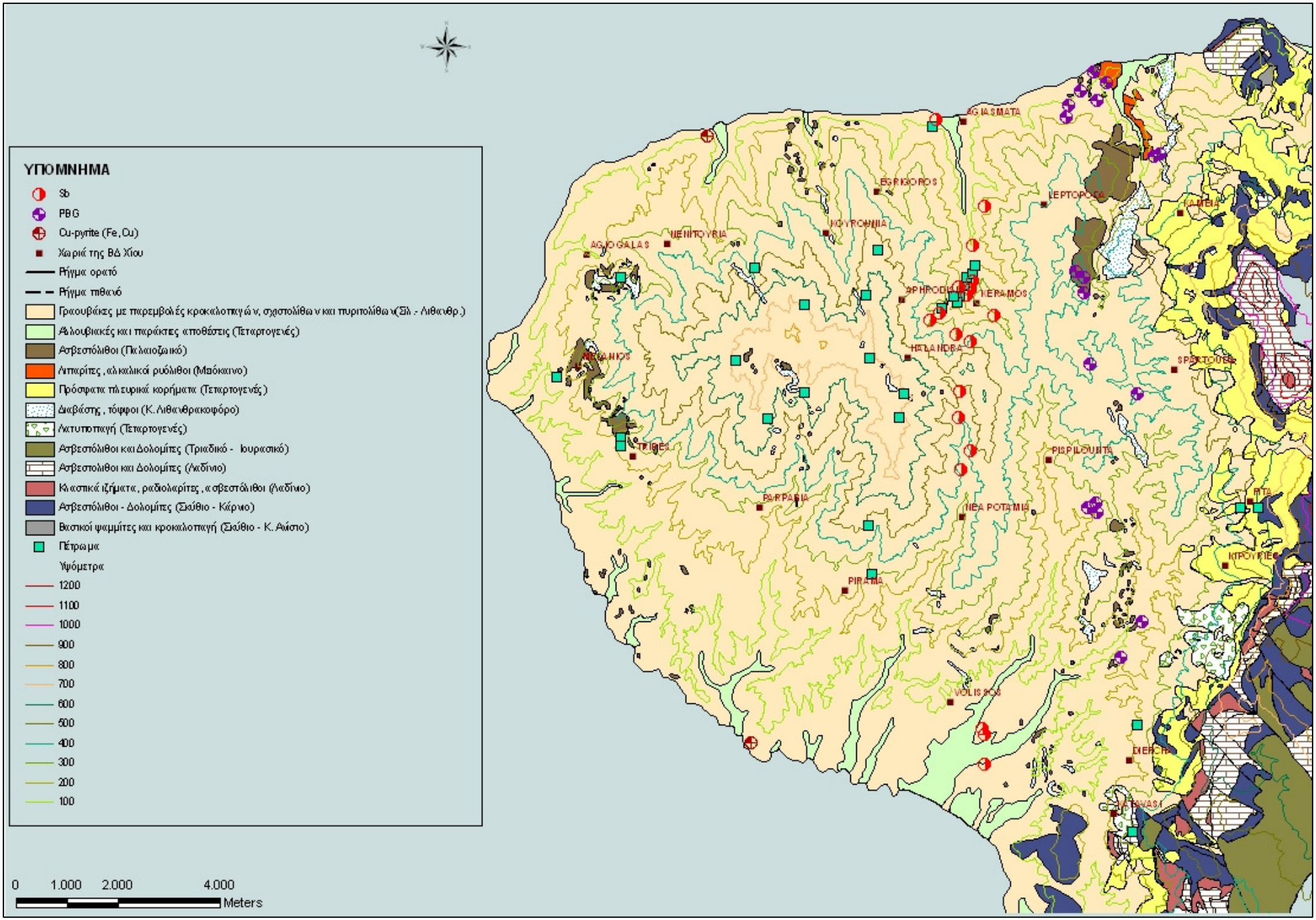
4.1.3. Πετρώματα – Μεταλλεύματα

Η δειγματοληψία των πετρωμάτων έλαβε χώρα το Νοέμβριο του 2005 και Ιανουάριο / Απρίλιο του 2006 στην περιοχή της ΒΔ Χίου. Ο συνολικός αριθμός των πετρωμάτων που συλλέχθηκε από την περιοχή είναι 29 (Εικ.4.1. και 4.4.). Με σκοπό τη μελέτη του τρόπου εμφάνισης του Sb στα πετρώματα, τόσο ως προς τα πρωτογενή ορυκτά όσο και προς τις εξαλλοιώσεις τους, συλλέχθηκαν 8 δείγματα (R2- R9) από την πυριτιωμένη ζώνη πλησίον εγκαταλελειμμένων στοών εκμετάλλευσης στην περιοχή της Κεράμου (Εικ. 4.5). Επιπλέον από την περιοχή των εγκαταλειμμένων μεταλλείων της Κεράμου στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας αντιμονίτη πάρθηκε δείγμα θρυμματισμένου μεταλλεύματος (M1).

Οι γεωγραφικές συντεταγμένες των θέσεων δειγματοληψίας των πετρωμάτων προσδιορίστηκαν με τη βοήθεια συσκευής GPS (Πίν. 4.3.).



Εικόνα 4.3.: *Γεωλογικός χάρτης της περιοχής της ΒΔ Χίου με απεικόνιση των θέσεων δειγματοληψίας εδάφους.*



Εικόνα 4.4.: *Γεωλογικός χάρτης της περιοχής της ΒΔ Χίου με απεικόνιση των θέσεων δειγματοληψίας πετρώματος.*

Πίνακας 4.2.: *Απογραφή των θέσεων δειγματοληψίας του εδάφους στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*

			ΕΓΣΑ '87		WGS '84			
Α/Α	**Δείγμα**	**Ημερομηνία δειγματοληψίας**	**X**	**Y**	**X**	**Y**	**Δείγμα νερού**	**Περιοχή**
1	Ε1(α)	29/8/2006	668362	4268625	25,93383	38,55269	S8	Κέραμος
2	Ε1(β)	29/8/2006					S8	Κέραμος
3	Ε2	29/8/2006	668353	4268601	25,93372	38,55247		Κέραμος
4	Ε4	29/8/2006	668792	4271416	25,93944	38,57775		Αγιάσματα
5	Ε5	29/8/2006	667111	4267944	25,91755	38,54423	S19	Χάλανδρα
6	Ε6	29/8/2006	667113	4267946	25,91757	38,54425	S19	Χάλανδρα
7	Ε7	29/8/2006	667950	4267870	25,92715	38,54340	S20	Χάλανδρα
8	Ε8	29/8/2006	667904	4266853	25,92638	38,53425	S15	Ν. Ποταμιά
9	Ε9	29/8/2006	669892	4270771	25,95013	38,56916	S5	Λεπτόποδα
10	Ε10(α)	29/8/2006	665849	4268514	25,90321	38,54960	S42 S43	Κουρούνια
11	Ε10(β)	29/8/2006					S42 S43	Κουρούνια
12	Ε11	29/8/2006	666071	4268531	25,90576	38,54971	S44	Κουρούνια
13	Ε12	29/8/2006	666721	4269146	25,91336	38,55513	S33	Κουρούνια
14	Ε13	29/8/2006	667130	4270100	25,91828	38,56364	S46	Κουρούνια
15	Ε14	30/8/2006	667460	4260881	25,91986	38,48055		Βολισσός
16	Ε15	30/8/2006	664339	4260695	25,88405	38,47945	W8	Αγία Μαρκέλλα Βολισσού
17	Ε16(α)	30/8/2006	665834	4260028	25,90103	38,47317	W9	Αγία Μαρκέλλα Βολισσού
18	Ε16(β)	30/8/2006					W9	Αγία Μαρκέλλα Βολισσού
19	Ε17	30/8/2006	667106	4264547	25,91668	38,51363	S60	Πιραμά
20	Ε18	30/8/2006	666880	4263480	25,91383	38,50406		Πιραμά
21	Ε19	30/8/2006	666826	4259665	25,91231	38,46971	W10	Λήμνος Βολισσού
22	Ε20	30/8/2006	668495	4259808	25,93146	38,47069	W11	Βολισσός
23	Ε21(α)	30/8/2006	672165	4258605	25,97321	38,45915	S55	Κατάβαση
24	Ε21(β)	30/8/2006					S55	Κατάβαση
25	Ε22	30/8/2006	673125	4259755	25,98450	38,46932		Κατάβαση
26	Ε23	30/8/2006	673374	4262181	25,98795	38,49112	S52	Κηπουριές

Πίνακας 4.2.(συνέχεια): *Απογραφή των θέσεων δειγματοληψίας του εδάφους στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*

			ΕΓΣΑ '87		WGS '84			
Α/Α	**Δείγμα**	**Ημερομηνία δειγματοληψίας**	**X**	**Y**	**X**	**Y**	**Δείγμα νερού**	**Περιοχή**
27	Ε24	30/8/2006	673808	4267979	25,99436	38,54326		Σπαρτούντα
28	Ε25(α)	30/8/2006	672606	4270332	25,98116	38,56469	S62	Καμπιά
29	Ε25(β)	30/8/2006					S62	Καμπιά
30	Ε26	30/8/2006	672962	4271022	25,98541	38,57083	S63	Καμπιά
31	Ε27	31/8/2006	668646	4260831	25,93344	38,47987		Βολισσός
32	Ε28(α)	31/8/2006	668618	4259920	25,93290	38,47167	D1	Βολισσός
33	Ε28(β)	31/8/2006					D1	Βολισσός
34	Ε29	31/8/2006	664313	4264903	25,88474	38,51736		Παρπαριά
35	Ε30	31/8/2006	665079	4267175	25,89406	38,53768	S38	Παρπαριά
36	Ε31	31/8/2006	665581	4267056	25,89980	38,53651	S22	Παρπαριά
37	Ε32(α)	31/8/2006	664432	4268024	25,88684	38,54545	S23	Νενητούρια - Άγιο Γάλας
38	Ε32(β)	31/8/2006					S23	Νενητούρια - Άγιο Γάλας
39	Ε33	31/8/2006	664520	4269798	25,88827	38,56141	S24	Νενητούρια
40	Ε34	31/8/2006	661985	4269550	25,85913	38,55964		Άγιο Γάλας
41	Ε35(α)	31/8/2006	660737	4267605	25,84437	38,54235		Μελανιός
42	Ε35(β)	31/8/2006						Μελανιός
43	Ε36	31/8/2006	661930	4266191	25,85772	38,52940	S27	Τρύπες
44	Ε37	31/8/2006	667684	4268843	25,92434	38,55222	S14	Αφροδίσια
45	Ε38(α)	31/8/2006	668416	4269023	25,93278	38,55370		Κέραμος
46	Ε38(β)	31/8/2006						Κέραμος
47	Ε39	31/8/2006	673667	4263872	25,99172	38,50630		Κηπουριές
48	Ε40	31/8/2006	674399	4265220	26,00045	38,51830		Φυτά
49	Ε41	31/8/2006	674703	4266053	26,00414	38,52574		Φυτά
50	Ε42(α)	1/9/2006	669318	4265291	25,94222	38,51992		Ν. Ποταμιά
51	Ε42(β)	1/9/2006						Ν. Ποταμιά
52	Ε43	1/9/2006	669781	4264858	25,94742	38,51593		Πισπιλούντα
53	Ε44	1/9/2006	669848	4265611	25,94837	38,52270		Πισπιλούντα

Πίνακας 4.2.(συνέχεια): *Απογραφή των θέσεων δειγματοληψίας του εδάφους στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*

			ΕΓΣΑ '87		WGS '84			
Α/Α	**Δείγμα**	**Ημερομηνία δειγματοληψίας**	**X**	**Y**	**X**	**Y**	**Δείγμα νερού**	**Περιοχή**
54	Ε45	1/9/2006	669760	4266374	25,94755	38,52959		Πισπιλούντα
55	Ε46	1/9/2006	668831	4262002	25,93584	38,49038		Βολισσός
56	Ε47(α)	1/9/2006	669040	4260842	25,93796	38,47990		Βολισσός
57	Ε47(β)	1/9/2006						Βολισσός
58	Ε48	1/9/2006	669613	4259052	25,94409	38,46367		Μάναγρος Βολισσού
59	Ε49	26/4/2007	667394	4261767	25,92108	38,49110		Προς Πιραμά
60	Ε50	26/4/2007	667238	4262065	25,91936	38,49381		Προς Πιραμά
61	Ε51	26/4/2007	667076	4262986	25,91773	38,50214		Πιραμά
62	Ε52	26/4/2007	666293	4263538	25,90888	38,50726		Πιραμά
63	Ε53	26/4/2007	665830	4263697	25,90361	38,50878		Προς Παρπαριά
64	Ε54	26/4/2007	665289	4264452	25,89759	38,51568		Παρπαριά
65	Ε55(α)	26/4/2007	664714	4264427	25,89100	38,51556		Παρπαριά
66	Ε55(β)	26/4/2007						Παρπαριά
67	Ε56	26/4/2007	663251	4265434	25,87446	38,52490		Προς Τρύπες
68	Ε57	26/4/2007	662663	4265599	25,86775	38,52649		Τρύπες
69	Ε58	26/4/2007	661868	4265655	25,85865	38,52714		Τρύπες
70	Ε59	26/4/2007	661612	4266619	25,85594	38,53587		Προς Μελανιός
71	Ε60	26/4/2007	661152	4267039	25,85076	38,53974		Προς Μελανιός
72	Ε61	26/4/2007	661197	4268572	25,85163	38,55354		Προς Αγιο Γάλας
73	Ε62(α)	26/4/2007	661218	4269352	25,85205	38,56056		Άγιο Γάλας
74	Ε62(β)	26/4/2007						Άγιο Γάλας
75	Ε63	26/4/2007	661944	4269996	25,86053	38,56623		Άγιο Γάλας
76	Ε64	26/4/2007	662571	4270339	25,86780	38,56920		Προς Νενητούρια
77	Ε65	26/4/2007	663185	4270373	25,87486	38,56940		Νενητούρια
78	Ε66	26/4/2007	663555	4270228	25,87907	38,56802		Νενητούρια
79	Ε67	26/4/2007	663886	4269796	25,88276	38,56407		Νενητούρια
80	Ε68	26/4/2007	664942	4270223	25,89498	38,56772		Προς Κουρούνια

Πίνακας 4.2.(συνέχεια): *Απογραφή των θέσεων δειγματοληψίας του εδάφους στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*

			ΕΓΣΑ '87		WGS '84			
Α/Α	**Δείγμα**	**Ημερομηνία δειγματοληψίας**	**X**	**Y**	**X**	**Y**	**Δείγμα νερού**	**Περιοχή**
81	Ε69	26/4/2007	665430	4270267	25,90059	38,56803		Προς Κουρούνια
82	Ε70(α)	26/4/2007	665730	4270247	25,90402	38,56779		Κουρούνια
83	Ε70(β)	26/4/2007						Κουρούνια
84	Ε71	26/4/2007	666503	4270740	25,91301	38,57209		Κουρούνια
85	Ε72	26/4/2007	666892	4270893	25,91751	38,57339	S65	Εγρηγόρος
86	Ε73	26/4/2007	667134	4270379	25,92016	38,56872		Προς Αφροδίσια
87	Ε74	26/4/2007	667793	4269964	25,92762	38,56485		Προς Αφροδίσια
88	Ε75	26/4/2007	668204	4269168	25,93214	38,55761		Προς Κέραμο
89	Ε76	26/4/2007	668893	4269774	25,94020	38,56293		Κέραμος
90	Ε77	26/4/2007	668209	4272515	25,93301	38,58775		Αγιάσματα
91	Ε78	26/4/2007	668709	4272496	25,93875	38,58749		Αγιάσματα
92	Ε79	26/4/2007	668821	4270446	25,93953	38,56900		Αγιάσματα
93	Ε80(α)	26/4/2007	667195	4260383	25,91847	38,47867		Λήμνος Βολισσού
94	Ε80(β)	26/4/2007						Λήμνος Βολισσού
95	Ε81	26/4/2007	665168	4260598	25,89529	38,48099		Προς Αγία Μαρκέλλα
96	Ε82	26/4/2007	669299	4258898	25,94223	38,46490		Μάναγρος Βολισσού
97	Ε83	26/4/2007	666503	4260173	25,91049	38,47691		Λήμνος Βολισσού
98	Ε84	27/4/2007	669063	4260823	25,93998	38,48228		Βολισσός
99	Ε85	27/4/2007	669894	4260850	25,94951	38,48237		Βολισσός
100	Ε86	27/4/2007	670603	4261659	25,95783	38,48952		Προς Κηπουριές
101	Ε87	27/4/2007	671470	4262132	25,96788	38,49361		Προς Κηπουριές
102	Ε88	27/4/2007	672621	4263270	25,98135	38,50364		Προς Κηπουριές
103	Ε89	27/4/2007	673234	4262988	25,98831	38,50098		Προς Κηπουριές
104	Ε90(α)	27/4/2007	672679	4269243	25,98350	38,55742		Προς Καμπιά
105	Ε90(β)	27/4/2007						Προς Καμπιά
106	Ε91	27/4/2007	672396	4270005	25,98044	38,56434		Προς Καμπιά
107	Ε92	27/4/2007	673427	4267513	25,99165	38,54170		Σπαρτούντα

Πίνακας 4.2.(συνέχεια): *Απογραφή των θέσεων δειγματοληψίας του εδάφους στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*

			ΕΓΣΑ '87		WGS '84			
Α/Α	**Δείγμα**	**Ημερομηνία δειγματοληψίας**	**X**	**Y**	**X**	**Y**	**Δείγμα νερού**	**Περιοχή**
108	E93	27/4/2007	672788	4266918	25,98417	38,53646		Σπαρτούντα
109	E94	27/4/2007	672233	4266891	25,97780	38,53633		Προς Πισπιλούντα
110	E95	27/4/2007	671669	4266851	25,97132	38,53608		Προς Πισπιλούντα
111	E96	27/4/2007	671239	4266995	25,96642	38,53746		Προς Πισπιλούντα
112	E97	27/4/2007	670729	4267606	25,96073	38,54306		Προς Πισπιλούντα
113	E98	27/4/2007	669696	4266955	25,94872	38,53739		Προς Πισπιλούντα
114	E99	27/4/2007	669818	4266181	25,94993	38,53040		Πισπιλούντα
115	E100(α)	27/4/2007	670230	4259299	25,95298	38,46833		Μάναγρος Βολισσού
116	E100(β)	27/4/2007						Μάναγρος Βολισσού
117	E101	27/4/2007	669869	4265580	25,95037	38,52497		Πισπιλούντα

Πίνακας 4.3.: *Απογραφή των θέσεων δειγματοληψίας των πετρωμάτων στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*

			ΕΓΣΑ '87		WGS '84		
Α/Α	**Δείγμα**	**Ημερομηνία δειγματοληψίας**	**X**	**Y**	**X**	**Y**	**Περιοχή**
1	R1	18/11/2005	667633	4267113	25,92333	38,53664	Όρος Αμανής
2	R2	19/11/2005	668687	4268894	25,93585	38,55248	Κέραμος
3	R3	19/11/2005	668830	4269221	25,93757	38,55540	Κέραμος
4	R4	19/11/2005	668867	4269381	25,93803	38,55684	Κέραμος
5	R5	19/11/2005	668992	4269472	25,93949	38,55763	Κέραμος
6	R6	19/11/2005	669029	4269625	25,93995	38,55900	Κέραμος
7	R7	19/11/2005	668383	4268788	25,93234	38,55159	Κέραμος
8	R8	19/11/2005	668743	4269002	25,93652	38,55344	Κέραμος
9	R9	19/11/2005	668616	4269027	25,93507	38,55369	Κέραμος
10	R10	19/1/2006	667537	4266637	25,92212	38,53237	Όρος Αμανής
11	R11	19/1/2006	666978	4267814	25,91599	38,54308	Χάλανδρα
12	R12	19/1/2006	668204	4272333	25,93114	38,58355	Αγιάσματα
13	R13	20/1/2006	672219	4260597	25,97432	38,47708	Διευχά
14	R14	20/1/2006	665666	4267092	25,90077	38,53682	Παρπαριά
15	R15	20/1/2006	664330	4267747	25,88560	38,54297	Άγιο Γάλας - Νενητούρια
16	R16	20/1/2006	664689	4269583	25,89015	38,55944	Νενητούρια
17	R17	20/1/2006	662063	4266265	25,85926	38,53003	Τρύπες
18	R18	20/1/2006	662057	4266080	25,85915	38,52837	Τρύπες
19	R19	5/4/2006	666982	4263562	25,91502	38,50478	Πιραμά
20	R20	5/4/2006	660800	4267425	25,84504	38,54071	Μελανιός
21	R21	5/4/2006	662096	4269384	25,86036	38,55812	Άγιο Γάλας
22	R22	5/4/2006	666889	4269039	25,91526	38,55413	Κουρούνια
23	R23	6/4/2006	665709	4267117	25,90127	38,53704	Παρπαριά
24	R24	6/4/2006	665668	4268855	25,90121	38,55270	Κουρούνια
25	R25	6/4/2006	667105	4269942	25,91769	38,55243	Κουρούνια
26	R26	7/4/2006	674273	4264874	25,99892	38,51528	Φυτά
27	R27	7/4/2006	674596	4264869	26,00262	38,51509	Φυτά

Πίνακας 4.3.(συνέχεια): *Απογραφή των θέσεων δειγματοληψίας των πετρωμάτων στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*

			ΕΓΣΑ '87		WGS '84		
Α/Α	**Δείγμα**	**Ημερομηνία δειγματοληψίας**	**X**	**Y**	**X**	**Y**	**Περιοχή**
28	R28	7/4/2006	672150	4258500	25,97301	38,45820	Κατάβαση
29	R29	7/4/2006	666932	4264520	25,91467	38,51342	Πιραμά

Εικόνα 4.5. *Εγκαταλελειμμένες μεταλλευτικές στοές στην περιοχή των μεταλλείων της Κεράμου.*

4.2. Επεξεργασία και χημική ανάλυση δειγμάτων

4.2.1. Υπόγειο νερό

Τα δείγματα υπόγειου νερού που συλλέχθηκαν κατά την υγρή και την ξηρή περίοδο μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο Οικονομικής Γεωλογίας και Γεωχημείας και διηθήθηκαν με τη βοήθεια της συσκευής αντλίας κενού με χρήση προζυγισμένων φίλτρων μεμβράνης πόρων 0.45μm. Σε κάθε διηθημένο δείγμα νερού υπολογίστηκε ο όγκος του με τη χρήση κατάλληλου ογκομετρικού κυλίνδρου και στη συνέχεια τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε δοχεία πολυαιθυλενίου όγκου 1000ml. Κατόπιν οι ηθμοί φυλάχθηκαν σε τριβλία και τοποθετήθηκαν σε ξηραντήρα για την απομάκρυνση της υγρασίας και ζυγίστηκαν εκ νέου. Η διαφορά βάρους των ηθμών πριν και μετά τη διήθηση για το κάθε δείγμα προς τον όγκο του κάθε δείγματος δίνει την συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών στο νερό (Παράρτημα Γ'). Τα αιωρούμενα στερεά που βρίσκονται στο υπόγειο νερό προέρχονται κυρίως από την φυσική αποσάθρωση των διαφόρων πετρωμάτων και του εδάφους της περιοχής μελέτης.

Ο ποσοτικός προσδιορισμός των κατιόντων K^+, Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, των ανιόντων NO_3^-, NO_2^-, SO_4^{2-}, PO_4^{3-}, Cl^-, NH_4^+, HCO_3^- και των ιχνοστοιχείων Mn, Ni, Co, Cr, Cd, Pb, Fe, Zn, Cu, As και Sb πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Οικονομικής Γεωλογίας και Γεωχημείας του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αθηνών.

Οι χημικές αναλύσεις για τον ποσοτικό προσδιορισμό των NO_3^-, NO_2^-, SO_4^{2-}, PO_4^{3-}, Cl^- και NH_4^+ στα δείγματα υπόγειου νερού υγρής και ξηρής περιόδου πραγματοποιήθηκαν με τη μέθοδο της φασματοφωτομετρίας.

Αναλυτικότερα:

- **Ποσοτικός προσδιορισμός NO_3^-**: Πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο αναγωγής του καδμίου. Για την προετοιμασία του προς ανάλυση δείγματος χρησιμοποιήθηκε ζευγάρι κυψελίδων όπου η κάθε μία συμπληρώθηκε με 10ml δείγματος. Κατόπιν στη μία κυψελίδα προστέθηκε το αντιδραστήριο Nitraver 5 Nitrate υπό μορφή σκόνης και ανακινήθηκε για ένα λεπτό μέχρι να διαλυθεί και στην συνέχεια το διάλυμα που προέκυψε αφέθηκε σε ηρεμία για πέντε λεπτά μέχρι να πραγματοποιηθεί η αντίδραση. Το κάδμιο που περιέχεται στο αντιδραστήριο προκάλεσε αναγωγή των νιτρικών ιόντων που εμφανίζονται στο δείγμα σε NO_2^-. Το NO_2^- αντέδρασε σε όξινο μέσο με σουλφανιλικό οξύ ($C_6H_7NO_3S$) δίνοντας ένα ενδιάμεσο άλας της μορφής (RN_2^+-X^-). Αυτό το άλας ενώθηκε με το gentisic οξύ (αρωματικό καρβοξυλικό οξύ) σχηματίζοντας ένα προϊόν χρώματος μελί λόγω ύπαρξης NO_3^--N στο δείγμα.

Κατόπιν η κυψελίδα που είχε μόνο το δείγμα (blank) τοποθετήθηκε στη θέση (κυψέλη) που περιέχει η συσκευή φασματοφωτομετρίας και ακολουθήθηκε μηδενισμός. Στη συνέχεια τοποθετήθηκε στην κυψέλη το δείγμα στο οποίο είχε προστεθεί το αντιδραστήριο. Η τιμή που προέκυψε δόθηκε σε mg/l NO_3^--N και πολλαπλασιάστηκε με τον συντελεστή 4.4 για να εκφραστεί σε mg/l NO_3^-.

➢ **Ποσοτικός προσδιορισμός NO_2^-**: Πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της διαζώτωσης. Χρησιμοποιήθηκε ζευγάρι κυψελίδων και συμπληρώθηκε η κάθε μία με 10ml δείγματος. Κατόπιν στη μία κυψελίδα προστέθηκε το αντιδραστήριο Nitraver 3 Nitrate υπό μορφή σκόνης και το διάλυμα αναδεύτηκε καλά και στη συνέχεια αφέθηκε να ηρεμήσει 20 λεπτά για να γίνει η αντίδραση. Το NO_2^- στο δείγμα αντέδρασε με το σουλφανιλικό οξύ για να σχηματιστεί ένα ενδιάμεσο άλας μορφής (RN_2^+-X^-). Αυτό ενώθηκε με χρωμοτροπικό οξύ μορφής ($(HO)_2C_{10}H_4(SO_3Na)_2$. $2H_2O$) για να παραχθεί ένα σύμπλοκο ροζ χρώματος. Η ένταση του χρώματος ήταν ανάλογη με το ποσό του NO_2^- που υπήρχε στο δείγμα. Η τιμή που προέκυψε εκφράστηκε σε mg/l NO_2^--N και πολλαπλασιάστηκε με τον συντελεστή 3.3 για να εκφραστεί σε mg/l NO_2^-.

Η συγκέντρωση των νιτρωδών ιόντων στο δείγμα υπόγειου νερού S9 κατά την υγρή και την ξηρή περίοδο υπολογίστηκε με τη μέθοδο Ferrous Sulphate ($FeSO_4$). Χρησιμοποιήθηκε ζευγάρι κυψελίδων και συμπληρώθηκε η κάθε μία με 10ml δείγματος. Κατόπιν στη μία κυψελίδα προστέθηκε το αντιδραστήριο Nitriver 2 Nitrite υπό μορφή σκόνης, το διάλυμα αναδεύτηκε καλά και στη συνέχεια αφέθηκε να ηρεμήσει 10 λεπτά για να πραγματοποιηθεί η αντίδραση. Το ferrous sulphate που περιέχεται στο αντιδραστήριο προκάλεσε την αναγωγή των NO_2^- σε N_2O (nitrous oxide). Τα ιόντα σιδήρου σε συνδυασμό με το nitrous oxide σχημάτισαν σύμπλοκο άλας χρώματος πράσινο-καφέ. Η τιμή που προέκυψε εκφράστηκε σε mg/l NO_2^-.

➢ **Ποσοτικός προσδιορισμός SO_4^{2-}**: Πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο Sulfaver 4. Χρησιμοποιήθηκε ζευγάρι κυψελίδων όπου η κάθε μία συμπληρώθηκε με 25ml του προς ανάλυση δείγματος Κατόπιν στη μία κυψελίδα προστέθηκε το αντιδραστήριο Sulfaver 4 υπό μορφή σκόνης και ανακινήθηκε καλά μέχρι να επέλθει ολική διάλυση. Στη συνέχεια το διάλυμα βρισκόταν υπό ηρεμία για πέντε λεπτά μέχρι να πραγματοποιηθεί η αντίδραση. Τα θειικά ιόντα στο δείγμα νερού αντέδρασαν με το βάριο που περιέχεται στο αντιδραστήριο Sulfaver 4 σχηματίζοντας θειικό βάριο ($BaSO_4$). Το προϊόν που σχηματίστηκε είχε χρώμα λευκό. Η τιμή που προέκυψε δόθηκε σε mg/l SO_4^{2-}.

➢ **Ποσοτικός προσδιορισμός PO_4^{3-}**: Πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο Phosver 3 ή άλατος φωσφορικού οξέος (orthophosphate). Χρησιμοποιήθηκε ζευγάρι κυψελίδων όπου η κάθε μία συμπληρώθηκε με 10ml δείγματος. Στη συνέχεια στη μία κυψελίδα προστέθηκε το αντιδραστήριο Phosver 3 phosphate υπό μορφή σκόνης και ανακινήθηκε αμέσως μέχρι το αντιδραστήριο να διαλυθεί τελείως. Στη συνέχεια το διάλυμα αφέθηκε σε ηρεμία δύο λεπτά προς πραγματοποίηση της αντίδρασης. Το ορθοφωσφορικό άλας (orthophosphate) αντέδρασε με το άλας μολυβδαινίου για την παραγωγή ενός συμπλόκου άλατος (phosphomolybdate complex). Το ασκορβικό οξύ (ascorbic acid) προκάλεσε αναγωγή του παραπάνω συμπλόκου άλατος και έδωσε στο διάλυμα μπλε χρώμα λόγω ύπαρξης PO_4^{3-}. Η τιμή που προέκυψε δόθηκε σε mg/l PO_4^{3-}.

➢ **Ποσοτικός προσδιορισμός Cl^-**: Πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο του $Hg(SCN)_2$ (Mercuric Thiocyanate Method). Χρησιμοποιήθηκε ζευγάρι κυψελίδων όπου η μία συμπληρώθηκε με 25ml απιονισμένου νερού (blank) και η άλλη συμπληρώθηκε με 25ml δείγματος. Στη συνέχεια και στις δύο κυψελίδες με τη βοήθεια πιπέτας προστέθηκαν 2ml διαλύματος Mercuric Thiocyanate και 1ml διαλύματος Ferric Ion. Έγινε καλή ανάδευση και αφέθηκαν τα διαλύματα να ηρεμήσουν δύο λεπτά για να πραγματοποιηθεί η αντίδραση. Το Cl^- στο δείγμα αντέδρασε με το $Hg(SCN)_2$ σχηματίζοντας χλωρίδιο του υδραργύρου και απελευθερώνοντας ιόντα θειοκυανίου. Τα ιόντα θειοκυανίου αντέδρασαν με τα ιόντα σιδήρου (Fe^{3+}) σχηματίζοντας ένα σύμπλοκο άλας (Ferric thiocyanate complex) χρώματος πορτοκαλί. Η τιμή που προέκυψε δόθηκε σε mg/l Cl^-.

➢ **Ποσοτικός προσδιορισμός NH_4^+**: Πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο Nessler. Χρησιμοποιήθηκε ζευγάρι ογκομετρικών κυλίνδρων των 50ml και συμπληρώθηκαν ο ένας με το δείγμα μέχρι τα 25ml και ο άλλος με απιονισμένο νερό μέχρι τα 25ml. Κατόπιν και στους δύο ογκομετρικούς κυλίνδρους προστέθηκαν 3 σταγόνες από το Mineral Stabilizer, 3 σταγόνες Polyvinil Alcohol και 1 ml αντιδραστηρίου Nessler και αναδεύτηκαν καλά. Κατά τη διάρκεια του ενός λεπτού που ηρεμούσαν τα διαλύματα για να γίνει η αντίδραση μεταφέρθηκαν σε ένα ζευγάρι κυψελίδες. Κατά την αντίδραση σχηματίστηκε σύμπλοκο άλας δίνοντας στο δείγμα ένα κίτρινο χρώμα. Η ένταση του χρώματος ήταν ανάλογη του ποσού του αμμωνίου που υπήρχε στο δείγμα. Η τιμή που προέκυψε δόθηκε σε mg/l NH_3 N και πολλαπλασιάστηκε με τον συντελεστή 1.29 για να εκφραστεί σε mg/l NH_4^+.

➢ **Ποσοτικός προσδιορισμός HCO_3^-**: Πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της τιτλοδότησης με τη βοήθεια κατάλληλης συσκευής (τιτλοδότης) της HACH στα δείγματα υπόγειου νερού υγρής και ξηρής περιόδου. Ο προσδιορισμός των HCO_3^- βασίστηκε στην αλκαλικότητα και τη χρησιμοποίηση διαλύματος θειικού οξέος. Κατά τη διάρκεια των χημικών αναλύσεων τόσο η ποσότητα του δείγματος όσο και η κανονικότητα του διαλύματος H_2SO_4 που χρησιμοποιήθηκε καθορίστηκαν από τον Πίνακα 4.4..

Πίνακας 4.4.: *Επιλογή όγκου και κανονικότητας διαλύματος H_2SO_4 για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των HCO_3^- στα δείγματα υπόγειου νερού.*

Εύρος τιμών (mg/l $CaCO_3$)	**Όγκος δείγματος (ml)**	**Κανονικότητα (N H_2SO_4)**	**Συντελεστής**
10 - 40	100	0.1600	0.1
40 - 160	25	0.1600	0.4
100 - 400	100	1.600	1.0
200 - 800	50	1.600	2.0
500 - 2000	20	1.600	5.0
1000 - 4000	10	1.600	10.0

Έτσι σε ογκομετρική φιάλη μετρήθηκε ο όγκος του προς ανάλυση δείγματος και μεταφέρθηκε σε κωνική φιάλη. Κατόπιν προστέθηκε στο δείγμα η οργανική ένωση Bromcresol Green – Methyl Red σε μορφή σκόνης. Αναδεύτηκε το διάλυμα αποκτώντας χρώμα πράσινο με τιμή pH 7 – 8 περίπου. Κατόπιν ετοιμάστηκε σύριγγα με διάλυμα H_2SO_4 κανονικότητας που επιλέχθηκε με βάση τον όγκο δείγματος που χρησιμοποιήθηκε και προστέθηκαν στο διάλυμα μικρές ποσότητες αναδεύοντας παράλληλα. Μόλις έγινε μόνιμα το χρώμα του δείγματος κυανό σταμάτησε η προσθήκη του οξέος και καταγράφηκε η τιμή που έδωσε ο τιτλοδότης, ενώ η τιμή του pH ήταν περίπου 4.5. Ανάλογα με τον όγκο του δείγματος που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση, η τιμή που προέκυψε πολλαπλασιάστηκε με τον κατάλληλο συντελεστή δίνοντας mg/l HCO_3^-.

➢ **Ποσοτικός προσδιορισμός K^+-Na^+**: Πραγματοποιήθηκε με τη χρήση φλογοφωτόμετρου (flame photometer) της Jenway μοντέλο PFP 7H στα δείγματα υπόγειου νερού υγρής και ξηρής περιόδου. Κατά την φλογοφωτομετρία σαν μέσο διέγερσης των ατόμων προς ακτινοβολία (όταν το άτομο προσλάβει ενέργεια, ηλεκτρόνιο από την τροχιά θεμελιώδους ενεργειακής στάθμης μεταπηδά σε άλλη από τις επιτρεπόμενες τροχιές, μεγαλύτερης ενέργειας), χρησιμοποιείται η φλόγα. Κατά την επιστροφή των ηλεκτρονίων στη θεμελιώδη κατάσταση

εκπέμπεται ακτινοβολία χαρακτηριστικού μήκους κύματος από το οποίο γίνεται ποιοτική ανάλυση και από την ένταση αυτής ποσοτική ανάλυση. Επιπλέον, παρασκευάστηκαν και χρησιμοποιήθηκαν πρότυπα διαλύματα K – Na γνωστής συγκέντρωσης με σκοπό να ορισθεί το εύρος των τιμών στο οποίο θα γινόταν αποδεκτές οι μετρήσεις.

➢ **Ποσοτικός προσδιορισμός Ca^{2+}-Mg^{2+}**: Πραγματοποιήθηκε με τη φασματοφωτομετρία ατομικής απορρόφησης (AAS) της Perkin Elmer με φλόγα αέρα – ασετυλίνης στα δείγματα υπόγειου νερού υγρής και ξηρής περιόδου. Κατά την ανάλυση γίνεται "ατομοποίηση" του δείγματος σε μία φλόγα διαμέσου της οποίας, διέρχεται συγχρόνως ακτινοβολία χαρακτηριστικού μήκους κύματος και μετράται η απορροφημένη ακτινοβολία. Ο σχηματισμός του ατόμου πρέπει να είναι γρήγορος και ποσοτικός χωρίς να λαμβάνουν χώρα αντιδράσεις (συνήθως σχηματισμός οξειδίων) οι οποίες παρεμποδίζουν την ατομοποίηση ή τον ιονισμό του προς προσδιορισμό στοιχείου, δεδομένου ότι ανιχνεύονται άτομα τα οποία βρίσκονται στη βασική τους κατάσταση. Γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιείται η φλόγα ασετυλίνης στην οποία αναπτύσσεται μεγάλη θερμοκρασία και είναι αναγωγική ώστε να αποφεύγεται ο σχηματισμός τέτοιων ενώσεων. Επιπλέον, η απορρόφηση του μαγνησίου και του ασβεστίου είναι γνωστό ότι επηρεάζεται από το αργίλιο, τα φωσφορικά και τα θειικά επειδή σχηματίζονται σταθερές ενώσεις με το μαγνήσιο στη φλόγα, οπότε προκύπτει αρνητικό σφάλμα. Η παρεμβολή αυτή των στοιχείων αντιμετωπίστηκε προσθέτοντας στα προς ανάλυση δείγματα διάλυμα λανθανίου (La_2O_3 4%). Επίσης παρασκευάστηκαν και χρησιμοποιήθηκαν πρότυπα διαλύματα Ca – Mg για να οριστεί το εύρος των τιμών στο οποίο θα γινόταν αποδεκτές οι μετρήσεις.

➢ **Ποσοτικός προσδιορισμός Mn, Ni, Co, Cr, Cd, Pb, Fe, Zn, Cu**: Πραγματοποιήθηκε με τη φασματοφωτομετρία ατομικής απορρόφησης (AAS) της Perkin Elmer μοντέλο 1100B με εξαχνωτή θερμαινόμενου γραφίτη στα δείγματα υπόγειου νερού υγρής και ξηρής περιόδου. Το συγκεκριμένο σύστημα ατομοποίησης βελτιώνει την ευαισθησία και ελαττώνει το όριο ανιχνευσιμότητας. Η εξάχνωση του δείγματος επιτυγχάνεται με ηλεκτρική θέρμανση και προγραμματισμό θερμοκρασίας μέχρι περίπου 2700^0C. Επίσης παρασκευάστηκαν και χρησιμοποιήθηκαν δύο ομάδες πρότυπων διαλύματων όπου η μία περιείχε τα στοιχεία Cr – Co - Ni – Cu – Fe και η άλλη τα στοιχεία Mn – Pb – Cd - Zn γνωστών συγκεντρώσεων με σκοπό τον προσδιορισμό αυτών των στοιχείων στα δείγματα υπόγειου νερού.

➢ **Ποσοτικός προσδιορισμός Ag, Al, B, Ba, Be, Bi, Ce, Li, Mo, Se, Si, Te, Ti, TI, U, V, W**: Πραγματοποιήθηκε σε 64 δείγματα υπόγειου νερού υγρής περιόδου με φασματοσκοπία εκπομπής με διέγερση πλάσματος (ICP – MS) στα αναλυτικά εργαστήρια ACME του Καναδά.

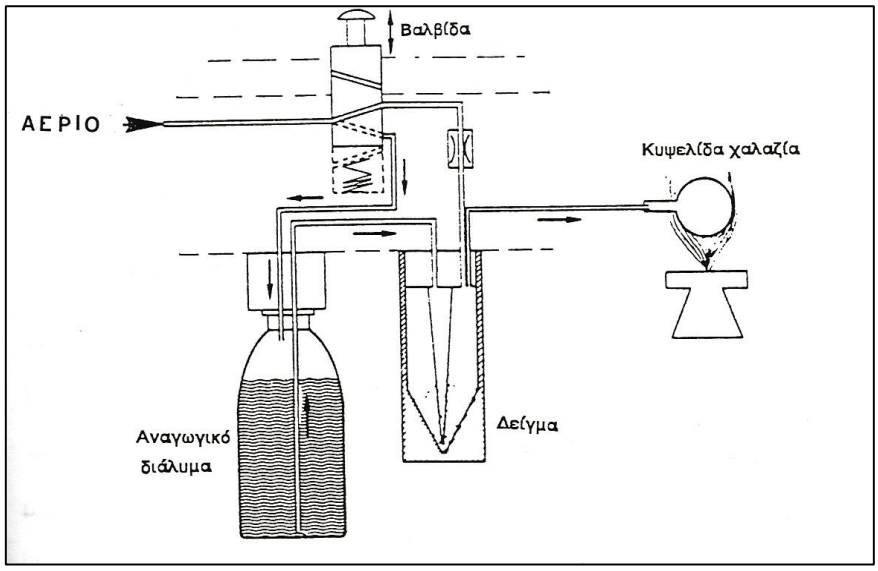
➢ **Μέτρηση συγκέντρωσης As και Sb στο νερό**

Πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Οικονομικής Γεωλογίας και Γεωχημείας με τη μέθοδο παραγωγής υδριδίων. Η αρχή της μεθόδου περιγράφεται από τον Welz (1985). Με την προσθήκη αναγωγικού μέσου, όπως του $NaBH_4$ στο εξεταζόμενο διάλυμα, απελευθερώνεται αέριο H_2, το οποίο ανάγει το μέταλλο σε υδρίδιο και συγχρόνως το μεταφέρει σε θερμαινόμενη κυψελίδα χαλαζία, όπου εκεί διασπάται θερμικά και στην συνέχεια μετράται η απορρόφησή του με τη βοήθεια συσκευής AAS. Η συγκεκριμένη μέθοδος ανάλυσης εμφανίζει υψηλή ευαισθησία με πολύ χαμηλά όρια ανίχνευσης.

Για την χημική ανάλυση των δειγμάτων υπόγειου νερού υγρής και ξηρής περιόδου χρησιμοποιήθηκε η συσκευή MHS – 10 η οποία προσαρμόστηκε στο όργανο φασματοσκοπίας ατομικής απορρόφησης (AAS) της Perkin – Elmer 1100B. Το σύστημα MHS – 10 απεικονίζεται στην Εικόνα 4.6. Το σύστημα υδριδίων αποτελείται από δύο τμήματα: α) τη βασική μονάδα αντίδρασης και β) το χαλαζιακό κελί. Η μονάδα αντίδρασης αποτελείται από δύο δοχεία από πολυαιθυλένιο. Το μεγάλο πληρώνεται με το αναγωγικό διάλυμα που στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι το βορουδρίδιο του νατρίου ($NaBH_4$) ενώ στο μικρότερο τοποθετείται το προς εξέταση διάλυμα. Το κελί του χαλαζία τοποθετείται με ειδικό στήριγμα στο σύστημα του λύχνου του φασματοφωτόμετρου, ώστε ο χαλαζίας να θερμαίνεται με τη φλόγα αέρα – ασετυλίνης. Ειδικές ψήκτρες από γραφίτη στα άκρα του κελιού εμποδίζουν την ανάφλεξη του υδρογόνου που ελευθερώνεται κατά τη διάρκεια του προσδιορισμού. Η μονάδα της αντίδρασης συνδέεται με το χαλαζιακό κελί μέσω ενός πλαστικού αγωγού. Το σύστημα λειτουργεί με τη βοήθεια του αερίου αργού. Το αργό επιτελεί τρεις δράσεις: εκκενώνει το σύστημα από τον υπάρχοντα αέρα, παρέχει εξαιρετική ανάμειξη του διαλύματος με το δείγμα και διοχετεύει το αναγωγικό διάλυμα στη φιάλη αντιδράσεως για την επίτευξη της αντίδρασης και την ελευθέρωση του H_2 και των υδριδίων.

Το διάλυμα που παρασκευάζεται αποτελείται από 5ml δείγματος και 5ml HCl 1.5% για την ανάλυση του As και 5ml δείγματος, 5ml HCl 3% για την ανάλυση του Sb με σκοπό την ελάττωση των παρεμβολών από άλλα στοιχεία (Welz, 1985). Κατόπιν ανάγεται το κάθε

διάλυμα από το $NaBH_4$ με έντονη έκλυση υδρογόνου, το οποίο στη συνέχεια ανάγει τα ιόντα As ή Sb για να σχηματιστεί τελικά το πτητικό υδρίδιο του κάθε μεταλλοειδούς.



Εικόνα 4.6.*: Απεικόνιση του συστήματος υδριδίων MHS – 10 (Νικολαϊδου,1996).*

Το παραγόμενο αέριο υδρογόνο οδηγεί το πτητικό υδρίδιο στο θερμαινόμενο χαλαζιακό κελί, όπου αποσυντίθεται, ατομοποιείται και μετριέται η απορρόφηση του ατόμου του μεταλλοειδούς. Για τη μέτρηση του As στα δείγματα υπόγειου νερού παρασκευάστηκε αναγωγικό διάλυμα NaOH - $NaBH_4$ όπου περιείχε 1% NaOH, 3% $NaBH_4$ και διάλυμα HCl 1.5%. Για τη μέτρηση του Sb στα δείγματα υπόγειου νερού παρασκευάστηκε αναγωγικό διάλυμα NaOH - $NaBH_4$ όπου περιείχε 1% NaOH, 3% $NaBH_4$ και διάλυμα HCl 3%. Επίσης παρασκευάστηκαν και χρησιμοποιήθηκαν πρότυπα διαλύματα As και Sb γνωστών συγκεντρώσεων με σκοπό τον προσδιορισμό αυτών των στοιχείων στα δείγματα υπόγειου νερού. Δύο πιστοποιημένα υλικά αναφοράς CRM – BCR609 το οποίο είναι υπόγειο νερό χαμηλής συγκέντρωσης σε αρσενικό (1,20 ppb) και BCR610 το οποίο είναι υπόγειο νερό υψηλής συγκέντρωσης σε αρσενικό (10.8 ppb) αναλύθηκαν συγχρόνως με τα υπόλοιπα δείγματα της έρευνας ώστε να διαπιστωθεί η αναλυτική ακρίβεια της μεθόδου.

Ο σχηματισμός υδριδίου αρσενικού και αντιμονίου με την χρησιμοποίηση του αναγωγικού διαλύματος $NaBH_4$, εξαρτάται από το pH του διαλύματος. Συγκέντρωση HCl 5M στο διάλυμα

δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα παρουσία άλλων στοιχείων που παρεμβάλλονται στο σήμα. Διάφορες έρευνες που έχουν γίνει στο παρελθόν για την επίδραση των αναγωγικών μέσων $NaBH_4$ και $Zn/SnCl_2$, σε προσδιορισμούς As, Sb δια μέσου των υδριδίων τους αναφέρουν ότι δεν παρατηρούνται αλλαγές στην ευαισθησία και στην ικανότητα αναγωγής μεταξύ των δύο μέσων.

Η τεχνική υδριδίων είναι η μόνη τεχνική AAS στην οποία η κατάσταση οξείδωσης του αναλυθέντος στοιχείου έχει σημαντική επιρροή στην ευαισθησία της. Για τα ιχνοστοιχεία αρσενικού και αντιμόνιου υπάρχει διαφορά ευαισθησίας στο σήμα ανάμεσα στην τρισθενή και πεντασθενή οξειδωτική κατάσταση. Η ευαισθησία της πεντασθενούς οξειδωτικής κατάστασης του αρσενικού είναι περίπου 70 έως 80% της τρισθενούς οξειδωτικής κατάστασης. Για το αντιμόνιο η πεντασθενής οξειδωτική κατάσταση είναι περίπου στο 50% της ευαισθησίας της τρισθενούς κατάστασης. Διάφοροι μελετητές διαπίστωσαν ότι και οι δύο καταστάσεις οξείδωσης του αντιμονίου και του αρσενικού έδωσαν την ίδια ευαισθησία στη μέγιστη περιοχή. Εντούτοις υποστηρίζεται ότι αυτό γίνεται μόνο κάτω από ειδικές αναλυτικές διαδικασίες. Κατά την χρησιμοποίηση μεγαλύτερων ποσοτήτων οξέος, μελετητές παρατήρησαν χαμηλότερη ευαισθησία για την υψηλότερη κατάσταση οξείδωσης.

Επίσης η σειρά που προστίθεται το οξύ και το αναγωγικό έχει ιδιαίτερη σημασία.. Δεν παρατηρούνται παρεμβολές, όταν το οξύ (HCl) προστίθεται πριν το αναγωγικό (NaBH4), καθώς και όταν η ατομοποίηση γίνεται σε κυψελίδα (Welz, 1985).

4.2.2. Έδαφος

Τα δείγματα εδαφών τοποθετήθηκαν σε ταψάκια αλουμινίου και κατόπιν ακολούθησε ξήρανσή τους σε εργαστηριακό φούρνο για 24 ώρες στους 40^0C. Κατόπιν έλαβε χώρα η απομάκρυνση μεγάλων θραυσμάτων πετρωμάτων, φύλλων, ριζών. Στη συνέχεια ακολούθησε αποσβόλωση και κοσκίνισμα των δειγμάτων σε πλαστικό κόσκινο οπής -2mm. Ακολούθησε ομογενοποίηση και μείωση της ποσότητας των δειγμάτων με τη μέθοδο των τεταρτημορίων. Κατόπιν πραγματοποιήθηκε κονιοποίηση των κλασμάτων των δειγμάτων σε ηλεκτροκίνητο κονιοποιητή για 90sec έτσι ώστε να επιτευχθεί η κατάλληλη κοκκομετρία για τα προς ανάλυση δείγματα.

Οι γεωχημικές αναλύσεις των δειγμάτων εδάφους για τα στοιχεία Cu, Ni, Cr, Cd, Zn, Fe, Co, Mn πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Οικονομικής Γεωλογίας και Γεωχημείας του

Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αθηνών. Ακόμα γεωχημικές αναλύσεις έγιναν στα πιστοποιημένα υλικά αναφοράς (SRMs) εδαφών του οργανισμού NIST, SRM 2709 και SRM 2711. Πραγματοποιήθηκε μερική διαλυτοποίηση των δειγμάτων με χρήση μίγματος 4:1 HCl:HNO_3 (McGrath, Cunliffe, 1985) με σκοπό την αποδέσμευση και τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας των μετάλλων που περιέχονται σε διάφορες φάσεις όπως αργιλικά ορυκτά, οργανική ύλη, οξείδια του μαγγανίου και του σιδήρου, θειούχα ορυκτά με εξαίρεση των ποσοτήτων των μετάλλων που περιέχονται στα πυριτικά ορυκτά.

Τα στάδια που ακολουθήθηκαν είναι:

i) Ζύγιση 0,250 gr κάθε δείγματος εντός καθαρών δοκιμαστικών σωλήνων.

ii) Προσθήκη 4 ml HCl σε κάθε σωλήνα.

iii) Προσθήκη 1 ml HNO_3 σε κάθε σωλήνα.

iv) Παραμονή των διαλυμάτων των δειγμάτων σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για ένα 24ωρο.

v) Σταδιακή θέρμανση των διαλυμάτων σε θερμαινόμενη τράπεζα σύμφωνα με τον πίνακα 4.5.

Πίνακας 4.5. : Θέρμανση *των διαλυμάτων εδάφους*.

Ώρες	Θερμοκρασία (^{0}C)
3	60
1	105
2	125

vi) Απόσυρση από τη θερμαινόμενη τράπεζα και ψύξη σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

vii) Προσθήκη 5ml αραιωμένου HCl (20%) σε κάθε σωλήνα.

viii) Θέρμανση στους 80^{0}C για 30 min.

ix) Αραίωση εως τα 15ml με προσθήκη απεσταγμένου νερού σε κάθε σωλήνα και ανακίνηση με Vortex mixer.

x) Παραμονή των διαλυμάτων σε ηρεμία και πραγματοποίηση διηθήσεων με ηθμούς Whatman No 40

Επιπλέον πραγματοποιήθηκαν κατάλληλες αραιώσεις στα υπάρχοντα διαλύματα, όπου ήταν απαραίτητο, έτσι ώστε να είναι δυνατή η μέτρηση των στοιχείων σε αυτά.

Ο ποσοτικός προσδιορισμός των στοιχείων Cu, Ni, Cr, Cd, Zn, Fe, Co, Mn στα διαλύματα που προέκυψαν βασίστηκε στη μέθοδο της Φασματοσκοπίας Ατομικής Απορρόφησης (AAS)

τύπου Perkin Elmer με φλόγα αέρα – ασετυλίνης. Για την εύρεση της συγκέντρωσης των στοιχείων στο κάθε δείγμα χρησιμοποιήθηκε η σχέση:

$$C_{\text{στοιχείου στο δείγμα}} = (C_{\text{στοιχείου στο διάλυμα}} * V_{\text{όγκος διαλύματος}})/\text{βάρος δείγματος σε gr.}$$

Η προετοιμασία των διαλυμάτων 11 εδαφικών δειγμάτων (Ε1, Ε2α, Ε2β, Ε4, Ε9, Ε37, Ε75, Ε76, Ε77, Ε78, Ε79,) από την ευρύτερη περιοχή της Κεράμου για τη μέτρηση των στοιχείων As, Sb, Pb, Al, Ba, Be, Bi, B, Ca, Li, Mg, Mo, K, Se, Sr, Tl, Ti, V, Na και επιπλέον η ανάλυση εις διπλούν του υλικού αναφοράς εδάφους SRM2711 του οργανισμού NIST έγινε στο Εργαστήριο Οικονομικής Γεωλογίας και Γεωχημείας του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αθηνών.

Τα στάδια που ακολουθήθηκαν είναι (Chen, Ma, 2001):

i) Ζύγιση 0.5 g εδάφους εντός κάψας από Teflon.

ii) Προσθήκη βασιλικού νερού 12 ml σε αναλογία 1: 3 HNO_3 – HCl σε κάθε κάψα.

iii) Τοποθέτηση στο σύστημα του αυτόκλειστου και διαλυτοποίηση.

iv) Αραίωση του περιεχομένου της κάθε κάψας με απεσταγμένο νερό σε ογκομετρικές φιάλες των 100 ml.

v) Διήθηση του διαλύματος με ηθμούς Whatman No 41.

Ο ποσοτικός προσδιορισμός των As, Sb, Pb, Al, Ba, Be, Bi, B, Ca, Li, Mg, Mo, K, Se, Sr, Tl, Ti, V, Na πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο της εταιρείας ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΧΡΥΣΟΣ Α.Ε., στο Στρατώνι Χαλκιδικής με τη μέθοδο Φασματοσκοπίας Ατομικής Εκπομπής με Διέγερση Πλάσματος Αργού (ICP- AES). Πρέπει να σημειωθεί ότι ποσοτικός προσδιορισμός με την συγκεκριμένη μέθοδο έγινε και στα ήδη μετρηθέντα στοιχεία Cu, Ni, Cr, Cd, Zn, Fe, Co, Mn.

Επιπλέον μετρήθηκε ενδεικτικά το pH και το κανονικό δυναμικό οξειδοαναγωγής Eh σε 32 δείγματα εδάφους όπως επίσης και στο δείγμα τριμμένου μεταλλεύματος Μ1 με τη χρήση πεχάμετρου. Για τα διπλά δείγματα ελήφθησαν διπλές μετρήσεις.

Για τον προσδιορισμό pH, Eh ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία:

i) Ζύγιση 8 gr κοσκινισμένου εδάφους κλάσματος -2mm εντός ποτήριων ζέσεως.

ii) Προσθήκη 20 ml απεσταγμένου νερού και ανάδευση για 15 min σε δονούμενη τράπεζα.

iii) Παραμονή των διαλυμάτων σε ηρεμία για 30 min.

iv) Βαθμονόμηση του pHμέτρου με χρήση ρυθμιστικών διαλυμάτων σε pH 4, 7, 9.

ν) Ρύθμιση του ηλεκτροδίου του pHμέτρου στο διάλυμα και καταγραφή της τιμής του pH.

Πρέπει να σημειωθεί ότι γινόταν έλεγχος της βαθμονόμησης του pHμέτρου κάθε 10 δείγματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Αποτελέσματα Ορυκτολογικής Μελέτης

5.1. Εισαγωγή

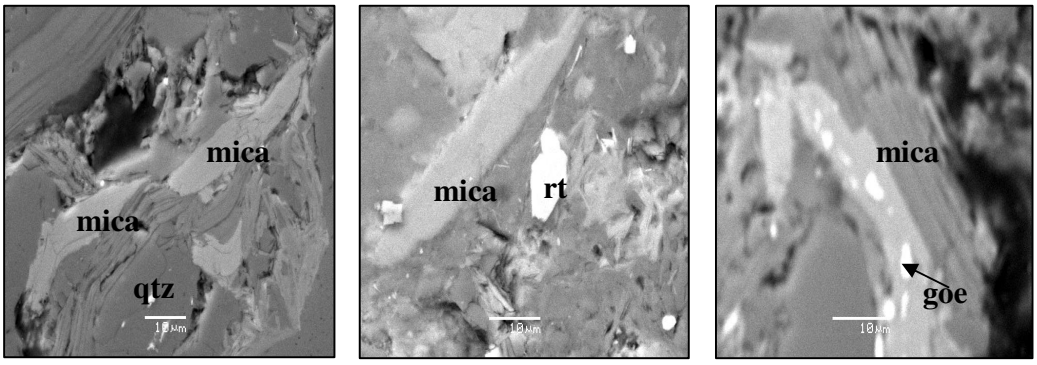
Η ορυκτολογική μελέτη εστίασε στα πετρώματα της περιοχής της Κεράμου, πλησίον των εγκαταλελειμμένων εγκαταστάσεων εκμετάλλευσης αντιμονίτη. Τα περισσότερα από τα δείγματα που συλλέχθηκαν και των οποίων η ορυκτολογική –ορυκτοχημική σύσταση παρουσιάζεται στη συνέχεια είναι πυριτιωμένα ιζήματα που εμφανίζονται στο πρανές του δρόμου Κεράμου-Αγιασμάτων κοντά σε παλαιές μεταλλευτικές στοές (Εικ. 5.1). Βασικός στόχος της ορυκτολογικής μελέτης ήταν ο προσδιορισμός φάσεων που περιέχουν Sb και As και οι οποίες αποτελούν είτε πρωτογενή ορυκτά της μεταλλοφορίας, π.χ. αντιμονίτης, είτε προϊόντα εξαλλοίωσής τους τα οποία πιθανά τροφοδοτούν με Sb τον εδαφικό μανδύα αλλά και το υπόγειο νερό. Οι φάσεις που προσδιορίστηκαν χρησιμοποιήθηκαν σε επόμενο στάδιο της έρευνας και συγκεκριμένα αποτέλεσαν τη βάση για το υδρογεωχημικό μοντέλο εξισορρόπησης μάζας και την εξαγωγή πιθανών αντιδράσεων που διαμορφώνουν τον χημισμό του υπόγειου νερού.

Εικόνα 5.1. *Πυριτιωμένα ιζήματα στην περιοχή της Κεράμου.*

5.2. Αποτελέσματα Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας (SEM- EDS)

Η ορυκτολογική μελέτη βασίστηκε στην εξέταση επιγραφιτωμένων μεταλλογραφικών παρασκευασμάτων εντός ρητίνης και πραγματοποιήθηκε με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM – EDS) τύπου GEOL JSM 5600 εξοπλισμένο με μικροαναλυτή OXFORD ISIS 300. Το σύστημα του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου ρυθμίστηκε στην λειτουργία της οπισθοσκεδάσεως ηλεκτρονίων (BSE) ώστε η φωτεινότητα των κόκκων να είναι ανάλογη του ειδικού βάρους των στοιχείων που περιέχουν με αποτέλεσμα τον εύκολο οπτικά εντοπισμό των κόκκων πλούσιων σε μεταλλικά συστατικά. Από την περιοχή της Κεράμου τα δείγματα που εξετάστηκαν ήταν τα R3, R4, R5, R12 τα οποία είναι κυρίως κλαστικά ιζήματα του αυτόχθονου συστήματος και παρουσιάζουν έντονη πυριτίωση. Ακόμα εξετάστηκαν τα R8, R9 που είναι υλικά από σωρούς εξόρυξης καθώς επίσης και ένα δείγμα θρυμματισμένου μεταλλεύματος αντιμονίτη (M1).

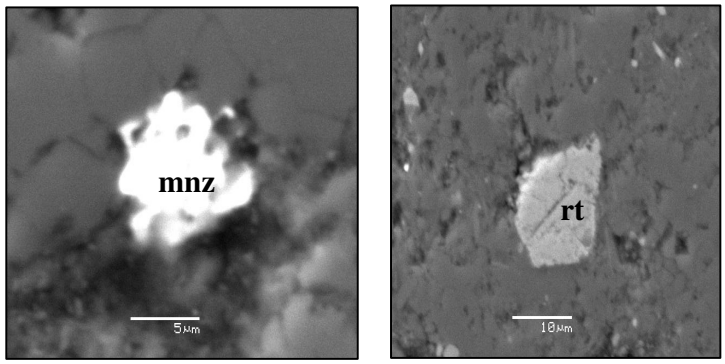
Στα δείγματα των πετρωμάτων της κλαστικής σειράς επικρατεί ο χαλαζίας και οι μαρμαρυγίες πλούσιοι σε Fe, Mg, ενώ απαντούν επίσης διάσπαρτοι κόκκοι ρουτιλίου αλλά και οξειδίων του Fe (Εικ. 5.2). Όμοια χαρακτηριστικά παρουσιάζουν και τα υπόλοιπα δείγματα πετρωμάτων από το σχιστοψαμμιτικό σύστημα του αυτόχθονου της ευρύτερης περιοχής έρευνας. Γενικά τα ορυκτά που επικρατούν είναι: χαλαζίας, ασβεστίτης και μαρμαρυγίες, ενώ προσδιορίστηκαν άφθονοι κόκκοι ρουτιλίου, απατίτη, ζιρκονίου, γκαιτίτη, και μοναζίτη.



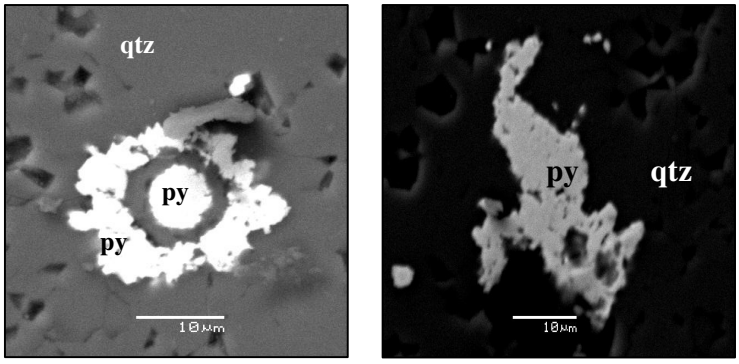
Εικόνα 5.2.: *Μικροφωτογραφία SEM-BSE πυριτιωμένο κλαστικό ίζημα (R12). Διακρίνονται χαλαζίας (qtz) μαρμαρυγίας (mica), γκαιτίτης (goe), ρουτίλιο (rt).*

Στα δείγματα από την πυριτιωμένη ζώνη επικρατεί μία κύρια μάζα SiO_2, εντός της οποίας διακρίνονται κόκκοι βαρέων ορυκτών όπως μοναζίτης $(Ce,La,Nd,Th)PO_4$ και ρουτίλιο (TiO_2) (Εικ. 5.3). Επίσης συχνά εμφανίζεται σιδηροπυρίτης, οποίος μπορεί να περιέχει και Mn (Εικ.

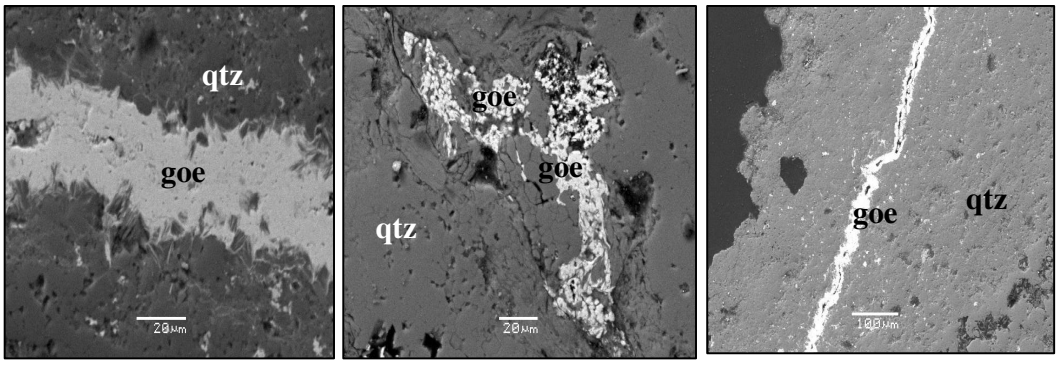
5.4) καθώς επίσης και προϊόντα οξείδωσης, χαρακτηριστικό παράδειγμα των οποίων αποτελεί ο γκαιτίτης σε μορφή φλεβιδίων (Εικ. 5.5).



Εικόνα 5.3.: *Μικροφωτογραφία SEM- BSE πυριτιωμένο κλαστικό ίζημα (R3) όπου διακρίνονται τα ορυκτά χαλαζίας (qtz) ως κύρια μάζα, μοναζίτης (mnz), ρουτίλιο (rt).*

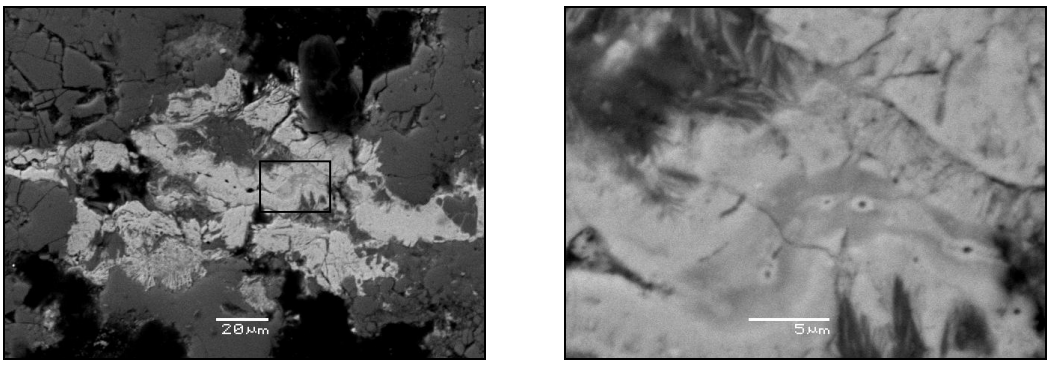


Εικόνα 5.4.: *Μικροφωτογραφία SEM-BSE πυριτιωμένο κλαστικό ίζημα (R4). Φραμποειδής σιδηροπυρίτης (*pyrite framboid) *εμπλουτισμένος σε Mn (αριστερή φώτο.) και σιδηροπυρίτης (δεξιά) εντός κύριας μάζας SiO_2.).*



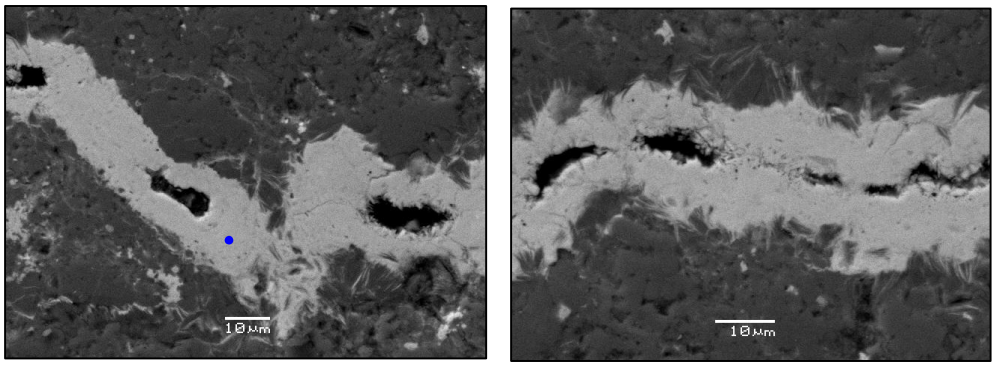
Εικόνα 5.5.: *Μικροφωτογραφία SEM-BSE πυριτιωμένο κλαστικό ίζημα (R5). Μορφές γκαιτίτη (goe) εντός της πυριτιωμένης κύριας μάζας (qtz).*

Σε ορισμένα δείγματα της πυριτιωμένης ζώνης π.χ. δείγμα R5 παρατηρήθηκε ύπαρξη αντιμονίου εντός φάσεων οξειδίων/ υδροξειδίων του Fe οι οποίες περιέχουν επίσης και S (Εικ. 5.6.).



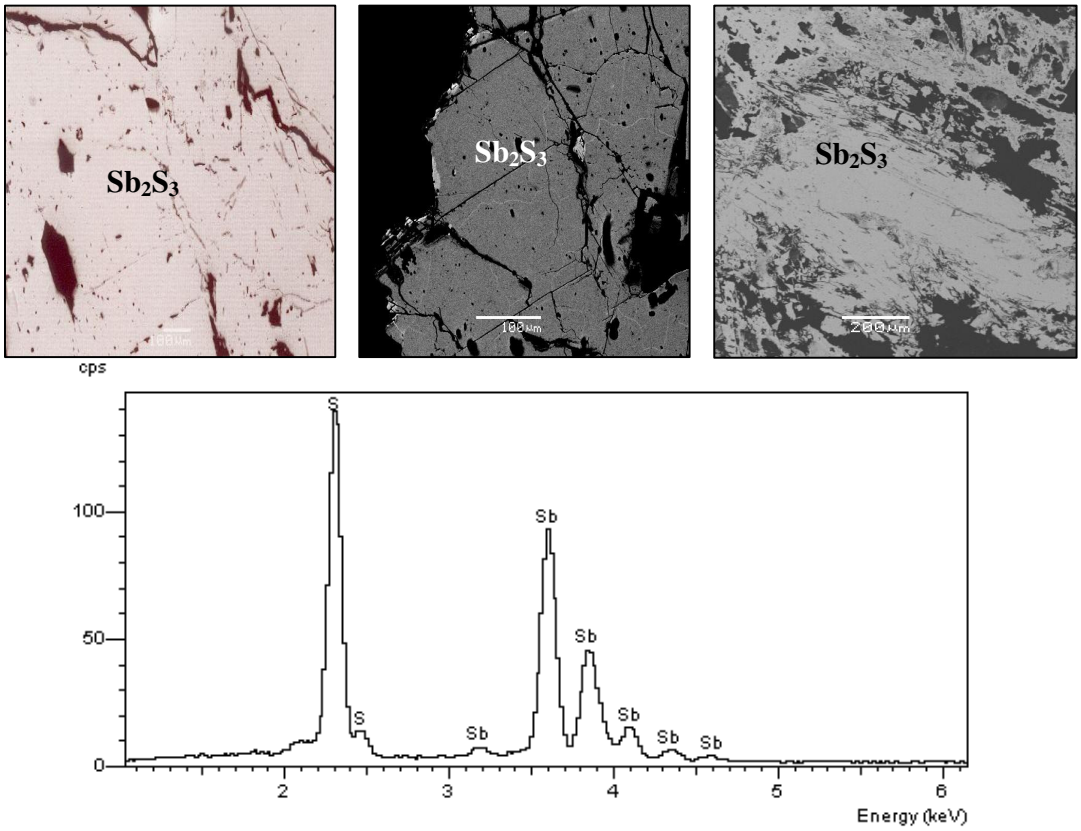
Εικόνα 5.6.: *Μικροφωτογραφία SEM-BSE πυριτιωμένο κλαστικό ίζημα (R5). Οι φωτεινές περιοχές της αριστερής φώτο. είναι οξείδια/ υδροξείδια Fe τα οποία περιέχουν μικρά ποσοστά S, Sb (λεπτομέρεια δεξιά).*

Οι φάσεις αυτές μορφολογικά φαίνεται να πληρώνουν φλεβίδια που διασχίζουν την κύρια μάζα του χαλαζία (Εικ. 5.7) και πιθανά αποτελούν τα προϊόντα οξείδωσης προϋπαρχόντων θειούχων φάσεων.



Εικόνα 5.7.: *Μικροφωτογραφία SEM-BSE πυριτιωμένο κλαστικό ίζημα (R5). Φλεβίδια υδροξειδίων Fe με συμμετοχή Sb και S διασχίζουν την κύρια μάζα SiO_2.*

Επιπλέον Sb προσδιορίστηκε σε δείγματα που συλλέχθηκαν από σωρούς στείρων υλικών – μεταλλεύματος στις εγκαταλελειμμένες εγκαταστάσεις της Κεράμου (R8, R9, M1). Το Sb απαντά κυρίως ως θειούχο ορυκτό αντιμονίτης χωρίς προσμείξεις άλλων στοιχείων.
Μικροφωτογραφίες κόκκων αντιμονίτη και το φάσμα του ορυκτού όπως προέκυψε από το σύστημα EDX παρουσιάζονται στην Εικόνα 5.8.



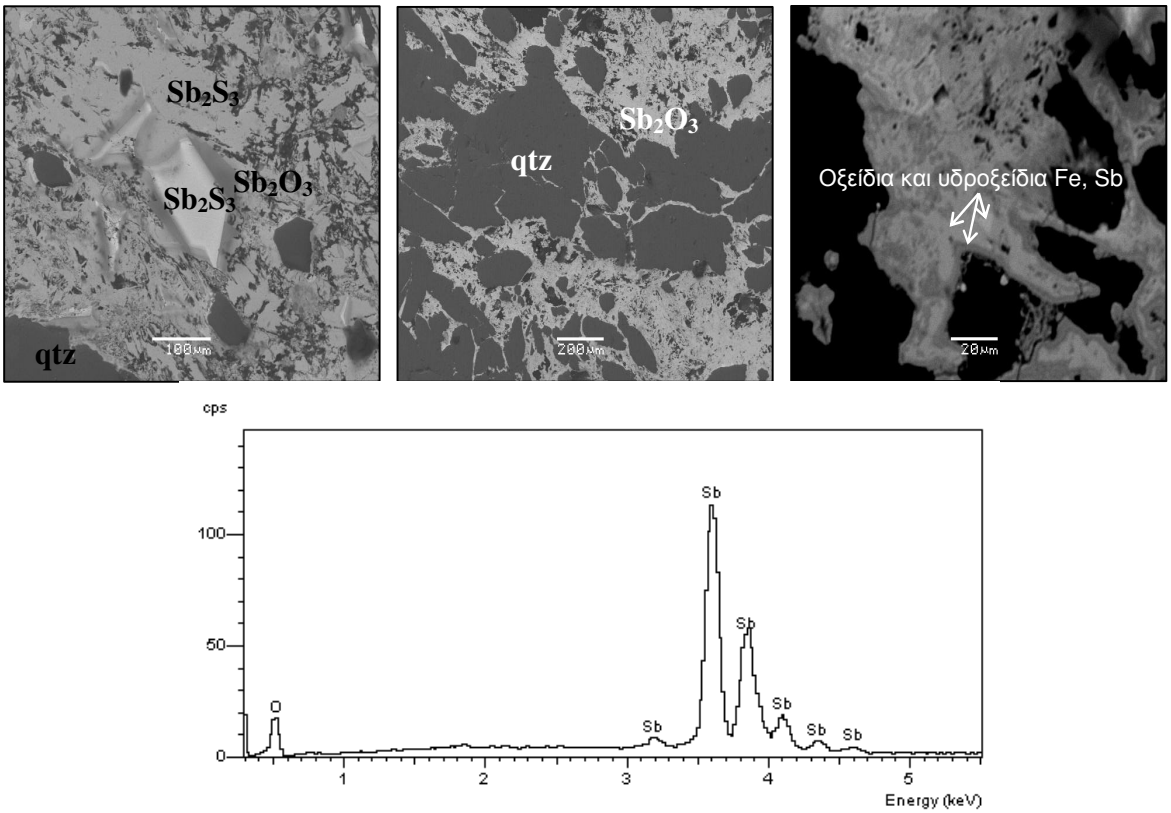
Εικόνα 5.8.: *Μικροφωτογραφίες SEM-BSE και φάσμα αντιμονίτη από την περιοχή της Κεράμου.*

Ακόμα προσδιορίστηκε το ορυκτό βαλλεντινίτης *(Sb_2O_3),* το οποίο επίσης αποτελεί χαρακτηριστικό φορέα του Sb στη μεταλλοφορία. Το ορυκτό αυτό είναι εμπλουτισμένο σε Sb με μέση περιεκτικότητα 84% (Πίνακας 5.1). Μικροφωτογραφίες και το φάσμα του βαλλεντινίτη παρουσιάζονται στην Εικόνα 5.9. Σε αρκετούς κόκκους βαλλεντινίτη παρατηρήθηκε ζωνώδης μεταβολή στη σύσταση του ορυκτού με ελάττωση του περιεχομένου Sb και αύξηση περιεχομένου σε Fe (Εικ. 5.10). Άφθονοι είναι και οι κόκκοι στους οποίους

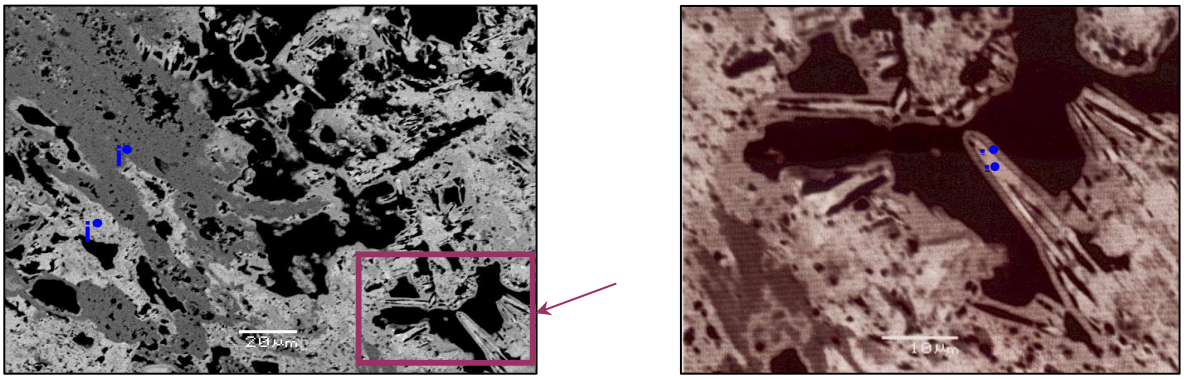
εμφανίζονται προϊόντα οξείδωσης της αντιμονιούχου μεταλλοφορίας με σύσταση οξειδίων και υδροξειδίων του σιδήρου και του αντιμονίου (Εικ. 5.11.).

Πίνακας 5.1: *Περιεκτικότητες Sb και O (%) από σημειακές αναλύσεις βαλλεντινίτη στο δείγμα R9 από την περιοχή της Κεράμου.*

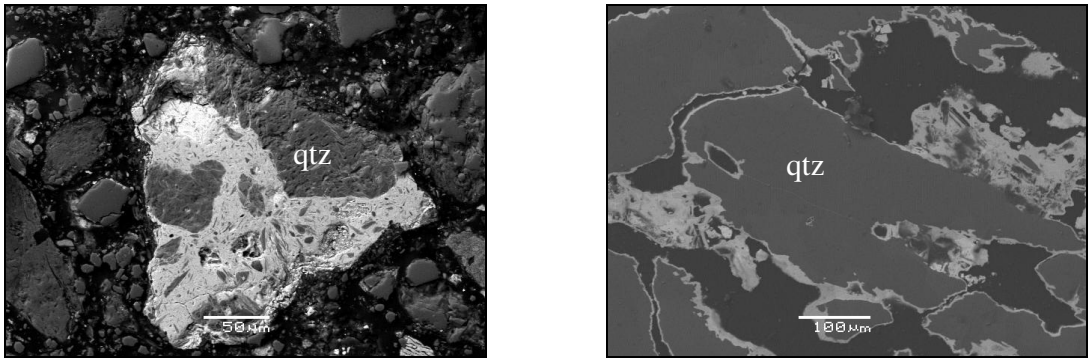
Δείγμα / στοιχείο (%)	Sb	O
R9	*83.16*	*16.39*
	84.26	*16.22*



Εικόνα 5.9.*:Μικροφωτογραφίες SEM-BSE υλικού από σωρό εξόρυξης (R9). Αντιμονίτης (Sb_2S_3), βαλλεντινίτης (Sb_2O_3), οξείδια και υδροξείδια του Fe -Sb και χαλαζίας (qtz). Φάσμα EDX βαλλεντινίτη.*

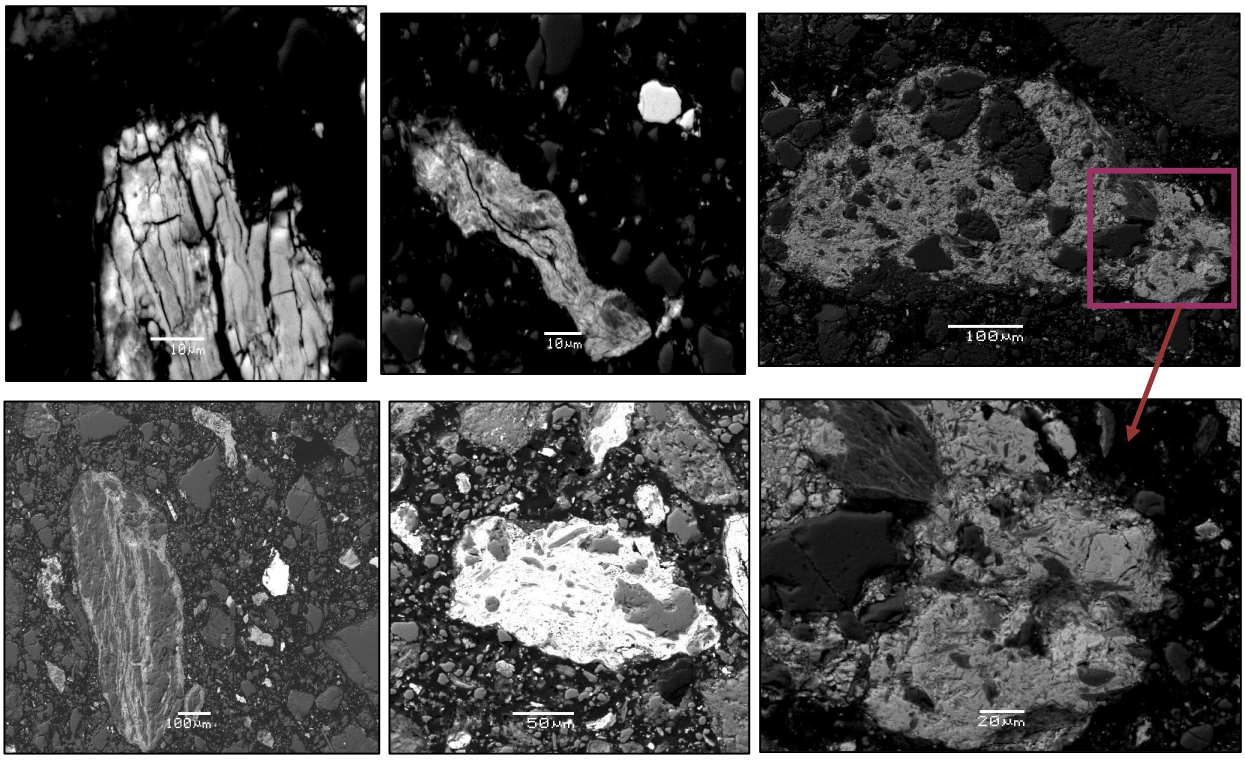


Εικόνα 5.10.*:Μικροφωτογραφίες SEM-BSE υλικού από σωρό εξόρυξης (R9). Μεταβολή στη σύσταση του βαλλεντινίτη (φωτεινές περιοχές) με ελάττωση περιεχομένου Sb αύξηση περιεχομένου Fe (σκιασμένες περιοχές).*



Εικόνα 5.11.*:Μικροφωτογραφίες SEM-BSE. Οξείδια-υδροξείδια Fe, Sb (φωτεινές περιοχές) με χαλαζία (qtz).*

Το δείγμα του θρυμματισμένου υλικού από σωρό μεταλλεύματος (M1) περιέχει αντιμονίτη καθώς επίσης και άφθονους οξειδωμένους κόκκους οι οποίοι περιέχουν Sb, Fe και As καθώς επίσης ελάχιστο ή καθόλου S, Al, Si (Εικ. 5.12.). Τα συγκεκριμένα παρασκευάσματα ήταν τα μόνα στα οποία εντοπίστηκαν συγκεντρώσεις As, χωρίς όμως να προσδιοριστεί κάποιο πρωτογενές ορυκτό του (π.χ. αρσενοπυρίτης).



Εικόνα 5.12.: *Μικροφωτογραφίες SEM-BSE κόκκων θρυμματισμένου μεταλλεύματος. Διακρίνεται αντιμονίτης (λευκό χρώμα), οξείδια και υδροξείδια Sb, Fe, As με παρουσία Al,K (γκρίζο χρώμα), χαλαζίας (σκούρο γκρίζο).*

Συνοπτικά με την ορυκτολογική μελέτη στο SEM εντοπίστηκαν οι πρωτογενείς πηγές Sb οι οποίες περιλαμβάνουν τα ορυκτά αντιμονίτης και βαλλεντινίτης, καθώς επίσης και προϊόντα χημικής αποσάθρωσης τα οποία μορφολογικά φαίνεται να περιβάλλουν τους κόκκους των πρωτογενών ορυκτών ή να διαχέονται με μορφή φλεβιδίων εντός της πυριτιωμένης ζώνης. Πρόκειται πιθανότατα για οξείδια και υδροξείδια Fe, χαρακτηρίζονται δε από χαμηλότερες συγκεντρώσεις Sb αλλά και As και αποτελούν ένδειξη ότι μέρος των στοιχείων αυτών μεταφέρεται μέσω της δράσης υδατικών διαλυμάτων στο περιβάλλον.

5.3. Ορυκτολογική ανάλυση αιωρούμενων στερεών

Ο ορυκτολογικός προσδιορισμός των αιωρούμενων στερεών στα δείγματα υπόγειου νερού της περιοχής έρευνας πραγματοποιήθηκε με μελέτη των ηθμών οπής 0.45 μm οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν για τη διήθηση των υδατικών δειγμάτων. Χρησιμοποιήθηκε η τεχνική της περιθλασιμετρίας ακτίνων Χ (XRD) με όργανο Siemens D-5000 του Πανεπιστημίου Αθηνών. Η αποτίμηση των ακτινοδιαγραμμάτων (Παράρτημα Α') έγινε με τη χρήση του προγράμματος E.V.A. 2.2. Σημειώνεται ότι η ποσότητα των αιωρούμενων στερεών (Παράρτημα Γ') στα περισσότερα δείγματα δεν ήταν επαρκής για να γίνει προσδιορισμός των ορυκτών. Έτσι ο προσδιορισμός πραγματοποιήθηκε για τα δείγματα: S25(ξηρή), S43(ξηρή), S68(υγρή), W2(ξηρή), W9(ξηρή), W18(υγρή). Τα αιωρούμενα στερεά των δειγμάτων S25(ξηρή) και S43(ξηρή) ήταν πολύ χαμηλής κρυσταλλικότητας (πιθανά άμορφο). Τα κύρια ορυκτά που προσδιορίστηκαν στα υπόλοιπα δείγματα είναι: χαλαζίας, κλινόχλωρο, ιλλίτης, μοντμοριλλονίτης, μοσχοβίτης, αλβίτης, ανορθίτης, μικροκλινής, γκαιτίτης, δολομίτης, ορθόκλαστο, ασβεστίτης. Τα αργιλικά ορυκτά κλινόχλωρο (χλωρίτης), ιλλίτης, μοντμοριλλονίτης χαρακτηρίζονται από την ιοντοανταλλακτική τους ικανότητα και μπορεί να επηρεάζουν την ποιότητα του υπόγειου νερού της περιοχή έρευνας. Μεγαλύτερη ικανότητα ιοντοανταλλαγής έχει ο μοντμοριλλονίτης (80 – 140meq/100g), ενώ ακολουθούν ο ιλλίτης (10 –40meq/100g) και χλωρίτης (85 – 30meq/100g) (Κελεπερτζής, 2000).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Αποτελέσματα Χημικής Ανάλυσης των Εδαφικών Δειγμάτων

6.1. Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων των εδαφών

Οι πίνακες των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων των εδαφών της περιοχής έρευνας που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο του τομέα Οικονομικής Γεωλογίας και Γεωχημείας του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του ΕΚΠΑ, καθώς και τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων εδαφών που πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου της εταιρείας «Ελληνικός Χρυσός» δίνονται στο Παράρτημα Β'. Στους πίνακες παρουσιάζονται συγκεντρώσεις στοιχείων πάνω από το όριο ανιχνευσιμότητας της αναλυτικής τεχνικής. Στις επόμενες παραγράφους δίνεται ο ποιοτικός έλεγχος και η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων για 7 βαρέα μέταλλα (Zn, Cu, Mn, Co, Fe, Ni, Cr) καθώς επίσης και η χωρική κατανομή τους στο έδαφος της ΒΔ Χίου. Για τις παραμέτρους As και Sb τα αναλυτικά δεδομένα αφορούν μόνο την περιοχή εμφάνισης της αντιμονιούχου μεταλλοφορίας (Κέραμος- Αγιάσματα). Γίνεται επίσης σύγκριση των συγκεντρώσεων με διεθνή όρια ρύπανσης εδαφών.

6.2. Ποιοτικός έλεγχος και αβεβαιότητα των μετρήσεων

Η αβεβαιότητα που συνοδεύει τις μετρήσεις των συγκεντρώσεων των χημικών στοιχείων σε όλα τα στάδια της συλλογής, προετοιμασίας και χημικής ανάλυσης μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την αποτίμηση των αποτελεσμάτων της έρευνας. Γενικά, το αληθές περιεχόμενο σε στοιχεία ενός γεωχημικού δείγματος δεν είναι ποτέ γνωστό λόγω σφαλμάτων κατά τη διαδικασία της δειγματοληψίας και της χημικής ανάλυσης. Τα σφάλματα αυτά επηρεάζουν την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων μέτρησης προσδίδοντάς τους κάποια αβεβαιότητα (measurement uncertainty). Ο όρος «ποιοτικός έλεγχος» (quality control) αναφέρεται στην ποσοτικοποίηση των σφαλμάτων που επηρεάζουν τα αποτελέσματα της μέτρησης και την εκτίμηση του μεγέθους της αβεβαιότητας που συνοδεύει τις μετρήσεις, αποτελεί δε απαραίτητη διαδικασία που προηγείται της αποτίμησης των αποτελεσμάτων σε κάθε γεωχημική έρευνα. Η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων των μετρήσεων των εδαφικών δειγμάτων εκτιμήθηκε μέσω ειδικού προγράμματος ποιοτικού ελέγχου κατά τη δειγματοληψία και τη χημική ανάλυση (Ramsey and Argyraki, 1997, Ramsey, 1998).

6.2.1. Ακρίβεια

Για την εκτίμηση των συστηματικών σφαλμάτων της ανάλυσης, τα οποία σχετίζονται με την ακρίβεια των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκαν τα πιστοποιημένα υλικά αναφοράς (CRMs) εδαφών του οργανισμού NIST, SRM 2709 και SRM 2711 (Πιν. 6.1.), τα οποία αναλύθηκαν επαναληπτικά συγχρόνως με τα υπό μελέτη δείγματα.

Πίνακας 6.1.: *Χαρακτηριστικά των υλικών αναφοράς του Οργανισμού NIST.*

Υλικό αναφοράς	Είδος υλικού	Συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων	Πιστοποιημένες τιμές μg/g
SRM 2709	Έδαφος	Χαμηλές	Cd: 0.38±0.01, Fe: 3.5%±0.11, Cr: 130±4 Co: 13.4±0.7, Cu: 34,6±0.7, Mn: 538±17 Ni: 88±5, Zn: 106±3
SRM 2711	Έδαφος	Μεσαίες	Cd: 41.7±0.25, Fe: 2.89%±0.06, Cu:114±2 Cu: 36,6±0.7, Mn: 638±28, Ni: 20.6±1.1 Zn: 350.4±4.8
			Μη πιστοποιημένες τιμές μg/g
			Cr: 47. Co: 10

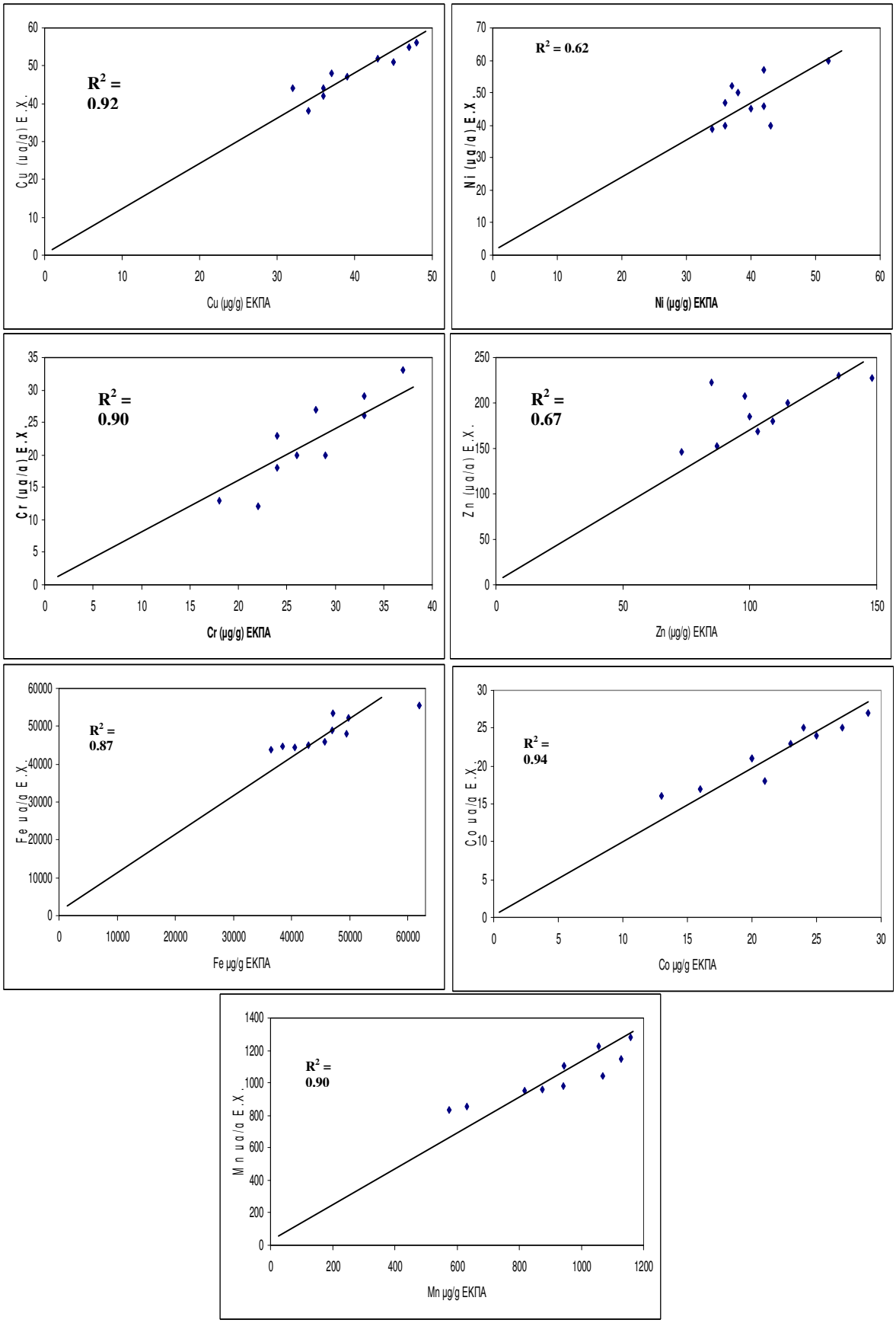
Η ακρίβεια των αποτελεσμάτων της ολικής ανάλυσης των δειγμάτων ελέγχθηκε με σύγκριση των αποδεκτών και των μετρούμενων τιμών των υλικών αναφοράς για τα στοιχεία Cu, Ni, Cr, Zn, Fe, Co, Mn (Πίν. 6.2.). Όπως φαίνεται δεν προκύπτουν σημαντικά συστηματικά αναλυτικά σφάλματα για όλο το εύρος των συγκεντρώσεων για τα περισσότερα στοιχεία. Εξαίρεση αποτελεί το Cr για το οποία η σχετική διαφορά μεταξύ μετρούμενης και διαπιστευμένης τιμής είναι περίπου -40%. Γενικά οι συγκεντρώσεις που μετρήθηκαν είναι χαμηλότερες των διαπιστευμένων. Αυτό δικαιολογείται από τον τρόπο διαλυτοποίησης των δειγμάτων με χρήση βασιλικού νερού, δηλαδή μερική διαλυτοποίηση.

Ακόμα έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων των 10 δειγμάτων (Ε1, Ε2, Ε4, Ε9, Ε37, Ε75, Ε76, Ε77, Ε78, Ε79) που αναλύθηκαν στο Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου της εταιρείας «Ελληνικός Χρυσός» με τα αποτελέσματα των αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο του τομέα Οικονομικής Γεωλογίας και Γεωχημείας (Εικ. 6.1.). Διαπιστώθηκε πολύ καλή συσχέτιση για τα στοιχεία Co(0.94), Cu (0.92), Cr (0.90) και Fe (0.87), Mn(0.90) και καλή συσχέτιση για τα Zn (0.67) και Ni (0.62). Σημειώνεται ότι η υπερεκτίμηση συγκεντρώσεων Zn από το Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου Ε. Χ. μπορεί να αποδοθεί σε μόλυνση δεδομένου ότι στο εργαστήριο αυτό αναλύονται ως επί το πλείστον συμπυκνώματα σφαλερίτη. Συμπερασματικά λοιπόν η ακρίβεια των αναλύσεων είναι

ικανοποιητική για τα περισσότερα στοιχεία και εύρη συγκεντρώσεων, που σημαίνει ότι η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων που ακολουθεί δίνει αποτελέσματα που ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα.

Πίνακας 6.2.: *Σύγκριση μετρούμενων συγκεντρώσεων με αποδεκτές για τα υπό ανάλυση πιστοποιημένα υλικά αναφοράς.*

SRM	Αποδεκτές τιμές (mg/kg)	Μετρούμενες τιμές (mg/kg)	Σχετική Διαφορά %
Cu			
SRM2709	34.6	32.6	-5.8
SRM2711	114	105.12	-7.8
Cr			
SRM2709	130	75	-42.3
SRM2711	47	26.5	-43.6
Zn			
SRM2709	106	99.2	-6.4
SRM2711	350.4	308.3	-12.0
Fe			
SRM2709	35000	31400	-10.3
SRM2711	28900	25294	-12.5
Co			
SRM2709	13.4	13.75	2.6
SRM2711	10	10	0
Mn			
SRM2709	538	461	-14.3
SRM2711	638	545	-14.5



Εικόνα 6.1.: Διαγράμματα συσχέτισης αναλυτικών αποτελεσμάτων αναλύσεων στο εργαστήριο του ΕΚΠΑ και της εταιρείας «Ελληνικός Χρυσός».

6.2.2. Επαναληψιμότητα

Ο προσδιορισμός της επαναληψιμότητας γεωχημικών μεθόδων μέτρησης αποτελεί τον τρόπο ποσοτικοποίησης των τυχαίων σφαλμάτων της μέτρησης και εκφράζεται συνήθως με την τυπική απόκλιση *s* μιας σειράς επαναλαμβανόμενων μετρήσεων, δηλαδή πρακτικά αποτελεί ένδειξη του μεγέθους της διασποράς μεταξύ μιας σειράς μετρήσεων. Έτσι όσο μικρότερη είναι η εκτιμούμενη τιμή της τόσο μεγαλύτερη είναι η συμφωνία μεταξύ των επαναλαμβανόμενων μετρήσεων και συνεπώς τόσο καλύτερη η ποιότητα της μέτρησης.

Στην παρούσα έρευνα η επαναληψιμότητα των ολικών χημικών αναλύσεων προσδιορίστηκε με βάση διπλές αναλύσεις 17 διπλών δειγμάτων (Παράρτημα Β). Οι μέσες τιμές και οι διαφορές των διπλών μετρήσεων προβλήθηκαν σε γραφήματα επαναληψιμότητας (Thompson and Howarth, 1978) (Εικ. 6.2) και η νέα γραμμή της διάμεσης τιμής των σημείων που προβλήθηκαν (διακεκομμένη) χαράχθηκε παράλληλα στην διάμεση του 10%. Η τιμή της διαφοράς που αντιστοιχεί στη μέση τιμή 100 μg g^{-1} αποτελεί μια εκτίμηση της τυπικής απόκλισης s, οπότε η επαναληψιμότητα της αναλυτικής μεθόδου υπολογίστηκε για το κάθε στοιχείο ίση με: Cu: 4 %, Ni: 4%, Cr: 5%, Zn: 5%, Fe: 12%, Co: 6%, Mn: 5%.

Για τα στοιχεία Cu, Ni, Cr, Zn, Co, Mn η αναλυτική επαναληψιμότητα είναι καλή (<10%), ενώ επαναληψιμότητα >10% παρατηρήθηκε μόνο για τον Fe. Η μέτρια επαναληψιμότητα για το στοιχείο αυτό είναι πολύ πιθανό να οφείλεται στις διαδοχικές αραιώσεις που χρειάστηκε να γίνουν στα υπό μέτρηση διαλύματα των εδαφών.

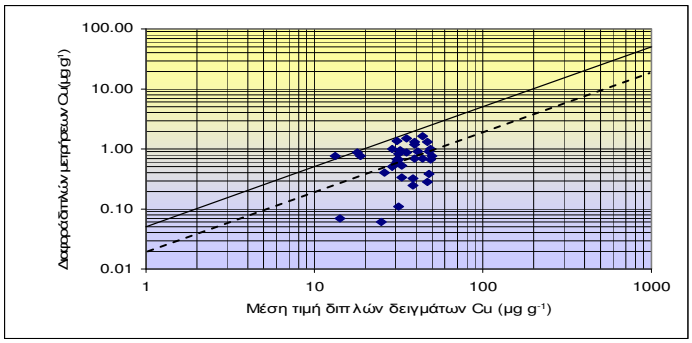
Επιπλέον για τη διαπίστωση του ποσοστού συνεισφοράς των τυχαίων σφαλμάτων κατά τη δειγματοληψία και χημική ανάλυση στη συνολική διακύμανση των μετρήσεων εφαρμόστηκε εξισορροπημένη ανάλυση της μεταβλητότητας των τιμών (balanced ANOVA) με διπλές χημικές αναλύσεις για κάθε διπλό δείγμα που ελήφθη στην ύπαιθρο (Εικ. 6.3.). Με αυτό τον τρόπο είναι δυνατή η εκτίμηση τριών συνιστωσών της συνολικής διακύμανσης (s^2_{total}) της συγκέντρωσης των στοιχείων (Ramsey and Elisson, 2007):

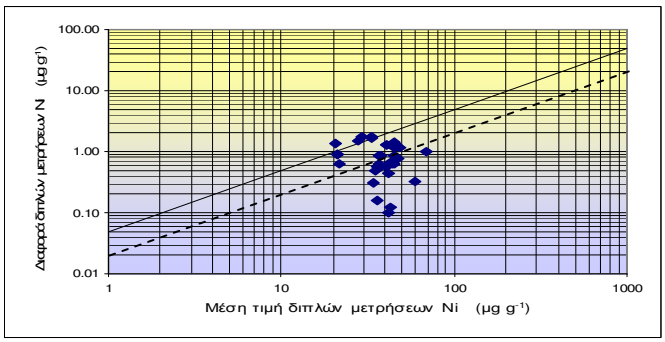
i) διακύμανση της παραμέτρου της χημικής ανάλυσης s^2_{anal}.

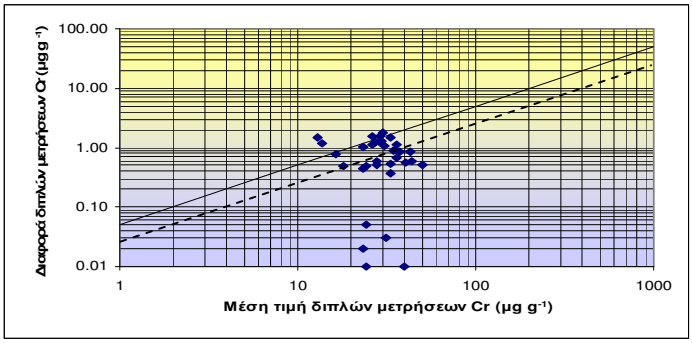
ii) διακύμανση της παραμέτρου της δειγματοληψίας s^2_{samp}.

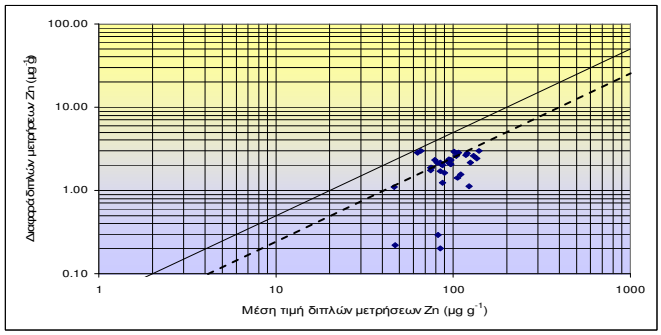
iii) διακύμανση της παραμέτρου της γεωχημικής διασποράς $s^2_{geochem}$.

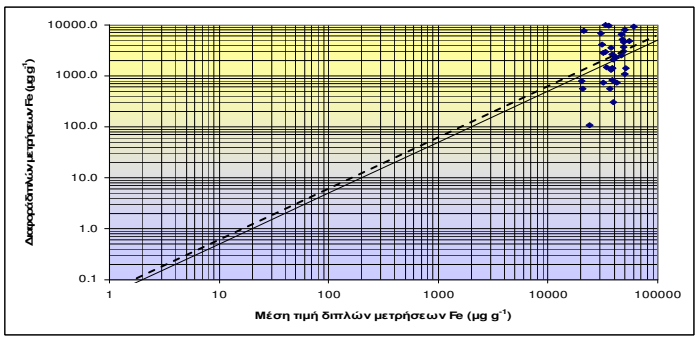
Οι δύο πρώτες συνιστώσες αντιπροσωπεύουν την αβεβαιότητα της μέτρησης s_{meas}, ενώ η τρίτη εκφράζει τη διακύμανση μεταξύ των θέσεων δειγματοληψίας ή το γεωχημικό ανάγλυφο της κατανομής των στοιχείων στο έδαφος της περιοχής έρευνας.

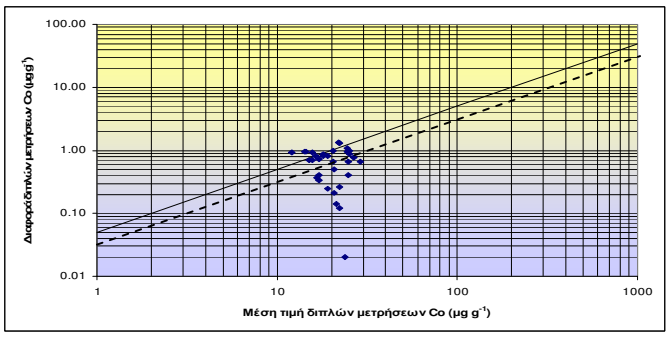


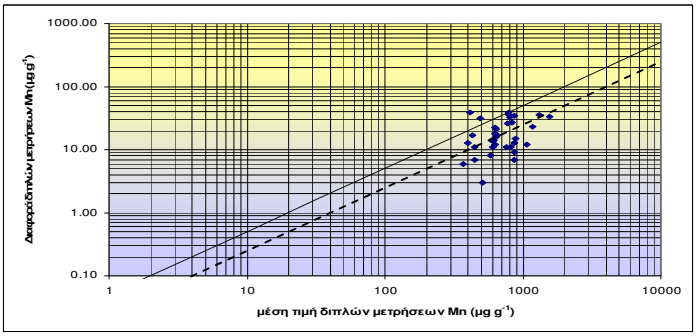












Εικόνα 6.2.: *Γραφήματα επαναληψιμότητας 10% για τα στοιχεία Cu, Ni, Cr, Zn, Fe, Co, Mn των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής της ΒΔ Χίου.*

Έτσι η συνολική διακύμανση μπορεί να εκφραστεί ως:

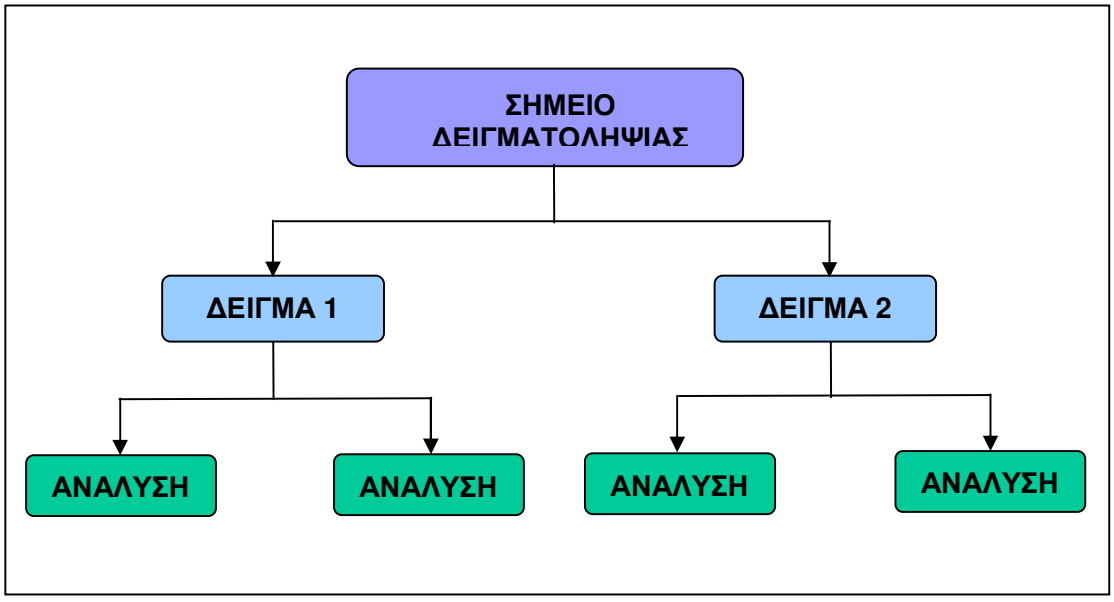
$$s^2_{total} = s^2_{anal} + s^2_{samp} + s^2_{geochem}$$

η αβεβαιότητα της μέτρησης s_{meas} υπολογίζεται ως:

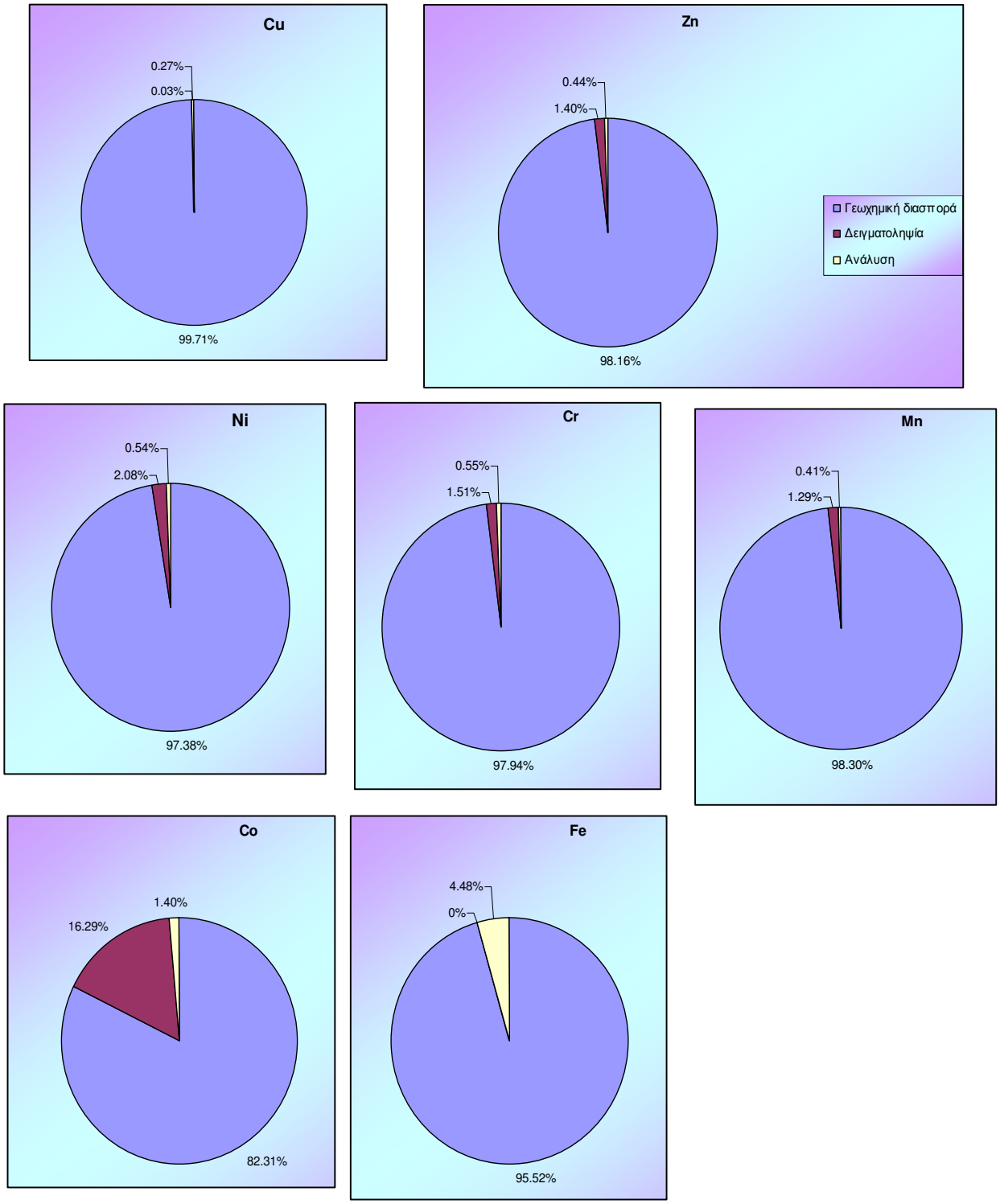
$$s_{meas} = \sqrt{s^2_{anal} + s^2_{samp}}$$

Στην εικόνα 6.4. παρουσιάζονται τα ποσοστά των τριών συνιστωσών της συνολικής διακύμανσης για τα χημικά στοιχεία Cu, Ni, Cr, Zn, Fe, Co, Mn που προβλήθηκαν σε διάγραμμα πίττας. Από τα διαγράμματα παρατηρείται ότι η συνιστώσα της χημικής ανάλυσης κυμαίνεται σε πολύ χαμηλά ποσοστά πλην του σιδήρου που έχει ποσοστό 4.5% και οφείλεται πιθανά στις διαδοχικές αραιώσεις που έγιναν στα διαλύματα για την πραγματοποίηση των μετρήσεων με φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης. Η συνιστώσα της γεωχημικής διασποράς κυμαίνεται από 82% μέχρι 99%. Η συνιστώσα της δειγματοληψίας κυμαίνεται σε πολύ χαμηλά ποσοστά πλην του κοβαλτίου η οποία έχει τιμή 16.3% και οφείλεται πιθανά στην ετερογένεια του εδάφους.

Όσον αφορά το Cd στο μεγαλύτερο ποσοστό των εδαφικών δειγμάτων δεν ανιχνεύτηκε (τιμές μικρότερες των 0.02 μg g^{-1}), επομένως είναι αδύνατον να πραγματοποιηθεί ποιοτικός έλεγχος στις χημικές αναλύσεις του συγκεκριμένου στοιχείου.



Εικόνα 6.3.: *Πειραματική διάταξη για τον υπολογισμό της αβεβαιότητας και τον διαχωρισμό της συνολικής διακύμανσης σε τρεις συνιστώσες με εφαρμογή της στατιστικής τεχνικής ANOVA.*



Εικόνα 6.4.: Διαγράμματα αποτελεσμάτων της παραμετρικής ανάλυσης της διακύμανσης των μετρήσεων των χημικών αναλύσεων των 17 διπλών εδαφικών δειγμάτων στην περιοχή της ΒΔ Χίου.

6.3. Περιγραφικά Στατιστικά Χημικών Παραμέτρων

Η στατιστική επεξεργασία των γεωχημικών αποτελεσμάτων των δειγμάτων εδάφους έγινε με τη βοήθεια του προγράμματος Microsoft Excel 2003. Κατασκευάστηκαν ιστογράμματα που δείχνουν την στατιστική κατανομή των χημικών στοιχείων στην υπό μελέτη περιοχή. Επίσης οι τιμές των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων συγκρίθηκαν με επιτρεπτές συγκεντρώσεις των χημικών στοιχείων στο έδαφος, όπως αυτές έχουν θεσμοθετηθεί σε διάφορες χώρες του εξωτερικού (Πιν.6.3., 6.4., 6.5., 6.6).

Πίνακας 6.3.: *Όρια ρύπανσης εδαφών Μ.Βρετανίας (DOE – ICRCL)*[1] *σε μg g*$^{-1}$.

	M. Βρετανία (DOE – ICRCL) [1]			
Στοιχείο	**Μικρός κήπος**	**Μεγάλος κήπος**	**Αγρός**	**Ανοιχτός χώρος**
Pb	550	550	1500	1500
Zn	280	280	280 – 560	280 - 560
Cu	140	140	140 – 280	140 - 280
Cd	5	3	12	15
Fe	-	-	-	-
Mn	-	-	-	-
As	20	10	40	40
Ni	35	35	35 - 70	35 - 70
Cr	600	600	1000	1000
Sb	-	-	-	-

Πίνακας 6.4.: *Όρια ρύπανσης εδαφών Μ.Βρετανίας (DOE – ICRCL)*[2] *σε μg g*$^{-1}$.

	M. Βρετανία (DOE – ICRCL) [2]		
Στοιχείο	**Κατώφλιο ορίου επιτρεπτής συγκέντρωσης**	**Μέγιστο Επιτρεπτό όριο συγκεντρωσης**	
		Για βοσκότοπους	**Για καλλιέργεια φυτών**
Pb	300	1000	-
Zn	1000	3000	1000
Cu	250	500	250
Cd	3	30	50
Fe	-	-	-
Mn	-	-	-
As	50	500	1000

Πίνακας 6.5.: *Όρια ρύπανσης (μg g^{-1}) εδαφών Ολλανδίας, Γαλλίας, Καναδά και ΗΠΑ*

Στοιχείο	Ολλανδία[3a]			Ολλανδία[3]		Γαλλία [4]		Καναδάς [5]		ΗΠΑ [6]
	Τιμή αναφοράς	Περαιτέρω έρευνα	Άμεση Αποκατάσταση	Τιμή στόχος	Όριο ανάγκης παρέμβασης	Μέτρια Αποκατάσταση	Επείγουσα Αποκατάσταση	Κατοικίες Αναψυχής	Βιομηχανική Χρήση	Άμεση Αποκατάσταση
Pb	50	150	600	85	530	500	1000	500	1000	400
Zn	200	500	3000	140	720	1500	3000	500	1500	-
Cu	50	100	500	36	190	500	1000	100	500	600
Cd	1	5	20	0.8	12	10	20	5	20	39
Fe	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mn	-	-	-	-	-	5000	10000	-	-	-
Ni	50	100	500	-	-	-	-	100	-	-
As	20	30	50	29	55	100	200	30	50	20
Co	20	50	300	-	-	-	-	-	-	-
Cr	100	250	800	-	-	-	-	-	-	-

Πίνακας 6.6.: *Sb: Κανονική συγκέντρωση στο έδαφος – Φυτοτοξικά επίπεδα (Kabata – Pendias και Pendias, 1984: Levinson, 1980).*

Στοιχείο	Συγκέντρωση (μg g^{-1})	Φυτοτοξικά επίπεδα (μg g^{-1})
Sb	**5**	**5 - 10**

(1) *Department of the Environment, Interdepartment Committee on the Redevelopment of Contaminated Land (ICRCL), Consultation Paper, DOE, 2 Marsham Street, London SW1 3EB. Alloway, 1995.*
(2) *ICRCL, 1990.*
(3) *Circular on target values and interventation valuew for soil remediation, 2000, (VROM).*
(4) *National Classification system for Contaminated Sites, 1992, CCME. Report EPC-CS39E.*
(5) *Clean up criteria for contaminated soil and underground, 1995, ASTM, Data series:DS64.*
(6) *Soil Cleanup criteria, 1999. New Jersey Department of Environment Protection.*

Στη συνέχεια, με τη βοήθεια του λογισμικού ArcView 8.2 GIS κατασκευάστηκαν γεωχημικοί χάρτες για τη μελέτη της χωρικής κατανομής κάθε χημικού στοιχείου στο έδαφος (Fanouraki et al., 2006). Τα στάδια κατασκευής των χαρτών ήταν τα ακόλουθα:

i) Πραγματοποιήθηκε σάρωση και γεωαναφορά του τοπογραφικού χάρτη της ΒΔ Χίου κλίμακας 1: 50000 της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (ΓΥΣ).

ii) Ψηφιοποιήθηκαν τα ποτάμια και σημειώθηκαν τα χωριά της περιοχής μελέτης.

iii) Έγινε σάρωση και γεωαναφορά του γεωλογικού χάρτη της ΒΔ Χίου κλίμακας 1:50000 του ΙΓΜΕ.

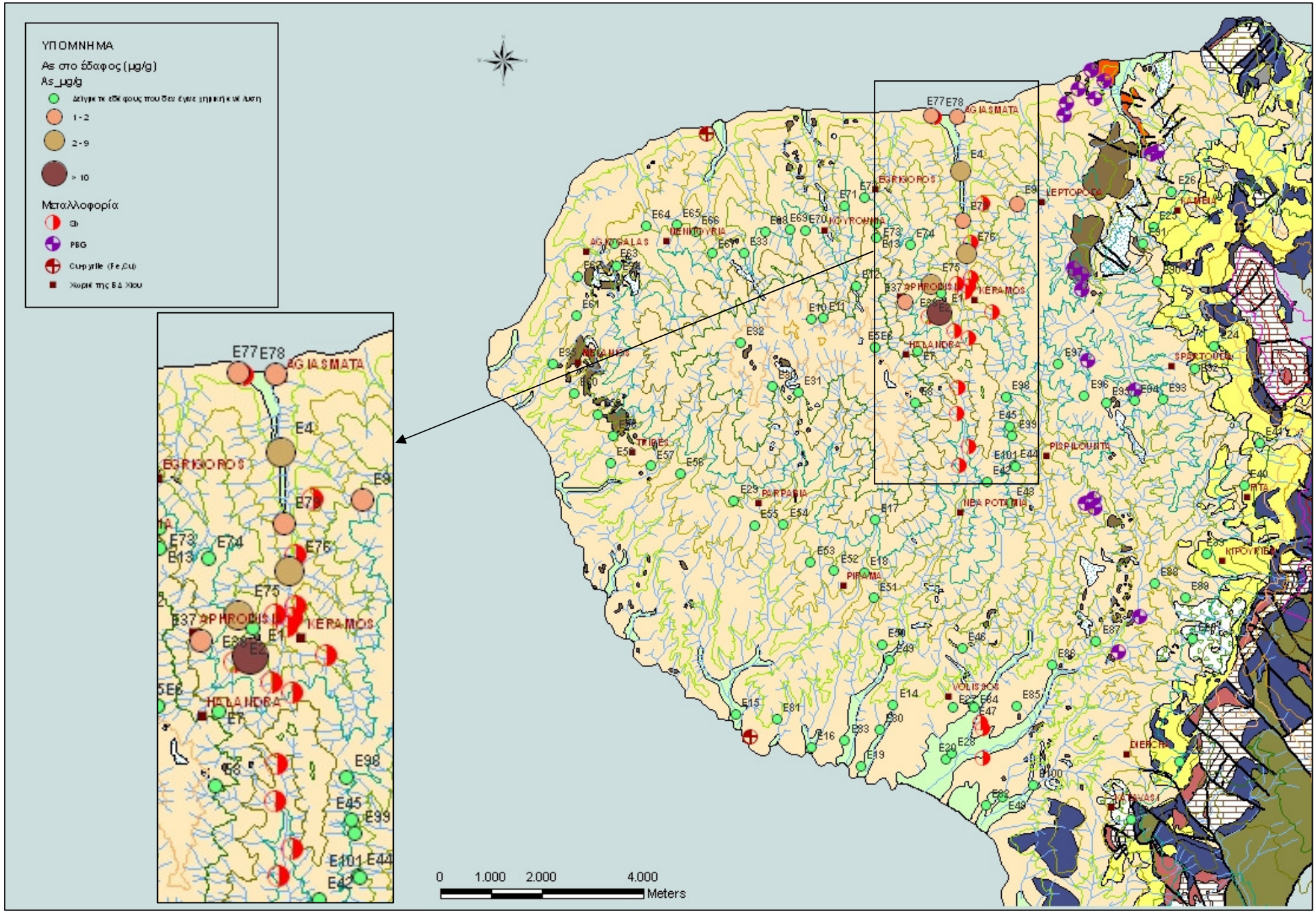
iv) Ψηφιοποιήθηκαν οι γεωλογικοί σχηματισμοί και τα ρήγματα.

v) Από βιβλιογραφικά δεδομένα σημειώθηκαν οι θέσεις μεταλλοφορίας που αναπτύσσεται στην περιοχή.

6.3.1 Αρσενικό (As)

Τα 10 δείγματα εδάφους που αναλύθηκαν As προέρχονται από την περιοχή Κεράμου-Αγιασμάτων. Από αυτά, τα 5 (Ε9, Ε37, Ε77, Ε78, Ε79) έχουν τιμή αρσενικού μικρότερη από το όριο ανιχνευσιμότητας της αναλυτικής μεθόδου (<1 μg g^{-1}). Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων As των υπόλοιπων δειγμάτων εδάφους (Ε1, Ε2, Ε4, Ε75, Ε76) είναι 10 μg g^{-1} με εύρος τιμών από 3 έως 20 μg g^{-1}. Σύμφωνα με τις οριακές τιμές των 40 μg g^{-1} (Μ. Βρετανία- σε αγρό και ανοιχτό χώρο), το κατώφλιο ορίου επιτρεπτής συγκέντρωσης των 50 μg g^{-1} (Μ. Βρετανία), και τα όρια ρύπανσης As των εδαφών της Ολλανδίας, Γαλλίας, Καναδά και ΗΠΑ, τα εδαφικά δείγματα της περιοχής έρευνας εμφανίζουν χαμηλότερες συγκεντρώσεις As. Ο περιορισμένος αριθμός των μετρήσεων δεν επιτρέπει την περαιτέρω στατιστική επεξεργασία τους, οπότε δεν κατασκευάστηκε ιστόγραμμα συχνότητας και καμπύλη αθροιστικής συχνότητας συγκεντρώσεων.

Από τον γεωχημικό χάρτη κατανομής As για τα 10 δείγματα εδάφους (Εικ. 6.5) στην περιοχή της Κεράμου – Αγιασμάτων οι υψηλότερες τιμές εμφανίζονται στα δείγματα Ε1 (12 μg g^{-1}) και Ε2 (19 μg g^{-1}), οι οποίες είναι μικρότερες των θεσπισμένων ορίων. Το μέγιστο των συγκεντρώσεων εντοπίζεται σε εδάφη πλησίον της αντιμονιούχου μεταλλοφορίας στην περιοχή. Σε παλαιότερη μελέτη (Φανουράκη, 2003) που αναφέρεται στην ευρύτερη περιοχή ανάπτυξης της αντιμονιούχου μεταλλοφορίας της ΒΔ Χίου οι τιμές του αρσενικού κυμαίνονται από 12 - 71 μg g^{-1} σε δείγματα ιζημάτων ρεμάτων και από 10 - 537 μg g^{-1} σε δείγματα εδαφών. Ωστόσο, τα δεδομένα της παρούσας έρευνας καταδεικνύουν ότι τα εδάφη της περιοχής της Κεράμου δεν έχει ρυπανθεί σε τόσο σημαντικό βαθμό από το συγκεκριμένο στοιχείο.



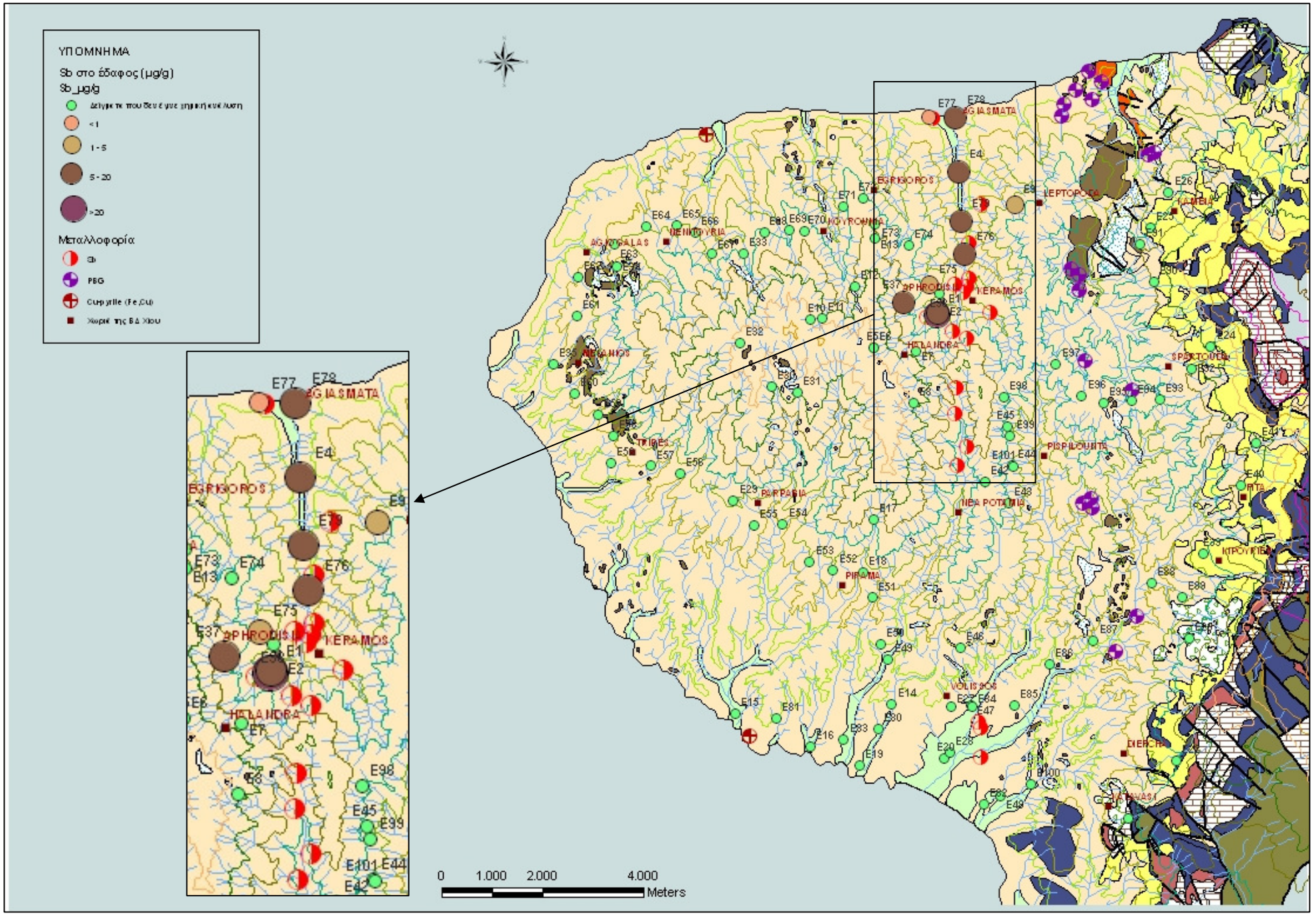
Εικόνα 6.5.: *Γεωχημικός χάρτης κατανομής As στα εδάφη* στην περιοχή Κεράμου – Αγιασμάτων.

6.3.2. Αντιμόνιο (Sb)

Από τα 10 δείγματα εδάφους που αναλύθηκαν και τα οποία προέρχονται από την περιοχή ενδιαφέροντος μεταξύ Κεράμου και Αγιασμάτων, ένα δείγμα (Ε77) έχει τιμή αντιμονίου μικρότερη από το όριο ανιχνευσιμότητας της αναλυτικής μεθόδου (<1 μg g^{-1}). Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων Sb των υπόλοιπων δειγμάτων εδάφους (Ε1, Ε2, Ε4, Ε9, Ε37, Ε75, Ε76, Ε78, Ε79) είναι 18.5 μg g^{-1} με εύρος τιμών από 2 έως 75 μg g^{-1}. Σύμφωνα με τον πίνακα 6.6. οι τιμές των δειγμάτων είναι μεγαλύτερες από το όριο των 5 μg g^{-1} εκτός από τα δείγματα Ε9 και Ε75 που οι τιμές τους είναι μικρότερες. Ο περιορισμένος αριθμός των μετρήσεων δεν επιτρέπει την περαιτέρω στατιστική επεξεργασίας τους, οπότε δεν κατασκευάστηκε ιστόγραμμα συχνότητας και καμπύλη αθροιστικής συχνότητας συγκεντρώσεων.

Από τον γεωχημικό χάρτη κατανομής Sb για τα 10 δείγματα εδάφους (Εικ. 6.6.) στην περιοχή της Κεράμου – Αγιασμάτων είναι φανερό ότι το έδαφος της περιοχής έχει επηρεαστεί από τις εμφανίσεις της αντιμονιούχου μεταλλοφορίας, η οποία είναι δυνατό να εμπλουτίζει με Sb το έδαφος είτε μέσω διεργασιών της φυσικής χημικής αποσάθρωσης, είτε μέσω υλικών που βρίσκονται εκτεθειμένα σε επιφανειακές συνθήκες λόγω της προηγούμενης μεταλλευτικής δραστηριότητας στην περιοχή. Σε παλαιότερη μελέτη (Φανουράκη, 2003) που αναφέρεται στην ευρύτερη περιοχή ανάπτυξης της αντιμονιούχου μεταλλοφορίας της ΒΔ Χίου οι τιμές του αντιμονίου κυμαίνονται από 3 - 385 μg g^{-1} σε δείγματα ιζημάτων ρεμάτων και από 3 - 17479 μg g^{-1} σε δείγματα εδαφών.

Η κινητικότητα του αντιμονίου ελέγχεται κατά ένα σημαντικό μέρος από τα ένυδρα οξείδια του μαγγανίου, αργιλίου και σιδήρου σε συνεργασία με το pH. Έτσι η ικανότητα προσρόφησης των οξειδίων όσον αφορά το αντιμόνιο μειώνεται με τη σειρά $MnOOH>Al(OH)_3>FeOOH$. Το ποσό που απορροφάται από τα αναφερόμενα ένυδρα οξείδια ελαττώνεται βαθμιαία σε τιμές pH > 6. Έτσι σε pH < 7 η συγκράτηση του αντιμονίου κυρίως σε ένυδρα οξείδια μαγγανίου είναι ισχυρή ενώ είναι λιγότερο ισχυρή για το FeOOH και $Al(OH)_3$ σε τιμές pH 6 έως 7 (Filella, 2002). Στην περιοχή της Κεράμου οι μετρήσεις pH που πραγματοποιήθηκαν ενδεικτικά σε τρία δείγματα εδαφών (Ε1, Ε2, Ε4) (Παράρτημα Β) δείχνουν ένα ελαφρώς όξινο περιβάλλον οπότε μπορεί να υποτεθεί η προσρόφηση του αντιμονίου κυρίως σε φάσεις οξειδίων του Mn οι οποίες αφθονούν στα εδάφη γενικά λόγω βιογενών διεργασιών.



Εικόνα 6.6.: *Γεωχημικός χάρτης κατανομής Sb στα εδάφη* στην περιοχή Κεράμου – Αγιασμάτων.

6.3.3. Βαρέα μέταλλα

Χαλκός (Cu)

Οι συγκεντρώσεις του χαλκού κυμαίνονται από 14 έως 66 μg g^{-1} με μέση τιμή 38 μg g^{-1}. Τα δεδομένα υποδιαιρούνται σε 17 κλάσεις όπου το εύρος της κάθε μίας είναι ίσο με 4 μg $g^{-}1$. Στο ιστόγραμμα συγκεντρώσεων του Cu διακρίνεται ένας πληθυσμός με το μεγαλύτερο αριθμό τιμών να εμφανίζεται στο διάστημα 32 έως 36 μg g^{-1} (Εικ. 6.7.), με τιμή πλαισίου 37 μg g^{-1} (Πιν. 6.7.).

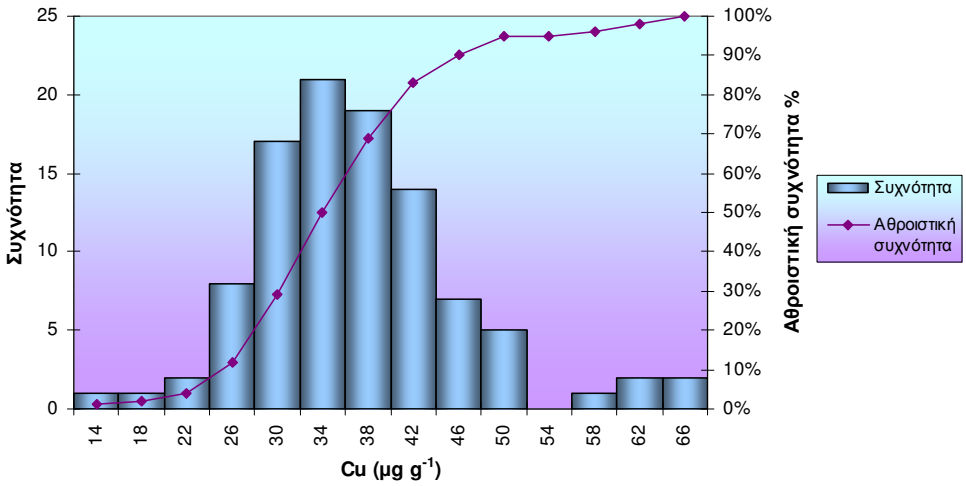
Σύμφωνα με τους πίνακες 6.3. όπου το όριο ρύπανσης Cu σε αγρό και ανοιχτό χώρο είναι 140-280 ppm (Μ. Βρετανία) , 6.4. όπου το κατώφλιο ορίου επιτρεπτής συγκέντρωσης είναι 250 ppm (Μ. Βρετανία), και 6.5. που αναφέρονται τα όρια ρύπανσης Cu των εδαφών της Ολλανδίας, Γαλλίας, Καναδά και ΗΠΑ, τα εδαφικά δείγματα της περιοχής έρευνας εμφανίζουν τιμές Cu μικρότερες αυτών των ορίων.

Ο γεωχημικός χάρτης κατανομής Cu (Εικ. 6.8.) δείχνει ότι η περιοχή δεν έχει υποστεί ρύπανση. Οι υψηλότερες τιμές Cu οι οποίες είναι μικρότερες των θεσπισμένων ορίων εμφανίζονται στις περιοχές Μελανιός (Ε59: 66 μg g^{-1}), Παρπαριά (Ε29: 65 μg g^{-1}), Νενητούρια (Ε33: 62 μg g^{-1}) και Κηπουριές (Ε87: 60 μg g^{-1}, Ε88: 62 μg g^{-1}).

Σε παλαιότερη μελέτη (Φανουράκη, 2003) που αναφέρεται στην περιβαλλοντική έρευνα εδαφών και ιζημάτων ρεμάτων στην ευρύτερη περιοχή ανάπτυξης της αντιμονιούχου μεταλλοφορίας που περιλαμβάνει τα χωριά Χωρή, Ποταμιά, Καμίνια, Χάλανδρα, Αφροδίσια, Κέραμος, Λεπτόποδα της ΒΔ Χίου οι τιμές του χαλκού κυμαίνονται από 25 - 45 μg g^{-1} (δείγματα ιζήματα ρεμάτων) και 18 - 183 μg g^{-1}(δείγματα εδαφών). Όπως αποδείχθηκε σε αυτή τη μελέτη η περιοχή δεν έχει ρυπανθεί από το συγκεκριμένο στοιχείο.

Πίνακας 6.7.: *Περιγραφικά στατιστικά Cu (mg/kg) στα δείγματα εδάφους.*

Στατιστικάστοιχεία	Cu
Αριθμητικός μέσος	38
Τιμή πλαισίου	37
Τυπική απόκλιση	9
Ελάχιστη τιμή	14
Μέγιστη τιμή	66
Πλήθος τιμών	100



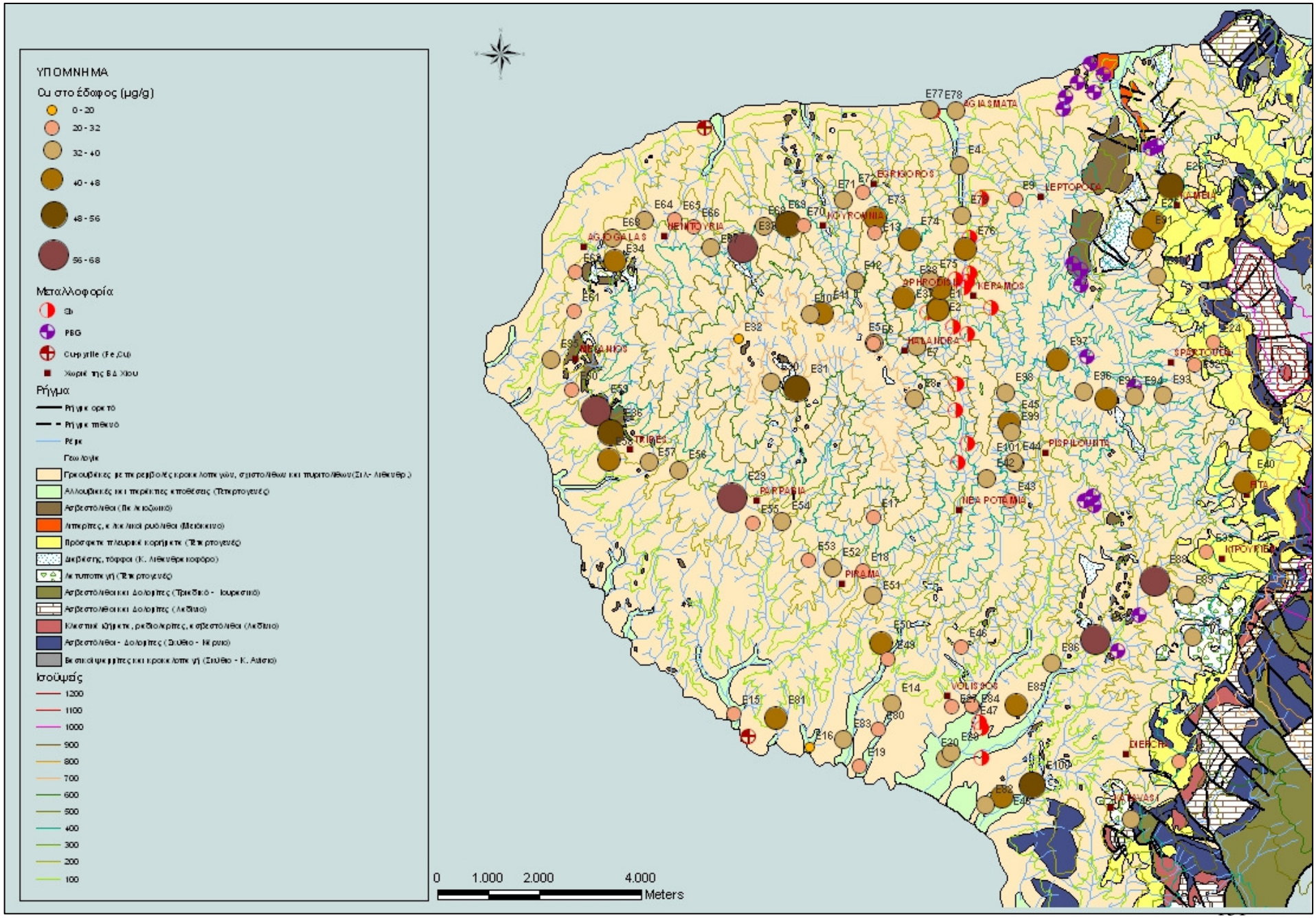
Εικόνα 6.7.: *Ιστόγραμμα περιεχομένων Cu και καμπύλη αθροιστικής συχνότητας για τα δείγματα εδάφους.*

Νικέλιο (Ni)

Οι συγκεντρώσεις του νικελίου κυμαίνονται από 19 έως 76 μg g^{-1} με μέση τιμή 41 μg g^{-1}. Τα δεδομένα υποδιαιρούνται σε 19 κλάσεις όπου το εύρος της κάθε μίας είναι ίσο με 4 μg g^{-1}. Στο ιστόγραμμα συγκεντρώσεων του Ni διακρίνεται ένας πληθυσμός με το μεγαλύτερο αριθμό τιμών να εμφανίζεται στο διάστημα 36 έως 40 μg g^{-1} (Εικ. 6.9.), με τιμή πλαισίου 40 μg g^{-1} (Πιν. 6.8).

Σύμφωνα με τους πίνακες 6.3. όπου το όριο ρύπανσης Ni σε αγρό και ανοιχτό χώρο είναι 35-70 ppm (Μ. Βρετανία) και 6.5. που αναφέρονται τα όρια ρύπανσης Ni των εδαφών της Ολλανδίας και Καναδά τα εδαφικά δείγματα της περιοχής έρευνας εμφανίζουν τιμές Ni μικρότερες αυτών των ορίων.

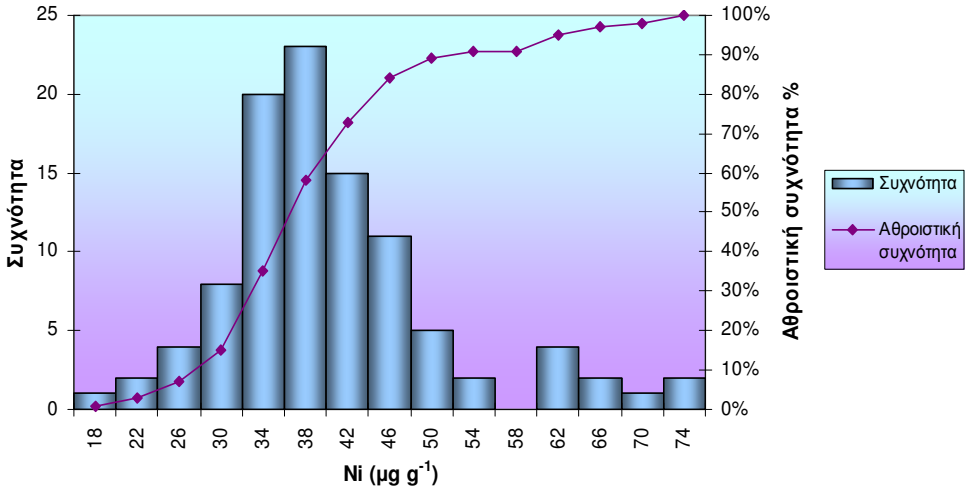
Ο γεωχημικός χάρτης κατανομής Ni (Εικ. 6.10.) δείχνει ότι η περιοχή δεν έχει υποστεί ρύπανση. Οι υψηλότερες τιμές Ni οι οποίες όμως είναι μικρότερες των θεσπισμένων ορίων εμφανίζονται στις περιοχές Παρπαριά (Ε31: 76 μg g^{-1}) και προς Κηπουριές (Ε85: 68 μg g^{-1}, Ε87: 76 μg g^{-1}).



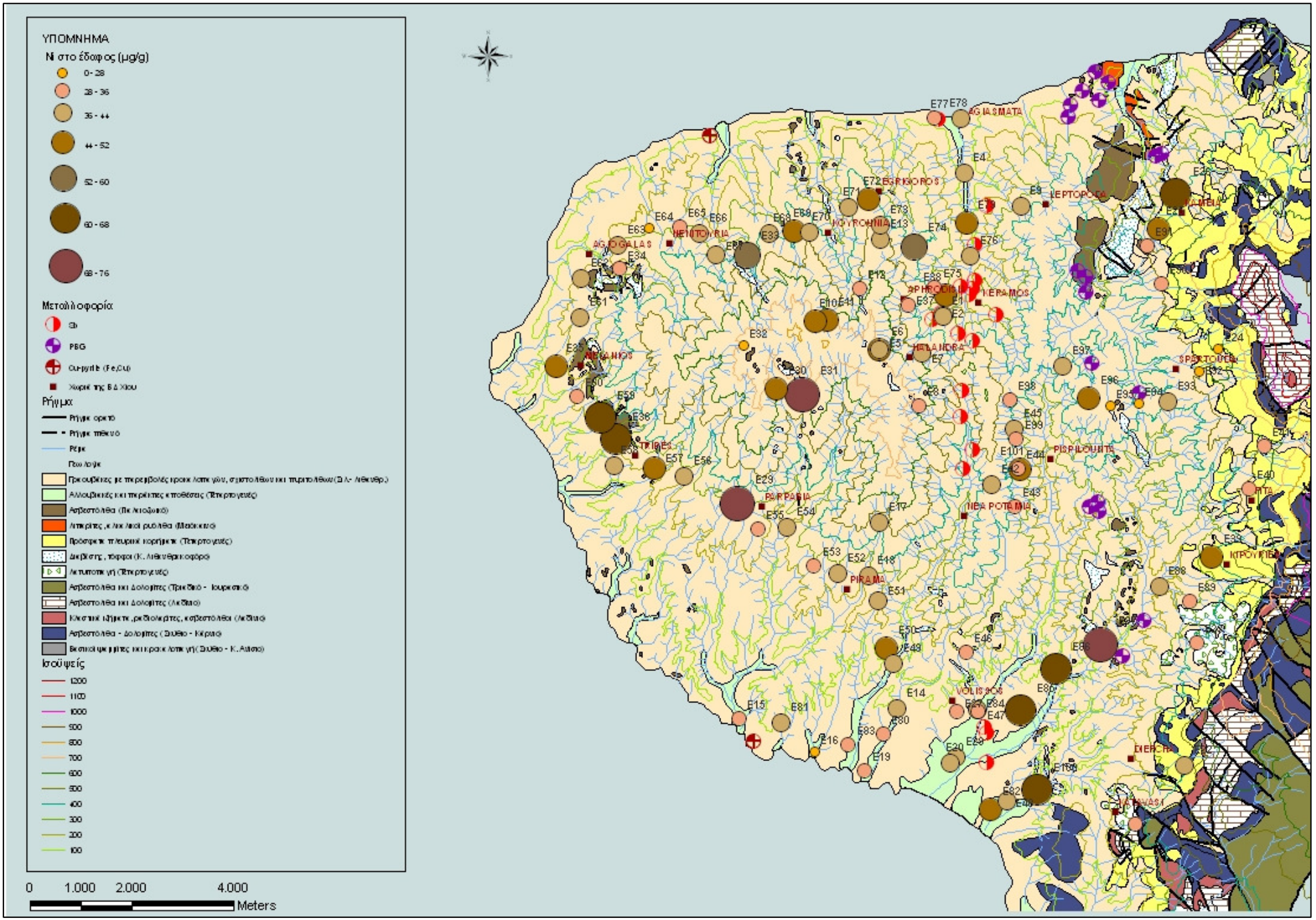
Εικόνα 6.8.: *Γεωχημικός χάρτης κατανομής του Cu των εδαφών στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*

Πίνακας 6.8.: *Περιγραφικά στατιστικά (mg/kg) Ni στα δείγματα εδάφους.*

Στατιστικά στοιχεία	Ni
Αριθμητικός μέσος	41
Τιμή πλαισίου	40
Τυπική απόκλιση	11
Ελάχιστη τιμή	19
Μέγιστη τιμή	76
Πλήθος τιμών	100



Εικόνα 6.9.: *Ιστόγραμμα περιεχομένων Ni και καμπύλη αθροιστικής συχνότητας για τα δείγματα εδάφους.*



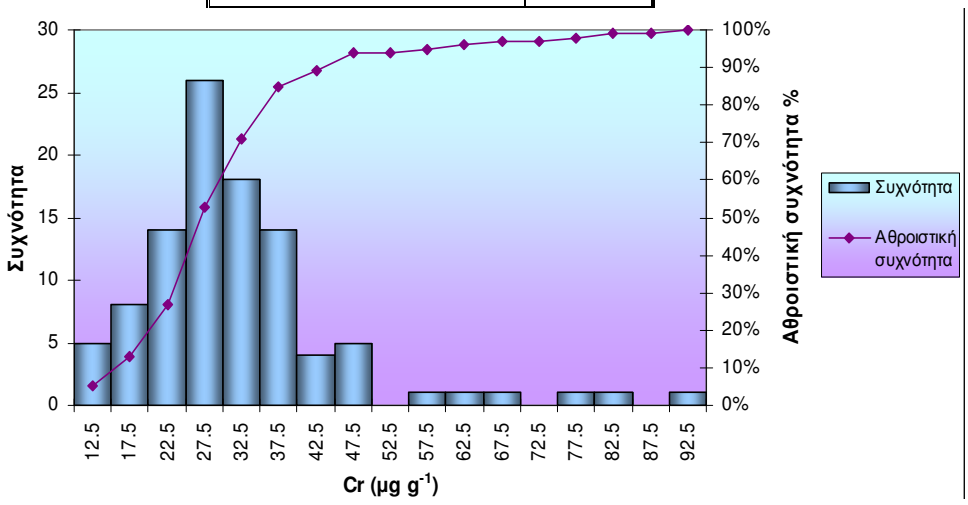
Εικόνα 6.10.: *Γεωχημικός χάρτης κατανομής του Ni των εδαφών στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*

Χρώμιο (Cr)

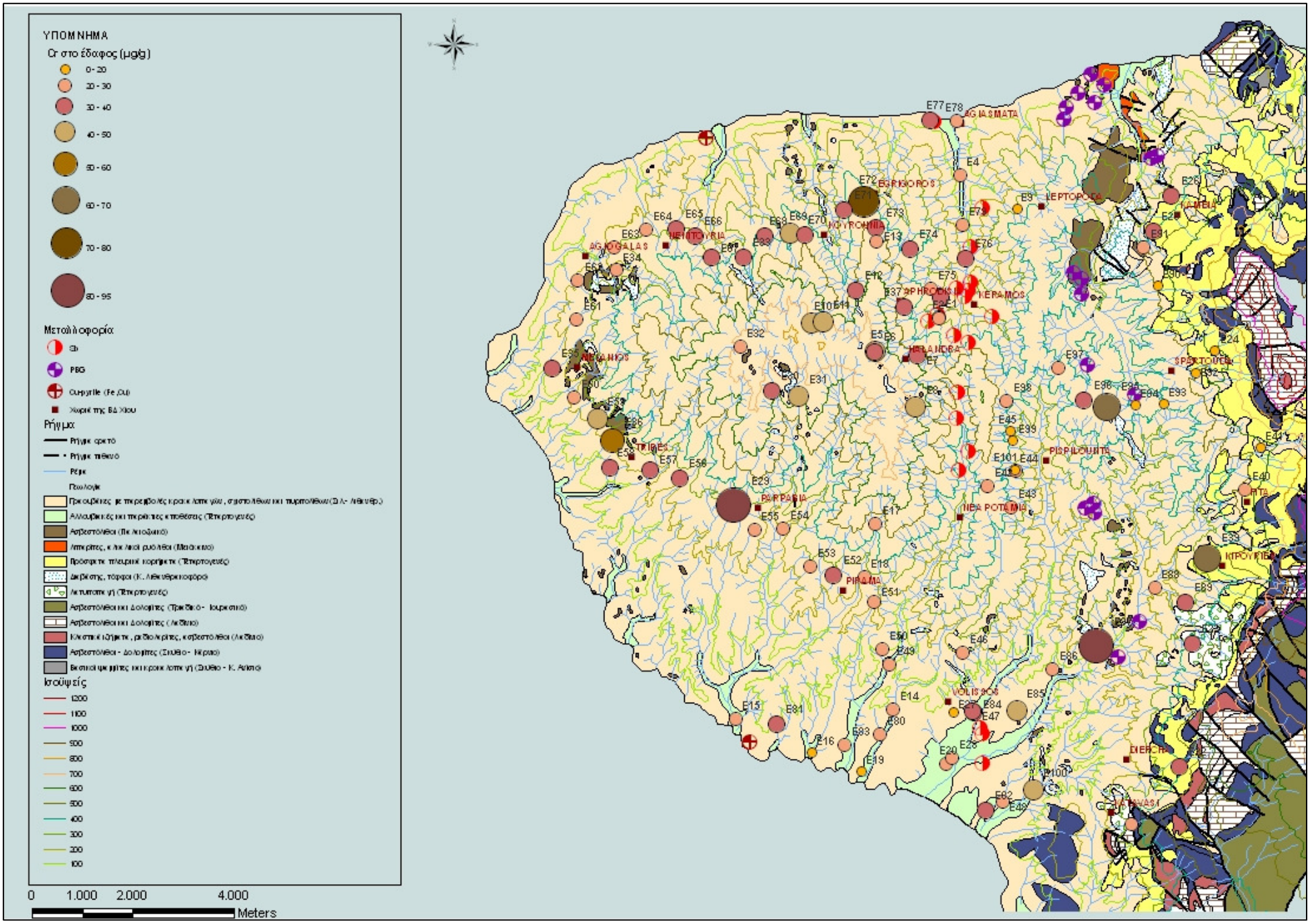
Οι συγκεντρώσεις του χρωμίου κυμαίνονται από 13 έως 95 μg g^{-1} με μέση τιμή 32 μg g^{-1}. Τα δεδομένα υποδιαιρούνται σε 19 κλάσεις όπου το εύρος της κάθε μίας είναι ίσο με 5 μg g^{-1}. Στο ιστόγραμμα συγκεντρώσεων του Cr διακρίνεται ένας πληθυσμός με το μεγαλύτερο αριθμό τιμών να εμφανίζεται στο διάστημα 25 έως 30 μg g^{-1} (Εικ. 6.11), με τιμή πλαισίου 30 μg g^{-1} (Πιν. 6.9.). Η κατανομή των τιμών του Cr θεωρείται λοξή με «ουρά» προς τα δεξιά. Σύμφωνα με τους πίνακες 6.3. όπου το όριο ρύπανσης Cr σε αγρό και ανοιχτό χώρο είναι 1000 ppm (Μ. Βρετανία) και 6.5. που αναφέρονται τα όρια ρύπανσης Cr των εδαφών της Ολλανδίας τα εδαφικά δείγματα εμφανίζουν τιμές Cr μικρότερες αυτών των ορίων. Ο γεωχημικός χάρτης κατανομής Cr (Εικ. 6.12.) δείχνει ότι η περιοχή δεν έχει υποστεί ρύπανση. Οι υψηλότερες τιμές Cr οι οποίες είναι μικρότερες των θεσπισμένων ορίων εμφανίζονται στις περιοχές Παρπαριά (E29: 81 μg g^{-1}) και προς Κηπουριές (E87: 95 μg g^{-1}).

Πίνακας 6.9.: *Περιγραφικά στατιστικά (mg/kg)Cr στα δείγματα εδάφους.*

Στατιστικά στοιχεία	Cr
Αριθμητικός μέσος	32
Τιμή πλαισίου	30
Τυπική απόκλιση	14
Ελάχιστη τιμή	13
Μέγιστη τιμή	95
Πλήθος τιμών	100



Εικόνα 6.11.: *Ιστόγραμμα περιεχομένων Cr και καμπύλη αθροιστικής συχνότητας για τα δείγματα εδάφους.*



Εικόνα 6.12.: *Γεωχημικός χάρτης κατανομής του Cr των εδαφών στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*

Ψευδάργυρος (Zn)

Οι συγκεντρώσεις του ψευδαργύρου κυμαίνονται από 44 έως 159 μg g^{-1} με μέση τιμή 96 μg g^{-1}. Τα δεδομένα υποδιαιρούνται σε 18 κλάσεις όπου το εύρος της κάθε μίας είναι ίσο με 9 μg g^{-1}. Στο ιστόγραμμα συγκεντρώσεων του Zn διακρίνεται ένας πληθυσμός με το μεγαλύτερο αριθμό τιμών να εμφανίζεται στο διάστημα 90 έως 99 μg g^{-1} (Εικ. 6.13.), με τιμή πλαισίου 94 μg g^{-1} (Πιν. 6.10.).

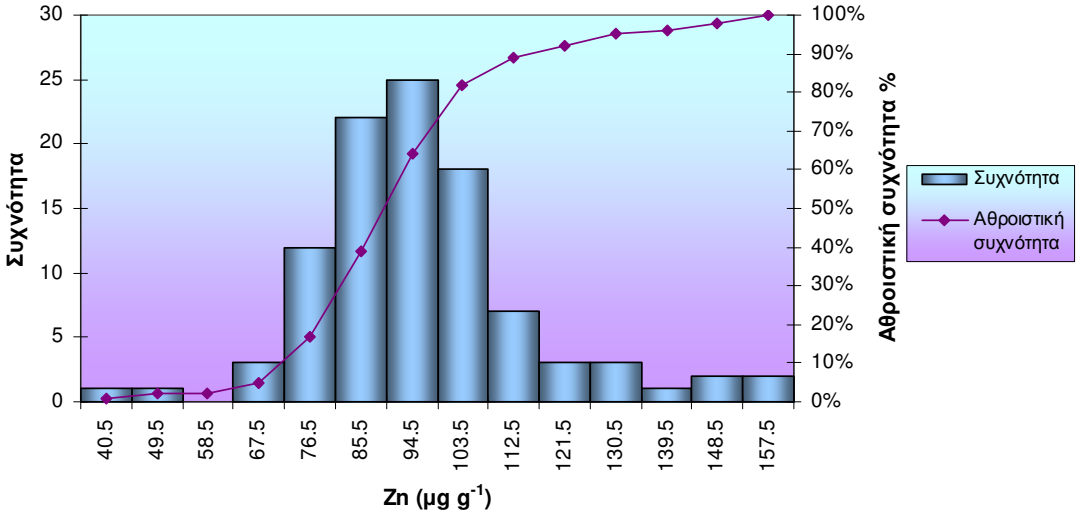
Σύμφωνα με τους πίνακες 6.3. όπου το όριο ρύπανσης Zn σε αγρό και ανοιχτό χώρο είναι 280-560 ppm (Μ. Βρετανία) , 6.4. όπου το κατώφλιο ορίου επιτρεπτής συγκέντρωσης είναι 1000 ppm (Μ. Βρετανία) και 6.5. που αναφέρονται τα όρια ρύπανσης Zn των εδαφών της Ολλανδίας, Γαλλίας και Καναδά τα εδαφικά δείγματα της περιοχής έρευνας εμφανίζουν τιμές Zn μικρότερες αυτών των ορίων.

Ο γεωχημικός χάρτης κατανομής Zn (Εικ. 6.14.) δείχνει ότι η περιοχή δεν έχει υποστεί ρύπανση. Οι υψηλότερες τιμές Zn οι οποίες είναι μικρότερες των θεσπισμένων ορίων εμφανίζονται στις περιοχές Βολισσός (Ε27: 149 μg g^{-1}), Παρπαριά (Ε29: 157 μg g^{-1}), Νενητούρια (Ε33: 159 μg g^{-1}) και Ν. Ποταμιά (Ε42: 148 μg g^{-1}).

Σε παλαιότερη μελέτη (Φανουράκη, 2003) στην ευρύτερη περιοχή ανάπτυξης της αντιμονιούχου μεταλλοφορίας της ΒΔ Χίου οι τιμές του ψευδάργυρου κυμαίνονται από 70 - 169 μg g^{-1} σε δείγματα ιζήματα ρεμάτων και από 35 - 406 μg g^{-1} σε δείγματα εδαφών. Όπως αποδείχθηκε η περιοχή δεν έχει ρυπανθεί από το συγκεκριμένο στοιχείο.

Πίνακας 6.10.: *Περιγραφικά στατιστικά (mg/kg) Zn στα δείγματα εδάφους.*

Στατιστικά στοιχεία	Zn
Αριθμητικός μέσος	96
Τιμή πλαισίου	94
Τυπική απόκλιση	19
Ελάχιστη τιμή	44
Μέγιστη τιμή	159
Πλήθος τιμών	100



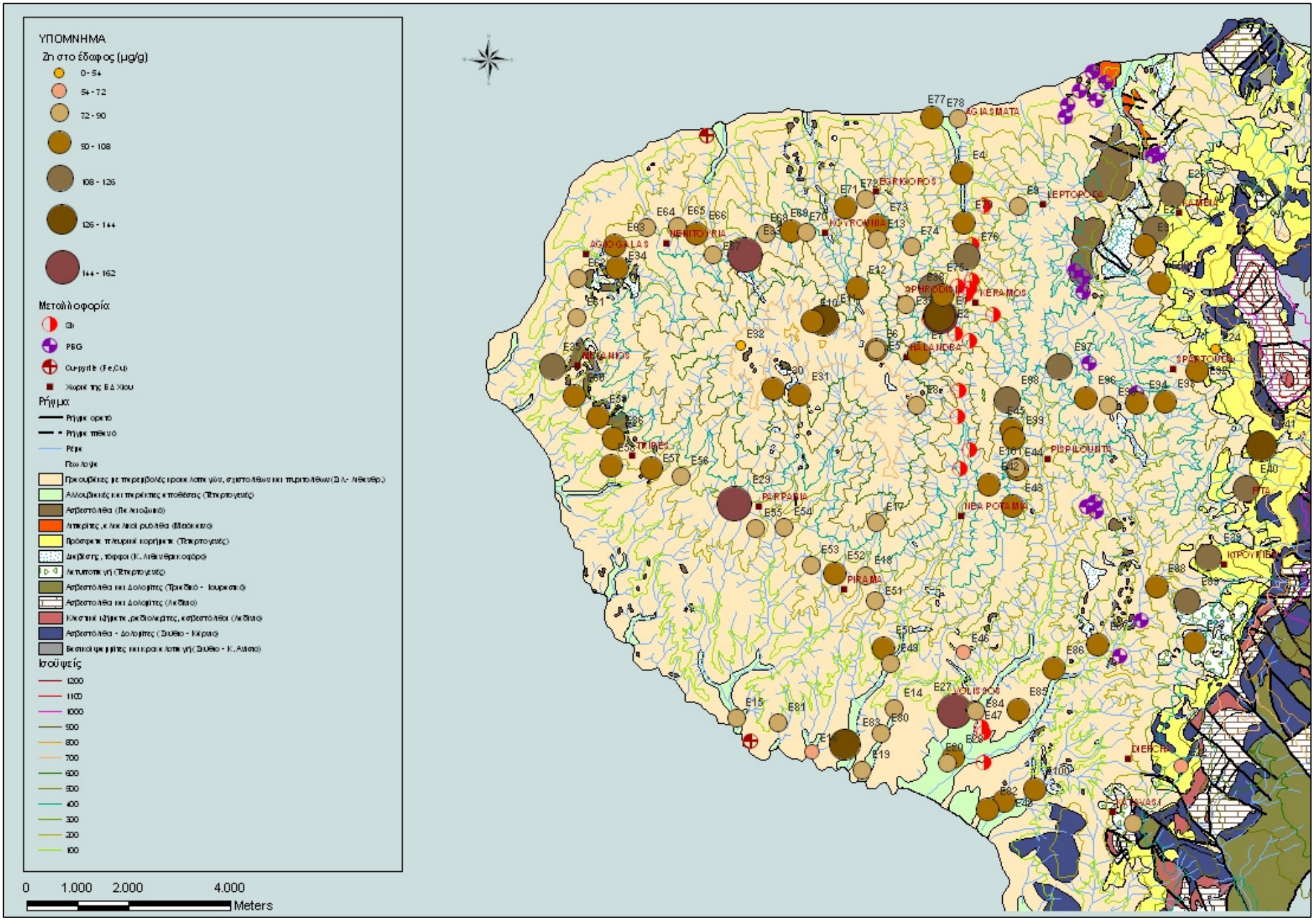
Εικόνα 6.13.: *Ιστόγραμμα περιεχομένων Zn και καμπύλη αθροιστικής συχνότητας για τα δείγματα εδάφους.*

Σίδηρος (Fe)

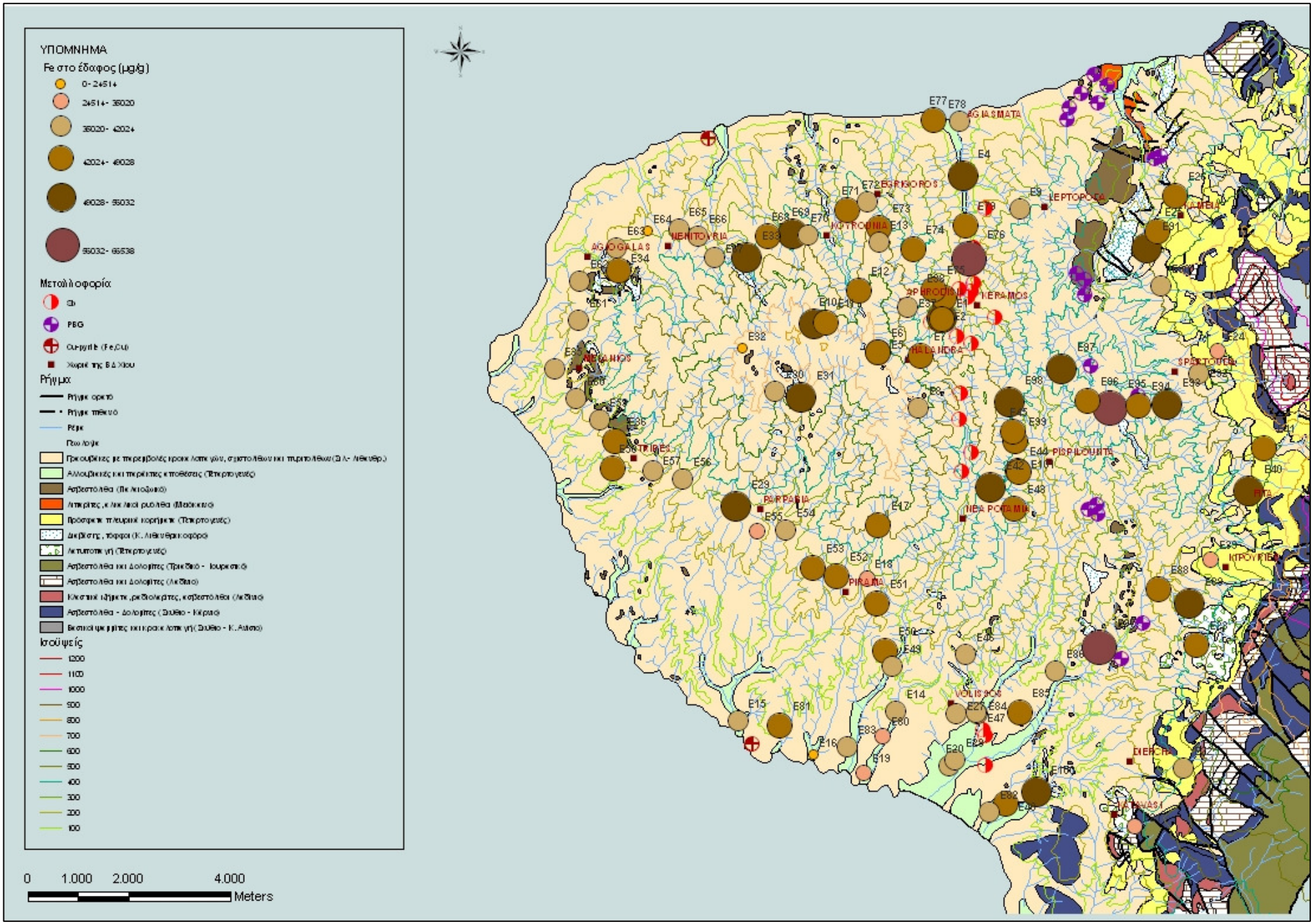
Οι συγκεντρώσεις του σιδήρου κυμαίνονται από 20430 έως 66535 μg g^{-1} με μέση τιμή 42580 μg g^{-1}. Τα δεδομένα υποδιαιρούνται σε 19 κλάσεις όπου το εύρος της κάθε μίας είναι ίσο με 4 μg g^{-1}. Στο ιστόγραμμα συγκεντρώσεων του Fe διακρίνεται ένας πληθυσμός με το μεγαλύτερο αριθμό τιμών να εμφανίζεται στο διάστημα 42024 έως 45526 μg g^{-1} (Εικ. 6.15.), με τιμή πλαισίου 42887 μg g^{-1} (Πιν. 6.11.). Ο γεωχημικός χάρτης κατανομής Fe φαίνεται στη εικόνα 6.16. όπου οι υψηλότερες τιμές Fe οι οποίες είναι μικρότερες των θεσπισμένων ορίων εμφανίζονται στις περιοχές προς Κηπουριές (E87: 59976 μg g^{-1}), και προς Πισπιλούντα (E95: 66535 μg g^{-1}).

Πίνακας 6.11.: *Περιγραφικά στατιστικά (mg/kg)Fe στα δείγματα εδάφους.*

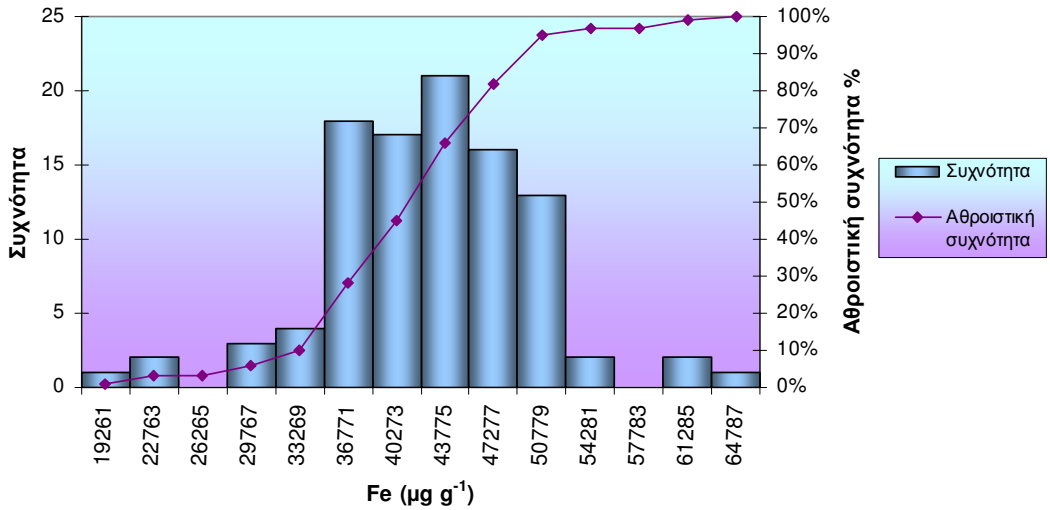
Στατιστικά στοιχεία	Fe
Αριθμητικός μέσος	42580
Τιμή πλαισίου	42887
Τυπική απόκλιση	7461
Ελάχιστη τιμή	20430
Μέγιστη τιμή	66535
Πλήθος τιμών	100



Εικόνα 6.14: *Γεωχημικός χάρτης κατανομής του Zn των εδαφών στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*



Εικόνα 6.16.: *Γεωχημικός χάρτης κατανομής του Fe των εδαφών στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*



Εικόνα 6.15.: *Ιστόγραμμα περιεχομένων Fe και καμπύλη αθροιστικής συχνότητας για τα δείγματα εδάφους.*

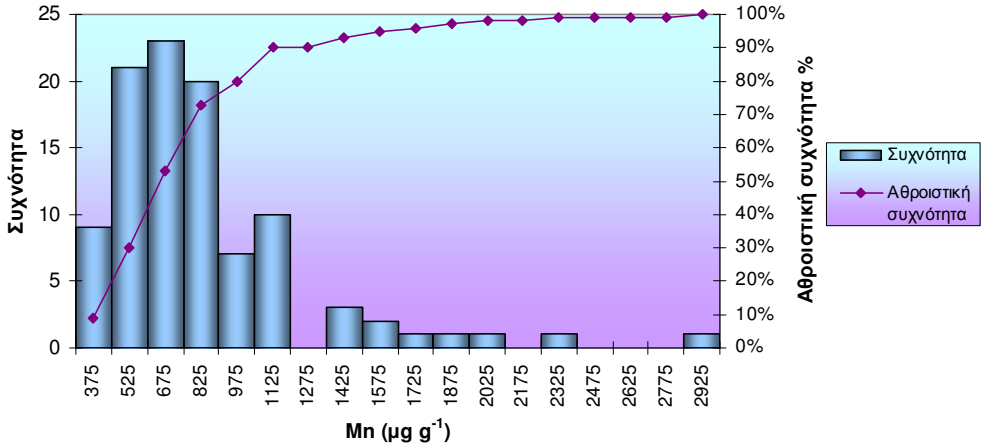
Μαγγάνιο (Mn)

Οι συγκεντρώσεις του μαγγανίου κυμαίνονται από 383 έως 2981 μg g^{-1} με μέση τιμή 830 μg g^{-1}. Τα δεδομένα υποδιαιρούνται σε 20 κλάσεις όπου το εύρος της κάθε μίας είναι ίσο με 150 μg g^{-1}. Στο ιστόγραμμα συγκεντρώσεων του Mn διακρίνεται ένας πληθυσμός με το μεγαλύτερο αριθμό τιμών να εμφανίζεται στο διάστημα 600 έως 750 μg g^{-1} (Εικ. 6.17.), με τιμή πλαισίου 739 μg g^{-1} (Πιν. 6.12.). Η κατανομή των τιμών του Mn θεωρείται λοξή με ουρά προς τα δεξιά. Σύμφωνα με τον πίνακα 6.4. που αναφέρονται τα όρια ρύπανσης Mn των εδαφών της Γαλλίας τα εδαφικά δείγματα της περιοχής έρευνας εμφανίζουν τιμές Mn μικρότερες αυτών των ορίων.

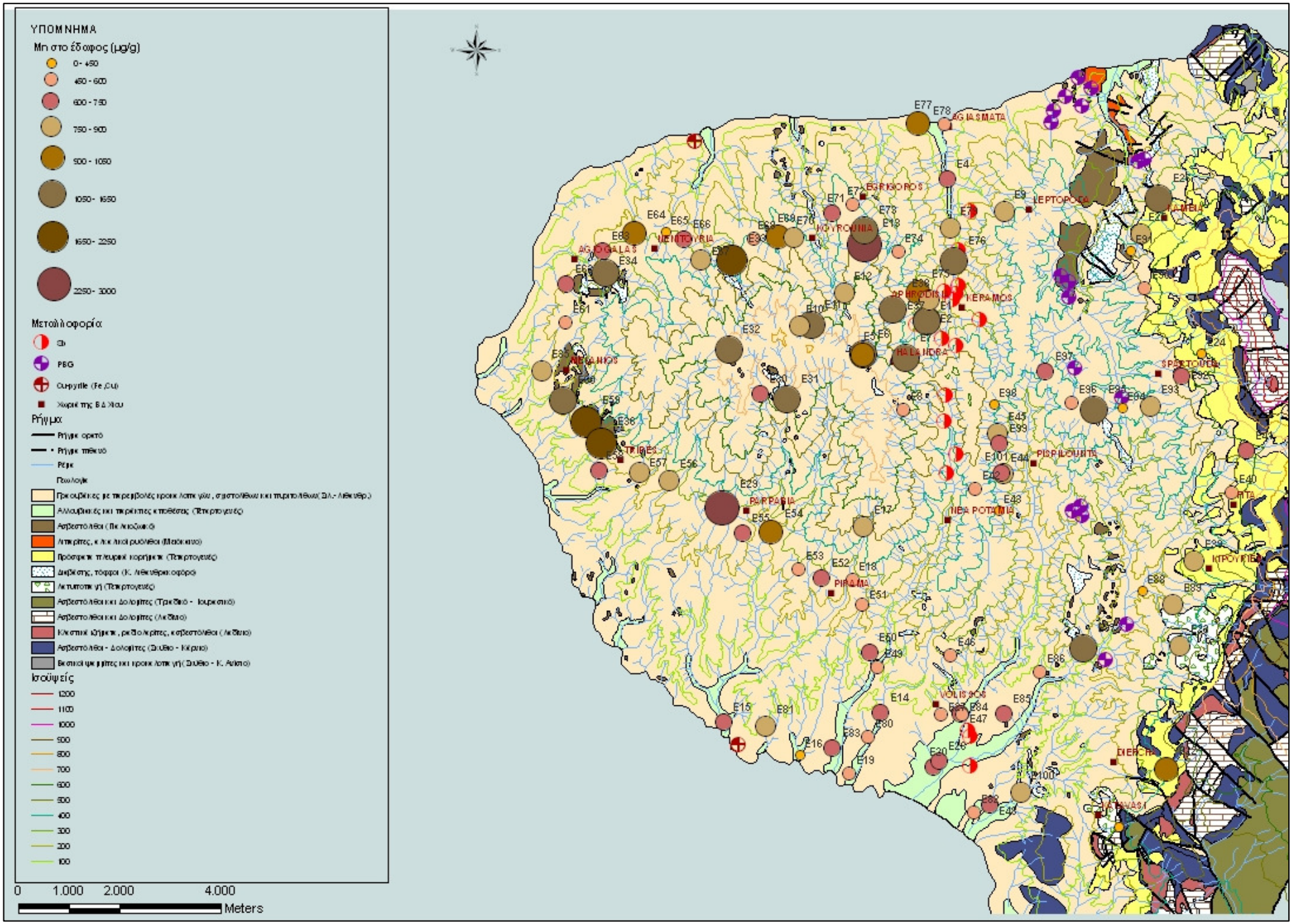
Ο γεωχημικός χάρτης κατανομής Mn (Εικ. 6.18.) δείχνει ότι η περιοχή δεν έχει υποστεί ρύπανση. Οι υψηλότερες τιμές Mn οι οποίες είναι μικρότερες των θεσπισμένων ορίων εμφανίζονται στις περιοχές Κουρούνια (E13: 2362 μg g^{-1}) και Παρπαριά (E29: 2981 μg g^{-1}). Σε παλαιότερη μελέτη (Φανουράκη, 2003) στην ευρύτερη περιοχή ανάπτυξης της αντιμονιούχου μεταλλοφορίας της ΒΔ Χίου οι τιμές του μαγγανίου κυμαίνονται από 413 - 1739 μg g^{-1} σε δείγματα ιζήματα ρεμάτων και 111 - 4062 μg g^{-1} σε δείγματα εδαφών. Όπως αποδείχθηκε στο σύνολό της η περιοχή δεν έχει ρυπανθεί από το συγκεκριμένο στοιχείο.

Πίνακας 6.12.: *Περιγραφικά στατιστικά (mg/kg)Mn στα δείγματα εδάφους.*

Στατιστικά στοιχεία	Mn
Αριθμητικός μέσος	830
Τιμή πλαισίου	739
Τυπική απόκλιση	422
Ελάχιστη τιμή	383
Μέγιστη τιμή	2981
Πλήθος τιμών	100



Εικόνα 6.17.: *Ιστόγραμμα περιεχομένων Mn και καμπύλη αθροιστικής συχνότητας για τα δείγματα εδάφους.*



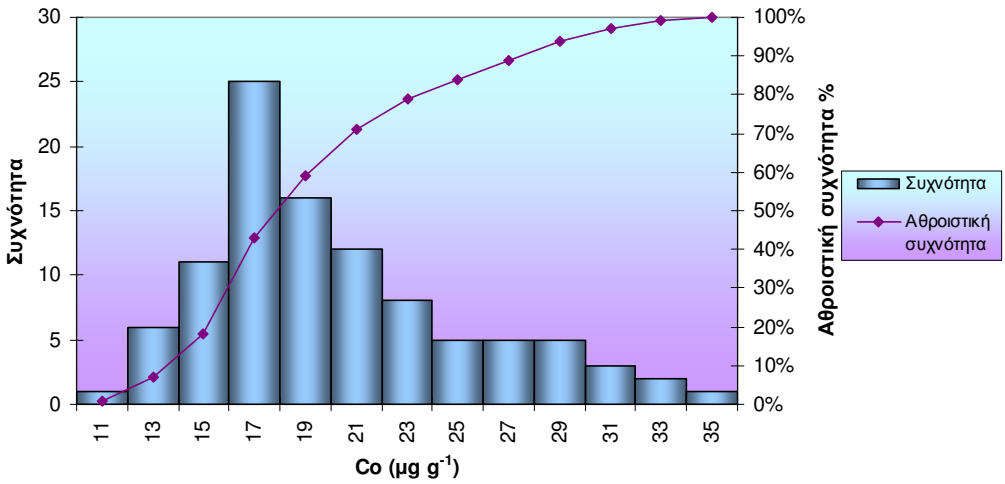
Εικόνα 6.18.: *Γεωχημικός χάρτης κατανομής του Μη των εδαφών στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*

Κοβάλτιο (Co)

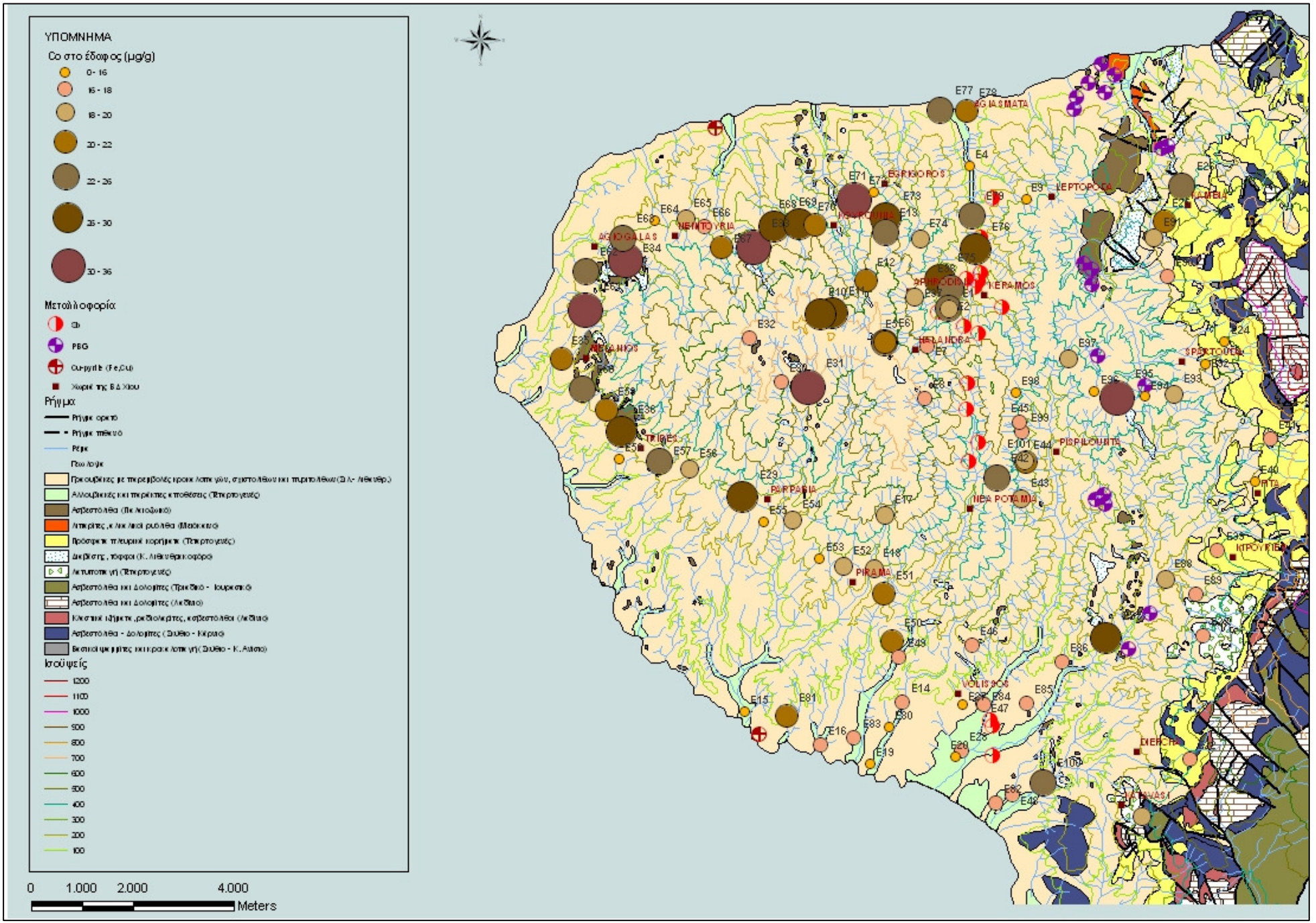
Οι συγκεντρώσεις του κοβαλτίου κυμαίνονται από 12 έως 36 μg g^{-1} με μέση τιμή 21 μg g^{-1}. Τα δεδομένα υποδιαιρούνται σε 18 κλάσεις εύρους 2 μg g^{-1}. Στο ιστόγραμμα συγκεντρώσεων του Co διακρίνεται ένας πληθυσμός με το μεγαλύτερο αριθμό τιμών να εμφανίζεται στο διάστημα 16 έως 18 μg g^{-1} (Εικ. 6.19.), με τιμή πλαισίου 20 μg g^{-1} (Πιν. 6.13.). Δεν παρατηρήθηκαν τιμές άνω των κανονικών συγκεντρώσεων. Ο γεωχημικός χάρτης κατανομής Co (Εικ. 6.20.) δείχνει ότι η περιοχή δεν έχει υποστεί ρύπανση. Οι μέγιστες τιμές εμφανίζονται στις περιοχές Παρπαριά (Ε31: 36 μg g^{-1}), Νενητούρια (Ε33: 31 μg g^{-1}), Άγιο Γάλας (Ε34: 34 μg g^{-1}, Ε61: 31 μg g^{-1}), προς Πισπιλούντα (Ε95: 33 μg g^{-1}) και Κουρούνια (Ε71: 31 μg g^{-1}). Οι τιμές είναι σύμφωνες με αυτές προηγούμενης έρευνας (Φανουράκη, 2003). Συνεπώς η περιοχή δεν έχει ρυπανθεί από το συγκεκριμένο στοιχείο.

Πίνακας 6.13.: *Περιγραφικά στατιστικά (mg/kg) Co στα δείγματα εδάφους.*

Στατιστικά στοιχεία	Co
Αριθμητικός μέσος	21
Τιμή πλαισίου	20
Τυπική απόκλιση	5
Ελάχιστη τιμή	12
Μέγιστη τιμή	36
Πλήθος τιμών	100



Εικόνα 6.19.: *Ιστόγραμμα περιεχομένων Co και καμπύλη αθροιστικής συχνότητας για τα δείγματα εδάφους.*



Εικόνα 6.20.: *Γεωχημικός χάρτης κατανομής του Co των εδαφών στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*

Κάδμιο (Cd)

Το στοιχείο αυτό ανιχνεύτηκε μόνο στα δείγματα Ε6, Ε22, Ε29, Ε33, Ε39,Ε74, Ε82 σε χαμηλές συγκεντρώσεις, κάτω από 2 μg g^{-1}.

Μόλυβδος (Pb)

Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων Pb στα 10 δείγματα της ευρύτερης περιοχής Κεράμου-Αγιασμάτων που αναλύθηκαν βρέθηκε 49 μg g^{-1} με εύρος τιμών από 31 έως 112 μg g^{-1}. Σύμφωνα με τους πίνακες ορίων ρύπανσης όπου το όριο ρύπανσης Pb σε αγρό και ανοιχτό χώρο είναι 1500 ppm (Μ. Βρετανία), το κατώφλιο ορίου επιτρεπτής συγκέντρωσης είναι 300 ppm (Μ. Βρετανία), και τα όρια ρύπανσης Pb των εδαφών της Ολλανδίας, Γαλλίας, Καναδά και ΗΠΑ, τα εδαφικά δείγματα της περιοχής έρευνας εμφανίζουν τιμές Pb μικρότερες αυτών των ορίων. Ο περιορισμένος αριθμός των μετρήσεων δεν επιτρέπει την περαιτέρω στατιστική επεξεργασίας τους, οπότε δεν κατασκευάστηκε ιστόγραμμα συχνότητας και καμπύλη αθροιστικής συχνότητας συγκεντρώσεων. Τα ευρήματα προηγούμενης έρευνας (Φανουράκη, 2003) συμφωνούν ως προς τις συγκεντρώσεις Pb.

6.3.4 Άλλα στοιχεία

Η χημική ανάλυση των 10 δειγμάτων από την περιοχή Κέραμος- Αγιάσματα περιελάμβανε τον προσδιορισμό συγκεντρώσεων μιας σειράς πρόσθετων χημικών στοιχείων τα οποία δεν χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής από άποψη ρύπανσης, όμως έχουν σημασία για το γενικότερο χαρακτηρισμό των εδαφών της περιοχής σε συνάρτηση με τη γεωλογία. Ο περιορισμένος αριθμός των μετρήσεων δεν επιτρέπει την περαιτέρω στατιστική επεξεργασίας τους, οπότε δεν κατασκευάστηκαν ιστογράμματα συχνότητας. Η σύνοψη των περιγραφικών στατιστικών παραμέτρων για τα στοιχεία αυτά παρουσιάζεται στον πίνακα 6.14. Οι συγκεντρώσεις των στοιχείων μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη διερεύνηση σχέσεων συσχέτισης μεταξύ τους για τον προσδιορισμό κοινών πηγών προέλευσης και τη διαπίστωση διεργασιών εμπλουτισμού τους στο έδαφος. Οι σχέσεις αυτές εξετάζονται στο κεφάλαιο 8.

Πίνακας 6.14: *Περιγραφικά στατιστικά χημικών στοιχείων σε 10 δείγματα εδαφών από την περιοχή Κεράμου-Αγιασμάτων. Συγκεντρώσεις σε μg g^{-1}.*

Χημικό στοιχείο	Μέση τιμή	Διάμεσος	Τυπική απόκλιση	Ελάχιστο	Μέγιστο
Al	10546	8503	5374	2922	20899
Ba	85	80	23	57	132
Bi	17	16	5	8	25
Ca	4700	1961	5907	1253	20543
Li	154	157	18	125	182
Mg	3875	2934	2626	929	7996
K	1685	1546	599	1062	2800
Sr	383	380	34	332	436
Ti	41	39	24	7	79
V	42	43	5	33	49
Na	357	136	631	82	2136

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Αποτελέσματα Χημικών Αναλύσεων Υπόγειου Νερού

7.1. Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων δειγμάτων υπόγειου νερού

Οι πίνακες των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων υπόγειου νερού υγρής και ξηρής περιόδου της περιοχής έρευνας που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο του Τομέα Οικονομικής Γεωλογίας και Γεωχημείας του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του ΕΚΠΑ, καθώς και τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων υπόγειου νερού υγρής περιόδου που πραγματοποιήθηκαν στα αναλυτικά εργαστήρια ACME του Καναδά δίνονται στο Παράρτημα Γ'. Στους πίνακες παρουσιάζονται συγκεντρώσεις στοιχείων πάνω από το όριο ανιχνευσιμότητας της αναλυτικής τεχνικής.

7.2. Ποιοτικός έλεγχος των χημικών αναλύσεων

Όσον αφορά τα σφάλματα που προκύπτουν κατά την εκτέλεση των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων του υπόγειου νερού μπορούν να προσδιοριστούν με τον υπολογισμό της ηλεκτρο–ουδετερότητας (Electro Neutrality) E.N. (%) η οποία υπολογίζεται από τη σχέση (Appelo & Postma, 2005):

$$E.N.(\%) = \frac{\text{άθροισμα κατιόντων + άθροισμα ανιόντων}}{\text{άθροισμα κατιόντων – άθροισμα ανιόντων}} * 100$$

όπου τα κατιόντα και τα ανιόντα εκφράζονται σε meq l^{-1}. Στο άθροισμα των κατιόντων περιλαμβάνονται τα Na^+, K^+, Mg^{2+} και Ca^{2+} και στο άθροισμα των ανιόντων τα Cl^-, HCO_3^-, SO_4^{2-} και NO_3^-. Η ηλεκτρο-ουδετερότητα δεν πρέπει να ξεπερνά το 5%.

Στους πίνακες 7.1., και 7.2. αναγράφεται το σφάλμα ανάλυσης για το κάθε δείγμα υπόγειου νερού κατά την υγρή και την ξηρή περίοδο στην περιοχή έρευνας. Σε όλα τα δείγματα υπόγειου νερού και στις δύο περιόδους το σφάλμα ανάλυσης είναι μικρότερο του 5%. Επομένως τα αποτελέσματα θεωρούνται αξιόπιστα.

Επίσης δύο πιστοποιημένα υλικά αναφοράς CRM – BCR609 το οποίο είναι υπόγειο νερό χαμηλής συγκέντρωσης σε αρσενικό (1,20 ppb) και BCR610 το οποίο είναι υπόγειο νερό υψηλής συγκέντρωσης σε αρσενικό (10.8 ppb) αναλύθηκαν. Έτσι στο BCR609 βρέθηκε τιμή As ίση με 1.21 ppb και στο BCR610 τιμή αρσενικού ίση με 5.3 ppb. Συγκρίνοντας τις τιμές αυτές με τις ήδη διαπιστευμένες παρατηρείται ότι στις χαμηλές συγκεντρώσεις δεν προκύπτουν

σημαντικά συστηματικά αναλυτικά σφάλματα. Στις υψηλές συγκεντρώσεις η σχετική διαφορά μεταξύ μετρούμενης και διαπιστευμένης τιμής είναι περίπου -50%.

Πίνακας 7.1.: *Υπολογισμός σφάλματος κατά την χημική ανάλυση των κατιόντων-ανιόντων στα δείγματα υπόγειου νερού της ΒΔ Χίου κατά την υγρή περίοδο.*

Α/Α	Δείγμα	Σφάλμα Ανάλυσης (%)	Α/Α	Δείγμα	Σφάλμα Ανάλυσης (%)
1	S1	1.04	44	S46	0.77
2	S2	1.61	45	S47	0.40
3	S3_S4	2.95	46	S48	3.13
4	S5	3.38	47	S49	2.52
5	S6	3.46	48	S50	0.72
6	S7	1.48	49	S51	0.20
7	S8	0.58	50	S52	0.16
8	S9	4.40	51	S53	0.03
9	S10	4.17	52	S54	4.46
10	S11	3.51	53	S55	3.77
11	S12	4.78	54	S56	0.27
12	S13	4.18	55	S57	4.0
13	S14	4.67	56	S58	2.83
14	S15	3.27	57	S60	0.04
15	S16	3.28	58	S61	2.11
16	S17	3.32	59	S62	3.72
17	S18	3.08	60	S63	3.30
18	S19	2.71	61	S64	2.18
19	S20	3.35	62	S65	1.02
20	S21	3.99	63	S66	2.03
21	S22	1.53	64	S67	4.02
22	S23	4.21	65	S68	3.06
23	S24	0.50	66	D1	4.12
24	S25	2.11	67	W1	1.67
25	S26	3.99	68	W2	0.49
26	S27	3.32	69	W3	1.53
27	S28	2.32	70	W4	2.66
28	S29	0.27	71	W5	3.55
29	S30	3.82	72	W6	4.05
30	S31S32	0.19	73	W7	3.05
31	S33	1.31	74	W8	3.02
32	S34	0.11	75	W9	3.85
33	S35	4.45	76	W11	3.46
34	S36	1.70	77	W12	1.98
35	S37	2.07	78	W13	3.84
36	S38	3.05	79	W14	3.89
37	S39	0.71	80	W15	4.58
38	S40	0.35	81	W16	2.95
39	S41	1.09	82	W17	3.80
40	S42	1.79	83	W18	3.44
41	S43	2.58			
42	S44	2.86			
43	S45	2.46			

Πίνακας 7.2.: *Υπολογισμός σφάλματος κατά την χημική ανάλυση των κατιόντων-ανιόντων στα δείγματα υπόγειου νερού της ΒΔ Χίου κατά την ξηρή περίοδο.*

Α/Α	Δείγμα	Σφάλμα Ανάλυσης (%)	Α/Α	Δείγμα	Σφάλμα Ανάλυσης (%)
1	S1	3.29	44	S51	1.12
2	S2	1.97	45	S52	2.32
3	S3_S4	0.90	46	S53	3.84
4	S5	2.37	47	S54	4.39
5	S6	1.79	48	S55	1.64
6	S7	0.08	49	S56	3.18
7	S8	0.38	50	S57	4.07
8	S9	1.24	51	S58	4.17
9	S10	4.37	52	S59	3.49
10	S11	1.42	53	S60	2.34
11	S12	3.46	54	S61	2.84
12	S13	2.96	55	S62	3.45
13	S14	0.12	56	S63	3.82
14	S15	2.06	57	S64	3.84
15	S16	4.36	58	D1	4.49
16	S18	1.26	59	W1	2.17
17	S19	3.15	60	W2	2.94
18	S20	1.20	61	W3	1.66
19	S21	4.38	62	W4	0.28
20	S22	3.84	63	W5	3.53
21	S23	4.48	64	W6	4.43
22	S24	1.15	65	W8	4.02
23	S25	2.30	66	W9	2.78
24	S27	2.85	67	W10	1.30
25	S28	3.96	68	W11	4.15
26	S29	1.47			
27	S30	4.35			
28	S33	0.71			
29	S34	3.01			
30	S36	3.70			
31	S37	1.58			
32	S38	2.88			
33	S39	2.20			
34	S41	0.98			
35	S42	0.39			
36	S43	0.35			
37	S44	3.65			
38	S45	3.21			
39	S46	2.02			
40	S47	0.64			
41	S48	4.03			
42	S49	2.76			
43	S50	1.46			

7.3 Ταξινόμηση του υπόγειου νερού

Για την καλύτερη εξέταση της ποιοτικής σύστασης των υπόγειων υδάτων έγινε ταξινόμηση και ανάλυση αυτών βάσει της λιθολογίας του υδροφορέα απ' τον οποίον προέρχονται.

Βάσει της λιθολογικής ταξινόμησης τους διακρίνονται οι ακόλουθες κατηγορίες υπόγειων νερών που εντοπίζονται στην περιοχή έρευνας:

1. Σε νερά που φιλοξενούνται εντός των αλλουβιακών σχηματισμών του Τεταρτογενούς, στα οποία περιλαμβάνονται κυρίως τα ρηχά πηγάδια

2. Σε νερά που φιλοξενούνται εντός των πλευρικών κορημάτων του Τεταρτογενούς, τα οποία εμφανίζονται στα ανατολικά περιθώρια της περιοχής μελέτης και περιλαμβάνουν πηγές επαφής

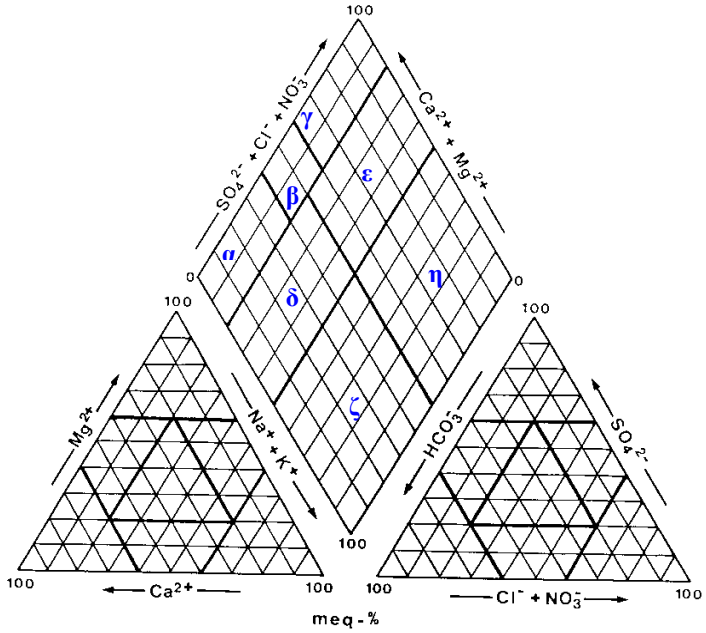
3. Σε νερά που προέρχονται από την σειρά των μεταμορφωμένων σχηματισμών, σχιστόλιθοι, γραουβάκες, ψαμμιτικούς και αργιλικούς σχιστόλιθους, ασβεστολιθικούς φακούς και ηφαιστίτες που αφορούν πηγές επαφής και μικρό αριθμό πηγαδιών.

7.3.1 Ταξινόμηση κατά Piper

Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων δειγμάτων υπόγειου νερού μπορούν να απεικονιστούν σε ένα είδος υδροχημικού διαγράμματος το οποίο καλείται τριγραμμικό διάγραμμα Piper (1944) με σκοπό να ερμηνευτεί η προέλευση και η σύνθεση του υπόγειου νερού προσδιορίζοντας το χημικό του τύπο καθώς και οι πιθανές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα κατά την κίνησή του. Επιπλέον μπορεί να γίνει η αναγνώριση των ομοιοτήτων και των διαφορών που παρουσιάζουν τα δείγματα νερού καθώς και η ύπαρξη ανάμειξής τους.

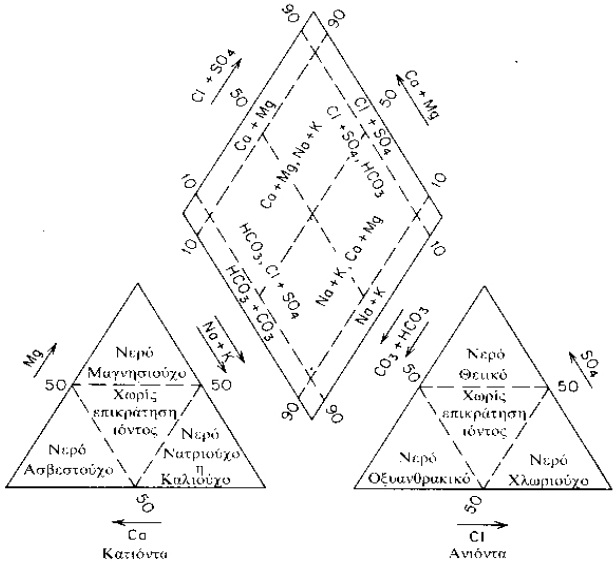
Το διάγραμμα Piper αποτελείται από δύο τριγωνικά πεδία και ένα ρομβικό. Στα τριγωνικά πεδία απεικονίζονται οι αναλογίες των κατιόντων και ανιόντων των οποίων οι τιμές δίνονται σε meq l^{-1} (Εικ. 7.1). Το τρίγωνο των κατιόντων έχει στην αριστερή κορυφή του 100% Ca^{2+}, 100% Na^{+}+K^{+} στη δεξιά κορυφή του και 100% Mg^{2+} στην επάνω κορυφή του. Έτσι τα κατιόντα της χημικής ανάλυσης δείγματος υπόγειου νερού, εκφρασμένα επί τοις % του συνόλου τους, προβάλλονται σαν ένα σημείο. Το τρίγωνο των ανιόντων έχει στην αριστερή κορυφή του 100% HCO_3^-, 100% Cl^-+NO_3^- στη δεξιά κορυφή του και 100% SO_4^{2-} στην επάνω κορυφή του. Έτσι τα ανιόντα της χημικής ανάλυσης δείγματος υπόγειου νερού, εκφρασμένα επί τοις % του συνόλου τους, προβάλλονται σαν ένα σημείο. Τα δύο αυτά σημεία, προβάλλονται κατόπιν στον κεντρικό

ρόμβο, παράλληλα προς τις δύο επάνω πλευρές του. Το σημείο που προκύπτει από την τομή των δύο ευθειών εκφράζει το χημικό τύπο του δείγματος του υπόγειου νερού.



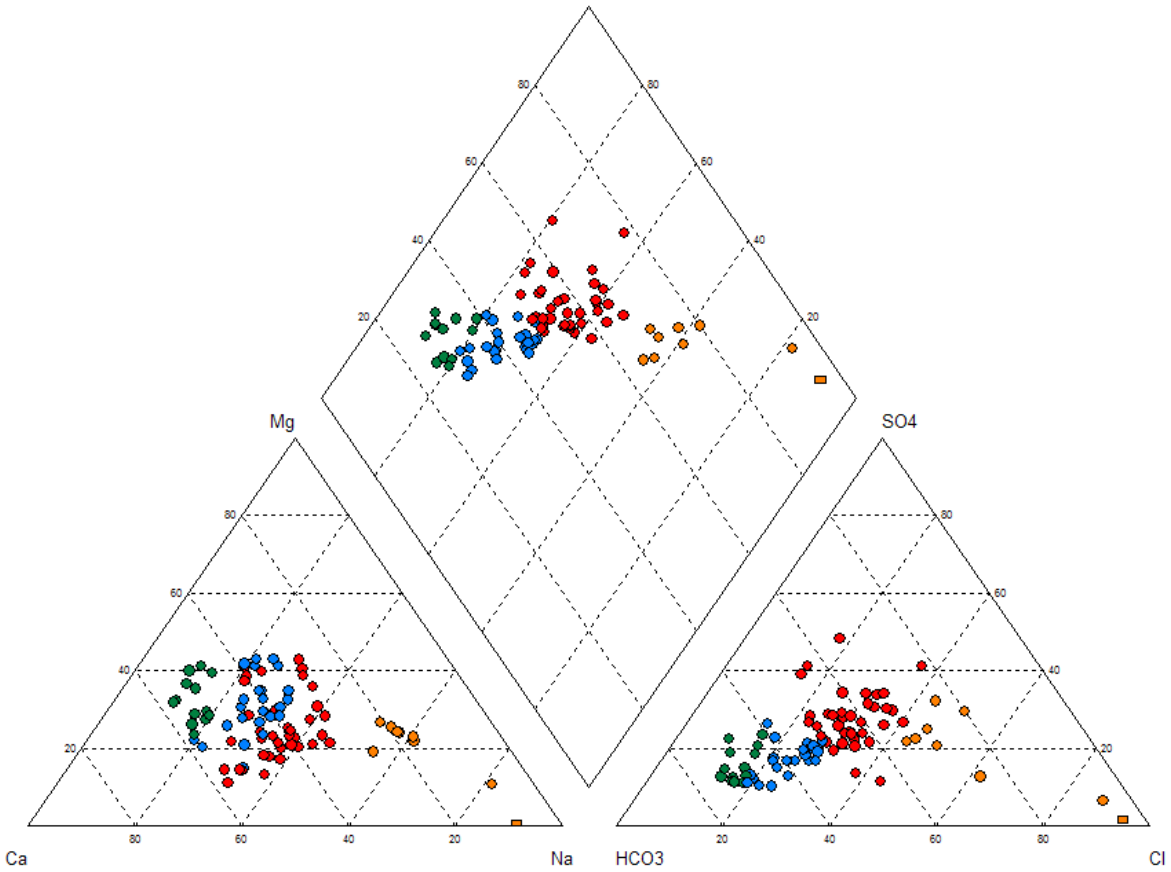
Εικόνα 7.1.: *Υποκατηγορίες νερών του ρομβικού διαγράμματος Piper. 1. Κανονικά γαιοαλκαλικά νερά: α πεδίο: οξυαναθρακικά, β πεδίο: οξυανθρακικά – θειικά, γ πεδίο: θειικά. 2.Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: δ πεδίο: οξυανθρακικά, ε πεδίο: θειικά. 3. Αλκαλικά νερά: ζ πεδίο: οξυανθρακικά, η πεδίο: χλωριοθειικά.*

Επιπλέον η ανάγκη αναφοράς με κατάλληλο τρόπο στην σύνθεση του νερού μέσα από ταξινομημένες ομάδες ή κατηγορίες του οδήγησαν στη δημιουργία υδροχημικών φάσεων (Back, 1966) υποδιαιρώντας το τριγραμμικό διάγραμμα όπως φαίνεται στις εικόνες 7.1., 7.2..



Εικόνα 7.2.: *Διάγραμμα ταξινόμησης νερών με βάση τα επικρατούντα ανιόντα και κατιόντα % (Back, 1966).*

Με τη βοήθεια του προγράμματος Aquachem 3.6 κατασκευάστηκε το τριγραμμικό διάγραμμα Piper για τα δείγματα υπόγειου νερού υγρής και ξηρής περιόδου της περιοχής έρευνας (Εικ. 7.3., 7.4.), έγινε ταξινόμησή τους και προσδιορίστηκαν οι χημικοί τους τύποι (Πίν. 7.3., 7.4.).



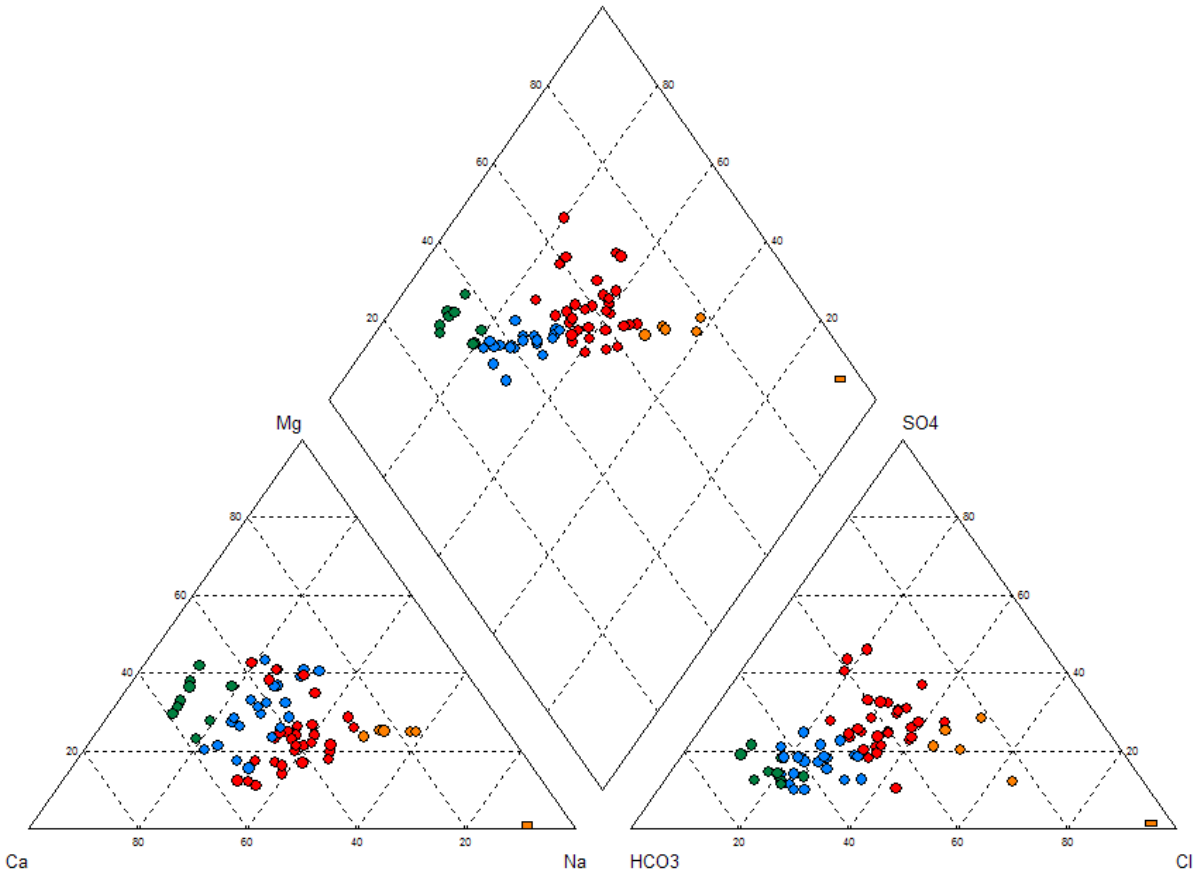
Εικόνα 7.3.: *Προβολή χημικών αναλύσεων των δειγμάτων υπόγειου νερού της υγρής περιόδου στο τριγραμμικό διάγραμμα Piper.*

Υπόμνημα: Κατηγορία Ι: (●) Κανονικά γαιοαλκαλικά νερά (οξυανθρακικά): S16, S49, S50, S51, S53, S54, S56, S57, S62, S63, S65, S66, D1.

Κατηγορία ΙΙ: (●) Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων (οξυανθρακικά): S2, S3_S4, S5, S21, S27, S28, S33, S34, S35, S41, S48, S52, S55, S58, S60, S61, S64, S67, S68, W2, W11, W12, W14, W17.

Κατηγορία ΙΙ: (●) Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων (θειικά): S1, S6, S7, S8, S10, S11, S12, S13, S14, S15, S17, S18, S19, S20, S22, S23, S24, S25, S26, S29, S30, S31S32, S36, S37, S38, S39, S44, S45, S46, S47, W1, W3, W5, W6, W7, W8, W13.

Κατηγορία ΙΙΙ: (●) Αλκαλικά νερά (χλωριοθειικά και νατριοχλωριούχα): S9, S40, S42, S43, W4, W9, W15, W16, W18.



Εικόνα 7.4.: *Προβολή χημικών αναλύσεων των δειγμάτων υπόγειου νερού της ξηρής περιόδου στο τριγραμμικό διάγραμμα Piper.*

Υπόμνημα: Κατηγορία Ι: (●) Κανονικά γαιοαλκαλικά νερά (οξυανθρακικά): S49, S50, S51, S54, S56, S57, S62, S63, D1.

Κατηγορία ΙΙ: (●) Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων (οξυανθρακικά): S2, S3_S4, S5, S16, S21, S27, S28, S33, S34, S41, S48, S52, S53, S55, S58, S60, S61, S64, W1, W2, W11.

Κατηγορία ΙΙ: (●) Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων (θειικά): S1, S6, S7, S8, S10, S11, S12, S13, S14, S15, S18, S19, S20, S22, S23, S24, S25, S29, S30, S36, S37 S38, S39, S44, S45, S46, S47, S59, W3, W5, W6, W8.

Κατηγορία ΙΙΙ: (●) Αλκαλικά νερά (χλωριοθειικά και νατριοχλωριούχα): S9, S42, S43, W4, W9, W10.

Πίνακας 7.3.: *Χημικοί τύποι των δειγμάτων υπόγειου νερού υγρής περιόδου.*

Δείγμα	Χημικός τύπος νερού	Δείγμα	Χημικός τύπος νερού	Δείγμα	Χημικός τύπος νερού
S1	Ca-Na-Mg-HCO_3-Cl-SO_4	S39	Na-Ca-Mg-Cl-HCO_3-SO_4	W7	Ca-Na-Mg-HCO_3-Cl-SO_4
S2	Ca-Mg-Na-HCO_3-SO_4	S40	Na-Ca-Cl-HCO_3-SO_4	W8	Ca-Na-Mg-HCO_3-Cl
S3_S4	Mg-Ca-Na-HCO_3-Cl	S41	Ca-Na-Mg-HCO_3-Cl-SO_4	W9	Na-Mg-Cl-HCO_3
S5	Mg-Ca-Na-HCO_3-Cl	S42	Na-Mg-Cl-SO_4	W11	Ca-Mg-Na-HCO_3-Cl
S6	Mg-Na-Ca-SO_4-Cl-HCO_3	S43	Na-Mg-Cl-SO_4-HCO_3	W12	Ca-Mg-Na-HCO_3-Cl
S7	Ca-Mg-Na-HCO_3-SO_4	S44	Na-Ca-Mg-Cl-HCO_3-SO_4	W13	Mg-Na-Ca-HCO3-Cl-SO4
S8	Ca-Mg-Na-HCO_3-SO_4	S45	Ca-Na-Mg-SO_4-Cl-HCO_3	W14	Ca-Mg-Na-HCO3-Cl
S9	Na-Cl	S46	Ca-Na-Mg-HCO_3-Cl-SO_4	W15	Na-Mg-Ca-Cl-HCO3-SO4
S10	Mg-Ca-Na-SO_4-HCO_3	S47	Na-Ca-Mg-HCO_3-Cl-SO_4	W16	Na-Mg-Cl-HCO3-SO4
S11	Na-Ca-Mg-HCO_3-Cl-SO_4	S48	Ca-Na-Mg-HCO_3-Cl	W17	Ca-Mg-Na-HCO3-Cl
S12	Ca-Na-Mg-HCO_3-Cl-SO_4	S49	Ca-Mg-HCO_3	W18	Na-Cl
S13	Na-Mg-Ca-HCO_3-Cl-SO_4	S50	Ca-Mg-HCO_3-SO_4		
S14	Na-Ca-Mg-HCO_3-SO_4-Cl	S51	Ca-Mg-HCO_3		
S15	Ca-Na-Mg-HCO_3-Cl-SO_4	S52	Ca-Mg-Na-HCO_3		
S16	Ca-Mg-HCO_3	S53	Ca-Mg-HCO_3		
S17	Ca-Na-Mg-HCO_3-SO_4-Cl	S54	Ca-Mg-HCO_3		
S18	Ca-Na-Mg-HCO_3-Cl-SO_4	S55	Ca-Na-Mg-HCO_3-Cl		
S19	Ca-Na-Mg-HCO_3-Cl-SO_4	S56	Ca-Mg-HCO_3		
S20	Ca-Mg-Na-HCO_3-SO_4-Cl	S57	Ca-Mg-HCO_3		
S21	Mg-Ca-Na-HCO_3-Cl	S58	Ca-Mg-Na-HCO_3		
S22	Ca-Na-Mg-HCO_3-SO_4-Cl	S60	Ca-Na-Mg-HCO_3-Cl		
S23	Ca-Na-HCO_3-Cl	S61	Ca-Na-Mg-HCO_3-Cl		
S24	Ca-Na-HCO_3-SO_4-Cl	S62	Ca-Mg-HCO_3		
S25	Ca-Na-Mg-Cl-HCO_3-SO_4	S63	Ca-Mg-HCO_3		
S26	Ca-Na-Cl-HCO_3-SO_4	S64	Ca-Mg-Na-HCO_3-Cl		
S27	Ca-Na-HCO_3-Cl	S65	Ca-Mg-HCO_3-SO_4		
S28	Ca-Na-Mg-HCO_3-Cl-SO_4	S66	Ca-Mg-HCO_3		
S29	Ca-Na-HCO_3-SO_4-Cl	S67	Ca-Mg-Na-HCO_3-Cl		
S30	Ca-Na-HCO_3-Cl	S68	Mg-Ca-Na-HCO_3		
S31S32	Ca-Na-HCO_3-Cl-SO_4	D1	Ca-Mg-HCO_3		
S33	Ca-Na-Mg-HCO_3-Cl	W1	Mg-Na-Ca-HCO_3-Cl		
S34	Ca-Mg-HCO_3-SO_4	W2	Mg-Ca-Na-HCO_3-Cl		
S35	Mg-Ca-Na-HCO_3	W3	Mg-Ca-Na-HCO_3-SO_4-Cl		
S36	Na-Ca-Mg-HCO_3-SO_4-Cl	W4	Na-Mg-Ca-Cl-HCO_3-SO_4		
S37	Ca-Na-HCO_3-Cl-SO_4	W5	Mg-Na-Ca-HCO_3-SO_4-Cl		
S38	Ca-Na-HCO_3-SO_4-Cl	W6	Ca-Na-Mg-HCO_3-Cl-SO_4		

Πίνακας 7.4.: Χημικοί τύποι των δειγμάτων υπόγειου νερού ξηρής περιόδου.

Δείγμα	Χημικός τύπος νερού	Δείγμα	Χημικός τύπος νερού
S1	Ca-Na-Mg-Cl-HCO_3-SO_4	S44	Na-Ca-Mg-Cl-HCO_3-SO_4
S2	Ca-Mg-Na-HCO_3-SO_4	S45	Ca-Na-HCO_3-Cl-SO_4
S3_S4	Mg-Na-Ca-HCO_3-Cl	S46	Na-Ca-HCO_3-Cl-SO_4
S5	Mg-Ca-Na-HCO_3-Cl	S47	Na-Ca-HCO_3-Cl-SO_4
S6	Mg-Na-Ca-SO_4-Cl-HCO_3	S48	Ca-Mg-Na-HCO_3-Cl
S7	Mg-Ca-Na-SO_4-HCO_3	S49	Ca-Mg-HCO_3-Cl
S8	Mg-Ca-Na-SO_4-HCO_3	S50	Ca-Mg-HCO_3-SO_4
S9	Na-Cl	S51	Ca-Mg-HCO_3
S10	Mg-Ca-Na-SO_4-HCO_3	S52	Ca-Mg-Na-HCO_3
S11	Ca-Na-Mg-HCO_3-SO_4-Cl	S53	Ca-Mg-Na-HCO_3-Cl
S12	Ca-Na-Mg-HCO_3-Cl-SO_4	S54	Ca-Mg-HCO_3-Cl
S13	Na-Mg-Ca-HCO_3-Cl-SO_4	S55	Ca-Na-Mg-HCO_3-Cl
S14	Na-Ca-Mg-Cl-HCO_3-SO_4	S56	Ca-Mg-HCO_3
S15	Ca-Na-Mg-HCO_3-Cl-SO_4	S57	Ca-Mg-HCO_3
S16	Ca-Mg-Na-HCO_3	S58	Mg-Ca-Na-HCO_3-Cl
S18	Na-Ca-Mg-Cl-HCO_3-SO_4	S59	Na-Ca-Mg-Cl-HCO_3-SO_4
S19	Na-Ca-Mg-HCO_3-Cl	S60	Ca-Mg-Na-HCO_3-Cl
S20	Ca-Na-Mg-HCO_3-Cl-SO_4	S61	Ca-Mg-Na-HCO_3-Cl
S21	Mg-Ca-Na-HCO_3-Cl	S62	Ca-Mg-HCO_3-Cl
S22	Ca-Na-HCO_3-Cl-SO_4	S63	Ca-Mg-HCO_3
S23	Ca-Na-HCO_3-Cl	S64	Ca-Mg-Na-HCO_3-Cl
S24	Ca-Na-HCO_3-Cl-SO_4	D1	Ca-Mg-HCO_3
S25	Ca-Na-Mg-HCO_3-Cl-SO_4	W1	Mg-Na-Ca-HCO_3-Cl
S27	Ca-Na-HCO_3-Cl	W2	Mg-Ca-Na-HCO_3-Cl
S28	Ca-Na-Mg-HCO_3-Cl-SO_4	W3	Mg-Ca-Na-HCO_3-SO_4-Cl
S29	Ca-Na-HCO_3-Cl-SO4	W4	Na-Mg-Ca-Cl-HCO_3-SO_4
S30	Ca-Na-HCO_3-Cl	W5	Mg-Na-Ca-HCO_3-Cl-SO_4
S33	Ca-Na-Mg-HCO_3-Cl	W6	Na-Ca-Mg-HCO_3-Cl
S34	Ca-Na-Mg-HCO_3-SO_4	W8	Ca-Na-Mg-HCO_3-Cl-SO_4
S36	Ca-Na-Mg-HCO_3-SO_4-Cl	W9	Na-Mg-Cl-HCO_3
S37	Ca-Na-HCO_3-Cl	W10	Na-Ca-Mg-Cl-HCO_3
S38	Ca-Na-HCO_3-SO_4-Cl	W11	Ca-Mg-Na-HCO_3-Cl
S39	Na-Ca-Mg-Cl-HCO_3-SO_4		
S41	Ca-Na-HCO_3-Cl-SO_4		
S42	Na-Mg-Ca-Cl-HCO_3-SO_4		
S43	Na-Mg-Cl-SO_4		

Τα υπόγεια νερά της περιοχής τόσο της ξηρής όσο και της υγρής περιόδου κατατάσσονται βάσει του διαγράμματος Piper σε τέσσερεις υδροχημικές κατηγορίες:

1. Το μεγαλύτερο ποσοστό των δειγμάτων ανήκει στην κατηγορία των *γαιοαλκαλικών νερών με υψηλό ποσοστό αλκαλίων και θειικών*. Στην ομάδα αυτή ανήκουν κυρίως οι πηγές που προέρχονται από τους μεταμορφωμένους σχηματισμούς.

2. Τη δεύτερη θέση καταλαμβάνουν τα νερά της κατηγορίας των γαιοαλκαλικών νερών με υψηλό ποσοστό αλκαλίων και οξυανθρακικών. Στην κατηγορία αυτή ανήκει ένα ποσοστό των πηγών που προέρχονται από τους μεταμορφωμένους σχηματισμούς και ένα ποσοστό των πηγαδιών.

3. Τη τρίτη θέση καταλαμβάνουν τα νερά της κατηγορίας των φυσικών γαιοαλκαλικών νερών. Είναι φρέσκα νερά εμπλουτισμού και προέρχονται κυρίως από τα πλευρικά κορήματα που αναπτύσσονται στα ανατολικά περιθώρια της περιοχής έρευνας.

4. Τη τέταρτη θέση καταλαμβάνουν τα νερά της κατηγορίας των αλκαλικών νερών που είναι πλούσια σε ιόντα χλωρίου, νατρίου και θειικών. Στην ομάδα αυτή ανήκουν τα νερά των πηγαδιών που εκμεταλλεύονται τον φρεάτιο ορίζοντα που αναπτύσσεται εντός των αλλουβιακών σχηματισμών. Τα νερά αυτά αποκαλύπτουν την υφαλμύρωση τους και αντικατοπτρίζουν την θαλάσσια διείσδυση.

Αναλυτικότερα τα δείγματα των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης κατηγοριοποιούνται ως εξής:

α) 13 από τα 83 δείγματα υγρής περιόδου, ποσοστό 16% και 9 από τα 68 δείγματα ξηρής περιόδου, ποσοστό 13% ανήκουν στα κανονικά γαιοαλκαλικά νερά και χαρακτηρίζονται ως οξυανθρακικά. Ο κύριος χημικός τύπος νερού που επικρατεί και στις δύο περιόδους είναι Ca – Mg – HCO_3 ενώ εμφανίζονται σε μικρότερο βαθμό οι τύποι Ca – Mg – HCO_3 – Cl, Ca – Mg – HCO_3 – SO_4. Τα νερά αυτά εμφανίζονται κυρίως στις περιοχές Διευχά (S53 – υγρή περίοδος, S54), Φυτά (S49, S50, S51), Σπαρτούντα (S56, S57), Καμπιά (S62, S63, S66) όπου αναπτύσσονται εκτός από το σχιστοψαμμιτικό σύστημα ανθρακικά πετρώματα υποδηλώνοντας την κίνηση του υπόγειου νερού μέσα στους ασβεστόλιθους και δολομίτες και την πραγματοποίηση της διάλυσης αυτών δίνοντας τα ιόντα Ca^{2+}, Mg^{2+} και HCO_3^-. Επίσης δείγματα με τέτοιους χημικούς τύπους εμφανίζονται στην περιοχή της Βολισσού (D1), Ν. Ποταμιάς (S16 – υγρή περίοδος) και Εγρηγόρου (S65 – υγρή περίοδος).

β) 24 από τα 83 δείγματα υπόγειου νερού υγρής περιόδου, ποσοστό 29% και 21 από τα 68 δείγματα ξηρής περιόδου, ποσοστό 31% ανήκουν στην κατηγορία γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων και χαρακτηρίζονται ως οξυανθρακικά. Ενώ 37 από τα 83 δείγματα υπόγειου νερού υγρής περιόδου, ποσοστό 44% και 32 από τα 68 δείγματα ξηρής περιόδου ποσοστό 47% ανήκουν στην ίδια κατηγορία αλλά χαρακτηρίζονται ως θειικά.

Τα νερά οξυανθρακικής σύστασης εμφανίζονται στις περιοχές: Κέραμος (S2), Λεπτόποδα (S3_S4, S5, S35, W1 – ξηρή περίοδος, W2), Χάλανδρα (S34), Ν. Ποταμιά (S16 – ξηρή περίοδος), Πισπιλούντα (S58, S64, S68), Πιραμά (S28, S60, S61, S67), Τρύπες (S27), Κουρούνια (S33, S41), Βολισσός (W11, W14), Λήμνος (W17), Αγία Μαρκέλλα (W12). Επίσης εμφανίζονται στις περιοχές Κατάβαση (S55), Διευχά (S21, S53 – ξηρή περίοδος) και Κηπουριές (S48, S52). Οι μικτοί τύποι νερού που εμφανίζονται είναι: Ca – Mg – Na – HCO_3 – SO_4, Mg – Ca – Na – HCO_3 – Cl, Mg – Na – Ca – HCO_3 – Cl, Mg – Ca – Na – HCO_3, Ca – Mg – HCO_3 – SO_4, Ca – Na – Mg – HCO_3 – Cl – SO_4, Ca – Mg – Na – HCO_3, Ca – Mg – Na – HCO_3 – Cl, Ca – Na – Mg – HCO_3 – Cl, Ca – Na –HCO_3 – Cl, Ca – Na – HCO_3 – Cl – SO_4.

Τα νερά θειικής σύστασης εμφανίζονται στις περιοχές: Λεπτόποδα (W1-υγρή περίοδος), Κέραμος (S1, S7, S8, S47), Αγιάσματα (S6, S10), Αφροδίσια (S11, S12, S13, S14), Χάλανδρα (S18, S19, S20, S59), Ν. Ποταμιά (S15, S17), Παρπαριά (S22, S29, S36, S37, S38, S39), Μελανιός (S30), Άγιο Γάλας (S23, S31S32), Νενητούρια (S24, S25, S26), Κουρούνια (S44, S45, S46, S47), Βολισσός (W5, W13), παράκτιες περιοχές Αγία Μαρκέλλα (W6, W7, W8) και Μάναγρος (W3). Οι μικτοί τύποι του νερού που εμφανίζονται είναι: Ca – Na – Mg – Cl – HCO_3 – SO_4, Ca – Na – Mg – HCO_3 – Cl – SO_4, Mg – Na – Ca – SO_4 – Cl – HCO_3, Mg – Na – Ca – HCO_3 - Cl, Mg – Ca – Na – SO_4 – HCO_3, Ca – Mg – Na – HCO_3 – SO_4, Na – Ca – Mg – HCO_3 – Cl – SO_4, Na – Mg – Ca – HCO_3 – Cl – SO_4, Ca – Mg – Na – HCO_3 – SO_4 – Cl, Ca – Na – Mg – HCO_3 – SO_4 – Cl, Na – Ca – Mg – Cl – HCO_3 – SO_4, Na – Ca – Mg – HCO_3 – Cl, Ca – Na – Cl – HCO_3 – SO_4, Ca – Na – HCO_3 – Cl, Ca – Na – HCO_3 – SO_4 – Cl, Ca – Na – HCO_3 – Cl – SO_4, Na – Ca – Mg – HCO_3 – SO_4 – Cl, Na – Ca – HCO_3 – Cl – SO_4, Mg – Ca – Na – HCO_3 – SO_4 – Cl, Mg – Na – Ca – HCO_3 – Cl – SO_4, Ca – Na – Mg – HCO_3 – Cl, Ca – Na – Mg – SO_4 – Cl – HCO_3.

Η κατηγορία αυτή των νερών αναπτύσσεται στο σχιστοψαμμιτικό σύστημα με κατά τόπους παρεμβολές ασβεστολιθικών φακών και ηφαιστειακών πετρωμάτων ενώ κατά θέσεις εμφανίζεται θειούχος μεταλλοφορία. Έτσι οι μικτοί τύποι νερού μπορεί να προκύπτουν κυρίως

από τη διάλυση των ανθρακικών, πυριτικών, αργιλικών, θειικών ορυκτών από την οξείδωση και διάλυση θειούχων ορυκτών ενώ πολύ σημαντικό ρόλο παίζουν και οι διαδικασίες ιοντοανταλλαγής που λαμβάνουν χώρα.

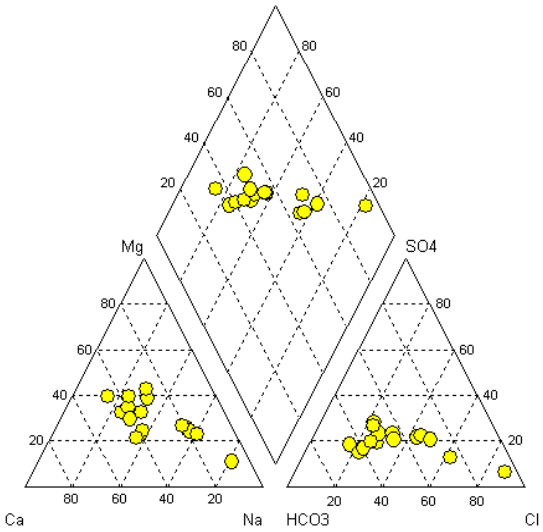
γ) 9 από τα 83 δείγματα υπόγειου νερού υγρής περιόδου, ποσοστό 11% και 6 από τα 68 δείγματα ξηρής περιόδου, ποσοστό 9% ανήκουν στην κατηγορία αλκαλικά νερά χαρακτηριζόμενα ως χλωριοθειικά και νατριοχλωριούχα. Η κατηγορία αυτών των νερών εμφανίζεται κυρίως στις παράκτιες περιοχές της Βολισσού που είναι ο Μάναγρος (W4, W15, W16), Αγία Μαρκέλλα (W9), Λήμνος (W10, W18) και στην παράκτια περιοχή των Αγιασμάτων (S9 – θερμή πηγή). Οι χημικοί τύποι νερού που επικρατούν είναι Na – Mg – Ca – Cl – HCO_3 – SO_4, Na – Mg – Cl – HCO_3 – SO_4, Na – Mg – Cl – HCO_3, Na – Cl που φανερώνουν ότι έλαβαν χώρα αντιδράσεις ιοντοανταλλαγής και διαδικασίες μίξης μεταξύ γλυκού και αλμυρού νερού με αποτέλεσμα την παρουσία των ιόντων Na^+ και Cl^- στη σύσταση του νερού. Επίσης στην περιοχή Τρύπες κατά την υγρή περίοδο το δείγμα S40 παρουσιάζει τύπο Na – Ca – Cl – HCO_3 – SO_4 και τα δείγματα S42, S43 στην περιοχή Κουρούνια έχουν τύπους Na – Mg – Cl – SO_4, Na – Mg – Cl – SO_4 – HCO_3 αντίστοιχα στην υγρή περίοδο και Na – Mg – Ca – Cl – HCO_3 – SO_4, Na – Mg – Cl – SO_4 αντίστοιχα στην ξηρή περίοδο.

Ακόμη παρατηρώντας το τρίγωνο των ανιόντων στο τριγραμμικό διάγραμμα Piper (Εικ. 7.3., 7.4.) στα δείγματα υπόγειου νερού τόσο της υγρής όσο και της ξηρής περιόδου υπάρχει μία τάση μείωσης των οξυανθρακικών ιόντων και αύξησης των χλωριοιόντων κατά μήκος μιας ευθείας γραμμής. Αυτό απεικονίζεται και στον κεντρικό ρόμβο του τριγραμμικού διαγράμματος Piper όπου κατά σειρά εμφανίζονται κανονικά γαιοαλκαλικά νερά (οξυανθρακικά) – γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων (οξυανθρακικά – θειικά) – αλκαλικά νερά (χλωριοθειικά – νατριοχλωριούχα).

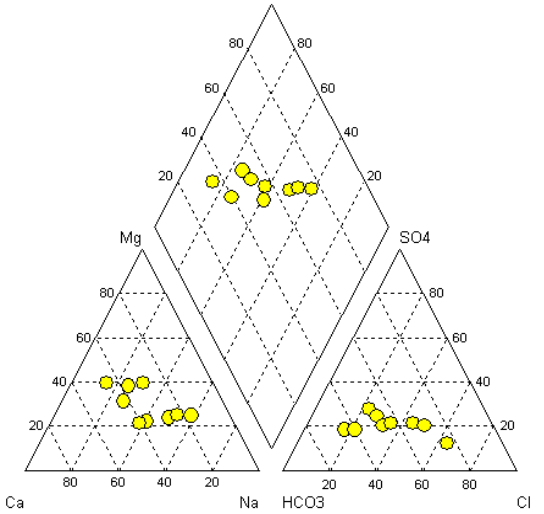
Ακολούθως προβάλλονται ξεχωριστά τα υπόγεια νερά στο διάγραμμα Piper κατά υδρολιθολογική ενότητα. Από την ταξινόμηση αυτή διαπιστώνεται ποιοι τύποι νερών υφίστανται μεγαλύτερη μεταβολή της χημικής τους σύστασης.

1. Υπόγεια νερά των αλλουβιακών σχηματισμών: Στις εικόνες 7.5 και 7.6 που ακολουθούν παρουσιάζεται η προβολή των δειγμάτων νερού που προέρχονται από τους χαλαρούς σχηματισμούς των αλλουβιακών σχηματισμών και αφορά τις δειγματοληψίες της υγρής και ξηρής περιόδου ξεχωριστά.

Παρατηρείται ότι από το άθροισμα των κατιόντων το μεγαλύτερο ποσοστό αντιπροσωπεύεται από το ασβέστιο, το μαγνήσιο και ακολούθως από το νάτριο ενώ από το άθροισμα των ανιόντων το μεγαλύτερο ποσοστό αντιπροσωπεύεται από τα οξυανθρακικά ιόντα και ακολούθως από τα ιόντα χλωρίου. Τα νερά της κατηγορίας αυτής είναι ακαθόριστου τύπου και θεωρούνται νερά μίξης, στα οποία οι διαδικασίες κατιοανταλλαγής βρίσκονται σε στάδιο εξέλιξης.



Εικόνα 7.5: *Ταξινόμηση των υπόγειων υδάτων των αλλουβιακών σχηματισμών βάσει του Piper διαγράμματος (υγρής περιόδου).*



Εικόνα 7.6: *Ταξινόμηση των υπόγειων υδάτων των αλλουβιακών σχηματισμών βάσει του Piper διαγράμματος (ξηρής περιόδου).*

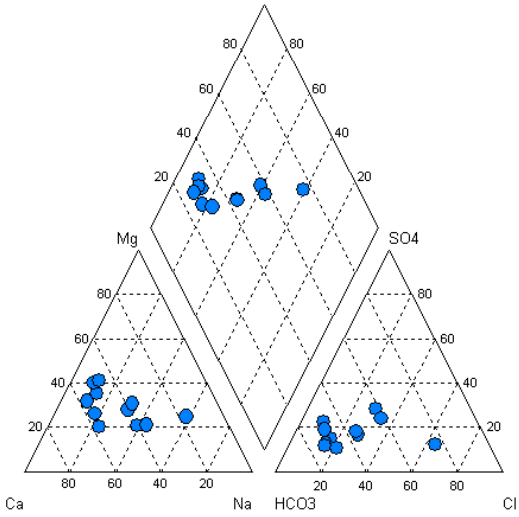
Γενικά διαπιστώνεται ότι τα νερά που φιλοξενούνται στους αλλουβιακούς σχηματισμούς, στην ευρύτερη περιοχή της Βολισσού, διατηρούν τον χημισμό τους μεταξύ της ξηρής και υγρής περιόδου με ελάχιστες μόνο διαφοροποιήσεις όπου παρατηρείται σχετική αύξηση ορισμένων στοιχείων, όπως είναι του νατρίου, του χλωρίου και των θειικών. Μικρός αριθμός πηγαδιών που βρίσκονται στην παράκτια ζώνη φανερώνουν την έντονη επίδρασή τους από την θαλάσσια επίδραση.

Στον πίνακα 7.5 που ακολουθεί, παρουσιάζονται αναλυτικά οι υδροχημικές κατηγορίες και οι αντίστοιχοι υδροχημικοί τύποι των δειγμάτων της υγρής και ξηρής περιόδου που

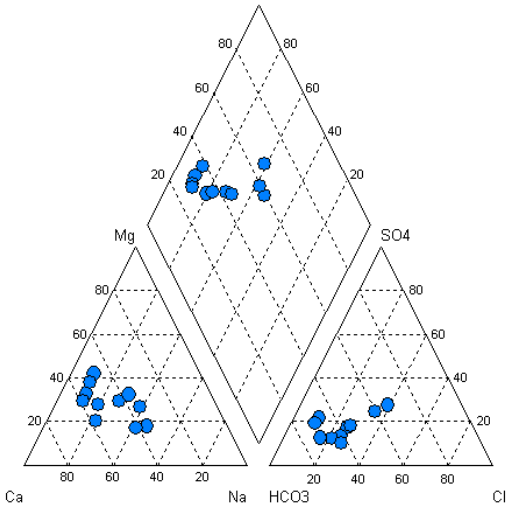
Πίνακας 7.5: *Υδρογεωχημικές κατηγορίες και οι αντίστοιχοι υδροχημικοί τύποι κατά Piper που προκύπτουν για τα υπόγεια νερά των αλλουβιακών σχηματισμών της περιοχής.*

ΔΕΙΓΜΑ	ΥΔΡΟΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ		ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ	
	Υγρή περίοδος	***Ξηρή περίοδος***	***Υγρή περίοδος***	***Ξηρή περίοδος***
W3	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων-θειικό	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - θειικό	Mg-Ca-Na-HCO_3-SO_4-Cl	Mg-Ca-Na-HCO_3-SO_4-Cl
W4	Αλκαλικό νατριοχλωριούχο-θειικό	Αλκαλικό νατριοχλωριούχο-θειικό	Na-Mg-Ca-Cl-HCO_3-SO_4	Na-Mg-Ca-Cl-HCO_3-SO_4
W5	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων-θειικό	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων -- θειικό	Mg-Na-Ca-HCO_3-SO_4-Cl	Mg-Na-Ca-HCO_3-Cl-SO_4
W6	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων-θειικό	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων	Ca-Na-Mg-HCO_3-Cl-SO_4	Na-Ca-Mg-HCO_3-Cl
W7	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων-θειικό	--	Ca-Na-Mg-HCO_3-Cl-SO_4	--
W8	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων-- θειικό	Ca-Na-Mg-HCO_3-Cl	Ca-Na-Mg-HCO_3-Cl-SO_4
W9	Αλκαλικό νατριοχλωριούχο	Αλκαλικό νατριοχλωριούχο	Na-Mg-Cl-HCO_3	Na-Mg-Cl-HCO_3
W10	-	Αλκαλικό νατριοχλωριούχο	-	Na-Ca-Mg-Cl-HCO_3
W11	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Ca-Mg-Na-HCO_3-Cl	Na-Ca-Mg-Cl-HCO_3
W12	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	--	Ca-Mg-Na-HCO_3-Cl	-
W13	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων-θειικό	--	Mg-Na-Ca-HCO3-Cl-SO4	--
W14	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	--	Ca-Mg-Na-HCO3-Cl	--
W15	Αλκαλικό νατριοχλωριούχο-θειικό	--	Na-Mg-Ca-Cl-HCO3-SO4	--
W16	Αλκαλικό νατριοχλωριούχο-θειικό	--	Na-Mg-Cl-HCO3-SO4	--
W17	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	--	Ca-Mg-Na-HCO3-Cl	--
W18	Αλκαλικό νατριοχλωριούχο	--	Na-Cl	--

2. Υπόγεια νερά των πλευρικών κορημάτων: Στις εικόνες 7.7 και 7.8 παρουσιάζεται η προβολή των διαφόρων δειγμάτων νερού που προέρχονται από τους χαλαρούς σχηματισμούς των πλευρικών κορημάτων που αναπτύσσονται στα ανατολικά περιθώρια της περιοχής μελέτης. Παρουσιάζονται οι δειγματοληψίες της ξηρής και υγρής περιόδου σε ξεχωριστά διαγράμματα.



Εικόνα 7.7: *Ταξινόμηση των υπόγειων υδάτων των πλευρικών κορημάτων βάσει του Piper διαγράμματος (υγρής περιόδου).*



Εικόνα 7.8: Ταξινόμηση των υπόγειων υδάτων των πλευρικών κορημάτων βάσει του Piper διαγράμματος (ξηρής περιόδου).

Όπως φαίνεται και στα δυο διαγράμματα δεν παρατηρούνται σημαντικές εποχικές μεταβολές στο χημισμό των νερών. Σημαντικό ποσοστό των δειγμάτων ανήκει στην κατηγορία των γαιοαλκαλικών νερών – οξινοανθρακικών. Είναι φρέσκα νερά εμπλουτισμού και καλής ποιοτικής σύστασης. Ένα μικρό ποσοστό ανήκει στην κατηγορία των γαιοαλκαλικών – οξινοανθρακικών και θειικών νερών. Τα νερά αυτά φαίνεται να επηρεάζονται από την λιθολογία της περιοχής τροφοδοσίας τους, όπου προφανώς συμμετέχουν και υλικά σχιστολιθικής προελεύσεως. Από την πλευρά των κατιόντων υπερτερούν τα ιόντα ασβεστίου και μαγνησίου, ενώ από την πλευρά των ανιόντων υπερτερούν τα όξινα ανθρακικά ιόντα.

Στον πίνακα 7.6 που ακολουθεί, παρουσιάζονται αναλυτικά οι υδροχημικές κατηγορίες και οι αντίστοιχοι υδροχημικοί τύποι των δειγμάτων της υγρής και ξηρής περιόδου που προέρχονται από τους χαλαρούς σχηματισμούς των πλευρικών κορημάτων της περιοχής.

Πίνακας 7.6: *Υδρογεωχημικές κατηγορίες και οι αντίστοιχοι υδροχημικοί τύποι κατά Piper που προκύπτουν για τα υπόγεια νερά των πλευρικών κορημάτων της περιοχής.*

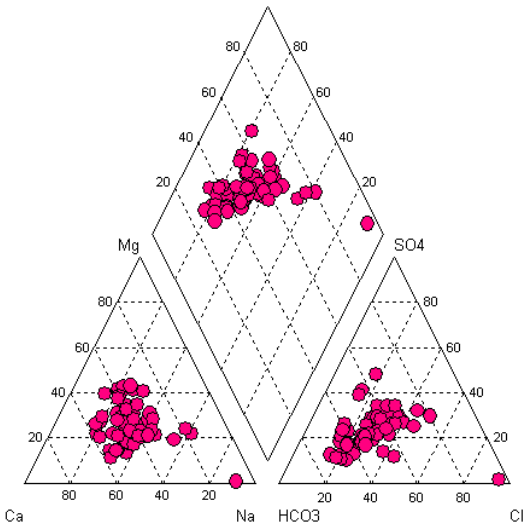
ΔΕΙΓΜΑ	ΥΔΡΟΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ		ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ	
	Υγρή περίοδος	***Ξηρή περίοδος***	***Υγρή περίοδος***	***Ξηρή περίοδος***
S48	Αλκαλικό νατριοχλωριούχο-θειικό	Αλκαλικό νατριοχλωριούχο-θειικό	Ca-Na-Mg-HCO_3-Cl	Ca-Na-Mg-HCO_3-Cl
S49	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων-θειικό	Γαιοαλκαλικό-οξυανθρακικό	Ca-Mg-HCO_3	Ca-Mg-HCO_3
S50	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων-θειικό	Γαιοαλκαλικό-οξυανθρακικό	Ca-Mg-HCO_3-SO_4	Ca-Mg-HCO_3
S51	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων-θειικό	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Ca-Mg-HCO_3	Mg-Ca-Na-HCO_3-Cl
S52	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων--θειικό	Ca-Mg-Na-HCO_3	Na-Ca-Mg-Cl-HCO_3-SO_4
S53	Αλκαλικό νατριοχλωριούχο	Αλκαλικό νατριοχλωριούχο	Ca-Mg-HCO_3	Ca-Mg-Na-HCO_3-Cl
S56	Γαιοαλκαλικό-οξυανθρακικό	Γαιοαλκαλικό-οξυανθρακικό	Ca-Mg-HCO_3	Ca-Mg-HCO_3
S57	Γαιοαλκαλικό-οξυανθρακικό	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Ca-Mg-HCO_3	Ca-Mg-Na-HCO_3-Cl
S62	Γαιοαλκαλικό με – οξυανθρακικό-θειικό	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων – οξυανθρακικό-θειικό	Ca-Mg-HCO_3-SO_4	Na-Mg-Ca-Cl-HCO_3-SO_4
S63	Γαιοαλκαλικό-οξυανθρακικό	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων – οξυανθρακικό-θειικό	Ca-Mg-HCO_3	Mg-Na-Ca-HCO_3-Cl-SO_4
S66	Γαιοαλκαλικό-οξυανθρακικό	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Ca-Mg-HCO_3	Na-Mg-Cl-HCO_3

3. Υπόγεια νερά των μεταμορφωμένων σχηματισμών:

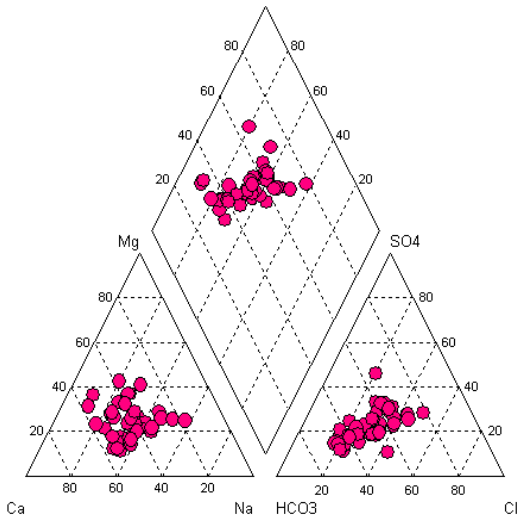
Στις εικόνες 7.9 και 7.10 παρουσιάζεται η προβολή των διαφόρων δειγμάτων νερού που προέρχονται από τους μεταμορφωμένους σχηματισμούς, το σχιστοψαμμιτικό σύστημα με κατά τόπους παρεμβολές ασβεστολιθικών φακών και ηφαιστειακών πετρωμάτων και κατά θέσεις εμφανίσεις της θειούχου μεταλλοφορίας. Σε ξεχωριστά διαγράμματα παρουσιάζεται η δειγματοληψία της ξηρής και της υγρής περιόδου.

Όπως φαίνεται και στις δυο περιόδους δειγματοληψίας τα νερά κατανέμονται στις κατηγορίες των γαιοαλκαλικών νερών με υψηλό ποσοστό αλκαλίων-οξινοανθρακικών και θειικών. Ένα μικρό ποσοστό των δειγμάτων ταξινομούνται στην κατηγορία των αλκαλικών νερών χλωριοθειικών και χλωριονατριούχων. Τα νερά αυτά παρουσιάζουν γενικά

ακοθόριστους, μικτούς υδροχημικούς τύπους. Προφανώς οι γεωχημικές διαδικασίες βρίσκονται ακόμη στο στάδιο της εξέλιξης τους.



Εικόνα 7.9: *Ταξινόμηση των υπόγειων υδάτων των μεταμορφωμένων σχηματισμών βάσει του Piper διαγράμματος (υγρής περιόδου).*



Εικόνα 7.10: Ταξινόμηση των υπόγειων υδάτων των μεταμορφωμένων σχηματισμών βάσει του Piper διαγράμματος (ξηρής περιόδου).

Στον πίνακα 7.7 που ακολουθεί, παρουσιάζονται αναλυτικά οι υδροχημικές κατηγορίες και οι αντίστοιχοι υδροχημικοί τύποι των δειγμάτων της υγρής και ξηρής περιόδου που προέρχονται από την ενότητα της σχιστοψαμμιτικής σειράς της περιοχής.

Πίνακας 7.7: *Υδρογεωχημικές κατηγορίες και οι αντίστοιχοι υδροχημικοί τύποι κατά Piper που προκύπτουν για τα υπόγεια νερά της σχιστοψαμμιτικής σειράς της περιοχής.*

ΔΕΙΓΜΑ	ΥΔΡΟΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ		ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ	
	Υγρή περίοδος	***Ξηρή περίοδος***	***Υγρή περίοδος***	***Ξηρή περίοδος***
S1	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων-θειικό	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - θειικό	Ca-Na-Mg-HCO_3-Cl-SO_4	Ca-Na-Mg-Cl-HCO_3-SO_4
S2	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων -- οξιανθρακικό	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - θειικό	Ca-Mg-Na-HCO_3-SO_4	Ca-Mg-Na-HCO_3-SO_4
S3-S4	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων -- οξιανθρακικό	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων -- οξιανθρακικό	Mg-Ca-Na-HCO_3-Cl	Mg-Na-Ca-HCO_3-Cl
S5	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων-θειικό	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων	Mg-Na-Ca-SO_4-Cl-HCO_3	Mg-Ca-Na-HCO_3-Cl
S6	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων-θειικό	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων-θειικό	Ca-Mg-Na-HCO_3-SO_4	Mg-Na-Ca-SO_4-Cl-HCO_3
S7	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων-θειικό	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων-- θειικό	Ca-Mg-Na-HCO_3-SO_4	Mg-Ca-Na-SO_4-HCO_3

Πίνακας 7.7 (συνέχεια): *Υδρογεωχημικές κατηγορίες και οι αντίστοιχοι υδροχημικοί τύποι κατά Piper που προκύπτουν για τα υπόγεια νερά της σχιστοψαμμιτικής σειράς της περιοχής.*

ΔΕΙΓΜΑ	ΥΔΡΟΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ		ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ	
	Υγρή περίοδος	***Ξηρή περίοδος***	***Υγρή περίοδος***	***Ξηρή περίοδος***
S8	Αλκαλικό νατριοχλωριούχο	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων-- θειικό	Na-Cl	Mg-Ca-Na-SO_4-HCO_3
S9	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - θειικό	Αλκαλικό νατριοχλωριούχο	Mg-Ca-Na-SO_4-HCO_3	Na-Cl
S10	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - θειικό	Mg-Ca-Na-SO_4-HCO_3	Mg-Ca-Na-SO_4-HCO_3
S11	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - θειικό	Ca-Na-Mg-HCO_3-Cl-SO_4	Ca-Na-Mg-HCO_3-SO_4-Cl
S12	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων- οξυανθρακικό	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Ca-Na-Mg-HCO_3-Cl-SO_4	Ca-Na-Mg-HCO_3-Cl-SO_4
S13	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Na-Mg-Ca-HCO_3-Cl-SO_4	Na-Mg-Ca-HCO_3-Cl-SO_4
S14	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Na-Ca-Mg-HCO_3-SO_4-Cl	Na-Ca-Mg-Cl-HCO_3-SO_4
S15	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Ca-Na-Mg-HCO_3-Cl-SO_4	Ca-Na-Mg-HCO_3-Cl-SO_4
S16	Γαιοαλκαλικό- οξυανθρακικό	Γαιοαλκαλικό- οξυανθρακικό	Ca-Mg-HCO_3	Ca-Mg-Na-HCO_3
S17	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξιανθρακικό	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξιανθρακικό	Ca-Na-Mg-HCO_3-SO_4-Cl	Na-Ca-Mg-Cl-HCO_3-SO_4
S18	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Ca-Na-Mg-HCO_3-Cl-SO_4	Na-Ca-Mg-HCO_3-Cl
S19	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Ca-Na-Mg-HCO_3-Cl-SO_4	Ca-Na-Mg-HCO_3-Cl-SO_4
S20	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Ca-Mg-Na-HCO_3-SO_4-Cl	Mg-Ca-Na-HCO_3-Cl
S21	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξιανθρακικό	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξιανθρακικό	Mg-Ca-Na-HCO_3-Cl	Mg-Ca-Na-HCO_3-Cl
S22	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Ca-Na-Mg-HCO_3-SO_4-Cl	Ca-Na-HCO_3-Cl-SO_4
S23	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Ca-Na-HCO_3-Cl	Ca-Na-HCO_3-Cl
S24	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Ca-Na-HCO_3-SO_4-Cl	Ca-Na-HCO_3-Cl-SO_4
S25	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Ca-Na-Mg-Cl-HCO_3-SO_4	Ca-Na-Mg-HCO_3-Cl-SO_4
S27	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Ca-Na-Mg-HCO_3-Cl-SO_4	Ca-Na-HCO_3-Cl

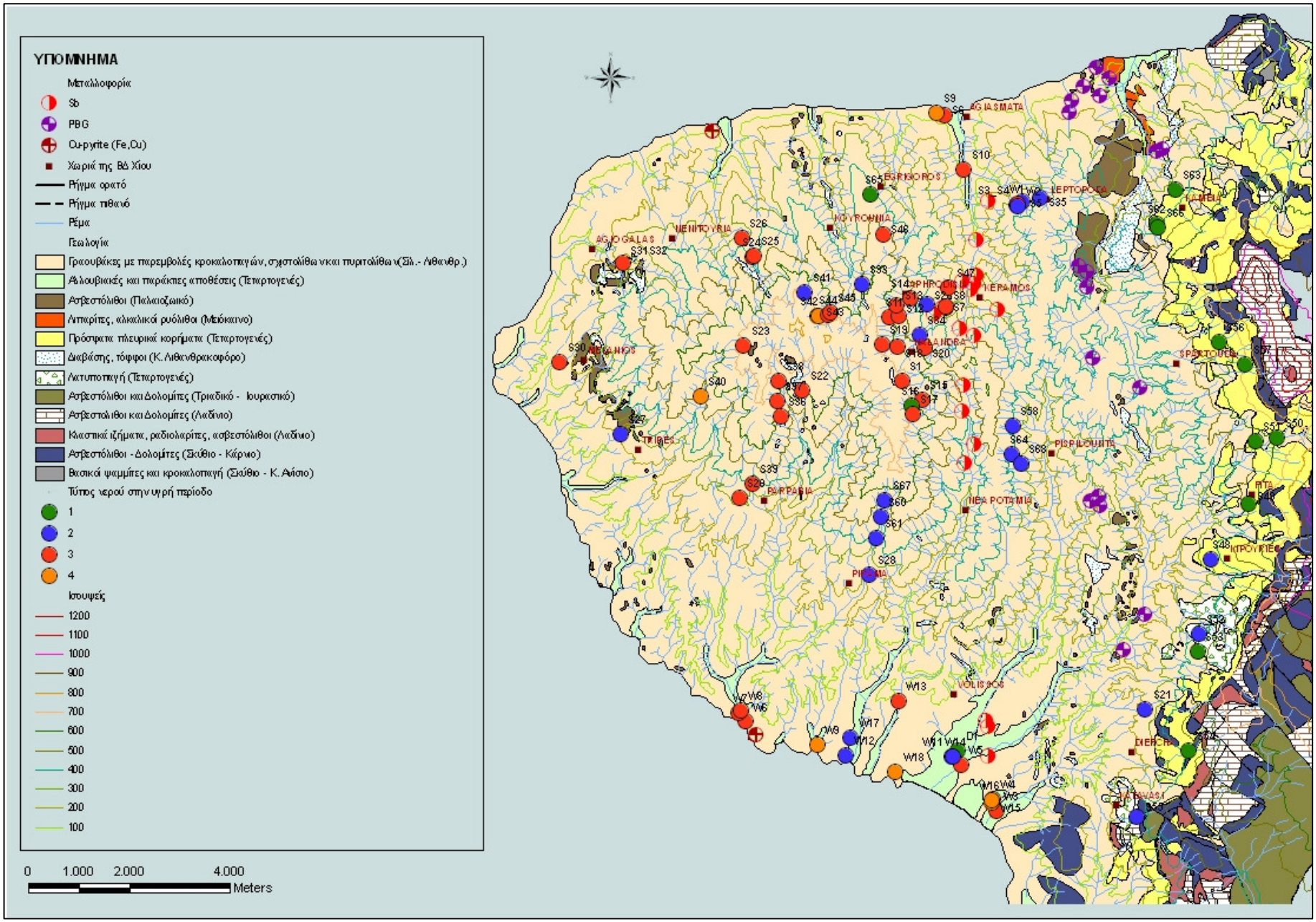
Πίνακας 7.7 (συνέχεια): *Υδρογεωχημικές κατηγορίες και οι αντίστοιχοι υδροχημικοί τύποι κατά Piper που προκύπτουν για τα υπόγεια νερά της σχιστοψαμμιτικής σειράς της περιοχής.*

ΔΕΙΓΜΑ	ΥΔΡΟΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ		ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ	
	Υγρή περίοδος	***Ξηρή περίοδος***	***Υγρή περίοδος***	***Ξηρή περίοδος***
S28	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Ca-Na-HCO_3-SO_4-Cl	Ca-Na-Mg-HCO_3-Cl-SO_4
S29	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Ca-Na-HCO_3-Cl	Ca-Na-HCO_3-Cl-SO4
S30	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Ca-Na-HCO_3-Cl-SO_4	Ca-Na-HCO_3-Cl
S33	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Ca-Na-Mg-HCO_3-Cl	Ca-Na-Mg-HCO_3-Cl
S34	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Ca-Mg-HCO_3-SO_4	Ca-Na-Mg-HCO_3-SO_4
S36	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Na-Ca-Mg-HCO_3-SO_4-Cl	Ca-Na-Mg-HCO_3-SO_4-Cl
S37	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Ca-Na-HCO_3-Cl-SO_4	Ca-Na-HCO_3-Cl
S38	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυιανθρακικό	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Ca-Na-HCO_3-SO_4-Cl	Ca-Na-HCO_3-SO_4-Cl
S39	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Na-Ca-Mg-Cl-HCO_3-SO_4	Na-Ca-Mg-Cl-HCO_3-SO_4
S41	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Na-Mg-Cl-SO_4-HCO_3	Ca-Na-HCO_3-Cl-SO_4
S42	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Na-Ca-Mg-Cl-HCO_3-SO_4	Na-Mg-Ca-Cl-HCO_3-SO_4
S43	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - θειικό	Αλκαλικό -χλωριοθειικό	Ca-Na-Mg-SO_4-Cl-HCO_3	Na-Mg-Cl-SO_4
S44	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Ca-Na-Mg-HCO_3-Cl-SO_4	Na-Ca-Mg-Cl-HCO_3-SO_4
S45	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Na-Ca-Mg-HCO_3-Cl-SO_4	Ca-Na-HCO_3-Cl-SO_4
S46	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Ca-Na-Mg-HCO_3-Cl	Na-Ca-HCO_3-Cl-SO_4
S47	Γαιοαλκαλικ όξυανθρακικό	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Ca-Mg-HCO_3	Na-Ca-HCO_3-Cl-SO_4
S54	Γαιοαλκαλικ όξυανθρακικό	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Ca-Mg-HCO_3	Ca-Mg-HCO_3-Cl
S55	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Ca-Na-Mg-HCO_3-Cl	Ca-Na-Mg-HCO_3-Cl
S58	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Ca-Mg-Na-HCO_3	Mg-Ca-Na-HCO_3-Cl
S60	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Ca-Na-Mg-HCO_3-Cl	Ca-Mg-Na-HCO_3-Cl

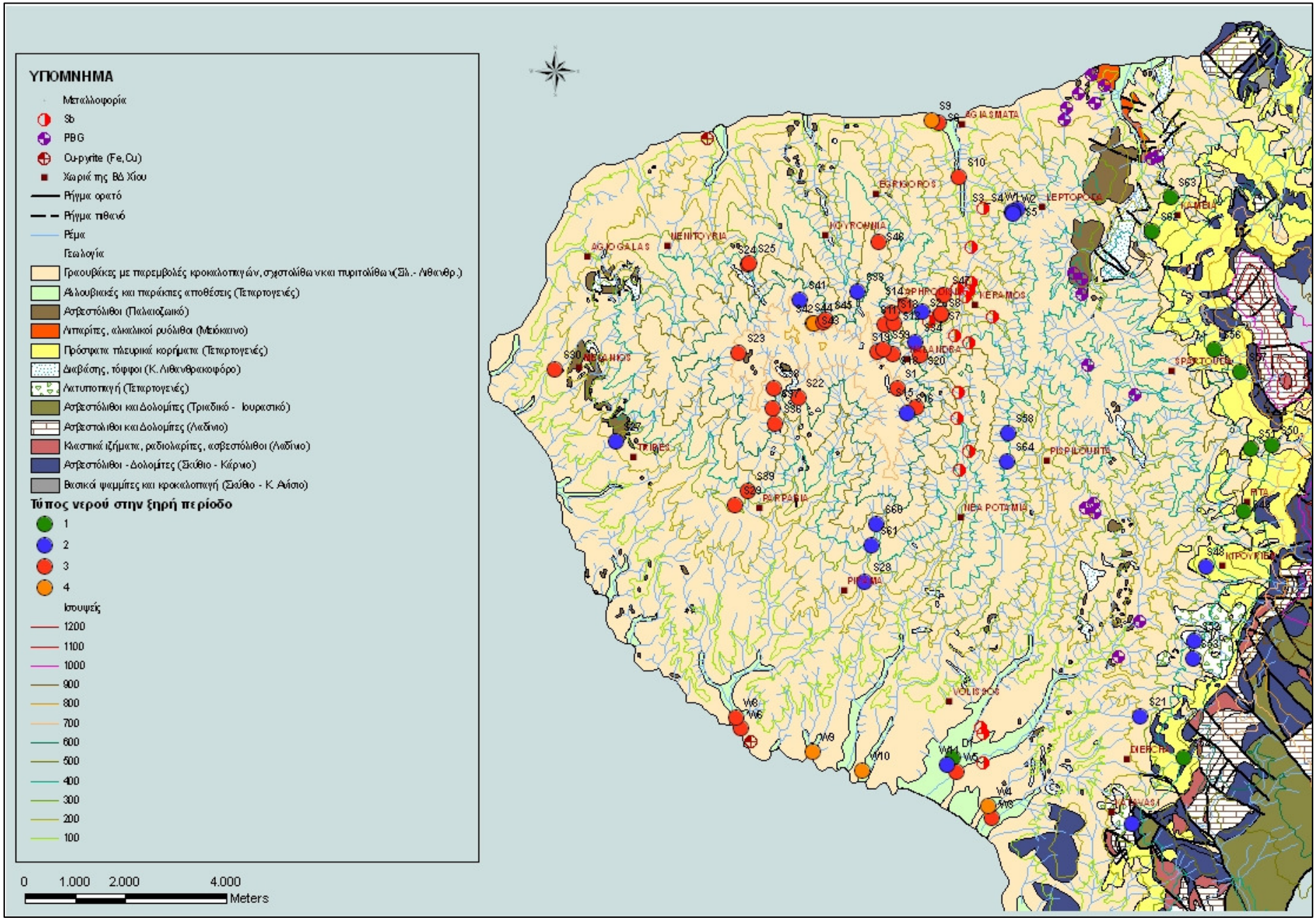
Πίνακας 7.7 (συνέχεια): *Υδρογεωχημικές κατηγορίες και οι αντίστοιχοι υδροχημικοί τύποι κατά Piper που προκύπτουν για τα υπόγεια νερά της σχιστοψαμμιτικής σειράς της περιοχής.*

ΔΕΙΓΜΑ	ΥΔΡΟΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ		ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ	
	Υγρή περίοδος	***Ξηρή περίοδος***	***Υγρή περίοδος***	***Ξηρή περίοδος***
S61	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Ca-Na-Mg-HCO_3-Cl	Ca-Mg-Na-HCO_3-Cl
S64	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Ca-Mg-Na-HCO_3-Cl	Ca-Mg-Na-HCO_3-Cl
D1	Γαιοαλκαλικό όξυανθρακικό	Γαιοαλκαλικ όξυανθρακικό	Ca-Mg-HCO_3	Ca-Mg-HCO_3
W1	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Mg-Na-Ca-HCO_3-Cl	Mg-Na-Ca-HCO_3-Cl
W2	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Γαιοαλκαλικό με υψηλό ποσοστό αλκαλίων - οξυανθρακικό	Mg-Ca-Na-HCO_3-Cl	Mg-Ca-Na-HCO_3-Cl

Επιπλέον κατασκευάστηκαν χάρτες στους οποίους απεικονίζεται ο τύπος υπόγειου νερού των δειγμάτων υγρής και ξηρής περιόδου στην περιοχή της ΒΔ Χίου (Εικ. 7.11., 7.12.). Είναι φανερό ότι στα ανατολικά της ΒΔ Χίου λόγω της διαφορετικής λιθολογίας της περιοχής στην οποία εκτός από το σχιστοψαμμιτικό σύστημα αναπτύσσονται ανθρακικά πετρώματα το νερό εμφανίζεται κυρίως με τον τύπο Ca – Mg – HCO_3. Στα βόρεια και νότια παράλια της περιοχής έρευνας υπάρχει ανάμιξη θαλασσινού και γλυκού νερού με εμφάνιση ιόντων Na^+ και Cl^- στη σύσταση του νερού. Στο κεντρικό τμήμα της ΒΔ Χίου και προς δυτικά εμφανίζονται γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων και χαρακτηρίζονται ως οξυανθρακικά και θειικά.



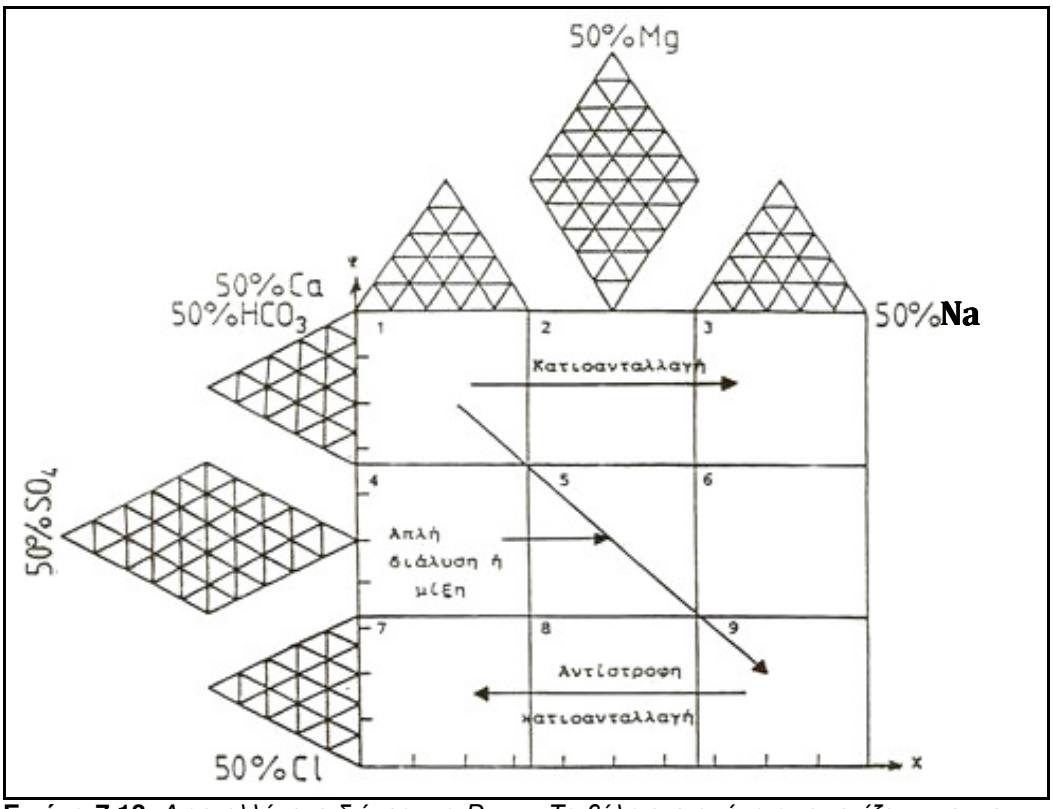
Εικόνα 7.11.: *Τύπος νερού των δειγμάτων υπόγειου νερού της υγρής περιόδου στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*
Υπόμνημα:(1) Κατηγορία Ι: (●) Κανονικά γαιοαλκαλικά νερά (οξυανθρακικά).
(2) Κατηγορία ΙΙ: (●) Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων (οξυανθρακικά).
(3) Κατηγορία ΙΙ: (●) Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων (θειικά).
(4) Κατηγορία ΙΙΙ: (●) Αλκαλικά νερά (χλωριοθειικά και νατριοχλωριούχα)



Εικόνα 7.12.: *Τύπος νερού των δειγμάτων υπόγειου νερού της ξηρής περιόδου στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*
Υπόμνημα:(1) Κατηγορία Ι: (●) Κανονικά γαιοαλκαλικά νερά (οξυανθρακικά).
(2) Κατηγορία ΙΙ: (●) Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων (οξυανθρακικά).
(3) Κατηγορία ΙΙ: (●) Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων (θειικά).
(4) Κατηγορία ΙΙΙ: (●) Αλκαλικά νερά (χλωριοθειικά και νατριοχλωριούχα)

7.3.2 Ταξινόμηση κατά Durov

Το διευρυμένο ή διαστελλόμενο διάγραμμα Durov χρησιμοποιείται για την καλύτερη κατανόηση των φαινομένων κατιοανταλλαγής και των μετασωματικών γραμμών εξέλιξης. Στην εικόνα 7.13 φαίνονται παραστατικά τα πεδία των διαφόρων υδροχημικών φάσεων.



Εικόνα 7.13*: Διαστελλόμενο διάγραμμα Durov. Τα βέλη στο σχήμα απεικονίζουν τις πιο συνηθισμένες μετασωματικές πορείες των υπόγειων νερών πριν αυτά τερματίσουν στη θάλασσα ή κινηθούν προς βαθύτερους υδροφόρους ορίζοντες.*

Στο διάγραμμα αυτό, όπως αναλυτικά περιγράφεται από τους Lloyd et al. (1985), διακρίνονται εννέα (9) πεδία:

1. Φυσικά υπόγεια νερά: Κυριαρχούν τα HCO_3^- και τα Ca^{+2} και συνήθως φανερώνει φρέσκα νερά φυσικής αναπλήρωσης διαμέσου ασβεστολίθων, ψαμμιτών και άλλων ανθρακικών πετρωμάτων.

2. Νερά εμπλουτισμένα σε Mg^{+2}: Κυριαρχεί η HCO_3^- και είτε κυριαρχεί το Mg^{+2} είτε κανένα κατιόν. Πρόκειται για νερά που έχουν σχέση με δολομίτες. Αν παρατηρηθεί ότι το Na^+ έχει αρχίσει να αυξάνεται, αυτό φανερώνει ότι ο μηχανισμός 3 έχει αρχίσει να ενεργοποιείται.

3. Κυριαρχούν τα HCO_3^- και τα Na^+ και το φαινόμενο της κατιοανταλλαγής βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη.

4. Κυριαρχεί το Ca^{+2} και είτε κυριαρχεί η SO_4^{-2} είτε κανένα ανιόν. Στην περίπτωση εκείνη που κυριαρχούν τόσο τα Ca^{+2} όσο και τα SO_4^{-2}, αυτό υποδηλώνει νερά που προέρχονται από ζώνες αναπλήρωσης διαμέσου λαβών και γύψων. Διαφορετικά αυτό ερμηνεύεται απλά σαν ένα νερό μικτό ή νερό διαλυτοποίησης.

5. Κανένα κυρίαρχο ιόν. Πρόκειται για μικτά νερά ή νερά διαλυτοποίησης.

6. Κυριαρχεί το Na^+ και είτε κυριαρχεί η SO_4^{-2}, είτε κανένα κατιόν. Πρόκειται για υπόγειο νερό που δεν συναντάται πολύ συχνά και είναι τις περισσότερες φορές προϊόν μίξης.

7. (Κροκίδωση – καταστροφή του εδάφους): Κυριαρχούν τα Ca^{+2} και τα Cl^-. Σπάνιο υπόγειο νερό εκτός και εάν έχει προέλθει σαν τελικό προϊόν αντίστροφης κατιοανταλλαγής από νερά Na – Cl^-.

8. Κυριαρχεί το Cl^-, χωρίς να κυριαρχεί και κανένα κατιόν. Υπόγεια νερά όπου το φαινόμενο της αντίστροφης κατιοανταλλαγής βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη.

9. Κυριαρχούν τα Na^+ και Cl^-. Πρόκειται για τελικά νερά πεδίου ροής.

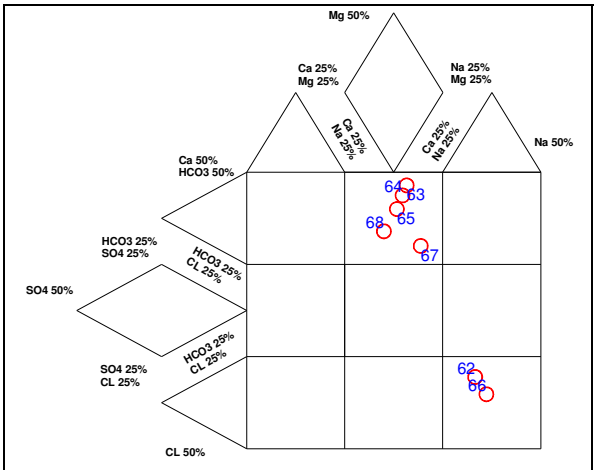
Οι ομάδες 1-2-3 συνδέονται με διαδικασίες ανταλλαγής κατιόντων, οι ομάδες 4-5-6 σχετίζονται με νερά μίξης (ακόρεστα και επηρεασμένα από την θάλασσα) και τέλος οι ομάδες 7-8-9 αντιστοιχούν σε διαδικασίες αντίστροφης κατιοανταλλαγής.

Το διευρυμένο διάγραμμα Durov έχει το σαφές πλεονέκτημα, σε σχέση με εκείνο του Piper, ότι παρέχει μια καλύτερη εικόνα των διαφόρων χημικών τύπων και ορισμένων από τις διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα στα υπόγεια νερά.

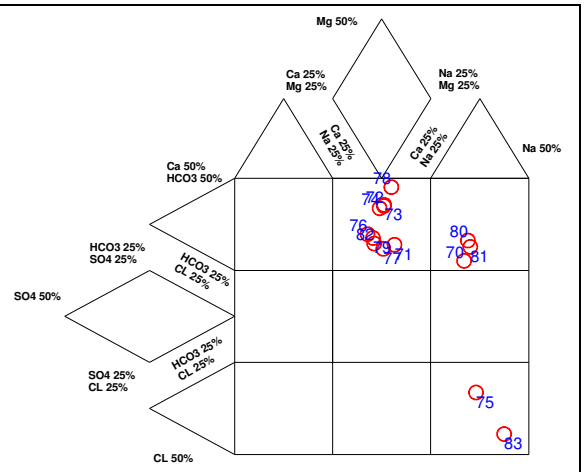
Τα δείγματα της περιοχής μελέτης ταξινομούνται βάσει του διευρυμένου διαγράμματος Durov στις διάφορες υδροχημικές κατηγορίες. Επίσης μέσω αυτού διαπιστώνεται το στάδιο της εξέλιξης τους.

1. **Υπόγεια νερά των αλλουβιακών σχηματισμών**: Στις εικόνες 7.14 και 7.15 παρουσιάζεται η προβολή των διαφόρων δειγμάτων νερού στο διάγραμμα Durov που προέρχονται από τους χαλαρούς σχηματισμούς των αλλουβιακών σχηματισμών της περιοχής. Αφορά τις δειγματοληψίες της ξηρής και υγρής περιόδου ξεχωριστά. Διαπιστώνεται ότι και στις δυο δειγματοληψίες της ξηρής και της υγρής περιόδου επικρατεί ο υδροχημικός τύπος Mg-HCO_3, όπου ανήκει το μεγαλύτερο ποσοστό των δειγμάτων. Μικρό ποσοστό των νερών μεταπίπτει κατά την ξηρή περίοδο στην κατηγορία των Na-HCO_3, λόγω των διαδικασιών της

κατιοανταλλαγής. Επίσης ένα μικρό ποσοστό δειγμάτων ανήκει στην κατηγορία των Na-Cl, δηλαδή βρίσκονται στο πρώτο στάδιο της αντίστροφης κατιοανταλλαγής, λόγω της έντονης επίδρασης της θαλάσσιας διείσδυσης.



Εικόνα 7.14: *Ταξινόμηση των υπόγειων υδάτων των αλλουβιακών σχηματισμών βάσει του Piper διαγράμματος (ξηρής περιόδου).*



Εικόνα 7.15: *Ταξινόμηση των υπόγειων υδάτων των αλλουβιακών σχηματισμών βάσει του Piper διαγράμματος (υγρής περιόδου).*

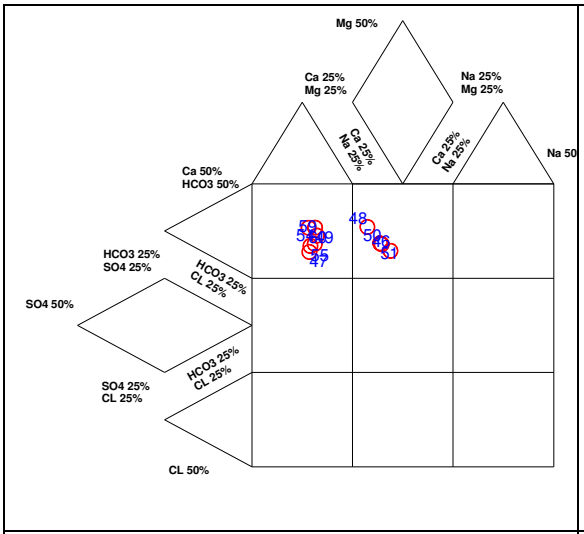
Στον πίνακα 7.8 που ακολουθεί παρουσιάζονται αναλυτικά οι διάφορες φάσεις των υπόγειων νερών της περιοχής, για κάθε ένα δείγμα, όπως προκύπτουν από την ταξινόμηση τους κατά Durov.

Πίνακας 7.8: *Ταξινόμηση και υδρογεωχημικά χαρακτηριστικά των υπόγειων νερών των αλλουβιακών σχηματισμών της περιοχής μελέτης κατά Durov.*

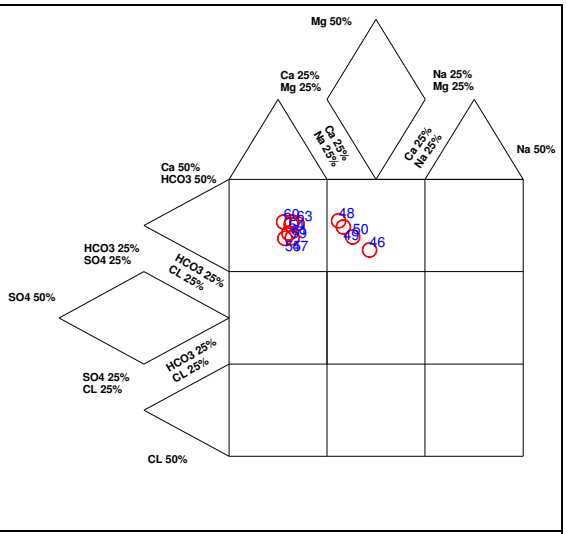
ΔΕΙΓΜΑ	ΠΕΔΙΟ	ΧΗΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ	ΥΔΡΟΓΕΩΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ
Ξηρή περίοδος: W4, W5, W6, W8, W9, W10,W11 *Υγρή περίοδος*: W5, W6, W7, W8, W11, W12, W13, W14, W17	**2**	**Mg - HCO_3**	Νερά εμπλουτισμένα σε Mg^{+2}. Επικρατεί η ανταλλαγή κατιόντων. Κυριαρχεί η ρίζα HCO_3^- και το Mg^{+2}.
Ξηρή περίοδος: W4, W9 *Υγρή περίοδος*: W4, W15, W16	**3**	**Na - HCO_3**	Νερά εμπλουτισμένα σε Na^+. Κυριαρχεί η ρίζα HCO_3^-. Επικρατεί η διαδικασία ανταλλαγής κατιόντων.
Ξηρή περίοδος:-- *Υγρή περίοδος*: W9, W18	**9**	**Na - Cl**	Κυριαρχούν τα Na^+και τα Cl^-. Τελικά νερά πεδίου ροής που έχουν προκύψει από διαδικασίες αντίστροφης κατιοανταλλαγής.

2. Υπόγεια νερά των πλευρικών κορημάτων: στις εικόνες 7.16 και 7.17 παρουσιάζεται η προβολή των διαφόρων δειγμάτων νερού που προέρχονται από τους χαλαρούς σχηματισμούς των πλευρικών κορημάτων. Όπως φαίνεται και στα δυο διαγράμματα δεν παρατηρούνται

εποχικές μεταβολές στο χημισμό των νερών. Διαπιστώνονται δυο χαρακτηριστικοί υδροχημικοί τύποι Ca-HCO_3 και Mg-HCO_3 που φανερώνουν φρέσκα νερά εμπλουτισμού.



Εικόνα 7.16: *Ταξινόμηση των υπόγειων υδάτων των πλευρικών κορημάτων βάσει του Durov διαγράμματος (ξηρής περιόδου).*



Εικόνα 7.17: *Ταξινόμηση των υπόγειων υδάτων των πλευρικών κορημάτων βάσει του Durov διαγράμματος (υγρής περιόδου).*

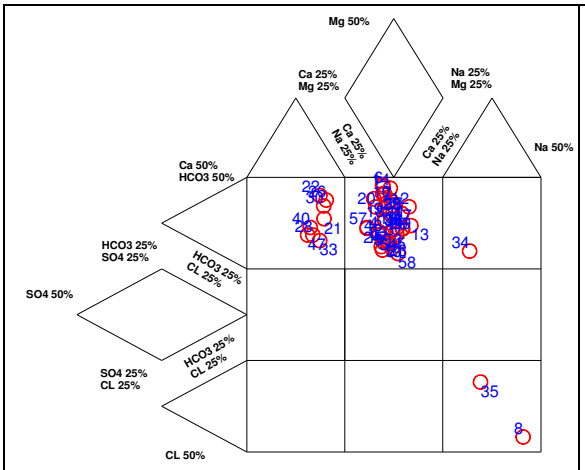
Στον πίνακα 7.9 που ακολουθεί παρουσιάζονται αναλυτικά οι διάφορες φάσεις των υπόγειων νερών της περιοχής, για κάθε ένα δείγμα, όπως προκύπτουν από την ταξινόμηση τους κατά Durov.

Πίνακας 7.9: *Ταξινόμηση και υδρογεωχημικά χαρακτηριστικά των υπόγειων νερών των πλευρικών κορημάτων της περιοχής κατά Durov.*

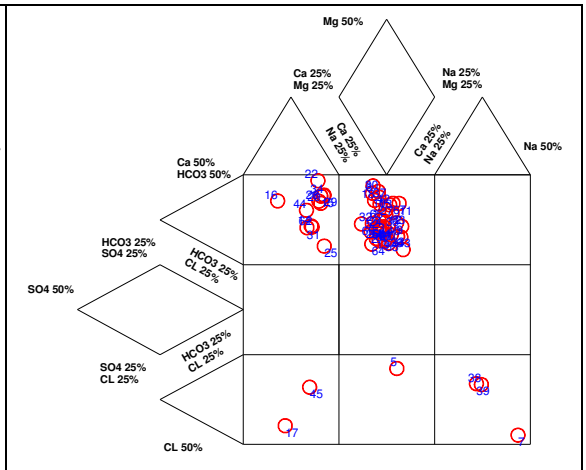
ΔΕΙΓΜΑ	ΠΕΔΙΟ	ΧΗΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ	ΥΔΡΟΓΕΩΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ
Ξηρή περίοδος: S54, S56, S61, S62, W1, W2, *Υγρή περίοδος*: S49, S53, S56, S60, S62, S63, S66	**1**	**Ca-HCO_3**	Κυριαρχούν τα HCO_3^- και Ca_2^+. Φρέσκα υπόγεια νερά εμπλουτισμού.
Ξηρή περίοδος:S53, S55, S57, S59 *Υγρή περίοδος*: S48, S50, S51, S52	**2**	**Mg-HCO_3**	Νερά εμπλουτισμένα σε Mg^{+2}. Επικρατεί η ανταλλαγή κατιόντων. Κυριαρχεί η ρίζα HCO_3^- και το Mg^{+2}.

***3.* Υπόγεια νερά των μεταμορφωμένων σχηματισμών**: στις εικόνες 7.18 και 7.19 παρουσιάζεται η προβολή των διαφόρων δειγμάτων νερού που προέρχονται από τους μεταμορφωμένους σχηματισμούς, το σχιστοψαμμιτικό σύστημα με κατά τόπους παρεμβολές ασβεστολιθικών φακών και ηφαιστειακών πετρωμάτων και κατά θέσεις εμφανίσεις της θειούχου μεταλλοφορίας. Όπως φαίνεται στα διαγράμματα το μεγαλύτερο ποσοστό των δειγμάτων της ξηρής και της υγρής περιόδου ανήκει στην κατηγορία των Ca-HCO_3 και Mg-

HCO_3. Φανερώνουν νερά φυσικού εμπλουτισμού σε μαγνήσιο, δηλαδή βρίσκονται στο στάδιο της κατιοανταλλαγής. Ένα πολύ μικρό ποσοστό των δειγμάτων αυτών εμφανίζει κατά την ξηρή και υγρή τους υδροχημικούς που προκύπτουν μετά από φαινόμενα της αντίστροφης κατιοανταλλαγής. Τα δείγματα αυτά προέρχονται από την παράκτια ζώνη της περιοχής μελέτης.



Εικόνα 7.18: *Ταξινόμηση των υπόγειων υδάτων των μεταμορφωμένων σχηματισμών βάσει του Durov διαγράμματος (ξηρής περιόδου).*



Εικόνα 7.19: *Ταξινόμηση των υπόγειων υδάτων των μεταμορφωμένων σχηματισμών βάσει του Durov διαγράμματος (υγρής περιόδου).*

Στον πίνακα 7.10 παρουσιάζονται αναλυτικά οι διάφορες φάσεις των υπόγειων νερών της περιοχής, για κάθε ένα δείγμα, όπως προκύπτουν από την ταξινόμηση τους κατά Durov.

Συμπερασματικά προκύπτει ότι η πλειονότητα των υπόγειων νερών της περιοχής έρευνας είναι πλούσια σε μαγνήσιο και όξινα ανθρακικά. Εμπλουτίζονται σε μαγνήσιο μέσω των διαδικασιών της κατιοανταλλαγής. Τα νερά αυτά φιλοξενούνται εντός των μεταμορφωμένων σχηματισμών. Τα νερά που προέρχονται από τα πλευρικά κορήματα χαρακτηρίζονται ασβεστούχα-μαγνησιούχα οξυανθρακικά, είναι φρέσκα νερά εμπλουτισμού και απαντώνται στα ανατολικά τμήματα της περιοχής. Μικρό ποσοστό των υπόγειων νερών, κυρίως της παράκτιας ζώνης, αποκαλύπτουν την επίδραση της θαλάσσιας διείσδυσης και φανερώνουν υδροχημικούς τύπους που προκύπτουν από φαινόμενα της αντίστροφης κατιοανταλλαγής.

Πίνακας 7.10: *Ταξινόμηση και υδρογεωχημικά χαρακτηριστικά των υπόγειων νερών της μεταμορφωμένης σειράς της περιοχής μελέτης κατά Durov.*

ΔΕΙΓΜΑ	ΠΕΔΙΟ	ΧΗΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ	ΥΔΡΟΓΕΩΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ
Ξηρή περίοδος:S23, S24, S29, S33, S36, S39, S47, S54 *Υγρή περίοδος*: S17, S46, S33, S26, S13, S67, S16, S30, S21, S29, S23, S36	**1**	**Ca – HCO_3**	Κυριαρχούν τα HCO_3^- και Ca_2^+. Φρέσκα υπόγεια νερά εμπλουτισμού.
Ξηρή περίοδος: S1,S2,S3-4, S5, S6, S7, S8, S10, S11, S12, S13, S14, S15 S16, S17, S18, S19, S20, S21, S22, S25, S27, S28, S30, S34, S37, S38, S39, S40, S43, S44, S45, S46, S55, S58, S60, S61, S64, D1, W1,W2 *Υγρή περίοδος*: S1, S2, S3, S4, S5, S7, S9, S10, S11, S12, S14, S15, S19, S20, S22, S24, S25, S27, S28, S31-S32, S34, S35, S37, S38, S39, S42, S43 S44, S45, S54, S55, S57, S58, S61, S64, S65, S68, D1, W1, W2, W3, W9, W17	**2**	**Mg - HCO_3**	Νερά εμπλουτισμένα σε Mg^{+2}. Επικρατεί η ανταλλαγή κατιόντων. Κυριαρχεί η ρίζα HCO_3^- και το Mg^{+2}.
Ξηρή περίοδος: S41 *Υγρή περίοδος*:--	**3**	**Na - HCO_3**	Νερά εμπλουτισμένα σε Na^+. Κυριαρχεί η ρίζα HCO_3^-. Επικρατεί η διαδικασία ανταλλαγής κατιόντων.
Ξηρή περίοδος:-- *Υγρή περίοδος*: S18, S47	**7**	**Ca-Cl**	Κυριαρχούν τα Ca^{+2} και τα Cl^-. Τελικό προϊόν αντίστροφης κατιοανταλλαγής από νερά Na-Cl^-
Ξηρή περίοδος:-- *Υγρή περίοδος*: S6	**8**	**Mg - Cl**	Νερά εμπλουτισμένα σε Mg^{+2} και Cl^-. Το φαινόμενο της αντίστροφης κατιοανταλλαγής βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη.
Ξηρή περίοδος: S9, S42 *Υγρή περίοδος*: S8, S40, S41	**9**	**Na - Cl**	Κυριαρχούν τα Na^+και τα Cl^-. Τελικά νερά πεδίου ροής που έχουν προκύψει από διαδικασίες αντίστροφης κατιοανταλλαγής.

7.4. Τιμή pH – Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (E.C.)

Τιμή pH

Το pH αποτελεί σημαντική παράμετρο της ποιότητας των υπόγειων υδάτων καθώς επηρεάζει άμεσα τις γεωχημικές διαδικασίες κατά την διέλευση του νερού μέσα από τους διάφορους γεωλογικούς σχηματισμούς. Σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία το pH αποτελεί δείκτη του όξινου ή αλκαλικού χαρακτήρα ενός διαλύματος και εξαρτάται από τα διαλυτά χημικά συστατικά και τις βιοχημικές διαδικασίες του διαλύματος. Στα φυσικά νερά το pH ελέγχεται

κυρίως από την ισορροπία μεταξύ του διαλυτού CO_2 των ιόντων HCO_3^- και CO_3^{-2} καθώς και από την φυσική παρουσία χουμικών και φουλβικών οξέων.

Η τιμή του pH των δειγμάτων της περιοχής μελέτης κυμαίνεται μεταξύ 6,7 και 8,9 και φανερώνει τον ελαφρώς όξινο έως ελαφρώς αλκαλικό χαρακτήρα των υπόγειων υδάτων (Πίνακας 7.11). Αυτό ερμηνεύεται βάσει της λιθολογικής σύστασης των υδροφορέων της περιοχής μελέτης και βρίσκεται μέσα στα αποδεκτά όρια για τα πόσιμα νερά που ορίζονται από την Οδηγία της ΕΕ 98/83 (6.5 – 9.5)

Πίνακας 7.11: *Διακύμανση των τιμών pH στα υπόγεια νερά των διαφόρων υδροφορέων της υγρής και ξηρής περιόδου.*

Τιμή του pH	Νερά των Αλλουβιακών σχηματισμών		Νερά των πλευρικών κορημάτων		Νερά των σχιστοψαμμιτικών σχηματισμών	
	Ξηρή περίοδος	*Υγρή περίοδος*	*Ξηρή περίοδος*	*Υγρή περίοδος*	*Ξηρή περίοδος*	*Υγρή περίοδος*
Χαμηλή	7,0	7,1	7,6	7,8	7,0	6,7
Μέγιστη	7,8	8,1	8,3	8,5	7,8	8,8
Μέση	7,3	7,5	7,9	8,0	7,3	7,6

Κατά την ξηρή περίοδο οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 7,0 και 8,3. Οι χαμηλότερες τιμές εμφανίζονται στα νερά των αλλουβιακών και σχιστοψαμμιτικών σχηματισμών. Αντίθετα οι υψηλότερες τιμές παρουσιάζονται στα νερά των πλευρικών κορημάτων. Η διαφοροποίηση αυτή των τιμών αποδίδεται κυρίως στο γεωλογικό περιβάλλον, καθώς επίσης στην επίδραση των νερών του αλλουβιακού υδροφορέα από την διείσδυση της θάλασσας. Κατά την υγρή περίοδο οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 6,7 και 8,8. Οι ακραίες τιμές εμφανίζονται στα νερά των σχιστοψαμμιτικών σχηματισμών, ενώ στα νερά των αλλουβιακών και πλευρικών κορημάτων οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 7,1 και 8,1.

Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (E.C.)

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (E.C.) είναι ένα μέτρο της ικανότητας ενός υδατικού διαλύματος να μεταφέρει ηλεκτρικό ρεύμα. Το ηλεκτρικό ρεύμα άγεται στο διάλυμα από την κίνηση των ιόντων και έτσι όσο υψηλότερος είναι ο αριθμός των ιόντων, τόσο υψηλότερη είναι η ιοντική κινητικότητα και άρα υψηλότερο το μέγεθος της E.C. Το χημικά καθαρό νερό δεν άγει το ηλεκτρικό ρεύμα επειδή περιέχει μόνο ιόντα H^+ και OH^- και έτσι παρουσιάζει E.C. μόλις 0,05 μS/cm στους 25 ^{0}C. Από την άλλη μεριά το θαλάσσιο με υψηλή συγκέντρωση σε άλατα έχει EC περίπου 40.000 μS/cm στους 25 ^{0}C (Lloyd and Heathcote, 1985).

Η ηλεκτρική Αγωγιμότητα των δειγμάτων της περιοχής κυμαίνεται μεταξύ 165 και 4690 (EC μS/cm) και οι μέσες τιμές μεταξύ 349-1440 (EC μS/cm) (Πίν. 7.12.). Οι υψηλές τιμές εμφανίζονται στην παράκτια ζώνη στα νερά των αλλουβιακών σχηματισμών και φανερώνουν την θαλάσσια επίδραση. Αντίθετα τα νερά των πηγών που προέρχονται από τα πλευρικά κορήματα και την σχιστοψαμμιτική σειρά οι τιμές κυμαίνονται σε πολύ χαμηλότερα επίπεδα μεταξύ 165 και 910 (EC μS/cm). Αυτό ερμηνεύεται βάσει της λιθολογικής σύστασης των υδροφορέων της περιοχής μελέτης.

Πίνακας 7.12: Διακύμανση των τιμών της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC μS/cm) στα υπόγεια νερά των διαφόρων υδροφορέων της υγρής και ξηρής περιόδου.

Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (EC μS/cm)	Νερά των Αλλουβιακών σχηματισμών		Νερά των πλευρικών κορημάτων		Νερά των σχιστοψαμμιτικών σχηματισμών	
	Ξηρή περίοδος	*Υγρή περίοδος*	*Ξηρή περίοδος*	*Υγρή περίοδος*	*Ξηρή περίοδος*	*Υγρή περίοδος*
Χαμιλή	460	400	307	270	209	165
Μέγιστη	2950	4690	492	478	970	910
Μέση	1440	1370	386	349	456	415

7.5. Περιγραφικά στατιστικά παραμέτρων νερού

Η στατιστική επεξεργασία των γεωχημικών αποτελεσμάτων των δειγμάτων υπόγειου νερού υγρής και ξηρής περιόδου έγινε με τη βοήθεια του προγράμματος Microsoft Excel 2003. Κατασκευάστηκαν ιστογράμματα που δείχνουν τον τρόπο κατανομής των χημικών στοιχείων στην υπό μελέτη περιοχή. Πρέπει να σημειωθεί ότι λαμβάνοντας υπόψη τα διαγράμματα Piper και Durov φτιάχτηκαν ξεχωριστά ιστογράμματα για τα δείγματα υπόγειου νερού υγρής περιόδου των πηγαδιών που βρίσκονται στα νότια παράλια της περιοχής έρευνας διότι τα περισσότερα έχουν υποστεί θαλάσσια επίδραση. Τα πηγάδια που μελετώνται είναι W3,W4,W5, W6, W7, W8, W9, W10, W11, W12, W13, W14, W15, W16, W17, W18. Όσον αφορά τα δείγματα υπόγειου νερού ξηρής περιόδου των πηγαδιών των νοτίων παραλίων της περιοχής έρευνας δεν έγινε δυνατή η κατασκευή ιστογραμμάτων λόγω του μειωμένου αριθμού τους, συνολικά 8, που είναι τα W3, W4, W5, W6, W8, W9, W10, W11. Γίνεται αναφορά μόνο στα περιγραφικά στατιστικά των συγκεκριμένων δειγμάτων. Επιπλέον δεν λαμβάνεται υπόψη η θερμή πηγή S9 στην περιοχή των Αγιασμάτων. Για κάθε χημικό στοιχείο των δειγμάτων υπόγειου νερού υπολογίστηκαν στατιστικά στοιχεία όπως: αριθμητικός μέσος, τυπική απόκλιση, μέγιστη τιμή, ελάχιστη τιμή, πλήθος τιμών.

Οι τιμές των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων συγκρίθηκαν με τις επιτρεπτές συγκεντρώσεις των χημικών στοιχείων του υπόγειου νερού σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 98/83 (Πιν.7.13.). Με τη βοήθεια του προγράμματος ArcView 8.2 GIS κατασκευάστηκαν γεωχημικοί χάρτες για τη μελέτη της κατανομής κάθε χημικού στοιχείου των δειγμάτων υπόγειου νερού.

Πίνακας 7.13.: *Ενδεικτικές παράμετροι του πόσιμου νερού (Οδηγία 98/83/Ε.C.)*

Α/Α	Παράμετρος	Μονάδα έκφρασης αποτελεσμάτων	Επιτρεπτό όριο
1	K^+	mg l^{-1}	12
2	Na^+	mg l^{-1}	200
3	Ca^{2+}	mg l^{-1}	-
4	Mg^{2+}	mg l^{-1}	-
5	SO_4^{2-}	mg l^{-1}	250
6	P_2O_5	μg l^{-1}	5000
7	NO_3^-	mg l^{-1}	50
8	NO_2^-	mg l^{-1}	0.5
9	HCO_3^-	mg l^{-1}	-
10	Cl^-	mg l^{-1}	250
11	NH_4^+	mg l^{-1}	0.5
12	Mn	μg l^{-1}	50
13	Ni	μg l^{-1}	20
14	Co	μg l^{-1}	-
15	Cr	μg l^{-1}	50
16	Cd	μg l^{-1}	5
17	Pb	μg l^{-1}	10
18	Fe	μg l^{-1}	200
19	Zn	μg l^{-1}	-
20	Cu	μg l^{-1}	2000
21	As	μg l^{-1}	10
22	Sb	μg l^{-1}	5
23	Ag	μg l^{-1}	10
24	Al	μg l^{-1}	200
25	B	μg l^{-1}	1000
26	Ba	μg l^{-1}	-
27	Bi	μg l^{-1}	-
28	Ce	μg l^{-1}	-
29	Li	μg l^{-1}	-
30	Mo	μg l^{-1}	-
31	Se	μg l^{-1}	10
32	Si	μg l^{-1}	-
33	Te	μg l^{-1}	-
34	Ti	μg l^{-1}	-
35	U	μg l^{-1}	-
36	V	μg l^{-1}	-
37	W	μg l^{-1}	-

7.5.1. Κύρια κατιόντα

Κάλιο (K)

Η συγκέντρωση του καλίου στα ολικά δείγματα υπόγειου νερού υγρής και ξηρής περιόδου της περιοχής έρευνας κυμαίνεται από 1 έως 267 mg l^{-1} και 1 έως 328 mg l^{-1} (Πιν. 7.14), αντίστοιχα. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων του καλίου τόσο για την υγρή (5 mg l^{-1}) όσο και για την ξηρή περίοδο (7 mg l^{-1}) είναι κατώτερη από την επιτρεπόμενη συγκέντρωση των 12 mg l^{-1} σύμφωνα με την οδηγία 98/83 Ε.C. (Πίν. 7.13).

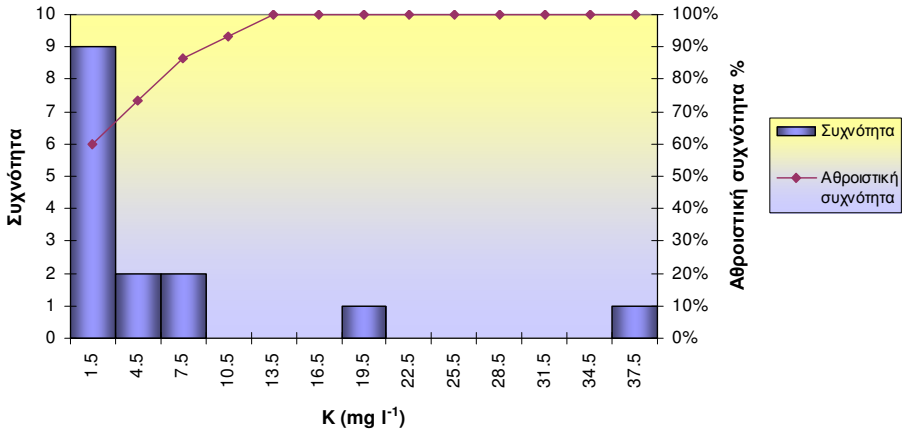
Όσον αφορά την υγρή περίοδο για τα δείγματα πηγαδιών στα νότια παράλια της περιοχής έρευνας τα δεδομένα υποδιαιρούνται σε 13 κλάσεις με εύρος κλάσης 2 mg l^{-1}. Στο ιστόγραμμα συγκέντρωσης του καλίου υγρής περιόδου που προκύπτει διακρίνεται ένας πληθυσμός με το μεγαλύτερο αριθμό τιμών να εμφανίζεται στο διάστημα 0 – 3 mgl^{-1} (Εικ. 7.20). Η κατανομή των τιμών του K θεωρείται λοξή με «ουρά» προς τα δεξιά. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων του καλίου είναι 7 mgl^{-1} (Πιν.7.14) που είναι κατώτερη από την τιμή της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 98/83 (Πίν. 7.13). Στα υπόλοιπα δείγματα το κάλιο κυμαίνεται από 1 έως 2 mg l^{-1}.

Όσον αφορά την ξηρή περίοδο η συγκέντρωση του καλίου για τα δείγματα στα νότια παράλια της περιοχής μελέτης κυμαίνεται από 1 έως 40 mg l^{-1} (Πιν.7.14) με μέση τιμή 9 mgl^{-1} που είναι κατώτερη από την επιτρεπόμενη συγκέντρωση των 12 mg l^{-1} σύμφωνα με την οδηγία 98/83 Ε.C. Στα υπόλοιπα δείγματα το κάλιο κυμαίνεται από 1 έως 2 mg l^{-1}.

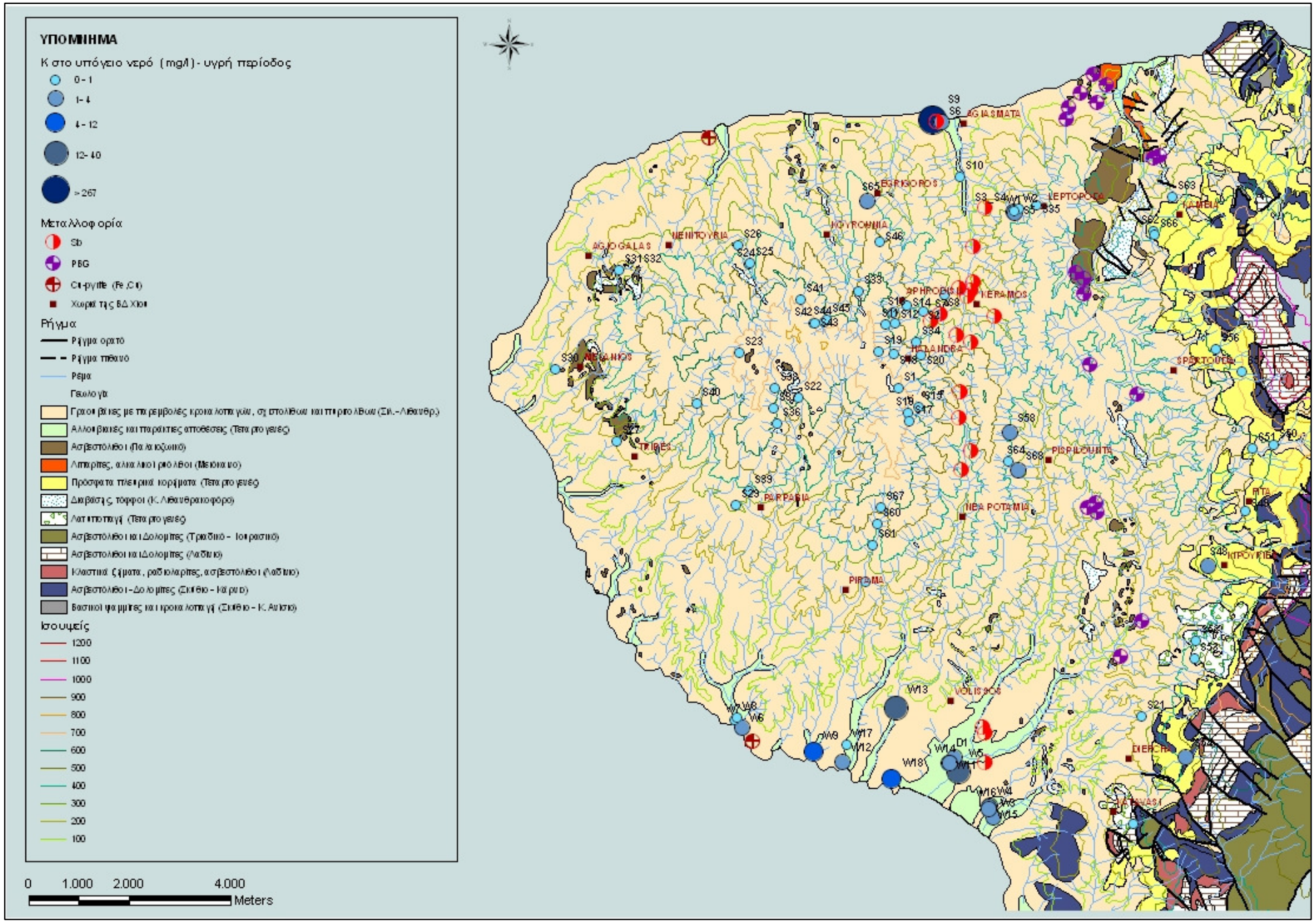
Από τους γεωχημικούς χάρτες κατανομής του καλίου κατά την υγρή και την ξηρή περίοδο (Εικ. 7.21, 7.22) δεν διαπιστώθηκαν σημαντικές μεταβολές των συγκεντρώσεων του στοιχείου στο υπόγειο νερό. Στην περιοχή της Βολισσού παρατηρείται κατά την υγρή περίοδο δύο δείγματα υπόγειου νερού (W5=39 mg l^{-1}, W13=20 mg l^{-1}) εγκαταλελειμμένων πηγαδιών, από τα 83, ποσοστό 2%, και ομοίως το δείγμα W5=40 mg l^{-1} κατά την ξηρή περίοδο από τα 68 δείγματα να εμφανίζουν συγκεντρώσεις υψηλότερες από την επιτρεπτή τιμή των 12 mg l^{-1} της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 98/83 που πιθανόν να οφείλονται είτε στην αυξημένη περιεκτικότητα του στοιχείου στους γεωλογικούς σχηματισμούς, είτε σε ανθρώπινες παρεμβάσεις (ρήψη διαφόρων ειδών απορριμμάτων, χρήση λιπασμάτων). Επιπλέον, το δείγμα S9 της θερμής πηγής στην παραλιακή περιοχή των Αγιασμάτων εμφανίζει πολύ υψηλή συγκέντρωση καλίου στις δύο περιόδους (267 mg l^{-1} - υγρή περίοδος, 328 mg l^{-1} - ξηρή περίοδος) που οφείλεται κυρίως στη θαλάσσια επίδραση.

Πίνακας 7.14.: *Στατιστικά στοιχεία Κ (*$mg\ l^{-1}$*) των ολικών δειγμάτων υπόγειου νερού και δειγμάτων πηγαδιών στα νότια παράλια της ΒΔ Χίου, υγρής και ξηρής περιόδου.*

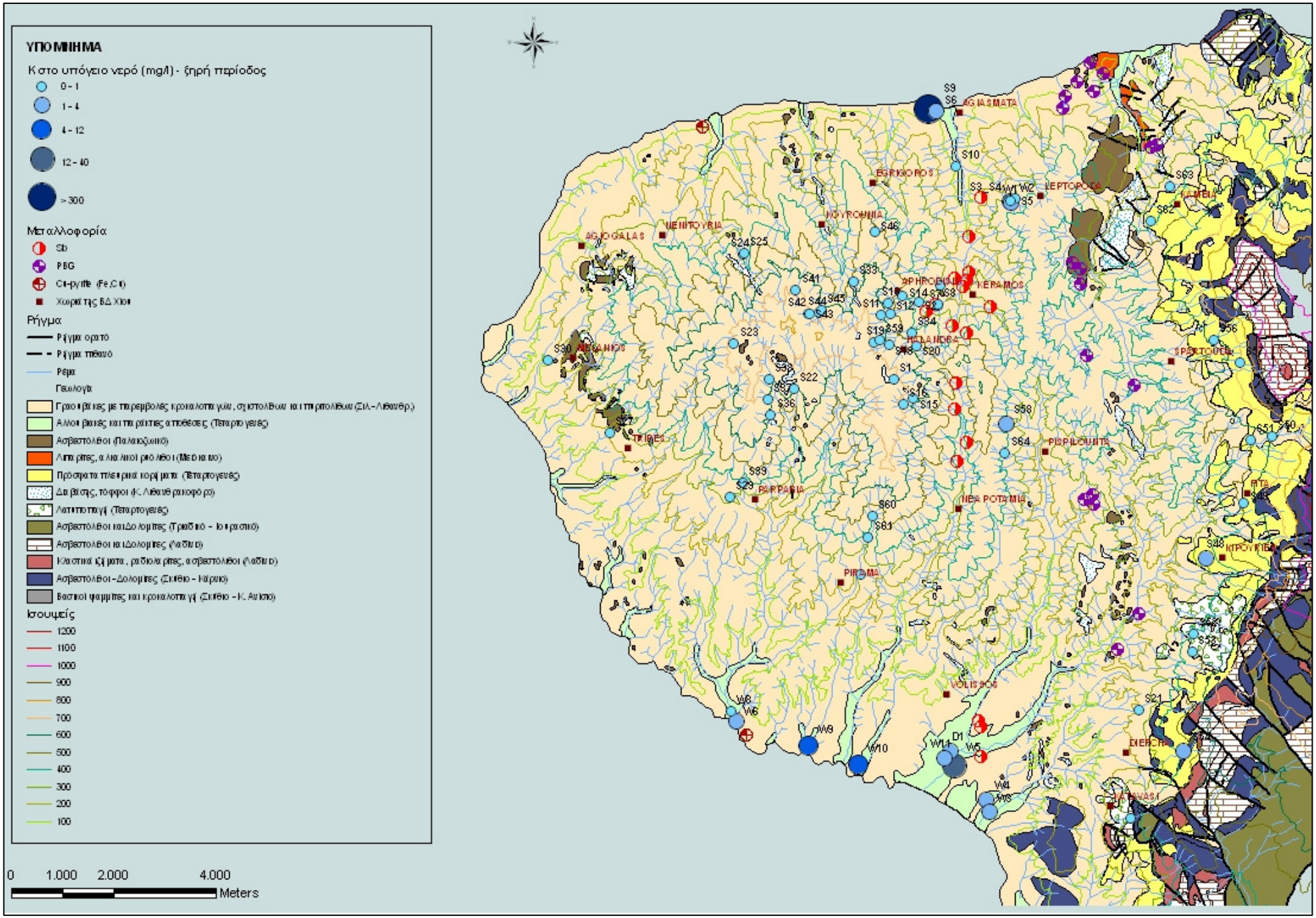
Στατιστικά στοιχεία	Κ (υ) ολικ.δειγμ.	Κ (ξ) ολικ.δειγμ.	Κ (υ) πηγάδια	Κ (ξ) πηγάδια
Αριθμητικός μέσος	5	7	7	9
Τυπική απόκλιση	29	40	10	5
Ελάχιστη τιμή	1	1	1	1
Μέγιστη τιμή	267	328	39	40
Πλήθος τιμών	83	68	15	8



Εικόνα 7.20.: *Ιστόγραμμα περιεχομένων Κ και καμπύλη αθροιστικής συχνότητας για τα δείγματα των πηγαδιών υγρής περιόδου στα νότια παράλια της ΒΔ Χίου.*



Εικόνα 7.21.: *Γεωχημικός χάρτης κατανομής του K στο υπόγειο νερό κατά την υγρή περίοδο στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*



Εικόνα 7.22.: *Γεωχημικός χάρτης κατανομής του Κ στο υπόγειο νερό κατά την ξηρή περίοδο στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*

Νάτριο (Na)

Η συγκέντρωση του νατρίου στα ολικά δείγματα υπόγειου νερού υγρής και ξηρής περιόδου της περιοχής έρευνας κυμαίνεται από 7 έως 2277 mg l^{-1} και 8 έως 2300 mg l^{-1} (Πιν. 7.15.), αντίστοιχα. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων του νατρίου τόσο για την υγρή (90 mg l^{-1}) όσο και για την ξηρή περίοδο (77 mg l^{-1}) είναι κατώτερη από την επιτρεπόμενη συγκέντρωση των 200 mg l^{-1} σύμφωνα με την οδηγία 98/83 Ε.C.

Όσον αφορά την υγρή περίοδο για τα δείγματα πηγαδιών στα νότια παράλια της περιοχής έρευνας τα δεδομένα υποδιαιρούνται σε 12 κλάσεις με εύρος κλάσης 38 mg l^{-1}. Στο ιστόγραμμα συγκέντρωσης του νατρίου υγρής περιόδου που προκύπτει διακρίνεται ένας πληθυσμός με το μεγαλύτερο αριθμό τιμών να εμφανίζεται στο διάστημα 38 – 76 mgl^{-1} (Εικ. 7.23.). Η κατανομή των τιμών του Na θεωρείται λοξή με «ουρά» προς τα δεξιά. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων του νατρίου είναι 234 mg l^{-1} (Πιν.7.15.). που είναι μεγαλύτερη από την τιμή της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 98/83 και οφείλεται στην επίδραση του θαλάσσιου νερού στην περιοχή έρευνας.

Όσον αφορά την υγρή περίοδο για τα δείγματα υπόγειου νερού βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας τα δεδομένα υποδιαιρούνται σε 18 κλάσεις με εύρος κλάσης 4 mg l^{-1}. Στο ιστόγραμμα διακρίνεται ένας πληθυσμός με το μεγαλύτερο αριθμό τιμών να εμφανίζεται στο διάστημα 20 – 24 mgl^{-1} (Εικ. 7.24.). Η κατανομή των τιμών του Na θεωρείται λοξή με «ουρά» προς τα δεξιά. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων του νατρίου είναι 24 mg l^{-1} (Πιν.7.15.) που είναι μικρότερη από την τιμή της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 98/83.

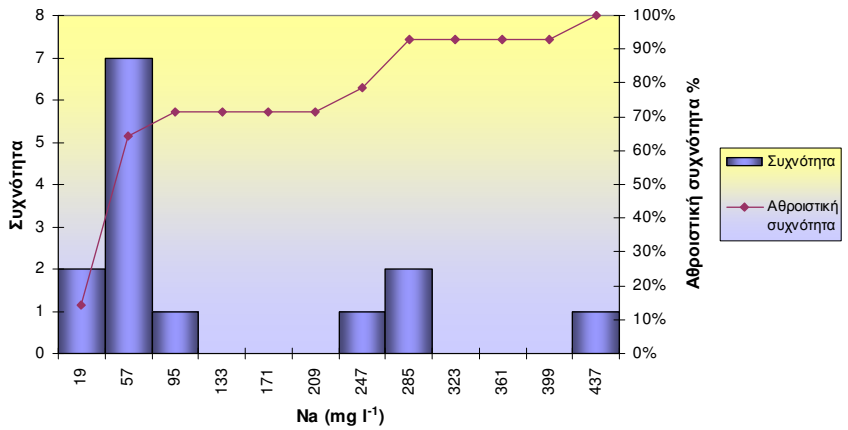
Όσον αφορά την ξηρή περίοδο η συγκέντρωση του νατρίου για τα δείγματα στα νότια παράλια της περιοχής μελέτης κυμαίνεται από 40 έως 433 mg l^{-1} (Πιν.7.15.) με μέση τιμή 158 mgl^{-1} που είναι κατώτερη από την επιτρεπόμενη συγκέντρωση της οδηγίας 98/83 Ε.C. Όσον αφορά την ξηρή περίοδο για τα δείγματα υπόγειου νερού βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας τα δεδομένα υποδιαιρούνται σε 19 κλάσεις με εύρος κλάσης 4 mg l^{-1}. Στο ιστόγραμμα διακρίνεται ένας πληθυσμός με το μεγαλύτερο αριθμό τιμών να εμφανίζεται στο διάστημα 20 – 24 mgl^{-1} (Εικ. 7.25.). Η κατανομή των τιμών του Na θεωρείται λοξή με «ουρά» προς τα δεξιά. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων του νατρίου είναι 29 mg l^{-1} που είναι μικρότερη από την τιμή της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 98/83.

Κατά την υγρή και την ξηρή περίοδο οι γεωχημικοί χάρτες κατανομής του νατρίου (Εικ. 7.26., 7.27.) δε δείχνουν ιδιαίτερες μεταβολές στις συγκεντρώσεις του στοιχείου στο υπόγειο νερό. Στις παραλιακές περιοχές της Βολισσού (Μάναγρος, Αγία Μαρκέλλα, Λήμνος) πέντε

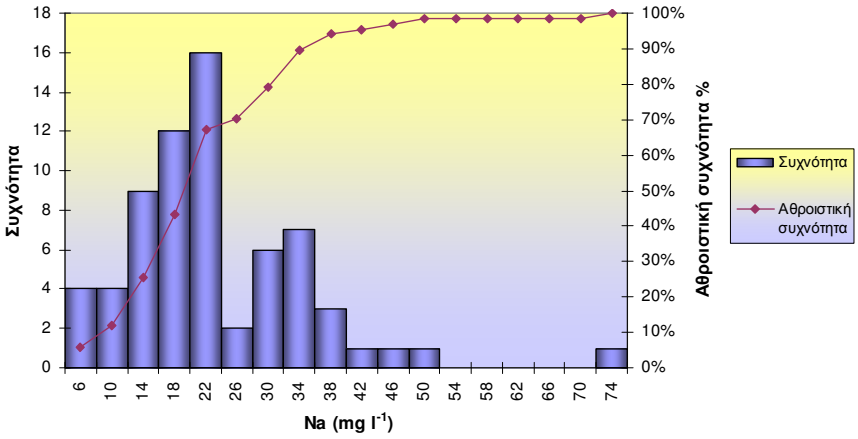
δείγματα (W4=267 mg l^{-1}, W9=425 mg l^{-1}, W15=233 mg l^{-1}, W16=283 mg l^{-1}, W18=1800 mg l^{-1}), ποσοστό 6%, κατά την υγρή περίοδο και 3 δείγματα (W4=287 mg l^{-1}, W9=433 mg l^{-1}, W10=250 mg l^{-1}), ποσοστό 4%, κατά την ξηρή περίοδο εμφανίζουν τιμές υψηλότερες από την επιτρεπτή τιμή των 200 mg l^{-1} της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 98/83. Επιπλέον, το δείγμα S9 της θερμής πηγής στην παραλιακή περιοχή των Αγιασμάτων εμφανίζει πολύ υψηλή συγκέντρωση νατρίου στις δύο περιόδους (2277 mg l^{-1} - υγρή περίοδος, 2300 mg l^{-1} - ξηρή περίοδος). Επομένως, οι υψηλές περιεκτικότητες νατρίου στο υπόγειο νερό στις παραπάνω περιοχές αποδίδονται στη επίδραση της θάλασσας.

Πίνακας 7.15.: *Στατιστικά στοιχεία Na των ολικών δειγμάτων υπόγειου νερού, δειγμάτων πηγαδιών στα νότια παράλια της ΒΔ Χίου και των δειγμάτων υπόγειου νερού βόρειου (Β) και κεντρικού (Κ) τμήματος της περιοχής έρευνας υγρής* και ξηρής περιόδου.

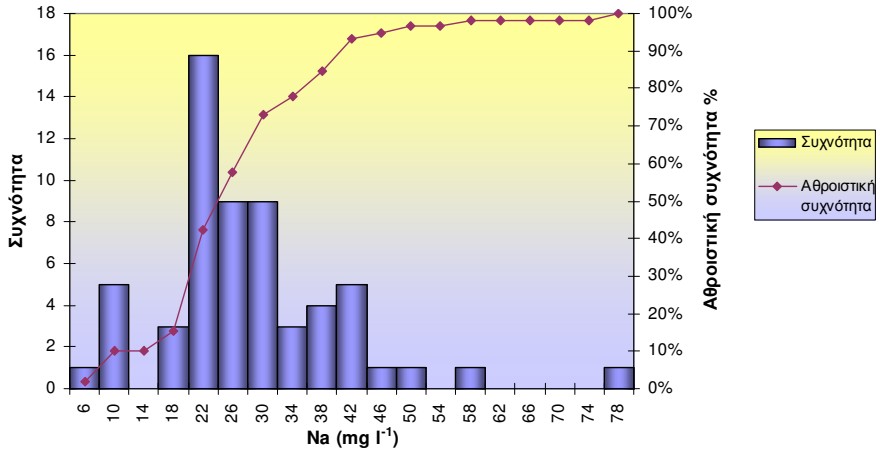
Στατιστικά στοιχεία	Na (υ) ολικ.δειγ.	Na (ξ) ολικ..δειγμ.	Na (υ) πηγάδια	Na (ξ) πηγάδια	Na (υ) Β. – Κ.τμ.	Na (ξ) Β. – Κ.τμ.
Αριθμητικός μέσος	90	77	234	158	24	29
Τυπική απόκλιση	317	281	450	147	12	12
Ελάχιστη τιμή	7	8	34	40	7	8
Μέγιστη τιμή	2277	2300	1800	433	76	77
Πλήθος τιμών	83	68	15	8	67	59



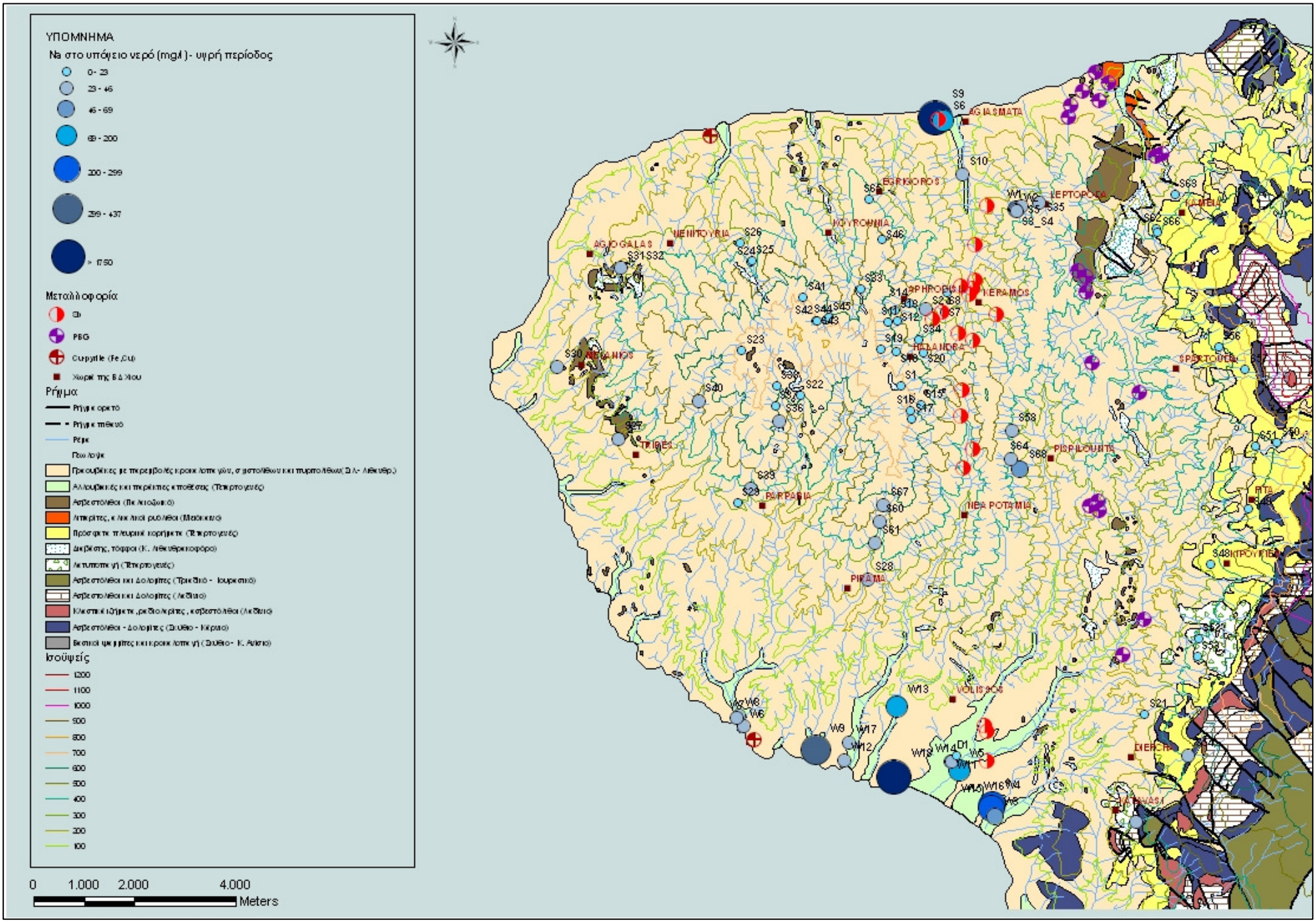
Εικόνα 7.23.: *Ιστόγραμμα περιεχομένου Na και καμπύλη αθροιστικής συχνότητας για τα δείγματα των πηγαδιών υγρής περιόδου στα νότια παράλια της ΒΔ Χίου.*



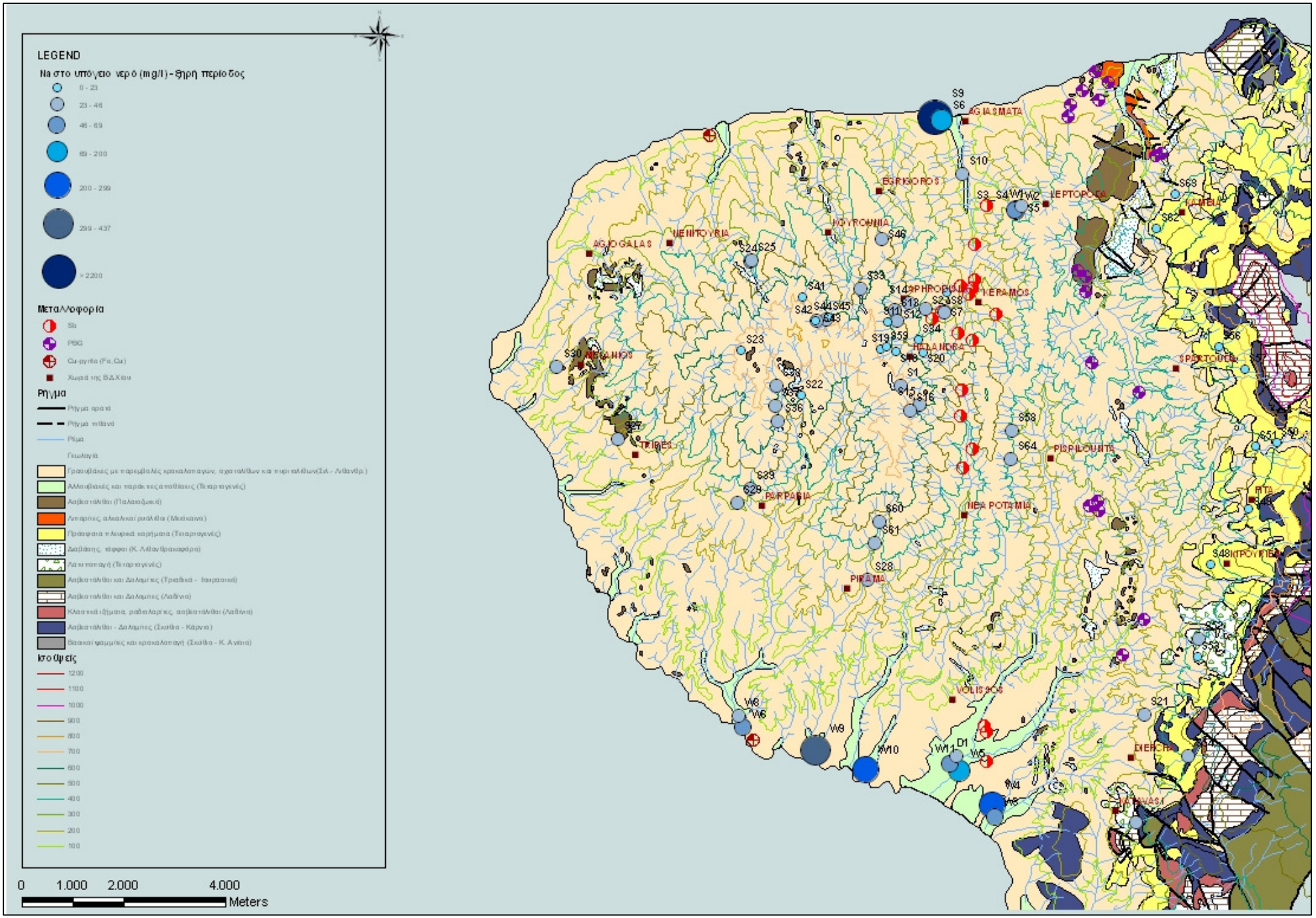
Εικόνα 7.24.: *Ιστόγραμμα περιεχομένων Na και καμπύλη αθροιστικής συχνότητας για τα δείγματα υπόγειου νερού βορείου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας υγρής περιόδου.*



Εικόνα 7.25.: *Ιστόγραμμα περιεχομένων Na και καμπύλη αθροιστικής συχνότητας για τα δείγματα υπόγειου νερού βορείου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας ξηρής περιόδου.*



Εικόνα 7.26.: *Γεωχημικός χάρτης κατανομής του Na στο υπόγειο νερό κατά την υγρή περίοδο στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*



Εικόνα 7.27.: *Γεωχημικός χάρτης κατανομής του Na στο υπόγειο νερό κατά την ξηρή περίοδο στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*

Ασβέστιο (Ca)

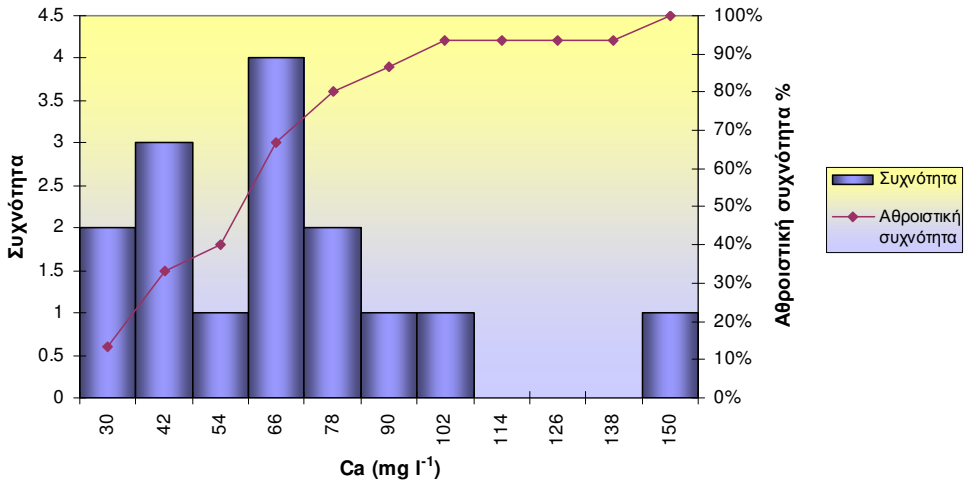
Η συγκέντρωση του ασβεστίου στα ολικά δείγματα υπόγειου νερού υγρής και ξηρής περιόδου της περιοχής έρευνας κυμαίνεται από 5 έως 179 mg l^{-1} και 7 έως 183 mg l^{-1} (Πιν. 7.16.), αντίστοιχα. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων του ασβεστίου για την υγρή περίοδο είναι 41 mg l^{-1} και για την ξηρή περίοδο είναι 44 mg l^{-1}.

Όσον αφορά την υγρή περίοδο για τα δείγματα πηγαδιών στα νότια παράλια της περιοχής έρευνας τα δεδομένα υποδιαιρούνται σε 11 κλάσεις με εύρος κλάσης 12 mg l^{-1}. Στο ιστόγραμμα συγκέντρωσης του ασβεστίου υγρής περιόδου που προκύπτει διακρίνεται ένας πληθυσμός με το μεγαλύτερο αριθμό τιμών να εμφανίζεται στο διάστημα 60 – 72 mgl^{-1} (Εικ. 7.28.). Η κατανομή των τιμών του Ca θεωρείται λοξή με «ουρά» προς τα δεξιά. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων του ασβεστίου είναι 69 mg l^{-1} (Πιν.7.16.). Όσον αφορά την υγρή περίοδο για τα δείγματα υπόγειου νερού βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας τα δεδομένα υποδιαιρούνται σε 17 κλάσεις με εύρος κλάσης 4 mg l^{-1}. Στο ιστόγραμμα διακρίνονται δύο πληθυσμοί με το μεγαλύτερο αριθμό τιμών να εμφανίζεται στο διάστημα 20 – 24 mgl^{-1} για τον πρώτο πληθυσμό και 40 – 44 mgl^{-1} για το δεύτερο πληθυσμό (Εικ. 7.29.). Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων του ασβεστίου είναι 33 mg l^{-1} Όσον αφορά την ξηρή περίοδο η συγκέντρωση του ασβεστίου για τα δείγματα στα νότια παράλια της περιοχής μελέτης κυμαίνεται από 37 έως 119 mg l^{-1} με μέση τιμή 81.

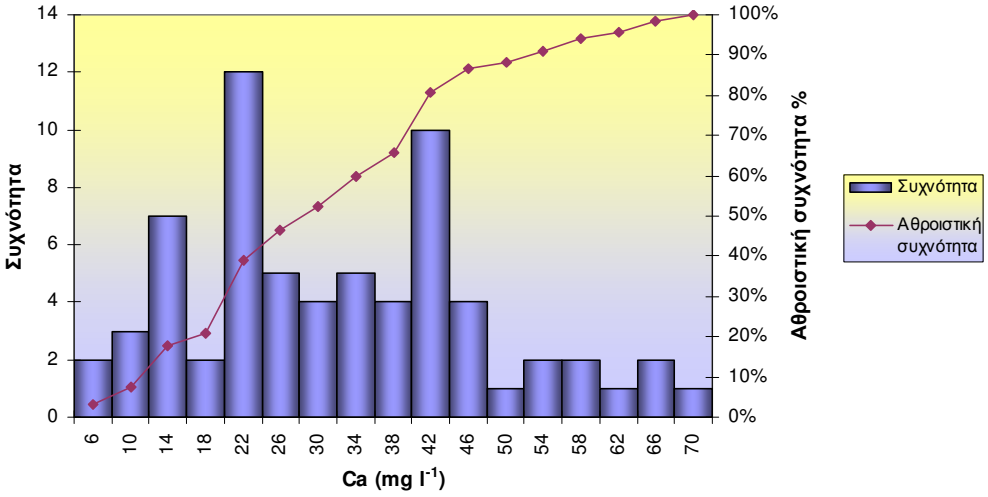
Τα δεδομένα ξηρής περιόδου για τα δείγματα υπόγειου νερού βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας υποδιαιρούνται σε 17 κλάσεις με εύρος κλάσης 4 mg l^{-1}. Στο ιστόγραμμα διακρίνεται ένας πληθυσμός με το μεγαλύτερο αριθμό τιμών να εμφανίζεται στο διάστημα 32 – 38 mgl^{-1} (Εικ. 7.30.). Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων του ασβεστίου είναι 36 mg l^{-1} .Κατά την υγρή και την ξηρή περίοδο οι γεωχημικοί χάρτες κατανομής του ασβεστίου δε δείχνουν σημαντικές μεταβολές στις συγκεντρώσεις του στο υπόγειο νερό (Εικ. 7.31, 7.32.). Η Ευρωπαϊκή Οδηγία 98/83 δεν αναφέρει επιτρεπτό όριο συγκέντρωσης αυτού του στοιχείου στο πόσιμο νερό.

Πίνακας 7.16.: *Στατιστικά στοιχεία Ca (*$mg\ l^{-1}$*)των ολικών δειγμάτων υπόγειου νερού, δειγμάτων πηγαδιών στα νότια παράλια της ΒΔ Χίου και των δειγμάτων υπόγειου νερού βόρειου (Β) και κεντρικού (Κ) τμήματος της περιοχής έρευνας υγρής* και ξηρής περιόδου.

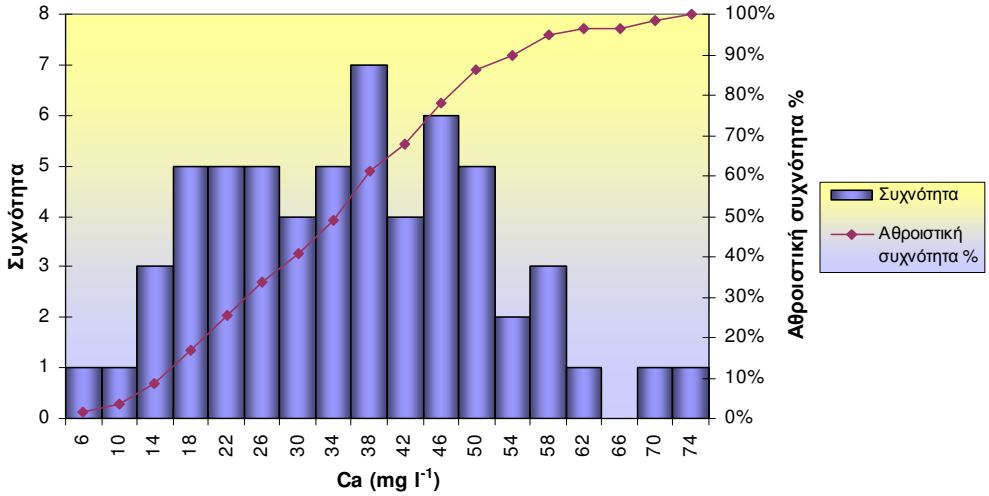
Στατιστικά στοιχεία	Ca (υ) ολικ.δειγ.	Ca (ξ) ολικ..δειγμ.	Ca (υ) πηγάδια	Ca (ξ) πηγάδια	Ca (υ) Β. – Κ.τμ.	Ca (ξ) Β. – Κ.τμ.
Αριθμητικός μέσος	41	44	69	81	33	36
Τυπική απόκλιση	28	28	30	30	16	15
Ελάχιστη τιμή	5	7	31	37	5	7
Μέγιστη τιμή	179	183	148	119	69	74
Πλήθος τιμών	83	68	15	8	67	59



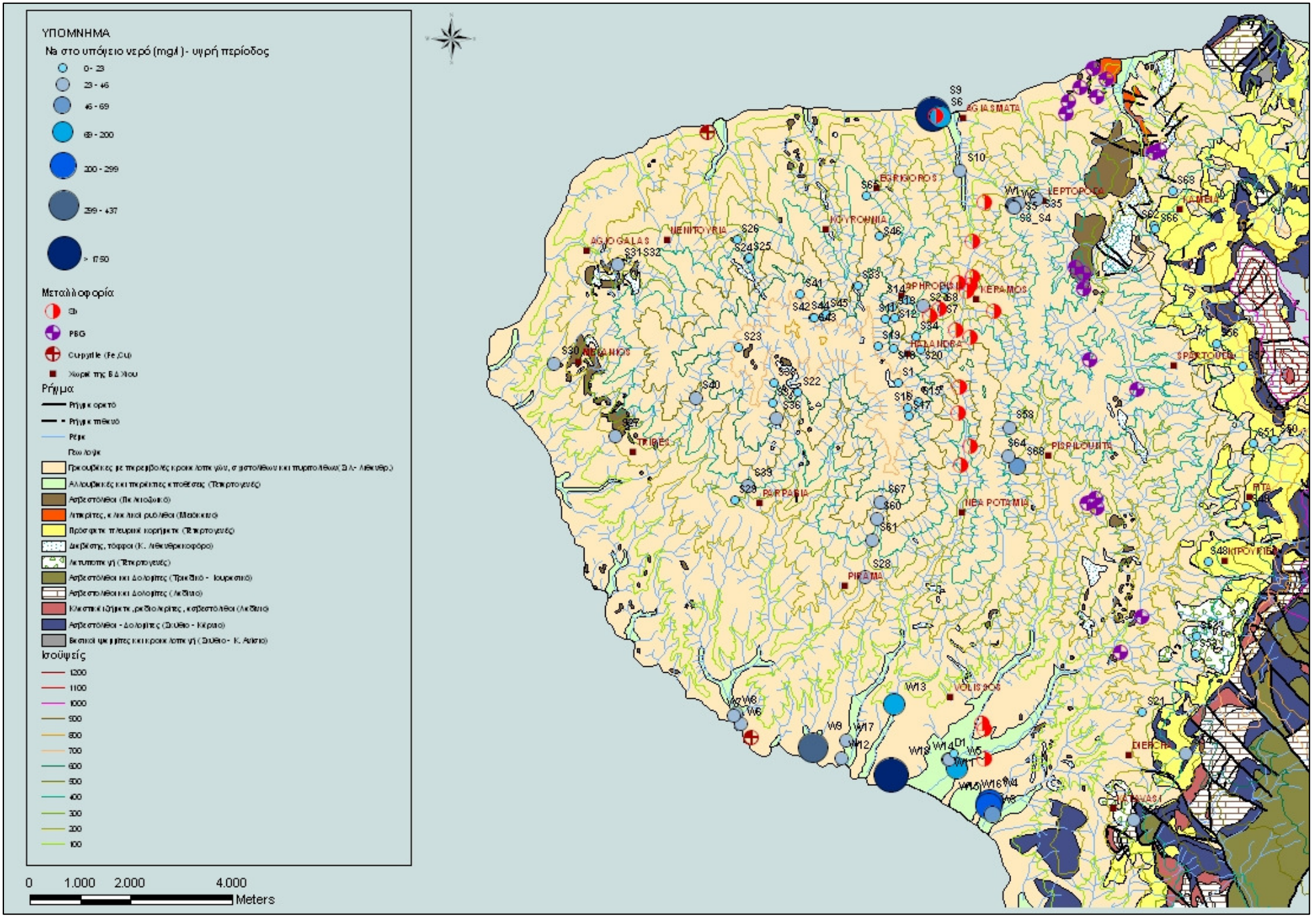
Εικόνα 7.28.: *Ιστόγραμμα περιεχομένων Ca και καμπύλη αθροιστικής συχνότητας για τα δείγματα των πηγαδιών υγρής περιόδου στα νότια παράλια της ΒΔ Χίου.*



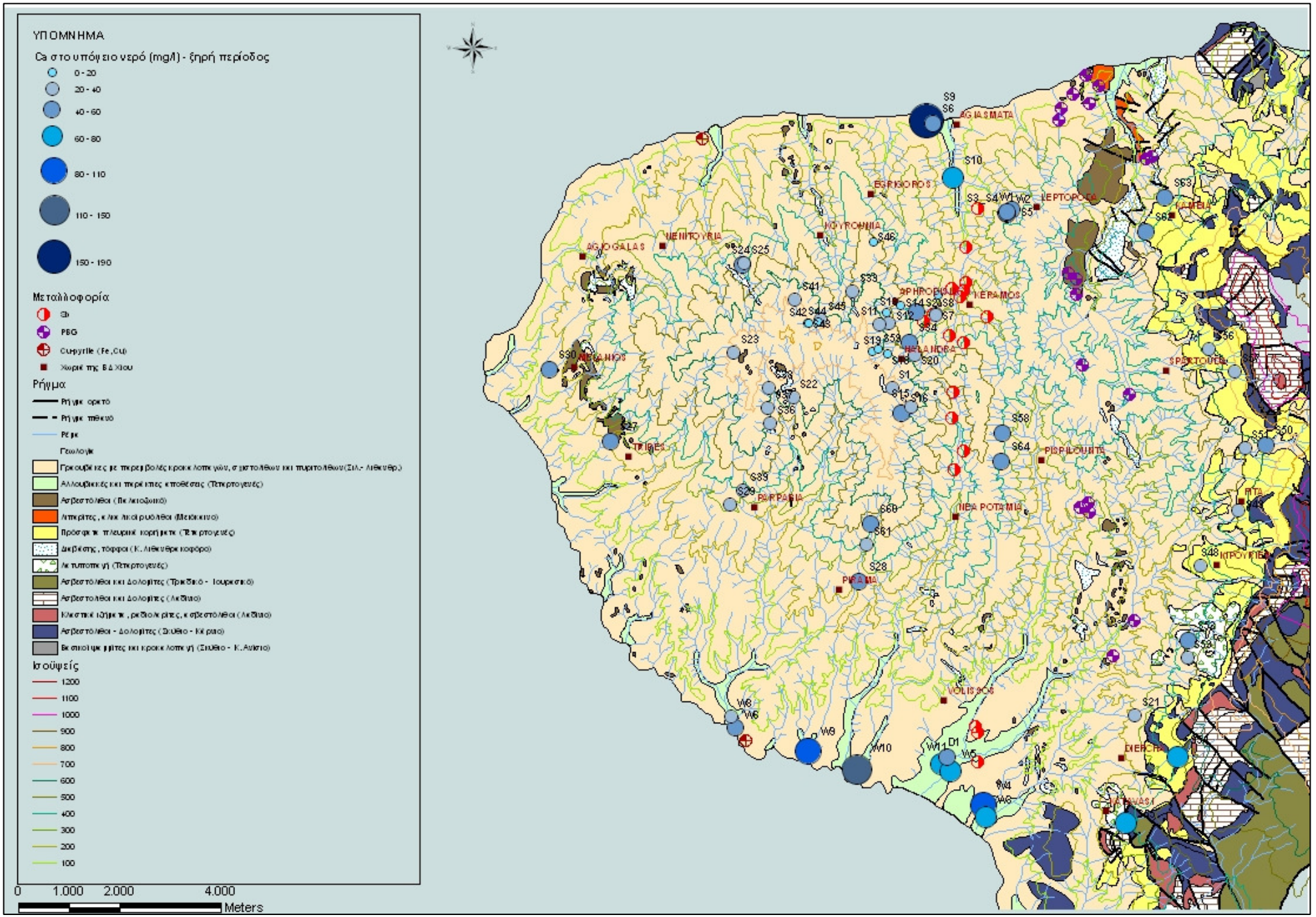
Εικόνα 7.29.: *Ιστόγραμμα περιεχομένων Ca και καμπύλη αθροιστικής συχνότητας για τα δείγματα νερού υγρής περιόδου βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας.*



Εικόνα 7.30.: *Ιστόγραμμα περιεχομένων Ca και καμπύλη αθροιστικής συχνότητας για τα δείγματα νερού ξηρής περιόδου βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας.*



Εικόνα 7.31.: *Γεωχημικός χάρτης κατανομής του Ca στο υπόγειο νερό κατά την ξηρή περίοδο στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*



Εικόνα 7.32.: *Γεωχημικός χάρτης κατανομής του Ca στο υπόγειο νερό κατά την ξηρή περίοδο στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*

Μαγνήσιο (Mg)

Η συγκέντρωση του μαγνησίου στα ολικά δείγματα υπόγειου νερού υγρής και ξηρής περιόδου της περιοχής έρευνας κυμαίνεται από 4 έως 128 mg l^{-1} και 4 έως 98 mg l^{-1} (Πιν. 7.17.), αντίστοιχα. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων του ασβεστίου για την υγρή περίοδο είναι 20 mg l^{-1} και για την ξηρή περίοδο είναι 19 mg l^{-1}.

Όσον αφορά την υγρή περίοδο για τα δείγματα πηγαδιών στα νότια παράλια της περιοχής έρευνας τα δεδομένα υποδιαιρούνται σε 12 κλάσεις με εύρος κλάσης 10 mg l^{-1}. Στο ιστόγραμμα συγκέντρωσης του μαγνησίου υγρής περιόδου που προκύπτει διακρίνεται ένας πληθυσμός με το μεγαλύτερο αριθμό τιμών να εμφανίζεται στο διάστημα 10 – 20 mgl^{-1} (Εικ. 7.33.). Η κατανομή των τιμών του Mg θεωρείται λοξή με «ουρά» προς τα δεξιά. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων του μαγνησίου είναι 48 mg l^{-1}.

Όσον αφορά την υγρή περίοδο για τα δείγματα υπόγειου νερού βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας τα δεδομένα υποδιαιρούνται σε 15 κλάσεις με εύρος κλάσης 3 mg l^{-1}. Στο ιστόγραμμα διακρίνεται ένας πληθυσμός με το μεγαλύτερο αριθμό τιμών να εμφανίζεται στο διάστημα 3 – 7 mgl^{-1} (Εικ. 7.34.). Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων του μαγνησίου είναι 14 mg l^{-1} .

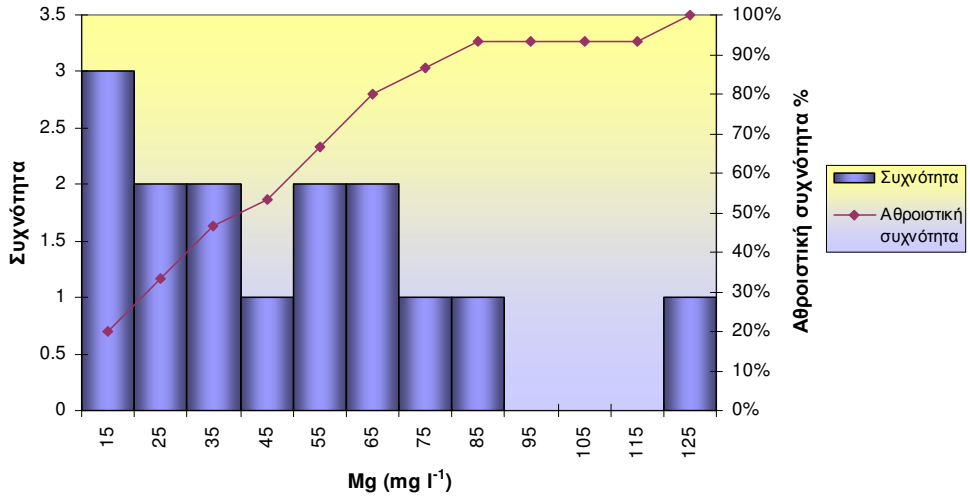
Όσον αφορά την ξηρή περίοδο η συγκέντρωση του μαγνησίου για τα δείγματα στα νότια παράλια της περιοχής μελέτης κυμαίνεται από 12 έως 98 mg l^{-1} με μέση τιμή 51.

Τα δεδομένα ξηρής περιόδου για τα υπόλοιπα δείγματα υπόγειου νερού βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας υποδιαιρούνται σε 14 κλάσεις με εύρος κλάσης 3 mg l^{-1}. Στο ιστόγραμμα διακρίνεται ένας πληθυσμός με το μεγαλύτερο αριθμό τιμών να εμφανίζεται στο διάστημα 6 – 9 mgl^{-1} (Εικ. 7.35.). Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων του μαγνησίου είναι 15 mg l^{-1} .

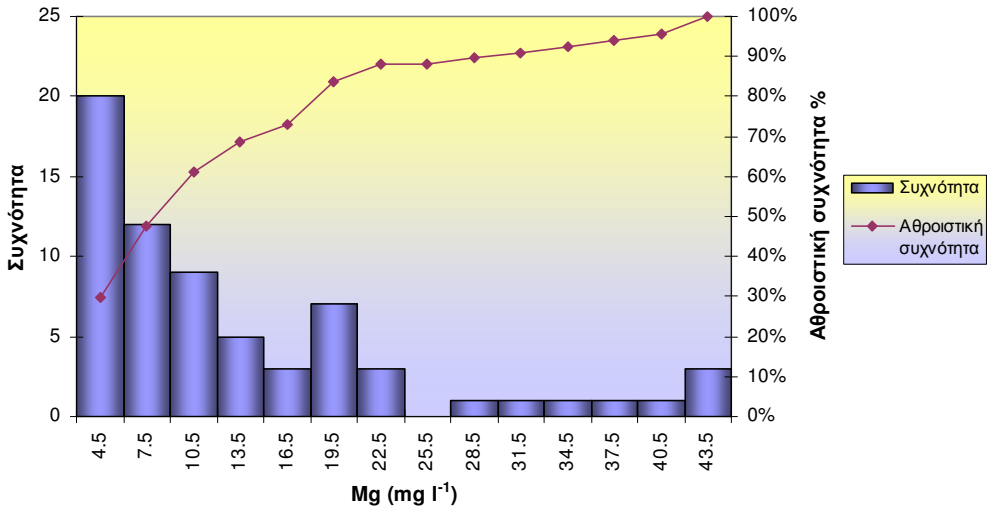
Κατά την υγρή και την ξηρή περίοδο οι γεωχημικοί χάρτες κατανομής του μαγνησίου δε δείχνουν σημαντικές μεταβολές στις συγκεντρώσεις του στο υπόγειο νερό (Εικ. 7.36, 7.37.). Η Ευρωπαϊκή Οδηγία 98/83 δεν αναφέρει επιτρεπτό όριο συγκέντρωσης αυτού του στοιχείου στο πόσιμο νερό.

Πίνακας 7.17.: *Στατιστικά στοιχεία Mg* ($mg\ l^{-1}$) *των ολικών δειγμάτων υπόγειου νερού, δειγμάτων πηγαδιών στα νότια παράλια της ΒΔ Χίου και των δειγμάτων υπόγειου νερού βόρειου (Β) και κεντρικού (Κ) τμήματος της περιοχής έρευνας υγρής* και ξηρής περιόδου.

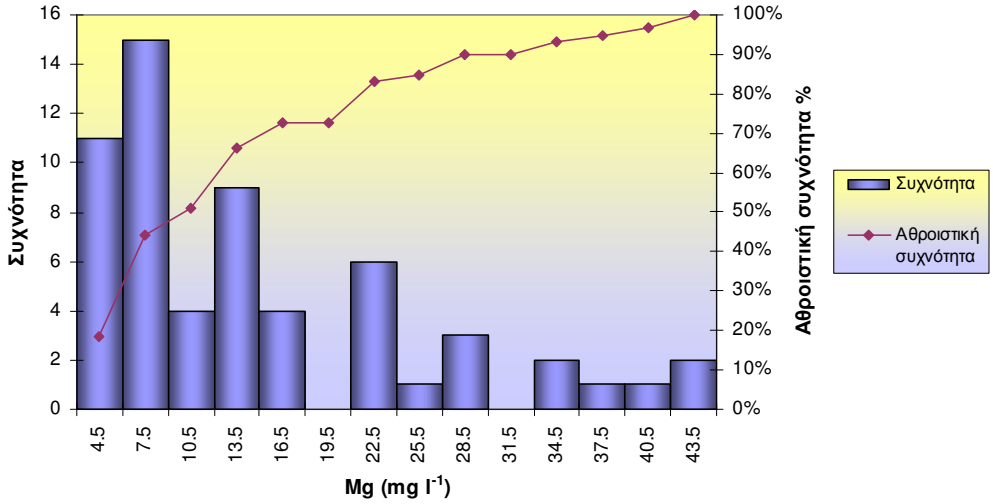
Στατιστικά στοιχεία	Mg (υ) ολικ.δειγ.	Mg (ξ) ολικ..δειγμ.	Mg (υ) πηγάδια	Mg (ξ) πηγάδια	Mg (υ) Β. – Κ.τμ.	Mg (ξ) Β. – Κ.τμ.
Αριθμητικός μέσος	20	19	48	51	14	15
Τυπική απόκλιση	21	18	32	29	11	11
Ελάχιστη τιμή	4	4	11	12	4	4
Μέγιστη τιμή	128	98	128	98	45	45
Πλήθος τιμών	83	68	15	8	67	59



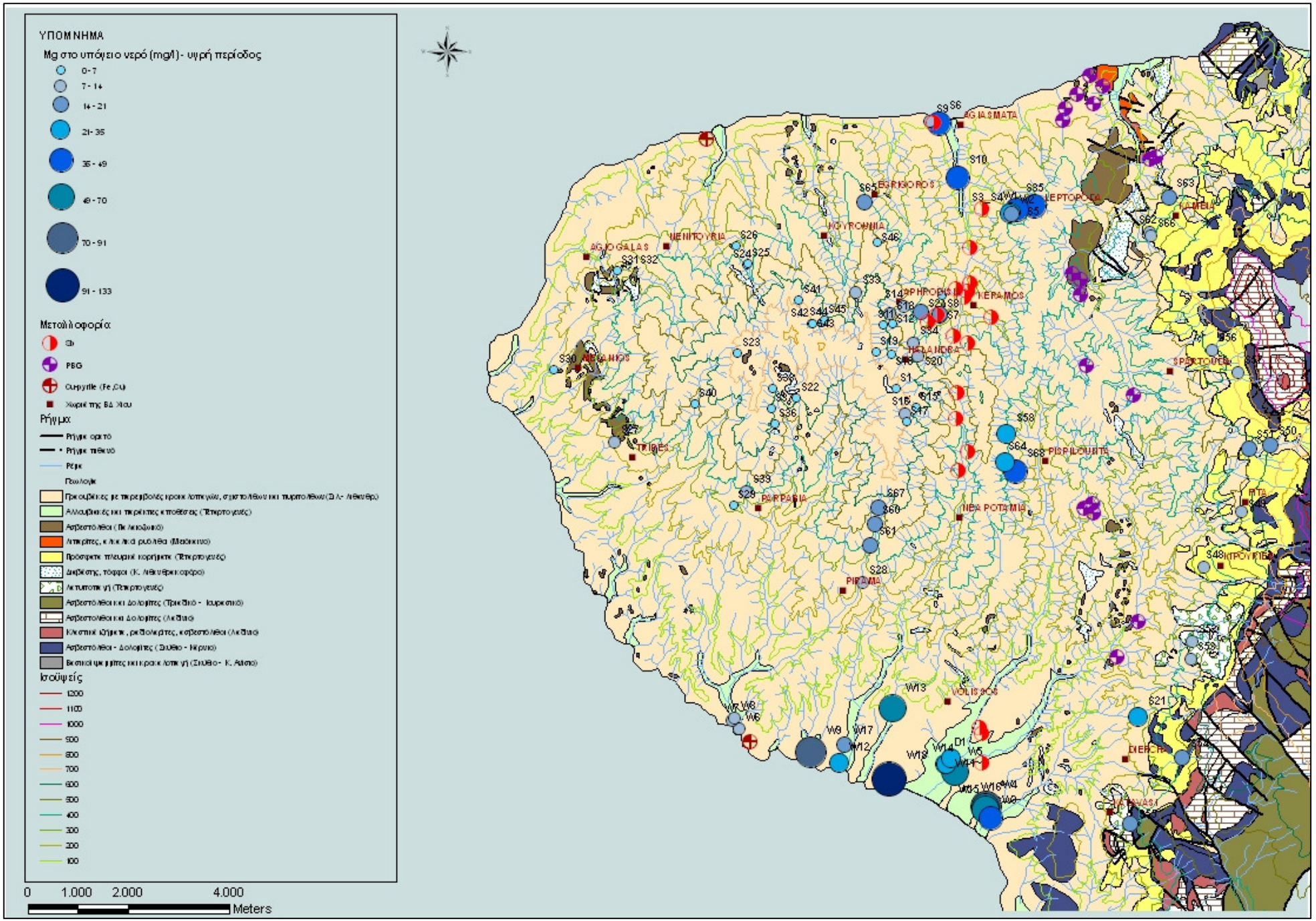
Εικόνα 7.33.: *Ιστόγραμμα περιεχομένων Mg και καμπύλη αθροιστικής συχνότητας για τα δείγματα των πηγαδιών υγρής περιόδου στα νότια παράλια της ΒΔ Χίου.*



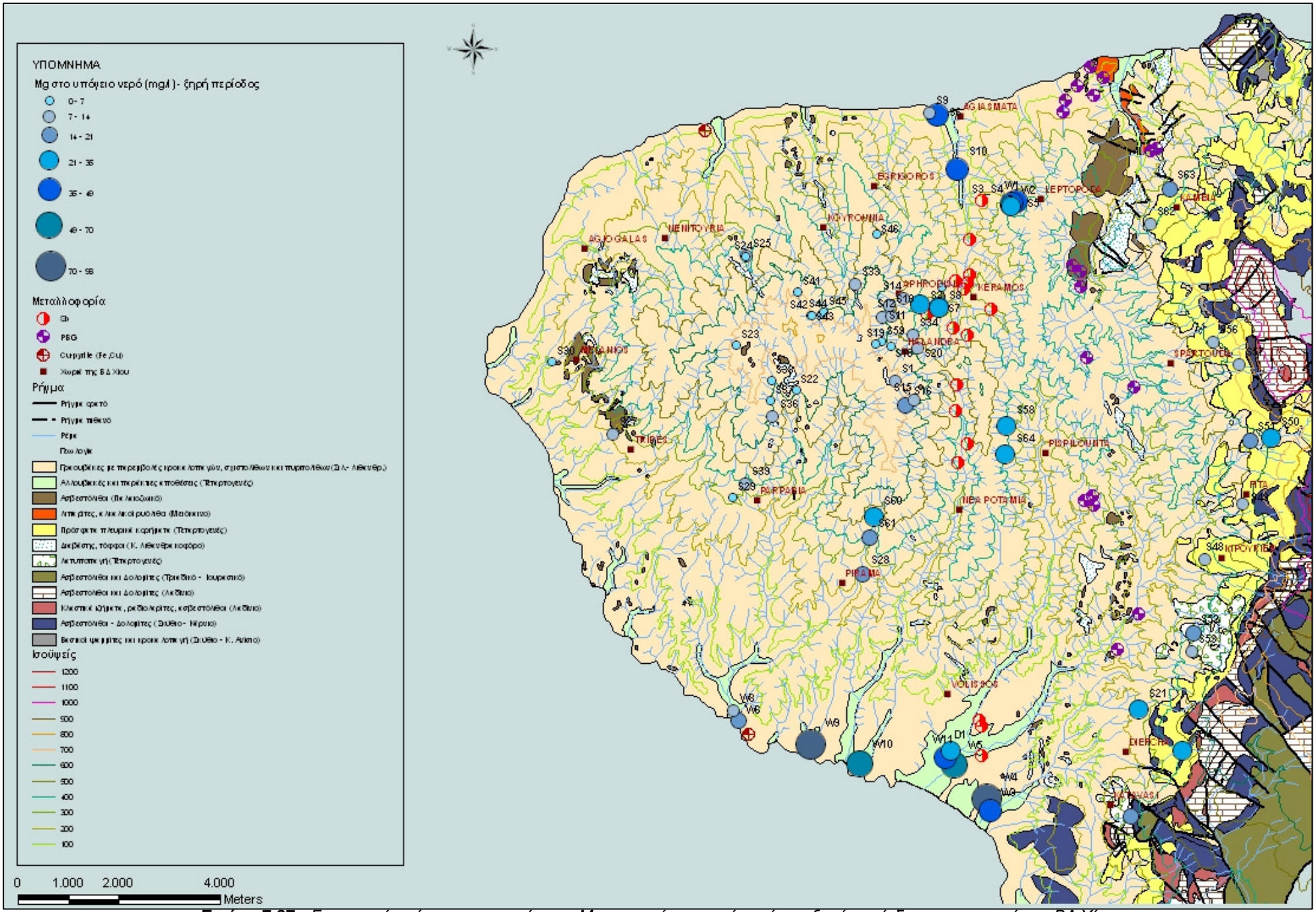
Εικόνα 7.34.: *Ιστόγραμμα περιεχομένων Mg και καμπύλη αθροιστικής συχνότητας για τα δείγματα νερού υγρής περιόδου βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας.*



Εικόνα 7.35.: *Ιστόγραμμα περιεχομένων Mg και καμπύλη αθροιστικής συχνότητας για τα δείγματα νερού ξηρής περιόδου βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας.*



Εικόνα 7.36.: *Γεωχημικός χάρτης κατανομής του Mg στο υπόγειο νερό κατά την υγρή περίοδο στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*



Εικόνα 7.37.: *Γεωχημικός χάρτης κατανομής του Mg στο υπόγειο νερό κατά την ξηρή περίοδο στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*

7.5.2. Κύρια ανιόντα

Θειικά ιόντα (SO_4^{2-})

Η συγκέντρωση των θειικών ιόντων στα ολικά δείγματα υπόγειου νερού υγρής και ξηρής περιόδου της περιοχής έρευνας κυμαίνεται από 12 έως 287 mg l^{-1} και 12 έως 233 mg l^{-1} (Πιν. 7.18.), αντίστοιχα. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων των θειικών ιόντων τόσο για την υγρή (53 mg l^{-1}) όσο και για την ξηρή περίοδο (54 mg l^{-1}) είναι κατώτερη από την επιτρεπόμενη συγκέντρωση των 250 mg l^{-1} σύμφωνα με την οδηγία 98/83 Ε.C.

Όσον αφορά την υγρή περίοδο για τα δείγματα πηγαδιών στα νότια παράλια της περιοχής έρευνας τα δεδομένα υποδιαιρούνται σε 11 κλάσεις με εύρος κλάσης 24 mg l^{-1}. Στο ιστόγραμμα συγκέντρωσης των θειικών ιόντων υγρής περιόδου που προκύπτει διακρίνεται ένας πληθυσμός με το μεγαλύτερο αριθμό τιμών να εμφανίζεται στο διάστημα 24 – 48 mgl^{-1} (Εικ. 7.38.). (Πιν.7.18.). Η κατανομή των τιμών των SO_4^{2-} θεωρείται λοξή με «ουρά» προς τα δεξιά. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων των SO_4^{2-} είναι 124 mg l^{-1} που είναι μικρότερη από την τιμή της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 98/83.

Όσον αφορά την υγρή περίοδο για τα δείγματα υπόγειου νερού βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας τα δεδομένα υποδιαιρούνται σε 16 κλάσεις με εύρος κλάσης 10 mg l^{-1}. Στο ιστόγραμμα διακρίνεται ένας πληθυσμός με το μεγαλύτερο αριθμό τιμών να εμφανίζεται στο διάστημα 20 – 30 mgl^{-1} (Εικ. 7.39.). Η κατανομή των τιμών SO_4^{2-} θεωρείται λοξή με «ουρά» προς τα δεξιά. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων SO_4^{2-} είναι 37 mg l^{-1} που είναι μικρότερη από την τιμή της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 98/83.

Όσον αφορά την ξηρή περίοδο η συγκέντρωση των SO_4^{2-} για τα δείγματα στα νότια παράλια της περιοχής μελέτης κυμαίνεται από 43 έως 233 mg l^{-1} με μέση τιμή 135 mgl^{-1} που είναι κατώτερη από την επιτρεπόμενη συγκέντρωση της οδηγίας 98/83 Ε.C..

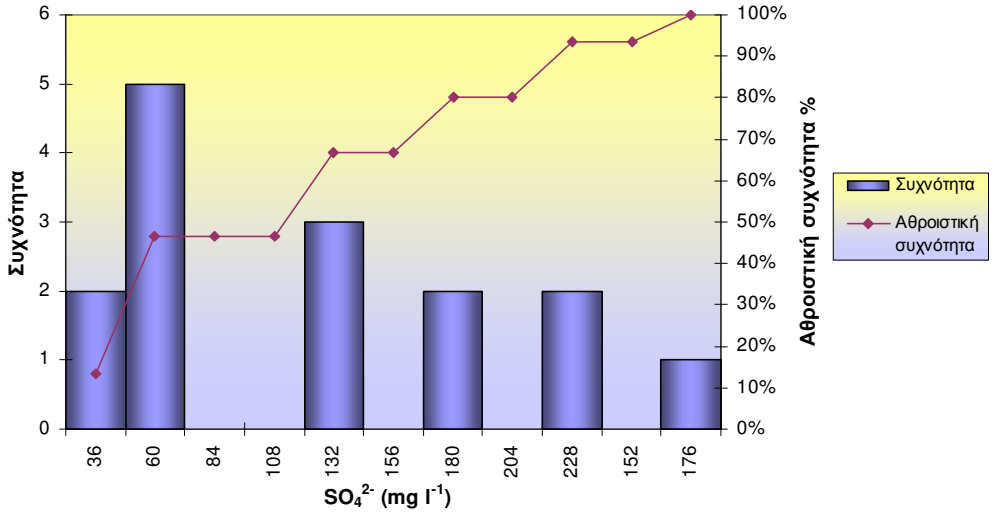
Όσον αφορά την ξηρή περίοδο για δείγματα υπόγειου νερού βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας τα δεδομένα υποδιαιρούνται σε 17 κλάσεις με εύρος κλάσης 10 mg l^{-1}. Στο ιστόγραμμα διακρίνεται ένας πληθυσμός με το μεγαλύτερο αριθμό τιμών να εμφανίζεται στο διάστημα 20 – 30 mgl^{-1} (Εικ. 7.40). Η κατανομή των SO_4^{2-} θεωρείται λοξή με «ουρά» προς τα δεξιά. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων SO_4^{2-} είναι 42 mg l^{-1} που είναι μικρότερη από την τιμή της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 98/83.

Όπως φαίνεται από τους γεωχημικούς χάρτες κατανομής των θειικών ιόντων κατά τις δύο περιόδους οι συγκεντρώσεις δεν παρουσιάζουν αξιόλογες μεταβολές (Εικ. 7.41., 7.42.). Όμως

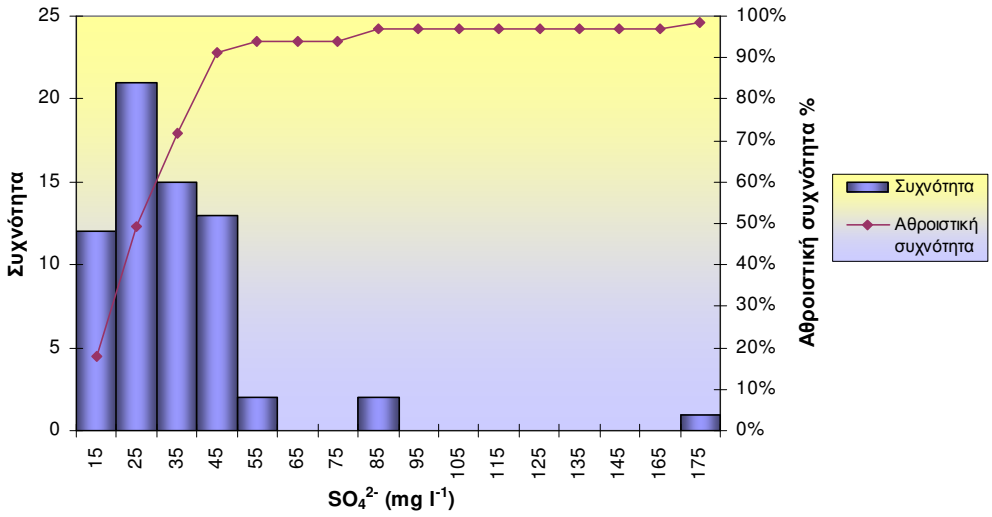
κατά την υγρή περίοδο παρατηρείται στην περιοχή Λήμνος της Βολισσού ένα δείγμα υπόγειου νερού (W18=287 mg l^{-1}) να εμφανίζει συγκέντρωση μεγαλύτερη από την επιτρεπτή τιμή των 250 mg l^{-1} της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 98/83 πράγμα που οφείλεται κυρίως στην εισχώρηση θαλασσινού ύδατος στο υπόγειο νερό. Κατά την ξηρή περίοδο όλες οι τιμές είναι κατώτερες από την τιμή των 250 mg l^{-1}.

Πίνακας 7.18.: *Στατιστικά στοιχεία SO_4^{2-} (mg l^{-1}) των ολικών δειγμάτων υπόγειου νερού, δειγμάτων πηγαδιών στα νότια παράλια της ΒΔ Χίου και των δειγμάτων υπόγειου νερού βόρειου (Β) και κεντρικού (Κ) τμήματος της περιοχής έρευνας υγρής* και ξηρής περιόδου.

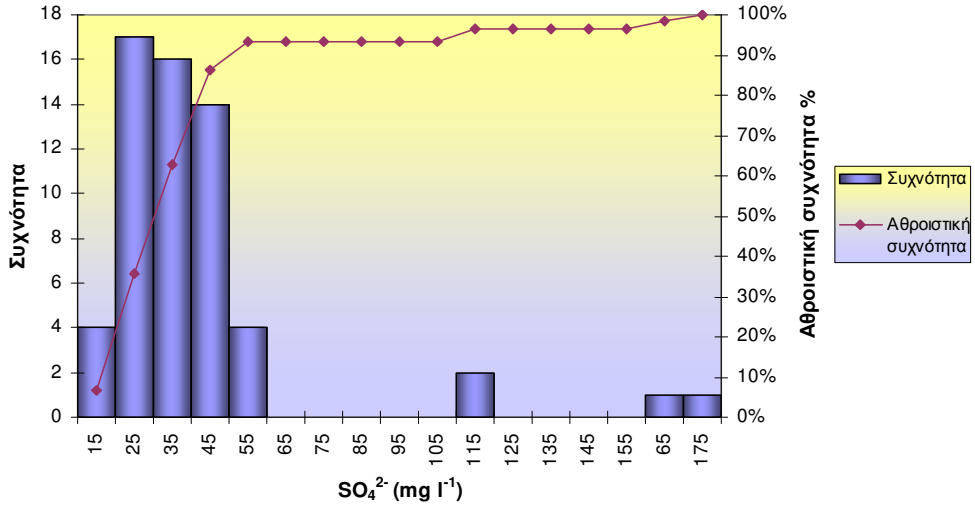
Στατιστικά στοιχεία	SO_4^{2-} (υ) ολικ.δειγ.	SO_4^{2-}(ξ) ολικ..δειγμ.	SO_4^{2-} (υ) πηγάδια	SO_4^{2-}(ξ) πηγάδια.	SO_4^{2-} (υ) Β. – Κ.τμ.	SO_4^{2-}(ξ) Β. – Κ.τμ.
Αριθμητικός μέσος	53	54	124	135	37	42
Τυπική απόκλιση	53	47	82	73	27	30
Ελάχιστη τιμή	12	12	39	43	12	12
Μέγιστη τιμή	287	233	287	233	173	176
Πλήθος τιμών	83	68	15	8	67	59



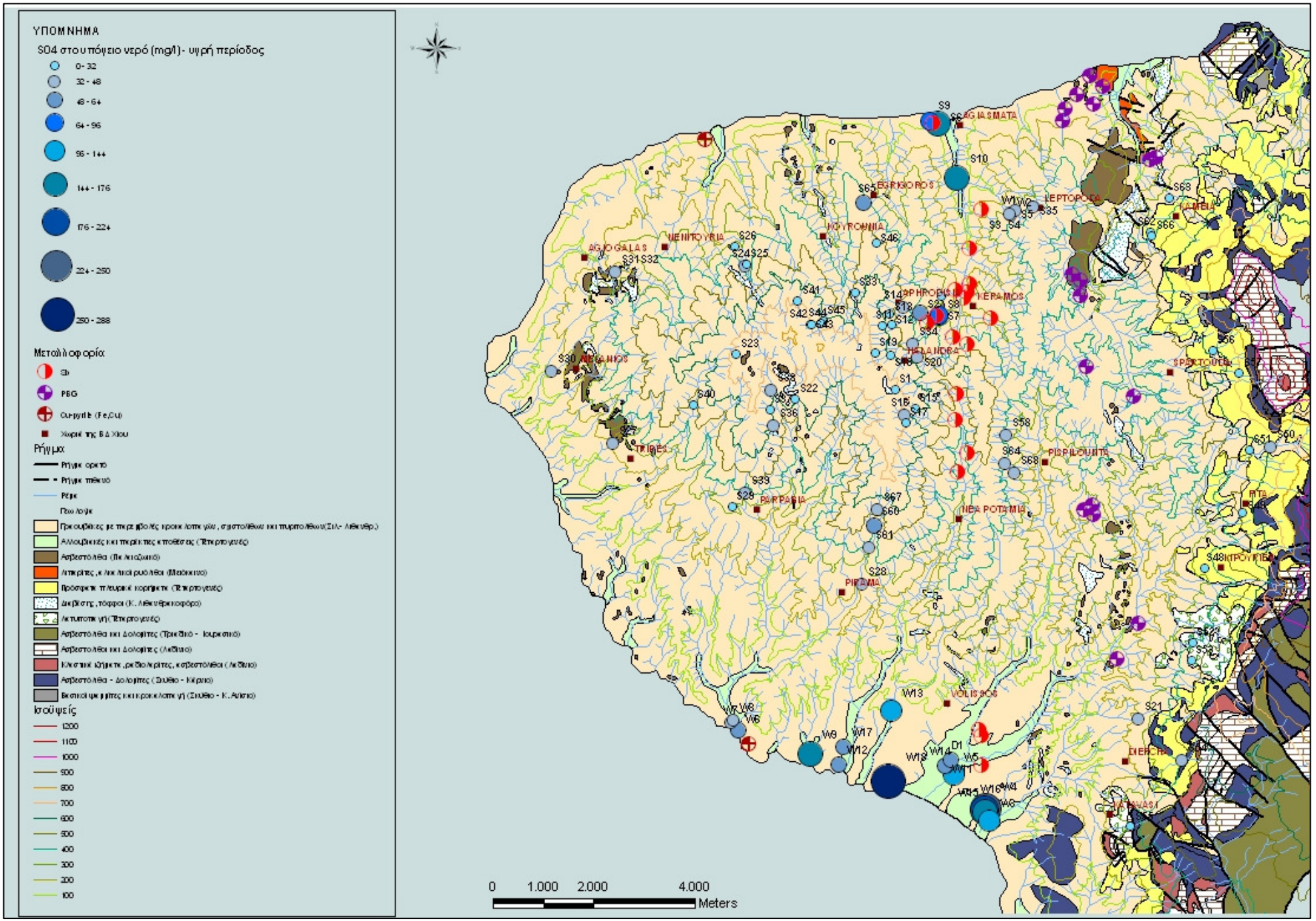
Εικόνα 7.38.: *Ιστόγραμμα περιεχομένων SO_4^{2-} και καμπύλη αθροιστικής συχνότητας για τα δείγματα των πηγαδιών υγρής περιόδου στα νότια παράλια της ΒΔ Χίου.*



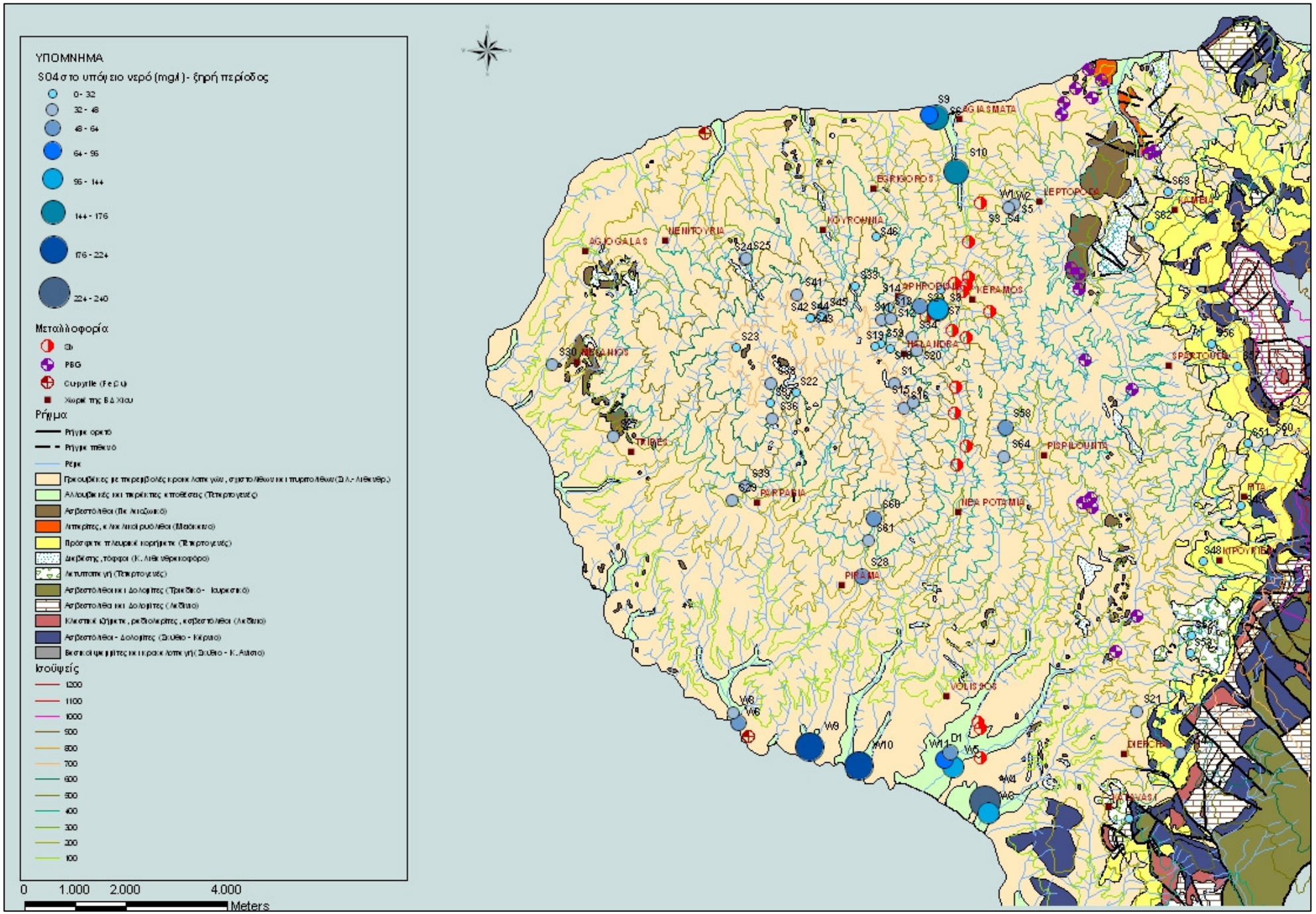
Εικόνα 7.39.: *Ιστόγραμμα περιεχομένων SO_4^{2-} και καμπύλη αθροιστικής συχνότητας για τα δείγματα νερού υγρής περιόδου βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας.*



Εικόνα 7.40.: *Ιστόγραμμα περιεχομένων SO_4^{2-} και καμπύλη αθροιστικής συχνότητας για τα δείγματα νερού ξηρής περιόδου βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας.*



Εικόνα 7.41.: *Γεωχημικός χάρτης κατανομής του $SO4^{2-}$ στο υπόγειο νερό κατά την υγρή περίοδο στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*



Εικόνα 7.42.: *Γεωχημικός χάρτης κατανομής του SO_4^{2-} στο υπόγειο νερό κατά την ξηρή περίοδο στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*

Φωσφόρος (P_2O_5)

Η συγκέντρωση του φωσφόρου στα ολικά δείγματα υπόγειου νερού υγρής και ξηρής περιόδου της περιοχής έρευνας κυμαίνεται από 15 έως 422 μg l^{-1} και 23 έως 461 μg l^{-1} (Πιν. 7.19.), αντίστοιχα. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων του φωσφόρου τόσο για την υγρή (85 μg l^{-1}) όσο και για την ξηρή περίοδο (128 μg l^{-1}) είναι πολύ κατώτερη από την επιτρεπόμενη συγκέντρωση των 5000 μg l^{-1} σύμφωνα με την οδηγία 98/83 Ε.C.

Όσον αφορά την υγρή περίοδο για τα δείγματα πηγαδιών στα νότια παράλια της περιοχής έρευνας τα δεδομένα υποδιαιρούνται σε 9 κλάσεις με εύρος κλάσης 10 μg l^{-1}. Στο ιστόγραμμα συγκέντρωσης του φωσφόρου υγρής περιόδου που προκύπτει διακρίνεται ένας πληθυσμός (Εικ. 7.43.). Η κατανομή των τιμών του P_2O_5 θεωρείται λοξή με «ουρά» προς τα δεξιά. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων του P_2O_5 είναι 80μg l^{-1} που είναι πολύ μικρότερη από την τιμή της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 98/83

Όσον αφορά την υγρή περίοδο για τα δείγματα υπόγειου νερού βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας τα δεδομένα υποδιαιρούνται σε 18 κλάσεις με εύρος κλάσης 24 μg l^{-1}. Στο ιστόγραμμα διακρίνεται ένας πληθυσμός με το μεγαλύτερο αριθμό τιμών να εμφανίζεται στο διάστημα 24 – 48 μgl^{-1} (Εικ. 7.44.). Η κατανομή των τιμών P_2O_5 θεωρείται λοξή με «ουρά» προς τα δεξιά. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων P_2O_5 είναι 61 μg l^{-1} που είναι μικρότερη από την τιμή της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 98/83.

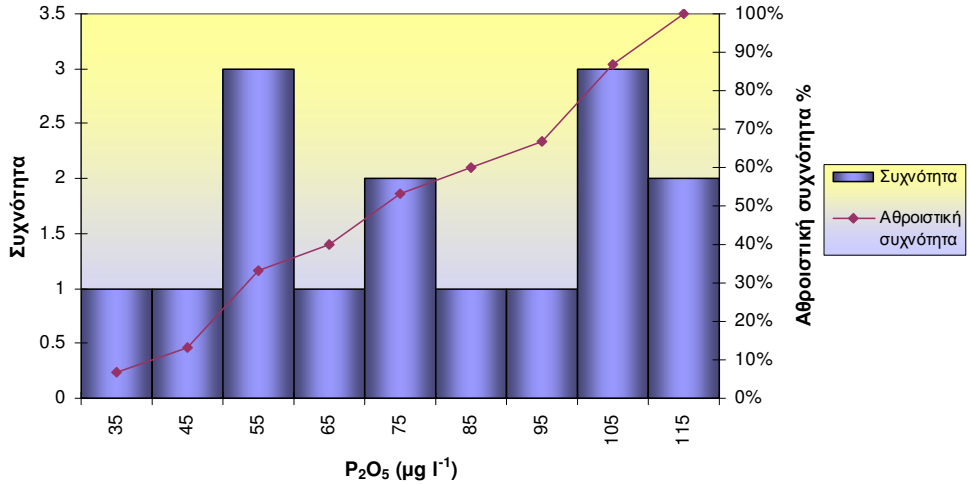
Όσον αφορά την ξηρή περίοδο η συγκέντρωση του P_2O_5 για τα δείγματα στα νότια παράλια της περιοχής μελέτης κυμαίνεται από 55 έως 334 μg l^{-1} με μέση τιμή 172 μgl^{-1} που είναι κατώτερη από την επιτρεπόμενη συγκέντρωση της οδηγίας 98/83 Ε.C..

Όσον αφορά την ξηρή περίοδο για τα υπόλοιπα δείγματα υπόγειου νερού βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας τα δεδομένα υποδιαιρούνται σε 18 κλάσεις με εύρος κλάσης 26 μg l^{-1}. Στο ιστόγραμμα διακρίνεται ένας πληθυσμός με το μεγαλύτερο αριθμό τιμών να εμφανίζεται στο διάστημα 78 – 104 μgl^{-1} (Εικ. 7.45.). Η κατανομή του P_2O_5 θεωρείται λοξή με «ουρά» προς τα δεξιά. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων του P_2O_5 είναι 119 μg l^{-1} που είναι μικρότερη από την τιμή της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 98/83.

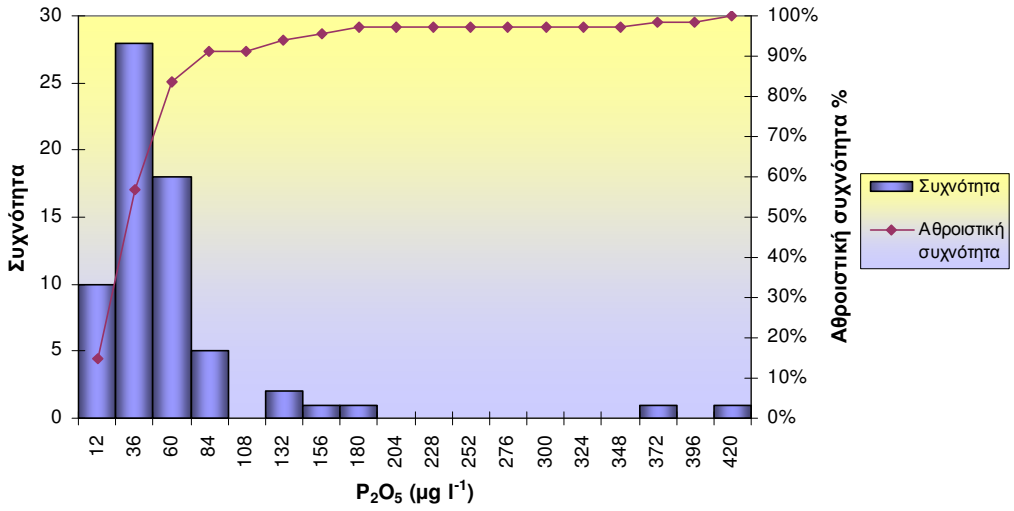
Όπως φαίνεται από τους γεωχημικούς χάρτες κατανομής του φωσφόρου κατά τις δύο περιόδους οι συγκεντρώσεις δεν παρουσιάζουν αξιόλογες μεταβολές (Εικ. 7.46., 7.47.). Όλα τα δείγματα εμφανίζουν συγκεντρώσεις μικρότερες από την τιμή των 5000 μg l^{-1} (98/83 Ε.C.).

Πίνακας 7.19.: *Στατιστικά στοιχεία P_2O_5 ($\mu g\ l^{-1}$) των ολικών δειγμάτων υπόγειου νερού, δειγμάτων πηγαδιών στα νότια παράλια της ΒΔ Χίου και των δειγμάτων υπόγειου νερού βόρειου (Β) και κεντρικού (Κ) τμήματος της περιοχής έρευνας υγρής* και ξηρής περιόδου.

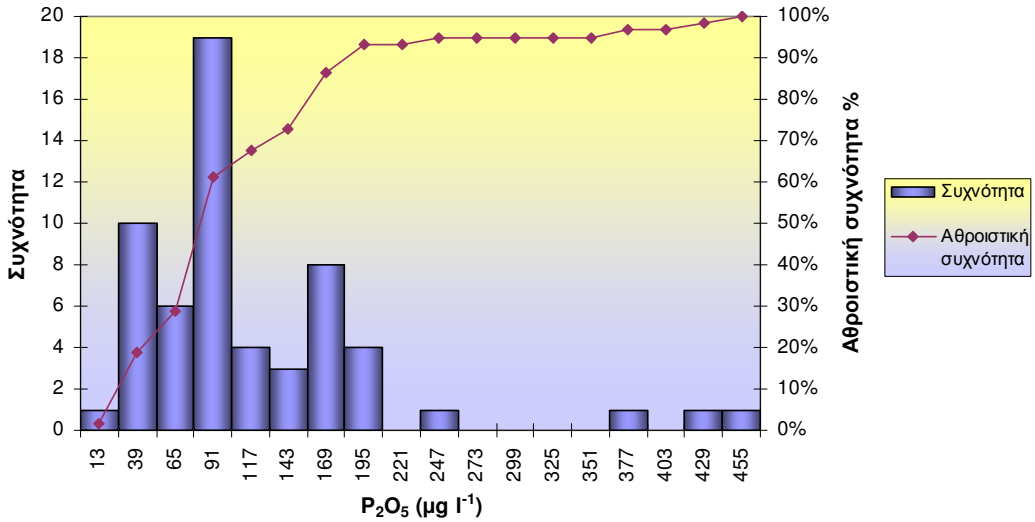
Στατιστικά στοιχεία	P_2O_5 (υ) ολικ.δειγ.	P_2O_5 (ξ) ολικ..δειγμ.	P_2O_5 (υ) πηγάδια	P_2O_5(ξ) πηγάδια.	P_2O_5 (υ) Β. – Κ.τμ.	P_2O_5 (ξ) Β. – Κ.τμ.
Αριθμητικός μέσος	65	128	80	172	61	119
Τυπική απόκλιση	61	91	27	99	67	88
Ελάχιστη τιμή	15	23	40	55	15	23
Μέγιστη τιμή	422	461	120	334	422	461
Πλήθος τιμών	83	68	15	8	67	59



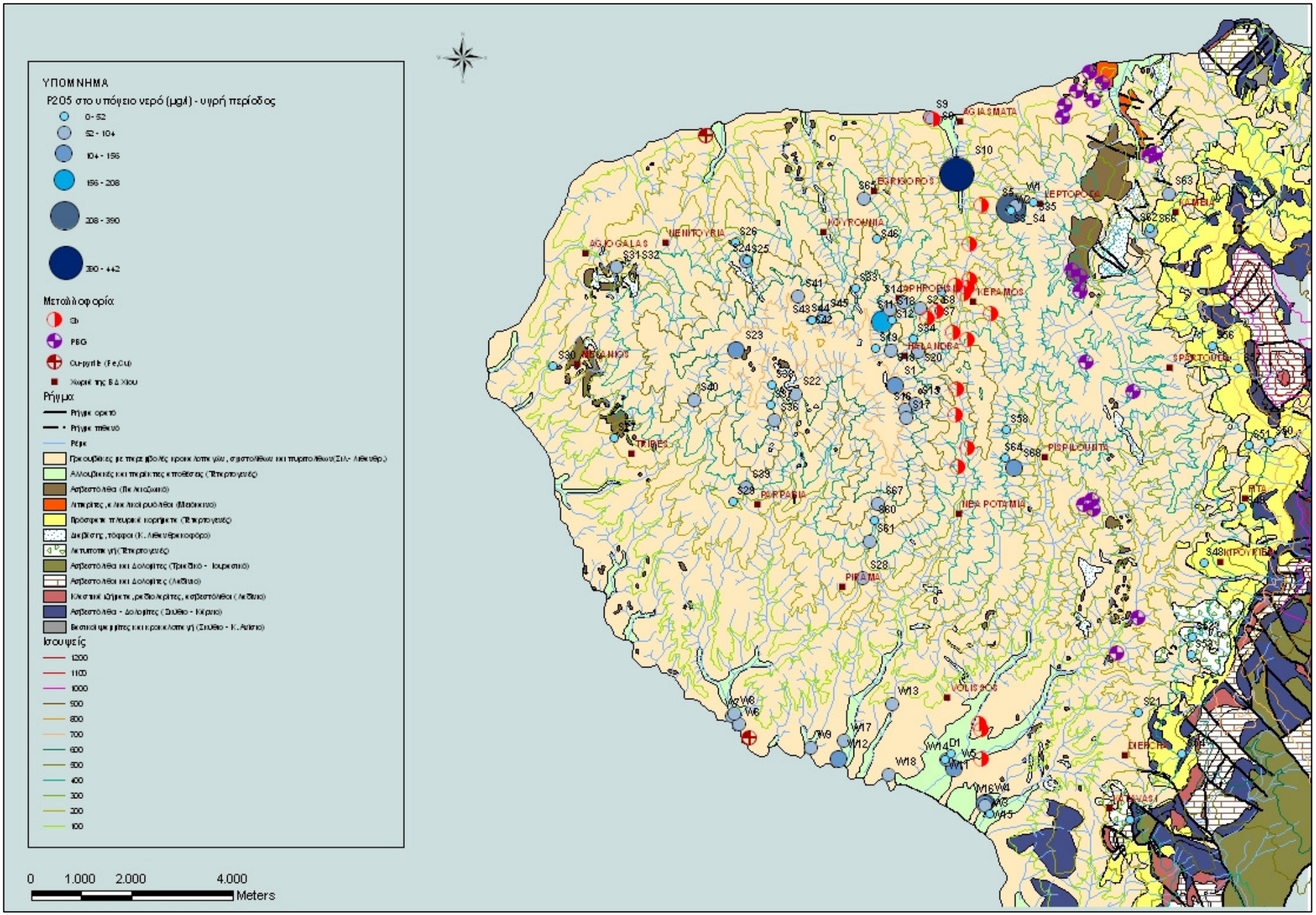
Εικόνα 7.43.: *Ιστόγραμμα περιεχομένων P_2O_5 και καμπύλη αθροιστικής συχνότητας για τα δείγματα των πηγαδιών υγρής περιόδου στα νότια παράλια της ΒΔ Χίου.*



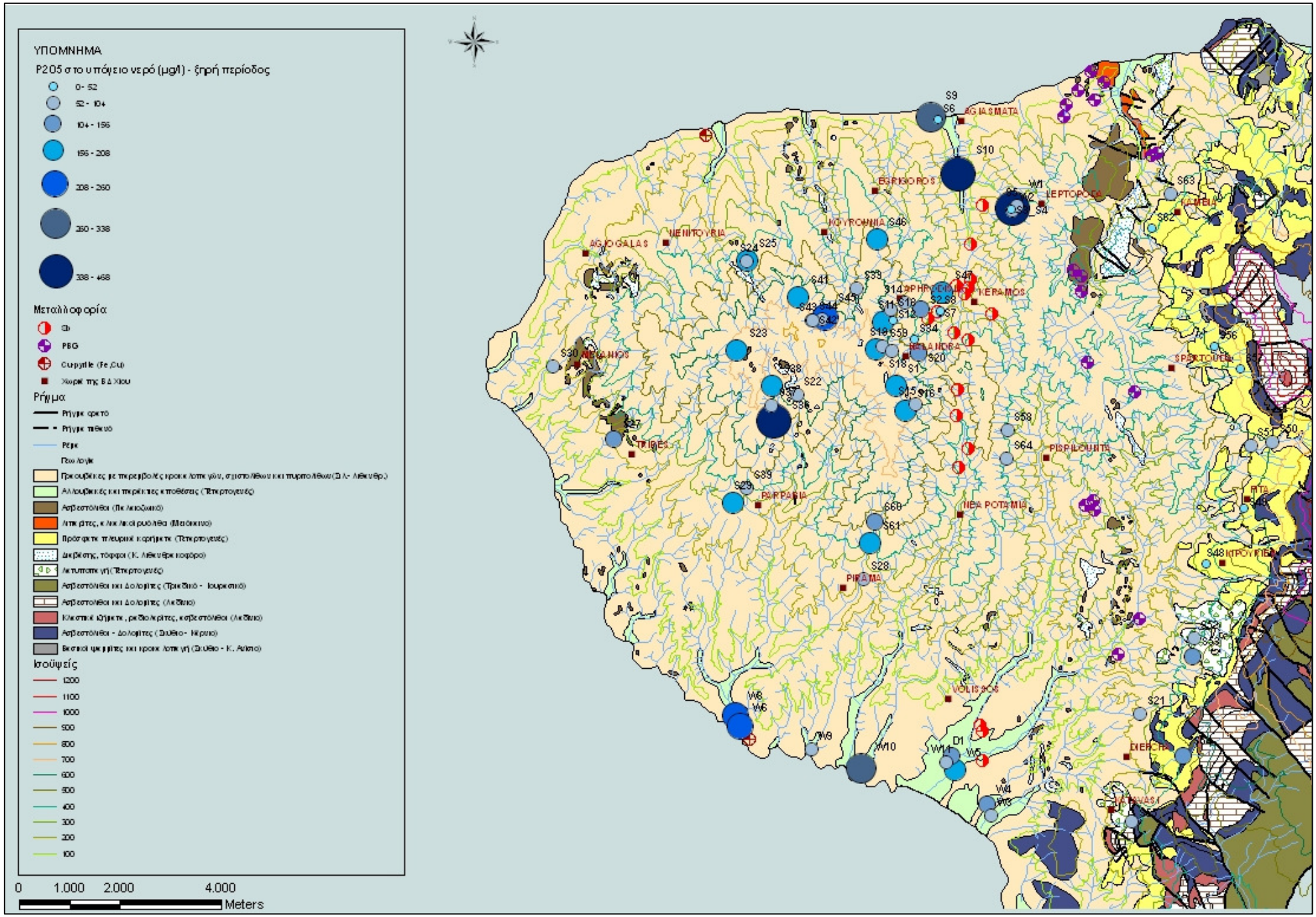
Εικόνα 7.44.: *Ιστόγραμμα περιεχομένων P_2O_5 και καμπύλη αθροιστικής συχνότητας για τα δείγματα νερού υγρής περιόδου βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας.*



Εικόνα 7.45.: *Ιστόγραμμα περιεχομένων P_2O_5 και καμπύλη αθροιστικής συχνότητας για τα δείγματα νερού ξηρής περιόδου βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας.*



Εικόνα 7.46.: *Γεωχημικός χάρτης κατανομής φωσφόρου (P_2O_5) στο υπόγειο νερό κατά την υγρή περίοδο στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*



Εικόνα 7.47.: *Γεωχημικός χάρτης κατανομής φωσφόρου (P_2O_5) στο υπόγειο νερό κατά την ξηρή περίοδο στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*

Νιτρικά ιόντα (NO_3^-)

Η συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων στα ολικά δείγματα υπόγειου νερού υγρής και ξηρής περιόδου της περιοχής έρευνας κυμαίνεται από 1 έως 21 mg l^{-1} και 2 έως 48 mg l^{-1} (Πιν. 7.20.), αντίστοιχα. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων των NO_3^- τόσο για την υγρή (6mg l^{-1}) όσο και για την ξηρή περίοδο (8 mg l^{-1}) είναι κατώτερη από την επιτρεπόμενη συγκέντρωση των 50 mg l^{-1} σύμφωνα με την οδηγία 98/83 Ε.C.

Όσον αφορά την υγρή περίοδο για τα δείγματα πηγαδιών στα νότια παράλια της περιοχής έρευνας τα δεδομένα υποδιαιρούνται σε 9 κλάσεις με εύρος κλάσης 2 mg l^{-1}. Στο ιστόγραμμα συγκέντρωσης των NO_3^- υγρής περιόδου που προκύπτει διακρίνεται ένας πληθυσμός με το μεγαλύτερο αριθμό τιμών να εμφανίζεται στο διάστημα 2 – 4 mgl^{-1} (Εικ. 7.48.). Η κατανομή των τιμών NO_3^- θεωρείται λοξή με «ουρά» προς τα δεξιά. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων των NO_3^- είναι 4 mg l^{-1} που είναι πολύ μικρότερη από την τιμή της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 98/83

Όσον αφορά την υγρή περίοδο για τα δείγματα υπόγειου νερού βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας τα δεδομένα υποδιαιρούνται σε 10 κλάσεις με εύρος κλάσης 2 mg l^{-1}. Στο ιστόγραμμα διακρίνεται ένας πληθυσμός με το μεγαλύτερο αριθμό τιμών να εμφανίζεται στο διάστημα 4 – 6 mgl^{-1} (Εικ. 7.49.). Η κατανομή των τιμών NO_3^-θεωρείται λοξή με «ουρά» προς τα δεξιά. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων NO_3^- είναι 7 mg l^{-1} που είναι μικρότερη από την τιμή της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 98/83

Όσον αφορά την ξηρή περίοδο η συγκέντρωση NO_3^- για τα δείγματα στα νότια παράλια της περιοχής μελέτης κυμαίνεται από 2 έως 48 mg l^{-1} με μέση τιμή 9 mgl^{-1} που είναι κατώτερη από την επιτρεπόμενη συγκέντρωση της οδηγίας 98/83 Ε.C.

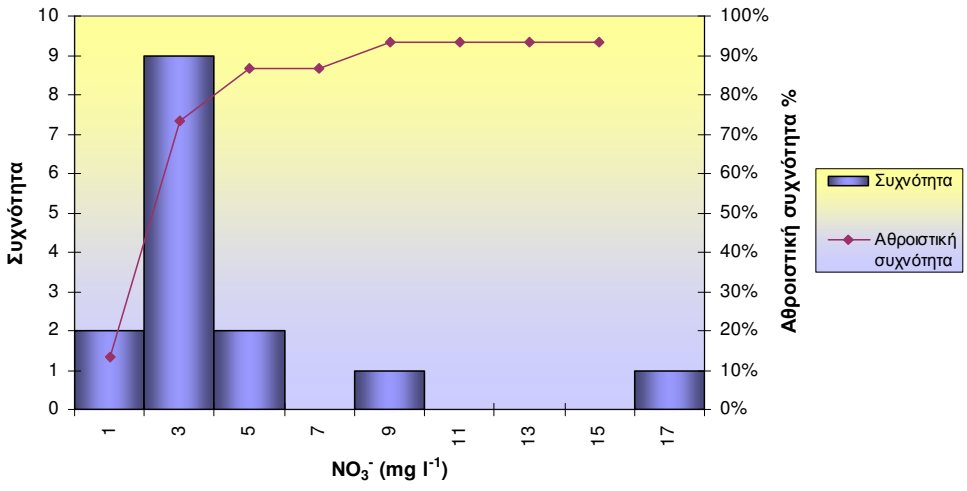
Όσον αφορά την ξηρή περίοδο για τα δείγματα υπόγειου νερού βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας τα δεδομένα υποδιαιρούνται σε 10 κλάσεις με εύρος κλάσης 4 mg l^{-1}. Στο ιστόγραμμα διακρίνεται ένας πληθυσμός με το μεγαλύτερο αριθμό τιμών να εμφανίζεται στο διάστημα 4 – 6 mgl^{-1} (Εικ. 7.50.). Η κατανομή των NO_3^-θεωρείται λοξή με «ουρά» προς τα δεξιά. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων των NO_3^- είναι 7 mg l^{-1} που είναι μικρότερη από την τιμή της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 98/83

Όπως φαίνεται από τους γεωχημικούς χάρτες κατανομής των νιτρικών ιόντων (Εικ. 7.51., 7.52.) κατά τις δύο περιόδους οι συγκεντρώσεις δεν παρουσιάζουν αξιόλογες μεταβολές. Όλα τα δείγματα εμφανίζουν συγκεντρώσεις μικρότερες από την τιμή των 50mg l^{-1} (98/83 Ε.C.). Πρέπει να σημειωθεί ότι το δείγμα W10 στην παραλιακή περιοχή Λήμνος της Βολισσού

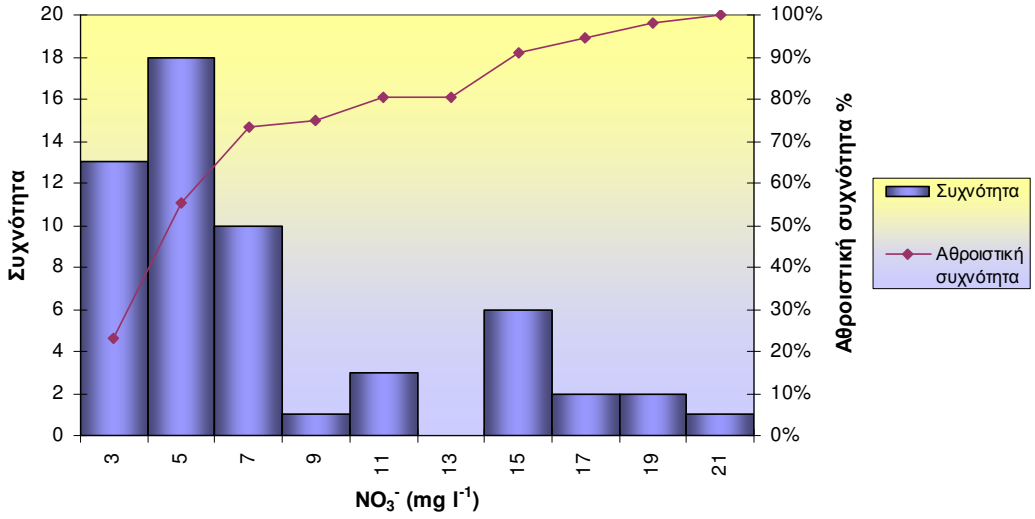
παρουσιάζει συγκέντρωση νιτρικών ιόντων ίση με 48 mg l^{-1} η οποία είναι πολύ κοντά στην επιτρεπτή τιμή της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 98/83. Η αυξημένη συγκέντρωση που παρατηρείται στη συγκεκριμένη θέση πιθανόν να οφείλεται σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες (φυτοφάρμακα – λιπάσματα).

Πίνακας 7.18.: *Στατιστικά στοιχεία NO_3^- (mg l^{-1}) των ολικών δειγμάτων υπόγειου νερού, δειγμάτων πηγαδιών στα νότια παράλια της ΒΔ Χίου και των δειγμάτων υπόγειου νερού βόρειου (Β) και κεντρικού (Κ) τμήματος της περιοχής έρευνας υγρής* και ξηρής περιόδου.

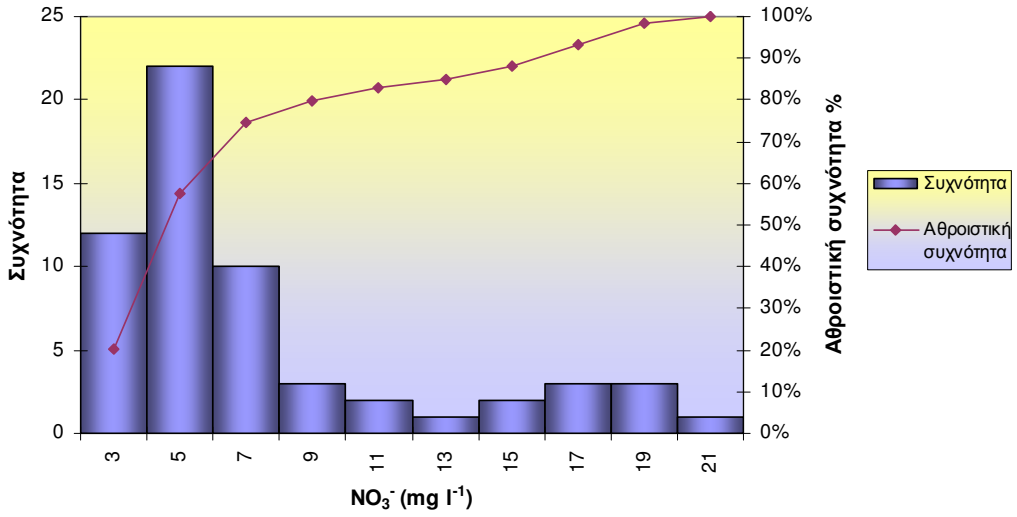
Στατιστικά στοιχεία	NO_3^-(υ) ολικ.δειγ.	NO_3^-(ξ) ολικ..δειγμ.	NO_3^- (υ) πηγάδια	NO_3^-(ξ) πηγάδια.	NO_3^- (υ) Β. – Κ.τμ.	NO_3^- (ξ) Β. – Κ.τμ.
Αριθμητικός μέσος	6	8	4	9	7	7
Τυπική απόκλιση	5	7	4	16	5	5
Ελάχιστη τιμή	1	2	1	2	2	2
Μέγιστη τιμή	21	48	17	48	21	21
Πλήθος τιμών	83	68	15	8	67	59



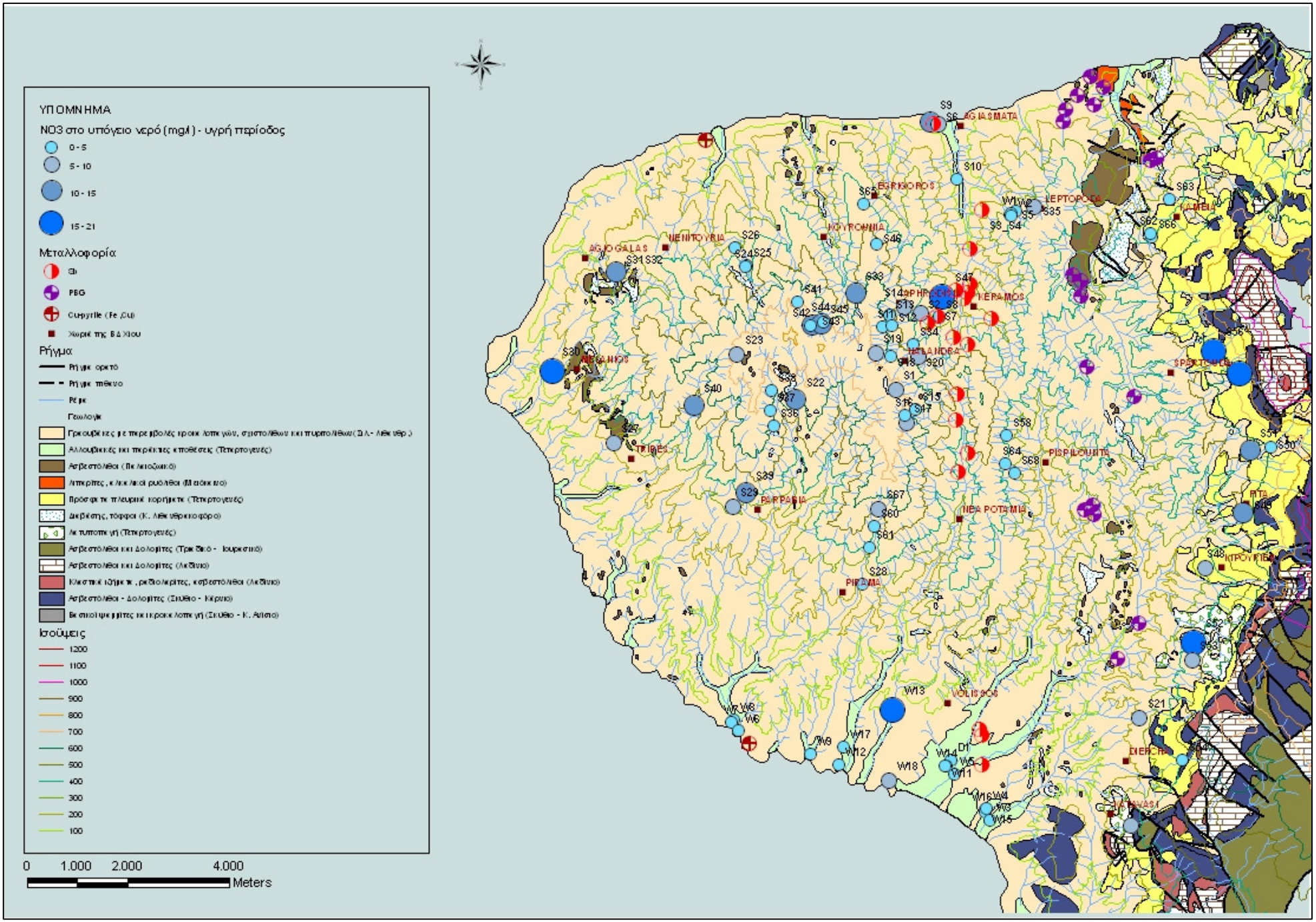
Εικόνα 7.48.: *Ιστόγραμμα περιεχομένων NO_3^- και καμπύλη αθροιστικής συχνότητας για τα δείγματα των πηγαδιών υγρής περιόδου στα νότια παράλια της ΒΔ Χίου.*



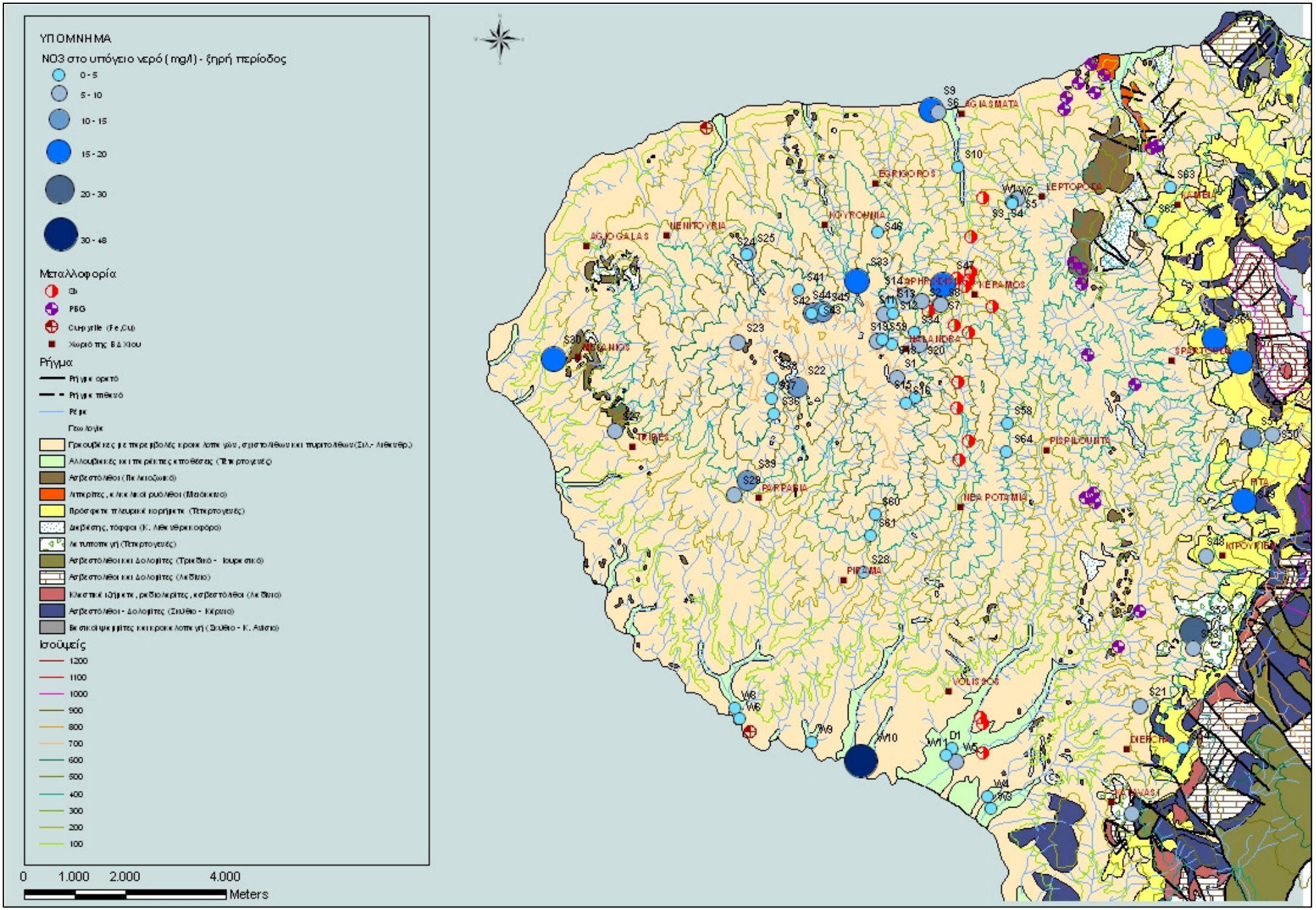
Εικόνα 7.49.: *Ιστόγραμμα περιεχομένων NO_3^- και καμπύλη αθροιστικής συχνότητας για τα δείγματα νερού υγρής περιόδου βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας.*



Εικόνα 7.50.: *Ιστόγραμμα περιεχομένων NO_3^- και καμπύλη αθροιστικής συχνότητας για τα δείγματα νερού ξηρής περιόδου βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας.*



Εικόνα 7.51. : *Γεωχημικός χάρτης κατανομής των NO_3^- στο υπόγειο νερό κατά την υγρή περίοδο στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*



Εικόνα 7.52. : *Γεωχημικός χάρτης κατανομής των NO_3^- στο υπόγειο νερό κατά την ξηρή περίοδο στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*

Όξινα ανθρακικά ιόντα (HCO_3^-)

Η συγκέντρωση των όξινων ανθρακικών ιόντων στα ολικά δείγματα υπόγειου νερού υγρής και ξηρής περιόδου της περιοχής έρευνας κυμαίνεται από 17 έως 440 mg l^{-1} και 23 έως 450 mg l^{-1} (Πιν. 7.21.), αντίστοιχα. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων του HCO_3^- για την υγρή περίοδο είναι 148 mg l^{-1} και για την ξηρή περίοδο είναι 150 mg l^{-1}.

Όσον αφορά την υγρή περίοδο για τα δείγματα πηγαδιών στα νότια παράλια της περιοχής έρευνας τα δεδομένα υποδιαιρούνται σε 11 κλάσεις με εύρος κλάσης 36 mg l^{-1}. Στο ιστόγραμμα συγκέντρωσης των HCO_3^- υγρής περιόδου που προκύπτει διακρίνεται ένας πληθυσμός με το μεγαλύτερο αριθμό τιμών να εμφανίζεται στο διάστημα 288 – 324 mgl^{-1} (Εικ. 7.53.). Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων HCO_3^- είναι 279 mg l^{-1} . Όσον αφορά την υγρή περίοδο για τα δείγματα υπόγειου νερού βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας τα δεδομένα υποδιαιρούνται σε 17 κλάσεις με εύρος κλάσης 20 mg l^{-1}. Στο ιστόγραμμα διακρίνονται δύο πληθυσμοί με το μεγαλύτερο αριθμό τιμών να εμφανίζεται στο διάστημα 40 – 60 mgl^{-1} για τον πρώτο πληθυσμό και 140 – 160 mgl^{-1} για το δεύτερο πληθυσμό (Εικ. 7.54.). Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων του HCO_3^- είναι 118 mg l^{-1} .

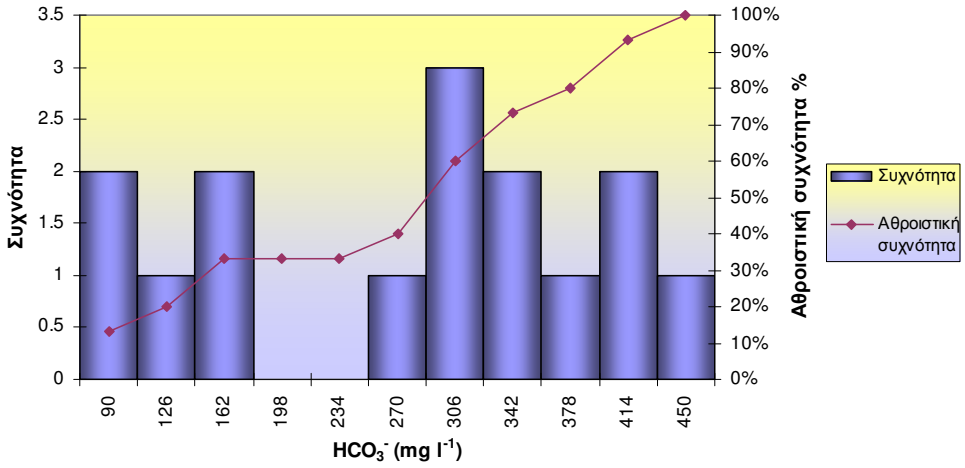
Όσον αφορά την ξηρή περίοδο η συγκέντρωση του HCO_3^- για τα δείγματα στα νότια παράλια της περιοχής μελέτης κυμαίνεται από 110 έως 450 mg l^{-1} με μέση τιμή 318.

Τα δεδομένα ξηρής περιόδου για τα δείγματα υπόγειου νερού βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας υποδιαιρούνται σε 15 κλάσεις με εύρος κλάσης 20 mg l^{-1}. Στο ιστόγραμμα διακρίνεται ένας πληθυσμός με το μεγαλύτερο αριθμό τιμών να εμφανίζεται στο διάστημα 60 – 80 mgl^{-1} (Εικ. 7.55.). Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων του HCO_3^- είναι 125 mg l^{-1} .

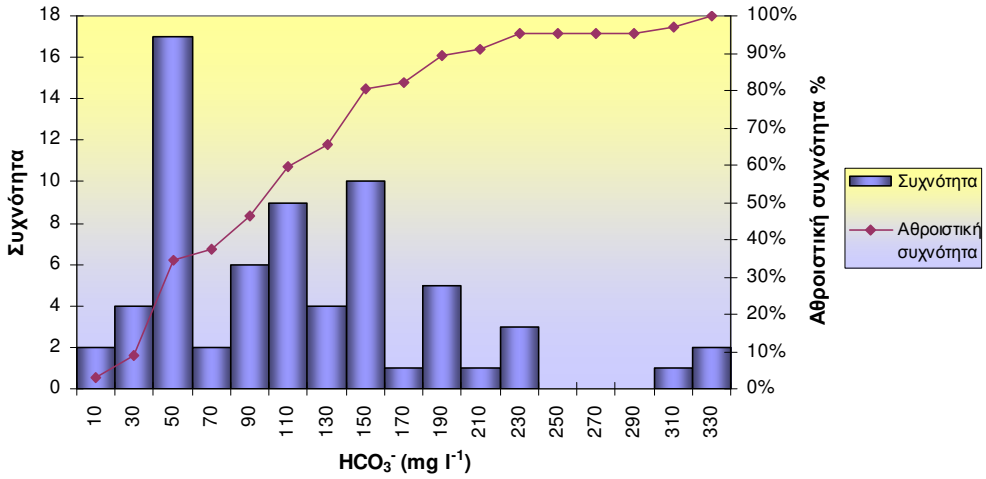
Οι γεωχημικοί χάρτες κατανομής των όξινων ανθρακικών ιόντων υγρής και ξηρής περιόδου (Εικ. 7.56., 7.57.) δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερες μεταβολές όσον αφορά τις περιεκτικότητες στο υπόγειο νερό. Η Ευρωπαϊκή Οδηγία 98/83 δεν αναφέρει επιτρεπτό όριο συγκέντρωσης των HCO_3^- στο πόσιμο νερό.

Πίνακας 7.21.: *Στατιστικά στοιχεία HCO_3^- των ολικών δειγμάτων υπόγειου νερού, δειγμάτων πηγαδιών στα νότια παράλια της ΒΔ Χίου και των δειγμάτων υπόγειου νερού βόρειου (Β) και κεντρικού (Κ) τμήματος της περιοχής έρευνας υγρής* και ξηρής περιόδου.

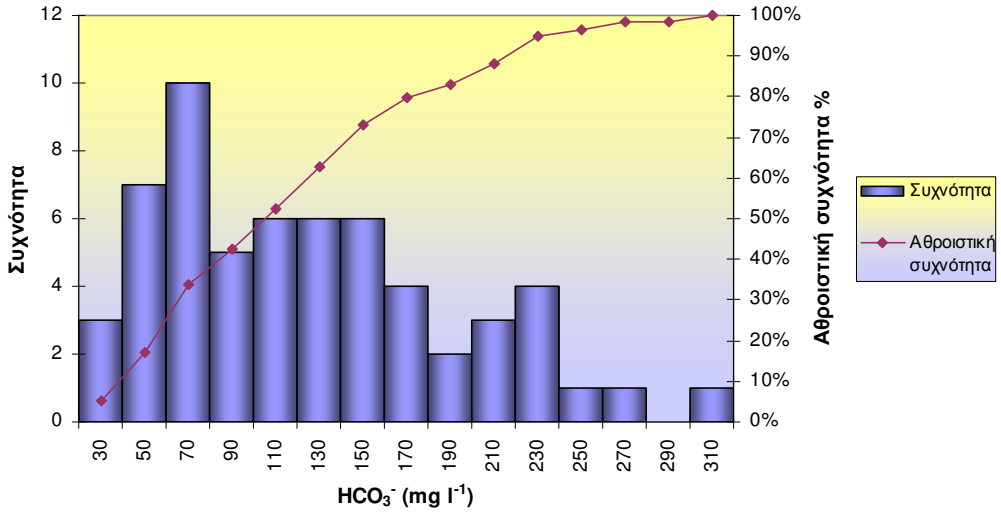
Στατιστικά στοιχεία	HCO_3^- (υ) ολικ.δειγ.	HCO_3^-(ξ) ολικ..δειγμ.	HCO_3^-(υ) πηγάδια	HCO_3^-(ξ) πηγάδια.	HCO_3^- (υ) Β. – Κ.τμ.	HCO_3^-(ξ) Β. – Κ.τμ.
Αριθμητικός μέσος	148	150	279	318	116	125
Τυπική απόκλιση	104	12	117	127	74	68
Ελάχιστη τιμή	17	23	101	110	17	23
Μέγιστη τιμή	440	450	440	450	340	320
Πλήθος τιμών	83	68	15	8	67	59



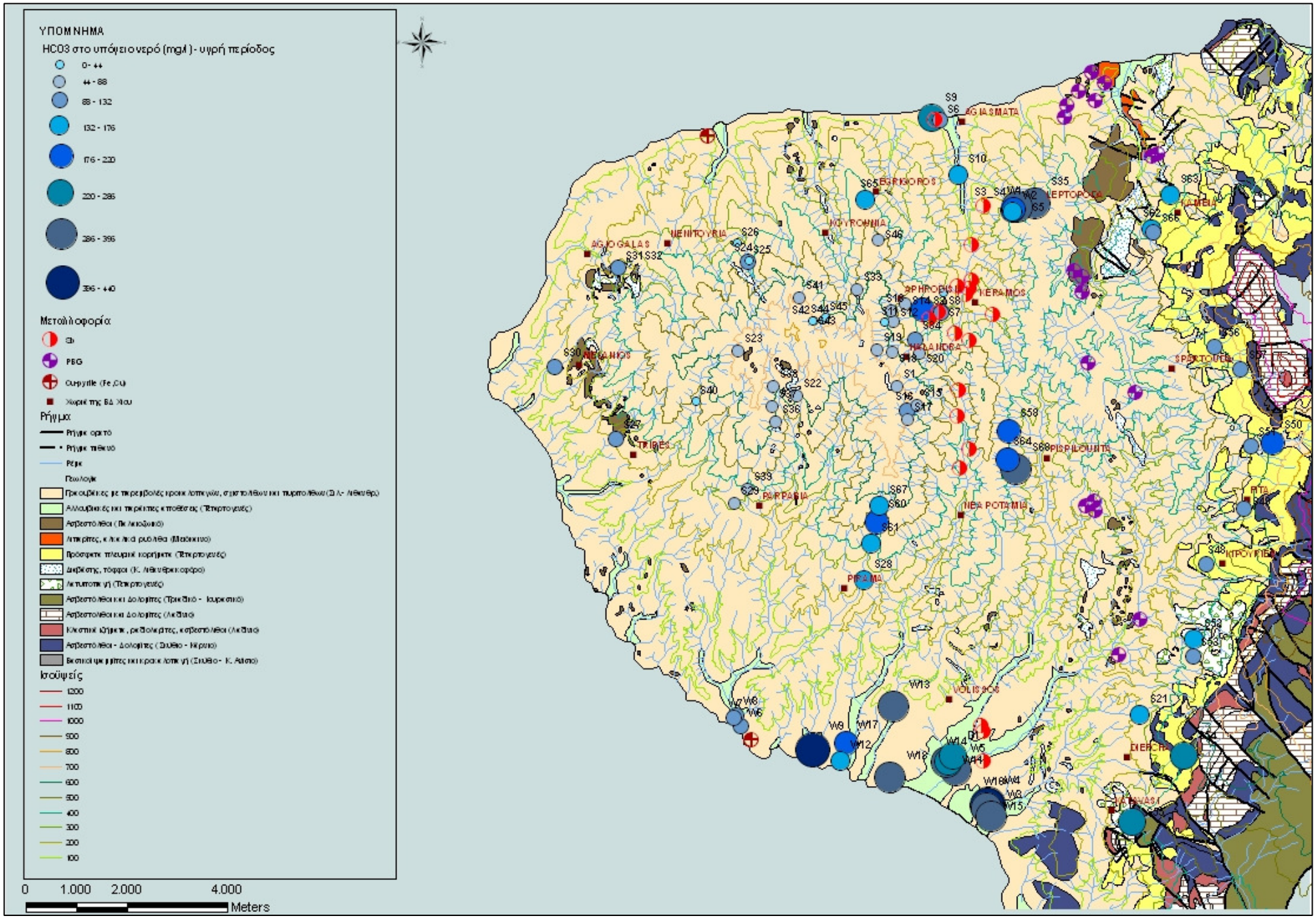
Εικόνα 7.53.: *Ιστόγραμμα περιεχομένων HCO_3^- και καμπύλη αθροιστικής συχνότητας για τα δείγματα των πηγαδιών υγρής περιόδου στα νότια παράλια της ΒΔ Χίου.*



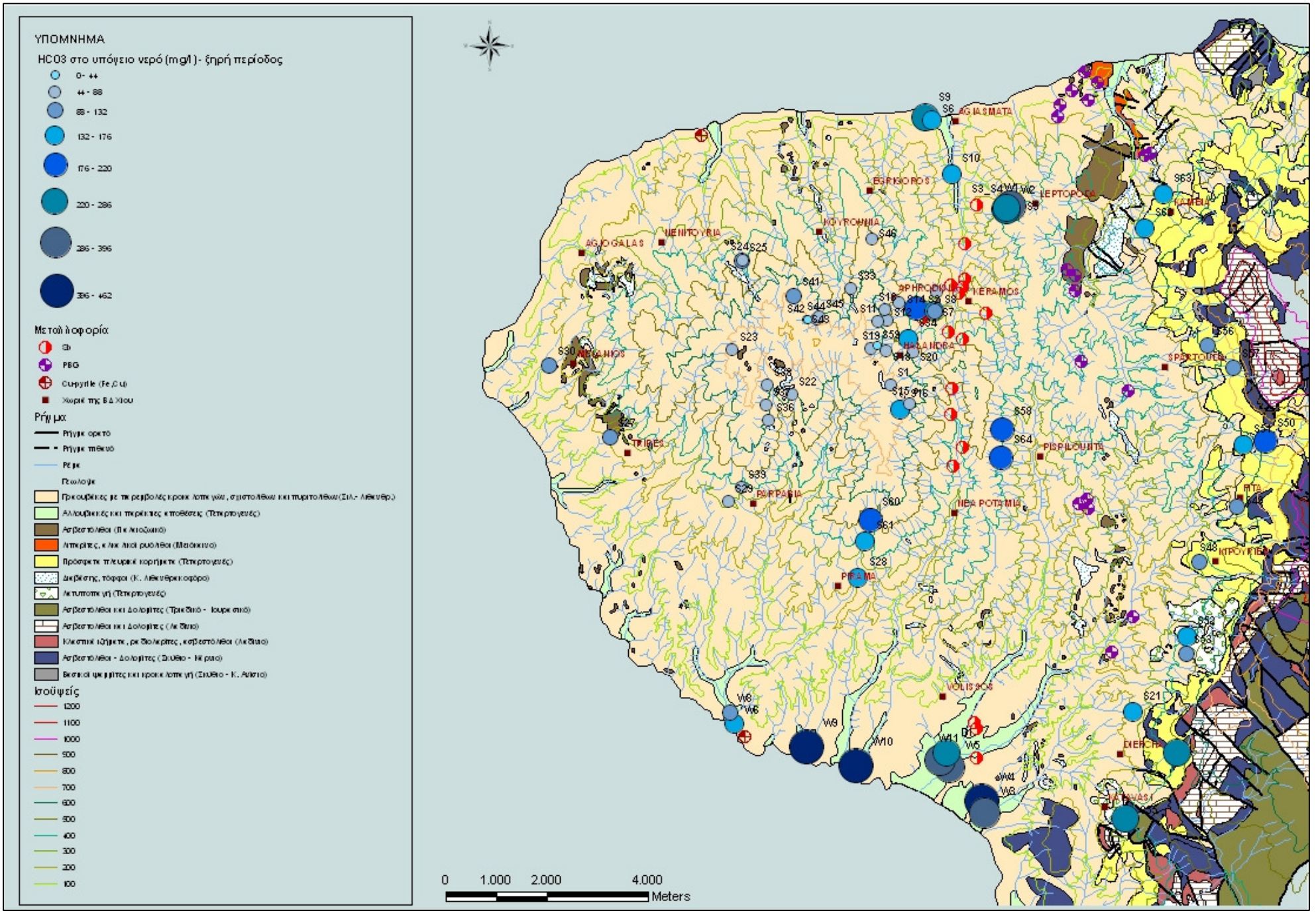
Εικόνα 7.54.: *Ιστόγραμμα περιεχομένων HCO_3^- και καμπύλη αθροιστικής συχνότητας για τα δείγματα νερού υγρής περιόδου βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας.*



Εικόνα 7.55.: *Ιστόγραμμα περιεχομένων HCO_3^- και καμπύλη αθροιστικής συχνότητας για τα δείγματα νερού ξηρής περιόδου βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας.*



Εικόνα 7.56.: *Γεωχημικός χάρτης κατανομής των HCO_3^- στο υπόγειο νερό κατά την υγρή περίοδο στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*



Εικόνα 7.57.: *Γεωχημικός χάρτης κατανομής των HCO_3^- στο υπόγειο νερό κατά την ξηρή περίοδο στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*

Χλωριόντα (Cl⁻)

Η συγκέντρωση του χλωρίου στα ολικά δείγματα υπόγειου νερού υγρής και ξηρής περιόδου της περιοχής έρευνας κυμαίνεται από 11 έως 3530 mg l^{-1} και 13 έως 3870 mg l^{-1} (Πιν. 7.22.), αντίστοιχα. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων του χλωρίου τόσο για την υγρή (129 mg l^{-1}) όσο και για την ξηρή περίοδο (117 mg l^{-1}) είναι κατώτερη από την επιτρεπόμενη συγκέντρωση των 250 mg l^{-1} σύμφωνα με την οδηγία 98/83 Ε.C.

Όσον αφορά την υγρή περίοδο για τα δείγματα πηγαδιών στα νότια παράλια της περιοχής έρευνας τα δεδομένα υποδιαιρούνται σε 12 κλάσεις με εύρος κλάσης 52 mg l^{-1}. Στο ιστόγραμμα συγκέντρωσης του χλωρίου υγρής περιόδου που προκύπτει διακρίνεται ένας πληθυσμός με το μεγαλύτερο αριθμό τιμών να εμφανίζεται στο διάστημα 52 – 140 mgl^{-1} (Εικ. 7.58.). Η κατανομή των τιμών του χλωρίου θεωρείται λοξή με «ουρά» προς τα δεξιά. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων του χλωρίου είναι 338 mg l^{-1} που είναι μεγαλύτερη από την τιμή των 250 mg l^{-1} της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 98/83 και οφείλεται στην επίδραση του θαλάσσιου νερού στην περιοχή έρευνας.

Όσον αφορά την υγρή περίοδο για τα δείγματα υπόγειου νερού βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας τα δεδομένα υποδιαιρούνται σε 18 κλάσεις με εύρος κλάσης 6 mg l^{-1}. Στο ιστόγραμμα διακρίνεται ένας πληθυσμός με το μεγαλύτερο αριθμό τιμών να εμφανίζεται στο διάστημα 18 – 24 mgl^{-1} (Εικ. 7.59.). Η κατανομή των τιμών του Cl^- θεωρείται λοξή με «ουρά» προς τα δεξιά. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων του χλωρίου είναι 83 mg l^{-1} που είναι μικρότερη από την τιμή της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 98/83 .

Όσον αφορά την ξηρή περίοδο η συγκέντρωση του χλωρίου για τα δείγματα στα νότια παράλια της περιοχής μελέτης κυμαίνεται από 52 έως 693 mg l^{-1} με μέση τιμή 228 mgl^{-1} που είναι κατώτερη από την επιτρεπόμενη συγκέντρωση της οδηγίας 98/83 Ε.C.

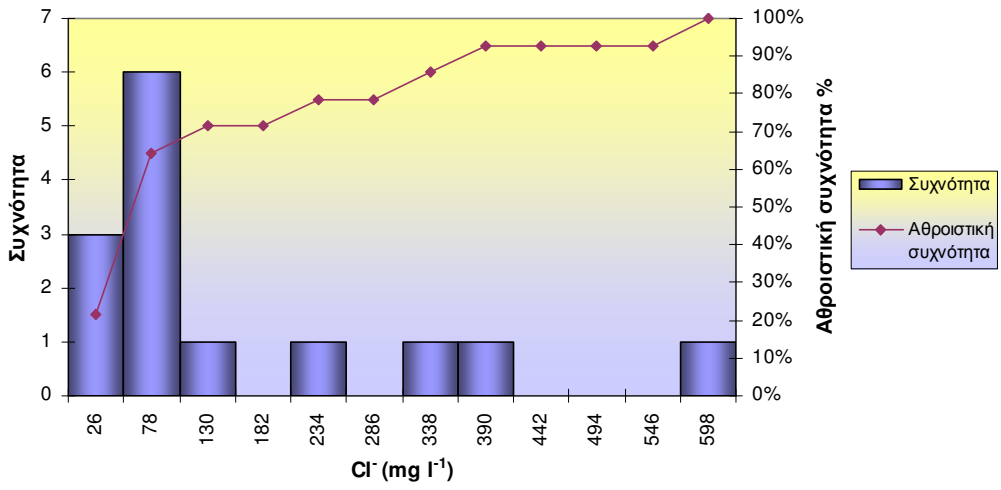
Όσον αφορά την ξηρή περίοδο για τα δείγματα υπόγειου νερού βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας τα δεδομένα υποδιαιρούνται σε 17 κλάσεις με εύρος κλάσης 7 mg l^{-1}. Στο ιστόγραμμα διακρίνεται ένας πληθυσμός με το μεγαλύτερο αριθμό τιμών να εμφανίζεται στο διάστημα 28 – 35 mgl^{-1} (Εικ. 7.60.). Η κατανομή των τιμών του Cl^- θεωρείται λοξή με «ουρά» προς τα δεξιά. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων του νατρίου είναι 39 mg l^{-1} που είναι μικρότερη από την τιμή της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 98/83

Κατά την υγρή και την ξηρή περίοδο οι γεωχημικοί χάρτες κατανομής των χλωριόντων (Εικ. 7.61., 7.62.) δε δείχνουν ιδιαίτερες μεταβολές στις συγκεντρώσεις στο υπόγειο νερό. Στις

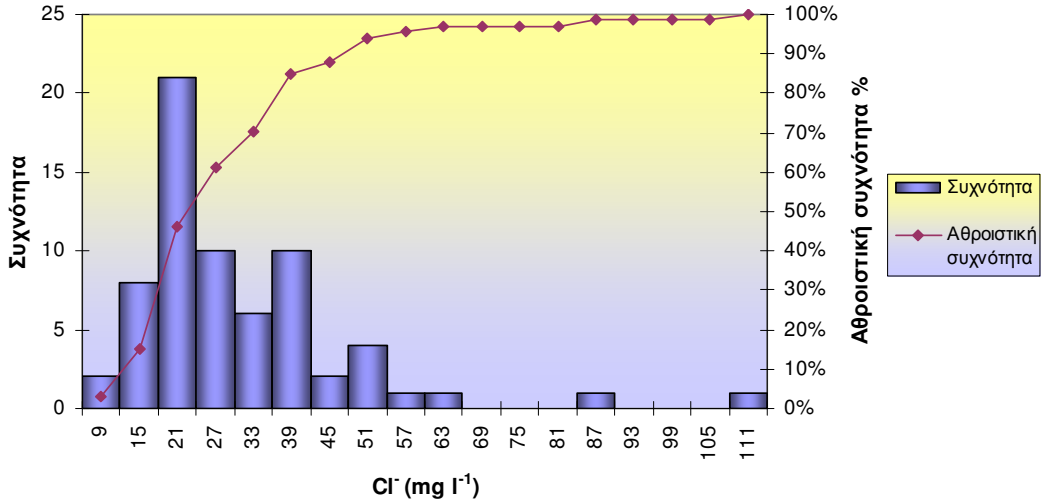
παραλιακές περιοχές της Βολισσού (Μάναγρος, Αγία Μαρκέλλα, Λήμνος) πέντε δείγματα (W4=412 mg l^{-1}, W9=623 mg l^{-1}, W15=258 mg l^{-1}, W16=324 mg l^{-1}, W18=2800 mg l^{-1}), ποσοστό 6%, κατά την υγρή περίοδο και 3 δείγματα (W4=422 mg l^{-1}, W9=693 mg l^{-1}, W10=333 mg l^{-1}), ποσοστό 4%, κατά την ξηρή περίοδο εμφανίζουν τιμές υψηλότερες από την επιτρεπτή τιμή των 250 mg l^{-1} της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 98/83. Επιπλέον, το δείγμα S9 της θερμής πηγής στην παραλιακή περιοχή των Αγιασμάτων εμφανίζει πολύ υψηλή συγκέντρωση χλωριόντων στις δύο περιόδους (3530 mg l^{-1} - υγρή περίοδος, 3870 mg l^{-1} - ξηρή περίοδος). Επομένως, οι υψηλές περιεκτικότητες χλωριόντων στο υπόγειο νερό στις παραπάνω περιοχές αποδίδονται στη επίδραση της θάλασσας.

Πίνακας 7.22.: *Στατιστικά στοιχεία Cl^- των ολικών δειγμάτων υπόγειου νερού, δειγμάτων πηγαδιών στα νότια παράλια της ΒΔ Χίου και των δειγμάτων υπόγειου νερού βόρειου (Β) και κεντρικού (Κ) τμήματος της περιοχής έρευνας υγρής* και ξηρής περιόδου.

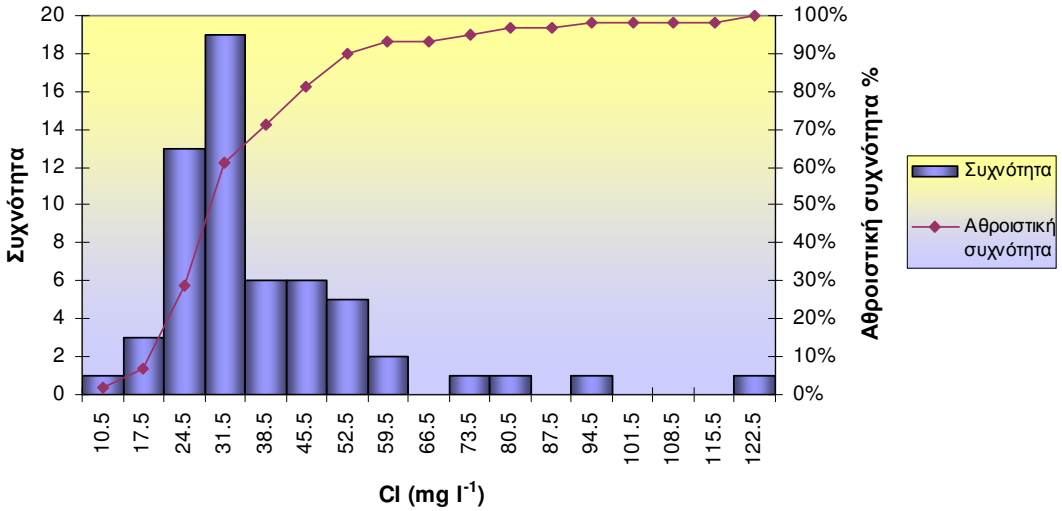
Στατιστικά στοιχεία	Cl^- **(υ) ολικ.δειγ.**	Cl^- **(ξ) ολικ..δειγμ.**	Cl^- **(υ) πηγάδια**	Cl^- **(ξ) πηγάδια**	Cl^- **(υ) Β. – Κ.τμ.**	Cl^- **(ξ) Β. – Κ.τμ.**
Αριθμητικός μέσος	129	117	338	228	83	39
Τυπική απόκλιση	89	472	702	234	17	19
Ελάχιστη τιμή	11	13	43	52	11	13
Μέγιστη τιμή	3530	3870	2800	693	113	122
Πλήθος τιμών	83	68	15	8	67	59



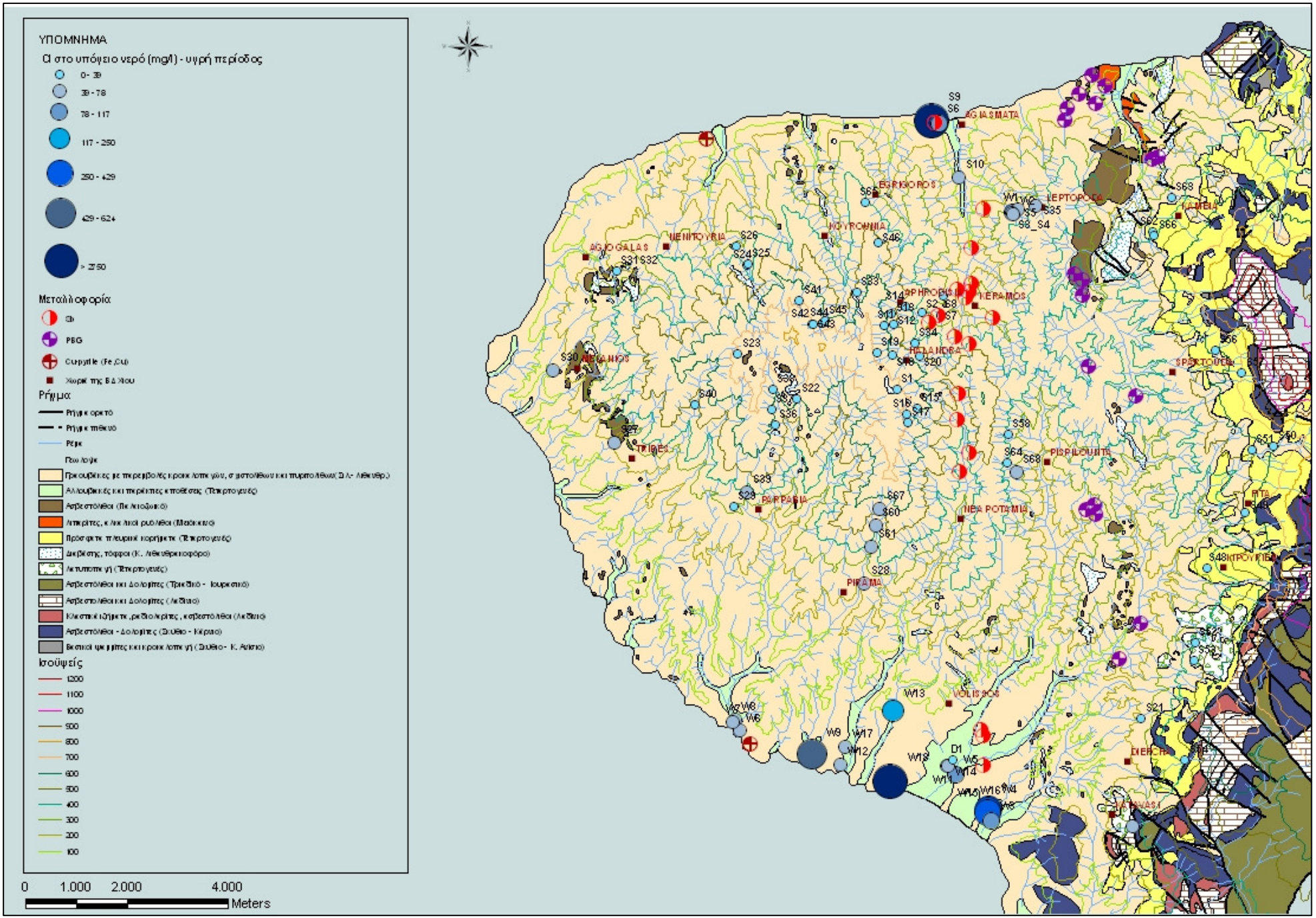
Εικόνα 7.58.: *Ιστόγραμμα περιεχομένων Cl^- και καμπύλη αθροιστικής συχνότητας για τα δείγματα . των πηγαδιών υγρής περιόδου στα νότια παράλια της ΒΔ Χίου.*



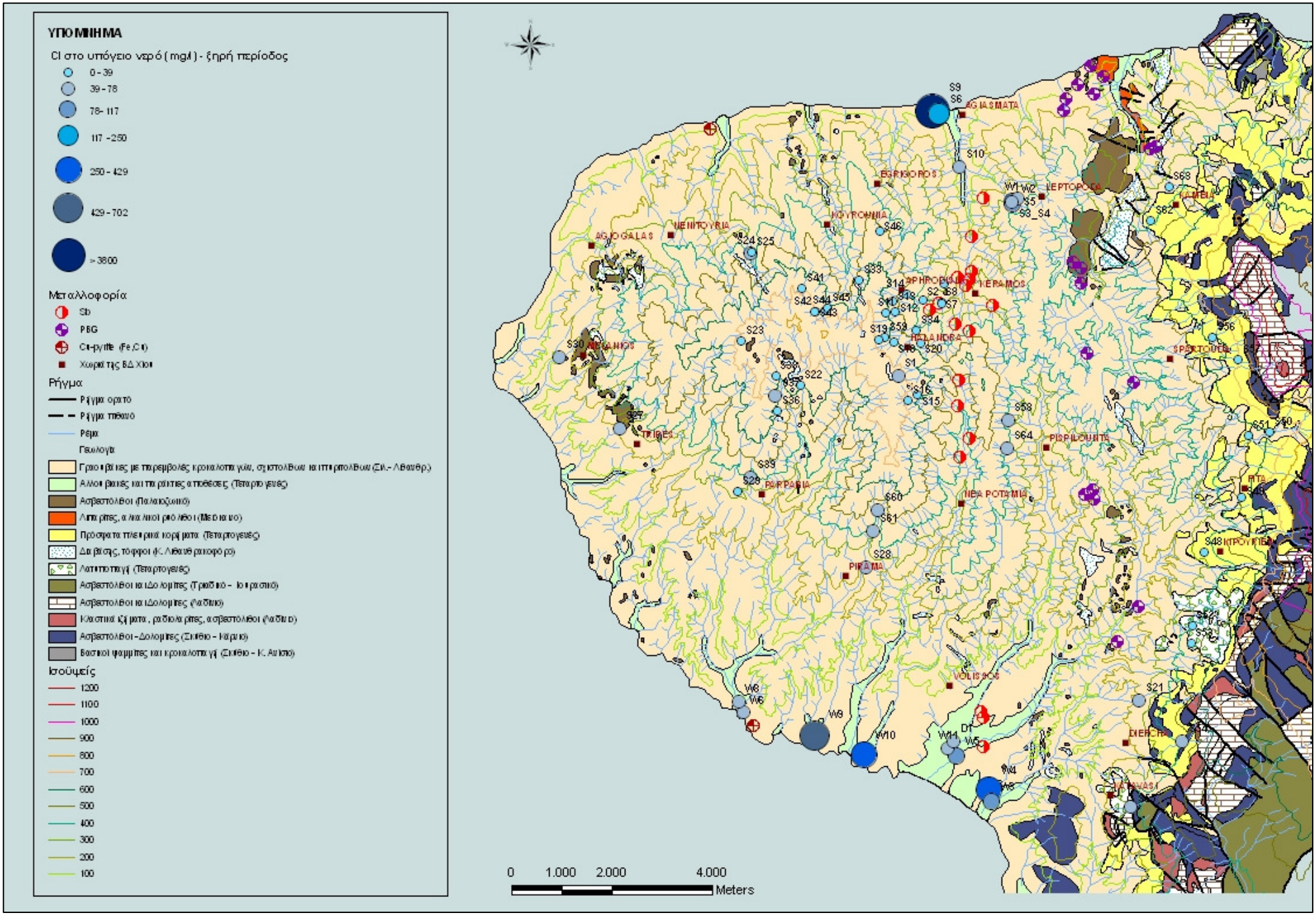
Εικόνα 7.59.: *Ιστόγραμμα περιεχομένων Cl⁻ και καμπύλη αθροιστικής συχνότητας για τα δείγματα νερού υγρής περιόδου βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας.*



Εικόνα 7.60.: *Ιστόγραμμα περιεχομένων Cl⁻ και καμπύλη αθροιστικής συχνότητας για τα δείγματα νερού ξηρής περιόδου βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας.*



Εικόνα 7.61.: *Γεωχημικός χάρτης κατανομής Cl στο υπόγειο νερό κατά την υγρή περίοδο στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*



Εικόνα 7.62.: *Γεωχημικός χάρτης κατανομής Cl στο υπόγειο νερό κατά την ξηρή περίοδο στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*

Νιτρώδη ιόντα (NO_2^-)

Οι τιμές των συγκεντρώσεων των νιτρωδών ιόντων στα δείγματα της περιοχής έρευνας κατά την υγρή και την ξηρή περίοδο είναι αμελητέες. Η Ευρωπαϊκή Οδηγία 98/83 αναφέρει ως επιτρεπτό όριο συγκέντρωσης των NO_2^- στο πόσιμο νερό την τιμή 0.50 mg l^{-1} (Πιν. 7.11.).

Αμμώνιο (NH_4^+)

Οι τιμές των συγκεντρώσεων του αμμωνίου στα δείγματα της περιοχής έρευνας κατά την υγρή και την ξηρή περίοδο είναι αμελητέες. Η Ευρωπαϊκή Οδηγία 98/83 αναφέρει ως επιτρεπτό όριο συγκέντρωσης του NH_4^+ στο πόσιμο νερό την τιμή 0.50 mg l^{-1}(Πιν. 7.11.).

7.5.3. Βαρέα μέταλλα

Μαγγάνιο (Mn)

Η συγκέντρωση του μαγγανίου στα ολικά δείγματα υπόγειου νερού υγρής και ξηρής περιόδου της περιοχής έρευνας κυμαίνεται από 0.4 έως 750 μg l^{-1} (Πιν. 7.23.). Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων του μαγγανίου τόσο για την υγρή (19 mg l^{-1}) όσο και για την ξηρή περίοδο (27 μg l^{-1}) είναι κατώτερη από την επιτρεπόμενη συγκέντρωση των 50 μg l^{-1} σύμφωνα με την οδηγία 98/83 Ε.C.

Η συγκέντρωση του μαγγανίου για τα δείγματα πηγαδιών υγρής περιόδου στα νότια παράλια της περιοχής μελέτης κυμαίνεται από 0.4 έως 450 μg l^{-1} με μέση τιμή 40 μg l^{-1} που είναι κατώτερη από την επιτρεπόμενη συγκέντρωση των 50 μg l^{-1} σύμφωνα με την οδηγία 98/83 Ε.C.

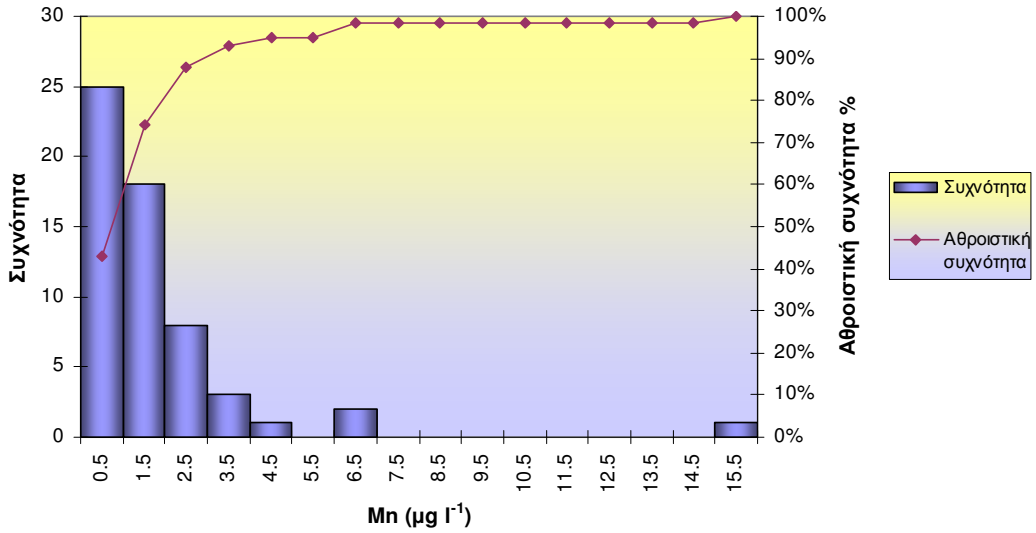
Όσον αφορά την υγρή περίοδο για τα δείγματα υπόγειου νερού βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας τα δεδομένα υποδιαιρούνται σε 16 κλάσεις με εύρος κλάσης 1 μg l^{-1}. Στο ιστόγραμμα διακρίνεται ένας πληθυσμός με το μεγαλύτερο αριθμό τιμών να εμφανίζεται στο διάστημα 0 – 1 μgl^{-1} (Εικ. 7.63.). Η κατανομή των τιμών του Mn θεωρείται λοξή με «ουρά» προς τα δεξιά. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων του μαγγανίου είναι 2 μg l^{-1} που είναι μικρότερη από την τιμή της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 98/83

Όσον αφορά την ξηρή περίοδο η συγκέντρωση του μαγγανίου για τα δείγματα στα νότια παράλια της περιοχής μελέτης κυμαίνεται από 1 έως 500 μg l^{-1} με μέση τιμή 80 μgl^{-1} που είναι μεγαλύτερη από την επιτρεπόμενη συγκέντρωση των 50 μg l^{-1} της οδηγίας 98/83 Ε.C. Όσον αφορά την ξηρή περίοδο για τα δείγματα υπόγειου νερού βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας τα δεδομένα υποδιαιρούνται σε 17 κλάσεις με εύρος κλάσης 1 μg l^{-1}. Στο ιστόγραμμα διακρίνεται ένας πληθυσμός με το μεγαλύτερο αριθμό τιμών να εμφανίζεται στο διάστημα 0 – 1 μgl^{-1} (Εικ. 7.64.). Η κατανομή των τιμών του Mn θεωρείται λοξή με «ουρά» προς τα δεξιά. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων του μαγγανίου είναι 8 μg l^{-1} που είναι μικρότερη από την τιμή της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 98/83

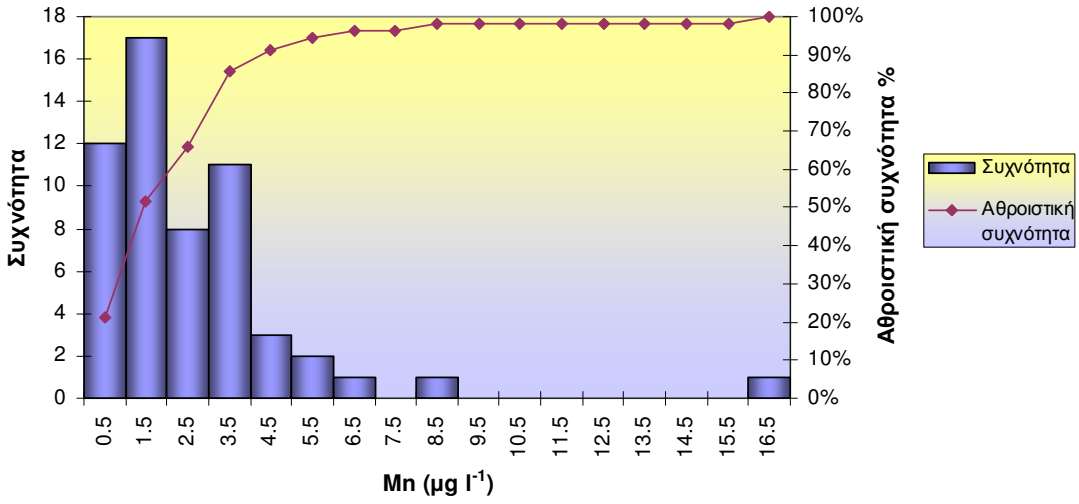
Κατά την υγρή και την ξηρή περίοδο οι γεωχημικοί χάρτες κατανομής του μαγγανίου (Εικ. 7.65, 7.66.) δε δείχνουν ιδιαίτερες μεταβολές στις συγκεντρώσεις στο υπόγειο νερό. Παρατηρείται ότι το δείγμα υπόγειου νερού W9 (εγκαταλελειμμένο πηγάδι) στην παραλιακή περιοχή Αγίας Μαρκέλλας Βολισσού κατά την υγρή και την ξηρή περίοδο εμφανίζει τιμές 450 μg l^{-1} και 500 μg l^{-1} αντίστοιχα, οι οποίες είναι πολύ μεγαλύτερες από την επιτρεπτή τιμή των 50 μg l^{-1} της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 98/83. Το δείγμα W2 (εγκαταλελειμμένο πηγάδι) στην περιοχή των Λεπτόποδων την υγρή περίοδο εμφανίζει τιμή 1.56 μg l^{-1} ενώ την ξηρή περίοδο η συγκέντρωσή του σε μαγγάνιο φτάνει την τιμή 300 μg l^{-1} που είναι πολύ μεγαλύτερη από την επιτρεπόμενη συγκέντρωση των 50 μg l^{-1} σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 98/83. Οι αυξημένες συγκεντρώσεις μαγγανίου που παρατηρούνται στις συγκεκριμένες θέσεις πιθανόν να οφείλονται σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες (ρήψη διαφόρων απορριμμάτων – χρήση λιπασμάτων). Επιπλέον, το δείγμα S9 της θερμής πηγής στην παραλιακή περιοχή των Αγιασμάτων εμφανίζει πολύ υψηλή συγκέντρωση μαγγανίου στις δύο περιόδους (750 μg l^{-1}).

Πίνακας 7.23.: *Στατιστικά στοιχεία Mn (*μg l^{-1} *)των ολικών δειγμάτων υπόγειου νερού, δειγμάτων πηγαδιών στα νότια παράλια της ΒΔ Χίου και των δειγμάτων υπόγειου νερού βόρειου (Β) και κεντρικού (Κ) τμήματος της περιοχής έρευνας υγρής* και ξηρής περιόδου.

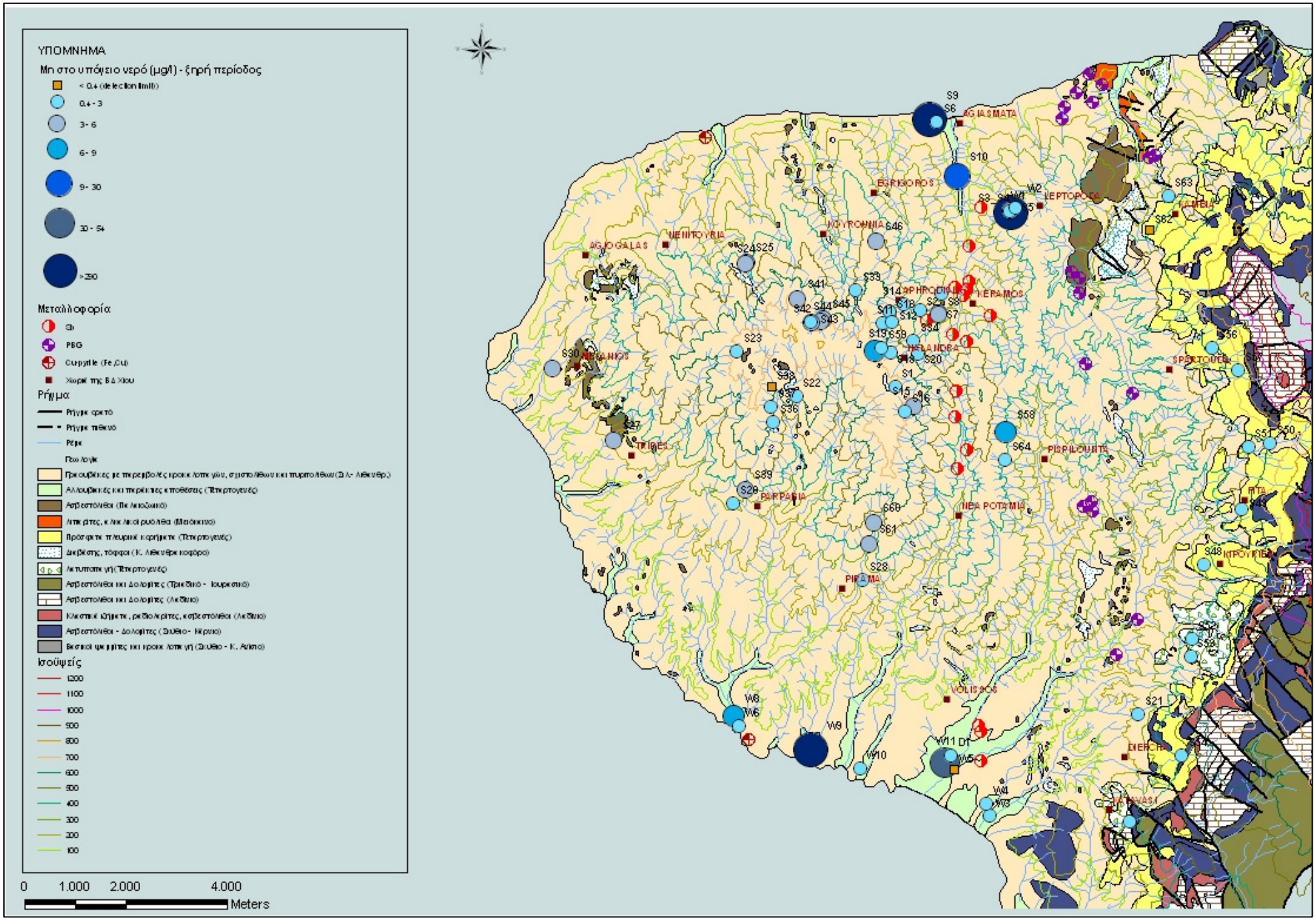
Στατιστικά στοιχεία	***Mn* (υ) ολικ.δειγ.**	***Mn*-(ξ) ολικ..δειγμ.**	***Mn* (υ) πηγάδια**	***Mn* (ξ) πηγάδια.**	***Mn* (υ) Β. – Κ.τμ.**	***Mn* (ξ) Β. – Κ.τμ.**
Αριθμητικός μέσος	19	27	40	81	2	8
Τυπική απόκλιση	103	116	129	2	1	2
Ελάχιστη τιμή	0.4	0.4	0.4	1	2	39
Μέγιστη τιμή	750	750	450	500	0.5	0.4
Πλήθος τιμών	71	65	12	7	15	300



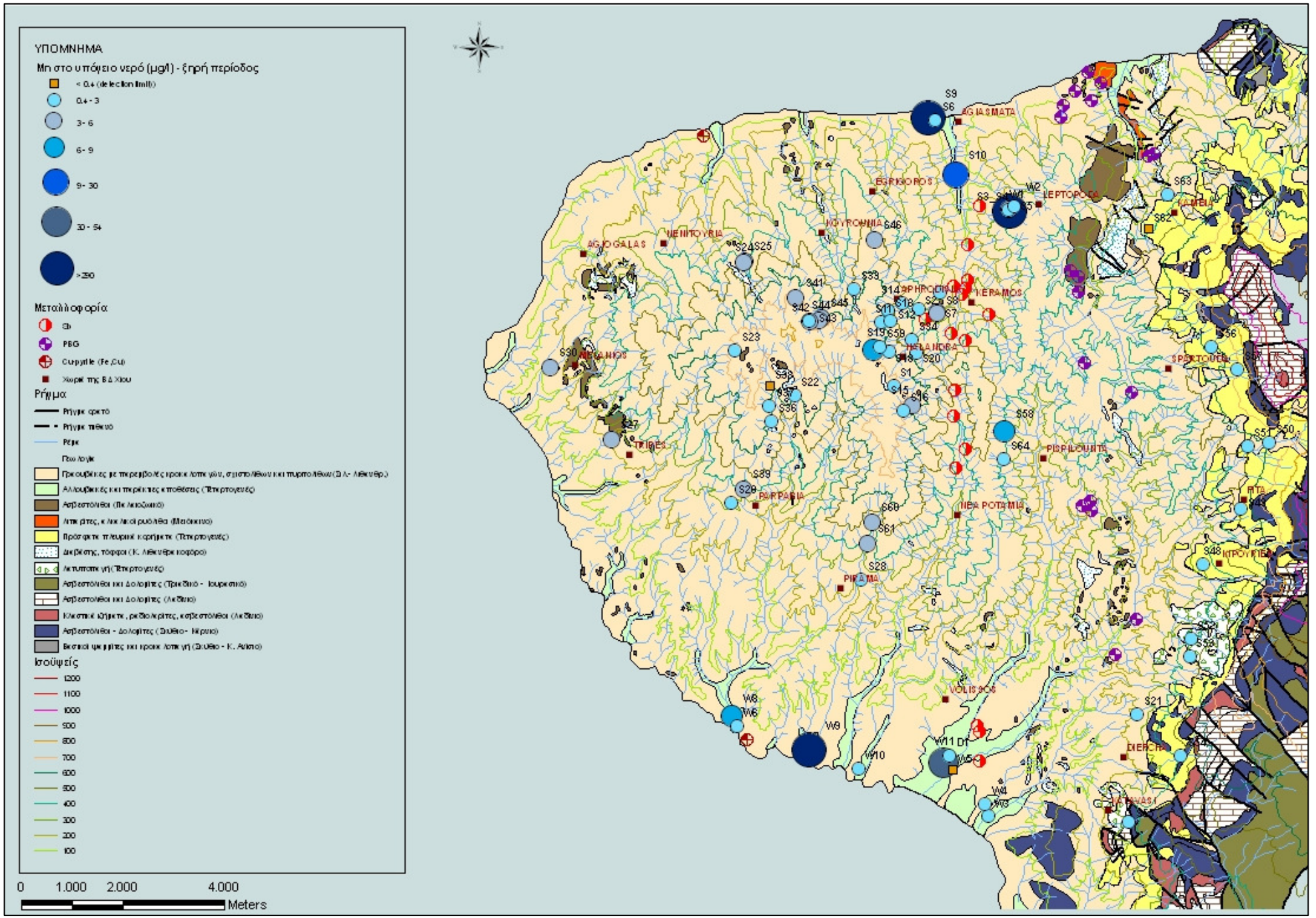
Εικόνα 7.63.: *Ιστόγραμμα περιεχομένων Mn και καμπύλη αθροιστικής συχνότητας για τα δείγματα νερού υγρής περιόδου βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας.*



Εικόνα 7.64.: *Ιστόγραμμα περιεχομένων Mn και καμπύλη αθροιστικής συχνότητας για τα δείγματα νερού ξηρής περιόδου βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας.*



Εικόνα 7.65.: *Γεωχημικός χάρτης κατανομής του Mn στο υπόγειο νερό κατά την υγρή περίοδο στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*



Εικόνα 7.66.: *Γεωχημικός χάρτης κατανομής του Μη στο υπόγειο νερό κατά την ξηρή περίοδο στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*

Σίδηρος (Fe)

Η συγκέντρωση του σιδήρου στα ολικά δείγματα υπόγειου νερού υγρής και ξηρής περιόδου της περιοχής έρευνας κυμαίνεται από 2 έως 210 μg l^{-1} και 2 έως 215 μg l^{-1} (Πιν. 7.24.), αντίστοιχα. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων του Fe τόσο για την υγρή (11μg l^{-1}) όσο και για την ξηρή περίοδο (23 μg l^{-1}) είναι κατώτερη από την επιτρεπόμενη συγκέντρωση των 200 μg l^{-1} σύμφωνα με την οδηγία 98/83 E.C..

Όσον αφορά την υγρή περίοδο για τα δείγματα πηγαδιών στα νότια παράλια της περιοχής έρευνας τα δεδομένα υποδιαιρούνται σε 9 κλάσεις με εύρος κλάσης 1 μg l^{-1}. Στο ιστόγραμμα συγκέντρωσης του Fe υγρής περιόδου που προκύπτει διακρίνεται ένας πληθυσμός με το μεγαλύτερο αριθμό τιμών να εμφανίζεται στα διαστήματα 3– 4 μg l^{-1} και 6 - 7 μg l^{-1} (Εικ. 7.67.). Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων του Fe είναι 20 μg l^{-1} που είναι μικρότερη από την τιμή της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 98/83.

Όσον αφορά την υγρή περίοδο για τα δείγματα υπόγειου νερού βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας τα δεδομένα υποδιαιρούνται σε 14 κλάσεις με εύρος κλάσης 3 μg l^{-1}. Στο ιστόγραμμα διακρίνεται ένας πληθυσμός με το μεγαλύτερο αριθμό τιμών να εμφανίζεται στο διάστημα 3 – 6 μg l^{-1} (Εικ. 7.68.). Η κατανομή των τιμών Fe θεωρείται λοξή με «ουρά» προς τα δεξιά. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων είναι 9 μg l^{-1} που είναι μικρότερη από την τιμή της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 98/83.

Όσον αφορά την ξηρή περίοδο η συγκέντρωση *Fe* για τα δείγματα στα νότια παράλια της περιοχής μελέτης κυμαίνεται από 6 έως 215 μg l^{-1} με μέση τιμή 47 μgl^{-1} που είναι μικρότερη από την επιτρεπόμενη συγκέντρωση της οδηγίας 98/83 E.C.

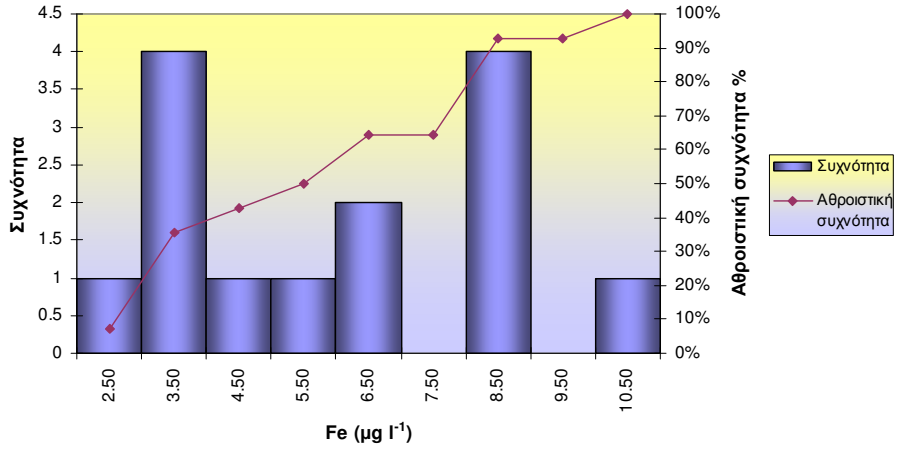
Όσον αφορά την ξηρή περίοδο για τα δείγματα υπόγειου νερού βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας τα δεδομένα υποδιαιρούνται σε 17 κλάσεις με εύρος κλάσης 10 μg l^{-1}. Στο ιστόγραμμα διακρίνεται ένας πληθυσμός με το μεγαλύτερο αριθμό τιμών να εμφανίζεται στο διάστημα 0 – 10 μgl^{-1} (Εικ. 7.69.). Η κατανομή των Fe θεωρείται λοξή με «ουρά» προς τα δεξιά. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων των Fe είναι 20 μg l^{-1} που είναι μικρότερη από την τιμή της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 98/83

Από τους γεωχημικούς χάρτες κατανομής του σιδήρου (Εικ. 7.70., 7.71.) οι συγκεντρώσεις αρκετών δειγμάτων ξηρής περιόδου παρουσιάζουν σημαντική αύξηση σε σχέση με τις συγκεντρώσεις υγρής. Επίσης, παρατηρείται ότι το δείγμα υπόγειου νερού W9 (εγκαταλελειμμένο πηγάδι) στην παραλιακή περιοχή Αγίας Μαρκέλλας Βολισσού κατά την

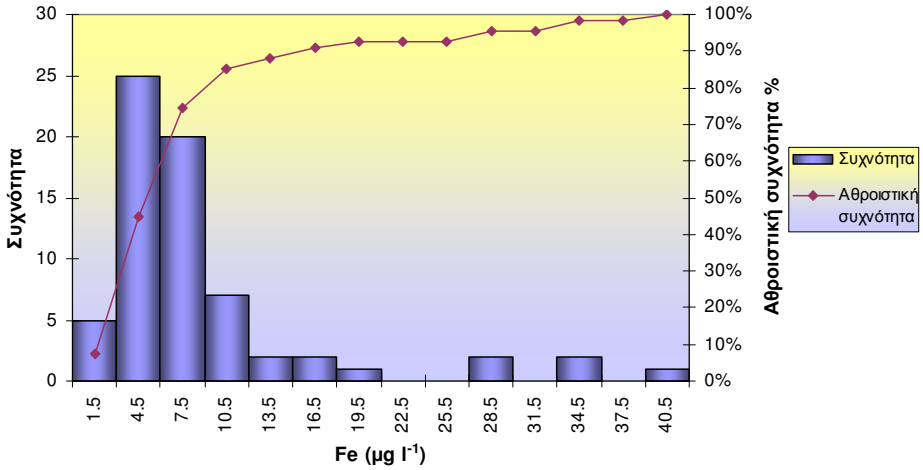
υγρή και την ξηρή περίοδο εμφανίζει τιμές 210 μg l^{-1} και 215 μg l^{-1} αντίστοιχα, οι οποίες είναι μεγαλύτερες από την επιτρεπτή τιμή των 200 μg l^{-1} της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 98/83. Πιθανά η αυξημένη τιμή του σιδήρου να οφείλεται σε συνδυασμό ανθρωπογενών (λιπάσματα, ρήψη απορριμμάτων) και γεωλογικών - λιθολογικών παραγόντων.

Πίνακας 7.24.: *Στατιστικά στοιχεία Fe (*μg l^{-1} *)των ολικών δειγμάτων υπόγειου νερού, δειγμάτων πηγαδιών στα νότια παράλια της ΒΔ Χίου και των δειγμάτων υπόγειου νερού βόρειου (Β) και κεντρικού (Κ) τμήματος της περιοχής έρευνας υγρής* και ξηρής περιόδου.

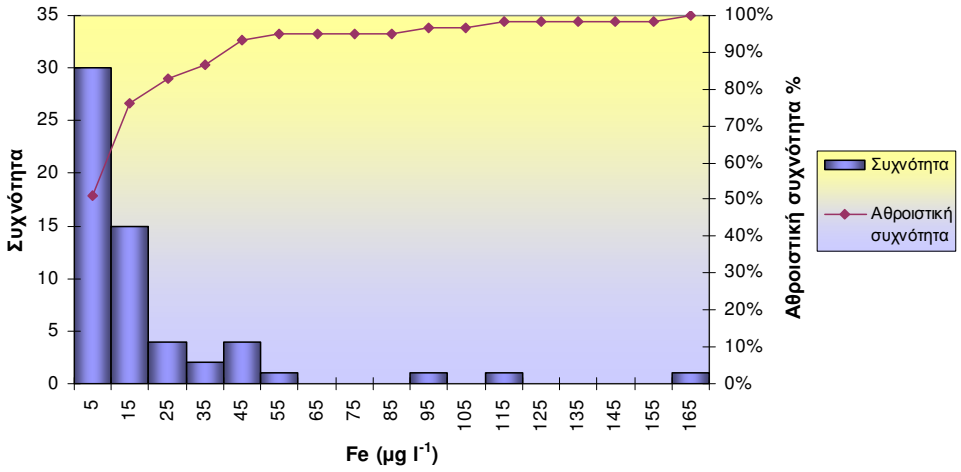
Στατιστικά στοιχεία	***Fe* (υ) ολικ.δειγ.**	***Fe*(ξ) ολικ..δειγμ.**	***Fe* (υ) πηγάδια**	***Fe* (ξ) πηγάδια.**	***Fe* (υ) Β. – Κ.τμ.**	***Fe* (ξ) Β. – Κ.τμ.**
Αριθμητικός μέσος	11	23	20	47	9	20
Τυπική απόκλιση	23	36	53	71	8	28
Ελάχιστη τιμή	2	2	3	6	2	2
Μέγιστη τιμή	210	215	210	215	42	165
Πλήθος τιμών	83	68	15	8	67	59



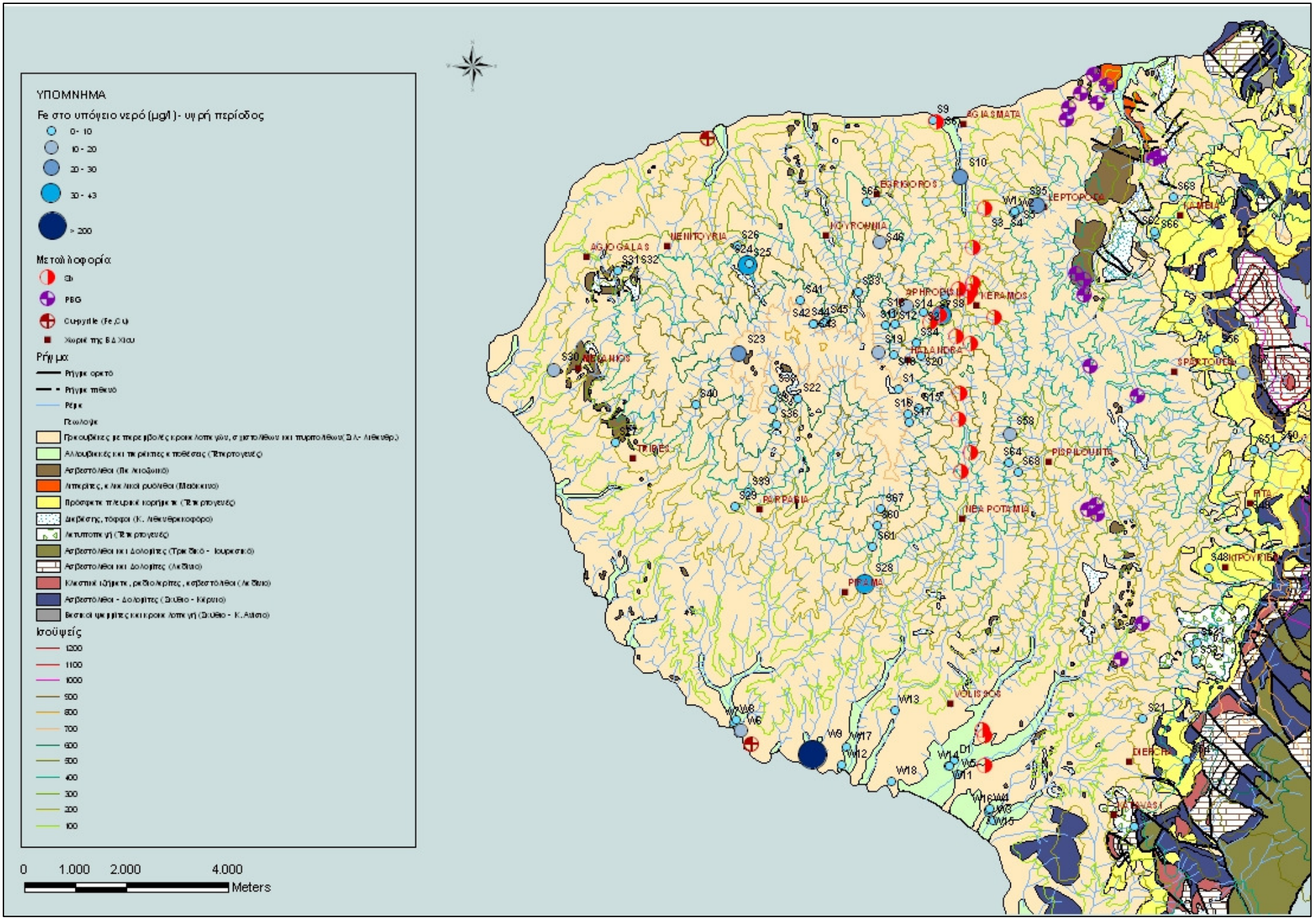
Εικόνα 7.67.: *Ιστόγραμμα περιεχομένων Fe και καμπύλη αθροιστικής συχνότητας για τα δείγματα των πηγαδιών υγρής περιόδου στα νότια παράλια της ΒΔ Χίου.*



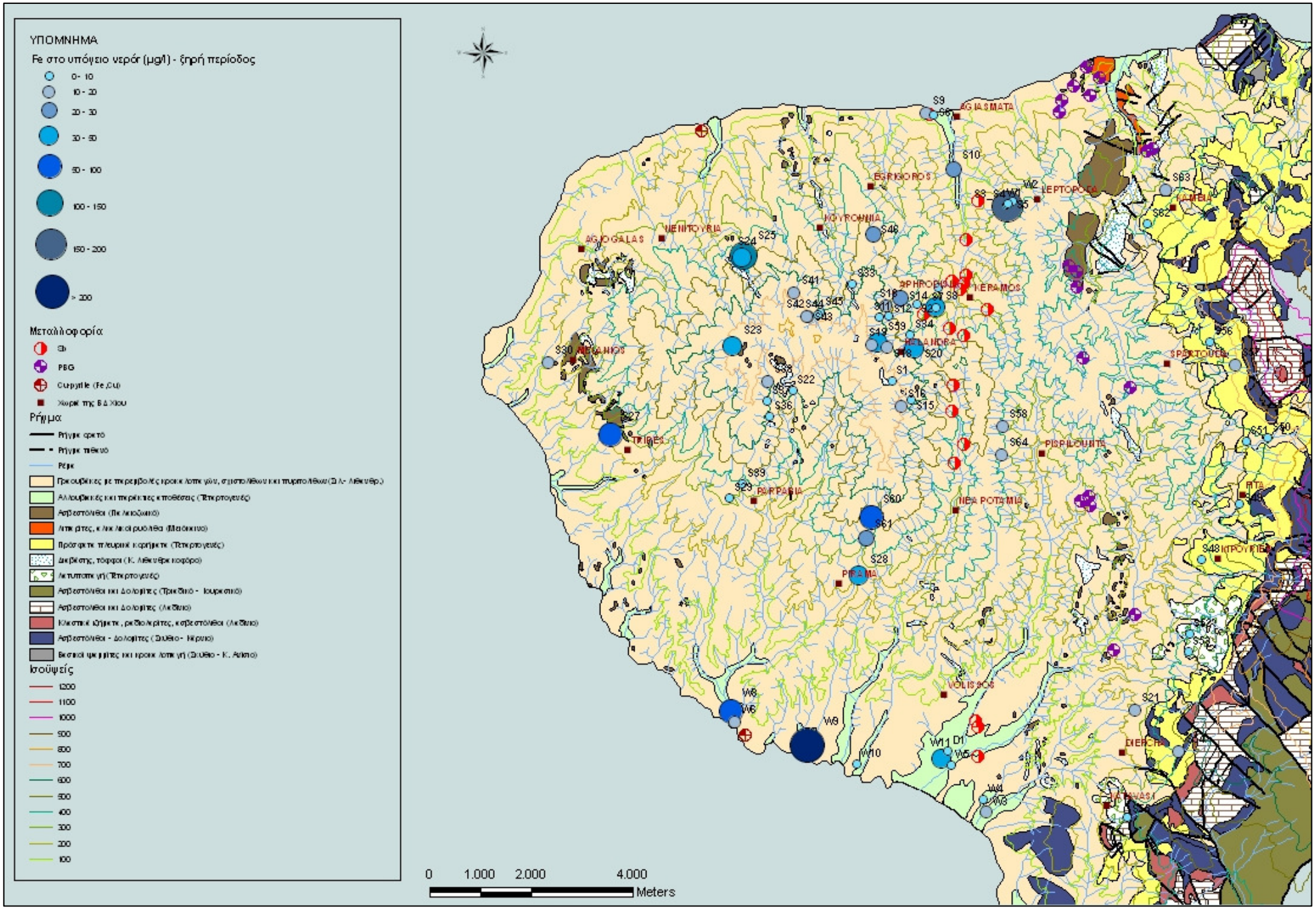
Εικόνα 7.68.: *Ιστόγραμμα περιεχομένων Fe και καμπύλη αθροιστικής συχνότητας για τα δείγματα νερού υγρής περιόδου βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας.*



Εικόνα 7.69.: *Ιστόγραμμα περιεχομένων Fe και καμπύλη αθροιστικής συχνότητας για τα δείγματα νερού ξηρής περιόδου βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας.*



Εικόνα 7.70.: *Γεωχημικός χάρτης κατανομής του Fe στο υπόγειο νερό κατά την υγρή περίοδο στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*



Εικόνα 7.71.: *Γεωχημικός χάρτης κατανομής του Fe στο υπόγειο νερό κατά την ξηρή περίοδο στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*

Ψευδάργυρος (Zn)

Η συγκέντρωση του ψευδάργυρου στα ολικά δείγματα υπόγειου νερού υγρής και ξηρής περιόδου της περιοχής έρευνας κυμαίνεται από 6 έως 340 μg l^{-1} και 7 έως 350 μg l^{-1} (Πιν. 7.25.), αντίστοιχα. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων του Zn για την υγρή περίοδο είναι 36μg l^{-1} και για την ξηρή περίοδο είναι 53 μg l^{-1}.

Όσον αφορά την υγρή περίοδο για τα δείγματα πηγαδιών στα νότια παράλια της περιοχής έρευνας τα δεδομένα υποδιαιρούνται σε 9 κλάσεις με εύρος κλάσης 5 μg l^{-1}. Στο ιστόγραμμα συγκέντρωσης του Zn υγρής περιόδου που προκύπτει διακρίνεται ένας πληθυσμός με το μεγαλύτερο αριθμό τιμών να εμφανίζεται στο διάστημα 20 - 25 μg l^{-1} (Εικ. 7.72.). Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων του Zn είναι 21 μg l^{-1}

Όσον αφορά την υγρή περίοδο για τα δείγματα υπόγειου νερού βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας τα δεδομένα υποδιαιρούνται σε 17 κλάσεις με εύρος κλάσης 20 μg l^{-1}. Στο ιστόγραμμα διακρίνεται ένας πληθυσμός με το μεγαλύτερο αριθμό τιμών να εμφανίζεται στο διάστημα 20 – 40 μg l^{-1} (Εικ. 7.73.). Η κατανομή των τιμών *Zn* θεωρείται λοξή με «ουρά» προς τα δεξιά. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων είναι 39 μg l^{-1}

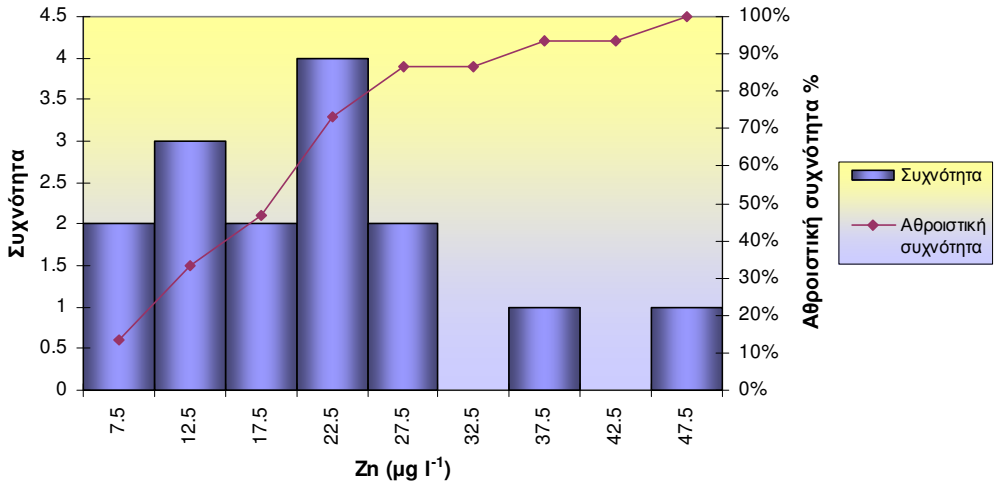
Όσον αφορά την ξηρή περίοδο η συγκέντρωση *Zn* για τα δείγματα στα νότια παράλια της περιοχής μελέτης κυμαίνεται από 7 έως 126 μg l^{-1} με μέση τιμή 46 μgl^{-1}.

Όσον αφορά την ξηρή περίοδο για τα δείγματα υπόγειου νερού βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας τα δεδομένα υποδιαιρούνται σε 18 κλάσεις με εύρος κλάσης 20 μg l^{-1}. Στο ιστόγραμμα διακρίνεται ένας πληθυσμός με το μεγαλύτερο αριθμό τιμών να εμφανίζεται στο διάστημα 20 – 40 μgl^{-1} (Εικ. 7.74.). Η κατανομή του *Zn* θεωρείται λοξή με «ουρά» προς τα δεξιά. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων του *Zn* είναι 53 μg l^{-1}

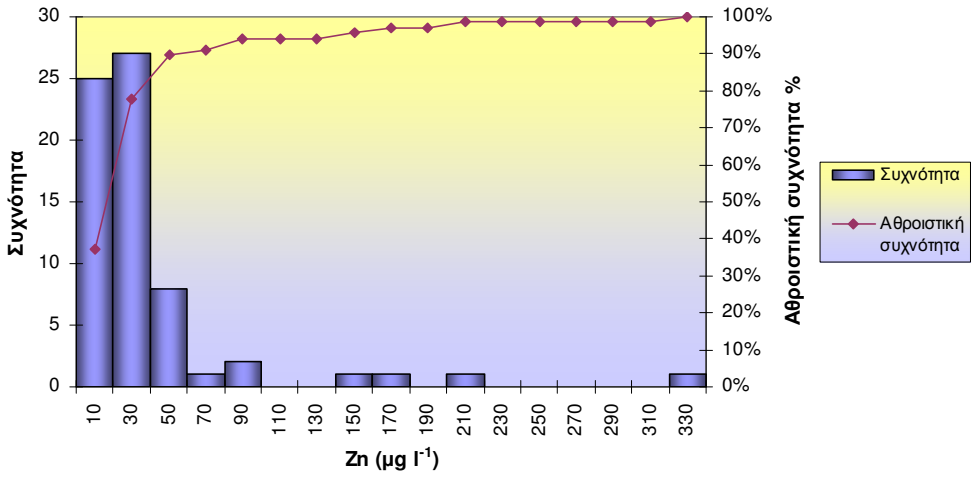
Από τους γεωχημικούς χάρτες κατανομής του Zn (Εικ. 7.75., 7.76.) οι συγκεντρώσεις αρκετών δειγμάτων ξηρής περιόδου παρουσιάζουν σημαντική αύξηση σε σχέση με τις συγκεντρώσεις της υγρής. Η Ευρωπαϊκή Οδηγία 98/83 δεν αναφέρει επιτρεπτό όριο συγκέντρωσης του ψευδάργυρου στο πόσιμο νερό.

Πίνακας 7.25.: *Στατιστικά στοιχεία Zn ($\mu g\ l^{-1}$)των ολικών δειγμάτων υπόγειου νερού, δειγμάτων πηγαδιών στα νότια παράλια της ΒΔ Χίου και των δειγμάτων υπόγειου νερού βόρειου (Β) καικεντρικού (Κ) τμήματος της περιοχής έρευνας υγρής* και ξηρής περιόδου.

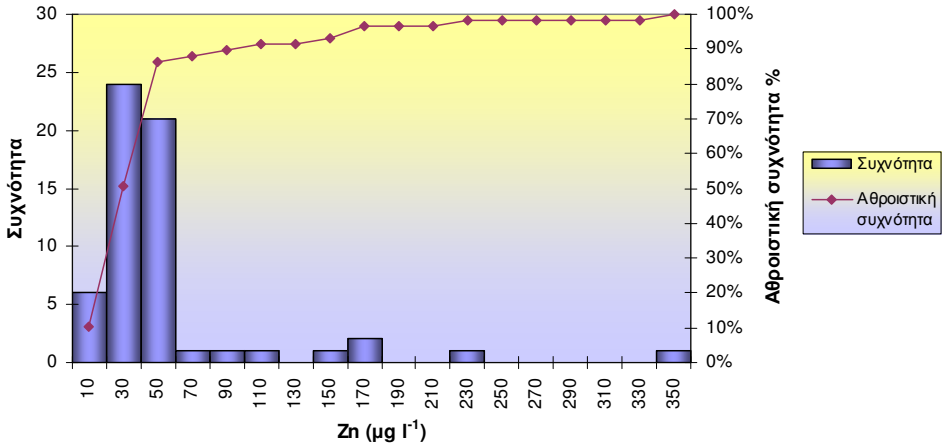
Στατιστικά στοιχεία	Zn (υ) ολικ.δειγ.	Zn (ξ) ολικ..δειγμ.	Zn (υ) πηγάδια	Zn (ξ) πηγάδια.	Zn (υ) Β. – Κ.τμ.	Zn (ξ) Β. – Κ.τμ.
Αριθμητικός μέσος	36	53	21	46	39	53
Τυπική απόκλιση	48	54	11	35	52	57
Ελάχιστη τιμή	6	7	6	7	6	7
Μέγιστη τιμή	340	350	49	126	340	350
Πλήθος τιμών	83	68	15	8	67	59



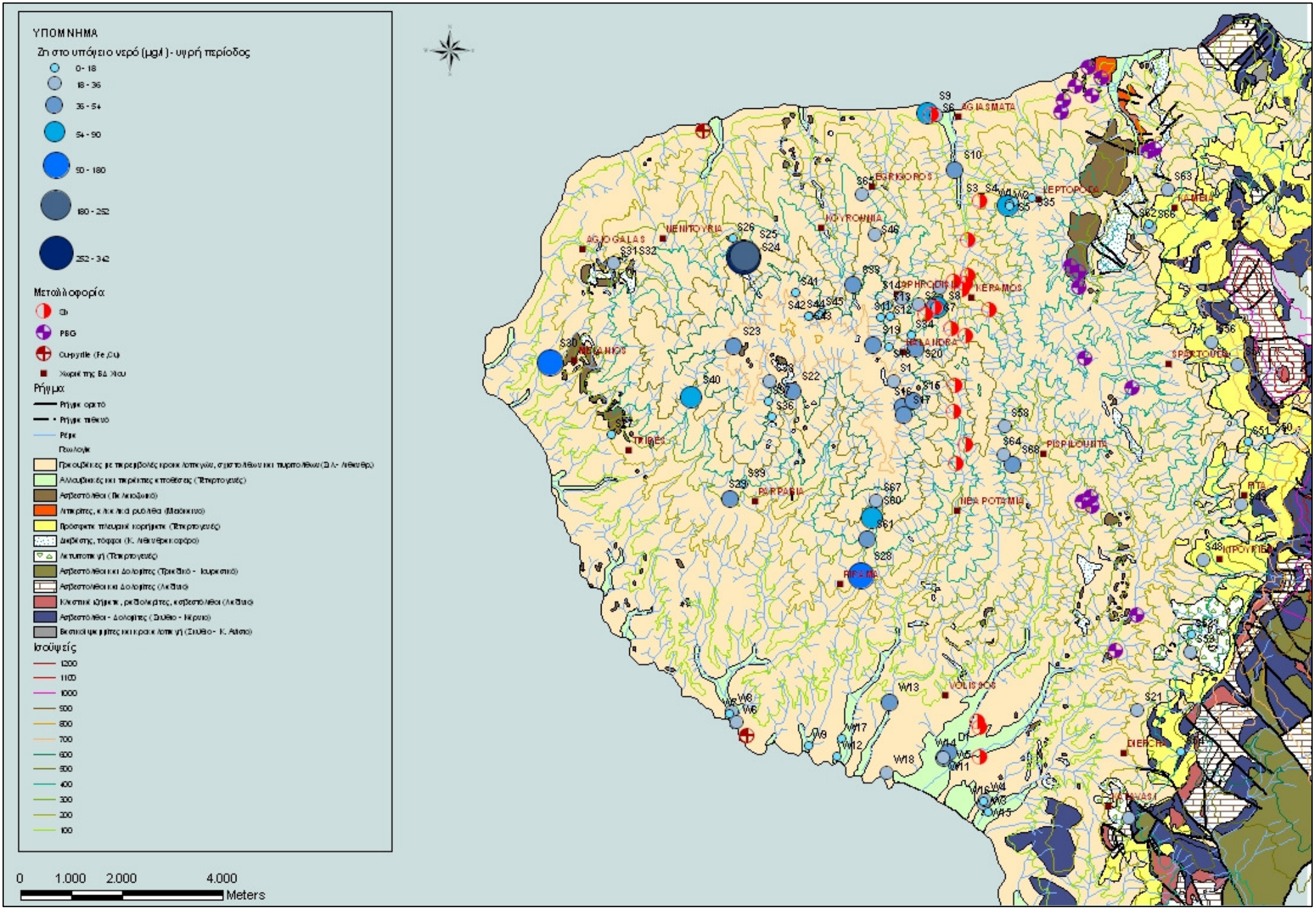
Εικόνα 7.72.: *Ιστόγραμμα περιεχομένων Zn και καμπύλη αθροιστικής συχνότητας για τα δείγματα των πηγαδιών υγρής περιόδου στα νότια παράλια της ΒΔ Χίου.*



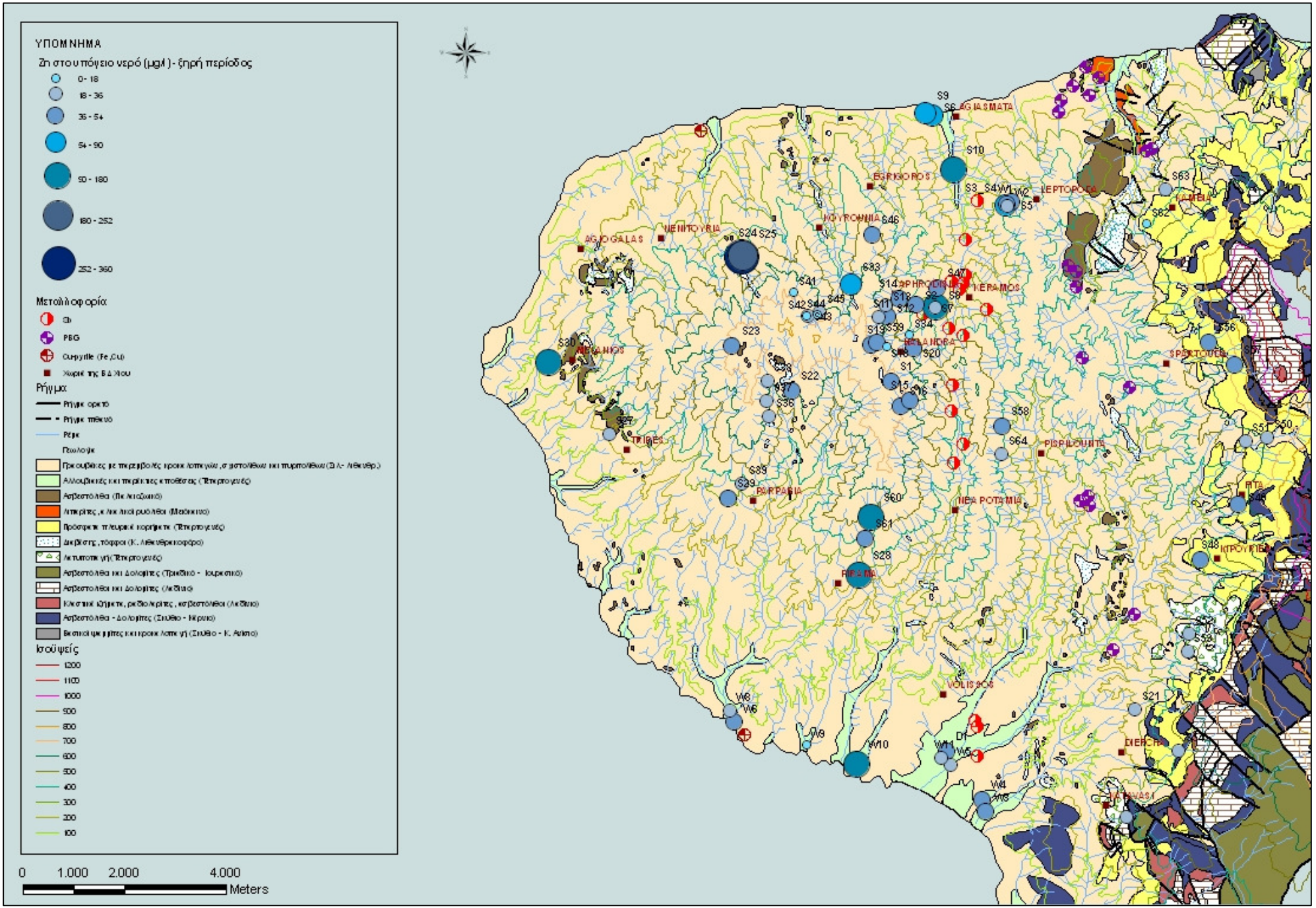
Εικόνα 7.73.: *Ιστόγραμμα περιεχομένων Zn και καμπύλη αθροιστικής συχνότητας για τα δείγματα νερού υγρής περιόδου βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας.*



Εικόνα 7.74.: *Ιστόγραμμα περιεχομένων Zn και καμπύλη αθροιστικής συχνότητας για τα δείγματα νερού ξηρής περιόδου βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας.*



Εικόνα 7.75. : *Γεωχημικός χάρτης κατανομής του Zn στο υπόγειο νερό κατά την υγρή περίοδο στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*



Εικόνα 7.76. : *Γεωχημικός χάρτης κατανομής του Zn στο υπόγειο νερό κατά την ξηρή περίοδο στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*

Χαλκός (Cu)

Η συγκέντρωση του χαλκού στα ολικά δείγματα υπόγειου νερού υγρής και ξηρής περιόδου της περιοχής έρευνας κυμαίνεται από 1 έως 10 μg l^{-1} και 1 έως 15 μg l^{-1} (Πιν. 7.26.), αντίστοιχα. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων του Cu για την υγρή και για την ξηρή περίοδο περίοδο είναι 2μg l^{-1} που είναι πάρα πολύ μικρές σε σχέση με την τιμή των 2000 μg l^{-1} της Ευρωπαϊκής Οδηγίας (98/83).

Όσον αφορά την υγρή περίοδο για τα δείγματα πηγαδιών στα νότια παράλια της περιοχής έρευνας οι συγκεντρώσεις του χαλκού κυμαίνονται από 1 έως 6 μg l^{-1} με μέση συγκέντρωση 2 μg l^{-1} που είναι πάρα πολύ μικρή σε σχέση με την τιμή των 2000 μg l^{-1} της Ευρωπαϊκής Οδηγίας (98/83). Λόγω του μικρού εύρους τιμών δεν κατασκευάστηκε ιστόγραμμα.

Για την υγρή περίοδο στα δείγματα υπόγειου νερού του βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας τα δεδομένα υποδιαιρούνται σε 10 κλάσεις με εύρος κλάσης 1 μg l^{-1}. Στο ιστόγραμμα διακρίνεται ένας πληθυσμός με το μεγαλύτερο αριθμό τιμών να εμφανίζεται στο διάστημα 0 – 1 μg l^{-1} (Εικ. 7.77.). Η κατανομή των τιμών *Cu* θεωρείται λοξή με «ουρά» προς τα δεξιά. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων είναι 2 μg l^{-1} που είναι μικρότερη από την τιμή των 2000 μg l^{-1} της Ευρωπαϊκής Οδηγίας (98/83).

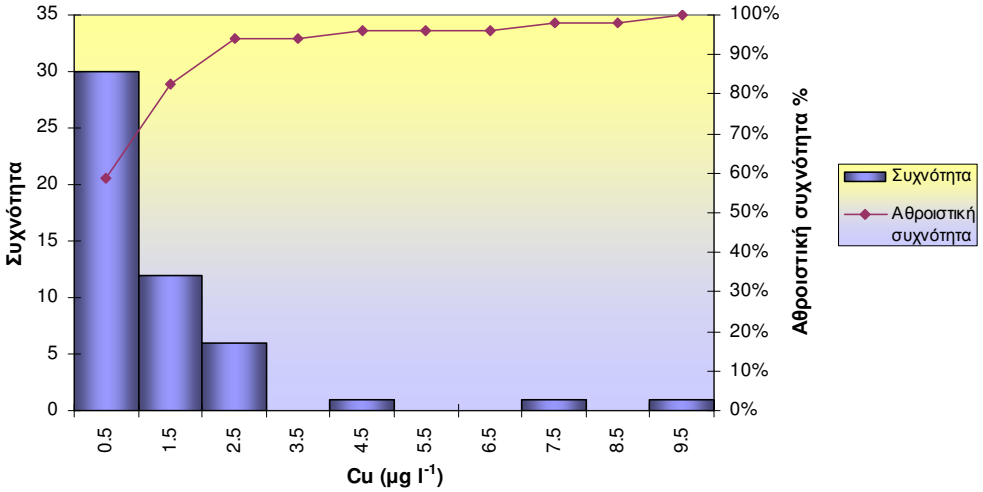
Όσον αφορά την ξηρή περίοδο η συγκέντρωση Cu για τα δείγματα στα νότια παράλια της περιοχής μελέτης κυμαίνεται από 1 έως 8 μg l^{-1} με μέση τιμή 46 μgl^{-1} μικρότερη από την τιμή των 2000 μg l^{-1} της Ευρωπαϊκής Οδηγίας (98/83).

Για την ξηρή περίοδο στα δείγματα υπόγειου νερού του βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας τα δεδομένα υποδιαιρούνται σε 15 κλάσεις με εύρος κλάσης 1 μg l^{-1}. Στο ιστόγραμμα διακρίνεται ένας πληθυσμός με το μεγαλύτερο αριθμό τιμών να εμφανίζεται στο διάστημα 0 – 1 μgl^{-1} (Εικ. 7.78.). Η κατανομή του *Cu* θεωρείται λοξή με «ουρά» προς τα δεξιά. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων των *Cu* είναι 2 μg l^{-1} κατά πολύ μικρότερη από την Ευρωπαϊκή Οδηγία.

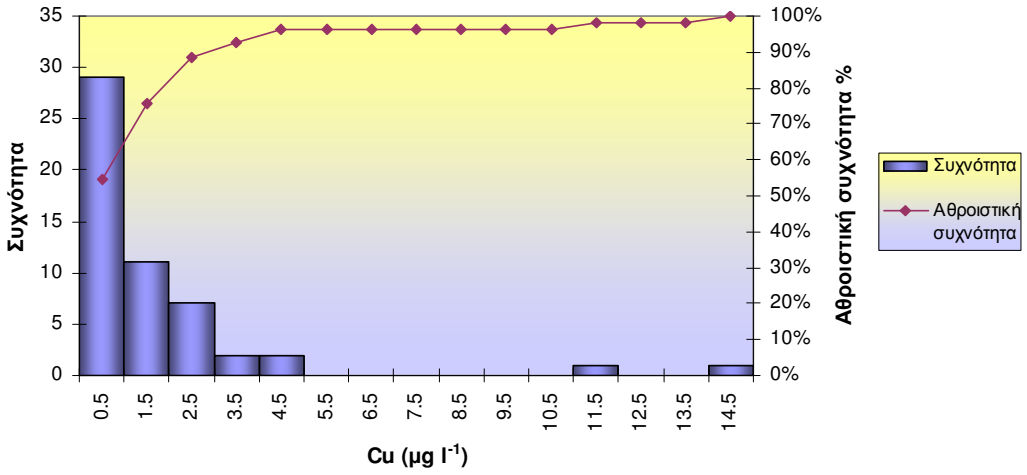
Κατά την υγρή και την ξηρή περίοδο οι γεωχημικοί χάρτες κατανομής του χαλκού (Εικ. 7.79., 7.80.) δε δείχνουν ιδιαίτερες μεταβολές στις συγκεντρώσεις του στοιχείου στο υπόγειο νερό. Όλα τα δείγματα εμφανίζουν περιεκτικότητες μικρότερες από την τιμή των 2000 μg l^{-1} (98/83 E.C.).

Πίνακας 7.26.: *Στατιστικά στοιχεία Cu (μg l^{-1})των ολικών δειγμάτων υπόγειου νερού, δειγμάτων πηγαδιών στα νότια παράλια της ΒΔ Χίου και των δειγμάτων υπόγειου νερού βόρειου (Β) και κεντρικού (Κ) τμήματος της περιοχής έρευνας υγρής* και ξηρής περιόδου.

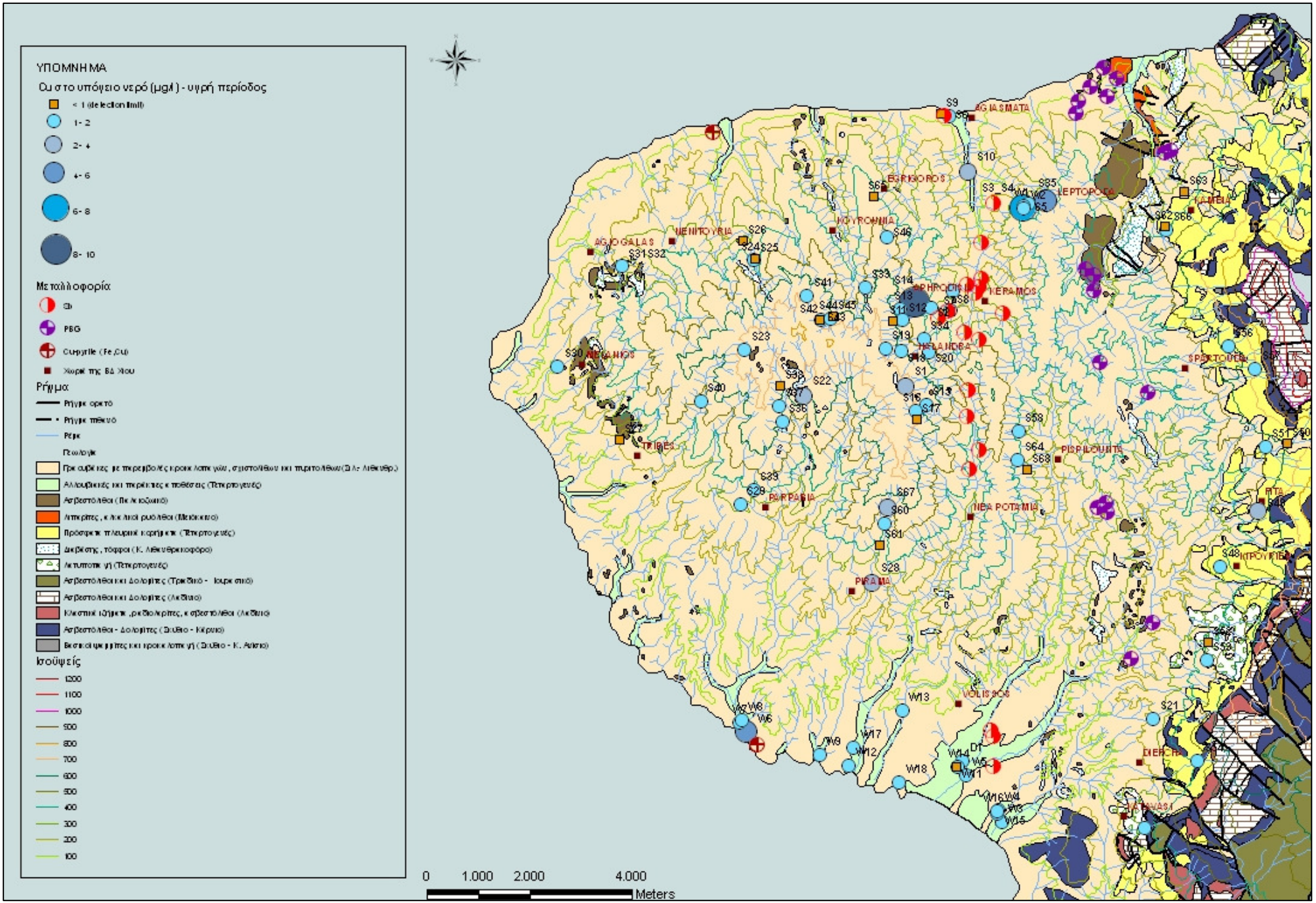
Στατιστικά στοιχεία	*Cu* (υ) ολικ.δειγ.	*Cu* (ξ) ολικ..δειγμ.	*Cu* (υ) πηγάδια	*Cu* (ξ) πηγάδια.	*Cu* (υ) Β. – Κ.τμ.	*Cu* (ξ) Β. – Κ.τμ.
Αριθμητικός μέσος	2	2	2	3	2	2
Τυπική απόκλιση	2	2	1	2	2	2
Ελάχιστη τιμή	1	1	1	1	1	1
Μέγιστη τιμή	10	15	6	8	10	15
Πλήθος τιμών	65	62	14	8	51	53



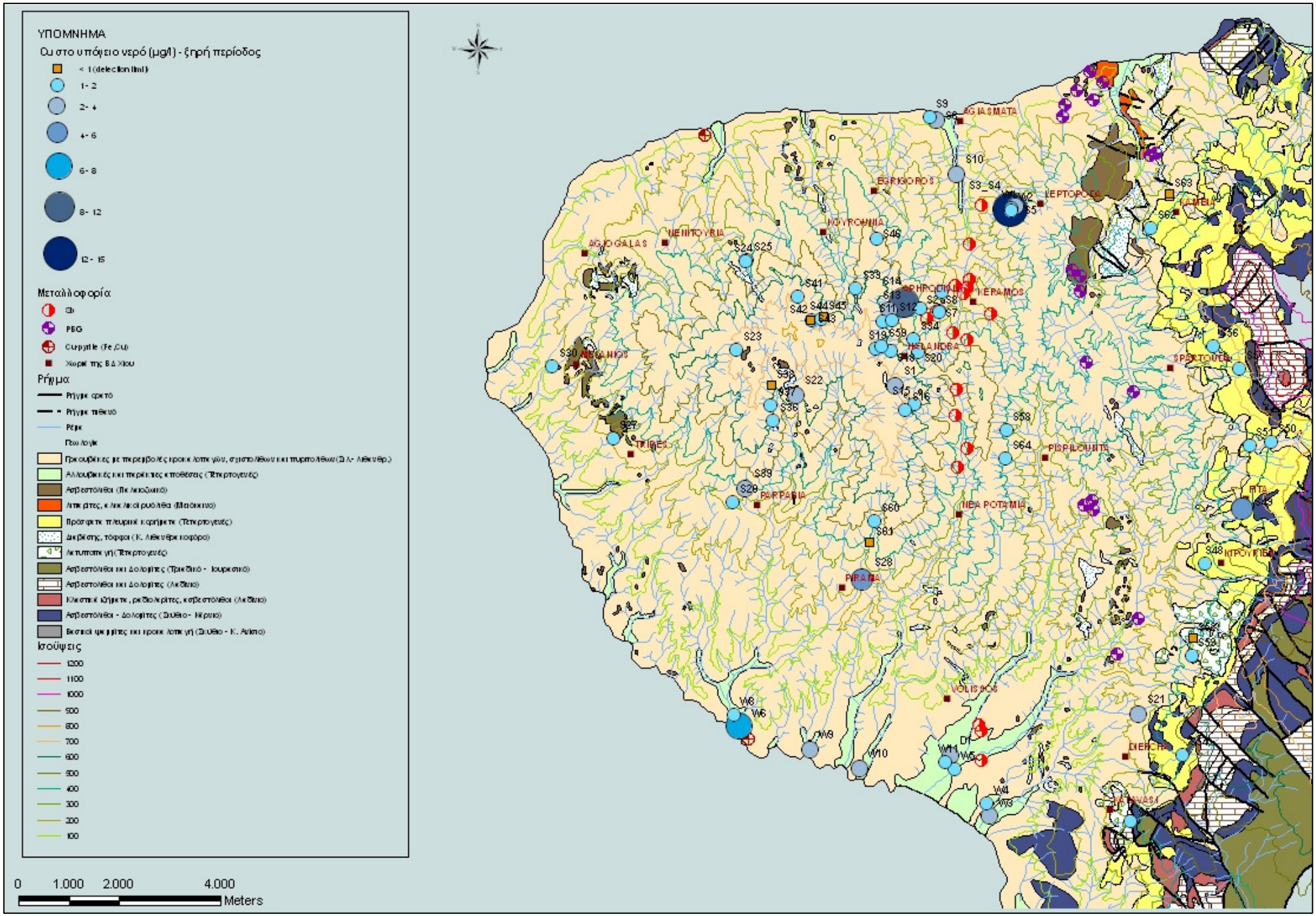
Εικόνα 7.77.: *Ιστόγραμμα περιεχομένων Cu και καμπύλη αθροιστικής συχνότητας για τα δείγματα νερού υγρής περιόδου βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας.*



Εικόνα 7.78.: *Ιστόγραμμα περιεχομένων Cu και καμπύλη αθροιστικής συχνότητας για τα δείγματα νερού ξηρής περιόδου βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας.*



Εικόνα 7.79. : *Γεωχημικός χάρτης κατανομής του Cu στο υπόγειο νερό κατά την υγρή περίοδο στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*



Εικόνα 7.80. : *Γεωχημικός χάρτης κατανομής του Cu στο υπόγειο νερό κατά την ξηρή περίοδο στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*

7.5.4. Αρσενικό (As) και Αντιμόνιο (Sb)

Αρσενικό

Η συγκέντρωση του αρσενικού στα ολικά δείγματα υπόγειου νερού υγρής και ξηρής περιόδου της περιοχής έρευνας κυμαίνεται από 0.37 έως 7 μg l^{-1} και 0.36 έως 12.69μg l^{-1} (Πιν. 7.27.), αντίστοιχα. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων του As για την υγρή περίοδο είναι 0.8μg l^{-1} και για την ξηρή περίοδο είναι 1.1 μg l^{-1} οι οποίες είναι μικρότερες από την επιτρεπτή τιμή των 10 μg l^{-1} της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 98/83.

Όσον αφορά την υγρή περίοδο για τα δείγματα πηγαδιών στα νότια παράλια της περιοχής έρευνας τα δεδομένα υποδιαιρούνται σε 18 κλάσεις με εύρος κλάσης 0.4 μg l^{-1}. Στο ιστόγραμμα συγκέντρωσης του As υγρής περιόδου που προκύπτει διακρίνεται ένας πληθυσμός με το μεγαλύτερο αριθμό τιμών να εμφανίζεται στο διάστημα 0.4 – 0.8 μg l^{-1} (Εικ. 7.81.). Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων του As είναι 0.94 μg l^{-1} που είναι μικρότερη από την επιτρεπτή τιμή των 10 μg l^{-1} της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 98/83.

Όσον αφορά την υγρή περίοδο για τα δείγματα υπόγειου νερού βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας τα δεδομένα υποδιαιρούνται σε 19 κλάσεις με εύρος κλάσης 0.3 μg l^{-1}. Στο ιστόγραμμα διακρίνεται ένας πληθυσμός με το μεγαλύτερο αριθμό τιμών να εμφανίζεται στο διάστημα 0.3 – 0.6 μg l^{-1} (Εικ. 7.82.). Η κατανομή των τιμών *As* θεωρείται λοξή με «ουρά» προς τα δεξιά. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων είναι 0.79 μg l^{-1} που είναι μικρότερη από την επιτρεπτή τιμή των 10 μg l^{-1} της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 98/83.

Όσον αφορά την ξηρή περίοδο η συγκέντρωση As για τα δείγματα στα νότια παράλια της περιοχής μελέτης κυμαίνεται από 0.38 έως 12.69 μg l^{-1} με μέση τιμή 2.08 μgl^{-1} μικρότερη από την επιτρεπτή τιμή της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 98/83.

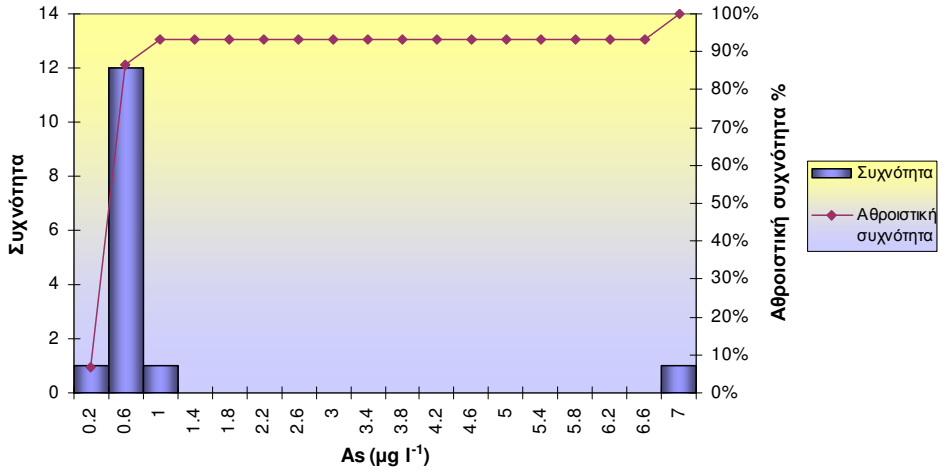
Όσον αφορά την ξηρή περίοδο για τα δείγματα υπόγειου νερού βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας τα δεδομένα υποδιαιρούνται σε 18 κλάσεις με εύρος κλάσης 0.34 μg l^{-1}. Στο ιστόγραμμα διακρίνεται ένας πληθυσμός με το μεγαλύτερο αριθμό τιμών να εμφανίζεται στο διάστημα 0.34 – 0.68 μgl^{-1} (Εικ. 7.83.). Η κατανομή του As θεωρείται λοξή με «ουρά» προς τα δεξιά. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων του As είναι 0.92 μg l^{-1} μικρότερη από την επιτρεπτή συγκέντρωση της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 98/83.

Κατά την υγρή και την ξηρή περίοδο οι γεωχημικοί χάρτες κατανομής του αρσενικού (Εικ. 7.84., 7.85.) δε δείχνουν ιδιαίτερες μεταβολές στις συγκεντρώσεις του στοιχείου στο υπόγειο

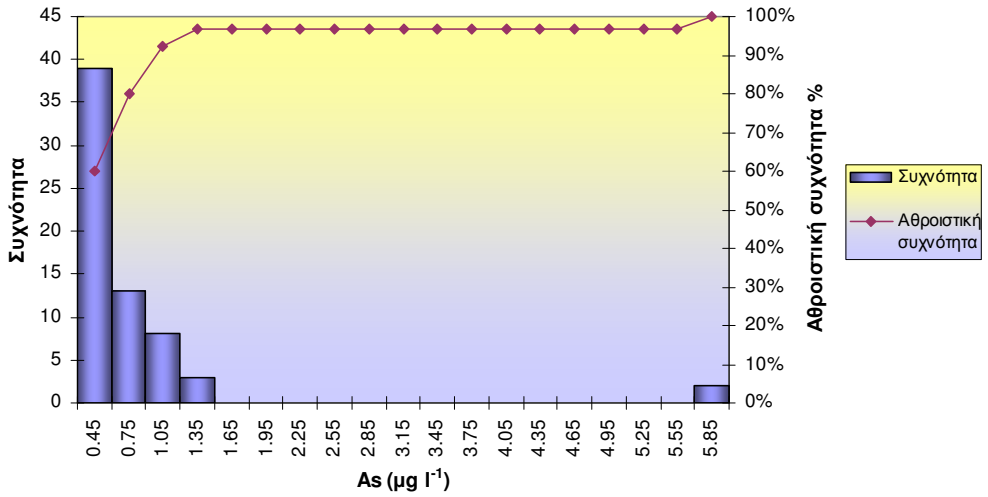
νερό. Παρατηρείται ότι το δείγμα υπόγειου νερού W9 (εγκαταλελειμμένο πηγάδι) στην παραλιακή περιοχή Αγίας Μαρκέλλας Βολισσού κατά την ξηρή περίοδο εμφανίζει τιμή 12.69 μg l^{-1}, η οποία είναι λίγο μεγαλύτερη από την επιτρεπτή τιμή των 10 μg l^{-1} της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 98/83. Πιθανά η αυξημένη τιμή του αρσενικού να οφείλεται σε ανθρωπογενείς παράγοντες (ρήψη απορριμμάτων, λιπάσματα, ζιζανιοκτόνα).

Πίνακας 7.27.: *Στατιστικά στοιχεία As (*μg l^{-1} *)των ολικών δειγμάτων υπόγειου νερού, δειγμάτων πηγαδιών στα νότια παράλια της ΒΔ Χίου και των δειγμάτων υπόγειου νερού βόρειου (Β) και κεντρικού (Κ) τμήματος της περιοχής έρευνας υγρής* και ξηρής περιόδου.

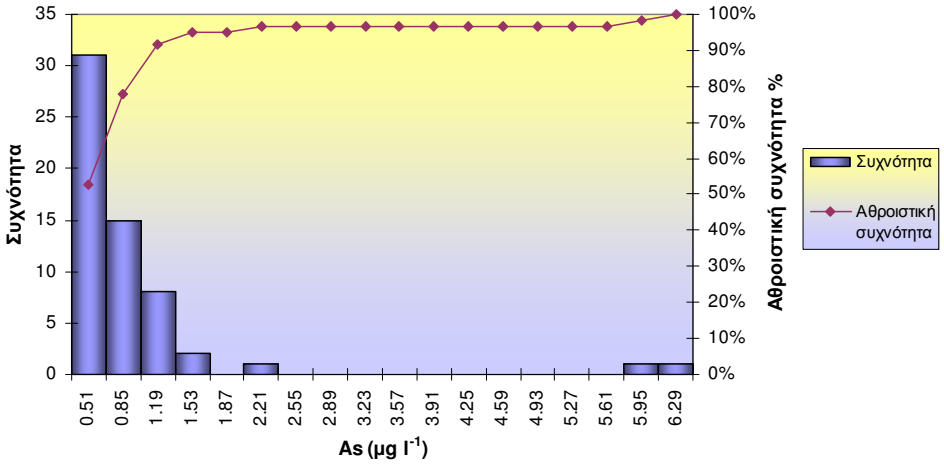
Στατιστικά στοιχεία	*As* (υ) ολικ.δειγ.	*As* (ξ) ολικ..δειγμ.	*As* (υ) πηγάδια	*As* (ξ) πηγάδια.	*As* (υ) Β. – Κ.τμ.	*As* (ξ) Β. – Κ.τμ.
Αριθμητικός μέσος	0.8	1.1	0.94	2.08	0.79	0.92
Τυπική απόκλιση	1	2	1.67	4.28	0.95	1.01
Ελάχιστη τιμή	0.37	0.36	0.36	0.38	0.34	0.36
Μέγιστη τιμή	7	12.69	7	12.69	6	6.13
Πλήθος τιμών	81	68	15	8	65	59



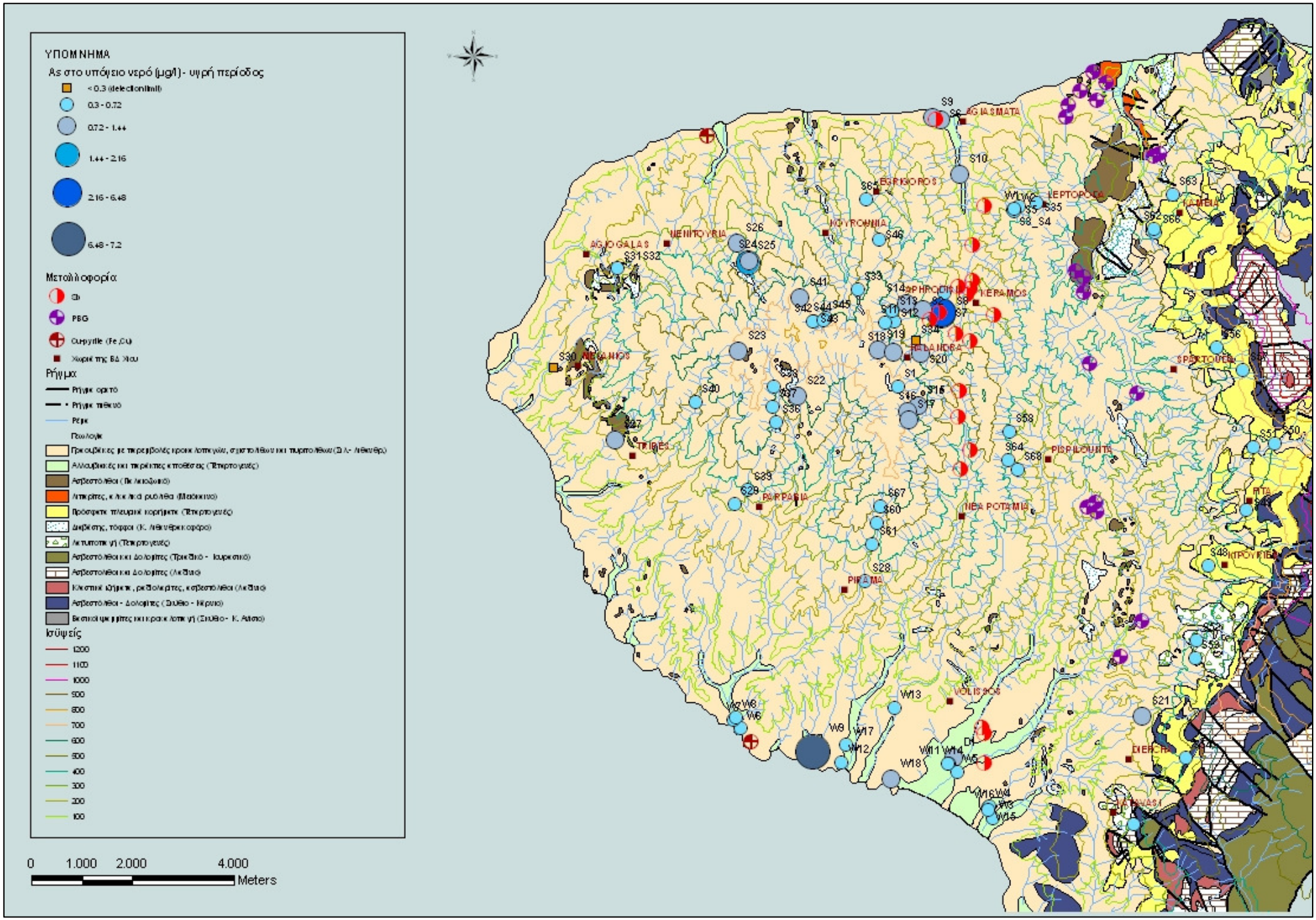
Εικόνα 7.81.: *Ιστόγραμμα περιεχομένων As και καμπύλη αθροιστικής συχνότητας για τα δείγματα των πηγαδιών υγρής περιόδου στα νότια παράλια της ΒΔ Χίου.*



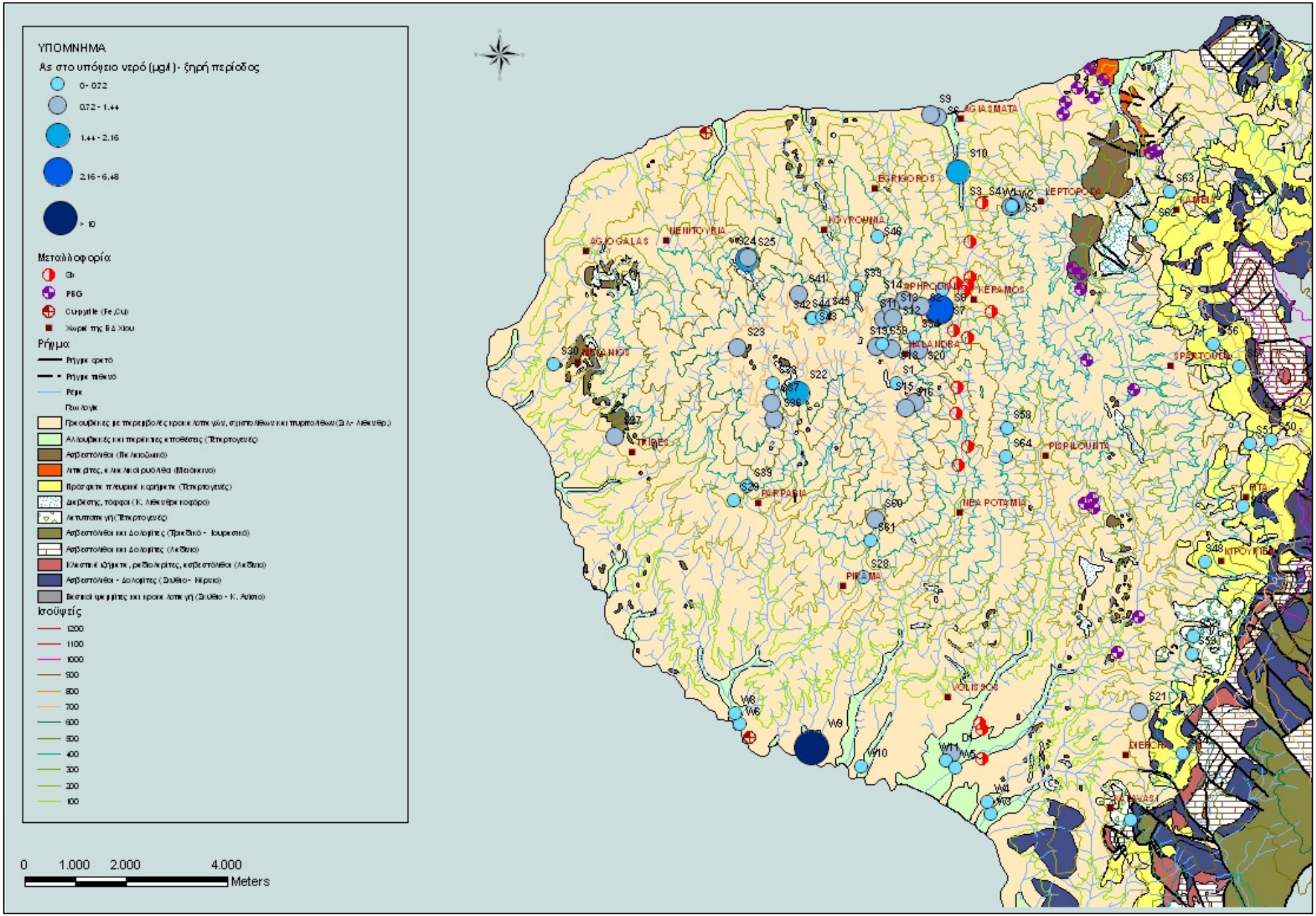
Εικόνα 7.82.: *Ιστόγραμμα περιεχομένων As και καμπύλη αθροιστικής συχνότητας για τα δείγματα νερού υγρής περιόδου βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας.*



Εικόνα 7.83.: *Ιστόγραμμα περιεχομένων As και καμπύλη αθροιστικής συχνότητας για τα δείγματα νερού ξηρής περιόδου βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας.*



Εικόνα 7.84.: *Γεωχημικός χάρτης κατανομής του As στο υπόγειο νερό κατά την υγρή περίοδο στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*



Εικόνα 7.85.: *Γεωχημικός χάρτης κατανομής του As στο υπόγειο νερό κατά την ξηρή περίοδο στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*

Αντιμόνιο (Sb)

Η συγκέντρωση του αντιμονίου στα ολικά δείγματα υπόγειου νερού υγρής και ξηρής περιόδου της περιοχής έρευνας κυμαίνεται από 0.2 έως 145.85 μg l^{-1} και 0.22 έως 478.63 μg l^{-1} (Πιν. 7.28.), αντίστοιχα. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων του Sb για την υγρή περίοδο είναι 8 μg l^{-1} και για την ξηρή περίοδο είναι 26 μg l^{-1} οι οποίες είναι μεγαλύτερες από την επιτρεπτή τιμή των 5 μg l^{-1} της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 98/83 .

Όσον αφορά την υγρή περίοδο για τα δείγματα πηγαδιών στα νότια παράλια της περιοχής έρευνας οι τιμές Sb Κυμαίνονται από 0.26 έως 0.47 μg l^{-1} με μέση συγκέντρωση 0.35 μg l^{-1} η οποία είναι μικρότερη από την επιτρεπτή τιμή των 5 μg l^{-1} της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 98/83

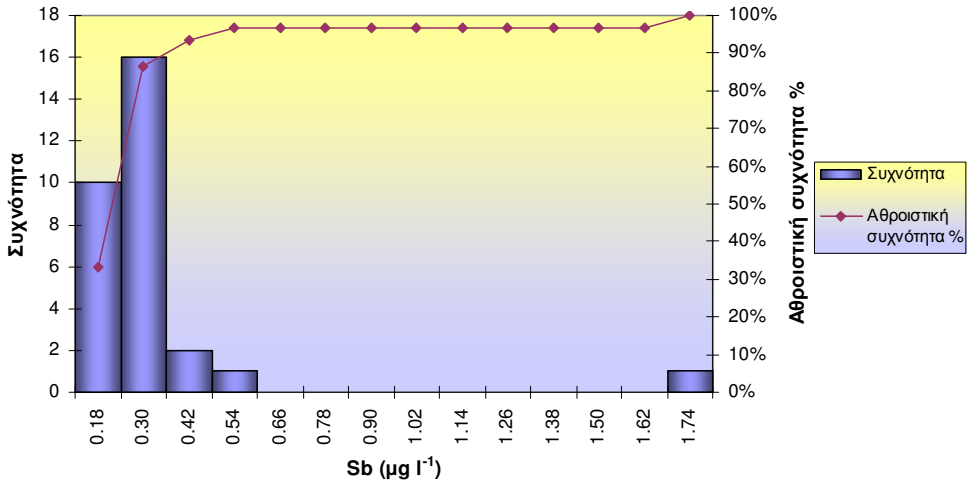
Όσον αφορά την υγρή περίοδο για τα δείγματα υπόγειου νερού βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας τα δεδομένα υποδιαιρούνται σε 14 κλάσεις με εύρος κλάσης 0.12 μg l^{-1}. Στο ιστόγραμμα διακρίνεται ένας πληθυσμός με το μεγαλύτερο αριθμό τιμών να εμφανίζεται στο διάστημα 0.24 – 0.36 μg l^{-1} (Εικ. 7.86.). Η κατανομή των τιμών Sb θεωρείται λοξή με «ουρά» προς τα δεξιά. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων είναι 9.30 μg l^{-1} που είναι μεγαλύτερη από την επιτρεπτή τιμή Ευρωπαϊκής Οδηγίας 98/83.

Όσον αφορά την ξηρή περίοδο οι συγκέντρωσεις Sb για τα δείγματα στα νότια παράλια της περιοχής μελέτης είναι μικρότερες από το όριο ανιχνευσιμότητας της μεθόδου (< 0.2 μg l^{-1}) εκτός από ένα δείγμα το W4 = 0.29 μg l^{-1}. Όσον αφορά την ξηρή περίοδο για τα δείγματα υπόγειου νερού βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας τα δεδομένα υποδιαιρούνται σε 7 κλάσεις με εύρος κλάσης 0.1 μg l^{-1}. Στο ιστόγραμμα διακρίνεται ένας πληθυσμός με το μεγαλύτερο αριθμό τιμών να εμφανίζεται στο διάστημα 0.20 – 0.30 μgl^{-1} (Εικ. 7.87.). Η κατανομή του Sb θεωρείται λοξή με «ουρά» προς τα δεξιά. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων του Sb είναι 27 μg l^{-1} μεγαλύτερη από την επιτρεπτή συγκέντρωση της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 98/83. Κατά την υγρή και την ξηρή περίοδο οι γεωχημικοί χάρτες κατανομής του αντιμονίου (Εικ. 7.88., 7.89.) δε δείχνουν ιδιαίτερες μεταβολές στις συγκεντρώσεις του στοιχείου στο υπόγειο νερό. Στην περιοχή της Κεράμου δύο δείγματα S7=146.85 μg l^{-1} και S8=141.06 μg l^{-1}, ποσοστό 2%, κατά την υγρή περίοδο και τρία δείγματα S7=444.44 μg l^{-1}, S8=478.63 μg l^{-1} (περιοχή Κεράμου) και S10=115.94 μg l^{-1} (περιοχή Αγιασμάτων), ποσοστό 4%, κατά την ξηρή περίοδο εμφανίζουν τιμές υψηλότερες από την επιτρεπτή τιμή των 5 μg l^{-1} της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 98/83. Αυτές οι υψηλές συγκεντρώσεις του Sb οφείλονται στην επίδραση της αντιμονιούχου μεταλλοφορίας (Sb_2S_3) στο υπόγειο νερό

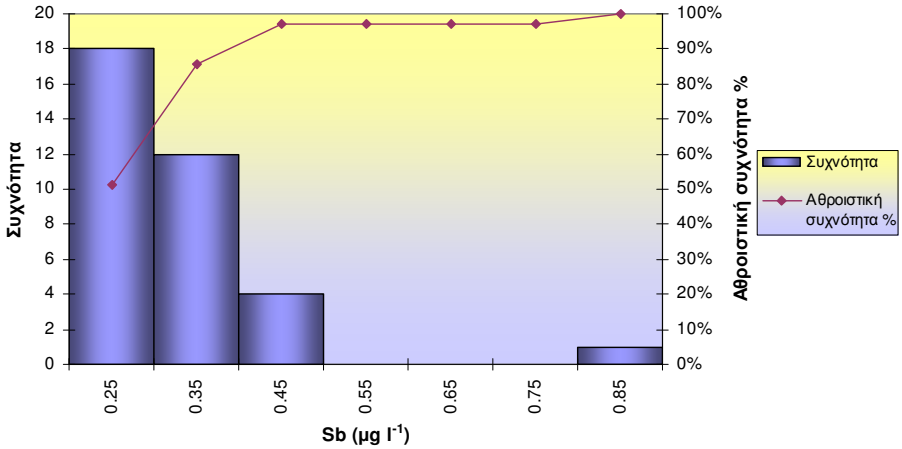
η οποία αναπτύσσεται στις προαναφερόμενες περιοχές καθώς επίσης και στην μεταλλευτική δραστηριότητα που υπήρχε παλαιότερα στην περιοχή. Γενικά η επιβάρυνση του νερού με Sb είναι μεν εξαιρετικά σημαντική φτάνοντας τα εκατοντάδες ppb, ωστόσο έχει καθαρά σημειακό χαρακτήρα και συνδέεται χωρικά με την εμφάνιση μεταλλοφόρων σωμάτων.

Πίνακας 7.28.: *Στατιστικά στοιχεία Sb (μg l^{-1}) των ολικών δειγμάτων υπόγειου νερού, δειγμάτων πηγαδιών στα νότια παράλια της ΒΔ Χίου και των δειγμάτων υπόγειου νερού βόρειου (Β) και κεντρικού (Κ) τμήματος της περιοχής έρευνας υγρής* και ξηρής περιόδου.

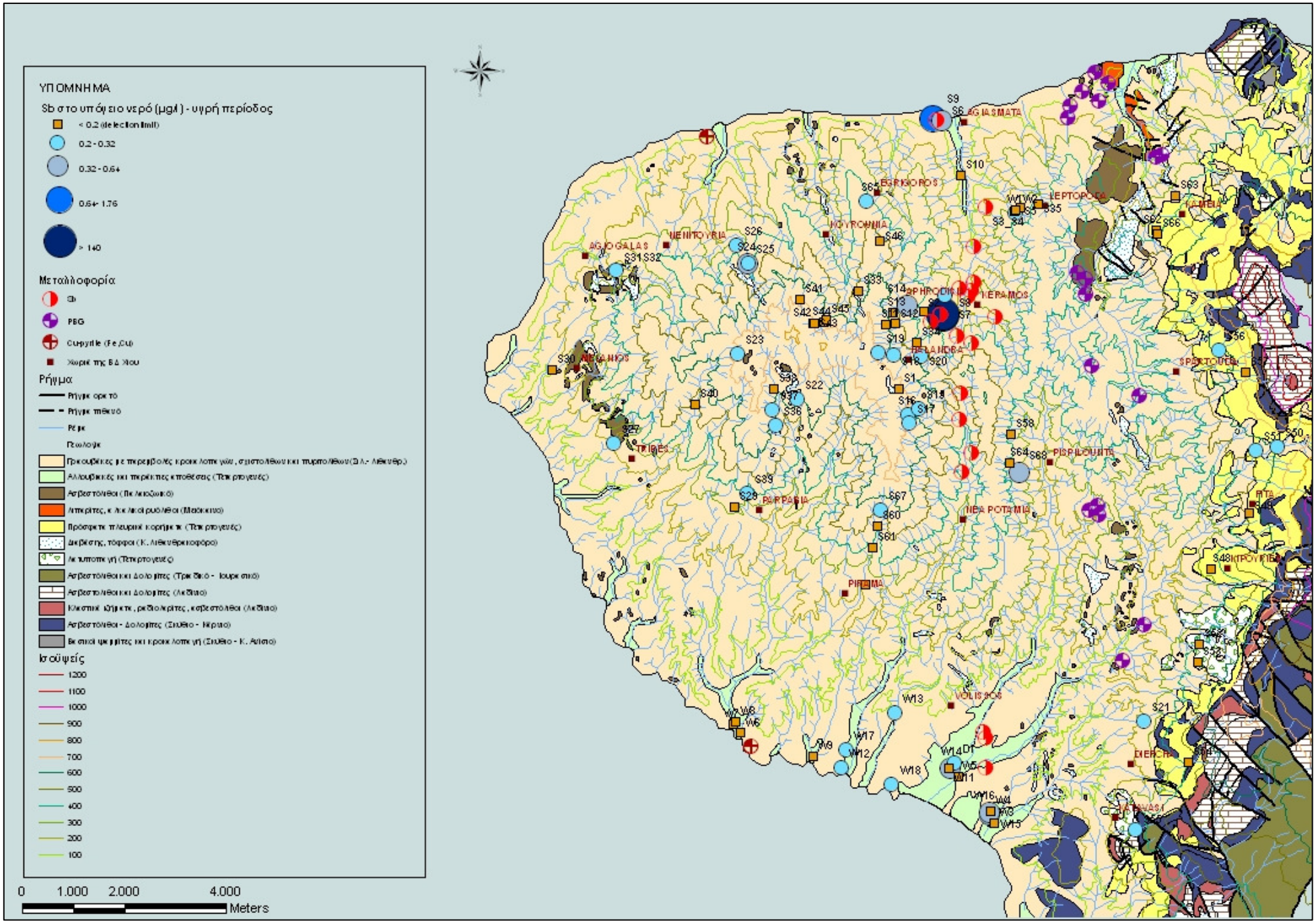
Στατιστικά στοιχεία	*Sb* (υ) ολικ.δειγ.	*Sb* (ξ) ολικ..δειγμ.	*Sb* (υ) πηγάδια	*Sb* (υ) Β. – Κ.τμ.	*Sb* (ξ) Β. – Κ.τμ.
Αριθμητικός μέσος	8	26	0.35	9.30	27
Τυπική απόκλιση	32	103	0.07	35.3	104
Ελάχιστη τιμή	0.2	0.22	0.26	0.2	0.22
Μέγιστη τιμή	146.85	478.63	0.47	146.85	478.63
Πλήθος τιμών	39	40	7	32	39



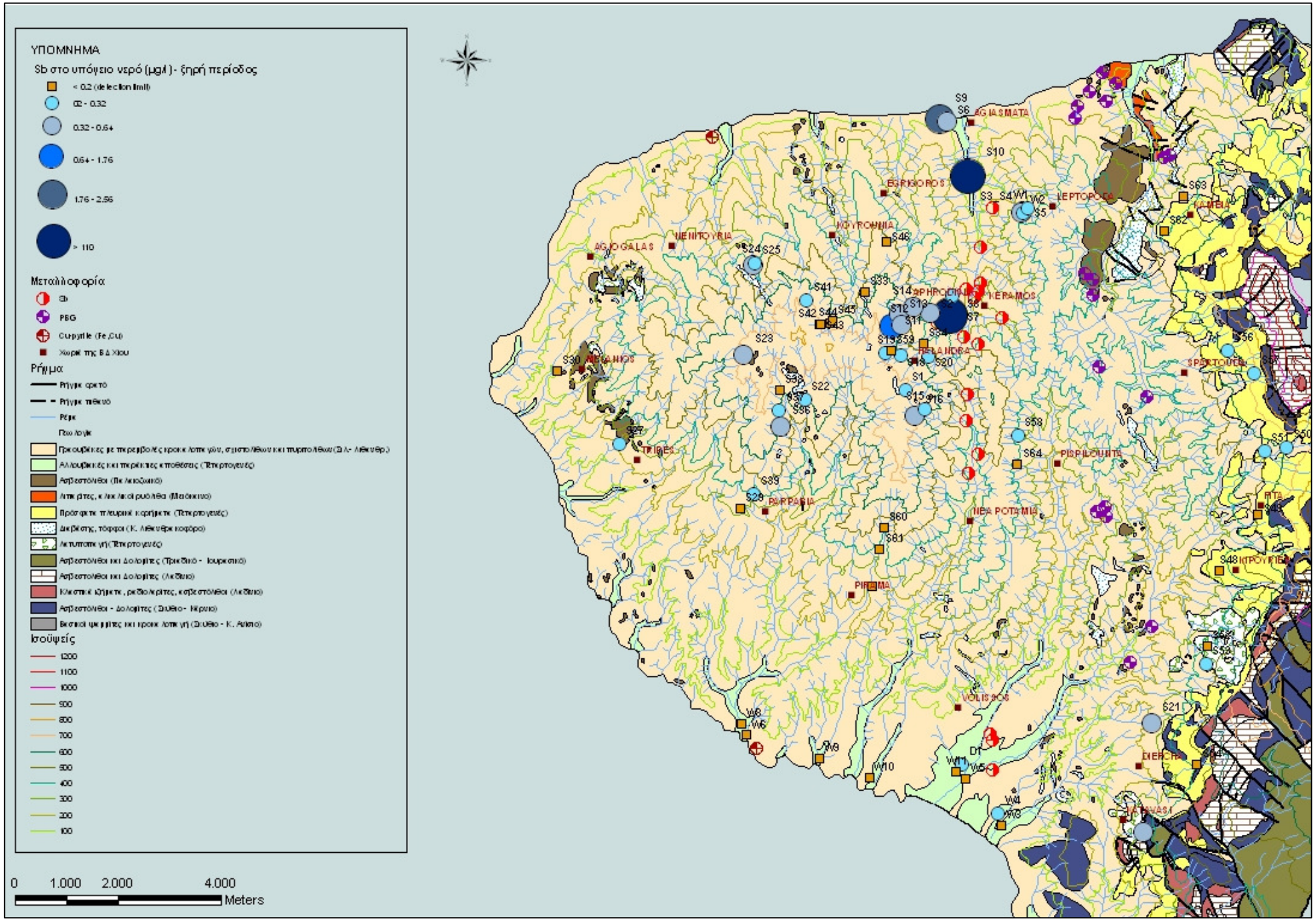
Εικόνα 7.86.: *Ιστόγραμμα περιεχομένων Sb και καμπύλη αθροιστικής συχνότητας για τα δείγματα νερού ξηρής περιόδου βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας. Έχουν εξαιρεθεί τα δείγματα εξαιρετικά υψηλών συγκεντρώσεων της περιοχής Κεράμου-Αγιασμάτων.*



Εικόνα 7.87.: *Ιστόγραμμα περιεχομένων Sb και καμπύλη αθροιστικής συχνότητας για τα δείγματα νερού ξηρής περιόδου βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας. Έχουν εξαιρεθεί τα δείγματα εξαιρετικά υψηλών συγκεντρώσεων.*



Εικόνα 7.88.: *Γεωχημικός χάρτης κατανομής του Sb στο υπόγειο νερό κατά την υγρή περίοδο στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*



Εικόνα 7.89.: *Γεωχημικός χάρτης κατανομής του Sb στο υπόγειο νερό κατά την ξηρή περίοδο στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*

7.5.5. Άλλα στοιχεία

Αργίλιο (Al)

Η συγκέντρωση του αργιλίου στα ολικά δείγματα υπόγειου νερού υγρής περιόδου της περιοχής έρευνας κυμαίνεται από 3 έως 186 μg l^{-1}. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων του αργιλίου είναι 13 μg l^{-1} η οποία είναι πολύ μικρότερη από την επιτρεπόμενη συγκέντρωση των 200 μg l^{-1} σύμφωνα με την οδηγία 98/83 Ε.C. Η συγκέντρωση του αργιλίου στα δείγματα πηγαδιών υγρής περιόδου της περιοχής έρευνας κυμαίνεται από 4 έως 11 μg l^{-1}. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων του αργιλίου είναι 7 μg l^{-1} η οποία είναι πολύ μικρότερη από την επιτρεπόμενη συγκέντρωση των 200 μg l^{-1} σύμφωνα με την οδηγία 98/83 Ε.C. Η συγκέντρωση του αργιλίου στα δείγματα υπόγειου νερού υγρής περιόδου του βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας κυμαίνεται από 3 έως 186 μg l^{-1}. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων του αργιλίου είναι 13 μg l^{-1} η οποία είναι πολύ μικρότερη από την επιτρεπόμενη συγκέντρωση των 200 μg l^{-1} σύμφωνα με την οδηγία 98/83 Ε.C.

Βόριο (B)

Η συγκέντρωση του βορίου στα ολικά δείγματα υπόγειου νερού υγρής περιόδου της περιοχής έρευνας κυμαίνεται από 14 έως 2135 μg l^{-1}. Η υψηλότερη συγκέντρωση βορίου (2135 μg l^{-1} σημειώνεται στη θερμή πηγή S9 της περιοχής των Αγιασμάτων και οφείλεται στη θαλάσσια επίδραση. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων του βορίου είναι 61 μg l^{-1} η οποία είναι πολύ μικρότερη από την επιτρεπόμενη συγκέντρωση των 1000 μg l^{-1} σύμφωνα με την οδηγία 98/83 Ε.C. Η συγκέντρωση του βορίου στα δείγματα πηγαδιών υγρής περιόδου της περιοχής έρευνας κυμαίνεται από 34 έως 185 μg l^{-1}. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων του βορίου είναι 91 μg l^{-1} η οποία είναι πολύ μικρότερη από την επιτρεπόμενη συγκέντρωση των 1000 μg l^{-1} σύμφωνα με την οδηγία 98/83 Ε.C. .Η συγκέντρωση του βορίου στα δείγματα υπόγειου νερού υγρής περιόδου του βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας κυμαίνεται από 14 έως 49 μg l^{-1}. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων του βορίου είναι 22 μg l^{-1} η οποία είναι πολύ μικρότερη από την επιτρεπόμενη συγκέντρωση των 1000 μg l^{-1} σύμφωνα με την οδηγία 98/83 Ε.C.

Βάριο (Ba)

Η συγκέντρωση του βαρίου στα ολικά δείγματα υπόγειου νερού υγρής περιόδου της περιοχής έρευνας κυμαίνεται από 2 έως 1045 μg l^{-1}. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων του βαρίου είναι 30 μg l^{-1}. Η συγκέντρωση του βαρίου στα δείγματα πηγαδιών υγρής περιόδου της περιοχής έρευνας κυμαίνεται από 10 έως 66 μg l^{-1}. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων του βαρίου είναι 26 μg l^{-1}. Η συγκέντρωση του βαρίου στα δείγματα υπόγειου νερού υγρής περιόδου του βόρειου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας κυμαίνεται από 2 έως 89 μg l^{-1}. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων βαρίου είναι 13 μg l^{-1}.

Λίθιο (Li)

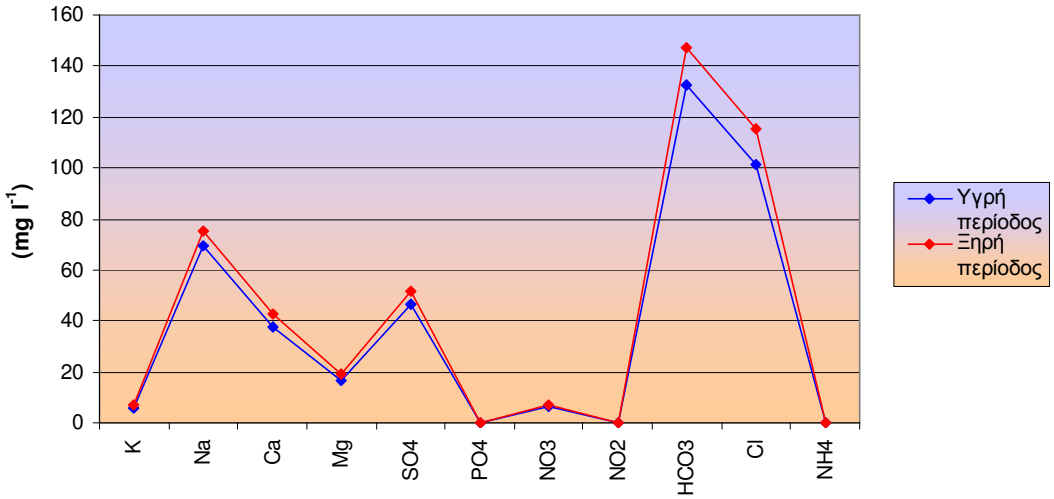
Η συγκέντρωση του λιθίου στα ολικά δείγματα υπόγειου νερού υγρής περιόδου της περιοχής έρευνας κυμαίνεται από 1 έως 3731 μg l^{-1}. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων του λιθίου είναι 63 μg l^{-1}. Η συγκέντρωση του λιθίου στα δείγματα πηγαδιών υγρής περιόδου της περιοχής έρευνας κυμαίνεται από 4 έως 30 μg l^{-1}. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων του λιθίου είναι 14 μg l^{-1}. Η συγκέντρωση του λιθίου στα δείγματα υπόγειου νερού υγρής περιόδου του λιθίου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας κυμαίνεται από 1 έως 10 μg l^{-1}. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων λιθίου είναι 4 μg l^{-1}.

Πυρίτιο (Si)

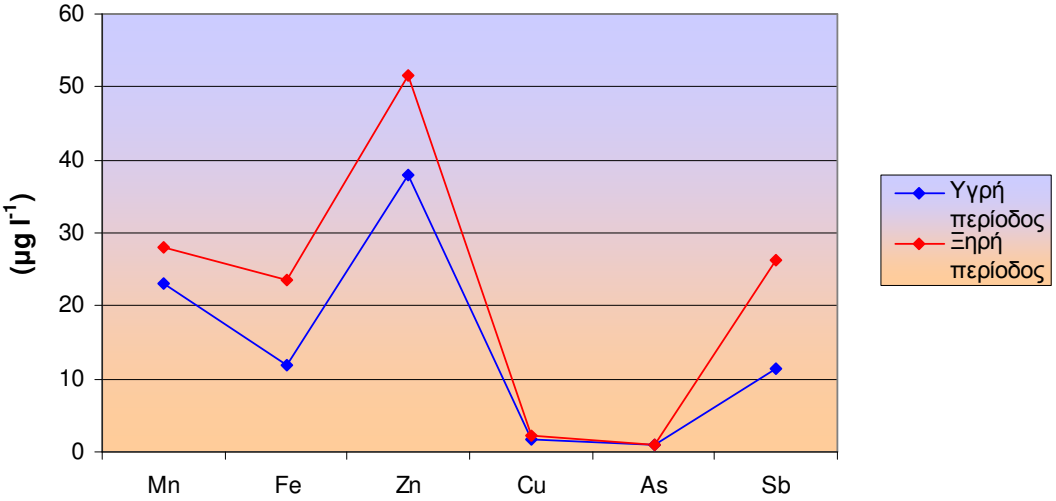
Η συγκέντρωση του πυριτίου στα ολικά δείγματα υπόγειου νερού υγρής περιόδου της περιοχής έρευνας κυμαίνεται από 1 έως 30 μg l^{-1}. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων του πυριτίου είναι 6 μg l^{-1}. Η συγκέντρωση του πυριτίου στα δείγματα πηγαδιών υγρής περιόδου της περιοχής έρευνας κυμαίνεται από 6 έως 9 μg l^{-1}. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων του πυριτίου είναι 7 μg l^{-1}. Η συγκέντρωση του πυριτίου στα δείγματα υπόγειου νερού υγρής περιόδου του πυριτίου και κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας κυμαίνεται από 1 έως 11 μg l^{-1}. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων πυριτίου είναι 6 μg l^{-1}.

7.6 Εποχιακή διακύμανση της χημικής σύστασης του υπόγειου νερού στα κύρια στοιχεία και ιχνοστοιχεία

Προκειμένου να υπάρχει εικόνα για τη διακύμανση της χημικής σύστασης και τη μεταβολή της ποιότητας του νερού κατά την υγρή και την ξηρή περίοδο κατασκευάστηκαν διαγράμματα εποχιακής διακύμανσης (Εικ. 7.90., 7.91.) του μέσου όρου των συγκεντρώσεων των κυριότερων ιόντων και ιχνοστοιχείων.



Εικόνα 7.90.: *Εποχιακή διακύμανση της χημικής σύστασης των κύριων στοιχείων των δειγμάτων υπόγειου νερού υγρής και ξηρής περιόδου στην περιοχή έρευνας.*



Εικόνα 7.91.: *Εποχιακή διακύμανση της χημικής σύστασης ιχνοστοιχείων των δειγμάτων υπόγειου νερού υγρής και ξηρής περιόδου στην περιοχή έρευνας.*

Όπως φαίνεται στην εικόνα 7.90. οι μεταβολές των συγκεντρώσεων των ιόντων K^+, Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, SO_4^{2-}, PO_4^{3-}, NO_3^-, NO_2^-, HCO_3^-, Cl^-, NH_4^+ για τις δύο περιόδους είναι πολύ μικρές. Στην εικόνα 7.91. μικρές μεταβολές παρατηρούνται για τις δύο περιόδους στα ιχνοστοιχεία Mn, Cu και As. Σημαντική αύξηση των συγκεντρώσεων των ιχνοστοιχείων Fe, Zn, Sb παρατηρείται κατά την ξηρή περίοδο.

7.7 Δείκτες Κορεσμού και προσδιορισμός των ειδών Sb και As στο νερό

Με τη βοήθεια του προγράμματος Hydrowin Version 3.0 υπολογίστηκαν οι δείκτες κορεσμού των διαφόρων ορυκτών για τα δείγματα του υπόγειου νερού κατά την υγρή (Πιν. 7.29) και κατά την ξηρή περίοδο (Πίν.7.30.) με βάση τις συγκεντρώσεις των κυρίων στοιχείων στο νερό.

Πίνακας 7.29.: *Δείκτες κορεσμού των δειγμάτων υπόγειου νερού της υγρής περιόδου για διάφορα ορυκτά.*

Α/Α	ΔΕΙΓΜΑ	Ασβεστίτης ($CaCO_3$)	Αραγωνίτης ($CaCO_3$)	Δολομίτης ($CaMg(CO_3)_2$)	Μαγνησίτης ($MgCO_3$)	Γύψος ($CaSO_4 2H_2O$)	Ανυδρίτης ($CaSO_4$)
1	S1	-0.493	-0.646	-0.968	-1.388	-2.497	-2.75
2	S2	-0.11	-0.261	-0.104	-0.834	-1.951	-2.199
3	S3_S4	0.332	0.184	1.005	-0.079	-2.239	-2.481
4	S5	0.348	0.195	1.089	-0.164	-2.101	-2.353
5	S6	0.31	0.155	1.062	-0.226	-0.226	-1.777
6	S9	0.22	0.093	-0.889	-0.915	-1.748	-1.813
7	S11	-1.47	-1.622	-2.722	-2.134	-2.756	-3.007
8	S12	-1.139	-1.291	-2.313	-2.037	-2.465	-2.715
9	S13	-1.988	-2.14	-3.654	-2.574	-2.754	-3.007
10	S14	-1.535	-1.688	-2.775	-2.162	-2.544	-2.798
11	S15	-1.121	-1.273	-2.197	-1.962	-2.495	-2.746
12	S16	-0.549	-0.705	-1.003	-1.493	-2.202	-2.459
13	S17	-0.934	-1.087	-1.91	-1.903	-2.437	-2.69
14	S18	-1.388	-1.541	-2.564	-2.106	-2.668	-2.921
15	S19	-1.476	-1.629	-2.808	-2.259	-2.744	-2.998
16	S20	-1.356	-1.51	-2.554	-2.174	-2.31	-2.565
17	S21	0.321	0.168	1.01	-0.23	-2.282	-2.535
18	S22	-0.803	-0.954	-1.677	-1.743	-2.442	-2.693
19	S23	-0.997	-1.15	-2.228	-2.161	-2.778	-3.032
20	S24	-0.372	-0.529	-0.935	-1.635	-2.095	-2.351
21	S25	-1.263	-1.417	-2.423	-2.105	-2.687	-2.941
22	S26	-1.155	-1.311	-2.335	-2.225	-2.433	-2.69
23	S27	0.267	0.113	0.336	-0.9	-2.071	-2.326
24	S28	-0.168	-0.321	-0.289	-1.035	-2.033	-2.286
25	S29	-0.569	-0.722	-1.224	-1.574	-2.444	-2.697
26	S30	0.126	-0.025	-0.17	-1.139	-2.079	-2.327
27	S31S32	0.147	-0.004	0.017	-0.978	-2.109	-2.358
28	S33	-0.512	-0.663	-0.957	-1.276	-2.514	-2.762
29	S34	0.213	0.062	0.302	-0.774	-2.018	-2.269
30	S35	0.149	-0.002	0.622	-0.384	-1.98	-2.229
31	S36	-0.583	-0.734	-1.164	-1.426	-2.315	-2.564
32	S37	-0.327	-0.479	-0.914	-1.467	-2.317	-2.568
33	S38	-1.008	-1.159	-2.13	-1.985	-2.372	-2.622
34	S39	-1.083	-1.234	-2.047	-1.841	-2.42	-2.671
35	S40	-1.287	-1.436	-2.448	-1.944	-2.829	-3.073
36	S41	-0.003	-0.156	-0.059	-0.967	-2.388	-2.641
37	S42	-2.465	-2.617	-4.507	-2.925	-3.186	-3.437

Πίνακας 7.29.(συνέχεια): *Δείκτες κορεσμού των δειγμάτων υπόγειου νερού της υγρής περιόδου για διάφορα ορυκτά.*

Α/Α	ΔΕΙΓΜΑ	Ασβεστίτης ($CaCO_3$)	Αραγωνίτης ($CaCO_3$)	Δολομίτης ($CaMg(CO_3)_2$)	Μαγνησίτης ($MgCO_3$)	Γύψος ($CaSO_4 2H_2O$)	Ανυδρίτης ($CaSO_4$)
38	S43	-2.45	-2.602	-4.469	-2.916	-3.211	-3.463
39	S44	-1.491	-1.645	-2.798	-2.256	-2.719	-2.974
40	S45	-0.874	-1.027	-1.691	-1.73	-2.738	-2.991
41	S46	-1.092	-1.245	-2.153	-1.969	-2.476	-2.728
42	S47	-0.955	-1.108	-1.825	-1.778	-2.8	-3.052
43	S48	0.006	-0.144	0.136	-0.708	-2.491	-2.74
44	S49	-0.254	-0.407	-0.354	-0.999	-2.649	-2.901
45	S50	0.594	0.44	1.42	-0.107	-2.048	-2.301
46	S51	0.292	0.14	0.832	-0.34	-2.433	-2.684
47	S52	0.386	0.235	0.768	-0.452	-2.34	-2.588
48	S53	-0.117	-0.268	-0.231	-0.948	-2.559	-2.807
49	S54	0.275	0.126	0.476	-0.591	-2.051	-2.296
50	S55	0.076	-0.074	-0.042	-0.903	-2.105	-2.35
51	S56	-0.069	-0.221	0.026	-0.81	-2.601	-2.854
52	S57	-0.086	-0.239	-0.091	-0.913	-2.555	-2.807
53	S58	-0.433	-0.58	-0.706	-0.973	-2.091	-2.327
54	S60	0.473	0.324	1.119	-0.149	-2.066	-2.311
55	S61	-0.283	-0.432	-0.442	-0.957	-2.196	-2.441
56	S62	0.232	0.082	0.338	-0.692	-2.395	-2.641
57	S63	0.828	0.677	1.679	0.025	-2.382	-2.629
58	S64	0.634	0.485	1.428	0.025	-2.102	-2.345
59	S65	-0.096	-0.248	-0.131	-0.918	-1.999	-2.250
60	S66	0.076	-0.074	0.151	-0.722	-2.625	-2.871
61	S67	0.223	0.074	0.473	-0.519	-2.048	-2.291
62	S68	0.394	0.242	1.197	-0.051	-2.078	-2.328
63	D1	0.02	-0.132	0.284	-0.627	-1.947	-2.199
64	W1	-0.354	-0.503	-0.296	-0.731	-2.179	-2.424
65	W2	-0.341	-0.492	-0.382	-0.895	-2.252	-2.501
66	W3	-0.069	-0.219	0.166	-0.582	-1.531	-1.778
67	W4	0.386	0.235	1.173	-0.079	-1.333	-1.583
68	W5	0.594	0.443	1.64	0.229	-1.611	-1.858
69	W6	-0.709	-0.858	-1.416	-1.453	-2.071	-2.312
70	W7	-0.692	-0.841	-1.337	-1.412	-2.196	-2.439
71	W8	-0.401	-0.550	-0.857	-1.225	-2.179	-2.422
72	W9	1.086	0.938	2.558	0.717	-1.465	-1.707
73	W11	0.170	0.021	0.477	-0.491	-1.853	-2.099
74	W12	-0.605	-0.755	-0.984	-1.176	-2.095	-2.341
75	W13	0.346	0.196	1.087	-0.085	-1.532	-1.779
76	W14	-0.052	-0.201	0.105	-0.641	-1.896	-2.141
77	W15	0.752	0.601	1.895	0.318	-1.504	-1.752
78	W16	0.473	0.325	1.301	0.059	-1.390	-1.633
79	W17	-0.098	-0.248	-0.075	-0.783	-1.997	-2.243
80	W18	0.674	0.526	1.728	0.313	-1.316	-1.557

Πίνακας 7.30.: *Δείκτες κορεσμού των δειγμάτων υπόγειου νερού της ξηρής περιόδου για διάφορα ορυκτά.*

Α/Α	ΔΕΙΓΜΑ	Ασβεστίτης ($CaCO_3$)	Αραγωνίτης ($CaCO_3$)	Δολομίτης ($CaMg(CO_3)_2$)	Μαγνησίτης ($MgCO_3$)	Γύψος ($CaSO_4 2H_2O$)	Ανυδρίτης ($CaSO_4$)
1	S1	-0.843	-0.996	-1.643	-1.711	-2.113	-2.366
2	S2	-0.008	-0.158	0.138	-0.663	-1.937	-2.183
3	S3_S4	0.639	0.491	1.654	0.275	-2.227	-2.468
4	S5	0.78	0.628	1.957	0.291	-2.092	-2.343
5	S6	0.356	0.204	1.071	-0.158	-1.501	-1.752
6	S9	0.527	0.4	-0.217	-0.55	-1.743	-1.808
7	S11	-0.811	-0.963	-1.465	-1.548	-2.328	-2.58
8	S12	-0.482	-0.633	-0.895	-1.248	-2.32	-2.568
9	S13	-0.575	-0.726	-0.829	-1.123	-2.673	-2.923
10	S14	-0.935	-1.084	-1.637	-1.5	-2.556	-2.802
11	S15	-0.76	-0.908	-1.488	-1.492	-2.385	-2.627
12	S16	0.126	-0.023	0.258	-0.66	-2.145	-2.39
13	S18	-1.402	-1.55	-2.737	-2.087	-2.621	-2.862
14	S19	-1.251	-1.4	-2.518	-2.036	-2.666	-2.909
15	S20	-1.1	-1.25	-2.17	-1.867	-2.266	-2.511
16	S21	-0.228	-0.377	-0.21	-0.737	-2.265	-2.507
17	S22	-0.305	-0.454	-0.828	-1.275	-2.38	-2.622
18	S23	-1.172	-1.32	-2.747	-2.336	-2.717	-2.959
19	S24	-0.405	-0.552	-1.237	-1.559	-2.02	-2.26
20	S25	-0.501	-0.648	-1.04	-1.236	-2.338	-2.574
21	S27	0.142	-0.006	-0.023	-0.876	-2.056	-2.294
22	S28	0.466	0.316	0.912	-0.337	-1.939	-2.183
23	S29	-0.225	-0.373	-0.661	-1.159	-2.217	-2.456
24	S30	0.073	-0.074	-0.319	-1.09	-2.035	-2.271
25	S33	-0.196	-0.343	-0.377	-0.893	-2.464	-2.702
26	S34	0.302	0.153	0.434	-0.622	-2.006	-2.248
27	S36	-0.284	-0.431	-0.676	-1.087	-2.193	-2.429
28	S37	0.05	-0.098	-0.323	-1.093	-2.262	-2.5
29	S38	-0.434	-0.582	-1.155	-1.462	-2.224	-2.465
30	S39	-1.004	-1.152	-2.029	-1.76	-2.19	-2.43
31	S41	0.217	0.07	0.165	-0.764	-2.237	-2.474
32	S42	-1.646	-1.794	-3.022	-2.117	-2.906	-3.146
33	S43	-2.128	-2.276	-3.877	-2.49	-3.001	-3.241
34	S44	-1.184	-1.332	-2.333	-1.887	-2.591	-2.831
35	S45	-0.377	-0.525	-0.973	-1.334	-2.366	-2.606
36	S46	-0.835	-0.983	-1.756	-1.647	-2.472	-2.711
37	S47	-0.629	-0.777	-1.415	-1.526	-2.557	-2.798
38	S48	-0.247	-0.397	-0.396	-0.946	-2.385	-2.631
39	S49	-0.223	-0.372	-0.437	-0.971	-2.426	-2.669
40	S50	0.412	0.263	1.011	-0.17	-2.048	-2.291
41	S51	-0.042	-0.192	0.031	-0.704	-2.246	-2.49

Πίνακας 7.30.(συνέχεια)*: Δείκτες* κορεσμού των δειγμάτων υπόγειου νερού της ξηρής περιόδου για διάφορα ορυκτά.

Α/Α	ΔΕΙΓΜΑ	Ασβεστίτης ($CaCO_3$)	Αραγωνίτης ($CaCO_3$)	Δολομίτης ($CaMg(CO_3)_2$)	Μαγνησίτης ($MgCO_3$)	Γύψος ($CaSO_4 2H_2O$)	Ανυδρίτης ($CaSO_4$)
42	S52	0.362	0.213	0.718	-0.433	-2.251	-2.496
43	S53	0.085	-0.063	0.189	-0.665	-2.397	-2.64
44	S54	0.539	0.391	1.036	-0.258	-1.995	-2.237
45	S55	0.147	0	0.064	-0.804	-2.061	-2.3
46	S56	-0.049	-0.199	0.024	-0.759	-2.505	-2.753
47	S57	0.062	-0.088	0.118	-0.733	-2.422	-2.666
48	S58	0.098	-0.049	0.401	-0.394	-2.044	-2.28
49	S59	-1.445	-1.592	-2.791	-2.058	-2.649	-2.887
50	S60	0.329	0.18	0.839	-0.248	-2.034	-2.276
51	S61	0.468	0.319	1.042	-0.166	-2.171	-2.412
52	S62	0.358	0.209	0.577	-0.57	-2.243	-2.487
53	S63	0.727	0.579	1.392	-0.087	-2.289	-2.53
54	S64	0.511	0.363	1.14	-0.082	-2.035	-2.272
55	D1	0.14	-0.008	0.421	-0.456	-1.917	-2.157
56	W1	-0.27	-0.419	-0.102	-0.621	-2.166	-2.411
57	W2	-0.286	-0.434	-0.249	-0.68	-2.151	-2.389
58	W3	0.014	-0.134	0.268	-0.486	-1.505	-1.746
59	W4	0.418	0.269	1.11	-0.048	-1.287	-1.527
60	W5	0.308	0.159	0.969	-0.091	-1.559	-1.8
61	W6	-0.558	-0.705	-1.118	-1.286	-2.01	-2.249
62	W8	-0.872	-1.02	-1.787	-1.656	-2.137	-2.377
63	W9	0.821	0.673	2.051	0.475	-1.438	-1.679
64	W10	0.3	0.153	0.749	-0.249	-1.266	-1.502
65	W11	0.342	0.193	0.805	-0.321	-1.698	-1.942

Από τους παραπάνω πίνακες παρατηρείται ότι για πολλά δείγματα υπόγειου νερού υγρής και ξηρής περιόδου ο δείκτης κορεσμού είναι αρνητικός που σημαίνει ότι το υπόγειο νερό είναι ακόρεστο δηλαδή έχει την τάση να διαλύει το ορυκτό οπότε με αυτόν τον τρόπο επηρεάζεται η σύστασή του. Επιπλέον ο δείκτης κορεσμού είναι ίσος με μηδέν που σημαίνει ότι το νερό βρίσκεται σε ισορροπία με το ορυκτό. Ενώ αρνητική τιμή του δείκτη κορεσμού έχει ως αποτέλεσμα το νερό να είναι υπέρκορο δηλαδή έχει την τάση να αποθέτει το ορυκτό.

Ειδικά για την περιοχή της Κεράμου, όπου εντοπίζεται η ρύπανση του νερού με Sb διερευνήθηκαν τα ιοντικά είδη εμφάνισης του στοιχείου με βάση τόσο τα δεδομένα της σύστασης τριών πηγών της περιοχής, όσο και τα ορυκτολογικά δεδομένα δειγμάτων πετρωμάτων κατά μήκος της κοιλάδας Κεράμου-Αγιασμάτων. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε το υπολογιστικό πρόγραμμα PHREEQC (Parkhurst and Appelo, 1999) το οποίο παρέχει τη δυνατότητα εξαγωγής αντίστροφων γεωχημικών μοντέλων τα οποία χρησιμοποιούνται για να

προσδιοριστούν οι μηχανισμοί που οδήγησαν σε μια δοθείσα κατάσταση σύστασης νερού. Με το αντίστροφο γεωχημικό μοντέλο (inverse modeling) του λογισμικού PHREEQC επιτυγχάνεται η μίμηση, η εξομοίωση των διαδικασιών χημικών αντιδράσεων και μεταφοράς σε φυσικό ή ρυπασμένο νερό. Μερικές από τις αντιδράσεις που περιλαμβάνει είναι: μίξη νερών, διάλυση και καθίζηση φάσεων μέχρι να επιτευχθεί ισορροπία με την υδάτινη φάση, καθώς και επιδράσεις λόγω μεταβολών της θερμοκρασίας. Το πρόγραμμα είναι βασισμένο στη χημική ισορροπία των υδατικών διαλυμάτων που αλληλεπιδρούν με τα ορυκτά, τα αέρια, τα στερεά διαλύματα, τους ανταλλάκτες και τις επιφάνειες προσρόφησης. Επιπλέον παρέχει τη δυνατότητα διαμόρφωσης διάφορων αντιδράσεων με βάση μια σειρά εξισώσεων. Επίσης το πρόγραμμα PHREEQC υπολογίζει συγκεντρώσεις στοιχείων, molalities και ενεργότητες υδάτινων ειδών, pH, pe και δείκτες κορεσμού.

Ο κώδικας του αντίστροφου γεωχημικού μοντέλου χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα έρευνα με δεδομένα εισόδου στοιχεία των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων S7, S8, S10 για να ερμηνεύσει ποιοτικά τις χημικές αλλαγές που παρατηρούνται μεταξύ της υγρής και ξηρής περιόδου στην περιοχή της Κεράμου (Chazidiakos et al 2008). Συγκεκριμένα, από τα δεδομένα της χημικής ανάλυσης του νερού χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα εισόδου τα στοιχεία K^+, Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, SO_4^{2-}, NO_3^-, PO_4^{3-}, HCO_3^-, Cl^-, Sb, As, Fe και οι φυσικοχημικές παράμετροι pH, pe (Eh), T. Σημειώνεται ότι το pe συνδέεται με το Eh με τη σχέση:

$$pe = Eh \cdot (R \cdot T \cdot F/2.303)$$

όπου F είναι η σταθερά Faraday, R είναι η σταθερά των αερίων και T η θερμοκρασία σε βαθμούς Kelvin.

Επίσης με βάση τα αποτελέσματα του ορυκτολογικού προσδιορισμού στα δείγματα πετρωμάτων της περιοχής Κεράμου (βλ. Κεφ. 5) οι στερεές φάσεις που χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα εισόδου για το αντίστροφο γεωχημικό μοντέλο ήταν οι ακόλουθες: σιδηροπυρίτης, αντιμονίτης, γκαιτίτης, οξείδια του αντιμονίου (βαλλεντινίτης, θερβαντίτης) και υδροξυλαπατίτης. Στη συνέχεια επιλέχθηκε μία σειρά από αντιδράσεις υδρόλυσης και οξειδοαναγωγής των φάσεων αυτών, οι οποίες δυνητικά ελέγχουν τη χημεία του υπόγειου νερού μεταξύ υγρής και ξηρής περιόδου (Πίνακας 7.31). Για τους υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκε η βάση θερμοδυναμικών δεδομένων MINTEQ.DAT version 4, η οποία τροποποιήθηκε σύμφωνα με τις ορυκτολογικές φάσεις που επιλέχθηκαν για το inverse

modeling και αποτέλεσε το εργαλείο για τους διάφορους χημικούς υπολογισμούς ισορροπίας. Η τροποποιημένη βάση δεδομένων MINTEQ.DAT περιέχει ένα σύνολο κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων με τα σθένη τους και τα ατομικά τους βάρη.

Πίνακας 7.31: *Αντιδράσεις ορυκτών που χρησιμοποιήθηκαν στο inverse modeling για τα δείγματα υπόγειου νερού υγρής και ξηρής περιόδου στην περιοχή της Κεράμου.*

$$FeS_2 + 2H^+ + 2e- = Fe^{2+} + 2HS^-$$

$$Sb_2S_3 + 6H_2O = 2Sb(OH)_3 + 3H^+ + 3HS^-$$

$$FeOOH + 3H^+ = Fe^{3+} + 2H_2O$$

$$Sb_2O_3 + 3H_2O = 2Sb(OH)_3$$

$$Sb_2O_4 + 2H_2O + 2H^+ + 2e- = 2Sb(OH)_3$$

$$CaCO_3 = Ca^{2+} + CO_3^{2-}$$

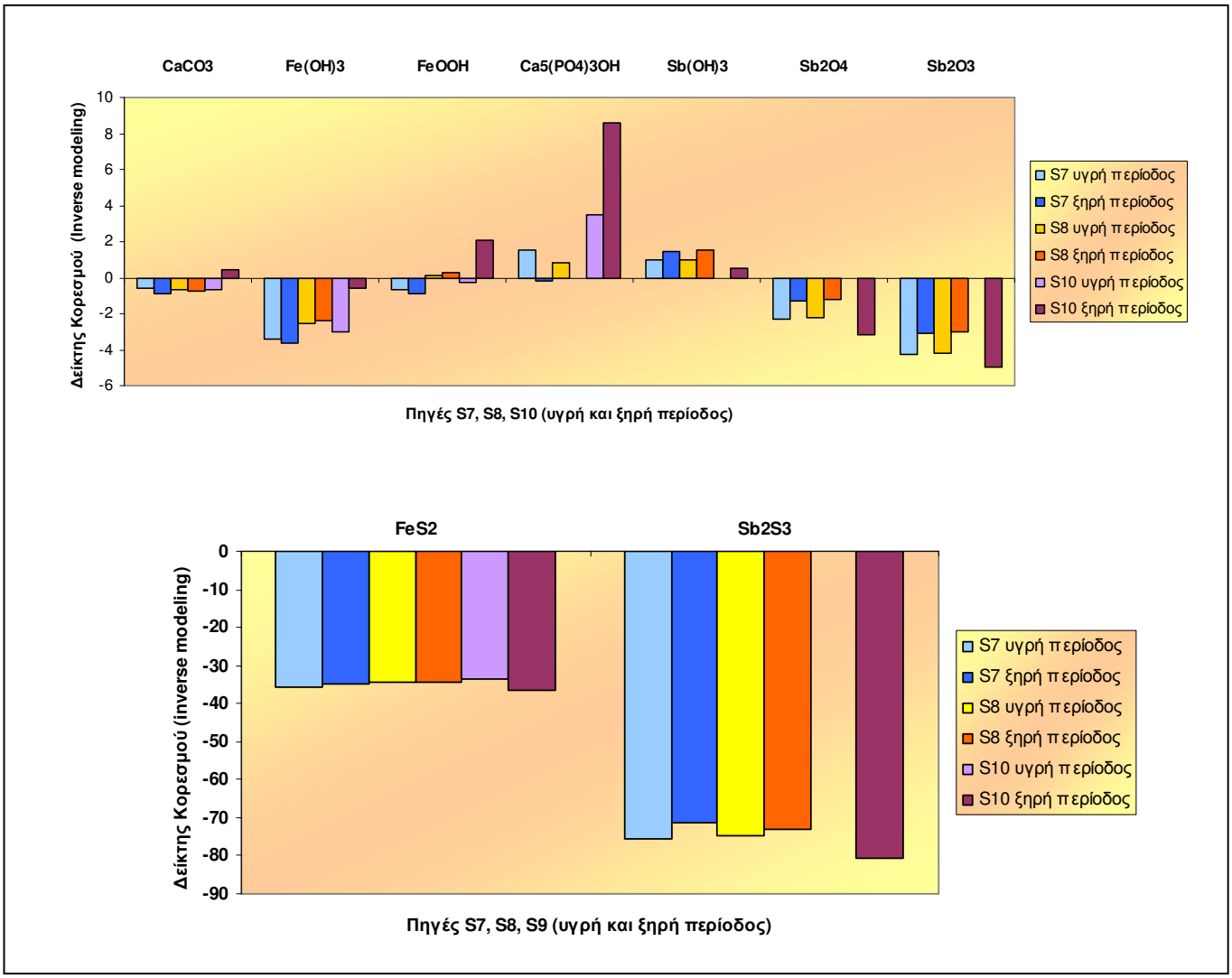
$$Fe(OH)_3 + 3H^+ = Fe^{3+} + 3H_2O$$

$$Ca_5(PO_4)_3OH + H^+ = 5Ca^{2+} + 3PO_4^{3-} + H_2O$$

Με βάση τα παραπάνω, με την εκτέλεση του αντίστροφου μοντέλου στο PHREEQC υπολογίστηκαν οι δείκτες κορεσμού των συμμετεχόντων ορυκτών καθώς και τα επικρατέστερα ιοντικά είδη αρσενικού και αντιμονίου στο νερό. Ο υπολογισμός του δείκτη κορεσμού των στερεών φάσεων στα υδατικά δείγματα (Πιν. 7.32) στην περιοχή της Κεράμου κατά την υγρή και την ξηρή περίοδο χρησιμοποιήθηκε ως κριτήριο για την κινητικότητα των στοιχείων μεταξύ της στερεής και της υγρής φάσης. Για τις δύο περιόδους, ο δείκτης κορεσμού δείχνει ότι ο αντιμονίτης διαλύεται συνεχώς (αρνητικές τιμές) ελευθερώνοντας Sb στο υπόγειο νερό ενώ τα οξείδια του αντιμονίου (Sb_2O_4, Sb_2O_3) έχουν μεν αρνητικούς δείκτες κορεσμού όμως αρκετά κοντά σε μηδενικές τιμές υποδηλώνοντας συνθήκες κοντά στην χημική ισορροπία (Εικ. 7.92.).

Πίνακας 7.32.: *Δείκτες κορεσμού των δειγμάτων υπόγειου νερού S7, S8, S10 υγρής - ξηρής περιόδου για διάφορα ορυκτά στην περιοχή της Κεράμου.*

Δείγμα	$CaCO_3$	$Fe(OH)_3$	FeOOH	$Ca_5(PO_4)_3OH$	$Sb(OH)_3$	Sb_2O_4	Sb_2O_3	FeS_2	Sb_2S_3
S7 υγρή περίοδος	-0.61	-3.40	-0.70	1.54	0.99	-2.29	-4.24	-35.86	-75.57
S7 ξηρή περίοδος	-0.91	-3.61	-0.91	-0.17	1.49	-1.31	-3.07	-34.63	-71.35
S8 υγρή περίοδος	-0.65	-2.56	0.14	0.86	1	-2.27	-4.23	-34.49	-74.81
S8 ξηρή περίοδος	-0.73	-2.40	0.30	-0.03	1.50	-1.23	-3.04	-34.46	-72.87
S10 υγρή περίοδος	-0.67	-3.01	-0.31	3.51				-33.39	
S10 ξηρή περίοδος	0.45	-0.62	2.08	8.60	0.52	-3.15	-5	-36.63	-80.81



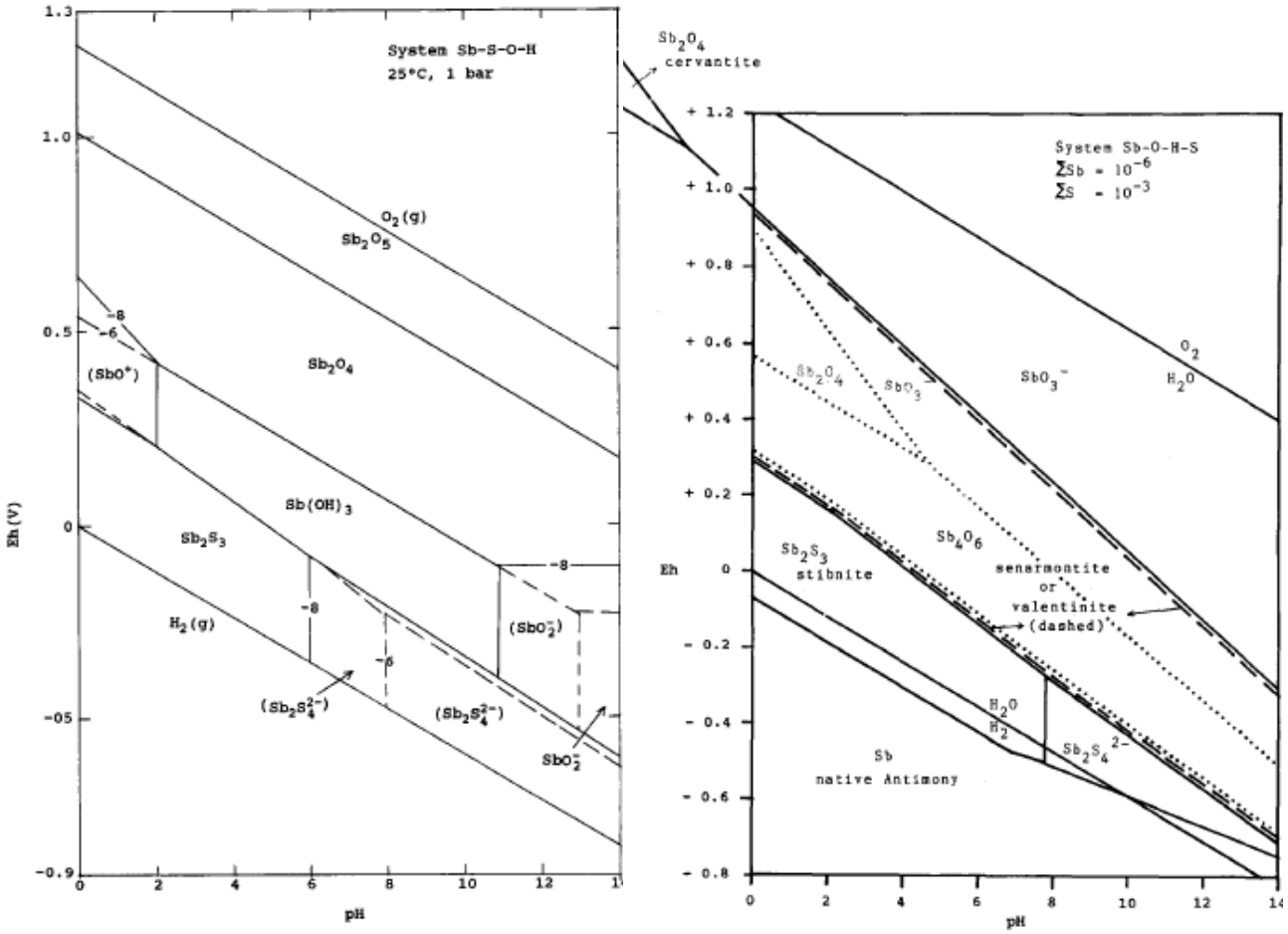
Εικόνα 7.92.: *Διαγράμματα των δεικτών κορεσμού των δειγμάτων υπόγειου νερού S7, S8, S10 υγρής - ξηρής περιόδου για διάφορα ορυκτά στην περιοχή της Κεράμου με χρήση του κώδικα inverse modeling του προγράμματος PHREEQC.*

Η φάση του Sb η οποία σύμφωνα με το γεωχημικό μοντέλο έχει θετικές τιμές στους δείκτες κορεσμού, οπότε φαίνεται να καθιζάνει είναι το $Sb(OH)_3$. Σύμφωνα με το κλασικό διάγραμμα Eh-pH για το σύστημα Sb-O-H-S κατά Brookins (1986) (Εικ. 7.93) η φάση αυτή είναι σταθερή σε συνθήκες όξινου έως αλκαλικού pH (2- 11) και ελαφρώς αναγωγικού έως ελαφρώς οξειδωτικού Eh (κοντά στο 0). Σε μία πιο πρόσφατη δημοσίευση, ο Vink (1996) επισημαίνοντας ότι η φάση $Sb(OH)_3$ δεν ανταποκρίνεται σε φυσικό ορυκτό την απαλείφει από το διάγραμμα ως μετασταθή και στο αντίστοιχο πεδίο σταθερότητας απεικονίζει τα πολύμορφα του Sb(III) βαλλεντινίτη- σεναρμοντίτη. Με βάση την άφθονη παρουσία βαλλεντινίτη στα παρασκευάσματα που μελετήθηκαν κατά την παρούσα έρευνα, τις μετρούμενες τιμές pH (7.1-7.6), pe (-0.33- 0.17) αλλά και τις υπολογιζόμενες ενεργότητες του Sb στα δείγματα νερού συμπεραίνεται ότι τα δεδομένα της περιοχής της Κεράμου προσαρμόζονται καλύτερα στο νεότερο διάγραμμα Eh- pH. Τα αποτελέσματα του μοντέλου κατέδειξαν επίσης ότι ο σιδηροπυρίτης διαλύεται σε μεγάλη έκταση (αρνητικές τιμές δείκτη κορεσμού) ενώ τα ορυκτά ασβεστίτης, γκαιτίτης, υδροξυλαπατίτης και $Fe(OH)_3$ διαλύονται ελάχιστα ή καθιζάνουν.

Όσον αφορά τα επικρατέστερα ιόντα As και Sb στα δείγματα υπόγειου νερού της περιοχής της Κεράμου υπολογίστηκε ότι (Πιν. 7.33.): i) στις δύο περιόδους για τα δείγματα S7 και S8 επικρατεί η τρισθενής μορφή του Sb, As και ii) κατά την ξηρή περίοδο για το δείγμα S10 επικρατεί η πεντασθενής μορφή του Sb. Γενικά, τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με βιβλιογραφικά δεδομένα που αναφέρουν ότι η επικρατέστερη διαλυμένη μορφή Sb σε ελαφρώς αναγωγικό περιβάλλον και κανονικές τιμές pH είναι το Sb(III) ως διαλυτό $Sb(OH)_3$ (Filella et al, 2002). Το Sb(V) αναφέρεται ως διαλυμένη φάση για υψηλές ενεργότητες Sb (Vink, 1996) οπότε σε αλκαλικές τιμές pH σχηματίζει το ιόν SbO_3^- όχι μόνο σε οξειδωτικές αλλά και σε ελαφρώς αναγωγικές συνθήκες.

Πίνακας 7.33.*: Διαχωρισμός (Speciation) σθένους As και Sb στα δείγματα υπόγειου νερού* S7, S8, S10 *υγρής - ξηρής περιόδου στην περιοχή της Κεράμου.*
(Τα σκιαγραφημένα κελιά δείχνουν τα επικρατέστερα σθένη του As και Sb).

Δείγμα	As(3) molality	As(5) molality	Sb(3) molality	Sb(5) molality
S7 υγρή περίοδος	$8.007\ 10^{-8}$	$3.531\ 10^{-11}$	$8.596\ 10^{-7}$	$3.469\ 10^{-7}$
S7 ξηρή περίοδος	$8.171\ 10^{-8}$	$1.407\ 10^{-10}$	$3.312\ 10^{-6}$	$3.399\ 10^{-7}$
S8 υγρή περίοδος	$7.715\ 10^{-8}$	$1.815\ 10^{-11}$	$8.773\ 10^{-7}$	$2.816\ 10^{-7}$
S8 ξηρή περίοδος	$7.741\ 10^{-8}$	$3.021\ 10^{-10}$	$3.423\ 10^{-6}$	$5.097\ 10^{-7}$
S10 υγρή περίοδος	$1.241\ 10^{-8}$	$1.145\ 10^{-11}$		
S10 ξηρή περίοδος	$1.699\ 10^{-8}$	$4.376\ 10^{-9}$	$3.580\ 10^{-7}$	$5.948\ 10^{-7}$



Εικόνα 7.93.: *Διαγράμματα Eh-pH Sb-O-H-S κατά Brookins (1986) (αριστερά) για ενεργότητες διαλυμένου Sb = 10 $^{-8}$ και 10^{-6} m, S= 10^{-3} m και κατά Vink (1996) (δεξιά). Συνθήκες T= 25^{o} C, P=1 atm.*

7.8 Καταλληλότητα υπόγειων νερών για διάφορες χρήσεις

7.8.1 Ποσιμότητα

Για την πραγματοποίηση του ελέγχου της ποσιμότητας των υπόγειων νερών της περιοχής έρευνας τόσο για την υγρή όσο και για την ξηρή περίοδο χρησιμοποιήθηκε το ημιλογαριθμικό διάγραμμα Waterlot ποσιμότητας νερού σε συνδυασμό με τα επιτρεπτά όρια στοιχείων και χημικών παραμέτρων που χαρακτηρίζουν το νερό ως «πόσιμο» και καθορίζονται από την οδηγία 98/83 της Ευρωπαϊκής Κοινότητας.

Η ποσιμότητα σύμφωνα με το διάγραμμα Waterlot διακρίνεται σε 4 τάξεις:

1. *ποσιμότητα 1^{ης} τάξης ή καλή ποσιμότητα*,

2. *ποσιμότητα 2^{ης} τάξης ή ικανοποιητική ποσιμότητα*,

3. *ποσιμότητα 3^{ης} τάξης ή μέτρια ποσιμότητα* και

4. *ποσιμότητα 4^{ης} τάξης ή κακή ποσιμότητα*.

Το συγκεκριμένο διάγραμμα χαρακτηρίζεται από επτά ισαπέχοντες λογαριθμικούς άξονες–κλίμακες. Στον πρώτο άξονα σημειώνεται η σκληρότητα σε mg l^{-1} του νερού ενώ στους υπόλοιπους έξι σημειώνονται οι συγκεντρώσεις των κυριότερων ιόντων του, σε mg l^{-1}, με την εξής σειρά: ασβέστιο, μαγνήσιο, νάτριο, χλώριο, θειική και οξυανθρακική ρίζα. Τα σημεία αυτά στη συνέχεια ενώνονται με ευθύγραμμα τμήματα και προσδιορίζεται η τάξη της ποσιμότητας του υπό εξέταση νερού. Το διάγραμμα Waterlot εκτός βέβαια από το χαρακτηρισμό της ποσιμότητας δείχνει επίσης και τις διαφορές στη συγκέντρωση περισσοτέρων αναλύσεων νερών.

Για τον καθορισμό της ρύπανσης ή μη των υπόγειων νερών στην περιοχή έρευνας μελετήθηκαν οι χημικές αναλύσεις των εξής στοιχείων και ιχνοστοιχείων και ελήφθησαν υπόψη οι τυχόν υπερβάσεις των επιτρεπτών ορίων:

1. K^+, Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, SO_4^{2-}, PO_4^{3-}, NO_3^-, NO_2^-, HCO_3^-, Cl^-, NH_4^+, Mn, Ni, Co, Cr, Cd, Pb, Fe, Zn, Cu, As, Sb για την υγρή και την ξηρή περίοδο και

2. Ag, Al, B, Ba, Be, Bi, Ce, Li, Mo, Se, Si, Te, Ti, Tl, U, V, W για την υγρή περίοδο σε 64 δείγματα.

Στο Παράρτημα Δ’ αναφέρονται οι χημικές αναλύσεις των δειγμάτων υπόγειου νερού υγρής και ξηρής περιόδου και αναγράφονται οι επιτρεπτές συγκεντρώσεις των χημικών παραμέτρων που σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 98/83 καθορίζουν την ποσιμότητα του νερού. Με κόκκινο χρώμα σημειώνονται οι συγκεντρώσεις εκείνες που υπερβαίνουν τα

επιτρεπτά όρια και που καθιστούν το νερό ως χημικώς «μη πόσιμο». Επιπλέον κατασκευάστηκαν χάρτες (Εικ. 7.94., 7.95.) με βάση την οδηγία 98/83 της Ευρωπαϊκής Κοινότητας που δείχνει σε ποιες περιοχές το υπόγειο νερό είναι χημικώς κατάλληλο ως πόσιμο και σε ποιες είναι ακατάλληλο κατά την υγρή και την ξηρή περίοδο.

Κατά την υγρή περίοδο 10 δείγματα από τα 83, ποσοστό 12%, χαρακτηρίζονται ως χημικώς ακατάλληλα ως πόσιμα και είναι τα ακόλουθα:

- **S7** (Sb =146.85μg l^{-1}>5μg l^{-1}),
- **S8** (Sb =141.06μg l^{-1}>5μg l^{-1}),
- **S9** (K=267mg l^{-1}>12mg l^{-1}, Na=2277mg l^{-1}>200mg l^{-1}, Cl=3530mg l^{-1}>250mg l^{-1}, Mn=750μg l^{-1}>50μg l^{-1}, B=2135 μg l^{-1}>1000 μg l^{-1}), W4 (Na=267mg l^{-1}>200mg l^{-1}, Cl=412mg l^{-1}>250 mg l^{-1}),
- **W5** (K=39mg l^{-1}>12mg l^{-1}),
- **W9** (Na=425mg l^{-1}>200mg l^{-1}, Cl=623mg l^{-1}>250mg l^{-1}, Mn=450μg l^{-1}>50μg l^{-1}, Fe=210μg l^{-1}>200μg l^{-1}),
- **W13** (K=20mg l^{-1}>12mg l^{-1}), W15 (Na=233mg l^{-1}>200mg l^{-1}, Cl=258mg l^{-1}>250mg l^{-1}), W16 (Na=283mg l^{-1}>200mg l^{-1}, Cl=324mg l^{-1}>250mg l^{-1}), W18 (Na=1800mg l^{-1}>200mg l^{-1}, Cl=2800mg l^{-1}>250mg l^{-1}, SO_4^{2-}=287 mg l^{-1}>250 mg l^{-1}).

Κατά την ξηρή περίοδο 10 δείγματα από τα 68, ποσοστό 15%, χαρακτηρίζονται ως χημικώς ακατάλληλα ως πόσιμα και είναι τα ακόλουθα:

- **S7** (Sb=444.44μg l^{-1}>5μg l^{-1}),
- **S8** (Sb =478.63μg l^{-1}>5μg l^{-1}),
- **S9** (K=328mg l^{-1}>12mg l^{-1}, Na=2300mg l^{-1}>200mg l^{-1}, Cl=3870mg l^{-1}>250mg l^{-1}, Mn=750μg l^{-1}>50μg l^{-1}),
- **S10** (Sb=115.94μg l^{-1}>5μg l^{-1}),
- **W2** (Mn=300μg l^{-1}>50μg l^{-1}),
- **W4** (Na=287mg l^{-1}>200mg l^{-1}, Cl=422mg l^{-1}>250 mg l^{-1})
- **W5** (K=40mg l^{-1}>12mg l^{-1}),
- **W9** (Na=433mg l^{-1}>200mg l^{-1}, Cl=693mg l^{-1}>250mg l^{-1}, Mn=500μg l^{-1}>50μg l^{-1}, Fe=215μg l^{-1}>200μg l^{-1}, As=12.69μg l^{-1}>10μg l^{-1}),
- **W10** (Na=250mg l^{-1}>200mg l^{-1}, Cl=333mg l^{-1}>250mg l^{-1}),

- **W11** (Mn=51.11 μg l^{-1}>50 μg l^{-1}).

Τα υπόλοιπα δείγματα υπόγειων νερών τόσο κατά την υγρή όσο και κατά την ξηρή περίοδο θεωρούνται χημικώς κατάλληλα ως πόσιμα αφού οι τιμές των παραμέτρων τους είναι μικρότερες από τα επιτρεπτά όρια.

Κατά την κατασκευή του διαγράμματος ποσιμότητας Waterlot δεν προβλήθηκαν κατά την υγρή περίοδο και την ξηρή περίοδο τα δείγματα S7, S8 (Αγιάσματα), S9 (Αγιάσματα), S10 (Αγιάσματα), W2 (Λεπτόποδα), W5, W11, W13 (Βολισσός), W9 (Αγιά Μαρκέλλα Βολισσού) διότι σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 98/83 παρουσιάζουν τιμές στοιχείων (κάλιο) και ιχνοστοιχείων (αντιμόνιο, αρσενικό, μαγγάνιο, σίδηρος, βόριο) μεγαλύτερες από τις επιτρεπτές παρόλο που οι τιμές των χημικών παραμέτρων ασβέστιο, μαγνήσιο, νάτριο, χλώριο, θειική και οξυανθρακική ρίζα δεν υπερβαίνουν τα επιτρεπτά όρια (με εξαίρεση τα δείγματα S9, W9).

Σύμφωνα με τα διαγράμματα C. Waterlot (Παράρτημα Δ') τα υπόγεια νερά κατά την υγρή και την ξηρή περίοδο χαρακτηρίζονται ως:

1. «καλής ποσιμότητας» αναπτύσσονται στις περιοχές:

- Ν. Ποταμιά (S15, S16, S17),
- Χάλανδρα (S18, S19, S20, S34, S59),
- Αφροδίσια (S11, S12, S13, S14),
- Κέραμος (S1, S47),
- Παρπαριά (S22, S29, S36, S37, S38, S39),
- Τρύπες (S40),
- Άγιο Γάλας (S31S32, S23),
- Νενητούρια (S24, S25, S26),
- Κουρούνια (S33, S41, S42, S43, S44, S45, S46),
- Διευχά (S53),
- Κηπουριές (S48), Φυτά (S49),
- Σπαρτούντα (S56, S57) και
- Καμπιά (S62, S63, S64).

2. «καλής έως ικανοποιητικής ποσιμότητας» αναπτύσσονται περιοχές:

- Πισπιλούντα (S58, S64),
- Κέραμος (S2),
- Πιραμά (S28, S60, S61, S67),
- Παρπαριά (S39),
- Τρύπες (S27),
- Μελανιός (S30),
- Εγρηγόρος (S65),
- Κατάβαση (S55),
- Διευχά (S54),
- Κηπουριές (S52), Φυτά (S50, S51),

- Βολισσός (D1, S21, W14),
- Λήμνος Βολισσού (W12, W17) και
- Αγία Μαρκέλλα Βολισσού (W6, W7, W8)

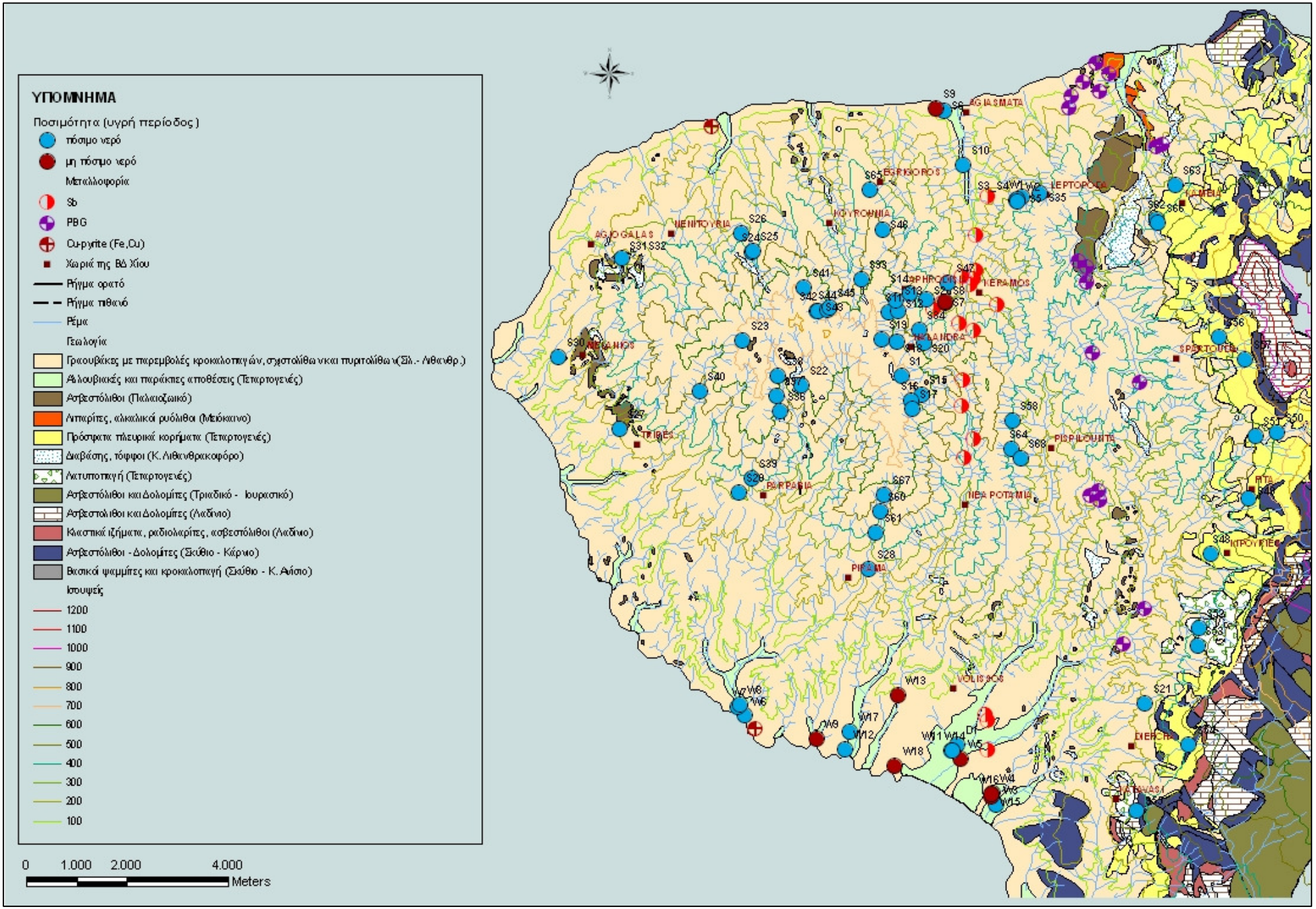
3. «καλής έως μέτριας ποσιμότητας» αναπτύσσονται περιοχές:

- Αγιάσματα (S6),
- Λεπτόποδα (S3_S4, S5, S35, W1) και
- Πισπιλούντα (S68).

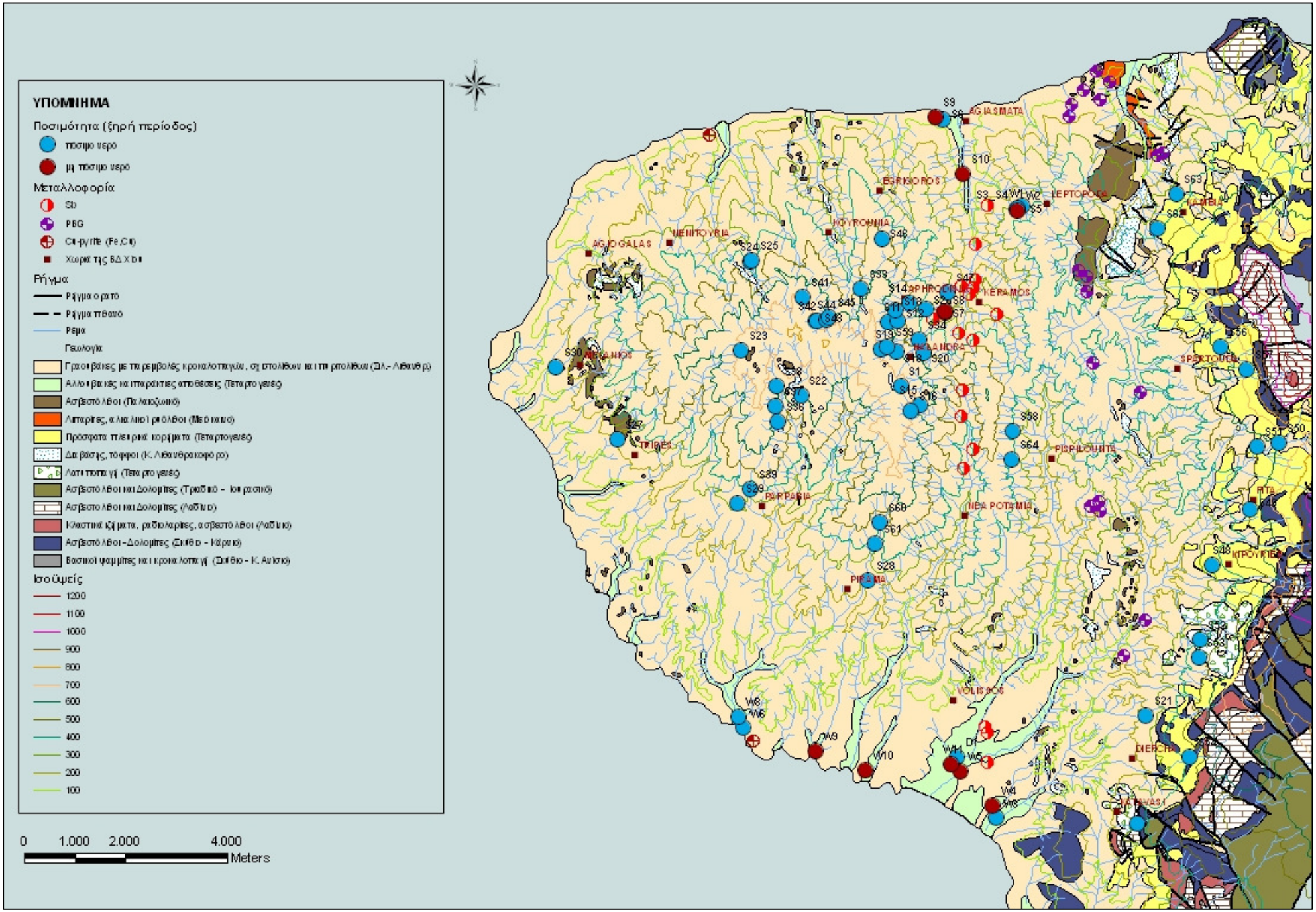
4. «ικανοποιητικής έως μέτριας ποσιμότητας» αναπτύσσονται στις περιοχές: Μάναγρος Βολισσού (W3)

5. «μέτριας έως κακής ποσιμότητας» αναπτύσσονται στις περιοχές:

- Λήμνος Βολισσού (W10) και
- Μάναγρος Βολισσού (W4, W15, W16, W18)



Εικόνα 7.94.: *Ποσιμότητα υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο στην περιοχή της ΒΔ Χίου σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Οδηγία*



Εικόνα 7.95.: *Ποσιμότητα υπόγειων νερών κατά την ξηρήπερίοδο στην περιοχή της ΒΔ Χίου σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Οδηγία*

7.8.2 Άρδευση

Οι κυριότεροι παράγοντες που παίζουν σημαντικό ρόλο στην διαμόρφωση της ποιότητας του νερού άρδευσης είναι (Καλλέργης, 2000):

1. το είδος και το ποσό των αλάτων που εμφανίζονται σε αυτό και τις επιδράσεις τους στην ανάπτυξη και την εξέλιξη των φυτών. Τα άλατα εμφανίζονται σε ποικίλες συγκεντρώσεις και επηρεάζουν την ωσμωτική πίεση του εδαφικού διαλύματος: υψηλότερη συγκέντρωση αλάτων, μεγαλύτερη ωσμωτική πίεση.

Η ωσμωτική πίεση έχει επιπτώσεις στην ικανότητα των φυτών να απορροφούν το νερό μέσω των ριζών τους. Τα φυτά μπορούν να απορροφούν το νερό εύκολα όταν η ωσμωτική πίεση είναι μικρή, αλλά η απορρόφηση γίνεται ακόμα πιο δύσκολη όταν η ωσμωτική πίεση αυξάνει. Ακόμα και αν το έδαφος είναι υγρό, οι ρίζες των φυτών δυσκολεύονται να απορροφήσουν το νερό όταν η ωσμωτική πίεση είναι υψηλή. Όταν η πίεση είναι ασυνήθιστα υψηλή μπορεί να μην είναι δυνατή η επαρκή απορρόφηση του νερού από τα φυτά για την κανονική ανάπτυξή τους, έτσι κάτω από αυτές τις συνθήκες συνήθως μαραίνονται.

2. η συγκέντρωση ορισμένων ιόντων, τα οποία μπορεί να είναι τοξικά στα φυτά ή να επιδρούν δυσμενώς στην ανάπτυξή τους.

3. η συγκέντρωση των κατιόντων εκείνων, που μπορεί να προκαλέσουν αποκροκίδωση της αργίλου στο έδαφος και να προξενήσουν έτσι βλάβη στη δομή του εδάφους και εξ αυτής μείωση της περατότητας και δυνατότητας αερισμού του.

Ακόμη, οι ποιοτικές απαιτήσεις του αρδευτικού νερού ποικίλουν ανάμεσα στα είδη των καλλιεργειών , τους τύπους των εδαφών, την στράγγισή τους και το κλίμα.

Επιπλέον ένα ακόμα βασικό κριτήριο της καταλληλότητας ενός νερού για άρδευση είναι ο «Συντελεστής Προσρόφησης Νατρίου» (S.A.R.: Sodium Absorption Ratio) που εκφράζει τη σχέση μεταξύ νατρίου και ασβεστίου – μαγνησίου. Ο συντελεστής S.A.R. υπολογίζεται από την σχέση :

$$S.A.R.=\frac{Na}{\sqrt{(Ca + Mg)/2}}$$

όπου οι συγκεντρώσεις Na, Ca, Mg εκφράζονται σε meq/l.

Για την ταξινόμηση του νερού ανάλογα με την καταλληλότητα του για άρδευση προτάθηκε από το U.S Salinity Laboratory (1954) το διάγραμμα Richards, το οποίο συνδέει το Συντελεστή Προσρόφησης Νατρίου (S.A.R.) με την ηλεκτρική αγωγιμότητα (E.C). Από το συγκεκριμένο διάγραμμα και όσον αφορά την επίδραση της αλατότητας, το αρδευτικό νερό ταξινομείται ως εξής:

Τάξη C1: (E.C.<250μS/cm, T.D.S<200 mg l^{-1}) περιλαμβάνει νερά μικρής αλατότητας. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις περισσότερες καλλιέργειες και στα περισσότερα εδάφη.

Τάξη C2: (250<E.C.<750 μS/cm, 200<T.D.S<500 mg l^{-1}) περιλαμβάνει νερά μέτριας αλατότητας. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις περισσότερες καλλιέργειες και στα περισσότερα εδάφη ενώ απαιτείται σε μικρό βαθμό απόπλυση των αρδευόμενων εδαφών.

Τάξη C3: (750<E.C.<2250 μS/cm, 500<T.D.S<1500 mg l^{-1}) περιλαμβάνει νερά υψηλής αλατότητας, ακατάλληλα για άρδευση σε εδάφη περιορισμένης αποστράγγισης.

Τάξη C4: (2250<E.C.<5000 μS/cm, 1500<T.D.S<3000 mg l^{-1}) περιλαμβάνει νερά πολύ υψηλής αλατότητας, ακατάλληλα για άρδευση σε οποιαδήποτε εδάφη.

Με βάση τον Συντελεστή Προσρόφησης Νατρίου (S.A.R.) το αρδευτικό νερό ταξινομείται ως εξής:

Τάξη S1: περιλαμβάνει νερά χαμηλής αλκαλίωσης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα περισσότερα εδάφη.

Τάξη S2: περιλαμβάνει νερά μέτρια αλκαλίωσης. Μπορούν να δημιουργήσουν πρόβλημα σε λεπτόκοκκα εδάφη περιορισμένης αποστράγγισης. Συνήθως χρησιμοποιούνται σε χονδρόκοκκα εδάφη καλής διαπερατότητας.

Τάξη S3: περιλαμβάνει νερά υψηλής αλκαλίωσης. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εδάφη με καλή αποστράγγιση.

Τάξη S4: περιλαμβάνει νερά πολύ υψηλής αλκαλίωσης, ακατάλληλα για άρδευση.

Όσον αφορά τα δείγματα υπόγειου νερού υγρής περιόδου στην περιοχή της ΒΔ Χίου σύμφωνα με το διάγραμμα S.A.R. - αγωγιμότητας (Εικ. 7.96.) και τον πίνακα 7.34. κατατάσσονται στις εξής κατηγορίες:

i) C1-S1: Νερά καλής ποιότητας. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν 1 δείγμα (S11) της περιοχής Αφροδίσια, 1 δείγμα (S17) της περιοχής Ν.Ποταμιά, 2 δείγματα (S18, S19) της περιοχής Χάλανδρα, 1 δείγμα (S25) της περιοχής Νενητούρια, 1 δείγμα (S40) της περιοχής

Τρύπες, 4 δείγματα (S42, S43, S44, S45) της περιοχής Κουρούνια και 1 δείγμα (S47) της περιοχής Κέραμος.

ii) C2-S1: Νερά με μικρό κίνδυνο αλκαλίωσης και μέσο κίνδυνο αλατότητας. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν 4 δείγματα (S1, S2, S7, S8) της περιοχής Κέραμος, 2 δείγματα (S3_S4, W2) της περιοχής Λεπτόποδα, 2 δείγματα (S12, S13) της περιοχής Αφροδίσια, 2 δείγματα (S15, S16) της περιοχής Ν. Ποταμιά, 3 δείγματα (S21, S53, S54) της περιοχής Διευχά, 6 δείγματα (S22, S29, S36, S37, S38, S39) της περιοχής Παρπαριά, 1 δείγμα (S24) της περιοχής Νενητούρια, 1 δείγμα (S27) της περιοχής Τρύπες, 4 δείγματα (S28, S60, S61, S67) της περιοχής Πιραμά, 1 δείγμα (S30) της περιοχής Μελανιός, 1 δείγμα (S31S32) της περιοχής Άγιο Γάλας, 3 δείγματα (S33, S41, S46) της περιοχής Κουρούνια, 1 δείγμα (S34) της περιοχής Χάλανδρα, 2 δείγματα (S48, S52) της περιοχής Κηπουριές, 3 δείγματα (S49, S50, S51) της περιοχής Φυτά, 1 δείγμα (S55) της περιοχής Κατάβαση, 2 δείγματα (S56, S57) της περιοχής Σπαρτούντα, 2 δείγματα (S58, S64) της περιοχής Πισπιλούντα, 3 δείγματα (S62, S63, S66) της περιοχής Καμπιά, 1 δείγμα (S65) της περιοχής Εγρηγόρος, 3 δείγματα (D1, W11, W14) της περιοχής Βολισσός, 3 δείγματα (W6, W7, W8) της περιοχής Αγιά Μαρκέλλα Βολισσού και 2 δείγματα (W12, W17) της περιοχής Λήμνος Βολισσού.

iii) C1-S1--- C2-S1: Στο όριο των κατηγοριών ανήκουν τα δείγματα S14 της περιοχής Αφροδίσια, S20 της περιοχής Χάλανδρα και S23, S26 της περιοχής Νενητούρια.

iv) C3-S1: Νερά με μικρό κίνδυνο αλκαλίωσης και υψηλό κίνδυνο αλατότητας. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν 3 δείγματα (S5, S35, W1) της περιοχής Λεπτόποδα, 2 δείγματα (S6, S10) της περιοχής Αγιάσματα, 1 δείγμα (S68) της περιοχής Πισπιλούντα, 1 δείγμα (W3) της περιοχής Μάναγρος Βολισσού και 2 δείγματα (W5, W13) της περιοχής Βολισσού.

v) C3-S2: Νερά με μέσο κίνδυνο αλκαλίωσης και υψηλό κίνδυνο αλατότητας. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα δείγματα W4, W15, W16 της περιοχής Μάναγρος Βολισσού.

vi) C4-S2: Νερά με μέσο κίνδυνο αλκαλίωσης και πολύ υψηλό κίνδυνο αλατότητας. Στην κατηγορία αυτή ανήκει το δείγμα W9 της περιοχής Αγίας Μαρκέλλας Βολισσού.

vii) C4-S4: Νερά πολύ υψηλής αλκαλίωσης και πολύ υψηλής αλατότητας. Στην κατηγορία αυτή ανήκει το δείγμα W18 στην περιοχή Λήμνος Βολισσού.

Επιπλέον κατασκευάστηκε χάρτης ποιοτικής κατάταξης για αρδευτικές χρήσεις των δειγμάτων υπόγειου νερού υγρής περιόδου στην περιοχή της ΒΔ Χίου (Εικ. 7.97.).

Όσον αφορά τα δείγματα υπόγειου νερού ξηρής περιόδου στην περιοχή της ΒΔ Χίου σύμφωνα με το διάγραμμα S.A.R. - αγωγιμότητας (Εικ. 7.98.) και τον πίνακα 7.35. κατατάσσονται στις εξής κατηγορίες:

i) C1-S1: Στην κατηγορία αυτή ανήκουν 3 δείγματα (S18, S19, S59) της περιοχής Χάλανδρα, 3 δείγματα (S42, S43, S45) της περιοχής Κουρούνια και 1 δείγμα (S47) της περιοχής Κέραμος.

ii) C2-S1: Στην κατηγορία αυτή ανήκουν 4 δείγματα (S1, S2, S7, S8) της περιοχής Κέραμος, 4 δείγματα (S11, S12, S13, S14) της περιοχής Αφροδίσια, 2 δείγματα (S15, S16) της περιοχής Ν. Ποταμιά, 2 δείγματα (S20, S34) της περιοχής Χάλανδρα, 3 δείγματα (S21, S53, S54) της περιοχής Διευχά, 6 δείγματα (S22, S29, S36, S37, S38, S39) της περιοχής Παρπαριά, 3 δείγματα (S23, S24, S25) της περιοχής Νενητούρια, 1 δείγμα (S27) της περιοχής Τρύπες, 3 δείγματα (S28, S60, S61) της περιοχής Πιραμά, 1 δείγμα (S30) της περιοχής Μελανιός, 4 δείγματα (S33, S41, S44, S46) της περιοχής Κουρούνια, 2 δείγματα (S48, S52) της περιοχής Κηπουριές, 3 δείγματα (S49, S50, S51) της περιοχής Φυτά, 1 δείγμα (S55) της περιοχής Κατάβαση, 2 δείγματα (S56, S57) της περιοχής Σπαρτούντα, 2 δείγματα (S58, S64) της περιοχής Πισπιλούντα, 2 δείγματα (S62, S63) της περιοχής Καμπιά, 1 δείγμα (D1) της περιοχής Βολισσός και 2 δείγματα (W6, W8) της περιοχής Αγιά Μαρκέλλα Βολισσού.

iii) C3-S1: Στην κατηγορία αυτή ανήκουν 3 δείγματα (S5, W1, W2) της περιοχής Λεπτόποδα, 2 δείγματα (S6, S10) της περιοχής Αγιάσματα, 1 δείγμα (W3) της περιοχής Μάναγρος Βολισσού και 2 δείγματα (W5, W11) της περιοχής Βολισσού.

iv) C2-S1--- C3-S1: Στο όριο των κατηγοριών ανήκει το δείγμα S3_S4 της περιοχής Λεπτόποδα.

v) C3-S2: Στην κατηγορία αυτή ανήκει το δείγμα W10 της περιοχής Λήμνος Βολισσού.

vi) C4-S2: Στην κατηγορία αυτή ανήκει το δείγμα W4 της περιοχής Μάναγρος Βολισσού και το δείγμα W9 της περιοχής Αγίας Μαρκέλλας Βολισσού.

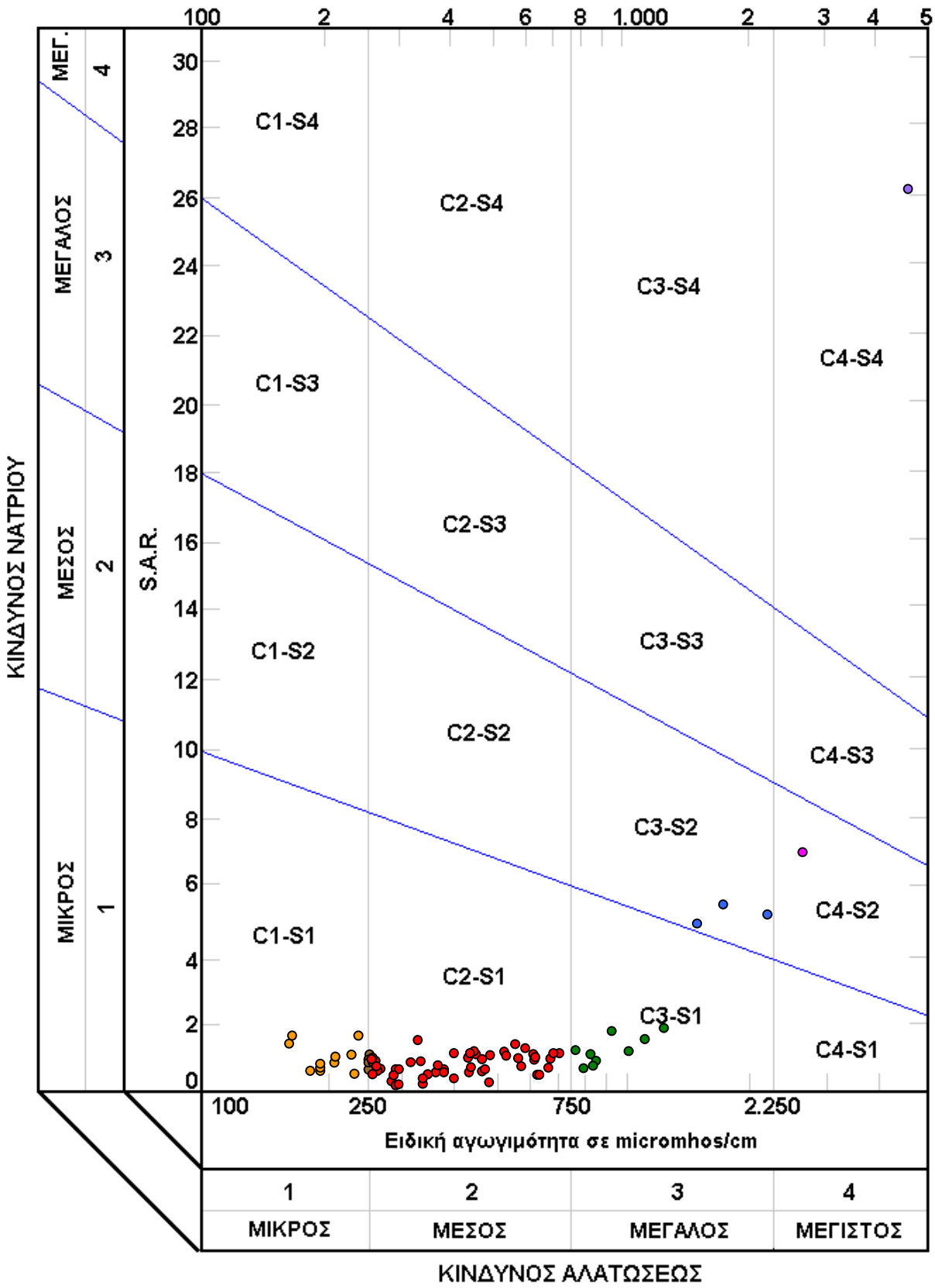
Επιπλέον κατασκευάστηκε χάρτης ποιοτικής κατάταξης για αρδευτικές χρήσεις των δειγμάτων υπόγειου νερού ξηρής περιόδου στην περιοχή της ΒΔ Χίου (Εικ. 7.99.).

Πίνακας 7.34.: *Τιμές ειδικής αγωγιμότητας E.C.- S.A.R. και ποιοτική κατάταξη για αρδευτική χρήση των δειγμάτων υπόγειου νερού υγρής περιόδου στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*

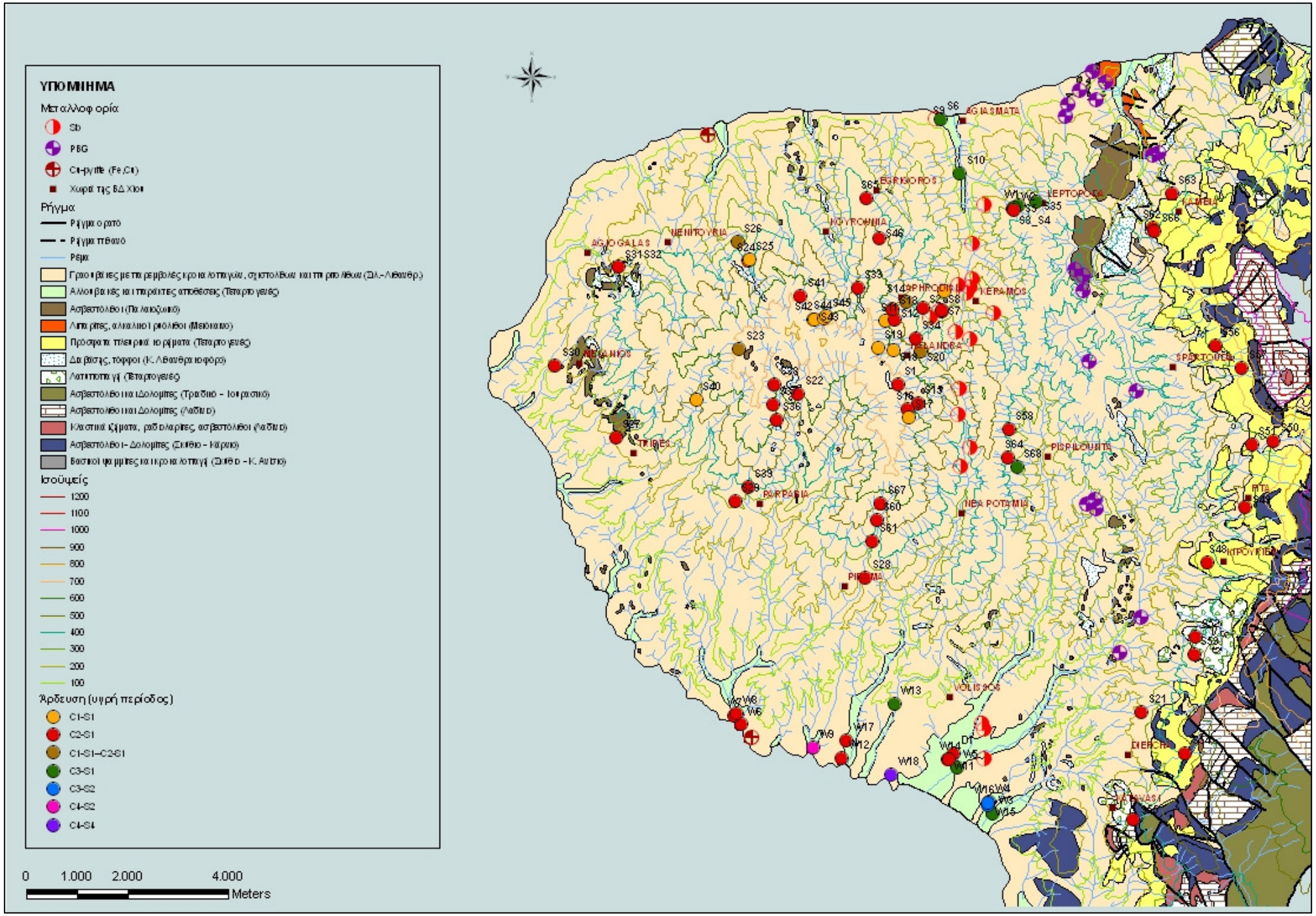
A/A	Δείγμα	E.C. μS/cm	S.A.R.	Ομάδα
1	S1	274	0.89	C2-S1
2	S2	582	0.92	C2-S1
3	S3_S4	667	1.07	C2-S1
4	S5	878	0.97	C3-S1
5	S6	910	1.90	C3-S1
6	S7	360	0.71	C2-S1
7	S8	380	0.73	C2-S1
8	S10	798	0.89	C3-S1
9	S11	209	0.94	C1-S1
10	S12	261	1.04	C2-S1
11	S13	260	1.02	C2-S1
12	S14	250	1.16	C1-S1_C2-S1
13	S15	270	0.82	C2-S1
14	S16	350	0.58	C2-S1
15	S17	230	0.67	C1-S1
16	S18	190	0.75	C1-S1
17	S19	190	0.88	C1-S1
18	S20	250	0.72	C1-S1_C2-S1
19	S21	460	0.75	C2-S1
20	S22	260	0.67	C2-S1
21	S23	250	1.05	C1-S1_C2-S1
22	S24	370	0.92	C2-S1
23	S25	190	0.93	C1-S1
24	S26	250	0.97	C1-S1_C2-S1
25	S27	450	1.18	C2-S1
26	S28	523	1.22	C2-S1
27	S29	270	0.92	C2-S1
28	S30	433	1.14	C2-S1
29	S31S32	433	1.13	C2-S1
30	S33	291	0.84	C2-S1
31	S34	430	0.61	C2-S1
32	S35	873	0.91	C3-S1
33	S36	448	1.24	C2-S1
34	S37	322	0.94	C2-S1
35	S38	265	1.07	C2-S1
36	S39	331	1.53	C2-S1
37	S40	241	1.69	C1-S1
38	S41	292	0.84	C2-S1
39	S42	168	1.70	C1-S1
40	S43	165	1.46	C1-S1
41	S44	226	1.18	C1-S1
42	S45	185	0.70	C1-S1
43	S46	257	1.08	C2-S1

Πίνακας 7.34. (συνέχεια): *Τιμές ειδικής αγωγιμότητας E.C.- S.A.R. και ποιοτική κατάταξη για αρδευτική χρήση των δειγμάτων υπόγειου νερού υγρής περιόδου στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*

A/A	Δείγμα	E.C. μS/cm	S.A.R.	Ομάδα
44	S47	213	1.11	C1-S1
45	S48	336	0.95	C2-S1
46	S49	284	0.33	C2-S1
47	S50	478	0.31	C2-S1
48	S51	338	0.30	C2-S1
49	S52	436	0.80	C2-S1
50	S53	340	0.44	C2-S1
51	S54	629	0.67	C2-S1
52	S55	663	0.88	C2-S1
53	S56	292	0.28	C2-S1
54	S57	291	0.30	C2-S1
55	S58	614	1.02	C2-S1
56	S60	610	1.29	C2-S1
57	S61	485	1.22	C2-S1
58	S62	380	0.59	C2-S1
59	S63	400	0.33	C2-S1
60	S64	570	1.08	C2-S1
61	S65	470	0.61	C2-S1
62	S66	270	0.53	C2-S1
63	S67	460	0.96	C2-S1
64	S68	870	1.16	C3-S1
65	D1	630	0.56	C2-S1
66	W1	769	1.38	C3-S1
67	W2	536	1.16	C2-S1
68	W3	1019	1.20	C3-S1
69	W4	2240	5.07	C3-S2
70	W5	1164	1.61	C3-S1
71	W6	553	1.47	C2-S1
72	W7	437	1.31	C2-S1
73	W8	400	1.31	C2-S1
74	W9	2770	7.53	C4-S2
75	W11	710	1.13	C2-S1
76	W12	580	1.30	C2-S1
77	W13	1310	2.00	C3-S1
78	W14	690	1.18	C2-S1
79	W15	1520	5.00	C3-S2
80	W16	1850	5.71	C3-S2
81	W17	610	1.18	C2-S1
82	W18	4690	26.16	C4-S4



Εικόνα 7.96: *Διάγραμμα Richards ποιοτικής κατάταξης για αρδευτικές χρήσεις των δειγμάτων υπόγειου νερού υγρής περιόδου στη περιοχή της ΒΔ Χίου.*



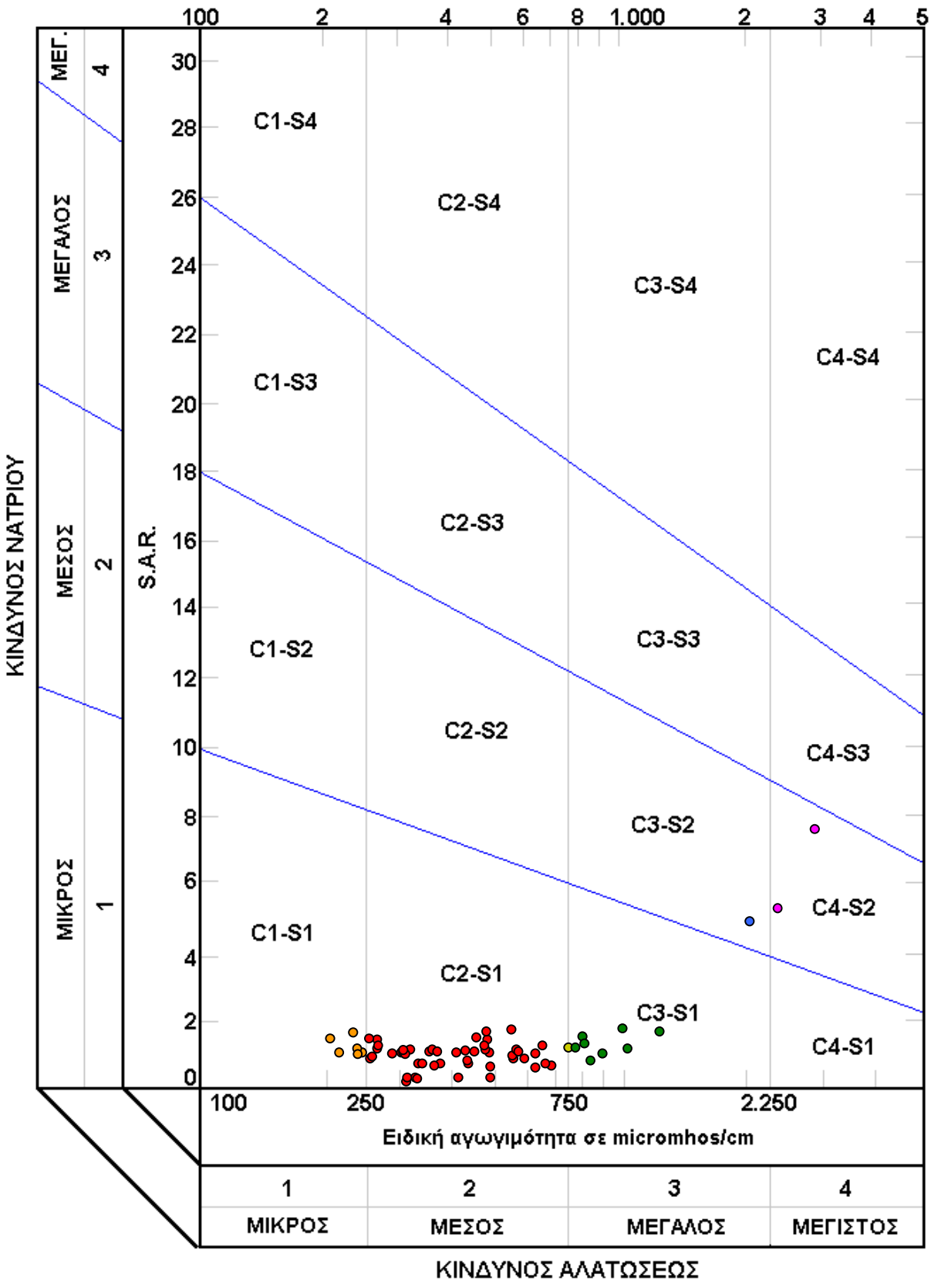
Εικόνα 7.97.: *Χάρτης ποιοτικής κατάταξης για αρδευτικές χρήσεις των δειγμάτων υπόγειου νερού υγρής περιόδου στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*

Πίνακας 7.35.: *Τιμές ειδικής αγωγιμότητας E.C.- S.A.R. και ποιοτική κατάταξη για αρδευτική χρήση των δειγμάτων υπόγειου νερού ξηρής περιόδου στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*

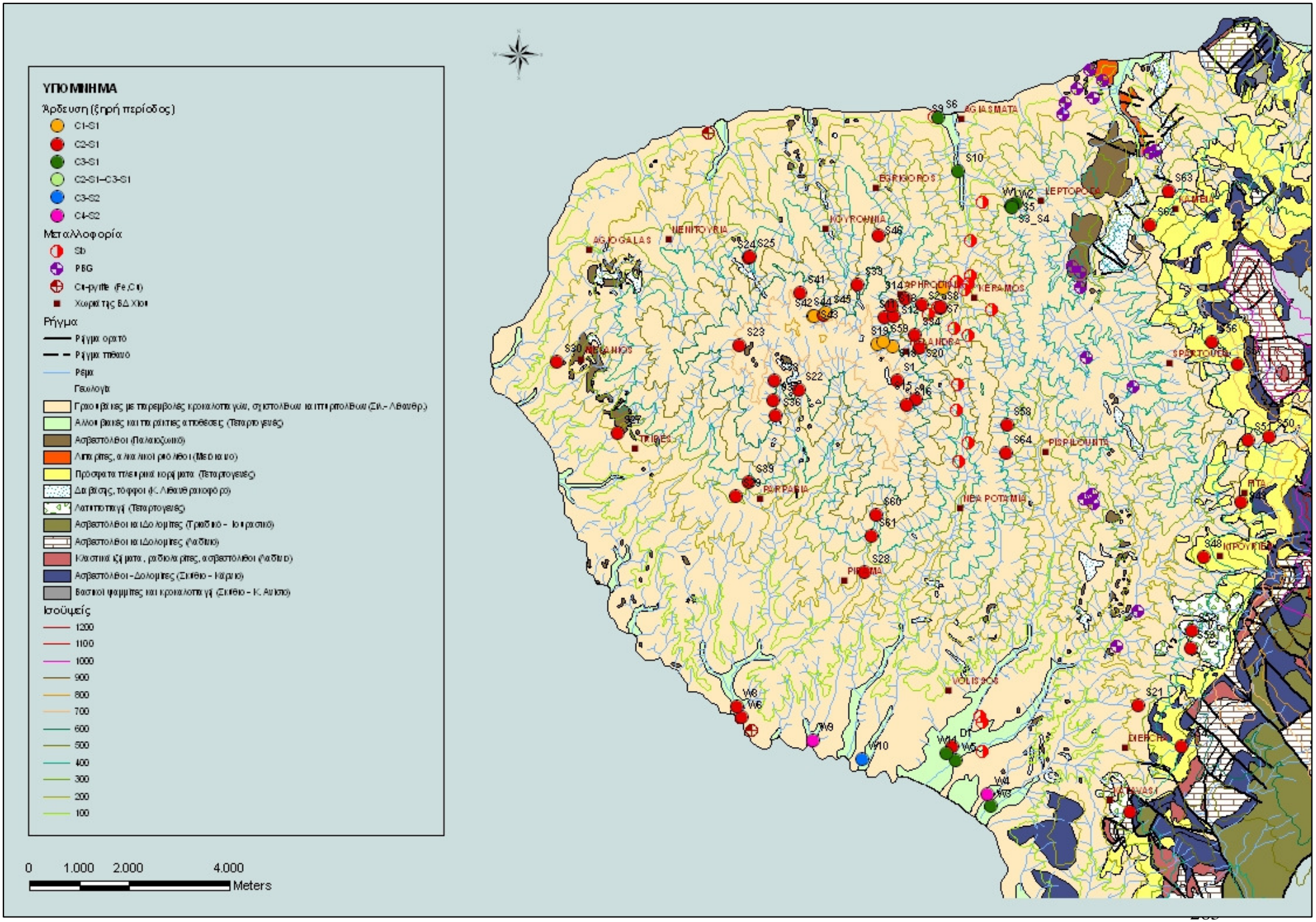
A/A	Δείγμα	E.C. μS/cm	S.A.R.	Ομάδα
1	S1	450	1.14	C2-S1
2	S2	592	0.95	C2-S1
3	S3_S4	750	1.33	C2-S1_C3-S1
4	S5	900	1.00	C3-S1
5	S6	970	1.89	C3-S1
6	S7	560	0.95	C2-S1
7	S8	560	0.97	C2-S1
8	S10	840	0.88	C3-S1
9	S11	300	1.06	C2-S1
10	S12	310	1.06	C2-S1
11	S13	270	1.33	C2-S1
12	S14	270	1.43	C2-S1
13	S15	332	1.15	C2-S1
14	S16	379	0.80	C2-S1
15	S18	241	1.13	C1-S1
16	S19	219	1.09	C1-S1
17	S20	288	1.00	C2-S1
18	S21	489	1.02	C2-S1
19	S22	262	0.94	C2-S1
20	S23	265	0.97	C2-S1
21	S24	407	1.09	C2-S1
22	S25	356	1.10	C2-S1
23	S27	476	1.21	C2-S1
24	S28	566	1.33	C2-S1
25	S29	357	1.18	C2-S1
26	S30	488	1.43	C2-S1
27	S33	312	1.01	C2-S1
28	S34	440	0.79	C2-S1
29	S36	464	1.26	C2-S1
30	S37	376	1.08	C2-S1
31	S38	307	1.21	C2-S1
32	S39	484	1.76	C2-S1
33	S41	344	0.89	C2-S1
34	S42	209	1.46	C1-S1
35	S43	239	1.74	C1-S1
36	S44	271	1.37	C2-S1
37	S45	248	1.08	C1-S1
38	S46	260	1.46	C2-S1
39	S47	241	1.19	C1-S1
40	S48	348	0.87	C2-S1
41	S49	331	0.31	C2-S1
42	S50	492	0.33	C2-S1
43	S51	339	0.31	C2-S1

Πίνακας 7.35. (συνέχεια): *Τιμές ειδικής αγωγιμότητας E.C.- S.A.R. και ποιοτική κατάταξη για αρδευτική χρήση των δειγμάτων υπόγειου νερού ξηρής περιόδου στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*

Α/Α	Δείγμα	E.C. μS/cm	S.A.R.	Ομάδα
44	S52	440	0.89	C2-S1
45	S53	365	0.73	C2-S1
46	S54	683	0.79	C2-S1
47	S55	666	0.88	C2-S1
48	S56	307	0.29	C2-S1
49	S57	320	0.32	C2-S1
50	S58	632	1.09	C2-S1
51	S59	241	1.02	C1-S1
52	S60	653	1.29	C2-S1
53	S61	482	1.26	C2-S1
54	S62	492	0.64	C2-S1
55	S63	423	0.35	C2-S1
56	S64	575	1.11	C2-S1
57	D1	638	0.76	C2-S1
58	W1	800	1.57	C3-S1
59	W2	801	1.39	C3-S1
60	W3	1040	1.31	C3-S1
61	W4	2400	5.24	C4-S2
62	W5	1258	1.78	C3-S1
63	W6	560	1.81	C2-S1
64	W8	460	1.46	C2-S1
65	W9	2950	7.26	C4-S2
66	W10	2080	4.59	C3-S2
67	W11	776	1.33	C3-S1



Εικόνα 7.98: *Διάγραμμα Richards ποιοτικής κατάταξης για αρδευτικές χρήσεις των δειγμάτων υπόγειου νερού ξηρής περιόδου στη περιοχή της ΒΔ Χίου.*



Εικόνα 7.99.: *Χάρτης ποιοτικής κατάταξης για αρδευτικές χρήσεις των δειγμάτων υπόγειου νερού ξηρής περιόδου στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

Συζήτηση των Αποτελεσμάτων

8.1 Αρσενικό (As) και αντιμόνιο (Sb) στο σύστημα πέτρωμα-έδαφος νερό

Στην περιοχή της Κεράμου όσον αφορά τα 10 εδαφικά δείγματα δεν βρέθηκαν υψηλές τιμές αρσενικού αφού το εύρος τιμών είναι από 3 έως 20 μg g^{-1} με μέση τιμή 10 μg g^{-1} η οποία δεν ξεπερνά τα όρια που έχουν τεθεί για χώρες όπως Μ. Βρετανία, Ολλανδία, Γαλλία, Καναδά και ΗΠΑ. Ομοίως στην περιοχή έρευνας για τα δείγματα υπόγειου νερού τόσο στην υγρή (S7 = 6 μg l^{-1}, S8 = 5.78 μg l^{-1}) όσο στην ξηρή (S7 = 6,13 μg l^{-1}, S8 = 5.82 μg l^{-1}) δεν βρέθηκαν υψηλές συγκεντρώσεις αρσενικού που να ξεπερνούν την επιτρεπτή τιμή των 10 μg l^{-1} της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 98/83. Επομένως μπορεί να ειπωθεί ότι το αρσενικό δεν προκαλεί ιδιαίτερη επιβάρυνση στο περιβάλλον.

Οι συγκεντρώσεις του αντιμονίου στα 10 εδαφικά δείγματα της περιοχής της Κεράμου κυμαίνονται από 2 έως 75 μg g^{-1} με μέση τιμή 18.5 μg g^{-1} που ξεπερνά το όριο των 5 μg g^{-1} πράγμα που σημαίνει ότι το έδαφος έχει επιβαρυνθεί λόγω της εμφάνισης της αντιμονιούχου μεταλλοφορίας και των διαφόρων υλικών που έχουν απομείνει εξαιτίας της παλαιάς μεταλλευτικής δραστηριότητας. Ομοίως στην περιοχή στο υπόγειο νερό παρατηρήθηκαν υψηλές συγκεντρώσεις αντιμονίου που ξεπερνούν την επιτρεπτή τιμή των 5 μg l^{-1} τόσο στην υγρή (S7 = 146.85 μg l^{-1}, S8 = 141.06 μg l^{-1}) όσο και στην ξηρή περίοδο(S7 = 444.44 μg l^{-1}, S8 = 478.63 μg l^{-1}, S10 = 115.94 μg l^{-1}) της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 98/83. Με τη βοήθεια του ηλεκτρονικού μικροσκόπιου σάρωσης SEM εντοπίστηκαν στην Κέραμο τα ορυκτά αντιμονίτης, βαλλεντινίτης και οξείδια - ένυδρα οξείδια του σιδήρου. Έτσι με τη χρήση του προγράμματος PHREEQC προβλέφθηκε η σχέση που αναπτύσσεται μεταξύ εδάφους και νερού η οποία ξεδιπλώνεται από την συνεχή διάλυση του αντιμονίτη ελευθερώνοντας το Sb στο υπόγειο νερό, ενώ τα οξείδια του αντιμονίου (Sb_2O_4, Sb_2O_3) βρίσκονται κοντά σε χημική ισορροπία με το νερό. Το αντίστροφο γεωχημικό μοντέλο προβλέπει επίσης υπερκορεσμό και καθίζηση της φάσης $Sb(OH)_3$, η οποία σύμφωνα με βιβλιογραφικά δεδομένα (Vink, 1996) για ενεργότητες Sb της τάξης μεγέθους των δειγμάτων που αναλύθηκαν (10^{-6} m) είναι μια μετασταθής μορφή του αντιμονίου. Επιπλέον, ως προς τα εδάφη, στην περιοχή της Κεράμου επικρατούν ελαφρώς όξινες συνθήκες οπότε μπορεί να υποτεθεί η προσρόφηση του αντιμονίου κυρίως σε φάσεις οξειδίων του Mn (Filella, 2002). Έτσι παρατηρείται στην περιοχή ένας συνεχόμενος κύκλος διάλυσης και επανακαθίζησης του αντιμονίου με αποτέλεσμα να προκαλείται υποβάθμιση τόσο στο έδαφος όσο και στο υπόγειο νερό.

Επιπλέον πρέπει να τονιστεί ότι λόγω της μορφολογίας της περιοχής της Κεράμου όπου η αντιμονιούχος μεταλλοφορία αναπτύσσεται γραμμικά με μικρού μεγέθους εμφανίσεις η ρύπανση που προκαλείται από τις υψηλές συγκεντρώσεις κυρίως του αντιμονίου δεν επεκτείνεται σε ευρύτερη κλίμακα. Παρατηρείται ότι η έκταση της ελέγχεται κυρίως από το καλά διαμορφωμένο υδρογραφικό δίκτυο που αναπτύσσεται στην περιοχή.

8.2 Εδάφη

Άλλα στοιχεία

Όσον αφορά τα εδάφη οι συγκεντρώσεις του χαλκού κυμαίνονται από 14 έως 66 μg g^{-1} με μέση τιμή 38 μg g^{-1}. Οι υψηλότερες τιμές Cu οι οποίες είναι μικρότερες των θεσπισμένων ορίων και εμφανίζονται στις περιοχές Μελανιός (Ε59: 66 μg g^{-1}), Παρπαριά (Ε29: 65 μg g^{-1}), Νενητούρια (Ε33: 62 μg g^{-1}) και Κηπουριές (Ε87: 60 μg g^{-1}, Ε88: 62 μg g^{-1}). Οι συγκεντρώσεις του νικελίου κυμαίνονται από 19 έως 76 μg g^{-1} με μέση τιμή 41 μg g^{-1}. Οι υψηλότερες τιμές Ni οι οποίες όμως είναι μικρότερες των θεσπισμένων ορίων εμφανίζονται στις περιοχές Παρπαριά (Ε31: 76 μg g^{-1}) και στο δρόμο προς Κηπουριές (Ε85: 68 μg g^{-1}, Ε87: 76 μg g^{-1}). Οι συγκεντρώσεις του χρωμίου κυμαίνονται από 13 έως 95 μg g^{-1} με μέση τιμή 32 μg g^{-1}. Οι υψηλότερες τιμές Cr οι οποίες είναι μικρότερες των θεσπισμένων ορίων εμφανίζονται στις περιοχές Παρπαριά (Ε29: 81 μg g^{-1}) και προς Κηπουριές (Ε87: 95 μg g^{-1}). Οι συγκεντρώσεις του ψευδαργύρου κυμαίνονται από 44 έως 159 μg g^{-1} με μέση τιμή 96 μg g^{-1}. Οι υψηλότερες τιμές Zn οι οποίες είναι μικρότερες των θεσπισμένων ορίων εμφανίζονται στις περιοχές Βολισσός (Ε27: 149 μg g^{-1}), Παρπαριά (Ε29: 157 μg g^{-1}), Νενητούρια (Ε33: 159 μg g^{-1}) και Ν. Ποταμιά (Ε42: 148 μg g^{-1}). Οι συγκεντρώσεις του σιδήρου κυμαίνονται από 20430 έως 66535 μg g^{-1} με μέση τιμή 42580 μg g^{-1}. Οι υψηλότερες τιμές Fe οι οποίες είναι μικρότερες των θεσπισμένων ορίων εμφανίζονται στις περιοχές προς Κηπουριές (Ε87: 59976 μg g^{-1}), και προς Πισπιλούντα (Ε95: 66535 μg g^{-1}). Οι συγκεντρώσεις του μαγγανίου κυμαίνονται από 383 έως 2981 μg g^{-1} με μέση τιμή 830 μg g^{-1}. Οι υψηλότερες τιμές Mn οι οποίες είναι μικρότερες των θεσπισμένων ορίων εμφανίζονται στις περιοχές Κουρούνια (Ε13: 2362 μg g^{-1}) και Παρπαριά (Ε29: 2981 μg g^{-1}). Οι συγκεντρώσεις του κοβαλτίου κυμαίνονται από 12 έως 36 μg g^{-1} με μέση τιμή 21 μg g^{-1}. Οι μέγιστες τιμές Co εμφανίζονται στις περιοχές Παρπαριά (Ε31: 36 μg g^{-1}), Νενητούρια (Ε33: 31 μg g^{-1}), Άγιο Γάλας (Ε34: 34 μg g^{-1}, Ε61: 31 μg g^{-1}), στο δρόμο προς Πισπιλούντα (Ε95: 33 μg g^{-1}) και Κουρούνια (Ε71: 31 μg g^{-1}). Επομένως οι συγκεντρώσεις των

ιχνοστοιχείων Cu, Ni, Cr, Zn, Fe, Mn, Co που προσδιορίστηκαν στα εδαφικά δείγματα δείχνουν ότι η υπό μελέτη περιοχή δεν έχει επηρεαστεί ιδιαίτερα από αυτά. Επιπλέον οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων Al, Ba, Be, Bi, B, Ca, Li, Mg, Mo, K, Se, Sr, Tl, Ti, V, Na για τα 10 δείγματα εδάφους της περιοχής της Κεράμου δεν χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής από άποψη ρύπανσης.

Στατιστική ανάλυση συσχέτισης

Η στατιστική ανάλυση συσχέτισης έγινε με υπολογισμό των συντελεστών συσχέτισης κατά Pearson για ζεύγη χημικών στοιχείων. Οι υπολογισμοί έγιναν με χρήση του στατιστικού λογισμικού SPSS 13. Στον Πίνακα 8.1 παρουσιάζεται η συσχέτιση των βαρέων μετάλλων που προσδιορίστηκαν σε 100 εδαφικά δείγματα από την περιοχή μελέτης.

Πίνακας 8.1.: *Συντελεστές συσχέτισης (r) των συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων ανά ζεύγη στοιχείων στα εδαφικά δείγματα της περιοχής έρευνας.*

Correlation Matrix

		Cu	Ni	Cr	Zn	Fe	Co	Mn
Correlation	Cu	1						
	Ni	.07	1					
	Cr	.36	.59	1				
	Zn	.57	.27	.16	1			
	Fe	.63	.33	.33	.45	1		
	Co	.46	.39	.42	.26	.51	1	
	Mn	.46	.45	.43	.30	.20	.51	1

Είναι φανερή η καλή θετική συσχέτιση των στοιχείων Cu – Zn (+0.57), Cu – Fe (+0.63), Ni – Cr (0.59), Fe – Co (+0.51), Mn – Co (+0.51). Η ερμηνεία των θετικών συσχετίσεων αφορά κοινές πηγές προέλευσης των στοιχείων και μπορούν να αποδοθούν είτε σε συστατικά του εδάφους που προκύπτουν από την φυσική αποσάθρωση των πετρωμάτων είτε σε πρότυπα δευτερογενούς γεωχημικής διασποράς μεταλλοφόρων σωμάτων του υποβάθρου (Κελεπερτζής, 2000). Ειδικά οι καλές συσχετίσεις μεταξύ Cu-Zn-Fe παραπέμπουν σε δυνητική επίδραση θειούχου μεταλλοφορίας στη σύσταση του εδάφους της ευρύτερης περιοχής.

Η στατιστική ανάλυση συσχέτισης για τα 10 δείγματα της περιοχής Κεράμου-Αγιασμάτων η οποία παρουσιάζει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον σε σχέση με το θέμα του Sb λόγω των μεταλλοφόρων εμφανίσεων έδωσε συντελεστές οι οποίοι παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.2.

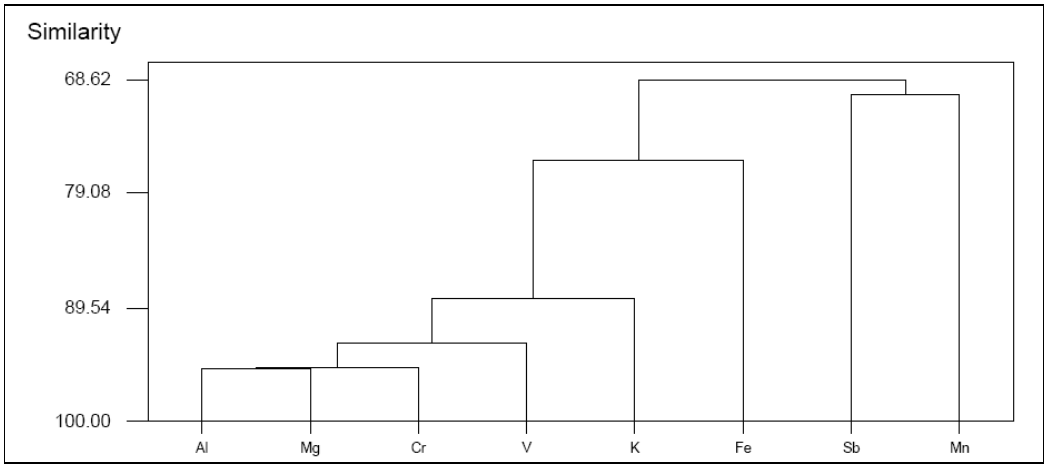
Πίνακας 8.2: *Συντελεστές συσχέτισης (r) συγκεντρώσεων στοιχείων στα 10 εδαφικά δείγματα της περιοχής Κεράμου- Αγιασμάτων.*

	Sb	Al	K	Mg	Mn	Cr	Fe
Al	0.134						
K	0.232	0.774					
Mg	-0.056	0.904	0.718				
Mn	0.401	0.336	0.372	0.300			
Cr	0.233	0.901	0.721	0.807	0.314		
Fe	0.258	-0.030	-0.404	-0.116	0.057	0.218	
V	0.367	0.620	0.416	0.432	0.044	0.856	0.520

Με βάση τους συντελεστές συσχέτισης διακρίνεται μία ομάδα με ισχυρές θετικές συσχετίσεις (>0.6) η οποία περιέχει τα στοιχεία Al, Mg, Cr, V, K. Μέτρια θετική συσχέτιση παρατηρείται επίσης μεταξύ Fe-V. Το Sb δεν παρουσιάζει σημαντική συσχέτιση με κανένα στοιχείο, αλλά εμφανίζει μία ασθενή θετική συσχέτιση με το Mn.

Οι σχέσεις των χημικών στοιχείων στα δείγματα αυτά διερευνήθηκαν επίσης με την κατασκευή δενδρογράμματος με σκοπό τη διαίρεσή τους σε ομάδες ανάλογα με το βαθμό συσχέτισης τους (Εικ. 8.1). Οι παράμετροι μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο ομάδες. Η πρώτη περιλαμβάνει τα στοιχεία Sb και Mn και πιθανά αντανακλά τη σύνδεση του Sb με φάσεις οξειδίων Mn οι οποίες αφθονούν στα εδάφη. Τέτοια σχέση αναφέρεται και στη βιβλιογραφία (Mitsunobu et al, 2006, Belzile et al., 2001, Brannon and Patrick,1985). Συγκεκριμένα αναφέρεται ότι το Sb ακινητοποιείται στο έδαφος με το οξειδωτικό του σθένος Sb(V) σχηματίζοντας σταθερές ενώσεις με οξείδια και υδροξείδια.

Η δεύτερη ομάδα που προκύπτει από το δενδρόγραμμα περιλαμβάνει τα στοιχεία Al, Mg, Cr, V, K και Fe, τα τρία πρώτα εκ' των οποίων παρουσιάζουν πολύ καλή θετική συσχέτιση μεταξύ τους. Κοινό χαρακτηριστικό τους ως προς την πηγή προέλευσης είναι η παρουσία τους σε λεπτόκκοκα δευτερογενή αργιλοπυριτικά ορυκτά τα οποία αποτελούν κυρίαρχα συστατικά των πετρωμάτων της περιοχής (γραουβάκες και σχιστόλιθοι).



Εικόνα 8.1.: *Δενδρόγραμμα ομαδοποίησης παραμέτρων σύμφωνα με τη μεταξύ τους συσχέτιση για τα 10 εδαφικά δείγματα της περιοχής Κεράμου-Αγιασμάτων.*

Στατιστική ανάλυση παραγόντων R – τύπου

Η στατιστική τεχνική της ανάλυσης παραγόντων εφαρμόστηκε στα δεδομένα των συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων για τα οποία υπήρχε ικανός αριθμός παρατηρήσεων (100 δείγματα). Ο πίνακας 8.3. δείχνει τα φορτία τριών παραγόντων, οι οποίοι ερμηνεύουν συνολικά το 76.1% της συνολικής διακύμανσης των τιμών συγκεντρώσεων. Οι παράγοντες αυτοί και η πιθανή ερμηνεία τους αναλύεται ως εξής:

Παράγοντας Ι: Ελέγχει το 50.4% της συνολικής διακύμανσης και αποτελείται από τις μεταβλητές Ni, Cr, Mn, Co με θετικά φορτία. Ο παράγοντας αυτός πιθανά ελέγχεται από την λιθολογία της περιοχής έρευνας. Η καλή συσχέτιση Cr με το Al και το Mg όπως αναφέρθηκε παραπάνω ενισχύει την υπόθεση αυτή.

Παράγοντας ΙΙ: Αποτελείται από τις μεταβλητές Fe, Co και λιγότερο Cu και ελέγχει το 15.6% της διακύμανσης. Η γεωχημική διεργασία που εξηγεί τον παράγοντα αυτό δεν είναι σαφής, ωστόσο τα παραπάνω στοιχεία, εκτός του Cu μετέχουν στη σύσταση ορυκτών του γεωλογικού υποβάθρου της περιοχής.

Παράγοντας ΙΙΙ: Περιλαμβάνει τις μεταβλητές Cu, Zn με θετικά φορτία και ελέγχει το 10.1% της διακύμανσης. Ο παράγοντας αυτός πιθανά εκφράζει την παρουσία μικτής θειούχου μεταλλοφορίας στην περιοχής έρευνας αφού και τα δύο στοιχεία απαντούν σε σουλφίδια.

Πίνακας 8.3.: *Φορτία με τα οποία μετέχει κάθε μεταβλητή σε κάθε έναν από τους 3 παράγοντες στην περιοχή έρευνας (εδαφικά δείγματα).*

Μεταβλητή	Παράγοντας I	Παράγοντας II	Παράγοντας III
Cu	.39	**.45**	**.66**
Ni	**.76**	.21	.22
Cr	**.76**	.34	-.08
Zn	.09	.15	**.91**
Fe	.05	**.87**	.38
Co	**.47**	**.68**	.07
Mn	**.78**	-.01	.31
διακύμανση (%)	**50.4**	**15.6**	**10.1**

Extraction Method: Principal Component Analysis.
Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.

8.3 Υπόγεια *νερά*

Άλλα στοιχεία

Υψηλές συγκεντρώσεις στην περιοχή έρευνας παρουσίασαν τα ιόντα νατρίου (34 – 1800 mg l^{-1} υγρή περίοδος και 40 – 433 mg l^{-1} ξηρή περίοδος) με μέση τιμή 234 mg l^{-1} την υγρή περίοδο και 158 mg l^{-1} την ξηρή περίοδο, χλωρίου (43 - 2800 mg l^{-1} υγρή περίοδος και 52 - 693 mg l^{-1} ξηρή περίοδος) με μέση τιμή 338 mg l^{-1} την υγρή περίοδο και 228 mg l^{-1} την ξηρή περίοδο, καλίου (1 - 39 mg l^{-1} υγρή περίοδος και 1 - 40 mg l^{-1} ξηρή περίοδος) με μέση τιμή 7 mg l^{-1} την υγρή περίοδο και 9 mg l^{-1} την ξηρή περίοδο και θειϊκών ιόντων (39 – 287 mg l^{-1} υγρή περίοδος και 43 - 233 mg l^{-1} ξηρή περίοδος) με μέση τιμή 124 mg l^{-1} την υγρή περίοδο και 135 mg l^{-1} την ξηρή περίοδο, ξεπερνώντας τις περισσότερες φορές τις επιτρεπτές τιμές της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 98/83 στα δείγματα υπόγειου νερού κυρίως πηγαδιών που συνδέονται με τους αλλουβιακούς σχηματισμούς στα νότια παράλια της περιοχής έρευνας εξαιτίας της θαλάσσιας επίδρασης. Για τα υπόλοιπα στοιχεία Ca, Mg, HCO_3^-, NO_3^-, P_2O_5 δεν παρατηρήθηκαν ιδιαίτερες μεταβολές. Πρέπει να σημειωθεί ότι υψηλές τιμές νατρίου (2277 mg l^{-1} υγρή περίοδος, 2300 mg l^{-1} ξηρή περίοδος), χλωρίου (3530 mg l^{-1} υγρή περίοδος, 3870 mg l^{-1} ξηρή περίοδος) και καλίου (267 mg l^{-1} υγρή περίοδος, 328 mg l^{-1} ξηρή περίοδος) παρατηρήθηκαν στη θερμή πηγή S9 και αντικατοπτρίζουν τη θαλάσσια διείσδυση.

Οι τιμές μαγγανίου κυμαίνονται από 0.4 έως 750 μg l^{-1} κατά την υγρή και την ξηρή περίοδο. Οι τιμές σιδήρου κυμαίνονται από 2 έως 210 μg l^{-1} κατά την υγρή περίοδο και από 2 έως 215 μg l^{-1} κατά την ξηρή περίοδο. Στα στοιχεία αυτά δεν σημειώνονται ιδιαίτερες

μεταβολές κατά τις δύο περιόδους. Υψηλές συγκεντρώσεις μαγγανίου και σιδήρου που ξεπερνούν την επιτρεπόμενη συγκέντρωση των 50 μg l^{-1} και των 200 μg l^{-1} σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 98/83 σημειώνονται σε ένα πηγάδι (W9) στα νότια παράλια της περιοχής έρευνας. Πιθανά οι αυξημένες τιμές να οφείλονται συνδυασμό ανθρωπογενών (λιπάσματα, ρήψη απορριμμάτων) και γεωλογικών - λιθολογικών παραγόντων. Επιπλέον, το δείγμα S9 της θερμής πηγής στην παραλιακή περιοχή των Αγιασμάτων εμφανίζει πολύ υψηλή συγκέντρωση μαγγανίου στις δύο περιόδους (750 μg l^{-1}). Για τα ιχνοστοιχεία Zn, Cu, Al, B, Ba, Li. Si δεν παρατηρούνται μεταβολές που να είναι άξιες προσοχής. Πρέπει να σημειωθεί ότι στη θερμή πηγή η τιμή βορίου είναι πολύ υψηλή (2135 μg l^{-1}) και οφείλεται στη θαλάσσια επίδραση.

Είναι σημαντικό να ειπωθεί ότι τα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας αντανακλούν μέσω της χημικής τους σύστασης το περιβάλλον, δηλαδή πέτρωμα και έδαφος, από το οποίο διέρχονται. Έτσι στην περιοχή διακρίνονται τέσσερις υδροχημικοί τύποι. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων και χαρακτηρίζονται θειϊκά και στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν πάλι γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων αλλά χαρακτηρίζονται ως οξυαναθρακικά Τα νερά και των δύο αυτών κατηγοριών έχουν σύσταση συσχετιζόμενη με το σχιστοψαμμιτικό σύστημα του αυτόχθονου από το οποίο διέρχονται. Έτσι προκύπτουν μικτοί τύποι νερού από τη διάλυση ανθρακικών, πυριτικών, αργιλικών, θειϊκών ορυκτών όπως επίσης και από την διάλυση και οξείδωση θειούχων ορυκτών και τις διαδικασίες ιοντοανταλλαγής. Οι δύο παραπάνω κατηγορίες αναπτύσσονται κυρίως στο κεντρικό τμήμα της ΒΔ Χίου και δυτικά. Στην τρίτη κατηγορία ανήκουν τα φυσικά γαιοαλκαλικά νερά με κύριο χημικό τύπο Ca – Mg – HCO_3 και προέρχονται από τα πλευρικά κορήματα που αναπτύσσονται στα ανατολικά περιθώρια της περιοχής έρευνας. Τα νερά αυτά αντανακλούν στη σύστασή τους την ύπαρξη ασβεστόλιθου και δολομίτη κατά το πέρασμά τους. Στην τέταρτη κατηγορία ανήκουν τα αλκαλικά νερά που είναι πλούσια σε ιόντα χλωρίου, νατρίου και θειικών. Αναπτύσσονται στους αλλουβιακούς σχηματισμούς στα νότια παράλια της περιοχής έρευνας ενώ είναι φανερή η διαδικασία μίξης μεταξύ γλυκού και αλμυρού νερού με αποτέλεσμα την παρουσία των ιόντων Na^+ και Cl^- στη σύσταση τους.

Για τη μεγαλύτερη κατανόηση των διαδικασιών που επηρεάζουν την σύσταση του υπόγειου νερού κατά τη διάρκεια της πορείας του εντός των πετρωμάτων και του εδάφους χρησιμοποιείται επιπλέον το διαγράμμα Durov όπου μέσω αυτού διαπιστώνεται και το στάδιο εξέλιξης του υπόγειου νερού. Έτσι τα νερά που φιλοξενούνται εντός του σχιστοψαμμιτικού

συστήματος βρίσκονται στο στάδιο της κατιοανταλλαγής. Είναι εμπλουτισμένα σε μαγνήσιο λόγω διαδικασιών ιοντοανταλλαγής και σε όξινα ανθρακικά. Τα νερά που προέρχονται από τα πλευρικά κορήματα ανατολικά της περιοχής έρευνας δεν παρουσιάζουν εποχικές μεταβολές στο χημισμό τους. Διαπιστώνονται δυο χαρακτηριστικοί υδροχημικοί τύποι Ca-HCO_3 και Mg-HCO_3 που φανερώνουν φρέσκα νερά εμπλουτισμού. Τα νερά που προέρχονται από τους αλλουβιακούς σχηματισμούς φανερώνουν την επίδραση θάλασσας και δείχνουν υδροχημικούς τύπους επηρεασμένους από τα φαινόμενα της αντίστροφης κατιανταλλαγής.

Στατιστική ανάλυση συσχέτισης

Κατά την υγρή και την ξηρή περίοδο με τη βοήθεια του στατιστικού λογισμικού SPSS 13 υπολογίστηκαν οι συντελεστές συσχέτισης των κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων των δειγμάτων υπόγειου νερού της περιοχής έρευνας (Πιν. 8.4, Πιν. 8.5). Διακρίνονται δύο ομάδες στοιχείων που η κάθε μία αποτελείται από στοιχεία τα οποία αλληλοσυσχετίζονται.

1. Η πρώτη ομάδα περιλαμβάνει τα αλληλοσυσχετιζόμενα στοιχεία K – Na – Ca – Mg – Cl – HCO_3 – SO_4 – Mn με καλή έως πολύ καλή θετική συσχέτιση όπου οι συντελεστές συσχέτισης κυμαίνονται από +0.50 έως +0.99 κατά την υγρή περίοδο και από +0.50 έως +1 κατά την ξηρή περίοδο. Η αλληλοσυσχέτισή τους οφείλεται στην παρουσία τους στο θαλάσσιο νερό.

2. Η δεύτερη ομάδα περιλαμβάνει τα στοιχεία Sb – As με πολύ καλή θετική συσχέτιση μεταξύ τους (+0.97 – υγρή περίοδος), (+0.95 – ξηρή περίοδος).

Πίνακας 8.4.: *Συντελεστές συσχέτισης (r) των συγκεντρώσεων ανά ζεύγη στοιχείων στα δείγματα υπόγειου νερού υγρής περιόδου της περιοχής έρευνας.*

Correlation Matrix

		K	Na	Ca	Mg	SO4	PO4	NO3	HCO3	Cl	Mn	Fe	Zn	As	Sb
Correlation	K	1.000													
	Na	.791	1.000												
	Ca	.694	.885	1.000											
	Mg	-.016	.474	.647	1.000										
	SO4	.108	.525	.667	.905	1.000									
	PO4	.216	.347	.346	.362	.321	1.000	.							
	NO3	.278	.241	.193	.035	.024	.060	1.000							
	HCO3	.244	.396	.731	.756	.670	.396	.032	1.000						
	Cl	.792	.999	.877	.460	.506	.334	.245	.374	1.000					
	Mn	.997	.777	.667	-.060	.072	.199	.250	.205	.778	1.000	.			
	Fe	-.006	-.043	-.110	-.190	-.081	.089	-.077	-.208	-.042	.007	1.000			
	Zn	.030	-.022	-.057	-.149	-.104	-.053	-.106	-.131	-.019	.036	.061	1.000		
	As	-.002	-.028	-.065	-.047	.067	-.234	-.128	-.151	-.025	.008	.387	.188	1.000	
	Sb	-.038	-.061	-.063	-.013	.081	-.216	-.119	-.077	-.060	-.030	.317	.066	.970	1.000

Πίνακας 8.5.: *Συντελεστές συσχέτισης (r) των συγκεντρώσεων ανά ζεύγη στοιχείων στα δείγματα υπόγειου νερού ξηρής περιόδου της περιοχής έρευνας.*

Correlation Matrix

		K	Na	Ca	Mg	SO4	PO4	NO3	HCO3	Cl	Mn	Fe	Zn	As	Sb
Correlation	K	1.000													
	Na	.994	1.000												
	Ca	.792	.833	1.000											
	Mg	-.042	.037	.453	1.000	.									
	SO4	.128	.208	.503	.750	1.000									
	PO4	.335	.333	.181	-.287	-.109	1.000								
	NO3	.402	.377	.198	-.260	-.153	.055	1.000							
	HCO3	.259	.325	.718	.844	.503	-.108	-.145	1.000						
	Cl	.995	1.000	.830	.028	.198	.331	.382	.318	1.000					
	Mn	.929	.924	.746	.024	.106	.298	.311	.298	.925	1.000				
	Fe	-.025	-.029	-.037	-.015	-.052	.019	-.207	-.030	-.027	.243	1.000			
	Zn	.011	.012	.055	-.010	.154	-.109	-.092	-.053	.011	-.011	.313	1.000		
	As	.001	-.003	.001	.103	.343	-.180	-.085	-.073	-.006	-.021	.067	.215	1.000	
	Sb	-.039	-.040	-.006	.194	.367	-.230	-.054	-.015	-.043	-.046	.027	.086	.957	1.000

Στατιστική Ανάλυση παραγόντων R – τύπου

Η στατιστική τεχνική της ανάλυσης παραγόντων εφαρμόστηκε στα δείγματα υπόγειου νερού υγρής και ξηρής περιόδου. Οι πίνακες 8.6 και 8.7 δείχνουν τα φορτία τριών παραγόντων, οι οποίοι ερμηνεύουν συνολικά το 71.6% και το 71% της διακύμανσης αντίστοιχα. Με βάση τους παράγοντες αυτούς μπορούμε να διατυπώσουμε μια υπόθεση για να εξηγήσουμε τα γεωλογικά και ανθρωπογενή αίτια που ελέγχουν την κατανομή των ανιόντων και των κατιόντων στο υπόγειο νερό της περιοχής έρευνας. Οι παράγοντες αυτοί είναι οι ακόλουθοι:

Παράγοντας Ι: Ελέγχει το 38.4% της συνολικής διακύμανσης για την υγρή περίοδο και το 36.6% της συνολικής διακύμανσης για την ξηρή περίοδο και αποτελείται από τις μεταβλητές K, Na, Ca, Cl, Mn με θετικά παραγοντικά φορτία. Ο παράγοντας αυτός όπως φαίνεται από τις μεταβλητές που τον αποτελούν εκφράζει την επίδραση της θάλασσας.

Παράγοντας ΙΙ: Ελέγχει το 17.5% της συνολικής διακύμανσης για την υγρή περίοδο και το 20.6% της συνολικής διακύμανσης για την ξηρή περίοδο και αποτελείται από τις μεταβλητές Ca, Mg, SO_4, HCO_3 με θετικά παραγοντικά φορτία. Ο παράγοντας αυτός όπως φαίνεται από τις μεταβλητές που τον αποτελούν εκφράζει την αλληλεπίδραση των γεωθερμικών ρευστών με το θαλασσινό νερό ή εκφράζει τη διάλυση των ορυκτών του ασβεστίτη ($CaCO_3$), του δολομίτη ($MgCO_3$) που απαντούν στους σχηματισμούς της περιοχής.

Παράγοντας ΙΙΙ: Ελέγχει το 15.6% της συνολικής διακύμανσης για την υγρή περίοδο και το 13.6% της συνολικής διακύμανσης για την ξηρή περίοδο και αποτελείται από τις μεταβλητές As, Sb με θετικά παραγοντικά φορτία. Ο παράγοντας αυτός όπως φαίνεται από τις μεταβλητές που τον αποτελούν εκφράζει την επίδραση της αντιμονιούχου μεταλλοφορίας στη σύσταση του νερού.

Πίνακας 8.6.: *Φορτία με τα οποία μετέχει κάθε μεταβλητή σε κάθε έναν από τους 3 παράγοντες κατά την υγρή περίοδο στην περιοχή έρευνας.*

Μεταβλητή	Παράγοντας I	Παράγοντας II	Παράγοντας III
K	**.97**	.04	.05
Na	**.83**	.47	.03
Ca	**.69**	**.69**	-.03
Mg	-.02	**.97**	-.08
SO4	.08	**.93**	.06
PO4	.24	.41	-.20
NO3	.38	-.05	-.19
HCO3	.15	**.82**	-.16
Cl	**.84**	.45	.03
Mn	**.97**	.01	.06
Fe	.04	-.17	.19
Zn	.09	-.19	.44
As	-.09	.04	**.94**
Sb	-.14	.09	**.89**
διακύμανση (%)	**38.4**	**17.5**	**15.6**

Extraction Method: Principal Component Analysis.
Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.

Πίνακας 8.7.: *Φορτία με τα οποία μετέχει κάθε μεταβλητή σε κάθε έναν από τους 3 παράγοντες κατά την ξηρή περίοδο στην περιοχή έρευνας.*

Μεταβλητή	Παράγοντας I	Παράγοντας II	Παράγοντας III
K	**.98**	.05	.04
Na	**.98**	.13	.02
Ca	**.78**	**.57**	-.03
Mg	-.08	**.97**	.01
SO4	.09	**.79**	.31
PO4	.41	-.27	-.21
NO3	.47	-.31	-.01
HCO3	.23	**.88**	-.19
Cl	**.98**	.12	.02
Mn	**.93**	.08	.03
Fe	.02	-.05	.19
Zn	.01	.02	.37
As	-.04	.11	**.96**
Sb	-.08	.17	**.92**
διακύμανση (%)	**36.6**	**20.6**	**13.6**

Extraction Method: Principal Component Analysis.
Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

Συμπεράσματα και Προτάσεις

9.1 Συμπεράσματα

Στα πλαίσια της παρούσας διδακτορικής διατριβής πραγματοποιήθηκε ποσοτικός και ποιοτικός προσδιορισμός As και Sb στο έδαφος και το υπόγειο νερό της ΒΔ Χίου με αποτέλεσμα την οριοθέτηση του περιβαλλοντικού προβλήματος στις περιοχές εμφάνισης αντιμονιούχου μεταλλοφορίας και παλαιών μεταλλείων. Επίσης μελετήθηκε η κινητικότητα του αντιμονίου στο σύστημα πέτρωμα - έδαφος - νερό μέσω του προσδιορισμού πιθανών αντιδράσεων χημικής αποσάθρωσης των πρωτογενών ορυκτολογικών φάσεων της αντιμονιούχου μεταλλοφορίας στην περιοχή της Κεράμου. Επιπλέον προσδιορίστηκαν οι ολικές συγκεντρώσεις των Cu, Ni, Cr, Cd, Zn, Fe, Co, Mn σε 100 δείγματα εδάφους της περιοχής έρευνας καθώς επίσης και τα κύρια ιόντα K^+, Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, NO_3^-, NO_2^-, SO_4^{2-}, PO_4^{3-}, Cl^-, NH_4^+, HCO_3^- και τα ιχνοστοιχεία Mn, Ni, Co, Cr, Cd, Pb, Fe, Zn, Cu, σε 83 δείγματα υπόγειου νερού υγρής περιόδου και σε 68 δείγματα υπόγειου νερού ξηρής περιόδου. Ακόμα μελετήθηκε η καταλληλότητα του νερού όσον αφορά την ποσιμότητα και την άρδευση. Αναλυτικότερα τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την έρευνα είναι:

Πετρώματα

Η ορυκτολογική μελέτη εστίασε στην περιοχή της Κεράμου μέσω μικροσκοπικής ανάλυσης SEM-EDS δειγμάτων μεταλλεύματος και δειγμάτων από τα περιβάλλοντα πετρώματα, κυρίως αυτά της πυριτιωμένης ζώνης πλησίον εγκαταλελειμμένων στοών εξόρυξης. Τα ορυκτά που προσδιορίστηκαν ως πρωτογενείς πηγές Sb είναι ο αντιμονίτης και ο βαλλεντινίτης. Επίσης παρατηρήθηκαν αρκετά δευτερογενή οξείδια και υδροξείδια Fe με χαμηλές συγκεντρώσεις Sb αλλά και As τα οποία περιβάλλουν τους κόκκους των πρωτογενών ορυκτών ή διαχέονται με μορφή φλεβιδίων εντός της πυριτιωμένης ζώνης και υποδεικνύουν τον τρόπο γεωχημικής διασποράς των υπό μελέτη μεταλλοειδών.

Εδάφη

➢ Οι συγκεντρώσεις του αρσενικού για τα 10 δείγματα εδάφους στην περιοχή της Κεράμου είναι μικρότερες από τα όρια ρύπανσης As των εδαφών της Μ. Βρετανίας, Ολλανδίας, Γαλλίας, Καναδά και ΗΠΑ. Επομένως τα εδάφη της περιοχής της Κεράμου δεν έχουν ρυπανθεί σε τόσο σημαντικό βαθμό από το συγκεκριμένο στοιχείο.

➢ Οι συγκεντρώσεις του αντιμονίου για τα 10 δείγματα της περιοχής της Κεράμου ξεπερνούν το όριο των 5 μg g^{-1} που αυτό σημαίνει ότι το έδαφος της περιοχής έχει υποβαθμιστεί λόγω της εμφάνισης της αντιμονιούχου μεταλλοφορίας και των εκτεθειμένων

υλικών λόγω της παλαιάς μεταλλευτικής δραστηριότητας με αποτέλεσμα τον εμπλουτισμό του σε Sb λόγω φυσικών και χημικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα.

➢ Με βάση τους συντελεστές συσχέτισης και τη σχέση που προκύπτει μεταξύ των ιχνοστοιχείων από τα δενδρογράμματα στα 10 εδαφικά δείγματα στην περιοχή της Κεράμου παρατηρήθηκε ότι το Sb παρουσιάζει μία ασθενή θετική συσχέτιση με το Mn που πιθανά αντανακλά την σύνδεση του Sb με φάσεις οξειδίων Mn, ισχυρή θετική συσχέτιση παρατηρήθηκε στα στοιχεία Al, Mg, Cr, K,V και επίσης μέτρια θετική συσχέτιση στα στοιχεία Fe,V.

➢ Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων Al, Ba, Be, Bi, B, Ca, Li, Mg, Mo, K, Se, Sr, Tl, Ti, V, Na για τα 10 δείγματα εδάφους της περιοχής της Κεράμου δεν χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής από άποψη ρύπανσης.

➢ Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων Cu, Ni, Cr, Zn, Fe, Mn, Co που προσδιορίστηκαν στα 100 εδαφικά δείγματα δείχνουν ότι στο σύνολό της η υπό μελέτη περιοχή δεν έχει επιβαρυνθεί με συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων.

➢ Τρεις παράγοντες ελέγχουν την κατανομή των ιχνοστοιχείων στα εδάφη της περιοχής έρευνας. Ο πρώτος παράγοντας αποτελείται από τις μεταβλητές Ni, Cr, Mn, Co με θετικά φορτία και εκφράζει την λιθολογία της περιοχής έρευνας. Ο δεύτερος παράγοντας αποτελείται από τις μεταβλητές Fe, Co και λιγότερο Cu.με θετικά φορτία. Η γεωχημική διεργασία που εξηγεί τον παράγοντα αυτό δεν είναι σαφής, ωστόσο τα παραπάνω στοιχεία, εκτός του Cu μετέχουν στη σύσταση ορυκτών του γεωλογικού υποβάθρου της περιοχής. Ο τρίτος παράγοντας αποτελείται από τις μεταβλητές Cu, Zn με θετικά φορτία και εκφράζει ασθενή επίδραση της μικτής θειούχου μεταλλοφορίας στη σύσταση των εδαφών της περιοχής.

Υπόγεια νερά

➢ Με βάση τη λιθολογική ταξινόμηση τα υπόγεια νερά διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες: α) σε νερά που φιλοξενούνται στους αλλουβιακούς σχηματισμούς του Τεταρτογενούς στα νότια παράλια της περιοχής έρευνας, β) σε νερά τα οποία φιλοξενούνται στα πλευρικά κορήματα του Τεταρτογενούς στα ανατολικά περιθώρια της περιοχής μελέτης και γ) σε νερά που προέρχονται από το σχιστοψαμμιτικό σύστημα της περιοχής.

➢ Με βάση το διάγραμμα Piper τα υπόγεια νερά και για τις δύο περιόδους χωρίζονται σε τέσσερις υδροχημικές κατηγορίες: α) Το μεγαλύτερο ποσοστό ανήκει στην κατηγορία

γαιοαλκαλικών νερών με υψηλό ποσοστό αλκαλίων. Τα νερά αυτά χαρακτηρίζονται θειϊκά και ανήκουν κυρίως οι πηγές του σχιστοψαμμιτικού συστήματος με κατά τόπους παρεμβολές ασβεστολιθικών φακών και ηφαιστειακών πετρωμάτων ενώ κατά θέσεις εμφανίζεται θειούχος μεταλλοφορία. Έτσι προκύπτουν μικτοί τύποι νερού από τη διάλυση ανθρακικών , πυριτικών, αργιλικών, θειϊκών ορυκτών όπως επίσης και από την διάλυση και οξείδωση θειούχων ορυκτών και τις διαδικασίες ιοντοανταλλαγής. β) Δευτερεύουσα θέση στην κατάταξη καταλαμβάνουν τα νερά της κατηγορίας των γαιοαλκαλικών νερών με υψηλό ποσοστό αλκαλίων και χαρακτηρίζονται ως οξυανθρακικά. Στην κατηγορία αυτή ανήκει ένα ποσοστό των πηγών που προέρχονται από το σχιστοψαμμιτικό σύστημα και ένα ποσοστό των πηγαδιών. Είναι και αυτοί μικτοί τύποι νερού. γ) Την τρίτη θέση καταλαμβάνουν τα νερά της κατηγορίας των φυσικών γαιοαλκαλικών νερών. Είναι φρέσκα νερά εμπλουτισμού και προέρχονται κυρίως από τα πλευρικά κορήματα που αναπτύσσονται στα ανατολικά περιθώρια της περιοχής έρευνας. Ο κύριος χημικός τύπος νερού που επικρατεί και στις δύο περιόδους είναι Ca – Mg – HCO_3. Τα νερά αυτά υποδηλώνουν την κίνηση τους μέσα στους ασβεστόλιθους και στους δολομίτες με αποτέλεσμα τη διάλυσή αυτών και τον εμπλουτισμό τους με τα ιόντα Ca^{2+}, Mg^{2+} και HCO_3^-. δ) Την τέταρτη θέση καταλαμβάνουν τα νερά της κατηγορίας των αλκαλικών νερών που είναι πλούσια σε ιόντα χλωρίου, νατρίου και θειικών. Στην ομάδα αυτή ανήκουν τα πηγάδια που αναπτύσσονται στους αλλουβιακούς σχηματισμούς. Έλαβαν χώρα αντιδράσεις ιοντοανταλλαγής και διαδικασίες μίξης μεταξύ γλυκού και αλμυρού νερού με αποτέλεσμα την παρουσία των ιόντων Na^+ και Cl^- στη σύσταση του νερού.

➢ Με βάση το διάγραμμα Durov προκύπτει ότι: α) Τα νερά που φιλοξενούνται εντός του σχιστοψαμμιτικού συστήματος είναι εμπλουτισμένα σε μαγνήσιο λόγω διαδικασιών ιοντοανταλλαγής και σε όξινα ανθρακικά. β) Τα νερά που προέρχονται από τα πλευρικά κορήματα ανατολικά της περιοχής έρευνας χαρακτηρίζονται ασβεστούχα-μαγνησιούχα οξυανθρακικά. γ) Μικρό ποσοστό των υπόγειων νερών, κυρίως της παράκτιας ζώνης, φανερώνουν την επίδραση θάλασσας και δείχνουν υδροχημικούς τύπους επηρεασμένους από τα φαινόμενα της αντίστροφης κατιανταλλαγής.

➢ Η τιμή του pH των δειγμάτων υπόγειου νερού της περιοχής μελέτης κυμαίνεται μεταξύ 6,7 και 8,9 και φανερώνει την ελαφρώς όξινο έως ελαφρώς αλκαλικό χαρακτήρα των υπόγειων υδάτων. Όσον αφορά την ηλεκτρική αγωγιμότητα (E.C.) οι υψηλές τιμές εμφανίζονται στην παράκτια ζώνη στα νερά των αλλουβιακών σχηματισμών και φανερώνουν την θαλάσσια

επίδραση. Αντίθετα τα νερά των πηγών που προέρχονται από τα πλευρικά κορήματα και την σχιστοψαμμιτική σειρά οι τιμές κυμαίνονται σε πολύ χαμηλότερα επίπεδα

➢ Στην περιοχή έρευνας δεν παρατηρήθηκαν υψηλές συγκεντρώσεις As που να ξεπερνούν την επιτρεπτή τιμή των 10 μg l^{-1} της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 98/83. Υψηλές συγκεντρώσεις Sb που ξεπερνούν την επιτρεπτή τιμή των 5 μg l^{-1} της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 98/83 εμφανίζονται στην περιοχή της Κεράμου οι οποίες οφείλονται στην ύπαρξη της αντιμονιούχου μεταλλοφορίας. Με χρήση του λογισμικού PHREEQC διαμορφώθηκε το υδρογεωχημικό μοντέλο του νερού της περιοχής σύμφωνα με το οποίο ο αντιμονίτης διαλύεται συνεχώς (αρνητικός δείκτης κορεσμού) ελευθερώνοντας Sb στο υπόγειο νερό ενώ τα οξείδια του αντιμονίου (Sb_2O_4, Sb_2O_3) τείνουν να καθιζάνουν. Επίσης σε μεγάλη έκταση διαλύεται ο σιδηροπυρίτης, ενώ τα ορυκτά ασβεστίτης, γκαιτίτης, υδροξυλαπατίτης και $Fe(OH)_3$ καθιζάνουν. Το υδροχημικό μοντέλο που καταρτίστηκε προβλέπει ότι στα νερά των πηγών της Κεράμου επικρατεί η τρισθενής μορφή Sb και As και στις δύο περιόδους εκτός από μία πηγή προς την περιοχή των Αγιασμάτων που στην ξηρή περίοδο επικρατεί η πεντασθενής μορφή του Sb.

➢ Υψηλές συγκεντρώσεις στην περιοχή έρευνας παρουσίασαν τα ιόντα νατρίου και χλωρίου που ξεπερνούν τις επιτρεπτές τιμές της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 98/83 στα δείγματα υπόγειου νερού κυρίως πηγάδια που συνδέονται με τους αλλουβιακούς σχηματισμούς στα νότια παράλια της περιοχής έρευνας εξαιτίας της θαλάσσιας επίδρασης. Για τα υπόλοιπα στοιχεία δεν σημειώνονται αξιόλογες συγκεντρώσεις άνω των αποδεκτών τιμών.

➢ Από άποψη καταλληλότητας ως προς την ποσιμότητα, κατά την υγρή και την ξηρή περίοδο τα υπόγεια νερά στην περιοχή έρευνας που συνδέονται με τα πηγάδια στα νότια παράλια της περιοχής έρευνας καθώς επίσης και με τις πηγές στην περιοχή Κεράμου – Αγιασμάτων οι οποίες έχουν επηρεαστεί από την αντιμονιούχο μεταλλοφορία θεωρούνται χημικώς ακατάλληλα.

➢ Ως προς την καταλληλότητα των νερών για άρδευση, κατά την υγρή περίοδο τα περισσότερα δείγματα (53) ανήκουν στην κατηγορία C2 – S1 η οποία χαρακτηρίζει νερά με μικρό κίνδυνο αλκαλίωσης και μέσο κίνδυνο αλατότητας. Έντεκα δείγματα ανήκουν στην κατηγορία C1 – S1 τα οποία είναι νερά καλής ποιότητας, 4 δείγματα είναι μεταξύ των κατηγοριών C1 – S1— C2 –S1, 9 δείγματα ανήκουν στην κατηγορία C3 – S1 τα οποία είναι νερά με μικρό κίνδυνο αλκαλίωσης και υψηλό κίνδυνο αλατότητας, 3 δείγματα ανήκουν στην

κατηγορία C3 – S2 τα οποία είναι νερά με μέσο κίνδυνο αλκαλίωσης και πολύ υψηλό κίνδυνο αλατότητας και μόνο 1 δείγμα ανήκει στην κατηγορία C4-S2 όπου είναι νερό με μέσο κίνδυνο αλκαλίωσης και πολύ υψηλό κίνδυνο αλατότητας. Κατά τη ξηρή περίοδο, τα περισσότερα δείγματα (46) ανήκουν στην κατηγορία C2 – S1, 7 δείγματα ανήκουν στην κατηγορία C1 – S1, 1 δείγμα είναι μεταξύ των κατηγοριών C2 – S1— C3 –S1, 8 δείγματα ανήκουν στην κατηγορία C3 – S1, 1 δείγμα ανήκει στην κατηγορία C3 – S2 και 1 δείγμα ανήκει στην κατηγορία C4-S2.

➢ Τρεις παράγοντες ελέγχουν κατά την υγρή και την ξηρή περίοδο την κατανομή των ανιόντων και των κατιόντων στο υπόγειο νερό της περιοχής έρευνας. Ο πρώτος παράγοντας αποτελείται από τις μεταβλητές K, Na, Ca, Cl, Mn με θετικά παραγοντικά φορτία. και εκφράζει την επίδραση της θάλασσας. Ο δεύτερος παράγοντας αποτελείται από τις μεταβλητές Ca, Mg, SO_4, HCO_3 με θετικά παραγοντικά φορτία.και εκφράζει την αλληλεπίδραση των γεωθερμικών ρευστών με το θαλασσινό νερό ή εκφράζει τη διάλυση των ορυκτών του ασβεστίτη ($CaCO_3$), του δολομίτη ($MgCO_3$) που απαντούν στους σχηματισμούς της περιοχής. Ο τρίτος παράγοντας αποτελείται από τις μεταβλητές As, Sb με θετικά παραγοντικά φορτία και εκφράζει την επίδραση της αντιμονιούχου μεταλλοφορίας της περιοχής.

Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω, το κύριο πρόβλημα ρύπανσης της περιοχής έρευνας εντοπίζεται στην περιοχή της Κεράμου – Αγιασμάτων όπου τόσο το έδαφος όσο και το υπόγειο νερό έχουν υποστεί σημαντική υποβάθμιση λόγω των υψηλών συγκεντρώσεων του αντιμονίου. Σημαντικό βέβαια είναι το γεγονός ότι κύριες ορυκτολογικές φάσεις της μεταλλοφορίας (π.χ. βαλλεντινίτης) έχουν δείκτες κορεσμού κοντά σε μηδενικές τιμές υποδεικνύοντας συνθήκες χημικής ισορροπίας. Η ακινητοποίησή του Sb στο έδαφος φαίνεται επίσης δυνατή μέσω της προσρόφησής του σε φάσεις οξειδίων του μαγγανίου στο ελαφρώς όξινο περιβάλλον που επικρατεί στην περιοχή. Ένα δευτερεύον πρόβλημα αποτελεί η υφαλμύρινση των αλλουβιακών υδροφορέων στα νότια παράλια της περιοχής έρευνας, κοντά στην Βολισσό. Το φαινόμενο αυτό πιθανά σχετίζεται με υπεραντλήσεις νερού για την κάλυψη των αναγκών σε γλυκό νερό.

9.2 Προτάσεις

Από την παρούσα έρευνα έγινε σαφές ότι το πρόβλημα ρύπανσης του νερού από Sb έχει τοπικό χαρακτήρα και εντοπίζεται σε ελάχιστες πηγές κατά μήκος της κοιλάδας μεταξύ Κεράμου και Αγιασμάτων. Οι συγκεκριμένες πηγές S7, S8 και S10 που παρατηρούνται οι υψηλές τιμές αντιμονίου δεν χρησιμοποιούνται για την υδροδότηση των περιοχών Κεράμου και Αγιασμάτων. Λόγω όμως της θέσης του κοντά στον κεντρικό δρόμο Κεράμου - Αγιασμάτων καθίστανται επικίνδυνες διότι μπορεί να χρησιμοποιηθούν είτε για άρδευση αφού στην περιοχή υπάρχουν καλλιεργήσιμες εκτάσεις, κυρίως ελαιοδέντρων, είτε για οικιακή χρήση και ως 'πόσιμο' νερό από τους κατοίκους γειτονικών χωριών ίσως ακόμα και από περαστικούς. Προτείνεται λοιπόν τουλάχιστο η σήμανση του νερού ως μη πόσιμο λόγω υψηλών συγκεντρώσεων Sb.

Επίσης, προτείνεται συστηματική παρακολούθηση της ποιότητας των υπόγειων νερών μέσω επαναλαμβανόμενων δειγματοληψιών ώστε να καταγραφεί τη διαχρονική διακύμανση της ρύπανσης. Εξ' άλλου, το υδρογεωλογικό καθεστώς των πηγών αυτών μπορεί να αποτελέσει πεδίο μελλοντικής έρευνας ώστε να διερευνηθεί η σχέση τους με μη επιφανειακές εμφανίσεις μεταλλοφόρων σωμάτων καθώς και με το δίκτυο υπόγειων στοών των παλαιών μεταλλείων.

Δεδομένου ότι η Χίος αποτελεί σήμερα έναν τουριστικό προορισμό, στα πλαίσια της αποκατάστασης του ευρύτερου περιβάλλοντος στην περιοχή της Κεράμου – Αγιασμάτων θα μπορούσε να αξιοποιηθεί ο χώρος των μεταλλείων με τη δημιουργία ενός γεωπάρκου που θα συνδύαζε την επίσκεψη στο γεωλογικό αυτό μνημείο με τις κατάλληλα διαμορφωμένες στοές, με αναστηλωμένους τους χώρους που γινόταν η επεξεργασία και ο εμπλουτισμός του μεταλλεύματος και την ύπαρξη μουσείου με κατάλληλες υποδομές πεζοπορίας όπως μονοπάτια. Επίσης, θα μπορούσε να αναπτυχθεί και υποδομή για διανυκτέρευση, εστίαση, αγορά προϊόντων, πληροφόρηση σχετικά με την περιήγηση στο γεωπάρκο, οργανωμένων ξεναγήσεων κλπ, κυρίως από ιδιώτες και κατοίκους της περιοχής. Παράλληλα θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν κατά παρόμοιο τρόπο και τα θερμά νερά της περιοχής των Αγιασμάτων με κατάλληλα οργανωμένες μονάδες υδροθεραπείας. Η δημιουργία του γεωπάρκου και η εκμετάλλευση των ιαματικών νερών θα μπορούσε να συμβάλλει στην ανάπτυξη διαφόρων εναλλακτικών μορφών τουρισμού, παρέχοντας έτσι ένα σημαντικό δυναμικό οικονομικής ανάπτυξης σε μια κατεξοχήν αγροτική περιοχή ενώ παράλληλα θα υπήρχε αύξηση της απασχόλησης με τη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας.

Το πρόβλημα της υφαλμύρινσης στα νότια παράλια, κοντά στην περιοχή της Βολισσού χρήζει επίσης ενδιαφέροντος ως προς την αντιμετώπισή του και μπορεί να αποτελέσει θέμα έρευνας στα πλαίσια της διαχείρισης των υδατικών πόρων της περιοχής. Τέλος, η παρούσα έρευνα δεν επεκτάθηκε στη διερεύνηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της ζώνης μεταλλοφορίας μεικτών θειούχων που εμφανίζεται με διεύθυνση Β-Ν στα ανατολικά της περιοχής. Η μελέτη της σύστασης των νερών και εδαφών της εκεί περιοχής μπορεί να αποτελέσει θέμα μελλοντικής έρευνας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Διεθνής Βιβλιογραφία

Alloway, B.J (1990) *Heavy Metal in Soils*.2nded. Blackie Academic and Professional, London.

Appelo, C.A.J., Postma, D. (2005) *Geochemistry, groundwater and pollution*, 2nd Edn., A.A. Balkema Publishers, 17 pp.

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) (1992) *Toxicological profile for antimony and compounds*. Atlanta/U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) (2004) *Toxicological profile for copper*. Atlanta/U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) (2004) *Toxicological profile for cobalt*. Atlanta/U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) (2005) *Toxicological profile for zinc*. Atlanta/U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) (2005): *Toxicological profile for nickel*. Atlanta/U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) (2007) *Toxicological profile for lead*. Atlanta/U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) (2007) *Toxicological profile for arsenic*. Atlanta/U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) (2008) *Toxicological profile for manganese*. Atlanta/U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) (2008): *Toxicological profile for cadmium*. Atlanta/U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) (2008): *Toxicological profile for cromium*. Atlanta/U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.

Belzile, N., Chen, Y. and Wang, Z. (2001) Oxidation of antimony (III) by amorphous iron and

manganese oxyhydroxides, *Chemical Geology*, 174, 379 – 387.

Besenecker, H., Durr, St., Herget, G., Jacobshagen, V., Kaufmann, G, Ludtke, G., Roth, W., Tietze, K.W. (1968) *Geologie von Chios (Agais)*. Ein Ueberblick. Geol. Und Palaeontologica Acta, z, 121 – 150 2Tf.

Bowell, R.J. (1993) Mineralogy and geochemistry of tropical rain forest soils: Ashanti, Ghana, *Chemical Geology*, 106, 345 – 348.

Brannon, J. M.; Patrick, W. H., Jr. (1985) Fixation and mobilization of antimony in sediments. *Environ. Pollut.*, *9B*, 107-126.

Brookins, D.G (1972) Stability of Stibnite, Metastibnite, and some probable dissolved Antimony Species at 298.15^0K and 1 Atmosphere. *Economic Geology*. V.67, page 369 – 372.

Brookins, D.G. (1986) Geochemical behavior of antimony, arsenic, cadmium and thallium: Eh– pH diagrams for 25 ^{o}C, 1-bar pressure. *Chem. Geol*. 54, 271–278.

Chatzidiakos, E., Fanouraki, M., Kelepertzis, A., Argyraki, A. and Alexakis, D., 2008: *Speciation and mobility of arsenic and antimony in groundwater at Melivoia, East Thessaly and Keramos area NW Chios, Greece*. Proceedings of the 8th International Hydrogeological Congress of Greece.

Council of the European Union (1998) Council Directive 98/ 83/ EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption, Official Journal L 330, 05/ 12/ 1998.

Cox, P.A. (1997): *The elements on Earth*. Inorganic Ghemistry in the Environment. Oxford University Press Inc., New York, 287pp.

Crecelius, E.A., Bothner, M.H. and Carpenter, R. (1975) Geochemistries of arsenic, antimony, mercury and related elements in sediments of Puget Sound, *Environmental Science and Technology*, 9, 325 – 333.

Davis, S. N., R.J.M. De Wiest (1966) *Hydrology*. John Wiley & Sons. New York.

Fanouraki M., Chatzidiakos E., Argyraki A. and Kelepertsis A. 2006. *Building a GIS database for spatial interpretation of arsenic and antimony concentrations in the soil – rock – groundwater system of NW Chios and East Thessaly*. Proc of the 2nd International Conference Water Science and Technology – Intergated Management of Water Resources, Athens Greece, pp 113.

Fergusson, J.E (1990) *The heavy elements: Chemistry*, *Environmental Impact and Health Effects*. Oxford, Pergamon Press, page 614.

Filella, M., Belzile, N. and Chen, Y. (2002) Antimony in the environment: a review focused on natural waters II. Relevant solution chemistry, *Earth-Science Reviews*, 59, 265 -285.

Hale, M. (1981): Pathfinder applications of Arsenic, Antimony and Bismuth in geochemical exploration. *Journal of Geochemical Exploration*. v. 15, page 307 – 323.

Hawkes, H.E, Webb, J.S (1962) *Geochemistry in Mineral Exploration*. Harper & Row, page 415.

Hayes A. and Traina S. (1998): Metal ion speciation and its significance in ecosystem health. In: *Soil chemistry and Ecosystem Health*, Special Publication No.52.Soil Science Society America, Madison WI.

Hopenhayn, C. (2006): Arsenic in Drinking Water: Impact on human health. *Elements*, vol. 2, pp. 103 – 107.

Hounslow, A. (2002) *Water Quality Data: Analysis and Interpretation*.CRC-Press.1 edition.

Keighin, C.W., Honea, R.M. (1969) The system Ag – Sb – S from 600^0C to 200^0C. *Min. Dep.* v.4, page 153 – 171.

Komnitsas, K., Xenidis, A. and Adam, K. (1995) Oxidation of pyrite and arsenopyrite in sulphidic spoils in Lavrion*, Minerals Engineering,* 12, 1443-1454.

Korte, N.E and Fernando, Q. (1991) A review of arsenic (III) in groundwater, *Critical Reviews in Environmental Control*, 21, 1 – 39.

Levinson, A.A., 1980: *Introduction to Exploration Geochemistry*. 2nd Ed. Applied Publishing. Chapts 1 and 1a: 1 – 37, page 615 – 627.

Mather, J (1997) *Relationship between rock, soil and groundwater compositions. Geochemical processes, weathering and groundwater recharge in catchments* O.M. Saether & P. de Caritat (eds).

McGrath, S.P., and C.H. Cunliffe. (1985): A simplified method for the extraction of the heavy metals Fe, Zn, Cu, Ni, Cd, Pb, Cr, Co and Mn from soils and sewage sludges, *Journal of Science of Food and Agriculture,* 36, 794–798.

Meinhold, G., Kostopoulos, D., Reischmann, T. (2007) Geochemical constraints on the provenance and depositional setting of sedimentary rocks from the islands of Chios,

Inousses and Psara, Aegean Sea, Greece: implications for the evolution of Palaeotethys. *Journal of the Geological Society, London*, Vol.164, pp.1145 – 1163.

Mitsunobu, S. Harada, T, Takahashi, Y. (2006) Comparison of antimony behavior with that of arsenic under various soil redox conditions, *Environ. Sci. Technol*., 40, 7270-7276.

Papanikolaou, D. & Sideris, Ch. (1983) Le Paleozoique de l' autochtone de Chios: une formation a blocks de type wildflysch d' age Permien (pro parte). *C.R.Acad. Sc. Paris*, 297, 603 – 606.

Parkhurst, D.L., Appelo C.A.J., 1999: *User's guide to PHREEQC(version 2)-a computer program for speciation, batch reaction, one-dimesnional transport and inverse geochemical calculations.* U.S. Geol.Surv. Water. Resour. Inv. Rep. 99-4259.

Pe-Piper, G. and Kotopouli, C.N. (1994) Paleozoic volcanic rocks of Chios, Greece: Record of a Paleotethyan structure. *N. Jb. Miner. Mh. H*. 1, 23 – 39, Stuttgart.

Pe-Piper, G. Piper, D.J.W., Kotopouli, C.N. and Panagos, A.G. (1995) Neogene volcanoes of Chios, Greece: The relative importance of subduction and back – arc extension. *Geological Society Special Publication* No81, Volkanism Associated with Extension at Consuming Plate Margins, 213 – 231.

Piper, A.M., 1944: A graphic procedure in the geochemical interpretation of groundwater analyses. *American Geophysical Union Transactions,* 25, 914 – 923.

Ramsey, M. H. and Argyraki, A. (1997) Estimation of measurement uncertainty from field sampling: implications for the classification of contaminated land. *The Science of the Total Environment*, 198, 243-257.

Ramsey, M.H. (1998) Sampling as a source of measurement uncertainty: techniques for quantification and comparison with analytical sources, *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 13, 97-104.

Ramsey, M.H. and Ellison, S.L.R. (eds.) Eurachem/EUROLAB/CITAC/Nordtest/AMC Guide: *Measurement uncertainty arising fromsampling: a guide to methods and approaches Eurachem* (2007). ISBN978 0 948926 26 6. Available from the Eurachem secretariat.

Rose, A.W, Hawkes, H.E, Webb, J.S. (1979) *Geochemistry in Mineral Exploration*. 2nd Ed. Academic Press. Chapters 1 – 2, page 1 – 43.

Sawyer, C.N., McCarty, P.L., Parkin, G.F. (1994) *Chemistry for environmental engineering 4th ed.*, McGraw-Hill, New York, 658pp.

Skarpelis, N. (1999) Epithermal types ore in the Aegean. The hot spring mineralisation of northern Chios island, Greece. *Bulletin of the Geological Society of Greece* vol. XXXIII, 61 – 68.

Smedley, P.L., Edmunds, W.M. and Pelig-Ba, K.B. (1996) *Mobility of arsenic in groundwater in the Obuasi gold-mining area of Ghana: some implications for human health, in Appleton,* J.D., Fuge, R. and McCall, G.J.H. (Editors) *Environmental Geochemistry and Health*, Geological Society Special Publication, 113, 163 – 181.

Smedley, P.L., Kinniburgh, D.G. (2002): A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Applied Geochemistry* 17, 517-568.

Smith, K.S., Huyck, H.L.O (1999) An overview of the abundance, relative mobility, bioavailability,and human toxicity of metals*; in* Plumlee, G.S.,and Logsdon, M.J. (eds.), The Environmental Geochemistryof Mineral Deposits, Part A: Society of Economic Geologists, *Reviews in Economic Geology*,v. 6A, pp. 29-70.

Thompson, M. and Howarth, R.J. (1978) A new approach to the estimation of analytical precision, *Journal of Geochemical Exploration*, 9, 23-30.

USEPA (2001) National primary drinking water regulations; arsenic and clarifications to compliance and new source contaminants monitoring; final rule, Federal Register, 66, pp.6975-7066.

Vink, B.W. (1996) Stability relations of antimony and arsenic compounds in the light of revised and extended Eh– pH diagrams. *Chem. Geol.* 130, 21–30.

Welch, A.H., Westjohn, D.B., Helsel, D.R. and Wanty, R.B. (2000) Arsenic in groundwater of the United States: occurrence and geochemistry, *Ground Water*, 38, 589 – 604.

Welz, B. (1985) *Atomic absorption spectrometry*, second, completely revised edition. Verlagsgesellschaft mbH, D-6940 Weinheim (Germany)

Williams, M. (1997) *Mining related arsenic hazards: Thailand case-study*, Summary Report, British Geological Survey Report WC/97/49, British Geological Survey, Keyworth.

Young, R. (1992): *Toxicity summary of Antimony*, Oak Ridge, Tennessee.

Ελληνική Βιβλιογραφία

Βογιατζάκης, Ε. (1989) *Κοιτασματολογικές έρευνες στη Β. Χίο*. Ι.Γ.Μ.Ε, Αθήνα.

Δημητρόπουλος, Δ. (1985) *Έκθεση υδρογεωλογικής αναγνώρισης πηγών Αγιασμάτων Χίου*, Ι.Γ.Μ.Ε., Αθήνα.

Δήμου, Ε., Παπασταύρου, Στ., Serment, R. (1986) *Το αντιμόνιο στην Ελλάδα (Μέρος δεύτερο) – Μελέτη εμφανίσεων και κοιτασμάτων αντιμονίου στην Ν. Χίο και στο Πήλιο (Μεταλλική παραγένεση – Μεταλλογένεση)*. Ι.Γ.Μ.Ε, Αθήνα.

Δρούβας, Ν., Τζανικιάν, Ζ. (1977) *Έκθεση επι του προτεινόμενου προγράμματος ερευνητικών εργασιών στην περιοχή αντιμονιούχων εμφανίσεων κεράμου Χίου.* Ι.Γ.Μ.Ε, Αθήνα.

Ελληνικές Μεταλλευτικές Επιχειρήσεις Α.Ε. (1950) *Σημείωμα επί των εκτελεσθείσων εργασιών και εγκαταστάσεων των μεταλλείων αντιμονίου Κεράμου Χίου.* Ι.Γ.Μ.Ε, Αθήνα.

Ζεληλίδης, Α., Αβραμίδης, Π. (2001) *Η ιζηματολογική και στρωματογραφική διάρθρωση της νήσου Χίου στην κατεύθυνση επίλυσης των υπαρχόντων υδρογεωλογικών προβλημάτων,* Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας τομ. XXXIV/5, 1811-1818.

Ι.Γ.Μ.Ε., 1971. *Φύλλο Βολισσός, Γεωλογικός χάρτης 1:50000*. Τμήμα γεωλογικών χαρτών του Ι.Γ.Μ.Ε., Αθήνα, Ελλάδα.

Καβουρίδης, Θ, Βακαλόπουλος, Π. (2002) *Δυνατότητες περαιτέρω εκμετάλλευσης των ιαματικών νερών της περιοχής Αγιασμάτων του Δήμου Αμανής της νήσου Χίου*, Τεχνική Έκθεση, Ι.Γ.Μ.Ε., Αθήνα.

Καλλέργης, Γ.Α. (2000) *Εφαρμοσμένη – Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία*. Τόμος Β΄. Έκδοση Τ.Ε.Ε.

Κελεπερτζής, Α.Ε (1993) *Εφαρμοσμένη Γεωχημεία.* Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Κελεπερτζής, Α.Ε. (2000) *Εφαρμοσμένη Γεωχημεία.* Μακεδονικές Εκδόσεις.

Λαμπρόπουλος, Σ., Καμινάρη, Μ. (1989) *Γεωχημική έρευνα ιζημάτων ρεμάτων Ν. Χίου.* Ι.Γ.Μ.Ε, Αθήνα.

Μπάνος, Χ., Παρασχούδης, Β., Πιππίδης, Μ. (1995) *Αναμόρφωση υδατικού ισοζυγίου Ν. Χίου – Ενιαία διαχείριση υδατικών πόρων*, 3ο Υδρογεωλογικό Συνέδριο με έμφαση στα υδρογεωλογικά προβλήματα των νησιωτικών περιοχών.

Νικολαϊδου, Α. (1996) *Κατανομή του σεληνίου και άλλων ιχνοστοιχείων σε θειούχα μεταλλεύματα της Χαλκιδικής,* Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Οικονόμου, Σ. (2009) *Δυνατότητες Παρέμβασης και Ανάδειξης των Μεταλλείων της Κεράμου, 1^{ο} Αναπτυξιακό Συνέδριο Αμανής- Μεταίχμιο Ζωής,* Χίος 31/7- 2/8/ 2009.

Παΐδας, Γ. (2011) *Υδατικοί πόροι της νήσου Χίου-Υφιστάμενη γνώση και προτάσεις.* Μεταπτυχιακή Εργασία Διεπιστημονικό-Διατμηματικό ΠΜΣ ΕΜΠ «ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ», σελ.133.

Παρασκευαϊδης, Η. (1974) *Αναγνωριστικαί υδρογεωλογικαί μελέται νήσων Αιγαίου*, 1η Ομάς, Τεύχος 3 (Νήσος Χίος), Αθήνα Υ.Ε.Σ.

Τάσιος, Σ. (1990) *Εδαφογεωχημική έρευνα για την Sβούχο μεταλλοφορία της περιοχής ποταμιάς Ν. Χίου.* Ι.Γ.Μ.Ε, Αθήνα.

Τσαμαντουρίδης, Π., Χωριανοπούλου, Π. (1977) *Επί της κοιτασματολογικής αναγνωρίσεως της νήσου Χίου (Εμφανίσεις Αντιμονίου – Μεικτών Θειούχων).* Ι.Γ.Μ.Ε, Αθήνα.

Φανουράκη, Μ. (2003) *Περιβαλλοντική γεωχημική έρευνα εδαφών και ιζημάτων ρεμάτων σε περιοχές εμφανίσεων αντιμονιούχου μεταλλοφορίας της ΒΔ Χίου*, Μεταπτυχιακό Γεωχημικής Ρύπανσης Περιβάλλοντος, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Αθηνών.

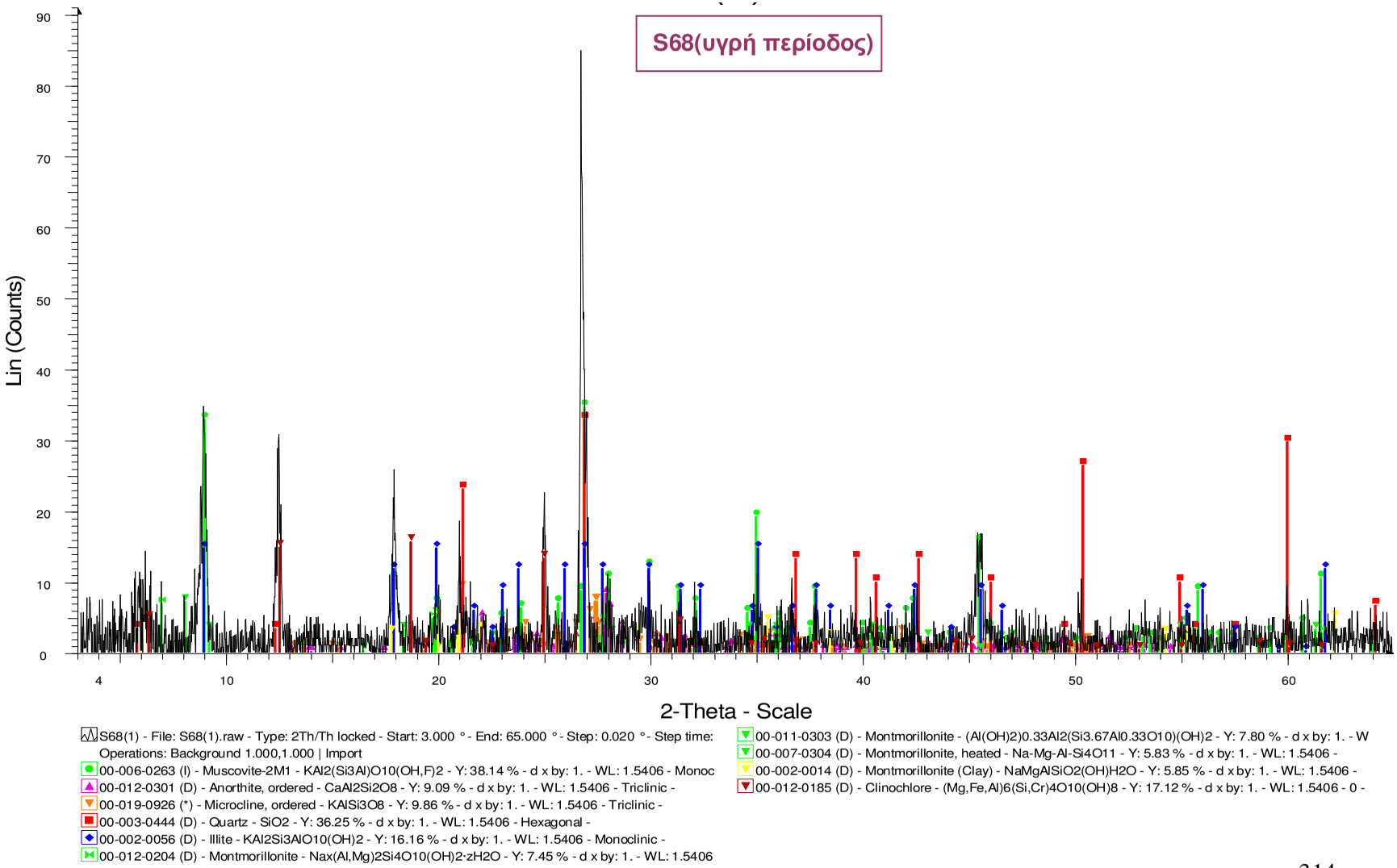
Διαδικτυακές πηγές

http://www.chios.gr/na/chios_rainstatios.asp.

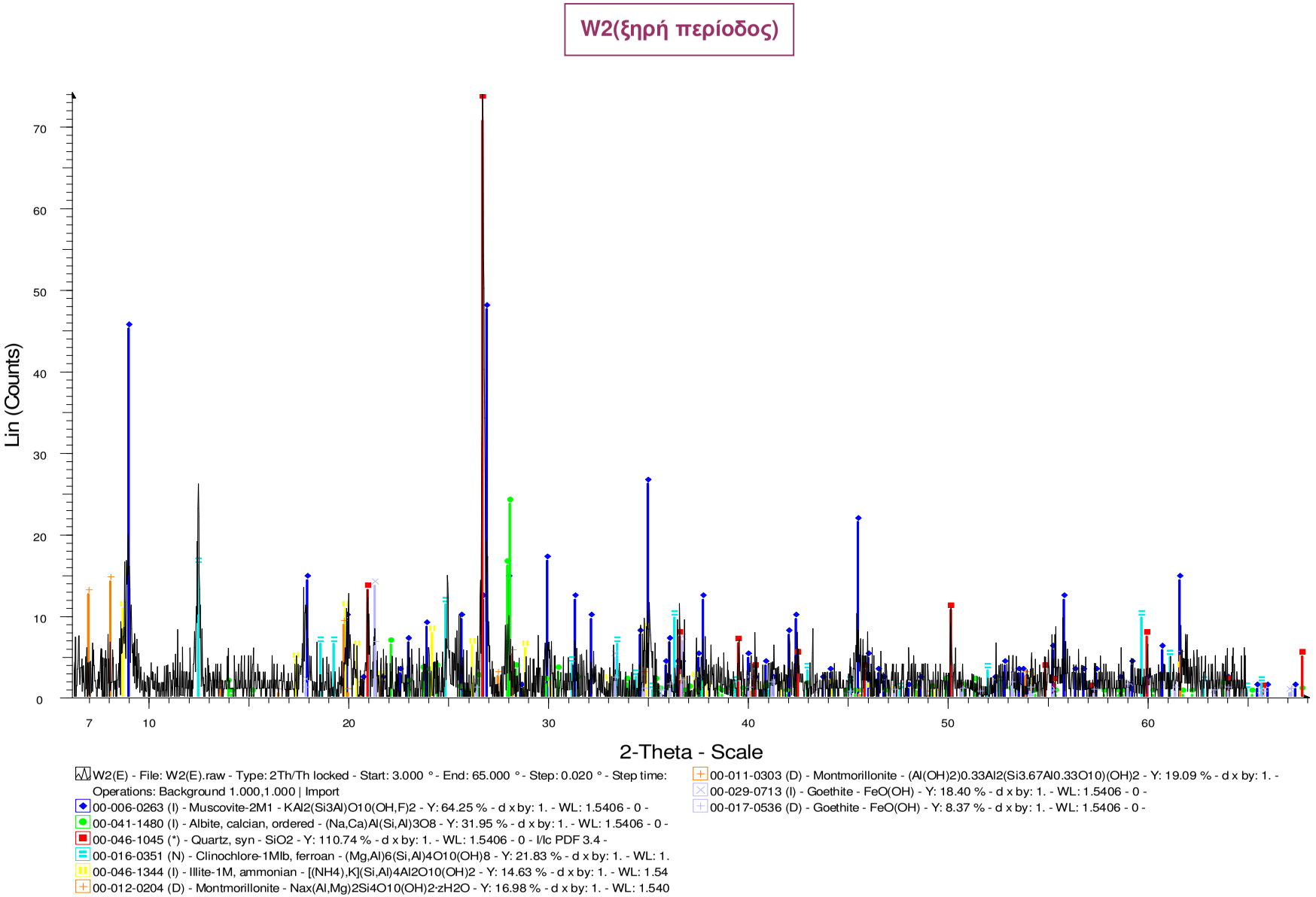
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α’

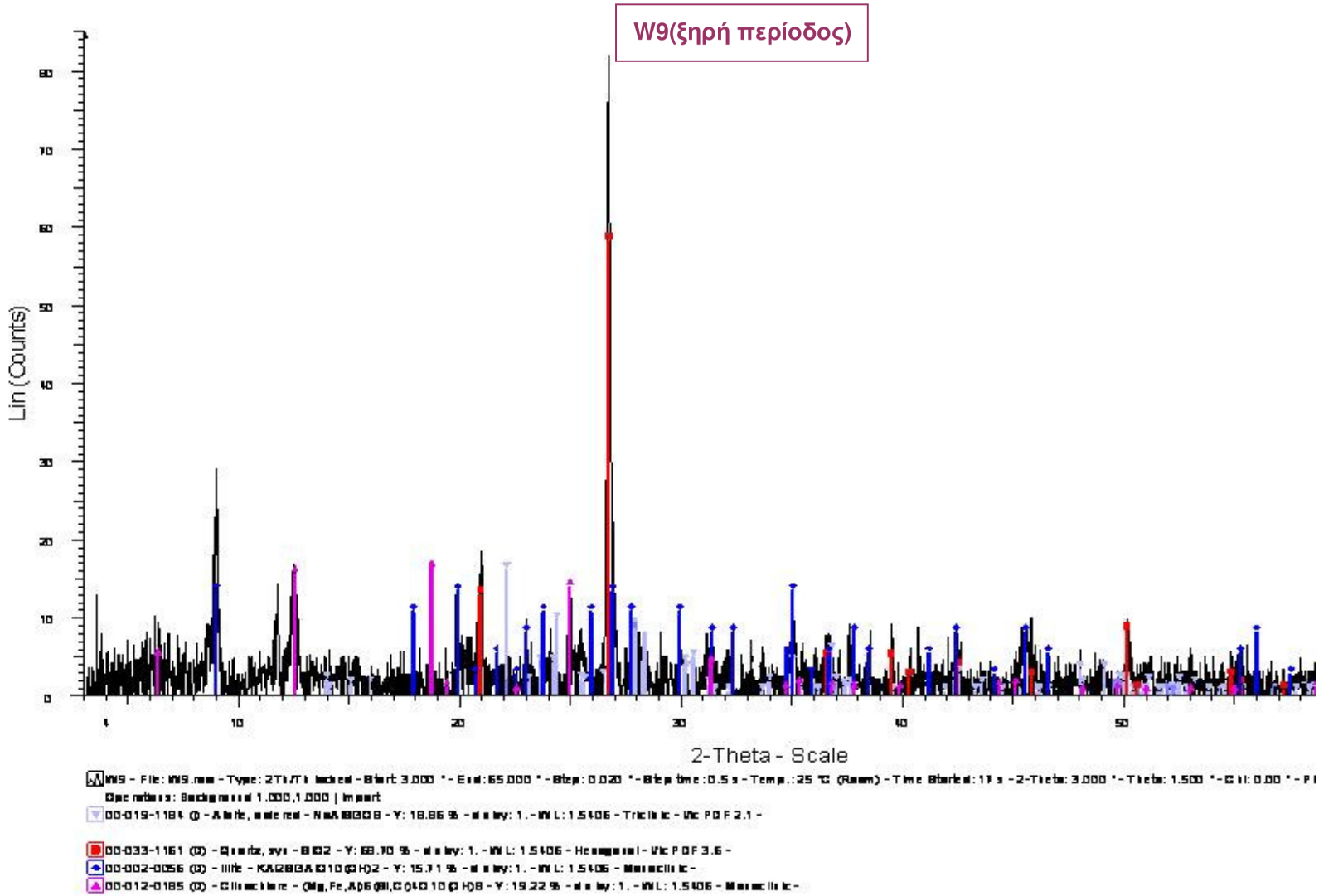
Διαγράμματα Περιθλασιμετρίας Αιωρούμενων Στερεών στα Υπόγεια Νερά



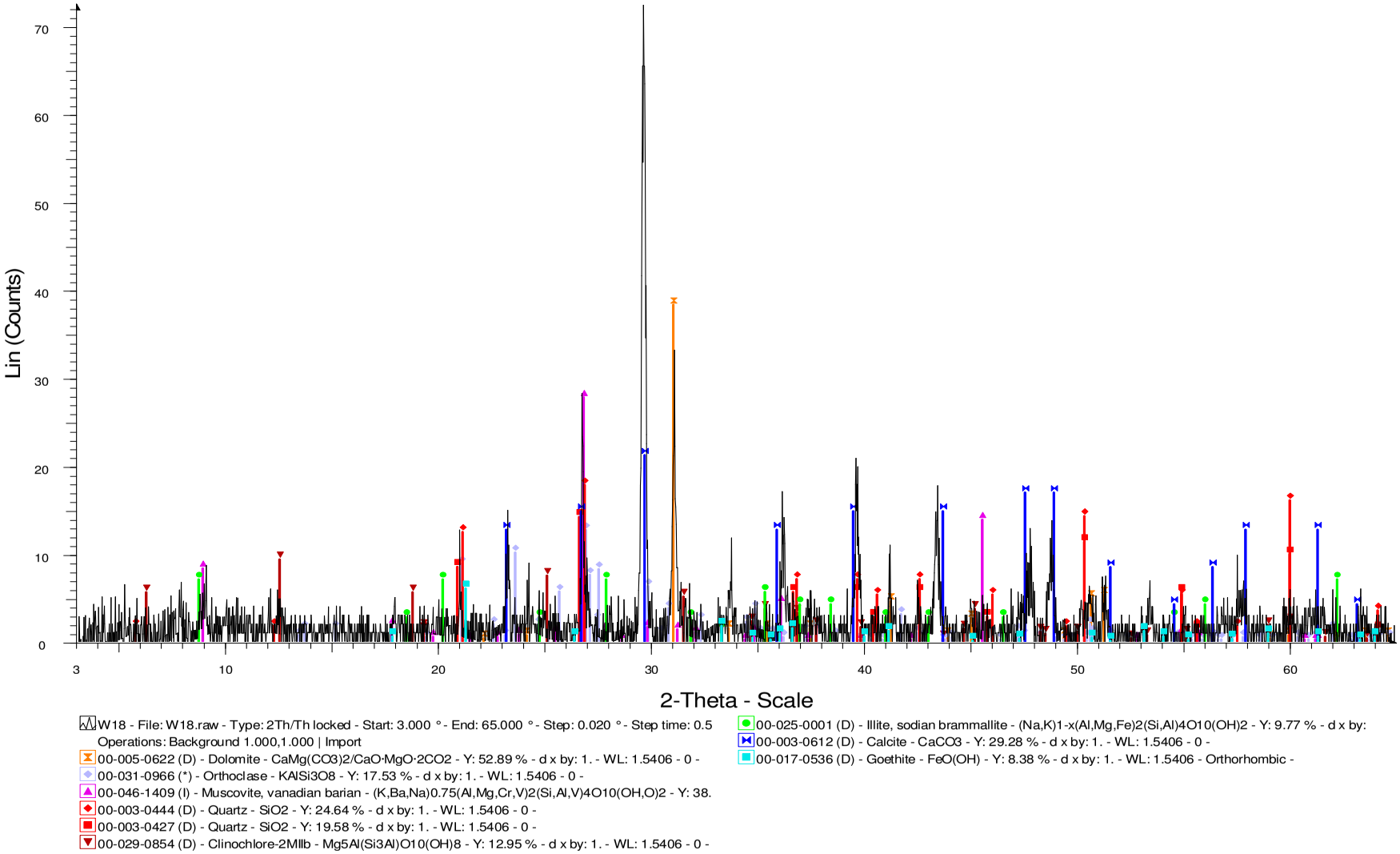
Εικόνα 5.8.: *Φάσμα ορυκτολογικής ανάλυσης των αιωρούμενων στερεών του δείγματος υπόγειου νερού υγρής περιόδου S68 στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*



Εικόνα 5.9.: *Φάσμα ορυκτολογικής ανάλυσης των αιωρούμενων στερεών του δείγματος υπόγειου νερού ξηρής περιόδου W2 στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*



Εικόνα 5.10.: *Φάσμα ορυκτολογικής ανάλυσης των αιωρούμενων στερεών του δείγματος υπόγειου νερού ξηρής περιόδου W9 στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*



Εικόνα 5.11.: *Φάσμα ορυκτολογικής ανάλυσης των αιωρούμενων στερεών του δείγματος υπόγειου νερού υγρής περιόδου W18 στην περιοχή της ΒΔ Χίου.*

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β’

Αναλυτικά Αποτελέσματα Χημικών Αναλύσεων Εδαφών

Πίνακας 1: *Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων των ιχνοστοιχείων στα δείγματα εδάφους της ΒΔ Χίου με τη μέθοδο AAS.*

A/A	Δείγμα	Cu ($\mu g\ g^{-1}$)	Ni ($\mu g\ g^{-1}$)	Cr ($\mu g\ g^{-1}$)	Cd ($\mu g\ g^{-1}$)	Zn ($\mu g\ g^{-1}$)	Fe ($\mu g\ g^{-1}$)	Co ($\mu g\ g^{-1}$)	Mn ($\mu g\ g^{-1}$)
1	E1	48	43	29	<0.02	135	49797	23	1127
2	E2	47	42	28	<0.02	148	46938	20	1056
3	E4	34	40	24	<0.02	103	49445	16	631
4	E5	36	37	46	<0.02	91	42925	22	1022
5	E6	28	45	37	1.79	84	43647	24	1133
6	E7	39	43	36	<0.02	93	46305	18	1192
7	E8	33	32	50	<0.02	76	41988	18	579
8	E9	32	42	18	<0.02	73	36441	13	817
9	E10	40	45	41	<0.02	95	49982	27	795
10	E11	44	46	41	<0.02	129	47277	28	1622
11	E12	37	36	34	<0.02	101	45521	21	876
12	E13	24	40	26	<0.02	73	40080	23	2362
13	E14	34	43	26	<0.02	88	40321	17	736
14	E15	29	36	30	<0.02	78	39169	14	640
15	E16	18	21	17	<0.02	65	22559	17	383
16	E17	30	40	26	<0.02	89	42483	20	851
17	E18	26	40	28	<0.02	81	30441	19	487
18	E19	30	33	18	<0.02	82	29585	12	463
19	E20	39	39	30	<0.02	79	41363	14	725
20	E21	33	35	23	<0.02	75	32077	19	440
21	E22	28	39	33	1.78	68	37307	17	902
22	E23	35	36	31	<0.02	104	45608	18	775
23	E24	21	28	19	<0.02	44	28697	13	446
24	E25	47	45	40	<0.02	119	46690	22	872
25	E26	49	63	34	<0.02	111	45042	24	1601
26	E27	29	29	20	<0.02	149	36846	15	522
27	E28	35	44	27	<0.02	95	36154	17	617
28	E29	65	70	81	1.79	157	49445	30	2981
29	E30	36	45	36	<0.02	101	40346	18	604
30	E31	51	76	45	<0.02	103	54562	36	1434
31	E32	14	21	24	<0.02	47	20430	17	1428
32	E33	62	54	39	1.79	159	49385	31	1797
33	E34	48	36	28	<0.02	99	44697	34	1193
34	E35	39	45	35	<0.02	123	39038	22	787
35	E36	49	66	57	<0.02	100	42621	27	1818
36	E37	45	36	33	<0.02	85	40515	20	1158
37	E38	44	46	35	<0.02	106	48687	25	881
38	E39	25	50	67	2.39	118	33499	17	806
39	E40	44	32	23	<0.02	111	50616	16	595
40	E41	44	29	14	<0.02	129	44533	17	666
41	E42	40	37	24	<0.02	108	51509	23	480
42	E43	30	34	27	<0.02	93	43537	19	444
43	E44	35	35	15	<0.02	74	44385	20	654

Πίνακας 1 (συνέχεια): *Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων των ιχνοστοιχείων στα δείγματα εδάφους της ΒΔ Χίου με τη μέθοδο AAS.*

A/A	Δείγμα	Cu ($\mu g\ g^{-1}$)	Ni ($\mu g\ g^{-1}$)	Cr ($\mu g\ g^{-1}$)	Cd ($\mu g\ g^{-1}$)	Zn ($\mu g\ g^{-1}$)	Fe ($\mu g\ g^{-1}$)	Co ($\mu g\ g^{-1}$)	Mn ($\mu g\ g^{-1}$)
44	E45	43	39	18	<0.02	98	46351	17	768
45	E46	29	36	23	<0.02	72	35822	18	552
46	E47	31	37	32	<0.02	87	36427	17	625
47	E48	44	42	28	<0.02	103	46427	18	619
48	E49	29	40	23	<0.02	79	37515	17	586
49	E50	45	49	26	<0.02	100	46485	21	748
50	E51	34	38	28	<0.02	84	43548	21	529
51	E52	37	40	34	<0.02	94	42566	20	603
52	E53	30	32	23	<0.02	84	45041	15	589
53	E54	36	44	29	<0.02	87	41568	19	932
54	E55	25	36	29	<0.02	81	31957	15	646
55	E56	33	38	33	<0.02	89	36262	20	835
56	E57	36	48	36	<0.02	98	39797	25	817
57	E58	46	42	33	<0.02	92	44076	16	740
58	E59	66	62	43	<0.02	95	36474	21	2041
59	E60	30	35	30	<0.02	92	40495	24	1090
60	E61	28	39	29	<0.02	84	37800	31	592
61	E62	32	43	30	<0.02	84	41629	25	626
62	E63	35	38	29	<0.02	91	38714	25	737
63	E64	37	25	25	<0.02	77	24455	16	946
64	E65	28	35	34	<0.02	86	37914	19	408
65	E66	31	37	36	<0.02	91	38570	18	669
66	E67	36	40	31	<0.02	90	38254	22	763
67	E68	36	43	37	<0.02	79	42275	29	525
68	E69	51	52	47	<0.02	101	51847	27	1001
69	E70	31	41	34	<0.02	86	37787	22	791
70	E71	35	40	36	<0.02	92	46364	31	654
71	E72	28	47	78	<0.02	87	40510	15	506
72	E73	41	39	35	<0.02	95	46296	29	1368
73	E74	41	56	39	1.79	88	44480	19	595
74	E75	39	34	22	<0.02	115	42849	27	944
75	E76	43	38	33	<0.02	109	61982	29	1069
76	E77	36	36	37	<0.02	100	45688	24	943
77	E78	36	37	26	<0.02	87	38509	21	575
78	E79	37	52	24	<0.02	98	47105	25	874
79	E80	29	33	27	<0.02	83	32270	13	589
80	E81	42	42	37	<0.02	88	44881	21	794
81	E82	39	51	39	1.77	95	39164	18	492
82	E83	34	33	27	<0.02	140	36180	17	613
83	E84	32	36	33	<0.02	83	37753	17	584
84	E85	43	68	47	<0.02	99	47028	18	748
85	E86	37	61	29	<0.02	92	38704	18	481
86	E87	60	76	95	<0.02	92	59976	30	1133

Πίνακας 1(συνέχεια): *Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων των ιχνοστοιχείων στα δείγματα εδάφους της ΒΔ Χίου με τη μέθοδο AAS.*

A/A	Δείγμα	Cu (μg g^{-1})	Ni (μg g^{-1})	Cr (μg g^{-1})	Cd (μg g^{-1})	Zn (μg g^{-1})	Fe (μg g^{-1})	Co (μg g^{-1})	Mn (μg g^{-1})
87	E88	62	44	21	<0.02	103	48533	20	446
88	E89	37	36	32	<0.02	115	51306	18	814
89	E90	39	29	13	<0.02	107	37983	18	454
90	E91	41	29	22	<0.02	96	49622	19	398
91	E92	30	28	14	<0.02	104	35748	14	622
92	E93	37	39	16	<0.02	100	50552	20	763
93	E94	40	27	15	<0.02	106	43636	16	413
94	E95	44	19	65	<0.02	88	66535	33	1051
95	E96	40	48	36	<0.02	97	44673	15	493
96	E97	41	44	28	<0.02	109	54738	20	737
97	E98	40	30	24	<0.02	110	50752	16	437
98	E99	40	33	19	<0.02	91	47393	18	604
99	E100	49	64	46	<0.02	99	49912	23	851
100	E101	36	47	28	<0.02	101	44349	21	818

Πίνακας 2 : *Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων των ιχνοστοιχείων στα δείγματα εδάφους της ΒΔ Χίου με τη μέθοδο ICP – AES (Εργαστήριο ποιοτικού ελέγχου, Ελ.Χρυσός).*

A/A	Δείγμα	As μg g^{-1}	Sb μg g^{-1}	Pb μg g^{-1}	Al μg g^{-1}	Ba μg g^{-1}	Be μg g^{-1}	Bi μg g^{-1}	Ca μg g^{-1}	Li μg g^{-1}	Mg mg g^{-1}
1	E1	12	18	73	6930	57	1	15	1802	156	2090
2	E2(α)	20	75	112	11777	82	1	16	2093	163	3680
3	E2(β)	18	71	107	15836	98	<1	16	2045	169	3877
4	E4	7	18	36	7738	74	1	18	1852	147	2047
5	E9	<1	4	30	2922	111	1	11	4296	125	929
6	E37	<1	11	65	15951	84	<1	8	20543	157	7996
7	E75	9	2	32	7518	93	2	20	1552	129	2053
8	E76	3	15	38	13593	75	1	20	5269	182	6294
9	E77	<1	<1	36	20899	132	1	16	1253	170	7491
10	E78	<1	12	31	9268	73	<1	25	7077	141	4800
11	E79	<1	14	38	6838	61	1	16	1291	167	1274
12	SRM2711(α)	51	19	1114	22275	218	<1	14	22221	94	8006
13	SRM2711(β)	55	18	1120	17230	202	<1	12	21635	85	7456

Πίνακας 2 (συνέχεια): *Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων των ιχνοστοιχείων στα δείγματα εδάφους της ΒΔ Χίου με τη μέθοδο ICP – AES (Εργαστήριο ποιοτικού ελέγχου, Ελ. Χρυσός)..*

A/A	Δείγμα	K μg g^{-1}	Sr μg g^{-1}	Ti μg g^{-1}	V μg g^{-1}	Na μg g^{-1}
1	E1	1088	417	23	43	145
2	E2(α)	1779	391	51	45	78
3	E2(β)	2637	371	106	48	124
4	E4	1633	388	44	42	102
5	E9	1062	332	17	36	82
6	E37	2800	367	61	42	129
7	E75	1306	357	7	33	222
8	E76	1166	436	34	45	122
9	E77	2389	378	58	49	2136
10	E78	1738	350	61	41	388
11	E79	1459	427	22	47	142
12	SRM2711(α)	5047	210	1004	65	442
13	SRM2711(β)	4019	187	641	56	378

Πίνακας 2 (συνέχεια): *Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων των ιχνοστοιχείων στα δείγματα εδάφους της ΒΔ Χίου με τη μέθοδο ICP – AES (Εργαστήριο ποιοτικού ελέγχου, Ελ. Χρυσός.).*

A/A	Δείγμα	Cu μg g^{-1}	Ni μg g^{-1}	Cr μg g^{-1}	Zn μg g^{-1}	Fe μg g^{-1}	Co μg g^{-1}	Mn μg g^{-1}
1	E1	56	40	20	230	52064	23	1148
2	E2(α)	55	46	25	237	49654	21	1217
3	E2(β)	54	46	28	219	48270	21	1236
4	E4	38	45	18	169	48095	17	853
5	E9	44	57	13	146	43845	16	953
6	E37	51	40	29	223	44313	21	1284
7	E75	47	39	12	200	44934	25	1105
8	E76	52	50	26	180	55525	27	1046
9	E77	42	47	33	185	45787	25	978
10	E78	44	52	20	152	44709	18	830
11	E79	48	60	23	208	53270	24	962
12	SRM2711(α)	124	17	24	378	25248	12	562
13	SRM2711(β)	120	16	21	380	23650	10	539

Πίνακας 3: *Μέτρηση pH – Eh των εδαφών στην περιοχής της ΒΔ Χίου.*

Α/Α	Δείγμα	pH	Eh	Α/Α	Δείγμα	pH	Eh
1	E1(α)	6.0	43.9	18	E28(β)	7.1	-23.7
2	E1(β)	6.3	26.0	19	E30	6.2	28.8
3	E2	6.1	39.8	20	E31	6.6	8.7
4	E4	6.4	19.4	21	E32(β)	6.1	38.5
5	E8	6.7	5.1	22	E33	6.8	-6.2
6	E11	6.5	10.3	23	E35(β)	7.6	-47.3
7	E15	7.1	-17.1	24	E36	7.7	-59.0
8	E16(α)	7.9	-73.2	25	E38(α)	7.5	-39.4
9	E16(β)	8.4	-93.5	26	E39	7.6	-53.8
10	E17	6.4	15.4	27	E41	8.7	-114.5
11	E18	7.8	-64.8	28	E42(α)	6.3	24.9
12	E19	7.6	-50.4	29	E42(β)	6.3	27.1
13	E21(α)	8.2	-92.5	30	E45	6.8	-1.9
14	E24	7.4	-43.2	31	E46	7.2	-25.8
15	E25(β)	7.5	-50.3	32	E48	7.6	-51.4
16	E27	7.9	-71.1	33	M1	3.5	197.9
17	E28(α)	7.4	-42.7				

Πίνακας 4: *Αποτελέσματα διπλών αναλύσεων των δειγμάτων εδάφους στην περιοχή της ΒΔ Χίου για τον προσδιορισμό της επαναληψιμότητας των χημικών αναλύσεων.*

Α/Α	Κωδικός δείγματος	Cu (μg g^{-1})	Cu(M.O.) (μg g^{-1})	Cu(Εύρος) (μg g^{-1})	Ni (μg g^{-1})	Ni(M.O.) (μg g^{-1})	Ni(Εύρος) (μg g^{-1})	Cr (μg g^{-1})	Cr (M.O.) (μg g^{-1})	Cr Εύρος) (μg g^{-1})
1	E42α1	40.25	40.71	0.92	36.72	37.16	0.87	23.7	23.19	1.03
	E42α2	41.17			37.59			22.67		
	E42β1	39.91	39.31	1.20	35.76	36.04	0.56	24.42	24.42	0.01
	E42β2	38.71			36.32			24.41		
2	E55α1	24.82	24.85	0.06	37.05	37.48	0.86	28.37	29.00	1.25
	E55α2	24.88			37.91			29.62		
	E55β1	25.97	25.76	0.41	34.65	34.89	0.48	29.52	28.73	1.58
	E55β2	25.56			35.13			27.94		
3	E25α1	47.81	47.35	0.91	46.61	46.01	1.21	39.44	39.44	0.01
	E25α2	46.90			45.4			39.43		
	E25β1	47.25	47.11	0.28	45.15	44.58	1.15	39.87	40.15	0.56
	E25β2	46.97			44			40.43		
4	E10α1	32.19	31.78	0.82	41.14	40.50	1.29	38.16	37.74	0.84
	E10α2	31.37			39.85			37.32		
	E10β1	48.25	48.06	0.38	49.64	49.05	1.18	43.7	43.99	0.58
	E10β2	47.87			48.46			44.28		
5	E80α1	29.35	28.85	0.99	34.28	33.39	1.79	26.56	27.17	1.21
	E80α2	28.36			32.49			27.77		
	E80β1	28.70	28.95	0.50	32.28	33.13	1.69	25.71	26.27	1.11
	E80β2	29.20			33.97			26.82		
6	E32α1	13.06	13.35	0.75	21.53	20.84	1.38	24.35	24.33	0.05
	E32α2	13.63			20.15			24.3		
	E32β1	14.26	14.29	0.07	20.79	21.24	0.89	23.98	24.23	0.49
	E32β2	14.33			21.68			24.47		

Πίνακας 4 (συνέχεια): *Αποτελέσματα διπλών αναλύσεων των δειγμάτων εδάφους στην περιοχή της ΒΔ Χίου για τον προσδιορισμό της επαναληψιμότητας των χημικών αναλύσεων.*

Α/Α	Κωδικός δείγματος	Cu (μg g^{-1})	Cu(M.O.) (μg g^{-1})	Cu(Εύρος) (μg g^{-1})	Ni (μg g^{-1})	Ni(M.O.) (μg g^{-1})	Ni(Εύρος) (μg g^{-1})	Cr (μg g^{-1})	Cr (M.O.) (μg g^{-1})	Cr Εύρος) (μg g^{-1})
7	E100α1	49.75	49.38	0.75	58.84	59.00	0.32	42.19	42.61	0.84
	E100α2	49.00			59.16			43.03		
	E100β1	49.50	49.16	0.67	70.1	69.59	1.02	49.52	49.77	0.50
	E100β2	48.83			69.08			50.02		
8	E21α1	33.29	33.12	0.34	35.86	35.78	0.16	23.19	23.20	0.02
	E21α2	32.95			35.7			23.21		
	E21β1	33.21	32.95	0.53	33.71	33.87	0.31	23.72	23.50	0.44
	E21β2	32.68			34.02			23.28		
9	E90α1	38.49	39.14	1.29	28.59	29.48	1.78	14.28	13.69	1.18
	E90α2	39.78			30.37			13.1		
	E90β1	38.78	38.62	0.32	27.46	28.23	1.53	13.72	12.98	1.48
	E90β2	38.46			28.99			12.24		
10	E16α1	18.23	18.62	0.77	21.53	21.85	0.63	16.63	16.24	0.78
	E16α2	19.00			22.16			15.85		
	E16β1	17.58	18.02	0.88	20.56	21.00	0.88	17.97	18.22	0.49
	E16β2	18.46			21.44			18.46		
11	E70α1	30.74	31.05	0.62	40.85	41.14	0.57	33.31	33.04	0.54
	E70α2	31.36			41.42			32.77		
	E70β1	31.65	31.31	0.67	41.8	41.75	0.10	35.23	35.79	1.11
	E70β2	30.98			41.7			36.34		
12	E35α1	38.53	38.88	0.71	45.08	45.73	1.29	35.36	35.82	0.91
	E35α2	39.24			46.37			36.27		
	E35β1	38.43	38.55	0.25	45.69	44.97	1.44	35.01	34.57	0.88
	E35β2	38.68			44.25			34.13		

Πίνακας 4 (συνέχεια): *Αποτελέσματα διπλών αναλύσεων των δειγμάτων εδάφους στην περιοχή της ΒΔ Χίου για τον προσδιορισμό της επαναληψιμότητας των χημικών αναλύσεων.*

Α/Α	Κωδικός δείγματος	Cu (μg g^{-1})	Cu(M.O.) (μg g^{-1})	Cu(Εύρος) (μg g^{-1})	Ni (μg g^{-1})	Ni(M.O.) (μg g^{-1})	Ni(Εύρος) (μg g^{-1})	Cr (μg g^{-1})	Cr (M.O.) (μg g^{-1})	Cr Εύρος) (μg g^{-1})
13	E62α1	31.73	32.21	0.97	42.75	43.08	0.65	29.13	30.03	1.79
	E62α2	32.70			43.4			30.92		
	E62β1	31.86	31.81	0.11	41.9	42.12	0.44	30.09	30.63	1.07
	E62β2	31.75			42.34			31.16		
14	E1α1	47.68	47.02	1.33	43.93	44.25	0.64	30.39	29.76	1.27
	E1α2	46.35			44.57			29.12		
	E1β1	49.39	48.90	0.98	41.83	41.19	1.29	27.49	27.79	0.60
	E1β2	48.41			40.54			28.09		
15	E38α1	44.75	43.93	1.63	47.14	47.52	0.76	32.62	33.38	1.51
	E38α2	43.12			47.9			34.13		
	E38β1	44.19	43.84	0.70	44.79	44.47	0.64	36.43	36.09	0.68
	E38β2	43.49			44.15			35.75		
16	E28α1	34.50	35.23	1.47	42.23	42.29	0.12	26.76	26.00	1.53
	E28α2	35.97			42.35			25.23		
	E28β1	35.46	35.02	0.88	45.78	45.35	0.86	27.94	27.68	0.52
	E28β2	34.58			44.92			27.42		
17	E47α1	31.60	30.92	1.36	37.56	37.28	0.57	31	31.02	0.03
	E47α2	30.24			36.99			31.03		
	E47β1	30.46	30.80	0.68	37.43	37.12	0.62	32.96	33.15	0.37
	E47β2	31.14			36.81			33.33		

Πίνακας 4 (συνέχεια): *Αποτελέσματα διπλών αναλύσεων των δειγμάτων εδάφους στην περιοχή της ΒΔ Χίου για τον προσδιορισμό της επαναληψιμότητας των χημικών αναλύσεων.*

Α/Α	Κωδικός δείγματος	Zn (μg g^{-1})	Zn(Μ.Ο.) (μg g^{-1})	Zn(Εύρος) (μg g^{-1})	Fe (μg g^{-1})	Fe(Μ.Ο.) (μg g^{-1})	Fe(Εύρος) (μg g^{-1})	Co (μg g^{-1})	Co (Μ.Ο.) (μg g^{-1})	Co(Εύρος) (μg g^{-1})	Mn (μg g^{-1})	Mn(Μ.Ο.) (μg g^{-1})	Mn(Εύρος) (μg g^{-1})
1	E42α1	110.78	110.00	1.56	57998	55550.50	4895.00	26.08	26.47	0.77	512	510.50	3.00
	E42α2	109.22			53103			26.85			509		
	E42β1	106.04	105.33	1.43	44857	47468.00	5222.00	19.86	20.35	0.98	452	448.50	7.00
	E42β2	104.61			50079			20.84			445		
2	E55α1	73.51	74.38	1.73	30792	32220.50	2857.00	13.86	14.34	0.95	641	649.50	17.00
	E55α2	75.24			33649			14.81			658		
	E55β1	87.96	86.95	2.02	32054	31693.00	722.00	15.35	15.70	0.70	632	642.50	21.00
	E55β2	85.94			31332			16.05			653		
3	E25α1	121.91	120.53	2.77	50319	47083.00	6472.00	20.92	20.82	0.21	873	869.50	7.00
	E25α2	119.14			43847			20.71			866		
	E25β1	116.25	117.58	2.66	45030	46296.00	2532.00	23.76	23.77	0.02	867	873.50	13.00
	E25β2	118.91			47562			23.78			880		
4	E10α1	97.77	96.74	2.07	39408	38997.50	821.00	24.06	24.54	0.95	757	762.50	11.00
	E10α2	95.7			38587			25.01			768		
	E10β1	92.34	93.44	2.20	56414	60965.50	9103.00	29.19	28.86	0.66	821	826.50	11.00
	E10β2	94.54			65517			28.53			832		
5	E80α1	84.79	85.82	2.06	33629	34361.00	1464.00	13.82	14.30	0.95	579	583.00	8.00
	E80α2	86.85			35093			14.77			587		
	E80β1	79.51	80.58	2.13	33539	30178.50	6721.00	11.57	12.04	0.94	587	594.00	14.00
	E80β2	81.64			26818			12.51			601		
6	E32α1	45.72	46.27	1.10	20309	20585.00	552.00	15.44	15.09	0.71	1532	1548.50	33.00
	E32α2	46.82			20861			14.73			1565		
	E32β1	46.93	47.04	0.22	20673	20275.00	796.00	17.67	18.09	0.83	1325	1307.50	35.00
	E32β2	47.15			19877			18.5			1290		

Πίνακας 4 (συνέχεια): *Αποτελέσματα διπλών αναλύσεων των δειγμάτων εδάφους στην περιοχή της ΒΔ Χίου για τον προσδιορισμό της επαναληψιμότητας των χημικών αναλύσεων.*

A/A	Κωδικός δείγματος	Zn ($\mu g\ g^{-1}$)	Zn(M.O.) ($\mu g\ g^{-1}$)	Zn(Εύρος) ($\mu g\ g^{-1}$)	Fe ($\mu g\ g^{-1}$)	Fe(M.O.) ($\mu g\ g^{-1}$)	Fe(Εύρος) ($\mu g\ g^{-1}$)	Co ($\mu g\ g^{-1}$)	Co (M.O.) ($\mu g\ g^{-1}$)	Co(Εύρος) ($\mu g\ g^{-1}$)	Mn ($\mu g\ g^{-1}$)	Mn(M.O.) ($\mu g\ g^{-1}$)	Mn(Εύρος) ($\mu g\ g^{-1}$)
7	E100α1	95.71	96.86	2.30	45880	49922.00	8084.00	21.99	22.05	0.12	844	861.00	34.00
	E100α2	98.01			53964			22.11			878		
	E100β1	103.37	101.91	2.93	49366	49901.50	1071.00	24.95	24.75	0.40	855	841.50	27.00
	E100β2	100.44			50437			24.55			828		
8	E21α1	76.69	75.75	1.88	33115	31016.00	4198.00	18.43	18.00	0.87	445	450.50	11.00
	E21α2	74.81			28917			17.56			456		
	E21β1	75.92	74.98	1.89	34579	33137.00	2884.00	20.39	20.64	0.50	437	428.50	17.00
	E21β2	74.03			31695			20.89			420		
9	E90α1	80.33	79.17	2.32	36771	37053.50	565.00	19.04	19.17	0.25	478	493.50	31.00
	E90α2	78.01			37336			19.29			509		
	E90β1	134.25	135.47	2.44	37589	38913.00	2648.00	17.3	16.94	0.73	434	414.50	39.00
	E90β2	136.69			40237			16.57			395		
10	E16α1	67.72	66.23	2.99	23644	23698.50	109.00	16.04	15.57	0.94	374	371.00	6.00
	E16α2	64.73			23753			15.1			368		
	E16β1	62.05	63.48	2.86	17531	21419.50	7777.00	18.58	18.99	0.82	389	395.50	13.00
	E16β2	64.91			25308			19.4			402		
11	E70α1	88.03	87.42	1.23	36757	37402.00	1290.00	21.44	21.37	0.14	761	774.00	26.00
	E70α2	86.8			38047			21.3			787		
	E70β1	84.79	84.69	0.20	38873	38171.50	1403.00	22.3	22.17	0.26	824	808.00	32.00
	E70β2	84.59			37470			22.04			792		
12	E35α1	121.95	122.51	1.12	37768	38474.00	1412.00	22.81	22.16	1.30	768	785.50	35.00
	E35α2	123.07			39180			21.51			803		
	E35β1	123.42	124.49	2.13	39755	39602.00	306.00	22.55	21.89	1.32	807	787.50	39.00
	E35β2	125.55			39449			21.23			768		

Πίνακας 4(συνέχεια): *Αποτελέσματα διπλών αναλύσεων των δειγμάτων εδάφους στην περιοχή της ΒΔ Χίου για τον προσδιορισμό της επαναληψιμότητας των χημικών αναλύσεων.*

A/A	Κωδικός δείγματος	Zn ($\mu g\ g^{-1}$)	Zn(M.O.) ($\mu g\ g^{-1}$)	Zn(Εύρος) ($\mu g\ g^{-1}$)	Fe ($\mu g\ g^{-1}$)	Fe(M.O.) ($\mu g\ g^{-1}$)	Fe(Εύρος) ($\mu g\ g^{-1}$)	Co ($\mu g\ g^{-1}$)	Co (M.O.) ($\mu g\ g^{-1}$)	Co(Εύρος) ($\mu g\ g^{-1}$)	Mn ($\mu g\ g^{-1}$)	Mn(M.O.) ($\mu g\ g^{-1}$)	Mn(Εύρος) ($\mu g\ g^{-1}$)
13	E62α1	84.05	85.13	2.16	40012	41171.50	2319.00	24.97	24.43	1.08	630	638.00	16.00
	E62α2	86.21			42331			23.89			646		
	E62β1	82.02	81.88	0.29	41719	42086.50	735.00	25.37	24.89	0.96	620	613.00	14.00
	E62β2	81.73			42454			24.41			606		
14	E1α1	141.84	140.36	2.96	46961	48797.50	3673.00	20.86	20.54	0.65	1172	1183.50	23.00
	E1α2	138.88			50634			20.21			1195		
	E1β1	131.47	130.18	2.58	51514	50797.00	1434.00	24.71	25.21	0.99	1076	1070.00	12.00
	E1β2	128.89			50080			25.7			1064		
15	E38α1	106.21	104.90	2.62	50358	48831.50	3053.00	24.48	24.82	0.67	865	869.50	9.00
	E38α2	103.59			47305			25.15			874		
	E38β1	108.08	106.65	2.87	50876	48542.50	4667.00	25.68	25.25	0.86	884	891.50	15.00
	E38β2	105.21			46209			24.82			899		
16	E28α1	95.16	93.99	2.34	38006	33045.00	9922.00	16.65	16.47	0.37	607	601.50	11.00
	E28α2	92.82			28084			16.28			596		
	E28β1	96.91	95.86	2.10	40309	39262.00	2094.00	17.24	17.07	0.34	638	632.00	12.00
	E28β2	94.81			38215			16.9			626		
17	E47α1	85.25	84.40	1.70	39169	37395.00	3548.00	16.9	17.100	0.40	636	627.00	18.00
	E47α2	83.55			35621			17.3			618		
	E47β1	88.84	89.66	1.64	30680	35459.00	9558.00	16.71	16.295	0.83	612	623.00	22.00
	E47β2	90.48			40238			15.88			634		

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ’

Αναλυτικά Αποτελέσματα Χημικών Αναλύσεων Υπόγειου Νερού

Πίνακας 1: *Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων ανιόντων - κατιόντων και φυσικοχημικές παράμετροι στα δείγματα υπόγειου νερού της ΒΔ Χίου κατά την υγρή περίοδο.*

A/A	Δείγμα	K^+ mg l^{-1}	Na^+ mg l^{-1}	Ca^{2+} mg l^{-1}	Mg^{2+} mg l^{-1}	SO_4^{2-} mg l^{-1}	PO_4^{3-} mg l^{-1}	P_2O_5 μg l^{-1}	NO_3^- mg l^{-1}	NO_2^- mg l^{-1}	HCO_3^- mg l^{-1}	Cl^- mg l^{-1}	NH_4^+ mg l^{-1}	pH	Eh mV	T ^{0}C	E.C. μS/cm	T.D.S. mg l^{-1}
1	S1	1	19	23	7	25	0.204	153	7.92	0	61	31	0	7.9	-61.4	12.9	274	137
2	S2	1	30	48	20	56	0.11	83	7.48	0	182	33	0	7.5	-39.9	15.5	582	293
3	S3_S4	2	37	40	31	36	0.04	30	3.08	0	217	53	0	7.9	-60.9	18.6	667	334
4	S5	1	40	59	43	38	0.09	68	3.08	0	307	65	0	7.7	-51.5	13.2	878	435
5	S6	2	76	54	41	173	0.04	30	5.28	0	117	113	0	8.2	-76.8	10.6	910	450
6	S7	1	21	34	20	81	0.05	38	4.84	0	108	22	0	7.4	-27.0	12.0	360	180
7	S8	1	22	36	20	81	0.04	30	4.4	0	120	23	0	7.3	-21.7	11.7	380	190
8	S9	267	2277	179	12	85	0.13	98	12.76	0	272	3530	2.70	6.9	-2.3	50.5	12.340	6.160
9	S10	1	36	61	39	166	0.563	422	3.96	0	148	45	0	7.0	-10.3	15.5	798	399
10	S11	1	16	12	6	24	0.236	177	4.84	0	36	19	0	7.4	-29.5	14.0	209	104
11	S12	1	21	21	6	29	0.02	15	3.08	0	56	26	0	7.3	-23.9	14.7	261	131
12	S13	1	19	13	8	23	0.107	80	3.52	0	53	22	0	6.7	5.9	13.1	260	130
13	S14	1	22	14	8	36	0.1	75	7.92	0	46	25	0	7.2	-20.2	12.6	250	120
14	S15	1	17	21	7	27	0.09	68	4.4	0	60	22	0	7.3	-23.7	13.9	270	130
15	S16	1	16	38	12	33	0.08	60	4.4	0	127	19	0	7.4	-30.3	8.4	350	170
16	S17	1	14	23	6	28	0.08	60	7.48	0	56	18	0	7.5	-35.4	12.4	230	110
17	S18	1	14	15	7	24	0.09	68	3.96	0	47	18	0	7.3	-22.0	12.3	190	90
18	S19	1	16	15	6	20	0.06	45	7.48	0	48	19	0	7.2	-18.9	12.4	190	90
19	S20	1	16	23	9	39	0.08	60	5.28	0	58	21	0	7.1	-14.6	10.7	250	120
20	S21	1	23	34	23	34	0.06	45	6.16	0	147	37	0	8.2	-76.8	12.7	460	220
21	S22	1	14	23	6	28	0.07	53	10.56	0	56	19	0	7.6	-42.4	14.5	260	130
22	S23	1	21	24	4	12	0.18	135	8.36	0	58	33	0	7.4	-27.6	12.3	250	120
23	S24	1	23	38	6	41	0.08	60	4.4	0	100	29	0	7.7	-45.7	7.2	370	180
24	S25	1	16	14	5	24	0.05	38	4.84	0	34	22	0	7.6	-39.2	11.8	190	90
25	S26	1	19	21	5	30	0.04	30	4.4	0	43	26	0	7.5	-36.8	8.2	250	120
26	S27	1	33	46	8	39	0.05	38	5.72	0	128	40	0	8.1	-67.4	10.9	450	220
27	S28	1	36	43	14	48	0.09	68	2.2	0	151	41	0	7.6	-45.1	12.9	523	261

Πίνακας 1 (συνέχεια): *Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων ανιόντων - κατιόντων και φυσικοχημικές παράμετροι στα δείγματα υπόγειου νερού της ΒΔ Χίου κατά την υγρή περίοδο.*

A/A	Δείγμα	K^+ mg l^{-1}	Na^+ mg l^{-1}	Ca^{2+} mg l^{-1}	Mg^{2+} mg l^{-1}	SO_4^{2-} mg l^{-1}	PO_4^{3-} mg l^{-1}	P_2O_5 μg l^{-1}	NO_3^- mg l^{-1}	NO_2^- mg l^{-1}	HCO_3^- mg l^{-1}	Cl^- mg l^{-1}	NH_4^+ mg l^{-1}	pH	Eh mV	T ^{0}C	E.C. μS/cm	T.D.S. mg l^{-1}
28	S29	1	18	21	5	30	0.06	45	7.48	0	56	21	0	7.9	-62.1	12.7	270	135
29	S30	1	32	50	6	36	0.04	30	16.28	0	115	42	0	7.9	-61.7	15.4	433	216
30	S31S32	1	30	42	7	39	0.07	53	14.52	0	114	38	0	8.0	-65.6	15.2	433	217
31	S33	1	19	24	9	24	0.04	30	14.96	0	81	23	0	7.7	-47.3	15.8	291	146
32	S34	1	17	43	10	47	0.04	30	2.2	0	132	20	0	8.0	-65.7	14.7	430	215
33	S35	1	39	67	44	46	0.03	23	5.72	0	326	55	0	7.4	-34.8	14.9	873	436
34	S36	1	26	22	7	41	0.09	68	2.2	0	61	30	0	7.8	-54.0	15.3	448	225
35	S37	1	21	30	5	30	0.06	45	2.2	0	84	33	0	7.8	-52.4	14.1	322	161
36	S38	1	21	21	5	36	0.04	30	4.4	0	48	23	0	7.5	-36.2	14.7	265	131
37	S39	1	32	20	8	36	0.12	90	14.52	0	56	40	0	7.4	-33.2	14.2	331	165
38	S40	1	27	11	5	23	0.08	60	14.52	0	34	31	0	7.6	-46.9	17.5	241	120
39	S41	1	19	27	7	28	0.08	60	4.4	0	81	26	0	8.2	-77.0	13.0	292	146
40	S42	1	21	5	4	20	0.04	30	3.96	0	17	25	0	7.1	-13.1	14.0	168	84
41	S43	1	18	5	4	19	0.04	30	14.52	0	18	19	0	7.1	-17.3	13.5	165	83
42	S44	1	21	14	6	23	0.04	30	11.44	0	41	24	0	7.3	-24.7	11.6	226	113
43	S45	1	11	12	4	24	0.09	68	3.08	0	29	17	0	8.1	-74.4	12.9	185	92
44	S46	1	21	19	6	31	0.04	30	4.4	0	58	24	0	7.4	-32.4	13.1	257	128
45	S47	1	19	14	5	19	0.04	30	18.48	0	42	20	0	7.8	-57.0	13.1	213	107
46	S48	2	23	26	11	24	0.04	30	6.16	0	100	29	0	8.1	-70.3	15.6	336	168
47	S49	1	8	26	11	16	0.061	46	14.96	0	92	13	0	7.9	-58.8	13.4	284	142
48	S50	1	10	43	21	47	0.05	38	4.84	0	178	15	0	8.3	-86.0	12.2	478	238
49	S51	1	8	28	15	26	0.03	23	10.56	0	120	12	0	8.3	-86.0	14.1	338	169
50	S52	1	23	41	13	24	0.02	15	20.68	0	158	25	0	8.1	-70.6	15.7	436	218
51	S53	1	11	31	10	17	0.03	23	7.48	0	124	13	0	7.8	-58.4	15.7	340	170
52	S54	2	24	67	19	33	0.04	30	4.4	0	237	30	0	7.6	-41.8	17.2	629	314
53	S55	1	31	69	15	28	0.03	23	6.6	0	228	42	0	7.4	-33.8	17.4	663	332
54	S56	1	7	28	12	17	0.04	30	18.48	0	106	11	0	8.0	-63.7	13.2	292	146

Πίνακας 1 (συνέχεια): *Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων ανιόντων – κατιόντων και φυσικοχημικές παράμετροι στα δείγματα υπόγειου νερού της ΒΔ Χίου κατά την υγρή περίοδο.*

A/A	Δείγμα	K^+ mg l^{-1}	Na^+ mg l^{-1}	Ca^{2+} mg l^{-1}	Mg^{2+} mg l^{-1}	SO_4^{2-} mg l^{-1}	PO_4^{3-} mg l^{-1}	P_2O_5 μg l^{-1}	NO_3^- mg l^{-1}	NO_2^- mg l^{-1}	HCO_3^- mg l^{-1}	Cl^- mg l^{-1}	NH_4^+ mg l^{-1}	pH	Eh mV	T ^{0}C	E.C. μS/cm	T.D.S. mg l^{-1}
55	S57	1	8	34	12	16	0.03	23	17.6	0	107	16	0	7.9	-59.8	13.1	291	144
56	S58	2	34	44	24	45	0.03	23	4.4	0	200	39	0	7.1	-16.6	20.4	614	307
57	S60	1	41	42	21	49	0.056	42	2.64	0	189	52	0	8.1	-77.8	17.1	610	300
58	S61	1	35	36	16	39	0.101	76	3.52	0	149	41	0	7.5	-40.0	17.0	485	250
59	S62	1	17	44	11	19	0.035	26	2.2	0	153	23	0	7.9	-64.6	17.0	380	190
60	S63	1	10	44	15	20	0.072	54	4.4	0	158	20	0	8.5	-97.3	16.0	400	215
61	S64	1	35	44	22	43	0.063	47	2.64	0	200	39	0	8.2	-83.6	18.0	570	280
62	S65	2	19	46	16	49	0.094	71	4.84	0	160	24	0	7.6	-49.4	14.0	470	230
63	S66	1	13	30	10	15	0.075	56	3.96	0	120	16	0	8.0	-74.0	17.0	270	140
64	S67	1	30	46	17	45	0.078	59	5.72	0	146	43	0	7.9	-66.6	18.0	460	230
65	S68	2	48	56	45	43	0.168	126	2.64	0	340	54	0	7.7	-53.6	15.0	870	430
66	D1	2	21	57	30	51	0.03	23	4.4	0	225	34	0	7.5	-33.1	13.7	630	310
67	W1	1	49	39	34	44	0.49	368	3.08	0	195	89	0	7.3	-23.8	17.3	769	383
68	W2	2	34	32	20	39	0.02	15	2.2	0	158	49	0	7.5	-38.7	15.0	536	269
69	W3	3	53	71	47	137	0.06	45	3.08	0	303	79	0	7.2	-19.8	16.3	1019	510
70	W4	4	267	92	72	233	0.16	120	3.52	0	422	412	0	7.5	-37.4	14.6	2240	1119
71	W5	39	72	60	56	140	0.14	105	2.2	0	335	88	0	7.9	-58.8	16.3	1164	583
72	W6	2	42	39	14	49	0.08	60	1.76	0	123	54	0	7.1	-16.1	18.8	553	276
73	W7	1	34	31	12	43	0.09	68	2.2	0	101	43	0	7.3	-27.9	18.1	437	218
74	W8	1	35	36	11	39	0.077	58	3.96	0	108	48	0	7.5	-37.3	18.0	400	200
75	W9	7	425	100	86	175	0.100	75	1.32	0	440	623	0	8.1	-77.0	18.5	2770	1380
76	W11	2	46	72	33	56	0.053	40	3.08	0	295	62	0	7.4	-34.5	17.0	710	350
77	W12	2	41	39	22	49	0.157	118	4.4	0	170	53	0	7.1	-16.6	17.0	580	280
78	W13	20	98	78	63	141	0.109	82	16.72	0	382	119	0	7.5	-39.2	16.0	1310	650
79	W14	2	46	61	33	58	0.094	71	3.96	0	260	60	0	7.3	-31.7	17.0	690	340
80	W15	2	233	71	57	175	0.129	97	3.96	0	355	258	0	8.0	-70.5	16.0	1520	760
81	W16	4	283	81	64	222	0.14	105	4.4	0	405	324	0	7.6	-48.9	18.0	1850	920

Πίνακας 1.(συνέχεια): *Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων ανιόντων – κατιόντων και φυσικοχημικές παράμετροι στα δείγματα υπόγειου νερού της ΒΔ Χίου κατά την υγρή περίοδο.*

A/A	Δείγμα	K^+ mg l^{-1}	Na^+ mg l^{-1}	Ca^{2+} mg l^{-1}	Mg^{2+} mg l^{-1}	SO_4^{2-} mg l^{-1}	PO_4^{3-} mg l^{-1}	P_2O_5 μg l^{-1}	NO_3^- mg l^{-1}	NO_2^- mg l^{-1}	HCO_3^- mg l^{-1}	Cl^- mg l^{-1}	NH_4^+ mg l^{-1}	pH	Eh mV	T ^0C	E.C. μS/cm	T.D.S. mg l^{-1}
82	W17	1	39	48	21	51	0.071	53	3.08	0	180	48	0	7.5	-40.0	16.7	610	300
83	W18	9	1800	148	128	287	0.139	104	8.8	0	300	2800	0	7.8	-62.7	19.0	4690	2360

Πίνακας 2: *Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων των ιχνοστοιχείων στα δείγματα υπόγειου νερού της ΒΔ Χίου κατά την υγρή περίοδο.*

A/A	Δείγμα	Mn μg l^{-1}	Fe μg l^{-1}	Zn μg l^{-1}	Cu μg l^{-1}	As μg l^{-1}	Sb μg l^{-1}
1	S1	1.22	5	35	3	0.62	<0.2
2	S2	0.51	6	21	1	0.81	<0.2
3	S3_S4	1.53	7	75	8	0.50	<0.2
4	S5	1.13	7	15	2	0.50	<0.2
5	S6	0.50	5	26	2	1.30	0.38
6	S7	2.42	3	29	<1	6.00	146.85
7	S8	3.59	36	90	2	5.78	141.06
8	S9	750	9	55	<1	1.10	1.75
9	S10	15.21	28	45	3	0.93	<0.2
10	S11	1.12	6	12	<1	0.43	<0.2
11	S12	0.50	4	16	1	0.50	<0.2
12	S13	<0.4	9	12	2	0.38	<0.2
13	S14	1.21	18	30	10	1.04	0.38
14	S15	1.00	4	39	1	0.84	0.20
15	S16	0.69	5	43	1	0.84	0.30
16	S17	1.00	9	41	<1	0.80	0.30
17	S18	0.50	4	10	1	0.73	0.28
18	S19	6.23	11	46	1	0.84	0.30
19	S20	1.38	7	40	1	0.73	0.26
20	S21	0.50	2	19	1	1.16	0.30
21	S22	0.71	8	39	3	1.41	0.24
22	S23	0.76	28	37	1	1.02	0.30
23	S24	2.53	35	340	1	1.50	0.33
24	S25	2.29	6	210	<1	1.13	0.22
25	S26	0.71	9	9	<1	1.00	0.22
26	S27	3.95	7	18	<1	1.13	0.25
27	S28	1.72	42	158	3	0.51	<0.2
28	S29	0.52	5	38	1	0.53	<0.2
29	S30	2.24	14	170	1	<0.3	<0.2
30	S31S32	0.47	9	22	1	0.39	0.26
31	S33	1.18	7	50	1	0.34	<0.2
32	S34	<0.4	3	11	1	<0.3	<0.2
33	S35	4.24	21	12	5	0.34	<0.2
34	S36	1.92	7	11	1	0.58	0.28
35	S37	0.93	7	11	2	0.68	0.26
36	S38	0.22	10	23	<1	0.39	<0.2
37	S39	1.56	4	9	2	0.54	0.21
38	S40	1.28	9	60	1	0.45	<0.2
39	S41	0.54	8	10	1	0.80	<0.2
40	S42	0.64	7	7	<1	0.57	<0.2
41	S43	2.21	9	8	2	0.58	<0.2
42	S44	1.15	5	9	1	0.34	<0.2
43	S45	1.46	6	12	<1	0.39	<0.2

Πίνακας 2 (συνέχεια): *Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων των ιχνοστοιχείων στα δείγματα υπόγειου νερού της ΒΔ Χίου κατά την υγρή περίοδο.*

A/A	Δείγμα	Mn μg l^{-1}	Fe μg l^{-1}	Zn μg l^{-1}	Cu μg l^{-1}	As μg l^{-1}	Sb μg l^{-1}
44	S46	1.88	13	25	1	0.34	<0.2
45	S47	<0.4	4	24	1	0.51	0.23
46	S48	<0.4	4	25	1	0.39	<0.2
47	S49	1.45	5	28	3	0.43	<0.2
48	S50	<0.4	4	9	<1	0.54	0.22
49	S51	0.48	4	14	2	0.38	0.20
50	S52	0.65	8	16	<1	0.50	<0.2
51	S53	<0.4	5	28	1	0.46	<0.2
52	S54	0.68	10	17	1	0.34	<0.2
53	S55	0.86	6	21	1	0.58	0.27
54	S56	0.45	5	24	1	0.57	0.22
55	S57	<0.4	12	28	2	0.45	<0.2
56	S58	2.09	16	29	1	0.48	<0.2
57	S60	3.50	6	82	1	0.52	<0.2
58	S61	1.28	2	39	<1	0.52	<0.2
59	S62	<0.4	2	6	<1	0.41	<0.2
60	S63	1.35	9	27	<1	0.41	<0.2
61	S64	0.88	10	29	1	0.36	<0.2
62	S65	6.27	10	36	<1	0.62	0.32
63	S66	2.33	5	22	2	0.62	<0.2
64	S67	0.51	9	28	3	0.52	0.26
65	S68	0.71	4	48	<1	0.72	0.50
66	D1	0.67	4	41	1	0.96	0.22
67	W1	2.63	7	15	2	0.43	<0.2
68	W2	1.56	10	13	2	0.46	0.25
69	W3	<0.4	9	11	2	0.54	<0.2
70	W4	0.40	4	22	1	0.50	<0.2
71	W5	<0.4	5	18	1	0.42	<0.2
72	W6	0.62	11	24	6	0.54	<0.2
73	W7	<0.4	9	14	1	0.54	<0.2
74	W8	2.78	9	25	1	0.36	<0.2
75	W9	450	210	6	2	7.00	<0.2
76	W11	3.00	4	28	<1	0.41	<0.2
77	W12	2.28	7	17	2	0.46	0.26
78	W13	4.46	4	37	1	0.62	0.29
79	W14	0.64	4	49	1	0.52	0.47
80	W15	1.86	9	26	2	0.46	0.41
81	W16	5.53	7	12	1	0.52	0.41
82	W17	1.72	3	10	2	0.41	0.29
83	W18	4.77	6	22	2	0.88	0.32

Πίνακας 3: *Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων των ιχνοστοιχείων σε 64 δείγματα υπόγειου νερού της ΒΔ Χίου κατά την υγρή περίοδο.*

A/A	Δείγμα	Al $\mu g\ l^{-1}$	B $\mu g\ l^{-1}$	Ba $\mu g\ l^{-1}$	Li $\mu g\ l^{-1}$	Si $mg\ l^{-1}$
1	S1	4	14	6.03	2	5.252
2	S2	3	19	38.81	6	7.143
3	S3_S4	6	20	32.1	4	6.77
4	S5	3	20	13.33	4	7.133
5	S6	23	38	11.29	8.1	6.133
6	S7	21	22	9.01	4.7	5.031
7	S8	18	23	8.85	4.6	4.802
8	S9	29	2135	1044.69	3730.6	29.485
9	S10	3	32	20.99	10.1	8.552
10	S11	6	17	4.21	2.7	6.982
11	S12	7	18	18.35	3.9	6.102
12	S13	5	15	6.23	2.1	6.206
13	S14	186	35	3.97	3.9	7.555
14	S15	40	19	11.53	4.1	7.882
15	S16	13	18	60.43	5.8	6.754
16	S17	13	28	7.96	4.8	6.020
17	S18	11	18	4.34	4.1	6.336
18	S19	63	16	4.06	2.9	7.008
19	S20	15	20	5.39	7.7	5.322
20	S21	14	22	7.13	1.8	3.643
21	S22	12	49	7.44	2.6	6.542
22	S23	16	20	3.94	3.1	6.778
23	S24	12	22	3.9	6.6	6.994
24	S25	17	15	13.24	2.8	6.665
25	S26	11	16	8.14	3	5.409
26	S27	14	30	5.4	3.3	6.137
27	S28	11	29	11.06	6	6.896
28	S29	5	35	6.54	2.3	6.296
29	S30	7	33	13.59	2.9	5.856
30	S31S32	8	28	15.04	3	6.073
31	S33	9	19	4.89	2.4	6.885
32	S34	6	17	12.62	4.1	5.852
33	S35	9	20	16.00	4.2	8.529
34	S36	4	18	7.85	6.4	10.940
35	S37	8	21	14.68	2.8	5.789
36	S38	3	18	3.85	2	5.189
37	S39	4	26	3.17	5.2	6.838
38	S40	6	22	3.96	2.5	5.895
39	S41	6	20	37.74	4.4	7.184
40	S42	5	15	2.38	1.8	5.291
41	S43	4	18	1.67	1.9	5.309
42	S44	9	20	7.26	2.3	5.156
43	S45	5	19	5.08	2.4	4.291
44	S46	5	17	32.71	5.4	7.725

Πίνακας 3 (συνέχεια): *Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων των ιχνοστοιχείων σε 64 δείγματα υπόγειου νερού της ΒΔ Χίου κατά την υγρή περίοδο.*

A/A	Δείγμα	Al $\mu g\ l^{-1}$	B $\mu g\ l^{-1}$	Ba $\mu g\ l^{-1}$	Li $\mu g\ l^{-1}$	Si $mg\ l^{-1}$
45	S47	6	22	3.02	2.1	5.782
46	S48	7	21	5.94	0.5	2.202
47	S49	5	14	5.47	0.5	1.403
48	S50	4	21	14.7	3.3	2.536
49	S51	9	14	7.43	1.1	2.042
50	S52	6	17	4.56	2.4	3.591
51	S53	5	16	3.74	0.7	2.307
52	S54	6	24	15.89	4.1	3.922
53	S55	5	22	6.85	1	3.453
54	S56	11	20	4.85	0.8	1.881
55	S57	11	18	6.37	0.7	1.748
56	S58	5	26	88.66	8.5	10.554
57	D1	16	43	16.02	5.9	3.885
58	W1	8	24	24.21	4.2	8.674
59	W2	6	27	19.37	3.5	5.314
60	W3	4	62	29.53	14.7	6.495
61	W4	5	185	66.02	29.8	8.570
62	W5	7	137	10.57	17.1	6.251
63	W6	11	36	14.55	5.9	7.102
64	W7	8	34	10.39	4.1	6.070

Πίνακας 4:Αποτελέσματα *χημικών αναλύσεων ανιόντων - κατιόντων και φυσικοχημικές παράμετροι στα δείγματα υπόγειου νερού της ΒΔ Χίου κατά την ξηρή περίοδο.*

A/A	Δείγμα	K^+ mg l^{-1}	Na^+ mg l^{-1}	Ca^{2+} mg l^{-1}	Mg^{2+} mg l^{-1}	SO_4^{2-} mg l^{-1}	PO_4^{3-} mg l^{-1}	P_2O_5 μg l^{-1}	NO_3^- mg l^{-1}	NO_2^- mg l^{-1}	HCO_3^- mg l^{-1}	Cl^- mg l^{-1}	NH_4^+ mg l^{-1}	pH	Eh mV	T ^{0}C	E.C. μS/cm	T.D.S. mg l^{-1}
1	S1	1	30	34	11	47	0.214	161	8.36	0	62	55	0	7.4	-30.0	13.0	450	220
2	S2	1	33	51	24	57	0.190	143	7.92	0	212	34	0	7.5	-36.8	16.6	592	296
3	S3_S4	2	48	41	35	38	0.050	38	3.96	0	273	57	0	8.1	-72.2	19.0	750	370
4	S5	1	42	60	45	39	0.090	68	5.72	0	320	71	0	8.1	-72.2	13.9	900	450
5	S6	2	77	58	41	176	0.040	30	7.92	0	170	122	0	8.0	-68.0	14.3	970	480
6	S7	1	31	37	27	112	0.060	45	5.72	0	125	34	0	7.0	-10.3	16.4	560	280
7	S8	1	33	40	29	111	0.040	30	7.48	0	140	38	0	7.1	-14.6	16.8	560	280
8	S9	328	2300	183	14	87	0.370	278	18.48	0	275	3870	2.70	7.2	-19.8	50.5	12350	6175
9	S10	1	37	63	43	167	0.040	432	4.84	0	155	54	0	8.1	-70.6	16.6	840	420
10	S11	1	23	21	9	42	0.238	179	6.6	0	64	25	0	7.6	-42.4	13.6	300	150
11	S12	1	24	24	9	38	0.030	23	3.08	0	70	29	0	7.8	-58.4	15.7	310	150
12	S13	1	26	14	9	27	0.030	86	4.84	0	62	28	0	8.0	-65.7	14.5	270	130
13	S14	1	27	14	8	36	0.110	83	8.36	0	50	30	0	7.7	-47.3	17.0	270	130
14	S15	1	26	24	9	33	0.127	95	4.4	0	85	29	0	7.4	-35.2	18.2	332	182
15	S16	1	24	44	15	36	0.246	185	4.4	0	155	27	0	7.8	-56.8	17.2	379	206
16	S18	1	22	17	7	25	0.120	90	4.4	0	52	32	0	7.1	-15.7	18.6	241	133
17	S19	1	21	18	6	21	0.219	164	7.92	0	56	25	0	7.2	-20.8	18.0	219	120
18	S20	1	23	25	9	42	0.146	110	5.72	0	62	34	0	7.2	-24.8	17.0	288	158
19	S21	1	32	37	23	34	0.126	95	7.92	0	158	46	0	7.5	-40.7	18.5	489	269
20	S22	1	21	28	6	28	0.084	63	10.56	0	64	29	0	7.9	-65.6	18.6	262	145
21	S23	1	21	29	4	12	0.230	173	8.36	0	66	36	0	7.0	-11.6	18.3	265	145
22	S24	1	29	44	6	46	0.080	60	4.84	0	105	40	0	7.4	-33.0	19.5	407	226
23	S25	1	24	23	8	38	0.232	174	5.28	0	59	32	0	7.8	-54.5	20.5	356	195
24	S27	1	35	49	9	40	0.176	132	5.72	0	132	49	0	7.8	-62.3	20.0	476	263
25	S28	1	42	49	16	56	0.090	68	3.96	0	157	49	0	8.1	-74.3	17.5	566	288
26	S29	1	28	31	7	39	0.248	186	7.92	0	87	32	0	7.8	-56.2	19.6	357	197
27	S30	1	42	54	7	39	0.103	77	16.28	0	128	54	0	7.7	-51.9	20.5	488	267
28	S33	1	24	26	10	26	0.118	89	16.28	0	86	33	0	7.9	-64.7	20.0	312	172

Πίνακας 4 συνέχεια): *Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων ανιόντων – κατιόντων και φυσικοχημικές παράμετροι στα δείγματα υπόγειου νερού της ΒΔ Χίου κατά την ξηρή περίοδο.*

A/A	Δείγμα	K^+ mg l^{-1}	Na^+ mg l^{-1}	Ca^{2+} mg l^{-1}	Mg^{2+} mg l^{-1}	SO_4^{2-} mg l^{-1}	PO_4^{3-} mg l^{-1}	P_2O_5 μg l^{-1}	NO_3^- mg l^{-1}	NO_2^- mg l^{-1}	HCO_3^- mg l^{-1}	Cl^- mg l^{-1}	NH_4^+ mg l^{-1}	pH	Eh mV	T ^{0}C	E.C. μS/cm	T.D.S. mg l^{-1}
29	S34	1	23	46	11	47	0.049	37	2.64	0	134	27	0	8.0	-66.0	18.5	440	243
30	S36	1	29	27	8	47	0.615	461	3.08	0	67	33	0	7.9	-69.4	20.6	464	232
31	S37	1	26	36	5	30	0.114	86	3.96	0	88	40	0	8.0	-67.3	19.7	376	207
32	S38	1	26	27	5	42	0.213	160	4.4	0	62	28	0	7.8	-53.4	19.0	307	169
33	S39	1	43	29	10	47	0.120	90	14.96	0	81	51	0	7.1	-13.2	19.2	484	265
34	S41	1	22	35	7	33	0.214	161	4.4	0	105	27	0	8.1	-74.1	20.0	344	188
35	S42	1	23	9	6	23	0.119	89	4.4	0	34	30	0	7.3	-26.9	19.0	209	115
36	S43	1	26	7	6	24	0.115	86	14.52	0	23	31	0	7.1	-9.8	19.0	239	131
37	S44	1	27	18	7	26	0.135	101	12.76	0	51	32	0	7.3	-28.9	19.1	271	149
38	S45	1	22	23	5	34	0.315	236	3.08	0	51	28	0	8.0	-66.1	19.1	248	136
39	S46	1	29	20	6	31	0.221	166	4.4	0	64	32	0	7.5	-42.5	19.5	260	135
40	S47	1	23	20	5	25	0.265	199	18.48	0	52	26	0	7.8	-57.0	19.0	241	132
41	S48	2	23	31	13	27	0.041	31	6.6	0	114	30	0	7.7	-54.4	17.0	348	192
42	S49	1	9	39	14	20	0.061	46	16.28	0	115	27	0	7.6	-49.0	18.4	331	180
43	S50	1	11	45	24	47	0.079	59	5.28	0	184	18	0	8.0	-70.0	18.0	492	246
44	S51	1	9	38	17	32	0.115	86	10.56	0	148	13	0	7.7	-46.7	17.7	339	186
45	S52	1	27	45	15	28	0.137	103	20.68	0	165	30	0	8.0	-67.0	17.3	440	242
46	S53	1	20	36	13	23	0.150	113	7.92	0	129	27	0	7.9	-69.2	18.0	365	201
47	S54	2	30	72	23	37	0.153	115	4.4	0	250	47	0	7.8	-55.3	18.5	683	376
48	S55	1	32	74	16	30	0.135	101	6.6	0	235	58	0	7.4	-35.0	19.7	666	366
49	S56	1	8	33	14	19	0.046	35	18.48	0	110	17	0	7.9	-62.2	15.8	307	169
50	S57	1	9	39	13	20	0.060	45	18.48	0	115	20	0	7.9	-62.9	17.3	320	160
51	S58	2	38	46	28	50	0.120	90	4.84	0	208	45	0	7.6	-43.6	20.5	632	316
52	S59	1	19	15	7	26	0.122	92	4.4	0	40	27	0	7.2	-20.3	20.0	241	132
53	S60	1	43	45	24	51	0.183	137	2.64	0	194	55	0	7.9	-61.2	18.4	653	358
54	S61	1	37	37	17	41	0.276	207	3.96	0	153	42	0	8.2	-85.4	19.0	482	264
55	S62	1	20	53	13	24	0.037	28	2.2	0	173	33	0	7.9	-63.1	17.3	492	269
56	S63	1	11	49	15	23	0.138	104	4.4	0	165	22	0	8.3	-86.0	18.6	423	234

Πίνακας 4 (συνέχεια): Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων ανιόντων – κατιόντων και φυσικοχημικές παράμετροι στα δείγματα υπόγειου νερού της ΒΔ Χίου κατά την ξηρή περίοδο.

A/A	Δείγμα	K^+ mg l^{-1}	Na^+ mg l^{-1}	Ca^{2+} mg l^{-1}	Mg^{2+} mg l^{-1}	SO_4^{2-} mg l^{-1}	PO_4^{3-} mg l^{-1}	P_2O_5 μg l^{-1}	NO_3^- mg l^{-1}	NO_2^- mg l^{-1}	HCO_3^- mg l^{-1}	Cl^- mg l^{-1}	NH_4^+ mg l^{-1}	pH	Eh mV	T ^{0}C	E.C. μS/cm	T.D.S. mg l^{-1}
57	S64	1	38	49	24	47	0.139	104	2.64	0	203	46	0	8.0	-67.8	20.0	575	316
58	D1	2	29	60	30	54	0.145	109	4.4	0	236	40	0	7.5	-40.8	19.1	638	352
59	W1	1	58	41	38	45	0.060	375	4.84	0	229	93	0	7.3	-23.8	17.3	800	400
60	W2	2	51	45	35	42	0.118	89	2.64	0	230	81	0	7.2	-21.6	19.8	801	442
61	W3	3	60	78	49	137	0.073	55	3.96	0	307	82	0	7.2	-21.7	19.0	1040	520
62	W4	4	287	107	73	233	0.174	131	3.52	0	426	422	0	7.4	-34.7	19.0	2400	1200
63	W5	40	83	71	57	140	0.262	197	6.16	0	346	117	0	7.5	-35.9	18.6	1258	629
64	W6	2	55	44	16	53	0.309	232	3.52	0	155	62	0	7.1	-14.0	19.5	560	304
65	W8	1	40	37	12	43	0.342	257	4.84	0	110	52	0	7.0	-12.2	19.0	460	254
66	W9	9	433	108	98	182	0.105	79	2.64	0	450	693	0	7.8	-59.1	18.5	2950	1623
67	W10	10	250	119	64	215	0.445	334	47.96	0	434	333	0	7.2	-21.2	20.5	2080	1161
68	W11	2	57	80	36	77	0.118	89	3.08	0	318	66	0	7.5	-36.0	17.5	776	428

Πίνακας 5: Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων των ιχνοστοιχείων στα δείγματα υπόγειου νερού της ΒΔ Χίου κατά την ξηρή περίοδο.

A/A	Δείγμα	Mn μg l^{-1}	Fe μg l^{-1}	Zn μg l^{-1}	Cu μg l^{-1}	As μg l^{-1}	Sb μg l^{-1}
1	S1	1.77	7	50	3	0.65	0.22
2	S2	2.36	9	40	1	0.84	0.45
3	S3_S4	1.68	9	80	15	0.76	0.33
4	S5	1.47	8	43	3	0.84	0.28
5	S6	1.10	7	60	3	1.34	0.40
6	S7	3.04	5	30	1	6.13	444.44
7	S8	3.82	44	100	2	5.82	478.63
8	S9	750	17	60	2	1.15	2.45
9	S10	16.32	30	150	3	1.60	115.94
10	S11	1.68	9	30	1	0.84	0.84
11	S12	0.50	5	49	1	0.73	0.48
12	S13	0.62	12	30	3	0.80	0.50
13	S14	1.63	24	39	12	1.11	0.40
14	S15	3.44	7	42	1	0.88	0.22
15	S16	1.72	12	44	1	0.88	0.33
16	S18	2.28	14	12	1	0.77	0.31
17	S19	8.44	16	47	1	0.88	0.31
18	S20	2.28	49	42	2	0.76	0.29
19	S21	1.88	13	35	3	1.19	0.34
20	S22	1.22	9	45	4	1.46	0.29
21	S23	1.18	36	42	1	1.04	0.35
22	S24	3.22	47	350	1	2.07	0.44
23	S25	4.33	115	225	2	1.14	0.27
24	S27	4.82	95	22	1	1.20	0.29
25	S28	2.74	45	170	5	0.57	<0.2
26	S29	0.92	6	47	1	0.57	<0.2
27	S30	3.12	20	175	1	0.62	<0.2
28	S33	1.74	8	55	1	0.41	<0.2
29	S34	0.72	3	13	1	0.50	<0.2
30	S36	2.16	7	26	1	1.03	0.34
31	S37	1.14	8	28	2	0.88	0.30
32	S38	<0.4	12	33	<1	0.50	<0.2
33	S39	3.11	6	25	4	0.57	0.25
34	S41	5.34	15	18	2	1.03	0.22
35	S42	2.44	13	11	<1	0.72	<0.2
36	S43	3.35	18	26	2	0.62	<0.2
37	S44	3.79	7	11	1	0.46	<0.2
38	S45	4.53	8	32	<1	0.57	<0.2
39	S46	3.24	26	38	1	0.50	<0.2
40	S47	0.40	5	46	1	0.57	0.27
41	S48	0.69	5	53	1	0.46	<0.2
42	S49	2.00	7	43	5	0.46	<0.2
43	S50	0.96	5	27	1	0.57	0.27
44	S51	0.59	6	25	2	0.41	0.25

Πίνακας 5 (συνέχεια): Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων των ιχνοστοιχείων στα δείγματα υπόγειου νερού της ΒΔ Χίου κατά την ξηρή περίοδο.

A/A	Δείγμα	Mn μg l^{-1}	Fe μg l^{-1}	Zn μg l^{-1}	Cu μg l^{-1}	As μg l^{-1}	Sb μg l^{-1}
45	S52	2.21	10	21	<1	0.51	<0.2
46	S53	0.73	5	35	1	0.50	0.22
47	S54	1.92	11	28	2	0.36	<0.2
48	S55	2.34	7	31	1	0.62	0.33
49	S56	0.90	5	41	1	0.62	0.29
50	S57	0.62	20	53	2	0.50	0.25
51	S58	6.20	18	43	1	0.51	0.27
52	S59	1.69	33	44	1	0.36	<0.2
53	S60	5.50	53	106	1	0.81	<0.2
54	S61	3.84	24	47	<1	0.63	<0.2
55	S62	<0.4	2	7	1	0.47	<0.2
56	S63	1.46	14	34	<1	0.47	<0.2
57	S64	0.94	11	35	1	0.41	<0.2
58	D1	1.08	6	44	3	0.98	0.25
59	W1	3.88	7	40	2	0.38	0.38
60	W2	300	165	27	2	0.61	0.31
61	W3	1.85	13	38	3	0.61	<0.2
62	W4	1.09	6	49	1	0.57	0.29
63	W5	<0.4	7	35	1	0.50	<0.2
64	W6	1.72	19	46	8	0.63	<0.2
65	W8	8.77	70	32	1	0.38	<0.2
66	W9	500	215	7	3	12.69	<0.2
67	W10	1.95	9	126	3	0.69	<0.2
68	W11	51.11	36	33	1	0.57	<0.2

Πίνακας 6: *Στερεό υπόλειμμα δειγμάτων υπόγειου νερού υγρής περιόδου στην περιοχή μελέτης.*

Α/Α	Δείγμα	Αιωρούμενα στερεά (mg l^{-1})	Α/Α	Δείγμα	Αιωρούμενα στερεά (mg l^{-1})
1	S1	2.7	42	S44	0
2	S2	0	43	S45	1.0
3	S3_S4	1.1	44	S46	1.4
4	S5	0	45	S47	1.0
5	S6	0	46	S48	0
6	S7	0	47	S49	0
7	S8	0	48	S50	0
8	S9	3.0	49	S51	0
9	S10	0	50	S52	0
10	S11	1.1	51	S53	0
11	S12	1.1	52	S54	0
12	S13	0	53	S55	0
13	S14	1.0	54	S56	1.0
14	S15	1.0	55	S57	1.6
15	S16	1.0	56	S58	11.4
16	S17	0	57	S60	1.8
17	S18	5.80	58	S61	0
18	S19	1.0	59	S62	1.3
19	S20	1.0	60	S63	1.0
20	S21	1.5	61	S64	0
21	S22	0	62	S65	0
22	S23	0	63	S66	3.0
23	S24	0	64	S67	0
24	S25	1.9	65	S68	21.0
25	S26	1.0	66	D1	1.2
26	S27	1.5	67	W1	1.0
27	S28	1.0	68	W2	1.0
28	S29	0	69	W3	1.0
29	S30	0	70	W4	1.0
30	S31S32	0	71	W5	0
31	S33	0	72	W6	0
32	S34	0	73	W7	0
33	S35	1.4	74	W8	10.0
34	S36	1.0	75	W9	995.6
35	S37	1.0	76	W11	1.0
36	S38	0	77	W12	22.7
37	S39	0	78	W13	1.8
38	S40	1.0	79	W14	0
39	S41	3.3	80	W15	0
40	S42	3.7	81	W16	1.6
41	S43	11.5	82	W17	0

Πίνακας 6 (συνέχεια): *Στερεό υπόλειμμα δειγμάτων υπόγειου νερού υγρής περιόδου στην περιοχή μελέτης.*

A/A	Δείγμα	Αιωρούμενα στερεά (mg l^{-1})	A/A	Δείγμα	Αιωρούμενα στερεά (mg l^{-1})
83	W18	787.0			

Πίνακας 7: *Στερεό υπόλειμμα δειγμάτων υπόγειου νερού ξηρής περιόδου στην περιοχή μελέτης.*

A/A	Δείγμα	Αιωρούμενα στερεά (mg l^{-1})	A/A	Δείγμα	Αιωρούμενα στερεά (mg l^{-1})
1	S1	2.6	34	S41	6.0
2	S2	0	35	S42	4.9
3	S3_S4	0	36	S43	36.8
4	S5	0	37	S44	0
5	S6	0	38	S45	2.6
6	S7	0	39	S46	4.0
7	S8	0	40	S47	0
8	S9	1.3	41	S48	0
9	S10	0	42	S49	0
10	S11	1.5	43	S50	0
11	S12	2.8	44	S51	1.9
12	S13	5.0	45	S52	0
13	S14	0	46	S53	0
14	S15	0	47	S54	0
15	S16	1.0	48	S55	0
16	S18	1.4	49	S56	0
17	S19	2.0	50	S57	1.6
18	S20	0	51	S58	1.3
19	S21	0	52	S59	1.1
20	S22	0	53	S60	3.7
21	S23	0	54	S61	0
22	S24	0	55	S62	0
23	S25	302.0	56	S63	1.4
24	S27	4.4	57	S64	0
25	S28	0	58	D1	0
26	S29	0	59	W1	1.0
27	S30	0	60	W2	778.4
28	S33	0	61	W3	0
29	S34	0	62	W4	0
30	S36	0	63	W5	0
31	S37	0	64	W6	10.1
32	S38	0	65	W8	12.5
33	S39	0	66	W9	1129.7

Πίνακας 8 (συνέχεια): *Στερεό υπόλειμμα δειγμάτων υπόγειου νερού ξηρής περιόδου στην περιοχή μελέτης.*

Α/Α	Δείγμα	Αιωρούμενα στερεά (mg l^{-1})	Α/Α	Δείγμα	Αιωρούμενα στερεά (mg l^{-1})
67	W10	0			
68	W11	4.8			

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ’

Ποσιμότητα και Διαγράμματα Waterlot

Πίνακας 1: *Σύγκριση των χημικών αναλύσεων ανιόντων – κατιόντων των δειγμάτων υπόγειου νερού υγρής περιόδου στην περιοχή της ΒΔ Χίου με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 98/83 για τον καθορισμό της ποσιμότητας.*

A/A	Δείγμα	K^+ mg l^{-1}	Na^+ mg l^{-1}	Ca^{2+} mg l^{-1}	Mg^{2+} mg l^{-1}	SO_4^{2-} mg l^{-1}	P_2O_5 μg l^{-1}	NO_3^- mg l^{-1}	NO_2^- mg l^{-1}	HCO_3^- mg l^{-1}	Cl^- mg l^{-1}	NH_4^+ mg l^{-1}
1	S1	1	19	23	7	25	153	7.92	0	61	31	0
2	S2	1	30	48	20	56	83	7.48	0	182	33	0
3	S3_S4	2	37	40	31	36	30	3.08	0	217	53	0
4	S5	1	40	59	43	38	68	3.08	0	307	65	0
5	S6	2	76	54	41	173	30	5.28	0	117	113	0
6	S7	1	21	34	20	81	38	4.84	0	108	22	0
7	S8	1	22	36	20	81	30	4.4	0	120	23	0
8	**S9**	**267**	**2277**	179	12	85	98	12.76	0	272	**3530**	0
9	S10	1	36	61	39	166	422	3.96	0	148	45	0
10	S11	1	16	12	6	24	177	4.84	0	36	19	0
11	S12	1	21	21	6	29	15	3.08	0	56	26	0
12	S13	1	19	13	8	23	80	3.52	0	53	22	0
13	S14	1	22	14	8	36	75	7.92	0	46	25	0
14	S15	1	17	21	7	27	68	4.4	0	60	22	0
15	S16	1	16	38	12	33	60	4.4	0	127	19	0
16	S17	1	14	23	6	28	60	7.48	0	56	18	0
17	S18	1	14	15	7	24	68	3.96	0	47	18	0
18	S19	1	16	15	6	20	45	7.48	0	48	19	0
19	S20	1	16	23	9	39	60	5.28	0	58	21	0
20	S21	1	23	34	23	34	45	6.16	0	147	37	0
21	S22	1	14	23	6	28	53	10.56	0	56	19	0
22	S23	1	21	24	4	12	135	8.36	0	58	33	0
23	S24	1	23	38	6	41	60	4.4	0	100	29	0
24	S25	1	16	14	5	24	38	4.84	0	34	22	0
25	S26	1	19	21	5	30	30	4.4	0	43	26	0
	98/83 (E.C)	**12**	**200**			**250**	**5000**	**50**	**0.5**		**250**	**0.5**

Πίνακας 1 (συνέχεια): *Σύγκριση των χημικών αναλύσεων ανιόντων – κατιόντων των δειγμάτων υπόγειου νερού υγρής περιόδου στην περιοχή της ΒΔ Χίου με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 98/83 για τον καθορισμό της ποσιμότητας.*

A/A	Δείγμα	K^+ mg l^{-1}	Na^+ mg l^{-1}	Ca^{2+} mg l^{-1}	Mg^{2+} mg l^{-1}	SO_4^{2-} mg l^{-1}	P_2O_5 μg l^{-1}	NO_3^- mg l^{-1}	NO_2^- mg l^{-1}	HCO_3^- mg l^{-1}	Cl^- mg l^{-1}	NH_4^+ mg l^{-1}
26	S27	1	33	46	8	39	38	5.72	0	128	40	0
27	S28	1	36	43	14	48	68	2.2	0	151	41	0
28	S29	1	18	21	5	30	45	7.48	0	56	21	0
29	S30	1	32	50	6	36	30	16.28	0	115	42	0
30	S31S32	1	30	42	7	39	53	14.52	0	114	38	0
31	S33	1	19	24	9	24	30	14.96	0	81	23	0
32	S34	1	17	43	10	47	30	2.2	0	132	20	0
33	S35	1	39	67	44	46	23	5.72	0	326	55	0
34	S36	1	26	22	7	41	68	2.2	0	61	30	0
35	S37	1	21	30	5	30	45	2.2	0	84	33	0
36	S38	1	21	21	5	36	30	4.4	0	48	23	0
37	S39	1	32	20	8	36	90	14.52	0	56	40	0
38	S40	1	27	11	5	23	60	14.52	0	34	31	0
39	S41	1	19	27	7	28	60	4.4	0	81	26	0
40	S42	1	21	5	4	20	30	3.96	0	17	25	0
41	S43	1	18	5	4	19	30	14.52	0	18	19	0
42	S44	1	21	14	6	23	30	11.44	0	41	24	0
43	S45	1	11	12	4	24	68	3.08	0	29	17	0
44	S46	1	21	19	6	31	30	4.4	0	58	24	0
45	S47	1	19	14	5	19	30	18.48	0	42	20	0
46	S48	2	23	26	11	24	30	6.16	0	100	29	0
47	S49	1	8	26	11	16	46	14.96	0	92	13	0
48	S50	1	10	43	21	47	38	4.84	0	178	15	0
49	S51	1	8	28	15	26	23	10.56	0	120	12	0
50	S52	1	23	41	13	24	15	20.68	0	158	25	0
	98/83 (E.C)	**12**	**200**			**250**	**5000**	**50**	**0.5**		**250**	**0.5**

Πίνακας 1(συνέχεια): *Σύγκριση των χημικών αναλύσεων ανιόντων – κατιόντων των δειγμάτων υπόγειου νερού υγρής περιόδου στην περιοχή της ΒΔ Χίου με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 98/83 για τον καθορισμό της ποσιμότητας.*

A/A	Δείγμα	K^+ mg l^{-1}	Na^+ mg l^{-1}	Ca^{2+} mg l^{-1}	Mg^{2+} mg l^{-1}	SO_4^{2-} mg l^{-1}	P_2O_5 μg l^{-1}	NO_3^- mg l^{-1}	NO_2^- mg l^{-1}	HCO_3^- mg l^{-1}	Cl^- mg l^{-1}	NH_4^+ mg l^{-1}
51	S53	1	11	31	10	17	23	7.48	0	124	13	0
52	S54	2	24	67	19	33	30	4.4	0	237	30	0
53	S55	1	31	69	15	28	23	6.6	0	228	42	0
54	S56	1	7	28	12	17	30	18.48	0	106	11	0
55	S57	1	8	34	12	16	23	17.6	0	107	16	0
56	S58	2	34	44	24	45	23	4.4	0	200	39	0
57	S60	1	41	42	21	49	42	2.64	0	189	52	0
58	S61	1	35	36	16	39	76	3.52	0	149	41	0
59	S62	1	17	44	11	19	26	2.2	0	153	23	0
60	S63	1	10	44	15	20	54	4.4	0	158	20	0
61	S64	1	35	44	22	43	47	2.64	0	200	39	0
62	S65	2	19	46	16	49	71	4.84	0	160	24	0
63	S66	1	13	30	10	15	56	3.96	0	120	16	0
64	S67	1	30	46	17	45	59	5.72	0	146	43	0
65	S68	2	48	56	45	43	126	2.64	0	340	54	0
66	D1	2	21	57	30	51	23	4.4	0	225	34	0
67	W1	1	49	39	34	44	368	3.08	0	195	89	0
68	W2	2	34	32	20	39	15	2.2	0	158	49	0
69	W3	3	53	71	47	137	45	3.08	0	303	79	0
70	**W4**	4	**267**	92	72	233	120	3.52	0	422	**412**	0
71	**W5**	**39**	72	60	56	140	105	2.2	0	335	88	0
72	W6	2	42	39	14	49	60	1.76	0	123	54	0
73	W7	1	34	31	12	43	68	2.2	0	101	43	0
74	W8	1	35	36	11	39	58	3.96	0	108	48	0
75	**W9**	7	**425**	100	86	175	75	1.32	0	440	**623**	0
	98/83 (E.C)	**12**	**200**			**250**	**5000**	**50**	**0.5**		**250**	**0.5**

Πίνακας 1 (συνέχεια): *Σύγκριση των χημικών αναλύσεων ανιόντων – κατιόντων των δειγμάτων υπόγειου νερού υγρής περιόδου στην περιοχή της ΒΔ Χίου με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 98/83 για τον καθορισμό της ποσιμότητας.*

A/A	Δείγμα	K^+ mg l^{-1}	Na^+ mg l^{-1}	Ca^{2+} mg l^{-1}	Mg^{2+} mg l^{-1}	SO_4^{2-} mg l^{-1}	P_2O_5 μg l^{-1}	NO_3^- mg l^{-1}	NO_2^- mg l^{-1}	HCO_3^- mg l^{-1}	Cl^- mg l^{-1}	NH_4^+ mg l^{-1}
76	W11	2	46	72	33	56	40	3.08	0	295	62	0
77	W12	2	41	39	22	49	118	4.4	0	170	53	0
78	**W13**	**20**	98	78	63	141	82	16.72	0	382	119	0
79	W14	2	46	61	33	58	71	3.96	0	260	60	0
80	**W15**	2	**233**	71	57	175	97	3.96	0	355	**258**	0
81	**W16**	4	**283**	81	64	222	105	4.4	0	405	**324**	0
82	W17	1	39	48	21	51	53	3.08	0	180	48	0
83	**W18**	9	**1800**	148	128	**287**	104	8.8	0	300	**2800**	0
	98/83 (E.C)	**12**	**200**			**250**	**5000**	**50**	**0.5**		**250**	**0.5**

Πίνακας 2: *Σύγκριση των χημικών αναλύσεων ιχνοστοιχείων των δειγμάτων υπόγειου νερού υγρής περιόδου στην περιοχή της ΒΔ Χίου με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 98/83 για τον καθορισμό της ποσιμότητας.*

A/A	Δείγμα	Mn μg l^{-1}	Fe μg l^{-1}	Zn μg l^{-1}	Cu μg l^{-1}	As μg l^{-1}	Sb μg l^{-1}
1	S1	1.22	5	35	3	0.62	<0.2
2	S2	0.51	6	21	1	0.81	<0.2
3	S3_S4	1.53	7	75	8	0.50	<0.2
4	S5	1.13	7	15	2	0.50	<0.2
5	S6	0.50	5	26	2	1.30	0.38
6	**S7**	2.42	3	29	<1	6.00	**146.85**
7	**S8**	3.59	36	90	2	5.78	**141.06**
8	**S9**	**750**	9	55	<1	1.10	1.75
9	S10	15.21	28	45	3	0.93	<0.2
10	S11	1.12	6	12	<1	0.43	<0.2
11	S12	0.50	4	16	1	0.50	<0.2
12	S13	<0.4	9	12	2	0.38	<0.2
13	S14	1.21	18	30	10	1.04	0.38
14	S15	1.00	4	39	1	0.84	0.20
15	S16	0.69	5	43	1	0.84	0.30
16	S17	1.00	9	41	<1	0.80	0.30
17	S18	0.50	4	10	1	0.73	0.28
18	S19	6.23	11	46	1	0.84	0.30
19	S20	1.38	7	40	1	0.73	0.26
20	S21	0.50	2	19	1	1.16	0.30
21	S22	0.71	8	39	3	1.41	0.24
22	S23	0.76	28	37	1	1.02	0.30
23	S24	2.53	35	340	1	1.50	0.33
24	S25	2.29	6	210	<1	1.13	0.22
25	S26	0.71	9	9	<1	1.00	0.22
26	S27	3.95	7	18	<1	1.13	0.25
	98/83 E.C	**50**	**200**		**2000**	**10**	**5**

Πίνακας 2(συνέχεια): *Σύγκριση των χημικών αναλύσεων ιχνοστοιχείων των δειγμάτων υπόγειου νερού υγρής περιόδου στην περιοχή της ΒΔ Χίου με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 98/83 για τον καθορισμό της ποσιμότητας.*

A/A	Δείγμα	Mn $\mu g\ l^{-1}$	Fe $\mu g\ l^{-1}$	Zn $\mu g\ l^{-1}$	Cu $\mu g\ l^{-1}$	As $\mu g\ l^{-1}$	Sb $\mu g\ l^{-1}$
27	S28	1.72	42	158	3	0.51	<0.2
28	S29	0.52	5	38	1	0.53	<0.2
29	S30	2.24	14	170	1	<0.3	<0.2
30	S31S32	0.47	9	22	1	0.39	0.26
31	S33	1.18	7	50	1	0.34	<0.2
32	S34	<0.4	3	11	1	<0.3	<0.2
33	S35	4.24	21	12	5	0.34	<0.2
34	S36	1.92	7	11	1	0.58	0.28
35	S37	0.93	7	11	2	0.68	0.26
36	S38	<0.4	10	23	<1	0.39	<0.2
37	S39	1.56	4	9	2	0.54	0.21
38	S40	1.28	9	60	1	0.45	<0.2
39	S41	0.54	8	10	1	0.80	<0.2
40	S42	0.64	7	7	<1	0.57	<0.2
41	S43	2.21	9	8	2	0.58	<0.2
42	S44	1.15	5	9	1	0.34	<0.2
43	S45	1.46	6	12	<1	0.39	<0.2
44	S46	1.88	13	25	1	0.34	<0.2
45	S47	<0.4	4	24	1	0.51	0.23
46	S48	<0.4	4	25	1	0.39	<0.2
47	S49	1.45	5	28	3	0.43	<0.2
48	S50	<0.4	4	9	<1	0.54	0.22
49	S51	0.48	4	14	2	0.38	0.20
50	S52	0.65	8	16	<1	0.50	<0.2
51	S53	<0.4	5	28	1	0.46	<0.2
52	S54	0.68	10	17	1	0.34	<0.2
	98/83 E.C	**50**	**200**		**2000**	**10**	**5**

Πίνακας 2 (συνέχεια): *Σύγκριση των χημικών αναλύσεων ιχνοστοιχείων των δειγμάτων υπόγειου νερού υγρής περιόδου στην περιοχή της ΒΔ Χίου με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 98/83 για τον καθορισμό της ποσιμότητας.*

A/A	Δείγμα	Mn $\mu g\ l^{-1}$	Fe $\mu g\ l^{-1}$	Zn $\mu g\ l^{-1}$	Cu $\mu g\ l^{-1}$	As $\mu g\ l^{-1}$	Sb $\mu g\ l^{-1}$
53	S55	0.86	6	21	1	0.58	0.27
54	S56	0.45	5	24	1	0.57	0.22
55	S57	<0.4	12	28	2	0.45	<0.2
56	S58	2.09	16	29	1	0.48	<0.2
57	S60	3.50	6	82	1	0.52	<0.2
58	S61	1.28	2	39	<1	0.52	<0.2
59	S62	<0.4	2	6	<1	0.41	<0.2
60	S63	1.35	9	27	<1	0.41	<0.2
61	S64	0.88	10	29	1	0.36	<0.2
62	S65	6.27	10	36	<1	0.62	0.32
63	S66	2.33	5	22	2	0.62	<0.2
64	S67	0.51	9	28	3	0.52	0.26
65	S68	0.71	4	48	<1	0.72	0.50
66	D1	0.67	4	41	1	0.96	0.22
67	W1	2.63	7	15	2	0.43	<0.2
68	W2	1.56	10	13	2	0.46	0.25
69	W3	<0.4	9	11	2	0.54	<0.2
70	W4	0.40	4	22	1	0.50	<0.2
71	W5	<0.4	5	18	1	0.42	<0.2
72	W6	0.62	11	24	6	0.54	<0.2
73	W7	<0.4	9	14	1	0.54	<0.2
74	W8	2.78	9	25	1	0.36	<0.2
75	**W9**	**450**	**210**	6	2	7.00	<0.2
76	W11	3.00	4	28	<1	0.41	<0.2
77	W12	2.28	7	17	2	0.46	0.26
78	W13	4.46	4	37	1	0.62	0.29
	98/83 E.C	**50**	**200**		**2000**	**10**	**5**

Πίνακας 2 (συνέχεια): *Σύγκριση των χημικών αναλύσεων ιχνοστοιχείων των δειγμάτων υπόγειου νερού υγρής περιόδου στην περιοχή της ΒΔ Χίου με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 98/83 για τον καθορισμό της ποσιμότητας.*

A/A	Δείγμα	Mn $\mu g\ l^{-1}$	Fe $\mu g\ l^{-1}$	Zn $\mu g\ l^{-1}$	Cu $\mu g\ l^{-1}$	As $\mu g\ l^{-1}$	Sb $\mu g\ l^{-1}$
79	W14	0.64	4	49	1	0.52	0.47
80	W15	1.86	9	26	2	0.46	0.41
81	W16	5.53	7	12	1	0.52	0.41
82	W17	1.72	3	10	2	0.41	0.29
83	W18	4.77	6	22	2	0.88	0.32
	98/83 E.C	**50**	**200**		**2000**	**10**	**5**

Πίνακας 3 (συνέχεια): *Σύγκριση των χημικών αναλύσεων ανιόντων – κατιόντων των δειγμάτων υπόγειου νερού υγρής περιόδου στην περιοχή της ΒΔ Χίου με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 98/83 για τον καθορισμό της ποσιμότητας.*

A/A	Δείγμα	Al $\mu g\ l^{-1}$	B $\mu g\ l^{-1}$	Ba $\mu g\ l^{-1}$	Li $\mu g\ l^{-1}$	Si $mg\ l^{-1}$
1	S1	4	14	6.03	2	5.252
2	S2	3	19	38.81	6	7.143
3	S3_S4	6	20	32.1	4	6.77
4	S5	3	20	13.33	4	7.133
5	S6	23	38	11.29	8.1	6.133
6	S7	21	22	9.01	4.7	5.031
7	S8	18	23	8.85	4.6	4.802
8	**S9**	29	**2135**	1045	3730.6	29.485
9	S10	3	32	20.99	10.1	8.552
10	S11	6	17	4.21	2.7	6.982
11	S12	7	18	18.35	3.9	6.102
12	S13	5	15	6.23	2.1	6.206
13	S14	186	35	3.97	3.9	7.555
14	S15	40	19	11.53	4.1	7.882
15	S16	13	18	60.43	5.8	6.754
16	S17	13	28	7.96	4.8	6.020
17	S18	11	18	4.34	4.1	6.336
18	S19	63	16	4.06	2.9	7.008
19	S20	15	20	5.39	7.7	5.322
20	S21	14	22	7.13	1.8	3.643
21	S22	12	49	7.44	2.6	6.542
22	S23	16	20	3.94	3.1	6.778
23	S24	12	22	3.9	6.6	6.994
24	S25	17	15	13.24	2.8	6.665
25	S26	11	16	8.14	3	5.409
	98/83 E.C	**200**	**1000**			

Πίνακας 3 (συνέχεια): *Σύγκριση των χημικών αναλύσεων ανιόντων – κατιόντων των δειγμάτων υπόγειου νερού υγρής περιόδου στην περιοχή της ΒΔ Χίου με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 98/83 για τον καθορισμό της ποσιμότητας.*

A/A	Δείγμα	Al $\mu g\ l^{-1}$	B $\mu g\ l^{-1}$	Ba $\mu g\ l^{-1}$	Li $\mu g\ l^{-1}$	Mo $\mu g\ l^{-1}$	Se $\mu g\ l^{-1}$	Si $mg\ l^{-1}$
26	S27	14	30	5.4	3.3	1.5	0.9	6.137
27	S28	11	29	11.06	6	0.3	0.9	6.896
28	S29	5	35	6.54	2.3	0.4	0.9	6.296
29	S30	7	33	13.59	2.9	0.9	0.9	5.856
30	S31S32	8	28	15.04	3	1.5	0.9	6.073
31	S33	9	19	4.89	2.4	0.2	<0.5	6.885
32	S34	6	17	12.62	4.1	0.2	0.5	5.852
33	S35	9	20	16.00	4.2	0.1	0.9	8.529
34	S36	4	18	7.85	6.4	1.6	1.2	10.940
35	S37	8	21	14.68	2.8	0.1	0.6	5.789
36	S38	3	18	3.85	2	0.2	0.9	5.189
37	S39	4	26	3.17	5.2	0.1	0.5	6.838
38	S40	6	22	3.96	2.5	0.1	0.9	5.895
39	S41	6	20	37.74	4.4	0.6	<0.5	7.184
40	S42	5	15	2.38	1.8	<0,1	<0.5	5.291
41	S43	4	18	1.67	1.9	<0,1	<0.5	5.309
42	S44	9	20	7.26	2.3	<0,1	<0.5	5.156
43	S45	5	19	5.08	2.4	0.2	<0.5	4.291
44	S46	5	17	32.71	5.4	0.1	<0.5	7.725
45	S47	6	22	3.02	2.1	0.1	0.5	5.782
46	S48	7	21	5.94	0.5	0.1	<0.5	2.202
47	S49	5	14	5.47	0.5	0.1	<0.5	1.403
48	S50	4	21	14.7	3.3	0.1	0.7	2.536
49	S51	9	14	7.43	1.1	0.1	0.5	2.042
50	S52	6	17	4.56	2.4	0.1	<0.5	3.591
	98/83 E.C	**200**	**1000**				**10**	

Πίνακας 3 (συνέχεια): *Σύγκριση των χημικών αναλύσεων ανιόντων – κατιόντων των δειγμάτων υπόγειου νερού υγρής περιόδου στην περιοχή της ΒΔ Χίου με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 98/83 για τον καθορισμό της ποσιμότητας.*

A/A	Δείγμα	Al $\mu g\ l^{-1}$	B $\mu g\ l^{-1}$	Ba $\mu g\ l^{-1}$	Li $\mu g\ l^{-1}$	Mo $\mu g\ l^{-1}$	Se $\mu g\ l^{-1}$	Si $mg\ l^{-1}$
51	S53	5	16	3.74	0.7	0.2	0.6	2.307
52	S54	6	24	15.89	4.1	0.1	0.6	3.922
53	S55	5	22	6.85	1	0.1	0.8	3.453
54	S56	11	20	4.85	0.8	0.1	<0,5	1.881
55	S57	11	18	6.37	0.7	0.1	<0,5	1.748
56	S58	5	26	88.66	8.5	0.1	<0,5	10.554
57	D1	16	43	16.02	5.9	0.1	0.5	3.885
58	W1	8	24	24.21	4.2	<0.1	0.9	8.674
59	W2	6	27	19.37	3.5	<0.1	0.7	5.314
60	W3	4	62	29.53	14.7	0.1	1.1	6.495
61	W4	5	185	66.02	29.8	0.3	5.4	8.570
62	W5	7	137	10.57	17.1	0.3	1.3	6.251
63	W6	11	36	14.55	5.9	0.1	1	7.102
64	W7	8	34	10.39	4.1	0.1	0.7	6.070
	98/83 E.C	**200**	**1000**				**10**	

Πίνακας 4 : *Σύγκριση των χημικών αναλύσεων ανιόντων – κατιόντων των δειγμάτων υπόγειου νερού ξηρής περιόδου στην περιοχή της ΒΔ Χίου με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 98/83 για τον καθορισμό της ποσιμότητας.*

A/A	Δείγμα	K^+ mg l^{-1}	Na^+ mg l^{-1}	Ca^{2+} mg l^{-1}	Mg^{2+} mg l^{-1}	SO_4^{2-} mg l^{-1}	P_2O_5 μg l^{-1}	NO_3^- mg l^{-1}	NO_2^- mg l^{-1}	HCO_3^- mg l^{-1}	Cl^- mg l^{-1}	NH_4^+ mg l^{-1}
1	S1	1	30	34	11	47	161	8.36	0	62	55	0
2	S2	1	33	51	24	57	143	7.92	0	212	34	0
3	S3_S4	2	48	41	35	38	38	3.96	0	273	57	0
4	S5	1	42	60	45	39	68	5.72	0	320	71	0
5	S6	2	77	58	41	176	30	7.92	0	170	122	0
6	S7	1	31	37	27	112	45	5.72	0	125	34	0
7	S8	1	33	40	29	111	30	7.48	0	140	38	0
8	**S9**	**328**	**2300**	183	14	87	278	18.48	0	275	**3870**	0
9	S10	1	37	63	43	167	432	4.84	0	155	54	0
10	S11	1	23	21	9	42	179	6.6	0	64	25	0
11	S12	1	24	24	9	38	23	3.08	0	70	29	0
12	S13	1	26	14	9	27	86	4.84	0	62	28	0
13	S14	1	27	14	8	36	83	8.36	0	50	30	0
14	S15	1	26	24	9	33	95	4.4	0	85	29	0
15	S16	1	24	44	15	36	185	4.4	0	155	27	0
16	S18	1	22	17	7	25	90	4.4	0	52	32	0
17	S19	1	21	18	6	21	164	7.92	0	56	25	0
18	S20	1	23	25	9	42	110	5.72	0	62	34	0
19	S21	1	32	37	23	34	95	7.92	0	158	46	0
20	S22	1	21	28	6	28	63	10.56	0	64	29	0
21	S23	1	21	29	4	12	173	8.36	0	66	36	0
22	S24	1	29	44	6	46	60	4.84	0	105	40	0
23	S25	1	24	23	8	38	174	5.28	0	59	32	0
24	S27	1	35	49	9	40	132	5.72	0	132	49	0
25	S28	1	42	49	16	56	68	3.96	0	157	49	0
	98/83 (E.C)	**12**	**200**			**250**	**5000**	**50**	**0.5**		**250**	**0.5**

Πίνακας 4(συνέχεια): *Σύγκριση των χημικών αναλύσεων ανιόντων – κατιόντων των δειγμάτων υπόγειου νερού ξηρής περιόδου στην περιοχή της ΒΔ Χίου με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 98/83 για τον καθορισμό της ποσιμότητας.*

A/A	Δείγμα	K^+ mg l^{-1}	Na^+ mg l^{-1}	Ca^{2+} mg l^{-1}	Mg^{2+} mg l^{-1}	SO_4^{2-} mg l^{-1}	P_2O_5 μg l^{-1}	NO_3^- mg l^{-1}	NO_2^- mg l^{-1}	HCO_3^- mg l^{-1}	Cl^- mg l^{-1}	NH_4^+ mg l^{-1}
26	S29	1	28	31	7	39	186	7.92	0	87	32	0
27	S30	1	42	54	7	39	77	16.28	0	128	54	0
28	S33	1	24	26	10	26	89	16.28	0	86	33	0
29	S34	1	23	46	11	47	37	2.64	0	134	27	0
30	S36	1	29	27	8	47	461	3.08	0	67	33	0
31	S37	1	26	36	5	30	86	3.96	0	88	40	0
32	S38	1	26	27	5	42	160	4.4	0	62	28	0
33	S39	1	43	29	10	47	90	14.96	0	81	51	0
34	S41	1	22	35	7	33	161	4.4	0	105	27	0
35	S42	1	23	9	6	23	89	4.4	0	34	30	0
36	S43	1	26	7	6	24	86	14.52	0	23	31	0
37	S44	1	27	18	7	26	101	12.76	0	51	32	0
38	S45	1	22	23	5	34	236	3.08	0	51	28	0
39	S46	1	29	20	6	31	166	4.4	0	64	32	0
40	S47	1	23	20	5	25	199	18.48	0	52	26	0
41	S48	2	23	31	13	27	31	6.6	0	114	30	0
42	S49	1	9	39	14	20	46	16.28	0	115	27	0
43	S50	1	11	45	24	47	59	5.28	0	184	18	0
44	S51	1	9	38	17	32	86	10.56	0	148	13	0
45	S52	1	27	45	15	28	103	20.68	0	165	30	0
46	S53	1	20	36	13	23	113	7.92	0	129	27	0
47	S54	2	30	72	23	37	115	4.4	0	250	47	0
48	S55	1	32	74	16	30	101	6.6	0	235	58	0
49	S56	1	8	33	14	19	35	18.48	0	110	17	0
50	S57	1	9	39	13	20	45	18.48	0	115	20	0
	98/83 (E.C)	**12**	**200**			**250**	**5000**	**50**	**0.5**		**250**	**0.5**

Πίνακας 4 (συνέχεια): *Σύγκριση των χημικών αναλύσεων ανιόντων – κατιόντων των δειγμάτων υπόγειου νερού ξηρής περιόδου στην περιοχή της ΒΔ Χίου με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 98/83 για τον καθορισμό της ποσιμότητας.*

A/A	Δείγμα	K^+ mg l^{-1}	Na^+ mg l^{-1}	Ca^{2+} mg l^{-1}	Mg^{2+} mg l^{-1}	SO_4^{2-} mg l^{-1}	P_2O_5 μg l^{-1}	NO_3^- mg l^{-1}	NO_2^- mg l^{-1}	HCO_3^- mg l^{-1}	Cl^- mg l^{-1}	NH_4^+ mg l^{-1}
51	S58	2	38	46	28	50	90	4.84	0	208	45	0
52	S59	1	19	15	7	26	92	4.4	0	40	27	0
53	S60	1	43	45	24	51	137	2.64	0	194	55	0
54	S61	1	37	37	17	41	207	3.96	0	153	42	0
55	S62	1	20	53	13	24	28	2.2	0	173	33	0
56	S63	1	11	49	15	23	104	4.4	0	165	22	0
57	S64	1	38	49	24	47	104	2.64	0	203	46	0
58	D1	2	29	60	30	54	109	4.4	0	236	40	0
59	W1	1	58	41	38	45	375	4.84	0	229	93	0
60	W2	2	51	45	35	42	89	2.64	0	230	81	0
61	W3	3	60	78	49	137	55	3.96	0	307	82	0
62	**W4**	4	**287**	107	73	233	131	3.52	0	426	**422**	0
63	**W5**	**40**	83	71	57	140	197	6.16	0	346	117	0
64	W6	2	55	44	16	53	232	3.52	0	155	62	0
65	W8	1	40	37	12	43	257	4.84	0	110	52	0
66	**W9**	9	**433**	108	98	182	79	2.64	0	450	**693**	0
67	**W10**	10	**250**	119	64	215	334	**47.96**	0	434	**333**	0
68	W11	2	57	80	36	77	89	3.08	0	318	66	0
	98/83 (E.C)	**12**	**200**			**250**	**5000**	**50**	**0.5**		**250**	**0.5**

Πίνακας 5: *Σύγκριση των χημικών αναλύσεων ιχνοστοιχείων των δειγμάτων υπόγειου νερού ξηρής περιόδου στην περιοχή της ΒΔ Χίου με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 98/83 για τον καθορισμό της ποσιμότητας.*

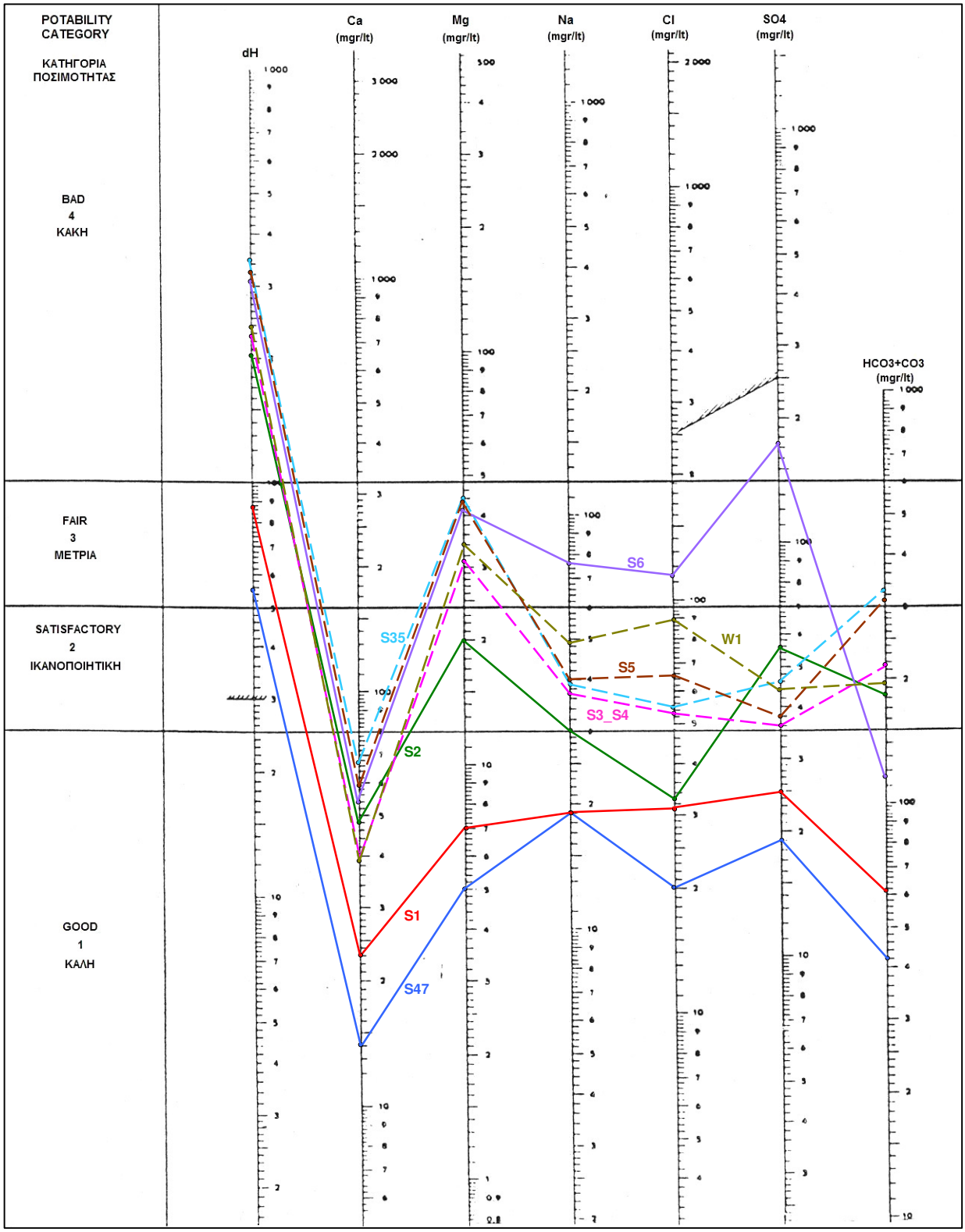
A/A	Δείγμα	Mn μg l^{-1}	Fe μg l^{-1}	Zn μg l^{-1}	Cu μg l^{-1}	As μg l^{-1}	Sb μg l^{-1}
1	S1	1.77	7	50	3	0.65	0.22
2	S2	2.36	9	40	1	0.84	0.45
3	S3_S4	1.68	9	80	15	0.76	0.33
4	S5	1.47	8	43	3	0.84	0.28
5	S6	1.10	7	60	3	1.34	0.40
6	**S7**	3.04	5	30	1	6.13	**444.44**
7	**S8**	3.82	44	100	2	5.82	**478.63**
8	**S9**	**750**	17	60	2	1.15	2.45
9	**S10**	16.32	30	150	3	1.60	**115.94**
10	S11	1.68	9	30	1	0.84	0.84
11	S12	0.50	5	49	1	0.73	0.48
12	S13	0.62	12	30	3	0.80	0.50
13	S14	1.63	24	39	12	1.11	0.40
14	S15	3.44	7	42	1	0.88	0.22
15	S16	1.72	12	44	1	0.88	0.33
16	S18	2.28	14	12	1	0.77	0.31
17	S19	8.44	16	47	1	0.88	0.31
18	S20	2.28	49	42	2	0.76	0.29
19	S21	1.88	13	35	3	1.19	0.34
20	S22	1.22	9	45	4	1.46	0.29
21	S23	1.18	36	42	1	1.04	0.35
22	S24	3.22	47	350	1	2.07	0.44
23	S25	4.33	115	225	2	1.14	0.27
24	S27	4.82	95	22	1	1.20	0.29
25	S28	2.74	45	170	5	0.57	<0.2
26	S29	0.92	6	47	1	0.57	<0.2
	98/83 E.C	**50**	**200**		**2000**	**10**	**5**

Πίνακας 5 (συνέχεια): *Σύγκριση των χημικών αναλύσεων ανιόντων – κατιόντων των δειγμάτων υπόγειου νερού ξηρής περιόδου στην περιοχή της ΒΔ Χίου με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 98/83 για τον καθορισμό της ποσιμότητας.*

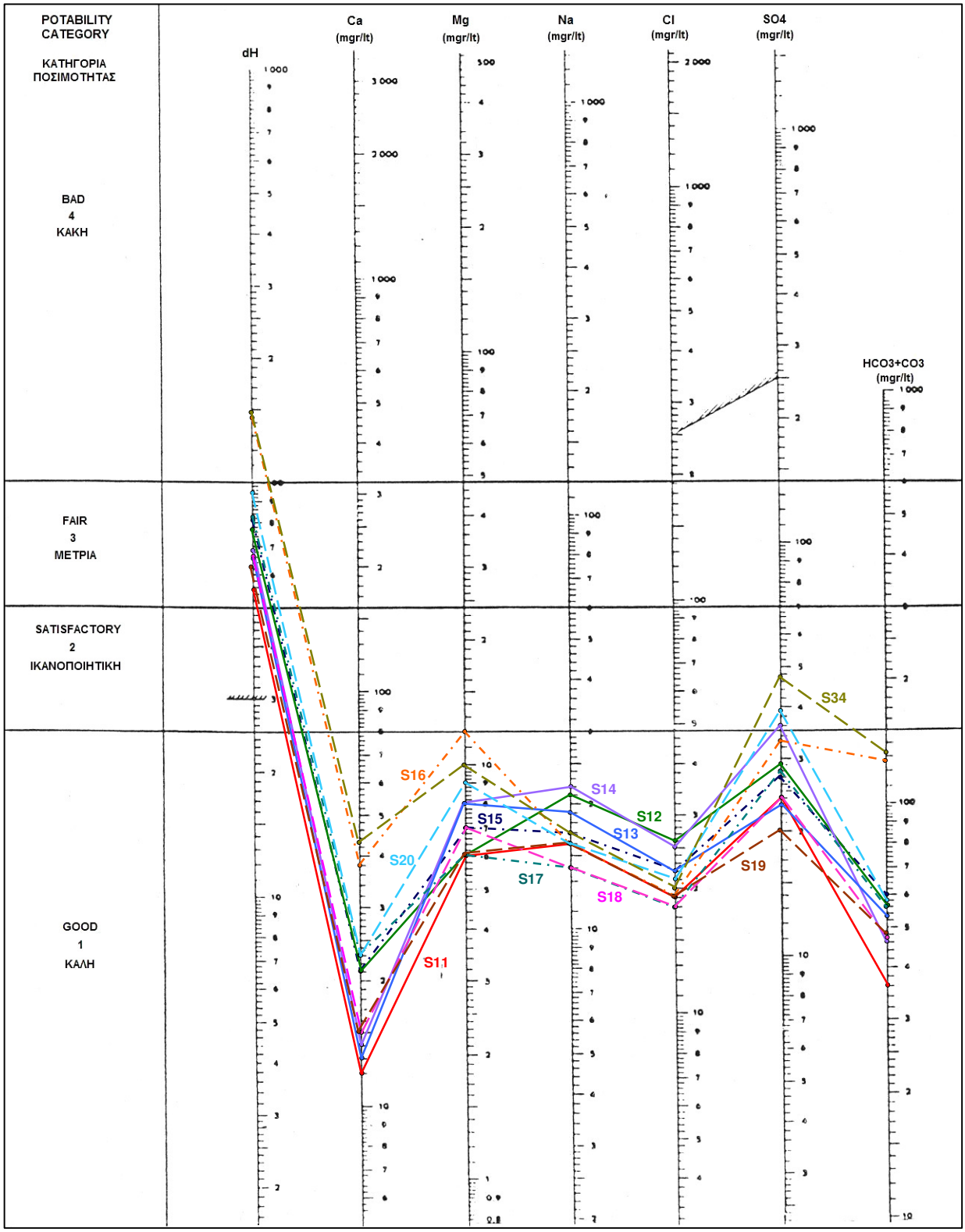
A/A	Δείγμα	Mn $\mu g\ l^{-1}$	Fe $\mu g\ l^{-1}$	Zn $\mu g\ l^{-1}$	Cu $\mu g\ l^{-1}$	As $\mu g\ l^{-1}$	Sb $\mu g\ l^{-1}$
27	S30	3.12	20	175	1	0.62	<0.2
28	S33	1.74	8	55	1	0.41	<0.2
29	S34	0.72	3	13	1	0.50	<0.2
30	S36	2.16	7	26	1	1.03	0.34
31	S37	1.14	8	28	2	0.88	0.3
32	S38	<0.4	12	33	<1	0.50	<0.2
33	S39	3.11	6	25	4	0.57	0.25
34	S41	5.34	15	18	2	1.03	0.22
35	S42	2.44	13	11	<1	0.72	<0.2
36	S43	3.35	18	26	2	0.62	<0.2
37	S44	3.79	7	11	1	0.46	<0.2
38	S45	4.53	8	32	<1	0.57	<0.2
39	S46	3.24	26	38	1	0.50	<0.2
40	S47	0.40	5	46	1	0.57	0.27
41	S48	0.69	5	53	1	0.46	<0.2
42	S49	2.00	7	43	5	0.46	<0.2
43	S50	0.96	5	27	1	0.57	0.27
44	S51	0.59	6	25	2	0.41	0.25
45	S52	2.21	10	21	<1	0.51	<0.2
46	S53	0.73	5	35	1	0.50	0.22
47	S54	1.92	11	28	2	0.36	<0.2
48	S55	2.34	7	31	1	0.62	0.33
49	S56	0.90	5	41	1	0.62	0.29
50	S57	0.62	20	53	2	0.50	0.25
51	S58	6.20	18	43	1	0.51	0.27
52	S59	1.69	33	44	1	0.36	<0.2
	98/83 E.C	**50**	**200**		**2000**	**10**	**5**

Πίνακας 5 (συνέχεια): *Σύγκριση των χημικών αναλύσεων ανιόντων – κατιόντων των δειγμάτων υπόγειου νερού ξηρής περιόδου στην περιοχή της ΒΔ Χίου με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 98/83 για τον καθορισμό της ποσιμότητας.*

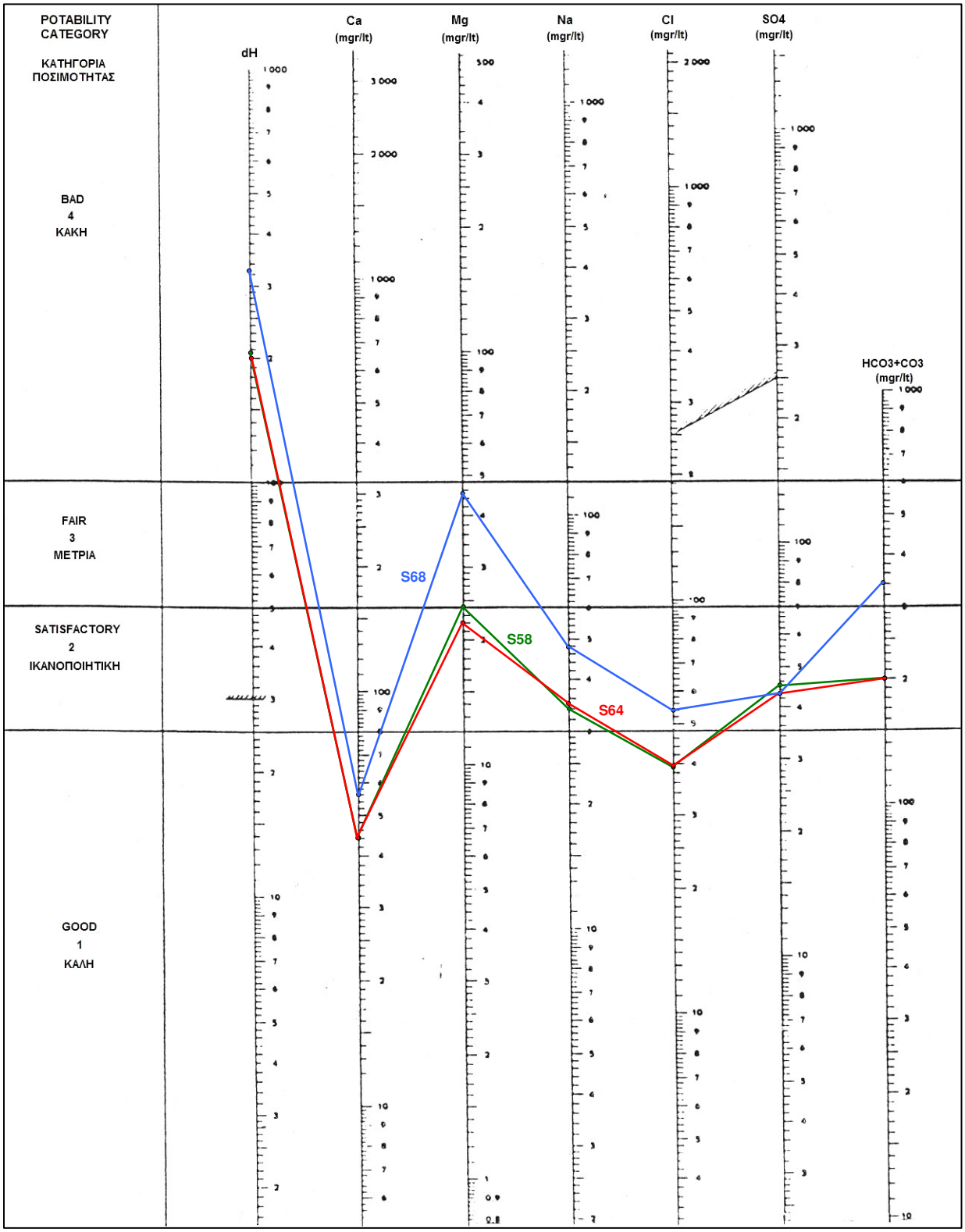
A/A	Δείγμα	Mn $\mu g\ l^{-1}$	Fe $\mu g\ l^{-1}$	Zn $\mu g\ l^{-1}$	Cu $\mu g\ l^{-1}$	As $\mu g\ l^{-1}$	Sb $\mu g\ l^{-1}$
53	S60	5.50	53	106	1	0.81	<0.2
54	S61	3.84	24	47	<1	0.63	<0.2
55	S62	<0.4	2	7	1	0.47	<0.2
56	S63	1.46	14	34	<1	0.47	<0.2
57	S64	0.94	11	35	1	0.41	<0.2
58	D1	1.08	6	44	3	0.98	0.25
59	W1	3.88	7	40	2	0.38	0.38
60	**W2**	**300**	165	27	2	0.61	0.31
61	W3	1.85	13	38	3	0.61	<0.2
62	W4	1.09	6	49	1	0.57	0.29
63	W5	<0.4	7	35	1	0.50	<0.2
64	W6	1.72	19	46	8	0.63	<0.2
65	W8	8.77	70	32	1	0.38	<0.2
66	**W9**	**500**	**215**	7	3	**12.69**	<0.2
67	W10	1.95	9	126	3	0.69	<0.2
68	**W11**	**51.11**	36	33	1	0.57	<0.2
	98/83 E.C	**50**	**200**		**2000**	**10**	**5**



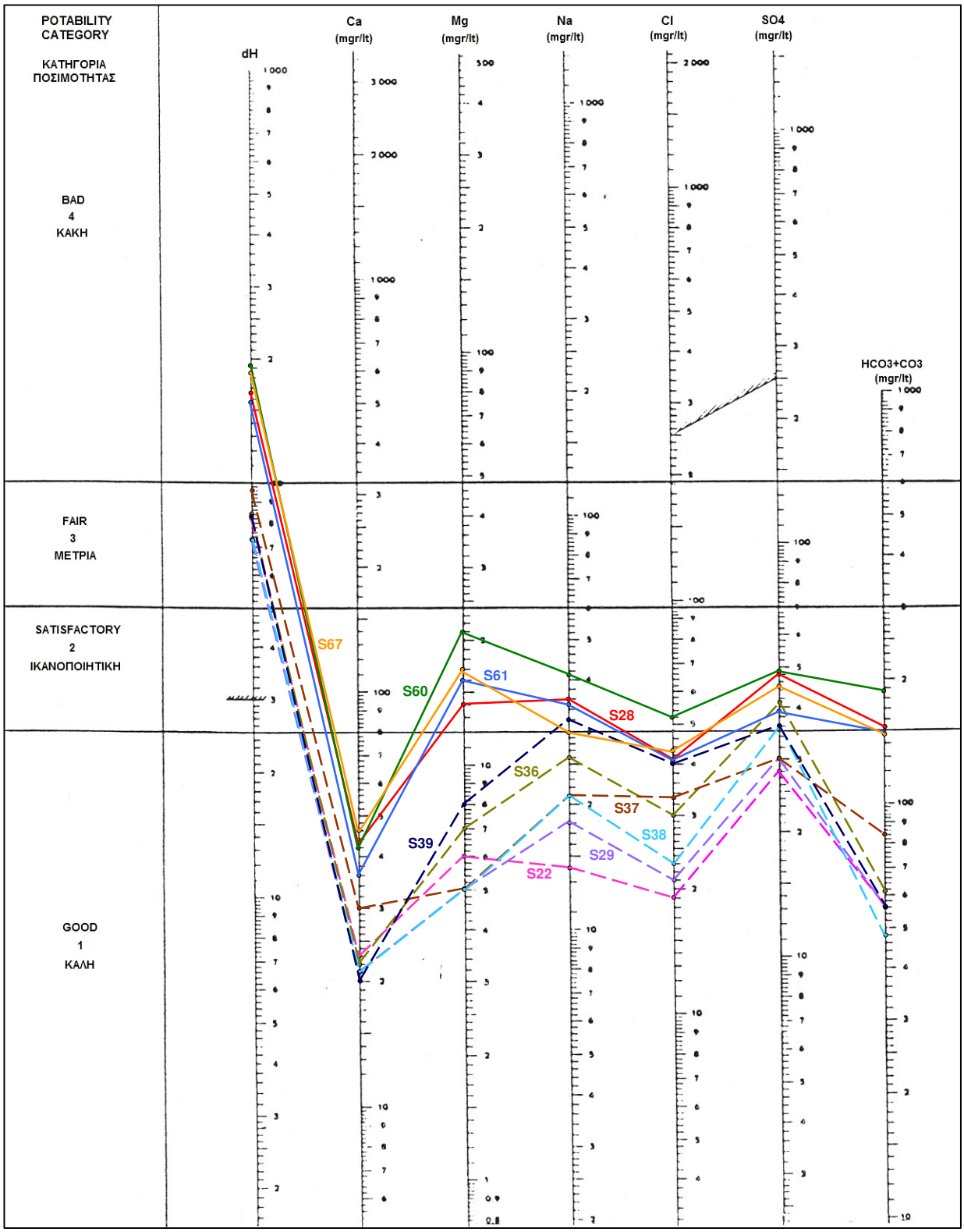
Εικόνα 1: *Διάγραμμα ποσιμότητας κατά Waterlot υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο στις περιοχές Κέραμος (S1, S2, S47), Αγιάσματα (S6) και Λεπτόποδα (S3_S4, S5,* S35,*W1).*



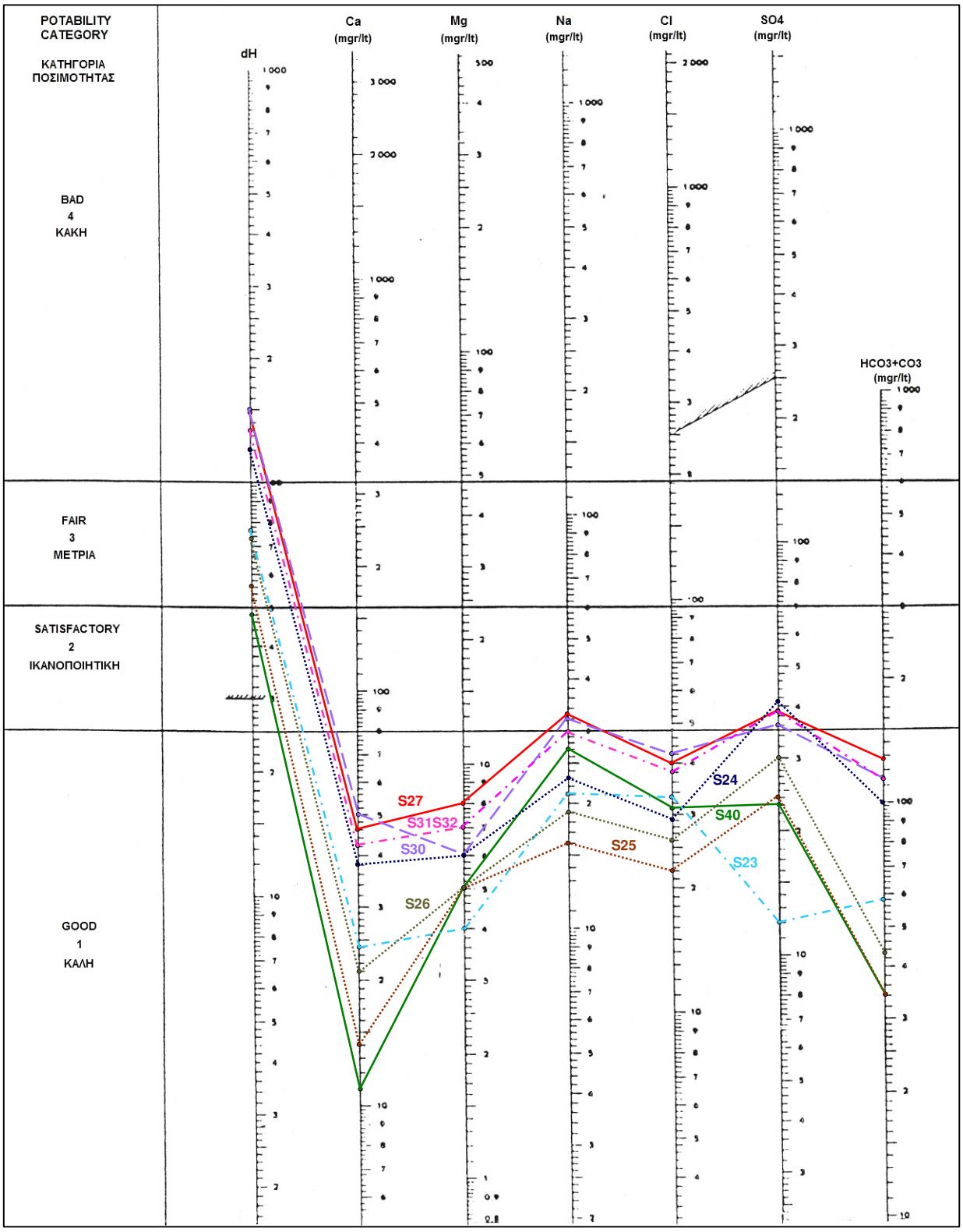
Εικόνα 2: *Διάγραμμα ποσιμότητας κατά Waterlot υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο στις περιοχές Αφροδίσια (S11, S12, S13, S14), Χάλανδρα (S18, S19, S20, S34) και Ν. Ποταμιά (S15, S16, S17).*



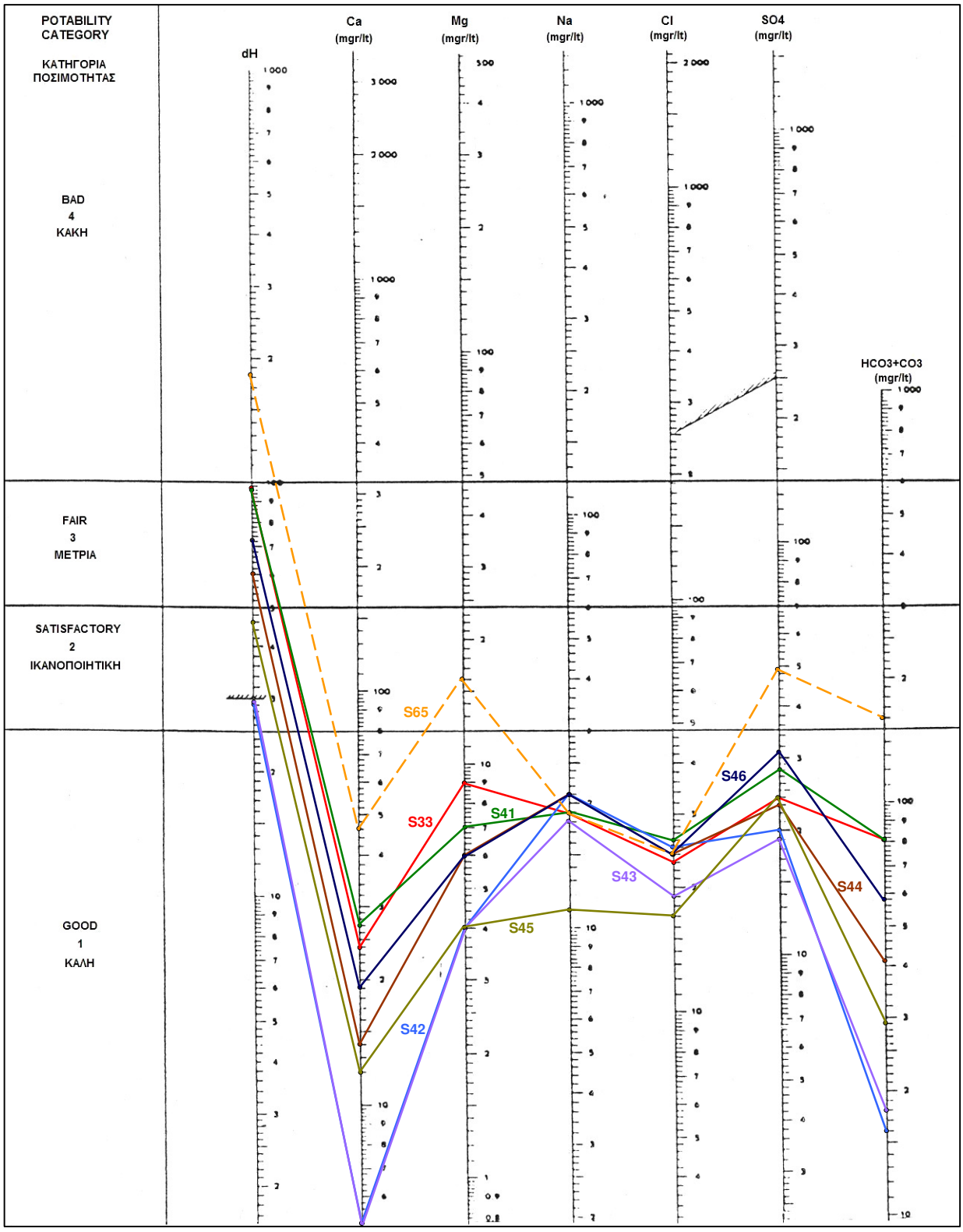
Εικόνα 3:*Διάγραμμα ποσιμότητας κατά Waterlot υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο στην περιοχή Πισπιλούντα (S58, S64, S68).*



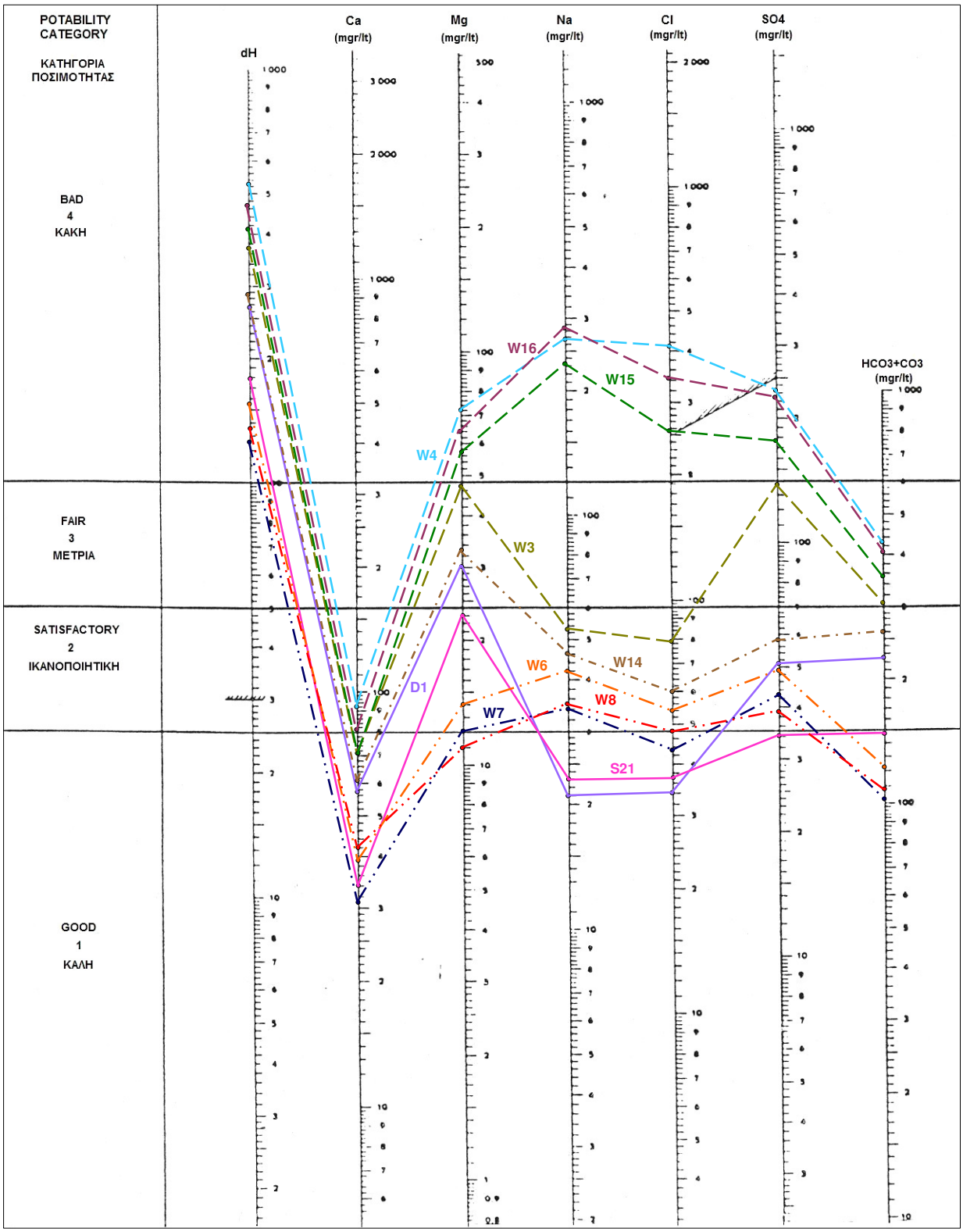
Εικόνα 4: *Διάγραμμα ποσιμότητας κατά Waterlot υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο στις περιοχές Πιραμά (S28, S60, S61, S67) και Παρπαριά (S22, S29, S36, S37, S38, S39).*



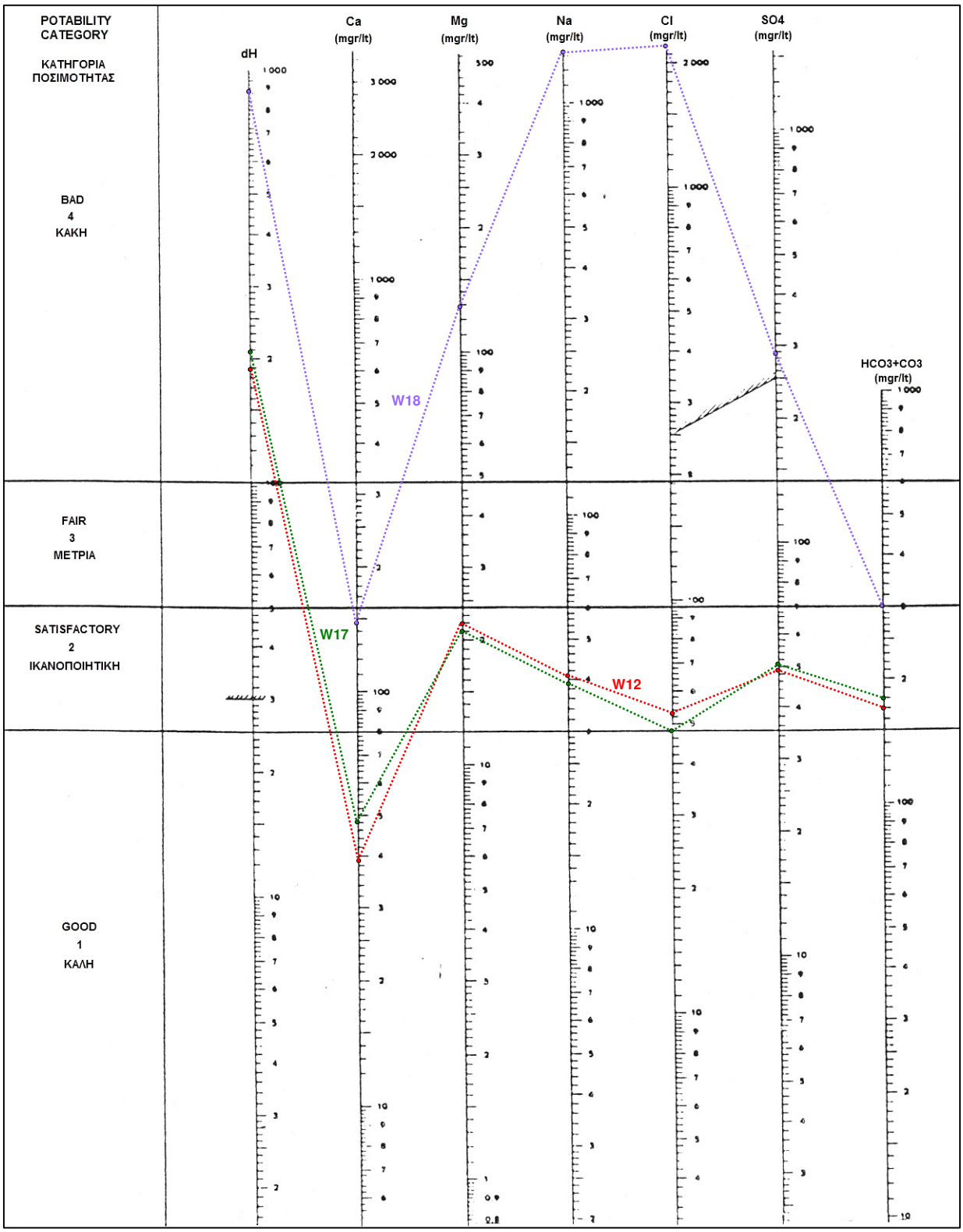
Εικόνα 5:*Διάγραμμα ποσιμότητας κατά Waterlot υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο στις περιοχές Τρύπες (S27, S40), Μελανιός (S30), Άγιο Γάλας (S31S32, S23) και Νενητούρια (S24, S25, S26).*



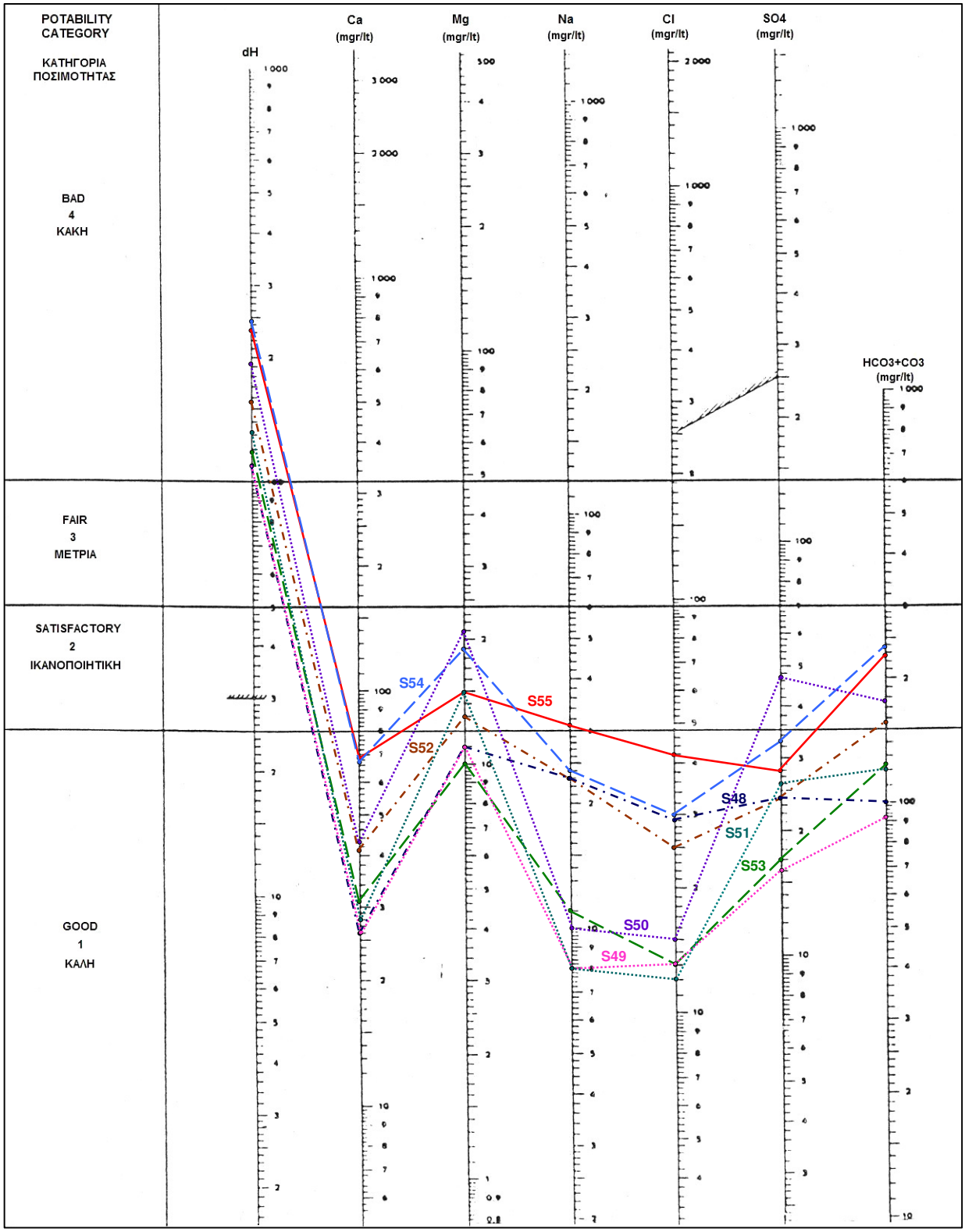
Εικόνα 6: *Διάγραμμα ποσιμότητας κατά Waterlot υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο στις περιοχές Εγρηγόρος (S65) και Κουρούνια (S33, S41, S42, S43, S44, S45, S46)*



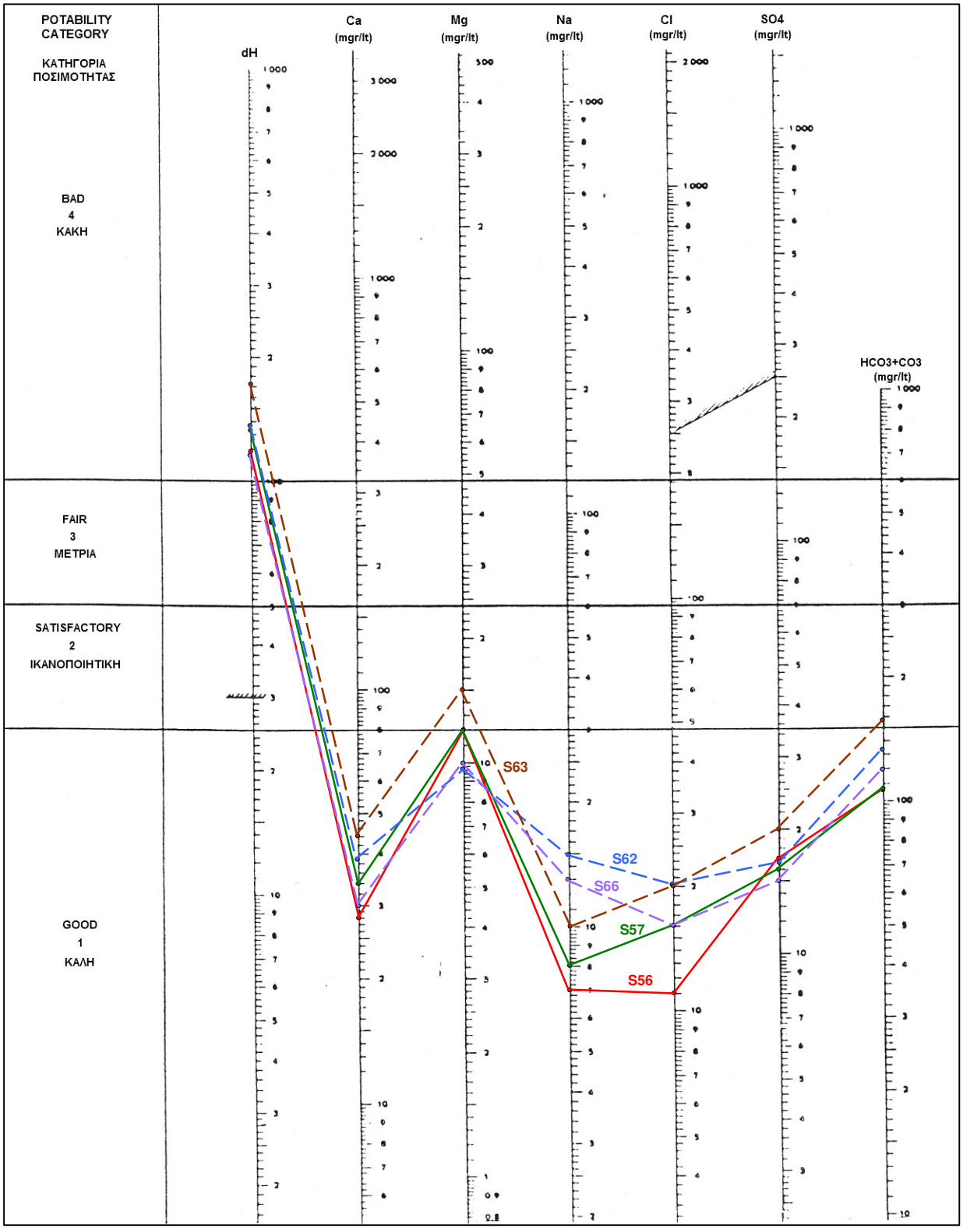
Εικόνα 7: *Διάγραμμα ποσιμότητας κατά Waterlot υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο στις περιοχές Βολισσός (D1, S21, W14), Μάναγρος Βολισσού (W3, W4, W15, W16) και Αγία Μαρκέλλα Βολισσού (W6, W7,W8).*



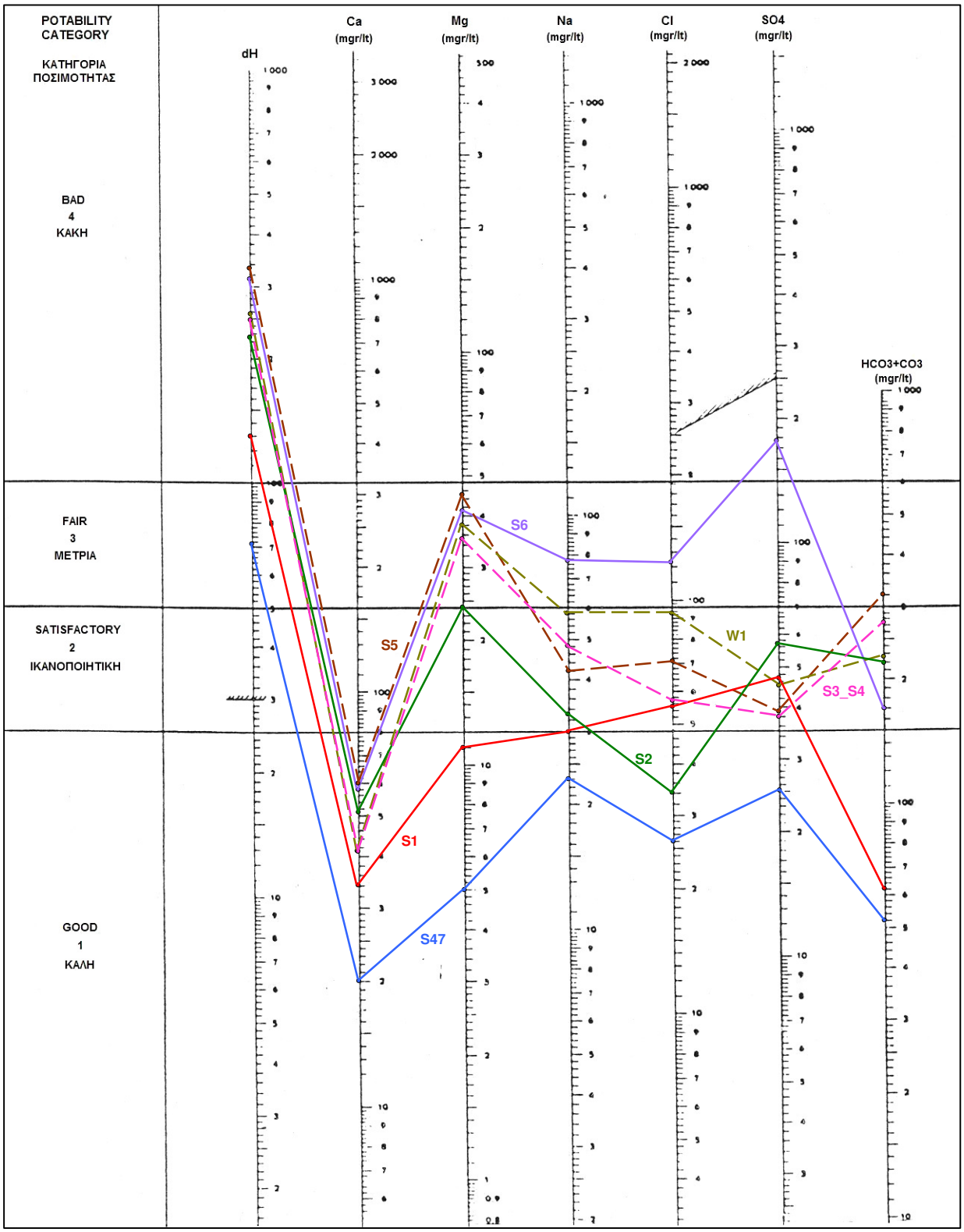
Εικόνα 8: *Διάγραμμα ποσιμότητας κατά Waterlot υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο στην περιοχή Λήμνος Βολισσού (W12, W17, W18).*



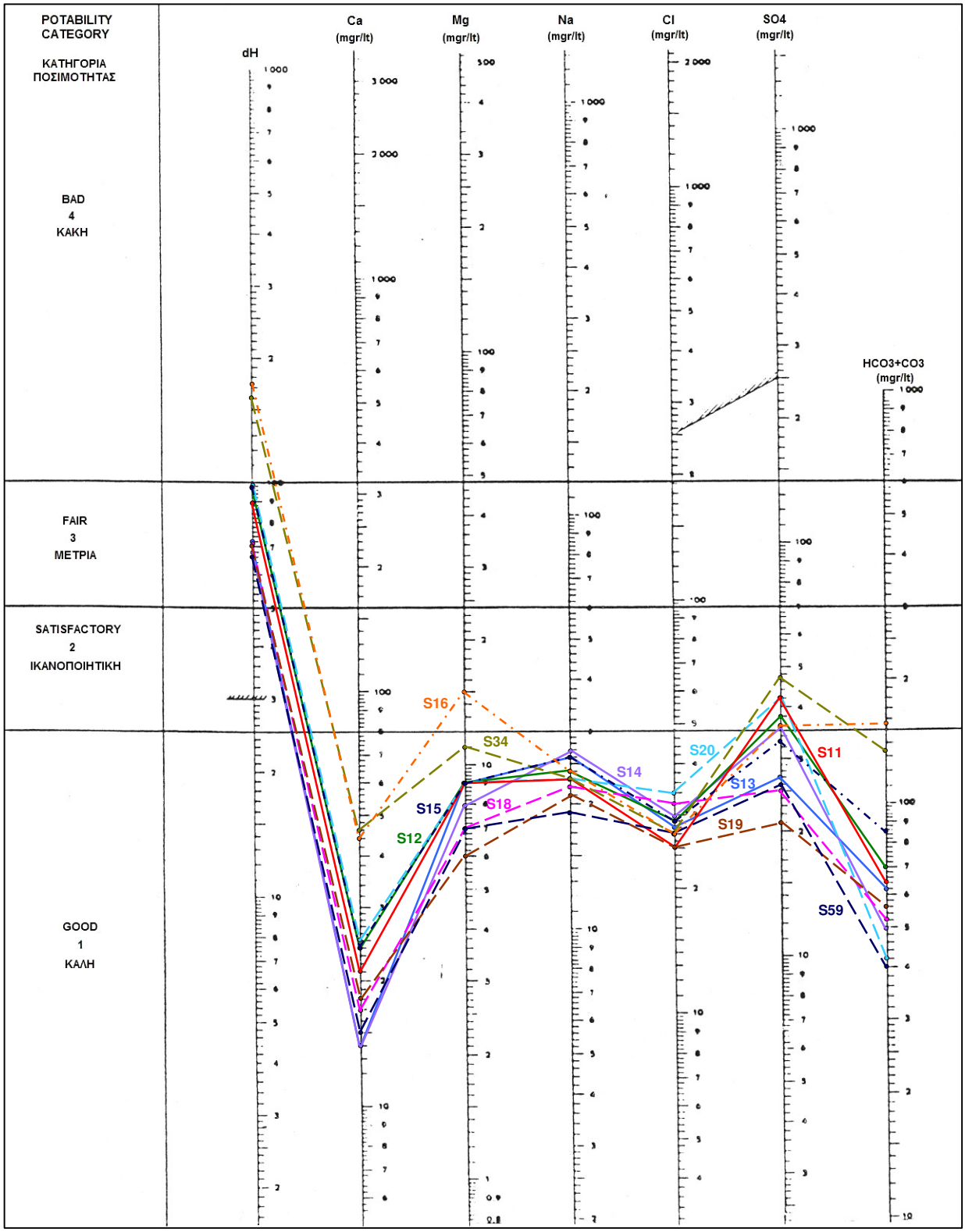
Εικόνα 9: *Διάγραμμα ποσιμότητας κατά Waterlot υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο στις περιοχές Κατάβαση (S55), Διευχά (S53, S54), Κηπουριές (S48, S52) και Φυτά (S49, S50, S51).*



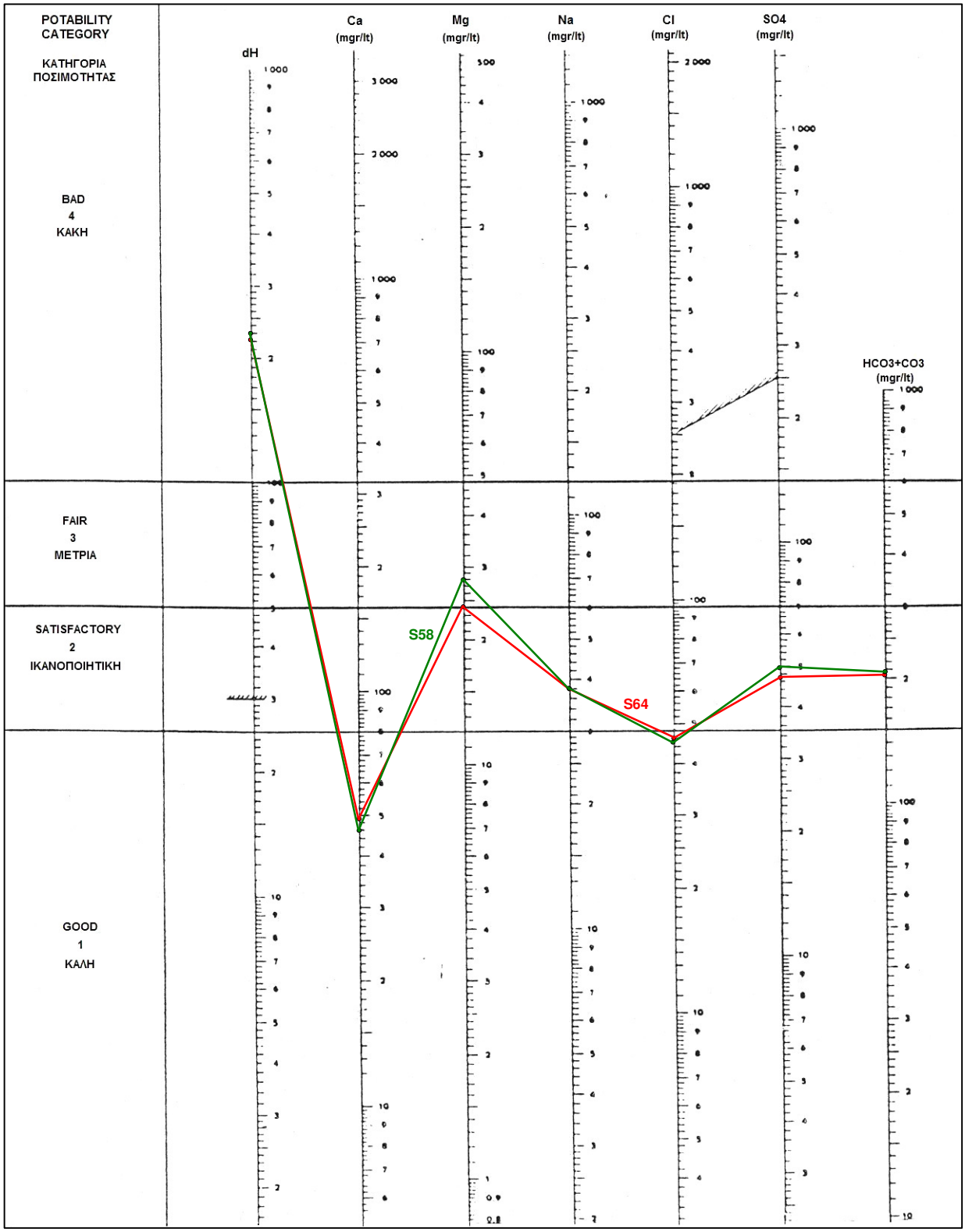
Εικόνα 10: *Διάγραμμα ποσιμότητας κατά Waterlot υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο στις περιοχές Σπαρτούντα (S56, S57) και Καμπιά (S62, S63, S66).*



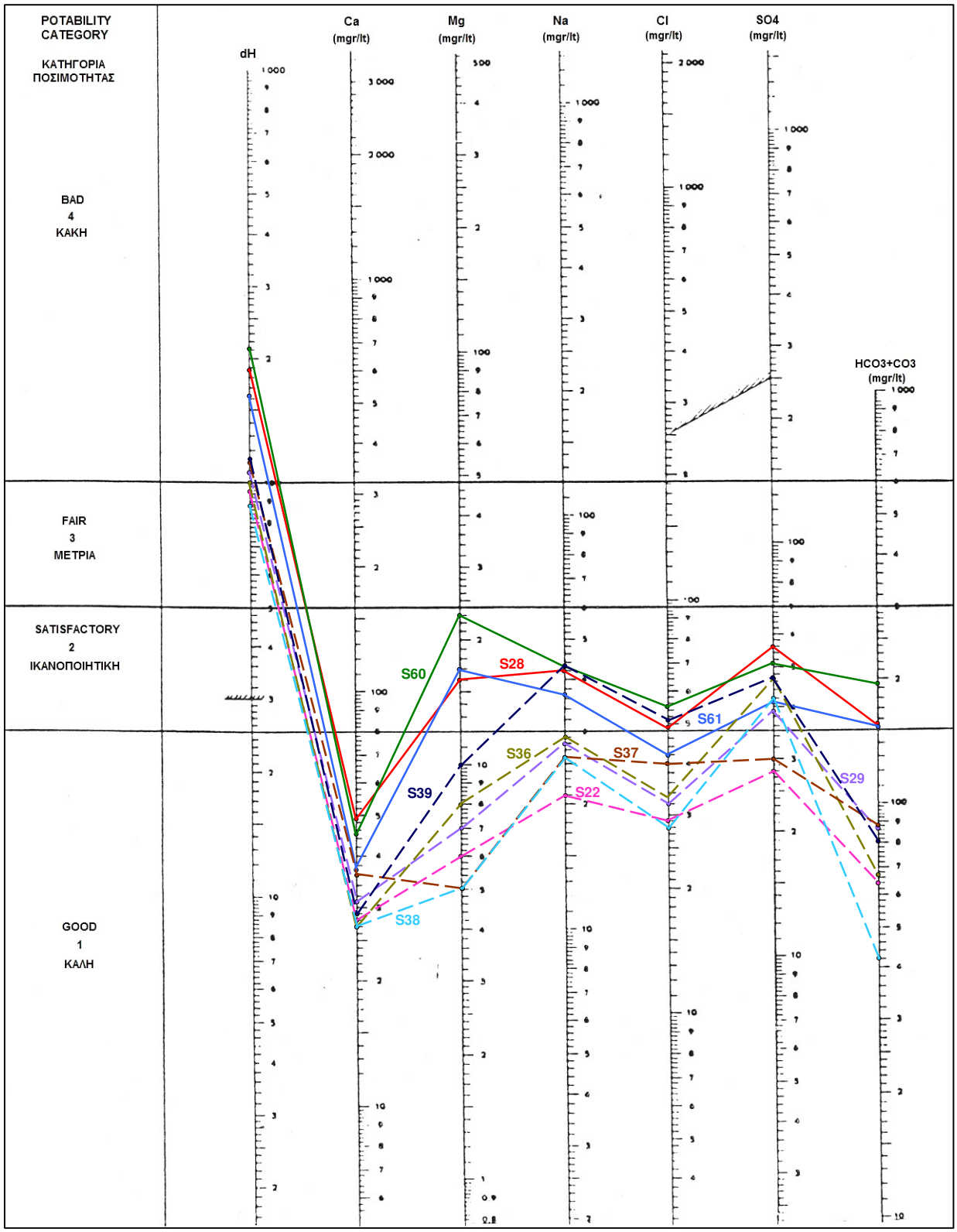
Εικόνα 11: *Διάγραμμα ποσιμότητας κατά Waterlot υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο στις περιοχές Κέραμος (S1, S2, S47), Αγιάσματα (S6) και Λεπτόποδα (S3_S4, S5, W1).*



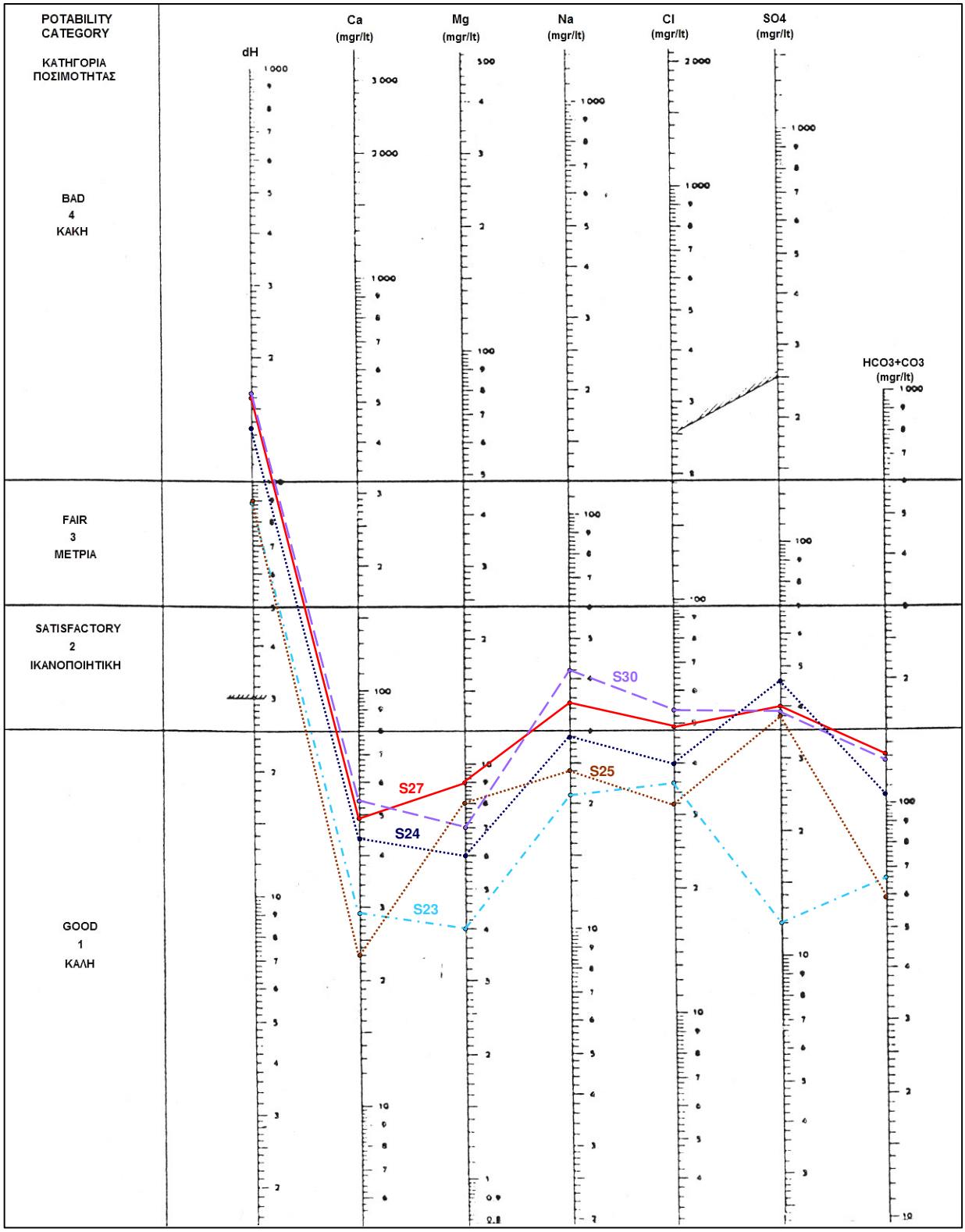
Εικόνα 12: *Διάγραμμα ποσιμότητας κατά Waterlot υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο στις περιοχές Αφροδίσια (S11, S12, S13, S14), Χάλανδρα (S18, S19, S20, S34, S59) και Ν. Ποταμιά (S15, S16).*



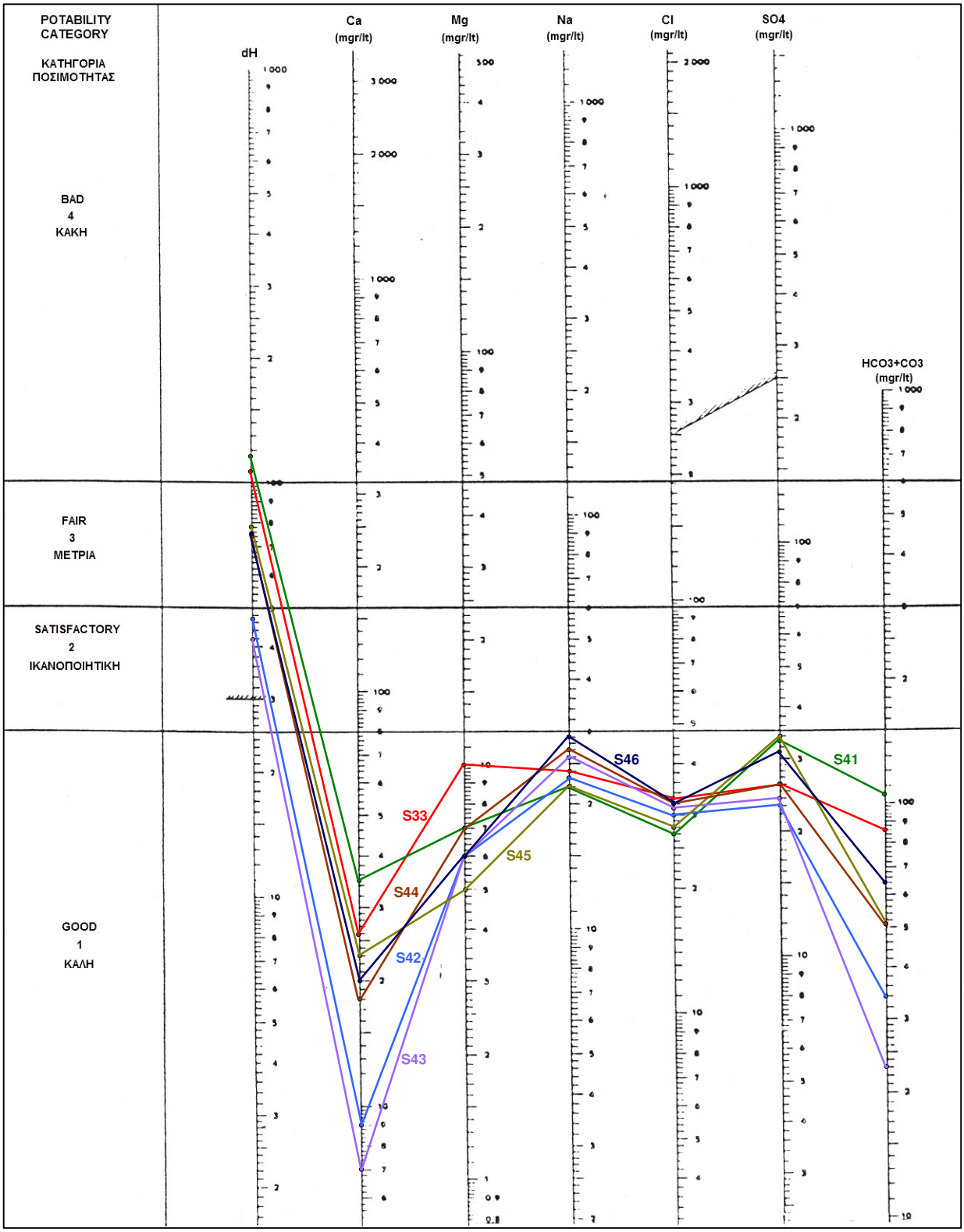
Εικόνα 13: *Διάγραμμα ποσιμότητας κατά Waterlot υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο στην περιοχή Πισπιλούντα (S58, S64).*



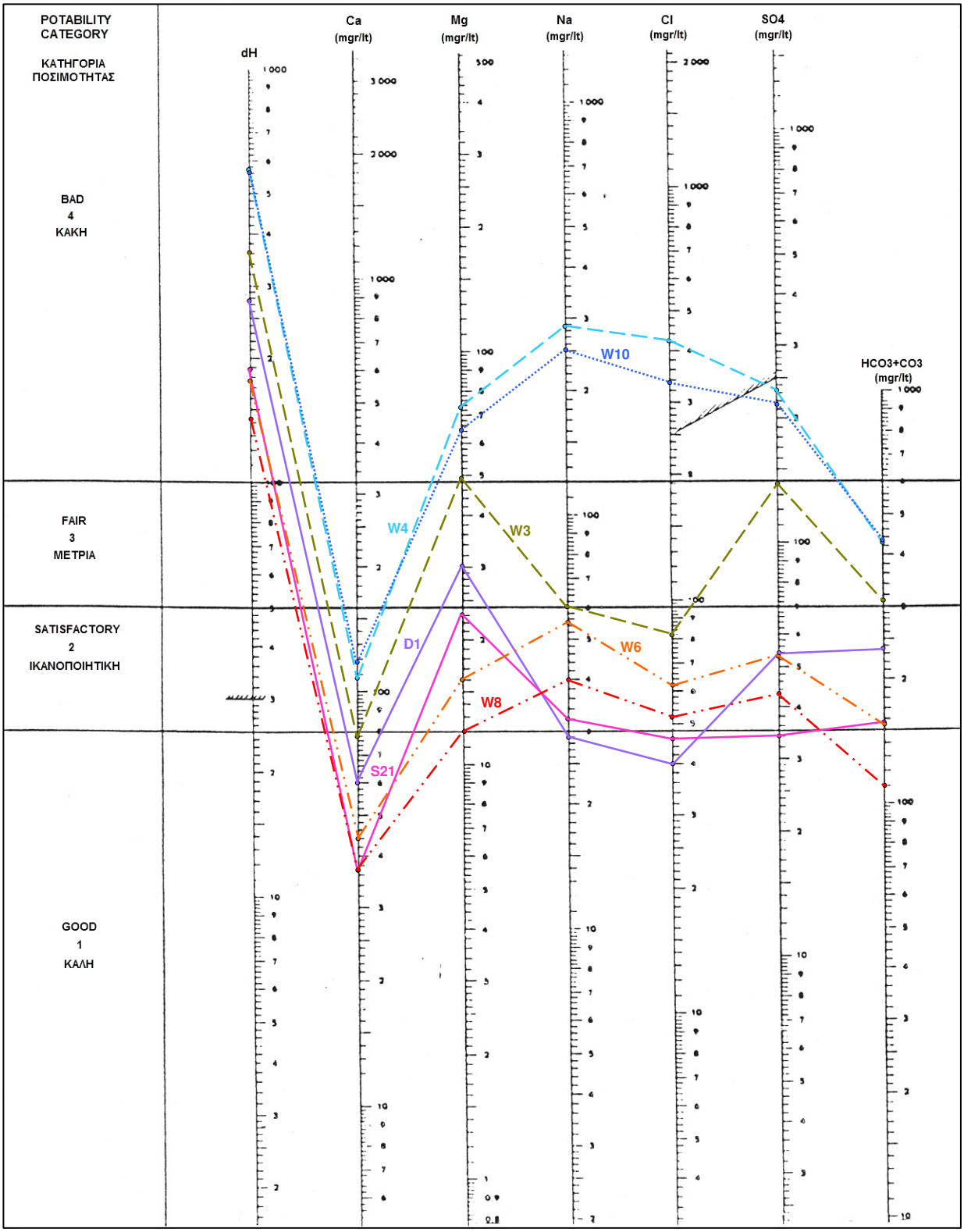
Εικόνα 14: *Διάγραμμα ποσιμότητας κατά Waterlot υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο στις περιοχές Πιραμά (S28, S60, S61) και Παρπαριά (S22, S29, S36, S37, S38, S39).*



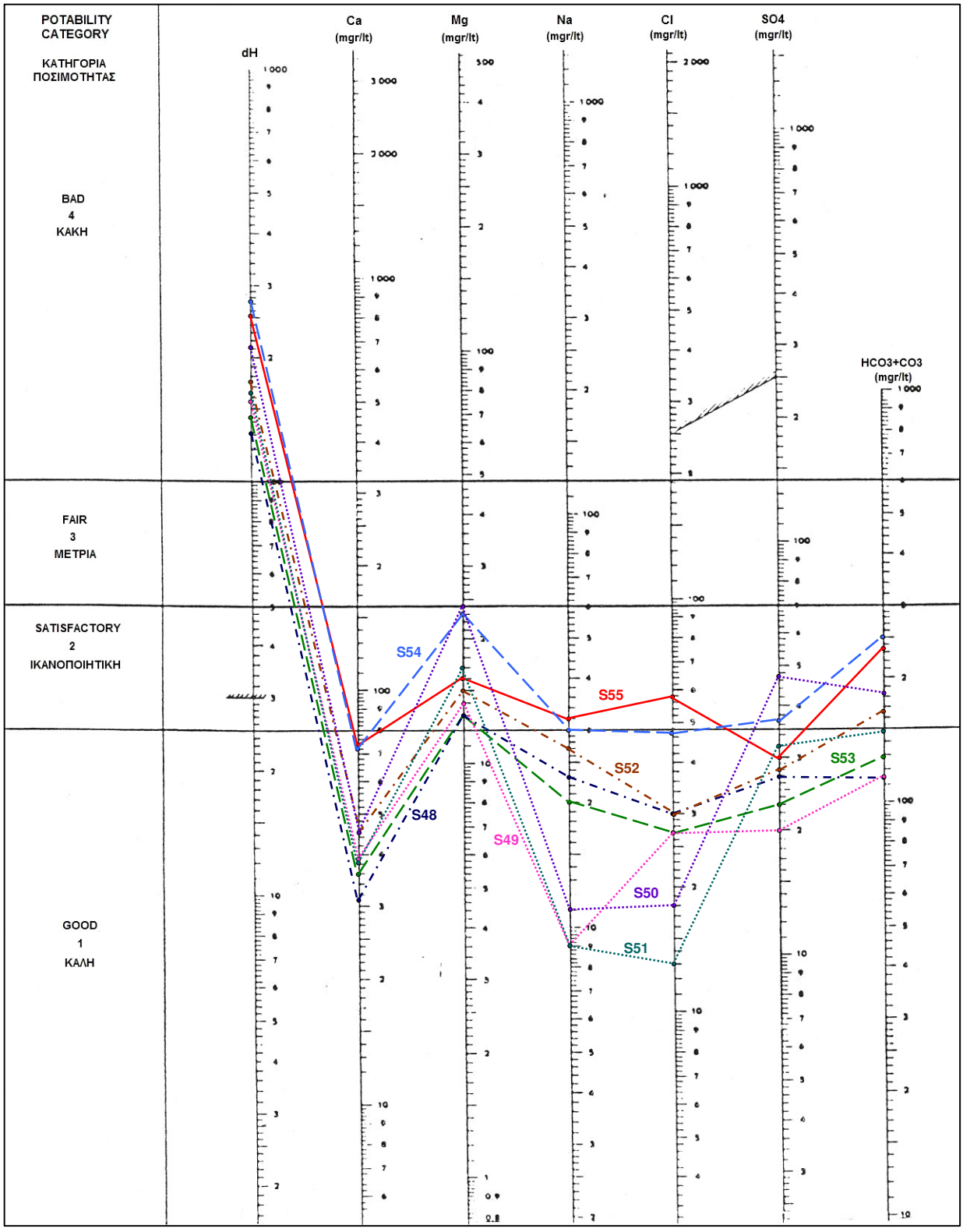
Εικόνα 15: *Διάγραμμα ποσιμότητας κατά Waterlot υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο στις περιοχές Τρύπες (S27), Μελανιός (S30), Άγιο Γάλας (S23) και Νενητούρια (S24, S25).*



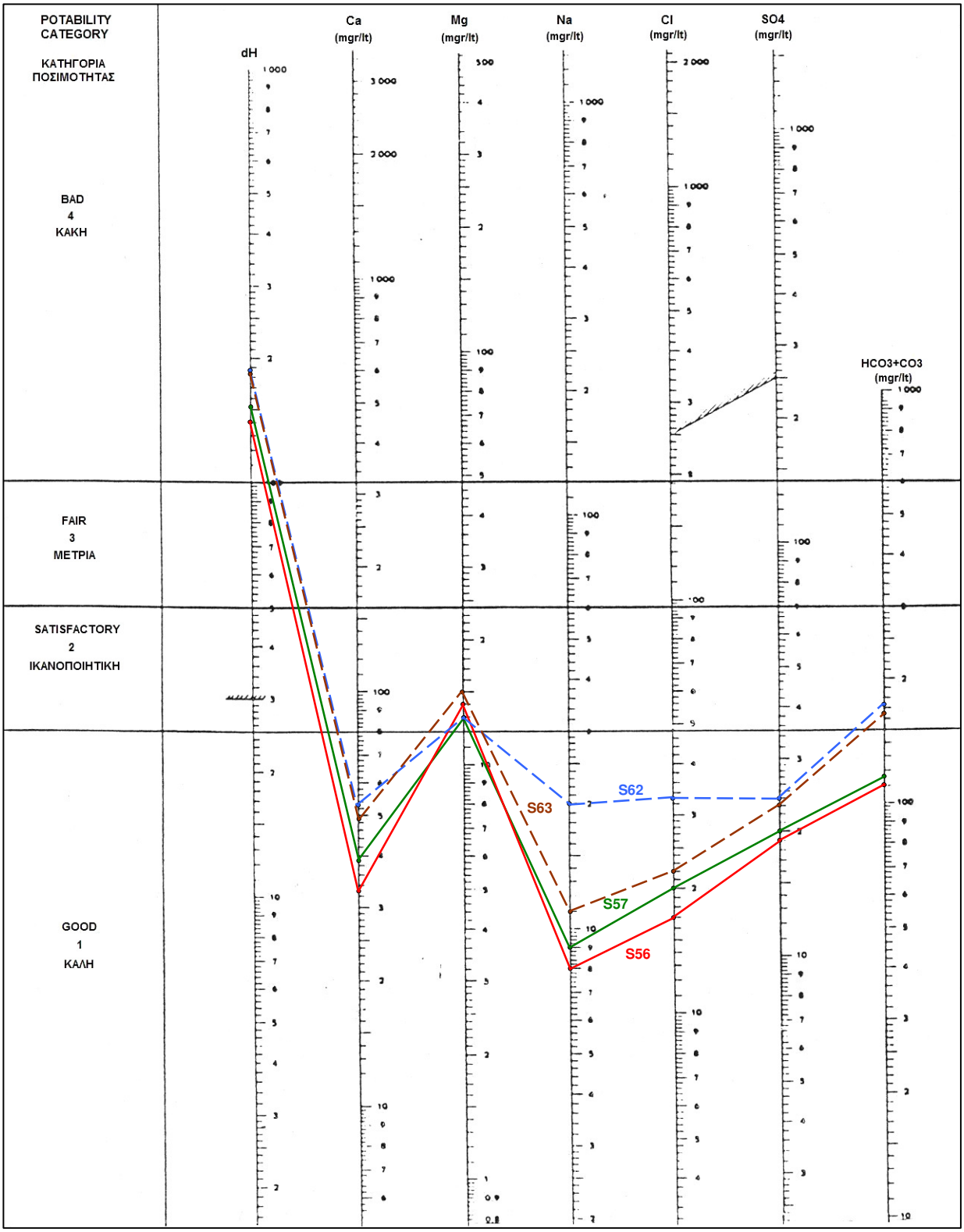
Εικόνα 16: *Διάγραμμα ποσιμότητας κατά Waterlot υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο στην περιοχή Κουρούνια (S33, S41, S42, S43, S44, S45, S46).*



Εικόνα 17: *Διάγραμμα ποσιμότητας κατά Waterlot υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο στις περιοχές Βολισσός (D1, S21), Μάναγρος Βολισσού (W3, W4), Αγία Μαρκέλλα Βολισσού (W6,W8), Λήμνος (W10).*



Εικόνα 18.: *Διάγραμμα ποσιμότητας κατά Waterlot υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο στις περιοχές Κατάβαση (S55), Διευχά (S53, S54), Κηπουριές (S48, S52) και Φυτά (S49, S50, S51).*



Εικόνα 19: *Διάγραμμα ποσιμότητας κατά Waterlot υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο στις περιοχές Σπαρτούντα (S56, S57) και Καμπιά (S62, S63).*