



HELLENIC REPUBLIC

**National and Kapodistrian
University of Athens**

EST. 1837

Τμήμα Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος
Τομέας Οικονομικής Γεωλογίας και Γεωχημείας

Ποιοτικά χαρακτηριστικά υδάτων Αλφειού ποταμού και του ευρύτερου υδρογραφικού δικτύου στην περιοχή της λιγνιτοφόρου λεκάνης της Μεγαλόπολης

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ



Χρήστος Δρούγας

A.M: 1114202000024

Επιβλέπων: Δρ. Ευστράτιος Κελεπερτζής

Αναπληρωτής Καθηγητής

Αθήνα, 2024

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία έχει ως στόχο τη μελέτη και αξιολόγηση της ποιοτικής κατάστασης του ποταμού Αλφειού και του ευρύτερου υδρογραφικού δικτύου της λιγνιτοφόρου λεκάνης της Μεγαλόπολης. Ειδικότερα, εξετάστηκε η χημική σύσταση των ποταμών της περιοχής τόσο από φυσικών όσο και από ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Ως περιοχή μελέτης ορίζεται η υδρολογική λεκάνη του ποταμού Αλφειού στην περιοχή της Μεγαλόπολης του νομού Αρκαδίας. Η κύρια δραστηριότητα της περιοχής από το 1969 έως και πρόσφατα, ήταν η λειτουργία των Άτμο-ηλεκτρικών σταθμών καύσης λιγνίτη. Η εκμετάλλευση και η δικαιοδοσία των εδαφών της περιοχής ανήκει στη ΔΕΗ (Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού). Τα τελευταία χρόνια και σε συμμόρφωση με τους όρους της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η Ελλάδα αποσύρει τις τελευταίες μονάδες καύσης λιγνίτη, με τη Μεγαλόπολη να αποσύρεται στα τέλη του 2024. Στην περιοχή αυτή έχουν δρομολογηθεί μεγάλης εμβέλειας έργα όπως αντλησιοταμιευτικά έργα και φωτοβολταϊκά πάρκα. Μέρος των εδαφών θα δοθεί στο δημόσιο για νέες δραστηριότητες π.χ. (αγροτικές και βιομηχανικές εγκαταστάσεις). Από γεωλογική άποψη η λεκάνη δομείται κυρίως από την ενότητα της Πίνδου (ανθρακικά και ραδιολαρίτες), από την ενότητα της Τρίπολης (ανθρακικά) και ελάχιστα στα Βόρειο Ανατολικά από την ενότητα της Άρνας (σχιστόλιθοι και χαλαζίτες). Η διαδικασία εξόρυξης, μεταφοράς και καύσης του λιγνίτη έχει επιδράσεις στο περιβάλλον, κυρίως κατά την απόθεση παραπροϊόντων (Γύψου και τέφρας) και κατά την διαμόρφωση αποθέσεων στείων υλικών. Τέλος, η ύπαρξη βιολογικών σταθμών και η βιομηχανική δραστηριότητα θα μπορούσε δυνητικά να επηρεάσει την ποιότητα των νερών στην περιοχή των έργων.

Στόχος της εργασίας είναι η διερεύνηση της ποιότητας των υδάτων στην περιοχή και η ενδεχόμενη συσχέτιση με τη γεωλογική δομή και τα πετρώματα της περιοχής και τη βιομηχανική δραστηριότητα.

Για τη διερεύνηση αυτή, πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία 24 δειγμάτων επιφανειακού νερού κατά την υγρή περίοδο στις αρχές Μαρτίου του 2024. Τα ποτάμια και τα ρέματα που εξετάστηκαν βρίσκονται εντός του χώρου της ΔΕΗ και καταλήγουν είτε άμεσα είτε έμμεσα στον Αλφειό ποταμό. Η δειγματοληψία του Αλφειού ποταμού έγινε πριν, κατά την διέλευση του από τα ορυχεία λιγνίτη και μετά την περιοχή εξόρυξης. Κατά την δειγματοληψία, προσδιορίστηκαν μέσω επιτόπιων μετρήσεων οι φυσικοχημικές παράμετροι pH, TDS (ολικά διαλυμένα στερεά), Eh (δυναμικού οξειδοαναγωγής), DO (διαλυμένου οξυγόνου) και EC (ηλεκτρική αγωγιμότητα). με χρήση προ βαθμονομημένου φορητού πολυπαραμετρικού μετρητή. Όλες οι χημικές αναλύσεις κύριων ιόντων και ιχνοστοιχείων πραγματοποιήθηκαν με τις μεθόδους (ICP-MS, ICP-OES, Χρωματογραφία IC και φασματοφωτόμετρο HACH) στο διαπιστευμένο εργαστήριο Χημείας Υλικών και Περιβάλλοντος PPC Innovation Hub, σύμφωνα με τα πρότυπα **ISO 17020** και **ISO 17025**. Η μέτρηση των HCO_3^- πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Οικονομικής Γεωλογίας και Γεωχημείας του τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος. Από τα αποτελέσματα της έρευνας, το μεγαλύτερο περιβαλλοντικό ενδιαφέρον στην περιοχή αποτελούν οι χημικές παράμετροι NH_4^+ , SO_4^{2-} , Mn, και Mo. Οι τιμές χημικών παραμέτρων σε ορισμένα δείγματα

βρίσκονται εκτός των νομοθετικών ορίων για το πόσιμο νερό (ΦΕΚ 3525B_20023) & WHO, 2022 καθώς και των ορίων που περιγράφονται στα Πρότυπα Ποιότητας Περιβάλλοντος (ΠΠΠ) για τις συγκεντρώσεις ορισμένων ρύπων και ουσιών προτεραιότητας στα επιφανειακά ύδατα σύμφωνα με τα ΦΕΚ 69B_2016 & ΦΕΚ 1909B_2010. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις των στοιχείων αυτών παρουσιάζονται σε μεμονωμένα δείγματα. Η ποιοτική κατάσταση του Αλφειού δεν φαίνεται να επηρεάζεται έντονα από την εξορυκτική δραστηριότητα, με εξαίρεση μικρές επιβαρύνσεις σε κάποιες από τις παραπάνω παραμέτρους που οφείλονται σε φυσικούς και ενδεχομένως σε ανθρωπογενείς παράγοντες.

Θεματική περιοχή: Υδρογεωχημεία, Ρύπανση επιφανειακού νερού, Λιγνιτική δραστηριότητα, Διαχείριση υδατικών πόρων

Λέξεις κλειδιά: Λεκάνη Μεγαλόπολης, Ποταμός Αλφειός, Εξόρυξη λιγνίτη, Ποιότητα επιφανειακού νερού

ABSTRACT

This thesis aims to study and assess the water quality status of the Alfeios river and the broader hydrological network of the lignite basin in Megalopolis. Specifically, the chemical composition of the rivers in the area was examined in terms of both natural and anthropogenic activities. The study area is defined as the Alfeios river's hydrological basin in the Arcadia Megalopolis region. The main activity in the area, from 1969 until recent years, has been the operation of lignite-fired steam-electric power stations. The exploitation and jurisdiction of the land in the area belong to the Public Power Corporation (DEI). In recent years, in compliance with European Union regulations, Greece has been phasing out its last lignite-fired units, with Megalopolis set to withdraw by the end of 2024. Large-scale projects have been planned in this area, such as pumped storage projects and photovoltaic parks. Part of the land will be given to the public to create new activities, such as agriculture and industrial installations.

From a geological point of view, the basin is mainly built by the unity of Pindos (carbonates and radiolarites), the Tripolis unit (carbonates), and to a lesser extent, the Arna unit in the northeastern part (schists and quartzites). According to international studies, lignite extraction, transportation, and combustion affect the environment, especially during the deposition of by-products (gypsum and fly ash) and the disposal of mining waste. Additionally, the presence of biological treatment plants and industrial waste requires special attention to the water quality in the area. This thesis aims to investigate the water quality in the area and the possible correlation with the geological structure and rocks of the area and industrial activity.

For this investigation, 24 samples from surface waters were collected during the wet season in early March 2024. The rivers and streams examined are located within the DEI area and flow either directly or indirectly into the Alfeios River. Sampling of the Alfeios River was conducted before, during, and after its passage through the lignite mines. During sampling, physicochemical parameters such as pH, TDS (total dissolved solids), Eh (oxidation-reduction potential), DO (dissolved oxygen), and EC (electrical conductivity) were determined in situ using a pre-calibrated portable multiparameter meter. All chemical analyses of major ions and trace elements were performed using ICP-MS, ICP-OES, IC chromatography, and an HACH spectrophotometer at the accredited PPC Innovation Hub Material and Environmental Chemistry Laboratory, according to ISO 17020 and ISO 17025 standards. HCO_3^- measurements were conducted at the Laboratory of Economic Geology and Geochemistry of the Department of Geology and Geoenvironment.

The research results indicate that the most significant environmental concerns in the area are the chemical parameters NH_4^+ , SO_4^{2-} , Mn, and Mo. These chemical parameters exceed the legislative limits for drinking water (FEK 3525B_20023 & WHO, 2022) and the Environmental Quality Standards (EQS) limits for certain pollutants and priority substances in surface waters, according to the Greek legislation (FEK 69B_2016 & FEK 1909B_2010). The highest concentrations of these chemical parameters are found in isolated samples. The quality status of Alfeios does not seem to be strongly affected by mining

activity, except for small burdens on some of the above parameters due to natural and possibly anthropogenic factors.

Subject Area: Hydrogeochemistry, Surface water contamination, Lignite activity, Water resources management

Keywords: Megalopolis basin, Alfeios river, Lignite mining, Surface water quality

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	1
ABSTRACT	3
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	7
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	8
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ.....	11
1 Εισαγωγή-Περιοχή Μελέτης	11
1.1 Αντικείμενο και στόχοι έρευνας.....	11
1.2 Γενικές πληροφορίες για την περιοχή έρευνας.....	12
1.3 Χρήσεις Γης.....	14
1.4 Τεκτονική περιοχής μελέτης και στάδια δημιουργίας της Λεκάνης.....	16
1.5 Γεωλογία περιοχή μελέτης.....	17
1.5.1 Ενότητα Πίνδου	18
1.5.2 Ενότητα Τρίπολης	20
1.5.3 Ενότητα Άρνας.....	20
1.5.4 Μεταλλικά ιζήματα της Λεκάνης	21
1.6 Κλιματικά δεδομένα.....	22
1.6.1 (Μίκρο)-Κλιματική αλλαγή της περιοχής	24
1.7 Υδρολογία	26
1.7.1 Υδρογραφικό δίκτυο	26
1.7.2 Υδρολογικά στοιχεία.....	28
1.8 Υδρογεωλογία	28
1.8.1 Υδρογεωλογική συμπεριφορά σχηματισμών	29
1.8.2 Κίνηση υπόγειου νερού	30
1.8.3 Πηγές.....	32
1.8.4 Υδρογεωλογικό καθεστώς πεδίου Κυπαρισσίων	34
1.8.5 Σχέση Υπόγειων υδροφορέων με τον Αλφειό και τα γύρω ρέματα	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ	38
2 Λιγνιτική Δραστηριότητα	38
2.1 Ιστορικό Εργοστασίου.....	38
2.2 Λειτουργία Εργοστασίου.....	39
2.2.1 Ορυχεία λιγνίτη στην περιοχή της Μεγαλόπολης.....	39
2.2.2 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις ορυχείων στα επιφανειακά νερά	43
2.3 Εργοστάσια Ηλεκτρικής Ενέργειας	45
2.3.1 Διαδικασία καύσης του λιγνίτη.....	45
2.3.2 Επεξεργασία καυσαερίων	46

2.3.3	Περιβαλλοντικά έργα για την λειτουργία του εργοστασίου.....	47
2.3.4	Χρήσεις νερού των μονάδων.....	48
2.4	Στερεά απόβλητα-παραπροϊόντα και αποθέσεις.....	49
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ.....		51
3	Δειγματοληψία και Χημικές Αναλύσεις.....	51
3.1	Προετοιμασία και σημεία δειγματοληψίας.....	51
3.2	Χημικές αναλύσεις.....	56
3.2.1	Μέτρηση κύριων κατιόντων (ICP-OES).....	56
3.2.2	Μέτρηση ιχνοστοιχείων (ICP-MS).....	58
3.3.3	Μέτρηση ανιόντων με ιοντική χρωματογραφία (IC).....	59
3.3.4	Προσδιορισμός αμμωνιακών NH_4^+ με φασματοφωτόμετρο HACH.....	61
3.3.5	Μέτρηση αλκαλικότητας και HCO_3^-	61
3.4	Στατιστική επεξεργασία.....	62
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ.....		63
4	Αποτελέσματα.....	63
4.1	Σφάλμα ισοζυγίου ιόντων Charge Balance Error (CBE).....	63
4.2	Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων.....	64
4.3	Σχολιασμός αποτελεσμάτων.....	68
4.3.1	Φυσικοχημικές παράμετροι.....	71
4.3.2	Κύρια κατιόντα.....	72
4.3.3	Κύρια ανιόντα.....	76
4.4	Υδροχημικά διαγράμματα.....	81
4.4.1	Ανάλυση Συστάδων (Cluster Analysis).....	81
4.4.2	Θηκογράμματα (Boxplots).....	84
4.5	Μέθοδοι αξιολόγησης της ποιότητας του νερού.....	85
4.5.1	Διαγράμματα Stiff.....	86
4.5.2	Διαγράμματα Durov και Piper.....	86
4.5.3	Διαγράμματα Gibbs.....	88
4.5.4	Δυαδικά διαγράμματα Ca^{2+} vs SO_4^{2-} και Ca^{2+} vs HCO_3^-	89
4.6	Συζήτηση Mn και Mo.....	90
4.6.1	Συζήτηση Mn.....	91
4.6.2	Συζήτηση Mo.....	94
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ.....		99
5	Συμπεράσματα.....	99
5.1	Προτάσεις για μέτρα προστασίας των επιφανειακών νερών.....	100
5.1.1	Απορρίψεις αντλιοστασίων.....	100
5.1.2	Χώροι απόθεσης παραπροϊόντων και εξωτερικών αποθέσεων.....	101
5.2	Μελλοντικές έρευνες για την ποιότητα των επιφανειακών υδάτων στην περιοχή.....	101

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ	102
6 Βιβλιογραφία	102
7 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	109

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1: Υψομετρικός χάρτης της περιοχής μελέτης Δεκέμβριος του 2023, με τα ορυχεία, τα κοντινά χωριά και το υδρογραφικό δίκτυο, κατασκευασμένος μέσω GIS.	13
Εικόνα 1.2: Χάρτης κάλυψης γης και αποτύπωση των κύριων λιγνιτικών μονάδων της περιοχής κατασκευασμένος μέσω GIS.	14
Εικόνα 1.3: Εξέλιξη της λεκάνης της Μεγαλόπολης και της υδρολογικής λεκάνης του Αλφειού από το ανώτερο Πλειόκαινο μέχρι το Ανώτερο Πλειστόκαινο μαζί με τους σχηματισμούς κάθε σταδίου (Kranis et al., 2020).	17
Εικόνα 1.4: Ψηφιοποιημένος γεωλογικός χάρτης της λεκάνης της Μεγαλόπολης ψηφιοποιημένος και τροποποιημένος μέσω GIS από το φύλλο Μεγαλόπολης 1:50.000 του ΙΓΜΕ (Δεν αποτυπώνονται όλα τα ρήγματα, η πολύ μικρή εμφάνιση του πρώτου φλύσχη και του τεκτονικού σχηματισμού)	18
Εικόνα 1.5: Χάρτης της ενότητας της Πίνδου στην Πελοπόννησο με την κατανομή του Μη από τους (Gruszczuk et al., 1970).....	19
Εικόνα 1.6: Στρωματογραφική σχέση, κλίμα, λιθολογία και παλαιοπεριβάλλον απόθεσης των μεταλλικών σχηματισμών της λιγνιτικής λεκάνης της Μεγαλόπολης από τον (Vinken, 1965).....	21
Εικόνα 1.7: Ομβροθερμικό διάγραμμα περιόδου 1900-2023 (Λουλούδης κ.α,2024).	24
Εικόνα 1.8: Διάγραμμα μεταβολής της θερμοκρασίας στην περιοχή της Μεγαλόπολης για μια περίοδο 44 χρόνων από το meteoblue.....	24
Εικόνα 1.9: Διάγραμμα μεταβολής του ετήσιου μέσου νετού στην περιοχή της Μεγαλόπολης για μια περίοδο 44 χρόνων από το meteoblue.	25
Εικόνα 1.10: Λεκάνη απορροής ποταμού Αλφειού με βάση τον χάρτη από την (Ειδική γραμματεία υδάτων, 2017) και με κόκκινο τετράγωνο αποτυπώνεται η περιοχή μελέτης της Μεγαλόπολης κοντά στις πηγές του Αλφειού.	26
Εικόνα 1.11: Χάρτης κλάδων του υδρογραφικού δικτύου της Μεγαλόπολης κατασκευασμένος μέσω GIS με την βοήθεια του ψηφιακού μοντέλου ανάγλυφου (DEM), μαζί με τις ονομασίες των ποταμών της περιοχής.	27
Εικόνα 1.12: α) μέσος μηνιαίος συνολικός όγκος νερού του Αλφειού για την περίοδο 1962-1976. β) υδρογράφημα του ποταμού Αλφειού το 1980 (Tsiftsis E, 1987).	28
Εικόνα 1.13: Υδρολιθολογικός χάρτης 1:100.000 του φύλλου Μεγαλόπολης- Δημητσάνας από τον (Tsiftsis, 1987).	30
Εικόνα 1.14: Κύριες πηγές που εντοπίζονται στο βόρειο τμήμα της λεκάνης κοντά στο πεδίο Κυπαρισσίων με τις θέσεις δειγματοληψίας A7 και A8 στον Αλφειό ποταμό (Tsiftsis, 1987).....	33
Εικόνα 1.15: Διάγραμμα διακύμανσης της στάθμης του κύριου υδροφορέα 2003-2021 σε σχέση με την στάθμη της λίμνης Κυπαρισσίων, σε σχέση με τις βροχοπτώσεις και την άντληση ποσοτήτων νερού από τον κύριο καρστικό υδροφορέα από τους (Λουλούδης κ.α., 2023).	35
Εικόνα 1.16: Οι καρστικές υδροφορίες του πεδίου Κυπαρισσίων και η πιεζομετρία του 2021 από τους (Louloudis et al., 2023).	36
Εικόνα 2.1: Σχηματική εικόνα των πηγών ρύπανσης σε περιοχή εξόρυξη με το γράμμα P: κύριες πηγές ρύπανσης, S: δευτερεύον πηγές ρύπανσης, T: τριτογενής πηγές ρύπανσης. Εικόνα που επεξεργάστηκαν οι (Wolkersdorfer & Mugona, 2022).	39
Εικόνα 2.2: Λίμνη Κυπαρισσίων στο παλιό Ορυχείο Κυπαρισσίων	40
Εικόνα 2.3: Ορυχείο Θωκνίας σε τομή Δύση-Ανατολή (Λουλούδης κ.α., 2023).	41
Εικόνα 2.4: Ορυχείο Μαραθούσας μετά την δημιουργία της Λίμνη της.	42
Εικόνα 2.5: Ενεργό ορυχείο Χωρεμίου.....	43
Εικόνα 2.6: α) ο Αλφειός ποταμός δίπλα από το ορυχείο Χωρεμίου στην θέση απόρριψης των νερών των αντλιοστασίων στον Αλφειό. β) η εικόνα απεικονίζει το Αντλιοστάσιο P13 μέσα στο ορυχείο Χωρεμίου (Λουλούδης κ.α., 2023).	44
Εικόνα 2.7: α) Εκτοπισμένη κοίτη του Αλφειού ποταμού στην περιοχή του Τριποτάμου, δίπλα από τον χώρο εξόρυξης του Χωρεμίου. β) Εκτοπισμένη κοίτη του Αλφειού ποταμού κάτω από την γέφυρα του Τριποτάμου.	45
Εικόνα 2.8: Σταθμός Β Μονάδα IV όπου φαίνεται η μονάδα καυσαερίων (1), ο πύργος ψύξης (2), το λεβιτοστάσιο (3), ταινία μεταφοράς της υγρής τέφρας (4) και το συγκρότημα των σπαστήρων (5).	46

Εικόνα 2.9: Διεργασία αποθείωσης, τα αποθειωμένα καυσάερια εξέρχονται από το άνω μέρος του πύργου καταλήγοντας στην ατμόσφαιρα μέσω του Πύργου Ψύξης και ταυτόχρονα γίνεται η παραγωγή Γύψου ως παραπροϊόν της διαδικασίας.	47
Εικόνα 2.10: Βιολογικός καθαρισμός Μονάδας IV.	48
Εικόνα 2.11: Εικόνα χρήσης νερού της μονάδας IV και V.	49
Εικόνα 2.12: α) Σύστημα αποκομιδής αναμειγμένης υγρής, ιπτάμενης τέφρας και γύψου πριν οδηγηθούν με φορτηγά στην απόθεση. β) Υγρή τέφρα πυθμένα που έπειτα οδηγείται σε κλειστού τύπου ταινίες.	50
Εικόνα 3.1: Χάρτης με τα σημεία δειγματοληψίας επιφανειακού νερού μαζί με τις ονομασίες τους και τα ορυχεία, κατασκευασμένος μέσω GIS.	53
Εικόνα 3.2: α) Ο ποταμός Αλφειός στην Γέφυρα του Τριποτάμου σημείο A2. β) Ο ποταμός Ξερίλας σημείο XI.	53
Εικόνα 3.3: α) Το ρέμα Παλιόρεμμα στο σημείο P1. β) Ο Ελισσών ποταμός στην Γέφυρα της Μεγαλόπολης σημείο E1.	54
Εικόνα 3.4: α) Συμβολή των ρεμάτων Γάββρος και Σούλος στο σημείο T1 πριν συμβάλλει το ρέμα Ζάμπτακα. β) το ρέμα Σικαλιά στο σημείο SIK1.	54
Εικόνα 3.5: Μέτρηση φυσικοχημικών παραμέτρων υπαίθρου και διαδικασία δειγματοληψίας.	56
Εικόνα 3.6: Αρχή λειτουργίας του ICP-OES. https://www.technologynetworks.com/analysis/articles/icp-oes-icp-chemistry-icp-oes-analysis-strengths-and-limitations-342265 , https://infra.lut.fi/equipment/inductively-coupled-plasma-optical-emission-spectrometer-icp-oes/	58
Εικόνα 3.7: α) Προετοιμασία των δειγμάτων για ανάλυση στο ICP-OES και ICP-MS. β) Φωτογραφία με την προετοιμασία νέου πρότυπου διαλύματος Mn Ippm για τον έλεγχο ευαισθησίας του οργάνου στο ICP-OES.	59
Εικόνα 3.8: Ενδεικτικό χρωματογράφημα από την ανάλυση του δείγματος A4 που δείχνει τα peak με τους χρόνους έκλουσης και την ταυτοποίηση των ανιόντων τους, καθώς και την συγκέντρωσή τους (Amount).	60
Εικόνα 4.1: χάρτες κατανομής α) pH και β) EC	72
Εικόνα 4.2: Χάρτης κατανομής Ca^{2+}	73
Εικόνα 4.3: Χάρτης κατανομής Mg^{2+}	74
Εικόνα 4.4: Χάρτης κατανομής Na^{+}	75
Εικόνα 4.5: Χάρτης κατανομής K^{+}	76
Εικόνα 4.6: Χάρτης κατανομής HCO_3^{-}	77
Εικόνα 4.7: Χάρτης κατανομής SO_4^{2-}	78
Εικόνα 4.8: Χάρτης κατανομής Cl^{-}	79
Εικόνα 4.9: Χάρτης κατανομής NO_3^{-}	80
Εικόνα 4.10: Δενδρόγραμμα ανάλυσης σε δύο κύριες συστάδες και υποκατηγορίες συστάδων μαζί με τα δείγματα κάθε συστάδας.	82
Εικόνα 4.11: Απεικόνιση των δειγμάτων με βάση την ομαδοποίηση σε συστάδες.	83
Εικόνα 4.12: Θηκογράμματα των φυσικών και χημικών παραμέτρων όλων των δειγμάτων ανάλογα με την ομαδοποίηση σε συστάδες (C1, C2, C3).	84
Εικόνα 4.13: Συνολική αποτύπωση σε διάγραμμα πίτας των κύριων ιόντων των επιφανειακών νερών στην περιοχή μελέτης.	85
Εικόνα 4.14: Διαγράμματα Stiff για κάθε συστάδα.	86
Εικόνα 4.15: Piper διάγραμμα με τα δείγματα σε συστάδες.	87
Εικόνα 4.16: Duroν διάγραμμα με τα δείγματα σε συστάδες.	88
Εικόνα 4.17: Διαγράμματα Gibbs που αποτυπώνουν τον κύριο μηχανισμό διαμόρφωσης της χημικής σύστασης των ποταμών της περιοχής.	89
Εικόνα 4.18: α) Scatter plot Ca^{2+} vs SO_4^{2-} και β) Scatter plot Ca^{2+} vs HCO_3^{-} των δειγμάτων όπως είναι ομαδοποιημένα σε συστάδες.	90
Εικόνα 4.19: α) Χάρτης κατανομής Mn σε ppm στα εδάφη της περιοχής από τον (Sarris et al., 2009), β) Χάρτης κατανομής Mn σε mg/l στα νερά της περιοχής.	92
Εικόνα 4.20: Χάρτης κατανομής του Mo στα νερά της περιοχής.	98

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 4.1: Σφάλμα ισοζυγίου ιόντων για τα δείγματα νερού.	63
Πίνακας 4.2: Συνολικοί πίνακες (A-D) φυσικοχημικών παραμέτρων, αναλύσεων κατιόντων, ανιόντων και ιχνοστοιχείων στα επιφανειακά νερά της περιοχής.	64

Πίνακας 4.3: Νομοθετικά όρια για πόση σύμφωνα με τις οδηγίες ΦΕΚ 3525B_2023, WHO 2022 και με τα πρότυπα ποιότητας περιβάλλοντος (ΠΠΠ) των ΦΕΚ 69B_2016 & ΦΕΚ 1909B_2010 για τα επιφανειακά ύδατα. 69

Πίνακας 4.4: Περιγραφικά στατιστικά όλων των χημικών παραμέτρων..... 71

Πίνακας 4.5: Χημικές παράμετροι και αγωγιμότητα που χρησιμοποιήθηκαν για την ομαδοποίηση σε συστάδες... 81

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία δεν θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί χωρίς την πολύτιμη βοήθεια ενός συνόλου ανθρώπων, τους οποίους θα ήθελα να ευχαριστήσω προσωπικά. Αρχικά, τις θερμές μου ευχαριστίες στον Επιβλέποντα Αναπληρωτή Καθηγητή Δρ. Ευστράτιο Κελεπερτζή του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, του Τομέα Οικονομικής Γεωλογίας και Γεωχημείας, για την πλήρη υποστήριξη και καθοδήγησή του, χάρη στην οποία κατέστη δυνατή η πραγματοποίηση αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Επιθυμώ να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στην Διεύθυνση της ΔΕΗ Α.Ε και ιδιαίτερα στον Διευθυντή της Διεύθυνσης Μελετών Εκμετάλλευσης και Περάτωσης Ορυχείων, Δρ. Χ. Ρούμπο, για την σημαντική συμβολή και τις παρατηρήσεις του, αναφορικά με το περιεχόμενο της μελέτης, που υπήρξαν καθοριστικές για την ολοκλήρωσή της. Επιπλέον, εκφράζω την ευγνωμοσύνη μου στον Τομέα Υδρογεωλογικών Μελετών (ΤΥΜ) του κλάδου Μεταλλευτικών Μελετών της Διεύθυνσης Εκμετάλλευσης και Περάτωσης Ορυχείων της Δ.Ε.Η Α.Ε., και συγκεκριμένα στον Γ. Λουλούδη Μεταλλειολόγο Μηχανικό, Δρ. Υδρογεωλογίας και Διευθυντή Κλάδου Μεταλλευτικών Μελετών, καθώς και στα στελέχη του ΤΥΜ, Γ. Κασφίκη, Μηχανικό Μεταλλείων-Μεταλλουργό, MSc Χημικό Μηχανικό και Υποτομέαρχη του ΤΥΜ, και στην Ε. Μερτήρη, Μηχανικό Μεταλλείων Μεταλλουργό, MSc στην Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων. Τους ευχαριστώ ιδιαίτερος για την παροχή των απαραίτητων στοιχείων, την πολύτιμη βοήθεια τους και τις σημαντικές διορθώσεις τους στην εργασία. Επίσης εκφράζω τις θερμές μου ευχαριστίες στην Διεύθυνση Μελετών Εκμετάλλευσης και Περάτωσης Ορυχείων της Δ.Ε.Η, για την εμπιστοσύνη που έδειξε προς το πρόσωπό μου, καθώς και την σημαντική βοήθεια που παρείχε το εργοστάσιο της ΔΕΗ στην Μεγαλόπολη. Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα απευθύνω στην Σ. Αρβανίτη επικεφαλής του τομέα Μεταλλευτικού σχεδιασμού και απόδοσης, της Διεύθυνσης Λιγνιτικού κέντρου Μεγαλόπολης, για την πλήρη υποστήριξη και καθοδήγηση της, καθώς και στον Κ. Σγάντζο επικεφαλής του υποτομέα Περιβάλλοντος της Διεύθυνσης Λιγνιτικού κέντρου Μεγαλόπολης, μαζί με τους εργαζόμενους του τομέα, χάρη στους οποίους μπόρεσε να πραγματοποιηθεί η δειγματοληψία εντός του χώρου του εργοστασίου. Επιπλέον ευχαριστώ την Μ. Κόντου Τομεάρχη Περιβάλλοντος στη Μονάδα IV της Μεγαλόπολης για την παροχή στοιχείων της Μονάδας IV του Α.Η.Σ Β.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ απευθύνω στο σύνολο του προσωπικού από το εργαστήριο Χημείας Υλικών και Περιβάλλοντος του Κέντρου Καινοτομίας της ΔΕΗ (PPC Innovation Hub), και ειδικότερα στον Διευθυντή του τμήματος Βαγγέλη Οικονομόπουλο, καθώς και στην Ε. Σιγάλα για την

πραγματοποίηση των αναλύσεως των υδάτων. Επίσης, τα θερμά μου ευχαριστώ στην Ζ. Κυπριτίδου Εργαστηριακό Διδακτικό Προσωπικό (Ε.ΔΙ.Π.) του τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, για την πολύτιμη βοήθειά της κατά τις αναλύσεις των υδάτων στο εργαστήριο Οικονομικής Γεωλογίας και Γεωχημείας του τμήματος, καθώς και στον Γ. Κρητικό προπτυχιακό φοιτητή του τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, για την βοήθειά του στην δειγματοληψία και στις αναλύσεις των υδάτων. Τέλος, ευχαριστώ ολόψυχα την οικογένειά μου, για την υποστήριξή τους σε όλη την διάρκεια των σπουδών μου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

1 Εισαγωγή-Περιοχή Μελέτης

1.1 Αντικείμενο και στόχοι έρευνας

Η ποιότητα των επιφανειακών νερών έχει μελετηθεί εκτενώς σε πολλές περιοχές του κόσμου και αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα θέματα περιβαλλοντικής, υδρολογικής και υδρογεωχημικής μελέτης. Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία πραγματεύεται ένα σημαντικό διεθνές επιστημονικό θέμα, αυτό της ποιότητας των επιφανειακών νερών κοντά σε βιομηχανίες εξόρυξης και παραγωγής λιγνίτη. Αρκετές εργασίες έχουν γίνει σε περιοχές εξόρυξης ανθράκων που δείχνουν την σχετική επιβάρυνση των επιφανειακών και υπόγειων νερών (Erarslan et al., 2014; Richter, 2013; Staniszewski et al., 2014; Turhan et al., 2023; Wolkersdorfer & Mugova, 2022).

Η ποιότητα του νερού σχετίζεται άμεσα με την γεωλογία της περιοχής μελέτης. Το ελαφρά όξινο νερό της βροχής, διαλύει τα ορυκτά και απελευθερώνει χημικά στοιχεία στο νερό. Η λεκάνη της Μεγαλόπολης παρουσιάζει διαφορετικούς γεωλογικούς σχηματισμούς που καθορίζουν την χημική σύσταση των ποταμών. Εκτός αυτού, η περιοχή παρουσιάζει έντονο περιβαλλοντικό ενδιαφέρον, λόγω των ανθρωπογενών επιδράσεων (εξόρυξη λιγνίτη) στο τοπίο και στο υδρογραφικό δίκτυο, γεγονός που συνδέεται άμεσα με την ποιότητα του Αλφειού ποταμού (Vasileiou et al., 2008). Επιπλέον, ενδιαφέρον αποτελεί η ύπαρξη του βιολογικού καθαρισμού της πόλης της Μεγαλόπολης, καθώς και καλλιέργειες και βοσκότοποι που υπάρχουν διάσπαρτοι στην ευρύτερη λεκάνη (Ειδική γραμματεία υδάτων, 2013).

Η ποιότητα των νερών της περιοχής ελέγχεται διεξοδικά εδώ και αρκετά χρόνια μέσω των Ετήσιων Εκθέσεων Περιβάλλοντος από την Διεύθυνση Μελετών και Περάτωσης Ορυχείων της ΔΕΗ και συγκεκριμένα από τον Τομέα Υδρογεωλογικών Μελετών για την ετήσια αποστράγγιση των Ορυχείων της Μεγαλόπολης, σύμφωνα με την ΚΥΑ 8684/27.04.2018 «Τροποποίηση – ανανέωση της 100532/200/23.01.2004ΚΥΑ όπως έχει τροποποιηθεί με την υπ’ αριθμού 185820/1982/28.05.2008 ΚΥΑ» Απόφαση Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων των ορυχείων Μεγαλόπολης άρθρο δ.5 (Πρόγραμμα παρακολούθησης περιβαλλοντικών παραμέτρων και εκθέσεις, θα πρέπει να εφαρμόζει πρόγραμμα περιβαλλοντικής παρακολούθησης, προκειμένου να παρακολουθούνται και να καταγράφονται περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος παράμετροι που σχετίζονται με το Υδατικό περιβάλλον – υγρά απόβλητα. για την περιβαλλοντική παρακολούθηση των υδάτων) (Λουλούδης κ.α., 2023), αλλά και ετήσιες εκθέσεις Ποιότητας Περιβάλλοντος από τον Τομέα Περιβάλλοντος των Ορυχείων της Μεγαλόπολης (Σγάντζος κ.α., 2021). Οι εκθέσεις αυτές, παραδίδονται και αξιολογούνται από το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας. Εναρμονίζονται πλήρως με τους περιβαλλοντικούς νόμους από το κράτος και την Ευρωπαϊκή Ένωση. Παρόλα αυτά, απουσιάζει μια ολοκληρωμένη μελέτη του ευρύτερου υδρογραφικού δικτύου με περισσότερα δείγματα στην περιοχή, προκειμένου να εξεταστεί

λεπτομερώς η ποιοτική κατάσταση των επιφανειακών υδάτων και να συμβάλλει στην καλύτερη διαχείριση τους με γνώμονα τα όρια ποιότητας και τους περιβαλλοντικούς όρους.

Στο πλαίσιο της απολιγνιτοποίησης και σύμφωνα τόσο με το εθνικό σχέδιο για την ενέργεια και το κλίμα, όσο και το σχέδιο δίκαιης και αναπτυξιακής μετάβασης των λιγνιτικών περιοχών (ΣΔΑΜ, 2020; Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2023), προβλέπεται η αλλαγή των χρήσεων γης της περιοχής με την αποκατάσταση των ορυχείων και των εδαφών (Marinakis et al., 2020; TJTP Megalopolis, 2021). Δεδομένων αυτών, κρίνεται αναγκαία αφενός μια ολοκληρωμένη υδρογεωχημική μελέτη του ευρύτερου υδρογραφικού δικτύου της περιοχής και αφετέρου ο εντοπισμός πιθανών πηγών ρύπανσης. Εντός αυτών των πλαισίων, τα στοιχεία της μελέτης, μπορούν να αξιοποιηθούν από την Διεύθυνση Μελετών Εκμετάλλευσης και Περάτωσης Ορυχείων της ΔΕΗ, συνδράμοντας σε βέλτιστες πρακτικές όσον αφορά την αλλαγής των χρήσεων γης, τα μέτρα διαχείρισης του περιβάλλοντος και την υδρολογική-υδρογεωλογική ισορροπία της περιοχής. Παράλληλα, η απόσυρση και των τελευταίων μονάδων καύσης λιγνίτη, αποτελεί ευκαιρία για τον προσδιορισμό της ποιότητας των επιφανειακών νερών, την στιγμή που οι μονάδες αυτές υπολειτουργούν. Αυτό θα δώσει σημαντικά οφέλη για την παρακολούθηση της ποιότητας των νερών σε σχέση με την πάροδο του χρόνου και το τελικό κλείσιμο των μονάδων. Στόχος αποτελεί, η προώθηση μιας βιώσιμης προσέγγισης για την ποιότητα, χρήση και διαχείριση των υδατικών πόρων, όπως προβλέπεται άλλωστε από τους 17 στόχους για την βιώσιμη ανάπτυξη σύμφωνα με τον ΟΗΕ, προκειμένου να επιτευχθεί η συνύπαρξη της ενέργειας και του περιβάλλοντος.

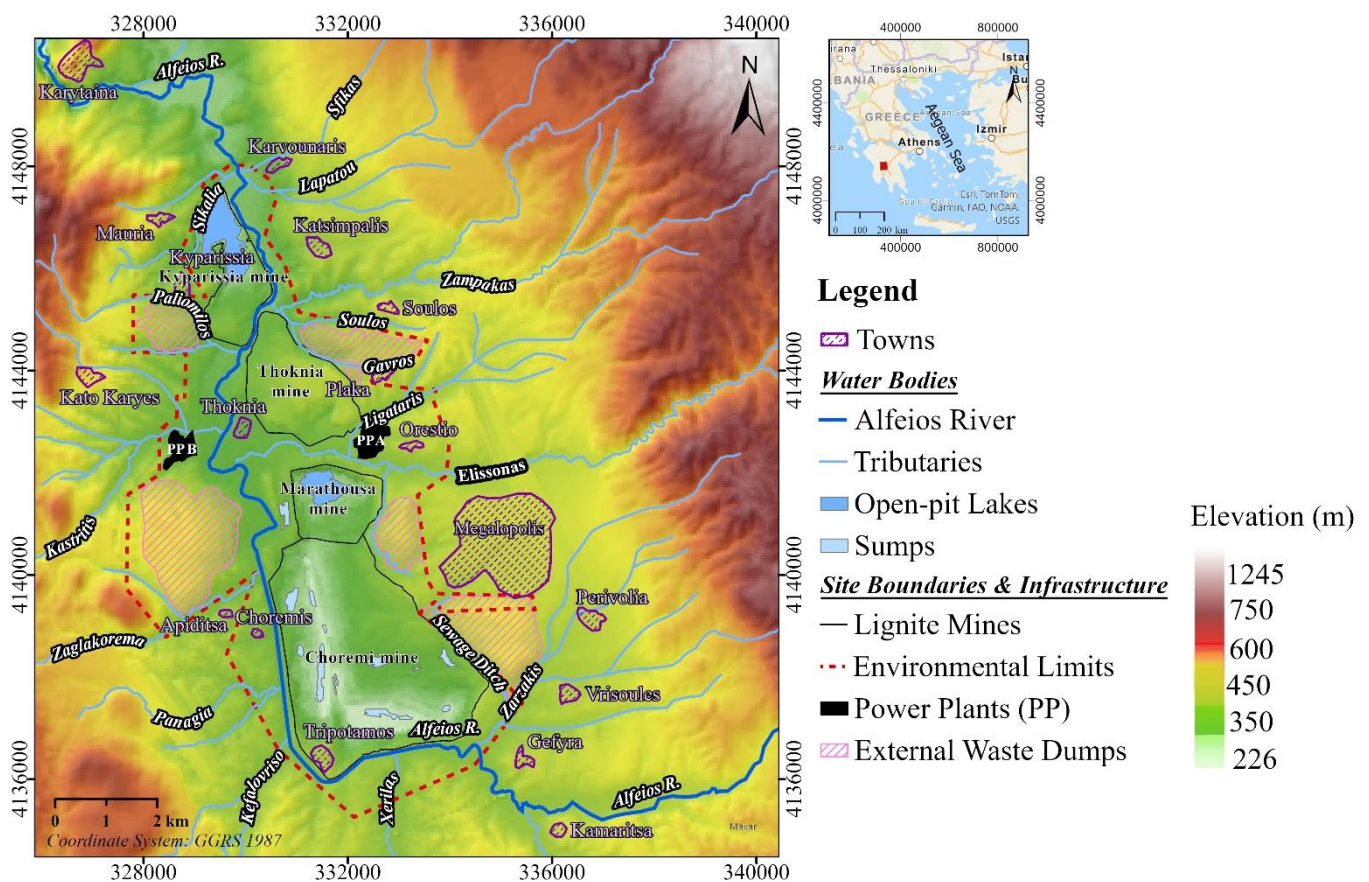
Κρίνεται σημαντική, η λεπτομερής αποτύπωση της ποιοτικής κατάστασης σε ένα μέρος της τεράστιας λεκάνης απορροής της Δυτικής Πελοποννήσου (Γενική διεύθυνση υδάτων, 2023; Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2013; Ειδική γραμματεία υδάτων, 2017), Η διπλωματική αυτή προσφέρει χρήσιμες πληροφορίες για την χημική κατάσταση των επιφανειακών υδάτων της περιοχής της Μεγαλόπολης, ξεκινώντας από την λεκάνη απορροής του Αλφειού κοντά στις πηγές του, έως ότου εξαχθεί από την λιγνιτική λεκάνη της Μεγαλόπολης. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η ορθή και έγκυρη εκτίμηση της ποιοτικής κατάστασης, καθώς και των ανθρωπογενών πιέσεων στην υπό μελέτη περιοχή.

1.2 Γενικές πληροφορίες για την περιοχή έρευνας

Η περιοχή της Μεγαλόπολης εντοπίζεται στην κεντρική Πελοπόννησο 23,6 χιλιόμετρα Νοτιοδυτικά από την πρωτεύουσα του νομού Αρκαδίας, την Τρίπολη. Ο δήμος Μεγαλόπολης με έκταση 727,33 km² αποτελείται από 8.784 κάτοικους (Απογραφή 2021). Περιλαμβάνει 31 δημοτικά διαμερίσματα αποτελούμενος από πολλά χωριά και με μεγαλύτερη κωμόπολη την Μεγαλόπολη. Η πόλη βρίσκεται ακριβώς δίπλα από τον δεύτερο μεγαλύτερο ατμοηλεκτρικό σταθμό καύσης λιγνίτη στην Ελλάδα (Τεχνική περιγραφή, 2019). Στην περιοχή από το 1970 έχουν εγκατασταθεί 4 Ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες καύσης λιγνίτη με συνολική παραγωγή 850 MW, ενώ από το 2010 έχει

εγκατασταθεί μονάδα φυσικού αερίου 811 MW. Η Μεγαλόπολη αποτελεί την δεύτερη μεγαλύτερη περιοχή στην Ελλάδα με καύση ορυκτού άνθρακα χαμηλής θερμαντικής αξίας σε έκταση 45.000 στρεμμάτων. Ο σταθμός Α (SPS Α) αποτελείται από τις μονάδες Ι, ΙΙ και ΙΙΙ, ενώ ο σταθμός (SPS Β) από την μονάδα ΙV με καύση λιγνίτη και V καύσης φυσικού αερίου. Η εξόρυξη, η παραγωγή, η μεταφορά και η διανομή της ενέργειας αποτελεί δικαιοδοσία της Δημόσιας Υπηρεσίας Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ). Σήμερα, οι περισσότερες μονάδες έχουν αποσυρθεί και λειτουργεί μόνο η μονάδα V, ενώ η μονάδα ΙV βρίσκεται αυτή την στιγμή σε εφεδρεία. Η ΔΕΗ εξακολουθεί να αποτελεί την κύρια οικονομική δραστηριότητα της περιοχής και έχει συμβάλει σημαντικά στην ανάπτυξη και στις θέσεις εργασίας στην περιοχή.

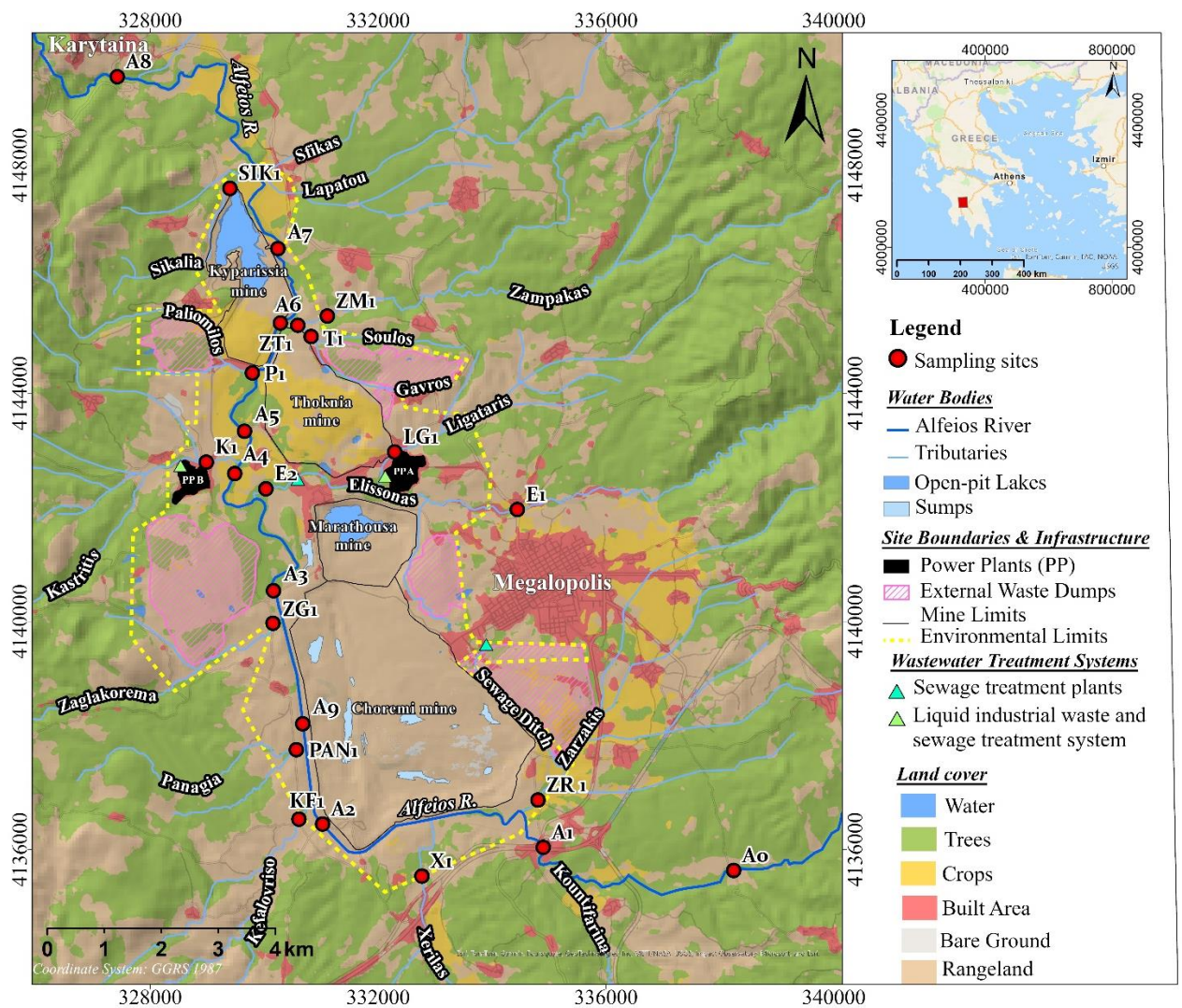
Όσον αφορά την μορφολογία της περιοχής, το μέσο υψόμετρο της λεκάνης είναι τα 400 μ. Οριοθετείται Βόρεια και Βορειοανατολικά από το όρος Μαίναλο, προς Νότο από το όρος Ταύγετο, Δυτικά από το όρος Λύκαιο και Τενάδιο και προς Ανατολικά υπάρχουν μορφολογικές επεκτάσεις του Πάρνωνα (Δημητρακοπούλου, 2010). Τα μεγαλύτερα υψόμετρα ωστόσο εμφανίζονται Βόρεια-Βορειοανατολικά έως και Ανατολικά του χάρτη που φτάνουν μέχρι τα 1.500 μ (βλ. *Εικόνας 1.1*). Αντίθετα, τα χαμηλότερα υψόμετρα εντοπίζονται στο στένωμα του Αλφειού πριν φτάσει στην Καρύταινα, Βορειοανατολικά του χάρτη και στην περιοχή των ορυχείων. Στο κέντρο της λεκάνης έχουμε τα ορυχεία και τα εργοστάσια της ΔΕΗ με υψόμετρο 226 - 350 μ.



Εικόνα 1.1: Υψομετρικός χάρτης της περιοχής μελέτης Δεκέμβριος του 2023, με τα ορυχεία, τα κοντινά χωριά και το υδρογραφικό δίκτυο, κατασκευασμένος μέσω GIS.

1.3 Χρήσεις Γης

Η λεκάνη της Μεγαλόπολης μελετήθηκε ως προς την κάλυψη γης από δεδομένα του δορυφόρου Sentinel-2 Land cover explorer. Αποτελείται κατά κύριο λόγο από δασικές εκτάσεις που καλύπτουν το 48% της υπό μελέτη περιοχής. Την δεύτερη μεγαλύτερη έκταση, κατέχει το γυμνό έδαφος με μικρούς θάμνους που αποτελεί το 43% της περιοχής και έχει να κάνει κατά κύριο λόγο με την μακροχρόνια λιγνιτική δραστηριότητα και την ύπαρξη βοσκοτόπων. Συγχρόνως, διακρίνεται η ύπαρξη ενός 4% γεωργικών εκτάσεων και 4% των οικισμών. Τα νερά της περιοχής υφίστανται λόγω της λίμνης των Κυπαρισσίων και της Μαραθούσας, καθώς και του ευρύτερου υδρογραφικού δικτύου. Ο χάρτης κάλυψη γης της λεκάνης σε συνδυασμό με τα όρια των ορυχείων δημιουργήθηκαν μέσω GIS (Geographic Information System) (βλ. Εικόνα 1.2).



Εικόνα 1.2: Χάρτης κάλυψης γης και αποτύπωση των κύριων λιγνιτικών μονάδων της περιοχής κατασκευασμένος μέσω GIS.

Οι κάτοικοι της περιοχής της Μεγαλόπολης κατά το παρελθόν και μέχρι το 1970, όπου ξεκίνησε η λιγνιτική δραστηριότητα δραστηριοποιούνταν κυρίως με την γεωργία και την κτηνοτροφία. Ωστόσο,

με το άνοιγμα των λιγνιτικών μονάδων σε συνδυασμό με την δημιουργία νέων θέσεων εργασίας στην περιοχή, σταδιακά άρχισε να αλλάζει το καθεστώς αυτό της ενασχόλησης (Σπαθή κ.α., 2009).

Καλλιέργειες

Οι Καλλιέργειες γενικότερα, απουσιάζουν από την περιοχή. Οι κύριες καλλιέργειες εντοπίζονται νότια της Μεγαλόπολης και βόρεια της Λίμνης των Κυπαρισσίων (**βλ. Εικόνα 1.2**). Από το σύνολο της γεωργικής γης, το 23 % βρίσκεται σε αγρανάπαυση, το 77% καλλιεργείται με την ακόλουθη αντιστοιχία (60% αροτραίες, 15% δενδρώδεις, 1,5% κηπευτικά και 0,5% άμπελοι), ενώ μόνο το 15% αρδεύεται. Τα στοιχεία αυτά είναι ενδεικτικά των δεδομένων του (Σπαθή κ.α, 2009) και πιθανόν δεν αντιπροσωπεύουν την σημερινή κατάσταση με τις αλλαγές στις χρήσεις γης και την σταδιακή απόσυρση των μονάδων καύσης λιγνίτη. Γενικότερα όμως, οι γεωργικές εκτάσεις είναι μικρής έκτασης και διάσπαρτες στην λεκάνη, ενώ εντός του χώρου της ΔΕΗ κοντά στο χωριό Θωκνία φαίνεται να καλλιεργείται τριφύλλι κυρίως για τροφή ζώων.

Κτηνοτροφία

Η κτηνοτροφία, αποτελεί ένα σημαντικό ποσοστό της συνολικής έκτασης της λεκάνης (45% της συνολικής έκτασης του δήμου είναι βοσκότοποι). Στην ευρύτερη περιοχή, εκτρέφονται Αίγες και πρόβατα, ενώ υπάρχουν και μονάδες οργανωμένης χοιροτροφίας και πτηνοτροφίας στο Κατσιμπαλι, στην Μεγαλόπολη και στα γύρω χωριά (**βλ. Εικόνα 1.1**).

Βιομηχανία – Μεταποίηση

Ο πρωτογενής και δευτερογενής τομέας στην περιοχή κυριαρχείται από την παρουσία των λιγνιτωρυχείων και των λιγνιτικών μονάδων (ΑΗΣ). Παρόλα αυτά, στην Μεγαλόπολη υφίστανται μονάδες ελαιοτριβείων, καθώς και κάποιες μικρές βιοτεχνίες, εργαστήρια ξυλείας και κουφωμάτων. Επιπλέον, τσιμεντοβιομηχανίες εντοπίζονται ακριβώς δίπλα από την εθνική οδό Καλαμάτα-Αθήνα στα διόδια μετά την Μεγαλόπολη, δίπλα από τον ποταμό Ξερίλα. Ομοίως, στην περιοχή Βρυσούλας εντός της υδρολογικής λεκάνης του ρέματος Ζαρζάκη. Ενώ, εντοπίζονται και κάποιες μικρές βιομηχανίες ζωοτροφών κοντά σε μικρούς οικισμούς, κυρίως νότια της Μεγαλόπολης (υδρολογική λεκάνη ρέματος Ζαρζάκη).

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι στην περιοχή εντοπίζεται η (ΕΕΛ Μεγαλόπολης), 2^ο βάθμια Μονάδα Επεξεργασίας Λυμάτων με απονιτροποίηση και αποσφόρωση (Ειδική γραμματεία υδάτων, 2013). Τα λύματα έπειτα από επεξεργασία καταλήγουν μέσω οριοθετημένης τάφρου στον ποταμό Ζαρζάκη, όπου στην συνέχεια αυτός συμβάλλει με τον Αλφειό (**βλ. Εικόνα 1.2**). Ακόμη, ανατολικά του χάρτη (**βλ. Εικόνα 1.1**) στο σημείο με το μεγαλύτερο υψόμετρο από όπου διέρχεται ο Αλφειός ποταμός - δίπλα από το χωριό Παλαιοχούνη - λειτουργεί ο σταθμός ΧΥΤΥ Μαυροχούνη (Χώρος Υγειονομικής

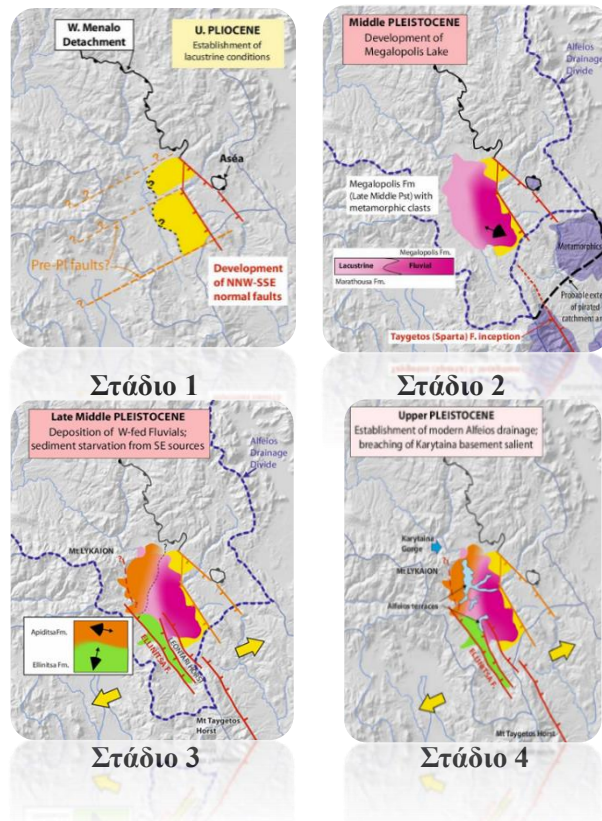
Ταφής Υπολειμμάτων). Η λειτουργία των μονάδων και οι χώροι εντός των μονάδων θα αναλυθούν στο κεφάλαιο 2.

1.4 Τεκτονική περιοχή μελέτης και στάδια δημιουργίας της Λεκάνης

Η περιοχή της Μεγαλόπολης, αποτελεί μια ενδο-ορεινή λεκάνη και συγκεκριμένα ένα ημι-τεκτονικό βύθισμα που εντοπίζεται στην ενεργά τεκτονική ζώνη του Ελληνικού τόξου. Γεωτεκτονικά απαντάται στις εξωτερικές Ελληνίδες. Η λεκάνη οριοθετείται από μεγάλα ρήγματα που έδρασαν ανατολικά και δυτικά της, με κάποια να είναι ενεργά ακόμα και σήμερα και άλλα όχι. Σύμφωνα με τους Kranis et al., (2020), η λεκάνη αναπτύχθηκε σε τέσσερα διαδοχικά στάδια από το Ανώτερο Πλειόκαινο έως το Ανώτερο Πλειστόκαινο (**βλ. Εικόνα 1.3**).

Αρχικά, στο **1^ο στάδιο** κατά το Ανώτερο Πλειόκαινο ξεκινά η άνοδος της μεταμορφωμένης ενότητας της Άρνας με κανονικά ρήγματα διεύθυνσης ΒΒΔ-ΝΝΑ στα δυτικά περιθώρια του Μαινάλου όρους. Με αποτέλεσμα να ενεργοποιηθούν και προηγούμενα προ-πλειοκαινικά ρήγματα διεύθυνσης ΑΒΑ-ΔΝΔ. Κατά το **2^ο στάδιο** η λεκάνη επεκτάθηκε προς τα ΑΒΑ-ΔΝΔ, λόγω μεγάλων ρηγμάτων στον Ανατολικό Ταΰγετο. Τότε, οι πρώιμες λιμναίες αποθέσεις που είχαν ήδη δημιουργηθεί από λίμνες προ-πλειόκαινου, αντικαταστάθηκαν με αλλουβιακές αποθέσεις με μεταμορφωμένους κλάστες (σχηματισμός Μεγαλόπολης). Οι συγκεκριμένες αποθέσεις στο κέντρο της λεκάνης ήταν πιο λιμναίες, λόγω της δημιουργίας της Πλειστοκαινικής λίμνης της Μεγαλόπολης. Η τροφοδοσία των μεταμορφωμένων κλαστών ήταν από τα Ανατολικά-Νοτιοανατολικά. Σήμερα, τα ποτάμια ιζήματα του Αλφειού δεν έχουν μεταμορφωμένους κλάστες, οπότε φαίνεται ότι η υδρολογική λεκάνη του ποταμού εκτεινόταν πιο Νοτιοανατολικά από την σημερινή.

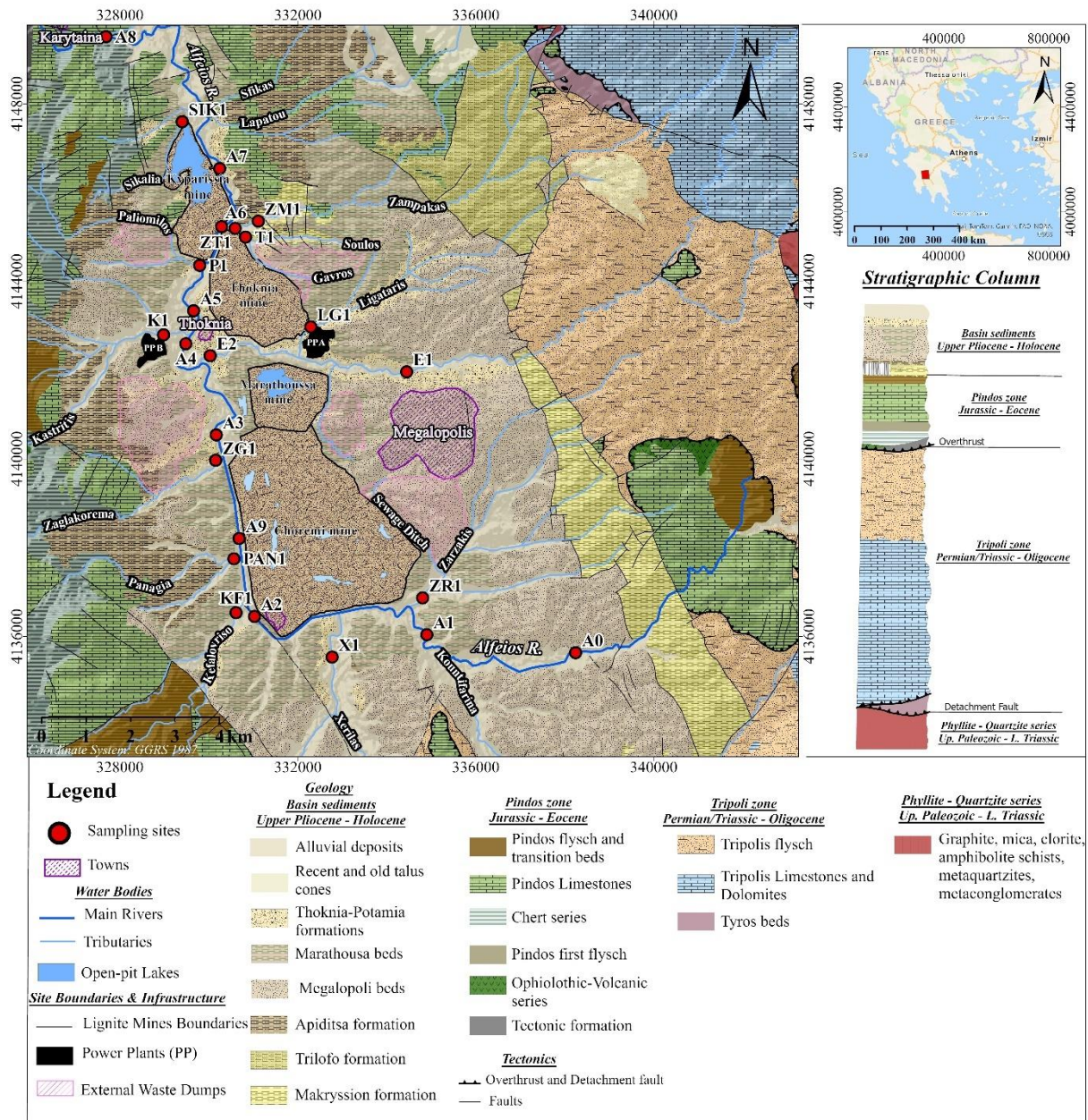
Στο μέσο-ανώτερο Πλειστόκαινο **3^ο στάδιο**, υπήρξε ταυτόχρονη απόθεση αλλουβιακών ριπιδίων από Νότια-Νοτιοανατολικά (σχηματισμός Ελληνίτσα) και από τα Δυτικά (σχηματισμός Απιδίτσα). Από την Ανατολική μεριά, η μεταφορά ιζημάτων προς τον σχηματισμό της Μεγαλόπολης μειώθηκε. Στο ανώτερο Πλειστόκαινο **4^ο στάδιο**, καθιερώθηκε η σημερινή λεκάνη απορροής του ποταμού Αλφειού. Στην λεκάνη υπήρξαν σταδιακές αλλαγές στον τύπο της ιζηματογένεσης που οφείλονται σε πλημμύρες, τεκτονική και στις κλιματικές συνθήκες που καθιέρωσαν τα ανώτερα ιζήματα της λεκάνης. Οι τεκτονικές κινήσεις στα ΝΝΔ στην περιοχή της Καρύταινας οριοθέτησαν το σημερινό βασικό επίπεδο και την σημερινή μορφή του Αλφειού με τις πρόσφατες αποθέσεις του.



Εικόνα 1.3: Εξέλιξη της λεκάνης της Μεγαλόπολης και της υδρολογικής λεκάνης του Αλφειού από το ανώτερο Πλειόκαινο μέχρι το Ανώτερο Πλειστόκαινο μαζί με τους σχηματισμούς κάθε σταδίου (Kranis et al., 2020).

1.5 Γεωλογία περιοχή μελέτης

Η γεωλογία της λεκάνης της Μεγαλόπολης είχε μελετηθεί αρχικά από τους Lüttig and Marinou (1962) και τον Vincken (1965), με την λεπτομερή χαρτογράφηση της λιθολογίας, της στρωματογραφίας και των κλαστικών ιζημάτων της λεκάνης. Η πλέον πρόσφατη μελέτη της ευρύτερης γεωλογίας της περιοχής αντλείται από το διδακτορικό του Τσιφτισή (Tsiftsis, 1987). Σύμφωνα με την μελέτη αυτή και τον γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ φύλλο Μεγαλόπολης που εκδόθηκε από τον Παπαδοπούλου, (1997), στην περιοχή απαντώνται οι ενότητες τω Φυλλιτών-Χαλαζιτών (Άρνας), της Τρίπολης, της Πίνδου και τα μεταλικά ιζήματα της λεκάνης (βλ. **Εικόνα 1.4**).



Εικόνα 1.4: Ψηφιοποιημένος γεωλογικός χάρτης της λεκάνης της Μεγαλόπολης ψηφιοποιημένος και τροποποιημένος μέσω GIS από το φύλλο Μεγαλόπολης 1:50.000 του ΙΓΜΕ (Δεν αποτυπώνονται όλα τα ρήγματα, η πολύ μικρή εμφάνιση του πρώτου φλύσχη και του τεκτονικού σχηματισμού)

1.5.1 Ενότητα Πίνδου

Η ενότητα της Πίνδου (βλ. **Εικόνα 1.4**), καταλαμβάνει την μεγαλύτερη έκταση στις οροσειρές της λεκάνης. Συγκεκριμένα, εντοπίζεται σε όλη την δυτική, βόρεια και νοτιοανατολική μεριά της λεκάνης και αποτελεί την ανώτερη ενότητα της Πελοποννήσου. Η Πίνδος, αποτελεί ένα τεράστιο τεκτονικό κάλυμμα που ταξίδεψε χιλιόμετρα από τον Βορρά για να καταλήξει επωθημένο πάνω στις ενότητες της Πελοποννήσου (Παπανικολάου, 2020). Γενικότερα, η ενότητα της Πίνδου αποτελεί μια πελαγική ενότητα με βαθιά ιζηματογένεση από το Τριαδικό έως το Ανώτερο Κρητιδικό-Παλαιόκαινο. Η

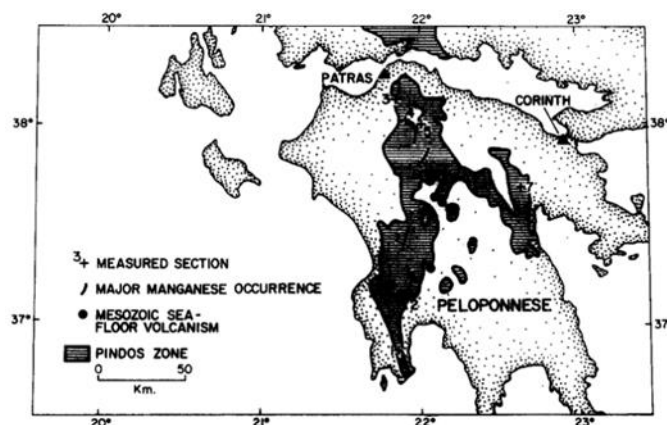
στρωματογραφική της κολώνα, αποτελείται από πολλά είδη πετρωμάτων, κυρίως ασβεστόλιθοι, ραδιολαρίτες και κλαστικά ιζήματα (φλύσχη).

Η βάση της κολώνας της Πίνδου ξεκινά με τον Τριαδικό φλύσχη που απουσιάζει από την περιοχή. Συνεχίζει με την σειρά των ραδιολαριτών, που εμφανίζεται σε αρκετά μεγάλη έκταση στα δυτικά της Λεκάνης μαζί με τμήματα του πρώτου φλύσχη (πολύ μικρή έκταση δεν φαίνεται στον χάρτη). Επίσης, στην περιοχή εμφανίζονται διάσπαρτα τμήματα οφιολιθικών σχηματισμών (μικρής έκτασης), καθώς και ένας τεκτονικός σχηματισμός μικρού πάχους στην βάση του πινδικού καλύμματος, γεγονός που οφείλεται στην κίνηση του (δεν εμφανίζεται στον χάρτη). Τέλος κυριαρχούν οι ασβεστόλιθοι του Ανωτέρου Κρητιδικού διάσπαρτοι σε όλη την λεκάνη (Tsiftsis, 1987).

Στον γεωλογικό χάρτη δεν εμφανίζεται ο πρώτος φλύσχη και ο τεκτονικός σχηματισμός. Η εμφάνισή τους, είχε πολύ μικρή έκταση ώστε να επηρεάσουν την ποιότητα του νερού. Αντίθετα όπως θα διαπιστωθεί, η ιδιαιτερότητα κάποιων σχηματισμών επιδρά καθοριστικά στην σύσταση των ρεμάτων και των ποταμών της περιοχής. Δεδομένου αυτού θα εξεταστούν παρακάτω οι ραδιολαρίτες, ο φλύσχη και οι ασβεστόλιθοι πιο λεπτομερώς.

Ραδιολαρίτες Πίνδου

Η σειρά των ραδιολαριτών της Πίνδου έχει ηλικία Ιουρασική-Κάτω Κρητιδική, αποτελείται από ραδιολαρίτες, ασβεστόλιθους και κλαστικά ιζήματα. Το κατώτερο μέρος τους αποτελείται από ραδιολαρίτες σε εναλλαγές με λεπτόκοκκους ψαμμίτες που προς τα πάνω μεταβαίνουν σε αδρόκοκκους ψαμμίτες με παρεμβολές ραδιολαριτών, ερυθρών μαργών και ασβεστολίθων. Οι ραδιολαρίτες της Πίνδου έχουν ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό. Συχνά περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις Μαγγανιούχων ορυκτών (βλ. *Εικόνα 1.5*) και τοπικά μικρά δευτερογενή κοιτάσματα Mn (Pe-Piper & Piper, 1989; Photiades & Perseil, 2002; Tsiftsis, 1987; Gruszczyk et al., 1970). Επιπλέον ορυκτά πλούσια σε Mn εμφανίζονται κυρίως, στους πηλίτες Καστελιού (κατώτερο μέρος) αλλά και ανώτερο τμήμα της σειράς στο Κρητιδικό (πρώτος φλύσχη).



Εικόνα 1.5: Χάρτης της ενότητας της Πίνδου στην Πελοπόννησο με την κατανομή του Mn από τους (Gruszczyk et al., 1970).

Ασβεστόλιθοι Ανωτέρου Κρητιδικού (Τουρόνιο- Μαιστρίχτιο)

Το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης, καλύπτεται από τους άνω Κρητιδικούς ασβεστόλιθους. Στο Νοτιοανατολικό άκρο του χάρτη παρατηρείται η επώθηση του Πινδικού καλύμματος πάνω στον φλύσχη της Τρίπολης ή απευθείας πάνω στους ασβεστόλιθους της. Βόρεια της λεκάνης οι ασβεστόλιθοι έχουν την μεγαλύτερη έκταση, ενώ δυτικά και βορειοδυτικά εμφανίζονται με πολλές επιπεύσεις και πτυχώσεις. Μεταξύ του πρώτου φλύσχη και των ασβεστόλιθων, μπορεί να υπάρχουν μεταβατικά στρώματα ή η μετάβαση να γίνεται τεκτονικά. Οι ασβεστόλιθοι είναι πολλών χρωμάτων (ροζ, γρι, λευκοί) και μπορεί να εμφανίζουν και φλέβες ασβεστίτη. Επιπλέον, εντοπίζονται στα ανώτερα μέρη τους λεπτές στρώσει ή ροζ φακοί ή ορίζοντες breccia, ενώ στα κατώτερα μέρη του μαύροι ραδιολαρίτες (Tsiftsis, 1987).

Φλύσχη Πίνδου (Άνω Μαιστρίχτιο/Παλαιογενές-Ηώκαινο)

Ο τυπικός φλύσχη δεν εμφανίζεται σε μεγάλη έκταση. Αντιθέτως, εμφανίζεται δυτικά-βορειοδυτικά σε λεπτές ζώνες λόγω των εφφιπέσεων της ενότητας και αποτελείται από ασβεστόλιθους, μάργες και άμμους (Tsiftsis, 1987).

1.5.2 Ενότητα Τρίπολης

Η ενότητα της Τρίπολης, εντοπίζεται στα βορειοανατολικά και ανατολικά της λεκάνης. Στα βόρειο-βορειοανατολικά της λεκάνης, εντοπίζεται μικρή έκταση της Περμιο-Τριαδική ηφαίστειο-ιζηματογενής ακολουθίας (Στρώματα Τυρού), που αποτελεί την βάση της κολώνας της Τρίπολης. Περιέχει διάφορα πετρώματα (δολομίτες, ασβεστόλιθους, Μοσχοβίτικους δολομίτες, ασβεστολιθικοί φυλλίτες και χαλαζίας-σερικήτης-φυλλίτες) (Tsiftsis, 1987). Επίσης, υπάρχουν οι ασβεστόλιθοι διαφορετικών ηλικιών που εντοπίζονται κυρίως, στην ανατολική και μακριά στην βορειοανατολική μεριά. Αποτελούνται από δολομίτες, δολομιτικούς ασβεστόλιθους και ασβεστόλιθους. Τέλος, εντοπίζεται σε μεγάλη έκταση ανατολικά της λεκάνης ο φλύσχη της ενότητας (Άνω Ηώκαινο - Ολιγόκαινο/Μειόκαινο) που αποτελείται από ψαμμίτες, αργίλους και πηλόλιθους.

1.5.3 Ενότητα Άρνας

Η ενότητα των φυλλιτών- χαλαζιτών ή αλλιώς Άρνα, βρίσκεται κάτω από την ενότητα της Τρίπολης και είναι η βαθύτερη ενότητα που εντοπίζεται στην περιοχή. Από την άλλη, η μικρή έκταση της, εντοπίζεται στα ανατολικά της λιγνιτοφόρου λεκάνης της Μεγαλόπολης και δομείται από φυλλίτες, μαρμαρυγικούς σχιστόλιθους και χαλαζίτες. Δεν επηρεάζουν άμεσα την ποιότητα του επιφανειακού νερού, λόγω της μακρινής τους θέσης προς την λεκάνη, της μικρής τους έκτασης αλλά και το πάχος τους περίπου 700 μ. Αντίθετα, διαδραματίζουν ιδιαίτερο ρόλο στην υδρογεωλογία της περιοχής κυρίως όσον αφορά την κίνηση του υπόγειου νερού στους ασβεστόλιθους της Τρίπολης.

1.5.4 Μεταλλικά ιζήματα της Λεκάνης

Τα ιζήματα της λεκάνης της Μεγαλόπολης, μελετήθηκαν αρκετά από τους Lüttig & Marinos (1962) και η στρωματογραφία από τον Vinken (1965) (βλ. **Εικόνα 1.6**). Τα ιζήματα αυτά χρονολογούνται από το Ανώτερο Πλειόκαινο έως το Ολόκαινο και διαφοροποιούνται στρωματογραφικά μεταξύ τους σε κάθε μέρος της λεκάνης (Tsiftsis, 1987). Μέσα στα βυθίσματα της λεκάνης δημιουργήθηκαν λίμνες, η οποίες χέρσευαν για μικρά χρονικά διαστήματα, με αποτέλεσμα την δημιουργία λιγνιτικών κοιτασμάτων μικρού ή μεγαλύτερου πάχους.

Stratigraphy		Climate	Lithology	Palaeoenvironment	
Quaternary	Holocene Alfeios River Terraces	Warm	Talus cones, coarse elastic sediments	Fluvio-terrestrial	
	Thoknia Stage	Cold	Coarse elastic sediments	Fluvio-terrestrial	
		Warm	Red loam		
	Potamia Stage	Cold	Coarse elastic sediments	Fluvio-terrestrial	
		Warm	Red loam		
	Pleistocene	Megalopolis Sub-stage	Cold	Coarse elastic sediments	Fluviatile
		Choremi Stage	Warm	Clay, lignite-marl alternations, coarse elastic sediments, red loam	Limnic, limnotelmatic
Marathousa Sub-stage					
Apiditsa Stage	Cold	Coarse elastic sediments	Terrestrial		
Tertiary	Upper Pliocene	Trilofon Stage	Cold	Coarse elastic sediments, marl	Fluviatile
		Makrision Stage	Warm	Marl, lignite	Limnic

Εικόνα 1.6: Στρωματογραφική σχέση, κλίμα, λιθολογία και παλαιοπεριβάλλον απόθεση των μεταλλικών σχηματισμών της λιγνιτικής λεκάνης της Μεγαλόπολης από τον (Vinken, 1965).

Σχηματισμοί Άνω Πλειοκαίνου

Οι κλαστικοί σχηματισμοί του άνω Πλειοκαίνου, απαντώνται σε μικρή έκταση στα ανατολικά της λεκάνης και αποτελούνται από τους παλαιότερους σχηματισμούς του Μακρυσίου (μάργες και λεπτά στρώματα λιγνίτη 1m), ενώ τοπικά αναπτύσσεται πάνω από τον φλύσχη της Τρίπολης ή τους ασβεστολίθους του άνω Κρητιδικού. Πιο πάνω στρωματογραφικά και νεότερος είναι ο σχηματισμός του Τριλόφου, αυτός απαντάται κοντά στο χωριό Τρίλοφο και είναι ποτάμιας προέλευσης από (χαλίκια, άμμους και αργίλους, μάργες και αργίλους). Οι σχηματισμοί αυτοί όταν υπαντούνται στο κέντρο της λεκάνης, βρίσκονται σε βάθη περίπου 200 μ (Tsiftsis, 1987).

Σχηματισμοί Πλειστοκαίνου

Οι σχηματισμοί αυτής της περιόδου, είναι οι πιο συχνόι και απαντώνται σε όλη την έκταση της λεκάνης. Το πλειστοκαίνο, χαρακτηρίζεται από εναλλαγές μεταξύ παγετώδων και μεσοπαγετώδων

περιόδων που είχαν ως αποτέλεσμα την δημιουργία εναλλαγών κλαστικών και λιγνιτικών κοιτασμάτων. Στις ψυχρές περιόδους υπήρχε μεγάλη προσφορά κλαστικού υλικού, ενώ κατά τις θερμές περιόδους γινόταν χέρσευσης μεγάλων τμημάτων των λιμνών.

Κατά την πρώτη ψυχρή περίοδο, πραγματοποιήθηκε η απόθεση του σχηματισμού Απιδίτσα, αποτελούμενη από εναλλαγές χαλικιών που αποτελούνται από κόκκινους και μαύρους ραδιολαρίτες, άμμους και αργίλους κόκκινου και καφέ χρώματος ποτάμιας προέλευσης με 60-80m στα δυτικά της λεκάνης (Tsiftsis, 1987). Έπειτα, ο σχηματισμός Χωρεμίου, αναλύεται σε δύο σχηματισμούς τα στρώματα Μαραθούσας ποτάμιας και λιμναίας προέλευσης το πάχος του κεντρικά της λεκάνης φτάνει τα 200 μέτρα και περιέχει χαλίκια, άμμους, αργίλους-ιλύες πλούσιες σε ανθρακικά και μάργες και 3 στρώματα λιγνίτη λιμναίας προέλευσης που αποτέθηκαν κατά την πρώτη θερμή περίοδο του Πλειστοκαίνου. Ο δεύτερος σχηματισμός των στρωμάτων της Μεγαλόπολης, σχηματίστηκε κατά την δεύτερη ψυχρή περίοδο και εντοπίζεται κυρίως στην Ανατολική μεριά της λεκάνη αποτελούμενος από χαλίκια, άμμους, αργίλους και ιλύες.

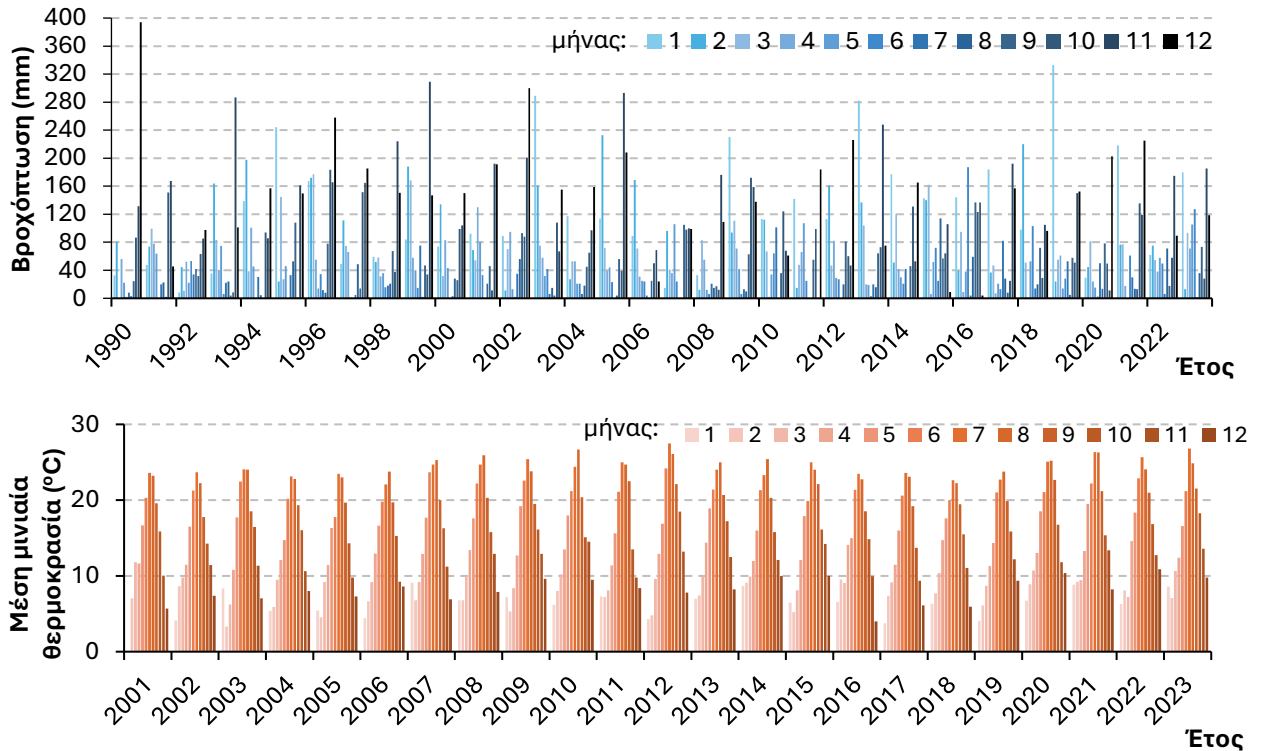
Μετά την απόθεση και των στρωμάτων της Μεγαλόπολης, μόνο ποτάμιες αναβαθμίδες διαμορφώθηκαν από την διάβρωση και απόθεση των ήδη υπάρχοντων σχηματισμών της Λεκάνης. Με βάση αυτό, δημιουργήθηκε ο σχηματισμός της Θωκνίας-Ποταμιάς, ο οποίος αποτελείται από αμμοχαλίκια από ασβεστολιθικά ψαμμιτικά και μεταμορφωμένα πετρώματα, άμμους και αργίλους (Tsiftsis, 1987). Ο σχηματισμός αυτός, εντοπίζεται υψηλότερα τοπογραφικά από το σημερινό υψόμετρο των ποταμών Αλφειού, Ελισσών, Ξερίλα και Κουτιφαρίνα, λόγω της τεκτονικής και της διάβρωσης (Tsiftsis, 1987). Συνεπώς, το σημερινό ποτάμιο σύστημα του Αλφειού διαμορφώθηκε μετά την απόθεση και των στρωμάτων της Μεγαλόπολης.

Ολοκαινικά και σημερινά ιζήματα

Τα ιζήματα αυτά, βρίσκονται κατά μήκος του Αλφειού ποταμού και των παραποτάμων με μέσω πάχος 5 μέτρων. Περιέχει κροκάλες, άμμους, πηλό και αργίλους ανθρακικής, ψαμμιτικής και μεταμορφωμένης σύστασης (Tsiftsis, 1987).

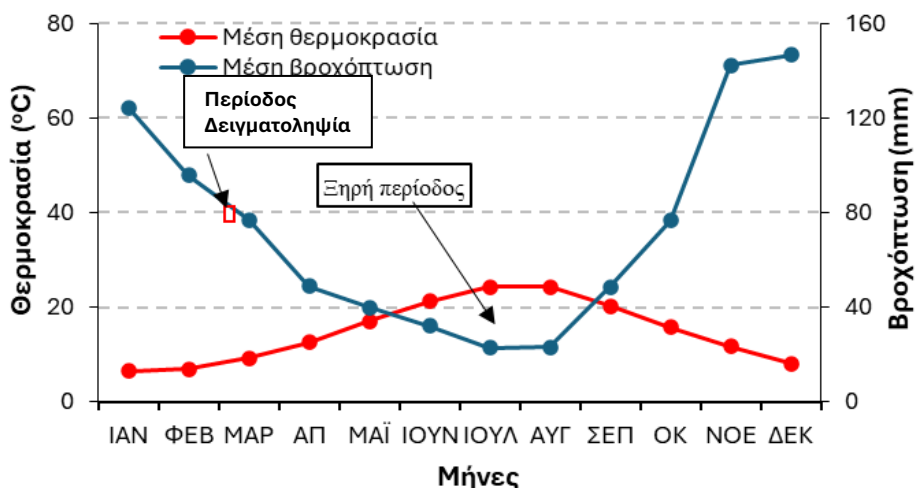
1.6 Κλιματικά δεδομένα

Η περιοχή βάση της κλιματικής κατάταξης Köppen ανήκει στον κλιματικό τύπο Csa, δηλαδή έχει υγρό κλίμα με ήπιους χειμώνες (Τύπος C), ξηρό καλοκαίρι (Τύπος s) με μεγάλο και θερμό καλοκαίρι (a) (Λουλούδης κ.α., 2024). Η ηλιοφάνεια διαρκεί καθόλα την διάρκεια του έτους και η περιοχή βρίσκεται μακριά από την θάλασσα. Πιο συγκεκριμένα, δεδομένα για την μέση μηνιαία θερμοκρασία και βροχόπτωση προέρχονται από τον μετεωρολογικό σταθμό εγκατεστημένο στο κτήριο του ΕΠΕΤ (Μ.Σ. ΕΠΕΤ) (βλ. *Εικόνα 1.6*).



Εικόνα 1.6: Κατακρημνίσματα και θερμοκρασίες από το 1990 έως το 2023 Μ.Σ. ΕΠΙΕΤ ορυχείων Μεγαλόπολης (Λουλούδης κ.α., 2024).

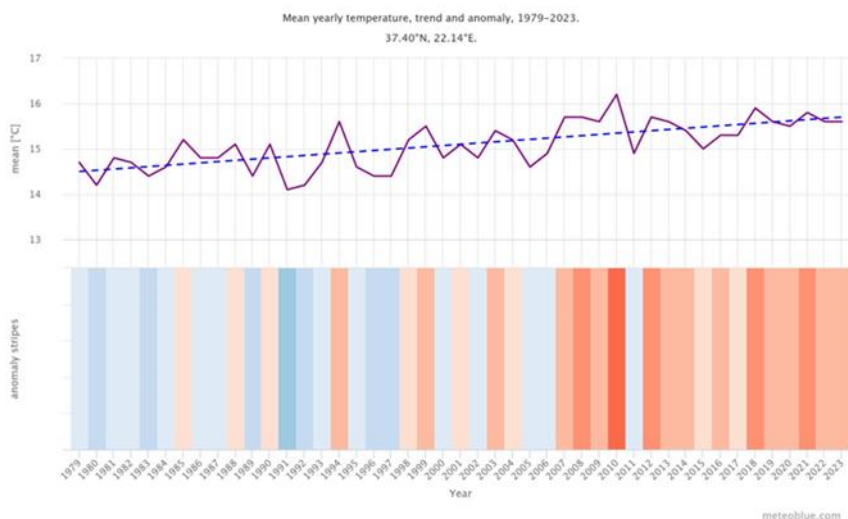
Σύμφωνα με τα παραπάνω, η μέση μηνιαία θερμοκρασία για 33έτη κυμαίνεται περίπου από 21 έως 27,5 °C το καλοκαίρι και 4 έως 15°C τον χειμώνα. Οι πιο θερμοί μήνες για το 2023, είναι ο Ιούλιος και Αύγουστος και ο πιο ψυχρός ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος. Η τάση είναι ότι περισσότερες βροχές, παρατηρούνται τον Νοέμβριο, Δεκέμβριο και Ιανουάριο. Φαίνεται ότι η εποχιακή κατανομή των βροχοπτώσεων είναι άνιση, οπότε τους πρώτους και τελευταίους μήνες του υδρολογικού έτους το ύψος βροχής είναι μικρό και δεν επηρεάζει τους υπόγειους υδροφορείς. Αντίθετα, τον χειμώνα γίνεται ουσιαστική αναπλήρωση τους. Παρόμοιο ισχύει και για τα επιφανειακά ύδατα, καθώς η σχέση υπόγειου και επιφανειακού νερού είναι αλληλένδετη, από πιθανές πηγές και από την απευθείας επιφανειακή απορροή. Βάση της Υδρογεωλογικής Μελέτης για την Περιβαλλοντική Παρακολούθηση και Διαχείριση του Υδατικού Δυναμικού των Ορυχείων Μεγαλόπολης, από τους Λουλούδης κ.α. (2024) για τα έτη 1990 έως 2023, καταλήγουμε ότι ο μήνας με τα υψηλότερα ύψη βροχής είναι ο Δεκέμβριος, ενώ ο μήνας με τα μικρότερα ο Ιούλιος. Η μέση ετήσια βροχόπτωση για τα 33 έτη είναι 900 mm. Όσον αφορά, το ομβροθερμικό διάγραμμα για το 1990-2023, φαίνεται ότι η ξερή περίοδος ξεκινάει στις αρχές Ιουνίου, κορυφώνεται τον μήνα Ιούλιο (μέγιστη θερμοκρασία και ελάχιστη βροχόπτωση) και διαρκεί μέχρι τέλος Αυγούστου. Ενώ, μια απότομη αύξηση των βροχοπτώσεων καταγράφεται από τα μέσα Οκτωβρίου μέχρι τα μέσα Νοεμβρίου



Εικόνα 1.7: Ομβροθερμικό διάγραμμα περιόδου 1900-2023 (Λουλούδης κ.α, 2024).

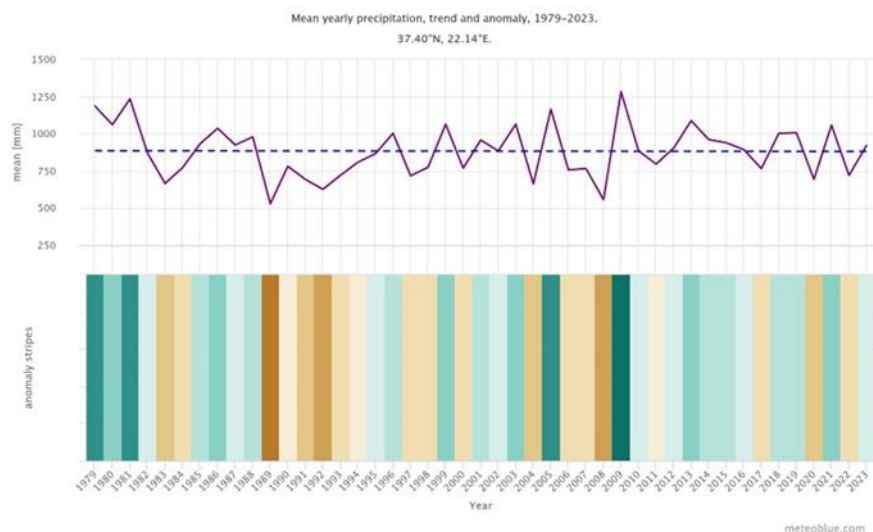
1.6.1 (Μίκρο)-Κλιματική αλλαγή της περιοχής

Η κλιματική αλλαγή και κατά συνέπεια το μικρο-κλίμα, επηρεάζει τις παραμέτρους του υδρολογικού ισοζυγίου και επομένως τόσο την ποσότητα όσο και την ποιότητα του υπόγειου και του επιφανειακού νερού. Οι αλλαγές στην θερμοκρασία και στην βροχόπτωση επηρεάζουν την υγρασία του εδάφους, τους ρυθμούς διάβρωσης, την ανακύκλωση της οργανικής ύλης και τα θρεπτικά συστατικά, επηρεάζοντας τα οικοσυστήματα (Βουδούρης, 2016). Χρησιμοποιήθηκαν Κλιματικά δεδομένα 44 χρόνων από το 1979-2023 από την περιοχή, μέσω του meteoblue (βλ. Εικόνα 1.8). Τα παρακάτω διαγράμματα δείχνουν το πως διαφοροποιείται η μέση ετήσια βροχόπτωση και η θερμοκρασία για μια περίοδο 44 χρόνων και αν έχει επηρεαστεί το τοπικό κλίμα της περιοχής της Μεγαλόπολης λόγω της κλιματικής αλλαγής.



Εικόνα 1.8: Διάγραμμα μεταβολής της θερμοκρασίας στην περιοχή της Μεγαλόπολης για μια περίοδο 44 χρόνων από το meteoblue.

Με βάση το παραπάνω διάγραμμα (**βλ. Εικόνα 1.8**), παρατηρείται μια τάση αύξησης της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας για τα 44 χρόνια (διακεκομμένη μπλέ γραμμή), ενώ γενικότερα η μέσες ετήσιες θερμοκρασίες εξακολουθούν να έχουν ανοδική τάση (μώβ γραμμή). Αυτό πρακτικά σημαίνει, αύξηση της εξατμισοδιαπνοής και μείωση των ωφέλιμων ποσοτήτων νερού τόσο επιφανειακών όσο και υπόγειων. Περιοδικές ξηρασίες που γίνονται συχνότερες έχουν άμεσο αντίκτυπο στην ποιότητα των επιφανειακών, αλλά και των υπόγειων νερών. Αυτό συμβαίνει λόγω της μείωσης της απορροής των ποταμοχειμάρων και συνεπώς αύξηση της συγκέντρωσης των ρύπων από μη επεξεργασμένα βιομηχανικά απόβλητα, ελαιουργεία και αστικά λύματα που διοχετεύονται σε αυτούς (Voudouris et al., 2002). Η λεκάνη της Μεγαλόπολης, όπως θα αναλυθεί παρακάτω έχει αρκετά ρέματα που συμβάλλουν στον ποταμό Αλφειό και επηρεάζουν την σύσταση του.



Εικόνα 1.9: Διάγραμμα μεταβολής του ετήσιου μέσου νετού στην περιοχή της Μεγαλόπολης για μια περίοδο 44 χρόνων από το meteoblue.

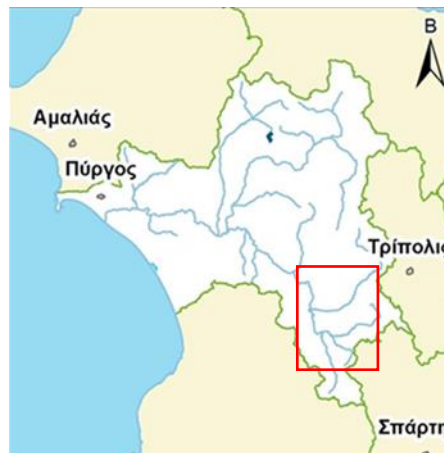
Το μέσο ύψος βροχής για τα 44 έτη φαίνεται σταθερό (μπλε διακεκομμένη γραμμή) και δεν παρατηρείται διαφοροποίηση σε όλα αυτά τα έτη (**βλ. Εικόνα 1.9**). Αντίθετα, την τελευταία δεκαετία φαίνεται ότι το πλάτος μεταξύ των ελάχιστων και των μέγιστων μέσων ετήσιων κατακρημνισμάτων τείνει να μικρύνει. Αυτό πιθανός οφείλεται στο γεγονός ότι, έχουν αυξηθεί οι ποσότητες του νερού που πέφτουν τους ξηρούς μήνες. Αντίστοιχα, από δεδομένα 30 ετίας οι Λουλούδης κ.α. (2023), διαπίστωσαν ότι από το 2008 παρουσιάζεται μια αύξηση στις βροχοπτώσεις. Γενικότερα, έχει παρατηρηθεί ότι στις αρχές κάθε υδρολογικού έτους από Απρίλιο-Σεπτέμβριο περίπου το ¼ των ετήσιων ποσοτήτων, πέφτουν σε μικρό χρονικό διάστημα π.χ. (1 μήνας) (Σγάντζος κ.α., 2021), Αυτό μπορεί να προκαλέσει, έντονα πλημμυρικά φαινόμενα, εκτεταμένη διάβρωση του εδάφους και σημαντικές αυξομειώσεις του υδροφόρου ορίζοντα.

1.7 Υδρολογία

1.7.1 Υδρογραφικό δίκτυο

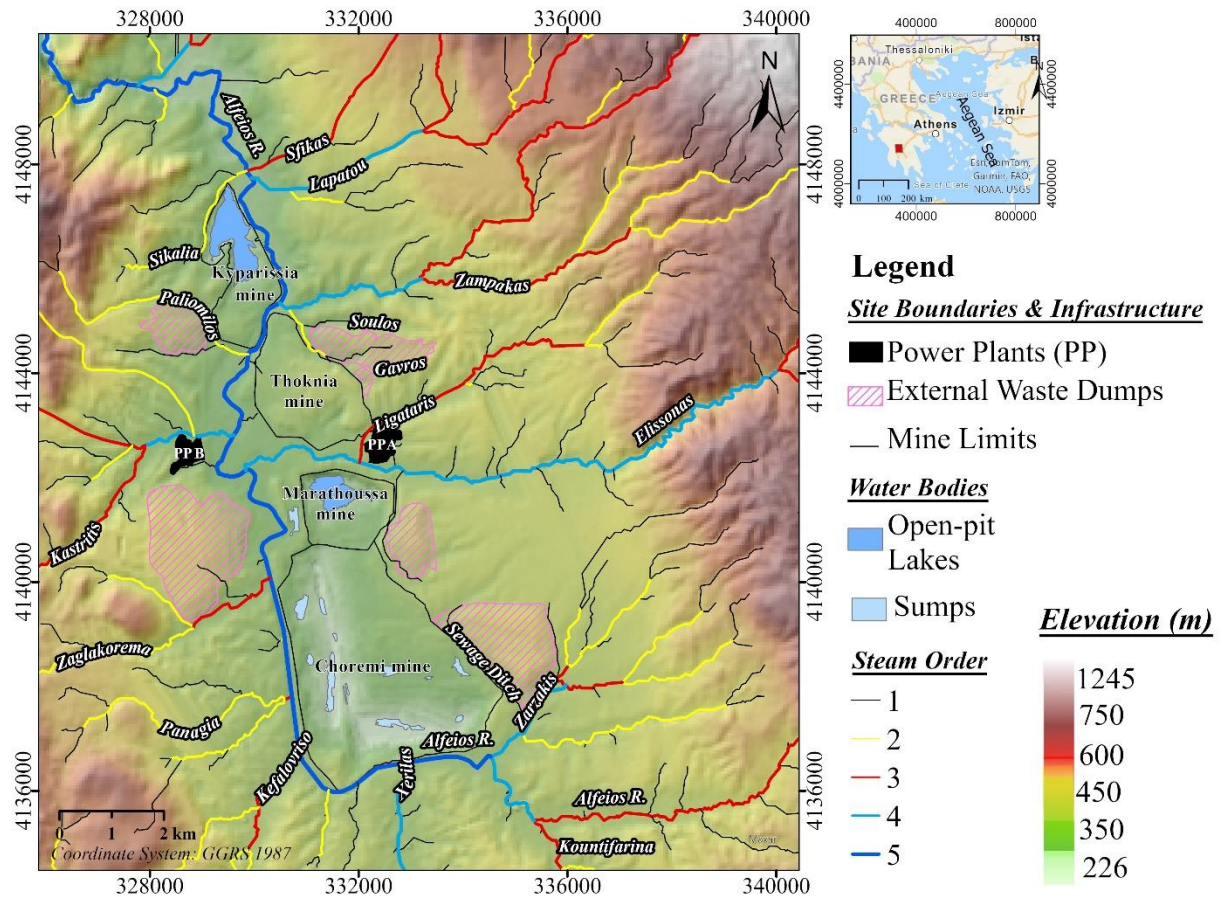
Η μελέτη της υδρολογίας της περιοχής βασίζεται στα σχέδια διαχείρισης των λεκανών απορροής οδηγία 2000/60/EK, με βάση τον χαρακτηρισμό των υδατικών διαμερισμάτων (Γενική διεύθυνση υδάτων, 2023; Ειδική γραμματεία υδάτων, 2013, 2017). Το υδατικό διαμέρισμα της Δυτική Πελοποννήσου (EL01), εκτείνεται γεωγραφικά στην Δυτική και Νοτιοδυτική Πελοπόννησο με συνολική έκταση τα 7.235 km². Αποτελείται, από τις λεκάνες απορροής του Αλφειού (EL0229) και του Παμίσου-Νέδα (EL0132). Η περιοχή της Μεγαλόπολης, εντοπίζεται εντός της λεκάνης απορροής του Αλφειού ποταμού και συγκεκριμένα κοντά στα Νοτιοανατολικά όρια της (βλ. **Εικόνα 1.10**). Από την λεκάνη της Μεγαλόπολης, διέρχεται ο μεγαλύτερος σε μήκος ποταμός της Πελοποννήσου ο Αλφειός (119,8 km φυσικής ροής και 7,1 km εκτροπής της κοίτης του) και εκβάλλει Δυτικά στον Κυπαρισσιάκο κόλπο. Κύριοι παραπόταμοι του είναι ο Λούσιος, ο Λάδωνας και ο Ερύμανθος.

Ο Αλφειός ποταμός, πηγάζει πλησίον του χωριού Λόριζας μεταξύ Τριπόλεως και Μεγαλόπολης από τις απολήξεις του Πάρνωνα (Λουλούδης κ.α., 2023). Η υδρομορφολογία του είναι δεντρικού τύπου ανάπτυξη και σε μικρή απόσταση από τις πηγές του διέρχεται εντός της λιγνιτοφόρου λεκάνης της Μεγαλόπολης. Εξέρχεται από την λεκάνη από τα Βορειοδυτικά, πλησίον του χωριού Καρύταινας, μέσα στην στενή χαράδρα ακολουθώντας Βορειοδυτική κατεύθυνση. Η περιοχή, λόγω του έντονου ανάγλυφου και των τεράστιων ποσοτήτων νερού που δέχεται, έχει έντονο υδρογραφικό δίκτυο με πολλά ρέματα και παραποτάμους να συμβάλλουν με τον Αλφειό (Tsiftsis, 1987).



Εικόνα 1.10: Λεκάνη απορροής ποταμού Αλφειού με βάση τον χάρτη από την (Ειδική γραμματεία υδάτων, 2017) και με κόκκινο τετράγωνο αποτυπώνεται η περιοχή μελέτης της Μεγαλόπολης κοντά στις πηγές του Αλφειού.

Χρησιμοποιήθηκε το ψηφιακό μοντέλο ανάγλυφου, όπου μέσω του GIS και των εργαλείων του δημιουργήθηκε το ανάγλυφο της περιοχής με όλες της τάξης των ποταμών, που καταλήγουν στον Αλφειό (βλ. **Εικόνα 1.11**). Τέλος, μέσω του Google earth βρέθηκαν τα πιθανά σημεία δειγματοληψίας με πρόσβαση.



Εικόνα 1.11: Χάρτης κλάδων του υδρογραφικού δικτύου της Μεγαλόπολης κατασκευασμένος μέσω GIS με την βοήθεια του ψηφιακού μοντέλου ανάγλυφου (DEM), μαζί με τις ονομασίες των ποταμών της περιοχής.

Όπως φαίνεται και στον χάρτη (βλ. **Εικόνα 1.11**), πολλά ρέματα συμβάλλουν στον Αλφειό και έχουν ιδιαίτερη αξία, καθώς διαμορφώνουν άμεσα ή έμμεσα την ποιότητα του. Για αυτό στην παρούσα διπλωματική εξετάστηκαν όλα εκτός του ρέματος Κουτιφαρίνα (EL0129R000220055N), ονομασία σύμφωνα με την Ειδική γραμματεία υδάτων (2017).

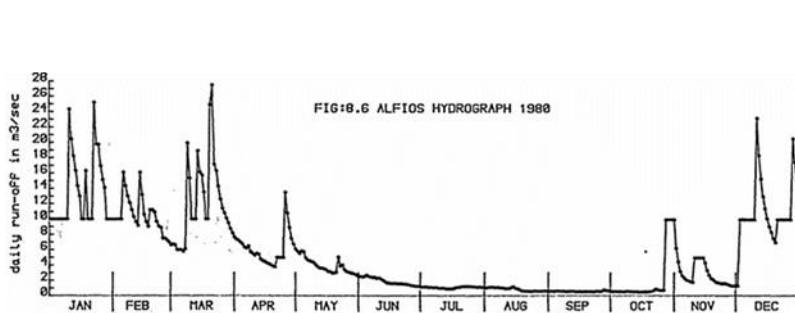
Τα ρέματα που μελετήθηκαν, αντιστοιχούν σε κλάδους 2^{ης} τάξης και άνω. Ο Ξερίλας, ο Ελισσώνας, ο Ζαρζάκης, ο Καστρίτης και ο Ζάμπακας ή αλλιώς Βρενθεάτης (Λουλούδης κ.α., 2023) ή Λαγαδάς (Tsiftsis, 1987), αποτελούν τους μεγαλύτερους παραποτάμους 4^{ης} τάξης εντός του χώρου της ΔΕΗ που καταλήγουν στον Αλφειό ποταμό. Επίσης, σημαντικά είναι και τα πλευρικά ρέματα 2^{ης} και 3^{ης} τάξης που καταλήγουν απευθείας στον Αλφειό ή επηρεάζουν άλλα μεγαλύτερα ρέματα 4^{ης} τάξης. Τα ρέματα Κεφαλόβρυσο, Παναγιά, Ζαγλακόρεμα, καταλήγουν απευθείας στην εκτοπισμένη κοίτη του Αλφειού Δυτικά του ορυχείου Χωρεμίου, από το χωριό του Τριποτάμου και πριν συμβάλλει ο Ελισσώνας. Ακόμα, ο Λιγατάρης, συμβάλλει στον Ελισσώνα. Τέλος τα ρέματα Σικαλιά και Παλιόμυλος, αποτελούν 2^{ης} τάξης ρέματα που καταλήγουν απευθείας στον Αλφειό και επιλέχτηκαν λόγω της κοντινής τους θέσεις από τις ανθρωπογενείς αποθέσεις.

1.7.2 Υδρολογικά στοιχεία

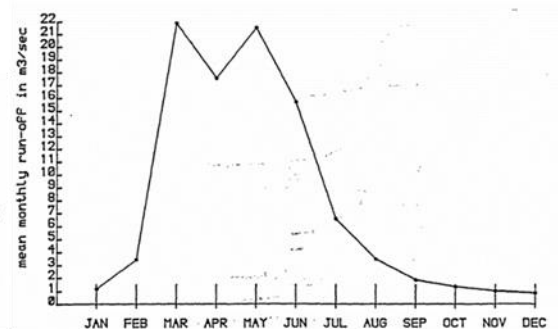
Η υδρολογία της περιοχής έχει εξεταστεί λεπτομερώς από τον Τσιφτσή (1977). Η επιφανειακή απορροή εξαρτάται από την διαπερατότητα των πετρωμάτων, για αυτό σε περιοχές με αδιαπέρατα πετρώματα το υδρογραφικό δίκτυο είναι πιο εκτεταμένο. Έχει υπολογιστεί ότι, η επιφανειακή απορροή αντιπροσωπεύει το 27% των ετήσιων κατακρημνισμάτων για μια περίοδο 13 χρόνων (1962-1975) και αυτό οφείλεται στην έντονη εξατμισοδιαπνοή που επικρατεί στην λεκάνη. Ο Αλφειός είναι χειμερινό ποτάμι, καθώς σε περιόδους έντονης ξηρασίας στεγνώνει σε κάποια σημεία του. Όμως στην Γέφυρα της Καρύταινας έχει πάντα ροή που οφείλεται σε τροφοδοσία του από Καρστικές πηγές υπερπλήρωσης καθώς και επικρεμάμενες πηγές εντός των ασβεστόλιθων (Tsiftsis, 1987). Κατά την περίοδο Απριλίου-Νοεμβρίου, σχεδόν ολόκληρο το νερό του Αλφειού προέρχεται από υπόγεια ύδατα συνολικά 209 ημέρες. Η τροφοδοσία του Αλφειού από υπόγεια ύδατα μπορεί να χωριστεί σε δύο περιόδους: από Απρίλιο έως Ιούλιο, όπου το περισσότερο νερό προέρχεται από τον υπόγειο καρστικό υδροφόρα και τον Ιούλιο-Νοέμβριο, όπου το νερό προέρχεται από τα χαμηλής διαπερατότητας ιζήματα της λεκάνης.

Όσον αφορά τους παραποτάμους, οι περισσότεροι είναι εποχιακά ποτάμια και το καλοκαίρι ξεραινόνται. Συγκεκριμένα, τα βορειοανατολικά ρέματα, Ζάμπακας, Λαπάτου και Σφήκας ξεραινόνται ή έχουν ελάχιστη κατά τόπους ροή. Ενώ σε σημεία του Ξερίλα και του Ελισσώνα, λόγω της μεγάλης διαπερατότητας των σχηματισμών της Τρίπολης μέρος του νερού τους καταλήγει υπόγεια. Η περίοδος της δειγματοληψίας έγινε την περίοδο του Μαρτίου όπου τα επιφανειακά ύδατα της περιοχής είναι γεμάτα και υπάρχει ένας από τους μεγαλύτερους όγκους νερού που παρατηρείται το έτος (**βλ. Εικόνα 1.12**).

α)



β)



Εικόνα 1.12: α) μέσος μηνιαίος συνολικός όγκος νερού του Αλφειού για την περίοδο 1962-1976. β) υδρογράφημα του ποταμού Αλφειού το 1980 (Tsiftsis E, 1987).

1.8 Υδρογεωλογία

Η υδρογεωλογία της περιοχής της λεκάνης της Μεγαλόπολης είναι ιδιαίτερα περίπλοκη. Η περιοχή όπως αναφέρθηκε, αποτελείται από διαφορετικού είδους πετρώματα. Τα πετρώματα που μπορούν να αποθηκεύσουν και να μεταφέρουν ποσότητες νερού είναι τα καρστικά ανθρακικά της ενότητας της Πίνδου, της Τρίπολης και λιγότερο τα κλαστικά χαλαρά ιζήματα της λεκάνης. Με βάση τον

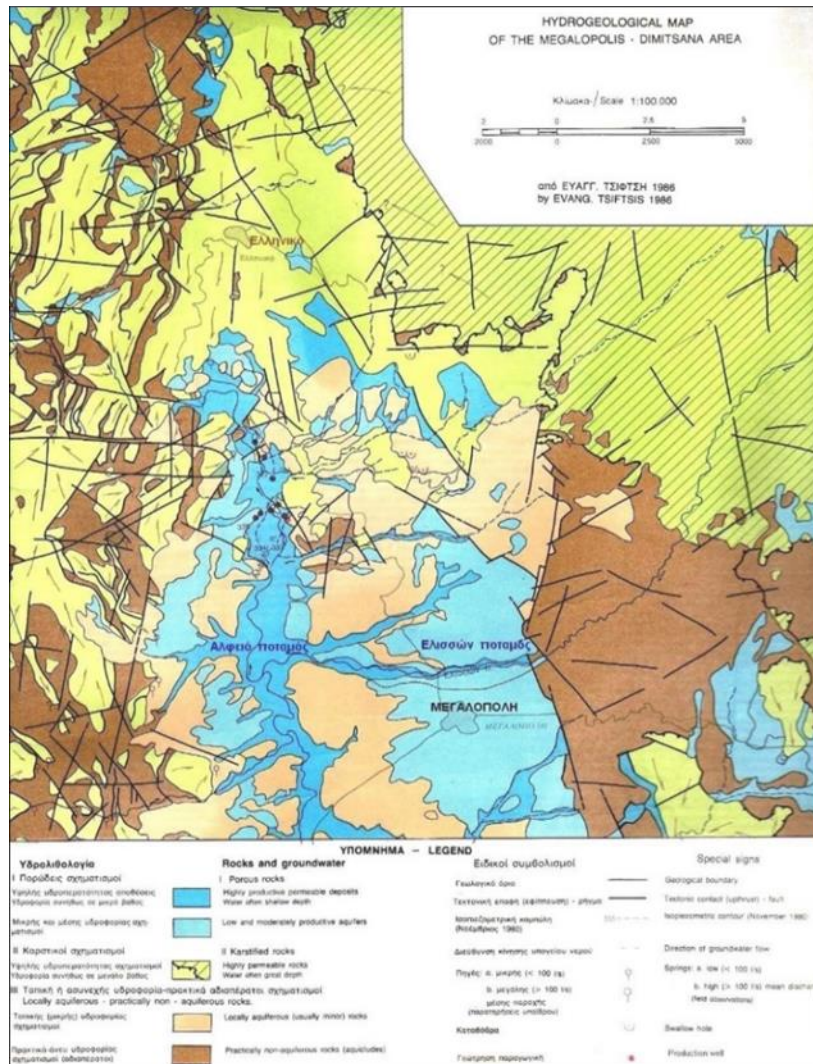
υδρολιθολογικό χάρτη του Tsiftis (1987) (βλ. *Εικόνα 1.13*) και τον γεωλογικό χάρτη (βλ. *Εικόνα 1.4*), μπορούν να διαπιστωθούν τα υδροφόρα στρώματα χωρικά. Συγκεκριμένα παρατηρούνται πέντε κατηγορίες υδρολιθολογικών σχηματισμών.

1.8.1 Υδρογεωλογική συμπεριφορά σχηματισμών

Όσον αφορά τους κοκκώδεις σχηματισμούς που εντοπίζονται στο κέντρο της λεκάνης, χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με τα υλικά πλήρωσης τους. Τους υψηλής υδροπερατότητας σχηματισμούς, που σχετίζονται με τις πρόσφατες χαλαρές αποθέσεις Ολοκαινική-Πλειστοκαινικής ηλικίας χονδρόκοκκων υλικών των ποταμών της περιοχής (Αλφειού, Ελισσώνα κ.α). Της μικρής και μέσης υδροφορίας πορώδων κλαστικών σχηματισμών από άργιλο, άμμο, ιλύ και κροκάλες των στρωμάτων Μεγαλόπολης και Θωκνίας. Και των σχηματισμών της Μαραθούσας, Απιδίτσας και Τριλόφου εμφανίζουν τοπικά ελάχιστη έως καθόλου υδροφορία, λόγω της περιεκτικότητας τους σε μαργαϊκό υλικό, λιγνίτη, αργίλους και λίγη άμμο. Τέλος, το πρακτικά αδιαπέρατο είναι τα στρώματα του Μακρυσίου. Γενικότερα, η υδροπερατότητα των σχηματισμών μεταβάλλεται από θέση σε θέση και εξαρτάται από την λιθολογία των ιζημάτων εντός της λεκάνης. Με βάση το κεφάλαιο 1.4 που αφορά την δημιουργία της λεκάνης, επειδή η κύρια τροφοδοσία των ιζημάτων ήταν από τα Νοτιοανατολικά, αναμένεται μικρότερη υδροφορία των μεταλλικών σχηματισμών προς το κέντρο της λεκάνης, καθώς επίσης εκεί ήταν ανεπτυγμένες και οι μεγάλες λίμνες.

Στους αλπικούς σχηματισμούς της ενότητας της Τρίπολης, ο πρακτικά αδιαπέρατος σχηματισμός είναι ο φλύσχης της που εντοπίζεται Ανατολικά της λεκάνης. Ο φλύσχης μπορεί να έχει λίγες ποσότητες νερού, λόγω της ύπαρξης ψαμμιτικών οριζόντων. Ο πλέον υδροπερατός σχηματισμός της περιοχής είναι οι Καρστικοί ασβεστόλιθοι της Τρίπολης Βορειοανατολικά του χάρτη, οι οποίοι εντοπίζονται σε μεγάλο βάθος στο κέντρο της λεκάνης. Όσον αφορά την Ενότητα της Πίνδου, χωρίζεται σε καρστικούς υδροπερατούς σχηματισμούς των άνω Κρητιδικών ασβεστολίθων, ενώ οι δύο φλύσχεις της και οι ραδιολαρίτες της, ανήκουν στην κατηγορία των αδιαπέρατων.

Τέλος, η ενότητα της Άρνας, θεωρείται και αυτή πρακτικά αδιαπέρατη. Αποτελεί αναμφίβολο όμως ότι σε περιοχές με έντονη τεκτονική δραστηριότητα, μπορεί να δημιουργηθεί υδροφορία, λόγω δικτύου ασυνεχειών και διακλάσεων, για αυτό κατατάσσεται στην κατηγορία χαμηλής έως μέτριας διαπερατότητας (Αργυρίου, 2022). Στο παράρτημα 4, δίνεται η υδρολιθολογία όλων των σχηματισμών της λεκάνης.



Εικόνα 1.13: Υδρολιθολογικός χάρτης 1:100.000 του φύλλου Μεγαλόπολης- Δημητσάνας από τον (Tsiftsis, 1987).

1.8.2 Κίνηση υπόγειου νερού

Οι κύριοι καρστικοί υδροφορείς που εντοπίζονται στην περιοχή της Μεγαλόπολης, όπως προαναφέρθηκε, είναι οι Άνω Κρητιδικό ασβεστόλιθοι της Πίνδου και τα ανθρακικά της Τρίπολης. Το μεγαλύτερο μέρος της λεκάνης, καλύπτεται από τους ασβεστόλιθους της Πίνδου, όπου λόγω των συχνών επιπτώσεων εντός του αλλά και επωθήσεων πάνω στα πετρώματα της Τρίπολης, έχει δημιουργήσει μια σειρά καρστικών υδροφορέων γύρω από την περιοχή με συχνή την εμφάνιση πηγών (Tsiftsis E, 1987).

Αντίθετα, τα ανθρακικά της Τρίπολης δεν επηρεάζουν άμεσα το υδρογεωλογικό σύστημα της περιοχής, καθώς παρεμβάλλεται ο φλύσχης της Τρίπολης και τα μεγάλοι πάχους ιζήματα της λεκάνης. Εντοπίζονται βόρεια, ανατολικά και νότια της λεκάνης και διαμορφώνουν τον βαθύτερο υδροφορέα της περιοχής, βαθύτερο και από τον υδροφορέα των καρστικών της Πίνδου. Το σύστημα αυτό, δημιουργεί μεγάλης παροχής παράκτιες έως υποθαλάσσιες πηγές γύρω από την πόλη του Άργους ταυτόχρονα τροφοδοτεί τις πηγές του Αγίου Φλώρου και Πηδήματος στην Μεσσηνία στα Βόρεια-Βορειοδυτικά της

πόλης της Καλαμάτας. Η κίνηση του νερού, οφείλεται στα αδιαπέρατα στρώματα του Τυρού και τους φυλλίτες χαλαζίτες κάτω από τα ανθρακικά της Τρίπολης. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι η μόνη περιοχή όπου υπάρχει υδραυλική επικοινωνία μεταξύ των ασβεστόλιθων της Πίνδου και του βαθύ υδροφορέα της Τρίπολης, είναι Ανατολικά και κυρίως Βόρεια της λεκάνης, σε συγκεκριμένα σημεία όπου και τα ρήγματα Βορρά-Νότου φέρνουν σε επαφή τα δύο ανθρακικά (χωριό Καρβουνιάρης) (Tsiftsis, 1987).

Κίνηση νερού ανθρακικών Τρίπολης

Τα ανθρακικά της Τρίπολης που εντοπίζονται Βορειοανατολικά, καταλήγουν σε μεγάλης παροχής καρστικές πηγές στην γειτονική λεκάνη του Λούσιου ποταμού που βρίσκεται Βορειότερα. Αντίθετα, ο δεύτερος μεγάλος υπόγειος υδροφορέας, εντοπίζεται στην επιφάνεια νότια της λεκάνης στα ανθρακικά του ποταμού Ξερίλα και εκφορτίζει τις πηγές της Μεσσηνίας που προαναφέρθηκαν (Tsiftsis, 1987).

Κίνηση νερού Άνω Κρητιδικών ασβεστολίθων Πίνδου

Στην Δυτική και Βόρεια μεριά της λεκάνης, η κίνηση του νερού είναι Νότος- Βορράς και Βορράς Νότος αντίστοιχα. Στην Δυτική μεριά εξαιτίας των πολλών εφιπτεύσεων, έχει δημιουργηθεί μια σειρά από καρστικούς υδροφορείς, με την διεύθυνση νερού Βορρά-Νότου που εκφορτίζουν πηγές. Επιπλέον και τα Πινδικά καλύμματα στην ανατολική μεριά της λεκάνης επίσης εκφορτίζουν πηγές (Tsiftsis E, 1987).

Κίνηση νερού στις πρόσφατες ποταμοχειμάρειες αποθέσεις

Τα στρώματα της Ποταμιάς, Θωκνίας και τα χαμηλά στρώματα βρίσκονται σε όλο το μήκος του Αλφειού και των παραποτάμων του και βρίσκονται σε μεγάλη έκταση Βορειοανατολικά και Νοτιοανατολικά του πεδίου Κυπαρισσίων και γύρω από το χωριό της Θωκνίας. Όλα αυτά τα στρώματα μικρού πάχους έχουν μέτρια (σχηματισμός Ποταμιάς) έως υψηλή υδροπερατότητα. Οι σχηματισμοί αυτοί, θεωρούνται ως μια ξεχωριστή υδρογεωλογική ενότητα, καθώς υπάρχει υδραυλική επικοινωνία μεταξύ τους. Ο υδροφόρος αυτός είναι σε συνεχή υδραυλική επικοινωνία με τα ποτάμια της περιοχής και ιδιαίτερα με τον Αλφειό (Tsiftsis, 1987).

Κίνηση νερού στα ιζήματα της λεκάνης (σχηματισμοί Απιδίτσας , Μαραθούσας και Χωρεμίου)

Οι σχηματισμοί αυτοί, θεωρούνται ότι δεν έχουν ιδιαίτερα μεγάλες ποσότητες νερού, λόγω της λιθολογίας τους. Ωστόσο, ένας ορισμένος αριθμός υδροφορέων συγκεκριμένης έκτασης και πάχους μπορεί να αναπτύσσεται (Tsiftsis, 1987). Τα στρώματα της Απιδίτσας, θεωρούνται αδιαπέρατα, αλλά υπάρχουν σημεία με πιο αμμόδες υλικό που δίνουν μια μικρής έκτασης υδροφορία (Tsiftsis, 1987). Τα στρώματα της Μαραθούσας, επίσης είναι αδιαπέρατα, όμως έχει αποδειχτεί ότι ένας βαθμός καλύτερης διαπερατότητας αποδίδεται στα εναλλασσόμενα στρώματα αμμόδους υλικούς στο κάτω κυρίως μέρος των στρωμάτων Μαραθούσας (Tsiftsis, 1987). Τα ίδια τα στρώματα λιγνίτη είναι επίσης διαπερατά εκεί

όπου έχουν υποστεί ρωγμές (πχ όταν τα στρώματα λιγνίτη στεγνώσουν). Γεώτρηση που έγινε σε ορισμένα στρώματα της Μαραθούσας, έδωσε αρτεσιανή ροή χαμηλής παροχής για λίγες ημέρες. Αν εξετάσουμε το σύνολο των στρωμάτων της περιοχής, όντως τα στρώματα αυτά μπορούν να θεωρηθούν αδιαπέρατα. Εν κατακλείδι, η κίνηση του νερού που αφορά τα ιζήματα της λεκάνης είναι δύσκολο να προσδιοριστεί, καθώς η λιθολογία και η στρωματογραφία των ιζημάτων της λεκάνης διαφέρει από σημείο σε σημείο.

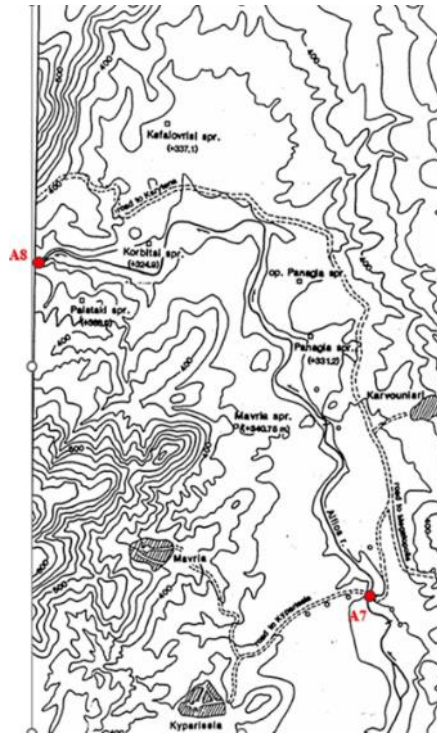
1.8.3 Πηγές

Η μελέτη των πηγών της περιοχής θα βοηθήσει στην καλύτερη αποτίμηση της κατάστασης των επιφανειακών υδάτων και την πιθανή αλλαγή της χημικής κατάστασης των νερών του Αλφειού. Αυτό συμβαίνει, καθώς μεγάλο μέρος του νερού καταλήγει στα επιφανειακά ύδατα της υδρολογικής λεκάνης εμφάνιση της πηγής. Οι πηγές της περιοχής ταξινομούνται σε πηγές επαφής και πηγές υπερπλήρωσης. Όσον αφορά την παροχή τους, υπάρχουν οι χαμηλής παροχής <100 l/sec και υψηλής >100 l/sec (Tsiftsis, 1987). Συγκεκριμένα ένας μεγάλος αριθμός πηγών εντοπίζεται σε όλο το εύρος της λεκάνης, καθώς η παρουσία του Πινδικού καλύμματος είναι συχνή. Θα αναφερθούμε σε κάποιες κύριες πηγές με βάση τον Τσιφτσή (Tsiftsis, 1987).

Πηγές Δυτικά και Βορειοδυτικά της Λεκάνης (πεδίο Κυπαρισσίων)

Οι κύριες πηγές στο πεδίο των Κυπαρισσίων, εντοπίζονται μετά τα σημεία δειγματοληψίας A7 (Γέφυρα Αλφειού) και A8 (Γέφυρα Καρύταινας) (βλ. *Εικόνα 1.14*). Αυτές οι πηγές, οφείλουν την ύπαρξη τους στην επαφή Άνω Κρητιδικών ασβεστολίθων και του Φλύσχη. Η παροχή των πηγών μειώνεται δραστικά τους καλοκαιρινούς μήνες και σχεδόν στεγνώνουν στα τέλη καλοκαιριού.

Η πηγή Παλατάκι εκφορτίζει μια μικρή μάζα ασβεστολίθων (2,75 km²) από τα νότια και αποτελεί πηγή υπερπλήρωσης. Η πηγή αυτή, σύμφωνα με τα υδρογραφήματα αυξάνει την παροχή της με τις πρώτες βροχές και σε περιπτώσεις αυξημένων βροχοπτώσεων κατά το φθινόπωρο. Το καλοκαίρι μειώνεται πολύ η παροχή της. Η πηγή της Μαυριάς, εκ φορτίζει τον $\Theta\Theta$ καρστικό υδροφορέα δυτικά του πεδίου Κυπαρισσίων και γενικά έχει εμφανίσει ροή με μικρή παροχή σε δύο μόνο περιόδους σύμφωνα με υδρογράμματα.



Εικόνα 1.14: Κύριες πηγές που εντοπίζονται στο βόρειο τμήμα της λεκάνης κοντά στο πεδίο Κυπαρισίων με τις θέσεις δειγματοληψίας A7 και A8 στον Αλφειό ποταμό (Tsiftsis, 1987).

Πηγές Νοτιοδυτικά, Νότια και Νοτιοανατολικά

Νοτιοδυτικά της λεκάνης, υπάρχουν πηγές υπερπλήρωσης όμοιες γενετικά με αυτές που εντοπίζονται βορειοδυτικά της λεκάνης. Μία πηγή εντοπίζεται 2km νότιο-νοτιοανατολικά του χωριού Ελληνίτσα σχετιζόμενη με την υδρολογική λεκάνη του ποταμού Ξερίλα και άλλη μια 2km Βόρειο Ανατολικά του χωριού Παραδείσια που σχετίζεται με την υδρολογική λεκάνη του ποταμού Κεφαλόβρυσου (Tsiftsis, 1987). Νότια, στα ανθρακικά πετρώματα της Τρίπολης δεν εντοπίζονται πηγές, καθώς το νερό κατεισδύει στον βαθύ καρστικό υδροφορέα και κινείται προς Νότο. Στα Νοτιοανατολικά της λεκάνης, η επώθηση του Πινδικού καλύμματος πάνω από τον φλύσχη της Τρίπολης έχει δημιουργήσει καρστικές πηγές στο βόρειο κομμάτι του καλύμματος, εντός της υδρολογικής λεκάνης του ρέματος Κουτιφαρίνα (Tsiftsis, 1987).

Πηγές Ανατολικά της Λεκάνης

Ανατολικά της λεκάνης, ξανά η επώθηση του Πινδικού καλύμματος πάνω στον φλύσχη της Τρίπολης, έχει δημιουργήσει δύο κύριες πηγές. Δυτικά του χωριού Μαρμάρια και Νότια του Χωριού Παλαιοχούνη (Tsiftsis, 1987). Η πρώτη, εμφανίζεται στο χαμηλότερο σημείο της Πίνδου στον πυθμένα της κοιλάδας μέσα στην υδρολογική λεκάνη του Αλφειού. Ενώ, η μικρότερη παροχής πηγή είναι επαφής και είναι 500 μέτρα Νότιοανατολικά του χωριού Μαρμάρια, όπως και η πηγή υπερπλήρωσης κοντά στην εκκλησία του Αγίου Γεωργίου (υδρολογική λεκάνη Αλφειού) (Tsiftsis, 1987).

Πηγές Βόρεια και Βορειοανατολικά της λεκάνης

Στην Βορειοανατολική μεριά της λεκάνης, παρατηρούμε εντελώς διαφορετική δομή με την υπόλοιπη περιοχή. Συγκεκριμένα, έχουμε την επώθηση πλέον των ανθρακικών της Πίνδου απευθείας πάνω από τους ασβεστολίθους της Τρίπολης, με τον μόνο σχηματισμό ενδιάμεσα τους να είναι ένα τεκτονικό λατυποπαγές (τεκτονικός σχηματισμός). Ο σχηματισμός αυτός, δεν επηρεάζει την κατεύθυνση του νερού προς τους ασβεστολίθους της Τρίπολης. Οι δύο κύριες πηγές είναι της Παναγιάς και της Όπισθο-Παναγιάς δεν σχετίζονται με αυτές τις ασβεστολιθικές μάζες, αλλά όπως έχει αποδειχτεί από τον Τσιφτισί (Tsiftsis, 1987) εκ φορτίζουν τον κύριο καρστικό υδροφορέα που αναπτύσσεται στο Πεδίο Κυπαρισσιών.

Βόρεια της λεκάνης, αναπτύσσονται δύο ακόμα κύριες πηγές αυτή της Κεφαλόβρυσης και της Κορμιπίσης. Αυτές οι πηγές, συνδέονται με τα τους Άνω Κρητιδικούς ασβεστολίθους της Πίνδου που εκτείνονται σε διεύθυνση Βορρά – Νότου στα δυτικά του χωριού Ελληνικό, ενώ μπορεί να τροφοδοτούνται και από άλλες μάζες. Αποτελούν δύο πηγές του ίδιου καρστικού υδροφορέα, που συνδέονται μεταξύ τους. Η πρώτη θεωρείται πηγή υπερπλήρωσης και η δεύτερη επαφής. Η πηγή της Κεφαλόβρυσης αποτελεί μια από τις μεγαλύτερες πηγές της Λεκάνης και εμφανίζει μεταβολή στην παροχή της έως και 20 φορές μεταξύ θερμής και υγρής περιόδου. Αντίθετα, η εκφόρτιση των νερών της πηγής Κορμιπίσης είναι σχετικά σταθερή με παροχή διπλάσια την υγρή περίοδο από ότι της ξηρή. Και τα δύο ρέματα, βρίσκονται εντός της υδρολογικής λεκάνης του Αλφειού και τα νερά τους καταλήγουν άμεσα ή έμμεσα από κοντινά ρέματα στον Αλφειό ποταμό νότια της γέφυρας της Καρύταινας.

1.8.4 Υδρογεωλογικό καθεστώς Πεδίου Κυπαρισσιών

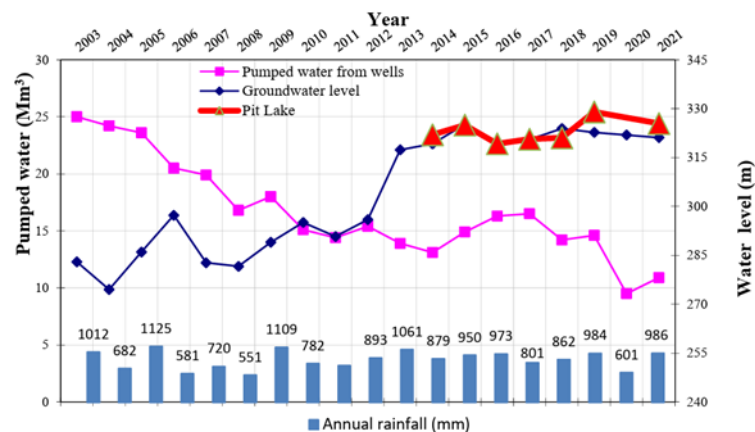
Το Πεδίο Κυπαρισσιών, αποτελεί τον πιο καλά μελετημένο χώρο υδρογεωλογικά. Θεωρείται μια διαφορετική υδρογεωλογική περιοχή εντός της λεκάνης, λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών της. Αποτελούσε, τον χώρο εκμετάλλευσης του ορυχείου Κυπαρισσιών από την ΔΕΗ, όπου αναγκάστηκε να κλείσει, λόγω σοβαρών προβλημάτων. Λεπτομέρειες θα αναφερθούν στο κεφάλαιο 2. Σήμερα, ο χώρος του ορυχείου έχει καλυφτεί από μια μεγάλη λίμνη, η οποία μελετάται διαρκώς από την διεύθυνση της ΔΕΗ (Λουλούδης κ.α., 2023).

Στο ορυχείο των Κυπαρισσιών αναπτύσσονται τρεις κύριοι καρστικοί υδροφορείς: ο Βόρειος, ο Δυτικός και ο Κύριος καρστικός υδροφορέας εντός των Άνω Κρητιδικών ασβεστολίθων της ενότητας της Πίνδου και διαχωρίζονται μεταξύ τους από λωρίδες του πρώτου φλύσχη της (Louloudis et al., 2023; Louloudis, 2017; Tsiftsis, 1987). Το ασβεστολιθικό υπόβαθρο, βρίσκεται σε σχετικά μικρό βάθος στο Βόρειο μέρος του ορυχείου, εναλλασσόμενο με τα στρώματα φλύσχη, ενώ βυθίζεται ομαλά δημιουργώντας το αντίκλινο της Σικαλιάς. Επιπλέον, έχει αποδειχτεί ότι υπάρχει υδραυλική επικοινωνία μεταξύ Αλφειού ποταμού και της λίμνης, που είχε ως αποτέλεσμα το κλείσιμο του ορυχείου, καθώς δημιουργήθηκαν δύο λίμνες Βόρεια και Νότια του ορυχείου που έπειτα ενώθηκαν,

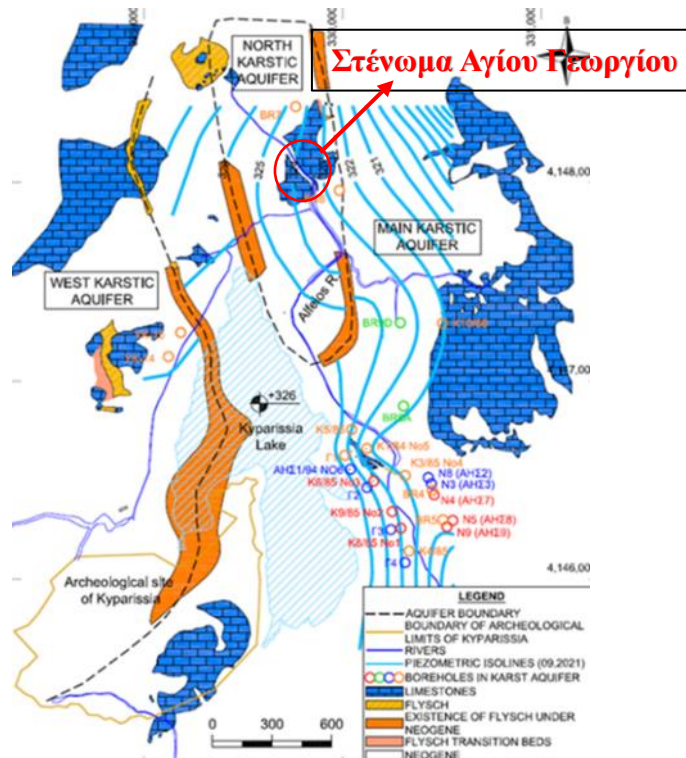
καθιστώντας της εκμετάλλευση αδύνατη (Louloudis et al., 2023). Επιπλέον, η λίμνη των Κυπαρισσιών είναι σε άμεση υδραυλική επικοινωνία με τον κύριο καρστικό υδροφόρο που καθορίζει και την εξέλιξη της λίμνης.

Ο κύριος υδροφόρος, έχει συγκεκριμένες υδραυλικές παραμέτρους χαρακτηριστικά είναι: η υδραυλική αγωγιμότητα (k) 10^{-1} - 10^{-2} m²/s στα κεντρικά και ανατολικά του και χαμηλότερη στα δυτικά (Louloudis et al., 2023) και η υδραυλική κλίση (i) 0,6% που ευνοεί την είσοδο ποσοτήτων νερού από την λίμνη στον καρστικό υδροφόρο. Η ισχυρή σχέση μεταξύ του κύριου υδροφόρου και της Λίμνης, αποδεικνύεται και από το γεγονός ότι η αύξηση της στάθμης της λίμνης για την περίοδο 2014-2023 ήταν περίπου 3,7 m. Ενώ, κατά την περίοδο άντλησης του κύριου υδροφόρου για την συνέχιση των εργασιών εκμετάλλευσης, η στάθμη της λίμνης είχε μειωθεί (Louloudis et al., 2023). Από το 2019 και έπειτα, η πιεζομετρική στάθμη της λίμνης ξεπέρασε την πιεζομετρική στάθμη του κύριου υδροφόρου, κυρίως λόγω της μείωσης των αντλήσεων από τον κύριο υδροφόρο, με αποτέλεσμα η λίμνη να δίνει ποσότητες νερού στον υπόγειο υδροφόρο (βλ. **Εικόνα 1.15**).

Οι υπόλοιποι υδροφορείς, πέρα από του ορυχείου Κυπαρισσιών είναι μικρής έκτασης και πάχους μέσα στα κλαστικά και ακόμα και μέσα σε κατακερματισμένους λιγνίτες (ράχη Σικαλιάς και υπολεκάνη Λαπάτου) τα πρώτα 20 μέτρα του λιγνίτη είναι διαπερατά. Τα ιζήματα του λόφου της Σικαλιάς είναι επίσης σε επικοινωνία με τους καρστικούς υδροφόρους (Tsiftsis, 1987).



Εικόνα 1.15: Διάγραμμα διακύμανσης της στάθμης του κύριου υδροφόρου 2003-2021 σε σχέση με την στάθμη της λίμνης Κυπαρισσιών, σε σχέση με τις βροχοπτώσεις και την άντληση ποσοτήτων νερού από τον κύριο καρστικό υδροφόρο από τους (Louloudis κ.α., 2023).



Εικόνα 1.16: Οι καρστικές υδροφορίες του πεδίου Κυπαρισσιών και η πιεζομετρία του 2021 από τους (Louloudis et al., 2023).

Πέρα από την μελέτη αποκλειστικά του ορυχείου των Κυπαρισσιών, χρειάζεται μια ευρύτερη άποψη για του υδροφόρους ορίζοντες που αναπτύσσονται στην περιοχή αυτή. Σύμφωνα με τον (Tsiftsis, 1987), στην περιοχή των Κυπαρισσιών, αναπτύσσονται 6 διαφορετικοί καρστικοί υδροφόροι ορίζοντες (βλ. **Εικόνα 1.16**). Ο 1^{ος} καρστικός υδροφορέας, αντιστοιχεί στον Κύριο καρστικό υδροφορέα της περιοχής που έχει και την μεγαλύτερη έκταση. Ο 2^{ος}, αντιστοιχεί στον Βόρειο Καρστικό υδροφορέα. Ο 3^{ος}, στην ασβεστολιθική μάζα βόρειο-Δυτικά του Ορυχείου Κυπαρισσιών και ο 4^{ος} 5^{ος} και 6^{ος}, αντιπροσωπεύει τον Δυτικό Καρστικό υδροφόρο της περιοχής.

1.8.5 Σχέση Υπόγειων υδροφορέων με τον Αλφειό και τα γύρω ρέματα

Μόνο δύο εξ αυτών είναι σε άμεση επικοινωνία με τα επιφανειακά ύδατα (τον Αλφειό και τους παραποτάμους). Γύρω από την γέφυρα του ποταμού Αλφειού και πιο Βόρεια στο στένωμα του Αγίου Γεωργίου έχουν άμεση σχέση με τον Βόρειο καρστικό υδροφορέα, ενώ το παράπλευρο Δυτικό ρέμα (Παλιόρεμα) που καταλήγει στον Αλφειό έχει άμεση σχέση με τον Κύριο καρστικό Υδροφορέα (βλ. **Εικόνα 1.16**). Όπως ήδη έχει αναφερθεί, οι πρόσφατες αποθέσεις του Αλφειού και κάποια κλαστικά ιζήματα βρίσκονται και αυτά σε υδραυλική επικοινωνία με τον Αλφειό και τους παραποτάμους, όπως και η λίμνη των Κυπαρισσιών (Tsiftsis, 1987).

Όσον αφορά τον Κύριο καρστικό υδροφορέα, αυτός δέχεται ποσότητες νερού όλο τον χρόνο από το ρέμα Παλιόρεμα. Η σχέση επιφανειακού με υπόγειου υδροφορέα, εντοπίζεται κυρίως κατά μήκος περίπου 200m εντός της ασβεστολιθικής μάζας νότια του αρχαιολογικού χώρου των

Κυπαρισσίων (*βλ. Εικόνα 1.16*) (Tsiftsis, 1987). Η έκταση της είναι μικρή, αλλά το γεγονός ότι η στάθμη του κύριου υδροφόρου ορίζοντα είναι όλο τον χρόνο χαμηλότερη από την στάθμη του νερού του παραποτάμου δείχνει, ότι ο παραπόταμος δίνει νερό στον κύριο καρστικό υδροφορέα όταν αυτός παρουσιάζει ροή (κυρίως κατά τον χειμώνα και την Άνοιξη με τις έντονες βροχοπτώσεις) (Tsiftsis, 1987). Τέλος οι πηγές που εκ φορτίζει κατά μήκος του Αλφειού ο κύριος καρστικός υδροφορέας είναι αρκετές με την κύρια να είναι η πηγή της Αγίας Σωτηρίας. Ακόμα και άλλες, εντοπίζονται 200 μ βορειοανατολικά από την γέφυρα του Αλφειού. Τέλος, μικρές εκφορτίσεις υπάρχουν ανατολικά όπως προσεγγίζει κάποιος την Γέφυρα του Αλφειού (βόρεια και νότια του δρόμου) σε ύψος 339 έως 339,5 μ.

Όσον αφορά τις πρόσφατες αποθέσεις τους Αλφειού, αποτελούν ξεχωριστή υδρογεωλογική ενότητα, αυτές δέχονται νερό το χειμώνα από τον Αλφειό και τους παραποτάμους του, ενώ κατά την ξηρή περίοδο το νερό αυτό του υδροφορέα είναι υπεύθυνο για την ροή του Αλφειού (Tsiftsis, 1987). Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι κατά μήκος του Αλφειού παρεμβάλλονται και τα αδιαπέραστα στρώματα της Μαραθούσας, που προκαλούν την κίνηση του νερού έξω από τις πρόσφατες αποθέσεις του Αλφειού και έπειτα το νερό αυτό επιστρέφει πίσω στον ποταμό. Αυτό συμβαίνει και γύρω από το χωριό της Θωκνίας, όπου πολλές μικρές πηγές εμφανίζονται λόγω της επαφής των στρωμάτων της Θωκνίας με τα αδιαπέρατα της Μαραθούσας (Tsiftsis, 1987).

Ο Αλφειός βορειότερα της Γέφυρας του Αλφειού, περνάει πάνω από τους άνω Κρητιδικούς ασβεστολίθους της Πίνδου στο στένωμα του Αγίου Γεωργίου. Εκεί μεταξύ του ασβεστολίθων και του ποταμού παρεμβάλλεται ένα μικρού πάχους στρώμα χαλικιών. Ανεξαρτήτως εποχής ο Αλφειός τροφοδοτεί τον Βόρειο Καρστικό Υδροφορέα (Tsiftsis, 1987). Ενώ δεν παρατηρείτε κάποιου είδους πηγή εντός του Αλφειού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

2 Λιγνιτική Δραστηριότητα

2.1 Ιστορικό Εργοστασίου

Πρώτος ο Πausanias τον 2^ο αιώνα μ.Χ., καθώς διέσχισε την λεκάνη της Μεγαλόπολης περιέγραψε το φαινόμενο της αυτανάφλεξης του λιγνίτη, όταν οι ντόπιοι θεωρούσαν ότι συνδέεται με ηφαιστειακή δραστηριότητα (Kelepertsis & Kontis, 1997). Έπρεπε να περάσουν αρκετοί αιώνες, ώστε να εντοπιστεί το πρώτο κοίτασμα στην περιοχή το 1957 και η ΔΕΗ να ξεκινήσει τις εξορύξεις 12 χρόνια αργότερα, το 1969 (Kavouridis, 2008). Η ΔΕΗ, αποτελούσε και αποτελεί την μεγαλύτερη εταιρία ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα με πάνω από 50 χρόνια εμπειρία στην εύρεση και αξιοποίηση των λιγνιτικών κοιτασμάτων (Kordas, 2006). Το κοίτασμα της Μεγαλόπολης (πρώτο κοίτασμα της περιοχής), αποτέλεσε πρωτοφανές για το παγκόσμιο γίνεσθαι, καθώς ήταν η πρώτη φορά που τόσο χαμηλής ποιότητας λιγνίτης, χρησιμοποιήθηκε για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Kordas, 2006). Έκτοτε, και άλλα λιγνιτικά κοιτάσματα μπήκαν στην παραγωγή με τις μονάδες παραγωγής να βρίσκονται κοντά στα ορυχεία, προκειμένου η καύση του λιγνίτη να είναι οικονομικά βιώσιμη. Τα συνολικά αποθέματα της λεκάνης της Μεγαλόπολης, ανέρχονται σε 420.000.000 τόνους (Kavouridis, 2008). Οι πρώτοι σταθμοί ηλεκτρικής ενέργειας που δημιουργήθηκαν, ήταν η Μεγαλόπολη Α (SPS 1) με την 1^η μονάδα το (1970) 125 MW, η 2^η το (1970) 125 MW και η 3^η μονάδα το (1974) 300 MW. Το 1991, δημιουργήθηκε η Μεγαλόπολη Β με την μονάδα 4 300 MW (Kavouridis, 2008). Τέλος τα τελευταία χρόνια, ξεκίνησε η λειτουργία της Μονάδας V με παραγωγή ρεύματος από φυσικό αέριο. Ενώ οι μονάδες I, II και III έχουν πλέον κλείσει, λόγω του ότι είναι παλαιωμένες. Σήμερα, η μονάδα IV βρίσκεται υπό καθιστός εφεδρείας από το 2022, λόγω της ανάγκης ενέργειας που προέκυψε από τον πόλεμο στην Ουκρανία.

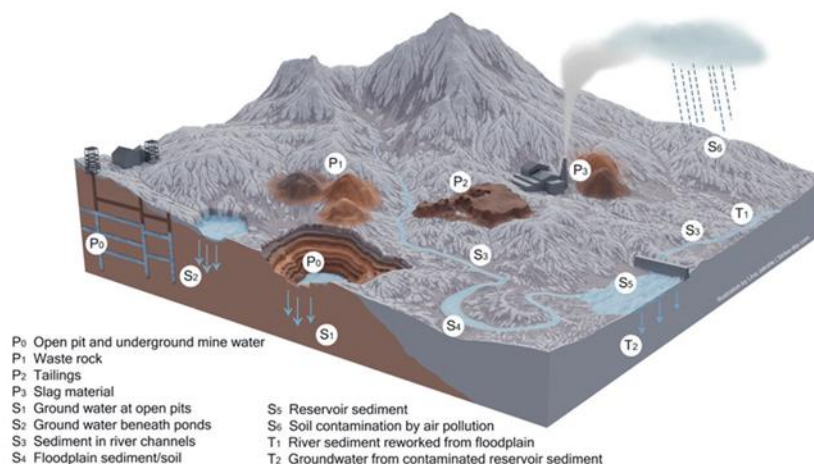
Σύμφωνα με τους Roumpros et al (2018), ιστορικά, η λιγνιτική παραγωγή αυξανόταν διαρκώς με σταθερό ρυθμό 7% κατά την περίοδο 1958- 2005 με ταυτόχρονη αύξηση της εγκατάστασης νέων σταθμών καύσης λιγνίτη. Από το 1959-2017 διακρίνονται 4 περίοδοι σε σύγκριση με το διάγραμμα απογύμνωσης εδαφών και λιγνιτικής παραγωγής, που σχετίζονται με το άνοιγμα νέων ορυχείων, Ενώ από το 2012 και μετά, παρατηρείται ραγδαία μείωση της λιγνιτικής παραγωγής από 31 TWh (2012) σε 16 TWh (2017), λόγω μειωμένης ζήτησης ενέργειας και της οικονομικής κρίσης. Τα τελευταία χρόνια οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν εισχωρήσει αρκετά στο ενεργειακό μείγμα, αντικαθιστώντας σταδιακά τον λιγνίτη (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2023).

Η Ευρώπη έχει υποστηρίξει με ψηφίσματα την πλήρη απεξάρτηση από τον λιγνίτη μέχρι το 2030. Με βάση αυτό η Ελληνική Κυβέρνηση εναρμονισμένη με την Ευρωπαϊκή οδηγία, θέσπισε ένα Εθνικό σχέδιο για την ενέργεια και το κλίμα (Επιτροπή ΣΔΑΜ, 2020; Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2023). Αναφέρεται ότι η τελευταία μονάδα της Μεγαλόπολης θα αποσυρθεί στο τέλος του

2024 και η μονάδα V της Πτολεμαΐδας ως η τελευταία μονάδα καύσης λιγνίτη στην Ελλάδα το 2028. Οι δραστηριότητες που μπορούν να πραγματοποιηθούν μετέπειτα από την αποκατάσταση της περιοχής αποτελούν φωτοβολταϊκά πάρκα, αντλιοσταμειντικά έργα, λίμνες σε θέσεις παλιών ορυχείων, κτηνοτροφικές μονάδες και βιολογικές καλλιέργειες κ.α. (Δημητρακοπούλου, 2010; Επιτροπή ΣΔΑΜ, 2020; Λουλούδης κ.α., 2023).

2.2 Λειτουργία Εργοστασίου

Η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος από τα εργοστάσια λιγνίτη, περιέχουν μια σειρά από διαδικασίες και απόβλητα που επηρεάζουν το περιβάλλον (Jain, 2016). Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των εξορύξεων στα νερά μπορούν να ταξινομηθούν σύμφωνα με τους Fork et al (1990) ως κύριες, δευτερεύοντες και τριτογενείς και περιλαμβάνουν όλα τα στάδια λειτουργίας του Εργοστασίου (**βλ. Εικόνα 2.1**). Για αυτόν τον λόγο, στα επόμενα κεφάλαια θα αναφερθεί κάθε λειτουργία με σειρά όπως γίνεται η εξόρυξη λιγνίτη από τα ορυχεία, μέχρι την απόθεση των παραπροϊόντων, καθώς και οι πιθανές επιβαρύνσεις που έχει η κάθε μια στο περιβάλλον και στα νερά της περιοχής.



Εικόνα 2.1: Σχηματική εικόνα των πηγών ρύπανσης σε περιοχή εξόρυξη με το γράμμα P: κύριες πηγές ρύπανσης, S: δευτερεύον πηγές ρύπανσης, T: τριτογενής πηγές ρύπανσης. Εικόνα που επεξεργάστηκαν οι (Wolkersdorfer & Mugona, 2022).

2.2.1 Ορυχεία λιγνίτη στην περιοχή της Μεγαλόπολης

Η εξόρυξη του λιγνίτη στην περιοχή της Μεγαλόπολης, γίνεται σε ανοιχτούς λάκκους με την μέθοδο της ανοικτής εκσκαφής. Το κοίτασμα, αποτελείται από εναλλαγές κλαστικών ιζημάτων και λιγνίτη με το πάχος του λιγνίτη να μεταβάλλεται έντονα από μερικά έως 5 μέτρα (Kordas, 2006). Στην εκμετάλλευση χρησιμοποιείται μια σειρά από εξοπλισμούς (φορτωτές, μπουλντόζες, εκσκαφείς, φορτηγά κ.α). Έπειτα, ο λιγνίτης μεταφέρεται με ταινίες δεκάδων μέτρων και συγκεντρώνονται σε σωρούς, στην αυλή του λιγνίτη έξω από τις μονάδες καύσης. Τα άγονα υλικά (άμμοι, χάλικες,

κροκαλοπαγή, μάργες κ.λπ.), συγκεντρώνονται σε οριοθετημένους χώρους έξω από το ορυχείο, όπου στην συνέχεια τοποθετούνται στα κενά εξόρυξης και ακολουθούν τις εργασίες αποκατάστασης, ώστε να ελαχιστοποιηθεί η επίδραση στο τοπίο (Kordas, 2006).

Στην περιοχή υπάρχουν 4 ορυχεία από τα οποία το μόνο που λειτουργεί σήμερα είναι το ορυχείο Χωρεμίου. Αντίθετα, τα ορυχεία Κυπαρισσίων και Μαραθούσας έχουν αποκατασταθεί και το ορυχείο της Θωκνίας δέχεται τα στερεά παραπροϊόντα των σταθμών ΑΗΣ.

Ορυχείο Κυπαρισσίων

Το ορυχείο Κυπαρισσίων (1987-2012), εντοπίζεται στο Βόρειο τμήμα του χώρου δικαιοδοσίας της ΔΕΗ. Το ορυχείο παρουσιάζει ιδιαίτερες υδρογεωλογικές συνθήκες, όπως αυτές αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 1.8.3. Η εξόρυξη σταμάτησε το 2009 καθώς στο Βορειοδυτικό τμήμα του βρέθηκαν αρχαία. Από το 2006, υπήρχαν προβλήματα τόσο από υπόγεια όσο και επιφανειακά με την είσοδο νερού από τον Αλφειό, κυρίως στο Βορειοανατολικό σημείο, μέσω ρωγμών από το πρηνές του ορυχείου κοντά στην κοίτη του Αλφειού. Αποτέλεσμα ήταν η δημιουργία 2 λιμνών μία βόρεια και μία νότια του ορυχείου (Λουλούδης κ.α., 2023). Έγιναν αντλήσεις των επιφανειακών υδάτων για την συνέχιση της εκμετάλλευσης, αλλά χωρίς αποτέλεσμα. Το 2011 και 2012 οι λίμνες ενώθηκαν, λόγω της παύσης των αντλήσεων και των βροχοπτώσεων. Το 2015 και το 2016, έγινε εκ νέου προσπάθεια άντλησης νερών της λίμνης για να συνεχιστεί η εξόρυξη χωρίς αποτέλεσμα. Τελικά, το 2017 το ορυχείο έκλεισε πλήρως και στην θέση του δημιουργήθηκε η λίμνη των Κυπαρισσίων (**βλ. Εικόνα 2.2**). Τα τελευταία χρόνια, η στάθμη της ελάχιστα αυξάνεται. Το σύστημα πλέον βρίσκεται σε ισορροπία με τα νερά της περιοχής και έχει αποκτήσει χαρακτηριστικά βιοτόπου με την ανάπτυξη μιας νέας μορφής χλωρίδας και πανίδας (Λουλούδης κ.α., 2023). Επομένως, η ποιότητα των νερών της Λίμνης είναι πολύ σημαντική για την ποιοτική κατάσταση του Αλφειού και των υπόγειων υδάτων.



Εικόνα 2.2: Λίμνη Κυπαρισσίων στο παλιό Ορυχείο Κυπαρισσίων

Ορυχείο Θωκνίας

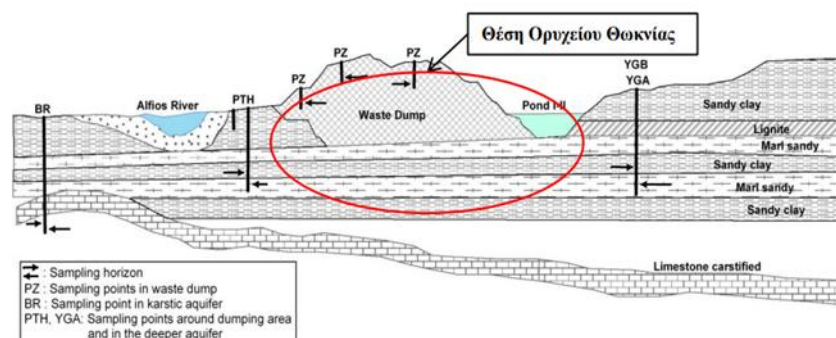
Το ορυχείο Θωκνίας (**βλ. Εικόνα 2.3**), εντοπίζεται νοτιοανατολικά του ορυχείου Κυπαρισσίων και λειτούργησε από το 1970 - 1994. Βόρεια του ορυχείου και των εξωτερικών του αποθέσεων (ανατολική εξωτερική απόθεση Θωκνίας) (παράρτημα 2) ρέουν 2 ρέματα ο Σούλος και ο Γάββρος που

έπειτα, συμβάλλουν με τον Ζάμπακα και στην συνέχεια στον Αλφειό ποταμό. Ενώ, από την νότια μεριά του ορυχείου ρέει ο Ελισσώνας ποταμός. Από το 1997, ο χώρος του ορυχείου (2.750 στρεμμάτων), χρησιμοποιείται για την απόθεση των στερεών παραπροϊόντων των ΑΗΣ (Ατμοηλεκτρικών σταθμών) Μεγαλόπολης (Λουλούδης κ.α., 2023).

Σύμφωνα με την 8684/27-4-2018 ΑΕΠΟ, στον χώρο της Θωκνίας γίνεται η απόθεση τέφρας, γύψου και ιλύς/λασπών από το ΣΚΥΒΑ των ΑΗΣ (Μονάδων I, II, III, IV, V). Βάση των (Λουλούδης κ.α., 2023), συνολικά από την λειτουργία των μονάδων III, IV γινόταν απόθεση 2,71 εκατομμύριων. m^3 /έτος. Ενώ τα τελευταία χρόνια, ήταν 1 εκ. m^3 /έτος. Από το 2022, οι ποσότητες έχουν περιοριστεί στο ελάχιστο, λόγω του κλεισίματος της μονάδας III και το καθεστώς εφεδρείας της μονάδας IV (Λουλούδης κ.α., 2023). Η απόθεση, γίνεται με την μεταφορά της ιπτάμενης, υγρής τέφρας και γύψου από τις μονάδες III και IV σε 2 χώρους συγκέντρωσης στις θέσεις Α και Β αντίστοιχα (παράρτημα 2). Έπειτα με ειδικά καλυμμένα φορτηγά, οδηγούνται σε απόθεση εντός του παλιού ορυχείου της Θωκνίας (Λουλούδης κ.α., 2023). Η τέφρα στους χώρους απόθεσης, συμπυκνώνεται και διαστρώνεται σε παράλληλα στρώματα μαζί με την ιλύ. Το πάχος φτάνει τα 40 cm και διαστρώνεται μέχρι το επιθυμητό ύψος.

Όσον αφορά την υδραυλική προστασία του χώρου, υπάρχει δίκτυο τάφρων-καναλιών που καθοδηγούν τα όμβρια ύδατα και τα επιφανειακά νερά με φυσική ροή σε ταμειυτήρες (Λουλούδης κ.α., 2023). Στην συνέχεια τα νερά αυτά, ξαναχρησιμοποιούνται για διαβροχή της ιπτάμενης τέφρας στους χώρους συγκέντρωσης, για την ύγρανση των παραπροϊόντων όταν χρειάζεται, την διαβροχή δρόμων προσπέλασης και για την διαβροχή του χώρου απόθεσης. Όταν η απόθεση της τέφρας φτάσει στο επιθυμητό ύψος, γίνεται απόθεση στρώματος άγονων υλικών από τα ενεργά ορυχεία, για την πλήρη κάλυψη και εκεί πλέον δεν χρειάζεται συνεχής διαβροχή (Λουλούδης κ.α., 2023).

Υδρογεωλογικά, λόγω των ιζημάτων μικρής διαπερατότητας, η περιοχή είναι υδραυτικά απομονωμένη ανάμεσα στις αποθέσεις και στα αργιλικά στρώματα και ο βαθύς Καρστικός υδροφορέας είναι ασφαλής. Στον χώρο της Θωκνίας, σύμφωνα με τους (Λουλούδης κ.α., 2023) δεν υπάρχει πρόβλημα εισροής υδάτων από τα γύρω ρέματα και τον Αλφειό μέσα στο ορυχείο. Όμως, επισημαίνεται ότι απαιτείται η κατασκευή λιμνοδεξαμενών και εσωτερικών και εξωτερικών τάφρων διευθέτησης για την αποφυγή διαφυγής νερών από την Θωκνία στα γύρω ρέματα.



Εικόνα 2.3: Ορυχείο Θωκνίας σε τομή Δύση-Ανατολή (Λουλούδης κ.α., 2023).

Ορυχείο Μαραθούσας

Το ορυχείο της Μαραθούσας λειτούργησε από το 1989-2015 (βλ. **Εικόνα 2.4**) αποτελεί την προέκταση του ορυχείου Χωρεμίου προς τα βόρεια. Σήμερα στον χώρο υπάρχει η λίμνη της Μαραθούσας, που δημιουργήθηκε, έπειτα από την παύση των αντλήσεων από το εσωτερικό των αντλιοστασίων το 2019. Τα υπόγεια νερά της περιοχής, εντοπίζονται σε μικρούς υπό πίεση θύλακες εντός των ιζημάτων και απουσιάζει ενιαίος υδροφόρος ορίζοντας. Μετά το 2019 που έγιναν και οι τελευταίες εξορύξεις στο ορυχείο Μαραθούσας, γίνεται μόνο άντληση νερών από τα αντλιοστάσια προκειμένου να μην ξεπεράσει η στάθμη της Λίμνης το μελλοντικό φωτοβολταϊκό πάρκο και δημιουργήσει πρόβλημα. Με βάση αυτό, πρέπει να αντλείται ποσότητα νερού από την λίμνη 1.000.000 m³ ετησίως. Τέλος, έχει δρομολογηθεί η δημιουργία αντλιοταμειευτικού έργου εντός του λάκκου (Λουλούδης κ.α., 2023).



Εικόνα 2.4: Ορυχείο Μαραθούσας μετά την δημιουργία της Λίμνης της.

Ορυχείο Χωρεμίου

Το ορυχείο Χωρεμίου (βλ. **Εικόνα 2.5**), αποτελεί το μοναδικό ενεργό ορυχείο στην περιοχή της Μεγαλόπολης, λειτουργεί από το 1970. Η γεωλογία των ιζημάτων παραμένει όμοια με αυτή της Μαραθούσας, αλλά επικρατούν πιο χονδρόκοκκά ιζήματα, κυρίως στο νότιο μέρος του Ορυχείου που οφείλεται στην παλαιοκοίτη του Αλφειού διεύθυνσης Νοτιοανατολικά - Νοτιοδυτικά (Λουλούδης κ.α., 2023). Υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας απουσιάζει, αλλά εντοπίζονται μικρές ποσότητες νερού σε θύλακες ή σε μικρές υπό πίεση υδροφορίες. Νότια του Ορυχείου εντοπίζονται τα κυριότερα προβλήματα, εξαιτίας των αλλουβιακών ιζημάτων που επιτρέπουν την εισροή υδάτων του Αλφειού εντός του ορυχείου (Λουλούδης κ.α., 2023).



Εικόνα 2.5: Ενεργό ορυχείο Χωρεμίου

2.2.2 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις ορυχείων στα επιφανειακά νερά

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις στα νερά της περιοχής από την εξόρυξη σε ανοικτούς λάκκους λιγνίτη, έχουν να κάνουν με την όξινη απορροή που δημιουργείται στα νερά των Ορυχείων, όταν ο Λιγνίτης εκτίθεται στις ατμοσφαιρικές συνθήκες AMD (Acid Mine Drainage) (Dzhangji & Atangana, 2024; Masood et al., 2020; Sahoo et al.; Singh et al., 2017; Spitz & Trudinger, 2008; Wolkersdorfer & Mugona, 2022). Συγκεκριμένα, ο Λιγνίτης αποτελείται από ορυκτά όπως ο σιδηροπυρίτης και ο Μαρκασίνης, τα οποία οξειδώνονται ταχύτατα με την παρουσία νερού και οξυγόνου στην ατμόσφαιρά, αλλά και με την βοήθεια μικροοργανισμών, η διαδικασία επιτυγχάνεται. Αποτέλεσμα αυτού, τα νερά εντός του ορυχείου έχουν πολύ χαμηλό pH και βρίσκονται εμπλουτισμένα σε επιβλαβή βαρέα μέταλλα και ιχνοστοιχεία. Το χαμηλό pH της όξινη απορροής σταδιακά αυξάνει, λόγω της αντίδρασης με τα ανθρακικά και πυριτικά πετρώματα στην περιοχή. Τα περισσότερα μέταλλα θα καθιζάνουν σαν ίζημα βελτιώνοντας στην συνέχεια την ποιότητα του νερού (Wolkersdorfer & Mugona, 2022).

Τα ανοιχτά ορυχεία, αντιμετωπίζουν προβλήματα με τα όμβρια και υπόγεια ύδατα όπως προχωράει η εξόρυξη. Τα νερά αυτά, αρχικά συγκεντρώνονται σε μικρές λίμνες εντός του Ορυχείου γνωστά ως αντλιοστάσια (**βλ. Εικόνα 2.6 β**), και στην συνέχεια έπειτα από επεξεργασία οδηγούνται εκτός του χώρου του Ορυχείου, απορρίπτοντας τις ποσότητες τους στα γύρω ρέματα. Η επεξεργασία τους πριν την απόρριψη τονίζεται βάση της νομοθεσίας 100532/200/23-1-04 ΚΥΑ. Τα νερά καταλήγουν στον Αλφειό ποταμό (λόγω εκμετάλλευσης του Ορυχείου Χωρεμίου δίπλα από τον Αλφειό), αφού πρώτα τηρούν συγκεκριμένα ποιοτικά όρια (Λουλούδης κ.α., 2023; Σγάντζος κ.α., 2021). Επιπλέον, προβλέπονται αναλύσεις συγκεκριμένων στοιχείων κάθε μήνα, 2μηνο και 3μηνο στην έξοδο των αντλιοστασίων, καθώς και συντήρηση του χώρου. Με βάση τα παραπάνω προστατεύεται ο χώρος του Ορυχείου, ώστε να μπορέσει να συνεχιστεί η εκμετάλλευση. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα νερά των αντλιοστασίων, είναι αντιπροσωπευτικά της ποιότητας των νερών του ορυχείου και της πιθανής επιβάρυνσης τους από τις δραστηριότητες του ορυχείου, όπως εκσκαφή αγόνων και λιγνίτη, απόθεση αγόνων υλικών και τέφρας, απόπλυση των επιφανειών εκσκαφής και αποθέσεων από τα νερά της βροχής (Σγάντζος κ.α., 2021).

Οι απορρίψεις των αντλιοστασίων είναι σημειακές γύρω από τον ορυχείο και σε κοντινή απόσταση από τον Αλφειό (**βλ. Εικόνα 2.6 α**). Η λειτουργία τους είναι παροδική, καθώς απορρίπτονται νερά τους κυρίως περιόδους έντονων βροχοπτώσεων. Από χημικές αναλύσεις των (Λουλούδης κ.α., 2023), σε λίμνες από τα αντλιοστάσια (παράρτημα 5) φαίνεται ότι τα TDS και τα ιόντα NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , SO_4^{2-} , Na^+ , Mn , Ni και το Mo έχουν μεγάλες διακυμάνσεις με κάποια δείγματα να παρουσιάζουν υψηλές συγκεντρώσεις.

Ακόμα, επιδράσεις της εξόρυξης είναι η αλλαγή της κοίτης ποταμών και η αλλαγή της μορφολογίας του εδάφους. Στην περίπτωση της Μεγαλόπολης, ο Αλφειός χαρακτηρίζεται ως ένα ιδιαίτερα τροποποιημένο σύστημα με υδρομορφολογικές αλλοιώσεις σε μήκος 15 χιλιομέτρων. Από τα 15 km τα 7,5 χιλιόμετρα περίπου, έχουν εκτραπεί (**βλ. Εικόνα 2.7 β**), με σκοπό να γίνει η επέκταση των μεταλλευτικών δραστηριοτήτων της ΔΕΗ για την εξόρυξη Λιγνίτη στην περιοχή του Χωρεμίου (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2013). Η κατασκευή του έργου, να μεν βελτίωσε την ποιοτική κατάσταση του Αλφειού, καθώς πλέον διέρχεται εξωτερικά των ορυχείων, αλλά άλλαξε την υδρομορφολογία της περιοχής με χρήση σκυροδέματος, αντιδιαβρωτικών έργων και δημιουργία αναχωμάτων (**βλ. Εικόνα 2.7 α**). Τέλος, έγινε και διευθέτηση ενός τμήματος του Αλφειού εκεί όπου τελειώνει η εκτροπή του, Βορειοανατολικά του οικισμού Απιδίτσα, όπου συμβάλλει με τον Ελισσώνα και διέρχεται πλευρικά από τον οικισμό Θωκνία καταλήγοντας στην Καρύταινα.

α)



β)

Εικόνα 2.6: α) ο Αλφειός ποταμός δίπλα από το ορυχείο Χωρεμίου στην θέση απόρριψης των νερών των αντλιοστασίων στον Αλφειό. β) η εικόνα απεικονίζει το Αντλιοστάσιο P13 μέσα στο ορυχείο Χωρεμίου (Λουλούδης κ.α., 2023).

α)



β)



Εικόνα 2.7: α) Εκτοπισμένη κοίτη του Αλφειού ποταμού στην περιοχή του Τριποτάμου, δίπλα από τον χώρο εξόρυξης του Χωρεμίου. β) Εκτοπισμένη κοίτη του Αλφειού ποταμού κάτω από την γέφυρα του Τριποτάμου.

2.3 Εργοστάσια Ηλεκτρικής Ενέργειας

2.3.1 Διαδικασία καύσης του λιγνίτη

Όπως έχει προαναφερθεί στην περιοχή της Μεγαλόπολης, υπάρχουν δυο σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με καύση λιγνίτη. Ο σταθμός ΑΗΣ Α με τις μονάδες (I,II,III) και ο σταθμός Β με τις μονάδες IV (καύσης λιγνίτη) και V (φυσικού αερίου). Η λειτουργία των μονάδων είχε ως εξής:

Ο λιγνίτης από το Ορυχείο μεταφέρεται μέσω συστήματος ταινιοδρόμων αρχικά στην αυλή του λιγνίτη έξω από κάθε ΑΗΣ, όπου πραγματοποιείται ομογενοποίηση με διαφορετικού προσανατολισμού απόληψη και απόθεση. Στην συνέχεια, οδηγείται στο κτηριακό συγκρότημα των σπαστήρων (**βλ. Εικόνα 2.8**) (μονάδα πρόθραυσης), όπου ο λιγνίτης θρυμματίζεται σε μέγεθος 30 mm και μεταφέρεται μέσω κλειστού τύπου ταινιών στα σιλό αποθήκευσης. Από εκεί, με κλειστούς μεταλλικούς τροφοδότες, μεταφέρεται στους μύλους λιγνίτη του λέβητα της μονάδας, στο οποίο γίνεται η άλεση, ξήρανση και μεταφορά του λιγνίτη στον λέβητα για καύση (**βλ. Εικόνα 2.8**). Στους μύλους, δημιουργείται ένα μείγμα σκόνης λιγνίτη, καυσαερίων και υγρασίας. Ένα μέρος αυτού, πηγαίνει απευθείας για καύση, ενώ το υπόλοιπο μέσω ηλεκτροστατικών φίλτρων πραγματοποιείται διαχωρισμός της σκόνης με τα καυσαέρια και την υγρασία. Η σκόνη, οδηγείται στους δευτερογενείς καυστήρες του λέβητα, ενώ τα καυσαέρια απομακρύνονται από τις καμινάδες. Στην συνέχεια, η καύση του λιγνίτη γίνεται στην εστία του λέβητα της μονάδας (**βλ. Εικόνα 2.8**), εκεί ο λιγνίτης καίγεται στους 1.100 βαθμούς κελσίου.

Τα προϊόντα της καύσης του λιγνίτη είναι τα εξής:

Καυσαέρια: με κύρια συστατικά το άζωτο, διοξείδιο του άνθρακα, υδρατμοί, οξυγόνο, διοξείδιο του θείου και οξείδια του αζώτου.

Ιπτάμενη τέφρα: αποτελείται από τα ανόργανα άκαυστα συστατικά του Λιγνίτη, τα οποία συμπαρασύρονται με τα καυσαέρια και συλλέγεται από τα ηλεκτροστατικά φίλτρα τέφρας.

Υγρή τέφρα: αποτελείται από μικρό ποσοστό τέφρας που δεν παρασύρεται με τα καυσαέρια μαζί με την ελάχιστη ποσότητα λιγνίτη, ο οποίος δεν έχει καεί. Λόγω βαρύτητας, συγκεντρώνονται στο κάτω μέρος του λέβητα σε μια δεξαμενή γεμάτη νερό, την τεφρολεκάνη. Μέσα στην τεφρολεκάνη,

γίνεται αποπυράκτωση των συστατικών της υγρής τέφρας και έπειτα οδηγείται προς αποθήκευση σε ειδικά σιλό.

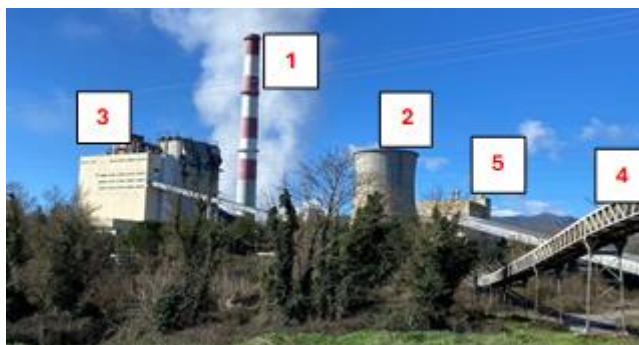
2.3.2 Επεξεργασία καυσαερίων

Τα καυσαέρια μόλις βγουν από τον λέβητα, περιέχουν όλα τα συστατικά τους μαζί με την ιπτάμενη τέφρα. Έπειτα, αυτά διέρχονται μέσα από 2 ηλεκτροστατικά φίλτρα τέφρας που την κατακρατούν. Ένα μικρό ποσοστό της τέφρας που δεν κατακρατείται, οδηγείται στο σύστημα της υγρής αποθείωσης. Στην μονάδα εφαρμόζεται η υγρή μέθοδος με πρώτη ύλη τον ασβεστόλιθο και το κύριο συστατικό του τον ασβεστίτη CaCO_3 . Με την διαδικασία, παράγεται ως παραπροϊόν ένυδρο θειϊκό ασβέστιο (Γύψος) $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Προκύπτει παραγόμενος γύψος, με περιεκτικότητα 55% σε στερεά, συλλέγεται από την απορροή του υδροκυκλώνα του ψύκτη και οδηγείται στη δεξαμενή γαλακτώματος γύψου. Τα αποθειωμένα καυσαέρια μέσω του πύργου ψύξης, καταλήγουν στην ατμόσφαιρα και ο παραγόμενος γύψος ως παραπροϊόν πηγαίνει προς απόθεση (βλ. **Εικόνα 2.9**).

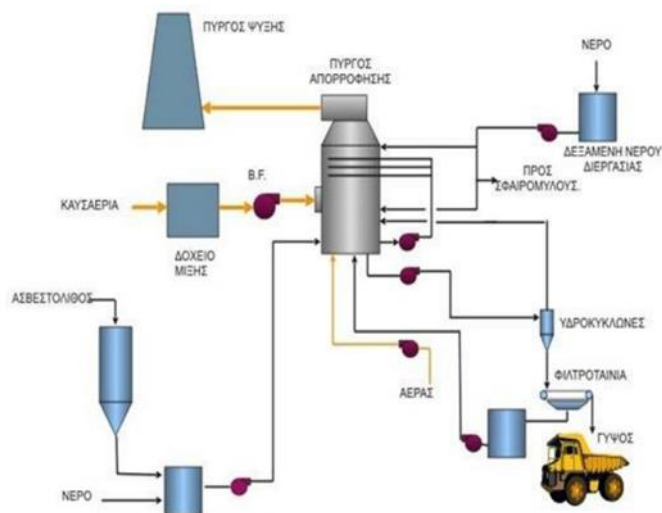
Τα αποθειωμένα πλέον καυσαέρια καταλήγουν στην ατμόσφαιρα, οπότε δεν διατρέχει πρόβλημα όξινης βροχής στην περιοχή. Παρόλα αυτά, γίνονται ετήσιες εκθέσεις ποιότητας περιβάλλοντος από την (ΔΕΘΥΠ/Κλ. Εκμετάλλευσης/ ΤΟΜΕΑΣ ΧΗΜΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, 2022), αναλύονται τα αιωρούμενα στερεά, NO_x και SO_x .

Ατμοπαραγωγή και κυκλώματα ψύξης

Οι συγκεκριμένες μονάδες μαζί με την μονάδα παραγωγής αποκληρωμένου νερού, χρησιμοποιούν νερό γεωτρήσεων το οποίο επεξεργάζεται σε συγκεκριμένα ποιοτικά όρια για την λειτουργία τους. Ένα μέρος του νερού τους εξατμίζεται ενώ το μεγαλύτερο μέρος ανακυκλώνεται και ένα μέρος καταλήγει ως απόβλητα (αναγεννήσεις ρητινών) στην μονάδα επεξεργασίας των βιομηχανικών αποβλήτων ΣΚΥΒΑ.



Εικόνα 2.8: Σταθμός Β Μονάδα IV όπου φαίνεται η μονάδα καυσαερίων (1), ο πύργος ψύξης (2), το λεβιτοστάσιο (3), ταινία μεταφοράς της υγρής τέφρας (4) και το συγκρότημα των σπαστήρων (5).



Εικόνα 2.9: Διεργασία αποθείωσης, τα αποθειωμένα καυσαέρια εξέρχονται από το άνω μέρος του πύργου καταλήγοντας στην ατμόσφαιρα μέσω του Πύργου Ψύξης και ταυτόχρονα γίνεται η παραγωγή Γύψου ως παραπροϊόν της διαδικασίας.

2.3.3 Περιβαλλοντικά έργα για την λειτουργία του εργοστασίου

Τόσο το ΑΗΣ Α όσο και το ΑΗΣ Β διαθέτουν ένα συγκρότημα κατεργασίας υγρών βιομηχανικών αποβλήτων (ΣΚΥΒΑ) δυναμικότητας 1.000 m³/h, που επεξεργάζεται τα υγρά βιομηχανικά απόβλητα των μονάδων. Βρίσκονται αυτή την στιγμή σε λειτουργία οι IV και V φυσικού αερίου, καθώς και τα όμβρια ύδατα από τους χώρους των ΑΗΣ. Επίσης, είναι εφοδιασμένη με δεξαμενή καταιγίδας σε περίπτωση έντονων καιρικών φαινομένων όταν τα βιομηχανικά απόβλητα ξεπερνούν τα 1,200 m³/h. Τα απόβλητα αυτά, επεξεργάζονται μέσω διάφορων διεργασιών όπως ρύθμιση του pH με διαλύματα θειικού οξέος ή καυστικού νατρίου, καθίζηση στερεών σωματιδίων, περαιτέρω καθιζήσεις με διάλυμα θειικού αργιλίου για συσσωμάτωση των αιωρούμενων στερεών (ιλύς πυθμένα), ρύθμιση θερμοκρασίας, Η ιλύς, ακολουθεί άλλη διαδικασία πριν αποτεθεί σε συγκεκριμένους δανειοδοτημένους χώρους. Τα επεξεργασμένα απόβλητα, καταλήγουν στον παραπόταμο Καστρίτη πριν συμβάλει με τον Αλφειό ποταμό **(βλ. Εικόνα 1.2)**.

Επιπλέον, υπάρχουν σε λειτουργία 2 συγκροτήματα επεξεργασίας αστικών λυμάτων (ΒΙΟΚΑ) **(βλ. Εικόνα 2.10)**. Τα διάφορα αστικά λύματα των σταθμών νιπτήρες, τουαλέτες, ντουζιέρες, μαγειρείο των διαφόρων κτιρίων και εγκαταστάσεων του σταθμού οδηγούνται εκεί με επεξεργασίας κατά μέγιστο 200 m³ /d. Περιλαμβάνει τα καθότι:

- εγκατάσταση συλλογής λιπών και ελαίων
- μία (1) δεξαμενή αερισμού ωφέλιμου όγκου 175m³
- μία (1) δεξαμενή καθίζησης και
- ένα (1) μαιάνδρο χλωρίωσης.

Η ιλύς από το φρεάτιο ιλύος, απομακρύνεται κατά τακτά χρονικά διαστήματα μέσω μιας αντλίας ιλύος που καταθλίβει στις κλίνες ξήρανσης. Η τελική διάθεση της αποξηραμένης ιλύος από το

σύστημα κατεργασίας των αστικών λυμάτων (ΒΙΟΚΑ) του ΑΗΣ, γίνεται σε αδειοδοτημένο χώρο όπου μεταφέρεται μέσω καταλλήλου οχήματος. Τα επεξεργασμένα λύματα, καταλήγουν στον ποταμό Καστρίτη (βιολογικός ΑΗΣ Β), στον Λιγατάρη (βιολογικός ΑΗΣ Α) και στον Ελλισώνα ποταμό (βλ. *Εικόνα 1.2*).

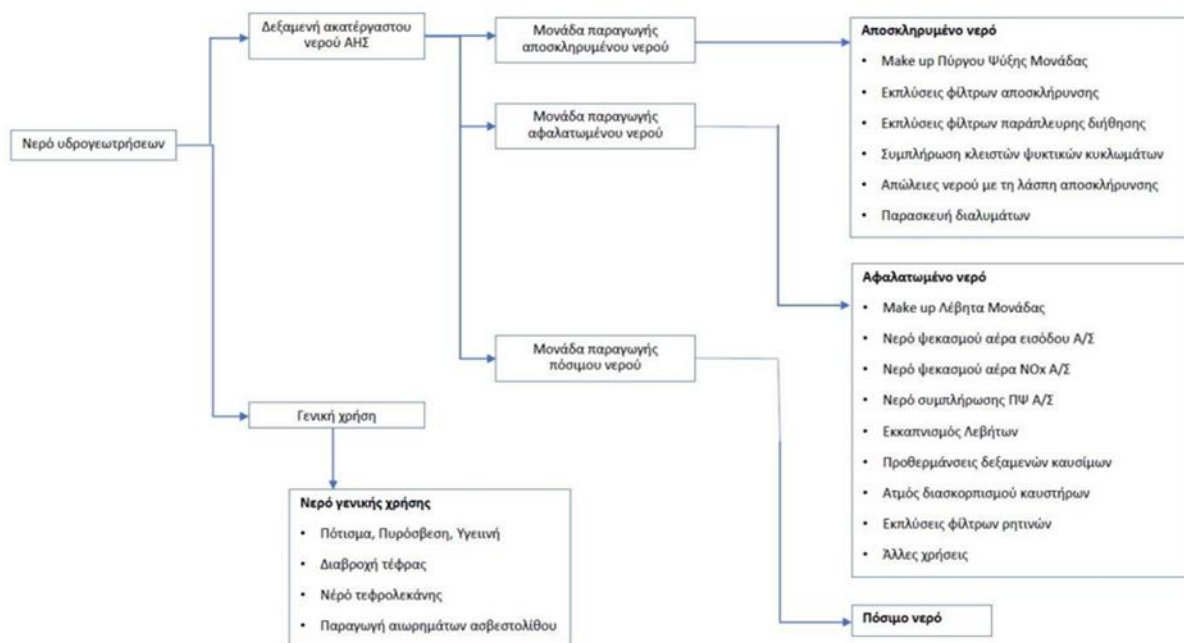
Οι απορρίψεις των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων νερών στον Καστρίτη, αγγίζει τα 1.321.914 m³ για το 2022. Τα όρια ποιότητας του νερού που καταλήγει στον Καστρίτη από το ΣΚΥΒΑ και τον ΒΙΟΚΑ, σύμφωνα με την νομοθεσία Ν.Α.7972/30.12.92 & Ν.Α.11361/26.09.94, δίνονται στο (παράρτημα 6).



Εικόνα 2.10: Βιολογικός καθαρισμός Μονάδας IV.

2.3.4 Χρήσεις νερού των μονάδων

Η ανάγκες των μονάδων IV και V για νερό, καλύπτονται από 6 αδειοδοτημένες υδρογεωτρήσεις. Το μεγαλύτερο ποσοστό του ύδατος (70-80%), χρησιμοποιείται για την παραγωγή αποσκληρωμένου νερού. Η κύρια χρήση του αποσκληρωμένου νερού είναι στον πύργο ψύξης, όπου και καταναλώνεται το 90% αυτού. Το υπόλοιπο 10% χρησιμοποιείται σε διάφορες άλλες χρήσεις όπως: εκπλήσσεις φίλτρων αποσκλήρυνσης, εκπλήσσεις φίλτρων παράπλευρης διήθησης και αφαλάτωση. Το νερό γενικής χρήσης (μη αποσκληρωμένου νερό), χρησιμοποιείται εντός των ΑΗΣ για τις λοιπές χρήσεις, όπως άρδευση, πυρόσβεση (απαιτεί περί το 60% του νερού γενικής χρήσης), διαβροχή τέφρας, νερό τεφρολεκάνης, παραγωγή αιωρημάτων ασβεστολίθου (βλ. *Εικόνα 2.11*).



Εικόνα 2.11: Εικόνα χρήσης νερού της μονάδας IV και V.

2.4 Στερεά απόβλητα-παραπροϊόντα και αποθέσεις

Το μεγαλύτερο μέρος του χώρου της περιοχής αδειοδότησης της ΔΕΗ στην Μεγαλόπολη καταλαμβάνεται από εξωτερικές και εσωτερικές αποθέσεις, αυτές δημιουργούνται κατά την εξόρυξη των υλικών από τις εκσκαφές των λιγνιτικών κοιτασμάτων (ΔΜΕΠΟ (ΜΠΕ), 2023). Ο διαχωρισμός τους σε εσωτερικές και εξωτερικές αποθέσεις, έχει να κάνει με τον χώρο απόθεσης των υλικών αυτών, εσωτερικά του ορυχείου (εσωτερική απόθεση) η εξωτερικά αυτού (εξωτερική απόθεση) σε κατάλληλους αδειοδοτημένους χώρους (Ασχονίτης, 2004). Η λιθολογική σύσταση αυτών των αποθέσεων είναι πλήρως ανομοιομορφη και ετερογενή και εξαρτάται από την λιθολογία των μεταλλικών ιζημάτων της λεκάνης που προέκυψαν από επι τόπου εκσκαφές των σχηματισμών Θωκνίας – Ποταμιάς, Μαραθούσας και Μεγαλόπολης μαζί με μικρό ποσοστό λιγνίτη. Επιπλέον, στην εξωτερική απόθεση γίνεται μικρή προσθήκη τέφρας για την βελτίωση των μηχανικών της ιδιοτήτων. Ειδικότερα, ενισχύεται η ευστάθεια των πρανών, αυξάνεται ο συντελεστής επιφανειακής απορροής και γίνεται πρόληψη διάχυτων εκπομπών σκόνης (ΔΜΕΠΟ (ΜΠΕ), 2023). Οι χώροι των εξωτερικών αποθέσεων με την ονομασία τους φαίνονται στο (παράρτημα 1) με ρόζ χρώμα.

Η λειτουργία του εργοστασίου, παράγει μια σειρά από στερεά παραπροϊόντα που περιλαμβάνουν την υγρή, την ιπτάμενη τέφρα, την γύψο, μικρά ποσοστά υδραβέστου και την ιλύ των ΣΚΥΒΑ και των ΒΙΟΚΑ. Σύμφωνα με την νομοθεσία, η απόθεση των στερεών παραπροϊόντων γίνεται σε ειδικά διαμορφωμένους χώρους, στον χώρο του παλιού ορυχείου της Θωκνίας, σύμφωνα με τις διατάξεις ΥΑ 25666/08-09-17 και 34393/08-09-17. Ενώ τυχόν αποθέσεις τέφρας από τα ΑΗΣ σε χώρους παλιών ορυχείων, λαμβάνει χώρα με συν απόθεση (ανάμειξη) με τα στείρα-άγωνα. Γενικότερα, οι χώροι

απόθεσης δεν περιλαμβάνουν χώρους του λιγνιτωρυχείου, όπου προβλέπεται η δημιουργία υγροτοπικών λιμναίων οικοσυστημάτων ή υδατοδεξαμενών, καθώς και πλησίον οικισμών ή αρχαιολογικών χώρων (παράγραφος δ2.16 Τροποποίηση 100532/200/23-1-04 ΚΥΑ Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε). Η υγρή τέφρα από την τεφρολεκάνη του λέβητα **(βλ. Εικόνα 1.12 β)**, απομακρύνεται μέσω ταινιοδρόμων κλειστού τύπου συνεχούς αποκομιδής της ιπτάμενης σταθεροποιημένης τέφρας και διατίθεται σε αδειοδοτημένο χώρο. Η ιπτάμενη τέφρα, αναμιγνύεται σε αναμείκτες με γύψο (από το συγκρότημα αποθείωσης) ή με στερεή υδράσβεστο $\text{Ca}(\text{OH})$ προς σχηματισμό σταθεροποιημένης τέφρας (υγρασία 20%-30%), στη συνέχεια μέσω ταινιοδρόμων κλειστού τύπου οδηγείται σε χώρο ανάμειξης με την υγρή τέφρα (κόμβος μεταφόρτωσης) **(βλ. Εικόνα 2.12 α)** και τέλος διατίθεται στον χώρο της Θωκνίας.

Τα επικίνδυνα και τα μη επικίνδυνα απόβλητα, αποθηκεύονται προσωρινά και έπειτα παραδίδονται σε φορέα/εργολάβο ή εταιρίες διαχείρισης. Κάθε ένας πρέπει να διαθέτει άδεια συλλογής, μεταφοράς επικίνδυνων αποβλήτων και επεξεργασία τους αν χρειάζονται. Όσον αφορά την ιλύ, αυτή παραμένει στην δεξαμενή απόθεσης ιλύος για αρκετό διάστημα και υφίστανται συμπύκνωση και ξήρανση (ΔΜΕΠΟ, 2023). Η αποξηραμένη μη επικίνδυνη ιλύς, μεταφέρεται (κάθε δύο χρόνια) με καλυμμένα φορτηγά προς τελική απόθεση σε κατάλληλους αδειοδοτημένους χώρους. Ενώ με βάση την ΑΕΠΟ οικ. 45698/23-9-16 της Μονάδας V, η ιλύς μεταφέρεται μέσω ταινιοδρόμου στο σύστημα αποκομιδής της τέφρας.

α)



β)



Εικόνα 2.12: α) Σύστημα αποκομιδής αναμειγμένης υγρής, ιπτάμενης τέφρας και γύψου πριν οδηγηθούν με φορτηγά στην απόθεση. β) Υγρή τέφρα πυθμένα που έπειτα οδηγείται σε κλειστού τύπου ταινίες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

3 Δειγματοληψία και Χημικές Αναλύσεις

3.1 Προετοιμασία και σημεία δειγματοληψίας

Προηγήθηκε σχετική έρευνα του υδρογραφικού δικτύου της περιοχής. Συγκεκριμένα, μελετήθηκαν οι χάρτες του υδρογραφικού δικτύου του ποταμού Αλφειού (Tsiftsis, 1987) (παράρτημα 1), οι χάρτες από τις ετήσιες εκθέσεις περιβαλλοντικών επιπτώσεων της διεύθυνσης μελετών και περάτωσης ορυχείων της ΔΕΗ (Louloudis et al., 2023) (παράρτημα 2). Επιπλέον, από τον χάρτη δειγματοληψιών των εκθέσεων ποιότητας περιβάλλοντος (παράρτημα 3) (Σγάντζος κ.α., 2021) και από την (Ειδική γραμματεία υδάτων, 2017) με τις ονομασίες και τους κωδικούς των υδάτων.

Τα σημεία δειγματοληψίας των ποταμών της περιοχής, φαίνονται στην **Εικόνα 3.1** και σε κάποια ενδεικτικά ρέματα στις **Εικόνες 3.2, 3.3 και 3.4**. Η προσοχή δόθηκε σε 24 σημεία εντός και εκτός του χώρου της ΔΕΗ, κοντά στην περιοχή των ορυχείων, σε δείγματα τόσο στον Αλφειό όσο και στα γύρω ρέματα που καταλήγουν σε αυτόν. Πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία του συνόλου των ρεμάτων εντός του χώρου της ΔΕΗ και ονομάστηκαν βάση της ονομασίας του ποταμού. Τέλος, σημεία εντός του Αλφειού συμβολίστηκαν με το γράμμα Α και η δειγματοληψία έγινε σε όλο το μήκος του. Αρχικά, πριν μπει στον χώρο της ΔΕΗ σημείο Α0 και Α1, μέσα τον χώρο του εργοστασίου Α2, Α9, Α3, Α4, Α5, Α6 και Α7 και αφού βγει από την λεκάνη της Μεγαλόπολης σημείο Α8. Τα σημεία δειγματοληψίας χωρίστηκαν σε σημεία πριν την συμβολή του Ελισσώνα και σε σημεία μετά την συμβολή του.

Σημεία πριν την συμβολή του Ελισσώνα

Τα σημεία που εντοπίζονται εκτός του χώρου της ΔΕΗ πριν την συμβολή του Ελισσώνα ποταμού είναι τα: Α0, Α1 και Χ1. Αντίθετα τα σημεία ΖR1, Α2, Α9, Α3, ΖG1, PAN1 και ΚF1 βρίσκονται κοντά η δίπλα από την περιοχή εξόρυξης. Το σημεία Α0, αποτελεί το πρώτο σημείο, αντιπροσωπευτικό της ποιοτικής κατάστασης του Αλφειού πριν εισέλθει στον χώρο της ΔΕΗ και λίγα χιλιόμετρα μακριά από τις πηγές του. Το σημείο Α1, εντοπίζεται ξανά εκτός των χώρων του εργοστασίου, αφού έχει συμβάλει το ρέμα Κουτιφαρίνα. Τα σημείο Α2 (γέφυρα Τριποτάμου) (**βλ. Εικόνα 3.2 α**), βρίσκεται δίπλα από τον χώρο του ορυχείου Χωρεμίου και αποτελεί αντιπροσωπευτικό δείγμα του Αλφειού ποταμού, αφότου έχουν συμβάλει τα ρέματα Ζαρζάκη σημείο ΖR1 και Ξερίλας σημείο Χ1. Το ρέμα Ζαρζάκη μελετήθηκε, καθώς ανάντη του μέσω τεχνητής τάφρου, δέχεται τα αστικά λύματα από τον βιολογικό καθαρισμό της πόλης της Μεγαλόπολης. Επίσης, δίπλα από την τάφρο υπάρχει η δεύτερη εξωτερική απόθεση του Χωρεμίου (παράρτημα 2) και πιθανές απορρίψεις αντλιοστασίων. Ο Ξερίλας σημείο Χ1 (**βλ. Εικόνα 3.2 β**), αποτελεί τον δεύτερο μεγαλύτερο παραπόταμο της περιοχής και πηγάζει από τον Βόρειο Ταύγετο και έχει διεύθυνση κίνησης από Νότο προς Βορρά με την σύσταση του να αποτελεί

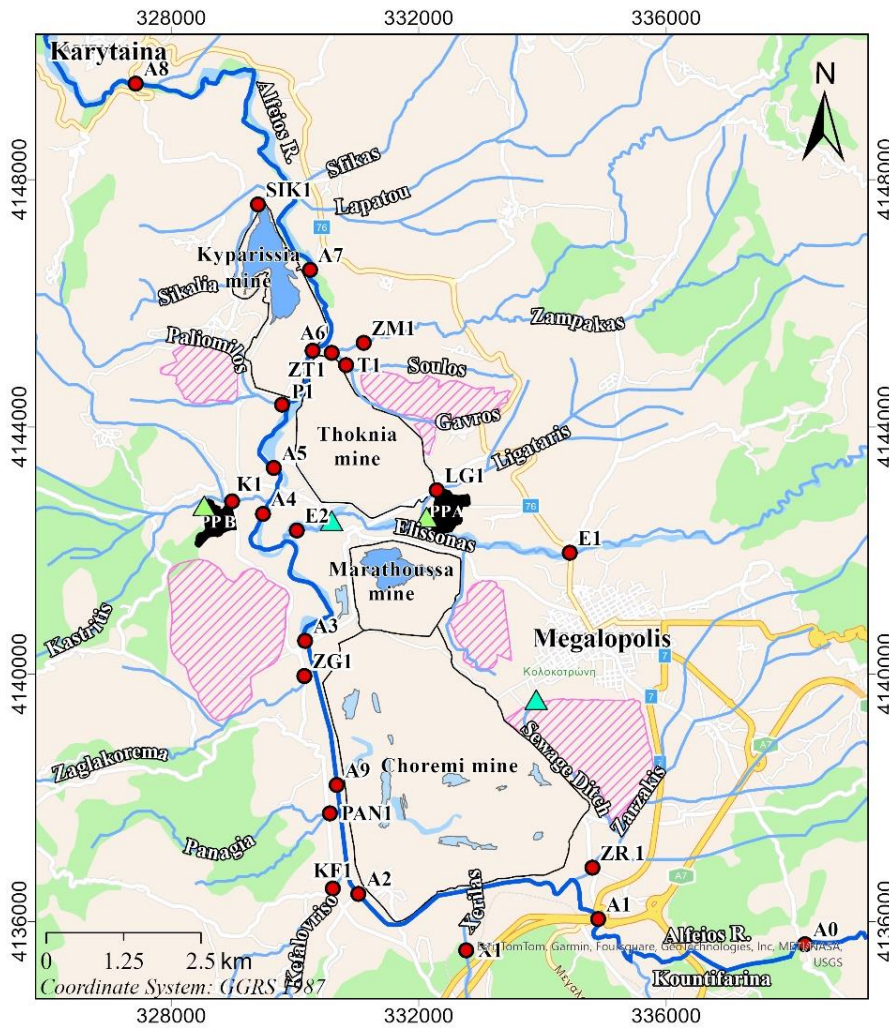
αντιπροσωπευτική της γεωλογίας νότια της λεκάνης. Έπειτα, στον Αλφειό συμβάλλουν τα ρέματα Κεφαλόβρυσο σημείο KF1 και Παναγιά σημείο PAN1.

Τα ρέματα αυτά, πηγάζουν από τα Νότιο Δυτικά και Δυτικά της λεκάνης, όπου δεν εντοπίζεται κάποιου είδους ανθρωπογενής δραστηριότητα. Άρα, η σύσταση τους είναι αντιπροσωπευτική της γεωλογίας της περιοχής. Αμέσως μετά, είναι το σημείο A9 του Αλφειού που αντιπροσωπεύει το πως διαφοροποιείται η σύσταση του Αλφειού στην μέση περίπου του Ορυχείου Χωρεμίου, μαζί με πιθανές απορρίψεις αντλιοστασίων και μετά την συμβολή των ρεμάτων Κεφαλόβρυσο και Παναγιά. Επιπροσθέτως, μελετήθηκε το ρέμα Ζαγγλακόρεμμα σημείο ZG1, διερχόμενο πλευρικά από την δυτική εξωτερική απόθεση του Χωρεμίου (παράρτημα 2). Το σημείο A3, εντοπίζεται ανάντη της εκμετάλλευσης του ορυχείου όταν πλέον ο Αλφειός εξέρχεται από το πεδίο Χωρεμίου και αποτελεί το τελευταίο δείγμα πριν συμβάλλει ο Ελισσώνας ποταμός.

Σημεία μετά την συμβολή του Ελισσώνα

Ο Ελισσώνας ποταμός, αποτελεί τον μεγαλύτερο παραπόταμο του Αλφειού στην περιοχή. Έγινε δειγματοληψία από 2 σημεία του (**βλ. Εικόνα 3.1**). Ένα πριν τον χώρο του εργοστασίου E1 (**βλ. Εικόνα 3.3 β**) και ένα ακριβώς πριν την συμβολή με τον Αλφειό E2, αφού έχει συμβάλλει το κύριο ρέμα Λιγατάρης LG1, και αφού έχει περάσει από τον σταθμό του ΑΗΣ Α, τον βιολογικό καθαρισμό τους και τον βιολογικό του ΣΒΟ. Έπειτα, είναι το σημείο A4 το οποίο δείχνει την ποιοτική κατάσταση του Αλφειού, αφού έχει συμβάλλει ο Ελισσών εξετάζοντας με αυτόν τον τρόπο, την όποια αλλαγή στην χημική κατάσταση του Αλφειού. Ακολουθεί το ρέμα Καστρίτη, το οποίο δέχεται τα επεξεργασμένα βιομηχανικά και αστικά απόβλητα από την λειτουργία των μονάδων IV και V και συμβάλλει στον Αλφειό μετά το σημείο A4. Συνέχεια αυτού, έγινε δειγματοληψία στο σημείο A5 μετά την συμβολή του Καστρίτη για να εξεταστεί η όποια διαφοροποίηση. Μετά την αυλή του Λιγνίτη της Μονάδας IV διέρχεται πολύ κοντά από τις Δυτικές εξωτερικές αποθέσεις του πεδίου Κυπαρισσίων καθώς και πλευρικά τόσο από το ορυχείο των Κυπαρισσίων όσο και το χωριό Κυπαρίσσια το ρέμα Παλιόρεμα P1 (**βλ. Εικόνα 3.3 α**).

Το σημείο A6, εντοπίζεται στο πεδίο Κυπαρισσίων πριν την συμβολή με το ρέμα Ζάμπακα, αφού έχει δεχτεί τα νερά του ρέματος Παλιόρεμα. Τέλος, το σημείο A7 δείχνει την ποιοτική κατάσταση του Αλφειού μετά την συμβολή του ρέματος Ζάμπακα σημείο ZT1, που προηγουμένως σε αυτόν έχει συμβάλλει το ρέμα (Σούλος και Γάββρος) σημείο T1 (**βλ. Εικόνα 3.4 α**). Τα ρέματα αυτά, διέρχονται πλευρικά από τις εξωτερικές αποθέσεις της Θωκνίας, αλλά και κοντά από το ορυχείο Θωκνίας. Τέλος το ρέμα Σικαλιά (**βλ. Εικόνα 3,4 β**), διέρχεται εντός του παλιού ορυχείου των Κυπαρισσίων, το οποίο βρίσκεται απομακρυσμένα από τον Αλφειό ποταμό, αλλά αργότερα καταλήγει σε αυτόν. Στα ρέματα Λαπάτου και Σφήκας δεν έγινε δειγματοληψία, καθώς βρίσκονται εκτός του χώρου της ΔΕΗ και η συμβολή τους στην ποιοτική κατάσταση του Αλφειού προσδιορίζεται έμμεσα από το σημείο A8. Τέλος το A8 αντιπροσωπεύει την ποιότητα του Αλφειού ποταμού, όπως εξέρχεται από την λεκάνη της Μεγαλόπολης.



Legend

<ul style="list-style-type: none"> ● Sampling Sites 	<p><u>Water Bodies</u></p> <ul style="list-style-type: none"> — Alfeios River — Tributaries ■ Open-pit Lakes ■ Sumps 	<p><u>Wastewater Treatment Systems</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▲ Liquid industrial waste & sewage treatment ▲ Sewage treatment plants 	<p><u>Site Boundaries & Infrastructure</u></p> <ul style="list-style-type: none"> — Mine Limits ▨ External Waste Dumps ■ Power Plants (PP)
--	--	--	---

Εικόνα 3.1: Χάρτης με τα σημεία δειγματοληψίας επιφανειακού νερού μαζί με τις ονομασίες τους και τα ορυχεία, κατασκευασμένος μέσω GIS.

α)



β)

Εικόνα 3.2: α) Ο ποταμός Αλφειός στην Γέφυρα του Τριποτάμου σημείο A2. β) Ο ποταμός Ξερίλας σημείο X1.

α)



β)



Εικόνα 3.3: α) Το ρέμα Παλιόρεμμα στο σημείο P1. β) Ο Ελισσών ποταμός στην Γέφυρα της Μεγαλόπολης σημείο E1.

α)



β)



Εικόνα 3.4: α) Συμβολή των ρεμάτων Γάββρος και Σούλος στο σημείο T1 πριν συμβάλει το ρέμα Ζάμπτακα. β) το ρέμα Σικαλιά στο σημείο SIK1.

Η δειγματοληψία επιφανειακών νερών διενεργήθηκε σύμφωνα με το πρωτόκολλο του Kelepertzis (2017). Συγκεντρώθηκαν όλα τα απαραίτητα υλικά για την πραγματοποίηση της δειγματοληψίας:

- GPS (κινητό)
- Ανεξίτηλους μαρκαδόρους.
- 3 ποτήρια ζέσεως,
- 50 φίλτρα διήθησης 0,45μm,
- 40 σύριγγες 20ml,
- 2 ψυγεία με 6 παγοκυψέλες για την διατήρηση των δειγμάτων σε κατάλληλη θερμοκρασία,
- Γάντια μιας χρήσεως,
- Μπουκάλια πολυαιθυλενίου 500ml, και μπουκαλάκια πολυαιθυλενίου των 50ml,
- 1 Υδροβολέας και αποιονισμένο νερό 4L,
- Χαρτί κουζίνας,

- Πυκνό Νιτρικό οξύ HNO_3^- ,
- 2 βαθμονομημένα φορητά πολυπαραμετρικοί μετρητές για μέτρηση των φυσικοχημικών παραμέτρων υπαίθρου,
- Γαλότσες,
- Χάρτες με τα τελικά σημεία δειγματοληψίας,
- Φόρμες δειγματοληψίας για κάθε θέση,
- Πλαστικός κουβάς δειγματοληψίας.

Πριν από κάθε δειγματοληψία, καθαρίστηκαν τα βαλιτσάκια των βαθμονομημένων φορητών πολυπαραμετρικών μετρητών, τα όργανα μέτρησης με απιονισμένο νερό και βαθμονομήθηκαν. Η διαδικασία αυτή είναι απαραίτητη για την ορθή λήψη των φυσικοχημικών παραμέτρων υπαίθρου. Με βάση την περιοχή μελέτης, βαθμονομήθηκε το κάθε ηλεκτρόδια π.χ. (εύρος μέτρησης pH), σύμφωνα με τις οδηγίες με πρότυπα δείγματα καθορισμού του εύρους μέτρησης.

Στην περιοχή μελέτης συγκεντρώθηκαν 24 δείγματα, η διαλογή τους έγινε σε 2 φάσεις, έπειτα από συνεννόηση με τους υπεύθυνους του εργοστασίου της ΔΕΗ. Και οι δύο δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν κατά την υγρή περίοδο στις αρχές Μαρτίου του 2024, με διαφορά 4 ημερών. Η πρώτη δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στις 4 Μαρτίου, ενώ η δεύτερη στις 8 Μαρτίου. Τα δείγματα που συλλέχθηκαν σε πρώτη φάση ήταν 13: **A2, A5, A6, A7, A8, E1, X1, ZM1, T1, ZT1, P1, ZR1, SIK1**. Την Δεύτερη φάση δειγματοληψίας συλλέχθηκαν 11 δείγματα: **A0, A1, A3, A4, A9, E2, K1, LG1, PAN1, KF1, ZG1**. Η ονομασία των δειγμάτων καθορίστηκε από την θέση και την ονομασία κάθε ποταμού και ρέματος. Όλα τα δείγματα, αποτελούν αντιπροσωπευτικά επιφανειακών νερών στην ευρύτερη περιοχή από κλάδους 3^{ης} τάξεως και ανωτέρας (**βλ. Εικόνα 1.11**). Όπου ήταν εφικτή η πρόσβαση με τα πόδια δίπλα από το ποτάμι, η δειγματοληψία γινόταν απευθείας. Αντίθετα, στα σημεία **ZR1, A5, A7 και A8**, λόγω της δύσκολης πρόσβασης, η δειγματοληψία έγινε με πλαστικό κουβά.

Κατά την δειγματοληψία, το πρώτο ποτήρι ζέσεως χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό των φυσικοχημικών παραμέτρων, μέσω των ηλεκτροδίων μετρήθηκαν τα εξής: pH, Eh (redox potential) δυναμικό οξειδοαναγωγής, DO (dissolved oxygen) διαλελυμένου οξυγόνου, EC (electrical conductivity) ηλεκτρική αγωγιμότητα και TDS (total dissolved solids) ολικά διαλυμένα στερεά (**βλ. Εικόνα 3.5**). Οι παραπάνω παράμετροι, γράφτηκαν για κάθε θέση σε ειδική φόρμα δειγματοληψίας με τον κωδικό και τις συντεταγμένες, σύμφωνα με την φόρμα (Kelepertzis, 2017). Τα δείγματα συλλέχθηκαν με μπουκάλια πολυαιθυλενίου των 500ml. Έπειτα, αποθηκευτήκαν στα ψυγεία και μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο γεωχημείας του τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος για διήθηση. Στην συνέχεια, τα διηθημένα δείγματα μεταφέρθηκαν σε μπουκάλια πολυαιθυλενίου των 250 ml, για τις μετρήσεις των ανιόντων και των θρεπτικών ιόντων. Το δεύτερο ποτήρι ζέσεως χρησιμοποιήθηκε για το γέμισμα των μπουκαλιών των 50 ml. Συγκεκριμένα, με την σύριγγα των 20ml

έγινε διήθηση με φίλτρο 0,45μm και απευθείας οξόνιση του δείγματος με 1ml πυκνού HNO₃ σε μπουκαλάκι των 50ml με την ονομασία του δείγματος και το μικρό γράμμα α δίπλα, προκειμένου να προσδιοριστούν εργαστηριακά τα μέταλλα και τα κατιόντα. Τέλος, όλα τα μπουκάλια αποθηκεύτηκαν σε ψυγεία με παγοκυψέλες, ώστε να διατηρηθούν σε χαμηλή θερμοκρασία.

Τα δείγματα μεταφέρθηκαν στον τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος προκειμένου να φυλαχθούν σε ψυγεία. Από την άλλη τα δείγματα των 500ml και τα οξυνισμένα των 50ml διατηρούνται σε ψυγείο μέχρι να αναλυθούν εντός 2 ημερών.



Εικόνα 3.5: Μέτρηση φυσικοχημικών παραμέτρων υπαίθρου και διαδικασία δειγματοληψίας.

3.2 Χημικές αναλύσεις

Στο σύνολο των 24 δειγμάτων νερού πραγματοποιήθηκαν οι αναλύσεις των κύριων κατιόντων (K⁺, Na⁺, Mg²⁺, Ca²⁺), ιχνοστοιχείων Si, P, B, Li, Be, Al, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Sr, Mo, Cd, Sn, Sb, Ba, Hg, Tl, Pb, καθώς και ανιόντων (F⁻, Cl⁻, NO₂⁻, Br⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, PO₄³⁻). Όλες οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στο PPC Innovation Hub διαπιστευμένο εργαστήριο σύμφωνα με τα πρότυπα **ISO 17020** και **ISO 17025** στο εργαστήριο χημείας υλικών και περιβάλλοντος PCC Innovation hub. Η μόνη μέτρηση που πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Οικονομικής Γεωλογίας και Γεωχημείας του τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος ήταν των HCO₃⁻. Οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν την Τρίτη 5 Μαρτίου και την Δευτέρα 11 Μαρτίου.

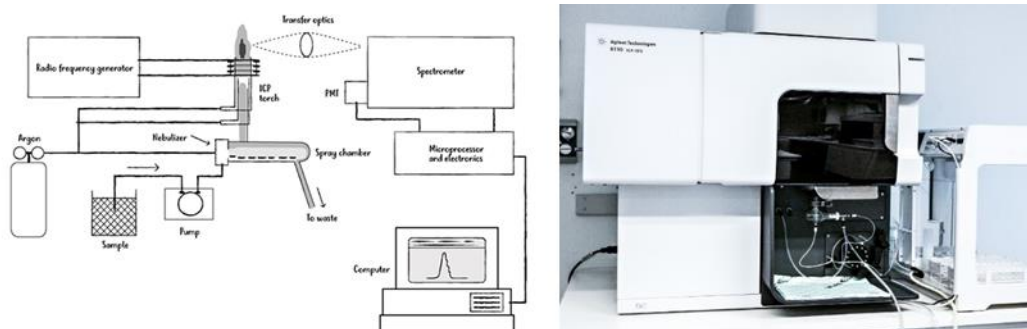
3.2.1 Μέτρηση κύριων κατιόντων (ICP-OES)

Για τον προσδιορισμό των κατιόντων (K⁺, Na⁺, Mg²⁺, Ca²⁺), χρησιμοποιήθηκε η αναλυτική μέθοδος του Φασματοσκοπία Ατομικής Εκπομπής (**βλ. Εικόνα 3.6**) με σύζευξη επαγωγικού πλάσματος Αργού ICP-OES. Το συγκεκριμένο όργανο μέσω του αδρανούς φέροντος αερίου Ar, διεγείρει τα στοιχεία κάτω από την επίδραση μαγνητικού πεδίου εκπέμποντάς ακτινοβολία χαρακτηριστική ενός

συγκεκριμένου στοιχείου, η ένταση της οποίας είναι ανάλογη της συγκέντρωσης τους. Η ποσοτικοποίηση πραγματοποιείται με πρότυπα διαλύματα αναφοράς και υπάρχει γραμμική σχέση (ένταση/συγκέντρωση) σε σχετικά μεγάλο εύρος συγκεντρώσεων. Η διαδικασία μέτρησης, ακολουθεί συγκεκριμένα βήματα. Αρχικά, ανοίγονται οι παροχές του Αργού, τίθεται σε λειτουργία το ψυκτικό μηχάνημα της συσκευής, η συσκευή ICP-OES και η επαγωγή αερίων του συστήματος. Στην συνέχεια μέσω του ηλεκτρονικού υπολογιστή ξεκινά η λειτουργία της συσκευής, αφού πρώτα έχει σταθεροποιηθεί πλήρως, ακολουθεί η ανάφλεξη του πλάσματος και ενεργοποιείται αυτόματα η λειτουργία της περισταλτικής αντλίας.

Όσον αφορά την διαδικασία προετοιμασίας των δειγμάτων για ανάλυση. Τα οξιμισμένα δείγματα των 50ml μεταφέρονται μέσω πιπέτας σε δοκιμαστικούς σωλήνες των 10ml με την κωδική ονομασία του καθενός. Στην συνέχεια, ακολουθούν τα βήματα ελέγχου ποιότητας και προετοιμασίας πριν την ανάλυση. Πρώτα, διοχετεύεται 1ppm Mn (**βλ. Εικόνα 3.7 β**) για τον έλεγχο ευαισθησίας του οργάνου που παρασκευάζεται από 1000 ppm Mn σε ογκομετρικές φιάλες των 100 ml, έπειτα τοποθετείται 1 blank με 1% NO₃⁻, μετά το QC που αποτελεί δείγμα ελέγχου της αξιοπιστίας της μεθόδου και παρασκευάζεται από 100 ppm QC πρότυπου διαλύματος που φτιάχνεται σε ογκομετρικές φιάλες των 100 ml και μετά ξανά 1 blank 1% NO₃. Μέσω ειδικής λυχνίας, κυκλοφορεί νερό με 1% NO₃⁻ για τον καθαρισμό του οργάνου και για τον έλεγχο της ορθής λειτουργίας του.

Εν συνεχεία, γίνεται η βαθμονόμηση των υγρών με φτιαγμένα πολυπρότυπα των 50 ppb, 100 ppb, 200 ppb, 500 ppb, 1 ppm, 2 ppm, 4 ppm, 10 ppm, 20 ppm φτιαγμένα από πολυπρότυπο Multielement quality control standard for ICP. Επειδή το πολυπρότυπο δεν περιέχει τα στοιχεία P, Sn, Si για αυτά τα στοιχεία, χρησιμοποιούνται άλλα πρότυπα Phosphorus ICP standard, Tin ICP standard και Silicon ICP standard, από τα οποία προκύπτουν μέσω αραιώσης με υπερκάρθαρο νερό με 1% NO₃⁻ από τα 1000 ppm P και 1000 ppm Sn τα 2ppm και 500 ppb (P και Sn) πρότυπα βαθμονόμησης. Για το Si έχουμε αρχικό πρότυπο διάλυμα 1000 ppm Si και προκύπτουν μέσω αραιώσης με 1% NO₃⁻ και υπερκάρθαρο νερό πρότυπα βαθμονόμησης με 5ppm Si, 1 ppm Si και 500 ppb Si. Τέλος, δημιουργείται ένα νέο ταμπλό στο πρόγραμμα διαχείρισης του οργάνου στον ηλεκτρονικό υπολογιστή που περιέχει την ονομασία των δειγμάτων και τα αποτελέσματά τους. Τοποθετούμε τα πρότυπα για την βαθμονόμηση του οργάνου, καθώς και τα δείγματα με κάποια ενδιάμεσα blank νερού με 1% NO₃⁻ και ξεκινά η μέτρηση της συγκέντρωσης τους, αφού συλλεχθούν με σειρά από τον αυτόματο δειγματολήπτη, συμπληρώνοντας αυτόματα την συγκέντρωση κάθε στοιχείου στο νέο ταμπλό. Κάποια δείγματα χρειάστηκαν αραιώση με 0,5 ml δείγματος και 9,5 ml νερό, λόγω της μεγάλης αρχικής τιμής τους κατά την ανάλυση στο όργανο, οπότε ξαναμετρήθηκαν.



Εικόνα 3.6: Αρχή λειτουργίας του ICP-OES. <https://www.technologynetworks.com/analysis/articles/icp-oes-icp-chemistry-icp-oes-analysis-strengths-and-limitations-342265>, <https://infra.lut.fi/equipment/inductively-coupled-plasma-optical-emission-spectrometer-icp-oes/>

3.2.2 Μέτρηση ιχνοστοιχείων (ICP-MS)

Για την ανίχνευση των ιχνοστοιχείων Si, P, B, Li, Be, Al, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Sr, Mo, Cd, Sn, Sb, Ba, Hg, Tl, Pb, χρησιμοποιήθηκε η αναλυτική τεχνική της φασματομετρίας μάζας επαγωγικά συζευγμένου πλάσματος ICP-MS. Τα δείγματα εισάγονται με τη βοήθεια περισταλτικής αντλίας στον πνευματικό εκνεφωτή. Το εκνέφωμα, οδηγείται σε θάλαμο ψεκασμού και μεταφέρεται σε υψηλή θερμοκρασία ιοντισμένο αργό, όπου πραγματοποιείται ατμοποίηση και ιοντισμός. Τα ιόντα υπό μορφή δέσμης εστιάζονται και ευθυγραμμίζονται από φακούς ιόντων και διαχωρίζονται με βάση του λόγου μάζας προς φορτίο (m/z). Ο διαχωρισμός βάσει του m/z γίνεται σε δύο αναλυτές μαζών στους οποίους παρεμβάλλεται μια οκταπολική κυψελίδα. Στην κυψελίδα πραγματοποιούνται αντιδράσεις ή και συγκρούσεις με την διέλευση αερίου (Ηλίου He και Υδρογόνου H₂). Αφού τα ιόντα περάσουν και από τον δεύτερο αναλυτή μαζών, οδηγούνται στον ανιχνευτή, ο οποίος καταμετρά τις κρούσεις, οι οποίες είναι ανάλογες της συγκέντρωσης του στοιχείου.

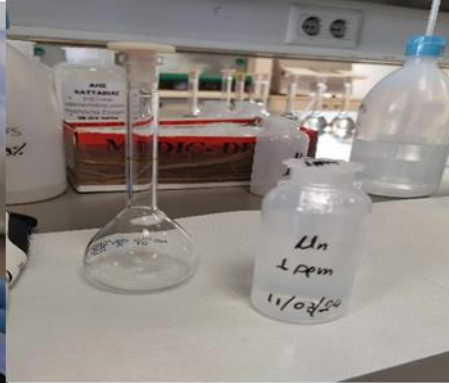
Η συγκεκριμένη τεχνική, χρησιμοποιεί τρία αέρια το Αργό, Ήλιο και το Υδρογόνο, ενώ έχει πολύ χαμηλά όρια ανίχνευσης της τάξης των (ppt) και είναι σε θέση να προσδιορίζει και την συγκέντρωση του Υδραργύρου (Hg). Όσον αφορά την διαδικασία προετοιμασίας των δειγμάτων για ανάλυση, ετοιμάζουμε τα οξινοσμένα δείγματα των 50ml που μεταφέρουμε με πιπέτα σε δοκιμαστικούς σωλήνες των 20ml με την κωδική ονομασία του καθενός (**βλ. Εικόνα 3.7 α**) και προσθέτουμε σε κάθε δείγμα 2 σταγόνες HCl. Η διαδικασία μέτρησης ακολουθεί συγκεκριμένα βήματα. Αρχικά, η προθέρμανση και αρχική βελτίωση του οργάνου που γίνεται αυτόματα μέσω αυτοματοποιημένου tuning που ελέγχονται οι παράμετροι του οργάνου. Στην συνέχεια, ακολουθεί η βαθμονόμηση του οργάνου με διαλύματα βαθμονόμησης συγκεντρώσεων 0,1 μg/l, 0,5 μg/l, 1 μg/l, 5 μg/l, 10 μg/l, 50 μg/l, 100 μg/l και 250 μg/l. Ενώ για την μέτρηση του Hg χρησιμοποιούνται διαλύματα βαθμονόμησης Hg των 0,05 μg/l, 0,1 μg/l, 0,5 μg/l και 1 μg/l. Εν συνεχεία γίνεται ο εσωτερικός έλεγχος ποιότητας των μετρήσεων, όπου χρησιμοποιούνται εσωτερικά πρότυπα (Sc, Ge, Y, Tb), επιλέγονται βάσει παραπλήσιας ατομικής μάζας ή και ενέργειας πρώτου ιοντισμού. Παράλληλα, με τις μετρήσεις εισάγεται στο σύστημα μείγμα των εσωτερικών προτύπων, με την ανάκτηση του επιλεγμένου εσωτερικού προτύπου να είναι 75%-

125%. Σε όλες τις περιπτώσεις, τα εσωτερικά πρότυπα που θα επιλεγούν πρέπει να έχουν αναλυθεί στην ίδια διάταξη με το προσδιοριζόμενο στοιχείο. Τέλος γίνεται η μέτρηση των δειγμάτων με αυτόματο δειγματολήπτη καταγράφοντας τις συγκεντρώσεις του κάθε στοιχείου σε ηλεκτρονικό ταμπλό στο πρόγραμμα του ICP-MS.

α)



β)



Εικόνα 3.7: α) Προετοιμασία των δειγμάτων για ανάλυση στο ICP-OES και ICP-MS. β) Φωτογραφία με την προετοιμασία νέου πρότυπου διαλύματος Mn 1ppm για τον έλεγχο ευαισθησίας του οργάνου στο ICP-OES.

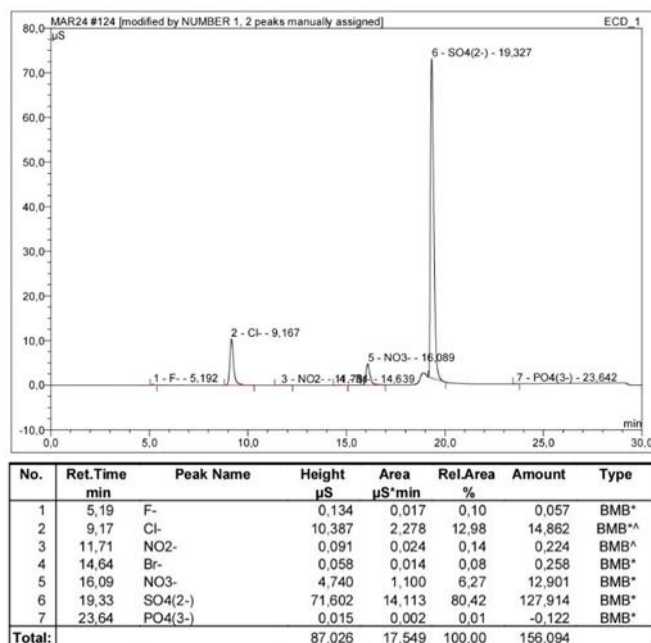
3.3.3 Μέτρηση ανιόντων με ιοντική χρωματογραφία (IC)

Για την μέτρηση των κύριων ανιόντων (F^- , Cl^- , NO_2^- , Br^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-}), χρησιμοποιήθηκε η αναλυτική μέθοδος της ιοντικής χρωματογραφίας (IC). Βασίζεται στον χρόνο έκλυσης κάθε ιόντος, προκειμένου να τακτοποιηθεί το συγκεκριμένο ιόν στο χρωματογράφημα και εν συνεχεία μέσω της ολοκλήρωσης των εμβαδών των κορυφών να προκύψει η συγκέντρωσή του. Τα δείγματα προς ανάλυση είχαν προηγουμένως διηθηθεί στο εργαστήριο Οικονομικής Γεωλογίας και Γεωχημείας του τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος και μεταφέρθηκαν στο PPC Innovation Hub σε μπουκάλια πολυαιθυλενίου των 250 ml. Η διαδικασία μέτρησης στον ιοντικό χρωματογράφο, προϋποθέτει την εξ αρχής μέτρηση του pH και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε κάθε δείγμα, προκειμένου να γνωρίζουμε αν χρειάζεται αραιώση. Συγκεκριμένα, αν η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι μικρότερη από 350 $\mu S/cm$ δεν χρειάζεται αραιώση. Αντίθετα, όταν η αγωγιμότητα είναι μεγαλύτερη από 350 $\mu S/cm$ γίνεται διαίρεση της αγωγιμότητας με το 0,3 προκειμένου να βρεθεί η αραιώση που πρέπει να γίνει. Σε όλα τα δείγματα γίνεται εκ νέου διήθηση με φίλτρο 0,22 μm . Η διαδικασία ξεκινά με το στάδιο ελέγχου. Αρχικά, χρησιμοποιείται δείγμα Blank με υπερκάθαρο νερό, ώστε να εξεταστεί ότι το υπόστρωμα του οργάνου δεν έχει άλλες ενώσεις και μετράει ορθά. Στην συνέχεια, γίνεται ο έλεγχος μέσω QC που γίνεται ο έλεγχος ποιότητας της ανάλυσης. Με βάση αυτό συγκρίνεται ο χρόνος *ret time* αν είναι ίδιος με τον χρόνο έκλυσης στο πρότυπο δείγμα, προκειμένου να μετρηθεί το συγκεκριμένο ιόν. Ελέγχεται η ροή του οργάνου να είναι 1ml/lit που δείχνει χρόνο ανάλυσης για κάθε δείγμα 30 λεπτά.

Όσον αφορά την βαθμονόμηση του οργάνου, χρησιμοποιούνται μια σειρά προτύπων 1000 mg/l για κάθε στοιχείο που δημιουργείται ένα πολυπρότυπο. Από τα πολυπρότυπα, δημιουργείται η καμπύλη

βαθμονόμησης σε 6 σημεία για κάθε ιόν. Για την δημιουργία της καμπύλης βαθμονόμησης μετριέται το κάθε πρότυπο 3 φορές για την ελαχιστοποίηση του σφάλματος. Η καμπύλη βαθμονόμησης ελέγχεται για κάθε ιόν, ώστε το κέντρο της καμπύλης να συμπίπτει με τα νομοθετικά όρια για τα επιφανειακά νερά. Τα δείγματα προς ανάλυση τοποθετούνται στην τράπεζα δειγματοληψίας και με τον αυτόματο δειγματολήπτη αναλύεται κάθε δείγμα ξεχωριστά. Κατά τα πρώτα αποτελέσματα, ελέγχεται ποια στοιχεία βρίσκονται εκτός του ορίου ανίχνευσής του οργάνου, δηλαδή είναι <LOQ ή 0 που σημαίνει ότι η συγκέντρωσή τους είναι κάτω από το όριο ανίχνευσης του οργάνου. Αντίθετα, αν η τιμή είναι μεγαλύτερη από την καμπύλη αναφοράς, πρέπει να γίνει επιπλέον αραίωση και να μετρηθούν μόνο τα ιόντα ή ιόν που βρίσκονται εκτός της καμπύλης αναφοράς. Το τελικό αποτέλεσμα στο δείγμα μετά την αραίωση, πολλαπλασιάζεται με τον συντελεστή αραίωσης, ώστε να προκύψει η πραγματική τιμή του ανιόντος στο αρχικό δείγμα. Τα υπόλοιπα ιόντα υπολογίζονται κανονικά, εφόσον είναι εντός των ορίων της καμπύλης βαθμονόμησης.

Ο ιοντικός χρωματογράφος αποτυπώνει τα αποτελέσματα της κάθε ανάλυσης σε ένα χρωματογράφημα (ύψους - χρόνου) με συγκεκριμένα peak για κάθε ιόν που μετράει (**βλ. Εικόνα 3.8**). Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων γίνεται συγκρίνοντας τους χρόνους έκλυσης κάθε peak με τους αναμενόμενους χρόνους για κάθε στοιχείο βάση των προτύπων, ώστε να ταυτοποιηθεί το συγκεκριμένο στοιχείο και μέσω της ολοκλήρωσης των εμβαδών των κορυφών να προκύψει η συγκέντρωσή του σε έναν πίνακα για κάθε ανιόν.



Εικόνα 3.8: Ενδεικτικό χρωματογράφημα από την ανάλυση του δείγματος A4 που δείχνει τα peak με τους χρόνους έκλυσης και την ταυτοποίηση των ανιόντων τους, καθώς και την συγκέντρωσή τους (Amount).

3.3.4 Προσδιορισμός αμμωνιακών NH_4^+ με φασματοφωτόμετρο HACH

Η μέτρηση των Αμμωνιακών έγινε σε 11 δείγματα, 10 του Αλφειού ποταμού και 1 του ρέματος Ζαρζάκη. Μετρήθηκαν με την μέθοδο του φασματοφωτόμετρου HACH LANGE DR 3900. Το εύρος εφαρμογής της Μεθόδου είναι 0,02-2,5 mg/L **HACH LANGE Method LCK 304** NH_4^+ . Όλα τα δείγματα μετρήθηκαν εντός του ορίου ανίχνευσης της μεθόδου. Το δε ο δείγμα ZR1 που αντιστοιχεί στον ποταμό Ζαρζάκη, βγήκε εκτός του ορίου του πρώτου ορίου $\text{NH}_4^+ > 2.5 \text{ mg/l}$, οπότε χρησιμοποιήθηκε μεγαλύτερο όριο ανιχνευσιμότητας 1,3-15 mg/L NH_4^+ **HACH LANGE Method LCK 305**.

Όσον αφορά την διαδικασία μέτρησης, αρχικά προσδιορίζεται το pH του δείγματος να βρίσκεται εντός του εύρους τιμών 4-9, όπως απαιτεί η μέθοδος. Στην συνέχεια, τοποθετείται το μπουκάλι με το δείγμα στο υδατόλουτρο για να εγκλιματιστεί στους 20 βαθμούς κελσίου και φέρνουμε τα φιαλίδια LCK 304 σε θερμοκρασία δωματίου. Έπειτα, στο φιαλίδιο του HACH προσθέτουμε 5ml από το δείγμα, αφού πρώτα αναδευτεί και βιδωθεί το καπάκι του με αντίθετη κατεύθυνση. Αναδεύουμε το φιαλίδιο ήπια 2-3 φορές και το αφήνουμε σε ηρεμία. Βάζουμε χρονόμετρο στο HACH 15' θέτοντας του τον απαιτούμενο χρόνο αναμονής και έπειτα τοποθετούμε στο φασματοφωτόμετρο το φιαλίδιο, αφού πρώτα καθαριστεί με χαρτί, προκειμένου να μην αφήνει υπολείμματα. Απευθείας δίνεται η αντίστοιχη τιμή των Αμμωνιακών από το φασματοφωτόμετρο για το συγκεκριμένο δείγμα και καταγράφουμε το αποτέλεσμα που δίνεται σε mg/l. Για την μέθοδο **HACH LANGE Method LCK 305** που προέκυψε το δείγμα ZR1 ακολουθείται η ίδια διαδικασία αλλά αντί για 5 ml δείγματος προστίθεται 0,5 ml χωρίς κάποια αραίωση.

Ο έλεγχος ποιότητας της μεθόδου για τον προσδιορισμό των αμμωνιακών γίνεται με χρήση πρότυπων διαλυμάτων 0,5 mg/L και 1 mg/l NH_4^+ της εταιρείας MERCK για την μέθοδο **HACH LANGE Method LCK 304** και πρότυπα των 6 mg/l για την μέθοδο **HACH LANGE Method LCK 305**, τα οποία αναλύονται μία φορά για κάθε είκοσι δείγματα και τουλάχιστον μια φορά την ημέρα. Τα αποτελέσματα των Αμμωνιακών δίνονται στο κεφάλαιο 4.

3.3.5 Μέτρηση αλκαλικότητας και HCO_3^-

Η μέτρηση της αλκαλικότητας, έγινε στο Εργαστήριο Οικονομικής Γεωλογίας και Γεωχημείας του τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, μέσω της τιτλοδότησης του δείγματος νερού με διάλυμα θειϊκού οξέος. Στην μέθοδο της αλκαλικότητας και κατά συνέπεια στον μετέπειτα υπολογισμό των όξινων ανθρακικών, είναι σημαντικό να γνωρίζουμε την τιμή του pH, ώστε να γνωρίζουμε τα είδη όπου εμφανίζεται ο C στο διάλυμα μας. Αν η τιμή του pH $> 8,3$ τα HCO_3^- διασπώνται και τα κυρίαρχα ιόντα είναι τα CO_3^{2-} . Σε $4,5 < \text{pH} < 8,3$ μειώνεται το CO_2 και έχουμε ιόντα HCO_3^- και η αλκαλικότητα

οφείλεται κυρίως στην παρουσία των όξινων ανθρακικών ιόντων. Κάτω από 4,5 τιμή pH δεν υπάρχει αλκαλικότητα και κυριαρχούν τα CO₂ (Ζαγγανά Ε., 2015).

Στην περίπτωση των δειγμάτων, όλα τα δείγματα εκτός από το Α0 έχουν αλκαλικότητα κυρίως λόγω των HCO₃⁻. Αρχικά, για την ανάλυση των δειγμάτων μεταφέρθηκαν 100 ml διηθημένου δείγματος σε ογκομετρικό σωλήνα και στην συνέχεια σε ογκομετρική φιάλη. Ρίχνουμε τον δείκτη βρομοκρεζόλης (Bromocresol Green-Methyl Red Indicator Powder), μέσα στην ογκομετρική φιάλη με το νερό. Αναδεύουμε και παρατηρούμε το χρώμα να είναι πράσινο. Εν συνεχεία μηδενίζουμε τον ψηφιακό τιτλοδότη που περιέχει διάλυμα θεικού οξέος και τον τοποθετούμε μέσα στην κωνική φιάλη διοχετεύοντας θειικό οξύ στο δείγμα νερού. Τέλος αναδεύουμε το δείγμα και παρατηρούμε αλλαγή στο χρώμα από πράσινο σε ροζ. Την στιγμή που θα γίνει ροζ έχουν καταναλωθεί όλα τα όξινα ανθρακικά ιόντα στο διάλυμα, Η τιμή αυτή, πολλαπλασιάζεται με το 1 και το 1,22, που αποτελεί τον συντελεστή για τον υπολογισμό των όξινων ανθρακικών και έχουμε την τιμή των HCO₃⁻ σε mg/l.

3.4 Στατιστική επεξεργασία

Όσον αφορά την στατιστική επεξεργασία των δειγμάτων, πραγματοποιήθηκε με το Minitab 17 Statistical Software και το Aquachem. Οι στατιστικές μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η ανάλυση συστάδων (Cluster Analysis) και η δημιουργία θηκογραμμάτων (Boxplot). Για ορθή χρήση της στατιστικής μεθόδου ανάλυσης, επιλέχτηκαν τα κύρια στοιχεία (K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Na⁺, HCO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻, NO₃⁻) και τα ιχνοστοιχεία (Mn και Mo) με τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στο επιφανειακό νερό, καθώς και η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC). Για την μέθοδο της ανάλυσης σε συστάδες, κατασκευάζεται δένδρογραμμα με την μέθοδο Ward Linkage Euclidean Distance, το οποίο ομαδοποιεί με βάση τα κοινά χαρακτηριστικά των δειγμάτων. Επιπλέον, κατασκευάστηκαν τα θηκογράμματα (Boxplot), με βάση τα Cluster που ομαδοποιήθηκαν τα δείγματα. Τα αποτελέσματα των στατιστικών μεθόδων παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 4. Τέλος, μέσω του Aquachem ένα γεωχημικό πρόγραμμα, κατασκευάστηκαν τα υδροχημικά διαγράμματα που απεικονίζονται στο κεφάλαιο 4.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

4 Αποτελέσματα

4.1 Σφάλμα ισοζυγίου ιόντων Charge Balance Error (CBE)

Για τον ποιοτικό έλεγχο και την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων των αναλύσεων, χρησιμοποιείται το Σφάλμα Ισοζυγίου Ιόντων (Charge Balance Error). Αποτελεί, την διαφορά του αθροίσματος κατιόντων μείον του αθροίσματος των ανιόντων, προς το άθροισμα των κατιόντων και το άθροισμα των ανιόντων ως ποσοστό επι τις εκατό %. Τα στοιχεία που υπολογίζονται στον τύπο του σφάλματος ισοζυγίου ιόντος για τα κατιόντα είναι τα K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ , καθώς και το Αμμώνιο NH_4^+ μόνο για το δείγμα ZR1 (Ζαρζάκη) που εμφάνισε υψηλή τιμή. Από τα ανιόντα για τον υπολογισμό του σφάλματος ισοζυγίου ιόντος είναι τα HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- . Όλες οι χημικές παράμετροι είναι απαραίτητο να είναι εκφρασμένες σε meq/l. Προκειμένου να θεωρηθούν αξιόπιστα τα αποτελέσματα της ανάλυσης, πρέπει το σφάλμα να είναι <5%. Το υπολογισμένο σφάλμα ισοζυγίου ιόντων αποτυπώνεται στον (Πίνακα 4.1).

Πίνακας 4.1: Σφάλμα ισοζυγίου ιόντων για τα δείγματα νερού.

Δείγμα	Charge Balance Error (CBE) %		
A0	-0.3 %	ZR1	4.0 %
A1	3.6 %	X1	1.2 %
A2	3.6 %	KF1	2.3 %
A9	0.9 %	PAN1	3.6 %
A3	1.3 %	ZG1	3.0 %
A4	2.6 %	LG1	4.1 %
A5	1.9 %	K1	2.2 %
A6	2.3 %	P1	8.6 %
A7	-0.9 %	T1	-2.3 %
A8	4.0 %	ZM1	-2.7 %
E1	1.6 %	ZT1	7.2 %
E2	4.8 %	SIK1	1.6 %
M.O CBE %	2.4 %		

Όπως διαπιστώνουμε, τα 22 από τα 24 δείγματα έχουν πολύ καλό Charge Balance Error <5% που σημαίνει ότι οι αναλύσεις είναι σωστές και οι τιμές αποδεκτές. Παρατηρούμε όμως, ότι τα δείγματα P1 και ZT1 έχουν υψηλότερο balance από την τιμή 5 που σημαίνει είτε ότι κάποιο κατιόν έχει υπερεκτιμηθεί, είτε κάποιο ανιόν έχει υψηλότερη συγκέντρωση είτε κάποιο άλλο στοιχείο δεν έχει μετρηθεί. Στην συγκεκριμένη περίπτωση όλα τα στοιχεία έχουν μελετηθεί, οπότε καταλήγουμε στις άλλες δύο περιπτώσεις. Γενικότερα, μπορούμε να πούμε ότι οι τιμές μας είναι αξιόπιστες, καθώς ο μέσος όρος είναι 2,4%.

4.2 Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων

Το LQD (Limit of detection) της χημικής παραμέτρου, αποτελεί την ελάχιστη συγκέντρωση που πρέπει να έχει ένα χημικό στοιχείο στο νερό για να μπορέσει να προσδιοριστεί από τις αναλυτικές μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν. Η κάθε αναλυτική μέθοδος, έχει ξεχωριστό όριο ανίχνευσης για κάθε χημική παράμετρο. Όπως παρατηρούμε, τα περισσότερα είναι άνω του ορίου LQD, οπότε δίνουν αξιόπιστα αποτελέσματα αντιπροσωπευτικά της χημικής σύστασης των δειγμάτων του ποταμού (**βλ. Πίνακα 4.2**). Κάποια δείγματα και χημικά στοιχεία που εντοπίζονται κάτω του ορίου ανιχνευσιμότητας της μεθόδου, έχουν πολύ μικρότερη συγκέντρωση και πρακτικά μπορεί να θεωρηθεί ότι απουσιάζουν από το νερό.

Πίνακας 4.2: Συνολικοί πίνακες (A-Δ) φυσικοχημικών παραμέτρων, αναλύσεων κατιόντων, ανιόντων και ιχνοστοιχείων στα επιφανειακά νερά της περιοχής.

A

ΔΕΙΓΜΑ	Ονομασία Ποταμού	pH	Eh μV	DO mg/l	Conductivity (μS/cm)	TDS mg/l
LOQ Μεθόδου						
A0	Αλφειός	8.5	112	9.4	492	258
A1	Αλφειός	8.0	75	8.9	536	275
A2	Αλφειός	8.1	96	9.6	741	384
A9	Αλφειός	8.1	103	9.6	649	337
A3	Αλφειός	7.9	181	8.5	809	415
A4	Αλφειός	7.9	107	8.6	785	414
A5	Αλφειός	7.9	124	9.1	720	373
A6	Αλφειός	7.4	98	9.0	735	385
A7	Αλφειός	7.9	121	9.4	750	386
A8	Αλφειός	8.0	39	9.2	728	376
ZR1	Ζαρζάκης	8.0	407	6.6	1134	888
XI	Ξερίλας	8.1	250	10.3	607	316
KF1	Κεφαλόβρυσο	8.0	88	9.3	532	273
PANI	Ρέμα Παναγιά	8.0	96	9.2	521	271
ZG1	Ζαγκλαρόρεμα	8.0	114	9.0	667	351
E1	Ελισσών	8.0	34	8.1	358	186
E2	Ελισσών	8.0	-47	9.3	554	287
LG1	Λιγατάρης	8.0	89	8.9	670	349
K1	Καστρίτης	7.9	88	9.2	543	278
PI	Παλιόμυλος	7.8	-26	8.2	1130	586
TI	Συμβολή Σούλος και Γάβρος	7.8	70	8.4	2150	1120
ZMI	Ζάμπακας	8.0	50	7.4	631	327
ZT1	Συμβολή (ρέμα Σούλος και Γέββρος, με Ζάμπακα)	7.9	80	8.3	1312	682
SIK1	Σικαλιά	6.5	98	7.0	1170	605

B

ΔΕΙΓΜΑ	Ασβέστιο (Ca ²⁺)	Κάλιο (K ⁺)	Νάτριο (Na ⁺)	Μαγνήσιο (Mg ²⁺)	Πυρίτιο (Si)	HCO ₃ ⁻	Φθοριούχα (F ⁻)	Χλωριούχα (Cl ⁻)	Νιτρώδη (NO ₂ ⁻)	Βρωμιούχα (Br ⁻)	Νιτρικά (NO ₃ ⁻)	Αμμωνιακά (NH ₄ ⁺)	Θειικά (SO ₄ ²⁻)	Φωσφορικά (PO ₄ ³⁻)
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
<i>LOQ Μεθόδου</i>	1	0.1	0.1	0.02	0.5		0.1	0.5	0.05	0.1	0.5	0.02	0.5	0.1
<i>A0</i>	83	2	7	7	3	275	0.0	13	0.0	0.00	1	<0,02	11	0,01 (<0,1)
<i>A1</i>	88	2	8	7	3	281	0.0	8	0.0	0.04	0	<0,02	7	0
<i>A2</i>	116	2	15	15	4	285	0.1	27	0.2	0.12	13	0.75	74	0,01 (<0,1)
<i>A9</i>	100	2	10	10	3	295	0.0	13	0.1	0.08	8	0.17	43	0,038 (<0,1)
<i>A3</i>	129	2	13	16	3	299	0.0	16	0.3	0.10	16	1.45	122	0,035 (<0,1)
<i>A4</i>	127	2	12	15	3	275	0.1	15	0.2	0.26	13	0.65	128	0,06 (<0,1)
<i>A5</i>	114	2	13	14	3	259	0.1	16	0.2	0.14	12	0.57	109	0,04 (<0,1)
<i>A6</i>	121	2	14	15	3	262	0.1	16	0.2	0.17	12	0.44	124	0,05 (<0,1)
<i>A7</i>	122	2	13	15	3	285	0.1	15	0.2	0.22	13	0.42	134	0,02 (<0,1)
<i>A8</i>	120	2	13	14	3	260	0.1	14	0.2	0.20	11	0.34	112	0,0648 (<0,1)
<i>ZRI</i>	149	2	24	26	4	350	0.1	20	0.4	0.13	13	3,04	151	0.3
<i>XI</i>	98	1	8	8	4	311	0.0	15	0.0	0.07	1		11	0.0
<i>KFI</i>	98	1	6	6	3	305	0.0	9	0.0	0.06	0		7	0.0
<i>PANI</i>	92	1	6	5	4	289	0.0	5	0.0	0.03	0		3	0.0
<i>ZGI</i>	117	1	7	12	3	276	0.0	11	0.0	0.08	0		91	0.0
<i>E1</i>	63	1	3	5	3	198	0.0	6	0.0	0.03	0		9	0,008 (<0,1)
<i>E2</i>	85	3	6	10	3	224	0.0	7	0.1	0.33	1		48	0.1
<i>LGI</i>	106	1	11	19	4	326	0.1	13	0.0	0.07	1		51	0.0
<i>KI</i>	87	1	8	7	3	229	0.1	8	0.0	0.13	1		51	0.0
<i>PI</i>	195	2	8	24	5	256	0.1	9	0.1	0.12	1		274	0,03 (<0,1)
<i>TI</i>	421	22	42	44	6	329	0.4	61	0.0	6.72	11		1010	1.8
<i>ZMI</i>	93	2	6	14	5	277	0.1	13	0.0	0.00	0		72	0,019 (<0,1)
<i>ZTI</i>	225	8	19	25	5	305	0.2	26	0.0	2.03	2		318	0.5
<i>SIKI</i>	236	1	9	15	6	98	0.1	10	0.0	0.12	1		533	0.1

Γ

ΔΕΙΓΜΑ	Ολικός Φώσφορος (P)	Βόριο (B)	Λίθιο (Li)	Βηρύλλιο (Be)	Αργίλιο (Al)	Βανάδιο (V)	Χρόμιο (Cr)	Μαγγάνιο (Mn)	Σίδηρος (Fe)	Κοβάλτιο (Co)	Νικέλιο (Ni)	Χαλκός (Cu)	Ψευδάργυρος (Zn)	Αρσενικό (As)
	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l
<i>LOQ Μεθόδου</i>	50	50	1	1	10	1	1	1	5	1	0.5	1	5	1
<i>A0</i>	-3	13	1	0.01	4	0.3	0	5	9	0.0	1	1	4	0.2
<i>A1</i>	-6	12	1	0.00	3	0.3	0	7	8	0.1	1	1	4	0.2
<i>A2</i>	32	19	2	0.00	3	0.5	0	62	10	0.2	2	1	6	0.4
<i>A9</i>	15	15	2	0.00	4	0.4	0	50	10	0.2	2	17	3	0.3
<i>A3</i>	10	18	2	0.00	5	0.4	0	93	7	0.3	3	1	12	0.3
<i>A4</i>	3	25	2	0.00	5	0.5	0	65	5	0.2	3	1	5	0.3
<i>A5</i>	7	21	2	0.00	5	0.5	0	47	7	0.2	2	1	38	0.2
<i>A6</i>	7	23	2	0.01	5	0.5	0	62	9	0.2	2	1	8	0.3
<i>A7</i>	7	25	2	0.00	4	0.5	0	58	5	0.2	2	1	4	0.3
<i>A8</i>	2	23	2	0.00	4	0.5	0	37	7	0.2	2	2	6	0.2
<i>ZR1</i>	290	27	2	0.00	4	0.9	0	167	19	0.4	3	1	7	0.6
<i>X1</i>	-1	11	1	0.00	2	0.2	0	7	5	0.0	0	0	3	0.1
<i>KF1</i>	-5	14	2	0.00	3	0.2	0	13	5	0.0	0	0	4	0.1
<i>PANI</i>	-5	13	2	0.00	6	0.2	0	84	8	0.1	1	0	3	0.2
<i>ZG1</i>	43	11	2	0.00	1	0.7	0	37	4	0.1	2	1	4	0.2
<i>E1</i>	-2	5	1	0.00	4	0.3	0	1	3	0.0	0	2	9	0.1
<i>E2</i>	-6	28	3	0.00	6	0.5	0	28	8	0.0	0	0	4	0.2
<i>LG1</i>	-6	17	3	0.00	2	0.3	0	44	5	0.0	0	0	3	0.1
<i>K1</i>	-5	10	1	0.00	15	0.4	1	3	10	0.0	1	0	8	0.1
<i>P1</i>	3	27	2	0.00	11	0.7	1	338	14	0.7	8	1	6	0.3
<i>TI</i>	3	165	17	0.00	4	0.8	0	216	9	0.5	5	1	4	0.4
<i>ZMI</i>	-2	15	4	0.00	3	0.3	0	6	5	0.1	1	1	3	0.2
<i>ZTI</i>	0	76	9	0.00	4	0.5	0	75	6	0.2	2	1	6	0.2
<i>SIKI</i>	6	50	3	0.05	42	0.8	2	292	149	2.7	24	3	13	0.4



ΔΕΙΓΜΑ	Σελήνιο (Se)	Στρόντιο (Sr)	Μολυβδαίνιο (Mo)	Κάδμιο (Cd)	Κασσίτερος (Sn)	Αντιμόνιο (Sb)	Βάριο (Ba)	Υδράργυρος (Hg)	Θάλλιο (Tl)	Μόλυβδος (Pb)
	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l
<i>LOQ Μεθόδου</i>	1	5	1	0.1	0.6	0.1	1	0.05	1	0.1
<i>A0</i>	0	317	0	0.01	0.02	0.3	35	0.005	0.01	0.1
<i>A1</i>	0	350	0	0.01	0.01	0.2	42	0.012	0.01	0.0
<i>A2</i>	0	509	2	0.02	0.03	0.2	46	0.006	0.01	0.1
<i>A9</i>	0	434	1	0.00	0.01	0.2	48	0.004	0.00	0.0
<i>A3</i>	0	570	3	0.01	0.02	0.3	49	0.009	0.00	0.0
<i>A4</i>	1	538	42	0.01	0.02	0.3	43	0.004	0.00	0.6
<i>A5</i>	0	475	25	0.01	0.02	0.3	43	0.003	0.01	0.1
<i>A6</i>	1	501	31	0.02	0.02	0.2	41	0.004	0.00	0.0
<i>A7</i>	1	513	41	0.01	0.02	0.3	40	0.003	0.00	0.0
<i>A8</i>	1	497	37	0.01	0.02	0.1	39	0.003	0.00	0.1
<i>ZRI</i>	0	597	3	0.02	0.03	0.3	50	0.018	0.01	0.3
<i>XI</i>	0	331	0	0.01	0.01	0.1	39	0.005	0.00	0.0
<i>KFI</i>	0	392	0	0.01	0.02	0.2	68	0.000	0.00	0.0
<i>PANI</i>	0	322	0	0.01	0.01	0.3	41	0.007	0.00	0.1
<i>ZGI</i>	0	368	1	0.02	0.01	0.3	35	0.001	0.00	0.0
<i>E1</i>	0	217	0	0.02	0.05	0.2	25	0.004	0.00	0.1
<i>E2</i>	1	341	122	0.01	0.02	0.2	31	0.006	0.00	0.1
<i>LGI</i>	0	407	1	0.01	0.01	0.2	41	0.002	0.00	0.0
<i>K1</i>	0	235	2	0.01	0.03	0.3	27	0.003	0.00	0.1
<i>PI</i>	0	782	10	0.01	0.02	0.3	35	0.002	0.01	0.0
<i>T1</i>	8	2275	1027	0.09	0.00	0.6	35	0.006	0.01	0.0
<i>ZMI</i>	1	527	6	0.01	0.02	0.2	44	0.011	0.00	0.0
<i>ZTI</i>	4	1194	445	0.04	0.00	0.2	39	0.005	0.01	0.0
<i>SIKI</i>	1	630	2	0.08	0.00	0.3	55	0.006	0.01	0.0

4.3 Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Στον **Πίνακα 4.3** παρουσιάζονται τα νομοθετικά όρια για μεμονωμένες χημικές παραμέτρους που περιλαμβάνονται στις συγκεκριμένες νομοθεσίες. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν τα πρόσφατα νομοθετικά όρια του ΦΕΚ 3525B_20023 της Ελληνικής Κυβέρνησης, εναρμονισμένη με την οδηγία για τα πόσιμα νερά της Ευρωπαϊκής Ένωσης Οδηγία 2020/2184. Η οδηγία δεν καλύπτει το σύνολο των χημικών παραμέτρων για τα νερά, για τον λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκαν τα ανώτερα όρια για τα νερά προς ανθρώπινη κατανάλωση, με βάση την έκθεση του Παγκόσμιου οργανισμού υγείας (WHO, 2022). Τέλος, χρησιμοποιήθηκαν τα όρια Προτύπων Ποιότητας Περιβάλλοντος (ΠΠΠ) για τις συγκεντρώσεις ορισμένων ρύπων και ουσιών προτεραιότητας στα επιφανειακά ύδατα, σύμφωνα με τις διατάξεις της Ελληνικής κυβέρνησης ΦΕΚ_1909B_2010 και την αναθεωρημένη έκδοση της ΦΕΚ_69B_2016. Οι διατάξεις αυτές, συμμορφώνονται βάση των οδηγιών 2008/105/ ΕΚ και 2013/39/ΕΕ της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Όμως, σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO, 2022), δεν υπάρχει όριο για τα SO₄²⁻, υψηλές συγκεντρώσεις θεικών σχετίζονται με γαστρεντερικές επιπτώσεις στον άνθρωπο και συνιστάται να ενημερώνονται οι υγειονομικές αρχές για τις πηγές πόσιμου νερού που περιέχουν συγκεντρώσεις θεικού άλατος άνω των 500 mg/l. Το Mo έχει ανώτερο όριο 70 µg/l από τοξικολογικές μελέτες στα ζώα.

Συγκρίνοντας τα νομοθετικά όρια (**βλ. Πίνακα 4.3**) με τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων (**βλ. Πίνακα 4.2**) στα δείγματα νερού της περιοχής διαπιστώνεται ότι, οι περισσότερες χημικές παράμετροι βρίσκονται εντός των νομοθετικών ορίων σύμφωνα με τις τρεις νομοθεσίες που επιλέχθηκαν. Οι χημικές παράμετροι που ξεπέρασαν τα νομοθετικά όρια για πόσιμο νερό και την νομοθεσία του Οργανισμού Υγείας, αποτελούν τα δείγματα A3 (1,5 µg/l) και ZR1 (3,04 µg/l) για τα NH₄⁺. Επιπλέον τα όρια για τα SO₄²⁻ ξεπεράστηκαν στα δείγματα P1 (274 mg/l), ZT1 (318 mg/l), SIK1 (533 mg/l) και με την μέγιστη τιμή να εντοπίζεται στο δείγμα T1 (1010 mg/l). Το Mn ξεπερνά τα νομοθετικά όρια για το πόσιμο νερό και τον Οργανισμό Υγείας, για αρκετά σημεία που εντοπίζονται και εντός του Αλφειού. Μεταξύ αυτών τα σημεία A2 (62 µg/l), A9 (50 µg/l), A3 (93 µg/l), A4 (65 µg/l), A6 (62 µg/l), A7 (58 µg/l), ZR1 (167 µg/l), PAN1 (84 µg/l), P1 (338 µg/l), T1 (216 µg/l), ZT1 (75 µg/l) και SIK1 (292 µg/l). Ακόμα το Mo ξεπέρασε την νομοθεσία για τις επιτρεπόμενες τιμές της συγκέντρωσης του σύμφωνα με τα όρια Προτύπων Ποιότητας Περιβάλλοντος (ΠΠΠ) στα επιφανειακά ύδατα (4,4 µg/l). Συγκεκριμένα τα δείγματα που ξεπέρασαν τις τιμές αυτές είναι: A4 (42 µg/l), A5 (25 µg/l), A6 (31 µg/l), A7 (41 µg/l), A8 (37 µg/l), E2 (122 µg/l), ZT1 (445 µg/l) και η μέγιστη τιμή στο δείγμα T1 (1027 µg/l). Αξίζει να σημειωθεί ότι, βάση της νομοθεσίας του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας ανώτερη τιμή για το Mo ορίζεται η τιμή των 70 µg/l, βάση τοξικολογικών μελετών στα ζώα. Βάση αυτού, τα δείγματα E2, ZT1 και T1 χρήζουν αυξημένης προσοχής.

Επιπροσθέτως, τα σημεία P1 και ZM1 εμφανίζουν 10 µg/l Mo και 6 µg/l αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές να μην ξεπερνάνε την νομοθεσία για τα όρια Προτύπων Ποιότητας Περιβάλλοντος (ΠΠΠ) στα

επιφανειακά ύδατα, αλλά βρίσκονται εντός φυσιολογικών τιμών Μο που μπορεί να απαντηθεί στα φυσικά νερά (Smedley & Kinniburgh, 2017). Τέλος υπάρχει ένας μικρός εμπλουτισμός Se στο μοναδικό δείγμα T1 με συγκέντρωση 8 µg/l, το οποίο ξεπερνά ελάχιστα την νομοθεσία για τα όρια Προτύπων Ποιότητας Περιβάλλοντος (ΠΠΠ) στα επιφανειακά ύδατα. Λεπτομέρειες για την συζήτηση των υδροσημείων και τους λόγους εμπλουτισμού δίνονται στο 4.3.2, 4.3.3 και για το Mn και Mo στα κεφάλαια 4.6.1 και 4.6.2 αντίστοιχα.

Πίνακας 4.3: Νομοθετικά όρια για πόση σύμφωνα με τις οδηγίες ΦΕΚ 3525B_2023, WHO 2022 και με τα πρότυπα ποιότητας περιβάλλοντος (ΠΠΠ) των ΦΕΚ 69B_2016 & ΦΕΚ 1909B_2010 για τα επιφανειακά ύδατα.

	Μονάδες	ΦΕΚ 3525B_2023	WHO 2022	ΦΕΚ 69B_2016 & ΦΕΚ 1909B_2010
Φυσικοχημικές παράμετροι				
pH		6,5-9,5		
Conductivity	µS/cm	2500		
Κατιόντα				
Na+	mg/l	200		
Ανιόντα				
F ⁻ (mg/l)	mg/l	1,5		
Cl ⁻ (mg/l)	mg/l	250		
NO ₂ ⁻ (mg/l)	mg/l	0,5	3	
NO ₃ ⁻ (mg/l)	mg/l	50	50	
NH ₄ ⁺ (mg/l)	mg/l	0,5	1,5	
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	mg/l	250	500	
Ιχνοστοιχεία/Μέταλλα				
B	µg/l	1500	2400	
Al	µg/l	200		
Cr	µg/l	25	50	50
Mn	µg/l	50	80	
Fe	µg/l	200		
Co	µg/l			20
Ni	µg/l	20	70	34
Cu	µg/l	2000	2000	26
Zn	µg/l			125
As	µg/l	10	10	30
Se	µg/l	20	40	5
Mo	µg/l		70	4,4
Cd	µg/l	5	3	
Sn	µg/l			2,2
Sb	µg/l	10	20	
Ba	µg/l		1300	
Hg	µg/l	1	6	0,07
Pb	µg/l	5	10	14

Στον **πίνακα 4.4**, φαίνονται τα περιγραφικά στατιστικά των 24 δειγμάτων για όλα τα χημικά στοιχεία. Το NH_4^+ επίσης εμφανίζεται, αλλά χρησιμοποιήθηκαν μόνο 11 δείγματα (όλα του Αλφειού και του Ζαρζάκη ΖR1). Όπως φαίνεται παραπάνω, τα περισσότερα στοιχεία εμφανίζουν καλή διακύμανση τιμών εντός των ορίων της νομοθεσίας, σύμφωνα και με τον **πίνακα 4.4**. Όμως κάποιες χημικές παράμετροι, δείχνουν υψηλότερες τιμές από τα επιτρεπτά όρια. Συγκεκριμένα, υψηλότερη συγκέντρωση εντοπίζεται στις χημικές παραμέτρους NH_4^+ , SO_4^{2+} , Mn, και Mo, ενώ υψηλή συγκέντρωση υπάρχει και στα PO_4^{3-} χωρίς νομοθετικό όριο. Αξίζει να σημειωθεί ότι, οι υψηλότερες αυτές συγκεντρώσεις φαίνεται να είναι μεμονωμένες σε συγκεκριμένα δείγματα (**βλ. Πίνακες 4.2**). Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με το ότι η μέση τιμή τους (**βλ. Πίνακας 4.4**), ξεπερνάει κάποια νομοθετικά όρια δείχνει ότι αυτά τα στοιχεία είναι τα πιο εμπλουτισμένα στο επιφανειακό υδατικό περιβάλλον της περιοχής. Οι χημικές παράμετροι των PO_4^{2-} και των NH_4^+ , επίσης εντοπίζονται στα νερά της περιοχής. Συγκεκριμένα υψηλή συγκέντρωση Αμμωνιακών παρουσιάζει το ρέμα Ζαρζάκης (3 mg/l) (**βλ Πίνακα 4.2 B**), αλλά και σε δείγματα του Αλφειού με συγκεντρώσεις κοντά στο όριο για το πόσιμο νερό (0,5 mg/l) μετά της συμβολή του Ζαρζάκη σε αυτόν. Τέλος στο δείγμα T1 παρατηρείται υψηλή συγκέντρωση Φωσφορικών ιόντων.

Η μεγάλη διακύμανση των τιμών σε πολλά στοιχεία, οφείλεται στα διαφορετικά ρέματα της περιοχής, όπου το καθένα παρουσιάζει διαφορετικά χημικά χαρακτηριστικά. Το γεγονός αυτό, δείχνει ότι μια ομαδοποίηση όλων των δειγμάτων στο κεφάλαιο 4.4, θα ήταν απαραίτητη προκειμένου να ομαδοποιηθούν τα σχετικά πιο επιβαρυμένα ρέματα σε σχέση με τα μη επιβαρυμένα (είτε λόγω γεωλογίας είτε λόγω ανθρωπογενών δραστηριοτήτων).

Παρακάτω, θα σχολιαστεί η κάθε χημική παράμετρος στα νερά της περιοχής και θα δοθεί έμφαση στις φυσικοχημικές παραμέτρους (pH, EC), στα κύρια ιόντα (Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , NO_3^-), καθώς και στα ιχνοστοιχεία που υπερβαίνουν τα νομοθετικά όρια και βρίσκονται σε υψηλή συγκέντρωση στα νερά της περιοχής (κεφάλαιο 4.6.1 και 4.6.2).

Πίνακας 4.4: Περιγραφικά στατιστικά όλων των χημικών παραμέτρων

	meas.unit	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
pH		7.9	0.3	6.5	7.9	8.0	8.0	8.5
Eh	μV	102	87	-47	71	96	114	407
DO	mg/l	9	1	7	8	9	9	10
Conductivity	μS/cm	788	374	358	546	695	803	2150
TDS		422	215	186	280	362	415	1120
HCO3-	mg/l	272.9	50.5	97.6	258.9	278.8	303.5	350.0
Ασβέστιο (Ca)	mg/l	133	75	63	92	115	129	421
Κάλιο (K)	mg/l	3	4	1	1	2	2	22
Νάτριο (Na)	mg/l	12	8	3	7	9	13	42
Μαγνήσιο (Mg)	mg/l	14	9	5	7	14	15	44
Πυρίτιο (Si)	mg/l	4	1	3	3	3	4	6
Φθοριούχα (F-)	mg/l	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.4
Χλωριούχα (Cl-)	mg/l	15	11	5	9	13	16	61
Νιτρώδη (NO2-)	mg/l	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.4
Βρωμιούχα (Br-)	mg/l	0.5	1.4	0.0	0.1	0.1	0.2	6.7
Νιτρικά (NO3-)	mg/l	6	6	0	0	1	12	16
Αμμωνιακά (NH4)	mg/l	0.7	0.9	0.0	0.2	0.4	0.7	3
Θειικά (SO42-)	mg/l	146	220	3	19	82	132	1010
Φωσφορικά (PO43-)	mg/l		0.4	0.0	0.0	0.0	0.1	1.8
Ολικός Φώσφορος (P)	μg/l	16	60	-6	-4	2	7	290
Βόριο (B)	μg/l	27	33	5	13	18	26	165
Λίθιο (Li)	μg/l	2.9	3.5	1.0	1.6	2.0	2.6	17.1
Βηρύλλιο (Be)	μg/l	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
Αργίλιο (Al)	μg/l	6	8	1	3	4	5	42
Βανάδιο (V)	μg/l	0.5	0.2	0.2	0.3	0.5	0.5	0.9
Χρόμιο (Cr)	μg/l	0.4	0.3	0.2	0.3	0.3	0.4	1.7
Μαγγάνιο (Mn)	μg/l	75	90	1	9	48	82	338
Σίδηρος (Fe)	μg/l	14	29	3	5	7	9	149
Κοβάλτιο (Co)	μg/l	0.3	0.5	0.0	0.0	0.2	0.2	2.7
Νικέλιο (Ni)	μg/l	3	5	0	1	2	3	24
Χαλκός (Cu)	μg/l	2	3	0	1	1	1	17
Ψευδάργυρος (Zn)	μg/l	7.0	7.2	2.8	3.7	4.7	7.7	38.4
Αρσενικό (As)	μg/l	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.6
Σελήνιο (Se)	μg/l	0.9	1.8	0.2	0.2	0.4	0.6	8.3
Στρόντιο (Sr)	μg/l	555	418	217	343	486	562	2275
Μολυβδαίνιο (Mo)	μg/l	75	223	0	1	3	36	1027
Κάδμιο (Cd)	μg/l	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
Κασσίτερος (Sn)	μg/l	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Αντιμόνιο (Sb)	μg/l	0.3	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.6
Βάριο (Ba)	μg/l	41	9	25	35	41	46	68
Υδράργυρος (Hg)	μg/l	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02
Θάλλιο (Tl)	μg/l	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Μόλυβδος (Pb)	μg/l	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.6

4.3.1 Φυσικοχημικές παράμετροι

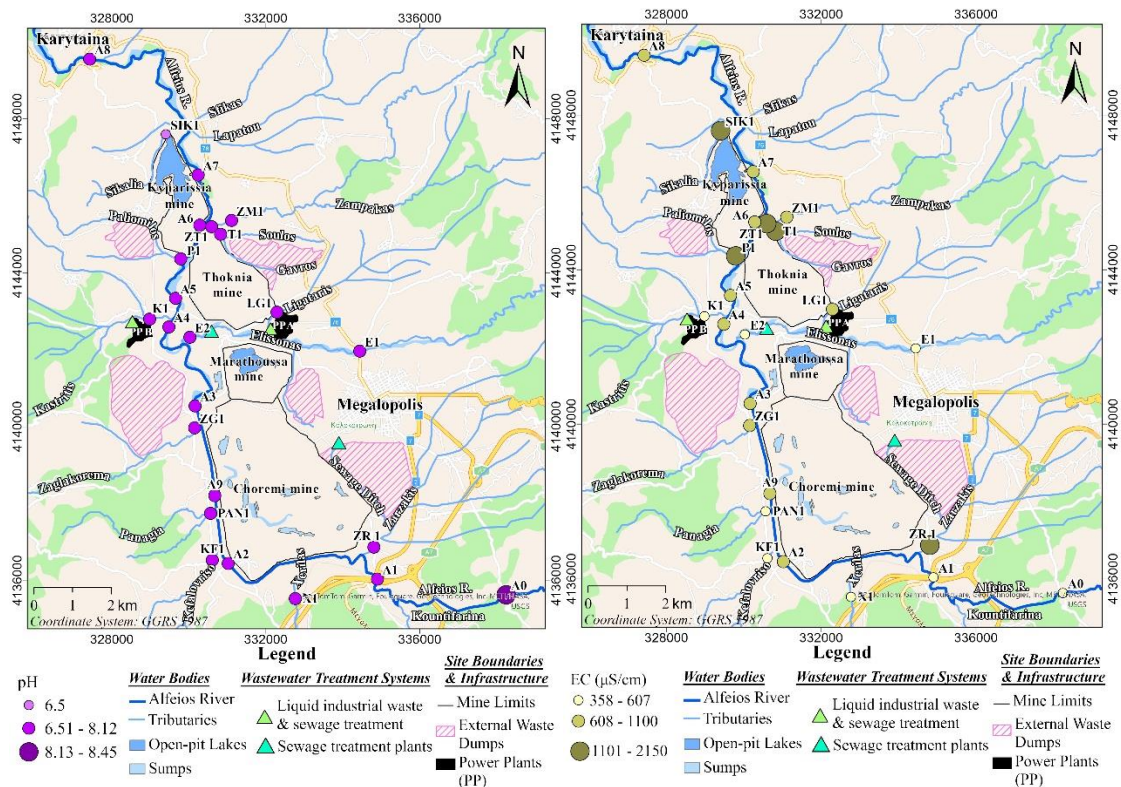
- **pH και EC**

Το pH είναι αλκαλικό σε όλα τα ρέματα της περιοχής και δεν διαφοροποιείται (**βλ. Εικόνα 4.1 α**). Αυτό συμβαίνει, λόγω της ύπαρξης των ανθρακικών πετρωμάτων σε όλο το μήκος της λεκάνης. Μόνο το ρέμα Σικαλιά σημείο SIK1, που διέρχεται εντός του χώρου των Κυπαρισσιών έχει ελαφρώς όξινο pH 6,5. Αντίθετα, η ηλεκτρική αγωγιμότητα παρουσιάζει διαφοροποίηση (**βλ. Εικόνα 4.1 β**). Συγκεκριμένα, παρατηρούμε μια αύξηση στην ηλεκτρική αγωγιμότητα μετά την συμβολή του ρέματος Ζαρζάκη στον Αλφειό. Ο Αλφειός, διατηρεί την αγωγιμότητα σε όλο το μήκος του. Επιπλέον,

υψηλότερη αγωγιμότητα παρατηρείται σε ρέματα που διέρχονται από εξωτερικές αποθέσεις και τον χώρο της Θωκνίας. Μια μικρή διαφοροποίηση της ηλεκτρική αγωγιμότητα του Ελισώνα από το Ε1 στο Ε2 που οφείλεται στην συμβολή του Λιγατάρη (LG1), αλλά πιθανόν και σε εμπλουτισμό χημικών στοιχείων (εμφάνιση Mo) (βλ. Πίνακα 4.2 Α), που δεν απαντάται στον Λιγατάρη.

α)

β)

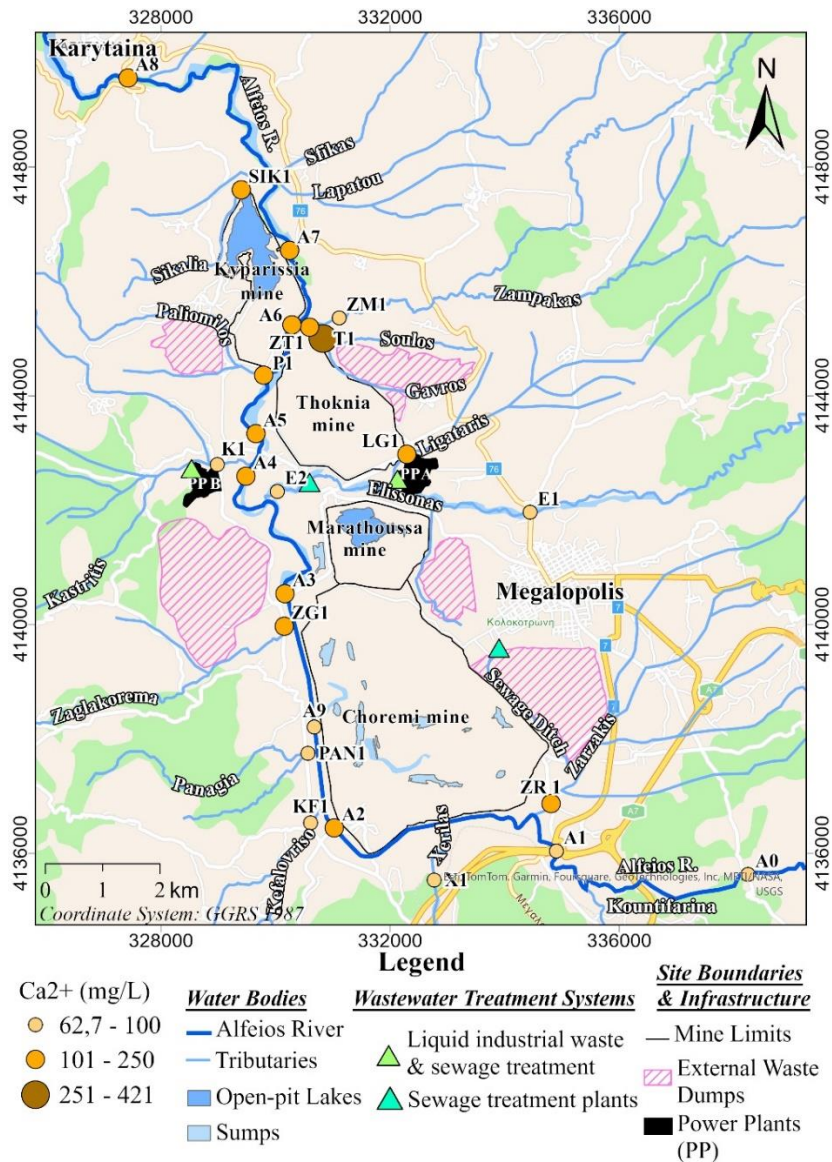


Εικόνα 4.1: χάρτες κατανομής α) pH και β) EC

4.3.2 Κύρια κατιόντα

- Ca^{2+}

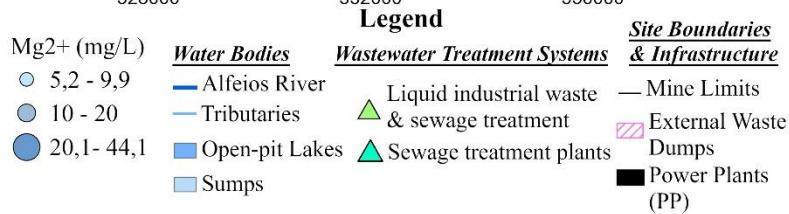
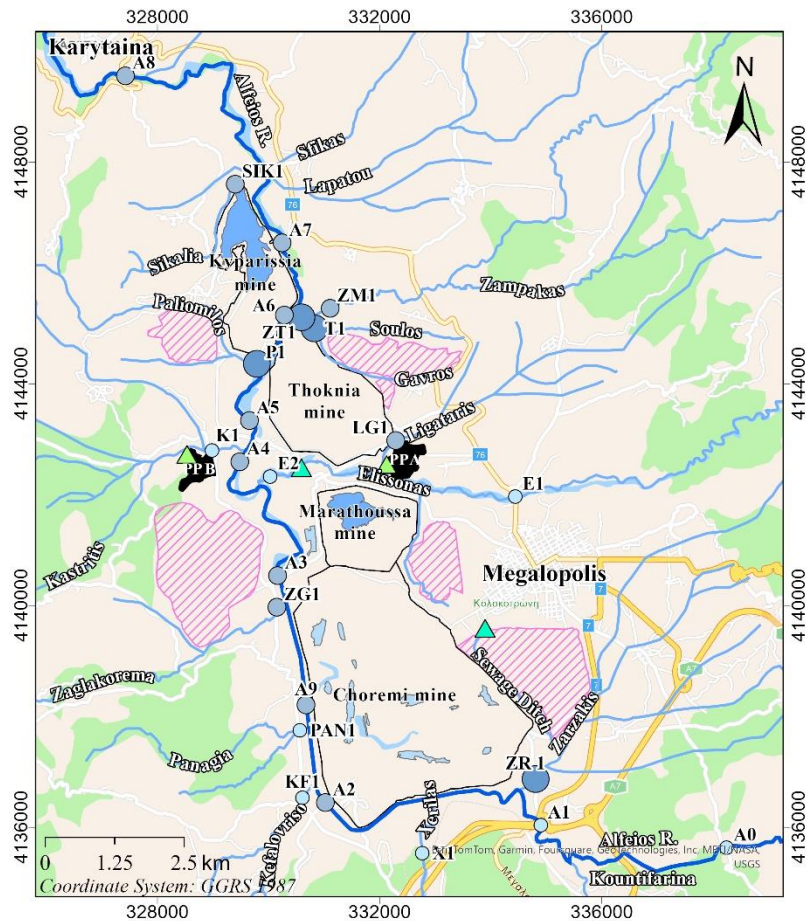
Το Ca^{2+} παρουσιάζει διακυμάνσεις εντός των ρεμάτων της λεκάνης (βλ. Εικόνα 4.2) και αυτό έχει να κάνει τόσο με την γεωλογία της περιοχής (ανθρακικά πετρώματα που κυριαρχούν) με την διάλυση του ασβεστίτη CaCO_3 , όσο και την ανθρωπογενή δραστηριότητα από την διάλυση της γύψου $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, καθώς τόσο της τέφρας που είναι εμπλουτισμένη σε Ca σε σχέση με τον φλοιό της γης (Foscolos et al., 1989) όσο και της υδραβέστου $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Ακόμα, και οι εξωτερικές αποθέσεις περιέχουν μικρή ποσότητα τέφρας για την σταθεροποίηση και την μείωση της υδραυλικής αγωγιμότητας του σχηματισμού (ΔΜΕΠΟ (ΜΠΕ), 2023). Για αυτό τα ρέματα που διέρχονται πλευρικά από τέτοιου είδους αποθέσεις έχουν υψηλότερη συγκέντρωση σε Ca (βλ. Εικόνα 4.2).



Εικόνα 4.2: Χάρτης κατανομής Ca²⁺.

- Mg²⁺

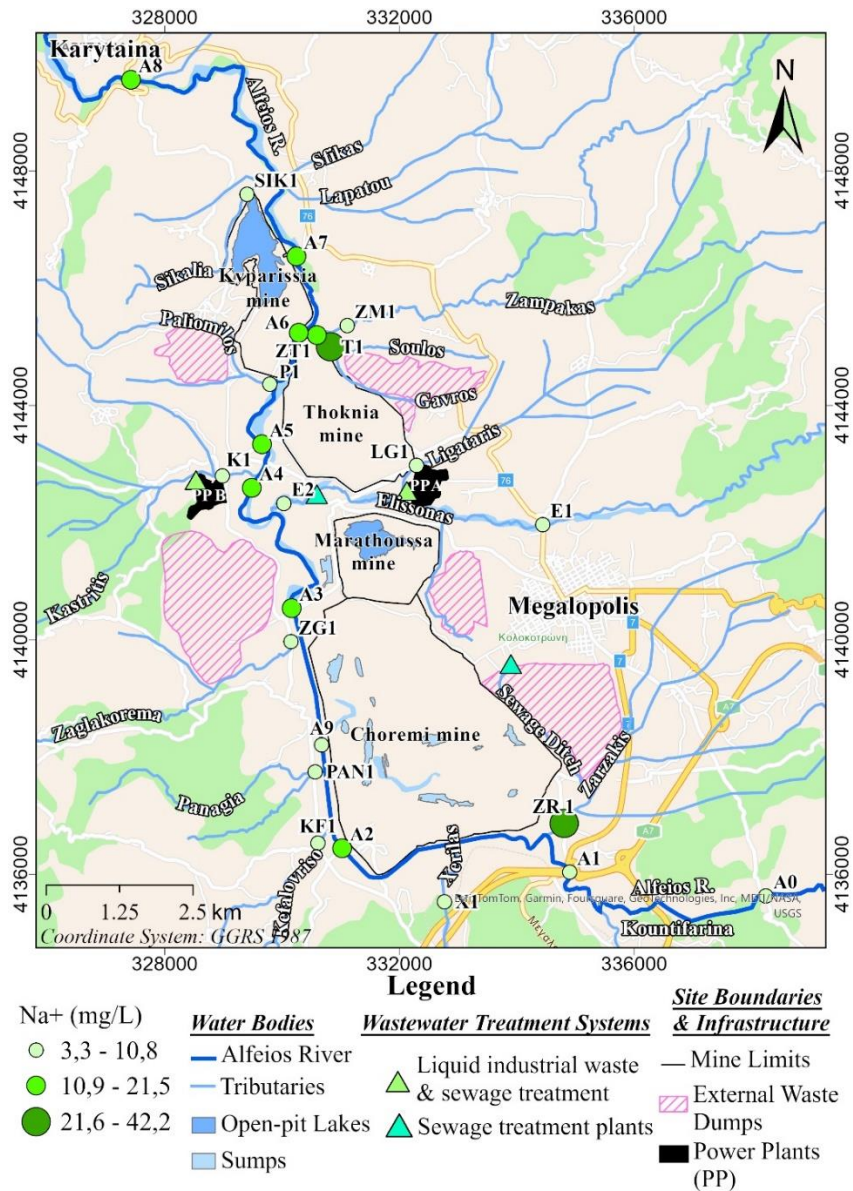
Το Mg²⁺ απουσιάζει από τα νερά της περιοχής, λόγω της απουσίας πετρωμάτων πλούσιων σε Mg π.χ. (υπερβασικά πετρώματα). Όμως, τοπικά σε κάποια ρέματα (Ζαρζάκη, Παλιόρεμμα και ρέμα (Σούλος και Γάββρος) περιέχουν περισσότερο Mg²⁺, λόγω της φύσης του υλικού των εξωτερικών αποθέσεων που μπορεί να περιέχει και μεταμορφωμένους κλάστες. Φαίνεται, ότι το ρέμα Ζαρζάκη, επηρεάζει άμεσα την σύσταση του Αλφειού, καθώς μόλις συμβάλλει σε αυτόν αυξάνεται η συγκέντρωση του Mg²⁺ σε σχέση με τα αρχικά δείγματα Α1 και Α0 πριν την συμβολή (βλ. Εικόνα 4.3).



Εικόνα 4.3: Χάρτης κατανομής Mg²⁺.

- Na⁺

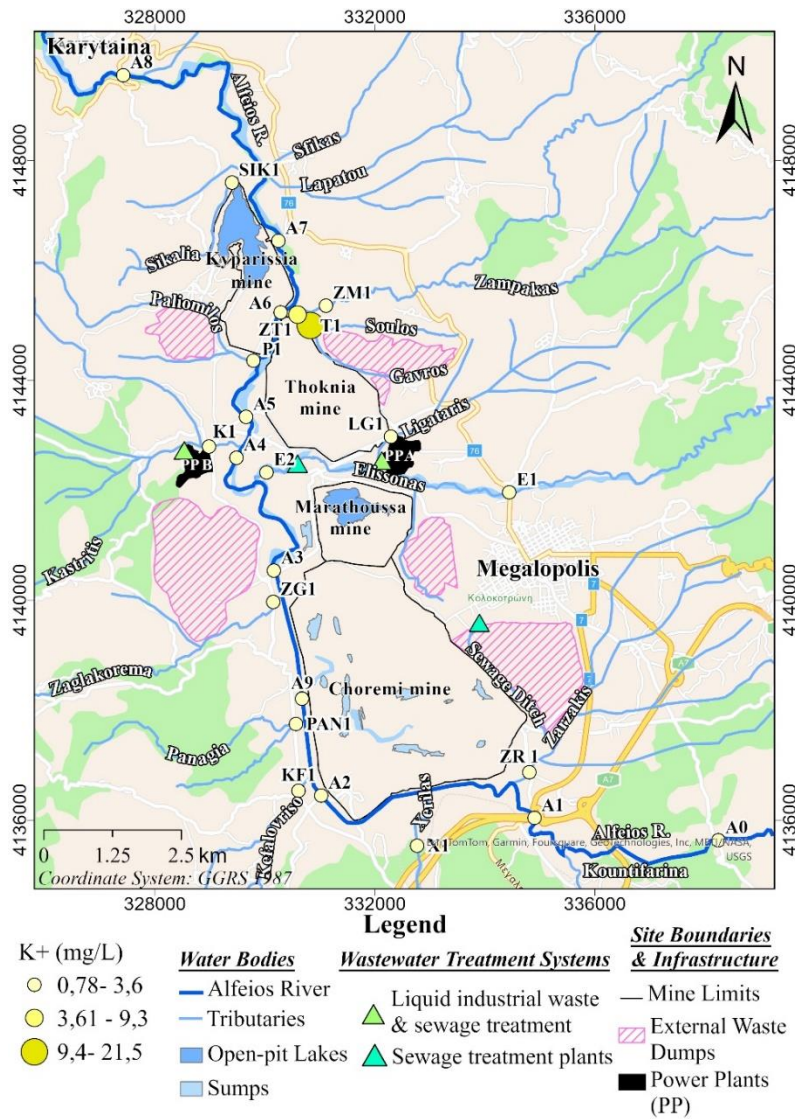
Το Na⁺ επίσης απουσιάζει από τα νερά της περιοχής, καθώς παρατηρείται πολύ μικρή συγκέντρωση του σε όλο το μήκος του Αλφειού ποταμού και των γύρω ρεμάτων. Η υψηλότερη τιμή του Na⁺ εντοπίζεται στο ρέμα της συμβολής Σούλος και Γάββρος και στο ρέμα Ζαρζάκη (βλ.Εικόνα 4.4).



Εικόνα 4.4: Χάρτης κατανομής Na⁺.

• K⁺

Για το K⁺ δεν παρουσιάζονται μεγάλες τιμές στην λεκάνη (βλ. Εικόνα 4.5). Η μεγαλύτερη συγκέντρωση, η οποία εξακολουθεί να θεωρείται χαμηλή, εντοπίστηκε στην συμβολή των ρεμάτων Σούλος και Γάβρος, σημείο T1.

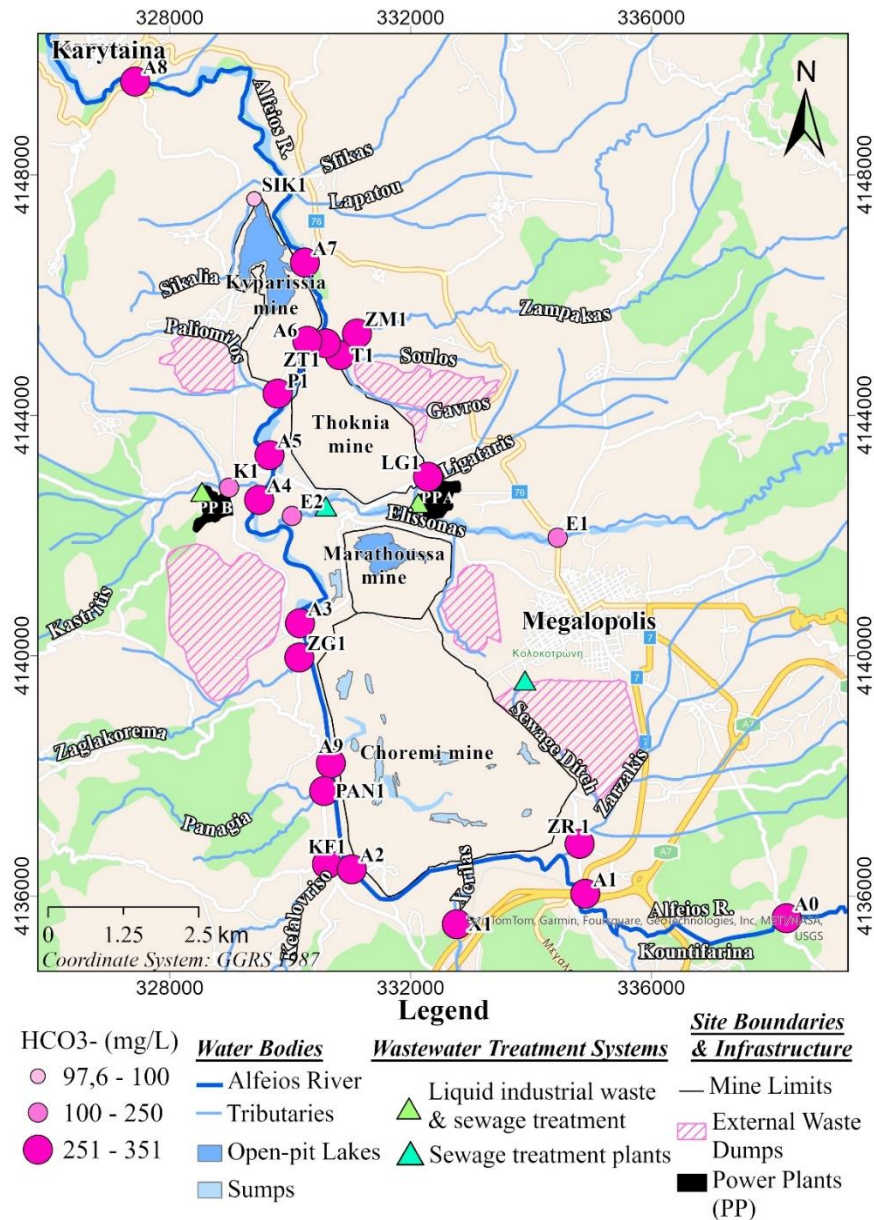


Εικόνα 4.5: Χάρτης κατανομής K^+ .

4.3.3 Κύρια ανιόντα

- HCO_3^-

Τα όξινα ανθρακικά ιόντα HCO_3^- εντοπίζονται σε όλα τα ρέματα της περιοχής (βλ. Εικόνα 4.6) και η παρουσία τους οφείλεται στην διάλυση του ασβεστίτη από τα ανθρακικά πετρώματα της περιοχής. Τα μόνα ρέματα που έχουν διακύμανση στην τιμή των HCO_3^- είναι ο Καστρίτης και ο Σικαλιάς, λόγω του χαμηλότερου pH του.

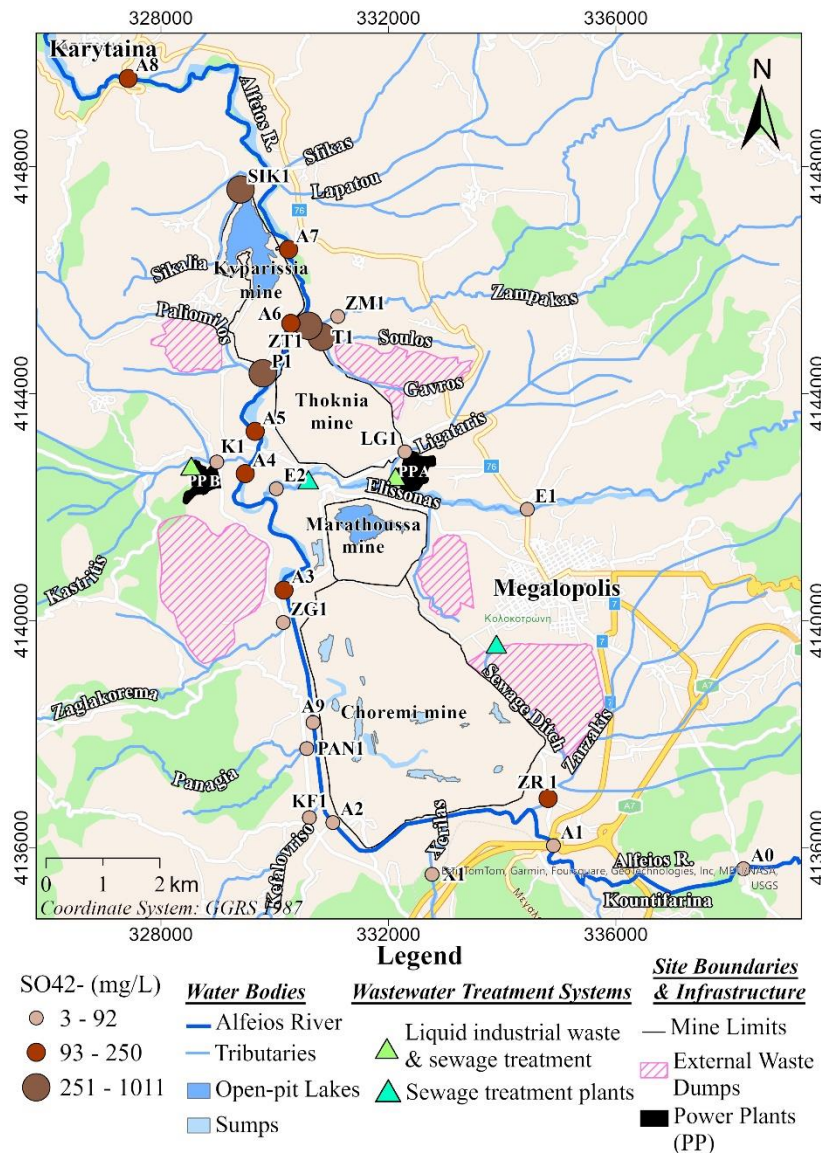


Εικόνα 4.6: Χάρτης κατανομής HCO₃⁻.

- SO₄²⁻

Τα θειικά ιόντα SO₄²⁻ υπάρχουν σε αρκετά υψηλές συγκεντρώσεις στην λεκάνη και στον Αλφειό. Αρχικά ο ίδιος ο λγνίτης περιέχει θειούχα ορυκτά όπως ο σιδηροπυρίτης και ο μαρκασίνης FeS₂. Επιπλέον οι αποθέσεις γύψου CaSO₄ · 2H₂O και τέφρας αποτελούν και αυτές δυνητικές πηγές εμπλουτισμού θεικών ιόντων στο νερό. Παρατηρείται, ότι τα ρέματα που διέρχονται από εξωτερικές αποθέσεις και δίπλα από τον χώρο της Θωκνίας, έχουν και τις υψηλότερες συγκεντρώσεις (βλ. Εικόνα 4.7). Ακόμα, το ρέμα Ζαρζάκη προσφέρει μια ποσότητα θεικών ιόντων στα επιφανειακά νερά, που μπορεί να οφείλεται είτε στα λύματα είτε στις εξωτερικές αποθέσεις είτε σε συνδυασμό αυτών. Η κύρια διαφοροποίηση στα θειικά ιόντα, παρατηρείται στο σημείο A3 σε σχέση με το A9 και το A2 μετά τον

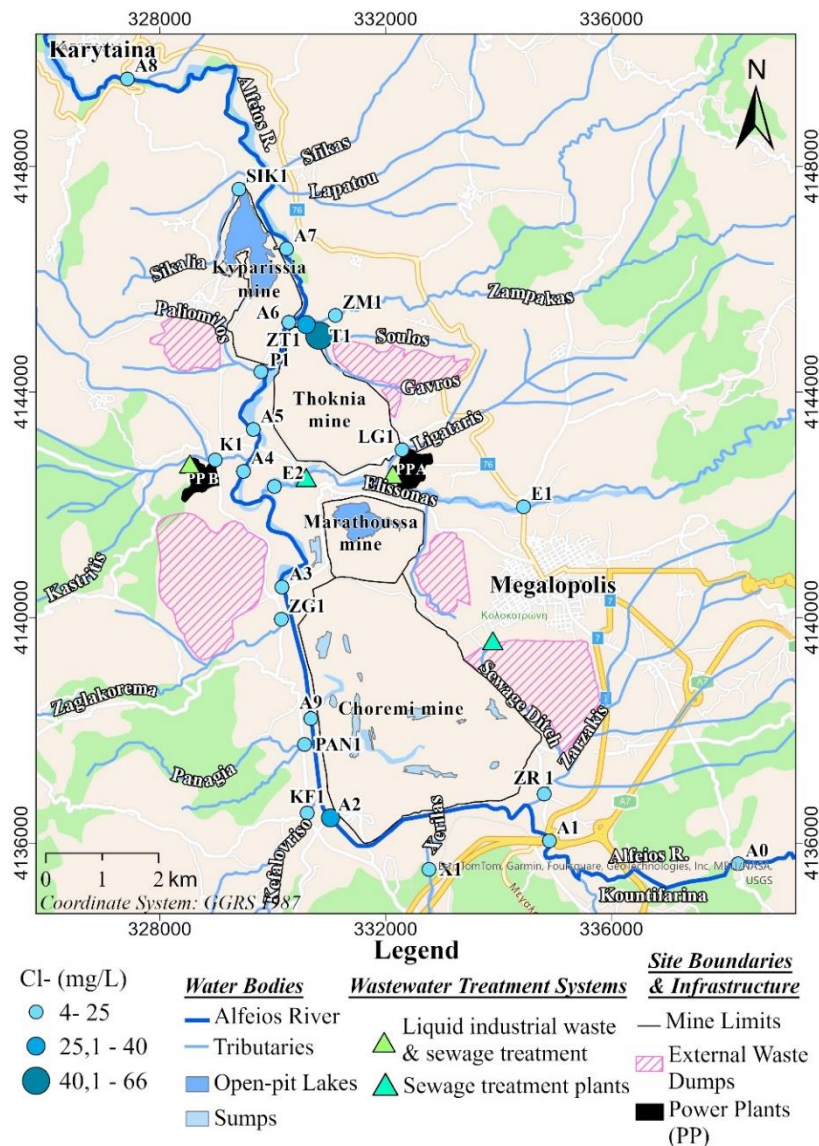
χώρο το Ορυχείου του Χωρεμίου. Η διαφορά αυτή, δεν οφείλεται σε παράπλευρα ρέματα που καταλήγουν στον Αλφειό, καθώς δεν προκύπτει κάποια υψηλότερη συγκέντρωση θεικών σε αυτά. Άρα, πιθανός οφείλεται στις απορρίψεις των αντλιοστασίων στον χώρο μεταξύ του σημείου A9 και A3. Τέλος, όσον αφορά τα SO_4^{2-} μετά το σημείο A3, φαίνεται να διατηρούνται όσον αφορά την συγκέντρωσή τους σε όλη την ροή του Αλφειού μέχρι την έξοδο του στην γέφυρα της Καρύταινας. Η προσφορά SO_4^{2-} από τα άλλα ρέματα βόρεια της λεκάνης (Παλιόρεμμα, συμβολή του Ζάμπακα με το ρέμα Σούλος και Γάββρος σημείο ZT1) φαίνεται να είναι υπεύθυνη για την διατήρησή τους.



Εικόνα 4.7: Χάρτης κατανομής SO_4^{2-} .

- Cl-
-

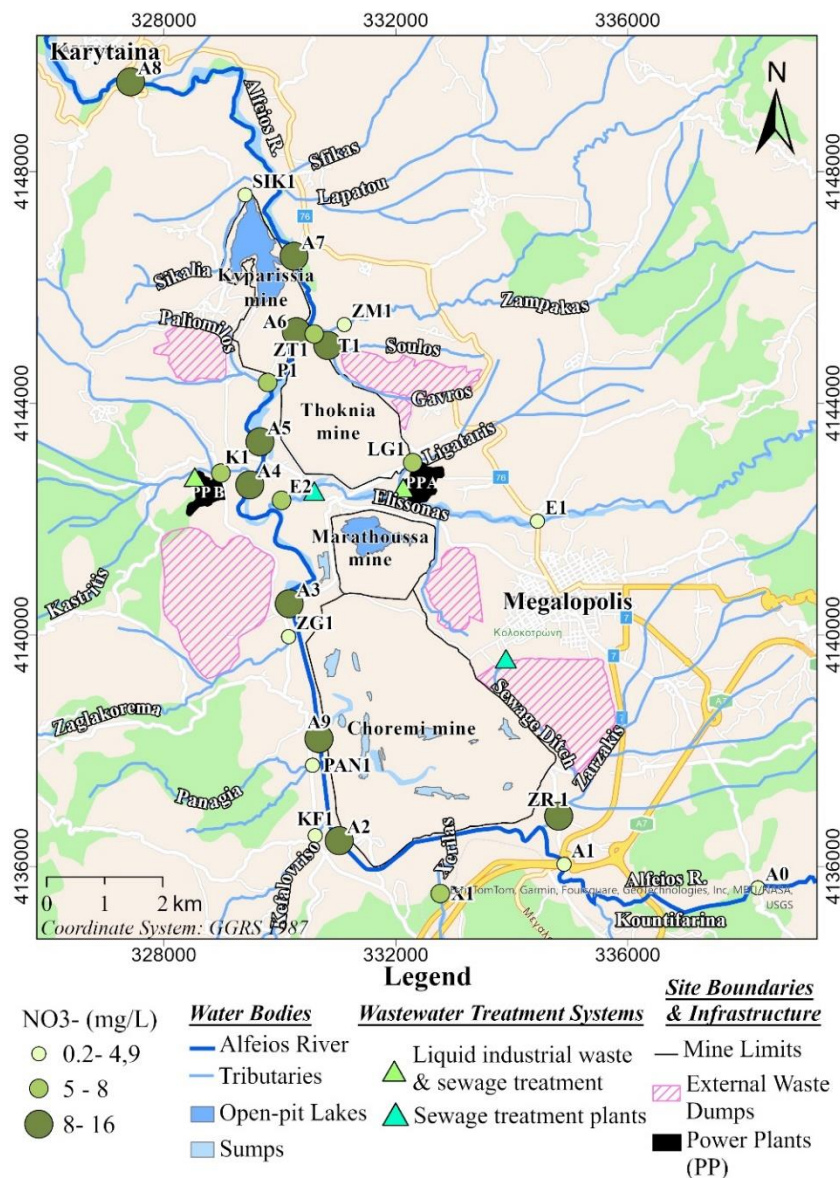
Το Cl⁻ δεν παρουσιάζει διαφοροποίηση στον Αλφειό, πέρα από το σημείο A2 που επηρεάζεται με αυξημένη συγκέντρωση Cl⁻ από το ρέμα Ζαρζάκη (βλ. **Εικόνα 4.8**). Γενικότερα, το Cl⁻ βρίσκεται σε χαμηλές συγκεντρώσεις σε όλο το μήκος του Αλφειού ποταμού. Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί ότι η υψηλότερη συγκέντρωση Cl⁻ εντοπίζεται στο ρέμα της συμβολής Σούλος και Γάββρος, σημείο T1 (66 mg/l), η οποία λόγω αραίωσης μετά την συμβολή του Ζάμπακα μειώνεται δραστικά πριν καταλήξει στον Αλφειό ποταμό, σημείο ZT1 (26 mg/l). Η τιμή αυτή, υπερβαίνει την τιμή του Cl⁻ στον Ζαρζάκη, αλλά δεν παρατηρείται αλλαγή στην συγκέντρωση του Cl⁻ στον Αλφειό. Η συγκέντρωση του Cl⁻ παραμένει σταθερή σε όλο το μήκος του Αλφειού έπειτα από μικρό επηρεασμό από το ρέμα Ζαρζάκη. Αξίζει να σημειωθεί ότι, ο ίδιος ο Αλφειός πριν την συμβολή με το ρέμα Ζαρζάκη ήδη παρουσιάζει μικρή συγκέντρωση Cl⁻ (8 mg/l) στο σημείο A1.



Εικόνα 4.8: Χάρτης κατανομής Cl⁻.

- NO_3^-

Τα NO_3^- ιόντα έχουν μία κύρια πηγή τροφοδοσίας, η οποία είναι το ρέμα Ζαρζάκη (βλ. **Εικόνα 4.9**). Ενώ μια μικρότερη πηγή νιτρικών είναι το ρέμα μετά της συμβολή Σούλος και Γάββρος, η οποία αραιώνεται πριν πέσει στον Αλφειό, στο δείγμα (ZT1) με χαμηλότερη συγκέντρωση νιτρικών μετά την συμβολή με το ρέμα Ζάμπακα. Παρατηρείται και από τους χάρτες κατανομής, ότι το ρέμα Ζαρζάκη είναι υπεύθυνο για την ύπαρξη νιτρικών στον Αλφειό ποταμό που οφείλονται στην Μονάδα επεξεργασίας αστικών λυμάτων της Μεγαλόπολης. Επιπλέον, αυτό αποδεικνύεται και από την ύπαρξη φωσφορικών και αμμωνιακών ιόντων στο ίδιο σημείο σε υψηλές συγκεντρώσεις (βλ. **Πίνακας 4.2 B**).



Εικόνα 4.9: Χάρτης κατανομής NO_3^- .

Τα ιχνοστοιχεία Mo και Mn θα αναλυθούν ξεχωριστά στο κεφάλαιο 4.6. Ο λιγνίτης της Μεγαλόπολης είναι εμπλουτισμένος σε F^- 154 - 258 ppm, Br 9 -55 ppm και Cl^- 21 - 166 ppm

(παράρτημα 1) (Papanicolaou et al., 2004), παρόλα αυτά τα ιχνοστοιχεία αυτά δεν εντοπίζονται σε υψηλές συγκεντρώσεις στα επιφανειακά νερά της περιοχής.

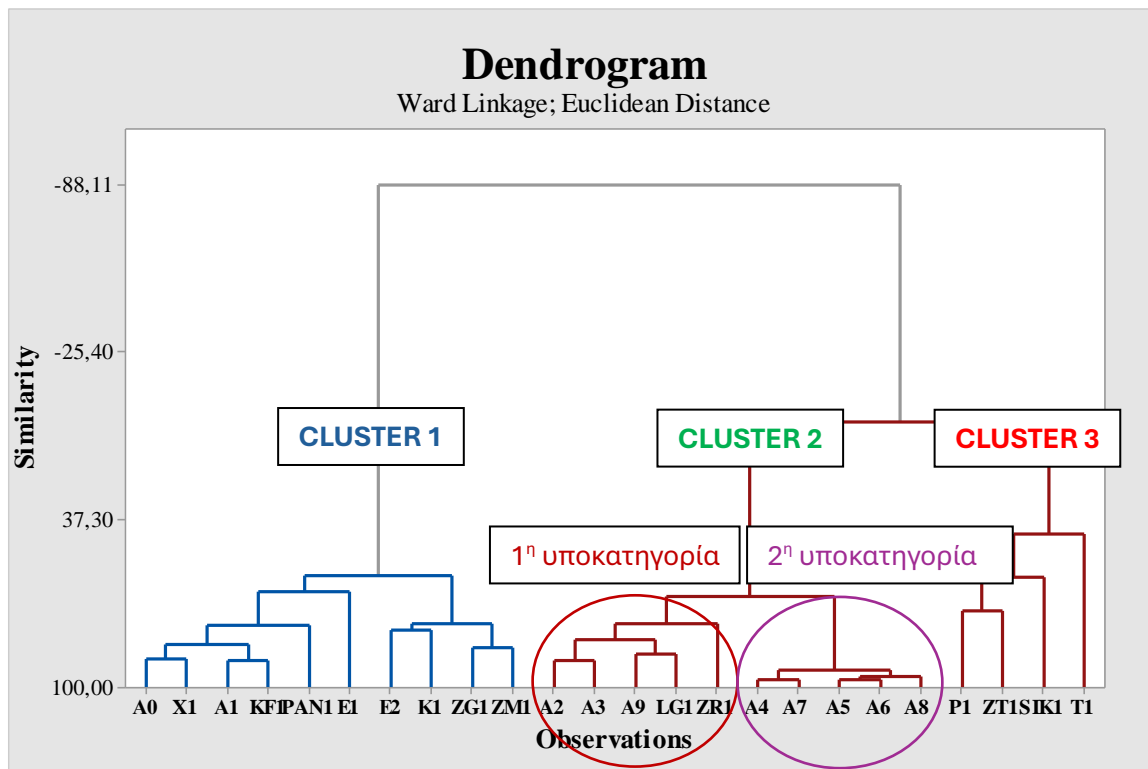
4.4 Υδροχημικά διαγράμματα

4.4.1 Ανάλυση Συστάδων (Cluster Analysis)

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων ομαδοποιήθηκαν σύμφωνα με την στατιστική μέθοδο ανάλυσης σε συστάδες από το πρόγραμμα Minitab17. Στην συγκεκριμένη ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν μόνο τα στοιχεία που παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις και διακυμάνσεις μεταξύ των 24 δειγμάτων (βλ. Πίνακας 4.5), Τα υπόλοιπα είτε δεν παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις είτε έχουν σταθερές τιμές.

Πίνακας 4.5: Χημικές παράμετροι και αγωγιμότητα που χρησιμοποιήθηκαν για την ομαδοποίηση σε συστάδες.

ΔΕΙΓΜΑ	CLUSTER	Ca (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)	Mg (mg/l)	CL (mg/l)	HCO3 (mg/l)	SO4 (mg/l)	NO3 (mg/l)	Mn (μg/L)	Mo (μg/l)	Sr (μg/L)	EC (μS/cm)
A0	1	83.0	1.8	7.4	6.8	13.0	274.5	11.2	0.5	5.5	0.3	316.9	492.0
A1	1	87.7	1.5	8.0	7.1	8.4	280.6	7.2	0.2	7.2	0.3	350.5	536.0
A2	2	116.0	1.6	15.1	14.6	26.8	285.5	73.5	13.2	62.4	2.4	509.5	741.4
A9	2	100.0	1.7	9.9	10.4	13.3	295.2	42.6	7.7	49.9	1.4	433.8	649.0
A3	2	129.0	1.7	13.2	15.5	15.7	298.9	121.8	16.3	92.8	3.0	570.4	808.5
A4	2	127.0	2.4	12.4	15.2	14.9	274.5	127.9	12.9	65.5	41.5	538.1	785.0
A5	2	114.0	1.7	13.1	13.8	16.4	258.6	109.3	12.5	46.6	24.6	474.9	719.7
A6	2	121.0	1.9	13.6	14.6	16.3	262.3	124.2	12.4	61.5	31.2	501.0	735.0
A7	2	122.0	2.0	13.4	14.6	15.0	285.5	133.7	12.7	58.2	40.6	513.1	749.7
A8	2	120.0	2.0	12.9	13.7	13.7	259.9	111.6	11.1	36.9	36.9	496.5	728.3
E1	1	62.7	0.8	3.4	5.2	6.4	197.6	9.2	0.3	0.7	0.3	596.8	357.7
E2	1	84.5	3.2	6.4	9.5	7.0	224.5	47.5	1.0	27.6	121.5	330.6	554.0
ZR1	2	149.0	2.2	23.7	25.8	20.2	350.1	151.2	13.4	167.0	3.5	391.6	1134.0
X1	1	98.1	1.3	7.9	7.6	14.6	311.1	11.0	1.2	7.4	0.2	322.1	607.1
KF1	1	98.4	0.9	5.8	5.6	8.8	305.0	6.8	0.5	12.6	0.1	367.7	532.0
PAN1	1	92.1	0.9	6.1	5.2	4.8	289.1	3.1	0.3	83.8	0.1	217.1	521.0
ZG1	1	117.0	0.9	7.5	11.5	10.7	275.7	91.1	0.2	37.5	1.0	340.6	667.0
LG1	2	106.0	1.2	10.5	19.2	12.7	325.7	51.4	1.4	44.1	1.2	407.0	670.0
K1	1	87.1	1.0	8.3	7.1	8.5	229.4	51.3	1.4	2.7	2.2	234.6	542.7
P1	3	195.0	1.8	8.2	23.6	8.9	256.2	274.1	1.2	337.5	9.8	781.8	1130.0
T1	3	421.0	21.5	42.2	44.1	61.3	329.4	1010.2	11.1	216.0	1027.3	2275.4	2150.0
ZM1	1	92.7	1.6	5.9	13.9	13.3	276.9	71.7	0.3	5.5	6.5	527.3	630.6
ZT1	3	225.0	7.8	18.5	24.8	25.6	305.0	318.4	1.8	75.2	445.2	1194.3	1312.0
SIK1	3	236.0	1.5	8.5	14.6	9.6	97.6	532.8	0.7	291.8	2.2	630.4	1170.0



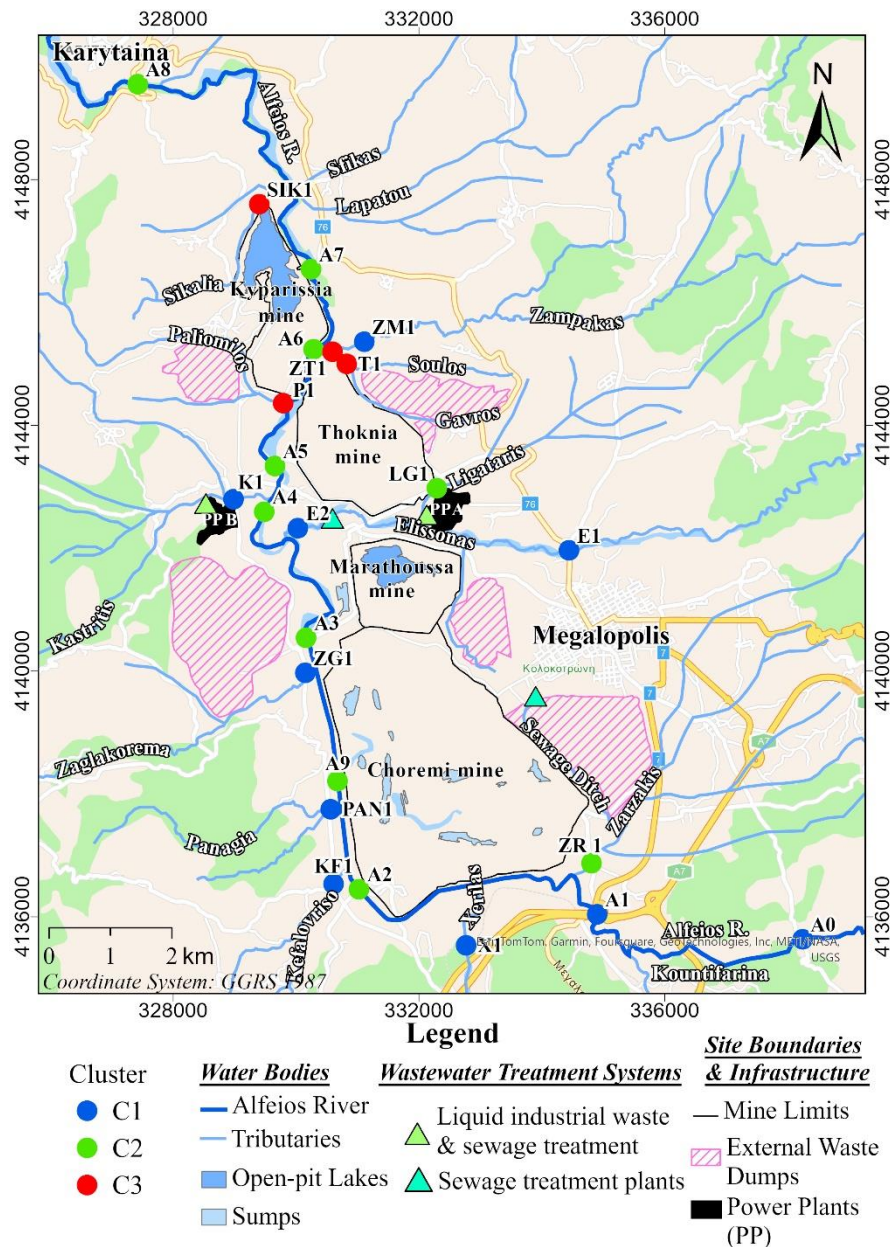
Εικόνα 4.10: Δενδρόγραμμα ανάλυσης σε δύο κύριες συστάδες και υποκατηγορίες συστάδων μαζί με τα δείγματα κάθε συστάδας.

Η συγκεκριμένη μέθοδος ομαδοποιεί τα 24 δείγματα με βάση συσχετισμούς στην χημική τους σύσταση. Όπως παρατηρούμε, τα δείγματα έχουν ομαδοποιηθεί σε 3 κύριες συστάδες (βλ. **Εικόνα 4.10**). Στην **1^η συστάδα (Cluster 1)**, ανήκουν τα περισσότερα ρέματα της περιοχής που καταλήγουν στον Αλφειό. Αυτά είναι τα τρία μεγάλα ρέματα και παραπόταμοι της περιοχής (Ξερίλας X1, Ελισσών E1 και E2, Ζάμπακας ZM1 και Καστρίτης K1), καθώς και άλλα μικρότερα ρέματα που πηγάζουν από τα Δυτικά και καταλήγουν στον Αλφειό (Κεφαλόβρυσος KF1, Παναγιά PAN1, Ζαγγλακόρεμα ZG1). Τα μόνα δείγματα του Αλφειού που συσχετίζονται με αυτή την συστάδα, αποτελούν τα αρχικά σημεία του A0 και A1.

Η **2^η συστάδα (Cluster 2)**, μπορεί να χωριστεί σε 2 διαφορετικές υποκατηγορίες, με τις πρώτες δύο να είναι πιο όμοιες κατά 65% (βλ. **Εικόνα 4.10**). Η **καφέ 1^η υποκατηγορία** περιέχει τα δείγματα του Αλφειού ποταμού που εντοπίζονται στην περιοχή στην εκτροπή του Αλφειού δίπλα στο Ορυχείο Χωρεμίου (A2, A3, A9). Βλέπουμε γενικά πριν και μετά τον χώρο του ορυχείου μεταξύ τους τα (A2, A3) έχουν μεγάλη ομοιότητα 82% γεγονός που δείχνει ότι τα Δυτικά ρεματάκια δεν επηρεάζουν τόσο την σύσταση του νερού του Αλφειού. Όμως το A9 θα μπορούσε να επηρεάζεται περισσότερο από αυτά τα ρέματα, καθώς εντοπίζεται αμέσως μετά την συμβολή τους. Στην ίδια υποκατηγορία επίσης εμφανίζονται τα ρέματα (Λιγατάρης) με παρόμοια σύσταση με αυτή του A9. Ενώ αντίθετα το ρέμα Ζαρζάκη (ZR1), είναι αυτό που διαφοροποιείται περισσότερο μεταξύ των δειγμάτων της συγκεκριμένης κατηγορίας και διαφοροποιεί την σύστασή τους. Η **μώβ 2^η υποκατηγορία** διαφοροποιείται σε σχέση με την πράσινη κατά 65%. Σε αυτή την κατηγορία, εντοπίζονται τα δείγματα μετά το ορυχείο Χωρεμίου

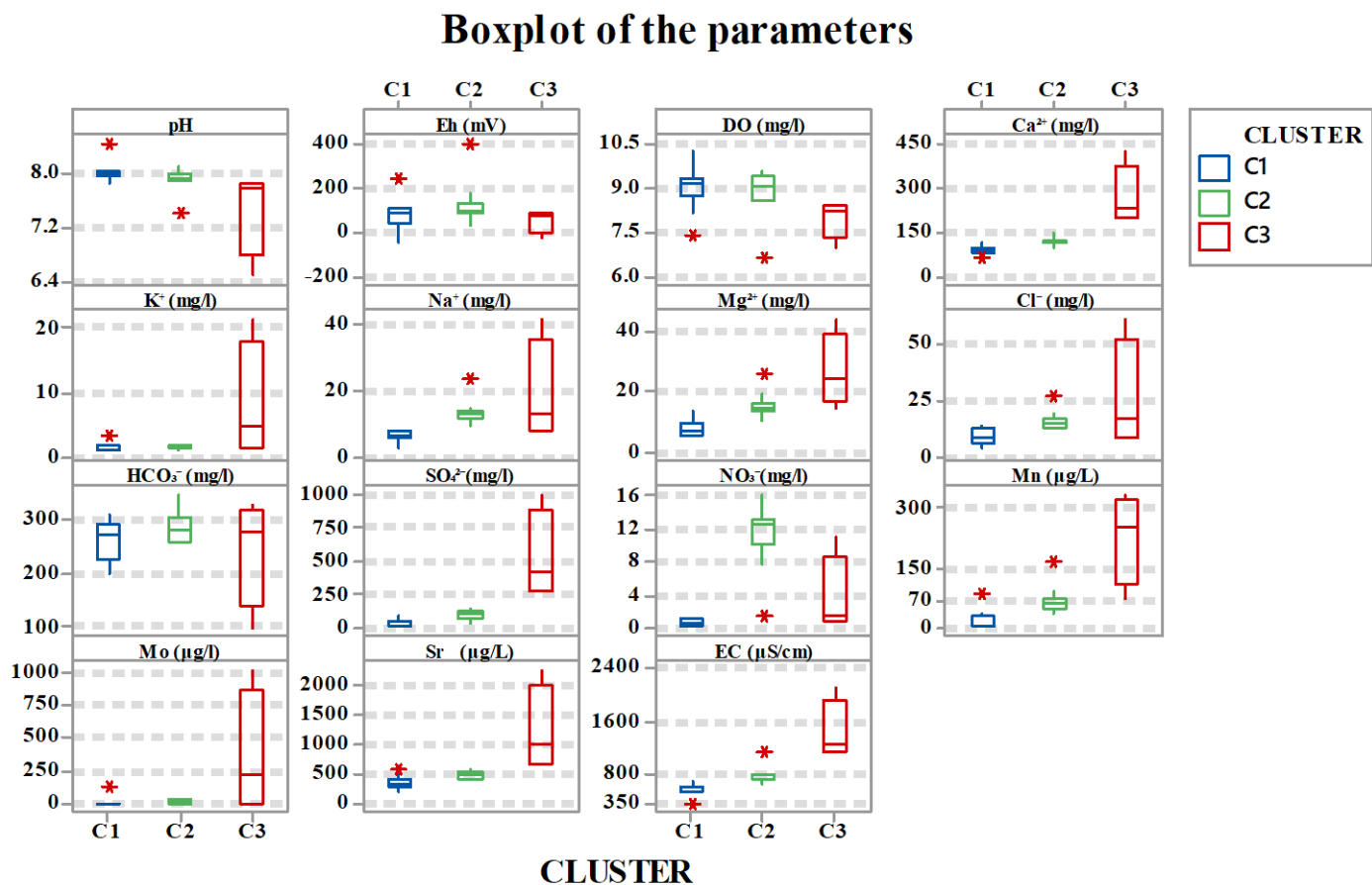
και μετά την συμβολή του Ελισσών ποταμού. Φαίνεται, δηλαδή ότι η χημική σύσταση του Αλφειού μετά την συμβολή του Ελισσών, ελαφρώς διαφοροποιείται και διατηρεί την σύσταση του μέχρι το τελευταίο σημείο στην γέφυρα της Καρύταινας, σημείο A8.

Η **3^η συστάδα (Cluster 3)** αποτελείται από δείγματα με εντελώς διαφορετικής χημικής σύστασης νερά, τόσο του Αλφειού ποταμού όσο και των υπόλοιπων ρεμάτων της περιοχής. Τα δείγματα που περιέχονται σε αυτή την κατηγορία, αντιστοιχούν σε ρέματα που διέρχονται από εξωτερικές και εσωτερικές αποθέσεις (P1, T1, ZT1), καθώς και παλιούς χώρους ορυχείου (SIK1) (βλ. **Εικόνα 4.11**).



Εικόνα 4.11: Απεικόνιση των δειγμάτων με βάση την ομαδοποίηση σε συστάδες.

4.4.2 Θηκογράμματα (Boxplots)



Εικόνα 4.12: Θηκογράμματα των φυσικών και χημικών παραμέτρων όλων των δειγμάτων ανάλογα με την ομαδοποίηση σε συστάδες (C1, C2, C3).

Από τα παραπάνω θηκογράμματα (βλ. **Εικόνα 4.12**), μπορούμε να βγάλουμε αξιόλογα συμπεράσματα για κάθε συστάδα. Αρχικά, όσον αφορά τις φυσικοχημικές παραμέτρους pH, Eh, DO και EC κατανοούμε ότι το pH παραμένει σχετικά σταθερό και αλκαλικό κοντά στο 8 για όλες τις συστάδες, ενώ η μεγαλύτερη διακύμανση στις τιμές του C3 οφείλεται στο δείγμα SIK1 ελαφρά όξινο με pH=6,5 που εντοπίστηκε στον χώρο του ορυχείου Κυπαρισσιών. Το δυναμικό οξειδοαναγωγής δείχνει οξειδωτικές συνθήκες, σε όλα τα δείγματα για κάθε συστάδα. Στα μόνα δείγματα όπου οι συνθήκες γίνονται αναγωγικές είναι το σημείο E2 του Ελισσών και το P1 ρέμα Παλιόρεμμα πριν καταλήξει στον Αλφειό (βλ. **Πίνακας 4.2 Α**). Το διαλελημένο οξυγόνο DO παραμένει σε φυσιολογικές τιμές στις συστάδες C1 και C2 ενώ μειώνεται ελάχιστα στην συστάδα C3. Όσον αφορά την ηλεκτρική αγωγιμότητα, αυτή διαφοροποιείται έντονα δείχνοντας ότι η υψηλότερη αγωγιμότητα εντοπίζεται στην συστάδα C3, ενώ και μεταξύ της C1 και C2 επίσης υπάρχει διαφορά. Φαίνεται λοιπόν ότι η ομαδοποίηση σε συστάδες, σχετίζεται με την αγωγιμότητα του κάθε ρέματος.

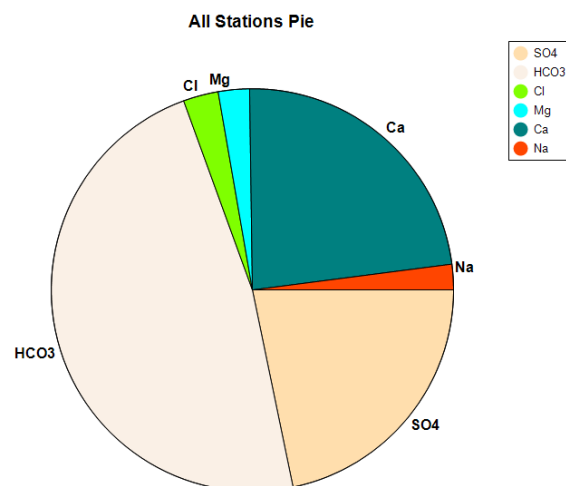
Σχετικά με την πρώτη συστάδα C1 παρατηρούνται οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων και αποτελεί τα πλέον καθαρά νερά της περιοχής. Το μόνο πρόβλημα είναι

ότι κάποια ρέματα που ανήκουν στην 1^η συστάδα παρουσιάζουν υψηλές συγκεντρώσεις Mn που θα συζητηθεί λεπτομερώς στο κεφάλαιο 4.6. Η δεύτερη συστάδα C2, διαφοροποιείται από τις υπόλοιπες, κυρίως λόγω την ύπαρξη των NO₃⁻, ενώ σε σχέση με την πρώτη συστάδα όλα τα κύρια ιόντα και ανιόντα βρίσκονται σε υψηλότερη συγκέντρωση, Η δεύτερη συστάδα, είναι αντιπροσωπευτική του Αλφειού ποταμού μετά την συμβολή του ρέματος Ζαρζάκη. Επίσης, η διαφοροποίηση φαίνεται και στον εμπλουτισμό του επιφανειακού νερού του Αλφειού σε Mo και SO₄²⁻ σε σχέση με την πρώτη συστάδα. Η τρίτη συστάδα C3, αποτελεί μια ξεχωριστή κατηγορία δειγμάτων με ακραίες τιμές σε αρκετά στοιχεία. Οι τιμές της ομάδας αυτής δεν παρουσιάζουν ομαλότητα αλλά έχουν μεγάλο εύρος από σχεδόν μηδενικό σε πολύ υψηλό, γεγονός που φαίνεται από το ύψος των τιμών του θυκογράμματος C3 (**βλ. Εικόνα 4.12**). Μεγάλη διαφορά στα δείγματα αυτά, εντοπίζεται και στο Mg²⁺, Cl⁻, Na⁺ και ιδιαίτερα στα Ca²⁺, SO₃²⁻, Sr, Mn και Mo.

4.5 Μέθοδοι αξιολόγησης της ποιότητας του νερού

Η γραφική και στατιστική ανάλυση χρησιμοποιείται ευρέως για μελέτης υδρογεωχημείας και ποιότητας επιφανειακών και υπόγειων νερών (Dzhangí & Atangana, 2024; Sahoo et al., 2021; Singh et al., 2017). Τα παρακάτω στοιχεία, κατασκευάστηκαν με το πρόγραμμα Aquachem και αποτελούν σημαντικά στοιχεία για την ποιοτική κατάσταση των νερών της περιοχής και θα αξιολογηθούν ξεχωριστά. Τα δεδομένα θα αναλυθούν με βάση την κατηγοριοποίηση τους σε συστάδες.

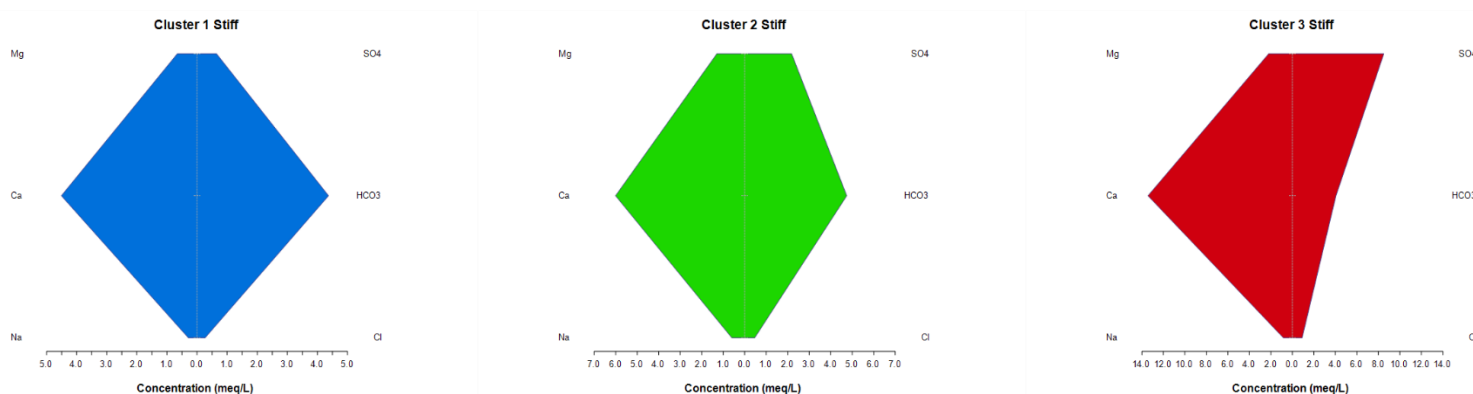
Με βάση το διάγραμμα (**βλ. Εικόνα 4.13**), τα ιόντα που κυριαρχούν στα νερά της περιοχής από μεγαλύτερη σε μικρότερη συγκέντρωση σε meq/l είναι τα HCO₃⁻ > Ca²⁺ > SO₄²⁻ και απουσιάζει το Mg²⁺, Cl⁻ και το Na⁺. Η παρουσία τους οφείλεται στην γεωλογία της περιοχής.



Εικόνα 4.13: Συνολική αποτύπωση σε διάγραμμα πίτας των κύριων ιόντων των επιφανειακών νερών στην περιοχή μελέτης.

4.5.1 Διαγράμματα Stiff

Λεπτομερέστερη μελέτη των κύριων ιόντων σε κάθε συστάδα αποτυπώνεται με τα διαγράμματα Stiff (βλ. **Εικόνα 4.14**). Μπορεί να διαπιστωθεί η αλλαγή της χημικής σύστασης των ποταμών της περιοχής, ανάλογα με την κατηγοριοποίηση των δειγμάτων σε συστάδες. Όπως φαίνεται, η πρώτη και η δεύτερη συστάδα C1 και C2 αντίστοιχα, παρουσιάζουν όμοια χημική σύσταση με το κύριο κατιόν να είναι το Ca^{2+} (4 meq/l) και κύριο ανιόν το HCO_3^- (4 meq/l). Η κύρια διαφορά είναι μια αύξηση στα SO_4^{2-} και στο Mg^{2+} της τάξεως των (1 meq/l) και των (0,5 meq/l) αντίστοιχα. Η διαφορά αυτή είναι αναμενόμενη, καθώς η συστάδα C2 αποτελείται κυρίως από δείγματα του Αλφειού που περιέχουν μεγαλύτερη συγκέντρωση, λόγω της συμβολής του με ρέματα υψηλότερης συγκέντρωσης σε SO_4^{2-} και Mg^{2+} π.χ. (Ζαρζάκη ZR1). Το Cluster 3, αποτελείται από διαφορετικής σύστασης νερά. Τα κύριο κατιόν είναι το Ca^{2+} με αρκετά υψηλότερη συγκέντρωση (έως και 11 meq/l) σε σχέση με τις υπόλοιπες συστάδες και κύριο ανιόν τα SO_4^{2-} . Η συγκέντρωση των HCO_3^- , παραμένει σταθερή σε σχέση με τις άλλες συστάδες με βάση την κλίμακα συγκέντρωσης (meq/l). Λόγω αυτού, φαίνεται ότι υπάρχει μια απότομη αύξηση της συγκέντρωσης των SO_4^{2-} που επηρεάζει την σύστασή τους.

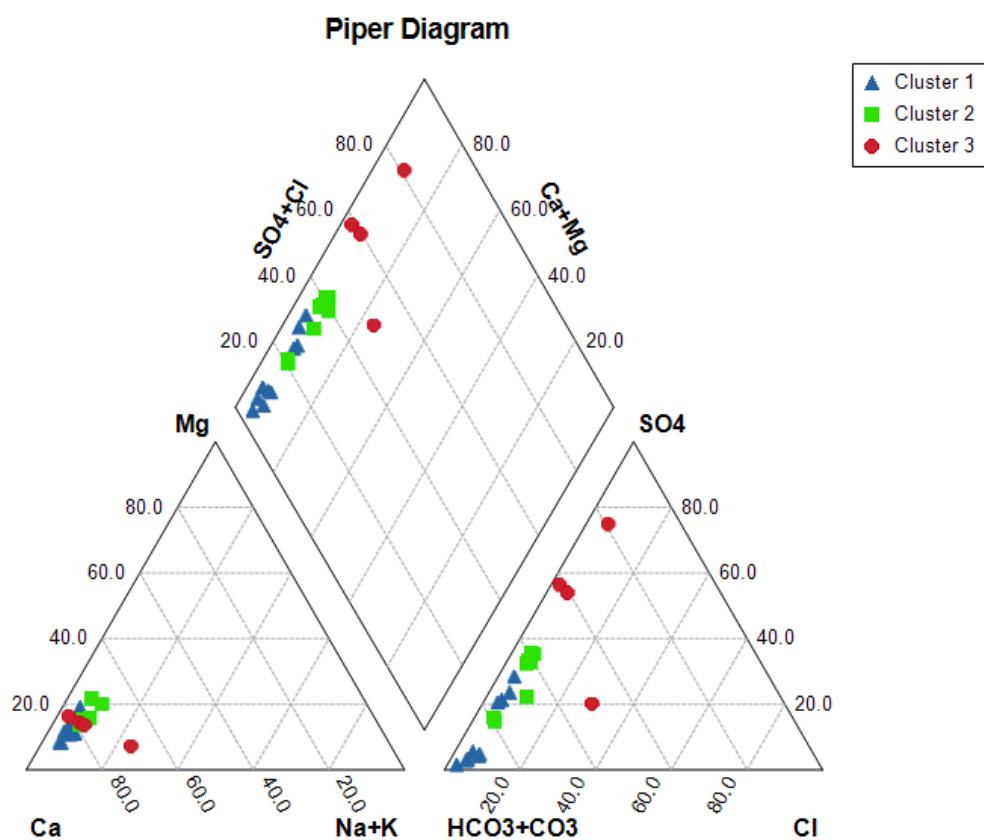


Εικόνα 4.14: Διαγράμματα Stiff για κάθε συστάδα.

4.5.2 Διαγράμματα Durov και Piper

Το Διάγραμμα Piper (βλ. **Εικόνα 4.15**) και Durov (βλ. **Εικόνα 4.16**), έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως σε διάφορες υδρογεωχημικές έρευνες στην ποιότητα των επιφανειακών και υπόγειων νερών (Kyritidou et al., 2024; Ravikumar et al., 2015; Saby et al., 2016). Με την χρήση των δύο διαγραμμάτων, θα μπορέσει να διακριθεί η ποιότητα των επιφανειακών νερών ανάλογα με την συστάδα. Τα δείγματα δημιουργούν κοινές ομάδες ανάλογα με την συστάδα στην οποία βρίσκονται. Σύμφωνα με τον Langguth (1966), τα νερά μπορούν να χωριστούν σε διαφορετικές υδροχημικές φάσεις, ανάλογα σε πιο σημείο του διαγράμματος που αντιστοιχίζονται (Ravikumar et al., 2015) (παράρτημα 8).

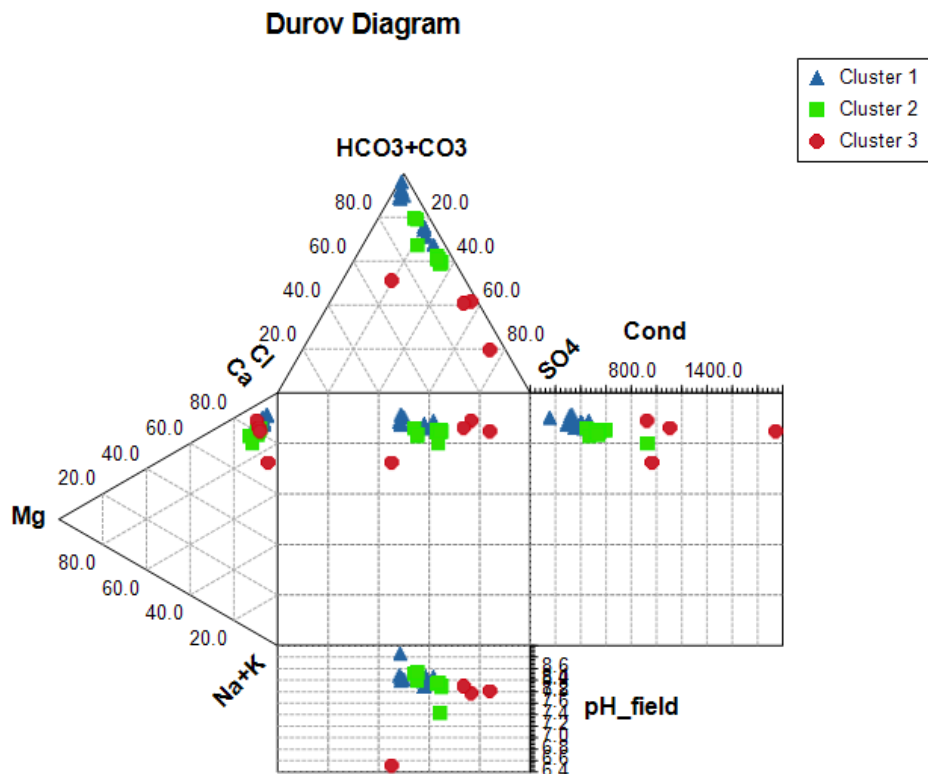
Τα Cluster 1 και Cluster 2 αντιστοιχούν στο πεδίο $\text{Ca}^{2+}\text{-Mg}^{2+}\text{-HCO}_3^-$ σύστασης (iv) 83,3% όλων των δειγμάτων της περιοχής, με μικρές διαφοροποιήσεις στα SO_4^{2-} που μετατοπίζουν κυρίως τα δείγματα του Cluster 2 προς το πεδίο $\text{Ca}^{2+}\text{-Mg}^{2+}\text{-Cl}^- \text{-SO}_4^{2-}$. Το κύριο κατιόν που κυριαρχεί είναι το Ca^{2+} και τα HCO_3^- . Όσον αφορά τα δείγματα του Cluster 3, αυτά αντιστοιχούν στο $\text{Ca}^{2+}\text{-Mg}^{2+}\text{-Cl}^- \text{-SO}_4^{2-}$ ανθρακικής θειικής σύστασης (i) τμήμα 16,6% όλων των δειγμάτων, με κύριο κατιόν το Ca^{2+} και κύριο ανιόν τα SO_4^{2-} . Λεπτομερέστερη διαφοροποίηση στα ίδια δείγματα, μπορεί να γίνει με βάση το (παράρτημα 8). Σε αυτό φαίνεται ότι το 60% των δειγμάτων από το Cluster 1 και το 33,3% από το Cluster 2 αντιστοιχούν στο πεδίο A, αλκαλικά νερά με υψηλή παρουσία HCO_3^- . Ενώ, το 66,7% των δειγμάτων από το Cluster 2 αντιστοιχούν στο πεδίο B υψηλή παρουσία HCO_3^- και SO_4^{2-} . Από το Cluster 3, 3 δείγματα αντιστοιχούν στο πεδίο C υψηλής παρουσίας SO_4^{2-} και 1 δείγμα στο πεδίο E υψηλής παρουσίας SO_4^{2-} και Cl^- .



Εικόνα 4.15: Piper διάγραμμα με τα δείγματα σε συστάδες.

Όσον αφορά το διάγραμμα Durov (*βλ. Εικόνα 4.16*), δίνονται χρήσιμες πληροφορίες για τις πιθανές γεωχημικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα (ανάμιξη, ανταλλαγή κατιόντων, διάλυση αντίστροφης ανταλλαγής ιόντων (Kuniyal & Kumar, 2021; Ravikumar et al., 2015). Εξάγονται τα ίδια αποτελέσματα σε σχέση με την σύσταση των νερών, όπως και με το διάγραμμα Piper, αλλά στην συγκεκριμένη περίπτωση εισάγονται και τα δεδομένα της ηλεκτρικής αγωγιμότητας EC και το pH. Με βάση το (παράρτημα 9), οι κύριες γεωχημικές διεργασίες είναι η ανταλλαγή ιόντων στο πεδίο 2 (διάλυση ορυκτών) και η ανάμιξη. Όπως φαίνεται (*βλ. Εικόνα 4.16*), η ανάμιξη δύο διαφορετικών

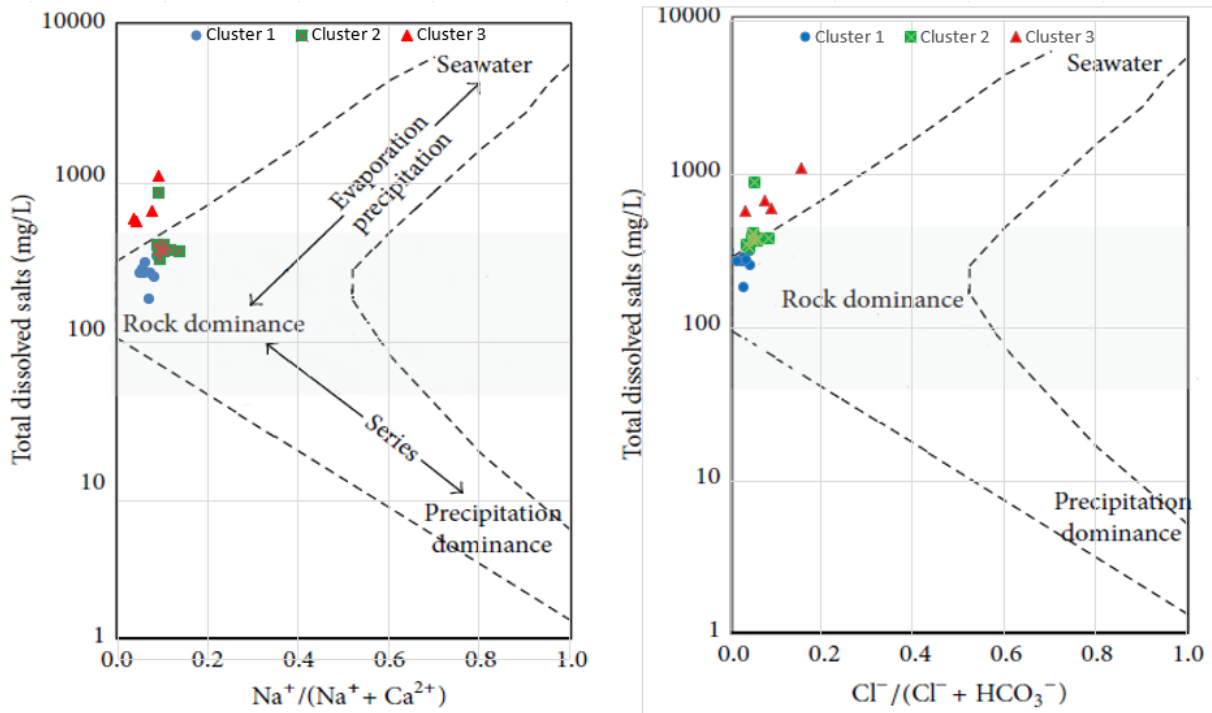
τύπων νερών Cluster 1 και Cluster 3, διαμορφώνει την σύσταση του Αλφειού που αποτελούν τα κύρια δείγματα του Cluster 2.



Εικόνα 4.16: Durov διάγραμμα με τα δείγματα σε συστάδες.

4.5.3 Διαγράμματα Gibbs

Σύμφωνα με τους Kuniyal & Kumar (2021) και Singh et al (2017), τα διαγράμματα Gibbs (βλ. **Εικόνα 4.17**), αποτελούν χρήσιμα για τον προσδιορισμό των κύριων μηχανισμών της χημείας του νερού. Τα δυαδικά αυτά διαγράμματα, συσχετίζουν τα Ολικά διαλυμένα στερεά (TDS) σε σχέση με τα $\text{Na}/(\text{Na} + \text{Ca})$ και $\text{Cl}/(\text{Cl} + \text{HCO}_3)$. Όπως γίνεται αντιληπτό, οι κύριοι μηχανισμοί διαμόρφωσης της χημείας του νερού για όλα τα δείγματα της περιοχής, είναι οι αντιδράσεις διάλυσης νερού-πετρώματος. Αποδεικνύοντας, ότι χημική σύσταση του νερού διαμορφώνεται από την γεωλογία της περιοχής.



Εικόνα 4.17: Διαγράμματα Gibbs που αποτυπώνουν τον κύριο μηχανισμό διαμόρφωσης της χημικής σύστασης των ποταμών της περιοχής.

4.5.4 Δυαδικά διαγράμματα Ca^{2+} vs SO_4^{2-} και Ca^{2+} vs HCO_3^-

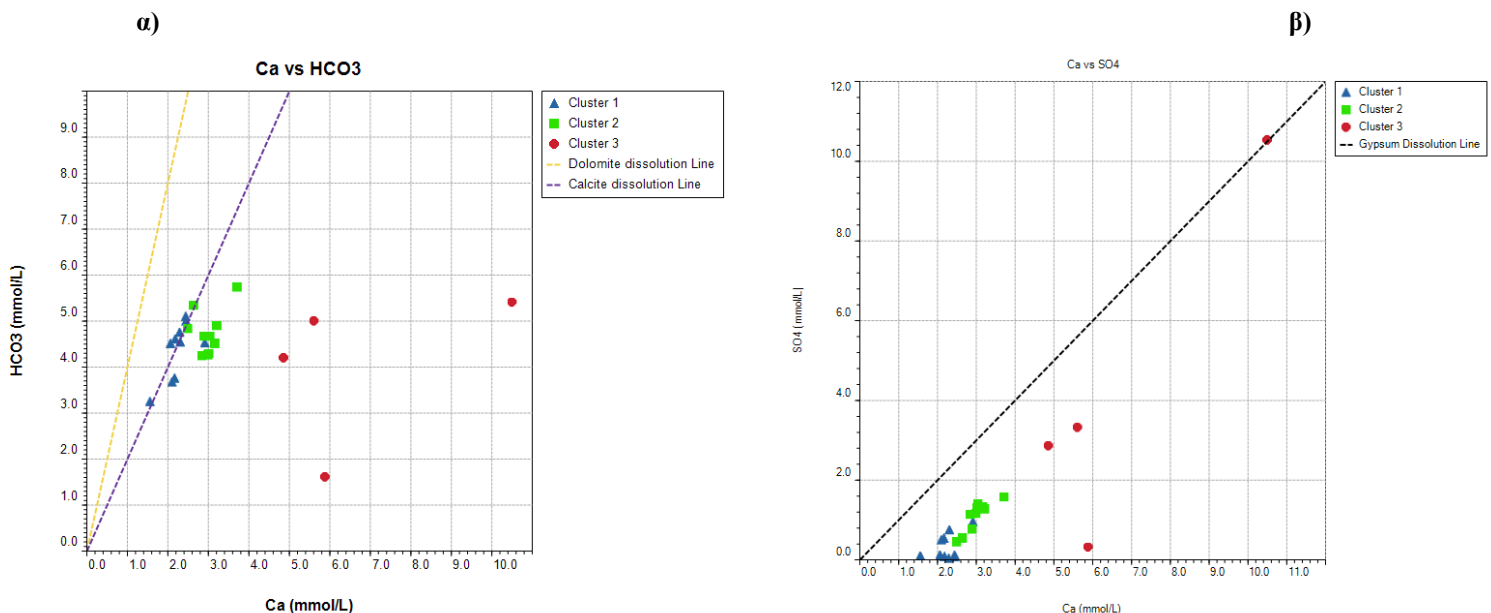
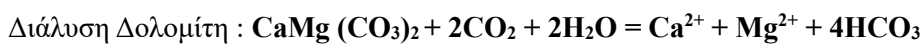
Τα ιόντα $\text{HCO}_3^- > \text{Ca}^{2+} > \text{SO}_4^{2-}$, όπως αναφέρθηκε και προηγούμενος αποτελούν τα στοιχεία που απαντάνε στα νερά της περιοχής και σχετίζονται με την γεωλογία της περιοχής. Με βάση αυτό, έγινε περαιτέρω ανάλυση των κύριων ορυκτών φάσεων που λόγω της διάλυσης τους, απελευθερώνουν τα στοιχεία αυτά στο νερό. Τα συγκεκριμένα διαγράμματα έχουν χρησιμοποιηθεί και σε άλλες έρευνες σχετικές με ορυχεία άνθρακα και χημείας νερού (Liu et al., 2017; Qiao et al., 2019; Wang et al., 2019). Το Scatter plot Ca^{2+} vs SO_4^{2-} (βλ. Εικόνα 4.18 α) περιέχει τα δύο κύρια ιόντα της Γύψου. Η τέλεια συσχέτιση μεταξύ των δύο στοιχείων για εμφανή διάλυση της γύψου, είναι ο λόγος τους να είναι 1:1.



Όπως διαπιστώνεται και από το διάγραμμα, όλα τα δείγματα βρίσκονται κάτω από την γραμμή διάλυσης της γύψου. Εκτός από ένα δείγμα του Cluster 3 που αντιστοιχεί στο δείγμα T1 και βρίσκεται ακριβώς πάνω στην γραμμή συσχέτισης και διάλυσης της γύψου. Με αυτόν τον τρόπο αποδεικνύεται, ότι η συμβολή των ρεμάτων Σούλος και Γάββρος, έχει επικοινωνία με νερά που διαλύουν Γύψο, είτε από την γύψο που αποτίθεται στον χώρο της Θωκνίας, είτε από την εξωτερική απόθεση του ορυχείου της Θωκνίας που μπορεί να περιέχει μικρές ποσότητες παραπροϊόντων τέφρας και γύψου. Είτε, λόγω συνδυασμού αυτών.

Έπειτα μελετήθηκε το Scatter Ca^{2+} vs HCO_3^- (βλ. Εικόνα 4.22 β), το οποίο χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό την διάλυση των ανθρακικών ορυκτών. Οι δύο γραμμές 2:1 και 4:1 δείχνουν το πεδίο

διάλυσης του ασβεστίτη και του δολομίτη αντίστοιχα, χωρίζοντας το διάγραμμα σε 3 πεδία (Liu et al., 2017). Το πεδίο ενδιάμεσα από τις δύο γραμμές, αντιστοιχεί και στην διάλυση ασβεστίτη και δολομίτη. Το πάνω πεδίο >4:1 συνδέεται με ανταλλαγή κατιόντων, όμοια και το κάτω πεδίο < 2:1. Όπως φαίνεται τα δείγματα του Cluster 1 και κάποια από το Cluster 2 ακολουθούν και ταυτίζονται με την γραμμή διάλυσης του ασβεστίτη δείχνοντας ότι το Ca^{2+} προέρχεται από την ύπαρξη των ασβεστολίθων της Πίνδου και της Τρίπολης. Τα περισσότερα δείγματα από το Cluster 2 περιέχουν περισσότερο Ca^{2+} που οφείλεται στην συμβολή πιο εμπλουτισμένων σε Ca^{2+} ρεμάτων. Τέλος τα δείγματα του Cluster 3 περιέχουν ανώμαλες τιμές και συνδέονται με ανταλλαγή κατιόντων και την ύπαρξη πηγών εμπλουτισμού σε Ca^{2+} σε σχέση με τα HCO_3^- .



Εικόνα 4.18: α) Scatter plot Ca^{2+} vs SO_4^{2-} και β) Scatter plot Ca^{2+} vs HCO_3^- των δειγμάτων όπως είναι ομαδοποιημένα σε συστάδες.

4.6 Συζήτηση Mn και Mo

Τα ιχνοστοιχεία Mn και Mo, έχουν την μεγαλύτερη συγκέντρωση στα επιφανειακά νερά της περιοχής και αποτελούν σημαντικά ιχνοστοιχεία για την νομοθεσία. Σύμφωνα με τον **πίνακα 4.4** των περιγραφικών στατιστικών, τα δύο αυτά στοιχεία παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις των συγκεντρώσεων τους από μηδενικές συγκεντρώσεις μέχρι πολύ υψηλές. Το κάθε στοιχείο θα εξεταστεί ξεχωριστά για τα σημεία με ιδιαίτερο αυξημένο λόγο Mn και Mo αντίστοιχα.

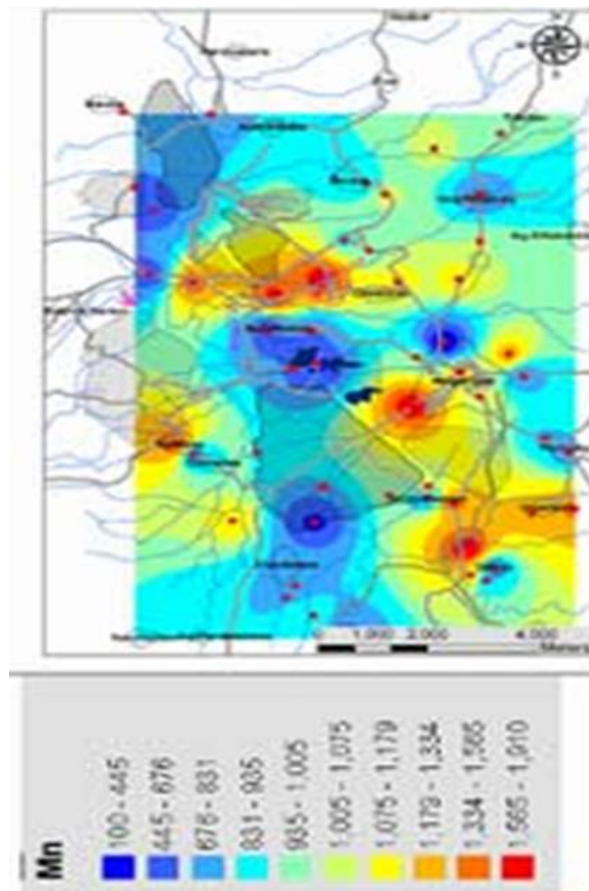
4.6.1 Συζήτηση Mn

Το Mn αποτελεί χημικό στοιχείο με ατομικό αριθμό 25 και η παρουσία του στα νερά οφείλεται σε φυσικές, αλλά και ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Όριο για το Mn υπάρχει για το πόσιμο νερό τόσο από το ΦΕΚ 3525B_20023 της Ελληνικής Κυβέρνησης με ανώτερη τιμή τα 50 µg/l, όσο και από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO, 2022) με ανώτερο όριο τα 80 µg/l. Υψηλές συγκεντρώσεις Mn στο πόσιμο νερό, συνδέονται με νευρολογικά προβλήματα όπως είναι το Πάρκισον (CT DPH, n.d.).

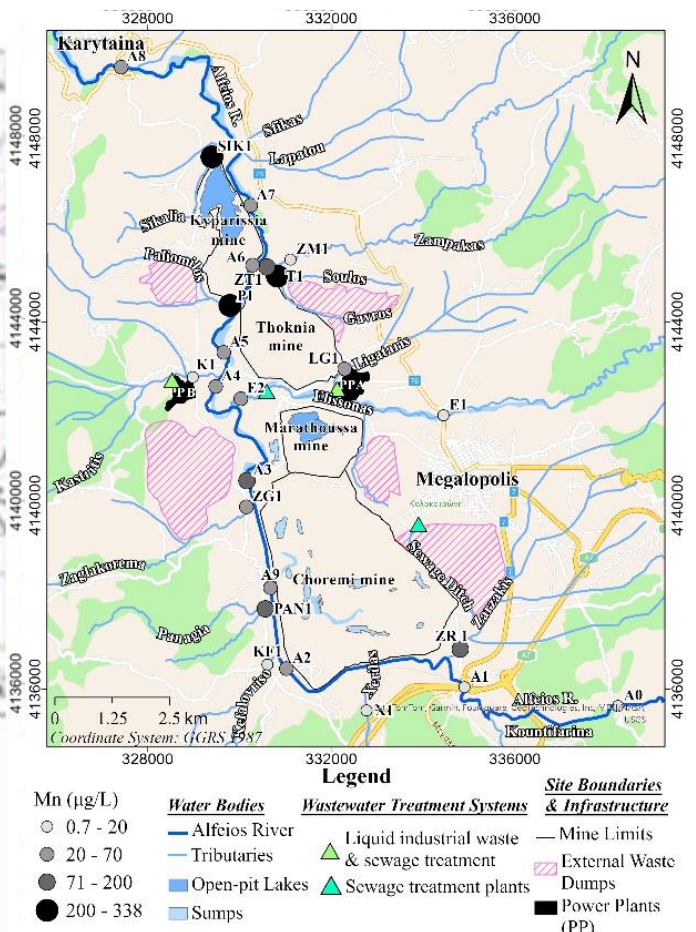
Γεωλογικοί παράγοντες εμπλουτισμού Mn

Οι φυσιολογικές τιμές του Mn στο νερό, έχουν να κάνουν με το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής μελέτης (πετρώματα, εδάφη) και με την διάλυση ορυκτών όπως: τον πυρολουσίτη (MnO_2), ροδοχρωσίτη ($MnCO_3$), ροδονίτη ($MnSiO_3$) και χαουσμανίτης (Mn_3O_4). Ταυτόχρονα, ο βιωτίτης, οι μαρμαρυγίες και οι αμφίβολοι μπορεί να περιέχουν αρκετό Mn (Howe et al., 2004), καθώς και σε Αργιλικά ορυκτά όπως Ιλλίτης μοσχοβίτης και χλωρίτης που υπάρχουν στα στρώματα της Μαραθούσας (μέση τιμή MnO 0,18%) και με υψηλή συγκέντρωση Cr και Ni (Kelepertsis & Kontis, 1997; Larsen & Mann, 2005). Η έρευνα των Sarris et al (2009), με βάση τις μετρήσεις μαγνητικής επιδεκτικότητας, έδειξαν ότι υψηλές συγκεντρώσεις Pb, Zn και Mn εντοπίζονται στην πόλη της Μεγαλόπολης και ακολούθως στα χωριά Απιδίτσα και Χωρέμη, Δυτικά της οριοθετημένης κοίτης του Αλφειού στο πεδίο Χωρεμίου (βλ. **Εικόνα 4.19 α**). Γενικότερα, ισχυρίζεται ότι η παρατήρηση των δειγμάτων εδάφους υποδεικνύει ότι υπάρχει ισχυρή σχέση μεταξύ γεωλογικής δομής και κατανομής των μετάλλων. Ενώ, σύμφωνα με την μεταπτυχιακή διπλωματική της Τσούκα (2021), τα εδάφη της περιοχής βρέθηκαν εμπλουτισμένα σε Mn με μέση τιμή τα 975,12 mg/kg σε σχέση με τις συγκεντρώσεις των επιφανειακών εδαφών και του φλοιού της γης. Τόσο στην πόλη της Μεγαλόπολης όσο και Νοτιοδυτικά της λεκάνης με τις μέγιστες τιμές. Η Τσούκα (2021) καταλήγει ότι, η υψηλή συγκέντρωση σχετίζεται τόσο με ανθρωπογενή επηρεασμό (ιπτάμενη τέφρα) όσο και από την γεωλογία της περιοχής.

α)



β)



Εικόνα 4.19: α) Χάρτης κατανομής Mn σε ppm στα εδάφη της περιοχής από τον (Sarris et al., 2009), β) Χάρτης κατανομής Mn σε µg/l στα νερά της περιοχής.

Σύμφωνα με τους παραπάνω χάρτες κατανομής του Mn τόσο στα εδάφη της περιοχής όσο και από στα νερά (βλ. Εικόνα 4.19 β), διαπιστώνεται ότι η κύρια πηγή του Mn είναι η γεωλογία. Τα ρέματα Παναγιά PAN1 και Κεφαλόβρυσο (KF1), πηγάζουν μακριά από οποιαδήποτε ανθρωπογενή δραστηριότητα, η συγκέντρωση του Mn είναι υψηλή 87µg/l και 13µg/l αντίστοιχα. Η ενότητα της Πίνδου που εντοπίζεται σε όλο το Δυτικό μέρος της λεκάνης με την σειρά των ραδιολαριτών με Μαγνανιούχους ορίζοντες, άμμους, καθώς και η ύπαρξη του πρώτου φλύσχη, είναι εμπλουτισμένα σε Mn (Pe-Piper & Piper, 1989; Photiades & Perseit, 2002). Τα κύρια Mn ορυκτά που εντοπίστηκαν εντός της σειράς των ραδιολαριτών είναι ο πυρολουσίτης και ο Τοντοροκίτης (Photiades & Perseil, 2002). Οι Pe-Piper & Piper (1989), συλλέξαν δείγματα από όλη την σειρά των ραδιολαριτών στην Πελοπόννησο για να εξετάσουν το Mn. Βρέθηκε, από γεωχημικές αναλύσεις ότι, η συγκέντρωση του Mn διαφέρει σημαντικά (από 0,01% (100 ppm) μέχρι 1,09% Mn (10.900 ppm). Επιπλέον, όπως έχει αναφερθεί στο κεφάλαιο 1.5.1 εντός της σειράς των ραδιολαριτών μπορεί να υπάρχουν και κοιτάσματα Mn (Gruszczuk et al., 1970; Tsiatsis, 1987).

Ακόμα αξίζει να σημειωθεί ότι, κάποια μεταλλικά ιζήματα της λεκάνης είναι επίσης εμπλουτισμένα σε Mn, καθώς προέκυψαν από την διάβρωση των γύρω ενοτήτων π.χ. ο σχηματισμός

Απιδίτσα, περιέχει χαλίκια με κόκκινους και μαύρους ραδιολαρίτες (πιθανά Mn ορυκτά) (κεφάλαιο 1.5.4)(Tsiftsis, 1987). Με βάση τα παραπάνω, μπορεί να ερμηνευτεί ο όποιος εμπλουτισμός Mn στο επιφανειακό υδατικό σύστημα.

Ανθρωπογενής εμπλουτισμός Mn

Οι Larsen & Mann (2005) υποστηρίζουν ότι, οι κύριες ανθρωπογενείς πηγές Mn μπορεί να είναι από αποχετεύσεις, λύματα, από εξόρυξη μετάλλων και καύση ορυκτών ανθράκων. Οι ανθρωπογενείς πηγές του Mn, συνδέονται με την γεωγενή περιεκτικότητα Mn στον λιγνίτη της λεκάνης, αλλά πλέον εκτίθενται στην επιφάνεια ως εξωτερικές αποθέσεις που περιέχουν ιζήματα πλούσια σε Mn αλλά και μικρές ποσότητες λιγνίτη και τέφρας. Η μοναδική καθαρά ανθρωπογενής πηγή εμπλουτισμού σε Mn είναι η τέφρα που παράγεται κατά την καύση του λιγνίτη και αποτίθεται στον χώρο της Θωκνίας. Συγκεκριμένα, δεδομένα για τον λιγνίτη της Μεγαλόπολης δίνονται από τον Tassopoulos (2017) (παράρτημα 10) με εύρος τιμών 50-130 ppm και 170 ppm αντίστοιχα επι ξηρού περιεκτικότητα Mn στον λιγνίτη της περιοχής από τα τρία Ορυχεία (Κυπαρρίσια, Μαραθούσα και Χωρέμι). Παράλληλα βάση της Ετήσιας Έκθεσης της Μονάδας IV (2022), δίνεται 170 ppm μέσο όρος συγκέντρωση Mn στον λιγνίτη ανά έτος. Ο Iordanis (2002), επίσης συγκέντρωσε στοιχεία για το Mn από διάφορες περιοχές της Ελλάδας και του Κόσμου (παράρτημα 11). Ο Foscolos et al (1989), δίνει συγκέντρωση 531ppm και 319 ppm στα δείγματα GK-23 και GK-24. Όσον αφορά την τέφρα δίνεται 400 ppm μέση τιμή Mn, χωρίς να ξεπερνά την τιμή του Mn στον φλοιό της Γης (Papanicolaou et al., 2004). Τέλος, ο Tassopoulos (1997), δίνει μέσο όρο Mn στην τέφρα 222 - 268 ppm με μέγιστη συγκέντρωση τα 484 ppm από την τέφρα του Χωρεμίου (παράρτημα 12).

Συζήτηση υδροσημείων

Τα σημεία A0 και A1 δεν περιέχουν καθόλου Mn και αποτελούν την αρχική χημική σύσταση του Αλφειού ποταμού, όπως αυτός είναι πριν εισέλθει στον χώρο της ΔΕΗ (**βλ Εικόνα 4,19 β**). Η διαφοροποίηση γίνεται μεταξύ A1 και A2 που συμβάλλει το ρέμα Ζαρζάκη, με υψηλή συγκέντρωση 167 µg/l Mn. Η συγκέντρωση αυτή, δεν μπορεί να οφείλεται αποκλειστικά στο γεωλογικό περιβάλλον της περιοχής, αλλά μάλλον σχετίζεται με την Μονάδα επεξεργασίας λυμάτων που μπορεί να δίνει Mn (Howe et al., 2004) ή λόγω της 2^{ης} ανατολικής εξωτερικής απόθεσης του Χωρεμίου που περιέχει και λιγνίτη (παράρτημα 2). Σύμφωνα και με την **Εικόνα 4.19 α**, η συγκεκριμένη περιοχή εντός της υδρολογικής λεκάνης του Ζαρζάκη, Νότια της Μεγαλόπολης παρουσιάζει υψηλή συγκέντρωση Mn στο έδαφος.

Η ποσότητα του Mn στο σημείο A2 έχει αραιωθεί, λόγω της συμβολή του Ξερίλα (Ξ1) με τον Αλφειό. Έπειτα στον Αλφειό συμβάλλουν τα ρέματα Παναγιά με συγκέντρωση 84 µg/l Mn και Κεφαλόβρυσο 13 µg/l Mn, η γεωχημική εμφάνιση στα νερά αυτά οφείλονται στους Ραδιολαρίτες και στα μεταλλικά ιζήματα που είναι πλούσια σε Mn από την διάβρωση των ραδιολαριτών και του πρώτου Φλύσχη. Τα ρέματα αυτά, παρόλο που πηγάζουν από την ίδια περιοχή η ύπαρξη υψηλότερης

συγκέντρωσης Mn στο ρέμα Παναγιά PAN1 συσχετίζεται με τον χάρτη (βλ. *Εικόνα 4.19 α*) (Sarris et al., 2009), υποδεικνύοντας ότι στην συγκεκριμένη περιοχή η ύπαρξη ορυκτών που είναι εμπλουτισμένα σε Mn είναι πιο έντονη ή κάποια άλλη ανθρωπογενή δραστηριότητα υπάρχει και δεν γνωρίζεται. Η συγκέντρωση του Mn, ελαφρώς μειώνεται στο σημείο A9 σε σχέση με το A2 λόγω της συμβολής των προηγούμενων ρεμάτων. Ενώ έπειτα, μέχρι το σημείο A3 ξανά εμπλουτίζεται φτάνοντας τα 93 μg/l Mn, ο εμπλουτισμός αυτός οφείλεται καταρχάς στο ρέμα Ζαγγλακόρεμμα ZG1 με 37 μg/l, αλλά πιθανό και από άλλες πηγές. Μετά την συμβολή και του Ελισσών στον Αλφειό στα σημεία A4, A5, A6, A7 και A8 η συγκέντρωση του Mn παραμένει σχετικά σταθερή. Η διατήρηση του Mn στο νερό του Αλφειού, οφείλεται στα πλευρικά ρέματα P1, ZT1, T1 και SIK1, αυτά περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις Mn που σχετίζονται τόσο με τις αποθέσεις όσο και από την γεωλογία.

Ο Καστρίτης ποταμός K1, παρόλο που πηγάζει από τα Δυτικά δεν περιέχει υψηλές συγκεντρώσεις Mn. Το Mn εντός των ραδιολαριτών, μπορεί να διαφέρει από περιοχή σε περιοχή. Ο Λιγατάρης διέρχεται εντός της Αυλής του Λιγνίτη και από τα μεταλλικά, οπότε εμπλουτίζεται σε Mn όπως αναλύθηκε προηγουμένως. Το Παλιόρεμμα P1 με 338 μg/l Mn, πηγάζει από τα δυτικά της λεκάνης και έχει την μεγαλύτερη συγκέντρωση Mn στην περιοχή. Η παρουσία του έχει άμεση σχέση με την γεωλογία της περιοχής, αλλά φαίνεται πιο εμπλουτισμένο λόγω και της ύπαρξης των εξωτερικών αποθέσεων των Κυπαρισσίων αλλά και γιατί διέρχεται πλευρικά του από τον χώρο του πεδίου Κυπαρισσίων.

Το ρέμα Σούλος και Γάββρος σημείο T1, περιέχει 216 μg/l Mn και συμβάλλει στο ρέμα Ζάμπυρα πριν αυτός καταλήξει στον Αλφειό με ZT1 75 μg/l Mn. Τέλος, το Ρέμα Σικαλιά SIK1 πηγάζει και αυτό από τα Δυτικά και ταυτόχρονα εμπλουτίζεται σε Mn καθώς διέρχεται από τον χώρο του πεδίου Κυπαρισσίων και από τα μεταλλικά πλούσια σε Mn. Στην θέση αυτή το νερό βρέθηκε ελαφρά πιο όξινο pH=6,5. Οι Larsen & Mann (2005) συγκρίνοντας τα αποτελέσματά τους με άλλες μελέτες, ισχυρίζονται, ότι η κύρια πηγή εμπλουτισμού του Mn συνδέεται με τον σιδηρίτη FeCO₃. Η οξείδωση του σιδηροπυρίτη δημιουργεί όξινα νερά, τα οποία τείνουν να αυξήσουν το pH εν μέρει μέσω αντίδρασης με τον σιδηρίτη FeCO₃. Το διαλυμένο μαγγάνιο παραμένει διαλυμένο, ενώ ο διαλυμένος Fe αποτίθεται ως υδροξείδιο του σιδήρου ή γκαϊτίτης. Καταλήγουν ότι, οι υψηλές συγκεντρώσεις Mn που συνδέονται με εξορυκτικά απόβλητα θα συνδέονται με διαφοροποιήσεις στις τιμές Ca²⁺, Mg²⁺ και SO₄²⁻, κάτι που φαίνεται ότι όντως ισχύει σε ρέματα που διέρχονται από αποθέσεις στην περιοχή. Παράλληλα και η ιοανταλλαγή με τα Αργιλικά ορυκτά της λεκάνης μπορεί επίσης να οδηγούν σε τέτοιες αποκλίσεις. Τελικά, τα ρέματα πλευρικά του χώρου των Κυπαρισσίων (SIK και P1) είναι τα πιο εμπλουτισμένα σε Mn.

4.6.2 Συζήτηση Mo

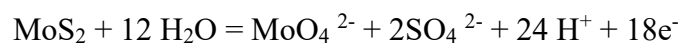
Σύμφωνα με τους Smedley & Kinniburgh (2017), το Μολυβδαίνιο Mo αποτελεί σημαντικό ιχνοστοιχείο για την υγεία του ανθρώπου, των ζώων και των φυτών. Ωστόσο, όπως και τα περισσότερα

ιγνοστοιχεία σε υψηλές συγκεντρώσεις γίνεται επιβλαβές (Ladwig, 2011). Τα ανώτερα όρια στην νομοθεσία δεν έχουν καθιερωθεί πλήρως από μεριάς Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η Ελλάδα χρησιμοποιεί ως ανώτερο επιτρεπτό όριο στα επιφανειακά ύδατα την τιμή των 4,4 µg/l από τα ΦΕΚ_1909B_2010 και ΦΕΚ_69B_2016, ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας ορίζει τα 70 µg/l (WHO, 2022). Δεν έχουν εντοπιστεί συμπτώματα στους ανθρώπους πέρα από κάποια νευρολογικά προβλήματα από περιοχές με υψηλές συγκεντρώσεις Mo, αλλά έχει συνδεθεί με παθήσεις σε ζώα (Ladwig, 2011; Smedley & Kinniburgh, 2017; WHO, 2022). Το Mo δεν υπάρχει σαν ελεύθερο ιόν στο νερό, αλλά τείνει να δημιουργεί δεσμούς με άλλα στοιχεία. Το κύριο ορυκτό του Mo είναι ο μολυβδαινίτης (MoS₂). Η παρουσία του Mo στο νερό, οφείλεται τόσο σε φυσικούς (γεωλογία) όσο και σε ανθρωπογενείς παράγοντες.

Γεωλογία και εμπλουτισμός Mo

Οι Goto et al (2015) υποστηρίζουν ότι, το Mo προσροφάται από οξειδία μετάλλων (Al, Fe και Mn). Δεχόμενοι, την παρουσία του σε υδροθερμικές κρούστες Μαγγανίου, ενώ σχετίζεται τόσο με οργανικές όσο και με θειούχες φάσεις (συσχέτιση με σιδηροπυρίτη) (Ladwig K., 2011; Smedley & Kinniburgh, 2017). Κατά την δημιουργία των Ραδιολαριτών στην Λεκάνη, είναι πολύ πιθανό οι μαγγανιούχοι ορίζοντες εντός τους να περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις Mo. Ο Brumsack (2006), εντόπισε τέτοια οξειδία Mn πλούσια σε Mo κάτω από θειούχες ωκεάνιες συνθήκες σε άλλη περιοχή του κόσμου. Βάση αυτού θα μπορούσε να συνδέεται και με την απόθεση των Ραδιολαριτών και των Mn ουχων οριζόντων της Πίνδου, κάτι το οποίο δεν φαίνεται να αποτυπώνεται στα Δυτικά ρέματα της περιοχής (**βλ. Εικόνα 4.20**). Στην λεκάνη, εντοπίζονται χαμηλές συγκεντρώσεις Mo μικρότερες από 10 µg/l που είναι οι αναμενόμενες συγκεντρώσεις Mo στα φυσικά επιφανειακά νερά (Kaback & Runnells, 1980; Smedley & Kinniburgh, 2017).

Σε υψηλό pH κοντά στο 8 (αλκαλικές συνθήκες), το μολυβδαίνιο είναι κινητικό στο νερό, ενώ προσροφάται σε ορυκτά και οργανικά υλικά για pH<5 (Ladwig K., 2011; Tsetsgee et al., 2021). Η διαλυτότητα του Μολυβδαινίτη στο νερό κάτω από οξειδωτικές συνθήκες, γίνεται με την παρακάτω αντίδραση (Frascoli & Hudson-Edwards, 2018):



Οι συνθήκες στο επιφανειακό νερό της περιοχής είναι αλκαλικές και οξειδωτικές. Επομένως η όποια συγκέντρωση του Mo που σχετίζεται με την γεωλογία θα είναι αποτέλεσμα των εδαφών και των πετρωμάτων της περιοχής που θα έπρεπε να είναι πλούσια σε Mo (Smedley & Kinniburgh, 2017). Βάση αυτού οι ίδιοι ισχυρίζονται ότι ιζηματογενή πετρώματα και ιζήματα εντός της λεκάνης μπορεί να είναι πλούσια σε Mo όταν υπάρχουν οξειδία του Mn, με τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις να εντοπίζονται σε ιζήματα πλούσια σε οργανικό υλικά και σουλφίδια. Αν οι συνθήκες κατά την απόθεση τους ήταν ανοξικές και το νερό πλούσιο σε θειικά ιόντα. Η συγκέντρωση του Mo σε τέτοια περιβάλλοντα διαφοροποιείται από 1-3 mg/kg έως 32-34 mg/kg. Η μεγαλύτερη συγκέντρωση Mo έχει βρεθεί στους άνθρακες του Σιλουριού και Ορδοβισίου στην κεντρική Κίνα. Η ανωμαλία φτάνει τα 440 mg/kg και

αποτελεί μεγαλύτερη κατά 133 φορές από του άνθρακός 143 από τους άνθρακες της ΗΠΑ, 209 φορές από της Κίνας των 367 φορές μεγαλύτερη από τους Παγκόσμιους άνθρακες βάση του φλοιού της Γης (Long et al., 2019). Η συγκεκριμένη ανωμαλία οφείλεται στην ιδιαίτερη παλαιογεωγραφία και γεωλογία της περιοχής (άνθρακικά, πυριτόλιθους, κλαστικά και διεισδύσεις Ηφαιστειακών). Έχει αποδεικτική ότι υψηλές συγκεντρώσεις Mo εντοπίζονται στα επιφανειακά και υπόγεια νερά, λόγω της οξειδωσης των θειούχων και της διάλυσης δευτερευόντων μολυβδικών ορυκτών, καθώς και λόγω της οργανικής ύλης, στις περιπτώσεις αυτές η συγκέντρωση του Mo είναι αρκετά υψηλή (Smedley & Kinniburgh, 2017).

Ανθρωπογενής δραστηριότητα

Σύμφωνα με τον Ladwig (2011), η ανθρωπογενή πηγή του Mo συνδέεται με περιοχές παραγωγής άνθρακα και με εδάφη που έχουν τροποποιηθεί με τέφρα, υγρά απόβλητα, ή με άλλες γεωργικές δραστηριότητες. Η τέφρα της Μεγαλόπολης εμφανίζεται από 10 έως 30 φορές πιο εμπλουτισμένη σε Mo σε σχέση με την συγκέντρωση του Mo στον φλοιό της Γης 1,5 ppm. Σύμφωνα με τον Foscolos et al (1989), τα δείγματα GK-23, GK24 από το ορυχείο Θωκνίας, έδειξαν 10,1 ppm και 33,4 ppm αντίστοιχα. Οι Georgakopoulos et al (2002), αναφέρουν ότι δείγματα τέφρας από την Μεγαλόπολη είναι εμπλουτισμένα σε Mo, Sr, U και V που πέρα από τον ίδιο τον λιγνίτη, εμπλουτίζονται περαιτέρω στα στοιχεία αυτά, κατά την διέλευση των καυσαερίων προς τους ηλεκτροστατικούς αποδοχής. Όμοια, οι Sakorafa et al (1996), αναφέρουν υψηλή συγκέντρωση σε Cr, Co, Mo, Ni and V (παράρτημα 13). Η συγκέντρωση του Mo στον λιγνίτη της Μεγαλόπολης σχετίζεται με την υψηλή περιεκτικότητα σε U και σε Fe όπου αντικατοπτρίζουν τις ιδιαίτερες γεωλογικές συνθήκες κάτω από τις οποίες δημιουργήθηκε ο λιγνίτης της Μεγαλόπολης (Αλκαλικά παλαιοπεριβάλλοντα) (Izquierdo et al., 2011).

Βάση του διδακτορικού του Tassopoulos (1997), πραγματοποιήθηκε χημική ανάλυση του λιγνίτη από τα ορυχεία του Χωρεμίου, Κυπαρισσίων και Μαραθούσας, καθώς και της τέφρας από τα εργοστάσια. Τα αποτελέσματα έδειξαν συγκεντρώσεις από 40-100 ppm Mo σε επι ξηρού βάση για τον λιγνίτη (παράρτημα 14). Για την τέφρα υπήρχαν διακυμάνσεις στο Mo από καμένο λιγνίτη που προέρχεται από κάθε ορυχείο: Χωρέμι μέσος όρος 148 ppm Mo, Κυπαρίσσια μέσος όρος 212 ppm και Μαραθούσα μέσος όρος 136 ppm (παράρτημα 15). Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα, σχετίζονται και με την διεθνή βιβλιογραφία για την ύπαρξη συγκεντρώσεων Mo από άνθρακες σε διάφορες περιοχές του κόσμου. Πειράματα έκπλησης έχουν επίσης γίνει στην τέφρα της Μεγαλόπολης (Georgakopoulos et al., 2002; Izquierdo et al., 2011), αυτά δείχνουν ότι τα στοιχεία S, Ca, Br, I, Mo και Sr είναι τα πιο κινητά στοιχεία στα αλκαλικά νερά. Τέλος αναφέρεται ότι, το Ca διαδραματίζει τον κύριο ρόλο στην μειωμένη έκπλυση του As και του V στοιχεία που υπάρχουν την τέφρα (παράρτημα 16).

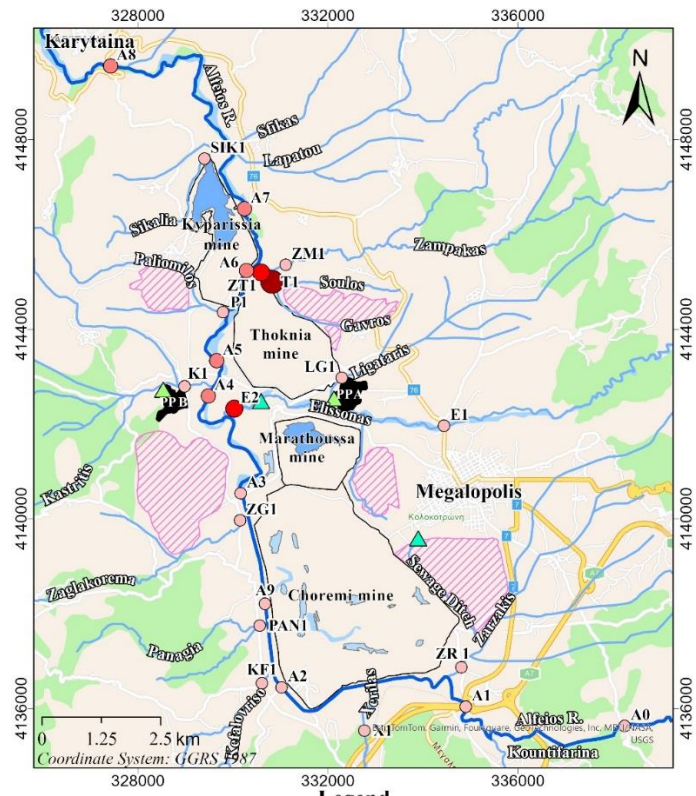
Συζήτηση υδροσημείων

Με βάση τα παραπάνω και την χωρική κατανομή του Mo στην λεκάνη μπορούμε να διαπιστώσουμε πιθανές πηγές και λόγοι εμπλουτισμού του στοιχείου αυτού στο επιφανειακό υδατικό

περιβάλλον. Αρχικά, η συγκέντρωση του Mo στην λεκάνη, παρουσιάζει έντονη διαφοροποίηση μεταξύ των δειγμάτων και δεν ακολουθεί την διαφοροποίηση λόγω συστάδων. Συγκεκριμένα, την μεγαλύτερη συγκέντρωση παρουσιάζουν τα δείγματα E2 από το Cluster 1 και το T1 από το Cluster 3. Επομένως, το Mo αποτελεί ένα στοιχείο που απαντάται σε μεμονωμένα δείγματα της περιοχής δείχνοντας πηγές εμπλουτισμού. Οι πηγές αυτές είναι δύο: ο Ελισσών ποταμός και ο Ζαμπάκας (δείγμα ZT1) έπειτα από την συμβολή του με τα ρέμα (Σούλος και Γάββρος) σημείο T1 (κύρια πηγή Mo) (βλ. **Εικόνα 4.20**). Συγκεκριμένα, ο Ελισσών ποταμός εμπλουτίζεται σε Mo το οποίο οφείλεται σε κάποια δραστηριότητα εντός του χώρου των Μονάδων μετά την συμβολή του ποταμού Λιγατάρη, ο οποίος δεν περιέχει Mo. Άρα, ο εμπλουτισμός του στην συγκεκριμένη περιοχή οφείλεται σε ανθρωπογενή αιτία, όπως Μονάδες επεξεργασίας αποβλήτων ή κάποιου είδους μικρή επικοινωνία με νερά από την απόθεση της τέφρας. Οι Λουλούδης κ.α. (2023) επισημαίνουν ότι, απαιτείται η δημιουργία λιμνοδεξαμενών και εξωτερικών τάφρων για την προστασία των γύρω ρεμάτων από διαφυγές νερών από το χώρο της Θωκνίας.

Έπειτα το ρέμα Σούλος και Γάββρος T1, διέρχεται δίπλα από τις εξωτερικές αποθέσεις του χώρου της Θωκνίας, καθώς και από το ορυχείο Θωκνίας που γίνεται η απόθεση των παραπροϊόντων των μονάδων. Το ρέμα αυτό περιέχει υψηλή συγκέντρωση 1037 $\mu\text{g/l}$ Mo που δεν μπορεί να οφείλεται σε κάτι διαφορετικό πέρα από κάποιου είδους επικοινωνία νερών της τέφρας με το ρέμα, όπως δείχνουν και κάποιες μελέτες σχετικά με την συμπεριφορά του Mo σε περιοχές εξόρυξης (παράρτημα 17) (Frascoli & Hudson-Edwards, 2018). Μετά την συμβολή με τον Ζάμπακα, η ποσότητα του Mo ελαττώνεται δραστικά, λόγω αραίωσης, αλλά εξακολουθεί να έχει μεγάλη συγκέντρωση 448 $\mu\text{g/l}$ πριν συμβάλει στον Αλφειό. Ο Αλφειός από την άλλη, δέχεται αρχικά ποσότητα Mo στο σημείο A4 από τον Ελισσών E2. Η συγκέντρωση του Mo παραμένει περίπου σταθερή σε όλη την διάρκεια της διαδρομής του με μέση τιμή 35 $\mu\text{g/l}$ μέχρι την έξοδο του, στην περιοχή της Καρύταινας, στο σημείο A8 (βλ. **Εικόνα 4.20**). Αξίζει να τονιστεί ότι, παρά την συμβολή του ρέματος Ζάμπακα ZT1 με συγκέντρωση 448 $\mu\text{g/l}$ Mo, ο Αλφειός διατηρεί σταθερή την συγκέντρωση σε Mo, αποδεικνύοντας καλή δυναμικότητα αυτοκαθαρισμού.

Το ρέμα SIK1 δεν περιέχει Mo, όπως αναφέρθηκε η παρουσία του Mo στο νερό οφείλεται κατά κύριο λόγο στο pH. Στην συγκεκριμένη περίπτωση το pH ήταν ελαφρά όξινο 6,5, οπότε το Mo θα βρίσκεται πιθανά στα ιζήματα του ποταμού προσροφημένο σε οξείδια Fe, απουσιάζοντας από το νερό. (Frascoli & Hudson-Edwards, 2018; Tsetsge et al., 2021). Πιθανά, μια αλλαγή των φυσικοχημικών συνθηκών της συγκεκριμένης περιοχής θα κινητοποιούσε ποσότητες Mo στο νερό. Το ρέμα P1 εμφανίζει 10 $\mu\text{g/l}$ συγκέντρωση Mo, ανώτερο του ορίου για τα επιφανειακά νερά, όμως όχι υπερβολικά πολύ όπως τα άλλα ρέματα. Το ρέμα αυτό, διέρχεται σε σχετικά κοντινή απόσταση από το ορυχείο Κυπαρισσίων, καθώς και από τις εξωτερικές αποθέσεις του Ορυχείου Κυπαρισσίων που περιέχουν μικρές ποσότητες και λιγνίτη και τέφρας (για σταθεροποίηση) μαζί με τα άγονα. Ο Ζάμπακας ZM1 έχει 6 $\mu\text{g/l}$ συγκέντρωση Mo, που αποτελεί τιμή <10 $\mu\text{g/l}$ και μπορεί να απαντηθεί στα φυσικά νερά, λόγω της παρουσίας του Λιγνίτη στην Λεκάνη. Τέλος, για τον ακριβή προσδιορισμό της πηγής του Mo σε περιοχές εξόρυξης απαιτείται μελέτη των ισοτόπων, όπως και έχει εφαρμοστεί (Skierszkan et al., 2019).



Εικόνα 4.20: Χάρτης κατανομής του Mo στα νερά της περιοχής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

5 Συμπεράσματα

Από τη μελέτη συνοψίζονται τα παρακάτω συμπεράσματα:

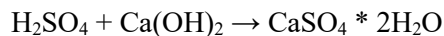
- Η κύρια γεωχημική διεργασία που διαμορφώνει τη χημική σύσταση του Αλφειού ποταμού και των γύρω ρεμάτων, είναι η γεωλογία της περιοχής με την διάλυση των ορυκτών. Αντίθετα, δεν υπάρχει σημαντική επίδραση από την εξορυκτική δραστηριότητα. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που διαμορφώνουν τη σύστασή του είναι τα ανθρακικά και ο λιγνίτης. Τα ανθρακικά προσφέρουν Ca^{2+} και HCO_3^- στα νερά της περιοχής, ενώ ο λιγνίτης περιέχει θειούχα ορυκτά και προσφέρει SO_4^{2-} .
- Οι κύριες χημικές παράμετροι της σύστασης των νερών της περιοχής, είναι τα HCO_3^- , Ca^{2+} , SO_4^{2-} και μικρότερη συγκέντρωση παρουσιάζουν το Mg^{2+} , Cl^- και το Na^+ .
- Στην περιοχή κυριαρχούν δύο διαφορετικής σύστασης ρέματα, τα οποία λόγω ανάμειξης διαμορφώνουν την τελική σύσταση του Αλφειού. Ο τύπος των ρεμάτων που αντιστοιχούν στις συστάδες C1, C2 μαζί με τον Αλφειό ποταμό είναι Ca^{2+} - HCO_3^- σύστασης, ενώ τα ρέματα της συστάδας C3 είναι Ca^{2+} - SO_4^{2-} ασβεστιτικής και θειικής σύστασης. Τελικά, η ανάμειξη μεταξύ των 2 διαφορετικών τύπων επιφανειακού νερού στην περιοχή δίνει καλής ποιότητας νερό σε όλο το μήκος του Αλφειού.
- Η χημική κατάσταση του μεγαλύτερου μέρους των υδάτων είναι καλή και εντός των νομοθετικών ορίων. Οι χημικές παράμετροι που υπερβαίνουν κάποια νομοθετικά όρια και βρίσκονται εμπλουτισμένες στο επιφανειακό υδατικό περιβάλλον είναι τα NH_4^+ , SO_4^{2+} , Mn και Mo. Οι περισσότερες από αυτές τις υπερβάσεις, εντοπίζονται μεμονωμένα σε συγκεκριμένα δείγματα.
- Η ύπαρξη των αζωτούχων ενώσεων (NO_3^{2-} , NH_4^+) στο ρέμα Ζαρζάκη έχει ανθρωπογενή αίτια και επηρεάζει τη σύσταση του Αλφειού στο σύνολό του.
- Για το Mn στα νερά της λεκάνης, εντοπίζονται τουλάχιστον 3 πηγές εμπλουτισμού. Η κύρια προέλευσή του είναι η γεωλογία και οφείλεται στους ραδιολαρίτες της Πίνδου. Η 2^η πηγή από τα ιζήματα και τα εδάφη της λεκάνης και η 3^η πηγή είναι από την τέφρα και τις εξωτερικές αποθέσεις. Για το Mn απαιτείται περαιτέρω διερεύνηση και σίγουρα επιπλέον δειγματοληψία.
- Το Mo στον Αλφειό ποταμό, οφείλεται σε μεμονωμένες πηγές ανθρωπογενούς εμπλουτισμού από παράπλευρα ρέματα που καταλήγουν σε αυτόν.
- Τα SO_4^{2-} ιόντα στα ρέματα της περιοχής, σχετίζονται με την διάλυση του σιδηροπυρίτη και του μαρκασίτη από τον λιγνίτη αλλά και από την ύπαρξη αποθέσεων τέφρας και γύψου.

5.1 Προτάσεις για μέτρα προστασίας των επιφανειακών νερών

Ο κύριες πιέσεις στους επιφανειακούς υδατικούς πόρους της περιοχής όσον αφορά την ανθρωπογενή δραστηριότητα σε επιφανειακά ορυχεία λιγνίτη, όπως προαναφέρθηκε, αποτελούν οι απορρίψεις από τα αντλιοστάσια, οι χώροι αποθέσεων παραπροϊόντων και οι εξωτερικές αποθέσεις με τα στείρα υλικά της εξόρυξης.

5.1.1 Απορρίψεις αντλιοστασίων

Ο καλύτερος τρόπος περιορισμού των επιπτώσεων από τις απορρίψεις στους χώρους των ορυχείων, με στόχο τη βελτίωση της κατάστασης του νερού, είναι η αποφυγή της οξείδωσης των σουλφιδίων (Spitz & Trudinger, 2008). Αυτό είναι εφικτό, αν στην θέση των ανοικτών ορυχεία εξόρυξης ο λιγνίτης καλυφθεί με νερό δημιουργώντας Λίμνες εντός του χώρου. Η προσέγγιση αυτή είναι ευρέως διαδεδομένη σε περιπτώσεις αποκατάστασης ορυχείων άνθρακα μετά το πέρας της εκμετάλλευσης και έχει μελετηθεί και στα ορυχεία της Ελλάδας (Dimitrakopoulos et al., 2016; Sakellari et al., 2021). Επιπλέον, άλλοι μέθοδοι περιορισμού της ρύπανσης αφορούν τον μετριάσμό και τον έλεγχο της ποιότητας πριν την απόρριψη. Η γεωλογία της περιοχής μελέτης διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην εξουδετέρωση της όξινης απορροής. Βάση αυτού, μπορούν να βρεθούν τρόποι μείωση της και βελτίωσης της ποιότητας του νερού. Η εξουδετέρωση της με την χρήση ασβεστολίθου CaCO_3 , είναι η πιο ευρέως αξιόπιστη τεχνολογία επεξεργασίας. Ο ασβεστίτης αντιδρά με το οξύ και παράγεται γύψος (Spitz & Trudinger, 2008). Σύμφωνα με την αντίδραση:



Καθώς το pH αυξάνει, εξαναγκάζονται τα περισσότερα μέταλλα να καθιζάνουν ως δευτερογενείς ορυκτά ή να προσροφήθουν σε οξείδια και υδροξείδια του σιδήρου. Υπάρχουν διάφοροι τύποι απορρύπανσης με ασβεστόλιθο που χρησιμοποιούνται. Κάποιες από αυτές αποτελούν οι: ALD (Anoxic limestone drains), Aerobic wetland treatment systems και Anaerobic treatment systems (Spitz & Trudinger, 2008). Η κάθε μέθοδος, πρέπει να εφαρμόζεται ανάλογα τις γεωλογικές και κλιματικές συνθήκες της περιοχής. Επιπλέον, η δημιουργία ζεολιθικών προϊόντων μέσω της τέφρας έχει αποδειχθεί ότι μπορεί να απομακρύνει το Cr, τον Cu και τον Pb από υδατικά διαλύματα (Itskos et al., 2015; Koukouzas et al., 2010). Τέλος, η έγκαιρη ανίχνευση των αλλαγών στην χημεία του νερού από ειδικούς προηγμένους αισθητήρες μέτρησης, που θα προσφέρει real time δεδομένα της χημεία του νερού είναι απαραίτητος να τοποθετηθεί σε διάφορες περιοχές για τον εντοπισμό τυχών διαρροών και για τυχόν ανάγκη επεξεργασίας νερού πριν την απόρριψη του στους γύρω υδατικούς όγκους (Morrison, 2022).

5.1.2 Χώροι απόθεσης παραπροϊόντων και εξωτερικών αποθέσεων

Όσον αφορά τους χώρους απόθεσης παραπροϊόντων και εξωτερικών αποθέσεων χρειάζεται μια ολοκληρωμένη διαχείριση της περιοχής. Αρχικά, η προστασία των γύρω ρεμάτων μέσα από την δημιουργία τάφρων και μικρών λιμνών περιφερειακά του ορυχείου Θωκνίας για την μη διαφυγή νερών από τον χώρο της στα γύρω ρέματα (Λουλούδης κ.α., 2023). Είναι απαραίτητη, η δειγματοληψία περισσότερων δειγμάτων από τις καθιερωμένες δειγματοληψίες για τα επιφανειακά ύδατα της περιοχής που εντάσσονται στα σχέδια περιβαλλοντικής παρακολούθησης της ΔΕΗ. Έμφαση θα πρέπει να δοθεί και σε ρέματα που διασχίζουν περιμετρικά τις αποθέσεις. Επιπλέον, μπορούν να χρησιμοποιηθούν νέες τεχνολογίες με σταθμούς παρακολούθησης της ποιότητας του νερού σε πραγματικό χρόνο, εξοικονομώντας χρόνο και χρήμα, όπως έχει γίνει και σε παρόμοια έρευνα (Sfikas et al., 2016). Τέλος, νέοι μέθοδοι παρακολούθησης των εξορυκτικών αποβλήτων, αποθέσεων και την σχέση τους με τα γύρω ρέματα σε μεγάλη κλίμακα χρόνου, μπορούν να πραγματοποιηθούν με την χρήση drones, δορυφορικών εικόνων και αισθητήρων μπορούν να συμβάλλουν στην συλλογή χρήσιμων δεδομένων εύκολα, γρήγορα, οικονομικά και σε οποιαδήποτε περιοχή που η πρόσβαση είναι δύσκολη π.χ. (βίο-αισθητήρες, δορυφορικές εικόνες, συστήματα Γεωγραφικών πληροφοριών κ.α)(Jain, 2016).

5.2 Μελλοντικές έρευνες για την ποιότητα των επιφανειακών υδάτων στην περιοχή

- Η παρούσα μελέτη χρειάζεται να επαναληφθεί με τα αντίστοιχα σημεία δειγματοληψία προσθέτοντας τουλάχιστον 2 ακόμα δείγματα στις περιοχές με έντονο περιβαλλοντικό ενδιαφέρον. Επίσης, πρέπει να γίνει μια τουλάχιστον μέτρηση και την ξηρή περίοδο στο τέλος του καλοκαιριού.
- Το Μπ αποτελεί ένα ιδιαίτερο χημικό στοιχείο στην περιοχή και η παρουσία του χρειάζεται περαιτέρω διερεύνηση σε συνδυασμό με την γεωλογία και τα εδάφη της περιοχής.
- Η ισχυρή σχέση υπόγειων και επιφανειακών νερών στην περιοχή, έχει άμεσο αντίκτυπο στην ποιότητα των υδάτων. Μια μελέτη των ισοτόπων Ο και Η στα νερά της περιοχής την υγρή και την ξηρή περίοδο. θα δώσει πολύ χρήσιμες πληροφορίες για την επανατροφοδοσία του επιφανειακού νερού.
- Η κλιματική αλλαγή στην περιοχή, διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην ποιότητα του επιφανειακού νερού και μια σχετική μελέτη θα βοηθούσε περαιτέρω στην διερεύνηση των ερευνητικών ερωτημάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

6 Βιβλιογραφία

ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Brumsack, H. J. (2006). The trace metal content of recent organic carbon-rich sediments: Implications for Cretaceous black shale formation. In *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*(Vol.232,Issues2–4,pp.344–361).
<https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2005.05.011>
- CT DPH. (n.d.). Connecticut Department of Public Health Environmental Health Section Environmental & Occupational Health Assessment Program 410 Capitol Avenue MS# 11EOH, Hartford, CT 06134-0308 (860) 509-7740. <http://www.ct.gov/dph>
- Dimitrakopoulos, D., Vasileiou, E., Stathopoulos, N., & Dimitrakopoulou, S. (2016). Estimation of the qualitative characteristics of post mining lakes in different lignite fields in Greece.
- Dzhang, T. R., & Atangana, E. (2024). Evaluation of the impact of coal mining on surface water in the Boesmanspruit, Mpumalanga, South Africa. *Environmental Earth Sciences*, 83(6).
<https://doi.org/10.1007/s12665-024-11431-6>
- Erarslan, C., Örgün, Y., & Bozkurtoğlu, E. (2014). Geochemistry of trace elements in the Keşan coal and its effect on the physicochemical features of ground- and surface waters in the coal fields, Edirne, Thrace Region, Turkey. *International Journal of Coal Geology*, 133, 1–12.
<https://doi.org/10.1016/j.coal.2014.09.003>
- Fork, C., Basin, R., Moore, J. N., Mt, M., & Luoma, S. N. (1990). Hazardous wastes from large-scale metal extraction. A case study. In *Sci. Technol* (Vol. 24, Issue 9). UTC.
<https://pubs.acs.org/sharingguidelines>
- Foscolos I*, A. E., Goodarzi, F., Koukouzas, C. N., & Hatziyannis, G. (1989). Reconnaissance study of mineral matter and trace elements in Greek lignites. In *Chemical Geology* (Vol. 76).
- Frascoli, F., & Hudson-Edwards, K. A. (2018). Geochemistry, mineralogy and microbiology of molybdenum in mining-affected environments. In *Minerals* (Vol. 8, Issue 2). MDPI AG.
<https://doi.org/10.3390/min8020042>
- Georgakopoulos, A., Filippidis, A., Kassoli-Fournaraki, A., Iordanidis, A., Fernández-Turiel, J. L., Llorens, J. F., & Gimeno, D. (2002). Environmentally important elements in fly ashes and their leachates of the power stations of Greece. *Energy Sources*, 24(1), 83–91.
<https://doi.org/10.1080/00908310252712325>
- Goto, K. T., Shimoda, G., Anbar, A. D., Gordon, G. W., Harigane, Y., Senda, R., & Suzuki, K. (2015). Molybdenum isotopes in hydrothermal manganese crust from the Ryukyu arc system: Implications for the source of molybdenum. *Marine Geology*, 369, 91–99.
<https://doi.org/10.1016/j.margeo.2015.08.007>
- Gruszczuk, H., Haranczyk, C. & Melidonis, N. (1970). Über die ergebnisse einer lagerstattenkundlichen erkundung auf dem Peloponnes. *Geological Reconnaissances, Athens IGSR*, n° 49, 1-63 (In Greek language with German Abstract).
- Howe, Paul., Malcolm, Heath., Dobson, S. (Stuart), United Nations Environment Programme., International Labour Organisation., World Health Organization., Inter-Organization Programme for the Sound Management of Chemicals., & International Program on Chemical Safety. (2004). Manganese and its compounds: environmental aspects. World Health Organization.
- Iordanidis, A. (2002). Geochemical aspects of Amynteon lignites, Northern Greece q.
<http://www.fuel>

- Itskos, G., Koutsianos, A., Koukouzas, N., & Vasilatos, C. (2015). Zeolite development from fly ash and utilization in lignite mine-water treatment. *International Journal of Mineral Processing*, 139, 43–50. <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2015.04.011>
- Izquierdo, M., Koukouzas, N., Toulidou, S., Panopoulos, K. D., Querol, X., & Itskos, G. (2011). Geochemical controls on leaching of lignite-fired combustion by-products from Greece. *Applied Geochemistry*, 26(9–10), 1599–1606. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2011.04.013>
- Jain, R. (2016). Environmental impact of mining and mineral processing : management, monitoring, and auditing strategies.
- Kaback S. Dawn, & Runnells D. Donald. (1980). *Geochemistry of Molybdenum in some stream sediments and waters* (Vol. 44). 4% C Pergamon Press Ltd.
- Kavouridis, K. (2008). Lignite industry in Greece within a world context: Mining, energy supply and environment. *Energy Policy*, 36(4), 1257–1272. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.11.017>
- Kelepertsis, A. E., & Kontis, E. (1997). Geochemical and Mineralogical Characteristics of Pleistocene Lignites and Associated Sediments of Marathousa Coal Field, Central Peloponnese, Greece. In *CHINESE JOURNAL OF GEOCHEMISTRY* (Vol. 16, Issue 1).
- Kelepertzis, E. (2017). “Cr(VI) Impacted water bodies in the Mediterranean: Transposing management options for Efficient water Resources use through an Interdisciplinary Approach” WATER SAMPLING PROTOCOL.
- Koukouzas, N., Vasilatos, C., Itskos, G., Mitsis, I., & Moutsatsou, A. (2010). Removal of heavy metals from wastewater using CFB-coal fly ash zeolitic materials. *Journal of Hazardous Materials*, 173(1–3), 581–588. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.08.126>
- Kordas, I. J. (2006). LIGNITE AS CONTRIBUTORY FACTOR TO REGIONAL DEVELOPMENT OF GREECE-The case of Megalopolis basin at Central Peloponnese Thematic Topics :Regional economic growth and development-Environment, natural resources and sustainability 1. LIGNITE RESOURCES AND EXPLOITATION IN GREECE 1.1 GEOLOGY OF LIGNITE RESOURCES IN GREECE.
- Kranis, H., Skourtsos, E., Davis, G., Karkanis, P., Turloukis, V., Panagopoulou, E., & Harvati, K. (2020). Switch-on, switch-off: Plio-Quaternary evolution of the Megalopolis Basin (Southern Greece), through structural overprinting, interaction and fault migration TS12.1: Geomorphic and sedimentary records of active tectonics Ephoreia of Palaeoanthropology-Speleology.
- Kuniyal, J. C., & Kumar, K. (2021). Application of Multivariate Statistical Analysis and Water Quality Index for Quality Characterization of Parbati River, Northwestern Himalaya, India. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-492884/v1>
- Kyritidou, Z., Kelepertzis, E., Kritikos, I., Kapaj, E., Skoulika, I., Kostakis, M., Vassilakis, E., Karavoltsos, S., Boeckx, P., & Matiatos, I. (2024). Geochemistry and origin of inorganic contaminants in soil, river sediment and surface water in a heavily urbanized river basin. *Science of the Total Environment*, 927. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172250>
- Ladwig K. (2011). *Chemical Constituents in Coal Combustion Products: Molybdenum from Electric Power Research Institute*. www.epri.com
- Larsen, D., & Mann, R. (2005). Origin of high manganese concentrations in coal mine drainage, eastern Tennessee. *Journal of Geochemical Exploration*, 86(3), 143–163. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2005.06.001>
- Liu, P., Hoth, N., Drebenstedt, C., Sun, Y., & Xu, Z. (2017). Hydro-geochemical paths of multi-layer groundwater system in coal mining regions — Using multivariate statistics and geochemical modeling approaches. *Science of the Total Environment*, 601–602, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.146>

- Long, J., Zhang, S., & Luo, K. (2019). Discovery of anomalous molybdenum enrichment in lower Carboniferous coal and its availability and origin. *Journal of Geochemical Exploration*, 200, 104–111. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2019.02.003>
- Louloudis, G., Roumpos, C., Mertiri, E., Kasfikis, G., & Vasileiou, E. (2023). The Hydrogeological Conditions as a Crucial Factor for Creating Pit Lakes: The Case of Kyparissia Mine in Megalopolis, Greece. 2. <https://doi.org/10.3390/materproc2023015002>
- Louloudis G. (2017). The worth of hydro geochemical data factor analysis (PCA) in interpretation of underground water origin. Megalopolis lignite bearing fields mine water and regional waters relations case study.
- Luttig G.W., Marinos. G. (1962). Zur Geologie des neuen Griechischen Braunkohlen-Lagerstaette von Megalopolis-Braunkohle 14.
- Marinakos, V., Flamos, A., Stamtsis, G., Georgizas, I., Maniatis, Y., & Doukas, H. (2020). The efforts towards and challenges of greece's post-lignite era: The case of megalopolis. *Sustainability (Switzerland)*, 12(24), 1–21. <https://doi.org/10.3390/su122410575>
- Masood, N., HudsonEdwards, K., & Farooqi, A. (2020). True cost of coal: Coal mining industry and its associated environmental impacts on water resource development. In *Journal of Sustainable Mining* (Vol. 19, Issue 3, pp. 135–149). Główny Instytut Gornictwa (Central Mining Institute). <https://doi.org/10.46873/2300-3960.1012>
- Morrison, K. F. (2022). *Tailings management handbook : a life-cycle approach*.
- Papanicolaou, C., Kotis, T., Foscolos, A., & Goodarzi, F. (2004). Coals of Greece: A review of properties, uses and future perspectives. *International Journal of Coal Geology*, 58(3), 147–169. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2003.10.006>
- Papadopoulos, P. (1997). Geological map of Greece "Megalopolis sheet", scale 1: 50.000, I.G.M.E., Athens, Greece
- Pe-Piper, G., & Piper, D. J. W. (1989). The geological significance of manganese distribution in Jurassic-Cretaceous rocks of the Pindos Basin, Peloponnese, Greece. In *Sedimentary Geology* (Vol. 65).
- Photiades, A., & Perseil, E. A. (2002). THE CU–NI–BEARING TODOROKITE FROM WESTERN PINDOS SERIES (PELOPONNESE, GREECE): ANALOGOUS TO TODOROKITE IN DEEP–SEA MANGANESE NODULES. <https://www.researchgate.net/publication/235222253>
- Qiao, W., Li, W., Zhang, S., & Niu, Y. (2019). Effects of coal mining on the evolution of groundwater hydrogeochemistry. *Hydrogeology Journal*, 27(6), 2245–2262. <https://doi.org/10.1007/s10040-019-01969-2>
- Ravikumar, P., Somashekar, R. K., & Prakash, K. (2015). A comparative study on usage of Durov and Piper diagrams to interpret hydrochemical processes in groundwater from SRLIS river basin, Karnataka, India. In *Elixir Earth Sci* (Vol. 80). <https://www.researchgate.net/publication/273886861>
- Richter, P. (2013). Short communication effects of mining activities on river water quality. <https://www.researchgate.net/publication/286907700>
- Roumpos, C., Pavloudakis, F., Liakoura, A., Nalmpanti, D., & Arampatzis, K. (2018). Utilisation of Lignite Resources within the Context of a Changing Electricity Generation Mix. <https://www.researchgate.net/publication/328107172>
- Saby, M., Larocque, M., Pinti, D. L., Barbecot, F., Sano, Y., & Castro, M. C. (2016). Linking groundwater quality to residence times and regional geology in the St. Lawrence Lowlands, southern Quebec, Canada. *Applied Geochemistry*, 65, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2015.10.011>

- Sahoo, B. P., Sahu, H. B., & Pradhan, D. S. (2021). Hydrogeochemistry and surface water quality assessment of IB valley coalfield area, India. *Applied Water Science*, 11(9). <https://doi.org/10.1007/s13201-021-01433-1>
- Sakellari, C., Roumpos, C., Louloudis, G., & Vasileiou, E. (2021). A Review about the Sustainability of Pit Lakes as a Rehabilitation Factor after Mine Closure. 52. <https://doi.org/10.3390/materproc2021005052>
- Sakorafa, V., Michailidis, K., & Burrigato, F. (1996). Mineralogy, geochemistry and physical properties of fly ash from the Megalopolis lignite fields, Peloponnese, Southern Greece (Vol. 75, Issue 4).
- Sarris, A., Kokinou, E., Aidona, E., Kallithrakas-Kontos, N., Koulouridakis, P., Kakoulaki, G., Droulia, K., & Damianovits, O. (2009). Environmental study for pollution in the area of Megalopolis power plant (Peloponnesos, Greece). *Environmental Geology*, 58(8), 1769–1783. <https://doi.org/10.1007/s00254-008-1676-3>
- Sfikas, A., Angelidis, P., & Petridis, D. (2016). A statistical approach for identification of potential pollution incidents due to lignite mining activity in a surface water stream. *Desalination and Water Treatment*, 57(40), 18606–18618. <https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1100559>
- Singh, R., Syed, T. H., Kumar, S., Kumar, M., & Venkatesh, A. S. (2017). Hydrogeochemical assessment of surface and groundwater resources of Korba coalfield, Central India: environmental implications. *Arabian Journal of Geosciences*, 10(14). <https://doi.org/10.1007/s12517-017-3098-6>
- Skierszkan, E. K., Robertson, J. M., Lindsay, M. B. J., Stockwell, J. S., Dockrey, J. W., Das, S., Weis, D., Beckie, R. D., & Mayer, K. U. (2019). Tracing Molybdenum Attenuation in Mining Environments Using Molybdenum Stable Isotopes. *Environmental Science and Technology*, 53(10), 5678–5686. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b00766>
- Smedley, P. L., & Kinniburgh, D. G. (2017). Molybdenum in natural waters: A review of occurrence, distributions and controls. In *Applied Geochemistry* (Vol. 84, pp. 387–432). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2017.05.008>
- Spitz, K., & Trudinger, J. (2008). MINING AND THE ENVIRONMENT FROM ORE TO METAL. www.miningandtheenvironment.com
- Staniszewski, R., Diatta, J. B., & Andrzejewska, B. (2014). Impact of lignite mine waters from deep seated drainage on water quality of the Noteć river. *Journal of Elementology*, 19(3), 749–758. <https://doi.org/10.5601/jelem.2014.19.2.645>
- TJTP Megalopolis. (2021). Territorial Just Transition Plan Title TJTP Megalopolis Version 3.0 Current node Greece (Just Transition) Comments Programme version(s) referring to this TJTP CCI Title Version Status Commission decision 2021EL16JTPR001 Just Development Transition 1.3 Adopted by EC C(2022)3943.
- Tsetsgee, S., Okuyama, A., Ochir, A., Yunden, A., Odgerel, E., Batbold, T., Munkhsukd, E. U., Takahashi, Y., Munemoto, T., Honda, M., & Fukushi, K. (2021). Mo Contamination in Rivers near the Erdenet Mining Area, Mongolia: Field Evidence of High Mobility of Mo at pH >8. *ACS ES and T Water*, 1(8), 1686–1694. <https://doi.org/10.1021/acsestwater.1c00046>
- Tsiftsis E. (1987). GEOLOGY AND HYDROGEOLOGY OF THE MEGALOPOLIS BASIN PELOPONNESE,GREECE V2.
- Tsiftsis, E. V. (1987). GEOLOGY AND HYDROGEOLOGY OF THE MEGALOPOLIS BASIN PELOPONNESE,GREECE.
- Turhan, Duran, C., Kurnaz, A., Hançerlioğulları, A., Metin, O., & Altıkulaç, A. (2023). Impact of toxic metal pollution on surface water pollution: a case study of Tohma stream in Sivas, Turkey. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 103(14), 3224–3234. <https://doi.org/10.1080/03067319.2021.1904916>

- Vasileiou E., Founda M., & Dimitrakopoulos D. (2008). The water quality of Alfios River and the effects on it from the mining activities, in the area of Megalopolis. Estimating the quality of the river system by Phreeqc modeling. Geochemical fingerprint of ultramafic environments in groundwater quality View project Mine water quality View project. <https://www.researchgate.net/publication/335715024>
- Vinken. R. (1965). Stratigraphie and Tektonik des Beckens von Megalopolis (Peloponnes, Griechenland).
- Voudouris, K., Hionidi M., Panagopoulos A, Koumantakis I. (2002). Extream climatic events in the prefecture of Korinthos (Greece) and their impact on groundwater resources. Proc. 5th International Conference “Water resources management in the era of transition”. European Water Resources Association. Athens, 107-114.
- Wang, M., Gui, H., Hu, R., Zhao, H., Li, J., Yu, H., & Fang, H. (2019). Hydrogeochemical characteristics and water quality evaluation of carboniferous taiyuan formation limestone water in sulin mining area in northern Anhui, China. International Journal of Environmental Research and Public Health, 16(14). <https://doi.org/10.3390/ijerph16142512>
- WHO. (2022). Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addenda. Geneva: World Health Organization; 2022. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- Wolkersdorfer, C., & Mugova, E. (2022). Effects of Mining on Surface Water. In Encyclopedia of Inland Waters, Second Edition (Vol. 4, pp. 170–188). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819166-8.00036-0>

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αργυρίου Δ. (2022). Μελέτη Γεωλογικού Σχεδίου << Costa Νότια Ειδικό Σχέδιο Χωρικής (Ε.Σ.Χ.Α.Σ.Ε) COSTA NOPIA DEVELOPMENT Δημήτριος Κύπρου Μελέτη Γεωλογικής Καταλληλότητας του Επενδυτικού Σχεδίου << COSTA Ιδιοκτησία CRETAN SUN AND SEA DEVELOPMENTS Α.Ε. Αθήνα Ιανουάριος 2022 Επενδυτικού Νομού Χανίων Επένδυσης SUN AND SEA.
- Ασχονίτης Β. (2004). Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων των Δραστηριοτήτων στο Λιγνιτικό Κέντρο Δυτικής Μακεδονίας και Μεθοδολογίες Αποκατάστασης.
- Βουδούρης Κ. (2016). Υδρογεωλογία Περιβάλλοντος-Υπόγεια νερά & Περιβάλλον. Εκδόσεις Τζιόλα. Σελ. 390-392
- Γενική διεύθυνση υδάτων. (2023). 2η Αναθεώρηση ΣΔΛΑΠ Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Πελοποννήσου (EL01) Ανάλυση Ανθρωπογενών Πιέσεων και των Επιπτώσεων τους στα Επιφανειακά και στα Υπόγεια Συστήματα.
- ΔΕΘΥΠ/Κλ. Εκμετάλλευσης Τομέας Χημικής Τεχνολογίας και Περιβάλλοντος. (2022). Ετήσια Έκθεση Ποιότητας Περιβάλλοντος 2022. Μονάδα 5 ΑΗΣ Μεγαλόπολης.
- Δημητρακοπούλου Σ. (2010). Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο: Διερεύνηση Δυνατότητας Δημιουργίας Λιμνών στις Περιοχές των Ορυχείων Μεγαλόπολης κατά τη Μεταλιγνιτική Περίοδο.
- ΔΜΕΠΟ. (2023). Στρατηγική Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων – Παράρτημα ΙΙΙ-ΑΕΠΟ Έργων και Δραστηριοτήτων: Ειδικό Πολεοδομικό Σχέδιο (Ε.Π.Σ.) ΠΥΡΗΝΑ Ζ.ΑΠ. Μεγαλόπολης.
- ΔΜΕΠΟ (ΜΠΕ). (2023). Στρατηγική Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων: Ειδικό Πολεοδομικό Σχέδιο (Ε.Π.Σ.) ΠΥΡΗΝΑ Ζ.ΑΠ. Μεγαλόπολης.

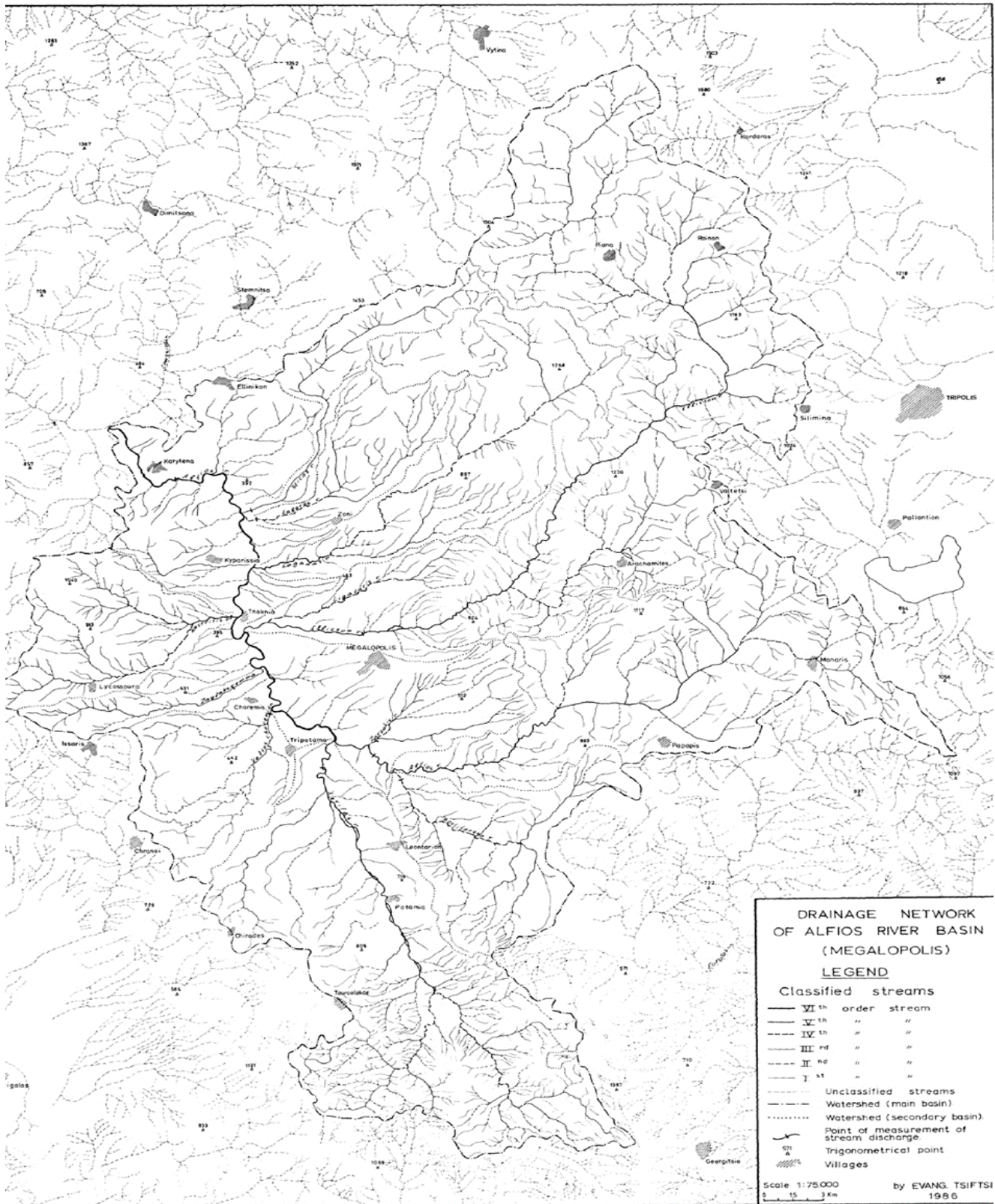
- Ειδική Γραμματεία Υδάτων. (2013). Σχέδιο Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής του Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Πελοποννήσου Παράρτημα Β 1. Ανάλυση Ανθρωπογενών Πιέσεων και των Επιπτώσεων τους στα Επιφανειακά και στα Υπόγεια Υδατικά Συστήματα (Παραδοτέο & Α Φάσης) Απρίλιος 2013.
- Ειδική Γραμματεία Υδάτων. (2013). των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Πελοποννήσου των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Πελοποννήσου Παράρτημα Α 4. Οριστικός Προσδιορισμός των Ιδιαίτερος Τροποποιημένων και Τεχνητών Υδατικών Συστημάτων (Παραδοτέο 7 & Α Φάσης) Απρίλιος 2013.
- Ειδική Γραμματεία Υδάτων. (2017). 1^η Αναθεώρηση Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Πελοποννήσου (ΕΛ 01): <<Χαρακτηρισμός, τυπολογία, τυπο-χαρακτηριστικές συνθήκες αναφοράς και αξιολόγηση/ταξινόμηση της κατάστασης όλων των κατηγοριών επιφανειακών υδατικών συστημάτων>>.
- Επιτροπή ΣΔΑΜ. (2020). Επικαιροποιημένο Master Plan Δίκαιης Αναπτυξιακής Μετάβασης των λιγνιτικών περιοχών.
- Ετήσια Έκθεση Μονάδας IV. (2022). Παρακολούθηση Περιβαλλοντικών Παραμέτρων Λειτουργίας Ετήσιας Έκθεσης ΑΗΣ Μεγαλόπολης Μονάδας 4 2022 ΔΕΛΜ/Περιβάλλοντος και Χημικής Τεχνολογίας.
- Ζαγγανά Ε. (2015). «Υδροχημεία, Μετρήσεις και υπολογισμοί φυσικοχημικών- υδροχημικών παραμέτρων». Έκδοση: 1.0.
- Λουλούδης Γ., Κασφίκης Γ., & Μερτήρη Ε. (2023). Διεύθυνση Μελετών Εκμετάλλευσης και Περάτωσης Ορυχείων Κλάδος Μεταλλευτικών Μελετών Τομέας Υδρογεωλογικών Μελετών Τομέας Υδρογεωλογικών Μελετών: Πορεία Αποστράγγισης Ορυχείων Μεγαλόπολης & Εκτίμηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων στο Υδατικό Σύστημα κατά το έτος 2023..
- Λουλούδης Γ., Κασφίκης Γ., & Μερτήρη Ε. (2024). Υδρογεωλογική Μελέτη για την Περιβαλλοντική Παρακολούθηση και Διαχείριση του Υδατικού Δυναμικού Ορυχείων Μεγαλόπολης κατά το Έτος 2024.
- Σγάντζος Κ, Γεωργάνος Β., & Σχοινά Σ. (2021). Λιγνιτική Παραγωγή Μεγαλόπολης. «Έκθεση Ποιότητας Περιβάλλοντος Σεπτέμβριος 2020-Δεκέμβριος 2021».
- ΣΔΑΜ. (2020). Υφιστάμενη Κατάσταση και Προοπτικές για τις Περιοχές σε Ενεργειακή Μετάβαση στην Ελλάδα. Αθήνα, Ιούλιος 2020.
- Σπαθή Α., Νικηφορίδης Κ., & Κιούσης Β. (2009). ΜΠΕ Μονάδας V Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ) Α.Ε. Κλάδος ΑΗΣ Μεγαλόπολης << Κατασκευή και Λειτουργία Μονάδας Συνδυασμένου Κύκλου (νέα Μονάδα V) με καύσιμο το φυσικό αέριο, μετά των απαραίτητων βοηθητικών συστημάτων και εγκαταστάσεων>>.
- Τεχνική περιγραφή. (2019). «Προμήθεια Συστήματος Απομακρυσμένου Ελέγχου και Διαχείρισης του Δικτύου Ύδρευσης του Δήμου Μεγαλόπολης>> Φιλόδημος Ι.
- Τσούκα Ε, (2021). Διερεύνηση της ρύπανσης από βαρέα μέταλλα των εδαφών της ευρύτερης περιοχής της Μεγαλόπολης. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών Γενικό Τμήμα Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Οικολογία και Διαχείριση Περιβάλλοντος.
- Παπανικολάου Δ. (2020). Γεωλογία της Ελλάδος. εκδόσεις Πατάκη, Αθήνα, Νοέμβριος 2020
- Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας. (2023). Εθνικό Σχέδιο Ενέργειας και Κλίματος – Προσχέδιο Αναθεωρημένης Έκδοσης, Οκτώβριος 2023.

Χρήσιμα Link

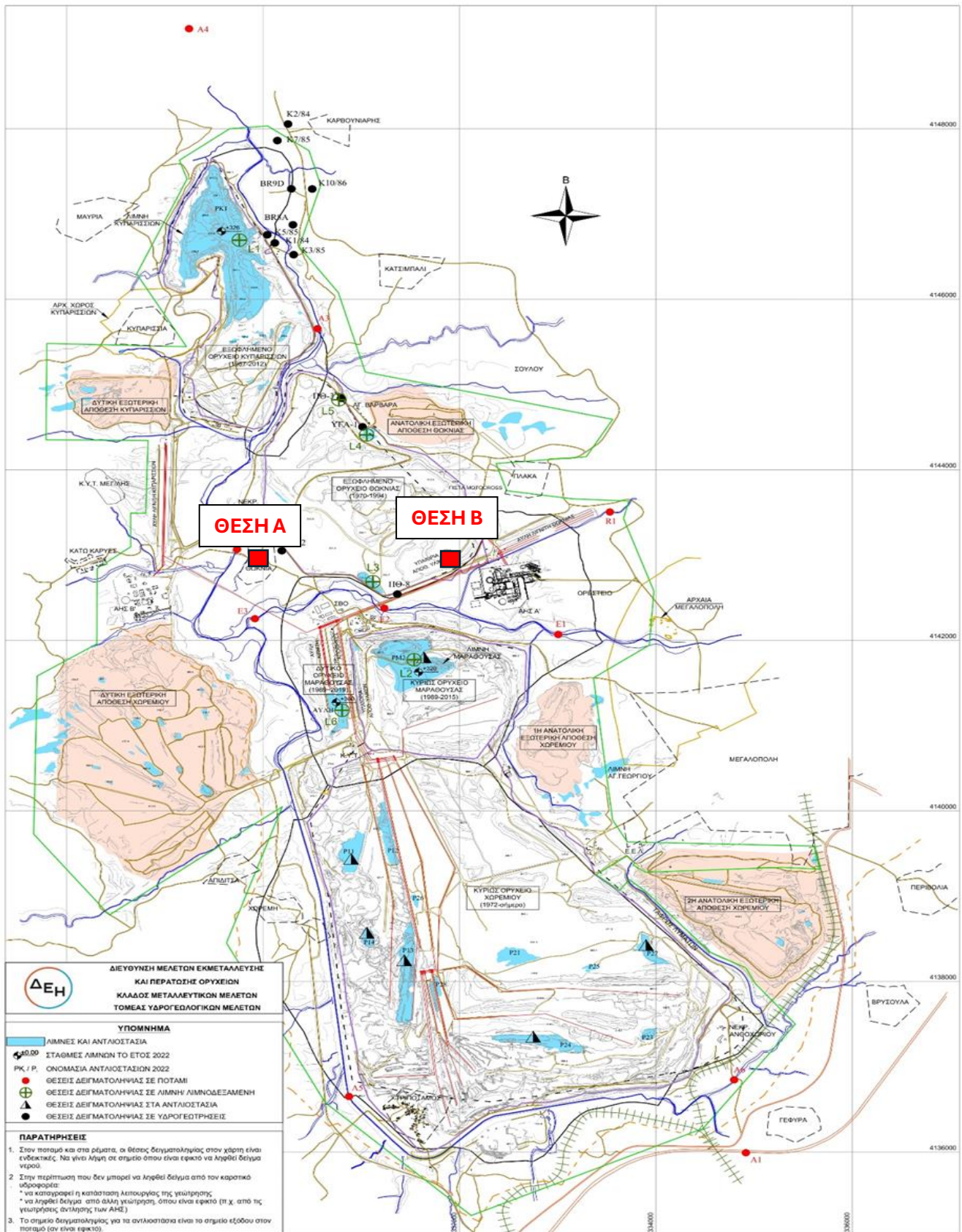
- <https://livingatlas.arcgis.com/landcoverexplorer/#mapCenter=22.20293%2C37.521042C11.00891841405015&mode=step&timeExtent=2017%2C2023&year=2023>
- (https://www.gem.wiki/Megalopolis_Lignite_Center#Additional_data)
- <https://www.technologynetworks.com/analysis/articles/icp-oes-icp-chemistry-icp-oes-analysis-strengths-and-limitations-342265>,<https://infra.lut.fi/equipment/inductively-coupled-plasma-optical-emission-spectrometer-icp-oes/>
- https://www.meteoblue.com/el/climatechange/%ce%9c%ce%b5%ce%b3%ce%b1%ce%bb%cf%8c%cf%80%ce%bf%ce%bb%ce%b7_%ce%95%ce%bb%ce%bb%ce%ac%ce%b4%ce%b1_257395
- https://www.meteoblue.com/el/climatechange/%ce%9c%ce%b5%ce%b3%ce%b1%ce%bb%cf%8c%cf%80%ce%bf%ce%bb%ce%b7_%ce%95%ce%bb%ce%bb%ce%ac%ce%b4%ce%b1_257395

7 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

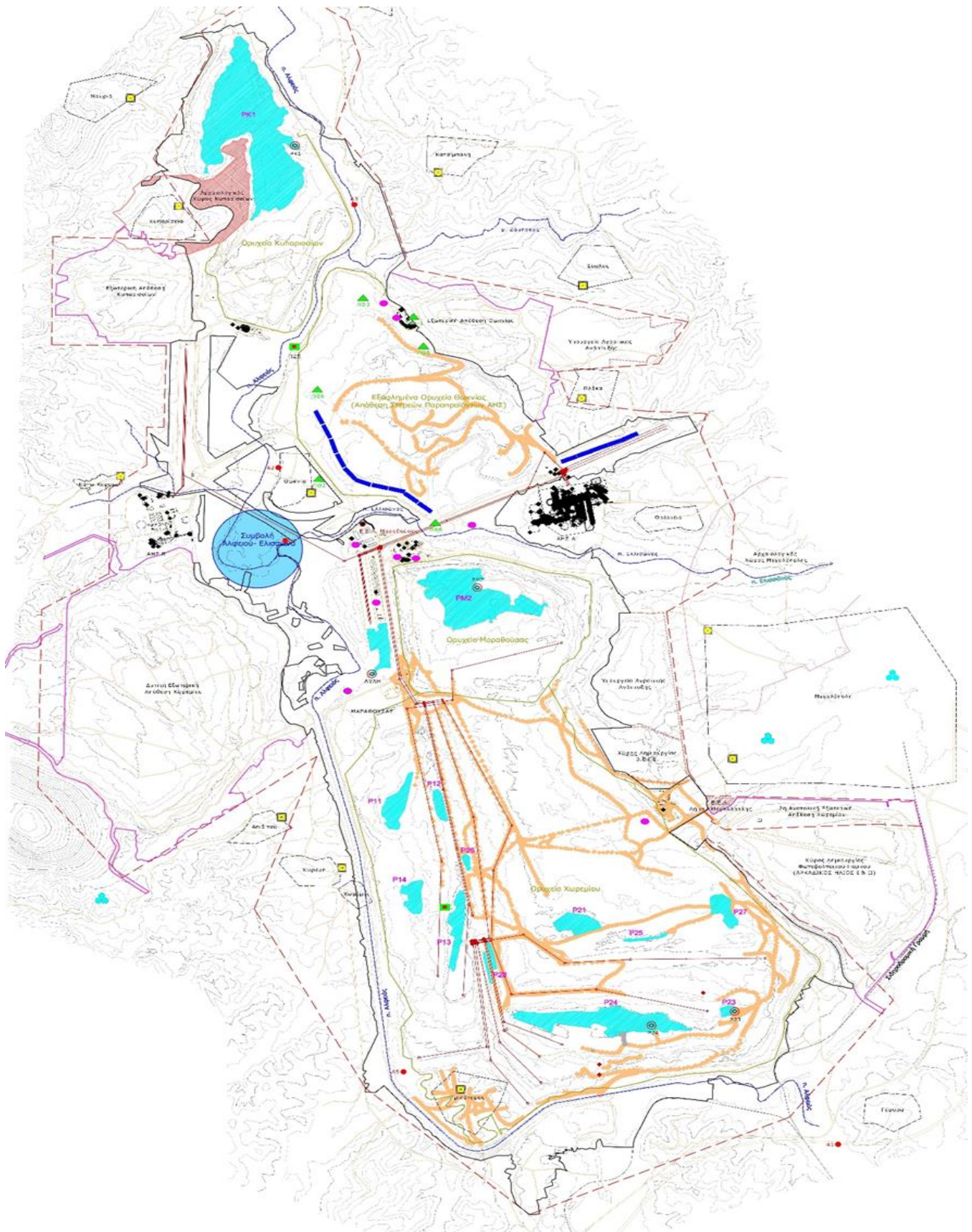
Παράρτημα 1



Παράρτημα 2



Παράρτημα 3



Παράρτημα 4

System period	Series Stage	Group (Geotectonic Zone)	Formation-Unit	General Lithology	Thickness (in m)	Hydrogeological Status (features, characteristics)	
Quaternary	Holocene	Basin Formations	River gravel fills	Unconsolidated clays, sands, rounded pebbles	few	Major aquifer	
			Alluvium	Sand-clayey materials with dispersed pebbles	few	Aquifer - minor aquifer locally	
			Scree and talus cone	Unconsolidated to slightly cohesive, of limestone gravels and clays	few	Major aquifer - aquifer locally only	
			Terraces	Lower	Unconsolidated gravels, sands and clays with rounded pebbles usually small in size (up to 10 cm)	5	Major aquifer
				Middle or Thoknia	Composed of a lower part of loose to slightly consolidated coarse-grained gravels, sands and clays and an upper-flood plain of sands and clays	5-10	Major aquifer - aquifer
				Upper or Potamia	Slightly consolidated gravels, sands and clays; pebbles are rounded or angular and of various origins. Pebble increases size towards the margins of the basin	5-10	Aquifer - minor aquifer locally
				Lousios	Loose to medium cohesive gravels with sands and clays. The sandstone fragments have in places undergone significant alteration	10-15	Aquifer - minor aquifer locally
			Pleistocene	Megalopolis beds	Fluvial deposits of clays, sands and gravels loosely cemented conglomerates (centre area) and of sands and clays mixed with pebbles and partly of gravels (margins)	>50	Minor aquifer
				Marathousa beds	Lacustrine beds of alternations of marls, clays, humus clays and lignite (centre area). Fluvial deposits of clays, sands and gravels or loosely cemented conglomerates (margins)	±200	Aquiclude - minor aquifer locally
				Apiditsa Stage	Alternations and lateral transitions of clays, sandy-clayey beds with loose to slightly cohesive breccio conglomerates with sands and clays	60-80	Aquiclude - minor aquifer locally
Assea basin deposits	Alternations of clays and sands with dispersed pebbles and lenticular concentrations of sand and gravels to slightly consolidated breccio-conglomerates	10-30		Aquifer - minor aquifer locally			
Trilofon Stage	Partly lacustrine clays, marls and thin intercalations of slightly cemented conglomerates and partly fluvial deposits of gravels, sands, clays and partly cohesive breccio-conglomerates	100-120		Aquiclude - aquifer locally			
Makryson Stage	Lacustrine marls with thin intercalations (0.2- 1 m) of lignite beds. At its base, a conglomerate occurs	40-100		Aquiclude			
Tertiary	Upper Pliocene						
U. Mesozoic - L. Tertiary	Upper Maastrichtian - Palaeocene	Pindos zone	Transition beds	Thin-platey alternations of limestones, black cherts, marls and sandy marls	5-100	Aquifer	
	Turonian-Maastrichtian		Upper Cretaceous limestone	Thin to medium bedded, bright-coloured micritic biomicritic limestones. Sometimes with early intercalations in the middle and lenses or nodules of chert in the lower and upper members	150-200	Major aquifer	
	Lower Cretaceous-Turonian		First flysch	Mainly medium-grained sandstones	150-200	Aquiclude	
	-	'Tectonic block' formation	A "mélange" of sandstones, cherts, igneous rocks, breccio-conglomerate particles and limestone blocks of the Pindos and Tripolis zones	0-200	Aquiclude: Its varying thickness does not affect the vertical groundwater movement		
	U. Palaeozoic - L. Tertiary	Upper Eocene-Oligocene	Tripolis zone	Flysch	Alternations of sandstone, clay and pelite beds	±500	Aquiclude
		Upper Triassic-Eocene		Carbonate rocks	Thick-bedded to massive dark-coloured limestones and dolomites	<1000	Major aquifer
		Upper Palaeozoic-Lower Triassic		Low-grade metamorphic basement (Tyros beds)	Crystalline limestone-dolomites, phyllites	visible 80-100	Aquiclude
?		P-Q Series		Phyllitic-Quartzitic series	Schists-quartzites	visible >200	Aquiclude

Παράρτημα 5

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ & ΔΙΕΘΝΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ: ΟΡΙΑ ΤΙΜΩΝ ΒΙΟΧΗΜΙΚΩΝ ΝΕΦΟΥ							ΕΥΡΟΣ ΤΙΜΩΝ ΑΕΙΜΑΤΙΝΩΝ ΕΤΟΥΣ 2022		
		Φ.Κ.Ε.Κ. 3322/2011	Ε.Υ.Δ. 122/2006	Ε.Υ.Δ. 272/2006	Κ.Υ.Α. 51384/2018	Κ.Υ.Α. 51384/2018	Κ.Υ.Α. 51384/2018	Κ.Υ.Α. 51384/2018	ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ	ΝΕΡΑ ΑΝΤΑΘΩ-ΣΤΑΣΙΩΝ	ΑΕΙΜΑΤΑ ΣΤΟΝ ΑΛΦΕΙΟ
pH	pH units	6.5-9.5	6.5-9.5					7-7.5	7.2-7.9	7.4-8	
Θερμοκρασία	°C							21.1-23	21-22.2	21-22.6	
Ειδική αγωγιμότητα (25°C)	µS.cm ⁻¹	2500	2500					0.6-3.1	1.8-3.5	0.5-1.7	
Ολική διαλυμένη στερεά	mg/l	1625	1625					0.4-1492	1100-1950	300-862	
Αιωρούμενα στερεά	mg/l							1.6-10.8	2-8.4	<2-5.2	
COD	mg O ₂ /l							<15-165	58.8-149	<15-43.7	
Ιόντα αμμωνίου (NH ₄ ⁺)	mg/l	0.5	0.5			0.5		<0.02-23.2	0.13-23.2	<0.02-7.6	
Ολική αλκαλικότητα	mg/l CaCO ₃							177-1717	14.6-340	167-266	
Ανθρακική σκληρότητα	mg/l CaCO ₃							177-913	14.6-340	167-266	
Μη ανθρακική σκληρότητα	mg/l CaCO ₃							0-476	663-1737	0-507	
Οξεία ανθρακική (HCO ₃ ⁻)	mg/l							216-2095	17.8-414	203-324	
Φθοροϊόντα (F ⁻)	mg/l		1.5					0.1-10	<0.8-2.7	0.1-0.5	
Χλωροϊόντα (Cl ⁻)	mg/l	250	250			2500		6.6-93.5	13-68	8-30	
Νιτρικό (NO ₃ ⁻)	mg/l	0.5	0.5			30		<0.01-2	0.15-6.6	<0.01-7.2	
Βρομοϊόντα (Br ⁻)	mg/l							0.2-14.8	<0.4-2.5	<0.05-0.6	
Νιτρικό (NO ₂ ⁻)	mg/l	50	50			500		<0.2-12.6	16-392	<0.2-182	
Θειικά (SO ₄ ²⁻)	mg/l	250	250			2000		10-753	750-2908	10.9-547	
Φωσφορικά (PO ₄ ³⁻)	mg/l							<0.3-11	<0.3-3.5	<0.1-0.6	
TOC	mg/l							4.5-325	21.7-400	1.3-15.8	
Ολικός ανόργανος άνθρακας (TIC)	mg/L							42.5-412	3.5-81.5	40-63.8	
Ασβέστιο (Ca)	mg/l							94.4-306	279-632	70.8-235	
Μαγνήσιο (Mg)	mg/l							11.6-46.4	39.6-121	7.3-32.6	
Νάτριο (Na)	mg/l							8.6-270	52.4-179	8.3-66.8	
Κάλιο (K)	mg/l							0.825-6.5	2.4-7.3	1.1-6.6	
Πυρίτιο (Si)	mg/l							3.1-9.5	0.1-4.7	1-4.8	
Διοξείδιο του πυριτίου (SiO ₂)	mg/l							6.6-20.3	0.2-10.1	2.1-10.3	
Ολική σκληρότητα	mg/l CaCO ₃							284-913	913-2076	213-721	
Σίδηρος (Fe)	µg/l		200			3000		<5-963	<5-201	<5-28.3	
Μαγγάνιο (Mn)	µg/l		50			5000		3.5-547	1.2-931	0.9-52.8	
Αρσενικό (As)	µg/l	10	10		30 (ΕΜΕ)	70	60	<2-37.3	<2-20.9	<2-20.9	
Νικέλιο (Ni)	µg/l	20	20		34 (ΕΜΕ), 1.2 (ΕΜΕ)	20	75	<4.4-27.9	9.2-67.4	<4.4-17	
Κάδμιο (Cd)	µg/l	5	5		1.5 (ΕΜΕ), 0.25 (ΕΜΕ)	20	6	<0.9-2	<0.9-2	<0.9-2	
Χρόμιο (Cr)	µg/l	50	50		50 (ΕΜΕ)		30	<1.6-10.5	<1.6-8.2	<1.6-6.2	
Μόλυβδος (Pb)	µg/l	25	10		14 (ΕΜΕ), 1.2 (ΕΜΕ)	100	75	<5-9.2	<5-9.2	<5-9.2	
Χαλκός (Cu)	µg/l		2000		26 (ΕΜΕ)	20000	75	<2.7-60.6	6.9-52.1	<2.7-40.1	
Ψευδάργυρος (Zn)	µg/l				125 (ΕΜΕ)	30000	800	2.1-352	2.5-35.2	1.2-27.5	
Υδράργυρος (Hg)	µg/l	1	1		0.07 (ΕΜΕ)	10	0.3	<0.5-0.7	<0.5-0.7	<0.5-0.7	
Αργίλιο (Al)	µg/l	200	200			20000		28.6-153	37.2-201	37.1-97.5	
Βάριο (Ba)	µg/l					7	0.625	15.3-838	22.8-105	37.4-68.8	
Σελήνιο (Se)	µg/l		10		5 (ΕΜΕ)	100		<5-19.6	<5-19.2	<5-19.2	
Στρόντιο (Sr)	µg/l							379-2980	1910-7610	312-2120	
Μολυβδαίνιο (Mo)	µg/l				4.4 (ΕΜΕ)	0.5	0.3	2-32	8.1-109	<2-203	
Βανάδιο (V)	µg/l							0.5-7.9	<0.5-7	<0.5-4.2	
Κοβάλτιο (Co)	µg/l				20 (ΕΜΕ)		100	<5-5.2	<5	<5	
Αντιμόνιο (Sb)	µg/l							<2-2.9	<2-5.5	<2-4.2	
Κασσίτερος (Sn)	µg/l				2.2 (ΕΜΕ)			<1-14.1	<1-7.7	<1-8.6	
Θάλλιο (Tl)	µg/l							<10	<10	<10	
Βισμούθιο (Bi)	µg/l							<10-13.1	<10	<10	
Βηρύλλιο (Be)	µg/l							<2	<2	<2	
Βόριο (B)	µg/l		1000			40000		<50-116	<50-134	<2-105	
Άργουρο (Ag)	µg/l		0.01			1		<5	<5	<5-5.1	

(1) Φ.Κ.Ε.Κ. 3322-ΥΑ 1811/2011, «Ορισμός ανώτερου αποδεκτών τιμών για τη συγκέντρωση συγκεκριμένων ρεόντων, ορίων ρεόντων ή διακετών ρεόντων σε υπόγειο ύδατα, σε αρτηριακό ή επιφανειακό 2^ο βαθμό 2^{ης} τάξης, υπ' αριθμ. 29626/2208/Ε.Υ.Δ.2009/ΑΔΔΕ, υπ' αριθμ. 2075/2010»
(2) Π.Δ. 122/2006, ΥΑ 12/2608/2001 (και διάταξη υπ' αριθμ. 9/Ε.Υ.Δ. 12/2001 «Επιμέτρηση νερού ομβρίων και κατακλιμακίων») (3) Κ.Υ.Α. 51354/2018, Κ.Υ.Α.170766/2016 για ΠΗΠ (Ε.Μ.Ε. ή Μ.Ο. & Μ.Ε. ή Μ.Α.Υ.) με επανενομοκ. υπ' αριθμ. Κ.Υ.Α. 51354/2018, Κ.Υ.Α.170766/2016 «Καθορισμός Πρωτογενών Ποσοτήτων Πηλαβόλων (ΠΗΠ) για τις

Παράρτημα 6

ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΥΔΑΤΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

Παροχή αποβλήτων : 1000m³/h
 Ενεργός οξύτητα pH : 6,5 - 8,5
 Θερμοκρασία : 30 °C
 Αιωρούμενα στερεά : 30mg/l
 Διαλελυμένο οξυγόνο : 5mg/l κατ' ελάχιστον
 COD : 150ppm
 Άθροισμα λόγων συγκ. τοξ. στοιχείων : 3

ΑΣΤΙΚΑ ΛΥΜΑΤΑ

Παροχή λυμάτων : 100m³/day
 Ενεργός οξύτητα pH : 6,5 - 8,5
 Θερμοκρασία : 30 °C
 Αιωρούμενα στερεά : 35 mg/l
 BOD₅ : 25mg/l
 Ελεύθερο χλώριο : 0,7mg/l
 COD : 125mg/l
 Διαλελυμένο οξυγόνο : 5mg/l κατ' ελάχιστον
 Λίπη – Έλαια : 2 mg/l
 Ολικά κολοβακτηρίοειδη : 1000 αριθ./100ml
 Κολοβακτηρίδια : 200 αριθ./100ml

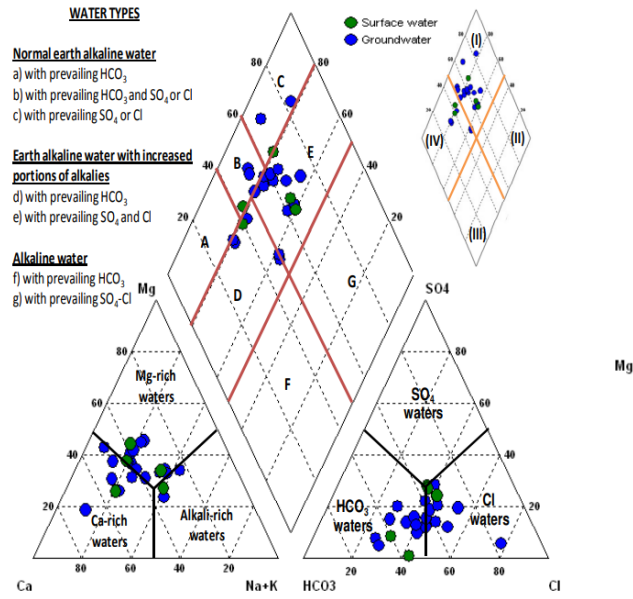
ΑΠΟΔΕΚΤΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Ενεργός οξύτητα pH : 5,5 - 8,5
 Θερμοκρασία : 25°C
 Αιωρούμενα στερεά : 25mg/l
 BOD₅ : 6ppm
 Διαλελυμένο οξυγόνο : 8mg/l κατ' ελάχιστον*
 Ολική αμμωνία : 0,005mg/l
 Νιτρώδη : 0,03mg/l
 Ολικό υπολειμματικό χλώριο : 0,005mg/l
 Pb : 20 µg/l (ετήσιος αριθμητικός μέσος όρος μετρήσεων)

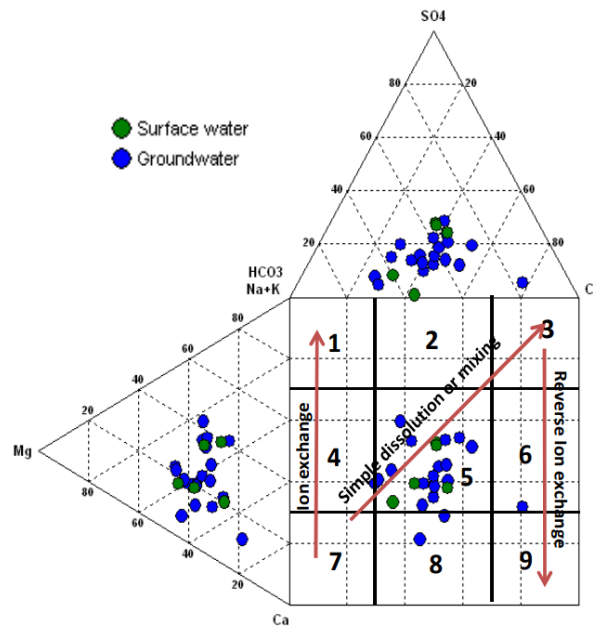
Παράρτημα 7

ΔΕΙΓΜΑ	CLUSTER	Ca (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)	Mg (mg/l)	CL (mg/l)	HCO ₃ (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	Mn (µg/L)	Mo (µg/l)	Sr (µg/L)	EC (µS/cm)
A0	1	83.0	1.8	7.4	6.8	13.0	274.5	11.2	0.5	5.5	0.3	316.9	492.0
A1	1	87.7	1.5	8.0	7.1	8.4	280.6	7.2	0.2	7.2	0.3	350.5	536.0
A2	2	116.0	1.6	15.1	14.6	26.8	285.5	73.5	13.2	62.4	2.4	509.5	741.4
A9	2	100.0	1.7	9.9	10.4	13.3	295.2	42.6	7.7	49.9	1.4	433.8	649.0
A3	2	129.0	1.7	13.2	15.5	15.7	298.9	121.8	16.3	92.8	3.0	570.4	808.5
A4	2	127.0	2.4	12.4	15.2	14.9	274.5	127.9	12.9	65.5	41.5	538.1	785.0
A5	2	114.0	1.7	13.1	13.8	16.4	258.6	109.3	12.5	46.6	24.6	474.9	719.7
A6	2	121.0	1.9	13.6	14.6	16.3	262.3	124.2	12.4	61.5	31.2	501.0	735.0
A7	2	122.0	2.0	13.4	14.6	15.0	285.5	133.7	12.7	58.2	40.6	513.1	749.7
A8	2	120.0	2.0	12.9	13.7	13.7	259.9	111.6	11.1	36.9	36.9	496.5	728.3
E1	1	62.7	0.8	3.4	5.2	6.4	197.6	9.2	0.3	0.7	0.3	596.8	357.7
E2	1	84.5	3.2	6.4	9.5	7.0	224.5	47.5	1.0	27.6	121.5	330.6	554.0
ZR1	2	149.0	2.2	23.7	25.8	20.2	350.1	151.2	13.4	167.0	3.5	391.6	1134.0
X1	1	98.1	1.3	7.9	7.6	14.6	311.1	11.0	1.2	7.4	0.2	322.1	607.1
KF1	1	98.4	0.9	5.8	5.6	8.8	305.0	6.8	0.5	12.6	0.1	367.7	532.0
PAN1	1	92.1	0.9	6.1	5.2	4.8	289.1	3.1	0.3	83.8	0.1	217.1	521.0
ZG1	1	117.0	0.9	7.5	11.5	10.7	275.7	91.1	0.2	37.5	1.0	340.6	667.0
LG1	2	106.0	1.2	10.5	19.2	12.7	325.7	51.4	1.4	44.1	1.2	407.0	670.0
K1	1	87.1	1.0	8.3	7.1	8.5	229.4	51.3	1.4	2.7	2.2	234.6	542.7
P1	3	195.0	1.8	8.2	23.6	8.9	256.2	274.1	1.2	337.5	9.8	781.8	1130.0
T1	3	421.0	21.5	42.2	44.1	61.3	329.4	1010.2	11.1	216.0	1027.3	2275.4	2150.0
ZM1	1	92.7	1.6	5.9	13.9	13.3	276.9	71.7	0.3	5.5	6.5	527.3	630.6
ZT1	3	225.0	7.8	18.5	24.8	25.6	305.0	318.4	1.8	75.2	445.2	1194.3	1312.0
SIK1	3	236.0	1.5	8.5	14.6	9.6	97.6	532.8	0.7	291.8	2.2	630.4	1170.0

Παράρτημα 8



Παράρτημα 9



Παράρτημα 10

	ΧΩΡΕΜΙ			ΚΥΠΑΡΙΣΣΙΑ			ΜΑΡΑΘΟΥΣΑ		
	min	max	μ.ο.	min	max	μ.ο.	min	max	μ.ο.
ppm Μη επί ξηρού	40	147	74	61	151	101	61	146	81

Παράρτημα 11

	Amynteon lignites	Ptolemais lignites ^a	Drama lignites ^b	Most coals ^c	USA lignites ^d	Beyazari lignites ^e
Sb	23-204	0.2-0.7	1.1-8.1	0.05-10	0.1-5.2	1-3
B	14-80	19-36	nd	5-40	2-70	107-477
Ba	176-608	39-186	128-196	20-1000	nd	13-292
Cd	1-5	0.3-1	nd	0.1-3	<0.1-5.5	0.3-0.7
Co	1-5	2-5	1-6	0.5-30	0.1-43	1-26
Cu	7-36	9-26	nd	0.5-50	0.3-433	2-92
Cr	15-107	32-86	8-41	0.5-60	0.3-87	13-352
F	730-1300	nd	nd	20-500	nd	nd
Pb	2-47	1.4-13	nd	2-80	0.3-129	2-34
Mn	46-230	nd	nd	5-300	1-1075	4-251
Mo	1-76	0.4-2	18-38	0.1-10	<0.3-280	3-13
Ni	11-90	19-77	nd	0.5-50	0.52-84	51-418
Zn	129-407	47-70	8-41	5-300	1-486	6-227

Παράρτημα 12

	ΧΩΡΕΜΙ			ΚΥΠΑΡΙΣΣΙΑ			ΜΑΡΑΘΟΥΣΑ		
	min	max	μ.ο.	min	max	μ.ο.	min	max	μ.ο.
ppm Mn στην τέφρα	106	485	222	175	461	264	188	427	268

Παράρτημα 13

Table 2 Trace elements (ppmw) in the fly ash from the Megalopolis lignite fields

	Range of nine samples	Mean	Typical concentration in coal ^a	Range ^a	Global coal ash range ^b	Earth's crust ^c	Lignite ash ^d	Lignite ash ^e
As	7-35	18	10	0.5-80	0.03-800	1.8	178	n.a. ^f
Be	1-2	1.4	-	-	-	2.8	n.a.	3
Cd	1-2.5	1.6	0.5	0.1-3	<0.1-700	0.2	< 3	n.a.
Cr	45-94	67	20	0.5-60	0.3-150	100	262	204
Co	20-44	35	5	0.5-30	3-150	25	30	20
Cu	15-46	31	15	0.5-50	18-270	88	177	62
Pb	11-26	20	40	2-80	<2-1500	20	85	13
Mo	5-25	14	3	0.1-10	3-200	1.5	28	< 5
Ni	68-138	85	20	0.5-60	5-450	75	245	160
Se	1-3	2.1	1	0.2-10	0.03-0.3	0.05	< 3	n.a.
Sr	36-98	78	200	15-500	30-3000	375	453	332
V	145-275	188	40	2-100	10-1250	135	265	131
Zn	44-116	85	50	5-300	3-6.2%	70	101	75

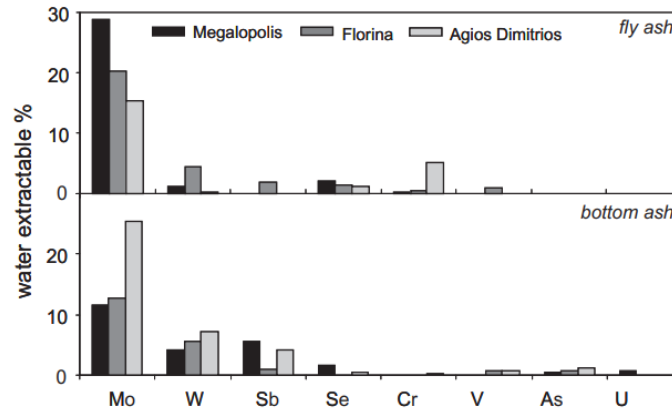
Παράρτημα 14

	ΧΩΡΕΜΙ			ΚΥΠΑΡΙΣΣΙΑ			ΜΑΡΑΘΟΥΣΑ		
	min	max	μ.ο.	min	max	μ.ο.	min	max	μ.ο.
ppm Mo επί ξηρού	5	107	52	19	153	82	28	101	41

Παράρτημα 15

	ΧΩΡΕΜΙ			ΚΥΠΑΡΙΣΣΙΑ			ΜΑΡΑΘΟΥΣΑ		
	min	max	μ.ο.	min	max	μ.ο.	min	max	μ.ο.
ppm Mo στην τέφρα	12	360	148	58	373	212	99	319	136

Παράρτημα 16



Παράρτημα 17

Table 1. Concentrations of Mo in mining-affected waters.

Mine	Ore Type	Mine Activity	Type	Mean or Range Mo Concentration (ug/l)	Reference
13 historic mines within the San Antonio-El Tirolito district, Mexico	Au-Ag-Pb-Zn-As	1878-1911	Groundwater	<5-150	Wuri et al. [12]
Yläjärvi mine, Finland	Cu-W-As	1943-1966	Groundwater 8.1 m from tailings surface	32.3	Parvainen et al. [13]
Laver mine, Sweden	Cu-Ag-Au	1936-1946	Göteborgsbäcken brook, 2004-2005, dissolved fraction (<0.22 µm)	0.3	Alakangas et al. [13]
Gyama Cu-polymetallic plant, central Tibet	Cu-polymetallic	mid-15th century; 1990-present	River water	0.6-9.7	Huang et al. [14]
Bilya mine, Turkey	Pb-Zn-Ag	early 1880s-late 1940s	Kocacay river water and acid mine drainage, leachate, pH 0.16-0.82	1.12, 1.28	Aykol et al. [21]
San Telmo mine, Iberian Pyrite Belt, Spain	Cu	1970-1989	Acid mine drainage, leachate, pH 0.16-0.82	10,400	Sánchez-España et al. [7]
Antamina mine, Peru	Cu-Zn-Mo	2002-present	Mine drainage, pH 2.2-8.4, median 7.9	10-13,900	Skarzschan et al. [8]
Machali, Calbucoal Province, Chile	Cu porphyry	1819-present	Tailings impoundment channel water	2670-3900	Smuda et al. [9]
Nickel Rim mine, Sudbury, Canada	Ni-Cu	1953-1958	Tailings pore water	<0.005	Lindsay et al. [10]
Yläjärvi mine, Finland	Cu-W-As	1943-1966	Tailings pore water	1.28-209	Parvainen et al. [11]
Greens Creek mine, Alaska, USA	Zn-Ag-Pb-Au	1889-1993, 1996-present	Vadose zone pore-water; tailings pore-water	<5-15, <5-1900	Lindsay et al. [10]
Sherridon mine, Manitoba, Canada	Zn-Cu-Au-Ag	1930-1932, 1937-1951	Tailings pore water	<5-1100	Lindsay et al. [10]
Nowa Rada Coalfield mine, Poland	Coal	n.r.	Deionised water extracts of mine waste	2,332,000	Chady et al. [6]
Guideline values for Mo					
Type of limit	Value (ug/l)	Organisation	Reference		
Drinking water	70	World Health Organization	WHO [15]		
Irrigation water in all soils	5	US Department of the Interior	US Department of the Interior [22]		
Surface water	70	SEPA & AQSIQ, China	SEPA & AQSIQ [23]		
Protection of aquatic life in freshwater	73	Canada	CCME [14]		
Groundwater standard for inactive uranium mines	100,000	US EPA	US EPA [25]		