

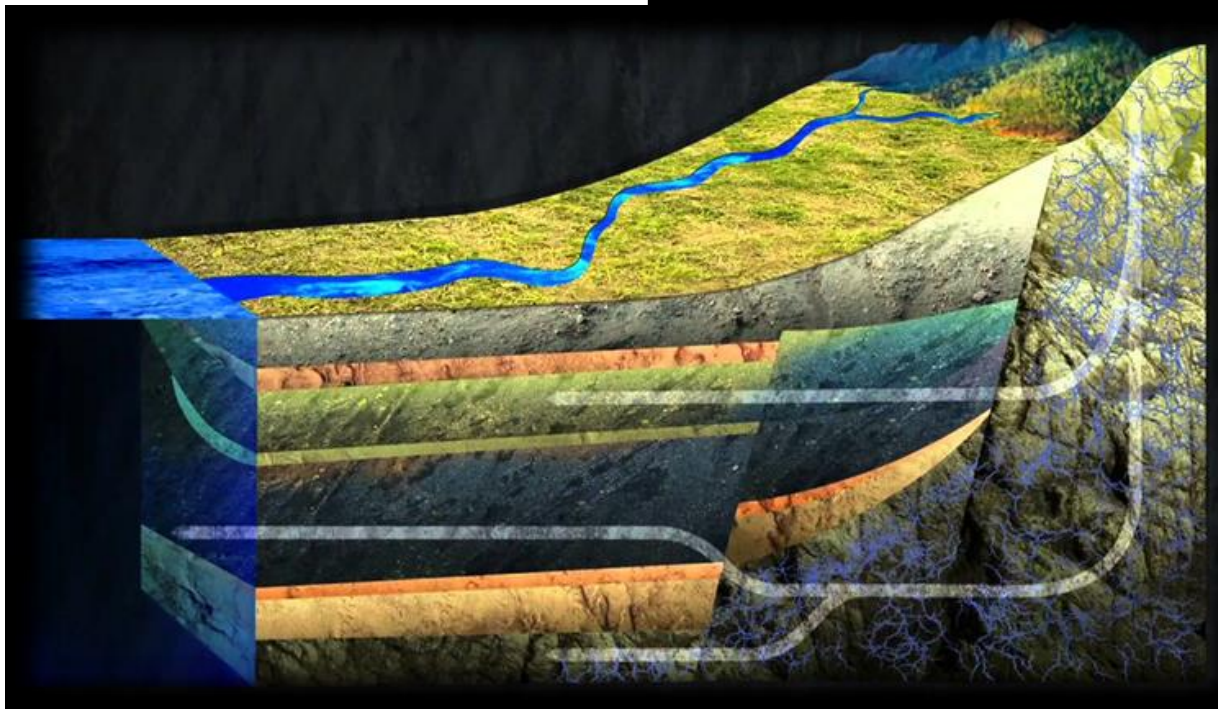


ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Χανιά, 2021

«Διερεύνηση ποσοτικής και ποιοτικής κατάστασης των υπογείων υδάτων στην περιοχή των Μαλίων (Ν. Ηρακλείου) με ανάλυση και συσχέτιση ιστορικών δεδομένων»



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΑΓΓΕΛΟΠΟΥΛΟΥ ΑΡΤΕΜΙΣ

"Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για μη κερδοσκοπικό σκοπό, εκπαιδευτικού ή ερευνητικού χαρακτήρα, με την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για άλλη χρήση θα πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης".

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



«Διερεύνηση ποσοτικής και ποιοτικής κατάστασης των υπογείων υδάτων στην περιοχή των
Μαλίων (Ν. Ηρακλείου) με ανάλυση και συσχέτιση ιστορικών δεδομένων»

Διπλωματική Εργασία

Αγγελοπούλου Άρτεμις

Τριμελής Επιτροπή:

Καθηγητής Καρατζάς Γεώργιος (Επιβλέπων)

Καθηγητής Νικολαΐδης Νικόλαος

Δρ. Νεραντζάκη Σοφία

Χανιά, Οκτώβρης 2021

Στη μητέρα μου

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η αυξημένη ζήτηση σε νερό, έχει οδηγήσει στην υπερεκμετάλλευση του υπόγειου υδατικού δυναμικού. Στις μεσογειακές χώρες, όπου το κλίμα τους χαρακτηρίζεται από χαμηλά ύψη βροχόπτωσης, η ανάπτυξη των καλλιεργειών και η άρδευσή τους βασίζεται σχεδόν αποκλειστικά στα υπόγεια ύδατα. Λόγω της μικρής διάρκειας των βροχοπτώσεων, η περίοδος άντλησης από τον υπόγειο υδροφορέα είναι μεγάλη (μεγαλύτερη από 6 μήνες) και ο ρυθμός άντλησης ανεξέλεγκτος και μη ορθολογικός, με συνέπειες τόσο περιβαλλοντικές όσο και οικονομικές (Αποστολάκη, 2005).

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως σκοπό την διερεύνηση της ποσοτικής και ποιοτικής κατάστασης των υπόγειων υδάτων στο Νομό Ηρακλείου, συγκεκριμένα στην περιοχή των Μαλίων με ανάλυση και συσχέτιση ιστορικών υδρολογικών και χημικών δεδομένων. Η διάνοιξη των γεωτρήσεων και η κατασκευή του αγωγού μεταφοράς του νερού στην πόλη του Ηρακλείου ξεκίνησε το 1959 και ολοκληρώθηκε το 1963. Η καταγραφή των δεδομένων διεξήχθη, την περίοδο 1986 έως 2005. Καταγράφηκαν συνολικά 7 μεταβλητές (pH, Αγωγιμότητα, Σκληρότητα, Στάθμη, Χλωριόντα, Νιτρικά και Θεϊκά), σε 11 πηγάδια παρατήρησης.

Πρώτα, λόγω αυξημένης ύπαρξης υφαλμύρινσης στην περιοχή, ερευνήθηκε η συσχέτιση μεταξύ Χλωριόντων-Αγωγιμότητας, Θεϊκών Ιόντων-Αγωγιμότητας και Σκληρότητας-Αγωγιμότητας. Στη συνέχεια, με την ανάλυση SEM, εντοπίστηκαν οι τυποποιημένοι συντελεστές παλινδρόμησης και βρέθηκε ο συντελεστής προσδιορισμού (R^2) που δείχνει το ποσοστό της διακύμανσης για κάθε εξαρτημένη μεταβλητή που εξηγείται από τις στατιστικά σημαντικές ανεξάρτητες μεταβλητές στάθμη και βροχόπτωση. Η μέθοδος επιβεβαιώθηκε, με την ανάπτυξη ενός εύχρηστου αλγορίθμου, που συντέλεσε στον έλεγχο συσχέτισης ανάμεσα στην αθροιστική βροχόπτωση και την εκάστοτε μεταβλητή που μελετάται, και τα αποτελέσματα καταγράφηκαν μέσω του μαθηματικού λογισμικού «Matlab R2021a».

Σύμφωνα με την καταγραφή των αποτελεσμάτων, τα συμπεράσματα που δόθηκαν επιβεβαίωσαν την ύπαρξη υφαλμύρινσης στην περιοχή, με τις συγκεντρώσεις των χλωριούχων και θεϊκών ιόντων να εμφανίζουν ισχυρή συσχέτιση με την αγωγιμότητα. Η βροχόπτωση, επηρεάζει σημαντικά τα επιφανειακά νιτρικά φορτία και συμβάλει στην αύξηση της συγκέντρωσής τους στον υπόγειο υδροφορέα. Οι τρεις παράμετροι που επηρεάζονται από την υφαλμύρινση (χλωριόντα, σκληρότητα και αγωγιμότητα), όπως ήταν αναμενόμενο, επηρεάζονται σε μικρό βαθμό από τη βροχόπτωση. Δεδομένου ότι, οι μετρήσεις για κάποιες μεταβλητές είναι ιδιαίτερα ελλιπείς και κατά συνέπεια υπάρχει μεγάλο ποσοστό αβεβαιότητας, εξετάστηκαν δύο τρόποι συσχέτισης των μεταβλητών, με σκοπό την καλύτερη και εγκυρότερη προσέγγιση των αποτελεσμάτων.

ABSTRACT

The increased demand for water has led to the overexploitation of underground water potential. In Mediterranean countries, where their climate is characterized by low rainfall Heights, crop growth and irrigation are based almost exclusively on groundwater. Due to the short duration of rainfall, the period of pumping from the underground aquifer is long (more than 6 months) and the pumping rate is uncontrolled and not rational, with consequences both environmental and economic (Apostolaki, 2005).

This thesis aims to investigate the quantitative and qualitative status of groundwater in the prefecture of Heraklion, specifically in the area of Malia, by analyzing and correlating historical hydrological and chemical data. The drilling and construction of the water pipeline in the city of Heraklion began in 1959 and was completed in 1963. The data was recorded between 1986 and 2005. A total of 7 variables (pH, conductivity, hardness, water level, chlorides, nitrates and sulfates) were recorded in 11 observation wells.

First, due to increased salinization presence in the area, the correlation between chloride-conductivity, sulfate - ion-conductivity and hardness-conductivity was investigated. Then, with the SEM analysis, the standard regression coefficients were identified and the determination coefficient (R^2) was found showing the percentage of variation for each dependent variable, explained by the statistically significant independent variables, level and precipitation. The method was confirmed, with the development of an easy-to-use algorithm, which contributed to the correlation control between the cumulative rainfall and the variable being studied, ; the results were recorded through the mathematical software "Matlab R2021a".

The results confirmed the existence of brackish water in the area, with the concentrations of chloride and sulfate ions showing a strong correlation with conductivity. Precipitation significantly affects surface nitrate loads and contributes to increasing their concentration in the underground aquifer. The three parameters related to brackish water (chlorides, hardness and conductivity), as expected, are affected to a small extent by precipitation. Since there is a lot of missing data for some variables and there is a large amount of uncertainty, two ways of correlating the variables were examined, in order to better and more robustly estimate the results.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου Γεώργιο Καρατζά αρχικά, διότι η διδασκαλία του με οδήγησε στην ενασχόληση με τον κλάδο των Υδατικών Πόρων και στη συνέχεια για την ανάθεση του θέματος και την πολύτιμη καθοδήγηση που μου παρείχε, κατά τη διάρκεια του ακαδημαϊκού έτους. Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή Νικόλαο Νικολαΐδη για την συμμετοχή του στην εξεταστική επιτροπή, καθώς και για την σημαντική βοήθεια του για τη διεκπεραίωση της διπλωματικής μου εργασίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την επιστημονική συνεργάτιδα Δρ. Σοφία Νεραντζάκη, για την καθοδήγηση, τις ατελείωτες ώρες που δέχθηκε για μένα, την πολύτιμη βοήθεια που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας καθώς και για την συμμετοχή της στην εξεταστική επιτροπή. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ. Ιωάννη Τριχάκη για την εμπιστοσύνη του, την βοήθεια του, την ενθάρρυνση που μου προσέφερε καθώς και για την ιδιαίτερη συμβολή του στην ενασχόληση μου με τον κλάδο των Υδατικών Πόρων.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, τους γονείς μου και την αδερφή μου, διότι με τη στήριξη τους υλικά, ψυχικά και με κάθε τρόπο, ήταν δίπλα μου, όχι μόνο τα τελευταία πέντε χρόνια αλλά και σε κάθε βήμα μου και χωρίς τη δική τους παρουσία, δεν θα μπορούσε να επιτευχθεί κανένας απ' τους στόχους μου. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την φοιτήτρια και φίλη Μαρία Σκυλακάκη της Σχολής Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, για την πολύ σημαντική βοήθεια που μου προσέφερε στην ψηφιοποίηση των μετρήσεων.

Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ.Σοφίου, για την παραχώρηση σημαντικών εγγράφων που συντέλεσαν στην διεξαγωγή των αποτελεσμάτων, καθώς και τον κ.Γραμματικάκη για την καθοδήγηση του, στην περιοχή και τις χρήσιμες πληροφορίες που μου προσέφερε.

Περιεχόμενα

.....	0
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ABSTRACT	5
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	6
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	11
1.1 Πρόλογος	11
1.2 Σκοπός της Διπλωματικής Εργασίας.....	11
2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	12
2.1 Υδρολογικός κύκλος	12
2.2 Κύκλος του αζώτου	1314
2.3 Κύκλος του θείου	1516
2.4 Επίδραση των ρύπων στην ποιότητα του νερού.....	1717
2.5 Φυσικές Ιδιότητες της Ποιότητας του Νερού	1718
2.5.1 Φυσικοί Παράμετροι Ποιότητας Πόσιμου Νερού.....	1818
2.6 Χημικές Ιδιότητες Ποιότητας του Νερού.....	1920
2.6.1 Χημικοί Παράμετροι Ποιότητας Πόσιμου Νερού.....	2020
2.7 Το φαινόμενο της υφαλμύρισης	2223
3. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	2425
3.1 Η περιοχή μελέτης	2425
3.3 Γεωλογία της περιοχής	2526
3.4 Υδρογεωλογική δομή της λεκάνης των Μαλίων	2829
3.5 Χρήσεις γης.....	3031
3.6 Μετεωρολογικές συνθήκες στην περιοχή μελέτης.....	3232
4. ΔΕΔΟΜΕΝΑ-ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	3232
4.1 Βροχοπτώσεις	3232
4.2 Βροχομετρικά δεδομένα	3333
4.3 Πηγάδια Παρατήρησης	3636
4.4 Υπό μελέτη μεταβλητές	4848
4.4 Συσχετίσεις μεταξύ μεταβλητών	6061
4.4 Ανάλυση Παλινδρόμησης.....	6061

4.5 Μεθοδολογία εκτίμησης συσχέτισης μεταξύ μεταβλητών και βροχόπτωσης σε προηγούμενα χρονικά βήματα (R)	6364
4.6 Μεθοδολογία εκτίμησης συσχέτισης μεταξύ μεταβλητών και αθροιστικής βροχόπτωσης (Matlab)	6465
4.7 Ερμηνεία του Δείκτη συσχέτισης r και R^2	6566
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ	6667
5.1 Συσχέτιση Αγωγιμότητα –CL– – SO4 – σκληρότητα	6768
5.2 Ανάλυση Παλινδρόμησης	6970
5.3 Συσχέτιση μεταξύ μεταβλητών και βροχόπτωσης σε προηγούμενα χρονικά βήματα	7071
5.4 Συσχέτιση μεταξύ μεταβλητών και αθροιστικής βροχόπτωσης	7273
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	7576
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	7980

Πίνακας Περιεχομένων Εικόνων

Εικόνα 1 : Εικονική αναπαράσταση του υδρολογικού κύκλου [U.S.G.S., 2021]	1313
Εικόνα 2 : Εικονική αναπαράσταση με μορφή διαγράμματος, του κύκλου του αζώτου [Τρούγκος, 2017]	1415
Εικόνα 3 : Εικονική αναπαράσταση του κύκλου του αζώτου, για τις αγροτικές καλλιέργειες [Τρούγκος, 2017]	1515
Εικόνα 4 : Εικονική αναπαράσταση του κύκλου του θείου [Πανεπιστήμιο Κρήτης, 2020]	1617
Εικόνα 5: Άντληση υφάλμυρου νερού από γεώτρηση κοντά στην ακτή, [Αβραμίδου, 2007]	2424
Εικόνα 6: Απεικόνιση της περιοχής μελέτης από το πρόγραμμα Google Earth, 2021	2525
Εικόνα 7: Απεικόνιση της περιοχής μελέτης από το πρόγραμμα Google Earth, 2021	2525
Εικόνα 8: Στρωματογραφική διάρθρωση των νεογενών και αλπικών σχηματισμών της ευρύτερης περιοχής ενδιαφέροντος κατά τον γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ κλίμακας 1:50.000. Φύλλο Μαχάς, έτος έκδοσης 1989.	2626
Εικόνα 9: Γεωλογικός χάρτης της περιοχής, Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωλογίας 2012	2727
Εικόνα 10: Γεωλογικός Χάρτης Πηγαδιών Παρατήρησης, Αποκεντρωμένη Διοίκηση Κρήτης 2021	2828
Εικόνα 11: Υδρολογική λεκάνη Μαλίων, Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωλογίας 2012	2929
Εικόνα 12: Απεικόνιση της περιοχής μελέτης και των πηγαδιών παρατήρησης μέσω του λογισμικού Weap	3030
Εικόνα 13: Χάρτης χρήσεων γης στην περιοχή μελέτης, Αποκεντρωμένη Διοίκηση Κρήτης 2021	3131
Εικόνα 14: Ισούτετες καμπύλες Νήσου Κρήτης και η περιοχή μελέτης, Δ.Ε.Υ.Α. Μαλίων	3232
Εικόνα 15 Χάρτης απεικόνισης μετεωρολογικών δεδομένων βροχόπτωσης και εντοπισμού βροχομετρικών σταθμών (Δεδομένα βροχόπτωσης 1930-2006), Αποκεντρωμένη Διοίκηση Κρήτης 2021	3333
Εικόνα 16: Χάρτης Απεικόνισης Απόστασης- Βροχομετρικού σταθμού Αβδού από την περιοχή μελέτης, Αποκεντρωμένη Διοίκηση Κρήτης 2021	3434
Εικόνα 17: Χάρτης Απεικόνισης Απόστασης- Βροχομετρικού σταθμού Τζερμιάδου από την περιοχή μελέτης, Αποκεντρωμένη Διοίκηση Κρήτης 2021	3434
Εικόνα 18: Χάρτης Απεικόνισης Απόστασης- Βροχομετρικού σταθμού Έξω Ποταμοί από την περιοχή μελέτης, Αποκεντρωμένη Διοίκηση Κρήτης 2021	3535
Εικόνα 19 : Αθροιστική Βροχόπτωση Σταθμών Παρατήρησης	3535
Εικόνα 20: Πρόσφατη Απεικόνιση της Γεώτρησης Ν1-Αγγελοπούλου Άρτεμις, Μάλια 2022	3838
Εικόνα 21: Πρόσφατη Απεικόνιση της Γεώτρησης Ν2-Αγγελοπούλου Άρτεμις, Μάλια 2022	3939
Εικόνα 22: Πρόσφατη Απεικόνιση της Γεώτρησης Ν3α-Αγγελοπούλου Άρτεμις, Μάλια 2022	4040
Εικόνα 23: Πρόσφατη Απεικόνιση της Γεώτρησης Ν3β-Αγγελοπούλου Άρτεμις, Μάλια 2022	4141
Εικόνα 24: Πρόσφατη Απεικόνιση της Γεώτρησης Ν4-Αγγελοπούλου Άρτεμις, Μάλια 2022	4242
Εικόνα 25: Πρόσφατη Απεικόνιση της Γεώτρησης Ν5-Αγγελοπούλου Άρτεμις, Μάλια 2022	4343
Εικόνα 26: Πρόσφατη Απεικόνιση της Γεώτρησης Ν6-Αγγελοπούλου Άρτεμις, Μάλια 2022	4444
Εικόνα 27: Πρόσφατη Απεικόνιση της Γεώτρησης Ν8-Αγγελοπούλου Άρτεμις, Μάλια 2022	4545
Εικόνα 28: Πρόσφατη Απεικόνιση της Γεώτρησης Ν9-Αγγελοπούλου Άρτεμις, Μάλια 2022	4646
Εικόνα 29: Πρόσφατη Απεικόνιση της Γεώτρησης Ν9-Αγγελοπούλου Άρτεμις, Μάλια 2022	4747
Εικόνα 30: Γραφική απεικόνιση μετρήσεων pH από το 1986 έως το 1999 και για τα 11 πηγάδια παρατήρησης	4849
Εικόνα 31: Διάγραμμα διαδρομών του θεωρητικού μοντέλου που συνδέει τη βροχόπτωση με τη στάθμη και τις χημικές μεταβλητές που μετρήθηκαν	6263
Εικόνα 32: Κώδικας ανάλυσης Μοντέλου Δομικών Εξισώσεων (SEM) σε συνδυασμό με ανάλυση διαδρομής (path analysis) για την περίπτωση της συγκέντρωσης των νιτρικών ιόντων	6364
Εικόνα 33: Κώδικας εκτίμησης της αλληλοσυσχέτισης μεταξύ της συγκέντρωσης των νιτρικών ιόντων και της βροχόπτωσης σε διάφορα χρονικά βήματα	6364
Εικόνα 34: Κώδικας Δημιουργίας Γραφημάτων Συσχέτισης στο παράδειγμα χρησιμοποιείται χρονικό βήμα 100 ημερών	6465

Πίνακας Περιεχομένων Πινάκων

Πίνακας 1: Υψόμετρα βροχομετρικών σταθμών.....	3332
Πίνακας 2: Αθροιστική Βροχόπτωση Σταθμών Παρατήρησης	3534
Πίνακας 3: Αναλυτική κατάταξη υπερβάσεων των ορίων αγωγιμότητας	5049
Πίνακας 4: Αναλυτική κατάταξη υπερβάσεων των ορίων χλωριόντων.....	5453
Πίνακας 5:Αναλυτική κατάταξη μέσων όρων χλωριόντων.....	5554
Πίνακας 6: Αναλυτική κατάταξη των τυπικών αποκλίσεων των χλωριόντων	5554
Πίνακας 7:Αναλυτική κατάταξη των μέσων όρων θειικών ιόντων.....	5756
Πίνακας 8: Αναλυτική κατάταξη τυπικών αποκλίσεων θειικών ιόντων	5756
Πίνακας 9:Αναλυτική κατάταξη τυπικών αποκλίσεων νιτρικών ιόντων.....	5958
Πίνακας 10:Αναλυτική κατάταξη μέσων όρων νιτρικών ιόντων	5958
Πίνακας 11: Αποτελέσματα ανάλυσης από τα Μοντέλα Δομικής Εξίσωσης (SEM). Τυποποιημένοι και απλοί συντελεστές παλινδρόμησης για τη στάθμη και τη βροχόπτωση και συντελεστής προσδιορισμού των μοντέλων.	6968
Πίνακας 12: Βέλτιστες συσχετίσεις μεταξύ στάθμης και βροχόπτωσης με υστέρηση.....	7069
Πίνακας 13: Βέλτιστες συσχετίσεις μεταξύ συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων και βροχόπτωσης με υστέρηση.	7170
Πίνακας 14: Βέλτιστες συσχετίσεις μεταξύ συγκέντρωσης θειικών ιόντων και βροχόπτωσης με υστέρηση.....	7170

Πίνακας Γραφημάτων

Figure 1: Γραφική απεικόνιση μετρήσεων pH από το 1986 έως το 1999 και για τα 11 πηγάδια παρατήρησης.....	4849
Figure 2 : Γραφική απεικόνιση μετρήσεων Αγωγιμότητας από το 1986 έως το 2005 και για τα 11 πηγάδια παρατήρησης	4950
Figure 3: Γραφική απεικόνιση μετρήσεων Σκληρότητας από το 1986 έως το 1999 και για τα 11 πηγάδια παρατήρησης	5152
Figure 4: Γραφική απεικόνιση μετρήσεων Στάθμης Παρατήρησης από το 1986 έως το 1999 και για τα 11 πηγάδια παρατήρησης	5253
Figure 5: Γραφική απεικόνιση μετρήσεων Χλωριόντων από το 1986 έως το 1999 και για τα 11 πηγάδια παρατήρησης	5354
Figure 6: Γραφική απεικόνιση μετρήσεων Νιτρικών από το 1986 έως το 1999 και για τα 11 πηγάδια παρατήρησης	5657
Figure 7: Γραφική απεικόνιση μετρήσεων Θειικών από το 1986 έως το 1999 και για τα 11 πηγάδια παρατήρησης	5859
Figure 8: Αποτελέσματα συσχέτισης χλωριόντων -αγωγιμότητας για το πηγάδι 1	6768
Figure 9:Αποτελέσματα συσχέτισης θειικών ιόντων – χλωριόντων για το Πηγάδι 1.....	6869
Figure 10:Αποτελέσματα συσχέτισης αγωγιμότητας-σκληρότητας για το Πηγάδι 1	6870
Figure 11: Αποτελέσματα συσχέτισης pH-βροχόπτωσης για το πηγάδι 8.....	7374
Figure 12: Αποτελέσματα συσχέτισης αγωγιμότητας-βροχόπτωσης για το πηγάδι 8 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ- ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΗΓΑΔΙ 8	7374
Figure 13 : Αποτελέσματα συσχέτισης σκληρότητας-βροχόπτωσης για το πηγάδι 1	7374
Figure 14: Αποτελέσματα συσχέτισης στάθμης παρατήρησης-βροχόπτωσης για το πηγάδι 4	7375
Figure 15: Αποτελέσματα συσχέτισης χλωριούχων ιόντων-βροχόπτωσης για το πηγάδι 1	7475
Figure 16 : Αποτελέσματα συσχέτισης θειικών ιόντων-βροχόπτωσης για το πηγάδι 4.....	7475
Figure 17: Αποτελέσματα συσχέτισης νιτρικών ιόντων-βροχόπτωσης για το πηγάδι 4	7476

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Πρόλογος

Η αύξηση της λειψυδρίας παγκοσμίως, οι αυστηροί κανονισμοί για την ανάπτυξη της βιομηχανίας του νερού και για την προστασία του περιβάλλοντος είναι δύο σημαντικές προκλήσεις, που αντιμετωπίζουν οι επιστήμονες που ειδικεύονται στην εφαρμογή ολοκληρωμένης διαχείρισης των υδάτινων πόρων. (Bahri & Lazarova, 2005)

Οι υπόγειοι υδατικοί πόροι είναι από τις σημαντικότερες πηγές νερού για τις ανθρώπινες ανάγκες. Η εντατική χρησιμοποίηση των υδατικών πόρων και η μεγάλη παραγωγή αποβλήτων από τη σύγχρονη κοινωνία έχει ως αποτέλεσμα την υποβάθμιση της ποιότητας του νερού πολλών υπόγειων υδροφόρων στρωμάτων και την απειλή υποβάθμισης πολλών άλλων. Η ρύπανση των υπόγειων νερών, προκαλείται από τη διάθεση των υγρών αποβλήτων απ' ευθείας στα επιφανειακά και τα υπόγεια νερά, την απόθεση στερεών και υγρών αποβλήτων πάνω ή κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, τις μη σημειακές πηγές ρύπανσης των αγροτικών δραστηριοτήτων και τη χρήση διαφόρων χημικών ουσιών στις διάφορες παραγωγικές διαδικασίες. Λόγω του μεγάλου αριθμού των ουσιών που υπάρχουν στο νερό, η ποιότητα του υπόγειου νερού μπορεί πρακτικά να εκφραστεί με πολλές παραμέτρους. Η σπουδαιότητα αυτών των ουσιών εξαρτάται από τη χρήση του νερού. Η εντατική χρησιμοποίηση των φυσικών υδατικών πόρων και η μεγάλη παραγωγή αποβλήτων στη σύγχρονη κοινωνία, αποτελούν απειλή για την ποιότητα των υπόγειων νερών. (Αντωνόπουλος, 2000)

Ο κίνδυνος που εμπεριέχει η διάθεση αποβλήτων στο περιβάλλον εξαρτάται από το είδος της ουσίας, την ποσότητα, τα χαρακτηριστικά τους και τα πιθανά προβλήματα που μπορεί να προκαλέσουν στο περιβάλλον και τον άνθρωπο. (Yong et al, 1992) (Αντωνόπουλος, 2000)

Αποκλειστική πηγή νερού για κάθε είδους ανάγκη στην περιοχή των Μαλίων, όπως και σε πολλές παραθαλάσσιες περιοχές, αποτελεί το υπόγειο νερό που αντλείται στην επιφάνεια των πηγαδιών και γεωτρήσεων. Η βιωσιμότητα και η οικονομική ανάπτυξη της περιοχής, συνδέονται άρρηκτα με τη διατήρηση και αύξηση των πηγών νερού υψηλής ποιότητας, για την κάλυψη των αυξημένων αναγκών, που επάγει η αγροτική και τουριστική ανάπτυξη. Μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί στην περιοχή έχουν περιγράψει το υδρογεωλογικό υπόβαθρό της, την υδροχημεία και τις διαδρομές εμπλουτισμού του υδροφορέα με φρέσκο μετεωρικό νερό. (Κνιθάκης, 1989) (Δασκαλάκη, 2008)

1.2 Σκοπός της Διπλωματικής Εργασίας

Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία περιλαμβάνονται βασικές αρχές, που διαμορφώνουν την ποιότητα και τη ρύπανση των υπόγειων νερών. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην περιοχή των Μαλίων Ηρακλείου, όπου με την συσχέτιση 7 μεταβλητών (pH, Αγωγιμότητα, Σκληρότητα, Στάθμη, Χλωριόντα, Νιτρικά και Θειικά) με την βροχόπτωση, δημιουργούνται συμπεράσματα για την περιοχή μελέτης από το 1986 έως το 2005. Ο κύριος στόχος είναι, να ελεγχθεί ποσοτικά και ποιοτικά η κατάσταση των υπογείων υδάτων της περιοχής μέσα στην πάροδο του χρόνου, καθώς παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον λόγω των αυξημένων αναγκών της περιοχής σε νερό. Σκοπός είναι, να διεξαχθούν συμπεράσματα για τον τρόπο χρήσης του νερού, ώστε να εκτιμηθούν ενδεχόμενες επιπτώσεις (εντατικοποίηση των αντλήσεων, αλόγιστη χρήση φυτοφαρμάκων) σε βάρος του υπόγειου υδροφορέα.

2.ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

2.1 Υδρολογικός κύκλος

Ως υδρολογικός κύκλος ή κύκλος του νερού, νοείται η ύπαρξη καθώς και η κυκλοφορία αυτού στην επιφάνεια, κάτω και πάνω από τη Γη. Σύμφωνα με αυτόν το νερό βρίσκεται σε αέναη κίνηση και αλλάζει συνεχώς από υγρή μορφή σε αέρια ή στερεή και αντίστροφα. Ο υδρολογικός κύκλος συνεχίζεται για δισεκατομμύρια χρόνια και αποτελεί θεμέλιο λίθο για τη ζωή στη Γη. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 1-1 αποτελείται από διάφορες διαδικασίες που πραγματοποιούνται μεταξύ της ατμόσφαιρας, ξηράς και θάλασσα. (U.S.G.S, 2017)

Οι διαδικασίες που αποτελούν τον υδρολογικό κύκλο είναι οι:

- Εξατμισοδιαπνοή
- Κατακρημνίσματα-Βροχόπτωση
- Επιφανειακή απορροή
- Διείσδυση στο υπέδαφος

Η εξατμισοδιαπνοή αναφέρεται στην ποσότητα νερού, που επιστρέφει στην ατμόσφαιρα μέσω της αναπνοής και της εξάτμισης. Διακρίνεται σε δύο κατηγορίες: α) την δυνητική εξατμισοδιαπνοή, δηλαδή την απώλεια ύδατος που μπορεί να συμβεί, αν δεν υπάρξει απώλεια ύδατος εντός του εδάφους για χρήση από την βλάστηση, για καμία χρονική στιγμή. β) την πραγματική εξατμισοδιαπνοή, δηλαδή το πραγματικό ποσό της εξατμισοδιαπνοής που λαμβάνει χώρα σε συνθήκες πεδίου. (Καρατζάς, 2020)



Εικόνα 1 : Εικονική αναπαράσταση του υδρολογικού κύκλου [U.S.G.S., 2021]

Τα κατακρημνίσματα, αποτελούνται από όλες τις μορφές με τις οποίες μπορεί το νερό να φτάσει στην επιφάνεια του εδάφους, όπως για παράδειγμα μέσω τις βροχής. Οι μορφές βροχοπτώσεων βάσει του φυσικού μηχανισμού δημιουργίας τους διακρίνονται σε: α) Βροχοπτώσεις που οφείλονται σε κινήσεις θερμών και ψυχρών μετώπων (Frontal Precipitation) β) Βροχοπτώσεις που οφείλονται σε φαινόμενα μεταφοράς θερμότητας (Convective Process) γ) Βροχοπτώσεις που οφείλονται σε ορογραφικές επιδράσεις (Orographic Effects) Για να υπολογιστεί το ύψος της βροχόπτωσης σε μια περιοχή απαιτείται μεγάλος αριθμός ομοιόμορφα κατανεμημένων βροχόμετρων για να υπολογιστεί με σωστό τρόπο ο μέσος όρος του πραγματικού ύψους. (Καρατζάς, 2020)

Η επιφανειακή απορροή, περιλαμβάνει μέρος της ποσότητας των κατακρημνισμάτων που δεν κατακρατείται από το έδαφος και δημιουργεί ποτάμια τα οποία καταλήγουν σε λίμνες είτε στην θάλασσα. Τέλος η διείσδυση στο υπέδαφος, περιλαμβάνει την ποσότητα των κατακρημνισμάτων που εισχωρεί στο έδαφος και εμπλουτίζει τους υπόγειους υδροφορείς αποτελώντας ένα σημαντικό παράγοντα στην υδρολογία της εκάστοτε περιοχής.

2.2 Κύκλος του αζώτου

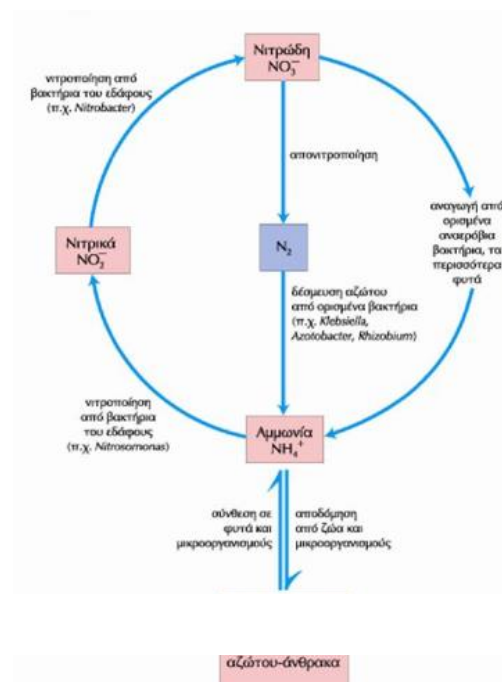
Το άζωτο αποτελεί ένα σημαντικό χημικό στοιχείο για τη ζωή, καθώς είναι συστατικό πολλών βιομορίων και απαιτείται από τους οργανισμούς για την σύνθεση πρωτεϊνών, νουκλεοτιδίων και άλλων αζωτούχων ενώσεων, όπως είναι τα φωσφολιπίδια.

Τα ευκαρυωτικά κύτταρα και η πλειοψηφία των μικροοργανισμών δεν μπορούν να χρησιμοποιήσουν το μοριακό άζωτο της ατμόσφαιρας (N_2). Έτσι, ενώ αφθονεί στην ατμόσφαιρα, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί πρέπει να μετατραπεί σε αξιοποιήσιμες μορφές, διαδικασία που γίνεται μέσω της αζωτοδέσμευσης.

Η αζωτοδέσμευση διεξάγεται μέσω της ατμόσφαιρας και μέσω μικροοργανισμών. Όσον αφορά στους μικροοργανισμούς, πραγματοποιείται η βιολογική αζωτοδέσμευση από ελεύθερους ή συμβιωτικούς μικροοργανισμούς. Σημαντικότερα αζωτοδεσμευτικά βακτήρια είναι αυτά που ζουν συμβιωτικά στις ρίζες των ψυχανθών σε ειδικά εξογκώματα (φυμάτια). Αυτά τα βακτήρια έχουν την ικανότητα να δεσμεύουν το ατμοσφαιρικό άζωτο και να το μετατρέπουν σε νιτρικά ιόντα, τα οποία μπορούν να απορροφηθούν από τα ψυχανθή. Η βιολογική αζωτοδέσμευση κατέχει το 90% της συνολικής αζωτοδέσμευσης. Η νιτροποίηση περιλαμβάνει τη διαδικασία κατά την οποία η αμμωνία που συγκεντρώνεται στο έδαφος, υφιστάμενη τη δράση των νιτροποιητικών βακτηρίων του εδάφους, μετατρέπεται τελικά σε νιτρικά ιόντα τα οποία παραλαμβάνονται από τα φυτά. Η νιτροποίηση της αμμωνίας πραγματοποιείται από αερόβια νοξειδωτικά βακτήρια. Τα νιτροποιητικά βακτήρια είναι χημειολιθότροφα και αποκτούν την απαιτούμενη ενέργεια για την ανάπτυξή τους από την οξείδωση ανόργανων ενώσεων και τον άνθρακα από το CO_2 (κύκλος φωσφορικών πεντοζών).

Εκτός από την αυτότροφη νιτροποίηση υπάρχει και η ετερότροφη, η οποία επιτελείται από μύκητες, ακτινομύκητες και βακτήρια. Η απονιτροποίηση πραγματοποιείται από τα απονιτροποιητικά βακτήρια με τη μετατροπή των νιτρικών ιόντων σε μοριακό άζωτο, το οποίο επιστρέφει στην ατμόσφαιρα.

Η απονιτροποίηση έχει αρνητικές επιπτώσεις στη γεωργία, αφού ουσιαστικά έχουμε απώλεια λιπάσματος. Εντούτοις, είναι απαραίτητη στην επεξεργασία αποβλήτων, ειδικά ως δημιουργούμε συνθήκες ευτροφισμού στον τελικό αποδέκτη των επεξεργασμένων λυμάτων, π.χ. λίμνες, ποτάμια. (Βενιέρη, 2017)



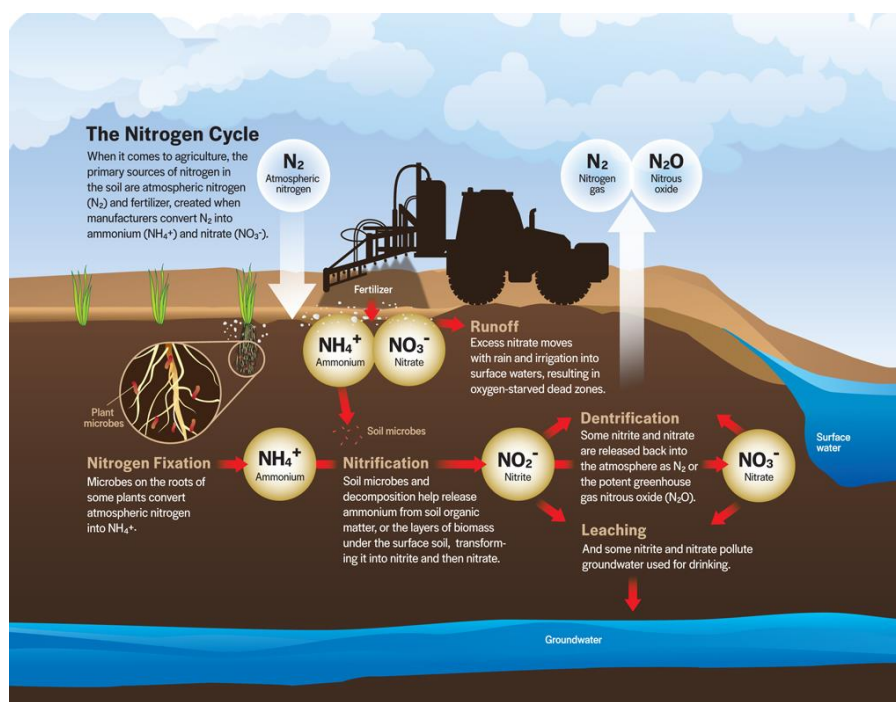
Εικόνα 2 : Εικονική αναπαράσταση με μορφή διαγράμματος, του κύκλου του αζώτου [Τρούγκος, 2017]

2.3 Κύκλος του θείου

Το θείο είναι ένα σημαντικό στοιχείο, τόσο από γεωχημική όσο και βιολογική άποψη. Η σημασία του ανάγεται στην παρουσία του σε ορισμένα αμινοξέα. Ο κύκλος του θείου είναι μια φυσική διαδικασία δια μέσου της οποίας λαμβάνει χώρα κυκλική μεταφορά του θείου από την ατμόσφαιρα στο έδαφος και τα φυτά, διαμέσου φυσικών διαδικασιών με τη βοήθεια αποσυνθετικών βακτηρίων και μυκήτων. Η κυκλική αυτή διαδικασία εξασφαλίζει την ύπαρξη του θείου σε επαρκείς ποσότητες προκειμένου να χρησιμοποιηθεί στις βιολογικές/βιοχημικές διαδικασίες.

Το θείο υπάρχει στη φύση σε διάφορες βαθμίδες οξείδωσης και μπορεί εύκολα να μετατραπεί από μια κατάσταση οξείδωσης σε άλλη. Οι πιο σημαντικές βιοχημικές αντιδράσεις λαμβάνουν χώρα όταν βρίσκεται στην ανόργανη μορφή του. Οι αντιδράσεις του θείου που καταλύονται από βακτήρια λαμβάνουν χώρα στο έδαφος, καθώς εκεί μεταφέρεται διαμέσου των βροχοπτώσεων.

Το θείο εισέρχεται στην ατμόσφαιρα ως υδρόθειο (H_2S) με τη χρήση των καυσίμων, από τις εκρήξεις ηφαιστειών, από την ανταλλαγή αερίων στην επιφάνεια των ωκεανών και από την αναερόβια αποικοδόμηση οργανικών ενώσεων. Στη



Εικόνα 3 : Εικονική αναπαράσταση του κύκλου του αζώτου, για τις αγροτικές καλλιέργειες [Τρούγκος, 2017]

συνέχεια, το H_2S οξειδώνεται προς SO_2 , το οποίο με τους υδρατμούς δημιουργεί H_2SO_4 που μεταφέρεται στο έδαφος με τις βροχοπτώσεις (φαινόμενο όξινης βροχής). Το θείο σε διαλυτή μορφή κυρίως θεικών ιόντων, δεσμεύεται από τα

2.4 Επίδραση των ρύπων στην ποιότητα του νερού

Οι επιδράσεις των ρύπων στο νερό εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά του νερού καθώς και την περιεκτικότητα και τα χαρακτηριστικά του κάθε ρύπου. Σε κάθε περίπτωση, το νερό μπορεί να χαρακτηριστεί με βάση τα φυσικά, χημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά του, τα οποία ουσιαστικά καθορίζουν την ικανότητά του να απορροφά ή να αφομοιώνει ορισμένους ρύπους χωρίς αυτοί να αποδομούνται. Για παράδειγμα, στους μεγάλους ποταμούς απορροφώνται μεγαλύτερες ποσότητες ρύπων σε σχέση με τους μικρούς ποταμούς. Η ποιότητα του νερού μπορεί να επηρεαστεί από τις διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες, οι οποίες αυξάνουν τις συγκεντρώσεις σε διαλυτοποιημένους ή αιωρούμενους ρύπους, μεταβάλλουν την οξύτητα των τελικών αποδεκτών νερού και/ή αυξάνουν τη θερμοκρασία του νερού. Ο βαθμός στον οποίο οι ανθρώπινες δραστηριότητες μεταβάλλουν την ποιότητα του νερού ενός ποταμού μπορεί να καθοριστεί μέσω δειγματοληψίας και σύγκρισης της χημείας του νερού και της χλωρίδας και πανίδας στην υπό μελέτη περιοχή με μια περιοχή αναφοράς όπου δεν λαμβάνουν χώρα ανθρώπινες δραστηριότητες.

Η ποσότητα των ρύπων που καταλήγουν στα νερά καθορίζεται από διάφορους παράγοντες όπως είναι οι διάφορες πρακτικές διαχείρισης γης, τα χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής, οι χημικές ιδιότητες του ρύπου και οι ποσότητες των ρύπων που απελευθερώνονται στο περιβάλλον. Η παρουσία ρύπων είναι πιο σύννηθες φαινόμενο σε υδατικά ρεύματα και μικρού βάθους υδροφορείς μη περιορισμένης έκτασης. Οι περιορισμένης έκτασης υδροφορείς γενικότερα βρίσκονται σε μεγαλύτερο βάθος και κάτω από την επιφάνεια της γης και προστατεύονται από στρώματα σχετικά αδιαπέραστων υλικών τα οποία μπορούν να εμποδίσουν την κίνηση του ρυπασμένου νερού.

Η ρύπανση των υπογείων νερών είναι πολύ δύσκολο να αντιμετωπιστεί κατά μέρος, εξαιτίας του αργού ρυθμού με τον οποίο κινείται το νερό. Για παράδειγμα, ορισμένα μικροβιοκτόνα μπορεί να προκαλέσουν επιβλαβείς συνέπειες σε ανθρώπους, ζώα και φυτά εάν αυτά εκτεθούν σε πολύ υψηλά επίπεδα για χρονικά διαστήματα. Ανάλογα με τη συκέντρωση των ρύπων, μπορεί να προκληθούν ασθένειες όπως καρκίνος και δυσλειτουργία του νευρικού συστήματος. (Νάκου, 2014)

2.5 Φυσικές Ιδιότητες της Ποιότητας του Νερού

Οι φυσικές ιδιότητες αφορούν στη χροιά, τη διαύγεια, την οσμή, τη γεύση, τη θερμοκρασία και την αγωγιμότητα. Τα επιτρεπόμενα όρια, για όλα τα στοιχεία που περιέχονται στο νερό, καθορίζονται από την Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας (WHO). Επιπλέον, για το συγκεκριμένο θέμα έχει πάρει μέρος και η Ευρωπαϊκή Κοινότητα, ενώ υπάρχει και σχετική Υγειονομική διάταξη της ελληνικής νομοθεσίας. Σε περίπτωση που τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων σ' ένα νερό υπερβαίνουν τις ανώτερες παραδεκτές συγκεντρώσεις που ορίζει η Υγειονομική Διάταξη, τότε το νερό θα κριθεί ακατάλληλο ή θα γίνει η λήψη κατάλληλων μέτρων για τον καθαρισμό του (π.χ. χλωρίωση, καθίζηση, προστασία πηγής) (Νάκου, 2014).

2.5.1 Φυσικοί Παράμετροι Ποιότητας Πόσιμου Νερού

➤ Χρώμα (Color)

Η ύπαρξη χρώματος, δηλώνει ότι το πόσιμο νερό είναι ανεπιθύμητα κάτι το οποίο οφείλεται κυρίως στην παρουσία χρωστικών ουσιών εν διαλύσει, είτε φυτικών από ρίζες φυτών, φύλλα δέντρων, είτε οργανικών ή ανόργανων όπως είναι τα (άλατα και σίδηρος από διάβρωση των σωλήνων) Η ύπαρξη του χρώματος δεν σημαίνει ότι το πόσιμο νερό είναι πάντα επικίνδυνο. Γι' αυτό το λόγο πρέπει πρώτα να εξεταστεί χημικά έτσι ώστε να αναζητηθεί από τι προέρχεται το χρώμα. Επιπλέον, δεν υπάρχει προτεινόμενο επιτρεπτό όριο για το χρώμα στο πόσιμο νερό (Πάππα , 2001).

➤ Θολερότητα (Turbidity)

Η θολερότητα οφείλεται κυρίως σε κολλοειδείς ανόργανες ή οργανικές ύλες που αιωρούνται. Όταν το νερό είναι θολό πρέπει να γίνει έλεγχος για ρύπανση. Ακόμη, τα αιωρούμενα στερεά καθιζάνουν και προκαλούν προβλήματα στις σωληνώσεις και στις δεξαμενές. Επίσης, όταν καταναλώνουμε νερό που είναι θολό μπορεί να προκαλέσει σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία. Η απολύμανση του πόσιμου νερού δεν είναι αποτελεσματική αν υπάρχει θολότητα, γιατί πολλοί παθογόνοι οργανισμοί εγκλωβίζονται στα σωματίδια που αιωρούνται και προστατεύονται από το απολυμαντικό. Επίσης, τα σωματίδια μπορεί να απορροφήσουν επιβλαβείς οργανικές ή ανόργανες ουσίες. Τέλος, το πόσιμο νερό πρέπει να είναι διαυγές όταν φτάσει στον καταναλωτή (Πάππα , 2001).

➤ Οσμή και Γεύση (Odor – Taste)

Το πόσιμο νερό πρέπει να είναι άοσμο και άγευστο. Όλα τα νερά έχουν την ιδιαίτερη γεύση τους που οφείλεται στα διαλυμένα άλατα και διαλυμένα αέρια που περιέχουν. Όσο αφορά την υγεία, η γεύση και η οσμή στο νερό συνήθως δεν θεωρείται σημαντική. Φυσικά όμως καλύτερο θα ήταν να μην υπάρχει στο πόσιμο νερό, γιατί τις περισσότερες φορές οφείλεται είτε σε χημικές ουσίες είτε σε μικροοργανισμούς. Νερό με έντονη οσμή πιθανόν να είναι ρυπασμένο, οπότε πρέπει να εξετασθεί για να βρεθεί η αιτία, κυρίως αν υπάρξει απότομη αλλαγή (Πάππα , 2001).

➤ Θερμοκρασία (Temperature)

Η θερμοκρασία του νερού είναι πολύ σημαντικός παράγοντας εφόσον επηρεάζει κατά πολύ τη γεύση του. Όσο περισσότερο αυξάνεται η θερμοκρασία το νερό είναι λιγότερο εύγευστο διότι εκδιώκονται τα διαλυμένα σ' αυτό αέρια. Η πλέον ευχάριστη γεύση είναι μεταξύ 5-15 °C (κυρίως 9-10 °C). Όταν η θερμοκρασία του νερού υπερβαίνει τους 15 °C πολλαπλασιάζονται τα μικρόβια με αποτέλεσμα να έχει δυσάρεστη γεύση και να κρίνεται ακατάλληλο (Πάππα , 2001).

➤ Αγωγιμότητα (Conductivity)

Αγωγιμότητα) Η αγωγιμότητα είναι η αριθμητική έκφραση της ικανότητας ενός υδατικού διαλύματος να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα. Αυτή η ικανότητα εξαρτάται από τα εξής:

- Από την παρουσία ιόντων
- την ολική τους συγκέντρωση
- Το σθένος και τις επιμέρους συγκεντρώσεις τους, και
- Την θερμοκρασία μέτρησης.

Η αγωγιμότητα στα νερά αυξάνει με την θερμοκρασία. Η αύξηση της οφείλεται σε ρύπανση από ανόργανα λιπάσματα (χλωριούχα, νατριούχα κ.λπ.) ή σε διείσδυση θαλασσινού νερού. Μονάδα μέτρησης της αγωγιμότητας είναι τα $\mu S/cm$. Επιπλέον, προτεινόμενο επιτρεπτό όριο για την αγωγιμότητα είναι τα **2500 $\mu S/cm$** στους 20°C στο πόσιμο νερό (Πάππα, 2001).

2.6 Χημικές Ιδιότητες Ποιότητας του Νερού

Το νερό πρέπει να περιέχει άλατα σε περιορισμένη ποσότητα. Όταν δεν περιέχει καθόλου άλατα, δεν έχει γεύση και δεν είναι υγιεινό τότε αυτό οδηγεί στην αύξηση της εσωτερικής πίεσης των κυττάρων και συνεπώς στην διόγκωσή τους. Από την άλλη μεριά όταν η παρουσία των διαλυμένων αλάτων είναι υψηλή αυτό έχει ως συνέπεια τη συρρίκνωση των κυττάρων. Επιπλέον, εκτός από άλατα μπορεί να περιέχει και δραστικές ουσίες από μέταλλα. Η ύπαρξη των ουσιών αυτών προέρχονται από τα εδάφη ή οφείλονται στην ανάμειξη του νερού με εργοστασιακά ή οικιακά απόβλητα. Στο νερό, συνεπώς, πρέπει να γίνεται έλεγχος για την ύπαρξη παραμέτρων που αφορούν σε τοξικές ουσίες. Ο έλεγχος της χημικής σύστασης του νερού είναι απολύτως αναγκαίες. (Νάκου, 2014)

2.6.1 Χημικοί Παράμετροι Ποιότητας Πόσιμου Νερού

➤ pH

Το pH δηλώνει πόσο όξινο ή πόσο αλκαλικό είναι το νερό. Η κλίμακα που μετριέται το pH είναι από 0 έως 14, με τιμές κάτω του 7 να δηλώνουν ότι το νερό είναι περισσότερο όξινο, ενώ τιμές άνω του 7 ότι το νερό είναι περισσότερο αλκαλικό. Το pH αναφέρεται στην συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου (H^+) και ιόντων υδροξυλίου (OH^-) τα οποία βρίσκονται σε ένα διάλυμα και ορίζεται ως ο αρνητικός δεκαδικός λογάριθμος της συγκέντρωσης των ιόντων υδρογόνου $[H^+]$ στο διάλυμα ($pH = -\log[H^+]$). Όσο περισσότερα ιόντα υδρογόνου υπάρχουν στο νερό τόσο πιο όξινο είναι αυτό και η τιμή του pH είναι <7 το διάλυμα όπου περιέχει ίση ποσότητα ιόντων H^+ και OH^- λέμε ότι είναι "ουδέτερο" και έχει τιμή pH ίση με 7. Υψηλότερη περιεκτικότητα σε ιόντα υδροξυλίου χαρακτηρίζει αντίστοιχα το νερό ως αλκαλικό με τιμή $pH > 7$. (Wikipedia, 2021)

Η κλίμακα του pH είναι λογαριθμική, πράγμα που σημαίνει ότι για μεταβολή της τιμής του pH κατά μία μονάδα, έχουμε δέκα φορές περισσότερη συγκέντρωση από τα αντίστοιχα ιόντα. Δηλαδή ένα διάλυμα με τιμή $pH = 6$ είναι κατά δέκα φορές πιο όξινο από ότι ένα άλλο με τιμή $pH = 7$, ένα διάλυμα με τιμή $pH = 5$ είναι κατά εκατό φορές πιο όξινο από ένα άλλο με τιμή $pH = 7$. Επιπλέον, νερά με $pH > 10$ ή με $pH < 4$ προκαλούν ερεθισμό στα μάτια και στο δέρμα. Τα περισσότερα νερά στη φύση έχουν pH μεταξύ 6 και 9. Επομένως το pH δεν έχει άμεση επίπτωση στην υγεία, αλλά επηρεάζει τη διαβρωτικότητα του νερού. (Φωτίου & Κολοβός, 2004)

➤ Σκληρότητα

Η σκληρότητα εκφράζει την συγκέντρωση των διαλυμένων αλάτων ασβεστίου και μαγνησίου και εξαρτάται από τα πετρώματα που έχει περάσει το νερό. Ο όρος σκληρότητα χρησιμοποιείται για τον χαρακτηρισμό των νερών που δεν αφρίζουν καλά όταν χρησιμοποιούνται για πλύσιμο με σαπούνι και αφήνουν λευκά αποθέματα πουριού στην εσωτερική επιφάνεια οικιακών συσκευών. Μεγάλες τιμές σκληρότητας δεν αποτελούν κίνδυνο για την υγεία αντιθέτως έχει βρεθεί συσχέτιση μεταξύ αυξημένης σκληρότητας και μείωση των καρδιοαγγειακών παθήσεων. (Βασιλικιώτη & Φυτιανού, 1986)

Επιπλέον, διακρίνεται σε ανθρακική (ή παροδική) σκληρότητα που οφείλεται στα όξινα ανθρακικά (δισανθρακικά) άλατα και μη ανθρακική (μόνιμη) σκληρότητα που οφείλεται στα υπόλοιπα άλατα (χλωριούχα, θειικά, νιτρικά, ανθρακικά). Επιπλέον, νερά με σκληρότητα μέχρι και 500 mg/l CaCO_3 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πόσιμο, αλλά οι πιο καλές τιμές είναι μεταξύ 80 και 150 mg/l CaCO_3 . Τέλος, ανώτατο επιτρεπτό όριο για την σκληρότητα έχουμε στα 1500 mg/l CaCO_3 . (Φωτίου & Κολοβός, 2004)

➤ Χλωριούχα (Chlorides, Cl)

Τα χλωριόντα στο πόσιμο νερό προέρχονται από φυσικές πηγές, λύματα και βιομηχανικά απόβλητα. Επίσης, από διείσδυση θαλασσινού νερού και από αστικές απορροές που περιέχουν ουσίες που χρησιμοποιούνται για την τήξη πάγου και χιονιού. Όμως, η κύρια πηγή έκθεσης του ανθρώπου στα χλωριούχα είναι από την προσθήκη αλατιού στα τρόφιμα, μέσω των οποίων η πρόσληψη σε αλάτι είναι πολύ μεγαλύτερη από την πρόσληψη μέσω του πόσιμου νερού. Η αυξημένη συγκέντρωση χλωριούχων αυξάνει την ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού και κατ' επέκταση τον βαθμό διάβρωσης των μετάλλων στο σύστημα διανομής, σε συνάρτηση πάντα με την αλκαλικότητα του νερού. Από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (ΠΟΥ) δεν προτείνεται συγκεκριμένη τιμή για τα χλωριούχα στο πόσιμο νερό, που να βασίζεται σε κριτήρια υγείας. (Νάκου, 2014)

Ωστόσο, οι συγκεντρώσεις χλωριούχων στο πόσιμο νερό άνω των **250 mg/l**, προσδίδουν ενδεχομένως μια χαρακτηριστική γλυφή γεύση στο νερό και για το λόγο αυτά τα χλωριούχα έχουν ορισθεί ως ενδεικτική παράμετρος με παραμετρική τιμή 250 mg/l. Σε περίπτωση που θα απαιτηθεί η λήψη επανορθωτικών μέτρων για την αποκατάσταση της ποιότητας του νερού, θα πρέπει οι καταναλωτές να ενημερώνονται σχετικά, εκτός από τις περιπτώσεις κατά τις οποίες οι αρμόδιες Αρχές κρίνουν ότι η μη τήρηση των παραμετρικών τιμών είναι άνευ σημασίας. (Φωτίου & Κολοβός, 2004)

➤ Θειικά (Sulphates, SO₄*)

Αποτελούν συστατικό πολλών ορυκτών και υπάρχουν σε μεγάλες ποσότητες στα φυσικά νερά. Χρησιμοποιούνται σε πολλές βιομηχανίες. Συγκεκριμένα χρησιμοποιούνται σε (χημικές, γυαλιού, χάρτου, υφαντουργίες), στα λιπάσματα, στα εντομοκτόνα και σαν κροκιδωτικά στην επεξεργασία του νερού. Ακόμη, εμφανίζονται στην ατμόσφαιρα σαν δευτερογενής ρύπος και αποτίθενται στο έδαφος και τα νερά σαν "άξινη βροχή". Τα θειικά άλατα του νατρίου, ασβεστίου και μαγνησίου σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες των 700 mg/l δίνουν στο πόσιμο νερό μια πολύ δυσάρεστη γεύση.

Συγκεκριμένα, το θεικό μαγνήσιο σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες των 600 mg/l έχει καθαριστική δράση. Τα θειικά άλατα συμβάλλουν στη διάβρωση των σωληνώσεων. Η παραμετρική τιμή είναι 250 mg/l. Σε μεγάλες περιεκτικότητες θετικών ιόντων το νερό δρα ως καθαριστικό. Περιεκτικότητα όμως, μεγαλύτερη από **250 mg/l** σε θειικά ιόντα, καθιστά τη χρήση των νερών προβληματική για πόση (προσδίδει γεύση) και βιομηχανική χρήση. Γενικά το θείο και οι ενώσεις του ευθύνονται για τα προβλήματα οσμών και διαβρώσεων. (Πάππα, 2001)

➤ Νιτρώδη (NO₂)-Νιτρικά (NO₃)

Τα πόσιμα νερά που περιέχουν μεγάλες ποσότητες νιτρικών υπάρχει κίνδυνος να προκαλέσουν στα παιδιά την ασθένεια μεθαιμογλοβιναιμία, λόγω της αναγωγής τους σε νιτρώδη. Τα νιτρώδη και νιτρικά, στο περιβάλλον του στομάχου, σχηματίζουν νιτροζοενώσεις οι οποίες είναι καρκινογόνες. Τα νιτρικά, των αζωτούχων λιπασμάτων, που εισχωρούν στο νερό και στη συνέχεια στο στομάχι του ανθρώπου, με την βοήθεια βακτηριδίων μετατρέπονται σε νιτρίδια που αντιδρούν με το υδροχλωρικό οξύ του στομάχου και σχηματίζουν νιτρώδες οξύ. Αυτό ενώνεται με αμίνες και δίνει τις νιτροσαμίνες οι οποίες προκαλούν την επάρατο ασθένεια του στομάχου, των εντέρων και αλλού. Επίσης, τα νιτρίδια αντιδρούν με την αιμοσφαιρίνη του αίματος και την καθιστούν αδύναμη να μεταφέρει οξυγόνο στο ποσοστό που χρειαζόμαστε. (Πάππα, 2001)

Η Ε.Ε. συγκαταλέγει τα νιτρικά και τα νιτρώδη στις παραμέτρους που αφορούν τις ανεπιθύμητες ουσίες. Επιπλέον θεσπίζει ως ανώτατο επιτρεπτό όριο συγκέντρωσης για τα νιτρώδη: $0,1 \text{ mg/l} = 100 \text{ }\mu\text{g/l}$ (για κατανάλωση 2l νερού ημερησίως). Τα νιτρικά και τα νιτρώδη εξετάζονται μαζί εξαιτίας της μετατροπής από την μια μορφή στην άλλη που συμβαίνει στο περιβάλλον. Οι επιδράσεις των νιτρικών στην υγεία είναι γενικώς το αποτέλεσμα της εύκολης μετατροπής τους σε νιτρώδη πάντα στο ανθρώπινο σώμα. Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας έχει προτείνει ως ανώτατη επιτρεπόμενη τιμή συγκέντρωσης των νιτρικών στο πόσιμο νερό τα **50 mg/l** . Αυτό το όριο έχει θεσπιστεί και στην Ελληνική και την Ευρωπαϊκή νομοθεσία. Η παραμετρική τιμή για τα νιτρικά είναι και 50 mg/l . Η παραμετρική τιμή για τα νιτρώδη είναι οι $0,50 \text{ mg/l}$. (Φωτίου & Κολοβός, 2004)

2.7 Το φαινόμενο της υφαλμύρινης

Με τον όρο υφαλμύριση, σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Περιβαλλοντικό Οργανισμό (European Environmental Agency, EEA), περιγράφεται το φυσικό φαινόμενο το οποίο προσβάλλει όλους τους παράκτιους υπόγειους υδροφορείς. Στις παράκτιες περιοχές, το θαλασσίνο νερό έρχεται σε επαφή με το γλυκό και δεν αναμειγνύονται, καθώς το αλμυρό νερό είναι βαρύτερο λόγω της μεγαλύτερης πυκνότητάς του. Σε περίπτωση μείωσης της στάθμης του γλυκού νερού, αυτό έρχεται σε επαφή με το αλμυρό και χλωριούχα ιόντα το εμπλουτίζουν, καθιστώντας το ακατάλληλο για κάθε χρήση.

Η υφαλμύριση είναι, μία κατάσταση πολύ δύσκολα αντιστρεπτή με αποτέλεσμα το νερό που έχει μετατραπεί σε υφάλμυρο να μην μπορεί πλέον να χρησιμοποιηθεί. Αυτό έχει αντίκτυπο στους εξής τομείς. Οι ποσότητες των γλυκών νερών, που κρίνονται ακατάλληλες, είτε λόγω ρύπανσης από νιτρικά ή βαρέα μέταλλα, είτε λόγω υφαλμύρισης είναι ποσότητες που αφαιρούνται από τα ανανεώσιμα αποθέματα, με αποτέλεσμα την όξυνση του προβλήματος της επάρκειας των υπόγειων υδάτων. Επίσης, το φαινόμενο έχει αντίκτυπο στο γεωργικό τομέα, στη βιομηχανία και στον τουρισμό. Επηρεάζει με τον τρόπο αυτό τη ζωή του ανθρώπου και την ανάπτυξή του σε κοινωνικό και οικονομικό επίπεδο. Η υφαλμύριση, μπορεί να οφείλεται σε φυσικά αίτια όπως διάφοροι γεωλογικοί παράγοντες, συχνά όμως οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες είναι αυτές οι οποίες επιδεινώνουν την κατάσταση και εντείνουν το πρόβλημα (Βουδούρης, 2003, Λατινόπουλος, 2007).

Οι γεωλογικοί παράγοντες, που ευθύνονται για το πρόβλημα της υφαλμύρισης είναι οι ακόλουθοι:

- Η διάλυση των πετρωμάτων που φιλοξενούν το υπόγειο νερό, ειδικά όταν πρόκειται για πετρώματα πλούσια σε άλατα
- Η εισχώρηση του θαλασσινού νερού στο υπόγειο μέσω ρηγμάτων, διακλάσεων και ρωγμών
- Η παγίδευση του θαλασσινού νερού από παλαιότερες γεωλογικές εποχές στα πετρώματα
- Η ανύψωση της στάθμης της θάλασσας, οι καθοδικές κινήσεις της ξηράς ή ο συνδυασμός και των δυο

Οι ανθρωπογενείς παράγοντες, που επηρεάζουν το φαινόμενο σχετίζονται κυρίως με την υπεράντληση των υπόγειων υδάτων, σε περιοχές οι οποίες είναι παραθαλάσσιες. Το αποτέλεσμα είναι, η πτώση της στάθμης του γλυκού νερού και η είσοδος του αλμυρού στους υπόγειους υδροφορείς. Η υφαλμύριση όμως, μπορεί να προκληθεί και από τις παρακάτω ανθρωπογενείς δραστηριότητες.

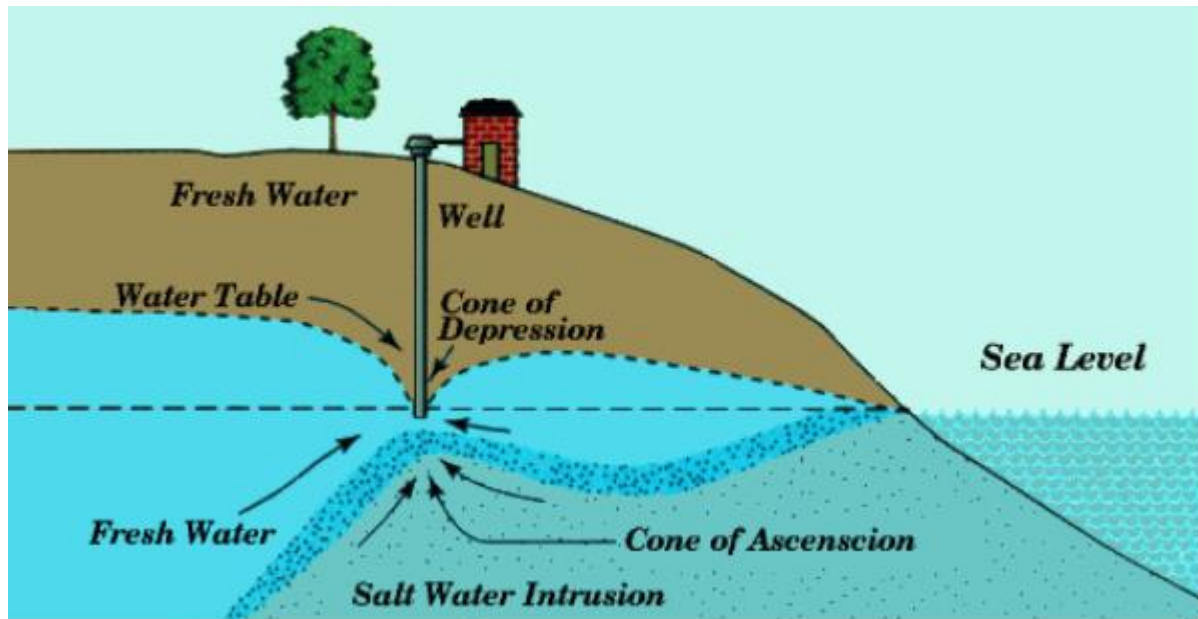
- Νερό υφάλμυρο που προέρχεται από απόβλητα βιομηχανιών ή ορυχείων μπορεί να εισέλθει στον υδροφορέα
- Το αλάτι που χρησιμοποιείται το χειμώνα ώστε να λιώσει το χιόνι στους δρόμους, μπορεί μέσω των φρεατίων να εισέλθει στο υπόγειο νερό
- Η απόρριψη άλμης των εργοστασίων αφαλάτωσης (ιδίως σε νησιά) μπορεί να προκαλέσει υφαλμύριση του υπογείου νερού, ειδικά εάν η απόρριψη γίνει σε σημείο κοντά στην ακτή
- Σε περίπτωση που το νερό που χρησιμοποιείται για άρδευση εκπλύνει το έδαφος, συγκεντρώνει διαλυμένα άλατα και εισχωρήσει στους υπόγειους υδροφορείς, τότε προκαλείται υφαλμύριση

Το νερό της θάλασσας, δε θεωρείται κατάλληλο ώστε να μπορεί να το χρησιμοποιήσει ο άνθρωπος. Δεν ενδείκνυται, ούτε για αστική χρήση αλλά ταυτόχρονα δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί ούτε και για την άρδευση των καλλιεργειών, καθώς η συσσώρευση των αλάτων καταστρέφει την παραγωγικότητα των εδαφών. Τέλος, δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί ούτε και στη βιομηχανία. Η μόνη χρήση η οποία αποδίδεται στο θαλασσινό νερό είναι να αποτελέσει περιβάλλον σε ιχθυοκαλλιέργειες. (Αβραμίδου, 2007)

Η υφαλμύριση διαπιστώνεται από την παρουσία ιόντων, κυρίως χλωρίου και νατρίου, μέσα στο γλυκό νερό. Υπάρχει σημαντικός αριθμός δεικτών που βοηθούν στην εξακρίβωση της προέλευσης των ιόντων αυτών και προσδιορίζουν τη διεύθυνση της θάλασσας στους υπόγειους υδροφορείς.

Αν και όσον αφορά την περιεκτικότητα του χλωρίου δεν υπάρχουν ακριβείς τιμές, γενικά ισχύει ότι για τιμές $Cl < 300 \text{ mg/l}$ το νερό θεωρείται γλυκό, για τιμές $300 < Cl < 4.000 - 5.000 \text{ mg/l}$ υφάλμυρο και για τιμές $Cl > 5.000 \text{ mg/l}$ θεωρείται αλμυρό. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι το πόσιμο νερό έχει περιεκτικότητα σε $Cl < 150 - 250 \text{ mg/l}$, ενώ το νερό της θάλασσας περιέχει. Οι σε τιμές από $18.000 - 34.000 \text{ mg/l}$. (Σούλιος, 2004)

Κύριος στόχος πάντα είναι να διαπιστωθεί και να μελετηθεί πλήρως το φαινόμενο της υφαλμύρισης, καθώς η αντιμετώπισή του είναι ιδιαίτερα δύσκολη και χρονοβόρα, ενώ συχνά δεν επιφέρει τα επιθυμητά αποτελέσματα. Ο λόγος της δυσκολίας αυτής οφείλεται στο γεγονός πως εκτός από την ανάμειξη του αλμυρού με το γλυκό νερό, ταυτόχρονα συμβαίνει και ιοντοανταλλαγή. Τα γλυκά νερά θεωρούνται όξινα ανθρακικά ασβεστούχα ($\text{Ca}^{+2}\text{-HCO}^{-3}$) και τα θαλασσινά χλωριονατριούχα ($\text{Na}^{+}\text{-Cl}^{-}$). Με τη διαδικασία της ιοντοανταλλαγής, απελευθερώνεται ασβέστιο Ca^{+2} και δεσμεύεται νάτριο Na^{+} στα ιζήματα, που φιλοξενούν το υπόγειο γλυκό νερό. (Αβραμίδου, 2007)



Εικόνα 5: Άντληση υφάλμυρου νερού από γεώτρηση κοντά στην ακτή, [Αβραμίδου, 2007]

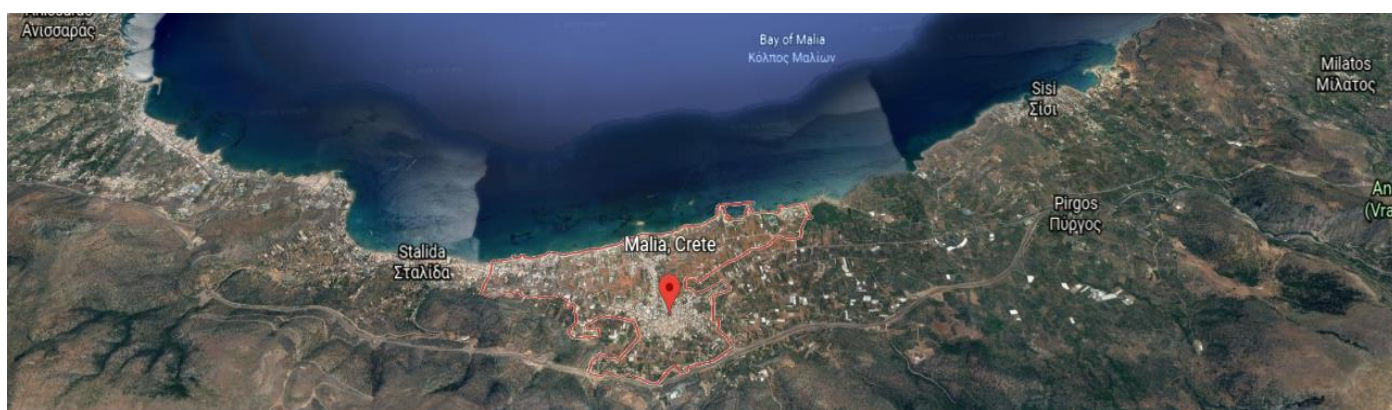
3. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

3.1 Η περιοχή μελέτης

Η πόλη των Μαλίων βρίσκεται 40 χλμ. ανατολικά της πόλης του Ηρακλείου στην Κρήτη (βλέπε Εικόνα 5), έχει μόνιμο πληθυσμό 3.700 κατοίκους, ανήκει στον Δήμο Χερσονήσου και συγκεκριμένα στην Δημοτική Ενότητα Μαλίων. Από την δεκαετία του 60 και μετά η πόλη έχει υποστεί έντονη τουριστική ανάπτυξη, λόγω του όμορφου τοπίου, της πολιτιστικής του κληρονομιάς και του κλίματος. Κατά την διάρκεια του καλοκαιριού η πόλη φιλοξενεί μεγάλο αριθμό τουριστών. Για αυτό υπάρχει αυξημένη ανάγκη πόσιμου νερού, που οδηγεί σε εντατική άντληση του υπόγειου υδροφορέα της περιοχής λόγω έλλειψης άλλων πηγών νερού. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την έλλειψη μέτρων προστασίας, έχει οδηγήσει σε υποβάθμιση της ποιότητας των υπογείων υδάτων. Οι δυσμενείς επιδράσεις της αστικοποίησης γίνονται εμφανείς από την παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων αλάτων στο νερό καθώς και στην οργανική μόλυνση από NO_3^- . (Lamprakis, 1998) (Τσάλα, 2013)



Εικόνα 6: Απεικόνιση της περιοχής μελέτης από το πρόγραμμα Google Earth, 2021



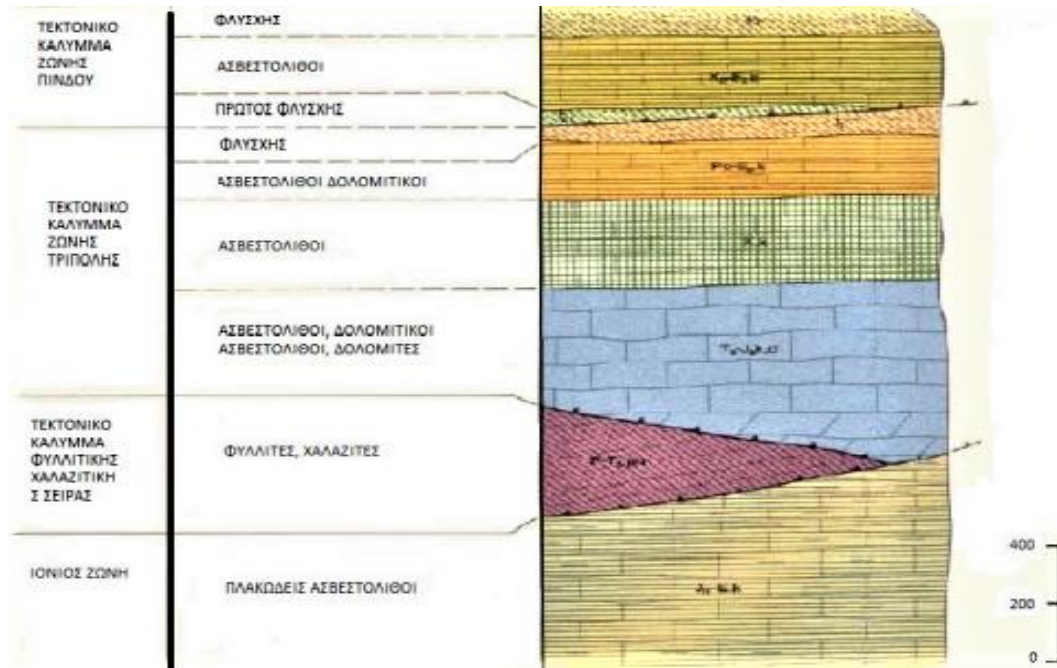
Εικόνα 7: Απεικόνιση της περιοχής μελέτης από το πρόγραμμα Google Earth, 2021

3.2 Γεωμορφολογία

Γεωμορφολογικά, η περιοχή του Δήμου Μαλίων περιλαμβάνει μια παράκτια πεδινή λωρίδα η οποία εισχωρεί τοπικά στην ενδοχώρα μέχρι βάθους 15 – 2,0 km. Τη χαμηλή περιοχή των Μαλίων διαδέχεται, αμέσως νότια, λοφώδης ζώνη, η οποία σε μικρή απόσταση από τον οικισμό (2 - 3 km) εξελίσσεται σε ορεινή περιοχή που σχηματίζει τις βόρειες υπώρειες του Λασιθιώτικου ορεινού συγκροτήματος (Δίκητη, υψόμετρο 2.148 m), επί του οποίου, νότια και σε απόσταση 9,5 km αναπτύσσεται το οροπέδιο Λασιθίου (υψόμετρο 810 – 820 m). (Τσάλα, 2013)

3.3 Γεωλογία της περιοχής

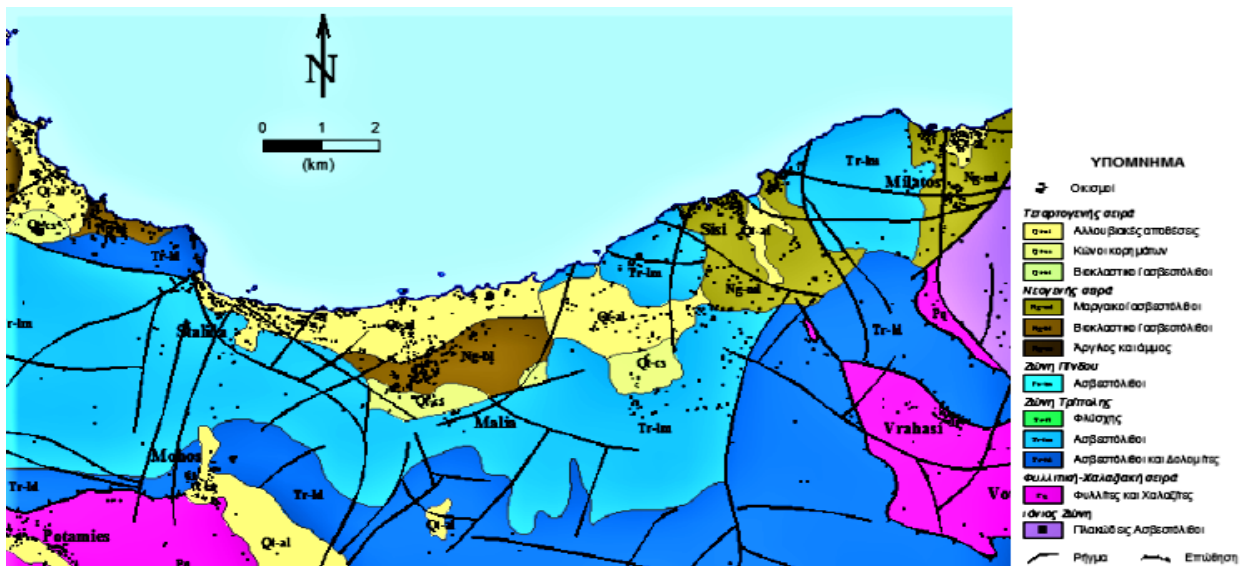
Στην περιοχή μελέτης εμφανίζονται πέντε συστήματα πετρωμάτων, τα οποία, από τα ανώτερα προς τα κατώτερα είναι τα εξής (βλέπε Εικόνα 7) - τα Τεταρτογενή κλαστικά ιζήματα και οι Νεογενείς αποθέσεις - τα πετρώματα της ζώνης Πίνδου - τα ανθρακικά πετρώματα της γεωτεκτονικής ζώνης Τρίπολης - το σύστημα Φυλλιτών – Χαλαζιτών και - το ημιαυτόχθονο σύστημα των «Πλακωδών Ασβεστόλιθων». Στα όρια του Δήμου Μαλίων επικρατούν σχεδόν αποκλειστικά τα ανθρακικά πετρώματα της «Τρίπολης» και μόνο στις νοτιοδυτικές (Μοχός Κρασι) και νοτιοανατολικές (Βραχάσι – Σεληνάρι) παρυφές, αναδύεται στην επιφάνεια το «Φυλλιτικό – Χαλαζιακό» σύστημα (Εικόνα 8).



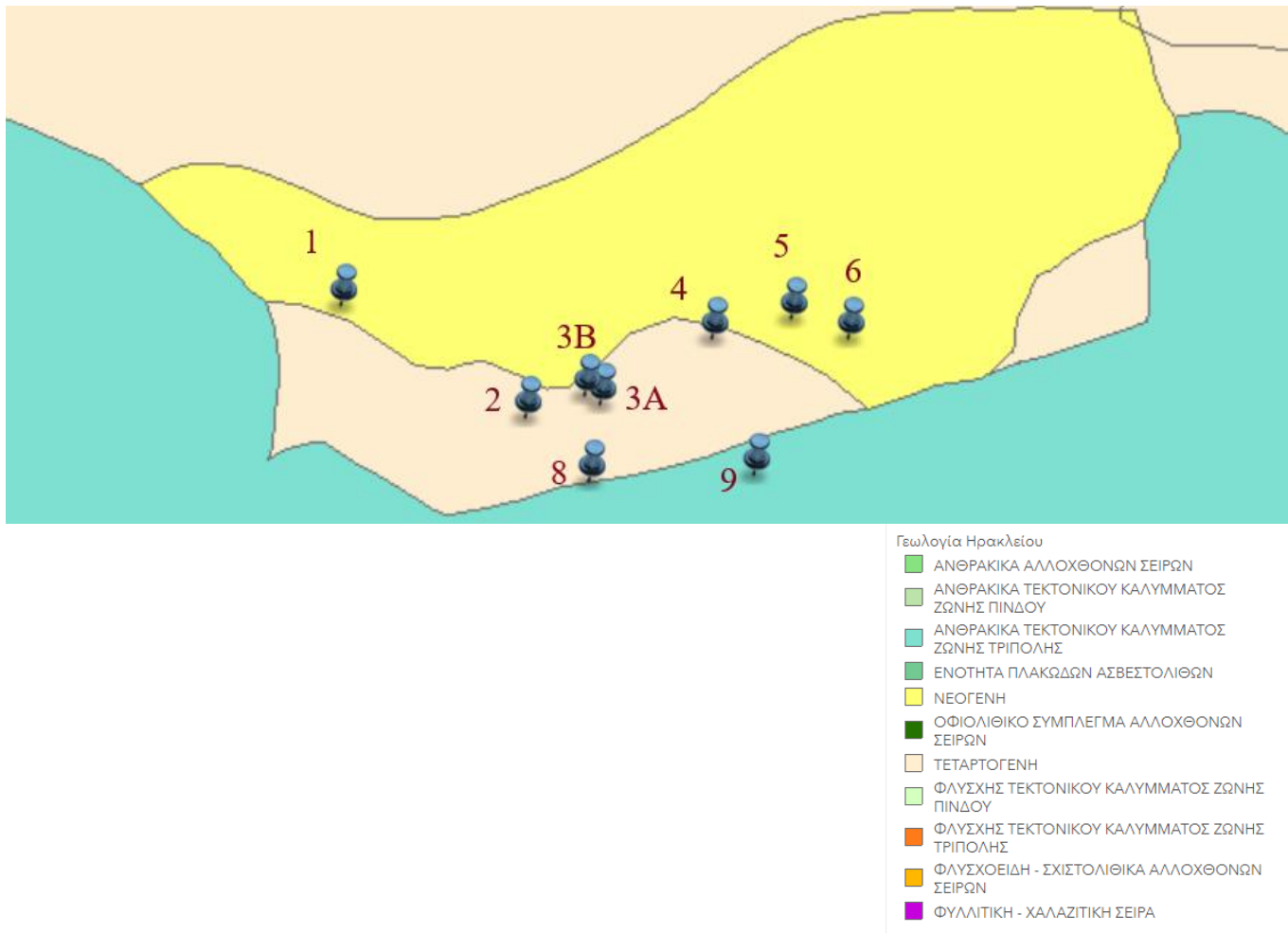
Εικόνα 8: Στρωματογραφική διάρθρωση των νεογενών και αλπικών σχηματισμών της ευρύτερης περιοχής ενδιαφέροντος κατά τον γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ κλίμακας 1:50.000. Φύλλο Μαχάς, έτος έκδοσης 1989.

- **Τεταρτογενής Σειρά:** αποτελείται από α) αλλουβιακές αποθέσεις που περιέχουν χαλαρά αργιλοαμμώδη υλικά, ερυθρονή με κροκαλολατύπες σε μικρές εσωτερικές λεκάνες και υλικά ελλουβιακού μανδύα β) κώνους κορημάτων και πλευρικά κορήματα και γ) βιοκλαστικούς ασβεστόλιθους.
- **Νεογενής Σειρά:** τα πετρώματα της σειράς αυτής είναι α) λευκές ομογενείς μάργες ή μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι και φαιού χρώματος μάργες, συχνά αμμούχες, με λεπτοστρωματώδεις παρεμβολές που μεταβαίνουν προς τα πάνω σε καστανωπές μους και η σαβεστολιθικούς ψαμμίτες β) βιοκλαστικοί, εν μέρει λατυποπαγείς ή κροκαλοπαγείς ασβεστόλιθοι και υφαλώδεις ασβεστόλιθοι γ) ακανόνιστες εναλλαγές από κροκαλοπαγή, καστανάχρωμες άμμοι, ιλυόλιθοι και γκρίζες αμμούχες άργιλοι ή μάργες.
- **Ζώνη Πίνδου:** αποτελείται από ασβεστόλιθους του μέσου Τριαδικού έως ανώτερου Ηώκαινου, λεπτο-μεσοστρωματώδεις, λευκότεροι μέχρι ροδότεφροι που εξελίσσονται σε μικρολατυποπαγείς, πτυχωμένοι και τεκτονισμένοι. Η βάση της σειράς αποτελείται από πρώτο φλύσχη ο οποίος περιέχει ψαμμίτη και ψαμμιτικούς ασβεστόλιθους με θραύσματα βασικών εκρηξιγενών πετρωμάτων.
- **Ζώνη Τρίπολης:** Οι λιθοστρωματογραφικές μονάδες που αποτελούν τη ζώνη Τρίπολης στην περιοχή που εξετάζεται είναι i) η ανθρακική σειρά και ii) ο φλύσχη. Η ανθρακική σειρά αποτελείται στη βάση της από ασβεστόλιθο, δολομιτικό ασβεστόλιθο δολομίτες στη συνέχεια από τεφρό και μεσοπαχυστρωματώδη ασβεστόλιθο του Κρητιδικού. Ο φλύσχη αποτελείται από εναλλαγές καστανών, ερυθρών αργιλικών σχιστολίθων και ψαμμιτών με μικρές ενστρώσεις τεφρών ασβεστολιθικών τουρβιδιτών.

- **Φυλλιτική - Χαλαζιακή σειρά:** Τα τεκτονικά καλύμματα της σειράς αποτελούνται από α) μαργαϊκούς-ανθρακικούς σχιστόλιθους με ιστό μικροκρυσταλλικό και και υφή σχιστώδη. Αποτελείται κυρίως από μαρμαρυγίες και χλωρίτη, μικροκρυστάλλους ασβεστίτη και σε μικρότερη αναλογία κρυστάλλους χαλαζία και αστρίων και β) χαλαζιακοί μετα-ψαμμίτες που 12 Διερεύνηση Υδρογεωλογικών Συνθηκών. Στην Ευρύτερη Περιοχή Μαλίων (Κρήτη) αποτελούνται από γωνιώδεις κόκκους χαλαζία, με πολύ μικρή συμμετοχή αστρίων και θραύσματα πυριτόλιθων.
- **Πλακώδεις Ασβεστόλιθοι:** κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι και κατά θέσεις μάρμαρα, μέσο κρυσταλλικά, χρώματος τεφρόμαυρου, καλά στρωμένα σε πάγκους με πάχος που ποικίλει από λίγα εκατοστά μέχρι ένα μέτρο. Φέρουν ενστρώσεις πυριτόλιθων, χρώματος λευκού μέχρι τεφρού ή φακούς και κονδύλους από πυριτόλιθους. Στα κατώτερα μέλη τους κατά θέσεις παρεμβάλλεται ένστρωση από ανθρακικούς-χαλαζιακούς σχιστόλιθους. Στα ανώτερα μέλη τους, μεταπίπτουν προς τα πάνω σε κιτρινοπράσινους ασβεστοφυλλίτες που αποτελούν μεταβατικά στρώματα των πλακωδών ασβεστολίθων προς τον μεταφλύσχη τους. Κατά θέσεις τα ανώτερα μέλη απουσιάζουν λόγω διάβρωσης ή τεκτονικών αιτιών και οι επικείμενες σειρές έρχονται απευθείας σε επαφή με τα κατώτερα μέλη της ανθρακικής σειράς. Οι Πλακώδεις ασβεστόλιθοι, έχουν μεταμορφωθεί σε συνθήκες υψηλών πιέσεων - χαμηλών θερμοκρασιών. (Τσάλα, 2013)

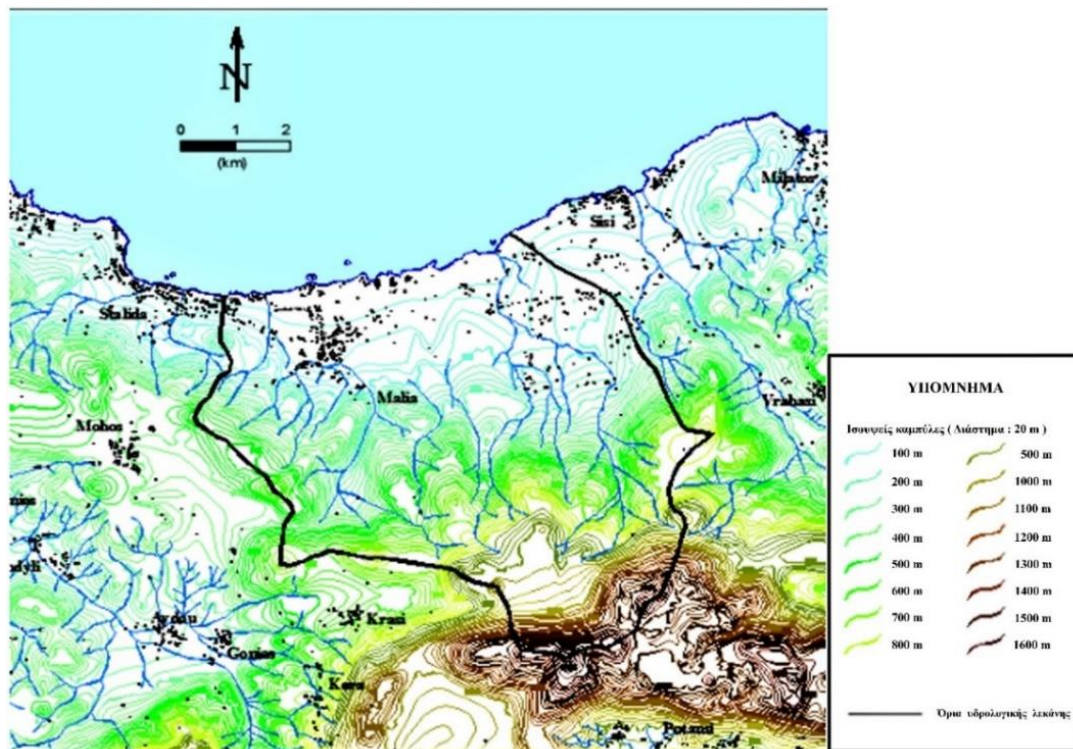


Εικόνα 9: Γεωλογικός χάρτης της περιοχής, Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωλογίας 2012



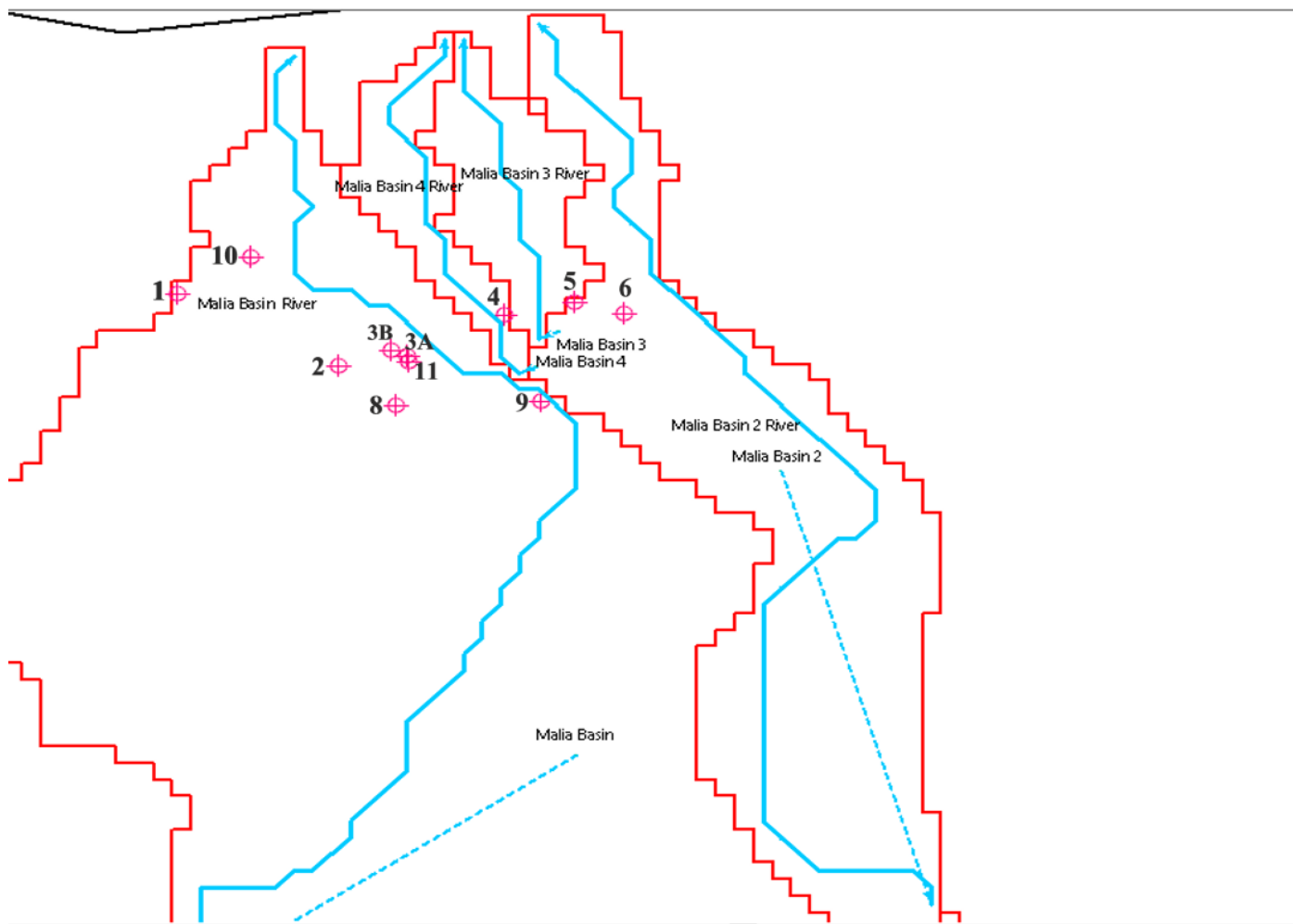
Εικόνα 10: Γεωλογικός Χάρτης Πηγαδιών Παρατήρησης, Αποκεντρωμένη Διοίκηση Κρήτης 2021

3.4 Υδρογεωλογική δομή της λεκάνης των Μαλίων



Εικόνα 11: Υδρολογική λεκάνη Μαλίων, Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωλογίας 2012

Οι υπόγειοι υδατικοί πόροι περιλαμβάνονται στην καρστικοποιημένη υδρογεωλογική λεκάνη των ανθρακικών της Ζώνης της Τρίπολης ± υποκείμενων Πλακωδών Ασβεστόλιθων (υδρογεωλογική λεκάνη Μαλίων), που εκτείνεται έως το Οροπέδιο Λασιθίου και εκφορτίζει κατά μήκος της παραλιακής ζώνης. Εκφορτίσεις ρηγμάτων στο μέτωπο αυτό ευθύνονται για τη δημιουργία πλήθους Καρστικών υφάλμυρων πηγών που απαντώνται κατά μήκος της ακτής του Δήμου Μαλίων. Η υδροφορία αυτή υφίσταται εκμετάλλευση από 40 περίπου γεωτρήσεις και 150 περίπου πηγάδια. (Παρίσης, 2001)



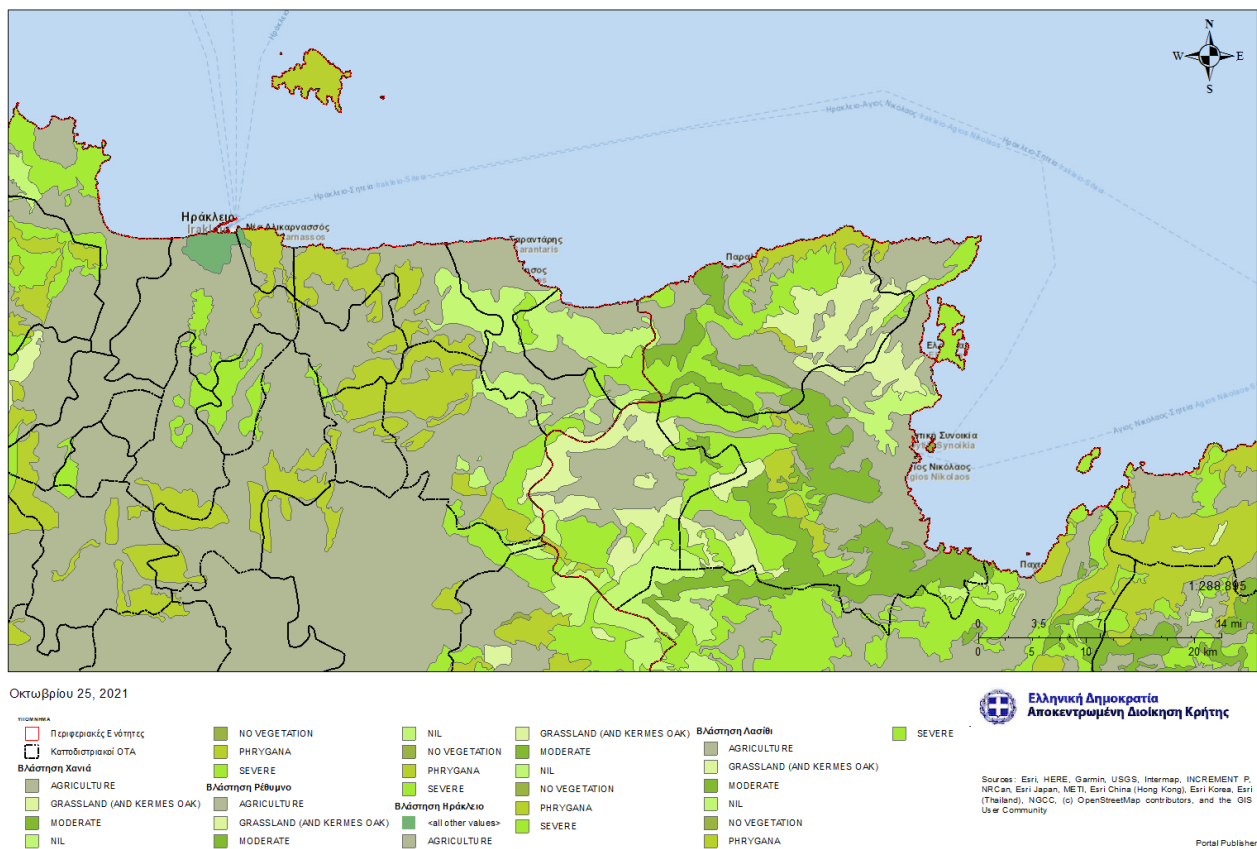
Εικόνα 12: Απεικόνιση της περιοχής μελέτης και των πηγαδιών παρατήρησης μέσω του λογισμικού Weap

3.5 Χρήσεις γης

Οι χρήσεις γης στην περιφέρεια Κρήτης, καθορίζονται από την μορφολογία του εδάφους, το υπάρχον υδάτινο δυναμικό και την εν γένει ανάπτυξη της περιοχής. Στον χάρτη που ακολουθεί (Εικόνα 11), περιγράφονται χωρικά και κατηγοριοποιούνται οι χρήσεις γης σε τέσσερις κλάσεις: αγροτικές περιοχές, δάση και ημιφυσικές περιοχές, τεχνητές επιφάνειες και υδατικά συστήματα.

Η καλλιεργήσιμη έκταση στο Δήμο Μαλίων είναι 1,75 km². Η βλάστηση αποτελείται από λόχμες και γενικά περίπλοκα μοτίβα βλάστησης. Άλλες χρήσεις γης περιλαμβάνουν ελαιώνες, φυσικά λιβάδια/βοσκοτόπια, μη-αρδεύσιμες καλλιεργήσιμες εκτάσεις και μία μικρή αστική εργοστασιακή μονάδα υφασμάτων που έχει εγκαταλειφθεί (Karatzas & Dokou, 2012).

Χάρτης Χρήσης Γης Κρήτης 2006



Εικόνα 13: Χάρτης χρήσεων γης στην περιοχή μελέτης, Αποκεντρωμένη Διοίκηση Κρήτης 2021

3.6 Μετεωρολογικές συνθήκες στην περιοχή μελέτης

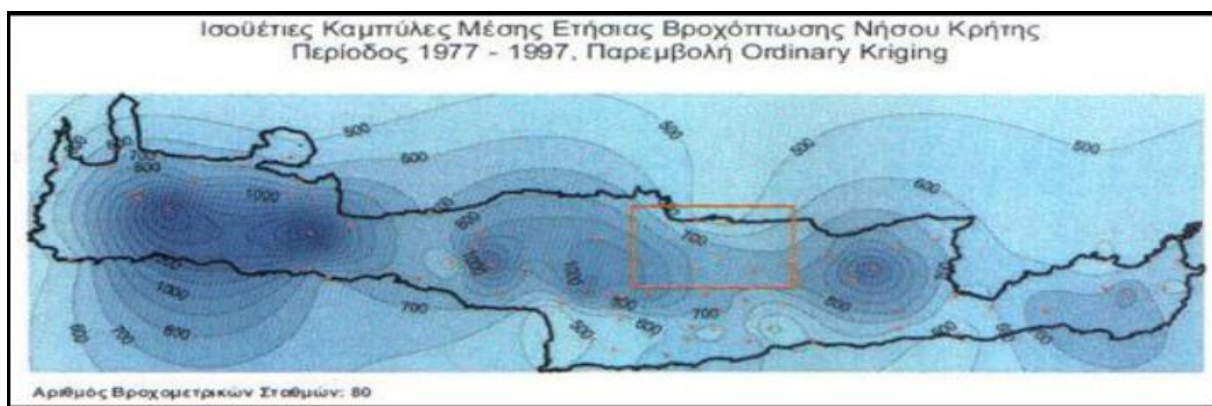
Η περιοχή των Μαλίων έχει μεσογειακό κλίμα με υγρούς χειμώνες και ζεστά, ξηρά καλοκαίρια. Το υδρολογικό έτος θεωρείται από τον Οκτώβρη μέχρι τέλη Σεπτεμβρίου του επόμενου έτους. Πάνω από 85% της ετήσιας βροχόπτωσης συμβαίνει την υγρή περίοδο από Νοέμβρη έως Απρίλη, η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι 18° C στις παράκτιες περιοχές ο Φεβρουάριος είναι ο πιο υγρός μήνας και ο Ιούλιος ο πιο ζεστός. Μέγιστες θερμοκρασίες έως 35 C είναι συχνές το καλοκαίρι. Η εξατμισοδιαπνοή συμβαίνει από Απρίλιο μέχρι Οκτώβριο, γεγονός που σημαίνει πως το περισσότερο υπόγειο νερό συγκεντρώνεται από Νοέμβριο μέχρι Απρίλιο. (Voudouris, 2007) (Τσάλα, 2013)

4. ΔΕΔΟΜΕΝΑ-ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

4.1 Βροχοπτώσεις

Τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα είναι το σύνολο του μετεωρικού νερού που φτάνει στην επιφάνεια της Γης με οποιαδήποτε μορφή. Η μέτρηση των κατακρημνισμάτων γίνεται με ειδικά όργανα τα βροχόμετρα. Οι μετρήσεις των οργάνων αυτών αφορούν ύψος βροχής (mm), και από αυτές τις μετρήσεις εκτιμάται:

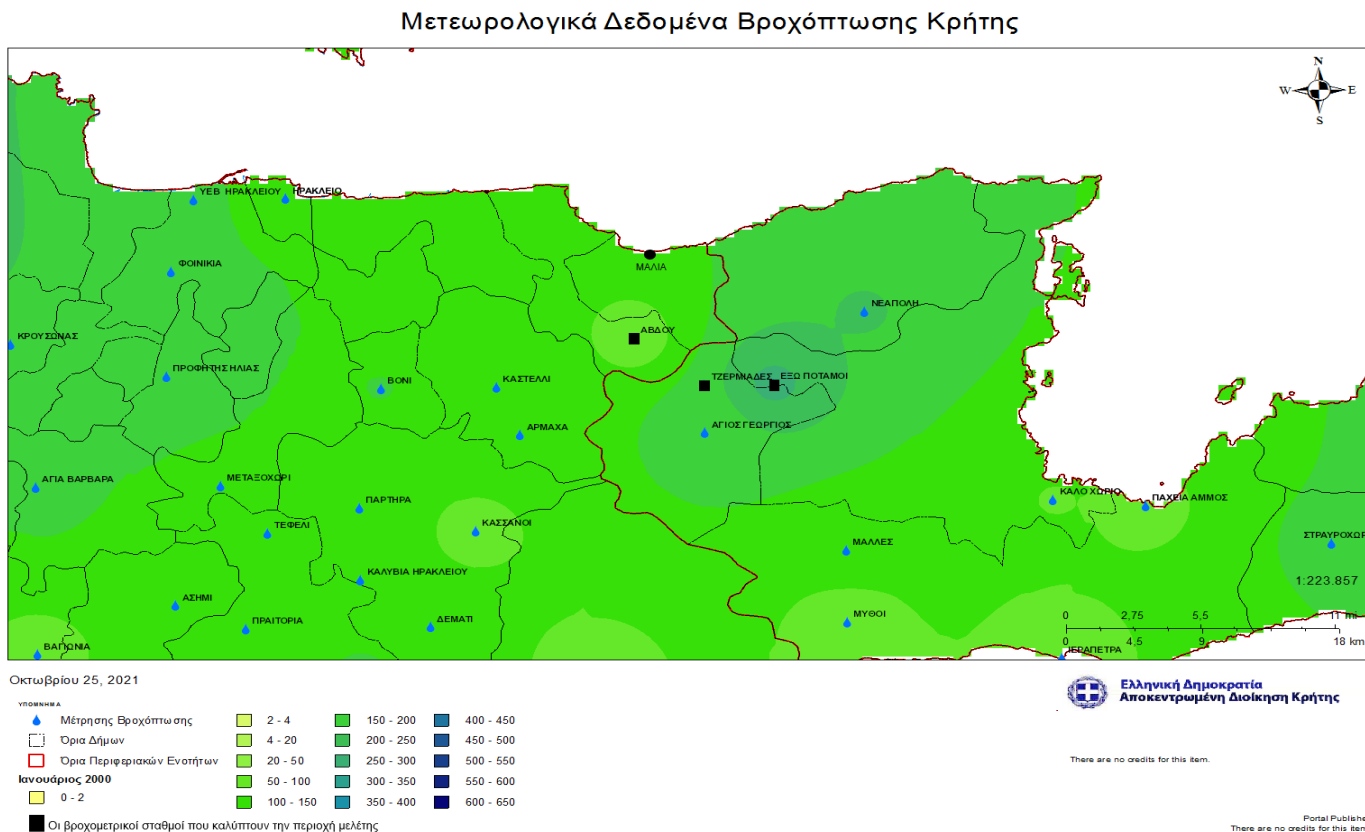
- Το ετήσιο ή μηνιαίο ύψος κατακρημνισμάτων για ένα ορισμένο έτος ή μήνα
- Το μέσο ετήσιο ή μηνιαίο ύψος κατακρημνισμάτων (βροχομετρικός δείκτης).
- Τον δείκτη βροχερότητας (ετήσιο ύψος κατακρημνισμάτων / ετήσιο βροχομετρικό δείκτη).
- Τα υετογράμματα, δηλαδή διαγράμματα κατανομής τα κατακρημνισμάτων στους δώδεκα μήνες του έτους Από τις μετρήσεις αυτές επίσης σχεδιάζονται χάρτες με ισούετες καμπύλες, που είναι καμπύλες που ενώνουν σημεία με ίδια βροχόπτωση, όπως αυτόν της Εικόνας 12. (Τσάλα, 2013)



Εικόνα 14: Ισοϋέτες καμπύλες Νήσου Κρήτης και η περιοχή μελέτης, Δ.Ε.Υ.Α. Μαλίων

4.2 Βροχομετρικά δεδομένα

Στην περιοχή μελέτης διατίθενται δεδομένα από τρεις βροχομετρικούς σταθμούς στις εξής περιοχές: Αβδού Ηρακλείου, Έξω ποταμοί Λασιθίου και Τζερμιάδων Λασιθίου. Τα δεδομένα αφορούν την περίοδο από το 1983 – 2010. Οι ακριβείς θέσεις των σταθμών φαίνονται στην Εικόνα 13 και τα υψόμετρα τους στον Πίνακα 1.



Εικόνα 15 Χάρτης απεικόνισης μετεωρολογικών δεδομένων βροχόπτωσης και εντοπισμού βροχομετρικών σταθμών (Δεδομένα βροχόπτωσης 1930-2006), Αποκεντρωμένη Διοίκηση Κρήτης 2021

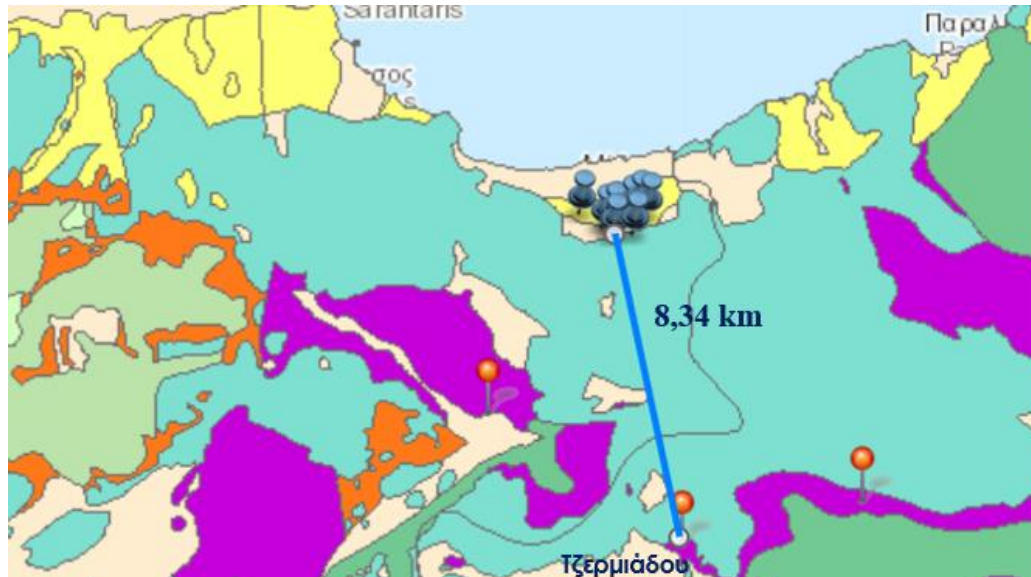
Σταθμός	Απόλυτο Υψόμετρο(m)
Αβδού	230
Έξω Ποταμοί	840
Τζερμιάδων	820

Πίνακας 1: Υψόμετρα βροχομετρικών σταθμών

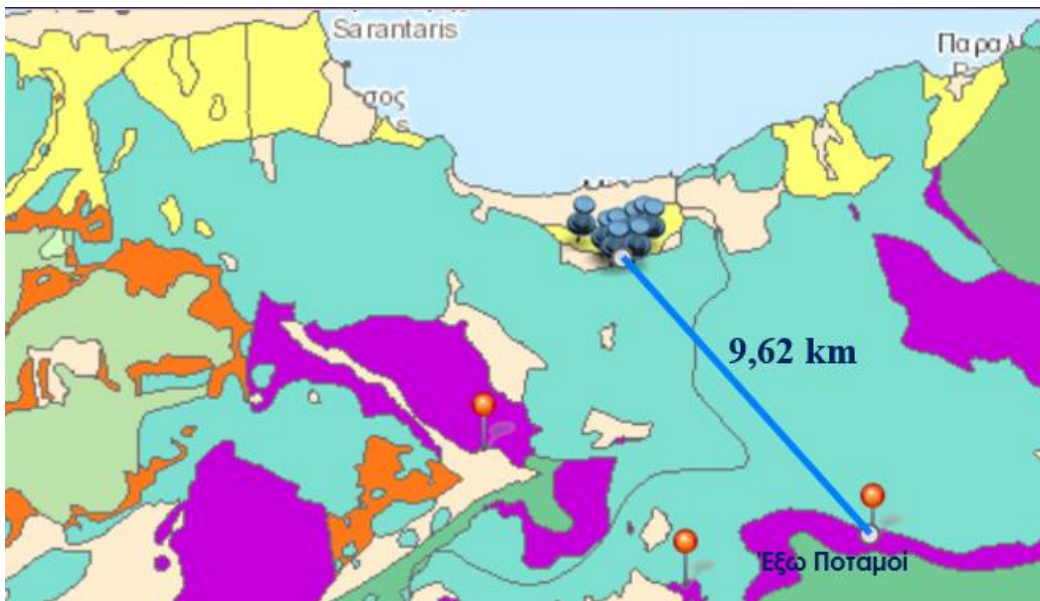
Η απόσταση των βροχομετρικών σταθμών, από την περιοχή μελέτης φαίνεται στις Εικόνες 14,15,16.



Εικόνα 16: Χάρτης Απεικόνισης Απόστασης- Βροχομετρικού σταθμού Αβδού από την περιοχή μελέτης, Αποκεντρωμένη Διοίκηση Κρήτης 2021

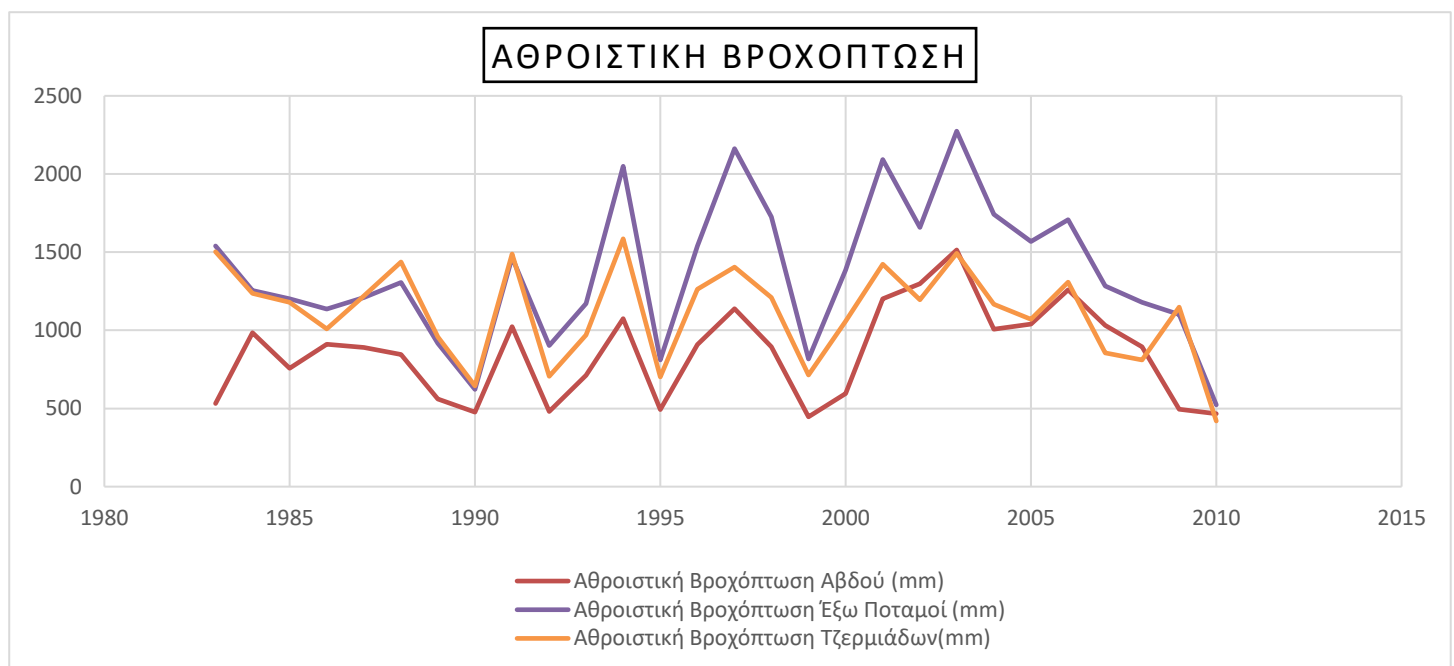


Εικόνα 17: Χάρτης Απεικόνισης Απόστασης- Βροχομετρικού σταθμού Τζερμιάδου από την περιοχή μελέτης, Αποκεντρωμένη Διοίκηση Κρήτης 2021



Εικόνα 18: Χάρτης Απεικόνισης Απόστασης- Βροχομετρικού σταθμού Έξω Ποταμοί από την περιοχή μελέτης, Αποκεντρωμένη Διοίκηση Κρήτης 2021

Οι μετρήσεις των τριών βροχομετρικών σταθμών, που αξιοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη οριοθετούνται μεταξύ του χρονικού διαστήματος 1983-2010. Στην Εικόνα 14 απεικονίζεται η αθροιστική βροχόπτωση και για τους τρεις σταθμούς.



Εικόνα 19 : Αθροιστική Βροχόπτωση Σταθμών Παρατήρησης

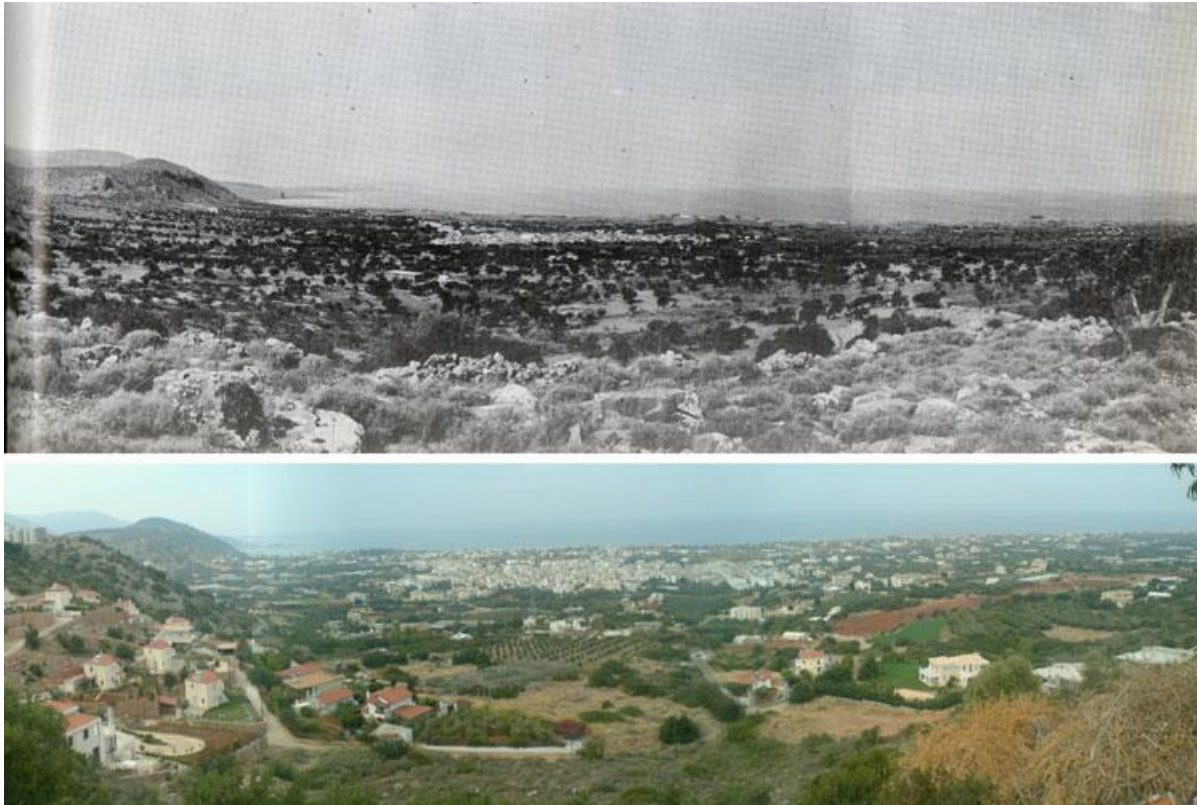
4.3 Πηγάδια Παρατήρησης

Στις αρχές της δεκαετίας του 1960, η πόλη του Ηρακλείου αριθμούσε περίπου εκατό χιλιάδες κατοίκους. Ο Δήμος Ηρακλείου, έχοντας μόλις 3.600 κυβικά νερού το εικοσιτετράωρο, αδυνατούσε να καλύψει τις ανάγκες του. Αυτό είχε ως συνέπεια να αποφασιστεί από την Δημοτική Αρχή, η διάνοιξη των γεωτρήσεων στον κάμπο των Μαλίων, όπου κατέληγαν τα νερά του ορεινού όγκου της Δίκτης Λασιθίου. Η διάνοιξη των γεωτρήσεων και η κατασκευή του αγωγού μεταφοράς του νερού στην πόλη του Ηρακλείου ξεκίνησε το 1959 και ολοκληρώθηκε το 1963. Στην περιοχή «Αγία Μαρίνα» Μαλίων κατασκευάστηκε η δεξαμενή ύδρευσης και το νερό δια μέσου του αγωγού μεταφοράς του που διατρέχει εν ακολουθία τον κάμπο των Μαλίων και μεταφέρεται μέχρι και σήμερα αδιάκοπα με φυσική ροή στις δεξαμενές του Ηρακλείου συμβάλλοντας σοβαρά στην ομαλή υδροδότηση της πόλης. (Λαγουδάκης, 2020)

Τα πηγάδια παρατήρησης, που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη βρίσκονται στην περιοχή των Μαλίων. Τα δεδομένα, πάρθηκαν από 11 πηγάδια την περίοδο 1986 έως 2004. Παρακάτω, παρουσιάζονται λεπτομερώς τα χαρακτηριστικά κάθε πηγαδιού, συνοδευόμενα από στοιχεία καταγραφής της Δ.Ε.Υ.Α.Η κατά τη διάνοιξη τους.



Εικόνα 20: Διαδρομή, Αβδού - Γωνιές - Οροπέδιο Λασιθίου - Τζερμιάδο - Ψυχρό - Δικταίων Αντρο, Πανελλήνιο Σχολικό Δίκτυο 2022



Εικόνα 22: Το ιστορικό της πολεοδομικής ανάπτυξης λόγω τουρισμού στα Μάλια, (1991) Πόλεις και χωριά της Κρήτης στο πέρασμα των αιώνων, Ηράκλειο: Δετοράκης



Εικόνα 21: Το ιστορικό της πολεοδομικής ανάπτυξης λόγω τουρισμού στα Μάλια, (1991) Πόλεις και χωριά της Κρήτης στο πέρασμα των αιώνων, Ηράκλειο: Δετοράκης (2)

➤ Πηγάδι 1 (N₁)



Εικόνα 23: Πρόσφατη Απεικόνιση της Γεώτρησης N1-Αγγελοπούλου Άρτεμις, Μάλια 2022

Η Γεώτρηση N1, βρίσκεται στο Δημοτικό Γήπεδο Μαλίων απέχει από την πόλη των Μαλίων περίπου 470 m και από την θάλασσα περίπου 1,3 km. Η γεώτρηση έχει βάθος 69,81 m, απόλυτο υψόμετρο 44 m, ενώ η καταγραφή της υδροστατικής της στάθμης στις 2/11/1988 είναι στα 38,66 m και η στάθμη άντλησης της ίδιας μέρας στα 39,10 m. Τα είδη πετρωμάτων, που εντοπίστηκαν στο συγκεκριμένο σημείο, από πάνω προς τα κάτω είναι μαργαίκος ασβεστόλιθος, κροκάλες και σκληρός ασβεστόλιθος. Τη γεώτρηση, πλαισιώνουν κυρίως καλλιέργειες πατάτας.

- Χρονολογία ανόρυξης: 1959
- Σκοπός Γεώτρησης: Άρδευση
- Αρχική Παροχή: 70 m³/h

➤ Πηγάδι 2 (N₂)



Εικόνα 24: Πρόσφατη Απεικόνιση της Γεώτρησης N2-Αγγελοπούλου Αρτεμης, Μάλια 2022

Η Γεώτρηση N2, βρίσκεται περίπου 115 m από την Εθνική Οδό Ηρακλείου-Αγίου Νικολάου, απέχει από την πόλη των Μαλίων περίπου 520 m και από την θάλασσα περίπου 1,8 km. Η γεώτρηση έχει βάθος 62 m, απόλυτο υψόμετρο 50m, ενώ η καταγραφή της υδροστατικής της στάθμης στις 13/5/1987 είναι στα 39,69 m και η στάθμη άντλησης στις 23/3/1989 στα 42,65 m. Τα είδη πετρωμάτων, που εντοπίστηκαν στο συγκεκριμένο σημείο, από πάνω προς τα κάτω είναι κροκάλες μεγάλου μεγέθους με άργιλο και ασβεστόλιθος. Τη γεώτρηση, πλαισιώνουν κυρίως καλλιέργειες ελιάς.

- Χρονολογία ανόρυξης: 1960
- Σκοπός Γεώτρησης: Ύδρευση
- Αρχική Παροχή: 75 m³/h

➤ Πηγάδι 3 «Παλαιά» (N_{3A})



Εικόνα 25: Πρόσφατη Απεικόνιση της Γεώτρησης N3α-Αγγελοπούλου Άρτεμις, Μάλια 2022

Η Γεώτρηση N3A, βρίσκεται περίπου 74 m από την Εθνική Οδό Ηρακλείου-Αγίου Νικολάου, απέχει από την πόλη των Μαλίων περίπου 500 m και από την θάλασσα περίπου 1,8 km. Η γεώτρηση έχει βάθος 62 m, απόλυτο υψόμετρο 53,73 m, ενώ η καταγραφή της υδροστατικής της στάθμης στις 15/2/1989 είναι στα 46,15 m και η στάθμη άντλησης στις 8/3/1989 στα 50,76 m. Τα είδη πετρωμάτων, που εντοπίστηκαν στο συγκεκριμένο σημείο, από πάνω προς τα κάτω είναι κροκάλες με άργιλο και ασβεστόλιθος. Τη γεώτρηση, δεν πλαισιώνει συγκεκριμένο είδος καλλιέργειας.

- Χρονολογία ανόρυξης: 1961
- Σκοπός Γεώτρησης: Ύδρευση
- Αρχική Παροχή: 70 m³/h

➤ Πηγάδι 3 «Νέα» (N_{3B})



Εικόνα 26: Πρόσφατη Απεικόνιση της Γεώτρησης N3B-Αγγελοπούλου Αρτεμης, Μάλια 2022

Η Γεώτρηση N3A, βρίσκεται περίπου 74 m από την Εθνική Οδό Ηρακλείου-Αγίου Νικολάου, απέχει από την πόλη των Μαλίων περίπου 500 m και από την θάλασσα περίπου 1,8 km. Η γεώτρηση έχει βάθος 60 m, απόλυτο υψόμετρο 53,73 m, ενώ η καταγραφή της υδροστατικής της στάθμης στις 15/2/1989 είναι στα 46,15 m και η στάθμη άντλησης στις 8/3/1989 στα 50,76 m. Τα είδη πετρωμάτων, που εντοπίστηκαν στο συγκεκριμένο σημείο, από πάνω προς τα κάτω είναι κροκάλες με άργιλο και ασβεστόλιθος. Τη γεώτρηση, δεν πλαισιώνει συγκεκριμένο είδος καλλιέργειας.

- Χρονολογία ανόρυξης: 1981
- Σκοπός Γεώτρησης: Ύδρευση
- Αρχική Παροχή: 70 m³/h

➤ Πηγάδι 4 (N₄)



Εικόνα 27: Πρόσφατη Απεικόνιση της Γεώτρησης N4-Αγγελοπούλου Άρτεμις, Μάλια 2022

Η Γεώτρηση N4, βρίσκεται περίπου 155 m από την Εθνική Οδό Ηρακλείου-Αγίου Νικολάου απέχει από την πόλη των Μαλίων περίπου 440 m και από την θάλασσα περίπου 1,8 km. Η γεώτρηση έχει βάθος 64 m, απόλυτο υψόμετρο 58m, ενώ η καταγραφή της στάθμης άντλησης στις 23/3/1989 στα 47,33 m. Τα είδη πετρωμάτων, που εντοπίστηκαν στο συγκεκριμένο σημείο, από πάνω προς τα κάτω είναι κροκάλες, άργιλος, ψαμμίτης και ασβεστόλιθος. Τη γεώτρηση, πλαισιώνουν κυρίως καλλιέργειες πατάτας.

- Χρονολογία ανόρυξης: 1961
- Σκοπός Γεώτρησης: Ύδρευση
- Αρχική Παροχή: 60 m³/h

➤ Πηγάδι 5 (N₅)



Εικόνα 28: Πρόσφατη Απεικόνιση της Γεώτρησης N5-Αγγελοπούλου Άρτεμις, Μάλια 2022

Η Γεώτρηση N5, βρίσκεται περίπου 135 m από την Εθνική Οδό Ηρακλείου-Αγίου Νικολάου απέχει από την πόλη των Μαλίων περίπου 770 m και από την θάλασσα περίπου 1,6 km. Η γεώτρηση έχει βάθος 64 m, απόλυτο υψόμετρο 53,6 m, ενώ η καταγραφή της στάθμης άντλησης στις 23/3/1989 στα 38 m. Τα είδη πετρωμάτων, που εντοπίστηκαν στο συγκεκριμένο σημείο, από πάνω προς τα κάτω είναι κροκάλες μεγάλου μεγέθους με άργιλο, ψαμμίτης, κίτρινη άμμος και κροκάλες με άργιλο. Τη γεώτρηση, πλαισιώνουν κυρίως καλλιέργειες ελιάς.

- Χρονολογία ανόρυξης: 1961
- Σκοπός Γεώτρησης: Ύδρευση
- Αρχική Παροχή: 50 m³/h

➤ Πηγάδι 6 (N₆)



Εικόνα 29: Πρόσφατη Απεικόνιση της Γεώτρησης N6-Αγγελοπούλου Άρτεμις, Μάλια 2022

Η Γεώτρηση N6, βρίσκεται περίπου 9 m από την Εθνική Οδό Ηρακλείου-Αγίου Νικολάου απέχει από την πόλη των Μαλίων περίπου 920 m και από την θάλασσα περίπου 1,7 km. Η γεώτρηση έχει βάθος 61 m, απόλυτο υψόμετρο 52 m, ενώ η καταγραφή της στάθμης άντλησης στις 23/3/1989 στα 37,32 m. Τα είδη πετρωμάτων, που εντοπίστηκαν στο συγκεκριμένο σημείο, από πάνω προς τα κάτω είναι κροκάλες μεγάλου μεγέθους με άργιλο, ψαμμίτης, άμμο-άργιλος, κροκάλες με άργιλο και ασβεστόλιθος. Τη γεώτρηση, πλαισιώνουν κυρίως καλλιέργειες ελιάς.

- Χρονολογία ανόρυξης: 1962
- Σκοπός Γεώτρησης: Ύδρευση
- Αρχική Παροχή: 78 m³/h

➤ Πηγάδι 8 (N₈)



Εικόνα 30: Πρόσφατη Απεικόνιση της Γεώτρησης N8-Αγγελοπούλου Άρτεμις, Μάλια 2022

Η Γεώτρηση N8, βρίσκεται περίπου 160 m από την Εθνική Οδό Ηρακλείου-Αγίου Νικολάου απέχει από την πόλη των Μαλίων περίπου 653 m και από την θάλασσα περίπου 2 km. Η γεώτρηση έχει βάθος 126 m, απόλυτο υψόμετρο 85,6 m, ενώ η καταγραφή της υδροστατικής της στάθμης στις 23/6/1988 είναι στα 81,64 m και η στάθμη άντλησης στις 23/3/1989 στα 72,65 m. Το είδος του πετρώματος, που εντοπίστηκε στο συγκεκριμένο σημείο είναι ασβεστόλιθος. Τη γεώτρηση, δεν πλαισιώνει κάποια καλλιέργεια.

- Χρονολογία ανόρυξης: 1988
- Σκοπός Γεώτρησης: Ύδρευση
- Αρχική Παροχή: 80 m³/h

➤ Πηγάδι 9 (N₉)



Εικόνα 31: Πρόσφατη Απεικόνιση της Γεώτρησης N9-Αγγελοπούλου Άρτεμις, Μάλια 2022

Η Γεώτρηση N8, βρίσκεται περίπου 314 m από την Εθνική Οδό Ηρακλείου-Αγίου Νικολάου απέχει από την πόλη των Μαλίων περίπου 990 m και από την θάλασσα περίπου 2,3 km. Η γεώτρηση έχει βάθος 120 m, απόλυτο υψόμετρο 91,2 m, ενώ η καταγραφή της υδροστατικής της στάθμης στις 6/10/1988 είναι στα 88,6 m και η στάθμη άντλησης στις 23/3/1989 στα 75,62 m. Το είδος του πετρώματος, που εντοπίστηκε στο συγκεκριμένο σημείο είναι ασβεστόλιθος με έντονη ρηγματώση και άργιλο στα κενά . Τη γεώτρηση, δεν πλαισιώνει κάποια καλλιέργεια.

- Χρονολογία ανόρυξης: 1981
- Σκοπός Γεώτρησης: Ύδρευση
- Αρχική Παροχή: 10 m³/h

➤ Γεώτρηση Μαρκάκη (N₁₀)

Η Γεώτρηση N10, βρίσκεται μέσα στην πόλη των Μαλίων περίπου 990 m και από την θάλασσα περίπου 1,1 km. Η γεώτρηση έχει βάθος 69 m, απόλυτο υψόμετρο 54,14 m, ενώ η καταγραφή της υδροστατικής της στάθμης είναι στα 45 m και η στάθμη άντλησης στα 50 m. Τα είδη πετρωμάτων, που εντοπίστηκαν στο συγκεκριμένο σημείο, από πάνω προς τα κάτω είναι κροκάλες και μάργα και σκληρός ασβεστόλιθος. Τη γεώτρηση, δεν πλαισιώνει κάποια καλλιέργεια.

- Χρονολογία ανόρυξης: 1959
- Σκοπός Γεώτρησης: Άρδευση
- Αρχική Παροχή: 50 m³/h

➤ Μικτό Μαλίων «Δεξαμενή» (N₁₁)



Η Δεξαμενή Μαλίων, βρίσκεται περίπου 30 m από την Εθνική Οδό Ηρακλείου-Αγίου Νικολάου, απέχει από την πόλη των Μαλίων περίπου 510 m και από την θάλασσα περίπου 1,8 km. Γύρω από την δεξαμενή βρίσκονται οι υπόλοιπες 10 γεωτρήσεις. Το νερό, μετά τη συλλογή του στη δεξαμενή, ωθείται προς τη δεξαμενή φορτίου όπου απολυμαίνεται με χλώριο και στη συνέχεια με φυσική ροή κατευθύνεται με αγωγό στην πόλη του Ηρακλείου.

Εικόνα 32: Πρόσφατη Απεικόνιση της Γεώτρησης N9-Αγγελοπούλου Άρτεμις, Μάλια 2022

4.4 Υπό μελέτη μεταβλητές

Στην παρούσα εργασία περιλαμβάνονται, οι μηνιαίες τιμές 7 μεταβλητών (pH, Αγωγιμότητα, Σκληρότητα, Στάθμη, Χλωριόντα, Νιτρικά και Θεικά) οι οποίες μετρήθηκαν κατά την περίοδο 1986-2005 από 11 γεωτρήσεις στην περιοχή των Μαλίων.

- *pH*: Οι μετρήσεις pH, που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση της παρούσας μελέτης οριοθετούνται εντός του χρονικού διαστήματος 1986-1999. Τα επιτρεπόμενα όρια του pH στο νερό είναι **6.5-9.5**, βάσει αυτού δεν καταγράφηκε καμία υπέρβαση των ορίων στο χρονικό διάστημα μελέτης.

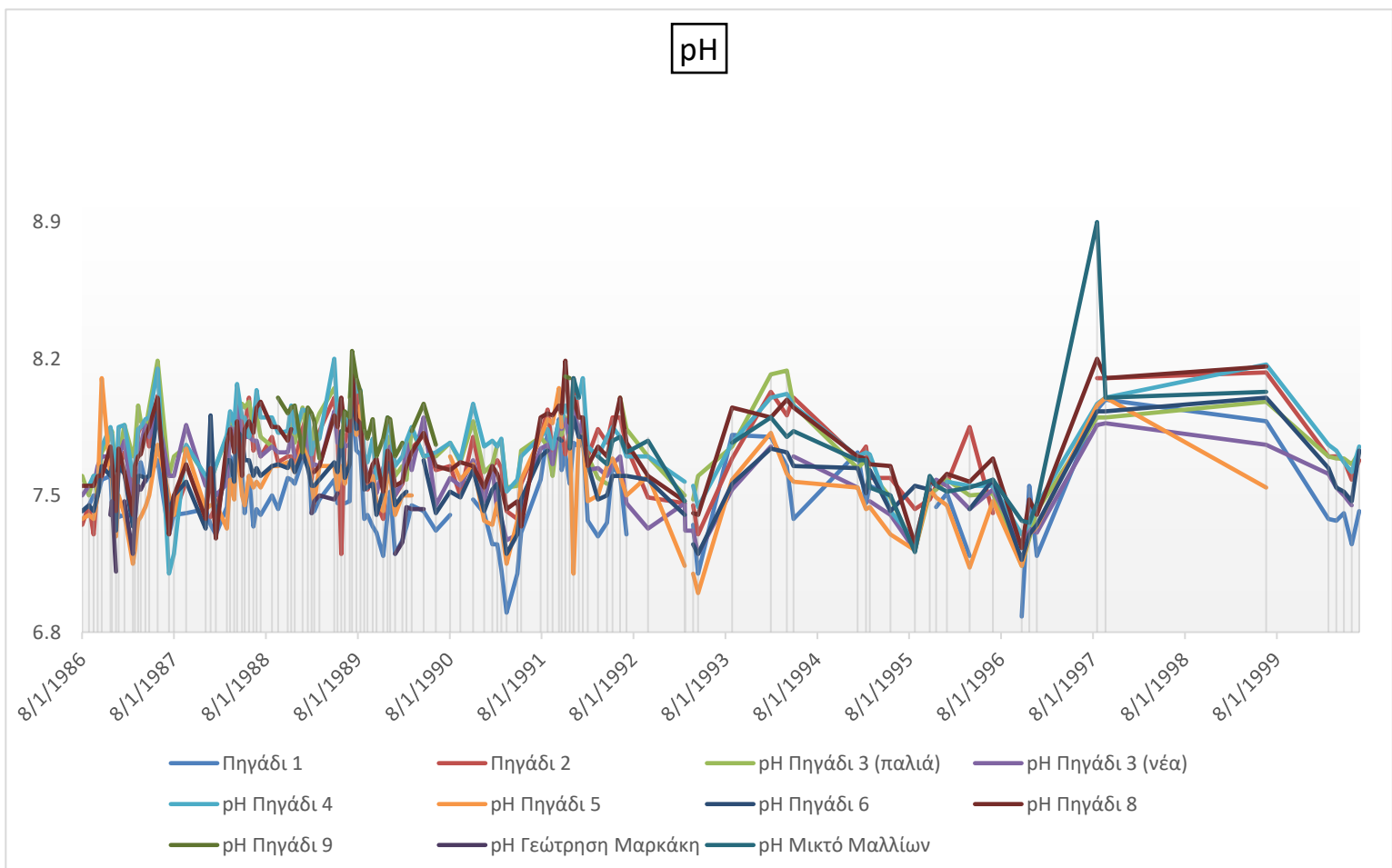


Figure 1: Γραφική απεικόνιση μετρήσεων pH από το 1986 έως το 1999 και για τα 11 πηγάδια παρατήρησης

- **Αγωγιμότητα:** Οι μετρήσεις αγωγιμότητας, που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση της παρούσας μελέτης οριοθετούνται εντός του χρονικού διαστήματος 1986-2005. Το επιτρεπόμενο όριο της αγωγιμότητας στο νερό είναι **2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$** βάσει αυτού εντοπίστηκαν 19 υπερβάσεις του ορίου. Πιο συγκεκριμένα οι υπερβάσεις παρατηρήθηκαν, αρχικά τον Ιούλιο, Αύγουστο και Οκτώβριο του 1990. Στην συνέχεια, οι επόμενες υπερβάσεις παρατηρούνται τις περισσότερες φορές στους ίδιους μήνες κάθε έτους με τη μέγιστη υπέρβαση να λαμβάνει χώρα τον Οκτώβρη του 1993. Η τελευταία υπέρβαση παρατηρείται τον Οκτώβρη του 1999. Στον Πίνακα 2, που ακολουθεί κατατάσσονται αναλυτικά οι υπερβάσεις των ορίων, που παρατηρήθηκαν στο Πηγάδι 1. Επίσης μια τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας μεγαλύτερη από 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι ενδεικτική της διείσδυσης αλμυρού νερού. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα των υφάλμυρων υδάτων, κυμαίνεται συνήθως από 1010- 14.300 $\mu\text{S}/\text{cm}$, βάσει αυτού εντοπίστηκαν 185 μετρήσεις.

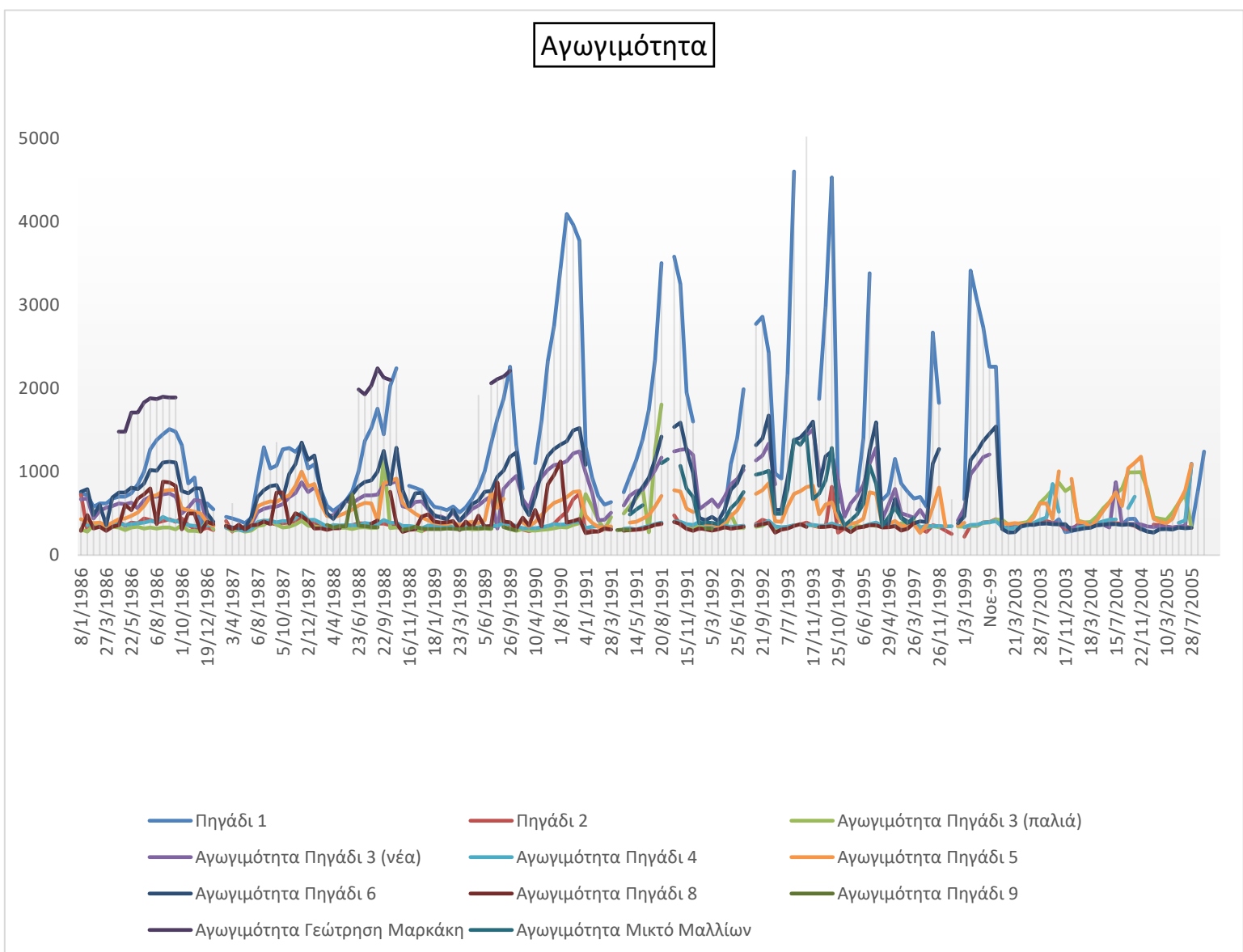


Figure 2 : Γραφική απεικόνιση μετρήσεων Αγωγιμότητας από το 1986 έως το 2005 και για τα 11 πηγάδια παρατήρησης

«ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΠΟΣΟΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΩΝ ΜΑΛΙΩΝ (Ν. ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ) ΜΕ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΙΣΤΟΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ»

	Πηγάδι 1	Πηγάδι 2	Πηγάδι 3 (παλιά)	Πηγάδι 3 (νέα)	Πηγάδι 4	Πηγάδι 5	Πηγάδι 6	Πηγάδι 8	Πηγάδι 9	Γεώτρηση	Μικτό Μαλλίων
25/6/1986	1000	440	320	660	390	590	860	730		1830	
28/7/1986	1270	420	330	700	410	700	1020	800		1880	
6/8/1986	1380	390	320	700	400	720	1010	370		1870	
18/8/1986	1450	410	330	730	460	770	1110	880		1900	
29/8/1986	1510	430	330	740	420	780	1120	870		1890	
16/9/1986	1480	400	310	700	410	780	1110	830		1890	
1/10/1986	1320	440	360	500	390	560	770	310			
19/8/1987	1295	412	363	554	415	621	778	402			
4/9/1987	1039	385	423	577	411	646	829	371			
16/9/1987	1072	369	364	584	392	636	839	751		1356	
5/10/1987	1270	385	330	611	409	686	681	750			
16/10/1987	1283	390	340	694	405	717	973	378			
2/11/1987	1239	407	368	745	443	832	1091	501			
19/11/1987	1330	447	412	875	507	1002	1351	467			
2/12/1987	1038	405	353	757	420	824	1140	413			
18/12/1987	1090	380	344	809	423	854	1194	318			
23/6/1988	1007	382	330	677	359	596	824		353	1986	
7/7/1988	1369	381	335	715	383	626	878		347	1926	
18/7/1988	1522	372	324	716	375	620	895	378	338	2034	
8/8/1988	1757	377	328	727	372	415	998	415	335	2240	
22/9/1988	1450	379	1174	843	422	863	1250			2130	
6/10/1988	2030	360	324	858	386	888	851	761		2100	
18/10/1988	2240	365	331	886	388	917	1287	382			
16/5/1989	808	332	312	595	334	381	654	473	319	1920	
5/6/1989	1005	343	318	657	347	418	761	342	325		
3/7/1989	1340	343	313	707	346	769	769	350	320	2060	
20/7/1989	1635	350	757	319	354	566	940	870		2110	
9/8/1989	1875	404	337	795	382	676	1015	403	337	2140	
26/9/1989	2260	358	317	880	372		1180	393	314	2210	
13/11/1989	1315	319	291	950	351		1231	320	298		
10/4/1990	1100	308	293	805	322	396	696	541			
24/5/1990	1616	330	302	932	335	482	1002	345			
26/6/1990	2330	335	310	1025	350	560	1190	850			
16/7/1990	2750	377	322	1080	372	626	1273	960			
1/8/1990	3440	456	337	1094	366	657	1324	1123			
21/8/1990	4090	520	330	1125	373	694	1364	389			
3/10/1990	3960	670	362	1220	398	757	1495	408			
18/10/1990	3770	735	384	1245	403	765	1523	434			
4/1/1991	1298	278	731	986	325	470	1082	264			
14/5/1991	1135	302	680	765	306	399	708	306		544	
4/6/1991	1388	313	804	785	332	437	816	316		599	
21/6/1991	1741	332	274	901	349	481	926	336			
10/7/1991	2340	364	1258	1016	372	582	1145	363			
20/8/1991	3500	370	1806	1168	390	711	1421	378		1100	1100
19/9/1991										1150	1150
25/9/1991	3580	478	1885	1244	404	777	1536	395			
17/10/1991	3250	363		1263	400	762	1588	375		1069	1069
15/11/1991	1950	317	319	1271	370	557	1257	315		797	
11/12/1991	1602	319	311	1200	363	519	985	291		696	
8/6/1992	1094	319	493	849	340	468	784	319		563	
25/6/1992	1395	327	326	912	345	536	863	328		636	
29/7/1992	1990	334	325	1021	352	676	1067	342		757	
1/8/1992											
1/9/1992	2770	375	340	1135	363	734	1318	354		965	
21/9/1992	2860	423	353	1195	367	778	1400	372		983	
26/11/1992	2430	396	400	1338	412	862	1674	386		1010	1010
7/7/1993	2170	325	325	1127	340	584	919	320		789	497
8/9/1993	4600		359		360	735	1376	349		1384	495
10/9/1993		365				765	1407	371		1321	789
5/10/1993	5020	390	358	1435	362	816	1488	338		1430	1384
17/11/1993		354	360	1504	361	834	1600			674	1321
16/6/1994	1870	337	341	1007	353	488	832	336		739	1430
20/7/1994	2980	340	346		353	608	1185	342		896	674
4/8/1994	4530	819	365	1213	380	633	1244	346		1284	739
6/6/1995	1400	337	341	845	347	437	742	340		616	896
5/9/1995	3380	360	363	1099	371	753	1253	359		1072	1284
6/12/1995		358	350	1285	389	734	1593	358		857	537
29/5/1996	1155		348	795	353	408	672	348		568	355
1/9/1998	2670	358	347		346	574	1098				419
26/11/1998	1826	339	335	1088	349	808	1273	338		768	487
Αυγ-99	3410	356	350	972	362		1143				616
Σεπ-99	3050	351	353	1070	365		1244				1072
Οκτ-99	2730	393	389	1176	386		1368				
Νοε-99	2260	397	390	1207	397		1456				
Δεκ-99	2260	432	425		407		1542				
29/10/2003	432	377	868	375	520	1004	367				
14/9/2004	435	373	991	374	565	1041	368				
18/10/2004	437	350	993	375	700	1106	358				
22/11/2004	326	310	996	367		1180	312				
28/7/2005	329	329	329	1095	1091	1090	329				

Πίνακας 3: Αναλυτική κατάταξη υπερβάσεων των ορίων αγωγιμότητας

- **Σκληρότητα:** Οι μετρήσεις στάθμης, που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση της παρούσας μελέτης οριοθετούνται εντός του χρονικού διαστήματος 1986-1998. Το επιτρεπόμενο όριο σκληρότητας στο νερό είναι **1500 mg/l CaCO₃**, βάσει αυτού δεν καταγράφηκε καμία υπέρβαση των ορίων στο χρονικό διάστημα μελέτης.

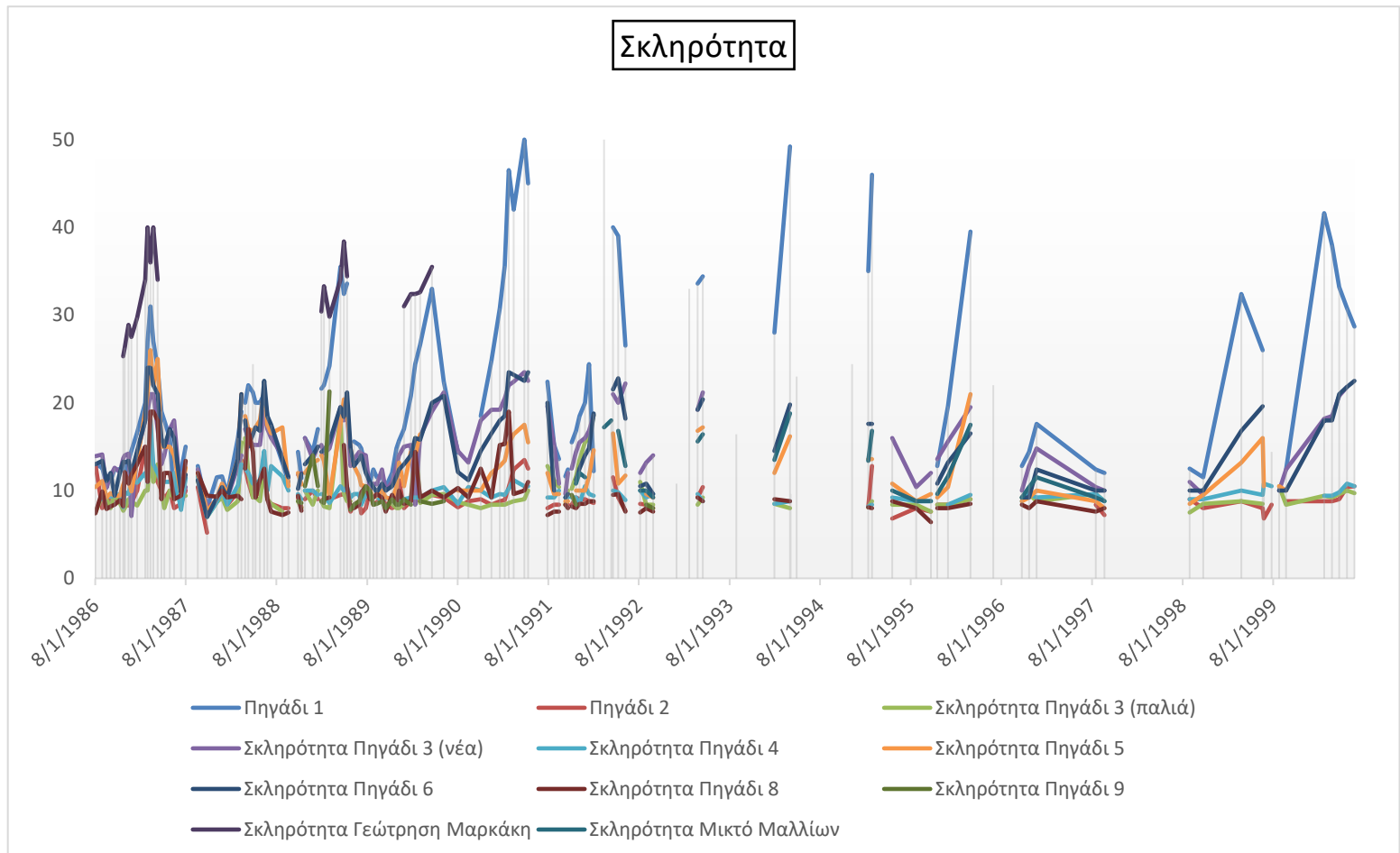


Figure 3: Γραφική απεικόνιση μετρήσεων Σκληρότητας από το 1986 έως το 1999 και για τα 11 πηγάδια παρατήρησης

- **Στάθμη:** Οι μετρήσεις σκληρότητας, που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση της παρούσας μελέτης οριοθετούνται εντός του χρονικού διαστήματος 1986-1999. Η στάθμη παρατήρησης, μετρήθηκε από την εδαφική επιφάνεια μέχρι την στάθμη του ύδατος.

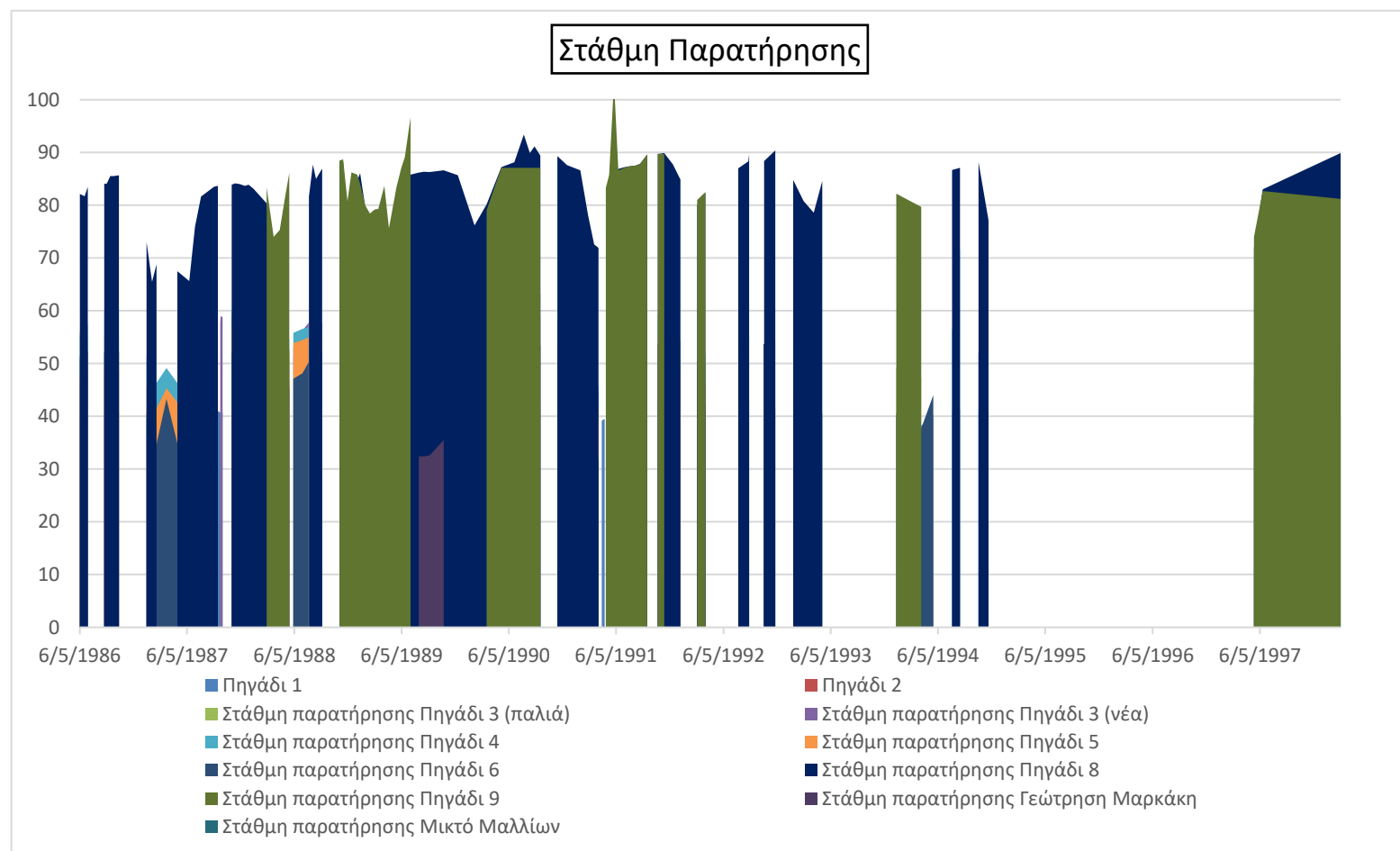


Figure 4: Γραφική απεικόνιση μετρήσεων Στάθμης Παρατήρησης από το 1986 έως το 1999 και για τα 11 πηγάδια παρατήρησης

- **Χλωριόντα:** Οι μετρήσεις χλωριόντων, που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση της παρούσας μελέτης οριοθετούνται εντός του χρονικού διαστήματος 1986-1999. Το επιτρεπόμενο όριο χλωριόντων στο νερό είναι **250 mg/l**, βάσει αυτού εντοπίστηκαν 123 υπερβάσεις του ορίου. Πιο συγκεκριμένα οι υπερβάσεις παρατηρήθηκαν, αρχικά τον Απρίλιο του 1986 στο Πηγάδι1. Στην συνέχεια, οι επόμενες υπερβάσεις παρατηρούνται τις περισσότερες φορές στους ίδιους μήνες κάθε έτους με τη μέγιστη υπέρβαση να λαμβάνει χώρα τον Σεπτέμβριο του 1993. Η τελευταία υπέρβαση παρατηρείται τον Δεκέμβριο του 1999. Στον Πίνακα 3, που ακολουθεί κατατάσσονται αναλυτικά οι υπερβάσεις των ορίων, που παρατηρήθηκαν στο Πηγάδι1, Πηγάδι 3(παλιά), Πηγάδι3(νέα), Πηγάδι6, Πηγάδι8, Γεώτρηση Μαρκάκη και Μικτό Μαλλίων.

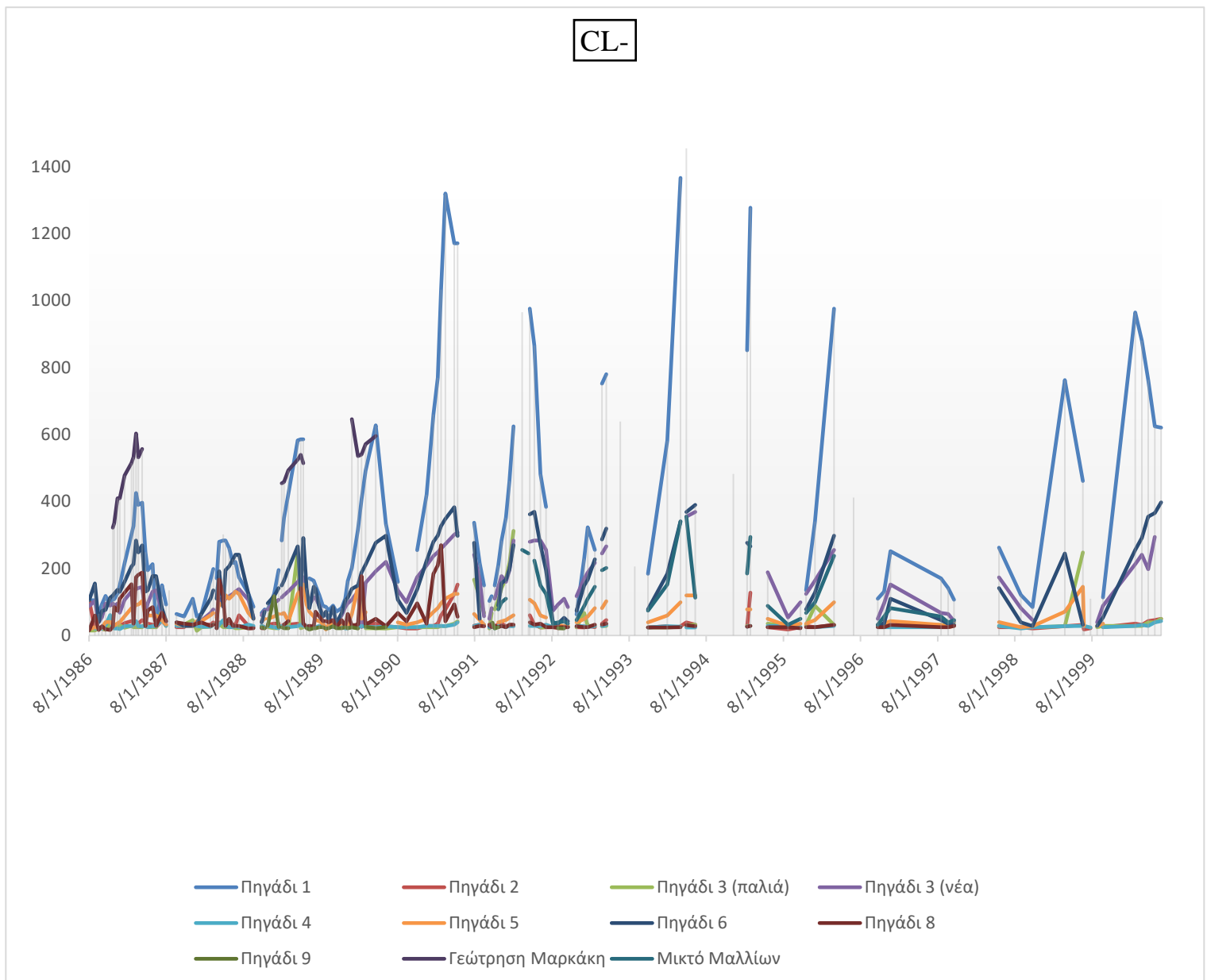


Figure 5: Γραφική απεικόνιση μετρήσεων Χλωριόντων από το 1986 έως το 1999 και για τα 11 πηγάδια παρατήρησης

Χρονολογία	Πηγάδι 1	Πηγάδι 3 (παλιά)	Πηγάδι 3 (νέα)	Πηγάδι 6	Πηγάδι 8	Γεώτρηση Μαρκάκη	Μικτό Μαλλίων
30/4/1986						322	
6/5/1986						335	
22/5/1986						410	
2/6/1986						410	
25/6/1986						478	
28/7/1986	302					515	
6/8/1986	326,6					533	
18/8/1986	426			284		603,5	
29/8/1986	390					532	
16/9/1986	397			269		557	
16/9/1987	280,15						
5/10/1987	284						
16/10/1987	284						
2/11/1987	262						
7/7/1988	284					454,4	
18/7/1988	351,5					458	
8/8/1988	422					493,5	
22/9/1988	583			266		525	
6/10/1988	586					539,6	
18/10/1988	585,8			291,1		514,8	
3/7/1989	316						
20/7/1989	405						
9/8/1989	491,7						
26/9/1989	628			277			
13/11/1989				298			
10/4/1990	255						
24/5/1990	420						
26/6/1990	660			280			
16/7/1990	770			298,2			
1/8/1990	1033		259,2	326,6	269,8		
21/8/1990	1320						
3/10/1990	1171						
18/10/1990	1171						
14/5/1991	284						
4/6/1991	351						
21/6/1991	461						
10/7/1991	624,8	312,4	284	269,8			
20/8/1991	965,6	454,4	284				255,6
25/9/1991	976,25	475,7	279,6				
17/10/1991	866,2		284	369,2			
15/11/1991	482		284	270			
11/12/1991	384		255,6				
29/7/1992	255,6						
1/8/1992							
1/9/1992	752			287			
21/9/1992	780		266	319			
26/11/1992	639			408			
7/7/1993	582		252				
8/9/1993	1366,7			340,8			340,8
10/9/1993							
5/10/1993	1455		355	369			355
17/11/1993			369	390			
16/5/1994	482,8						
23/6/1994							
20/7/1994	852			276,9			
4/8/1994	1278		266,2	266,2			294,6
6/6/1995	340,8						
5/9/1995	976,2		255,6	298,2			
6/12/1995			294,6	411,8			
29/5/1996	252						
25/10/1997	262,2						
1/9/1998	763						
26/11/1998	461,5						
Αυγ-99	965			255,6			
Σεπ-99	880,4			291,1			
Οκτ-99	763,2			355			
Νοε-99	624,8		294,6	365,6			
Δεκ-99	621			397,6			

Πίνακας 4: Αναλυτική κατάταξη υπερβάσεων των ορίων χλωριόντων

«ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΠΟΣΟΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΩΝ ΜΑΛΙΩΝ (Ν. ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ) ΜΕ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΙΣΤΟΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ»

Μήνες	Μέσος όρος από Πηγάδι 1	Μέσος όρος από Πηγάδι 3 (νέα)	Μέσος όρος από Πηγάδι 2	Μέσος όρος από Πηγάδι 3 (παλιά)	Μέσος όρος από Πηγάδι 4	Μέσος όρος από Πηγάδι 5	Μέσος όρος από Πηγάδι 6	Μέσος όρος από Πηγάδι 8	Μέσος όρος από Πηγάδι 9	Μέσος όρος από Γεώτρηση Μαρκάκη	Μέσος όρος από Μικτό Μαλλίων
1	155.55	101.01	33.82	54.65	26.94	37.61	89.80	35.25	24.88	135.00	41.40
2	111.08	75.42	24.61	29.24	26.92	33.04	61.92	31.98	22.12		50.87
3	102.48	68.93	25.33	29.46	25.76	31.81	49.53	27.20	23.43		41.04
4	125.78	91.89	27.33	37.30	28.52	37.18	73.79	32.44	25.06	322.00	69.05
5	199.72	122.39	28.13	36.97	26.02	39.37	120.69	43.03	30.18	267.27	93.05
6	259.54	129.28	29.77	58.02	25.58	52.91	144.40	59.84	55.68	511.33	101.85
7	474.29	169.16	31.04	66.31	27.43	77.08	211.15	79.84	22.39	500.68	160.73
8	665.30	178.82	47.97	61.96	29.53	79.88	243.57	81.60	23.95	546.72	275.10
9	712.76	195.51	36.53	84.30	28.05	93.65	271.41	65.50	21.30	559.33	244.11
10	618.91	194.27	49.07	30.61	30.51	97.82	228.69	56.94	21.30	452.05	190.59
11	343.11	203.11	31.35	48.27	28.82	96.66	231.26	36.29	21.37		156.03
12	265.82	159.35	35.05	34.09	32.32	73.14	231.64	40.14	21.30		145.55
Γενικός Μέσος Όρος	348.98	138.70	33.48	47.86	27.97	61.07	162.80	48.66	26.75	461.00	127.17

Πίνακας 5: Αναλυτική κατάταξη μέσων όρων χλωριόντων

Μήνες	Τυπική απόκλιση από Πηγάδι 1	Τυπική απόκλιση από Πηγάδι 2	Τυπική απόκλιση από Πηγάδι 3 (παλιά)	Τυπική απόκλιση από Πηγάδι 3 (νέα)	Τυπική απόκλιση από Πηγάδι 4	Τυπική απόκλιση από Πηγάδι 5	Τυπική απόκλιση από Πηγάδι 6	Τυπική απόκλιση από Πηγάδι 8	Τυπική απόκλιση από Πηγάδι 9	Τυπική απόκλιση από Γεώτρηση Μαρκάκη	Τυπική απόκλιση από Μικτό Μαλλίων
1	79.94	24.05	54.98	62.68	2.55	12.72	74.97	16.66	0.04	#ΔΙΑΠ./0!	13.46
2	43.27	3.18	13.61	35.90	4.46	12.54	37.90	12.68	1.85		20.55
3	15.41	4.43	13.86	26.98	2.62	5.01	20.19	7.12	3.96		7.34
4	59.94	4.05	25.22	41.99	10.51	6.01	36.86	21.44	5.96	#ΔΙΑΠ./0!	9.26
5	142.57	4.09	35.47	58.70	4.65	8.06	50.58	22.14	10.94	186.09	41.40
6	168.28	4.28	64.10	61.16	2.90	9.45	59.28	54.91	53.28	121.48	10.50
7	216.80	5.13	93.86	84.95	1.42	26.50	54.67	76.49	2.16	41.72	20.92
8	418.04	29.07	123.63	77.06	4.59	18.94	74.21	84.91	3.75	42.07	27.58
9	331.41	10.32	138.60	74.23	2.95	19.98	67.29	64.20	#ΔΙΑΠ./0!	35.56	58.25
10	433.91	40.25	6.67	92.02	5.98	37.67	117.14	40.68	#ΔΙΑΠ./0!	130.75	126.02
11	202.37	6.06	66.52	97.70	5.04	32.18	119.48	17.56	3.60		41.61
12	177.17	13.83	19.92	82.93	7.45	39.36	119.54	20.38	0.00		30.05
Γενικό	323.17	18.59	69.87	81.56	5.32	32.83	106.88	45.91	16.56	142.83	85.78

Πίνακας 6: Αναλυτική κατάταξη των τυπικών αποκλίσεων των χλωριόντων

- *Νιτρικά:* Οι μετρήσεις νιτρικών, που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση της παρούσας μελέτης οριοθετούνται εντός του χρονικού διαστήματος 1986-1998. Το επιτρεπόμενο όριο χλωριόντων στο νερό είναι ορίου **50mg/l**, βάσει αυτού δεν καταγράφηκε καμία υπέρβαση των ορίων στο χρονικό διάστημα μελέτης.

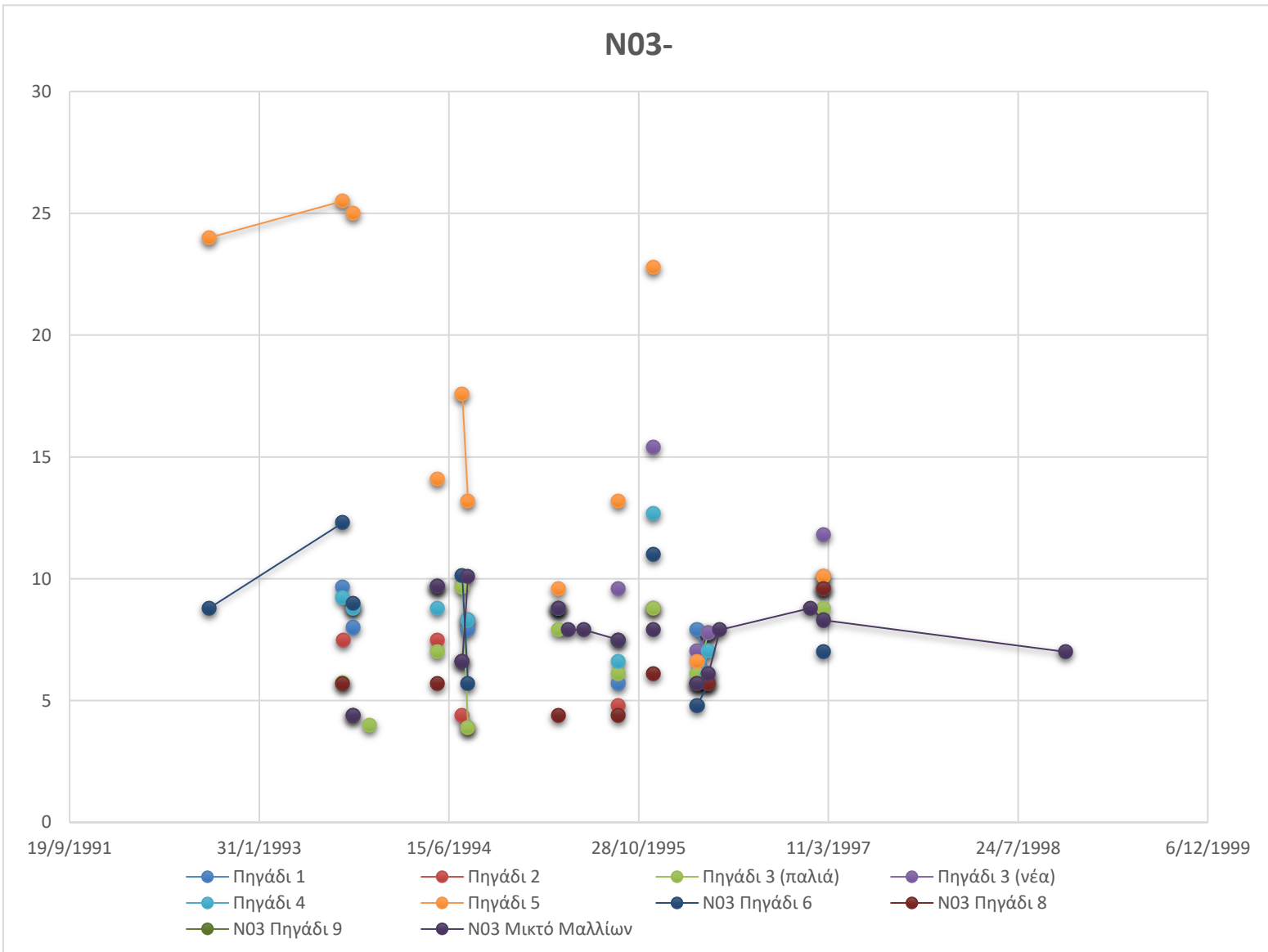


Figure 6: Γραφική απεικόνιση μετρήσεων Νιτρικών από το 1986 έως το 1999 και για τα 11 πηγάδια παρατήρησης

«ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΠΟΣΟΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΩΝ ΜΑΛΙΩΝ (Ν. ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ) ΜΕ ΑΝΑΛΥΣΗ
ΚΑΙ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΙΣΤΟΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ»

Μήνες	Μέσος όρος από Πηγάδι 1	Μέσος όρος από Πηγάδι 2	Μέσος όρος από Πηγάδι 3 (παλιά)	Μέσος όρος από Πηγάδι 3 (νέα)	Μέσος όρος από Πηγάδι 4	Μέσος όρος από Πηγάδι 5	Μέσος όρος από Πηγάδι 6	Μέσος όρος από Πηγάδι 8	Μέσος όρος από Πηγάδι 9	Μέσος όρος από Γεώτρηση Μαρκάκη	Μέσος όρος από Μικτό Μαλλίων
1	26.00	9.50	11.00	21.00	12.15	14.50	22.50	15.00			14.00
2	27.00	9.50	8.00	17.50	16.00	10.00	12.50	10.00	2.00		12.00
3	26.00	15.00	14.50	21.50	15.00	15.00	16.00	10.50			14.50
4	33.00	13.33	14.00	26.33	15.00	18.00	24.33	16.67			17.50
5	61.00	9.00	11.00	27.00	15.00	21.00	30.00	9.00			24.00
6	100.00	14.00	9.50	28.00	13.00	20.00	43.00	29.00			24.00
7	75.00	11.00	17.00		10.00	24.00	11.00	11.00			25.00
8	98.50	20.50	18.00	27.75	17.50	28.50	14.50	12.00			44.00
9	140.00	21.00	16.50	36.00	15.00	28.87	44.15	15.33			43.00
10	37.50	13.00	10.50	18.50	15.50	34.50	40.50	16.00			20.00
11											7.00
12		19.00	19.00	46.00	20.00	40.00	72.00	20.00			38.00
Γενικός Μέσος Όρος	69.47	13.76	13.00	25.21	14.96	22.60	30.48	14.84	2.00		21.47

Πίνακας 7: Αναλυτική κατάταξη των μέσων όρων θεικών ιόντων

Μήνες	Τυπική απόκλιση από Πηγάδι 1	Τυπική απόκλιση από Πηγάδι 2	Τυπική απόκλιση από Πηγάδι 3 (παλιά)	Τυπική απόκλιση από Πηγάδι 3 (νέα)	Τυπική απόκλιση από Πηγάδι 4	Τυπική απόκλιση από Πηγάδι 5	Τυπική απόκλιση από Πηγάδι 6	Τυπική απόκλιση από Πηγάδι 8	Τυπική απόκλιση από Πηγάδι 9	Τυπική απόκλιση από Γεώτρηση Μαρκάκη	Τυπική απόκλιση από Μικτό Μαλλίων
1	#ΔΙΑΙΡ./0!	3.54	4.24	2.83	0.21	0.71	#ΔΙΑΙΡ./0!	1.41			2.83
2	#ΔΙΑΙΡ./0!	4.95	7.07	0.71	#ΔΙΑΙΡ./0!	1.41	4.95	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!		5.66
3	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!	0.71	3.54	1.41	0.00	#ΔΙΑΙΡ./0!	2.12			0.71
4	10.44	1.15	1.00	4.04	1.41	1.73	8.50	6.03			3.54
5	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!			1.41
6	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!	3.54	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!			#ΔΙΑΙΡ./0!
7	21.21	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!		#ΔΙΑΙΡ./0!	1.41	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!			#ΔΙΑΙΡ./0!
8	103.94	10.61	#ΔΙΑΙΡ./0!	14.50	2.12	4.95	19.09	4.24			#ΔΙΑΙΡ./0!
9	45.83	#ΔΙΑΙΡ./0!	6.36	#ΔΙΑΙΡ./0!	8.49	10.74	18.49	5.69			#ΔΙΑΙΡ./0!
10	7.78	0.00	0.71	4.95	3.54	10.61	6.36	8.49			#ΔΙΑΙΡ./0!
11											#ΔΙΑΙΡ./0!
12		#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!			#ΔΙΑΙΡ./0!
Γενικό Αθροισμα	53.05	5.18	4.29	8.43	3.33	9.47	18.79	5.78	#ΔΙΑΙΡ./0!		11.07

Πίνακας 8: Αναλυτική κατάταξη τυπικών αποκλίσεων θεικών ιόντων

- **Θειικά:** Οι μετρήσεις θεικών, που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση της παρούσας μελέτης οριοθετούνται εντός του χρονικού διαστήματος 1986-1998. Το επιτρεπόμενο όριο θεικών στο νερό είναι ορίου **250 mg/l**, βάσει αυτού δεν καταγράφηκε καμία υπέρβαση των ορίων στο χρονικό διάστημα μελέτης.

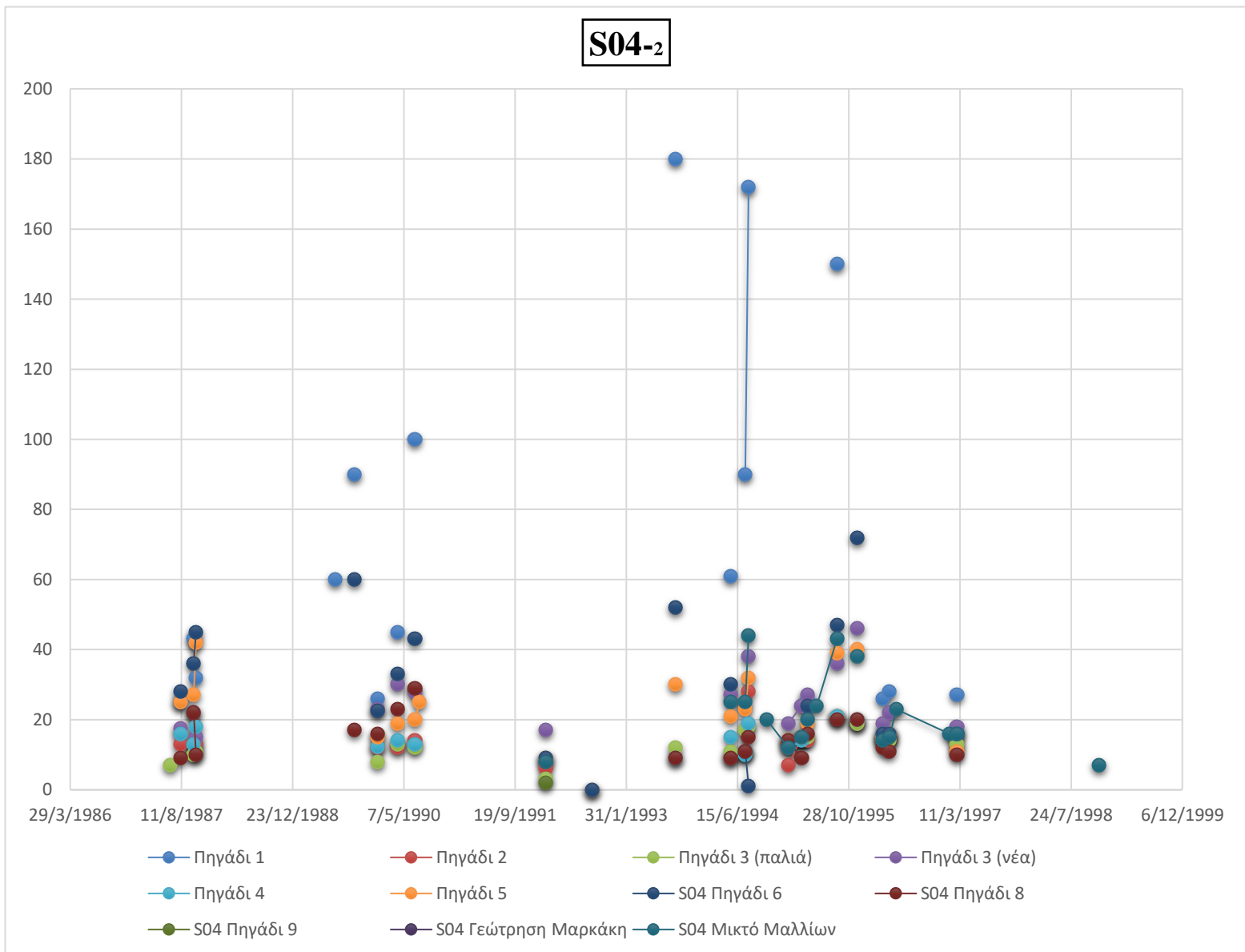


Figure 7: Γραφική απεικόνιση μετρήσεων Θεικών από το 1986 έως το 1999 και για τα 11 πηγάδια παρατήρησης

«ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΠΟΣΟΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΩΝ ΜΑΛΙΩΝ (Ν. ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ) ΜΕ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΙΣΤΟΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ»

Μήνες	Μέσος όρος από Πηγάδι 1	Μέσος όρος από Πηγάδι 2	Μέσος όρος από Πηγάδι 3 (παλιά)	Μέσος όρος από Πηγάδι 3 (νέα)	Μέσος όρος από Πηγάδι 4	Μέσος όρος από Πηγάδι 5	Μέσος όρος από Πηγάδι 6	Μέσος όρος από Πηγάδι 8	Μέσος όρος από Πηγάδι 9	Μέσος όρος από Μικτό Μαλλίων
1										8.80
2	10.10	9.60	8.80	11.80	9.60	10.10	7.00	9.60		8.30
3	7.90	8.80	7.00	7.92	7.25	8.10	4.80	5.05		7.25
4	6.10	7.80	7.80	7.80	7.04	5.70	5.70	5.70		7.00
5	9.70	7.50	7.00		8.80	14.10	9.70	5.70		8.80
6										7.90
7		4.40	9.68			17.60	10.12	6.60		6.60
8	7.90	3.90	3.90	8.30	8.30	13.20	5.70			10.10
9	7.69	6.14	5.91	9.60	7.92	20.90	9.53	5.05		7.50
10	8.00			8.80	8.80	25.00	9.00	4.40		4.40
11			4.00							7.00
12		8.80	8.80	15.40	12.70	22.80	11.00	6.10		7.90
Γενικό Αθροισμα	8.14	7.01	6.89	9.69	8.56	15.62	8.33	5.83		7.64

Πίνακας 10: Αναλυτική κατάταξη μέσων όρων νιτρικών ιόντων

Μήνες	Τυπική απόκλιση από Πηγάδι 1	Τυπική απόκλιση από Πηγάδι 2	Τυπική απόκλιση από Πηγάδι 3 (παλιά)	Τυπική απόκλιση από Πηγάδι 3 (νέα)	Τυπική απόκλιση από Πηγάδι 4	Τυπική απόκλιση από Πηγάδι 5	Τυπική απόκλιση από Πηγάδι 6	Τυπική απόκλιση από Πηγάδι 8	Καταμέτρηση από Πηγάδι 9	Τυπική απόκλιση από Μικτό Μαλλίων
1										#ΔΙΑΙΡ./0!
2	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!		#ΔΙΑΙΡ./0!
3	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!	1.27	1.24	2.19	2.12	#ΔΙΑΙΡ./0!	0.92		2.19
4	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!		1.27
5	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!		#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!		1.27
6										#ΔΙΑΙΡ./0!
7		#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!			#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!		#ΔΙΑΙΡ./0!
8	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!			#ΔΙΑΙΡ./0!
9	2.81	1.90	0.27	#ΔΙΑΙΡ./0!	1.87	6.71	2.48	0.92		#ΔΙΑΙΡ./0!
10	#ΔΙΑΙΡ./0!			#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!		#ΔΙΑΙΡ./0!
11			#ΔΙΑΙΡ./0!							#ΔΙΑΙΡ./0!
12		#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!		#ΔΙΑΙΡ./0!
Γενικό Αθροισμα	1.64	2.11	1.92	2.70	1.92	7.21	2.40	1.53		1.51

Πίνακας 9: Αναλυτική κατάταξη τυπικών αποκλίσεων νιτρικών ιόντων

4.4 Συσχετίσεις μεταξύ μεταβλητών

Αρχικά, συνδυάστηκαν οι μεταβλητές ανά δύο για την εκτίμηση των μεταξύ τους συσχετίσεων. Συγκεκριμένα, έχοντας υπόψη το τοπικό πρόβλημα της υφαλμύρινσης, δόθηκε έμφαση στις παραμέτρους της αγωγιμότητας, των χλωριόντων, της σκληρότητας και των θεικών ιόντων. Για κάθε γεώτρηση εκτιμήθηκε η γραμμική συσχέτιση των παραμέτρων αυτών ανά δύο και υπολογίστηκε ο συντελεστής προσδιορισμού (R^2) της γραμμικής τάσης.

4.4 Ανάλυση Παλινδρόμησης

Τα Μοντέλα Δομικών Εξισώσεων (Structural Equation Modeling – SEM), είναι μια στατιστική μεθοδολογία που χρησιμοποιεί την επιβεβαιωτική προσέγγιση στην ανάλυσή της (π.χ. υπόθεση, έλεγχος). Ουσιαστικά, είναι μια επέκταση του γενικού γραμμικού μοντέλου (General Linear Model - GLM), που επιτρέπει στον ερευνητή να ελέγξει ένα σύνολο εξισώσεων παλινδρόμησης ταυτόχρονα. Επιπλέον, συνδυάζουν βασικές αρχές της ανάλυσης διαδρομών και της παραγοντικής ανάλυσης. Τα SEM διατυπώθηκαν από τον γενετιστή Sewall Wright (1921), τους οικονομολόγους Trygve Huavelmo (1943) και Herbert Simon (1953) και επίσημα ορίστηκαν από τον Judea Pearl (2000), χρησιμοποιώντας μια μη πραγματική ανάλυση. Ο όρος μοντέλα δομικών εξισώσεων, φέρει δύο σημαντικές πλευρές της διαδικασίας που ακολουθεί: α) ότι όλες οι διαδικασίες παριστάνονται με μια σειρά από δομικές εξισώσεις (π.χ. παλινδρόμηση) β) ότι αυτές οι δομικές σχέσεις μπορούν μοντελοποιηθούν, με την βοήθεια εικόνων ώστε να γίνει μια καλύτερη μελέτη. Το υποθετικό μοντέλο, που δημιουργείται, μπορεί τότε να ελεγχθεί στατιστικά λαμβάνοντας υπόψη όλες τις μεταβλητές του ώστε να σε ποιο βαθμό υπάρχει ταύτιση με τα δεδομένα. Αν η σύγκλιση είναι ικανοποιητική, υπάρχει αληθοφάνεια στις σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών του μοντέλου. Σε αντίθετη περίπτωση, η ορθότητα αυτών των σχέσεων απορρίπτεται.

Τα SEM, διαχωρίζονται από την παλιά γενιά των πολυμεταβλητών διαδικασιών (FortNell, 1982) για τους εξής λόγους. Πρώτον, χρησιμοποιούν την επιβεβαιωτική ανάλυση για τα δεδομένα παρά την διερευνητική. Επιπρόσθετα, με την απαίτηση του καθορισμού των σχέσεων μεταξύ των μεταβλητών από πριν (a priori), τα SEM προσφέρονται στην ανάλυση δεδομένων για συμπερασματικούς σκοπούς. Αντίθετα, άλλες μέθοδοι πολλών μεταβλητών είναι περιγραφικοί από την φύση τους (π.χ. η διερευνητική ανάλυση παραγόντων – exploratory factor analysis), έτσι ώστε ο έλεγχος της υπόθεσής να κρίνεται δύσκολος, αν όχι αδύνατος. Δεύτερον, παρόλο που παραδοσιακή μέθοδοι πολλών μεταβλητών δεν μπορούν είτε να μετρήσουν είτε να διορθώσουν ένα λάθος μέτρησης, τα SEM παρέχουν σαφείς εκτιμήσεις των λαθών μιας παραμέτρου.

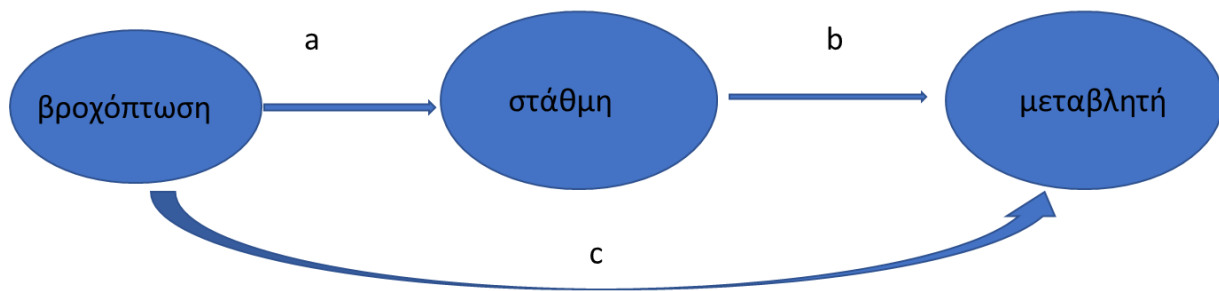
Πράγματι, εναλλακτικές μέθοδοι όπως αυτές που χρησιμοποιούν την παλινδρόμηση ή το γενικό γραμμικό μοντέλου υποθέτουν ότι τα λάθη για τις ανεξάρτητες μεταβλητές εξαλείφονται. Αγνοώντας όμως τα λάθη οδηγούμαστε σε σοβαρές ανακρίβειες - ειδικά με τα λάθη είναι αξιοσημείωτα. Τέτοιες μέθοδοι αποφεύγονται με την χρήση της ανάλυσης των Δομικών Εξισώσεων (SEM). Τρίτον, η ανάλυση δεδομένων των προηγούμενων μεθόδων βασίζεται μόνο σε μετρήσιμες μεταβλητές, ενώ οι μέθοδοι των SEM μπορούν να ενσωματώσουν και μετρήσιμες αλλά και άδηλες μεταβλητές. Τέλος, δεν υπάρχουν ευρέως, και εύκολα εφαρμοζόμενες εναλλακτικές μέθοδος για την μοντελοποίηση σχέσεων πολλών μεταβλητών ή για την εκτίμηση σημείων αυτά τα σημαντικά χαρακτηριστικά είναι διαθέσιμα χρησιμοποιώντας την μεθοδολογία των SEM. Παρέχοντας αυτά τα επιθυμητά χαρακτηριστικά, τα SEM έχουν γίνει μια δημοφιλής μεθοδολογία.

Ο ερευνητής, καθορίζει πρώτα το μοντέλο βασιζόμενος στην θεωρία, μετά προσδιορίζει πως θα το μετρήσει, συλλέγει τα δεδομένα και έπειτα εισάγει τα δεδομένα αυτά σε ένα λογισμικό πακέτο SEM. Το λογισμικό, ταιριάζει τα δεδομένα αυτά με το μοντέλο και παράγει κάποια αποτελέσματα που περιλαμβάνουν την συνολική σύγκλιση του μοντέλου και τις εκτιμήσεις των παραμέτρων του.

Στην ανάλυση, εισάγεται συνήθως ένας πίνακας συνδιακύμανσης των εκτιμωμένων μεταβλητών. Στην πράξη, οι αναλυτές, τροφοδοτούν τα προγράμματα SEM με μη επεξεργασμένα δεδομένα και το πρόγραμμα τα μετατρέπει και πίνακες συνδιακυμάνσεις και αριθμητικούς μέσους για δική του χρήση.

(Τζιρή, 2009)

Με την ανάλυση SEM, σε συνδυασμό με την «ανάλυση διαδρομής» (path analysis), στοχεύουμε να εντοπίσουμε τα στατιστικά σημαντικά μονοπάτια, που ενώνουν τρεις ή περισσότερες μεταβλητές στη διάρκεια της ίδιας ημέρας. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα διαδρομών της Εικόνας 31, η βροχόπτωση είναι δυνατόν να επηρεάσει τη στάθμη (μονοπάτι a), η οποία με τη σειρά της επηρεάζει τη χημική μεταβλητή, που μετρείται στις γεωτρήσεις (μονοπάτι b). Ταυτόχρονα, η βροχόπτωση δύναται να επηρεάσει και άμεσα τη μεταβλητή (μονοπάτι c). Η βροχόπτωση επομένως επηρεάζει άμεσα (c) και έμμεσα ($a*b$) την μεταβλητή.



Εικόνα 34: Διάγραμμα διαδρομών του θεωρητικού μοντέλου που συνδέει τη βροχόπτωση με τη στάθμη και τις χημικές μεταβλητές που μετρήθηκαν

Στη μελέτη αυτή, καθώς έχουμε λίγες καταγεγραμμένες τιμές για τις περισσότερες μεταβλητές, θεωρούμε τα δεδομένα από όλες τις γεωτρήσεις για την ανάλυση. Επιπλέον, εφαρμόζουμε τη Μέγιστη Πιθανοφάνεια της Πλήρους Πληροφορίας (Full Information Maximum Likelihood - FIML), η οποία είναι μια επέκταση του εκτιμητή της Μέγιστης Πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood – ML) της κανονικής θεωρίας. Η διαδικασία λειτουργεί, με την εκτίμηση μιας συνάρτησης πιθανότητας για κάθε ημερομηνία με βάση τις μεταβλητές που υπάρχουν, έτσι ώστε να χρησιμοποιούνται όλα τα διαθέσιμα δεδομένα. Για παράδειγμα, μπορεί να υπάρχουν ορισμένες μεταβλητές με δεδομένα σε όλες τις ημερομηνίες, αλλά ορισμένες μεταβλητές μπορεί να έχουν δεδομένα μόνο για 150 από τις ημερομηνίες αυτές. Οι πληροφορίες για την προσαρμογή του μοντέλου, προέρχονται από μια άθροιση συναρτήσεων προσαρμογής για μεμονωμένες περιπτώσεις και, επομένως, βασίζονται σε όλες τις ημερομηνίες. Ο έλεγχος για τη στατιστική σημαντικότητα των διαδρομών γίνεται με μέθοδο bootstrap, η οποία παρέχει πιο ακριβείς εκτιμήσεις παραμέτρων. Ο κώδικας σε περιβάλλον R, παρουσιάζεται στην Εικόνα 32. Η στατιστική σημαντικότητα των παραμέτρων που προκύπτουν ελέγχεται με τεστ χ^2 . Μια παράμετρος παλινδρόμησης είναι στατιστικά σημαντική όταν η τιμή p είναι μικρότερη του 0.05 (που αντιστοιχεί στο 95% διάστημα εμπιστοσύνης).

```
Pathmod <- '  
nitrate ~ b*stage + c*rain  
stage ~ a*rain  
direct := c  
indirect := a*b  
stage_nitrate:=b  
rain_stage:=a  
total := a*b +c'  
  
pathan1 <- sem(Pathmod, data = data,missing = 'fiml.x')  
summary(pathan1, stand = T, rsquare = T, fit.measures = T)  
parameterEstimates(pathan1,boot.ci.type = "bca.simple",level=0.95,rsquare=T)
```

Εικόνα 35: Κώδικας ανάλυσης Μοντέλου Δομικών Εξισώσεων (SEM) σε συνδυασμό με ανάλυση διαδρομής (path analysis) για την περίπτωση της συγκέντρωσης των νιτρικών ιόντων

4.5 Μεθοδολογία εκτίμησης συσχέτισης μεταξύ μεταβλητών και βροχόπτωσης σε προηγούμενα χρονικά βήματα (R)

Για να εξετάσουμε τον χρονικό ορίζοντα (αριθμός ημερών), στον οποίο πραγματοποιούνται εμφανείς διαφορές των χημικών μεταβλητών και της στάθμης σε σχέση με τη βροχόπτωση, χρησιμοποιούμε τη συνάρτηση αλληλοσυσχέτισης (ccf) σε γλώσσα προγραμματισμού R. Η συνάρτηση αυτή, μεταφέρει τη μεταβλητή x (εδώ τη βροχόπτωση), n χρονικά βήματα (εδώ ημέρες), πίσω και μπροστά στον χρόνο και ελέγχει τη συσχέτισή της με μια άλλη χημική παράμετρο (y) σε κάθε μεταφορά βήματος (lag). Έτσι, παράγει διαγράμματα-μπάρες με τις τιμές της συσχέτισης για κάθε χρονικό βήμα. Στα διαγράμματα που παράγουμε, εστιάζουμε στις αρνητικές τιμές των χρονικών βημάτων, που αντιστοιχούν στη μεταφορά της βροχόπτωσης πίσω στον χρόνο (οι οποίες έχουν φυσική σημασία για την έρευνά μας).

Οι τιμές της αλληλοσυσχέτισης, δίνονται από την εντολή **ccfvalues** που φαίνεται στην Εικόνα ... (εδώ εξετάζουμε τη σχέση με τα νιτρικά ιόντα). Η εντολή ccf δίνει τα διαγράμματα συσχέτισης σε διάφορα χρονικά βήματα:

```
ccfvalues = ccf(pcp, no3, na.action = na.pass)  
  
ccf (pcp, no3, na.action = na.pass, main = "pcp & SO4 FOR STATION Mikto",  
     xlab = "Lag Time (days)",ylab= "Correlation")
```

Εικόνα 36: Κώδικας εκτίμησης της αλληλοσυσχέτισης μεταξύ της συγκέντρωσης των νιτρικών ιόντων και της βροχόπτωσης σε διάφορα χρονικά βήματα

4.6 Μεθοδολογία εκτίμησης συσχέτισης μεταξύ μεταβλητών και αθροιστικής βροχόπτωσης (Matlab)

Το συγκεκριμένο υποκεφάλαιο πραγματεύεται την ανάπτυξη ενός εύχρηστου αλγορίθμου που συντέλεσε στον έλεγχο πιθανής συσχέτισης ανάμεσα στην αθροιστική βροχόπτωση και την εκάστοτε μεταβλητή (pH, Αγωγιμότητα, Σκληρότητα, Στάθμη, Χλωριόντα, Νιτρικά και Θεϊκά) που μελετάμε. Η μεθοδολογία χρησιμοποιήθηκε για να επιβεβαιώσει τα ευρήματα των προηγούμενων μεθοδολογιών που αφορούν στη συσχέτιση των μεταβλητών με τη βροχόπτωση. Χρησιμοποιείται το μαθηματικό λογισμικό «Matlab R2021a». Συγκεκριμένα, μέσω του μαθηματικού λογισμικού «Matlab», ελέγχεται η συσχέτιση ανάμεσα στην αθροιστική βροχόπτωση με διαιρεμένο βήμα (30) ημερών και το πως επηρεάζεται η αντίστοιχη μεταβλητή. Στη συνέχεια, μετά τη δοκιμή εντοπίζεται το χρονικό βήμα με τη μεγαλύτερη συσχέτιση. Στην Εικόνα 34, παρατίθεται ο κώδικας, που χρησιμοποιήθηκε με επιλεγμένη μεταβλητή την αγωγιμότητα και χρονικό βήμα 30 ημερών.

```
% a(:,15)=datetime(a(:,3),a(:,2),a(:,1));
% Για διαφορετικό αριθμό ημερών αθροιστικής βροχόπτωσης από 1 έως 300
clear Rfull
for n=0:99
    clear c
    for i=1:size(agogimotita,1)
        for j=1:size(b,1)
            if agogimotita(i,15)==b(j,7)
                try
                    c(i,1:3)=sum(b(j-n:j,1:3));
                catch
                    c(i,1:3)=NaN;
                end
            end
        end
    end
end
% Για όλα τα πιάδια
for m=1:11
    % Για όλους τους υδρομετρικούς
    for r=1:3
        % Υπολογισμός συντελεστή συσχέτισης
        R1=corrcoef(agogimotita(~isnan(agogimotita(:,m+3)),m+3),c(~isnan(agogimotita(:,m+3)),r));
        % Κράτα συντελεστή σε έναν μεγάλο πίνακα
        Rfull(m,r+3*n)=R1(1,2);
    end
end
end
for i=1:11
    figure()
    for j=1:3
        % Κάνε διάγραμμα συντελεστή συσχέτισης πιαδιού i με στάθμη j
        plot(Rfull(i,j:3:end))
        titlestr=['Well ',num2str(i),' correlation with rainfall stations'];
        title(titlestr)
        hold on
    end
    xlabel('Days of cumulative rainfall')
    ylabel('Correlation coefficient')
    legend('Exo potamoi','Avdou','Tzermiado')
end
```

Εικόνα 37: Κώδικας Δημιουργίας Γραφημάτων Συσχέτισης στο παράδειγμα χρησιμοποιείται χρονικό βήμα 100 ημερών

4.7 Ερμηνεία του Δείκτη συσχέτισης r και R^2

Ο **συντελεστής γραμμικής συσχέτισης r** , δίνει ένα μέτρο του μεγέθους της γραμμικής συσχέτισης μεταξύ δύο μεταβλητών. Παίρνει τιμές στο κλειστό διάστημα $[-1, 1]$.

- Κατεύθυνση (πρόσημο): Μπορεί να πάρει θετικό ή αρνητικό πρόσημο, δείχνοντας ότι η σχέση αυτή είναι θετική (όταν αυξάνεται η μια μεταβλητή, αυξάνεται και η άλλη) ή αρνητική (όταν αυξάνεται η μία μεταβλητή, μειώνεται η άλλη). Θετικές τιμές του r δεν υποδηλώνουν, κατ' ανάγκην μεγαλύτερο βαθμό γραμμικής συσχέτισης από το βαθμό γραμμικής συσχέτισης που υποδηλώνουν αρνητικές τιμές του r . Ο βαθμός γραμμικής συσχέτισης καθορίζεται από την απόλυτη τιμή του r και όχι από το πρόσημο του r . Το πρόσημο του r καθορίζει το είδος, μόνο, της συσχέτισης (θετική ή αρνητική). Μας πληροφορεί δηλαδή, για το αν αύξηση της μιας μεταβλητής αντιστοιχεί σε αύξηση ή σε μείωση της άλλης μεταβλητής.
- Ένταση (απόλυτη τιμή):
- $r < 0.3$ Καμία ή πολύ ασθενής συσχέτιση
- $0.3 < r < 0.5$ Ασθενής
- $0.5 < r < 0.7$ Μέτρια
- $r > 0.7$ Ισχυρή
- $r = 1$ Απόλυτη

(Παπαδόπουλος, 2015)

Συντελεστής Προσδιορισμού (R^2)

Ο πιο εύκολος τρόπος εκτίμησης την ερμηνευτικής δύναμης ενός γραμμικού μοντέλου, είναι ο συντελεστής προσδιορισμού (coefficient of determination), που συνήθως συμβολίζεται με r^2 ή R^2 . Ο συντελεστής αυτός, μετρά πόση διακύμανση της εξαρτημένης μεταβλητής κατάφεραν να ερμηνεύσουν οι ανεξάρτητες μεταβλητές. Ουσιαστικά, είναι το πιο απλό μέτρο που μετρά την ικανότητα ενός συνόλου παραγόντων να ερμηνεύσουν ένα φαινόμενο. Ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 , είναι ο λόγος της διακύμανσης των εκτιμημένων τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής προς τη διακύμανση των πραγματικών τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής και υπολογίζεται ως εξής:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

όπου n είναι ο αριθμός των παρατηρήσεων, y_i είναι οι πραγματικές τιμές της εξαρτημένης μεταβλητής Y , \bar{y} είναι η μέση τιμή της μεταβλητής Y και \hat{y}_i είναι οι εκτιμημένες τιμές της Y (Davis, 2002). Οι τιμές του συντελεστή προσδιορισμού R^2 κυμαίνονται από το 0 ως το 1 και προφανώς όσο η τιμή πλησιάζει προς το 1 τόσο καλύτερη προσαρμογή έχει το μοντέλο.

Η ερμηνεία των παραπάνω ορίων έχει ως εξής:

- $R^2 = 1$ σημαίνει ότι οι ερμηνευτικές μεταβλητές εξηγούν το 100% της διακύμανσης της εξαρτημένης μεταβλητής και άρα έχουμε ένα τέλειο μοντέλο
- $R^2 = 0$ σημαίνει ότι οι ερμηνευτικές μεταβλητές δεν εξηγούν καθόλου την διακύμανση της εξαρτημένης μεταβλητής Στην πράξη ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 θεωρείται ικανοποιητικός ή όχι ανάλογα με την εμπειρική εφαρμογή. Για παράδειγμα, φαινόμενα όπως το επίπεδο εκπαίδευσης και το εισόδημα μπορούν να ερμηνευτούν με σχετική ευκολία ακόμη και σε επίπεδο 90% κάτι, ωστόσο, που δεν ισχύει σε εφαρμογές της χωρικής επιδημιολογίας.

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Αρχικά,, ερευνήθηκε η συσχέτιση μεταξύ Χλωριόντων-Αγωγιμότητας , Θεικών Ιόντων- Αγωγιμότητας και Σκληρότητας-Αγωγιμότητας. Στη συνέχεια, με την ανάλυση SEM, εντοπίστηκαν οι τυποποιημένοι συντελεστές παλινδρόμησης και βρέθηκε ο συντελεστής προσδιορισμού (R^2) που δείχνει το ποσοστό της διακύμανσης για κάθε εξαρτημένη μεταβλητή, που εξηγείται από τις στατιστικά σημαντικές ανεξάρτητες μεταβλητές στάθμη και βροχόπτωση. Σαν δεύτερη μέθοδο, για την εξαγωγή αποτελεσμάτων αναπτύχθηκε ένας εύχρηστος αλγόριθμος, που συντέλεσε στον έλεγχο συσχέτισης ανάμεσα στην αθροιστική βροχόπτωση και την εκάστοτε μεταβλητή, που μελετάται, καταγράφηκαν τα αποτελέσματα μέσω του μαθηματικού λογισμικού «Matlab R2021a». Αφού πραγματοποιήθηκε καταγραφή των μετρήσεων και έγινε έλεγχος για συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών και των τιμών των βροχοπτώσεων, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και των δύο μεθόδων. Τα αποτελέσματα, που παρουσιάζονται, αφορούν όλες τις υπό μελέτη μεταβλητές, (pH, Αγωγιμότητα, Σκληρότητα, Στάθμη, Χλωριόντα, Νιτρικά και Θεικά) που αναφέρθηκαν, καθώς και τις τιμές βροχόπτωσης και από τους τρεις βροχομετρικούς σταθμούς (Αβδού, Έξω ποταμοί, Τζερμιάδων). Κάθε ένα από τα γραφήματα αυτά, αφορά τη συσχέτιση που προκύπτει από όλες τις τιμές των μεταβλητών που καταγράφηκαν στα 11 πηγάδια της περιοχής των Μαλίων από το έτος 1986 έως το 2005 με τις τιμές τις βροχόπτωσης από το έτος 1986-2005. Όπως έχει ήδη προαναφερθεί, τα αποτελέσματα προκύπτουν με τη χρήση του μαθηματικού μοντέλου «Matlab R2021a». Δεδομένου ότι, οι μετρήσεις για κάποιες μεταβλητές είναι ιδιαίτερα ελλιπείς και κατά συνέπεια υπάρχει μεγάλο ποσοστό αβεβαιότητας, εξετάστηκαν δύο τρόποι συσχέτισης των μεταβλητών, με σκοπό την καλύτερη και εγκυρότερη προσέγγιση των αποτελεσμάτων.

5.1 Συσχέτιση Αγωγιμότητα –CL- – SO4 – σκληρότητα

Η περιοχή μελέτης, αντιμετωπίζει χρόνιο πρόβλημα με την υφαλμύριση και γι' αυτό σαν πρώτο βήμα, εξετάστηκαν οι συσχετίσεις μεταξύ της αγωγιμότητας με τα χλωριόντα, των χλωριόντων με τα θειικά ιόντα καθώς και της αγωγιμότητας με τη σκληρότητα. Στην συνέχεια, παρατίθενται οι καλύτερες συσχετίσεις των αποτελεσμάτων, για όλες τις μετρήσεις και μεταβλητές. Αναλυτικότερα, στο διάγραμμα 8, απεικονίζεται η καλύτερη συσχέτιση μεταξύ χλωριόντων και αγωγιμότητα που δόθηκε από το Πηγάδι 1, με $R^2 = 0.98$. Στο διάγραμμα 9, απεικονίζεται η καλύτερη συσχέτιση μεταξύ χλωριόντων και θεικών ιόντων, που δόθηκε από το Πηγάδι 1, με $R^2 = 0.97$. Στο διάγραμμα 10, απεικονίζεται η καλύτερη συσχέτιση μεταξύ αγωγιμότητας και σκληρότητας, που δόθηκε από το Πηγάδι 1, με $R^2 = 0.97$. Εξαιτίας πληθώρας διαγραμμάτων, τα υπόλοιπα διαγράμματα παρατίθενται στο Παράρτημα της μελέτης.

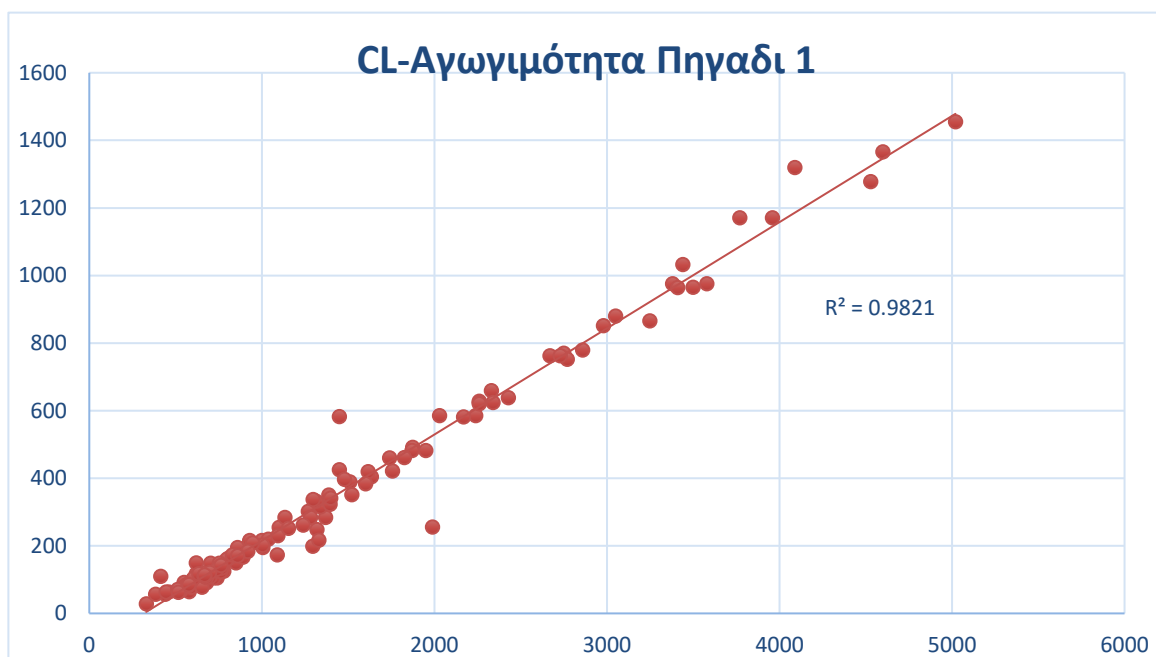


Figure 8: Αποτελέσματα συσχέτισης χλωριόντων -αγωγιμότητας για το πηγάδι 1

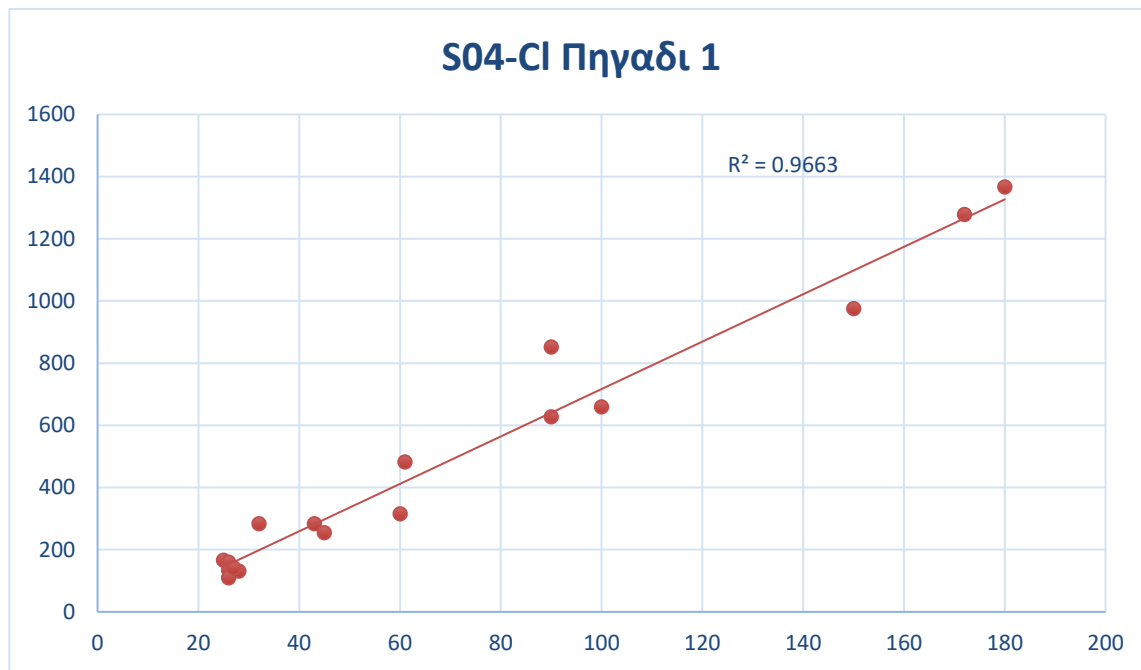


Figure 9: Αποτελέσματα συσχέτισης θειικών ιόντων – χλωριόντων για το Πηγάδι 1

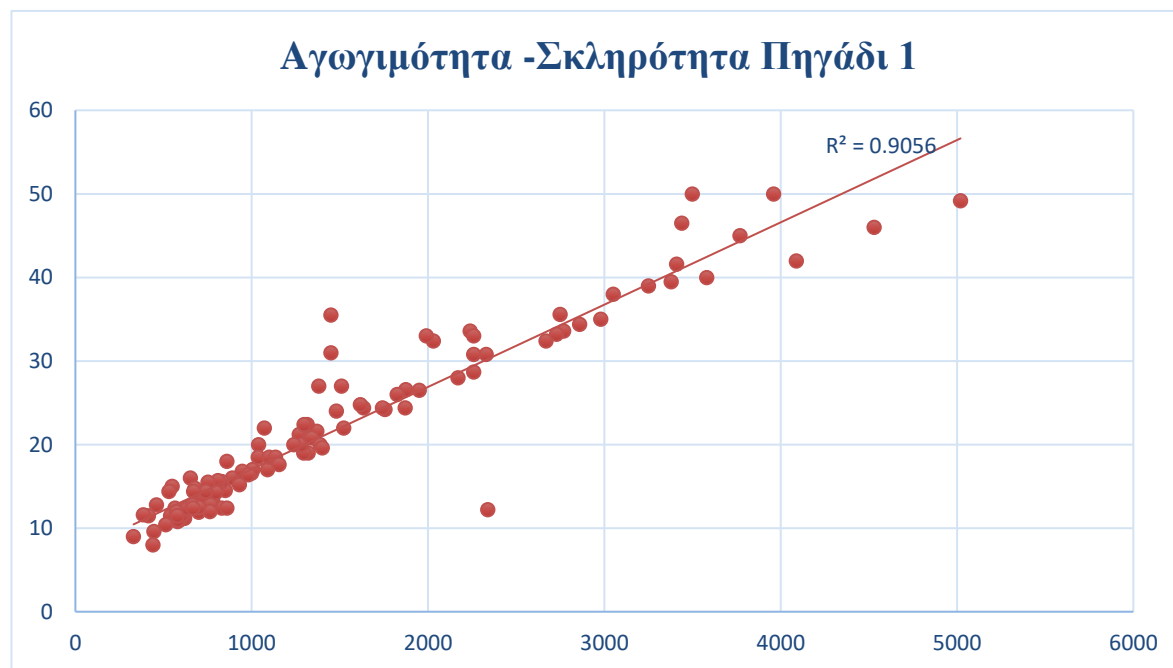


Figure 10: Αποτελέσματα συσχέτισης αγωγιμότητας-σκληρότητας για το Πηγάδι 1

5.2 Ανάλυση Παλινδρόμησης

Τα αποτελέσματα από την ανάλυση SEM φαίνονται στον Πίνακα 11, όπου παρουσιάζονται οι τυποποιημένοι συντελεστές παλινδρόμησης (στις περιπτώσεις που αυτοί είναι στατιστικά σημαντικοί στο 95% διάστημα εμπιστοσύνης). Επίσης δίνεται και ο συντελεστής προσδιορισμού (R^2) που δείχνει το ποσοστό της διακύμανσης για κάθε εξαρτημένη μεταβλητή που εξηγείται από τις στατιστικά σημαντικές ανεξάρτητες μεταβλητές στάθμη και βροχόπτωση. Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν τις άμεσες συσχετίσεις μεταξύ της βροχόπτωσης/στάθμης και των υπόλοιπων χημικών μεταβλητών, δηλαδή τις συσχετίσεις που υφίστανται στο χρονικό πλαίσιο της μιας μέρας. Η έμμεση επίδραση της βροχόπτωσης στη μεταβλητή δεν περιλαμβάνεται στον πίνακα, καθώς δεν ήταν στατιστικά σημαντική για καμία από τις εξεταζόμενες μεταβλητές.

Η στάθμη, επίσης, δεν επηρεάζεται από τη βροχόπτωση μέσα στην ίδια μέρα για τις εξεταζόμενες γεωτρήσεις (μη στατιστικά σημαντικός συντελεστής παλινδρόμησης). Τα νιτρικά ιόντα είναι η μεταβλητή που επηρεάζεται άμεσα σε μεγάλο βαθμό από τη βροχόπτωση, (τυποποιημένος συντελεστής $\beta = -0.455$) με τη συγκέντρωσή της να μειώνεται με την αύξηση της βροχόπτωσης, ενώ η αύξηση της στάθμης επιφέρει αύξηση της συγκέντρωσης νιτρικών ($\beta = 0.515$). Η βροχόπτωση και η στάθμη μάλιστα εξηγούν το 47% της διακύμανσης των νιτρικών ιόντων. Συγκεκριμένα, η βροχόπτωση ευθύνεται από μόνη της για το 41% της διακύμανσης των νιτρικών ιόντων. Το pH ($\beta = -0.306$) και τα θειικά ιόντα ($\beta = 0.119$) επηρεάζονται μόνο από τη στάθμη (όχι από τη βροχόπτωση) με το πρώτο να μειώνεται και το δεύτερο να αυξάνεται με την αύξηση της στάθμης. Η μεταβολή της στάθμης περιγράφει το 9.4% της διακύμανσης του pH και μόνο το 0.5% της διακύμανσης της συγκέντρωσης των θεικών ιόντων. Τέλος, οι παράμετροι των χλωριόντων, της αγωγιμότητας και της σκληρότητας, που όπως θα δούμε οφείλονται στην υφαλμύριση των γεωτρήσεων, παρουσιάζουν παρόμοιες συμπεριφορές, με τυποποιημένους συντελεστές παλινδρόμησης του εύρους 0.253-0.291 που περιγράφουν τη στατιστικά σημαντική σχέση με τη στάθμη, έχοντας όμως μικρή συσχέτιση (οριακά σημαντική) με τη βροχόπτωση, ενώ η στάθμη και η βροχόπτωση περιγράφουν 6.7-9.2% της διακύμανσής τους. Επειδή έχουμε τυποποιημένους συντελεστές, μπορούμε να συγκρίνουμε τις συσχετίσεις της στάθμης μεταξύ των μεταβλητών και είναι φανερό ότι τα νιτρικά ιόντα επηρεάζονται σε μεγαλύτερο βαθμό από τη στάθμη (και τη βροχή) ενώ τα θειικά έχουν τη μικρότερη συσχέτιση.

Οι στήλες που περιλαμβάνουν τους απλούς συντελεστές παλινδρόμησης δηλώνουν τη σχετική μεταβολή της εξαρτημένης παραμέτρου με την αλλαγή της ανεξάρτητης κατά μία μονάδα. Για παράδειγμα, όταν η στάθμη της γεώτρησης αυξάνεται κατά 1 m, η συγκέντρωση των νιτρικών αυξάνεται κατά 0.515 mg/L ενώ όταν η βροχή αυξάνεται κατά 1 mm, η συγκέντρωση των νιτρικών μειώνεται κατά 0.165 mg/L.

	ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ		ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ		
μεταβλητές	στάθμη	βροχόπτωση	Στάθμη	βροχόπτωση	R^2
στάθμη	-	-	-	-	-
NO3	0.515	-0.455	0.125	-0.165	47.0%
SO4	0.044	-	0.116	-	0.5%
Cl	0.253	-0.05	2.473	-0.763	6.7%
αγωγιμότητα	0.291	-0.082	9.404	-4.07	9.2%
σκληρότητα	0.273	-0.1 (οριακά)	0.098	-0.067	8.6%
pH	-0.306	-	-0.004	-	9.4%

Πίνακας 11: Αποτελέσματα ανάλυσης από τα Μοντέλα Δομικής Εξίσωσης (SEM). Τυποποιημένοι και απλοί συντελεστές παλινδρόμησης για τη στάθμη και τη βροχόπτωση και συντελεστής προσδιορισμού των μοντέλων.

5.3 Συσχέτιση μεταξύ μεταβλητών και βροχόπτωσης σε προηγούμενα χρονικά βήματα

Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 12, για τις περισσότερες γεωτρήσεις, η επίδραση της βροχόπτωσης στη στάθμη της κάθε γεώτρησης είναι περισσότερο εμφανής (μεγαλύτερος συντελεστής συσχέτισης 0.44-0.70) μετά από 9-10 ημέρες. Το αποτέλεσμα αυτό είναι σε συμφωνία με τις παρατηρήσεις των ειδικών που σημειώνουν ότι η διέλευση του νερού υπογείως εμποδίζεται από την ύπαρξη αργιλικών υλικών στους υπόγειους αγωγούς.

Παρατηρούμε επίσης ότι για τις περισσότερες γεωτρήσεις, η συγκέντρωση νιτρικών συσχετίζεται σημαντικά με τη βροχόπτωση της προηγούμενης εβδομάδας (χρονική μεσολάβηση 7 ημερών) ενώ υπάρχουν και κάποιες γεωτρήσεις για τις οποίες η συγκέντρωση των νιτρικών συσχετίζεται με τη βροχόπτωση εξίσου καλά μετά από 1, 7 και 14 ημέρες (γεωτρήσεις 4 και 5). Αυτή η παρατήρηση μάς παρέχει μια ένδειξη ότι οι γεωτρήσεις 4 και 5 έχουν ενδεχομένως ένα ξεχωριστό, πιο σύνθετο υπόγειο σύστημα υδροφορέων, με διαφορετικές διαδρομές νερού.

Οι συσχετίσεις της βροχόπτωσης με τα θεικά ιόντα είναι χαμηλές για κάθε χρονικό βήμα. Υπάρχουν δυο γεωτρήσεις στις οποίες η συσχέτιση είναι ασθενής για χρονικό βήμα ίσο με 28 ημέρες (γεωτρήσεις 8 και Μικτό με συσχετίσεις 0.31 και 0.38 αντίστοιχα). Τα χλωρίοντα, η αγωγιμότητα και η σκληρότητα ακολουθούν το αντίθετο μοτίβο των συσχετίσεων της στάθμης. Αυτό ήταν αναμενόμενο, αφού η μείωση της στάθμης συνεπάγεται αύξηση της υφαλμύρινσης και των συγκεντρώσεων των παραμέτρων αυτών.

Στάθμη		
Γεώτρηση	Συσχέτιση (r)	Βήμα υστέρησης (lag)
1	0.28	-9
2	0.56	-9
3	0.60	-9
4	0.44	-3
5	0.33	-21
6	0.50	-9
7	0.55	-9
8	0.44	-9
9	0.47	-9
Μαρκάκης	0.47	-9

Πίνακας 12: Βέλτιστες συσχετίσεις μεταξύ στάθμης και βροχόπτωσης με υστέρηση

Νιτρικά Ιόντα (συγκέντρωση)				
Γεώτρηση	Συσχέτιση (r)	Βήμα υστέρησης (lag)	Δευτερεύουσες Συσχετίσεις	Δευτερεύοντα βήματα υστέρησης
1	0.32	-7		
2	0.49	-7		
3	0.37	-7		
4	0.43	-1	0.38 ,0.33	-14, -7
5	0.38	-1	0.36, 0.29	-14, -7
6	0.22	-1		
7	0.19	-1		
8	0.53	-7		
Μικτό	0.25	-7		

Πίνακας 13: Βέλτιστες συσχετίσεις μεταξύ συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων και βροχόπτωσης με υστέρηση.

Θειικά Ιόντα (συγκέντρωση)		
Γεώτρηση	Συσχέτιση (r)	Βήμα υστέρησης (lag)
1	0.27	-4
2	0.14	-10
3	0.15	-1
4	0.27	-1
5	0.15	-1
6	0.16	-2
7	0.15	-1
8	0.31	-28
Μικτό	0.38	-28

Πίνακας 14: Βέλτιστες συσχετίσεις μεταξύ συγκέντρωσης θειικών ιόντων και βροχόπτωσης με υστέρηση

5.4 Συσχέτιση μεταξύ μεταβλητών και αθροιστικής βροχόπτωσης

Τα αποτελέσματα από την ανάλυση με το μαθηματικό λογισμικό «Matlab R2021a», επιβεβαίωσαν την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε παραπάνω με την μέθοδο R, αφού οι δύο μέθοδοι συγκλίνουν στα περισσότερα από τα αποτελέσματα. Παρακάτω, παρουσιάζονται οι καλύτερες συσχετίσεις, που πάρθηκαν από την συγκεκριμένη μέθοδο και για τις 7 μεταβλητές (pH, Αγωγιμότητα, Σκληρότητα, Στάθμη, Χλωριόντα, Νιτρικά και Θειικά Ιόντα). Αναλυτικότερα, στο πρώτο διάγραμμα φαίνεται η καλύτερη συσχέτιση της μεταβλητής **pH** με την αθροιστική βροχόπτωση που δόθηκε από το Πηγάδι 8 ($r=0.33$), η καλύτερη συσχέτιση μεταξύ των δύο μεταβλητών δίνεται σε χρονικό βήμα **10** ημερών. Στο δεύτερο διάγραμμα, φαίνεται η καλύτερη συσχέτιση μεταξύ της **αγωγιμότητας** με την αθροιστική βροχόπτωση, που δόθηκε από το Πηγάδι 8 ($r= -0.13$), η καλύτερη συσχέτιση μεταξύ των δύο μεταβλητών δίνεται σε χρονικό βήμα **2** ημερών, όπου η αρνητική συσχέτιση υποδηλώνει ότι οι δύο μεταβλητές είναι αντιστρόφως ανάλογες. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, θεωρείται αποδεκτό αποτέλεσμα, αφού μετά τη βροχόπτωση οι συγκεντρώσεις ιόντων της καθίζησης μειώνονται λόγω αραίωσης και η αγωγιμότητα κατά συνέπεια, δείχνει μια προφανή φθίνουσα τάση. Ομοίως, στο τρίτο διάγραμμα, φαίνεται η καλύτερη συσχέτιση μεταξύ της **σκληρότητας** με την αθροιστική βροχόπτωση, που δόθηκε από το Πηγάδι 1 ($r= -0.11$), η καλύτερη συσχέτιση μεταξύ των δύο μεταβλητών δίνεται σε χρονικό βήμα **2** ημερών, όπου η αρνητική συσχέτιση υποδηλώνει ότι οι δύο μεταβλητές είναι αντιστρόφως ανάλογες. Στο τέταρτο διάγραμμα, φαίνεται η καλύτερη συσχέτιση μεταξύ της στάθμης παρατήρησης με την αθροιστική βροχόπτωση, που δόθηκε από το Πηγάδι 4 ($r= 0.75$), η καλύτερη συσχέτιση μεταξύ των δύο μεταβλητών δίνεται σε χρονικό βήμα **4** ημερών. Στο πέμπτο διάγραμμα, φαίνεται η καλύτερη συσχέτιση μεταξύ των **θειικών ιόντων** με την αθροιστική βροχόπτωση, που δόθηκε από το Πηγάδι 4 ($r= 0.37$), η καλύτερη συσχέτιση μεταξύ των δύο μεταβλητών δίνεται σε χρονικό βήμα **2** ημερών. Στο έκτο διάγραμμα, φαίνεται η καλύτερη συσχέτιση μεταξύ των **χλωριόντων** με την αθροιστική βροχόπτωση, που δόθηκε από το Πηγάδι 1 ($r= -0.11$), η καλύτερη συσχέτιση μεταξύ των δύο μεταβλητών δίνεται σε χρονικό βήμα **2** ημερών, όπου η αρνητική συσχέτιση υποδηλώνει ότι οι δύο μεταβλητές είναι αντιστρόφως ανάλογες. Στο έβδομο διάγραμμα, φαίνεται η καλύτερη συσχέτιση μεταξύ των **νιτρικών** με την αθροιστική βροχόπτωση, που δόθηκε από το Πηγάδι 1 ($r= 0.92$), η καλύτερη συσχέτιση μεταξύ των δύο μεταβλητών δίνεται σε χρονικό βήμα **5** ημερών. Οι υπόλοιπες συσχετίσεις βρίσκονται στο παράρτημα της συγκεκριμένης μελέτης.

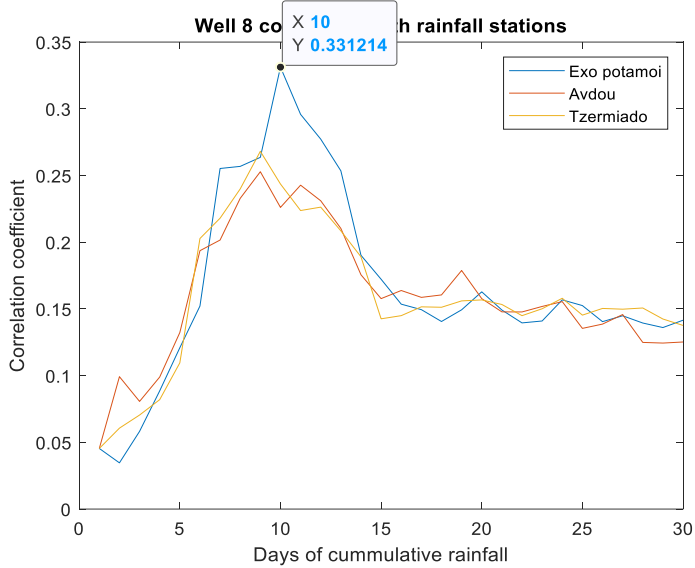


Figure 11: Αποτελέσματα συσχέτισης pH-βροχόπτωσης για το πηγάδι 8

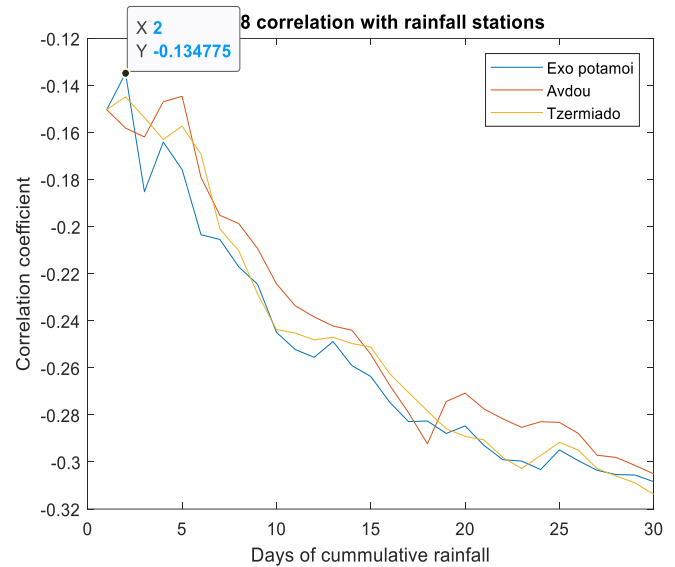


Figure 12: Αποτελέσματα συσχέτισης αγωγιμότητας-βροχόπτωσης για το πηγάδι 8

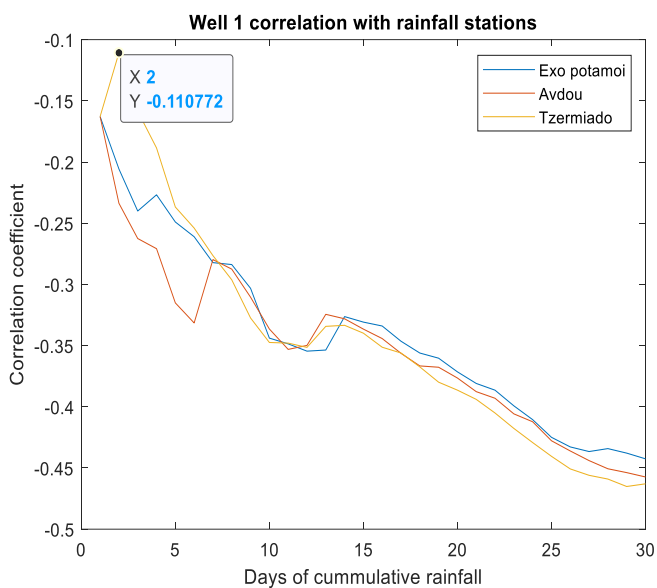


Figure 13 : Αποτελέσματα συσχέτισης σκληρότητας-βροχόπτωσης για το πηγάδι 1

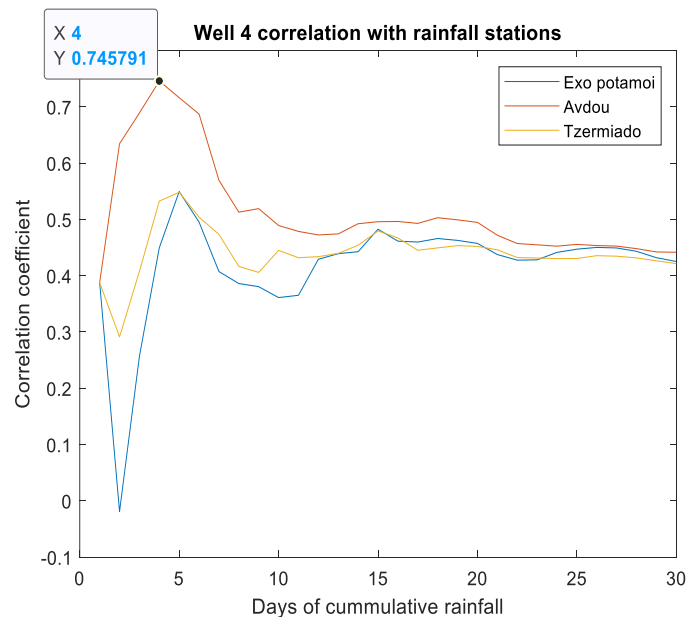


Figure 14: Αποτελέσματα συσχέτισης στάθμης παρατήρησης-βροχόπτωσης για το πηγάδι 4

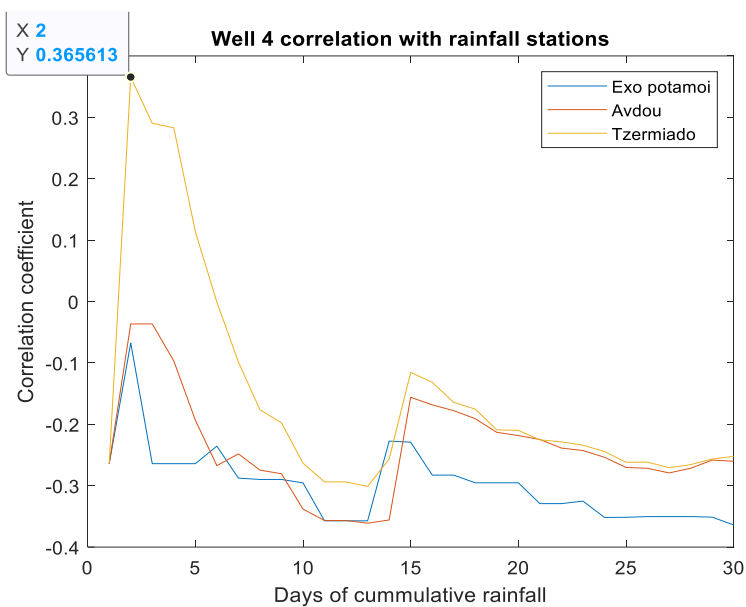


Figure 16 : Αποτελέσματα συσχέτισης θειικών ιόντων-βροχόπτωσης για το πηγάδι 4

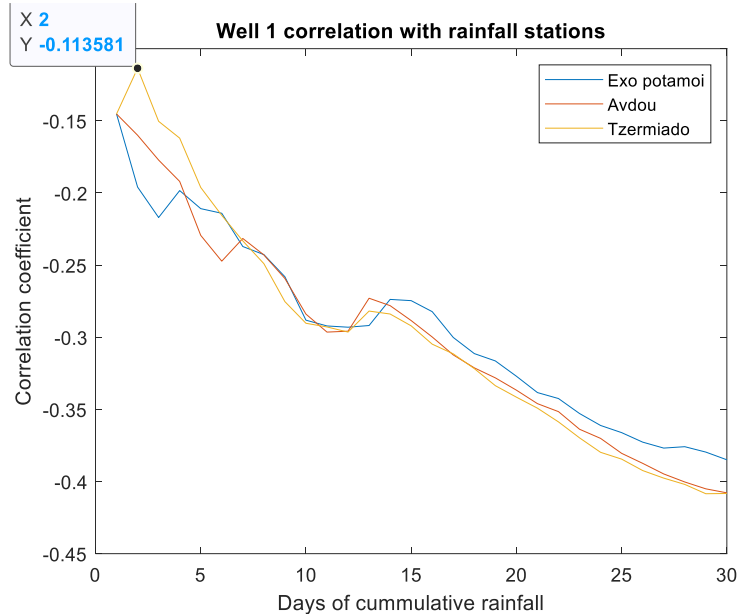


Figure 15: Αποτελέσματα συσχέτισης χλωριούχων ιόντων-βροχόπτωσης για το πηγάδι 1

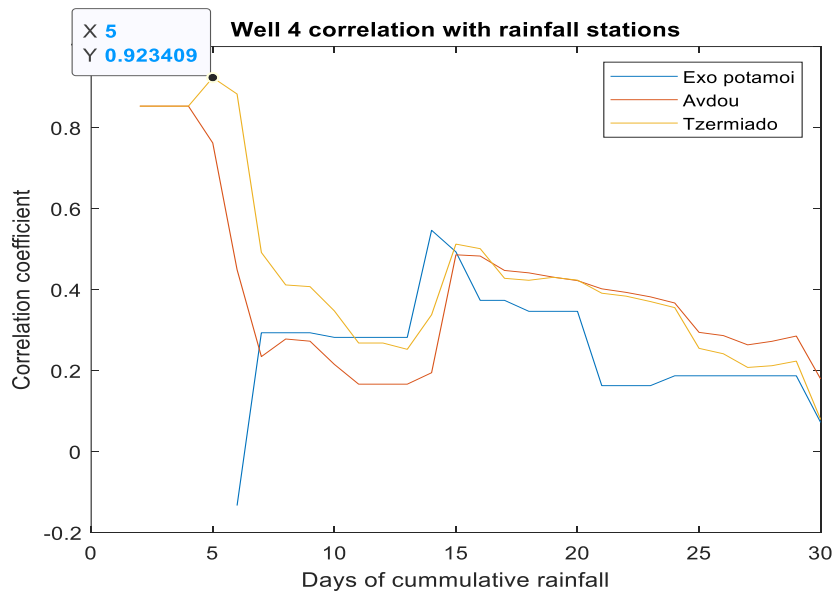


Figure 17: Αποτελέσματα συσχέτισης νιτρικών ιόντων-βροχόπτωσης για το πηγάδι 4

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην Κρήτη, ένα νησί με έντονη τουριστική ανάπτυξη κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, έχουν αρχίσει να εντοπίζονται προβλήματα ανεπάρκειας κάλυψης αναγκών άρδευσης και ύδρευσης. Παρόλο που, η Κρήτη έχει επάρκεια υδατικών πόρων, και ειδικότερα η περιοχή των αποτελεσμάτων, προκύπτουν 5 βασικά συμπεράσματα.

- Όσον αφορά την άμεση επίδραση της βροχόπτωσης και της στάθμης στις μεταβλητές, τα νιτρικά ιόντα έχουν στατιστικά σημαντική συσχέτιση και με τις δύο ανεξάρτητες μεταβλητές, οι οποίες περιγράφουν το 47% της διακύμανσής τους. Η βροχόπτωση, συγκεκριμένα, ευθύνεται για το 41% της διακύμανσης των νιτρικών ιόντων του υπόγειου υδροφορέα και από την ανάλυση προκύπτει ότι άμεσα (μέσα στην ίδια μέρα) η αύξηση της βροχόπτωσης κατά 1 mm συνεπάγεται μείωση της συγκέντρωσης των νιτρικών κατά 0.165 mg/L. Συμπερασματικά, η βροχόπτωση «ξεπλένει» τα επιφανειακά νιτρικά φορτία και συμβάλει σημαντικά στην άμεση αύξηση της συγκέντρωσής τους στον υπόγειο υδροφορέα. Οι τρεις παράμετροι που επηρεάζονται από την υφαλμύριση (χλωριόντα, σκληρότητα και αγωγιμότητα), όπως ήταν αναμενόμενο, επηρεάζονται σε μικρό βαθμό από τη βροχόπτωση (οριακά στατιστικά σημαντική συσχέτιση), ενώ η μεταβολή της στάθμης είναι υπεύθυνη για περίπου 10% της διακύμανσής τους μέσα στην ίδια μέρα. Η βροχόπτωση δεν επηρεάζει τη συγκέντρωση των θεικών ιόντων ενώ η στάθμη την επηρεάζει σε μικρό βαθμό (η αύξηση της στάθμης κατά 1 m συνεπάγεται αύξηση της συγκέντρωσης των νιτρικών κατά 0.116 mg/L).
- Η εξέταση της συσχέτισης της βροχόπτωσης με τις χημικές μεταβλητές και τη στάθμη σε διάφορα χρονικά βήματα οδήγησε σε διαφορετικά συμπεράσματα για κάθε μεταβλητή. Για τις περισσότερες γεωτρήσεις, η επίδραση της βροχόπτωσης στη στάθμη της κάθε γεώτρησης είναι περισσότερο εμφανής (μεγαλύτερος συντελεστής συσχέτισης 0.44-0.70) μετά από 9-10 ημέρες. Το αποτέλεσμα αυτό είναι σε συμφωνία με τις παρατηρήσεις των ειδικών που σημειώνουν ότι η διέλευση του νερού υπογείως εμποδίζεται από το μπλοκάρισμα των υπόγειων αγωγών με αργιλικά υλικά. Παρατηρούμε επίσης ότι για τις περισσότερες γεωτρήσεις, η συγκέντρωση νιτρικών συσχετίζεται σημαντικά με τη βροχόπτωση της προηγούμενης εβδομάδας (χρονική μεσολάβηση 7 ημερών) ενώ υπάρχουν και κάποιες γεωτρήσεις για τις οποίες η συγκέντρωση των νιτρικών συσχετίζεται με τη βροχόπτωση εξίσου καλά μετά από 1, 7 και 14 ημέρες. Αυτή η παρατήρηση μάς παρέχει μια ένδειξη ότι οι γεωτρήσεις 4 και 5 έχουν ενδεχομένως ένα ξεχωριστό, πιο σύνθετο υπόγειο σύστημα υδροφορέων. Οι συσχετίσεις της βροχόπτωσης με τα θειικά ιόντα είναι μικρές για κάθε χρονικό βήμα. Τα χλωριόντα, η αγωγιμότητα και η σκληρότητα ακολουθούν το αντίθετο μοτίβο των συσχετίσεων της στάθμης, αφού η μείωση της στάθμης συνεπάγεται αύξηση της υφαλμύρισης και των συγκεντρώσεων των παραμέτρων αυτών.
- Από τη ισχυρή συσχέτιση Χλωριόντων(Cl⁻)-Αγωγιμότητας, διαπιστώνεται η εμφάνιση υφαλμύρισης, η οποία φαίνεται πως επηρεάζει όλα τα πηγάδια, αλλά κυρίως το Πηγάδι 1, Πηγάδι 3_(νέα), Πηγάδι 6 και Γεώτρηση Μαρκάκη. Το Πηγάδι 4, φαίνεται ότι τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο δεν έχει επηρεαστεί. Παρατηρήθηκε, ότι το Πηγάδι 4 βάσει του λογισμικού Wear, ανήκει σε διαφορετική λεκάνη απορροής σε σχέση με τα υπόλοιπα πηγάδια.

Βάσει της βιβλιογραφίας, ένα διαγνωστικό εργαλείο, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη χημική ανάλυση διαφόρων δειγμάτων νερού, που σχετίζονται με φαινόμενα διείσδυσης θαλασσινού νερού, είναι να αξιολογηθεί η αναλογία χλωριόντων με την αγωγιμότητα των δειγμάτων. Επιπρόσθετα, εξ ορισμού η υφαλμύριση είναι, το φυσικό φαινόμενο το οποίο προσβάλλει τους παράκτιους υπόγειους υδροφορείς, στους οποίους στην ουσία παρατηρούνται αυξημένες συγκεντρώσεις χλωριόντων (Cl^-). Όταν το θαλασσινό νερό, εισέρχεται στο υδροφόρο ορίζοντα γλυκού νερού, παρατηρούνται πολύ υψηλές συγκεντρώσεις Na^+ , Mg^{2+} , Cl^- και SO^{2-} . Επίσης μια τιμή αγωγιμότητας μεγαλύτερη από $1000 \mu\text{S} / \text{cm}$, μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι ενδεικτική της διείσδυσης αλμυρού νερού. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα των υφάλμυρων υδάτων, κυμαίνεται συνήθως από $1,010- 14.300 \mu\text{S} / \text{cm}$. (Κασαπάκη, 2014)

Σε ένα γενικότερο πλαίσιο, θα μπορούσαμε να χαρακτηρίσουμε το νερό ως γλυκό, όταν η περιεκτικότητά του σε χλώριο είναι έως 300mg/l . Αν η περιεκτικότητά του είναι μεγαλύτερη από 300mg/l μέχρι $4.000-5.000 \text{mg/l}$ τότε είναι υφάλμυρο, ενώ αν είναι μεγαλύτερη από αυτή χαρακτηρίζεται σαν αλμυρό. Το θαλασσινό νερό έχει περιεκτικότητα σε ιόντα χλωρίου συνήθως 18.000mg/l . (Τρούσσα-Μαρτή, 2009)

- Από την συσχέτιση Θεικών(SO_4^{2-})- Χλωριόντων(Cl^-), εξάγεται το συμπέρασμα πως η παρουσία θεικών ιόντων σχετίζεται με την εισχώρηση της θάλασσας στον υπόγειο υδροφορέα, εκτός από το Πηγάδι 4, που φαίνεται ότι τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο δεν έχει επηρεαστεί. Επιπλέον, οι συσχετίσεις των θεικών ιόντων με την βροχόπτωση θεωρούνται ασθενείς, έτσι ενισχύεται το συμπέρασμα ότι η παρουσία τους οφείλεται στην ύπαρξη υφαλμύρισης.

Για τον καθορισμό, του κατά πόσο επηρεασμένα είναι τα υπόγεια νερά, από τη διείσδυση της θάλασσας λαμβάνονται υπόψη οι συγκεντρώσεις των ιόντων νατρίου, μαγνησίου, χλωρίου και των θεικών ιόντων, με δεδομένο ότι, αυτά αποτελούν τα κυριότερα ιόντα στο θαλασσινό νερό. (Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας, 2000)

Ακόμα, η εμφάνιση Θεικών Ιόντων (SO_4^{2-}) είναι πιθανό να σχετίζεται με τη γεωλογική σύσταση των πετρωμάτων από τα οποία διέρχεται το νερό ή από ανθρωπογενή αίτια (λιπάσματα-καλλιέργεια πατάτας).

- Από την ισχυρή συσχέτιση Νιτρικών(NO_3^-)- Βροχόπτωσης, η εμφάνιση των νιτρικών αποδίδεται σε σημειακές πηγές ρύπανσης κυρίως λόγω των καλλιεργειών ελιάς που περιβάλλουν τις γεωτρήσεις.

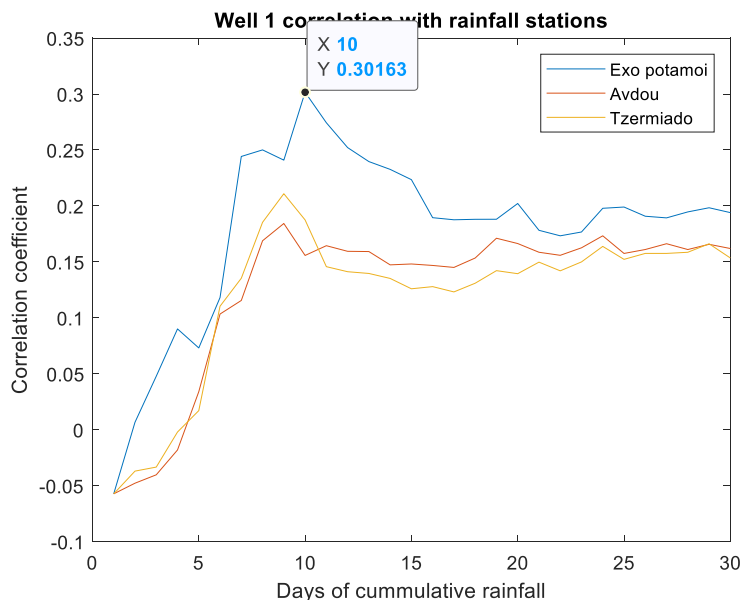
Βάσει της βιβλιογραφίας, το άζωτο αποτελεί για τη ελιά το σπουδαιότερο από τα λιπαντικά στοιχεία, που είναι απαραίτητα για τη βλάστηση και την παραγωγή της ελιάς. Έμμεσα μπορεί να επηρεάσει και το βαθμό παρεννιαυτοφορίας. Η ετήσια χορήγηση του αζώτου εξαρτάται από την γονιμότητα του εδάφους και την εδαφική υγρασία. (Παπαγεωργάκη, 2014)

Βιβλιογραφία

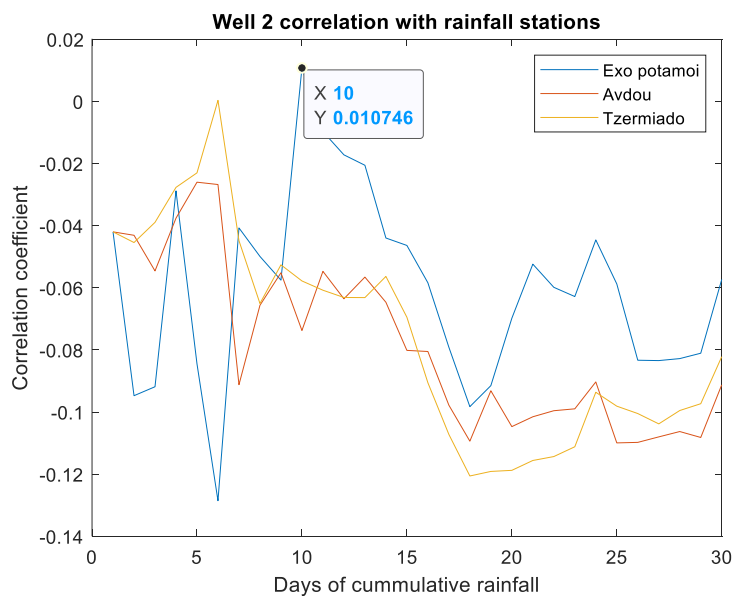
- ❖ Bahri, A., & Lazarova, V. (2005). *Water Reuse For Irrigation*. USA: CRC Press.
- ❖ Karatzas, G. P., & Dokou, Z. (2012, Ιούλιος 1). Saltwater intrusion estimation in a karstified coastal system using density-dependent modelling and comparison with the sharp-interface approach. *Hydrological Sciences Journal*.
- ❖ U.S.G.S. (2017, June 5). U.S.G.S. Ανάκτηση από <https://www.usgs.gov/>
- ❖ Wikipedia. (2021, Οκτώβρης 20). *Wikipedia*. Ανάκτηση από <https://el.wikipedia.org>
- ❖ Αβραμίδου, Ε. (2007). *Το φαινόμενο της υφαλμύρωσης στον Ελλαδικό χώρο*. Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- ❖ Αντωνόπουλος, Β. Ζ. (2000). *Ποιότητα Και Ρύπανση Νερών*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη.
- ❖ Αποστολάκη, Μ. (2005, Φεβρουάριος). «ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΌΓΚΟΥ ΑΝΤΛΗΣΕΩΝ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΓΕΡΟΠΟΤΑΜΟΥ, ΜΕ ΣΥΝΕΧΗ 20ΕΤΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΔΙΗΘΗΣΗΣ ΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΟΥΣ ΜΕ ΤΟ ΥΠΟΓΕΙΟ ΥΔΑΤΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ». Χανιά: Πολυτεχνείο Κρήτης.
- ❖ Βασιλικιώτη, & Φυτιανου, Κ. (1986). *Μέθοδοι Ελέγχου Ρυπανσεως Περιβάλλοντος*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη.
- ❖ Βενιέρη, Δ. (2017). *Σημειώσεις Περιβαλλοντικής Μικροβιολογίας*.
- ❖ Δασκαλάκη. (2008). *Η ένταση της υφαλμύρισης του νερού των γεωτρήσεων Δήμου Μαλίων*. Χανιά.
- ❖ Ζάνης, Π. (Ιούνιος 2008). *Σημειώσεις για τη Ρύπανση και Χημεία της Ατμόσφαιρας*. Θεσσαλονίκη.
- ❖ Καρατζάς, Γ. (2020). *Ροή Υπογείων Υδάτων και Μεταφορών Ρύπων*. Πανεπιστημιακές σημειώσεις.
- ❖ Κασαπάκη, Μ. (2014). *Προσομείωση της υφαλμύρωσης σε παράκτιο υδροφορέα για την εκτίμηση της επιρροής της στην αγροτική παραγωγή*. Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- ❖ Λαγουδάκης, Κ. (2020, Μάρτιος 4). Αγωγός ύδρευσης Μαλίων - Ηρακλείου. *Creta Live News*.
- ❖ Νάκου, Κ. (2014). *Ολική σκληρότητα και χλωριόντα του νερού στις νησιωτικές περιοχές. Χίος: Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Εργαστήριο Περιβαλλοντικής Ποιότητας και Τεχνολογίας*.
- ❖ Παπαγεωργάκη, Α. (2014). *Άρδευση στο δήμο Δυτικής Αχαΐας Προβλήματα και προοπτικές*. Καλαμάτα: ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ.
- ❖ Παπαδόπουλος, Γ. (2015). *Εισαγωγή στις Πιθανότητες και τη Στατιστική*. Αθήνα: Εκδόσεις GUTENBERG. Ανάκτηση από (www.aua.gr/grapadopoulos)

- ❖ Πάππα , Γ. (2001, Ιούλιος). *Υγειονομική σημασία των χημικών παραμέτρων στο πόσιμο νερό*. Ανάκτηση από Περιβαλλοντική Υγιεινή και Δημόσια Υγεία: <https://epoptes.wordpress.com/>
- ❖ Παρίσης, Σ. (2001). *Μελέτη Διαχείρισης Υδατικών Πόρων του Δήμου Μαλίων*. Ηράκλειο: Οργανισμός Ανάπτυξης Ανατολικής Κρήτης.
- ❖ Τζιρή, Μ. (2009). *Εφαρμογή των Μοντέλων SEM για την αξιολόγηση της ποιότητας υπηρεσιών Internet*. Χανιά: Πολυτεχνείο Κρήτης.
- ❖ Τρούσσα-Μαρτή, Σ. (2009). *ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ ΝΟΜΟΥ ΧΑΝΙΩΝ*. ΧΑΝΙΑ: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ.
- ❖ Τσάλα, Δ.-Α. Ι. (2013, Μάιος). *Διερεύνηση υδρογεωλογικών συνθηκών στην ευρύτερη περιοχή Μαλίων (Κρήτη)*. Χανιά: Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης.
- ❖ Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας, Υ. (2000, ΑΘΗΝΑ). *ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΜΕΛΕΤΩΝ ΖΩΝΩΝ ΥΦΑΛΜΥΡΙΝΣΗΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ*. Ανάκτηση από <http://wfdver.ypeka.gr/>.
- ❖ Φωτίου, & Κολοβός, Ν. (2004). *Διερεύνηση και αξιολόγηση ποιότητας των εμφιαλωμενων νερών*. Κοζάνη: Τμήμα Γεωτεχνολογίας & Περιβάλλοντος, ΤΕΙ Δυτικής Μακεδονίας.

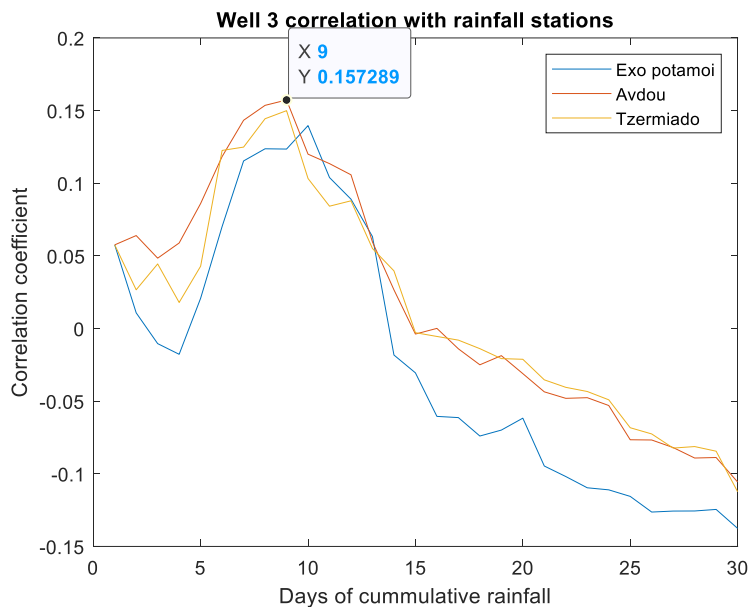
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ



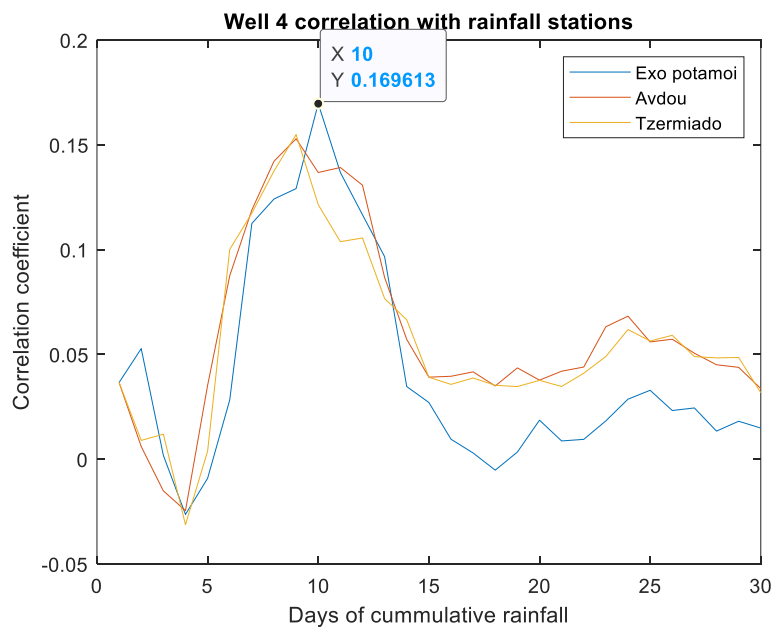
Αποτελέσματα συσχέτισης pH-βροχόπτωσης για το πηγάδι 1



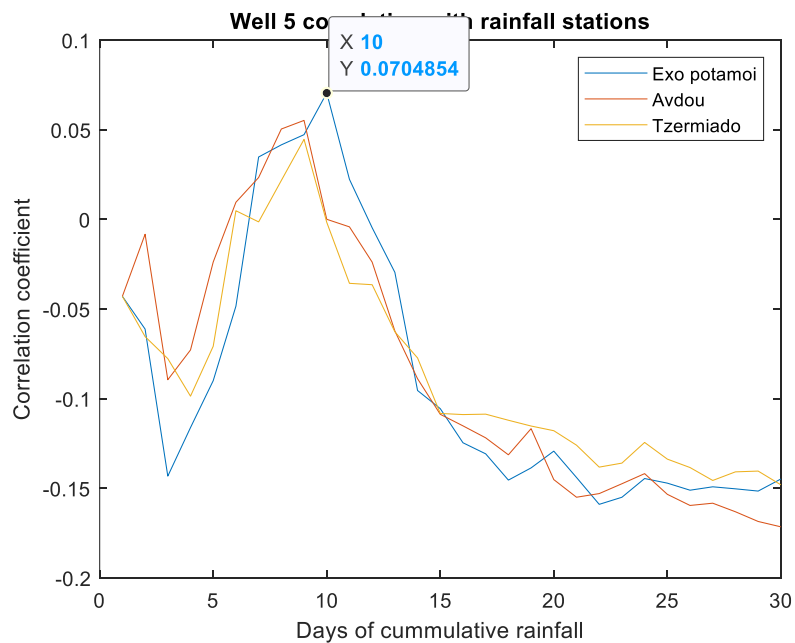
Αποτελέσματα συσχέτισης pH-βροχόπτωσης για το πηγάδι 2



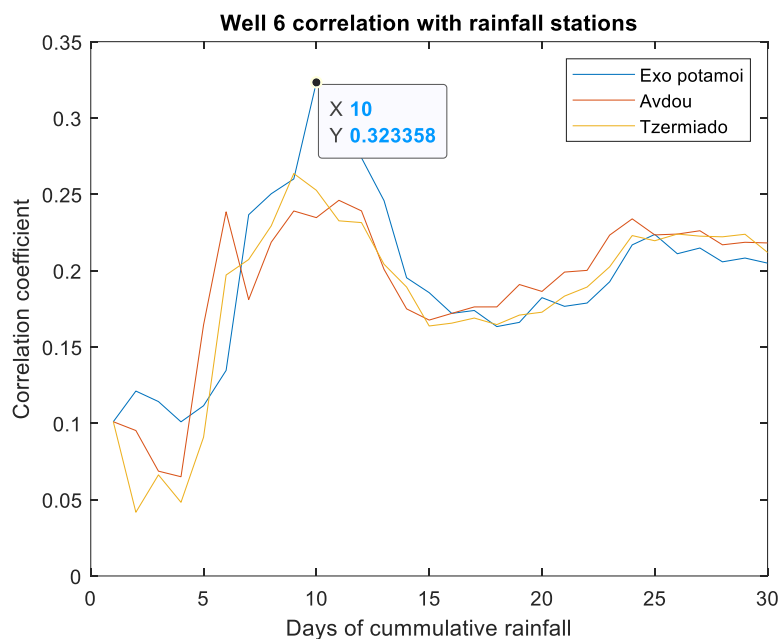
Αποτελέσματα συσχέτισης pH-βροχόπτωσης για το πηγάδι 3(παλιά)



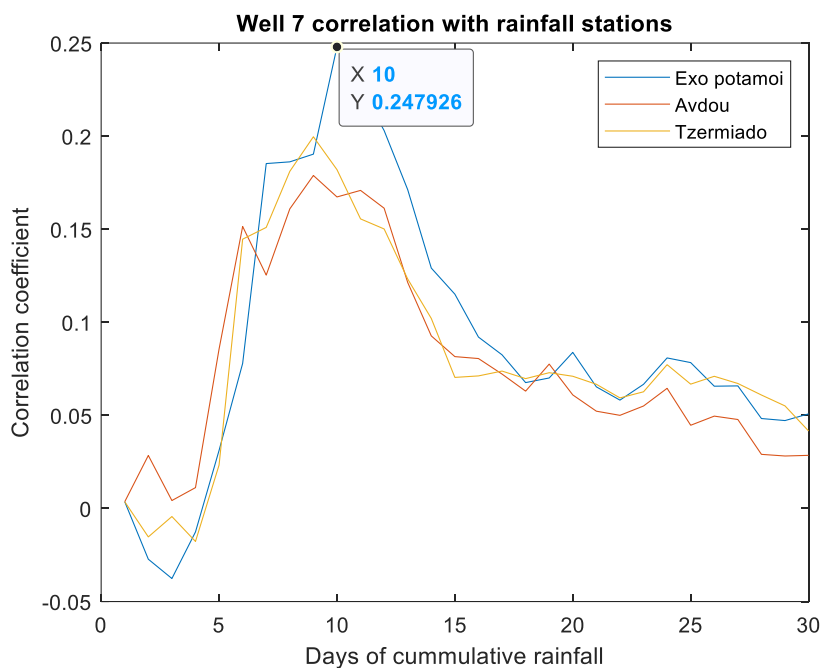
Αποτελέσματα συσχέτισης pH-βροχόπτωσης για το πηγάδι 3 (νέα)



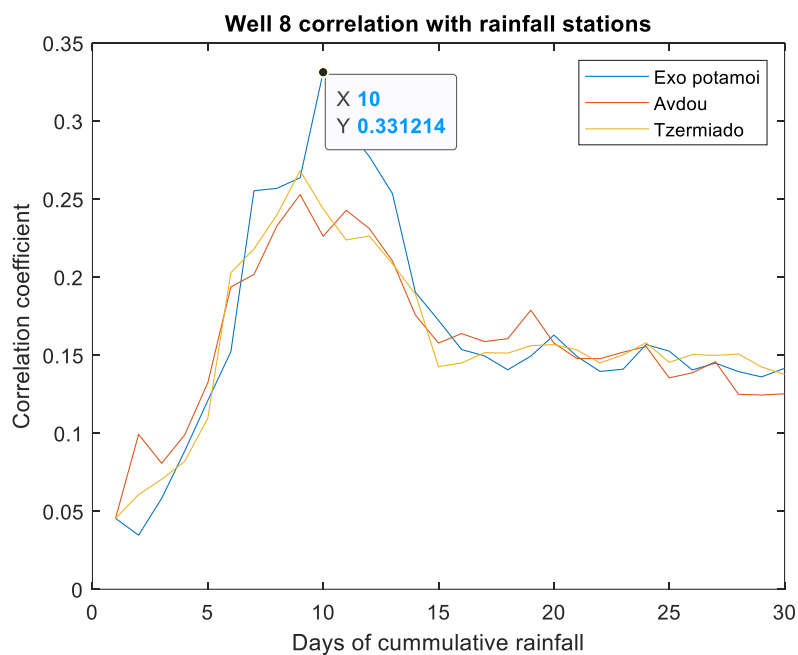
Αποτελέσματα συσχέτισης pH-βροχόπτωσης για το πηγάδι 4



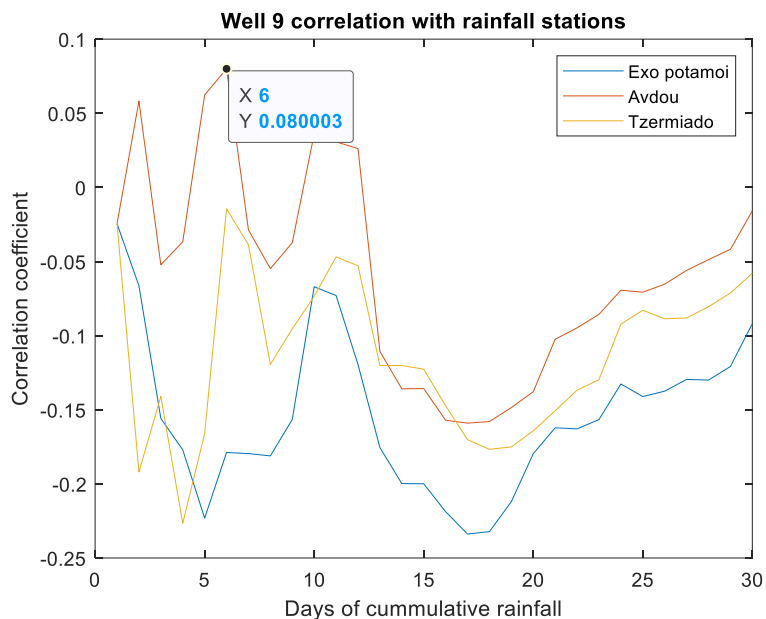
Αποτελέσματα συσχέτισης pH-βροχόπτωσης για το πηγάδι 5



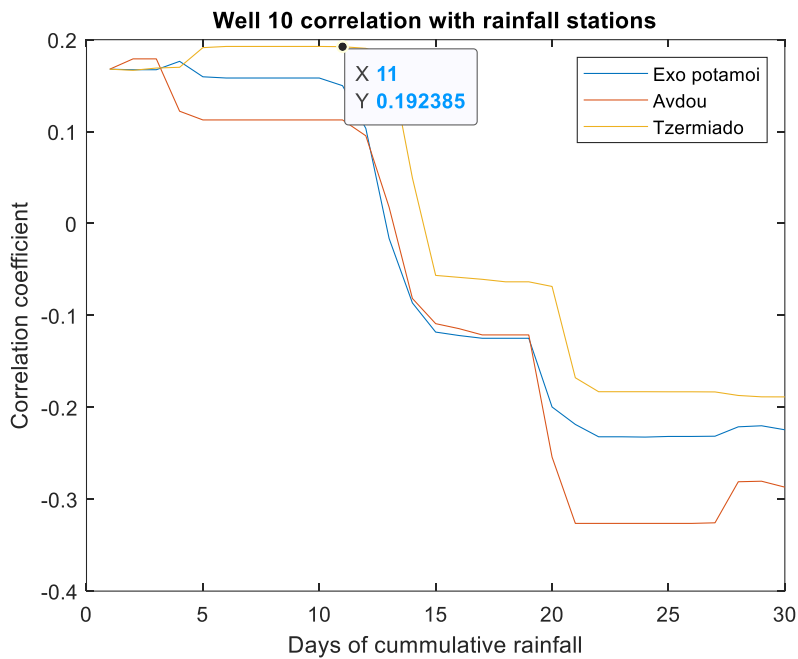
Αποτελέσματα συσχέτισης pH-βροχόπτωσης για το πηγάδι 6



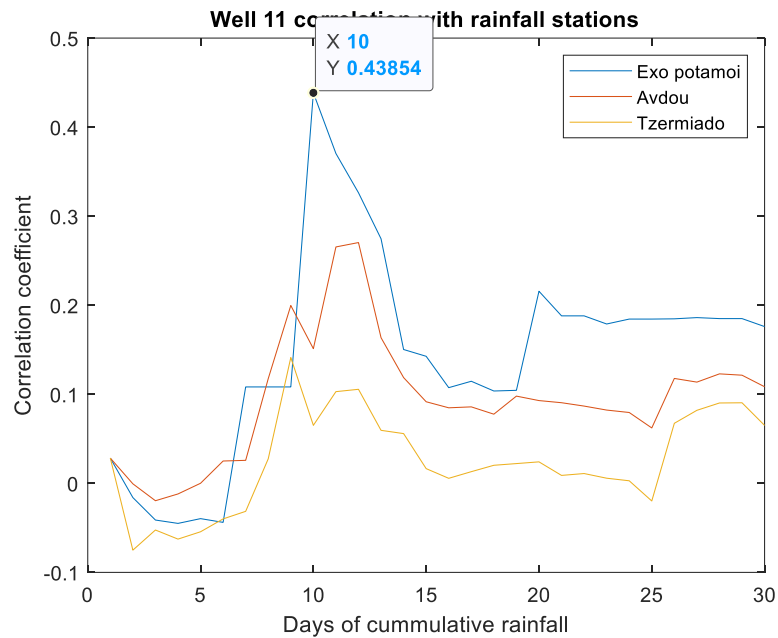
Αποτελέσματα συσχέτισης pH-βροχόπτωσης για το πηγάδι 8



Αποτελέσματα συσχέτισης pH-βροχόπτωσης για το πηγάδι 9

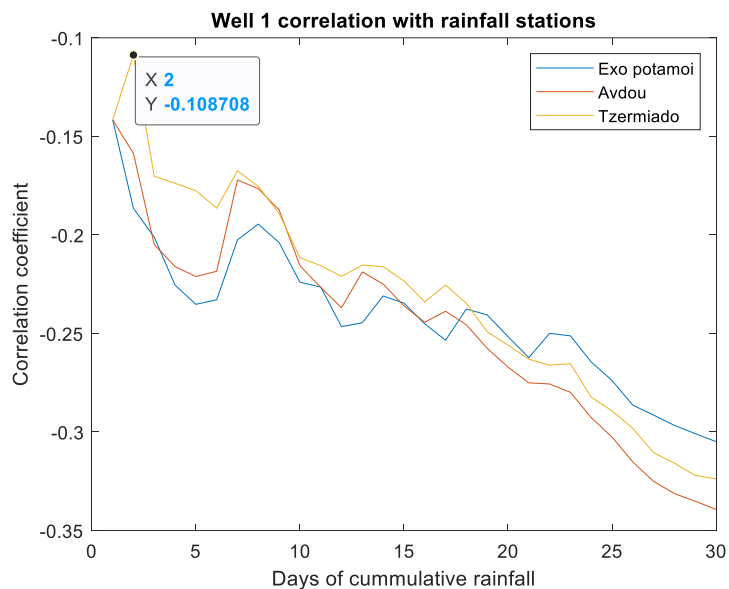


Αποτελέσματα συσχέτισης pH-βροχόπτωσης για το πηγάδι Γεώτρηση Μαρκάκη

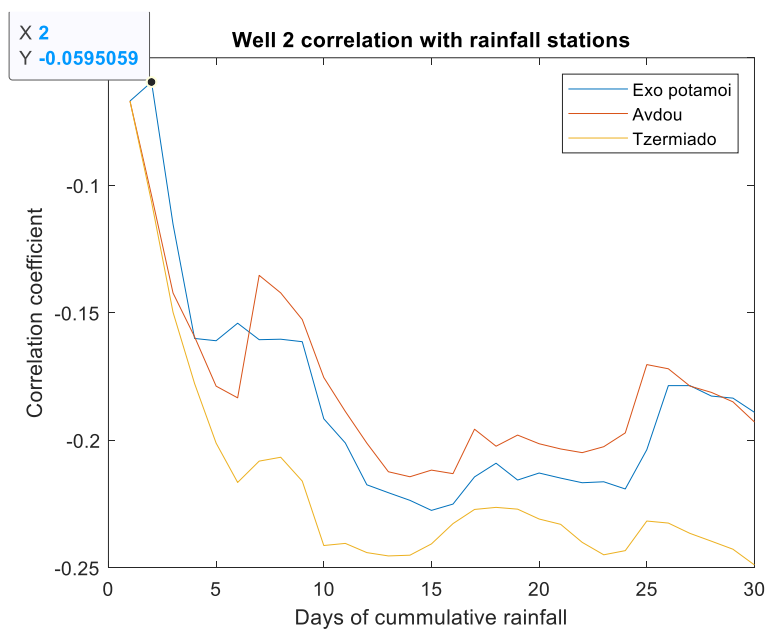


Αποτελέσματα συσχέτισης pH-βροχόπτωσης για το πηγάδι Μικτό Μαλίων

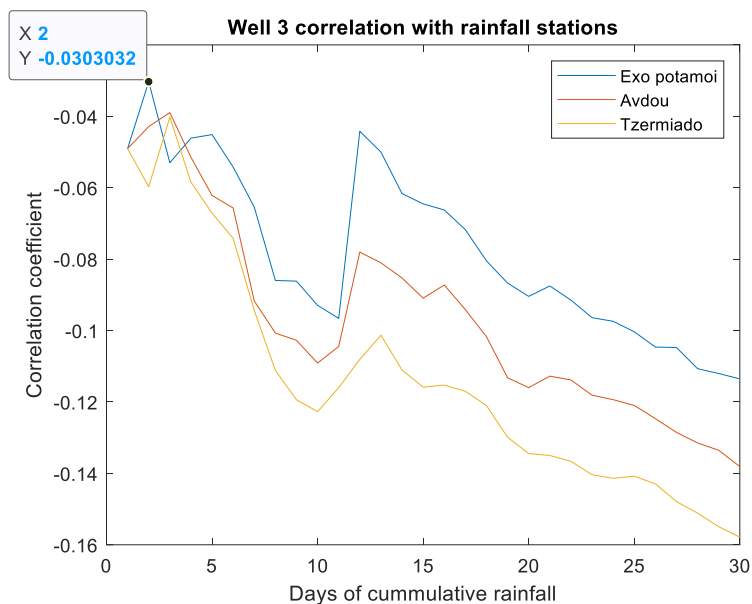
Συσχέτιση Αγωγιμότητα-Βροχόπτωση



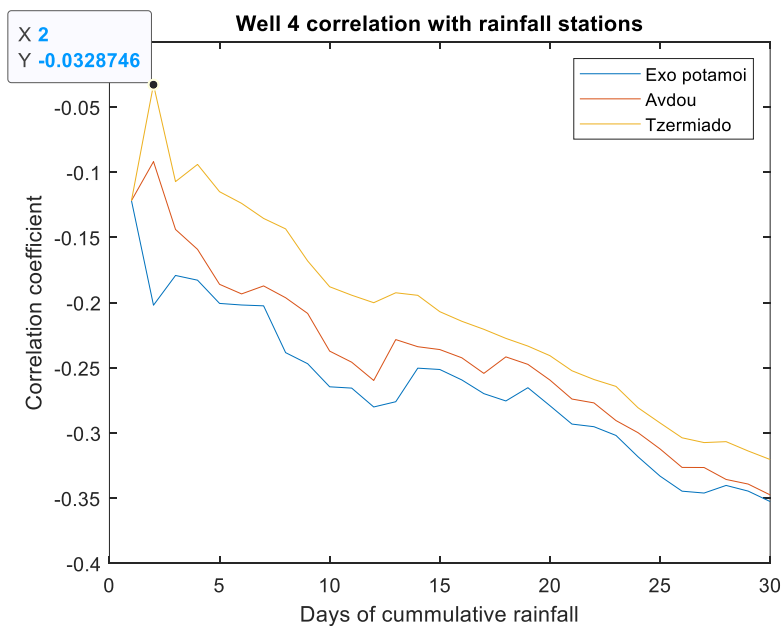
Αποτελέσματα συσχέτισης αγωγιμότητας -βροχόπτωσης για το πηγάδι 1



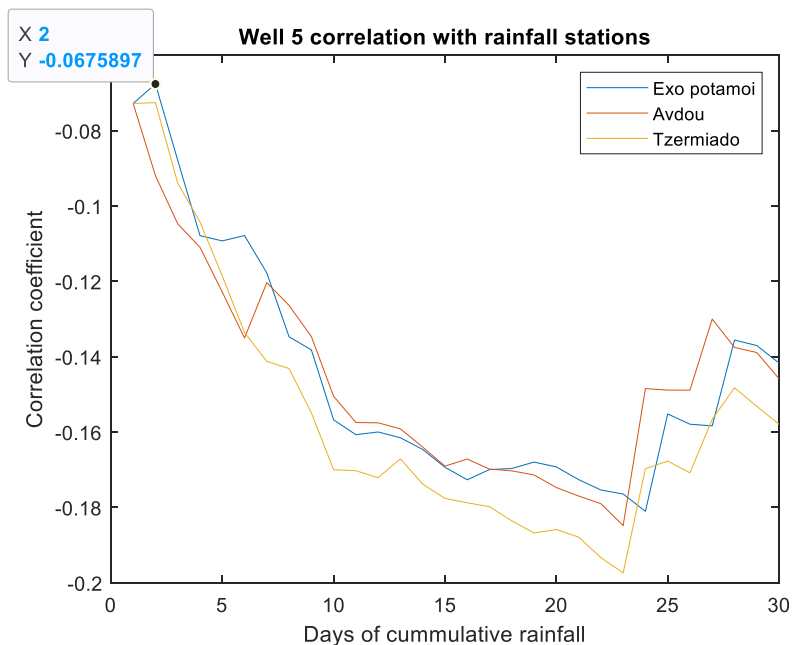
Αποτελέσματα συσχέτισης αγωγιμότητας -βροχόπτωσης για το πηγάδι 2



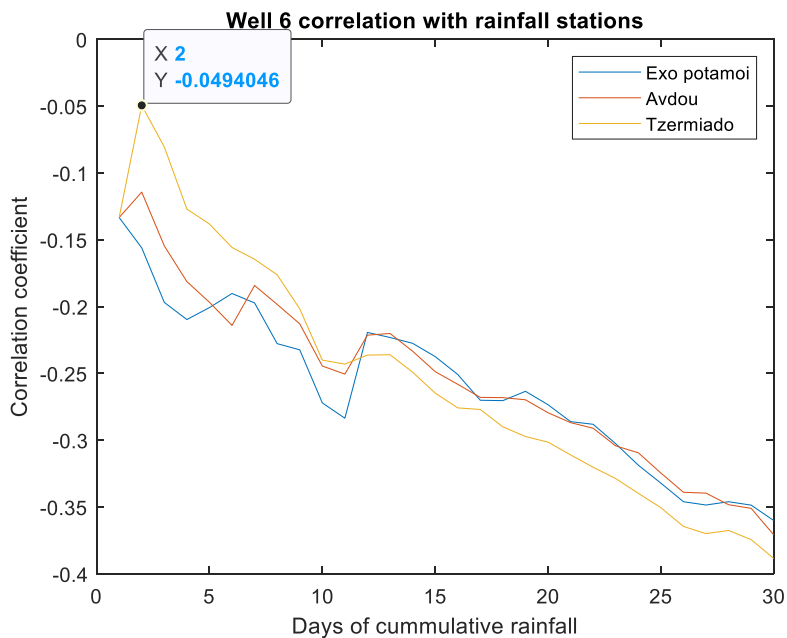
Αποτελέσματα συσχέτισης αγωγιμότητας -βροχόπτωσης για το πηγάδι 3 (παλιά)



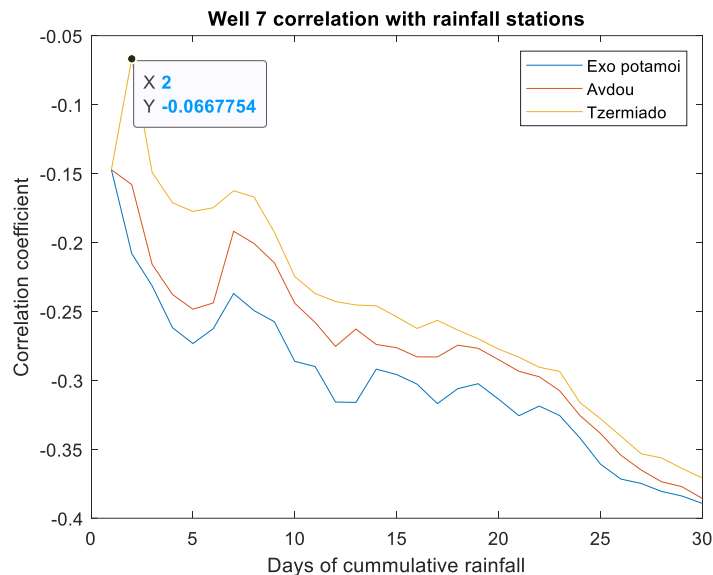
:Αποτελέσματα συσχέτισης αγωγιμότητας -βροχόπτωσης για το πηγάδι 3 (νέα)



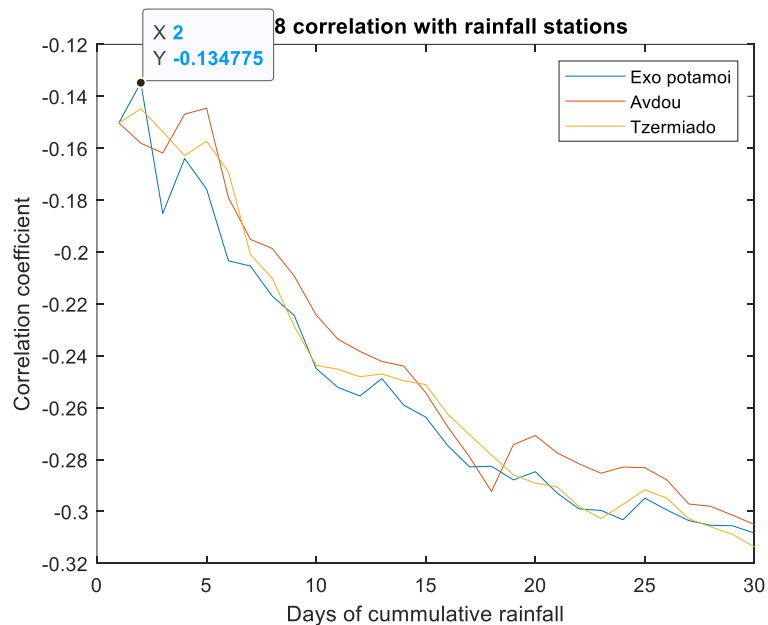
Αποτελέσματα συσχέτισης αγωγιμότητας -βροχόπτωσης για το πηγάδι 4



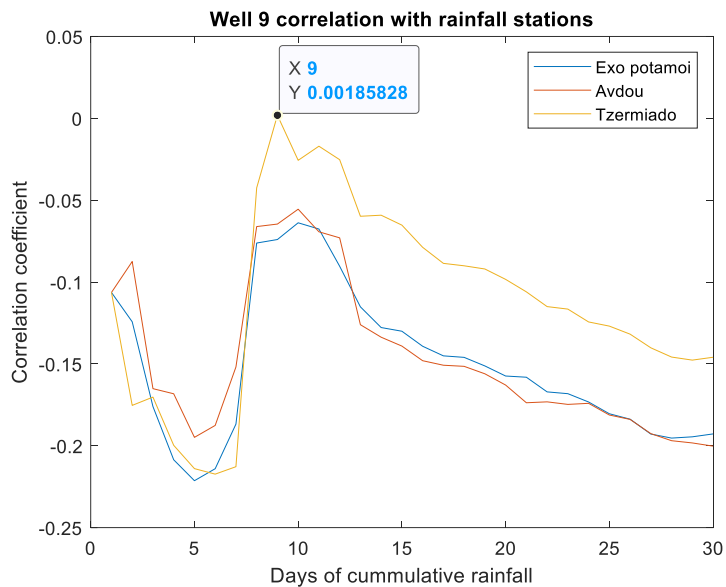
Αποτελέσματα συσχέτισης αγωγιμότητας -βροχόπτωσης για το πηγάδι 5



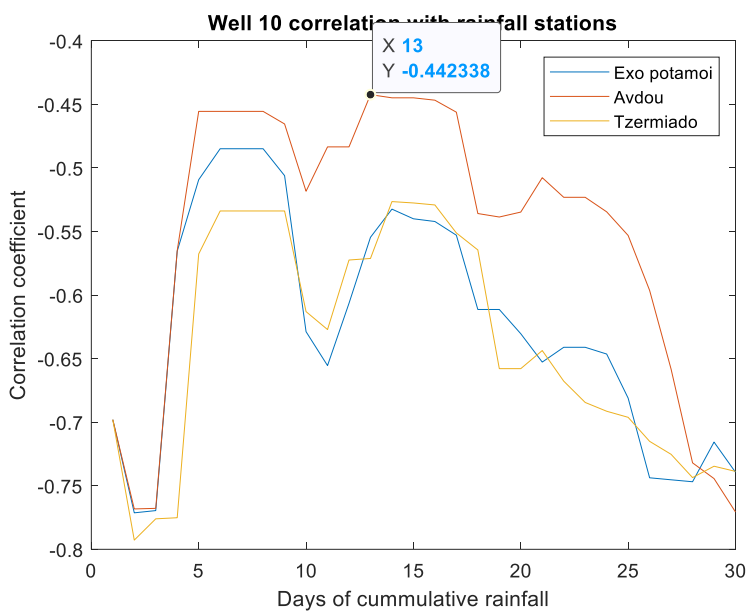
Αποτελέσματα συσχέτισης αγωγιμότητας -βροχόπτωσης για το πηγάδι 6



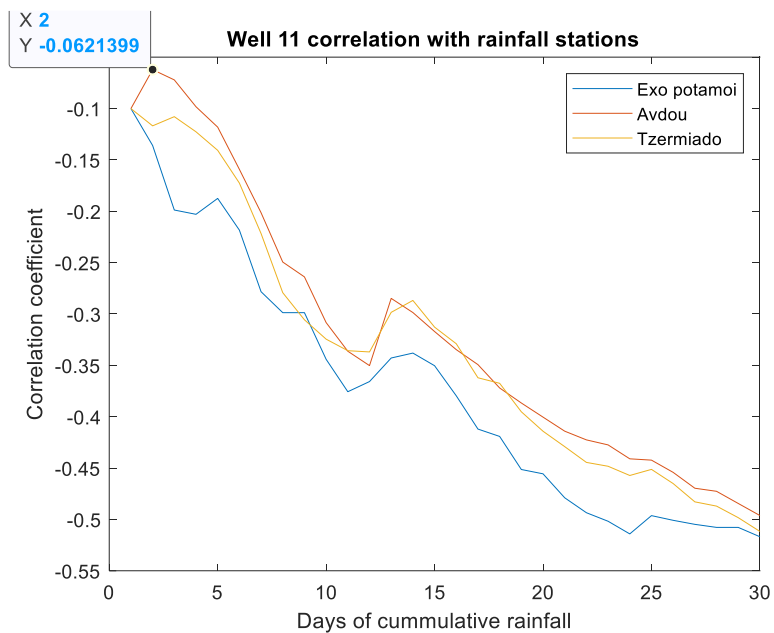
Αποτελέσματα συσχέτισης αγωγιμότητας -βροχόπτωσης για το πηγάδι 8



Αποτελέσματα συσχέτισης αγωγιμότητας -βροχόπτωσης για το πηγάδι 9

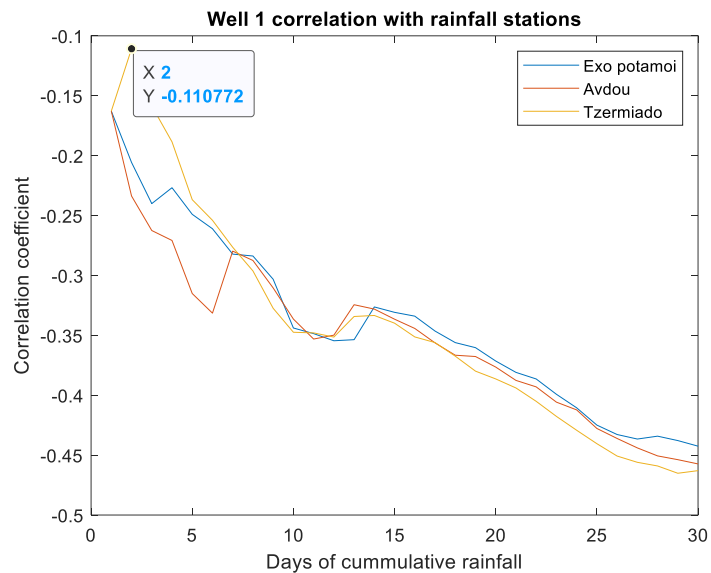


Αποτελέσματα συσχέτισης αγωγιμότητας -βροχόπτωσης για το πηγάδι Γεώτρηση Μαρκάκη

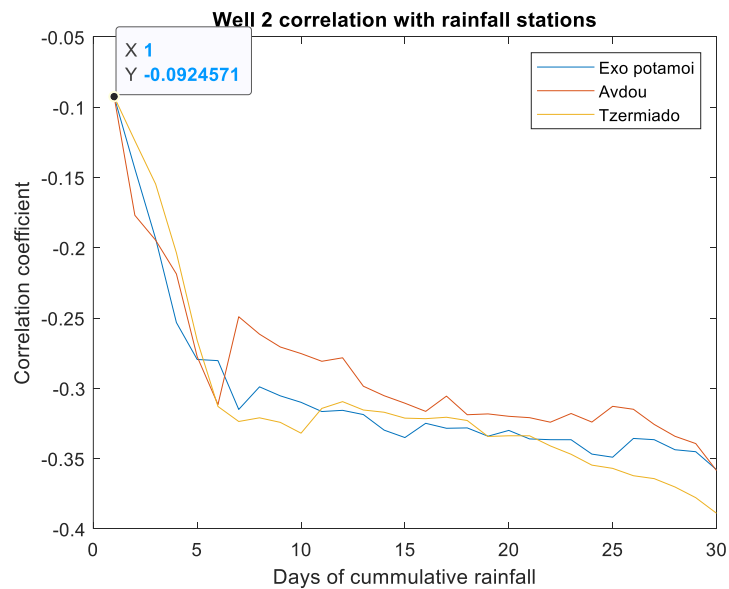


Αποτελέσματα συσχέτισης αγωγιμότητας -βροχόπτωσης για το πηγάδι Μικτό Μαλίων

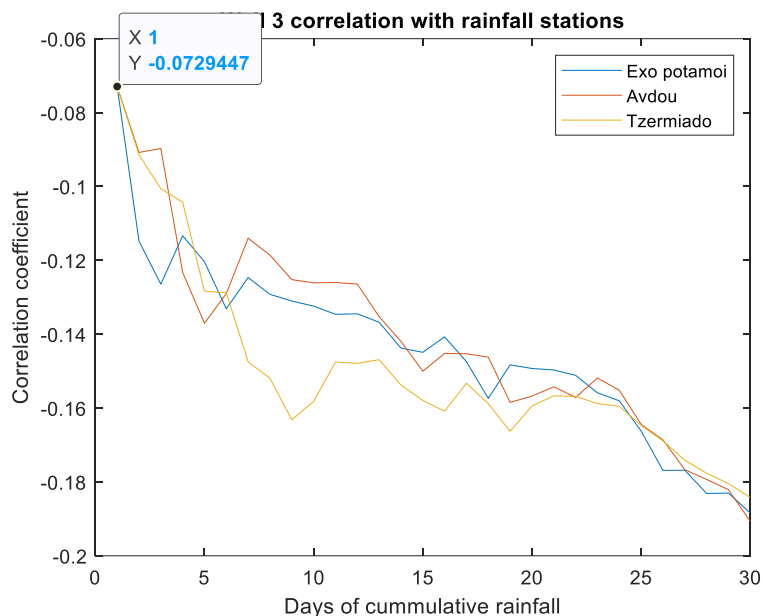
Συσχέτιση Σκληρότητα-Βροχόπτωση



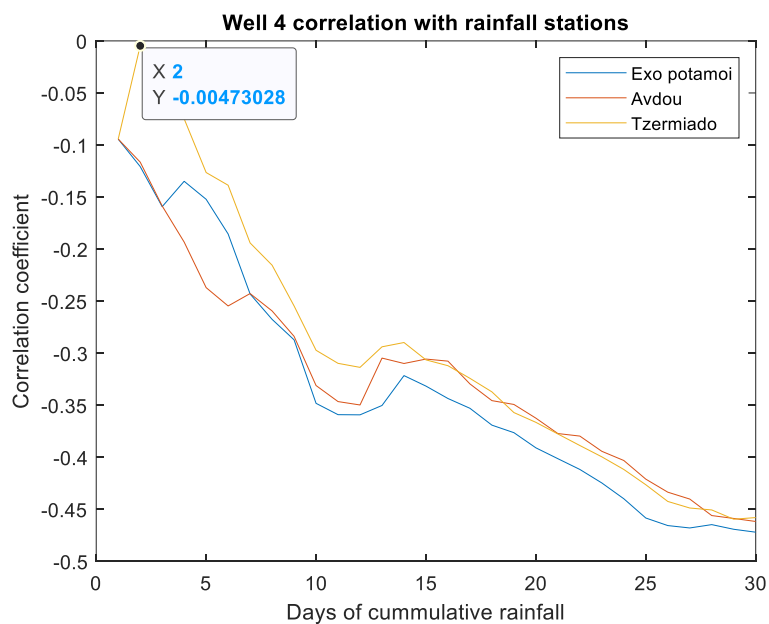
Αποτελέσματα συσχέτισης σκληρότητας -βροχόπτωσης για το πηγάδι 1



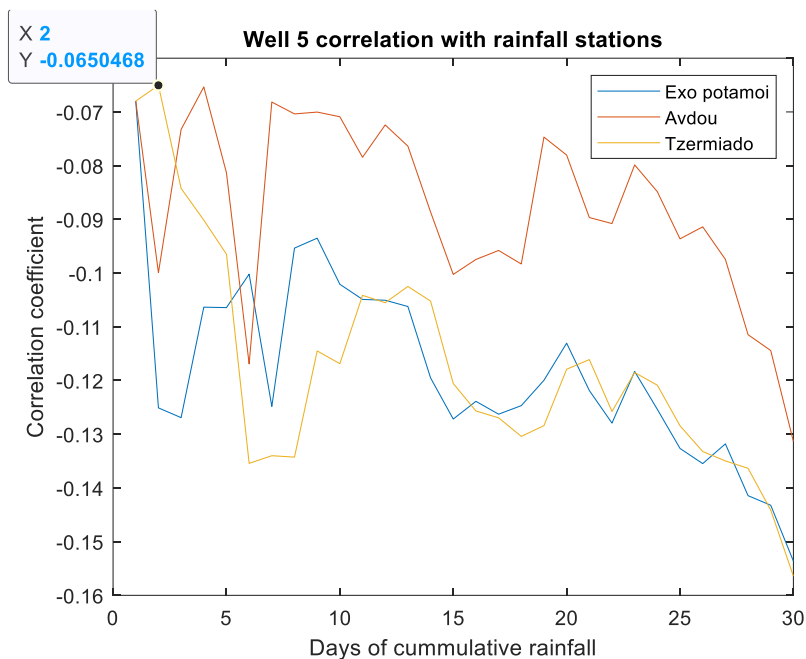
: Αποτελέσματα συσχέτισης σκληρότητας -βροχόπτωσης για το πηγάδι 2



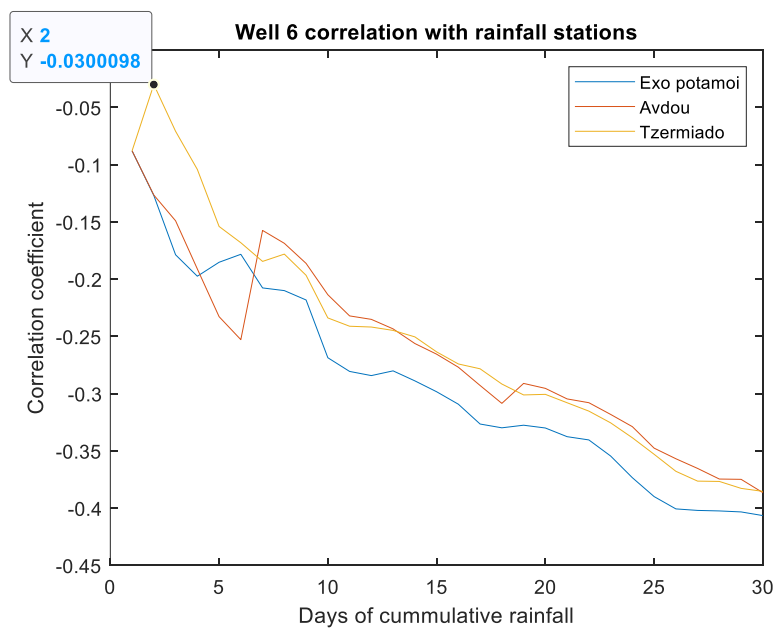
Αποτελέσματα συσχέτισης σκληρότητας -βροχόπτωσης για το πηγάδι 3 (παλιά)



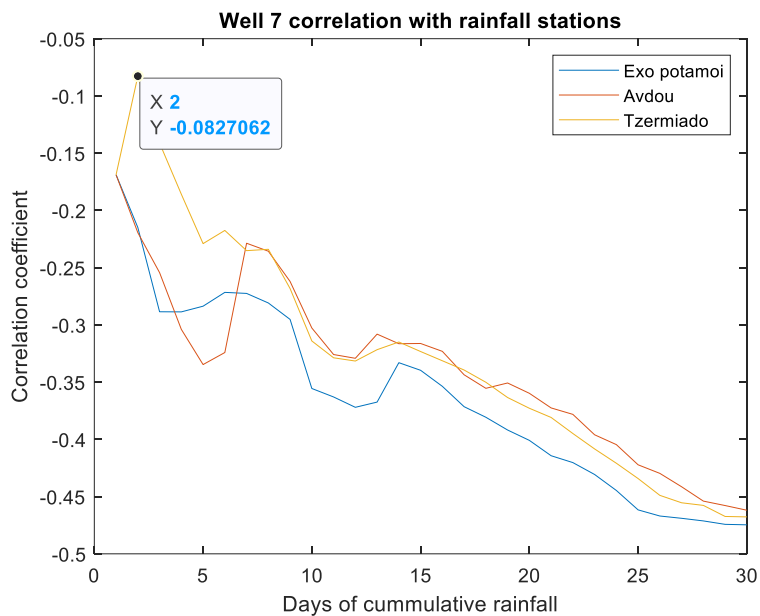
Αποτελέσματα συσχέτισης σκληρότητας -βροχόπτωσης για το πηγάδι 3 (νέα)



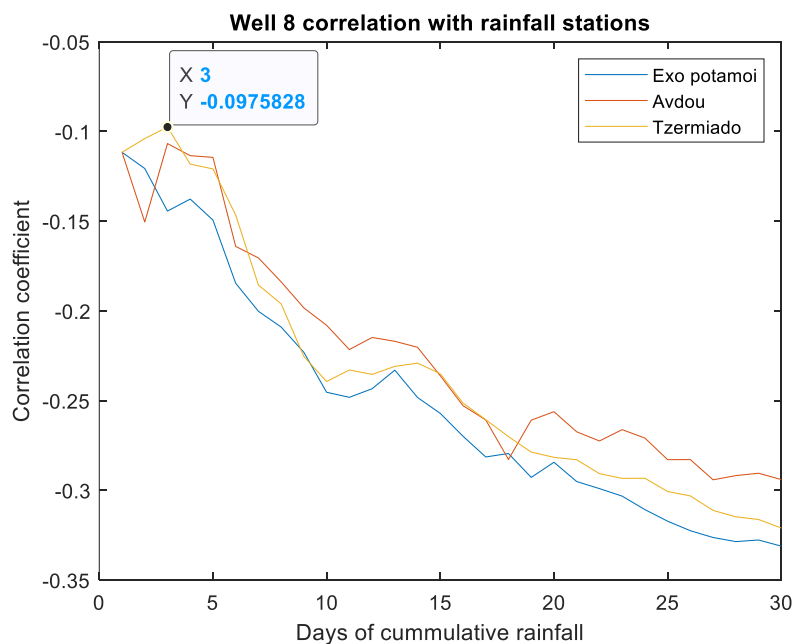
Αποτελέσματα συσχέτισης σκληρότητας -βροχόπτωσης για το πηγάδι 4



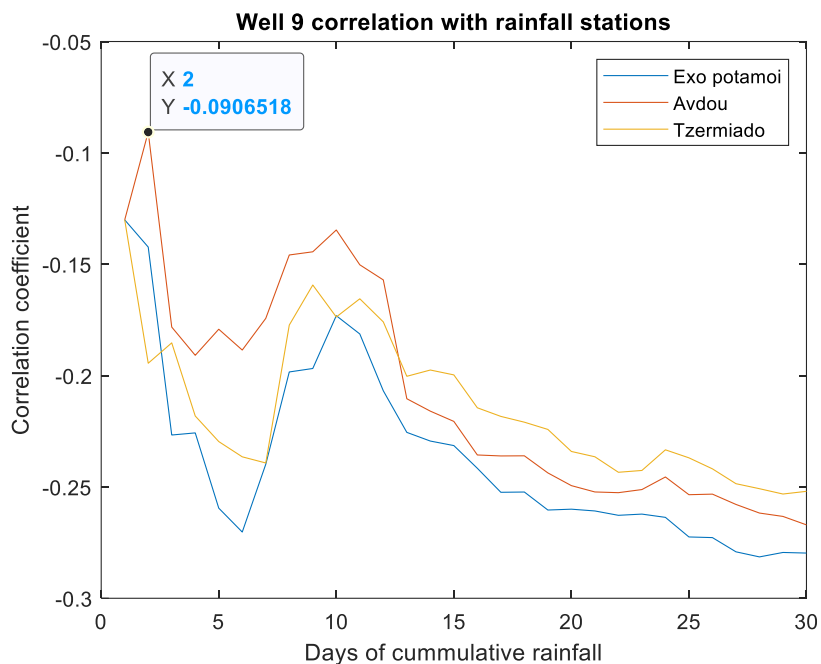
Αποτελέσματα συσχέτισης σκληρότητας -βροχόπτωσης για το πηγάδι 5



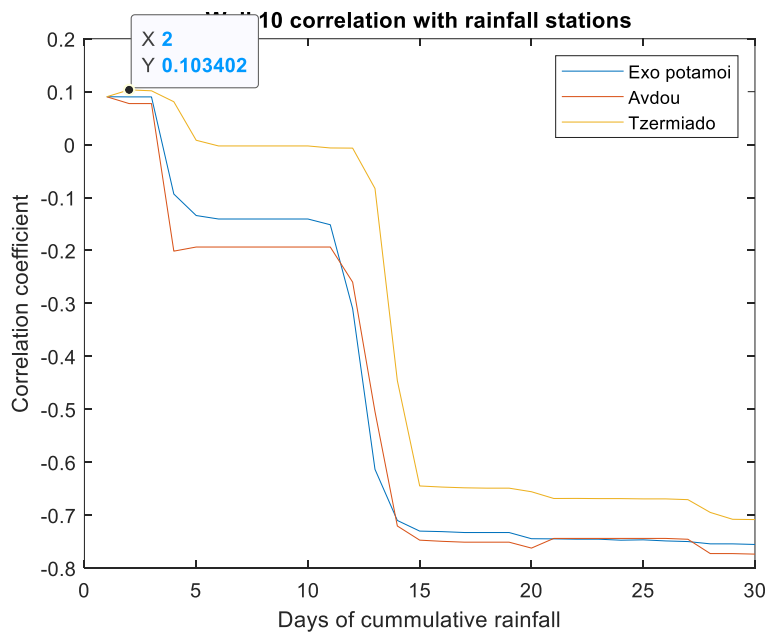
Αποτελέσματα συσχέτισης σκληρότητας -βροχόπτωσης για το πηγάδι 6



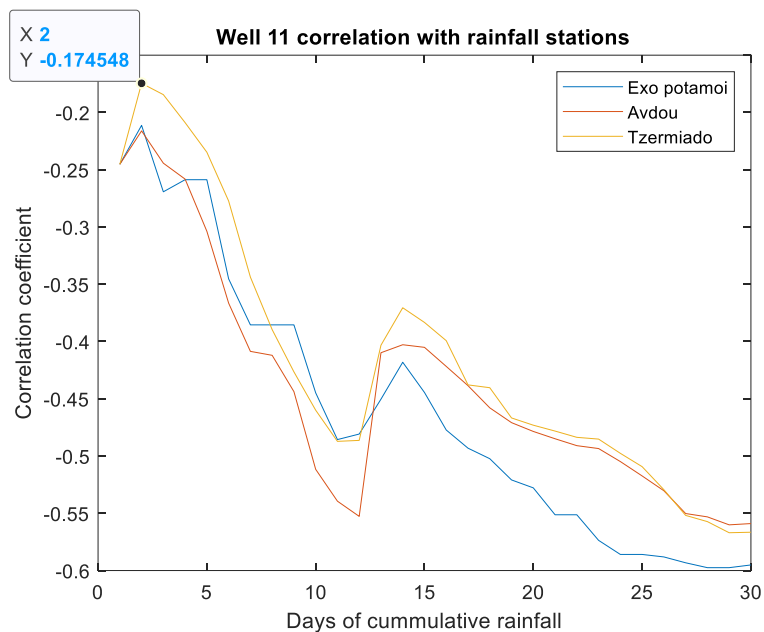
Αποτελέσματα συσχέτισης σκληρότητας -βροχόπτωσης για το πηγάδι 8



Αποτελέσματα συσχέτισης σκληρότητας -βροχόπτωσης για το πηγάδι 9

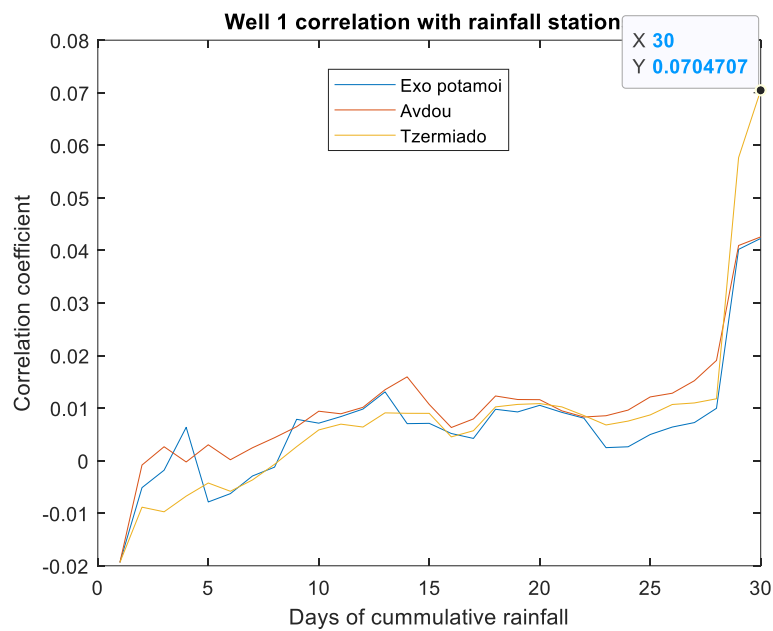


Αποτελέσματα συσχέτισης σκληρότητας -βροχόπτωσης για το πηγάδι Γεώτρηση Μαρκάκη

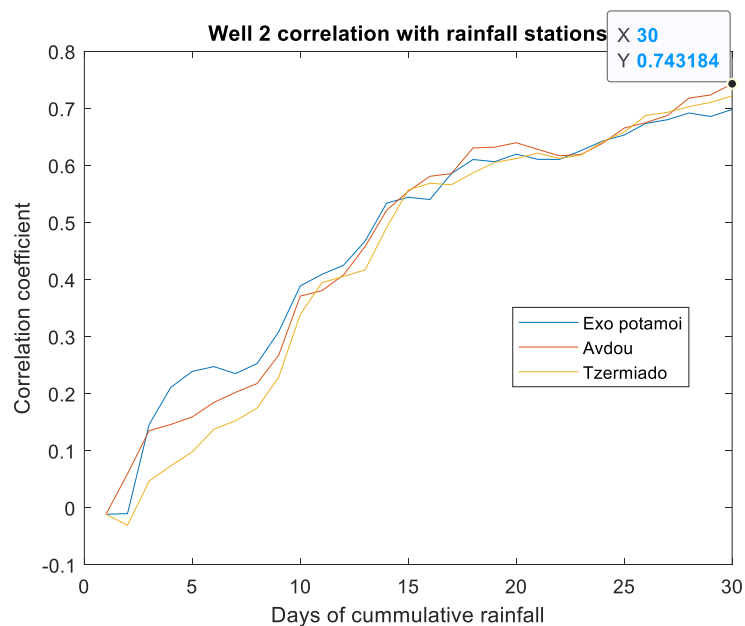


Αποτελέσματα συσχέτισης σκληρότητας -βροχόπτωσης για το πηγάδι Μικτό Μαλίων

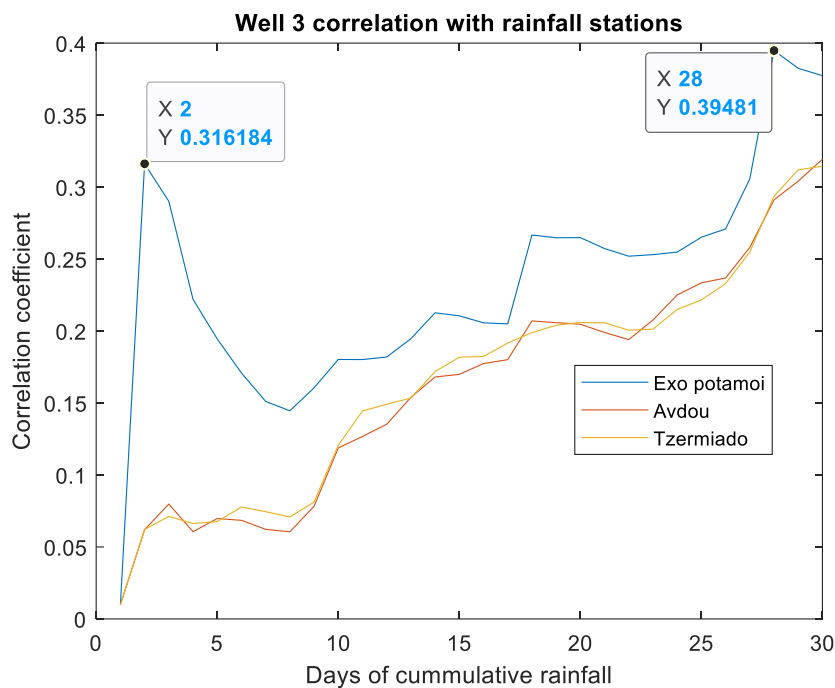
Συσχέτιση Στάθμη Παρατήρησης-Βροχόπτωση



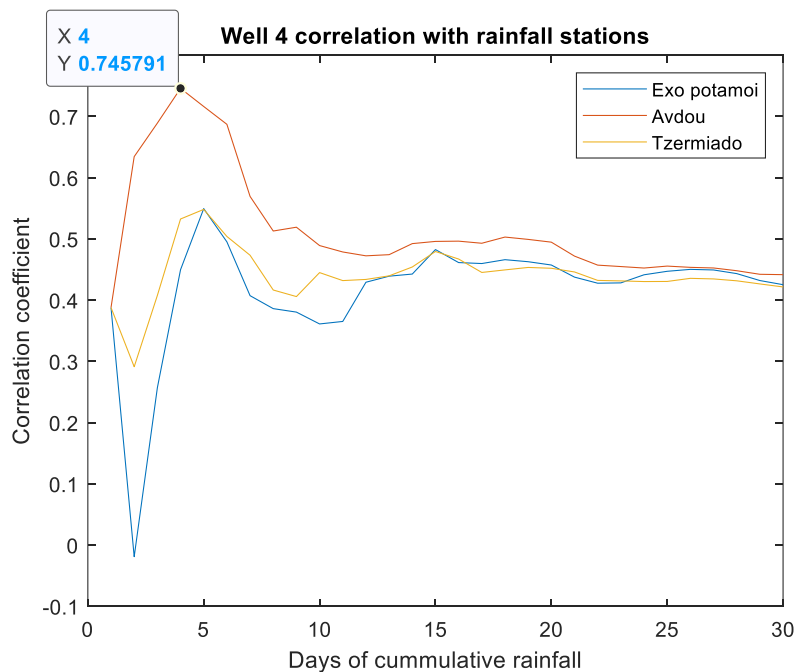
Αποτελέσματα συσχέτισης στάθμης -βροχόπτωσης για το πηγάδι 1



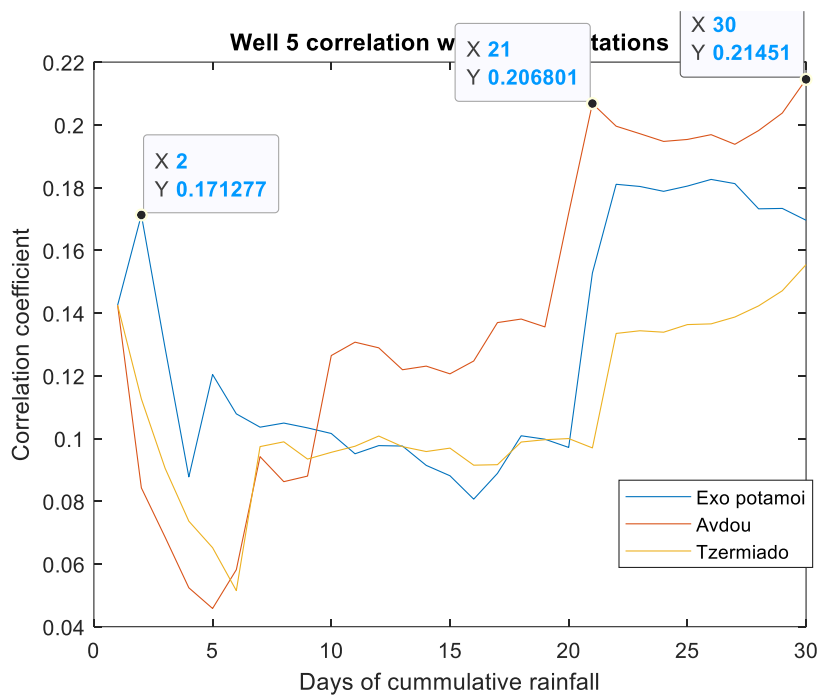
Αποτελέσματα συσχέτισης στάθμης -βροχόπτωσης για το πηγάδι 2



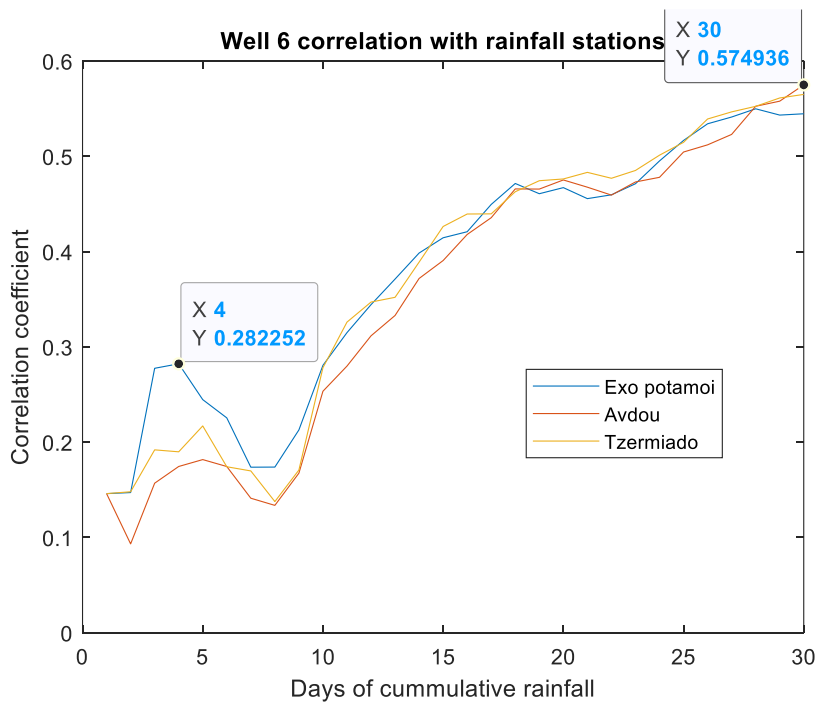
Αποτελέσματα συσχέτισης στάθμης -βροχόπτωσης για το πηγάδι 3 (παλιά)



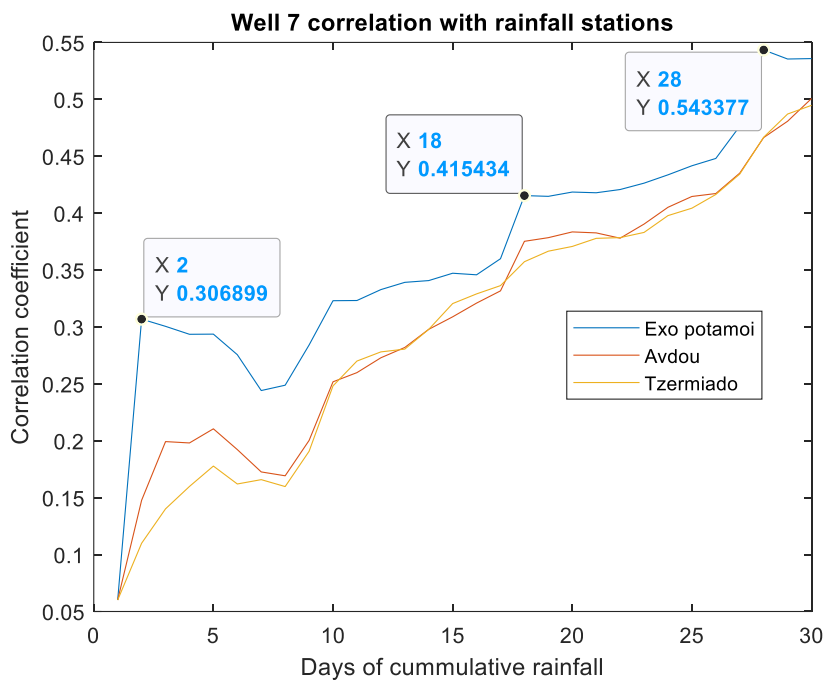
Αποτελέσματα συσχέτισης στάθμης -βροχόπτωσης για το πηγάδι 3 (νέα)



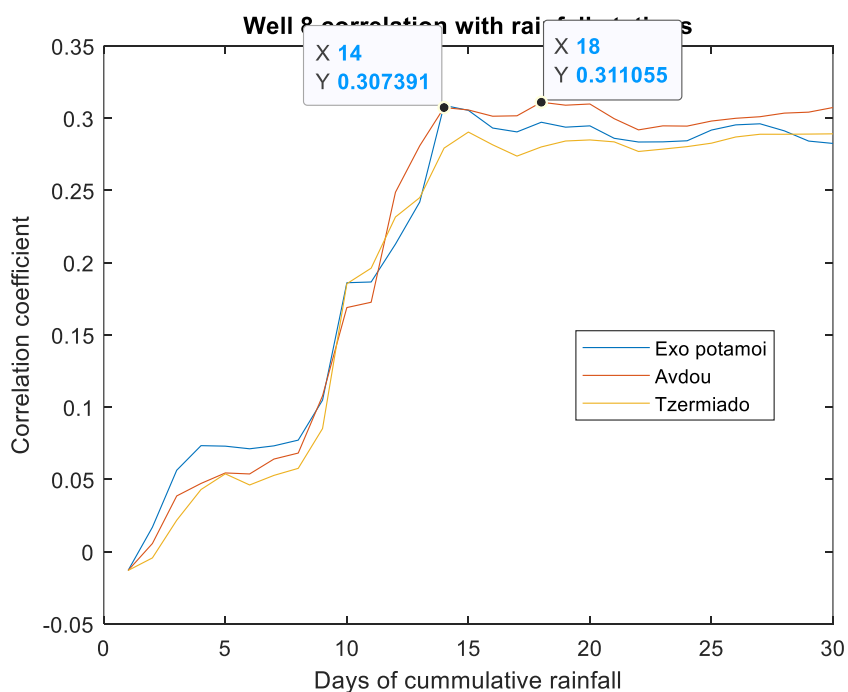
Αποτελέσματα συσχέτισης στάθμης -βροχόπτωσης για το πηγάδι 4



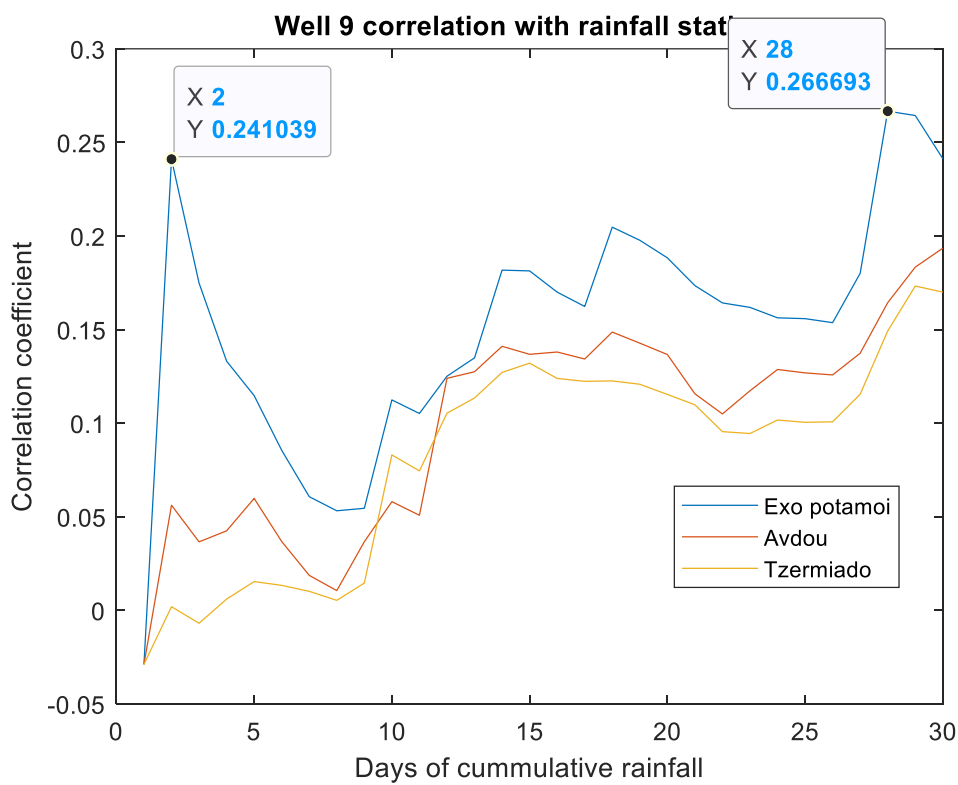
Αποτελέσματα συσχέτισης στάθμης -βροχόπτωσης για το πηγάδι 5



Αποτελέσματα συσχέτισης στάθμης -βροχόπτωσης για το πηγάδι 6

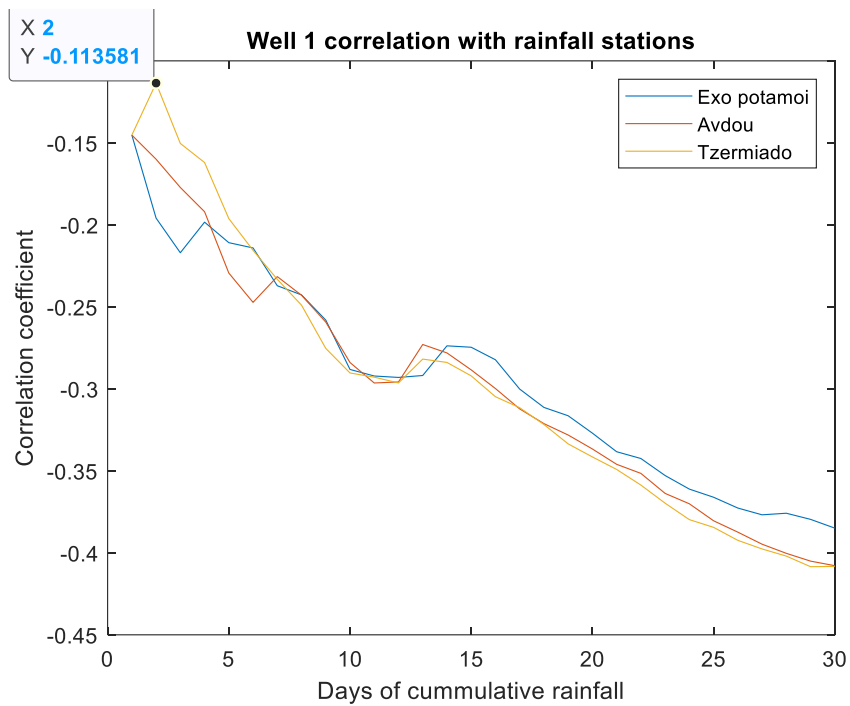


Αποτελέσματα συσχέτισης στάθμης -βροχόπτωσης για το πηγάδι 8

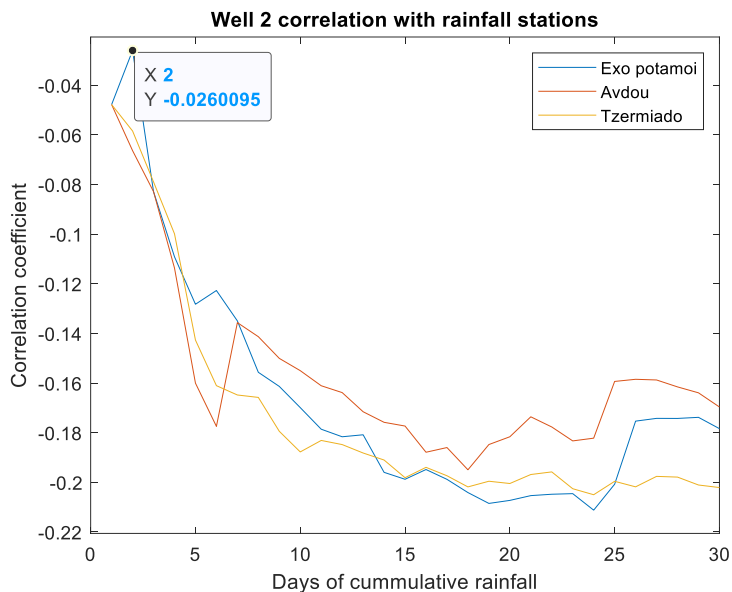


Αποτελέσματα συσχέτισης στάθμης -βροχόπτωσης για το πηγάδι 9

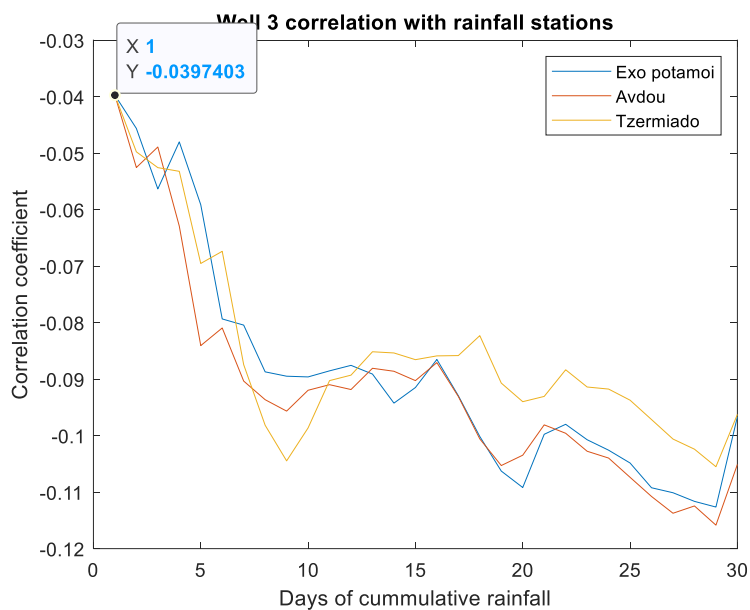
Συσχέτιση CL- (χλωριόντα) -Βροχόπτωση



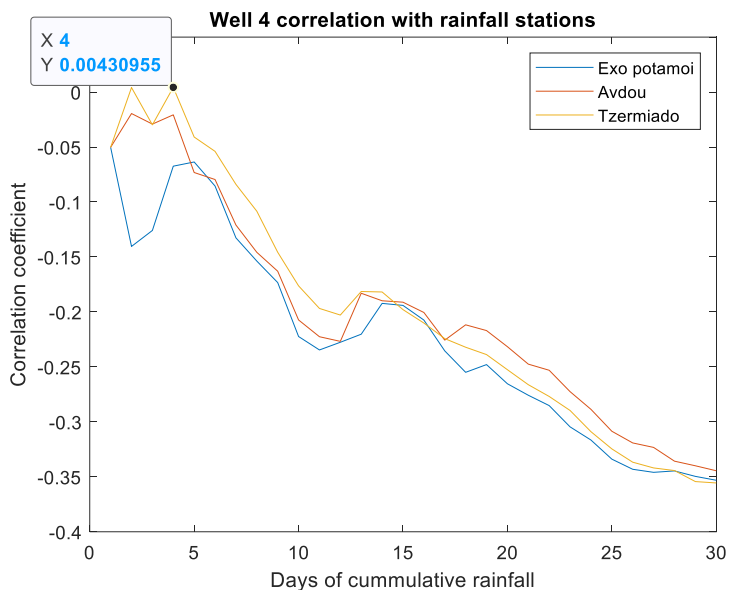
Αποτελέσματα συσχέτισης χλωριόντων -βροχόπτωσης για το πηγάδι 1



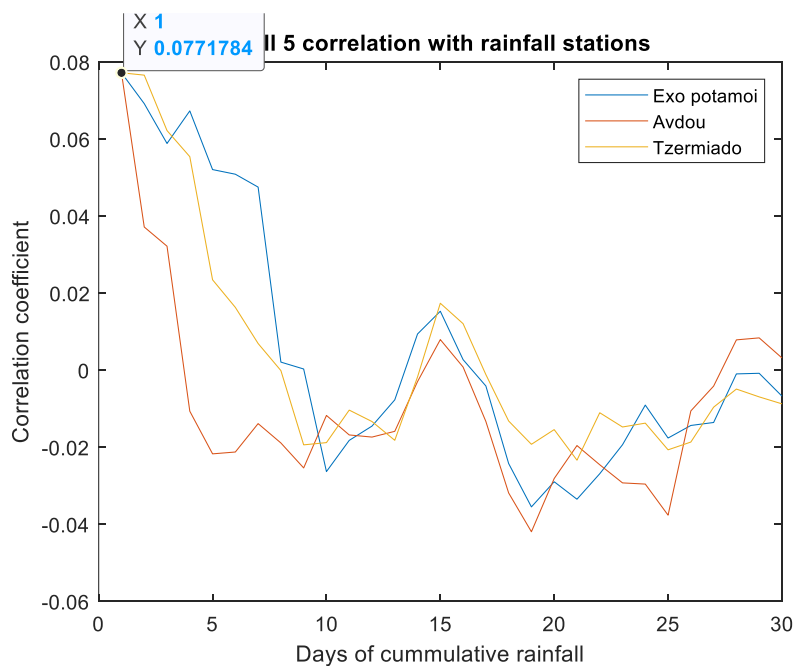
Αποτελέσματα συσχέτισης χλωριόντων -βροχόπτωσης για το πηγάδι 2



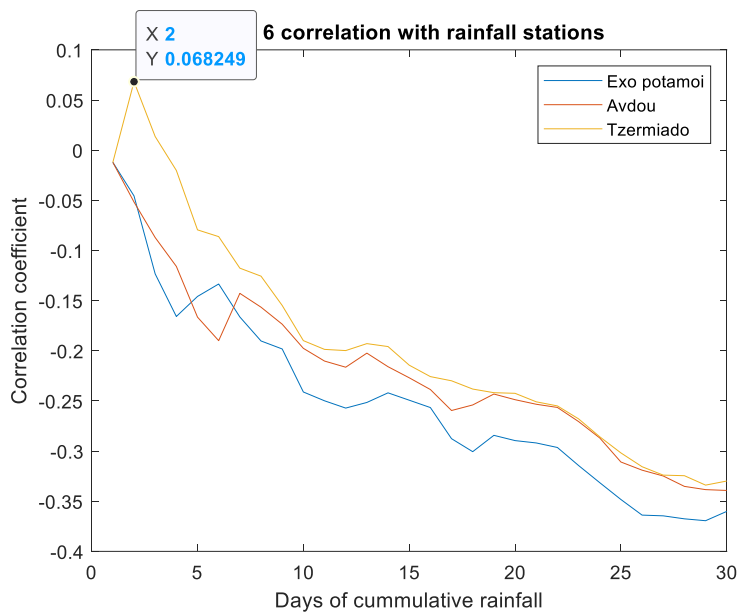
Αποτελέσματα συσχέτισης χλωριόντων -βροχόπτωσης για το πηγάδι 3 (παλιά)



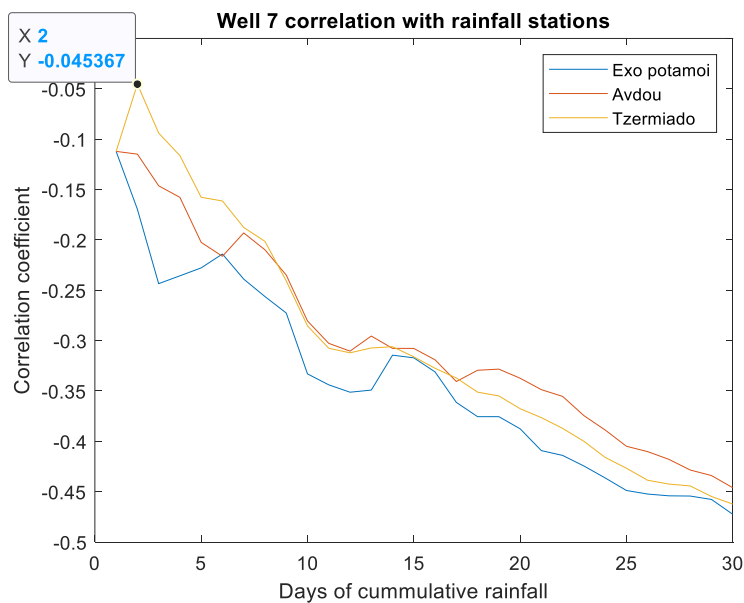
Αποτελέσματα συσχέτισης χλωριόντων -βροχόπτωσης για το πηγάδι 3 (νέα)



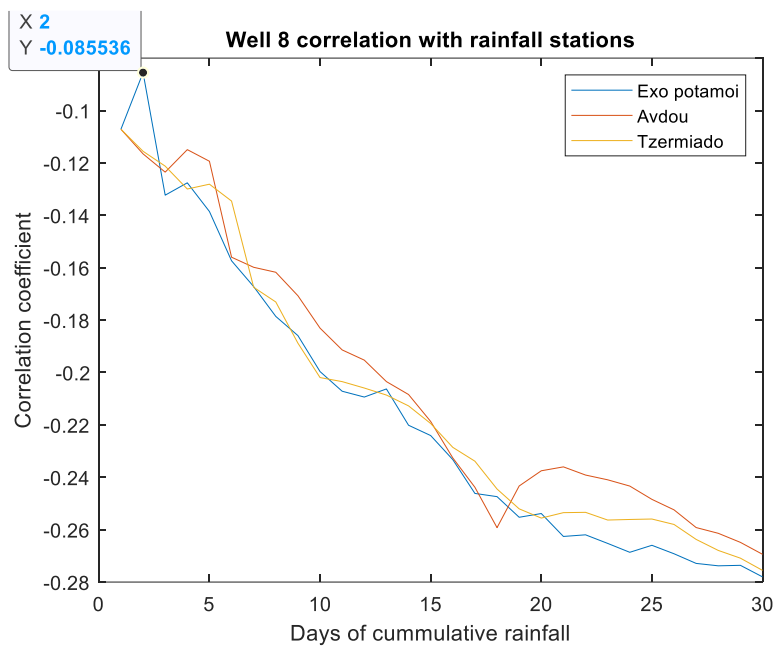
Αποτελέσματα συσχέτισης χλωριόντων -βροχόπτωσης για το πηγάδι 4



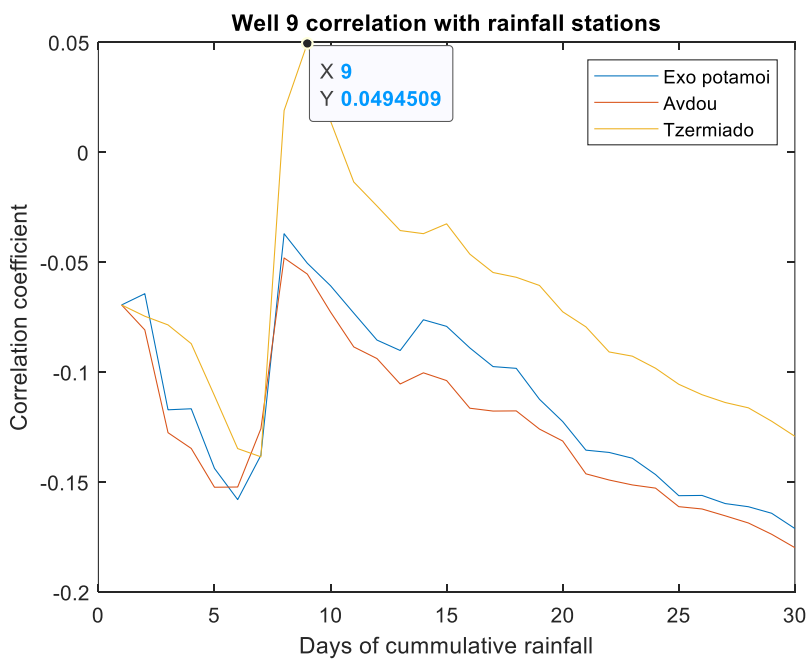
Αποτελέσματα συσχέτισης χλωριόντων -βροχόπτωσης για το πηγάδι 5



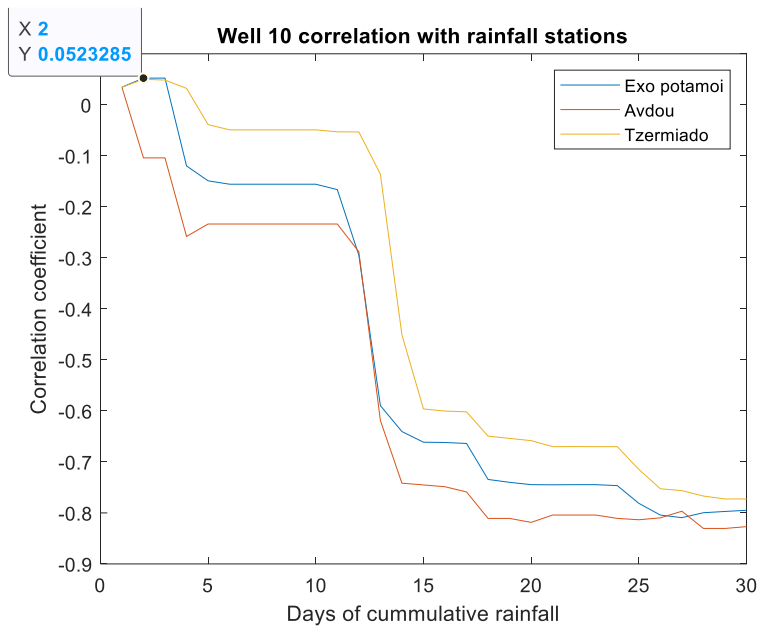
: Αποτελέσματα συσχέτισης χλωριόντων -βροχόπτωσης για το πηγάδι 6



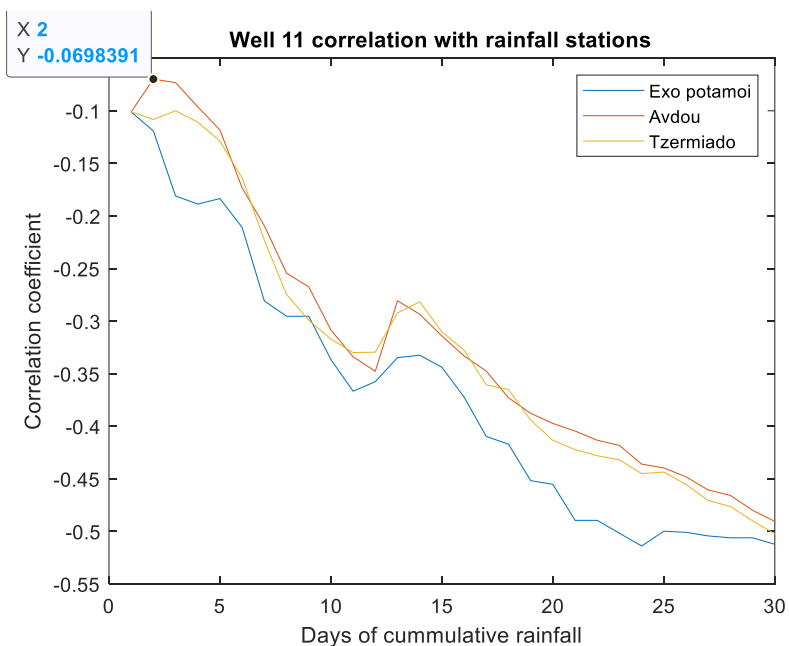
: Αποτελέσματα συσχέτισης χλωριόντων -βροχόπτωσης για το πηγάδι 8



Αποτελέσματα συσχέτισης χλωριόντων -βροχόπτωσης για το πηγάδι 9

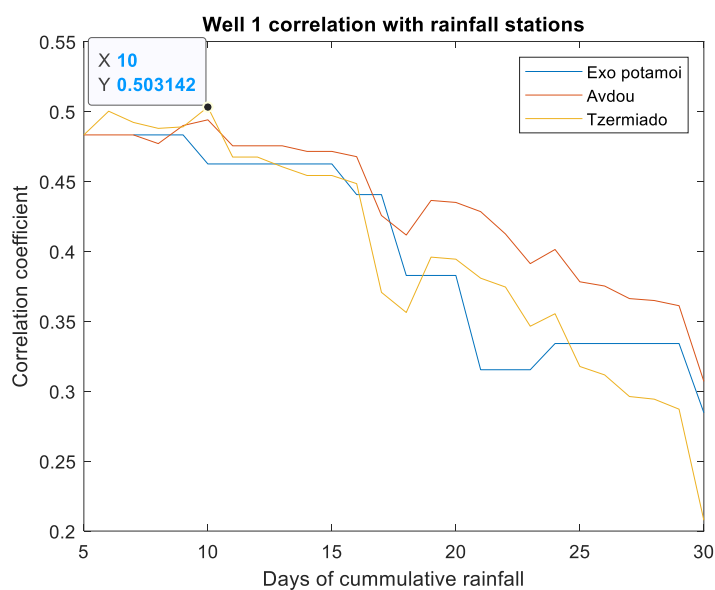


Αποτελέσματα συσχέτισης χλωριόντων -βροχόπτωσης για το πηγάδι Γεώτρηση Μαρκάκη

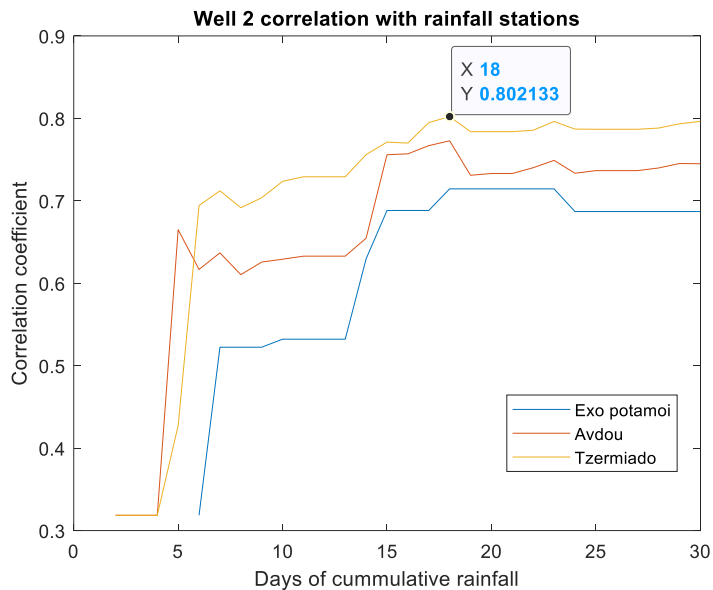


Αποτελέσματα συσχέτισης χλωριόντων -βροχόπτωσης για το πηγάδι Μικτό Μαλίων

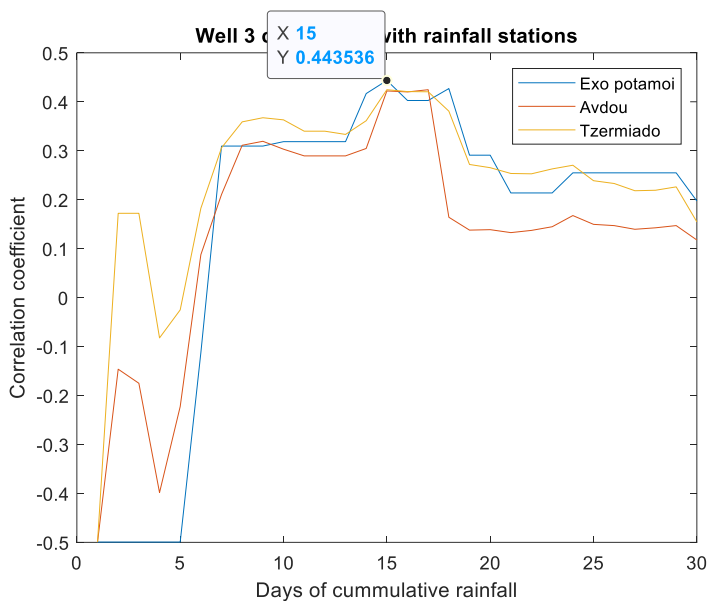
Συσχέτιση N03- (νιτρικά)- Βροχόπτωση



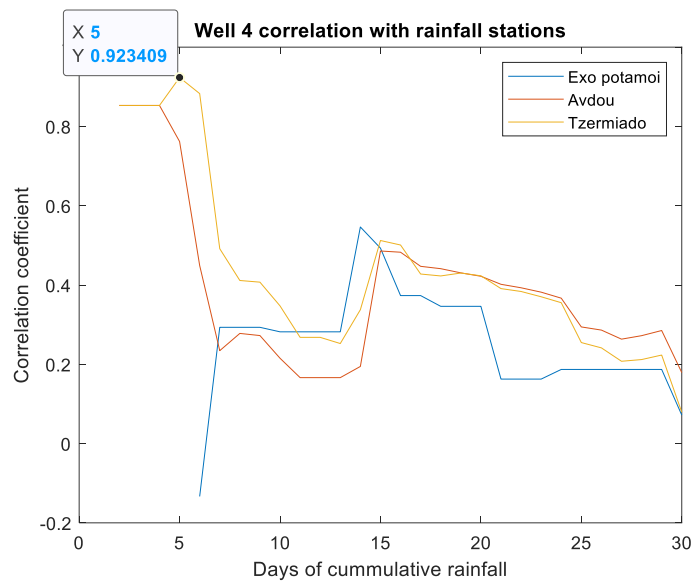
Αποτελέσματα συσχέτισης νιτρικών -βροχόπτωσης για το πηγάδι 1



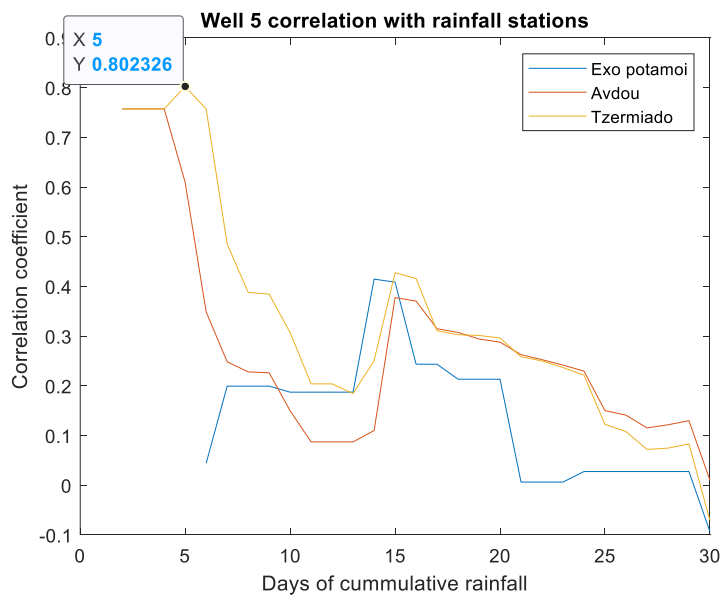
Αποτελέσματα συσχέτισης νιτρικών -βροχόπτωσης για το πηγάδι 2



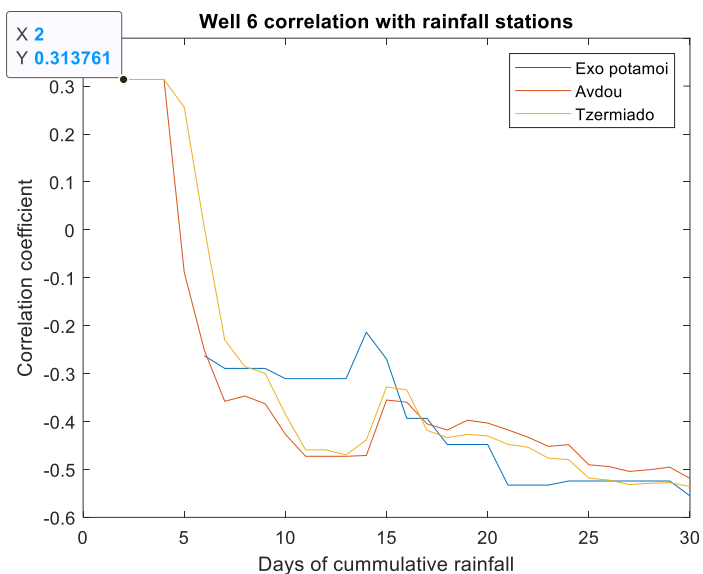
Αποτελέσματα συσχέτισης νιτρικών -βροχόπτωσης για το πηγάδι 3 (παλιά)



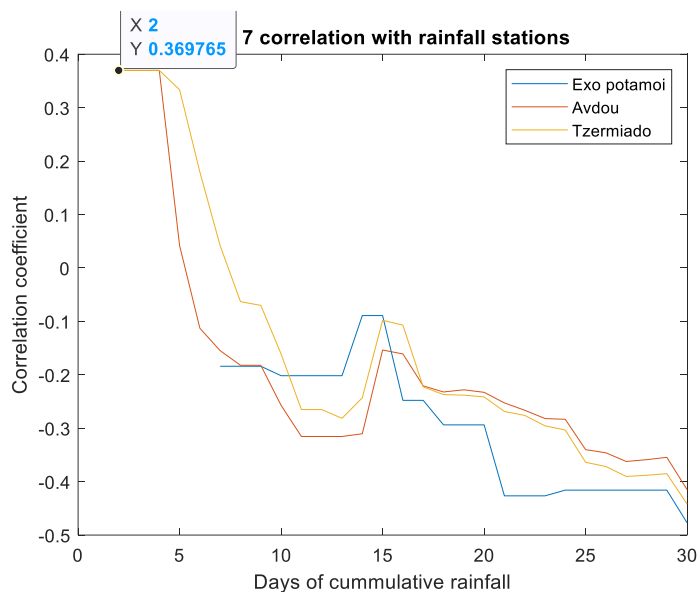
Αποτελέσματα συσχέτισης νιτρικών -βροχόπτωσης για το πηγάδι 3 (νέα)



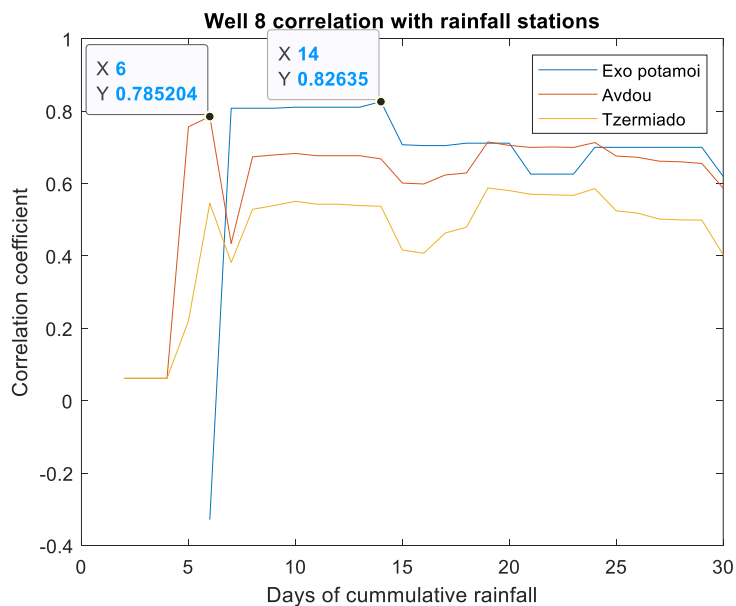
Αποτελέσματα συσχέτισης νιτρικών -βροχόπτωσης για το πηγάδι 4



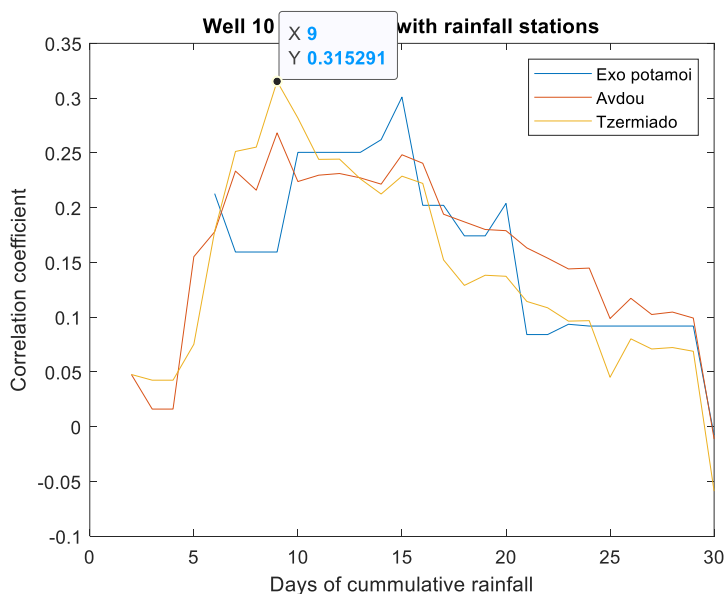
Αποτελέσματα συσχέτισης νιτρικών -βροχόπτωσης για το πηγάδι 5



Αποτελέσματα συσχέτισης νιτρικών -βροχόπτωσης για το πηγάδι 6

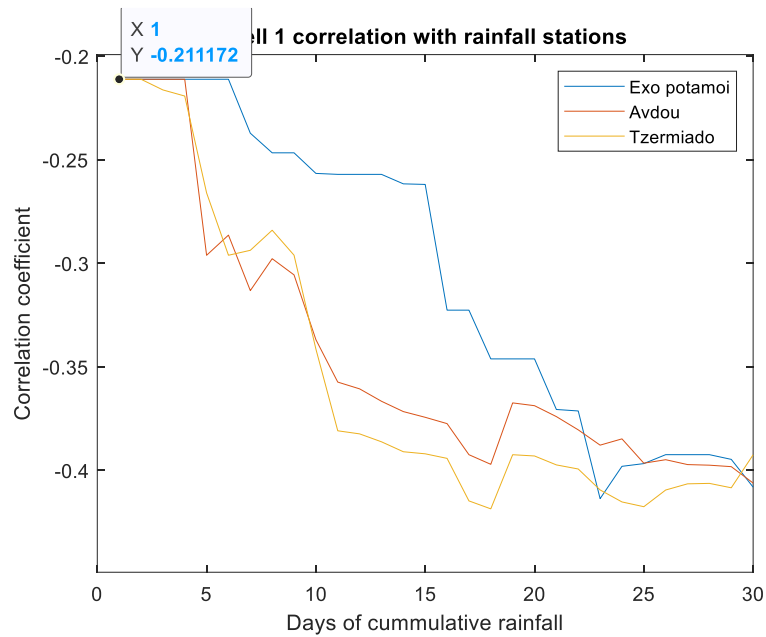


Αποτελέσματα συσχέτισης νιτρικών -βροχόπτωσης για το πηγάδι 8

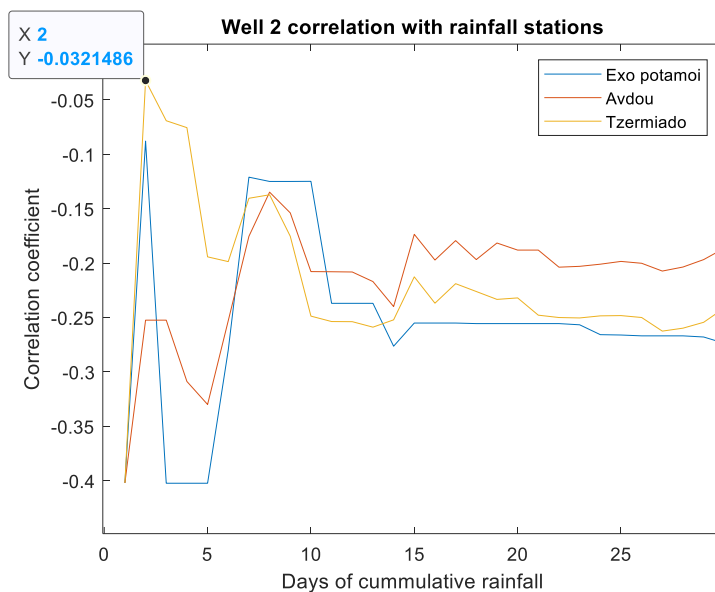


Αποτελέσματα συσχέτισης νιτρικών -βροχόπτωσης για το πηγάδι Γεώτρηση Μαρκάκη

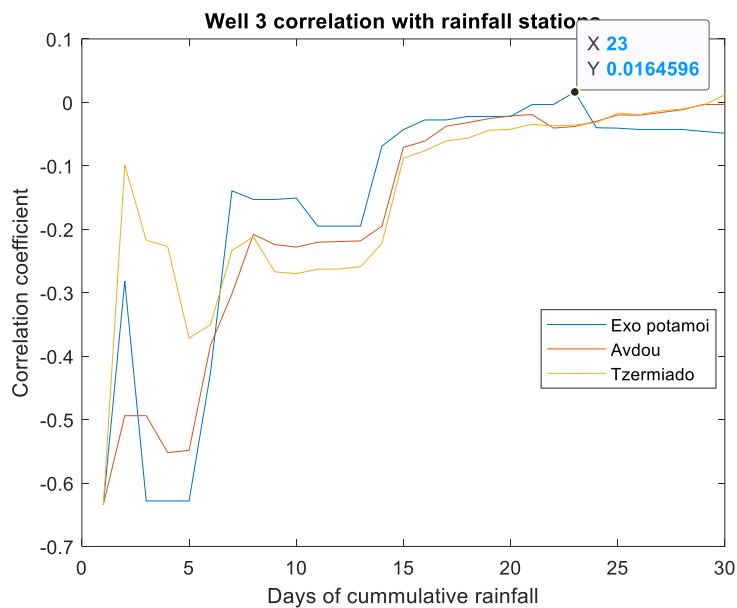
Συσχέτιση S04-2(θειικά) -Βροχόπτωση



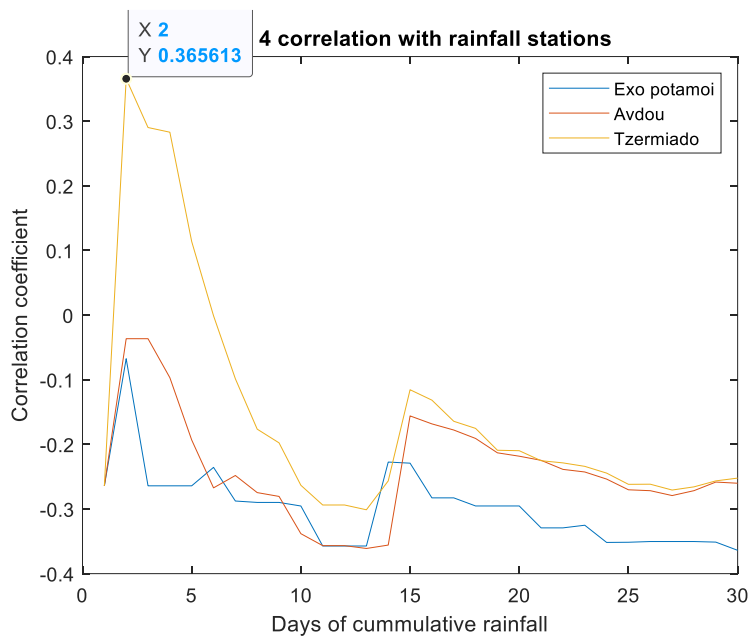
Αποτελέσματα συσχέτισης θειικών -βροχόπτωσης για το πηγάδι 1



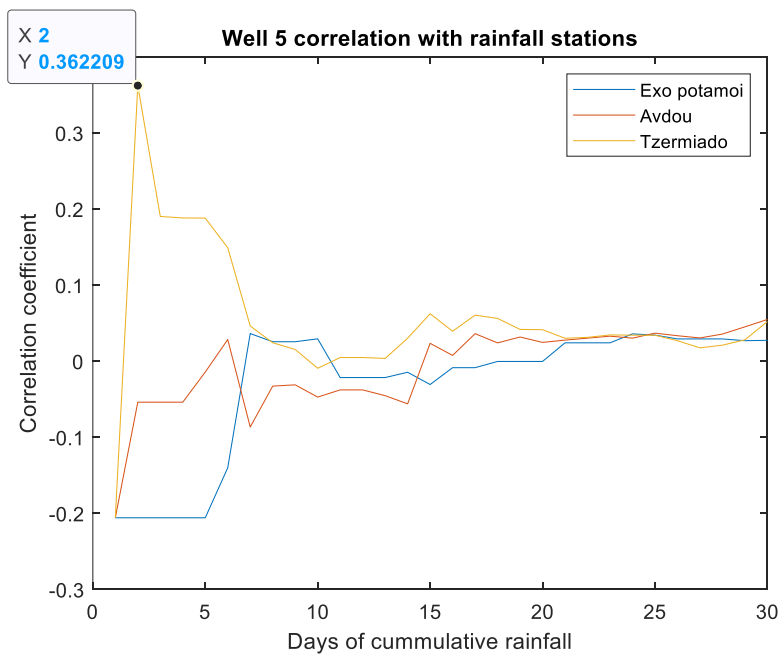
Αποτελέσματα συσχέτισης θετικών -βροχόπτωσης για το πηγάδι 2



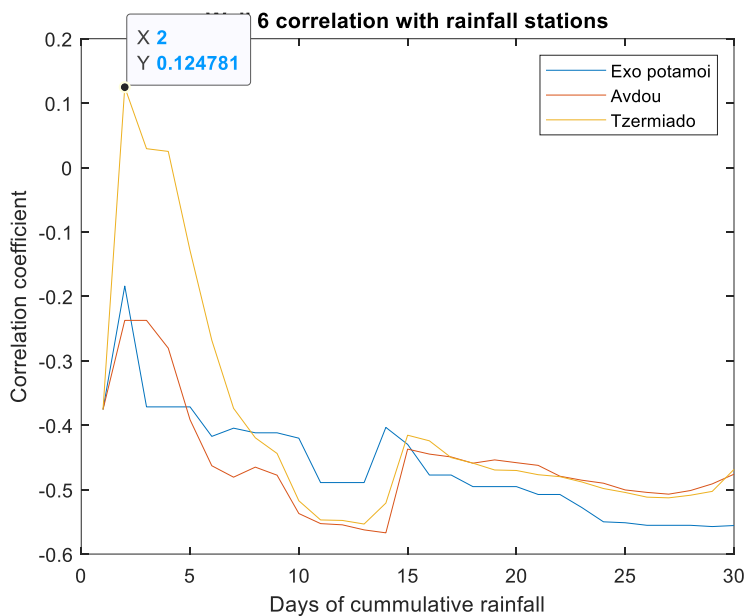
Αποτελέσματα συσχέτισης θετικών -βροχόπτωσης για το πηγάδι 3 (παλιά)



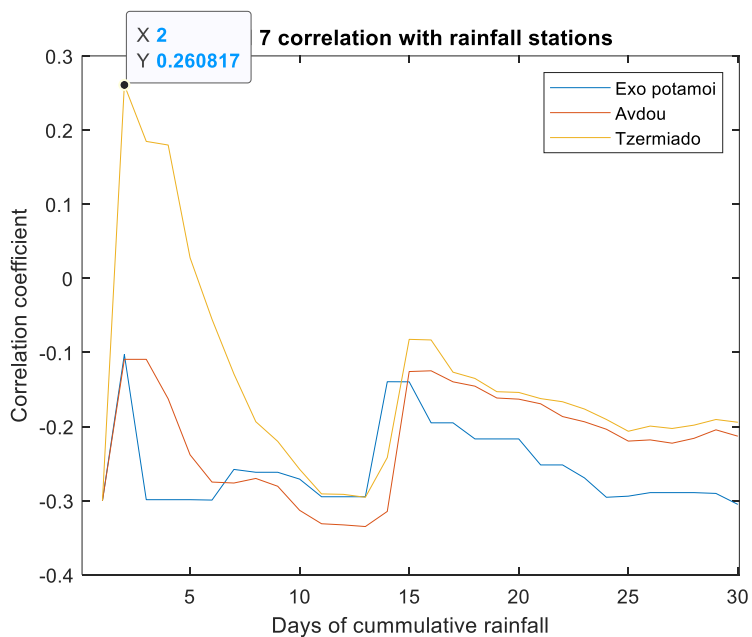
Αποτελέσματα συσχέτισης θετικών -βροχόπτωσης για το πηγάδι 3 (νέα)



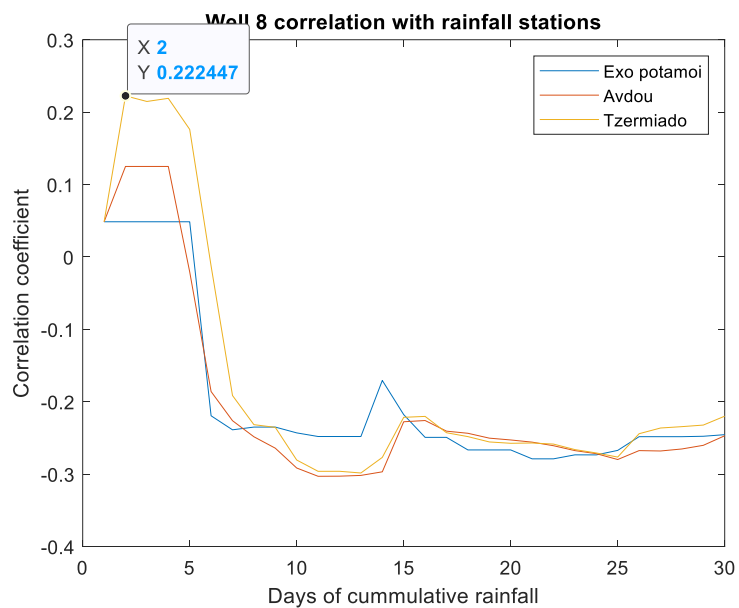
Αποτελέσματα συσχέτισης θετικών -βροχόπτωσης για το πηγάδι 4



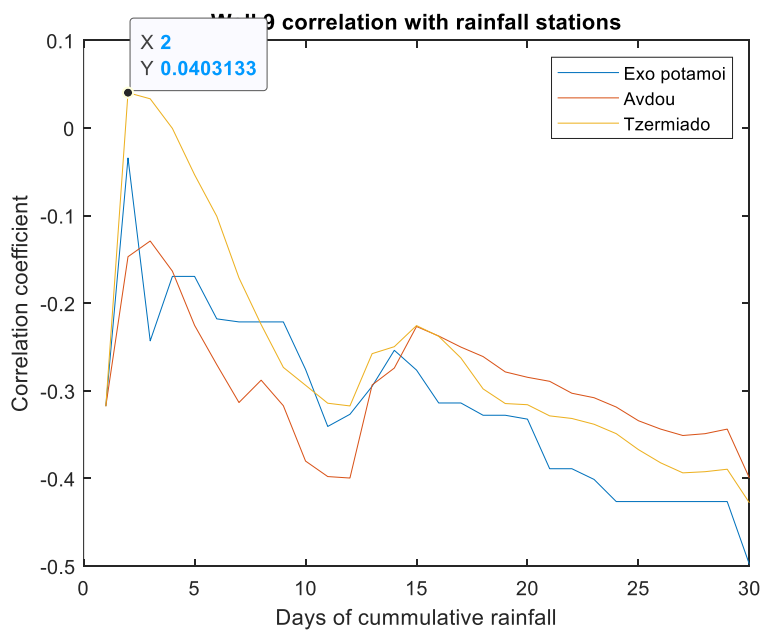
Αποτελέσματα συσχέτισης θετικών -βροχόπτωσης για το πηγάδι 5



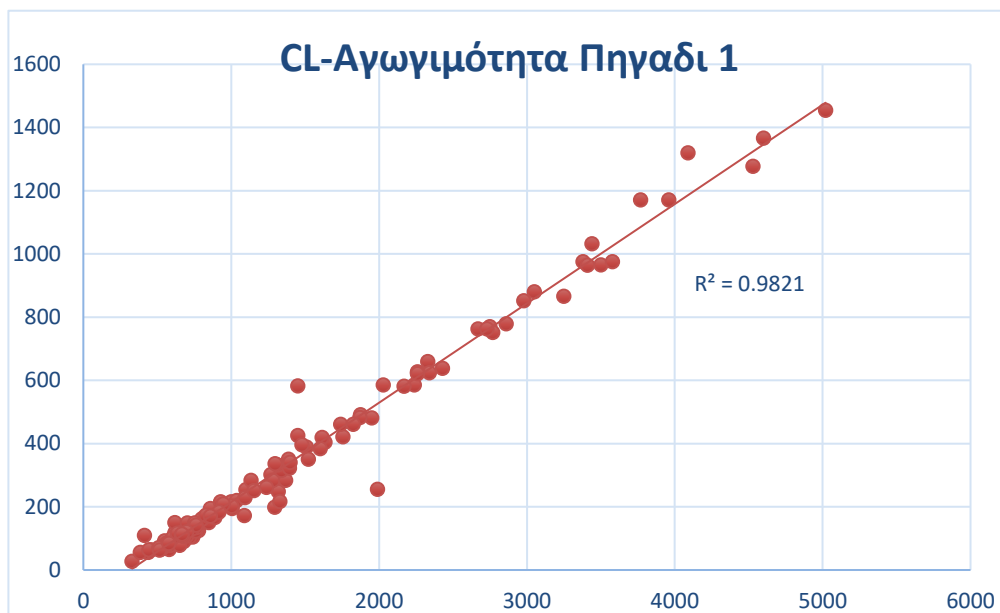
Αποτελέσματα συσχέτισης θετικών -βροχόπτωσης για το πηγάδι 6



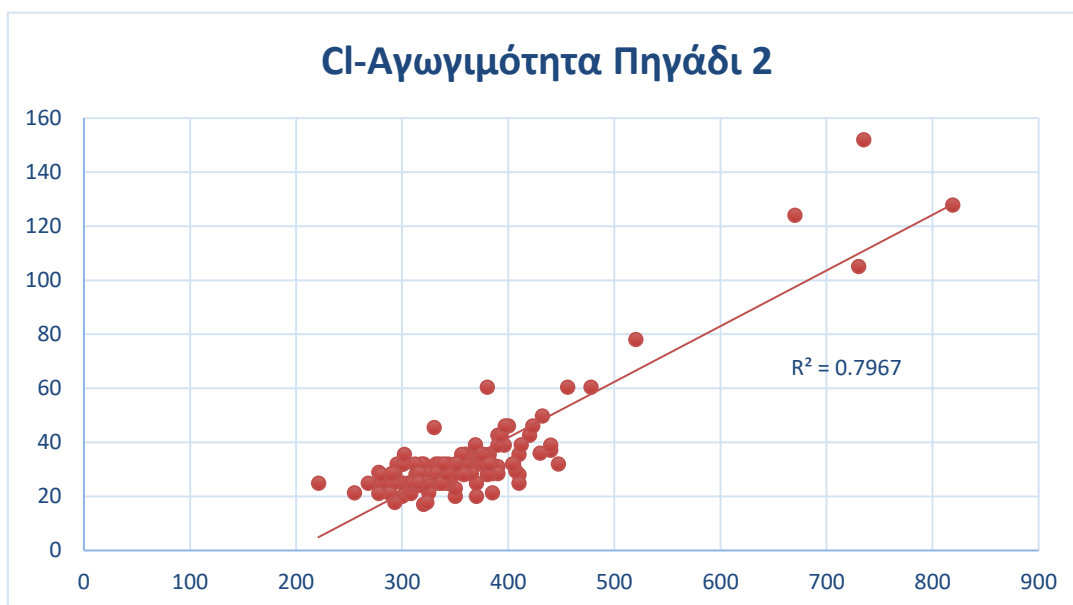
Αποτελέσματα συσχέτισης θετικών -βροχόπτωσης για το πηγάδι 8



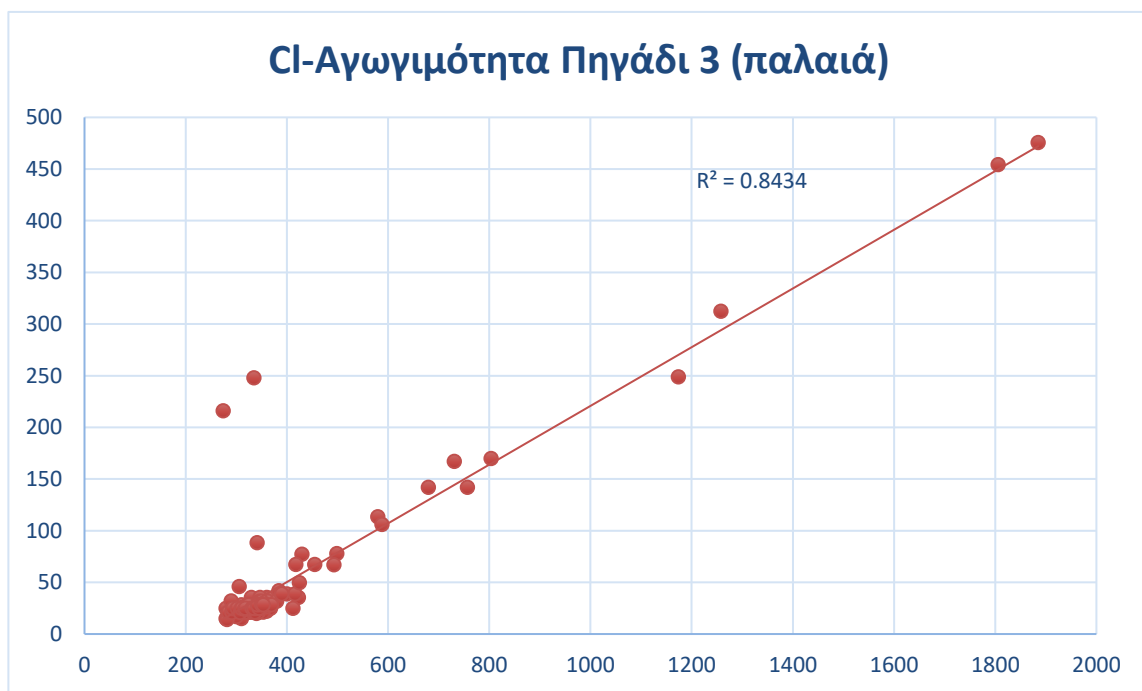
: Αποτελέσματα συσχέτισης θετικών -βροχόπτωσης για το πηγάδι 9



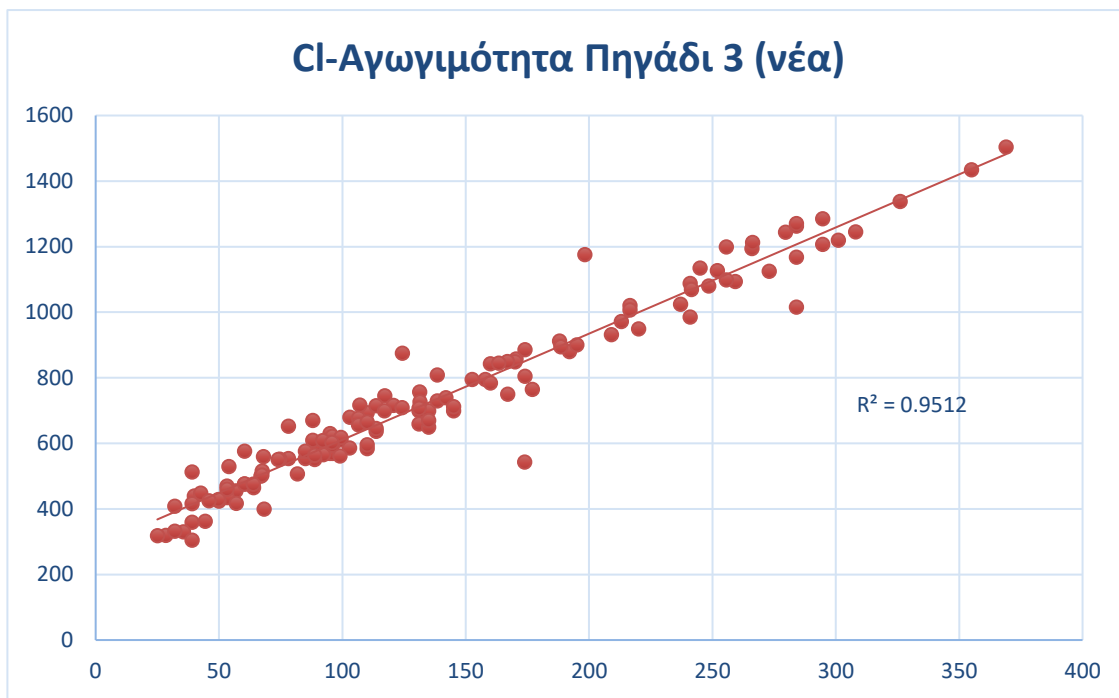
Αποτελέσματα συσχέτισης χλωριόντων -αγωγιμότητας για το πηγάδι 1



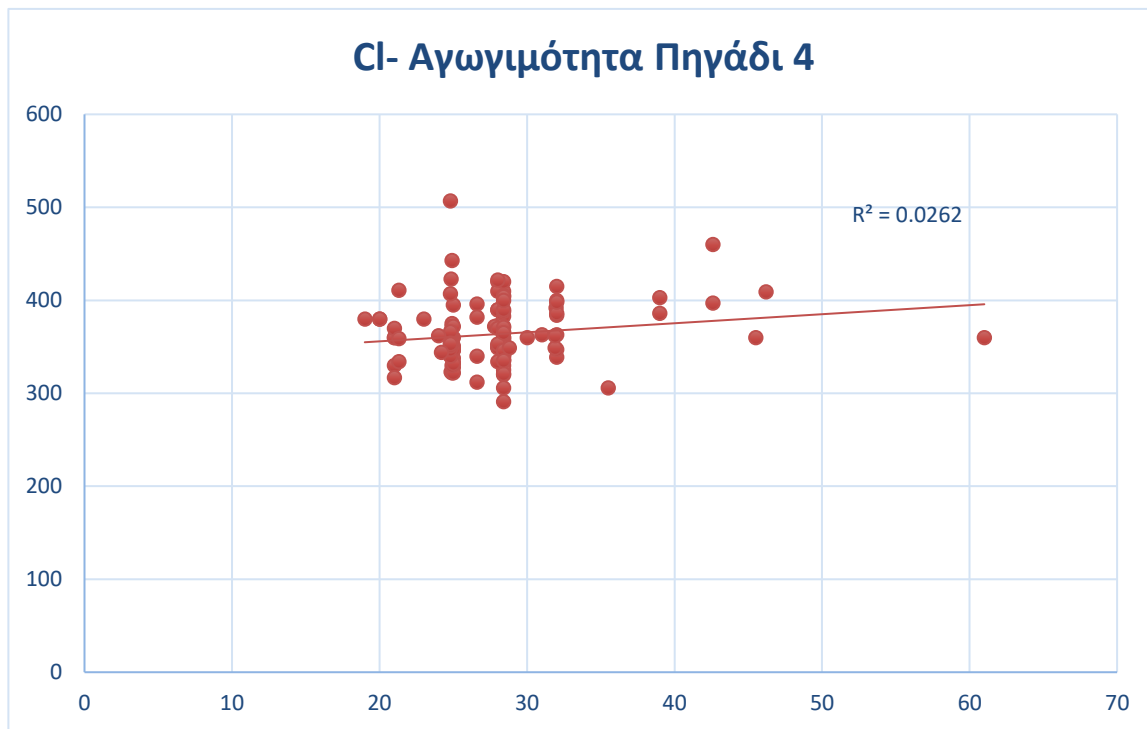
Αποτελέσματα συσχέτισης χλωριόντων -αγωγιμότητας για το πηγάδι 2



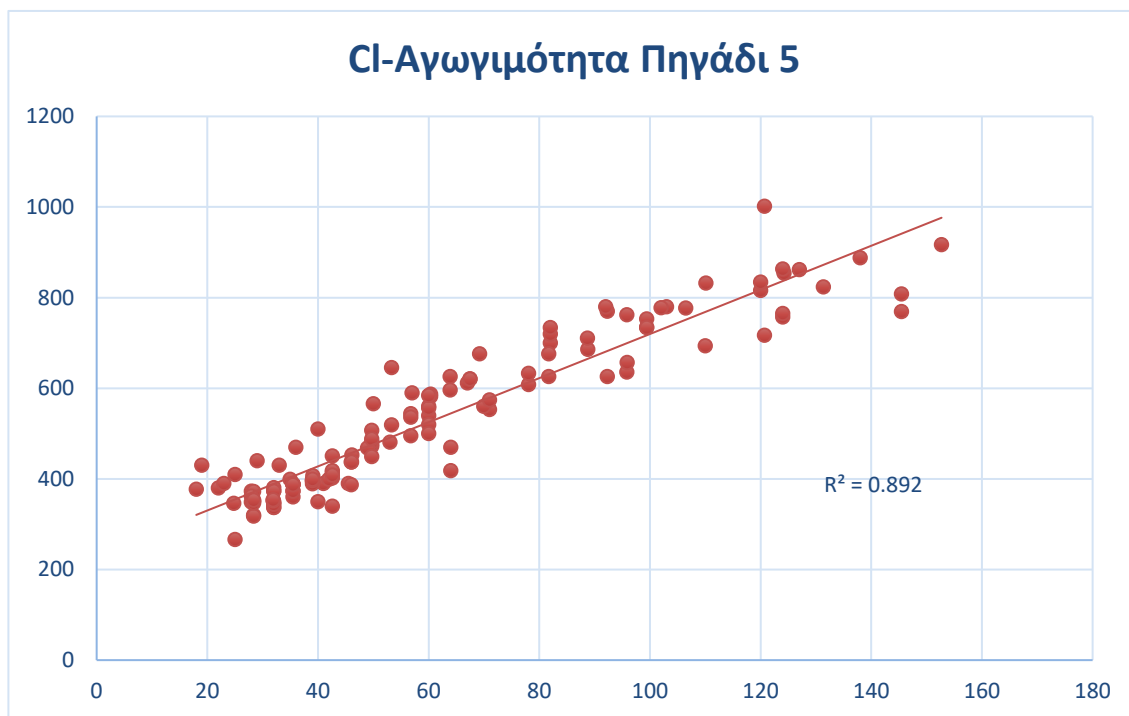
Αποτελέσματα συσχέτισης χλωριόντων -αγωγιμότητας για το πηγάδι 3 παλαιά



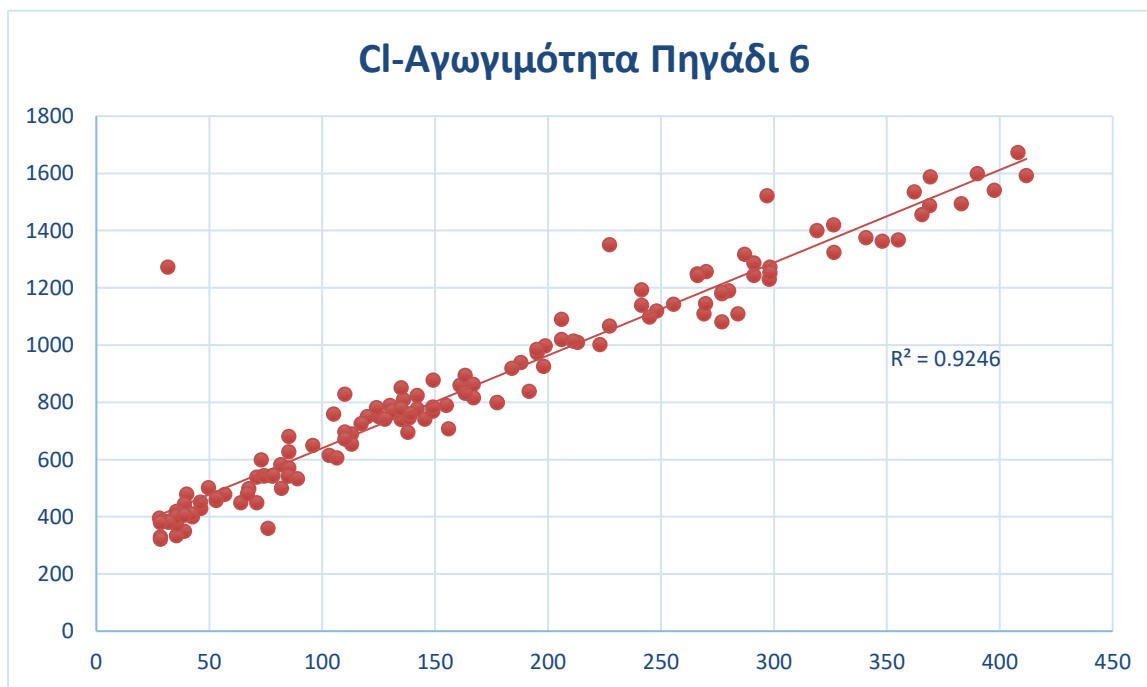
Αποτελέσματα συσχέτισης χλωριόντων -αγωγιμότητας για το πηγάδι 3B



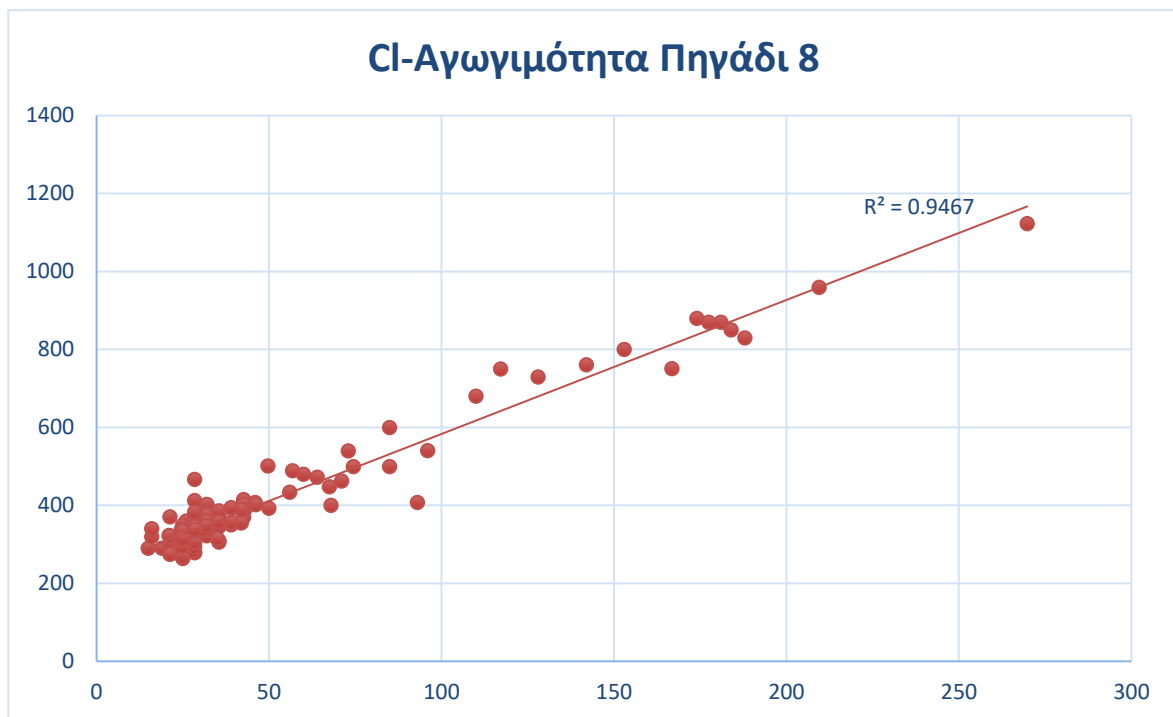
Αποτελέσματα συσχέτισης χλωριόντων -αγωγιμότητας για το πηγάδι 4



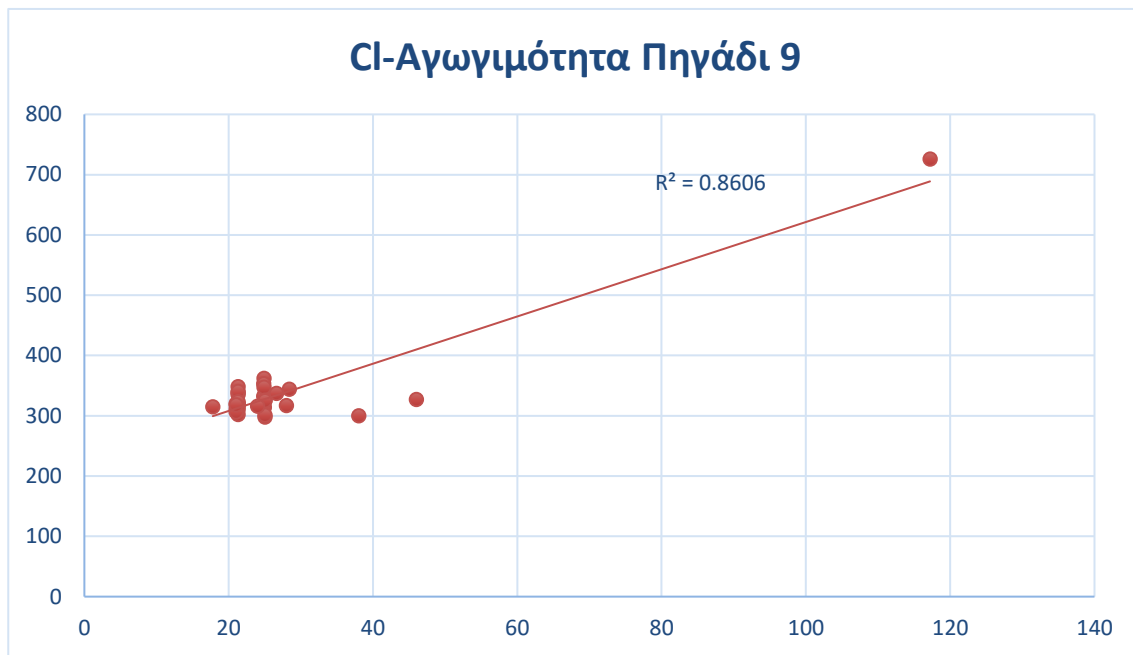
Αποτελέσματα συσχέτισης χλωριόντων -αγωγιμότητας για το πηγάδι 5



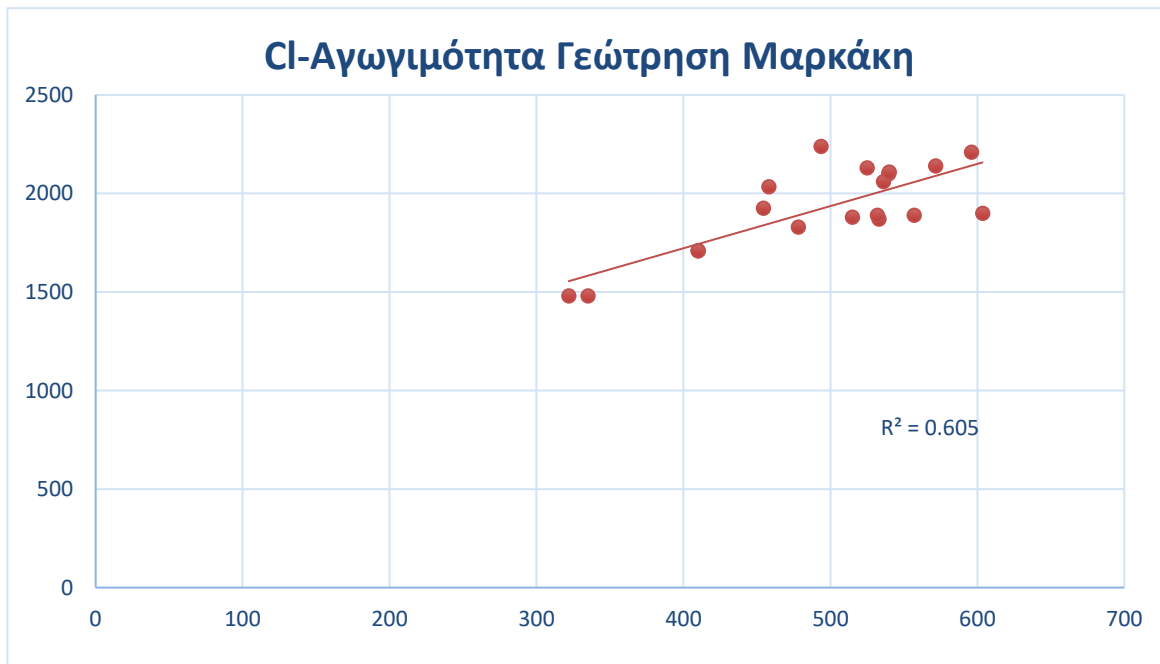
Αποτελέσματα συσχέτισης χλωριόντων -αγωγιμότητας για το πηγάδι 6



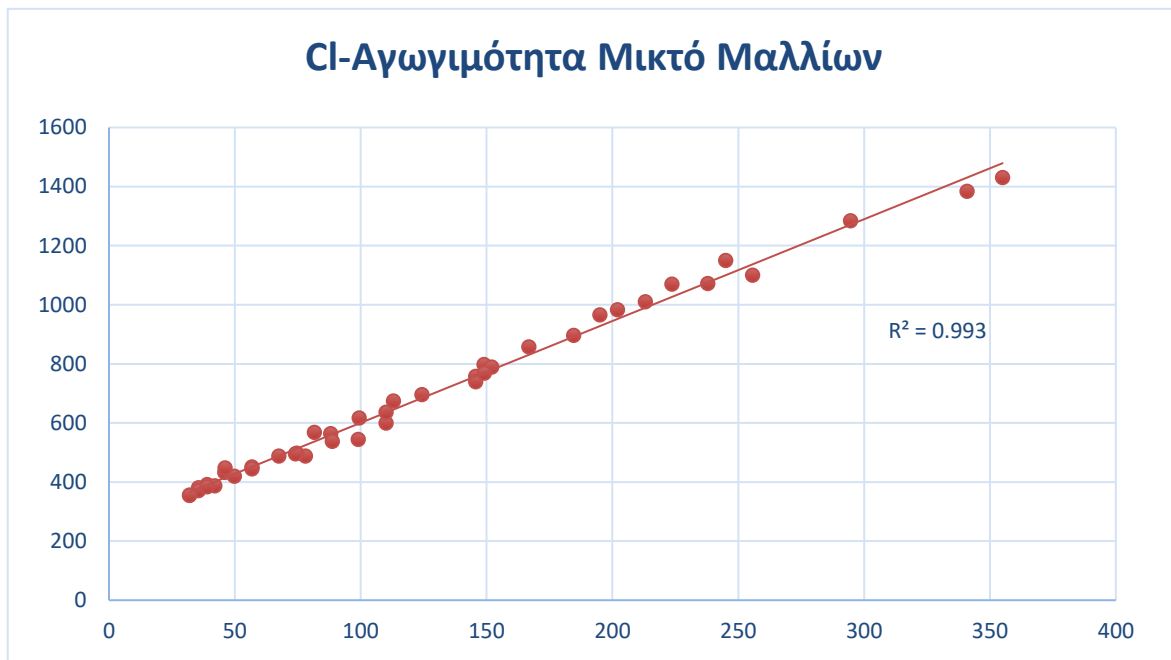
Αποτελέσματα συσχέτισης χλωριόντων -αγωγιμότητας για το πηγάδι 8



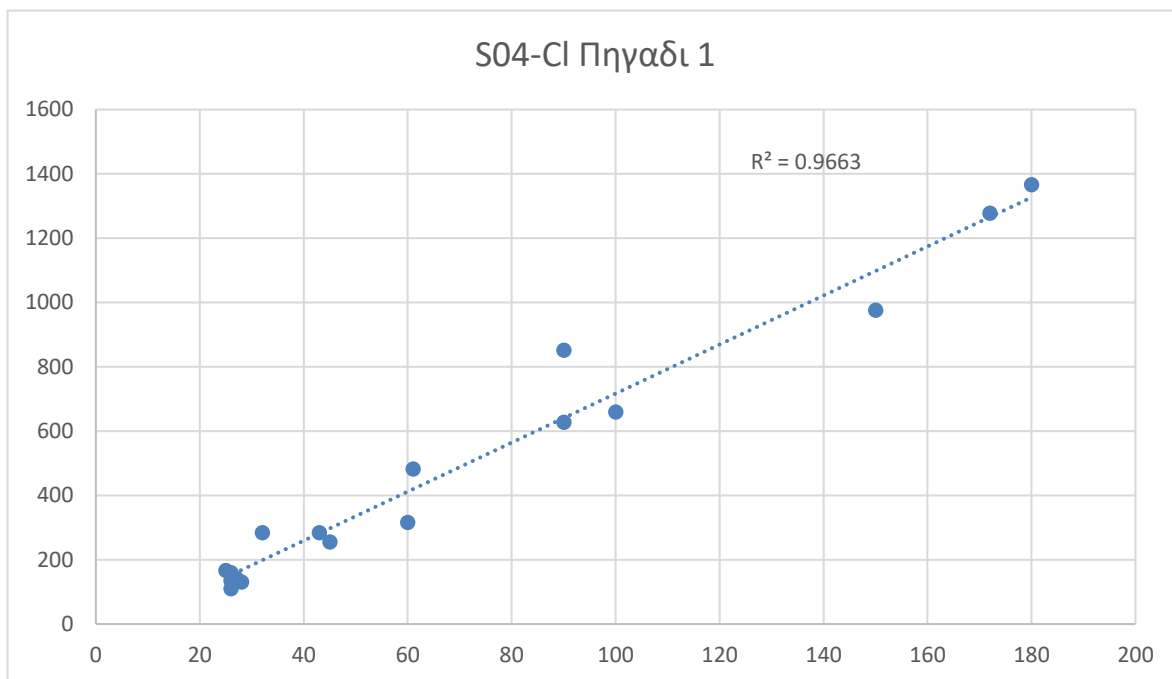
Αποτελέσματα συσχέτισης χλωριόντων -αγωγιμότητας για το πηγάδι 9



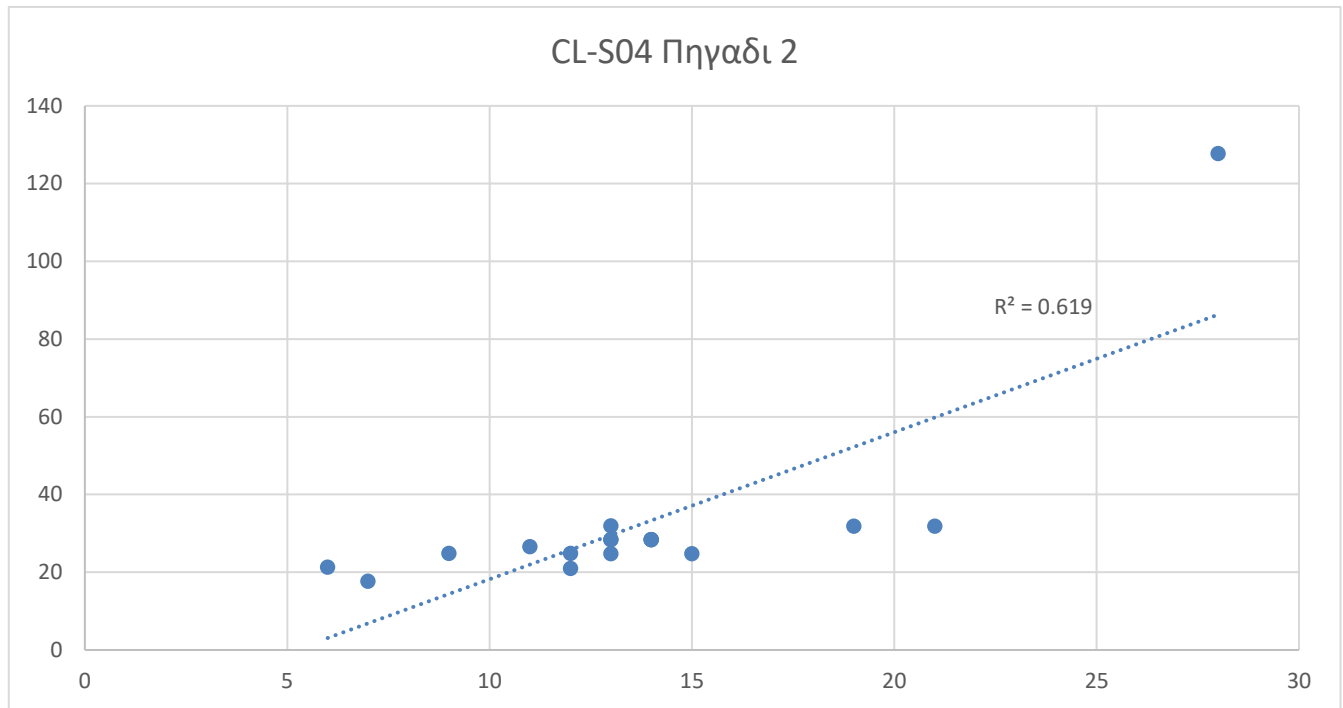
Αποτελέσματα συσχέτισης χλωριόντων -αγωγιμότητας για το πηγάδι 10



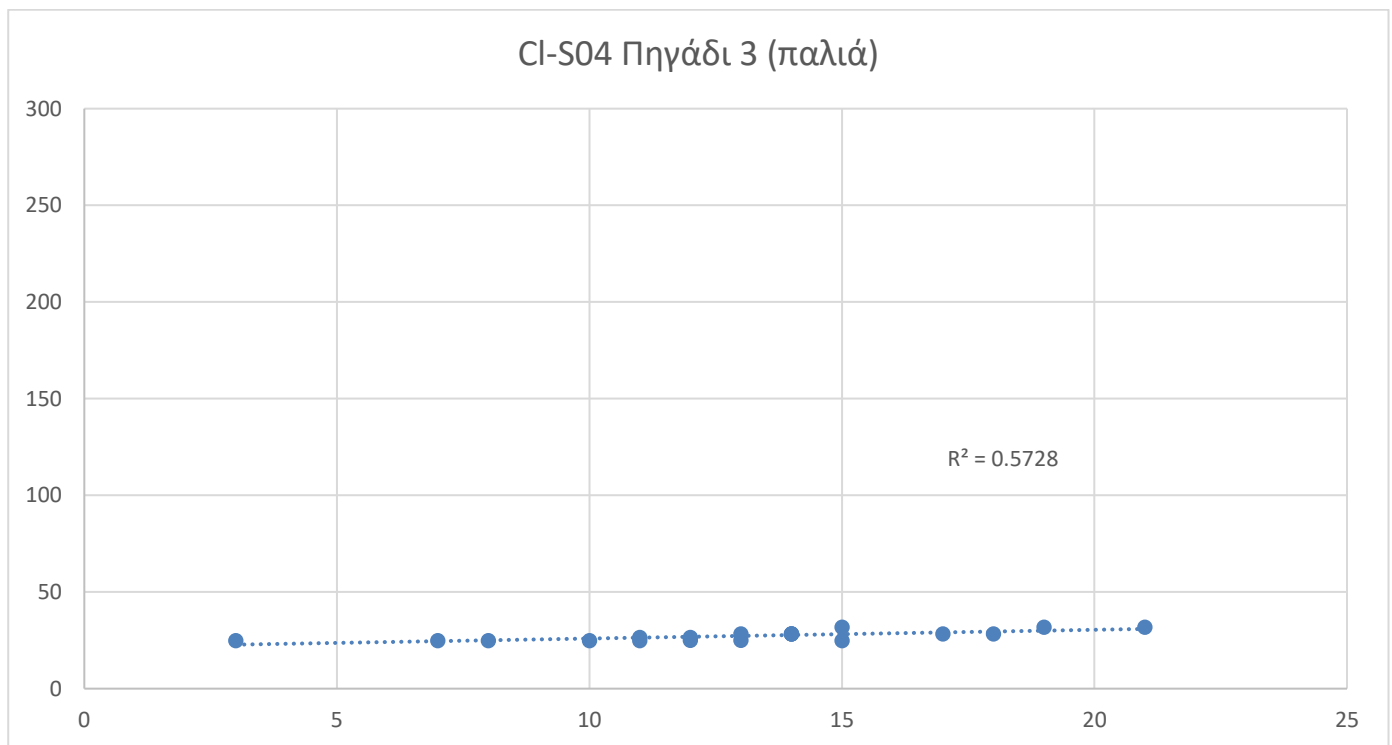
Αποτελέσματα συσχέτισης χλωριόντων -αγωγιμότητας για το πηγάδι 11



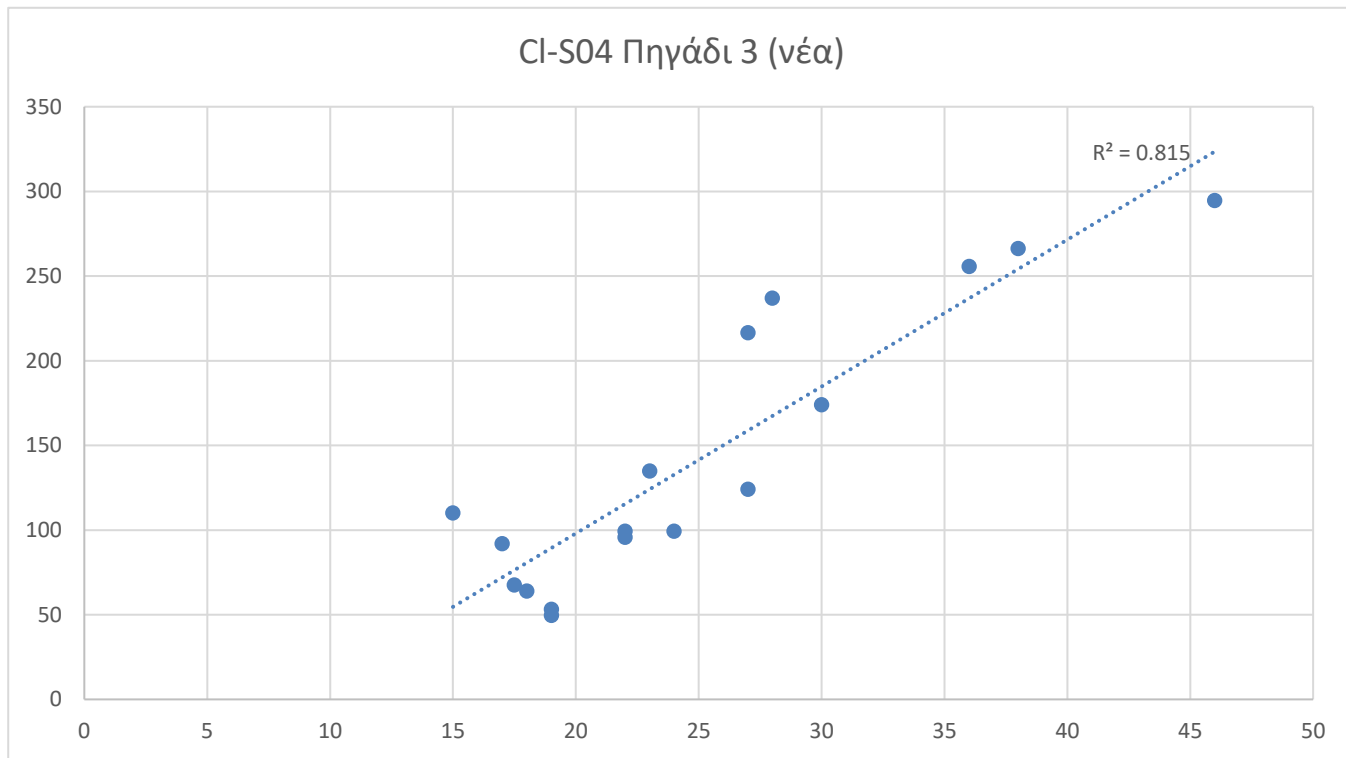
Αποτελέσματα συσχέτισης χλωριόντων -θεικών για το πηγάδι 1



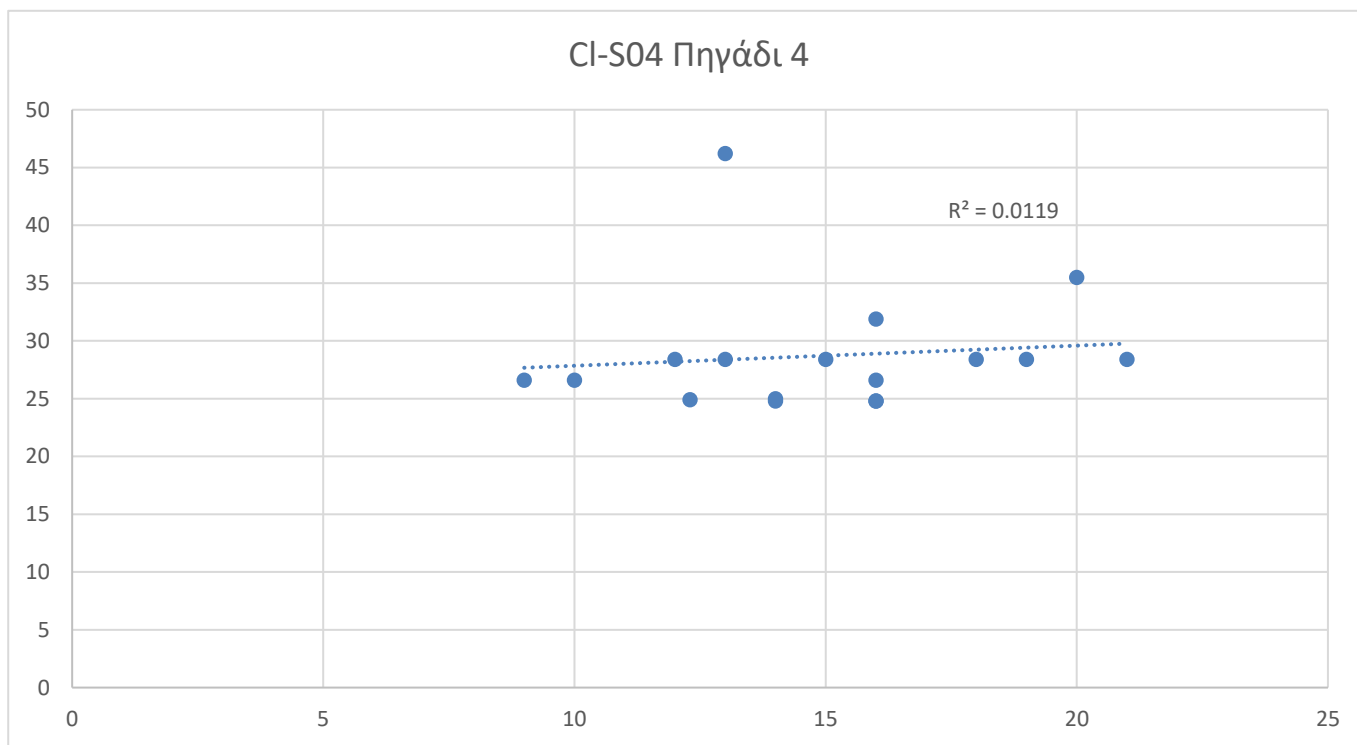
Αποτελέσματα συσχέτισης χλωριόντων -θεικών για το πηγάδι 2



Αποτελέσματα συσχέτισης χλωριόντων -θεικών για το πηγάδι 3Α

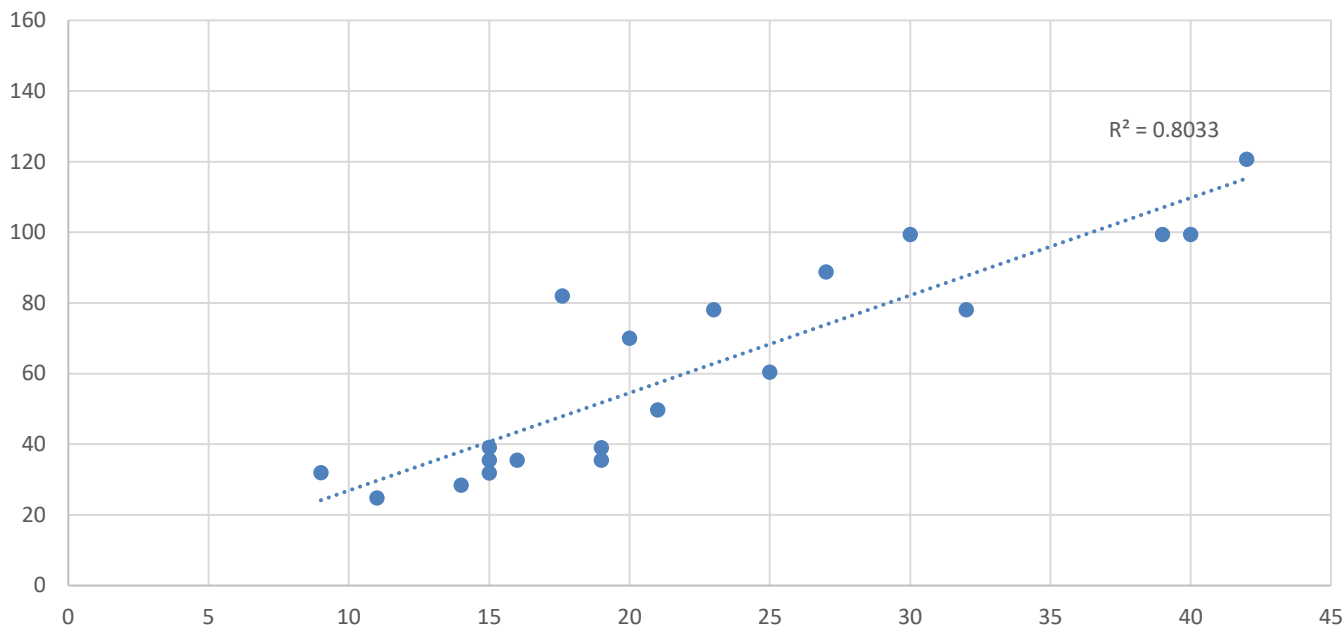


Αποτελέσματα συσχέτισης χλωριόντων -θεικών για το πηγάδι 3B



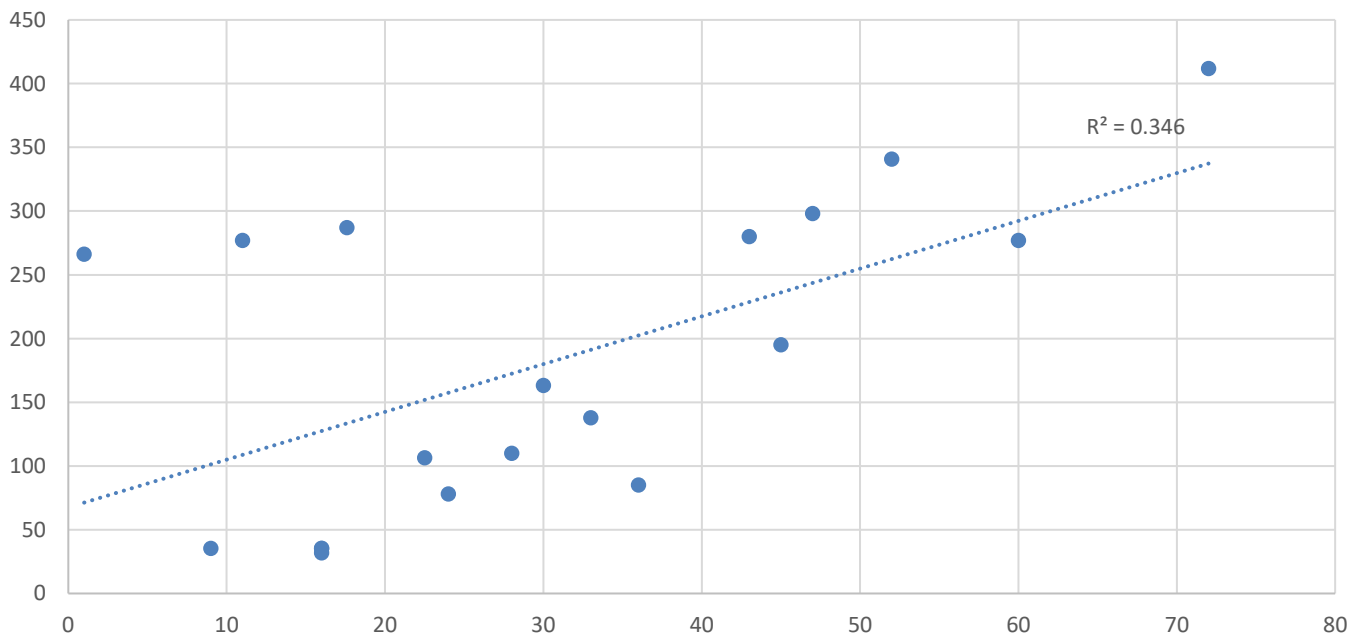
Αποτελέσματα συσχέτισης χλωριόντων -θεικών για το πηγάδι 4

CI-S04 Πηγάδι 5



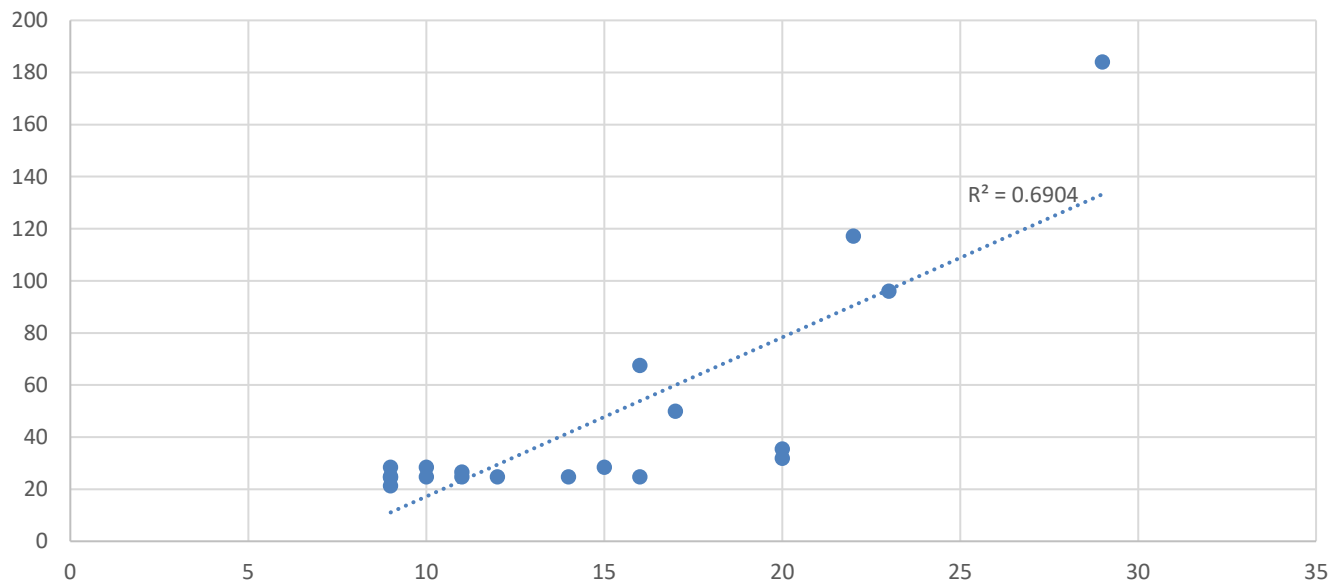
Αποτελέσματα συσχέτισης χλωριόντων -θεικών για το πηγάδι 5

CI-S04 Πηγάδι 6



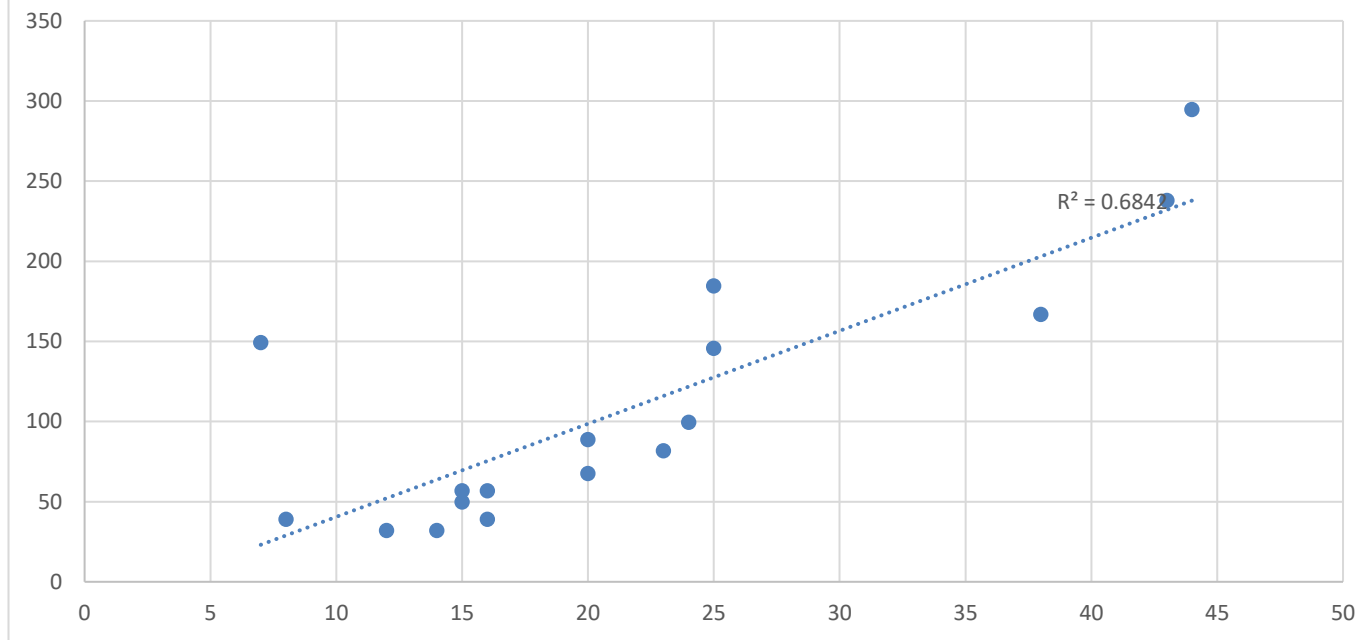
Αποτελέσματα συσχέτισης χλωριόντων -θεικών για το πηγάδι 6

CI-S04 Πηγάδι 8

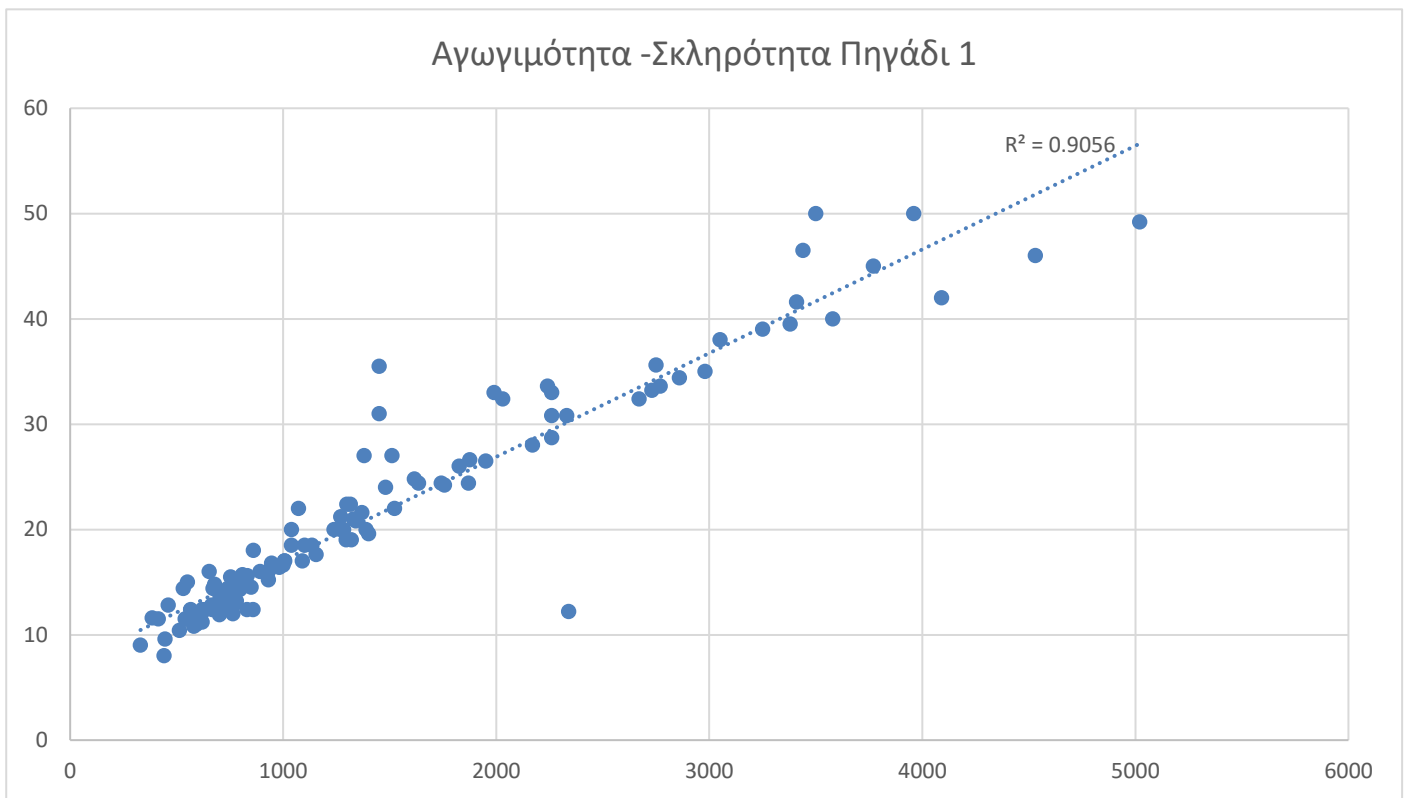


Αποτελέσματα συσχέτισης χλωριόντων -θεικών για το πηγάδι 8

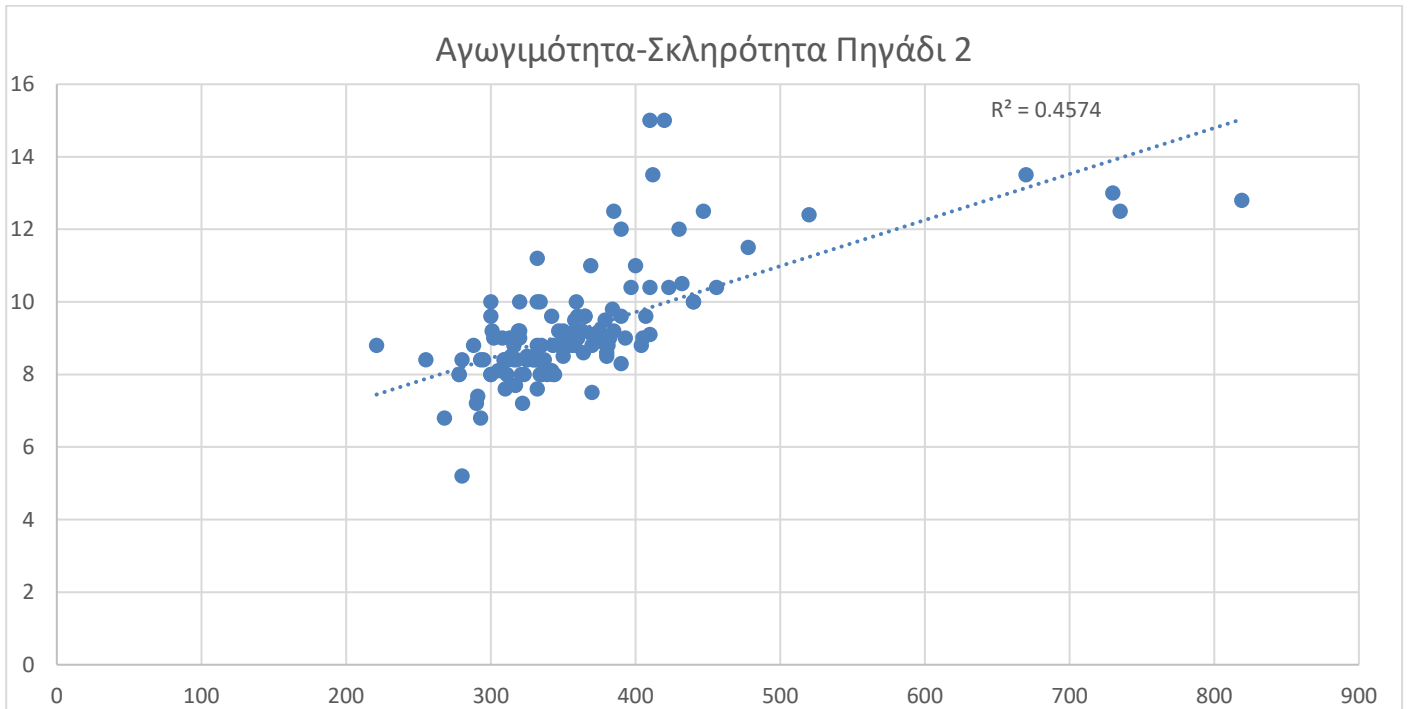
Μικτό Μαλλίων



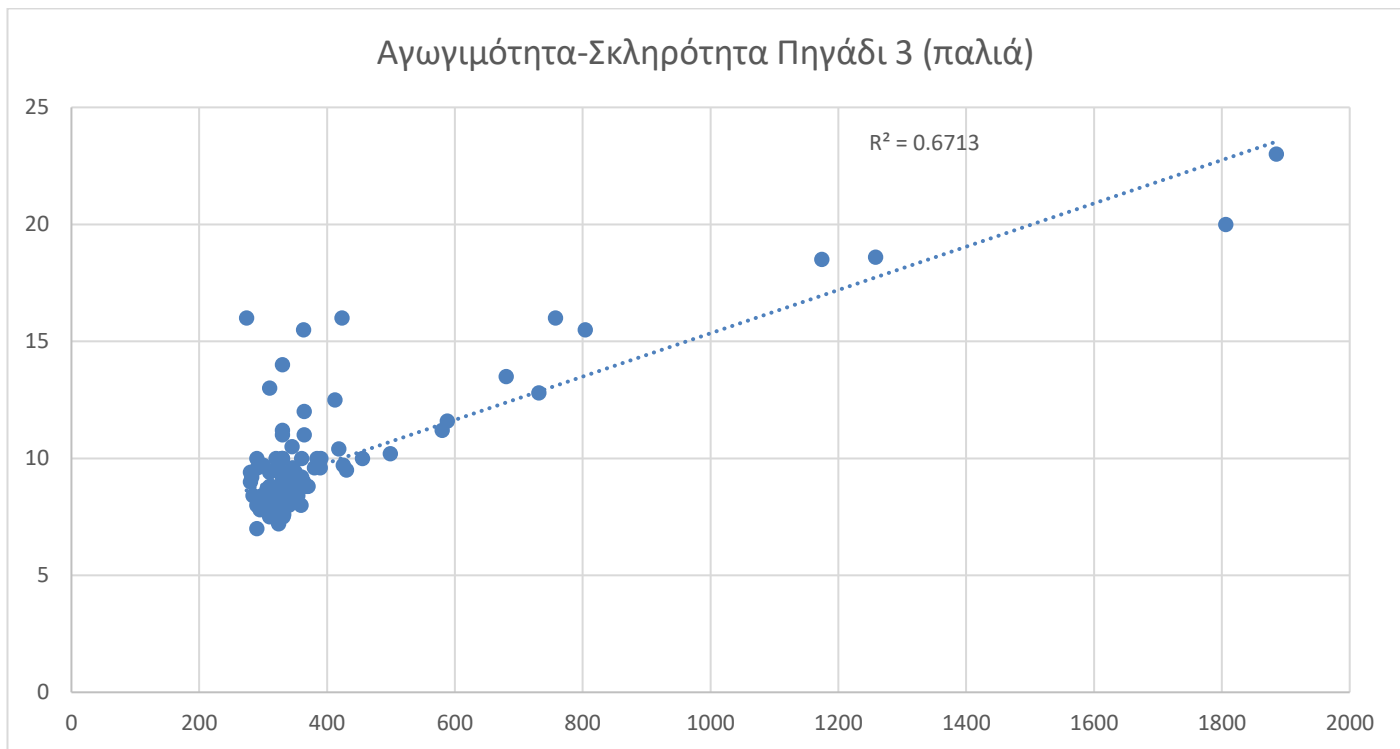
Αποτελέσματα συσχέτισης χλωριόντων -θεικών για το πηγάδι 11



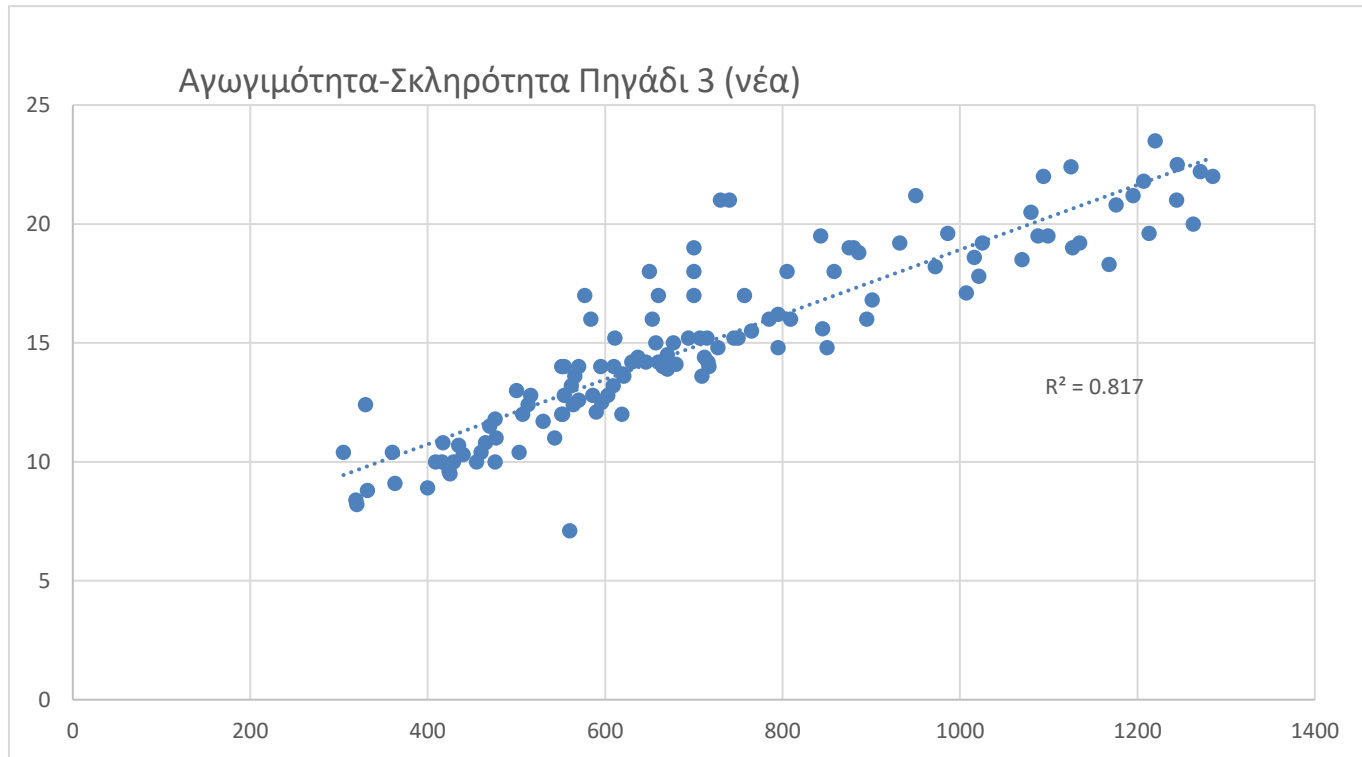
Αποτελέσματα συσχέτισης αγωγιμότητας-σκληρότητας για το πηγάδι 1



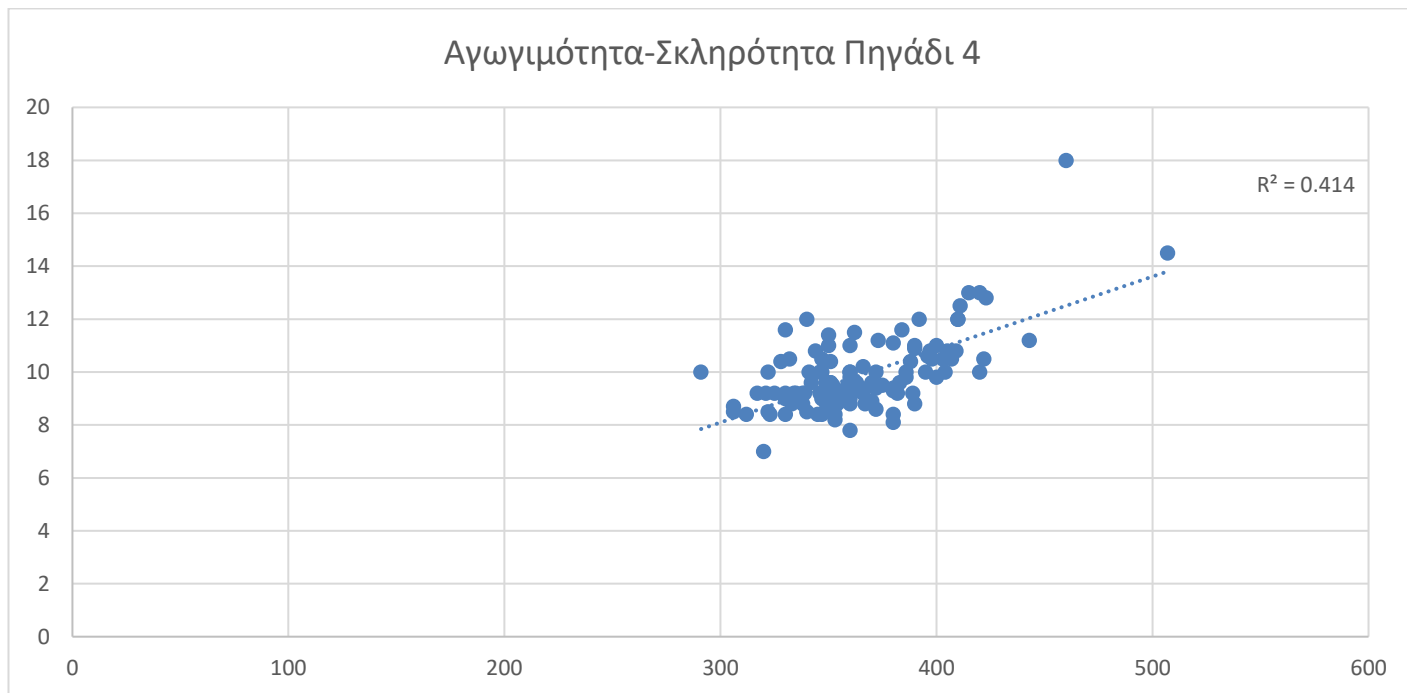
Αποτελέσματα συσχέτισης αγωγιμότητας-σκληρότητας για το πηγάδι 2



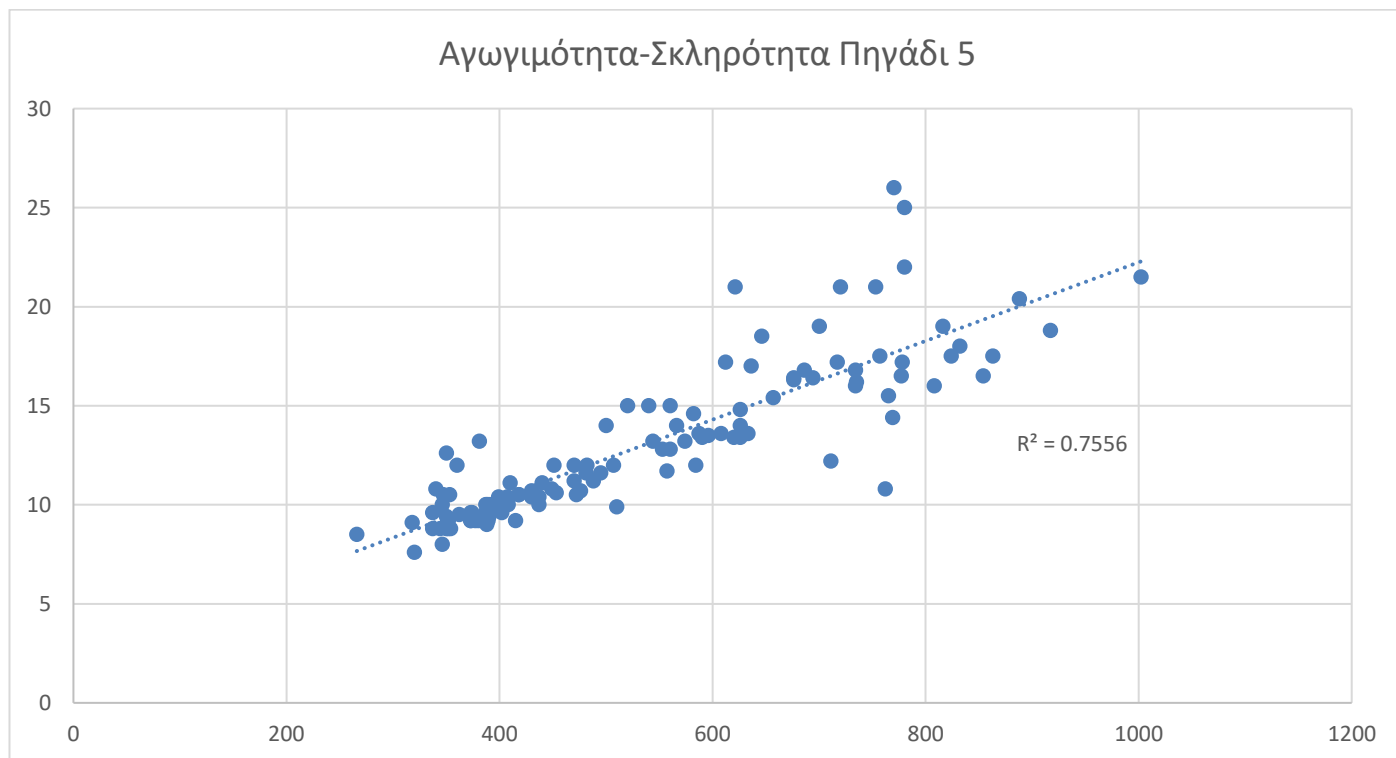
Αποτελέσματα συσχέτισης αγωγιμότητας-σκληρότητας για το πηγάδι 3Α



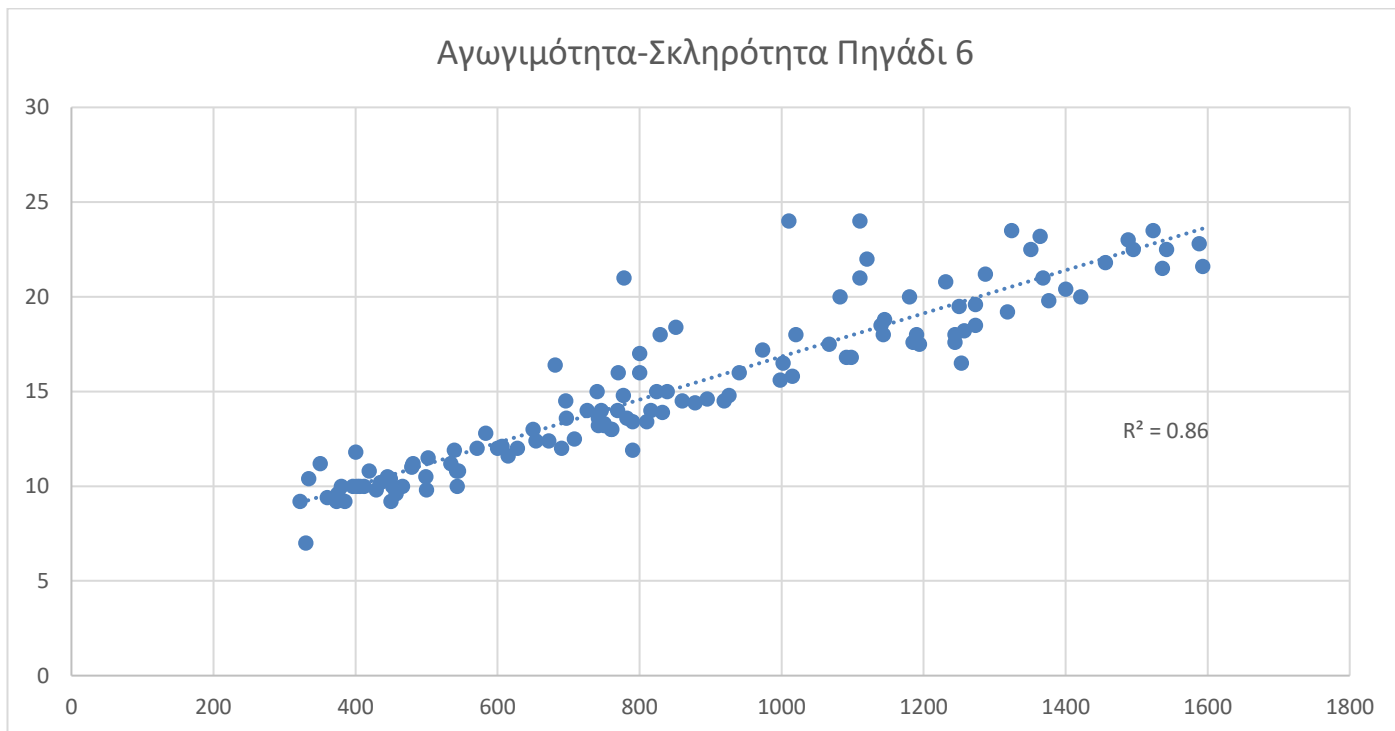
Αποτελέσματα συσχέτισης αγωγιμότητας-σκληρότητας για το πηγάδι 3Β



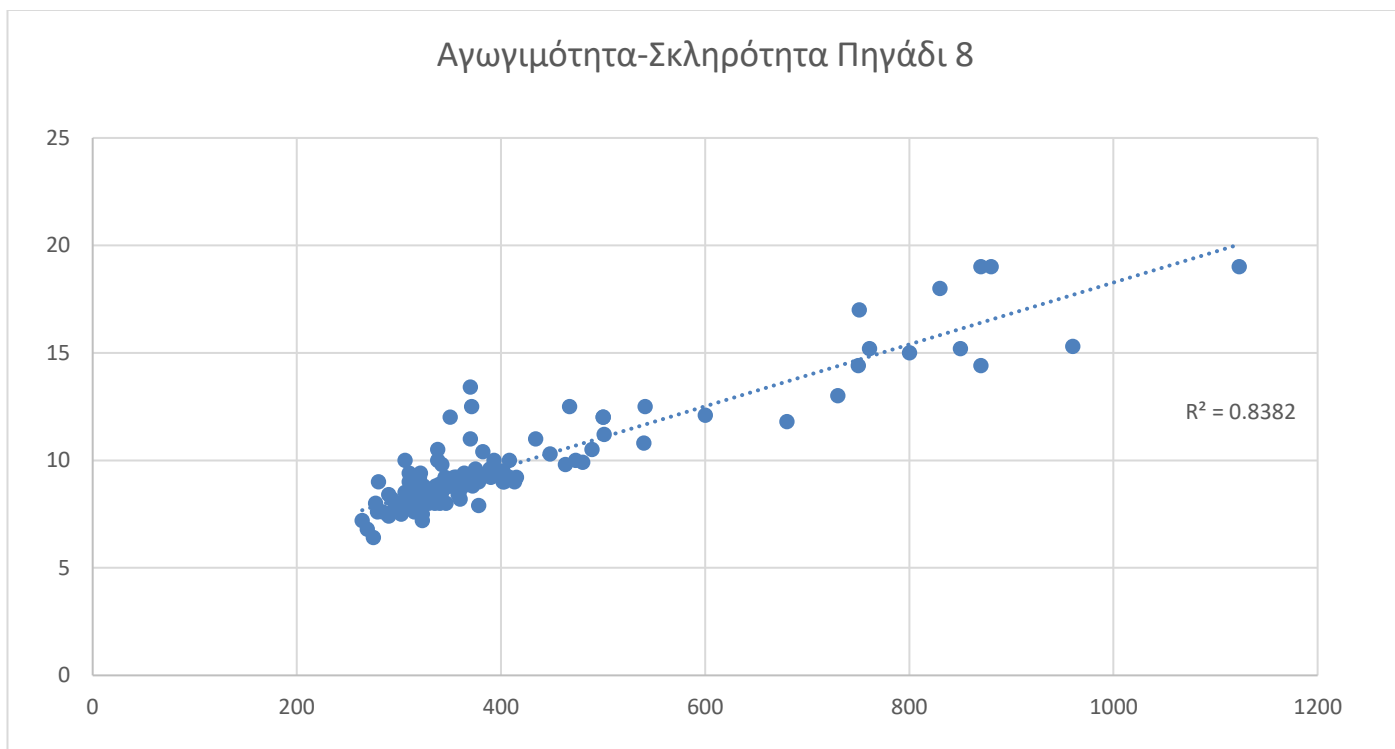
Αποτελέσματα συσχέτισης αγωγιμότητας-σκληρότητας για το πηγάδι 4



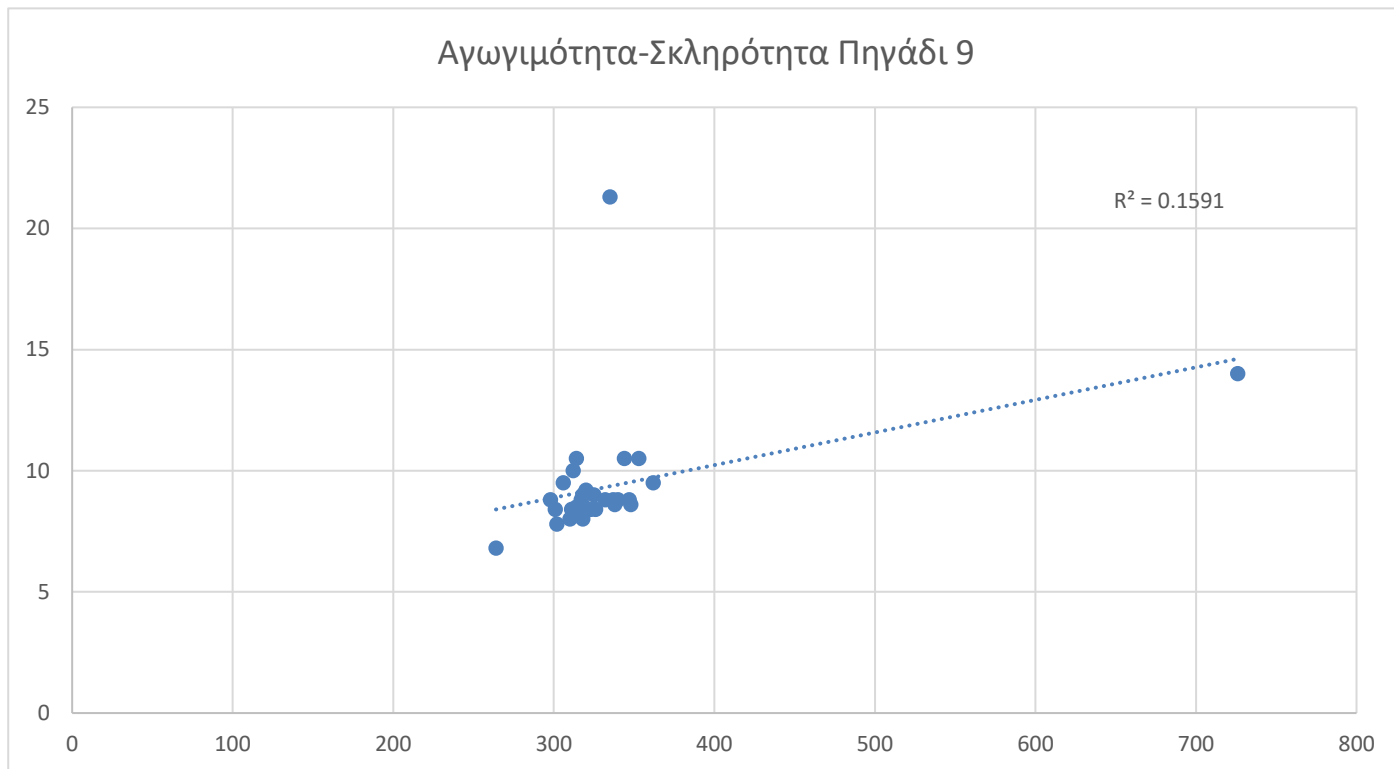
Αποτελέσματα συσχέτισης αγωγιμότητας-σκληρότητας για το πηγάδι 5



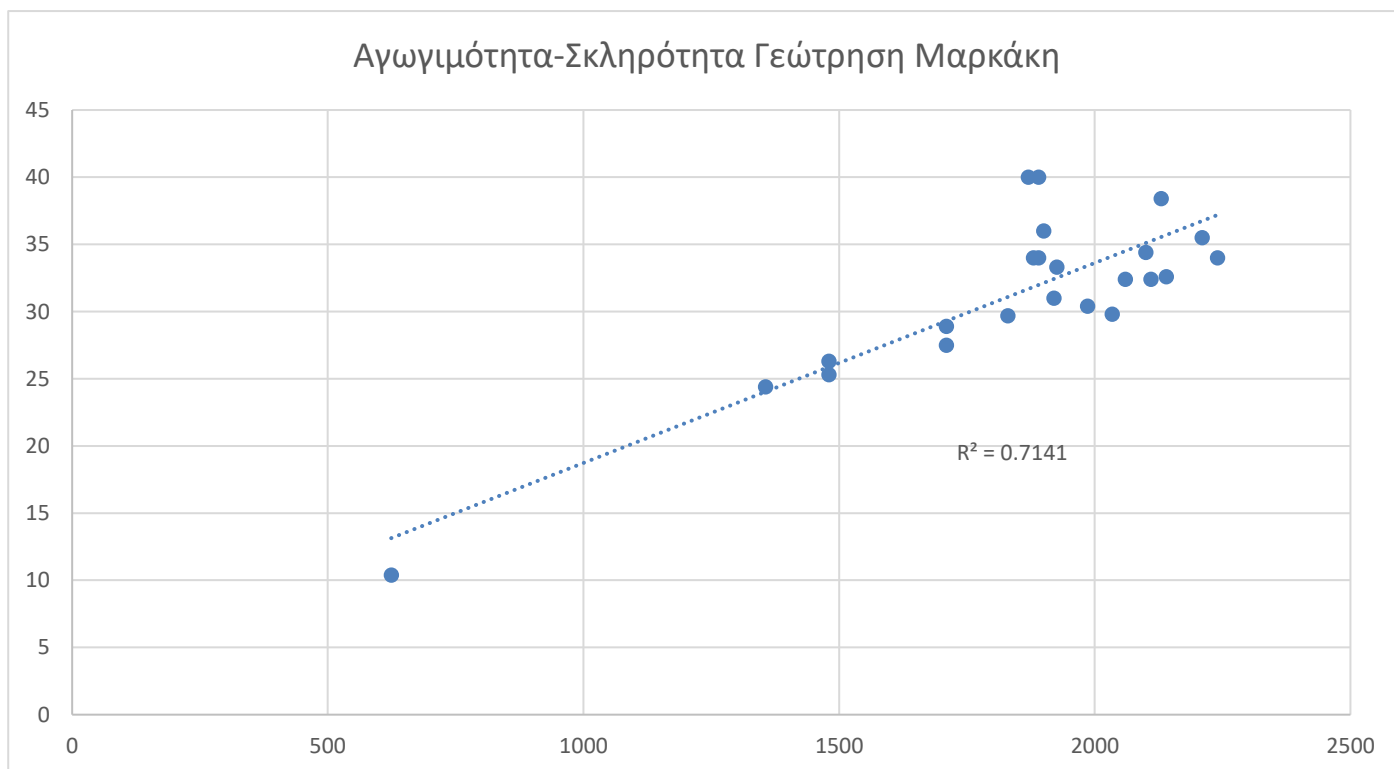
Αποτελέσματα συσχέτισης αγωγιμότητας-σκληρότητας για το πηγάδι 6



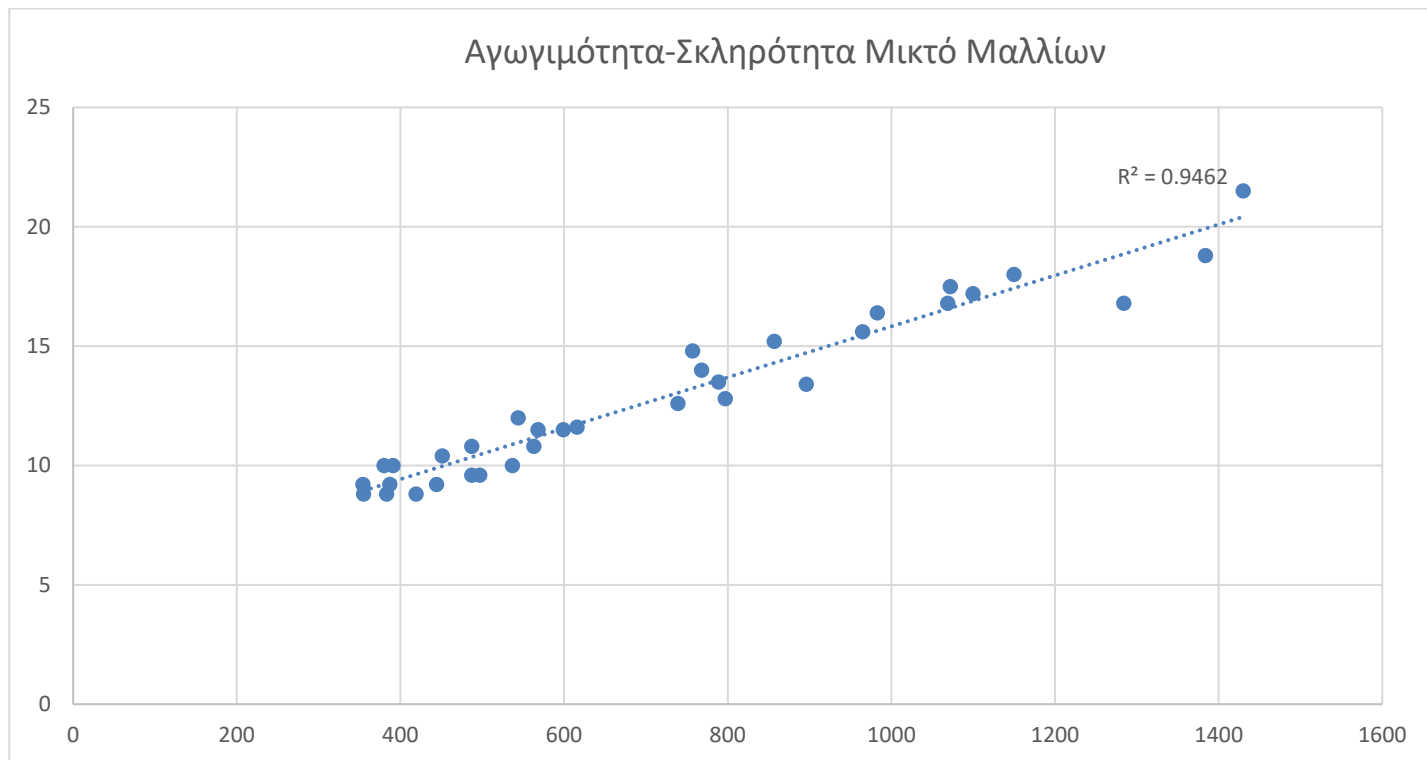
Αποτελέσματα συσχέτισης αγωγιμότητας-σκληρότητας για το πηγάδι 8



Αποτελέσματα συσχέτισης αγωγιμότητας-σκληρότητας για το πηγάδι 9

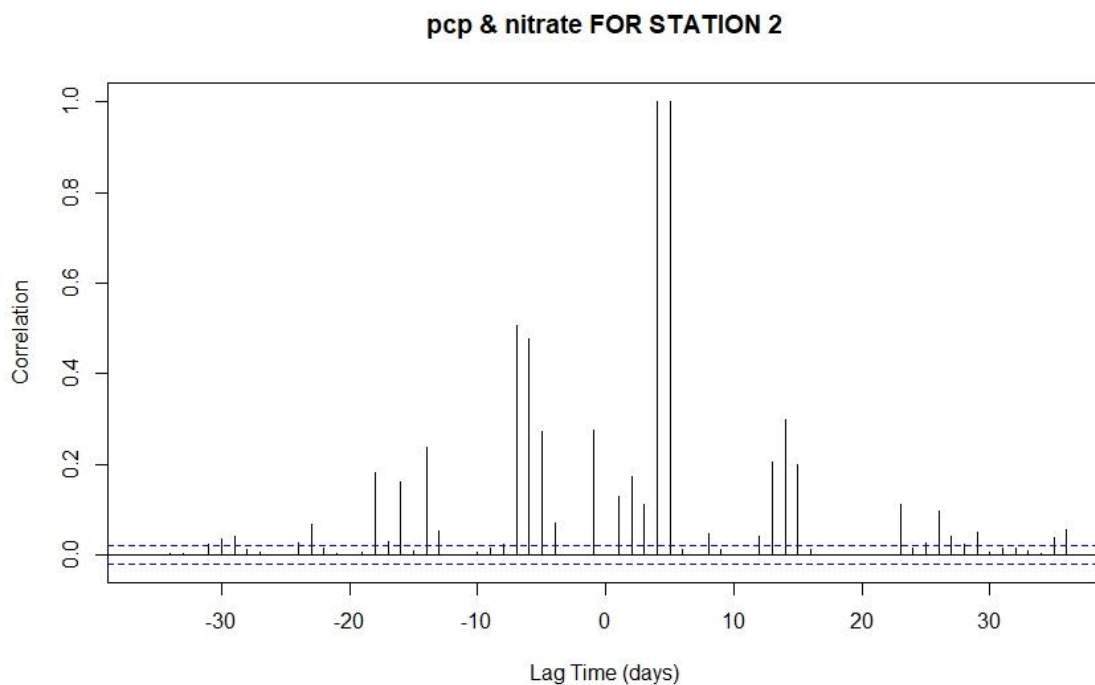
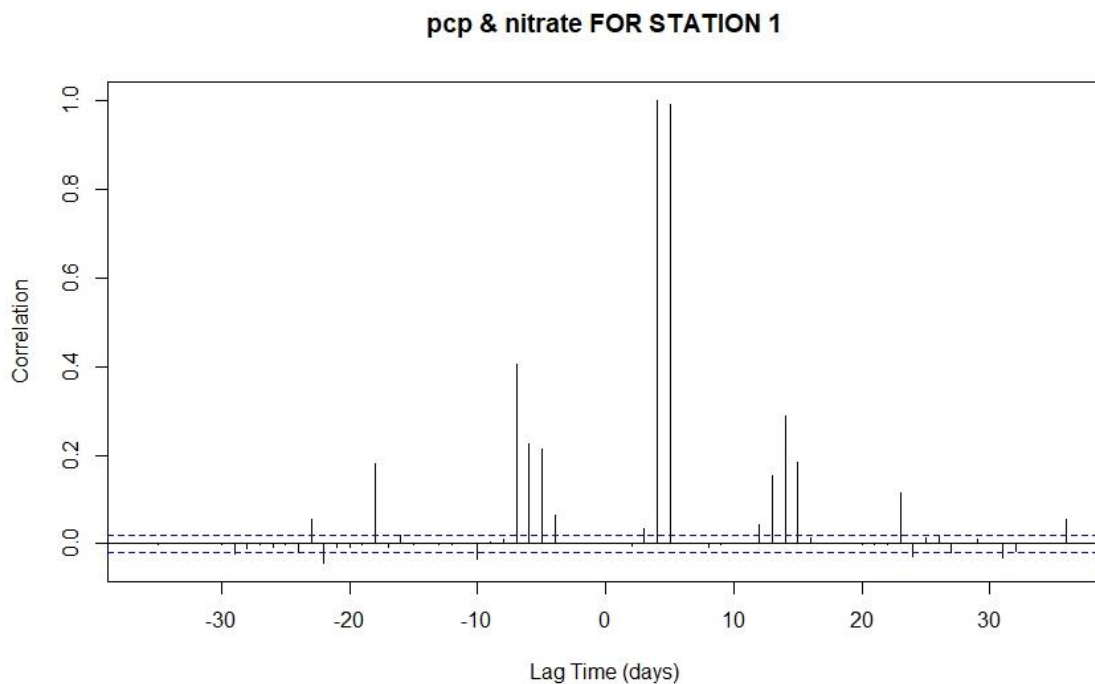


Αποτελέσματα συσχέτισης αγωγιμότητας-σκληρότητας για το πηγάδι 10

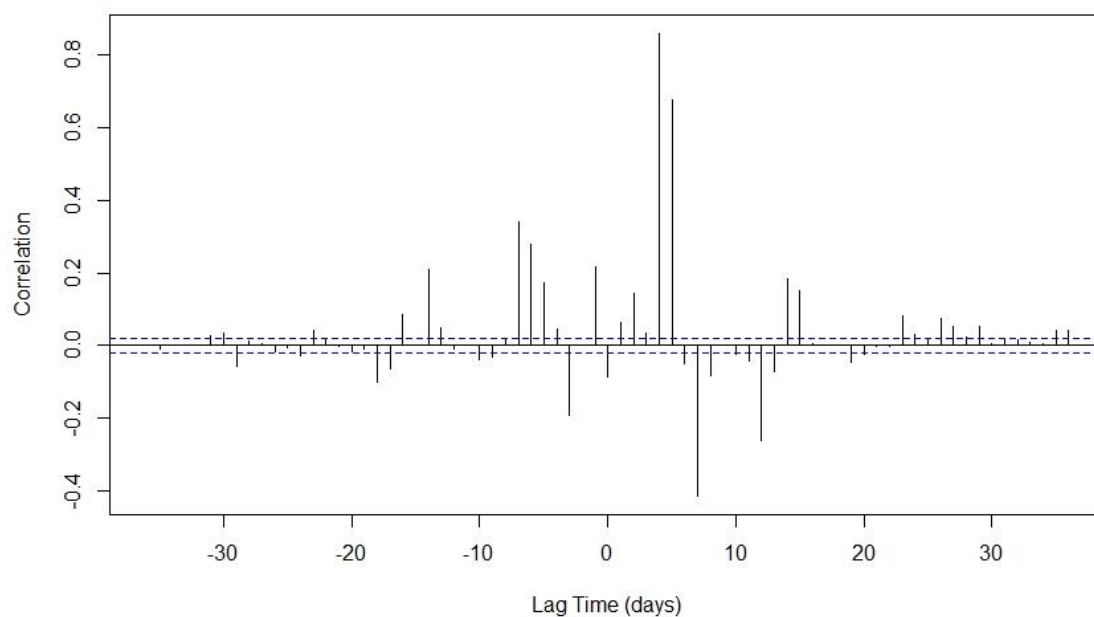


Αποτελέσματα συσχέτισης αγωγιμότητας-σκληρότητας για το πηγάδι 11

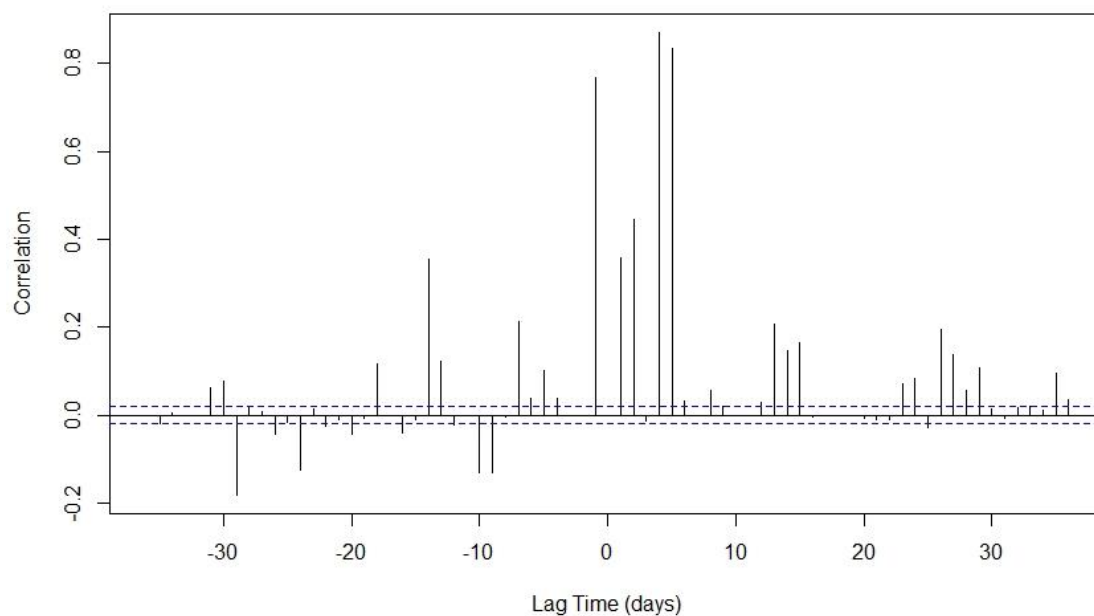
Συσχετίσεις με τη μέθοδο R



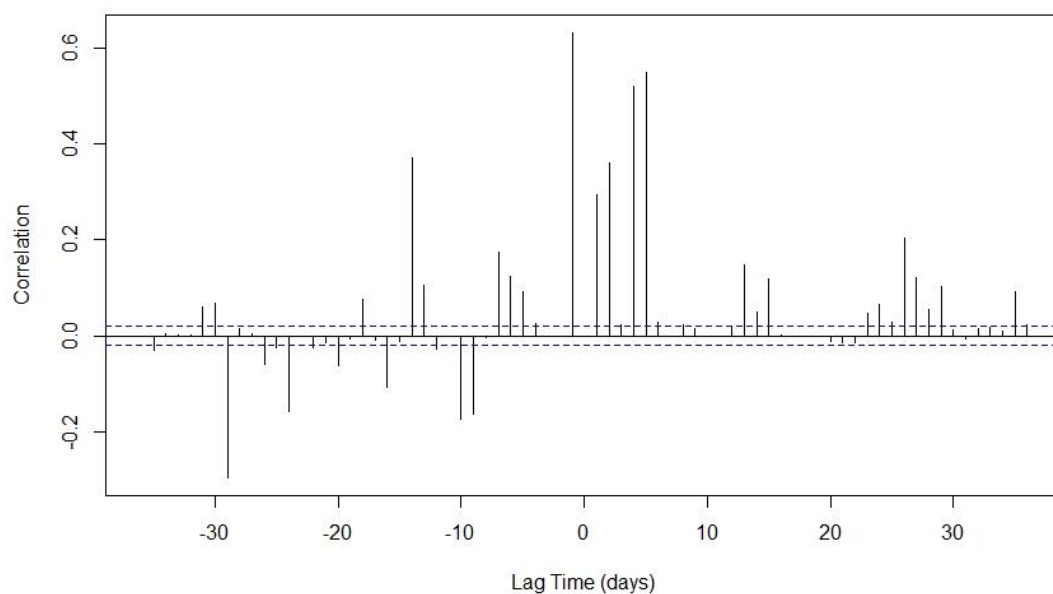
pcp & nitrate FOR STATION 3



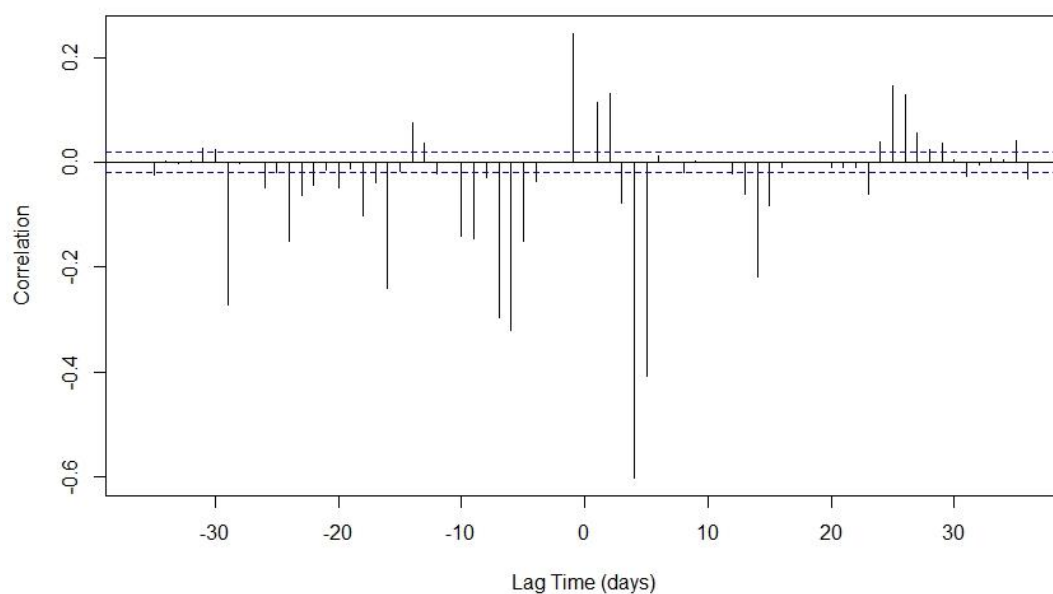
pcp & nitrate FOR STATION 4



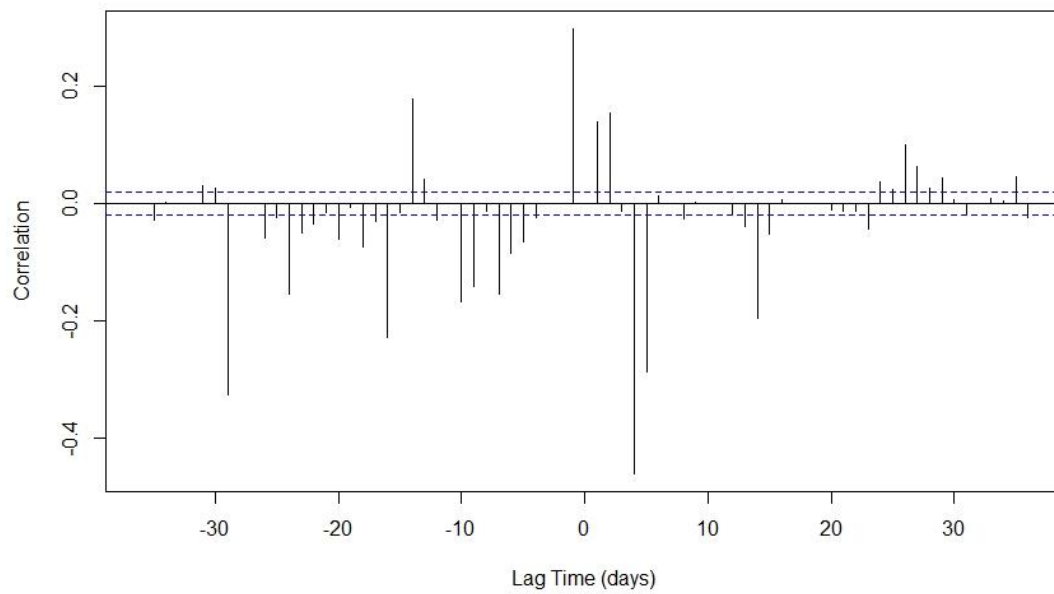
pcp & nitrate FOR STATION 5



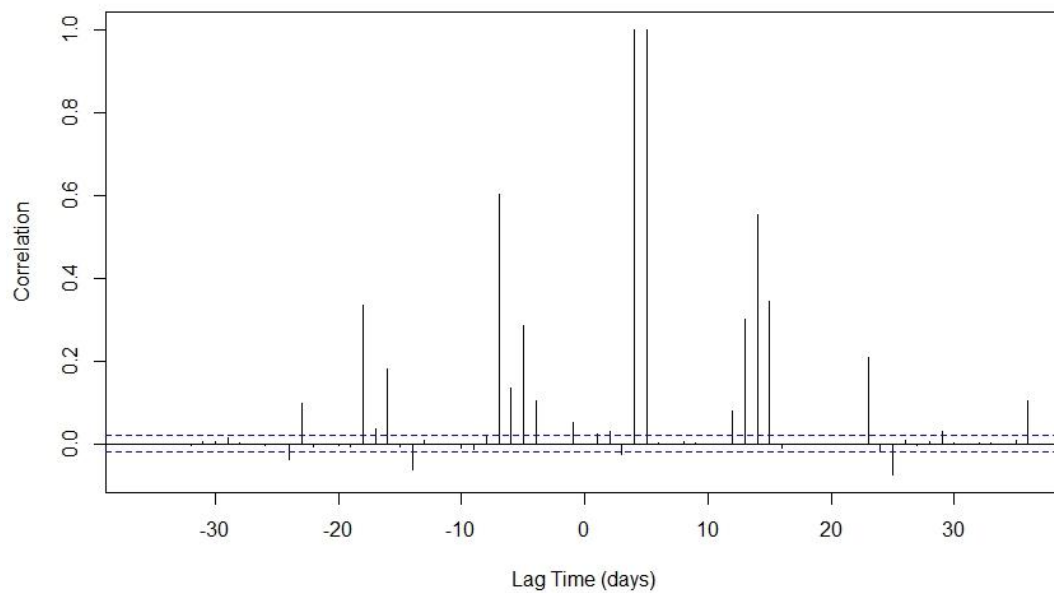
pcp & nitrate FOR STATION 6

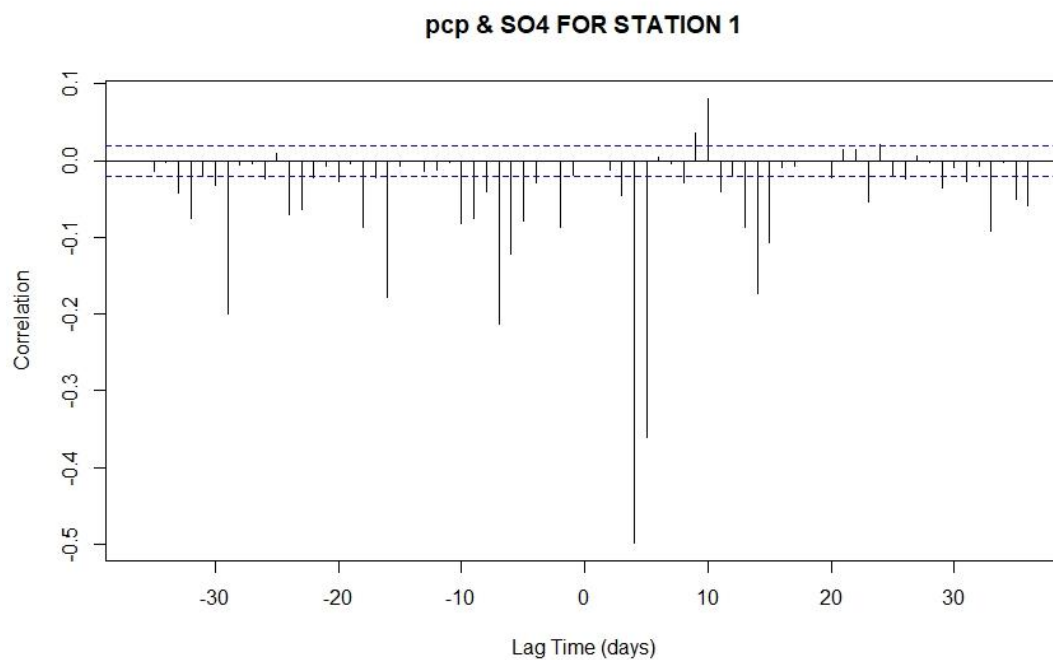
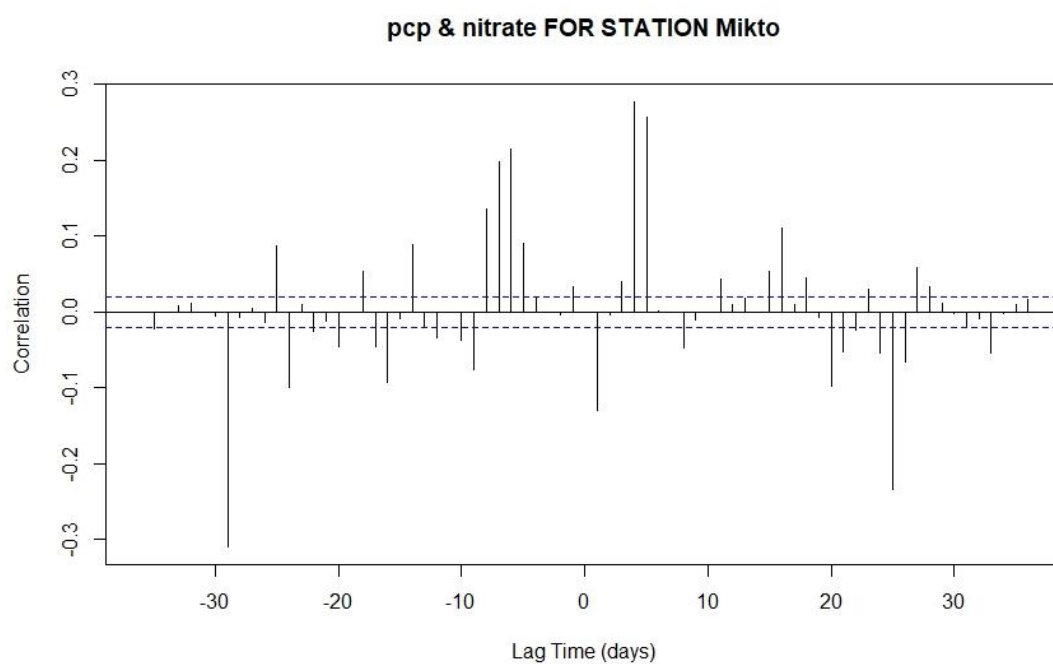


pcp & nitrate FOR STATION 7

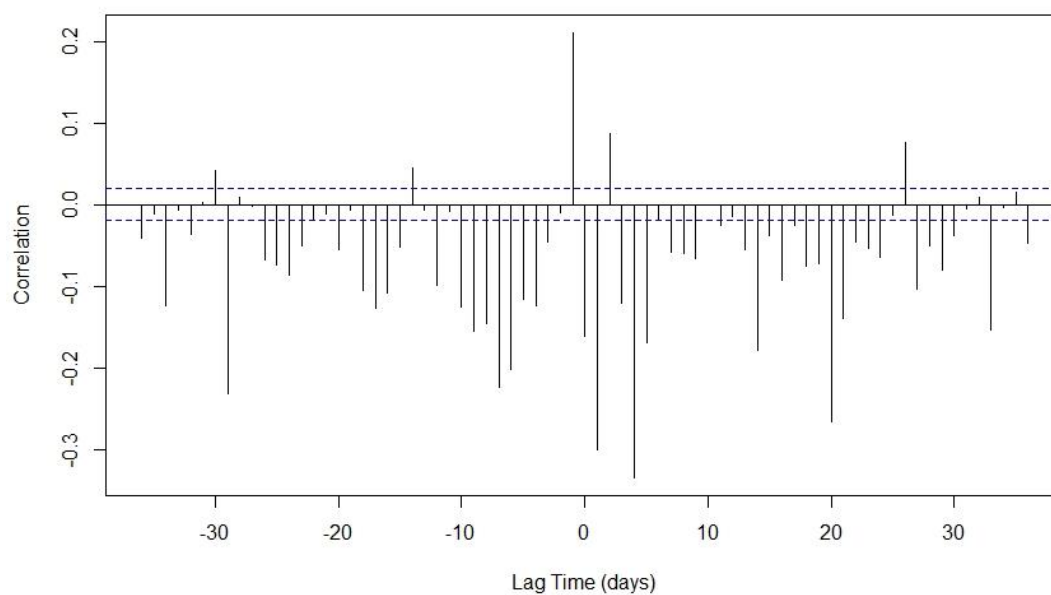


pcp & nitrate FOR STATION 8

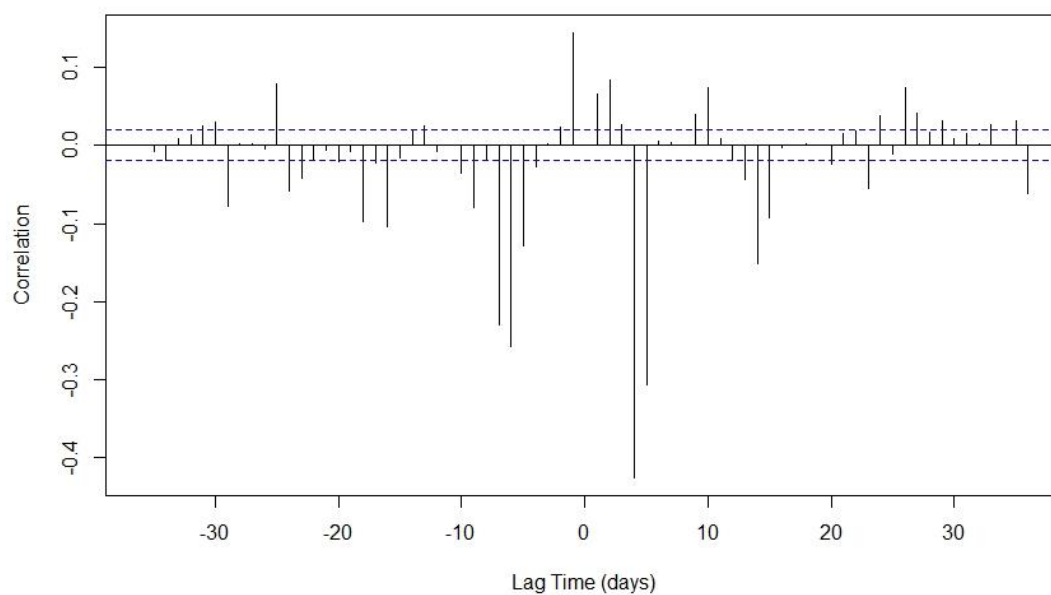




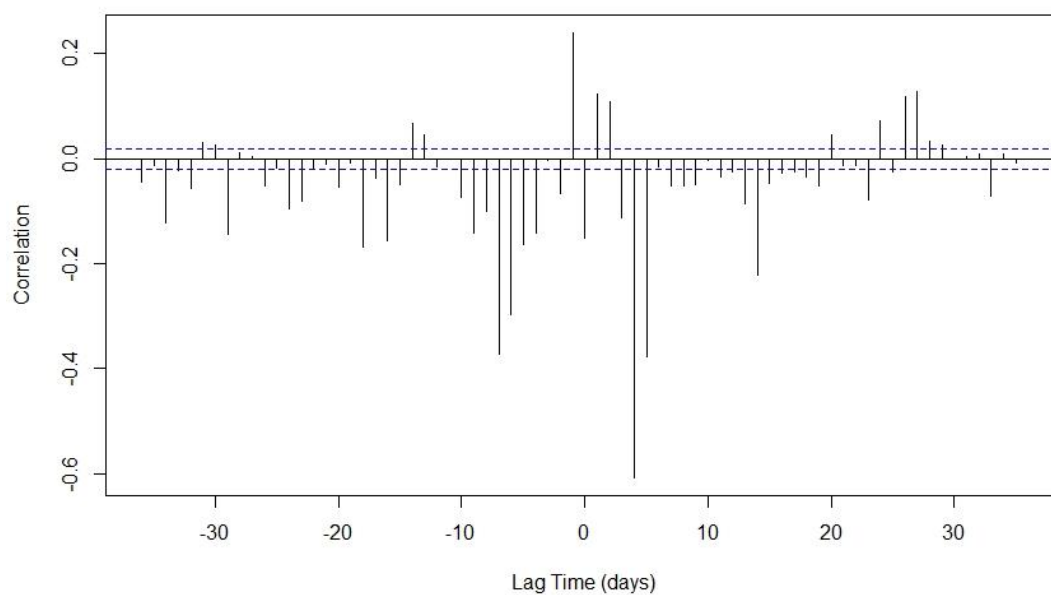
pcp & SO4 FOR STATION Mikto



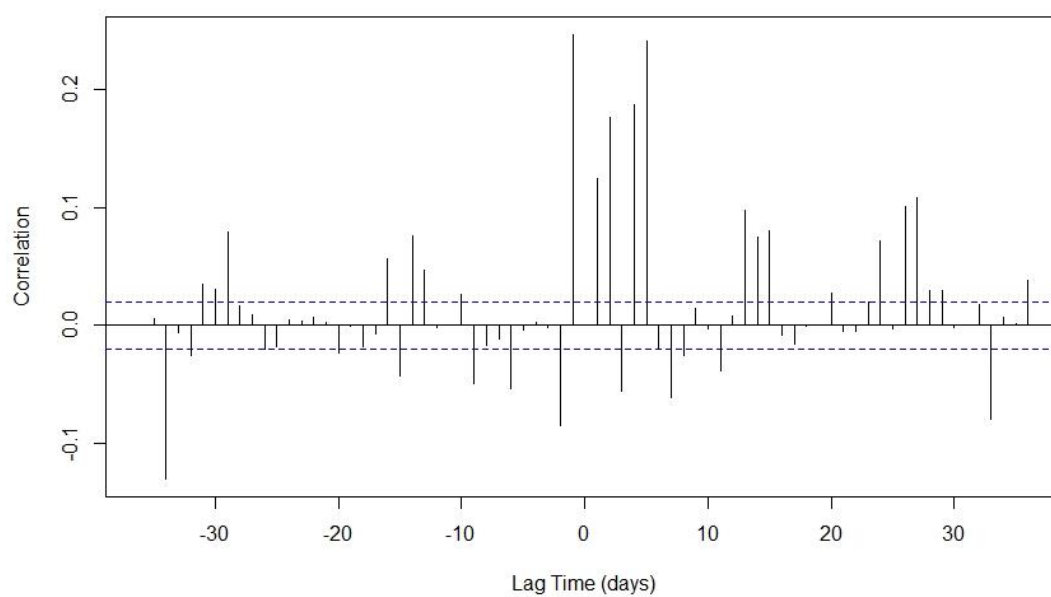
pcp & SO4 FOR STATION 8



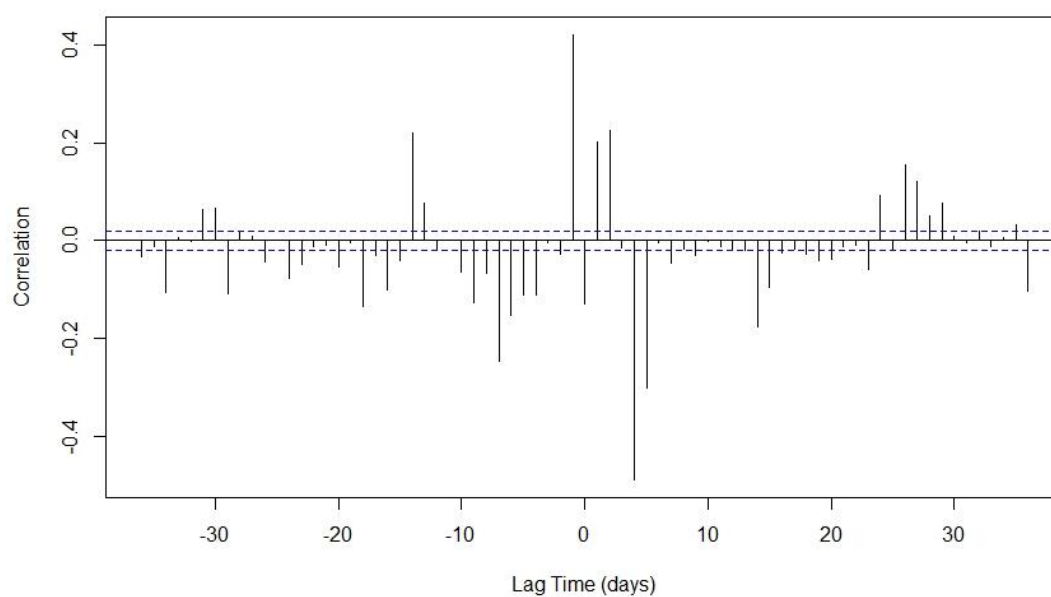
pcp & SO₄ FOR STATION 6



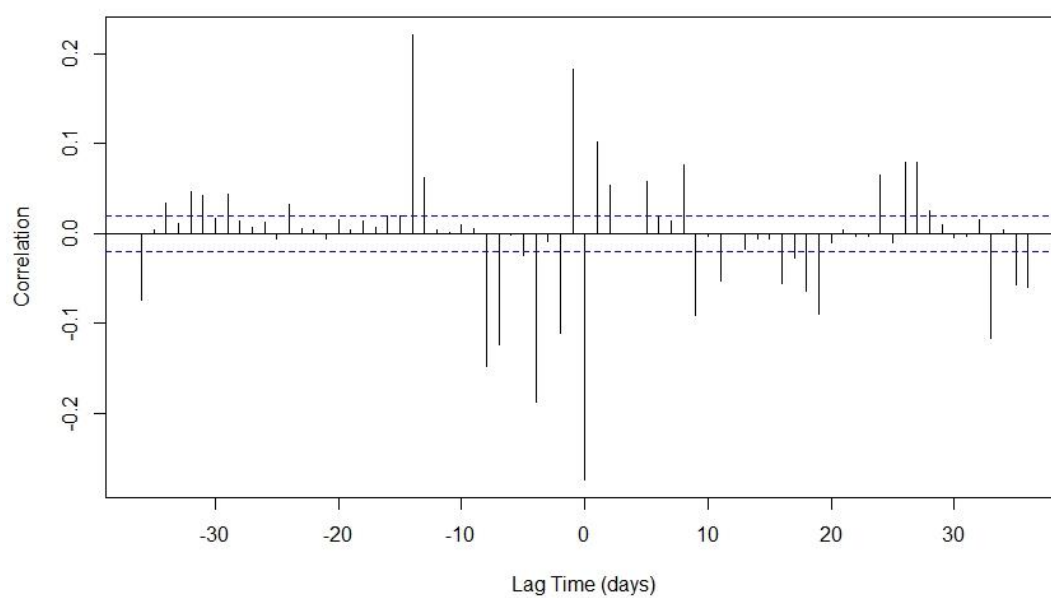
pcp & SO₄ FOR STATION 5



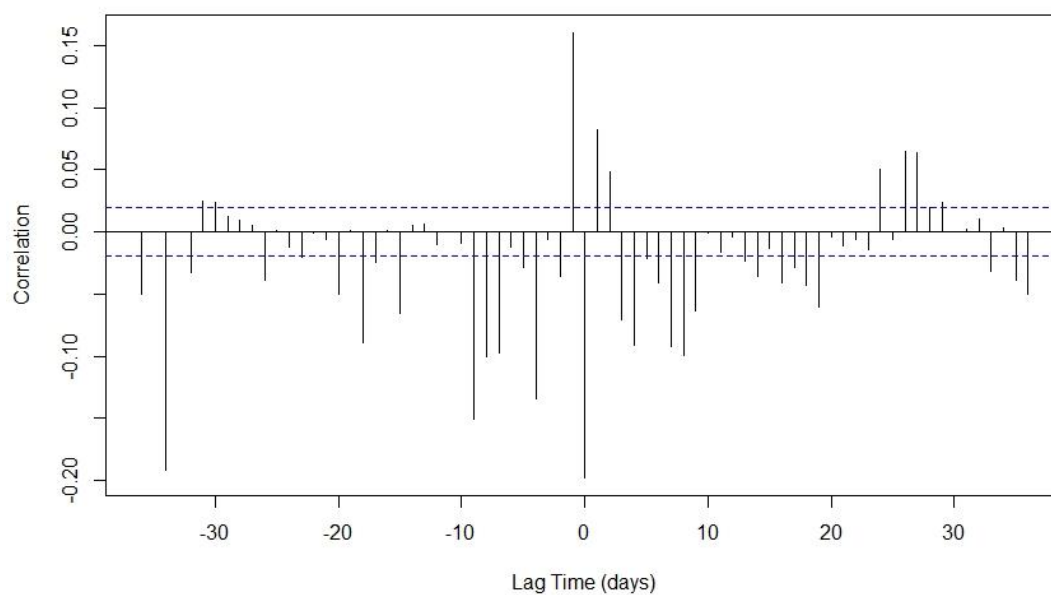
pcp & SO4 FOR STATION 4



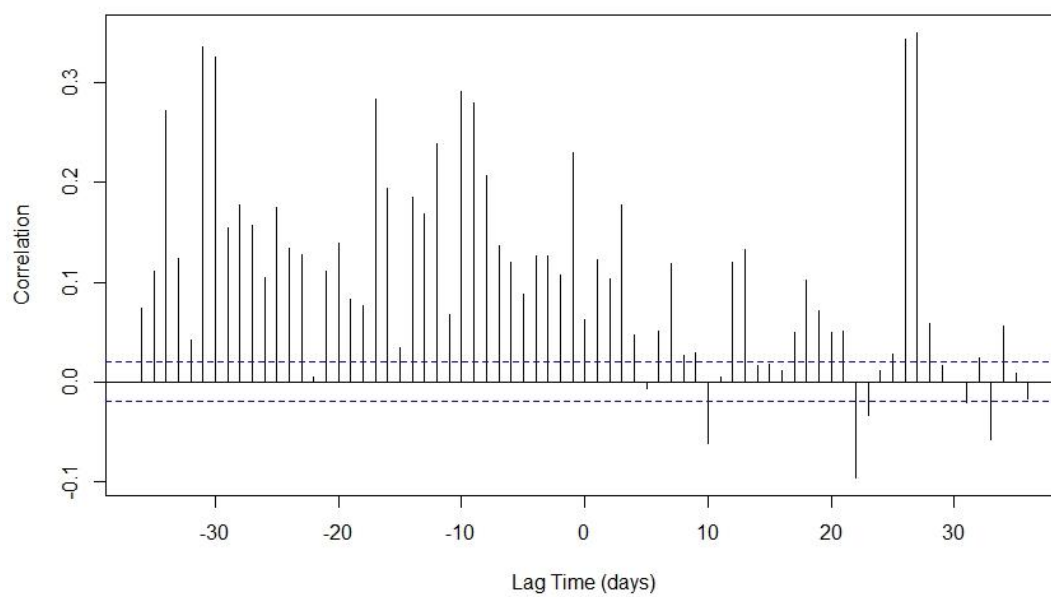
pcp & SO4 FOR STATION 3



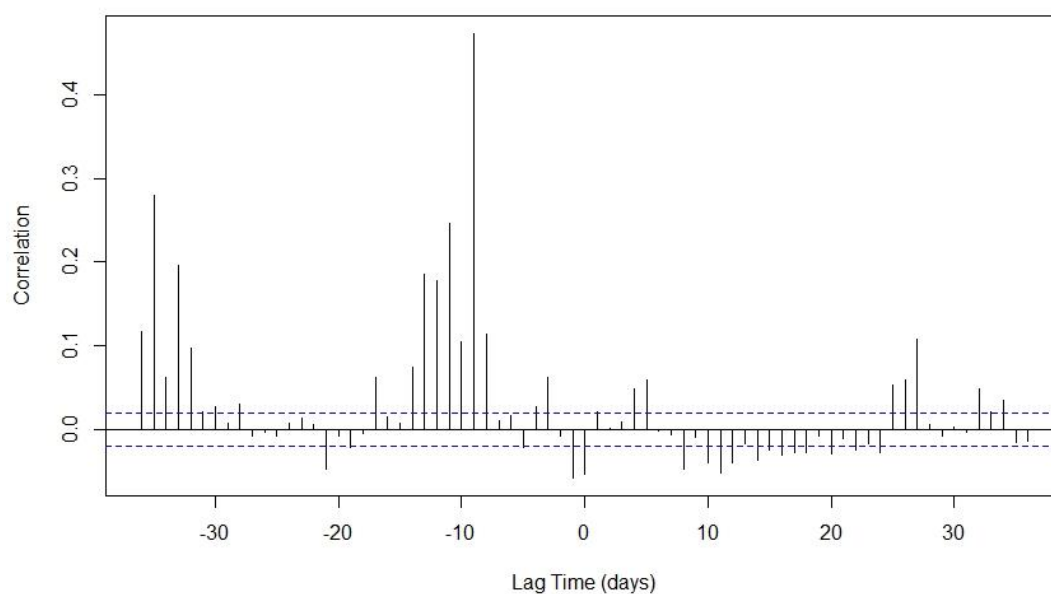
pcp & SO4 FOR STATION 2



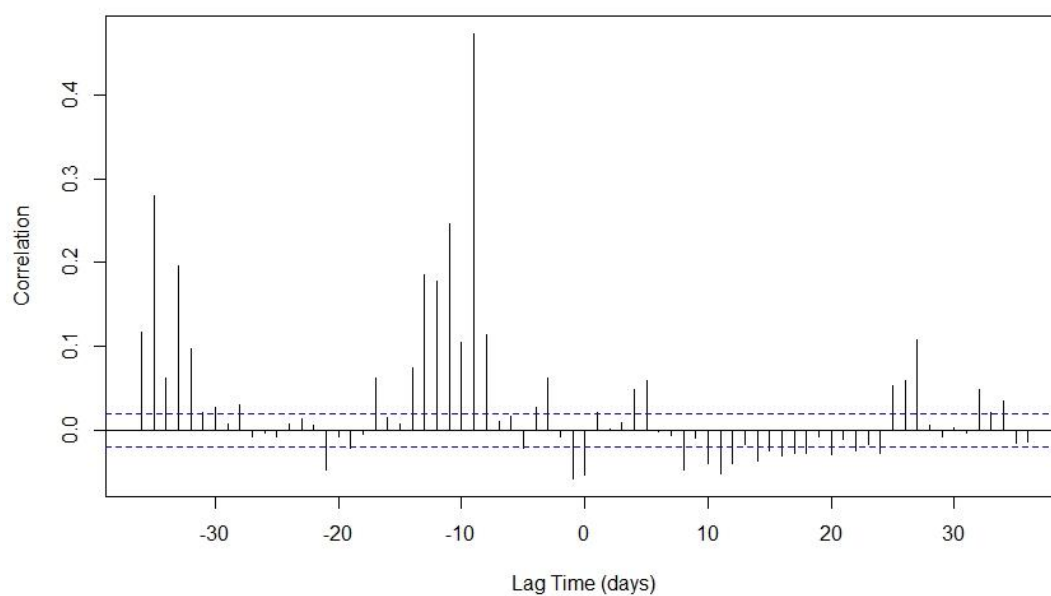
pcp & stage FOR STATION 1



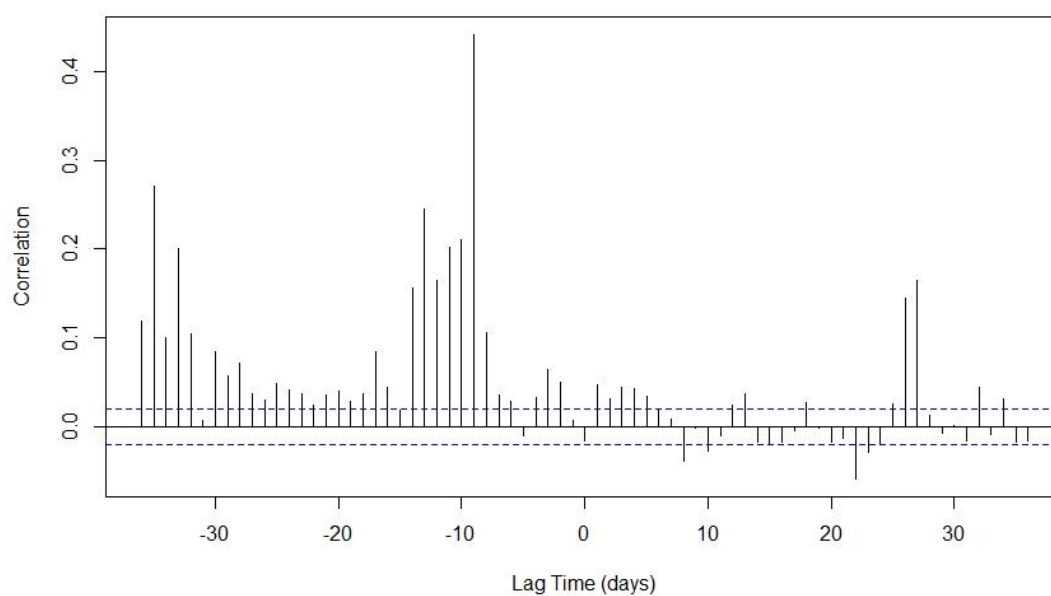
pcp & stage FOR STATION Markakis



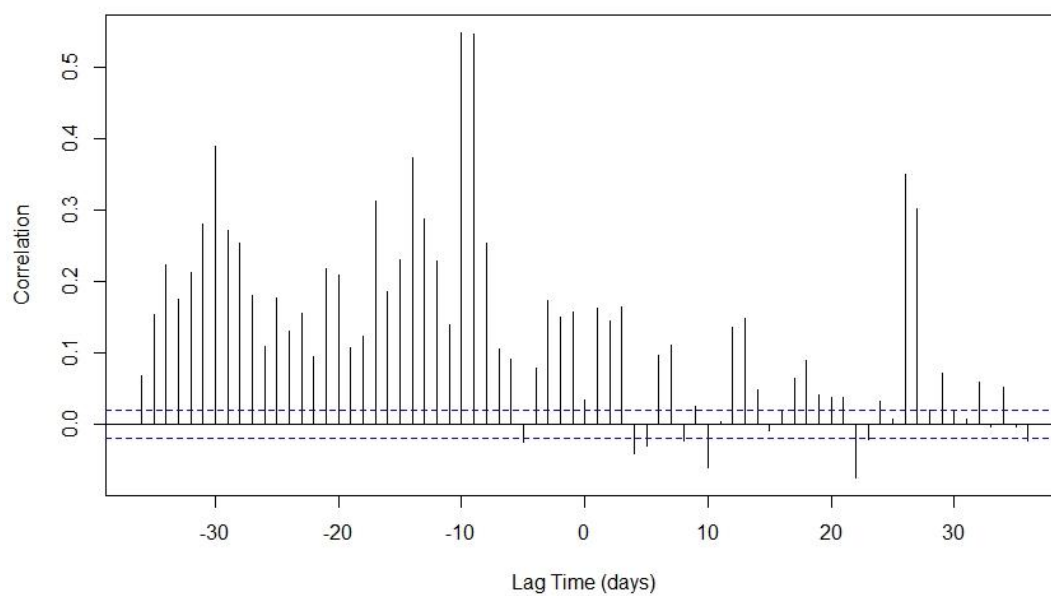
pcp & stage FOR STATION 9

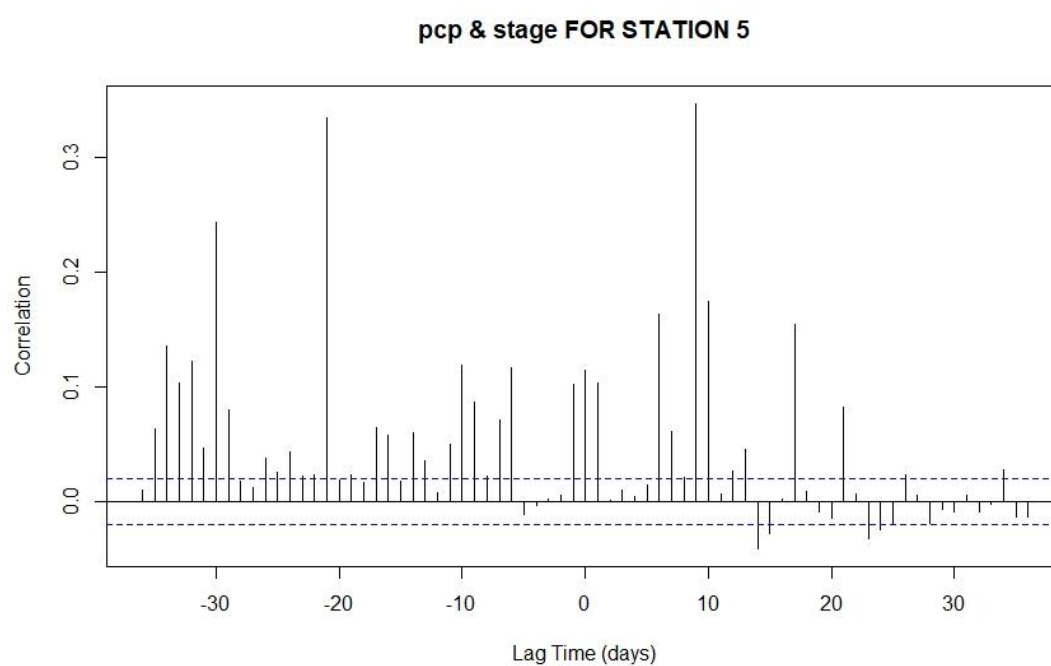
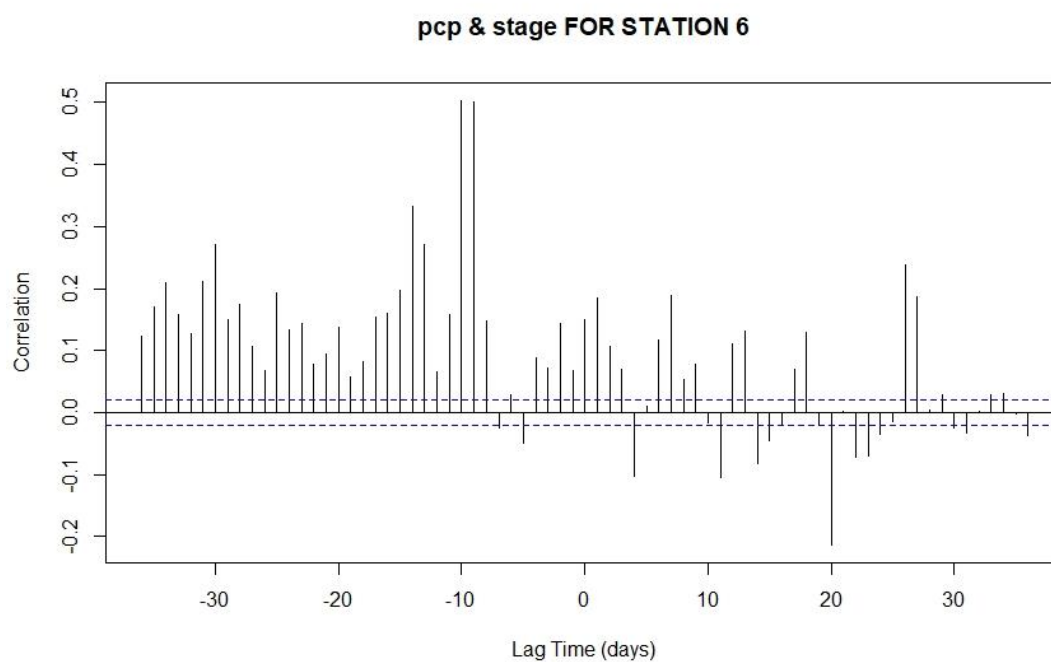


pcp & stage FOR STATION 8

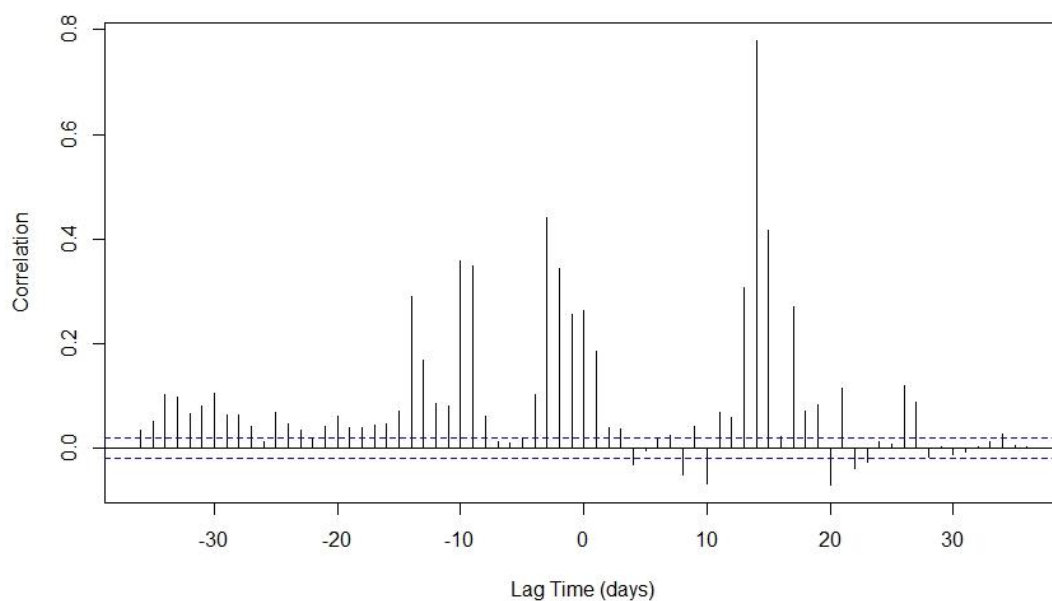


pcp & stage FOR STATION 7

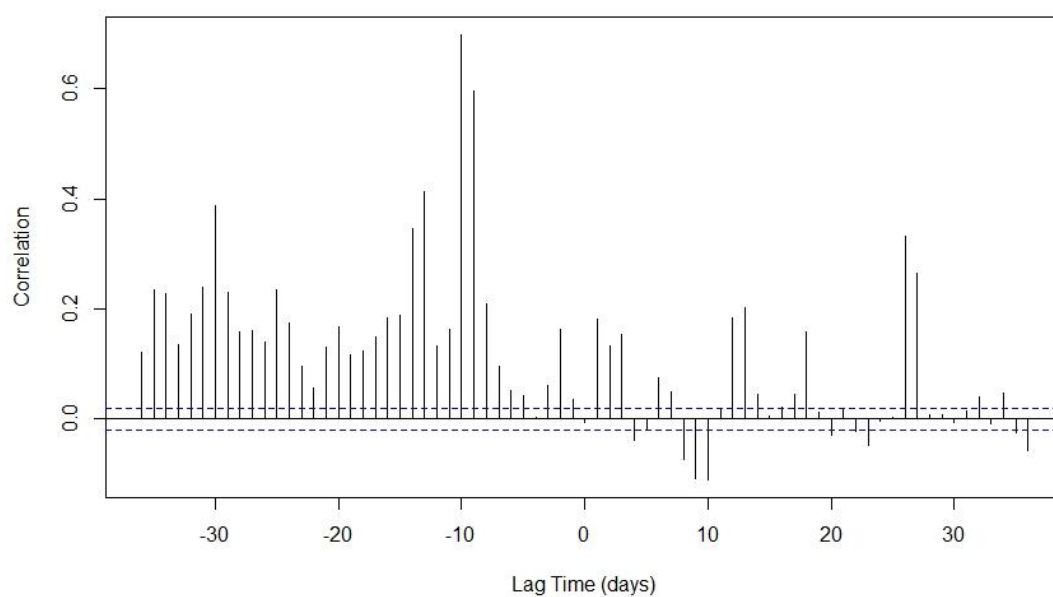


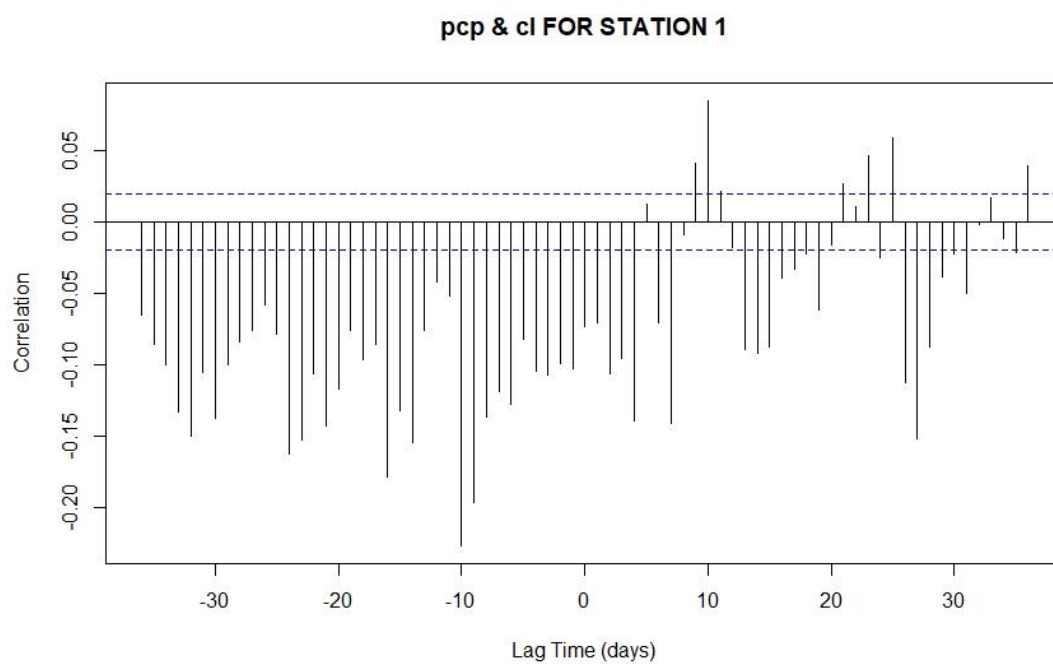
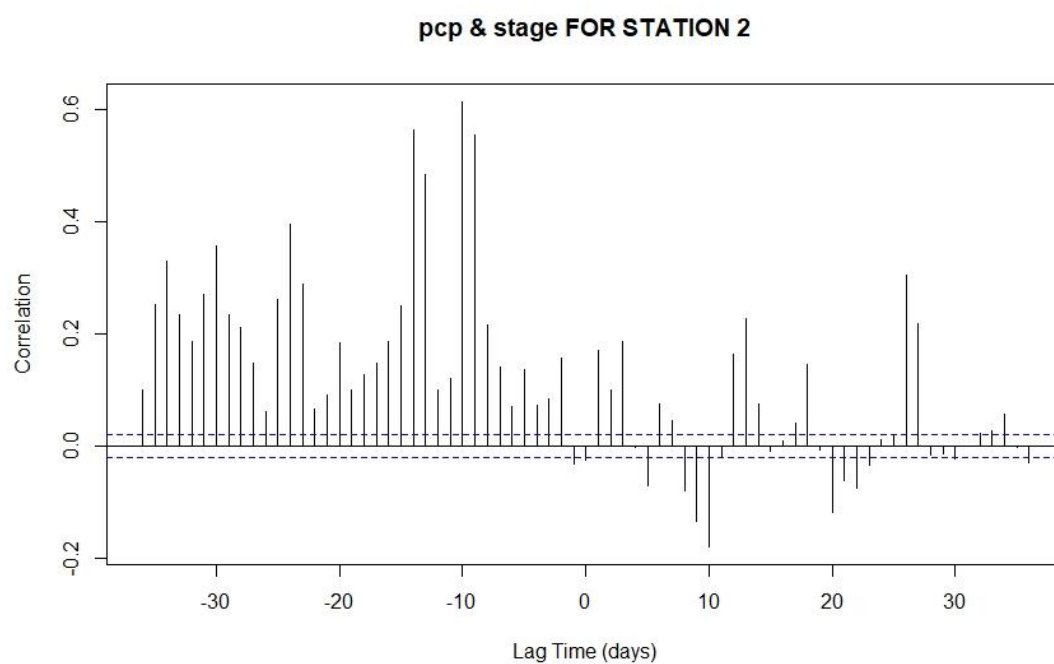


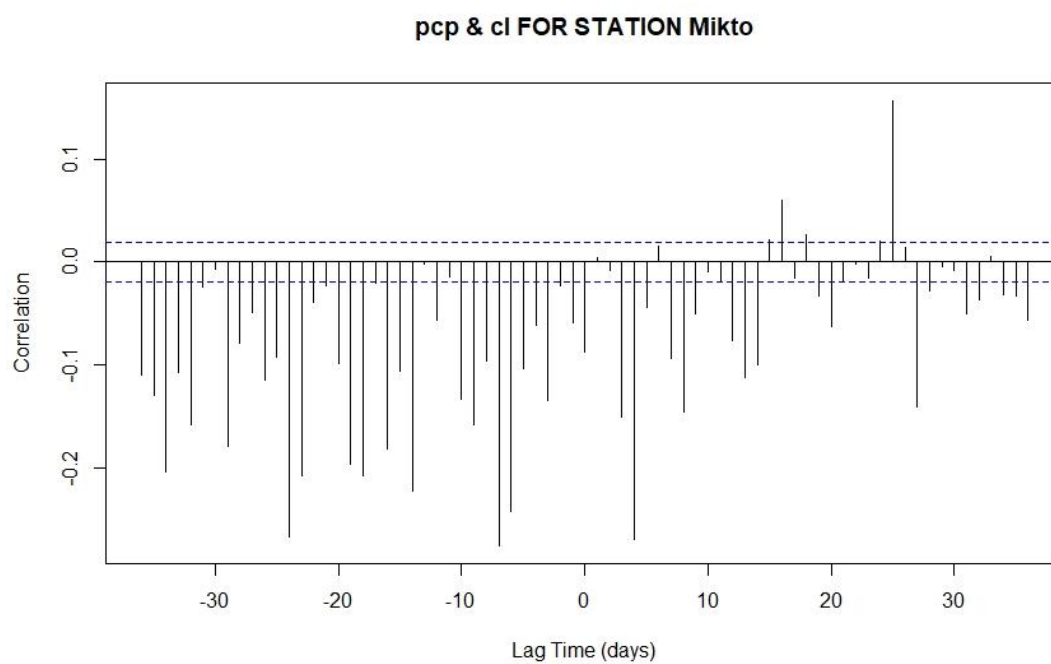
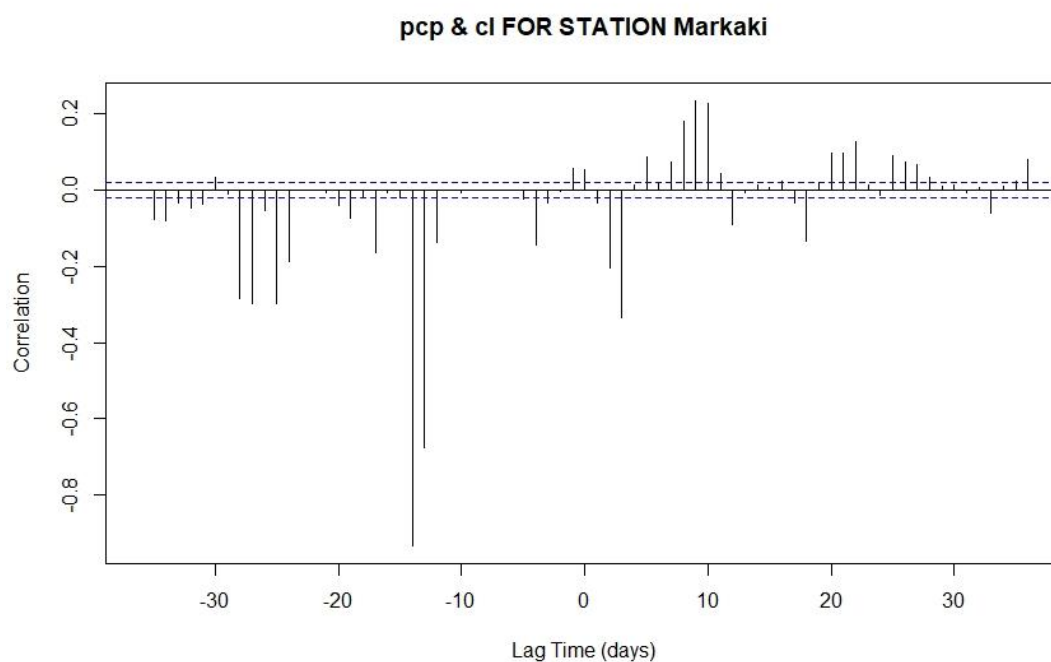
pcp & stage FOR STATION 4

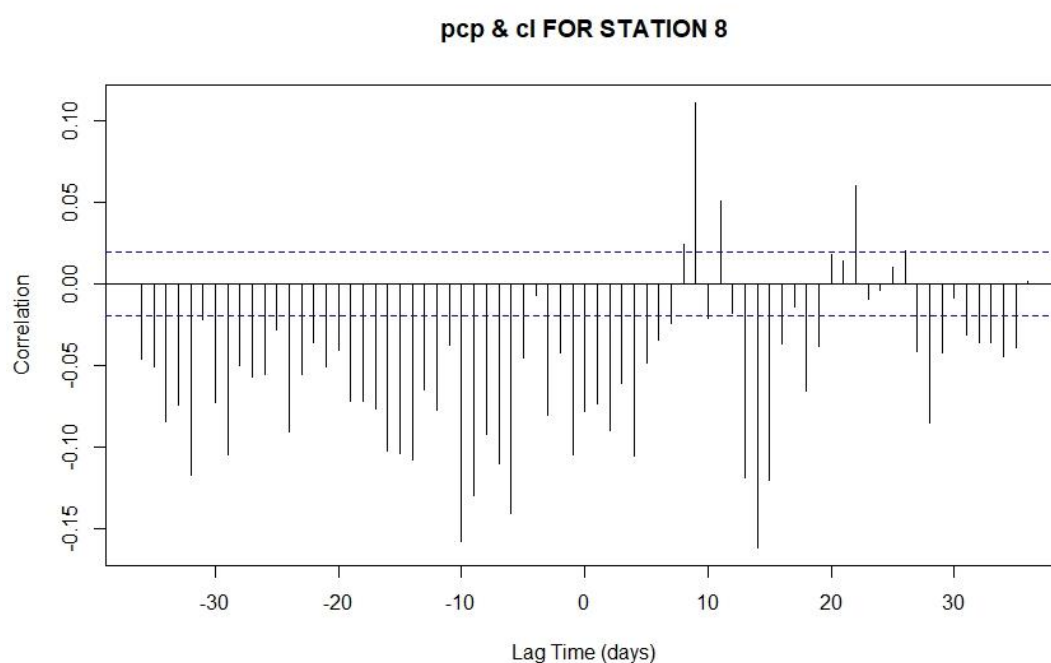
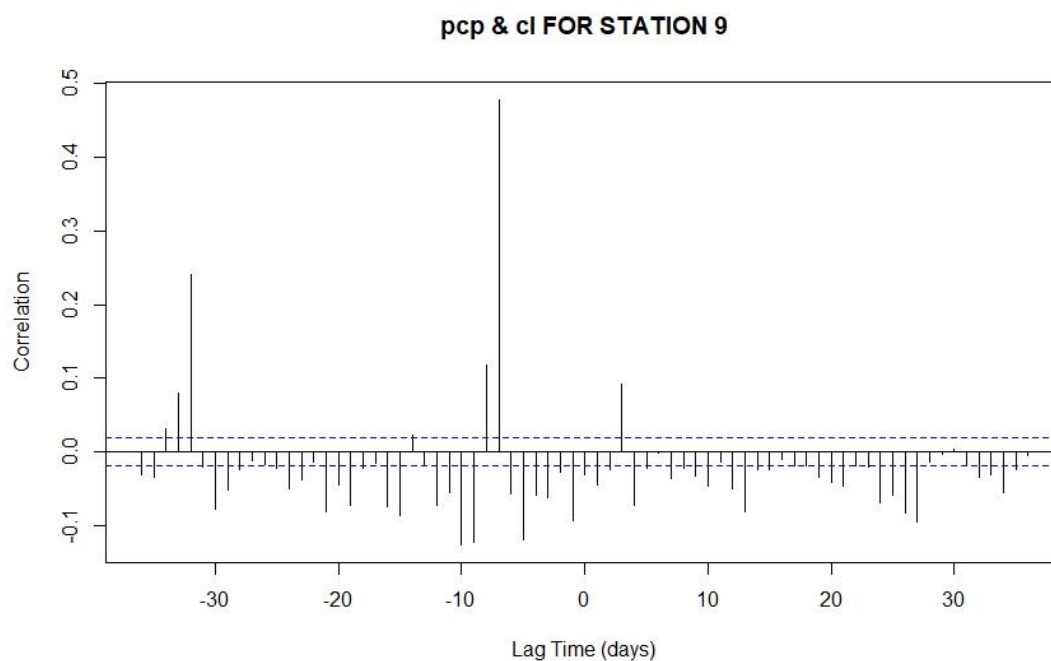


pcp & stage FOR STATION 3

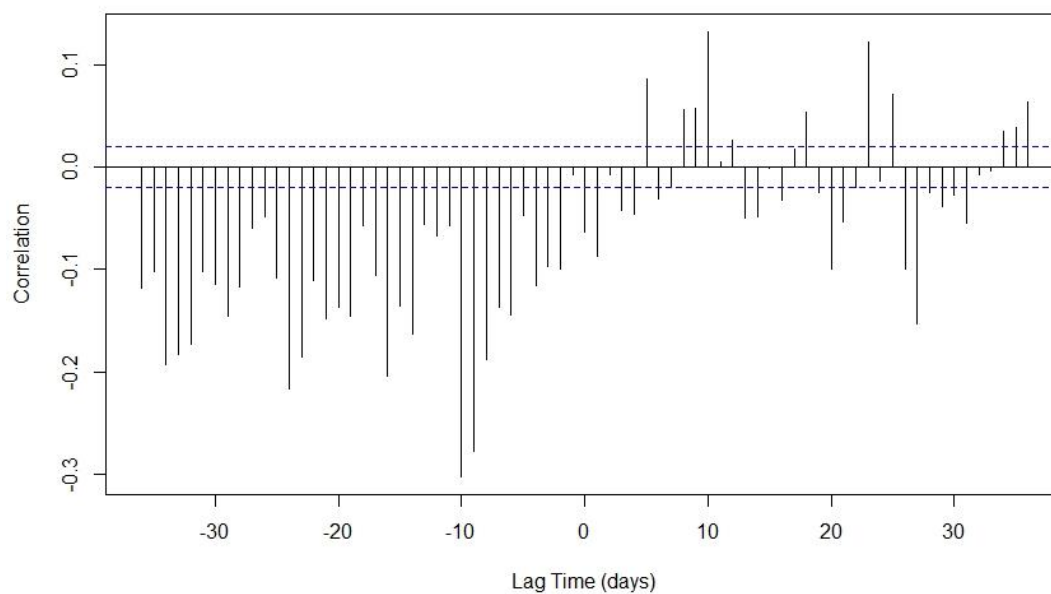




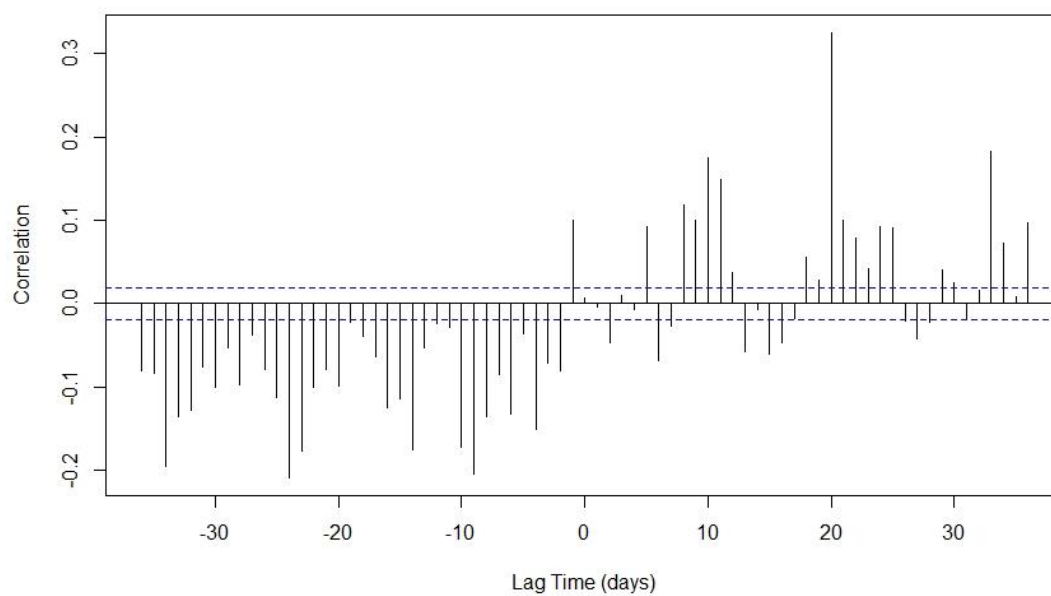




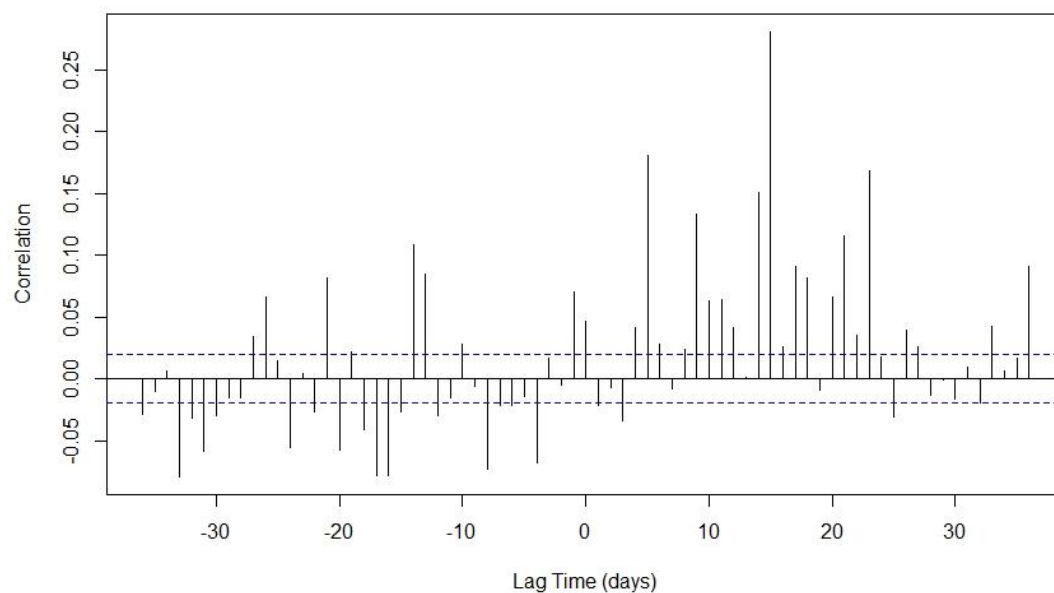
pcp & ci FOR STATION 7



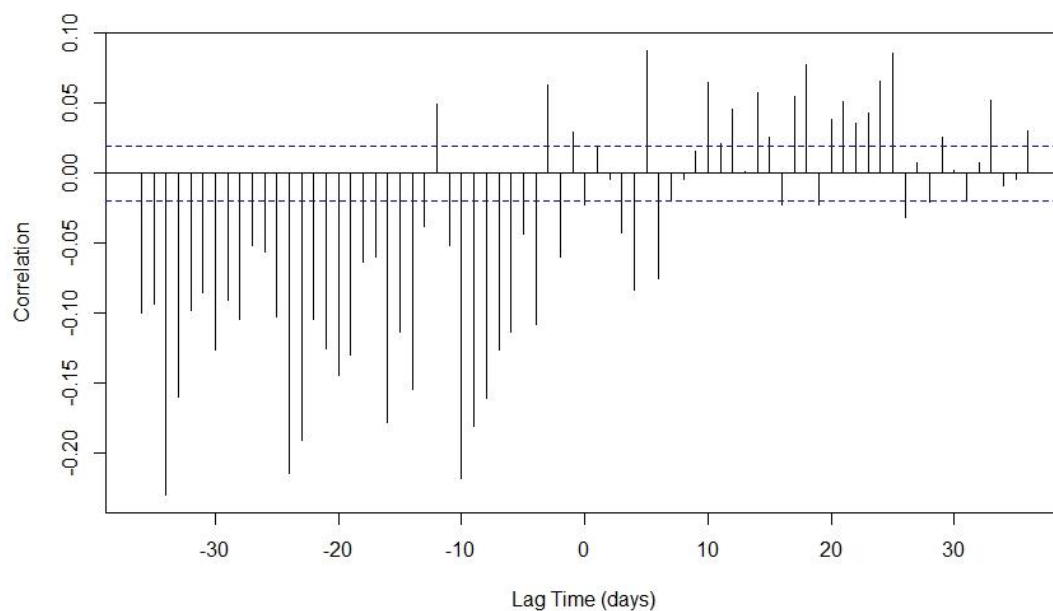
pcp & ci FOR STATION 6



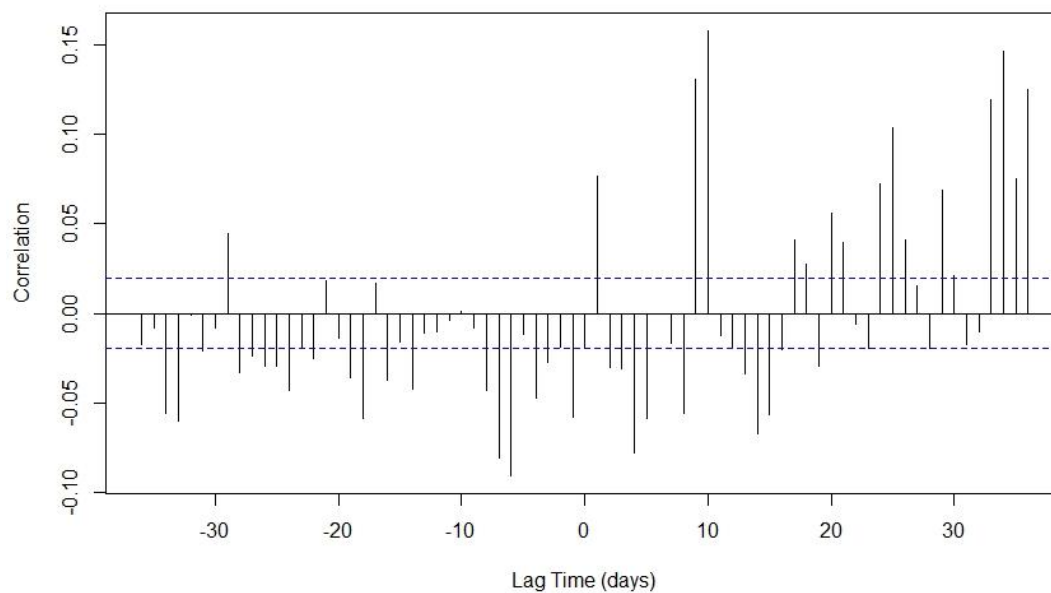
pcp & ci FOR STATION 5



pcp & ci FOR STATION 4



pcp & ci FOR STATION 3



pcp & ci FOR STATION 2

