



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
TECHNICAL UNIVERSITY OF CRETE

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

**Ανάλυση και επεξεργασία υδρολογικών δεδομένων για τη
μοντελοποίηση του υδατικού ισοζυγίου υγροτόπου σε
μεταλλευτική περιοχή**

ΜΙΧΟΣ ΜΙΧΑΗΛ 2018020106

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Επίκουρος Καθ. Ε. Βαρουχάκης (Πολυτεχνείο Κρήτης / επιβλέπων)

Καθ. Κ. Κομνίτσας (Πολυτεχνείο Κρήτης)

Καθ. Ζ. Αγιουτάντης (University of Kentucky)

ΧΑΝΙΑ

2024

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία εστιάζει στη συγκέντρωση, επεξεργασία και οργάνωση υδρολογικών δεδομένων με στόχο τη δημιουργία μιας ολοκληρωμένης βάσης δεδομένων για τον υδρολογικό σχεδιασμό και τη μοντελοποίηση του υδατικού ισοζυγίου υγροτόπου στη μεταλλευτική περιοχή της Ολυμπιάδας Χαλκιδικής. Στόχος είναι η διερεύνηση της επίδρασης των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων στον υδρολογικό σχεδιασμό υγροτόπου, αξιοποιώντας προηγμένα υπολογιστικά εργαλεία και στατιστικές μεθόδους.

Η περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται από έντονες γεωλογικές και υδρογεωλογικές ιδιαιτερότητες. Παρουσιάζονται αναλυτικά η γεωμορφολογία, τα υδρολογικά δεδομένα και οι παράμετροι που επηρεάζουν το υδατικό ισοζύγιο.

Η μεθοδολογία σχεδιασμού υγροτόπου βασίζεται σε δύο εξειδικευμένα λογισμικά:

1. **Wetbud:** Εφαρμόζεται για την προσομοίωση δυναμικών υδατικών συστημάτων χρησιμοποιώντας μετεωρολογικές (βροχόπτωση, θερμοκρασία), τοπογραφικές (ψηφιακό μοντέλο εδάφους) και εδαφολογικές (περατότητα) παραμέτρους. Στο πλαίσιο αυτό, μπορεί να ενσωματωθεί ο κώδικας USGS MODFLOW για την προσομοίωση ροής υπογείων υδάτων και η μέθοδος NRCS για την εκτίμηση της επιφανειακής απορροής.
2. **Hydrognomon 4:** Χρησιμοποιείται για την ανάλυση χρονοσειρών υδρολογικών δεδομένων, την εφαρμογή στατιστικών ελέγχων (t-test, Kolmogorov–Smirnov), τη μοντελοποίηση κατανομών και τη δημιουργία κλιμακογραμμάτων και διαγραμμάτων ροής-χρόνου. Μέσω αυτού του εργαλείου, αξιολογήθηκαν οι τάσεις, οι εποχικές μεταβολές και οι ακραίες τιμές.

Στο τρίτο και τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων και των στατιστικών αναλύσεων. Διαπιστώνεται ότι:

- Ο σχεδιασμός και η λειτουργία του υγροτόπου επηρεάζεται τόσο από τα επιφανειακά όσο και από τα υπόγεια ύδατα ανά έτος.
- Η θερμοκρασία της περιοχής και το μικροκλίμα της δημιουργεί αισθητές διαφοροποιήσεις στην εξατμισοδιαπνοή οι οποίες είναι εμφανής κατά τη μετάβαση από τους χειμερινούς προς τους θερινούς μήνες και αντιστρόφως.
- Τα υδρολογικά έτη δεν ακολουθούν κάποιο επαναλαμβανόμενο μοτίβο ως προς τον τύπο τους (κανονικό, ξηρό, υγρό)
- Τα δεδομένα των βροχομετρικών σταθμών ακολουθούν την κατανομή Γάμμα με αποτέλεσμα τη δυνατότητα στατιστικής εκτίμησης της αναμενόμενης βροχόπτωσης των επόμενων ετών.
- Τέλος, οι παρατηρούμενες τιμές σε σχέση με τις εκτιμώμενες τιμές στάθμης των υπογείων υδάτων έχουν πολύ μικρή απόκλιση κάτι που επιβεβαιώνει τη σωστή ρύθμιση και λειτουργία του μοντέλου Wetbud.

Τα αποτελέσματα αποδεικνύουν τη χρησιμότητα των εργαλείων μοντελοποίησης για τη διαχείριση υδάτινων πόρων και την ανάπτυξη βιώσιμων λύσεων σε περιοχές με περιβαλλοντικές πιέσεις. Η εργασία συνεισφέρει σημαντικά στο σχεδιασμό και την μελέτη υδρολογικής λειτουργίας υγροτόπων και αποτελεί βάση για μελλοντική έρευνα στους τομείς υδατικών πόρων και περιβαλλοντικής μεταλλευτικής.

Abstract

This thesis focuses on collecting, processing, and organizing hydrological data to create a comprehensive database for the hydrological planning and water balance modeling of a wetland in the mining area of Olympiada, Halkidiki. The objective is to investigate the interaction between surface and groundwater resources, utilizing advanced computational tools and statistical methods.

Significant geological and hydrogeological characteristics describe the study area. Detailed information is provided on the geomorphology, hydrological data, and water balance parameters.

The wetland design methodology is based on two specialized software tools:

1. Wetbud: Applied for simulating dynamic water systems using meteorological (precipitation, temperature), topographical (digital elevation model), and soil (permeability) parameters. Within this framework, the USGS MODFLOW hydrological code can be integrated to simulate groundwater flows, along with the NRCS method to estimate surface runoff.
2. Hydrognomon 4: Used for the analysis of hydrological data time series, implementation of statistical tests (t-test, Kolmogorov–Smirnov), distribution modeling, and the creation of hyetographs and flow–time diagrams. This tool enabled the assessment of trends, seasonal variations, and extreme values.

Chapters three and four present the results of the simulations and statistical analyses. The key findings are as follows:

- The Olympiada area is indirectly affected by both surface and groundwater resources on an annual basis.
- The region's temperature and climate cause significant variations in evapotranspiration, particularly evident during the transition from winter to summer months and vice versa.
- Accurate differentiation between Normal, Wet, and Dry years is achieved.
- All rainfall data, regardless of year, follow the Gamma distribution, allowing for more reliable predictions for future years.
- Lastly, the observed water level values compared to the predicted ones show low error margins, confirming the appropriate model functionality.

The results highlight the value of modeling tools for water resource management and the development of sustainable solutions in environmentally stressed areas. This study contributes significantly to the design and hydrological analysis of wetlands and serves as a foundation for future research in water and mining sectors.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω την ειλικρινή μου ευγνωμοσύνη προς τον κ. Εμμανουήλ Βαρουχάκη, ο οποίος ανέλαβε την επίβλεψη της διπλωματικής μου εργασίας. Η συνεργασία μας ήταν υποδειγματική, και εκτιμώ βαθύτατα την πολύτιμη ευκαιρία που μου δόθηκε να αναπτύξω αυτή την εργασία υπό την καθοδήγησή του.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Αγιουτάντη για τη σημαντική συμβολή του στην ολοκλήρωση της εργασίας, καθώς και για τον πολύτιμο χρόνο και τη διάθεση που αφιέρωσε. Ευχαριστώ επίσης τον καθηγητή κ. Κομνίτσα για την υποστήριξή του κατά τη διάρκεια της εργασίας.

Είμαι επίσης ευγνώμων προς την εταιρία «Ελληνικός Χρυσός», καθώς χωρίς τα δεδομένα που δημοσίευσε στην ιστοσελίδα της, η ολοκλήρωση της εργασίας αυτής δεν θα ήταν εφικτή.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου και στους φίλους μου, που με στήριξαν ηθικά και υλικά καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου στο Πολυτεχνείο Κρήτης.

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή	10
1.1	Στόχος	10
1.2	Η σημασία του νερού.....	10
1.3	Υγρότοποι και σημασία τους στην οικολογία	11
1.4	Περιβαλλοντικές επιπτώσεις και αποκατάσταση λατομείων / μεταλλείων.....	11
1.4.1	Περιβαλλοντικές επιπτώσεις.....	11
1.4.2	Αποκατάσταση λατομείων / μεταλλείων	11
1.5	Υδροστατιστικές έννοιες	12
1.6	Wetbud.....	13
1.6.1	Διαδικασία	13
1.7	Hydrognomon 4	14
1.7.1	Λειτουργίες προγράμματος.....	14
2	Βασικές πληροφορίες περιοχής μελέτης	16
2.1	Γεωγραφικά.....	16
2.2	Γεωλογία	17
2.3	Κοιτασματολογία	18
2.4	Υδρογεωλογία.....	19
2.4.1	Υδρογεωλογικές πληροφορίες περιοχής μελέτης	19
2.4.2	Υπόγεια ύδατα	20
2.4.3	Υδρογεωλογικές λεκάνες.....	21
3	Προγραμμα Hydrognomon.....	22
3.1	Λειτουργία προγράμματος Hydrognomon.....	22
3.1.1	Στατιστική επεξεργασία και ανάλυση χρονοσειρών –Πυθία.....	22
3.1.2	Υπολογισμοί συναρτήσεων κατανομής	23
3.1.3	Στατιστικός Έλεγχος t-test.....	24
3.1.4	Ο έλεγχος Kolmogorov-Smirnov.....	24
3.1.5	Κατανομή Γάμμα	25
3.1.6	Αναλυτική εξίσωση σημειακής εκτιμήσεως ομβρίων καμπυλών - Κλιμακόγραμμα.....	26
3.2	Βάση Δεδομένων	28
3.3	Αποτελέσματα και σχολιασμός	29

4	Πρόγραμμα Wetbud	37
4.1	Λειτουργία προγράμματος Wetbud	37
4.2	Βάση δεδομένων Wetbud	44
4.2.1	Βροχομετρικά δεδομένα	44
4.2.2	Δεδομένα εξατμοδιαπνοής.....	46
4.2.3	Υδρολογικά δεδομένα.....	48
4.3	Αποτελέσματα και Σχολιασμός Διαγραμμάτων	50
4.3.1	Υπολογισμοί WEM.....	50
4.3.2	Διαγράμματα στατιστικής παλινδρόμησης.....	51
4.3.3	Διαγράμματα παρατηρούμενης/προβλεπόμενης στάθμης υδάτων	53
5	Συμπεράσματα.....	56
6	Βιβλιογραφία	58
7	Παράρτημα	60
7.1	Ιανουάριος.....	60
7.2	Φεβρουάριος	61
7.3	Μάρτιος.....	62
7.4	Απρίλιος.....	63
7.5	Μάιος	64
7.6	Ιούνιος.....	65
7.7	Ιούλιος.....	66
7.8	Αύγουστος.....	67
7.9	Σεπτέμβριος	68
7.10	Οκτώβριος.....	69
7.11	Νοέμβριος.....	70
7.12	Δεκέμβριος.....	71

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1: Υδρολογικός κύκλος [14].....	10
Εικόνα 2: Δορυφορική εικόνα της ευρύτερης περιοχής μελέτης (Google Earth)	16
Εικόνα 3: Δορυφορική εικόνα της περιοχής μελέτης (Google Earth).....	17
Εικόνα 4: Χάρτης ρήγματος (antigold.gr library).....	18
Εικόνα 5: Αποθέματα και περιεκτικότητες του μεταλλείου της Ολυμπιάδας.....	19
Εικόνα 6: Ποταμός Μαυρόλακκος	20
Εικόνα 7: Ποτάμια υδατικού συστήματος Ελληνικού Χρυσού [βαλε αναφορ'α].....	21
Εικόνα 8: Η απόκλιση της αναμενόμενης τιμής από την πραγματική τιμή του κλιμακογράμματος για διάφορες παραμέτρους H.....	28
Εικόνα 9: Απεικόνιση βάσης δεδομένων στο υπολογιστικό πρόγραμμα Hydrognomon 4.....	29
Εικόνα 10: Κλιμακόγραμμα βροχομετρικών δεδομένων	31
Εικόνα 11: Κλιμακόγραμμα τυπικής απόκλισης βροχομετρικών δεδομένων	32
Εικόνα 12: Απεικόνιση μετρήσεων από τη βάση δεδομένων σε διάγραμμα συναρτήσεων κατανομής Γάμμα έτους 2016	33
Εικόνα 13: Απεικόνιση μετρήσεων από τη βάση δεδομένων σε διάγραμμα συναρτήσεων κατανομής Γάμμα έτους 2018	34
Εικόνα 14: Απεικόνιση μετρήσεων από τη βάση δεδομένων σε διάγραμμα συναρτήσεων κατανομής Γάμμα έτους 2022	35
Εικόνα 15: Απεικόνιση μετρήσεων από τη βάση δεδομένων σε διάγραμμα συναρτήσεων κατανομής Γάμμα όλων των δεδομένων	36
Εικόνα 16: Λεκάνες απορροής υγρότοπου και ρέματος.....	38
Εικόνα 17: Επιλογές πιθανής εξατμισοδιαπνοής στο πρόγραμμα Wetbud	41
Εικόνα 18: Διάγραμμα εισροής υπογείων υδάτων [9].....	43
Εικόνα 19: Διάγραμμα εκροής υπογείων υδάτων [9].....	43
Εικόνα 20: Βροχομετρικά δεδομένα OMS11	45
Εικόνα 21: Βροχομετρικά δεδομένα στο περιβάλλον του Wetbud	45
Εικόνα 22: Δεδομένα Εξατμισοδιαπνοής OMS11.....	47
Εικόνα 23: PETnot corrected δεδομένα.....	48
Εικόνα 24: Δεδομένα Εξατμισοδιαπνοής στο περιβάλλον του Wetbud.....	48
Εικόνα 25: Δεδομένα στάθμης υπογείου νερού γεώτρησης OGW01	49
Εικόνα 26: Δεδομένα στάθμης υπογείου νερού γεώτρησης OGW02	49
Εικόνα 27: Αποτελέσματα υπολογισμών WEM για τη γεώτρηση 1	50
Εικόνα 28: Αποτελέσματα υπολογισμών WEM για τη γεώτρηση 2	51
Εικόνα 29: Διάγραμμα στατιστικής παλινδρόμησης για τη γεώτρηση 1	52
Εικόνα 30: Διάγραμμα στατιστικής παλινδρόμησης για τη γεώτρηση 2	53
Εικόνα 31: Διάγραμμα παρατηρούμενης/προβλεπόμενης στάθμης υδάτων για τη γεώτρηση 1 .	54
Εικόνα 32: Διάγραμμα παρατηρούμενης/προβλεπόμενης στάθμης υδάτων για τη γεώτρηση 2 .	55
Εικόνα 33: Διάγραμμα δεδομένων για τον μήνα Ιανουάριο.....	60
Εικόνα 34: Διάγραμμα δεδομένων για τον μήνα Φεβρουάριο	61
Εικόνα 35: Διάγραμμα δεδομένων για τον μήνα Μάρτιο.....	62
Εικόνα 36: Διάγραμμα δεδομένων για τον μήνα Απρίλιο	63

Εικόνα 37: Διάγραμμα δεδομένων για τον μήνα Μάιο	64
Εικόνα 38: Διάγραμμα δεδομένων για τον μήνα Ιούνιο	65
Εικόνα 39: Διάγραμμα δεδομένων για τον μήνα Ιούλιο.....	66
Εικόνα 40: Διάγραμμα δεδομένων για τον μήνα Αύγουστο.....	67
Εικόνα 41: Διάγραμμα δεδομένων για τον μήνα Σεπτέμβριο	68
Εικόνα 42: Διάγραμμα δεδομένων για τον μήνα Οκτώβριο	69
Εικόνα 43: Διάγραμμα δεδομένων για τον μήνα Νοέμβριο	70
Εικόνα 44: Διάγραμμα δεδομένων για τον μήνα Δεκέμβριο.....	71

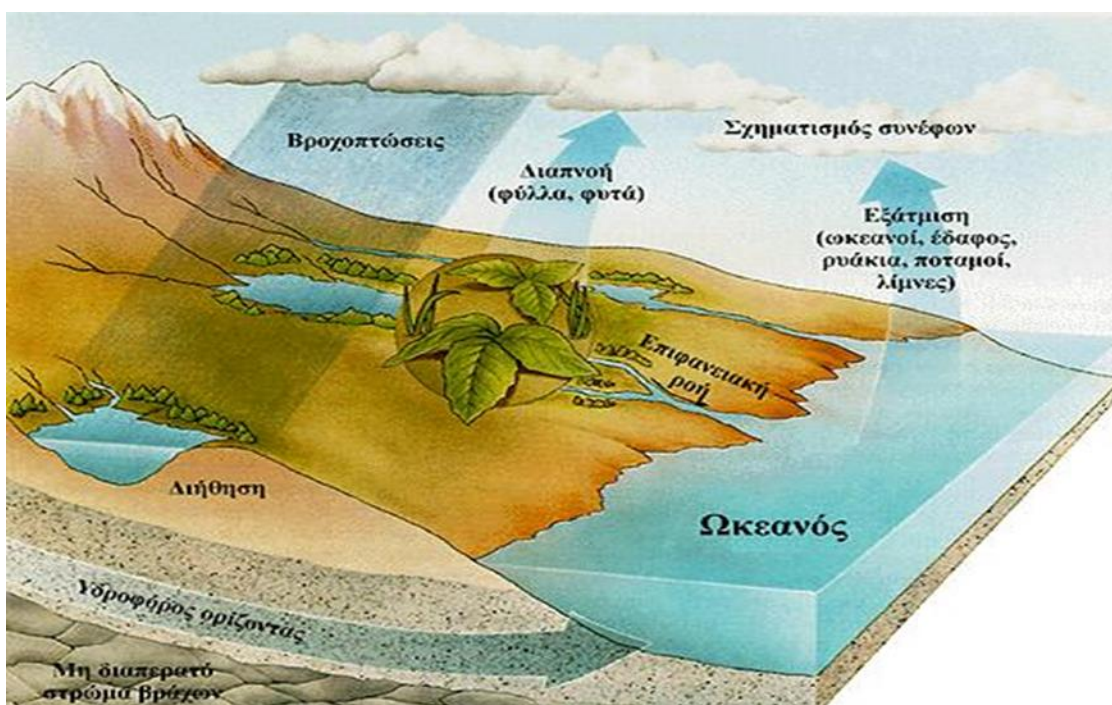
1 Εισαγωγή

1.1 Στόχος

Στόχος της διπλωματικής εργασίας είναι δημιουργία βάσης δεδομένων για μοντελοποίηση υδατικού ισοζυγίου υδροτόπου υπό την αλληλεπίδραση επιφανειακών – υπόγειων υδάτων στην μεταλλευτική περιοχή Ολυμπιάδα Χαλκιδικής. Η εργασία αυτή μπορεί να αποτελέσει την βάση για περαιτέρω έρευνα τόσο στην ευρύτερη περιοχή όσο και σε άλλες μεταλλευτικές περιοχές. Αυτό επιτυγχάνεται κυρίως με τις υδρογεωλογικές, βροχομετρικές πληροφορίες καθώς και την επιρροή των επιφανειακών/υπογείων υδάτων στο υπολογιστικό πρόγραμμα Wetbud καθώς και βασικές γνώσεις σε θεωρίες της στατιστικής. Επιπρόσθετα έγινε και χρήση του υπολογιστικού προγράμματος Hydrognomon 4 για την επεξεργασία και ανάλυση υδρολογικών δεδομένων.

1.2 Η σημασία του νερού

Αναμφισβήτητο το νερό είναι το μεγαλύτερο αγαθό και φυσικός πόρος που υπάρχει στον πλανήτη. Δεν είναι τυχαίο ότι η ύπαρξη του νερού είναι προϋπόθεση για την επιβίωση όχι μόνο του ανθρώπου, αλλά και κάθε ζωντανού οργανισμού. Χωρίς αυτό ο ανθρώπινος πολιτισμός δεν θα μπορούσε να επιβιώσει, πόσο μάλλον να εξελιχθεί. Ένα αξιοσημείωτο προσόν του νερού είναι ότι χαρακτηρίζεται ανακυκλώσιμος πόρος (Εικόνα 1) και όχι ανανεώσιμος διότι στο σύστημα που το περιβάλλει το οποίο είναι ο πλανήτης γη, η ποσότητά του παραμένει ιδία αενάως.



Εικόνα 1: Υδρολογικός κύκλος [14]

Στην σύγχρονη εποχή, και συγκεκριμένα σε μια περίοδο η οποία είναι φανερή η έντονη κλιματική κρίση, το αγαθό του νερού αποκτά μεγαλύτερη σημασία. Σε αυτό το κομμάτι λαμβάνει χώρα η οικολογία του νερού η οποία συνεπάγεται σε ότι οικοσυστημάτων, των υδάτινων πόρων, της διαδικασίας του υδρογεωλογικού κύκλου καθώς και σε ότι συνεπάγεται για την προστασία του περιβάλλοντος. Έτσι ο άνθρωπος με τα χρόνια κατάφερε να δίνει λύσεις σε πολλά από αυτά

τα προβλήματα δημιουργώντας τεχνικά υδατικά οικοσυστήματα (πχ τεχνητές λίμνες) σε διάφορες περιοχές στις οποίες δεν υπήρχαν.

1.3 Υγροβιότοποι και σημασία τους στην οικολογία

Υγροβιότοποι είναι φυσικές ή τεχνητές περιοχές που αποτελούνται από έλη με ποώδη βλάστηση, από μη αποκλειστικώς ομβροδίατα έλη με τυρφώδες υπόστρωμα, από τυρφώδη εδάφη ή από νερό. Οι περιοχές αυτές μπορεί να είναι μόνιμα ή προσωρινά κατακλυζόμενες από νερό το οποίο είναι στάσιμο ή τρεχούμενο, γλυκό, υφάλμυρο ή αλμυρό και περιλαμβάνουν επίσης εκείνες που καλύπτονται από θαλασσίνο νερό το βάθος του οποίου κατά την αμπώτιδα δεν ξεπερνά τα έξι μέτρα [1].

Οι υγροβιότοποι είναι σημαντικοί για την οικολογία γιατί περιέχουν καθαρό νερό αφού λειτουργούν ως φυσικά φίλτρα καθαρισμού των υδάτων από ανεπιθύμητες φυσικές και ανθρωπογενείς ουσίες καθώς οι βλάστηση που παρέχουν από τα υδρόβια φυτά και το έδαφος μπορούν να δεσμεύσουν βαριά μέταλλα, εντομοκτόνα και άλλες τοξικές ουσίες που υπάρχουν στο νερό και κατά ένα μέρος να τις απομακρύνουν από αυτό. Επίσης είναι κυρίως αποθήκες νερού με οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για άρδευση γεωργικών περιοχών ότι οποίο συνεπάγεται σε δημιουργία και ανάπτυξης πολιτισμού. Ως προς το κλίμα οι υγρότοποι απορροφούν και αποθηκεύουν θερμότητα, με αποτέλεσμα οι περιοχές κοντά σε αυτούς να έχουν δροσερά καλοκαίρια και ήπιους χειμώνες.

Αξιοσημείωτο είναι ότι και στο φαινόμενο του θερμοκηπίου η βλάστησης τους όταν είναι καθαρές και υγιείς μπορούν ν' απορροφήσουν μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα. Τέλος, διακρίνονται για τον βιολογικό τους πλούτο τόσο σε φυτικό όσο και σε ζωικά είδη εκατοντάδες είδη ζώων, φυτών αλλά και μικροοργανισμών εκμεταλλεύονται κάθε δυνατό τρόπο επιβίωσης μέσα ή δίπλα σε αυτούς. Στους Ελληνικούς υγροτόπους συναντάμε περίπου 250 είδη πουλιών. Από τα 100 είδη που έχουν συμπεριληφθεί στο κόκκινο κατάλογο της Ελληνικής πανίδας (είδη δηλαδή που κινδυνεύουν με εξαφάνιση) τα 59 εξαρτώνται από τους υγροτόπους [2].

1.4 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις και αποκατάσταση λατομείων / μεταλλείων

1.4.1 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Η εκμετάλλευση των πρώτων υλών ενός λατομείου ή μεταλλείου είναι δυνατόν να έχει περιβαλλοντικές επιπτώσεις όπως είναι οι μεταβολές στη γεωμορφολογική δομή και στα γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής λόγω των εναποθέσεων των στερίων, διαταραχές και μεταβολές τόσο στο υδρογεωλογικό κομμάτι όσο και στην χλωρίδα και πανίδα διότι δημιουργούνται διαταραχές στα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα καθώς και αποψίλωση βλάστησης, μεταβολές στην ποιότητα του αέρα καθώς και παρεμβολή στην φυσική αισθητική του φυσικού τοπίου.

1.4.2 Αποκατάσταση λατομείων / μεταλλείων

Με τον όρο αποκατάσταση εννοείται ως η διαδικασία πλήρους επαναφοράς του οικοσυστήματος στην αρχική του κατάσταση ως αφορά την δομή και την λειτουργία του. Πρακτικά οι στόχοι της αποκατάστασης είναι χρησιμοποιηθεί η βλάστηση του περιβάλλοντος από τις γύρω μη διαταραγμένες περιοχές ως οδηγός για την ανασυγκρότηση φυτικών ειδών, έτσι ο λατομικός / μεταλλευτικός χώρος θα επανασυνδεθεί με τη γύρω περιοχή.

Από τεχνικής άποψης, η αποκατάσταση λατομείου / μεταλλείου προϋποθέτει μια κατάλληλη διαμόρφωση του αναγλύφου με συμπλήρωση των βαθμίδων με ικανού πάχους εδαφικού υλικού, για την προετοιμασία των επιφανειών για την εγκατάσταση είτε βλάστησης με φύτευση είτε της υποδομής δικτύων άρδευσης.

1.5 Υδροστατιστικές έννοιες

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας χρησιμοποιούνται οι ακόλουθες έννοιες.

- Χρονοσειρά είναι ένα σύνολο δεδομένων με καθορισμένη διάταξη ως προς το χρόνο.
- Κατανομή είναι ο τρόπος με τον οποίο διαμένοντε οι τιμές μιας μεταβλητής
- Μέση τιμή είναι το άθροισμα όλων των παρατηρήσεων διαιρούμενο με τον αριθμό των παρατηρήσεων.
- Η διακύμανση είναι η μέτρηση της μέσης απόστασης των τιμών των δεδομένων από τον μέσο όρο τους.
- Η τυπική απόκλιση είναι η τετραγωνική ρίζα της διακύμανσης. Εκφράζει την τυπική απόσταση των τιμών των δεδομένων από τον μέσο όρο τους.
- Η ασυμμετρία είναι η μέτρηση του βαθμού της συμμετρίας των δεδομένων ως προς τη συχνότητά – κατανομή τους γύρω από τη μέση τιμή.
- Η κύρτωση είναι η μέτρηση του βαθμού συγκέντρωσης των δεδομένων γύρω από τη μέση τιμή.
- Τυχαία μεταβλητή είναι μια μεταβλητή που η τιμή της υπόκειται σε διακυμάνσεις λόγω τύχης. Μια τυχαία μεταβλητή μπορεί να πάρει ένα σύνολο δυνατών τιμών κάθε μία από τις οποίες αντιστοιχεί μια πιθανότητα.
- Η αθροιστική κατανομή πιθανότητας $F_x(x_j)$ αντιπροσωπεύει την συνολική πιθανότητα για τις τιμές της τυχαίας μεταβλητής X να είναι μικρότερες ή ίσες με την τιμή x_j . Επομένως,

$$F_x(x_j) = P(X \leq x)$$

Ισοδύναμα, η εξίσωση αυτή είναι δυνατό να εκφραστεί ως εξής:

$$F_x = \sum_k p_k, \forall x_k: x_k \leq x_j$$

Η αθροιστική κατανομή πιθανότητας είναι αύξουσα συνάρτηση, επειδή όλες οι πιθανότητες p_i είναι θετικές:

$$\text{Αν } x_j > x_k \Rightarrow F_x(x_j) \geq F_x(x_k)$$

- Διακριτή κατανομή είναι ένας τύπος κατανομής πιθανότητας που αφορά μεταβλητές οι οποίες μπορούν να πάρουν μόνο συγκεκριμένες, διακριτές τιμές, συχνά ακέραιες. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με τις συνεχείς κατανομές, όπου οι μεταβλητές μπορούν να πάρουν οποιαδήποτε τιμή σε ένα συνεχές εύρος.
- Επιφανειακή απορροή είναι η ροή του νερού που προέρχεται από την υπερχείλιση της βροχής ή άλλων υδάτινων πηγών πάνω στην επιφάνεια του εδάφους.
- Υδραυλική κλίση είναι η διαφορά ύψους ή πίεσης ανά μονάδα μήκους κατά μήκος της ροής του νερού σε ένα υδραυλικό σύστημα. Εκφράζει την κλίση της γραμμής που

αντιπροσωπεύει την αλλαγή της στάθμης υδάτων κατά μήκος της κατεύθυνσης της ροής.

- Διασπορά είναι ένα μέτρο της διασποράς των τιμών ενός συνόλου δεδομένων. Αντιπροσωπεύει το πόσο οι τιμές διαφέρουν από τη μέση τιμή τους.

1.6 Wetbud

Το Wetbud είναι ένα εργαλείο για την εκτίμηση των υδάτων των υδροτόπων χρησιμοποιώντας διαθέσιμα μετεωρολογικά δεδομένα και τοπογραφικά, εδαφολογικά και υδρογεωλογικά δεδομένα για μια συγκεκριμένη περιοχή μελέτης. Το πρόγραμμα προορίζεται κυρίως ως εργαλείο σχεδιασμού για χρήση στο σχεδιασμό δημιουργημένων υδροτόπων, αλλά μπορεί επίσης να εφαρμοστεί σε εγγενείς υδροτόπους όπου μπορούν να καθοριστούν οι απαιτούμενες παράμετροι εισαγωγής. Το Wetbud μπορεί να εκτελεστεί στη βασική μορφή όπου η τοπογραφία του υδροτόπου, οι παράμετροι του εδάφους και η ροή των υπόγειων υδάτων απλοποιούνται ή στη μορφή προηγμένης όπου αυτές οι παράμετροι περιλαμβάνονται σε μια πιο σύνθετη προσέγγιση. Η μοντελοποίηση του έργου υπολογίζεται από το πρόγραμμα προσδιορίζοντας τις πιο βασικές πληροφορίες για μία δεδομένη περιοχή. Το ίδιο το πρόγραμμα μας δίνει τη δυνατότητα για δημιουργία πολλαπλών σεναρίων η οποία είναι χρήσιμη για μοντελοποίηση μεγάλων τοποθεσιών που θα ήταν δύσκολο να μελετηθεί μονωμένα. Το μοντέλο που χρησιμοποιεί το Wetbud για επεξεργασία είναι το USGS MODFLOW. Το USGS MODFLOW είναι ένα ολοκληρωμένο λογισμικό μοντέλου υδρογεωλογίας που αναπτύχθηκε από την United States Geological Survey (USGS) για την προσομοίωση της ροής του υπόγειου νερού σε κορεσμένα μέσα. Είναι ένα από τα πιο διαδεδομένα και ευρέως χρησιμοποιούμενα εργαλεία για τη μοντελοποίηση του υδροφορέα και χρησιμοποιείται παγκοσμίως από επιστήμονες μηχανικούς και φορείς διαχείρισης υδάτων για την κατανόηση και τη διαχείριση των υπόγειων υδάτων. Τα βασικά χαρακτηριστικά του είναι η προσομοίωση ροής υπογείου νερού, η παροχή επιπροσθέτων πληροφοριών όπως είναι η εξατμισοδιαπνοή καθώς και η αναλύσεις της.

Επίσης το πρόγραμμα χρησιμοποιεί και την μέθοδο του καμπύλου αριθμού του NRCS (Natural Resources Conservation) είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος για τον υπολογισμό της επιφανειακής απορροής από κατακρημνίσεις. Αυτή η μέθοδος αναπτύχθηκε από το NRCS των ΗΠΑ (πρώην SCS - Soil Conservation Service) και χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του όγκου της απορροής που προκύπτει από μια δεδομένη βροχόπτωση, λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά του εδάφους, τη χρήση γης και την κατάσταση της επιφάνειας [4].

1.6.1 Διαδικασία

Η ακόλουθη διαδικασία πέντε βημάτων παρέχει μια γενικευμένη επισκόπηση της προτεινόμενης σειράς λειτουργιών που θα οδηγήσει σε ένα επιτυχημένο μοντέλο προϋπολογισμού νερού χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα Wetbud.

1. Εντοπισμός του πλησιέστερου μετεωρολογικού σταθμού και δημιουργία ενός συνόλων δεδομένων μετεωρολογικού σταθμού.
2. Παραμετροποίηση της τοποθεσίας για την ρύθμιση βασικού σεναρίου για την λήψη δεδομένων φυσικών παραμέτρων (π.χ. μέγεθος υδροτόπου, στρωματογραφικά δεδομένα κ.λπ.) της τοποθεσίας που πρόκειται να μοντελοποιηθεί και για τις μεταβλητές που αναμένεται να επηρεάσουν τα επίπεδα του νερού (π.χ. εισροές ή απώλειες υπόγειων

υδάτων, προσθήκες πάνω από τις όχθες ρεμάτων, υψόμετρα φραγμάτων κ.λπ.) στον υγρότοπο.

3. Καθορισμός έργου με τους αντίστοιχους μετεωρολογικούς σταθμούς αναφοράς καθώς και εντοπισμό του πλησιέστερου σταθμού WETS, ο οποίος θα χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό των υγρών, κανονικών και ξηρών ετών που θα συμπεριληφθούν στις αναλύσεις προϋπολογισμού νερού.
4. Δημιουργία σεναρίων εντός του επιλεγμένου Έργου.
5. Παρουσίαση αποτελεσμάτων έρευνας.

1.7 Hydrognomon 4

Ο Υδρογνώμων είναι ένα λογισμικό ανοιχτού κώδικα για την επεξεργασία και ανάλυση υδρολογικών δεδομένων μέσω τυποποιημένων αρχείων κειμένου, λογιστικών φύλλων ή μέσω πληκτρολόγησης. Στις τυπικές επεξεργασίες υδρολογικών δεδομένων περιλαμβάνονται τεχνικές συνάθροισης και κανονικοποίησης χρονικού βήματος, παρεμβολής, ανάλυσης παλινδρόμησης και συμπλήρωσης ελλειπουσών τιμών, έλεγχοι εγκυρότητας, φίλτρα δεδομένων, οπτικοποίηση χρονοσειρών σε πίνακες και διαγράμματα, κτλ. Υποστηρίζονται διάφορα χρονικά βήματα, από τη λεπτή κλίμακα λεπτού ως την κλίμακα δεκαετίας. Επιπλέον, υποστηρίζονται ειδικές περιπτώσεις ακανόνιστων χρονικών βημάτων. Το πρόγραμμα περιλαμβάνει ακόμη συνήθεις υδρολογικές εφαρμογές, όπως μοντέλα εξατμισοδιαπνοής, αναλύσεις δεδομένων στάθμης-παροχής, ελέγχους ομογένειας, επιφανειακή ολοκλήρωση σημειακών χρονοσειρών, επεξεργασίες υδρομετρικών δειγμάτων, καθώς και αδιαμέριστα υδρολογικά μοντέλα, με δυνατότητες αυτόματης βαθμονόμησης. Η έμφαση εδώ δίνεται στη στατιστική συνιστώσα του Υδρογνώμονα, που παρέχει εργαλεία για διερεύνηση δεδομένων, προσαρμογή συναρτήσεων κατανομής, στατιστικές προγνώσεις, προσομοίωση Monte-Carlo, προσδιορισμό ορίων εμπιστοσύνης, ανάλυση ακραίων τιμών και κατασκευή όμβριων καμπυλών (σχέσεις έντασης-διάρκειας-συχνότητας βροχής) [3].

1.7.1 Λειτουργίες προγράμματος

Η λειτουργία του προγράμματος περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα [5]:

- Μετατροπή χρονοσειρών σε σταθερό χρονικό βήμα
- Εξαγωγή χρονοσειρών μεγαλύτερου χρονικού βήματος
- Τυπικοί έλεγχοι συνέπειας όπως ακραίων τιμών και χρονικής συνέπειας
- Γραμμική παλινδρόμηση μεταξύ χρονοσειρών, πολλαπλή παλινδρόμηση, οργανική συσχέτιση και αυτοσυσχέτιση
- Υδατικά ισοζύγια: αδρομερές μοντέλο βροχής – απορροής
- Συμπλήρωση ελλειπουσών τιμών με χρήση της γραμμικής παλινδρόμησης, δυνατότητα εισαγωγή τυχαίου όρου για διατήρηση των στατιστικών χαρακτηριστικών. Επέκταση χρονοσειρών
- Γραμμικές πράξεις μεταξύ χρονοσειρών
- Κατάρτιση καμπυλών στάθμης – παροχής με στατιστικές μεθόδους και καμπυλών επέκτασης με χρησιμοποίηση υδραυλικών εξισώσεων

- Εξαγωγή χρονοσειρών παροχών από χρονοσειρές στάθμης, καθώς και χρονοσειρών όγκου και επιφανείας από χρονοσειρές στάθμης ταμιευτήρων και λιμνών
- Υπολογισμός εξατμίσης και δυνητικής εξατμοδιαπνοής με αναλυτικές ή ημιεμπειρικές μεθόδους
- Επέκταση δειγμάτων εξατμοδιαπνοής
- Εύρεση στατιστικών χαρακτηριστικών δείγματος χρονοσειράς, προσαρμογή στατιστικών παραμέτρων, στατιστικές προγνώσεις, στατιστικοί έλεγχοι και εύρεση διαστημάτων εμπιστοσύνης.
- Ανάλυση χρονοσειρών εξαιρετικών βροχοπτώσεων - κατάρτιση ομβρίων καμπυλών με συνεπείς μεθοδολογίες.

2 Βασικές πληροφορίες περιοχής μελέτης

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται η περιοχή μελέτης που ερευνάτε τόσο γεωγραφικά όσο γεωλογικά, κοιτασματολογικά, ορυκτολογικά καθώς και υδρογεωλογικά. Θα συμπεριλαμβάνονται τόσο θεωρητικές έννοιες όσο και πληροφορίες σχετικά με τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση της εργασίας. Όλα τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν είναι από έρευνες που έχει πραγματοποιήσει ο Ελληνικός Χρυσός καθώς σε συμπληρωματικά δεδομένα του meteo.gr στον τομέα των μετεωρολογικών.

2.1 Γεωγραφικά

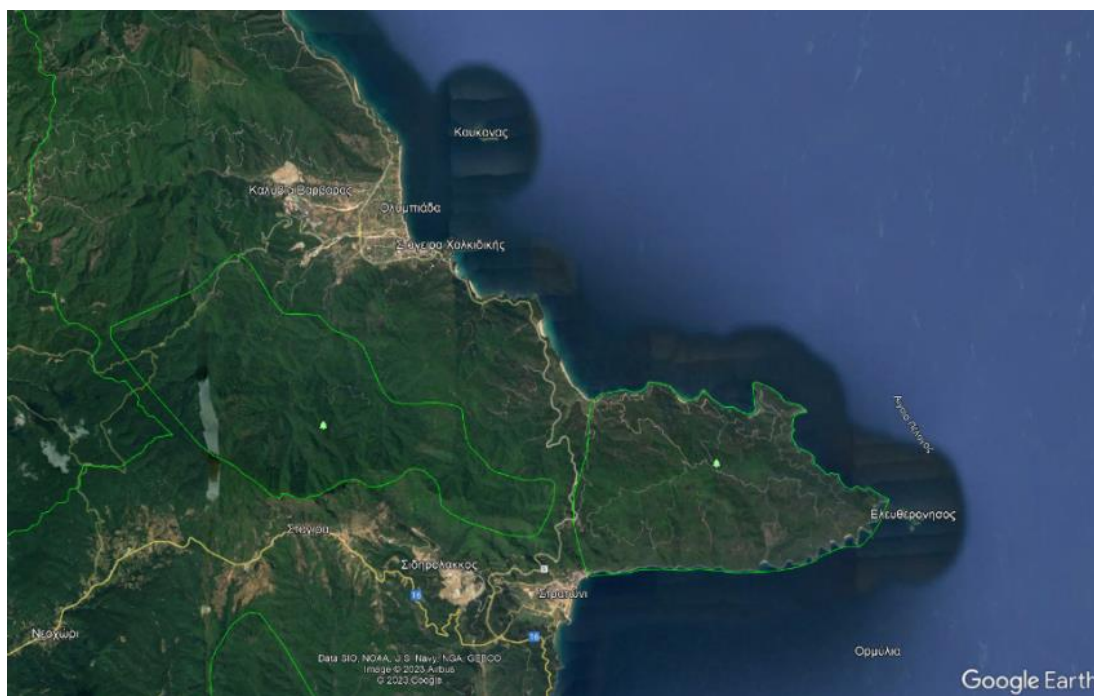
Η Χαλκιδική είναι χερσόνησος της Μακεδονίας, που εισχωρεί βαθιά στο Αιγαίο πέλαγος σχηματίζοντας τρεις επιμήκεις χερσονήσους, που δίνουν στην περιοχή το χαρακτηριστικό της σχήμα. Η Χαλκιδική (Εικόνα 2) αποτελείται από τρεις μικρότερες χερσονήσους και μία μικρότερη στα ανατολικά, την χερσόνησο της Κασσάνδρας, την ομώνυμη χερσόνησο της Σιθωνίας, την χερσόνησο του Άθω που βρίσκεται το Άγιο Όρος καθώς την χερσόνησο του Αρμάρι στα ανατολικά, που αποτελεί τη χερσόνησο που χωρίζει το Ακάνθιο από τον Στρυμονικό κόλπο.



Εικόνα 2: Δορυφορική εικόνα της ευρύτερης περιοχής μελέτης (Google Earth)

Η ευρύτερη περιοχή μελέτης (Εικόνα 3) εντοπίζεται στη βορειοανατολική Χαλκιδική και συγκεκριμένα στο παραλιακό, ΒΑ τμήμα του Δήμου Αριστοτέλη, στις βόρειες παρυφές του Στρατωνικού όρους. Η περιοχή ονομάστηκε Ολυμπιάδα λόγω του μικρού χωριού που βρίσκεται παραλιακά σε αυτήν και έχει μελετηθεί επαρκώς ώστε να υπάρξει πληθώρα πληροφοριών τόσο τεκτονικών όσο και άλλων στοιχείων. Οι επιφανειακές μεταλλευτικές εργασίες απέχουν 2,0 km οι οποίες είναι και το επίκεντρο της μελέτης. Όσο αναφορά το μεταλλείο της περιοχής και το έργο του καθώς και το προϋπάρχουν υπόγειο μεταλλείο χρυσού, αργύρου, μόλυβδου, ψευδαργύρου έχει εκσυγχρονιστεί και εισήλθε σε φάση παραγωγής το 2018. Το μεταλλείο παράγει τρία

συμπυκνώματα, μόλυβδου– αργύρου, ψευδαργύρου και χρυσού, με εκτιμώμενη διάρκεια ζωής βάσει της τρέχουσας καταγραφής αποθεμάτων, τα 22 έτη [4].



Εικόνα 3: Δορυφορική εικόνα της περιοχής μελέτης (Google Earth)

Επίσης στην ευρύτερη περιοχή υπάρχουν ποτάμια και λίμνες που μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως σημείο αναφοράς για μελέτες. Αυτοί είναι απ' τη μεριά του Στρατωνίου ο Κοκκινολακας, ο εκκλησιαστικός Μήλος, ο Καρόλακκας οποίος δημιουργείται από την Τουρκία λάκκος και τον Λουτσανικο και στη συνέχεια καταλήγει στον Ασπρολακκα. Στην συνέχεια υπάρχει βορειότερα και οι λίμνες Βόλβη και Κορώνειας στις οποίες λαμβάνει χώρα και το Εθνικό πάρκο υδροτόπων Κολωνίας – Βόλβης και των μακεδονικών Τεμπών. Τέλος στην περιοχή μελέτη μας ανήκουν οι ποταμοί Μαυρόλακας, Ξηρόλακας, Μπασδέκης λάκκος και Πετρόλακκας.

2.2 Γεωλογία

Στην περιοχή μελέτης υπάρχει το ρήγμα Στρατωνίου-Βαρβάρας (Εικόνα 4) το οποίο έχει κυρίαρχο γεωλογικό και μεταλλογενετικό ρολό (απόσταση από περιοχή μελέτης κάτω των 10 km). Το ενδιαφέρον είναι ότι συμβάλει με ανομοιότητα επαφή δυο γεωλογικούς σχηματισμούς με διαφορετική πετρογενετική προέλευση, ανόμοια λιθοστρωματογραφικά χαρακτηριστικά και αλλιώτικη γεωχημική σύσταση. Η εξέλιξη των κοιτασμάτων λογικών τύπων κατά μήκος του ρήγματος χαρακτηρίζεται από το θειούχο φάση βασικών και πολύτιμων μετάλλων. Βόρεια του ρήγματος, η άνω πλευρά του λαμβάνει χώρα ο σχηματισμός Κερδυλλίων, που αποτελείται από βιοτικούς και πλαγιокλαστικούς-μικροκλινικούς γνευσίους με μαρμάρινα οριζόντια στρώματα. Ο σχηματισμός Κερδυλλίων θεωρείται μέρος του ηπειρωτικού φλοιού που είναι γνωστός ως Ροδοπική μάζα. Νότια του ρήγματος, στη κατώτερη/χαμηλότερη πλευρά του, βρίσκεται ο σχηματισμός Vertisco, που αποτελείται κυρίως από αμφιβολιτικούς γνευσιοσχιστόλιθους και υπερβασικά πετρώματα. Ο σχηματισμός Βερτίσα αποτελείται κυρίως από τμήματα του ωκεάνιου φλοιού της Θάλασσας της Τηθύος. Η γεωλογική αυτή δυσαρμονία δημιούργησε τα

πλούσια κοιτάσματα και το μεγάλο μεταλλευτικό δυναμικό της περιοχής. Το μεταλλοφόρο διάλυμα εκμεταλλεύεται τον ανοικτό χώρο που παρέχει το ρήγμα Στρατωνίου Βαρβάρας και άλλες ζώνες/δομές ρηγμάτων, όπου τα μέταλλα κυκλοφορούν, μεταφέρονται, διανέμονται και αποτίθενται, κυρίως με τη μορφή θειούχων ορυκτών όπως ο σίδηρος, ο μόλυβδος και ο ψευδάργυρος. Οι διεργασίες μεταλλοφορίας εξελίσσονται από την επιφάνεια έως το βάθος του ρήγματος και ποικίλλουν σε όλο το μήκος του που υπερβαίνει τα 10 km [5].



Εικόνα 4: Χάρτης ρήγματος (antigold.gr library)

2.3 Κοιτασματολογία

Το ΒΑ τμήμα του νομού της Χαλκιδικής φιλοξενεί πολλά από τα σημαντικότερα κοιτάσματα της χώρας η δημιουργία των οποίων σχετίζεται με τον Τριτογενή μαγματισμό, ο οποίος η περίοδος του είναι μια έντονη γεωλογική εποχή που αναμόρφωσε και δημιούργησε τη σημερινή εικόνα του ελληνικού χώρου, με τα κυρία σημεία της να αποτελείται από την ενεργή υποβάθμιση, την υποχώρηση του μετώπου της προς τα Νότια εξαιτίας της οπισθοχώρησης της υποβυθιζόμενης πλάκας την αποκόλληση τμήματος αυτής, καθώς το σχηματισμός μεταμορφικών πυρήνων και την λέπτυνση του φλοιού σε περιβάλλον back-arc και η έντονη μαγματική δραστηριότητα. Όπως σημειώθηκε και προηγουμένως η περιοχή και πλούσια σε συμπαγή θειούχα μεταλλεύματα μόλυβδου, ψευδαργύρου και πολύτιμων μετάλλων από αντικατάσταση ανθρακικών πετρωμάτων. Τέτοια κοιτάσματα είναι κυρίως πηγή μόλυβδου, αργύρου, ψευδαργύρου και σε ορισμένες περιπτώσεις χρυσού και ακόμη και χαλκού. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την Ελλάδα, αφού η γεωδυναμική της θέση ευνοεί κοιτάσματα στις βορειοανατολικές περιοχές της όπου δημιουργούν κοιτάσματα ορυκτών παγκόσμιας κλάσης. Τα αποθέματα του μεταλλείου της Ολυμπιάδας παρουσιάζονται στην Εικόνα 5.

(Au) Χρυσός	(Ag) Άργυρος	(Pb) Μόλυβδος	(Zn) Ψευδάργυρος
			
7.26 g/t	123 g/t	4.2%	5.5%
3,1 εκ. ουγκιές	52,8 εκ. ουγκιές	566.000 τόνοι	729.000 τόνοι

Εικόνα 5: Αποθέματα και περιεκτικότητες του μεταλλείου της Ολυμπιάδας

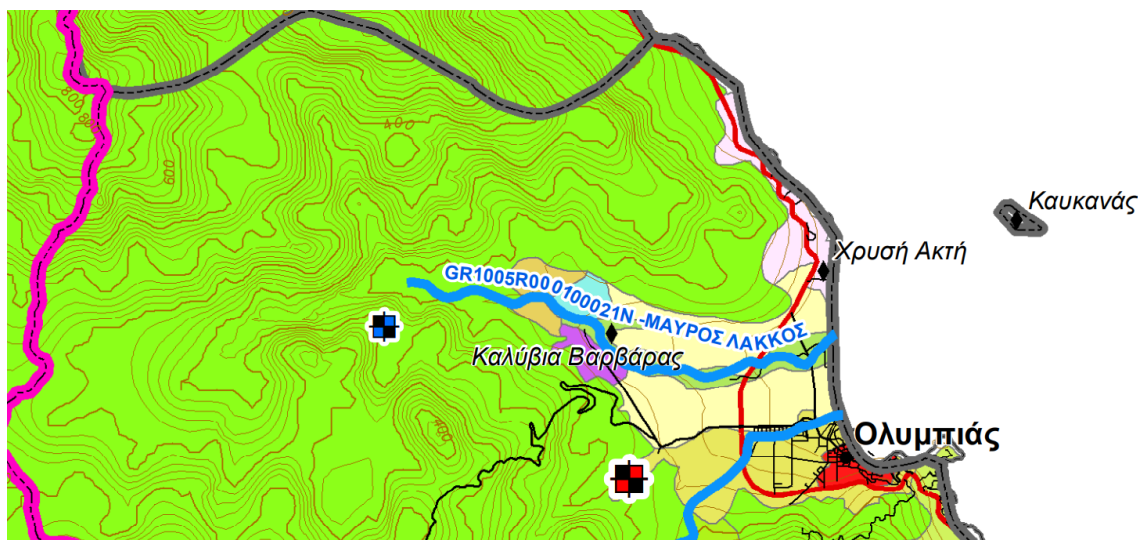
Το μετάλλευμα της περιοχής αποτελείται από γαληνίτη, σφαλερίτη, σιδηροπυρίτη, χαλκοπυρίτη, βορνίτη, αρσеноπυρίτη και πλήθος από θειοάλατα με κυρίαρχο τον τετραεδρίτη. Ο σιδηροπυρίτης και ο αρσеноπυρίτης μπορεί να περιέχουν οικονομικά ενδιαφέρουσες συγκεντρώσεις χρυσού. Ο άργυρος φιλοξενείται στον γαληνίτη και σε θειοάλατα. Τα σύνδρομα ορυκτά συνήθως είναι ασβεσίτης, χαλαζίας, βαρίτης, φθορίτης, ροδοχρωσίτης. Τα μεταλλεύματα αυτά είναι υδροθερμικής προέλευσης. Για τη δημιουργία των υδροθερμικών ρευστών απαιτείται μία «θερμική μηχανή». Διεισδύσεις γρανιτοειδών ή πορφυρικών σωμάτων είναι απαραίτητες για τον σκοπό αυτό, ενώ μπορεί να αποτελούν και την πηγή των μετάλλων. Τα ρευστά ακολουθούν τεκτονικές ασυνέχειες [6].

2.4 Υδρογεωλογία

2.4.1 Υδρογεωλογικές πληροφορίες περιοχής μελέτης

Στην ευρύτερη περιοχή μελέτης υπάρχει ένα πλούσιο οικοσύστημα τόσο από λίμνες και ποτάμια όσο και από βλάστηση. Βορειότερα βρίσκεται η λίμνη Βόλβη η οποία αποτελεί την δεύτερη μεγαλύτερη λίμνη της Ελλάδας και είναι διατεταγμένη σε σειρά με την λίμνη Κορώνεια σε απόσταση 11,5 km από αυτήν. Η συγκεκριμένη λίμνη στα ανατολικά της έχει τον ποταμό Χίος ο οποίος λειτουργεί και ως υπερχειλίση της λίμνης διάμεσων των στενών της Ρεντίνας προς τον Στρυμωνικό κόλπο. Το μήκος της είναι 19,5 km και το μέσο πλάτος 3,4 km με μέση στάθμη να βρίσκεται στα 37 m φτάνοντας έκταση 70,8 km² πράγμα που την καθιστά την μεγαλύτερη λίμνη της Μακεδονίας και η δεύτερη μεγαλύτερη της Ελλάδος με μέγιστο βάθος 36 με 37 m.

Περιμετρικά του σημείου μελέτης έχουμε τα ποτάμια του Ξηρολακκου, του Μπασδέκη ο οποίος έχει μήκος 3,74 km με άμεση λεκάνη απορροής 29,83 km² και μέση ετήσια απορροή 4,73hm, του Πετρολακκου ενώ εξωτερικά του μεταλλείου και αυτός που μας ενδιαφέρει περισσότερο είναι ο Μαυρόλακκος ή Μαύρος Λάκκος (Εικόνα 6) μήκους 5,57 km με άμεση λεκάνη απορροής 47,38 km² και μέση ετήσια απορροή 7,5 hm.



Εικόνα 6: Ποταμός Μανρόλακκος

Όλοι παραπάνω υδροφορείς επηρεάζουν τις μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί καθώς έχουμε μετρήσεις τόσο από επιφανειακά όσο και από υπόγεια ύδατα με ενεργά σημεία παρακολούθησης τα οποία δόθηκαν από το πρόγραμμα περιβαλλοντικής παρακολούθησης του Ελληνικού Χρυσού.

2.4.2 Υπόγεια ύδατα

Ως υπόγεια ύδατα χαρακτηρίζονται τα νερά τα οποία βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, στην λεγόμενη περιοχή του υδρολογικού υπεδάφους, μέσα σε ρωγμές και πορώδη πετρώματα καθώς και σε πορώδεις και αδιαπέραστες στρώσεις του εδάφους. Τα επιφανειακά νερά εμφανίζονται να ακολουθούν συγκεκριμένη πορεία, ενώ τα υπόγεια καταλάβουν τεράστιες εκτάσεις και η ποιότητα τους λόγω ότι είναι λιγότερα εκτιθέμενα στην επιφανειακή ρύπανση είναι εξαιρετικά καλή. Για αυτό τον λόγο χρησιμοποιούνται από τον άνθρωπο σε διάφορες δραστηριότητες τόσο για την παροχή ποσίμου νερού όσο για την άρδευση γεωργικών καλλιεργειών. Επιπλέον, έχουν σημαντική επίδραση στην υδρολογία των ποταμών και λιμνών και μπορούν να επηρεάσουν το κλίμα και τις κλιματικές μεταβολές. Η μελέτη των υπογείων υδάτων είναι απαραίτητη για την αειφόρο διαχείριση των υδάτινων πόρων και τη διασφάλιση της βιωσιμότητάς τους. Οι υδρολογικές μελέτες και οι υδρογεωλογικές εκτιμήσεις μας βοηθούν να κατανοήσουμε τη δομή και τη λειτουργία των υπογείων υδάτων, τις ροές και τις αποθεματικές τους, καθώς και τις επιπτώσεις των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στην ποιότητα και ποσότητα των υπόγειων υδάτων [8].

Στην περιοχή της Ολυμπιάδας οι υδρολογικές μελέτες γίνονται εξολοκλήρου από την Hellas Gold εστιάζοντας στις κύριες τιμές των PH, Al και Pb διότι το υπόγειο νερό είναι εκμεταλλεύσιμο τόσο από την παραγωγική ζώνη όσο και στις λίμνες τελμάτων και σωρών αρσενοπυρίτη. Η ποιότητα του νερού που απαντάται στα αβαθή υδροφόρα στρώματα εντός των μεταλλευτικών εγκαταστάσεων του υπό έργου Ολυμπιάδας, χαρακτηρίζεται από αυξημένες συγκεντρώσεις στα περισσότερα στοιχεία ενδιαφέροντος, συγκεντρώσεις που σχετίζονται με την γηγενή μεταλλοφορία της περιοχής αλλά και τις παλαιές αποθέσεις που έχουν συσσωρευτεί στην περιοχή από την προγενέστερη δραστηριότητα. Ο υδροφορέας στην συγκεκριμένη περιοχή είναι

επιβαρυνμένος αλλά με τα έργα απομάκρυνσης, καθαρισμού και αποκατάστασης της παλαιάς λίμνης τελμάτων και των παλαιών σωρών αρσеноπυρίτη τα οποία είναι ανενεργά, θα συμβάλλουν σημαντικά στην βελτίωση της ποιότητας των υπογείων υδάτων όχι μόνο εντός των εγκαταστάσεων αλλά και στην ευρύτερη περιοχή [15].

2.4.3 Υδρογεωλογικές λεκάνες

Υδρογεωλογική λεκάνη ενός ποταμού ονομάζεται το τμήμα εκείνο της επιφάνειας του εδάφους πάνω στο οποίο τα νερά που ρέουν επιφανειακά φέρονται με το υδρογραφικό δίκτυο στην κοίτη του ποταμού, ο οποίος τα οδηγεί στη θάλασσα απευθείας ή μέσω άλλου ποταμού, του οποίου είναι παραπόταμος. Επιπλέον, η οριακή γραμμή μιας λεκάνης απορροής λέγεται υδροκριτική γραμμή (υδροκρίτης) και αντιστοιχεί στην κορυφογραμμή εκείνη εκατέρωθεν της οποίας τα επιφανειακά νερά κατευθύνονται προς διαφορετικές λεκάνες απορροή [3].

Οι υδρογεωλογικές λεκάνες των περιοχών στις οποίες δραστηριοποιείται ο Ελληνικός Χρυσός εμφανίζονται στην Εικόνα 7 με τους κωδικούς των ποταμών ξεχωριστά καθώς και με επιπλέον δεδομένα που χαρακτηρίζουν τα αντίστοιχα υδατικά συστήματα.

Κωδικός ποτάμιου υδατικού συστήματος	Ονομασία ποτάμιου υδατικού συστήματος	Μήκος (km)	Λμηση λεκάνη απορροής (km ²)	Μέση ετήσια απορροή (hm ³)	Οικολογική κατάσταση	Χημική κατάσταση	Συνολική κατάσταση
EL1005R000100021N	Μαύρος Λάκος	5,57	47,38	7,5	Καλή	Άγνωστη	Άγνωστη
EL1005R000300022N	Μπασδέκης	3,74	29,83	4,73	Μέτρια	Άγνωστη	Άγνωστη
EL1005R000500023N	Ασπρόλακος	9,79	92,27	16,73	Καλή	Άγνωστη	Άγνωστη
EL1005R000700024N	Πετρένιο	9,55	50,74	6,34	Καλή	Καλή	Καλή
EL1005R003106051N	Ξινονέρι	10,19	65,51	12,14	Καλή	Καλή	Καλή
EL1005R003108052N	Χαβρίας	10,18	29,3	5,44	Καλή	Καλή	Καλή
EL1005R003111047N	Χαβρίας	8,29	69,73	12,93	Καλή	Καλή	Καλή
EL1005R003110053N	Χαβρίας	4,80	14,34	2,66	Καλή	Καλή	Καλή
EL1005R003109046N	Χαβρίας	3,67	5,68	15,59	Καλή	Καλή	Καλή
EL1005R003107045N	Χαβρίας	11,51	28,13	26,25	Μέτρια	Καλή	Μέτρια
EL1005R000206216N	Χολομώντας	10,38	46,44	4,6	Καλή	Καλή	Καλή
EL1005R000206115N	Βαρβάρας Ρ.	19,44	72,83	7,21	Καλή	Καλή	Καλή
EL1005R000204011N	Ασπρόπετρα	8,94	45,74	4,53	Καλή	Καλή	Καλή
EL1005R000206014N	Κουτσικαρλή Ρ.	8,82	33,29	3,29	Καλή	Καλή	Καλή

Εικόνα 7: Ποτάμια υδατικού συστήματος Προγράμματος Παρακολούθησης Ελληνικού Χρυσού [16]

3 Πρόγραμμα Hydrognomon

3.1 Λειτουργία προγράμματος Hydrognomon

Στο πρόγραμμα Hydrognomon κάθε χρονοσειρά απεικονίζεται σαν στήλη με ημ/ες και τιμές. Πολλές χρονοσειρές μπορούν να απεικονιστούν κάθε φορά σε πολλαπλές στήλες. Κάθε χρονοσειρά μπορεί να εγγραφεί σε αρχείο ώστε να ανακτηθεί αργότερα ή να μεταφερθεί σε άλλο υπολογιστή ή να «ανέβει» σε κάποια βάση δεδομένων.

Υπάρχουν 3 τύποι δεδομένων: ο πρωτογενής, τα επεξεργασμένα και τα συνθετικά όπως αναλύεται στη συνέχεια [6].

- Τα πρωτογενή δεδομένα είναι αυτά που οι μετρήσεις τους είναι αυτούσιες όπως και αυτές που χρησιμοποιήθηκαν χωρίς να υποστούν καμία επεξεργασία, είτε αυτές γίνονται με συμβατικές μεθόδους είτε τηλεμετρικά – πλήρως αυτοματοποιημένα. Τα πρωτογενή δεδομένα ελέγχονται ως προς την συνέπειά τους και στην συνέχεια ανάγονται σε χρονοσειρές σταθερού χρονικού βήματος προτού υποστούν περαιτέρω επεξεργασίες.
- Τα επεξεργασμένα δεδομένα είναι αυτά που τα Προϊόντα επεξεργασίας των πρωτογενών δεδομένων, π.χ. συναθροισμένες χρονοσειρές, μέσες τιμές, χρονοσειρές από συμπλήρωση και αποκατάσταση της ομοιογένειας, κ.α. ή χρονοσειρές που προκύπτουν μέσω σύνθετων επεξεργασιών όπως από μοντέλα εκτίμησης της εξατμοδιαπνοής ή από υδατικά ισοζύγια.
- Τα συνθετικά δεδομένα αναφέρονται είτε σε χρονοσειρές πρόγνωσης, δηλαδή σε τιμές ενός μεγέθους που αναφέρονται σε περιόδους που δεν υπάρχουν μετρήσεις.

3.1.1 Στατιστική επεξεργασία και ανάλυση χρονοσειρών –Πυθία

Μέσω της επιλογής Πυθία παρέχονται δυνατότητες στατιστικής ανάλυσης σε δείγματα που δημιουργούνται από τα δεδομένα χρονοσειρών. Ο χρήστης μπορεί στη συνέχεια να εκτιμήσει τα στατιστικά χαρακτηριστικά του δείγματος, να προσαρμόσει στατιστικές κατανομές και να πραγματοποιήσει στατιστικές προβλέψεις. Η ανάλυση γίνεται σε χρονοσειρές με μηνιαίο ή ετήσιο βήμα. Στην περίπτωση των μηνιαίων χρονοσειρών, το δείγμα χωρίζεται σε δώδεκα επιμέρους δείγματα, ένα για κάθε μήνα.

Η ανάλυση των χρονοσειρών μέσω στατιστικών μεθόδων προσελκύει τόσο θεωρητικό όσο και πρακτικό ενδιαφέρον, καθώς επιδιώκει να απαντήσει σε ερωτήματα σχετικά με τις τιμές ενός φυσικού μεγέθους που μπορούν να παρατηρηθούν με την πάροδο του χρόνου. Σε περιπτώσεις όπου διαθέτουμε ένα φυσικό μοντέλο με λίγες παραμέτρους, η απάντηση μπορεί να προκύψει μέσω των ιδιοτήτων του συστήματος. Ωστόσο, συχνά, τα φυσικά συστήματα είναι περίπλοκα με ασαφείς μηχανισμούς, και έτσι η απάντηση προέρχεται μέσω στατιστικής ανάλυσης, εξετάζοντας τη συμπεριφορά του συστήματος κατά το παρελθόν μέσω διαθέσιμων μετρήσεων.

Η μεθοδολογία της στατιστικής ανάλυσης περιλαμβάνει τα εξής βήματα:

- Εύρεση των τυπικών στατιστικών χαρακτηριστικών του δείγματος, δηλαδή του μέτρου της θέσης (μέσω της μέσης τιμής), της διακύμανσης (μέσω της τυπικής απόκλισης – διακύμανσης ή μεταβλητότητας) καθώς και της μορφής (ασυμμετρία και κύρτωση) της τοποθέτησης των τιμών.

- Χρησιμοποιώντας τα τυπικά στατιστικά χαρακτηριστικά προσαρμόζονται θεωρητικά μοντέλα στατιστικών κατανομών. Με αυτά τα μοντέλα μας δίνεται η δυνατότητα στατιστικής πρόγνωσης πέρα από τα όρια των μετρήσεων καθώς και η πιθανοτική προσέγγιση στα όρια διακύμανσης των φυσικών μεγεθών.
- Έλεγχος της καταλληλότητας των θεωρητικών κατανομών για την περιγραφή των ιδιοτήτων του πληθυσμού. Εξέταση προσαρμογής της θεωρητικής κατανομής σε εμπειρικές κατανομές, εκτέλεση στατιστικών δοκιμών.

Χρήση των θεωρητικών κατανομών για διαδικασίες στοχαστικής προσομοίωσης (με χρήση γεννητριών τυχαίων αριθμών των συγκεκριμένων κατανομών). Εφαρμογή στην εκτίμηση των διαστημάτων εμπιστοσύνης των συναρτήσεων κατανομής ή στην γένεση συνθετικών χρονοσειρών.

Όσον αφορά την χρήση συγκεκριμένων τύπων κατανομών χρησιμοποιήθηκε η κατανομή Γάμμα εφαρμόζοντας σε μεγέθη που παρουσιάζουν θετική ασυμμετρία. Συνολικά, η στατιστική επεξεργασία των χρονοσειρών απαιτεί προσεκτική ανάλυση και επιλογή κατανομών που ταιριάζουν με τα δεδομένα και τις απαιτήσεις της εφαρμογής [6]

3.1.2 Υπολογισμοί συναρτήσεων κατανομής

Οι υπολογισμοί των συναρτήσεων κατανομής καθώς και των αντιστρόφων συναρτήσεων κατανομής διακρίνονται σε:

- Υπολογισμός με μαθηματικές σχέσεις που έχουν κλειστή μορφή, και
- Υπολογισμός με προσεγγίσεις της αριθμητικής ανάλυσης.

Οι υπολογισμοί των συναρτήσεων κατανομής βασίζονται σε αριθμητικές προσεγγίσεις ενώ οι υπολογισμοί στις υπόλοιπες κατανομές γίνονται με σχέσεις κλειστής μορφής.

Στην συνέχεια, η πιθανότητα υπέρβασης υπολογίζεται από την συνάρτηση κατανομής με την χρήση της σχέσης :

$$F_1(x) = 1 - F(x)$$

Εφόσον το δείγμα το οποίο εξετάζεται αποτελείται από τιμές με τακτικά χρονικά διαστήματα δειγματοληψίας, η πιθανότητα υπέρβασης μπορεί να εκφραστεί με την τιμή της συχνότητας παρουσίας της τυχαίας μεταβλητής x ως:

$$T = 1/F_1(x)$$

Το μέγεθος T καλείται περίοδος επαναφοράς, αν η περίοδος δειγματοληψίας είναι το έτος τότε και η περίοδος επαναφοράς είναι εκφρασμένη σε έτη, αφορά δε την συχνότητα υπέρβασης του μεγέθους x . Η περίοδος επαναφοράς T παρουσιάζεται στον «Υδρογνώμων» για λόγους διάκρισης και ως $T(\max)$ καθώς είναι δυνατό να εκφραστεί και η συχνότητα μη-υπέρβασης ενός μεγέθους ως:

$$T(\min) = 1/F(x) = [1 - 1/T(\max)]^{-1}$$

3.1.3 Στατιστικός Έλεγχος t-test

Ο στατιστικός έλεγχος t-test, είναι οποιαδήποτε στατιστική δοκιμασία υποθέσεων, η οποία χρησιμοποιείται για ποσοτικά δεδομένα, όταν θέλουμε να συγκρίνουμε δύο μέσες τιμές, που προέρχονται από δύο ανεξάρτητους πληθυσμούς (ομάδες). Ένα test, δείχνει πόσο σημαντικές είναι οι διαφορές μεταξύ των ομάδων. Με άλλα λόγια, ενημερώνει εάν αυτές οι διαφορές (μετρούμενες σε μέσους όρους), θα μπορούσαν να συμβούν τυχαία.

Στη στατιστική, το t-statistic είναι η αναλογία της απόκλισης της εκτιμώμενης τιμής μιας παραμέτρου, από την υποτιθέμενη αξία στο τυπικό σφάλμα. Χρησιμοποιείται στη δοκιμή υποθέσεων μέσω του t-test. Σε μια γραμμική παλινδρόμηση, το t-statistic είναι χρήσιμο για την διεξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τους συντελεστές παλινδρόμησης. Ο έλεγχος υποθέσεων που πραγματοποιείται στη συγκεκριμένη έρευνα, εξετάζει τη κλίση της γραμμικής παλινδρόμησης του μοντέλου :

$$Y = \alpha + \beta x$$

όπου, το x αντιστοιχεί στις βροχοπτώσεις της Κρήτης που εξετάζουμε, α και β είναι άγνωστοι και Y είναι το αποτέλεσμα για το οποίο ενδιαφερόμαστε. Αυτό που θέλουμε, είναι να εξετάσουμε τη μηδενική υπόθεση H_0 , για την οποία η κλίση β ισούται με μια καθορισμένη τιμή β_0 (συνήα θεωρείται ότι είναι ίση με το μηδέν, οπότε η μηδενική υπόθεση είναι ότι τα x και Y δεν συνδέονται). Η σχέση του ελέγχου t-statistic δίνεται ως εξής:

$$t = \frac{\hat{\beta} - \beta_0}{SE_{\hat{\beta}}}$$

και $SE_{\hat{\beta}}$ αντιστοιχεί στο τυπικό σφάλμα του εκτιμώμενου συντελεστή β [10]

3.1.4 Ο έλεγχος Kolmogorov-Smirnov

Κατά τον έλεγχο Kolmogorov-Smirnov, ελέγχεται η μέγιστη διαφορά μεταξύ της θεωρητικής και της εμπειρικής συνάρτησης κατανομής ως εξής: για κάθε τιμή x_i από το δείγμα υπολογίζεται η ποσότητα:

$$D_i = |F_0(x_i) - F(x_i)|$$

όπου F_0 η εμπειρική και F η θεωρητική συνάρτηση κατανομής. Ως εμπειρική συνάρτηση κατανομής θα χρησιμοποιούμε την εμπειρική κατανομή του Weibull. Τελικά υπολογίζεται η παράμετρος D_{max} ως η μέγιστη τιμή D_i :

$$D_{max} = \max(D_i)$$

Η τιμή D_{max} συγκρίνεται με μία κρίσιμη τιμή D_{cr} σύμφωνα και με το επιθυμητό επίπεδο σημαντικότητας α . Η υπόθεση H_0 απορρίπτεται αν:

$$D_{max} > D_{cr}$$

Υπολογιστικά αυτό θα αντιμετωπίζεται αντίστροφα, δηλαδή για δεδομένο D_{max} του δείγματος και της θεωρητικής συνάρτησης κατανομής που έχει προσαρμοστεί, θα υπολογίζεται

το επίπεδο σημαντικότητας Kolmogorov-Smirnov a_D . Αν το υπολογισμένο επίπεδο σημαντικότητας a_D είναι μικρότερο από το επιθυμητό α τότε η απορρίπτουμε την υπόθεση H_0 .

Το επίπεδο σημαντικότητας υπολογίζεται από την σχέση

$$a_D = 1 - L(z)$$

όπου:

$$L(z) = \frac{\sqrt{2\pi}}{z} \sum_{k=1}^{\infty} e^{-\frac{\sqrt{(2k-1)\pi}}{z}} \text{ αν } 0,3 \leq z \leq 8,5$$

$$L(z) = 0 \text{ αν } z < 0,3 \text{ και } L(z) = 1 \text{ αν } z > 8,5$$

Για τους φθίνοντες όρους της απειροσειράς που δίνουν το $L(z)$ σταματάμε τον υπολογισμό περαιτέρω όρων όταν γίνουν μικρότεροι από ένα επίπεδο ακρίβειας ϵ . Στον «Υδρογνώμων» θέτουμε αυτό το επίπεδο ακρίβειας στην τιμή $\epsilon=10^{-12}$. Η παράμετρος z μπορεί να υπολογιστεί από την σχέση:

$$z = D_{max} \sqrt{n} + c$$

όπου n το μέγεθος του δείγματος. Ο διορθωτικός όρος c εισάγεται όταν το δείγμα είναι μικρότερο από 50:

$$c = \begin{cases} \frac{50 - n}{500}, & n < 50 \\ 0, & n \geq 50 \end{cases}$$

3.1.5 Κατανομή Γάμμα

Οι υπολογισμοί της κατανομής Γάμμα βασίζονται σε αριθμητικές προσεγγίσεις. Η συνάρτηση Γάμμα ορίζεται από την σχέση :

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} e^{-y} y^{\alpha-1} dy \quad \alpha > 0$$

όταν $\alpha=n$ (ακέραιος)

$$\Gamma(1)=1 \quad \Gamma(1/2)=\sqrt{\pi} \quad \Gamma(\alpha+1)=\alpha\Gamma(\alpha)$$

$$\Gamma(n+1)=n! \quad \Gamma(n+\frac{1}{2})=(n-\frac{1}{2})(n-\frac{3}{2}) \dots \frac{3}{2}\sqrt{\pi} \quad n=1,2,\dots$$

Οι παραπάνω ιδιότητες είναι ιδιαίτερα χρήσιμες για τον υπολογισμό καθώς:

- ο Μπορούμε να υπολογίσουμε την τιμή του παραγοντικού για τις περιπτώσεις ακέραιου ορίσματος
- ο Μέσω της ιδιότητας $\Gamma(\alpha+1) = \alpha\Gamma(\alpha)$, μπορούμε να ανάγουμε κάθε υπολογισμό σε γινόμενα ακεραίων με την προσέγγιση της $\Gamma(\alpha)$ για $\alpha < 1$ όπου 1 κάποιο πραγματικό όριο πέρα του οποίου έχουμε ικανοποιητική προσέγγιση της $\Gamma(\alpha)$.

Ορισμός: Η συνεχής τυχαία μεταβλητή X ακολουθεί την κατανομή Γάμμα με παραμέτρους (α, θ) συμβολίζεται με $X \sim \gamma(x; \alpha, \theta)$, αν

$$f(x) = \frac{1}{\Gamma(\kappa)\theta^\alpha} e^{-x/\theta} x^{\kappa-1} = \frac{\lambda^\kappa}{\Gamma(\kappa)} e^{-\lambda t} t^{\kappa-1} \quad 0 \leq t < \infty, \kappa > 0, t < 0$$

Επίσης, η παράμετρος θ της κατανομής Γάμμα ονομάζεται και παράμετρος κλίμακας (scale parameter) γιατί τιμές της διάφορες του 1 εκτείνουν ή συμπύκνουν την συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας κατά την διεύθυνση του άξονα των x .

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\lambda^\kappa}{\Gamma(\kappa)} e^{-\lambda t} t^{\kappa-1} dt = \frac{1}{\Gamma(\kappa)} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\lambda t} t^{\kappa-1} d(t) = \frac{\Gamma(\kappa)}{\Gamma(\kappa)} = 1$$

Αν X ακολουθεί την κατανομή Γάμμα με παραμέτρους α και θ , τότε [6]:

$$E(X) = \alpha, \quad \Delta(X) = \kappa\theta^2$$

3.1.6 Αναλυτική εξίσωση σημειακής εκτιμήσεως ομβρίων καμπυλών - Κλιμακόγραμμα

Η διερεύνηση της ύπαρξης μακροπρόθεσμης εμμονής μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους όπως με την χρήση της αυτοσυνδιασποράς, του φάσματος ισχύος και του κλιμακογράμματος. Το κλιμακόγραμμα (Koutsoyiannis, 2013[11]) είναι ένα στοχαστικό εργαλείο που χρησιμοποιείται για να διακρίνει την μακροπρόθεσμη εμμονή και συσχετίζει την διασπορά (ή τυπική απόκλιση) του μέσου όρου της ανέλιξης (υποθέτοντας στασιμότητα) με τον μέσο όρο της κλίμακας του χρόνου. Με αυτό τον τρόπο μπορούμε να ποσοτικοποιήσουμε τον συντελεστή Hurst ο οποίος ισούται με το μισό της κλίσης του κλιμακογράμματος σε log-log διάγραμμα, με την κλίμακα να τείνει στο άπειρο, προσθέτοντας 1.

Το κλιμακόγραμμα χρησιμοποιείται για την έκφραση της διασποράς στις διάφορες κλίμακες. Η ύπαρξη μεγάλης μεροληψίας στην εκτίμηση της αυτοσυνδιασποράς και του φάσματος ισχύος, όπως επίσης οι επιπτώσεις της διαδικασίας διακριτοποίησης και η επίδραση του πεπερασμένου μεγέθους δεδομένων, είναι λόγοι που δεν χρησιμοποιούνται αυτές οι τεχνικές για να χτίσεις ένα στοχαστικό μοντέλο. Συγκρίνοντας λοιπόν του τρεις τρόπους φαίνεται πως το κλιμακόγραμμα ως στοχαστικό εργαλείο έχει το μικρότερο μέσο τετραγωνικό σφάλμα (mean squared error), άρα και μικρότερη αβεβαιότητα, και είναι πιο κοντά στην πιο πιθανή τιμή του (Dimitriadis and Koutsoyiannis, 2018 [12]).

Κλιμακόγραμμα	
Συνεχής χρόνος	$\gamma(m) := \frac{Var \left[\int_t^{t+m} \underline{x}(\xi) d\xi \right]}{m^2} = \frac{Var \left[\int_0^m \underline{x}(\xi) d\xi \right]}{m^2}$ όπου $m \in \mathbb{R}^+$
Διακριτός χρόνος	$\gamma_d^{(A)}(k) := \frac{Var \left[\sum_{l=k(i-1)+1}^{ki} \underline{x}_l^{(A)} \right]}{k^2} = \frac{Var \left[\sum_{l=1}^k \underline{x}_l^{(A)} \right]}{k^2} = \gamma(kD)$ όπου $k \in \mathbb{N}$ είναι η αδιάστατη κλίμακα για μια ανέλιξη σε διακριτό χρόνο
Κλασική εκτιμήτρια	$\underline{\gamma}(k) = \frac{1}{n/k - 1} \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{k} \left(\sum_{l=k(i-1)+1}^{ki} \underline{x}_l^{(A)} \right) - \frac{\sum_{l=1}^n \underline{x}_l^{(A)}}{n/k} \right)^2$
Αναμένουσα τιμή της κλασικής εκτιμήτριας	$E \left[\underline{\gamma}_d^{(A)}(k) \right] = \frac{1 - \gamma_d^{(A)}(n)/\gamma_d^{(A)}(k)}{1 - k/n} \gamma_d^{(A)}(k)$
HK ανέλιξη	$\gamma(k) = \frac{\lambda}{k^{2-2H}}$ όπου λ είναι η θεωρητική διασπορά της ανέλιξης
Markov ανέλιξη	$\gamma(k) = \frac{2\lambda}{(k/q)^2} (k/q + e^{-k/q} - 1)$ με $\gamma(0) = \lambda$

Υποθέτοντας ότι έχουμε $n = T/k$ παρατηρήσεις της (μέσης) συναθροισμένης ανέλιξης στην κλίμακα $k = \kappa D$, $\underline{x}^{(k)}$, όπου $T := [T_0/k]k$ η περίοδος παρατηρήσεων στρογγυλοποιημένη σε ένα ακέραιο πολλαπλάσιο της κλίμακας k , με $[\]$ να δηλώνει την στρογγυλοποίηση και T_0 την περίοδο παρατηρήσεων. Η (αμερόληπτη) εκτιμήτρια της μέσης τιμής της ανέλιξης σε διακριτό χρόνο $\underline{x}^{(k)}$ είναι:

$$\bar{\underline{x}}^{(k)} := \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \underline{x}_i^{(D)} = \frac{\underline{X}(T)}{nD} = \frac{\underline{X}(T)}{T} = \underline{x}_1^{(T)}$$

Η κλασική εκτιμήτρια (αλλά μεροληπτική εκτός από τον λευκό θόρυβο) $\underline{\gamma}^{(k)}$ της διασποράς $\gamma^{(k)}$ της μέσης ανέλιξης (averaged process) $\underline{x}^{(k)}$ είναι:

$$\hat{\underline{\gamma}}(k) := \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left(\underline{x}_i^{(k)} - \bar{\underline{x}}^{(k)} \right)^2 = \frac{1}{T/D - 1} \sum_{i=1}^{T/D} \left(\underline{x}_i^{(k)} - \bar{\underline{x}}^{(k)} \right)^2$$

Η παρακάτω γενική εξίσωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εκτιμήσουμε την μεροληψία της $\underline{\gamma}^{(D)}$

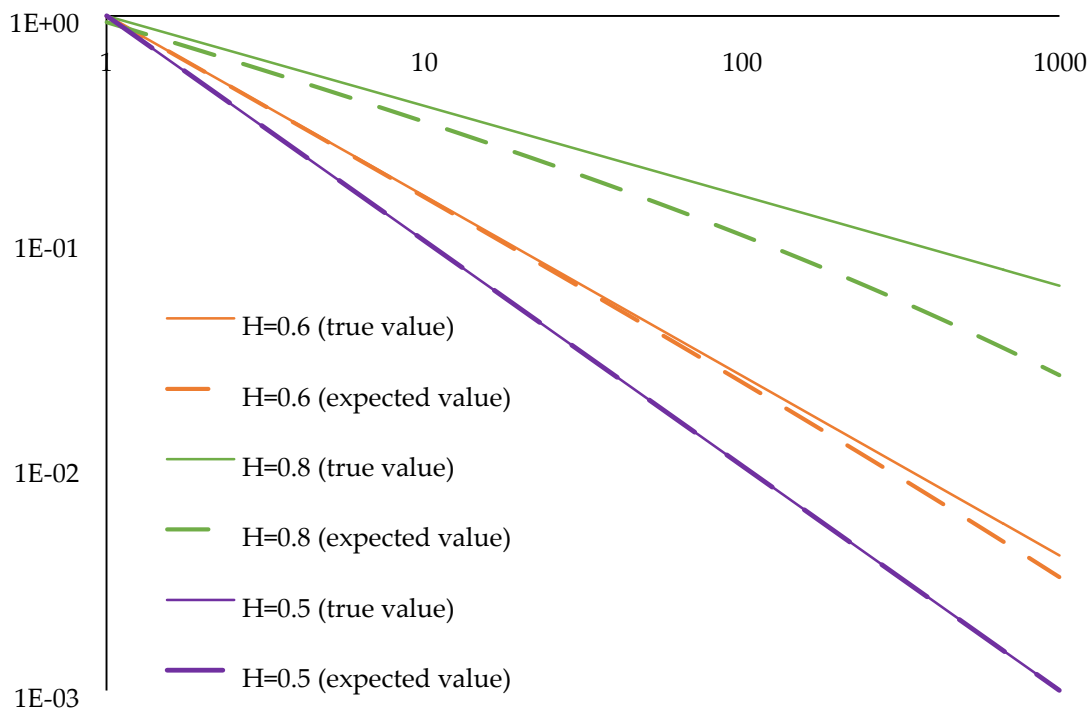
$$E \left[\hat{\underline{\gamma}}(k) \right] = \frac{1}{1 - 1/n} \left(Var \left[\underline{x}_i^{(k)} \right] - Var \left[\bar{\underline{x}}^{(k)} \right] \right)$$

$$E \left[\hat{\underline{\gamma}}(k) \right] = \frac{1}{1 - k/T} (\gamma(k) - \gamma(T))$$

Ενώ στην κλασική στατιστική ισχύει ότι $\sigma^{(k)} = \sigma/\sqrt{k}$ στις χρονοσειρές που παρουσιάζουν μακροπρόθεσμη εμμονή παρατηρείται ότι (Koutsoyiannis, 2002):

$$\sigma^{(k)} = \frac{\sigma}{k^{1-H}}$$

Γνωρίζουμε από την κλασική στατιστική ότι για μια ανέλιξη ανεξάρτητη στο χρόνο (λευκός θόρυβος) ισχύει $\sigma^{(k)} = \sigma/\sqrt{k}$ που σημαίνει κλίση $1/2$ στο κλιμακόγραμμα. Θετικά αυτοσυσχετισμένες ανελίξεις αποφέρουν μεγαλύτερη $\sigma^{(k)}$ και πιθανώς μικρότερες κλίσεις στο κλιμακόγραμμα.



Εικόνα 8: Η απόκλιση της αναμενόμενης τιμής από την πραγματική τιμή του κλιμακογράμματος για διάφορες παραμέτρους H .

Στην Εικόνα 8 παρατηρούμε ότι η αναμενόμενη τιμή του κλιμακογράμματος είναι διαφορετική σε περιπτώσεις με συντελεστή Hurst μεγαλύτερο από 0.5. Μόνο στην περίπτωση λευκού θορύβου ($H = 0.5$) το κλιμακόγραμμα είναι αμερόληπτο (μηδενική αυτοσυσχέτιση). Πολλές φορές στην στοχαστική προσομοίωση χρησιμοποιούμε την αναμενόμενη τιμή μιας ανέλιξης χωρίς να παίρνουμε υπόψιν μας ότι αυτή είναι διαφορετική από την πραγματική. Αυτή η διαφορά οφείλεται στο γεγονός ότι δεν μπορούμε να έχουμε χρονοσειρές άπειρου μήκους ή, ισοδύναμα, άπειρες χρονοσειρές πεπερασμένου μήκους.

3.2 Βάση Δεδομένων

Η τυποποίηση των δεδομένων πραγματοποιείται με τρόπο που να καλύπτει όλες τις ανάγκες που σχετίζονται με τη μέτρηση και αποθήκευση των πρωτογενών δεδομένων, την εξαγωγή επεξεργασμένων δεδομένων και κλιματικών χαρακτηριστικών, τη δημιουργία συνθετικών χρονοσειρών, την κατάρτιση υδατικών ισοζυγίων και άλλα. Το βασικό χαρακτηριστικό βάσει του οποίου γίνεται η τυποποίηση είναι το χρονικό βήμα των χρονοσειρών,

δηλαδή η χρονική κλίμακα παρατήρησης. Η βάση δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε στο πρόγραμμα Hydrognomon 4 είναι τα βροχομετρικά δεδομένα του σταθμού OMS11 τα οποία είναι ακριβώς τα ίδια με αυτά του Wetbud (ενότητα 4.2) όπως φαίνεται στην Εικόνα 9.

	rain (mm)
2015/01/01 00:00	0,00
2015/01/02 00:00	0,00
2015/01/03 00:00	0,00
2015/01/04 00:00	0,00
2015/01/05 00:00	0,00
2015/01/06 00:00	0,00
2015/01/07 00:00	0,00
2015/01/08 00:00	0,00
2015/01/09 00:00	0,00
2015/01/10 00:00	0,00
2015/01/11 00:00	0,00
2015/01/12 00:00	1,40
2015/01/13 00:00	0,00
2015/01/14 00:00	0,00
2022/12/17 00:00	0,00
2022/12/18 00:00	7,20
2022/12/19 00:00	0,20
2022/12/20 00:00	0,00
2022/12/21 00:00	0,00
2022/12/22 00:00	0,00
2022/12/23 00:00	0,00
2022/12/24 00:00	0,00
2022/12/25 00:00	0,00
2022/12/26 00:00	0,00
2022/12/27 00:00	0,00
2022/12/28 00:00	0,00
2022/12/29 00:00	0,00
2022/12/30 00:00	0,00
2022/12/31 00:00	0,00

Εικόνα 9: Απεικόνιση βάσης δεδομένων στο υπολογιστικό πρόγραμμα Hydrognomon 4

3.3 Αποτελέσματα και σχολιασμός

Τα διαγράμματα που αποτυπώνονται από το Hydrognomon είναι αυτά του κληματογράμματος και διαγράμματα cumulative distribution function (αθροιστική κατανομή πιθανότητας).

Το κλιμακόγραμμα είναι ένα διάγραμμα που απεικονίζει τη σχέση της διακύμανσης μιας χρονοσειράς σε διαφορετικές χρονικές κλίμακες. Αυτό είναι χρήσιμο για τη μελέτη της μακροπρόθεσμης εμμονής και της κλίμακας αυτοσυσχέτισης σε χρονοσειρές, όπως τα υδρολογικά δεδομένα.

Τα διαγράμματα cumulative distribution function (αθροιστική κατανομή πιθανότητας) προερχόμενα από την συνάρτηση αθροιστικής κατανομής πιθανότητας. Ο άξονας x αντιπροσωπεύει την τιμή της βροχόπτωσης σε μια κλίμακα κανονικής κατανομής (normal distribution scale). Οι τιμές στην οριζόντια γραμμή δείχνουν πόσες τυπικές αποκλίσεις (standard deviations) απέχουν τα δεδομένα από τον μέσο όρο. Ο άξονας y αντιπροσωπεύει την τιμή της βροχόπτωσης σε χιλιοστά (mm), τα μπλε σημεία είναι οι τιμές των βροχοπτώσεων και η μωβ γραμμή αντιπροσωπεύει την κατανομή Γάμμα.

Οι εμπειρικές συναρτήσεις κατανομής μας δίνουν την δυνατότητα να εκτιμήσουμε την συνάρτηση κατανομής (πιθανότητα μη-υπέρβασης) για κάθε τιμή του δείγματος χωρίς την χρήση κάποιου θεωρητικού μοντέλου. Μέσω της εκτίμησής της έχουμε στην συνέχεια την δυνατότητα ελέγχου της προσαρμογής κάποιας θεωρητικής συνάρτησης κατανομής στο δείγμα. Ο Hydrognoomon παρέχει την δυνατότητα εκτίμησης των εμπειρικών κατανομών κατά Weibull η οποία έχει την απλούστερη σχέση και είναι γνωστή ως αμερόληπτη ως προς την πιθανότητα υπέρβασης στη θέση σχεδίασης. Αν $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ οι τιμές του δείγματος, ορίζουμε μία ακολουθία που προκύπτει αν ταξινομηθεί το δείγμα σε αύξουσα αριθμητική σειρά τέτοια ώστε: $X_{(1)}, X_{(2)}, X_{(3)}, \dots, X_{(n)}$ και $X_{(1)} \leq X_{(2)} \leq X_{(3)} \leq \dots \leq X_{(n)}$.

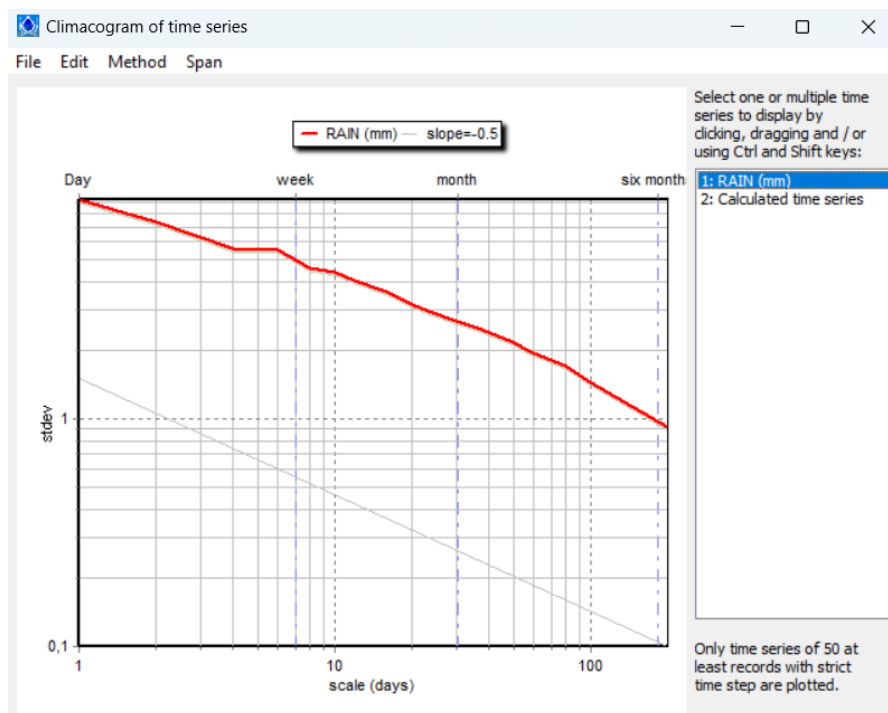
Τότε η πιθανότητα μη υπέρβασης (συνάρτηση κατανομής) για κάθε τιμή $X(i)$ μπορεί να εκφραστεί με μία συνάρτηση f της μορφής: $F(X_{(i)}) = q_i = f(i, n)$

Η σχέση της εμπειρικής συνάρτησης κατανομής Weibull είναι [6]:

$$q_i = \frac{i}{n + 1}$$

- i είναι η τάξη ή σειρά του παρατηρούμενου δεδομένου, δηλαδή η θέση του δεδομένου όταν οι παρατηρήσεις ταξινομηθούν σε αύξουσα σειρά.
- n είναι το πλήθος των παρατηρήσεων, δηλαδή το συνολικό μέγεθος του δείγματος.
- q_i είναι η πιθανότητα ή το ποσοστό αθροιστικής πιθανότητας για την παρατήρηση στην τάξη i .

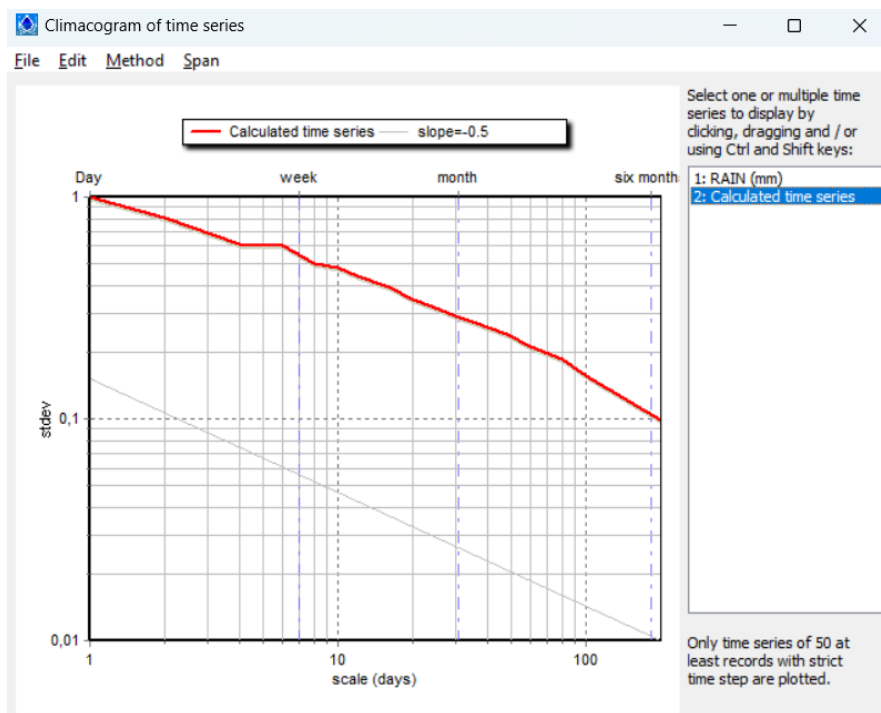
Το κλιμακόγραμμα που φαίνεται στην Εικόνα 10 παρουσιάζει την τυπική απόκλιση των δεδομένων βροχόπτωσης σε διαφορετικές χρονικές κλίμακες (ημέρες, εβδομάδες, μήνες). Η κλίση της καμπύλης είναι -0.5, κάτι που υποδηλώνει ότι τα δεδομένα εμφανίζουν μία αυτοσυσχέτιση και ενδέχεται να παρουσιάζουν κάποια εξομάλυνση με την πάροδο του χρόνου. Σε μακροχρόνιες κλίμακες, η καμπύλη δείχνει μια μείωση της διακύμανσης, κάτι που συνήθως συμβαίνει σε χρονοσειρές με μακροπρόθεσμη εμμονή, όπου μεγαλύτερες κλίμακες μειώνουν τη διασπορά των δεδομένων.



Εικόνα 10: Κλιμακόγραμμα βροχομετρικών δεδομένων

Το κλιμακόγραμμα που φαίνεται στην Εικόνα 11 εμφανίζει επίσης την τυπική απόκλιση, αλλά αυτή τη φορά των υπολογισμένων δεδομένων που προέρχονται από την ίδια χρονοσειρά. Η καμπύλη έχει την ίδια κλίση -0.5 , υποδηλώνοντας παρόμοια αυτοσυσχέτιση με τα βροχομετρικά δεδομένα. Η κλίση παραμένει ίδια με την πρώτη περίπτωση, γεγονός που υποδηλώνει ότι η υπολογισμένη χρονοσειρά ακολουθεί τις ίδιες τάσεις διακύμανσης και συσχέτισης με τα πρωτογενή βροχομετρικά δεδομένα.

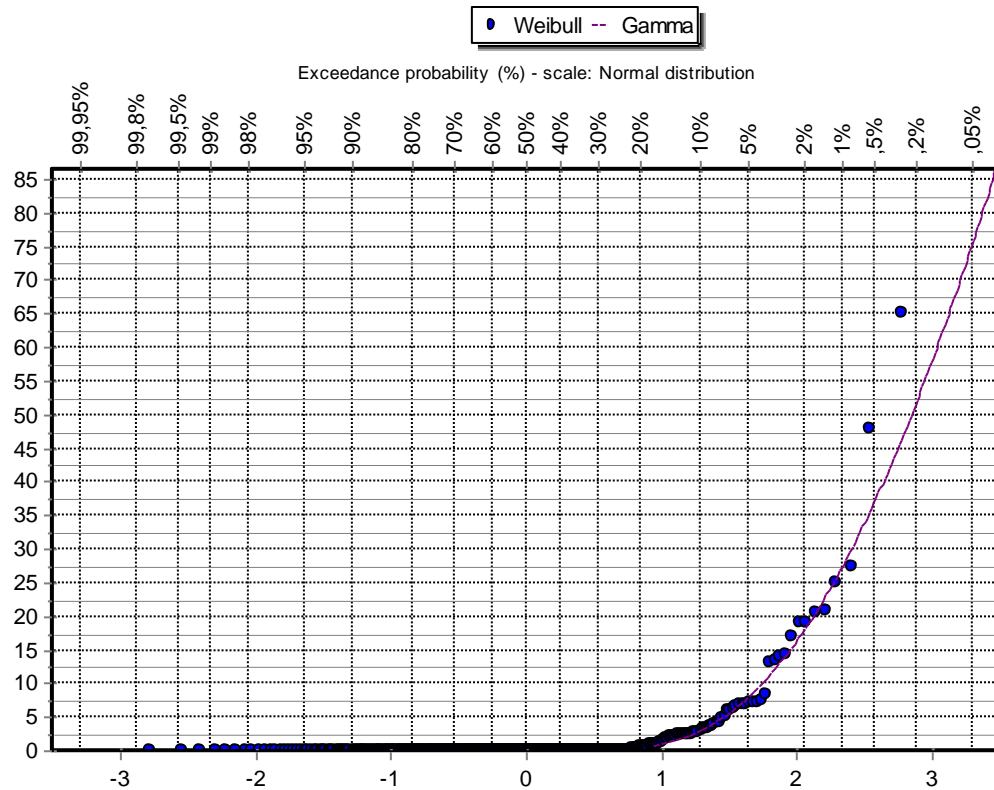
Η επιλογή των τριών σημαντικών ετών βασίζεται στην ανάλυση των κλιμακογραμμάτων, στα οποία καταδεικνύονται συγκεκριμένα μοτίβα αυτοσυσχέτισης και διακύμανσης σε διάφορες χρονικές κλίμακες. Χρησιμοποιώντας αυτά, έγιναν σοβαρές αλλαγές στην κλίση της καμπύλης, που υποδηλώνουν τις κατ' εξοχήν χρονικές περιόδους. Τα τρία σημαντικά ετήσια επίπεδα αντιπροσωπεύουν οι χρονικές στιγμές όπου τα δεδομένα εμφάνισαν σημαντικές τροποποιήσεις κλίμακας που τα καθιστούν σημαντικά για την περαιτέρω ανάλυση.



Εικόνα 11: Κλιμακόγραμμα τυπικής απόκλισης βροχομετρικών δεδομένων

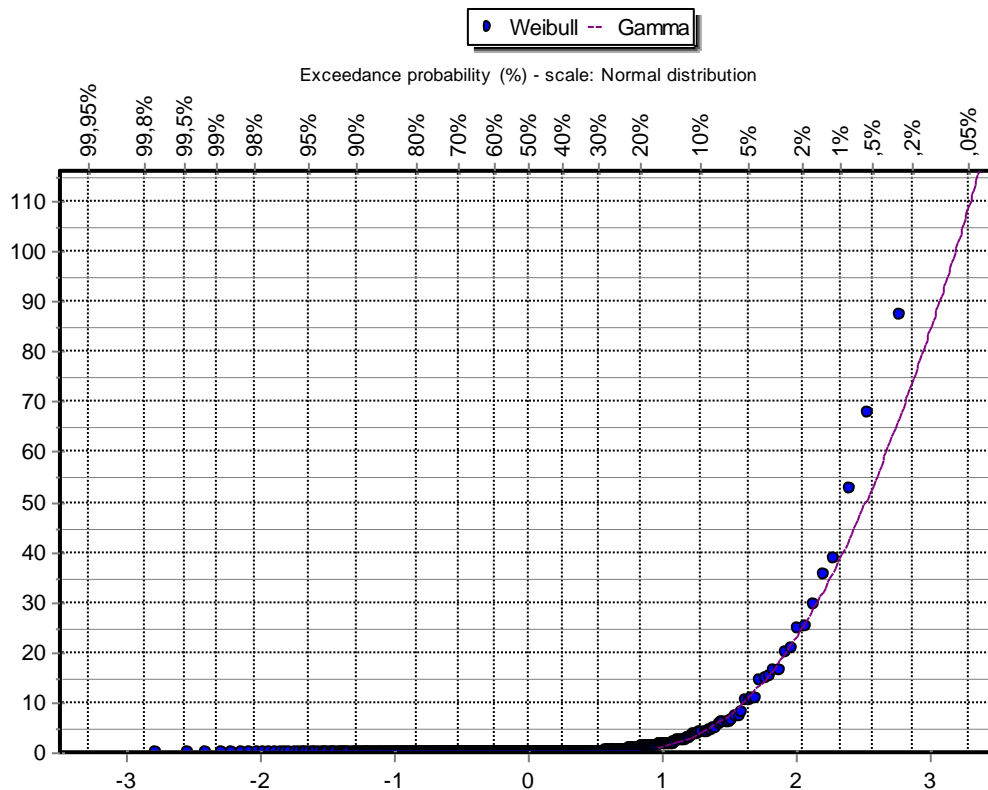
Βάση των δεδομένων που αποτυπωθήκαν παρατηρήθηκαν τρία σημαντικά έτη τα οποία φαίνονται να επηρεάζουν την μοντελοποίηση του υγροτόπου το οποίο προετοιμάζεται από το υπολογιστικό πρόγραμμα Wetbud. Τα τρία έτη ορίζονται ως Dry, Normal, και Wet για να ληφθούν υπόψη οι κλιματικές διακυμάνσεις και οι επιπτώσεις τους στον υδρολογικό κύκλο μιας περιοχής ή ενός συστήματος. Αυτά τα τρία έτη χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση και την καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας των υγροτόπων ή άλλων περιοχών που εξαρτώνται από το νερό.

Ως Dry year ορίστηκε το 2016 αντιπροσωπεύοντας μια χρονιά με λιγότερες βροχοπτώσεις ή μειωμένα επίπεδα νερού. Αυτό βοηθά στην ανάλυση της επίδρασης της ξηρασίας ή και την μείωση της υγρασίας μιας χρονιάς. Στο διάγραμμα που φαίνεται στην Εικόνα 12 διαπιστώνεται ότι τα δεδομένα της χρονιά 2016 ακολουθούν την κατανομή Γάμμα με παραμέτρους $k=0,0648$ και $\lambda=0,0471$. Σε εκείνη την χρονιά οι περισσότερες τιμές βροχόπτωσης είναι χαμηλές, με λίγες μόνο ακραίες τιμές που δείχνουν πολύ υψηλή βροχόπτωση.



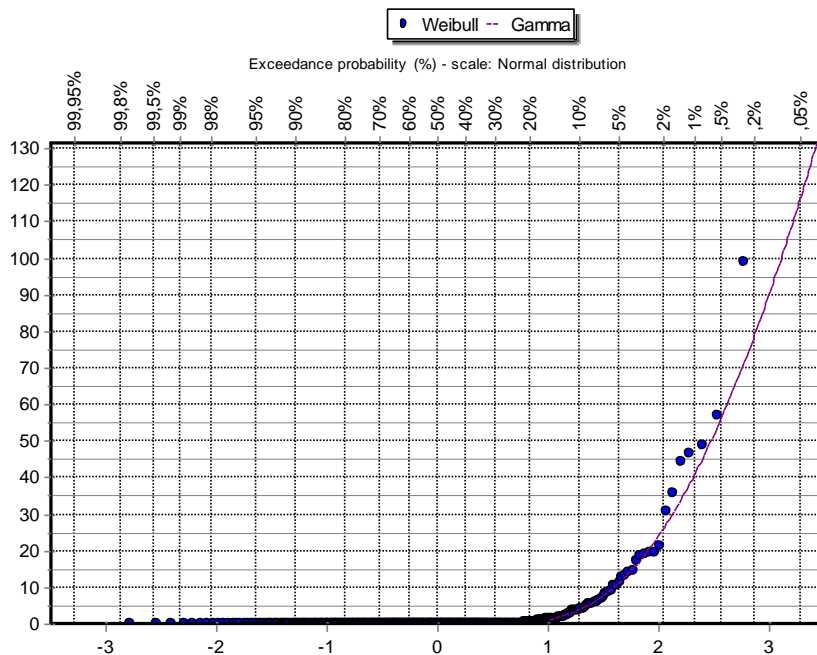
Εικόνα 12: Απεικόνιση βροχομετρικών μετρήσεων σε mm από τη βάση δεδομένων σε διάγραμμα συναρτήσεων κατανομής Γάμμα έτους 2016

Επιπρόσθετα ως Wet year ορίστηκε το 2018 αντιπροσωπεύοντας μια χρονιά με αυξημένες βροχοπτώσεις ή αυξημένα επίπεδα νερού. Με αυτό τον τρόπο μπορούν να εξεταστούν για να προβλεφθούν οι επιπτώσεις υπερβολικής υγρασίας ή πλημμυρών. Στο διάγραμμα που παρουσιάζεται στην Εικόνα 13 διαπιστώνεται ότι τα δεδομένα της χρονιά 2016 ακολουθούν την κατανομή Γάμμα με παραμέτρους $k=0,0611$ και $\lambda=0,6485$. Σε εκείνη την χρονιά οι περισσότερες τιμές βροχόπτωσης είναι χαμηλές, με λίγες μόνο ακραίες τιμές που δείχνουν πολύ υψηλή βροχόπτωση.



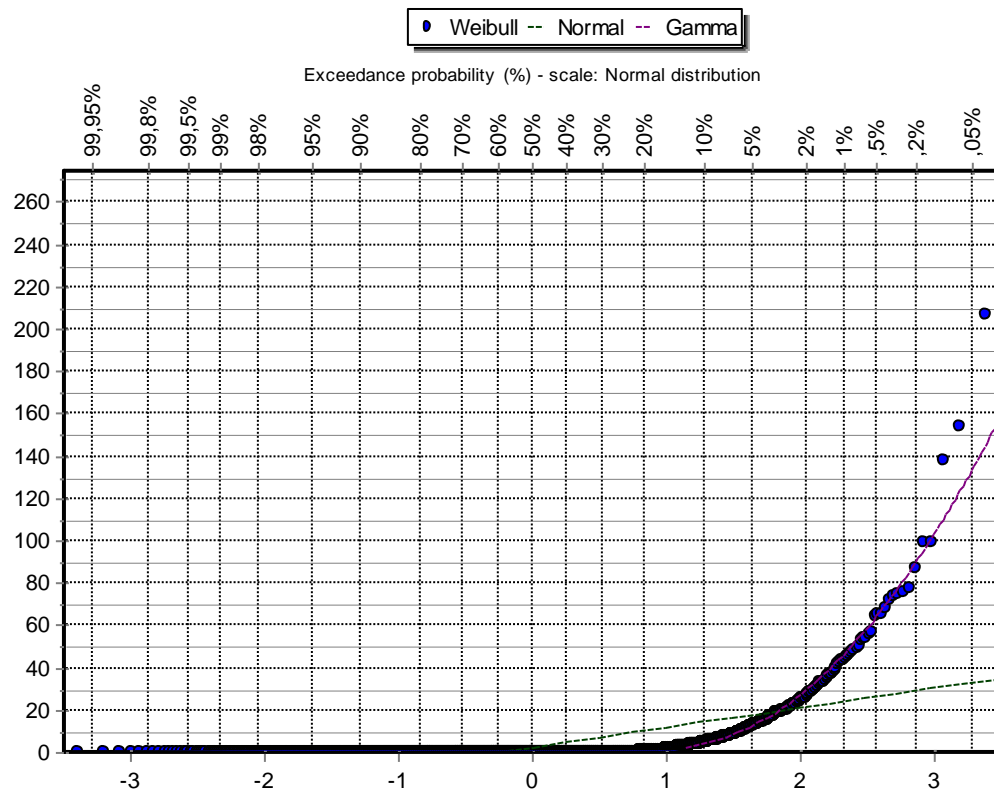
Εικόνα 13: Απεικόνιση βροχομετρικών μετρήσεων σε mm από τη βάση δεδομένων σε διάγραμμα συναρτήσεων κατανομής Γάμμα έτους 2018

Τέλος ως Normal year ορίστηκε η χρονιά 2022 αντιπροσωπεύοντας τις μέσες κλιματικές συνθήκες. Είναι το έτος αναφοράς που απεικονίζει τις τυπικές συνθήκες υδρολογίας της περιοχής. Στο διάγραμμα που παρουσιάζεται στην Εικόνα 14 διαπιστώνεται ότι τα δεδομένα της χρονιά 2022 ακολουθούν την κατανομή Γάμμα με παραμέτρους $k=0,0580$ και $\lambda=0,0295$. Σε εκείνη την χρονιά οι περισσότερες τιμές βροχόπτωσης είναι χαμηλές, με λίγες μόνο ακραίες τιμές που δείχνουν πολύ υψηλή βροχόπτωση.



Εικόνα 14: Απεικόνιση βροχομετρικών μετρήσεων σε mm από τη βάση δεδομένων σε διάγραμμα συναρτήσεων κατανομής Γάμμα έτους 2022

Στο διάγραμμα όλων των βροχομετρικών δεδομένων (Εικόνα 15) διαπιστώνεται ότι τα βροχωμετρικά δεδομένα ακολουθούν την κατανομή Γάμμα με παραμέτρους $k=0,0558$ και $\lambda=0,0255$. Σε εκείνη την χρονιά οι περισσότερες τιμές βροχόπτωσης είναι χαμηλές, με λίγες μόνο ακραίες τιμές που δείχνουν πολύ υψηλή βροχόπτωση.



Εικόνα 15: Απεικόνιση βροχομετρικών μετρήσεων σε mm από τη βάση δεδομένων σε διάγραμμα συναρτήσεων κατανομής Γάμμα όλων των δεδομένων

4 Πρόγραμμα Wetbud

4.1 Λειτουργία προγράμματος Wetbud

Το Wetbud είναι ένα εργαλείο που σχεδιάστηκε για την εκτίμηση των υδρολογικών προϋπολογισμών υγροτόπων χρησιμοποιώντας τα διαθέσιμα μετεωρολογικά δεδομένα και συγκεκριμένες πληροφορίες τοπογραφίας, εδάφους και υδρογεωλογίας του τόπου. Ο κύριος σκοπός του είναι η σχεδίαση και η δημιουργία υγροτόπων, αλλά μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για φυσικούς υγροτόπους με καθορισμένες παραμέτρους εισόδου. Το Wetbud προσφέρει δύο μοντέλα, το βασικό, που απλοποιεί την τοπογραφία του υγροτόπου, τις παραμέτρους του εδάφους και την ροή του υπόγειου νερού, και την προχωρημένη, που ενσωματώνει αυτούς τους παράγοντες με μια πιο περίπλοκη προσέγγιση [9].

Η βασική εξίσωση λειτουργίας του προγράμματος Wetbud είναι η εξής:

$$P + SI + GI + OB - ET - SO - GO = St$$

Όπου

- P οι κατακρημνίσεις
- SI οι εισροές επιφανειακών υδάτων
- GI οι εισροές υπόγειων υδάτων
- OB οι υπερόχθες ροές
- SO οι εκροές επιφανειακών υδάτων
- GO οι εκροές υπόγειων υδάτων

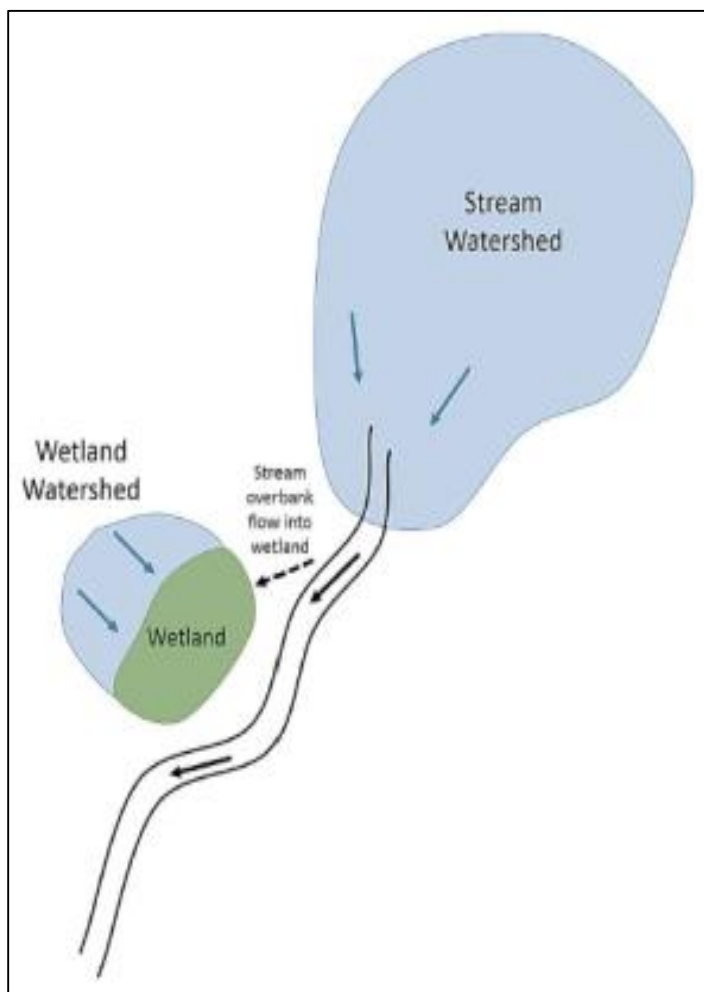
με αποτέλεσμα να υπολογιστεί το καθαρό δυναμικό αποθήκευσης νερού στην λεκάνη απορροής.

Στο Wetbud, το Project καθορίζει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά μιας τοποθεσίας που καθορίζονται από τη θέση της και παραμένουν σταθερά κατά τις διαφορετικές εκδόσεις σχεδιασμού (π.χ., όνομα τοποθεσίας, γεωγραφικό πλάτος και μήκος, υψόμετρο, αναφορά σταθμού μετεωρολογικών παρατηρήσεων, χαρακτηριστικά λεκάνης υγροτόπου κ.λπ.). Αυτές οι εκδόσεις σχεδιασμού, είτε για τα βασικά είτε για τα προηγμένα μοντέλα, ονομάζονται σενάρια στο Wetbud. Μετά τη δημιουργία ενός Project, οι χρήστες μπορούν να δημιουργήσουν ένα ή περισσότερα βασικά σενάρια ή προηγμένα σενάρια για το έργο. Τα βασικά μοντέλα στο Wetbud, συμπεριλαμβανομένων αυτών που δημιουργούνται με το Project, είναι αναλυτικά μοντέλα που συνοψίζουν τις εισροές και εκροές για να υπολογίσουν τους υδρολογικούς προϋπολογισμούς για συγκεκριμένες τοποθεσίες μηνιαία. Η μεμονωμένη εφαρμογή των βασικών μοντέλων εντός ενός δεδομένου έργου αναφέρεται ως Βασικό Σενάριο.

Η μεμονωμένη εφαρμογή των προηγμένων μοντέλων εντός ενός δεδομένου Project αναφέρεται ως προηγμένα σενάρια. Η δημιουργία πολλαπλών σεναρίων αποβαίνει χρήσιμη για τη μοντελοποίηση μεμονωμένων τμημάτων μεγάλων τοποθεσιών που αλλιώς θα ήταν δύσκολο να μοντελοποιηθούν, για χρήστες που μοντελοποιούν ξεχωριστές τοποθεσίες κοντά στον ίδιο μετεωρολογικό σταθμό, ή για χρήστες που δοκιμάζουν πολλαπλές επιλογές σχεδιασμού για την ίδια τοποθεσία. Η φόρμα Project επιτρέπει να δημιουργηθεί ένα νέο έργο ή να γίνει επιλογή ενός υπάρχοντος. Κάνοντας κλικ στο στοιχείο μενού Project επιτρέπει τη δημιουργία νέου έργου. Η

πρώτη επιλογή είναι ισοδύναμη με το κουμπί Project Wizard στο κύριο μενού, ενώ η δεύτερη επιλογή επιτρέπει στον χρήστη να επεξεργαστεί τις παραμέτρους ενός Project. Η τρίτη επιλογή επιτρέπει την επιλογή ενός έργου ως το τρέχον έργο ή την αλλαγή της επιλογής του τρέχοντος έργου [4].

Το Wetbud εξετάζει δύο διαφορετικές λεκάνες απορροής (Εικόνα 16). Η "λεκάνη απορροής υγροτόπου" αναφέρεται στην περιοχή γης που τροφοδοτεί απευθείας τον υγρότοπο. Η επιφανειακές απορροές από τη λεκάνη απορροής του υγροτόπου υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του curve number του NRCS για κάθε περίοδο 24 ωρών. Το Wetbud υποθέτει ότι αυτή η εκροή εισέρχεται στον υγρότοπο ως επιφανειακή συγκεντρωμένη ροή. Αυτή η ποσότητα υδάτων προστίθεται απευθείας στον υγρότοπο και δεν υποβάλλεται σε καμία διαδικασία απομείωσης.



Εικόνα 16: Λεκάνες απορροής υγροτόπου και ρέματος

Επιπλέον, ρέματα με συνεχή ή εποχιακή ροή που βρίσκονται δίπλα στον υγρότοπο και τα οποία συνεισφέρουν νερό μόνο κατά τη διάρκεια υψηλής ροής (Εικόνα 16) μπορούν επίσης να μοντελοποιηθούν στο Wetbud. Το πρόγραμμα υπολογίζει τον όγκο επιφανειακών απορροών για την λεκάνη απορροής που αντιστοιχεί στο ρέμα χρησιμοποιώντας επίσης τη μέθοδο του curve number του NRCS, καθορίζει το χρόνο συγκέντρωσης ακολουθώντας τη μέθοδο της ταχύτητας

του NRCS και δημιουργεί ένα υδρογράφημα για το ρέμα χρησιμοποιώντας το αδιάστατο μοναδιαίο υδρογράφημα του NRCS.

Οι βασικές αρχές τις μεθόδου είναι οι υπολογισμοί των λεγόμενων Curve Numbers οι οποίοι εξαρτώνται από τον τύπο του εδάφους, την χρήση της γης στην οποία γίνεται ερευνά καθώς και από την κατάσταση της επιφάνειας εάν υπάρχει βλάστηση. Η μέθοδος του Curve Number βασίζεται στην εξίσωση:

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a + S)}$$

Όπου:

- Q είναι η επιφανειακή απορροή (inches ή mm).
- P είναι η συνολική βροχόπτωση (inches ή mm).
- I_a είναι οι αρχικές απώλειες πριν ξεκινήσει η απορροή, όπως η απορρόφηση και η διαπνοή (inches ή mm).
- S είναι η δυνητική μέγιστη κατακράτηση μετά την έναρξη της απορροής (inches ή mm).

Οι χρήστες που επιθυμούν να συμπεριλάβουν εκτιμήσεις ιστορικών ροών υπόγειου νερού στην ανάλυση τους θα πρέπει να πραγματοποιήσουν υπολογισμούς WEM (Αποτελεσματικό Μηνιαίο Μοντέλο Επαναφόρτισης) για να ενσωματώσουν τα δεδομένα WEM στους υδρολογικούς τους προϋπολογισμούς. Οι αναλύσεις WEM χρησιμοποιούν ιστορικά μετεωρολογικά δεδομένα (όπως η βροχόπτωση και η εξάτμιση) για να υπολογίσουν τιμές μηνιαίας επαναφόρτισης, οι οποίες στη συνέχεια χρησιμοποιούνται για να προβλέψουν τις ανυψώσεις της στάθμης υδάτων σε πηγάδια για τα έτη που λείπουν δεδομένα μέτρησης της στάθμης υδάτων. Αυτές οι προβλεπόμενες ανυψώσεις της στάθμης υδάτων χρησιμοποιούνται στην εφαρμογή του Νόμου του Darcy για τον υπολογισμό της κίνησης υπόγειου νερού (που αποτελεί το πρώτο βήμα στους υπολογισμούς που χρησιμοποιεί το Wetbud για τον προσδιορισμό της εισόδου υπόγειου νερού στον υγρότοπο). Ο νόμος του Darcy είναι μια θεμελιώδης σχέση στην υδρολογία και την υδραυλική που περιγράφει τη ροή του νερού μέσω πορώδους μέσου, όπως το έδαφος. Ο νόμος αυτός χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της διαπερατότητας και της κίνησης των υπόγειων υδάτων.

Η βασική μορφή του νόμου του Darcy για τη ροή του νερού σε κορεσμένα εδάφη είναι:

$$Q = -K \cdot A \cdot \frac{dh}{dl}$$

Όπου:

- Q είναι ο ρυθμός ροής του νερού (όγκος ανά μονάδα χρόνου, π.χ. m^3/s).
- K είναι η υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους (π.χ. m/s).
- A είναι η διατομή της ροής (π.χ. m^2).
- dl/dh είναι η υδραυλική κλίση (διαφορά υδραυλικών κεφαλών ανά μονάδα μήκους).

Στην συνέχεια πρέπει να οριστεί η εξατμισοδιαπνοή για τη συγκεκριμένη περιοχή, η οποία ορίζεται ως η συνδυασμένη απώλεια νερού λόγω άμεσης εξάτμισης και διαπνοής από τα φυτά. Αυτό μπορεί να γίνει μέσω της επιλογής ET DATA του προγράμματος Wetbud η οποία παρέχει τις ακόλουθες πέντε (5) επιλογές (Εικόνα 17):

- Η επιλογή εκτίμησης πιθανής εξατμισοδιαπνοής (PET) με τη μέθοδο Penman-Monteith όπως αυτή υπολογίζεται από το Wetbud. Η επιλογής αυτή χρησιμοποιεί μηνιαίες τιμές PET που υπολογίζονται από την Wetbud για το εύρος ανάλυσης. Η επιλογή αυτή είναι ο προτεινόμενος εκτιμητής PET για όλα τα Βασικά Σενάρια Wetbud. Εάν επιλεγεί αυτή η μέθοδος, ο χρήστης πρέπει να έχει εισαγάγει προηγουμένως όλα τα δεδομένα που απαιτούνται για την μέθοδο Penman-Monteith για το PET. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί μηνιαία σύνολα των αθροιστικών ημερήσιων ποσοστών PET που υπολογίζονται από το Wetbud για το εύρος ανάλυσης. Η μέθοδος αυτή συνιστάται λόγω υψηλότερης χρονικής ανάλυσης (ημερήσια εκτίμηση) και μεγαλύτερης ακρίβειας από τη μέθοδο Thornthwaite.
- Η επιλογή εκτίμησης πιθανής εξατμισοδιαπνοής μέσω της εξίσωσης Thornthwaite (υπολογισμένη από το Wetbud). Η επιλογής αυτή χρησιμοποιεί μηνιαίες τιμές PET που υπολογίζονται από την Wetbud για το εύρος ανάλυσης. Εάν επιλεγεί αυτή η μέθοδος, ο χρήστης πρέπει να έχει εισαγάγει προηγουμένως όλα τα δεδομένα που απαιτούνται για την εξίσωση Thornthwaite για το PET.
- Η επιλογή εκτίμησης πιθανής εξατμισοδιαπνοής με δεδομένα Penman-Monteith τα οποία εισάγονται στο Wetbud όπως έχουν υπολογιστεί από κάποιο πρόγραμμα εκτός του Wetbud. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί μηνιαία σύνολα των αθροιστικών ημερήσιων ποσοστών PET που υπολογίζονται από το Wetbud για το εύρος ανάλυσης.
- Η επιλογή εκτίμησης πιθανής εξατμισοδιαπνοής μέσω της μεθόδου Thornthwaite όπου τα δεδομένα εισάγονται στο Wetbud όπως έχουν υπολογιστεί από κάποιο πρόγραμμα εκτός του Wetbud.
- Η επιλογή εκτίμησης πιθανής εξατμισοδιαπνοής μέσω οποιαδήποτε άλλης μεθόδους ή μετρήσεων. Τα δεδομένα εισάγονται στο Wetbud μέσω της επιλογής User Defined Series. Εάν επιλεγεί αυτή η μέθοδος, ο χρήστης πρέπει να έχει εισαγάγει προηγουμένως μηνιαίες τιμές για PET που έχουν μετρηθεί ή υπολογιστεί εξωτερικά.

Η επιλογή που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική είναι αυτή της User Defined Series.

General Wetland Watershed Inputs and Outputs Management and Options

Water Inputs Water Outputs Site Parameters

Potential Evapotranspiration

☒ Potential Evapotranspiration

PET Options

☐ Penman-Monteith Method (calculated by Wetbud)

☐ Thornthwaite Equation (calculated by Wetbud)

☐ Penman-Monteith Method (imported/manually calculated)

☐ Thornthwaite Equation (imported/manually calculated)

☒ User Defined Series (imported/manually calculated)

Data for the Penman Monteith Method

Insolation Data

Default

Albedo

0.23

Εικόνα 17: Επιλογές πιθανής εξατμισοδιαπνοής στο πρόγραμμα Wetbud

Για να υπολογιστεί η πιθανή εξατμισοδιαπνοή χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Thornthwaite απαιτείται πρώτα ο υπολογισμός του Μηνιαίου Θερμικού Δείκτη Thornthwaite (i), (Monthly Thornthwaite Heat Index), χρησιμοποιώντας τον ακόλουθο τύπο:

$$i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1.514}$$

Όπου

t : είναι η μέση μηνιαία θερμοκρασία.

Ο Ετήσιος Θερμικός Δείκτης (I) υπολογίζεται ως το άθροισμα των Μηνιαίων Θερμικών Δεικτών (i):

$$I = \sum_{i=1}^{12} i$$

Μια εκτίμηση της πιθανής εξατμισοδιαπνοής λαμβάνεται για κάθε μήνα, θεωρώντας ότι ένας μήνας έχει 30 ημέρες και υπάρχουν 12 θεωρητικές ώρες ηλιοφάνειας ανά ημέρα, εφαρμόζοντας την ακόλουθη εξίσωση:

$$PET_{\text{Thornthwaite}} = 16 \left(\frac{10 \cdot t}{I} \right)^a$$

Όπου

$$a = 675 \cdot 10^{-9} \cdot I^3 - 771 \cdot 10^{-7} \cdot I^2 + 1792 \cdot 10^{-5} \cdot I + 0.49239$$

Οι ληφθείσες τιμές διορθώνονται αργότερα σύμφωνα με την πραγματική διάρκεια του μήνα και τις θεωρητικές ώρες ηλιοφάνειας για το γεωγραφικό πλάτος ενδιαφέροντος, με τον τύπο:

$$PET = PET_{\text{Thornthwaite}} \cdot \frac{N}{12} \cdot \frac{d}{30}$$

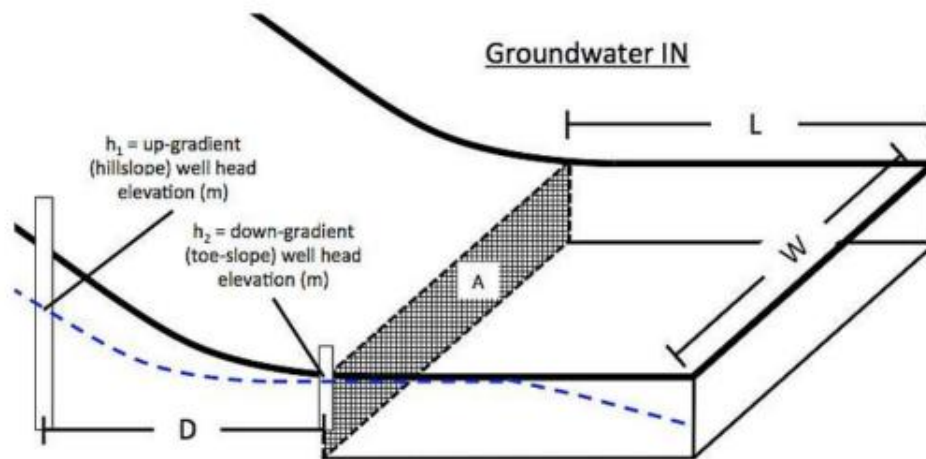
Όπου

N είναι οι θεωρητικές ώρες ηλιοφάνειας για κάθε μήνα και d είναι ο αριθμός των ημερών για κάθε μήνα.

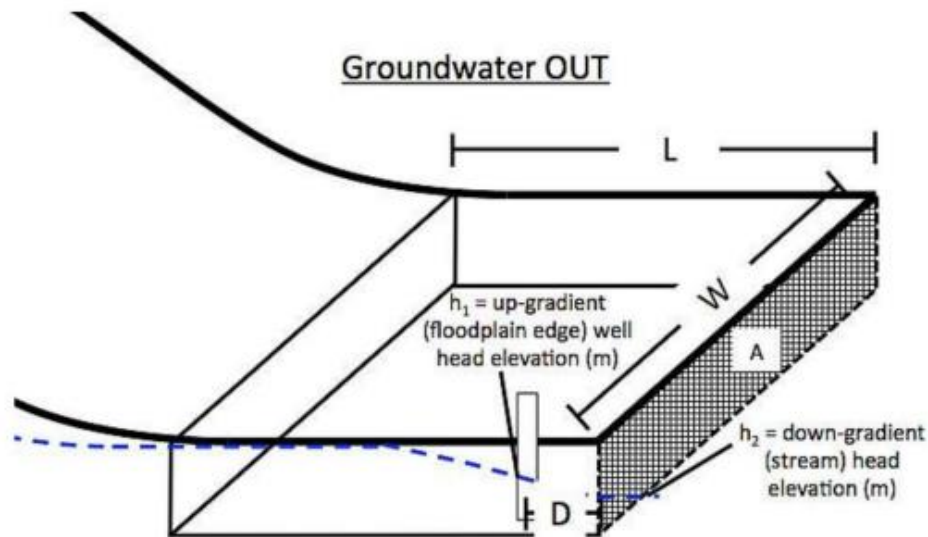
Τέλος, σειρά έχουν τα Well Data τα οποία είναι δεδομένα πηγαδιών και είναι απαραίτητα μόνο για τον υπολογισμό της εισροής υπόγειων υδάτων σε μια ανάλυση προϋπολογισμού νερού Βασικού Σεναρίου χρησιμοποιώντας το Μοντέλο Αποτελεσματικής Μηνιαίας Επαναφόρτισης. Για να εκτελεστεί μια ανάλυση Μοντέλου Αποτελεσματικής Μηνιαίας Επαναφόρτισης, πρέπει να δημιουργηθεί ένα σύνολο δεδομένων μηνιαίων ανυψώσεων της στάθμης υδάτων για δύο ρηχές γεωτρήσεις που θα συμπεριληφθούν στους υπολογισμούς εισόδου υπόγειων υδάτων. Η μια γεώτρηση (well) που θα πρέπει να βρίσκεται σε ανώτερο σημείο από την κατώτερη γεώτρηση. Επίσης θα πρέπει να είναι γνωστή και η οριζόντια απόσταση μεταξύ των δύο. Τα δεδομένα πρέπει να είναι μηνιαία, όπως τα δεδομένα βροχόπτωσης και ET. Το σύνολο δεδομένων για ένα δεδομένο πηγάδι περιέχει δεδομένα στάθμης νερού τουλάχιστον 12 μηνών. Τα επίπεδα της στάθμης υδάτων για κάθε μήνα θα πρέπει να προέρχονται από μετρήσεις που λαμβάνονται την 1η του μήνα [9].

Πιο αναλυτικά, το Wetbud χρησιμοποιεί τα δεδομένα στάθμης υδάτων για δύο γεωτρήσεις, κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα (Ksat), απόσταση (D), εμβαδόν διατομής (A) και εμβαδόν επιφάνειας υδροτόπου (L × W). Με βάσει αυτά τα δεδομένα είναι δυνατός ο υπολογισμός της εισροής υπόγειων υδάτων. Τα διαγράμματα των υπόγειων υδάτων εισροής και εκροής φαίνονται στην Εικόνα 18 και Εικόνα 19.

Οι υπολογισμένες τιμές εισόδου των υπόγειων υδάτων μπορούν στη συνέχεια να συμπεριληφθούν στους υπολογισμούς του προϋπολογισμού νερού Βασικού Σεναρίου, οι οποίοι μπορεί να βελτιώσουν τις προβλέψεις του προϋπολογισμού νερού κατά τη διάρκεια περιόδων που δεν χρειάζονται δεδομένα της στάθμης υδάτων που απαιτούνται για την ποσοτικοποίηση της εισροής υπόγειων υδάτων [9]



Εικόνα 18: Διάγραμμα εισροής υπογείων υδάτων [9]



Εικόνα 19: Διάγραμμα εκροής υπογείων υδάτων [9]

Επίσης, γίνεται χρήση του στατιστικού δείκτη Root Mean Squared Error (RMSE). Το Root Mean Squared Error (RMSE) είναι ένας στατιστικός δείκτης που χρησιμοποιείται για να μετρήσει την ακρίβεια των προβλέψεων ενός μοντέλου σε σχέση με τις πραγματικές τιμές. Το RMSE υπολογίζει τη μέση απόσταση των προβλεπόμενων τιμών από τις πραγματικές τιμές μετρώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα και έπειτα παίρνοντας την τετραγωνική ρίζα αυτού. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για την αξιολόγηση της απόδοσης μοντέλων πρόβλεψης, όπως γραμμικών παλινδρομήσεων ή αλγορίθμων μηχανικής μάθησης.

Ο τύπος για το RMSE είναι ο εξής:

$$RMSE = \sqrt{\left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \{\widehat{y}\}_i)^2 \right\}}$$

όπου:

- y_i είναι οι πραγματικές τιμές,
- $\{\widehat{y}\}_i$ είναι οι προβλεπόμενες τιμές από το μοντέλο,
- n είναι το πλήθος των παρατηρήσεων.

Το RMSE είναι ένα μέτρο που χρησιμοποιείται για να αξιολογηθεί η ακρίβεια ενός μοντέλου πρόβλεψης με βασικά χαρακτηριστικά να είναι η ευαισθησία στις μεγάλες αποκλίσεις, η μικρή τιμή του υποδεικνύει υψηλή ακρίβεια και είναι ιδανικό όταν η εστίαση του ενδιαφέροντος μας είναι στη μείωση των μεγάλων αποκλίσεων και όχι απλώς στον μέσο όρο.

4.2 Βάση δεδομένων Wetbud

Η συλλογή δεδομένων στο Wetbud αποτελείται από κλιματικά δεδομένα (προέρχονται από μετεωρολογικούς σταθμούς και περιλαμβάνουν τη θερμοκρασία, την υγρασία, τις βροχοπτώσεις κ.λπ.) καθώς και υδρολογικά δεδομένα (στοιχεία για τα επίπεδα των υδάτων, τη ροή των ποταμών κ.λπ.) είναι μια διαδικασία με την οποία τα δεδομένα εισόδου και εξόδου οργανώνονται και διαμορφώνονται με έναν ομοιόμορφο τρόπο, ώστε να διευκολύνεται η ανάλυση και η σύγκριση των αποτελεσμάτων. Βασική προϋπόθεση πριν από την εισαγωγή τους είναι τόσο η διαγραφή τυχόν λανθασμένων δεδομένων όσο και η μορφοποίηση της σε ομοιόμορφες μονάδες μέτρησης. Όλη η συλλογή τους έγινε εξολοκλήρου από δεδομένα που παρέχει το Πρόγραμμα Περιβαλλοντικής Παρακολούθησης της Hellas Gold το οποίο είναι υπεύθυνο για την αξιολόγηση της υγείας του περιβάλλοντος του Ελληνικού Χρυσού.

Στο παρόν project χρησιμοποιήθηκαν διεθνείς μονάδες μέτρησης όπως φαίνονται στις παρακάτω εικόνες. Συγκεκριμένα στις βροχομετρικές καταγραφές η μονάδα μέτρησης είναι mm, στην εξάτμιση mm καθώς και στις μετρήσεις των γεωτρήσεων σε m.

Οι κωδικοί ονομασίας στο Πρόγραμμα Περιβαλλοντικής Παρακολούθησης της Hellas Gold των σταθμών παρακολούθησης για τα κλιματικά δεδομένα είναι ο OMS11 καθώς για τα υδρογεωλογικά δεδομένα οι γεωτρήσεις OGW01 και OSW02.

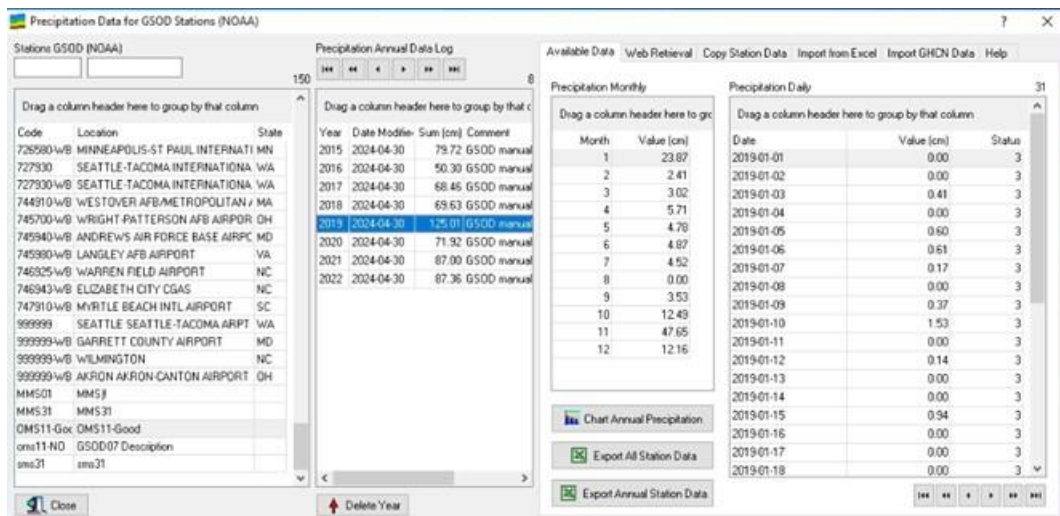
4.2.1 Βροχομετρικά δεδομένα

Τα βροχομετρικά δεδομένα τοποθετήθηκαν στο πρόγραμμα Wetbud (εικόνα 19) με χρήση Excel δημιουργώντας 6 στήλες οποίες αποτελούνταν από date, value σε μονάδα μέτρησης in (ίντσες βροχής που ισοδυναμεί με την ποσότητα νερού που καλύπτει μια επιφάνεια 1 τετραγωνικού μέτρου με ένα στρώμα νερού πάχους 1 ίντσας), year, month, day και τέλος rate σε μονάδα μέτρησης mm (χιλιοστά βροχόπτωσης που ισοδυναμεί με την ποσότητα νερού που καλύπτει μια επιφάνεια 1 τετραγωνικού μέτρου με ένα στρώμα νερού πάχους 1 χιλιοστού). Τα βροχομετρικά δεδομένα μεταράπηκαν σε cm πριν την εισαγωγή τους στο Wetbud.

date	value (in)	year	month	day	Rain (mm)
2015-01-01	0	2015	1	1	0
2015-01-02	0	2015	1	2	0
2015-01-03	0	2015	1	3	0
2015-01-04	0	2015	1	4	0
2015-01-05	0	2015	1	5	0
2015-01-06	0	2015	1	6	0
2015-01-07	0	2015	1	7	0
2015-01-08	0	2015	1	8	0
2015-01-09	0	2015	1	9	0
2015-01-10	0	2015	1	10	0
2015-01-11	0	2015	1	11	0
2015-01-12	0,05512	2015	1	12	1,4
2015-01-13	0	2015	1	13	0
2015-01-14	0	2015	1	14	0
2015-01-15	0	2015	1	15	0
2015-01-16	0	2015	1	16	0
2015-01-17	0	2015	1	17	0

2022-12-15	0	2022	12	15	0
2022-12-16	0	2022	12	16	0
2022-12-17	0	2022	12	17	0
2022-12-18	0,28346	2022	12	18	7,2
2022-12-19	0,00787	2022	12	19	0,2
2022-12-20	0	2022	12	20	0
2022-12-21	0	2022	12	21	0
2022-12-22	0	2022	12	22	0
2022-12-23	0	2022	12	23	0
2022-12-24	0	2022	12	24	0
2022-12-25	0	2022	12	25	0
2022-12-26	0	2022	12	26	0
2022-12-27	0	2022	12	27	0
2022-12-28	0	2022	12	28	0
2022-12-29	0	2022	12	29	0
2022-12-30	0	2022	12	30	0
2022-12-31	0	2022	12	31	0

Εικόνα 20: Βροχομετρικά δεδομένα OMS11



Εικόνα 21: Βροχομετρικά δεδομένα στο περιβάλλον του Wetbud

4.2.2 Δεδομένα εξατμοδιαπνοής

Η εισαγωγή δεδομένων εξατμοδιαπνοής στο Wetbud είναι ένα σημαντικό βήμα για την προσομοίωση του υδατικού ισοζυγίου σε υγροτόπους και άλλες περιοχές. Η εξατμισοδιαπνοή είναι η συνδυασμένη διαδικασία εξάτμισης του νερού από την επιφάνεια του εδάφους και της διαπνοής μέσω των φυτών. Το πρόγραμμα περιβαλλοντικής παρακολούθησης της Hellas Gold μας παρέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες της εξατμισοδιαπνοής του σταθμού παρακολούθησης με κωδικό ονομασίας OMS11 (Εικόνα 22) όπου έγινε και η εισαγωγή τους, δημιουργώντας τρεις στήλες οι οποίες ήταν date (ημερομηνία), καθώς και cm εξάτμισης του νερού (Εικόνα 255).

Ωστόσο για την αποφυγή τυχόν λανθασμένων τιμών ακολούθησε και η χρήση του τύπου $PET_{Thornthwaite}$ (Κεφάλαιο 4.1) για την σύγκριση των δεδομένων (Εικόνα 23). Οι πληροφορίες που πάρθηκαν από το σταθμό είναι οι ημερήσιες θερμοκρασίες. Για τη χρήση του τύπου $PET_{Thornthwaite}$ χρειάστηκε αρχικά να υπολογιστεί το t το οποίο είναι η μέση θερμοκρασία κάθε μήνα για το έτος που χρησιμοποιούμε καθώς και η τιμή i . Έτσι η κάθε χρονιά έχει 12 τιμές i . Με το άθροισμα των τιμών i σε κάθε έτος υπολογίζεται η I για κάθε έτος. Αυτό φέρνει σαν αποτέλεσμα, στα δεδομένα που έχουμε στην παρούσα διπλωματική εργασία να δημιουργηθούν 8 τιμές I για κάθε χρονιά από το 2015 μέχρι το 2022 αντιστοίχως. Στη συνέχεια υπολογίστηκε η τιμή a η οποία αποτελείται και αυτή από 8 τιμές για κάθε χρονιά.

Τέλος οι τελικές τιμές που προκύπτουν για κάθε μήνα κάθε χρονιάς είναι οι τιμές της εξατμισοδιαπνοής $PET_{Thornthwaite}$. Συμπερασματικά διαπιστώθηκε ότι υπάρχει μια μικρή διακύμανση ανάμεσα στις τιμές της Hellas cold και των τιμών υπολογισμών pet το οποίο είναι απολύτως φυσιολογικό και μέσα στα στο φάσμα σφαλμάτων που μπορεί να προκύψουν από μια τέτοια διαδικασία και μελέτη

DATE	cm	EV (mm)
1/1/2015 0:00	0,02	0,2
2/1/2015 0:00	0	0
3/1/2015 0:00	0,06	0,6
4/1/2015 0:00	0,06	0,6
5/1/2015 0:00	0,06	0,6
6/1/2015 0:00	0,06	0,6
7/1/2015 0:00	0,05	0,5
8/1/2015 0:00	0	0
9/1/2015 0:00	0,06	0,6
10/1/2015 0:00	0,07	0,7
11/1/2015 0:00	0,11	1,1
12/1/2015 0:00	0,08	0,8
13/1/2015 0:00	0,07	0,7
14/1/2015 0:00	0,06	0,6
15/1/2015 0:00	0,1	1
16/1/2015 0:00	0,07	0,7
17/1/2015 0:00	0	0
18/1/2015 0:00	0,07	0,7
19/1/2015 0:00	0,06	0,6
20/1/2015 0:00	0,06	0,6
21/1/2015 0:00	0,02	0,2
22/1/2015 0:00		
23/1/2015 0:00		
10/12/2022 0:00	0,047	0,47
11/12/2022 0:00	0,025	0,25
12/12/2022 0:00	0,089	0,89
13/12/2022 0:00	0,072	0,72
14/12/2022 0:00	0,061	0,61
15/12/2022 0:00	0,011	0,11
16/12/2022 0:00	0,063	0,63
17/12/2022 0:00	0,025	0,25
18/12/2022 0:00	0,052	0,52
19/12/2022 0:00	0,059	0,59
20/12/2022 0:00	0,026	0,26
21/12/2022 0:00	0,1	1
22/12/2022 0:00	0,09	0,9
23/12/2022 0:00	0,09	0,9
24/12/2022 0:00	0,088	0,88
25/12/2022 0:00	0,081	0,81
26/12/2022 0:00	0,166	1,66
27/12/2022 0:00	0,095	0,95
28/12/2022 0:00	0,096	0,96
29/12/2022 0:00	0,012	0,12
30/12/2022 0:00	0,042	0,42
31/12/2022 0:00	0,044	0,44
	0,095	0,95

Εικόνα 22: Δεδομένα Εξατμισοδιαπνοής OMS11

DATE	AVERAGE OF T
Ιαν-15	7,9
Φεβ-15	8,228571429
Μαρ-15	10,81071429
Απρ-15	13,29310345
Μαΐ-15	19,69032258
Ιουν-15	22,20344828
Ιουλ-15	21,04333333
Αυγ-15	14,16774194
Σεπ-15	11,95
Οκτ-15	7,829032258
Νοε-15	5,987096774
Δεκ-15	7,660714286
Ιαν-21	21,04333333
Φεβ-21	14,16774194
Μαρ-21	11,95
Απρ-21	7,829032258
Μαΐ-21	5,987096774
Ιουν-21	7,660714286

Εικόνα 23 Μέση θερμοκρασία ανά μήνα

ΙΑΝ	ΦΕΒΡ	ΜΑΡΤ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
15,18	16,34	26,73	38,80	78,79	97,84	132,74	143,62	125,19	77,88	44,38	44,38
13,21	43,12	36,43	60,08	58,17	117,61	134,34	134,83	94,26	58,33	32,17	8,07
2,55	20,06	34,45	46,20	78,37	118,74	131,92	132,74	96,42	54,07	34,02	22,72
13,12	19,82	34,03	61,83	87,63	87,59	131,36	130,58	100,07	62,47	38,98	14,44
7,47	55,23	23,65	55,23	67,38	114,53	122,34	136,88	96,84	64,66	52,46	18,64
21,79	18,63	27,86	35,71	70,09	99,94	129,65	129,54	107,41	77,29	32,70	29,13
19,52	16,31	21,93	36,98	77,20	96,73	140,82	137,57	85,05	48,09	36,35	18,13
11,33	17,08	14,44	44,78	77,70	111,88	125,96	131,32	89,40	60,28	43,73	28,39

Εικόνα 24: $PET_{Thornthwaite}$ δεδομένα

User Defined Data: Annual Log 8				User Defined Monthly 12		User Defined Daily 31		
Year	Modified Dat	Comment	Total (cm)	Month	Value (cm)	Date	Value (cm)	Status
2015	5/2/2024 6.1	manual imp	46.67	1	1.79	1/1/2015	0.02	3
2016	5/2/2024 6.1	manual imp	59.45	2	1.77	1/2/2015	0.00	3
2017	5/2/2024 6.1	manual imp	84.11	3	1.73	1/3/2015	0.06	3
2018	5/2/2024 6.1	manual imp	83.47	4	3.66	1/4/2015	0.06	3
2019	5/2/2024 6.1	manual imp	56.43	5	5.05	1/5/2015	0.06	3
2020	5/2/2024 6.1	manual imp	108.07	6	5.94	1/6/2015	0.06	3
2021	5/2/2024 6.1	manual imp	104.46	7	11.40	1/7/2015	0.05	3
2022	5/2/2024 6.1	manual imp	103.64	8	11.76	1/8/2015	0.00	3

Εικόνα 25: Δεδομένα Εξατμισοδιαπνοής στο περιβάλλον του Wetbud

4.2.3 Υδρολογικά δεδομένα

Η εισαγωγή υδρολογικών δεδομένων στο Wetbud είναι ένα κρίσιμο βήμα για την προσομοίωση του υδατικού ισοζυγίου μιας περιοχής, όπως ένας υγρότοπος. Τα υδρολογικά δεδομένα μπορεί να περιλαμβάνουν τη ροή νερού, την εισροή από πηγές ή ποτάμια, και άλλα υδάτινα χαρακτηριστικά. Η συλλογή τους έγινε από δεδομένα του προγράμματος περιβαλλοντικής παρακολούθησης της Hellas Gold με κωδικούς ονομασίες των πηγαδιών OGW01 (Εικόνα 26) και OGW02 (Εικόνα 27). Για να μπορέσουν τα δεδομένα να εισαχθούν σωστά στο Wetbud, πρέπει να προετοιμαστούν σε συμβατή μορφή. Η σωστή μορφή είναι η χρονιά, ο μήνας καθώς και η μέση στάθμη του υπογείου νερού σε μέτρα.

YEAR	MONTH	AVERAGE
2017	11	5,96
2017	12	6,52
2018	1	6,67
2018	2	6,89
2018	3	7,60
2018	4	6,84
2018	5	5,40
2018	6	4,29
2018	7	4,54
2018	8	3,83
2018	9	3,13
2018	10	3,43
2018	11	3,88
2018	12	5,58
2019	1	6,74
2019	2	7,38
2019	3	5,42

2023	3	5,56
2023	4	5,22
2023	5	4,94
2023	6	4,50
2023	7	3,67
2023	8	2,37
2023	9	2,33
2023	10	2,33
2023	11	2,75
2023	12	3,66
2024	1	4,33
2024	2	4,53
2024	3	4,89
2024	4	5,06

Εικόνα 26: Δεδομένα στάθμης υπογείου νερού γεώτρησης OGW01

YEAR	MONTH	AVERAGE
2018	1	23,20
2018	2	23,26
2018	3	23,76
2018	4	23,63
2018	5	23,39
2018	6	23,30
2018	7	23,91
2018	8	23,55
2018	9	23,48

2022	3	24,73
2022	4	24,40
2022	5	23,86
2022	6	23,42
2022	7	23,27
2022	8	22,90
2022	9	23,04
2022	10	23,04
2022	11	22,95
2022	12	23,29

Εικόνα 27: Δεδομένα στάθμης υπογείου νερού γεώτρησης OGW02

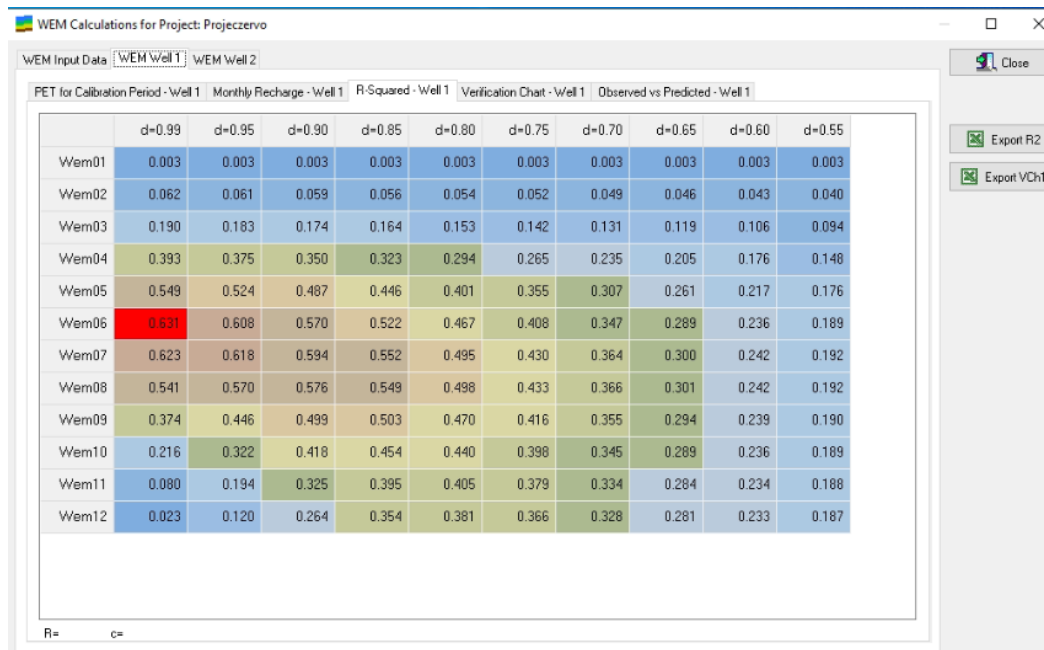
4.3 Αποτελέσματα και Σχολιασμός Διαγραμμάτων

4.3.1 Υπολογισμοί WEM

Το αποτέλεσμα των υπολογισμών WEM παρουσιάζεται ως ένας πίνακας συντελεστών συσχέτισης (R-Squared). Οι στήλες στον πίνακα R-Squared αντιπροσωπεύουν τον παράγοντα αποσύνθεσης (d) και οι σειρές αντιπροσωπεύουν τον αριθμό των μηνών πριν από (N) (π.χ. Wem1) που χρησιμοποιήθηκαν για κάθε παλινδρόμηση. Κάθε τιμή συντελεστή συσχέτισης στον πίνακα είναι ο συντελεστής συσχέτισης από μια γραμμική παλινδρόμηση της Αποτελεσματικής Μηνιαίας Επαναφόρτισης έναντι της παρατηρούμενης ανύψωσης της στάθμης υδάτων χρησιμοποιώντας έναν δεδομένο συνδυασμό n και D ($n = \text{number of prior months}$, $D = \text{decay factor}$ (ανάμεσα από 0.99 και 0.55 με διαστήματα ίσα με 0.05)).

Ο πίνακας αυτός υπολογίζεται για κάθε μία από τις γεωτρήσεις οι οποίες χρησιμοποιούνται για την ανάλυση. Στην Εικόνα 28 φαίνονται τα αποτελέσματα για τη γεώτρηση 1. Τα πιο ζεστά χρώματα, όπως το κόκκινο και το πορτοκαλί, αντιπροσωπεύουν υψηλότερες τιμές R-Squared και τα πιο ψυχρά χρώματα, όπως το μπλε και το πράσινο, αντιπροσωπεύουν χαμηλότερες τιμές R-Squared.

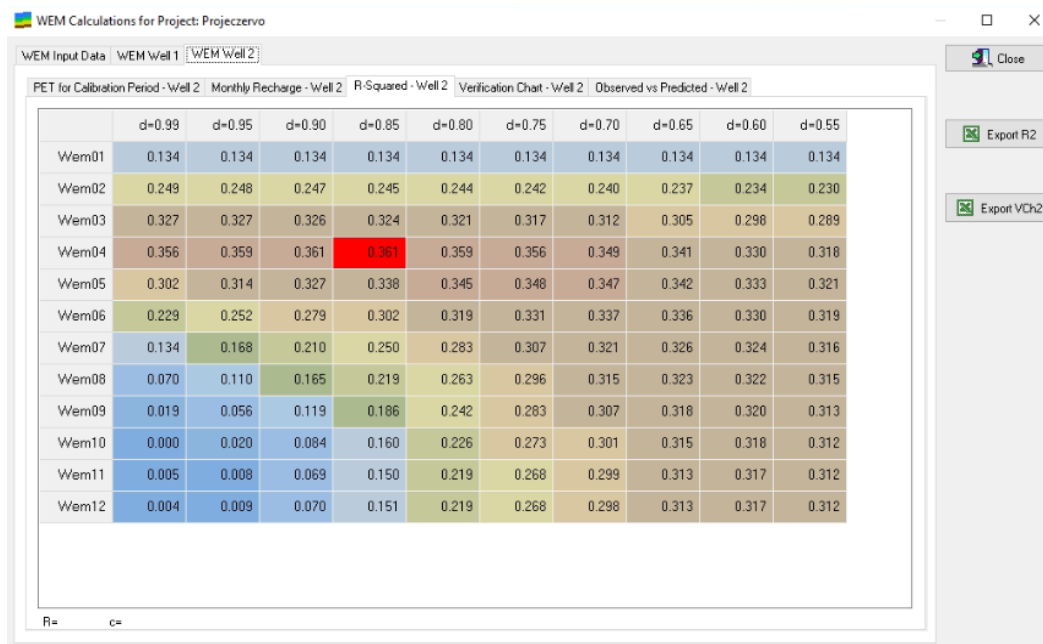
Η εξίσωση παλινδρόμησης που αντιστοιχεί στον συνδυασμό n και D που παράγει τον υψηλότερο συντελεστή συσχέτισης για κάθε γεώτρηση βαθμονόμησης θα χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια για τη δημιουργία προβλεπόμενων ανυψώσεων στάθμης για τα χρόνια που δεν διαθέτουν δεδομένα στάθμης υδάτων.



Εικόνα 28: Αποτελέσματα υπολογισμών WEM για τη γεώτρηση 1

Αντίστοιχα αποτελέσματα παρουσιάζονται στην Εικόνα 29 για τη γεώτρηση 2. Όπως φαίνεται οι τιμές n και D που αντιστοιχούν στον βέλτιστο συντελεστή συσχέτισης είναι διαφορετικές από

αυτές του φρεατίου 1 (Εικόνα 28). Το πόσο αντιπροσωπευτικές είναι τιμές αυτές εξηγούνται στην επόμενη ενότητα όπου παρουσιάζονται οι στατιστικές συσχετίσεις πίσω από κάθε ζεύγος n και D .



Εικόνα 29: Αποτελέσματα υπολογισμών WEM για τη γεώτρηση 2

4.3.2 Διαγράμματα στατιστικής παλινδρόμησης

Τα διαγράμματα στατιστικής παλινδρόμησης (statistical regression) αποτυπώνουν τη γραμμική σχέση μεταξύ δύο μεταβλητών: στη συγκεκριμένη περίπτωση, την παρατηρούμενη στάθμη υδάτων και την αποτελεσματική μηνιαία επαναφόρτιση.

- R-squared (R^2): Εκφράζει πόσο καλά τα δεδομένα προσαρμόζονται στη γραμμική εξίσωση. Αντιπροσωπεύει το ποσοστό της συνολικής διακύμανσης που εξηγείται από το μοντέλο. Όσο πιο κοντά στο 1, τόσο καλύτερη είναι η προσαρμογή.
- Slope (Κλίση): Η κλίση υποδεικνύει τη μεταβολή της παρατηρούμενης στάθμης για κάθε μονάδα αλλαγής στην επαναφόρτιση. Μια θετική κλίση υποδηλώνει άμεση συσχέτιση, ενώ μια αρνητική αντιστρόφως ανάλογη.
- P-Value: Δείχνει τη στατιστική σημασία. Τιμές μικρότερες από 0.05 δηλώνουν σημαντική συσχέτιση.

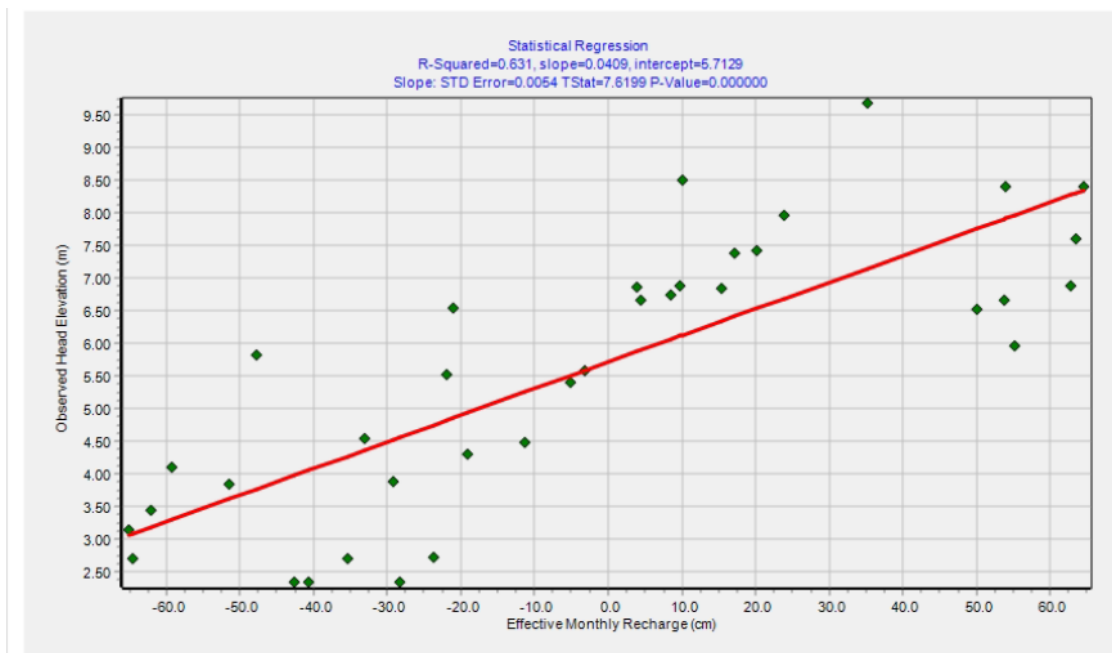
Το διάγραμμα που παρουσιάζεται στην Εικόνα 30 δείχνει μια γραμμική παλινδρόμηση μεταξύ της αποτελεσματικής μηνιαίας επαναφόρτισης (στον οριζόντιο άξονα) και της παρατηρούμενης στάθμης υδάτων (στον κάθετο άξονα) με βάση τα δεδομένα του φρεατίου 1. Το διάγραμμα αντιστοιχεί στον βέλτιστο συντελεστή συσχέτισης όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 28. Τα σημαντικά σημεία είναι:

1. R-Squared (R^2) = 0.831: Υψηλή τιμή που δείχνει ότι το μοντέλο εξηγεί το 83.1% της μεταβλητότητας στις παρατηρήσεις.

2. Slope = 0.0409: Η θετική κλίση υποδεικνύει ότι υπάρχει θετική συσχέτιση, δηλαδή όταν αυξάνεται η αποτελεσματική μηνιαία επαναφόρτιση, αυξάνεται και η παρατηρούμενη στάθμη υδάτων.
3. P-Value = 0.000000: Πολύ μικρή τιμή που δείχνει στατιστικά σημαντική σχέση.
4. Διασπορά: Τα δεδομένα δεν αποκλίνουν έντονα από τη γραμμή, υποδεικνύοντας καλή προσαρμογή του μοντέλου.

Με βάση το υψηλό R^2 (0.831), το μοντέλο εξηγεί καλά την παρατηρούμενη μεταβλητότητα. Η θετική κλίση σημαίνει ότι όταν αυξάνεται η επανατροφοδότηση, αυξάνεται και η στάθμη του νερού. Η στατιστικά σημαντική P-Value (< 0.05) επιβεβαιώνει ότι αυτή η σχέση δεν είναι τυχαία αλλά συστηματική.

Συμπερασματικά, το μοντέλο είναι αξιόπιστο για αυτή τη συσχέτιση και δείχνει ότι η γραμμική σχέση είναι ισχυρή και στατιστικά σημαντική.



Εικόνα 30: Διάγραμμα στατιστικής παλινδρόμησης για τη γεώτρηση 1

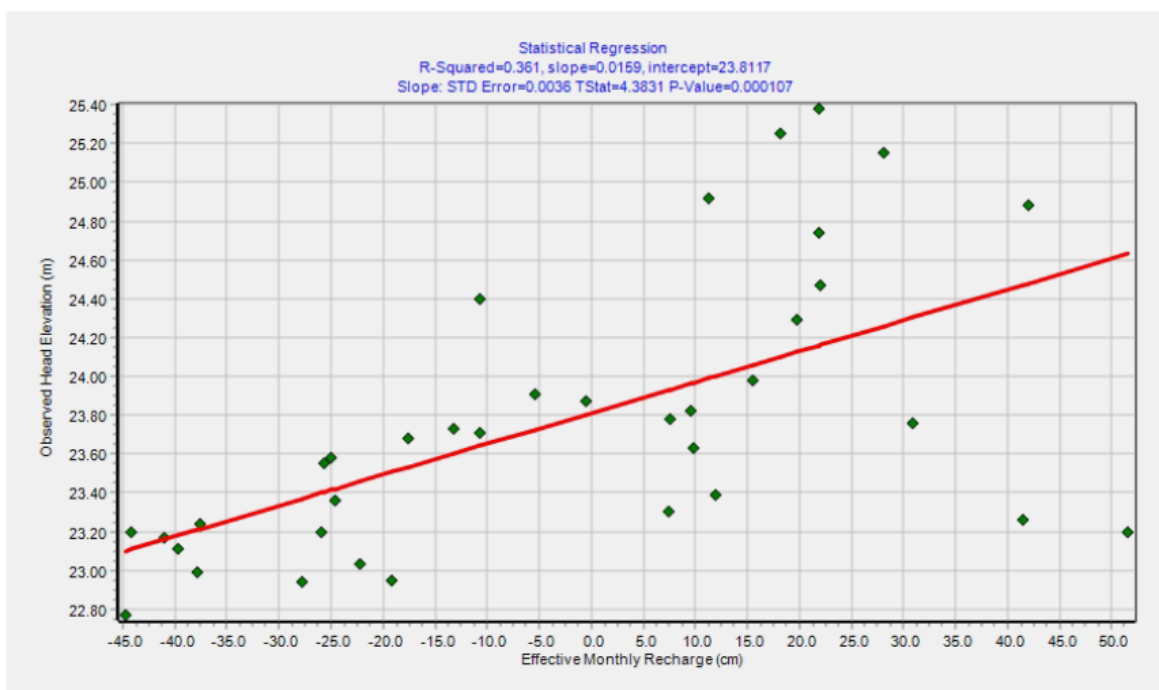
Στο διάγραμμα που φαίνεται στην Εικόνα 31 είναι όμοιο με αυτό που φαίνεται στην Εικόνα 30 αλλά αναφέρεται στο βέλτιστο συντελεστή συσχέτισης του φρεατίου 2 (Εικόνα 29). Τα σημαντικά σημεία είναι:

1. R-Squared (R^2) = 0.361: Η προσαρμογή του μοντέλου είναι πολύ χαμηλότερη, καθώς εξηγεί μόνο το 36.1% της μεταβλητότητας.
2. Slope = 0.0169: Η θετική κλίση παραμένει, αλλά είναι μικρότερη, δείχνοντας ασθενέστερη σχέση μεταξύ των μεταβλητών.

3. P-Value = 0.000107: Παραμένει στατιστικά σημαντικό, αλλά λιγότερο έντονο σε σχέση με το προηγούμενο.

4. Διασπορά: Υπάρχει μεγαλύτερη διασπορά των σημείων από τη γραμμή, υποδεικνύοντας μικρότερη ακρίβεια.

Συμπερασματικά, το μοντέλο δεν εξηγεί τόσο καλά τη σχέση όσο το προηγούμενο διάγραμμα, διότι το $R^2 = 0.361$ δείχνει ότι το μοντέλο εξηγεί μόνο το 36.1% της μεταβλητότητας και η μικτή τιμή της κλίσης του είναι δείχνει ότι η επίδραση της αποτελεσματικής μηνιαίας επαναφόρτισης είναι περιορισμένη στη μεταβλητή εξόδου.



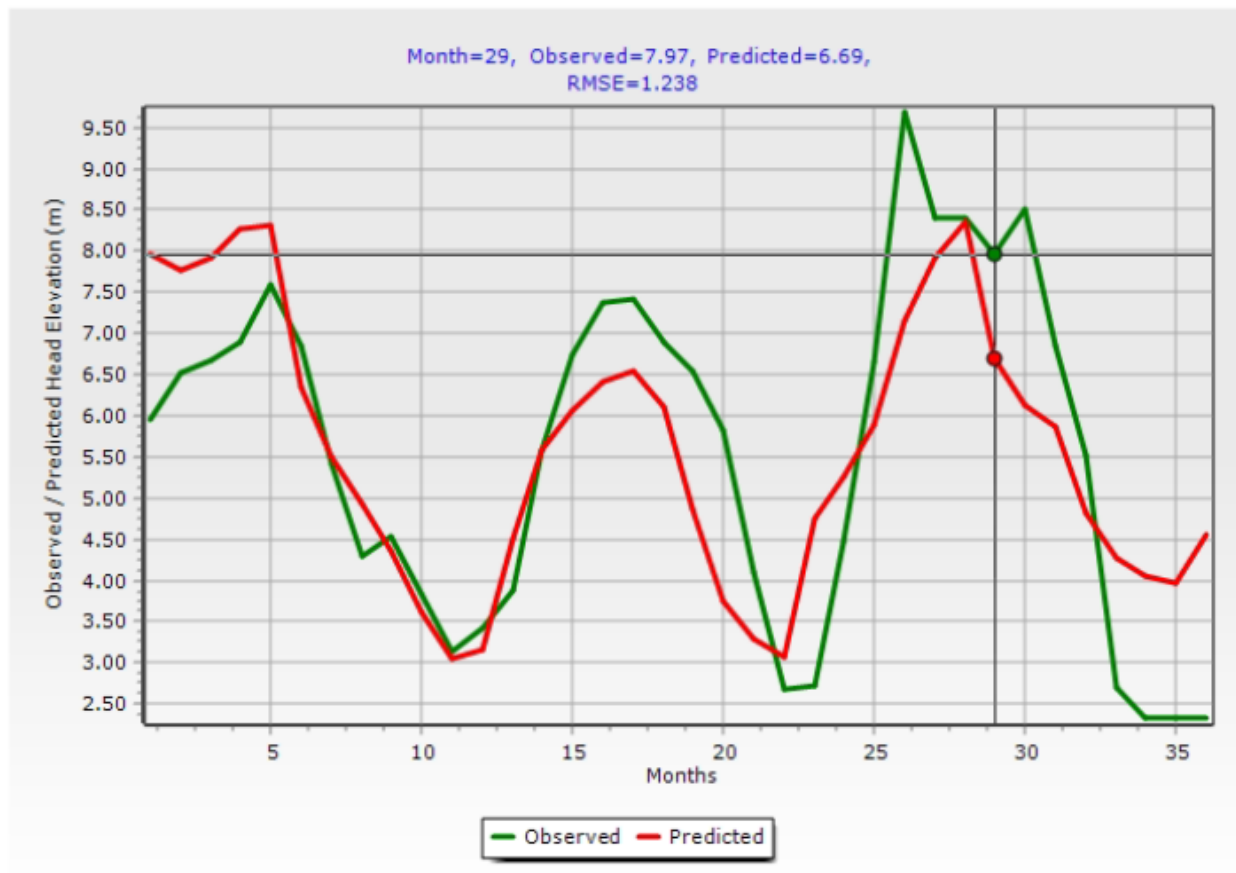
Εικόνα 31: Διάγραμμα στατιστικής παλινδρόμησης για τη γεώτρηση 2

4.3.3 Διαγράμματα παρατηρούμενης/προβλεπόμενης στάθμης υδάτων

Τα διαγράμματα παρατηρούμενης/προβλεπόμενης στάθμης υδάτων (Observed/Predicted Head Elevation) παρέχει μια γραμμική στατιστική ανάλυση μεταξύ της αποτελεσματικής μηνιαίας επαναφόρτισης και της παρατηρηθείσας (μετρηθείσας) στάθμης υδάτων για το κάθε πηγάδι που χρησιμοποιήθηκε στο έργο αυτό. Στον οριζόντιο άξονα (x-άξονας) αναπαριστάται η αποτελεσματική μηνιαία ανατροφοδότηση σε εκατοστά (cm) ενώ στον κάθετο άξονα (y-άξονας) αναπαριστάται η παρατηρηθείσα στάθμη υδάτων σε μέτρα (m). Η πράσινη γραμμή στο διάγραμμα αντιστοιχείται μια παρατήρηση, δηλαδή σε ένα ζεύγος τιμών ανατροφοδότησης και στάθμης υδάτων ενώ τα κόκκινη γραμμή αντιπροσωπεύει την γραμμική σχέση μεταξύ της ανατροφοδότησης και της στάθμης υδάτων.

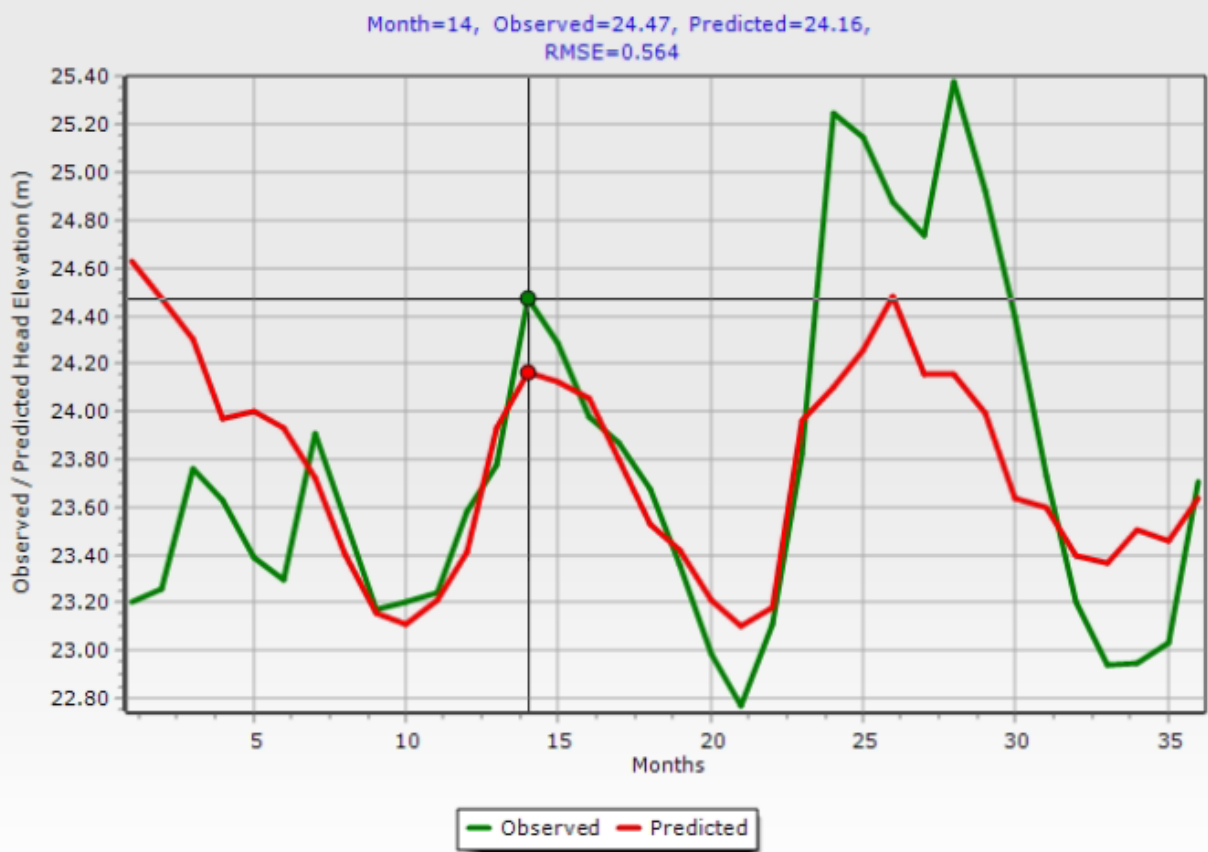
Το διάγραμμα που παρουσιάζεται στην Εικόνα 32 συγκρίνει τις παρατηρούμενες (πράσινη γραμμή) και τις προβλεπόμενες (κόκκινη γραμμή) τιμές της παρατηρούμενης/ προβλεπόμενης

στάθμης υδάτων σε διάστημα μηνών, με $RMSE = 1,238$ το οποίο υποδηλώνει ότι το σφάλμα είναι σχετικά μεγάλο, υποδεικνύοντας χειρότερη προβλεπτική ακρίβεια του μοντέλου και με αποκλίσεις μεταξύ των γραμμών να είναι εμφανείς ιδιαίτερα στα υψηλά και χαμηλά σημεία. Σημειώνεται ότι το $RMSE$ δίνεται στις μονάδες μέτρησης της μεταβλητής, δηλαδή σε m. Το μοντέλο σε αυτήν την περίπτωση δεν αποδίδει το ίδιο καλά. Οι μεγαλύτερες αποκλίσεις δείχνουν ότι τα δεδομένα πρόβλεψης απέχουν περισσότερο από τα πραγματικά, γεγονός που επηρεάζει την αξιοπιστία του μοντέλου.



Εικόνα 32: Διάγραμμα παρατηρούμενης/προβλεπόμενης στάθμης υδάτων για τη γεώτρηση 1

Το διάγραμμα που παρουσιάζεται στην Εικόνα 33 συγκρίνει τις παρατηρούμενες (πράσινη γραμμή) και τις προβλεπόμενες (κόκκινη γραμμή) τιμές της παρατηρούμενης/ προβλεπόμενης στάθμης υδάτων, με $RMSE = 0.564$ το οποίο δηλώνει ότι το σφάλμα είναι σχετικά μικρό, δείχνοντας καλή ακρίβεια του μοντέλου και οι προβλεπόμενες τιμές ακολουθούν τη γενική τάση των παρατηρούμενων, αλλά παρουσιάζουν αποκλίσεις, ειδικά στα σημεία με έντονες κορυφές. Σημειώνεται ότι (όπως και για την Εικόνα 32) το $RMSE$ δίνεται στις μονάδες μέτρησης της μεταβλητής, δηλαδή σε m. Συμπερασματικά, το μοντέλο αποδίδει ικανοποιητικά, αλλά υπάρχουν περιθώρια βελτίωσης στις ακραίες τιμές.



Εικόνα 33: Διάγραμμα παρατηρούμενης/προβλεπόμενης στάθμης υδάτων για τη γεώτρηση 2

5 Συμπεράσματα

Οι υγρότοποι παίζουν καθοριστικό ρόλο, ιδιαίτερα σε περιοχές με έντονη μεταλλευτική δραστηριότητα, καθώς συμβάλλουν στη διαχείριση υγρών αποβλήτων. Ένας βασικός παράγοντας για τον αποτελεσματικό τους σχεδιασμό είναι συλλογή και κατάλληλη επεξεργασία υδρογεωλογικών δεδομένων. Ο υδρολογικός σχεδιασμός του υγροτόπου στη μεταλλευτική περιοχή της Ολυμπιάδας-Χαλκιδικής υλοποιήθηκε με χρήση του λογισμικού Wetbud καθώς και του προγράμματος Hydrognomon 4.

Το λογισμικό Hydrognomon 4 επικεντρώνεται στην ανάλυση χρονοσειρών βροχομετρικών δεδομένων και τη στατιστική επεξεργασία τους. Τα δεδομένα των μετεωρολογικών σταθμών βροχοπτώσεων προσαρμόζονται ικανοποιητικά στην κατανομή Γάμμα. Μέσω της χρήσης παραμέτρων της κατανομής Γάμμα, μπορούμε να υπολογίσουμε πιθανοτικές τιμές βροχόπτωσης με εμπιστοσύνη σε δεδομένα επίπεδα αξιοπιστίας (π.χ. 90%, 95%), διευκολύνοντας τη λήψη αποφάσεων σχετικά με την ανάγκη για τεχνητή τροφοδοσία ή συγκράτηση υδάτων. Η ανάλυση των υδρολογικών ετών δεν αποκαλύπτει κάποιο επαναλαμβανόμενο ή προβλέψιμο μοτίβο ως προς τον χαρακτηρισμό τους σε «ξηρά», «κανονικά», ή «υγρά». Κάθε έτος παρουσιάζει μοναδικά χαρακτηριστικά που επηρεάζονται από ευρύτερους κλιματικούς παράγοντες. Ως εκ τούτου, η διαχείριση του υγροτόπου οφείλει να περιλαμβάνει εναλλακτικά σενάρια, ικανά να ανταποκρίνονται τόσο σε ακραία υγρά όσο και σε ακραία ξηρά έτη.

Με τη λειτουργία του προγράμματος Wetbud παρέχεται η ικανότητα για τον αξιόπιστο σχεδιασμό υδατικών συστημάτων χρησιμοποιώντας μετεωρολογικές (βροχόπτωση, θερμοκρασία), τοπογραφικές (ψηφιακό μοντέλο εδάφους) και εδαφολογικές (περατότητα) παραμέτρους. Το Wetbud μπορεί να χρησιμοποιηθεί αξιόπιστα για προβλέψεις και σενάρια διαχείρισης, προσφέροντας ένα ισχυρό εργαλείο υποστήριξης αποφάσεων για την αειφορική διαχείριση του υγροτόπου. Η εκτίμηση του υδατικού ισοζυγίου μέσω Wetbud αναδεικνύει την ανάγκη για σωστή εκτίμηση των εισροών και εκροών στο υδατικό σύστημα.

Οι υπολογισμοί του Wetbud για το WEM ανέδειξαν τη δυνατότητα του προγράμματος να παρέχει αξιόπιστα αποτελέσματα για την παρακολούθηση της στάθμης των υπογείων υδάτων και την αξιολόγηση των ροών σε υγροτόπους. Η σύγκριση των παρατηρούμενων τιμών στάθμης των υπόγειων υδάτων με τις αντίστοιχες τιμές που εκτιμά το υδρολογικό μοντέλο Wetbud δείχνει πολύ μικρές αποκλίσεις. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει τη σωστή ρύθμιση των παραμέτρων του μοντέλου, καθώς και την ορθή δομή του όσον αφορά την αναπαράσταση των φυσικών διαδικασιών.

Ο σχεδιασμός και η λειτουργία του υγροτόπου καθορίζονται άμεσα τόσο από τα επιφανειακά όσο και από τα υπόγεια ύδατα, τα οποία μεταβάλλονται σε ετήσια βάση. Κατά τη διάρκεια περιόδων υψηλής εισροής (π.χ. την υγρή περίοδο του χειμώνα), παρατηρείται αύξηση της στάθμης των επιφανειακών υδάτων. Αντίθετα, σε ξηρά έτη, σε περιόδους χαμηλής παροχής των υπόγειων υδροφορέων ή υπεράντλησης ο υγρότοπος τείνει να υποστεί υποβάθμιση, γεγονός που απαιτεί προσαρμογές στη διαχείριση (π.χ. έλεγχο της άντλησης υπόγειων νερών ή πρόσθετη τροφοδοσία από επιφανειακές παροχές).

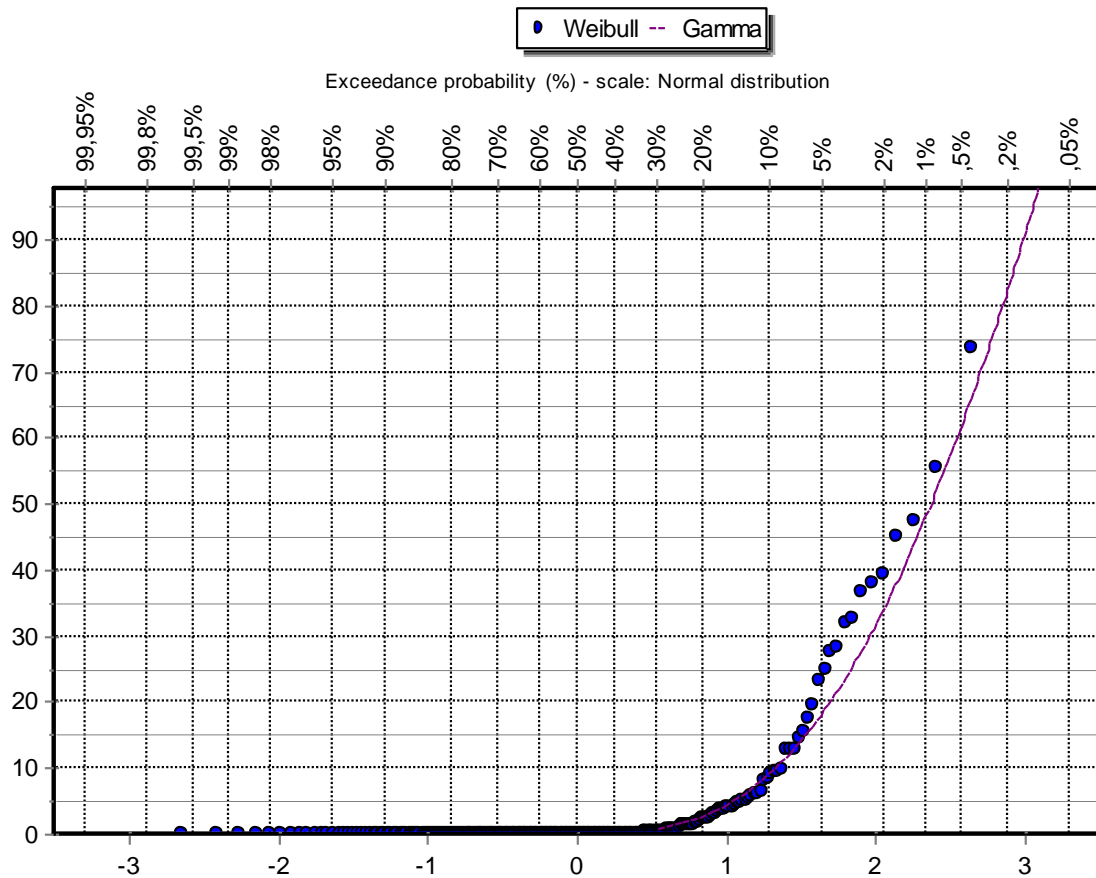
Στο πλαίσιο της ολοκληρωμένης προσέγγισης για τη διαχείριση του υδροτόπου η μελλοντική έρευνα μπορεί να επικεντρωθεί στην ενσωμάτωση του κώδικα USGS MODFLOW για την προσομοίωση ροής υπογείων υδάτων, στη διερεύνηση επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής μέσω αξιολόγησης κλιματικών σεναρίων, και ανάλυσης ευαισθησίας των παραμέτρων του μοντέλου Wetbud.

6 Βιβλιογραφία

- [1] <http://www.kpearchanon.gr/>
- [2] <http://gym-k-achaias.ach.sch.gr/ysimasia.htm>
- [3] Εγχειρίδιο χρήσης Υδρογνώμων, <https://www.itia.ntua.gr/en/getfile/934/1/documents/HydrognomonV4ManualGR-v1.00.pdf>
- [4] <https://rishubgreece.ntua.gr/el/hellas-gold/>
- [5] https://greenminerals.blogspot.com/2016_05_20_archive.html
- [6] <https://www.orykta.gr/geologia-oryktologia/oryktoi-poroi-koitasmatologia>
- [7] Πίσπα Άννα, Γεωστατιστική Ανάλυση της Στάθμης των Υπογείων Υδάτων στο Γεωγραφικό Διαμέρισμα της Δυτικής Μακεδονίας, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2024.
- [8] Βοζινάκη Ειρήνη, Μοντελοποίηση της Υδρολογίας της Λεκάνης Απορροής του Ποταμού Ευρώτα, Μεταπτυχιακή Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2009, <http://artemis.library.tuc.gr/MT2009-0048/MT2009-0048.pdf>
- [9] Εγχειρίδιο χρήσης Wetbud, https://resourceprotectiongroup.org/wp-content/uploads/2022/04/Wetbud_Users_Manual_Book.pdf
- [10] MathWorks, F-statistic & T-statistic, <https://www.mathworks.com/help/stats/fstatistic-and-t-statistic.html> [09/2019]
- [11] Koutsoyiannis D., Hydrology and Change, *Hydrological Sciences Journal*, 58 (6), 1177–1197, 2013, <https://doi.org/10.1080/02626667.2013.804626>
- [12] Dimitriadis, P., Koutsoyiannis, D. Stochastic synthesis approximating any process dependence and distribution. *Stoch Environ Res Risk Assess* 32, 1493–1515 (2018). <https://doi.org/10.1007/s00477-018-1540-2>
- [13] Ιωάννης Ζερβογιάννης, "Μοντελοποίηση υδατικού ισοζυγίου υδροβιότοπου υπό την επίδραση επιφανειακών απορροών σε μεταλλευτική περιοχή", Διπλωματική Εργασία, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, Ελλάς, 2024
- [14] Νόησις - Κέντρο Διάδοσης Επιστήμων και Μουσείο Τεχνολογίας, <https://www.noesis.edu.gr/>
- [15] ΦΑΚΕΛΟΣ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΥΑ ΕΠΟ 201745/26.7.2011 (ΑΕΠΟ) του Υποέργου «Μεταλλευτικές Εγκαταστάσεις Ολυμπιάδας», των μεταλλευτικών-μεταλλουργικών εγκαταστάσεων Μεταλλείων Κασσάνδρας στη Χαλκιδική <https://environmental.hellas-gold.com/sdi/sdi.php?configfile=configWaterGround&long=23.807395697698&lat=40.528559512711&zoom=11>
- [16] Πρόγραμμα Περιβαλλοντικής Παρακολούθησης Ελληνικού Χρυσού <https://environmental.hellas-gold.com/>

7 Παράρτημα

7.1 Ιανουάριος



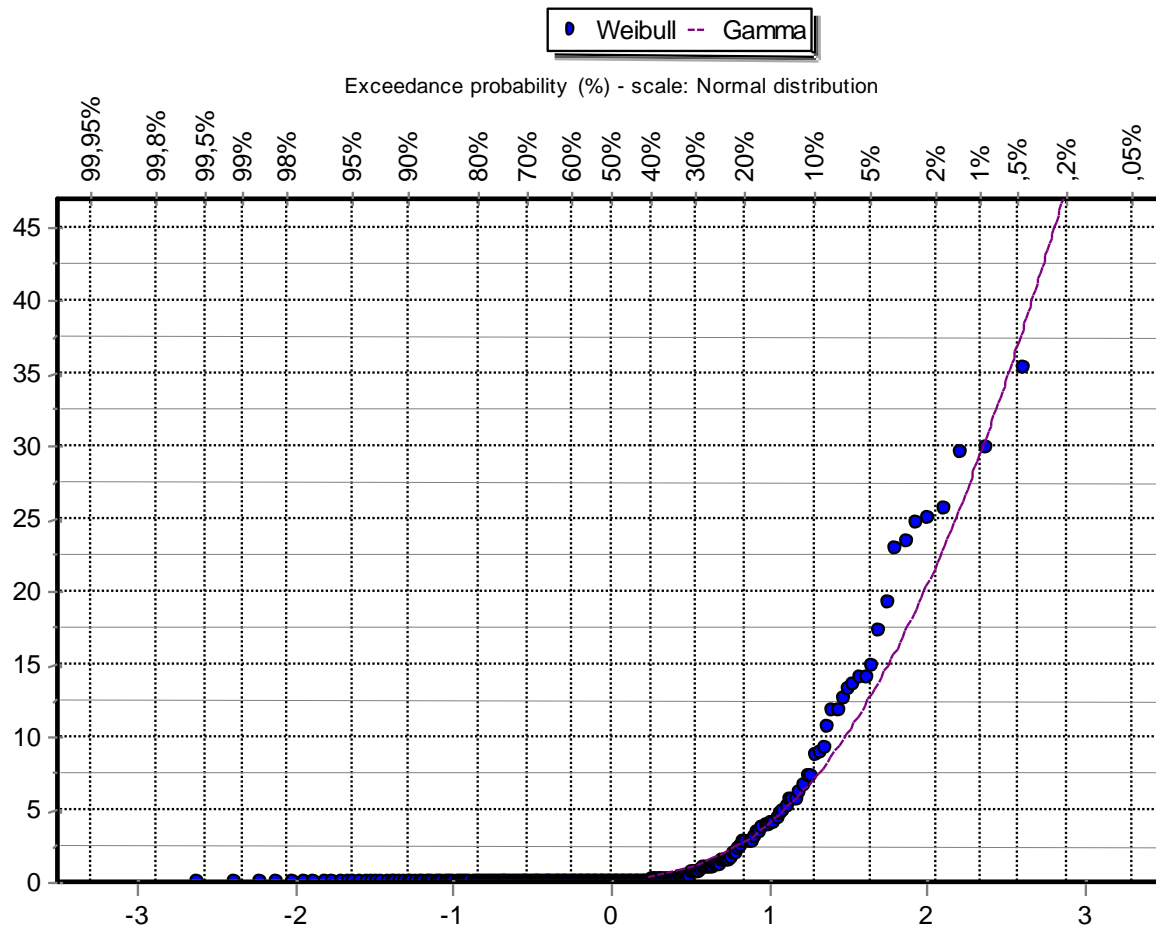
Εικόνα 34: Απεικόνιση βροχομετρικών μετρήσεων σε mm από τη βάση δεδομένων σε διάγραμμα συναρτήσεων κατανομής Γάμμα για τον μήνα Ιανουάριο

$$k=0,1135$$

$$\lambda=0,0358$$

Στο διάγραμμα Ιανουαρίου παρατηρούμε ότι από το 99,8% μέχρι το ανώτερο 10% η κατανομή Γάμμα κάνει καλή προσαρμογή. Αυτό φέρει σαν αποτέλεσμα το πειραματικό μοντέλο ακολουθεί το εμπειρικό μοντέλο.

7.2 Φεβρουάριος



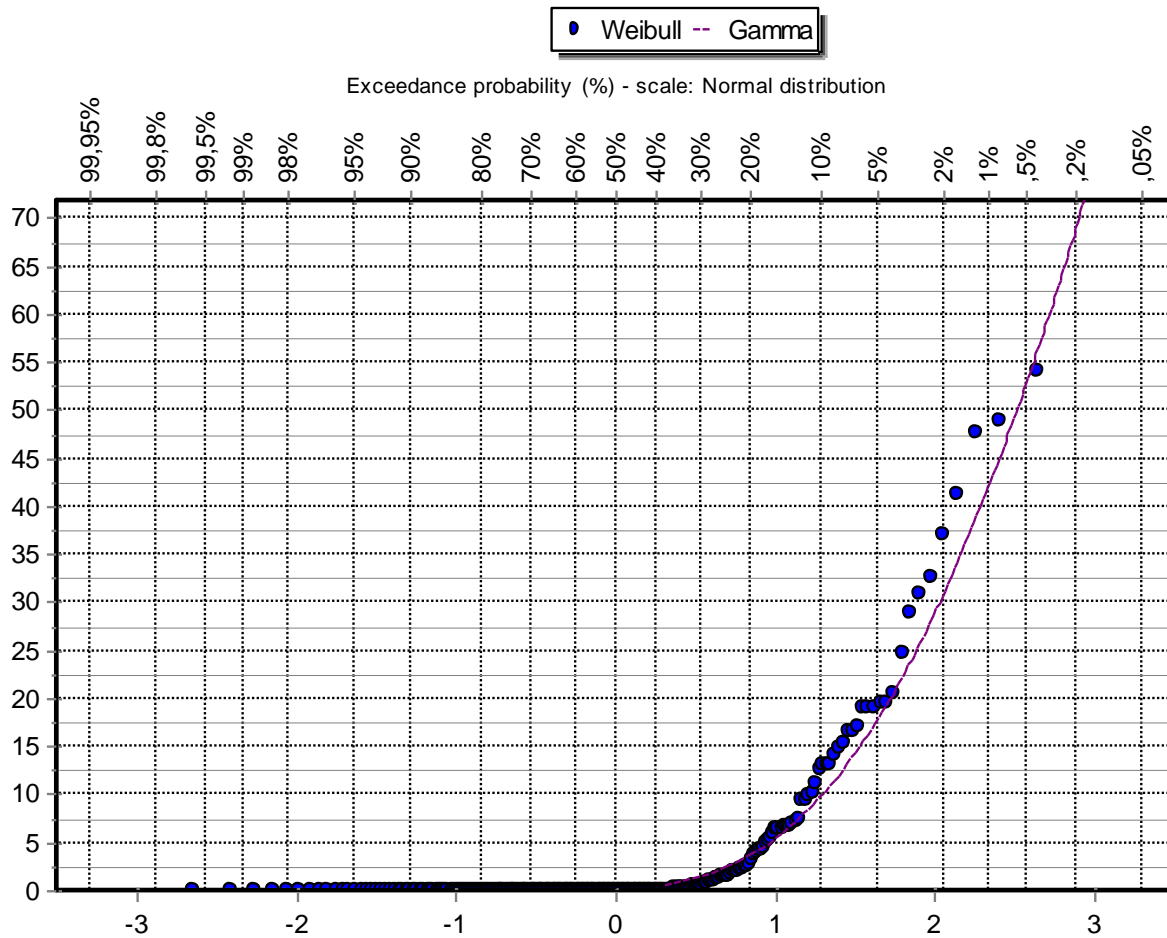
Εικόνα 35: Απεικόνιση βροχομετρικών μετρήσεων σε mm από τη βάση δεδομένων σε διάγραμμα συναρτήσεων κατανομής Γάμμα για τον μήνα Φεβρουάριο

$$k = 0,1626$$

$$\lambda = 0,0690$$

Στο διάγραμμα Φεβρουαρίου παρατηρούμε ότι από το 99,8% μέχρι το ανώτερο 10% η κατανομή Γάμμα κάνει καλή προσαρμογή. Αυτό φέρει σαν αποτέλεσμα το πειραματικό μοντέλο ακολουθεί το εμπειρικό μοντέλο

7.3 Μάρτιος



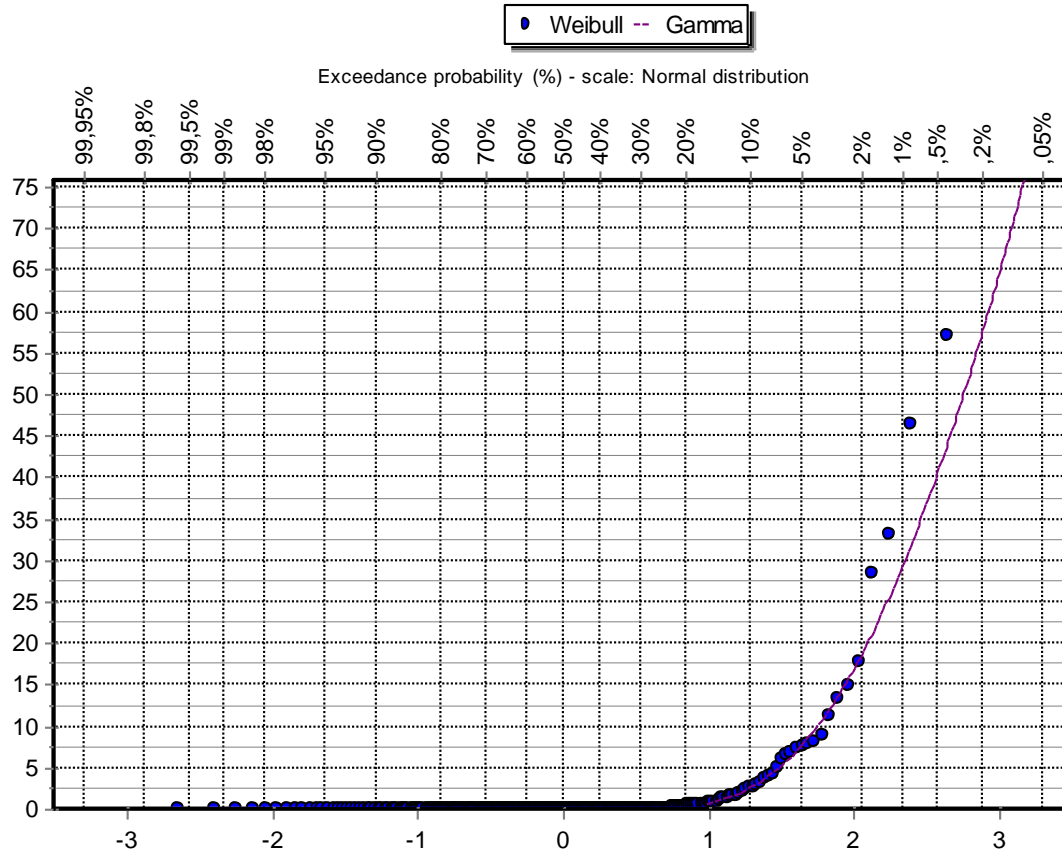
Εικόνα 36: Απεικόνιση βροχομετρικών μετρήσεων σε mm από τη βάση δεδομένων σε διάγραμμα συναρτήσεων κατανομής Γάμμα για τον μήνα Μάρτιο

$$k = 0,1530$$

$$\lambda = 0,0470$$

Στο διάγραμμα Μαρτίου παρατηρούμε ότι από το 99,8% μέχρι το ανώτερο 5% η κατανομή Γάμμα κάνει καλή προσαρμογή. Αυτό φέρει σαν αποτέλεσμα το πειραματικό μοντέλο ακολουθεί το εμπειρικό μοντέλο

7.4 Απρίλιος



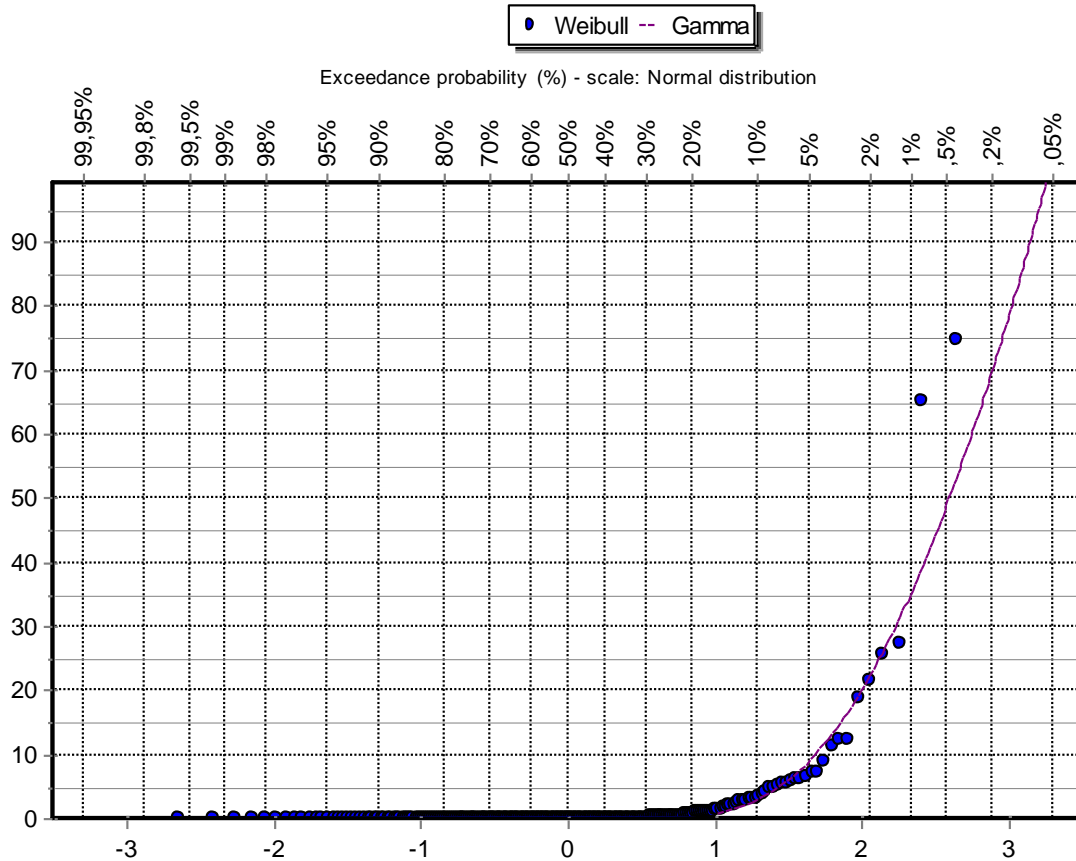
Εικόνα 37: Απεικόνιση βροχομετρικών μετρήσεων σε mm από τη βάση δεδομένων σε διάγραμμα συναρτήσεων κατανομής Γάμμα για τον μήνα Απρίλιο

$$k = 0,0559$$

$$\lambda = 0,0402$$

Στο διάγραμμα Απριλίου παρατηρούμε ότι από το 99,8% μέχρι το ανώτερο 5% η κατανομή Γάμμα κάνει καλή προσαρμογή. Αυτό φέρει σαν αποτέλεσμα το πειραματικό μοντέλο ακολουθεί το εμπειρικό μοντέλο

7.5 Μάιος



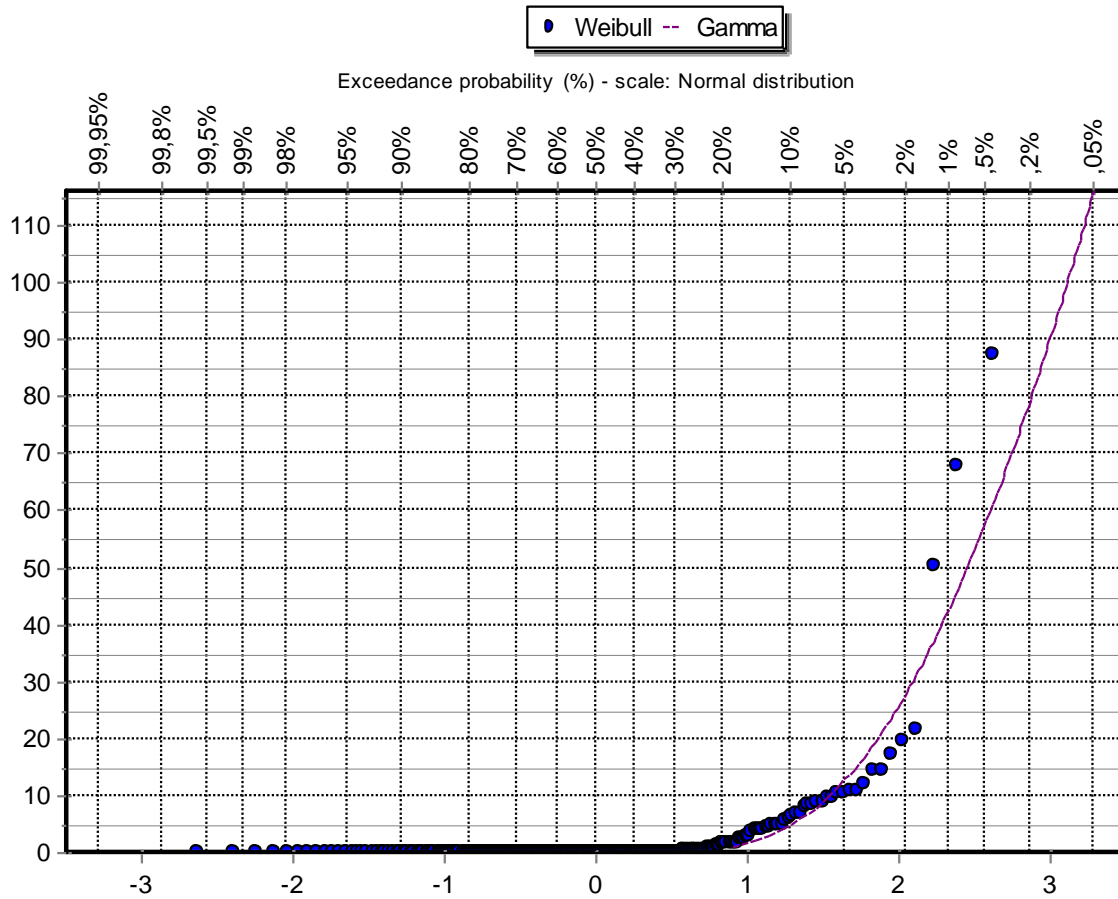
Εικόνα 38: Απεικόνιση βροχομετρικών μετρήσεων σε mm από τη βάση δεδομένων σε διάγραμμα συναρτήσεων κατανομής Γάμμα για τον μήνα Μάιο

$$k = 0,0536$$

$$\lambda = 0,0327$$

Στο διάγραμμα Μαΐου παρατηρούμε ότι από το 99,8% μέχρι το ανώτερο 2% η κατανομή Γάμμα κάνει καλή προσαρμογή. Αυτό φέρει σαν αποτέλεσμα το πειραματικό μοντέλο ακολουθεί το εμπειρικό μοντέλο

7.6 Ιούνιος



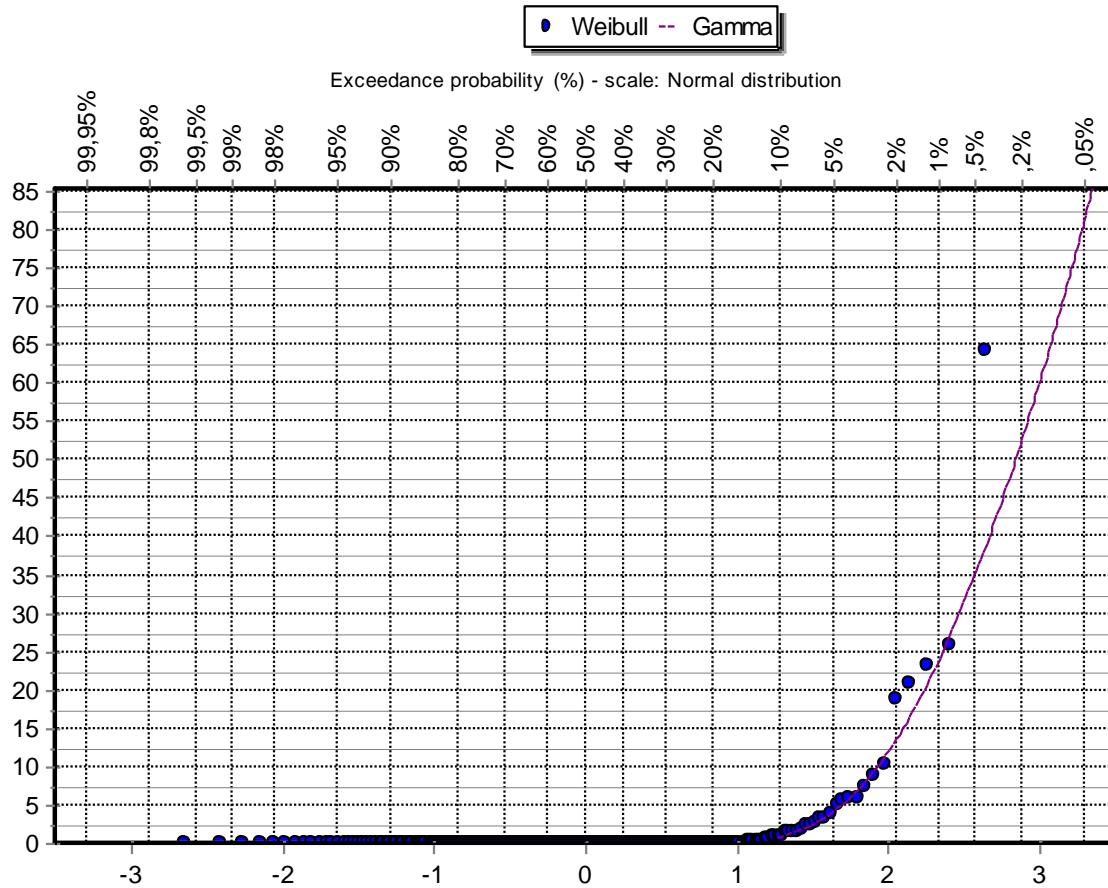
Εικόνα 39: Απεικόνιση βροχομετρικών μετρήσεων σε mm από τη βάση δεδομένων σε διάγραμμα συναρτήσεων κατανομής Γάμμα για τον μήνα Ιούνιο

$$k = 0,0668$$

$$\lambda = 0,0309$$

Στο διάγραμμα Ιουνίου παρατηρούμε ότι από το 99,8% μέχρι το ανώτερο 2% η κατανομή Γάμμα κάνει καλή προσαρμογή. Αυτό φέρει σαν αποτέλεσμα το πειραματικό μοντέλο ακολουθεί το εμπειρικό μοντέλο

7.7 Ιούλιος



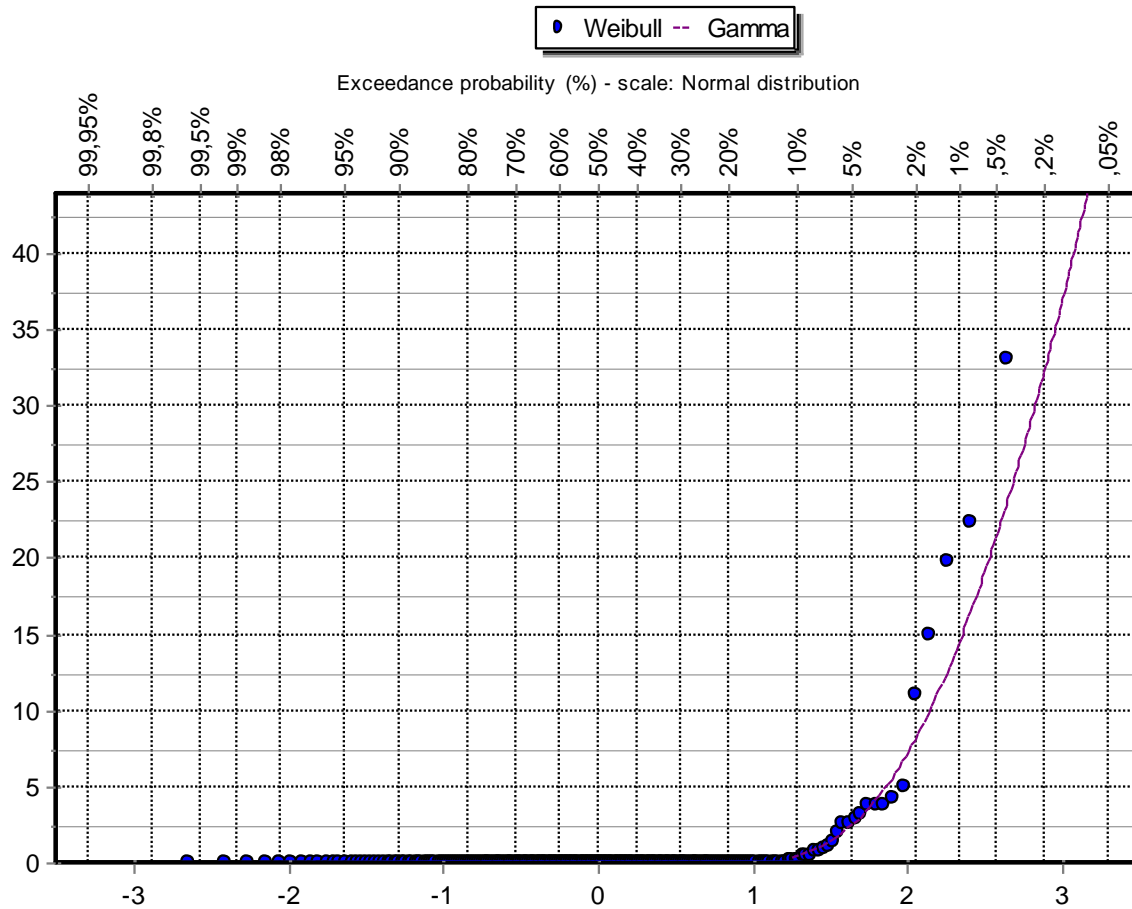
Εικόνα 40: Απεικόνιση βροχομετρικών μετρήσεων σε mm από τη βάση δεδομένων σε διάγραμμα συναρτήσεων κατανομής Γάμμα για τον μήνα Ιούλιο

$$k = 0,0348$$

$$\lambda = 0,0369$$

Στο διάγραμμα Ιουλίου παρατηρούμε ότι από το 99,6% μέχρι το ανώτερο 3% η κατανομή Γάμμα κάνει καλή προσαρμογή. Αυτό φέρει σαν αποτέλεσμα το πειραματικό μοντέλο ακολουθεί το εμπειρικό μοντέλο

7.8 Αύγουστος



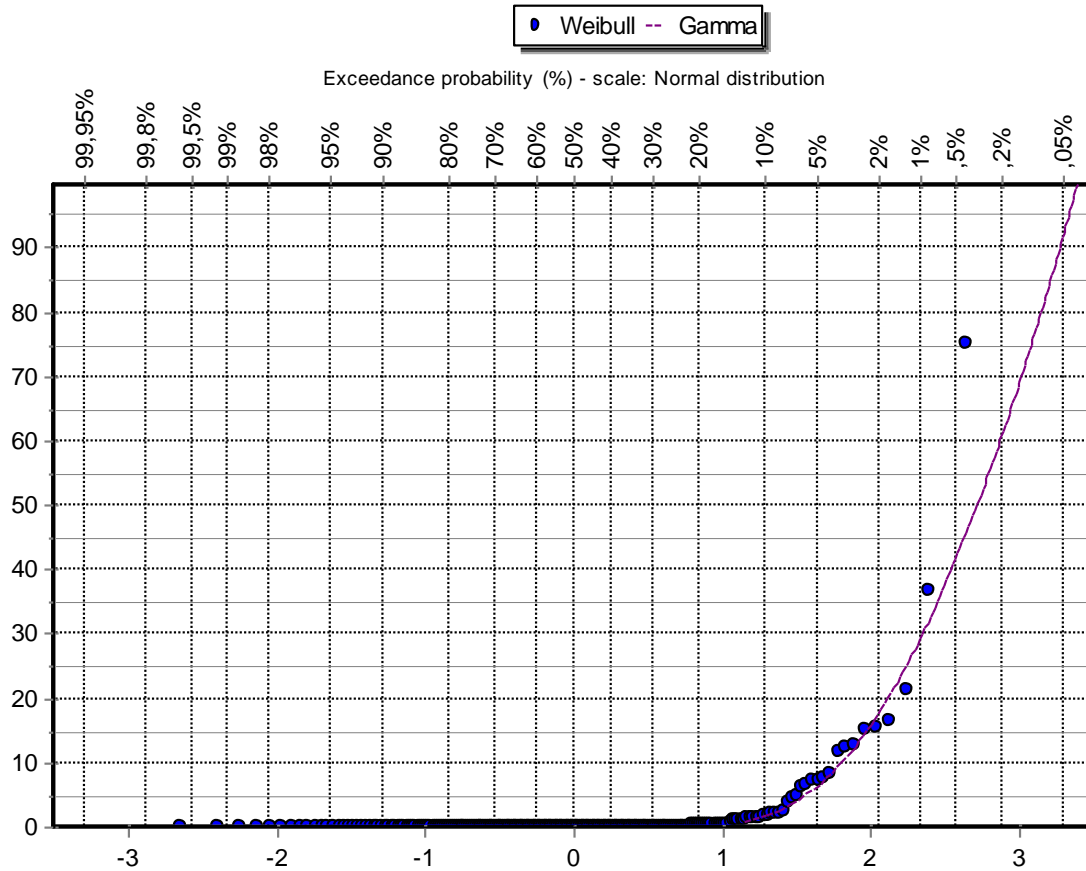
Εικόνα 41: Απεικόνιση βροχομετρικών μετρήσεων σε mm από τη βάση δεδομένων σε διάγραμμα συναρτήσεων κατανομής Γάμμα για τον μήνα Αύγουστο

$$k = 0,0339$$

$$\lambda = 0,0595$$

Στο διάγραμμα Αυγούστου παρατηρούμε ότι από το 99,6% μέχρι το ανώτερο 4% η κατανομή Γάμμα κάνει καλή προσαρμογή. Αυτό φέρει σαν αποτέλεσμα το πειραματικό μοντέλο ακολουθεί το εμπειρικό μοντέλο

7.9 Σεπτέμβριος



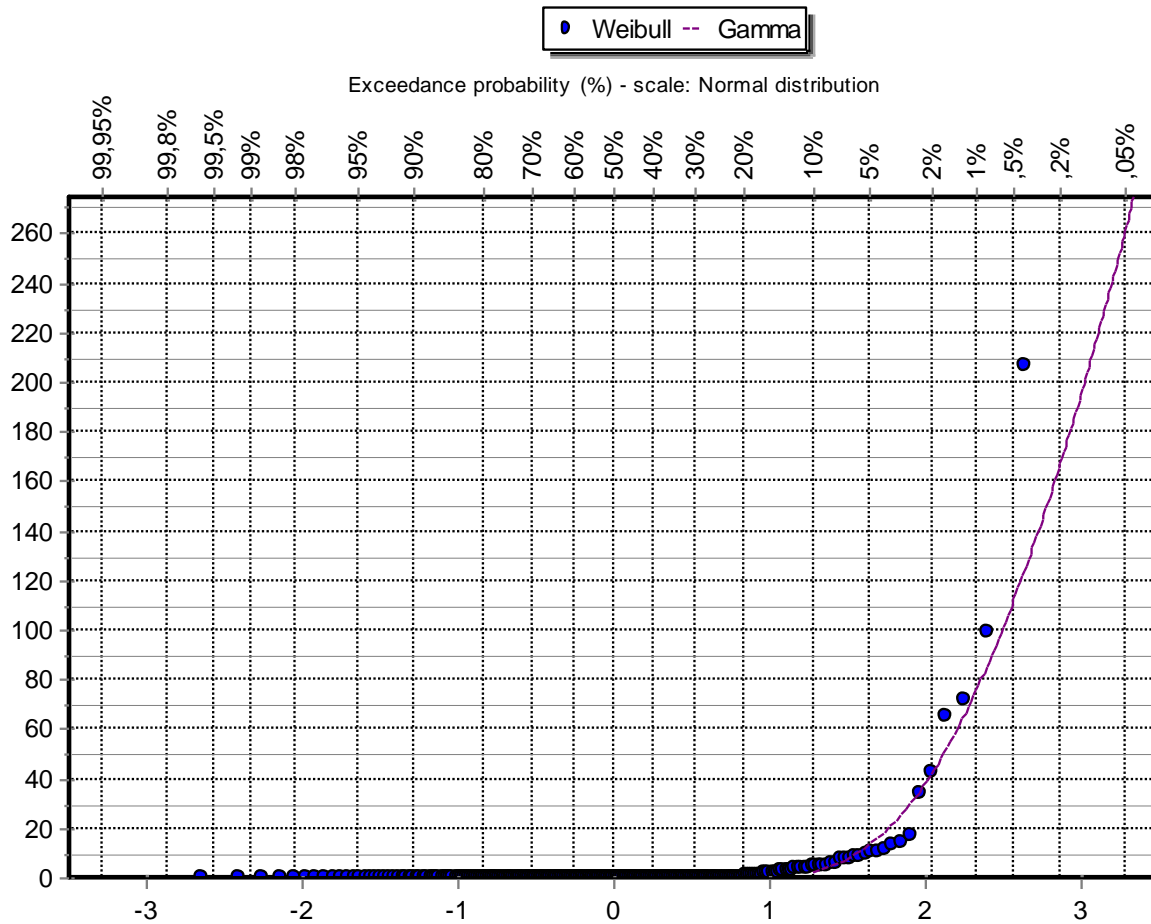
Εικόνα 42: Απεικόνιση βροχομετρικών μετρήσεων σε mm από τη βάση δεδομένων σε διάγραμμα συναρτήσεων κατανομής Γάμμα για τον μήνα Σεπτέμβριο

$$k = 0,0437$$

$$\lambda = 0,0348$$

Στο διάγραμμα Σεπτεμβρίου παρατηρούμε ότι από το 99,6% μέχρι το ανώτερο 2% η κατανομή Γάμμα κάνει καλή προσαρμογή. Αυτό φέρει σαν αποτέλεσμα το πειραματικό μοντέλο ακολουθεί το εμπειρικό μοντέλο

7.10 Οκτώβριος



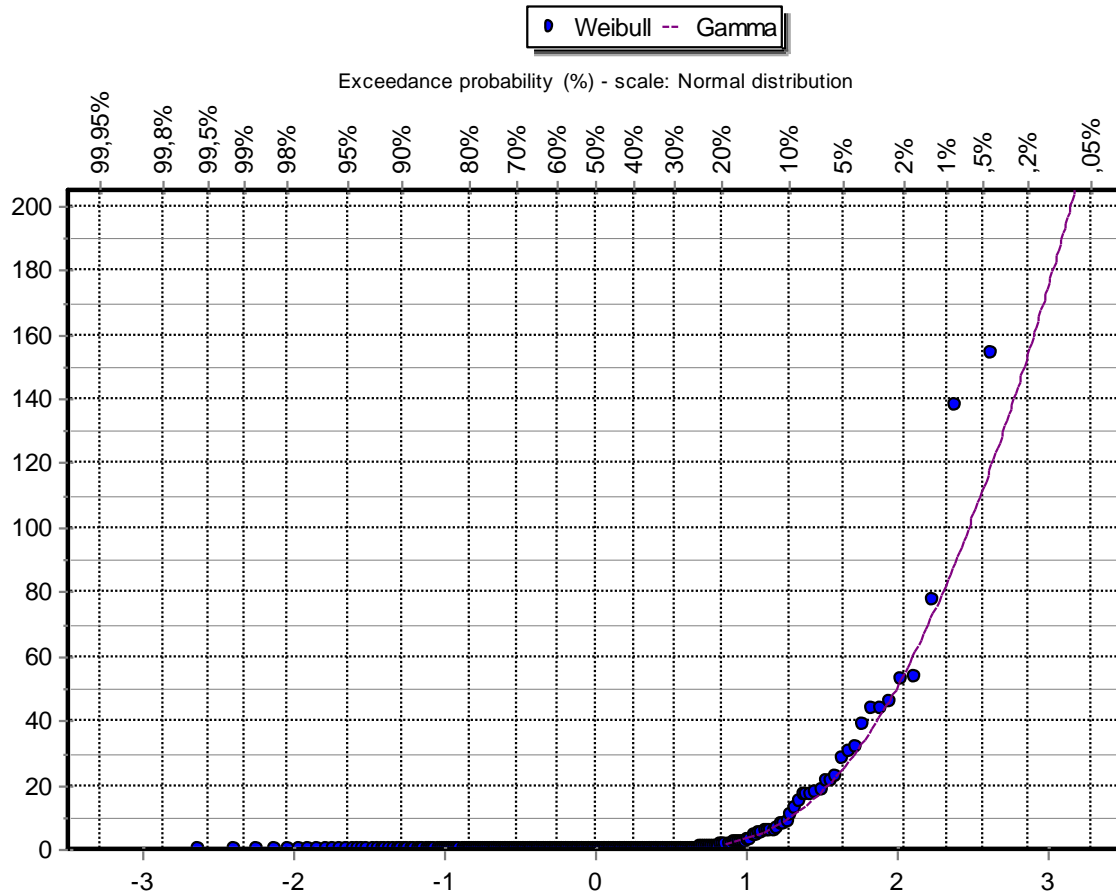
Εικόνα 43: Απεικόνιση βροχομετρικών μετρήσεων σε mm από τη βάση δεδομένων σε διάγραμμα συναρτήσεων κατανομής Γάμμα για τον μήνα Οκτώβριο

$$k = 0,0338$$

$$\lambda = 0,0114$$

Στο διάγραμμα Οκτωβρίου παρατηρούμε ότι από το 99,6% μέχρι το ανώτερο 2% η κατανομή Γάμμα κάνει καλή προσαρμογή. Αυτό φέρει σαν αποτέλεσμα το πειραματικό μοντέλο ακολουθεί το εμπειρικό μοντέλο

7.11 Νοέμβριος



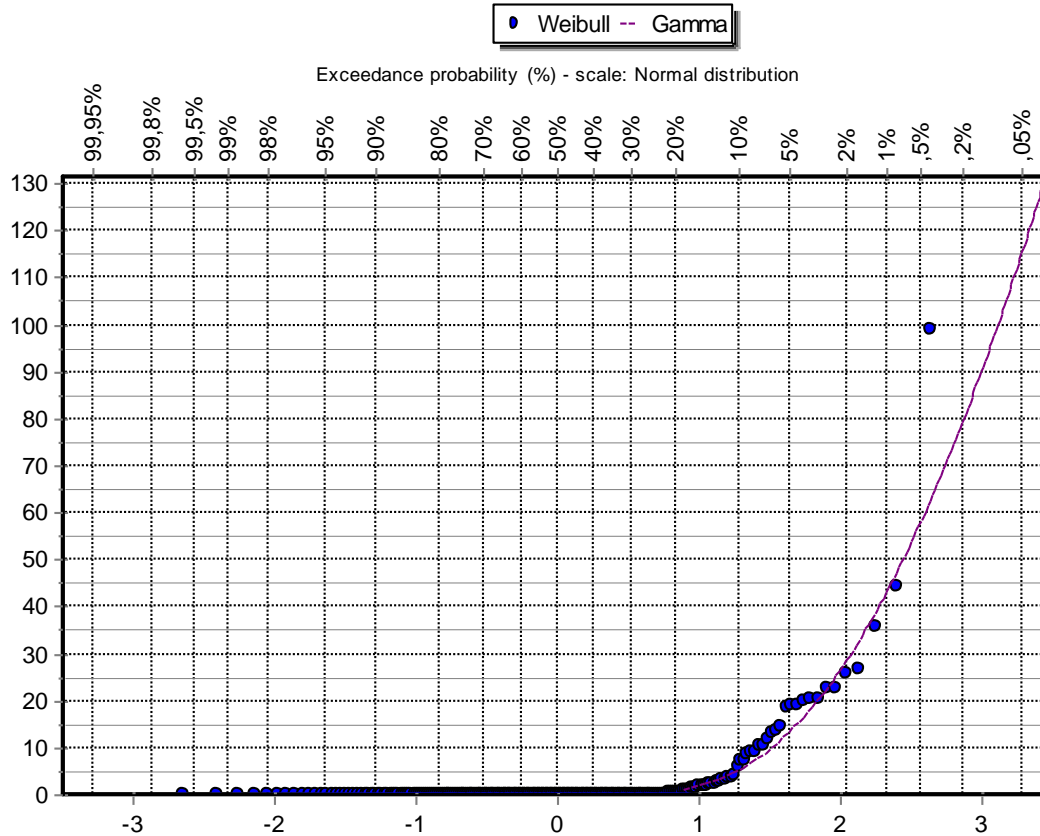
Εικόνα 44: Απεικόνιση βροχομετρικών μετρήσεων σε mm από τη βάση δεδομένων σε διάγραμμα συναρτήσεων κατανομής Γάμμα για τον μήνα Νοέμβριο

$$k = 0,0693$$

$$\lambda = 0,0161$$

Στο διάγραμμα Νοεμβρίου παρατηρούμε ότι από το 99,6% μέχρι το ανώτερο 2% η κατανομή Γάμμα κάνει καλή προσαρμογή. Αυτό φέρει σαν αποτέλεσμα το πειραματικό μοντέλο ακολουθεί το εμπειρικό μοντέλο

7.12 Δεκέμβριος



Εικόνα 45: Απεικόνιση βροχομετρικών μετρήσεων σε mm από τη βάση δεδομένων σε διάγραμμα συναρτήσεων κατανομής Γάμμα για τον μήνα Δεκέμβριο

$$k=0,0716$$

$$\lambda=0,0315$$

Στο διάγραμμα Δεκεμβρίου παρατηρούμε ότι από το 99,6% μέχρι το ανώτερο 1% η κατανομή Γάμμα κάνει καλή προσαρμογή. Αυτό φέρει σαν αποτέλεσμα το πειραματικό μοντέλο ακολουθεί το εμπειρικό μοντέλο