

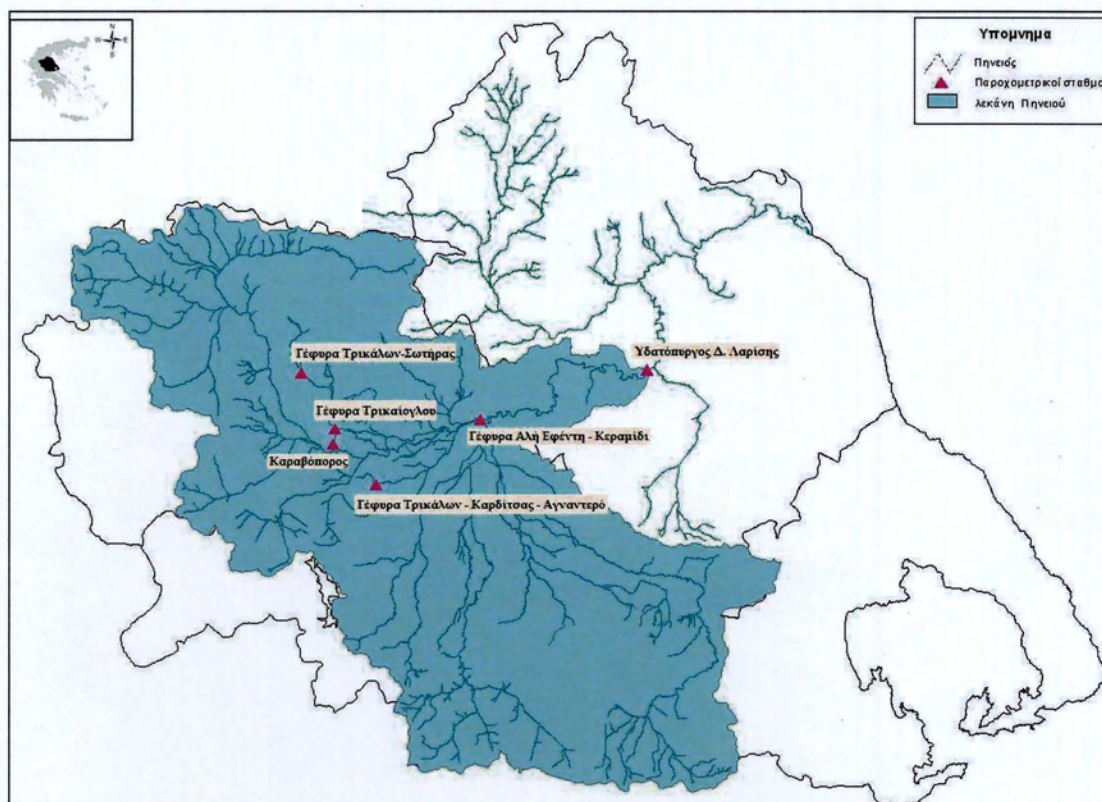


ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ακαδημαϊκό Έτος 2011 – 2012

"Ανάλυση και προσομοίωση των ποιοτικών  
χαρακτηριστικών της επιφανειακής απορροής  
υδρολογικών υπολεκανών του Πηνειού Ποταμού"



ΣΚΟΥΤΑΡΑΣ ΘΕΟΦΙΛΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ  
Δρ. ΛΟΥΚΑΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ  
Καθηγητής

ΒΟΛΟΣ, 2012



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ  
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 10458/1  
Ημερ. Εισ.: 21-03-2012  
Δωρεά: Συγγραφέα  
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΠΜ  
2012  
ΣΚΟ



## Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στους ανθρώπους, που χωρίς την καθοριστική συμβολή τους δεν θα ήταν δυνατή η επιτυχής ολοκλήρωσή της.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή κ. Αθανάσιο Λουκά, για την πολύτιμη συνεργασία, την βοήθεια και τις συμβουλές που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας αυτής.

Επίσης ευχαριστώ τον Λάμπρο Βασιλειάδη για την ευχάριστη συνεργασία και βοήθεια που μου προσέφερε όλον αυτό τον καιρό.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους γονείς μου οι οποίοι με στήριξαν και με στηρίζουν με κάθε τρόπο.

---

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία έγινε μια διεξοδική ανάλυση και προσομοίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών της επιφανειακής απορροής υδρολογικών υπολεκανών του Πηνειού ποταμού. Μέσω του προγράμματος Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.) αναλύθηκαν τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής, υπολογίστηκαν δεδομένα υψομέτρου, έκτασης καθώς και ποσοστά χρήσεων γης για τις υπολεκάνες της περιοχής μελέτης. Βάσει των παραπάνω δεδομένων υπολογίστηκαν για κάθε υπολεκάνη απορροής δεδομένα μέσης μηνιαίας επιφανειακής υετόπτωσης, μέσης μηνιαίας εξατμισοδιαπνοής και μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας. Τα παραπάνω αποτελέσματα αξιοποιήθηκαν για την προσομοίωση της απορροής των υπολεκανών μέσω ενός μοντέλου προσομοίωσης απορροής. Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας επιλέχθηκε το υδρολογικό μοντέλο UTHBAL έξι παραμέτρων, όπως αναπτύχθηκε από τους Λουκάς και συνεργάτες (2003). Μέσω της παραπάνω διαδικασίας έγινε η εξαγωγή αποτελεσμάτων του επιφανειακού υδατικού δυναμικού της περιοχής μελέτης (συνολική απορροή και συνιστώσες της). Τα αρχικά δεδομένα των ποιοτικών χαρακτηριστικών ήταν μηνιαίες μετρήσεις συγκεντρώσεων από έξι σταθμούς μέτρησης. Οι μετρήσεις αυτές των συγκεντρώσεων χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των φορτίων ανά μήνα των ποιοτικών παραμέτρων. Στη συνέχεια μέσω του στατιστικού προγράμματος SPSS έγινε αρχικά στατιστική ανάλυση και ύστερα έλεγχος της κανονικότητας των συγκεντρώσεων και των φορτίων των ποιοτικών χαρακτηριστικών. Ακολούθησε ο υπολογισμός των συντελεστών συσχέτισης μεταξύ ποιοτικών παραμέτρων και υδρολογικών δεδομένων. Τέλος υπολογίστηκαν γραμμικές σχέσεις με τη μέθοδο *stepwise linear regression*, αρχικά για τις συγκεντρώσεις και ύστερα για τα φορτία των ποιοτικών χαρακτηριστικών, λαμβάνοντας υπόψη τα υδρολογικά δεδομένα για τις υπολεκάνες και τα υδρολογικά δεδομένα και τις χρήσεις γης για ολόκληρη τη λεκάνη απορροής του Πηνειού. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν αναλύθηκαν, παρουσιάστηκαν και σχολιάστηκαν αναλυτικά.



---

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	I
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	II
<b>Κεφάλαιο 1ο ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	<b>1</b>
1.1 ΟΙ ΥΔΑΤΙΝΟΙ ΠΟΡΟΙ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	1
1.2 ΡΥΠΑΝΣΗ ΣΤΟΥΣ ΥΔΑΤΙΚΟΥΣ ΠΟΡΟΥΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	2
1.3 ΠΗΝΕΙΟΣ ΠΟΤΑΜΟΣ	5
1.4 ΣΤΟΧΟΙ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	6
1.5 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	7
<b>Κεφάλαιο 2ο ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ     ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ</b>	<b>8</b>
2.1 ΓΕΝΙΚΑ	8
2.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΟΥ ΠΗΝΕΙΟΥ	10
2.2.1 Γενικά	10
2.2.2 Επεξεργασία γεωμορφολογικών δεδομένων λεκανών απορροής	11
2.2.3 Δεδομένα	11
2.2.4 Υπολογισμός γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών	17
2.3 ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ	19
2.4 ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΥΔΑΤΩΝ	24

<b>Κεφάλαιο 3ο ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ</b>	<b>28</b>
3.1 ΓΕΝΙΚΑ	28
3.2 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΣΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΜΗΝΙΑΙΑΣ ΥΕΤΟΠΤΩΣΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟ THIESSEN	29
3.2.1 Γενικά	29
3.2.2 Επεξεργασία δεδομένων	31
3.3 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΣΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΜΗΝΙΑΙΑΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΒΑΘΜΙΔΑΣ	34
3.3.1 Γενικά	34
3.3.2 Επεξεργασία δεδομένων	35
3.4 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΣΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΜΗΝΙΑΙΑΣ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ	41
3.4.1 Γενικά	41
3.4.2 Υπολογισμός εξατμισοδιαπνοής ET	43
3.5 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ	48
3.5.1 Γενικά	48
3.5.2 Συσσώρευση και τήξη χιονιού	49
3.5.3 Διαδικασία υπολογισμού απορροής	51
3.5.4 Επεξεργασία δεδομένων - βελτιστοποίηση παραμέτρων του μοντέλου	54
3.5.5 Δημιουργία συνθετικών απορροών στις λεκάνες	58



3.6 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ	63
3.6.1 Χρονοσειρές μετρήσεων ποιοτικών παραμέτρων	63
3.6.2 Στατιστική ανάλυση συγκεντρώσεων ποιοτικών παραμέτρων	66
3.6.3 Στατιστική ανάλυση φορτίων ποιοτικών παραμέτρων	68
3.7 ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	71
3.7.1 Κανονικότητα δεδομένων	71
3.7.2 Συσχέτιση δεδομένων	77
3.8 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	85
3.8.1 Γενικά	85
3.8.2 Προσομοίωση συγκεντρώσεων ποιοτικών χαρακτηριστικών	86
3.8.3 Προσομοίωση φορτίων ποιοτικών χαρακτηριστικών	86
<b>Κεφάλαιο 4ο ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ</b>	<b>87</b>
4.1 ΓΕΝΙΚΑ	87
4.2 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ	87
4.2.1 Υπολεκάνες	87
4.2.2 Ολόκληρη η λεκάνη του Πηνειού	93

---

4.3 ΦΟΡΤΙΑ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ	98
4.3.1 Υπολεκάνες	98
4.3.2 Ολόκληρη η λεκάνη του Πηνειού	122
<b>Κεφάλαιο 5ο ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b>	<b>130</b>
<b>Κεφάλαιο 6ο ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	<b>133</b>
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	133
ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	134



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 ΟΙ ΥΔΑΤΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Στην Ελλάδα, το νερό αποτελεί σημαντικό περιβαλλοντικό ζήτημα που απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή. Η κρισιμότητα του ζητήματος αφορά παράγοντες που σχετίζονται με τα κλιματικά και τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της χώρας. Η χωρική και χρονική ανισοκατανομή της φυσικής προσφοράς του νερού της βροχής αλλά και της ζήτησής του, είναι ένας απ' αυτούς τους παράγοντες. Έτσι, στην ηπειρωτική και ορεινή Ελλάδα και κατά τους χειμερινούς μήνες παρατηρείται το μεγαλύτερο ποσοστό των βροχοπτώσεων, ενώ αντίθετα η πεδινή και παράκτια χώρα, στην οποία συγκεντρώνεται και το μεγαλύτερο μέρος της ανθρώπινης δραστηριότητας, αφ' ενός χαρακτηρίζεται από χαμηλά ποσοστά βροχόπτωσης, αφ' ετέρου υπάρχει ζήτηση για κατανάλωση μεγάλων ποσοτήτων νερού. Συγχρόνως, οι δύο μεγαλύτεροι οικονομικοί παράγοντες της πατρίδας μας, ο τουρισμός και η γεωργία, στηρίζονται στην κατανάλωση νερού.

Ο περιορισμένος αριθμός και η γεωγραφική κατανομή των ποτάμιων συστημάτων, η οποία οφείλεται στο γεωμορφολογικό ανάγλυφο καθώς και η έλλειψη υδροτεχνικών έργων, οδήγησε σε μεγάλο αριθμό γεωτρήσεων και στην υπερεκμετάλλευση του υπόγειου νερού.

Αποτέλεσμα λοιπόν, όλων αυτών, είναι η έντονη υποβάθμιση του υπόγειου υδροφορέα ή ακόμα και η υφαλμύρωση του στις παράκτιες περιοχές. Αντιπροσωπευτικό παράδειγμα είναι η ανατολική περιοχή της Θεσσαλίας στην οποία, ήδη, έχει εισχωρήσει η υφάλμυρη σφήνα στον υδάτινο υδροφορέα. Τέλος, πρέπει να προστεθεί και η ρύπανση του ανανεώσιμου υδατικού δυναμικού, από χημικές ενώσεις που προέρχονται από τη μεγάλη και αλόγιστη χρήση γεωργικών φαρμάκων και λιπασμάτων.

## 1.2 ΡΥΠΑΝΣΗ ΣΤΟΥΣ ΥΔΑΤΙΚΟΥΣ ΠΟΡΟΥΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

Οι ελληνικοί υδατικοί πόροι είναι σε γενικές γραμμές καλής ποιότητας, λόγω της απουσίας σημαντικών πηγών ρύπανσης στο μεγαλύτερο μέρος της χώρας. Τα κυριότερα προβλήματα παρουσιάζονται στα υπόγεια και επιφανειακά νερά αγροτικών περιοχών, όπου εμφανίζονται σημαντικά αυξημένες συγκεντρώσεις νιτρικών, λόγω κυρίως της εντατικής χρήσης αζωτούχων λιπασμάτων. Σε αγροτικές περιοχές εμφανίζεται επίσης ρύπανση επιφανειακών κυρίως νερών από φυτοφάρμακα, η οποία σχετίζεται με τις εφαρμοζόμενες γεωργικές πρακτικές. Η ύπαρξη νιτρορύπανσης στα επιφανειακά και υπόγεια νερά, έχει χαρακτηριστεί σημαντική σε μερικές περιοχές της Ελλάδας μια εκ των οποίων είναι ο Πηνειός ποταμός.

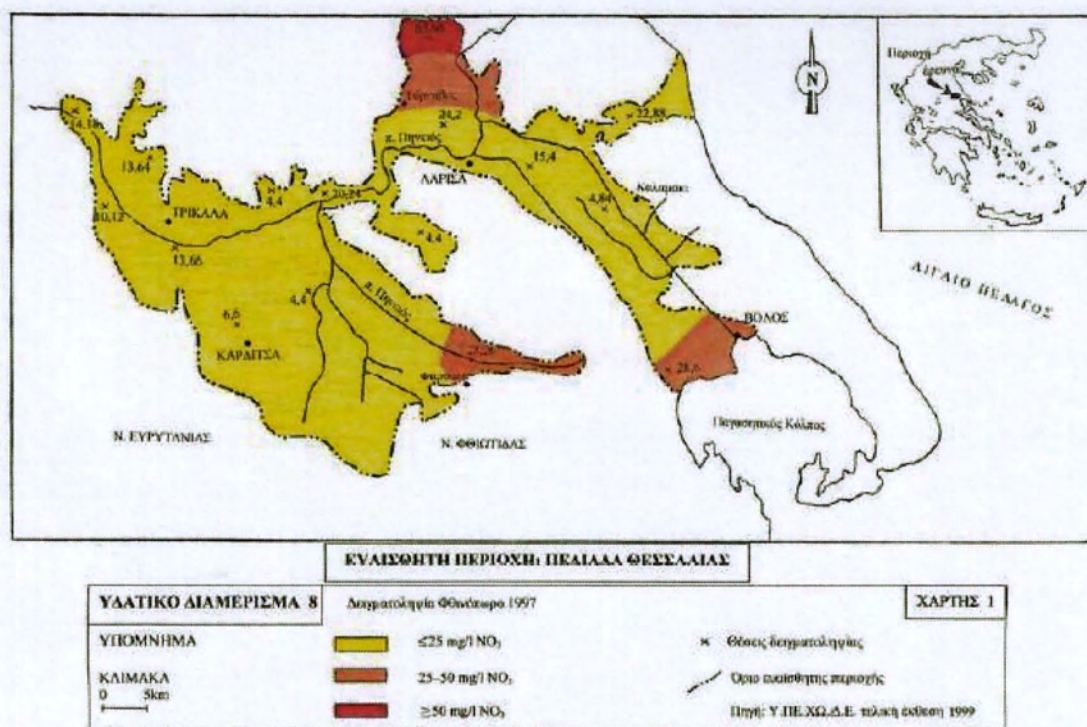
Μεμονωμένες περιπτώσεις ρύπανσης υδατικών πόρων, κυρίως επιφανειακών, παρουσιάζονται επίσης κοντά σε αστικά κέντρα και βιομηχανικές μονάδες που δεν λειτουργούν μονάδες επεξεργασίας των υγρών τους αποβλήτων. Προβλήματα υφαλμύρωσης υπόγειων και επιφανειακών νερών λόγω διεισδυσης θαλασσινού νερού έχει παρατηρηθεί σε παράκτιες περιοχές και εκβολές ποταμών, λόγω υπεράντλησης υπογείων υδάτων ή/και έργων αποστράγγισης. Παραμένοντες ρύποι (φυτοφάρμακα, άλλες οργανικές συνθετικές ενώσεις, μέταλλα) αν και ανιχνεύονται στα επιφανειακά νερά ποταμών και λιμνών, δεν φαίνεται να δημιουργούν εν γένει έντονο πρόβλημα στην ποιότητα των υδροφορέων. Οι συγκεντρώσεις των περισσότερων παραμενόντων ρύπων είναι σχετικά χαμηλές, αλλά έχουν βρεθεί μεμονωμένα δείγματα με συγκεντρώσεις υψηλότερες των υφιστάμενων ορίων, γεγονός που υπογραμμίζει την ανάγκη συστηματικής καταγραφής και παρακολούθησης της κατανομής των ουσιών αυτών στους επιφανειακούς και υπόγειους υδροφορείς της Ελλάδας.

Σε ποταμούς που ρέουν κοντά σε αστικά κέντρα ή σε περιοχές που χαρακτηρίζονται από έντονη γεωργική ή βιομηχανική δραστηριότητα, όπως ο Πηνειός, έχουν καταγραφεί αυξημένες συγκεντρώσεις θρεπτικών αλάτων



(νιτρικά, αμμωνιακά, φωσφορικά) καθώς και αυξημένες συγκεντρώσεις παραμενόντων ρύπων (οργανοχλωριωμένες ενώσεις και τοξικά μέταλλα).

Η ρύπανση των επιφανειακών και υπόγειων νερών λόγω νιτρικών αλάτων είναι άμεσα συνδεδεμένη με τη χρήση λιπασμάτων στη γεωργία. Δεδομένης της μεγάλης διαλυτότητας των νιτρικών ιόντων, το άζωτο που προστίθεται σε διάφορες μορφές για τις ανάγκες θρέψης των φυτών οξειδώνεται τελικά σε νιτρικά και μεταφέρεται διαλυμένο στο νερό το οποίο απορρέει προς τους επιφανειακούς αποδέκτες ή διεισδύει στους υπόγειους υδροφορείς. Ο ρυθμός μεταφοράς του νιτρικού αζώτου εξαρτάται από πολλούς παράγοντες (βροχόπτωση, πορώδες εδάφους, τρόπος εφαρμογής της λίπανσης, κλίση εδάφους, κ.α.), αλλά ως μηχανισμός μεταφοράς παραμένει ο σημαντικότερος παράγων εμπλουτισμού των υδροφορέων σε αζωτούχες ενώσεις.



Σχήμα 1 Νιτρορύπανση στη Θεσσαλία (Υ.Π.Ε.ΧΩ.Δ.Ε., 1999)

Την περίοδο 1997-1999 έγινε εκτεταμένη δειγματοληψία και ανάλυση επιφανειακών και υπόγειων νερών από όλα τα υδατικά διαμερίσματα της Ελλάδας. Τα αποτελέσματα εξετάστηκαν ως προς τη συχνότητα υπέρβασης

του ορίου των 50 mg/lit (Οδηγία 75/440/ΕΟΚ ) νιτρικών ιόντων. Με βάση τα αποτελέσματα αυτά (ΥΠΕΧΩΔΕ, 1999) φαίνεται ότι ο νομός Λάρισας, ο οποίος έχει έντονη αγροτική δραστηριότητα, παρουσιάζει σε πολλά σημεία υπερβάσεις των ορίων συγκέντρωσης όλων των μορφών αζώτου (νιτρικά, νιτρώδη και αμμωνιακά). Τα νερά του Πηνειού ποταμού υπόκεινται σε νιτρορύπανση γεωργικής προέλευσης. Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται η νιτρορύπανση στην περιοχή της Θεσσαλίας με βάση τα αποτελέσματα της προαναφερθείσας δειγματοληψίας (Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ., 1999).

Η Οδηγία 76/464/ΕΟΚ (EECD, 1976) ορίζει επικίνδυνες χημικές ουσίες για τον άνθρωπο και το υδατικό περιβάλλον, τις οποίες τοποθετεί σε δύο καταλόγους: στον κατάλογο I περιλαμβάνονται 17 χημικές ουσίες που επιλέχτηκαν βάσει την τοξικότητά τους, την περιβαλλοντική τους εμμονή και τη βιοσυσσώρευσή τους, οι οποίες θα πρέπει να εξαλειφθούν από τα επιφανειακά, τα υπόγεια και τα παράκτια ύδατα. Στον κατάλογο II περιλαμβάνονται 129 ουσίες για τις οποίες θα πρέπει να περιοριστεί η ρύπανση στα επιφανειακά νερά των κρατών - μελών. Οι 17 ουσίες του καταλόγου I περιλαμβάνουν χλωριωμένες πτητικές ενώσεις, οργανοχλωριωμένα φυτοφάρμακα και βαρέα μέταλλα. Οι 129 ουσίες του καταλόγου II περιλαμβάνουν φυτοφάρμακα διαφόρων κατηγοριών, βαρέα μέταλλα και μεταλλοειδή, οργανομεταλλικές ενώσεις, διαλύτες, συστατικά χρωμάτων και γενικότητα προϊόντα και παραπροϊόντα ανθρωπογενών δραστηριοτήτων.

Η εντατική γεωργική δραστηριότητα στην Ελλάδα, έχει σαν αποτέλεσμα τη χρήση σημαντικών ποσοτήτων φυτοφαρμάκων, τα οποία ανιχνεύονται στα νερά των ποταμών και των λιμνών της χώρας. Οι κύριες χρησιμοποιούμενες ομάδες είναι οι τριαζίνες (27% των συνολικών ποσοτήτων παρασιτοκτόνων) και οργανοφωσφορικές ενώσεις (23% των συνολικών ποσοτήτων εντομοκτόνων). Τα οργανοχλωριωμένα εντομοκτόνα χρησιμοποιήθηκαν εντατικά πριν από το 1972 οπότε και απαγορεύτηκαν, αλλά ανιχνεύονται ακόμα στους υδάτινους αποδέκτες.



Στη δειγματοληψία που έγινε ο Πηνειός ποταμός παρουσίασε τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στα περισσότερα οργανοχλωριωμένα εντομοκτόνα. Επίσης ανιχνεύονται μερικά οργανοφωσφορικά εντομοκτόνα, αλλά οι συγκεντρώσεις τους είναι πολύ χαμηλότερες από τα όρια.

Αντίστοιχη είναι η κατάσταση για τις πτητικές οργανικές ουσίες του Καταλόγου I της Οδηγίας 76/464/ΕΟΚ, οι οποίες είτε δεν ανιχνεύονται καθόλου στους περισσότερους επιφανειακούς υδατικούς πόρους, είτε ανιχνεύονται σε συγκεντρώσεις χαμηλότερες των θεσμοθετημένων ορίων. Μεμονωμένες υπερβάσεις του ορίου βρέθηκαν μόνο για το Hexachloroboutadiene στον Πηνειό.

Σχετικά με τη συχνότητα εμφάνισης στα επιφανειακά νερά τοξικών ουσιών προτεραιότητας του Καταλόγου I της Οδηγίας 76/464/ΕΟΚ, παρατηρήθηκε ότι στον Πηνειό ποταμό ανιχνεύεται ο μεγαλύτερος αριθμός ουσιών, γεγονός που υποδεικνύει ότι υφίστανται πολύ μεγάλη επιβάρυνση.

Οι συγκεντρώσεις των τοξικών ιχνοστοιχείων και μετάλλων στα επιφανειακά νερά της Ελλάδας είναι σχετικά χαμηλές. Σε ορισμένους ποταμούς, ένας από τους οποίους και ο Πηνειός, παρουσιάζονται μεμονωμένες υψηλότερες τιμές μετάλλων οι οποίες εκτιμάται ότι μπορεί να οφείλονται σε μεμονωμένα επεισόδια ρύπανσης στη λεκάνη απορροής του ποταμού.

### 1.3 ΠΗΝΕΙΟΣ ΠΟΤΑΜΟΣ

Ο Πηνειός είναι ο κύριος και αξιολογότερος ποταμός της Θεσσαλίας, καθώς διατρέχει ένα σημαντικό τμήμα της κεντρικής Ελλάδας. Πηγάζει από τις νότιες περιοχές της οροσειράς της Πίνδου, περνάει από την Καλαμπάκα φθάνει στο θεσσαλικό κάμπο, όπου και διασχίζοντας την Κοιλάδα των Τεμπών εκβάλλει στο Αιγαίο πέλαγος κοντά στην κωμόπολη Στόμιο. Στις εκβολές σχηματίζεται το «Δέλτα Πηνειού» με άνοιγμα 13ών χιλιομέτρων περίπου στο θαλάσσιο μέτωπο.

Το συνολικό μήκος του ποταμού είναι 216 χιλιόμετρα και η συνολική του επιφάνεια 9.500 τετραγωνικά χιλιόμετρα, ενώ η λεκάνη απορροής του καλύπτει έκταση 10.700 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Σε όλο το μήκος του ποταμού ενσωματώνονται πάρα πολλοί παραπόταμοι, με κυριότερους τους Τιταρήσιο, Εννιπέα, Καλέτζη και Ληθαίο. Ο Πηνειός, μαζί με τους παραποτάμους του, αποτελεί το μοναδικό υδάτινο αποδέκτη. Παλαιότερα με τα πλημμυρικά νερά του τροφοδοτούσε τη λίμνη Κάρλα. Μετά τη δημιουργία του αναχώματος στην κοίτη του Πηνειού, η Κάρλα απέκτησε δική της υδρολογική λεκάνη. Ο Πηνειός έχει υποστεί σημαντικές αλλοιώσεις από τον εγκιβωτισμό της κοίτης του, την κατασκευή αρδευτικών δικτύων και τις υπεραντλήσεις.

Μέχρι το 1986, οι ανάγκες πόσιμου νερού της πόλης της Λάρισας καλύπτονταν αποκλειστικά από τον Πηνειό. Όμως η συνεχώς αυξανόμενη κατανάλωση νερού και η αύξηση της καλλιέργειας βαμβακιού στη θεσσαλική πεδιάδα, η οποία απαιτεί μεγάλες ποσότητες νερού, σε συνδυασμό με τη ρύπανση του ποταμού από φυτοφάρμακα, οδήγησε στην αναζήτηση νέων πηγών πόσιμου νερού. Τα νερά του Πηνειού δέχονται σημαντική ρύπανση από αστικά και βιομηχανικά απόβλητα καθώς και από την έντονη γεωργική και κτηνοτροφική δραστηριότητα που χαρακτηρίζει τον θεσσαλικό κάμπο. Κατά τους θερινούς μήνες που οι απαιτήσεις σε νερό είναι μεγάλες και υπάρχει μείωση της παροχής του ποταμού, οι συνέπειες από τη ρύπανση είναι εμφανείς και έντονες.

#### 1.4 ΣΤΟΧΟΙ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Με την παρούσα μελέτη επιδιώκεται να γίνει προσπάθεια προσομοίωσης αρχικά των συγκεντρώσεων και στη συνέχεια των φορτίων των ποιοτικών χαρακτηριστικών της επιφανειακής απορροής του Πηνειού σε σχέση με τις παραμέτρους του υδρολογικού μοντέλου. Δηλαδή να μπορέσουμε να υπολογίσουμε ένα μοντέλο γραμμικών σχέσεων λαμβάνοντας υπόψη τα



ποιοτικά δεδομένα, τα υδρολογικά δεδομένα καθώς και τις χρήσεις γης της λεκάνης απορροής του Πηνειού ποταμού. Έτσι, γνωρίζοντας τα υδρολογικά δεδομένα και τις χρήσεις γης για μια χρονική περίοδο θα μπορούμε να υπολογίσουμε για την αντίστοιχη περίοδο τις συγκεντρώσεις και τα φορτία των ποιοτικών χαρακτηριστικών που επελέγησαν προς ανάλυση σε αυτήν την διπλωματική εργασία.

### 1.5 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Αναλυτικά, η δομή που ακολουθήθηκε για την ολοκλήρωση της παρούσας μελέτης είναι η εξής:

Στο Πρώτο Κεφάλαιο κρίθηκε απαραίτητο να γίνει μια εισαγωγή στους υδατικούς πόρους της Ελλάδας, τις μορφές ρύπανσής τους και μια πρώτη περιγραφή του Πηνειού ποταμού.

Στο Δεύτερο Κεφάλαιο παρουσιάζονται τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης και υπολογίζονται ορισμένα χαρακτηριστικά των λεκανών της περιοχής. Επίσης γίνεται περιγραφή των ποιοτικών χαρακτηριστικών που θα χρησιμοποιήσουμε στην συνέχεια.

Στο Τρίτο Κεφάλαιο αναλύεται η διαδικασία υπολογισμού της επιφανειακής απορροής των λεκανών μέσω υδρολογικού μοντέλου (Λουκάς και συνεργάτες, 2003). Περιγράφεται αρχικά η εξαγωγή του μηνιαίου μέσου ύψους υετόπτωσης, μέσου ύψους εξατμισοδιαπνοής και μέσης θερμοκρασίας των λεκανών και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής του υδρολογικού μοντέλου.

Στο Τέταρτο Κεφάλαιο περιλαμβάνεται η διαδικασία ανάλυσης και προσομοίωσης αρχικά των συγκεντρώσεων και στη συνέχεια των φορτίων των ποιοτικών χαρακτηριστικών της επιφανειακής απορροής του Πηνειού σε σχέση με τις παραμέτρους του υδρολογικού μοντέλου.

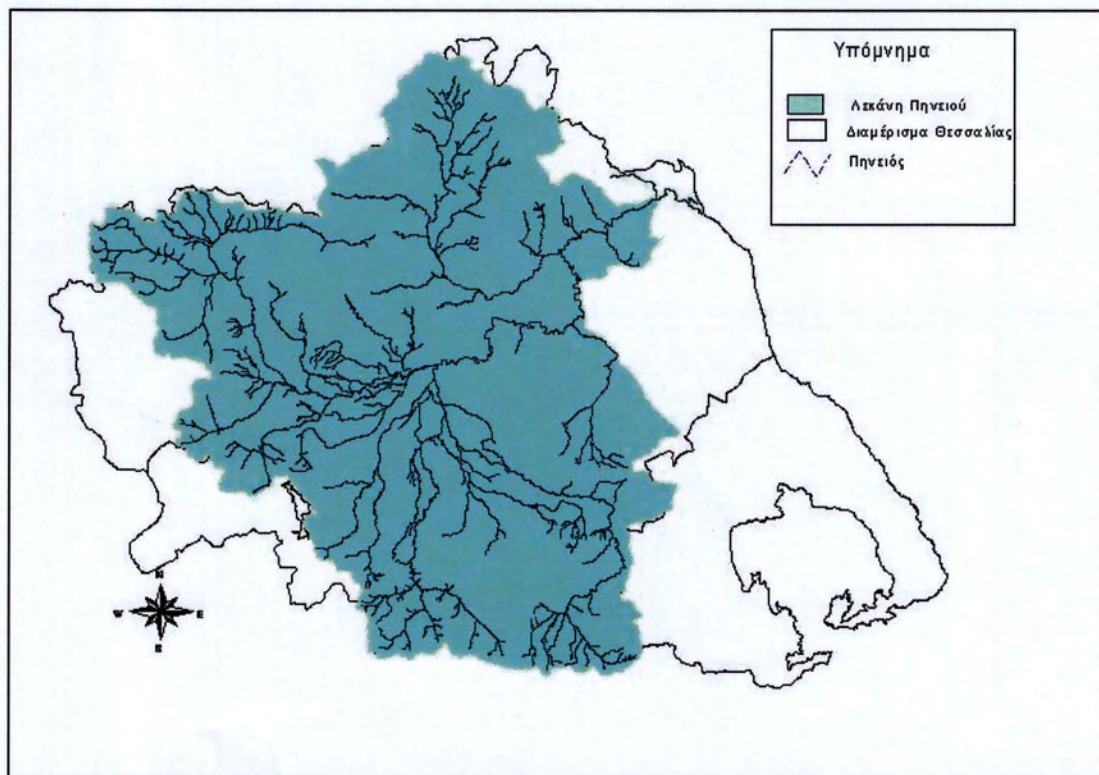
Στο Έκτο Κεφάλαιο συζητούνται τα αποτελέσματα της μελέτης, εξάγονται τα συμπεράσματα και υποβάλλονται κάποιες προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

#### 2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η κυριότερη λεκάνη απορροής της Θεσσαλίας, είναι αυτή του ποταμού Πηνειού και των παραποτάμων του με έκταση 6332 km<sup>2</sup> (Σχήμα 2.1). Σε αυτήν ανήκουν και οι δύο μεγάλες πεδιάδες της πεδινής Θεσσαλίας, η ανατολική και η δυτική πεδιάδα, που ο άξονάς τους έχει διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, και έκταση 4000 km<sup>2</sup>. Η λεκάνη του Πηνειού οριοθετείται ανατολικά από τον Κίσαβο, βόρεια από τον ορεινό όγκο του Άνω Ολύμπου, βορειοδυτικά από τα διοικητικά όρια της Θεσσαλίας, δυτικά και νοτιοδυτικά από την οροσειρά της Πίνδου, ανατολικά από τη λεκάνη της Κάρλας και νοτιοανατολικά από τα διοικητικά όρια του νομού Μαγνησίας.



Σχήμα 2.1 Η λεκάνη απορροής του Πηνειού ποταμού.

Ολόκληρη η πεδινή Θεσσαλία, πλην της λεκάνης της Κάρλας, αποστραγγίζεται από τον Πηνειό ποταμό, ο οποίος είναι και ο αποδέκτης όλων σχεδόν των παραποτάμων και χειμάρρων που έχουν τις πηγές τους στην ορεινή Θεσσαλία (Σχήμα 2.1). Οι δευτερεύοντες κλάδοι του Πηνειού κατέρχονται από ολόκληρη την περιφέρεια της λεκάνης απορροής της δυτικής πεδιάδος εντός αυτής. Στην ανατολική λεκάνη, ο μόνος σημαντικός δευτερεύων κλάδος ο οποίος υφίσταται, είναι ο χειμάρρος Τιταρήσιος. Αναλυτικότερα, βόρεια της περιοχή των Αντιχασίων και Χασίων, το κυρίως υδατόρρεμα του Πηνειού, τροφοδοτείται κυρίως από τους ποταμούς Νεοχωρίτη, Ληθαίο και Μουργκάνι, και δυτικότερα προς την Πίνδο, από το χειμάρρο Μαλακασιώτη. Δυτικά από την ορεινή ζώνη της Νότιας Πίνδου, τροφοδοτείται κυρίως από τον Πορταϊκό ποταμό, δυτικά της Πύλης, από τον Πάμισο (ή Πλιούρη), δυτικά του Μουζακίου από το ρέμα Μέγα, και τους ποταμούς Καράμπαλη και Καλέντζη, νότια της πόλης της Καρδίτσας.

Πρέπει να σημειωθεί, ότι στην ορεινή περιοχή της νότιας Πίνδου που ανήκει στην Περιφέρεια Θεσσαλίας, βρίσκεται η ανάντη λεκάνη απορροής του ποταμού Αχελώου, καθώς επίσης και η ανάντη λεκάνη απορροής του ποταμού Ταυρωπού, παραποτάμου του Αχελώου. Η μισή περίπου έκταση της λεκάνης απορροής του Ταυρωπού, που ανήκει διοικητικά στη Θεσσαλία, έχει δεσμευτεί από το φράγμα του Ταυρωπού το οποίο και σχηματίζει την τεχνητή λίμνη του Ν. Πλαστήρα. Μέρος του αποθηκευμένου όγκου νερού, του ταμιευτήρα αυτού, χρησιμοποιείται για την άρδευση και ύδρευση της περιοχής της Καρδίτσας. Νότια, ο Πηνειός, τροφοδοτείται από πολυάριθμα ρέματα και ποταμούς, όπως ο Λείψιμος, ο Ρογόζινος, ο Σοφαδίτικος, ο Φαρσαλιώτης και ο Ενιπέας.



## 2.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΟΥ ΠΗΝΕΙΟΥ

### 2.2.1 Γενικά

Η λεκάνη του Πηνειού αποτελεί την κύρια λεκάνη απορροής της Θεσσαλίας και όπως περιγράφηκε και παραπάνω εκτείνεται σε όλη την έκταση της Θεσσαλίας. Λόγω του μεγάλου μεγέθους της, ωστόσο, είναι δύσκολο να υπολογιστούν κάποια μεγέθη τα οποία να χαρακτηρίζουν την λεκάνη σε όλα της τα σημεία. Μέσα στην λεκάνη υφίστανται περιοχές με πολύ διαφορετικά γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά οπότε γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι από σημείο σε σημείο μέσα στην ευρύτερη λεκάνη η προσφορά νερού διαφέρει αισθητά.

Για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας θεωρήθηκε απαραίτητο να χωριστεί η λεκάνη του Πηνειού σε μικρότερες υπολεκάνες βάσει των οποίων έγινε η προσομοίωση απορροής της περιοχής. Οι υπολεκάνες χωρίζονται βάσει της κατεύθυνσης της απορροής από τις κλίσεις του εδάφους από περιοχή σε περιοχή. Οι κλίσεις του εδάφους και κατά συνέπεια τα όρια αυτών των λεκανών, θα προκύψουν ύστερα από επεξεργασία των ισοϋψών της περιοχής με προγράμματα Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (σχεδιασμός υδρογραφικού δικτύου). Στην εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκε το arcMap-ArcGis. Σε κάθε μια από αυτές τις υπολεκάνες θα υπολογιστεί η προσφορά τόσο σε επιφανειακό όσο και υπόγειο νερό. Στον χωρισμό των υπολεκανών συμβάλλουν και οι ψηφιοποιημένες θέσεις κάποιων σταθμών μέτρησης ποιοτικών δεδομένων που διατίθενται στο ΓΣΠ, βάσει των οποίων χωρίζονται γειτονικές υπολεκάνες ώστε μετέπειτα να προσομοιωθεί η απορροή τους ξεχωριστά από μοντέλο προσομοίωσης.

Στις υπολεκάνες που καθορίστηκαν από την παραπάνω διαδικασία απαιτείται να υπολογιστούν για τη συνέχεια κάποια μέσα μετεωρολογικά δεδομένα που θα βοηθήσουν στους υπολογισμούς. Τα διαφορετικά γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά κάθε υπολεκάνης θα καθορίσουν και το μέγεθος του ύψους βροχόπτωσης που προσπίπτει στην περιοχή, της

θερμοκρασίας, του ύψους της εξατμισοδιαπνοής και κατά συνέπεια της απορροής που παράγει η καθεμία.

Οι λεκάνες που τελικά οριοθετήθηκαν και δημιουργήθηκαν στο ΓΣΠ, θα υποστούν περαιτέρω επεξεργασία για την εξαγωγή του μέσου υψόμετρου τους και της έκτασης τους, δεδομένα που απαιτούνται για τον μετέπειτα υπολογισμό της προσφοράς νερού που διαθέτει κάθε υπολεκάνη.

### 2.2.2 Επεξεργασία γεωμορφολογικών δεδομένων λεκανών απορροής

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Geographic Information Systems, GIS) είναι γεωγραφικά προγράμματα βάσης δεδομένων όπου συνυπάρχει και γεωγραφική αναφορά. Είναι κατάλληλα για την καταχώρηση και επεξεργασία πληροφοριών σε γεωγραφικές περιοχές, για τη δημιουργία θεματικών χαρτών, για υπολογισμούς εκτάσεων και διαφόρων χωρικών μεγεθών κ.α. Ιδιαίτερη σημασία έχει η εφαρμογή Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών σε ζητήματα Διαχείρισης Υδατικών Πόρων, όπου οι βάσεις δεδομένων εμφανίζουν σημαντική γεωγραφική εξάρτηση, οπότε πέρα από τις τιμές των παραμέτρων και τη χρονική μεταβολή τους, έχει καθοριστικό ρόλο και η χωρική διάσταση των πληροφοριών και η γεωγραφική κατανομή τους. Στην παρούσα εργασία τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό χωρικών πληροφοριών (εκτάσεις, υψόμετρα, χρήσεις γης). Το πρόγραμμα που εφαρμόστηκε είναι το ArcMap-ArcGIS (έκδοση 9.3).

### 2.2.3 Δεδομένα

Τα διαθέσιμα χωρικά δεδομένα ήταν:

- Ψηφιοποιημένες ισοΰψεις ανά 100 μέτρα για την περιοχή της λεκάνης απορροής του Πηνειού.
- Ψηφιοποιημένος χάρτης κλ. 1:10000 με ισοΰψεις ανά 20 μέτρα για την περιοχή μελέτης.

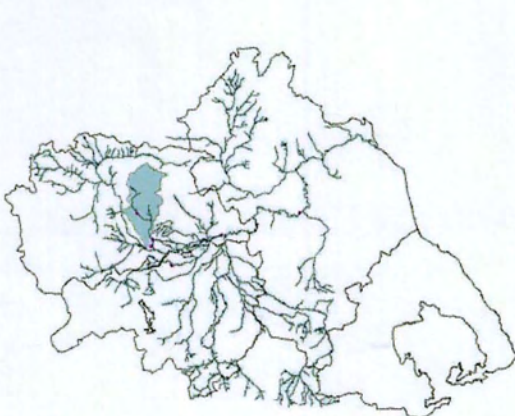
• Επίσης η λεκάνη του Πηνειού έχει χωριστεί σε επιμέρους υπολεκάνες, οι οποίες έχουν ψηφιοποιηθεί ώστε να μπορούν να επεξεργαστούν από το ΓΣΠ όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Οι υπολεκάνες του Πηνειού καθορίστηκαν βάσει των ισοϋψών της περιοχής και την πορεία που ακολουθεί η απορροή, ενώ τα ονόματά τους τα πήραν από το σταθμό που μετράει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά στην έξοδό τους. Τα όρια τους φαίνονται στο Σχήμα 2.2.



**Υπολεκάνη 1η : Γέφυρα Τρικάλων-Σωτήρας**



**Υπολεκάνη 2η : Γέφυρα Τρικαίογλου**

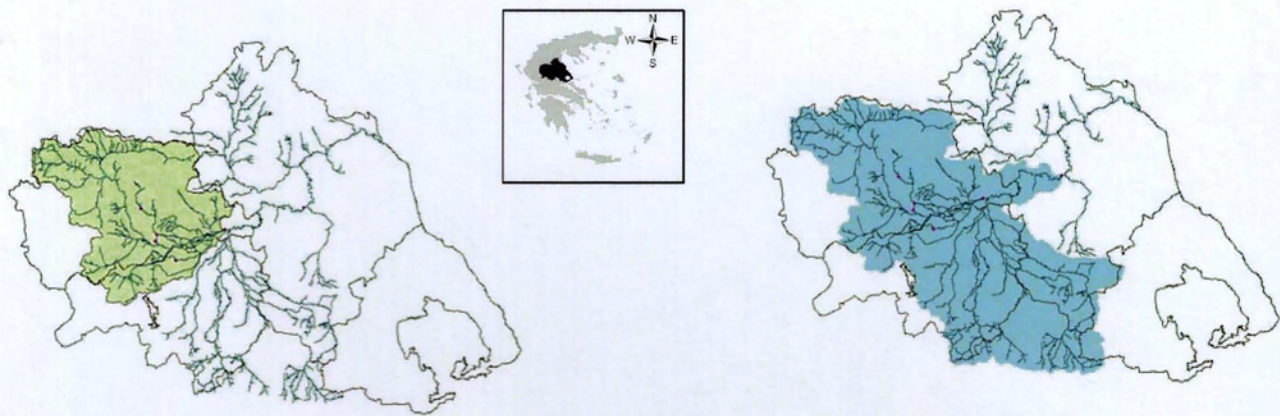


**Υπολεκάνη 3η : Καραβόπορος**



**Υπολεκάνη 4 : Γέφυρα Τρικάλων - Καρδίτσας - Αγναντερό**





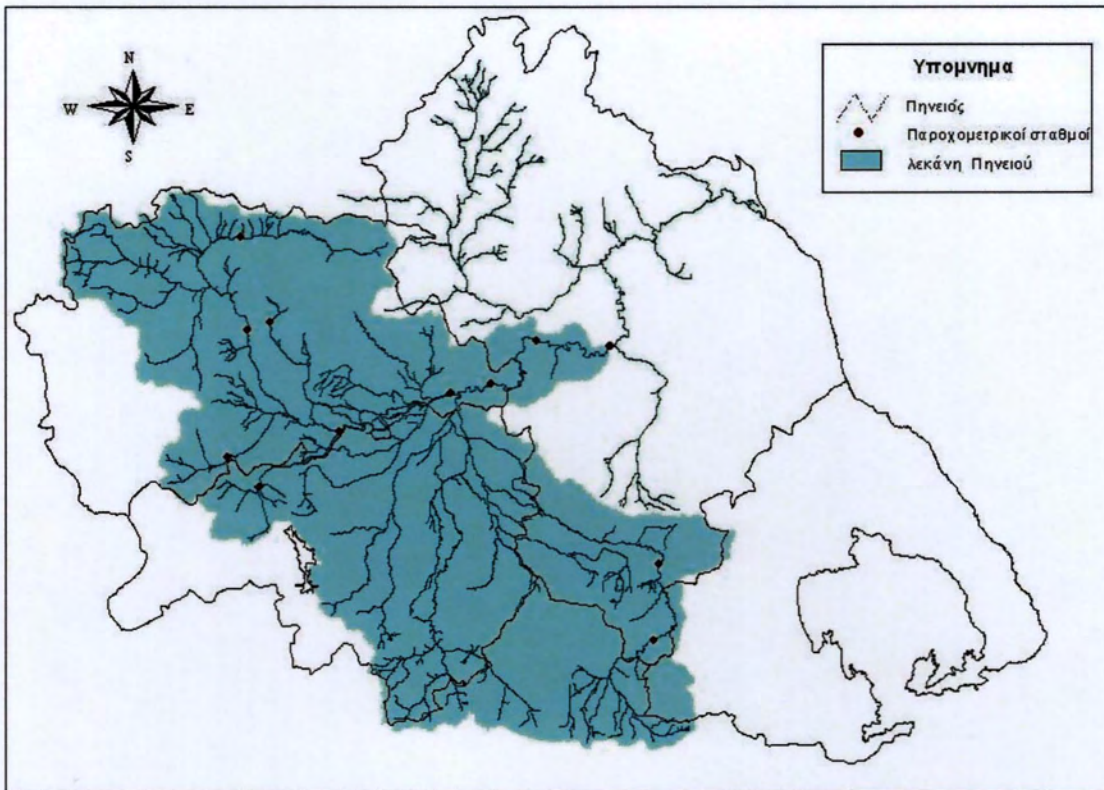
Υπολεκάνη 5η : Γέφυρα Αλή Εφέντη- Κεραμίδι

Υπολεκάνη 6η : Λάρισα

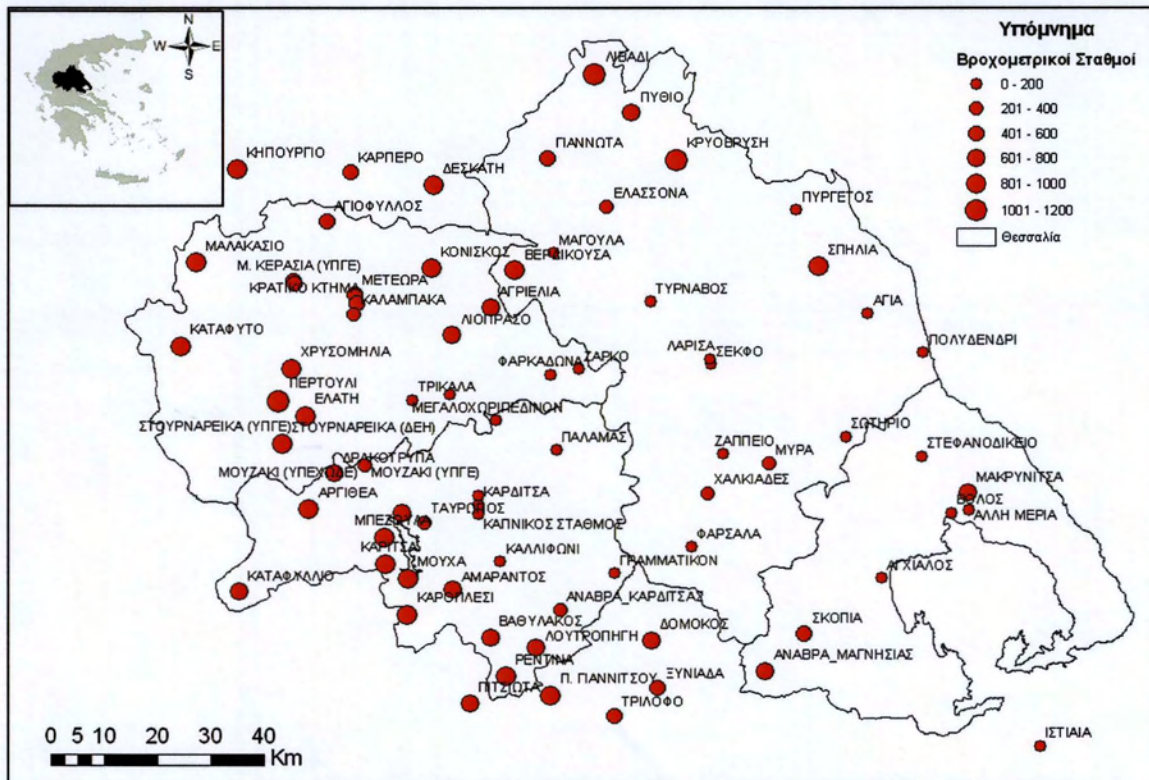
Σχήμα 2.2 Υπολεκάνες περιοχής μελέτης

- Οι θέσεις των σταθμών μέτρησης υετόπτωσης, οι σταθμοί μέτρησης θερμοκρασίας και οι παροχομετρικοί σταθμοί στην λεκάνη του Πηνειού, καθώς και οι συντεταγμένες των σταθμών και το υψόμετρό τους. Οι θέσεις των παροχομετρικών, υδρομετρικών και μετεωρολογικών σταθμών μέσα στην περιοχή μελέτης παρουσιάζονται στα Σχήματα 2.3, 2.4 και 2.5 και τα χαρακτηριστικά στοιχεία τους παρατίθενται στους Πίνακες 2.1 και 2.2.



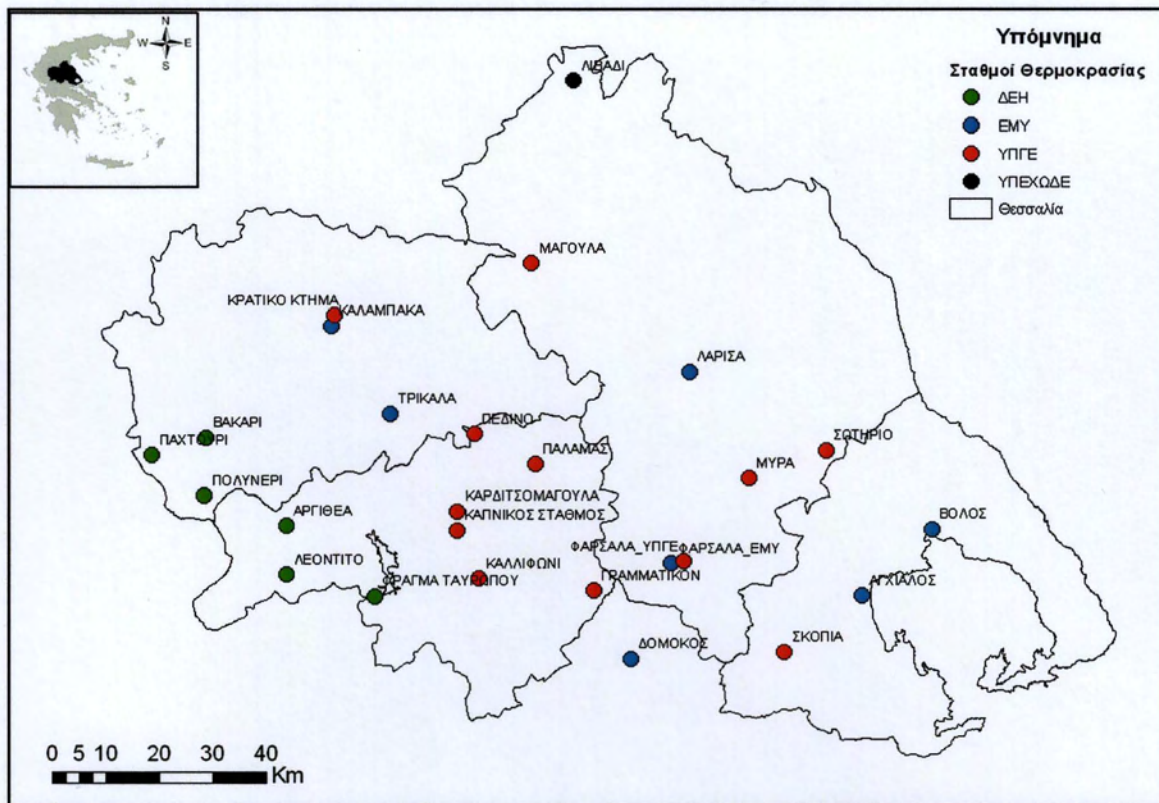


Σχήμα 2.3 Θέσεις παροχομετρικών σταθμών στην περιοχή μελέτης.



Σχήμα 2.4 Θέσεις βροχομετρικών σταθμών στην περιοχή μελέτης διαβαθμισμένες ανάλογα με το υψόμετρό τους.





Σχήμα 2.5 Θέσεις σταθμών μέτρησης θερμοκρασίας στην περιοχή μελέτης και οι εποπτευόμενες υπηρεσίες τους.

Πίνακας 2.1 Σταθμοί μέτρησης νετόπτωσης με τα αντίστοιχα υψόμετρα τους

Όνομα Σταθμού	Υψόμετρο (m)	Όνομα Σταθμού	Υψόμετρο (m)
ΑΓΙΑ	180	ΛΟΥΤΡΟΠΗΓΗ	730
ΑΓΙΟΦΥΛΛΟΣ	581	ΜΑΓΟΥΛΑ	180
ΑΓΡΙΕΛΙΑ	700	ΜΑΚΡΥΝΙΤΣΑ	690
ΑΓΧΙΑΛΟΣ	15	ΜΑΛΑΚΑΣΙΟ	842
ΑΛΛΗ ΜΕΡΙΑ	120	ΜΕΓ. ΚΕΡΑΣΙΑ_ΥΠΓΕ	560
ΑΜΑΡΑΝΤΟΣ	800	ΜΕΓ. ΚΕΡΑΣΙΑ_ΥΠΕΧ	500
ΑΝΑΒΡΑ ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	208	ΜΕΓΑΛΟΧΩΡΙ	100
ΑΝΑΒΡΑ ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ	700	ΜΕΤΕΩΡΑ	596
ΑΡΓΙΘΕΑ	980	ΜΟΡΦΟΒΟΥΝΙ	780
ΒΑΘΥΛΑΚΟΣ	800	ΜΟΥΖΑΚΙ_ΥΠΓΕ	226
ΒΕΡΔΙΚΟΥΣΑ	863	ΜΟΥΖΑΚΙ_ΥΠΕΧΩΔΕ	226
ΒΟΛΟΣ	3	ΜΟΥΧΑ	870
ΓΙΑΝΝΩΤΑ	578	ΜΠΕΖΟΥΛΑ	901
ΓΡΑΜΜΑΤΙΚΟ	95	ΜΥΡΑ	320
ΔΕΣΚΑΤΗ	830	ΞΥΝΙΑΔΑ	456
ΔΟΜΟΚΟΣ	615	Π. ΓΙΑΝΝΙΤΣΟΥ	960
ΔΡΑΚΟΤΡΥΠΑ	680	ΠΑΛΑΜΑΣ	95
ΕΛΑΣΣΟΝΑ	314	ΠΕΔΙΝΟΝ	95
ΕΛΑΤΗ	900	ΠΕΡΤΟΥΛΙ	1160
ΖΑΠΠΕΙΟ	170	ΠΙΤΣΙΟΤΑ	800
ΖΑΡΚΟ	120	ΠΟΛΥΔΕΝΔΡΙ	100
ΙΣΤΙΑΙΑ	45	ΠΥΘΙΟ	750
ΚΑΛΑΜΠΑΚΑ	222	ΠΥΡΓΕΤΟΣ	31
ΚΑΛΛΙΦΟΝΗ	100	ΡΕΝΤΙΝΑ	903
ΚΑΠΝΙΚΟΣ_ΣΤΑΘΜΟΣ	110	ΣΕΚΦΟ	80
ΚΑΡΔΙΤΣΑ	138	ΣΚΟΠΙΑ	580

ΚΑΡΔΙΤΣΟΜΑΓΟΥΛΑ	95	ΣΠΗΛΙΑ	813
ΚΑΡΙΤΣΑ	900	ΣΤΕΦΑΝΟΔΙΚΕΙΟ	80
ΚΑΡΟΠΛΕΣΙ	910	ΣΤΟΥΡΝΑΡΕΙΚΑ_ΔΕΗ	860
ΚΑΡΠΕΡΟ	510	ΣΤΟΥΡΝΑΡΕΙΚΑ_ΥΠΓΕ	860
ΚΑΤΑΦΥΛΛΙΟ	698	ΣΩΤΗΡΙΟ	51
ΚΑΤΑΦΥΤΟ	980	ΤΑΥΡΩΠΟΣ	220
ΚΗΠΟΥΡΓΙΟ	868	ΤΡΙΚΑΛΑ	149
ΚΟΝΙΣΚΟΣ	860	ΤΡΙΛΟΦΟ	580
ΚΡΑΤΙΚΟ_ΚΤΗΜΑ	532	ΤΥΡΝΑΒΟΣ	92
ΚΡΥΟΒΡΥΣΗ	1030	ΦΑΡΚΑΔΟΝΑ	87
ΛΑΡΙΣΑ	73	ΦΑΡΣΑΛΑ	148
ΛΙΒΑΔΙ	1183	ΧΑΛΚΙΑΔΕΣ	250
ΛΙΟΠΡΑΣΟ	740	ΧΡΥΣΟΜΗΛΙΑ	940

Πίνακας 2.2 Σταθμοί μέτρησης θερμοκρασίας με τα υψόμετρά τους και τη μέση ετήσια θερμοκρασία τους.

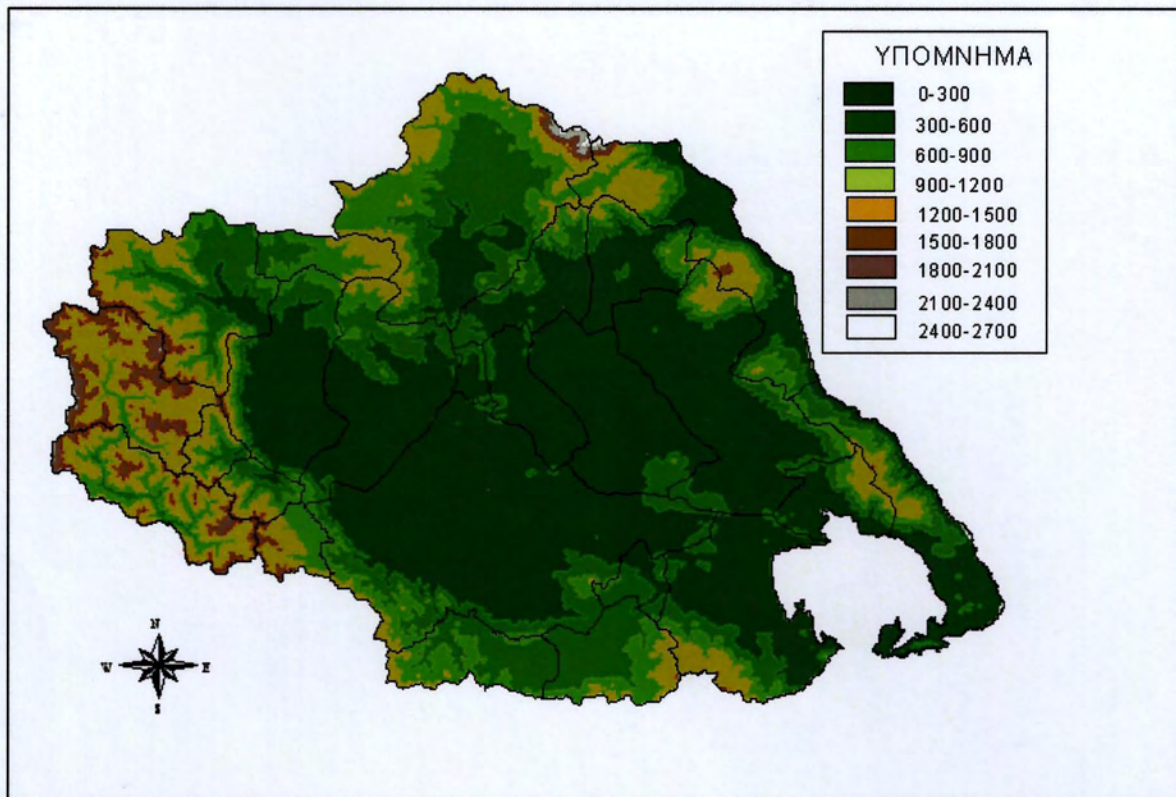
Όνομα Σταθμού	Υψόμετρο(m)	Μέση Ετήσια Θερμοκρασία(°C)
ΑΓΧΙΑΛΟΣ	15	16,2
ΑΡΓΙΘΕΑ	980	12,4
ΒΑΚΑΡΙ	1150	11,1
ΒΟΛΟΣ	3	17,2
ΓΡΑΜΜΑΤΙΚΟΝ	95	16,6
ΔΟΜΟΚΟΣ	615	14,2
ΚΑΛΑΜΠΑΚΑ	222	16,2
ΚΑΛΙΦΟΝΗ	100	16
ΚΑΠΝΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ	110	16
ΚΑΡΔΙΤΣΟΜΑΓΟΥΛΑ	95	16,5
ΚΡΑΤΙΚΟ ΚΤΗΜΑ	532	13,8
ΛΑΡΙΣΑ	73	15,7
ΛΕΟΝΤΙΤΟ	950	12,5
ΛΙΒΑΔΙ	1183	11
ΜΑΓΟΥΛΑ	180	14,7
ΜΥΡΑ	320	16,1
ΠΑΛΑΜΑΣ	95	16,1
ΠΑΧΤΟΥΡΙ	950	12,4
ΠΕΔΙΝΟΝ	95	16,4
ΠΟΛΥΝΕΡΙ	730	13,2
ΣΚΟΠΙΑ	580	14,9
ΣΟΤΙΡΙΟ	51	15,1
ΦΡΑΓΜΑ ΤΑΥΡΩΠΟΥ	850	11,3
ΤΡΙΚΑΛΑ	149	16,3
ΦΑΡΣΑΛΑ_ΕΜΥ	148	16,2
ΦΑΡΣΑΛΑ_ΥΠΓΕ	434	15,5

- Ψηφιοποιημένες χρήσεις γης για την περιοχή της λεκάνης απορροής του Πηνειού (Corine 2000).

#### 2.2.4 Υπολογισμός γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών

Για την εφαρμογή της μεθόδου της θερμοβαθμίδας και για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής σε κάθε λεκάνη, χρειάζεται να υπολογισθεί το μέσο υψόμετρο, καθώς και η έκταση της κάθε λεκάνης. Για τον υπολογισμό του υψομέτρου της κάθε λεκάνης δημιουργήθηκε το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (Digital Elevation Model-DIM) της περιοχής στο ΓΣΠ (Σχήμα 2.7). Αυτό επιτεύχθηκε στο ΓΣΠ μέσω των ψηφιοποιημένων ισοϋψών που υπάρχουν. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται ένας χάρτης της περιοχής στον οποίο έχουν σχηματιστεί όλες οι κλίσεις του εδάφους και η κατανομή της περιοχής σύμφωνα με το υψόμετρο. Απομονώνοντας κάθε υπολεκάνη εύκολα υπολογίζεται το μέσο υψόμετρό της καθώς και η έκτασή που καταλαμβάνει. Ο τρισδιάστατος χάρτης της περιοχής παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.6.





Σχήμα 2.6 Τρισδιάστατος χάρτης εδάφους της περιοχής

Ο Πίνακας 2.3 περιέχει τα γεωμορφολογικά δεδομένα των υπολεκανών στις οποίες έχουμε χωρίσει τη λεκάνη του Πηνειού. Για την εφαρμογή του υδρολογικού μοντέλου θα προσομοιωθεί η απορροή όλων των λεκανών που βρίσκονται ανάντη των παροχομετρικών σταθμών.

Πίνακας 2.3 Στοιχεία των συγκεντρωτικών υπολεκανών απορροής

ΥΠΟΛΕΚΑΝΕΣ	ΕΚΤΑΣΗ (km <sup>2</sup> )	ΜΕΣΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ(m)
Γέφυρα Τρικάλων-Σωτήρας	134,26	455,24
Γέφυρα Τρικαίογλου	220,52	364,89
Καραβόπορος	274,27	318,77
Γέφυρα Τρικάλων - Καρδίτσας- Αγναντερό	83,51	148,55
Γέφυρα Αλή Εφέντη - Κεραμίδι	2829,55	547,91
Λάρισας	6331,77	427,13



### 2.3 ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ

Το Corine 2000 περιλαμβάνει τις χρήσεις γης για ολόκληρη την Ελλάδα. Εισάγοντας το στο ΓΣΠ απομονώνουμε την λεκάνη απορροής του Πηνειού. Στη συνέχεια χωρίζουμε τις υπολεκάνες με αποτέλεσμα να έχουμε τις χρήσεις γης ανά λεκάνη. Όμως επειδή το Corine περιλαμβάνει όλες τις πιθανές χρήσεις, τις ομαδοποιούμε σε έξι κατηγορίες και κατόπιν υπολογίζουμε το ποσοστό επί του συνολικού εμβαδού της υπολεκάνης που η κάθε μία καταλαμβάνει. Οι χρήσεις γης που περιλαμβάνει κάθε κατηγορία είναι οι εξής:

- δασικές εκτάσεις : δάση πλατύφυλλων, κωνοφόρα δάση, μικτά δάση, δασικές εκτάσεις
- χέρσες εκτάσεις : χέρσα γη, σκληρόφυλλη βλάστηση, ξυλώδεις θάμνοι, εκτάσεις με σποραδική βλάστηση, καμένες εκτάσεις
- χορτολιβαδικές εκτάσεις : βοσκοτόπια, φυσικά χορτολιβάδα, υδάτινοι όγκοι
- αρδευόμενες εκτάσεις : μόνιμα αρδευόμενες εκτάσεις, αμπέλια, οπωροφόρα δέντρα, πολύπλοκα σχέδια καλλιέργειας, εκτάσεις που καλύπτονται κυρίως από αγροτικές καλλιέργειες
- μη αρδευόμενες εκτάσεις : μη αρδευόμενες οργώσιμες εκτάσεις, ελαιώνες,
- αστικές εκτάσεις : συνεχείς αστικές κατασκευές, ασυνεχείς αστικές κατασκευές, βιομηχανικές ή εμπορικές μονάδες, αεροδρόμια, χώροι εξόρυξης μεταλλευμάτων, αστικοί χώροι πρασίνου.

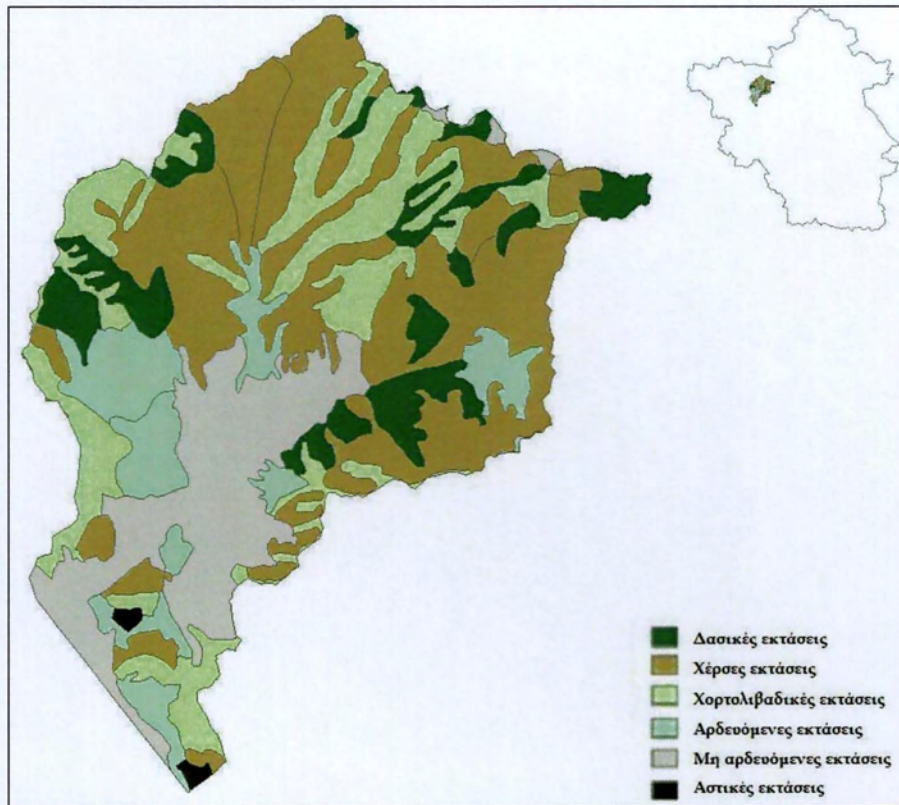
Από τα παραπάνω προκύπτει πως οι αρδευόμενες μαζί με τις μη αρδευόμενες εκτάσεις αποτελούν τις συνολικές αγροτικές εκτάσεις των υπολεκανών.

Στο Πίνακα 2.4 παρουσιάζονται αναλυτικά τα στοιχεία που προκύπτουν.

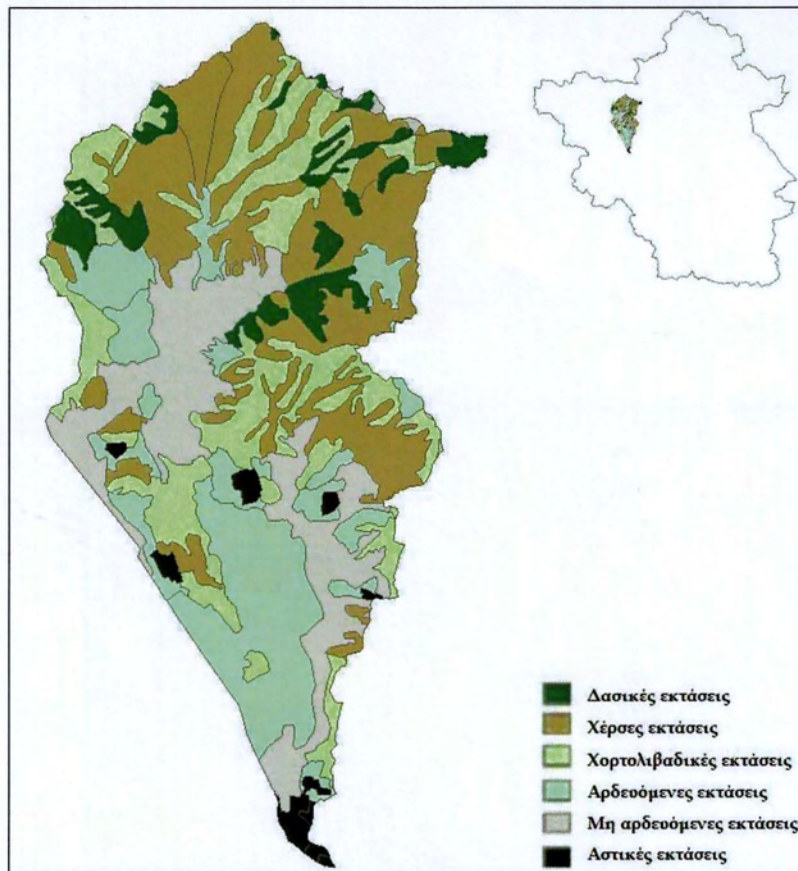
Πίνακας 2.4 Ποσοστά (%) των χρήσεων γης επί της συνολικής έκτασης της κάθε υπολεκάνης

ΥΠΟ-ΛΕΚΑΝΕΣ	ΔΑΣΙΚΕΣ	ΧΕΡΣΕΣ	ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΙΚΕΣ	ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΕΣ	ΜΗ ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΕΣ	ΑΣΤΙΚΕΣ
Γέφυρα Τρικάλων-Σωτήρας	11,68	37,71	20,40	12,01	17,74	0,45
Γέφυρα Τρικαίογλου	7,11	28,51	21,65	21,96	18,67	2,09
Καραβόπορος	5,71	22,92	17,70	30,21	20,15	3,31
Γέφυρα Τρικάλων - Καρδίτσας-Αγναντερό	0,53	7,23	5,82	78,70	2,21	5,51
Γέφυρα Αλή Εφέντη - Κεραμίδι	21,25	24,48	14,47	29,63	8,09	2,08
Λάρισας	14,39	22,20	9,99	34,82	16,49	2,11

Τέλος στο Σχήμα 2.7 παρουσιάζονται οι χάρτες των λεκανών με τις κατηγοριοποιημένες χρήσεις γης, όπως προέκυψαν με τη χρήση του ΓΣΠ.

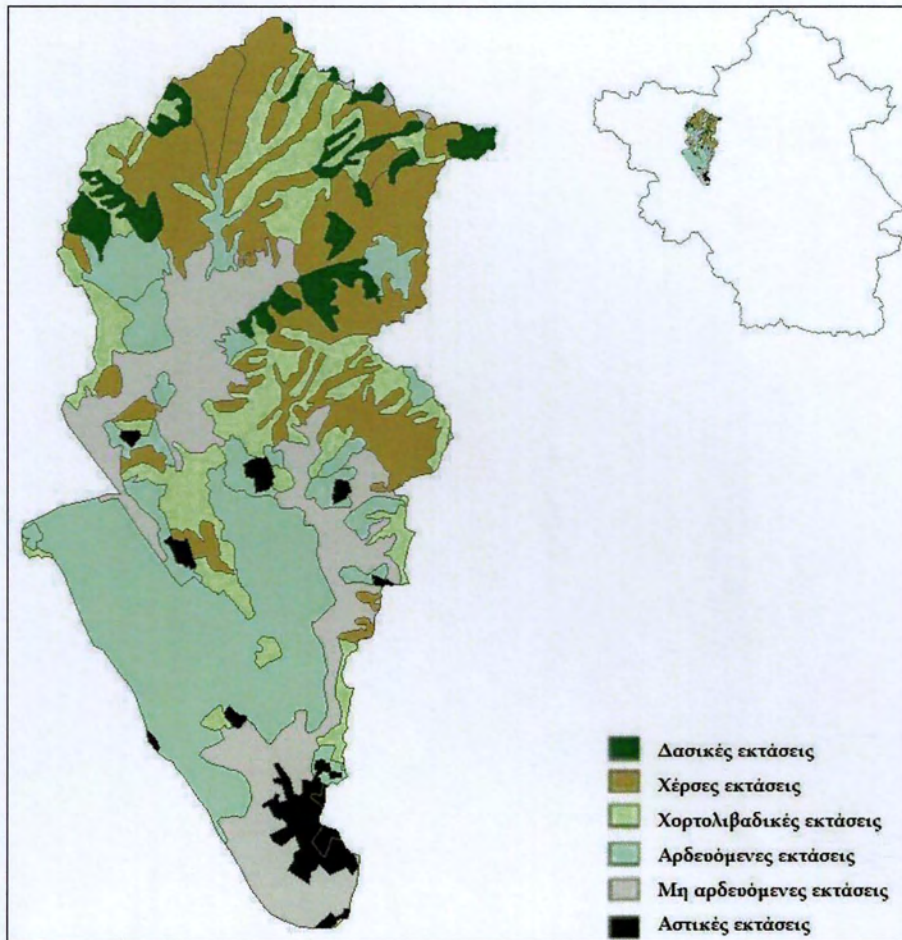


Σχήμα 2.7 Χρήσεις γης Υπολεκάνης Γέφυρα Τρικάλων-Σωτήρας



Σχήμα 2.8 Χρήσεις γης Υπολεκάνης Γέφυρα Τρικαίογλου



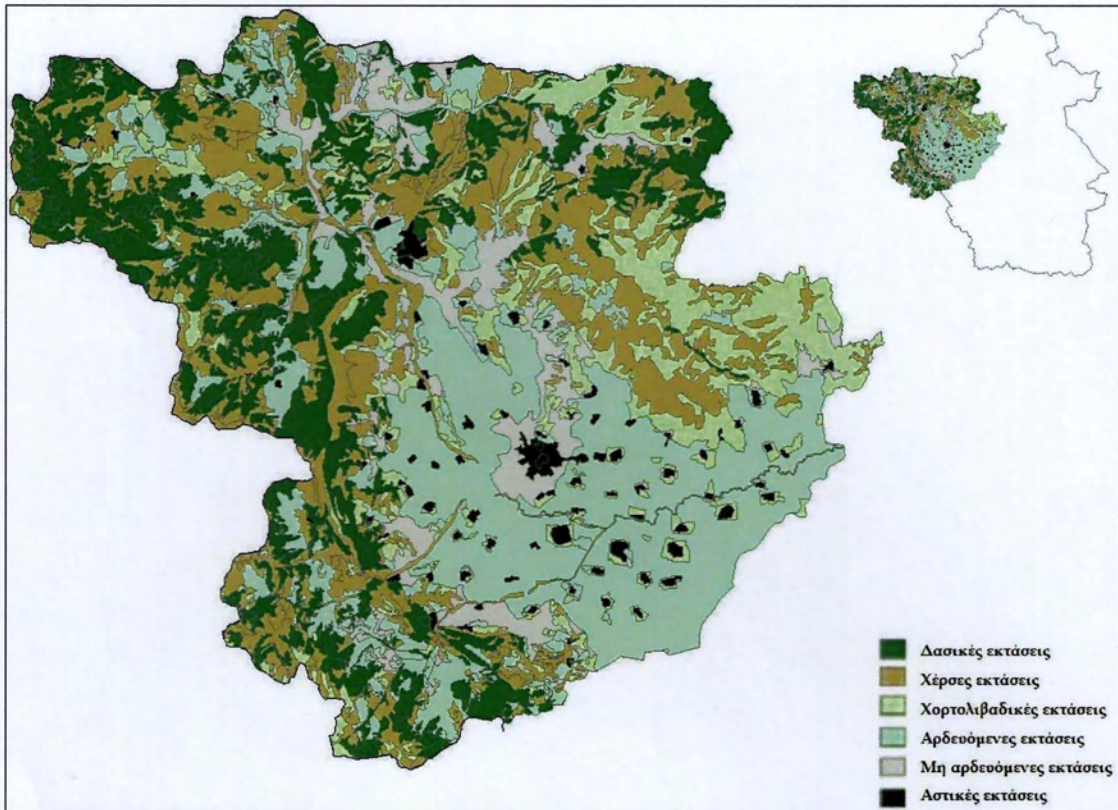


Σχήμα 2.9 Χρήσεις γης Υπολεκάνης Καραβόπορος

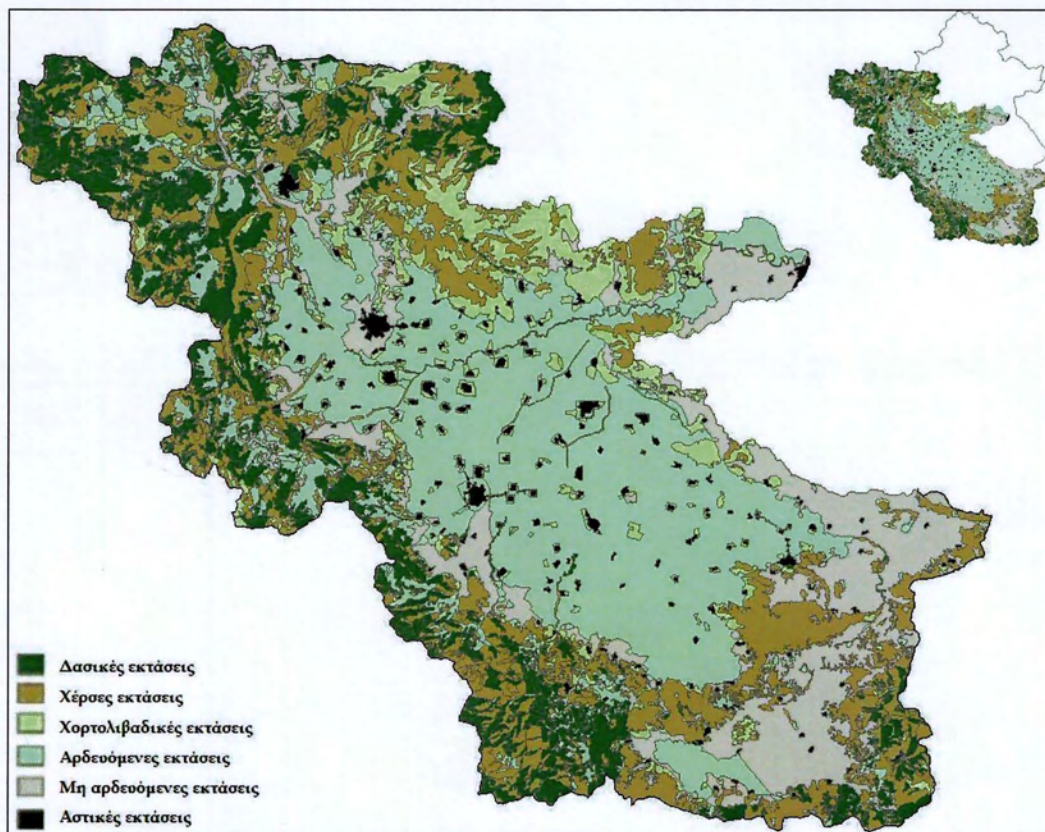


Σχήμα 2.10 Χρήσεις γης Υπολεκάνης Γέφυρα Τρικάλων - Καρδίτσας - Αγκαντιερό





Σχήμα 2.11 Χρήσεις γης Υπολεκάνης Γέφυρα Αλή Εφέντη - Κεραμίδι

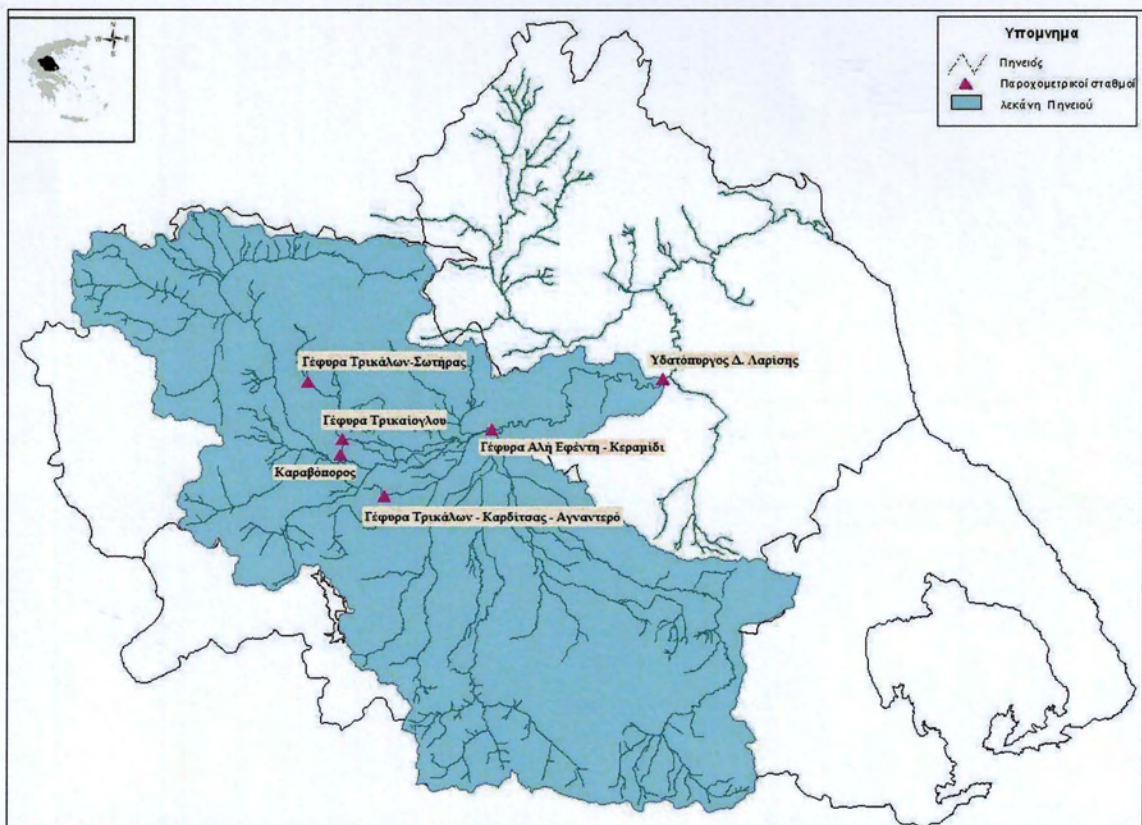


Σχήμα 2.12 Χρήσεις γης Υπολεκάνης Λάρισα



## 2.4 ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΥΔΑΤΩΝ

Η πηγή από την οποία προέρχονται οι μετρήσεις των ποιοτικών χαρακτηριστικών είναι το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και καλύπτουν την περίοδο από τον Απρίλιο 1980 έως τον Σεπτέμβριο 2002. Από κάθε σταθμό έχουμε ως δεδομένα χρονοσειρές με μία χαρακτηριστική τιμή ανά μήνα, για τους μήνες κατά τους οποίους έγινε μέτρηση. Οι θέσεις των σταθμών μέτρησης των ποιοτικών δεδομένων παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.8. Επειδή όμως οι σταθμοί αυτοί δεν διέθεταν ούτε το ίδιο πλήθος μετρήσεων, ούτε και μετρήσεις για τις ίδιες ποιοτικές παραμέτρους έπρεπε να γίνει αρχικά μια επιλογή, ώστε οι παράμετροι να είναι χαρακτηριστικές των χρήσεων γης στην λεκάνη απορροής του Πηνειού.



Σχήμα 2.13 Θέσεις σταθμών μέτρησης ποιοτικών χαρακτηριστικών στην περιοχή μελέτης.



Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας επιλέχθηκαν προς μελέτη τέσσερα ποιοτικά χαρακτηριστικά κοινά για όλες τις υπολεκάνες, διαλυμένο οξυγόνο (DO), ολικό άζωτο (TN), μαγνήσιο ( $Mg^{2+}$ ), θειικά ( $SO_4^{2-}$ ) και ένα ακόμη, ολικό φώσφορο (TP), το οποίο είναι κοινό για τις εξής τέσσερεις: Καραβόπορος, Γέφυρα Τρικάλων-Καρδίτσας - Αγναντερό, Γέφυρα Αλή Εφέντη - Κεραμίδι, Υδατόπυργος Δ. Λαρίσης.

Το διαλυμένο οξυγόνο (DO) είναι απαραίτητο για τη ζωή των οργανισμών που ζουν στα φυσικά νερά. Το οξυγόνο αυξάνεται με τη διάλυσή του στο νερό από την ατμόσφαιρα και με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης από τα υδρόβια φυτά. Το τρεχούμενο νερό λόγω της κίνησής του διαλύει περισσότερο από το στάσιμο νερό. Τα επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου ποικίλουν εποχιακά και εξαρτώνται από τη θερμοκρασία και το υψόμετρο. Καταναλώνεται από την αναπνοή των υδρόβιων ζώων, την αποσύνθεση οργανικού υλικού και διάφορες άλλες χημικές αντιδράσεις. Χαμηλά επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου και μπορούν να προκαλέσουν ακόμα και τον θάνατο των οργανισμών που ζουν στο νερό καθώς και σημαντική υποβάθμιση των υδάτων. Επίσης χαμηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου στα νερά είναι δείκτης ρύπανσης από οργανικό υλικό, η αποσύνθεση του οποίου οδηγεί στην κατανάλωσή του.

Το ολικό άζωτο (TN) είναι το σύνολο αμμωνίας νιτρικών και νιτρικών, τα οποία είναι η πιο οξειδωμένη μορφή των αζωτούχων ενώσεων και μπορεί να είναι και το τελικό προϊόν της αποδόμησης των αζωτούχων οργανικών ενώσεων. Τα φυσικά επίπεδα των νιτρικών είναι συνήθως χαμηλά. Υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών στο πόσιμο νερό μπορούν να αποτελέσουν απειλή για την υγεία, καθώς κατηγορούνται για την πρόκληση διαφόρων μορφών καρκινογένεσης. Νερό το οποίο έχει ρύπανση από αζωτούχες οργανικές ενώσεις μπορεί να μη δείξει υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών, αφού η αποσύνθεση του οργανικού υλικού μειώνει τη συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου και επομένως μειώνεται και ο ρυθμός οξείδωσης της αμμωνίας σε νιτρικά. Μεγάλη περιεκτικότητα σε νιτρικά υποδηλώνει την παρουσία βιολογικών ρύπων (λυμάτων, αποβλήτων) ή επίδραση ή ανάμιξη με νερά

άρδευσης από καλλιεργούμενες γαίες. Τα νιτρικά είναι ένα πρόβλημα που έχει ενταθεί λόγω της αλόγιστης χρήσης λιπασμάτων.

Τα μέταλλα, ένα εκ των οποίων είναι το μαγνήσιο ( $Mg^{2+}$ ) που μας απασχολεί, σε ίχνη είναι απαραίτητα για όλα τα έμβια όντα καθώς συμμετέχουν στις μεταβολικές διεργασίες τους, είναι όμως τοξικά σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις. Το μαγνήσιο είναι απαραίτητο για την υγεία του ανθρώπου γιατί βοηθά στην ομαλή λειτουργία του νευρομυϊκού συστήματος. Συνήθως απαντάται στον ολιβίνη, μαγνησίτη, δολομίτη και τους χλωρίτες. Επίσης στα ανθρακικά πετρώματα, στα οποία είναι περισσότερο άφθονο όταν περιέχουν μαγνησίτη και δολομίτη. Προέρχεται και από τη διάλυση αργιλικών ορυκτών, όπου βρίσκεται προσροφημένο στο πλέγμα τους ή ακόμη και από τη διείσδυση θαλασσινού νερού.

Το θείο είναι απαραίτητο στοιχείο στη σύνθεση των πρωτεϊνών και απελευθερώνεται κατά την αποικοδόμησή τους. Τα θειικά ιόντα ( $SO_4^{2-}$ ) διασπώνται βιολογικά κάτω από αναερόβιες συνθήκες σε θειούχα, τα οποία στη συνέχεια σχηματίζουν υδρόθειο. Το υδρόθειο εκτός του ότι είναι τοξικό, είναι και επικίνδυνο γιατί οξειδώνεται σε θειικό οξύ. Οι αυτότροφοι οργανισμοί και πολλοί ετερότροφοι μικροοργανισμοί προσλαμβάνουν θείο από τα θειικά του νερού. Σημαντικές πηγές των θεικών είναι τα λιπάσματα, τα βιομηχανικά απόβλητα και το νερό της βροχής. Επίσης μπορεί να προέρχονται από ιζηματογενή πετρώματα που περιέχουν θειικό ασβέστιο ή θειικό πυρίτιο, καθώς και από διάλυση ηφαιστειογενών πετρωμάτων κυρίως σε υπόγεια νερά με υψηλή θερμοκρασία.

Ολικός φώσφορος (TP) είναι το σύνολο του ανόργανου και οργανικού, διαλυμένου και σωματιδιακού φωσφόρου. Η μορφή στην οποία απαντάται, συνήθως, ο φώσφορος στη φύση είναι τα φωσφορικά και ο οργανικός φώσφορος. Ο φώσφορος μαζί με τα νιτρικά αποτελούν τα βασικά θρεπτικά για την ανάπτυξη των φυτών. Στα φυσικά νερά βρίσκεται σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις και για αυτό συνήθως αποτελεί τον περιοριστικό παράγοντα ανάπτυξης. Πολύ μικρές αλλαγές στις συγκεντρώσεις του μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα στα ποτάμια και σε λίμνες όπως υπέρμετρη

ανάπτυξη των φυτών και ευτροφισμό. Ανάμεσα στους παράγοντες που επηρεάζουν τη συγκέντρωση φωσφόρου στο νερό είναι η θερμοκρασία και η συγκέντρωση νιτρικών. Υψηλές θερμοκρασίες αυξάνουν το ρυθμό αποικοδόμησης των οργανικών ουσιών και συνεπώς την απελευθέρωση φωσφόρου. Βέβαια υψηλές θερμοκρασίες εντείνουν την πρόσληψη φωσφόρου από τους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς. Συνήθως όμως ο ρυθμός απελευθέρωσης είναι μεγαλύτερος από αυτόν δέσμευσης φωσφόρου. Επίσης ανοξικές συνθήκες ευνοούν τη διάχυση φωσφόρου από τον πυθμένα στο νερό. Αύξηση της συγκέντρωσης των νιτρικών μειώνει το ρυθμό απελευθέρωσης του φωσφόρου από τον πυθμένα εξαιτίας της οξειδωτικής τους δράσης. Ο φώσφορος διαλύεται σχετικά δύσκολα στο νερό και η ένωσή του με σίδηρο, αργίλιο και ασβέστιο προκαλεί την καθίζησή του.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

#### 3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Προκειμένου να υπολογιστεί το υδατικό δυναμικό της λεκάνης του Πηνειού ποταμού, πρέπει να εκτιμηθεί η επιφανειακή απορροή και τα υπόγεια υδατικά διαθέσιμα που προσφέρει κάθε μικρότερη υπολεκάνη. Για να υπολογιστεί το υδατικό δυναμικό κάθε λεκάνης, απαιτείται η χρήση ενός υπολογιστικού μοντέλου που μπορεί να υπολογίσει την απορροή που δημιουργεί αυτή με βάση κάποια δεδομένα βροχόπτωσης, θερμοκρασίας και εξατμισοδιαπνοής για μια σειρά ετών και με τη βοήθεια ορισμένων συντελεστών που χαρακτηρίζουν την λεκάνη. Γενικά, το υπολογιστικό μοντέλο είναι απαραίτητο:

- Όταν τα δεδομένα της παροχής είναι ασυνεχή.
- Όταν δεν υπάρχουν μετρήσεις απορροής σε όλες τις θέσεις εξόδου των λεκανών.

Η βροχόπτωση, η θερμοκρασία και η εξατμισοδιαπνοή είναι δεδομένα τα οποία μπορούν εύκολα να υπολογιστούν για κάθε περιοχή, βάσει κάποιων γεωγραφικών χαρακτηριστικών και με τη συμβολή των μετρήσεων των σταθμών που γειτνιάζουν με κάθε λεκάνη. Ωστόσο, οι τιμές των παραμέτρων που περιγράφουν με τον βέλτιστο τρόπο την απορροή κάθε λεκάνης θα υπολογιστούν μέσω του μοντέλου, με στόχο οι τιμές της υπολογισμένης απορροής να προσεγγίζει όσο το δυνατόν τις παρατηρημένες απορροές για κάποια έτη.

Απώτερος στόχος όλης της παραπάνω διαδικασίας είναι τελικά να υπολογιστεί το υδρολογικό ισοζύγιο της υπό μελέτη περιοχής, δηλαδή το ποσοστό της βροχόπτωσης που απορρέει και καταλήγει στον Πηνειό ποταμό και στους παραπόταμους του και το ποσοστό που καταλήγει στον υπόγειο



υδροφορέα. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατόν να εκτιμηθεί το υδατικό δυναμικό κάθε λεκάνης του Πηνειού ποταμού.

Επίσης στη συνέχεια του παρόντος Κεφαλαίου παρουσιάζεται η διαδικασία ανάλυσης των ποιοτικών χαρακτηριστικών της επιφανειακής απορροής των έξι υπολεκάνων του Πηνειού, όπως τις έχουμε προσδιορίσει σε προηγούμενο κεφάλαιο. Στη συνέχεια έγινε προσπάθεια υπολογισμού σχέσεων οι οποίες συνδέουν τόσο τις συγκεντρώσεις όσο και τα φορτία των ποιοτικών δεδομένων, με την έξοδο του υδρολογικού μοντέλου και τις χρήσεις γης, για τις υπολεκάνες αλλά και για ολόκληρη τη λεκάνη του Πηνειού ποταμού.

Για τη διαδικασία που ακολουθήθηκε, τόσο για την ανάλυση όσο και για την προσομοίωση, και περιγράφεται στη συνέχεια του Κεφαλαίου χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πρόγραμμα SPSS.

## **3.2 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΣΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΜΗΝΙΑΙΑΣ ΥΕΤΟΠΤΩΣΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟ THIESSEN**

### **3.2.1 Γενικά**

Οι μέθοδοι της τροποποιημένης μεθόδου των πολυγώνων Thiessen για υετόπτωση και της θερμοβαθμίδας θα χρησιμοποιηθούν στην παρούσα εργασία για να υπολογιστούν το μέσο ύψος βροχόπτωσης και η μέση θερμοκρασία κάθε λεκάνης απορροής.

- Τροποποιημένη μέθοδος Thiessen

Βασίζεται στην μέθοδο της βροχοβαθμίδας για την αναγωγή βροχομετρικών μετρήσεων σε συγκεκριμένο υψόμετρο και στη μέθοδο των πολυγώνων Thiessen με την οποία υπολογίζεται η μέση επιφανειακή υετόπτωση για μια λεκάνη.

Η μέθοδος της βροχοβαθμίδας βασίζεται στην παρατήρηση ότι το σημειακό ύψος βροχής αυξάνει με την αύξηση του υψομέτρου. Η μέση αύξηση του ετησίου σημειακού βροχομετρικού ύψους ανά 100 m αύξησης του υψομέτρου ονομάζεται βροχοβαθμίδα. Η βροχοβαθμίδα μιας περιοχής προκύπτει από την γραφική παράσταση των μέσων ετήσιων υψών υετόπτωσης των σταθμών μετρήσεως υετόπτωσης μιας περιοχής σε συνάρτηση με τα υψόμετρα των σταθμών. Η κλίση της αυξανούσας ευθείας που προκύπτει είναι η τιμή της βροχοβαθμίδας.

Με την τιμή της βροχοβαθμίδας που υπολογίζεται από το διάγραμμα γίνεται αναγωγή των μετρήσεων υετόπτωσης του πιο χαρακτηριστικού σταθμού στην λεκάνη από το υψόμετρο του, στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης. Ως χαρακτηριστικό σταθμό μετρήσεων μιας λεκάνης επιλέγεται συνήθως ένας σταθμός που βρίσκεται όσο το δυνατόν σε παραπλήσιο ύψος με το μέσο υψόμετρο της λεκάνης και η θέση του πρέπει να έχει όσο γίνεται πιο κοινά γεωμορφολογικά στοιχεία με την λεκάνη.

Η μέθοδος των πολυγώνων Thiessen χρησιμοποιεί τον παράγοντα βάρους που αντιστοιχεί στα εμβαδά των περιοχών επιρροής κάθε σταθμού μέτρησης. Οι περιοχές επιρροασμού των σταθμών μέτρησης προκύπτουν με την χάραξη των μεσοκαθέτων επί των αποστάσεων των σταθμών μεταξύ τους. Η μέση επιφανειακή υετόπτωση μιας λεκάνης προκύπτει ως το άθροισμα των επιμέρους μετρήσεων των σταθμών πολλαπλασιασμένων επί τις αντίστοιχες εκτάσεις επιρροασμού δια της συνολικής έκτασης της λεκάνης.

Με την τροποποιημένη μέθοδο των πολυγώνων Thiessen συνδυάζονται οι δύο παραπάνω μέθοδοι, ώστε να επιτευχθεί μεγαλύτερη ακρίβεια στον υπολογισμό της μέσης επιφανειακής υετόπτωσης της λεκάνης. Η διαφορά είναι ότι δεν επιλέγεται ένας σταθμός με τα πιο κοινά χαρακτηριστικά με τη λεκάνη για να ανάγουμε τις μετρήσεις του στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης. Αντιθέτως εφαρμόζουμε την μέθοδο των πολυγώνων Thiessen για την λεκάνη και εφαρμόζεται η μέθοδος της βροχοβαθμίδας με τα νέα αυτά δεδομένα που υπολογίστηκαν.

### 3.2.2 Επεξεργασία δεδομένων

- Πολύγωνα Thiessen

Δημιουργούνται στο ΓΣΠ, στο οποίο είναι καταχωρημένες οι θέσεις όλων των βροχομετρικών σταθμών της Θεσσαλίας, τα πολύγωνα Thiessen όλων των σταθμών. Το πρόγραμμα παρουσιάζει ένα καινούργιο αρχείο, το οποίο περιέχει τα πολύγωνα που σχεδιάστηκαν.

Στη συνέχεια, εξακριβώνεται για κάθε λεκάνη ο παράγοντας βάρους επηρεασμού κάθε πολυγώνου. Αρχικά δημιουργείται ένα ξεχωριστό αρχείο για κάθε λεκάνη. Έπειτα από το αρχείο με τα πολύγωνα Thiessen όλων των σταθμών απομονώνουμε τα πολύγωνα που συμμετέχουν στη κάθε λεκάνη. Το αρχείο που προκύπτει περιέχει τα ονόματα των σταθμών μετρήσεως υετόπτωσης που βρίσκονται μέσα στην έκταση της λεκάνης και το εμβαδόν επηρεασμού κάθε πολυγώνου στην λεκάνη. Σαν παράδειγμα παρατίθεται ο Πίνακας για τη λεκάνη της Γέφυρας Τρικάλων - Σωτήρας (Πίνακας 3.1).

Πίνακας 3.1. Δεδομένα σταθμών που συμμετέχουν στη λεκάνη της Γέφυρας Τρικάλων - Σωτήρας

Σταθμοί	Έκταση(Km <sup>2</sup> )
ΚΑΛΑΜΠΑΚΑ	24,12
ΚΟΝΙΣΚΟΣ	60,41
ΚΡΑΤΙΚΟ ΚΤΗΜΑ	27,84
ΛΙΟΠΡΑΣΟ	1,83
ΜΕΤΕΩΡΑ	20,07

- Τροποποιημένη μέθοδος της βροχοβαθμίδας

Πρώτο μέλημα στην μέθοδο είναι να υπολογιστεί η βροχοβαθμίδα που περιγράφει με τον βέλτιστο τρόπο την περιοχή της λεκάνης. Για τον λόγο αυτό εισάγονται κάποιοι περιορισμοί που βοηθάνε στην επιλογή εκείνων των σταθμών, οι οποίοι μετράνε την υετόπτωση σε περιοχές που γειτνιάζουν με την λεκάνη και έχουν παραπλήσια χαρακτηριστικά. Με τον τρόπο αυτό

εξασφαλίζεται ότι όλοι οι σταθμοί παρέχουν μετρήσεις υετόπτωσης που εμφανίζεται στην λεκάνη.

Ο περιορισμός που εξασφαλίζει την αντιπροσωπευτικότητα των σταθμών είναι ότι ο συντελεστής συσχέτισης των δεδομένων μετρημένης υετόπτωσης- υψομέτρου των σταθμών πρέπει να είναι μεγαλύτερος από την κρίσιμη τιμή

$$\left( r_{cr} = \frac{2}{\sqrt{n}} \right) \leq R \quad (3.1)$$

όπου: R είναι ο συντελεστής συσχέτισης, n το πλήθος των δεδομένων και  $r_{cr}$  η κρίσιμη τιμή.

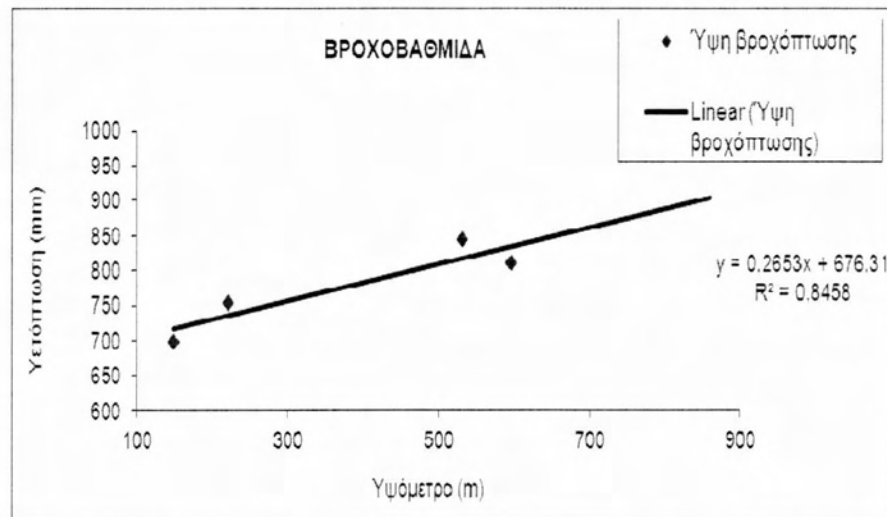
Για την εφαρμογή της μεθόδου της βροχοβαθμίδας χρησιμοποιούνται αρχικά οι σταθμοί των οποίων τα πολύγωνα Thiessen εκτείνονται κατά ένα μέρος στη γεωγραφική έκταση της λεκάνης. Στη συνέχεια, για να υπολογιστεί η βέλτιστη εξίσωση βροχοβαθμίδας συνήθως επιβάλλεται να αφαιρεθούν κάποιοι από τους παραπάνω σταθμούς και να προστεθούν κάποιοι άλλοι που έχουν πιο αντιπροσωπευτικά δεδομένα υετόπτωσης για την λεκάνη. Κατά αυτόν τον τρόπο γίνονται δοκιμές με τους σταθμούς της ευρύτερης περιοχής μέχρι να ικανοποιηθεί ο παραπάνω περιορισμός της βροχοβαθμίδας. Ενδεικτικά παρατίθεται ο Πίνακας 3.2 για τη λεκάνη απορροής του Καραβόπορου.

Πίνακας 3.2 Δεδομένα εφαρμογής τροποποιημένης βροχοβαθμίδας στη λεκάνη του Καραβόπορου

Σταθμός	Υψόμετρο(m)	Υετόπτωση(mm)	Έκταση Thiessen στη λεκάνη(m <sup>2</sup> )
ΚΑΛΑΜΠΑΚΑ	222	752,46	52481900
ΚΟΝΙΣΚΟΣ	860		60418100
ΚΡΑΤΙΚΟ ΚΤΗΜΑ	532	843,10	28572500
ΛΙΟΠΡΑΣΟ	740		45336200
ΜΕΤΕΩΡΑ	596	809,63	20060600
ΤΡΙΚΑΛΑ	149	697,73	67402496



Στο παράδειγμα της λεκάνης απορροής της Πύλης αφαιρούνται οι σταθμοί του Κονίσκου και του Λιόπρασου για να βελτιωθεί ο συντελεστής συσχέτισης. Με τον τρόπο αυτό προκύπτει η βέλτιστη βροχοβαθμίδα για τη λεκάνη του Καραβόπορου (Σχήμα 3.1).



Σχήμα 3.1 Βροχοβαθμίδα Καραβόπορου

Στη συνέχεια, κατασκευάζεται ένας πίνακας για την περίοδο '60/'61-'01/'02 στον οποίο χρησιμοποιούνται μόνο οι σταθμοί των οποίων τα πολύγωνα Thiessen συμμετέχουν στη λεκάνη. Με τον τρόπο αυτό υπολογίζονται τα δεδομένα υετόπτωσης, τα οποία θα χρησιμοποιηθούν ως τα δεδομένα του σταθμού βάσης που απαιτούνται για την εφαρμογή της μεθόδου της βροχοβαθμίδας. Ο τύπος που χρησιμοποιείται είναι:

$$P_{ik} = \frac{\sum_{j=1} (P_{ikj} \cdot A_j)}{A} \quad (3.2)$$

όπου:

$P_{ik}$  το μηνιαίο ύψος βροχόπτωσης του σταθμού βάσης για τον μήνα  $k$  του έτους  $i$  (σε mm)

$P_{ikj}$  το μηνιαίο ύψος βροχόπτωσης του σταθμού  $j$  για τον μήνα  $k$  του έτους  $i$  (σε mm)

$A_j$  η έκταση του πολυγώνου Thiessen του σταθμού  $j$  που συμμετέχει στη λεκάνη (σε  $\text{km}^2$ )

$A$  η συνολική έκταση της λεκάνης (σε  $\text{km}^2$ )

Αντίστοιχα, υπολογίζεται και το ετήσιο ύψος βροχόπτωσης.

Τέλος, προκειμένου να υπολογιστεί η μέση υετόπτωση της λεκάνης εφαρμόζεται η μέθοδος της βροχοβαθμίδας παίρνοντας ως δεδομένα του σταθμού βάσης αυτά που υπολογίστηκαν από την εφαρμογή της μεθόδου του Thiessen. Η διαδικασία είναι η εξής:

Υπολογίζεται η μέση ετήσια βροχόπτωση στη λεκάνη για κάθε έτος σύμφωνα με τον τύπο

$$P_i^k = \frac{P_k \cdot P_{T(i)}^k}{P_{T(k)}} \quad (3.3)$$

$$P_k = P_{T(k)} - \frac{164.82 \cdot 29.23}{100} \quad (3.4)$$

Η μέθοδος της βροχοβαθμίδας που αναλύθηκε παραπάνω εφαρμόστηκε για όλες τις λεκάνες ξεχωριστά και για όλες τις συσσωματωμένες λεκάνες απορροής.

### 3.3 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΣΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΜΗΝΙΑΙΑΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΒΑΘΜΙΔΑΣ

#### 3.3.1 Γενικά

Η μέθοδος της θερμοβαθμίδας βασίζεται στις ίδιες αρχές με τη βροχοβαθμίδα. Η βασική παρατήρηση της θερμοβαθμίδας είναι ότι η θερμοκρασία μιας περιοχής μειώνεται με την αύξηση του υψομέτρου της. Όπως και παραπάνω, η μέση μείωση της ετήσιας μέσης θερμοκρασίας ανά 100m μείωσης του υψομέτρου ονομάζεται θερμοβαθμίδα. Η θερμοβαθμίδα

μιας περιοχής προκύπτει με την ίδια μεθοδολογία και από την γραφική παράσταση της θερμοκρασίας με τα υψόμετρα των σταθμών μετρήσεως.

### 3.3.2 Επεξεργασία δεδομένων

- Μέθοδος της θερμοβαθμίδας

Η διαδικασία υπολογισμού της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας για κάθε λεκάνη έχει ως εξής:

➤ Υπολογίζεται με γραμμική παλινδρόμηση η γραμμική σχέση μεταξύ του υψόμετρου  $z$  και της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας των σταθμών που βρίσκονται στην λεκάνη. Οπότε προκύπτει μια εξίσωση της μορφής:

$$T = -a z + \beta \quad (3.5)$$

Από την παραπάνω εξίσωση προκύπτει ότι αύξηση του  $z$  κατά 100 m προκαλεί μείωση της  $T$  κατά (100  $a$ ) που αποτελεί και τη θερμοβαθμίδα.

➤ Από το ΓΣΠ έχει υπολογιστεί το μέσο υψόμετρο της λεκάνης. Για την εκτίμηση της μέσης θερμοκρασίας της λεκάνης χρησιμοποιούνται τα δεδομένα εκείνου του σταθμού με το πλησιέστερο υψόμετρο στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης (σταθμός βάσης).

➤ Υπολογίζεται η μέση ετήσια  $T$  στη λεκάνη για το έτος  $i$ :

$$T_i = T_{T(i)} - (\Delta z a) \quad (3.6)$$

όπου:  $T_i$  η μέση ετήσια θερμοκρασία στη λεκάνη για το έτος  $i$

$T_{T(i)}$  η μέση ετήσια θερμοκρασία στον σταθμό βάσης για το έτος  $i$

$\Delta z$  μέσο υψόμετρο λεκάνης μείον υψόμετρο σταθμού βάσης



- Υπολογίζεται η μέση μηνιαία θερμοκρασία στη λεκάνη

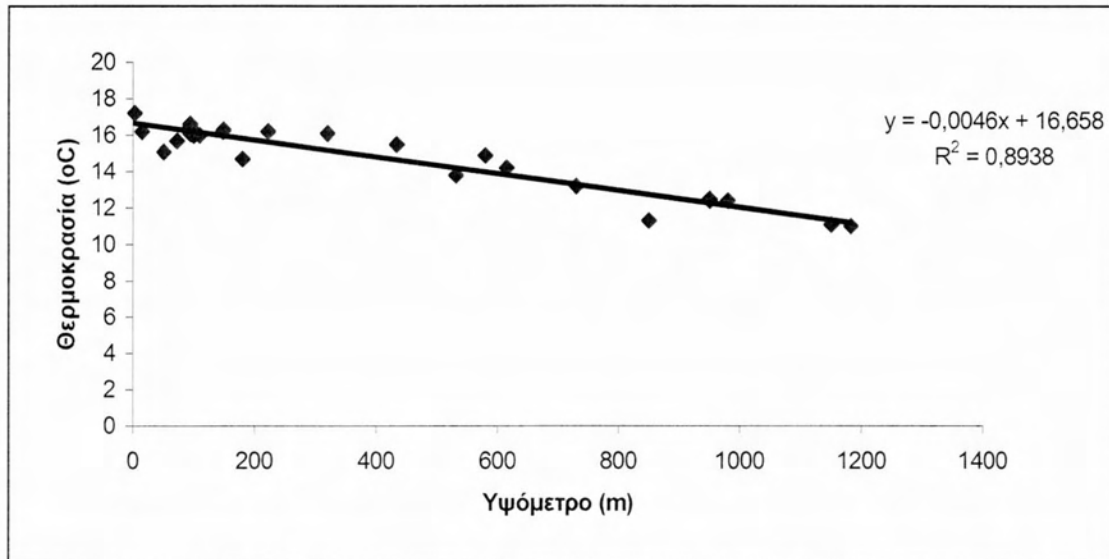
$$T_{ik} = \frac{T_{T(i)k} \cdot T_i}{T_{T(i)}} \quad (3.7)$$

όπου:  $T_{ik}$  η μέση μηνιαία θερμοκρασία στη λεκάνη για τον μήνα κ του έτους i  
 $T_{T(i)k}$  η μέση μηνιαία θερμοκρασία στον σταθμό βάσης για τον μήνα κ του έτους i

Στην εφαρμογή της γενικής θερμοβαθμίδας ως σταθμός βάσης επιλέγεται αυτός με το πλησιέστερο υψόμετρο στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης. Με την εφαρμογή των παραπάνω σχέσεων υπολογίζονται για όλες τις λεκάνες οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες τους για τα έτη '60/'61 έως '01/'02.

Επειδή οι περισσότεροι θερμομετρικοί σταθμοί ήταν συγκεντρωμένοι σε μια μικρή περιοχή, σε αρκετές λεκάνες δεν ήταν εφικτό να προκύψει η εξίσωση  $T=f(z)$  και να θεωρηθεί κάποιος σταθμός βάσης. Έτσι, υπολογίστηκε για όλη την περιοχή μελέτης μια ενιαία θερμοβαθμίδα και αυτή εφαρμόστηκε σε κάθε λεκάνη ξεχωριστά. Τα δεδομένα υψόμετρου και μέσης θερμοκρασίας κάθε σταθμού φαίνονται στον Πίνακα 2.2.

Έτσι, για κάθε έναν από τους 26 σταθμούς μέτρησης θερμοκρασίας υπολογίστηκε η μέση ετήσια θερμοκρασία και βάσει των 26 ζευγών (υψόμετρο σταθμού, θερμοκρασία) προέκυψε η γραμμική σχέση  $T=f(z)$  και το αντίστοιχο  $R^2$ , το οποίο προέκυψε  $R^2=0.89$ . Παρακάτω φαίνεται η εξίσωση της γενικής θερμοβαθμίδας (Σχήμα 3.2).



Σχήμα 3.2 Εξίσωση γενικής θερμοβαθμίδας.

Σαν παράδειγμα εφαρμογής της γενικής θερμοβαθμίδας παρατίθεται ο υπολογισμός των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών για τα έτη '60/'61-'01/'02 στη λεκάνη Καραβόπορου. Ως σταθμός βάσης επιλέχθηκε ο σταθμός *Μύρα*, διότι το υψόμετρό του (320m) είναι πιο κοντά σε αυτό του Καραβόπορου (318,77m) από ότι των υπολοίπων σταθμών, και προκύπτει  $\Delta z = 1,23\text{m}$ . Στον Πίνακα 3.6 φαίνεται ο υπολογισμός των μέσων ετήσιων θερμοκρασιών στη λεκάνη του Καραβόπορου σύμφωνα με τη σχέση (3.6), ενώ στον Πίνακα 3.8 δίνονται οι τελικές μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες της λεκάνης όπως αυτές υπολογίστηκαν από τη σχέση (3.7), με σταθμό βάσης τα *Μύρα*, του οποίου οι μηνιαίες και ετήσιες θερμοκρασίες φαίνονται στον Πίνακα 3.7.

Πίνακας 3.6 Εφαρμογή μεθόδου θερμοβαθμίδας στη λεκάνη Καραβόπορου –  
υπολογισμός μέσω ετήσιων θερμοκρασιών.

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΤΟΣ	ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ Τ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ, Τi	ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΤΟΣ	ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ Τ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ, Τi
1960-61	17,0	1981-82	15,6
1961-62	16,6	1982-83	15,6
1962-63	16,3	1983-84	15,3
1963-64	16,0	1984-85	16,0
1964-65	15,8	1985-86	16,3
1965-66	16,7	1986-87	15,2
1966-67	16,2	1987-88	16,5
1967-68	16,3	1988-89	15,6
1968-69	16,3	1989-90	16,4
1969-70	16,8	1990-91	15,7
1970-71	16,0	1991-92	15,3
1971-72	16,1	1992-93	15,6
1972-73	15,9	1993-94	16,5
1973-74	15,7	1994-95	15,8
1974-75	15,9	1995-96	15,3
1975-76	15,1	1996-97	15,8
1976-77	16,9	1997-98	16,2
1977-78	15,7	1998-99	16,4
1978-79	15,8	1999-00	16,9
1979-80	15,7	2000-01	17,5
1980-81	16,2	2001-02	16,1



Πίνακας 3.7 Μηνιαίες και ετήσιες θερμοκρασίες στον σταθμό βάσης, Μόρα  
(Εφαρμογή μεθόδου θερμοβαθμίδας στη λεκάνη Καραβόπορου)

ΥΔΡ. ΕΤΟΣ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΟΣ
1960-61	17,9	15,5	10,3	6,8	6,2	11,1	15,8	19,5	24,4	26,5	26,6	23,3	17,0
1961-62	17,4	15,0	6,6	6,9	4,9	10,4	14,1	20,3	24,3	27,1	28,3	23,6	16,6
1962-63	17,3	15,9	5,5	6,1	7,4	8,3	13,7	18,5	24,3	26,9	28,0	23,6	16,3
1963-64	17,3	15,0	8,1	5,2	6,2	9,7	13,7	18,4	24,0	25,9	25,6	23,0	16,0
1964-65	17,7	14,1	8,0	7,3	3,0	9,2	13,0	18,4	24,1	26,9	24,6	23,5	15,8
1965-66	16,9	12,8	8,3	5,9	11,0	9,5	15,1	18,8	23,8	27,1	27,9	23,3	16,7
1966-67	18,6	14,6	7,7	6,0	5,2	9,8	13,6	19,2	23,7	25,6	27,2	23,2	16,2
1967-68	17,8	13,7	7,6	4,1	8,5	8,7	15,2	20,5	23,7	26,5	25,4	23,3	16,3
1968-69	17,0	14,0	7,0	6,1	8,6	8,9	12,9	20,4	24,4	25,9	26,5	23,4	16,3
1969-70	17,0	14,2	8,1	8,2	8,8	9,9	15,1	18,1	24,4	26,3	27,7	23,3	16,8
1970-71	17,0	12,6	6,4	8,1	6,2	8,1	13,2	20,0	24,7	25,3	27,1	22,8	15,9
1971-72	16,6	12,4	6,9	7,0	6,8	9,3	14,5	19,4	24,8	26,1	26,0	23,2	16,1
1972-73	16,2	13,5	5,9	6,0	7,1	7,3	13,6	20,5	24,4	27,4	25,1	23,5	15,9
1973-74	17,3	10,8	5,1	7,2	7,7	9,0	11,9	19,0	24,2	26,8	26,1	23,3	15,7
1974-75	17,8	12,9	5,9	6,4	4,5	10,9	14,3	19,2	23,6	26,3	25,2	23,4	15,9
1975-76	17,2	11,8	6,1	7,2	5,6	8,5	13,6	18,4	23,1	25,3	21,7	22,8	15,1
1976-77	17,5	12,9	7,5	7,1	11,5	10,5	14,0	20,3	24,7	27,7	26,3	22,8	16,9
1977-78	16,9	15,5	5,5	5,3	9,1	11,1	13,2	17,3	23,9	25,4	22,8	22,5	15,7
1978-79	16,9	8,8	9,2	6,7	7,6	11,0	12,3	18,7	24,5	25,5	24,7	23,0	15,7
1979-80	16,7	13,3	8,4	5,7	6,2	8,8	12,2	17,4	23,4	26,8	26,5	23,0	15,7
1980-81	17,6	15,3	7,9	4,4	6,8	12,0	13,8	18,0	24,4	25,9	25,1	23,4	16,2
1981-82	18,4	8,9	8,7	6,8	3,8	8,3	12,2	18,1	24,4	26,4	27,1	23,5	15,6
1982-83	17,3	8,9	7,9	6,6	4,1	9,6	16,5	20,4	22,8	26,1	24,4	23,1	15,6
1983-84	16,8	10,8	6,1	7,0	6,5	8,5	11,9	19,3	24,0	25,9	23,4	23,2	15,3
1984-85	18,0	12,5	6,1	6,6	4,0	8,7	15,5	20,0	24,7	26,3	26,7	23,3	16,0
1985-86	16,5	13,6	8,4	7,7	6,9	9,2	15,6	19,4	24,1	25,7	25,3	23,2	16,3
1986-87	17,1	10,2	3,5	7,2	8,1	4,0	13,5	18,2	24,3	27,2	25,8	23,7	15,2
1987-88	16,8	11,3	7,4	8,5	6,6	9,5	13,4	19,5	24,8	28,2	27,8	23,5	16,4
1988-89	16,9	7,0	4,4	5,5	7,6	11,4	16,4	18,8	23,8	25,4	26,2	23,4	15,6
1989-90	16,6	11,8	6,2	6,9	8,6	11,5	15,2	19,3	24,7	27,1	25,2	23,3	16,4
1990-91	17,6	14,3	6,7	5,7	5,4	10,5	12,7	17,6	24,8	25,5	24,3	23,2	15,7
1991-92	17,6	12,3	2,7	6,1	5,8	8,8	14,0	17,5	23,7	25,1	26,5	23,0	15,3
1992-93	18,0	12,8	5,2	4,9	2,3	9,2	16,1	19,1	24,7	26,4	25,7	23,1	15,6
1993-94	18,1	9,6	8,7	8,0	4,9	11,4	14,9	20,4	24,1	25,3	27,1	25,9	16,5
1994-95	18,5	10,8	6,6	3,3	9,5	10,5	13,2	19,7	25,9	25,1	24,8	21,9	15,8
1995-96	15,1	8,0	9,3	6,1	6,2	5,7	12,9	21,2	26,0	26,4	25,5	21,4	15,3
1996-97	15,0	13,5	7,1	6,2	6,0	9,4	11,3	21,4	24,2	28,6	24,3	22,8	15,8
1997-98	16,8	12,2	6,9	8,7	9,5	7,0	16,5	18,2	23,5	26,5	26,8	22,1	16,2
1998-99	18,4	10,7	4,2	7,2	5,4	9,5	15,1	21,5	25,6	26,7	29,1	22,8	16,4
1999-00	20,5	14,9	9,3	4,8	7,5	9,7	16,2	18,4	24,0	27,5	26,4	23,8	16,9
2000-01	17,1	15,5	9,1	9,0	8,3	13,6	14,2	19,5	25,3	27,5	27,5	23,6	17,5
2001-02	17,9	10,4	2,3	6,1	10,6	11,8	13,1	19,5	24,5	27,5	26,7	22,8	16,1
<b>Μέση Τιμή</b>	17,3	12,5	6,9	6,5	6,8	9,5	14,0	19,2	24,3	26,4	26,0	23,2	16,1

Πίνακας 3.8 Μέση μηνιαία επιφανειακή θερμοκρασία της λεκάνης απορροής  
Καραβόπορου (Εφαρμογή μεθόδου θερμοβαθμίδας στη λεκάνη Καραβόπορου)

ΥΔΡ. ΕΤΟΣ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΟΣ
1960-61	17,9	15,5	10,3	6,8	6,2	11,1	15,8	19,5	24,4	26,5	26,7	23,3	17,0
1961-62	17,4	15,0	6,6	6,9	4,9	10,4	14,1	20,3	24,3	27,1	28,3	23,6	16,6
1962-63	17,3	15,9	5,5	6,1	7,4	8,3	13,7	18,5	24,3	27,0	28,0	23,6	16,3
1963-64	17,3	15,0	8,1	5,2	6,2	9,7	13,7	18,4	24,0	25,9	25,6	23,0	16,0
1964-65	17,7	14,1	8,0	7,3	3,0	9,2	13,0	18,4	24,1	26,9	24,6	23,5	15,8
1965-66	16,9	12,8	8,3	5,9	11,0	9,5	15,1	18,8	23,8	27,1	27,9	23,3	16,7
1966-67	18,6	14,6	7,7	6,0	5,2	9,8	13,7	19,2	23,8	25,7	27,2	23,3	16,2
1967-68	17,8	13,7	7,6	4,1	8,5	8,7	15,2	20,5	23,7	26,5	25,4	23,3	16,3
1968-69	17,0	14,0	7,0	6,1	8,6	8,9	12,9	20,4	24,4	25,9	26,6	23,4	16,3
1969-70	17,0	14,2	8,1	8,2	8,8	9,9	15,1	18,1	24,4	26,4	27,7	23,3	16,8
1970-71	17,0	12,6	6,4	8,1	6,2	8,1	13,2	20,0	24,7	25,3	27,1	22,9	16,0
1971-72	16,6	12,4	6,9	7,0	6,8	9,3	14,5	19,4	24,8	26,1	26,0	23,2	16,1
1972-73	16,2	13,5	5,9	6,0	7,1	7,3	13,6	20,5	24,4	27,4	25,1	23,5	15,9
1973-74	17,3	10,8	5,1	7,2	7,7	9,0	11,9	19,0	24,2	26,8	26,1	23,3	15,7
1974-75	17,8	12,9	5,9	6,4	4,5	10,9	14,3	19,2	23,6	26,3	25,2	23,4	15,9
1975-76	17,2	11,8	6,1	7,2	5,6	8,5	13,6	18,4	23,1	25,3	21,7	22,8	15,1
1976-77	17,5	12,9	7,5	7,1	11,5	10,5	14,0	20,3	24,7	27,7	26,3	22,9	16,9
1977-78	16,9	15,5	5,5	5,3	9,1	11,1	13,2	17,3	23,9	25,4	22,8	22,5	15,7
1978-79	16,9	8,8	9,2	6,7	7,6	11,0	12,4	18,7	24,5	25,5	24,7	23,0	15,8
1979-80	16,7	13,3	8,4	5,7	6,2	8,8	12,2	17,4	23,4	26,8	26,5	23,0	15,7
1980-81	17,6	15,3	7,9	4,4	6,8	12,0	13,8	18,0	24,4	25,9	25,1	23,4	16,2
1981-82	18,4	8,9	8,7	6,8	3,8	8,3	12,2	18,1	24,4	26,4	27,1	23,5	15,6
1982-83	17,3	8,9	7,9	6,6	4,1	9,6	16,5	20,4	22,8	26,1	24,5	23,1	15,6
1983-84	16,8	10,8	6,1	7,0	6,5	8,5	11,9	19,3	24,0	25,9	23,5	23,2	15,3
1984-85	18,0	12,5	6,1	6,6	4,0	8,7	15,5	20,1	24,7	26,4	26,7	23,3	16,0
1985-86	16,5	13,6	8,4	7,7	6,9	9,2	15,6	19,4	24,1	25,7	25,3	23,2	16,3
1986-87	17,1	10,2	3,5	7,2	8,1	4,0	13,5	18,2	24,3	27,2	25,8	23,7	15,2
1987-88	16,8	11,4	7,4	8,5	6,6	9,5	13,4	19,5	24,8	28,2	27,8	23,5	16,5
1988-89	16,9	7,0	4,4	5,5	7,6	11,4	16,4	18,8	23,8	25,5	26,2	23,4	15,6
1989-90	16,6	11,8	6,2	6,9	8,6	11,5	15,2	19,3	24,7	27,1	25,2	23,3	16,4
1990-91	17,6	14,3	6,7	5,7	5,4	10,5	12,7	17,6	24,8	25,5	24,3	23,2	15,7
1991-92	17,6	12,3	2,7	6,1	5,8	8,8	14,0	17,6	23,7	25,1	26,5	23,0	15,3
1992-93	18,0	12,8	5,2	4,9	2,3	9,2	16,1	19,1	24,7	26,4	25,7	23,1	15,6
1993-94	18,1	9,7	8,7	8,0	4,9	11,4	14,9	20,4	24,1	25,3	27,1	25,9	16,5
1994-95	18,5	10,8	6,6	3,3	9,5	10,5	13,2	19,7	25,9	25,1	24,8	21,9	15,8
1995-96	15,1	8,0	9,3	6,1	6,2	5,7	12,9	21,2	26,0	26,4	25,5	21,4	15,3
1996-97	15,0	13,5	7,1	6,2	6,0	9,4	11,3	21,4	24,2	28,6	24,3	22,8	15,8
1997-98	16,8	12,2	6,9	8,7	9,5	7,0	16,5	18,2	23,5	26,5	26,8	22,1	16,2
1998-99	18,4	10,7	4,2	7,2	5,4	9,5	15,1	21,5	25,6	26,7	29,2	22,8	16,4
1999-00	20,5	14,9	9,3	4,8	7,5	9,7	16,2	18,4	24,0	27,5	26,4	23,8	16,9
2000-01	17,1	15,5	9,1	9,0	8,3	13,6	14,2	19,5	25,3	27,5	27,5	23,6	17,5
2001-02	17,9	10,4	2,3	6,1	10,6	11,8	13,1	19,5	24,5	27,5	26,7	22,8	16,1
<b>Μέση Τιμή</b>	17,3	12,5	6,9	6,5	6,8	9,5	14,0	19,2	24,3	26,4	26,0	23,2	16,1

### 3.4 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΣΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΜΗΝΙΑΙΑΣ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ

#### 3.4.1 Γενικά

Ο όρος *εξατμισοδιαπνοή* ορίζεται σαν την ποσότητα που καταναλίσκεται στη διαπνοή των φυτών και στην εξατμηση των υγρών μερών του φυτού και του εδάφους κατά τη διάρκεια μιας ορισμένης περιόδου. Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή είναι ο μέγιστος ρυθμός εξατμισοδιαπνοής σε μια φυτοκαλυμμένη επιφάνεια κάτω από ορισμένες μετεωρολογικές συνθήκες χωρίς έλλειμμα νερού.

Έχουν αναπτυχθεί πολλά μοντέλα προσομοίωσης της εξατμισοδιαπνοής, πολλά από τα οποία είναι ιδιαίτερα σύνθετα και απαιτούν μεγάλο αριθμό παραμέτρων. Στη συγκεκριμένη εργασία έγινε επιλογή της μεθόδου του Thornthwaite (1948), έναντι των μεθόδων Penmann και Blanney-Criddle. Αυτή η επιλογή έγινε, διότι η μέθοδος Penmann απαιτεί την εισαγωγή μεγάλου αριθμού δεδομένων, ενώ για τη συγκεκριμένη μελέτη, έπρεπε η επιλεγμένη μέθοδος να βασίζεται σχεδόν αποκλειστικά στη θερμοκρασία του αέρα καθώς παρουσιάζεται έλλειψη άλλων μετεωρολογικών και κλιματολογικών δεδομένων. Από την άλλη πλευρά, η Blanney-Criddle υποεκτιμά την εξατμισοδιαπνοή, σύμφωνα με ορισμένες εργασίες (Κουτσογιάννης, 2002).

Ο Thornthwaite περιέγραψε τη βιολογική και φυσική σημασία της εξατμισοδιαπνοής στην κλιματική ταξινόμηση και ανέπτυξε μια εξίσωση για την εκτίμηση της *μηνιαίας δυνητικής εξατμισοδιαπνοής*:

$$E_p = 1.6 L_d \left( \frac{10 T_a}{I} \right)^a \quad (3.8)$$



όπου:  $T_a$  η μέση μηνιαία θερμοκρασία της λεκάνης απορροής σε °C

$I$  ο δείκτης θερμότητας που δίνεται από την σχέση:

$$I = \sum_{n=1}^{12} \left( \frac{T_n}{5} \right)^{1.514} \quad (3.9)$$

όπου:  $T_n$  η κανονική θερμοκρασία κάθε μήνα

$L_d$  ένας διορθωτικός συντελεστής που υπολογίζεται από μετεωρολογικούς πίνακες ως συνάρτηση του μήνα και του γεωγραφικού πλάτους

$\alpha$  ένας συντελεστής που υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\alpha = 0.000000675I^3 - 0.000077I^2 + 0.01792I + 0.49239 \quad (3.10)$$

Η μέθοδος Thornthwaite παρουσιάζει κάποια μειονεκτήματα, αφού η υπολογιζόμενη εξατμισοδιαπνοή υποεκτιμάται όταν η ακτινοβολία που προσλαμβάνει η γη έχει τη μέγιστη τιμή της, δηλαδή στη διάρκεια του καλοκαιριού, και κατά συνέπεια είναι εκτός φάσης το φθινόπωρο. Αυτό αποδίδεται στην χρονική υστέρηση που παρουσιάζει η ετήσια πορεία της θερμοκρασίας ως προς την ακτινοβολία. Επίσης η χρησιμοποίηση της μεθόδου για μικρά χρονικά διαστήματα δεν είναι κατάλληλη, επειδή η μέση θερμοκρασία μικρών χρονικών περιόδων δεν αποτελεί κατάλληλο μέτρο για την ενέργεια που διατίθεται στο φαινόμενο της εξατμισοδιαπνοής. Η μέθοδος είναι περισσότερο επιτυχής για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα, όπως μηνιαία, και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τόσο η θερμοκρασία όσο και η εξατμισοδιαπνοή είναι όμοιες συναρτήσεις της καθαρής ακτινοβολίας και ως εκ τούτου αυτοσυσχετίζονται όταν οι θεωρούμενες χρονικές περίοδοι είναι μεγάλες.

### 3.4.2 Υπολογισμός εξατμισοδιαπνοής ET

Παρακάτω θα γίνει ανάλυση υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής βήμα προς βήμα παίρνοντας για παράδειγμα την λεκάνη του Καραβόπορου για την οποία υπολογίστηκε παραπάνω η μέση επιφανειακή θερμοκρασία (Πίνακας 3.8).

- Με βάση την τιμή του γεωγραφικού πλάτους της λεκάνης υπολογίζεται ο συντελεστής  $L_d$  σύμφωνα με τους παρακάτω μαθηματικούς τύπους

$$\delta = 0,409 * \cos\left(\frac{2\pi \cdot n}{365} + 0,16\right) \quad (3.11)$$

όπου:  $\delta$  είναι η ηλιακή απόκλιση

$n$  είναι η αντιπροσωπευτική μέρα για την περιοχή της Θεσσαλίας, η οποία φαίνεται για κάθε μήνα στον παρακάτω Πίνακα (Πίνακας 3.9):

Πίνακας 3.9 Αντιπροσωπευτική μέρα για κάθε μήνα

ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
289	318	345	18	46	75	105	135	162	199	229	259

$$\omega_s = ACOS\left[\left[-TAN\left(\left(\Phi\mu + \frac{\Phi\lambda}{60}\right)\left(\frac{\pi}{180}\right)\right)\right](TAN(\delta))\right] \quad (3.12)$$

όπου:  $\omega_s$  είναι η γωνία της ώρας δύσης ηλίου

$\Phi\mu$  είναι οι μοίρες του γεωγραφικού πλάτους

$\Phi\lambda$  είναι τα λεπτά του γεωγραφικού πλάτους

$\delta$  είναι η ηλιακή απόκλιση

$$N = \left( \frac{24}{\pi} \right) \omega s \quad (3.13)$$

όπου:  $N$  είναι η αστρονομική διάρκεια της ημέρας

$\omega s$  είναι η γωνία της ώρας δύσης ηλίου

➤ Τέλος, ο διορθωτικός συντελεστής  $L_d$  για κάθε μήνα υπολογίζεται από τον τύπο

$$L_d = \left( \frac{N}{12} \right) \left( \frac{a}{30} \right) \quad (3.14)$$

όπου:  $N$  είναι η αστρονομική διάρκεια της ημέρας

$\beta$  είναι ένας συντελεστής των ημερών κάθε μήνα και είναι για κάθε μήνα (Πίνακας 3.10)

Πίνακας 3.10 Τιμές του συντελεστή  $\beta$  για κάθε μήνα

ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
31	30	31	31	28,25	31	30	31	30	31	31	30

Τα αποτελέσματα για τον διορθωτικό συντελεστή  $L_d$  για τη λεκάνη του Καραβόπορου φαίνονται στον Πίνακα 3.11.

Πίνακας 3.11 Τιμές του διορθωτικού συντελεστή  $L_d$

ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
0,941	0,8192	0,7963	0,821	0,821	1,007	1,084	1,219	1,229	1,2483	1,164	1,02

Σύμφωνα με την σχέση (3.9) είναι δυνατόν να υπολογιστεί ο δείκτης θερμότητας  $I$  για κάθε μήνα (Πίνακας 3.13) βάσει της μέσης τιμής της μηνιαίας θερμοκρασίας  $T_n$  στη λεκάνη του Καραβόπορου (Πίνακας 3.12).



Πίνακας 3.12 Μέσες τιμές της μηνιαίας θερμοκρασίας στον Καραβόπορο σε βαθμούς Celsius

ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ
17,3	12,5	6,9	6,5	6,8	9,5
ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
14,0	19,2	24,3	26,4	26,0	23,2

Πίνακας 3.13 Τιμές του δείκτη θερμότητας  $I$  για κάθε μήνα για την λεκάνη του Καραβόπορου

ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ
6,562619	4,001496	1,625858	1,485955	1,598922	2,64544
ΑΠΡ	ΜΑΙΟ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
4,773682	7,688219	10,95977	12,43842	12,12237	10,20473

- Σύμφωνα με τη σχέση 3.10 υπολογίζεται η τιμή του συντελεστή  $\alpha$  (Πίνακας 3.14)

Πίνακας 3.14 Τιμές του αθροίσματος των δεικτών θερμότητας  $I$  και του συντελεστή  $\alpha$

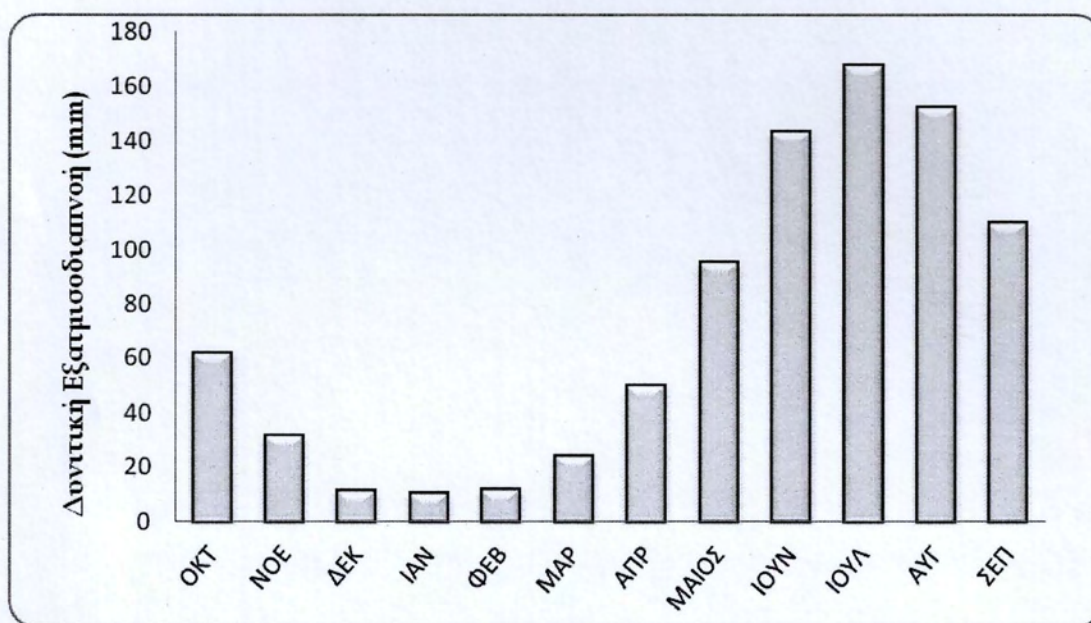
$\Sigma(I_i)$	76,10748
Εμπειρικός Συντελεστής $\alpha$	1,707214

- Τέλος, σύμφωνα με την σχέση (3.8) υπολογίζεται η δυνητική εξατμισοδιαπνοή για κάθε μήνα και για κάθε έτος. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 3.15.

Πίνακας 3.15 Τιμές της εξατμισοδιαπνοής για την λεκάνη του Καραβόπορου

	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΟΣ
1960-61	64,7	44,4	21,5	10,8	9,2	30,7	60,2	96,9	143,5	167,8	158,4	110,1	918,2
1961-62	61,6	41,8	10,1	11,3	6,2	27,4	49,7	104,4	143,0	174,3	175,4	112,4	917,5
1962-63	61,2	46,3	7,4	9,0	12,5	18,5	47,6	89,2	142,6	173,0	172,1	112,6	892,0
1963-64	61,0	41,8	14,3	6,9	9,2	24,3	47,6	88,3	139,7	161,5	148,1	108,0	850,8
1964-65	63,9	37,5	14,0	12,2	2,7	22,2	43,5	87,8	141,0	172,3	138,1	111,6	846,8
1965-66	58,6	31,7	14,9	8,5	24,5	23,4	55,7	91,6	137,7	174,2	171,1	110,3	902,3
1966-67	69,3	40,0	13,1	8,7	6,9	24,7	47,1	95,0	137,3	159,0	163,6	109,9	874,5
1967-68	64,1	35,7	12,8	4,6	15,8	20,1	56,8	105,9	136,9	168,5	146,1	110,7	877,9
1968-69	59,6	36,9	11,2	9,1	16,1	20,9	43,0	105,4	143,5	161,5	157,3	111,0	875,6
1969-70	59,2	38,1	14,3	14,9	16,9	25,2	56,0	85,5	143,6	166,5	169,2	110,1	899,7
1970-71	59,1	31,1	9,6	14,5	9,2	17,7	44,4	101,4	146,4	155,3	162,8	106,7	858,2
1971-72	57,0	30,0	10,9	11,5	10,7	22,6	52,4	96,7	148,1	164,3	151,4	109,4	865,1
1972-73	54,4	34,8	8,3	8,8	11,7	14,9	46,8	106,1	144,2	177,6	142,7	111,8	862,2
1973-74	61,3	23,8	6,5	11,9	13,3	21,5	37,4	93,3	141,4	171,6	152,6	109,9	844,5
1974-75	64,1	32,3	8,3	9,8	5,3	29,5	50,8	95,0	135,9	165,7	144,0	111,0	851,8
1975-76	60,4	27,6	8,8	12,1	7,8	19,4	46,8	87,7	131,0	155,6	111,4	106,5	775,2
1976-77	62,6	32,3	12,3	11,7	26,5	27,9	49,3	103,7	147,0	181,4	155,1	106,7	916,5
1977-78	58,7	44,0	7,4	7,0	17,7	30,5	44,4	79,4	138,4	156,7	121,1	103,7	808,8
1978-79	58,9	16,8	17,6	10,6	13,0	30,3	39,7	90,5	144,8	157,8	139,1	108,2	827,1
1979-80	57,8	34,2	15,0	7,9	9,2	20,5	38,8	80,1	134,2	170,9	156,4	107,9	832,8
1980-81	62,8	43,3	13,5	5,2	10,7	35,0	47,8	85,0	144,2	162,1	142,7	111,1	863,5
1981-82	68,0	17,3	15,9	10,9	4,0	18,7	38,8	85,5	143,6	167,2	162,8	112,2	844,9
1982-83	61,1	17,3	13,5	10,2	4,6	24,1	65,3	104,9	127,8	163,5	136,7	108,7	837,6
1983-84	58,5	23,8	8,8	11,5	10,1	19,4	37,4	95,6	139,7	162,1	127,3	109,6	803,7
1984-85	65,3	30,5	8,8	10,4	4,4	20,1	58,2	102,0	146,4	166,5	158,9	110,3	881,7
1985-86	56,3	35,4	15,0	13,5	11,0	22,2	59,2	96,7	140,3	159,2	145,2	109,4	863,5
1986-87	60,2	21,7	3,4	12,1	14,7	5,4	46,3	86,1	143,1	175,4	150,1	113,4	831,8
1987-88	58,5	25,9	12,0	16,0	10,4	23,3	45,3	97,3	148,1	186,7	170,6	112,0	906,3
1988-89	58,7	11,2	5,1	7,5	13,0	32,0	64,2	91,6	137,5	156,9	153,9	111,1	842,7
1989-90	57,0	27,6	9,1	11,1	16,2	32,4	56,6	95,6	146,4	174,6	143,9	110,1	880,6
1990-91	62,8	38,6	10,4	7,9	7,3	27,9	41,5	81,7	148,1	157,0	135,5	109,8	828,6
1991-92	62,8	29,9	2,2	8,9	8,4	20,5	49,3	81,2	136,4	152,8	156,4	108,2	817,0
1992-93	65,5	31,7	6,7	6,2	1,7	22,2	62,5	93,9	147,0	167,2	148,9	108,6	862,1
1993-94	65,9	19,7	15,9	14,3	6,3	32,1	54,4	105,1	140,8	154,8	162,6	131,7	903,7
1994-95	68,9	24,0	9,9	3,2	19,1	28,0	44,6	99,3	159,2	153,7	139,6	99,1	848,4
1995-96	48,3	14,2	18,0	9,0	9,1	9,8	42,8	111,9	159,8	167,1	146,9	95,0	832,0
1996-97	48,0	34,9	11,3	9,2	8,7	23,2	34,0	114,3	141,9	191,8	135,3	105,9	858,5
1997-98	58,1	29,3	10,9	16,4	19,3	13,9	64,7	86,2	134,9	168,2	159,9	100,8	862,6
1998-99	67,8	23,5	4,7	12,1	7,3	23,3	56,0	114,6	156,2	170,1	184,5	106,6	926,6
1999-2000	81,7	41,1	18,0	6,0	12,9	24,5	63,2	87,7	140,1	179,2	155,5	114,0	923,9
2000-2001	60,1	44,2	17,3	17,6	15,3	43,5	50,3	97,1	152,4	179,1	166,6	112,9	956,5
2001-2002	64,8	22,2	1,6	9,1	23,0	34,0	44,0	97,6	144,9	179,1	158,9	106,5	885,8
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	61,4	31,2	11,2	10,2	11,5	24,0	49,6	95,1	142,8	167,4	151,9	109,4	865,7
ΤΥΠ ΑΠΟΚΛ	5,6	9,1	4,5	3,2	5,7	6,9	8,3	9,2	6,6	9,3	14,8	5,2	37,7

Στο διάγραμμα του Σχήματος 3.3 φαίνονται τα αποτελέσματα της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής που υπολογίστηκε για την λεκάνη του Καραβόπορου. Το σχήμα παρουσιάζει τη μεταβολή των μέσων τιμών της μηνιαίας εξατμισοδιαπνοής για κάθε μήνα. Παρατηρείται ότι οι μέσες μηνιαίες τιμές της εξατμισοδιαπνοής είναι μικρότερες κατά τους χειμερινούς μήνες, ενώ αυξάνονται κατά τους θερινούς, γεγονός το οποίο είναι αναμενόμενο λόγω της αυξημένης θερμοκρασίας το καλοκαίρι.



Σχήμα 3.3 Μέση μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή στη λεκάνη του Καραβόπορου



### 3.5 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

#### 3.5.1 Γενικά

Απώτερος σκοπός των υδρολογικών μοντέλων υδατικού ισοζυγίου είναι να εκτιμήσουν την απορροή από βροχομετρικά δεδομένα χρησιμοποιώντας την εξίσωση της συνέχειας που δίνεται από την εξίσωση:

$$R = P - L \quad (3.15)$$

όπου, R η συνολική απορροή σε mm, P η βροχόπτωση ή/και τήξη χιονιού σε mm και L οι υδρολογικές απώλειες σε mm.

Το μοντέλο, UTHBAL, που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της απορροής των λεκανών είναι το μοντέλο που αρχικά παρουσιάστηκε από τους Λουκά και συνεργάτες (Λουκάς και συνεργάτες, 2003) και αναθεωρήθηκε το 2007 (Loukas et al., 2007). Το μοντέλο UTHBAL μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αδρομερές, ημι-κατανεμημένο και κατανεμημένο (Loukas et al. 2008). Στην εργασία αυτή το μοντέλο έχει εφαρμοσθεί ως χωρικά αδρομερές μοντέλο.

Στο μοντέλο εισάγονται ως δεδομένα οι χρονοσειρές της μέσης επιφανειακής βροχόπτωσης της λεκάνης, της μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας της λεκάνης και της εξατμισοδιαπνοής της λεκάνης για τα υδρολογικά έτη από το 1960-61 έως το 2001-02. Επίσης, το μοντέλο έχει έξι παραμέτρους που μπορεί να πάρουν τιμές από ένα συγκεκριμένο εύρος τιμών. Στο συγκεκριμένο μοντέλο έχει εισαχθεί αλγόριθμος που υπολογίζει την τήξη του χιονιού, αφού μεγάλες περιοχές της περιοχής μελέτης είναι ορεινές, και στις οποίες η συσσώρευση και τήξη του χιονιού είναι σημαντική συνιστώσα του υδρολογικού κύκλου.

### 3.5.2 Συσσώρευση και τήξη χιονιού

Αρχικό βήμα στη κατάστρωση του μοντέλου προσομοίωσης της απορροής, είναι ο διαχωρισμός της υετόπτωσης σε βροχή και χιόνι. Ο διαχωρισμός αυτός καθορίζεται, κυρίως από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Ορίστηκε ένα όριο θερμοκρασίας κάτω από το οποίο όλη η υετόπτωση είναι χιόνι και κάποιο άλλο, πάνω από το οποίο είναι βροχή. Έτσι, για μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 12.22 °C θεωρήθηκε ότι όλο το ποσοστό της υετόπτωσης είναι βροχή, ενώ για μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες μικρότερες από -10°C, όλο το ποσοστό της συνολικής υετόπτωσης είναι χιόνι. Για θερμοκρασίες μεταξύ των δύο αυτών τιμών το χιόνι υπολογίζεται ως ποσοστό της υετόπτωσης που παρατηρήθηκε. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε γραμμική σχέση ως προς τη θερμοκρασία (Semadeni - Davies, A., 1997):

$$\%S = -4.5 \cdot T + 55 \quad \text{για } -10^{\circ}\text{C} \leq T \leq 12.22^{\circ}\text{C} \quad (3.16)$$

Δοκιμάζοντας τη σχέση αυτή διαπιστώθηκε ότι για τιμές θερμοκρασίας κοντά στο μηδέν, η συνολική απορροή είχε αποκλίσεις από τις παρατηρούμενες τιμές κάτι που πιθανόν οφείλονταν στη γραμμική σχέση μεταξύ θερμοκρασίας-ποσοστού χιονιού. Δοκιμάστηκε και διαπιστώθηκε ότι βελτιώνονται τα αποτελέσματα όταν χρησιμοποιηθεί αντί για γραμμική, η λογιστική (logistic) σχέση. Η λογιστική σχέση έχει χρησιμοποιηθεί σε αντίστοιχο μοντέλο σε μελέτη για τη βόρεια λεκάνη απορροής του Στρυμόνα με σχετικά παρόμοια κλιματολογικά χαρακτηριστικά και έδωσε επίσης καλύτερα αποτελέσματα (Knight et al, 2001). Σύμφωνα, λοιπόν, με τη λογιστική σχέση, το ποσοστό της υετόπτωσης που είναι χιόνι δίνεται από τη παρακάτω έκφραση:

$$\%S = 0 \quad , \quad \text{για } T \geq 12.22^{\circ}\text{C}$$

$$\%S = \frac{100}{1.35^T \cdot 1.61 + 1} \quad , \quad \text{για } -10^{\circ}\text{C} \leq T \leq 12.22^{\circ}\text{C} \quad (3.17)$$

$$\%S = 100 \quad , \quad \text{για } T \leq -10^{\circ}\text{C}$$

όπου:  $T$  η μέση μηνιαία θερμοκρασία.

Έχοντας λοιπόν, ως δεδομένα, από μετεωρολογικούς σταθμούς, τις μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες και τη μηνιαία υετόπτωση, υπολογίστηκε η μηνιαία χιονόπτωση.

Ο επόμενος υπολογισμός αφορά τη *δυναμική μηνιαία τήξη χιονιού* εκφρασμένη σε mm/μήνα. Η τήξη χιονιού επηρεάζεται από μια σειρά παραμέτρων, όπως, η θερμοκρασία περιβάλλοντος, η ηλιακή ακτινοβολία, η ατμοσφαιρική πίεση, η ταχύτητα του ανέμου η φυτοκάλυψη κ.α. Οι παραπάνω παράμετροι είναι δύσκολο να υπολογιστούν καθώς δεν υπάρχουν ανάλογα δεδομένα. Γνωρίζοντας την ημερήσια θερμοκρασία περιβάλλοντος, μπορεί να υπολογιστεί η τήξη χιονιού από τη σχέση (degree-day method) (Semadeni - Davies, A., 1997):

$$M = C_m \cdot T \cdot N \quad (3.18)$$

όπου:  $C_m$  είναι παράμετρος (σε mm/°C/ημέρα),  $T$  ημερήσια θερμοκρασία,  $N$  ο αριθμός των ημερών σε κάθε μήνα.

Στη συγκεκριμένη μελέτη όπου τα θερμοκρασιακά δεδομένα ήταν μηνιαία, η παραπάνω σχέση μετατράπηκε ως εξής:

$$M = C_m \cdot T_{\text{μηνιαία}} \quad (3.19)$$



όπου πλέον η παράμετρος  $C_m$  έχει μονάδες mm/ °C/μήνα και σύμφωνα με αυτήν δίνεται η δυνητική μηνιαία τήξη χιονιού.

Η παράμετρος  $C_m$  αλλάζει ανάλογα με την εξεταζόμενη κάθε φορά λεκάνη, αφού εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τη φυτοκάλυψη, τη μορφολογία και κλιματολογία της περιοχής (π.χ. πεδινή ή ορεινή). Έτσι, για κάθε λεκάνη η τιμή της παραμέτρου πρέπει να ρυθμιστεί κατά τη διαδικασία ρύθμισης των παραμέτρων (calibration) και αποτελεί μια επιπλέον παράμετρο των υδρολογικών μοντέλων. Διαπιστώθηκε ότι υπάρχει σχέση μεταξύ της παραμέτρου  $C_m$  και του μέσου υψομέτρου της λεκάνης καθώς και ότι οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 5 - 10 mm/ °C/μήνα.

### 3.5.3 Διαδικασία υπολογισμού απορροής

Το μοντέλο διακρίνει την συνολική απορροή σε τρεις συνιστώσες απορροής, δηλαδή, την επιφανειακή απορροή, την ενδιάμεση ή επιδερμική απορροή και την βασική απορροή ή απορροή που προέρχεται από την εκροή του υδροφορέα. Σύμφωνα με το μοντέλο πρώτη προτεραιότητα στο υδατικό ισοζύγιο πριν τη δημιουργία απορροής αποτελεί η ικανοποίηση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής. Η μηνιαία πραγματική εξατμισοδιαπνοή  $E_a$  του μήνα  $J$  εξαρτάται από τη διαθέσιμη εδαφική υγρασία του μήνα  $J$  και την μέση επιφανειακή δυνητική εξατμισοδιαπνοή  $E_p$  του μήνα  $J$ . Η μηνιαία πραγματική εξατμισοδιαπνοή υπολογίζεται από τη σχέση που πρότειναν οι Vandewiele και Win (Vandewiele and Win, 1998):

$$E_a(J) = \min\{E_p(J) * (1 - \alpha^{S_{moist}(J)/E_p(J)}), S_{moist}(J)\} \quad (3.20)$$

όπου:  $S_{moist}(J)$  η διαθέσιμη εδαφική εργασία του μήνα  $J$  για πλήρωση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής,  $\alpha$  ένας συντελεστής πραγματικής εξατμισοδιαπνοής ( $0 \leq \alpha \leq 1$ ),  $E_p(J)$  η δυνητική εξατμισοδιαπνοή του μήνα  $J$ .

Η επιφανειακή απορροή,  $SR$ , του μήνα  $J$  υπολογίζεται ως:

$$SR(J) = (1 - K) \cdot (AS_{moist}(J) - S_{max}) \text{ εάν } AS_{moist}(J) > S_{max}$$

ή

$$SR(J) = 0 \text{ εάν } AS_{moist}(J) \leq S_{max}$$
(3.21)

όπου:  $AS_{moist}(J) = S_{moist}(J) - E_a(J)$  είναι η υπολειπόμενη εδαφική υγρασία του μήνα  $J$  μετά την ικανοποίηση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής,

$$S_{max} = \frac{25400}{CN} - 254, \quad (3.22)$$

η μέγιστη εδαφική υγρασία,  $CN$  το Curve Number της Soil Conservation Method (SCS, 1972) ( $0 \leq CN \leq 100$ ) και  $K$  ο συντελεστής κατεΐσδυσης ( $0 \leq K \leq 1$ ).

Η διήθηση προς τον υπόγειο υδροφόρα,  $D$ , του μήνα  $J$  υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$D(J) = K \cdot (AS_{moist}(J) - S_{max}) \text{ εάν } AS_{moist}(J) > S_{max}$$

ή

$$D(J) = 0 \text{ εάν } AS_{moist}(J) \leq S_{max}$$
(3.23)

Η διαθέσιμη εδαφική εργασία του μήνα  $J$ ,  $N_{moist}$ , υπολογίζεται από τη σχέση:

$$N_{moist}(J) = AS_{moist}(J) - SR(J) - D(J) \quad (3.24)$$

Η ενδιάμεση απορροή από την εδαφική υγρασία,  $MR$ , του μήνα  $J$  υπολογίζεται ως:

$$MR(J) = \beta \cdot [N_{moist}(J-1) + N_{moist}(J)] \quad (3.25)$$

όπου:  $\beta$  ο συντελεστής ενδιάμεσης απορροής ( $0 \leq \beta \leq 1$ ).

Η υπολειπόμενη υγρασία στο τέλος του μήνα  $J$ ,  $NS_{\text{moist}}$ , υπολογίζεται από τη σχέση:

$$NS_{\text{moist}}(J) = N_{\text{moist}}(J) - MR(J) \quad (3.26)$$

Η διαθέσιμη εδαφική εργασία για πλήρωση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής του επόμενου μήνα  $J+1$  είναι:

$$S_{\text{moist}}(J+1) = P(J+1) + NS_{\text{moist}}(J) \quad (3.27)$$

Η βασική απορροή ή απορροή από την εκροή του υδροφορέα,  $Q_g$ , του μήνα  $J$  υπολογίζεται από τη διήθηση,  $D$ , του προηγούμενου μήνα  $J-1$ , από τη σχέση:

$$Q_g(J) = \gamma * D(J-1) \quad (3.28)$$

όπου:  $\gamma$  ο συντελεστής βασικής απορροής ή συντελεστής εκροής του υδροφορέα ( $0 \leq \gamma \leq 1$ ).

Από τη σχέση (3.28), είναι δυνατό να υπολογιστεί και η βαθιά κατείδωση ή φόρτιση του υπόγειου υδροφορέα,  $R$ :

$$R(J) = D(J) - \gamma \cdot D(J-1) \quad (3.29)$$

Τέλος, η συνολική απορροή,  $Q_c$ , υπολογίζεται ως άθροισμα των επιμέρους συνιστωσών της απορροής, δηλαδή της επιφανειακής απορροής, ενδιάμεσης απορροής και βασικής απορροής:

$$Q_c(J) = SR(J) + MR(J) + Q_g(J) \quad (3.30)$$

Το προτεινόμενο μοντέλο υδρολογικού ισοζυγίου είναι ένα μοντέλο πέντε παραμέτρων. Είναι όμως δυνατόν δύο από τις παραμέτρους του μοντέλου, το CN και ο συντελεστής κατείδωσης  $K$ , να εκτιμηθούν άμεσα από



εδαφολογικούς και γεωλογικούς αναλογικούς ή ψηφιακούς χάρτες, και χάρτες χρήσεων γης, περιορίζοντας έτσι σημαντικά τον αριθμό των παραμέτρων που πρέπει να προσδιορισθούν με τη βοήθεια μεθόδων βελτιστοποίησης.

#### 3.5.4 Επεξεργασία δεδομένων - Βελτιστοποίηση παραμέτρων του μοντέλου

Οι παράμετροι που τελικά υπάρχουν στο μοντέλο και την τιμή των οποίων επιδιώκεται να υπολογιστεί είναι οι εξής :

- $C_m$  παράμετρος τήξης του χιονιού που παίρνει τιμές από 0-10
- $C_n$  παράμετρος που καθορίζει την μέγιστη δυνατή υγρασία με εύρος τιμών από 0-100
- $K$  παράμετρος κατείδυσης με τιμές 0-1
- $\alpha AET$  συντελεστής της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής με τιμές 0-1
- $C_{onMR}$  συντελεστής ενδιάμεσης απορροής με τιμές 0-1
- $CONGROUND$  παράμετρος βασικής απορροής με τιμές 0-1

Τα παροχομετρικά δεδομένα που διατίθενται είναι σε  $m^3/sec$  και πριν εισαχθούν στο μοντέλο πρέπει να γίνουν χιλιοστά  $mm$  όπως τα άλλα δεδομένα. Γνωρίζοντας την έκταση κάθε λεκάνης ο μετασχηματισμός αυτός γίνεται σύμφωνα με τον τύπο

$$A' = \left( \frac{(A \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 30)}{(E \cdot 10^6)} \right) \cdot 1000 \quad (3.31)$$

όπου:  $A'$  η απορροή (σε  $mm$ ),  $A$  η απορροή (σε  $m^3/sec$ ),  $E$  η έκταση της λεκάνης.

Επειδή στα δεδομένα που διατίθενται, δεν υπάρχουν μετρήσεις παροχής για όλες τις χρονιές, ενώ κάποιες χρονιές έχουν ελλιπή δεδομένα, η βελτιστοποίηση των παραμέτρων θα γίνει μόνο για τους μήνες για τους οποίους υπάρχουν μετρήσεις απορροής.

Οι παράμετροι των μοντέλων προσαρμόστηκαν στις βέλτιστες τιμές τους με ελαχιστοποίηση των αποκλίσεων μεταξύ παρατηρημένης και προσομοιωμένης απορροής. Σκοπός της βελτιστοποίησης του μοντέλου είναι μέσω της μεθόδου downhill Simplex να υπολογιστεί εκείνος ο συνδυασμός τιμών των παραμέτρων που δίνουν απορροή της λεκάνης όσο το δυνατόν πιο κοντά στην παρατηρημένη απορροή τις στατιστικές παραμέτρους. Η αντικειμενική συνάρτηση που χρησιμοποιήθηκε για την βελτιστοποίηση είναι η model efficiency (*Eff*), η οποία έχει προταθεί από τους Nash και Sutcliffe (1970) και χρησιμοποιείται ευρέως στις υδρολογικές προσομοιώσεις. Η model efficiency είναι ο συντελεστής απόδοσης του μοντέλου και δίνεται από τον τύπο:

$$Eff = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs_i} - Q_{sim_i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs_i} - \overline{Q_{obs}})^2} \quad (3.32)$$

όπου:  $Q_{obs_i}$  η παρατηρημένη απορροή του μήνα  $i$ ,  $Q_{sim_i}$  η προσομοιωμένη απορροή του μήνα  $i$ ,  $\overline{Q_{obs}}$  ο μέσος όρος των τιμών της μηνιαίας παρατηρημένης απορροής.

Ωστόσο, εκτός της αντικειμενικής συνάρτησης, χρησιμοποιήθηκαν και διάφορες άλλες στατιστικές παράμετροι απόδοσης για τον έλεγχο της πιστότητας των προσομοιώσεων της απορροής, όπως η ποσοστιαία διαφορά υπολογισμένου και προσομοιωμένου όγκου απορροής (percentage volume difference, %DV), η οποία είναι στατιστική παράμετρος κλίμακας και δίνεται από τον τύπο:

$$DV\% = \frac{V_{sim} - V_{obs}}{V_{obs}} \cdot 100\% \quad (3.33)$$

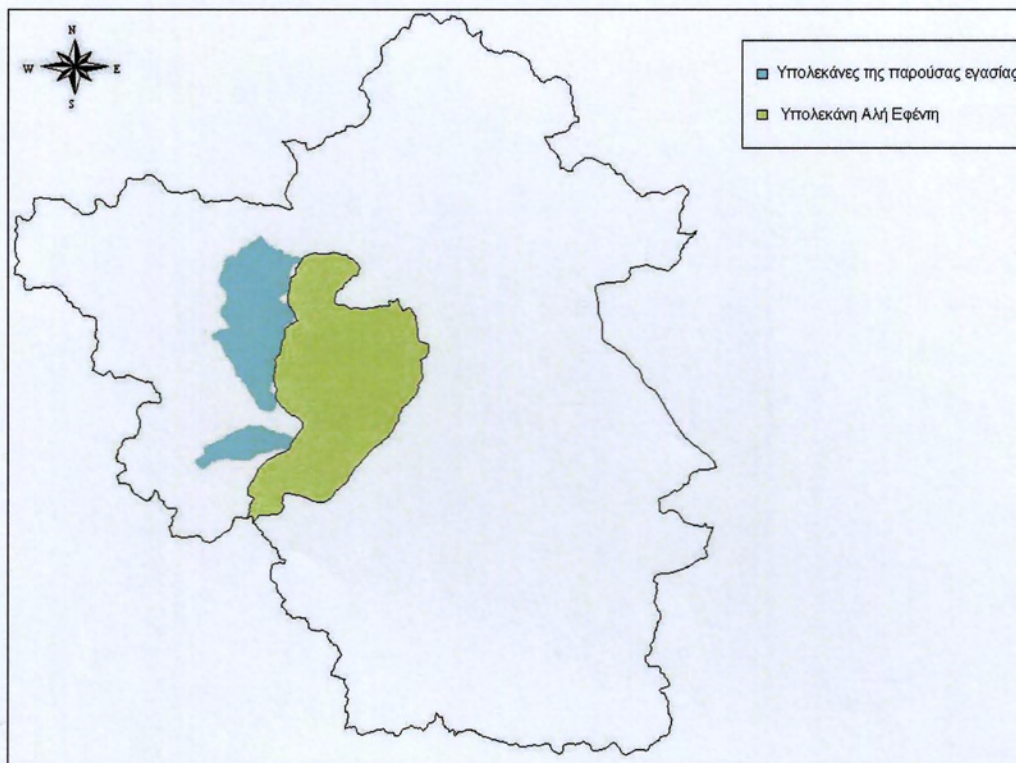
όπου:  $V_{sim}$  είναι ο υπολογισμένος όγκος απορροής για την περίοδο προσομοίωσης και  $V_{obs}$  ο παρατηρημένος όγκος απορροής για την περίοδο προσομοίωσης.

Άλλη παράμετρος που χρησιμοποιήθηκε είναι ο συντελεστής προσδιορισμού (coefficient of determination,  $R^2$ ), η οποία είναι στατιστική παράμετρος μόνο μορφής και δίνεται από τον τύπο:

$$R^2 = \left\{ \frac{n(\sum Q_{obs} \cdot Q_{sim}) - \sum Q_{obs} \cdot \sum Q_{sim}}{\sqrt{[n \sum Q_{obs}^2 - (\sum Q_{obs})^2][n \cdot \sum Q_{sim}^2 - (\sum Q_{sim})^2]}} \right\}^2 \quad (3.34)$$

Η βαθμονόμηση και βελτιστοποίηση των συντελεστών για τις υπολεκάνες Γέφυρα Αλή Εφέτη και Λάρισας έγινε με την διαδικασία που περιγράφεται παραπάνω. Για τις υπόλοιπες όμως υπολεκάνες δεν υπήρχαν τα απαραίτητα δεδομένα για να γίνει βαθμονόμηση του μοντέλου. Για αυτές τις λεκάνες χρησιμοποιήθηκαν οι παράμετροι γειτονικής υδρολογικής λεκάνης σύμφωνα με τη μέθοδο proxy basin. Για τις λεκάνες Γέφυρα Τρικάλων-Σωτήρας, Γέφυρα Τρικαίουγλου, Καραβόπορου και Γέφυρα Τρικάλων Καρδίτσας-Αγναντερό χρησιμοποιήθηκαν οι βελτιστοποιημένοι παράμετροι του μοντέλου όπως αυτοί υπολογίστηκαν για την υπολεκάνη Αλή Εφέντη, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.4, στην διπλωματική εργασία «Κατάρτιση υδατικών ισοζυγίων της ευρύτερης λεκάνης απορροής του Πηνειού για εναλλακτικά σενάρια διαχείρισης υδατικών πόρων» (Δημητρίου Α., Πολυκρέτης Ι., Ταρναράς Χ., 2005) και η οποία έχει γεωγραφικά χαρακτηριστικά ανάλογα των υπόλοιπων τεσσάρων υπολεκανών της παρούσας εργασίας.





Σχήμα 3.4 Υπολεκάνη Αλή Εφέντη

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 3.16) παρατίθενται οι τιμές του efficiency και των στατιστικών παραμέτρων DV και  $R^2$  για όλες τις λεκάνες για τις οποίες προσομοιώθηκε η απορροή, ενώ στον Πίνακα 3.17 φαίνονται οι τιμές των συντελεστών για όλες τις λεκάνες.

Πίνακας 3.16. Τιμές των στατιστικών παραμέτρων για όλες τις υπολεκάνες

Υπολεκάνη	Eff	DV (%)	$R^2$
Υπολεκάνη Αλή Εφέντη	0,784	-1,062	0,780
Γέφυρα Αλή Εφέντη	0,785	-0,904	0,886
Λάρισας	0,763	0,382	0,763

Πίνακας 3.17. Τιμές των συντελεστών βελτιστοποίησης για όλες τις λεκάνες

Υπολεκάνη	Cm	CN	K	aAET	CONMR	CONGROUND
Γεφ Τρικάλων-Σωτήρας	1,972	53,768	0,351	0,505	0,053	0,667
Γέφυρα Τρικαιόγλου	1,972	53,768	0,351	0,505	0,053	0,667
Καραβόπορος	1,972	53,768	0,351	0,505	0,053	0,667
Γεφ Τρικ-Καρδ-Αγναντερό	1,972	53,768	0,351	0,505	0,053	0,667
Γέφυρα Αλή Εφέντη	1,905	54,01	0,34	0,51	0,055	0,714
Λάρισας	0,706	51,78	0,39	0,71	0,037	0,840

### 3.5.5 Δημιουργία συνθετικών απορροών στις λεκάνες

Όταν έχει προσομοιωθεί η απορροή για όλες τις λεκάνες για τις οποίες υπάρχουν μετρήσεις ορισμένων ετών, απαιτείται να δημιουργηθούν συνθετικές απορροές χρησιμοποιώντας το υδρολογικό μοντέλο και τα μετεωρολογικά δεδομένα κάθε λεκάνης για όλη την υδρολογική περίοδο 1960-61 έως 2001-2002. Αυτό γίνεται για να έχουμε μια πλήρη εικόνα της απορροής για όλα τα χρόνια για τα οποία διαθέτουμε δεδομένα βροχόπτωσης και θερμοκρασίας.

Στο υδρολογικό μοντέλο, που αναλύθηκε παραπάνω, εισάγονται τα δεδομένα βροχόπτωσης, θερμοκρασίας και εξατμισοδιαπνοής, όπως υπολογίστηκαν σε παραπάνω παραγράφους για όλη την υπό μελέτη περίοδο. Για κάθε λεκάνη που μελετάται εισάγονται οι τιμές των συντελεστών που βελτιστοποιήθηκαν και παρατίθενται στον Πίνακα 3.17.

Από όλη αυτή τη διαδικασία υπολογίζονται τελικά:

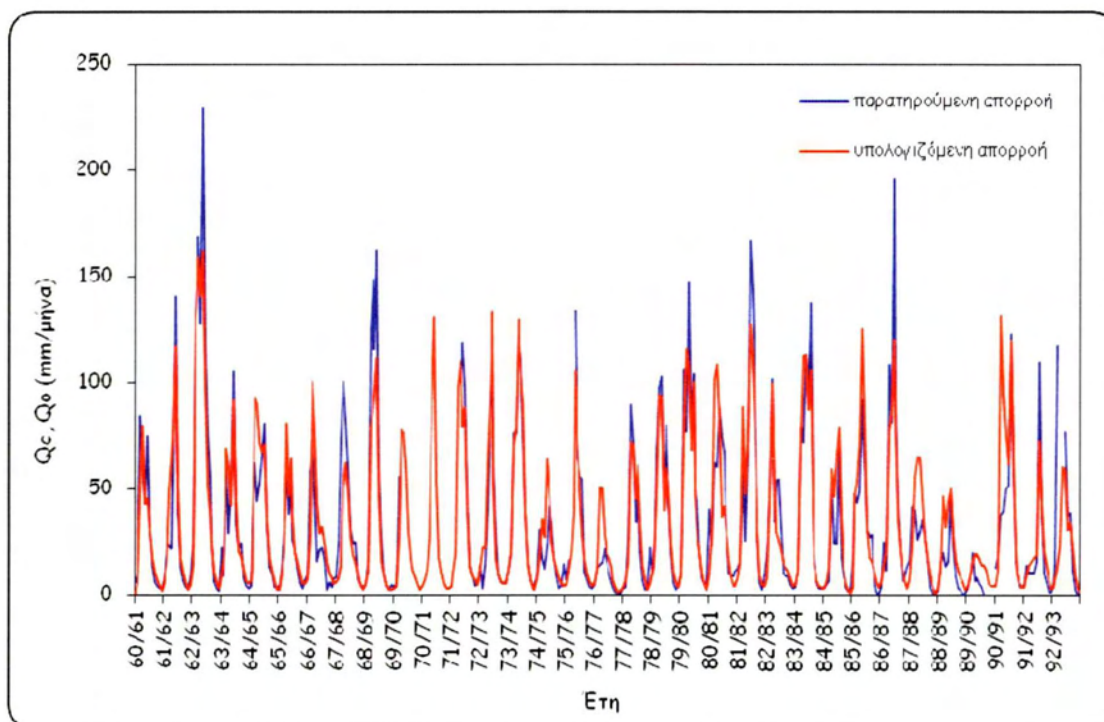
1. Η επιφανειακή απορροή,  $Q_c$ .
2. Η βαθιά κατείσδυση ή φόρτιση του υπόγειου υδροφορέα,  $R(J)$ .

Επομένως, γίνεται εκτίμηση του επιφανειακού υδατικού δυναμικού κάθε λεκάνης ( $Q_c$ ) και του ανανεώσιμου υπόγειου υδατικού δυναμικού ( $R$ ) για κάθε λεκάνη. Το υπόγειο υδατικό δυναμικό  $R(J)$  το οποίο τελικά χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του υπόγειου υδατικού δυναμικού της



περιοχής είναι μια εκτίμηση. Για τον ακριβή υπολογισμό του υπόγειου υδατικού δυναμικού θα έπρεπε να χρησιμοποιηθεί ένα μοντέλο υπόγειων νερών που να λαμβάνει υπόψη και τη μετακίνησή τους.

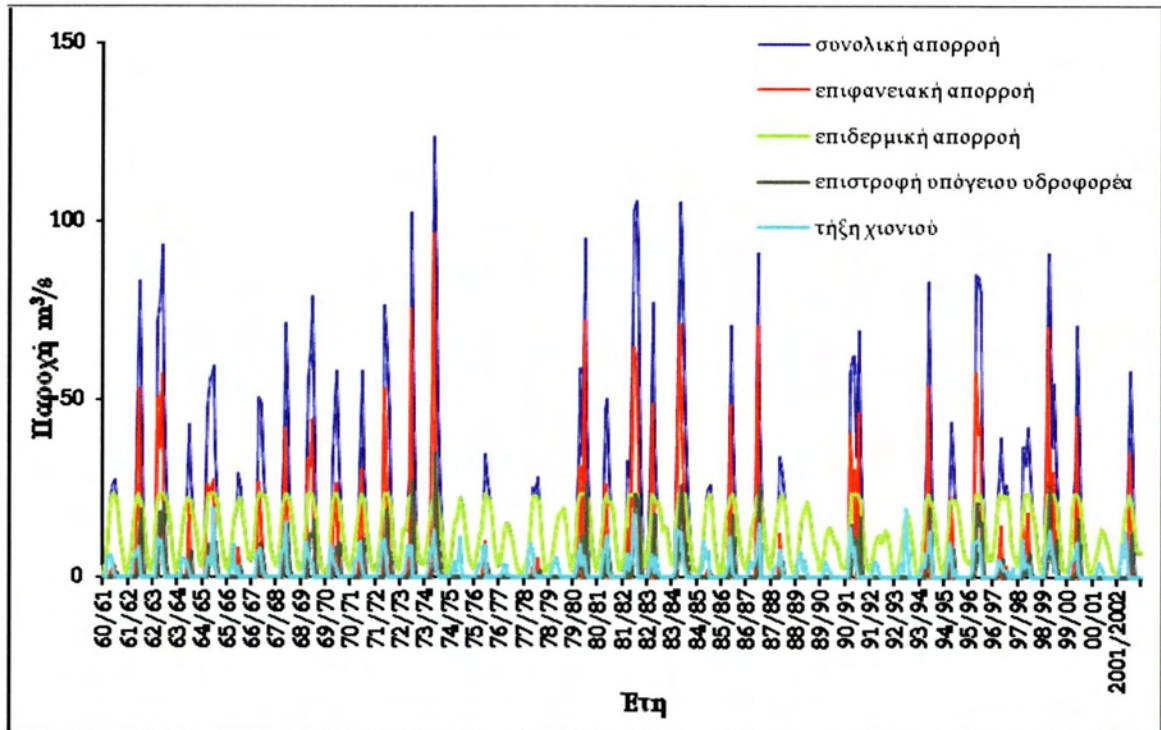
Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 3.4) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης της απορροής στη λεκάνη ελέγχου του Αλή Εφέντη και η σύγκρισή τους με την παρατηρημένη απορροή του αντίστοιχου σταθμού.



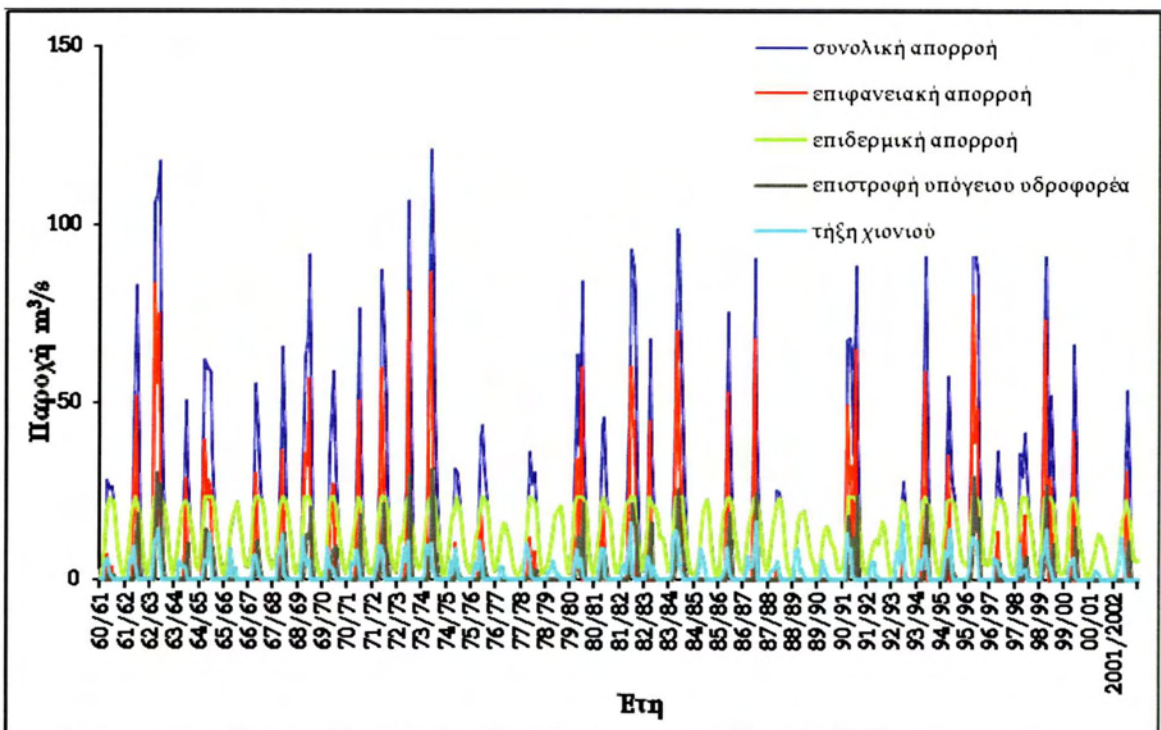
Σχήμα 3.5 Σύγκριση υπολογισμένης και παρατηρούμενης απορροής στη λεκάνη ελέγχου της Υπολεκάνης Αλή Εφέντη

Στη συνέχεια ακολουθούν υδρογραφήματα των συνιστωσών της απορροής (συνολική, επιφανειακή, επιδερμική, επιστροφή υπόγειου υδροφορέα, τήξη χιονιού) για τις υπολεκάνες της περιοχής μελέτης.

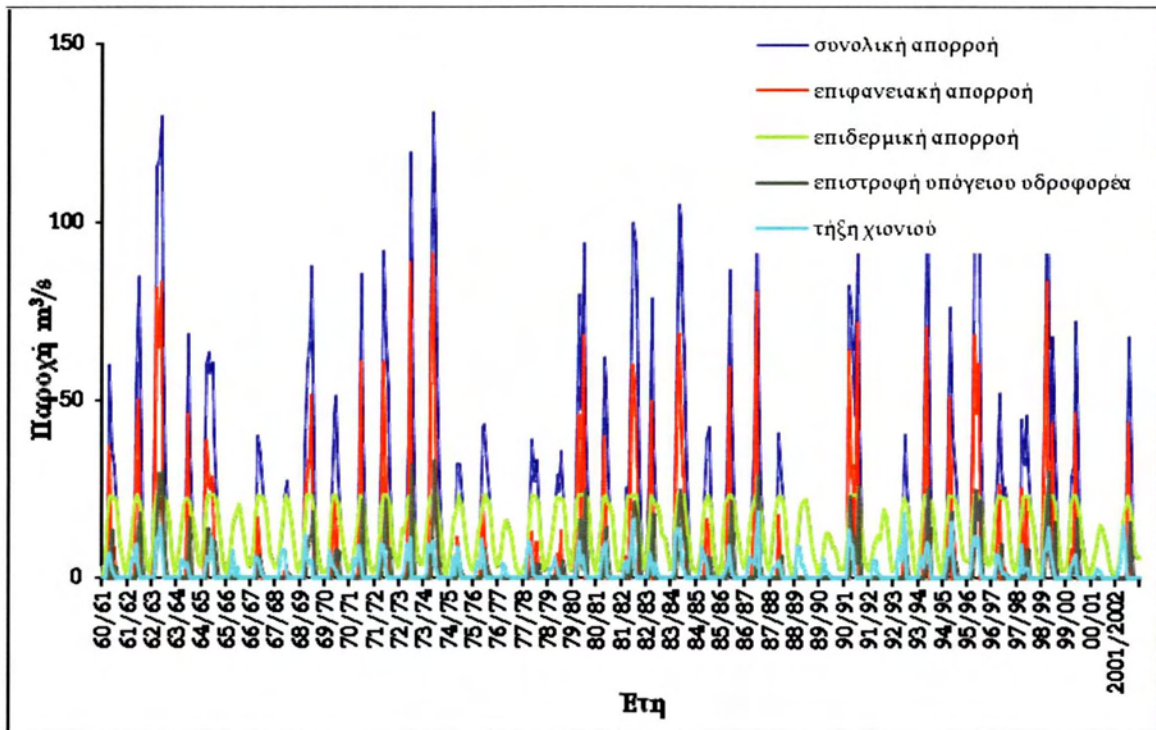




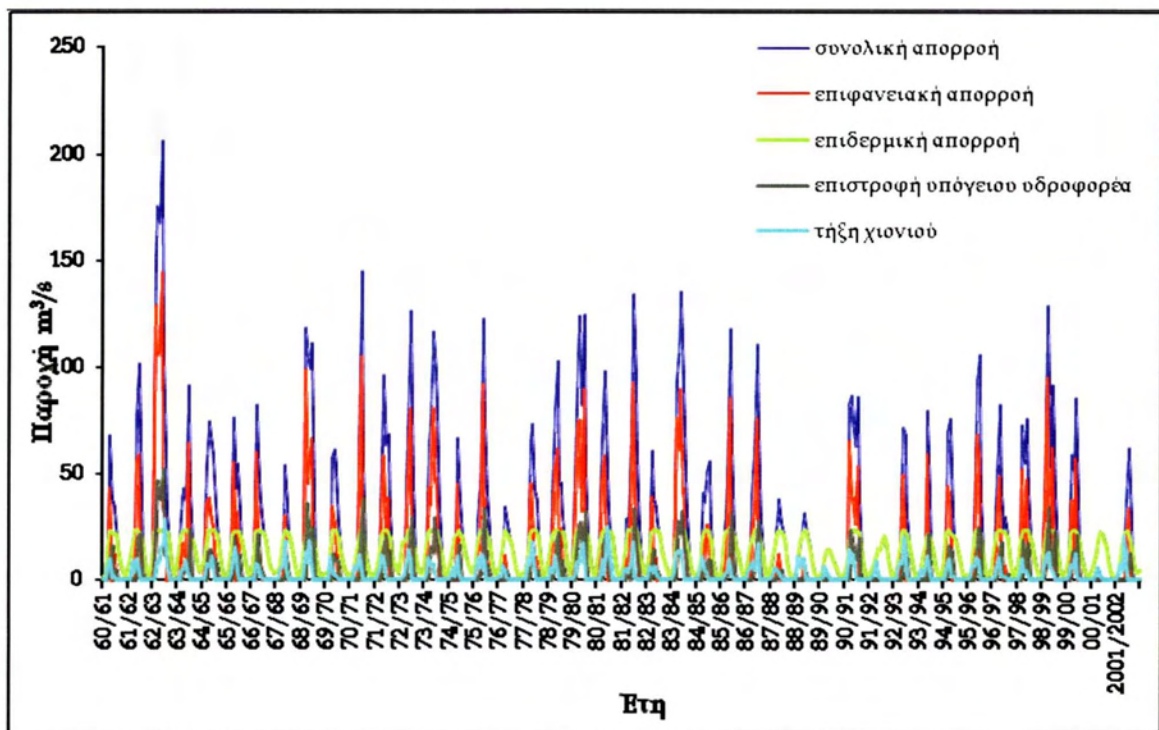
Σχήμα 3.6 Υδρογράφημα συνιστωσών απορροής υπολεκάνης Γέφυρα Τρικάλων - Σωτήρας



Σχήμα 3.7 Υδρογράφημα συνιστωσών απορροής υπολεκάνης Γέφυρα Τρικαιογλου

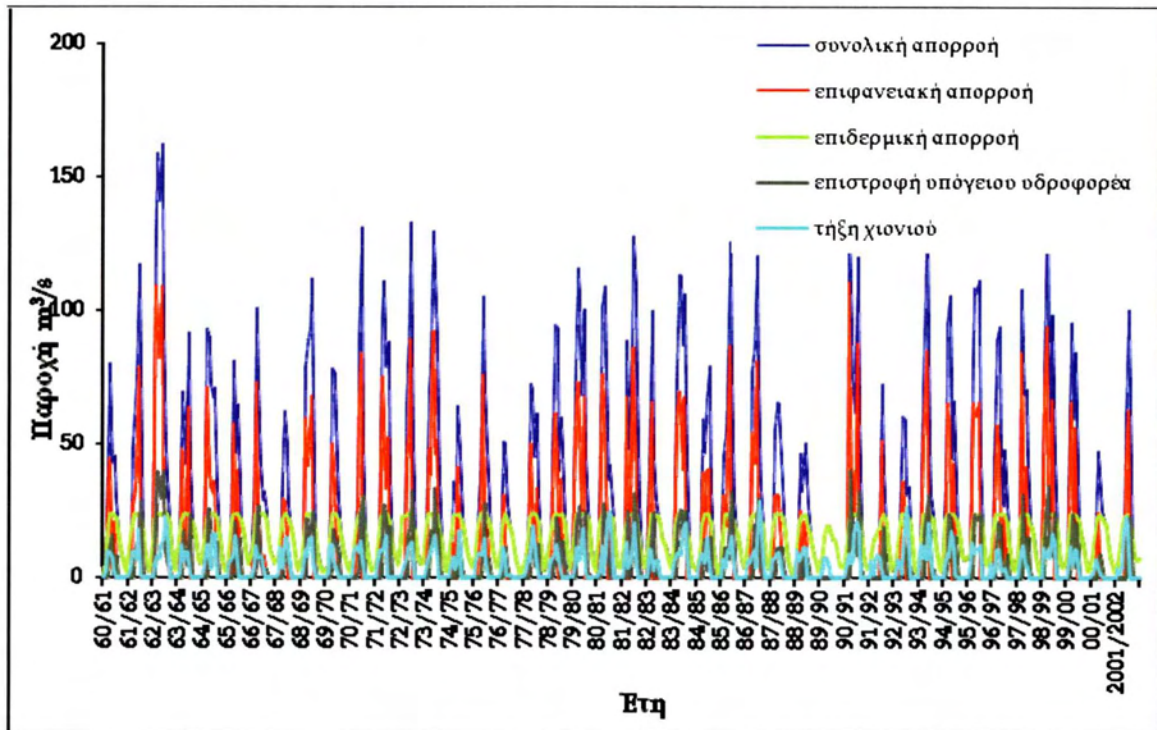


Σχήμα 3.8 Υδρογράφημα συνιστωσών απορροής υπολεκάνης Καραβότρου

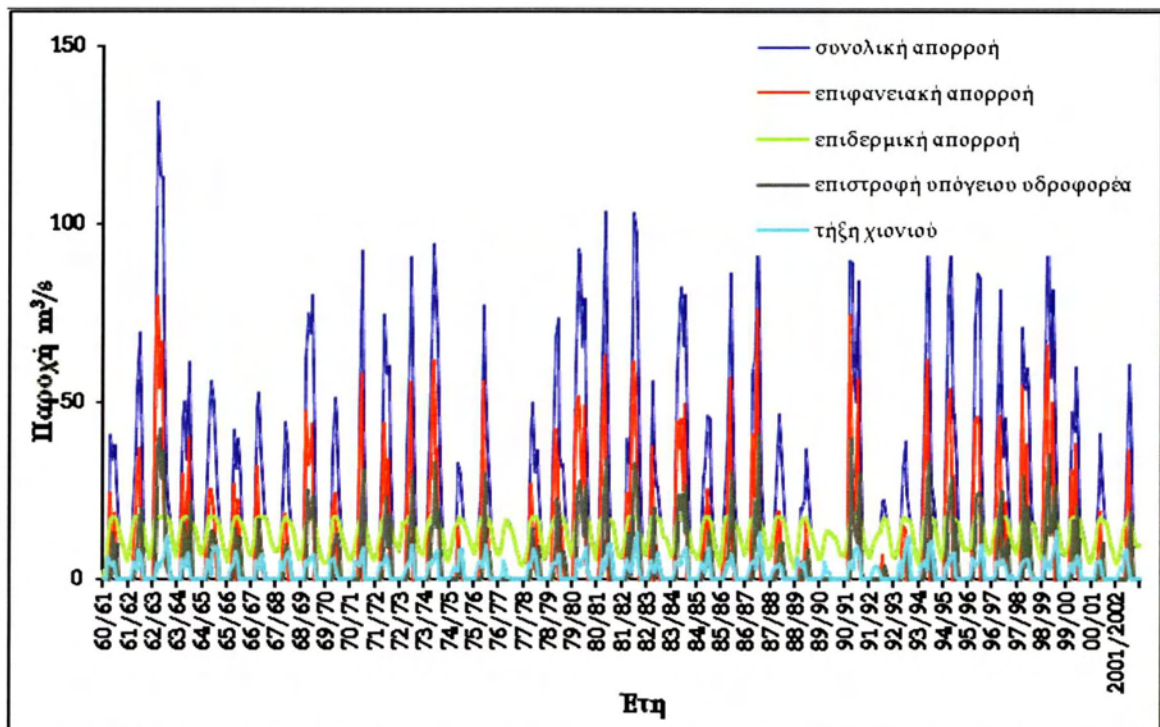


Σχήμα 3.9 Υδρογράφημα συνιστωσών απορροής υπολεκάνης Γέφυρα Τρικάλων - Καρδίτσας - Αγναντερό





Σχήμα 3.10 Υδρογράφημα συνιστωσών απορροής υπολεκάνης Γέφυρα Αλή Εφέντη - Κεραμίδι



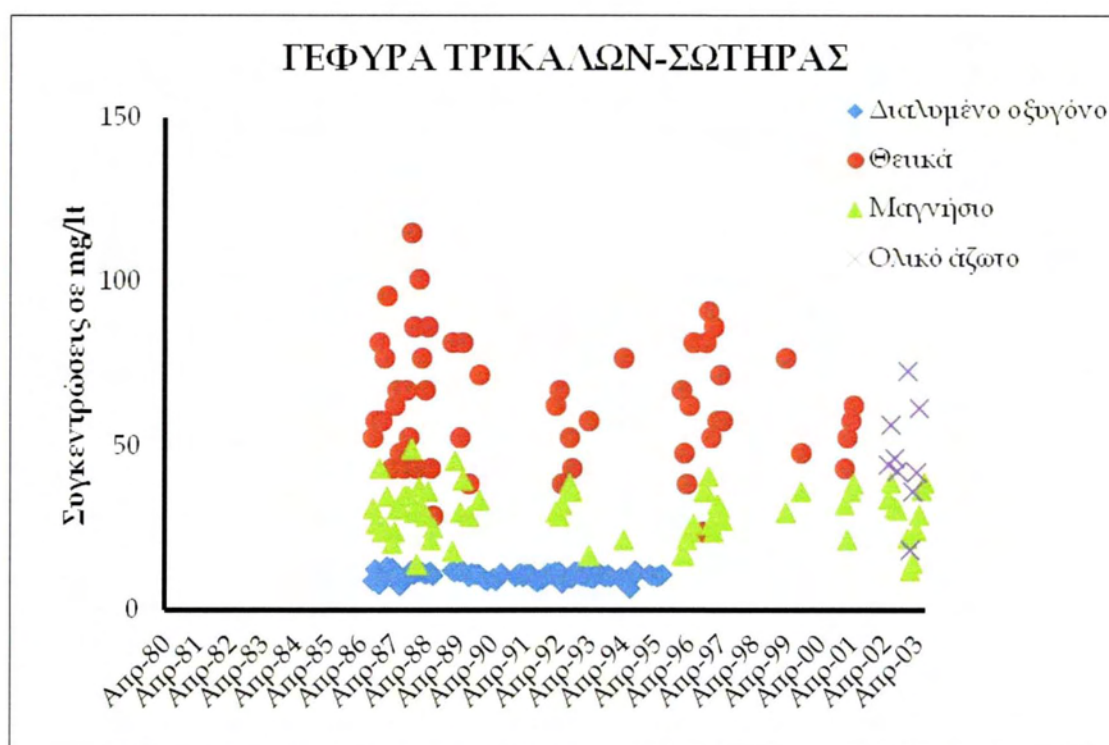
Σχήμα 3.11 Υδρογράφημα συνιστωσών απορροής υπολεκάνης Λάρισας



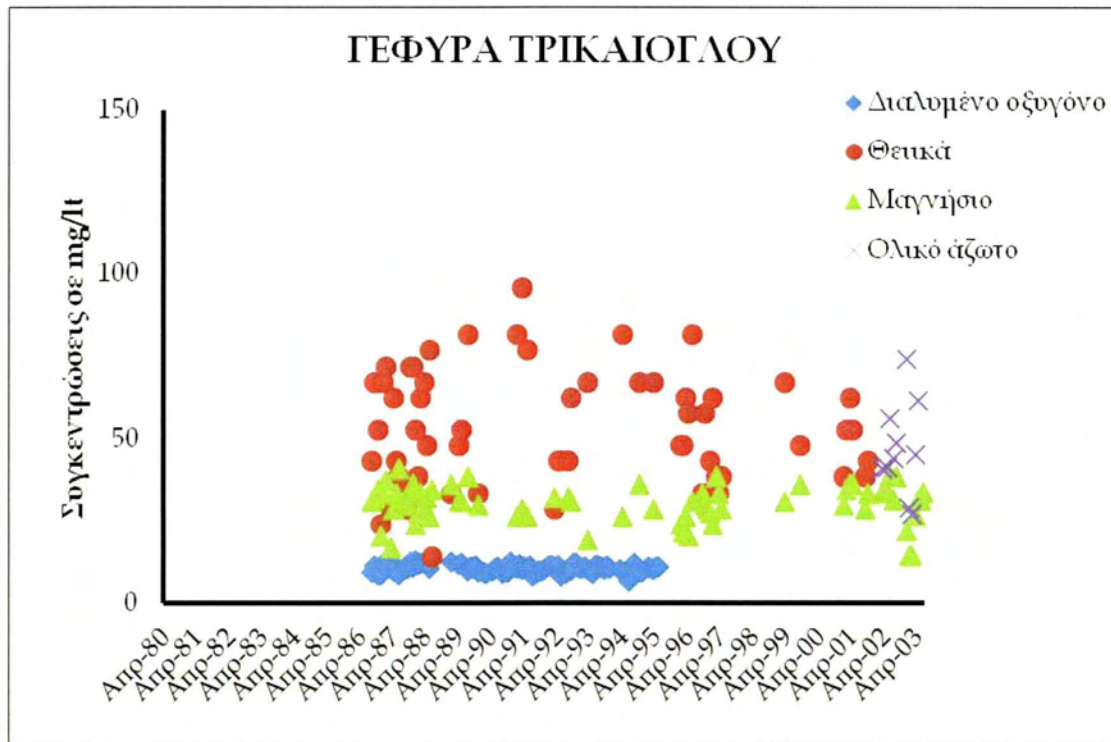
### 3.6 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ

#### 3.6.1 Χρονοσειρές μετρήσεων ποιοτικών παραμέτρων

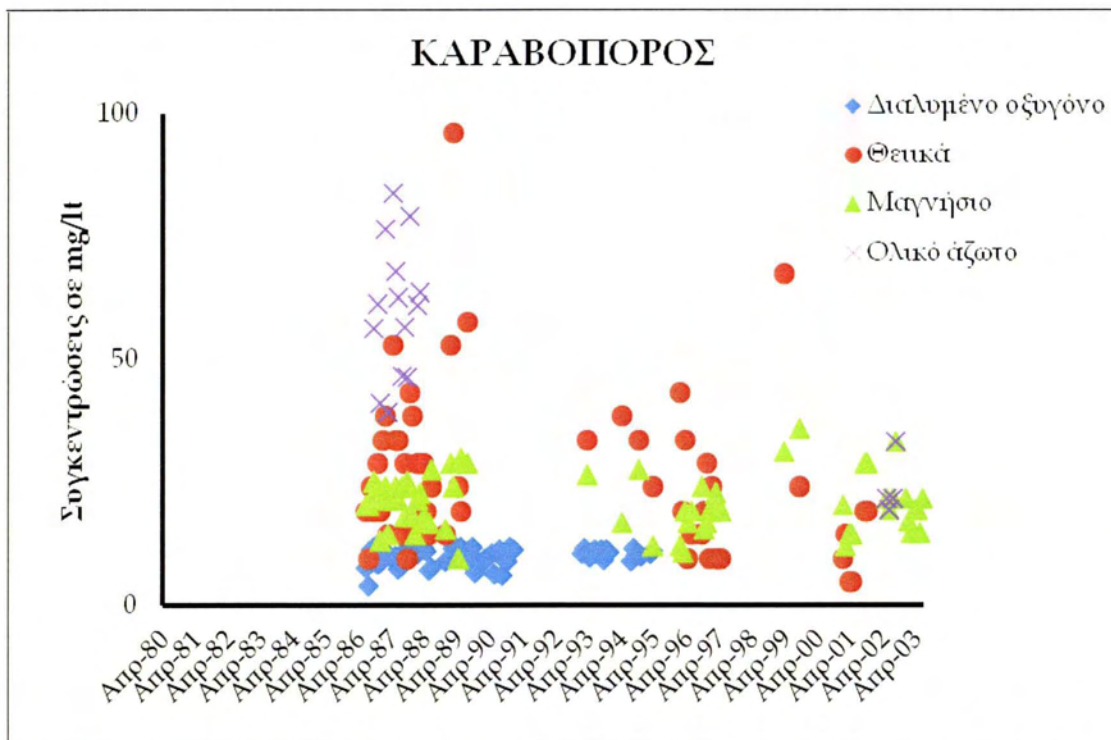
Στους έξι σταθμούς έχουν γίνει μετρήσεις των ποιοτικών χαρακτηριστικών της επιφανειακής απορροής. Οι μετρήσεις σχεδιάστηκαν σε διαγράμματα χρόνου, όπως φαίνεται στα Σχήματα 3.5 έως 3.10.



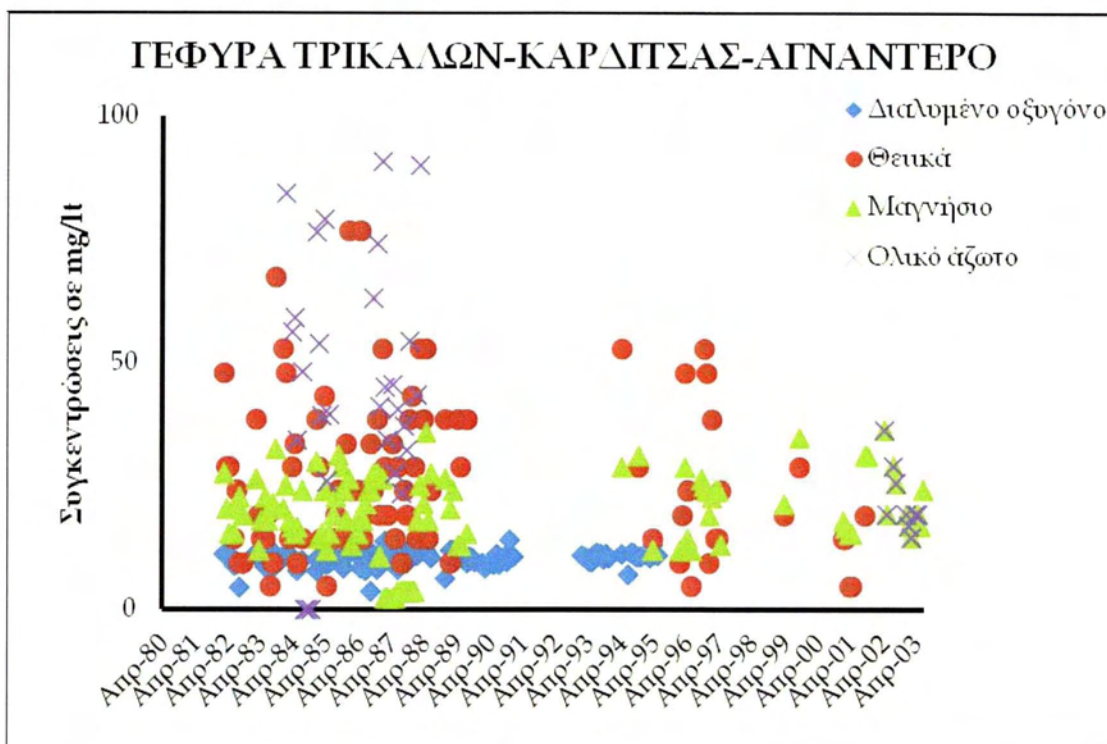
Σχήμα 3.12 Χρονοσειρές συγκεντρώσεων ποιοτικών χαρακτηριστικών στο σταθμό Γέφυρα Τρικάλων - Σωτήρας



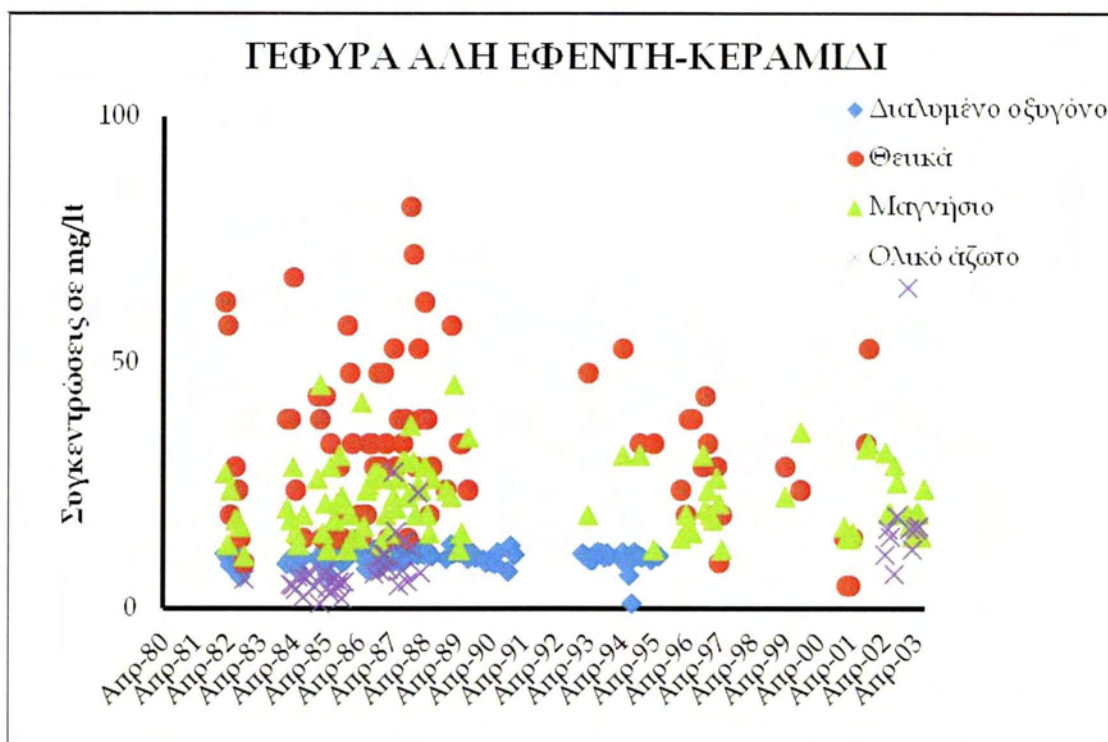
Σχήμα 3.13 Χρονοσειρές συγκεντρώσεων ποιοτικών χαρακτηριστικών στο σταθμό Γέφυρα Τρικαίογλου



Σχήμα 3.14 Χρονοσειρές συγκεντρώσεων ποιοτικών χαρακτηριστικών στο σταθμό Καραβόπορου

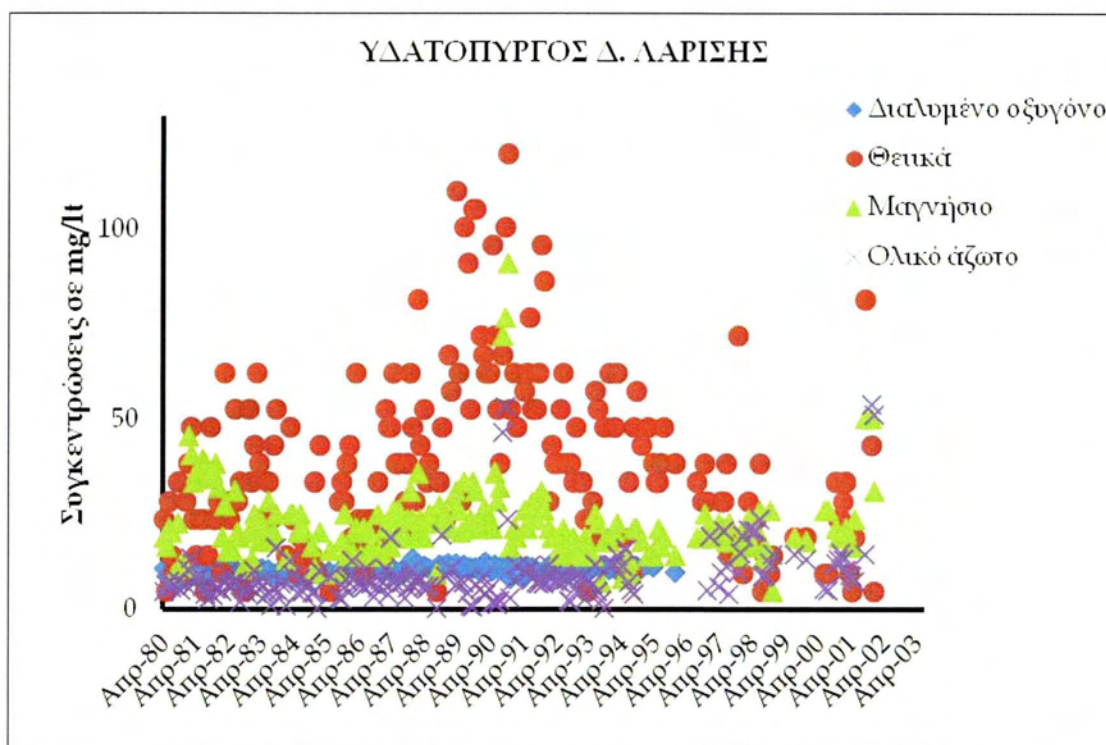


Σχήμα 3.15 Χρονοσειρές συγκεντρώσεων ποιοτικών χαρακτηριστικών στο σταθμό Γέφυρα Τρικάλων - Καρδίτσας - Αιγναντερό



Σχήμα 3.16 Χρονοσειρές συγκεντρώσεων ποιοτικών χαρακτηριστικών στο σταθμό Γέφυρα Αλή Εφέντη - Κεραμίδι





Σχήμα 3.17 Χρονοσειρές συγκεντρώσεων ποιοτικών χαρακτηριστικών στο σταθμό Υδατόπυργος Δ. Λαρίσης

### 3.6.2 Στατιστική ανάλυση συγκεντρώσεων ποιοτικών παραμέτρων

Στη συνέχεια παραθέτουμε πίνακες με βασικά στατιστικά χαρακτηριστικά για τις συγκεντρώσεις των ποιοτικών παραμέτρων, όπως υπολογίστηκαν με τη βοήθεια του προγράμματος SPSS για τις έξι υπολεκάνες του Πηνειού.

Πίνακας 3.18 Στατιστικά χαρακτηριστικά των ποιοτικών παραμέτρων του σταθμού Γέφυρα Τρικάλων-Σωτήρα

Παράμετρος	Μέγεθος Δείγματος	Μέση Τιμή	Διάμεσος Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Ελάχιστη Τιμή	Τυπική Απόκλιση
DO (mg/l)	82	10,70	10,80	13,60	6,80	1,28
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	54	64,71	62,40	153,60	24,00	22,49
Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	65	29,79	30,80	49,20	12,20	7,83
TN (mg/l)	9	46,86	44,30	73,10	18,60	15,66

Πίνακας 3.19 Στατιστικά χαρακτηριστικά των ποιοτικών παραμέτρων του σταθμού Γέφυρα Τρικαίογλου

Παράμετρος	Μέγεθος Δείγματος	Μέση Τιμή	Διάμεσος Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Ελάχιστη Τιμή	Τυπική Απόκλιση
DO (mg/l)	87	10,68	10,80	13,00	6,70	1,24
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	59	52,80	52,80	96,00	14,40	17,49
Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	69	30,30	31,20	40,80	14,60	5,70
TN (mg/l)	10	46,83	44,55	74,40	27,00	14,36

Πίνακας 3.20 Στατιστικά χαρακτηριστικά των ποιοτικών παραμέτρων του σταθμού Καραβόπορου

Παράμετρος	Μέγεθος Δείγματος	Μέση Τιμή	Διάμεσος Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Ελάχιστη Τιμή	Τυπική Απόκλιση
DO (mg/l)	61	10,12	10,50	14,00	4,00	1,86
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	55	25,83	24,00	96,00	4,80	16,69
Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	66	20,69	20,40	36,00	9,60	5,59
TN (mg/l)	23	13,86	7,86	70,40	4,70	14,91
TP (mg/l)	13	0,05	0,05	0,12	0,02	0,03

Πίνακας 3.21 Στατιστικά χαρακτηριστικά των ποιοτικών παραμέτρων του σταθμού Γέφυρα Τρικάλων-Καρδίτσας-Αγναντερό

Παράμετρος	Μέγεθος Δείγματος	Μέση Τιμή	Διάμεσος Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Ελάχιστη Τιμή	Τυπική Απόκλιση
DO (mg/l)	104	10,39	10,70	14,20	3,60	1,65
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	93	29,88	24,00	240,00	4,80	28,57
Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	104	19,33	19,40	36,50	2,40	8,04
TN (mg/l)	38	12,44	8,88	64,20	0,66	11,25
TP (mg/l)	28	0,08	0,07	0,20	0,02	0,05

Πίνακας 3.22 Στατιστικά χαρακτηριστικά των ποιοτικών παραμέτρων του σταθμού Γέφυρα Αλή Εφέντη-Κεραμίδι

Παράμετρος	Μέγεθος Δείγματος	Μέση Τιμή	Διάμεσος Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Ελάχιστη Τιμή	Τυπική Απόκλιση
DO (mg/l)	92	10,50	10,75	13,80	1,10	1,67
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	84	33,49	28,80	172,80	4,80	22,20
Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	96	22,27	20,40	45,60	10,80	7,46
TN (mg/l)	44	10,39	7,33	65,10	0,55	10,26
TP (mg/l)	33	0,09	0,09	0,27	0,02	0,05

Πίνακας 3.23 Στατιστικά χαρακτηριστικά των ποιοτικών παραμέτρων του σταθμού Υδατόπυργος Δ. Λαρίσης

Παράμετρος	Μέγεθος Δείγματος	Μέση Τιμή	Διάμεσος Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Ελάχιστη Τιμή	Τυπική Απόκλιση
DO (mg/l)	156	10,77	10,80	14,00	8,10	1,11
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	195	37,74	33,60	120,00	4,80	23,31
Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	195	22,63	20,40	91,20	4,80	10,42
TN (mg/l)	182	8,95	7,12	54,00	0,35	7,83
TP (mg/l)	148	0,08	0,07	0,34	0,00	0,06

Τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης δείχνουν ότι για όλους τους σταθμούς οι μέσες τιμές των δειγμάτων των ποιοτικών παραμέτρων είναι μικρότερες από τα ανώτατα επιτρεπτά όρια για όλες τις παραμέτρους (Πίνακας 3.24). Ιδιαίτερα αυξημένη είναι η μέση τιμή της συγκέντρωσης του ολικού αζώτου στους σταθμούς Γέφυρα Τρικάλων-Σωτήρα και Γέφυρα Τρικαίογλου, η οποία προσεγγίζει αλλά δεν ξεπερνά το ανώτατο όριο. Οι τιμές αυτές δείχνουν ανθρωπογενή ρύπανση είτε από αγροτικές επιφανειακές απορροές είτε από απορρίψεις αστικών αποβλήτων.

Πίνακας 3.24 Κριτήρια ποιότητας ενδεικτικών παραμέτρων για το πόσιμο νερό

Παράμετρος (μονάδα)	Ενδεικτικό επίπεδο	Ανώτατο παραδεκτό επίπεδο
Θειικά (mg/l)	25	250
Μαγνήσιο (mg/l)	30	50
TN (mg/l)	25	50
TP (mg/l)	0.4	5

### 3.6.3 Στατιστική ανάλυση φορτίων ποιοτικών παραμέτρων

Αρχικά πρέπει να υπολογίσουμε τα φορτία των ποιοτικών παραμέτρων που μας απασχολούν. Αυτό έγινε πολλαπλασιάζοντας τη μέτρηση της συγκέντρωσης των ποιοτικών ενός μήνα επί την παροχή Qc του αντίστοιχου μήνα, όπως αυτή υπολογίστηκε με το υδρολογικό μοντέλο. Με αυτόν τον



τρόπο έχουμε το γινόμενο (mg/l) x m<sup>3</sup>, επομένως παίρνουμε το φορτίο των ποιοτικών ως g ανά μήνα.

Πίνακας 3.25 Στατιστικά χαρακτηριστικά των ποιοτικών παραμέτρων του σταθμού Γέφυρα Τρικάλων-Σωτήρα

Παράμετρος	Μέγεθος Δείγματος	Μέση Τιμή	Διάμεσος Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Ελάχιστη Τιμή	Τυπική Απόκλιση
DO (mg/l)	82	175,08	115,85	1208,96	6,50	200,99
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	54	86,38	60,16	358,12	5,35	85,39
Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	65	67,02	48,82	280,85	5,08	62,69
TN (mg/l)	9	725,78	569,51	1459,59	304,51	524,04

Πίνακας 3.26 Στατιστικά χαρακτηριστικά των ποιοτικών παραμέτρων του σταθμού Γέφυρα Τρικαίολου

Παράμετρος	Μέγεθος Δείγματος	Μέση Τιμή	Διάμεσος Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Ελάχιστη Τιμή	Τυπική Απόκλιση
DO (mg/l)	87	177,47	118,23	1139,00	8,02	213,73
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	59	1228,10	740,98	5550,08	30,63	1391,39
Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	69	607,67	474,95	2723,48	22,97	558,25
TN (mg/l)	10	664,12	675,15	1267,10	271,73	403,55

Πίνακας 3.27 Στατιστικά χαρακτηριστικά των ποιοτικών παραμέτρων του σταθμού Καραβόπορου

Παράμετρος	Μέγεθος Δείγματος	Μέση Τιμή	Διάμεσος Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Ελάχιστη Τιμή	Τυπική Απόκλιση
DO (mg/l)	61	155,50	101,06	920,16	8,14	167,73
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	55	74,26	47,30	394,66	2,42	85,95
Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	66	433,75	261,48	2114,41	23,58	432,38
TN (mg/l)	23	14,04	8,79	70,40	4,86	14,82
TP (mg/l)	13	0,86	0,56	3,22	0,15	0,85

Πίνακας 3.28 Στατιστικά χαρακτηριστικά των ποιοτικών παραμέτρων του σταθμού Γέφυρα Τρικάλων-Καρδίτσας-Αιγναντερό

Παράμετρος	Μέγεθος Δείγματος	Μέση Τιμή	Διάμεσος Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Ελάχιστη Τιμή	Τυπική Απόκλιση
DO (mg/l)	104	58,24	30,88	321,70	0,95	70,71
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	93	96,63	53,93	450,38	1,64	109,35
Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	104	553,66	309,39	3047,83	3,54	680,45
TN (mg/l)	38	12,58	8,98	64,20	0,81	11,21
TP (mg/l)	28	1,70	1,12	7,43	0,11	1,80

Πίνακας 3.29 Στατιστικά χαρακτηριστικά των ποιοτικών παραμέτρων του σταθμού Γέφυρα Αλή Εφέντη-Κεραμίδι

Παράμετρος	Μέγεθος Δείγματος	Μέση Τιμή	Διάμεσος Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Ελάχιστη Τιμή	Τυπική Απόκλιση
DO (mg/l)	92	80,86	52,32	315,67	0,85	76,73
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	84	137,22	99,82	517,09	2,64	120,91
Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	89	119,67	87,89	350,05	3,09	101,81
TN (mg/l)	44	10,51	7,40	65,10	1,05	10,21
TP (mg/l)	33	97,47	41,57	366,26	2,40	107,91

Πίνακας 3.30 Στατιστικά χαρακτηριστικά των ποιοτικών παραμέτρων του σταθμού Υδατόπυργος Δ. Λαρίσης

Παράμετρος	Μέγεθος Δείγματος	Μέση Τιμή	Διάμεσος Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Ελάχιστη Τιμή	Τυπική Απόκλιση
DO (mg/l)	156	276,42	144,12	1180,81	42,29	292,63
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	195	84,79	46,46	443,80	7,93	92,50
Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	195	73,53	40,44	395,67	11,11	74,74
TN (mg/l)	182	9,01	7,22	54,00	0,51	7,81
TP (mg/l)	148	63,99	33,34	300,38	13,41	64,01

### 3.7 ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

#### 3.7.1 Κανονικότητα δεδομένων

Για κάθε έναν από τους σταθμούς μέτρησης έχουμε μηνιαίες χρονοσειρές, της περιόδου Απρίλιος 1980 έως Ιούνιος 2003, των ποιοτικών παραμέτρων διαλυμένου οξυγόνου (DO), ολικού αζώτου (TN), μαγνησίου ( $Mg^{2+}$ ), θεικών ( $SO_4^{2-}$ ) και ολικού φωσφόρου (TP).

Για να μπορέσουμε να χρησιμοποιήσουμε τα ποιοτικά δεδομένα, έπρεπε να ελέγξουμε τη γραμμικότητα/κανονικότητα τους με τη βοήθεια του προγράμματος SPSS. Ο έλεγχος αυτός έγινε με τη χρήση του κριτηρίου Kolmogorov-Smirnov και συμπληρωματικά του κριτηρίου Shapiro-Wilks, το οποίο δουλεύει καλύτερα με περισσότερα δεδομένα.

Το κριτήριο K-S χρησιμοποιείται για το έλεγχο καλής προσαρμογής ενός τυχαίου δείγματος σε μία δεδομένη συνεχή κατανομή ( $H_0: X_i \sim F_0$ ). Το κριτήριο K-S βασίζεται στην διαφορά της εμπειρικής συνάρτησης κατανομής (που προέρχεται από το δείγμα) και της αναμενόμενης  $F_0$  (υπό την  $H_0$ ). Πιο συγκεκριμένα, αν  $X_1, X_2, \dots, X_n$  είναι ένα τυχαίο δείγμα, η εμπειρική συνάρτηση κατανομής (ΕΣΚ) του δείγματος αυτού είναι

$$\hat{F}_n(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I(X_i \leq x) = \frac{\#\{X_i \leq x\}}{n},$$

(όπου  $I(X_i \leq x) = 1$  ή  $0$  ανάλογα με το αν  $X_i \leq x$  ή όχι) η οποία αποτελεί εκτίμηση της συνάρτησης κατανομής των  $X_i$  διότι (από το νόμο των μεγάλων αριθμών, θέτοντας  $Y_i = I(X_i \leq x)$ )

$$\hat{F}_n(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I(X_i \leq x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i \xrightarrow{n \rightarrow \infty} E(Y_1) = 0P(Y_1=0) + 1P(Y_1=1) = P(Y_1=1) = P(X_1 \leq x) = F(x)$$

για κάθε  $x$ . Επομένως, υπό την  $H_0$ , η ΕΣΚ θα πρέπει να είναι «κοντά» στην  $F_0$ . Αντίθετα, αν δεν ισχύει η  $H_0$  αναμένουμε σημαντική απόκλιση της ΕΣΚ από την  $F_0$ . Για να κατασκευάσουμε έναν έλεγχο με βάση αυτόν τον συλλογισμό, θα πρέπει να ορίσουμε μία «απόσταση» μεταξύ των δύο κατανομών



(της ΕΣΚ και της  $F_0$ ) και να απορρίπτουμε την  $H_0$  όταν αυτή η απόσταση γίνεται «μεγάλη». Επομένως έχουμε

*Αν  $F, G$  είναι δύο συναρτήσεις κατανομής στον  $R$ , τότε η ποσότητα*

$$d_K(F, G) = \sup_{x \in R} \{|F(x) - G(x)|\}$$

*καλείται απόσταση Kolmogorov μεταξύ της  $F$  και της  $G$ .*

Σύμφωνα με τα παραπάνω, θα απορρίπτουμε την  $H_0: X_i \sim F_0$  όταν η στατιστική συνάρτηση

$$D_n = d_K(\hat{F}_n, F_0) = \sup_{x \in R} \{|\hat{F}_n(x) - F_0(x)|\}$$

λαμβάνει «ασυνήθιστα» μεγάλες τιμές, δηλαδή όταν  $D_n > c$ . Το κριτήριο αυτό είναι γνωστό ως κριτήριο Kolmogorov - Smirnov (και η στατιστική συνάρτηση  $D_n$  καλείται ελεγχοσυνάρτηση Kolmogorov - Smirnov).

Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των κριτηρίων κανονικότητας συγκεντρώσεων των ποιοτικών χαρακτηριστικών ανά υπολεκάνη. Με αστερίσκο εμφανίζονται οι παράμετροι που δεν είναι κανονικές.

Πίνακας 3.31 Τεστ κανονικότητας συγκεντρώσεων ποιοτικών στη Γέφυρα Τρικάλων-Σωτήρα

	Kolmogorov-Smirnov	Shapiro-Wilk
	Sig.	Sig.
Διαλυμένο οξυγόνο	0,031	0,308
Θειικά	0,199*	0,002*
Ολικό Άζωτο	0,200	0,873
Μαγνήσιο	0,200	0,700

Πίνακας 3.32 Τεστ κανονικότητας συγκεντρώσεων ποιοτικών στη Γέφυρα  
Τρικαίογλου

	Kolmogorov-Smirnov	Shapiro-Wilk
	Sig.	Sig.
Διαλυμένο οξυγόνο	0,045	0,118
Θειικά	0,100	0,081
Ολικό Άζωτο	0,200	0,760
Μαγνήσιο	0,144	0,159

Πίνακας 3.33 Τεστ κανονικότητας συγκεντρώσεων ποιοτικών στον Καραβόπορο

	Kolmogorov-Smirnov	Shapiro-Wilk
	Sig.	Sig.
Διαλυμένο οξυγόνο	0,058	0,018
Θειικά	0,005*	0,000*
Ολικό Άζωτο	0,675*	0,000*
Μαγνήσιο	0,200	0,706
Ολικός Φώσφορος	0,200	0,058

Πίνακας 3.34 Τεστ κανονικότητας συγκεντρώσεων ποιοτικών στη Γέφυρα  
Τρικάλων-Καρδίτσας-Αγναντερό

	Kolmogorov-Smirnov	Shapiro-Wilk
	Sig.	Sig.
Διαλυμένο οξυγόνο	0,003*	0,000*
Θειικά	0,000*	0,000*
Ολικό Άζωτο	0,000*	0,000*
Μαγνήσιο	0,069	0,008
Ολικός Φώσφορος	0,115	0,043

Πίνακας 3.35 Τεστ κανονικότητας συγκεντρώσεων ποιοτικών στη Γέφυρα Αλή  
Εφέντη-Κεραμίδι

	Kolmogorov-Smirnov	Shapiro-Wilk
	Sig.	Sig.
Διαλυμένο οξυγόνο	0,000*	0,000*
Θειικά	0,000*	0,000*
Ολικό Άζωτο	0,000*	0,000*
Μαγνήσιο	0,000*	0,000*
Ολικός Φώσφορος	0,000*	0,000*

Πίνακας 3.36 Τεστ κανονικότητας συγκεντρώσεων ποιοτικών στη Λάρισα

	Kolmogorov-Smirnov	Shapiro-Wilk
	Sig.	Sig.
Διαλυμένο οξυγόνο	0,025	0,098
Θειικά	0,000*	0,000*
Ολικό Άζωτο	0,000*	0,000*
Μαγνήσιο	0,000*	0,000*
Ολικός Φώσφορος	0,001*	0,003*

Ακολουθούν οι πίνακες των αποτελεσμάτων των κριτηρίων κανονικότητας για τα φορτία των ποιοτικών χαρακτηριστικών ανά υπολεκάνη. Με αστερίσκο εμφανίζονται οι παράμετροι που δεν είναι κανονικές.



Πίνακας 3.37 Τεστ κανονικότητας φορτίων ποιοτικών στη Γέφυρα Τρικάλων-Σωτήρα

	Kolmogorov-Smirnov	Shapiro-Wilk
	Sig.	Sig.
Διαλυμένο οξυγόνο	0,000*	0,000*
Θειικά	0,000*	0,000*
Ολικό Άζωτο	-	0,335
Μαγνήσιο	0,000*	0,000*

Πίνακας 3.38 Τεστ κανονικότητας φορτίων ποιοτικών στη Γέφυρα Τρικαίογλου

	Kolmogorov-Smirnov	Shapiro-Wilk
	Sig.	Sig.
Διαλυμένο οξυγόνο	0,000*	0,000*
Θειικά	0,000*	0,000*
Ολικό Άζωτο	0,175	0,095
Μαγνήσιο	0,000*	0,000*

Πίνακας 3.39 Τεστ κανονικότητας φορτίων ποιοτικών στον Καραβόπορο

	Kolmogorov-Smirnov	Shapiro-Wilk
	Sig.	Sig.
Διαλυμένο οξυγόνο	0,000*	0,000*
Θειικά	0,000*	0,000*
Ολικό Άζωτο	0,000*	0,000*
Μαγνήσιο	0,000*	0,000*
Ολικός Φώσφορος	0,004*	0,002*

Πίνακας 3.40 Τεστ κανονικότητας φορτίων ποιοτικών στη Γέφυρα Τρικάλων-Καρδίτσας-Αγναντερό

	Kolmogorov-Smirnov	Shapiro-Wilk
	Sig.	Sig.
Διαλυμένο οξυγόνο	0,000*	0,000*
Θειικά	0,000*	0,000*
Ολικό Άζωτο	0,000*	0,000*
Μαγνήσιο	0,000*	0,000*
Ολικός Φώσφορος	0,010*	0,000*

Πίνακας 3.41 Τεστ κανονικότητας φορτίων ποιοτικών στη Γέφυρα Αλή Εφέντη-Κεραμίδι

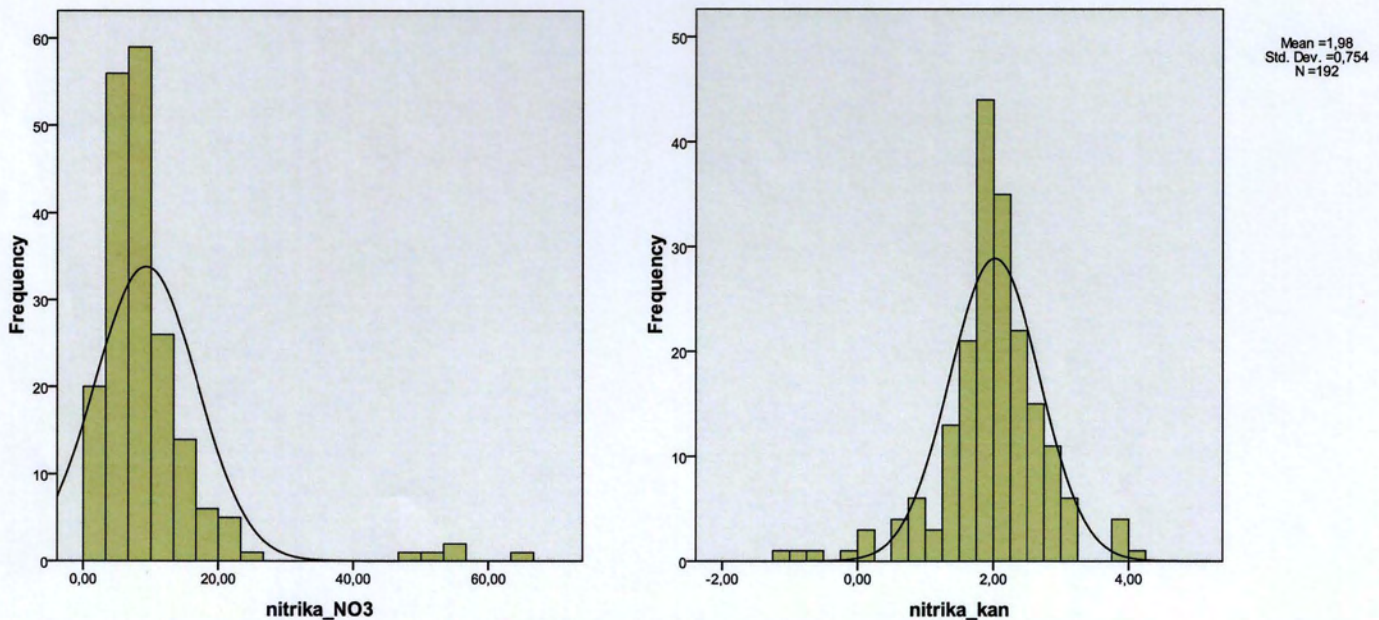
	Kolmogorov-Smirnov	Shapiro-Wilk
	Sig.	Sig.
Διαλυμένο οξυγόνο	0,000*	0,000*
Θειικά	0,000*	0,000*
Ολικό Άζωτο	0,000*	0,000*
Μαγνήσιο	0,000*	0,000*
Ολικός Φώσφορος	0,000*	0,000*

Πίνακας 3.42 Τεστ κανονικότητας φορτίων ποιοτικών στη Λάρισα

	Kolmogorov-Smirnov	Shapiro-Wilk
	Sig.	Sig.
Διαλυμένο οξυγόνο	0,000*	0,000*
Θειικά	0,000*	0,000*
Ολικό Άζωτο	0,000*	0,000*
Μαγνήσιο	0,000*	0,000*
Ολικός Φώσφορος	0,000*	0,000*

Στις χρονοσειρές στις οποίες δεν ίσχυε γραμμικότητα, τα δεδομένα μετασχηματίστηκαν (δηλαδή κανονικοποιήθηκαν) με τον λογάριθμο. Δηλαδή υπολογίσαμε μια νέα χρονοσειρά ως  $\ln$  της χρονοσειράς με τις μετρήσεις των ποιοτικών παραμέτρων, με χρήση εντολής του SPSS.

Στο Σχήμα 3.12 παρουσιάζεται η μορφή της μη κανονικοποιημένης και της κανονικοποιημένης χρονοσειράς του ολικού αζώτου στον Υδατόπυργο Δ. Λαρίσης.



Σχήμα 3.18 Πριν και μετά την κανονικοποίηση της χρονοσειράς του ολικού αζώτου στην Υπολεκάνη της Λάρισας

### 3.7.2 Συσχέτιση δεδομένων

Στη συνέχεια, και μετά την ολοκλήρωση της κανονικοποίησης των χρονοσειρών των ποιοτικών παραμέτρων, προχωρήσαμε στη διαδικασία υπολογισμού της συσχέτισης (correlation) που υπάρχει μεταξύ των ποιοτικών χαρακτηριστικών και της εξόδου του υδρολογικού μοντέλου. Αυτό έγινε υπολογίζοντας στο πρόγραμμα SPSS τον συντελεστή συσχέτισης Pearson (Pearson correlation), για κάθε υπολεκάνη της περιοχής μελέτης ξεχωριστά.



Αρχικά έπρεπε να προσδιορίσουμε κοινή χρονική περίοδο μελέτης για τα δεδομένα αφού για το υδρολογικό μοντέλο είχαμε δεδομένα για την περίοδο Απρίλιος 1980 έως Σεπτέμβριος 2002, ενώ για τις ποιοτικές παραμέτρους είχαμε δεδομένα για την περίοδο Απρίλιος 1980 έως Ιούνιος 2003. Οπότε ως κοινή χρονική περίοδος χρησιμοποιήθηκε η Απρίλιος 1980 έως Σεπτέμβριος 2002.

Οι παράμετροι που έχουμε από το υδρολογικό μοντέλο είναι οι εξής:

- ✓ Επιφανειακή μηνιαία θερμοκρασία
- ✓ Πραγματική εξατμισοδιαπνοή ΑΕΤ
- ✓ Επιφανειακή απορροή
- ✓ Επιδερμική απορροή
- ✓ Εδαφική υγρασία
- ✓ Κατείσδυση στον υπόγειο υδροφόρα
- ✓ Επιστροφή από τον υπόγειο υδροφόρα
- ✓ Βροχόπτωση
- ✓ Τήξη χιονιού

Όπως πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται οι συντελεστές συσχέτισης των ποιοτικών παραμέτρων σε σχέση με τα υδρολογικά δεδομένα, ξεχωριστά για κάθε υπολεκάνη του Πηνειού ποταμού.

Πίνακας 3.43 Συσχετίσεις στην Υπολεκάνη Γέφυρα Τρικάλων-Σωτήρα

	DO	Θεικά	Μαγνήσιο	TN	θερμοκρασία	AET	επιφανειακή	επιδερμική	εδαφική υγρασία	κατείσδυση σε υπόγειο	επιστροφή από υπόγειο	βροχόπτωση	τήξη χιονιού
DO	1	,324	-,194		-,314**	-,342**	,276	,095	,111	-,342	-,342	-,060	-,293**
Θεικά		1	,309*		-,358**	-,224	-,280	,207	,291*	-,652*	-,652*	,145	-,289*
Μαγνήσιο			1	,906	,389**	,245	-,546	-,419**	-,376**	-,505	-,505	-,164	,435**
TN				1	,233	,609		,225	-,087			-,822	,254
θερμοκρασία					1	,651**	-,275	-,573**	-,713**	-,113	-,113	-,512**	,956**
AET						1	-,206	,110	,002	-,128	-,128	-,037	,678**
επιφανειακή							1	,052	-,063	,217	,217	,522**	-,299*
επιδερμική								1	,943**	,233	,233	,437**	-,541**
κατείσδυση σε υπόγειο									1	,223	,223	,660**	-,648**
εδαφική υγρασία										1	1,000**	,198	-,054
επιστροφή από υπόγειο											1	,198	-,054
βροχόπτωση												1	-,425**
τήξη χιονιού													1

Πίνακας 3.44 Συσχετίσεις στην Υπολεκάνη Γέφυρα Τρικαιόγλου

	DO	Θειικά	Μαγνήσιο	TN	θερμοκρασία	AET	επιφανειακή	επιδερμική	εδαφική υγρασία	κατείσδυση σε υπόγειο	επιστροφή από υπόγειο	βροχόπτωση	τήξη χιονιού
DO	1	,053	-,025		-,301**	-,355**	,547	,084	,099	-,427	-,427	-,038	-,317**
Θειικά		1	-,008		-,082	,122	-,722*	,203	,220	,097	,097	,172	-,048
Μαγνήσιο			1	,808	,410**	,327**	-,441	-,292*	-,299*	-,509	-,509	-,281*	,398**
TN				1	,546	,231		-,396	-,642			-,882*	,552
θερμοκρασία					1	,609**	-,112	-,619**	-,754**	-,104	-,104	-,551**	,967**
AET						1	-,054	,097	-,008	-,087	-,087	-,074	,659**
επιφανειακή							1	,052	-,058	-,164	-,164	,642**	-,166
επιδερμική								1	,944**	,140	,140	,428**	-,577**
κατείσδυση σε υπόγειο									1	,131	,131	,653**	-,686**
εδαφική υγρασία										1	1,000**	,061	-,131
επιστροφή από υπόγειο											1	,061	-,131
βροχόπτωση												1	-,471**
τήξη χιονιού													1



Πίνακας 3.45 Συσχετίσεις στην Υπολεκάνη Καραβόπορο

	DO	Θεικά	Μαγνήσιο	TN	TP	θερμοκρασία	AET	επιφανειακή	επιδερμική	εδαφική υγρασία	κατείσδυση σε υπόγειο	επιστροφή από υπόγειο	βροχόπτωση	τήξη χιονιού
DO	1	,317	,046	-,135	-,401	-,339 <sup>**</sup>	-,452 <sup>**</sup>	,377	,158	,137	-,338	-,338	-,055	-,332 <sup>**</sup>
Θεικά		1	,329 <sup>*</sup>	,637 <sup>*</sup>	,164	-,089	-,048	,643 <sup>*</sup>	,091	,147	-,336	-,336	,256	-,118
Μαγνήσιο			1	,431	,055	,388 <sup>**</sup>	,119	-,078	,470 <sup>*</sup>	-,477 <sup>**</sup>	-,639 <sup>*</sup>	-,639 <sup>*</sup>	-,239	,336 <sup>**</sup>
TN				1	,071	,386	,572 <sup>*</sup>	-,989	,173	,078	,695	,695	,005	,380
TP					1	,651 <sup>*</sup>	,509	-,962	-,313	-,469	1,000 <sup>**</sup>	1,00 <sup>**</sup>	-,528	,625 <sup>*</sup>
θερμοκρασία						1	,630 <sup>**</sup>	-,155	,623 <sup>*</sup>	-,753 <sup>**</sup>	-,069	-,069	,545 <sup>*</sup>	,967 <sup>**</sup>
AET							1	-,082	,069	-,033	-,056	-,057	-,087	,677 <sup>**</sup>
επιφανειακή								1	,060	-,092	-,080	-,080	,602 <sup>*</sup>	-,210
επιδερμική									1	,944 <sup>**</sup>	,155	,155	,435 <sup>*</sup>	-,580 <sup>**</sup>
κατείσδυση σε υπόγειο											1	,155	,155	,656 <sup>*</sup>
εδαφική υγρασία												1	1,00 <sup>**</sup>	,036
επιστροφή από υπόγειο													1	,036
βροχόπτωση														1
τήξη χιονιού														

Πίνακας 3.46 Συσχετίσεις στην Υπολεκάνη Γέφυρα Τρικάλων-Καρδίτσας-  
Αγναντερό

	DO	Θεικά	Μαγνήσιο	TN	TP	θερμοκρασία	AET	επιφανειακή	επιδερμική	εδαφική υγρασία	κατείσδυση σε υπόγειο	επιστροφή από υπόγειο	βροχόπτωση	τήξη χιονιού
DO	1	,210	-,187	,096	-,165	-,313**	-,204*	-,062	,188	,210*	-,254	-,254	,137	-,275**
Θεικά		1	,322*	,235	,310	-,244*	,304*	,121	-,057	,030	-,148	-,148	,170	-,224*
Μαγνήσιο			1	-,104	-,134	,062	-,114	,051	-,246*	-,202*	-,301	-,301	-,055	,028
TN				1	,365	,082	,007	-,031	-,075	-,095	,233	,233	-,106	,084
TP					1	,268	-,089	-,286	-,468*	-,446*	-,007	-,007	-,392*	,185
θερμοκρασία						1	,561*	-,121	-,621**	-,752**	-,041	-,041	-,664**	,963**
AET							1	-,106	,153*	,054	-,042	-,042	-,110	,616**
επιφανειακή								1	-,039	,034	,074	,074	,772**	-,128
επιδερμική									1	,950**	,120	,120	,528**	-,581**
κατείσδυση σε υπόγειο										1	,119	,119	,728**	-,682**
εδαφική υγρασία											1	1,0**	,121	-,017
επιστροφή από υπόγειο												1	,121	-,017
βροχόπτωση													1	-,570**
τήξη χιονιού														1

Πίνακας 3.47 Συσχετίσεις στην Υπολεκάνη Γέφυρα Αλή Εφέντη-Κεραμίδι

	DO	Θεικά	Μαγνήσιο	TN	TP	θερμοκρασία	AET	επιφανειακή	επιδερμική	εδαφική υγρασία	κατείσδυση σε υπόγειο	επιστροφή από υπόγειο	βροχόπτωση	τήξη χιονιού
DO	1	,411'	,174	,237	,118	-,249'	-,243'	-,091	,119	,141	-,235	-,235	,042	-,230'
Θεικά		1	,443''	,395'	,336	-,243'	-,164	,146	,121	,193	,144	,144	,247'	-,247'
Μαγνήσιο			1	-,023	,515'	,118	-,017	-,180	-,293''	-,240'	,042	,042	-,086	,077
TN				1	-,123	-,021	,155	-,321	,227	,229	,161	,161	,162	-,015
TP					1	,021	,013	,077	-,164	-,087	-,457	-,457	-,042	,040
θερμοκρασία						1	,748'	-,372''	-,600''	-,735'	-,334''	-,335''	-,618''	,937''
AET							1	-,400''	-,044	,158'	-,315''	-,315''	-,263''	,761''
επιφανειακή								1	,012	-,023	,084	,084	,598''	-,275''
επιδερμική									1	,940'	,379''	,379''	,457''	-,534''
κατείσδυση σε υπόγειο										1	,373''	,373''	,685''	-,631''
εδαφική υγρασία											1	1,000''	,188	-,245'
επιστροφή από υπόγειο												1	,188	-,245'
βροχόπτωση													1	-,491''
τήξη χιονιού														1

Πίνακας 3.48 Συσχετίσεις στην Υπολεκάνη Υδατόπυργο Δ. Λαρίσης

	DO	Θεικά	Μαγνήσιο	TN	TP	θερμοκρασία	AET	επιφανειακή	επιδερμική	εδαφική υγρασία	κατείδυση σε υπόγειο	επιστροφή από υπόγειο	βροχόπτωση	τήξη χιονιού
DO	1	,288*	-,011	,111	-,046	-,313**	-,312**	-,009	,125	,146	-,174	-,174	,092	-,347**
Θεικά		1	,423*	,089	-,052	-,109	-,120	,073	-,030	,003	-,098	-,098	,111	-,102
Μαγνήσιο			1	,266*	-,173*	,036	,012	,056	-,112	-,118	-,036	-,036	-,034	,026
TN				1	,160	-,243**	-,045	,174	,226**	,302**	-,199	-,199	,345**	-,188*
TP					1	-,225**	-,002	,093	,301**	,386**	,036	,035	,421**	-,205*
θερμοκρασία						1	,796**	-,415**	-,539**	-,685**	-,334**	-,334**	-,600**	,956**
AET							1	-,403**	-,065	-,181**	-,259*	-,259*	-,257**	,824**
επιφανειακή								1	,166	-,181	,076	,076	,485**	-,300**
επιδερμική									1	,942**	,390**	,390**	,421**	-,517**
κατείδυση σε υπόγειο										1	,391**	,391**	,657**	-,626**
εδαφική υγρασία											1	1,000**	,267*	-,258*
επιστροφή από υπόγειο												1	,267*	-,258*
βροχόπτωση													1	-,493**
τήξη χιονιού														1

\*\* Η συσχέτιση είναι σημαντική σε επίπεδο 0,01

\* Η συσχέτιση είναι σημαντική σε επίπεδο 0,05



Ο συντελεστής συσχέτισης παίρνει τιμές  $-1 \leq r \leq 1$ . Αρνητικό πρόσημο συμβολίζει την ύπαρξη αντιστρόφως ανάλογης συσχέτισης. Δηλαδή όταν η μια παράμετρος αυξάνεται, η άλλη μειώνεται. Για να μπορέσουμε να κατανοήσουμε τους πίνακες, πρέπει να γνωρίζουμε ότι για:

- $r \leq \pm 0,20$  .... Δεν υπάρχει συσχέτιση
- $\pm 0,20 < r < \pm 0,30$  .... Χαμηλή όπως μέτρια συσχέτιση
- $\pm 0,30 \leq r < \pm 0,50$  .... Μέτρια συσχέτιση
- $\pm 0,50 \leq r < \pm 0,60$  .... Μέτρια όπως υψηλή συσχέτιση
- $\pm 0,60 \leq r \leq \pm 1$  .... Υψηλή συσχέτιση

Για παράδειγμα, έχουμε σε όλες τις υπολεκάνες αρνητική μέτρια συσχέτιση μεταξύ θερμοκρασίας και διαλυμένου οξυγόνου. Κάτι που επιβεβαιώνεται από φυσικής απόψεως, αφού η αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί σε αύξηση του ρυθμού μεταβολισμού των οργανικών υλικών και άρα την μείωση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό.

### 3.8 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

#### 3.8.1 Γενικά

Προκειμένου να γίνει ο υπολογισμός των σχέσεων μεταξύ ποιοτικών, υδρολογικών παραμέτρων και χρήσεων γης, χρησιμοποιήθηκε στο πρόγραμμα SPSS η γραμμική παλινδρόμηση (linear regression) με τη μέθοδο stepwise η οποία λαμβάνει υπόψη μόνον όσες παραμέτρους έχουν σημαντική στατιστική σπουδαιότητα. Επίσης για κάθε περίπτωση έγινε επικύρωση (validation) για όλες τις σχέσεις με βάση το 20% περίπου των δεδομένων και εφόσον υπήρχαν επαρκή δεδομένα.

Η εφαρμογή της μεθόδου έγκειται στην ύπαρξη μιας εξαρτημένης μεταβλητής, τα ποιοτικά χαρακτηριστικά, και πολλών ανεξάρτητων

μεταβλητών που είναι τα υδρολογικά δεδομένα και οι χρήσεις γης. Η μέθοδος *stepwise* δίνει την πιο απλή γραμμική σχέση, αλλά με το καλύτερο δυνατό  $R^2$ .

Πρέπει να σημειωθεί ότι για την περίπτωση των υπολεκάνων της περιοχής μελέτης υπολογίστηκαν σχέσεις μεταξύ ποιοτικών και υδρολογικών δεδομένων, ενώ για την συνολική λεκάνη απορροής του Πηνειού ποταμού προέκυψαν σχέσεις μεταξύ ποιοτικών χαρακτηριστικών, υδρολογικών δεδομένων και χρήσεων γης. Επίσης για τους υπολογισμούς σε ολόκληρη τη λεκάνη του Πηνειού, χρησιμοποιήθηκαν όλα τα δεδομένα που είχαμε από τις επί μέρους υπολεκάνες.

### 3.8.2 Προσομοίωση συγκεντρώσεων ποιοτικών χαρακτηριστικών

Τα αρχικά δεδομένα της παρούσας εργασίας ήταν οι μετρήσεις των συγκεντρώσεων των ποιοτικών παραμέτρων (μετρήσεις σε mg/lit) σε μηνιαίο βήμα, δηλαδή μια μέτρηση ανά μήνα.

### 3.8.3 Προσομοίωση φορτίων ποιοτικών χαρακτηριστικών

Έχουμε ήδη υπολογίσει τα φορτία των ποιοτικών παραμέτρων που μας απασχολούν. Αυτό έγινε πολλαπλασιάζοντας τη μέτρηση της συγκέντρωσης των ποιοτικών ενός μήνα επί την παροχή  $Q_c$  του αντίστοιχου μήνα, όπως αυτή υπολογίστηκε με το υδρολογικό μοντέλο. Με αυτόν τον τρόπο έχουμε το γινόμενο (mg/lit)  $\times$   $m^3$ , επομένως παίρνουμε το φορτίο των ποιοτικών ως g ανά μήνα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ

#### 4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Στο παρόν Κεφάλαιο θα παρουσιασθούν και θα σχολιασθούν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, τις γραμμικές σχέσεις που προέκυψαν με τη χρήση του προγράμματος SPSS, τόσο για τις συγκεντρώσεις όσο και για τα φορτία των ποιοτικών χαρακτηριστικών. Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά που μελετήθηκαν είναι το διαλυμένο οξυγόνο, τα θειικά, τα μαγνήσιο, το ολικό άζωτο και ο ολικός φώσφορος. Κάθε σχέση ακολουθείται από δύο στατιστικούς δείκτες, τον συντελεστή προσδιορισμού  $R^2$  και το SEE που είναι το τυπικό σφάλμα εκτίμησης (Std. Error of the Estimate). Επίσης στις περιπτώσεις που συμβολίζονται με “-” δεν υπολογίζεται σχέση, γιατί καμία παράμετρος δεν καλύπτει τα κριτήρια σπουδαιότητας της μεθόδου βηματικής γραμμικής παλινδρόμησης (stepwise linear regression).

Τέλος για κάθε περίπτωση προσθέτουμε δύο διάγραμμα διασποράς, ως οπτικοποίηση της επικύρωσης (validation) μεταξύ παρατηρούμενων και υπολογιζόμενων τιμών των ποιοτικών χαρακτηριστικών. Το πρώτο είναι για τα δεδομένα της περιόδου ανάπτυξης των σχέσεων και το δεύτερο για την περίοδο πιστοποίησης. Η περίοδος πιστοποίησης αφορά το 20% των δεδομένων των ποιοτικών χαρακτηριστικών και στις περιπτώσεις που υπήρχαν αρκετά διαθέσιμα δεδομένα.

#### 4.2 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ

##### 4.2.1 Υπολεκάνες

Παρακάτω παρουσιάζονται οι σχέσεις που προέκυψαν για τα ποιοτικά χαρακτηριστικά για κάθε μία από τις έξι υπολεκάνες και τα αντίστοιχα

διαγράμματα διασποράς. Επίσης για τις υπολεκάνες Γέφυρα Τρικάλων-Σωτήρας και Γέφυρα Τρικαίολου δεν υπάρχουν μετρήσεις ολικού φωσφόρου.

Πίνακας 4.1 Σχέσεις συγκεντρώσεων ποιοτικών για τις υπολεκάνες της περιοχής μελέτης

Υπολεκάνη	Διαλυμένο οξυγόνο (DO)	Θειικά (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	Μαγνήσιο (Mg <sup>2+</sup> )	Ολικό Αζωτο (TN)	Ολικός Φώσφορος (TP)
1	-	R <sup>2</sup> = 0,602 , SEE= 0,19227	-	-	
	-	y= -0,195 epistr + 4,355	-	-	
2	-	-	-	-	
	-	-	-	-	
3	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-
6	-	R <sup>2</sup> = 0,114 , SEE= 0,57261	-	-	R <sup>2</sup> = 0,139 , SEE= 0,62323
	-	y= 0,52 brox + 1,32	-	-	y= 0,614 brox - 5,28

όπου,

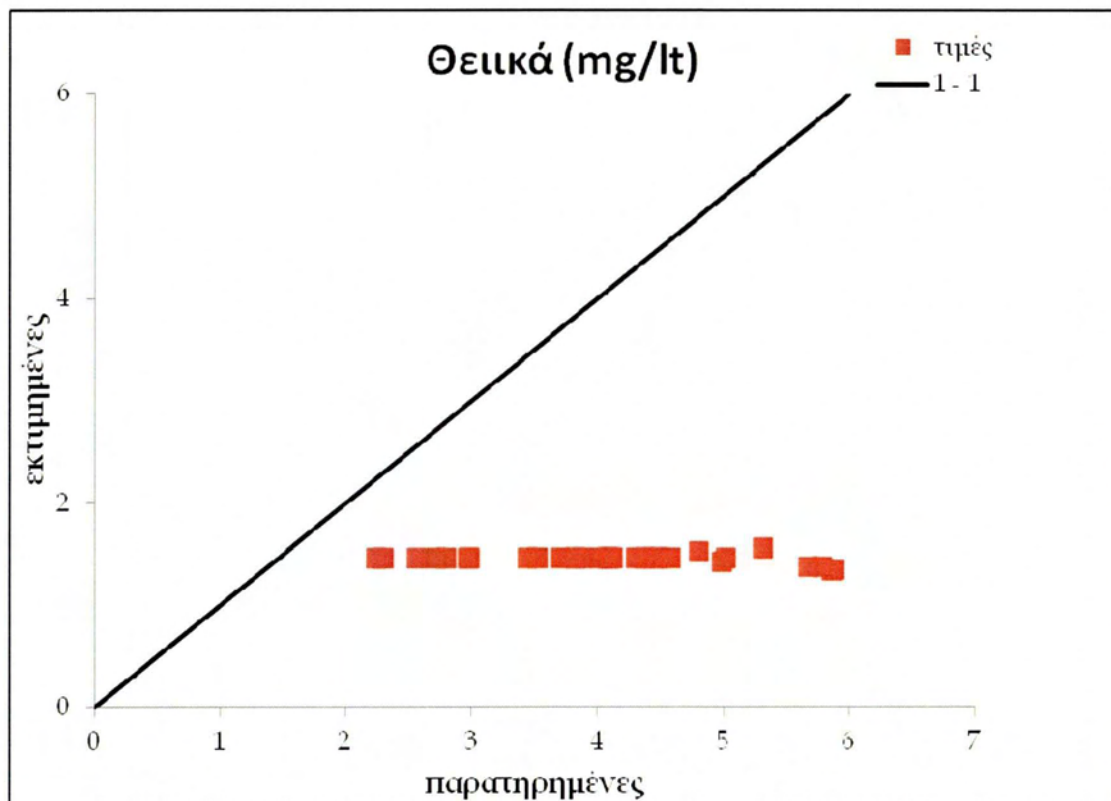
brox : βροχόπτωση

epistr : επιστροφή από τον υπόγειο υδροφορέα

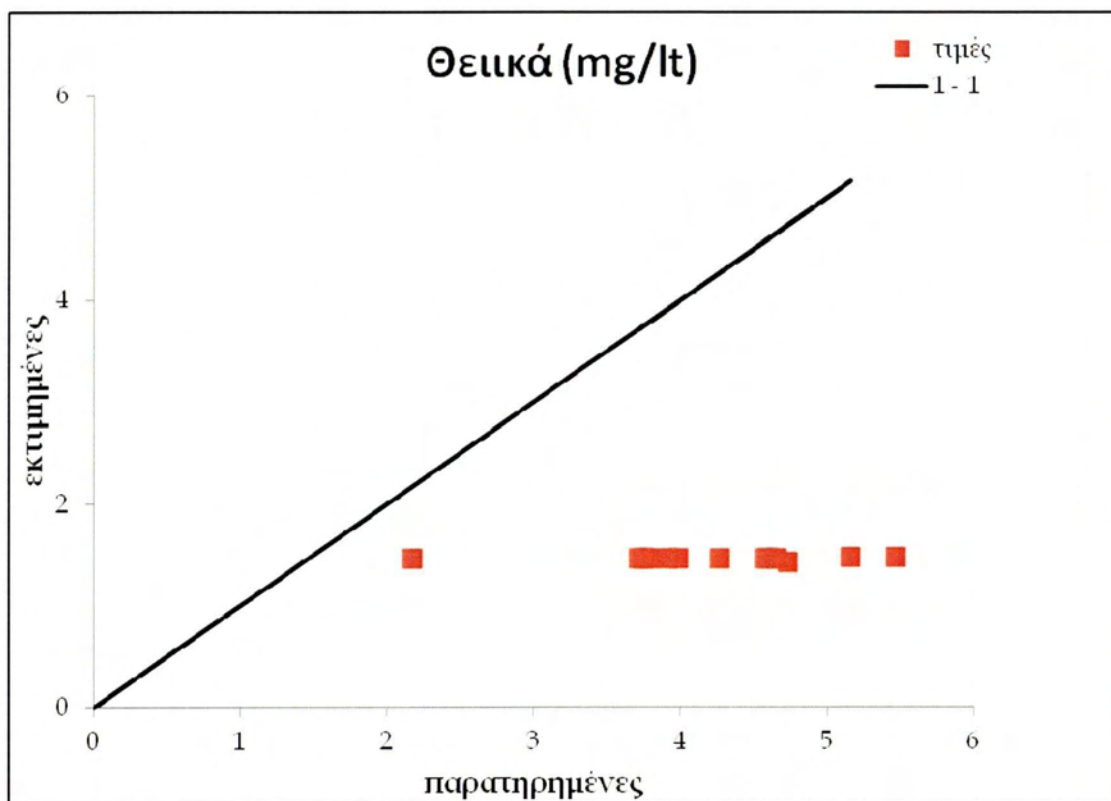
- Υπολεκάνες :
- 1\_Γέφυρα Τρικάλων-Σωτήρας
  - 2\_Γέφυρα Τρικαίολου
  - 3\_Καραβόπορος
  - 4\_Γέφυρα Τρικάλων-Καρδίτσας- Αγναντερό
  - 5\_Γέφυρα Αλή Εφέντη- Κεραμίδι
  - 6\_Λάρισας



❖ Υπολεκάνη Γέφυρα Τρικάλων-Σωτήρα

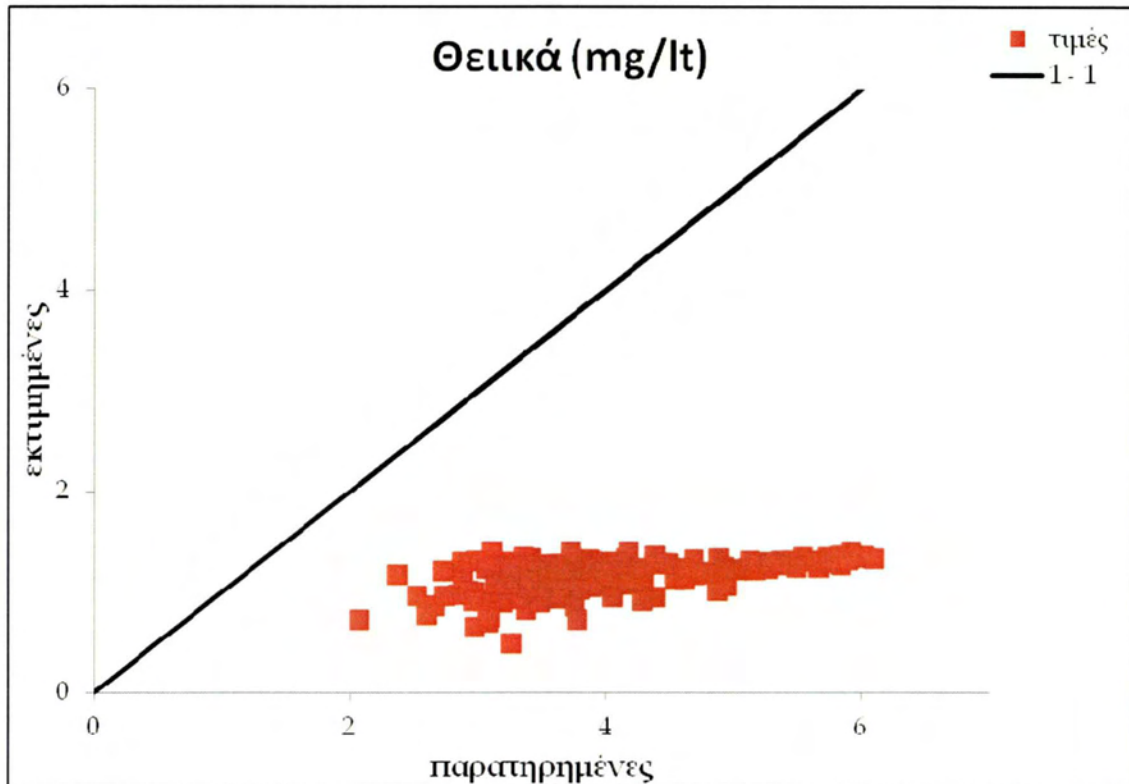


Σχήμα 4.1.α Περίοδος ανάπτυξης

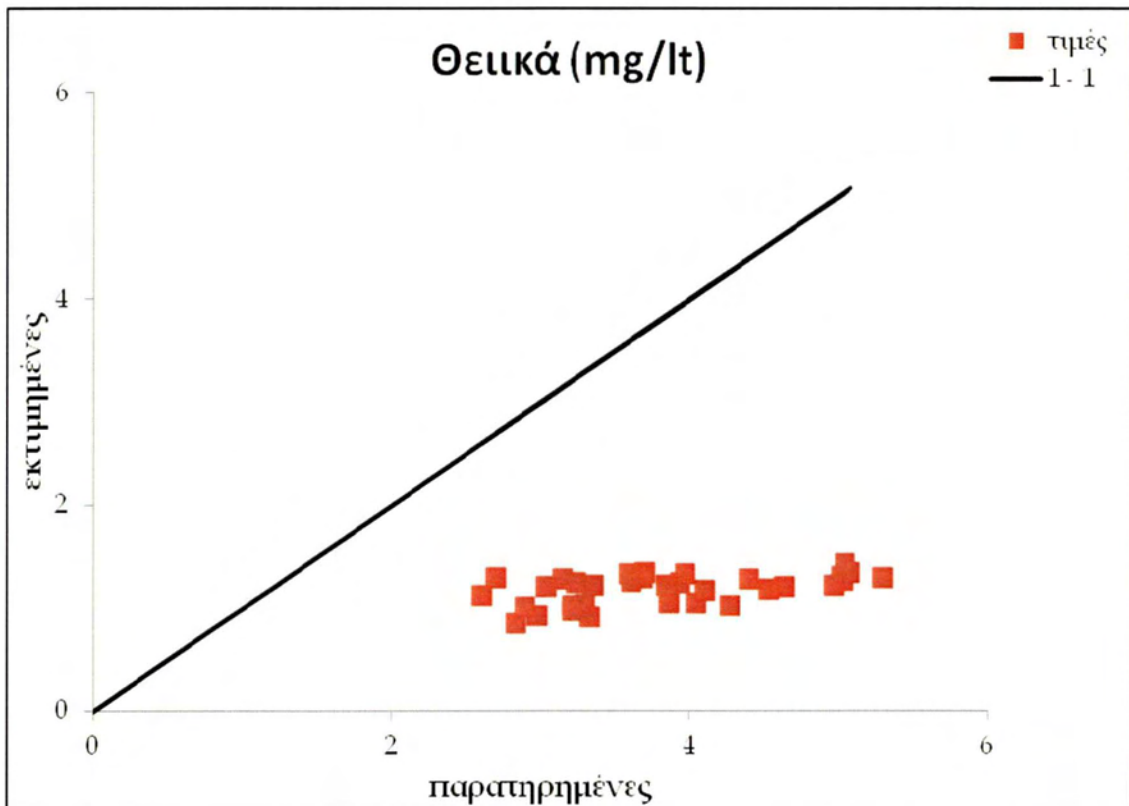


Σχήμα 4.1.β Περίοδος πιστοποίησης

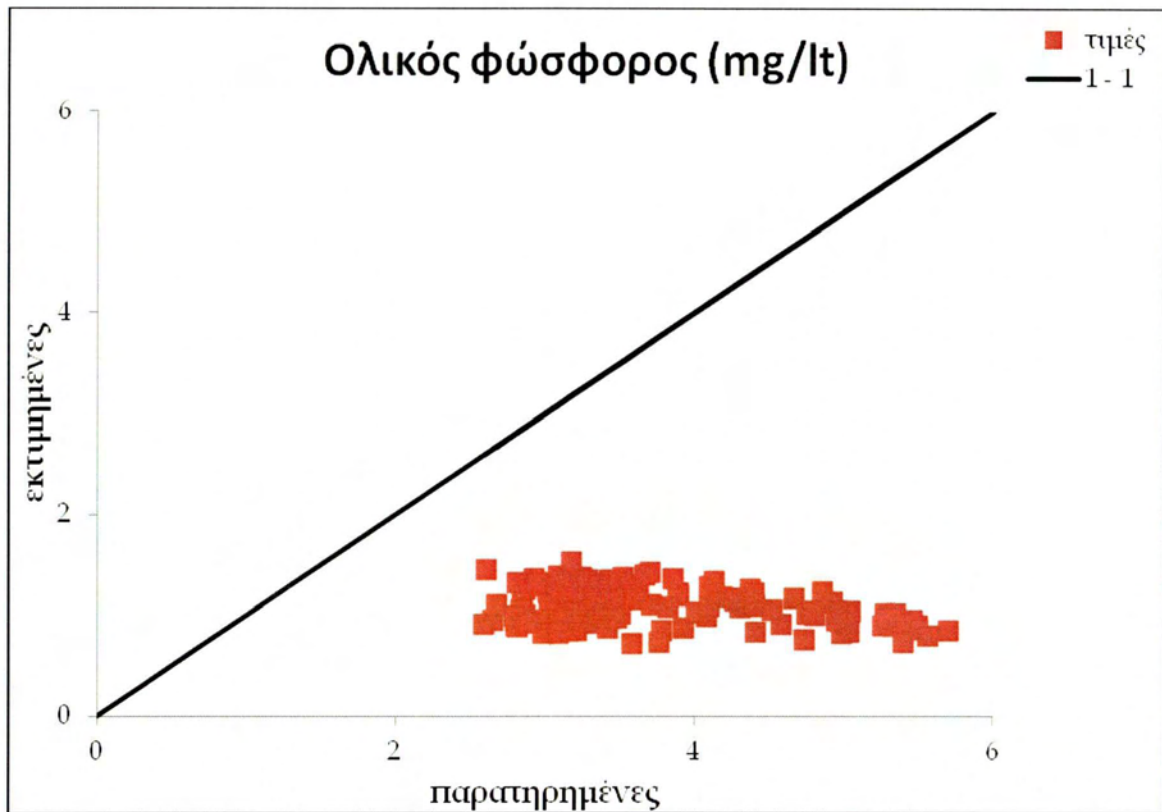
❖ Υπολεκάνη Λάρισας



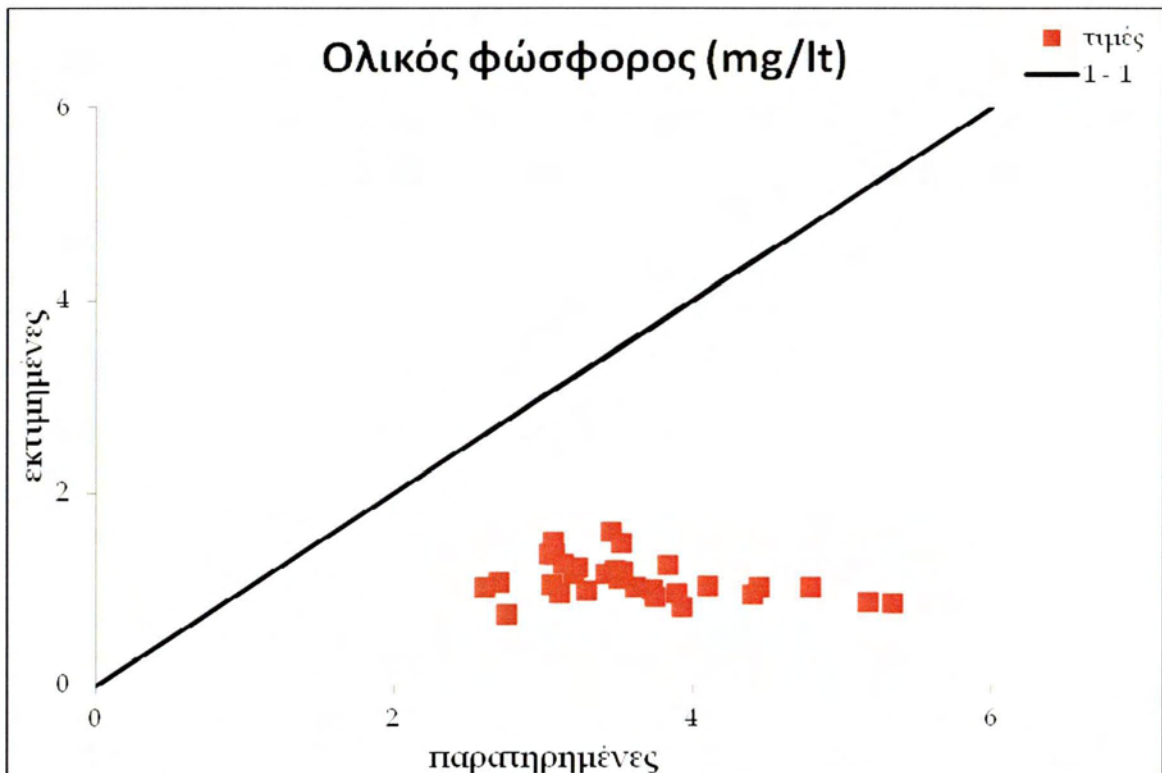
Σχήμα 4.2.α Περίοδος ανάπτυξης



Σχήμα 4.2.β Περίοδος πιστοποίησης



Σχήμα 4.3.α Περίοδος ανάπτυξης



Σχήμα 4.3.β Περίοδος πιστοποίησης

Οι σχέσεις που προέκυψαν για τις συγκεντρώσεις ανά υπολεκάνη είναι λίγες λόγω έλλειψης συσχέτισης μεταξύ των δεδομένων. Η σχέση για τα θειικά της Γέφυρας Τρικάλων-Σωτήρα είναι μέτρια και δείχνει επίδραση της επιστροφής νερού από το υπόγειο υδροφορέα στην επιφανειακή απορροή, το οποίο έχει φυσική σημασία καθώς μπορεί τα θειικά να έχουν περάσει στον υπόγειο υδροφορέα μέσω αποσάθρωσης και διάβρωσης πετρωμάτων που έχουν ανόργανα θειικά. Οι δύο σχέσεις για τη Λάρισα είναι χαμηλής στατιστικής σημαντικότητας, παρά ταύτα δείχνουν την σχέση μεταξύ θεικών, ολικού φωσφόρου και βροχόπτωσης καθώς με το νερό της βροχής αυτά αποπλένονται από το έδαφος. Τέλος παρατηρούμε πως και στις τρεις αυτές σχέσεις έχουμε υποεκτίμηση των υπολογιζόμενων τιμών των ποιοτικών, σε σχέση με τις παρατηρούμενες.



#### 4.2.2 Ολόκληρη η λεκάνη του Πηνειού

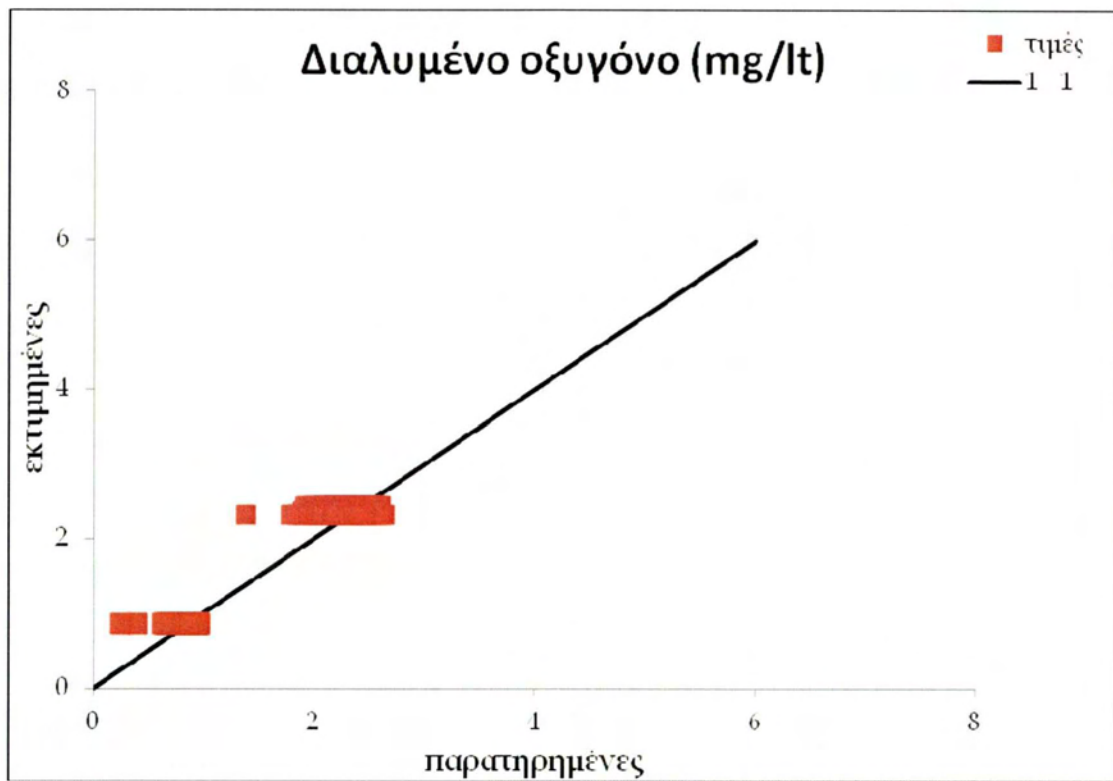
Στον παρακάτω πίνακα παραθέτονται οι σχέσεις που προέκυψαν για τις συγκεντρώσεις των ποιοτικών παραμέτρων για ολόκληρη τη λεκάνη απορροής του Πηνειού ποταμού με τη χρήση και των ποσοστών χρήσεων γής.

Πίνακας 4.2 Σχέσεις συγκεντρώσεων ποιοτικών για ολόκληρη τη λεκάνη του Πηνειού

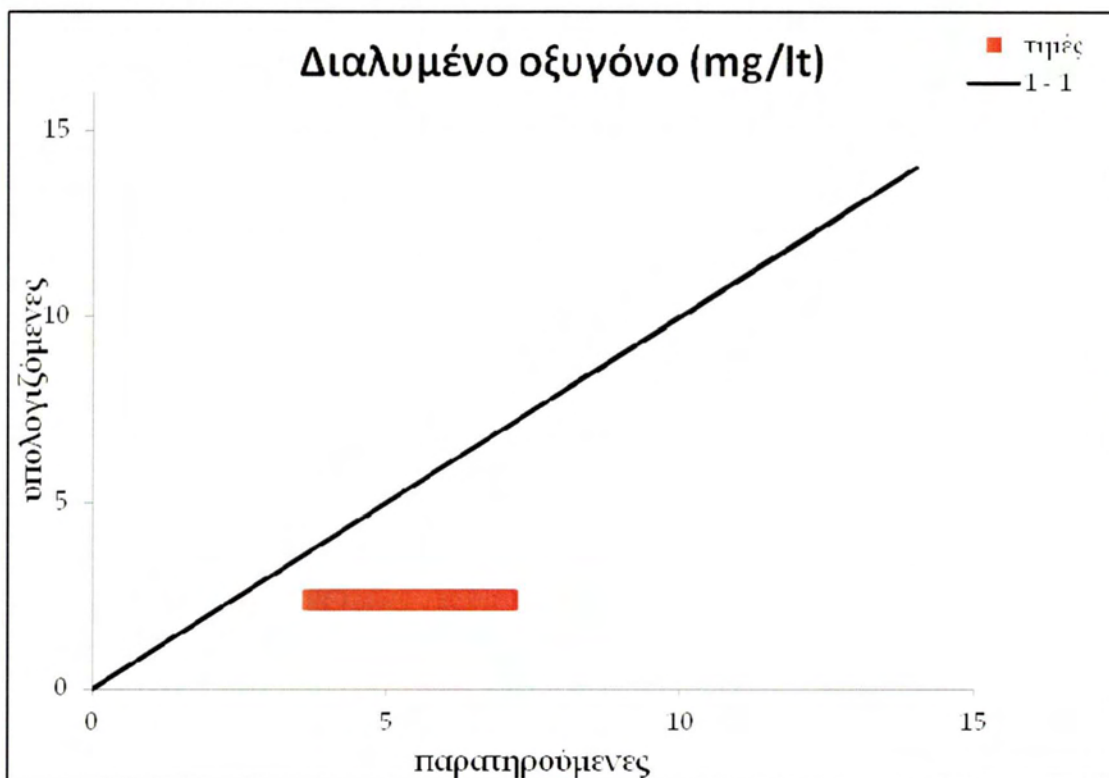
<b>Διαλυμένο οξυγόνο (DO)</b>
$R^2 = 0,981$ , $SEE = 0,62746$ $y = 0,924 \text{ miard} + 0,399 \text{ ard} - 3,525 \text{ ast} + 0,23 \text{ xort} - 12,935$
<b>Θειικά (<math>\text{SO}_4^{2-}</math> )</b>
$R^2 = 0,336$ , $SEE = 11,73829$ $y = 1,896 \text{ xort} - 0,779 \text{ das} - 6,344$
<b>Μαγνήσιο (<math>\text{Mg}^{2+}</math> )</b>
$R^2 = 0,674$ , $SEE = 5,15906$ $y = -0,88 \text{ das} - 44,975 \text{ ugr} + 258,081$
<b>Ολικό Άζωτο (TN)</b>
-
-
<b>Ολικός Φώσφορος (TP)</b>
$R^2 = 0,806$ , $SEE = 0,55777$ $y = 1,873 \text{ ast} + 0,076 \text{ miard} + 0,176 \text{ xer} - 11,73$

όπου, das : δασικές εκτάσεις  
 xer : χέρσες εκτάσεις  
 xort : χορτολιβαδικές εκτάσεις  
 ard : αρδευόμενες εκτάσεις  
 miard : μη αρδευόμενες εκτάσεις  
 ugr : εδαφική υγρασία

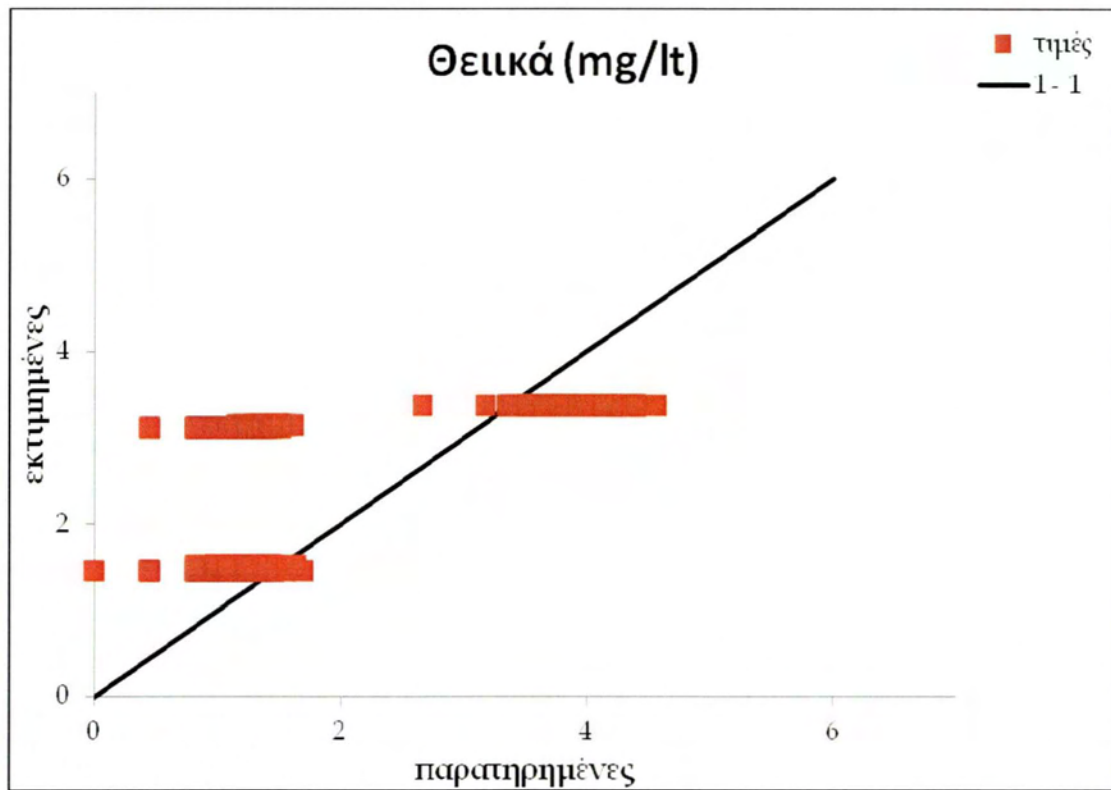
Ακολουθούν τα διαγράμματα διασποράς (validation) των παραπάνω σχέσεων:



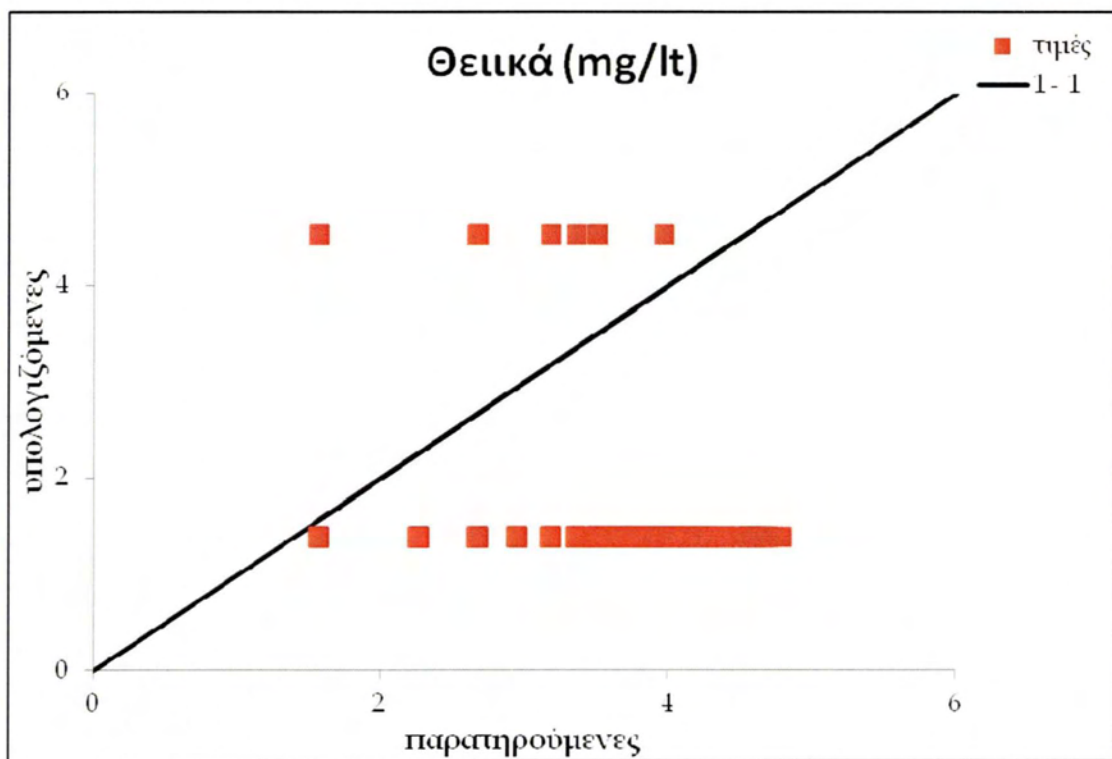
Σχήμα 4.4.α Περίοδος ανάπτυξης



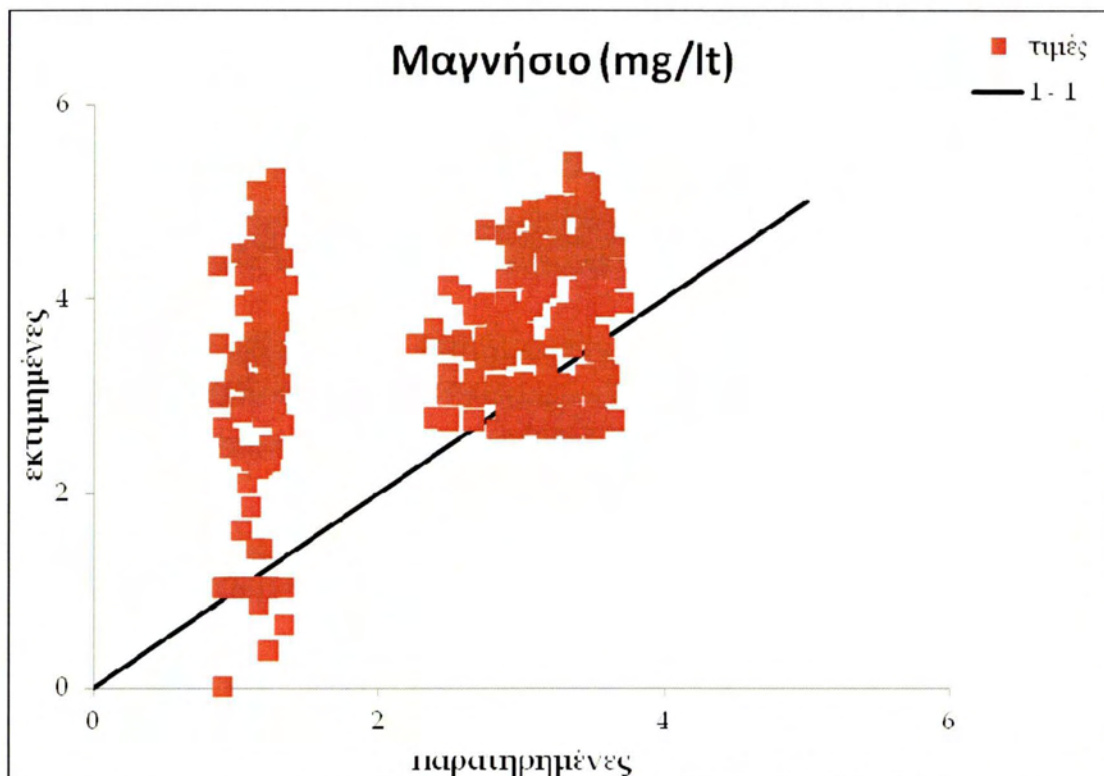
Σχήμα 4.4.β Περίοδος πιστοποίησης



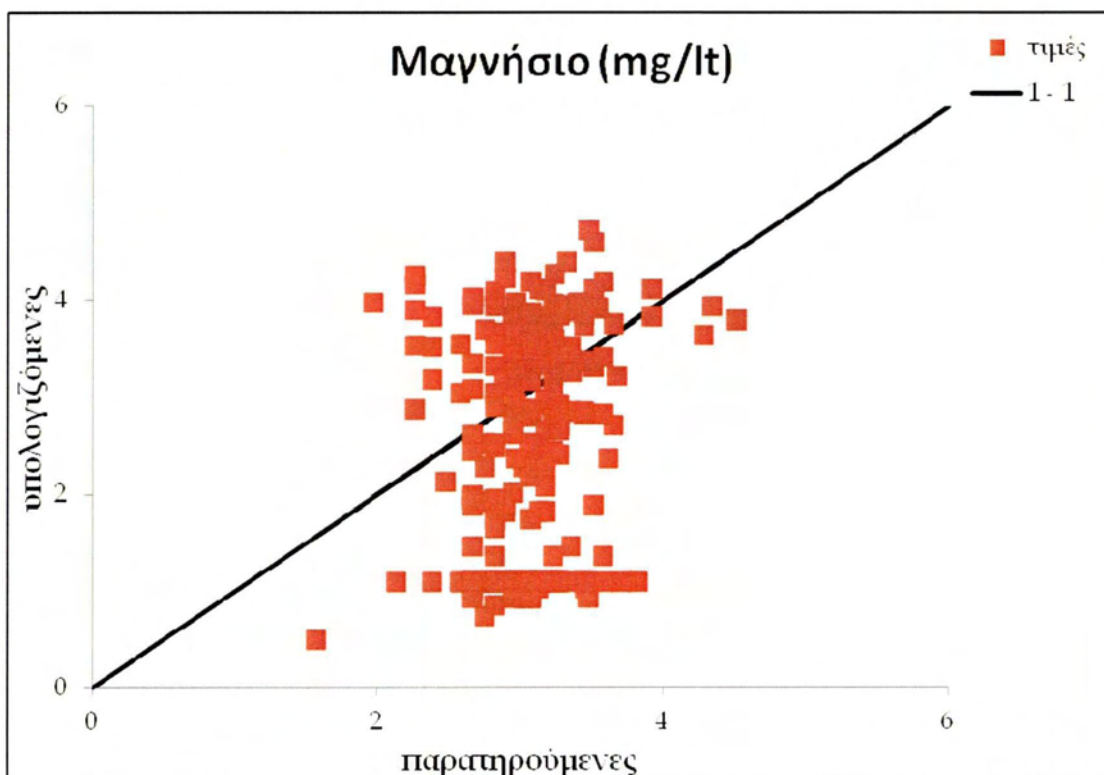
Σχήμα 4.5.α Περίοδος ανάπτυξης



Σχήμα 4.5.β Περίοδος πιστοποίησης

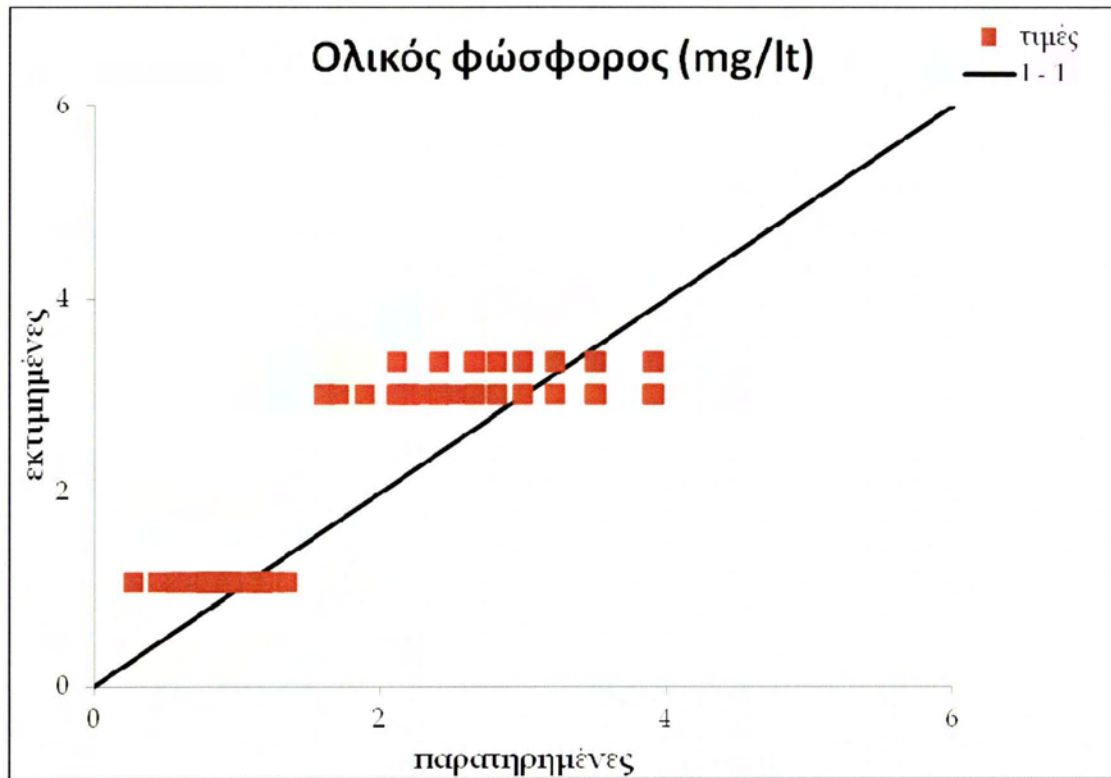


Σχήμα 4.6.α Περίοδος ανάπτυξης

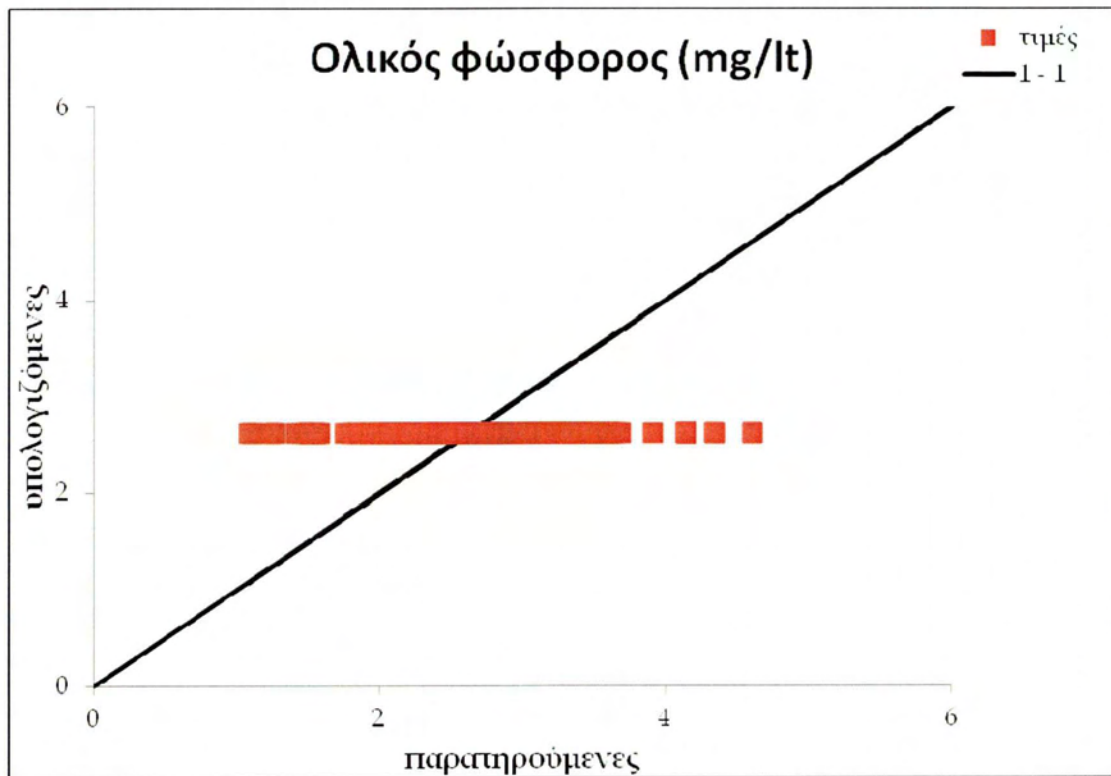


Σχήμα 4.6.β Περίοδος πιστοποίησης





Σχήμα 4.7.α Περίοδος ανάπτυξης



Σχήμα 4.7.β Περίοδος πιστοποίησης

Για την περίπτωση ολόκληρης της λεκάνης του Πηνειού παρατηρούμε τον υπολογισμό στατιστικά βελτιωμένων γραμμικών σχέσεων, σε σύγκριση με αυτές που βρήκαμε για κάθε υπολεκάνη ξεχωριστά, που επηρεάζονται αποκλειστικά από τις χρήσεις γης και καθόλου από τις συνιστώσες της απορροής. Παρατηρούμε πως στις σχέσεις για το διαλυμένο οξυγόνο και τον ολικό φώσφορο, που είναι αρκετά καλές, έχουμε μεγάλη επίδραση των αστικών χρήσεων και αρκετά μικρότερη από εκτάσεις που περιλαμβάνουν αγροτικές χρήσεις στα ποιοτικά αυτά χαρακτηριστικά.

### 4.3 ΦΟΡΤΙΑ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ

#### 4.3.1 Υπολεκάνες

Στον πίνακα που ακολουθεί περιλαμβάνονται οι γραμμικές σχέσεις που υπολογίστηκαν για τα φορτία των ποιοτικών παραμέτρων για τις έξι υπολεκάνες της περιοχής μελέτης.

Πίνακας 4.3 Σχέσεις φορτίων ποιοτικών για τις υπολεκάνες της περιοχής μελέτης

Υπολεκάνη	Διαλυμένο οξυγόνο (DO)
1	- -
2	$R^2 = 1,000$ , $SEE = 6,76879$ $y = 126,126 \text{ epif} + 20,208 \text{ therm} + 210,05$
3	- -
4	$R^2 = 0,942$ , $SEE = 19,93169$ $y = 75,522 \text{ epif} + 28,73 \text{ upog} - 62,551 \text{ tix} + 59,723$
5	$R^2 = 0,926$ , $SEE = 17,26887$ $y = 5,661 \text{ epif} + 25,261 \text{ epistr} + 117,984 \text{ brox} - 7,263 \text{ therm} - 370,855$
6	$R^2 = 0,917$ , $SEE = 87,49503$ $y = 28,216 \text{ epif} + 129,033 \text{ upog} + 404,355 \text{ brox} - 25,494 \text{ therm} - 1009,983$

Υπολεκάνη	Θειικά (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )
1	R <sup>2</sup> = 0,775 , SEE = 44,15939 y = 238,203 brox - 752,773
2	R <sup>2</sup> = 0,805 , SEE = 473,22196 y = -3182,975 tix + 12945,685
3	R <sup>2</sup> = 0,781 , SEE = 41,55512 y = 261,974 brox - 896,619
4	R <sup>2</sup> = 0,851 , SEE = 45,58448 y = 89,661 epif + 41,161 epistr - 11,51 therm - 38,72
5	R <sup>2</sup> = 0,829 , SEE = 47,18008 y = 7,613 epif + 34,85 upog + 189,388 brox - 10,74 therm - 582,99
6	R <sup>2</sup> = 0,891 , SEE = 35,59567 y = 182,21 brox - 88,76 tix + 37,866 epistr - 498,501

Υπολεκάνη	Μαγνήσιο (Mg <sup>2+</sup> )
1	R <sup>2</sup> = 0,816 , SEE = 28,12046 y = 168,635 brox - 537,09
2	R <sup>2</sup> = 0,909 , SEE = 219,58494 y = 1539,248 brox - 4790,917
3	- -
4	R <sup>2</sup> = 0,374 , SEE = 683,22266 y = 575,854 epif - 487,616
5	R <sup>2</sup> = 0,904 , SEE = 27,08637 y = 6,068 epif + 32,248 epistr + 151,074 brox - 6,358 therm - 496,604
6	R <sup>2</sup> = 0,892 , SEE = 26,0968 y = 10,462 epif + 36,123 upog + 109,133 brox - 64,314 tix - 228,545

Υπολεκάνη	Ολικό Άζωτο (TN)
1	- -
2	- -
3	- -
4	R <sup>2</sup> = 0,451 , SEE = 70,05807 y = 61,016 epistr + 12,203
5	- -
6	R <sup>2</sup> = 0,725 , SEE = 39,92088 y = 123,009 brox - 7,127 therm + 22,567 epistr - 389,519

Υπολεκάνη	Ολικός Φώσφορος (TP)
1	
2	
3	- -
4	- -
5	$R^2 = 0,950$ , $SEE = 24,92049$ $y = -265,21 \text{ brox} + 359,313 \text{ tix} - 43,349 \text{ epistr} - 34,159 \text{ therm} + 404,895$
6	$R^2 = 0,587$ , $SEE = 42,36478$ $y = -35,165 \text{ epif} - 24,973 \text{ epistr} + 5,893$

όπου,  
 therm : θερμοκρασία  
 epif : επιφανειακή απορροή  
 urog : κατείσδυση στον υπόγειο υδροφορέα  
 brox : βροχόπτωση  
 tix : τήξη χιονιού  
 epistr : επιστροφή από τον υπόγειο υδροφορέα

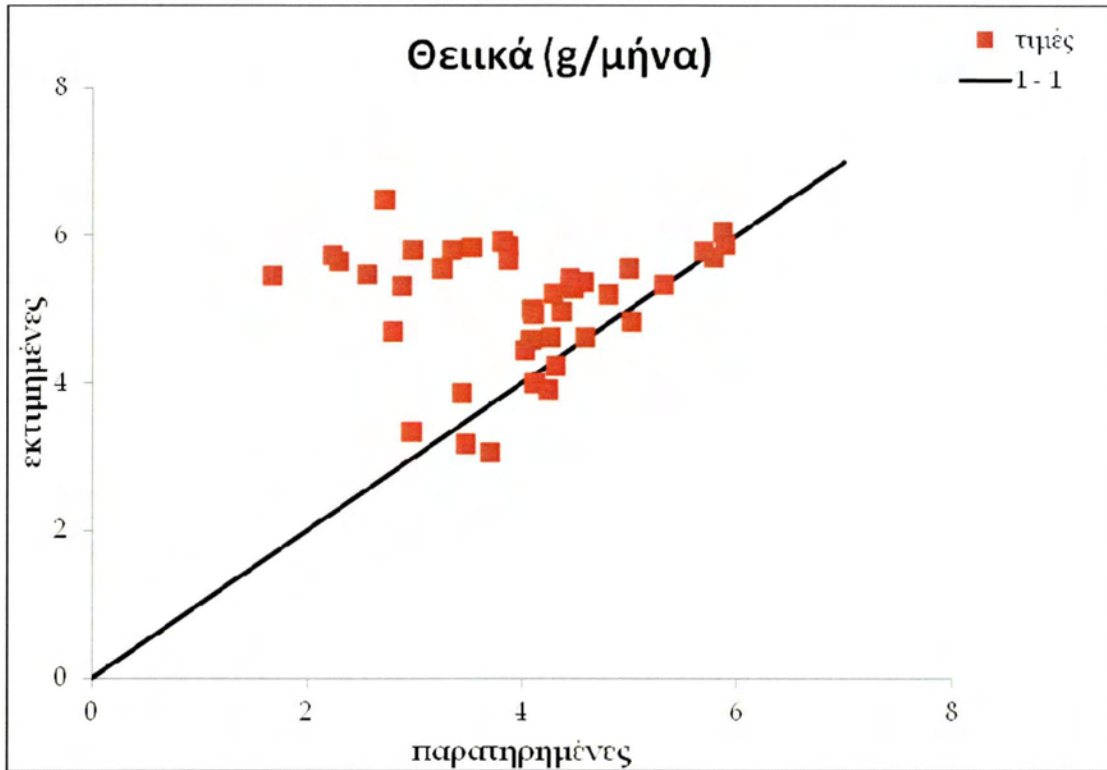
και

Υπολεκάνες : 1\_Γέφυρα Τρικάλων-Σωτήρας  
 2\_Γέφυρα Τρικαιογλου  
 3\_Καραβόπορος  
 4\_Γέφυρα Τρικάλων-Καρδίτσας- Αγναντερό  
 5\_Γέφυρα Αλή Εφέντη- Κεραμίδι  
 6\_Λάρισας

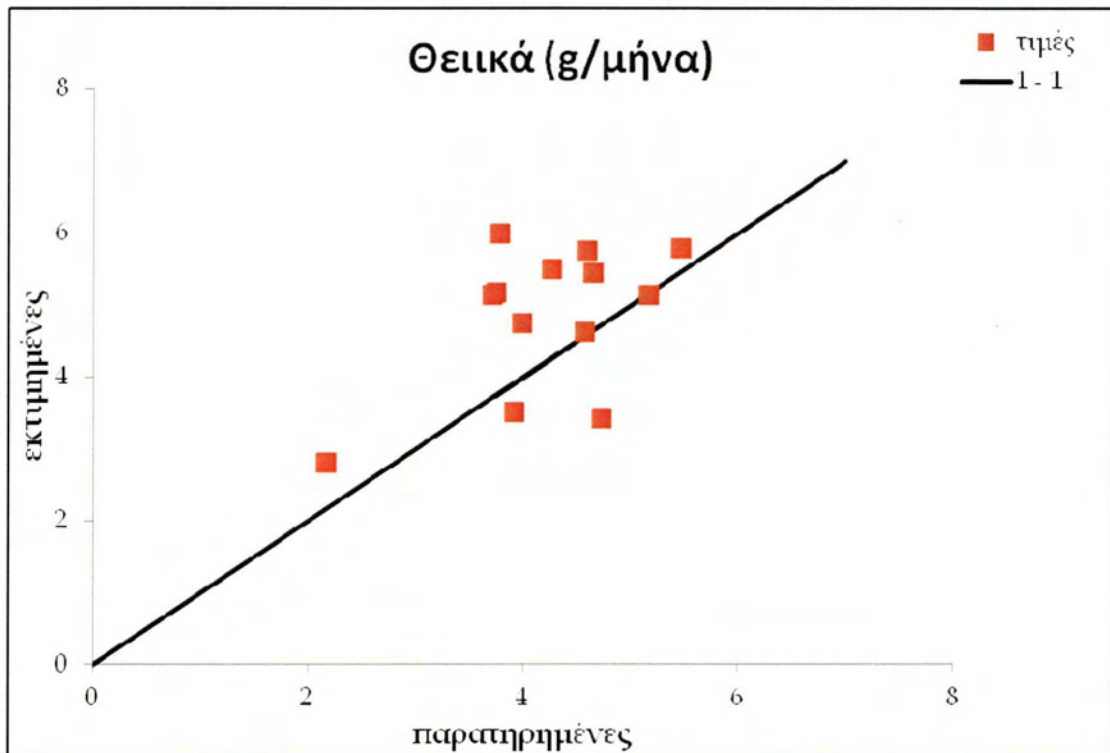
Ακολουθούν για κάθε περίπτωση δύο διαγράμματα διασποράς ανά υπολεκάνη. Το πρώτο είναι για τα δεδομένα της περιόδου ανάπτυξης των σχέσεων και το δεύτερο για την περίοδο πιστοποίησης:



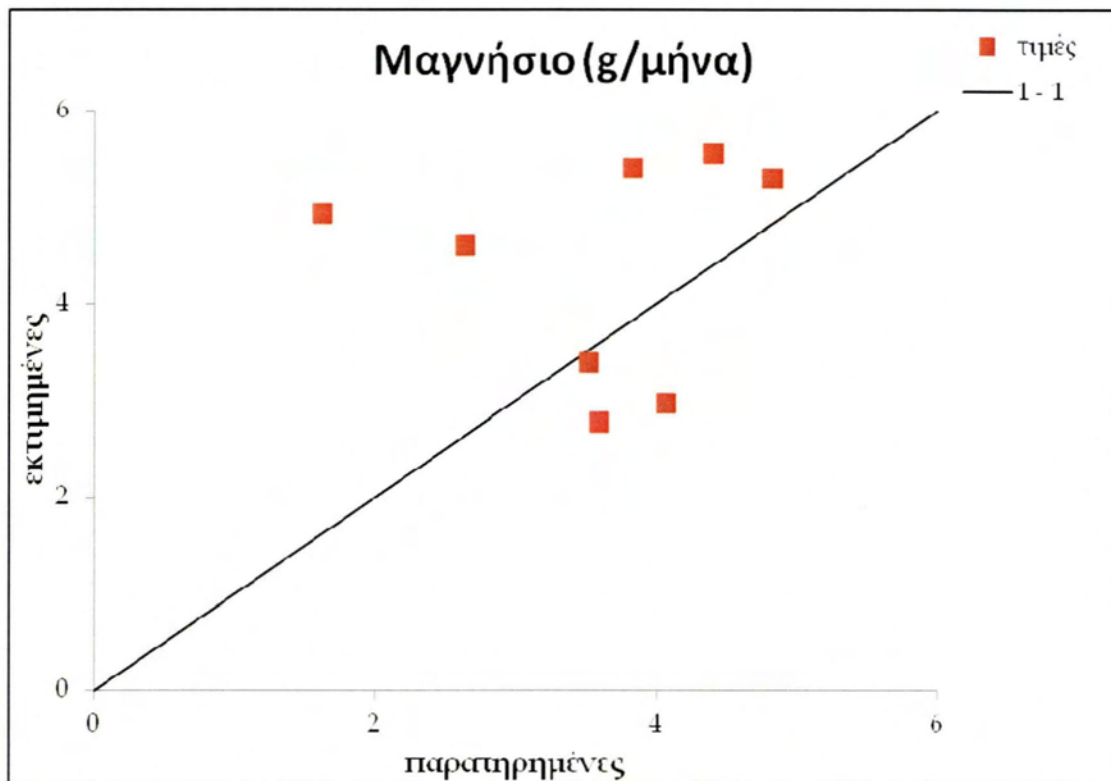
❖ Υπολεκάνη Γέφυρα Τρικάλων-Σωτήρα



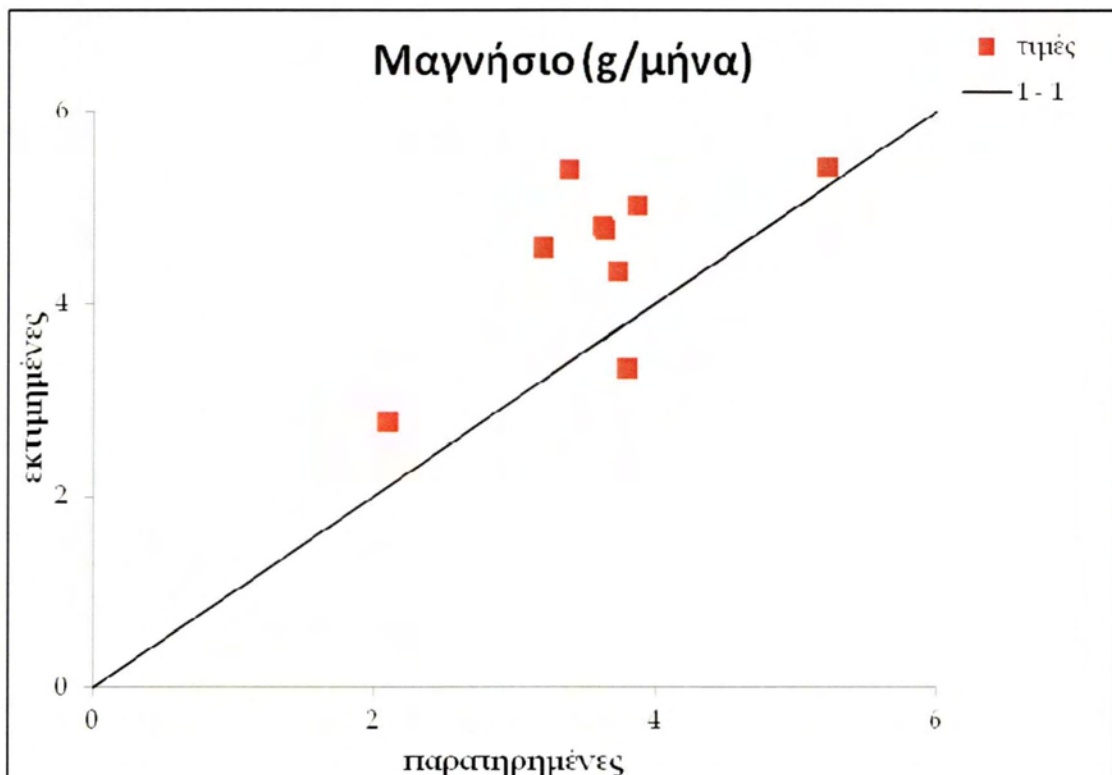
Σχήμα 4.8.α Περίοδος ανάπτυξης



Σχήμα 4.8.β Περίοδος πιστοποίησης

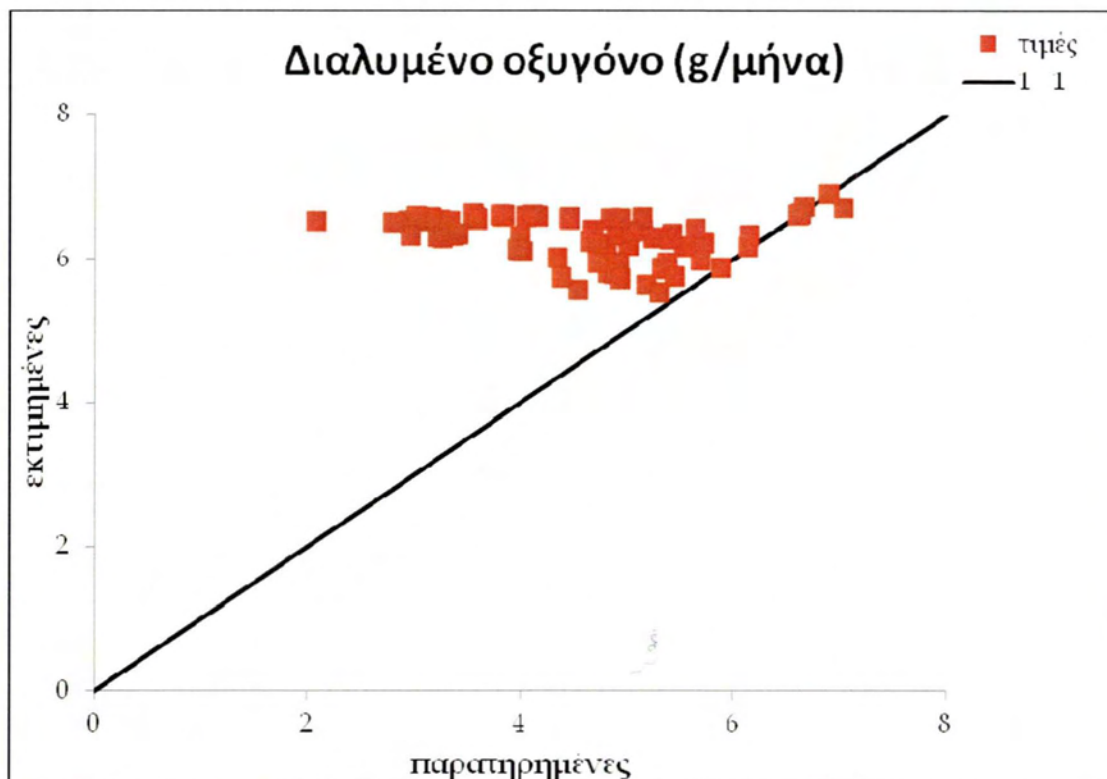


Σχήμα 4.9.α Περίοδος ανάπτυξης

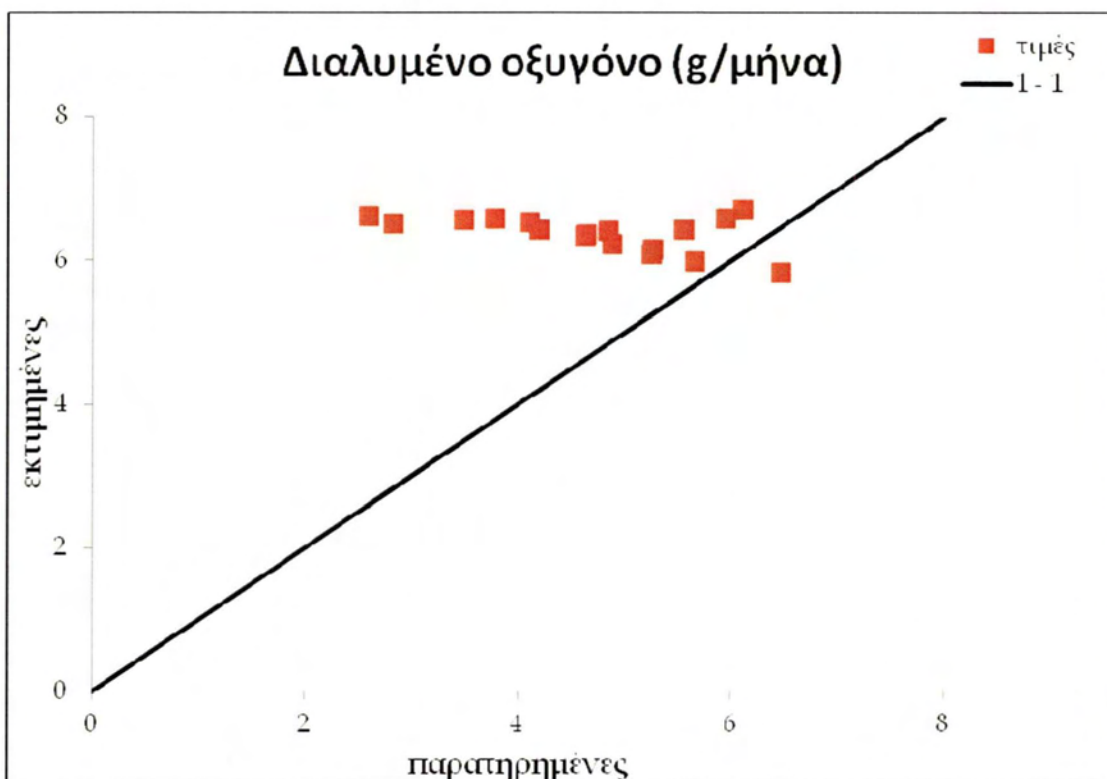


Σχήμα 4.9.β Περίοδος πιστοποίησης

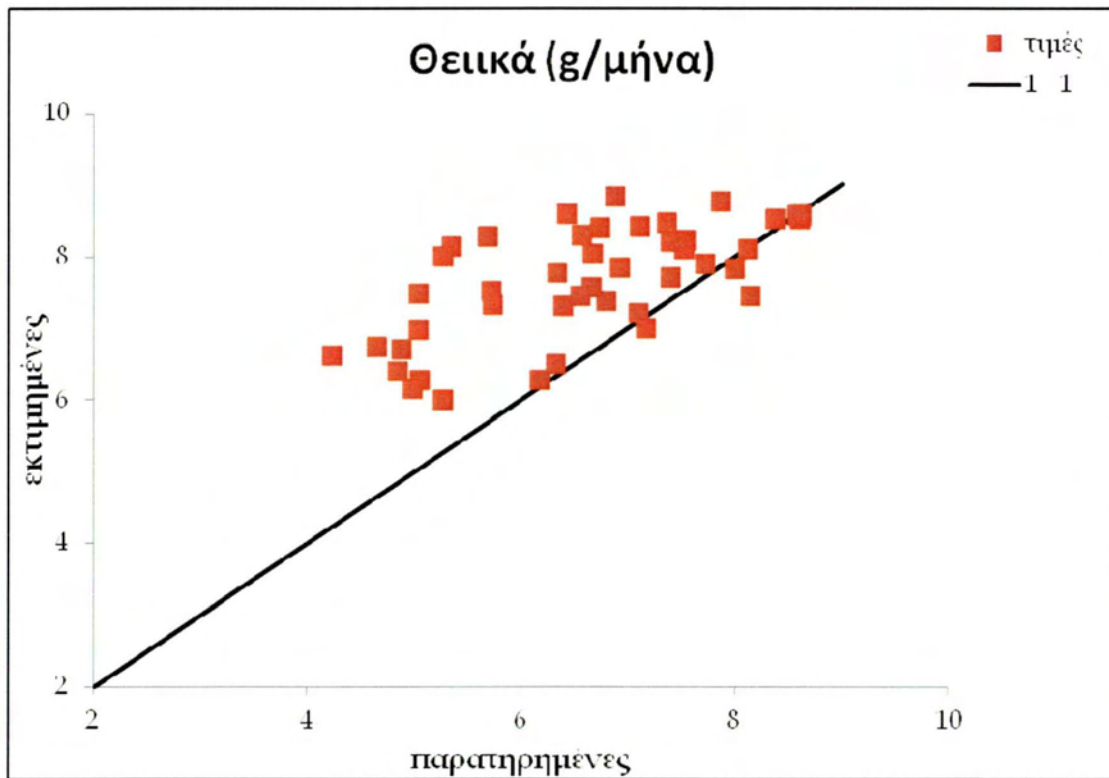
❖ Υπολεκάνη Γέφυρα Τρικαίουγλου



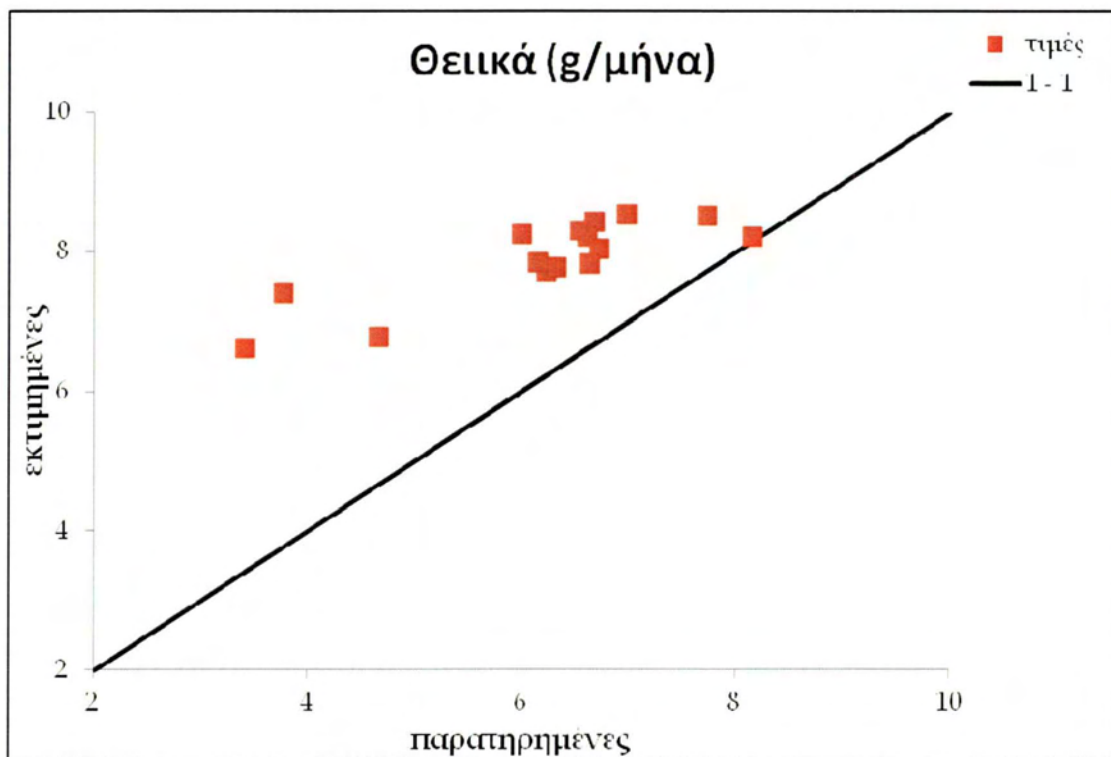
Σχήμα 4.10.α Περίοδος ανάπτυξης



Σχήμα 4.10.β Περίοδος πιστοποίησης

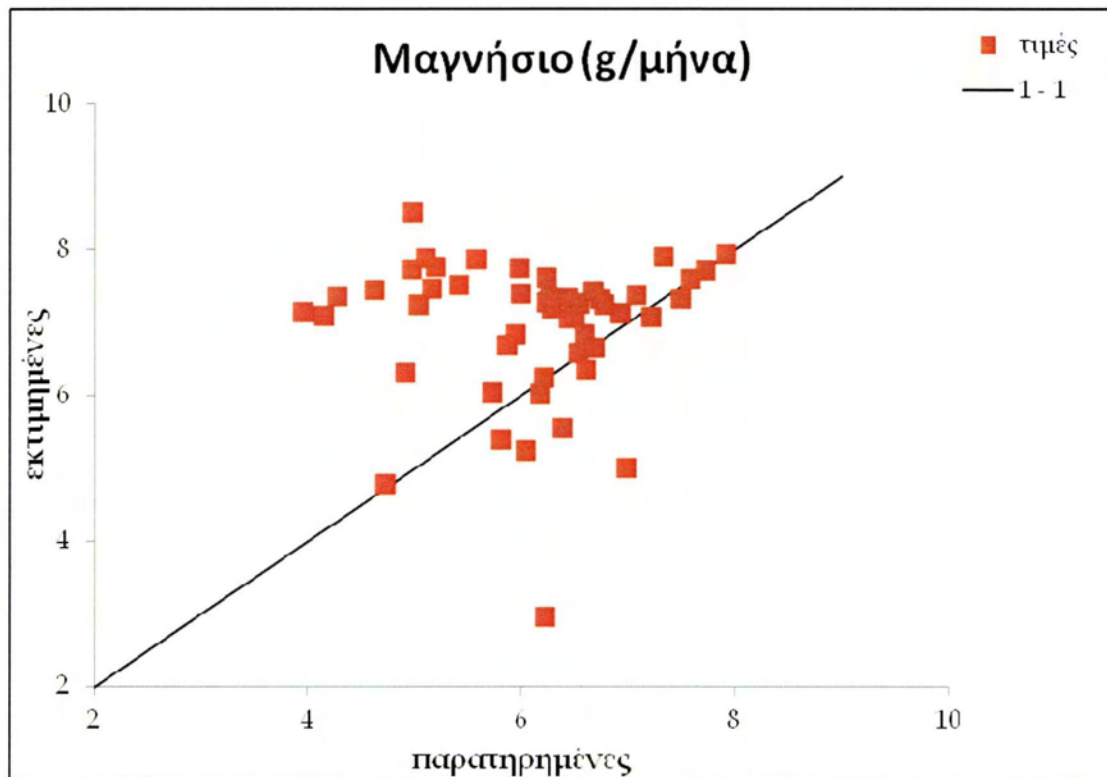


Σχήμα 4.11.α Περίοδος ανάπτυξης

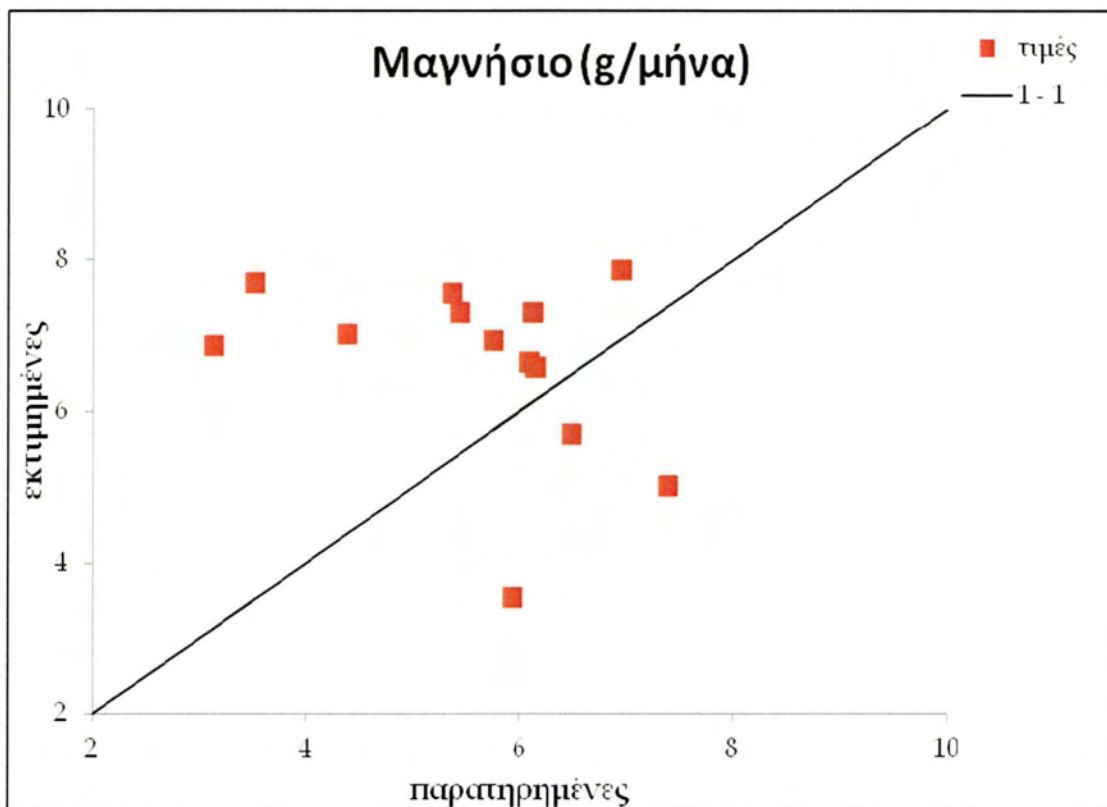


Σχήμα 4.11.β Περίοδος πιστοποίησης



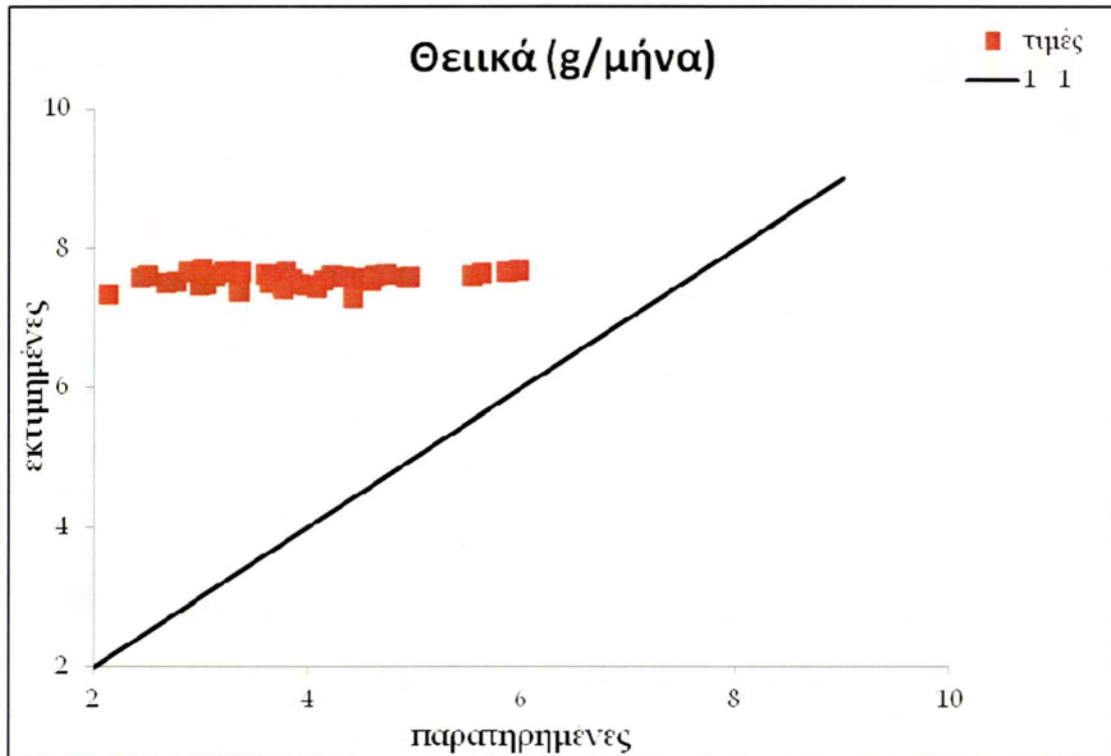


Σχήμα 4.12.α Περίοδος ανάπτυξης

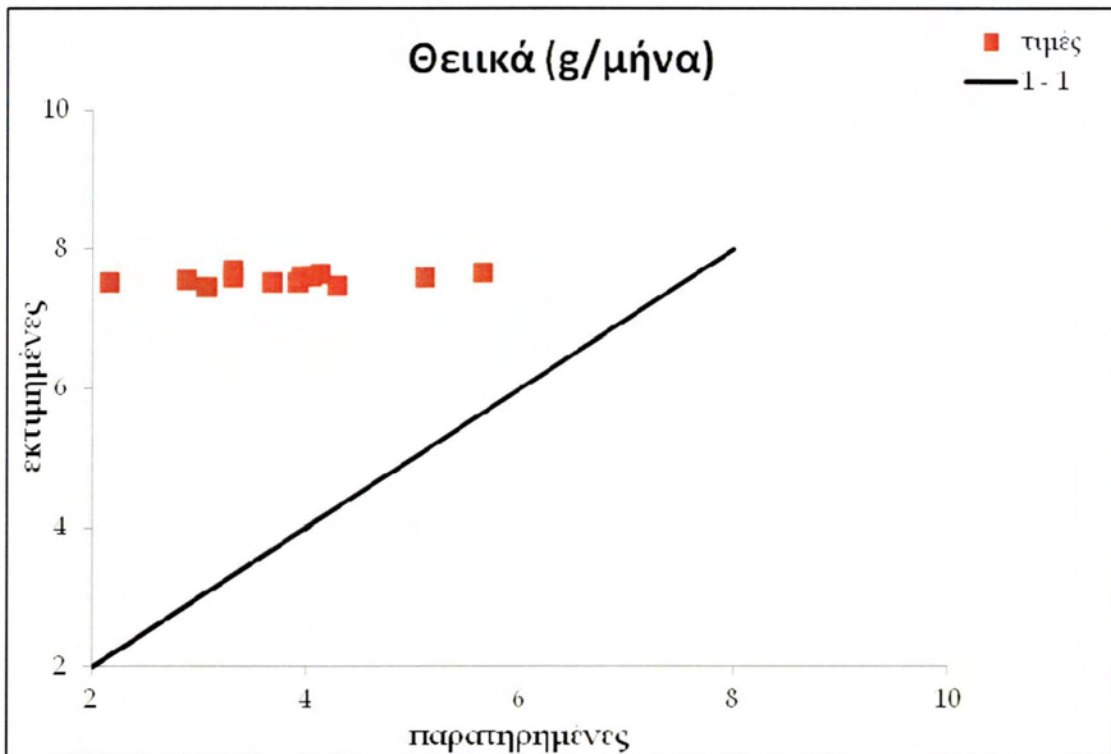


Σχήμα 4.12.β Περίοδος πιστοποίησης

❖ Υπολεκάνη Καραβόπορου

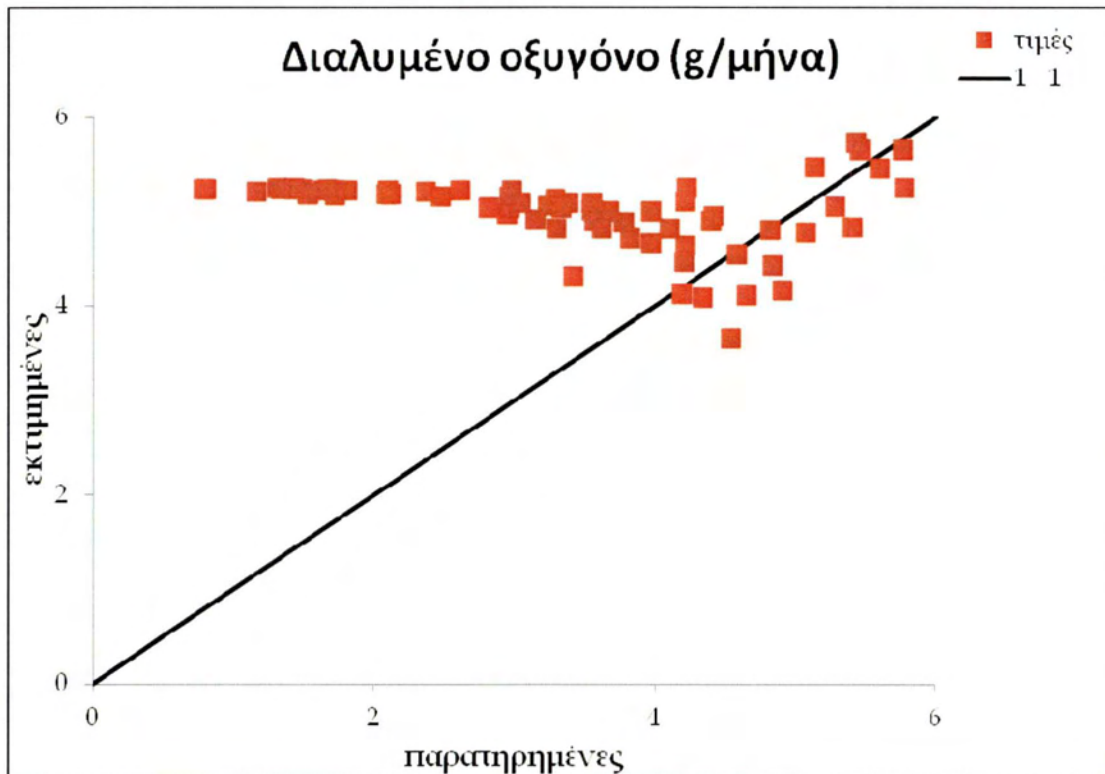


Σχήμα 4.13.α Περίοδος ανάπτυξης

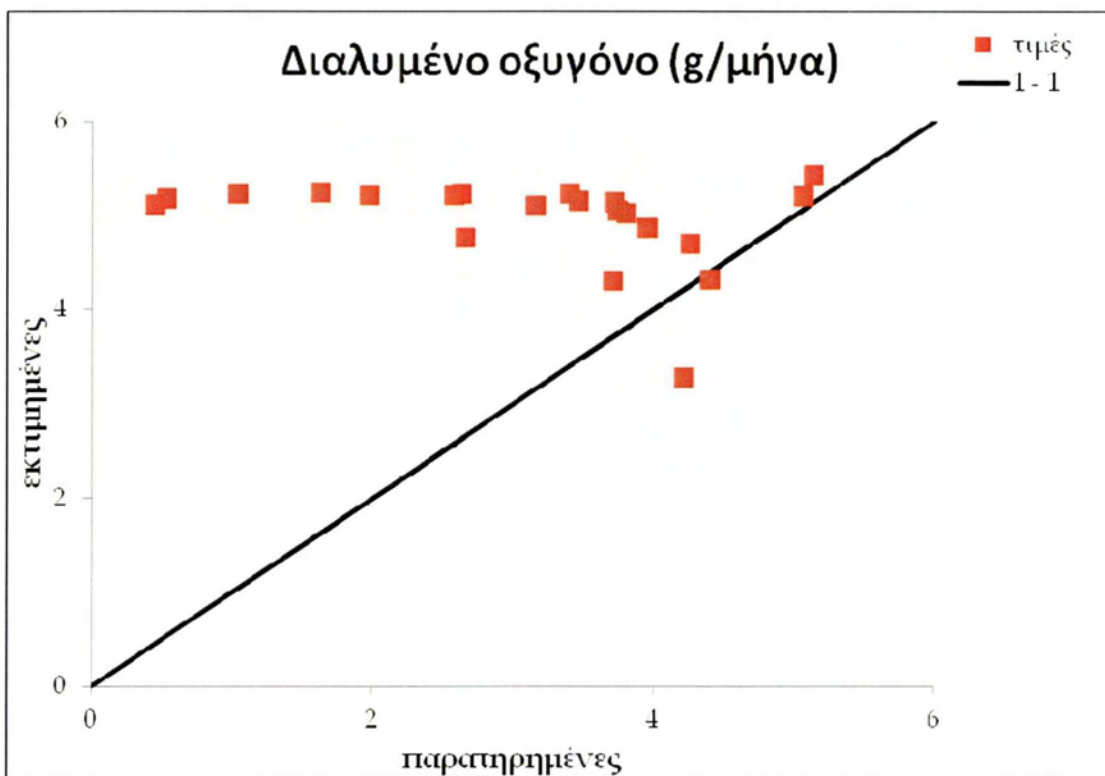


Σχήμα 4.13.β Περίοδος πιστοποίησης

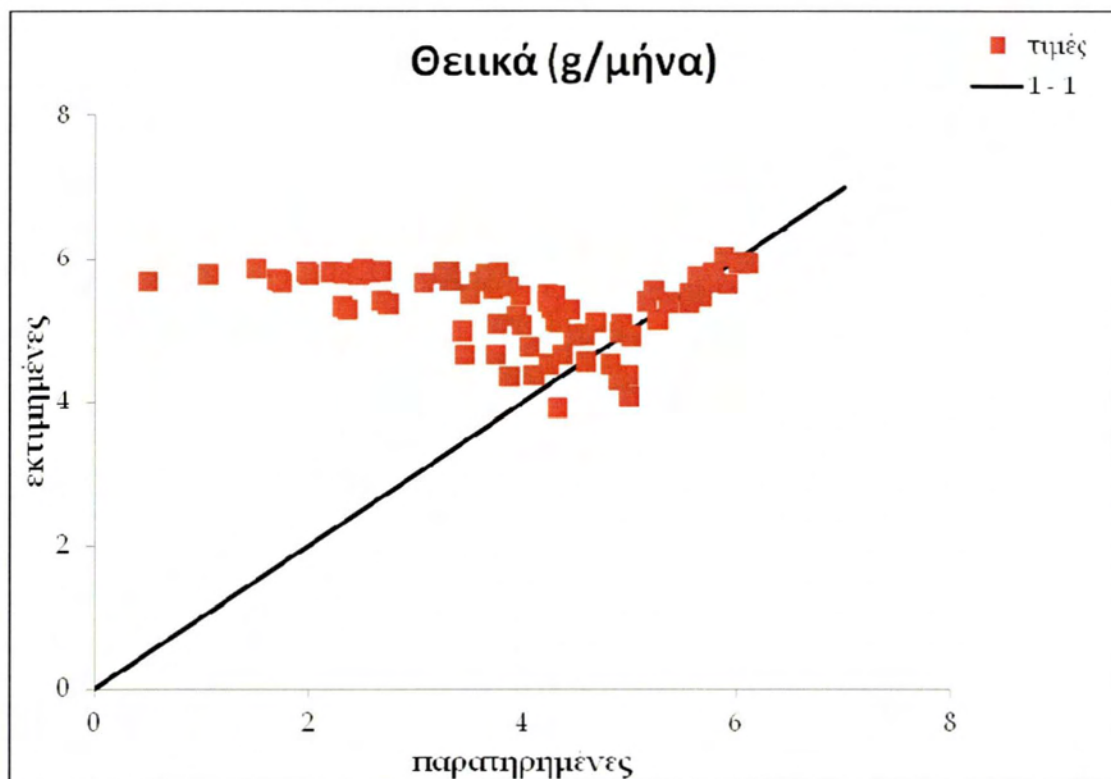
❖ Υπολεκάνη Γέφυρα Τρικάλων-Καρδίτσας



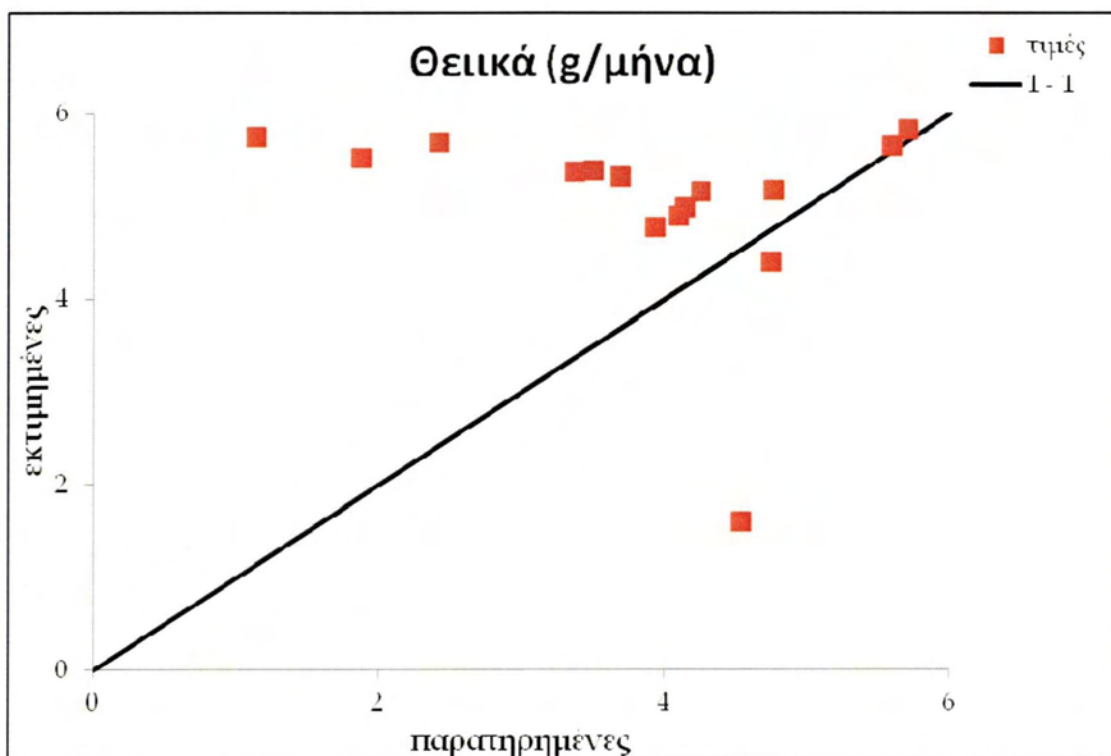
Σχήμα 4.14.α Περίοδος ανάπτυξης



Σχήμα 4.14.β Περίοδος πιστοποίησης

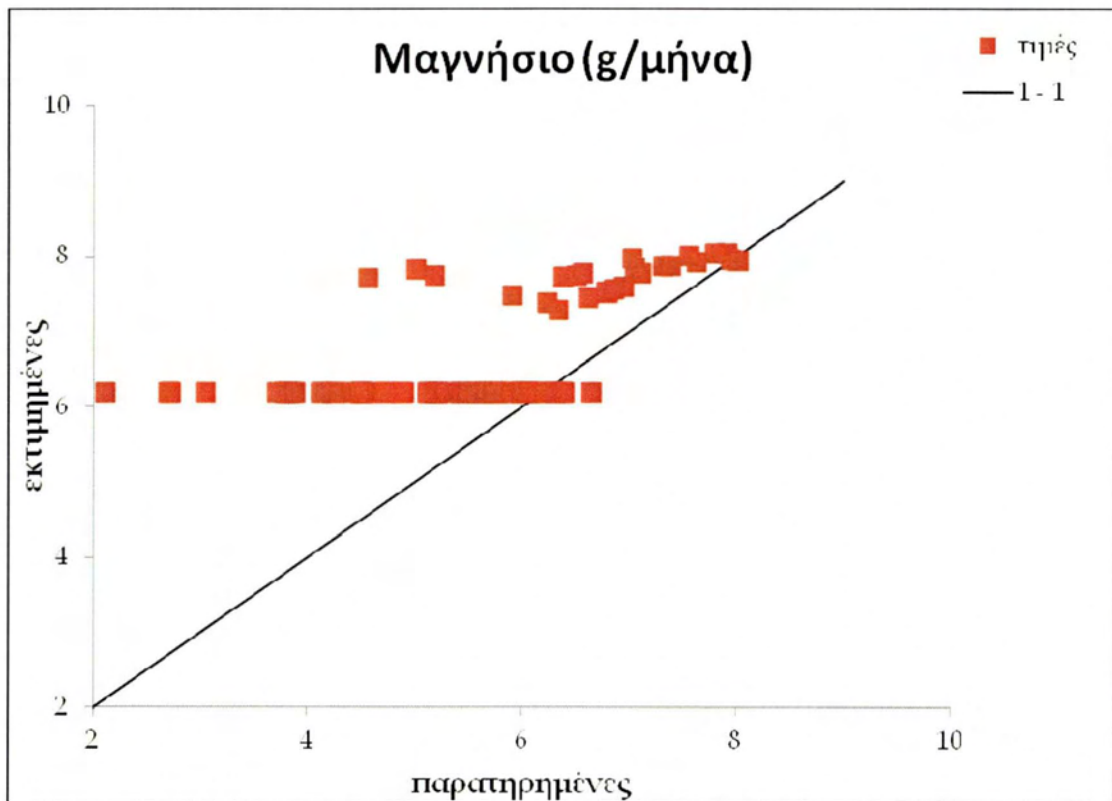


Σχήμα 4.15.α Περίοδος ανάπτυξης

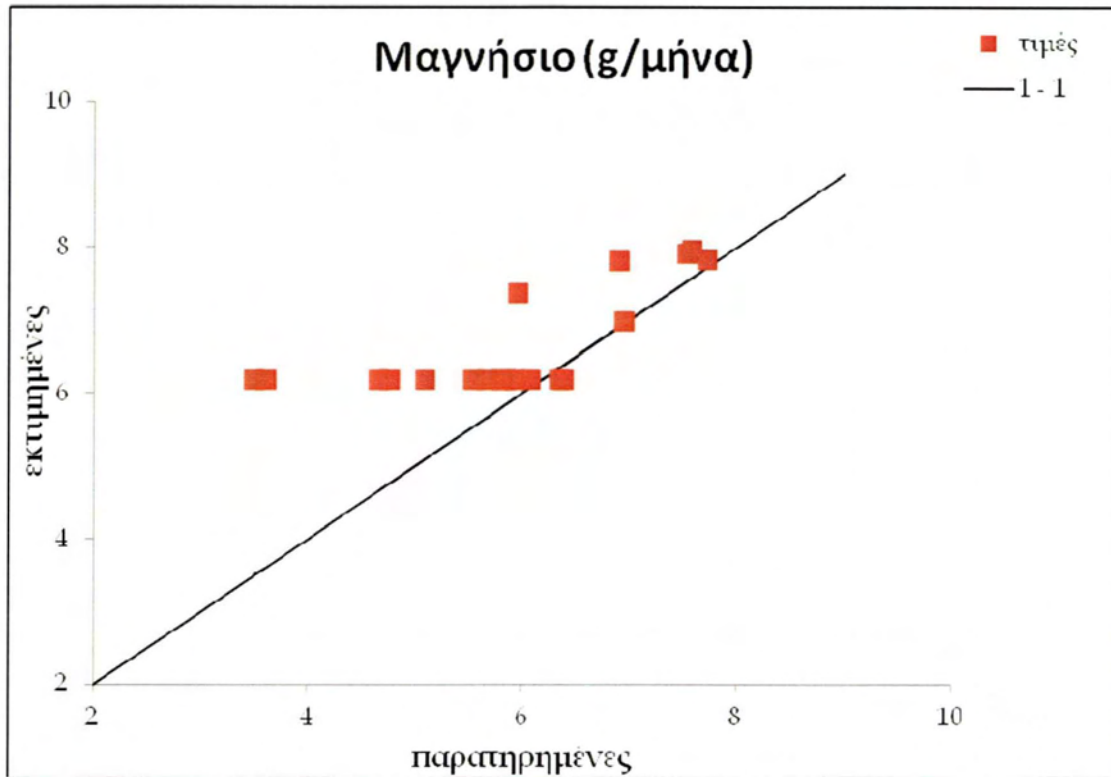


Σχήμα 4.15.β Περίοδος πιστοποίησης

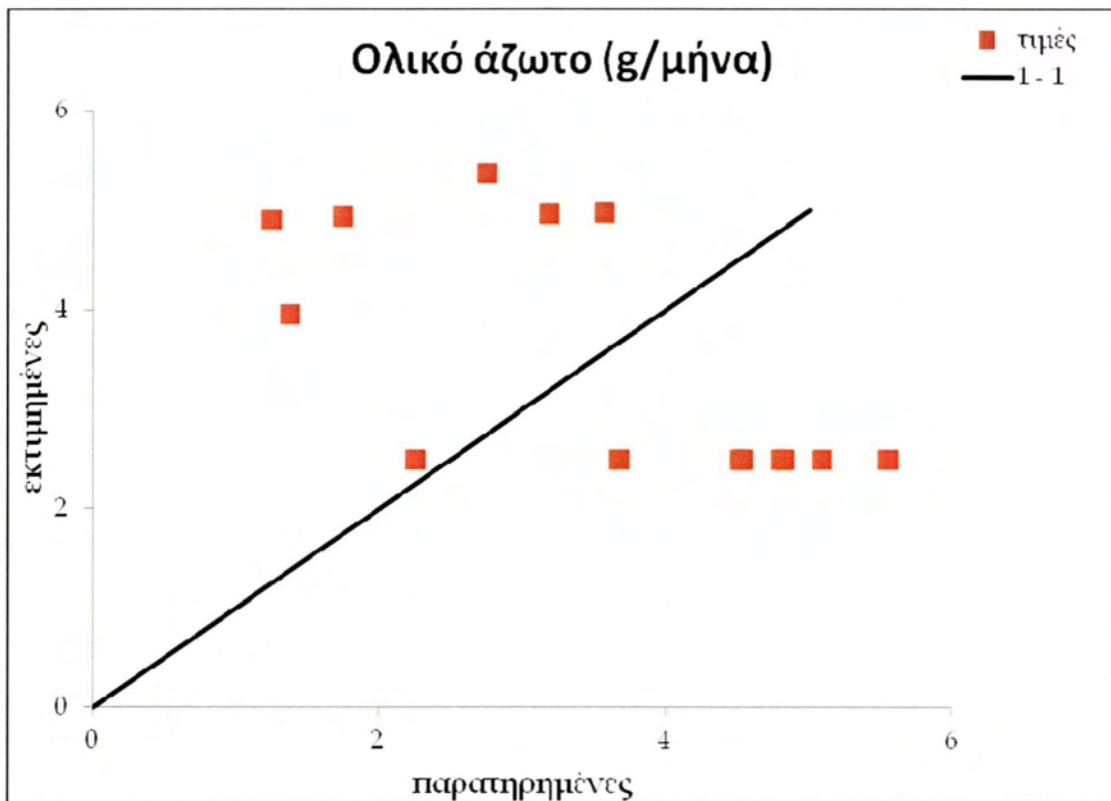




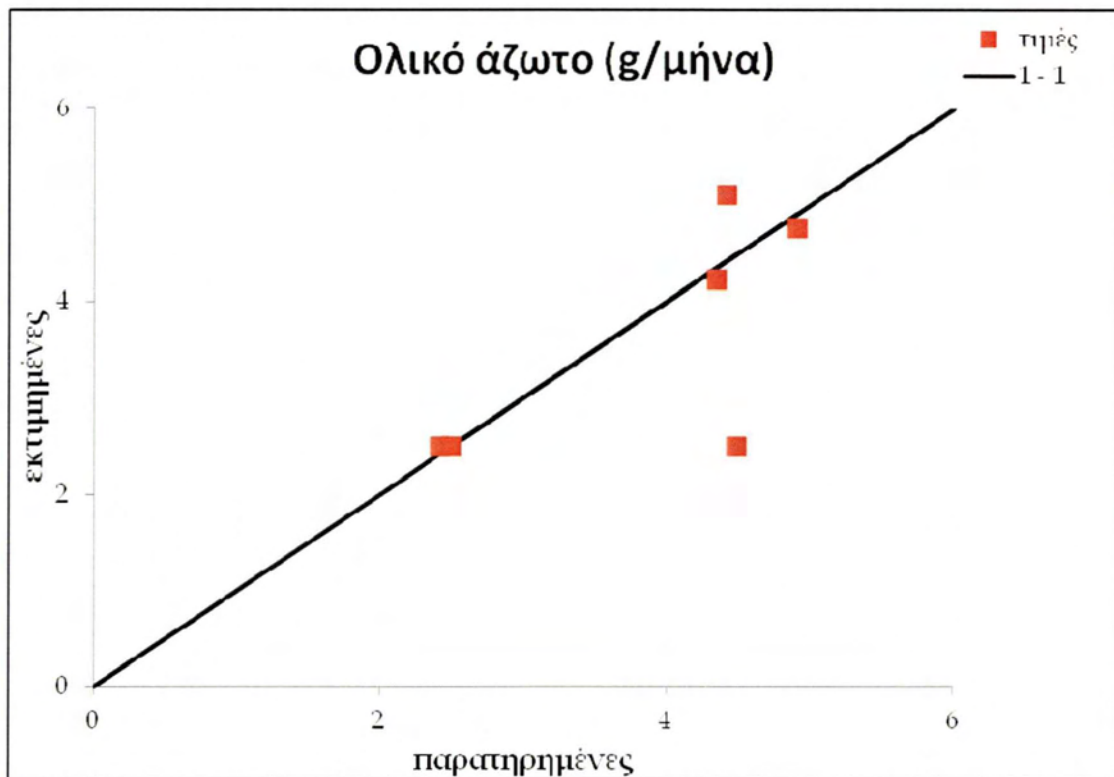
Σχήμα 4.16.α Περίοδος ανάπτυξης



Σχήμα 4.16.β Περίοδος πιστοποίησης

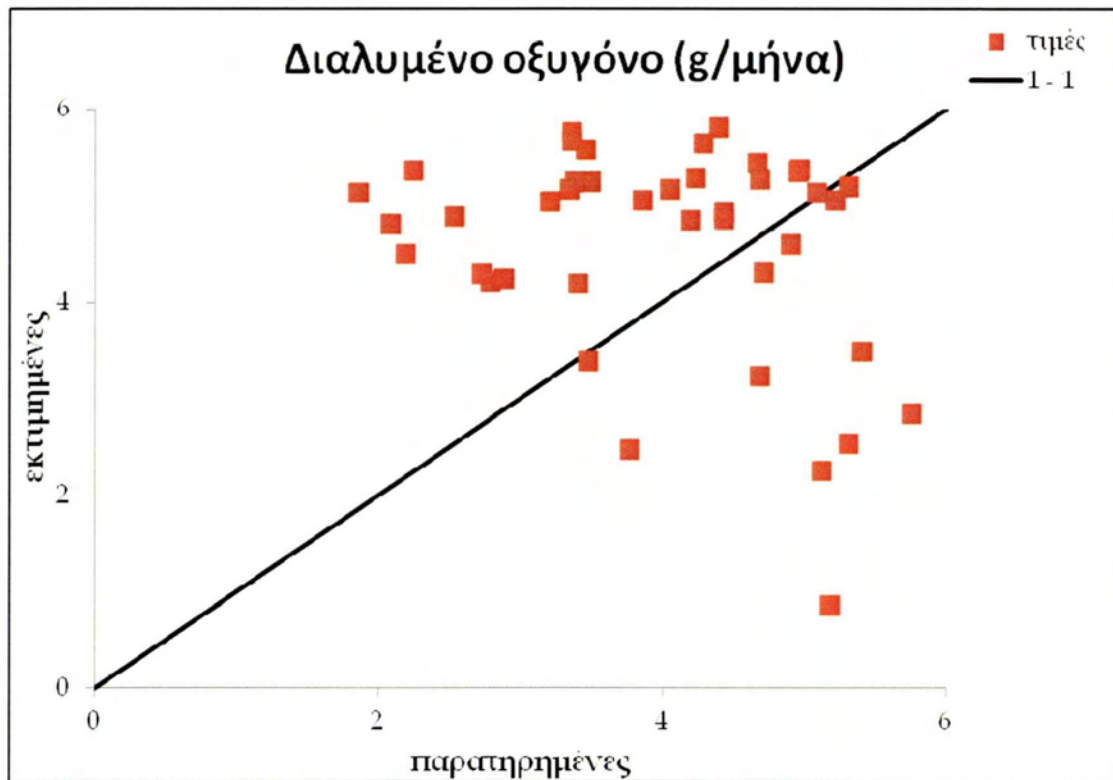


Σχήμα 4.17.α Περίοδος ανάπτυξης

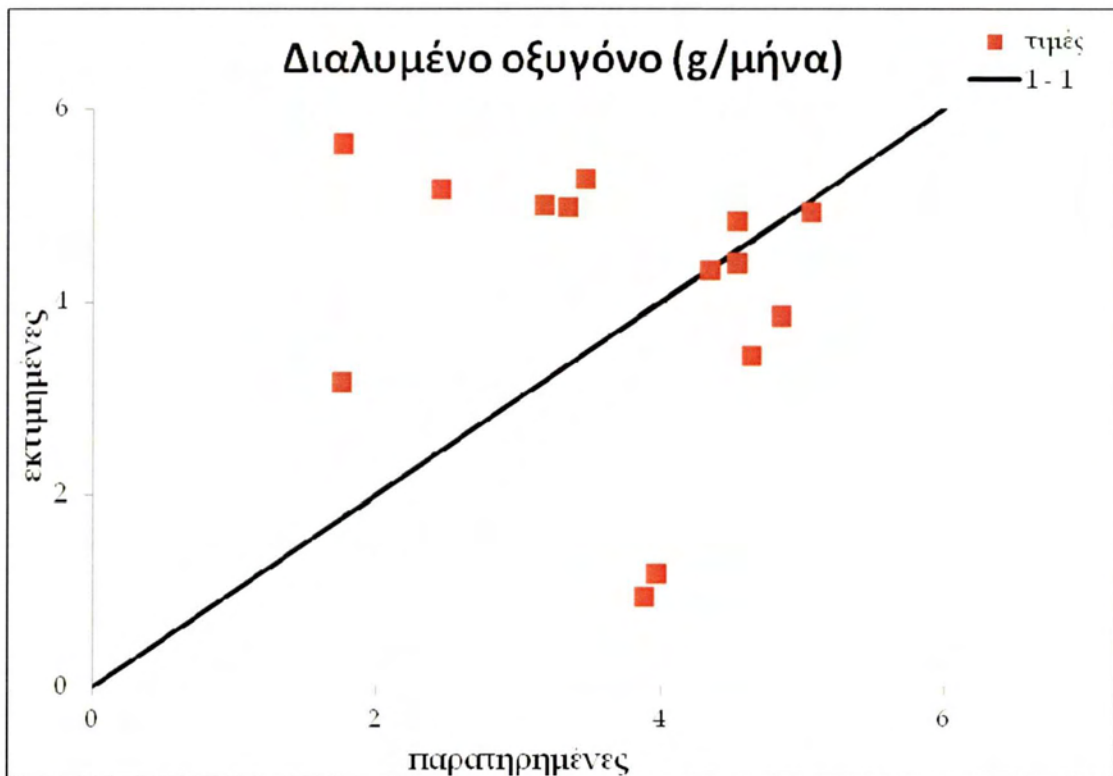


Σχήμα 4.17.β Περίοδος πιστοποίησης

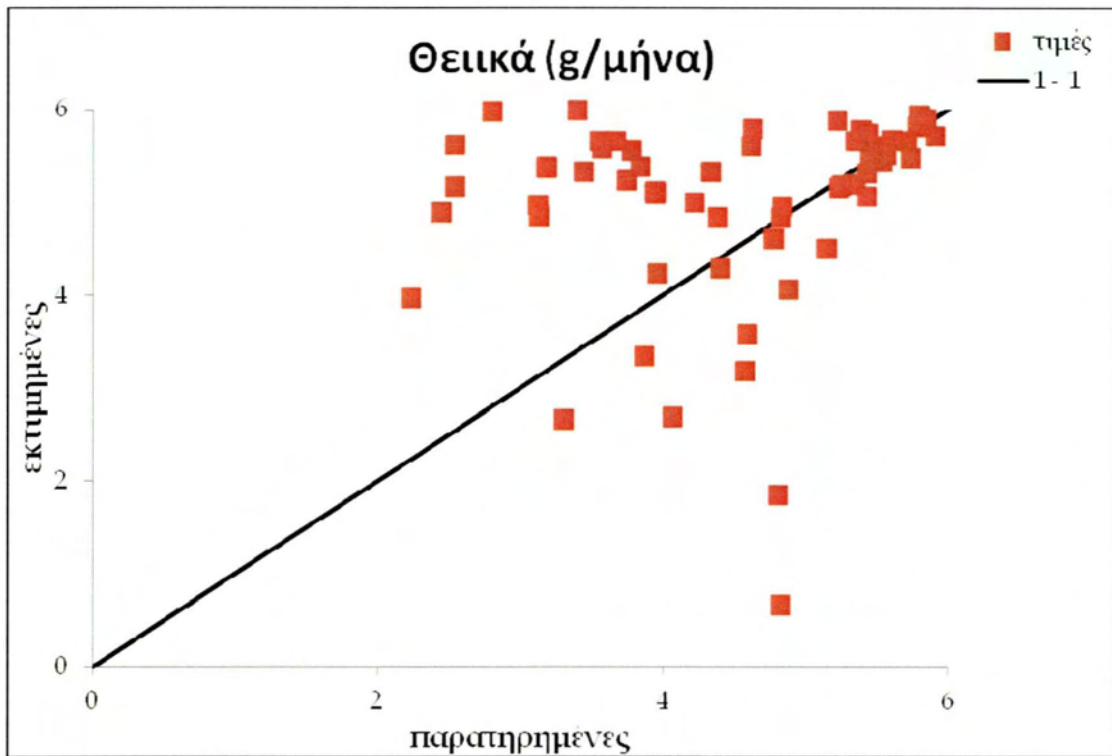
❖ Υπολεκάνη Αλή Εφέντη - Κεραμίδι



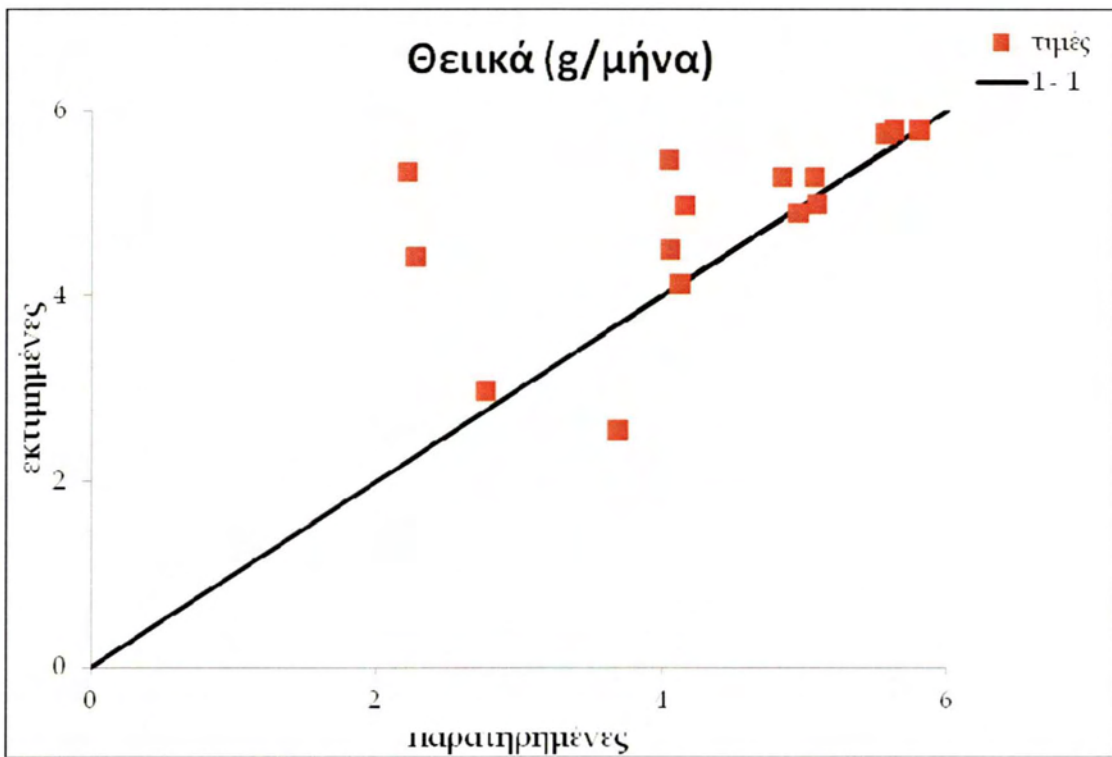
Σχήμα 4.18.α Περίοδος ανάπτυξης



Σχήμα 4.18.β Περίοδος πιστοποίησης

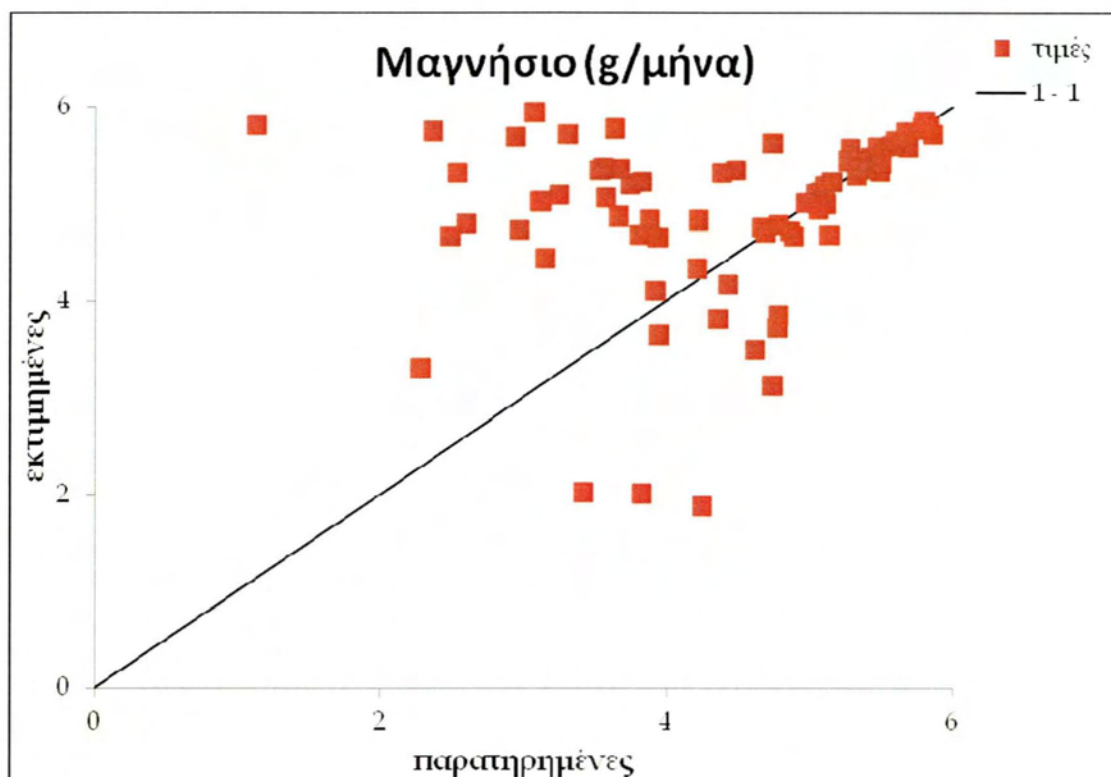


Σχήμα 4.19.α Περίοδος ανάπτυξης

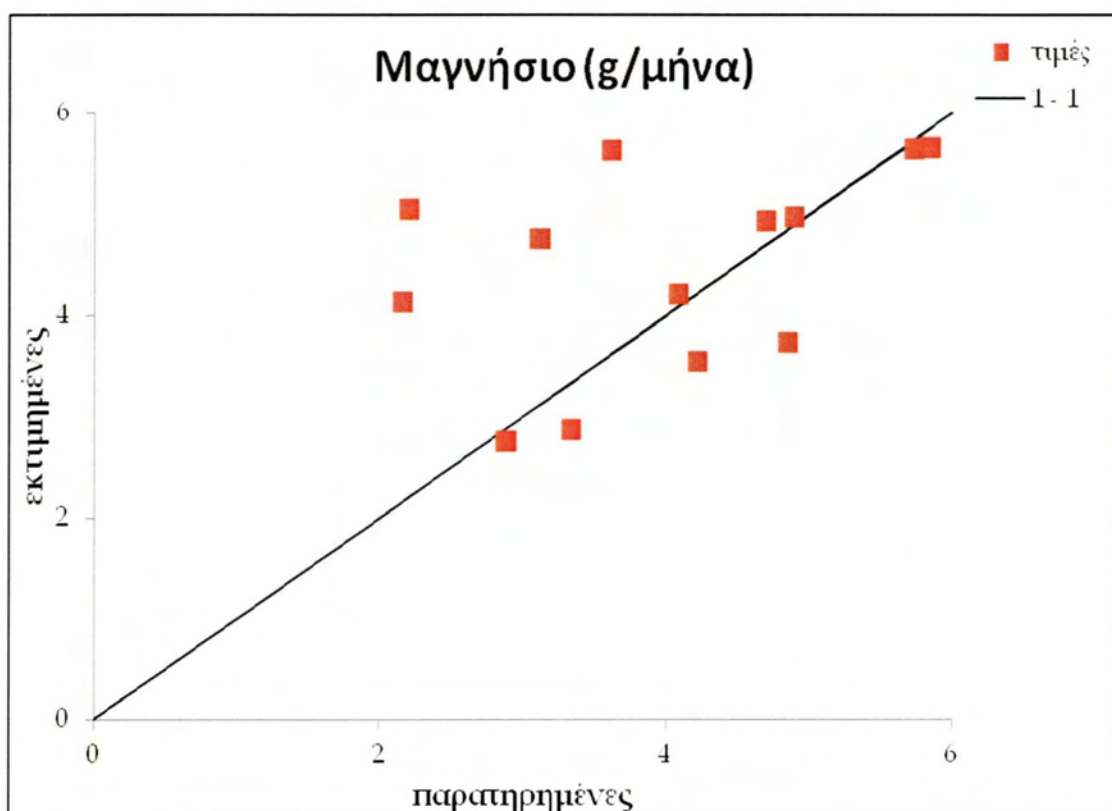


Σχήμα 4.19.β Περίοδος πιστοποίησης

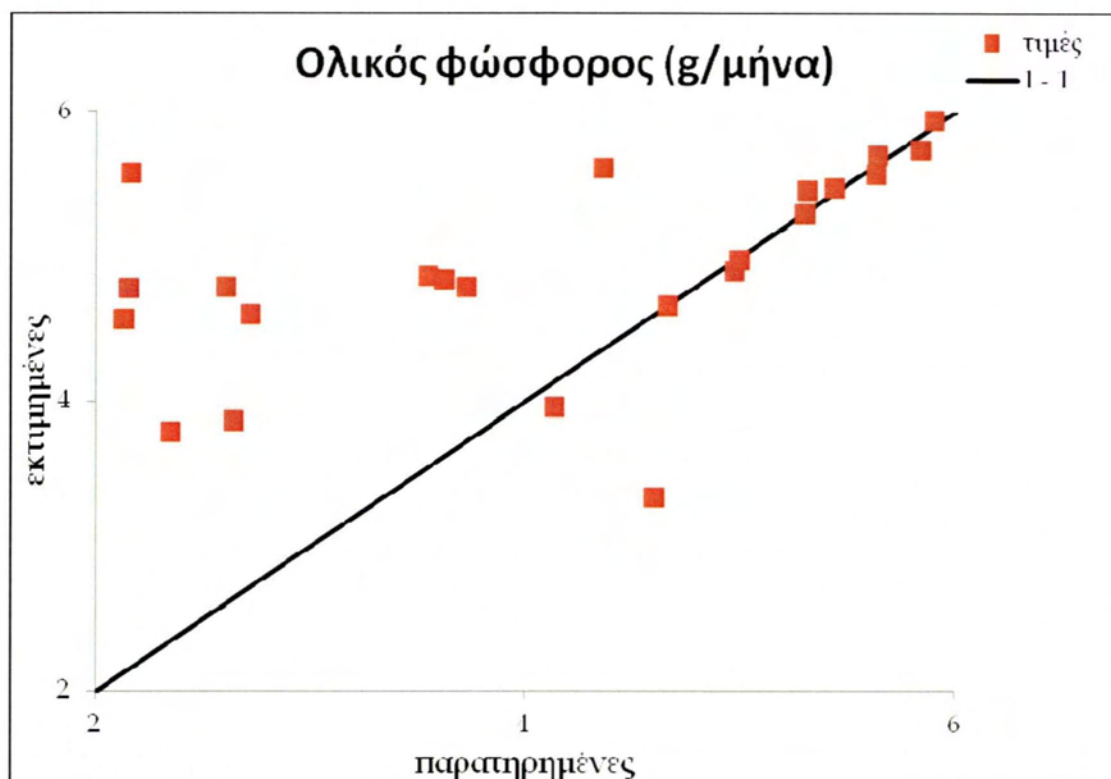




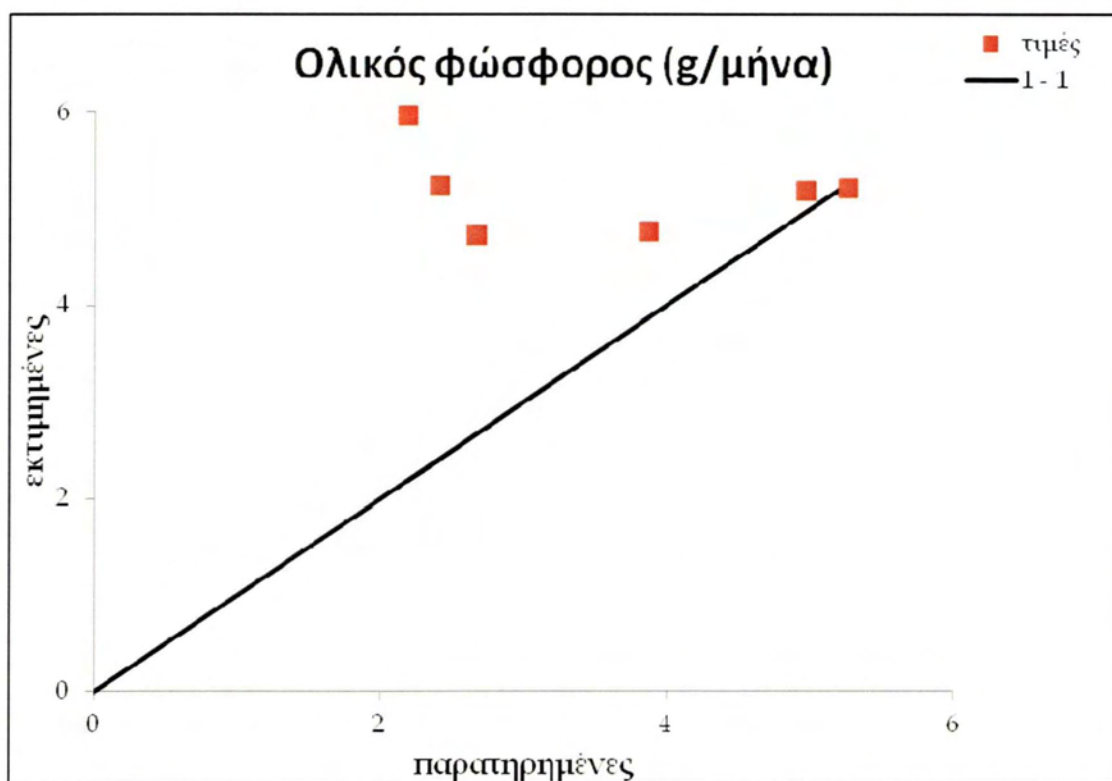
Σχήμα 4.20.α Περίοδος ανάπτυξης



Σχήμα 4.20.β Περίοδος πιστοποίησης

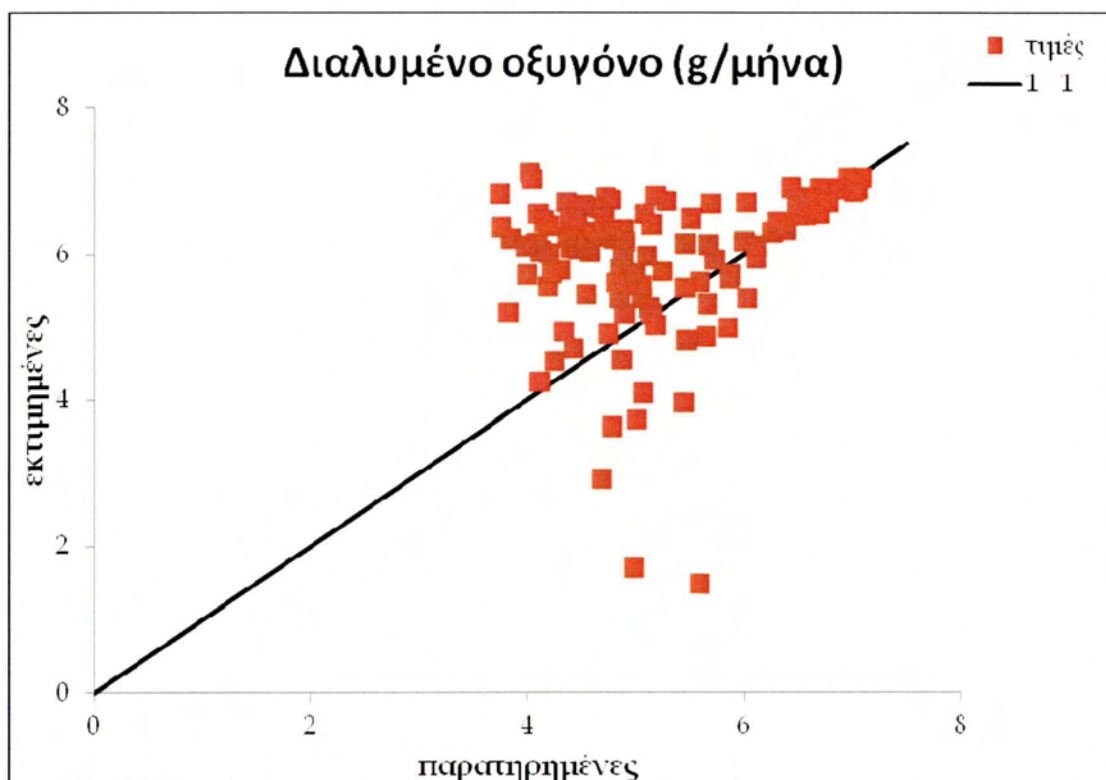


Σχήμα 4.21.α Περίοδος ανάπτυξης

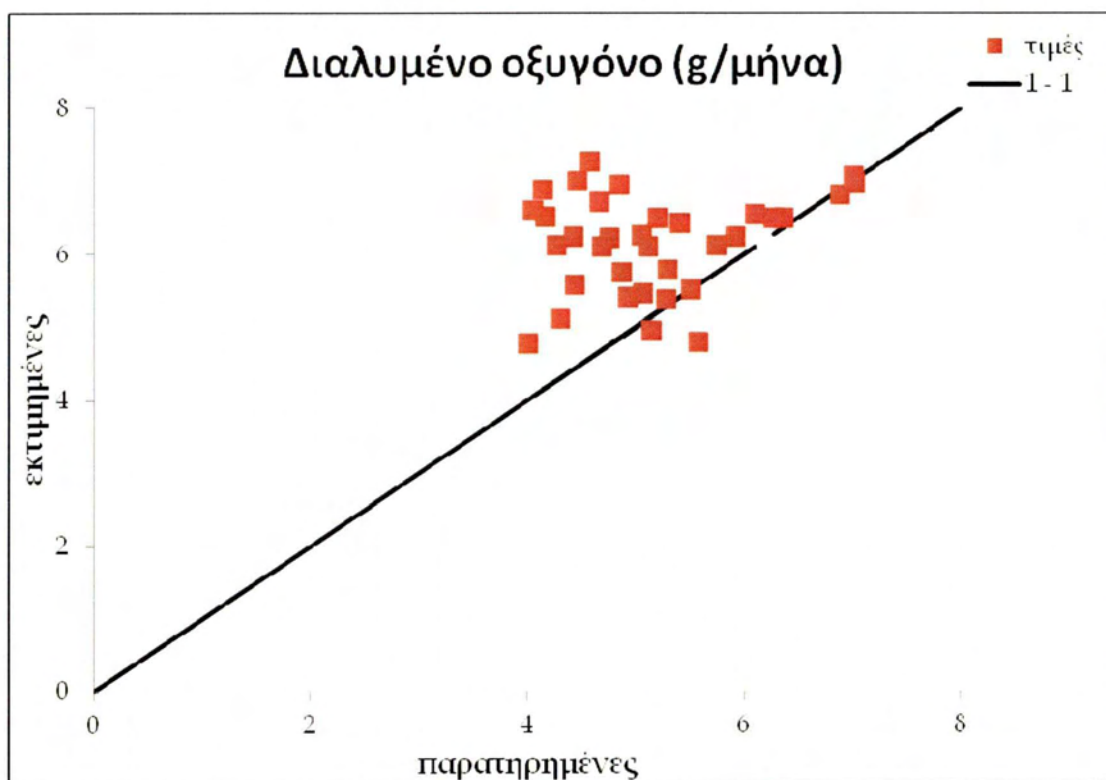


Σχήμα 4.21.β Περίοδος πιστοποίησης

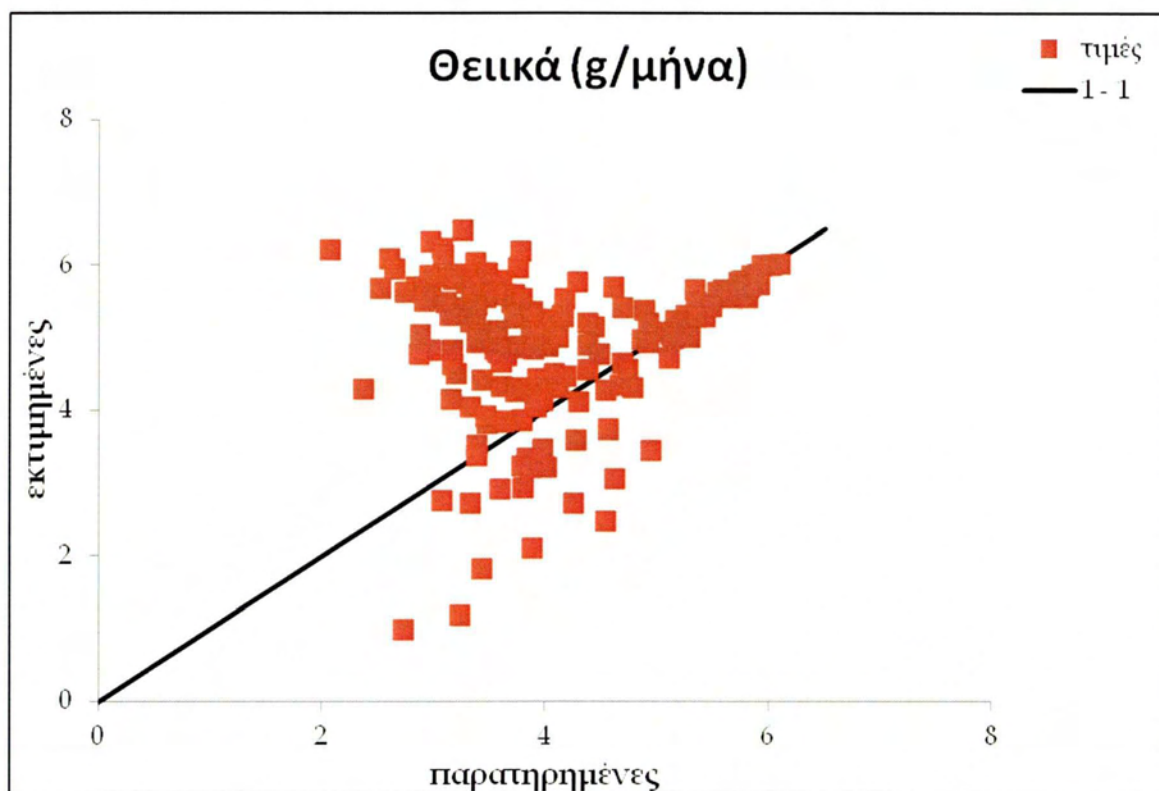
## ❖ Υπολεκάνη Λάρισας



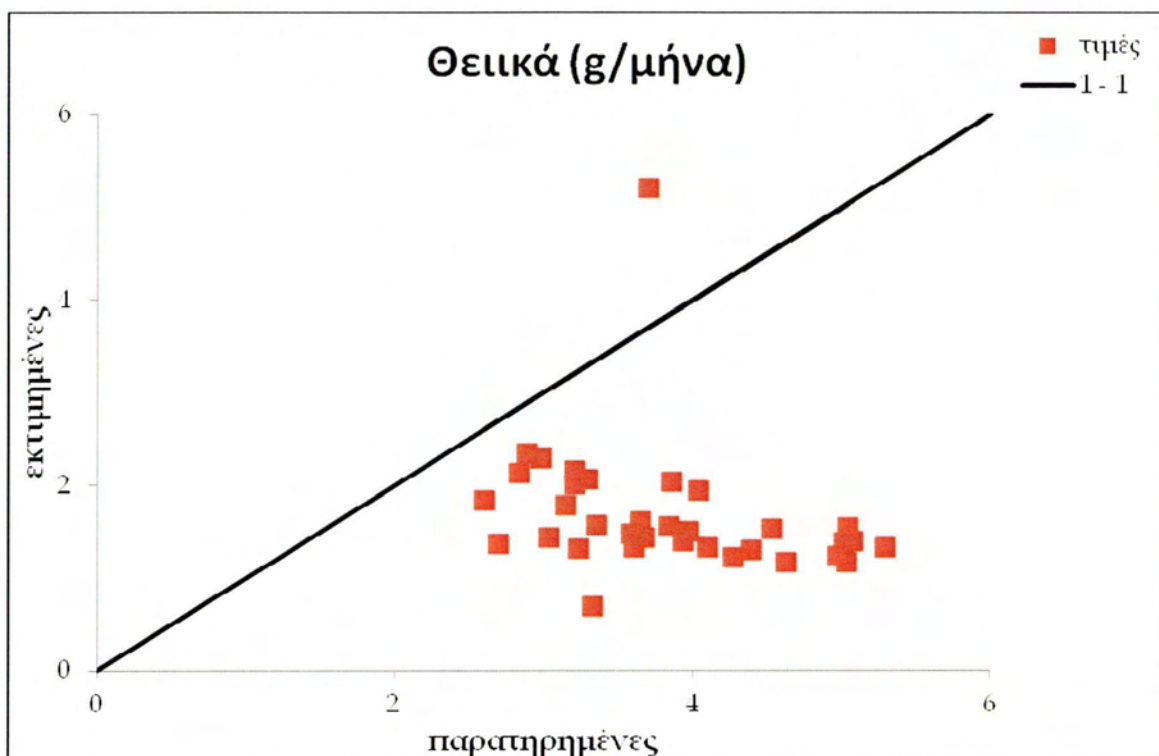
Σχήμα 4.22.α Περίοδος ανάπτυξης



Σχήμα 4.22.β Περίοδος πιστοποίησης

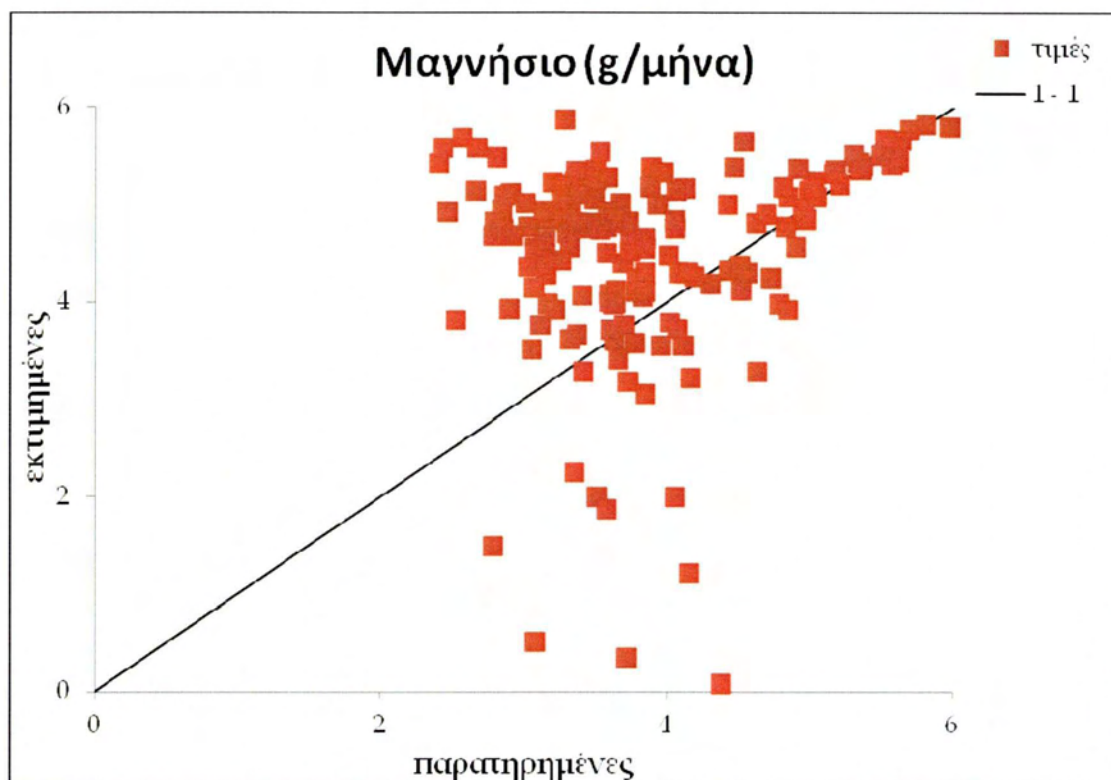


Σχήμα 4.23.α Περίοδος ανάπτυξης

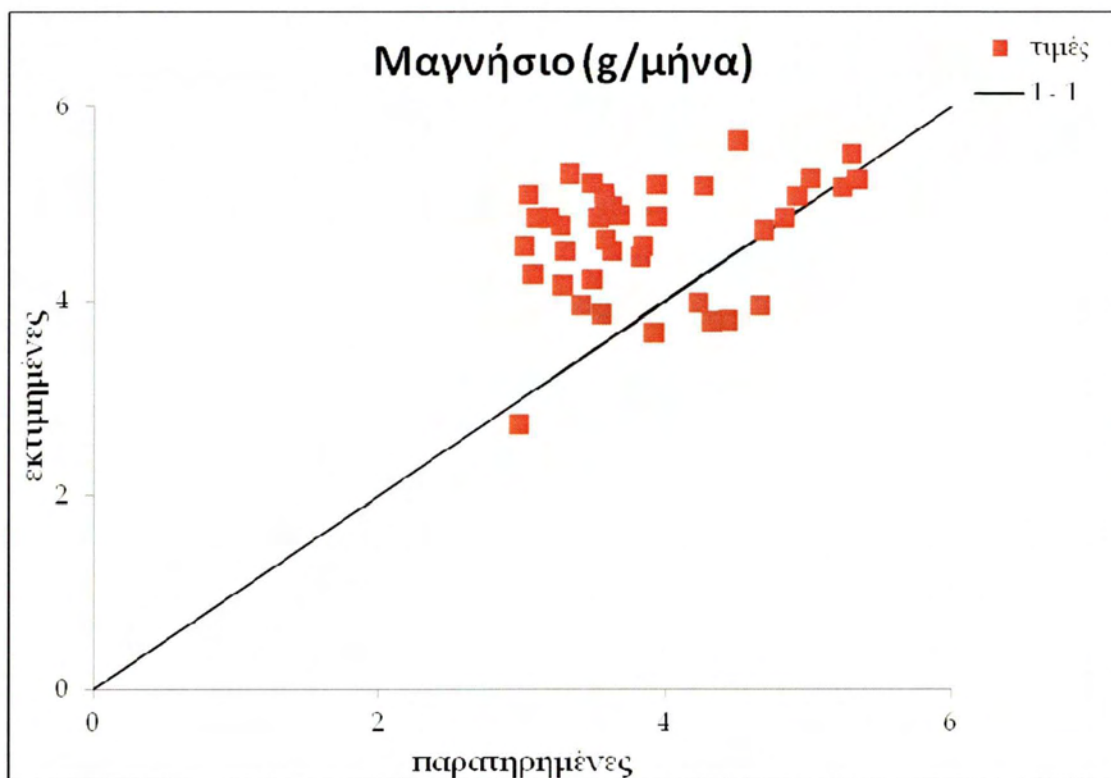


Σχήμα 4.23.β Περίοδος πιστοποίησης

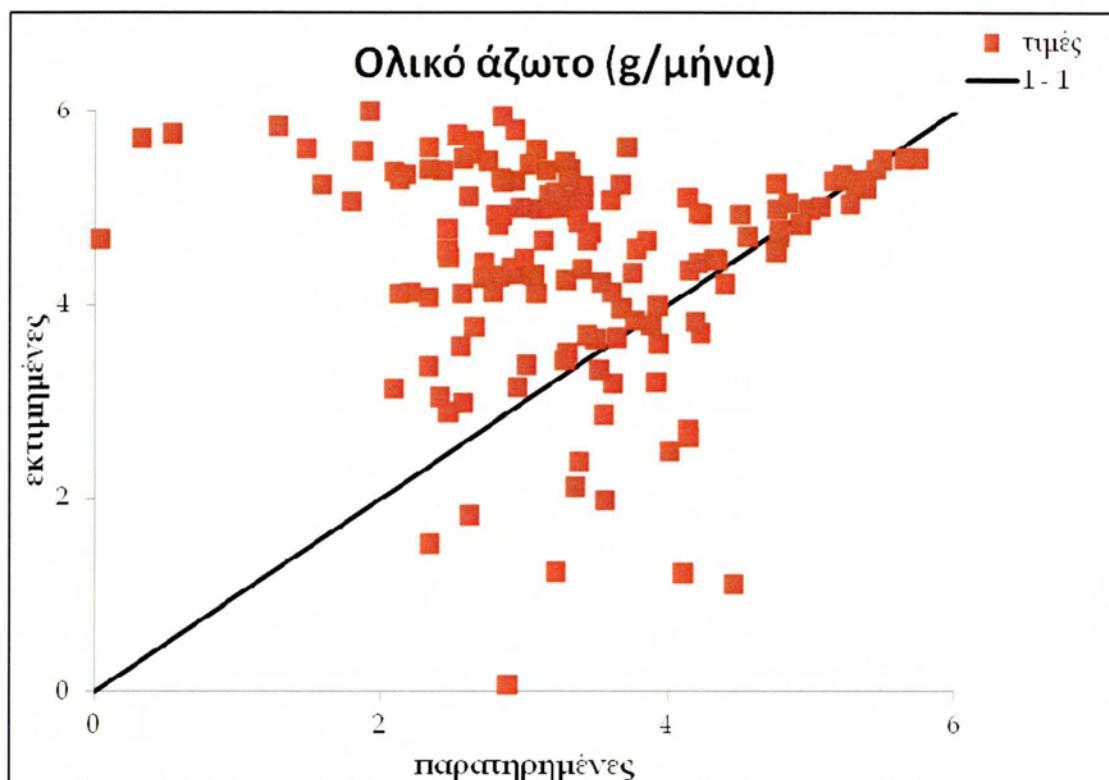




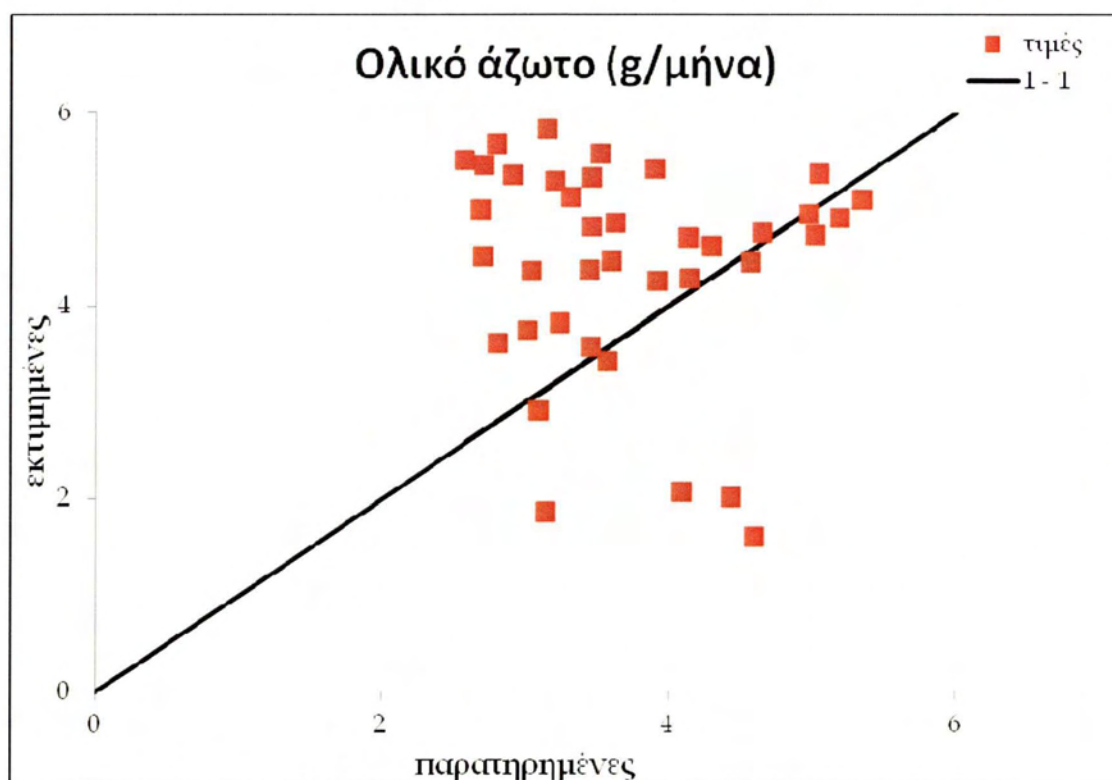
Σχήμα 4.24.α Περίοδος ανάπτυξης



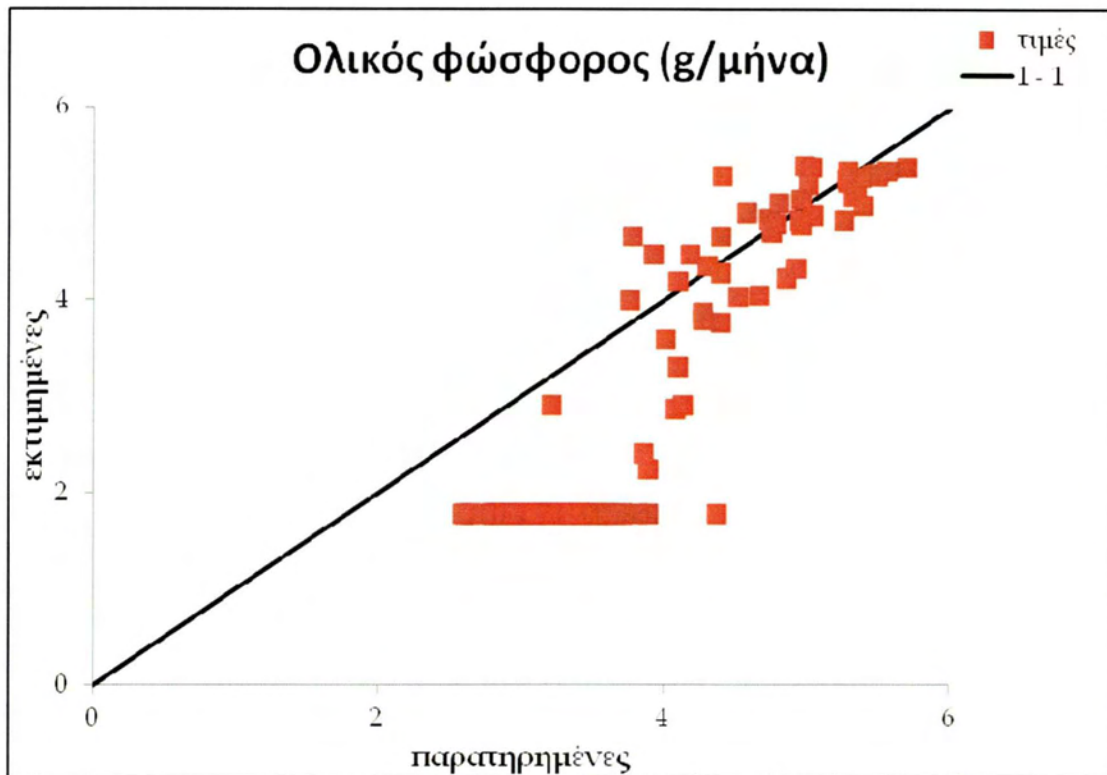
Σχήμα 4.24.β Περίοδος πιστοποίησης



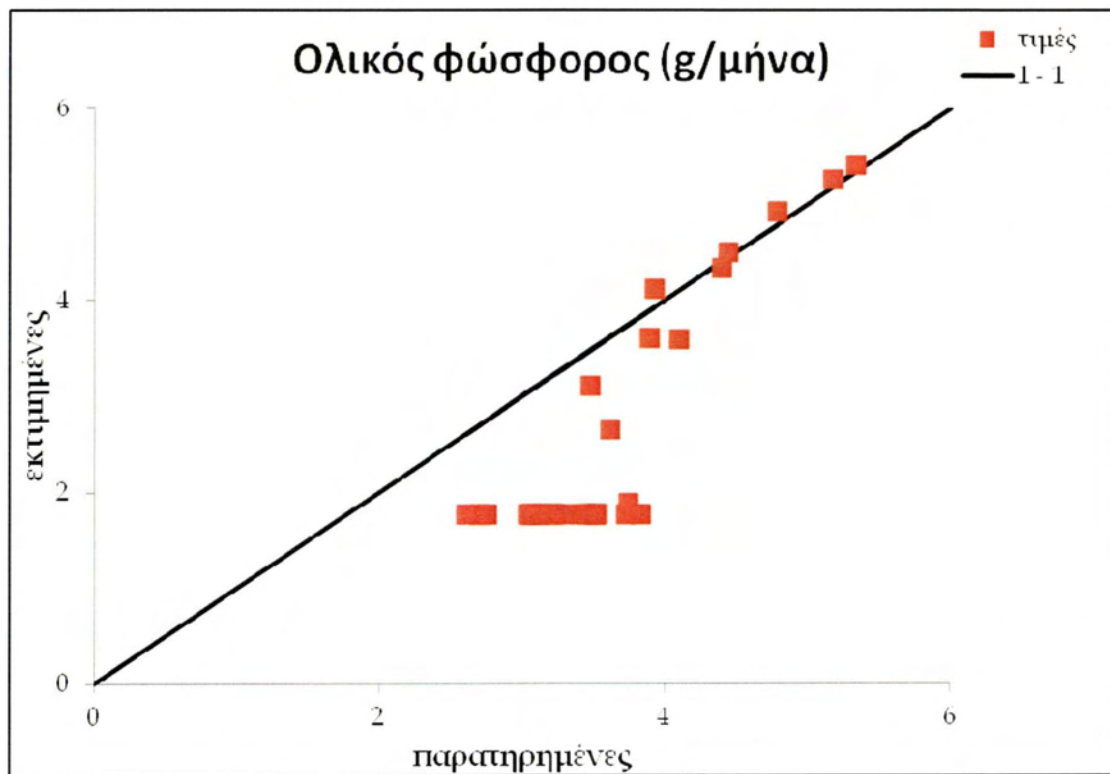
Σχήμα 4.25.α Περίοδος ανάπτυξης



Σχήμα 4.25.β Περίοδος πιστοποίησης



Σχήμα 4.26.α Περίοδος ανάπτυξης



Σχήμα 4.26.β Περίοδος πιστοποίησης

Οι σχέσεις που υπολογίστηκαν για τα φορτία σε κάθε υπολεκάνη ξεχωριστά, έχοντας υψηλά  $R^2$  είναι πολύ καλές.

Από τις σχέσεις βλέπουμε πως η βροχοπτώση, η επιφανειακή απορροή, η θερμοκρασία και η τήξη του χιονιού είναι οι παράγοντες που επηρεάζουν κυρίως το φορτίο του διαλυμένου οξυγόνου. Οι παράγοντες αυτοί συμπίπτουν με την φυσική διαδικασία με την οποία μεταβάλλονται τα επίπεδα του διαλυμένου οξυγόνου στα νερά. Η βροχοπτώση ενισχύει την απορροή, η επιφανειακή απορροή γιατί το τρεχούμενο νερό λόγω της κίνησής του διαλύει περισσότερο οξυγόνο από το στάσιμο και τέλος τα επίπεδα του διαλυμένου οξυγόνου εξαρτώνται άμεσα από την θερμοκρασία και το υψόμετρο (από το υψόμετρο προκύπτει η τήξη του χιονιού).

Το φορτίο των θεικών εξαρτάται από την βροχοπτώση, την τήξη του χιονιού και την επιστροφή από τον υπόγειο υδροφορέα σύμφωνα με τις σχέσεις. Γεγονός λογικό καθώς το νερό της βροχής είναι σημαντική πηγή θεικών, η επιστροφή από τον υπόγειο υδροφορέα δικαιολογείται καθώς τα θειικά μπορεί να έχουν περάσει στον υπόγειο υδροφορέα μέσω αποσάθρωσης και διάβρωσης πετρωμάτων και η τήξη του χιονιού με το νερό που κυλάει και τις φερτές ύλες που μεταφέρει.

Παρατηρώντας τις σχέσεις, βλέπουμε πως το φορτίο του μαγνήσιου εξαρτάται κυρίως από την βροχοπτώση και δευτερευόντως από τήξη του χιονιού, την επιφανειακή απορροή και την κατέισδυση στον υπόγειο υδροφορέα. Αυτό συνάδει με την φυσική διαδικασία, καθώς η βροχή ξεπλένει τους κόκκους εδάφους, οι οποίοι έχουν δεσμεύσει το μαγνήσιο.

Από της υπολογισμένες σχέσεις παρατηρούμε την εξάρτηση του ολικού άζωτου από την βροχοπτώση και την επιστροφή από τον υπόγειο υδροφορέα. Εάν τα νιτρικά δεν απορροφηθούν από τα φυτά, τότε θα ξεπλυθούν από το έδαφος με τις βροχές (διαδικασία γνωστή ως απόπλυση). Στην περίπτωση που τα φυτά συγκρατήσουν το άζωτο, αφού το χρησιμοποιήσουν μετά από καιρό αποβάλουν νιτρικά τα οποία καταλήγουν στον υπόγειο υδροφορέα. Έτσι αυτά εμφανίζονται ξανά ως επιστροφή με κάποια χρονική υστέρηση.



Τέλος από τις σχέσεις του ολικού φωσφόρου, βλέπουμε εξάρτηση του φορτίου του από την βροχόπτωση, την τήξη του χιονιού, την επιστροφή από τον υπόγειο υδροφορέα και την θερμοκρασία. Με την βροχόπτωση έχουμε απόπλυση του φωσφόρου που έχει κατακρατηθεί στο έδαφος. Τα νερά που προέρχονται από την τήξη του χιονιού μεταφέρουν φερτές ύλες, μερικές εκ των οποίων μπορεί να προέρχονται από διάβρωση φωσφορικών πετρωμάτων. Επιστροφή από τον υπόγειο υδροφορέα μπορεί να μεταφέρει φώσφορο που προέρχεται από διάβρωση φωσφορικών πετρωμάτων στο υπέδαφος. Επίσης υψηλές θερμοκρασίες αυξάνουν το ρυθμό αποικοδόμησης των οργανικών ουσιών και συνεπώς την απελευθέρωση φωσφόρου.

### 4.3.2 Ολόκληρη η λεκάνη του Πηνειού

Στον παρακάτω πίνακα παραθέτουμε τις σχέσεις που προέκυψαν για τα φορτία των ποιοτικών χαρακτηριστικών για ολόκληρη τη λεκάνη απορροής του Πηνειού ποταμού λαμβάνοντας υπόψη και τις χρήσεις γης.

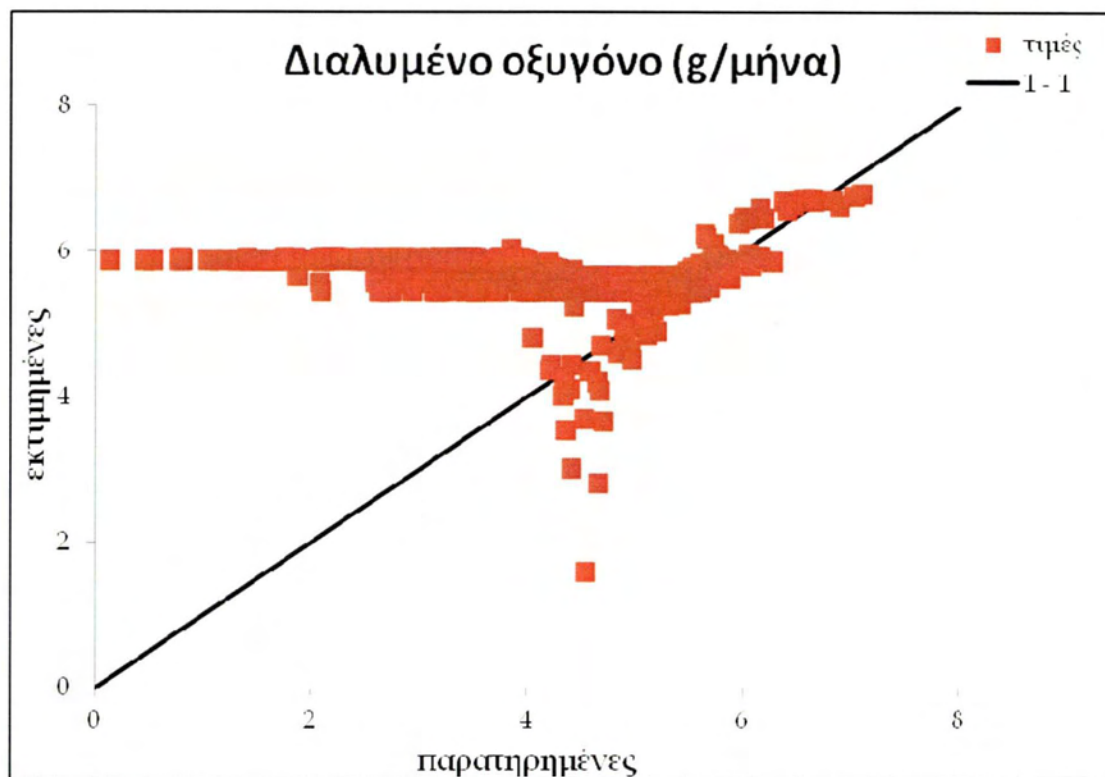
Πίνακας 4.4 Σχέσεις φορτίων ποιοτικών για ολόκληρη τη λεκάνη του Πηνειού

<b>Διαλυμένο οξυγόνο (DO)</b>
$R^2 = 0,87$ , $SEE = 124,23736$
$y = 67,969 \text{ miard} + 140,686 \text{ epif} + 28,726 \text{ ard} + 44,545 \text{ upog} - 241,211 \text{ ast} + 19,356 \text{ xort} - 1548,719$
<b>Θειικά (<math>\text{SO}_4^{2-}</math> )</b>
$R^2 = 0,974$ , $SEE = 167,0662$
$y = 1035,298 \text{ xort} - 282,996 \text{ das} + 3576,403 \text{ epistr} - 3548,305 \text{ upog} - 603,48 \text{ miard} - 16698,142 \text{ epid} + 115,061 \text{ epif} + 45277,896$
<b>Μαγνήσιο (<math>\text{Mg}^{2+}</math> )</b>
$R^2 = 0,658$ , $SEE = 435,82903$
$y = -67,545 \text{ das} + 526,624 \text{ brox} - 3101,683 \text{ ugr} - 31,846 \text{ therm} + 15865,667$
<b>Ολικό Αζωτο (TN)</b>
$R^2 = 0,526$ , $SEE = 50,26228$
$y = 42,778 \text{ epif} + 29,339 \text{ epistr} - 61,605$
<b>Ολικός Φώσφορος (TP)</b>
$R^2 = 0,796$ , $SEE = 46,34627$
$y = -10,184 \text{ das} - 33,372 \text{ epif} - 21,263 \text{ epistr} + 20,955 \text{ tix} + 103,738$

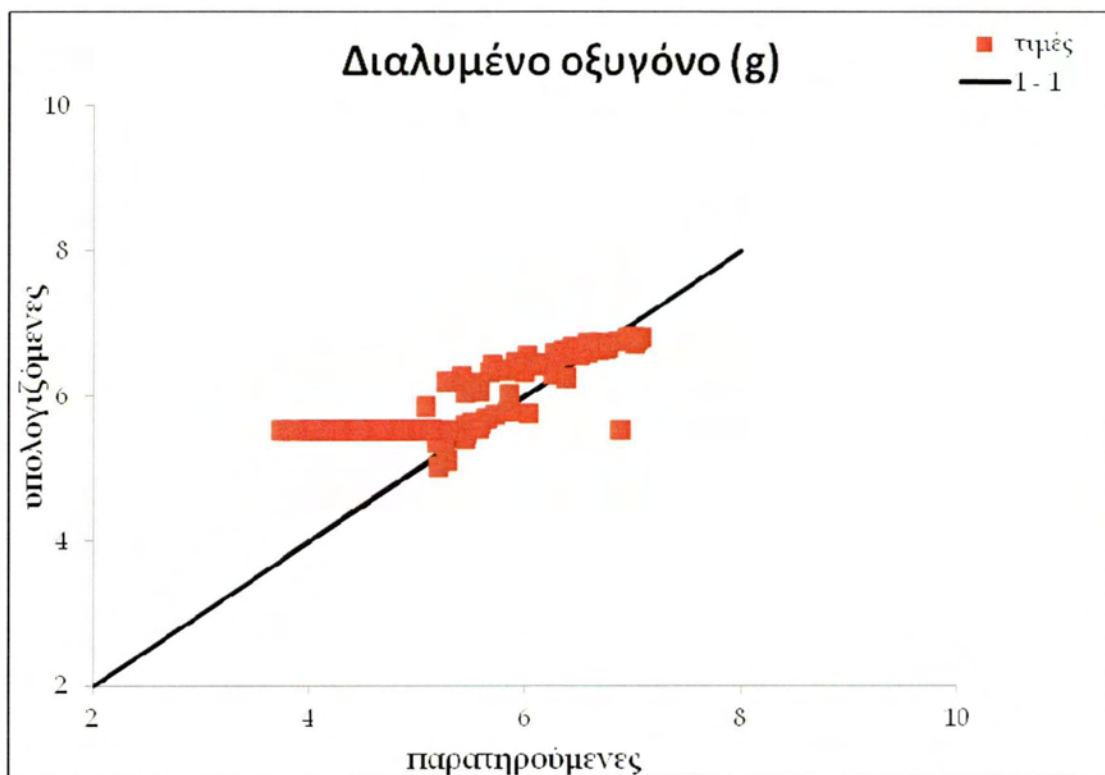
όπου,

das :	δασικές εκτάσεις	epif :	επιφανειακή απορροή
xer :	χέρσες εκτάσεις	epid :	επιδερμική απορροή
xort :	χορτολιβαδικές εκτάσεις	upog :	κατεισδυση στον υπόγειο υδροφορέα
ard :	αρδευόμενες εκτάσεις	epistr :	επιστροφή από τον υπόγειο υδροφορέα
miard :	μη αρδευόμενες εκτάσεις	brox :	βροχόπτωση
ugr :	εδαφική υγρασία	tix :	τήξη χιονιού
		therm :	θερμοκρασία

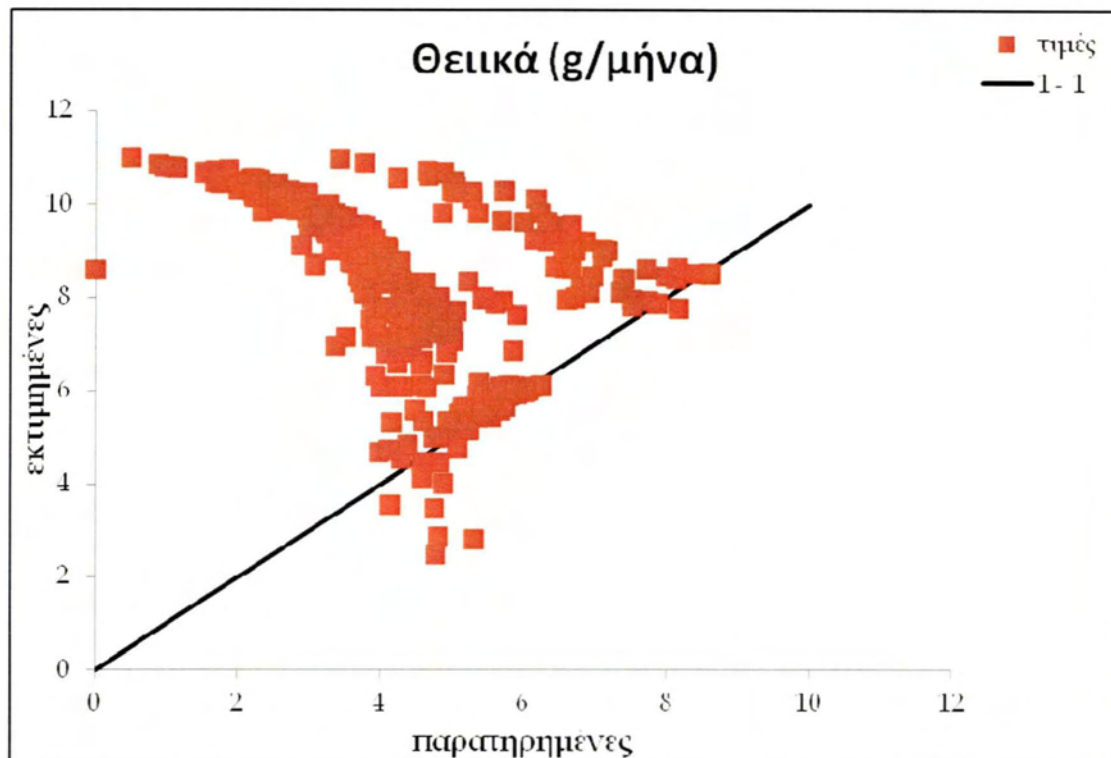
Ακολουθούν τα διαγράμματα διασποράς (validation) των παραπάνω σχέσεων:



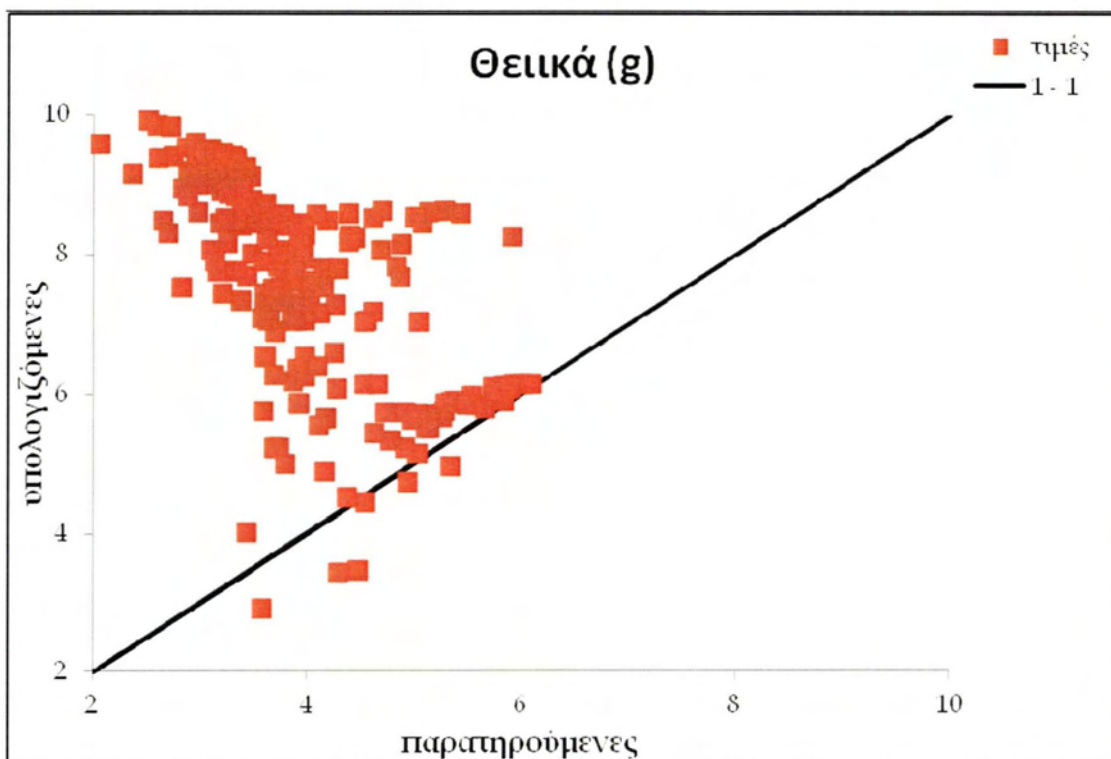
Σχήμα 4.27.α Περίοδος ανάπτυξης



Σχήμα 4.27.β Περίοδος πιστοποίησης

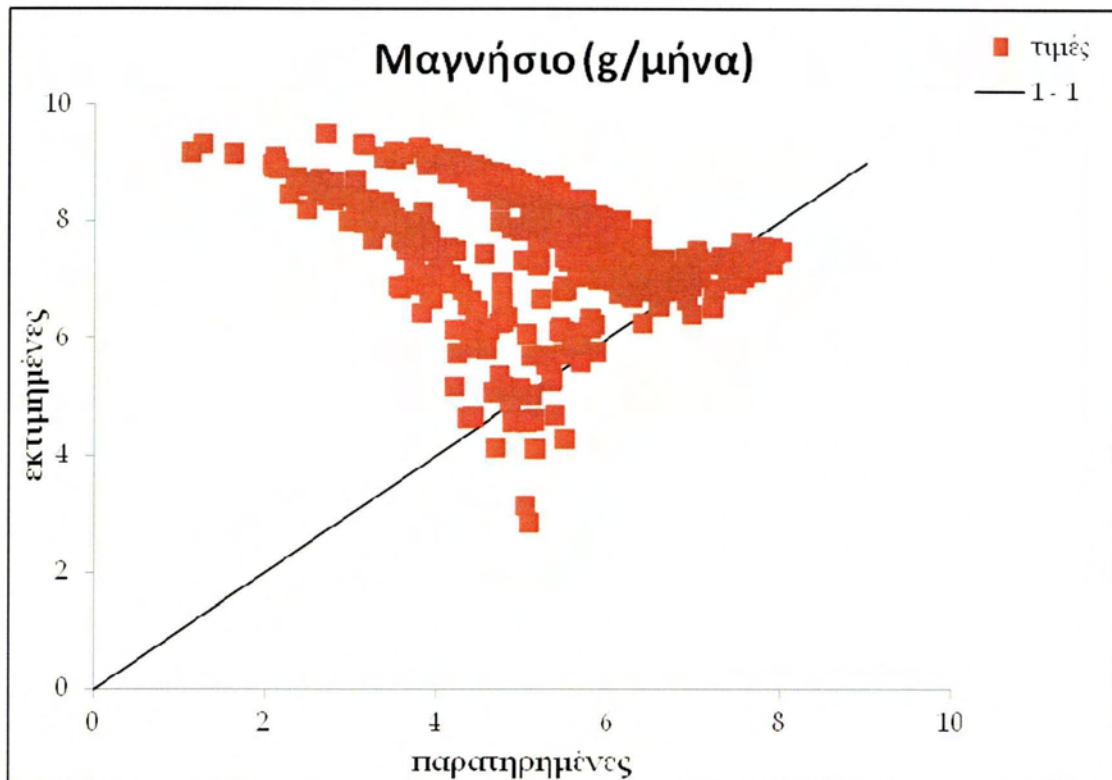


Σχήμα 4.28.α Περίοδος ανάπτυξης

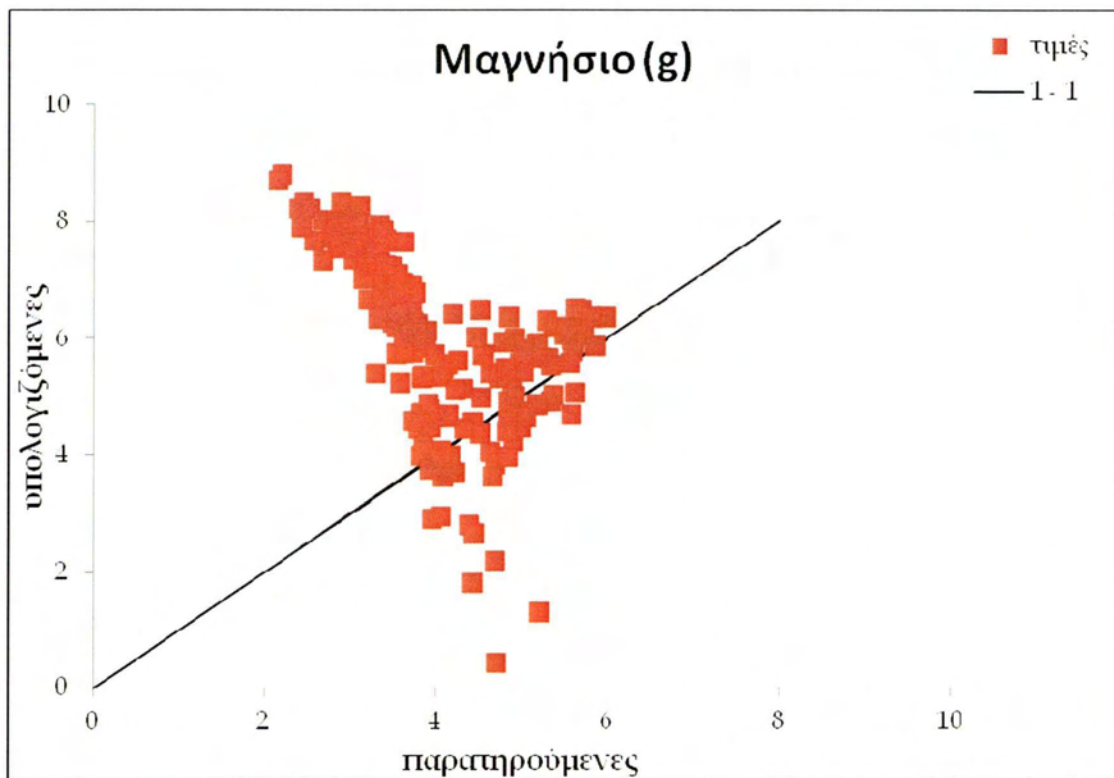


Σχήμα 4.28.β Περίοδος πιστοποίησης

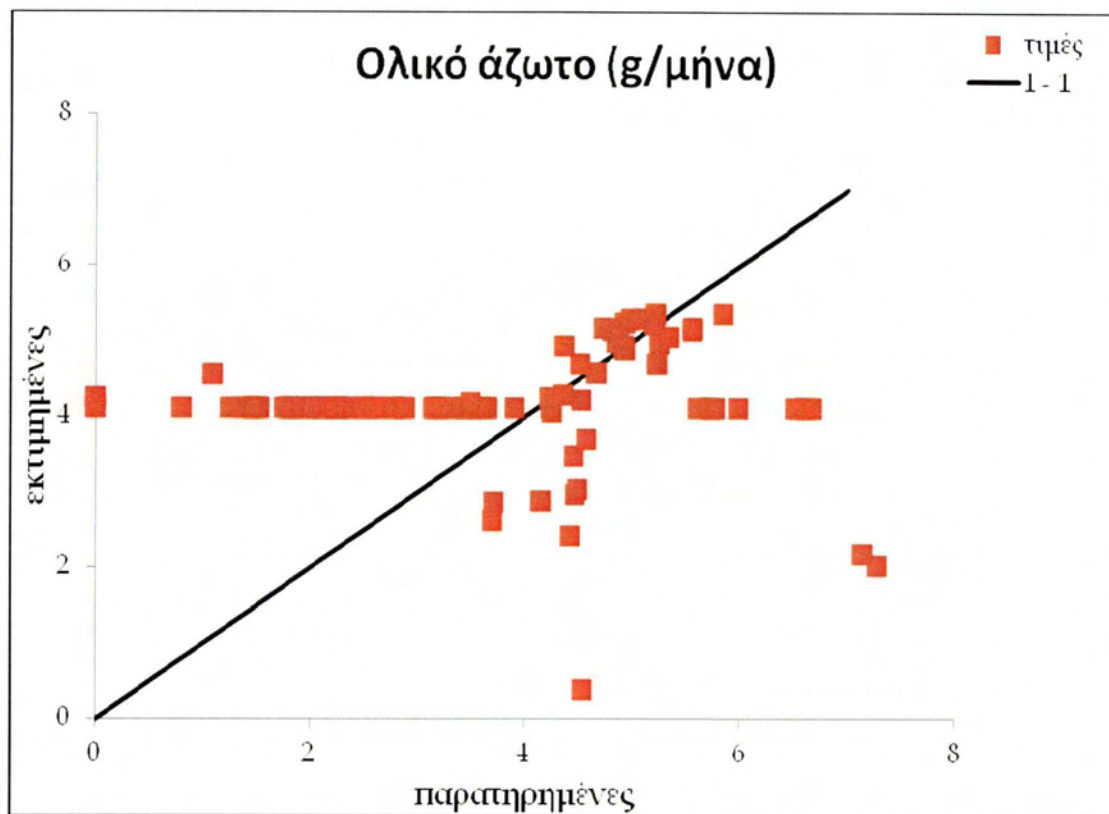




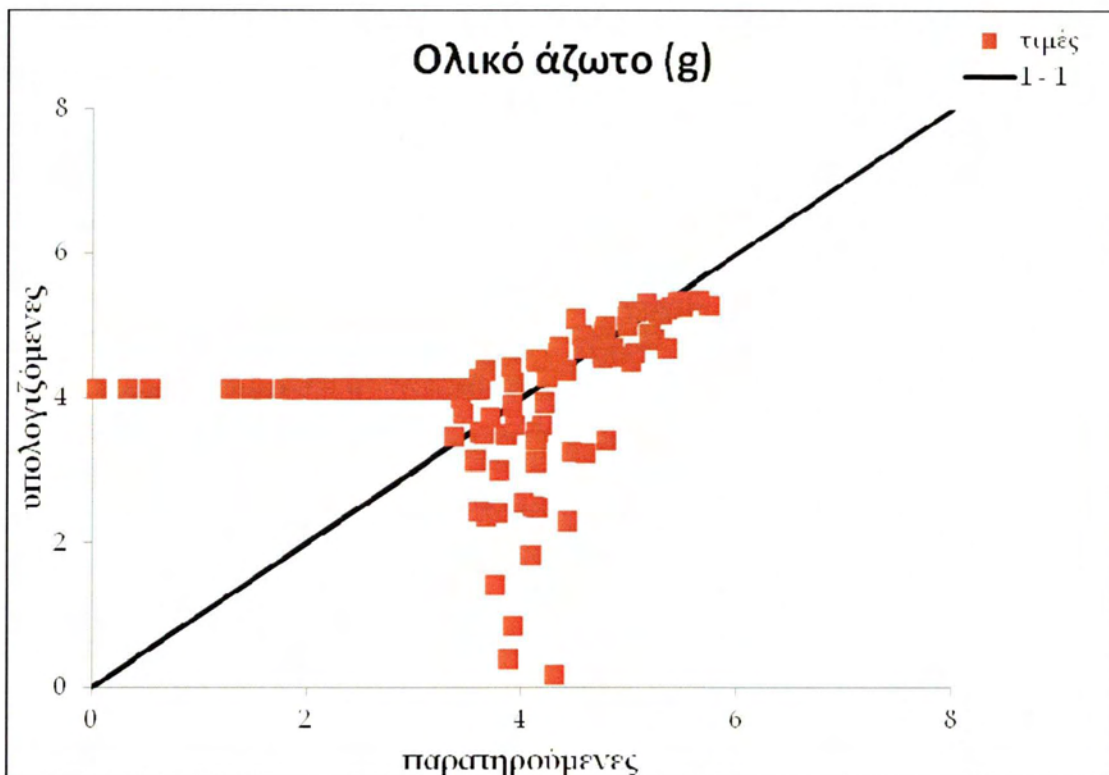
Σχήμα 4.29.α Περίοδος ανάπτυξης



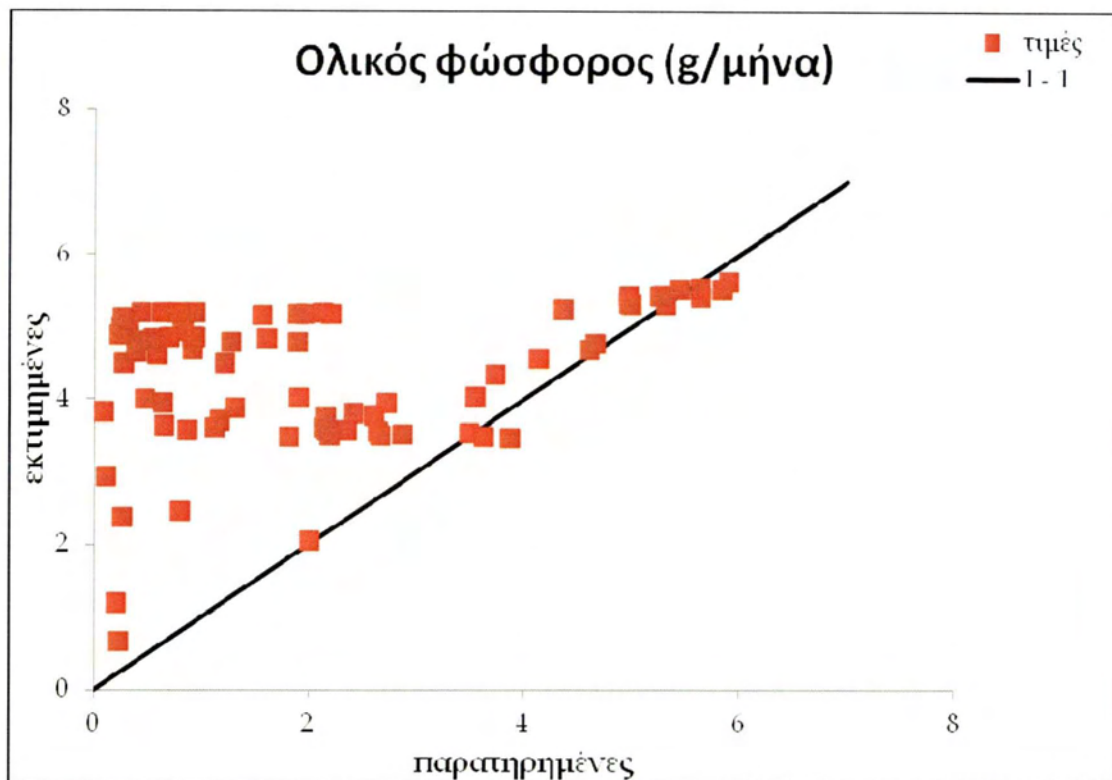
Σχήμα 4.29.β Περίοδος πιστοποίησης



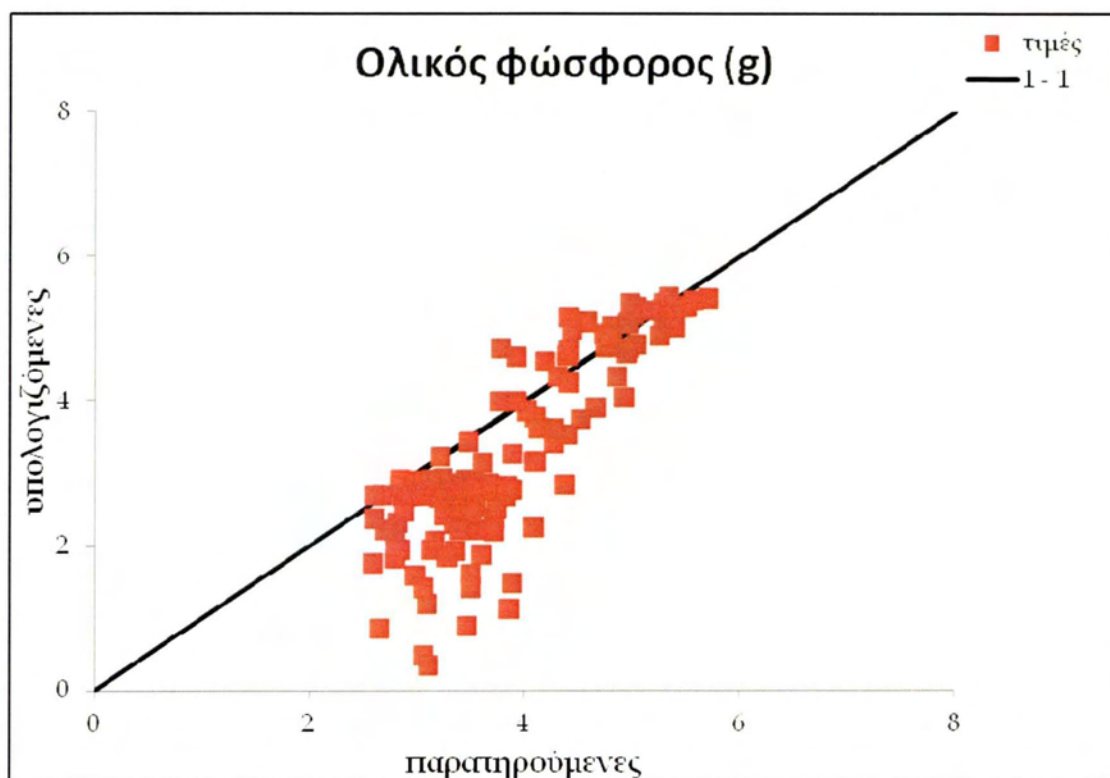
Σχήμα 4.30.α Περίοδος ανάπτυξης



Σχήμα 4.30.β Περίοδος πιστοποίησης



Σχήμα 4.31.α Περίοδος ανάπτυξης



Σχήμα 4.31.β Περίοδος πιστοποίησης

Σε αυτή την περίπτωση έχουμε τα φορτία των ποιοτικών χαρακτηριστικών για ολόκληρη την λεκάνη με χρήσεις γης. Από τις σχέσεις που προέκυψαν αξίζει να παρατηρήσουμε ότι :

Το διαλυμένο οξυγόνο επηρεάζεται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τις αστικές εκτάσεις και λιγότερο από την επιφανειακή απορροή, το τρεχούμενο νερό λόγω της κίνησής του διαλύει περισσότερο οξυγόνο από το στάσιμο, και τις αγροτικές εκτάσεις (μη αρδευόμενες, αρδευόμενες). Τέλος οι χορτολιβαδικές εκτάσεις επηρεάζουν ελάχιστα το φορτίο του διαλυμένου οξυγόνου.

Τα θειικά επηρεάζονται σχεδόν απόλυτα από την επιδερμική απορροή, λόγω απόπλυσης του εδάφους. Επίσης υπάρχει μια μικρή επηροή από τις χορτολιβαδικές και τις αγροτικές εκτάσεις και ελάχιστη εξάρτηση από τις δασικές εκτάσεις και την επιφανειακή απορροή. Η κατείσδυση στον υπόγειο υδροφόρα και η επιστροφή από τον υπόγειο υδροφόρα αλληλοεξαιρούνται στην σχέση που προέκυψε.

Η μοναδική εξάρτηση του μαγνησίου από τις χρήσεις γης, αν και μικρή, είναι οι δασικές εκτάσεις. Το φορτίο του μαγνησίου επηρεάζεται κυρίως από την εδαφική υγρασία και την βροχόπτωση και ελάχιστα από την θερμοκρασία. Η βροχή ξεπλένει τους κόκκους εδάφους, οι οποίοι έχουν δεσμεύσει το μαγνήσιο. Αυξημένη εδαφική υγρασία σημαίνει μικρότερη συγκράτηση νερού από το έδαφος, άρα μεγαλύτερη επιφανειακή απορροή.

Για το ολικό άζωτο δεν προέκυψε καμμία συσχέτιση με κάποια από τις κατηγορίες των χρήσεων γης. Όμως εξαρτάται από την επιφανειακή απορροή και την επιστροφή από τον υπόγειο υδροφόρα. Εάν τα νιτρικά δεν απορροφηθούν από τα φυτά, τότε θα ξεπλυθούν από το έδαφος με την επιφανειακή απορροή. Στην περίπτωση που τα φυτά συγκρατήσουν το άζωτο, αφού το χρησιμοποιήσουν μετά από καιρό αποβάλουν νιτρικά τα οποία καταλήγουν στον υπόγειο υδροφόρα. Έτσι αυτά εμφανίζονται ξανά ως επιστροφή με κάποια χρονική υστέρηση.

Το φορτίο του ολικού φωσφόρου εξαρτάται από την επιφανειακή απορροή, την επιστροφή από τον υπόγειο υδροφόρα, την τήξη του χιονιού



και τις δασικές εκτάσεις. Με την επιφανειακή απορροή έχουμε απόπλυση του φωσφόρου που έχει κατακρατηθεί στο έδαφος. Τα νερά που προέρχονται από την τήξη του χιονιού μεταφέρουν φερτές ύλες, μερικές εκ των οποίων μπορεί να προέρχονται από διάβρωση φωσφορικών πετρωμάτων. Επιστροφή από τον υπόγειο υδροφόρο μπορεί να μεταφέρει φώσφορο που προέρχεται από διάβρωση φωσφορικών πετρωμάτων στο υπέδαφος.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Εξετάζοντας και συγκρίνοντας τα αποτελέσματα, παρατηρούμε πως οι γραμμικές σχέσεις που προέκυψαν χρησιμοποιώντας τα φορτία των ποιοτικών χαρακτηριστικών, τόσο για τις υπολεκάνες ξεχωριστά όσο και για το σύνολο της λεκάνης απορροής του Πηνειού, έχουν υψηλή στατιστική σημαντικότητα και είναι πολύ βελτιωμένες συγκριτικά με τις σχέσεις που υπολογίστηκαν για τις συγκεντρώσεις. Γεγονός απόλυτα φυσιολογικό και αναμενόμενο, αφενός γιατί ο υπολογισμός των φορτίων έγινε πολλαπλασιάζοντας τις συγκεντρώσεις με την συνολική απορροή και αφετέρου οι σχέσεις υπολογίστηκαν με βηματική γραμμική παλινδρόμηση (stepwise linear regression), με εξαρτημένη μεταβλητή το εκάστοτε φορτίο και ανεξάρτητες μεταβλητές την έξοδο του υδρολογικού μοντέλου. Όμως στο φορτίο ήδη ενυπάρχει η συνολική απορροή, ενώ το υδρολογικό μοντέλο μας δίνει τις συνιστώσες της. Έτσι εξ αρχής υπάρχει αυξημένη συσχέτιση που οδηγεί σε στατιστικά βελτιωμένες γραμμικές σχέσεις. Επίσης, οι συγκεντρώσεις των ποιοτικών παραμέτρων μετριούνται συγκεκριμένες χρονικές στιγμές, δεν είναι συνεχείς και γίνεται η υπόθεση ότι αποτελούν χαρακτηριστικές συγκεντρώσεις για όλο των μήνα.

Ένα πολύ σημαντικό επίσης στοιχείο είναι πως στην συντριπτική τους πλειοψηφία οι σχέσεις που προέκυψαν περιλαμβάνουν τις υδρολογικές παραμέτρους εκείνες οι οποίες και περιγράφουν επακριβώς τις φυσικές διαδικασίες από τις οποίες επηρεάζονται οι συγκεντρώσεις ή τα φορτία των ποιοτικών παραμέτρων στην επιφανειακή απορροή των υπολεκανών και της συνολικής λεκάνης απορροής της περιοχής μελέτης.

Από τα διαγράμματα διασποράς που αναπτύχθηκαν για την παρούσα εργασία, παρατηρούμε πως σε όλες τις περιπτώσεις τα διαγράμματα που

αφορούν την περίοδο πιστοποίησης (το 20% των μετρήσεων των ποιοτικών χαρακτηριστικών) έχουν την ίδια μορφή με αυτά της περιόδου ανάπτυξης. Αυτό δείχνει πως η επιλογή της περιόδου πιστοποίησης έγινε με ορθά, αλλά κυρίως ότι οι σχέσεις που προέκυψαν, παρότι γραμμικές, είναι στατιστικά αποδεκτές και αρκετά ικανοποιητικές.

Άξιο αναφοράς είναι το γεγονός ότι στις σχέσεις που προέκυψαν για ολόκληρη τη λεκάνη του Πηνειού, στις οποίες λαμβάνονται υπόψη και οι χρήσεις γης, με τα ποιοτικά και υδρολογικά δεδομένα που έχουμε, δεν προκύπτει συσχέτιση των ποιοτικών χαρακτηριστικών με τις χρήσεις γης που περιμένουμε. Για παράδειγμα, στο σύνολο της λεκάνης του Πηνειού δεν έχουμε επίδραση των εκτάσεων με αγροτικές χρήσεις στα φορτία του ολικού αζώτου και του ολικού φωσφόρου που επηρεάζονται από τα λιπάσματα. Αυτό βεβαίως δε σημαίνει πως οι σχέσεις δεν είναι αποδεκτές, απλά με τα δεδομένα που διαθέταμε δεν υπήρξαν σημαντικές συσχετίσεις μεταξύ τους. Αντίθετα προέκυψε συσχέτιση του φορτίου των θεικών σε όλη τη λεκάνη του Πηνειού με τις αγροτικές χρήσεις γης, κάτι το οποίο ισχύει και στην πραγματικότητα. Σημαντική πηγή θεικών είναι τα λιπάσματα που μπορεί να χρησιμοποιηθούν σε αγροτικές περιοχές.

Ένα μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι το υδρολογικό μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε είναι χωρικά αδρομερές και όχι κατανεμημένο. Έτσι δεν μπορεί να αναπαρασταθεί η επίδραση των χρήσεων γης στη δημιουργία της απορροής.

Επίσης, στο υδρολογικό μοντέλο προσομοιώνονται μόνο οι διαδικασίες δημιουργίας απορροής και δεν προσομοιώνονται οι διαδικασίες που αφορούν στην ποιότητα του νερού.

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε έχοντας μηνιαίο χρονικό βήμα σε όλα τα δεδομένα. Χρίζει περαιτέρω διερεύνησης τι είδους σχέσεις θα

προέκυπταν σε περίπτωση διαφορετικού χρονικού βήματος, όπως εξαμηνιαίο, ετήσιο ή ακόμη και μικρότερο, καθώς επίσης και πως θα διαμορφωνόταν σε περίπτωση μη γραμμικών σχέσεων.

Ανακεφαλαιώνοντας, μπορούμε να ισχυριστούμε ότι αναπτύχθηκε ένα μοντέλο γραμμικών σχέσεων, με τη χρήση του οποίου έχουμε τη δυνατότητα να προσομοιώσουμε με αρκετά ικανοποιητική ακρίβεια τα φορτία και τις συγκεντρώσεις των ποιοτικών χαρακτηριστικών (διαλυμένο οξυγόνο, θειικά, μαγνήσιο, ολικό άζωτο και ολικό φώσφορο) της επιφανειακής απορροής των υδρολογικών υπολεκανών και της συνολικής λεκάνης απορροής του Πηνειού ποταμού.



## ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αγγελίδης Μ., Λέκκας Θ., Αλμπάνης Τ., 2007. «Ρύπανση των υδατικών πόρων της Ελλάδας».
2. Ανδριανάκη Μ., 2007. «Ελεγχόμενη φυσική αποκατάσταση ρύπων στη λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα».
3. Αντωνόπουλος Β., 2003. «Υδραυλική περιβάλλοντος και ποιότητα επιφανειακών υδάτων».
4. Δημητρίου Α., Πολυκρέτης Ι., Ταρναράς Χ., 2005. «Κατάρτιση υδατικών ισοζυγίων της ευρύτερης λεκάνης απορροής του Πηνειού για εναλλακτικά σενάρια διαχείρισης υδατικών πόρων», Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
5. ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε. «Συμπληρωματικές περιβαλλοντικές δράσεις του κανονισμού 2078/92 Ε.Ο.Κ. - Μελέτη φυσικών πόρων και παραγόντων που επιδρούν στην απόδοση και στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καλλιεργειών της Θεσσαλίας», ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε, Λάρισα 2001.
6. Ζάνης Π., 2008. «Σημειώσεις για την ρύπανση και χημεία της ατμόσφαιρας».
7. Κουτσογιάννης Δ., 1997. α) Επικαιροποίηση υδρομετεωρολογικών δεδομένων -Τεύχος 1, «Αναβάθμιση και επικαιροποίηση της υδρολογικής πληροφορίας της Θεσσαλίας». Ερευνητικό έργο, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο και Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων, Αθήνα.
8. Κουτσογιάννης Δ., 1997. β) Επικαιροποίηση παροχομετρικής πληροφορίας -Τεύχος 2, «Αναβάθμιση και επικαιροποίηση της υδρολογικής πληροφορίας της Θεσσαλίας». Ερευνητικό έργο, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο και Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων, Αθήνα.
9. Λοϊζίδου Μ., 2006. «Υγρά απόβλητα».
10. Λουκάς Α., Μυλόπουλος Ν., Μεθυμάκη Ι., Χατζηευαγγέλου Κ., Ψόχιου Β., (2003). Διαχείριση Επιφανειακού Υδατικού Δυναμικού της Λεκάνης του

- Πηνειού Ποταμού, Πρακτικά 3<sup>ου</sup> Συνεδρίου Ανάπτυξης της Θεσσαλίας «Επιστημονικό Συνέδριο για τη Διαχείριση των Υδάτινων Πόρων και την Αειφόρο Ανάπτυξη στη Θεσσαλία», ΕΘΕΜ, Λάρισα, 12-14 Δεκεμβρίου.
11. Λουκάς Α., Βασιλειάδης Λ. και Μπαστρογιάννης Ν., 2003. «Υδρολογική Προσομοίωση Υδατικού Ισοζυγίου Λεκάνης Απορροής Γερμασόγειας, Κύπρος» Δίκτυο Μελέτης και Έρευνας Υδατικών Πόρων με Εφαρμογές στον Κυπριακό και Ελλαδικό Χώρο, Ε. Σιδηρόπουλος (ed.). Τελική Έκθεση. Υποβλήθηκε στη Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας.
12. Μιμίκου Μ., 1994. Τεχνολογία Υδατικών πόρων, Εκδόσεις Παπασωτηρίου.
13. Μουστάκα Ε., 2002. «Διαχείριση των υδατικών πόρων της λεκάνης απορροής της υπό ανασύσταση Λίμνης Κάρλας με τη χρήση ενός συστήματος γεωγραφικής πληροφορίας». Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
14. Μουστάκα Ε., 2003. «Διαχείριση Υδατικών Πόρων του Ταμιευτήρα της Κάρλας με Χρήση ενός Προσδιοριστικού και ενός Στοχαστικού Μοντέλου Προσομοίωσης», Μεταπτυχιακή Εργασία, Α.Π.Θ.
15. Παπαμιχαήλ Δ., 2004. Τεχνική υδρολογία επιφανειακών υδάτων
16. Τσακίρης Γ., 1995. Υδατικοί Πόροι: «Τεχνική Υδρολογία», Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.

#### ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M., 1998. "Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements", FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
2. Antonopoulos, V.Z., Papamichail, D.M. and Mitsiou, K.A., 2001. "Statistical and trend analysis of water quality data for the Strymon River in Greece". Hydrology and Earth System Sciences, 5(4), 679-691.

3. Blaney, H.F. and Criddle, W.D., 1950. "Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigated data". USDA Soil Conservation Service SCS-TP96.
4. Christodoulaki, S., A. Loukas, L. Vasiliades, L. and N.R. Dalezios, 2003. Water Balance Modeling Using Digital Gis Data, International Symposium "GIS and Remote Sensing: Environmental Applications", Volos, 7-9 November 2003.
5. Dastane, N.G., 1974. "Effective rainfall", FAO irrigation and drainage paper 25, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
6. Knight, C.G., Chang, H., Staneva, M.P., Kostov, D., 2001. "A simplified basin model for simulating runoff : The Struma River GIS". Professional Geographer, 53(4), 533-545.
7. Loukas A., Mylopoulos N. and L. Vasiliades (2007) "A Modelling System for the Evaluation of Water Resources Management Scenarios in Thessaly, Greece" Water Resources Management Vol 21, pp. 1673 - 1702.
8. Loukas A., N. Mylopoulos, K. Kokkinos, P. Sidiropoulos, L. Vasiliades and A. Liakopoulos (2008) "The effect of spatial discretization in integrated modeling of surface and groundwater hydrology through OpenMI", International Interdisciplinary Conference on Predictions for Hydrology, Ecology and Water Resources Management - Using Data and Models to Benefit Society, Prague, Czech Republic, 2008.
9. Loukas, A. and L. Vasiliades, 2004. "Probabilistic Analysis of Drought Spatiotemporal Characteristics in Thessaly Region, Greece", accepted for publication in Natural Hazards and Earth System Sciences.
10. Loukas, A., L. Vasiliades, C. Domenikiotis, and N.R. Dalezios (2005). "Basin-wide Actual Evapotranspiration Estimation Using NOAA/AVHRR Satellite Data". Physics and Chemistry of the Earth, 30, 69-79.
11. Loukas, A., Mylopoulos N. 2004. " Effects of Hydro-technical projects development on water balance of Pinios river basin, Thessaly" International

- Conference "Protection and Restoration of the environment" VII, Mykonos island.
12. Maybeck, M., Chapman, D. and Helmer, R., 1989. "Global Freshwater Quality - A First Assessment", WHO and UNEP, Blackwell, U.S.A., 306 pp.
  13. Nash, J.E. and Sutcliffe, J.V., 1970. "River flow forecasting through conceptual models Part-1 A discussion of principles", J. Hydro. 10(3).
  14. Panagopoulos Y., Makropoulos C., Baltas E., Mimikou M., 2011. "SWAT parameterization for the identification of critical diffuse pollution source areas under data limitations".
  15. Panagopoulos Y., Makropoulos C., Mimikou M., 2011. "Diffuse Surface Water Pollution Driving Factors for Different Geoclimatic Regions".
  16. Panagopoulos Y., Makropoulos C., Mimikou M., 2011. "Reducing surface water pollution through the assessment of the cost-effectiveness of BMPs at different spatial scales".
  17. Pitman, W.V., 1973. "A mathematical model for generating monthly river flows from meteorological data in South Africa", Report 2/73, Hydrological Research Unit, University of the Witwatersrand, Johannesburg.
  18. Semadeni-Davies, A., 1997. "Monthly snowmelt modeling for long-scale climate change studies using the degree-day approach", Ecological Modelling, 101.
  19. Thornthwaite, C.W. and Mather, J.R., 1957. "Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance", Publication in Climatology. Lab. Climatol. Dresel Inst. Technol., 10(3).
  20. Vadewiele, G.L., Xu, C-Y. and Win, N-L, 1998. "Monthly water balance for 55 basins in 10 Countries", Hydrological Sciences Journal, 43(5).
  21. Xu, C.-Y. and Singh, V.P., 1998. "A Review on Monthly Water Balance Models for Water Resources Investigations", Water Resources Management, 12(1), pp. 20-50.





ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000109379