

An aerial photograph of a river valley. A river flows through the center, with a dam and a reservoir visible. The surrounding area is lush green with trees and vegetation. The sky is clear and blue.

ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ & ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΑΣ

ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ & ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑΣ
ΛΙΜΝΟΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΣΤΕΡΝΩΝ
ΤΟΥ Δ. ΚΟΦΙΝΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ

DETAILED STUDY FOR THE CONSTRUCTION
AND USE OF AN ARTIFICIAL LAKE IN THE
AREA OF STERNES - ΚΟΦΙΝΑ
IN THE MUNICIPALITY OF ΗΡΑΚΛΕΙΟΝ

ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ : Α. ΜΑΥΡΟΓΙΑΝΝΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Π. ΣΟΥΠΙΟΣ

ΧΑΝΙΑ 2004

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη κατασκευής και σκοπιμότητας της λιμνοδεξαμενής Στερνών του Δήμου Κόφινα στο Ηράκλειο. Αρχικά περιγράφεται η περιοχή του έργου. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η γεωλογική, υδρογεωλογική, τεκτονική και σεισμοτεκτονική διερεύνηση της περιοχής του έργου. Διερευνάται επίσης η υδρολογία των λεκανών του Δ.Κόφινα, σε σχέση με τη στερεοπαροχή, την πλημμυρική παροχή, τα ύψη βροχής και τις θερμοκρασίες. Γίνεται εκτίμηση της απορροής της περιοχής υδροληψίας καθώς και του επιφανειακού υδατικού δυναμικού. Για την καλύτερη κατανόηση όλων των παραπάνω, χρησιμοποιούνται πίνακες, σχήματα, τύποι και διαγράμματα. Τέλος, αναλύονται τα συμπεράσματα και οι επιπτώσεις από αυτή την κατασκευή της λιμνοδεξαμενής.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον Επίκουρο καθηγητή κ. Παντελή Σουπιό για την σημαντική και ουσιαστική καθοδήγηση που μου παρείχε, καθώς και την επιστημονική του κατάρτιση σε τύπους και όρους που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση της διπλωματικής μου. Επίσης για όλη τη διάρκεια των σπουδών μου στο Τμήμα Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, όπου οι γνώσεις που αποκόμισα από την διδασκαλία του ήταν χρήσιμες.

Ευχαριστώ τους Αναπληρωτές καθηγητές κους. Φίλιππο Βαλλιανάτο και Ταξιάρχη Παπακώστα για τις χρήσιμες παρατηρήσεις και διορθώσεις που έκαναν στο παρόν κείμενο.

Ευχαριστώ θερμά τον Γεωλόγο, κ. Σάββα Παρίτση για την πολύτιμη βοήθεια του σε πληροφορίες και υλικό που μου παρείχε κατά την πρακτική μου εξάσκηση στον Οργανισμό Ανάπτυξης Ανατολικής Κρήτης (Ο.ΑΝ.Α.Κ.)

Ευχαριστώ τον Πολιτικό Μηχανικό, κ. Μανόλη Δολαψάκη για τη παροχή υλικού για τη μελέτη κατά την πρακτική μου εξάσκηση στον Ο.ΑΝ.Α.Κ.

ABSTRACT

The purpose of this study is the detailed study for the construction and use of an artificial lake in the broader area of Sternes Village in the Municipality of Herakleion. In this work we implemented a variety of well known method in hydrology and hydrogeology in order to study the vulnerability, the efficiency, the applicability and the necessity of the desired construction. In more detail, we worked with, geology of the study area, the hydrogeological and tectonic characteristics of the broader area, we estimated several valuable parameters connected with precipitation, solid-flow, temperature and flood-flow and others hydrometeorological parameters. All these were presented through several graphics, tables, formulas and diagrams.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	1
1. ΘΕΣΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ	4
1.1 Θέση του έργου.....	4
1.2 Περιγραφή του έργου.....	4
2. ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ	8
2.1 Υδρευτικές Ανάγκες Δήμου Κόφινα	8
2.2 Αρδευτικές Ανάγκες	8
2.3 Συνολικές Ανάγκες – Ισοζύγιο.	10
3. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ, ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ, ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ, ΣΕΙΣΜΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ	12
3.1 Γεωλογική δομή της περιοχής μελέτης	12
3.2 Σεισμοτεκτονικά χαρακτηριστικά του ευρύτερου ελληνικού χώρου	17
3.3 Υδρογεωλογική δομή της περιοχής μελέτης	21
4. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΛΕΚΑΝΩΝ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΚΟΦΙΝΑ ..	28
4.1 Γενικά.....	28
4.2 Στερεοπαροχή	28
4.3 Υδρολογία – Πλημμυρική Παροχή.....	29
4.3.1 Συντελεστής απορροής	29
4.3.2 Χρόνος συρροής.....	30
4.3.3 Ένταση βροχοπτώσεων	31
4.3.4 Πλημμυρική παροχή	31
4.4 Ύψη βροχής	32
4.4.1 Έλεγχος Ομοιογένειας	32
4.4.2 Συμπλήρωση - επέκταση ελλειπόντων στοιχείων.....	34
4.4.3 Βροχοβαθμίδα	37
4.5 Θερμοκρασίες	40
4.5.1 Συσχετίσεις – Συμπληρώσεις - Επεκτάσεις	40
4.5.2 Θερμοβαθμίδα.....	40
4.6 Εξατμισοδιαπνοή	42
4.6.1 Γενικά.....	42

4.6.2 Μοντέλο Thornthwaite.....	43
4.7 Υδρολογική Λεκάνη Γεροποτάμου	44
4.8 Υδρολογική Λεκάνη Αναποδαρη	47
5. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ	50
6. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟΥ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ.....	54
6.1 Σύζευξη Επιφανειακής και Υπόγειας Ροής	54
6.2 Μοντέλο SWBM (Spatial Water Budget Model – Μοντέλο Χωρικής Υδατοαποθηκευτικότητας).	54
6.3 Εφαρμογή σε Λεκάνες του Δ. Κόφινα.....	57
6.3.1 Υπολεκάνες Γεροποτάμου	58
6.3.1.1 Περιγραφή των Λεκανών Απορροής	58
6.3.1.2 Σταθμοί μετρήσεων - Δεδομένα εισόδου.....	58
6.3.1.3 Αποτελέσματα.....	60
6.3.2.1 Περιγραφή της λεκάνης απορροής	67
6.3.2.3 Αποτελέσματα.....	68
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ	77
8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	78

1. ΘΕΣΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

1.1 Θέση του έργου

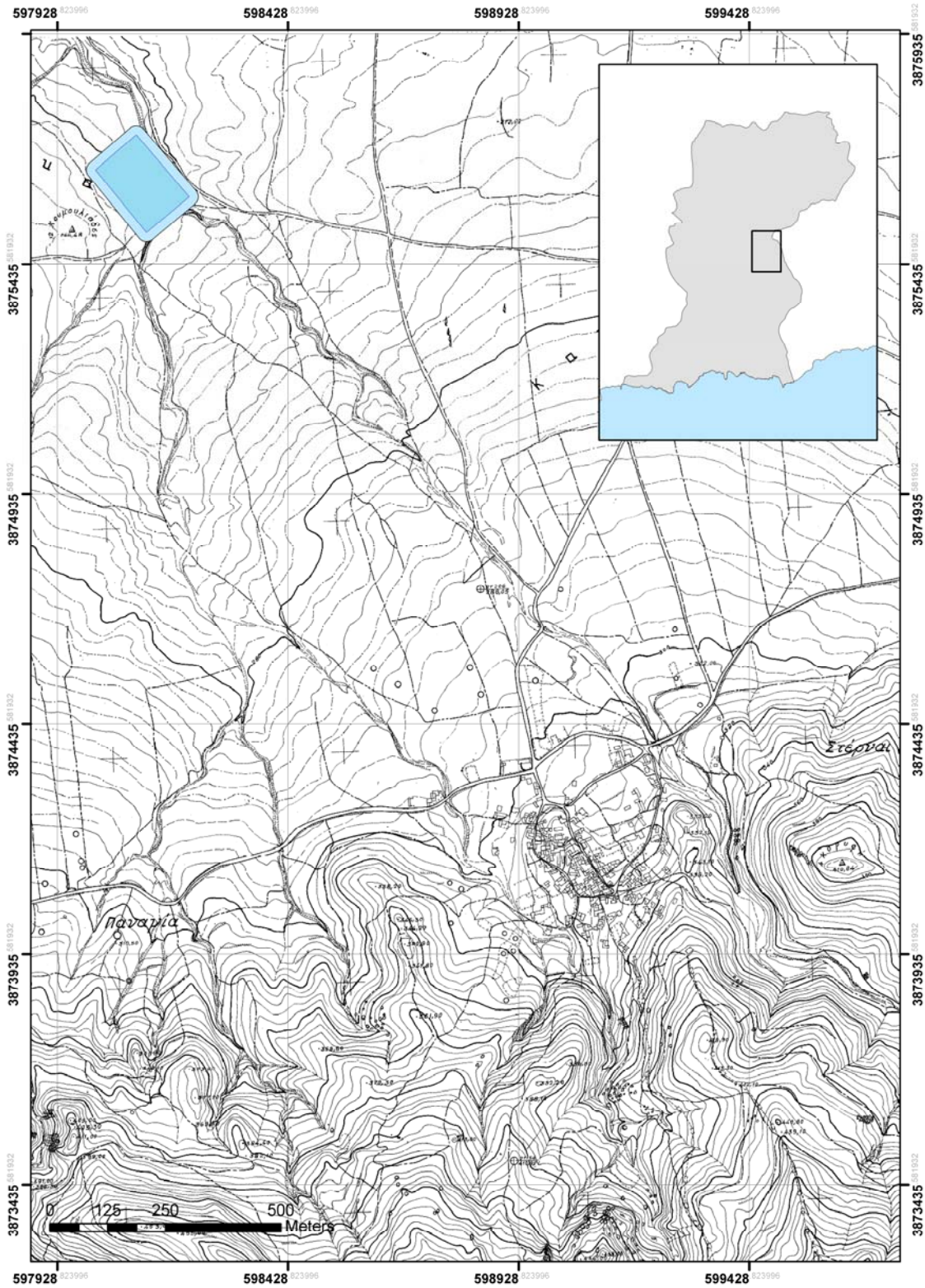
Το προτεινόμενο έργο αφορά στην κατασκευή λιμνοδεξαμενής μεικτής χρήσης 1,5 χιλιόμετρα βορειοδυτικά του οικισμού των Στερνών του Δήμου Κόφινα (Σχήμα 1.1). Ο προτεινόμενος ταμιευτήρας βρίσκεται επί του ρέματος των Στερνών (παραπόταμου του Γεροπόταμου) με έκταση ανάντη λεκάνης περί τα 10 km². Όπως αναλύεται σε επόμενο κεφάλαιο, η μέση ετήσια τιμή της απορροής για την υδρολογική αυτή υπολεκάνη του Γεροπόταμου ανέρχεται σε 2.7 εκατ m³ με μέγιστη 5.76 εκατ m³ και ελάχιστη 0.7 και αντιστοιχεί στο 10% της μέσης ετήσιας απορροής στη θέση αυτή.

1.2 Περιγραφή του έργου

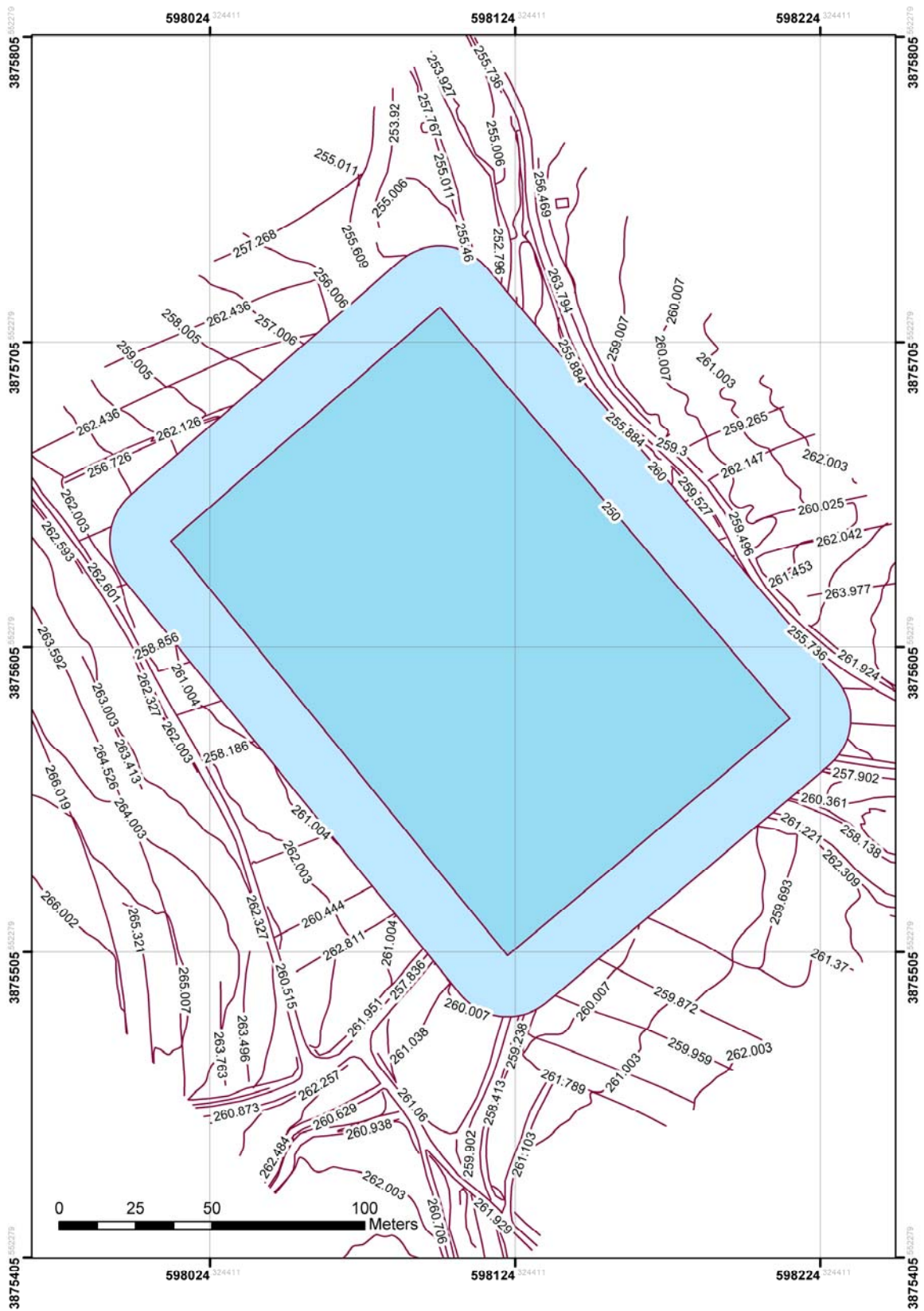
Η λιμνοδεξαμενή θα κατασκευασθεί με μέγιστη χωρητικότητα 277.000 κυβικών μέτρων (Σχήμα 1.2) με την κατάλληλη προσθήκη αναχώματος στην βόρειοανατολική ακμή της.

Τα χαρακτηριστικά της προτεινόμενης λιμνοδεξαμενής Στερνών συνοψίζονται ως εξής:

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΚΑΤΑΚΛΥΣΗΣ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΝΩΤΑΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ	ΚΑΤΩΤΕΡΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ	ΑΝΩΤΕΡΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ	ΜΕΓΙΣΤΟ ΒΑΘΟΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ	ΟΓΚΟΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ
36230.97 m ²	33970.16 m ²	+250 m	+260.8 m	10.8μm	277543 m ³



ΣΧΗΜΑ 1.1 Θέση προτεινόμενου έργου σε σχέση με τον οικισμό των Στερνών του Δήμου Κόφινα.



ΣΧΗΜΑ 1.2 Οριζοντιογραφία προτεινόμενου έργου.

2. ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

2.1 Υδρευτικές Ανάγκες Δήμου Κόφινα

Με μέση ημερήσια ανά κάτοικο κατανάλωση νερού ίση με 220 λίτρα ανά κάτοικο και ημέρα και συντελεστή απωλειών του δικτύου ίσο με 20% οι υδρευτικές ανάγκες του Δήμου Κόφινα ανά οικισμό και γεωγραφική ζώνη προσδιορίζονται σε 511.000 m³/έτος και κατανέμονται ως ακολούθως:

Δημοτικό Διαμέρισμα	Πληθυσμός	Ανάγκες (m ³ /έτος)	Χρήσεις (m ³ /έτος)	Υφιστάμενοι Πόροι (m ³ /έτος)	Ισοζύγιο
Ανω Ακρια	709	68.319	19.682	52.560	-15.759
Ασήμι	1.104	106.381	74.121		
Διονύσι	565	54.443	44.093		
Λούρες	278	26.788	17.624	87.600	60.812
Σοκαρά	994	95.781	72.085	481.800	386.018
Στάβιες	656	63.212	37.930	219.000	155.788
Στέρνες	419	40.374	28.471	306.600	266.225
Στόλοι	588	56.659	31.725	219.000	162.340
Σύνολο	5.313	511.960	325.731	1.366.560	1.015.424

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1. Υδρευτικές ανάγκες του Δ. Κόφινα ανά οικισμό και γεωγραφική ζώνη.

Από θεώρηση των υφιστάμενων πόρων ύδρευσης ανά δημοτικό διαμέρισμα σε συνάρτηση με τις εκτιμώμενες, προκύπτει ότι το σύνολο του Δήμου έχει πλήρη επάρκεια κάλυψης υδρευτικών αναγκών. Ενδεχόμενα ελλείματα σε δημοτικά διαμερίσματα όπως το Ασήμι και η Ανω Ακρια μπορούν να καλυφθούν από γειτονικά διαμερίσματα.

2.2 Αρδευτικές Ανάγκες

Οι ανάγκες των καλλιεργειών υπολογίσθηκαν με εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής κατά Thornwaite. Οι φυτικοί συντελεστές που χρησιμοποιήθηκαν είναι αυτοί που αναφέρονται στην Υπουργική Απόφαση 11-2-1992. Τα είδη των καλλιεργειών καθώς και οι αντίστοιχες

αρδευτικές ανάγκες ανά δημοτικό διαμέρισμα του Δήμου Κόφινα απεικονίζονται στους Πίνακες 2.2 και 2.3.

Δημοτικό Διαμέρισμα	Αροτραίες		Κηπευτικά		Δενδρώδεις			Άμπελοι	
	Σύνολο (στρ)	Ποτιστικά (στρ)	Σύνολο (στρ)	Ποτιστικά (στρ)	Ελιές (στρ)	Λοιπές (στρ)	Ποτιστικά (στρ)	Σύνολο (στρ)	Ποτιστικά (στρ)
Άνω Άκρια	755	50	55	55	7060	9	200	3147	200
Ασήμι	855	280	106	106	4500	1	2700	1788	1300
Διονύσι	680	40	6	6	4477		4000	915	900
Λούρες	869	500	51	51	5080	31	4200	350	350
Σοκαρά	905	360	85	85	7850		2500	2320	2000
Στάβιες	2855	560	201	201	7603	4	5000	1150	1120
Στέρνες	859	620	70	70	4550		3600	599	550
Στόλοι	1030	250	180	160	7080	15	4300	1900	1300

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.2 Στοιχεία καλλιεργειών για το Δ. Κόφινα του έτους 1997 Πηγή: ΕΣΥΕ

	Αροτραίες	Κηπευτικά	Ελιές	Άμπελοι	Σύνολο
Άνω Άκρια	528500	24750	1765000	944100	3262350
Ασήμι	598500	47700	1125000	536400	2307600
Διονύσι	476000	2700	1119250	274500	1872450
Λούρες	608300	22950	1270000	105000	2006250
Σοκαρά	633500	38250	1962500	696000	3330250
Στάβιες	1998500	90450	1900750	345000	4334700
Στέρνες	601300	31500	1137500	179700	1950000
Στόλοι	721000	81000	1770000	570000	3142000
	6165600	339300	12050000	3650700	22205600

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.3 Ετήσιες αρδευτικές ανάγκες Δήμου Κόφινα ανά Δημοτικό Διαμέρισμα και είδος καλλιέργειας σε m³/έτος.

2.3 Συνολικές Ανάγκες – Ισοζύγιο.

Οι υδατικές ανάγκες του Δήμου ανά δημοτικό διαμέρισμα κατανεμημένες ανά χρήση καθώς και οι υφιστάμενοι πόροι απεικονίζονται στον Πίνακα που ακολουθεί.

ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑ	ΑΝΑΓΚΕΣ (m ³ /έτος)			ΑΝΑΓΚΕΣ ΖΩΝΗΣ (m ³ /έτος)	ΥΠΟ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΠΟΡΟΙ (m ³ /έτος)	ΙΣΟΖΥΓΙΟ (m ³ /έτος)
	ΥΔΡΕΥΣΗ	ΑΡΔΕΥΣΗ	ΣΥΝΟΛΟ			
Άνω Άκρια	68319	3262350	3330669	10976348	3522600	-7453748
Ασήμι	106381	2307600	2413981			
Λούρες	26788	2006250	2033038			
Στόλοι	56660	3142000	3198660			
Σοκαρά	95782	3330250	3426032	3426032	1333800	-2092232
Διονύσι	54443	1872450	1926893	8315180	3182400	-5132780
Στάβιες	63212	4334700	4397912			
Στέρνες	40375	1950000	1990375			
ΣΥΝΟΛΟ	511961	22205600	22717561	22717561	8038800	-14678761

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.4. Υδατικές ανάγκες του Δ. Κόφινα ανά δημοτικό διαμέρισμα κατανεμημένες ανά χρήση καθώς και οι υφιστάμενοι πόροι

Σχετικά με τους υφιστάμενους πόρους θα πρέπει να σημειωθεί ότι υπολογίστηκαν με βάση τις υφιστάμενες γεωτρήσεις, δημοτικές και ιδιωτικές, για δωδεκάωρες αντλήσεις πεντάμηνης διάρκειας.

Από το ισοζύγιο του παραπάνω πίνακα συνάγεται ότι το ετήσιο έλλειμα για πλήρη κάλυψη των υδατικών αναγκών σε ένα μέσο υδρολογικά έτος στη νότια ζώνη είναι της τάξης των 5,1 εκ. κυβ. μέτρων και στη βόρεια της τάξης των 9,5 εκ. κυβ. μέτρων. Το γεγονός αυτό συνηγορεί στην κατασκευή κάθε έργου ορθολογικής εκμετάλλευσης των υδατικών πόρων της περιοχής.

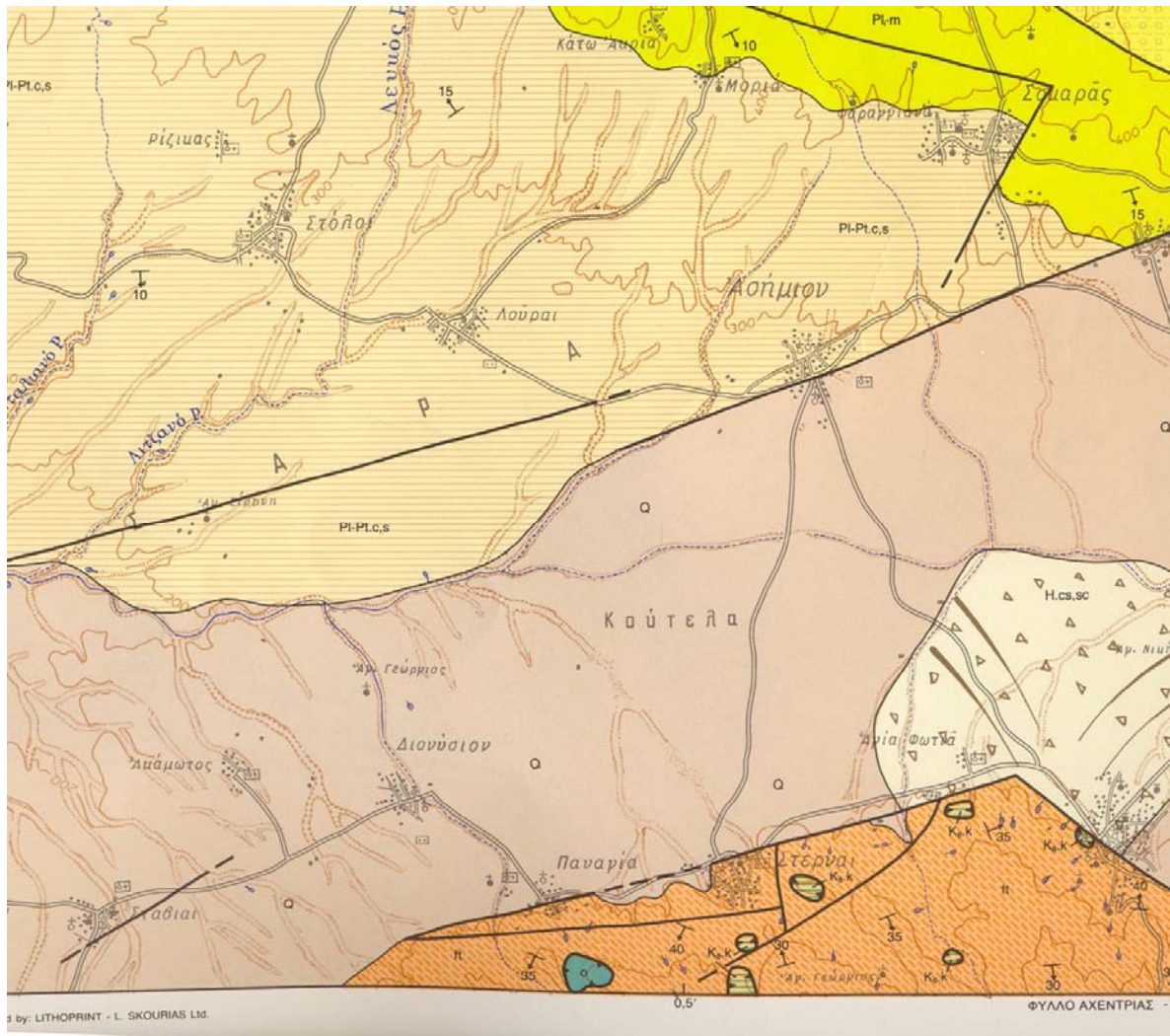
3. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ, ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ, ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ, ΣΕΙΣΜΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

3.1 Γεωλογική δομή της περιοχής μελέτης

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στο ανατολικότερο τμήμα της λεκάνης των Μοιρών επάνω στο ρηξιτέμαχος της Βαγιονιάς, το ανατολικό άκρο του οποίου που αποτελεί και το δυτικό περιθώριο της υπολεκάνης των Προτορίων που σχεδόν συμπίπτει με το μορφολογικό όριο των υδρολογικών λεκανών Γεροπόταμου και Αναποδάρη (υδροκρίτης). Η περιοχή δομείται από:

- Τεταρτογενείς αλλουβιακές αποθέσεις και τις Πλειστο – Πλειοκαινικές αποθέσεις του σχηματισμού της «Αγ. Γαλήνης».
- Νεογενείς σχηματισμούς «Αγ. Βαρβάρας», «Φοινικιάς» «Σχοινιά» και «Αμπελούζου» που σχηματίζουν μια σειρά λόφων και οριοθετούν την περιοχή μελέτης από βορά.
- Προνεογενείς σχηματισμούς των Αστερουσίων όπως ασβεστόλιθοι και φλύσχης των Ζώνων της Τρίπολης και Πίνδου, που οριοθετούν την περιοχή μελέτης από νότο.

Η γεωλογική δομή της περιοχής είναι προϊόν του τεκτονικού εφελκυστικού καθεστώτος με διεύθυνση B-N που εφαρμόστηκε κατά το μέσον του Μειόκαινου και ισχύει μέχρι σήμερα. Αποτέλεσμα της τεκτονικής αυτής ήταν η δημιουργία ρηγμάτων με διευθύνσεις κυρίως B-N και A-Δ καθώς και ο σχηματισμός τεκτονικών κεράτων -horsts- και βυθισμάτων -grabens- με σημαντικές κατακόρυφες μετακινήσεις που κατέστησαν την περιοχή μελέτης μία σύνθετη αλληλουχία από ρηξιτεμάχη (blockfaults) με βύθιση που από βορά και νότο προοδευτικά αυξάνει προς το κέντρο και από το κέντρο περισσότερο προς τα δυτικά σε σχέση με ανατολικά. Η γεωλογική δομή των σχηματισμών απεικονίζεται στο Σχήμα 3.1.



Σχήμα 3.1. Απόσπασμα γεωλογικού χάρτη ΙΓΜΕ, φύλλο Ηράκλειο, κλίμακα 1:50.000.

Οι **Τεταρτογενείς αλλουβιακοί** σχηματισμοί του κεντρικού τμήματος της λεκάνης διακρίνονται, από γεωλογική και υδρογεωλογική άποψη, σε τρεις επιμέρους ενότητες:

- Στους κόνους κορημάτων (αλλουβιακά ριπίδια), που αναπτύσσονται κατά μήκος των υπωρειών των Αστερουσίων και υπέρκεινται του Μεσοζωϊκού υποβάθρου. Αποτελούνται από λατύπες φλύσχη και ανθρακικών αναμεμιγμένες με ερυθρογή, περισσότερο συγκολλημένες στις νότιες υπώρειες των Αστερουσίων και λιγότερο στις βόρειες. Τομές γεωτρήσεων κατέδειξαν ότι το πάχος του σχηματισμού δύναται να υπερβαίνει τα 100m.
- Στις αλλουβιακές αποθέσεις, που καταλαμβάνουν τη χαμηλή περιοχή, ανάμεσα στον ποταμό Αναποδάρη και τους κόνους κορημάτων, είναι ποταμολιμναίες αποθέσεις κροκαλοπαγών, άμμων, ιλυολίθων και αργίλλων. Το Τεταρτογενές αλλουβιακό

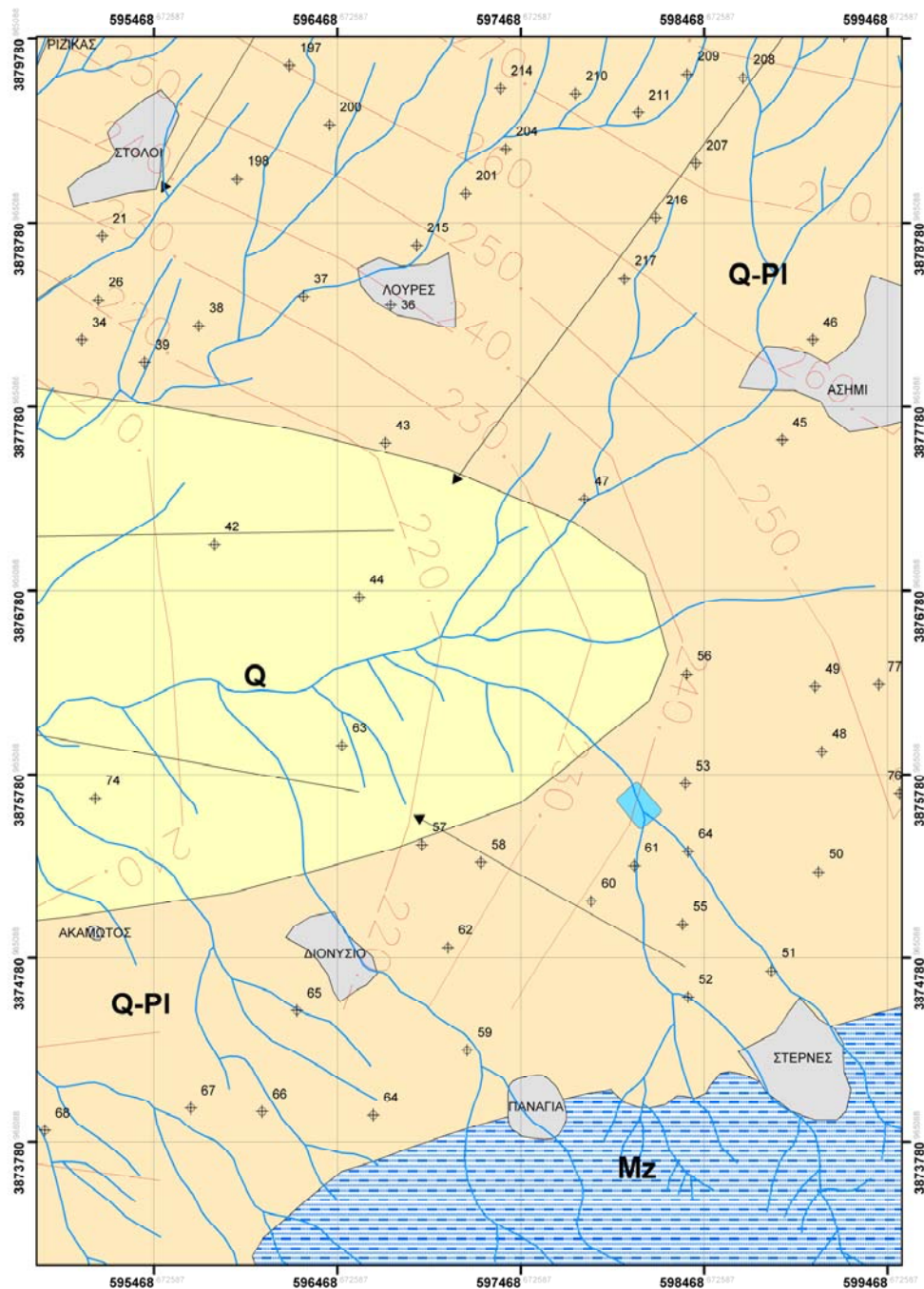
κάλυμμα είναι πάχους μερικών δεκάδων μέτρων και υπέρκειται των Πλειο-Πλειστοκαινικών αποθέσεων η/και των κροκαλοπαγών και μαργαϊκών αποθέσεων του Νεογενούς^{1,2}.

- Στις Πλειο-Πλειστοκαινικές αποθέσεις, οι οποίες εκτείνονται μεταξύ των Αλλουβιακών αποθέσεων και Νεογενών λόφων και αποτελούνται από ποταμολιμναία κροκαλοπαγή, άμμους, ιλυολίθους και ιλυώδεις αργίλους του σχηματισμού της Αγίας Γαλήνης.

Γενικά οι αποθέσεις αυτές γίνονται περισσότερο λεπτόκοκκες προς βορά και χαρακτηρίζονται από μεγάλη ανομοιογένεια με εναλλαγές τόσο οριζόντια όσο και κάθετα, ιλυωδών και αμμωδών – κροκαλοπαγών στρωμάτων. Τομές γεωτρήσεων και γεωφυσικές διασκοπήσεις κατέδειξαν ότι το πάχος των αλλουβιακών σχηματισμών κυμαίνεται μεταξύ 50m στα περιθώρια και 200m στο κέντρο της αλλουβιακής λεκάνης. Θα πρέπει όμως να σημειωθεί ότι λόγω απουσίας απολιθωμάτων έχει αποδειχτεί εξαιρετικά δύσκολη έως αδύνατη η στρωματογραφική διάκριση των επί μέρους σχηματισμών (Αλλούβια, Πλειστοκαινικοί, Νεογενείς) στους πυρήνες των γεωτρήσεων². Δεδομένης της δυσκολίας αυτής υπάρχει σημαντική σύγχυση στον στρωματογραφικό χαρακτηρισμό εμφανίσεων των αποθέσεων αυτών με αποτέλεσμα τις διαφοροποιήσεις στην γεωλογική χαρτογράφηση της περιοχής μεταξύ ΙΓΜΕ και FAO (Food and Agricultural Organization). Αντίθετα όμως με την αρχική υδρογεωλογική ερμηνεία της περιοχής από τη μελέτη του FAO, η προσομοίωση της υπόγειας ροής στην περιοχή μελέτης (Παρίτσης 2000) αποκάλυψε ότι στη χαμηλή ζώνη της περιοχής, κατά μήκος της μισγάγγειας του Γεροποτάμου, διεισδύει από δυτικά ένας σφηνοειδής σχηματισμός μήκους 6 χλμ και μέσου πλάτους 3 χλμ, σχετικά υψηλής υδραυλικής αγωγιμότητας, που προφανώς προέρχεται από αποθέσεις του Γεροποτάμου (Σχήμα 3.2).

¹ Κνιθάκης Μ., Πολυχρονάκη Α., 1994. Υδρογεωλογική μελέτη της περιοχής Ανατολικής Μεσαράς, Ν. Ηρακλείου. ΙΓΜΕ Παρ/μα Κρήτης.

² Dietrich, G., 1972. Hydrogeology of the Eastern Messara. United Nations Development Programme. FAO. Working Document No 37.

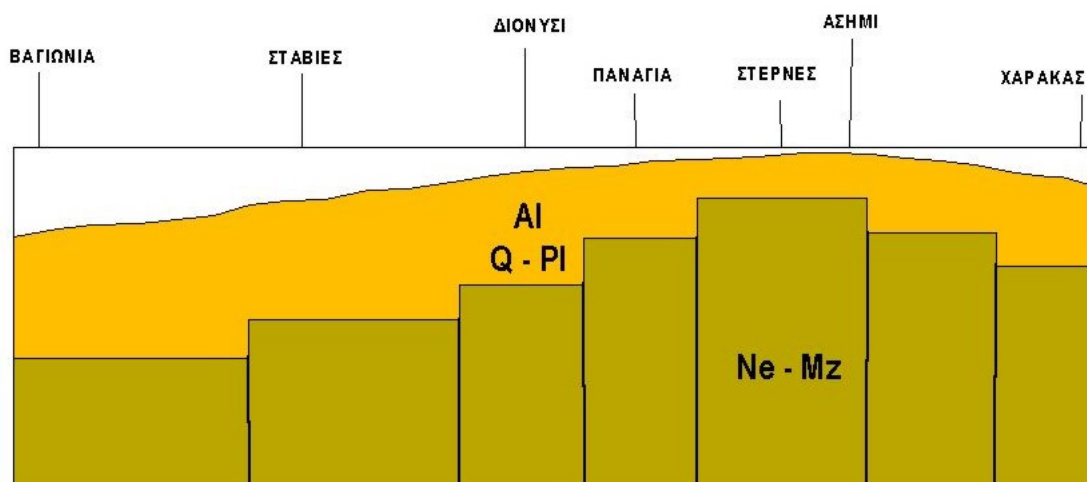


ΣΧΗΜΑ 3.2 Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης. Αλλουβιακές Τεταρτογενείς αποθέσεις (Q), αλλουβιακές Πλειο-Πλειστοκαινικές αποθέσεις (PI), Νεογενείς σχηματισμοί (Ne) – Μεσοζωϊκό υπόβαθρο (Mz). Οι κόκκινες καμπύλες συμβολίζουν μέσα υδραυλικά φορτία περιόδου χαμηλής στάθμης και τα μαύρα βέλη τις διευθύνσεις υπόγειας ροής. Με μπλε συμβολίζεται η προτεινόμενη λιμνοδεξαμενή ενώ τα μαύρα σύμβολα με αριθμηση, γεωτρήσεις της περιοχής με κωδικοποίηση YEB.

Συγκεκριμένα η αρχική αντίληψη της δομής της περιοχής βασίστηκε στην υπόθεση της ύπαρξης δύο διακεκριμένων υδρογεωλογικά ενοτήτων των υδροφόρων Τεταρτογενών Αλλουβίων και των σχετικά ανυδροφόρων Πλειστοκαινικών Αλλουβίων. Η κατάταξη μιας περιοχής σε μία από τις δύο ενότητες βασίστηκε προφανώς σε συνδυασμό δύο κριτηρίων:

- του λιθολογικού με τους Πλειο-Πλειστοκαινικούς σχηματισμούς να είναι περισσότερο λεπτόκοκκοι και πλουσιότεροι σε ιλυώδη αργιλώδη φάση και
- του υδρογεωλογικού με τους Πλειο-Πλειστοκαινικούς σχηματισμούς να είναι από πλευράς υδροφοριών πτωχότεροι

Έτσι η χαρτογράφηση του FAO κατέταξε το κεντρικό τμήμα της περιοχής μελέτης στους Πλειο-Πλειστοκαινικούς σχηματισμούς και θεώρησε ότι ένα ρήγμα BA – ΝΔ διεύθυνσης αμέσως δυτικά του Ασημίου χώριζε τους Αλλουβιακούς σχηματισμούς της λεκάνης των Προτορίων ανατολικά, από το μπλοκ της Βαγιωνιάς δυτικά, όπου οι Νεογενείς σχηματισμοί έφθαναν σχεδόν μέχρι την επιφάνεια. Αντίθετα η χαρτογράφηση του ΓΜΕ κατέταξε όλο το κεντρικό τμήμα της περιοχής μελέτης στα Τεταρτογενή Αλλούβια. Από τη μεταγενέστερη ανόρυξη δεκάδων γεωτρήσεων στην περιοχή μελέτης δεν διαπιστώθηκαν διαφοροποιήσεις στις υδραυλικές τους ιδιότητες καθώς και στις τιμές των πιεζομετρικών και υδραυλικών φορτίων στις γεωτρήσεις των σχηματισμών παρά την προφανή ετερογένεια των επί μέρους Τεταρτογενών Πλειο-Πλειστοκαινικών και Νεογενών υδροφορέων που συνθέτουν την περιοχή. Οι διαπιστώσεις αυτές σε συνδυασμό με την ύπαρξη υπόγειου υδροκρίτη στο ύψος Ασημίου – Στερνών οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το μέχρι τώρα θεωρούμενο μπλοκ της Βαγιωνιάς είναι μία σύνθετη αλληλουχία από ρηξιτεμάχη (blockfaults) του Νεογενούς (Ne) – Μεσοζωϊκού (Mz) υποβάθρου με βύθιση που προοδευτικά αυξάνει περισσότερο προς τα δυτικά σε σχέση με ανατολικά (Σχήμα 3.3). Η αλληλουχία αυτή έχει καλυφθεί από υδρογεωλογικά σημαντικές Πλειο-Πλειστοκαινικές (P1) και Τεταρτογενείς (Q) αποθέσεις.



ΣΧΗΜΑ 3.3 Σχηματική τομή διεύθυνσης Δ-Α της περιοχής μελέτης.

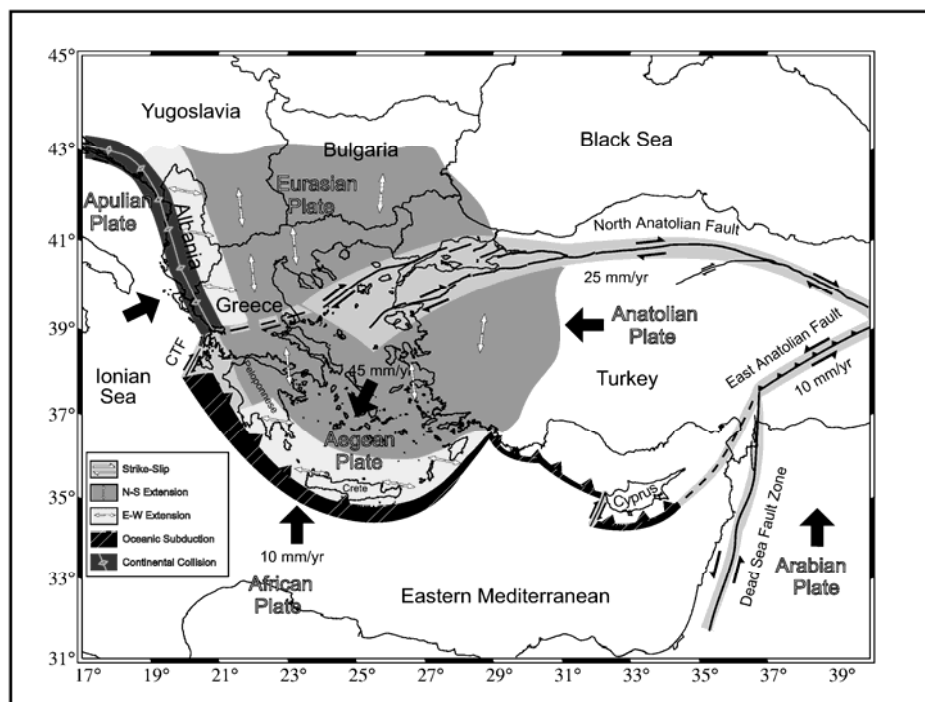
Οι Νεογενείς σχηματισμοί του βορείου τμήματος της λεκάνης αποτελούνται από μάργες και αργίλους με ενστρώσεις μαργαικών ασβεστολίθων, κροκαλοπαγών, άμμων, ψαμμιτών, και γύψων. Το πάχος των σχηματισμών αυτών σύμφωνα με γεωφυσικές διασκοπήσεις ξεπερνά τα 450-500 μέτρα ενώ το πάχος του επιφανειακού στρώματος των μαργών του Σχηματισμού της Φοινικιάς κυμαίνεται από 25 m έως 120m. Η ζωνοειδής διάταξη των σχηματισμών οφείλεται στην ρηξιγενή τεκτονική με ρήγματα Α-Δ, με τα ρηξιτεμάχια να βυθίζονται προοδευτικά από βορρά προς το κέντρο της λεκάνης.

Τέλος, το νότιο τμήμα της λεκάνης, στα Αστερούσια συνίσταται από Μεσοζωικά πετρώματα με κυρίαρχους σχηματισμούς το φλύσχη και ανθρακικά της Ζώνης της Τρίπολης. Επίσης υπάρχουν μερικές επιφανειακές εμφανίσεις έντονα ρηγματωμένων, αλλά ελαφρώς καρστικοποιημένων, ασβεστολίθων της ζώνης Πίνδου.

3.2 Σεισμοτεκτονικά χαρακτηριστικά του ευρύτερου ελληνικού χώρου

Η Ευρασιατική, η Αφρικανική και η Αραβική είναι οι κυριότερες τεκτονικές πλάκες που επηρεάζουν την ενεργό τεκτονική της Ελλάδας. Παρόλα αυτά οι κινήσεις αυτών των μεγάλων πλακών δεν είναι αρκετές για να ερμηνεύσουν τις βασικές σεισμοτεκτονικές ιδιότητες της Ελλάδας και των γύρω περιοχών. Έτσι δεχόμαστε και την ύπαρξη τριών πρόσθετων πλακών, μικρότερων διαστάσεων (μικροπλάκες), την πλάκα της Ανατόλιας, την πλάκα του Αιγαίου και την πλάκα της Απουλίας, (σχ. 3.4). Το νοτιότερο

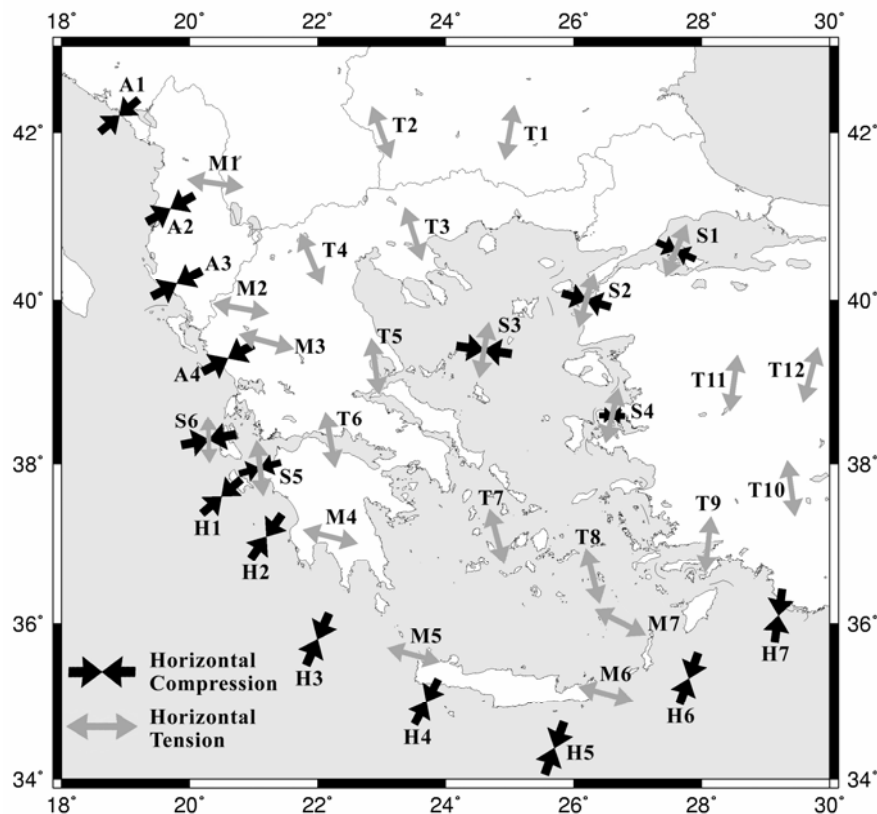
όριο της πλάκας του Αιγαίου χαρακτηρίζεται από ανάστροφα ρήγματα, μικρής γωνίας κλίσης επιφανειακών σεισμών, οι οποίοι τοποθετούνται κατά μήκος του Ελληνικού Τόξου (δυτικά της Ζακύνθου- Νότια της Κρήτης- Ανατολικά της Ρόδου). Η κύρια διεύθυνση των σεισμικών μετατοπίσεων τέτοιων ρηγμάτων είναι σύμφωνη με δεδομένα GPS τα οποία υποθέτουν μια νοτιοδυτική κίνηση της πλάκας του Αιγαίου. Το σεισμικό εύθραυστο τμήμα της παραμόρφωσης κατά μήκος αυτού του ορίου είναι περίπου 1.3 cm/yr, ενώ η ταχύτητα του νότιου Αιγαίου σε σχέση με την Αφρική είναι 5.5 cm/yr (Kastens et al., 1998). Φαίνεται ότι η αλληλεπίδραση της πλάκας κατά μήκος αυτού του ορίου, είναι ωκεάνιου - ηπειρωτικού χαρακτήρα στο επιφανειακό τμήμα της επιφάνειας της αλληλεπίδρασης, ενώ πρόσφατη τομογραφία (Papazachos & Nolet, 1997) δείχνει με ακρίβεια υπόλειμμα του ωκεάνιου φλοιού να υπάρχει κάτω από το Ελληνικό τόξο, ειδικά στο δυτικό τμήμα (Ιόνια νησιά). Πρέπει να τονιστεί ότι αυτή η παραμόρφωση επιφανειακού βάθους οφείλεται κυρίως στην επώθηση της πλάκας του Αιγαίου πάνω στην Αφρικανική πλάκα.



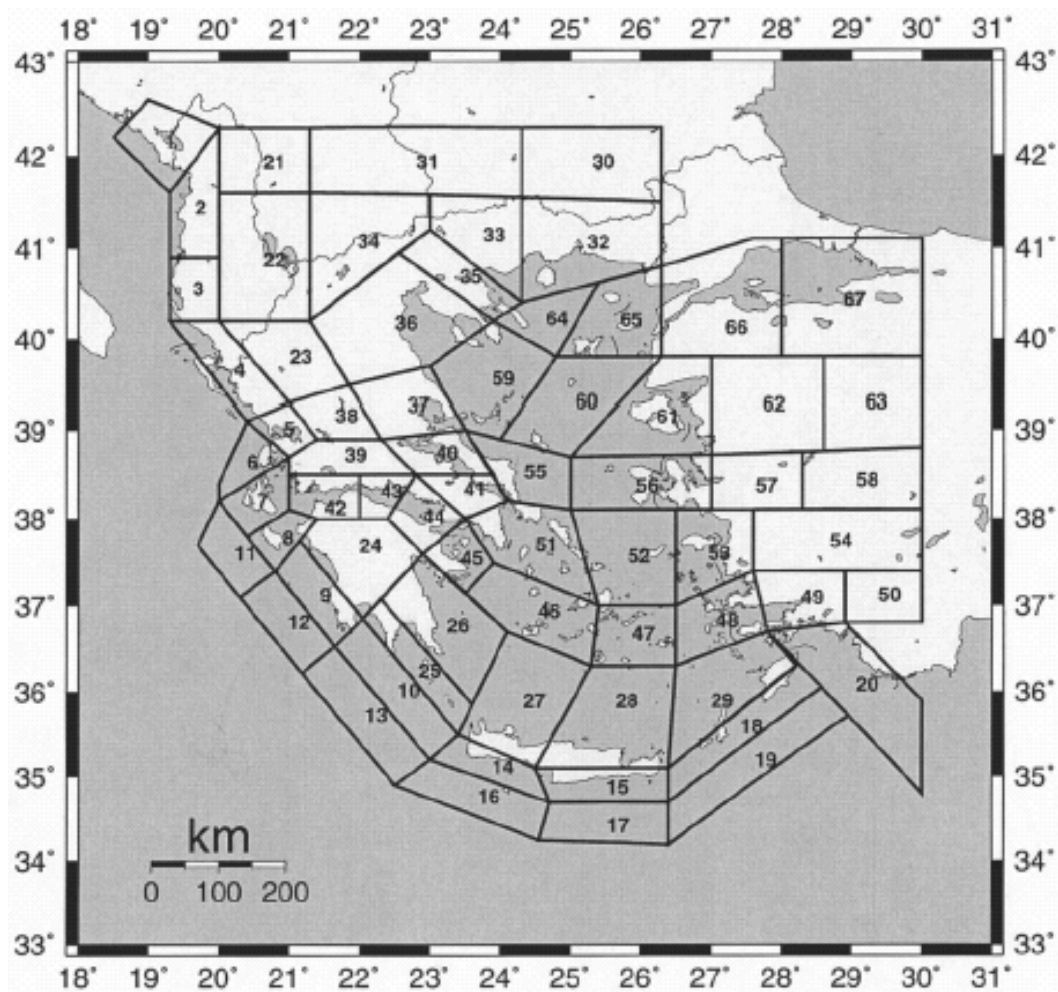
Σχήμα 3.4 Οι κινήσεις των πλακών, οι οποίες επηρεάζουν την ενεργό τεκτονική στο Αιγαίο και τις γύρω περιοχές (Papazachos et al., 1997c).

Στο σχήμα (3.5), βλέπουμε την κύρια σεισμοτεκτονική εικόνα του Αιγαίου και των γύρω περιοχών. Βόρεια της Κεφαλονιάς, στο νησί της Λευκάδος, η ζώνη των

ανάστροφων ρηγμάτων, η οποία κινείται κατά μήκος της νοτιοδυτικής παράκτιας Γιουγκοσλαβίας και συνεχίζει νότια κατά μήκος της παράκτιας περιοχής της Αλβανίας και τερματίζει στη Βορειοδυτική Ελλάδα. Αυτός ο τύπος ρήγματος συνδέεται με την ηπειρωτική σύγκρουση μεταξύ των εξωτερικών Ελληνίδων και της Απουλίας. Η διεύθυνση του άξονα της μέγιστης συμπίεσης είναι περίπου κάθετη στη διεύθυνση της Αδριατικοϊονίας γεωλογικής ζώνης. Στο πιο βόρειο τμήμα του τόξου, στο νησί της Κεφαλλονιάς, παρατηρείται ένα δεξιόστροφο ρήγμα οριζόντιας μετατόπισης που οφείλεται στη γνωστή σχετική κίνηση του Αιγαίου και της Ανατολικής Μεσογείου.



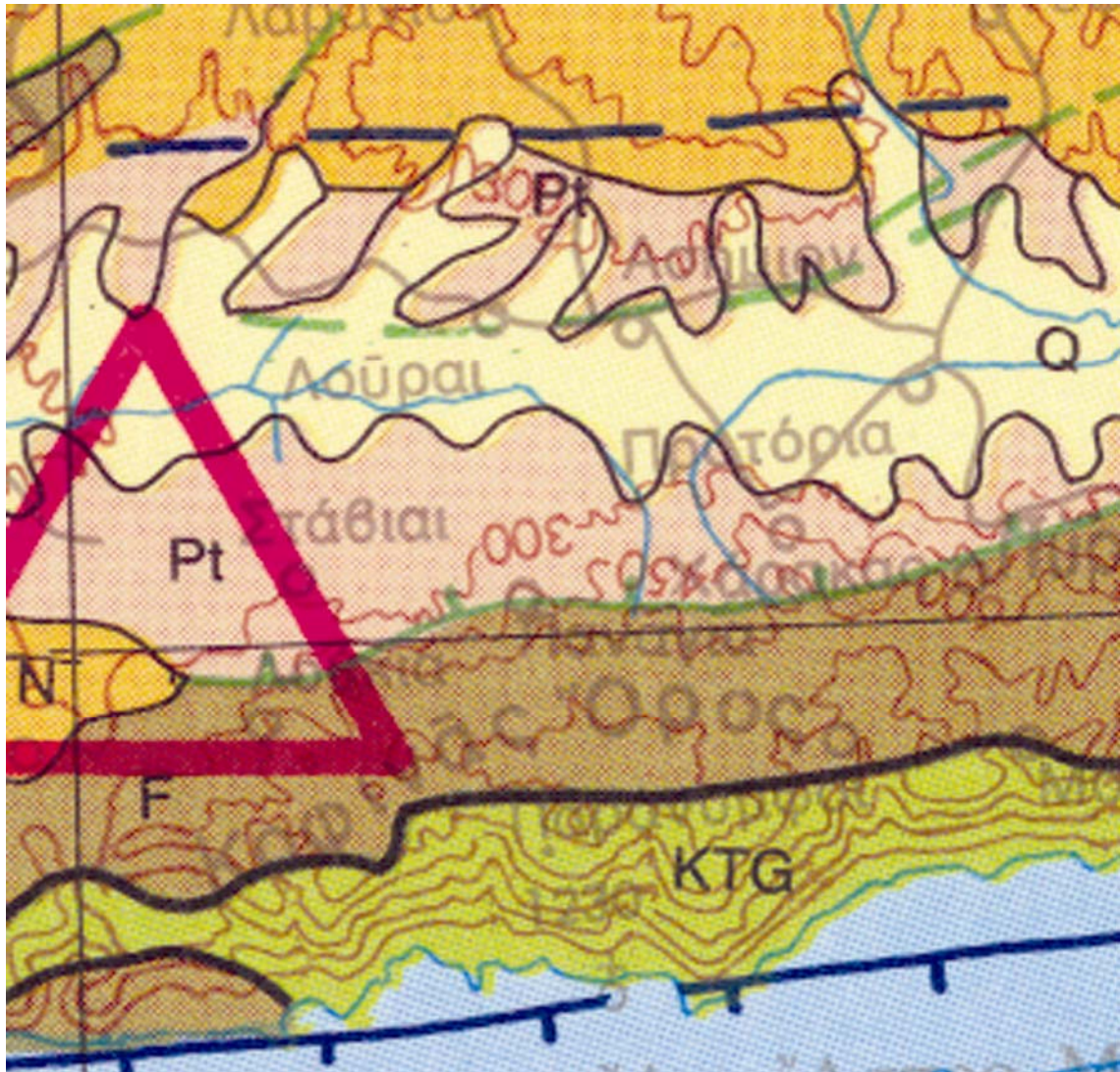
Σχήμα 3.5 Κύρια σεισμοτεκτονική εικόνα του Αιγαίου και των γύρω περιοχών. Οι διευθύνσεις των P-αξόνων (συμπίεσης) παριστάνονται με τα μαύρα συγκλίνοντα βέλη, ενώ οι διευθύνσεις των T-αξόνων (εφελκυσμού) με άσπρα αποκλίνοντα βέλη. Τα ρήγματα παράταξης παριστάνονται με δύο αντίθετα βέλη. (Papazachos et al., in press).



Σχήμα 3.6. Σεισμικές πηγές των επιφανειακών σεισμών της Ελλάδας και των γύρω περιοχών (Parazachos and Papaioannou, 1997).

κωδικός	Όνομα	b	a	Area (Km ²)	M _{max}	Rate, M>5.0	ζ	ε
15	SE Crete	1.00	4.72	7342	7.2	0.508	-56	0.82
28	NE Crete	0.98	4.36	18750	7.2	0.301	10.	0.88

Πίνακας 3.1. Σεισμικές πηγές των επιφανειακών σεισμών της Κρήτης



Σχήμα 3.7. Απόσπασμα του γεωτεκτονικού χάρτη 1/500.000 στην οποία παρουσιάζονται τα γεωτεκτονικά χαρακτηριστικά της υπό μελέτη περιοχής.

3.3 Υδρογεωλογική δομή της περιοχής μελέτης

Οι κύριες υδροφορίες στην περιοχή μελέτης αναπτύσσονται στις Τεταρτογενείς αλλουβιακές αποθέσεις, στις Πλειοπλειστοκαινικές αποθέσεις του Σχηματισμού της Αγ. Γαλήνης αλλά και στα Νεογενή κροκαλοπαγή.

Από τα στοιχεία των γεωτρήσεων και τις μελέτες του FAO³ και του ΙΓΜΕ⁴ για την περιοχή φαίνεται ότι η τροφοδοσία των Τεταρτογενών και Πλειοπλειστοκαινικών αλλουβιακών υδροφορέων στο κεντρικό τμήμα της περιοχής μελέτης γίνεται από την επιφάνεια με την κατείσδυση των νερών των βροχοπτώσεων και δεν αναμένεται υπόγεια πλευρική τροφοδοσία του από Νεογενείς σχηματισμούς – βόρεια. Αντίθετα τα πλευρικά κορήματα κατά μήκος των νότιων παρυφών των Αστερουσίων θεωρείται ότι συμβάλουν σημαντικά στην τροφοδοσία της νότιας ζώνης των αλλουβιακών αποθέσεων. Γενικά η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα στην προ της εκμετάλλευσης περίοδο εμφανίζει πολύ καλή συσχέτιση με το ανάγλυφο.

³ Dietrich, G., 1972. Hydrogeology of the Eastern Messara. United Nations Development Programme. FAO. Working Document No 37.

⁴ Κνιθάκης Μ., Πολυχρονάκη Α., 1994. Υδρογεωλογική μελέτη της περιοχής Ανατολικής Μεσαράς, Ν. Ηρακλείου. ΙΓΜΕ Παρ/μα Κρήτης.



Σχήμα 3.8. Απόσπασμα του υδρολιθολογικού – γεωλογικού χάρτη της περιοχής μελέτης

ΠΟΡΩΔΕΙΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ

Κοκκώδεις προσχωματικές κυρίως αποθέσεις κυμαινόμενης υδροπερατότητας (Π1)

Η κυκλοφορία του νερού στις αποθέσεις αυτές γίνεται μέσω του πρωτογενούς πορώδους (πορώδες κόκκων). Κατατάσσονται εδώ οι αλλουβιακές αποθέσεις, οι τοπόμες και θαλάσσιες αναβαθμίδες, τα κροκαλοπαγή ποτάμια προέλευσης, τα πλευρικά κορήματα και οι κώνοι κορημάτων. Στις περιπτώσεις που οι σχηματισμοί των πλευρικών κορημάτων, των κώνων κορημάτων και των αναβαθμιδών καλύπτουν μικρή έκταση και έχουν μικρό πάχος δεν έχουν υδρογεωλογική σημασία. Αναπτύσσονται ιδιαίτερα στις σύγχρονες αποθέσεις των ποταμών και χειμάρρων αξιόλογες φρεάτιες υδροφορίες. Κοινά στη θάλασσα οι υδροφορίες αυτές έχουν υποστεί κατά θέσεις, υποβάθμιση εξαιτίας υφαλμύρινσης.

Μειοκαινικές και πλειοκαινικές αποθέσεις μέτριας έως μικρής υδροπερατότητας (Π2).

Η κυκλοφορία του νερού γίνεται μέσω του πρωτογενούς πορώδους (πορώδες κόκκων). Κατατάσσονται εδώ τα κροκαλοπαγή και οι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι των νεογενών σχηματισμών. Καταλαμβάνουν τις παρυφές των ορεινών ασβεστολιθικών όγκων και μερικές φορές τροφοδοτούνται πλευρικά από τους ασβεστολίθους όταν η πιεζομετρία το επιτρέπει. Αναπτύσσονται εδώ επιμέρους υπόγειες υδροφορίες μέσου έως μικρού δυναμικού.

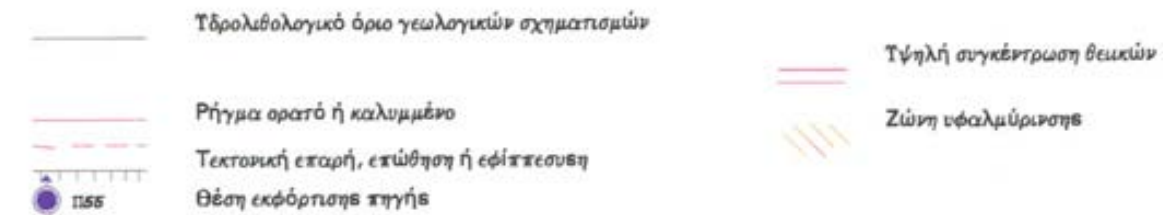
Κοκκώδεις μη προσχωματικές αποθέσεις μικρής έως πολύ μικρής υδροπερατότητας (Π3)

Κατατάσσονται εδώ οι πλειοκαινικές και μειοκαινικές μάργες, καθώς και ο αδιαίρετος σχηματισμός του νεογενούς. Τοπικά στον αδιαίρετο σχηματισμό των νεογενών αναμένεται η ανάπτυξη υδροφοριών μέσα σε παρεμβολές κροκαλοπαγών ή μαργαϊκών ασβεστολίθων. Κατά θέσεις στις νεογενείς αποθέσεις αναπτύσσονται στρώματα γύψου που παρουσιάζουν αξιόλογη υδροφορία έντονα υποβαθμισμένη εξαιτίας των θειικών ιόντων.

ΑΔΙΑΠΕΡΑΤΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ

Πρακτικά αδιαπερατοί σχηματισμοί μικρής έως πολύ μικρής υδροπερατότητας (Α1)

Περιλαμβάνονται εδώ οι σχηματισμοί του φλύσχη των διαφόρων ζωνών. Κατά θέσεις εντός των στρωμάτων του φλύσχη αναπτύσσονται τοπικού χαρακτήρα υδροφορίες μικρού έως μέσου δυναμικού.



Σχήμα 3.9. Υπόμνημα του αποσπάσματος του γεωλογικού-υδρολιθολογικού χάρτη για την περιοχή μελέτης.

Είναι προφανής η ύπαρξη υπόγειου υδροκρίτη στην ευθεία Στερνών - Ασημίου, ήτοι παράλληλου με το όριο των δύο λεκανών (Ανατολικής και Δυτικής Μεσαράς), και μεγαλύτερη βύθιση του υδροφόρου ορίζοντα και της αντίστοιχης υπολεκάνης προς τα δυτικά (Μοιρών) παρά προς τα ανατολικά (Προτορίων).

Επίσης παρά την προφανή ετερογένεια στα είδη και τις ιδιότητες των επί μέρους Τεταρτογενών και Νεογενών υδροφορέων που συνθέτουν την υδρογεωλογική λεκάνη της Δυτικής Μεσαράς, δεν διαπιστώθηκαν διαφοροποιήσεις στις τιμές των πιεζομετρικών και υδραυλικών φορτίων και τα υδραυλικά χαρακτηριστικά μεταξύ των Τεταρτογενών, Πλειοπλειστοκαινικών και Νεογενών υδροφορέων της περιοχής. Η διακύμανση των υδραυλικών χαρακτηριστικών αντανακλά την ανομοιογένεια των σχηματισμών αυτών που

οφείλεται στη διακύμανση της περιεκτικότητας και της κατανομής λεπτόκοκκων και αδρόκοκκων φάσεων.

Οι Τεταρτογενείς αλλουβιακοί σχηματισμοί και Πλειο-Πλειστοκαινικές αποθέσεις του σχηματισμού της Αγίας Γαλήνης της λεκάνης περικλείουν τα πλουσιότερα υδροφόρα στρώματα της περιοχής. Ο υδροφόρος ορίζοντας βρίσκεται σε μικρό σχετικά βάθος που κυμαίνεται από -5 έως -30m με παροχές γεωτρήσεων που κυμαίνονται από 10 έως 140 m³/h.

Οι κώνοι κορημάτων (αλλουβιακά ριπίδια), οι οποίοι αναπτύσσονται κατά μήκος των υπωρειών των Αστερουσίων και υπέρκεινται του Μεσοζωϊκού υποβάθρου, έχουν ενδεχομένως μεγάλη σημασία για την κατείδυση και την τροφοδοσία των αλλουβιακών αποθέσεων. Στα ανώτερα τμήματα τους αναπτύσσονται τοπικά καλές υδροφορίες με βάθος υδροφόρου ορίζοντα -20 έως -35m και παροχές της τάξης των 30 έως 50 m³/h.

Γενικά στο νότιο περιθώριο της αλλουβιακής λεκάνης το σχετικό βάθος του υδροφόρου ορίζοντα είναι μεγαλύτερο σε σχέση με το κεντρικό και βόρειο τμήμα γεγονός που συναρτάται με το μεγαλύτερο μέγεθος των κόκκων των αλλουβιακών σχηματισμών που αυξάνει το ενεργό πορώδες και την παροχευτικότητα των σχηματισμών.

Οι Νεογενείς σχηματισμοί του βορείου τμήματος της λεκάνης αποτελούνται από μάργες και αργίλους με ενστρώσεις μαργαϊκών ασβεστολίθων, κροκαλοπαγών, άμμων, ψαμμιτών, και γύψων. Το πάχος των σχηματισμών αυτών σύμφωνα με γεωφυσικές διασκοπήσεις ξεπερνά τα 450-500 μέτρα. Οι υδροφορίες στον τομέα αυτό όπου απαντώνται – σε ενστρώσεις κροκαλοπαγών και ψαμμιτών, μαργαϊκών ασβεστολίθων - ή σε στρώματα γύψου και αλίτη δύνανται να είναι σημαντικές με παροχές της τάξης των 10 έως 70 m³/h και βάθος υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα που κυμαίνεται από -20 έως -110m. Στις κατά θέσεις εμφανίσεις αβαθών στρωμάτων κροκαλοπαγών ή/και ψαμμιτών που υδροφορούν το βάθος του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα δύναται να φθάνει μόλις στα -3m. Οι υδροφορίες σε στρώματα γύψου και αλίτη είναι υψηλές σε χλωριόντα η θειικά άλατα και ακατάλληλες τόσο για ύδρευση όσο και για άρδευση.

Οι παχυστρωματώδεις μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι βρίσκονται στρωματογραφικά πάνω από λευκοκίτρινες μάργες και προς τη βάση τους τείνουν να εξελιχθούν σε σκληρές ασβεστολιθικές μάργες. Παρουσιάζονται με έντονα φαινόμενα διάβρωσης και κατακερματισμού. Λόγω της τεκτονικής δράσης στην περιοχή και όπου οι υπόλοιπες

συνθήκες είναι ευνοϊκές (τροφοδοσία, διάβρωση, έκταση, κ.λπ.) παρουσιάζουν τοπικά σημαντική υδροφορία με παροχές στην περιοχή μελέτης της τάξης των 50 m³/h.

Τέλος, το **νότιο τμήμα της περιοχής**, στα Αστερούσια συνίσταται από Μεσοζωικά πετρώματα με κυρίαρχο σχηματισμό τον πρακτικά αδιαπέρατο φλύσχη αλλά και εκτεταμένες εμφανίσεις έντονα ρηγματωμένων, αλλά ελαφρώς καρστικοποιημένων, ανθρακικών της ζώνης της Τρίπολης. Στους ανθρακικούς σχηματισμούς αυτούς, παρά την υδραυλική τους επικοινωνία με τη θάλασσα καθ' όλο το μήκος του παραλιακού μετώπου του Δήμου, λόγω της ρηξιγενούς τεκτονικής της περιοχής και της παρουσίας του φλύσχη, δυνατόν να αναπτύσσονται σημαντικές υδροφορίες που όμως δεν υφίστανται εκμετάλλευση. Τα κλαστικά πετρώματα του φλύσχη έχουν πολύ χαμηλή περατότητα και συνήθως δρουν ως φραγμοί της υπόγειας υδροφορίας των ανθρακικών και ευνοούν τη δημιουργία συνθηκών εκμετάλλευσης τους στο βόρειο τμήμα των Αστερουσίων. Λόγω όμως του έντονου κατακερματισμού τους και οι σχηματισμοί του φλύσχη δυνατόν τοπικά να αναπτύσσουν αξιοσημείωτες υδροφορίες.

Οι υδροφορίες των Τεταρτογενών σχηματισμών υφίστανται εντατική εκμετάλλευση από 197 γεωτρήσεις. Οι συνολικές παροχές εκμετάλλευσης των γεωτρήσεων αυτών σύμφωνα με τον Πίνακα που ακολουθεί είναι 4038 m³/h.

ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑ	ΥΔΡΕΥΤΙΚΕΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ	ΑΡ. ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ	ΑΡΔΕΥΤΙΚΩΝ	ΣΥΝΟΛΟ ΠΑΡΟΧΗΣ (m³/h)
Ανω Ακρια	2		20	428
Ασήμι			30	580
Διονύσι			17	400
Λούρες	1		21	449
Σοκαρά	2		28	741
Στάβιες	1		30	901
Στέρνες	1		14	467
Στόλοι	3		26	500
ΣΥΝΟΛΟ	10		186	4038

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2 Συνολικές παροχές εκμετάλλευσης γεωτρήσεων Δήμου Κόφινα ανά Δημοτικό Διαμέρισμα.

Από την προσομοίωση του Αλλουβιακού υδροφορέα του Δήμου Κόφινα (Παρίτισης 2000) εξάγονται τα ακόλουθα συμπεράσματα:

1. Ο αλλουβιακός υδροφορέας αποτελείται από δύο συστήματα υπόγειας ροής που συγκλίνουν προς την μοσγάγεια του Γεροποτάμου. Το βόρειο και μεγαλύτερης τροφοδοσίας σύστημα χαρακτηρίζεται από ροή ΒΑ – ΝΔ διεύθυνσης ενώ το νότιο και μικρότερης τροφοδοσίας από ροή ΝΑ – ΒΔ διεύθυνσης. Το μέσο δυναμικό της νότιας ζώνης εκτιμάται σε 3.7 εκ. κυβικά μέτρα ετησίως ενώ της βόρειας ζώνης σε 4.8.
2. Οι αντλήσεις στα δύο αυτά συστήματα πρέπει να είναι ανάλογες του δυναμικού τους. Στις σημερινές όμως συνθήκες εκμετάλλευσης του υδροφορέα του Δήμου Κόφινα εκτιμάται ότι συμβαίνει ακριβώς το αντίθετο. Οι αντλήσεις στη νότια ζώνη είναι της τάξης του 61% των συνολικών αντλήσεων ενώ στη βόρεια ζώνη της τάξης του 39%. Η υπεραντληση της νότιας ζώνης εκτιμάται ότι είναι της τάξης του 1,5 εκ. κυβικών μέτρων με αποτέλεσμα η προκαλούμενη ταπείνωση της στάθμης να είναι τόσο μεγάλη ώστε σημαντικό τμήμα της λεκάνης του Δήμου Κόφινα να βρίσκεται στον κώνο ταπείνωσης του πεδίου αυτού. Σε αντίθεση όπως οι επιπτώσεις στη βόρεια ζώνη ακόμη και υπό τις συνθήκες των υψηλών αντλήσεων είναι περιορισμένες.
3. Ορθολογική διαχείριση του υδροφορέα του Δήμου Κόφινα και διατήρηση των υδατικών του πόρων; προϋποθέτει οι συνολικές μέσες ετήσιες αντλήσεις να μην υπερβαίνουν τα 8,5 εκ. κυβικά μέτρα με μέσες ετήσιες επιτρεπόμενες αντλήσεις από το πεδίο Σταβιών – Στερνών πολύ μικρότερες από 3.7 εκ. κυβ. μέτρα και από το πεδίο της βόρειας ζώνης (Ανω Ακρια – Ασήμι – Λούρες – Σοκαράς – Στόλοι) πολύ μικρότερες από 4.8 εκ. κυβ. μέτρα. Ο αποθηκευμένος όγκος νερού θα εξυπηρετούσε τις υδατικές ανάγκες σε περιόδους παρατεταμένης ξηρασίας ενώ κατά τις υγρές περιόδους θα γινόταν αναπλήρωση των ρυθμιστικών αποθεμάτων.

4. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΛΕΚΑΝΩΝ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΚΟΦΙΝΑ

4.1 Γενικά

Ο Δήμος Κόφινα βρίσκεται πάνω στον κοινό υδροκρίτη των λεκανών Γεροπόταμου από δυτικά και Αναποδάρη από ανατολικά. Για την υδρολογική διερεύνηση της περιοχής μελέτης, προσδιορίστηκαν κατά υδρολογική λεκάνη οι τιμές και η κατανομή των βροχοπτώσεων, θερμοκρασιών και εξατμισοδιαπνοής.

4.2 Στερεοπαροχή

Το μέγεθος της στερεοπαροχής είναι μικρό λόγω της μικρής έκτασης της υπό μελέτης περιοχής. Η στερεοπαροχή στους ποταμούς βρέθηκε από 200 - 1000 μ³ ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο και ανά έτος. Με την βοήθεια του εμπειρικού τύπου του CORBEL, θα υπολογίσουμε την ετήσια στερεοπαροχή ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο. Άρα θα έχουμε:

$$F = E * T,$$

όπου **F** η μέση ετήσια στερεοπαροχή σε μ³ ανά τετραγωνικό μέτρο της λεκάνης απορροής, **E** το μέσο ύψος απορρέοντος ύδατος απ' όλη τη λεκάνη απορροής που είναι:

$$E = c * P$$

με **P** το μέσο ετήσιο ύψος βροχής ίσο με 0,7485 μέτρα, **c** ο συντελεστής απορροής ίσος με 0,25 και **T** το ποσοστό φερτών υλών εντός του απορρέοντος ύδατος, εκτιμώμενο σε 0,12%. Έτσι έχουμε:

$F = 0,25 * 0,7485 * 0,0012 = 0,0002455 \mu^3 / \mu^2$ και ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο $0,0002455 * 10^6 = 245,5 \mu^3 / \chi\lambda\mu^2$, έτος, οπότε σ' όλη την εξεταζόμενη λεκάνη η μέση ετήσια στερεοπαροχή θα ανέρχεται σε $9,36 * 245,5 = 2297,88 \mu^3$.

Με μία άλλη σχετική εμπειρική μέθοδο, θα εκτιμήσουμε τη μέση ετήσια στερεοπαροχή αιωρουμένων:

$$ge = 15 * \gamma * e^{3 * P}$$

όπου: ge = η μέση ετήσια στερεοπαροχή σε αιώρηση ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο της λεκάνης απορροής.

P = το μέσο ετήσιο ύψος βροχής ίσο με 748,5 χλστ.,

e = η βάση των Νεπερίων λογαρίθμων

γ = ο γεωλογικός συντελεστής ίσος με 0,95.

Αντικαθιστώντας, έχουμε:

$$ge = 15 * 0,95 * e^{3p} = 134,59 \mu^3.$$

Οι συρόμενες φερτές ύλες $g\sigma$ θα είναι ποσοστό ίσο με το 80% των αιωρούμενων, οπότε η ολική ετήσια στερεοπαροχή ανά $\chi\lambda\mu^2$ $g\sigma$ θα είναι:

$$g\sigma = ge + g\sigma = ge * 1,80 = 134,59 * 1,80 = 242,26 \mu^3 / \chi\lambda\mu^2$$

Η όλη λεκάνη απορροής ανέρχεται σε 9,36 $\chi\lambda\mu^2$ οπότε η ετήσια στερεοπαροχή είναι 2.267,55 μ^3 φερτών. Συνεπώς, επειδή έχουμε μέτρια διαβρωσιμότητα στην περιοχή, η ετήσια στερεοπαροχή περίπου στα 2250 μ^3 ανταποκρίνεται πλήρως στην πραγματικότητα.

4.3 Υδρολογία – Πλημμυρική Παροχή

4.3.1 Συντελεστής απορροής

Η έκταση της λεκάνης απορροής του χειμάρρου Στερνών είναι σχετικά μικρή και η γεωλογική σύσταση της περιοχής είναι περίπου ομοιόμορφη. Η έκταση της λεκάνης απορροής είναι 9,36 $\chi\lambda\mu^2$ και η μεγαλύτερη διαδρομή του νερού 7,4 χλμ. περίπου. Η μέση κατά μήκος κλίση της φυσικής κοίτης του χειμάρρου είναι 11,35%. Η λεκάνη απορροής του ποταμού είναι καλυμμένη ποικιλοτρόπως. Ένα μέρος της είναι καλυμμένο με δέντρα, ενώ σημαντικές εκτάσεις είναι καλλιεργούμενες.

Για τον υπολογισμό του συντελεστού απορροής C προσδιορίζουμε τους επιμέρους συντελεστές C' , $C'1$ λόγω κλίσεων (τοπογραφικών συνθηκών), $C'2$ λόγω φύσεως εδάφους (συστάσεως) και $C'3$ λόγω φυτικής κάλυψης.

Όπου $C'1 = 0,25$ επειδή οι κλίσεις κυμαίνονται στα 5%. Ο συντελεστής $C'1$ για σχεδόν οριζόντιο έδαφος φθάνει και το 0,30. Ο $C'2$ κυμαίνεται από 0,10 για αδιαπέραστες

αργίλους, ενώ για αμμοπηλούς το 0,40. Εδώ τίθεται $C'2 = 0,35$.

Ο συντελεστής φυτικής κάλυψης $C'3$ κυμαίνεται από 0,10 για καλλιεργήσιμες γαίες ενώ φθάνει τα 0,2 για δενδροκάλυψη. Οπότε $C'3 = 0,15$.

Ο συντελεστής απορροής c θα υπολογισθεί από τη σχέση:

$$C = 1,0 - \Sigma C' = 1 - 0,25 - 0,35 - 0,15 = 0,25.$$

4.3.2 Χρόνος συρροής

Ο χρόνος συρροής, ή χρόνος συγκέντρωσης είναι ο χρόνος που χρειάζεται να διανύσει το νερό από το περισσότερο απομακρυσμένο σημείο της λεκάνης απορροής μέχρι το σημείο μελέτης, δηλαδή ο χρόνος που απαιτείται για να συμβάλει ολόκληρη η λεκάνη απορροής νερό στο σημείο συρροής. Όπως αναφέρθηκε, ο χρόνος συρροής είναι ο απαιτούμενος χρόνος για να πραγματοποιηθεί η αιχμή της απορροής.

Ο χρόνος συρροής υπολογίζεται με διάφορους εμπειρικούς τύπους, με πιο αξιόπιστο τον τύπο του GIANDOTTI

🚦 Τύπος του GIANDOTTI:

$$t_c = \frac{4\sqrt{E} + 1,5L}{0,8\sqrt{z}}$$

$$z = |h_{\min} - \bar{h}| = \left| h_{\min} - \left(\frac{h_{\max} - h_{\min}}{3} + h_{\min} \right) \right|$$

όπου t_c ο χρόνος συρροής σε ώρες, E το εμβαδόν λεκάνης απορροής έκτασης 9,36 χλμ², L το μεγαλύτερο μήκος διαδρομής του νερού περίπου 7,4 χλμ., και $H-h$ η υψομετρική διαφορά από το μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής μέχρι την εξεταζόμενη θέση ίση με 245 μ. περίπου. Το μέγιστο υψόμετρο είναι 1100 μ., το μέσο υψόμετρο 505 μ. και η εξεταζόμενη θέση έχει υψόμετρο 260μ.

Αντικαθιστούμε και βρίσκουμε:

$$t_c = 4 * [9,36 + (1,5 * 7,4)]^{0,5} / 0,8 * (505 - 245)^{0,5} = 1,44 \text{ ώρες}$$

4.3.3 Ένταση βροχοπτώσεων

Οι σχέσεις προσδιορισμού του ύψους της βροχής h , συναρτήσει του χρόνου t (διάρκεια βροχής) για την αντίστοιχη περίοδο επαναφοράς T είναι:

$$\begin{array}{ll} T= 30 \text{ \acute{e}\tau\eta} & h= 9,26*t^{0,51} \\ T= 50 \text{ \acute{e}\tau\eta} & h= 10,82*t^{0,53} \\ T= 100 \text{ \acute{e}\tau\eta} & h= 12,54*t^{0,55} \end{array}$$

Για χρονική διάρκεια βροχής 60 λεπτών, όσο και χρόνος συρροής, θα έχουμε ύψος βροχής: $h= 74,73$ χλστ. για $T= 30$ \acute{e}\tau\eta, για $T= 50$ χρόνια $h= 94,76$ χλστ., και για $T= 100$ χρόνια $h= 119,2$ χλστ.

Τα ύψη βροχής που βρέθηκαν είναι ιδιαίτερα μεγάλα για το χρονικό διάστημα των 60 λεπτών που θεωρήθηκε ότι πραγματοποιούνται. Σε όλο τον ελληνικό χώρο τέτοια ύψη βροχής συναντώνται για διάρκεια βροχής ακόμα και εικοσιτετράωρη.

Συνεπώς, δεν απαιτείται η εξέταση παρατηρήσεων ύψους βροχής συναρτήσει της διάρκειας της βροχόπτωσης από τους μετεωρολογικούς σταθμούς του Προφήτη Ηλία και της Αγίας Βαρβάρας, γιατί έχουν λίγα χρόνια παρατηρήσεων και μπορεί να βρίσκουμε τελικά μικρότερες εντάσεις.

4.3.4 Πλημμυρική παροχή

Για να υπολογίσουμε την πλημμυρική παροχή εφαρμόζουμε τον ορθολογικό τύπο:

$$Q= c * i * A$$

όπου: Q = πλημμυρική παροχή

c = ο συντελεστής απορροής

i = η μέση ένταση βροχόπτωσης διάρκειας ίσης με το χρόνο συρροής

A = το εμβαδόν της λεκάνης απορροής

Για τον σχεδιασμό του υπερχειλιστή οι υπολογισμοί γίνονται για περίοδο επαναφοράς $T= 100$ χρόνια.

Βρέθηκαν αντίστοιχα ο συντελεστής απορροής ίσος με 0,25 και ο χρόνος συρροής $t = 1$ ώρα. Θα υπολογίσουμε πλημμυρικές παροχές χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα της

επεξεργασίας δεδομένων του Μετεωρολογικού Σταθμού Ηρακλείου.

Προσδιορίζουμε για $T= 100$ χρόνια το ύψος βροχής με τη σχέση

$$h= 12,54 * t^{0,55}$$

όπου t ο αντίστοιχος χρόνος σε λεπτά, ίσος με 60'

Αντικαθιστούμε στην παραπάνω σχέση και έχουμε: $h= 119,201$ χλστ. Στη συνέχεια, θέτοντας την τιμή του εμβαδού $A= 9,36$ χλμ.², έχουμε για περίοδο $T= 100$ χρόνων.

$$Q_{\max} = 0,25 * 0,1192/3600 * 9,36 * 10^6 = 77,48 \text{ m}^3/\text{sec} .$$

Η παρούσα εκτίμηση είναι η δυσμενέστερη δυνατή για την ασφάλεια των έργων. Για την ασφάλεια των κατάντι περιοχών από οποιαδήποτε πλημμύρα εξετάζουμε τη μέγιστη πλημμυρική παροχή στη θέση του φράγματος για περίοδο επαναφοράς $T= 50$ χρόνια.

Η σχέση προσδιορισμού του ύψους βροχής είναι

$$h= 10,82 * t^{0,53}$$

και $h= 94,76$ χλστ. για $T= 50$ χρόνια και $t= 60'$.

Αντίστοιχα η μέγιστη πλημμυρική παροχή ανέρχεται σε

$$Q= 61,60 \text{ m}^3/\text{sec}$$

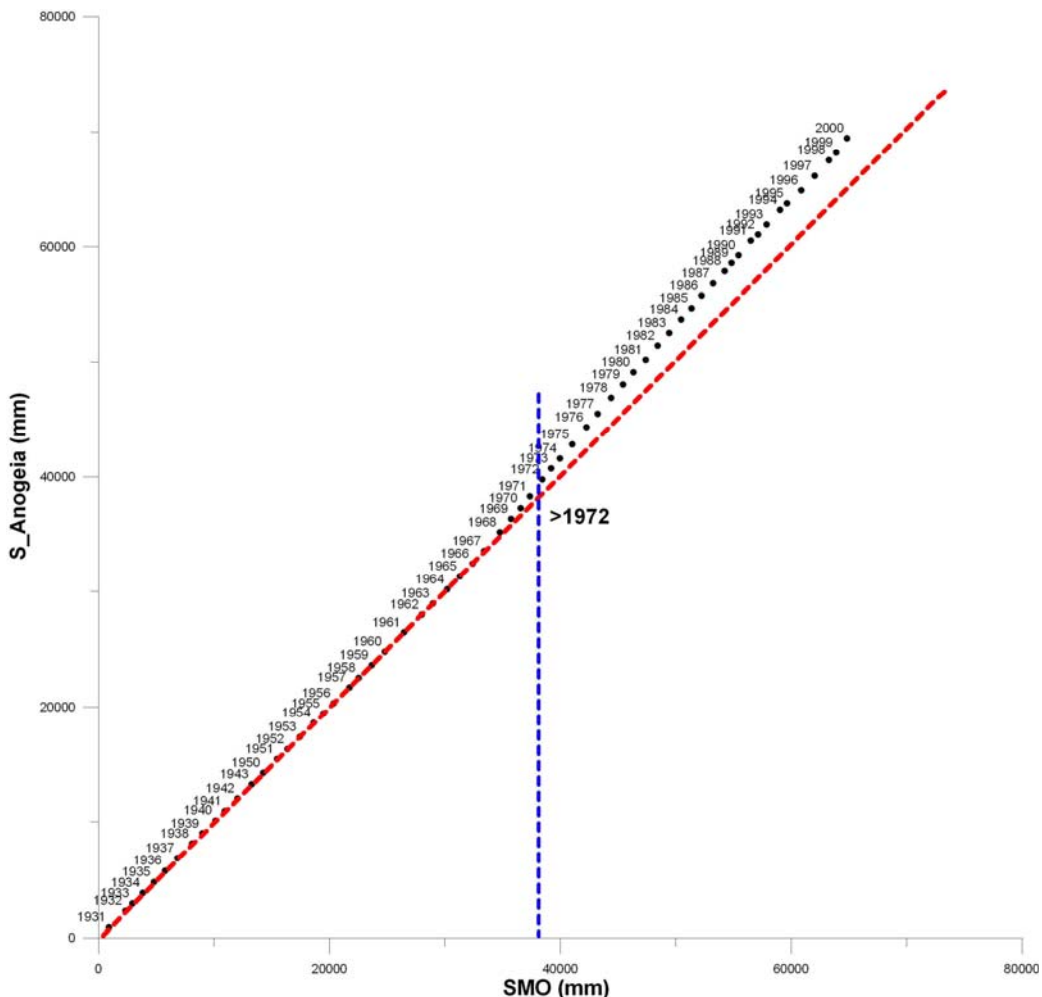
4.4 Ύψη βροχής

4.4.1 Έλεγχος Ομοιογένειας

Τη μέτρηση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων επηρεάζουν πολλοί παράγοντες. Τα βροχομετρικά δεδομένα προκύπτουν από τις ημερήσιες αναγνώσεις παρατηρητών που μπορεί να αλλάζουν, να μη γίνονται τις ώρες που πρέπει, η θέση του βροχομέτρου να αλλάξει ή ακόμα οι παρατηρήσεις να παρουσιάζουν ένα χρονικό κενό. Έτσι η αξιοπιστία των στοιχείων ελέγχεται και η εξαγωγή ενός απλού μέσου όρου από τον σταθμό δεν κρίνεται ικανοποιητική. Χρειάζεται λοιπόν διόρθωση των στοιχείων που

υπάρχουν , τεχνητή βελτίωση των δεδομένων και ομογενοποίηση των πληροφοριών. Τις περισσότερες φορές η διαφορά ανάμεσα στις νέες και παλιές τιμές δεν είναι σοβαρή, αυξάνει όμως η αξιοπιστία και η εμπιστοσύνη των στοιχείων, γεγονός που επιτρέπει τη χρησιμοποίησή τους στη σύνταξη μιας μελέτης.

Η ομογενοποίηση των παρατηρήσεων μπορεί να γίνει με την διπλή αθροιστική καμπύλη. Τα αθροιστικά εποχιακά ή ετήσια ύψη βροχής του εξεταζόμενου σταθμού συγκρίνονται με τις αντίστοιχες αθροιστικές τιμές της μέσης βροχόπτωσης μιας αντιπροσωπευτικής ομάδας γειτονικών σταθμών, που χαρακτηρίζονται σαν βασικοί. Αλλαγή στην κλίση της καμπύλης που προκύπτει, φανερώνει αλλαγή ή κάποια μεταβολή στον βροχομετρικό σταθμό. Αν άλλαζαν τα μετεωρολογικά στοιχεία η μεταβολή θα ήταν ομοιόμορφη σε όλους τους σταθμούς και δεν θα εμφανιζόταν αλλαγή στην κλίση.



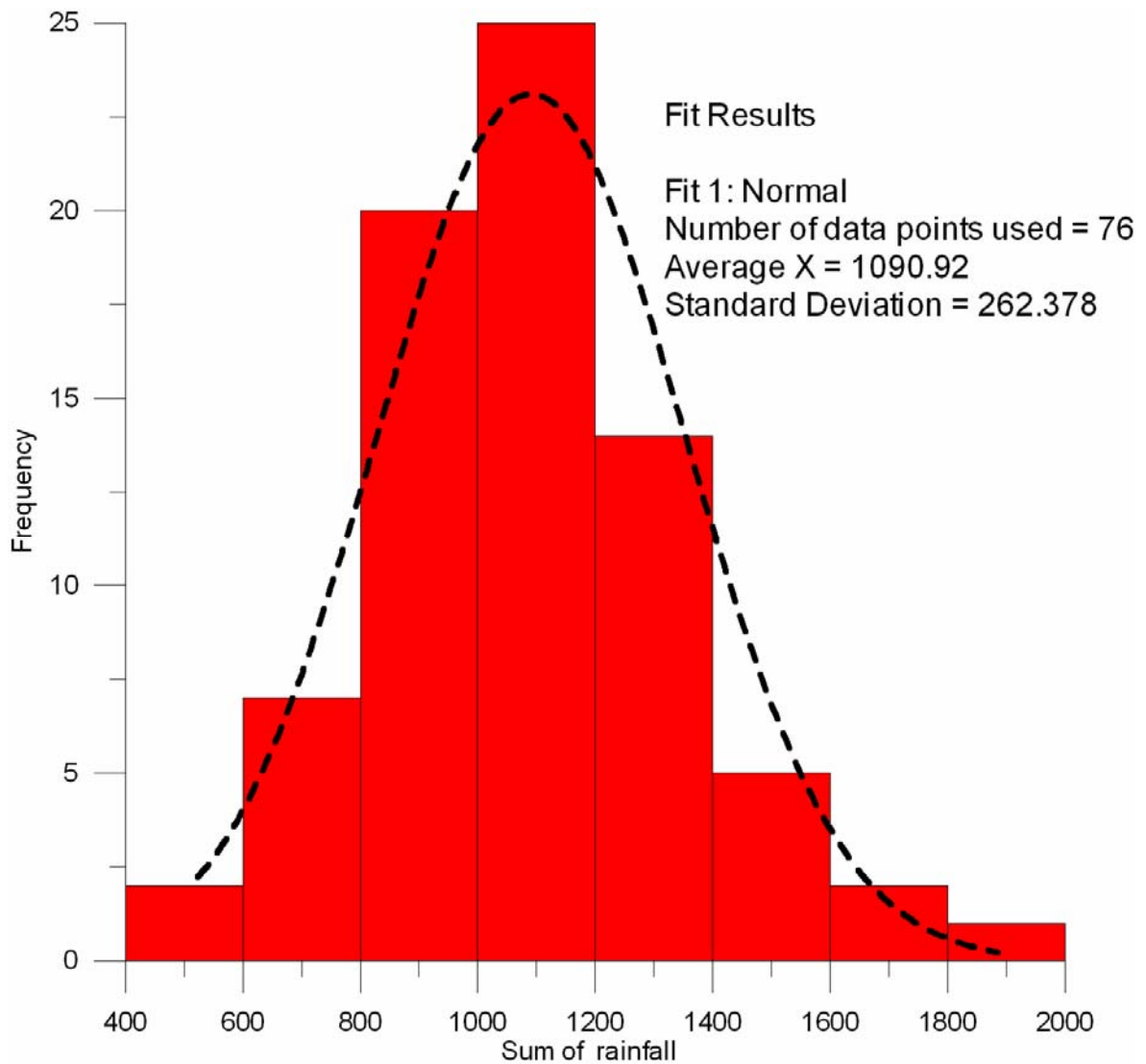
Σχήμα 4.1. Έλεγχος ομοιογένειας βροχομετρικών δεδομένων με τη μέθοδο της διπλής αθροιστικής καμπύλης.

Για το σκοπό αυτό αρχικά επαληθεύτηκε με έλεγχο X^2 η κατανομή των ετήσιων υψών βροχής κάθε σταθμού κατά Gauss (κανονική κατανομή), και κατόπιν ελέγχθηκε η εξάρτηση μεταξύ των δειγμάτων των ετησίων υψών βροχής των σταθμών της περιοχής, λαμβανομένων ανά δύο.

4.4.2 Συμπλήρωση - επέκταση ελλειπόντων στοιχείων

Τα δεδομένα των μηνιαίων υψών βροχής παρουσιάζουν σποραδικά κενά μετρήσεων. Κατά συνέπεια, έγινε συμπλήρωση των αρχείων δεδομένων, όπου αυτό ήταν αναγκαίο. Επίσης, σε ορισμένες περιπτώσεις απαιτήθηκε να γίνει επέκταση του δείγματος ενός σταθμού με βάση το δείγμα ενός άλλου πλήρους σταθμού, με τον οποίο ο πρώτος είχε ισχυρή εξάρτηση. Εν γένει, ο βαθμός εξάρτησης μεταξύ των μηνιαίων υψών βροχής δύο σταθμών ελέγχεται με τη μέθοδο της γραμμικής συσχέτισης μεταξύ των λογαρίθμων των υψών βροχής των δύο σταθμών, δεδομένου ότι οι λογάριθμοι των μηνιαίων υψών βροχής ακολουθούν εν γένει κανονική κατανομή, (πράγμα το οποίο ελέγχθηκε δειγματοληπτικά με δοκιμή X^2 και επιβεβαιώθηκε για τις υπόψη μετρήσεις), σε αντίθεση με τις τιμές των μηνιαίων υψών βροχής, για τα οποία προέκυψε ότι δεν κατανέμονται κατά Gauss.

Ο έλεγχος X^2 αποτελεί την πλέον δόκιμη μέθοδο, με βάση την οποία μπορεί να προσδιοριστεί κατά πόσο μια θεωρητική κατανομή, (στην προκειμένη περίπτωση η κανονική), συμφωνεί με μια εμπειρική, (εκείνη που αποκτάται από τα δείγματα).



Σχήμα 4.2. Έλεγχος κανονικής κατανομής σε δείγματα βροχόπτωσης.

Η γραμμική συσχέτιση αποτελεί την απλούστερη προσδιοριστική μαθηματική σχέση ανάμεσα σε δύο τυχαίες μεταβλητές X και Y , (στην προκειμένη περίπτωση οι λογάριθμοι των μηνιαίων υψών βροχής δύο σταθμών μετρήσεων), και περιγράφεται από μια εξίσωση της μορφής: $y=ax+b$. Στη γενική περίπτωση, για n ζεύγη παρατηρήσεων (x_i, y_i) , οι παράμετροι a, b της παραπάνω εξίσωσης, δίνονται από τις σχέσεις:

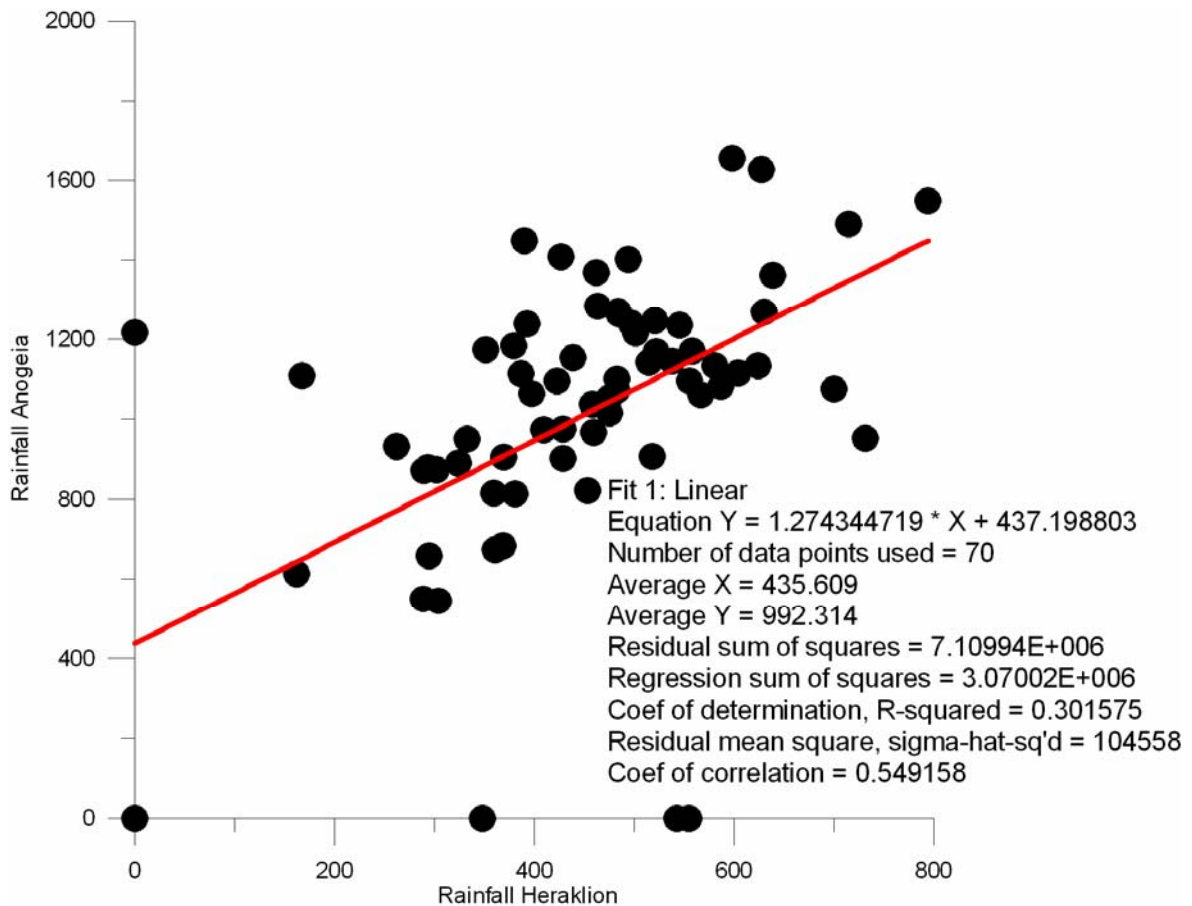
$$a = \frac{n\sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)}{n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

$$b = \frac{\sum y_i - a\sum x_i}{n}$$

Η εκτίμηση της ποιότητας της γραμμικής εξαρτήσεως μεταξύ των X και Y, δίνεται από το συντελεστή συσχέτισης, r:

$$r = \frac{n\sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)}{(n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2)^{0.5} (n\sum y_i^2 - (\sum y_i)^2)^{0.5}}$$

Για το συντελεστή r, ισχύει: $|r| \leq 1$, και οι ακραίες τιμές $r = \pm 1$ αντιστοιχούν σε πλήρη γραμμική εξάρτηση μεταξύ των X και Y, ενώ η τιμή $r = 0$, δηλώνει γραμμική ανεξαρτησία. Όταν $0 \leq |r| \leq 0.5$, η συσχέτιση θεωρείται ασθενής, όταν $0.7 \leq |r| \leq 1$, ισχυρή και στις άλλες περιπτώσεις μέτρια. Μεταξύ των άλλων στατιστικών παραμέτρων που υπολογίζονται είναι και ο συντελεστής προσδιορισμού (coefficient of determination). Ο συντελεστής αυτός μετρά το ποσοστό της διακύμανσης στις τιμές των εξαρτημένων παραμέτρων που μπορούν να συσχετιστούν με τις μεταβολές των ανεξάρτητων μεταβλητών. Για παράδειγμα, στο σχήμα (4.3) ο συντελεστής πήρε τη τιμή 0.30 που σημαίνει ότι 30% των μεταβολών της ετήσιας βροχόπτωσης στα Ανώγεια μπορούν να εξηγηθούν από μεταβολές των ετήσιων βροχοπτώσεων στο Ηράκλειο.



Σχήμα 4.3. Συσχέτιση των βροχοπτώσεων μεταξύ των σταθμών Ανόγεια και Ηράκλειο για τον προσδιορισμό του συντελεστή γραμμικής συσχέτισης των δύο παραμέτρων.

Η συμπλήρωση των ελλειπουσών μετρήσεων σε ένα σταθμό γίνεται με βάση τις αντίστοιχες τιμές στο σταθμό βάσεως (συνήθως ο πλέον αξιόπιστος, πλήρης γειτονικός σταθμός), χρησιμοποιώντας την προσδιορισθείσα εξίσωση συσχέτισης μεταξύ των δύο σταθμών, υπό τον όρο ότι η συσχέτιση αυτή είναι ισχυρή, ($0.7 \leq |r| \leq 1$). Στην περίπτωση που αυτό δεν ισχύει, επιλέγεται διαφορετικός σταθμός βάσεως έως ότου διαπιστωθεί ότι οι λογάριθμοι των μηνιαίων υψών βροχής των δύο σταθμών έχουν μεταξύ τους ισχυρή εξάρτηση.

4.4.3 Βρογοβαθμίδα

Επειδή έχει παρατηρηθεί ότι το βροχομετρικό ύψος εν γένει αυξάνει με το υψόμετρο μιας περιοχής και δεδομένου ότι οι διάφοροι βροχομετρικοί σταθμοί βρίσκονται

συνήθως σε διαφορετικά υψόμετρα, θεωρήθηκε απαραίτητη η συσχέτιση των υψομέτρων με τα μέσα υπερετήσια ύψη βροχής του κάθε σταθμού.

Η μεθοδολογία αναγωγής του ύψους βροχής σε υψόμετρο διαφορετικό από εκείνο του σταθμού μετρήσεων, συνίσταται στη θεώρηση γραμμικής μεταβολής του βροχομετρικού ύψους με το τοπογραφικό υψόμετρο. Ο ρυθμός αύξησης του ύψους βροχής με την αύξηση του υψομέτρου, καλείται βροχοβαθμίδα.

Για τον υπολογισμό της τιμής της βροχοβαθμίδας, χρησιμοποιήθηκαν μόνο οι διατιθέμενοι σταθμοί της Ε.Μ.Υ. Ανατ. Κρήτης (7 συνολικά), ως πλέον αξιόπιστοι και διαθέτοντες το μεγαλύτερο συνεχές χρονικό μήκος μηνιαίων υψών βροχής, (από το υδρολογικό έτος 1962-63 έως και το υδρολογικό έτος 1991-92).

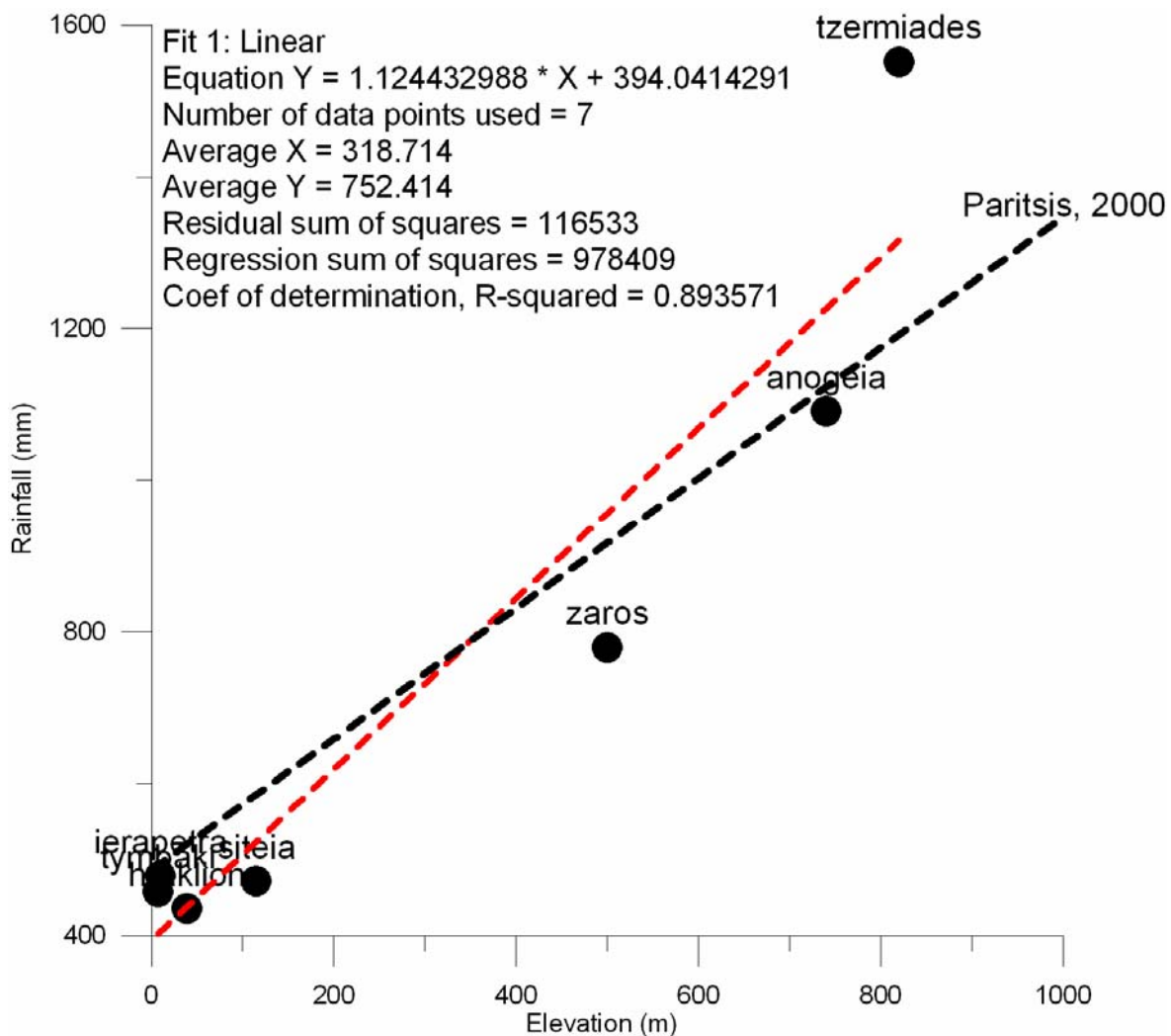
Αρχικά οι σταθμοί της Ε.Μ.Υ. χωρίστηκαν σε δύο ομάδες: αυτούς της Βορειοανατολικής Κρήτης (4 σταθμοί: Ανώγεια, Ηράκλειο, Σητεία, Τζερμιάδες), και αυτούς της Νοτιοανατολικής Κρήτης (3 σταθμοί), που είναι: Ζαρός, Τυμπάκι και Ιεράπετρα. Εγιναν χωριστές συσχετίσεις υψομέτρων με τα υπερετήσια ύψη βροχής για κάθε ομάδα, και διαπιστώθηκε ότι η τιμή της βροχοβαθμίδας για τη Νότια ζώνη (τρεις σταθμοί), είναι κατά τι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη τιμή της για τη Βόρεια ζώνη (0,95 mm/m έναντι 0,86 mm/m), πράγμα το οποίο δεν μπορεί να γίνει αποδεκτό, αφού η Νότια ζώνη αναμένεται να έχει λόγω κλιματολογικών ιδιομορφιών μικρότερη τιμή.

Αυτό το αποτέλεσμα θεωρείται πλασματικό λόγω του μικρού αριθμού των συσχετιζόμενων ζευγών των σταθμών της Νότιας ζώνης, (μόνο τρεις σταθμοί).

Για το λόγο αυτό, για τη συσχέτιση θεωρήθηκε τελικά το σύνολο των διατιθέμενων σταθμών και η εξίσωση που προέκυψε είναι:

$$B = 0,86 * H + 486,8 \quad (4.1)$$

όπου B είναι το υπερετήσιο ύψος βροχής του σταθμού, (mm) και H το αντίστοιχο τοπογραφικό του υψόμετρο, (m).



Σχήμα 4.4. Χαρτογράφηση του ύψους της βροχής, B σε συνάρτηση με το υψόμετρο των σταθμών παρατήρησης, H και ερμηνεία των δεδομένων κατά Παρίτσης (2000) (κόκκινη στικτή γραμμή) και Μαυρογιάννης (2004) (μαύρη στικτή γραμμή)

Η γραμμική συσχέτιση της εξίσωσης (4.1) δίνει για 100 μέτρα αύξησης του τοπογραφικού υψομέτρου, αύξηση 86 χιλιοστά στο ύψος βροχής.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν αναφέρονται στον Πίνακα 4.1:

ΣΤΑΘΜΟΣ	H (m)	P (mm)
ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	1	490
ΣΗΤΕΙΑ	6	485,3
ΤΥΜΠΙΑΚΙ	10	491,7
ΗΡΑΚΛΕΙΟ	30	504,9

ΖΑΡΟΣ	343	812,5
ΑΝΩΓΕΙΑ	740	1091,7
ΤΖΕΡΜΙΑΔΩ	820	1204,2

4.5 Θερμοκρασίες

Η θερμοκρασία επιδρά στα φαινόμενα της εξάτμισης και της διαπνοής, και συνεπώς υπεισέρχεται άμεσα στο υδατικό ισοζύγιο μιας υδρολογικής λεκάνης. Όπως θα αναπτύσσεται στο κεφάλαιο της εκτίμησης του επιφανειακού υδατικού δυναμικού, για την κατά το δυνατόν πιστότερη προσομοίωση του υδρολογικού συστήματος απαιτούνται δεδομένα εξατμισοδιαπνοής για σχετικά μεγάλη σειρά ετών (>20).

4.5.1 Συσχετίσεις – Συμπληρώσεις - Επεκτάσεις

Γενικά, χρησιμοποιούνται εξισώσεις γραμμικής συσχέτισης της μορφής, $y=ax+b$, μεταξύ των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών, (ΜΜΘ), των σταθμών, λαμβανομένων ανά δύο. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η συμπλήρωση ή και επέκταση των τιμών ΜΜΘ ενός σταθμού με βάση τα δεδομένα του πλέον αξιόπιστου, πλήρους, γειτονικού του σταθμού.

4.5.2 Θερμοβαθμίδα

Έχει διαπιστωθεί ότι η θερμοκρασία σε μια περιοχή μεταβάλλεται με το τοπογραφικό υψόμετρο και μάλιστα η μεταβολή αυτή μπορεί κατά προσέγγιση να θεωρηθεί γραμμική. Συγκεκριμένα, η θερμοκρασία μειώνεται με την αύξηση του υψομέτρου και ο ρυθμός μείωσής της καλείται θερμοβαθμίδα.

Για τον υπολογισμό της τιμής της θερμοβαθμίδας, χρησιμοποιήθηκαν για τους ίδιους λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω, όλοι οι διατιθέμενοι σταθμοί της Ε.Μ.Υ. στην Ανατ. Κρήτη, (7 συνολικά). Επειδή κατά τεκμήριο στη νότια πλευρά του νησιού οι τοπικές κλιματικές συνθήκες είναι διαφορετικές από τη βόρεια, οι παραπάνω σταθμοί χωρίστηκαν σε δύο ομάδες ως εξής:

ΣΤΑΘΜΟΣ	H (m)	T (°C)
<u>ΒΟΡΕΙΑ ΖΩΝΗ</u>		
ΗΡΑΚΛΕΙΟ	30	18,7
ΦΟΥΡΝΗ	320	16,7
ΑΝΩΓΕΙΑ	740	15,1
ΤΖΕΡΜΙΑΔΩ	740	12,9
<u>ΝΟΤΙΑ ΖΩΝΗ</u>		
ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	1	19,6
ΤΥΜΠΑΚΙ	10	18,9
ΖΑΡΟΣ	343	17,4

Πίνακας 4.2. Καταγραφή των θερμοκρασιών σε 7 μετεωρολογικούς σταθμούς που εντοπίζονται πλησίον της περιοχής μελέτης

Οι γραμμικές συσχετίσεις περιγράφονται από τις εξισώσεις που προέκυψαν και είναι:

$$T = -0,006 \cdot H + 18,9 \quad (4.2)$$

$$T = -0,0055 \cdot H + 19,3 \quad (4.3)$$

όπου T είναι η μέση ετήσια τιμή της θερμοκρασίας του σταθμού, (°C), και H το αντίστοιχο τοπογραφικό του υψόμετρο, (m).

Η τιμή της θερμοβαθμίδας, όπως προσδιορίστηκε από τη παραπάνω ανάλυση, ισούται με -0.6 °C περίπου ανά 100 m αύξησης του τοπογραφικού υψόμετρου και για τις δύο ζώνες που θεωρήθηκαν.

Επειδή πέρα από τις μετρημένες χρονοσειρές θερμοκρασίας των σταθμών της Ε.Μ.Υ. Ανατ. Κρήτης, δεν υπάρχουν διαθέσιμες μετρημένες τιμές σε κανένα άλλο από τους βροχομετρικούς σταθμούς που χρησιμοποιήθηκαν, για τον υπολογισμό μηνιαίων τιμών δυνητικής εξατμισοδιαπνοής κρίθηκε απαραίτητη η αναγωγή των χρονοσειρών των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών των σταθμών της Ε.Μ.Υ. (σταθμοί βάσεως), στο σύνολο των βροχομετρικών σταθμών με την παρακάτω εξίσωση:

$$T_H = T_h + \theta_1 \frac{(H - h)}{100} \quad (4.4)$$

όπου:

T_H η θερμοκρασία στο υψόμετρο H του βροχομετρικού σταθμού, σε $^{\circ}\text{C}$,

T_h η θερμοκρασία στο υψόμετρο h του σταθμού βάσεως σε $^{\circ}\text{C}$,

θ_1 η θερμοβαθμίδα, ($^{\circ}\text{C}/\text{m}$).

4.6 Εξατμισοδιαπνοή

4.6.1 Γενικά

Τα διαθέσιμα στοιχεία μετρήσεων μηνιαίων τιμών εξάτμισης σε διαφορετικούς σταθμούς της Ανατ. Κρήτης (εξατμισόμετρο λεκάνης τύπου A), κρίθηκαν αφ' ενός χαμηλής αξιοπιστίας και αφ' ετέρου μη αξιοποιήσιμα, λόγω της εν γένει δυσκολίας προσδιορισμού του συντελεστή εξατμισομέτρου και ιδιαίτερα της κατά μήνα μεταβολής του. Ο συντελεστής αυτός ως γνωστόν χρησιμεύει για τη μετατροπή των μετρημένων τιμών της εξάτμισης από το εξατμισόμετρο, σε αντίστοιχη δυναμική εξατμισοδιαπνοής εδαφικής έκτασης.

Αξίζει να αναφερθεί ότι ο όρος δυναμική εξατμισοδιαπνοή αναφέρεται στη μέγιστη δυνατή τιμή της εξατμισοδιαπνοής, με την προϋπόθεση ότι η εδαφική υγρασία στο ριζόστρωμα παραμένει στην υδατοϊκανότητα. Εφ' εξής όπου αναφέρεται ο όρος "εξατμισοδιαπνοή" θα εννοείται η δυναμική τιμή του μεγέθους αυτού, που αποτελεί τη δυσμενέστερη περίπτωση από πλευράς απωλειών μεταξύ βροχόπτωσης και απορροής μιας υδρολογικής λεκάνης.

Με βάση τα παραπάνω, για την εκτίμηση του υδατικού ισοζυγίου της κάθε υδρολογικής λεκάνης, κρίθηκε απαραίτητο να δημιουργηθούν συνθετικές χρονοσειρές εξατμισοδιαπνοής σε μηνιαία βάση, για κάθε σταθμό βροχομετρικών παρατηρήσεων, με τη βοήθεια γνωστών μοντέλων προσομοίωσης.

Η επιλογή του κατάλληλου μοντέλου εξαρτάται από την επιδιωκόμενη ακρίβεια στην εκτίμηση του μεγέθους "εξατμισοδιαπνοή". Είναι γνωστό ότι η τροποποιημένη ημιθεωρητική μέθοδος Penman, αποτελεί έως σήμερα το πλέον ακριβές μοντέλο εκτίμησης, πλην όμως η εφαρμογή της απαιτεί εκτεταμένες χρονοσειρές μετρημένων τιμών πολλών μετεωρολογικών μεγεθών όπως, ταχύτητα ανέμου, πραγματική ηλιοφάνεια, σχετική υγρασία αέρα, μέση θερμοκρασία αέρα κτλ, που τουλάχιστον για τις συνθήκες της

περιοχής διερεύνησης, δεν είναι ως επί το πλείστον διαθέσιμες. Επίσης, είναι απαραίτητο να προσδιοριστούν ανάλογα με την έκταση της φυτοκάλυψης στην ευρύτερη περιοχή του σταθμού παρατηρήσεων, οι φυτικοί συντελεστές για το κάθε είδος βλάστησης ή /και καλλιέργειας.

Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι για όλα τα παραπάνω μεγέθη με εξαίρεση τη θερμοκρασία, δεν υπάρχει δόκιμη μεθοδολογία αναγωγής από ένα σταθμό παρατηρήσεων σε άλλο.

Στην παρούσα εργασία, λαμβάνοντας υπόψη τις παραπάνω επισημάνσεις, και έχοντας προσδιορίσει μετά από κατάλληλη αναγωγή, χρονοσειρές μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας σε κάθε βροχομετρικό σταθμό, προτιμήθηκε να χρησιμοποιηθεί το εμπειρικό μοντέλο του Thornthwaite, που χρησιμοποιεί αποκλειστικά ως είσοδο τις τιμές αυτές. Το μοντέλο αυτό περιγράφεται συνοπτικά παρακάτω.

4.6.2 Μοντέλο Thornthwaite

Εφαρμόζεται η εμπειρική εξίσωση του Thornthwaite:

$$PE=(PE)_X \cdot D \cdot T / 360 , \quad (\text{mm/μήνα}) \quad (4.5)$$

όπου: **D**, ο αριθμός ημερών του μήνα, **T**, η μέση διάρκεια ημέρας του υπόψη μήνα (hr) ($D \cdot T = 0.1217 \cdot P$) όπου **P** το ποσοστό ωρών ημέρας του συγκεκριμένου μήνα ανά έτος, (εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής και λαμβάνεται από πίνακες), **PE** η διορθωμένη τιμή της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής, (mm/μήνα), **PE_X** η μέση τιμή της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής, ίση με:

$$E_{\Delta} = 16 \cdot \left(10 \cdot \frac{T}{I} \right)^{\alpha} \quad (4.6)$$

όπου E_{Δ} είναι η μηνιαία δυναμική εξατμισοδιαπνοή σε mm, T είναι η μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρος για τον υπόψη μήνα (σε °C), το α υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο,

$$\alpha = 0.49239 + 1792 \cdot 10^{-5} \cdot I - 771 \cdot 10^{-7} \cdot I^2 + 675 \cdot 10^{-9} \cdot I^3 \quad (4.7)$$

I είναι ο ετήσιος θερμικός δείκτης που δίνεται από τον παρακάτω τύπο,

$$I = \sum_{i=1}^{12} i \quad (4.8)$$

όπου i ο μηνιαίος θερμικός δείκτης,

$$i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514} \quad (4.9)$$

Οι υπολογιζόμενες τιμές του ΕΔ για κάθε μήνα διορθώνονται με ένα συντελεστή στον οποίο υπεισέρχονται τόσο ο αριθμός των ημερών κάθε μήνα όσο και των πραγματικών ωρών μεταξύ ανατολής και δύσης του ήλιου. Ο τύπος αυτός είναι γενικά πολύπλοκος λόγω των πολλών υπολογισμών που απαιτεί. Μειονέκτημα επίσης της μεθοδολογίας είναι το γεγονός ότι κάθε εκτίμηση βασίζεται μόνο σε μετρήσεις της θερμοκρασίας.

4.7 Υδρολογική Λεκάνη Γεροποτάμου

Για την υδρολογική λεκάνη του χειμάρρου Γεροπόταμου, διατίθενται οι μετρήσεις μηνιαίων υψών βροχής που έχουν γίνει στους ακόλουθους σταθμούς, (πρωτογενή δεδομένα), οι οποίοι βρίσκονται στο εσωτερικό της λεκάνης αυτής, συνολικής έκτασης 576 Km²:

α/α ΣΤΑΘΜΟΣ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ	ΥΠΗΡΕΣΙΑ
1 ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	590	Υπ. Γεωργίας
2 ΑΓ. ΚΥΡΙΛΛΟΣ	430	Υπ. Γεωργίας
3 ΑΣΗΜΙ	280	Υπ. Γεωργίας
4 ΒΟΡΙΖΙΑ	520	Υπ. Γεωργίας
5 ΖΑΡΟΣ	343	ΕΜΥ
6 ΠΟΜΠΙΑ	150	Υπ. Γεωργίας
7 ΤΥΜΠΑΚΙ	10	ΕΜΥ

Από το σύνολο των παραπάνω σταθμών, ως σταθμοί βάσεως επιλέχθηκαν οι σταθμοί της Ε.Μ.Υ. Ζαρού και Τυμπακίου, με κριτήρια την μεγαλύτερη δυνατή περίοδο

συγχρόνων παρατηρήσεων με τους γειτονικούς τους σταθμούς, την πληρότητα (για χρονικό μήκος 30 συνεχόμενων υδρολογικών ετών: 1962,63-1991, 92), και την αξιοπιστία των δεδομένων τους, επειδή κατά τεκμήριο οι σταθμοί της Ε.Μ.Υ. θεωρούνται ως οι πλέον αξιόπιστοι. Από τους σταθμούς της εν λόγω λεκάνης, αποκλείστηκαν οι σταθμοί: Γέργερης, Βαγιόνας, Λαγόλιου, Μορονίου και Στερνών, λόγω έλλειψης μεγάλου συνεχόμενου χρονικού μήκους πρωτογενών δεδομένων, ιδιαίτερα για τα προ του 1968-69 υδρολογικά έτη. Τα ετήσια ύψη βροχής σε κάθε ένα από τους δύο σταθμούς βάσεως συγκρίθηκαν τόσο μεταξύ τους, όσο και με τα αντίστοιχα των πλησιεστέρων τους σταθμών ως εξής:

ΖΑΡΟΣ ⇒	ΒΟΡΙΖΙΑ (μέγιστο συνεχές εύρος 27 έτη)
↓	ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ (μέγιστο συνεχές εύρος 23 έτη)
↓	ΑΣΗΜΙ (μέγιστο συνεχές εύρος 28 έτη)
↓	ΑΓ. ΚΥΡΙΛΛΟ (μέγιστο συνεχές εύρος 28 έτη)
ΤΥΜΠΑΚΙ ⇒	ΠΟΜΠΙΑ (μέγιστο συνεχές εύρος 28 έτη)
	ΑΓ. ΚΥΡΙΛΛΟ (*)

(*) Ο σταθμός Αγ. Κυρίλλου περίπου ισαπέχει από τους δύο σταθμούς βάσεως και για αυτό συγκρίθηκε και με τους δύο.

Σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις, διαπιστώθηκε ότι η δοκιμή του X^2 (επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, πέντε κλάσεις με ελάχιστο αριθμό τεσσάρων παρατηρήσεων στην κάθε μία), επαληθεύει την υπόθεση ότι τα ετήσια ύψη βροχής ακολουθούν κανονική κατανομή. Ακολούθως έγινε έλεγχος της γραμμικής εξάρτησης μεταξύ των ετησίων δειγμάτων ανά ζεύγος σταθμών, για τη μεγαλύτερη συνεχή περίοδο κοινών παρατηρήσεων. Προέκυψαν οι ακόλουθοι συντελεστές γραμμικής συσχέτισης r:

ΤΥΜΠΑΚΙ - ΑΓ. ΚΥΡΙΛΛΟΣ	0,79
ΤΥΜΠΑΚΙ - ΠΟΜΠΙΑ	0,89

ΤΥΜΠΑΚΙ - ΖΑΡΟΣ	0,77
ΖΑΡΟΣ - ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	0,86
ΖΑΡΟΣ - ΑΣΗΜΙ	0,84
ΖΑΡΟΣ - ΒΟΡΙΖΙΑ	0,71
ΖΑΡΟΣ - ΑΓ. ΚΥΡΙΛΛΟΣ	0,72

Για όλα σχεδόν τα ζεύγη σταθμών, τα ετήσια αθροιστικά ύψη βροχής διατάσσονται σε ευθείες εκτός από τις θλάσεις που εμφανίζονται στην περιοχή του υδρ. έτους 1987-88 για το ζεύγος Βορίζια - Ζαρός, και στην περιοχή του υδρ. έτους 1966-67 για το ζεύγος Αγ. Κύριλλος - Ζαρός. Οι διορθωτικοί συντελεστές (λόγος των κλίσεων των δύο τεμνομένων ευθειών), είναι 1.818 και 1.165 αντίστοιχα, δηλαδή απαιτείται διόρθωση κατά 81,8% στα προ του 1987-88 δεδομένα των Βοριζίων και κατά 16,5% στα προ του 1966-67 δεδομένα του Αγ. Κυρίλλου. Διορθώσεις μεγαλύτερες από 30% κρίθηκαν μη εφαρμοστέες, γιατί θα αλλοίωναν τα πρωτογενή δεδομένα πέρα από κάθε αξιόπιστη μέθοδο ομογενοποίησης.

Επιπλέον, στη περίπτωση του σταθμού των Βοριζίων, θεωρήθηκε ότι η πρόωρη εμφάνιση της θλάσης (από το 1987-88), πιθανώς να οφείλεται σε συστηματικό σφάλμα του σταθμού για τα πριν το 1987-88 υδρ. έτη και ο σταθμός αυτός τελικά δεν περιελήφθηκε στη διαδικασία της υδρολογικής ανάλυσης της υπόψη λεκάνης.

Στους έξι βροχομετρικούς σταθμούς που τελικά επιλέχθηκαν, έγινε στη συνέχεια αναγωγή των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών από τον πλησιέστερο σταθμό βάσεως, χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις (4.2), (4.3) και (4.4). Προηγουμένως ελέγχθηκε ο βαθμός συσχέτισης μεταξύ των σταθμών βάσεως με το μεγαλύτερο κοινό χρονικό μήκος παρατηρήσεων, (χρονική περίοδος 1962-63 έως και 1991-92), που είναι το Τυμπάκι, το Ηράκλειο και η Ιεράπετρα. Τα αποτελέσματα φαίνονται κατά μήνα στον παρακάτω Πίνακα:

ΣΤΑΘΜΟΙ ⇒	ΗΡΑΚΛΕΙΟ-ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	ΤΥΜΠΑΚΙ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	ΤΥΜΠΑΚΙ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ
ΜΗΝΑΣ ↓	r		
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	0,92	0,9	0,94
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	0,96	0,95	0,97
ΜΑΡΤΙΟΣ	0,93	0,94	0,95
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	0,90	0,94	0,88
ΜΑΙΟΣ	0,86	0,96	0,86

ΙΟΥΝΙΟΣ	0,79	0,87	0,73
ΙΟΥΛΙΟΣ	0,91	0,93	0,84
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	0,86	0,96	0,84
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	0,82	0,92	0,84
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	0,94	0,96	0,97
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	0,96	0,93	0,96
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	0,92	0,94	0,96

Οι συντελεστές συσχέτισης σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις είναι μεγαλύτεροι από 0.8, (ισχυρή συσχέτιση). Με βάση τα δεδομένα του σταθμού του Τυμπακίου, έγινε αναγωγή σε κάθε έναν από τους έξι βροχομετρικούς που τελικά επιλέχθηκαν, (Ζαρός, Πόμπια, Ασήμι, Αγιο Κύριλλος και Αγία Βαρβάρα). Ειδικά για το Ζαρό συμπληρώθηκαν μόνο τα προ του 1976-77 υδρολογικά έτη, επειδή για τα υπόλοιπα έως και το 1991-92 υπήρχαν διαθέσιμες μετρημένες τιμές μέσω μηνιαίων θερμοκρασιών.

Τελικά, με βάση τις ανωτέρω προσδιορισθείσες τιμές θερμοκρασιών, έγινε η εφαρμογή της μεθόδου Thornthwaite και προσδιορίστηκαν μηνιαίες τιμές εξατμισοδιαπνοής.

4.8 Υδρολογική Λεκάνη Αναποδαρη

Για την υδρολογική λεκάνη του χειμάρρου Αναποδάρη, διατίθενται οι μετρήσεις μηνιαίων υψών βροχής που έχουν γίνει στους ακόλουθους σταθμούς, (πρωτογενή δεδομένα), οι οποίοι βρίσκονται στο εσωτερικό της λεκάνης αυτής, συνολικής έκτασης 517.4 Km²:

α/α ΣΤΑΘΜΟΣ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ	ΥΠΗΡΕΣΙΑ
1 ΑΡΜΑΧΑ	500	Υπ. Γεωργίας
2 ΔΕΜΑΤΙ	190	Υπ. Γεωργίας
3 ΚΑΣΑΝΟΣ	320	Υπ. Γεωργίας
4 ΖΑΡΟΣ	430	Υπ. Γεωργίας
5 ΠΡΟΤΟΡΙΑ	220	Υπ. Γεωργίας
6 ΤΕΦΕΛΙ	360	Υπ. Γεωργίας

Από το σύνολο των σταθμών της λεκάνης αποκλείστηκαν οι σταθμοί Καλυβίων και Παρτίρων, λόγω έλλειψης μεγάλου συνεχόμενου χρονικού μήκους πρωτογενών δεδομένων, ιδιαίτερα για τα προ του 1968-69 υδρολογικά έτη. Ως σταθμοί βάσης επιλέχθηκαν οι πλησιέστεροι στην περιοχή σταθμοί της Ε.Μ.Υ., Ζαρού και Τζερμιάδω. Τα ετήσια ύψη βροχής σε κάθε ένα από τους δύο σταθμούς βάσης, συγκρίθηκαν με τα αντίστοιχα των πλησιέστερων τους σταθμών ως εξής:

ΖΑΡΟΣ ⇒	ΔΕΜΑΤΙ (μέγιστο συνεχές εύρος 20 έτη)
	ΚΑΣΑΝΟΣ (μέγιστο συνεχές εύρος 16 έτη)
	ΜΕΤΑΞΟΧΩΡΙ (μέγιστο συνεχές εύρος 22 έτη)
	ΠΡΟΤΟΡΙΑ (μέγιστο συνεχές εύρος 23 έτη)
	ΤΕΦΕΛΙ (μέγιστο συνεχές εύρος 27 έτη)
ΤΖΕΡΜΙΑΔΩ ⇒	ΑΡΜΑΧΑ (μέγιστο συνεχές εύρος 27 έτη)

Σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις, διαπιστώθηκε ότι η δοκιμή του χ^2 (επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, πέντε κλάσεις με ελάχιστο αριθμό τεσσάρων παρατηρήσεων στην κάθε μία), επαληθεύει την υπόθεση ότι τα ετήσια ύψη βροχής ακολουθούν κανονική κατανομή. Στη συνέχεια έγινε έλεγχος της γραμμικής εξάρτησης μεταξύ των ετησίων δειγμάτων ανά ζεύγος σταθμών, για τη μεγαλύτερη συνεχή περίοδο κοινών παρατηρήσεων. Προέκυψαν οι ακόλουθοι συντελεστές γραμμικής συσχέτισης r:

ΖΑΡΟΣ - ΔΕΜΑΤΙ	0,90
ΖΑΡΟΣ - ΚΑΣΑΝΟΣ	0,86
ΖΑΡΟΣ - ΜΕΤΑΞΟΧΩΡΙ	0,83
ΖΑΡΟΣ - ΠΡΟΤΟΡΙΑ	0,82
ΖΑΡΟΣ - ΤΕΦΕΛΙ	0,67
ΤΖΕΡΜΙΑΔΩ - ΑΡΜΑΧΑ	0,69

Για όλα τα ζεύγη σταθμών, τα ετήσια αθροιστικά ύψη βροχής διατάσσονται σε ευθείες, εκτός από τις θλάσεις που εμφανίζονται στην περιοχή του υδρολογικού έτους

1969-70 για το ζεύγος Τζερμιάδω - Αρμάχα, και στην περιοχή του υδρολογικού έτους 1971-72 για το ζεύγος Ζαρός - Τεφέλι. Οι διορθωτικοί συντελεστές (λόγος των κλίσεων των δύο τεμνομένων ευθειών), είναι 1.22 και 1.3 αντίστοιχα, δηλαδή απαιτείται διόρθωση κατά 22% στα πριν το 1969-70 δεδομένα της Αρμάχας και κατά 30% στα πριν το 1971-72 δεδομένα του Τεφελίου.

Στους έξι βροχομετρικούς σταθμούς που τελικά επιλέχτηκαν, έγινε στη συνέχεια αναγωγή των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών από τον πλησιέστερο σταθμό βάσεως, χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις (4.2), (4.3) και (4.4). Για τη συγκεκριμένη λεκάνη, από τους παραπάνω σταθμούς, επιλέγεται ο πλησιέστερος που είναι το Τυμπάκι. Με βάση τα δεδομένα του σταθμού αυτού, έγινε αναγωγή σε κάθε έναν από τους βροχομετρικούς που τελικά επιλέχτηκαν, (Αρμάχα, Δεμάτι, Κάσανος, Μεταξοχώρι, Προτόρια και Τεφέλι).

Τελικά, με βάση τις ανωτέρω προσδιορισθείσες τιμές θερμοκρασιών, έγινε η εφαρμογή της μεθόδου Thornthwaite και προσδιορίστηκαν μηνιαίες τιμές εξατμισοδιαπνοής.

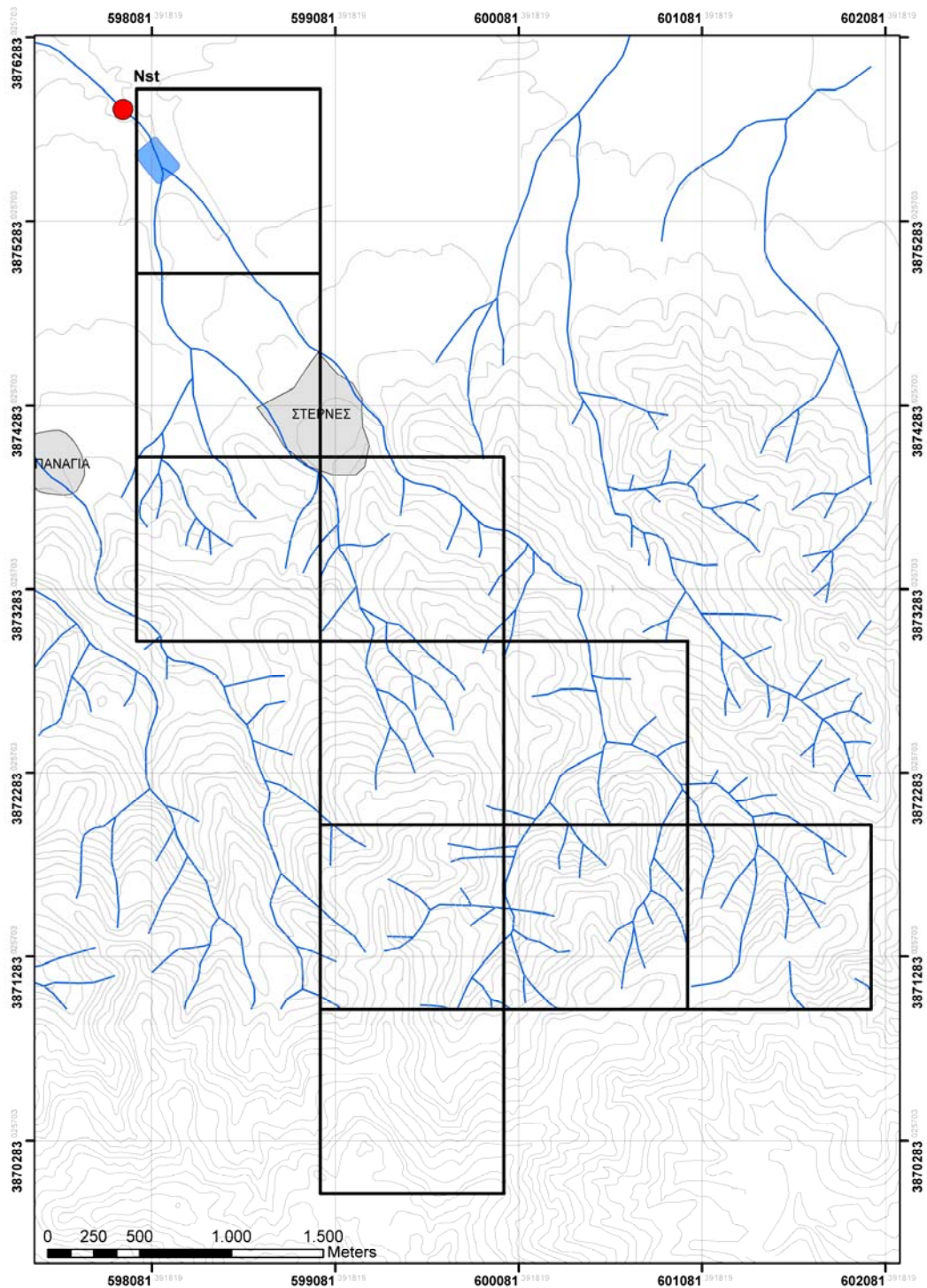
5. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ

Η προτεινόμενη λιμνοδεξαμενή βρίσκεται στην υπολεκάνη του Γεροποτάμου που αντιστοιχεί στο ρέμα Στερνών (Σχήμα 5.1), έκτασης 10 km² και μέσο υψόμετρο 565 m που χαρακτηρίζεται από πυκνό, δενδριτικού τύπου, υδρογραφικό δίκτυο. Δομείται δε κυρίως από φλύσχη της Ζώνης της Τρίπολης και μόνο στο βόρειο άκρο της από Τεταρτογενή αλλούβια. Ο υπολογισμός της απορροής έγινε με τη χρήση του μοντέλου βροχής – απορροής SWBM (Παρίτσης, 2001). Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τον Κόμβο Nst, δίνονται στον Πίνακα 5.1 και στα Σχήματα 5.2α και 5.2β, για την ετήσια και μέση μηνιαία απορροή αντίστοιχα, σε εκατ. m³. Όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, η μέση ετήσια τιμή της απορροής για της υδρολογική αυτή υπολεκάνη του Γεροπόταμου ανέρχεται σε 2.7 εκατ m³ (270 mm) με μέγιστη 5.76 εκατ m³ και ελάχιστη 0.7. Από ανάλυση συχνότητας της χρονοσειράς των απορροών συνάγονται τα εξής:

ΑΠΟΡΡΟΗ (σε εκατ m³)	ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ ΜΗ ΥΠΕΡΒΑΣΗΣ P	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ T
2,7	58%	1,7 έτη
2,01	32%	3,1 έτη
1,22	10%	10,3 έτη

Το μέσο ετήσιο επιφανειακό ύψος βροχής για το σύνολο της λεκάνης αυτής, ανέρχεται σε 856,7 mm με βάση την μέθοδο διακριτοποίησης που εφαρμόστηκε, (μονάδες επιφάνειας του 1 Km²). Συνεπώς, ο μέσος ετήσιος συντελεστής απορροής για την υπόψη λεκάνη, είναι ίσος με: $C = 270/856,7 = 0.32$. Η σχετικά μεγάλη τιμή του συντελεστή απορροής οφείλεται στο γεγονός ότι κατά το μεγαλύτερο μέρος της η λεκάνη καλύπτεται από φλύσχη που είναι πρακτικά στεγανός σχηματισμός με μικρή τιμή διήθησης.

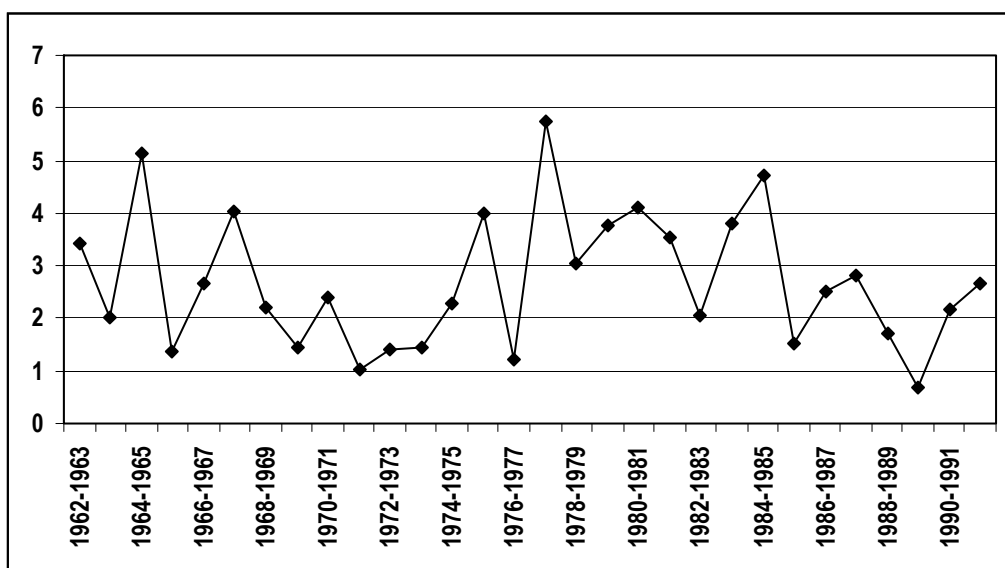
Από τα παραπάνω συνάγεται ότι η μέγιστη χωρητικότητα της προτεινόμενης λιμνοδεξαμενής (277.500 m³) ισοδυναμεί με 10% της μέσης ετήσιας απορροής και στο 22.5% της απορροής με αστοχία 10%, στη θέση αυτή.



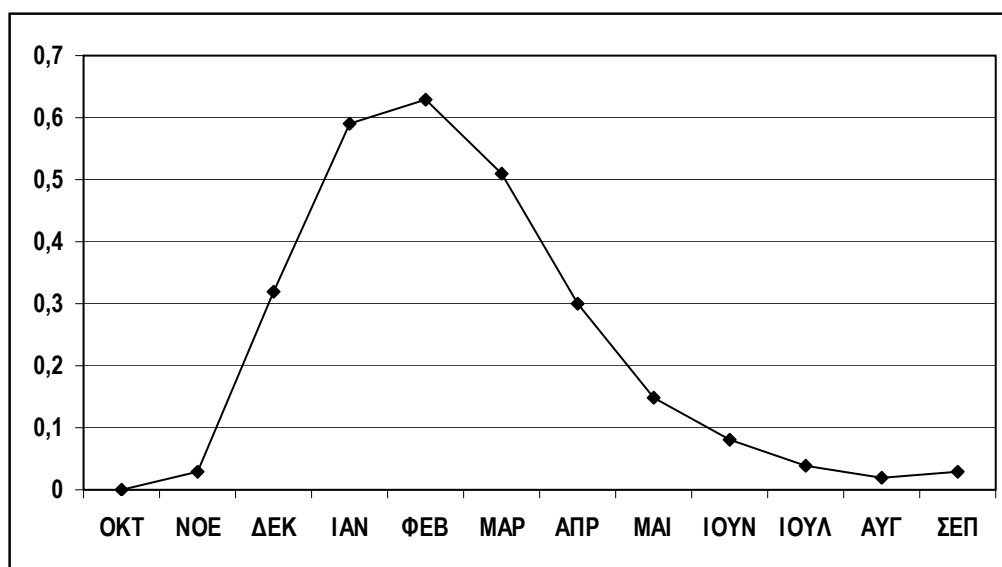
ΣΧΗΜΑ 5.1. Ρέμα Στερνών με διακριτοποίηση κυψελίδων 1 km². Με κόκκινο κύκλο παρίσταται ο κόμβος υπολογισμού των απορροών Nst και με μπλε η θέση του προτεινόμενου έργου.

	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΟΣ
1962-1963	0	0	0,38	0,75	0,89	0,7	0,35	0,18	0,09	0,04	0,02	0,01	3,42
1963-1964	0	0	0,26	0,4	0,49	0,43	0,22	0,11	0,05	0,03	0,01	0,01	2,01
1964-1965	0	0	0,69	1,05	1,24	0,75	0,71	0,36	0,18	0,09	0,04	0,02	5,13
1965-1966	0	0	0,04	0,34	0,24	0,37	0,19	0,09	0,05	0,02	0,01	0,01	1,36
1966-1967	0	0	0,45	0,42	0,53	0,59	0,35	0,17	0,09	0,04	0,02	0,01	2,67
1967-1968	0	0,01	0,52	1,24	0,89	0,7	0,35	0,17	0,09	0,04	0,02	0,01	4,04
1968-1969	0	0,17	0,45	0,72	0,36	0,23	0,13	0,07	0,03	0,02	0,01	0	2,19
1969-1970	0	0	0,2	0,26	0,34	0,31	0,16	0,08	0,04	0,02	0,01	0	1,43
1970-1971	0	0	0	0,37	0,74	0,6	0,35	0,17	0,09	0,04	0,02	0,01	2,4
1971-1972	0	0	0	0,08	0,2	0,33	0,21	0,11	0,05	0,03	0,01	0,01	1,04
1972-1973	0	0	0,04	0,37	0,49	0,25	0,13	0,06	0,03	0,02	0,01	0	1,39
1973-1974	0	0	0	0,35	0,45	0,33	0,16	0,08	0,04	0,02	0,01	0,01	1,45
1974-1975	0	0	0,22	0,69	0,63	0,38	0,19	0,1	0,05	0,02	0,01	0,01	2,3
1975-1976	0	0	0,28	0,74	1,06	0,96	0,48	0,24	0,12	0,06	0,03	0,02	3,99
1976-1977	0	0	0,04	0,1	0,1	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,01	0,59	1,22
1977-1978	0,1	0,15	0,85	1,42	1,25	1	0,5	0,25	0,13	0,06	0,03	0,02	5,76
1978-1979	0	0	0,42	0,56	0,63	0,5	0,28	0,33	0,17	0,08	0,04	0,02	3,05
1979-1980	0,01	0,26	0,85	0,71	0,75	0,61	0,3	0,15	0,08	0,04	0,02	0,01	3,78
1980-1981	0	0	0,41	1,57	1,07	0,54	0,27	0,14	0,07	0,03	0,02	0,01	4,12
1981-1982	0	0,01	0,59	0,61	0,84	0,74	0,37	0,19	0,09	0,05	0,02	0,01	3,53
1982-1983	0	0	0,02	0,32	0,68	0,53	0,27	0,13	0,07	0,03	0,02	0,01	2,07
1983-1984	0	0,03	0,64	0,78	0,87	0,59	0,46	0,23	0,12	0,06	0,03	0,01	3,81
1984-1985	0	0,05	0,63	1,43	0,98	0,75	0,45	0,22	0,11	0,06	0,03	0,01	4,73
1985-1986	0	0	0	0,34	0,51	0,35	0,17	0,09	0,04	0,02	0,01	0,01	1,54
1986-1987	0	0	0,08	0,21	0,4	0,62	0,62	0,31	0,15	0,08	0,04	0,02	2,52
1987-1988	0	0	0,1	0,42	0,73	0,78	0,39	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	2,81
1988-1989	0,01	0,14	0,53	0,38	0,19	0,24	0,12	0,06	0,03	0,01	0,01	0	1,72
1989-1990	0	0,1	0,06	0,07	0,24	0,12	0,06	0,03	0,02	0,01	0	0	0,7
1990-1991	0	0	0,38	0,57	0,61	0,3	0,15	0,08	0,04	0,02	0,01	0	2,16
1991-1992	0	0	0,42	0,33	0,5	0,65	0,38	0,19	0,1	0,05	0,02	0,01	2,66
M.O.	0	0,03	0,32	0,59	0,63	0,51	0,3	0,15	0,08	0,04	0,02	0,03	2,7
ΜΟ Χ 0.2	0	0,006	0,06	0,12	0,126	0,102	0,06	0,03	0,02	0,008	0,004	0,006	0,54

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1 Απορροή (σε εκ m³) Γεροπόταμου στον κόμβο Nst (ρέμα Στερνών).



ΣΧΗΜΑ 5.2α Διακύμανση μέσωσν ετήσιων απορροών Γεροπόταμου στον κόμβο Nst (ρέμα Στερνών).



ΣΧΗΜΑ 5.2β Διακύμανση μέσωσν μηνιαίων απορροών Γεροπόταμου στον κόμβο Nst (ρέμα Στερνών).

6. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟΥ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ

6.1 Σύζευξη Επιφανειακής και Υπόγειας Ροής

Η εκτίμηση του υδατικού ισοζυγίου μιας λεκάνης απορροής περιλαμβάνει υπολογισμό των εισροών και εκροών τόσο στην ακόρεστη όσο και στην κορεσμένη ζώνη της λεκάνης. Υπολογισμός των εισροών προϋποθέτει ποσοτικοποίηση της μετατροπής της βροχόπτωσης και άρδευσης σε διήθηση στην ακόρεστη ζώνη και κατείσδυση στην κορεσμένη ζώνη, ή και ενδεχόμενη πλευρική τροφοδοσία,. Ο υπολογισμός των εκροών συνίσταται στην εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής, επιφανειακής απορροής καθώς και στράγγισης – βασικής ροής στην κορεσμένη ζώνη. Η ακριβής προσομοίωση της υπόγειας ροής απαιτεί τη χρήση φυσικού μοντέλου για την ακόρεστη και κορεσμένη ζώνη. Για την ακόρεστη ζώνη χρησιμοποιείται συνήθως μονοδιάστατο μοντέλο, επειδή η ροή γίνεται κυρίως κατά την κατακόρυφη κατεύθυνση (z κατεύθυνσης), ενώ για την κορεσμένη ζώνη, όπου η ροή είναι κυρίως οριζόντια (εκτός από την περίπτωση σχεδόν αδιαπέρατων στρωμάτων) πρέπει να χρησιμοποιείται τρισδιάστατο μοντέλο (xyz κατευθύνσεις). Το κεφάλαιο αυτό περιλαμβάνει υπολογισμό των επιφανειακών απορροών των υδρολογικών λεκανών που περιλαμβάνονται στο Δήμο Κόφινα.

6.2 Μοντέλο SWBM (Spatial Water Budget Model – Μοντέλο Χωρικής Υδατοαποθηκευτικότητας).

Η ακριβής εκτίμηση του όγκου του νερού της βροχής που γίνεται επιφανειακή απορροή σε μια υδρολογική λεκάνη, αποτελεί βασική προϋπόθεση για τον υπολογισμό του επιφανειακού υδατικού δυναμικού. Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας εφαρμόστηκε μια νέα βελτιωμένη έκδοση ενός μοντέλου υδατικού ισοζυγίου μηνιαίων τιμών, μετασχηματισμού της βροχόπτωσης σε απορροή, SWBM. Πρόκειται για ένα προσδιοριστικό μοντέλο απλής μορφής που χρησιμοποιεί ως δεδομένα εισόδου, μηνιαία ύψη βροχής και δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, ενώ παράγει μηνιαία ύψη απορροής, κατείσδυσης και πραγματικής εξατμισοδιαπνοής.

Το επιφανειακό στρώμα του εδάφους της λεκάνης απορροής (σε μέσο βάθος 1,5 m περίπου), θεωρείται ως μία δεξαμενή μέγιστης χωρητικότητας S_{max} (mm). Η δεξαμενή αυτή τροφοδοτείται από τη βροχή P (mm) και έχει ως απώλειες τη δυναμική εξατμ/νοή E_p (mm) και τη βαθειά διήθηση, D (mm). Το νερό απορρέει μόνο αν η δεξαμενή αυτή

υπερχειλίσσει. Η αρχική εκτίμηση του όγκου του νερού που αποθηκεύεται στο έδαφος το μήνα I, δίνεται από την εξίσωση:

$$S_I' = S_{I-1} + P_I - E_{pi}, \text{ (mm)} \quad (6.1)$$

όπου: S_{I-1} : ο αποθηκευμένος όγκος νερού στο έδαφος κατά το μήνα I-1, (mm). P_I : μηνιαία βροχόπτωση του μήνα I, (mm) και E_{pi} : μηνιαία δυν. Εξατμισοδιαπνοή του μήνα I, (mm). Ανάλογα με την τιμή του S_I' , (Εξίσωση 6.1), η απορροή του μήνα I, V_I , υπολογίζεται ως εξής:

<p>1. Αν $S_I' > S_{max}$:</p> <p>$V_I = (S_I' - S_{max}) K'$, $D_I = (S_I' - S_{max}) K$, $S_I = S_{max}$ και $Ea_i = P_i - \Delta s_i - V_i - D_i$</p> <p>όπου: $\Delta s_i = S_i - S_{i-1}$, $K' = 1 - K$</p> <p>S_i: ο αποθηκευμένος όγκος νερού στο έδαφος κατά το μήνα I, (mm).</p> <p>D_i: η βαθειά διήθηση στο έδαφος κατά το μήνα I, (mm).</p> <p>Ea_i: η πραγματική εξατμισοδιαπνοή κατά το μήνα I, (mm).</p> <p>K: συντελεστής βαθειάς διήθησης ή κατείσδυσης εξαρτώμενος από την γεωλογική σύνθεση της λεκάνης απορροής.</p>
<p>2. Αν $0 \leq S_I' \leq S_{max}$:</p> <p>$V_I = 0$, $S_I = S_I'$, $D_I = 0$ και $Ea_i = P_i - \Delta s_i$</p>
<p>3. Αν $S_I' < 0$ ή $S_{i-1} + P_i < E_{pi}$, (από εξίσωση 3.1):</p> <p>$V_I = 0$, $S_I = 0$, $D_I = 0$ και $Ea_i = P_i + S_{i-1} < E_{pi}$</p>

Το μοντέλο στην τελική μορφή του όπως παρουσιάστηκε παραπάνω, περιέχει μια άγνωστη παράμετρο, τη μέγιστη αποθηκευτικότητα του επιφανειακού εδάφους S_{max} , της οποίας η τιμή προσδιορίζεται μετά από βαθμονόμηση, στην περίπτωση που υδρομετρικά δεδομένα είναι διαθέσιμα. Όμως το μοντέλο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμα και σε λεκάνες απορροής όπου δεν υπάρχουν μετρημένα υδρομετρικά στοιχεία. Στην τελευταία

περίπτωση, η εκτίμηση της παραμέτρου S_{max} (mm), μπορεί να γίνει από την εξίσωση της Soil Conservation Service, (SCS):

$$S_{max} = 25.4 \left(\left[\frac{1000}{CN} \right] - 10 \right) \quad (6.2)$$

όπου η παράμετρος CN, (αριθμός καμπύλης), μπορεί θεωρητικά να πάρει τιμές από 0 έως 100, δίνεται δε από Πίνακες με βάση τις συνθήκες εδάφους, γεωλογίας, φυτοκάλυψης και χρήσης γης, της υδρολογικής λεκάνης. Όσον δε αφορά την παράμετρο βαθιάς διήθησης K , αυτή μπορεί να εκτιμηθεί εύκολα από γεωλογικούς χάρτες της περιοχής μελέτης.

Η απορροή που προκύπτει από το μοντέλο αυτό είναι συγκεντρωμένη τους χειμερινούς μήνες και μηδενίζεται στους υπόλοιπους. Αυτή η αντιστοιχία με την πραγματικότητα οφείλεται στο ότι το παραπάνω μοντέλο δεν προσομοιώνει την υπόγεια αποθήκευση του νερού στο έδαφος, (υπόγειοι υδροφορείς), ούτε την αποφόρτιση των υπόγειων υδατικών αποθεμάτων μιας υδρολογικής λεκάνης, (πηγές/όρος βασικής ροής). Συνήθως το σφάλμα αυτό διορθώνεται, υπολογίζοντας μια δεύτερη ακριβέστερη προσέγγιση της απορροής από την εξίσωση:

$$Q_i = a V_i + (1-a) Q_{i-1} \quad (6.3)$$

όπου a παράμετρος με συνήθη τιμή, $a=0.5$.

Πρέπει να σημειωθεί ότι στην παρούσα μορφή του μοντέλου, δύναται να λαμβάνονται τελικά υπόψη, τόσο η ενδεχόμενη ύπαρξη ιδιαιτεροτήτων του γεωλογικού υποβάθρου της υδρολογικής λεκάνης, μέσω μιας κρίσιμης τιμής της παραμέτρου K , όσο και η εδαφική κλίση, μέσω μιας κρίσιμης επίσης τιμής της.

Έχει παρατηρηθεί ότι σε υδρολογικές λεκάνες με ασβεστολιθικό γεωλογικό υπόβαθρο, οι τιμές των υπολογιζόμενων από το μοντέλο απορροών υπερεκτιμούν συνήθως τις αντίστοιχες τιμές των υδρομετρήσεων. Αυτό οφείλεται στο ότι στην περίπτωση αυτή, το ισοζύγιο στην εδαφική επιφάνεια που περιλαμβάνει το διαχωρισμό νερού απορροής και βαθιάς διήθησης μέσω του συντελεστή K , δεν αποτελεί πλέον ικανοποιητική ρεαλιστική προσέγγιση, αφού ιδιαίτερα σε περιοχές όπου υπάρχουν

πολυκαρστικοποιημένοι ασβεστόλιθοι, το μεγαλύτερο μέρος του νερού της βροχής κατεισδύει στο έδαφος και μόνο ένα πολύ μικρό ποσοστό μπορεί να απορρέει επιφανειακά, αν η κλίση του εδάφους είναι αρκετά μεγάλη.

Για το λόγο αυτό, έγιναν βελτιώσεις στην αρχική μορφή του μοντέλου, ώστε να λαμβάνονται τελικά υπόψη, τόσο η ενδεχόμενη ύπαρξη πολυκαρστικοποιημένου ασβεστολιθικού γεωλογικού υποβάθρου στην υδρολογική λεκάνη μέσω μιας κρίσιμης τιμής της παραμέτρου K , όσο και η εδαφική κλίση, μέσω μιας κρίσιμης επίσης τιμής της.

Αν υποθεθεί ότι η συνολική υδρολογική λεκάνη έχει χωριστεί σε j υπολεκάνες με ομοιόμορφα χαρακτηριστικά (γεωλογία, έδαφος, κτλ), τότε γίνεται για κάθε υπολεκάνη ο εξής έλεγχος:

1. Αν $K_j \geq K_{cr}$ και $\varphi_j \leq \varphi_{cr}$ τότε η υπολεκάνη j θεωρείται υδρολογικά ανενεργή και δεν ισχύει η εξίσωση του ισοζυγίου του μοντέλου στη περίπτωση αυτή. Θεωρείται δε ότι η απορροή από την υπολεκάνη αυτή είναι μηδενική. K_j και φ_j είναι οι μέσες τιμές του συντελεστή βαθειάς διήθησης και της εδαφικής κλίσης για την υπολεκάνη j , ενώ K_{cr} , και φ_{cr} , οι αντίστοιχες κρίσιμες τιμές των παραπάνω μεγεθών.
2. Αν $K_j \geq K_{cr}$ και $\varphi_j \geq \varphi_{cr}$ τότε η υπολεκάνη j θεωρείται μεν υδρολογικά ενεργή, αλλά αντί της παραμέτρου $K'=1-K$, χρησιμοποιείται μια παράμετρος p , που συνήθως παίρνει τιμές στο διάστημα 0.01 – 0.05.

6.3 Εφαρμογή σε Λεκάνες του Δ. Κόφινα

Ο Δήμος Κόφινα βρίσκεται πάνω στον κοινό υδροκρίτη των λεκανών Γεροπόταμου από δυτικά και Αναποδάρη από ανατολικά. Η παρούσα εφαρμογή αφορά υπολεκάνες που απορρέουν εντός των ορίων του Δήμου Κόφινα και αφορούν τους εξής κλάδους:

- Υπολεκάνη Γεροποτάμου που αντιστοιχεί στην αρχή της κύριας μισγάγγειας του Γεροπόταμου με λεκάνη απορροής 72 km² (κόμβος N01 – Χάρτης 5.1).
- Υπολεκάνη Γεροποτάμου που αντιστοιχεί στο ρέμα Στερνών με λεκάνη απορροής 10 km² (κόμβος Nst - Χάρτης 5.1).
- Υπολεκάνη Ανω Αναποδάρη που αντιστοιχεί στον υδρομετρικό σταθμό του φράγματος Πλακιώτισας με λεκάνη απορροής 79 km² (κόμβος Np1 - Χάρτης 5.1).

6.3.1 Υπολεκάνες Γεροποτάμου

6.3.1.1 Περιγραφή των Λεκανών Απορροής

Η υπολεκάνη του Γεροποτάμου που αντιστοιχεί στην αρχή της κύριας μιγάγγειας του ποταμού αποστραγγίζει μια περιοχή συνολικής έκτασης 72 Km² που χαρακτηρίζεται από πυκνό, δενδριτικού τύπου, υδρογραφικό δίκτυο και δομείται από Τεταρτογενείς και Πλειοπλειστοκαινικές αποθέσεις στο κεντρικό και βόρειο τμήμα και φλύσχη της Ζώνης της Τρίπολης στο Νότιο τμήμα. Το μέσο υψόμετρο της λεκάνης αυτής είναι 400 m.

Ένας εκ των κλάδων της υπολεκάνης αυτής αποστραγγίζει την υπολεκάνη των Στερνών έκτασης 10 km² που επίσης χαρακτηρίζεται από πυκνό, δενδριτικού τύπου, υδρογραφικό δίκτυο και δομείται κυρίως από φλύσχη της Ζώνης της Τρίπολης και μόνο στο βόρειο άκρο της από Τεταρτογενή αλλούβια. Το μέσο υψόμετρο της λεκάνης είναι 565 m.

6.3.1.2 Σταθμοί μετρήσεων - Δεδομένα εισόδου

Για την εφαρμογή του μοντέλου μετασχηματισμού της βροχόπτωσης σε επιφανειακή απορροή, (SWBM), απαιτούνται μετρημένα στοιχεία υδρολογικής πληροφορίας, όπως:

- χρονοσειρές μηνιαίων υψών βροχής
- χρονοσειρές μηνιαίων υψών δυν. εξατμισοδιαπνοής
- χρονοσειρές μηνιαίων όγκων απορροής σε διαφορετικές θέσεις του υδρογραφικού δικτύου.

Η τελευταία πληροφορία είναι απαραίτητη για τη βαθμονόμηση και έλεγχο της αξιοπιστίας εκτίμησης του μοντέλου προσομοίωσης, (προσδιορισμός των βέλτιστων τιμών των αγνώστων παραμέτρων). Στη συγκεκριμένη λεκάνη απορροής, χρονοσειρές υψών βροχής σε μηνιαία βάση ελήφθησαν για χρονική περίοδο 30 συνεχόμενων υδρολογικών ετών (1962-63, 1991-92), από τους εξής σταθμούς:

α/α ΣΤΑΘΜΟΣ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ (m)	ΥΠΗΡΕΣΙΑ
-------------	--------------	----------

1	ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	590	Υπ. Γεωργίας
2	ΑΓ. ΚΥΡΙΛΛΟΣ	430	Υπ. Γεωργίας
3	ΑΣΗΜΙΟ	280	Υπ. Γεωργίας
4	ΖΑΡΟΣ	343	ΕΜΥ
5	ΠΟΜΠΙΑ	150	Υπ. Γεωργίας
6	ΤΥΜΠΑΚΙ	10	ΕΜΥ

Σε κάθε ένα από τους σταθμούς αυτούς εκτιμήθηκαν, λόγω έλλειψης σχετικών μετρήσεων, συνθετικές χρονοσειρές μηνιαίων υψών δυναμικής εξατμισοδιαπνοής κατά Thornthwaite, αφού προηγούμενα έγινε υπολογισμός με αναγωγή από σταθμό βάσης, της πληροφορίας "μέση μηνιαία θερμοκρασία".

Όσον αφορά τις χρονοσειρές μετρημένων απορροών, χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία του υδρομετρικού σταθμού, που ευρίσκεται επί του χειμάρρου Κουτσουλίδη, που είναι ένας από τους βασικούς παραχείμαρρους του Γεροπόταμου σε θέση κατασκευής του φράγματος Φανερωμένης, ($\varphi=35^{\circ} 05'$, $\lambda=24^{\circ} 51'$, έκταση ανάντη λεκάνης απορροής: 96 Km²). Τα στοιχεία αυτά χρησίμευσαν για τη βαθμονόμηση του μοντέλου προσομοίωσης.

Επειδή τα υπάρχοντα υδρολογικά στοιχεία στους 6 σταθμούς βροχομετρικών παρατηρήσεων της υπόψη λεκάνης, δεν αποτελούν παρά καταγραμμένη σημειακή πληροφορία, η "μεταβίβαση" της πληροφορίας αυτής στον ευρύτερο γεωγραφικό χώρο της λεκάνης απορροής έγινε με τη μέθοδο της διακριτοποίησης - χωρισμού της λεκάνης σε μονάδες επιφάνειας έκτασης ενός Km² η κάθε μία. Γνωρίζοντας το μέσο υψόμετρο της κάθε μοναδιαίας επιφάνειας, η πληροφορία "ύψος βροχής" και "ύψος δυν. εξατμισοδιαπνοής" μεταβιβάστηκε από τον εγγύτερο σταθμό μετρήσεων στη κάθε μονάδα επιφάνειας, χρησιμοποιώντας τον παρακάτω συντελεστή αναγωγής:

$$P_X = \mu P_{HP} \quad (6.4)$$

$$\mu = \{ P_{υ_{HP}} + \theta (H_X - H_{HP}) \} / P_{υ_{HP}} \quad (6.5)$$

P_X : η μηνιαία τιμή ύψους βροχής στη μονάδα επιφάνειας j , (mm),

μ : συντελεστής υψομετρικής αναγωγής,

P_{HP} : η μηνιαία τιμή του ύψους βροχής του σταθμού βάσης, (εδώ ο πλησιέστερος σταθμός στη μονάδα επιφάνειας), (mm),

$P_{u_{HP}}$: το υπερετήσιο ύψος βροχής του σταθμού βάσης, (mm),

H_X : το μέσο υψόμετρο της μονάδας επιφάνειας, (m) και

H_{HP} : το υψόμετρο του σταθμού βάσης, (m),

θ : η τιμή της βροχοβαθμίδας, (0.86 mm/m) ή βαθμίδας δυναμ. εξατμισοδιαπνοής, (-0.23 mm/m), για αναγωγή ύψους βροχής ή δυναμικής εξατμισοδιαπνοής αντίστοιχα.

6.3.1.3 Αποτελέσματα

Αρχικά, εκτιμήθηκε το υδατικό ισοζύγιο σε κάθε μοναδιαία επιφάνεια χρησιμοποιώντας το μοντέλο μηνιαίων τιμών, (SWBM). Σύμφωνα με τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, για τη βαθμονόμηση του μοντέλου με βάση τα μετρημένα στοιχεία απορροών του χειμάρρου Κουτσουλίδη, χρησιμοποιήθηκε η τελευταία βελτιωμένη έκδοση του μοντέλου με τις εξής τιμές κρίσιμων μεγεθών:

$$K_{cr}=0,31 \text{ και } \phi_{cr}=22,5^\circ$$

Η παράμετρος της αποθηκευτικότητας S_{max} , προέκυψε από τη βαθμονόμηση του μοντέλου, ίση με 200 mm. Η τιμή αυτή, λόγω έλλειψης λεπτομερούς πληροφορίας για τη χρήση γης και τη φυτοκάλυψη, ελήφθη η ίδια σε κάθε μοναδιαία επιφάνεια. Αντίθετα, ως τιμή της παραμέτρου βαθμείας διήθησης, K , για κάθε μονάδα επιφάνειας, χρησιμοποιήθηκε εκείνη που προέκυψε από τον γεωλογικό χάρτη της περιοχής μελέτης.

Όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, η μέση ετήσια τιμή της απορροής για την λεκάνη του Κουτσουλίδη ανέρχεται σε 12,59 εκατ m^3 , έναντι 12 εκατ. m^3 , (240 mm), που προκύπτει από τις υδρομετρήσεις, δηλ. μέση σχετική απόκλιση της τάξης του 5%.

Το μοντέλο προσομοίωσης χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση των απορροών σε δύο συνολικά θέσεις - κόμβους της λεκάνης του Γεροπόταμου. Από τους κόμβους αυτούς

ο υπ' αριθμόν Ν01 αντιστοιχεί στην αρχή της κύριας μισγάγγειας του Γεροπόταμου, ενώ ο Νst αντιστοιχεί στην έξοδο του ρέματος των Στερνών.

Κόμβος Ν01 (αρχή κύριας μισγάγγειας Γεροπόταμου)

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης από το μοντέλο SWBM για τον Κόμβο Ν01, δίνονται στον Πίνακα 6.1 και στα Σχήματα 6.1α και 6.1β, για την ετήσια και μέση μηνιαία απορροή αντίστοιχα, σε εκατ. m³.

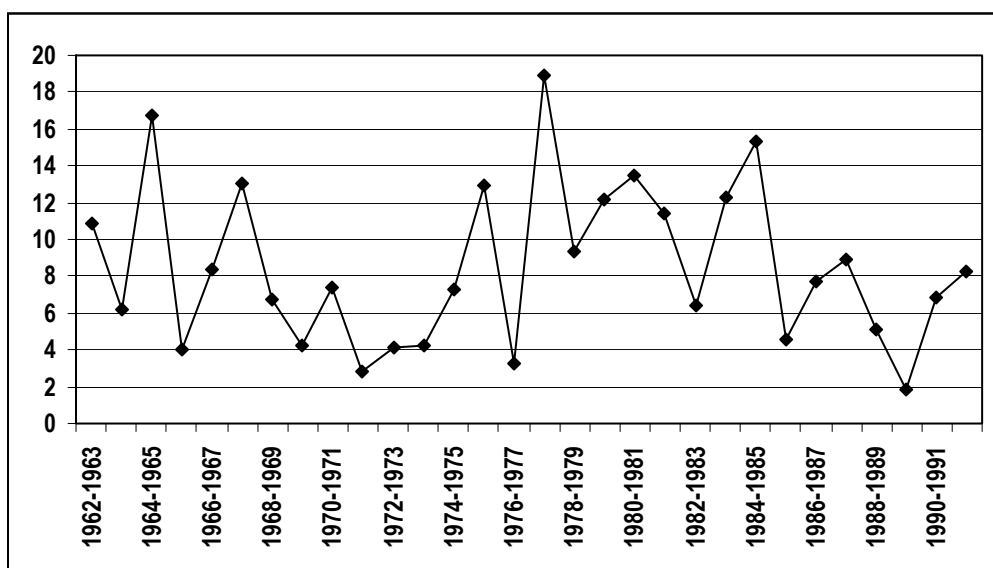
Όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, η μέση ετήσια τιμή της απορροής για της υδρολογική αυτή υπολεκάνη του Γεροπόταμου ανέρχεται σε 8.49 εκατ m³ (118 mm) με μέγιστη 18.9 εκατ m³ και ελάχιστη 1.86. Από ανάλυση συχνότητας της χρονοσειράς των απορροών συνάγονται τα εξής:

ΑΠΟΡΡΟΗ (σε εκατ m³)	ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ ΥΠΕΡΒΑΣΗΣ Ρ	ΜΗ	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ Τ
8,49	58%		1,7 έτη
6,69	39%		2,6 έτη
3,28	10%		10,3 έτη

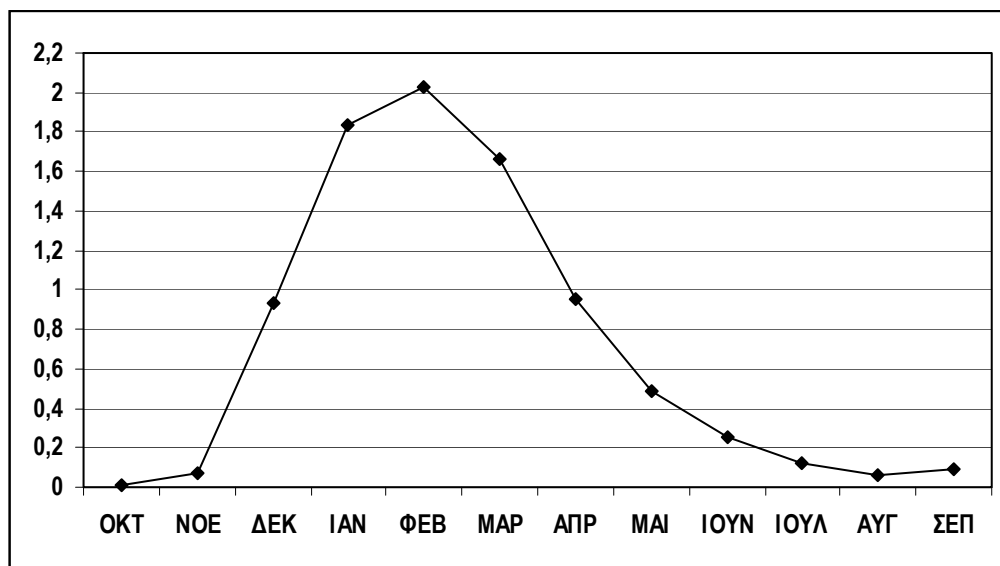
Το μέσο ετήσιο επιφανειακό ύψος βροχής για το σύνολο της λεκάνης αυτής, ανέρχεται σε 714,8 mm με βάση την μέθοδο διακριτοποίησης που εφαρμόστηκε, (μονάδες επιφάνειας του 1 Km²). Συνεπώς, ο μέσος ετήσιος συντελεστής απορροής για την υπόψη λεκάνη, είναι ίσος με: $C = 118/714,8 = 0.17$. Η σχετικά μικρή τιμή του συντελεστή απορροής οφείλεται στο γεγονός ότι κατά το μεγαλύτερο μέρος της η λεκάνη καλύπτεται από αλλουβιακές αποθέσεις με σχετικά μεγάλη τιμή διήθησης.

	ΟΚΤ	ΝΟ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΟΣ	Χ0,15
1962-1963	0	0	1,03	2,35	2,91	2,3	1,15	0,58	0,29	0,15	0,07	0,04	10,86	1,63
1963-1964	0	0	0,65	1,2	1,56	1,38	0,69	0,35	0,17	0,09	0,04	0,02	6,16	0,92
1964-1965	0	0	2,14	3,42	4,12	2,46	2,32	1,17	0,59	0,29	0,15	0,07	16,72	2,51
1965-1966	0	0	0,09	0,95	0,67	1,17	0,58	0,29	0,15	0,07	0,04	0,02	4,02	0,60
1966-1967	0	0	1,29	1,3	1,72	1,94	1,1	0,55	0,27	0,14	0,07	0,03	8,4	1,26
1967-1968	0,01	0,02	1,49	4,06	2,91	2,28	1,14	0,57	0,28	0,14	0,07	0,04	13,01	1,95
1968-1969	0,01	0,38	1,35	2,31	1,16	0,7	0,39	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	6,69	1,00
1969-1970	0	0	0,5	0,73	1,06	0,98	0,49	0,24	0,12	0,06	0,03	0,02	4,23	0,63
1970-1971	0	0	0	0,99	2,34	1,9	1,08	0,54	0,27	0,13	0,07	0,03	7,35	1,10
1971-1972	0	0	0	0,19	0,51	0,98	0,6	0,3	0,15	0,08	0,04	0,02	2,86	0,43
1972-1973	0	0	0,09	0,98	1,5	0,75	0,38	0,19	0,09	0,05	0,02	0,01	4,08	0,61
1973-1974	0	0	0	0,92	1,36	0,98	0,49	0,24	0,12	0,06	0,03	0,02	4,23	0,63
1974-1975	0	0	0,56	2,2	2,05	1,21	0,6	0,31	0,16	0,08	0,04	0,02	7,23	1,08
1975-1976	0	0	0,76	2,37	3,51	3,17	1,59	0,8	0,4	0,2	0,1	0,05	12,94	1,94
1976-1977	0	0	0,1	0,23	0,22	0,5	0,25	0,13	0,06	0,03	0,02	1,75	3,28	0,49
1977-1978	0,25	0,38	2,77	4,73	4,18	3,33	1,67	0,83	0,42	0,21	0,1	0,05	18,92	2,84
1978-1979	0	0	1,16	1,73	2,05	1,61	0,88	1	0,5	0,25	0,12	0,06	9,35	1,40
1979-1980	0,03	0,69	2,74	2,31	2,48	2	1	0,5	0,25	0,13	0,06	0,03	12,22	1,83
1980-1981	0	0	1,17	5,2	3,54	1,79	0,89	0,45	0,22	0,11	0,06	0,03	13,46	2,02
1981-1982	0	0,04	1,79	1,93	2,78	2,43	1,23	0,61	0,31	0,15	0,08	0,04	11,39	1,71
1982-1983	0	0	0,06	0,86	2,16	1,71	0,85	0,43	0,21	0,11	0,05	0,03	6,46	0,97
1983-1984	0,01	0,06	1,95	2,51	2,85	1,93	1,48	0,74	0,37	0,19	0,09	0,05	12,23	1,83
1984-1985	0,01	0,12	1,96	4,74	3,23	2,47	1,44	0,72	0,36	0,18	0,09	0,05	15,36	2,30
1985-1986	0	0	0	0,91	1,58	1,06	0,53	0,26	0,13	0,07	0,03	0,02	4,59	0,69
1986-1987	0	0	0,19	0,51	1,16	1,97	2	1	0,5	0,25	0,12	0,06	7,76	1,16
1987-1988	0	0	0,23	1,25	2,37	2,57	1,28	0,64	0,32	0,16	0,08	0,04	8,95	1,34
1988-1989	0,01	0,32	1,61	1,16	0,58	0,72	0,36	0,18	0,09	0,05	0,02	0,01	5,12	0,77
1989-1990	0	0,23	0,13	0,15	0,68	0,34	0,17	0,08	0,04	0,02	0,01	0,01	1,86	0,28
1990-1991	0	0	1,07	1,8	1,98	0,99	0,49	0,25	0,12	0,06	0,03	0,02	6,81	1,02
1991-1992	0	0	1,15	0,95	1,61	2,14	1,21	0,61	0,3	0,15	0,08	0,04	8,24	1,24
M.O.	0,01	0,07	0,93	1,83	2,03	1,66	0,95	0,49	0,25	0,12	0,06	0,09	8,49	1,27
MO X 0,15	0,00	0,01	0,14	0,27	0,30	0,25	0,14	0,07	0,04	0,02	0,01	0,01	1,27	

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1 Απορροή (σε εκ m³) Γεροπόταμου στον κόμβο Ν01 (αρχή κύριας μισγάγγειας Γεροπόταμου). Στον πίνακα περιλαμβάνονται επίσης και οι τιμές που αντιστοιχούν στο 15% της μέσης ετήσιας και μέσης μηνιαίας απορροής.



ΣΧΗΜΑ 6.1α Διακύμανση μέσωσν ετήσιων απορροών Γεροπόταμου στον κόμβο Ν01.



ΣΧΗΜΑ 6.1β Διακύμανση μέσωσν μηνιαίων απορροών Γεροπόταμου στον κόμβο Ν01.

Κόμβος Nst (ρέμα Στερνών)

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης από το μοντέλο SWBM για τον Κόμβο Nst, δίνονται στον Πίνακα 6.2 και στα Σχήματα 6.2α και 6.2β, για την ετήσια και μέση μηνιαία απορροή αντίστοιχα, σε εκατ. m³.

Όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, η μέση ετήσια τιμή της απορροής για της υδρολογική αυτή υπολεκάνη του Γεροπόταμου ανέρχεται σε 2.7 εκατ m³ (270 mm) με μέγιστη 5.76 εκατ m³ και ελάχιστη 0.7. Από ανάλυση συχνότητας της χρονοσειράς των απορροών συνάγονται τα εξής:

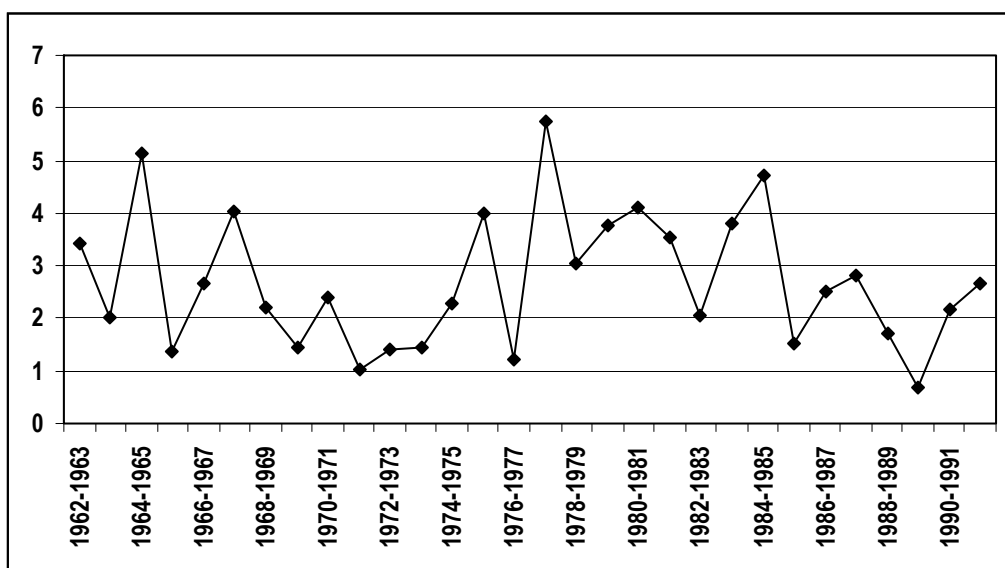
ΑΠΟΡΡΟΗ (σε εκατ m ³)	ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ ΥΠΕΡΒΑΣΗΣ P	ΜΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ T
2,7	58%	1,7 έτη
2,01	32%	3,1 έτη
1,22	10%	10,3 έτη

Το μέσο ετήσιο επιφανειακό ύψος βροχής για το σύνολο της λεκάνης αυτής, ανέρχεται σε 856,7 mm με βάση την μέθοδο διακριτοποίησης που εφαρμόστηκε, (μονάδες επιφάνειας του 1 Km²). Συνεπώς, ο μέσος ετήσιος συντελεστής απορροής για την υπόψη λεκάνη, είναι ίσος με: $C = 270/856,7 = 0.32$. Η σχετικά μεγάλη τιμή του συντελεστή απορροής οφείλεται στο γεγονός ότι κατά το μεγαλύτερο μέρος της η λεκάνη καλύπτεται από φλύσχη που είναι πρακτικά στεγανός σχηματισμός με μικρή τιμή διήθησης.

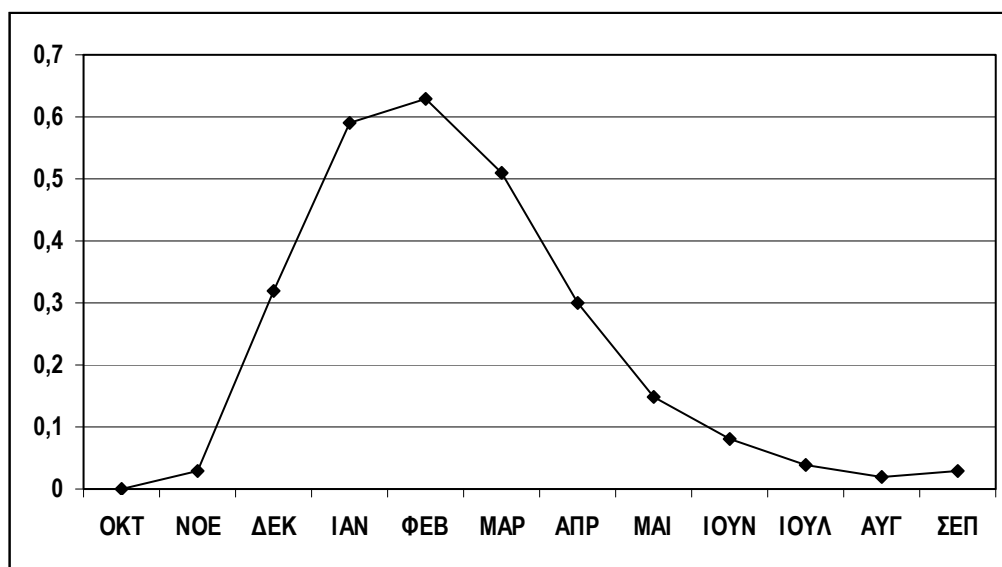
	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΟΣ	X0,2
1962-1963	0	0	0,38	0,75	0,89	0,7	0,35	0,18	0,09	0,04	0,02	0,01	3,42	0,68
1963-1964	0	0	0,26	0,4	0,49	0,43	0,22	0,11	0,05	0,03	0,01	0,01	2,01	0,40
1964-1965	0	0	0,69	1,05	1,24	0,75	0,71	0,36	0,18	0,09	0,04	0,02	5,13	1,03
1965-1966	0	0	0,04	0,34	0,24	0,37	0,19	0,09	0,05	0,02	0,01	0,01	1,36	0,27
1966-1967	0	0	0,45	0,42	0,53	0,59	0,35	0,17	0,09	0,04	0,02	0,01	2,67	0,53
1967-1968	0	0,01	0,52	1,24	0,89	0,7	0,35	0,17	0,09	0,04	0,02	0,01	4,04	0,81
1968-1969	0	0,17	0,45	0,72	0,36	0,23	0,13	0,07	0,03	0,02	0,01	0	2,19	0,44
1969-1970	0	0	0,2	0,26	0,34	0,31	0,16	0,08	0,04	0,02	0,01	0	1,43	0,29
1970-1971	0	0	0	0,37	0,74	0,6	0,35	0,17	0,09	0,04	0,02	0,01	2,4	0,48
1971-1972	0	0	0	0,08	0,2	0,33	0,21	0,11	0,05	0,03	0,01	0,01	1,04	0,21
1972-1973	0	0	0,04	0,37	0,49	0,25	0,13	0,06	0,03	0,02	0,01	0	1,39	0,28

1973-1974	0	0	0	0,35	0,45	0,33	0,16	0,08	0,04	0,02	0,01	0,01	1,45	0,29
1974-1975	0	0	0,22	0,69	0,63	0,38	0,19	0,1	0,05	0,02	0,01	0,01	2,3	0,46
1975-1976	0	0	0,28	0,74	1,06	0,96	0,48	0,24	0,12	0,06	0,03	0,02	3,99	0,80
1976-1977	0	0	0,04	0,1	0,1	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,01	0,59	1,22	0,24
1977-1978	0,1	0,15	0,85	1,42	1,25	1	0,5	0,25	0,13	0,06	0,03	0,02	5,76	1,15
1978-1979	0	0	0,42	0,56	0,63	0,5	0,28	0,33	0,17	0,08	0,04	0,02	3,05	0,61
1979-1980	0,01	0,26	0,85	0,71	0,75	0,61	0,3	0,15	0,08	0,04	0,02	0,01	3,78	0,76
1980-1981	0	0	0,41	1,57	1,07	0,54	0,27	0,14	0,07	0,03	0,02	0,01	4,12	0,82
1981-1982	0	0,01	0,59	0,61	0,84	0,74	0,37	0,19	0,09	0,05	0,02	0,01	3,53	0,71
1982-1983	0	0	0,02	0,32	0,68	0,53	0,27	0,13	0,07	0,03	0,02	0,01	2,07	0,41
1983-1984	0	0,03	0,64	0,78	0,87	0,59	0,46	0,23	0,12	0,06	0,03	0,01	3,81	0,76
1984-1985	0	0,05	0,63	1,43	0,98	0,75	0,45	0,22	0,11	0,06	0,03	0,01	4,73	0,95
1985-1986	0	0	0	0,34	0,51	0,35	0,17	0,09	0,04	0,02	0,01	0,01	1,54	0,31
1986-1987	0	0	0,08	0,21	0,4	0,62	0,62	0,31	0,15	0,08	0,04	0,02	2,52	0,50
1987-1988	0	0	0,1	0,42	0,73	0,78	0,39	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	2,81	0,56
1988-1989	0,01	0,14	0,53	0,38	0,19	0,24	0,12	0,06	0,03	0,01	0,01	0	1,72	0,34
1989-1990	0	0,1	0,06	0,07	0,24	0,12	0,06	0,03	0,02	0,01	0	0	0,7	0,14
1990-1991	0	0	0,38	0,57	0,61	0,3	0,15	0,08	0,04	0,02	0,01	0	2,16	0,43
1991-1992	0	0	0,42	0,33	0,5	0,65	0,38	0,19	0,1	0,05	0,02	0,01	2,66	0,53
M.O.	0	0,03	0,32	0,59	0,63	0,51	0,3	0,15	0,08	0,04	0,02	0,03	2,7	0,54
MO X 0.2	0	0,006	0,06	0,12	0,126	0,102	0,06	0,03	0,02	0,008	0,004	0,006	0,54	

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2 Απορροή (σε εκ m³) Γεροπόταμου στον κόμβο Nst (ρέμα Στερνών). Στον πίνακα περιλαμβάνονται επίσης και οι τιμές που αντιστοιχούν στο 20% της μέσης ετήσιας και μέσης μηνιαίας απορροής.



ΣΧΗΜΑ 6.2α Διακύμανση μέσωσν ετήσιων απορροών Γεροπόταμου στον κόμβο Nst.



ΣΧΗΜΑ 6.2β Διακύμανση μέσωσν μηνιαίων απορροών Γεροπόταμου στον κόμβο Nst.

6.3.2 Υπολεκάνη Ανω Αναποδάρη

6.3.2.1 Περιγραφή της λεκάνης απορροής

Η υπολεκάνη Αναποδάρη που αντιστοιχεί στον υδρομετρικό σταθμό του φράγματος Πλακιώτισας αποστραγγίζει μια περιοχή 79 km² που χαρακτηρίζεται από πυκνό, δενδριτικού τύπου, υδρογραφικό δίκτυο με μήκος κύριας μισγάγγειας ανάντη κόμβου, 15Km και δομείται κυρίως από Νεογενείς μαργαϊκούς σχηματισμούς καθώς και φλύσχη της Ζώνης της Τρίπολης με υψηλά ποσοστά διάβρωσης. Το μέσο υψόμετρο της λεκάνης είναι 432 m.

6.3.2.2 Σταθμοί μετρήσεων - Δεδομένα εισόδου

Για την εφαρμογή του μοντέλου μετασχηματισμού της βροχόπτωσης σε επιφανειακή απορροή, (SWBM), απαιτούνται μετρημένα στοιχεία υδρολογικής πληροφορίας, όπως:

- χρονοσειρές μηνιαίων υψών βροχής
- χρονοσειρές μηνιαίων υψών δυν. εξατμισοδιαπνοής
- χρονοσειρές μηνιαίων όγκων απορροής σε διαφορετικές θέσεις του υδρογραφικού δικτύου.

Η τελευταία πληροφορία είναι απαραίτητη για τη βαθμονόμηση και έλεγχο της αξιοπιστίας εκτίμησης του μοντέλου προσομοίωσης, (προσδιορισμός των βελτίστων τιμών των αγνώστων παραμέτρων).

Στη συγκεκριμένη λεκάνη απορροής, χρονοσειρές υψών βροχής σε μηνιαία βάση ελήφθησαν για χρονική περίοδο 30 συνεχόμενων υδρολογικών ετών (1962-63, 1991-92), από τους εξής σταθμούς:

α/α ΣΤΑΘΜΟΣ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ (m)	ΥΠΗΡΕΣΙΑ
1 ΑΡΜΑΧΑ	500	Υπ. Γεωργίας
2 ΜΕΤΑΞΟΧΩΡΙ	430	Υπ. Γεωργίας
3 ΤΕΦΕΛΙ	360	Υπ. Γεωργίας
4 ΚΑΣΑΝΟΣ	320	Υπ. Γεωργίας
5 ΠΡΟΤΟΡΙΑ	220	Υπ. Γεωργίας
6 ΔΕΜΑΤΙ	190	Υπ. Γεωργίας

Σε κάθε ένα από τους σταθμούς αυτούς εκτιμήθηκαν επίσης, λόγω έλλειψης σχετικών μετρήσεων, συνθετικές χρονοσειρές μηνιαίων υψών δυναμικής εξατμισοδιαπνοής κατά Thornthwaite, αφού προηγουμένα έγινε υπολογισμός με αναγωγή από σταθμό βάσης, της πληροφορίας "μέση μηνιαία θερμοκρασία".

Όσον αφορά τις χρονοσειρές μετρημένων απορροών, χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία υδρομετρικού σταθμού, που ευρίσκεται επί του χειμάρρου Άνω Αναποδάρη, σε θέση όπου προβλέπεται να κατασκευασθεί μελλοντικά φράγμα αποθήκευσης, (φράγμα Πλακιώτισσας, $\varphi=35^{\circ} 04'$, $\lambda=25^{\circ} 09'$, έκταση ανάντη λεκάνης απορροής: 78.5 Km^2). Τα στοιχεία αυτά χρησίμευσαν για τη βαθμονόμηση του μοντέλου προσομοίωσης.

Επειδή τα υπάρχοντα υδρολογικά στοιχεία στους 6 σταθμούς βροχομετρικών παρατηρήσεων της υπόψη λεκάνης, δεν αποτελούν παρά καταγραμμένη σημειακή πληροφορία, η "μεταβίβαση" της πληροφορίας αυτής στον ευρύτερο γεωγραφικό χώρο της λεκάνης απορροής έγινε με τη μέθοδο της διακριτοποίησης - χωρισμού της λεκάνης σε μονάδες επιφάνειας έκτασης ενός Km^2 η κάθε μία. Γνωρίζοντας το μέσο υψόμετρο της κάθε μοναδιαίας επιφάνειας, η πληροφορία "ύψος βροχής" και "ύψος δυν. εξατμισοδιαπνοής" μεταβιβάστηκε από τον εγγύτερο σταθμό μετρήσεων στη κάθε μονάδα επιφάνειας, χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις 6.4 και 6.5.

6.3.2.3 Αποτελέσματα

Αρχικά, εκτιμήθηκε το υδατικό ισοζύγιο σε κάθε μοναδιαία επιφάνεια χρησιμοποιώντας το μοντέλο μηνιαίων τιμών, (SWBM). Σύμφωνα με τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, για τη βαθμονόμηση του μοντέλου με βάση τα μετρημένα στοιχεία απορροών του χειμάρρου Άνω Αναποδάρη, χρησιμοποιήθηκε η τελευταία βελτιωμένη έκδοση του μοντέλου αυτού, με τις εξής τιμές κρίσιμων μεγεθών:

$$K_{cr}=0,30 \text{ και } \varphi_{cr}=22,5^{\circ}$$

Η παράμετρος της αποθηκευτικότητας S_{max} , προέκυψε από τη βαθμονόμηση του μοντέλου, ίση με 300 mm. Η τιμή αυτή, λόγω έλλειψης λεπτομερούς πληροφορίας για τη χρήση γης και τη φυτοκάλυψη, ελήφθη η ίδια σε κάθε μοναδιαία επιφάνεια. Αντίθετα, ως τιμή της παραμέτρου βαθιάς διήθησης, K , για κάθε μονάδα επιφάνειας, χρησιμοποιήθηκε εκείνη που προέκυψε από τον γεωλογικό χάρτη της περιοχής μελέτης.

Το μοντέλο προσομοίωσης χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση των απορροών στην έξοδο της υδρολογικής λεκάνης του χειμάρρου Άνω Αναποδάρη, (κόμβος Nr1 - θέση φράγματος Πλακιώτισσας). Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης από το μοντέλο SWBM για τον κόμβο αυτό, δίνονται στον Πίνακα 6.3 και στα Σχήματα 6.3α και 6.3β, για την ετήσια και μέση μηνιαία απορροή αντίστοιχα, σε εκατ. m³.

Όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για περίοδο 30 ετών (1962-1963 έως 1991-1992), η μέση ετήσια τιμή της απορροής για της υδρολογική αυτή υπολεκάνη του Αναποδάρη ανέρχεται σε 13.45 εκατ m³ (166 mm) με μέγιστη 37.8 εκατ m³ και ελάχιστη 0.16.

Η μέση ετήσια τιμή της απορροής που προκύπτει από τις υδρομετρήσεις για περίοδο 28 ετών (1967-1968 έως 1994-1995), ανέρχεται σε 11.2 εκατ. m³, (150 mm), με μέγιστη 27.8 εκατ m³ και ελάχιστη 0. Τα αποτελέσματα των υδρομετρήσεων της περιόδου αυτής δίνονται στον Πίνακα 6.4 και στα Σχήματα 6.4α και 6.4β, για την ετήσια και μέση μηνιαία απορροή αντίστοιχα, σε εκατ. m³.

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης με τις μετρημένες απορροές στον κόμβο αυτό παρουσιάζεται στο Σχήμα 6.5. Είναι προφανές ότι οι ετήσιοι όγκοι απορροής που υπολογίζονται από το μοντέλο κατά την περίοδο της βαθμονόμησης (1967-1968 έως 1991-1992), ακολουθούν την εξέλιξη των αντιστοίχων τιμών των υδρομετρήσεων σε αρκετά ικανοποιητικό βαθμό. Η μέση ετήσια τιμή της απορροής που υπολογίστηκε για την περίοδο της βαθμονόμησης ανέρχεται σε 13.13 εκατ m³, έναντι 11.8 εκατ. m³, (150 mm), που προκύπτει από τις υδρομετρήσεις, δηλαδή μέση σχετική απόκλιση της τάξης του 10%. Η απόκλιση αυτή οφείλεται σε διαφορές που αφορούν μόνο τα πολύ υγρά έτη.

Τέλος όπως συνάγεται από το Σχήμα 6.6 απορροή στον κόμβο αυτό δεν εμφανίζεται για ετήσιες βροχοπτώσεις μικρότερες των 450mm περίπου.

Το μέσο ετήσιο επιφανειακό ύψος βροχής για την υπόψη υδρολογική λεκάνη, ανέρχεται σε 731 mm με βάση την μέθοδο διακριτοποίησης που εφαρμόστηκε, (μονάδες επιφάνειας του 1 Km²). Στην αντίστοιχη Υδρολογική Μελέτη που εκπονήθηκε στα πλαίσια της Οριστικής Μελέτης του Φράγματος της Πλακιώτισσας (Μελέτη Φράγματος Πλακιώτισσας Μεσαράς Κρήτης - Οριστική Μελέτη/Τεύχος 3 - Υδρολογική Μελέτη, 1986), το μέσο ετήσιο επιφανειακό ύψος βροχής, είχε εκτιμηθεί με διαφορετικές μεθόδους, (πολύγωνα Thiessen, μέθοδος αντιπροσωπευτικού σταθμού κτλ), από 711 έως

790 mm περίπου. Με βάση τα παραπάνω ο μέσος ετήσιος συντελεστής απορροής για τη λεκάνη του Άνω Αναποδάρη, προκύπτει ίσος με: $C = 166/731 = 0.23$

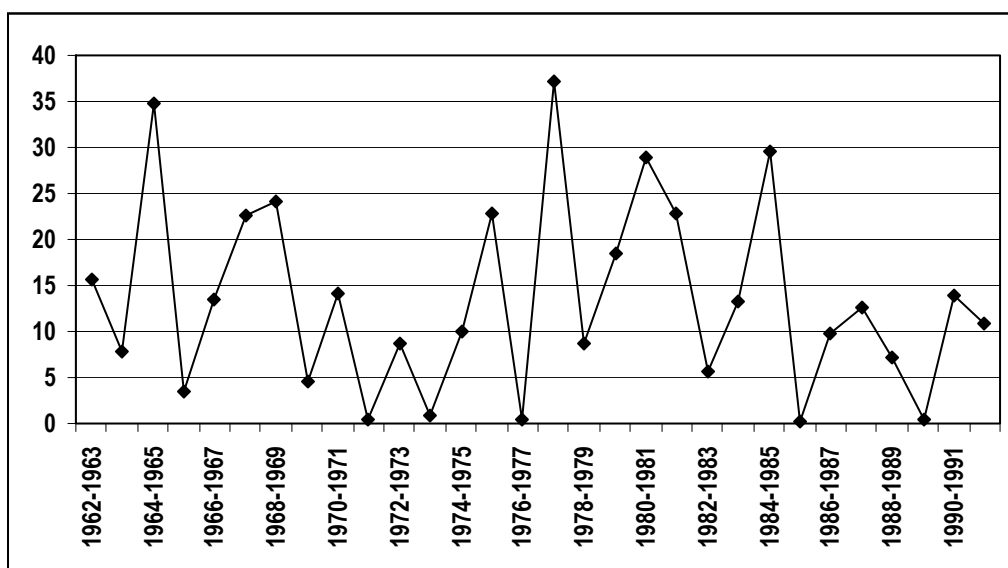
Από ανάλυση συχνότητας της χρονοσειράς των μετρημένων απορροών συνάγονται τα εξής:

ΑΠΟΡΡΟΗ (σε εκατ m³)	ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ ΥΠΕΡΒΑΣΗΣ P	ΜΗ	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ T
19,18	83 %		1,2 έτη
11,43	59 %		1,7 έτη
10,38	48 %		2,1 έτη
5,47	28 %		3,6 έτη
2,01	10 %		9,7 έτη

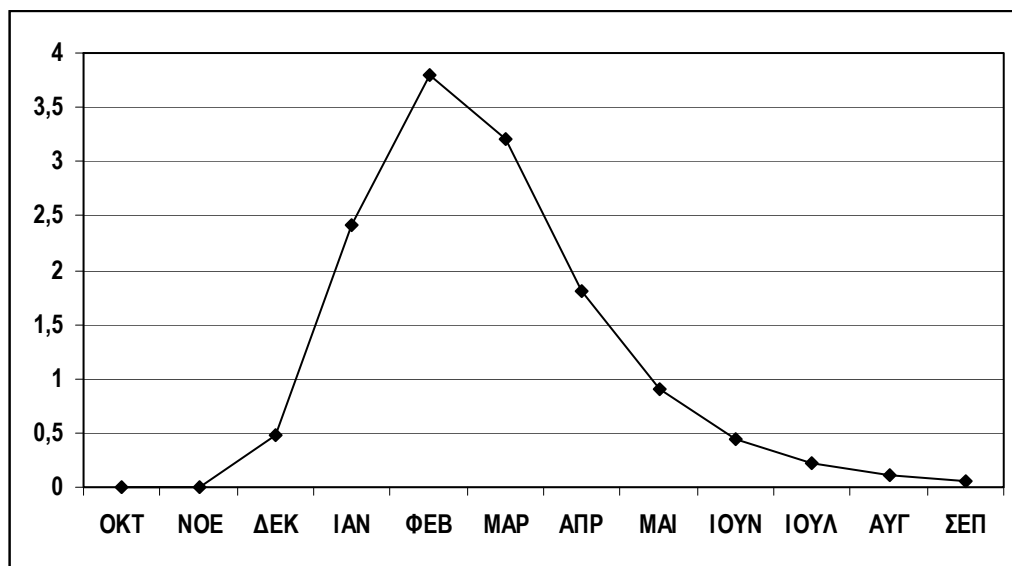
Πρέπει δε να σημειωθεί ότι με βάση την ανάλυση αυτή η πιθανότητα υπέρβασης ετήσιας απορροής 10,38 εκατ m³ κατά δύο συνεχόμενα έτη είναι 23% και ετήσιας απορροής 5,47 εκατ m³ , 52%.

	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΟΣ
1962-1963	0	0	0	0,37	4,87	5,23	2,62	1,31	0,65	0,33	0,16	0,08	15,62
1963-1964	0	0	0,08	0,79	2,43	2,33	1,17	0,58	0,29	0,15	0,07	0,04	7,92
1964-1965	0	0	2,01	5,96	10,69	6,98	4,63	2,32	1,16	0,58	0,29	0,14	34,76
1965-1966	0	0	0	0,12	0,23	1,53	0,76	0,38	0,19	0,1	0,05	0,02	3,38
1966-1967	0	0	0	0,78	3,43	4,49	2,39	1,19	0,6	0,3	0,15	0,07	13,39
1967-1968	0	0	0,19	7,54	5,97	4,51	2,25	1,13	0,56	0,28	0,14	0,07	22,63
1968-1969	0	0,04	2,92	9,85	4,93	3,02	1,72	0,86	0,43	0,21	0,11	0,05	24,14
1969-1970	0	0	0	0,06	0,84	1,9	0,95	0,48	0,24	0,12	0,06	0,03	4,66
1970-1971	0	0	0	0,66	5,24	4,06	2,16	1,08	0,54	0,27	0,14	0,07	14,21
1971-1972	0	0	0	0	0	0,11	0,21	0,1	0,05	0,03	0,01	0,01	0,52
1972-1973	0	0	0	1,33	3,62	1,85	0,93	0,46	0,23	0,12	0,06	0,03	8,62
1973-1974	0	0	0	0	0,21	0,33	0,17	0,08	0,04	0,02	0,01	0,01	0,86
1974-1975	0	0	0	1,39	4,05	2,26	1,13	0,57	0,28	0,14	0,07	0,04	9,93
1975-1976	0	0	0,09	3,54	6,87	6,25	3,13	1,56	0,78	0,39	0,2	0,1	22,91
1976-1977	0	0	0	0	0	0,13	0,1	0,05	0,03	0,01	0,01	0	0,33
1977-1978	0	0	3,75	10,74	8,44	7,13	3,57	1,78	0,89	0,45	0,22	0,11	37,08
1978-1979	0	0	0,01	0,66	2,91	2,53	1,27	0,63	0,32	0,16	0,08	0,04	8,6
1979-1980	0	0	1,66	3,26	6,11	3,79	1,9	0,95	0,47	0,24	0,12	0,06	18,55
1980-1981	0	0	0	10,45	9,29	4,65	2,32	1,16	0,58	0,29	0,15	0,07	28,96
1981-1982	0	0	0,07	1,58	7,76	6,76	3,38	1,69	0,85	0,42	0,21	0,11	22,83
1982-1983	0	0	0	0	0,58	2,55	1,28	0,64	0,32	0,16	0,08	0,04	5,65
1983-1984	0	0	0,04	1,02	4,28	3,07	2,41	1,21	0,6	0,3	0,15	0,08	13,16
1984-1985	0	0	2,44	8,25	7,81	5,45	2,81	1,4	0,7	0,35	0,18	0,09	29,48
1985-1986	0	0	0	0	0,05	0,05	0,03	0,01	0,01	0	0	0	0,16
1986-1987	0	0	0	0	0,08	2,03	3,9	1,95	0,98	0,49	0,24	0,12	9,79
1987-1988	0	0	0	0,06	3,98	4,32	2,16	1,08	0,54	0,27	0,13	0,07	12,61
1988-1989	0	0	1,3	1,71	0,86	1,7	0,85	0,43	0,21	0,11	0,05	0,03	7,24
1989-1990	0	0	0	0	0,27	0,14	0,07	0,03	0,02	0,01	0	0	0,54
1990-1991	0	0	0	2,37	5,76	2,88	1,44	0,72	0,36	0,18	0,09	0,05	13,85
1991-1992	0	0	0	0,16	2,07	4,33	2,24	1,12	0,56	0,28	0,14	0,07	10,97
M.O.	0	0	0,48	2,42	3,79	3,21	1,8	0,9	0,45	0,22	0,11	0,06	13,45

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.3 Απορροή (σε εκ m³) Ανω Αναποδάρη στον κόμβο Np1 (θέση κατασκευής φράγματος Πλακιώτισσας).



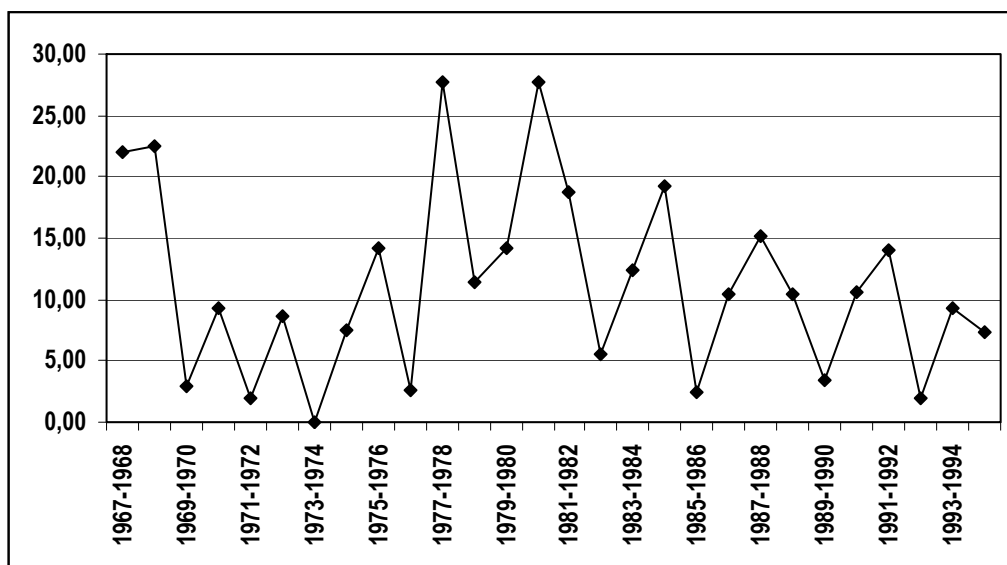
ΣΧΗΜΑ 6.3α Διακύμανση μέσωσν ετήσιων απορροών Ανω Αναποδάρη στον κόμβο Νρι (αποτελέσματα προσομοίωσης).



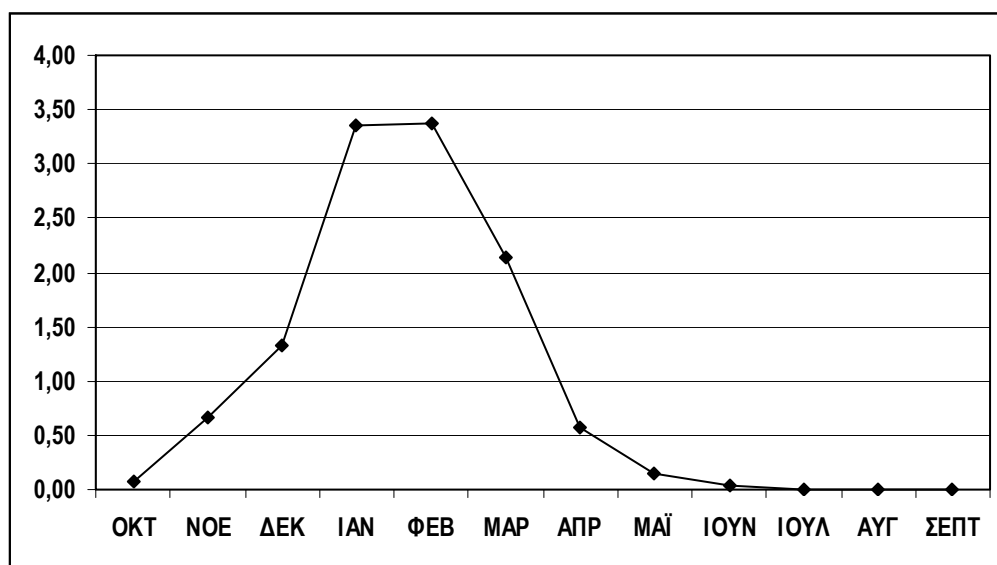
ΣΧΗΜΑ 6.3β Διακύμανση μέσωσν μηνιαίων απορροών Ανω Αναποδάρη στον κόμβο Νρι (αποτελέσματα προσομοίωσης).

	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΕΤΟΣ
1967-1968	-	-	-	13,95	4,19	2,81	0,95	0,14	0,03	0,00	0,00	0,00	22,07
1968-1969	0,74	3,55	3,28	11,50	1,65	0,98	0,52	0,24	0,02	0,00	0,00	0,00	22,48
1969-1970	0,00	0,00	0,59	0,43	0,80	0,62	0,38	0,08	0,05	0,00	0,00	0,01	2,96
1970-1971	0,01	0,07	0,16	2,46	3,88	1,99	0,63	0,12	0,02	0,005	0,005	0,00	9,35
1971-1972	0,00	0,00	0,00	0,073	0,34	1,032	0,256	0,294	0,016	0,00	0,00	0,00	2,01
1972-1973	0,00	0,071	0,915	2,269	2,816	2,299	0,331	0,011	0,00	0,00	0,00	0,00	8,71
1973-1974	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1974-1975	0,00	0,00	0,359	1,845	3,462	1,385	0,236	0,203	0,00	0,00	0,00	0,00	7,49
1975-1976	0,00	0,29	1,004	2,547	4,896	4,13	1,11	0,163	0,041	0,008	0,00	0,00	14,18
1976-1977	0,00	0,54	0,37	0,64	0,41	0,59	0,10	0,011	0,00	0,00	0,00	0,00	2,64
1977-1978	0,268	1,866	6,613	9,835	5,419	2,606	0,951	0,158	0,00	0,00	0,00	0,00	27,72
1978-1979	0,00	0,01	1,20	2,43	2,91	3,54	0,52	0,20	0,62	0,00	0,00	0,00	11,43
1979-1980	0,00	1,143	2,260	2,167	5,189	2,496	0,832	0,131	0,036	0,00	0,00	0,00	14,25
1980-1981	0,00	0,00	1,023	14,707	9,079	2,148	0,650	0,169	0,013	0,00	0,00	0,00	27,79
1981-1982	0,00	0,847	2,161	1,208	7,845	5,311	1,102	0,254	0,026	0,00	0,00	0,00	18,75
1982-1983	0,00	0,00	0,00	0,477	2,315	2,370	0,277	0,027	0,00	0,00	0,00	0,00	5,47
1983-1984	0,00	0,205	2,057	2,185	4,260	2,003	1,493	0,222	0,00	0,00	0,00	0,00	12,43
1984-1985	0,00	1,423	2,512	6,115	4,250	3,062	1,558	0,217	0,047	0,00	0,00	0,00	19,18
1985-1986	0,00	0,00	0,00	0,584	1,389	0,396	0,106	0,013	0,0	0,00	0,00	0,00	2,49
1986-1987	0,00	0,00	0,295	1,237	0,890	5,509	1,419	1,044	0,00	0,00	0,00	0,00	10,39
1987-1988	0,00	0,039	0,937	1,642	6,046	5,922	0,490	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	15,09
1988-1989	0,737	2,558	3,632	2,030	0,535	0,785	0,104	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,38
1989-1990	0,00	1,892	0,313	0,000	1,081	0,112	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,40
1990-1991	0,00	0,721	1,211	3,578	4,117	0,811	0,119	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,56
1991-1992	0,00	0,00	3,114	2,534	4,734	2,603	0,846	0,226	0,00	0,00	0,00	0,00	14,06
1992-1993	0,00	0,00	0,00	0,221	0,993	0,592	0,097	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,90
1993-1994	0,00	0,66	0,09	2,37	5,27	0,63	0,16	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	9,23
1994-1995	0,193	1,139	0,643	1,779	2,246	0,981	0,264	0,054	0,00	0,00	0,00	0,00	7,30
ΜΟ	0,07	0,65	1,34	3,36	3,37	2,14	0,57	0,15	0,03	0,00	0,00	0,00	11,20

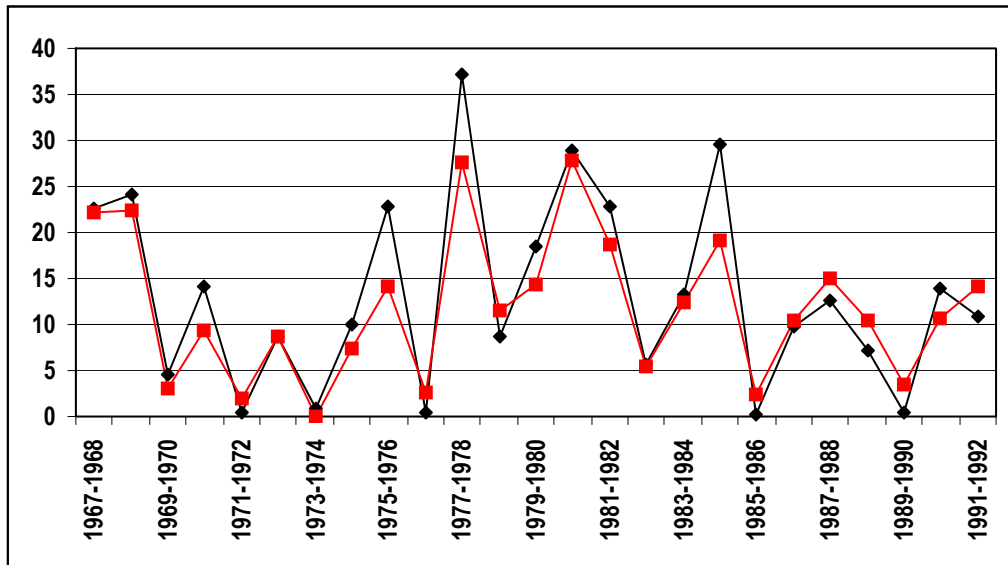
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.4 Υδρομετρήσεις (σε εκ m³) Ανω Αναποδάρη στον κόμβο Νr1 (θέση κατασκευής φράγματος Πλακιώτισσας).



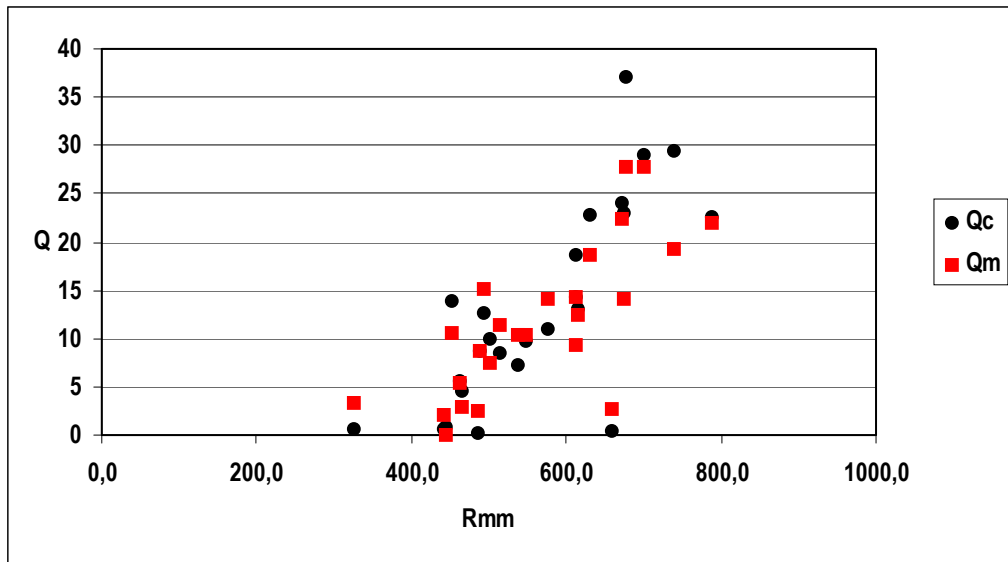
ΣΧΗΜΑ 6.4α Διακύμανση μέσωσν ετήσιων απορροών Ανω Αναποδάρη στον κόμβο Νη1 (αποτελέσματα υδρομετρήσεων).



ΣΧΗΜΑ 6.4α Διακύμανση μέσωσν μηνιαίων απορροών Ανω Αναποδάρη στον κόμβο Νη1 (αποτελέσματα υδρομετρήσεων).



ΣΧΗΜΑ 6.5 Σύγκριση μετρημένων μέσω ετήσιων απορροών Ανω Αναποδάρη στον κόμβο Nr1 (κόκκινη γραμμή) με τις υπολογισμένες από το μοντέλο προσομοίωσης (μαύρη γραμμή).



ΣΧΗΜΑ 6.6 Μεταβολή μέσω ετήσιων μετρημένων (κόκκινο σύμβολο) και υπολογισμένων (μαύρο σύμβολο) τιμών απορροής Ανω Αναποδάρη στον κόμβο Nr1 σε συνάρτηση της βροχόπτωσης.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

Από την ανάλυση των προηγούμενων κεφαλαίων συνάγονται τα εξής:

1. Από το υδατικό ισοζύγιο συνάγεται ότι το ετήσιο έλλειμα για πλήρη κάλυψη των υδατικών αναγκών σε ένα μέσο υδρολογικά έτος στη νότια ζώνη του Δήμου Κόφινα (περιοχή Στάβιες – Στέρνες – Διονύσι) είναι της τάξης των 5,1 εκ. κυβ. μέτρων, γεγονός που καθιστά αναγκαία την κατασκευή κάθε έργου ορθολογικής εκμετάλλευσης των υδατικών πόρων της περιοχής.
2. Η μέγιστη χωρητικότητα της προτεινόμενης λιμνοδεξαμενής (277.500 m³) ισοδυναμεί με 10% της μέσης ετήσιας απορροής και στο 22.5% της απορροής με αστοχία 10%, στη θέση αυτή.
3. Σύμφωνα με την έκθεση του FAO (FAO, Technical Note No 11 και 13) η ετήσια κατείσδυση από τον Γεροπόταμο και τους παραποτάμους του, Κουτσουλίδη, Λιθέο, κ.α. υπολογίζεται σε 9 Mm³ που αντιστοιχεί στο 14% της μέσης ετήσιας τιμής της απορροής για το σύνολο της υδρολογικής λεκάνης του Γεροπόταμου (65.08 Mm³). Κατ' αναλογία οι απώλειες κατείσδυσης από την λειτουργία της λιμνοδεξαμενής δεν πρόκειται να υπερβαίνουν τα 40.000 κυβικά μέτρα ετησίως ενώ σημαντικό ποσοστό του νερού αυτού θα επιστρέφει στον αλλουβιακό υδροφορέα λόγω άρδευσης.
4. Δεδομένου ότι η υπεραντληση της νότιας ζώνης (περιοχή Στάβιες – Στέρνες – Διονύσι) εκτιμάται ότι είναι της τάξης του 1,5 εκ. κυβικών μέτρων με αποτέλεσμα η προκαλούμενη ταπείνωση της στάθμης να είναι τόσο μεγάλη ώστε σημαντικό τμήμα της λεκάνης του Δήμου Κόφινα να βρίσκεται στον κώνο ταπείνωσης του πεδίου αυτού, η κατασκευή της λιμνοδεξαμενής να συμβάλλει στη μείωση της υπερεκμετάλλευσης των υπόγειων υδατικών πόρων της περιοχής.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Παρίτσης, Σ, Ν, 2000. Μελέτη διαχείρισης υδατικών πόρων Δήμου Κόφινα. Οργανισμός Ανάπτυξης Ανατολικής Κρήτης. Ηράκλειο.
- Papazachos, C.B, & Papaioanou CH.A., Seismic hazard in Greece based on new seismotectonic data. Abstracts: IASPEI 29th General Assembly, Thessaloniki, 18-28 August 1997, 294, 1997.
- Papazachos, B.C., Papadimitriou, E.E., Karakaisis, G.F. and Panagiotopoulos, D.G. Long term earthquake prediction in the circum-Pacific convergent belt. Pageoph, 149, 173-217, 1997a.
- Papazachos, C, B., Nolet, G., 1997, Non-linear arrival time tomography: Annali Di Geofisica, Vol. XL, No. 1, pp. 85-97.
- United Nations Development Programme. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 1972. Hydrology and Water Balances of the Messara Plain. Technical Note No 11.
- United Nations Development Programme. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 1972. Hydrogeology of the Western Messara. Technical Note No 13.