

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ

Υδρολογική διερεύνηση φράγματος Πύλης Τρικάλων

Με εφαρμογή του κλιματικού μοντέλου RCAO

Μουτσινάς Ιωάννης

11/10/2013



Επιβλέπων καθηγητής:

Χαλκίδης Ηρακλής – Λέκτορας Π.Θ.

Βόλος, 2013

Τριμελής Επιτροπή:

Χαλκίδης Ηρακλής – Λέκτορας Π.Θ. (Επιβλέπων)

Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μαρία – Καθηγήτρια Π.Θ.

Παπανικολάου Χρήστος – Δρ. Γεωπόνος Συμβασιούχος 407/80



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

Αριθ. Εισ.: 13099/1
Ημερ. Εισ.: 30/09/2014
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ-ΦΠΑΠ
2014
ΜΟΥ

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	6
ABSTRACT	9
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	12
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	17
1.1 Υδρολογικός κύκλος.....	17
1.2 Υδρολογικές απώλειες.....	19
1.2.1 Εξάτμιση από κορεσμένες επιφάνειες.....	20
1.2.2 Άλλες απώλειες	20
1.2.3 Διήθηση και απορροή	21
1.2.4 Μέτρηση και εκτίμηση απορροής ποταμού	21
1.3 Υδατικό ισοζύγιο	22
1.4 Λεκάνη απορροής.....	23
1.5 Ταμιευτήρες.....	24
1.5.1 Στοιχεία όγκου και εκμετάλλευσης ταμιευτήρα.....	25
1.6 Υδατικοί πόροι της Ελλάδος	25
1.6.1 Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα	25
1.6.2 Επιφανειακά ύδατα.....	26
1.6.3 Υπόγεια ύδατα.....	26
1.6.4 Υδάτινα ρεύματα	27
1.6.5 Φυσικές και τεχνητές λίμνες	28
1.6.6 Υδάτινα αποθέματα	29
1.7 Πολιτική διαχείρισης και προστασίας των υδάτων	31
1.7.1 Οδηγία 2000/60/ΕΕ	32
1.8 Τυπολόγιο	36
1.8.1 Υδρογράφημα.....	36

1.8.2	Επιφανειακή ολοκλήρωση σημειακών μετρήσεων	53
1.8.3	Στατιστικές προσεγγίσεις	60
2	ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΑΛΛΑΓΕΣ.....	62
2.1	Γενικά	62
2.2	Παράγοντες κλιματικής αλλαγής.....	62
2.2.1	Η τροχιά της Γης	63
2.2.2	Ο ήλιος και η κλιματική αλλαγή.....	67
2.2.3	Φαινόμενο του θερμοκηπίου.....	71
2.3	Οι φυσικές επιπτώσεις της κλιματικής μεταβολής στον τομέα των υδάτων στην Ελλάδα.....	73
2.4	Παγκόσμια κλιματικά μοντέλα (GCM).....	75
3	ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	80
3.1	Περιφέρεια Θεσσαλίας.....	80
3.1.1	Γεωγραφικά στοιχεία και διοικητική δομή	80
3.1.2	Γεωμορφολογικά - Γεωλογικά χαρακτηριστικά	81
3.1.3	Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά	81
3.1.4	Κλίμα.....	82
3.1.5	Περιγραφή του υδατικού συστήματος στη σημερινή κατάσταση	83
3.2	Νομός Τρικάλων – Δήμος Πύλης.....	86
3.2.1	Ιστορική Αναδρομή	86
3.2.2	Γεωγραφία και Κλίμα	90
3.2.3	Γεωλογία.....	91
3.2.4	Υδρολιθολογία.....	95
3.2.5	Ανάλυση Υδρολογικής Λεκάνης	99
3.2.6	Τεκτονική	100
3.2.7	Δημογραφικά στοιχεία	103

4	ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΟΤΑΜΟΥ ΠΟΡΤΑΪΚΟΥ	105
4.1	Υδρολογικά χαρακτηριστικά της δίκαιας του ποταμού Πορταϊκού	105
4.1.1	Κύριοι στόχοι μελέτης της περιφέρειας Θεσσαλίας σχετικά με τα υδρολογικά χαρακτηριστικά του π. Πορταϊκού	105
4.1.2	Ιστορικό	105
4.1.3	Ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής.....	107
4.1.4	Βροχομετρικό δίκτυο	109
4.1.5	Μηνιαίες βροχοπτώσεις σταθμών	113
4.1.6	Μεταβολή της βροχής με το υψόμετρο	125
4.1.7	Μέσες βροχοπτώσεις	128
4.1.8	Απορροή	145
4.1.9	Έλεγχος και επεξεργασία των υδρομετρήσεων	147
4.1.10	Υπολογισμός ημερησίων παροχών	151
4.1.11	Εκτίμηση πλημμυρών σχεδιασμού διαφόρων περιόδων επαναφοράς.....	161
4.1.12	Εκτίμηση μεγίστης πιθανής πλημμύρας	196
5	ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ	206
5.1	Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS)	206
5.1.1	Εφαρμογή του ArcGIS.....	207
5.2	Έννοια της Διπλής Αθροιστικής Καμπύλης.....	213
5.2.1	Εφαρμογή της Μεθόδου Διπλής Αθροιστικής Καμπύλης στα Δεδομένα του Prudence.....	216
6	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	224
6.1	Εισροές φράγματος	225
6.2	Απώλειες εξάτμισης από την λίμνη.....	227
6.3	Παγκόσμια θέρμανση και αρδευτικές ανάγκες	230

6.4	Εκτίμηση της δυνατής αρδευόμενης έκτασης βάσει του δυναμικού του νερού στο φράγμα	232
6.4.1	Για την περίοδο 2070-2100	233
6.4.2	Σενάριο Α': Μηδενική βροχόπτωση τους καλοκαιρινούς μήνες	236
6.4.3	Σενάριο Β': Εκτίμηση υδατικού ισοζυγίου για την περίοδο 1960-1990	239
6.4.4	Σύγκριση παρελθόν-μέλλον	244
7	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	248
8	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	251
8.1	Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία.....	251
8.2	Ελληνική Βιβλιογραφία	253
8.3	Internet	257

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή μελέτη εκπονήθηκε στο εργαστήριο γεωργικής υδραυλικής της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών, Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, υπό την επίβλεψη του Καθηγητή κ. Χαλκίδη Ηρακλή.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η εκτίμηση των μελλοντικών υδρολογικών δεδομένων της περιοχής Πύλης Τρικάλων του Δήμου Τρικάλων, που υπάγεται στην Περιφέρεια Θεσσαλίας, με βάση τα μελλοντικά σενάρια ύψους βροχής που λήφθηκαν με τη χρήση του περιοχικού μοντέλου HIRHAM του προγράμματος Prudence.

Με αυτό τον τρόπο θα υπολογισθεί ο συνολικός όγκος νερού που θα υπάρχει στο φράγμα της περιοχής, και θα είναι διαθέσιμος για την άρδευση των κατόπιν καλλιεργητικών στρεμμάτων, τα οποία αγγίζουν τα 80.000 στρέμματα, αλλά και για την ύδρευση της γύρω περιοχής για την οποία θα χρειαστούν περί τα 6 εκατομμύρια κυβικά μέτρα νερού.

Για την υλοποίηση των παραπάνω, σε πρώτη φάση, κατέστη αναγκαία η χρήση του τοπογραφικού προγράμματος ArcGIS, για την σχηματική απεικόνιση της υδρολογικής λεκάνης καθώς και της θέσης κατασκευής του φράγματος πάνω στον γεωγραφικό χάρτη της περιοχής, μέσω γεωαναφοράς.

Εν συνεχεία λάβαμε από το Τμήμα Υδρολογικών Έργων της Περιφέρειας Θεσσαλίας, στοιχεία σχετικά με τα υδρολογικά δεδομένα της περιοχής όπως τα μηνιαία ύψη βροχών, τις απαιτήσεις των τοπικών καλλιεργειών σε νερό και τις υδατικές απώλειες της περιοχής καθώς επίσης και τα χαρακτηριστικά του υπό κατασκευή φράγματος αλλά και τις συνολικές καλλιεργούμενες εκτάσεις που θα πρέπει να αρδευτούν.

Έπειτα, χρησιμοποιήσαμε τις μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης του κλιματικού μοντέλου HIRHAM για την περίοδο 1960-1990, και με εφαρμογή της μεθόδου διπλής αθροιστικής καμπύλης ανάμεσα στα υδρολογικά δεδομένα του μετεωρολογικού σταθμού της περιοχής και στα δεδομένα του μοντέλου, καταλήξαμε στην εξαγωγή μιας μαθηματικής

σχέσης που εκφράζει την συσχέτισή τους. Με αυτό τον τρόπο μπορέσαμε να εξετάσουμε την εγκυρότητα του κλιματικού μοντέλου, ώστε να χρησιμοποιήσουμε την ίδια σχέση και για τα μελλοντικά δεδομένα που προέβλεψε το μοντέλο (2070-2100) και να υπολογίσουμε τα μηνιαία ύψη βροχών για την περιοχή μας εκείνη την περίοδο.

Έτσι, έχοντας πληροφορίες σχετικά με την ποσότητα του νερού που θα εισρεύσει στην περιοχή λόγω βροχοπτώσεων, τις απαιτήσεις των καλλιεργειών σε νερό, τις απώλειες νερού λόγω εξάτμισης και διήθησης και τα χαρακτηριστικά του φράγματος, προχωρήσαμε στην επεξεργασία αυτών των δεδομένων για να μπορέσουμε να εκτιμήσουμε το υδατικό ισοζύγιο στο φράγμα, κατά την αρδευτική περίοδο του διαστήματος 2070-2100.

Αφού λοιπόν υπολογίσαμε το υδατικό ισοζύγιο για την περίοδο 2070-2100, εξετάσαμε το ενδεχόμενο να μην υπάρχουν καθόλου ατμοσφαιρικές εισροές κατά την διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών συν του μήνα Μαΐου για την περίοδο αυτή. Ακόμη, ένα άλλο σενάριο που εξετάστηκε, αφορούσε τον υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου του φράγματος για την περίοδο 1960-1990, δεδομένου ότι θα είχε ήδη κατασκευαστεί το φράγμα, ώστε να εξεταστεί η αποτελεσματικότητά του και για την περίοδο εκείνη του παρελθόντος.

Τέλος, συγκρίθηκαν οι μετρήσεις των υδατικών ισοζυγίων, μεταξύ των δύο αυτών χρονικών διαστημάτων, για να δοθεί έμφαση στις επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής στα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, αλλά και στην αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της Γης, η οποία επηρεάζει άμεσα τις υδατικές ανάγκες των καλλιεργειών.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν, λοιπόν, είναι ότι κατά την μελλοντική περίοδο 2070-2100 ο συνολικός όγκος του νερού που θα κατακρημνιστεί στην περιοχή και θα εισρεύσει στο φράγμα μέσω απορροής, θα είναι αρκετός για να καλυφθούν οι ανάγκες των κατόντη στρεμμάτων, συμπεριλαμβανομένων των απωλειών εξαιτίας της εξάτμισης. Συγκεκριμένα, το φράγμα θα είναι γεμάτο κατά την έναρξη των αρδευτικών μηνών (Μάιο- Αύγουστο), δηλαδή θα περιέχει 64 εκατομμύρια κυβικά μέτρα νερό, απ' τα οποία

ο νεκρός όγκος συν τις ανάγκες ύδρευσης της περιοχής θα φτάσουν τα 23 εκατομμύρια κυβικά νερό (17 εκ. + 6 εκ. m³). Συνεπώς, τα υπόλοιπα 41 εκατομμύρια κυβικά θα χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών, που αγγίζουν τα 540,9 κυβικά μέτρα νερού ανά στρέμμα, άρα θα καλυφθούν συνολικά περίπου 75.800 στρέμματα καλλιεργούμενων εκτάσεων.

Στο δεύτερο σενάριο, κατά το οποίο θεωρήσαμε ότι δεν θα υπάρχουν υδατικές εισροές αλλά μόνο εκροές κατά την διάρκεια των τεσσάρων μηνών άρδευσης, προέκυψε ότι παρόλο που το φράγμα θα είναι πάλι γεμάτο στην αρχή των αρδεύσεων, εξαιτίας της απουσίας των εισροών, δεν θα μπορέσουμε να καλύψουμε τις αρδευτικές ανάγκες όλων των μηνών, αφού παρατηρήθηκε μια έλλειψη της τάξης των 2 εκατομμυρίων κυβικών μέτρων νερού τον μήνα Αύγουστο.

Στην περίπτωση της μελέτης του παρελθόντος, εξαγάγαμε το συμπέρασμα ότι αν υπήρχε φράγμα εκείνη την περίοδο (1960-1990), η λειτουργία του θα κρίνονταν αποτελεσματική, καθώς η ποσότητα των εισροών θα ήταν μεγαλύτερη απ' των εκροών συνεπώς θα καλύπτονταν όλες οι ανάγκες άρδευσης (525 m³/στρέμμα) και μάλιστα θα υπήρχε και πλεόνασμα.

Τέλος, απ' την σύγκριση των δύο χρονικών περιόδων, εξαιτίας των κλιματικών αλλαγών που προκύπτουν (αύξηση θερμοκρασίας περιβάλλοντος, αύξηση ακραίων καιρικών φαινομένων κ.τ.λ.) παρατηρείται μια αύξηση τόσο των αρδευτικών αναγκών των καλλιεργειών (από 525 m³/στρέμμα -> 540,9 m³/στρέμμα) όσο και των υδατικών εισροών, μέσω των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, τα οποία έχουν ως συνέπεια μείωση της συνολικής έκτασης που δύναται να καλύψει το φράγμα κατά 3%, καθώς η αύξηση κατά 0,008% του συνολικά διαθέσιμου νερού που παρατηρείται είναι ανεπίσχετη και δεν μπορεί να επηρεάσει την ποσότητα των αρδευόμενων εκτάσεων.

ABSTRACT

The present thesis study was conducted in the laboratory of agricultural hydraulic of School of Agricultural Sciences, Department of Agriculture Crop Production and Rural Environment, under the supervision of Prof. Chalkidis Hercules.

The purpose of this thesis is to estimate future hydrologic data of the area Pyle in Trikala of the Municipality of Trikala, which falls in the region of Thessaly, based on future scenarios of precipitation obtained using the area model Hirham of the program Prudence. In this way the total water volume in the dam area will be calculated, which will be available for irrigation downstream farming acres.

For the implementation of the above, at first, it became necessary to use the topographic program ArcGIS, for the schematic representation of the catchment area and the construction position of the dam on the geographical map of the area. Subsequently, we received from the Department of Hydrologic Engineering of Thessaly, information on hydrological data of the area such as monthly rainfall, the requirements of local crop water and water losses in the region as well as the characteristics of the under construction dam and the total cultivated area that should be irrigated. Then, we used the monthly rainfall data of the climate model Hirham for the period 1960-1990, and using the method of double cumulative curve between the hydrological data of the meteorological station of the area and the data of the model, we ended up in the export of a mathematical relationship that expresses their correlation. In this way we were able to examine the validity of the climate model, so as to use the same link for the future data that the model predicted (2070-2100) and calculate the monthly rainfall for our area at that time.

So, having information about the amount of water that will flow into the area due to rainfall, the requirements of the crops in water, water losses due to evaporation and infiltration and characteristics of the dam, we proceeded with the processing of these

data so as to estimate the water balance in the dam, during the irrigation period of the interval from 2070 to 2100.

Since we have calculated the water balance for the period 2070-2100, we examined the possibility that there is absence of precipitation during the summer months plus the month of May at this period. Furthermore, another scenario that was examined referred to the calculation of the water balance of the dam during the 1960-1990 period, presuming that the dam had already been constructed, in order to examine its effectiveness at that time.

To close up, we compared the measurements of water balance, between the two chronicle periods, so that we can emphasize the effects of the climate change to the precipitation and to the increase of the mean temperature of the Earth which affects directly the water needs of the plants.

The results that arise, is that during the future period: 2070-2100, the total water volume that will precipitate and inflow in the dam through runoff, will be enough to cover the needs of the acres that will be irrigated, including the losses of evaporation. Specifically, the dam will be full at the beginnings of the irrigation period (May to August), which means that will contain approximately 64 million of cubic water, from which the amounts of non-usable volume plus the amounts of water needed for water supply of the nearby villages, will reach the 23 million cubic water (17 mil + 6 mil m³). Therefore, the rest 41 mil m³ of water will be used for the irrigation of 75.800 cultivated acres, since their needs of water are around the 540.9 m³ per acre.

In another scenario, we assumed that there will be no precipitation during the 4 irrigated months, only outflows. In that situation, we have resulted that despite the fact that the dam was full at the beginnings of the irrigation period, we will not be able to cover the whole needs of the cultivations, and will be a deficit of 2 million m³ of water, in August.

In the case of the 1960-1990 period, we have extracted the result that, if there was a dam at that period, it's function would have considered to be effective, since the fact that the amount of inflows would be greater than the corresponding of outflows, therefore we would be able to irrigate successfully the needs of the cultivations (525 m³ per acre) and, in fact, it would be a surplus of water.

To sum up, comparing the two chronicle periods, because of climate changes that arise (increase of the environmental temperature, increase of frequency of the extreme weather conditions etc), we observed an increase in the water needs per acre (from 525 m³/acre -> 540.9 m³/acre), in addition to a small increase of water inflows, via precipitation. This results in a decrease of the effectiveness of the dam by 3%, despite the increase of the precipitation which was not sufficient enough (only 0.008%) to affect the water balance.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το νερό μαζί με το έδαφος και τον αέρα αποτελούν τους βασικότερους πόρους από τους οποίους ο άνθρωπος αντλεί όλα τα αγαθά τα οποία είναι απαραίτητα στη ζωή του. Το νερό ανανεώνεται με τη διαδικασία του υδρολογικού κύκλου και είναι πόρος ανεξάντλητος κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις (Παπαμιχαήλ, 2004).

Ο συνολικός όγκος νερού - περίπου 1.400 εκατομμύρια κυβικά χιλιόμετρα - καλύπτει το 70% της επιφάνειας της Γης. Όμως το 97,5% της ποσότητας αυτής έχει πολύ υψηλή περιεκτικότητα σε άλατα, γεγονός που το καθιστά ακατάλληλο για πόση, άρδευση και βιομηχανική χρήση. Από το υπόλοιπο 2,5%, το μεγαλύτερο ποσοστό βρίσκεται στα μεγάλα παγόβουνα της Γροιλανδίας και της Ανταρκτικής (Βερεσόγλου, 2002).

Το νερό είναι ένας από τους πολυτιμότερους ανανεώσιμους φυσικούς πόρους, ο οποίος έχει ουσιαστική σημασία για τη ζωή, διότι αποτελεί βασικό συστατικό όλων των οργανισμών, μεταφορικό μέσο και σπουδαίο φορέα ενέργειας. Όμως τα αποθέματα σε πόσιμο νερό ανέρχονται σε 2,6% μόνο των συνολικών υδάτινων αποθεμάτων της γης.

Τις τελευταίες δεκαετίες η αύξηση του πληθυσμού της γης, η εντατικοποίηση της γεωργίας, η ανάπτυξη της βιομηχανίας και του τουρισμού έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση της ζήτησης του νερού. Επίσης η μόλυνση των υδατικών πόρων από στερεά απόβλητα, οι κλιματικές αλλαγές και οι επεμβάσεις του ανθρώπου στο φυσικό περιβάλλον έχουν ως αποτέλεσμα τη συνεχή μείωση των υδατικών αποθεμάτων.

Τα ανανεώσιμα παγκόσμια αποθέματα γλυκού νερού υπολογίζονται σήμερα σε 40.000. κυβικά χιλιόμετρα. Σε κάθε άτομο δηλαδή αναλογούν περίπου 7.000 κυβικά μέτρα, ποσότητα πολλαπλάσια από αυτή που χρειάζεται μια κοινωνία για να εξασφαλίσει ένα λογικό μέσο επίπεδο ζωής στα μέλη της. Αυτό όμως το νερό κατανέμεται άνισα και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί όλο από τους ανθρώπους κατά την επιστροφή του στη θάλασσα. Τα κατά κεφαλήν αποθέματα νερού παγκοσμίως στο τέλος του εικοστού αιώνα

είναι λιγότερα κατά 30% από ότι το 1970, λόγω της σημαντικής αύξησης του πληθυσμού. (Κυριακού Μαρίνα, 2007)

Υπολογίζεται ότι, στο μέλλον, διπλασιασμός του πληθυσμού θα σημαίνει εξαπλασιασμό των αναγκών σε νερό. Ο αυξανόμενος αριθμός χωρών, στις οποίες ο πληθυσμός έχει ξεπεράσει το επίπεδο που μπορεί να συντηρηθεί άνετα από το διαθέσιμο νερό, είναι ένα από τα δείγματα λειψυδρίας. Ειδικότερα στις αναπτυσσόμενες χώρες η πληθυσμιακή αύξηση και η αστικοποίηση έχουν δημιουργήσει τεράστια προβλήματα. Στις μεγαλουπόλεις αυτών των χωρών μεγάλος αριθμός κατοίκων ζουν χωρίς επαρκείς υδατικές και υγειονομικές εγκαταστάσεις με αποτέλεσμα να απειλείται η υγεία τους. (Βουτυράκης, 2005)

Είναι λοιπόν σαφές ότι το νερό αποτελεί αγαθό υψίστης στρατηγικής σημασίας και η διαχείρισή του αποτελεί ένα σοβαρό πρόβλημα σε παγκόσμιο επίπεδο, γι' αυτό και απασχολεί διεθνή συνέδρια και διεθνείς οργανισμούς. Η δυσκολότερη όμως όψη του προβλήματος, είναι ότι πρέπει κανείς να έχει νερό όταν και όπου το χρειάζεται και μάλιστα νερό καλής ποιότητας. Αυτό για να επιτευχθεί χρειάζεται, συνεπώς, να εφαρμοστεί ορθολογική χρήση του διαθέσιμου νερού.

Η **ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων** έχει σαν στόχους την ικανοποίηση της ζήτησης διαφόρων χρήσεων, τη προστασία των υδατικών πόρων από τη ρύπανση, τη προστασία της περιοχής από ακραία υδρολογικά φαινόμενα (πλημμύρες, ξηρασίες) και τη διατήρηση και αποκατάσταση του περιβάλλοντος. (Παπαμιχαήλ, 2004)

Ένα πρώτο βήμα για την ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων είναι η διερεύνηση των υδρολογικών παραμέτρων που χαρακτηρίζουν τις εκάστοτε λεκάνες απορροής καθώς και των συνιστωσών που συνθέτουν το υδατικό ισοζύγιό τους. Για την υλοποίηση της βέλτιστης διαχείρισής τους είναι επιτακτική η χρήση εργαλείων όπως τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών και τα μοντέλα εκτίμησης υδατικού ισοζυγίου. (Στουρνάρας, 2011)

Τόσο οι διαστασιολόγηση, όσο και η λειτουργία των παραπάνω έργων βασίζεται σε μετρήσεις παροχής αρκετών ετών. Στην περίπτωση που δεν υπάρχουν μετρήσεις παροχής, η εκτίμηση της απορροής προϋποθέτει την επάρκεια στοιχείων (βροχομετρικών, απορροής, φυτοκάλυψης, γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών της λεκάνης εδαφικών τύπων) στα οποία βασίζεται ο προσδιορισμός των υδρολογικών παραμέτρων της λεκάνης, με τη βοήθεια των οποίων διερευνώνται οι σχέσεις βροχής-απορροής και στη συνέχεια καθίσταται δυνατή η εκτίμηση της απορροής από βροχές του παρελθόντος ή από μελλοντικά σενάρια κατακρημνισμάτων. (Παπαμιχαήλ, 2004)

Σε αυτό το σημείο λοιπόν, εισάγεται η επιστήμη της Υδρολογίας, η οποία είναι μια επιστήμη που ασχολείται με τις φυσικές διεργασίες που σχετίζονται με την εμφάνιση, την κυκλοφορία και την κίνηση του νερού (σε κάθε μορφή του) πάνω και κάτω από την επιφάνεια της γης, τις φυσικές και χημικές του ιδιότητες, τις αλληλεπιδράσεις με το περιβάλλον στο οποίο συμπεριλαμβάνεται και το ανθρώπινο. (Κουτσογιάννης & Ξανθόπουλος, 1999)

Η τεχνική υδρολογία (engineering hydrology), ασχολείται με την μελέτη των υδρολογικών φαινομένων που σχετίζονται κυρίως με τον προγραμματισμό, τον σχεδιασμό και την λειτουργία υδραυλικών έργων που αποβλέπουν στον έλεγχο, διατήρηση και αξιοποίηση του νερού. (Παπαμιχαήλ, 2004)

Έτσι γίνεται αντιληπτό πως η υδρολογία είναι άμεσα υπεύθυνη για τη μελέτη και την επεξεργασία υδρολογικών φαινομένων και δεδομένων που εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις περιβαλλοντικές συνθήκες και κατά συνέπεια από τις κλιματικές αλλαγές.

Με τον όρο κλιματική αλλαγή αναφερόμαστε στη μεταβολή του παγκόσμιου κλίματος και ειδικότερα σε μεταβολές των μετεωρολογικών συνθηκών που εκτείνονται σε μεγάλη χρονική κλίμακα (Μπρουζούκης, 2012).

Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν τις κλιματικές αλλαγές χωρίζονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με την προέλευσή τους, όπως είναι οι φυσικοί και οι ανθρωπογενείς παράγοντες. Η πρώτη κατηγορία σχετίζεται με αστρονομικούς παράγοντες, όπως η

εκκεντρότητα, η κλίση του άξονα περιστροφής της Γης και η κατεύθυνση του άξονα περιστροφής της Γης καθώς και με τις φυσικές μεταβολές που υφίσταται ο Ήλιος. Από την άλλη η δεύτερη κατηγορία έχει να κάνει με την αύξηση της ποσότητας του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) αλλά και άλλων χημικών αερίων, όπως μεθάνιο (CH_4) και υποξείδιο του αζώτου (N_2O), που προκύπτουν από βιομηχανικές δραστηριότητες και αμβλύνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου. (Ακριώτη, 2009)

Για τη μελλοντική εκτίμηση των κλιματικών αλλαγών, ώστε να παρθούν κάποια μέτρα από τώρα για να αποτραπούν οι καταστροφικές συνέπειες, κατασκευάστηκαν κάποια λογισμικά που καλούνται παγκόσμια κλιματικά μοντέλα (Global Climate Models, GCM's). Τα GCM's χρησιμοποιούν τις μεταβλητές που επηρεάζουν το κλίμα και τις προβλεπόμενες μελλοντικές τους τιμές και δίνουν κάποια στοιχεία του μελλοντικού κλίματος όπως βροχόπτωση θερμοκρασία κ.τ.λ. για όλες τις περιοχές του πλανήτη.

Όλα τα μοντέλα συγκλίνουν σε ένα αποτέλεσμα. Ότι σε γενικές γραμμές θα υπάρξει αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της Γης και σε ορισμένες περιοχές θα είναι ιδιαίτερα μεγάλη καθώς και ότι θα μειωθεί η συχνότητα της βροχόπτωσης αλλά θα υπάρχουν ορισμένες ακραίες μηνιαίες τιμές του ύψους βροχής σε κάποια μέρη. Στη συνέχεια κατασκευάστηκαν τα περιοχικά μοντέλα (Regional Climate Models, RCM's) τα οποία προβλέπουν το κλίμα σε μια συγκεκριμένη περιοχή και η ανάλυσή του (grid) είναι σαφώς μεγαλύτερη. Τελευταία η ανάλυση των μοντέλων πλησιάζει την τιμή 20 x 20 Km για κάθε κελί του πλέγματος, κάτι που δίνει την δυνατότητα για πιο λεπτομερείς επεξεργασίες των δεδομένων σε συγκεκριμένες περιοχές (Μπρουζούκης, 2012).

Τα μοντέλα αυτά δημιουργήθηκαν κατά την εφαρμογή του Ευρωπαϊκού προγράμματος Prudence (<http://prudence.dmi.dk/>) το οποίο πραγματοποιήθηκε κατά την χρονική περίοδο 1η Νοεμβρίου 2001 – 31 Οκτωβρίου 2004, και είχε ως βασικό σκοπό τον προσδιορισμό των κινδύνων και των συνεπειών που θα προκαλέσουν οι κλιματικές αλλαγές εξαιτίας των ανθρωπογενών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην Ευρώπη. Η εκτίμηση αυτή βασίστηκε σε προσομοιώσεις του παρόντος και του μελλοντικού κλίματος που πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση κλιματικών προτύπων προσομοίωσης

(Models) υπό διάφορα σενάρια εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου (Μουτσικόπουλος, 2012).

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η εκτίμηση των μελλοντικών υδρολογικών δεδομένων της περιοχής Πύλης Τρικάλων με βάση τα μελλοντικά σενάρια ύψους βροχής που λήφθηκαν με τη χρήση του περιοχικού μοντέλου RCAO του προγράμματος Prudence. Με αυτό τον τρόπο θα υπολογισθεί ο συνολικός όγκος νερού του φράγματος της περιοχής που θα είναι διαθέσιμος για την άρδευση των κατόντη καλλιεργούμενων στρεμμάτων.

Επιπλέον, με τη βοήθεια των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ - GIS) και συγκεκριμένα του προγράμματος ArcGIS, έγινε μια γεωγραφική απεικόνιση της περιοχής μελέτης συμπεριλαμβανομένου του σημείου εγκατάστασης του φράγματος.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Για να γίνει εφικτή η ορθολογική διαχείριση των υδάτινων πόρων θα πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν και υπολογιστούν κάποιοι παράμετροι, όπως ο υδρολογικός κύκλος αλλά και οι υδρολογικές απώλειες.

1.1 Υδρολογικός κύκλος

Το νερό στη γη δε βρίσκεται ποτέ σε ακινησία, αλλά είναι πάντοτε σε διαρκή κίνηση, εκτός από κείνο που περιέχεται στους πάγους και παγετώνες. Το νερό συνεχώς κινείται μέσα από μια ποικιλία 'μονοπατιών', στην ατμόσφαιρα, στην υδρόσφαιρα, στη λιθόσφαιρα και μέσα στους ζωντανούς οργανισμούς. Η κίνηση αυτή περιλαμβάνει έναν ατέλειωτο μετασχηματισμό του νερού από τη μια κατάσταση (υγρή, στερεή, αέρια) στην άλλη. Η διεργασία της φυσικής ροής ή της κίνησης του νερού, αποτελεί τον κύκλο του ή τον υδρολογικό του κύκλο, κινητήρια δύναμη του οποίου είναι η ηλιακή ενέργεια.

Το νερό εξατμίζεται από την επιφάνεια της γης και από κάθε επιφάνεια ελεύθερου νερού, ενώ συγχρόνως, μέσω των φυσιολογικών λειτουργιών της αναπνοής και της διαπνοής, αποβάλλεται από τους οργανισμούς. Οι υδρατμοί, που έτσι δημιουργούνται, ως ελαφρότεροι ανέρχονται στην ατμόσφαιρα, υγροποιούνται και επανέρχονται στην επιφάνεια της γης με τη μορφή βροχής, χιονιού, υγρασίας κ.α. Το νερό που φτάνει στην ξηρά μπορεί να ακολουθήσει τρεις δρόμους, την επιφανειακή ροή, την κατείσδυση μέσα στο έδαφος και την πρόσληψη του από τους οργανισμούς (φυτά και ζώα). (Κουσούρης, 1998)

Ο **υδρολογικός κύκλος**, όπως φαίνεται στην εικόνα 1.1, είναι ένας περιγραφικός όρος που αναγράφεται στην γενική κυκλοφορία του νερού από τους ωκεανούς και θάλασσες στην ατμόσφαιρα, μετά πάνω στην γη και κατόπιν πάλι πίσω τις θάλασσες. Ο κύκλος αυτός γραφικά σε μια απλοποιημένη μορφή φαίνεται στην παρακάτω εικόνα 1.1 και δείχνει ότι μπορεί να χωριστεί σε τρεις βασικές φάσεις:



Εικόνα 1.1: Σχηματική απεικόνιση του υδρολογικού κύκλου (US Department of the Interior US Geological Survey, <http://www.usgs.gov/>)

- Εξάτμιση
- Κατακρημνίσματα
- Απορροή (επιφανειακή, υπόγεια)

Ακόμη, σε κάποιο στάδιο σε καθεμία από τις παρακάτω φάσεις μπορεί να παρατηρηθεί:

- Μεταφορά νερού
- Προσωρινή αποθήκευση
- Μεταβολή της κατάστασης του νερού.

Η μεταβολή της ποσότητας του νερού που αναφέρεται σε μια φάση ή και στάδιο της φάσης μπορεί να εκτιμηθεί με μια εξίσωση υδρολογικού ισοζυγίου που στην γενική της μορφή είναι: $\Delta S = I - O$ (Παπαγεωργίου, 2006)

Όπου: I = εισροή νερού σε μια δεδομένη περιοχή κατά την διάρκεια ορισμένου χρόνου,

O = εκροή νερού από την περιοχή στον ίδιο χρόνο

ΔS = μεταβολή του όγκου του νερού στην ίδια περιοχή, στον ίδιο χρόνο.

1.2 Υδρολογικές απώλειες

Οι υδρολογικές απώλειες υπολογίζονται άμεσα με διάφορα όργανα μετρήσεως είτε έμμεσα με βάση ορισμένες θεωρίες και μεθόδους. Δύο είναι οι βασικές προσεγγίσεις για την θεωρητική μελέτη της εξατμησης από μια ελεύθερη επιφάνεια νερού. Η μια ασχολείται με τη δυναμική της διαδικασίας μεταφοράς μάζας με την οποία ο υδρατμός απομακρύνεται από την επιφάνεια και ονομάζεται μέθοδος διάχυσης. Η άλλη τεχνική αγνοεί τη δυναμική της διαδικασίας και ασχολείται με το ενεργειακό ισοζύγιο της αλλαγής από την υγρή στην αέρια κατάσταση. Η μέθοδος αυτή είναι γνωστή σαν μέθοδος ενεργειακού ισοζυγίου. Ενεργειακές θεωρήσεις χρησιμοποιούνται και για τον υπολογισμό της διαπνοής, της εξατμισοδιαπνοής και άλλων απωλειών (Μιμικού 1994).

1.2.1 Εξάτμιση από κορεσμένες επιφάνειες

Με την απορρόφηση θερμικής ενέργειας από το σώμα του νερού αυξάνει την κινητική ενέργεια των μορίων του νερού, μέχρι το σημείο μερικά απ αυτά να μπορούν να διαφύγουν από την ενδιάμεση επιφάνεια νερού-αέρα. Όμως, με την έξοδο του μορίου απ την επιφάνεια, μειώνεται η κινητική του ενέργεια με αποτέλεσμα να μην μπορεί να επανέλθει μέσα στην επιφάνεια του νερού. Η συνεχιζόμενη εξάτμιση λοιπόν, οδηγεί σε αύξηση της πίεσης του υδρατμού στον αέρα, άρα και στην συμπύκνωσή του. Όταν οι ρυθμοί συμπύκνωσης γίνουν ίσοι με τους ρυθμούς εξάτμισης τότε επέρχεται ο κορεσμός του αέρα, οπότε όσα μόρια διαφεύγουν άλλα τόσα επιστρέφουν στο νερό. Βέβαια, αυτή η ισορροπία σπάνια συμβαίνει στην φύση εξαιτίας του απεριόριστου όγκου νερού στο φυσικό φορέα. Η εξάτμιση εξαρτάται από την συνολική ατμοσφαιρική πίεση, την θερμοκρασία και τον άνεμο. (Μιμίκου, 2004)

1.2.2 Άλλες απώλειες

Άλλοι παράγοντες που συμβάλλουν στις απώλειες νερού είναι είναι η διαπνοή, η δυναμική εξατμισοδιαπνοή κ.ά. Η πιο σημαντική όμως είναι η αυτή της εξαχνωσης, η οποία έχει σχέση με την χιονοκάλυψη και συμβαίνει όταν η ατμοσφαιρική πίεση υδρατμών πάνω από έναν όγκο χιονιού είναι μικρότερη από την πίεση κορεσμού υδρατμών στη θερμοκρασία της επιφάνειας του χιονιού.

Όργανα μέτρησης των απωλειών είναι το λυσίμετρο, τα υγρόμετρα, ανεμόμετρα, θερμόμετρα κ.λπ. τα οποία μετράνε τις επί μέρους μετεωρολογικές μεταβλητές που υπεισέρχονται στους διάφορους τύπους για τον έμμεσο υπολογισμό της εξάτμισης. (Κατσαπρακάκης, 2010)

1.2.3 Διήθηση και απορροή

Η διήθηση και η απορροή είναι δύο φυσικές διαδικασίες, αποτελέσματα της κατακρήμνισης. Το νερό που πέφτει στο έδαφος, θα κατακρατηθεί αρχικά από τις φυσικές ανωμαλίες του εδάφους (φυτοκάλυψη, βράχια κ.λπ.), ενώ στην συνέχεια θα εισχωρήσει στο έδαφος και θα διηθηθεί. Η ποσότητα του νερού από τις κατακρημνίσεις που απορροφάται από το έδαφος κατά ένα μέρος κατακρατείται σαν εδαφικό νερό στους μη κορεσμένους πόρους ανάμεσα στα στερεά σωματίδια του εδάφους και το υπόλοιπο σαν υπόγεια ροή δια μέσου της διήθησης φτάνει σε μια ζώνη που όλοι οι πόροι είναι κορεσμένοι. Εάν όμως αρχίζει να συγκεντρώνεται επιπλέον νερό στην επιφάνεια του εδάφους, από αυτό που μπορεί να συγκρατήσει, τότε υπάρχει η πιθανότητα να μετατραπεί σε επιφανειακή απορροή, η οποία με την βοήθεια της βαρύτητας κατευθύνεται στους διάφορους υδάτινους φορείς της γύρω περιοχής (ποτάμια, λίμνες κ.ά.). Εκτός βέβαια από την επιφανειακή απορροή, υπάρχει και η υπόγεια, η οποία προέρχεται από το διηθούμενο νερό και συνήθως μετράται και αυτή σαν απορροή ποταμού. (Καραλή, 2000)

1.2.4 Μέτρηση και εκτίμηση απορροής ποταμού

Δύο είναι τα μετρήσιμα χαρακτηριστικά της απορροής του ποταμού: η στάθμη του νερού και η παροχή.

Η μέτρηση της στάθμης του νερού εκφράζεται με το υψόμετρο της επιφάνειας του νερού σ' έναν σταθμό πάνω από ένα επίπεδο αναφοράς π.χ. επιφάνεια θάλασσας, ή ροής ποταμού κ.λπ.. Ο καλύτερος τρόπος μέτρησης είναι με το σταθμήμετρο και οι μετρήσεις γίνονται από παρατηρητές σε συγκεκριμένες ώρες της μέρας.

Η μέτρηση της παροχής γίνεται σποραδικά με την βοήθεια του μιλίσκου, ο οποίος μετράει διάφορες σημειακές ταχύτητες, το άθροισμα των οποίων ζυγισμένα με το βάρος του κάθε τμήματος, δίνει την μέση ταχύτητα της διατομής το γινόμενο της οποίας με την υγρή διατομή δίνει την μέση παροχή.

Τα ζευγάρια λοιπόν των υδρομετρήσεων που μετρώνται σε κάθε σταθμό, σχηματίζουν την καμπύλη στάθμης-παροχής στη θέση εκείνη, η οποία συνήθως έχει σχήμα παραβολικό. Από την καμπύλη στάθμης-παροχής μπορεί κανείς να υπολογίσει τις μέσες ημερήσιες παροχές σε μια θέση, χρησιμοποιώντας τις μέσες ημερήσιες στάθμες. (Μιμίκου, 1994)

1.3 Υδατικό ισοζύγιο

Η εξατμισοδιαπνοή του νερού στο φυσικό περιβάλλον, είτε από ελεύθερες υδάτινες επιφάνειες, είτε από γυμνές ή φυτοκαλυμμένες, είναι από τις πιο σημαντικές συνιστώσες του υδρολογικού κύκλου. Ο υδρολογικός κύκλος ξεκινά με την διαρκή παροχή του νερού από την ατμόσφαιρα με την μορφή των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, η οποία καταλήγει στους ποταμούς, λίμνες ή θάλασσες είτε σαν επιφανειακή απορροή ή σαν διήθηση των υπόγειων υδάτων. Ο κύκλος κλείνει όταν το νερό επιστρέφει στην ατμόσφαιρα μέσω της εξάτμισης.

Η οριακή κατάσταση της πλειοψηφίας των υδατικών πόρων κατά μήκος της γης, εξαιτίας κυρίως της συνεχούς εξάτμισης, ή και απορροής που υφίσταται το νερό, έχει οδηγήσει στην ανάγκη για την ορθολογική τους χρήση μέσω της γνώσης της εξατμισοδιαπνοής. Η εξατμισοδιαπνοή καθορίζει τόσο την ποσότητα του νερού που θα απορρεύσει επιφανειακά προκαλώντας πλημμύρες, αλλά και την ποσότητα του νερού που θα χρειαστεί να διοχετευθεί στα φυτά μέσω του αρδευτικού συστήματος, για την κάλυψη των αναγκών τους.

Η εκτίμηση της εξάτμισης και της εξατμισοδιαπνοής, λοιπόν, καθίσταται σημαντική και γίνεται με την βοήθεια της εξίσωσης μεταφοράς της μάζας, που πρώτος ανακάλυψε ο Dalton, αλλά και με άλλες μεθόδους οι οποίες είναι ακριβείς και αξιόπιστες προσεγγίσεις. Η επιλογή της κάθε μεθόδου πρέπει να γίνεται προσεκτικά για την κάθε περίπτωση λαμβάνοντας υπ όψιν το υπόβαθρό της, τους περιορισμούς, τις προϋποθέσεις υπό τις οποίες ισχύει και τις απαιτήσεις που έχει για την χρησιμοποίησή της. (Μιμίκου, 2004)

1.4 Λεκάνη απορροής

Η έκταση που τροφοδοτεί με νερό απορροής ένα ρεύμα αποτελεί τη λεκάνη απορροής του ρεύματος αυτού.

Ως *επιφανειακή απορροή* ορίζεται εκείνο το ποσοστό των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων το οποίο μόλις πέσει στην επιφάνεια του εδάφους ρέει επιφανειακά. Έτσι, δημιουργείται το υδρογραφικό δίκτυο μιας περιοχής. Η ποσότητα του νερού που απορρέει επιφανειακά σε μια λεκάνη καθορίζεται από κλιματικούς και φυσιογραφικούς παράγοντες, ενώ σημαντικό ρόλο παίζουν η λιθολογική σύσταση των πετρωμάτων και η γεωλογική-γεωμορφολογική τους κατασκευή. (Κουσούρης, 1998)

Γενικά, όταν η λεκάνη απορροής βρίσκεται στα όρια δύο περιοχών, οι οποίες θεωρούνται ότι πρακτικά ταυτίζονται (π.χ. στην περίπτωση δύο μικρών λεκανών), είναι δυνατόν το υπόγειο νερό να μετακινηθεί από τη μια λεκάνη στη γειτονική της ή και πολύ μακρύτερα. Αυτό προκαλεί ορισμένες ασάφειες κατά τον καθορισμό των ορίων των λεκανών. Για να ξεπεραστούν οι ασάφειες αυτές έχει επικρατήσει να θεωρείται σαν *υδρολογική λεκάνη* η έκταση που συνεισφέρει νερό άμεσης απορροής σε ένα ρεύμα (Παπαγεωργίου Στ, 2006).

Το όριο που χωρίζει μια υδρολογική λεκάνη από τις γειτονικές της λέγεται *υδροκρίτης*. Ο υδροκρίτης ακολουθεί την κορυφογραμμή γύρω από τη λεκάνη και «συναντά» το ρεύμα μόνο στο σημείο εξόδου του. Συχνά, είναι αναγκαίο πρακτικούς λόγους να χωριστεί μια μεγάλη λεκάνη σε μικρότερες. Οι μικρότερες αυτές λεκάνες λέγονται *υπολεκάνες* ή *συμβάλλουσες* και ορίζονται από εσωτερικούς υδροκρίτες (Μπότσης Δημήτριος, 2007).

Οι υδρολογικές λεκάνες έχουν ορισμένα χαρακτηριστικά, που διαμορφώνουν σε μεγάλο βαθμό την υδρολογική συμπεριφορά τους. Τα χαρακτηριστικά σε γενικές γραμμές είναι:

- Η επιφάνεια απορροής μιας λεκάνης. Αυτή είναι η οριζόντια προβολή περιοχής που περικλείεται από τον υδροκρίτη και προσδιορίζεται με εμβαδομέτρηση από τοπογραφικούς χάρτες. Εκφράζεται δε συνήθως σε Km².

- Η τάξη των ρευμάτων είναι ένα χαρακτηριστικό που υποδηλώνει το βαθμό διακλάδωσης των ρευμάτων μέσα στη λεκάνη. Ο Horton (1945) χαρακτηρίζει ρεύματα 1^{ης} τάξης αυτά που είναι μικρά και δεν έχουν καμιά διακλάδωση, σαν 2^{ης} τάξης αυτά που έχουν κλάδους 1^{ης} τάξης, σαν 3^{ης} τάξης αυτά που έχουν κλάδους 2^{ης} τάξης κ.ο.κ.

Έτσι, η τάξη του κύριου ρεύματος δείχνει την έκταση διακλαδώσεων των ρευμάτων μέσα σε μια υδρολογική λεκάνη. Στην Ευρώπη ακολουθείται ακριβώς το αντίθετο σύστημα, δηλαδή το κύριο ρεύμα είναι πάντοτε 1^{ης} τάξης, ενώ τη μεγαλύτερη τάξη έχουν οι πιο ακραίοι κλάδοι (Μπότσης Δημήτριος, 2007).

1.5 Ταμιευτήρες

Ταμιευτήρας είναι μια τεχνητή λίμνη που αποταμιεύει νερό από κάποιον υδάτινο φορέα. Η πιο συνηθισμένη περίπτωση είναι αυτή του φράγματος, ενώ υπάρχουν και άλλοι ταμιευτήρες που δημιουργούνται σε φυσικά ή τεχνητά κοιλάματα, και η προσαγωγή του νερού γίνεται με τεχνικά μέσα (αντλίες κ.λπ.).

Η αποθήκευση του νερού γίνεται κυρίως για χρονική ρύθμιση της ροής του υδάτινου φορέα, δηλαδή την κατανομή της παροχής του νερού ανάλογα τις απαιτήσεις που υπάρχουν εξαιτίας ελλείψεων ή και περισσειών π.χ. αυξημένη διοχέτευση την περίοδο καλοκαιριού, ενώ αποταμίευση τον χειμώνα. (Μακρόπουλος, 2011)

Οι ταμιευτήρες αυτοί βέβαια δεν προγραμματίζονται συνήθως για μια χρήση αλλά έχουν πολλαπλές χρήσεις και σκοπιμότητες, όπως π.χ. η υδροηλεκτρική αξιοποίηση, ύδρευση, αλλά και εκτόνωση ογκώδους φορτίου ποταμού σε περιόδους υψηλής βροχόπτωσης, οι οποίες βέβαια έρχονται κάποιες φορές σε σύγκρουση μεταξύ τους όταν για παράδειγμα απαιτούνται υψηλές ποσότητες παροχής νερού για ύδρευση ή άρδευση, ενώ ταυτόχρονα πέφτει έτσι η ικανότητα του φράγματος για παραγωγή ενέργειας.

Από την σκοπιά του υδρολογικού σχεδιασμού ταμιευτήρα, αυτό που έχει ιδιαίτερη σημασία είναι η αξιόπιστη διαστασιολόγηση, δηλαδή να καθοριστούν έτσι οι διαστάσεις του ώστε να μπορεί να αποταμιεύσει τις μέγιστες δυνατές εισροές του ποταμού αλλά και

να διοχετεύσει τις μέγιστες ποσότητες νερού που θα απαιτηθούν για άρδευση ή ύδρευση. (Μιμίκου, 1994)

1.5.1 Στοιχεία όγκου και εκμετάλλευσης ταμιευτήρα

Ο συνολικός όγκος αποθήκευσης ενός φράγματος που σχηματίζεται στον ρου του ποταμού χωρίζεται στα εξής μέρη:

- a) Στον όγκο απ την κοπή του ποταμού μέχρι μια ελάχιστη στάθμη λειτουργίας που καθορίζεται και από την στάθμη της υδροληψίας του ταμιευτήρα. Ο όγκος αποθήκευσης κάτω από αυτήν λέγεται νεκρός όγκος και δεν θα πρέπει να φτάνει ποτέ εκεί η στάθμη του νερού γιατί θα υπάρξουν λειτουργικά προβλήματα.
- b) Στον όγκο μεταξύ ελάχιστης και μέγιστης στάθμης λειτουργίας, που λέγεται ωφέλιμος όγκος, από όπου και γίνεται η υδροληψία.
- c) Στον όγκο μεταξύ της μέγιστης στάθμης λειτουργίας και της στάθμης υπερχείλισης που λέγεται πλημμυρικός όγκος, όπου γίνεται η ανάσχεση της πλημμύρας σχεδιασμού του υπερχειλιστή του έργου. (Μιμίκου, 1994)

1.6 Υδατικοί πόροι της Ελλάδος

Όταν αναφερόμαστε στους υδατικούς πόρους της Ελλάδας, δεν είναι δυνατόν να μην συμπεριλάβουμε τις έννοιες «ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα», «υδάτινα ρεύματα», και «φυσικές και τεχνητές λίμνες ή ταμιευτήρες», οι οποίες είναι έννοιες άμεσα αλληλένδετες στην πραγματικότητα και αποτελούν τον υδατικό πλούτο μιας χώρας.

1.6.1 Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα

Τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα αποτελούν την πηγή τροφοδοσίας των υδατικών πόρων. Το ύψος, η χωρική και χρονική κατανομή τους παρουσιάζουν πολύ έντονες διακυμάνσεις πάνω από την ελληνική επικράτεια. Σε πολύ γενικές γραμμές, τα

δυτικά διαμερίσματα της χώρας έχουν σχεδόν διπλάσιο ύψος βροχής από αυτών των ανατολικών (600 – 800 mm έναντι 370 – 420 mm αντίστοιχα). Στον κύριο ορεινό όγκο της Πίνδου, που διασχίζει τον κορμό της Ελλάδας, από βορρά προς νότο, παρατηρούνται τα μέγιστα ετήσια ύψη (1000 – 1200 mm ή και παραπάνω), αυτό δε οφείλεται στην θέση του σε σχέση με τα κύρια βροχοφόρα συστήματα που κινούνται με κατεύθυνση δύσης-ανατολής. Η χρονική κατανομή των βροχών παρουσιάζει επίσης μεγάλες διακυμάνσεις. Κατά κανόνα, ο κύριος όγκος των βροχών παρατηρείται την περίοδο από τα μέσα του φθινοπώρου μέχρι τα μέσα της άνοιξης, με μέγιστο ύψος βροχών να εμφανίζεται τον χειμώνα. (Παπαμιχαήλ, 2004)

1.6.2 Επιφανειακά ύδατα

Για τον ελλαδικό χώρο η ύδρευση από ποταμούς αφορά ένα μόνο μέρος της χώρας, η δε ύπαρξη λιμνών περιορίζεται επίσης σε ένα μικρότερο χώρο και πολύ μεγαλύτερη σημασία έχει η κατασκευή ταμιευτηρίων. Οι ταμιευτήρες εξομαλύνουν την αναντιστοιχία της διάθεσης νερού λόγω βροχοπτώσεων και της ζήτησης για αστική χρήση. Έτσι, ο ταμιευτήρας αποταμιεύει το νερό που περισσεύει κατά την υγρή περίοδο (χειμώνα ή υγρή χρονιά) για τη χρήση κατά την ξηρή περίοδο (καλοκαίρι ή ξηρή χρονιά). (Λέκκας, 1996)

1.6.3 Υπόγεια ύδατα

Κάποια ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα διαπερνούν το έδαφος και ενυδατώνουν τους εδαφικούς και ορυκτούς πόρους. Η υπό-επιφανειακή περιοχή, όπου γεμίζουν με νερό όλα τα διαθέσιμα εδαφικά και πετρώδεις πόρους, ονομάζεται ζώνη κορεσμού, ενώ το νερό σε αυτούς τους πόρους ονομάζεται υπόγειο νερό. Ο υδροφόρος ορίζοντας είναι η ανώτερη επιφάνεια της ζώνης κορεσμού. Πρόκειται για μια αδιόρατη σχεδόν και διακυμαινόμενη διαχωριστική γραμμή μεταξύ των κορεσμένων πετρωμάτων και εδάφους και των ακόρεστων, αλλά εξίσου υγρών, εδάφους και πετρωμάτων στο οποίο οι πόροι μπορούν να απορροφήσουν περισσότερο νερό.

Γενικά υπάρχει πλήρης αξιοποίηση των εκμεταλλεύσιμων υδατικών αποθεμάτων αυτών των ζωνών, με ελάχιστες εξαιρέσεις και παρατηρούνται πλέον προβλήματα ελλειμματικότητας των υδατικών ισοζυγίων σε αρκετές περιοχές που δεν επικράτησαν αρχές ορθολογικής διαχείρισης.

Αποτέλεσμα της εντατικής αξιοποίησης υπόγειων νερών είναι η εξάντληση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα των περισσότερων περιοχών και ο επηρεασμός στη συνέχεια των ανωτέρω υπό πίεση υδροφόρων οριζόντων. Αποτέλεσμα αυτών των εξελίξεων είναι και η εμφάνιση μετώπων υφαλμύρισης, σε διάφορες παράκτιες περιοχές της ενδοχώρας. Οι υπόγειοι υδροφορείς που αναπτύσσονται σε καρστικές λεκάνες έχουν αρχίσει να αξιοποιούνται την τελευταία 35ετία και φαίνεται ότι έχουν περιθώρια περαιτέρω εκμετάλλευσης. Οι γενικότερες όμως γεωλογικές συνθήκες και η άμεση σύνδεση αυτών των σχηματισμών με καρστικές πηγές, αποτελούν αιτία προβληματισμών περιβαλλοντικής διάστασης, όσον αφορά στην αξιοποίηση αυτών των υδροφόρων με αναριθμήσεις τους. Τα βήματα που γίνονται είναι διστακτικά, επειδή υπάρχει περιβαλλοντική προτεραιότητα για τη διαφύλαξη των οικοσυστημάτων που βρίσκονται σε εξάρτηση από τις αξιόλογες καρστικές πηγαίες αναβλύσεις. (Υπ. Γεωργίας, 2004)

1.6.4 Υδάτινα ρεύματα

Η παροχή των υδάτινων ρευμάτων διαμορφώνεται από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα που πέφτουν στις λεκάνες απορροής και η διακύμανσή της ακολουθεί σε γενικές γραμμές τη χρονική κατανομή και την έντασή τους. Κάτω από τις Ελληνικές συνθήκες, ο μεγαλύτερος όγκος των απορροών προέρχεται από τις πρόσφατες βροχές (άμεση απορροή), ενώ μικρό μόνο μέρος αντιπροσωπεύει η βασική απορροή. Λόγω της φύσης της, η άμεση απορροή έχει μικρή διάρκεια και παρουσιάζει έντονες διακυμάνσεις. Η βασική απορροή έχει μεγάλη χρονική διάρκεια και είναι σχετικά σταθερή. Με εξαίρεση τους μεγάλους ποταμούς, τα υδάτινα ρεύματα της Ελλάδας χαρακτηρίζονται σαν εφήμερα ή ενδιάμεσα.

Γενικά, οι μέγιστες απορροές παρατηρούνται το χειμώνα και οφείλονται στο συνδυασμό βροχών αλλά και υψηλής υγρασιακής κατάστασης των λεκανών απορροής που

διαμορφώνονται από τις βροχές του φθινοπώρου. Επίσης, αυξημένες απορροές παρατηρούνται σε ορισμένα υδάτινα ρεύματα, και κατά την άνοιξη, που είναι αποτέλεσμα τήξης του χιονιού. (Παπαμιχαήλ, 2004)

1.6.5 Φυσικές και τεχνητές λίμνες

Μικρός είναι σχετικά ο αριθμός των τεχνητών λιμνών που είναι κατεσπαρμένες στο ελλαδικό χώρο και αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στο τοπογραφικό ανάγλυφο, το οποίο δεν ευνοεί τη δημιουργία εκτεταμένων σε μέγεθος κλειστών υδρολογικών λεκανών. Οι λίμνες δέχθηκαν από πολύ νωρίς την επέμβαση του ανθρώπου που αποσκοπούσε στην αύξηση της γεωργικής γης με μερική ή ολική αποξήρανσή τους ή τη χρήση του νερού τους για αρδευτικούς σκοπούς, με αποτέλεσμα τη συρρίκνωσή του όγκου και της επιφάνειάς τους (λίμνη Κάρλα). Κάτω από τις σημερινές συνθήκες οι φυσικές λίμνες που απέμειναν θα πρέπει να αποκλειστούν σχεδόν στο σύνολό τους σαν πηγές απόληψης νερού.

Οι φυσικές λίμνες της Ελλάδας αναπτύσσονται κυρίως στην ηπειρωτική χώρα, τόσο σε χαμηλά όσο και σε υψηλά υψόμετρα, ο αριθμός τους είναι πενήντα έξι (56) και έχουν περιορισμένη επιφάνεια. Οι κυριότερες από αυτές όπως η Τριχωνίδα, η Βεγορίτιδα, η Μεγάλη Πρέσπα, η Βόλβη έχουν επιφάνεια μέχρι 100 km^2 . και το μέσο βάθος τους είναι της τάξης των 50 μ. Οι ελληνικές λίμνες δεν έχουν τύχει κάποιας αξιόλογης αξιοποίησης παρότι είναι υδατικός πλούτος ύψιστης οικολογικής σημασίας, ενώ από πολύ νωρίς δέχτηκαν την επέμβαση του ανθρώπου που αποσκοπούσε στην αύξηση της γεωργικής γης. Η τακτική της μερικής ή ολικής αποξήρανσης τους ή της χρήσης του νερού τους για αρδευτικούς σκοπούς είχε ως αποτέλεσμα τη συρρίκνωση του όγκου και της επιφάνειάς τους. (Λέκκας, 1996)

1.6.6 Υδάτινα αποθέματα

Τα υδατικά αποθέματα αναφέρονται σε συγκεκριμένη περιοχή και χρονική στιγμή ή, κατά μέσο όρο, σε μια συγκεκριμένη περίοδο του υδρολογικού έτους. Τα αποθέματα αυτά προσδιορίζονται είτε ως επιφανειακά (δίκτυο επιφανειακής απορροής-ποτάμια, ρυάκια κ.λπ., λίμνες, παγετώνες, χιονοκάλυψη), είτε ως υποεπιφανειακά, δηλαδή εδαφικά (υγρασία ακόρεστης ζώνης) και υπεδαφικά (αποθέματα υδροφόρων οριζόντων). Τα αποθέματα, κυρίως τα υπόγεια, μεταβάλλονται στο χρόνο, γεγονός που ενδιαφέρει άμεσα τη διαχείρισή τους (εκμετάλλευση, ποιοτική προστασία, ποσοτική ανανέωση). Οι μεταβολές αυτές προκύπτουν από τις διαφορές ανάμεσα στις εισροές και εκροές (αφίξεις και απώλειες ή τροφοδοσίες και καταναλώσεις). Η μεταβλητότητα των αποθεμάτων μπορεί να εκφραστεί με το ποσοστό του μεταβαλλόμενου τμήματός τους σε σχέση με το σταθερό τμήμα τους. (Στουρνάρας, 2011)

Τα **υδάτινα αποθέματα της Ελλάδας**, της Τουρκίας και της Ισπανίας εξαντλούνται λόγω της υπερβολικής χρήσης κυρίως όμως λόγω της άντλησης επιφανειακών υδάτων για άρδευση (το 87%, 76% και 68% αντιστοίχως για κάθε χώρα αφορά την κάλυψη των γεωργικών αναγκών), ενώ τα προβλήματα στην ποιότητα προκαλούνται πρωτίστως από σημειακή ρύπανση (τη ρύπανση, δηλαδή, που προέρχεται από συγκεκριμένες πηγές). Οι χώρες αυτές δεν διαθέτουν επαρκή συστήματα παρακολούθησης ώστε να προφυλάσσουν τους υδροτόπους και τα υδάτινα αποθέματά τους από αυτές τις πιέσεις.

Όσον αφορά την Ελλάδα, η οποία από κλιματική άποψη βρίσκεται στα Νότια όρια της Εύκρατης Ζώνης, υποκείμενη στις κλιματικές συνθήκες της λεγόμενης «Μεσογειακής Κλιματικής Ζώνης», παρουσιάζει κυκλική εμφάνιση έντονων ξηροθερμικών περιόδων, με άμεσο αποτέλεσμα την ανομοιόμορφη χωροχρονική κατανομή των βροχοπτώσεων τόσο στην Ελληνική επικράτεια όσο και στις ευρύτερες όμορες περιοχές άντλησης υδατικών πόρων.

Από την 20ετή έρευνα της Eurostat που δημοσιεύθηκε το 2006 προκύπτει ότι η Ελλάδα είναι μία από τις πλέον άνομβρες χώρες της Ευρώπης, καθώς κατά μέσον όρο δέχεται από τις βροχοπτώσεις 115.000.000.000 κυβικά μέτρα νερού τον χρόνο. Ωστόσο, από

αυτά το 38% χάνεται καθώς τα συνολικά υδατικά αποθέματα της χώρας δεν ξεπερνούν τα 72.000.000.000 κυβικά μέτρα νερού. (????)

Αυτό συνεπάγεται μια γενικότερη ανώμαλη δίαιτα των επιφανειακών και κατά συνέπεια των υπόγειων υδάτων με αποτέλεσμα την όλο και συχνότερη εμφάνιση του φαινομένου της λειψυδρίας.

Η χώρα μας διαθέτει, συνολικά, επαρκείς επιφανειακούς και υπόγειους υδατικούς πόρους, αλλά διάφοροι λόγοι μειώνουν σημαντικά την πραγματικά διαθέσιμη ποσότητα και δυσκολεύουν την αξιοποίησή τους. Οι κυριότεροι λόγοι που προκαλούν προβλήματα στην αξιοποίηση των υδατικών πόρων της χώρας είναι:

- η ανομοιόμορφη κατανομή των υδατικών πόρων στο χώρο και στο χρόνο,
- η ανομοιόμορφη κατανομή της ζήτησης στο χώρο και το χρόνο, αντίστοιχη με την κατανομή της προσφοράς,
- η γεωμορφολογία της χώρας,
- η εξάρτηση της βόρειας Ελλάδας από τις επιφανειακές απορροές ποταμών που έρχονται από γειτονικά κράτη,
- το μεγάλο ανάπτυγμα ακτών και τα πολλά άνυδρα ή με ελάχιστους υδατικούς πόρους νησιά της χώρας. (Χρυσίκου, 2011)

Ο μεγαλύτερος χρήστης νερού είναι η γεωργία, της οποίας κύριος παράγοντας είναι η άρδευση, ιδιαίτερα κατά τους ξηρούς καλοκαιρινούς μήνες, κατά τους οποίους αυξάνεται η ζήτηση και για οικιακή χρήση. Οι παραπάνω συνθήκες οδηγούν συχνά στις πεδινές και παράκτιες περιοχές σε υπερεκμετάλλευση και υφαλμύρωση των υπόγειων υδροφορέων. Η υπερβολική άντληση νερού από τους υπόγειους υδροφορείς για την κάλυψη της ζήτησης σε παράκτιες περιοχές έχει συχνά ως αποτέλεσμα την εισχώρηση θαλάσσιου νερού στους υπόγειους υδροφορείς, καθιστώντας το νερό των υδροφορέων ακατάλληλο για εκμετάλλευση. (Μπάνου & Γάκη, 2004)

Οι μέχρι σήμερα πραγματοποιούμενες διορθωτικές αλλαγές στη γεωργία απαιτούν συνήθως και επιπλέον νερό άρδευσης. Το γεγονός αυτό επιτείνει το πρόβλημα ανεπάρκειας των υδατικών πόρων για την κάλυψη του συνόλου των αναφευομένων

αναγκών και έχει αναδείξει ανισοροπίες στην αναπτυξιακή προσπάθεια του αγροτικού τομέα, καθώς και η περίοδος αιχμής των αναγκών των καλλιεργειών, με τις μεγάλες απαιτήσεις σε νερό άρδευσης, συμπίπτει χρονικά με τη σχετικά μακρά περίοδο των <χαμηλών υδάτων>.

Η ανεπάρκεια των υδατικών πόρων στα ανατολικά, όπου βρίσκονται μεγάλες προσχωματικές λεκάνες – πεδιάδες της ηπειρωτικής χώρας, με εγκαταστημένη υψηλού επιπέδου αγροτική δραστηριότητα, προσδιορίζει την ανάγκη μεταφοράς νερού με μεγάλα έργα υψηλού κόστους και ειδικών προδιαγραφών.

Η ανεπάρκεια των υδατικών πόρων στα ανατολικά-νοτιοανατολικά νησιωτικά συγκροτήματα προσδιορίζει καταστάσεις που προσεγγίζουν ή ξεπερνούν συνήθως τα όρια της έλλειψης για κάλυψη των αναγκών υδρευτικής χρήσης. Στο σύνολο της χώρας η συνολική αρδευόμενη έκταση ανέρχεται σε 13,2 εκατομμύρια στρέμματα, από τα οποία τα συλλογικά εγγειοβελτιωτικά έργα της χώρας, που είναι περίπου 500 τον αριθμό, καλύπτουν 40% της αρδευόμενης έκτασης, δηλαδή 5,2 εκατ. στρέμματα. Από αυτά 35-40% αρδεύονται με βαρύτητα (κατάκλιση, αύλακες), 50-55% με συστήματα τεχνητής βροχής και 10% με στάγδην άρδευση και λοιπά συστήματα μικρο-αρδεύσεων. (Κούκη, 2004)

Οι παραπάνω κρίσιμες συνθήκες σε συνδυασμό με το ρόλο των υδατικών πόρων στην οικονομία και το περιβάλλον, καθορίζουν ως σημαντικό χρέος της Πολιτείας και των φορέων άσκησης και χάραξης πολιτικής την άσκηση μιας σύγχρονης και αποτελεσματικής πολιτικής την ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων, με στόχο την πληρέστερη δυνατή κάλυψη των αναγκών σε νερό για όλες τις απαιτούμενες χρήσεις και τον εύστοχο σχεδιασμό και υλοποίηση έργων αξιοποίησης υδατικών πόρων, που να λειτουργούν βιώσιμα και με κανόνες αειφορίας του περιβάλλοντος.

1.7 Πολιτική διαχείρισης και προστασίας των υδάτων

Η κοινοτική πολιτική και στον τομέα των υδάτων εκφράστηκε κατά τη 10ετία του '70 με έκδοση σειράς κοινοτικών οδηγιών με σκοπό την προστασία των υδάτινων πόρων.

Η συνεχής αύξηση της ζήτησης ύδατος καλής ποιότητας για κάθε χρήση κατέστησε αναγκαίες πιο ολοκληρωμένες δράσεις για την ποιοτική και ποσοτική προστασία των υδάτων.

Η ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων αποτελεί εργαλείο για την εξυπηρέτηση του βασικού στόχου της Οδηγίας 2000/60/ΕΕ, που είναι η προστασία και αναβάθμιση του υδάτινου περιβάλλοντος (Ανδρεαδάκης – ΥΠΕΚΑ).

Πίνακας 1.1: Απεικόνιση εφαρμογής σχεδίων, που σχετίζονται με την επίτευξη του στόχου της Οδηγίας-Πλαισίου, σε σχέση με το έτος υλοποίησής τους (Ανδρεαδάκης - Υ.Π.Ε.Κ.Α.)

2000		ΕΕ	ΕΛ
2001			
2002	Ενσωμάτωση-Λεκάνες απορροής-Φορείς		
2003			N 3199
2004	Πιέσεις-επιπτώσεις		
2005			
2006	Καθορισμός Δικτύου Παρακολούθησης		
2007			ΠΔ 51
2008			
2009	Διαχειριστικά Σχέδια		
2010			
2011			
2012	Εφαρμογή Σχεδίων		
2013			
2014			
2015	Επίτευξη Στόχου		?

1.7.1 Οδηγία 2000/60/ΕΕ

Η Οδηγία 2000/60/ΕΕ (Water Framework Directive, αναφερόμενη διεθνώς με τα αρχικά WFD) αποτελεί το βασικό νομικό εργαλείο διαχείρισης των υδατικών πόρων στην

Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ). Πρόκειται για κείμενο που εισάγει για πρώτη φορά στα νομικά χρονικά την έννοια της οικολογικής ποιότητας, δηλαδή της καλής δομής και λειτουργίας των υδατικών οικοσυστημάτων. Στόχος της οδηγίας είναι το 2015 όλα τα υδατικά σώματα της ΕΕ να έχουν "καλή" οικολογική ποιότητα. Η Οδηγία ορίζει ως «Μεταβατικά Ύδατα» τις εκβολές των ποταμών και τις λιμνοθάλασσες και ως «Παράκτια Ύδατα» αυτά που απέχουν ένα ναυτικό μίλι από την ακτή, παρέχοντας ωστόσο την δυνατότητα στα Κράτη Μέλη να ορίσουν ευρύτερα υδατικά σώματα σε κόλπους και διαύλους. Το Υδατικό σώμα (ΥΣ) αποτελεί τη βασική μονάδα διαχείρισης της Οδηγίας. Η οριοθέτηση των ΥΣ κάθε Κράτους Μέλους της ΕΕ γίνεται σύμφωνα με τα φυσικά και υδρολογικά χαρακτηριστικά, των υδάτινων μαζών.

Ωστόσο η διαμόρφωση του τελικού χάρτη λαμβάνει υπόψη τόσο την διαίρεση της χώρας σε υδατικά διαμερίσματα (που καθορίζουν το διοικητικό πλαίσιο της διαχείρισης των υδάτων), όσο και τις ανθρωπογενείς πιέσεις (που καθορίζουν το κοινωνικο-οικονομικό πλαίσιο των διαχειριστικών μέτρων) και το καθεστώς προστασίας κάθε ΥΣ.

Η μεθοδολογία στηρίχθηκε στα συμπεράσματα της Κοινής Ευρωπαϊκής Στρατηγικής για την εφαρμογή της Οδηγίας περιλαμβανομένης και της άσκησης διαβαθμονόμησης που ολοκληρώθηκε το 2007, αναδεικνύοντας πέντε τύπους παράκτιων και δύο τύπους μεταβατικών υδατικών σωμάτων, για την Μεσογειακή οικοπεριοχή της ΕΕ. Στη συνέχεια οι παράκτιες υδατικές μάζες της χώρας διαιρέθηκαν σε τέσσερις ωκεανογραφικές ενότητες: τρεις στο Αιγαίο (Βόρειο, Κεντρικό και Νότιο) και μία στις εξωτερικές ακτές του Δειναροταυρικού τόξου (από τις Ελληνικές ακτές στο Ιόνιο Πέλαγος μέχρι την Λεβαντινή Θάλασσα). Συνολικά προτείνονται 63 παράκτια ΥΣ σώματα και 25 μεταβατικά (P. Panagiotidis et al.).

Οι βασικοί στόχοι της Οδηγίας – Πλαίσιο είναι:

- η διεύρυνση του πλαισίου προστασίας των υδάτων, έτσι ώστε να συμπεριλάβει όλα τα ύδατα (επιφανειακά, υπόγεια, κτλ),

- η αποτροπή περαιτέρω υποβάθμισης και ο εμπλουτισμός όλων των υδάτινων οικοσυστημάτων,
- η προώθηση μιας ολοκληρωμένης διαχείρισης των υδατικών πόρων βασισμένη στην μακροχρόνια προστασίας τους,
- η λήψη συγκεκριμένων μέτρων για έλεγχο της ρύπανσης,
- η εξασφάλιση της προοδευτικής μείωσης της ρύπανσης των υπόγειων υδάτων και η αποτροπή της περαιτέρω ρύπανσής τους,
- ο μετριασμός των συνεπειών πλημμυρών ή ξηρασίας και
- η λήψη μέτρων που θα οδηγήσουν στην επίτευξη της “καλής οικολογικής κατάστασης” για όλα τα υδάτινα συστήματα εντός προκαθορισμένου χρονικού ορίζοντα. (Μαντούζα Ανδρομάχη, 2008)

Η Οδηγία – Πλαίσιο αποτελεί μια μεθοδευμένη προσπάθεια αναδιάρθρωσης της νομοθεσίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τα ύδατα, τόσο σε περιβαλλοντικούς όσο και σε διαχειριστικούς όρους. Επιπρόσθετα, οι αρχές της αειφόρου ανάπτυξης και της βιώσιμης διαχείρισης των υδάτων υποδεικνύουν τον τρόπο διαχείρισης και προστασίας των υδάτων.

Παράλληλα, η ολοκληρωμένη διαχείριση λεκανών απορροής γίνεται υποχρεωτική για όλα τα κράτη μέλη, όπως επίσης και για τα υποψήφια κράτη μέλη. Οι βασικές αρχές πολιτικής της Οδηγίας που θα αναλυθούν ακολούθως (βάση ανακοίνωσης της Επιτροπής 21^{ης} Φεβρουαρίου 1996) είναι οι ακόλουθες:

- Υψηλό επίπεδο προστασίας
- Αρχής της προφύλαξης
- Προληπτική δράση
- Καταπολέμηση των επιβαρύνσεων του περιβάλλοντος στην πηγή δημιουργίας τους
- Ο ρυπαίνων πληρώνει
- Αναγνώριση ποικιλίας διαφορετικών περιβαλλοντικών συνθηκών σε διαφορετικές περιοχές της Κοινότητας
- Χρήση των διαθέσιμων επιστημονικών και τεχνικών δεδομένων
- Σχέση κόστους- οφέλους

- Οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη της Κοινότητας
- Αρχή της διεθνούς συνεργασίας
- Αρχή της επικουρικότητας
- Ενσωμάτωση της πολιτικής διαχείρισης των υδάτων στις άλλες κοινοτικές πολιτικές. (Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, 2000)

Οι μηχανισμοί που προτείνονται από την Οδηγία ως μηχανισμοί εξασφάλισης επίτευξης των στόχων και των σκοπών της είναι οι εξής:

- η διαίρεση του εδάφους των κρατών μελών και η στοιχειοθέτηση Υδατικών Περιφερειών (σε επίπεδο λεκάνης απορροής ποταμού),
- ο προσδιορισμός των βασικών ζητημάτων που αφορούν την διαχείριση των υδατικών πόρων,
- η σχεδίαση προγραμμάτων μέτρων και η στοιχειοθέτηση των πλάνων διαχείρισης των υδατικών περιφερειών,
- η δημιουργία ενός κατάλληλου δικτύου παρακολούθησης,
- ο προσδιορισμός των υδάτων που χρησιμοποιούνται για την άντληση πόσιμου ύδατος,
- η κοστολόγηση των υπηρεσιών ύδατος ως κίνητρο για την ορθή χρήση ύδατος.

Επιπλέον, προκείμενου να διασφαλιστεί η διαφάνεια η οποία ορίζεται από την Οδηγία – Πλαίσιο, η δημοσίευση και διάδοση των πληροφοριών καθώς και οι δημόσιες διαβουλεύσεις αποτελούν το μέσο εξασφάλισης της. Ως εκ τούτου διευκολύνεται η ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ επιστημονικών και άλλων φορέων σχετικών με τα ύδατα καθώς επίσης και η ενημέρωση του κοινού.

Η Οδηγία – Πλαίσιο μετά την πλήρη εφαρμογή της θα καταργήσει έξι ισχύουσες οδηγίες και μία απόφαση ενώ μεταβατικές διατάξεις θα ισχύσουν για άλλες ισχύουσες οδηγίες. Το χρονοδιάγραμμα εφαρμογής της Οδηγίας – Πλαίσιο είναι αρκετά στενό λαμβάνοντας υπόψη το μέγεθος της δουλειάς την οποία πρέπει τα κράτη – μέλη να φέρουν εις πέρας. Τελευταία ημερομηνία για την επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων είναι το 2015.

Παρόλα αυτά, η Οδηγία – Πλαίσιο θέτει διαφορετικά χρονοδιαγράμματα για κάθε επιμέρους μηχανισμό εφαρμογής της. Όσον αφορά τις υπό ένταξη χώρες, η Ευρωπαϊκή Ένωση ορίζει ότι οι χώρες αυτές οφείλουν να πληρούν τις διατάξεις των οδηγιών από την ημέρα της πλήρους ένταξης τους.

Ο βασικός λοιπόν στόχος της Οδηγίας Πλαίσιο για τα Ύδατα που αφορά στην επίτευξη των διαχειριστικών στόχων σε όλες τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης μέσω εφαρμογής κατάλληλων προγραμμάτων ορθής διαχείρισης των υδατικών πόρων σε κάθε υδατική περιφέρεια, προϋποθέτει την υλοποίηση διακριτών ενδιάμεσων σταδίων, που ρητά αναφέρονται στην Οδηγία, με πρώτο βήμα την εναρμόνιση του εθνικού θεσμικού πλαισίου. (Μαντούζα Ανδρομάχη, 2008)

1.8 Τυπολόγιο

1.8.1 Υδρογράφημα

Η μεταβολή της παροχής ενός ρεύματος (που είναι προϊόν της απορροής υδρολογικής λεκάνης του) σε σχέση με το χρόνο αποτελεί το υδρογράφημα του και περιλαμβάνει το νερό που ρέει πάνω στην επιφάνεια του εδάφους και λέγεται επιφανειακή απορροή, το νερό που κινείται πλευρικά αμέσως κάτω από την επιφάνεια του εδάφους στην ακόρεστη ζώνη και εκδηλώνεται μετά κάποια απόσταση πάλι στην επιφάνεια ή απ' ευθείας στην κοίτη του ρεύματος και λέγεται ενδορροή, το νερό που προέρχεται από υπόγεια ροή από την κορεσμένη ζώνη και λέγεται βασική απορροή και το νερό του κατακρημνίσματος που πέφτει μέσα στην κοίτη του ρεύματος και λέγεται απ' ευθείας απορροή (Παπαγεωργίου Σταματίνα, 2006).

Η ενδορροή είναι κάτι ανάμεσα στην επιφανειακή και τη βασική απορροή. Προέρχεται από το νερό που διηθείται στο έδαφος αλλά στη συνέχεια κινείται πλευρικά μέσα στην ακόρεστη ζώνη και εκδηλώνεται είτε πάλι στην επιφάνεια εδάφους λίγο παρακάτω από το σημείο διήθησης, είτε κατ' ευθείαν στην κοίτη ρεύματος, χωρίς να έρθει σε επαφή με το υπόγειο νερό. Η ενδορροή ευνοείται όταν κάτω από το επιφανειακό έδαφος βρίσκεται

κάποια σχετικά αδιαπέραστη στρώση. Στην περίπτωση αυτή, αν η κλίση της υδρολογικής λεκάνης είναι μεγάλη, η συμβολή της ενδορροής στη διαμόρφωση της παροχής του ρεύματος μπορεί γίνει πολύ σημαντική. Γενικά, το πιο χαρακτηριστικό γνώρισμα της ενδορροής αφορά την επιμήκυνση της χρονικής βάσης του υδρογραφήματος και κάνει ομαλή την κατανομή της συνολικής απορροής, που προκαλείται από μια βροχή γιατί το νερό της ενδορροής φθάνει στην κοίτη του ρεύματος αρκετά αργότερα από αυτό της επιφανειακής απορροής (Παπαγεωργίου, 2006).

Η υπόγεια ροή ή βασική απορροή, είναι το μέρος εκείνο της παροχής που προέρχεται από ροή προς την κοίτη του ρεύματος μέσα από την κορεσμένη ζώνη. Το νερό αυτό προέρχεται από βαθιά διήθηση και φθάνει μέχρι το ρεύμα σε χρόνο πολύ μετά τη βροχή από την οποία προέρχεται, είναι δε ο κύριος και συχνά ο μοναδικός παράγοντας που διαμορφώνει την παροχή των ρευμάτων κατά την ξερή περίοδο του χρόνου και γι' αυτό το λόγο πολύ σημαντικός. Είναι φανερό ότι για να υπάρχει υπόγεια ροή προς το ρεύμα πρέπει η υπόγεια στάθμη να τέμνει την κοίτη του (Παπαγεωργίου Σταματίνα, 2006).

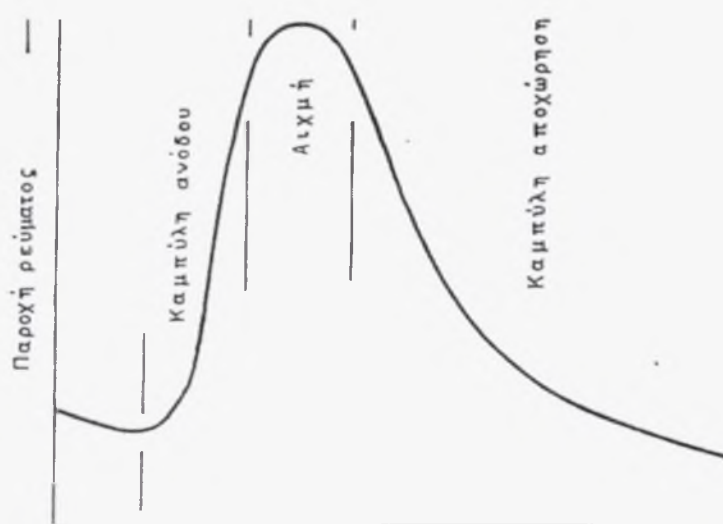
Το νερό της βροχής που πέφτει στην κοίτη ενός ρέματος ή στην επιφάνεια μιας λίμνης αποτελεί την απ' ευθείας απορροή. Η ποσότητα αυτή του νερού μπορεί να βρεθεί αν πολλαπλασιάσουμε το ύψος της βροχής με την επιφάνεια που καταλαμβάνει το ρεύμα ή η λίμνη. Αναφορικά με τα ρεύματα, η απ' ευθείας απορροή διαφέρει από λεκάνη σε λεκάνη και από χρόνο σε χρόνο, μέσα στην ίδια λεκάνη, ανάλογα με τη στάθμη του νερού στα ρεύματα. Η υγρή επιφάνεια των ρευμάτων, όπως τονίστηκε στα προηγούμενα, δεν ξεπερνάει συνήθως το 5% της επιφάνειας της υδρολογικής λεκάνης (Μπότσης Δημήτριος, 2007).

Γενικά, για λόγους πρακτικούς, επειδή είναι δύσκολο να ξεχωρίζονται η επιφανειακή απορροή από την ενδορροή και την απ' ευθείας απορροή, το μέγεθος των δύο τελευταίων παραγόντων είναι στις περισσότερες περιπτώσεις περιορισμένο σε σχέση με τον πρώτο, οι τρεις αυτοί παράγοντες θεωρούνται σαν ένας που ονομάζεται άμεση απορροή (Παπαγεωργίου, 2006).

1.8.1.1 Το σχήμα του υδρογραφήματος

Το σχήμα ενός υδρογραφήματος, που προκαλείται από μια μεμονωμένη βροχή, με σχετικά μικρή διάρκεια και που καλύπτει όλη την υδρολογική λεκάνη, ακολουθεί κατά κανόνα ένα γενικό πρότυπο. Το πρότυπο αυτό δείχνει στην αρχή μία περίοδο ανόδου που σημαίνει ότι κατά τη διάρκειά της η παροχή του ρεύματος αυξάνει. Το μέρος αυτό του υδρογραφήματος λέγεται καμπύλη ανόδου. Η περίοδος που ακολουθείται από μία άλλη που στην αρχή της παρουσιάζει μία μικρή άνοδο μέχρι κάποιο μέγιστο και μετά μία αντίστοιχη μικρή πτώση. Η περίοδος αυτή λέγεται στέψη του υδρογραφήματος, η δε μέγιστη τιμή της στέψης λέγεται αιχμή. Τέλος, τη στέψη ακολουθεί μία περίοδος που η παροχή συνέχεια μειώνεται και μπορεί να φθάσει και στο μηδέν, εξαρτώμενη από την ύπαρξη ή μη βασικής απορροής. Το μέρος αυτό του υδρογραφήματος λέγεται καμπύλη αποχώρησης (Μπότσης Δημήτριος, 2007).

Ένα τυπικό υδρογράφημα αυτής της μορφής δίνεται στο παρακάτω σχήμα. Σε μικρές υδρολογικές λεκάνες, που η συμβολή της απ' ευθείας απορροής, της ενδορροής και της βασικής απορροής στην παροχή του ρεύματος είναι κατά κανόνα περιορισμένη, το υδρογράφημα διαμορφώνεται ουσιαστικά από την επιφανειακή και μόνο απορροή (Μπότσης Δημήτριος, 2007).



Σχήμα 1.1: Βασικά μέρη καμπύλης υδρογραφήματος (Μπότσης Δημήτριος, 2007).

Η καμπύλη ανόδου ενός υδρογραφήματος αρχίζει με την εμφάνιση της επιφανειακής απορροής και τελειώνει σε κάποιο σημείο, όπου ο ρυθμός ανόδου του υδρογραφήματος μειώνεται δραστικά. Η μορφή της καμπύλης αυτής εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της λεκάνης που διαμορφώνουν την αναλογία των χρόνων διαδρομής του νερού πάνω στην επιφάνεια του εδάφους και τα ρεύματα και από τη διάρκεια, ένταση και ομοιομορφία της βροχής. Το αρχικό της τμήμα είναι κοίλο γιατί στην αρχή μέρος μόνο της λεκάνης συνεισφέρει νερό και ακόμη γιατί, στο στάδιο αυτό η διηθητικότητα, η συγκράτηση του νερού στις κοιλότητες του εδάφους, η εξάτμιση και η συγκράτηση νερού από τη φυτοκάλυψη είναι αναλογικά μεγαλύτερα από ότι στα επόμενα στάδια (Παπαγεωργίου Σταματίνα, 2006).

Η στέψη του υδρογραφήματος αρχίζει από κει που τελειώνει η καμπύλη ανόδου και τελειώνει σε ένα αντίστοιχο σημείο μετά την αιχμή. Η μέγιστη αιχμή, που προκαλείται από μια βροχή δεδομένης έντασης και διάρκειας, εμφανίζεται όταν όλα τα τμήματα της υδρολογικής λεκάνης συνεισφέρουν νερό, όταν δηλαδή το μέρος της λεκάνης που βρίσκεται κοντά στην έξοδο της εξακολουθεί να συνεισφέρει νερό όταν και το νερό από το πιο απομακρυσμένο σημείο της έχει φθάσει στην έξοδο. Για να γίνει αυτό, η διάρκεια της βροχής πρέπει να είναι ίση ή μεγαλύτερη από το χρόνο συγκέντρωσης της λεκάνης (Παπαγεωργίου Σταματίνα, 2006).

Η *καμπύλη αποχώρησης* περιλαμβάνει το υπόλοιπο μέρος του υδρογραφήματος, αντιπροσωπεύει δε την αποχώρηση του νερού που έχει αποθηκευθεί στην επιφάνεια της λεκάνης μετά την ουσιαστική διακοπή της βροχής. Το σχήμα της καμπύλης αυτής είναι ανεξάρτητο από τις διακυμάνσεις της έντασης της βροχής, που προκάλεσε την απορροή και της διηθητικότητας του εδάφους, εξαρτάται δε σχεδόν αποκλειστικά από τα χαρακτηριστικά της κοίτης των ρευμάτων. Από πολύ νωρίς ο Barnes (1939) βρήκε ότι η καμπύλη αποχώρησης μπορεί να περιγραφεί από μια σχέση της μορφής:

$$Q_2 = Q_1 K^{-\Delta t} \quad (1.1)$$

όπου: Q_1 και Q_2 είναι αντίστοιχα οι παροχές σε χρόνους t_1 και t_2 , K είναι μία σταθερά και Δt είναι το διάστημα ανάμεσα στους χρόνους t_1 και t_2 (Μπότσης Δημήτριος, 2007).

1.8.1.2 Παράγοντες που επηρεάζουν το σχήμα του υδρογραφήματος

Η χρονική κατανομή της απορροής, που εκφράζεται από το σχήμα του υδρογραφήματος, επηρεάζεται τόσο από κλιματικούς παράγοντες, όσο και από τα τοπογραφικά και γεωλογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής. Γενικά, μπορεί να λεχθεί ότι η καμπύλη ανόδου του υδρογραφήματος διαμορφώνεται κατά κύριο λόγο από τα χαρακτηριστικά της βροχής, που προκαλεί την απορροή, ενώ η καμπύλη αποχώρησης είναι σχεδόν ανεξάρτητη από τα χαρακτηριστικά αυτά.

Μοναδιαίο υδρογράφημα

Ο Sherman (1932) εισήγαγε την έννοια του μοναδιαίου υδρογραφήματος (ΜΥΓ) που σήμερα έχει αναγνωριστεί σαν μια από τις σημαντικότερες συνεισφορές στην επιστήμη της Υδρολογίας σε φαινόμενα που έχουν σχέση με τον υπολογισμό του υδρογραφήματος μιας πλημμύρας. Ως μοναδιαίο υδρογράφημα ορίζεται το υδρογράφημα τις άμεσης απορροής που προέρχεται από καθαρή βροχόπτωση διάρκειας t^R και μοναδιαίου ύψους ($h^R = 1 \text{ cm}$) ομοιόμορφα κατανεμημένου πάνω σε όλη την έκταση της λεκάνης. (Κ. Μπέλλος – σημειώσεις τεχνικής υδρολογίας)

Πυκνότητα υδρογραφικού δικτύου

Η πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου εκφράζει το συνολικό μήκος των ρευμάτων ανά μονάδα επιφάνειας της λεκάνης. Η πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου υπολογίζεται από τη σχέση:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{A} \quad (1.2)$$

όπου D : η πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου (Km/Km^2), n : ο αριθμός των ρευμάτων, L : το μήκος του κάθε ρέματος (Km) και A : η έκταση της υδρολογικής λεκάνης (Km^2).

Λεκάνες με πυκνό υδρογραφικό δίκτυο, δημιουργούν υψηλές πλημμυρικές αιχμές στο σημείο εξόδου και επίσης μεταφέρουν μεγάλες ποσότητες φερτών υλικών (Dunne and Leopold, 1978, Gregory and Walling, 1983, Τσακίρης και Μπαλούτσος, 1995). Μια υδρολογική λεκάνη θεωρείται ότι έχει κακή στράγγιση αν $D < 0.5$ ενώ θεωρείται ότι έχει πολύ καλή στράγγιση αν $Z > 3.0$ (Παπαμιχαήλ, 2001).

Μήκος και μέση κλίση κύριου υδατορεύματος

Η υδρολογική λεκάνη, αποτελείται από πολλά δευτερεύοντα υδατορεύματα, περιέχει ωστόσο και κάποιο χαρακτηριστικό υδατόρευμα, το οποίο διασχίζει όλη την υδρολογική λεκάνη. Το κύριο αυτό υδατόρευμα, έχει συγκεκριμένο μήκος και κλίση, η οποία δίνεται από τη σχέση:

$$i = H/L_{main} \quad (1.3)$$

όπου H : η υψομετρική διαφορά του ανάντη σημείου του κύριου υδατορεύματος και της εξόδου της υδρολογικής λεκάνης, L_{main} : το μήκος και i : η μέση κλίση του.

Συντελεστής ελικτότητας του κύριου υδατορεύματος

Ο συντελεστής ελικτότητας του κύριου υδατορεύματος, υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$C = L_{main}/L_s \quad (1.4)$$

όπου C : ο συντελεστής ελικτότητας του κύριου υδατορεύματος, L_{main} : το μήκος του κύριου υδατορεύματος (Km) και L_s : το μήκος του ευθύγραμμου τμήματος που δημιουργείται αν ενώσουμε την αρχή και το τέλος του.

Ο συντελεστής ελικτότητας εκφράζει το βαθμό πολυπλοκότητας που εμφανίζει το κύριο υδατόρευμα, καθώς όσο μεγαλύτερη τιμή έχει ο εν λόγω συντελεστής, τόσο μεγαλύτερο είναι το μήκος που διανύει το νερό επί του κύριου υδατορεύματος για να φτάσει μέχρι την έξοδο της υδρολογικής λεκάνης, γεγονός από το οποίο συμπεραίνεται ότι το υδατόρευμα εμφανίζει πολλούς μαιανδρισμούς. Όσον αφορά τα διάφορα φυσιογραφικά χαρακτηριστικά της λεκάνης και την εκτίμησή τους έχουμε τα εξής:

Υδροκρίτης, εμβαδόν και περίμετρος υδρολογικής λεκάνης

Η έκταση που τροφοδοτεί με νερό απορροής ένα ρεύμα, αποτελεί τη λεκάνη απορροής του ρεύματος αυτού. Το όριο που χωρίζει αυτή την υδρολογική λεκάνη από τις γειτονικές της λέγεται υδροκρίτης. Ο υδροκρίτης, ακολουθεί την κορυφογραμμή γύρω από την υδρολογική λεκάνη και διασταυρώνει το κύριο ρεύμα μόνο στο σημείο εξόδου του. Συχνά μία λεκάνη απορροής, ανάλογα και με την τοπογραφία της περιοχής, χωρίζεται σε μικρότερες υπολεκάνες, οι οποίες αλλιώς λέγονται και συμβάλλουσες και με τη σειρά τους καθορίζονται από εσωτερικούς υδροκρίτες.

Ο καθορισμός του υδροκρίτη είναι εξαιρετικής σπουδαιότητας, καθώς επηρεάζει όλες τις υδρολογικές παραμέτρους που χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση μίας υδρολογικής λεκάνης. Η χάραξη του υδροκρίτη και ο υπολογισμός του εμβαδού και της

περιμέτρου της υπό μελέτη υδρολογικής λεκάνης έγινε μετά από επεξεργασία του ψηφιακού μοντέλου εδάφους στο λογισμικό ArcGIS9.0 (ESRI).

Μέση κλίση λεκάνης απορροής

Η μέση κλίση της υδρολογικής λεκάνης s , υπολογίζεται από μια σχέση της μορφής:

$$S = \frac{h_{max} - h_{min}}{\sqrt{A}} \quad (1.5)$$

όπου i : η μέση κλίση της υδρολογικής λεκάνης, h_{max} : το μέγιστο υψόμετρο της λεκάνης (Km), h_{min} : το ελάχιστο υψόμετρο της λεκάνης (Km) και A : το εμβαδόν της λεκάνης (Km).

Μέγιστο - Ελάχιστο - Μέσο υψόμετρο λεκάνης απορροής

Σε μία υδρολογική λεκάνη, είναι χρήσιμο να είναι γνωστά το μέγιστο καθώς επίσης και το ελάχιστο υψόμετρο το οποίο εμφανίζεται εντός της έκτασής της. Το ελάχιστο υψόμετρο της, ταυτίζεται με το σημείο εξόδου του νερού από την υδρολογική λεκάνη. Το μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής δίνεται από τη σχέση:

$$Z_{mean} = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i \cdot Z_i)}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (1.6)$$

όπου Z_{mean} το μέσο υψόμετρο (m). Το εύρος των υψομέτρων που εμφανίζονται στην υδρολογική λεκάνη χωρίζεται σε κλάσεις υψομέτρων για τις οποίες Z_x : είναι το μέσο υψόμετρο της κάθε κλάσης υψομέτρων (m), A_j : η έκταση που περιέχεται μεταξύ των υψομέτρων της κλάσης i (Km) και n : ο αριθμός των κλάσεων.

Δείκτης κυκλικότητας λεκάνης

Το σχήμα της λεκάνης, επιδρά σημαντικά στη διαμόρφωση της απορροής (Mosley and McKerchar, 1993). Για το λόγο αυτό υπάρχουν διάφοροι δείκτες, οι οποίοι απεικονίζουν το σχήμα της υδρολογικής λεκάνης. Ένας τέτοιος μορφομετρικός δείκτης, είναι και ο δείκτης κυκλικότητας E_c , ο οποίος υπολογίζεται από τη σχέση:

$$E_c = A / (P^2/4\pi) \quad (1.7)$$

όπου A : η έκταση της λεκάνης απορροής εκφρασμένη (Km^2) και P : η περίμετρος της υδρολογικής λεκάνης (Km). Όσο περισσότερο πλησιάζει ο δείκτης κυκλικότητας προς την τιμή 1, τόσο περισσότερο το σχήμα της λεκάνης προσεγγίζει το κυκλικό σχηματισμό. (Παπαμιχαήλ, 2001).

Δείκτης επιμήκυνσης λεκάνης

Ένας άλλος μορφομετρικός δείκτης είναι ο δείκτης επιμήκυνσης E_L , που υπολογίζεται από τη σχέση:

$$E_L = \sqrt{A} / L \quad (1.8)$$

όπου A : το εμβαδόν της λεκάνης απορροής (Km^2) και L : το μήκος του μεγάλου άξονα της λεκάνης (Km). Όσο μικρότερες της μονάδος είναι οι τιμές που παίρνει ο δείκτης επιμήκυνσης τόσο πιο επιμήκης είναι η λεκάνη απορροής.

Δείκτης συμπαγούς

Ο δείκτης συμπαγούς υπολογίζεται από τη σχέση του Gravelius (Horton, 1932, Γιαννόπουλος, 2002).

$$C_s = 0,082 \cdot P / \sqrt{A} \quad (1.9)$$

όπου C_s : ο δείκτης συμπαγούς, P : η περίμετρος της λεκάνης απορροής (Km) και A : το εμβαδόν της λεκάνης απορροής (Km^2). Όσο περισσότερο η τιμή του δείκτη συμπαγούς πλησιάζει προς τη μονάδα, τόσο περισσότερο το σχήμα της λεκάνης τείνει προς κυκλικό.

Ενεργό πλάτος λεκάνης απορροής

Το ενεργό πλάτος της λεκάνης απορροής δίνεται από τη σχέση:

$$W = A / LB_{max} \quad (1.10)$$

όπου W : το ενεργό πλάτος της λεκάνης απορροής (Km), A : το εμβαδόν της λεκάνης απορροής σε (Km²) και LB_{max} : το μήκος του μεγάλου άξονα της λεκάνης.

Υψομετρική καμπύλη

Το ανάγλυφο της λεκάνης απορροής, χαρακτηρίζεται από την υψομετρική καμπύλη αυτής, η οποία δείχνει τη μεταβολή με το υψόμετρο των υποεπιφανειών της πάνω από κάποιο υψόμετρο. Η υψομετρική καμπύλη, είναι ένα διάγραμμα με τετμημένη το ποσοστό των επιφανειών ανά υψομετρική ζώνη και τεταγμένη το ποσοστό των υψομέτρων επίσης ανα υψομετρική ζώνη (Τσακίρης και Μπαλούτσος 1995, Γιαννόπουλος 2002).

Η μορφή της υψομετρικής καμπύλης αποκαλύπτει αρκετά ποιοτικά χαρακτηριστικά του ανάγλυφου της λεκάνης, σύμφωνα με τη γενική παρατήρηση ότι ισχυρές κλίσεις σε μία περιοχή της καμπύλης, υποδηλώνουν ισχυρές κλίσεις του αναγλύφου και αντίστροφα. Επιπλέον όλων των ανωτέρω με τη χρήση της υψομετρικής καμπύλης, μπορεί να γίνει ο υπολογισμός της μέσης τιμής του υψομέτρου. Η μέση τιμή του υψομέτρου, H_{median} παίρνεται από την υψομετρική καμπύλη ως το υψόμετρο εκείνο για το οποίο το ποσοστό 50% της έκτασης της λεκάνης βρίσκεται πάνω από αυτό.

Περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με τον υπολογισμό της, αναφέρονται σε επόμενο κεφάλαιο όπου και εξάγεται για την υπό μελέτη υδρολογική λεκάνη και η τιμή της μέσης τιμής του υψομέτρου.

Απόσταση εξόδου από την προβολή του κέντρου βάρους στο κύριο ρεύμα

Χαρακτηριστικό μέγεθος σε μία λεκάνη απορροής, είναι η διαδρομή ροής από το σημείο της προβολής του κέντρου βάρους της υδρολογικής λεκάνης στο κύριο ρεύμα μέχρι την έξοδο της λεκάνης. Ο υπολογισμός αυτού του μεγέθους, γίνεται στο

περιβάλλον εργασίας του ArcGIS όπου υπάρχουν και όλα τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής.

Συντελεστής αναγωγής μέσης βροχόπτωσης (λ)

Συντελεστής λ αναγωγής της μέσης βροχόπτωσης από το μέσο υψόμετρο των σταθμών στο μέσο της λεκάνης, υπολογίζεται ως :

$$\lambda = 1 + \frac{\beta}{\bar{P}} \times \Delta H \quad (1.11)$$

όπου β η βροχοβαθμίδα, \bar{P} η υπερετήσια μέση βροχόπτωση στο μέσο υψόμετρο των σταθμών και ΔH η διαφορά μέσου υψομέτρου λεκάνης και μέσου υψομέτρου των σταθμών.

Πιθανή μέγιστη κατακρήμνιση

Βάση της στατιστικής μεθόδου αποτελεί η γενική εξίσωση συχνότητας με τη μορφή:

$$X_m = \bar{X}_n + K_m S_n \quad (1.12)$$

όπου X_m είναι η εκτιμήτρια του μέγιστου ύψους βροχής δεδομένης διάρκειας, \bar{X}_n και S_n η μέση τιμή και τυπική απόκλιση αντιστοίχως της σειράς των ετησίως μεγίστων υψών, και K_m μια περιβάλλουσα τιμή του συντελεστή συχνότητας που εξαρτάται από τη διάρκεια και τη μέση τιμή του δείγματος.

Ανάπτυξη μαθηματικού μοντέλου Thornthwaite & Mather (1957)

Το μοντέλο που επιλέχθηκε για την εκτίμηση του υδατικού ισοζυγίου της περιοχής είναι των Thornthwaite & Mather (1957). Ο υπολογισμός των παραμέτρων που συνιστούν το μοντέλο έχει ως εξής:

Υδατικό ισοζύγιο

Το μοντέλο που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του ετήσιου υδατικού ισοζυγίου της περιοχής μελέτης, το οποίο επιλύεται ως προς την ετήσια πραγματική εξατμισοδιαπνοή είναι των Thornthwaite & Mather, (1957) και δίνεται αντίστοιχα από τις σχέσεις:

$$\Delta S = P - E - Q_A - D = P - E - Q \Leftrightarrow \quad (1.13)$$

$$E = P - \Delta S - Q$$

όπου ΔS : η μεταβολή του αποθηκευμένου νερού, P : η μέση ετήσια βροχόπτωση, E : η μέση ετήσια πραγματική εξατμισοδιαπνοή, Q_A : η μέση ετήσια επιφανειακή απορροή και D : η μέση ετήσια βαθειά διήθηση. Το άθροισμα της επιφανειακής απορροής και της βαθειάς διήθησης αποτελούν το μέσο ετήσιο πλεονάζων νερό Q από την υπό μελέτη περιοχή.

Η αντίστοιχη εξίσωση του μηνιαίου υδατικού ισοζυγίου σύμφωνα με τους Thornthwaite & Mather, (1957) έχει ως εξής:

$$\text{Av } P_n \geq E_{pn} \quad \rightarrow \quad S_n = \min (S_{n-1} - P_n - E_{pn}), \max (K) \text{ και}$$

$$Q_n = \max (S_{n-1} - P_n - E_{pn} - K), \min (0)$$

$$\text{Av } P_n \leq E_{pn} \quad \rightarrow \quad S_n = S_{n-1} \cdot \exp (P_n - E_{pn} / K) \text{ και } Q_n=0$$

$$E_n = (S_{n-1} - S_n) + P_n - Q_n = P_n - \Delta S_n - Q_n = P_n - \Delta S_n - Q_{An} - D_n$$

$$\Delta S_n = S_n - S_{n-1}, \quad Q_{An} = aQ_n \text{ ή } Q_{An} = a(Q_n + Q_{An-1}) \quad (1.14)$$

όπου για τον η μήνα, P_n : μέση μηνιαία βροχόπτωση (mm), E_{pn} : μέση μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή (mm), E_n : μέση μηνιαία πραγματική εξατμισοδιαπνοή (mm), S_n : αποθηκευμένο νερό στο έδαφος (mm), Q_n : πλεονάζων νερό (mm) Q_{An} : επιφανειακή απορροή όπως υπολογίζεται από το μοντέλο (mm), D_n : διηθούμενο νερό (mm) a : παράμετρος κατανομής πλεονάζοντος νερού (Baltas and Soutsas, 2004).

Οι δύο τελευταίες σχέσεις εκτίμησης της επιφανειακής απορροής δεν παρουσιάζουν διαφορές ως προς τον ετήσιο όγκο νερού αλλά διαφοροποιούνται ως προς τον μηνιαίο καθώς η δεύτερη μετριάζει τις απότομες μεταβολές και ευνοεί την δημιουργία εμφάνισης υστέρησης στο φαινόμενο της επιφανειακής απορροής (Ασchonίτης κ.α., 2006).

Μέθοδος των ροπών

$$y_T = m + K_T \cdot s_y \quad (1.15)$$

όπου y_T είναι η τιμή της λογαριθμικής τυχαίας μεταβλητής, m και s_y η δειγματική μέση τιμή και τυπική απόκλιση της λογαριθμικής μεταβλητής και K_T ο συντελεστής συχνότητας που εξαρτάται από την κατανομή και το επίπεδο πιθανότητας (ή την περίοδο επαναφοράς).

Απορροϊκός συντελεστής CN και μέγιστη εδαφική χωρητικότητα εδαφικής δεξαμενής K

Οι ιδιότητες που χαρακτηρίζουν την επιφάνεια μιας περιοχής περιγράφονται από τον απορροϊκό συντελεστή CN και τη μέγιστη χωρητικότητα της εδαφικής δεξαμενής K. Ο απορροϊκός συντελεστής αντιπροσωπεύει την συνδυασμένη επίδραση του εδάφους, από τους τρόπους χρήσης του και την προηγούμενη υγρασιακή κατάστασή του. Η μέγιστη χωρητικότητα εδαφικής δεξαμενής εκφράζει την μέγιστη ικανότητα συγκράτησης υγρασίας του εδάφους και δίνεται από την σχέση (Παπαμιχαήλ, 2001):

$$K = 25.4[(1000/GV)-10] \quad (1.16)$$

Η εκτίμηση του απορροϊκού συντελεστή εξαρτάται από τρεις κύριους παράγοντες, οι οποίοι είναι α) ο τύπος εδάφους, β) ο τρόπος διαχείρισης του και γ) η υγρασιακή κατάστασή του πριν την έναρξη της προσομοίωσης.

Όσον αφορά τον τύπο του εδάφους η SCS έχει αναπτύξει ένα σύστημα κατάταξης εδαφών που αποτελείται από τέσσερις εδαφικούς τύπους A, B, C και D (U.S.-S.C.S., 1972, 1984; Παπαμιχαήλ, 2001) ανάλογα με τα υδραυλικά τους χαρακτηριστικά (U.S.-S.C.S.,

1972, 1984; Ritchie, 1972). Τα χαρακτηριστικά των τεσσάρων αυτών τύπων έχουν ως εξής:

Τύπος Α: Εδάφη με μεγάλη τελική διηθητικότητα και διαπερατότητα (από Coarse sandy έως Loamy coarse sand). Η κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα τους κυμαίνεται από 0.76 έως 1.27 cm/hr.

Τύπος Β: Εδάφη με μέτρια τελική διηθητικότητα και διαπερατότητα (από Loamy sand έως Fine sandy loam). Η κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα τους κυμαίνεται από 0.38 έως 0.76 cm/hr.

Τύπος Γ: Εδάφη με μικρή τελική διηθητικότητα και διαπερατότητα. Τέτοια είναι τα εδάφη των πέντε επόμενων κλάσεων του Πίνακα 1.2 (από Very fine sandy loam έως Sandy clay loam). Η κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα τους κυμαίνεται από 0.13 έως 0.38 cm/hr.

Πίνακας (1.2): Απορροϊκοί συντελεστές CN (CNn) για διάφορους τύπους εδαφών και χρήσεις γης για προηγούμενη υγρασιακή κατάσταση τύπου II (AMC-II) (Knisel and Williams, 1995, Ασχονίτης, 2007).

Χρήση γης	Διαχείριση	Υδρολογικές συνθήκες	A	B	C	D	
Χέρσο έδαφος	SR		70 77 81	82 86 88	89 91 92	93 94 95	
	SR+CT	Δυσμενείς	68 75 80	81 84 86	87 89 90	91 92 93	
	SR+CT	Καλές	67 74 79	80 83 89	86 87 88	89 90 91	
Καλλιέργειες σε γραμμές	SR	Δυσμενείς	65 72 77	78 81 85	86 87 88	90 91 92	
	SR	Καλές	60 67 73	74 78 82	83 85 87	88 89 90	
	SR+CT	Δυσμενείς	66 71 75	76 79 83	84 86 87	88 89 90	
	SR+CT	Καλές	57 64 70	71 75 79	80 82 83	84 85 86	
	CNT	Δυσμενείς	64 70 75	76 79 81	82 84 86	87 88 89	
	CNT	Καλές	59 65 70	71 75 79	80 82 84	85 86 87	
	CNT+CT	Δυσμενείς	63 69 74	75 78 80	81 83 85	86 87 88	
	CNT+CT	Καλές	58 64 69	70 74 77	78 80 82	83 84 85	
	CNT+TER	Δυσμενείς	60 66 70	71 74 77	78 80 81	81 82 83	
	CNT+TER	Καλές	56 62 66	67 71 74	75 78 79	80 81 82	
	CNT+TER+C	Δυσμενείς	59 65 69	70 73 76	77 79 80	80 81 82	
	T						
	CNT+TER+C	Καλές	55 61 66	67 70 73	74 76 77	78 79 80	
	T						
Καλλιέργειες σπηρών	SR	Δυσμενείς	60 65 70	71 76 80	81 84 86	87 88 89	
	SR	Καλές	57 63 69	70 75 79	80 83 85	86 87 88	
	SR+CT	Δυσμενείς	58 64 69	70 75 78	79 82 84	85 86 87	
	SR+CT	Καλές	53 60 67	68 72 76	77 80 82	83 84 85	
	CNT	Δυσμενείς	57 63 68	69 74 78	79 82 83	84 85 86	
	CNT	Καλές	55 61 67	68 73 77	78 81 82	83 84 85	
	CNT+CT	Δυσμενείς	56 62 67	68 73 77	78 81 82	83 84 85	
	CNT+CT	Καλές	53 60 66	67 72 75	76 79 80	81 82 83	
	CNT+TER	Δυσμενείς	56 61 66	67 72 75	76 79 80	81 82 83	
	CNT+TER	Καλές	54 59 64	65 70 74	75 78 79	80 81 82	
	CNT+TER+C	Δυσμενείς	55 60 65	66 71 74	75 78 79	80 81 82	
	T						
	CNT+TER+C	Καλές	53 58 64	64 69 72	73 76 77	78 79 80	
	T						

Τύπος D: Εδάφη με πολύ μικρή τελική διηθητικότητα και διαπερατότητα. Η κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα τους κυμαίνεται από 0.013 έως 0.13 cm/hr.

Η χρήση της μηχανικής σύστασης για τον καθορισμό των παραπάνω τύπων εδάφους είναι σχετική επειδή αφορά ομοιόμορφα προφίλ εδάφους. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν δεν υπάρχουν πληροφορίες για την υπόγεια στάθμη και για αδιαπέραστα υποστρώματα ενώ αν υπάρχουν, αλλάζει τελείως ο καθορισμός του τύπου εδάφους. Για παράδειγμα ένα αμμώδες έδαφος, το οποίο λογικά θα ανήκε στον τύπο A, αν έχει υψηλή υπόγεια στάθμη ή κάποιο αδιαπέραστο υπόστρωμα (hardpan) σε μικρό βάθος, κατατάσσεται σε άλλο τύπο εδάφους π.χ. C (Ασchonίτης, 2007).

Όσον αφορά τον τρόπο διαχείρισης ή τις γεωργικές πρακτικές που ακολουθούνται στις καλλιέργειες, αυτές διακρίνονται σε γραμμικές κατά τις ισοϋψείς και σε αναβαθμούς. Οι υδρολογικές συνθήκες σχετίζονται με το αν η βλάστηση είναι πυκνή και σε καλή κατάσταση και αν το έδαφος είναι πλούσιο σε οργανική ουσία και έχει μια καλή δομή προκαλώντας έτσι μεγάλη διήθηση και μικρή απορροή και διακρίνονται σε κακές, δυσμενείς, μέτριες και καλές συνθήκες. Στον Πίνακα 1.2 δίνονται οι απορροϊκοί συντελεστές ανάλογα με τις χρήσεις γης και τις υδρολογικές συνθήκες για τους τέσσερις τύπους εδάφους (Ασchonίτης, 2007).

Όσον αφορά την προηγούμενη υγρασιακή κατάσταση του εδάφους (Antecedent soil Moisture Condition-AMC), επιδρά σημαντικά τόσο στον όγκο, όσο και στο ρυθμό της απορροής. Αναγνωρίζοντας τη σπουδαιότητα του παράγοντα αυτού, η SCS ανέπτυξε τρεις τύπους προηγούμενης υγρασιακής κατάστασης, οι οποίοι ορίζονται ως I, II και III. Η εδαφική κατάσταση για κάθε τύπο είναι:

Κατάσταση I: Τα εδάφη είναι ξηρά, αλλά η υγρασία τους δε βρίσκεται στο σημείο μόνιμης μάρανσης. Οι καλλιεργητικές εργασίες γίνονται με αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Κατάσταση II: Μέση υγρασιακή κατάσταση.

Κατάσταση III: Μεγάλη βροχόπτωση ή χαμηλή βροχόπτωση και χαμηλές θερμοκρασίες έχουν εμφανισθεί το τελευταίο πενταήμερο. Υγρό έδαφος.

Οι τιμές που παίρνονται από τον Πίνακα 1.2 αναφέρονται σε εδάφη με προηγούμενη υγραντική κατάσταση τύπου II. Αν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί ο τύπος I ή ο τύπος II,

τότε η τιμή του CN πρέπει να προσαρμοσθεί σε αυτούς τους τύπους προηγούμενης υγρασιακής κατάστασης χρησιμοποιώντας τον Πίνακα 1.2. Έτσι ο Sobhani (1976) δίνει τις παρακάτω σχέσεις:

$$CN_{III} = CN_{II} / 0,4036 + 0,0059CN_{II} \quad (1.17)$$

$$CN_I = CN_{II} / 2,334 - 0,01334CN_{II} \quad (1.18)$$

Δυνητική εξατμισοδιαπνοή

Λόγω της ύπαρξης μόνο των δεδομένων της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης, η μέθοδος υπολογισμού της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής που επιλέχθηκε, είναι αυτή του Thornthwaite, (1948) και δίνεται από την εξίσωση:

$$E_p = 16(10t_i/J)^a \mu N/360 \quad (1.19)$$

$$J = \sum_{i=1}^{12} j_i, \quad j_i = 0,09t_i^{3/2} \quad a = 0.016J + 0.5 \quad (1.20)$$

όπου E_p : μέση μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή (mm), t_i : μέση μηνιαία θερμοκρασία ($^{\circ}C$), μ : αριθμός ημερών του μήνα, N : μέση αστρονομική διάρκεια ημέρας του μήνα (hr), J : ετήσιος δείκτης θερμοκρασίας, J_i : μηνιαίος δείκτης θερμοκρασίας και a : εμπειρική παράμετρος.

Πραγματική εξατμισοδιαπνοή

Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή εκτιμήθηκε με τις μεθόδους του Turk (1961), του Coutagne και την 1η του Ol'Dekor (Μπαλτάς, 2004), από τις οποίες επιλέχθηκε αυτή που δίνει μέσες τιμές για τη ρύθμιση του μοντέλου υδατικού ισοζυγίου.

Η εξίσωση της ετήσιας πραγματικής εξατμισοδιαπνοής σύμφωνα με την μέθοδο του Turk, είναι η εξής:

$$\text{Αν } P/L_t > 0.316 \rightarrow E = P / \sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L_t^2}}$$

$$\text{Αν } P/L_t \leq 0.316 \rightarrow E = P$$

$$\text{για } L_T = 300 + 25T + 0.05T^2 \quad (3.20)$$

όπου E : η ετήσια πραγματική εξατμισοδιαπνοή (mm/έτος),

P : το μέσο ετήσιο ύψος βροχής (mm),

T : η μέση ετήσια θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$) και L_T : ο θερμικός συντελεστής.

Η εξίσωση της ετήσιας πραγματικής εξατμισοδιαπνοής σύμφωνα με την μέθοδο του Coutagne είναι η εξής:

$$\text{Αν } \ell/8 \leq P \leq \ell/2 \rightarrow E = P(1 - P/\ell)$$

$$\text{Αν } P < \ell/8 \rightarrow E = P$$

$$\text{Αν } P > \ell/2 \rightarrow E = 200 + 35T$$

$$\text{Για } \ell = 800 + 140T \quad (1.21)$$

όπου E : η ετήσια πραγματική εξατμισοδιαπνοή (mm/έτος), P : το μέσο ετήσιο ύψος βροχής (mm), T : η μέση ετήσια θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$) και I : συνάρτηση θερμοκρασίας.

Η εξίσωση της ετήσιας πραγματικής εξατμισοδιαπνοής σύμφωνα με την 1η μέθοδο του Ol'Dekor είναι η εξής:

$$E = P[1 - \exp(-PE/P)] \quad (1.22)$$

όπου E : η ετήσια πραγματική εξατμισοδιαπνοή (mm/έτος), P : το μέσο ετήσιο ύψος βροχής (mm) και PE : η ετήσια δυνητική εξατμισοδιαπνοή (mm/έτος)

1.8.2 Επιφανειακή ολοκλήρωση σημειακών μετρήσεων

Κατηγορίες μεθόδων: (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1997)

- Άμεσης ολοκλήρωσης
 - Αριθμητικός μέσος
 - Πολύγωνα Thiessen
 - Δύο άξονες (Bethlahmy's)
 - Υψομετρική μέθοδος

- Προσαρμογή επιφανειών (ισοπληθείς καμπύλες)
- Προσαρμογή επιφανειών (ψηφιδωτή διαμέριση)
 - Βέλτιστης παρεμβολής (kriging)
 - Ελάχιστων τετραγώνων με πολυώνυμα
 - Πολυωνύμων Langrange
 - Παρεμβολής spline
 - Πολυτετραγωνικής παρεμβολής
 - Σταθμισμένων αντίστροφων αποστάσεων (Σ.Α.Α.)

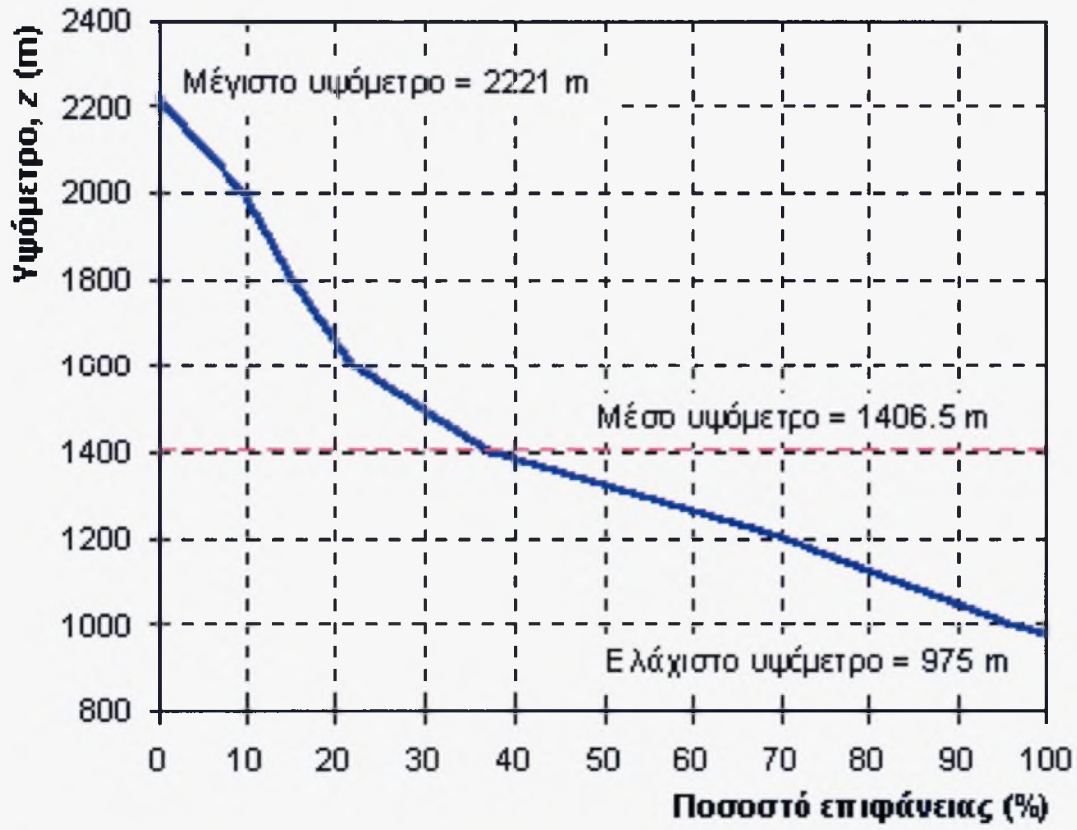
Μέθοδοι άμεσης ολοκλήρωσης

Υψομετρική μέθοδος

Η υψομετρική μέθοδος, εκτιμά το επιφανειακό ύψος συνδυάζοντας άμεσα την ορογραφική σχέση και την υψομετρική καμπύλη, δηλαδή την καμπύλη που σε κάθε δεδομένη τιμή του τοπογραφικού υψομέτρου z αντιστοιχίζει το ποσοστό της επιφάνειας της λεκάνης $F(z)$ που έχει υψόμετρο μεγαλύτερο ή ίσο της δεδομένης τιμής. Η εκτίμηση γίνεται με βάση τη σχέση (N. Μαμάσης, 2006):

$$\int_0^1 h(z) dF(z) \approx \sum_r \frac{h(z_r) + h(z_{r+1})}{2} \Delta F_r \quad (1.23)$$

$h(z)$ η ορογραφική σχέση, ενώ υποτίθεται ότι το πεδίο μεταβολής του F έχει υποδιαιρεθεί σε υποδιαστήματα μήκους ΔF_r (όχι κατ' ανάγκην ίσα, αλλά με άθροισμα ίσο με 1) και οι τιμές του z που αντιστοιχούν στα άκρα του υποδιαστήματος ΔF_r είναι z_r , και z_{r+1} .



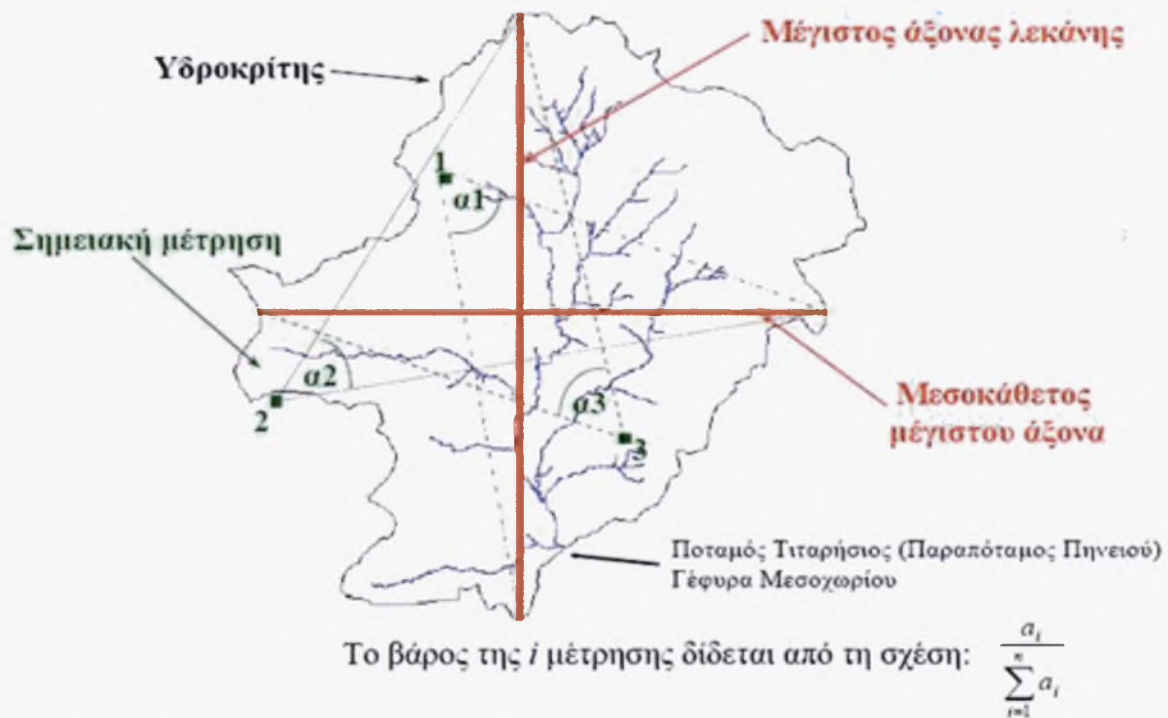
Σχήμα 1.2: Γραφική απεικόνιση υψομετρικής καμπύλης (www.itia.gr)

Πολύγωνα Thiessen (1911)



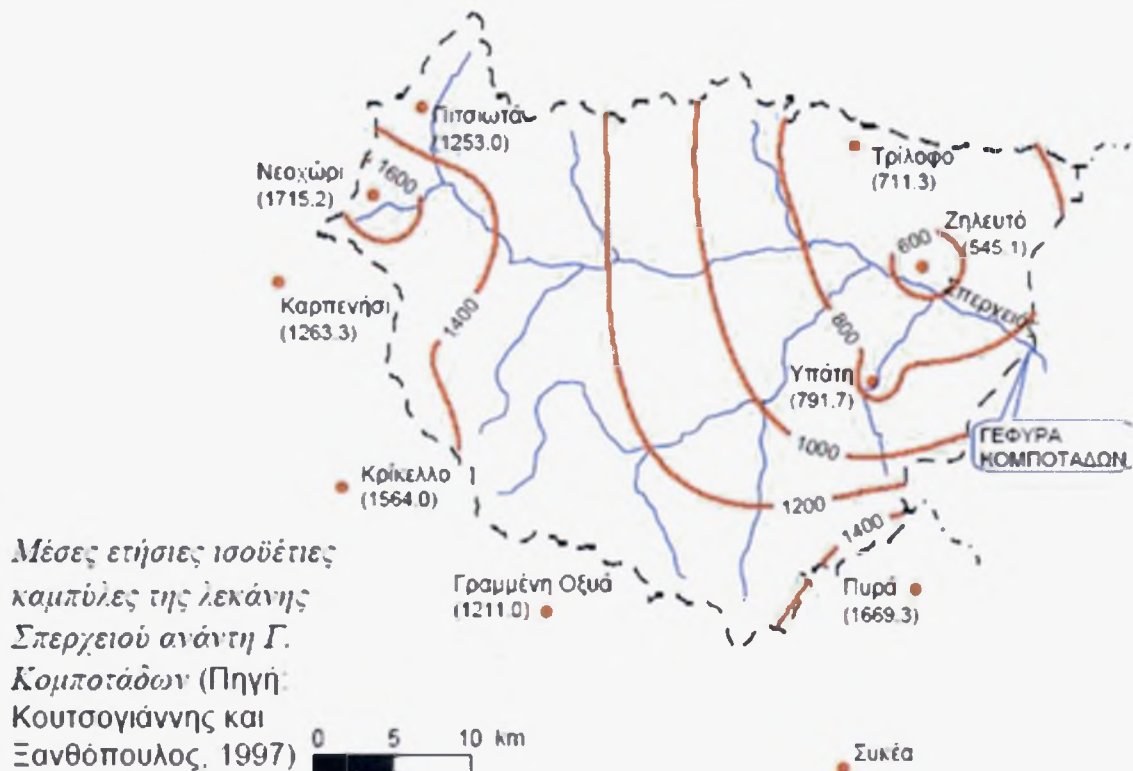
Σχήμα 1.3: Σχηματική απεικόνιση πολύγωνων Thiessen (Κουτσογιάννης & Ξανθόπουλος)

Μέθοδος δύο αξόνων Bethlahmys



Σχήμα 1.4: Σχηματική απεικόνιση της μεθόδου αξόνων Bethlahmys

Ισοπληθείς καμπύλες



Σχήμα 1.5: Σχηματική απεικόνιση ισοπληθών καμπύλων

Ψηφιδωτή διαμέτρηση

Παράμετροι μεθόδων

- **Διάσταση καννάβου επιφάνειας.** Η διάσταση συνήθως λαμβάνεται από 1/2 έως 1/10 της μέσης απόστασης μεταξύ των σημείων μέτρησης (N. Μαμάσης, 2006).
- **Προσδιορισμός σημείων επιρροής κάθε ψηφίδας.** Η επιλογή των σημείων που θα συμμετάσχουν στον υπολογισμό κάθε ψηφίδας γίνεται με δύο μεθόδους: **(α)** στον υπολογισμό της τιμής συμμετέχουν τα σημεία που βρίσκονται μέσα σε μια προκαθορισμένη και σταθερή ακτίνα και **(β)** ορίζεται ένας σταθερός αριθμός των πλησιέστερων σημείων που θα συμμετάσχουν στον υπολογισμό της τιμής (N. Μαμάσης, 2006).
- **Οπτική απεικόνιση επιφανειών.** Πραγματοποιείται με την αντιστοίχιση μιας χρωματικής κλίμακας, σε προσδιορισμένες κατηγορίες του πεδίου τιμών της μεταβλητής. Στη συνέχεια γίνεται η παραγωγή ενός χάρτη γεωγραφικής κατανομής της μεταβλητής, όπου η κάθε ψηφίδα έχει το χρώμα που αντιστοιχεί στη τιμή του. Οι χρωματικές κλίμακες που χρησιμοποιούνται διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες (N. Μαμάσης, 2006):

(α) σε αυτές που περιλαμβάνουν διαφορετικές αποχρώσεις του ίδιου χρώματος ενώ συνήθως η απόχρωση σκουραίνει όσο οι τιμές της μεταβλητής μεγαλώνουν και **(β)** σε αυτές που περιλαμβάνουν διαφορετικά χρώματα ενώ σε περιπτώσεις που χρειάζεται μεγάλη ποικιλία χρωμάτων, απεικονίζονται δύο έως έξι συνεχόμενες κατηγορίες του πεδίου τιμών της με αποχρώσεις του ίδιου χρώματος (N. Μαμάσης, 2006).

Πλεονεκτήματα

- Άμεση δημιουργία της επιφάνειας της μεταβλητής για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο, ανεξάρτητα από την έλλειψη ορισμένων σημειακών μετρήσεων (βέβαια οι ελλείψεις αυτές προκαλούν μείωση της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων)

- Καλύτερη αντίληψη της γεωγραφικής κατανομής της μεταβλητής, με τη βοήθεια της χρωματικής απεικόνισης και δυνατότητα άμεσου εντοπισμού περιοχών με ιδιαίτερο κλιματικό καθεστώς (υγρό, θερμό, κ.λ.π.)
- Δυνατότητα στατιστικής επεξεργασίας πολλών τέτοιων κανάβων που αφορούν στην ίδια μεταβλητή και χρονικό βήμα Δυνατότητα χειρισμού τέτοιων επιφανειών σε συνδυασμό με άλλες επιφάνειες της ίδιας διακριτότητας που αφορούν μορφολογικά, εδαφολογικά ή γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής με σκοπό τη δημιουργία μοναδιαίων υδρογραφημάτων ή μοντέλων βροχής-απορροής σε υδρολογικές λεκάνες (N. Μαμάσης, 2006).

Προσδιοριστικές μέθοδοι

Οι προσδιοριστικές μέθοδοι προσαρμόζουν έναν τύπο επιφάνειας σε ένα σύνολο μετρημένων τιμών της μεταβλητής σε συγκεκριμένες γεωγραφικές συντεταγμένες. Διάφορες μαθηματικές συναρτήσεις χρησιμοποιούνται για να προσαρμόσουν την επιφάνεια στα μετρημένα σημεία και όταν γίνει αυτό είναι δυνατός ο υπολογισμός της μεταβλητής σε οποιοδήποτε σημείο του χώρου.

Εάν τα σημειακά δεδομένα θεωρούνται ως ακριβείς τιμές της μεταβλητής τότε επιλέγεται ένα σχήμα ακριβούς παρεμβολής, (η επιφάνεια διατηρεί τις μετρημένες σημειακές τιμές), ενώ αν τα δεδομένα περιέχουν ένα σημαντικό σφάλμα μέτρησης επιλέγεται ένα σχήμα εξομάλυνσης (N. Μαμάσης, 2006).

Μέθοδοι εξομάλυνσης: πολυωνυμική, υψομετρική και των ελαχίστων τετραγώνων.

Μέθοδοι παρεμβολής: spline, πολυτετραγωνική και σταθμισμένων αντίστροφων αποστάσεων (ΣΑΑ) (N. Μαμάσης, 2006).

Άλλες μεθοδολογίες

Πολυτετραγωνικής παρεμβολής. Η τιμή της μεταβλητής στο τυχόν σημείο της επιφάνειας υπολογίζεται με βάση τις αποστάσεις του σημείου από τους γειτονικούς σταθμούς. Ειδικότερα, η εξίσωση της επιφάνειας της μεταβλητής προκύπτει ως άθροισμα

των επιρροών των γειτονικών σταθμών, όπου κάθε επιρροή περιγράφεται μαθηματικά από μια ορθή κωνική επιφάνεια με κατακόρυφο άξονα τοποθετημένο στη θέση καθενός σταθμού (N. Μαμάσης, 2006).

Ελάχιστων τετραγώνων με πολυώνυμα. Η μέθοδος στηρίζεται στην επιλογή ενός πολυωνύμου δεδομένου βαθμού, το οποίο εκφράζει τη μεταβλητή συναρτήσει των τοπογραφικών συντεταγμένων x και y των σημείων της περιοχής. Η εκτίμηση των συντελεστών του πολυωνύμου γίνεται σε τρόπο ώστε να ελαχιστοποιείται το σφάλμα προσαρμογής στα μετρημένα σημεία γνωστού ύψους βροχής (πρόκειται για μέθοδο εξομάλυνσης) (N. Μαμάσης, 2006).

Πολυωνύμων Lagrange. Είναι παραπλήσια με την προηγούμενη, αλλά ο αριθμός των πολυωνυμικών όρων είναι ίσος με τον αριθμό των σημειακών μετρήσεων, οπότε η πολυωνυμική έκφραση διέρχεται ακριβώς από τα σημεία μέτρησης (πρόκειται για μέθοδο ακριβούς παρεμβολής). Κύριο μειονέκτημα ο μεγάλος βαθμός του πολυωνύμου, που μπορεί να προκαλεί αδικαιολόγητα υψηλές διακυμάνσεις της επιφάνειας από θέση σε θέση (N. Μαμάσης, 2006).

Προσαρμογής splines. Προσαρμόζονται τοπικές πολυωνυμικές εκφράσεις παρεμβολής μικρού βαθμού, αποφεύγοντας έτσι το πρόβλημα των πολύ υψηλών διακυμάνσεων της επιφάνειας (N. Μαμάσης, 2006).

1.8.3 Στατιστικές προσεγγίσεις

Γεωστατιστική

Οι στατιστικές προσεγγίσεις θεωρούν ότι η μετρημένη τιμή σε ένα συγκεκριμένο σημείο του χώρου για μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή είναι η πραγματοποίηση μιας τυχαίας μεταβλητής η οποία περιγράφεται από κάποια συνάρτηση κατανομής. Έτσι το σύνολο των μετρημένων τιμών της μεταβλητής σε N σημεία του χώρου είναι μια

πραγματοποίηση μιας πολυδιάστατης τυχαίας μεταβλητής με δεδομένη από κοινού συνάρτηση κατανομής N διαστάσεων.

Με τον όρο γεωστατιστική ορίζεται ένα σύνολο στατιστικών τεχνικών που σχετίζονται με μεταβλητές που μεταβάλλονται στο χώρο. Οι τεχνικές αυτές βασίζονται στην υπόθεση ότι η χωρική διακύμανση της μεταβλητής είναι τυχαία, οπότε χρησιμοποιούν στατιστικές μεθοδολογίες για οποιαδήποτε εκτίμηση απορρέει από τις σημειακές μετρήσεις της μεταβλητής. Σημαντικό πλεονέκτημα των γεωστατιστικών μεθόδων είναι το γεγονός ότι ποσοτικοποιούν και τελικά ελαχιστοποιούν το σφάλμα εκτίμησης. Ωστόσο, οι μέθοδοι είναι αρκετά πολύπλοκες στην εφαρμογή τους, η οποία προϋποθέτει τη χρήση κατάλληλων υπολογιστικών προγραμμάτων.

Η γεωστατιστική ανάλυση περιλαμβάνει δύο κύριες φάσεις:

(α) την χωρική ανάλυση που περιλαμβάνει την επιλογή και προσαρμογή ενός μοντέλου που περιγράφει την χωρική μεταβλητότητα των σημειακών μετρήσεων, και

(β) την βέλτιστη γραμμική αμερόληπτη εκτίμηση (best linear unbiased estimation-BLUE) που σχετίζεται με τον υπολογισμό των εκτιμητριών των αγνώστων ως γραμμικών συναρτήσεων των μετρήσεων. Οι εκτιμήτριες είναι αμερόληπτες, έχουν την ελάχιστη μεταβλητότητα, ενώ για τον υπολογισμό τους χρησιμοποιείται η μοντελοποίηση της χωρικής μεταβλητότητας. (Μαμάσης, 2007)

2 ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΑΛΛΑΓΕΣ

2.1 Γενικά

Το παγκόσμιο κλίμα είναι αποτέλεσμα της πολύπλοκης αλληλεπίδρασης εκατοντάδων μεταβλητών που χαρακτηρίζουν από τη μια την κύρια πηγή ενέργειας (την ηλιακή ακτινοβολία) και από την άλλη ένα μεγάλο αριθμό γήινων χαρακτηριστικών και φαινομένων που το διαμορφώνουν (σύσταση της ατμόσφαιρας, άνεμοι και θαλάσσια ρεύματα, τοπογραφία, νέφη και υετός, ηφαιστειακές εκρήξεις, κτλ). Οποιαδήποτε επέμβαση του ανθρώπου στους παράγοντες που διαμορφώνουν το κλίμα μπορεί να οδηγήσει σε αλλαγή του (B. Αμοιρίδης et al., 2000).

Με τον όρο κλιματική αλλαγή αναφερόμαστε στη μεταβολή του παγκόσμιου κλίματος και ειδικότερα σε μεταβολές των μετεωρολογικών συνθηκών που εκτείνονται σε μεγάλη χρονική κλίμακα. Τέτοιου τύπου μεταβολές περιλαμβάνουν στατιστικά σημαντικές διακυμάνσεις ως προς τη μέση κατάσταση του κλίματος ή τη μεταβλητότητά του, που εκτείνονται σε βάθος χρόνου δεκαετιών ή περισσότερων ακόμα ετών (Μπρουζούκης, 2012).

2.2 Παράγοντες κλιματικής αλλαγής

Οι παράγοντες που οδηγούν στην αλλαγή του κλίματος είναι πολλοί και όχι πάντοτε πλήρως κατανοητοί. Μπορούμε να τους κατατάξουμε σε δυο κατηγορίες:

A. Αλλαγές που οφείλονται στο σύστημα ατμόσφαιρα- υδρόσφαιρα γεώσφαιρα- βιόσφαιρα ή αλλαγές που οφείλονται σε **πλανητικά δεδομένα** (π.χ. μεταβολή στη μέση απόσταση ηλίου- γης και άλλες αλλαγές στην τροχιά της γης). Βασικό χαρακτηριστικό των φυσικών κλιματικών αλλαγών είναι ότι παρουσιάζουν γενικά μακροχρόνιες διακυμάνσεις.

B. Αλλαγές που γίνονται από τον **άνθρωπο**, οι οποίες συνδέονται κυρίως με την καταστροφή της στιβάδας του όζοντος και την ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Η διαφορά των αλλαγών που γίνονται από τον άνθρωπο από τις αλλαγές

της φύσης είναι ότι οδηγούν σε μονότονη αλλά ραγδαία αποσταθεροποίηση. Η ανθρώπινη παρέμβαση στη σύσταση της ατμόσφαιρας είναι θεαματική. Μέσα σε 30 χρόνια ο άνθρωπος κατέστρεψε τόσο όζον όσο έκανε η φύση να παραγάγει σε 2 δισεκατομμύρια χρόνια. Μέσα στα ίδια 30 χρόνια ο άνθρωπος αύξησε περίπου κατά 30% τα αέρια του θερμοκηπίου δημιουργώντας σωρεία προβλημάτων, όπως όξινη βροχή και τροποποίηση του μικροκλίματος των μεγαλουπόλεων, προβλήματα τα οποία η φύση δεν δημιουργεί (Fifor, 1992).

Γ. Μια άλλη άποψη, αναφέρει τον ήλιο ως ίσως τον πιο σημαντικό παράγοντα για την αύξηση της θερμοκρασίας της Γης. Οι αυξανόμενες μεταβολές στις εκπομπές του CO₂ απ' τον ήλιο αλλά και οι ασταθείς εκπομπές ηλιακής ακτινοβολίας προς την γη, συντελούν στην άμεση και έμμεση αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της γης. Χαρακτηριστικοί δείκτες των αλλαγών που πραγματοποιούνται στον Ήλιο είναι οι ηλιακές κηλίδες, οι μεταβολές διαφόρων σωματιδίων (πρωτόνια, ηλεκτρόνια), αλλά και η μεταβολή της ροής της κοσμικής ακτινοβολίας.

2.2.1 Η τροχιά της Γης

Γεωλογικές ενδείξεις τεκμηριώνουν την άποψη ότι υπάρχει μια περιοδική μεταβολή μεταξύ ξηρών -υγρών περιόδων, όπως και μεταξύ θερμών και κρύων περιόδων (κύκλοι) σε διάφορες περιοχές της γης. Σήμερα γίνεται δεκτό ότι οι κύκλοι αυτοί διαρκούν 400.000 έτη, 100.000 έτη και 10.000 έτη.

Οι ειδικοί έχουν δώσει μια απάντηση στο ερώτημα γιατί οι παγετώδεις περίοδοι επανέρχονται. Η περιοδικότητα αυτή αποδίδεται στις μεταβολές στα πρότυπα της κίνησης της γης που διαρκούν δεκάδες χιλιάδες χρόνια. Σύμφωνα με τη θεωρία του Milankowitch τα αίτια είναι αστρονομικά και συνδέονται με:

1. Την εκκεντρικότητα της τροχιάς της γης. Σε μια περίοδο 96000 ετών η τροχιά της γης γύρο από τον ήλιο αλλάζει, από σχεδόν κυκλική σε περισσότερο ελλειπτική.

2. Την κλίση του άξονα περιστροφής της γης. Η κλίση του άξονα της περιστροφής της γης σε σχέση με το τροχιακό επίπεδο μεταβάλλεται από $21,5^\circ$ σε $24,5^\circ$ κάθε 41000 χρόνια.

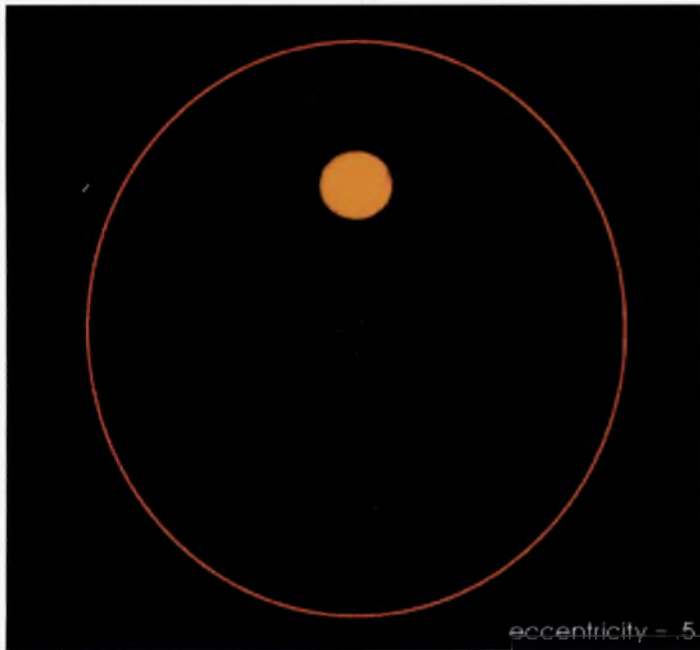
3. Την ταλάντωση/μετάπτωση του άξονα περιστροφής της γης. Ο άξονας περιστροφής της γης ταλαντώνεται ή περιστρέφεται όπως ακριβώς ταλαντώνεται ο άξονας μιας περιστρεφόμενης σβούρας. Αυτές οι μεταβολές στη κίνηση της γης μεταβάλλουν την ποσότητα του ηλιακού φωτός που πέφτει στο Β ημισφαίριο κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Η μεταβολή αυτή είναι ιδιαίτερα έντονη στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη, δηλαδή σε μια περιοχή που είναι περισσότερο ευαίσθητη στον καλοκαιρινό ήλιο και στην αύξηση της θερμοκρασίας (Αλιφραγκής, 2012).

2.2.1.1 Μεταβολές στην εκκεντρότητα

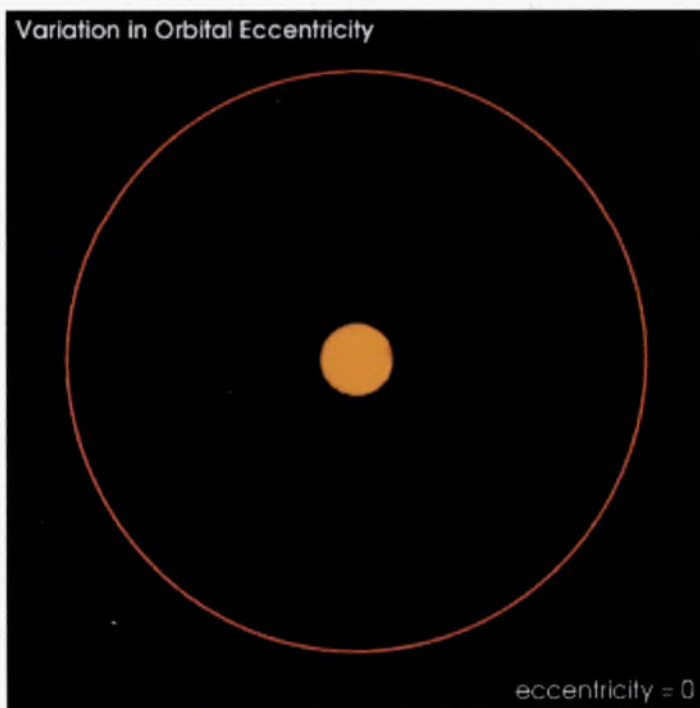
Η εκκεντρότητα είναι η αλλαγή στη μορφή της γήινης τροχιάς γύρω από τον ήλιο. Η μορφή της τροχιάς της Γης παρουσιάζει μια περιοδικότητα ανάμεσα σε μια ελλειπτική τροχιά υψηλής εκκεντρότητας μέχρι μιας σχεδόν κυκλικής (χαμηλή εκκεντρότητα). Η περίοδος της μεταβολής του σχήματος είναι μεταξύ 90.000 και 100.000 ετών. Όταν η τροχιά είναι ιδιαίτερα ελλειπτική, το ποσό της ηλιακής ενέργειας ανά μονάδα επιφανείας που λαμβάνεται στο περιήλιο είναι 20 έως 30% μεγαλύτερη από ό,τι στο αφήλιο, με συνέπεια να υπάρχει ένα ουσιαστικά διαφορετικό κλίμα από αυτό που έχουμε σήμερα (Gribbin, 1992).

Αυτήν την περίοδο, η τροχιά του πλανήτη μας είναι σχεδόν ένας τέλειος κύκλος. Υπάρχει μόνο μια διαφορά 3% (5 εκατομμύρια χιλιόμετρα) στην απόσταση μεταξύ της εποχής που είμαστε πιο κοντά στον ήλιο (περιήλιο) και την εποχή που είμαστε πιο μακριά από τον ήλιο (αφήλιο). Όταν η τροχιά γύρω από τον ήλιο είναι πιο ελλειπτική, υπάρχει μια διαφορά 30% στην απόσταση μεταξύ της Γης και του ήλιου στο περιήλιο και το αφήλιο. Αν και η σημερινή διαφορά των 4,8 εκατομμυρίων km στην απόσταση αυτή δεν αλλάζει πολύ την ποσότητα της ηλιακής ενέργειας που λαμβάνουμε, την εποχή που η διαφορά μεταξύ αφηλίου και περιηλίου είναι 30%, στην πράξη θα τροποποιούσε το ποσό της

ηλιακής ενέργειας που θα έπεφτε στη Γη και θα έκανε έτσι πιο ζεστή την εποχή που η Γη θα βρισκόταν πιο κοντά στον Ήλιο (Gribbin, 1992).

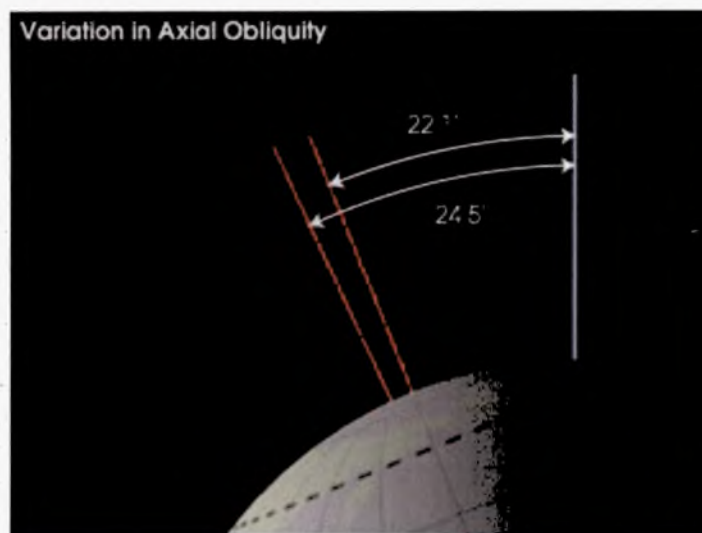


Εικόνα 2.1: Ελλειπτική τροχιά της Γης με τον Ήλιο στη μια κύρια εστία της τροχιάς. Η εικόνα έχει ληφθεί από το διαδικτυακό ιστότοπο: www.physics4u.gr



Εικόνα 2.2: Κυκλική τροχιά της Γης με τον Ήλιο στο κέντρο της τροχιάς (www.physics4u.gr).

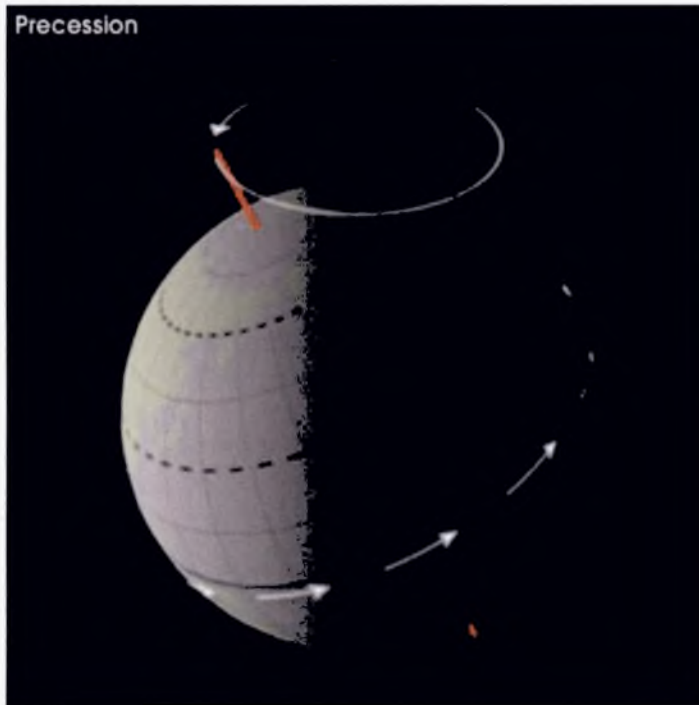
2.2.1.2 Αλλαγές στην κλίση του άξονα περιστροφής της Γης.



Εικόνα 2.3: Αλλαγές στην κλίση του άξονα περιστροφής της Γης (www.physics4u.gr)

Με μια περίοδο 41.000 ετών, η Γη ταλαντεύεται καθώς αλλάζει και η γωνία του άξονα της με το επίπεδο της εκλειπτικής (αιωνία μεταβολή της λοξότητας της εκλειπτικής), μεταβάλλεται δε μεταξύ $22,1^\circ$ και $24,5^\circ$. Η μείωση της γωνίας από την τρέχουσα τιμή των $23,45^\circ$ σημαίνει λιγότερες εποχιακές διαφορές μεταξύ των βόρειων και νότιων ημισφαιρίων, ενώ μια μεγαλύτερη γωνία σημαίνει μεγαλύτερες εποχιακές διαφορές (δηλ. ένα θερμότερο καλοκαίρι και ένα πιο δροσερό χειμώνα). Καθώς δηλαδή η κλίση του άξονα αυξάνεται οι χειμώνες είναι πιο ψυχροί και τα καλοκαίρια είναι θερμότερα και στα δύο ημισφαίρια (Gribbin, 1992).

2.2.1.3 Μετάπτωση ισημεριών ή μεταβολές στην κατεύθυνση του άξονα περιστροφής της Γης.



Εικόνα 2.4: Μετάπτωση των ισημεριών (www.physics4u.gr.)

Οι μεταβολές στην κατεύθυνση του άξονα της Γης αλλάζουν τις ημερομηνίες του περιηλίου και του αψηλίου, και επομένως αυξάνουν την εποχιακή αντίθεση στο ένα ημισφαίριο και μειώνουν την εποχιακή αντίθεση στο άλλο ημισφαίριο. Προκαλείται από τις βαρυτικές ροπές που ασκούνται από το φεγγάρι και τον ήλιο στην περιστροφή της ελαφρώς πεπλατυσμένης Γης. Σε 12.000 χρόνια από τώρα το βόρειο ημισφαίριο θα έχει καλοκαίρι το Δεκέμβριο και χειμώνα τον Ιούνιο, επειδή ο άξονας της Γης θα δείχνει στο αστέρι Βέγα αντί του Βόρειου Πολικού Αστήρα. (Τζέμος, 2005)

2.2.2 Ο ήλιος και η κλιματική αλλαγή.

Σύμφωνα με έρευνες των τελευταίων χρόνων οι επιστήμονες φαίνεται να πιστεύουν βάση αποτελεσμάτων ότι το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου δεν είναι το μόνο που συντελεί στην κλιματική αλλαγή αλλά και κάποιοι άλλοι παράγοντες κάποιους από τους οποίους δεν είναι δυνατόν να ελέγξει ο άνθρωπος. Υπάρχει μια άποψη (Gribbin, 1992) που τον τελευταίο καιρό αναπτύσσεται αρκετά, που υποστηρίζει ότι ο ήλιος είναι ένας

σημαντικός παράγοντας στην αλλαγή του κλίματος. Ίσως και μεγαλύτερος απ' όσο οι ανθρώπινες δραστηριότητες, λόγω των αερίων που ελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα και της παγίδευσης της θερμότητας μέσα σε αυτά. Αυτό συμβαίνει γιατί έχει παρατηρηθεί ότι ορισμένες διαδικασίες πάνω στον ήλιο, θα μπορούσαν να έχουν επίδραση στην θερμοκρασία της Γης, όπως και οι αυξανόμενες εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂). Η ακτινοβολία που εκπέμπεται από τον Ήλιο δεν είναι σταθερή, μεταβάλλεται συνεχώς σε όλα τα μήκη κύματος και σε όλες τις χρονικές κλίμακες (από μερικά δευτερόλεπτα έως αιώνες). Οι μεταβολές αυτές εμφανίζουν μια περιοδικότητα με ελάχιστα και μέγιστα να εναλλάσσονται κυκλικά ανά περίπου 11, 22, 80, 200, αλλά και περισσότερα χρόνια (Gribbin, 1992).

2.2.2.1 Ηλιακές κηλίδες

Μια τέτοια περιοδική συμπεριφορά παρουσιάζει και η εμφάνιση διαφόρων σχηματισμών πάνω στην επιφάνεια του Ηλίου. Οι πιο γνωστοί σχηματισμοί, που χρησιμοποιούνται ως δείκτες της ηλιακής δραστηριότητας, είναι οι ηλιακές κηλίδες, κυρίως γιατί ο αριθμός τους άρχισε να καταμετρείται, και άρα να μας είναι γνωστός, από τον 16^ο αιώνα με την εμφάνιση του τηλεσκοπίου. Ως δείκτες της ηλιακής δραστηριότητας χρησιμοποιούνται επίσης οι μεταβολές διαφόρων σωματιδίων (πρωτόνια, ηλεκτρόνια), αλλά και η μεταβολή της ροής της κοσμικής ακτινοβολίας (Gribbin, 1992).

2.2.2.2 Ηλιακή ακτινοβολία

Οι μεταβολές αυτές της ηλιακής ακτινοβολίας μετρούνται και από το έδαφος αλλά και από δορυφόρους. Έτσι βρέθηκε ότι η ενέργεια που εκπέμπει μεταβάλλεται σταθερά κατά 0,1% περίπου από το ελάχιστο στο μέγιστο του 11-ετούς κύκλου της ηλιακής δραστηριότητας. Και μπορεί αυτή η διαφορά να θεωρείται αμελητέα, είναι όμως δυνατόν να έχει σημαντικές επιπτώσεις στο κλίμα της Γης, αν λάβει κανείς υπόψη το τεράστιο ποσό της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τον Ήλιο. Σημαντικό είναι επίσης ότι η εκπομπή στο υπεριώδες παρουσιάζει διακυμάνσεις της τάξεως του 1% μέσα σε 11 χρόνια (Gribbin, 1992).

Η ακτινοβολία αυτή είναι υπεύθυνη τόσο για την καταστροφή όσο και για την παραγωγή του όζοντος στη στρατόσφαιρα της Γης. Το όζον απορροφά την επικίνδυνη για τον ανθρώπινο οργανισμό υπεριώδη ακτινοβολία. Εμποδίζει ιδιαίτερα την πλέον επικίνδυνη μορφή της, τη UV-B, που επιδρά κατ' ευθείαν στην έλικα του DNA διασπώντας την και προκαλώντας καρκίνο. Μείωση κατά 1% στο όζον της ατμόσφαιρας είναι δυνατόν να προκαλέσει αύξηση κατά 2% στους καρκίνους του δέρματος. Είχε βρεθεί παλαιότερα ότι το όζον αυξανόταν και μειωνόταν σύμφωνα με τον 11-ετή κύκλο της ηλιακής δραστηριότητας. Η γνώση επομένως του ρόλου της μεταβολής της ηλιακής υπεριώδους ακτινοβολίας στη μεταβολή του όζοντος θα μας βοηθήσει ώστε να μετρήσουμε καλύτερα την ελάττωση του που οφείλεται στις ανθρώπινες δραστηριότητες (Gribbin, 1992).

2.2.2.3 Καταστροφή του όζοντος

Είναι όμως φανερό ότι για να μπορέσουμε να μελετήσουμε τον ρόλο που παίζουν οι ανθρωπογενείς παράγοντες στην παρατηρούμενη σήμερα αύξηση της θερμοκρασίας ή στην καταστροφή του όζοντος και πώς αυτή θα εξελιχθεί μελλοντικά πρέπει να είμαστε σε θέση να πούμε αν σε αυτήν συνεισφέρει, και σε ποιον βαθμό, η μεταβαλλόμενη ηλιακή ακτινοβολία. Σήμερα οι μεταβολές τόσο της ηλιακής ακτινοβολίας όσο και του κλίματος της Γης στο παρελθόν είναι δυνατόν να από κρυπτογραφηθούν με τη βοήθεια των αρχαίων στρωμάτων του πάγου που βρίσκονται στους πόλους. Επίσης, οι μεταβολές της ηλιακής δραστηριότητας στο παρελθόν είναι δυνατόν να εκτιμηθούν από την εναπόθεση του ποσού του ραδιενεργού άνθρακα στους δακτυλίους κάποιων δέντρων πεύκης ή από ένα ισότοπο του βηρυλλίου που εναποτίθεται στους πάγους (Cox, 2007).

2.2.2.4 Κοσμική ακτινοβολία

Η κοσμική ακτινοβολία που έρχεται από το Διάστημα πέφτοντας στα άτομα του αέρα είναι δυνατόν να δημιουργήσει ραδιενεργό άνθρακα 14. Κατά τη διάρκεια αυξημένης ηλιακής δραστηριότητας οι κοσμικές ακτίνες εκτρέπονται από τη Γη λόγω του αυξημένου μαγνητικού πεδίου του Ηλίου. Έτσι σ' αυτές τις περιόδους υπάρχει λιγότερος άνθρακας 14 στον αέρα, ενώ το αντίστροφο συμβαίνει στις περιόδους χαμηλής ηλιακής

δραστηριότητας. Καθώς είναι γνωστό το ποσοστό του άνθρακα 14 που μεταπίπτει σε άνθρακα 12, ανάλυση του λόγου αυτών των ατόμων στους δακτυλίους ενός δέντρου μπορεί να μας δώσει πόσος ραδιενεργός άνθρακας ήταν στον αέρα όταν δημιουργήθηκε ο δακτύλιος και κατά συνέπεια αν η ηλιακή δραστηριότητα τότε ήταν έντονη ή όχι. Η εναπόθεση του βηρυλλίου στους πάγους επηρεάζεται με τον ίδιο τρόπο από την κοσμική ακτινοβολία και μας δίνει επίσης πληροφορίες για το πώς μεταβαλλόταν η ηλιακή δραστηριότητα στο παρελθόν (Cox, 2007).

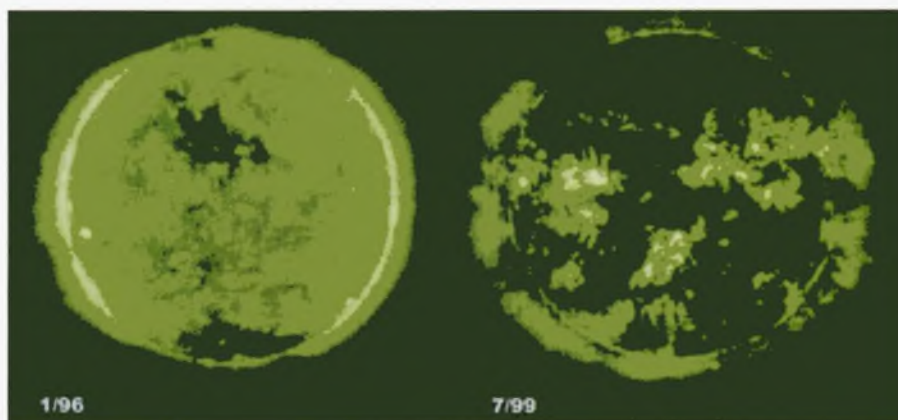
2.2.2.5 Ηλιακός άνεμος

Έχει προταθεί ότι το μαγνητικό πεδίο του ήλιου και ο ηλιακός άνεμος (Δανέζης και Θεοδοσίου, 1999) μπορούν να περιορίσουν τον αριθμό των κοσμικών ακτινών (μικροσκοπικά σωματίδια υψηλής ενέργειας) που εισέρχονται στη γήινη ατμόσφαιρα. Ηλιακός άνεμος: ηλεκτρόνια, πρωτόνια και άλλα φορτισμένα σωματίδια προερχόμενα από την ατμόσφαιρα που περιβάλλει τον Ήλιο, τα οποία κινούνται διαρκώς γύρω του με μεγάλες ταχύτητες εξαιτίας του μαγνητικού πεδίου που τον περιβάλλει. Οι κοσμικές ακτίνες είναι αυτές που συγκρούονται με τα μόρια αέρα και παράγουν δευτερογενή σωματίδια τα οποία, λειτουργώντας ως πυρήνες συμπύκνωσης των υδρατμών, συμβάλλουν στη δημιουργία νεφών, τα οποία με τη σειρά τους ψύχουν τη Γη.

Με άλλα λόγια, η αυξανόμενη ηλιακή δραστηριότητα σημαίνει λιγότερες κοσμικές ακτίνες, λιγότερα σύννεφα, και περισσότερη θέρμανση. Μερικοί επιστήμονες (Colbert, 2007) που ασχολούνται με το φαινόμενο του θερμοκηπίου υποστηρίζουν ότι αυτός ο συσχετισμός μεταξύ της γήινης θερμοκρασίας και της ηλιακής δραστηριότητας είναι καλύτερος και ομαλότερος απ' ότι ο οποιοσδήποτε συσχετισμός με το CO₂. Δορυφόροι παρακολουθούν καθημερινά τις δραστηριότητες του Ήλιου.

Στην Εικόνα 2.5 μπορούμε να παρατηρήσουμε τις δραματικές αλλαγές στην ατμόσφαιρα του ήλιου από το ηλιακό ελάχιστο του 1996 (αριστερή εικόνα) μέχρι το ηλιακό μέγιστο του 1999 (δεξιά εικόνα). Οι ειδικοί επιστήμονες πάνω στο κλίμα έχουν παρατηρήσει ήδη τις αλλαγές που σχετίζονται με τη δραστηριότητα των κηλίδων του ήλιου - έναν κύκλο

περίπου 11 ετών - και τις μακροπρόθεσμες αλλαγές στη φωτεινότητα του ήλιου, η οποία έχει έναν κύκλο που διαρκεί επί αιώνες. Όμως, είχαν απορρίψει την επίδραση και των δύο φαινομένων στην αύξηση της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια του τελευταίου αιώνα, είτε γιατί αυτές συμβαίνουν σε ένα πολύ μικρό χρονικό διάστημα ή γιατί είναι πάρα πολύ ασθενείς (Colbert, 2007).



Εικόνα 2.5: Ελάχιστο ηλιακής δραστηριότητας (1996- αριστερά), μέγιστο της ηλιακής δραστηριότητας (1999- δεξιά) από το ηλιακό διαστημικό παρατηρητήριο SOHO. (www.physics4u.gr)

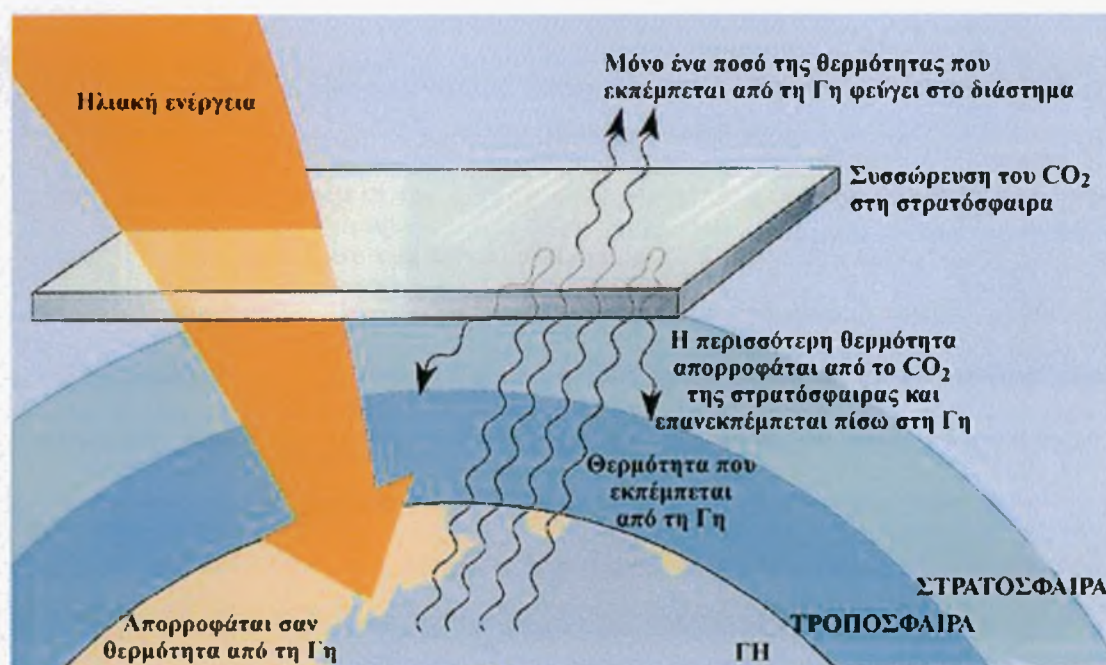
2.2.3 Φαινόμενο του θερμοκηπίου

Ως Φαινόμενο του Θερμοκηπίου χαρακτηρίζεται το φαινόμενο θέρμανσης που παρατηρείται στα θερμοκήπια (εξ ου και η ονομασία). Κατά το φαινόμενο αυτό η γυάλινη υπερκατασκευή ή θόλος είναι διάφανη για τη φωτεινή ακτινοβολία, η οποία εισέρχεται στο στεγασμένο χώρο, απορροφάται εν μέρει, διαχέεται και επανεκπέμπεται. Η κατασκευή όμως είναι αδιαφανής για τη δευτερογενή αυτή ακτινοβολία, η οποία "παγιδεύεται" στο χώρο και τελικά μετατρέπεται σε θερμότητα (αρχή του θερμοκηπίου). Με τον τρόπο αυτό θερμαίνει το εσωτερικό του θερμοκηπίου με αποτέλεσμα να διατηρούνται οι καλλιέργειες πάντα σε κατάλληλη και σχετικά σταθερή θερμοκρασία.

Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται και στη Φύση κατά την οποία η ατμόσφαιρα ενός πλανήτη συμβάλλει στη θέρμανσή του. Ανακαλύφθηκε για πρώτη φορά από τον Γάλλο

μαθηματικό, αστρολόγο και φυσικό Ζοζέφ Φουριέ, το 1824, ενώ διερευνήθηκε συστηματικά από τον Σβάντε Αρρένιους το 1896. Τα τελευταία χρόνια, ο όρος συνδέεται με την παγκόσμια θέρμανση (*global warming*), ενώ θεωρείται πως το φαινόμενο έχει ενισχυθεί σημαντικά από ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Παρατηρείται σε όλους τους πλανήτες. Ο πλανήτης με το πιο εντυπωσιακό φαινόμενο θερμοκηπίου είναι η Αφροδίτη, που διαθέτουν ατμόσφαιρα αλλά για λόγους απλότητας θα αναφερόμαστε αποκλειστικά στην περίπτωση της Γης, δηλαδή του πλανήτη στον οποίο κατοικούμε (Μουτσικόπουλος Α., 2012)

Μια αναπαράσταση των ανταλλαγών ενέργειας μεταξύ της πηγής (ο ήλιος), της επιφάνειας της Γης, της ατμόσφαιρας της Γης, και του τελικού αποδέκτη που είναι το εξώτερο διάστημα δίνεται στο Σχήμα 2.1:



Σχήμα 2.1: Σχηματική απεικόνιση του φαινομένου του θερμοκηπίου – Παν/μιο Αθηνών

2.3 Οι φυσικές επιπτώσεις της κλιματικής μεταβολής στον τομέα των υδάτων στην Ελλάδα

Η αρχή των φαινομένων του υδρολογικού κύκλου βρίσκεται στα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (βροχόπτωση, χιονόπτωση, χαλάζι κ.λπ.). Τα νερά των κατακρημνισμάτων, με την άφιξή τους στην επιφάνεια της γης, διαμοιράζονται πρωτογενώς στην εξάτμιση και διαπνοή (μέσω των φυτών), στην απορροή (μέσω των υδρογραφικών δικτύων) και στη κατείδυση. Δευτερογενώς κ.ο.κ. το σχήμα αυτό γίνεται πιο σύνθετο, καθώς νερό που απορρέει, στη διαδρομή του εξατμίζεται ή κατεισδύει μερικώς, και αντιθέτως, νερό που έχει κατεισδύσει, εξέρχεται στην επιφάνεια μέσω των πηγαίων εκφορτίσεων και συνεχίζει τη διαδρομή του με επιφανειακή απορροή και μερική εξάτμιση. Οι μεταβολές αυτές μπορούν να γίνουν αρκετές φορές. Επί πλέον, το νερό που κατεισδύει, πριν εμπλουτίσει τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα, καλύπτει κατά προτεραιότητα τις υδατικές ανάγκες της εδαφικής και υποεδαφικής ζώνης και του ριζικού συστήματος (νερό κατακρατήσεως, προσροφήσεως, τριχοειδές), στην οποία επιτελείται η ανάπτυξη φυτικών και ζωικών οργανισμών. Γίνεται επομένως φανερό, ότι κάθε διατάραξη στο καθεστώς των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων συνεπάγεται σημαντικές μεταβολές στον υδρολογικό κύκλο και στο υδρολογικό (επιφανειακά ύδατα) και υδρογεωλογικό (υπόγεια ύδατα) ισοζύγιο.

Η επιφάνεια του Ελλαδικού χώρου ανέρχεται στα 130.000 km² περίπου εκ των οποίων το 20% αντιπροσωπεύει τα 3.000, περίπου, νησιά. Τα 2/3 της επιφάνειας αυτής είναι ορεινή, καθιστώντας την Ελλάδα μια από τις πλέον ορεινές χώρες της Ευρώπης. Η Ελλάδα έχει τη μεγαλύτερη ακτογραμμή στην Ευρώπη, μήκους 15.000 km, το 5% της οποίας αντιπροσωπεύει περιοχές μοναδικής οικολογικής αξίας. Το κλίμα της Ελλάδας συνίσταται από τρεις τύπους που επηρεάζουν διακεκριμένες περιοχές. Οι τύποι αυτοί είναι ο Μεσογειακός, ο Αλπικός και ο Εύκρατος τύπος. Ο πρώτος χαρακτηρίζεται από ήπιους, υγρούς χειμώνες και ζεστά, ξηρά καλοκαίρια. Τα νησιά του Αιγαίου πελάγους είναι αυτά που εμφανίζουν στο μεγαλύτερο ποσοστό του αυτόν τον κλιματικό τύπο. Ο

Αλπικός τύπος επικρατεί, κυρίως, στη δυτική Ελλάδα. Τέλος, ο Εύκρατος τύπος αφορά το κεντρικό και βορειοανατολικό τμήμα της χώρας.

Η λεκάνη της Μεσογείου δείχνει να επηρεάζεται ιδιαίτερα από τις κλιματικές αλλαγές στο θέμα του νερού, λόγω της γεωγραφικής της θέσης σε συνδυασμό με την κυκλοφορία των (υγρών και όχι) αερίων μαζών. Οι συγκεκριμένες αυτές επιπτώσεις αντιπροσωπεύονται από σχετικές φυσικές διαδικασίες που είναι, μεταξύ άλλων διαδικασιών ή φαινομένων, οι εξής (IPCC, 2007):

- Η αύξηση της θερμοκρασίας και της εξατμισοδιαπνοής
- Η παρεπόμενη αύξηση της κατανάλωσης υδατικών πόρων για αρδεύσεις, ενέργεια και γενικές χρήσεις
- Η μείωση των κατακρημνισμάτων, τουλάχιστον εκείνων που προσφέρονται να εξυπηρετήσουν από υδρογεωλογικής πλευράς.

Οι επιπτώσεις στα υδατικά, κυρίως τα υπόγεια υδατικά συστήματα από τις κλιματικές αλλαγές μπορούν να συνοψιστούν στα εξής:

1. Γενική μειωμένη τροφοδοσία και ανανέωση του νερού των υδροφόρων οριζόντων από τη μείωση των βροχοπτώσεων και την αύξηση της εξατμισοδιαπνοής.
2. Αυξημένη υφαλμύριση των παράκτιων και υποθαλάσσιων υδροφόρων οριζόντων, ιδιαιτέρως των καρστικών, με προέλαση προς τη ενδοχώρα του μετώπου υφαλμύρισης λόγω του μειωμένου δυναμικού της χερσαίας υδατικής φάσης από τη μειωμένη τροφοδοσία και την υπεράντληση.
3. Αύξηση της συγκέντρωσης ρυπαντικού φορτίου στα παράκτια υδατικά σώματα και στη θάλασσα λόγω μικρότερης αραίωσης.
4. Εντατικοποίηση της αποδόμησης των δελταϊκών περιοχών, που ήδη έχει ξεκινήσει λόγω της κατασκευής εγκάρσιων φραγμάτων στην ανάντη ζώνη (μείωση απορροής και στερεοπαροχής) και παραλλήλων αναχωμάτων στην πεδινή ζώνη του δέλτα (άφιξη μεταφερόμενου υλικού σε ένα και μοναδικό στόμιο).
5. Ρύπανση ή αποξήρανση των παράκτιων υγροτόπων.
6. Επιδείνωση του φαινομένου της ερημοποίησης λόγω υδατικού ελλείμματος και εδαφικών μεταβολών (συμπυκνώσεις στεγανοποιήσεις κ.λπ.).

2.4 Παγκόσμια κλιματικά μοντέλα (GCM)

Έχουν γίνει πολλές προσπάθειες από επιστήμονες να προβλεφθεί το τι θα συμβεί στο κλίμα το επόμενο διάστημα αλλά και σε μια περίοδο 100 ετών, ώστε να παρθούν κάποια μέτρα από τώρα για να αποτραπούν οι καταστροφικές συνέπειες. Για αυτό τον λόγο κατασκευάστηκαν κάποια λογισμικά, τα παγκόσμια κλιματικά μοντέλα (Global Climate Models, GCM), τα οποία χρησιμοποιώντας τις μεταβλητές που επηρεάζουν το κλίμα και τις προβλεπόμενες μελλοντικές τους τιμές, δίνουν κάποια στοιχεία του μελλοντικού κλίματος όπως βροχόπτωση θερμοκρασία κτλ για όλες τις περιοχές του πλανήτη (Μπρουζούκης, 2012).

Τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται σήμερα για την προσομοίωση της κλιματικής αλλαγής είναι τα Συζευγμένα Ατμοσφαιρικά-Ωκεάνια Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας (Coupled Atmospheric-Ocean General Circulation Models, AOGCMs). Πρόκειται για μοντέλα που βασίζονται στις βασικές φυσικές αρχές του γήινου συστήματος όπως οι βασικές εξισώσεις της μηχανικής των ρευστών και της διάδοσης της ακτινοβολίας. Τα AOGCMs χωρίζονται σε Ατμοσφαιρικά (AGCMs) και Ωκεάνια Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας (OGCMs) ενώ μπορεί να είναι και συζευγμένα μεταξύ τους (AOGCMs) καθώς και με άλλα μοντέλα όπως τα μοντέλα προσομοίωσης της παγοκάλυψης στην ξηρά και την θάλασσα, της βιόσφαιρας και άλλα (Denman et al., 2007).

Τα AOGCMs που χρησιμοποιούνται για τη μελέτη του κλίματος και της κλιματικής αλλαγής παρουσιάζουν ομοιότητες με τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται για την καιρική πρόγνωση λίγων ημερών. Η διαφορά είναι ότι τα μοντέλα πρόγνωσης του καιρού δίνουν έμφαση σε διαφορετικά στοιχεία αφού χρησιμοποιούνται με διαφορετικό σκοπό και σε διαφορετικές χρονικές κλίμακες. Συγκεκριμένα τα κλιματικά AOGCMs δίνουν μεγαλύτερη έμφαση στις διεργασίες του εδάφους, του ωκεανού και των παγετώνων καθώς και στην ισορροπία των διεργασιών μεγάλης χρονικής κλίμακας όπως ο υδρολογικός κύκλος (Μουτσικόπουλος, 2012).

Τονίζεται ότι η γνώση ορισμένων φυσικών διεργασιών είναι ακόμα περιορισμένη. Για το λόγο αυτό στις κλιματικές προσομοιώσεις χρησιμοποιούνται παραμετροποιήσεις και

απλουστεύσεις ορισμένων φαινομένων. Η χωρική ανάλυση των AOGCMs στις μέρες μας, εξαιτίας των περιορισμένων υπολογιστικών δυνατοτήτων, είναι της τάξης των εκατοντάδων χιλιομέτρων (Mearns et al., 2001). Σε αυτή τη χωρική ανάλυση είναι δυνατόν να αναπαραχθούν ικανοποιητικά η γενική κυκλοφορία σε ολόκληρο τον πλανήτη καθώς και τα γενικά χαρακτηριστικά των διαφόρων κλιματικών παραμέτρων σε συνοπτική κλίμακα. Ωστόσο δεν είναι δυνατόν να προσομοιωθούν με ακρίβεια φαινόμενα που σχετίζονται με την επίδραση της τοπογραφίας σε τοπική και περιοχική κλίμακα.

Οι τεχνικές με τις οποίες εισάγεται η περιοχική πληροφορία στις κλιματικές προσομοιώσεις ονομάζονται τεχνικές υποβιβασμού κλίμακας (υποκλιμάκωσης) και χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

1. Τα υψηλής ή μεταβλητής ανάλυσης παγκόσμια ατμοσφαιρικά μοντέλα γενικής κυκλοφορίας,
2. τις στατιστικές ή εμπειρικές μεθόδους υποκλιμάκωσης (Statistical/Empirical Downscaling)
3. τη δυναμική υποκλιμάκωση. Η δυναμική υποκλιμάκωση βασίζεται στη χρήση των περιοχικών κλιματικών μοντέλων (Regional Climate Models, RCMs). Πρόκειται για μοντέλα περιορισμένου πεδίου και υψηλής ανάλυσης τα οποία βασίζονται στη δυναμική υποκλιμάκωση και αναπτύχθηκαν προκειμένου να εισαχθεί η περιοχική πληροφορία στα μεγάλης κλίμακας πεδία που παρέχονται από τα GCMs ή που προκύπτουν από επανα-ανάλυση (NCEP/ ERA-40) (Dickinson et al., 1989, Giorgi, 1990).

Για να λειτουργήσουν είναι απαραίτητο να τους παρέχονται αρχικές συνθήκες σε ολόκληρο το πεδίο τους, χρονομεταβαλλόμενες οριακές συνθήκες στα πλευρικά τους όρια και επιφανειακές οριακές συνθήκες. Οι πλευρικές οριακές συνθήκες προέρχονται από προσομοιώσεις με GCMs ή από ανάλυση παρατηρήσεων. Δέχονται επίσης, όπως και τα AOGCMs, δεδομένα εισόδου συγκέντρωσης αερίων θερμοκηπίου και συγκέντρωσης αερολυμμάτων. Συνήθως αποτελούνται από ένα ατμοσφαιρικό μοντέλο συζευγμένο με ένα μοντέλο του εδάφους. Οι συνθήκες στην επιφάνεια του ωκεανού παρέχονται μαζί με τις χρονομεταβαλλόμενες πλευρικές οριακές συνθήκες, ωστόσο γίνονται απόπειρες να

συζευχθούν και με ένα ωκεάνιο μοντέλο αντίστοιχης (υψηλής) χωρικής ανάλυσης. Επιπρόσθετα είναι δυνατό να συζευχθούν με μοντέλα της υδρολογίας, των πάγων της θάλασσας (sea-ice) της χιμείας της ατμόσφαιρας/αερολυμμάτων και της βιόσφαιρας. Γενικά δεν αλληλεπιδρούν με το GCM που τους παρέχει τις πλευρικές οριακές συνθήκες. Λόγω των μικρών τους απαιτήσεων σε υπολογιστικούς πόρους μπορούν να πραγματοποιούν προσομοιώσεις διάρκειας μερικών δεκαετιών σε αρκετά υψηλή ανάλυση, μέχρι και κάτω από τα 10km. Με αυτό τον τρόπο πετυχαίνουν να υποκλιμακώσουν την πληροφορία από τα αποτελέσματα των GCMs που περιέχει την γενική κυκλοφορία η οποία οφείλεται στους μεγάλης κλίμακας παράγοντες (large-scale forcings) και να την εμπλουτίσουν χάρη (α) στην καλύτερη αναπαράσταση της τοπογραφίας (λόγω της υψηλότερης ανάλυσης) και (β) στην δυνατότητα αναπαράστασης διεργασιών μικρότερης κλίμακας οι οποίες δεν μπορούν να προσομοιωθούν στην κλίμακα των GCMs. Τα περιοχικά μοντέλα χρησιμοποιούνταν ήδη από παλιά στην αριθμητική πρόγνωση καιρού, βελτιώθηκαν από τους Dickinson et al. (1989) και Giorgi (1990) και έκτοτε χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές, από παλαιοκλιματολογικές μέχρι την μελέτη της ανθρωπογενούς κλιματικής αλλαγής (Μουτσικόπουλος, 2012).

Τα RCMs διαθέτουν πολλές υπορουτίνες για την προσομοίωση των φυσικών διεργασιών που είτε συμβαίνουν σε κλίμακα μικρότερη από την κλίμακα που μπορούν να αναλύσουν, όπως οι διεργασίες του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος, είτε ξεφεύγουν από την φυσική των εξισώσεων Navier-Stokes που αποτελούν τον βασικό πυρήνα τους, όπως οι υπορουτίνες της ακτινοβολίας, είτε και τα δυο. Όλες αυτές οι υπορουτίνες διαθέτουν μια σειρά από παραμέτρους τις οποίες ο χρήστης του μοντέλου μπορεί να μεταβάλλει ανάλογα με τη γεωγραφική περιοχή, το μέγεθος και την ανάλυση του πλέγματος. Πριν από τις κυρίως προσομοιώσεις του ο χρήστης πρέπει να πραγματοποιήσει μερικές δοκιμαστικές προσομοιώσεις προκειμένου να εξετάσει αν η επιλογή των παραμέτρων του μοντέλου οδηγεί σε αληθοφανή αποτελέσματα. Αυτές οι προσομοιώσεις πραγματοποιούνται με δεδομένα από επανανάλυση (reanalysis) ώστε στη συνέχεια τα αποτελέσματα να μπορούν να επαληθευτούν με δεδομένα παρατηρήσεων. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται ρύθμιση του μοντέλου (tuning).

Βασικό πλεονέκτημα των RCMs είναι ότι, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, περιγράφουν με μεγαλύτερη ακρίβεια τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας όπως την ορογραφία, την κατανομή ξηράς και θάλασσας και την χρήση της γης, τα οποία δεν είναι δυνατό να παρασταθούν ακόμα στις προσομοιώσεις των GCMs επειδή οι διαστάσεις τους είναι μικρότερες από τις διαστάσεις του πλέγματος του GCM. Επιπρόσθετα η αυξημένη χωρική ανάλυση των RCMs επιτρέπει να αναλύονται φαινόμενα μικρότερης χωρικής κλίμακας που δεν αναλύονται από τα GCMs. Με αυτό τον τρόπο μπορούν να προσομοιώσουν τη λειτουργία μηχανισμών ανάδρασης που δρουν σε περιοχική κλίμακα. Το κυριότερο μειονέκτημά τους είναι ότι αν τα αποτελέσματα του GCM που παρέχει τις οριακές συνθήκες είναι εσφαλμένα το ίδιο θα ισχύσει και για τα αποτελέσματα του RCM. Αυτό το μειονέκτημα ισχύει για όλες τις τεχνικές υποκλιμάκωσης. Επίσης μειονέκτημα αποτελεί η έλλειψη της δυνατότητας αλληλεπίδρασης με το GCM. Η ανάγκη ρύθμισης τους, είναι ένα ακόμα μειονέκτημα διότι μπορεί να αποδειχτεί διαδικασία χρονοβόρα και επίπονη (Μουτσικόπουλος, 2012).

Θα πρέπει να τονιστεί ότι η εκτίμηση των κλιματικών συνθηκών που θα επικρατήσουν στο μέλλον σε ένα τόπο εμπεριέχει πολλούς παράγοντες αβεβαιότητας οι σημαντικότεροι από τους οποίους είναι:

1. Η επιλογή του σεναρίου εκπομπής θερμοκηπιακών αερίων βάσει του οποίου γίνεται η προσομοίωση του μελλοντικού κλίματος.
2. Η επιλογή του GCM με το οποίο θα διεξαχθούν οι κλιματικές προσομοιώσεις.
3. Η επιλογή του RCM στην περίπτωση που χρησιμοποιείται μεθοδολογία δυναμικής αποκλιμάκωσης και
4. η επιλογή των αρχικών συνθηκών της κλιματικής προσομοίωσης του GCM δεδομένα του οποίου χρησιμοποιούνται ως δεδομένα εισόδου του RCM. Μια συνήθης πρακτική, που χρησιμοποιείται προκειμένου να μειωθούν οι αβεβαιότητες που οφείλονται στις διαφορετικές παραμετροποιήσεις και τους διαφορετικούς δυναμικούς κώδικες που χρησιμοποιούνται από τα διαφορετικά κλιματικά μοντέλα αλλά και στην αβεβαιότητα των συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου στο μέλλον, είναι το να αναλύονται αποτελέσματα ενός συνόλου από προσομοιώσεις διαφορετικών κλιματικών μοντέλων και για διάφορα σενάρια εκπομπών (ensemble) (Μουτσικόπουλος, 2012).

Στην παρούσα πτυχιακή μελέτη έγινε χρήση του περιοχικού κλιματικού μοντέλου Hirham/RCAO του προγράμματος Prudence για την περιοχή της Πύλης Τρικάλων, ώστε να εξάγουμε μελλοντικά υδρολογικά δεδομένα σχετικά με το διαθέσιμο προς άρδευση νερό στο φράγμα της περιοχής αυτής.

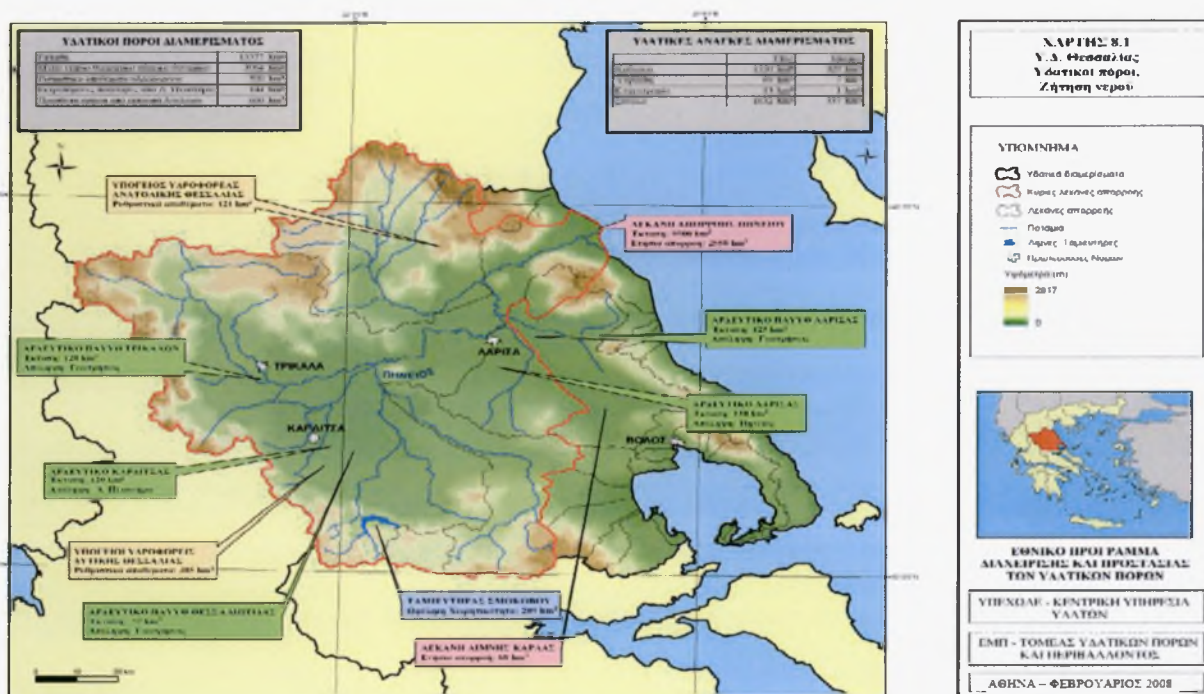
3 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

3.1 Περιφέρεια Θεσσαλίας

3.1.1 Γεωγραφικά στοιχεία και διοικητική δομή

Το Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας συμπίπτει σχεδόν με το αντίστοιχο γεωγραφικό διαμέρισμα. Μικρά μόνο τμήματα του γεωγραφικού διαμερίσματος Θεσσαλίας, κυρίως προς τα νότια και νοτιοδυτικά, ανήκουν σε γειτονικά υδατικά διαμερίσματα. Τα όρια του διαμερίσματος φαίνονται στο Σχήμα 3.1.

Η συνολική έκταση του διαμερίσματος είναι 13.377 km². Ο πληθυσμός του διαμερίσματος, με βάση τα απογραφικά στοιχεία της ΕΣΥΕ, το 1991 ήταν 730.945 κάτοικοι και το 2001 ήταν 750.445 κάτοικοι, παρουσιάζοντας αύξηση 2.7% (ο πληθυσμός του 2001 έχει υπολογιστεί κατ' εκτίμηση, από τον πληθυσμό των νομών του 2001 και σύμφωνα με τα ποσοστά συμμετοχής του κάθε νομού στο διαμέρισμα το 1991). (Στουρνάρας, 2011)



Σχήμα 3.1: Όρια Υδατικού Διαμερίσματος 08 Διαμερίσματος (Πρόγραμμα Διαχείρισης και Προστασίας των Υδατικών Πόρων» του 2008).

3.1.2 Γεωμορφολογικά - Γεωλογικά χαρακτηριστικά

Το διαμέρισμα παρουσιάζει απλή γεωμορφολογική εικόνα, με τα ορεινά τμήματά του περιμετρικά και τα πεδινά στις κεντρικές περιοχές. Υπάρχουν πέντε ορεινοί όγκοι, μεταξύ των οποίων ο Όλυμπος, με υψόμετρο 2917 m, το ψηλότερο στην Ελλάδα. Το πεδινό τμήμα σε ανατολική και δυτική περιοχή από τα χαμηλά Χαλκηδόνια Όρη. Οι δύο αυτές περιοχές είναι ανεξάρτητες από υδρογεωλογική άποψη. Το μέσο υψόμετρο του διαμερίσματος είναι 285 m. Το Θεσσαλικό Πεδίο είναι τεκτονικό βύθισμα που περιβάλλεται από τις οροσειρές Ολύμπου-Καμβουνίων στα βόρεια, Πίνδου στα δυτικά, Όθρυος στα νότια και Πηλίου - Όσσας στα ανατολικά. (Στουρνάρας, 2011)

3.1.3 Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά

Στο Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας αναπτύσσονται σημαντικοί προσχωματικοί υδροφορείς, αλλά και μεγάλες καρστικές υδρογεωλογικές ενότητες. Όσον αφορά στην πρώτη κατηγορία υδροφόρων, η πεδιάδα της Θεσσαλίας διαχωρίζεται σε δύο κύριες υδρογεωλογικές λεκάνες, της δυτικής και της ανατολικής Θεσσαλίας. Οι δύο λεκάνες διαχωρίζονται με λοφώδη περιοχή νεογενών αποθέσεων, που θεωρείται ξεχωριστή υδρογεωλογική ενότητα.

Εκτιμήσεις σχετικά με το υδατικό δυναμικό των υδρογεωλογικών λεκανών του διαμερίσματος δίνονται στον Πίνακα 3.1.

Όπως προκύπτει από την παρακολούθηση της στάθμης σε περίπου 250 γεωτρήσεις και πιεζόμετρα, τα τελευταία 20 – 25 χρόνια, στο σύνολο σχεδόν των υπόγειων υδροφοριών της Θεσσαλίας (με εξαίρεση τη ζώνη Τρικάλων – Καλαμπάκας και το καρστικού του Τύρναβου), οι ποσότητες που αντλούνται είναι πολύ μεγαλύτερες από εκείνες που μπορούν να ανανεωθούν. Σύμφωνα με στοιχεία μελετών, το σύνολο της ποσότητας του νερού που αντλήθηκε κατά την εικοσαετία 1974 – 1994 εκτιμάται σε 1.000 hm^3 , εκ των οποίων τα 800 hm^3 αφορούν μόνο την δεκαετία 1984 – 1994. Η αντίστοιχη πτώση στάθμης, σε σχέση με τα μέσα της δεκαετίας του 1970, ανέρχεται σε 15 – 20 m στην

περιοχή Σοφάδων – Παλαμά – Ανάβρας, 15 – 40 m στην περιοχή των Φαρσάλων, 30 – 50 m στην περιοχή Χάλκης – Ζαπείου – Κιλελέρ, και 50 – 100 m στην περιοχή Μύλων – Ορφανού (Γκούμας, 2006).

Πίνακας 3.1: Εκτίμηση υπόγειου υδατικού δυναμικού (Μελισσάρης, 1990)

<u>Λεκάνες</u>	<u>Ετήσιο υδατικό δυναμικό (hm³)</u>
Δυτική Πεδιάδα	
Τρικάλων	46,6
Λυγαριάς	13,2
Μ. Καλυβιών	53,9
Σελλάνων	69,1
Πηνειού	23,8
Καλλίθηρου	3,7
Ματαράγκας	14,6
Θεσσαλιώτιδας	46,3
Φαρσάλων	46,3
Υπόλοιπο δυτικής πεδιάδας	67
Σύνολο δυτικής πεδιάδας	384,6

3.1.4 Κλίμα

Το υδατικό διαμέρισμα διαιρείται σε τρεις περιοχές:

- την ανατολική παράκτια και ορεινή, με μεσογειακό κλίμα
- την κεντρική πεδινή, με ηπειρωτικό κλίμα
- τη δυτική ορεινή, με ορεινό κλίμα.

Η μέση ετήσια θερμοκρασία κυμαίνεται από 16 ως 17°C. Το ετήσιο θερμομετρικό εύρος ξεπερνά τους 22°C. Οι πιο θερμοί μήνες είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος και οι πιο

ψυχροί ο Ιανουάριος, ο Φεβρουάριος και ο Δεκέμβριος. Οι παγετοί είναι συχνοί και εμφανίζονται κατά την περίοδο Νοεμβρίου-Απριλίου. Οι ημέρες παγετού κυμαίνονται από 9,2 στο Βόλο σε 35,5 στη Λάρισα και 33,8 στα Τρίκαλα σε μέση ετήσια βάση. Το ύψος των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων στο διαμέρισμα είναι σχετικά μεγάλο στα δυτικά, στη συνέχεια μειώνεται στο πεδινό τμήμα και αυξάνεται πάλι στο ορεινό ανατολικό τμήμα. Ενδεικτικές τιμές της ετήσιας βροχοπτώσεως είναι 468 mm στο σταθμό Λάρισας, 550 mm στο σταθμό Τυρνάβου και 1142 mm στον πιο ορεινό σταθμό του Μουζακίου. Στο σύνολο του διαμερίσματος, η μέση ετήσια επιφανειακή βροχόπτωση εκτιμάται σε 678 mm (Κ/Ξ Διαχειρίσεως Υδάτων Κεντρικής & Δυτικής Ελλάδος, 2005).

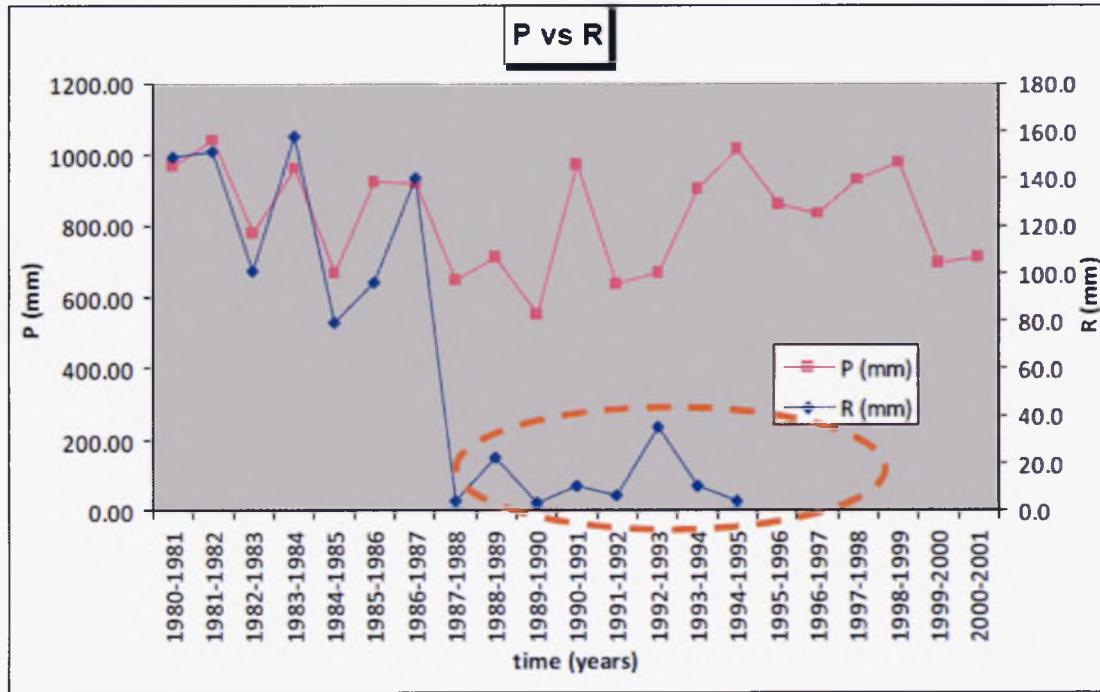
Οι πιο βροχεροί μήνες είναι ο Οκτώβριος ως τον Ιανουάριο, ενώ οι πιο ξηροί οι Ιούλιος και Αύγουστος. Οι χιονοπτώσεις είναι συνηθισμένες, ιδιαιτέρως στα ορεινά του διαμερίσματος, και γίνονται πιο έντονες από τα νότια προς τα βόρεια και από τα ανατολικά προς τα δυτικά. Οι περισσότερες χιονοπτώσεις παρατηρούνται τους μήνες Φεβρουάριο και Ιανουάριο. Στα δυτικά και ορεινά τμήματα του διαμερίσματος, αρχίζουν το Σεπτέμβριο και φτάνουν μέχρι και τις αρχές Ιουλίου. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι ο μέσος ετήσιος αριθμός ημερών χιονιού στο Βόλο είναι 3,4, στη Λάρισα 4,0 και στα Τρίκαλα 6,2. Οι χαλαζοπτώσεις είναι επίσης συχνές, κυρίως κατά τους μήνες Μάιο και Ιούνιο στα βόρεια του διαμερίσματος και κατά τους μήνες Φεβρουάριο ως Απρίλιο στο νοτιοανατολικό τμήμα. Η μέση ετήσια σχετική υγρασία κυμαίνεται από 67% μέχρι 72%. Στο διαμέρισμα εμφανίζεται ξηρή περίοδος 4 ως 5 μηνών στα ανατολικά, η οποία όμως μειώνεται βαθμιαία σε 2 ως 4 μήνες στα κεντρικά-δυτικά πεδινά και 1 ως 2 μήνες στα δυτικά ορεινά. (Στουρνάρας, 2011)

3.1.5 Περιγραφή του υδατικού συστήματος στη σημερινή κατάσταση

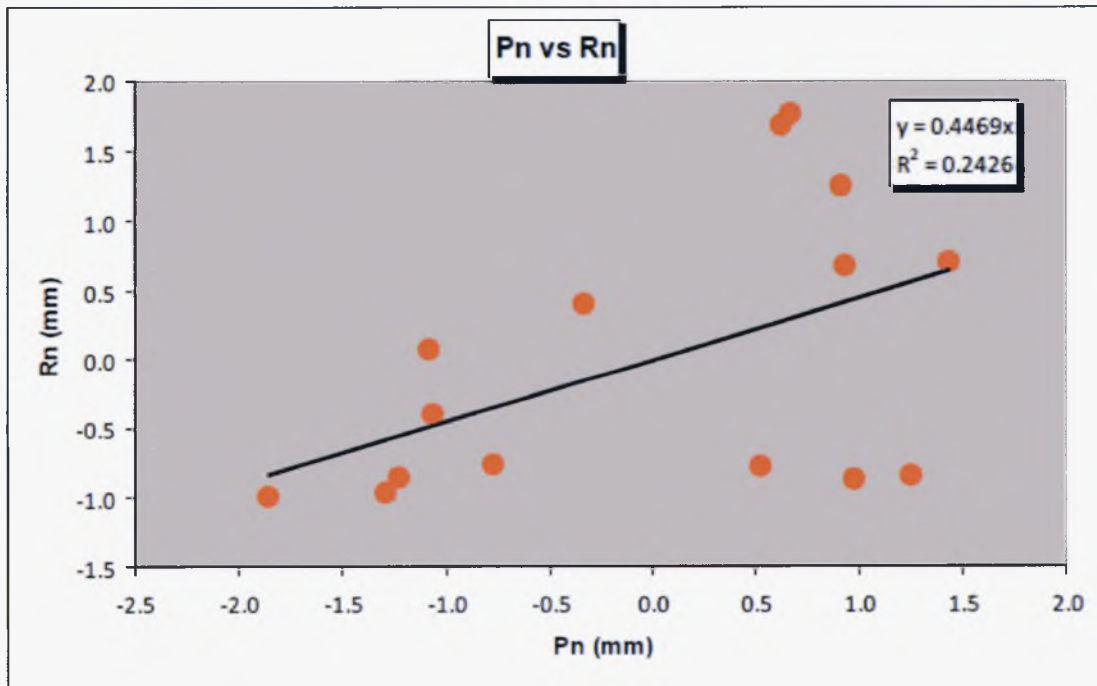
Η σημαντικότερη χρήση νερού στη Θεσσαλία είναι η γεωργική λόγω των υψηλών αρδεύσεων που εφαρμόζονται. Από μεγάλα έργα αξιοποίησης των επιφανειακών υδατικών πόρων, μέχρι σήμερα έχουν κατασκευαστεί οι ταμιευτήρες Πλαστήρα και Σμοκόβου (ο τελευταίος τέθηκε σε πιλοτική λειτουργία τον Ιούλιο του 2003). Από το φράγμα Πλαστήρα εκτρέπονται τα νερά του Ταυρωπού (παραπόταμου του Αχελώου)

από το Υδατικό Διαμέρισμα Δυτικής Στερεάς Ελλάδας προς το Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας, για άρδευση, ύδρευση αλλά και παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας. Τα έργα Σμοκόβου, που περιλαμβάνουν το φράγμα στον ποταμό Σοφαδίτη (παραπόταμος του Πηνειού) και τη σήραγγα εκτροπής Λεονταρίου, κατασκευάστηκαν με σκοπό την εξασφάλιση νερού για την άρδευση 252.000 στρεμμάτων στους Νομούς Καρδίτσας, Φθιώτιδας και Λάρισας, την ύδρευση οικισμών και την παραγωγή ενέργειας.

Δεδομένου ότι οι διαφορές μεταξύ του υδατικού και του γεωγραφικού διαμερίσματος εντοπίζονται γενικά στις περιμετρικές ορεινές περιοχές, όπου δεν γίνονται αρδεύσεις, η κατάταξη των αρδευόμενων εκτάσεων κατά νομό δεν δημιουργεί καμία σύγχυση. Από τα τέλη της δεκαετίας του 1980, ξεκίνησε η κατασκευή μικρής κλίμακας έργων αξιοποίησης των επιφανειακών νερών. Συγκεκριμένα, έχουν κατασκευαστεί 13 πεδινοί ταμιευτήρες σε ακαλλιέργητες εκτάσεις του Δημοσίου, που εξυπηρετούν μέχρι 60.000 στρέμματα, κυρίως στις παρακάρλιες περιοχές του ΤΟΕΒ Πηνειού. Επιπλέον, έχουν κατασκευαστεί 85 μόνιμα και 60 πρόχειρα φράγματα και λιμνοδεξαμενές σε συλλεκτήρες ή ποταμούς. Σημαντικότερα είναι το φράγμα Αγιονερίου στο Ν. Λάρισας, χωρητικότητας 14 hm^3 , και το φράγμα Παναγιώτικο στο Ν. Μαγνησίας, χωρητικότητας $1,63 \text{ hm}^3$ (Γκούμας, 2006). Ακόμη, βρίσκεται σε εξέλιξη η κατασκευή των έργων της Κάρλας, καθώς και του φράγματος Γυρτώνης στον Πηνειό. Σύμφωνα με τα στοιχεία του ΥΠΓΕ, από τη λίμνη Πλαστήρα αρδεύονται πάνω από 150.000 στρέμματα, ενώ από ιδιωτικές γεωτρήσεις αρδεύονται 600.000 στρέμματα. Από τα προβλεπόμενα έργα του Σμοκόβου, μικρό μόνο μέρος έχει ολοκληρωθεί. Συγκεκριμένα, σήμερα αρδεύονται 18.000 στρέμματα μέσω σωληνωτών αγωγών και άλλα 37.000 στρέμματα από προσωρινά έργα (ρουφράκτες). Τέλος, από τα προσωρινά χωμάτινα φράγματα αρδεύονται, αν και πλημμελώς, σημαντικές εκτάσεις των νομών Καρδίτσας, Τρικάλων και Λάρισας, και συγκεκριμένα πάνω από 500.000 στρέμματα. Σε επίπεδο διαμερίσματος σήμερα αρδεύονται συνολικά, μέσω οργανωμένων δικτύων, 769.500 στρέμματα, ενώ από ιδιωτικά έργα αρδεύονται 1.124.500 στρέμματα. Έτσι, η συνολική αρδευόμενη έκταση φθάνει τα 1.894.000 στρέμματα. (Στουρνάρας, 2011)



Σχήμα 3.2: συσχέτιση βροχοπτώσεως – επιφανειακής απορροής. Βροχόπτωση: P (mm) => Χρονοσειρά: 1980-2001, Επιφανειακή απορροή: R (mm) => Χρονοσειρά: 1980-1995.



Σχήμα 3.3: Συσχέτιση κανονικοποιημένων τιμών βροχοπτώσεως – απορροής. Βροχόπτωση: P (mm) => Χρονοσειρά: 1980-2001, Επιφανειακή απορροή: R (mm) => Χρονοσειρά: 1980-1995

Πίνακας 3.2: Συνολικό επιφανειακό και υπόγειο υδατικό δυναμικό (Στουρνάρας, 2011)

Συνολικό (επιφανειακό και υπόγειο) υδατικό δυναμικό			
Σημερινή κατάσταση	Έκταση λεκάνης (km ²)	Ετήσια απορροή (hm ³)	Απορροή Ιουλίου (hm ³)
Λεκάνη Πηνειού (συνολική)	9500	2558	54
Απόληψη από φράγμα Πλαστήρα*	161	144	43
Υπόγεια νερά δυτικής Θεσσαλίας		385	96
Υπόγεια νερά ανατολικής Θεσσαλίας		121	30
Σύνολο	9661	3208	223

Πίνακας 3.3: Υδρολογικό ισοζύγιο διαμερίσματος σε ετήσια βάση (Στουρνάρας, 2011)

Υδρολογικό ισοζύγιο διαμερίσματος σε ετήσια βάση					
	Υδρολιθολογικοί σχηματισμοί				
	Αδιαπέρ.	Ημιπερ.	Προσχωμ.	Καρστ.	Σύνολο
Επιφάνεια (km ²)	5254	1720	4195	2168	13377
Ύψος βροχής (mm)	780	780	780	780	
Όγκος βροχής (hm ³)	4098	1365	3272	1691	10426
Συντελεστής εξατμίσεως	60%		60%	60%	60%
Εξάτμιση (hm ³)	3277		1963	1015	6255
Συντελεστής κατεισδύσεως	3%		25%	85%	
Κατείσδυση (hm ³)	66		327	580	973
Επίγεια ροή (hm ³)	2119		982	101	3202

3.2 Νομός Τρικάλων – Δήμος Πύλης

3.2.1 Ιστορική Αναδρομή

Ο νομός κατοικείται από τα πανάρχαια χρόνια. Παλαιολιθικά δείγματα κατοίκησης έχουν εξακριβωθεί στο σπήλαιο της Θεόπετρας, όπου βρέθηκαν εργαλεία της Μέσης και Ανώτερης Παλαιολιθικής, αλλά και της Μεσολιθικής περιόδου (περίπου 130,000 - 8,000 π.Χ.). Το σπήλαιο συνέχισε να κατοικείται ως το τέλος της Νεολιθικής Εποχής με αρχές της εποχής του Χαλκού (2800 π.Χ.) οπότε και εγκαταλείφθηκε. Βρέθηκαν κομμάτια από αγγεία της Αρχαιότερης Νεολιθικής Εποχής (6000 - 5000 π.Χ.) με εμπίστες νυχιές και γραπτά της Μέσης Νεολιθικής (5000 - 4000 π.Χ.). Νεολιθικού ενδιαφέροντος θέσεις έχουν εντοπιστεί επίσης κοντά στο χωριό Μεγάλο Κεφαλόβρυσο, 9 χλμ ΒΔ από τα

Τρίκαλα, ενώ στο Ζάρκο βρέθηκε πήλινο πρόπλασμα σπιτιού, με ειδώλια, προσφορά σε θεμελίωση κατοικίας (Νεότερης Νεολιθικής Εποχής, 5η χιλιετία π.Χ.). Η πρωτεύουσα του νομού συνδέεται με θεότητες της ιατρικής, όπως η νύμφη Τρίκκη. Προστάτιδα της υγείας και της ιατρικής, γεννήθηκε στις όχθες του Ληθαίου και έδωσε το όνομα της στην πόλη. Βασιλιάς της Τρίκκης ήταν ο γιατρός Ασκληπιός που θεωρείται τέκνο της πόλης. Συνέλεγε τα θεραπευτικά βότανά του στο όρος Κερκέτιο (Κόζιακας). Το Ασκληπιείο της Τρίκκης ήταν από τα αρχαιότερα. Η Τρίκκη πήρε μέρος στον Τρωικό Πόλεμο μαζί με την Οιχαλία και την Ιθώμη (σημερινό Φανάρι Καρδίτσας) με τριάντα και πλέον πλοία, με ηγέτες τα παιδιά του Ασκληπιού, Μαχάων και Ποδαλείριο, που ήταν ξακουστοί γιατροί επίσης (Αποκεντρωμένη διοίκηση Θεσσαλίας και Στερεάς Ελλάδας).

Στους Αρχαϊκούς Χρόνους (700 - 478 π.Χ.), ο οργανωτής της Θεσσαλίας Αλεύας Πύρρος καθιέρωσε την τετραρχία. Το κράτος Εστιαιώτις ή Ίστιαιώτις απλωνόταν στα όρια του σημερινού νομού Τρικάλων. Η ονομασία, όπως περιγράφει ο Στράβων, οφείλεται στην εγκατάσταση αποίκων από την Ιστιαία της Εύβοιας (Αποκεντρωμένη διοίκηση Θεσσαλίας και Στερεάς Ελλάδας).

Σπουδαίες πόλεις στην αρχαιότητα ήταν η Τρίκκη και το Αιγίνιον (σημερινή Καλαμπάκα). Η όλη περιοχή ήταν πυκνοκατοικημένη, κυρίως γύρω από το ποτάμι. Όπως δείχνουν λείψανα οχυρώσεων και ευρήματα, αλλά και φιλολογικές αναφορές. Γνωστές πόλεις ήταν επίσης η Οιχαλία, ο Ζάρκος, ο Άτραξ κοντά στο χωριό Πηνειάς, η Φαρκαδών κοντά στον Άτρακα, το Πελινναίο κοντά στο χωριό Πετρόπορος, η Φαλώρεια κοντά στο χωριό Μεγάρχη, η Πιάλεια, το Ποίτναιο κοντά στο χωριό Άγιος Προκόπιος, οι Γόμφοι κοντά στο Μουζάκι Καρδίτσας και τέλος η Οξύνεια (Αποκεντρωμένη διοίκηση Θεσσαλίας και Στερεάς Ελλάδας).

Το 480 π.Χ. οι πόλεις υποτάχθηκαν στους Πέρσες, στην εκστρατεία εναντίον των Ελλήνων. Στη νομισματική ένωση των Θεσσαλών, γύρω στα 470 π.Χ., περιλαμβάνονται η Τρίκκη και η Φαρκαδών, ενώ το Πελινναίον που ήταν με τη Λάρισα έκοψε δικό του νόμισμα. Το 378 π.Χ. ενώθηκαν με τις άλλες θεσσαλικές πόλεις υπό τον Ιάσονα των Φερών. Το 352 π.Χ. ολόκληρη η Θεσσαλία ενώθηκε με το κράτος του Φιλίππου Β' της Μακεδονίας και το 324 π.Χ. ακολούθησε το Μέγα Αλέξανδρο στην εκστρατεία εναντίον των Περσών (Αποκεντρωμένη διοίκηση Θεσσαλίας και Στερεάς Ελλάδας).

Με την επικρότηση των Ρωμαίων το 197 π.Χ. η περιοχή της Τρίκκης γνώρισε καταστροφές και ερημώσεις από τις συγκρούσεις Ρωμαίων και Μακεδόνων. Ήταν η μόνη ελληνική δύναμη που αντιστάθηκε πεισματικά, με το Φίλιππο Ε' και το γιο του Περσέα, ο οποίος έδωσε την τελευταία ατυχή μάχη στην Πύδνα το 167 π.Χ. (Αποκεντρωμένη διοίκηση Θεσσαλίας και Στερεάς Ελλάδας).

Ο νομός Τρικάλων δέχτηκε νωρίς το χριστιανισμό. Από τον 1ο κιόλας αιώνα επικράτησε η νέα θρησκεία, η οποία εδραιώθηκε με το πέρασμα των επόμενων αιώνων (4^ο, 5^ο και 6^ο), χτίζοντας τους ναούς στη ίδια θέση με τους αρχαίους και χρησιμοποιώντας τα υλικά τους, όπως στην Τρίκκη, στο Αιγίνιο, στο Ζάρκο. Στα Βυζαντινά Χρόνια η Τρίκκη ονομάστηκε Τρίκαλα και το Αιγίνιο, Σταγοί. Η περιοχή δέχτηκε επιθέσεις από τους εχθρούς της βυζαντινής αυτοκρατορίας (Γότθοι το 396, Ούννοι το 447, Σλάβοι το 577, Σαρακηνοί το 904, Νορμανδοί το 1081). Με την κατάληψη της Κωνσταντινούπολης από τους ελευθερωτές των Αγίων Τόπων, Σταυροφόρους της Δ' Σταυροφορίας, το 1204 επιβλήθηκε η Φραγκοκρατία. Ο νομός Τρικάλων σύντομα επανήλθε στους Βυζαντινούς (1210-12) του Μιχαήλ Άγγελου Κομνηνού Α' Δούκα, στο Δεσποτάτο της Ηπείρου και αργότερα στο βυζαντινό κράτος, με την επανασύσταση, το 1216. Το εξασθενημένο Βυζάντιο αδυνατούσε να υπερασπιστεί τις επαρχίες του. Από τις αρχές του 14ου αι. νέοι επιδρομείς μαστίζουν την περιοχή, κυρίως Αλβανοί, ενώ οι Σέρβοι του Στέφανου Δουσάν (1331- 1355) κατέλαβαν τη δυτική Θεσσαλία (1348-1371). Δεσπότης της Ηπείρου με έδρα τα Τρίκαλα ορίστηκε ο ετεροθαλής αδελφός του Στέφανου Δουσάν, Συμεών Ούρεσης. Υπήρξε ο τελευταίος Σέρβος διοικητής της Θεσσαλίας, μετά το θάνατο του Στέφανου. Συγγενής της οικογένειας των Φιλανθρωπινών, εγκατέλειψε νωρίς (1381) την εξουσία και έγινε μοναχός. Με το όνομα Ιωάσαφ ίδρυσε το Μεγάλο Μετέωρο, με τον Αθανάσιο Μετεωρίτη (Αποκεντρωμένη διοίκηση Θεσσαλίας και Στερεάς Ελλάδας).

Στους βράχους των Μετεώρων κατέφυγαν ερημίτες από τον 11ο αιώνα, οι οποίοι με την εισβολή των Τούρκων (1393) αυξήθηκαν και δημιούργησαν πολιτεία ολόκληρη με περισσότερα από είκοσι μοναστήρια. Αιτία η καταπίεση, η βαριά φορολογία και η εξαθλίωση των Ελλήνων, καθώς οι εύφορες εκτάσεις πέρασαν στα χέρια των κατακτητών. Πολλοί κάτοικοι κατέφυγαν σε ορεινές δυσπρόσιτες περιοχές, απολαμβάνοντας την ελευθερία τους. Η οικοτεχνία άνθησε τους τελευταίους ιδίως αιώνες, από τα τέλη του 17ου ως τις αρχές του 19ου αι. Ονομαστά ήταν τα δέρματα και

τα μάλλινα υφαντά των Τρικάλων, τα βαμβακερά του Ζάρκου, τα μεταξωτά της Καλαμπάκας (Αποκεντρωμένη διοίκηση Θεσσαλίας και Στερεάς Ελλάδας).

Στα Τρίκαλα λειτούργησε η περίφημη Σχολή Τρίκκης από το 1543 έως το 1854, με μικρές διακοπές, στον παλιό ναό της Αγίας Επισκέψεως, όπου δίδαξαν ονομαστοί δάσκαλοι. Το 1856 μεταφέρθηκε μαζί με τη βιβλιοθήκη στο μοναστήρι του Αγίου Βησσαρίωνα ή Δούσικο και ονομάστηκε Ελληνική Σχολή. Τα Τρίκαλα ελευθερώθηκαν το 1881, αλλά μετά τον ατυχή πόλεμο του 1897 περιήλθαν ξανά στους Τούρκους ως το 1898, που ελευθερώθηκαν οριστικά, ύστερα από επαναστάσεις, αγώνες και θυσίες αιώνων. Μεγάλη μορφή του αγώνα υπήρξε ο παπαθύμιος Βλαχάβας (1808). Επίσης αξίζει να σημειωθεί ότι το χωριό Γριζάνο (πρώην Γκριζάνο ή Βλυζάνο ονομασμένο έτσι προς τιμήν του βασιλιά Βλύζα της περιοχής εκείνης) αποτέλεσε τα σύνορα της ελεύθερης Ελλάδος από το 1898 έως το 1911 (Αποκεντρωμένη διοίκηση Θεσσαλίας και στερεάς Ελλάδας).



Εικόνα 3.1: Άποψη του ποταμού Πορταϊκού από δορυφορική φωτογραφία. (Πηγή: Google Earth).

3.2.2 Γεωγραφία και Κλίμα

Ο Ν.Τρικάλων είναι ο δεύτερος σε έκταση και ο τρίτος σε πληθυσμό από τους τέσσερις νομούς της Θεσσαλίας. Κατέχει το βορειοδυτικό τμήμα της Θεσσαλίας. Συνορεύει με τους νομούς Γρεβενών (βόρεια), Λάρισας (ανατολικά), Καρδίτσας (νότια), Άρτας και Ιωαννίνων (δυτικά). Ο νομός Τρικάλων έχει έκταση 3.367 χλμ². Το 72% των εδαφών του είναι ορεινό, το 11% ημιορεινό και το 17% πεδινό. Ο πληθυσμός του νομού Τρικάλων ήταν κατά το 2001, 139.548 κάτοικοι. (Wikipedia.org)

Ο Ν.Τρικάλων είναι ο περισσότερο ορεινός της Θεσσαλίας και περιβάλλεται στις τρεις πλευρές του από βουνά. Στα ανατολικά υψώνεται ο Τίτανος (693 μ.) και τα βουνά του Ζάρκου, που διαχωρίζουν το νομό από το νομό της Λάρισας. Βόρεια βρίσκονται τα Αντιχάσια, με ψηλότερες κορυφές την Οξυά (1.416 μ.) και τα Μετερίζια (1.381 μ.) Βόρεια, στα σύνορα με το νομό Γρεβενών, βρίσκονται τα Χάσια (ψηλότερες κορυφές Κράτσοβο 1.554 μ. και Ορθοβούνι 1.106 μ.). Δυτικά υπάρχει ο ορεινός όγκος της νότιας Πίνδου, που καταλαμβάνει αρκετά μεγάλο τμήμα του νομού. Συγκεκριμένα στα σύνορα με το νομό Ιωαννίνων υψώνονται οι κορυφές Άσπρα Λιθάρια (1.823 μ.) και Κατάρια (1.705 μ.). (Διαμέσου αυτής γίνεται η επικοινωνία μεταξύ Θεσσαλίας - Ηπείρου). Νοτιότερα βρίσκονται τα βουνά Λάκμος (Περιστέρι 2.295 μ.), Τζουμέρκα (2.429 μ.) (Wikipedia.org).

Τα βασικά ποτάμια του νομού είναι είτε παραπόταμοι του Πηνειού (Μαλαकाσιώτης, Μουργκάνης, Ληθαίος, Παλαιοχωρίτης, Αγιαμονιώτης, Νεοχωρίτικος, Πορταϊκός), είτε παραπόταμοι του Αχελώου ή Ασπροπόταμου. Ας σημειωθεί ότι οι δύο μεγάλοι αυτοί ποταμοί πηγάζουν ουσιαστικά από το ίδιο το σημείο, στο ΒΔ άκρο του νομού Τρικάλων (από όπου πηγάζουν επίσης ο Αώος και ο Άραχθος) (Wikipedia.org).

Το κλίμα του νομού Τρικάλων είναι ηπειρωτικό, με δριμύ κρύο το χειμώνα και εξαιρετικά ζεστό καλοκαίρι. Η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι 16-17 °C στα πεδινά και χαμηλότερη στα ορεινά (Wikipedia.org)

Όσον αφορά τις πόλεις και τους οικισμούς. Ο νομός χωρίζεται σε 23 δήμους και 3 κοινότητες. Πρωτεύουσα και μεγαλύτερη πόλη του νομού είναι τα Τρίκαλα, με πληθυσμό 51.672 κατοίκους (απογραφή 2001). Είναι εμπορικό, βιομηχανικό, διοικητικό και εκκλησιαστικό κέντρο. Επόμενες σε πληθυσμό πόλεις είναι η Καλαμπάκα, Φαρκαδώνα,

Οιχαλία, Πύλη. Μεγάλα χωριά είναι τα Μ. Καλύβια, το Κεφαλόβруσο, οι Γόμφοι, το Γριζάνο κλπ. (Wikipedia.org).

3.2.3 Γεωλογία

Η περιοχή της Θεσσαλίας κατά κύριο λόγο εκτείνεται σε τρεις γεωτεκτονικές ζώνες. Οι ζώνες αυτές κατανέμονται από τα Δυτικά προς τα Ανατολικά και είναι η Πελαγονική και η Υποπελαγονική ζώνη που ανήκουν στις εσωτερικές ελληνίδες και η ζώνη της Πίνδου που ανήκει στις εξωτερικές Ελληνίδες (οι γεωτεκτονικές ζώνες ονομάζονται και «ελληνίδες ζώνες»). Ακόμη στην περιφέρεια της Θεσσαλίας αναπτύσσονται η Ενότητα της Όσσας, τα μολασσικά ιζήματα της Μεσοελληνικής Αύλακας στο δυτικό τμήμα της Θεσσαλικής πεδιάδας, ένα πολύ μικρό μέρος της Ζώνη Γαβρόβου – Τριπόλεως καθώς και σύγχρονα τεταρτογενή και νεογενή ιζήματα στο πεδινό τμήμα της περιφέρειας (Μαντούζα Ανδρομάχη, 2008).

Η Πελαγονική ζώνη αποτελείται από Παλαιοζωϊκά κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα του ηπειρωτικού φλοιού της παλιάς Κιμμερικής ηπείρου, μέσα στα οποία διείσδυσαν γρανιτικά σώματα του Άνω Λιθανθρακοφόρου. Περμοτριάδικα Μετακλαστικά ιζήματα και ανθρακικά πετρώματα Τριαδικού – Ιουρασικού αποτέθηκαν στα ηπειρωτικά περιθώρια της ζώνης και πάνω σε αυτά επωθήθηκαν οι οφιολιθικές μάζες προερχόμενες από τις εκατέρωθεν ωκεάνιες λεκάνες της Τηθύος. Η Πελαγονική ζώνη συνίσταται από: επικλυσιογενή ιζήματα Μ-Α Κρητιδικού (κροκαλοπαγή, μαργ. ασβεστόλιθοι, μικρολατυποπαγή, φλύσσης), οφιόλιθους και συνοδά ιζήματα, ανθρακικά καλύμματα τριαδικού – Ιουρασικού νηριτικής φάσης, περμοτριάδικές μετακλαστικές ακολουθίες, γνευσιωμένους γρανίτες λιθανθρακοφόρου και κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο (όρθο και παρα – γνεύσιοι, αμφιβολίτες, μαρμαρυγιοκοί σχιστόλιθοι) (Μαντούζα Ανδρομάχη, 2008).

Η Υποπελαγονική ζώνη έχει σαν κύριο χαρακτηριστικό τις μεγάλες οφιολιθικές μάζες και την συνοδεύουσα σχιστοκερατολιθική διάπλαση. Οι οφιόλιθοι της Υποπελαγονικής

συνιστούν την «εξωτερική οφιολιθική λωρίδα» και η ζώνη θεωρείται ότι αντιπροσωπεύει την οφιολιθική συρραφή της παλιάς ωκεάνιας περιοχής δυτικά του Πελαγονικού ηπειρωτικού τεμάχους. Το προαλπικό υπόβαθρο της Υποπελαγονικής συνίσταται από τα Κ. Παλαιοζωϊκά πετρώματα της Πελαγονικής καθώς και ιζηματογενή ή ημιμεταμορφωμένα πετρώματα Παλαιοζωϊκής ηλικίας. Οι αλπικοί σχηματισμοί που μετέχουν στη συγκρότηση της ζώνης είναι: Τριαδικά ιζήματα: κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, πυριτικοί ή νηριτικοί ασβεστόλιθοι με χαρακτηριστικούς τους κόκκινους αμμωνιτοφόρους ασβεστόλιθους και τεφρούς ωολιθικούς ασβεστόλιθους και δολομίτες. Πελαγικοί - Νηριτικοί Ασβεστόλιθοι Ιουρασικού, Σχιστοκερατολιθική διάπλαση Τριαδικού - Ιουρασικού: κόκκινοι, πράσινοι και μαύροι αργιλικοί σχιστόλιθοι, ραδιολαριτικοί κερατόλιθοι, μάργες, ψαμμίτες, πηλίτες. Παρεμβολές οφιολιθικών σωμάτων, λατεριτικά σιδηρονικελιούχα κοιτάσματα, ιζήματα Μέσο – Άνω Κρητιδικής επίκλυσης: ασβεστόλιθοι – φλύσχη, μεταλλικά ιζήματα μολασσικού τύπου (Μεσοελληνικής Αύλακας) (Μαντούζα Ανδρομάχη, 2008).

Η ζώνη της Ωλονού - Πίνδου συνήθως αναφέρεται σαν το «Ελληνικό ευγεωσύγκλινο» του Μεσοζωϊκού. Μαζί με την Υποπελαγονική ζώνη αντιπροσωπεύει τον κατεστραμμένο ωκεανό της Νεοτηθύος. Από τα τέλη του κρητιδικού μέχρι το Ηώκαινο - Κ. Ολιγόκαινο στο χώρο της Πίνδου αποτίθενται ρυθμικές εναλλαγές ψαμμιτών, μαργών μαζί με κροκαλοπαγή και ασβεστόλιθους που δομούν τον κύριο «δεύτερο φλύσχη της Πίνδου», τυπικό του ελληνικού χώρου. Καθ' όλη τη διάρκεια του Ιουρασικού στην Αύλακα της Πίνδου αποτίθενται ιζήματα βαθιάς θάλασσας κερατολιθοι, ραδιολαρίτες, άργιλοι, ψαμμίτες, πελαγικοί πυριτικοί ασβεστόλιθοι και ιάσπιδες που αποτελούν την «Σχιστοκερατολιθική διάπλαση». (Μαντούζα Ανδρομάχη, 2008).

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που εμφανίζονται στη περιοχή της Θεσσαλίας είναι οι εξής:

- Πρόσφατα χαλαρά ιζήματα: Παράκτιες και ποτάμιες αποθέσεις από άμμο, άργιλο, πηλό και κροκάλες. Το πάχος τους κυμαίνεται από μερικά μέτρα έως μερικά δεκάδες μέτρα που κατά θέσεις ξεπερνούν τα 100 m.

- Παλαιές προσχώσεις και πλευρικά κορήματα: Αμμώδεις άργιλοι, ψηφίδες, κροκάλες και λάτυπες μικρών διαστάσεων, που παρουσιάζουν σαφή εναλλαγή των αδρομερών και λεπτομερών λιθολογικών φάσεων. Το πάχος τους δεν ξεπερνά τα 20 m και η ηλικία τους είναι κυρίως Πλειστοκαινική
- Μολασσικοί σχηματισμοί: Μάργες, κροκαλοπαγή, ψαμμίτες με ενστρώσεις λεπτοπλακωδών μαργαϊκούς ασβεστόλιθους. Οι σχηματισμοί αυτοί έχουν σαφή στρώση και το πάχος τους κυμαίνεται στα 1000 - 2000 m (Μεσοελληνικής Αύλακας)
- Οφίολιθοι: Απαντώνται σε εκτεταμένες εμφανίσεις, ιδίως στο δυτικό τμήμα. Πρόκειται για βασικά έως υπερβασικά πυριγενή πετρώματα (βασάλτες, σερπεντίνες, περιδοτήτες, διορίτες κ.α.) με ιδιαίτερο χαρακτηριστικό το πρασινωπό χρώμα τους, στο οποίο οφείλουν και το όνομά τους
- Φλύσχης: Κλασικός ιζηματογενής σχηματισμός της ζώνης Πίνδου και της Υποπελαγονικής, αποτελείται από εναλλαγές ψαμμιτών, πηλιτών και αργλικών σχιστολίθων και εμφανίζεται κυρίως στο ορεινό τμήμα της Πίνδου.
- Ασβεστόλιθοι: Ανθρακικά πετρώματα του αλπικού υποβάθρου, συχνά συναντώνται ανακρυσταλλωμένα έως ελαφρά μεταμορφωμένα και αποτελούν αντικείμενο έντονης λατομικής δραστηριότητας στην περιοχή
- Μάρμαρα: Μαζί με κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους και σιπολίτες, που έχουν μεγάλο πάχος συνήθως, υψηλή συνεκτικότητα και συνιστούν το γεωλογικό υπόβαθρο
- Σχιστόλιθοι: Μεταμορφωμένα πετρώματα του αλπικού υποβάθρου της Πελαγονικής ζώνης, όπου στην πλειοψηφία τους αποτελούνται από σχιστολίθους, φυλλίτες και γνευσίους και απαντώνται κυρίως στις περιοχές Ολύμπου, Ελασσόνας και Πηλίου
- Σχιστοκερατόλιθοι: Στην Αύλακα της Πίνδου αποτίθενται ιζήματα βαθιάς θάλασσας, κερατόλιθοι, ραδιολαρίτες, άργιλοι, ψαμμίτες, πελαγικοί πυριτικοί ασβεστόλιθοι και ιάσπιδες που αποτελούν την «Σχιστοκερατολιθική διάπλαση» και εντός της εμφανίζονται περιδοτήτες, διαβάσεις και δολερίτες (Κουγιουμτζίδου Κυριακή, 2011).

Επειδή η γεωλογία της περιοχής δεν προσφέρεται για την άμεση έκφανση συμπερασμάτων, έτσι, προκειμένου να διευκολυνθεί αυτή η διαδικασία ο Κωτούλας (2001) προχώρησε στην αδρομερέστερη κατηγοριοποίηση των πετρωμάτων,

στηριζόμενος σε κριτήρια όπως το είδος, ο βαθμός έντασης, η έκταση και ο συνδυασμός των χειμαρρικών φαινομένων που χαρακτηρίζουν κάθε ορυκτό ή πέτρωμα.

Με βάση τα προαναφερθέντα κριτήρια, προέκυψαν οι ακόλουθοι χειμαρρικοί - πετρολογικοί σχηματισμοί:

- Ασβεστολιθικός σχηματισμός: περιλαμβάνει τους ασβεστόλιθους, τους δολομίτες και τους κερατόλιθους.
- Φλυσικός σχηματισμός: περιλαμβάνει το γεωλογικό σχηματισμό του φλύσχη.
- Σχιστολιθικός σχηματισμός: περιλαμβάνει τους πάσης φύσεως σχιστόλιθους (πυριτικοί, σερικιτικοί, αργιλικοί, φυλλίτες κα).
- Κρυσταλλοπυριγενής σχηματισμός: περιλαμβάνει τους γνεύσιους, τους γρανίτες, σερπεντινίτες, αμφιβολίτες, πρασινίτες, βασάλτες διορίτες κλπ.
- Νεογενής σχηματισμός: περιλαμβάνει τα εξής: άμμοι, άργιλοι, μάργες, κροκαλώδη, Κροκαλοπαγή, λατυπώδη, λατυποπαγή, ψαμμίτες, ψαμόλιθοι.
- Προσχωσιγενής σχηματισμός: περιλαμβάνει καλλιεργούμενα εδάφη, προσχωσιγενών, πεδινών ή ημιπεδινών περιοχών (λυτά πετρώματα). (Μαντούζα Ανδρομάχη, 2008)

3.2.4 Υδρολιθολογία

Η περιοχή χαρακτηρίζεται από την πλούσια υδροφορία τόσο σε υπόγεια όσο και σε επιφανειακά ύδατα. Αυτό οφείλεται κύρια στο μεγάλο βαθμό καρστικοποίησης των ανθρακικών πετρωμάτων της περιοχής και στη μεγάλη περατότητα των χαλαρών σχηματισμών του Θεσσαλικού κάμπου που ευνοούν την αποθήκευση τεράστιων όγκων υπόγειου νερού. Εξάλλου, η πετρολογική σύσταση των σχηματισμών του κρυσταλλικού υπόβαθρου ευνοεί την επιφανειακή απορροή. Ο εμπλουτισμός του προσχωματικού υδροφορέα εξασφαλίζεται άμεσα από τα ύδατα της βροχής και έμμεσα από την πλευρική τροφοδοσία του καρστικού υδροφορέα (Μπέλλος, 2004).

Ο Πηνειός σχηματίζεται από τη συμβολή του Μαλακασιώτικου ποταμού, που πηγάζει από το βουνό Λάκμος και του ρέματος Μουργκάνι (Ιων), που πηγάζει από τα Αντιχάσια. Μετά την είσοδο του στη πεδιάδα δέχεται από αριστερά όλα τα νερά των Χασίων, τα οποία φέρνουν σε αυτόν ο Ληθαίος και ο Νεοχωρίτης. Από τα νότια χύνονται σε αυτόν τα ρέματα της Πίνδου και της Όθρυος, όπου είναι τα παρακάτω:

Πορταϊκός, από τα νοτιοδυτικά των Τρικάλων

Πάμισος, από τη χαράδρα του Μουζακίου

Καλέντζης, το ρέμα της Καρδίτσας που έρχεται από τον Ίταμο

Σοφαδίτης, που μαζεύει όλα τα ποτάμια της δολοπικής σχιστολιθικής οροσειράς

Ενιπέας, απορρέει στον Σοφαδίτη

Τα νερά του Καλέντζη, του Σοφαδίτικου και του Ενιπέα μετά από μικρό κοινό ρου χύνονται όλα μαζί στον Πηνειό. Σε αυτή τη περιοχή συγκεντρώνονται όλες οι μεγάλες υδάτινες αρτηρίες, που κατεβαίνουν από τις πλούσιες σε βροχές βόρειες πλαγιές της Πίνδου και της Όθρυος (Κουγιουμτζίδου Κυριακή, 2011).

Αφού μαζέψει ο Πηνειός όλα τα νερά της δυτικής πεδιάδας, διασχίζει το δυτικό και ανατολικό άκρο των σκληρών ασβεστολιθικών βουνών και ανάντη της Λάρισας διχάζεται

σε δύο κλάδους. Ο δεξιός κλάδος μαιανδρίζει, έχει μήκος 6,2 χ.λ.μ και αποτελεί την ιστορική κοίτη του ποταμού. Ο αριστερός κλάδος είναι ευθύγραμμος, μήκους 2,3 χ.λ.μ και κατασκευάστηκε το 1983 για την αντιπλημμυρική προστασία της πόλης (Κουγιουμτζίδου Κυριακή, 2011).

Ο Πηνειός συνεχίζοντας τη πορεία του δημιουργεί έντονους μαιανδρισμούς μέχρι να δεχτεί από τα βορειοδυτικά τα νερά του Τιταρησίου, που πηγάζει από τις δυτικές πλαγιές του Ολύμπου και από το όρος Τίταρος. Στη συνέχεια το ποτάμι πιέζεται σε μια στενή κοιλάδα περνώντας από τα στενά της Ροδιάς ανάμεσα από το Έρημον και τον Κάτω Όλυμπο, όπου έχει το μοναδικό μικρό καταρράκτη του. Διατρέχει την κοιλάδα των Γόννων και τα στενά των Τεμπών και εκβάλλει στο Αιγαίο ύστερα από μια διαδρομή 214 χλμ. σχηματίζοντας μικρό δέλτα (Κουγιουμτζίδου Κυριακή, 2011).

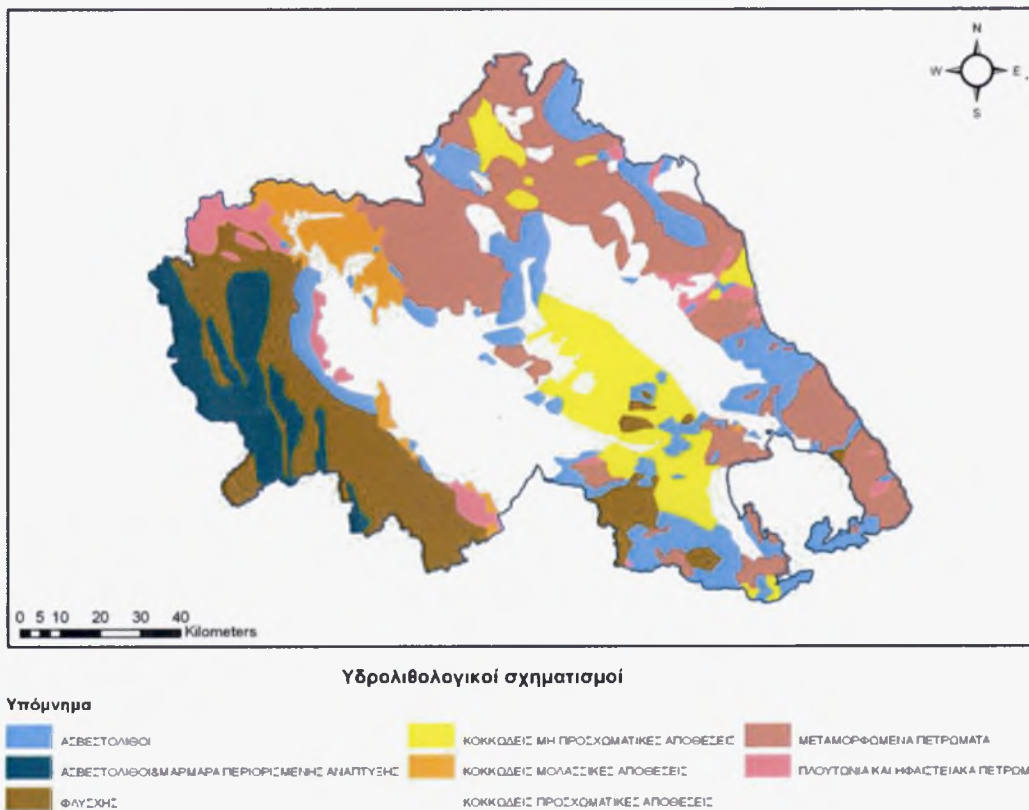
Η μέση ετήσια απορροή στις εκβολές του Πηνειού είναι $86,1 \text{ m}^3/\text{s}$ σύμφωνα με την Εθνική Τράπεζα Υδρολογικής και Μετεωρολογικής Πληροφορίας. Τα στενά των Τεμπών καθώς και τα άλλα δύο στενά κατά μήκος του ποταμού (Καλαμακίου και Ροδιάς) αποτελούν την αιτία για τις περισσότερες πλημμύρες που εμφανίζονται στην πεδιάδα, κυρίως στις περιοχές Ζάρκου και Γόννων. Επιπλέον η παρουσία γεφυρών χαμηλού ύψους, η κατασκευή πρόχειρων φραγμάτων για άντληση νερού από τους αγρότες και το χαμηλό ύψος του αποστραγγιστικού δικτύου ενισχύουν την τάση για πλημμύρες (Mimikou et al., 1995).

Οι σχηματισμοί που δομούν το υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας ταξινομήθηκαν με βάση την ευκολία ή τη δυσκολία με την οποία διακινείται το νερό στη μάζα τους δηλαδή στους υδροπερατούς, ημιπερατούς και αδιαπέρατους σχηματισμούς. Η πεδιάδα της Θεσσαλίας διαχωρίζεται σε δύο κύριες αυτοτελείς υδρολογικές λεκάνες, τη λεκάνη της Δυτικής και τη λεκάνη της Ανατολικής Θεσσαλίας (Τέγος, 2005).

Οι υδρολιθολογικοί σχηματισμοί από τους οποίους αποτελείται η υπό εξέταση λεκάνη είναι διαφόρων ειδών και η ονοματολογία τους παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.4. Θεωρήθηκε χρήσιμο να πραγματοποιηθεί η απεικόνιση τους σε χάρτη ώστε να υπάρχει

μια συνολική εικόνα περί της δομής του «υπογείου» περιβάλλοντος της περιοχής αλλά και μια ολοκληρωμένη βάση δεδομένων που μπορεί να βοηθήσει στον έλεγχο των φυσικών λειτουργιών των υδάτων αλλά και άλλων φαινομένων που λαμβάνουν χώρα (Μαντούζα Ανδρομάχη, 2008).

Ο αρχικός χάρτης που χρησιμοποιήθηκε είναι ο Υδρολιθολογικός Χάρτης της Ελλάδος, Κλίμακας 1:1.000.000 ο οποίος παράχθηκε από τη Διεύθυνση Υδατικού Δυναμικού του Υπουργείου Ανάπτυξης κατά το έτος 1996 (Μαντούζα Ανδρομάχη, 2008).



Σχήμα 3.4: Υδρολιθολογικός χάρτης της λεκάνης απορροής του Πηνειού ποταμού (Μαντούζα Ανδρομάχη, 2008).

Όπως προαναφέρθηκε οι σχηματισμοί που εμφανίζονται είναι τριών ειδών, αδιαπέρατοι, καρστικοί και πορώδεις σχηματισμοί ή αλλιώς αδιαπέρατοι, ημιπερατοί και υδροπερατοί σχηματισμοί. Στους αδιαπέρατους σχηματισμούς ανήκει ο φλύσχης, τα μεταμορφωμένα και τα πλουτώνια και ηφαιστειακά πετρώματα. Ο φλύσχης είναι γενικά αδιαπέρατος σχηματισμός. Τα μεταμορφωμένα πετρώματα είναι αδιαπέρατοι σχηματισμοί με μικρή

έως πολύ μικρή υδροπερατότητα στους οποίους όταν παρεμβάλλονται τοπικά ασβεστόλιθοι και μάρμαρα, συχνά αναπτύσσονται καρστικοί υδροφορείς. Τα πλουτώνια και ηφαιστειακά πετρώματα είναι γενικώς αδιαπέρατοι σχηματισμοί με μικρή έως πολύ μικρή υδροπερατότητα. Σε αυτούς τους σχηματισμούς και ειδικότερα στους γρανίτες και περιδοτίτες αναπτύσσονται τοπικά υδροφορείς σε ζώνες έντονης διάρρηξης. Η υδροπερατότητα στις ζώνες αυτές κυμαίνεται από μικρή έως μέτρια. Γενικά σε όλους τους αδιαπέρατους σχηματισμούς αναπτύσσονται τοπικά περιορισμένοι, ελεύθεροι υδροφορείς στο ανώτερο αποσαθρωμένο τμήμα τους, ιδιαίτερα σε περιοχές με έντονη φυτοκάλυψη. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη πολλών μικρών πηγών σε διαφορετικά υψόμετρα με κυμαινόμενες παροχές (Μαντούζα Ανδρομάχη, 2008).

Οι καρστικοί σχηματισμοί της περιοχής αποτελούνται από ασβεστόλιθους και μάρμαρα εκτεταμένης αλλά και περιορισμένης ανάπτυξης. Το πρώτο είδος σχηματισμών παρουσιάζει έντονη καρστικοποίηση, λόγω της χημικής διάβρωσης τους που ποικίλει μεταξύ ασβεστόλιθων και δολομιτών. Η συνήθως μεγάλη επιφανειακή τους ανάπτυξη, η έντονη τεκτονική τους καταπόνηση, η λιθολογική τους σύσταση και η στρωματογραφική τους δομή συντελούν στην ανάπτυξη πορώδους ρωγμών και ασυνεχειών με αποτέλεσμα η υδροπερατότητα τους να κυμαίνεται από μέτρια έως υψηλή. Η μεγάλη επιφανειακή τους εξάπλωση ευνοεί την ανάπτυξη εκτεταμένων καρστικών συστημάτων. Το δεύτερο είδος σχηματισμών παρουσιάζει μέτρια καρστικοποίηση λόγω της χημικής διάβρωσης τους που περιορίζεται εξαιτίας των εναλλαγών με ημιπερατούς και αδιαπέρατους σχηματισμούς. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η ροή του υπόγειου νερού να ελέγχεται από τις παρεμβολές των αδιαπέρατων σχηματισμών και από τις μεγάλες τεκτονικές γραμμές (Μαντούζα Ανδρομάχη, 2008).

Οι υδροπερατοί αποτελούνται από κοκκώδεις προσχωματικές αποθέσεις κυμαινόμενης υδροπερατότητας, κοκκώδεις μη προσχωματικές αποθέσεις μέτριας έως πολύ μικρής υδροπερατότητας και κοκκώδεις μολασσικές αποθέσεις σχετικά μικρής υδροπερατότητας. Το πρώτο είδος σχηματισμών αναπτύσσεται κυρίως κατά τη ροή των ποταμών και των χειμάρρων. Συνήθως κατά τη διαδρομή των ποταμών από το εσωτερικό πεδινό τμήμα προς το δέλτα τους οι ελεύθεροι υδροφορείς που αναπτύσσονται

μεταπίπτουν σε μερικώς υπό πίεση και τελικώς υπό πίεση, η τροφοδοσία τους εξαρτάται από τη λιθολογική τους σύσταση (Μαντούζα Ανδρομάχη, 2008).

Το δεύτερο είδος σχηματισμών εμφανίζει γενικά μετρία έως μικρή υδροπερατότητα ανάλογα με τη συμμετοχή χονδρόκοκκου ή λεπτομερούς υλικού. Στις πλειοκαινικές και νεογενείς αποθέσεις αναπτύσσονται κυρίως επάλληλοι υπό πίεση υδροφορείς. Στο τελευταίο είδος η συχνή παρουσία κροκαλοπαγών, κυρίως αποθέσεις της Μεσοελληνικής Αύλακας δημιουργεί ευνοϊκές συνθήκες για την ανάπτυξη τοπικών υδροφόρων οριζόντων, ελευθέρων ή υπό πίεση. Η υδροπερατότητα τους εξαρτάται τόσο από τη μικρή παρουσία αργίλων στη σύσταση τους όσο και από το μικρό σχετικά βαθμό διαγένεσης τους (Μαντούζα Ανδρομάχη, 2008).

3.2.5 Ανάλυση Υδρολογικής Λεκάνης

Η λεκάνη απορροής του Πορταϊκού ποταμού οριοθετείται δυτικά από την οροσειρά της νότιας Πίνδου και ανατολικά από την Θεσσαλική πεδιάδα, στο ύψος του Πηνειού ποταμού. Προς βορρά ξεκινάει περίπου 9 Km νότια της Καλαμπάκας ενώ νότια αποτελεί ουσιαστικά το όριο μεταξύ των νομών Τρικάλων και Καρδίτσας. Καλύπτει επιφάνεια περίπου 294 Km², η οποία διαρρέεται από ένα πυκνό υδρογραφικό δίκτυο.

Η λεκάνη αυτή αποτελείται από δύο επιμέρους λεκάνες, οι οποίες διαχωρίζονται από την επιμήκη οροσειρά του Κόζιακα (Κερκέτιο όρος) και επικοινωνούν μεταξύ τους στην περιοχή των στενών της Πύλης.

Η κύρια κοίτη του Πορταϊκού έχει συνολικό μήκος 31,9 Km, ενώ χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι το μεγαλύτερο τμήμα αυτής βρίσκεται δίπλα στον υδροκρίτη της υδρολογικής λεκάνης με αποτέλεσμα το υδρογραφικό δίκτυο να παρουσιάζει μια εντελώς ασύμμετρη ανάπτυξη εκατέρωθεν του κυρίου κλάδου.

3.2.6 Τεκτονική

Με τον όρο «Ενεργός Τεκτονική» μιας περιοχής αναφερόμαστε συνήθως στις παραμορφώσεις και διαρρήξεις του φλοιού της Γης, καθώς και στις τεκτονικές τάσεις (δυνάμεις) που προκαλούν αυτές τις παραμορφώσεις και διαρρήξεις σήμερα. Η λέξη «σήμερα» αναφέρεται εδώ με τη γεωλογική της σημασία. Δηλαδή, ο σημερινός τρόπος παραμόρφωσης και διάρρηξης των γεωλογικών στρωμάτων έχει συνήθως ηλικία μερικών εκατοντάδων χιλιάδων ή λίγων εκατομμυρίων ετών.

Ενεργός Τεκτονική της Θεσσαλίας

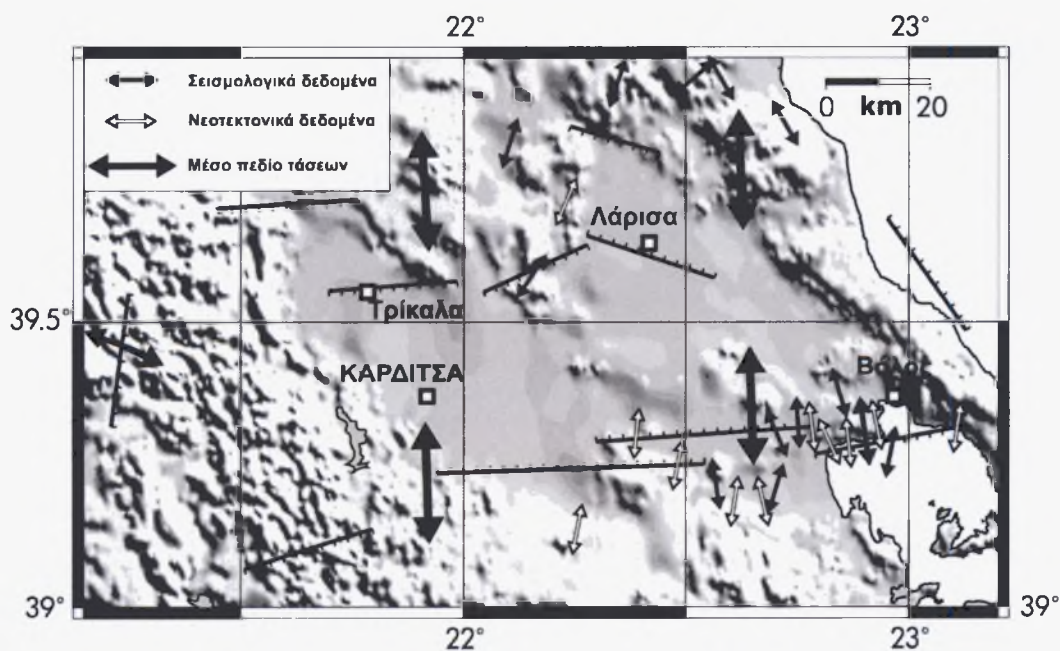
Η Ενεργός τεκτονική του ελλαδικού χώρου μελετήθηκε συστηματικά κατά τις τελευταίες τέσσερις δεκαετίες υπό το πρίσμα της θεωρίας των λιθοσφαιρικών πλακών. Τα σημαντικότερα αποτελέσματα αυτής της έρευνας είναι ότι κατά μήκος του ελληνικού τόξου (Ζάκυνθος – Κρήτη – Ρόδος) και στο εξωτερικό (κυρτό) μέρος του η λιθόσφαιρα του Αιγαίου (μπροστινό μέρος της Ευρασιατικής λιθόσφαιρικής πλάκας) συγκλίνει με τη λιθόσφαιρα της Ανατολικής Μεσογείου (μπροστινό μέρος της Αφρικανικής λιθόσφαιρικής πλάκας) με συνέπεια να ασκούνται συμπιεστικές δυνάμεις κατά μήκος του τόξου (Parazachos and Comninakis, 1971). Όμως το Αιγαίο και οι γύρω περιοχές που βρίσκονται στο εσωτερικό (κοίλο) μέρος του ελληνικού τόξου, αποτελούν μικροπλάκα η οποία κινείται γρήγορα νοτιοδυτικά και εφιππεύει τη λιθόσφαιρα της Ανατολικής Μεσογείου με συνέπεια να επεκτείνεται (τεντώνεται) η μικροπλάκα του Αιγαίου κατά μία διεύθυνση περίπου βορρά-νότου (McKenzie, 1970, 1972).

Η επέκταση της μικροπλάκας του Αιγαίου οφείλεται στο ότι το μπροστινό της μέρος (νοτιοδυτικό Αιγαίο) κινείται γρήγορα και εφιππεύει την Ανατολική Μεσόγειο με μια ταχύτητα 3.5 εκατοστά το χρόνο (3.5 cm/yr) ενώ το μεσαίο μέρος της μικροπλάκας κινείται με μικρότερη ταχύτητα (~ 2cm/yr) και το πίσω τμήμα της (Κεντρική Ελλάδα) με αρκετά μικρότερη ταχύτητα (~ 1cm/yr) από το μπροστινό της μέρος (Parazachos, 1999).

Η Θεσσαλία βρίσκεται στο πίσω μέρος της λιθοσφαιρικής μικροπλάκας του Αιγαίου και αναμένεται, σύμφωνα με το μοντέλο που περιγράψαμε παραπάνω, να ασκούνται εφελκυστικές τάσεις (δυνάμεις ανά μονάδα επιφάνειας) οι οποίες να έχουν διεύθυνση

περίπου βορρά-νότου και να επεκτείνουν την περιοχή κατά την ίδια διεύθυνση. Οι εφελκυστικές τάσεις έχουν ως συνέπεια τη δημιουργία «κανονικών ρηγμάτων» των οποίων η διεύθυνση είναι κάθετη προς τη διεύθυνση της τάσης. Δηλαδή αναμένεται στη Θεσσαλία τα σεισμικά ρήγματα να έχουν διεύθυνση Ανατολής-Δύσης και κλίση προς το βορρά ή το νότο με βυθιζόμενο το πάνω τέμαχος του ρήγματος (Panagiotopoulos - Papazachos).

Στο σχήμα 3.5 παριστάνονται οι τεκτονικές τάσεις (βέλη με δύο κατευθύνσεις) στη Θεσσαλία και τις γύρω περιοχές που έχουν προσδιορισθεί τόσο με σεισμολογικές μεθόδους όσο και με γεωλογικές-νεοτεκτονικές μεθόδους (Mountrakis et al., 2006). Οι τάσεις με σεισμολογικές μεθόδους έχουν υπολογιστεί με ανάλυση σειсмоγραμμάτων ενώ τα γεωλογικά-νεοτεκτονικά αποτελέσματα έχουν υπολογιστεί από παρατηρήσεις υπαίθρου. Αν και οι μεθοδολογίες είναι εντελώς ανεξάρτητες, είναι πολύ σημαντική η διαπίστωση της πολύ καλής συμφωνίας των δύο ειδών δεδομένων (Panagiotopoulos - Papazachos).



Σχήμα 3.5: Τεκτονικές τάσεις Θεσσαλίας και γύρω περιοχών (Mountrakis et al., 2006)

Τα τέσσερα μεγάλα διπλά βέλη παριστάνουν τις μέσες διευθύνσεις των τάσεων στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλίας. Βλέπουμε ότι από τις σεισμολογικές και γεωλογικές παρατηρήσεις προκύπτει ότι οι τεκτονικές τάσεις είναι εφελκυστικές και έχουν

διεύθυνση βορρά-νότου, δηλαδή τείνουν να επεκτείνουν (τεντώσουν) το φλοιό της Θεσσαλίας κατά τη διεύθυνση βορρά-νότου, όπως προβλέπει το λιθοσφαιρικό μοντέλο που αναφέραμε παραπάνω (Panagiotopoulos - Papazachos).

Στο σχήμα 3.5 δείχνονται επίσης τα σημαντικότερα (έντεκα) ενεργά ρήγματα της περιοχής που έδωσαν ισχυρούς σεισμούς κατά τους ιστορικούς χρόνους και καθορίστηκαν με σεισμολογικές και γεωλογικές παρατηρήσεις (Παπαζάχος και συνεργάτες, 2001). Το μακρύ ευθύγραμμο τμήμα κάθε συμβόλου παριστάνει τη διεύθυνση και το μήκος του ρήγματος ενώ οι μικρές κάθετες γραμμές στη διεύθυνση του ρήγματος (δόντια) δείχνουν τη διεύθυνση κλίσης του ρήγματος. Όλα τα ρήγματα αυτά είναι πράγματι κανονικά ρήγματα και όπως προκύπτει από το Σχήμα 3.5, έχουν διεύθυνση περίπου ανατολής-δύσης ενώ άλλα κλίνουν προς το βορρά και άλλα προς το νότο (Panagiotopoulos - Papazachos).

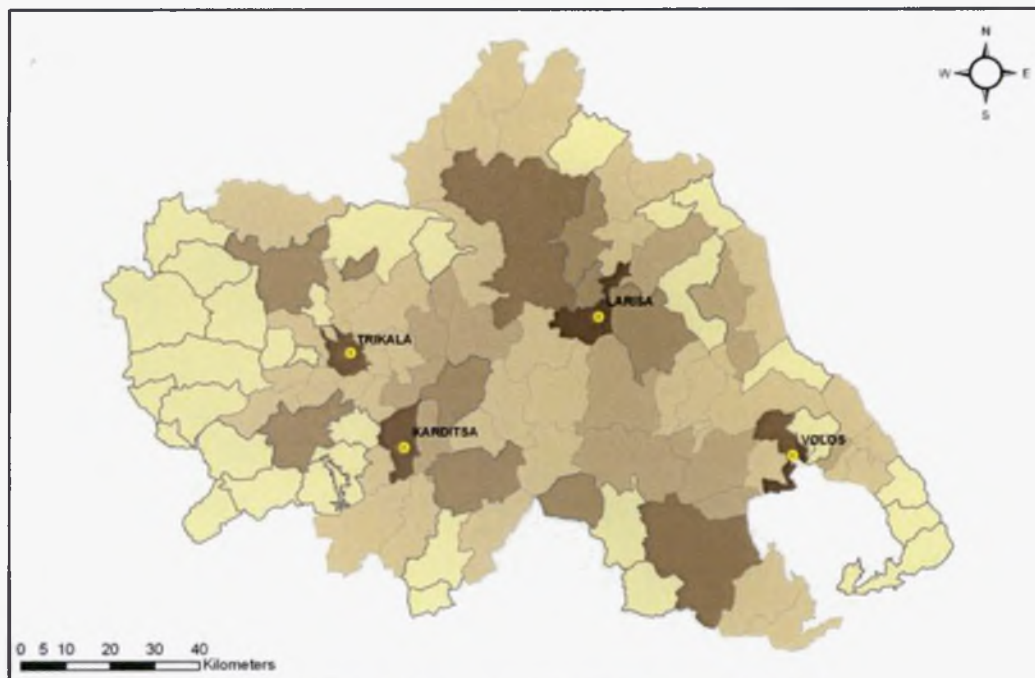
Το μεγαλύτερο από τα ρήγματα αυτά είναι το ρήγμα των Σοφάδων που βρίσκεται νοτιοανατολικά της Καρδίτσας, έχει μήκος περίπου 50km και διεύθυνση ανατολής-δύσης και κλίση προς τον βορρά. Από σεισμολογικά στοιχεία προέκυψε ότι το ρήγμα αυτό είναι κανονικό, δηλαδή βυθίζεται το πάνω τέμαχός του προς τη λεκάνη της Καρδίτσας. Αυτό προκύπτει και από τις μακροσεισμικές παρατηρήσεις που έγιναν στην περιοχή μετά τη γένεση του μεγάλου σεισμού ($M=7.0$) της 30^{ης} Απριλίου 1954 που προήλθε από το ρήγμα αυτό, όπου παρατηρήθηκε ότι κατά τη γένεση του σεισμού αυτού βυθίστηκε προς τη Θεσσαλική πεδιάδα το βόρειο τέμαχος του ρήγματος κατά ένα περίπου μέτρο (Παπασταματίου και Μουγιάρης, 1986).

3.2.7 Δημογραφικά στοιχεία

Στο παρόν κεφάλαιο καταγράφονται και αναλύονται τα δημογραφικά και κοινωνικά χαρακτηριστικά της Περιφέρειας της Θεσσαλίας. Συγκεκριμένα πραγματοποιείται ανάλυση των χαρακτηριστικών των νομών Καρδίτσας, Λάρισας, Μαγνησίας και Τρικάλων. Μέσω της διαδικασίας αυτής διεξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα ως προς την πληθυσμιακή εξέλιξη της Περιφέρειας.

Σύμφωνα με την απογραφή της ΕΣΥΕ για το έτος 2001, ο πληθυσμός της Περιφέρειας Θεσσαλίας ανέρχεται σε 753.888 κατοίκους, και αντιπροσωπεύει το 6,8% του συνολικού πληθυσμού της χώρας αποτελώντας την τρίτη σε πληθυσμιακό μέγεθος περιφέρεια. Αξίζει να αναφερθεί πως σε αυτή την περιφέρεια παράγεται το 6,3% του ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος της χώρας (4η μεγαλύτερη συμμετοχή μετά την Αττική, την Κεντρική Μακεδονία και τη Στερεά Ελλάδα).

Σύμφωνα με το Υπουργείο Εσωτερικών Δημόσιας Διοίκησης και Αποκέντρωσης και το πρόγραμμα "ΙΩΑΝΝΗΣ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΣ" που αφορά την ανασυγκρότηση της πρωτοβάθμιας τοπικής αυτοδιοίκησης, οι νέοι Οργανισμοί Τοπικής Αυτοδιοίκησης της Θεσσαλίας αποτελούνται από 93 Δήμους και 12 Κοινότητες. Στο Σχήμα 3.6 απεικονίζεται η κατανομή του πληθυσμού των Δήμων και Κοινοτήτων της περιοχής, όπου φαίνεται πως πιο πυκνοκατοικημένοι είναι οι Δήμοι-πρωτεύουσες των Νομών της Θεσσαλίας. (Μαντούζα Ανδρομάχη, 2008).



Πληθυσμιακή κατάταξη Δήμων - Κοινοτήτων Περιφέρειας Θεσσαλίας

Υπόμνημα

Δήμοι - Κοινότητες	1001 - 2000	3001 - 5000	10001 - 30000
0 - 1000	2001 - 3000	5001 - 10000	30001 - 55529

Σχήμα 3.6: Πληθυσμιακή κατανομή σε επίπεδο Δήμων στην Περιφέρεια Θεσσαλίας. Μεταξύ των απογραφών 1991 και 2001 ο πληθυσμός της Θεσσαλίας αυξήθηκε κατά 2,6%, με την αύξηση αυτή να είναι χαμηλότερη από αυτή του συνόλου της χώρας (6,8%) (Μαντούζα Ανδρομάχη, 2008).

4 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΟΤΑΜΟΥ ΠΟΡΤΑΪΚΟΥ

4.1 Υδρολογικά χαρακτηριστικά της δίκαιτας του ποταμού Πορταϊκού

Όλα τα παρακάτω δεδομένα ελήφθησαν από το Τμήμα Υδρολογικών Έργων της Περιφέρειας Θεσσαλίας.

4.1.1 Κύριοι στόχοι μελέτης της περιφέρειας Θεσσαλίας σχετικά με τα υδρολογικά χαρακτηριστικά του π. Πορταϊκού

Η προαναφερθείσα μελέτη έχει σκοπό να εκτιμήσει υδρολογικά χαρακτηριστικά της δίκαιτας του π. Πορταϊκού, παραποτάμου του Πηνειού, στη θέση Πύλη του νομού Τρικάλων, προκειμένου να υποστηριχθεί ο υδραυλικός σχεδιασμός φράγματος και ταμιευτήρα πολλαπλού σκοπού (άρδευση και υδροηλεκτρική παραγωγή). Τα αντικείμενα της παρούσας μελέτης είναι:

- Η απόκτηση χρονοσειρών των χαρακτηριστικών της υδρολογικής δίκαιτας μεγεθών, δηλαδή της βροχής επί της λεκάνης και της απορροής στη θέση του φράγματος, σε κατάλληλη χρονική κλίμακα, μεγεθών επί των οποίων στηρίζεται η διαστασιολόγηση του ταμιευτήρα και, δεύτερον,
- Οι πλημμύρες σχεδιασμού διαφόρων περιόδων επαναφοράς και η πιθανή μέγιστη πλημμύρα, επί των μεγεθών των οποίων βασίζεται η διαστασιολόγηση του υπερχειλιστή και της σήραγγας εκτροπής.

4.1.2 Ιστορικό

Σχετικές μελέτες που προηγήθηκαν της παρούσας είναι οι δύο μελέτες της ΔΕΗ/ ΔΑΥΕ:

- Μελέτη υδρολογικού σχεδιασμού στους ποταμούς Πορταϊκό (θέση Πύλης) και Πλιούρη (θέση Μουζάκι) της Θεσσαλίας, του 1986, και
- Εκτίμηση μέσων ημερησίων παροχών ποταμού Πορταϊκού στη θέση Πύλη, Οκτώβριος 1995.

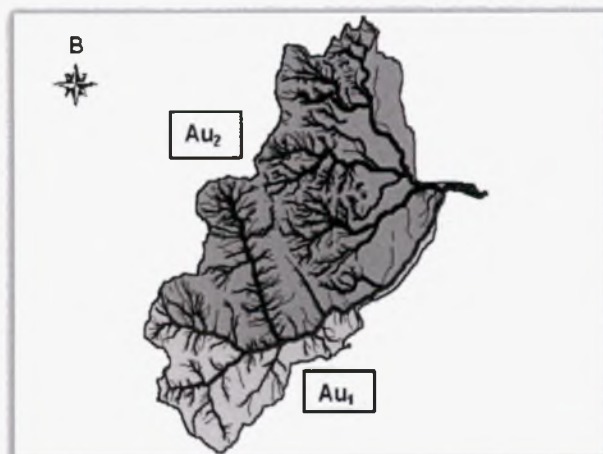
Η πρώτη από τις ανωτέρω μελέτες ήταν μια προσπάθεια εξάντλησης κάθε αξιοποιήσιμου υδρολογικού δεδομένου, από τα λίγα και περιορισμένης αξιοπιστίας που διετίθεντο εκείνη την εποχή, ώστε να υποστηριχθεί ο υδρολογικός σχεδιασμός των φραγμάτων Πύλης και Μουζακίου που αποτελούσαν βασικές συνιστώσες του σχεδίου εκτροπής του Αχελώου στη Θεσσαλία. Η μελέτη αυτή συνόψισε τα σημειακά μηνιαία ύψη βροχής των τότε σημαντικών βροχομετρικών σταθμών, της περιόδου 1960 – 1985, χωρίς όμως να προχωρήσει και στην εκτίμηση της μέσης επιφανειακής βροχόπτωσης, επίσης σε μηνιαίο βήμα. Όσον αφορά στην παροχή, προέβη, με δυσκολίες λόγω της φτωχής ποιότητας των τότε υδρομετρικών δεδομένων, σε κάποιες εκτιμήσεις της παροχής, οι οποίες λόγω κενών και αναξιοπιστίας των σταθμημετρικών δεδομένων, συμπληρώθηκαν βάσει συσχετίσεων με τα μηνιαία ύψη βροχής του βροχομετρικού σταθμού Στουρναρέϊκα. Όσον αφορά στις πλημμύρες σχεδιασμού, η μελέτη αυτή εκτίμησε όμβριες καμπύλες για τη λεκάνη, και μοναδιαίο υδρογράφημα, μεταφέροντας υδρολογική πληροφορία από τη γειτονική λεκάνη του Μουζακίου, λόγω έλλειψης καταγραφών στην Πύλη. Βάσει αυτών υπολογίσθηκαν πλημμύρες σχεδιασμού συχνοτήτων 1:10 έως 1:10000, με επιλογή του 24ώρου ως κρίσιμης διάρκειας της καταιγίδας. Τέλος, η μελέτη καταλήγοντας επεσήμανε τη φτωχή ποιότητα των δεδομένων και την ανάγκη εξοπλισμού της λεκάνης με υδρομετρικά όργανα και βροχογράφους.

Στα χρόνια που ακολούθησαν ελήφθησαν υπόψη οι ανωτέρω συστάσεις και η Πύλη απέκτησε έναν πλήρη υδρομετρικό σταθμό, το δε βροχομετρικό δίκτυο της περιοχής εξοπλίσθηκε με περισσότερους βροχογράφους. Έτσι, η δεύτερη μελέτη, του 1995, είχε στη διάθεσή της περισσότερα και καλλίτερα υδρολογικά δεδομένα. Η μελέτη όμως αυτή είχε ως αντικείμενο τον υπολογισμό των παροχών του ποταμού βάσει των δεδομένων του νέου υδρομετρικού σταθμού που εγκαταστάθηκε το 1985. Προϊόν της δεύτερης μελέτης είναι η, αξιόπιστη πλέον, χρονοσειρά μέσω ημερησίων παροχών του διαστήματος 1985 – 1994. Στα δε συμπεράσματα αυτής, αναφέρεται ότι η εν λόγω χρονοσειρά δεν μπορεί να θεωρηθεί αντιπροσωπευτική της μακροπρόθεσμης διαίτας του ποταμού, εξ αιτίας της συσσώρευσης σημαντικών περιόδων ξηρασίας στο διάστημα 1985 – 1994 και ότι, για την απόκτηση αντιπροσωπευτικής εικόνας, θα πρέπει να παρέλθουν χρόνια ώστε να αυξηθεί το μέγεθος του δείγματος. Τέλος, η εν λόγω μελέτη

δεν υπεισέρχεται καθόλου σε ζητήματα βροχοπτώσεων και πλημμύρων σχεδιασμού. (Ψωμάς, 2012)

4.1.3 Ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής

Η λεκάνη απορροής του π. Πορταϊκού στον υδρομετρικό σταθμό Πύλης του νομού Τρικάλων, αποτελεί στο σύνολό της την ορεινή περιοχή του ποταμού, λίγο πριν αυτός εισέλθει στα πεδινά και συμβάλει με τον Πηνειό του οποίου είναι παραπόταμος. Η θέση της λεκάνης είναι ανάμεσα στα Όρη Κερκέτιο και Ίταμος, τα οποία ορίζουν στα βορειοδυτικά τη θεσσαλική πεδιάδα. Στη θέση αυτή η λεκάνη καταλαμβάνει ένα μέρος της ανατολικής ομβροπλευράς της Πίνδου. Η γεωγραφική θέση του κέντρου βάρους της είναι $21^{\circ} 32'$ Α.Μ. και $39^{\circ} 27'$ Β.Π. περίπου. Έχει σχήμα που μοιάζει περισσότερο με κυκλικό τομέα, με το στόμιο της λεκάνης κοντά στο κέντρο του κύκλου, το οποίο ευρίσκεται στο ανατολικότερο άκρο της λεκάνης. Αντιστοίχως, το «τόξο» του κυκλικού τομέα συνιστά τον δυτικό υδροκρίτη της λεκάνης. Η κύρια μισγάγγεια διατρέχει τη λεκάνη απορροής από ΔΝΔ προς τα ΑΒΑ. Σημαντικό χαρακτηριστικό της λεκάνης είναι ότι σε μικρή απόσταση από το στόμιό της, λίγο μεγαλύτερη των τριών χιλιομέτρων, συμβάλει με τον κύριο κλάδο το ρ. Ποτάμι που αποστραγγίζει όλο το βόρειο τμήμα της λεκάνης. Το νότιο και λίγο μεγαλύτερο τμήμα αυτής (περίπου το 60%) αποστραγγίζεται από τον κύριο κλάδο του Πορταϊκού. Δηλαδή, το σύνολο της λεκάνης αποστραγγίζεται με σχετικά σύντομες διαδρομές, πράγμα που ευνοεί την εμφάνιση υψίκορφων και γρήγορων πλημμύρων.



Σχήμα 4.1: Ασύμμετρη ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου του Πορταϊκού. Η σκούρα και η ανοιχτόχρωμη επιφάνεια απεικονίζουν τις περιοχές ανάπτυξης του δικτύου εκατέρωθεν του κυρίου κλάδου του Πορταϊκού. (Πηγή : Βρουχάκης και άλλοι, 2004).

Το στόμιο της λεκάνης είναι σε υψόμετρο περίπου 250 m. Στη θέση αυτή υπάρχει υδρομετρικός σταθμός της ΔΕΗ, εξοπλισμένος με σταθμήμετρα, σταθμηγράφο και μόνιμη εγκατάσταση για τη μέτρηση της παροχής. Μερικές εκατοντάδες μέτρα ανάντη της θέσης υδρομετρήσεων, ευρίσκεται η θέση του φράγματος. Από την άποψη της έκτασης, οι αντίστοιχες λεκάνες απορροής διαφέρουν ελάχιστα. Από την άποψη δε των διερχομένων παροχών, είναι πρακτικά ταυτόσημες.

Ο υδροκρίτης ο οποίος αντιστοιχεί στη θέση του υδρομετρικού σταθμού, διανυόμενος με φορά δεξιόστροφη, ανεβαίνει προς ΝΑ το Όρος Ίταμος μέχρι την κορυφή του σε υψόμετρο +1130 περίπου, όπου στρέφεται σε ορθή γωνία προς τα ΝΔ. Στην πορεία αυτή, αφού περάσει από μια ζώνη ενδιάμεσων υψομέτρων, στα 600 – 700 m περίπου, ανεβαίνει στα υψώματα Καραμήτσου, Καραβούλα και Αχλαδιάς, σε υψόμετρα αντιστοίχως, +1416, +1862 και +1736. Από την περιοχή αυτή και πέρα, ο υδροκρίτης στρέφεται σε βόρεια γενική κατεύθυνση, διερχόμενος διαδοχικά από τις κορυφές Τσιούκες (+1706), Ξηροβούνι (+1731), Σπανουλάκι (+1573), Καραντζιούνη (+1717), Πυργάκι (+1619), Αυγό (+1631), Μαυροπούλι (+1721), Καρμές (+1872), Σκασμένη (+1388) και Πλάκα (περίπου +1420). Εκεί στρέφεται προς Α για μια σύντομη πορεία, μέχρι να συναντήσει την κορυφογραμμή του Κερκέτιου Όρους στο ύψωμα Καλτσές (+1860), αφού πρώτα περάσει από τα Τρία Έλατα (+1472). Από τις Καλτσές, με πορεία τώρα ΝΑ,

διέρχεται από την Κακορράχη (+1817), τον Αμάρανθο (+1526), την Καστανιά και την Κρασιά. Από εκεί με μια μετατόπιση προς τα ανατολικά, περνά στη Μεγάλη Ράχη, σε υψόμετρα άνω του +1200, για να καταλήξει με απότομη κάθοδο στο στόμιο της λεκάνης, παρά την τοποθεσία Παναγιά.

Η συνολική λεκάνη έχει έκταση 132,5 km² και μέσο υψόμετρο 939 m. Το υδρογραφικό δίκτυο είναι πολύ ανεπτυγμένο, 5^{ης} τάξεως, και πυκνό σε όλη τη λεκάνη. Το μήκος του κυρίου κλάδου είναι περίπου 14,95 km από το στόμιο της λεκάνης μέχρι το απώτατο σημείο του υδροκρίτη. Η μέση κλίση του κυρίως ρεύματος (μετρημένη ανάμεσα στο 10% και στο 85% του μήκους του) είναι σχετικά ήπια, ίση προς 44,15 m/km.

Όπως προκύπτει από τον εδαφολογικό χάρτη της περιοχής σε κλίμακα 1:500000 που έχει εκδώσει η Δασική Υπηρεσία του Υπουργείου Γεωργίας, η λεκάνη καλύπτεται από δύο τύπους εδαφών, περίπου σε ίση μοίρα: πρώτον, από προϊόντα αποσάθρωσης φλύσχη, με υφή πηλώδη, τα οποία θεωρούνται πολύτιμα δασικά εδάφη και δεύτερον, από προϊόντα αποσάθρωσης σκληρών ασβεστολίθων, με υφή αργιλώδη μέχρι αργιλοπηλώδη. Μικρό ποσοστό της λεκάνης είναι πρακτικά ακάλυπτο ή γυμνός βράχος, στις ανώτερες υψομετρικές ζώνες των ασβεστολιθικών εξάρσεων. Με την εξαίρεση αυτών των περιοχών που συχνά είναι και απόκρημνες, η λεκάνη παρουσιάζει πλούσια δασική βλάστηση.

4.1.4 Βροχομετρικό δίκτυο

Στην ευρύτερη περιοχή μελέτης το βροχομετρικό δίκτυο είναι επαρκές, γεγονός που επέτρεψε τόσο τον υπολογισμό των ομβρίων καμπυλών της λεκάνης και των πιθανών μεγίστων βροχοπτώσεων (Probable Maximum Precipitation, PMP), όσο και τον υπολογισμό μηνιαίας χρονοσειράς της επιφανειακής βροχόπτωσης που δέχεται η λεκάνη.

Πίνακας 4.1: Στον παρακάτω πίνακα δίδονται πληροφορίες περί των σταθμών που συγκροτούν το βροχομετρικό δίκτυο, αναφορικά με την περίοδο λειτουργίας τους, το

είδος των οργάνων, το υψόμετρο τοποθέτησής τους και τέλος, τον Φορέα κτήσης δίνονται στον πίνακα που ακολουθεί - (Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων)

Όνομα / Θέση σταθμού	Λεκάνη	Είδος οργάνου	Περίοδος λειτουργίας	Υψόμετρο	Φορέας
Περτούλι	π. Αχελώου	Βμ	1951 - σήμερα	1160	ΥΠΕΧΩΔΕ
Ελάτη (Τύρνα)	π. Πορταϊκού	Βμ	1950 - σήμερα	900	ΥΠΕΧΩΔΕ
Βροντερό	π. Πορταϊκού	Βγ – Βμ	1991 - σήμερα	854	ΔΕΗ
Βάκαρη	π. Αχελώου	Βγ	1960 - 1993	962	ΔΕΗ
Στουρναρέικα	π. Πορταϊκού	Βμ Βγ	1960-1981 & 1991 - σήμερα 1990 – 1994	762	ΔΕΗ
Στουρναρέικα	π. Πορταϊκού	Βμ	1973 - σήμερα	858	ΥΠΑΑΤ
Βαθύρεμα	π. Αχελώου	Βμ	1960 - 1994	915	ΔΕΗ
Δρακότρυπα	π. Πορταϊκού	Βμ Βγ	1960 – σήμερα 1986 - σήμερα	574	ΔΕΗ
Πολυνέρι	π. Αχελώου	Βγ, Βμ	1960 - σήμερα	802	ΔΕΗ
Αργιθέα	π. Αχελώου	Βγ, Βμ	1960 - σήμερα	993	ΔΕΗ
Μουζάκι	Π. Πορταϊκού	Βμ	1960 - σήμερα	229	ΥΠΕΧΩΔΕ

Από τους παραπάνω σταθμούς άλλοι χρησιμοποιήθηκαν κατ' εξοχήν στην παρούσα μελέτη και άλλοι απλώς βοηθητικά. Οι παράγοντες που καθόρισαν σε ποια έκταση χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία των σταθμών θα αναλυθούν παρακάτω για κάθε έναν από αυτούς.

4.1.4.1 Σταθμός Περτουλίου

Ο σταθμός του Περτουλίου βρίσκεται εκτός των ορίων της λεκάνης απορροής και δεν λαμβάνει μέρος στον υπολογισμό των επιφανειακών βροχοπτώσεων ή στη ρύθμιση των ομβρίων καμπυλών. Χρησιμοποιήθηκε όμως για τη συμπλήρωση ελλειπουσών τιμών του σταθμού της Ελάτης.

4.1.4.2 Σταθμός της Ελάτης

Ο σταθμός της Ελάτης βρίσκεται εντός της λεκάνης, στο βορειοανατολικό άκρο της και σε αρκετά μεγάλο υψόμετρο (900 m). Λειτουργεί από το 1950 με αρκετή αξιοπιστία και τα στοιχεία της βρέθηκαν στην αρμόδια Υπηρεσία του ΥΠΕΧΩΔΕ μέχρι και τον Μάιο 2004. Ο σταθμός ήταν βασικός σε όλους τους σχετικούς με τη μεταβλητή της βροχής υπολογισμούς, ιδιαίτερα μάλιστα για την προ της τοποθέτησεως σταθμού στο Βροντερό χρονική περίοδο (1991), όταν αποτελούσε τον έναν από τους δύο σταθμούς που ήταν τοποθετημένοι μέσα στη λεκάνη.

4.1.4.3 Σταθμός του Βροντερού

Ο σταθμός στο Βροντερό βρίσκεται πολύ κοντά στην Ελάτη, σε μεγάλο υψόμετρο (854 m) και λειτουργεί από τον Ιανουάριο 1991. Στη θέση είναι εγκατεστημένο από τη ΔΕΗ διπλό όργανο, βροχόμετρο και βροχογράφος και αποτελεί το μοναδικό καταγραφικό όργανο εντός λεκάνης. Τα στοιχεία του είναι αξιόπιστα και υπήρξε επίσης βασικός σταθμός σε όλους τους υπολογισμούς.

4.1.4.4 Σταθμοί Βάκαρης και Πολυνερίου

Οι σταθμοί στη Βάκαρη και το Πολυνέρι βρίσκονται εκτός λεκάνης, δεν λαμβάνουν μέρος στον υπολογισμό των επιφανειακών βροχοπτώσεων, αλλά είναι και οι δύο βροχογράφοι και χρησιμοποιήθηκαν στη ρύθμιση των ομβρίων καμπυλών για την κατανομή της βροχής των μη κατάγραφικών οργάνων. Υπενθυμίζεται ότι πριν το 1991 δεν υπήρχε εγκατεστημένος βροχογράφος μέσα στη λεκάνη.

4.1.4.5 Σταθμός των Στουρναρείκων

Ο σταθμός στα Στουρναρεία είναι τοποθετημένος σε σχετικά μεγάλο υψόμετρο (762 m), κοντά στο κέντρο βάρους της λεκάνης και για το λόγο αυτό είναι ο σημαντικότερος σταθμός της. Στον οικισμό των Στουρναρείκων τοποθετήθηκε το 1960 από τη ΔΕΗ βροχόμετρο, του οποίου η λειτουργία διεκόπη τον Δεκέμβριο του 1981 και

επαναλειτούργησε τον Δεκέμβριο του 1990. Παράλληλα, είχε τοποθετηθεί το 1973 άλλο βροχόμετρο από το τότε Υπουργείο Γεωργίας που λειτουργεί μέχρι και σήμερα. Τα αναλυτικά στοιχεία του δεύτερου οργάνου βρέθηκαν στην αρμόδια Υπηρεσία του ΥΠΑΑΤ μετά το 1981. Τα στοιχεία του σταθμού της ΔΕΗ χρησιμοποιήθηκαν για το σύνολο της περιόδου λειτουργίας του οργάνου αυτού και το χρονικό διάστημα διακοπής της λειτουργίας του συμπληρώθηκε από τα στοιχεία του οργάνου του ΥΠΑΑΤ.

4.1.4.6 Σταθμός του Βαθυρέμματος

Ο σταθμός στο Βαθύρεμμα λειτούργησε από το 1960 μέχρι το 1994 και ήταν τοποθετημένος σε μεγάλο υψόμετρο (915 m), εκτός των ορίων της λεκάνης. Παίρνει οριακά μέρος στον υπολογισμό των επιφανειακών βροχοπτώσεων, με πολύ μικρό συντελεστή Thiessen (0,001), αλλά τα στοιχεία του είναι αξιόπιστα και χρησιμοποιήθηκαν σε όλους τους υπολογισμούς. Πρόσθετα, χρησιμοποιήθηκαν και για περιορισμένες συμπληρώσεις ή/και διορθώσεις τιμών του σταθμού στα Στουρναρέικα.

4.1.4.7 Σταθμός της Δρακότρυπας

Στο σταθμό της Δρακότρυπας που βρίσκεται στη λεκάνη του Πάμισου και σε υψόμετρο 574 m τοποθετήθηκε από τη ΔΕΗ το 1960 ένα απλό βροχόμετρο και το 1986 τοποθετήθηκε και βροχογράφος. Η λειτουργία του σταθμού ήταν πλημμελής μέχρι το 1971 και με αρκετά προβλήματα μέχρι το 1985. Για το λόγο αυτό στις αρχές του 1986 η αρμόδια Υπηρεσία άλλαξε τον παρατηρητή του οργάνου, με ταυτόχρονη μεταφορά του σε άλλη θέση, με μικρή όμως διαφορά από την προηγούμενη οριζοντιογραφικά και υψομετρικά. Από την αλλαγή του παρατηρητή και εντεύθεν τα στοιχεία του οργάνου είναι αξιόπιστα και χρησιμοποιήθηκαν σε όλους τους υπολογισμούς, δεδομένου ότι λόγω της εγγύτητάς του, λαμβάνει μέρος στον υπολογισμό των επιφανειακών βροχοπτώσεων τη λεκάνης Πύλης.

4.1.4.8 Σταθμός της Αργιθέας

Στην Αργιθέα τοποθετήθηκε από τη ΔΕΗ το 1960 βροχογράφος και το 1995 προσετέθη και βροχόμετρο. Ο σταθμός λειτουργεί μέχρι σήμερα και τα στοιχεία του είναι αξιόπιστα. Είναι τοποθετημένος εκτός των ορίων της λεκάνης, αλλά σε μικρή σχετικά απόσταση και σε μεγάλο υψόμετρο (993 m). Χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των επιφανειακών βροχοπτώσεων αλλά και στη ρύθμιση των ομβρίων καμπυλών για τη χρονική κατανομή των καταιγίδων των μη καταγραφικών οργάνων.

4.1.4.9 Σταθμός του Μουζακίου

Τέλος, στο Μουζάκι στη λεκάνη Πάμισου και σε υψόμετρο 229 m τοποθετήθηκε το 1960 βροχόμετρο από το ΥΠΕΧΩΔΕ. Η λειτουργία του οργάνου κατά την περίοδο 1960-1982 είχε μια σχετική αξιοπιστία. Στη συνέχεια διεκόπη μέχρι το 1986 και από το 1987 λειτούργησε εκ νέου πλημμελώς. Από τα στοιχεία του σταθμού μόνον η μέση ετήσια βροχόπτωση της περιόδου 1971-1981 χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό της βροχοβαθμίδας, λόγω του χαμηλού υψομέτρου στο οποίο είναι τοποθετημένο το όργανο. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η συμμετοχή του οργάνου στα πολύγωνα Thiessen ήταν πολύ μικρή (~ 1%) και λόγω των προβλημάτων στη λειτουργία του δεν χρησιμοποιήθηκε στον υπολογισμό των επιφανειακών βροχοπτώσεων.

4.1.5 Μηνιαίες βροχοπτώσεις σταθμών

Οι σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των μέσων βροχοπτώσεων της λεκάνης ήταν οι εξής: Ελάτη (ΥΠΕΧΩΔΕ), Βροντερό (ΔΕΗ), Στουρναρέικα (ΔΕΗ & ΥΠΑΑΤ), Βαθύρεμμα (ΔΕΗ), Δρακότρυπα (ΔΕΗ) και Αργιθέα (ΔΕΗ). Από τους παραπάνω σταθμούς ελήφθησαν οι χρονοσειρές των μηνιαίων βροχοπτώσεων, για τη χρονική περίοδο από το 1971/72 και ύστερα, ήταν επεξεργασμένες από τις υπηρεσίες. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί ότι επειδή το εναρκτήριο έτος των πληροφοριών παροχής είναι το 1985/86 και πρόσθετα, η δυνατότητα επέκτασης της χρονοσειράς των παροχών προς τα πίσω βασίζεται, πλην των δεδομένων βροχής και σε δεδομένα θερμοκρασίας και ηλιοφάνειας, των οποίων εναρκτήριο υδρολογικό έτος είναι το 1971/72, δεν κρίθηκε σκόπιμη η λήψη από τις αρμόδιες Υπηρεσίες του πλήρους

αρχείου των σταθμών. Υπενθυμίζεται εν προκειμένω ότι αυτό θα σήμαινε και αύξηση του τιμήματος για την αγορά όσων πληροφοριών πωλούνται.

Τα μηνιαία ύψη βροχής ελέγχθηκαν με γραμμικές παλινδρομήσεις των τιμών του εκάστοτε ημερολογιακού μηνός επί των αντιστοίχων τιμών γειτονικού σταθμού. Από τον έλεγχο προέκυψαν περιορισμένες διορθώσεις, καθώς και συμπληρώσεις τιμών που έλειπαν. Οι συμπληρωμένες και διορθωμένες χρονοσειρές των σταθμών που προαναφέρθηκαν φαίνονται στους Πίνακες 4.2 έως 4.8 (Περιφέρεια Θεσσαλίας – τμήμα υδρολογικών έργων).

Πίνακας 4.2: Μηνιαία ύψη βροχής βροχομετρικού σταθμού ελάτης – (Περιφέρεια Θεσσαλίας – τμήμα υδρολογικών έργων).

ΦΟΡΕΑΣ: ΥΠΕΧΩΔΕ	ΛΕΚ. ΑΠΟΡΡΟΗΣ: ΠΟΡΤΑΪΚΟΥ											ΥΨΟΜ: 900 m	
Υδρ. Έτος	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΟΣ
1971 - 72	109,1	264,3	134,3	339,6	122,5	197,4	281,0	43,0	23,9	173,0	35,5	35,6	1759,2
1972 - 73	478,7	103,6	131,6	201,5	229,8	268,9	26,0	65,4	18,5	48,1	59,7	57,2	1689,0
1973 - 74	232,1	146,5	230,2	99,5	333,3	195,8	327,7	102,0	40,1	13,0	0,0	174,7	1894,9
1974 - 75	256,8	231,1	46,3	52,3	283,6	74,7	104,8	80,1	63,9	24,7	215,8	35,4	1469,5
1975 - 76	128,6	262,3	147,5	97,1	313,3	146,4	136,0	83,0	35,0	18,0	15,6	23,7	1406,5
1976 - 77	232,0	202,5	329,8	98,8	47,7	25,0	64,8	25,3	24,7	17,5	11,0	88,8	1167,9
1977 - 78	97,2	212,1	231,3	224,4	140,6	101,0	237,3	64,0	24,5	24,5	7,6	257,6	1622,1
1978 - 79	127,8	143,7	208,5	386,0	304,4	150,8	239,0	320,6	26,7	50,9	28,7	18,3	2005,4
1979 - 80	255,6	386,1	294,8	279,7	148,4	230,0	85,8	168,1	18,0	0,0	27,8	31,5	1925,8
1980 - 81	390,5	180,3	265,8	278,3	245,2	91,3	147,6	118,7	28,9	4,1	128,1	125,9	2004,7
1981 - 82	164,2	128,9	550,0	66,6	233,6	327,5	215,1	262,8	23,2	22,1	41,2	117,1	2152,3
1982 - 83	201,1	333,6	434,7	32,3	168,4	83,2	70,6	25,2	156,1	150,5	31,3	44,7	1731,7
1983 - 84	172,6	216,3	229,3	211,6	231,8	188,7	234,7	85,1	9,6	11,7	142,4	42,6	1776,4
1984 - 85	20,3	266,8	267,5	341,9	92,7	206,1	233,3	55,6	18,5	19,2	0,0	17,5	1539,4
1985 - 86	232,8	318,9	255,3	144,3	431,6	138,1	36,5	148,0	124,7	63,8	24,8	38,0	1956,8
1986 - 87	248,3	166,2	167,4	315,3	294,5	342,9	118,3	93,2	28,5	15,7	18,2	0,0	1808,5
1987 - 88	274,8	262,7	154,6	188,9	256,2	107,3	69,1	51,7	18,2	0,0	9,5	33,2	1426,2
1988 - 89	223,7	293,8	210,3	30,0	134,3	267,2	72,4	154,3	48,1	72,0	3,8	27,9	1537,8
1989 - 90	169,5	179,8	116,8	17,0	73,7	23,6	112,8	168,1	5,1	0,3	66,7	13,2	946,6
1990 - 91	93,9	240,8	396,2	120,5	222,0	99,0	290,9	155,4	18,2	0,0	110,4	63,4	1810,7
1991 - 92	143,2	165,9	55,0	36,0	80,8	86,4	273,7	193,7	60,9	27,1	0,0	10,5	1133,2
1992 - 93	169,5	124,3	179,6	130,0	222,0	108,9	86,1	227,3	36,6	0,0	12,5	48,4	1345,2
1993 - 94	176,7	309,0	198,5	264,6	318,0	43,2	177,7	83,9	15,2	42,7	44,9	19,0	1693,4
1994 - 95	402,8	187,3	200,3	230,5	55,3	204,5	116,6	143,7	5,5	119,5	67,6	109,6	1843,2
1995 - 96	55,6	165,2	487,9	148,7	289,0	194,4	86,9	30,9	14,2	85,1	73,9	165,4	1797,2
1996 - 97	284,1	314,3	235,6	340,1	73,2	105,6	127,6	126,5	11,1	0,0	79,5	68,7	1766,3
1997 - 98	334,8	326,8	251,0	73,0	223,4	161,7	78,6	279,5	9,8	0,0	31,6	82,2	1852,4
1998 - 99	79,6	423,9	299,5	60,3	108,8	178,2	87,8	23,2	51,0	63,0	25,8	31,9	1433,0
1999 - 00	160,0	451,3	236,8	21,0	242,3	78,0	95,0	69,0	46,0	13,8	14,5	20,2	1447,9
2000 - 01	203,8	101,8	174,7	120,3	158,8	144,6	133,2	73,7	5,7	29,5	47,0	11,6	1204,7
2001 - 02	85,7	165,0	372,5	123,0	35,0	151,0	230,2	49,5	7,0	65,4	61,2	106,6	1452,1
2002 - 03	30,5	54,9	360,5	455,6	217,2	50,0	108,6	54,8	20,0	230,5	84,6	61,7	1728,9
2003 - 04	324,2	96,1	160,0	174,9	112,5	39,3	150,0	127,7	27,5	19,0	10,0	180,0	1421,2
2004 - 05													
Μέση τιμή	198,8	225,0	242,9	172,8	195,3	145,8	147,1	113,7	32,3	43,2	46,4	65,5	1628,8

Πίνακας 4.3: Μηνιαία ύψη βροχής βροχομετρικού σταθμού Βροντερού - (Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων).
Υδρολογική διερεύνηση φράγματος Πύλης Τρικάλων

ΦΟΡΕΑΣ: ΔΕΗ	ΛΕΚ. ΑΠΟΡΡΟΗΣ: ΠΟΡΤΑΪΚΟΥ												ΥΨΟΜ: 854 m
Υδρ. Έτος	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΟΣ
1971 - 72													
1972 - 73													
1973 - 74													
1974 - 75													
1975 - 76													
1976 - 77													
1977 - 78													
1978 - 79													
1979 - 80													
1980 - 81													
1981 - 82													
1982 - 83													
1983 - 84													
1984 - 85													
1985 - 86													
1986 - 87													
1987 - 88													
1988 - 89													
1989 - 90													
1990 - 91	85,2	239,4	445,0	152,4	272,0	105,8	254,8	163,5	21,5	77,7	105,7	40,8	1963,8
1991 - 92	133,9	155,2	41,7	41,7	45,5	56,0	229,6	158,7	28,3	44,1	1,4	18,0	954,1
1992 - 93	161,0	172,5	191,2	110,4	222,0	125,4	73,6	211,0	24,4	3,0	4,5	38,4	1337,4
1993 - 94	116,1	289,6	244,9	197,1	329,1	42,9	147,6	89,4	9,8	24,1	39,9	17,0	1547,5
1994 - 95	338,0	206,6	297,7	278,0	80,9	234,8	85,7	118,2	3,1	72,7	81,4	138,5	1935,6
1995 - 96	24,6	137,4	364,0	154,3	321,5	209,0	109,0	57,6	12,4	52,2	61,5	186,6	1690,1
1996 - 97	235,8	323,5	311,5	295,6	35,2	175,6	108,7	179,1	15,8	1,9	37,9	35,3	1755,9
1997 - 98	348,6	309,0	241,6	97,9	227,7	124,7	71,0	359,1	20,1	0,0	34,0	79,2	1912,9
1998 - 99	67,8	462,1	315,0	94,0	164,0	203,6	97,1	29,3	16,5	44,6	11,3	39,4	1544,7
1999 - 00	130,6	413,8	266,1	74,2	219,8	75,7	74,4	85,6	46,0	13,8	7,0	15,5	1422,5
2000 - 01	245,2	120,0	136,0	165,2	113,5	80,5	212,0	61,4	6,0	18,8	33,9	7,7	1200,2
2001 - 02	49,0	197,7	345,6	87,1	32,8	163,4	232,7	23,8	20,7	56,6	52,9	227,8	1490,1
2002 - 03	78,9	78,9	335,3	388,4	256,0	88,5	177,5	65,9	33,0	65,6	95,4	62,5	1725,9
2003 - 04	436,7	57,5	148,0	161,0	117,5	210,5	134,6	145,5	27,5	19,0	10,0	180,0	1647,8
2004 - 05	154,1	181,2	169,1	315,8	229,4	197,8	76,0	94,4	24,3	24,8	8,9	25,6	1501,4
Μέση τιμή	173,7	223,0	256,8	174,2	177,8	139,6	139,0	122,8	20,6	34,6	39,0	74,2	1575,3

Πίνακας 4.4: Μηνιαία ύψη βροχής βροχομετρικού σταθμού Στουρναρείων -
(Περιφέρεια Θεσσαλίας – τμήμα υδρολογικών)

ΦΟΡΕΑΣ: ΔΕΗ - ΥΠΑΑΤ			ΛΕΚ. ΑΠΟΡΡΟΗΣ: ΠΟΡΤΑΪΚΟΥ							ΥΨΟΜ: 762 m			
Υδρ. Έτος	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΟΣ
1971 - 72	81,0	439,7	237,4	251,8	190,5	187,3	367,6	131,3	32,2	75,4	44,7	27,8	2066,7
1972 - 73	450,9	159,1	63,9	189,3	285,2	296,7	117,8	59,0	25,2	28,1	56,4	51,6	1783,2
1973 - 74	254,5	200,6	411,0	113,8	359,7	158,6	294,6	114,2	36,1	5,0	10,4	186,3	2144,8
1974 - 75	391,3	264,8	54,2	36,5	246,2	121,0	89,9	77,4	66,7	33,7	103,6	32,1	1517,4
1975 - 76	193,5	274,8	196,6	122,6	243,2	124,6	154,4	94,7	34,0	78,3	12,5	51,4	1580,6
1976 - 77	171,9	286,4	509,9	140,5	59,0	45,9	125,5	37,2	26,8	10,1	34,6	101,5	1549,3
1977 - 78	79,2	257,5	222,3	404,1	276,2	163,0	212,8	107,3	22,4	8,9	5,8	170,1	1929,6
1978 - 79	124,4	96,4	313,2	419,3	400,0	168,2	320,8	166,6	44,6	92,2	35,5	37,9	2219,1
1979 - 80	277,9	272,1	283,2	249,1	134,6	290,6	92,1	116,5	31,6	3,4	25,4	28,0	1804,5
1980 - 81	340,9	282,3	442,3	307,7	278,5	76,2	137,6	196,5	17,6	1,4	63,6	69,9	2214,5
1981 - 82	189,2	78,6	511,1	69,7	182,3	154,9	146,2	112,1	23,2	19,4	31,1	91,4	1609,2
1982 - 83	214,7	288,8	604,3	85,6	131,0	37,3	33,6	63,7	114,1	61,7	38,9	50,9	1724,5
1983 - 84	175,1	184,3	92,7	275,5	236,0	171,7	252,9	69,7	28,7	12,8	87,6	57,6	1644,6
1984 - 85	7,4	220,1	168,4	375,9	137,6	192,4	155,5	98,6	26,1	31,4	9,0	8,4	1430,8
1985 - 86	127,1	427,9	237,2	498,8	494,3	156,1	111,0	110,1	92,6	36,9	6,3	46,2	2344,5
1986 - 87	126,7	80,3	194,8	398,4	272,2	289,6	133,0	110,6	29,0	30,4	40,8	48,3	1754,1
1987 - 88	312,9	259,8	222,5	206,8	241,6	102,4	139,2	39,2	22,8	1,7	2,0	43,2	1594,1
1988 - 89	187,4	386,1	299,1	22,4	264,8	158,9	172,9	109,0	68,9	72,3	5,6	52,4	1799,8
1989 - 90	168,7	296,8	159,3	4,4	111,8	23,5	174,2	131,2	3,1	4,5	68,3	20,7	1166,5
1990 - 91	154,5	285,1	489,3	116,8	229,0	102,3	247,0	228,9	25,2	26,0	57,7	24,5	1986,3
1991 - 92	142,8	238,6	16,6	63,0	56,4	82,5	209,5	121,7	59,0	55,0	0,0	22,6	1067,7
1992 - 93	217,0	195,0	280,1	122,0	197,1	147,0	75,5	192,4	38,0	0,0	4,0	45,4	1513,5
1993 - 94	46,9	304,9	353,7	237,8	351,6	46,1	193,2	78,8	12,4	49,4	26,4	43,5	1744,7
1994 - 95	284,8	190,2	290,0	315,0	97,5	314,7	83,5	121,5	4,0	53,4	74,8	189,5	2018,9
1995 - 96	22,9	190,5	432,0	149,6	349,2	269,6	136,2	90,4	4,5	35,8	77,5	207,3	1965,5
1996 - 97	229,5	407,6	230,2	243,8	28,4	148,1	159,8	57,1	17,6	2,0	27,1	47,2	1598,4
1997 - 98	479,4	303,4	342,9	85,6	221,2	117,2	89,9	259,0	22,4	0,0	4,0	93,2	2018,2
1998 - 99	84,4	433,6	366,9	102,4	256,0	175,2	109,4	34,8	9,2	39,0	11,2	43,9	1666,0
1999 - 00	182,7	420,9	374,5	115,2	266,9	82,0	81,0	42,5	37,2	14,9	3,1	22,5	1643,4
2000 - 01	225,9	150,6	229,4	166,2	126,6	75,7	187,6	82,6	16,3	25,0	68,6	18,3	1372,8
2001 - 02	42,2	223,1	388,6	96,2	47,7	177,7	210,8	23,3	68,7	113,7	76,6	269,4	1738,0
2002 - 03	96,5	98,5	353,4	536,0	297,7	76,0	111,6	56,5	39,0	74,9	56,6	52,3	1849,0
2003 - 04	621,0	81,6	210,1	277,1	168,0	328,0	148,8	146,5	19,0	36,0	10,5	186,5	2233,1
2004 - 05	212,0	229,8	253,0	338,9	341,0	254,0	115,5	81,5	75,0	22,8	10,0	82,6	2016,1
Μέση τιμή	203,4	250,3	289,2	209,9	222,9	156,3	158,6	104,8	35,1	34,0	35,0	74,2	1773,8

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι στον παραπάνω πίνακα 4.4 των Στουρναρείων δίνονται τα δεδομένα του σταθμού της ΔΕΗ, για τα χρονικά διαστήματα 10/1971 - 10/1981 και 12/1990 - 9/2005 και του ΥΠΑΑΤ για το διάστημα 11/1981 - 11/1990.

Πίνακας 4.5: Μηνιαία ύψη βροχής βροχομετρικού σταθμού βαθυρέματος - (Περιφέρεια Θεσσαλίας – τμήμα υδρολογικών έργων)

ΦΟΡΕΑΣ: ΔΕΗ	ΛΕΚ. ΑΠΟΡΡΟΗΣ: ΑΧΕΛΩΟΥ											ΥΨΟΜ: 915 m	
Υδρ. Έτος	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΟΣ
1971 - 72	84,1	325,5	224,1	338,6	126,9	180,0	420,8	136,3	49,0	45,3	76,9	103,1	2110,6
1972 - 73	482,7	211,8	44,2	162,2	347,7	210,3	119,9	46,4	58,9	58,8	80,5	83,7	1907,1
1973 - 74	289,2	219,2	429,9	104,4	369,1	131,3	303,1	96,2	20,5	17,5	0,3	210,0	2190,7
1974 - 75	458,5	254,1	69,7	20,1	197,2	137,4	80,1	64,2	74,4	16,4	37,5	15,3	1424,9
1975 - 76	207,6	251,5	198,3	119,6	157,0	90,0	117,5	49,0	58,5	68,9	19,2	63,5	1400,6
1976 - 77	175,2	324,2	545,6	143,0	65,7	41,4	131,1	49,7	46,2	0,0	42,4	98,9	1663,4
1977 - 78	55,5	320,9	204,0	287,2	268,4	160,0	239,1	136,6	21,0	2,1	5,8	187,1	1887,7
1978 - 79	68,3	187,3	410,4	503,1	434,0	154,8	301,3	139,6	85,1	57,7	35,6	20,4	2397,6
1979 - 80	224,2	295,5	353,0	424,1	145,3	365,9	161,5	220,8	40,5	1,1	27,7	35,8	2295,4
1980 - 81	379,7	382,6	557,8	326,1	365,6	89,5	146,2	191,0	9,1	11,2	75,5	81,4	2615,7
1981 - 82	197,6	174,5	826,3	77,4	192,4	241,4	149,1	116,4	54,1	14,4	16,0	104,9	2164,5
1982 - 83	222,4	367,5	667,4	85,2	211,4	73,1	64,8	98,7	145,4	73,1	34,6	62,6	2106,2
1983 - 84	112,5	302,6	221,3	379,8	249,0	195,0	163,8	122,8	25,5	0,0	49,5	123,9	1945,7
1984 - 85	8,4	259,2	168,3	392,6	84,0	121,9	206,8	114,6	17,3	12,8	5,5	7,2	1398,6
1985 - 86	131,7	584,5	166,0	504,3	511,5	128,6	159,6	87,9	52,4	57,3	31,3	35,4	2450,5
1986 - 87	132,6	71,4	258,6	451,5	192,3	318,2	73,5	114,8	48,5	43,1	33,8	6,2	1744,5
1987 - 88	324,2	316,3	286,9	128,3	251,7	116,3	92,2	50,1	27,8	0,1	9,2	47,2	1650,3
1988 - 89	109,0	437,5	314,4	11,0	187,2	172,9	130,2	157,4	94,1	71,7	18,9	71,0	1775,3
1989 - 90	189,6	372,0	148,4	10,3	64,4	7,8	166,1	105,6	1,9	0,2	57,9	29,5	1153,7
1990 - 91	190,8	179,4	549,3	64,2	226,8	57,8	188,3	242,8	34,8	30,7	44,9	15,0	1824,8
1991 - 92	141,8	286,6	38,7	29,7	64,7	79,2	256,8	100,2	18,7	51,6	0,0	40,8	1108,8
1992 - 93	222,5	197,5	256,6	74,5	143,2	142,3	53,2	174,6	7,2	0,0	11,9	48,0	1331,5
1993 - 94	73,3	320,9	368,9	202,5	235,8	26,5	205,9	61,0	22,5	79,3	22,0	19,4	1638,0
1994 - 95													
1995 - 96													
1996 - 97													
1997 - 98													
1998 - 99													
1999 - 00													
2000 - 01													
2001 - 02													
2002 - 03													
2003 - 04													
2004 - 05													
Μέση τιμή	194,8	288,8	317,7	210,4	221,4	140,9	170,9	116,4	44,1	31,0	32,0	65,7	1834,2

Όσον αφορά στον πίνακα της Δρακότρυπας, που δίνεται από το 1971 μέχρι το 2005, στον υπολογισμό της επιφανειακής βροχόπτωσης έγινε χρήση των στοιχείων του σταθμού για τη χρονική περίοδο μετά το 1985, για τους λόγους που έχουν ήδη αναφερθεί.

Πίνακας 4.6: Μηνιαία ύψη βροχής βροχομετρικού σταθμού δρακότρυπας - (Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων)

ΦΟΡΕΑΣ: ΔΕΗ	ΛΕΚ. ΑΠΟΡΡΟΗΣ: ΠΑΜΙΣΟΥ											ΥΨΟΜ: 574 m	
Υδρ. Έτος	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΟΣ
1971 - 72	95,5	271,6	119,8	251,8	167,8	150,2	269,7	48,4	13,8	62,4	28,6	30,4	1510,0
1972 - 73	269,0	79,2	65,0	224,0	212,9	231,0	35,0	47,0	8,2	0,0	81,4	51,6	1304,3
1973 - 74	263,2	141,0	299,6	105,2	304,4	136,0	274,2	65,0	19,4	0,0	0,0	100,6	1708,6
1974 - 75	319,6	223,1	46,2	31,6	179,4	78,8	118,2	73,0	49,0	53,6	105,0	12,0	1289,5
1975 - 76	136,6	161,8	145,0	103,2	240,6	122,0	119,2	59,0	29,6	36,6	41,6	12,4	1207,6
1976 - 77	139,2	126,8	374,8	66,0	49,4	39,6	70,2	21,2	20,8	0,0	6,8	90,0	1004,8
1977 - 78	21,0	205,9	247,0	291,4	123,2	125,4	121,0	37,8	32,2	4,2	0,0	173,3	1382,4
1978 - 79	98,8	73,0	213,6	356,0	223,2	77,4	194,9	179,0	43,5	57,4	17,0	22,4	1556,2
1979 - 80	299,8	207,2	244,9	225,8	110,8	313,8	104,6	126,8	19,2	0,0	13,8	19,0	1685,7
1980 - 81	295,8	214,2	247,8	210,8	280,4	50,2	49,8	97,4	24,4	0,0	24,4	63,0	1558,2
1981 - 82	165,6	159,9	439,8	56,2	155,2	215,0	132,0	128,0	40,8	0,0	8,4	44,6	1545,5
1982 - 83	135,0	187,2	203,5	42,0	165,0	51,8	25,4	24,8	78,2	43,9	4,4	28,0	989,2
1983 - 84	86,6	162,4	374,0	228,9	159,8	116,2	168,4	64,1	20,4	10,4	28,0	11,4	1430,6
1984 - 85	2,4	141,8	215,7	480,8	67,6	130,8	147,4	88,4	10,6	13,2	1,0	3,0	1302,7
1985 - 86	145,0	299,6	115,5	201,3	249,6	146,4	71,8	82,5	130,8	7,0	18,7	40,6	1508,8
1986 - 87	195,7	73,3	165,8	349,8	184,5	222,5	104,7	64,7	27,0	5,0	36,3	0,3	1429,6
1987 - 88	212,7	230,5	140,2	140,5	157,0	106,3	84,2	27,6	18,6	0,4	0,4	26,8	1145,2
1988 - 89	88,2	290,9	260,6	22,2	182,2	175,6	109,5	87,2	32,4	66,3	3,3	12,6	1331,0
1989 - 90	128,7	76,4	204,6	10,4	70,4	25,8	87,0	135,9	1,9	2,0	59,9	43,6	846,6
1990 - 91	62,2	188,8	496,1	116,8	180,4	112,8	230,8	142,2	18,0	14,7	66,0	6,2	1635,0
1991 - 92	141,4	218,3	73,4	53,9	46,8	114,7	229,0	113,4	40,3	15,4	0,0	22,0	1068,6
1992 - 93	212,9	163,5	205,4	149,9	232,6	144,7	53,3	150,7	21,6	1,0	2,5	37,1	1375,2
1993 - 94	55,4	389,3	261,6	206,3	444,8	46,2	148,7	81,1	8,6	35,3	32,6	16,0	1725,9
1994 - 95	364,0	163,7	234,9	305,8	96,5	296,2	74,9	114,6	53,3	96,5	61,2	129,1	1990,7
1995 - 96	34,5	104,9	345,4	166,4	329,9	288,5	97,9	50,9	5,3	26,2	56,1	143,4	1649,4
1996 - 97	241,6	240,5	267,7	292,0	17,8	147,6	147,0	105,8	10,4	2,9	40,2	42,7	1556,2
1997 - 98	306,9	272,4	341,4	94,0	177,2	160,8	67,3	295,7	1,2	1,8	5,4	77,2	1801,3
1998 - 99	66,8	450,6	309,7	112,8	186,1	219,9	82,0	56,6	24,7	19,1	56,6	69,3	1654,2
1999 - 00	129,7	316,5	243,7	125,0	279,7	88,5	62,0	97,2	14,8	12,9	5,7	26,8	1402,5
2000 - 01	196,5	99,4	175,9	193,3	119,2	75,3	149,6	84,6	8,9	21,0	39,4	16,5	1179,6
2001 - 02	57,0	148,6	388,6	95,0	49,5	169,7	292,1	26,9	8,9	124,2	59,0	160,8	1580,3
2002 - 03	97,6	101,6	410,5	483,7	297,0	91,1	109,5	52,1	25,0	49,9	89,8	57,8	1865,6
2003 - 04	420,8	87,5	241,5	209,0	158,7	302,0	176,1	131,5	14,7	68,1	79,1	85,4	1974,4
2004 - 05	227,5	118,8	180,3	214,0	234,0	175,8	86,6	66,2	28,9	16,0	17,5	28,2	1393,8
Μέση τιμή	168,0	187,9	244,1	182,8	180,4	145,5	126,3	89,0	26,6	25,5	32,1	50,1	1458,5

Πίνακας 4.7: Μηνιαία ύψη βροχής βροχομετρικού σταθμού αργιθέας - (Περιφέρεια Θεσσαλίας – τμήμα υδρολογικών έργων)

ΦΟΡΕΑΣ: ΔΕΗ	ΛΕΚ. ΑΠΟΡΡΟΗΣ: ΑΧΕΛΩΟΥ											ΥΨΟΜ: 993 m	
Υδρ. Έτος	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΟΣ
1971 - 72	102,7	277,5	122,0	201,8	137,3	146,1	309,2	79,6	17,8	85,5	52,4	74,9	1606,8
1972 - 73	318,5	175,6	59,1	209,0	246,5	219,7	101,7	69,2	34,6	20,8	59,2	73,6	1587,5
1973 - 74	232,0	182,1	284,8	74,3	344,7	111,2	284,5	121,3	40,0	6,2	25,2	194,8	1901,1
1974 - 75	430,4	281,0	72,3	63,6	218,4	123,0	130,5	103,2	91,4	44,0	50,2	21,0	1629,0
1975 - 76	183,2	176,7	191,1	139,3	194,1	113,0	162,3	31,8	58,0	50,1	54,0	57,2	1410,8
1976 - 77	180,1	212,3	307,1	108,7	86,9	35,8	132,8	37,3	14,4	1,0	46,3	122,4	1285,1
1977 - 78	48,0	278,8	274,4	217,2	197,4	138,6	196,6	80,2	42,0	15,6	5,8	173,3	1667,9
1978 - 79	85,5	138,9	263,0	419,3	281,4	97,3	204,3	180,4	50,7	99,3	25,2	35,3	1880,6
1979 - 80	280,2	168,1	308,6	240,0	158,3	297,4	133,6	182,9	41,9	0,2	18,8	32,4	1862,4
1980 - 81	453,9	259,9	369,8	291,0	261,5	62,6	119,9	108,0	14,0	34,8	31,9	50,2	2057,5
1981 - 82	178,9	153,7	464,7	73,1	203,7	280,9	154,0	145,0	80,3	10,0	31,8	95,7	1871,8
1982 - 83	136,7	301,3	339,4	61,9	115,8	88,3	42,8	56,9	106,2	103,7	36,5	28,0	1417,5
1983 - 84	101,7	264,6	241,5	257,4	190,1	205,6	247,0	86,4	18,9	25,8	61,4	71,3	1771,7
1984 - 85	5,1	172,5	209,0	536,7	111,3	202,2	210,5	96,1	17,2	22,4	10,0	5,3	1598,3
1985 - 86	149,9	372,8	151,4	301,2	342,2	114,7	98,6	86,2	89,7	14,8	46,7	37,5	1805,7
1986 - 87	235,4	61,7	177,3	374,9	155,3	242,2	147,9	99,6	42,9	14,2	18,6	7,0	1577,0
1987 - 88	216,2	270,5	184,1	141,2	236,8	129,1	77,4	24,7	17,9	9,0	1,8	47,5	1356,2
1988 - 89	109,6	309,8	225,7	6,3	164,1	295,5	123,6	140,3	58,9	66,7	9,3	25,4	1535,2
1989 - 90	186,0	159,3	219,5	10,5	60,8	22,3	154,2	112,2	11,3	13,8	71,6	55,4	1076,9
1990 - 91	109,6	178,4	365,1	94,6	146,5	114,6	229,5	201,6	24,2	48,7	42,1	10,3	1565,2
1991 - 92	146,2	259,8	26,3	8,6	89,6	57,5	276,5	100,3	31,9	19,5	2,5	38,6	1057,3
1992 - 93	226,4	194,9	219,3	104,3	120,1	152,0	94,1	138,2	38,7	2,7	7,6	63,7	1362,0
1993 - 94	62,2	269,1	235,6	261,0	289,5	65,5	136,1	94,0	16,5	25,2	31,1	29,1	1514,9
1994 - 95	312,1	216,0	201,7	357,9	102,9	287,5	83,0	142,9	10,0	135,1	115,3	184,2	2148,6
1995 - 96	60,9	143,4	365,7	110,0	314,6	209,7	100,0	79,3	6,9	44,7	67,2	210,9	1713,3
1996 - 97	193,4	278,6	247,5	416,3	42,3	233,0	181,6	174,0	36,9	5,8	47,2	22,9	1879,5
1997 - 98	298,8	246,4	362,3	86,8	194,2	220,3	88,5	267,9	8,1	6,4	5,5	95,9	1881,1
1998 - 99	104,9	386,1	292,5	86,2	314,1	117,1	121,1	29,7	2,1	72,2	18,8	66,1	1610,9
1999 - 00	168,7	274,8	249,6	64,7	237,7	71,8	89,7	40,7	11,3	15,7	3,6	40,6	1268,9
2000 - 01	260,8	113,9	109,7	185,4	165,1	114,9	208,2	57,7	18,4	19,2	38,2	38,4	1329,9
2001 - 02	46,2	172,1	348,0	86,9	49,2	280,5	266,1	50,7	26,9	129,9	58,6	176,2	1691,3
2002 - 03	131,1	134,5	287,3	477,3	301,9	199,2	115,5	91,8	43,6	63,5	100,0	58,0	2003,7
2003 - 04	546,7	133,5	166,4	330,5	160,9	204,8	189,3	204,8	21,9	92,0	8,6	132,0	2191,4
2004 - 05	182,0	215,5	204,2	216,8	274,7	105,7	101,2	101,3	34,5	54,5	11,8	51,3	1553,5
Μέση τιμή	190,7	218,7	239,6	194,6	191,5	157,6	156,2	106,4	34,7	40,4	35,7	71,4	1637,4

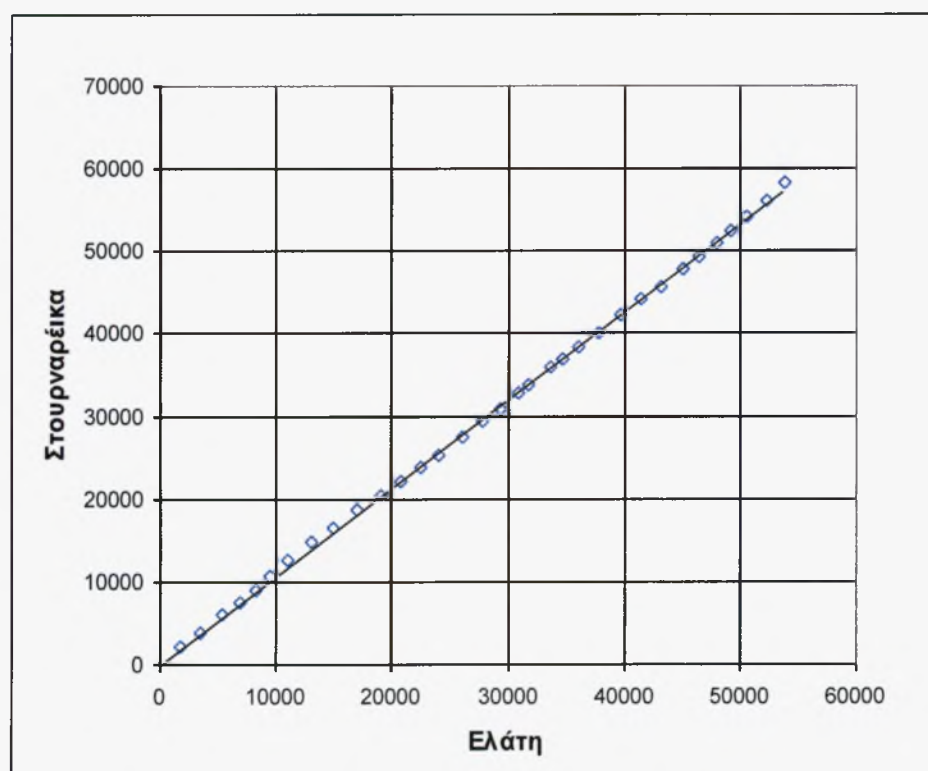
Επιπλέον, στον Πίνακα 4.8 δίνεται και η χρονοσειρά μηνιαίων τιμών του σταθμού στο Μουζάκι για τη χρονική περίοδο 1971/72 - 1981/82, μετά τις συμπληρώσεις και διορθώσεις.

Πίνακας 4.8: Μηνιαία ύψη βροχής βροχομετρικού σταθμού Μουζακίου - (Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων)

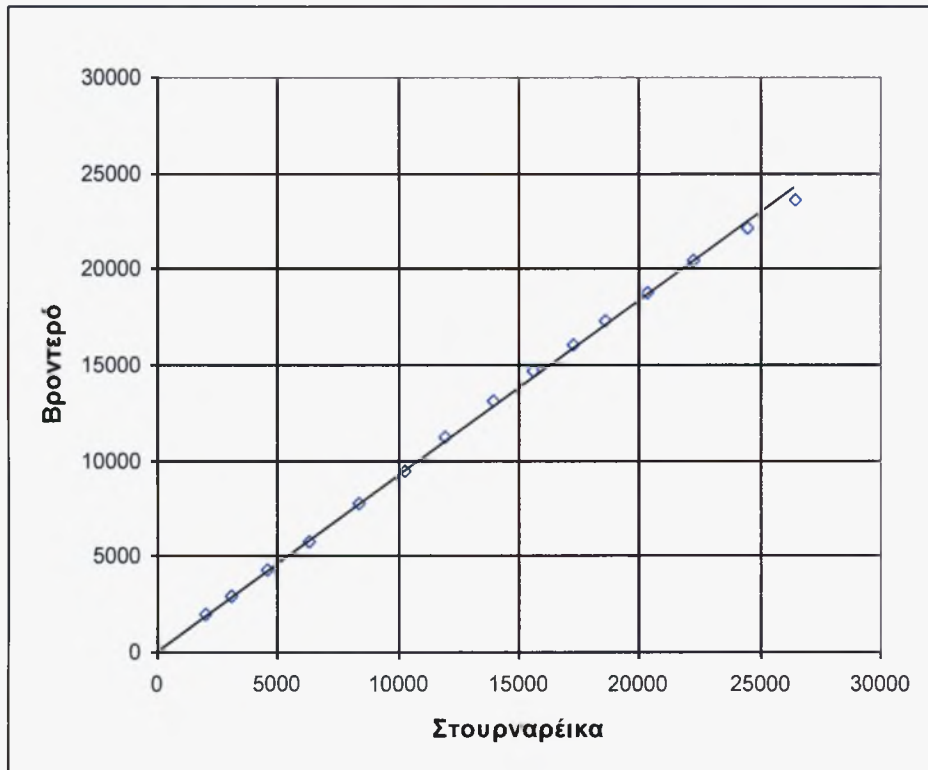
ΦΟΡΕΑΣ: ΥΠΕΧΩΔΕ			ΛΕΚ. ΑΠΟΡΡΟΗΣ: ΠΑΜΙΣΟΥ							ΥΨΟΜ: 229 m			
Υδρ. Έτος	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΟΣ
1971 - 72	96,0	127,0	78,3	157,0	112,0	108,0	204,0	34,7	5,7	39,3	21,5	21,4	1004,9
1972 - 73	222,0	53,5	39,2	186,0	185,0	164,0	14,5	36,5	5,5	36,0	71,3	64,8	1078,3
1973 - 74	203,0	93,1	120,0	86,7	224,0	127,0	183,0	51,8	19,8	0,0	4,5	133,9	1246,8
1974 - 75	319,6	163,0	86,3	16,6	171,0	60,6	65,0	54,3	42,9	19,3	80,0	12,6	1091,2
1975 - 76	134,0	155,7	131,0	101,0	225,0	98,7	127,0	23,3	19,4	36,9	25,9	11,8	1089,7
1976 - 77	138,0	117,0	171,6	68,3	36,0	24,5	90,5	21,1	13,1	2,3	14,6	101,0	798,0
1977 - 78	37,7	117,0	132,0	220,0	122,0	80,6	123,0	19,1	26,8	0,0	0,0	167,0	1045,2
1978 - 79	97,8	147,1	124,0	255,6	231,0	51,6	184,0	117,0	30,4	34,8	23,1	19,8	1316,2
1979 - 80	252,0	184,8	203,0	202,0	116,0	234,0	66,9	89,4	12,7	0,0	9,9	19,4	1390,1
1980 - 81	261,0	113,0	177,0	228,0	90,5	24,5	99,8	54,9	11,3	0,0	23,1	18,3	1101,4
1981 - 82	118,0	92,3	184,1	40,9	118,0	257,8	155,0	143,0	16,9	14,0	34,1	15,0	1189,1
1982 - 83													
1983 - 84													
1984 - 85													
1985 - 86													
1986 - 87													
1987 - 88													
1988 - 89													
1989 - 90													
1990 - 91													
1991 - 92													
1992 - 93													
1993 - 94													
1994 - 95													
1995 - 96													
1996 - 97													
1997 - 98													
1998 - 99													
1999 - 00													
2000 - 01													
2001 - 02													
2002 - 03													
2003 - 04													
2004 - 05													
Μέση τιμή	170,8	124,0	131,5	142,0	148,2	111,9	119,3	58,6	18,6	16,6	28,0	53,2	1122,8

Οι ανωτέρω χρονοσειρές ελέγχθηκαν στη συνέχεια ως προς την ομοιογένειά τους με χρήση της μεθόδου της διπλής αθροιστικής καμπύλης (ΔΑΚ). Από τον έλεγχο αυτό (Σχήματα 4.2 έως 4.7) φάνηκε ότι δεν υπήρχαν συστηματικά προβλήματα στα ετήσια μεγέθη των σταθμών, πλην του σταθμού της Δρακότρυπας. Για τον εν λόγω σταθμό

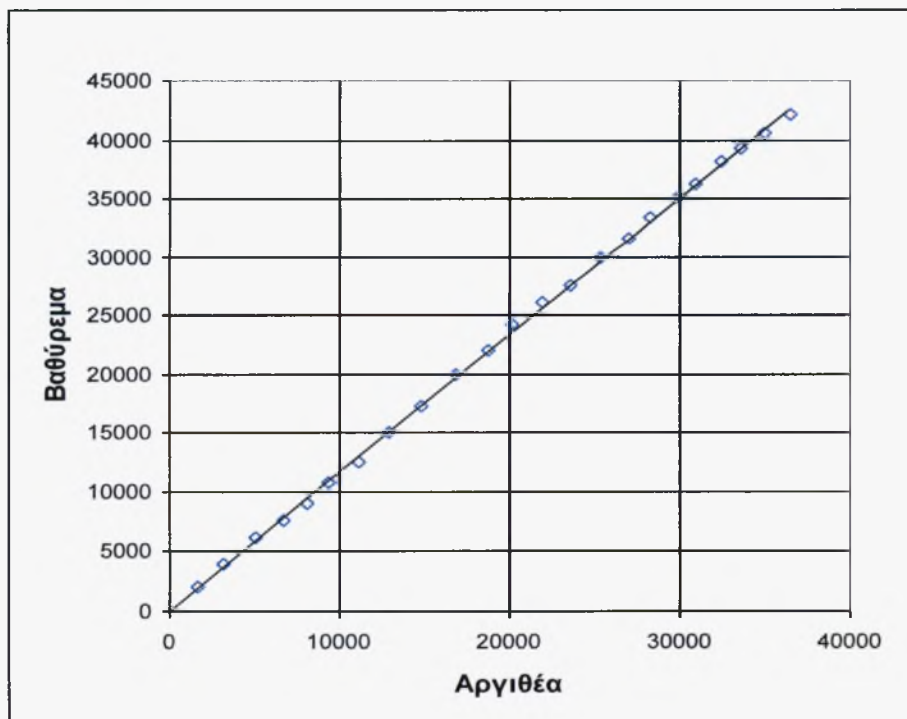
δίνεται στο Σχήμα 4.2 η ΔΑΚ της χρονικής περιόδου μετά το 1985 σε αύξουσα χρονολογική σειρά και στο Σχήμα 4.3 η ΔΑΚ της περιόδου 1971-2005 σε φθίνουσα σειρά. Όπως μπορεί κανείς να διαπιστώσει για το διάστημα 1971-1985 υπάρχει πρόβλημα υποεκτίμησης της ετήσιας βροχοπτώσης, που οφείλεται σε πλημμελή, μη καθημερινή, παρακολούθηση του οργάνου από πλευράς παρατηρητή ή με άλλα λόγια, σε μη καταγραφή του συνόλου των βροχοπτώσεων. Για το λόγο αυτό, επειδή το σφάλμα δεν ήταν συστηματικό, δεν επιχειρήθηκε διόρθωση ετησίων και μηνιαίων τιμών μέσω της ΔΑΚ. Έγινε όμως διόρθωση του μέσου ετήσιου ύψους βροχής της περιόδου 1971-1982, που στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό της βροχοβαθμίδας.



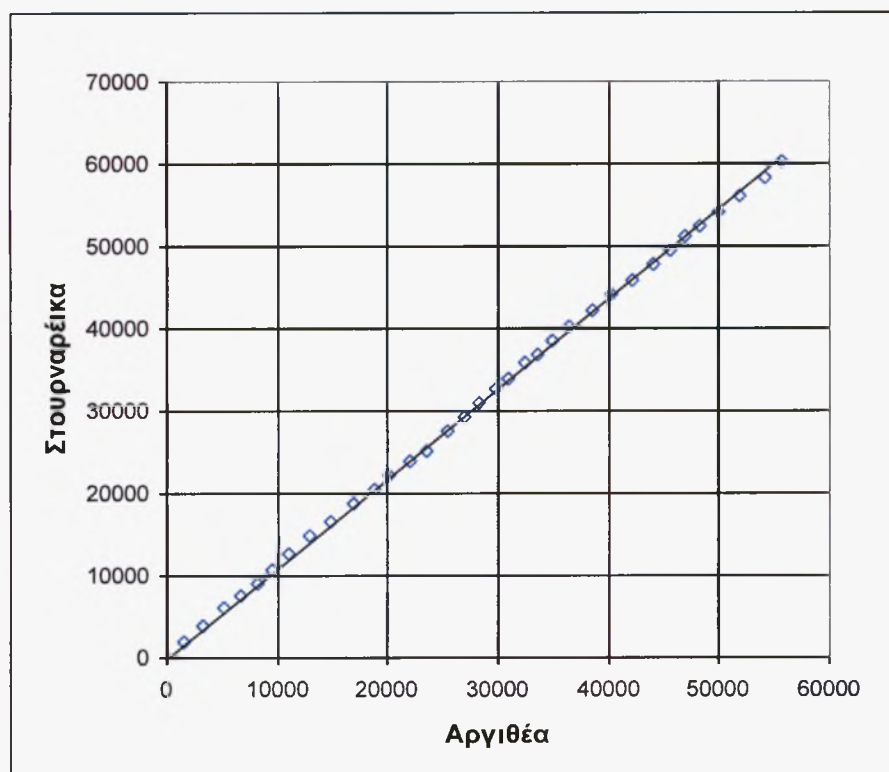
Σχήμα 4.2: Διπλή αθροιστική καμπύλη (ΔΑΚ) βροχομετρικών σταθμών Ελάτης - Στουρναρείων -- (Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων)



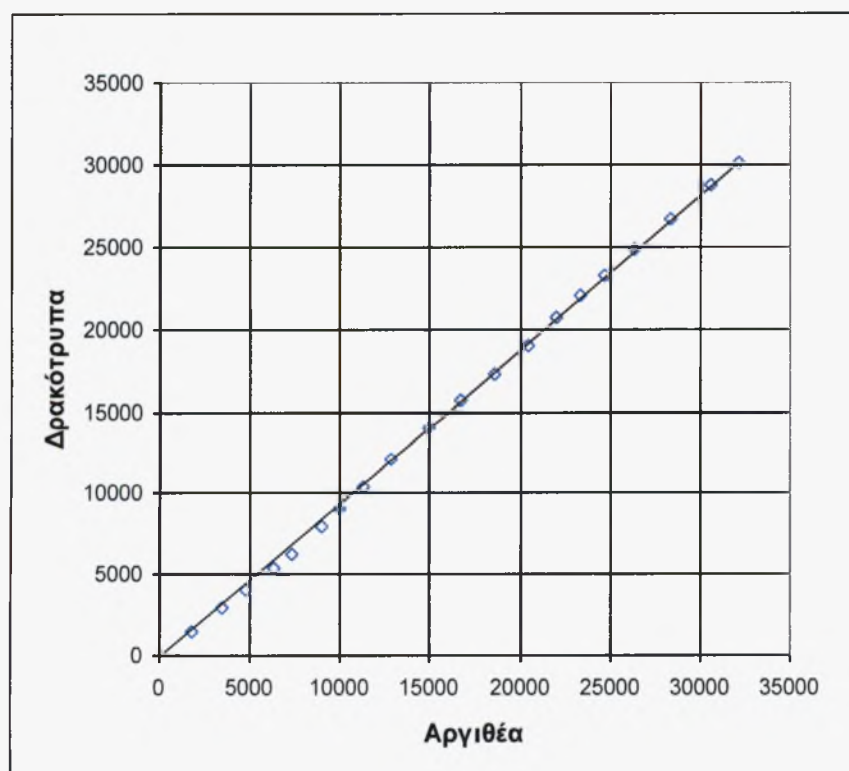
Σχήμα 4.3: Διπλή αθροιστική καμπύλη (ΔΑΚ) βροχομετρικών σταθμών Βροντερού – Στουρναρέικων -- (Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων)



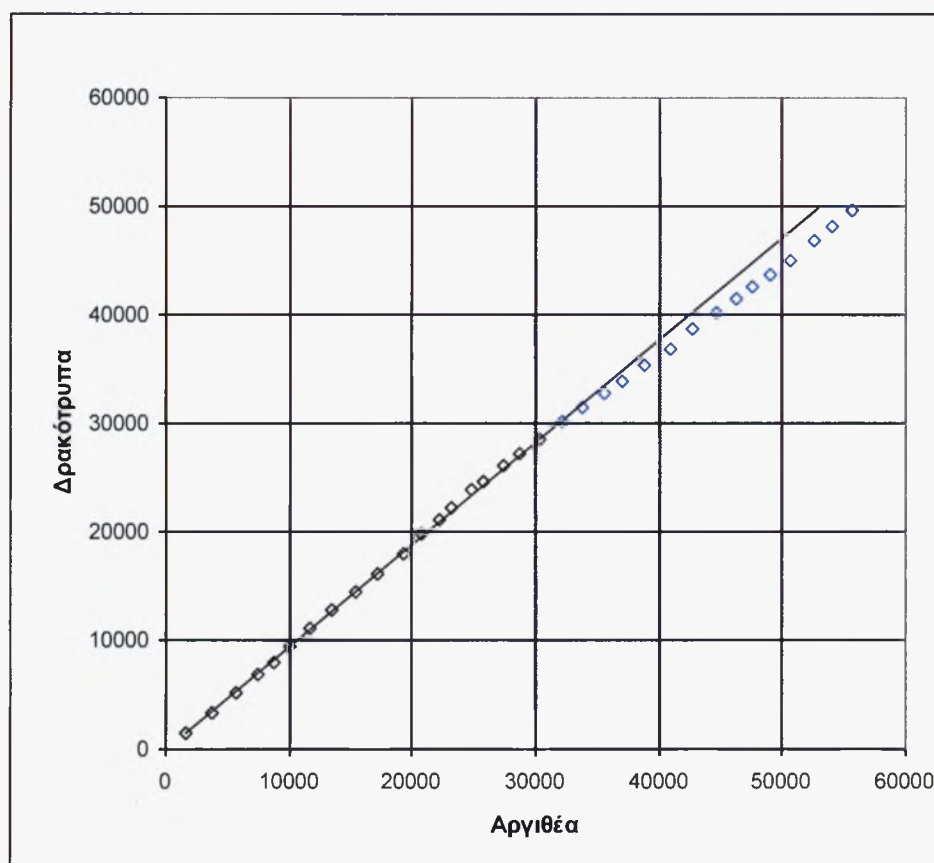
Σχήμα 4.4: Διπλή αθροιστική καμπύλη (ΔΑΚ) βροχομετρικών σταθμών Αργιθέας – Βαθυρέματος -- (Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων)



Σχήμα 4.5: Διπλή αθροιστική καμπύλη (ΔΑΚ) βροχομετρικών σταθμών Αργιθέας – Στουρναρέικων -- (Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων)



Σχήμα 4.6: Διπλή αθροιστική καμπύλη (ΔΑΚ) βροχομετρικών σταθμών Αργιθέας – Δρακότρυπας -- (Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων)



Σχήμα 4.7: Διπλή αθροιστική καμπύλη (ΔΑΚ) βροχομετρικών σταθμών Αργιθέας - Δρακότρυπας - (Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων)

4.1.6 Μεταβολή της βροχής με το υψόμετρο

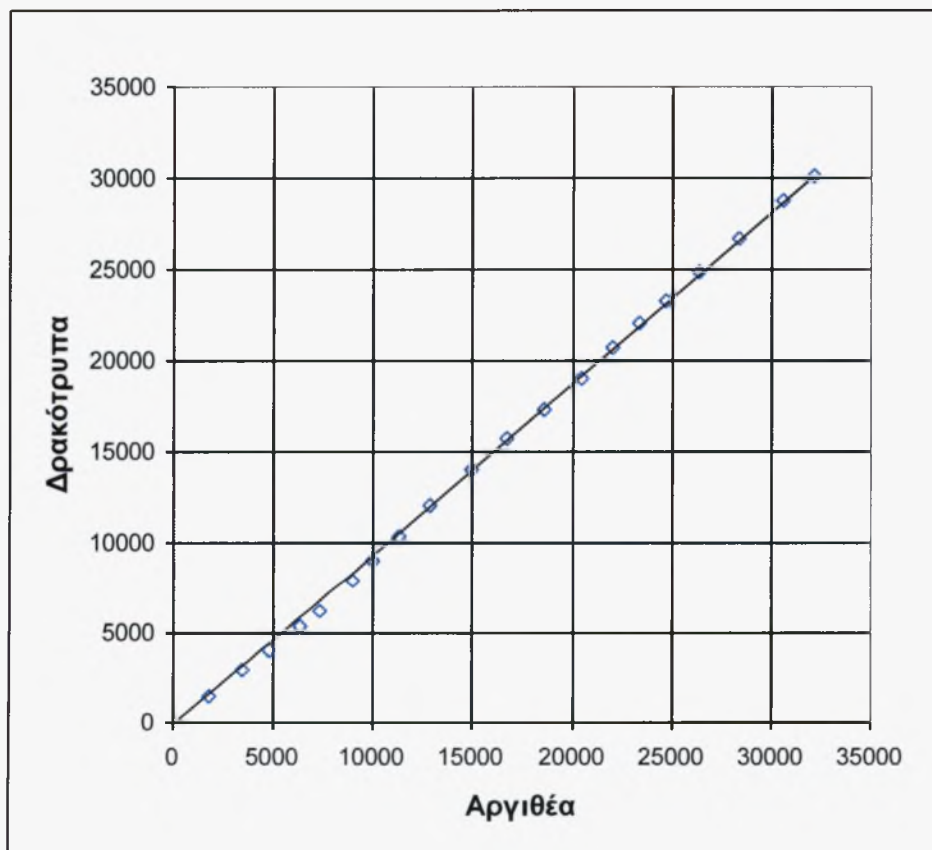
Για τον υπολογισμό της επιφανειακής βροχόπτωσης της λεκάνης ενδιαφέροντος, είναι αναγκαία η γνώση της βροχοβαθμίδας, δια της οποίας εκφράζεται ο ρυθμός αύξησης της βροχόπτωσης με την άνοδο του υψομέτρου. Για τον υπολογισμό αυτόν πάρθηκαν υπόψη τα μέσα ετήσια ύψη βροχής της περιόδου 1971-1982, δηλαδή της περιόδου για την οποία διατίθενται στοιχεία και για το σταθμό του Μουζακίου. Με τον τρόπο αυτό έχουμε ένα σημαντικό υψομετρικό εύρος, που εκτείνεται από 229 έως 993 m, με αποτέλεσμα τη σαφή διαμόρφωση της βροχοβαθμίδας.

Στον πίνακα που ακολουθεί, εμφανίζονται οι σταθμοί που ελήφθησαν υπόψη, τα μέσα ετήσια ύψη βροχής τους και τα υψόμετά τους.

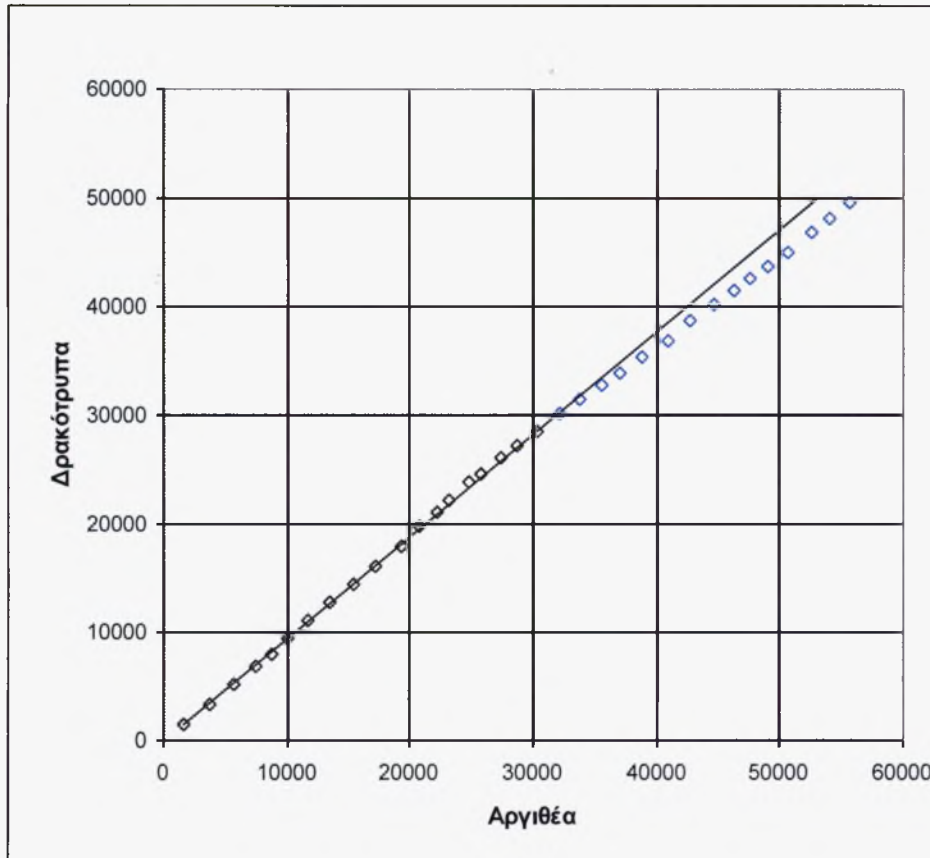
Πίνακας 4.9: Οι σταθμοί που ελήφθησαν υπόψη, τα μέσα ετήσια ύψη βροχής τους και τα υψόμετά τους - (Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων)

Σταθμός	Ελάτη	Στουρναρ.	Βαθύρεμμα	Αργιθέα	Δρακότρυπα	Μουζάκι
Υψόμετρο (m)	900	762	915	993	574	229
Μέσο ετήσ. ύψος βροχ. (mm)	1736	1856	2005	1706	1603	1123

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι, όπως φαίνεται στα παρακάτω 2 σχήματα, η μέση βροχοπτώση της περιόδου 1971-1982 που δίνεται για το σταθμό της Δρακότρυπας έχει διορθωθεί βάσει της διπλής αθροιστικής καμπύλης όπως διαφαίνεται στα παρακάτω γραφήματα (Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων) και δεν είναι αυτή που προκύπτει από τον Πίνακα 4.9 που παρουσιάστηκε προηγουμένως.

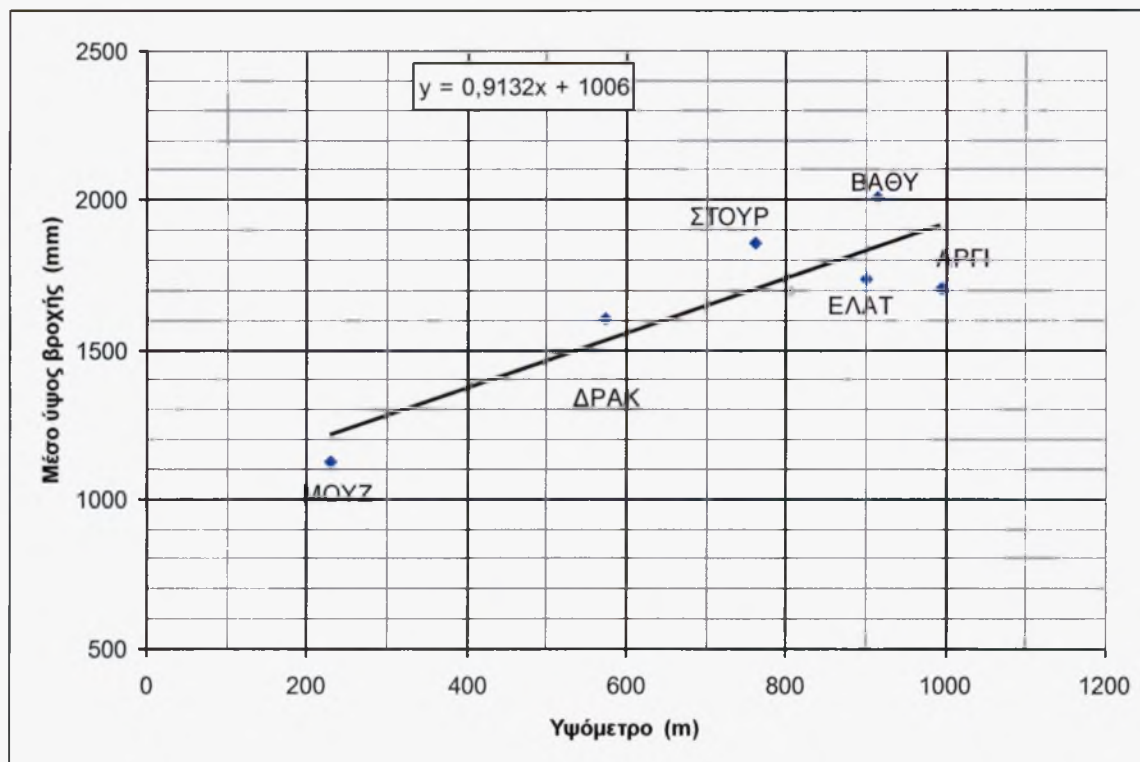


Σχήμα 4.8: Διπλή αθροιστική καμπύλη (ΔΑΚ) βροχομετρικών σταθμών Αργιθέας - Δρακότρυπας - (Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων)



Σχήμα 4.9: Διπλή αθροιστική καμπύλη (ΔΑΚ) βροχομετρικών σταθμών Αργιθέας – Δρακότρυπας - (Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων)

Στο παρακάτω σχήμα 4.10 παρουσιάζεται το γράφημα της γραμμικής παλινδρόμησης του ύψους βροχής επί του υψομέτρου του σταθμού. Η ποιότητα της συσχέτισης είναι πολύ καλή ($r=0,864$), ο δε συντελεστής της ευθείας που αποτελεί τη βροχοβαθμίδα, λαμβάνει την αρκετά μεγάλη τιμή των 91,3 mm/100m.



Σχήμα 4.10: Γραφική απεικόνιση της γραμμικής παλινδρόμησης του ύψους βροχής επί του υψόμετρου του σταθμού - (Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων)

4.1.7 Μέσες βροχοπτώσεις

Η εκτίμηση των μέσων μηνιαίων και ετησίων βροχοπτώσεων της λεκάνης Πύλης βασίσθηκε στους σταθμούς Ελάτη, Βροντερό, Στουρναρέικα, Βαθύρεμα, Αργιθέα και Δρακότρυπα, οι οποίοι συνδυάστηκαν με τη μέθοδο των πολυγώνων Thiessen. Επειδή οι σταθμοί αυτοί δεν λειτουργούν συνεχώς όλοι μαζί, διακρίθηκαν διαστήματα κοινής λειτουργίας τους, τα οποία έχουν ως εξής:

- Περίοδος 1^η, Οκτ. 1971-Σεπ 1985. Συμμετέχουν η Ελάτη, τα Σουρναρέικα, το Βαθύρεμα και η Αργιθέα.
- Περίοδος 2^α, Οκτ. 1985 - Σεπ. 1990. Συμμετέχουν οι ανωτέρω και η Δρακότρυπα.
- Περίοδος 3^η, Οκτ. 1990 - Σεπ. 1994. Προστίθεται στους ανωτέρω το Βροντερό.

- Περίοδος 4^η, Οκτ. 1994 - Σεπ. 2004. Αφαιρείται από τους ανωτέρω το Βαθύρεμμα, του οποίου διακόπτεται η λειτουργία.
- Περίοδος 5^η, Οκτ. 2004 - Σεπ. 2005. Δεν μετέχει η Ελάτη, της οποίας δεν βρέθηκαν τα δεδομένα.

Πίνακας 4.10: Στον πίνακα που ακολουθεί εμφανίζονται οι συντελεστές Thiessen των πέντε περιόδων και ο προκύπτων διορθωτικός συντελεστής λ για την αναγωγή της μέσης βροχόπτωσης στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης - (Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων).

	Ελάτη	Βροντερό	Στουρναρ	Βαθύρ	Αργιθέα	Δρακότρ	λ
Περίοδος 1η	0,3998		0,5232	0,0010	0,0760		1,054
Περίοδος 2η	0,3486		0,4665	0,0010	0,0590	0,1249	1,079
Περίοδος 3η	0,2090	0,1517	0,4544	0,0010	0,0590	0,1249	1,087
Περίοδος 4η	0,2090	0,1517	0,4554		0,0590	0,1249	1,076
Περίοδος 5η		0,3607	0,4554		0,0590	0,1249	1,081

Ο προαναφερθείς συντελεστής λ αναγωγής της μέσης βροχόπτωσης από το μέσο υψόμετρο των σταθμών στο μέσο της λεκάνης, υπολογίζεται ως

$$\lambda = 1 + \frac{\beta}{\bar{P}} \times \Delta H \quad (4.1)$$

όπου β η βροχοβαθμίδα, \bar{P} η υπερετήσια μέση βροχόπτωση στο μέσο υψόμετρο των σταθμών και ΔH η διαφορά μέσου υψομέτρου λεκάνης και μέσου υψομέτρου των σταθμών. Εισάγοντας τις κατάλληλες τιμές στην ανωτέρω σχέση προκύπτουν οι τιμές του

συντελεστή αναγωγής για τις διάφορες περιόδους λειτουργίας, όπως φαίνονται στον πίνακα.

Εφαρμόζοντας τους ανωτέρω συντελεστές στα μηνιαία και ετήσια ύψη επιφανειακής βροχής που υπολογίσθηκαν με τη μέθοδο Thiessen για το μέσο υψόμετρο των σταθμών που ανά περίπτωση συμμετέχουν, προέκυψαν τα αντίστοιχα μεγέθη της λεκάνης για το μέσο υψόμετρο αυτής, τα οποία εμφανίζονται στον Πίνακα 4.10.

Πίνακας 4.11: Μηνιαία ύψη βροχής λεκάνης Πύλης - (Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων)

ΛΕΚΑΝΗ Π. ΠΟΡΤΑΙΚΟΥ				ΕΚΤΑΣΗ: 132,5 km ²					ΜΕΣΟ ΥΨΟΜ: 937 m				
Υδρ. Έτος	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΟΣ
1971 - 72	98,9	376,3	197,5	298,4	167,8	198,3	346,2	97,0	29,3	121,3	43,9	36,4	2011,4
1972 - 73	476,3	145,6	95,5	206,2	274,2	294,7	84,2	65,7	24,5	37,5	61,1	58,5	1823,8
1973 - 74	257,0	187,1	346,8	110,7	366,7	179,0	323,6	115,7	40,0	8,7	7,8	192,1	2135,3
1974 - 75	358,9	266,1	55,3	47,3	272,9	108,2	104,3	84,8	71,1	32,5	152,1	34,3	1587,6
1975 - 76	175,7	276,4	186,0	119,8	281,8	139,5	155,5	89,8	38,2	54,8	17,8	43,0	1578,4
1976 - 77	207,1	260,6	445,2	127,9	59,7	38,7	107,3	34,2	26,4	13,0	27,5	103,3	1450,9
1977 - 78	88,5	254,0	242,2	335,0	227,6	143,7	233,3	92,7	26,1	16,5	6,9	216,4	1882,8
1978 - 79	129,3	125,0	282,0	427,9	371,8	164,2	294,2	241,5	40,0	80,3	33,7	31,5	2221,4
1979 - 80	283,6	326,4	305,4	274,8	149,6	281,3	97,8	149,9	28,4	1,9	27,3	31,3	1957,8
1980 - 81	389,2	252,8	386,0	310,5	278,2	85,6	147,8	167,2	23,0	5,3	91,7	95,7	2233,0
1981 - 82	188,0	110,1	551,6	72,4	215,5	246,1	183,7	184,3	29,1	20,8	37,1	107,5	1946,1
1982 - 83	214,3	324,3	544,2	65,8	152,7	62,8	51,8	50,4	137,3	105,8	37,6	49,2	1796,1
1983 - 84	177,5	214,2	167,3	262,0	243,2	190,8	258,3	81,3	21,4	14,1	113,3	55,5	1799,0
1984 - 85	13,0	247,8	222,5	394,7	123,9	209,2	201,1	85,6	23,6	27,2	5,8	12,4	1566,8
1985 - 86	180,9	400,2	240,9	352,3	467,3	157,8	85,8	127,8	117,0	44,5	18,0	45,5	2238,0
1986 - 87	198,8	116,9	195,0	390,8	282,9	320,6	135,1	105,9	31,8	22,8	33,5	24,8	1858,9
1987 - 88	303,8	278,3	201,2	203,3	254,6	114,6	112,5	44,5	22,0	1,5	4,8	40,9	1582,0
1988 - 89	197,5	364,4	279,6	26,0	219,1	223,2	137,1	133,8	61,0	76,8	5,3	40,3	1764,1
1989 - 90	178,1	238,0	165,9	10,7	97,5	25,6	151,9	154,9	4,5	3,5	72,2	24,8	1127,6
1990 - 91	127,3	272,2	496,2	132,1	242,4	113,1	276,3	207,7	24,2	30,8	82,7	34,7	2039,8
1991 - 92	153,8	227,7	39,2	54,1	65,9	88,9	252,5	152,2	55,2	44,0	0,4	22,0	1155,8
1992 - 93	215,8	187,8	252,8	135,1	223,7	147,5	82,3	210,9	36,5	0,8	6,4	48,9	1548,6
1993 - 94	94,0	338,9	311,1	254,9	379,2	50,1	189,2	89,8	13,4	44,6	36,2	32,7	1834,2
1994 - 95	354,2	204,8	280,2	315,5	92,9	296,7	96,5	135,7	11,5	86,5	80,7	169,2	2124,4
1995 - 96	36,3	176,2	450,6	161,3	353,0	262,1	123,6	72,5	8,6	51,6	76,5	202,0	1974,2
1996 - 97	259,7	373,3	268,4	310,0	41,2	159,7	156,1	111,0	17,4	2,0	45,8	51,5	1796,1
1997 - 98	427,5	325,0	332,9	92,5	232,0	149,8	88,0	305,2	17,1	0,6	15,7	93,6	2079,9
1998 - 99	86,0	468,4	358,9	99,7	221,7	196,2	107,9	36,6	22,1	47,7	21,9	48,6	1715,9
1999 - 00	175,0	435,4	328,9	94,2	273,9	86,6	87,3	66,0	38,8	15,4	6,9	24,3	1632,7
2000 - 01	239,6	136,9	204,6	173,3	142,8	100,2	189,9	82,1	12,6	26,0	57,5	17,5	1382,9
2001 - 02	58,6	209,7	405,0	107,3	46,4	188,4	249,3	33,3	41,5	104,6	71,6	226,0	1741,7
2002 - 03	88,5	95,7	382,5	524,0	295,7	87,8	130,2	63,6	35,1	110,0	80,8	61,2	1955,1
2003 - 04	539,9	91,3	206,2	250,5	158,4	257,6	164,4	155,0	23,4	40,0	20,2	181,2	2088,0
2004 - 05	206,8	213,6	227,9	332,7	306,5	232,7	104,6	92,3	52,5	26,5	11,5	57,7	1865,4
Μέση τιμή	211,2	250,6	284,0	208,1	223,0	164,7	162,0	115,3	35,4	38,8	41,5	74,0	1808,7

4.1.7.1 Όμβριες καμπύλες

Για τον υπολογισμό των ομβρίων καμπυλών ελέγχθηκε το σύνολο των ταινιών των κοντινών βροχογράφων και αναλύθηκαν όλα τα σημαντικά περιστατικά που είχαν καταγραφεί, για κάθε υδρολογικό έτος, με χρονικό βήμα τις δύο ώρες. Από τις σημειακές καταγραφές υπολογίσθηκαν για κάθε τέτοιο περιστατικό οι επιφανειακές βροχοπτώσεις, επίσης αναλυμένες στο χρονικό βήμα των δύο ωρών, και στη συνέχεια τα μέγιστα ύψη βροχής στις επιλεγμένες διάρκειες των 6, 12, 18, 24 και 36 ωρών. Από τη σύγκριση των σημαντικών περιστατικών κάθε έτους προέκυψαν τα ετησίως μέγιστα ύψη βροχής στις ανωτέρω διάρκειες. Με τον τρόπο αυτόν εξετάσθηκε συνολικά η 45ετής περίοδος 1960-2005, η οποία, αναλόγως των βασικών σταθμών που χρησιμοποιήθηκαν, μπορεί να διαιρεθεί στις ακόλουθες υποπεριόδους.

Περίοδος 1960-86

Η περίοδος αυτή αρχίζει το υδρολογικό έτος 1960/61 που είναι το πρώτο κατά το οποίο διατίθενται στοιχεία βροχογράφου από αντιπροσωπευτικό σταθμό. Πιο συγκεκριμένα, οι σταθμοί που συμμετέχουν άμεσα στη διαμόρφωση της εκτίμησης για τη μέση βροχόπτωση λεκάνης, είναι η Αργιθέα, η Δρακότρυπα, τα Στουρναρέικα, το Βαθύρεμμα και η Ελάτη. Λίγο πιο απομακρυσμένοι σταθμοί που δεν συμμετέχουν, αλλά παρέχουν χρήσιμες βοηθητικές πληροφορίες, είναι το Πολυνέρι, η Βάκαρη, το Λεοντίτο (βροχογράφοι) και το Ανθηρό (βροχόμετρο). Από την πρώτη ομάδα των σταθμών, βροχογραφικές πληροφορίες διαθέτει η Αργιθέα. Οι υπόλοιποι σταθμοί της βασικής ομάδας διαθέτουν μόνο ημερήσιες παρατηρήσεις (βροχόμετρα). Για τον υπολογισμό λοιπόν της χρονικής κατανομής αυτών των ενδείξεων, λαμβάνεται πρωτευόντως υπόψη ο σταθμός της Αργιθέας. Σε περιπτώσεις κατά τις οποίες δεν έχει λειτουργήσει ο σταθμός αυτός, λαμβάνονται υπόψη οι βροχογράφοι της βοηθητικής ομάδας, και κυρίως το Πολυνέρι και η Βάκαρη. Οι τελευταίοι λαμβάνονται επίσης υπόψη όταν υπάρχουν ενδείξεις χωρικής ανομοιομορφίας στη χρονική κατανομή της βροχής, οπότε φαίνεται προτιμότερη η κατανομή κάποιων βροχομέτρων βάσει της Αργιθέας, και των υπολοίπων βάσει του Πολυνερίου ή της Βάκαρης. Ο ρόλος όμως των συμβουλευτικών σταθμών δεν σταματά εκεί. Σε αρκετές περιπτώσεις που ανακύπτουν προβλήματα καταγραφής στους

βασικούς σταθμούς, χρησιμοποιούνται οι συμβουλευτικοί για να γίνουν οι αναγκαίες συμπληρώσεις ή έλεγχοι. Κατ' εξοχήν παράδειγμα προσφέρει το βροχόμετρο στα Στουρναρέικα που δέχεται ιδιαιτέρως μεγάλα ύψη βροχής. Εκεί, συχνό είναι το φαινόμενο κατά τη διάρκεια καταιγίδας να υπερχειλίζει το όργανο. Τότε, προκειμένου να μην στερηθεί η ανάλυση μεγίστων αυτό το σημαντικό περιστατικό, γίνεται μεταφορά βροχομετρικής πληροφορίας από τον συγγενέστερο συμβουλευτικό σταθμό. Παρεμπιπτόντως, σημειώνεται ότι στα Στουρναρέικα λειτουργεί και ένα όργανο του ΥΠΑΑΤ, τα δεδομένα του οποίου όμως δεν είναι διαθέσιμα προ του 1980. Επίσης, καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου αυτής, η Δρακότρυπα συχνά δεν λειτουργεί σωστά.

Περίοδος 1986-90

Κατά την περίοδο αυτή και καθώς οι υπόλοιποι σταθμοί εξακολουθούν να λειτουργούν, συντελείται αναβάθμιση του σταθμού της Δρακότρυπας με την εγκατάσταση βροχογράφου και αλλαγή του παρατηρητή. Έτσι, από τον σταθμό αυτόν αρχίζουν να φθάνουν πιο αξιόπιστες και χρήσιμες βροχομετρικές πληροφορίες. Κατά τα λοιπά, ο τρόπος μεταχείρισης και συνδυασμού των πληροφοριών ακολουθεί τις γενικές αρχές που εκτέθηκαν προηγουμένως.

Περίοδος 1990-94

Η περίοδος αυτή χαρακτηρίζεται από αλλαγές στη βασική ομάδα σταθμών: Πρώτον, από την κατάργηση του βροχομετρικού σταθμού του Βαθυρέμματος, δεύτερον από την προσθήκη ενός νέου βροχογραφικού σταθμού στο Βροντερό, στα βόρεια της λεκάνης (κοντά στην Ελάτη) και τρίτον, από την εγκατάσταση βροχογράφου στα Στουρναρέικα. Επιπλέον, στην περίοδο αυτή καθίστανται διαθέσιμα και τα βροχομετρικά στοιχεία του ΥΠΑΑΤ για τον δεύτερο σταθμό στα Στουρναρέικα. Όσον αφορά την απώλεια της πληροφορίας από το Βαθύρεμμα, σημειώνεται ότι στους περισσότερους συνδυασμούς σταθμών, αυτό συμμετείχε με πολύ μικρό βάρος. Επομένως, κατά την περίοδο αυτή διατίθεται πολύ πλούσιο υλικό από την άποψη της βροχομετρικής πληροφορίας. Αλλαγές συμβαίνουν και στη βοηθητική ομάδα σταθμών, στην οποία από το 1993 παύει να συμμετέχει η Βάκαρη, λόγω κατάργησης. Όσον αφορά στην επεξεργασία, οι κατά τα ανωτέρω βασικοί κανόνες εφαρμόζονται και εδώ, με τη διαφορά ότι η ανάγκη

προσφυγής σε συμβουλευτικούς σταθμούς είναι πολύ πιο σπάνια. Σημειώνεται επίσης ότι η κατανομή των παρατηρήσεων της Ελάτης γίνεται πλέον βάσει των καταγραφών του γειτονικού σταθμού του Βροντερού.

Περίοδος 1994-05

Η περίοδος αυτή χαρακτηρίζεται από την παύση της λειτουργίας του βροχογράφου της ΔΕΗ στα Στουρναρέικα και τη συνέχιση της λειτουργίας του σταθμού με βροχόμετρο. Επίσης, από την κατάργηση των βοηθητικών σταθμών Λεοντίτο και Ανθηρό. Όμως, η απώλεια είναι σχετικά μικρή, δοθέντος ότι μέσα και κοντά στη λεκάνη λειτουργούν κατά κανόνα τρεις βροχογράφοι.

Στον παρακάτω πίνακα 4.12 εμφανίζονται ανά εξετασθείσα διάρκεια τα μέγιστα ύψη βροχής κάθε υδρολογικού έτους. Εμφανίζεται επίσης η ημερομηνία της καταιγίδας από την οποία προέκυψαν τα μέγιστα του έτους (Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων).

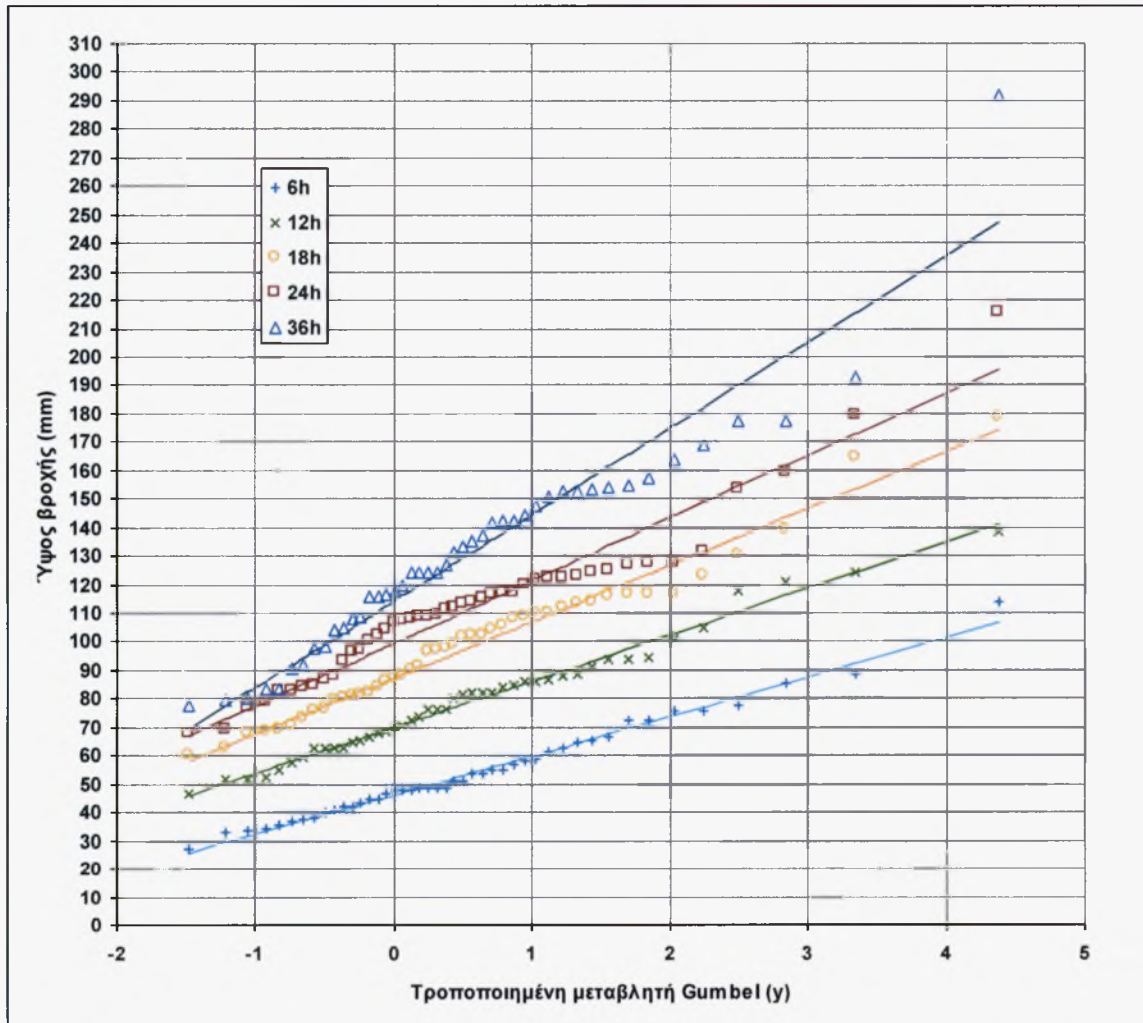
Πίνακας 4.12: Ετησίως μέγιστες καταιγίδες λεκάνης Πύλης - (Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων)

Υδρ. Έτος		Ημερομηνία	Διάρκεια καταιγίδας				
			6 h	12 h	18 h	24 h	36 h
1960	- 61	07/11/1960	38,0				
		10/12/1960		52,0	60,4	69,2	83,7
1961	- 62	04/11/1961	72,6	117,5	139,4	153,5	177,1
1962	- 63	15/12/1962	77,7	138,5	164,1	179,5	192,9
1963	- 64	26/10/1963	48,6	85,0	107,8	116,7	
		12/12/1963					157,3
1964	- 65	03/12/1964	42,0	70,1			
		30/11/1964			85,9	107,0	118,0
1965	- 66	27/11/1965	48,3	67,9	88,1	113,2	153,8
1966	- 67	17/11/1966	58,9				124,1
		13/12/1966		76,7			
		05/11/1966			99,2	111,1	
1967	- 68	08/12/1967	44,4				
		06/01/1968		74,0	96,1	102,0	108,3
1968	- 69	13/02/1969	35,5	62,5	84,1	108,9	116,0
1969	- 70	05/01/1970	58,3	82,3	102,1	121,8	169,0
1970	- 71	30/12/1970	76,0	124,5	178,3	215,5	292,1
1971	- 72	22/11/1971	62,6	88,1			
		12/04/1972			116,7	127,7	153,6
1972	- 73	13/10/1972	44,5				
		08/10/1972		62,8	68,7	93,0	104,6
1973	- 74	25/09/1974	61,7				
		26/11/1973		91,3			
		06/02/1974			101,9	108,8	116,4
1974	- 75	21/10/1974	50,8	72,5	91,2	114,1	131,2
1975	- 76	17/12/1975	37,7	62,9	72,8	79,1	79,5
1976	- 77	01/12/1976	53,9	82,1	109,8	124,7	163,4
1977	- 78	10/12/1977	27,5				80,1
		13/02/1978		46,7	67,9	77,0	
1978	- 79	05/01/1979	57,0	81,8			
		13/12/1978			108,6	122,2	124,5
1979	- 80	23/12/1979	51,3	86,2			
		30/12/1979			96,8	112,0	124,1
1980	- 81	21/10/1980	32,9	59,3	79,5	100,2	116,0

Υδρολογική διερεύνηση φράγματος Πύλης Τρικάλων

1981	-	82	26/10/1981	66,5	94,7	114,2	117,0	
			11/12/1981					142,6
1982	-	83	13/12/1982	43,4				
			14/11/1983		64,7	87,4	104,5	144,1
1983	-	84	27/11/1983	33,5				
			09/01/1984		51,5	69,0	83,1	98,4
1984	-	85	17/04/1985	54,8	84,1	111,8	122,6	137,5
1985	-	86	23/10/1985	48,4	76,7	116,0	131,7	147,3
1986	-	87	10/01/1987	34,6	52,7	70,8	86,6	126,6
1987	-	88	07/10/1987	64,6	93,7	104,0	107,2	108,8
1988	-	89	25/02/1989	40,2	66,6	80,7	96,5	141,9
1989	-	90	22/11/1989	47,8	55,0	62,8		
			07/12/1989				67,9	77,6
1990	-	91	10/5/1991		68,4	76,3		
			6/4/1991	41,9			84,5	90,7
1991	-	92	18/4/1992	47,9	86,2	97,8	109,3	133,5
1992	-	93	18/11/1992	65,2	76,3	82,3	82,9	83,2
1993	-	94	11/11/1993	48,0	65,4			
			26/12/1993			80,2	88,0	92,0
1994	-	95	21/10/1994	46,7	88,6	110,3	124,3	150,9
1995	-	96	13/9/1996	72,5	82,3			
			20/2/1996			105,6	127,4	154,6
1996	-	97	11/1/1997	53,4	86,4	130,2	159,2	177,3
1997	-	98	15/10/1997	113,7	121,2	123,0	123,1	
			23/11/1997					124,6
1998	-	99	22/11/1998	76,0	100,6	116,4	126,8	0,0
			4/12/1998	0,0	0,0	0,0	0,0	142,2
1999	-	00	18/10/1999	85,4	105,0	116,3	119,5	119,8
2000	-	01	25/12/2000	36,9				
			05/10/2000		57,3	76,0	83,9	
			30/03/2001					97,6
2001	-	02	23/09/2002	54,8				
			23/12/2001		70,6	90,2	115,1	135,1
2002	-	03	04/02/2003	40,9	63,1	81,8	96,9	104,0
2003	-	04	06/10/2003	88,7				
			23/10/2003		93,6	113,5	117,4	152,7
2004	-	05	16/10/2004	48,3				
			24/12/2004		80,4	102,0	107,8	152,5

Μετά τη συγκρότηση του Πίνακα 4.12 έγινε η στατιστική ανάλυση των σειρών μεγίστων καταιγίδων των πέντε διαρκειών με προσαρμογή της κατανομής Gumbel σε κάθε ένα δείγμα. Η σχεδιαστική θέση εκάστου γεγονότος εκτιμήθηκε με τον τύπο του Gringorten και με πλήθος δείγματος ίσον προς 45. Η προσαρμογή των ευθειών έγινε με τη μέθοδο Gumbel (Μιμίκου, 1994) από τις στατιστικές παραμέτρους του δείγματος και παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα. 4.11.



Σχήμα 4.11: Προσαρμογή των ευθειών με τη μέθοδο Gumbel (Μιμίκου, 1994). (Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων).

Όπως είναι φανερό από την εικόνα, η διασπορά που εμφανίζουν τα πέντε δείγματα γύρω από τις ευθείες Gumbel, αυξάνεται καθώς αυξάνει η εξεταζόμενη διάρκεια της βροχής. Πέρα από την κλιματολογία των καταιγίδων της περιοχής, η αιτία αυτής της διασποράς μπορεί να αποδοθεί και στην ανομοιογένεια του υπολογισμού των επιφανειακών

καταιγίδων, κάτι που δεν μπορεί να βελτιωθεί. Είναι ενδιαφέρον να παρατηρηθεί ότι στη διάρκεια των 36 ωρών εμφανίζεται η μεγαλύτερη καταιγίδα της 45-ετίας, της 30/12/1970, ως εξωκείμενο σημείο το οποίο θα πρέπει αρκετά ακόμα χρόνια να περάσουν μέχρι να βρει τη σχεδιαστική του θέση κοντά στην ευθεία της κατανομής. Ανεξαρτήτως αυτού όμως, έγινε επί του παρόντος η συντηρητική επιλογή να διατηρηθεί το συγκεκριμένο περιστατικό μέσα στο δείγμα.

Για την καλύτερη κατανόηση της διάταξης των γεγονότων και των μεγεθών, διαμορφώθηκε και ο Πίνακας 4.13, στον οποίον τα γεγονότα του Πίνακα 4.12 παρατίθενται κατά φθίνουσα σειρά μεγέθους.

Πίνακας 4.13: Ετησίως μέγιστες καταιγίδες λεκάνης Πύλης κατά σειρά μεγέθους - (Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων)

α/α	Διάρκεια καταιγίδας				
	6 h	12 h	18 h	24 h	36 h
1	113,7	138,5	178,3	215,5	292,1
2	88,7	124,5	164,1	179,5	192,9
3	85,4	121,2	139,4	159,2	177,3
4	77,7	117,5	130,2	153,5	177,1
5	76,0	105,0	123,0	131,7	169,0
6	76,0	100,6	116,7	127,7	163,4
7	72,6	94,7	116,4	127,4	157,3
8	72,5	93,7	116,3	126,8	154,6
9	66,5	93,6	116,0	124,7	153,8
10	65,2	91,3	114,2	124,3	153,6
11	64,6	88,6	113,5	123,1	152,7
12	62,6	88,1	111,8	122,6	152,5
13	61,7	86,4	110,3	122,2	150,9
14	58,9	86,2	109,8	121,8	147,3
15	58,3	86,2	108,6	119,5	144,1
16	57,0	85,0	107,8	117,4	142,6
17	54,8	84,1	105,6	117,0	142,2

18	54,8	82,3	104,0	116,7	141,9
19	53,9	82,3	102,1	115,1	137,5
20	53,4	82,1	102,0	114,1	135,1
21	51,3	81,8	101,9	113,2	133,5
22	50,8	80,4	99,2	112,0	131,2
23	48,6	76,7	97,8	111,1	126,6
24	48,4	76,7	96,8	109,3	124,6
25	48,3	76,3	96,1	108,9	124,5
26	48,3	74,0	91,2	108,8	124,1
27	48,0	72,5	90,2	107,8	124,1
28	47,9	70,6	88,1	107,2	119,8
29	47,8	70,1	87,4	107,0	118,0
30	46,7	68,4	85,9	104,5	116,4
31	44,5	67,9	84,1	102,0	116,0
32	44,4	66,6	82,3	100,2	116,0
33	43,4	65,4	81,8	96,9	108,8
34	42,0	64,7	80,7	96,5	108,3
35	41,9	63,1	80,2	93,0	104,6
36	40,9	62,9	79,5	88,0	104,0
37	40,2	62,8	76,3	86,6	98,4
38	38,0	62,5	76,0	84,5	97,6
39	37,7	59,3	72,8	83,9	92,0
40	36,9	57,3	70,8	83,1	90,7
41	35,5	55,0	69,0	82,9	83,7
42	34,6	52,7	68,7	79,1	83,2
43	33,5	52,0	67,9	77,0	80,1
44	32,9	51,5	62,8	69,2	79,5
45	27,5	46,7	60,4	67,9	77,6

Από εκεί, μπορεί κανείς να παρατηρήσει ότι τα σημαντικότερα περιστατικά λαμβάνουν χώρα τους μήνες Νοέμβριο και Δεκέμβριο ως επί το πλείστον, αλλά και ο Οκτώβριος είναι ένας πολύ επικίνδυνος μήνας, κυρίως για βραχείας διάρκειας καταιγίδες.

Οι εξισώσεις των ευθειών Gumbel που προσαρμόστηκαν στα πέντε δείγματα των ετησίως μεγίστων καταιγίδων και δίνουν τη σχέση ύψους βροχής και περιόδου επαναφοράς της καταιγίδας είναι για κάθε διάρκεια οι ακόλουθες:

$$t = 6 \text{ h} \quad P = 46,30 - 13,74 \ln\{\ln[T/(T-1)]\} \quad (4.2)$$

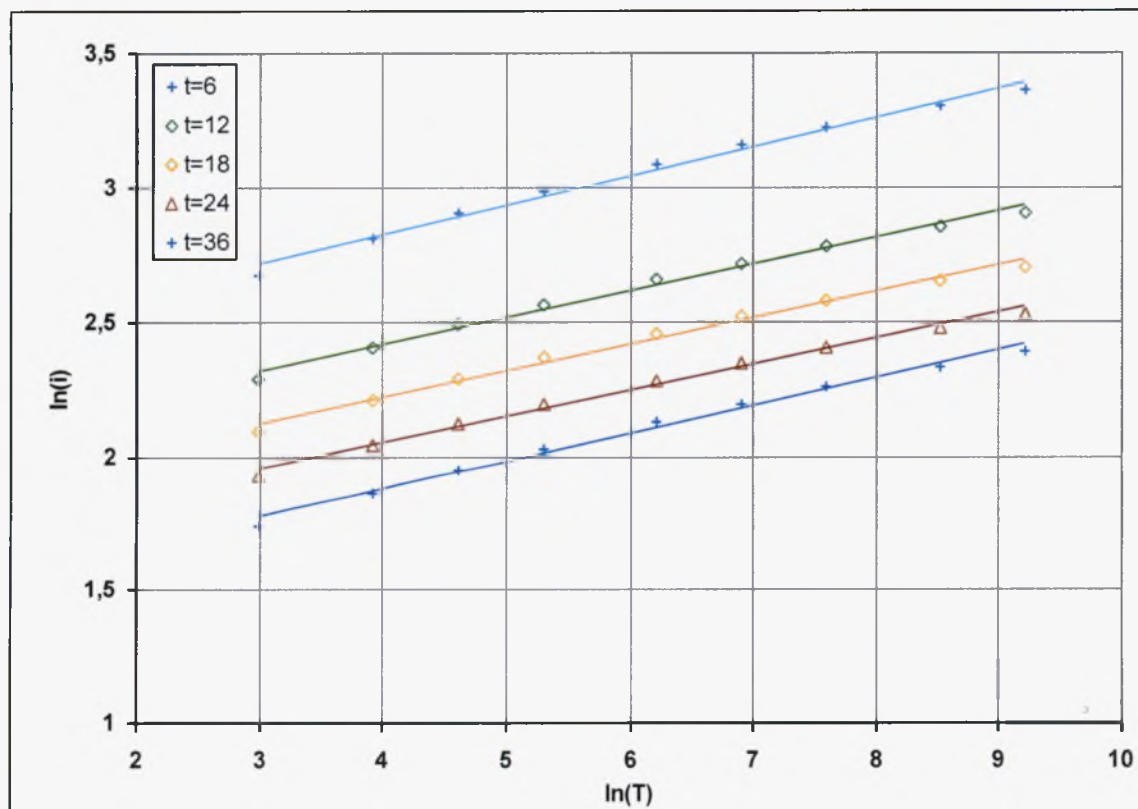
$$t = 12 \text{ h} \quad P = 70,13 - 16,22 \ln\{\ln[T/(T-1)]\} \quad (4.2 \text{ ii})$$

$$t = 18 \text{ h} \quad P = 87,44 - 19,72 \ln\{\ln[T/(T-1)]\} \quad (4.2 \text{ iii})$$

$$t = 24 \text{ h} \quad P = 99,55 - 21,95 \ln\{\ln[T/(T-1)]\} \quad (4.2 \text{ iv})$$

$$t = 36 \text{ h} \quad P = 114,43 - 30,25 \ln\{\ln[T/(T-1)]\} \quad (4.2 \text{ v})$$

Από τις ανωτέρω σχέσεις Gumbel και για ένα σύνολο χαρακτηριστικών τιμών της περιόδου επαναφοράς, υπολογίζονται τα ύψη βροχής για κάθε επιλεγμένη διάρκεια. Από εκεί υπολογίζεται η μέση ένταση και διερευνώνται οι σχέσεις αυτής με την περίοδο επαναφοράς, για τις διάφορες διάρκειες. Τα γραφήματα των σχέσεων αυτών, εκφρασμένων με λογαριθμοποιημένες μεταβλητές, εμφανίζονται στο Σχήμα 4.12.



Σχήμα 4.12: Γραφήματα των σχέσεων 4.9-4.9v. (Περιφέρεια Θεσσαλίας – Τμήμα υδρολογικών έργων)

Στη συνέχεια έγινε προσαρμογή αναλυτικών εκφράσεων στις εν λόγω σχέσεις, ώστε τελικά να προκύψει υπό ενιαία παραμετρική μορφή η γενική σχέση:

$$i = \exp[3,02113 \times (\ln T)^{0,15866}] \times t^{\ln((T^{\wedge}-0,0036)/1,6777)} \quad (4.3)$$

όπου i = Ένταση βροχής (mm/h) σε δεδομένη διάρκεια καταιγίδας t (h) και
 T = Περίοδος επαναφοράς (έτη)

η οποία αποδίδει τις επιφανειακές όμβριες καμπύλες για τη λεκάνη της Πύλης. Εναλλακτικά προς την ανωτέρω σχέση και για λόγους σύγκρισης με άλλες παρόμοιες που έχουν υπολογισθεί για άλλες περιοχές της χώρας, διατυπώθηκε η σχέση των ομβρίων καμπυλών και με τη λιγότερο ακριβή αλλά πιο συνήθη μορφή:

$$i = 27,598 T^{0,111} \times t^{-0,538} \quad (4.3 \text{ ii})$$

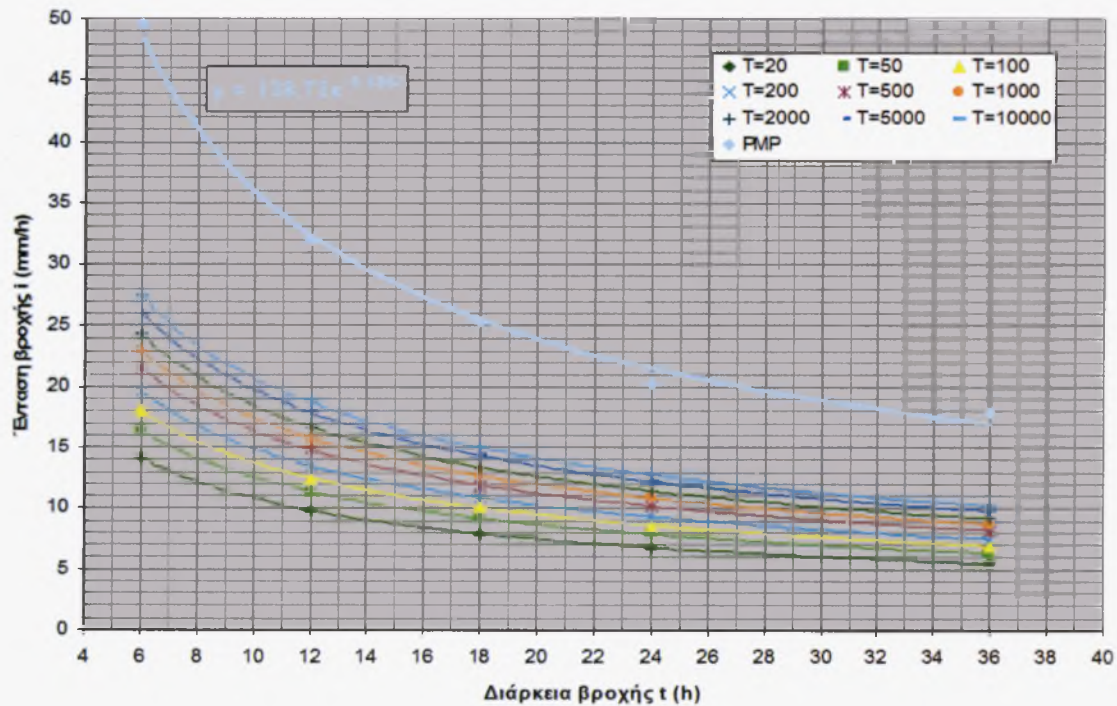
Παρατηρείται ότι η παραπάνω σχέση (β) κάνει σημαντικό σφάλμα υπερεκτίμησης (άνω του 7,5%) για περιόδους μεγαλύτερες ή ίσες των 5000 ετών και διάρκειες μεταξύ των 12 και 24 ωρών. Εδώ θα πρέπει επίσης να τονισθεί ότι οι σχέσεις (4.3) και (4.3 ii) θα πρέπει να εφαρμόζονται με προσοχή για διάρκειες πέραν του διαστήματος $6^h \leq t \leq 36^h$ για τις οποίες έχουν ρυθμισθεί.

Από την εξίσωση (4.10), για διάφορες διάρκειες και περιόδους επαναφοράς, προκύπτει ο κατωτέρω πίνακας ύψους καταιγίδων:

Πίνακας 4.14: πίνακας ύψους καταιγίδας - (Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων)

T (έτη)	Ύψος καταιγίδας (mm)				
	t=6 h	t=12 h	t=18 h	t=24 h	t=36 h
20	84,9	117,7	142,5	163,2	197,6
50	98,5	136,4	164,9	188,7	228,1
100	108,2	149,5	180,6	206,5	249,5
200	117,5	162,0	195,5	223,4	269,6
500	129,2	177,8	214,2	244,6	294,7
1000	137,7	189,2	227,7	259,8	312,8
2000	146,0	200,2	240,7	274,4	330,1
5000	156,6	214,2	257,3	293,0	351,9
10000	164,4	224,5	269,3	306,5	367,8

Οι υπολογισθείσες όμβριες καμπύλες εμφανίζονται στο σχήμα 4.8γ ως γραφήματα της μέσης έντασης της βροχής (mm/h) ως προς τη διάρκεια της βροχής (h), με παράμετρο την περίοδο επαναφοράς (έτη).



Σχήμα 4.13: Όμβριες καμπύλες – (Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων)

Για τον έλεγχο των ανωτέρω ομβρίων καμπυλών υπολογίσθηκε το σφάλμα εκτίμησης αυτών σε σχέση με τις τιμές που προκύπτουν από τις προσαρμοσμένες κατανομές Gumbel των εξισώσεων (4.2) έως (4.2ν).

Οι τιμές του σχετικού σφάλματος που υπολογίσθηκαν παρουσιάζονται στον κατωτέρω πίνακα:

Πίνακας 4.15: Τιμές σχετικού σφάλματος - (Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων)

T (έτη)	Σχετικό σφάλμα εκτίμησης				
	t=6 h	t=12 h	t=18 h	t=24 h	t=36 h
20	-2,6%	-0,5%	-2,4%	-0,9%	-3,3%
50	-1,4%	2,2%	0,3%	1,9%	-1,9%
100	-1,1%	3,3%	1,4%	3,0%	-1,6%
200	-1,3%	3,9%	1,9%	3,5%	-1,8%
500	-1,9%	4,0%	2,0%	3,7%	-2,5%
1000	-2,5%	3,8%	1,8%	3,4%	-3,3%
2000	-3,1%	3,5%	1,5%	3,0%	-4,1%
5000	-4,1%	2,9%	0,7%	2,3%	-5,4%
10000	-4,9%	2,3%	0,1%	1,6%	-6,4%

Από τον πίνακα αυτόν είναι φανερό ότι το σφάλμα για κάθε διάρκεια και περίοδο επαναφοράς είναι γενικώς μικρό με μέγιστη τιμή το υποεκτιμητικό σφάλμα 6,4% για την διάρκεια των 36 h και περίοδο επαναφοράς 10000 ετών.

4.1.7.2 Πιθανή μέγιστη κατακρήμνιση

Δεδομένου ότι λόγω αυξημένων απαιτήσεων ασφαλείας του έργου θα χρησιμοποιηθεί ως βασικό σχεδιαστικό μέγεθος η πιθανή μέγιστη πλημμύρα (PMF), και ότι ο υπολογισμός αυτής γίνεται βάσει της μέγιστης πιθανής καταιγίδας (PMP) για την περιοχή, αναπτύσσεται στη συνέχεια ο υπολογισμός της τελευταίας. Ο υπολογισμός αυτός ακολούθησε τη στατιστική μέθοδο διότι λείπουν τα κατάλληλα μετεωρολογικά

δεδομένα στην περιοχή, ενώ υπάρχει ένα αρκετά καλό αρχείο μεγίστων ετησίως βροχοπτώσεων, βάσει του οποίου έγινε ο υπολογισμός των όμβριων καμπυλών.

Το διατιθέμενο δείγμα μεγίστων ετησίως υψών βροχής έχει δημιουργηθεί κατά το προηγηθέν στάδιο του υπολογισμού των όμβριων καμπυλών. Έχει πλήθος 45 και αναφέρεται σε πέντε διάρκειες βροχής. Στον πίνακα που ακολουθεί εμφανίζονται η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση για κάθε διάρκεια του δείγματος καθώς και η αντιστοιχούσα τιμή του συντελεστή συχνότητας.

Πίνακας 4.16: Μέση τιμή και η τυπική απόκλιση για κάθε διάρκεια του δείγματος και τιμή του συντελεστή συχνότητας - (Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων)

Δεδομένα υπολογισμού PMP					
Διάρκεια	6 ^h	12 ^h	18 ^h	24 ^h	36 ^h
Μέση τιμή (mm)	54,0	79,3	98,6	112,0	131,5
Τυπική απόκλιση (mm)	17,1	20,2	24,5	27,3	37,7
Συντελεστής συχνότητας	14,3	14,6	14,7	14,7	15,7
Διορθωμένη μέση τιμή	53,9	79,7	99,0	112,0	130,6
Διορθωμένη τυπική απόκλιση	16,2	20,2	23,8	25,1	32,4
PMP (mm)	297,6	383,6	456,6	487,5	644,0

Πριν την εφαρμογή της σχέσης PMP πρέπει να προηγηθούν ορισμένες διορθώσεις των \bar{X}_n και S_n για την απαλοιφή σφαλμάτων που έχουν να κάνουν πρώτον, με την παρουσία εξωκειμένων σημείων στο δείγμα και δεύτερον, με το πλήθος του δείγματος. Μετά την εφαρμογή των ενδεδειγμένων διορθωτικών συντελεστών οι οποίοι προκύπτουν από διαγράμματα του WMO, η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση λαμβάνουν τις διορθωμένες τιμές που φαίνονται στον ανωτέρω πίνακα. Με εφαρμογή της σχέσης 4.3 και μια επιπλέον μικρή διόρθωση που λαμβάνει υπόψη ότι κατά την ανάλυση τα ύψη βροχής αναγνώστηκαν σε σταθερά χρονικά διαστήματα (2ωρα), προκύπτει το ύψος της μέγιστης πιθανής καταιγίδας στη λεκάνη απορροής Πύλης για τις πέντε εξετασθείσες διάρκειες. Τα αποτελέσματα εμφανίζονται στην τελευταία γραμμή του ανωτέρω πίνακα.

Για λόγους καλύτερης εποπτείας και σύγκρισης με τα μεγέθη των σχεδιαστικών καταιγίδων διαφόρων περιόδων επαναφοράς, τα αποτελέσματα της PMP εκφρασμένα με όρους μέσης έντασης βροχής για διάφορες διάρκειες, παρουσιάζονται από κοινού με τις όμβριες καμπύλες του παραπάνω σχήματος 4.13.

4.1.8 Απορροή

Όπως έχει αναφερθεί, η ΔΕΗ έχει τοποθετήσει έναν υδρομετρικό σταθμό τον οποίο έχει θέσει σε λειτουργία από το 1985 και ο οποίος ήταν αρχικά εξοπλισμένος με σταθμήμετρα και εναέριο φορείο για τη μέτρηση της παροχής ενώ από το 1990 εξοπλίστηκε με σταθμηγράφο. Ο σταθμός αυτός βρίσκεται 400 m κατάντη της γέφυρας του οδικού άξονα Πύλης – Στουρναρέικων και περίπου 1,5 km δυτικά του οικισμού Πύλης. Η έκταση της ανάντη λεκάνης απορροής στη θέση του σταθμού είναι 132,5 km² δηλαδή, κατά τι μεγαλύτερη της λεκάνης στην επιλεγείσα θέση φράγματος. Είναι επομένως τα στοιχεία του σταθμού απολύτως αντιπροσωπευτικά της διερχόμενης ροής στη θέση φράγματος και για το λόγο αυτό θεωρήθηκε απαραίτητη η επεξεργασία του συνόλου των πληροφοριών που έχουν συλλεγεί από την έναρξη λειτουργίας του. Επειδή δε η αρμόδια για τη λειτουργία του σταθμού Υπηρεσία της ΔΕΗ διέθετε επεξεργασμένες πληροφορίες μέχρι και τον Σεπτέμβριο 1997, έγινε στο πλαίσιο της μελέτης η επεξεργασία των πληροφοριών της νεώτερης χρονικής περιόδου μέχρι και τον Σεπτέμβριο 2005, δηλαδή για 8 ακόμη πλήρη υδρολογικά έτη.

4.1.8.1 Πρωτογενή υδρολογικά στοιχεία περιόδου 10/1997-9/2005

Για τις ανάγκες της μελέτης διετέθησαν από τη ΔΕΗ, βάσει της νομίμου διαδικασίας, το σύνολο των σταθμημετρικών και υδρομετρικών δεδομένων του σταθμού της περιόδου 10/1997 – 9/2005. Αναλυτικά τα δεδομένα της εν λόγω περιόδου περιλαμβάνουν εβδομαδιαίες ταινίες σταθμηγράφου, δηλαδή ταινίες στις οποίες καταγράφεται η εξέλιξη της στάθμης του ποταμού στο χρόνο, αναγνώσεις στάθμης από σταθμήμετρο που είναι εξαρτημένο από το σταθμηγράφο και τέλος, 83 υδρομετρήσεις.

Το σύνολο των πληροφοριών αυτών εξετάσθηκε λεπτομερώς, όπως θα δούμε στις επόμενες παραγράφους και μετά τις κατάλληλες επεξεργασίες χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των μέσων ημερησίων παροχών, την κατασκευή μοναδιαίου υδρογραφήματος και τη στατιστική ανάλυση των μεγίστων ετησίων πλημμυρικών αιχμών.

4.1.8.2 Έλεγχος και επεξεργασία των δεδομένων στάθμης

Για τις ανάγκες υπολογισμού των μέσων ημερησίων παροχών απαραίτητος ήταν ο έλεγχος, η ηλεκτρονική καταχώρηση και η επεξεργασία των δεδομένων στάθμης. Η διαδικασία αυτή περιελάμβανε τα ακόλουθα στάδια:

Αρχικά έγινε ψηφιοποίηση του συνόλου των σταθμηγραφημάτων με τιμές στάθμης ανά 30' και στη συνέχεια, έλεγχος της εργασίας αυτής με ανάγνωση τιμών από τις ταινίες.

Εδώ θα πρέπει να αναφερθεί ότι κατά την ψηφιοποίηση παράγονται σφάλματα που μπορεί να είναι σημαντικά κυρίως κατά τη διάρκεια πλημμυρών, όταν η στάθμη του ποταμού μεταβάλλεται γρήγορα. Για τον λόγο αυτό ελέγχεται το αποτέλεσμα της ψηφιοποίησης με ανάγνωση τιμών σε χρονικά διαστήματα που, ειδικά σε πλημμύρες, μπορεί να είναι και μικρότερα του δώρου, ενώ όταν η στάθμη είναι σχετικά σταθερή μπορεί να είναι μέχρι και εξάωρα ή δωδεκάωρα.

Στη συνέχεια έγινε καταχώρηση των αναγνώσεων στάθμης του παρατηρητή, καθώς και των αναγνώσεων στάθμης κατά τη διάρκεια εκτέλεσης των υδρομετρήσεων.

Το σύνολο των πληροφοριών αυτών εμφανίστηκε σε κοινό γράφημα, με αποτέλεσμα τον πλήρη έλεγχο της λειτουργίας του καταγραφικού οργάνου. Κατά τη διαδικασία αυτή έγιναν διορθώσεις, αλλά και συμπληρώσεις σε περιπτώσεις που ο σταθμηγράφος δεν λειτουργούσε λόγω βλάβης. Στις περιπτώσεις συμπλήρωσης λαμβανόταν υπόψη γραμμική εξέλιξη της στάθμης μεταξύ των ενδείξεων του σταθμημέτρου ή γεωμετρική,

π.χ. στην περίπτωση του καθοδικού κλάδου μιας πλημμύρας. Γενικά πάντως η κατάσταση των σταθμημετρικών δεδομένων ήταν ικανοποιητική και δεν υπήρχαν σοβαρά προβλήματα συμπληρώσεων ή διορθώσεων.

Μετά τον έλεγχο και τις διορθώσεις ή/και συμπληρώσεις βάσει των ενδείξεων του σταθμημέτρου, τα ψηφιακά δεδομένα ήταν έτοιμα προς επεξεργασία από πρόγραμμα που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των μέσων ημερησίων παροχών, με δίωρη χρονική ανάλυση.

4.1.9 Έλεγχος και επεξεργασία των υδρομετρήσεων

Κατά τη μελετώμενη περίοδο εκτελέσθηκαν 84 υδρομετρήσεις, εκ των οποίων μία μόνον εξαιρέθηκε από την αρμόδια Υπηρεσία ως αναξιόπιστη, ενώ η αξιοπιστία των υπολοίπων είναι ικανοποιητική. Η συχνότητα εκτέλεσής τους, κάτι λιγότερο από μία ανά μήνα (0,875), είναι επίσης ικανοποιητική. Η μέγιστη υδρομέτρηση είχε παροχή 49,54 m³/s και από την έναρξη λειτουργίας του υδρομετρικού σταθμού έχουν εκτελεσθεί συνολικά 4 υδρομετρήσεις με παροχή μεγαλύτερη των 25 m³/s και στάθμη από 1,38 έως 1,63 m. Βεβαίως, αν λάβει κανείς υπόψη του ότι η μέγιστη στάθμη που χρειάστηκε να ερμηνευθεί για τον υπολογισμό των μέσων ημερησίων παροχών και, κυρίως, για τη στατιστική ανάλυση των μεγίστων ετησίων αιχμών ήταν 3,22 m, αντιλαμβάνεται ότι ήταν απαραίτητη η μελέτη επεκτάσεων των καμπυλών στάθμης – παροχής.

Σχέσεις στάθμης - παροχής

Το σύνολο των 83 υδρομετρήσεων που διετεθήσαν από τη ΔΕΗ και φαίνονται στον Πίνακα 4.1 χρησιμοποιήθηκε για την κατάρτιση των καμπυλών στάθμης – παροχής του σταθμού Πύλης της περιόδου 1/10/97-30/9/2005. Οι υδρομετρήσεις ομαδοποιήθηκαν σε 6 συνολικά καμπύλες στάθμης-παροχής, η πρώτη εκ των οποίων αναφέρεται στη χρονική περίοδο 1/10/94 – 3/12/97, είχε καταρτισθεί από την Υπηρεσία εκτέλεσης των μετρήσεων και σ' αυτήν ανήκουν οι δύο πρώτες εκ των 83 μετρήσεων. Ο αριθμός των καμπυλών και άρα των μεταβολών της κοίτης δεν είναι μεγάλος, για τα δεδομένα των

ποταμών της Ελλάδας που η κοίτη τους μεταβάλλεται συχνά, αν λάβει κανείς υπόψη του ότι η κάθε καμπύλη ισχύει για μία μόνον χρονική περίοδο. Οι υδρομετρήσεις που πήραν μέρος στο σχηματισμό των εξισώσεων κάθε καμπύλης, η χρονική περίοδος ισχύος κάθε μιας εξ αυτών, αλλά και οι αναλυτικές μαθηματικές εκφράσεις τους φαίνονται στον Πίνακα 4.17. Η απόκλιση κάθε υδρομέτρησης από την καμπύλη στην οποία ανήκει (ΔH) φαίνεται στο Σχήμα 4.14. Από εκεί μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι σε τέσσερις συνολικά περιπτώσεις η τιμή του ΔH υπερβαίνει τα 6 cm και στη μία εξ αυτών έχει τιμή 13,1 cm. Το γεγονός αυτό οφείλεται σε πρόσκαιρες αλλαγές της κοίτης εξ αιτίας των οποίων, στο στάδιο υπολογισμού των μέσων ημερησίων παροχών, ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί στην περίοδο ισχύος των υψηλών ΔH .

Επεκτάσεις καμπυλών στάθμης – παροχής

Η μελέτη της επέκτασης στηρίζεται σε πληροφορίες που συνδέουν τα υδραυλικά με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της διατομής και παρέχονται από τις ψηλές υδρομετρήσεις. Στη συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε το σύνολο, πλήθους 17, των μεγαλύτερων από $12 \text{ m}^3/\text{s}$ υδρομετρήσεων της χρονικής περιόδου από το 1990 και εντεύθεν. Δεν χρησιμοποιήθηκαν οι προ του 1990 μεγάλες υδρομετρήσεις, διότι αφορούν σε μια προηγούμενη κατάσταση της κοίτης σημαντικά διαφορετική, προ της διέλευσης εγκιβωτισμένου αγωγού ύδρευσης εγκαρσίως της κοίτης, το θέρος του 1990.

Για τις ανωτέρω υδρομετρήσεις ελέγχθηκε η σχέση $Q - AR^{2/3}$, όπου A η υγρή διατομή και R η υδραυλική ακτίνα, από την οποία προέκυψε μία πολύ ικανοποιητική ομαδοποίηση γύρω από ευθεία. Η γραμμική παλινδρόμηση ($r^2 = 0,9925$) έδωσε τη σχέση

$$Q = 2,2332 - 4,8499 AR^{2/3} \quad (4.4)$$

που για τις ανάγκες της επέκτασης θεωρείται ότι ισχύει και στην περιοχή των ψηλών παροχών.

Ο συνδυασμός της (4.11) με τη σχέση που προκύπτει για τη στάθμη H και τον παράγοντα $AR^{2/3}$ από τη διατομή της τοπογραφικής αποτύπωσης στη θέση, δίνει την επέκταση η οποία περιγράφεται εμπειρικά από την εξίσωση:

$$Q = 39,361 \times H^2 - 28,771 \times H - 2,1209 \quad (4.12) \quad H \leq 3,55 \text{ m}$$

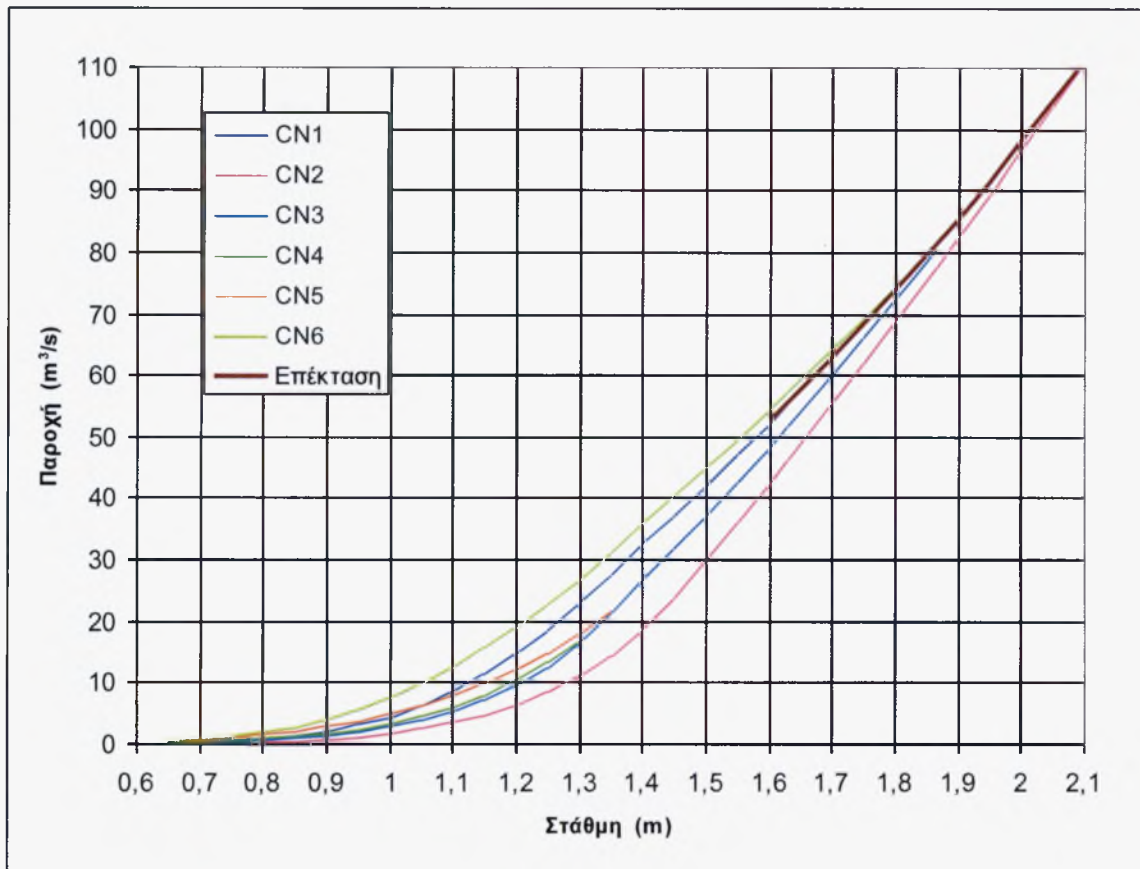
Ακολούθως, έγινε η χάραξη συναρμογών μεταξύ των τμημάτων των καμπυλών που καθορίστηκαν βάσει των υδρομετρήσεων και της καμπύλης επέκτασης. Το σύνολο των ανά καμπύλη εξισώσεων, συμπεριλαμβανομένων των συναρμογών, φαίνονται στον παρακάτω πίνακα (4.17).

Πίνακας 4.17: Καμπύλες στάθμης - παροχής π. Πορταϊκού στην Πύλη - (Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων)

CN#1 01/10/94 - 3/12/1997	CN#2 4/12/1997 - 17/5/1999	CN#3 18/5/1999 - 28/5/2001
0,6787<H<=0,9891 1. $Q=40,917H^2-55,552H+18,971$	0,7798<H<=1,1318 1. $Q=32,747H^2-51,074H+20,069$	0<H<=1,2769 1. $Q=2,8188H^{6,6561}$
0,9891<H<=1,2337 2. $Q=103,8H^2-176,57H+77,15$	1,1318<H<=1,4311 2. $Q=1,7802H^{6,9543}$	1,2769<H<=1,9194 2. $Q=27,46H^2+26,35H-64,076$
1,2337<H<=1,6611 3. $Q=19,652H^2+39,926H-61,867$	1,4311<H<=2,0972 3. $Q=19,014H^2+66,723H-112,9$	1,9194<H<=3,55 3. $Q=39,361H^2-28,771-2,1209$
1,6611<H<=3,55 4. $Q=39,361H^2-28,771-2,1209$	2,0972<H<=3,55 4. $Q=39,361H^2-28,771-2,1209$	
CN#4 29/5/2001 - 23/12/2001	CN#5 24/12/2001 - 23/10/2003	CN#6 24/10/2003 - 1/10/2005
0<H<=1,3182 1. $Q=3,3543H^{6,1561}$	0<H<=1,3663 1. $Q=4,7513H^{5,0792}$	0<H<=0,8545 1. $Q=7,0983H^{5,8491}$
1,3182<H<=1,9194 2. $Q=27,46H^2+26,35H-64,076$	1,3663<H<=1,9194 2. $Q=27,46H^2+26,35H-64,076$	0,8545<H<=1,3637 2. $Q=72,109H^2-101,29H+36,73$
1,9194<H<=3,55 3. $Q=39,361H^2-28,771-2,1209$	1,9194<H<=3,55 3. $Q=39,361H^2-28,771-2,1209$	1,3637<H<=1,8686 3. $Q=17,597H^2+39,813H-54,284$
		1,8686<H<=3,55 4. $Q=39,361H^2-28,771-2,1209$

Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων

Επίσης, στο Σχήμα 4.14 φαίνεται το σύνολο των καμπυλών στάθμης-παροχής που ρυθμίσθηκαν για τη λεκάνη Πύλης στη θέση του υδρομετρικού σταθμού.



Σχήμα 4.14: Σύνολο των καμπυλών στάθμης-παροχής που ρυθμίσθηκαν για τη λεκάνη Πύλης στη θέση του υδρομετρικού σταθμού - (Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων)

4.1.10 Υπολογισμός ημερησίων παροχών

Ο υπολογισμός των μέσων ημερησίων παροχών στηρίζεται επί της ουσίας στη μετατροπή των δεδομένων στάθμης σε παροχή βάσει της εκάστοτε ισχύουσας καμπύλης στάθμης-παροχής. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν προγράμματα ηλεκτρονικού υπολογιστή και η διαδικασία που ακολουθήθηκε περιγράφεται παρακάτω.

Έγινε διόρθωση των τιμών στάθμης ανά 2ωρο με τον παράγοντα ΔΗ, που θεωρήθηκε σταθερός κατά τη διάρκεια κάθε ημέρας. Ο παράγοντας ΔΗ υπολογίζεται για κάθε ημέρα με την παραδοχή ότι μεταβάλλεται γραμμικά μεταξύ των τιμών που παίρνει σε δύο διαδοχικές υδρομετρήσεις. Αν τώρα η τιμή του είναι μεγάλη μπορεί κατά την κρίση του μελετητή να γίνει αποδεκτή μία μη γραμμική μεταβολή του ΔΗ, θέμα που απαιτεί εμπειρία και εξέταση της εξέλιξης της στάθμης του ποταμού μεταξύ προηγούμενης και εξεταζόμενης υδρομέτρησης. Μετά τη διόρθωση των τιμών στάθμης και βάσει της εκάστοτε ισχύουσας καμπύλης στάθμης – παροχής υπολογίζεται η παροχή για κάθε στάθμη 2ώρου. Τέλος, υπολογίζεται η μέση ημερήσια παροχή ως μέση τιμή των 12 τιμών ανά ημέρα.

Με τον τρόπο αυτό προέκυψαν οι ημερήσιες παροχές στη θέση του υδρομετρικού σταθμού για τα έτη 1997/98÷2004/05, που φαίνονται στους πίνακες 4.17 έως 4.24.

Πίνακας: 4.18: Μέσες ημερήσιες παροχές π. Πορταϊκού στην Πύλη (Υδρολογικό έτος 1997/98) - (Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων)

Ημέρα	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
1	0,285	9,76	12,6	9,34	6,10	5,48	5,93	2,50	5,10	1,55	0,671	0,351
2	0,311	8,82	10,0	8,13	16,1	4,84	6,57	2,47	4,50	1,53	0,637	0,332
3	0,322	8,44	22,8	7,31	12,7	4,74	7,36	2,45	4,19	1,35	0,546	0,322
4	0,321	8,20	27,1	6,80	42,3	4,62	7,96	2,50	3,74	1,21	0,540	0,293
5	0,329	7,44	18,3	6,18	98,7	4,36	8,56	3,30	3,52	1,15	0,504	0,288
6	0,297	6,65	15,9	5,52	52,3	4,27	9,07	3,12	3,39	1,17	0,473	0,285
7	0,279	6,18	17,7	5,76	33,1	4,21	7,91	3,16	3,12	1,20	0,501	0,332
8	0,283	6,60	13,7	5,31	24,3	4,20	6,82	3,88	3,49	1,07	0,484	0,332
9	0,266	10,2	11,5	4,79	19,1	4,20	6,30	5,83	3,50	1,07	0,500	0,364
10	0,274	7,81	10,4	4,71	15,0	5,62	7,01	35,83	3,59	1,12	0,461	0,710
11	0,244	6,67	8,7	4,62	12,6	5,46	5,85	30,74	3,66	1,06	0,405	0,741
12	0,732	5,58	7,9	4,11	11,2	4,92	5,32	14,37	3,52	1,04	0,423	0,753
13	8,66	5,69	12,7	3,85	9,64	4,78	5,04	9,65	3,75	1,00	0,423	0,766
14	46,5	8,43	14,2	3,59	9,21	4,64	4,67	7,41	3,35	0,958	0,435	0,694
15	31,2	13,1	13,5	3,65	8,94	4,49	4,14	6,10	3,00	0,903	0,452	0,626
16	16,8	16,9	11,2	3,52	8,42	3,92	3,92	5,49	2,79	0,864	0,453	0,654
17	11,9	12,9	12,0	3,46	7,96	3,84	3,70	5,09	2,58	0,806	0,515	0,675
18	8,95	10,7	10,4	3,33	7,73	3,76	4,33	5,30	2,50	0,729	0,489	0,692
19	6,79	8,04	9,48	3,14	7,14	3,73	4,46	5,97	2,50	0,783	0,448	0,639
20	5,43	8,70	10,7	5,05	6,63	3,61	3,72	5,27	2,41	0,730	0,450	0,650
21	4,54	12,9	34,6	6,87	5,82	3,59	3,47	5,09	2,33	0,791	0,475	0,697
22	4,05	8,33	48,0	5,85	5,48	3,39	3,18	4,62	2,21	0,771	0,517	0,745
23	3,78	7,46	33,4	4,90	5,09	2,91	2,84	4,35	2,01	0,764	0,534	0,703
24	7,45	56,1	24,7	4,53	5,17	2,78	2,80	4,10	1,94	0,731	0,445	0,720
25	23,2	37,1	18,9	4,41	5,20	3,60	2,88	4,07	1,78	0,697	0,442	0,775
26	14,0	26,4	16,5	4,28	7,09	3,87	2,66	4,50	1,82	0,775	0,460	0,769
27	8,81	20,9	14,6	4,13	5,92	3,42	2,74	4,15	1,90	0,745	0,426	0,696
28	6,70	16,1	27,5	4,18	5,72	3,77	2,61	3,84	1,81	0,676	0,434	0,611
29	6,82	12,8	24,2	4,04		4,49	2,63	4,20	1,65	0,673	0,400	0,773
30	7,66	12,0	16,4	3,80		5,33	2,56	6,39	1,65	0,682	0,369	0,942
31	9,47		11,2	3,69		5,74		5,23		0,670	0,380	
Μέσ. τιμή	7,63	12,9	17,4	4,93	16,2	4,28	4,90	6,81	2,91	0,944	0,474	0,598
Max	46,5	56,1	48,0	9,34	98,7	5,74	9,07	35,8	5,10	1,55	0,671	0,942
Min	0,244	5,58	7,86	3,14	5,09	2,78	2,56	2,45	1,65	0,670	0,369	0,285

Πίνακας 4.19: Μέσες ημερήσιες παροχές π. Πορταϊκού στην Πύλη (Υδρολογικό έτος 1998/99) - (Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων)

Ημέρα	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
1	0,994	1,09	28,8	3,47	3,21	5,20	14,4	3,36	1,57	0,833	0,460	0,342
2	1,009	1,06	36,0	3,39	3,13	6,04	12,0	3,04	1,40	0,657	0,432	0,362
3	0,986	1,05	30,6	5,20	2,92	6,38	11,3	2,99	1,52	0,626	0,399	0,358
4	0,927	0,965	82,9	5,60	2,73	6,57	16,5	2,97	1,59	0,644	0,375	0,365
5	0,909	0,893	133	5,34	2,85	9,46	13,3	2,87	1,30	0,581	0,362	0,374
6	0,871	0,885	82,7	4,91	7,04	10,6	10,7	3,03	1,16	0,554	0,327	0,349
7	0,835	0,842	49,2	4,64	7,40	7,78	8,91	4,81	1,08	0,532	0,329	0,367
8	0,800	0,771	26,9	4,46	10,11	8,38	8,19	4,38	1,02	0,510	0,333	0,357
9	0,766	0,872	18,1	4,33	13,54	6,54	7,41	3,72	1,02	0,489	0,315	0,362
10	0,733	0,871	13,1	4,23	10,10	5,86	7,28	3,68	0,925	0,469	0,319	0,348
11	0,701	0,868	11,0	4,85	17,33	5,29	6,86	3,62	0,904	0,450	0,326	0,360
12	0,705	2,34	9,53	4,86	14,01	6,71	6,16	3,27	0,897	0,424	0,326	0,374
13	0,696	2,72	8,27	4,88	9,78	6,73	6,13	2,89	0,876	0,424	0,314	0,364
14	0,676	1,88	7,82	6,37	7,30	7,07	12,8	2,70	0,819	0,425	0,320	0,358
15	0,808	2,27	6,93	5,33	6,28	5,37	7,90	2,64	0,662	0,417	0,329	0,355
16	1,29	3,84	6,19	4,91	5,46	5,00	7,00	2,50	0,654	0,425	0,326	0,353
17	1,60	3,08	5,71	4,37	4,76	6,56	6,52	2,73	0,650	0,422	0,327	0,342
18	1,28	2,94	5,28	4,39	4,59	5,96	6,03	2,61	0,638	0,419	0,305	0,357
19	1,22	2,35	4,93	4,29	4,10	5,57	5,32	2,49	0,626	0,421	0,294	0,371
20	1,19	5,58	4,78	4,04	3,62	5,59	4,95	2,38	0,662	0,402	0,276	0,359
21	0,983	8,25	5,16	3,65	3,35	5,35	4,57	2,27	0,666	0,398	0,270	0,368
22	0,927	8,99	9,46	3,34	4,31	6,45	4,39	2,11	0,661	0,384	0,267	0,382
23	0,888	102	8,90	3,17	32,3	7,35	4,34	1,98	0,679	0,381	0,249	0,393
24	0,893	37,6	7,32	3,09	15,5	8,63	4,03	1,96	0,697	0,355	0,435	0,375
25	0,860	16,6	6,12	2,82	9,09	9,72	4,28	1,94	0,675	0,336	0,375	0,374
26	1,12	9,55	5,61	2,81	6,98	10,5	4,00	1,80	0,641	0,313	0,321	0,391
27	3,05	9,19	5,17	2,76	6,10	12,1	3,79	1,71	0,610	0,309	0,313	0,383
28	1,84	56,7	5,08	3,23	5,57	18,1	3,64	1,69	0,603	0,320	0,285	0,346
29	1,39	30,1	4,67	4,19		17,2	3,60	1,52	0,529	0,328	0,296	0,320
30	1,17	20,3	4,22	3,78		16,1	3,40	1,46	0,614	0,363	0,299	0,297
31	1,10		3,80	3,60		15,7		1,61		0,538	0,306	
Μέσ. τιμή	1,07	11,2	20,6	4,20	7,98	8,39	7,32	2,67	0,878	0,456	0,329	0,360
Max	3,05	102	133	6,37	32,3	18,1	16,5	4,81	1,59	0,833	0,460	0,393
Min	0,676	0,771	3,80	2,76	2,73	5,00	3,40	1,46	0,529	0,309	0,249	0,297

Πίνακας 4.20: Μέσες ημερήσιες παροχές π. Πορταϊκού στην Πύλη (Υδρολογικό έτος 1999/00) - (Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων)

Ημέρα	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
1	0,276	0,583	5,87	26,4	3,51	8,20	5,86	1,58	0,957	0,492	0,259	0,132
2	0,279	0,568	5,04	19,2	3,66	10,84	5,57	1,53	0,945	0,478	0,255	0,144
3	0,274	0,569	4,51	14,4	4,05	14,95	5,20	2,60	0,946	0,438	0,251	0,143
4	0,282	0,533	4,27	11,3	4,57	11,70	6,38	2,46	0,862	0,422	0,247	0,149
5	0,264	0,546	4,35	9,24	4,30	10,8	6,86	2,20	0,812	0,394	0,238	0,148
6	0,263	0,561	7,49	7,93	4,04	10,4	4,88	2,14	0,695	0,381	0,217	0,141
7	0,272	0,577	6,90	7,04	3,72	9,18	5,01	2,07	0,692	0,379	0,194	0,134
8	0,282	1,64	5,64	6,44	3,70	8,83	5,37	1,98	0,727	0,413	0,188	0,139
9	0,275	9,22	5,48	6,11	3,74	8,62	5,12	1,86	0,717	0,353	0,187	0,146
10	0,280	30,4	5,75	5,77	4,23	9,88	5,16	1,71	0,877	0,317	0,188	0,159
11	0,300	16,1	12,5	5,25	7,42	10,6	4,80	1,49	0,99	0,319	0,192	0,158
12	0,302	9,32	13,7	4,80	11,6	10,3	4,48	1,33	0,738	0,348	0,192	0,151
13	0,303	6,92	9,62	4,41	13,2	9,39	4,16	1,34	0,623	0,307	0,193	0,150
14	0,305	5,59	8,31	4,32	11,1	7,92	3,72	1,63	0,587	0,308	0,192	0,149
15	0,307	5,97	9,06	4,18	9,04	7,33	3,55	1,61	0,630	0,299	0,184	0,148
16	0,309	6,06	14,3	3,80	7,77	13,81	3,42	1,60	0,686	0,297	0,178	0,150
17	0,311	10,4	10,5	3,73	15,7	12,30	3,15	1,56	0,792	0,304	0,163	0,154
18	0,331	30,8	8,85	3,59	22,4	9,51	2,84	1,52	0,822	0,302	0,169	0,153
19	10,4	21,3	7,32	3,62	13,3	8,11	2,59	1,45	0,755	0,274	0,159	0,144
20	2,45	50,8	9,81	3,05	39,1	7,45	2,44	1,46	0,724	0,268	0,154	0,149
21	1,26	26,7	24,4	2,86	32,9	7,92	2,39	1,47	0,740	0,270	0,149	0,155
22	2,10	19,3	25,6	2,83	22,3	7,38	2,24	1,45	0,697	0,271	0,144	0,160
23	1,57	26,7	15,9	3,37	16,1	6,58	2,35	1,78	0,676	0,273	0,146	0,178
24	1,32	20,1	12,0	14,33	13,0	6,23	2,28	1,85	0,633	0,284	0,148	0,186
25	0,970	15,0	10,3	6,66	10,6	6,13	2,27	1,50	0,549	0,282	0,151	0,183
26	0,908	11,9	9,59	5,56	10,5	5,62	2,23	1,49	0,540	0,263	0,156	0,185
27	0,786	10,4	17,2	4,50	9,37	5,67	2,09	1,37	0,508	0,249	0,148	0,186
28	0,729	8,59	25,1	3,98	9,52	6,16	1,98	1,24	0,494	0,253	0,147	0,181
29	0,684	7,33	36,4	3,79	8,77	6,00	1,86	1,15	0,491	0,264	0,140	0,178
30	0,655	6,61	29,0	3,63		5,92	1,67	1,05	0,503	0,272	0,141	0,184
31	0,579		35,8	3,49		6,39		1,02		0,264	0,139	
Μέσ. τιμή	0,955	12,0	12,9	6,76	11,14	8,71	3,73	1,63	0,714	0,324	0,181	0,157
Max	10,4	50,8	36,4	26,4	39,1	15,0	6,86	2,60	0,99	0,492	0,259	0,186
Min	0,263	0,533	4,27	2,83	3,51	5,62	1,67	1,02	0,491	0,249	0,139	0,132

Πίνακας 4.21: Μέσες ημερήσιες παροχές π. Πορταϊκού στην Πύλη (Υδρολογικό έτος 2000/01) - (Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων)

Ημέρα	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
1	0,170	1,47	2,75	10,2	18,0	9,16	16,72	4,15	1,66	0,802	0,485	0,510
2	0,203	1,45	2,56	8,03	18,1	9,19	9,11	3,98	1,64	0,916	0,497	0,518
3	0,192	1,47	2,45	6,50	13,3	10,7	6,98	3,82	1,62	0,891	0,484	0,537
4	0,196	1,36	2,21	5,41	10,74	9,93	6,76	3,66	1,58	0,775	0,505	0,519
5	0,291	1,25	2,06	4,96	9,38	7,54	6,48	3,55	1,51	0,687	0,507	0,498
6	9,57	1,56	1,98	4,51	8,48	6,73	6,55	4,73	1,48	0,632	0,456	0,469
7	4,40	1,50	1,92	3,99	7,87	6,48	6,13	3,88	1,41	0,634	0,455	0,483
8	2,65	1,40	1,85	3,58	7,49	6,74	5,23	3,39	1,43	0,636	0,455	0,502
9	5,52	1,33	1,79	5,19	6,58	6,24	6,45	3,20	1,51	0,627	0,478	0,531
10	4,17	1,27	1,72	4,84	6,37	5,89	7,88	2,99	1,59	0,610	0,508	0,551
11	2,99	1,22	1,70	4,20	10,0	5,77	6,65	2,92	1,67	0,572	0,501	0,559
12	2,83	1,18	1,67	3,94	8,45	5,73	7,66	2,90	1,52	0,535	0,498	0,548
13	2,33	1,13	1,63	3,73	7,08	5,06	10,1	2,84	1,35	0,524	0,461	0,536
14	2,14	1,11	1,58	5,19	6,30	4,96	8,42	2,93	1,26	0,541	0,436	0,525
15	1,84	1,09	1,49	4,95	5,86	4,41	19,0	2,67	1,08	0,499	0,421	0,514
16	1,55	1,08	1,52	4,60	5,38	3,92	14,8	2,48	1,02	0,513	0,444	0,503
17	1,42	1,07	1,47	4,37	5,17	3,78	11,6	2,39	0,961	0,460	0,420	0,478
18	1,37	1,06	1,46	4,28	5,12	3,61	10,2	2,30	0,899	0,408	0,471	0,469
19	1,29	1,16	1,35	4,19	4,72	3,52	9,15	2,29	0,851	0,372	0,479	0,454
20	1,83	1,78	1,25	4,11	4,31	3,31	8,37	2,09	0,876	0,392	0,437	0,438
21	3,18	1,61	1,18	4,03	4,39	3,17	7,49	2,20	0,914	0,411	0,434	0,378
22	2,64	1,43	1,23	3,95	4,10	3,14	8,68	2,11	0,864	0,405	0,447	0,357
23	2,74	1,35	1,34	3,89	4,03	3,02	8,21	1,95	0,826	0,386	0,448	0,364
24	2,59	1,30	1,25	3,91	4,34	2,85	7,31	1,78	0,730	0,363	0,470	0,400
25	2,41	1,50	1,20	3,93	5,31	2,68	6,96	1,78	0,745	0,383	0,487	0,390
26	2,26	3,41	16,5	4,50	20,15	2,63	6,54	1,94	0,795	0,380	0,475	0,378
27	1,93	6,84	22,1	9,67	13,17	2,56	5,81	2,42	0,748	0,407	0,459	0,355
28	1,83	5,08	21,7	13,5	9,42	2,36	5,29	2,51	0,717	0,418	0,481	0,349
29	1,76	4,05	16,8	15,0		2,26	4,83	2,04	0,685	0,422	0,510	0,343
30	1,62	3,19	16,6	21,8		2,37	4,41	1,86	0,688	0,398	0,501	0,338
31	1,52		12,9	20,0		14,0		1,69		0,402	0,511	
Μέσ. τιμή	2,30	1,86	4,81	6,61	8,34	5,28	8,33	2,76	1,15	0,529	0,472	0,460
Max	9,57	6,84	22,1	21,8	20,1	14,0	19,0	4,73	1,67	0,916	0,511	0,559
Min	0,170	1,06	1,18	3,58	4,03	2,26	4,41	1,69	0,685	0,363	0,420	0,338

Πίνακας 4.22: Μέσες ημερήσιες παροχές π. Πορταϊκού στην Πύλη (Υδρολογικό έτος 2001/02) - (Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων)

Ημέρα	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
1	0,347	0,476	2,06	35,3	4,69	3,41	4,48	5,22	1,43	0,602	0,745	1,080
2	0,334	0,464	2,07	17,8	4,58	3,34	4,45	4,62	1,38	0,610	0,710	0,956
3	0,326	0,464	1,95	12,8	4,24	3,25	4,57	4,19	1,25	0,584	0,639	1,184
4	0,311	0,485	1,89	10,2	4,31	3,09	6,92	3,90	1,13	0,591	0,561	1,021
5	0,295	0,475	1,84	8,84	4,13	2,89	17,8	3,75	1,07	0,595	0,501	0,950
6	0,268	0,457	1,79	7,34	3,93	2,73	12,2	3,65	1,08	0,602	0,491	0,950
7	0,274	0,444	1,74	6,34	3,68	2,74	10,0	3,43	1,00	0,618	0,913	0,998
8	0,263	0,448	1,69	5,58	3,32	2,67	9,15	3,36	0,909	0,611	0,976	0,961
9	0,239	0,440	1,65	4,82	3,41	2,50	8,76	3,32	0,872	0,597	0,680	0,921
10	0,242	0,451	1,64	4,36	3,37	3,50	8,30	3,11	0,838	0,567	0,584	1,092
11	0,239	0,466	1,68	3,99	3,24	19,5	7,56	3,08	0,919	0,535	0,531	1,211
12	0,242	0,483	1,69	3,82	3,03	12,7	8,73	2,95	0,885	0,576	0,488	0,999
13	0,232	1,02	1,65	3,68	2,98	8,44	36,5	2,71	0,875	0,566	0,465	1,092
14	0,222	11,1	1,62	3,51	2,96	7,29	17,9	2,61	0,849	0,532	0,458	1,410
15	0,244	5,29	1,61	3,32	2,94	6,90	13,0	2,39	0,895	0,523	0,440	1,276
16	0,258	2,80	1,61	3,48	2,91	6,54	24,8	2,27	0,963	0,506	0,479	1,770
17	0,235	2,14	1,61	3,98	2,89	6,09	18,1	2,18	1,00	0,487	0,501	1,467
18	0,233	1,82	1,61	4,66	2,89	5,83	20,3	2,12	0,860	0,469	0,563	1,340
19	0,252	1,78	1,61	4,55	2,90	5,10	16,6	2,06	0,859	0,461	0,605	1,170
20	0,248	1,58	1,61	4,02	5,09	4,53	13,8	2,25	0,911	0,482	0,694	1,096
21	0,246	1,43	1,62	3,97	4,43	4,40	12,0	2,11	0,838	0,482	0,670	1,030
22	0,240	1,31	1,71	3,77	4,03	4,24	10,3	2,03	0,893	0,462	0,637	0,974
23	0,231	1,43	5,04	3,89	3,61	4,66	9,20	1,85	0,804	0,453	0,606	1,422
24	0,236	5,74	74,8	3,88	3,53	4,91	8,58	1,83	0,658	0,477	0,560	5,228
25	0,294	3,33	81,6	3,97	3,52	5,54	8,21	2,01	0,646	0,461	0,517	7,974
26	0,468	2,65	22,2	3,97	3,30	4,80	7,27	1,92	0,637	0,493	0,477	5,926
27	0,483	2,31	11,8	3,97	3,22	4,72	6,75	1,76	0,632	0,721	0,445	4,142
28	0,461	2,15	10,2	3,88	3,32	4,48	6,60	1,63	0,628	0,901	0,429	3,295
29	0,447	1,99	7,81	3,84		4,44	5,61	1,51	0,628	0,977	0,438	2,960
30	0,457	1,93	10,4	4,26		4,28	5,41	1,44	0,627	0,935	0,751	2,576
31	0,470		17,4	4,67		4,63		1,41		0,860	1,022	
Μέσ. τιμή	0,301	1,91	9,01	6,34	3,59	5,29	11,47	2,67	0,898	0,591	0,599	1,949
Max	0,483	11,1	81,6	35,3	5,09	19,5	36,5	5,22	1,43	0,977	1,02	7,974
Min	0,222	0,440	1,61	3,32	2,89	2,50	4,45	1,41	0,627	0,453	0,429	0,921

Πίνακας 4.23: Μέσες ημερήσιες παροχές π. Πορταϊκού στην Πύλη (Υδρολογικό έτος 2002/03) - (Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων)

Ημέρα	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
1	2,45	1,61	1,84	43,0	20,8	5,36	7,89	8,33	2,29	0,613	0,469	0,510
2	2,25	1,54	2,81	34,9	13,3	5,89	8,04	8,33	2,08	0,597	1,13	0,481
3	2,12	1,48	2,64	24,0	11,1	5,60	8,36	7,88	1,96	0,521	1,65	0,436
4	1,97	1,44	5,01	24,4	12,9	7,48	7,99	7,72	1,88	0,520	1,14	0,435
5	1,85	1,62	5,93	37,7	74,1	6,31	13,72	7,46	1,82	0,540	0,924	0,416
6	1,87	2,15	5,85	29,4	53,8	6,12	10,54	6,80	1,72	0,500	0,834	0,436
7	1,97	5,91	28,2	31,2	40,5	6,24	10,32	6,30	1,70	0,496	0,728	0,433
8	1,82	4,09	18,7	34,5	33,8	12,1	9,92	5,94	1,69	0,514	0,666	0,461
9	1,61	3,28	11,7	24,6	21,8	9,56	10,0	5,49	1,59	0,501	0,700	0,803
10	1,61	2,92	8,24	22,1	12,8	8,89	10,6	5,15	1,41	0,551	0,650	0,714
11	1,87	2,57	6,74	19,8	11,2	8,40	13,6	4,71	1,32	0,518	0,570	0,713
12	7,47	2,40	5,90	21,4	10,3	7,78	15,8	4,40	1,29	0,562	0,538	0,686
13	6,61	2,14	6,46	11,1	10,1	8,60	16,5	3,97	1,29	0,556	0,507	0,707
14	7,03	2,04	6,98	9,22	9,36	9,38	14,9	3,77	1,23	0,486	0,486	0,854
15	5,16	1,96	6,51	7,92	8,20	7,81	13,3	3,67	1,17	0,459	0,486	0,667
16	4,22	1,87	8,79	6,53	7,50	6,96	13,0	3,58	1,12	0,473	0,485	0,657
17	3,63	1,92	9,16	5,89	7,41	7,29	12,8	3,50	1,07	0,427	0,479	0,666
18	3,15	1,87	8,98	6,52	7,14	6,36	13,4	3,42	1,10	0,463	0,459	0,664
19	2,77	1,79	13,6	7,77	6,68	6,39	11,2	3,37	1,28	0,516	0,437	0,643
20	2,61	1,72	9,18	6,36	6,18	5,99	9,82	3,35	1,16	0,921	0,592	0,629
21	2,61	1,61	7,12	6,02	5,81	5,69	8,96	3,16	1,12	0,622	0,684	0,601
22	2,54	1,47	6,16	6,53	5,49	5,91	9,33	3,10	1,08	0,536	0,591	0,585
23	2,39	1,48	5,84	6,38	5,32	5,71	8,75	3,11	1,09	0,473	0,584	0,554
24	2,24	1,49	5,37	15,4	5,19	5,05	8,72	3,72	1,02	0,441	0,577	0,537
25	2,08	1,46	5,48	44,6	5,17	4,70	8,44	3,78	0,886	0,432	0,553	0,544
26	1,96	1,45	8,16	29,7	5,13	4,71	7,81	3,22	0,835	0,437	0,496	0,577
27	1,88	1,50	6,30	16,3	5,16	5,24	7,76	2,89	0,817	1,08	0,492	0,614
28	1,81	1,55	6,10	10,3	5,11	5,66	8,51	2,88	0,781	0,74	0,495	0,631
29	1,75	1,42	17,3	9,28		6,60	8,45	2,72	0,698	0,616	0,504	0,610
30	1,73	1,42	13,6	29,0		7,47	8,49	2,67	0,690	0,552	0,513	0,600
31	1,67		11,0	27,7		7,36		2,52		0,512	0,521	
Μέσ. τιμή	2,80	2,04	8,57	19,7	15,0	6,86	10,6	4,55	1,31	0,554	0,643	0,595
Max	7,47	5,91	28,2	44,6	74,1	12,1	16,5	8,33	2,29	1,08	1,65	0,854
Min	1,61	1,42	1,84	5,89	5,11	4,70	7,76	2,52	0,690	0,427	0,437	0,416

(Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων)

Ημέρα	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
1	0,626	10,6	3,35	11,4	22,0	17,6	11,3	8,42	3,26	1,009	0,533	0,462
2	0,566	8,30	3,61	12,0	20,0	16,0	10,8	8,43	3,26	0,996	0,550	0,448
3	0,512	8,30	3,70	16,5	17,1	14,0	9,90	8,11	3,18	1,007	0,543	0,426
4	0,498	9,32	3,71	15,5	14,8	13,1	9,01	7,92	3,01	0,978	0,523	0,442
5	0,525	9,06	3,69	14,0	13,6	11,5	7,99	15,47	3,05	0,982	0,533	0,464
6	8,19	14,3	3,61	12,6	12,5	10,7	7,53	14,19	2,95	0,943	0,634	0,577
7	2,03	12,2	4,18	11,2	11,8	10,1	7,39	12,70	2,83	0,907	0,595	0,534
8	1,52	10,6	4,53	10,1	10,8	10,7	7,08	10,64	2,82	0,870	0,579	0,522
9	2,06	9,16	4,49	9,9	10,9	25,7	6,46	9,25	2,45	0,863	0,556	0,496
10	1,49	7,77	4,94	9,9	10,1	18,9	6,00	8,19	2,35	0,906	0,534	0,475
11	1,34	6,95	5,20	9,07	9,59	14,9	5,89	7,66	2,32	0,903	0,529	0,473
12	1,19	6,21	6,83	8,39	9,07	17,5	6,69	7,31	2,22	0,714	0,523	0,449
13	1,13	5,58	8,37	9,39	8,49	14,5	6,26	6,51	2,15	0,658	0,544	0,388
14	1,04	5,55	10,01	11,6	8,30	12,4	5,45	6,26	2,08	0,601	0,529	0,378
15	0,929	5,53	10,2	12,3	8,05	11,6	5,16	6,23	2,02	0,631	0,531	0,384
16	3,88	5,13	10,0	12,2	7,82	11,6	4,68	6,06	1,87	0,589	0,589	0,386
17	4,64	5,25	8,60	10,8	7,56	12,2	4,47	6,08	1,84	0,599	0,604	0,403
18	3,22	5,11	8,03	10,1	7,43	11,6	6,62	6,59	1,89	0,596	0,561	0,415
19	30,8	5,15	7,78	10,5	7,25	11,8	6,58	5,89	1,86	0,578	0,557	0,425
20	24,7	4,76	7,34	13,0	6,92	12,1	6,61	5,54	1,83	0,546	0,594	0,453
21	8,06	4,54	6,53	20,0	7,05	11,4	6,27	5,15	1,68	0,537	0,577	0,444
22	5,94	4,50	5,89	17,5	6,76	10,8	5,94	4,63	1,57	0,544	0,491	0,430
23	7,47	4,24	19,0	14,3	11,0	10,5	5,57	4,37	1,51	0,534	0,447	0,416
24	72,8	3,72	18,4	13,0	14,0	14,3	5,47	4,47	1,50	0,543	0,440	0,407
25	41,5	3,66	15,0	11,7	23,0	21,9	7,59	4,34	1,45	0,551	0,456	1,53
26	17,0	3,46	13,3	11,2	20,2	25,3	17,57	3,92	1,42	0,537	0,476	4,90
27	11,7	3,34	12,2	12,3	16,4	22,5	9,27	3,67	1,33	0,742	0,454	3,38
28	9,34	3,20	11,2	48,2	18,5	18,1	8,25	3,60	1,24	0,712	0,443	1,80
29	7,50	3,14	10,6	67,2	20,0	15,0	8,13	3,54	1,17	0,599	0,459	1,39
30	16,0	3,11	11,7	33,9		12,7	8,43	3,74	1,10	0,561	0,473	1,11
31	19,4		12,1	25,0		11,7		3,43		0,532	0,468	
Μέσ. τιμή	9,92	6,39	8,32	16,3	12,4	14,6	7,48	6,85	2,11	0,718	0,527	0,827
Max	72,8	14,3	19,0	67,2	23,0	25,7	17,6	15,5	3,26	1,01	0,634	4,901
Min	0,498	3,11	3,35	8,39	6,76	10,14	4,47	3,43	1,10	0,532	0,440	0,378

Στον παρακάτω πίνακα 4.25 φαίνονται οι μέσες μηνιαίες παροχές της συνολικής περιόδου 1985/86 - 2004/05, δηλαδή τόσο αυτές που προέκυψαν από επεξεργασία στο πλαίσιο της μελέτης όσο και αυτές που διετεθήσαν από τη ΔΕΗ της περιόδου 1985/86-1996/97.

Πίνακας 4.25: Μέση μηνιαία παροχή π. Πορταϊκού στον υδρομετρικό σταθμό της Πύλης - (Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων)

ΥΔΡ. ΛΕΚΑΝΗ: ΠΗΝΕΙΟΥ				ΦΟΡΕΑΣ: ΔΕΗ					ΕΚΤΑΣΗ: 132,5 km ²				
Υδρ. Έτος	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΟΣ
1985 - 86				11,6	19,4	12,7	8,00	5,36	2,91	0,644	0,386	0,313	5,02
1986 - 87		4,86	4,46	16,9	20,4	10,4	10,1	5,50	1,97	0,619	0,388	0,517	6,25
1987 - 88	1,30	7,81	9,78	4,89	6,74	7,46	4,01	2,81	0,910	0,235	0,152	0,192	3,85
1988 - 89	0,649	5,62	9,25	3,09	5,01	11,7	5,08	3,45	1,31	0,651	0,328	0,267	3,86
1989 - 90	2,18	5,16	6,94	2,29	3,21	2,15	2,54	1,47	0,639	0,257	0,065	0,154	2,25
1990 - 91	0,414	3,82	15,9	8,20	10,4	8,5	12,8	8,08	2,31	0,929	0,566	0,416	6,00
1991 - 92	0,532	4,37	2,26	1,44	2,21	2,92	12,1	4,76	2,38	0,853	0,354	0,299	2,86
1992 - 93	1,36	3,19	5,64	4,55	2,98	11,0	7,92	6,59	1,73	0,453	0,237	0,255	3,84
1993 - 94	0,534	5,57	13,9	12,6	14,2	13,3	9,61	3,63	0,979	0,530	0,363	0,137	6,24
1994 - 95	4,09	7,53	8,18	14,8	8,36	11,1	8,8	6,06	1,51	0,773	0,616	1,485	6,10
1995 - 96	1,37	2,02	16,5	9,81	16,2	10,7	10,9	3,07	0,720	0,254	0,291	1,048	6,04
1996 - 97	6,22	9,71	13,1	19,8	4,49	5,6	7,59	9,89	1,33	0,489	0,304	0,299	6,60
1997 - 98	7,63	12,9	17,4	4,93	16,2	4,28	4,90	6,81	2,91	0,944	0,474	0,598	6,61
1998 - 99	1,07	11,2	20,6	4,20	7,98	8,39	7,32	2,67	0,878	0,456	0,329	0,360	5,44
1999 - 00	0,955	12,0	12,9	6,8	11,1	8,71	3,73	1,63	0,714	0,32	0,18	0,157	4,91
2000 - 01	2,30	1,86	4,81	6,61	8,34	5,28	8,33	2,76	1,15	0,529	0,472	0,460	3,54
2001 - 02	0,301	1,91	9,01	6,34	3,59	5,29	11,47	2,67	0,898	0,591	0,599	1,949	3,71
2002 - 03	2,80	2,04	8,57	19,7	15,0	6,86	10,6	4,55	1,31	0,554	0,643	0,595	6,05
2003 - 04	9,92	6,39	8,32	16,3	12,4	14,6	7,48	6,85	2,11	0,718	0,527	0,827	7,21
2004 - 05	5,24	5,72	5,89	10,25	13,12	18,03	8,08	2,69	1,23	0,519	0,418	0,537	5,94
Μέση τιμή	2,71	5,98	10,2	9,2	10,1	8,94	8,06	4,56	1,49	0,566	0,385	0,543	5,21

4.1.11 Εκτίμηση πλημμυρών σχεδιασμού διαφόρων περιόδων επαναφοράς

4.1.11.1 Ρύθμιση και επαλήθευση μοναδιαίου υδρογραφήματος (Μ.Υ.)

Ο σταθμηγράφος στον υδρομετρικό σταθμό της ΔΕΗ στην Πύλη λειτουργεί όπως αναφέρθηκε από το 1990-91 και στα 15 χρόνια που παρήλθαν έχει καταγράψει σημαντικό αριθμό πλημμυρικών περιστατικών. Έτσι, δόθηκε η δυνατότητα ρύθμισης και επαλήθευσης ενός Μ.Υ. της λεκάνης, γεγονός που αυξάνει την αξιοπιστία της εκτίμησης των σχεδιαστικών πλημμύρων των κατασκευών ασφαλείας του υπό μελέτη φράγματος.

Από τις καταγραφές του σταθμηγράφου επελέγησαν συνολικά τα γραφήματα 14 πλημμυρικών περιστατικών, διαφόρων μεγεθών, που είχαν ικανοποιητική μορφή και θεωρήθηκαν κατ' αρχήν κατάλληλα είτε για την εξαγωγή πληροφοριών περί της απόκρισης της λεκάνης (Μ.Υ.), είτε για την επαλήθευση των σχετικών εκτιμήσεων. Βάσει των καμπυλών στάθμης-παροχής που ίσχυαν τις ημέρες των περιστατικών αυτών και λαμβάνοντας υπόψη τον διορθωτικό παράγοντα ΔΗ, έγινε η μετατροπή των σταθμηγραφημάτων σε πλημμυρογραφήματα. Ακολούθως, έγινε ο χωρισμός της βασικής απορροής, υπολογίσθηκαν οι ανά ώρα τεταγμένες καθαρής πλημμύρας και οι αντίστοιχοι καθαροί όγκοι. Στη συνέχεια, για κάθε ένα περιστατικό υπολογίσθηκε με τη μέθοδο Thiessen η επιφανειακή καταιγίδα που το προκάλεσε, κατανεμημένη ανά ώρα σύμφωνα με τις ενδείξεις των βροχογράφων της περιοχής (Βροντερό, Στουρναρέικα, Αργιθέα και Δρακότρυπα). Αποκτήθηκε δηλαδή το αντίστοιχο του πλημμυρογραφήματος υετόγραμμα, από το οποίο υπολογίσθηκε η συνολική βροχόπτωση και σε συνδυασμό με τον καθαρό όγκο της πλημμύρας, η ενεργός βροχόπτωση και οι απώλειες.

Τα πλημμυρογραφήματα που αναλύθηκαν για να χρησιμοποιηθούν στη ρύθμιση και επαλήθευση του Μ.Υ. φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 4.26: Ανάλυση πλημμυρογραφήματων - (Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων)

α/α	Ημερομηνία αιχμής	Παραγωγή Μ.Υ.	Επαλήθευση Μ.Υ.	α/α	Ημερομηνία Αιχμής	Παραγωγή Μ.Υ.	Επαλήθευση Μ.Υ.
1	15/01/1991	-	✓	8	20/02/1996	-	-
2	11/05/1991	-	✓	9	13/09/1996	✓	✓
3	17/11/1991	-	✓	10	27/11/1996	✓	✓
4	16/11/1993	✓	✓	11	11/01/1997	-	-
5	07/02/1994	✓	✓	12	14/10/1997	✓	✓
6	02/01/1995	✓	✓	13	23/11/1997	-	-
7	29/09/1995	✓	✓	14	23/10/2003	-	✓

Τα παραπάνω πλημμυρογραφήματα επιλέχθηκαν έτσι ώστε να έχουν κατά το δυνατόν απλή μορφή και να συνοδεύονται από ικανοποιητική βροχομετρική πληροφορία, για να διευκολυνθεί η εξαγωγή επιμέρους μοναδιαίων υδρογραφήματων. Παρ' όλα αυτά, ο υπολογισμός Μ.Υ. συχνά ήταν δυσχερής, έως και ακατόρθωτος. Οι δυσχέρειες που παρουσιάζονται σε αυτές τις περιπτώσεις, μπορούν εν γένει να οφείλονται άλλοτε σε μη αντιπροσωπευτική ή εσφαλμένη μέτρηση, άλλοτε σε έντονη χωρική ανομοιομορφία της βροχής, άλλοτε σε αδυναμία αποτελεσματικής προσομοίωσης του πραγματικού ρυθμού διήθησης και άλλοτε σε πιθανή παρουσία χιονιών, το λιώσιμο των οποίων υπό την επενέργεια της καταιγίδας προκαλεί παραμόρφωση του υετογράμματος της ενεργού βροχής. Τα προβλήματα περιπλέκονται όταν, όπως ήταν γεγονός στις περισσότερες των περιπτώσεων που εξετάστηκαν, οι τεταγμένες της ενεργού βροχής είναι πολυάριθμες. Έτσι, τα περιστατικά από τα οποία προέκυψαν ικανοποιητικά Μ.Υ., περιορίστηκαν σε επτά. Τα υπόλοιπα κρατήθηκαν για να χρησιμοποιηθούν στη διαδικασία της επαλήθευσης – όπου δύο περιστατικά δεν έγινε κατορθωτό να χρησιμοποιηθούν με επιτυχία – καθώς και για την εξαγωγή πληροφοριών σχετικά με τη βασική απορροή ή το ύψος απωλειών, όπως περιγράφεται παρακάτω στις σχετικές ενότητες. Όσον αφορά στην εξαγωγή Μ.Υ., σε όλες τις περιπτώσεις ο υπολογισμός βασίστηκε στην ακόλουθη προσέγγιση.

Από το υπολογισμένο ύψος των συνολικών απωλειών της βροχής, υπολογίζεται το υετόγραμμα της ενεργού βροχής βάσει κάποιας παραδοχής για τη χρονική κατανομή των απωλειών (σταθερός ρυθμός απωλειών, σταθερή αρχική απώλεια ακολουθούμενη από

γεωμετρικά μειούμενο ρυθμό απωλειών, κ.τ.λ.). Κατά περίπτωση, χρησιμοποιείται η κατανομή που μετά από δοκιμές, φαίνεται ότι παράγει τα καλλίτερα αποτελέσματα, με κριτήριο τη μορφή του εξαγόμενου Μ.Υ. Έστω λοιπόν ότι m είναι το πλήθος των ωριαίων τεταγμένων της ενεργού βροχής και k το πλήθος των ωριαίων τεταγμένων του καθαρού πλημμυρογραφήματος. Τότε προκύπτει Μ.Υ. του οποίου το πλήθος των τεταγμένων είναι $n = k - m + 1$ ως εξής: Αν \underline{Q} το διάνυσμα των τεταγμένων της πλημμύρας και \underline{U} το διάνυσμα των τεταγμένων του Μ.Υ., αυτά συνδέονται με τη σχέση:

$$\underline{Q} = \underline{R} \times \underline{U} \quad (4.5)$$

όπου \underline{R} το μητρώο μετασχηματισμού διαστάσεων $k \times n$, συντιθέμενο από τις τεταγμένες της βροχής (συντελεστές των εξισώσεων μετασχηματισμού). Η εξίσωση (5α) έχει λύση την

$$\underline{U} = (\underline{R}^T \times \underline{R})^{-1} \times \underline{R}^T \times \underline{Q} \quad (4.6)$$

η οποία, καθώς ο αριθμός των εξισώσεων είναι μεγαλύτερος του αριθμού των αγνώστων, αποτελεί τη βέλτιστη λύση υπό την έννοια των ελαχίστων τετραγώνων.

Για τις ανωτέρω επιλύσεις χρησιμοποιήθηκε κατάλληλο λογισμικό και τελικώς υπολογίσθηκαν οι τεταγμένες επτά Μ.Υ., τα οποία, αν και παρουσίαζαν ομοιότητες στον καθοδικό κλάδο, παρουσίαζαν μια διασπορά τιμών ως προς την αιχμή και τον χρόνο αυτής, όπως φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα αποτελεσμάτων.

Πίνακας 4.27: Πλημμυρικές αιχμές ανά ημερομηνία πλημμύρας - (Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων)

Ημερομηνία πλημμύρας	Χρόνος αιχμής (h)	Αιχμή (m ³ /s/10mm)
16 Νοεμβρίου 1993	3	48,5
7 Φεβρουαρίου 1994	3	82,0
2 Ιανουαρίου 1995	5	31,1
29 Σεπτεμβρίου 1995	2	41,9
13 Σεπτεμβρίου 1996	2	79,7
27 Νοεμβρίου 1996	3	45,6
14 Οκτωβρίου 1997	2	102,0

Παρατηρώντας τους χρόνους αιχμής, διαπιστώνει κανείς ότι με εξαίρεση το γεγονός της 2/1/95, του οποίου η αιχμή εμφανίζεται την 5^η ώρα, όλα τα άλλα έχουν χρόνους 2 ή 3 ωρών. Όσον αφορά στις αιχμές, αυτές δείχνουν να κατατάσσονται σε δύο ομάδες, μία μεταξύ 80 – 100 m³/s και μία μεταξύ 40 – 50 m³/s. Το γεγονός της 2/1/95 είχε αιχμή ακόμα πιο μικρή και σχήμα πολύ πιο πεπλατυσμένο από τα υπόλοιπα. Κατόπιν αυτών, εξετάσθηκε αν έπρεπε να εξαιρεθεί και διαπιστώθηκαν τα εξής:

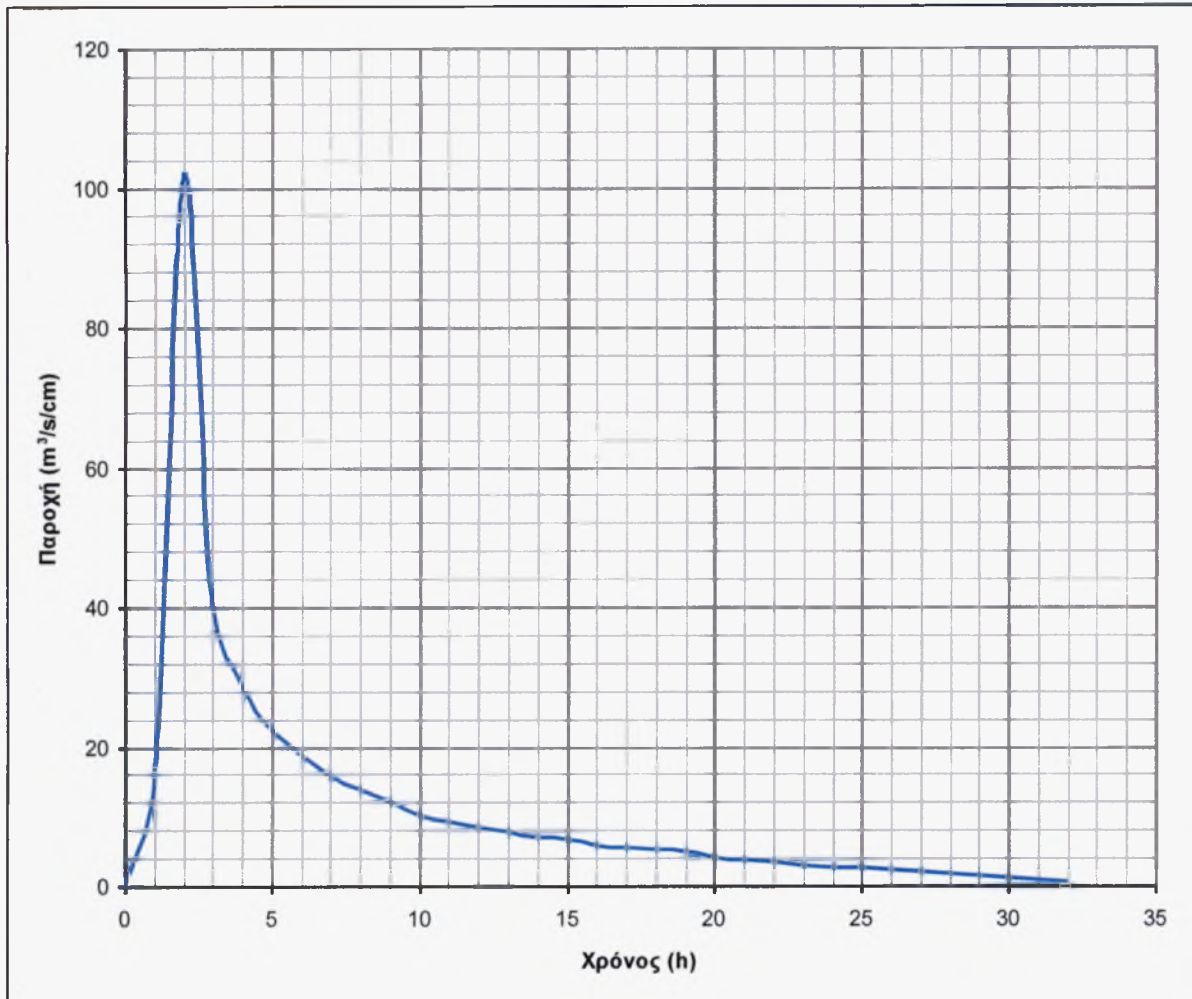
Κατ' αρχήν είχε υπάρξει αδυναμία στην καταγραφή της βροχής. Ο βροχογράφος στα Στουρναρέικα δεν είχε λειτουργήσει παρά απλώς σαν βροχόμετρο, ο δε βροχογράφος της Δρακότρυπας παρουσίαζε διαλείπουσα λειτουργία. Εξ αποτελέσματος, η χρονική κατανομή της βροχής σε δύο σταθμούς που αντιπροσωπεύουν περίπου το 60% της λεκάνης, ήταν μόνο κατά προσέγγιση γνωστή. Δεύτερον, προκύπτει από τις καταγραφές ότι προς το τέλος της η βροχή είχε εξελιχθεί σε χιονόπτωση. Υπάρχουν επομένως βάσιμες υπόνοιες ότι μπορεί και σε όλη τη διάρκεια του φαινομένου, οι ανώτερες υψομετρικά ζώνες της λεκάνης να δέχονταν μόνο χιόνια και να μην συμμετείχαν στην επιφανειακή απορροή. Οι παραπάνω λόγοι μπορούν να εξηγήσουν την απόκλιση των χαρακτηριστικών του Μ.Υ. της 02/01/95. Κατόπιν αυτού, η συγκεκριμένη πλημμύρα της 02/01/95 πάθησε υπόψη μόνο για επαλήθευση, και αυτή με επιφυλάξεις λόγω των προαναφερθέντων.

Τα Μ.Υ. που απέμειναν είχαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των, κυρίως ως προς την αιχμή. Σαν αποτέλεσμα αυτού, κατά τη δοκιμασία της επαλήθευσης, υπήρχαν πλημμύρες που προσεγγίζονταν καλλίτερα από Μ.Υ. υψηλής αιχμής (82 m³/s), ενώ υπήρχαν άλλες που προσεγγίζονταν καλλίτερα από Μ.Υ. χαμηλής αιχμής (48,5 m³/s). Με άλλα λόγια, και οι δύο τύποι μοναδιαίου υδρογραφήματος φαίνεται ότι περιγράφουν την απόκριση της λεκάνης. Η εξήγηση που προτείνεται για αυτό βασίζεται στη διαπίστωση ότι πολύ κοντά στην έξοδο της λεκάνης σμίγουν δύο βασικοί κλάδοι του ποταμού. Ο πρώτος, κατεβαίνοντας από την περιοχή του Βροντερού και της Ελάτης, αποστραγγίζει το βόρειο τμήμα της λεκάνης. Ο δεύτερος, που έρχεται από την πιο βροχερή περιοχή, αυτήν των Στουρναρέικων, αποστραγγίζει το νότιο και δυτικό τμήμα της λεκάνης που είναι και το σχετικά μεγαλύτερο. Φαίνεται λοιπόν ότι υπό ορισμένες συνθήκες χωροχρονικής κατανομής της βροχής, αυτοί οι δύο κλάδοι που είναι σχεδόν ισοδύναμοι από την άποψη της πλημμυρικής απόκρισης,

μπορούν να εκδηλώνουν την αιχμή τους ταυτόχρονα στη θέση συμβολής, με αποτέλεσμα το συνιστάμενο υδρογράφημα να είναι εντόνως υψικόρυφο. Αντιθέτως, υπό άλλες συνθήκες, τα υδρογραφήματα των δύο κλάδων μπορούν να εμφανίζουν μεταξύ τους χρονική διαφορά που έχει μέγεθος σημαντικό σε σύγκριση με τους χαρακτηριστικούς τους χρόνους (ανόδου και απόσυρσης), με αποτέλεσμα το συνιστάμενο υδρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης να μην έχει υψηλή κορυφή.

Με αφετηρία τις παραπάνω σκέψεις και το δεδομένο ότι μέσα από το δείγμα είχαν διαπιστωθεί τρία Μ.Υ. με αιχμή από σχεδόν $80 \text{ m}^3/\text{s}$ έως $102 \text{ m}^3/\text{s}$, πάρθηκε η απόφαση να αγνοηθούν τα Μ.Υ. της ομάδας με τις μικρότερες αιχμές, προκειμένου του υπολογισμού των πλημμύρων σχεδιασμού. Από τα τρία υψικόρυφα Μ.Υ. που απέμειναν, τα δύο (07/02/94 και 13/09/96), κατά την επαλήθευση υποεκτιμούσαν τις πολύ μεγάλες πλημμύρες της 14^{ης}/10/97 και της 23^{ης}/10/03. Για τον λόγο αυτόν, αποφασίσθηκε να υιοθετηθεί το Μ.Υ. που προέκυπτε από την πλημμύρα της 14^{ης}/10/97. Σημειώνεται ότι η πλημμύρα αυτή είχε τη μεγαλύτερη καταγεγραμμένη αιχμή της 16-ετούς περιόδου που υπάρχουν πλημμυρικές καταγραφές, είναι δηλαδή γεγονός εξαιρετικής σημασίας για τη συναγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τις πλημμύρες σχεδιασμού και αποτελεί ευτύχημα ότι η μορφή της καταιγίδας διευκόλυνε την εξαγωγή μοναδιαίου υδρογραφήματος. Αυτό το Μ.Υ. περιγράφει πολύ καλά τα δύο άλλα πλημμυρικά περιστατικά που έχουν δώσει υψικόρυφα Μ.Υ. (07/02/94 και 13/09/96) και αρκετά καλά (πάντως υποεκτιμητικά) τη μεγάλη πλημμύρα της 23^{ης}/10/03, από την οποία δεν μπορούσε να προκύψει Μ.Υ. λόγω πολυπλοκότητας της βροχής που την προκάλεσε.

Το Μ.Υ. που υιοθετήθηκε έχει χρονική βάση 32 ωρών, τιμή παραπλήσια των υπολοίπων Μ.Υ., χρόνο αιχμής 2 ώρες και αιχμή $102 \text{ m}^3/\text{s}$. Από την πρώτη στιγμή του υπολογισμού του είχε σχήμα πολύ ομαλό και χρειάστηκε μικρή μόνο επέμβαση για να αποκτήσει πλήρως ομαλό σχήμα και ακριβώς μοναδιαίο όγκο. Στο παρακάτω σχήμα 4.15 απεικονίζεται το εν λόγω Μ.Υ. στην τελική μορφή του.



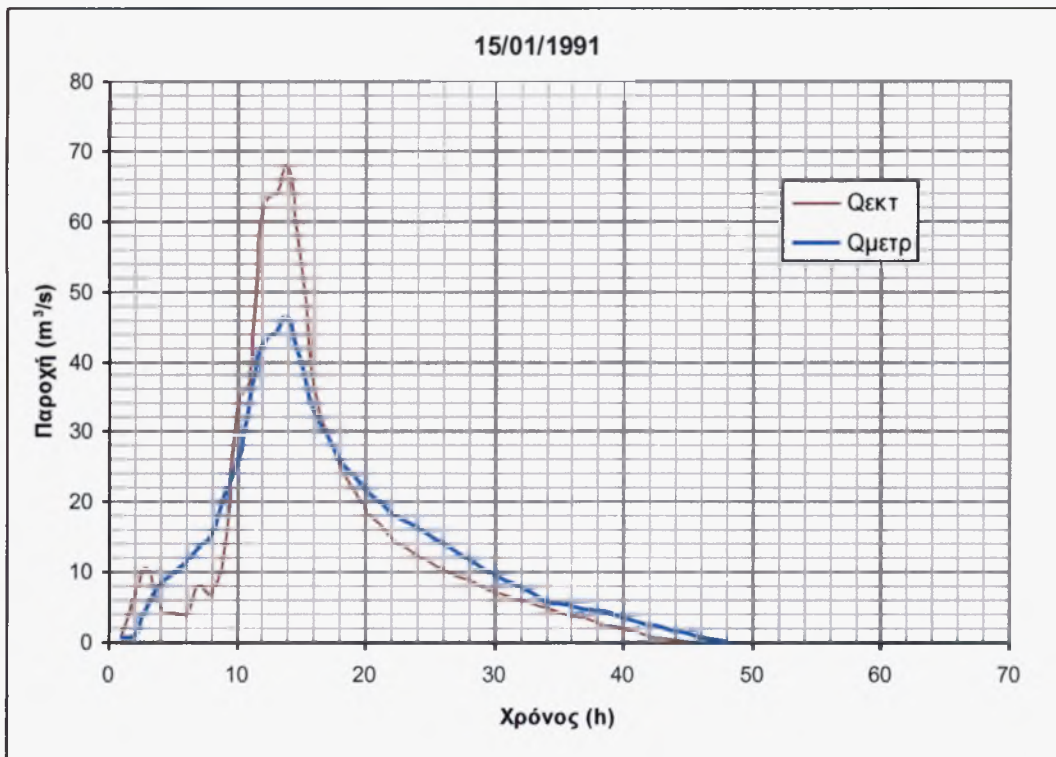
Σχήμα 4.15: Μοναδιαίο υδρογράφημα της υδρολογικής λεκάνης του π. Πορταϊκού στην Πύλη - (Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων).

Αναλυτικότερα, οι τεταγμένες του παραπάνω Μ.Υ. παρουσιάζονται στον πίνακα 4.28:

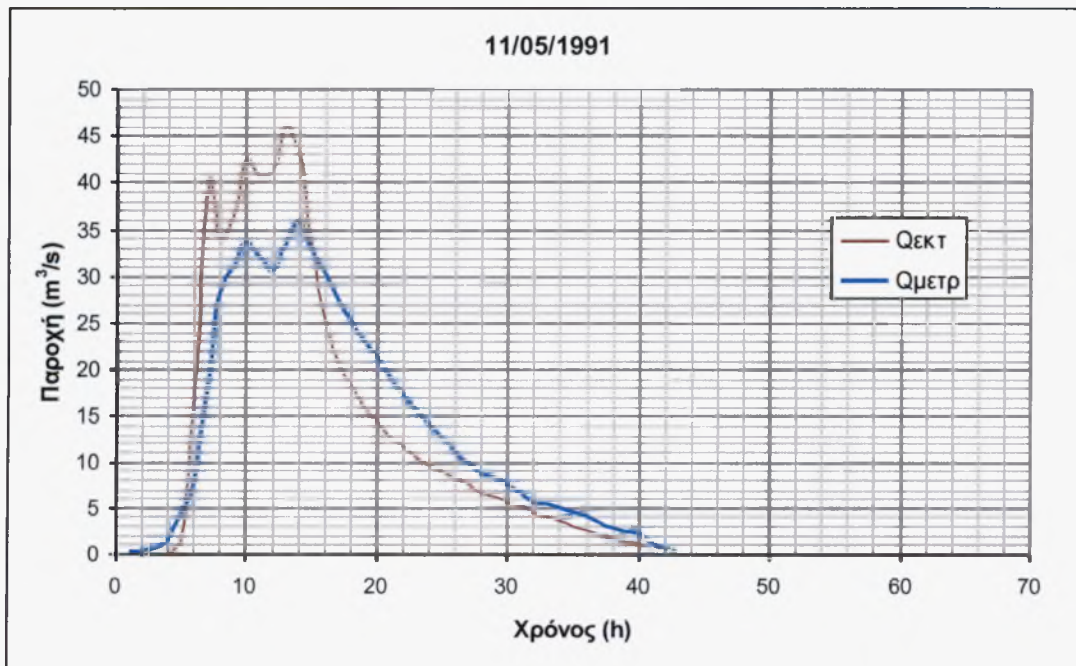
Πίνακας 4.28: Τεταγμένες ωριαίου Μ.Υ. π. Πορταϊκού στην Πύλη - (Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων)

Χρόνος (h)	Παροχή (m ³ /s/cm)
0	0
1	14,6
2	102
3	40,5
4	28,7
5	22,5
6	18,8
7	15,7
8	13,7
9	12
10	10,2
11	9,2
12	8,3
13	7,7
14	7
15	6,5
16	5,8
17	5,4
18	5,1
19	4,8
20	4
21	3,8
22	3,5
23	3
24	2,7
25	2,6
26	2,3
27	2
28	1,8
29	1,3
30	1,1
31	0,8
32	0,6

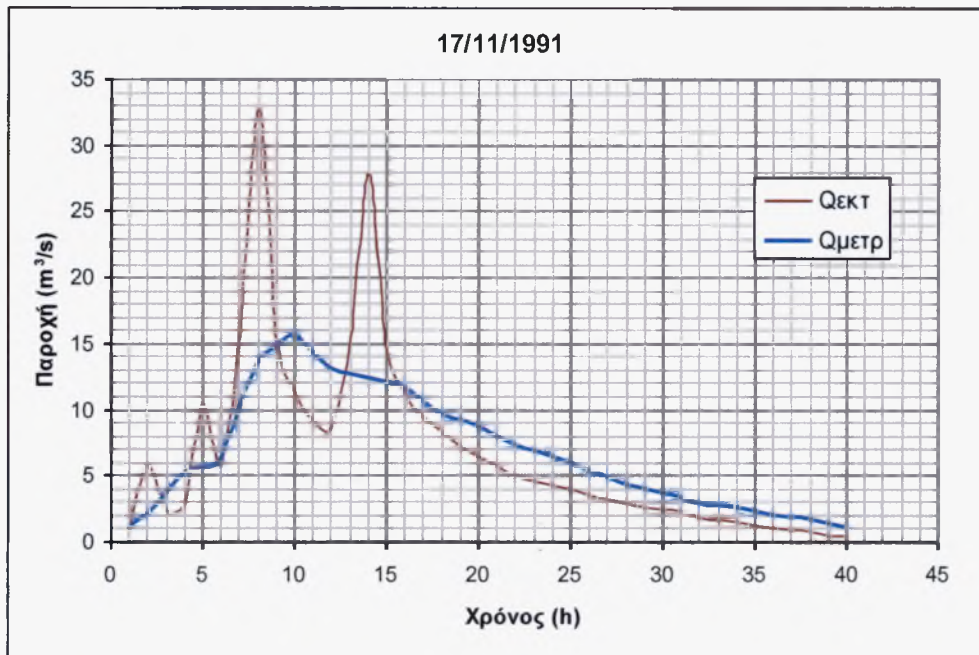
Στα παρακάτω σχήματα 4.16 έως 4.25 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επαλήθευσης, με τη συγκριτική παρουσίαση των δύο υδρογραφημάτων καθαρής πλημμύρας (χωρίς τη βασική απορροή), δηλαδή του εκτιμημένου και του μετρημένου.



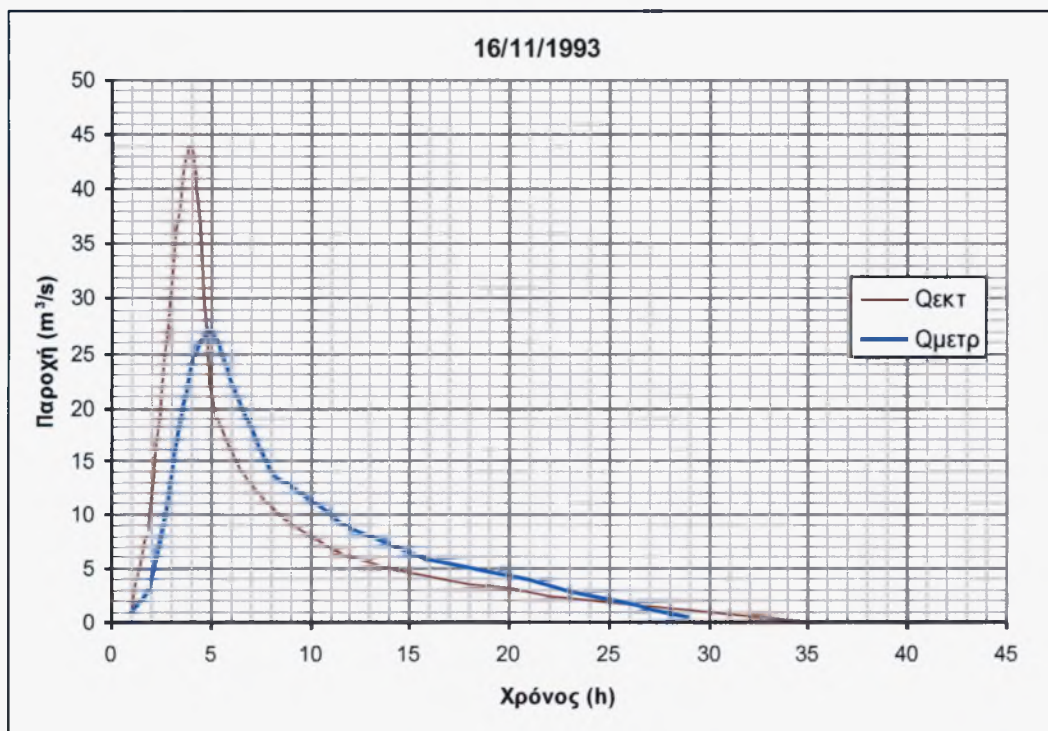
Σχήμα 4.16: Σύγκριση εκτιμημένου και μετρημένου υδρογραφήματος καθαρής πλημμύρας- (Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων)



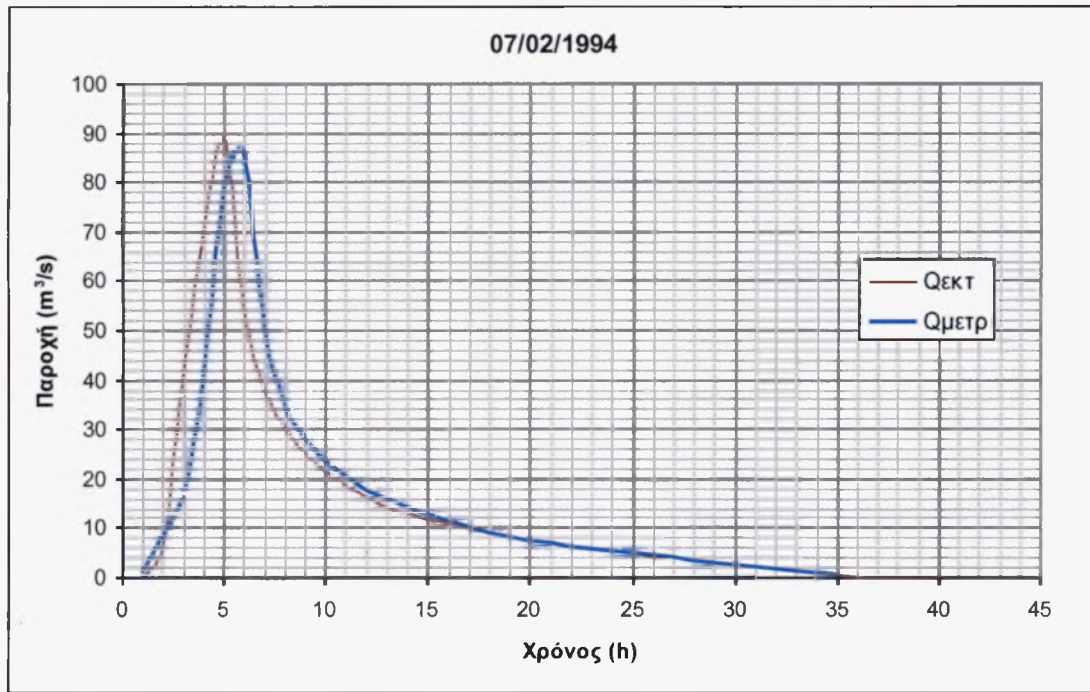
Σχήμα 4.17: Σύγκριση εκτιμημένου και μετρημένου υδρογραφήματος καθαρής πλημμύρας- (Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων)



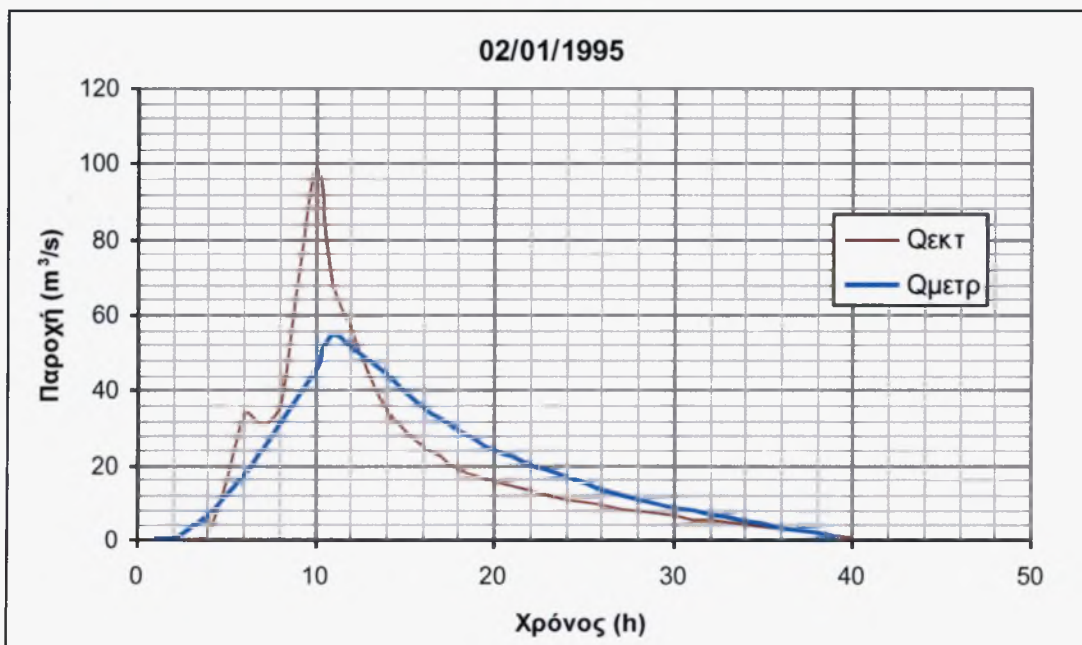
Σχήμα 4.18: Σύγκριση εκτιμημένου και μετρημένου υδρογραφήματος καθαρής πλημμύρας- (Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων)



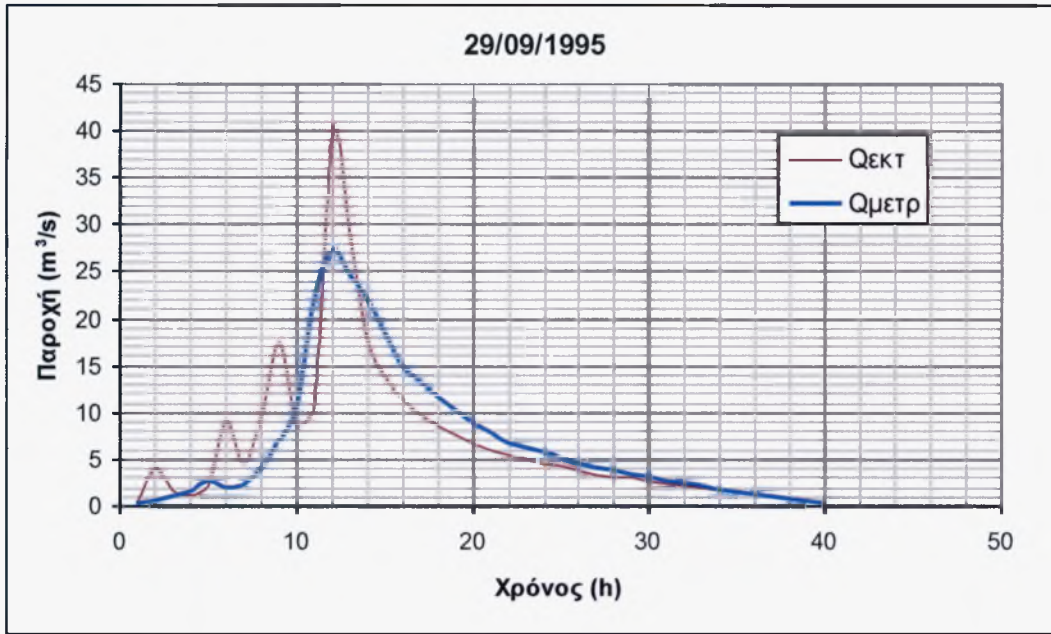
Σχήμα 4.19: Σύγκριση εκτιμημένου και μετρημένου υδρογραφήματος καθαρής πλημμύρας - (Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων)



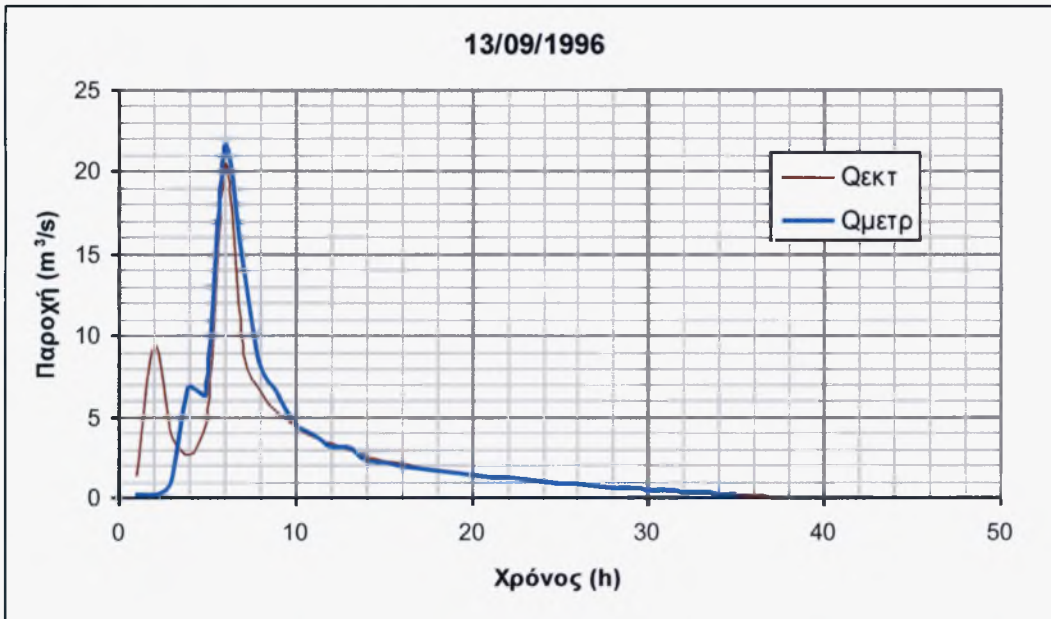
Σχήμα 4.20: Σύγκριση εκτιμημένου και μετρημένου υδρογραφήματος καθαρής πλημμύρας - (Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων)



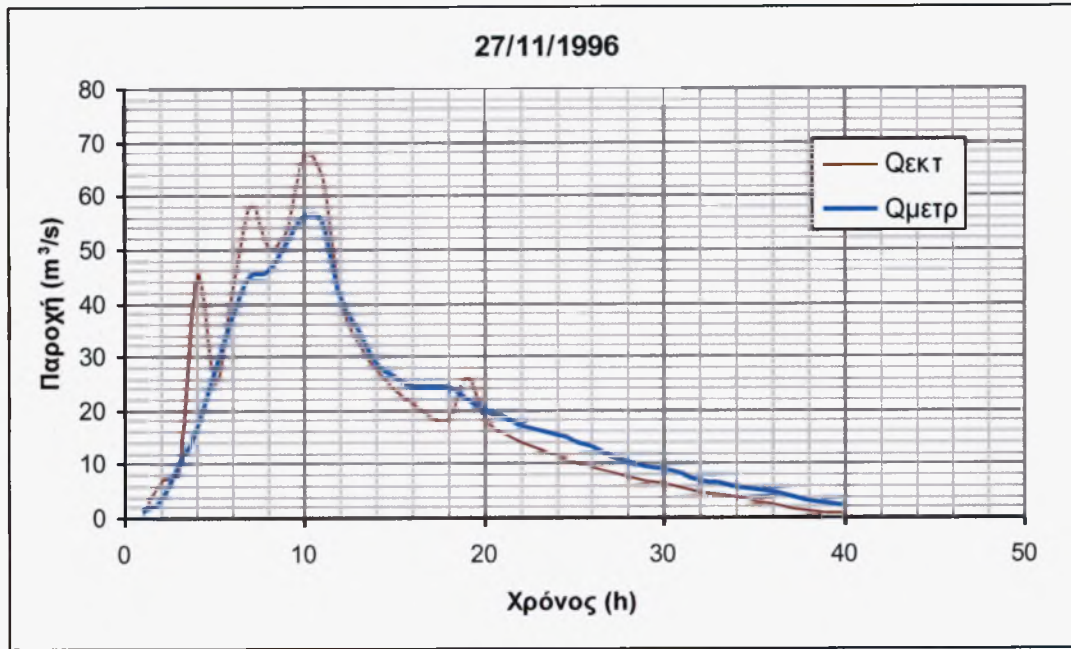
Σχήμα 4.21: Σύγκριση εκτιμημένου και μετρημένου υδρογραφήματος καθαρής πλημμύρας - (Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων)



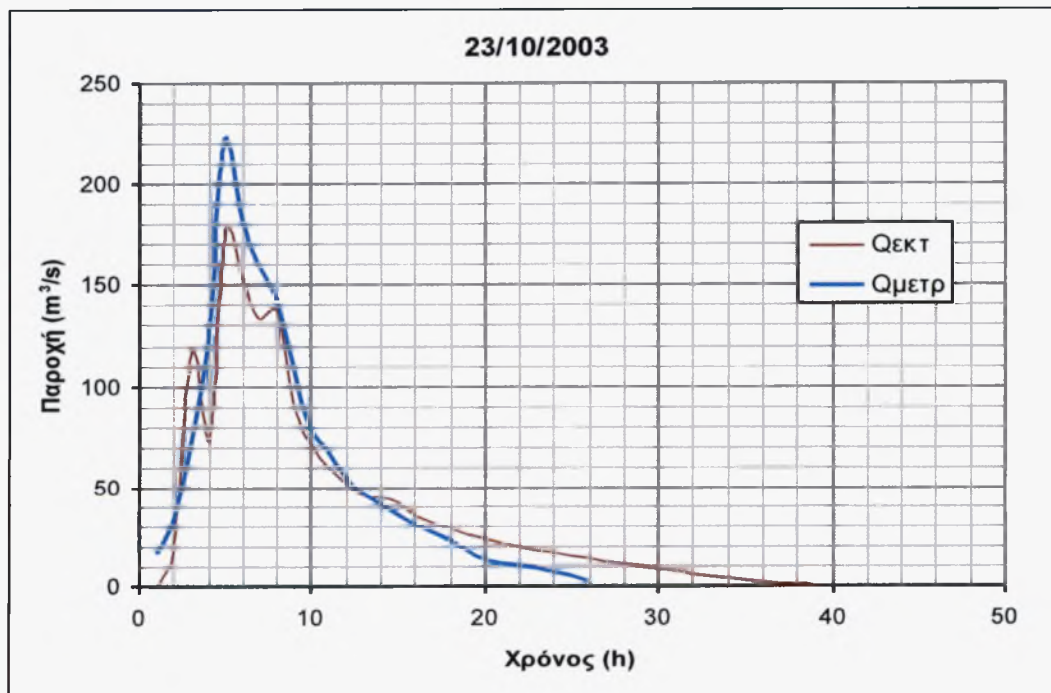
Σχήμα 4.22: Σύγκριση εκτιμημένου και μετρημένου υδρογραφήματος καθαρής πλημμύρας - (Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων)



Σχήμα 4.23: Σύγκριση εκτιμημένου και μετρημένου υδρογραφήματος καθαρής πλημμύρας - (Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων)



Σχήμα 4.24: Σύγκριση εκτιμημένου και μετρημένου υδρογραφήματος καθαρής πλημμύρας - (Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων)



Σχήμα 4.25: Σύγκριση εκτιμημένου και μετρημένου υδρογραφήματος καθαρής πλημμύρας (Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων)

Σχετικά με την επαλήθευση, γίνεται η γενική παρατήρηση ότι λόγω της αιχμηρής μορφής του Μ.Υ. που υιοθετήθηκε και λόγω του γεγονότος ότι ο χρόνος των δύο ωρών μέχρι την αιχμή θα συνδυαζόταν καλλίτερα με ημίωρες τεταγμένες βροχής, οι εκτιμημένες πλημμύρες εμφανίζουν συχνά μια ταλάντωση στη μορφή του υδρογραφήματος, της οποίας όμως η μέση τιμή ακολουθεί με καλή προσέγγιση τη μορφή του παρατηρημένου υδρογραφήματος. Η προσέγγιση της αιχμής στις 8 από τις 10 περιπτώσεις ήταν προς την πλευρά της ασφαλείας (υπερεκτίμηση). Επίσης, σε 9 από τις 10 περιπτώσεις, η προσέγγιση του χρόνου της αιχμής γίνεται με απόκλιση το πολύ μιας ώρας. Αλλά και η προσέγγιση της μορφής στις περισσότερες περιπτώσεις κρίνεται πολύ ικανοποιητική.

Ειδικότερες παρατηρήσεις όσον αφορά στην επαλήθευση, ανά εξεταζόμενο πλημμυρικό περιστατικό, είναι οι εξής:

Η 15/01/1991 προσεγγίζεται πολύ καλά στη μορφή, ακριβώς στον χρόνο, αλλά υπάρχει μεγάλη υπερεκτίμηση της αιχμής. Η 11/05/1991 προσεγγίζεται αρκετά καλά στη μορφή, πολύ καλά στον χρόνο και έχει μέτρια υπερεκτίμηση της αιχμής. Η εκτίμηση για την πλημμύρα της 17/11/1991 παρουσιάζει μεγάλη ταλάντωση, αλλά μπορεί κανείς να παρατηρήσει ότι η μέση γραμμή προσεγγίζει πολύ καλά τη μετρημένη και ως προς το σχήμα και ως προς τον χρόνο. Όμως, η υπέρ-εκτίμηση της αιχμής είναι μεγάλη και μη αποδεκτή. Μία δε προσεκτική μελέτη της σχετικής καταγίδας, φανερώνει ότι και οι τέσσερις βροχογράφοι κατέγραψαν παρόμοια βροχή με πολλά ξεσπάσματα μεγάλης έντασης μέσα στη συνολική διάρκεια της βροχόπτωσης, με αποτέλεσμα το ενεργό υετόγραμμα να έχει μια σύνθετη εικόνα, με πολλές κορυφές εναλλασσόμενες με διαστήματα μηδενικής ενεργού βροχής. Τα πράγματα περιπλέκει η χρονική μετατόπιση από τον ένα σταθμό στον άλλον, που φθάνει τις τρεις ώρες. Διαπιστώνεται δηλαδή μια αδυναμία απεικόνισης της πραγματικής βροχής μέσω της υπολογισμένης μέσης επιφανειακής βροχόπτωσης. Το επόμενο περιστατικό, της 16/11/1993, είχε δώσει ένα πολύ καλό Μ.Υ. με αιχμή χαμηλή, στα $43,8 \text{ m}^3/\text{s}$. Ήταν επόμενο λοιπόν να μην μπορεί να προσεγγισθεί ως προς την αιχμή από το Μ.Υ. που υιοθετήθηκε. Είναι ενδιαφέρον όμως ότι ο χρόνος της αιχμής αποκλίνει μόνο κατά μια ώρα, καθώς και ότι υπάρχει ικανοποιητική ομοιότητα τόσο στον καθοδικό όσο και στον ανοδικό κλάδο,

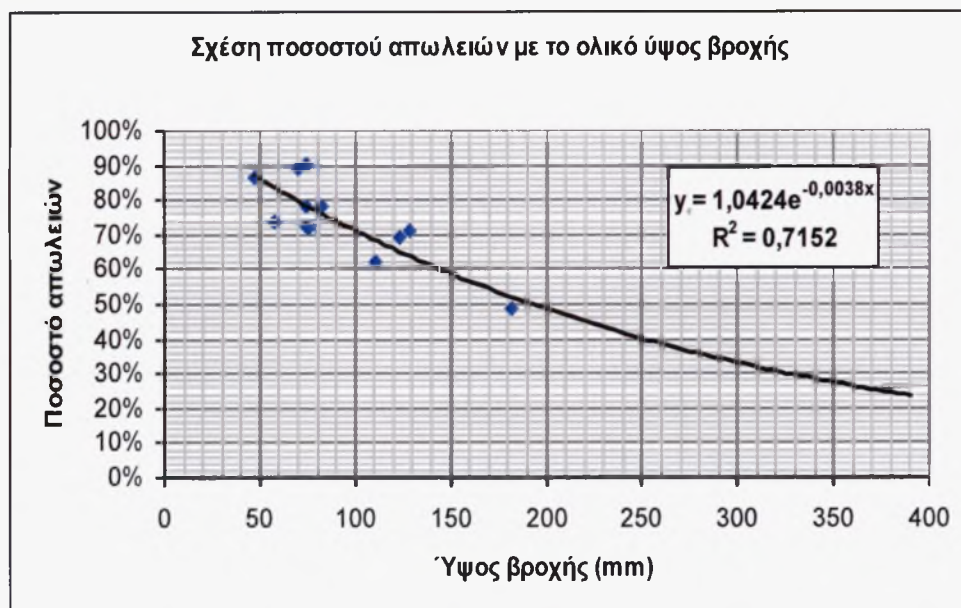
λαμβανομένης βέβαια υπόψη της χρονική απόκλιση. Το περιστατικό της 07/02/1994 προσεγγίζεται εντυπωσιακά καλά. Το περιστατικό της 02/01/1995 για το οποίο διατυπώθηκαν προηγουμένως επιφυλάξεις ως προς την καταλληλότητά του ακόμα και για επαλήθευση, παρουσιάζει μιαν εικόνα παρόμοια αλλά καλύτερη εκείνης της 17/11/1991. Για την 29/09/1995 θα μπορούσαν να ληφθούν τα ίδια με την 17/11/1991, με τη διαφορά ότι εδώ η υπερεκτίμηση είναι μικρότερη. Η πλημμύρα της 13/09/1996 προσεγγίζεται άριστα ως προς όλα τα κριτήρια, με μια μόνο απόκλιση, περιορισμένη στην αρχή του υδρογραφήματος. Πολύ καλή, αν και με κάποια ταλάντωση, αποδεικνύεται και η προσέγγιση στην πλημμύρα της 27/11/1996. Τέλος, η πλημμύρα της 23/10/2003, η μεγαλύτερη πλημμύρα που χρησιμοποιήθηκε για επαλήθευση (αλλά μικρότερη της 14/10/1997 από την οποία υπολογίσθηκε το Μ.Υ.), προσεγγίζεται πολύ καλά ως προς όλα τα κριτήρια, με μια μικρή εξαίρεση ως προς την αιχμή που υποεκτιμάται κάπως. Εν τούτοις, η συστηματικώς υπέρ-εκτιμητική συμπεριφορά του επιλεγέντος Μ.Υ., στην πλειοψηφία των περιπτώσεων που εξετάσθηκαν, επιτρέπει να μη θεωρηθεί αυτή η εξαίρεση λόγος ικανός για αλλαγή του Μ.Υ. επί το δυσμενέστερο.

4.1.11.2 Υπολογισμός απωλειών επιφανειακής βροχής

Στο Κεφ. 4.1.7.1 παρουσιάσθηκαν οι όμβριες καμπύλες από τις οποίες υπολογίζονται τα ύψη βροχής των καταιγίδων σχεδιασμού για διάφορες διάρκειες και περιόδους επαναφοράς. Επί των υετογραμμάτων των καταιγίδων αυτών πρέπει να υπολογισθούν (και να αφαιρεθούν) οι σχεδιαστικές απώλειες.

Πληροφορίες περί των πραγματικών απωλειών της λεκάνης, συνήθων περιόδων επαναφοράς, συγκεντρώθηκαν από την επεξεργασία του δείγματος των πλημμυρικών γεγονότων που χρησιμοποιήθηκε για τη ρύθμιση και την επαλήθευση του μοναδιαίου υδρογραφήματος. Από το δείγμα αυτό, το αρχικό μέγεθος του οποίου (N=14) είναι αρκετά μεγάλο, συμπεραίνεται ότι για τα εξετασθέντα συνήθη γεγονότα οι απώλειες, ως ποσοστό της συνολικής βροχής, κυμαίνονται από 48,4% έως 96,1% περίπου, αναλόγως της εποχής του έτους και του αν έχει προηγηθεί σημαντική βροχή λίγο νωρίτερα. Οι συχνότερα εμφανιζόμενες τιμές ευρίσκονται στην περιοχή του 70% - 80%.

Τα παρατηρηθέντα ποσοστά απωλειών είναι μεγάλα και εξηγούνται από την παρουσία σημαντικής δασικής βλάστησης στη λεκάνη. Η διάμεση τιμή τους, η οποία συνιστάται να ληφθεί υπόψη ως σχεδιαστική τιμή, σύμφωνα με τους Pilgrim & Cordery (1993) είναι 72,5%. Όμως η τιμή αυτή είναι χαρακτηριστική για ύψη καταιγίδων στην περιοχή των 50 - 180 mm, η οποία απέχει από τα ύψη των σχεδιαστικών καταιγίδων μεγάλων περιόδων επαναφοράς. Για να υπάρξει εκτίμηση και για ύψη σχεδιαστικής καταιγίδας άνω των 180 mm, αναζητήθηκε στο δείγμα των 14 καταιγίδων μια σχέση μεταξύ ύψους και ποσοστού απωλειών. Από το δείγμα εξαιρέθηκε η καταιγίδα της 13^{ης}/9/96 της οποίας οι απώλειες είναι ισχυρά επηρεασμένες από την ξηρότητα της εποχής. Επίσης σημειώνεται ότι το ύψος βροχής που προκάλεσε την πλημμύρα της 23^{ης}/10/03, έχει ληφθεί υπόψη μόνο ως προς το δεύτερο, διακεκριμένο και μεγαλύτερο τμήμα της βροχής, με ύψος 110,6 mm (δηλαδή 49 mm κατά τις 23 ώρες που προηγήθηκαν δεν πάρθηκαν υπόψη, διότι πρακτικώς δεν προκάλεσαν απορροή). Όλα τα υπόλοιπα περιστατικά έλαβαν κανονικά μέρος και σε αυτά προσαρμόσθηκε καλά μια εκθετική σχέση, με τον σημαντικό συντελεστή **προσδιορισμού** $R^2 = 0,715$ που φανερώνει αρκετά ικανοποιητική συσχέτιση, όπως εξ άλλου φαίνεται και από το σχετικό γράφημα στην επόμενη σελίδα. Από την εμπειρική σχέση υπολογίσθηκε το ποσοστό απωλειών που θα αντιστοιχούσε στο μεγαλύτερο ύψος σχεδιαστικής καταιγίδας που εξετάζεται, δηλαδή στα 367,8 mm που αντιστοιχούν στην καταιγίδα διάρκειας 36 ωρών και περιόδου 10000 ετών. Η τιμή 25,8% που βρέθηκε, μειώθηκε κατά 10% για λόγους ασφαλείας και στη νέα τιμή, 23,2%, ζητήθηκε να προσαρμοστούν οι απώλειες κατά SCS με άγνωστο τον χαρακτηριστικό αριθμό καμπύλης CN για συνθήκες II (μέσης υγρότητας). Η επίλυση του προβλήματος έδωσε $CN(II) = 75$, τιμή που θεωρήθηκε αποδεκτή για τη λεκάνη.



Σχήμα 4.26: Διάγραμμα σχέσης ποσοστού απωλειών και ολικού ύψους βροχής – (Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων)

Με αφετηρία την κατά τα ανωτέρω υπολογισθείσα τιμή του χαρακτηριστικού αριθμού CN, υπολογίσθηκε το ύψος και η χρονική κατανομή των απωλειών των σχεδιαστικών καταιγίδων με χρήση της δόκιμης μεθόδου της SCS.

Η ανωτέρω τιμή του CN ελέγχθηκε σε συνδυασμό με το μοναδιαίο υδρογράφημα και τις όμβριες καμπύλες και βρέθηκε ότι παράγει ένα ποσοστό απωλειών 37,9% στην πλημμύρα περιόδου 100 ετών και διάρκειας 20 ωρών. Το αποτέλεσμα κρίθηκε συμβατό, προς τη συντηρητική πλευρά, με την εμπειρική σχέση για τις απώλειες που υπολογίσθηκε από το δείγμα των δεκατριών πλημμυρών. Έλεγχος έγινε επίσης και με την πλημμύρα της 20/2/1996, η οποία δεν είχε χρησιμοποιηθεί για τη συσχέτιση απωλειών με το ύψος βροχής. Στην περίπτωση αυτή, με ύψος ολικής βροχής 169,6 mm, το ποσοστό απωλειών μετρήθηκε στο 60,8%, ενώ δια της μεθόδου SCS και με CN = 75, υπολογίσθηκε στο 42,1%. Κατόπιν αυτών, η κατά ανωτέρω προσέγγιση των απωλειών θεωρήθηκε ρεαλιστική και προς την πλευρά της ασφαλείας.

Στη συνέχεια έγινε υπολογισμός του ύψους της ενεργού βροχόπτωσης για κάθε σχεδιαστική καταιγίδα. Οι τιμές που προέκυψαν για τα ποσοστά απωλειών των

σχεδιαστικών καταιγίδων δίνονται στον πίνακα που ακολουθεί. Σημειώνεται ότι η διάρκεια των σχεδιαστικών καταιγίδων είναι 20 ώρες, όπως θα εξηγηθεί στα επόμενα, και ότι οι περίοδοι επαναφοράς των καταιγίδων διαφοροποιούνται από τις περιόδους επαναφοράς των παραγομένων πλημμύρων σύμφωνα με τις υποδείξεις του NERC (1975).

Πίνακας 4.29: Εκτενή περιγραφή τιμών κατακρήμισης σε σχέση με τον χρόνο καθώς και ποσοστιαίων απωλειών .

Περίοδος επαναφοράς πλημμύρας σχεδιασμού (έτη)	Περίοδος επαναφοράς αντίστοιχης καταιγίδας (έτη)	Ολική βροχή (mm)	Ενεργός βροχή (mm)	Απώλειες (%)
10	17	145,3	77,4	46,8
20	35	164,3	93,6	43,0
50	81	184,8	111,6	39,6
100	135	196,6	122,1	37,9
200	233	208,7	133,0	36,3
500	500	224,9	147,8	34,3
1000	1000	239,0	160,8	32,7
10000	10000	282,4	201,3	28,7

(Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων)

Οι απώλειες που υπολογίσθηκαν κατά τα ανωτέρω, αφαιρέθηκαν από το υετόγραμμα της ολικής βροχής για να προκύψει το υετόγραμμα της ενεργού βροχής σχεδιασμού.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται για διάφορες περιόδους επαναφοράς οι ωριαίες τεταγμένες τόσο της ολικής όσο και της ενεργού βροχής σχεδιασμού, για διάρκεια καταιγίδας 20 h.

Πίνακας 4.30: Τεταγμένες υετογραμμών σχεδιασμού λεκάνης Πύλης - (Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων)

Χρόνος (h)	T=17		T=35		T=81		T=135		T=233		T=500		T=1000		T=10000	
	P _{tot} (mm)	P _{net} (mm)	P _{tot} (mm)	P _{net} (mm)	P _{tot} (mm)	P _{net} (mm)	P _{tot} (mm)	P _{net} (mm)	P _{tot} (mm)	P _{net} (mm)	P _{tot} (mm)	P _{net} (mm)	P _{tot} (mm)	P _{net} (mm)	P _{tot} (mm)	P _{net} (mm)
1	2,5	0,0	2,8	0,0	3,2	0,0	3,4	0,0	3,6	0,0	3,9	0,0	4,1	0,0	4,9	0,0
2	3,3	0,0	3,8	0,0	4,3	0,0	4,5	0,0	4,8	0,0	5,2	0,0	5,5	0,0	6,5	0,0
3	3,9	0,0	4,5	0,0	5,0	0,0	5,3	0,0	5,7	0,0	6,1	0,0	6,5	0,0	7,7	0,1
4	4,4	0,0	5,0	0,0	5,7	0,0	6,0	0,1	6,4	0,1	6,9	0,3	7,3	0,5	8,6	1,2
5	4,9	0,1	5,6	0,2	6,3	0,6	6,7	0,8	7,1	1,0	7,6	1,4	8,1	1,7	9,6	2,7
6	5,5	0,6	6,2	1,0	7,0	1,5	7,4	1,8	7,9	2,1	8,5	2,6	9,0	3,0	10,7	4,4
7	6,2	1,3	7,0	1,9	7,9	2,6	8,4	3,0	8,9	3,4	9,6	4,0	10,2	4,5	12,1	6,2
8	7,2	2,2	8,1	3,0	9,1	3,9	9,7	4,4	10,3	4,9	11,1	5,7	11,8	6,3	14,0	8,4
9	8,5	3,5	9,6	4,4	10,8	5,5	11,5	6,2	12,2	6,9	13,2	7,8	14,0	8,7	16,5	11,2
10	10,2	5,1	11,6	6,4	13,0	7,8	13,9	8,6	14,7	9,5	15,9	10,6	16,8	11,7	19,9	14,8
11	12,5	7,3	14,1	8,9	15,9	10,7	16,9	11,7	18,0	12,8	19,4	14,3	20,6	15,5	24,3	19,5
12	15,4	10,1	17,4	12,2	19,5	14,4	20,8	15,7	22,1	17,1	23,8	18,9	25,3	20,5	29,9	25,3
13	17,7	12,8	20,0	15,3	22,5	17,9	24,0	19,4	25,5	21,0	27,4	23,1	29,2	24,9	34,5	30,5
14	12,3	9,4	13,9	11,1	15,6	13,0	16,6	14,0	17,6	15,1	19,0	16,5	20,2	17,8	23,9	21,6
15	8,4	6,7	9,5	7,9	10,7	9,1	11,4	9,9	12,1	10,6	13,1	11,6	13,9	12,4	16,4	15,1
16	6,0	4,8	6,8	5,7	7,6	6,5	8,1	7,1	8,6	7,6	9,2	8,3	9,8	8,9	11,6	10,7
17	4,6	3,7	5,2	4,4	5,8	5,1	6,2	5,4	6,6	5,9	7,1	6,4	7,5	6,8	8,9	8,3
18	4,0	3,3	4,5	3,8	5,0	4,4	5,3	4,7	5,7	5,1	6,1	5,5	6,5	5,9	7,7	7,2
19	3,8	3,2	4,3	3,7	4,9	4,3	5,2	4,6	5,5	4,9	5,9	5,4	6,3	5,8	7,4	7,0
20	3,9	3,3	4,4	3,7	4,9	4,3	5,3	4,7	5,6	5,0	6,0	5,4	6,4	5,9	7,5	7,1
Σύνολο	145,3	77,4	164,3	93,6	184,8	111,6	196,6	122,1	208,7	133,0	224,9	147,8	239,0	160,8	282,4	201,3

Χρονική κατανομή καταιγίδων σχεδιασμού

Το συνολικό ύψος της καταιγίδας σχεδιασμού προκύπτει από τις όμβριες καμπύλες για δοθείσα διάρκεια και περίοδο επαναφοράς, μετά την αφαίρεση των απωλειών. Ζητούμενο παραμένει η χρονική κατανομή του ύψους βροχής κατά τη διάρκεια της καταιγίδας, δηλαδή η μορφή του υετογράμματος σχεδιασμού. Επί του θέματος αυτού υπάρχουν πληροφορίες για τις καταιγίδες του ελληνικού χώρου στην εργασία του Βασιλόπουλου (1986). Προκειμένου όμως να εφαρμοσθεί κάποια τυποποιημένη κατανομή από την παραπάνω δημοσίευση, πρέπει πρώτα να αποφασισθεί εάν ο τύπος της καταιγίδας θα είναι 1^{ου}, 2^{ου}, 3^{ου} ή 4^{ου} τετάρτου.

Είναι ευρύτερα γνωστό ότι οι συνηθέστερα εμφανιζόμενες καταιγίδες είναι του 2^{ου} και του 3^{ου} τετάρτου. Πάντως, για να απαντηθεί το ανωτέρω ερώτημα, διερευνήθηκε το δείγμα των μεγίστων ετησίως καταιγίδων που συλλέχθηκε για τον υπολογισμό των όμβριων καμπυλών. Από εκεί έγινε αμέσως σαφές ότι η κατανομή του 3^{ου} τετάρτου δεν θα μπορούσε να παραληφθεί, καθώς η δριμύτερη καταιγίδα της 45-ετίας είχε ακολουθήσει αυτήν ακριβώς την κατανομή. Εξάλλου, και η καταιγίδα που έδωσε την πλημμύρα της 20^{ης}/10/03, ήταν επίσης 3^{ου} τετάρτου. Σημειώνεται ότι η καταιγίδα αυτή με ολικό ύψος 152,7 mm, ήταν 11^η κατά σειρά μεγέθους, αλλά η πλημμυρική αιχμή που έδωσε, 249,5 m³/s, είναι η 2^η μεγαλύτερη της 16-ετούς περιόδου που υπάρχουν πλημμυρικές καταγραφές. Αλλά και η πρώτη της ίδιας περιόδου, η πλημμύρα της 14^{ης}/10/97, προήλθε από καταιγίδα κατατασσόμενη οριακά μεταξύ 2^{ου} και 3^{ου} τετάρτου. Με βάση τις παραπάνω διαπιστώσεις, έγινε η ασφαλής παραδοχή ότι η σχεδιαστική καταιγίδα θα κατανέμεται σύμφωνα με την κατανομή 3^{ου} τετάρτου.

Η ανά ώρα ανάλυση των καταιγίδων σχεδιασμού κατανομής 3ου τετάρτου για διάφορες περιόδους επαναφοράς και για διάρκεια $t = 20$ h δίνεται στον παρακάτω πίνακα 4.31.

Πίνακας 4.31: Μέγιστες ετήσιες πλημμυρικές αιχμές π. Πορταϊκού στην Πύλη

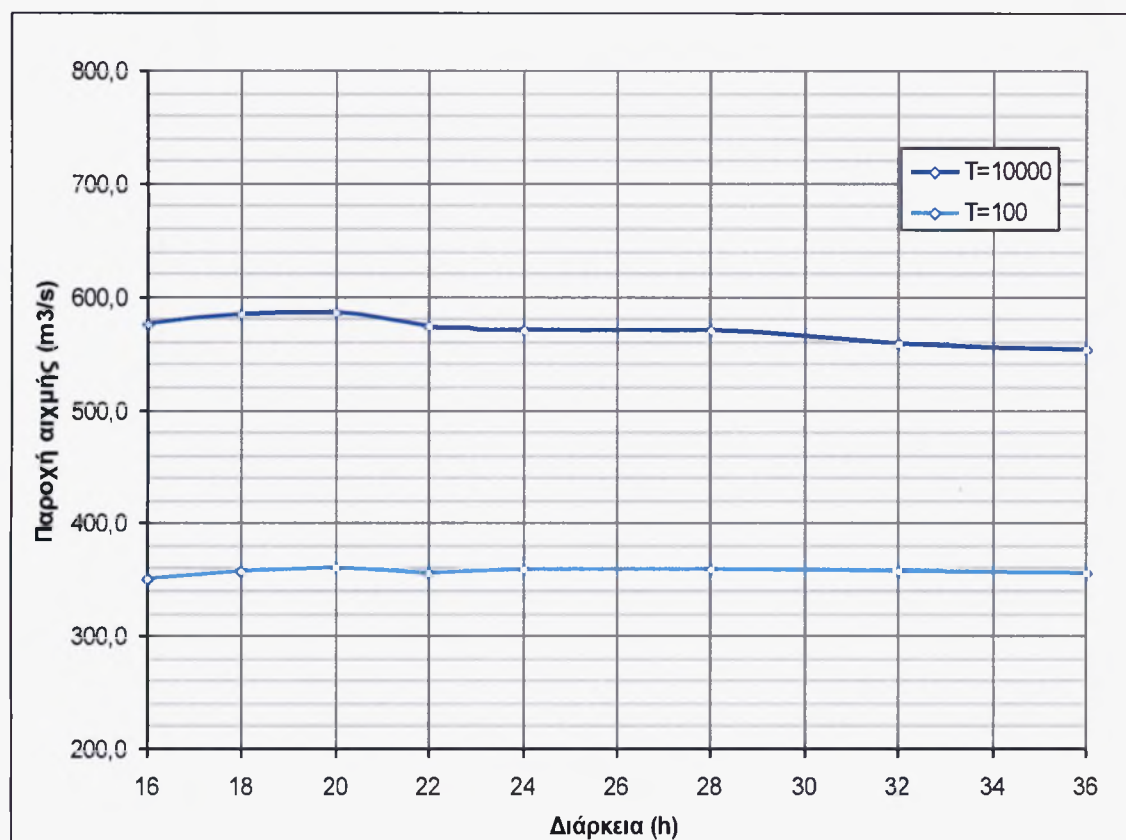
Υδρ. Έτος	Ημερομηνία	Ώρα	Στάθμη	Παροχή
1990 - 91	15/01/1991	09:30	1,68	52,3
1991 - 92	19/04/1992	12:30	2,20	110,1
1992 - 93	18/11/1992	20:30	1,60	45,1
1993 - 94	07/02/1994	05:30	2,16	104,6
1994 - 95	24/12/1994	18:00	1,92	87,7
1995 - 96	21/02/1996	17:00	1,98	95,2
1996 - 97	12/01/1997	13:00	2,46	165,3
1997 - 98	14/10/1997	17:00	3,22	313,3
1998 - 99	05/12/1998	01:00	2,68	203,5
1999 - 00	19/10/1999	17:00	2,20	125,1
2000 - 01	26/12/2000	13:00	1,59	47,4
2001 - 02	25/12/2001	08:30	2,28	136,9
2002 - 03	05/02/2003	09:00	2,24	130,9
2003 - 04	24/10/2003	18:00	2,92	249,5
2004 - 05	16/10/2004	20:00	2,04	103,0
2005 - 06	30/12/2005	10:00	2,38	152,4

P_{tot} = Ολική βροχή P_{net} = Καθαρή βροχή

Κρίσιμη διάρκεια καταιγίδων

Η κρίσιμη διάρκεια της καταιγίδας, εκείνη δηλαδή που παράγει τη μεγαλύτερη αιχμή, εξαρτάται από έναν συνδυασμό παραγόντων: τη μορφή του μοναδιαίου υδρογραφήματος, τη μορφή και το μέγεθος του υετογράμματος της ολικής βροχής και το μέγεθος και την κατανομή των απωλειών. Όταν οι παράγοντες αυτοί είναι γνωστοί, η κρίσιμη διάρκεια προκύπτει από τη διερεύνηση της απόκρισης της λεκάνης με κριτήριο τη μεγιστοποίηση της αιχμής (εφόσον από τα δεδομένα του ταμειυτήρα και του υπερχειλιστή προκύπτει, όπως εδώ, ότι η πλημμυρική αιχμή και όχι ο πλημμυρικός όγκος είναι το κρίσιμο σχεδιαστικό μέγεθος). Επειδή δε η κρίσιμη διάρκεια αφορά ένα ευρύ φάσμα περιόδων επαναφοράς, εντός του οποίου δεν είναι δεδομένο ότι διατηρείται σταθερή, η διερεύνηση έγινε για τις περιόδους $T=100$ και $T=10000$ sec με τις οποίες οριοθετείται κατά το μάλλον ή ήττον το εύρος του φάσματος.

Από τα αποτελέσματα της διερεύνησης που φαίνονται γραφικά στο παρακάτω Σχήμα 4.27, προκύπτει ως κρίσιμη η 20ωρη διάρκεια και για τις δύο περιόδους και, κατ' ακολουθία, για όλες τις εξετασθείσες περιόδους.



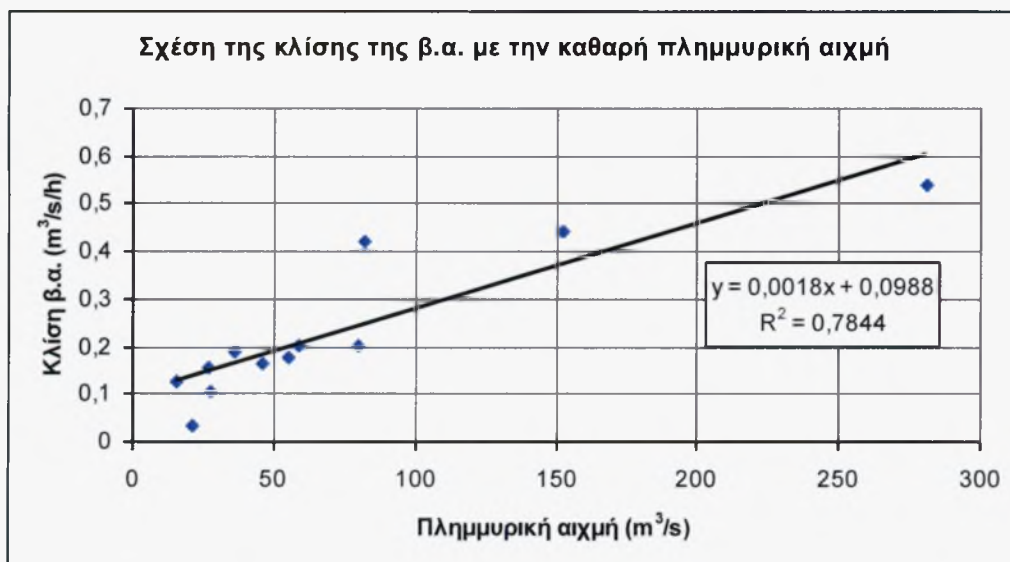
Σχήμα 4.27: Γραφική απεικόνιση της διάρκειας βροχοπτώσεως προς την παροχή αιχμής εκφρασμένης σε m^3/s - (Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων)

4.1.11.3 Εκτίμηση βασικής απορροής (β.α.) πλημμύρων σχεδιασμού

Από την διερεύνηση της συνολικής χρονοσειράς παροχών στη θέση μέτρησης, προέκυψε ότι η βασική απορροή του ποταμού (σε απόσταση από το τυχόν πλημμυρικό περιστατικό που προηγήθηκε, για να μην υπάρχει επηρεασμός), ποτέ δεν υπερβαίνει τα $10 m^3/s$ και μάλιστα ευρίσκεται σε κάποια απόσταση από αυτήν την τιμή. Με τη διαπίστωση αυτή, έγινε η εμπειρική παραδοχή ότι στη σχεδιαστική πλημμύρα 1:10000, η βασική απορροή κατά την έναρξη του πλημμυρικού γεγονότος θα είναι $20 m^3/s$.

Θεωρώντας περαιτέρω ότι ο λόγος αυτού του μεγέθους προς την αιχμή της καθαρής πλημμύρας που επικάθεται της βασικής απορροής είναι σταθερός, υπολογίσθηκε για κάθε σχεδιαστική πλημμύρα η εναρκτήρια τιμή της βασικής απορροής.

Μετά την εναρκτήρια τιμή της βασικής απορροής, το επόμενο που απαιτείται για τον προσδιορισμό της (με την παραδοχή της γραμμικής εξέλιξης), είναι η κλίση του υδρογραφήματος της β.α. Και αυτού του ερωτήματος η απάντηση αναζητήθηκε στο δείγμα των πλημμύρων που μελετήθηκαν για το Μ.Υ. Εξαιρώντας από το δείγμα τα δύο περιστατικά, της 07^{ης}/02/94 και της 23^{ης}/10/03, ως εξωκείμενα, προέκυψε μια ικανοποιητική γραμμική συσχέτιση ($R^2 = 0,784$) μεταξύ της κλίσης της β.α. και της καθαρής πλημμυρικής αιχμής. Η σχέση αυτή παρουσιάζεται στο γράφημα που ακολουθεί.



Σχήμα 4.28: Σχέση κλίσης της β.α. με την καθαρή πλημμυρική αιχμή - (Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων)

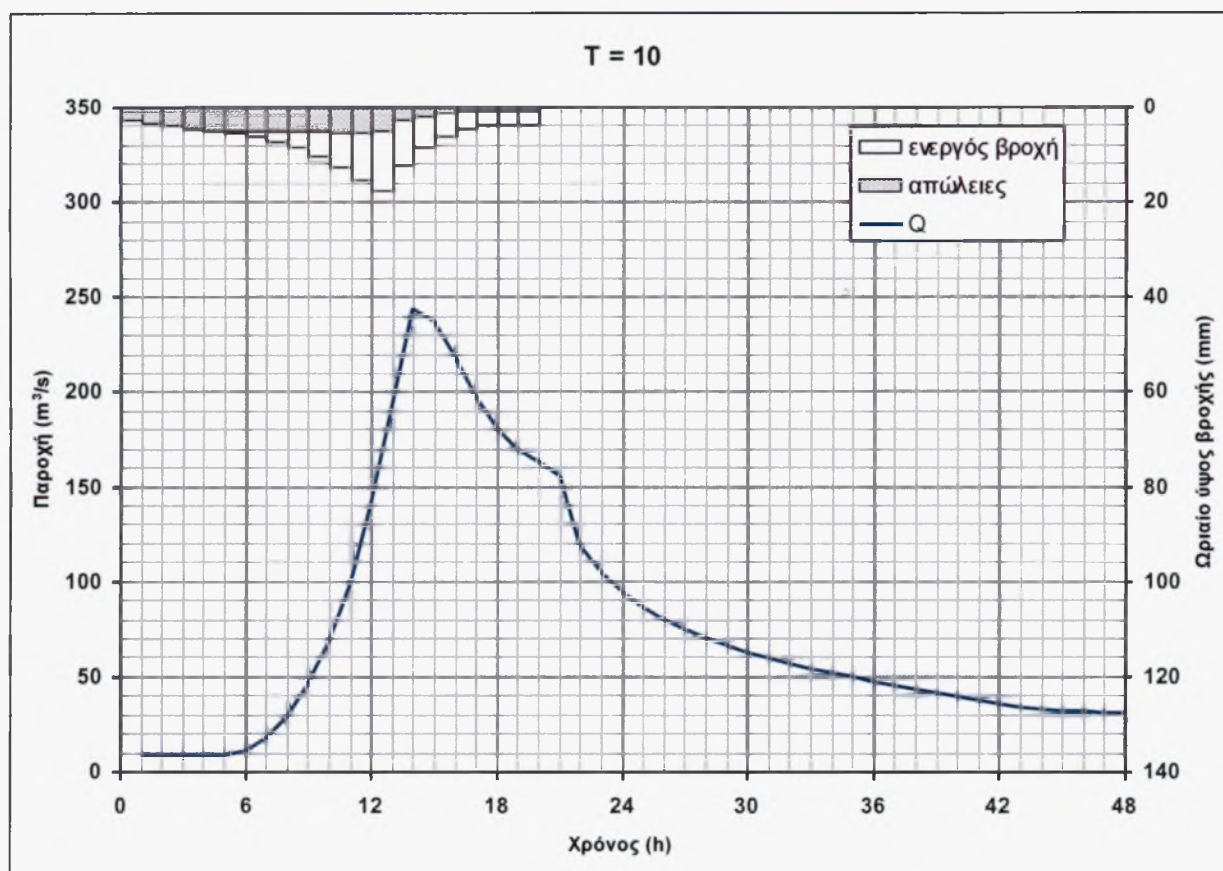
Έχοντας τώρα την εναρκτήρια τεταγμένη της β.α. καθώς και την κλίση της, υπολογίζεται για κάθε πλημμύρα σχεδιασμού το πλήρες υδρογράφημα της β.α.

4.1.11.4 Πλημμύρες σχεδιασμού διαφόρων περιόδων

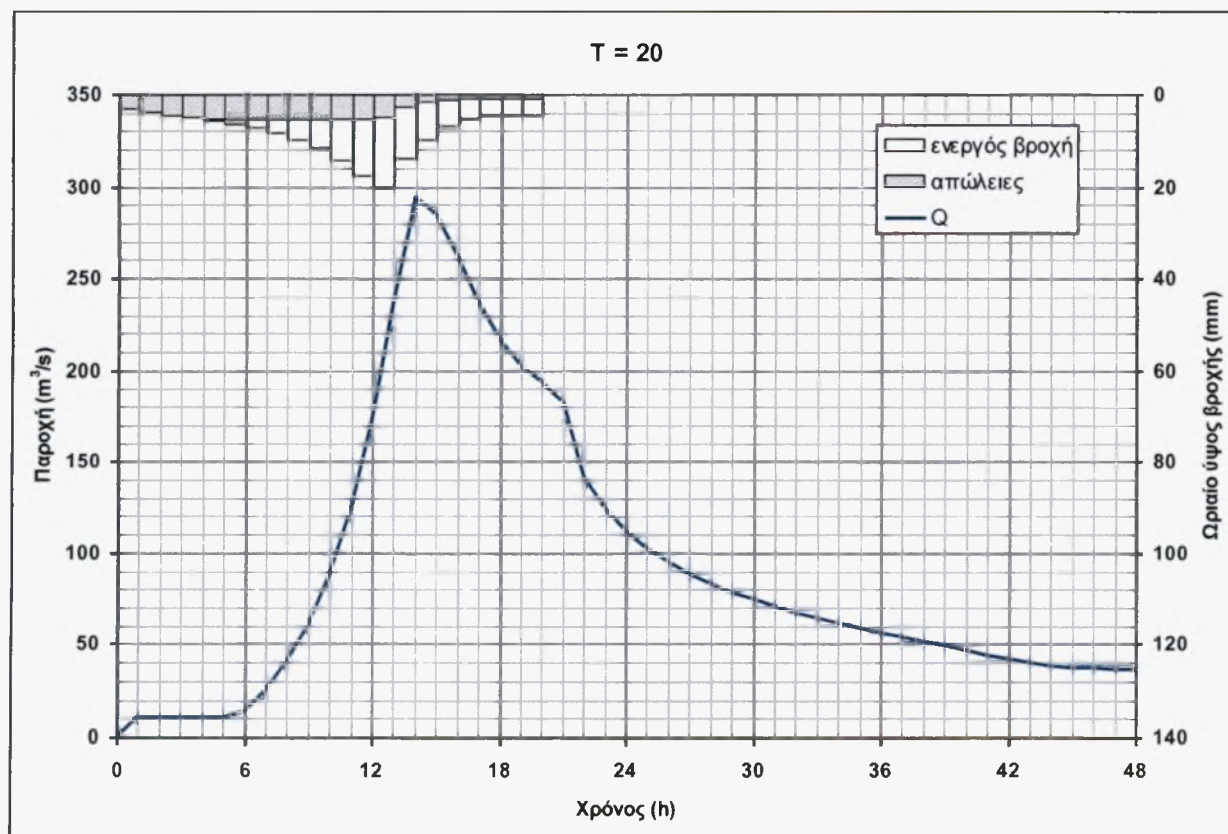
Οι πλημμύρες σχεδιασμού διαφόρων περιόδων επαναφοράς προκύπτουν με την ακόλουθη διαδικασία.

Για κάθε περίοδο επαναφοράς πλημμύρας ευρίσκεται η περίοδος επαναφοράς της καταιγίδας που θεωρείται ότι της αντιστοιχεί (Shaw, 1994). Για αυτήν την περίοδο επαναφοράς και για την κρίσιμη διάρκεια των 20 ωρών, υπολογίζεται από τις όμβριες καμπύλες το συνολικό ύψος βροχής. Η ποσότητα αυτή κατανέμεται στις 20 ωριαίες τεταγμένες του υετογράμματος ολικής βροχής σύμφωνα με την τυποποιημένη κατανομή 3^{ου} τετάρτου (Βασιλόπουλος, 1986). Με τη διαδικασία της SCS κατανέμονται και οι συνολικές απώλειες, με την αφαίρεση των οποίων προκύπτει το υετόγραμμα της ενεργού βροχόπτωσης. Εφαρμόζοντας το τελευταίο επί του μοναδιαίου υδρογραφήματος της λεκάνης, προκύπτει το υδρογράφημα της καθαρής πλημμύρας. Στο τελευταίο προστίθεται το υδρογράφημα της βασικής απορροής το οποίο εκτιμήθηκε εμπειρικά σύμφωνα με τα παραπάνω. Το τελικό αποτέλεσμα είναι το πλημμυρογράφημα σχεδιασμού της δεδομένης περιόδου επαναφοράς.

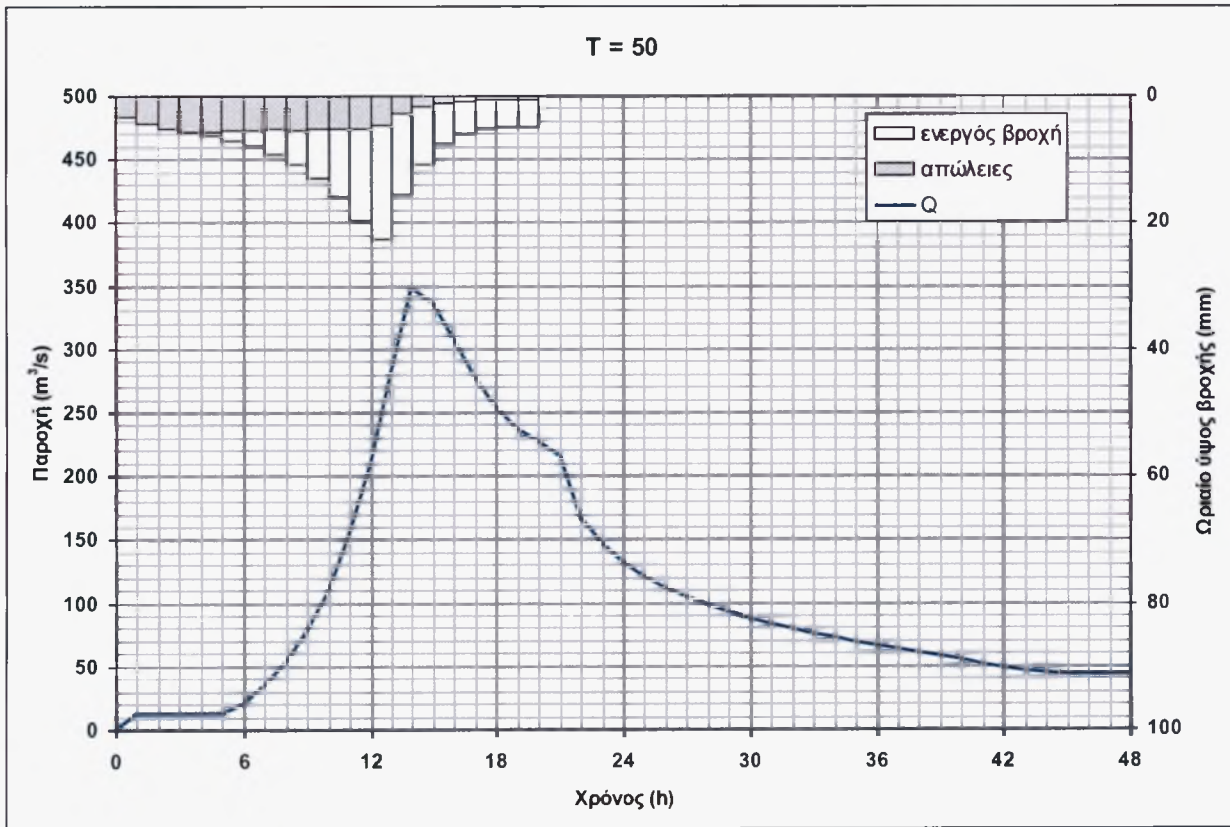
Στα Σχήματα 4.29 έως 4.36 παρουσιάζονται τα πλημμυρογραφήματα σχεδιασμού διαφόρων περιόδων, μαζί με τα αντίστοιχα υετογράμματα, με αφετηρία του χρόνου την έναρξη της βροχής.



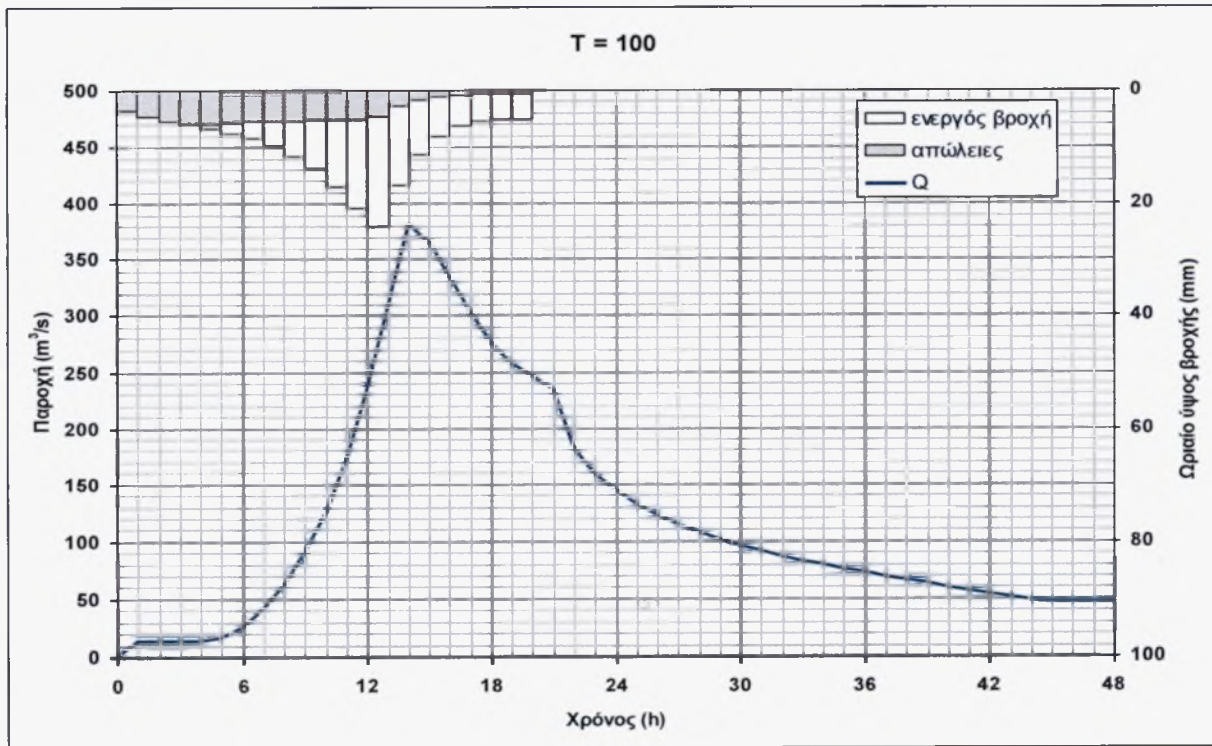
Σχήμα 4.29: Πλημμυρογράφημα σχεδιασμού μαζί με τα αντίστοιχα υετογράμματα



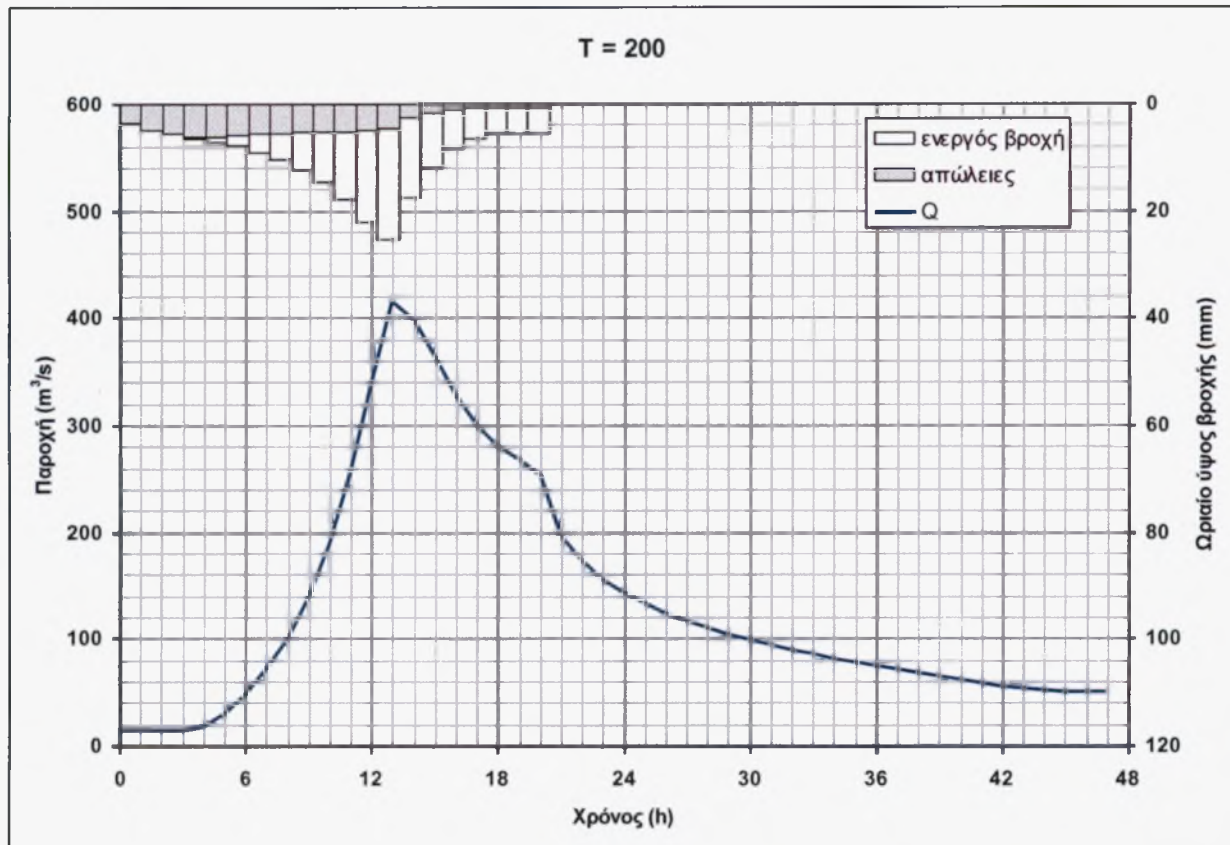
Σχήμα 4.30: Πλημμυρογράφημα σχεδιασμού μαζί με τα αντίστοιχα υετογράμματα



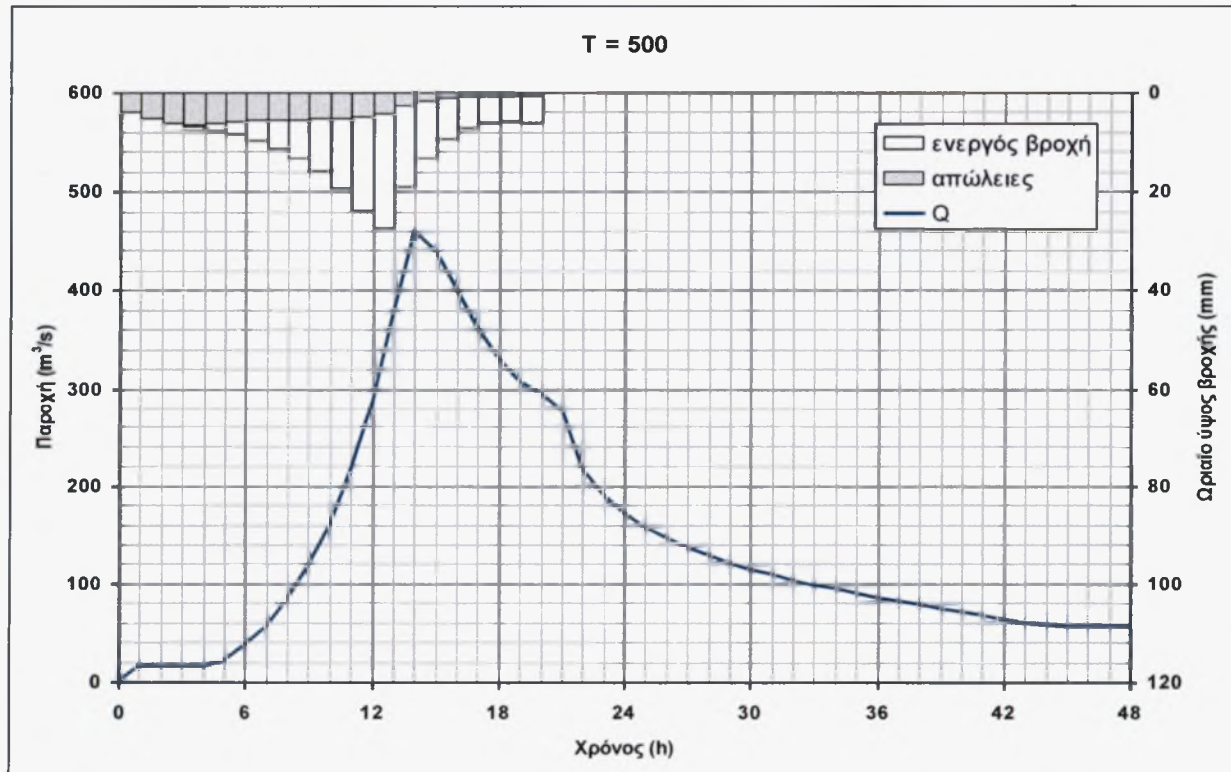
Σχήμα 4.31: Πλημμυρογράφημα σχεδιασμού μαζί με τα αντίστοιχα υετογράμματα



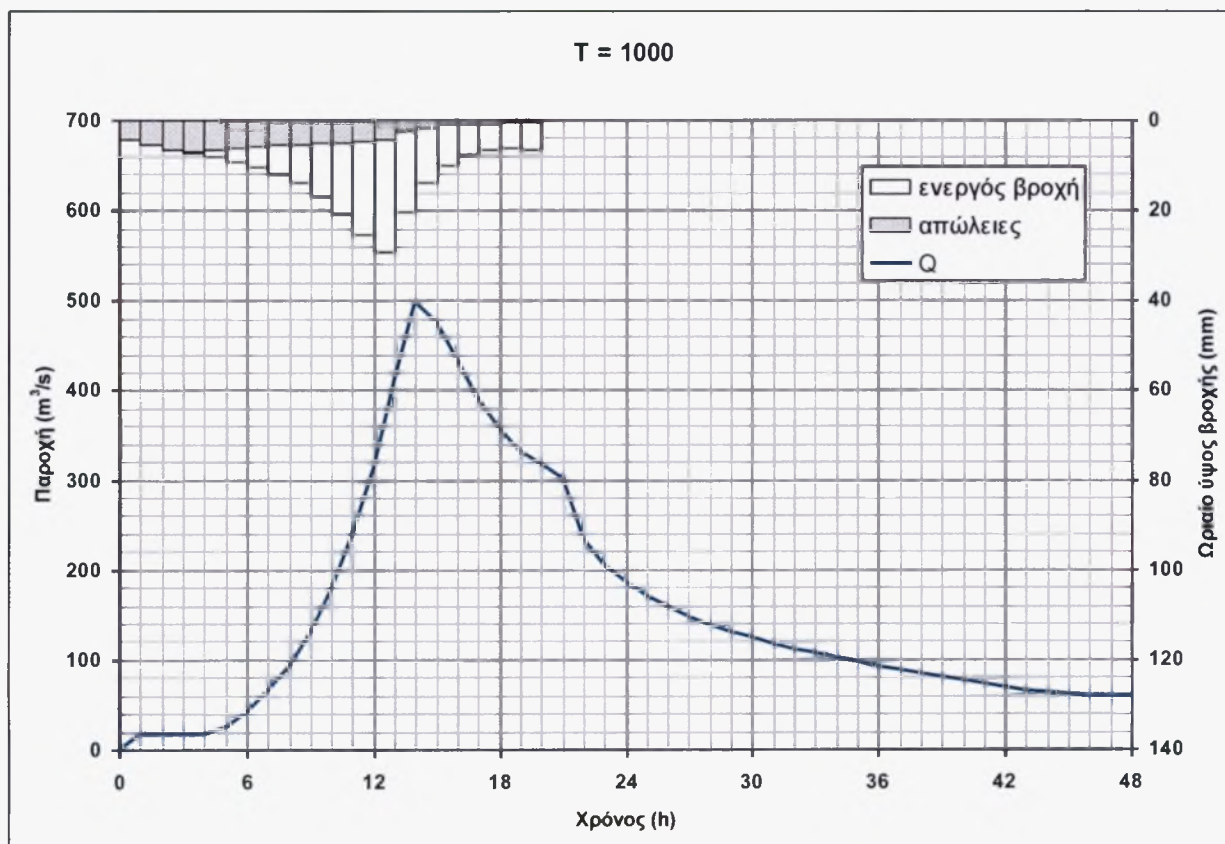
Σχήμα 4.32: Πλημμυρογράφημα σχεδιασμού μαζί με τα αντίστοιχα υετογράμματα



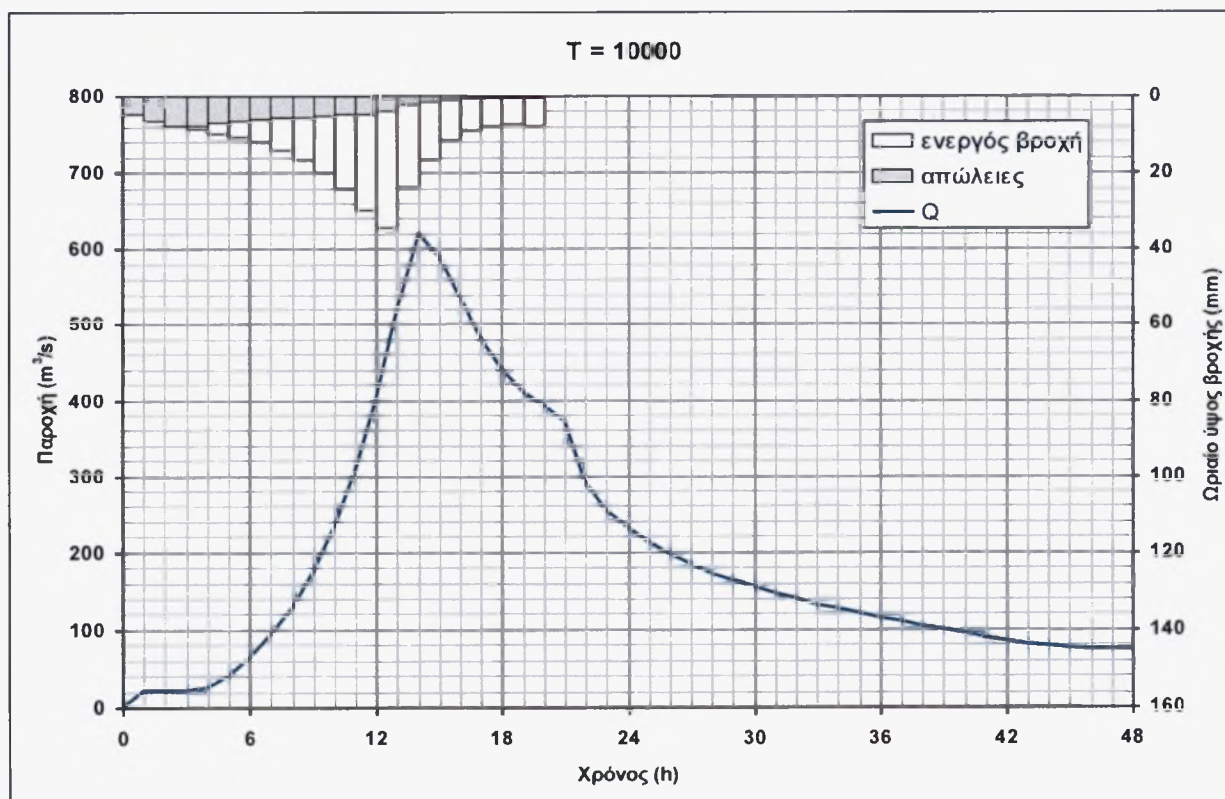
Σχήμα 4.33: Πλημμυρογράφημα σχεδιασμού μαζί με τα αντίστοιχα υετογράμματα



Σχήμα 4.34: Πλημμυρογράφημα σχεδιασμού μαζί με τα αντίστοιχα υετογράμματα



Σχήμα 4.35: Πλημμυρογράφημα σχεδιασμού μαζί με τα αντίστοιχα υετογράμματα



Σχήμα 4.36: Πλημμυρογράφημα σχεδιασμού μαζί με τα αντίστοιχα υετογράμματα

Αναλυτικά, οι πλημμυρικές τεταγμένες ανά ώρα παρουσιάζονται στον Πίν. 4.32. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ως προς τις αιχμές των πλημμύρων σχεδιασμού:

Πίνακας 4.32: Πλημμυρικές τεταγμένες ανά ώρα

Περίοδος επαναφοράς (έτη)	10	20	50	100	200	500	1000	10000
Αιχμή πλημμύρας (m ³ /s)	243,1	293,9	348,6	380,9	414,6	459,3	498,2	619,8

4.1.11.5 Στατιστική των μεγίστων παρατηρημένων πλημμυρικών αιχμών

Όπως έχει προαναφερθεί, στη θέση ενδιαφέροντος λειτουργεί καταγραφικό όργανο της στάθμης του ποταμού από το θέρος του 1990. Από τις καταγραφές αυτές είναι δυνατή η συλλογή ενός σχετικά ικανοποιητικού δείγματος πλημμυρικών αιχμών για στατιστική επεξεργασία. Κρίθηκε λοιπόν σκόπιμη η στατιστική ανάλυση των κατ' έτος μεγίστων πλημμυρικών αιχμών, κυρίως για διασταύρωση των εκτιμήσεων των πλημμυρών σχεδιασμού που προέκυψαν βάσει της διαδικασίας που περιγράφεται στις προηγούμενες παραγράφους. Προς το σκοπό αυτό έγινε ενδελεχής εξέταση των καταγραφών του οργάνου για τη χρονική περίοδο από την έναρξη της λειτουργίας του το θέρος του 1990 μέχρι και το θέρος του 2006. Εν ολίγοις, μολονότι η επεξεργασία των υδρολογικών δεδομένων σταμάτησε την 30/9/2005, συμπεριελήφθη στην ανάλυση μεγίστων η αιχμή της 30/12/2005, που λόγω μεγέθους ερμηνευόταν από την επέκταση των καμπυλών στάθμης-παροχής και ως απεδείχθη εκ των υστέρων δεν υπήρξε άλλη μεγαλύτερη αυτής κατά το υδρολογικό έτος 2005/06. Αποτέλεσμα της εργασίας αυτής ήταν η συγκέντρωση των κατ' έτος μεγίστων στιγμιαίων πλημμυρικών σταθμών, που στη συνέχεια μετετράπησαν σε μονάδες παροχής, βάσει των καμπυλών στάθμης - παροχής που ισχύουν ανά χρονική περίοδο. Από την εργασία αυτή προέκυψε ο Πίνακας 5.6, στον

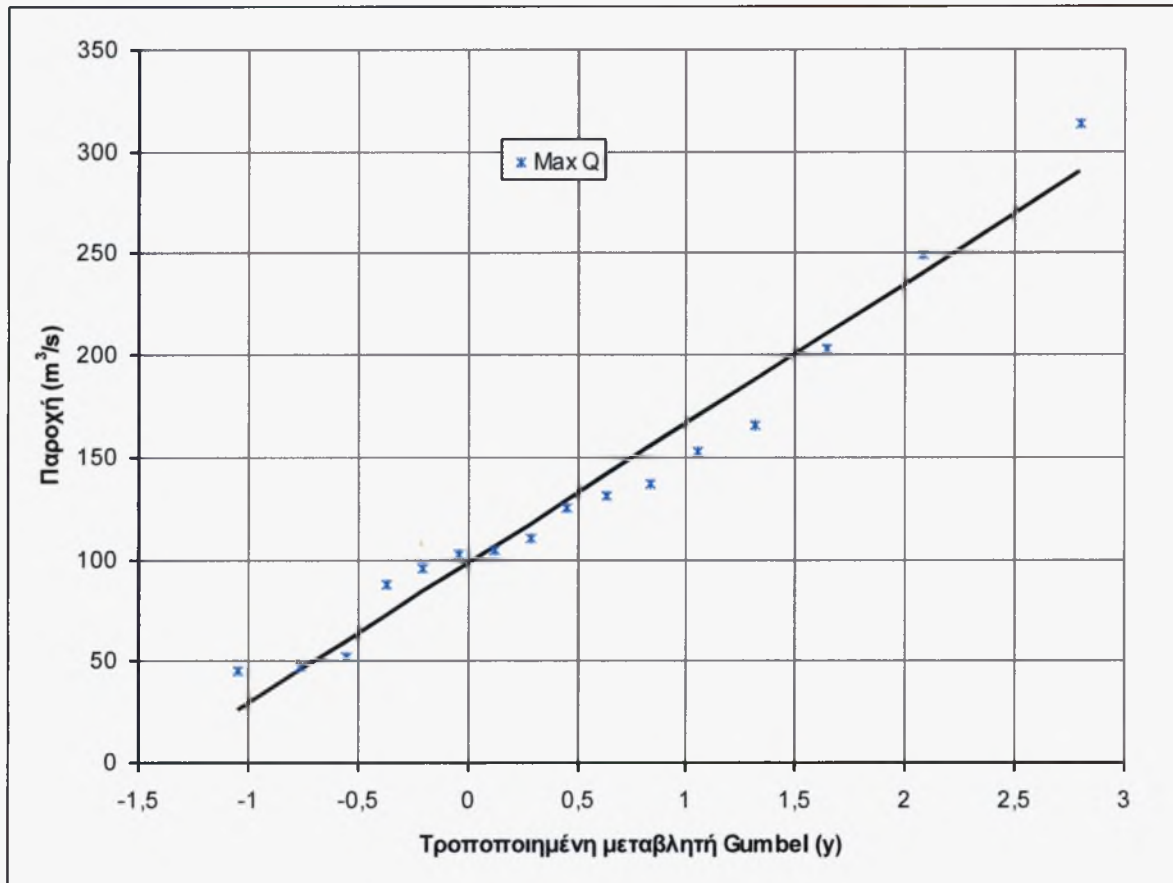
οποίο παρουσιάζονται τα μέγιστα πλημμυρικά περιστατικά κάθε έτους, με πληροφορίες για τον ακριβή χρόνο, τη μέγιστη σημειωθείσα στάθμη και την αντιστοιχούσα πλημμυρική αιχμή.

Πίνακας 4.33: Μέγιστες ετήσιες πλημμυρικές αιχμές π. Πορταϊκού στην Πύλη κατά την χρονική περίοδο 1990/91 – 2005/06

Υδρ. Έτος	Ημερομηνία	Ώρα	Στάθμη	Παροχή
1990 - 91	15/01/1991	09:30	1,68	52,3
1991 - 92	19/04/1992	12:30	2,20	110,1
1992 - 93	18/11/1992	20:30	1,60	45,1
1993 - 94	07/02/1994	05:30	2,16	104,6
1994 - 95	24/12/1994	18:00	1,92	87,7
1995 - 96	21/02/1996	17:00	1,98	95,2
1996 - 97	12/01/1997	13:00	2,46	165,3
1997 - 98	14/10/1997	17:00	3,22	313,3
1998 - 99	05/12/1998	01:00	2,68	203,5
1999 - 00	19/10/1999	17:00	2,20	125,1
2000 - 01	26/12/2000	13:00	1,59	47,4
2001 - 02	25/12/2001	08:30	2,28	136,9
2002 - 03	05/02/2003	09:00	2,24	130,9
2003 - 04	24/10/2003	18:00	2,92	249,5
2004 - 05	16/10/2004	20:00	2,04	103,0
2005 - 06	30/12/2005	10:00	2,38	152,4

Για τη στατιστική ανάλυση του κατά τα ανωτέρω 16ετούς δείγματος των ετησίως μεγίστων πλημμυρικών αιχμών χρησιμοποιήθηκαν οι κατανομές ακρότατων Gumbel και Log Pearson III. Για τον σκοπό αυτό το διατιθέμενο δείγμα κατατάχθηκε κατά φθίνουσα τάξη μεγέθους, σε κάθε τιμή του αποδόθηκε η σχεδιαστική θέση κατά Weibull και στη

συνέχεια προσαρμόσθηκε αρχικά η κατανομή Gumbel, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Gumbel. Το σημειοσύνολο και η ευθεία της κατανομής απεικονίσθηκαν σε πιθανοτικό χαρτί (καρτεσιανό ως προς την τυχαία μεταβλητή και την τροποποιημένη μεταβλητή Gumbel) στο Σχήμα 4.37, στο οποίο φαίνεται η ικανοποιητική προσαρμογή της κατανομής παρά το ότι το δείγμα είναι σχετικά περιορισμένο.



Σχήμα 4.37: Γραφική απεικόνιση ευθείας κατανομής κατά μέθοδο Gumbel – βάση τα δεδομένα του πίνακα 5.6 – (Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων)

Η γενική εξίσωση της μεθόδου Gumbel έχει τη μορφή:

$$Q = a + b \cdot \ln \ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \quad (4.7)$$

όπου Q η τιμή της πλημμυρικής αιχμής (m^3/s) και T η περίοδος επαναφοράς σε έτη. Οι παράμετροι a και b δίνονται από τις σχέσεις:

$$a = m - \frac{S_x}{\sigma_n} \cdot y_n \quad \text{και} \quad b = -\frac{S_x}{\sigma_n}$$

όπου m η μέση τιμή και S_x η τυπική απόκλιση του δείγματος μεγέθους n . Τα δε μεγέθη y_n και σ_n είναι αντιστοίχως η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση της τροποποιημένης μεταβλητής.

Μετά τον προσδιορισμό των τιμών των παραμέτρων a και b η εξίσωση (4.7) πήρε τη μορφή

$$Q = 97,32 - 68,54 \cdot \ln \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right] \quad (4.8)$$

από όπου υπολογίσθηκαν οι πλημμυρικές αιχμές που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα. Μαζί φαίνονται και τα όρια του διαστήματος εμπιστοσύνης επιπέδου 90%, δηλαδή του διαστήματος μέσα στο οποίο αναμένουμε στο 90% των περιπτώσεων, να ευρίσκεται η αληθής τιμή.

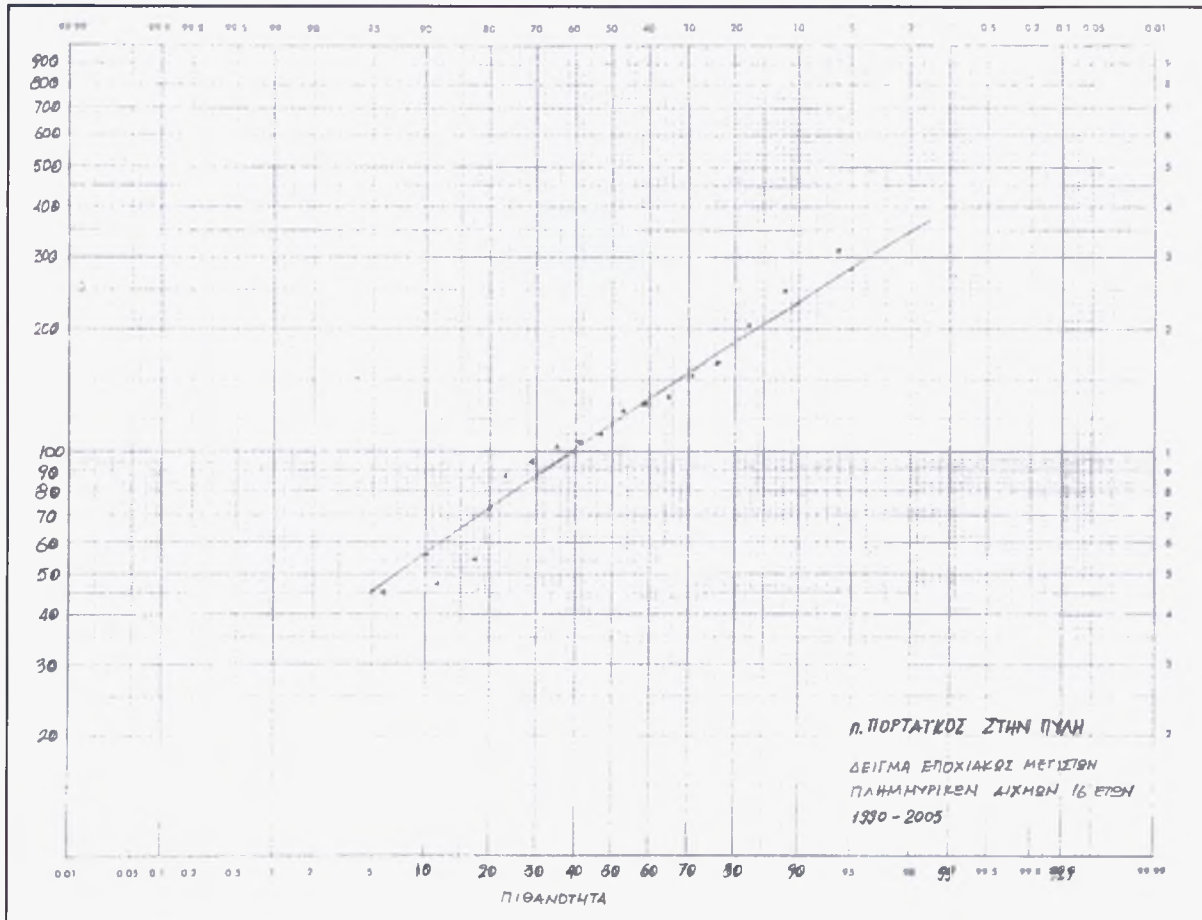
Στον πίνακα 4.34 παρουσιάζονται οι εκτιμήσεις της πλημμυρικής αιχμής για διάφορες περιόδους επαναφοράς, από 10 έως 10000 έτη, μαζί με τα ως άνω διαστήματα εμπιστοσύνης. Παρουσιάζεται επίσης, για λόγους σύγκρισης, και η προσαρμογή της κατανομής Log-Pearson III (Linsley *et al.*, 1988), καθώς και οι πλημμυρικές αιχμές που προέκυψαν βάσει της διαδικασίας που περιγράφηκε στην ενότητα - εκτίμηση πλημμύρων σχεδιασμού διαφόρων περιόδων επαναφοράς.

Πίνακας 4.34: Εκτίμηση πλημμυρικών αιχμών ανά περίοδο αναφοράς και διαστήματα εμπιστοσύνης

Περίοδος επαναφοράς T	Πλημμυρική αιχμή Q (m ³ /s)	Άνω όριο διαστ. εμπιστοσύνης 90%	Κάτω όριο διαστ. εμπιστοσύνης 90%
10	251,6	333	170
20	300,9	403	199
50	364,8	496	233
100	412,6	565	260
200	460,3	635	286
500	523,2	726	320
1000	570,7	795	346
2000	618,3	865	372
5000	681,1	957	406
10000	728,6	1026	431

Η κατανομή Log-Pearson III που εφαρμόζεται ευρέως στις ΗΠΑ, ως τριπαραμετρική, έχει τη δυνατότητα απόδοσης της ασυμμετρίας που διαθέτουν οι πληθυσμοί των μεγίστων πλημμύρων, εξ αιτίας του γεγονότος ότι δεν είναι άνω φραγμένοι. Η γραφική της παράσταση γίνεται συνήθως σε λογαριθμοκανονικό σχεδιαστικό χαρτί πιθανοτήτων όπου εν γένει έχει τη μορφή καμπύλης. Στην περίπτωση μηδενικής ασυμμετρίας η κατανομή μεταπίπτει στη log-normal και παρίσταται ως ευθεία γραμμή στο χαρτί αυτό.

Κατά την εφαρμογή της κατανομής Log-Pearson III, το κατά τα ανωτέρω διατεταγμένο δείγμα απεικονίσθηκε σε χαρτί λογαριθμοκανονικής κατανομής, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 4.38.



Σχήμα 4.38: Γραφική απεικόνιση κατανομής Log-Pearson III σε χαρτί λογαριθμοκανονικής κατανομής – βάση τα δεδομένα του πίνακα 4.34 - (Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων)

Ακολούθως έγινε η αναλυτική διερεύνηση κατά την οποία, πρώτον, υπολογίσθηκαν οι δεκαδικοί λογάριθμοι των τιμών του δείγματος και δεύτερον, υπολογίσθηκαν οι στατιστικές παράμετροι του λογαριθμικού δείγματος. Οι τιμές αυτές ήταν:

μέση τιμή $m = 2,0624$

τυπική απόκλιση, $S_y = 0,2408$ και

συντελεστής ασυμμετρίας $C_s = -0,158$

Η τιμή αυτή του συντελεστή ασυμμετρίας βρίσκεται μεταξύ των ορίων $-0,4$ και $0,4$ και επομένως, ο έλεγχος εξωκειμένων γίνεται τόσο για χαμηλά, όσο και για ψηλά. Από τον έλεγχο προέκυψε ότι δεν υπάρχει εξωκείμενο κανενός είδους (Chow *et al.*, 1988).

Για την προσαρμογή της κατανομής Log-Pearson III χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των ροπών, η δε συνάρτηση πιθανότητας περιγράφηκε με τη μορφή εξίσωσης συχνότητων:

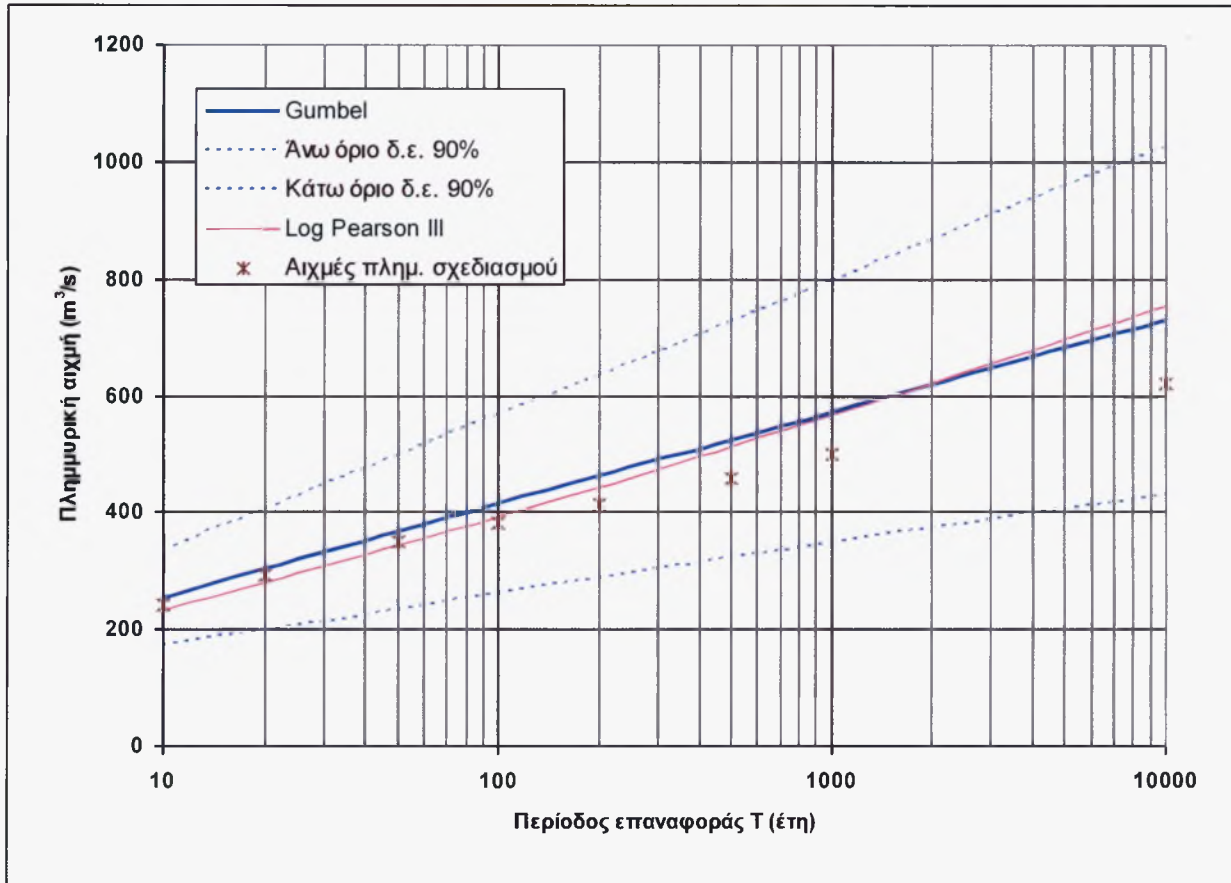
$$y_T = m + K_T \cdot s_y \quad (4.9)$$

όπου y_T είναι η τιμή της λογαριθμικής τυχαίας μεταβλητής, m και s_y η δειγματική μέση τιμή και τυπική απόκλιση της λογαριθμικής μεταβλητής και K_T ο συντελεστής συχνότητας που εξαρτάται από την κατανομή και το επίπεδο πιθανότητας (ή την περίοδο επαναφοράς). Έτσι, για διάφορα επίπεδα πιθανότητας, υπολογίσθηκαν οι συντελεστές συχνότητας και, εν τέλει, τα απολογαριθμοποιημένα μεγέθη της τυχαίας μεταβλητής 'παροχή αιχμής Q ', τα οποία φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 4.35: Πλημμυρικές αιχμές ανά περίοδο επαναφοράς

Περίοδος επαναφοράς T	Πλημμυρική αιχμή Q (m ³ /s)
10	232,6
20	280,1
50	343,8
100	393,1
200	443,6
500	512,4
1000	566,2
2000	621,4
5000	696,7
10000	755,6

Από τους δυο παραπάνω πίνακες προκύπτει ότι στο διάστημα των περιόδων επαναφοράς 10 έως 10000 ετών, οι πλημμυρικές αιχμές που εκτιμώνται από την προσαρμογή στο δείγμα των κατανομών Gumbel και Log-Pearson III πρακτικά συμπίπτουν, η δε σύμπτωση είναι προφανής και στο παρακάτω σχήμα 4.39.



Σχήμα 4.39: Γραφική απεικόνιση κατανομής Gumbel και Log-Pearson III - (Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων)

Στο ίδιο σχήμα φαίνεται ότι η μέθοδος που ακολουθήθηκε για τον υπολογισμό των σχεδιαστικών μεγεθών (όμβριες καμπύλες – καταιγίδα σχεδιασμού – απόκριση λεκάνης), παράγει πρακτικά ταυτόσημες αιχμές για περιόδους επαναφοράς μέχρι $T = 50$ έτη, με μία υποεκτιμητική διαφορά που αυξάνει σταδιακά από την περίοδο $T = 100$ και φθάνει το 15% στην περίοδο επαναφοράς των 10000 ετών. Αξιοσημείωτο είναι πάντως ότι σε σχετικά μικρές περιόδους επαναφοράς (μέχρι $T=100$), εκεί δηλαδή όπου η αβεβαιότητα των υδρολογικών εκτιμήσεων αναμένεται να είναι μικρή, τα αποτελέσματα και των τριών μεθόδων συγκλίνουν. Το γεγονός αυτό ερμηνεύεται ως ένδειξη ακρίβειας των υπολογισμών και ορθότητας των παραδοχών που έγιναν.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειώσουμε ότι η ανάλυση συχνοτήτων είναι απλώς μια στατιστική μέθοδος η οποία δεν προσφέρεται για εμβάθυνση στο φυσικό σύστημα που παράγει τα ακραία πλημμυρικά μεγέθη. Οι αδυναμίες λόγω έλλειψης ικανοποιητικών

μακροχρόνιων κυρίως δεδομένων, δεν μπορούν να συμπληρωθούν με εύλογες υποθέσεις για τη συμπεριφορά του φυσικού συστήματος και εκδηλώνονται ως στατιστική αβεβαιότητα με μεγάλα διαστήματα εμπιστοσύνης των εκτιμήσεων. Για τον λόγο αυτό απαιτούνται όσο το δυνατόν μεγαλύτερα διαστήματα παρατηρήσεων. Στη συγκεκριμένη δε περίπτωση, το δείγμα των 16 ετών είναι οριακά αποδεκτό για ανάλυση συχνοτήτων ακρότατων αιχμών. Από την άλλη πλευρά, η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την εκτίμηση των πλημμύρων σχεδιασμού συμπεριέλαβε την ανάλυση των μεγίστων καταιγίδων που βασίστηκε σε ένα πολύ μεγαλύτερο δείγμα 45 ετών, το μοναδιαίο υδρογράφημα που επελέγη ήταν το πιο δυσμενές από όσα μελετήθηκαν και πρόσθετα, οι παραδοχές που έγιναν για την κατανομή της καταιγίδας σχεδιασμού και τις απώλειές της ήταν δυσμενείς. Συνεπώς, αν και οι εκτιμημένες αιχμές των πλημμύρων σχεδιασμού έχουν τιμές μικρότερες των προκυπτουσών από την ανάλυση συχνοτήτων, κυρίως για περιόδους επαναφοράς μεγαλύτερες των 100 ετών, παρ' όλα αυτά βρίσκονται προς την πλευρά της ασφαλείας.

4.1.12 Εκτίμηση μέγιστης πιθανής πλημμύρας

4.1.12.1 Μοναδιαίο υδρογράφημα της PMF

Η εκτίμηση της μέγιστης πιθανής πλημμύρας (PMF) γίνεται από τη μέγιστη πιθανή κατακρήμνιση (PMP), μετά την αφαίρεση των απωλειών, και με εφαρμογή αυτής στο μοναδιαίο υδρογράφημα της λεκάνης. Όμως η PMF είναι το απολύτως ακραίο γεγονός που απέχει πολύ από τα συνήθη. Υπό τις συνθήκες αυτές, θεωρείται πλέον ή βέβαιο ότι η παραδοχή της γραμμικότητας των λεκανών, επί της οποίας βασίζεται η θεωρία του μοναδιαίου υδρογραφήματος, παύει να ισχύει. Επιπλέον, η θεώρηση της μορφολογίας του υδρογραφικού συστήματος της λεκάνης, που χαρακτηρίζεται από την απουσία πλημμυρικών πεδίων και τη χααδρωτική μορφή των ρευμάτων – οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η παρέκκλιση από τη γραμμικότητα είναι προς την πλευρά της ενίσχυσης των πλημμυρικών αιχμών, λόγω αύξησης της ταχύτητας ροής με την αύξηση του βάθους. Συνήθης πρακτική για την αντιμετώπιση τέτοιων καταστάσεων, είναι να

μετασχηματίζεται το μοναδιαίο υδρογράφημα, έτσι ώστε να αυξάνει η αιχμή του κατά 25 έως 50 τοις εκατό (Linsley et al, 1988).

Τέτοια πρακτική εφαρμόζει το Institute of Hydrology, σύμφωνα με την περιγραφή της Shaw (1994). Συγκεκριμένα, υποδεικνύει μείωση του χρόνου μέχρι την αιχμή κατά 1/3, πράγμα που επιφέρει αύξηση της αιχμής κατά 50%. Στην περίπτωση μας, δοκιμάστηκε αυτή η προσέγγιση, με την εξής τροποποίηση: Επειδή ο χρόνος μέχρι την αιχμή δεν είναι χαρακτηριστικός της λεκάνης αποκλειστικά, αλλά εξαρτάται και από τη διάρκεια της μοναδιαίας βροχής, ερευνήθηκε ποια θα είναι η μείωση στον χρόνο υστέρησης, που είναι χαρακτηριστικός της λεκάνης.

Ο χρόνος αιχμής του ωριαίου Μ.Υ. είναι ίσος με $T_p = 2$ h οπότε, ο χρόνος υστέρησης είναι $T_L = 2 - 1/2 = 1,5$ h.

Ο μειωμένος κατά 1/3 χρόνος υστέρησης ισούται με $T_L' = 2/3 \times 1,5 = 1,0$ h.

Έτσι, ο νέος χρόνος αιχμής είναι $T_p' = 1,0 + 1/2 = 1,5$ h

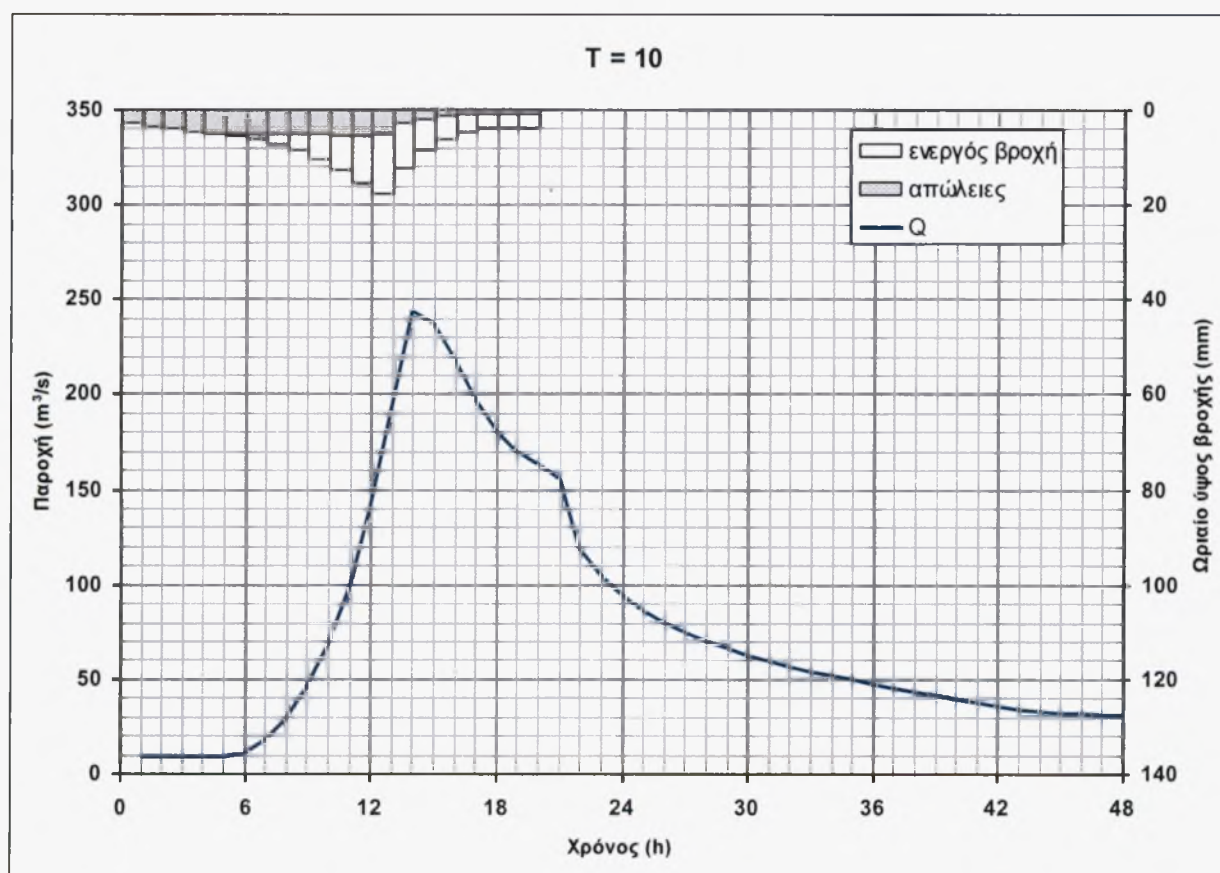
Η στρογγύλευση στο πλησιέστερο ακέραιο πολλαπλάσιο της χρονικής βάσης του Μ.Υ., θα δώσει $T_p' = 1$ h είτε 2 h

Στο σημείο αυτό η πρώτη επιλογή ($T_p' = 1$ h) απορρίφθηκε επειδή κρίθηκε υπερβολική η μείωση του χρόνου μέχρι την αιχμή στο 50%, δοθέντος μάλιστα ότι το Μ.Υ. που τελικά έχει υιοθετηθεί έχει τον πιο σύντομο χρόνο μέχρι την αιχμή από όλα τα Μ.Υ. που δοκιμάστηκαν. Έτσι, επελέγη να παραμείνει ο χρόνος στις 2 h. Όσον αφορά στην αύξηση της αιχμής, αποφασίσθηκε να μην γίνει, με το εξής σκεπτικό:

Πρώτον, διότι ο μετασχηματισμός του Μ.Υ. αποτελεί, όπως προαναφέρθηκε, συνήθη μεν αλλά όχι υποχρεωτική πρακτική, όταν μάλιστα υπάρχουν βάσιμες ενδείξεις ότι οδηγεί σε σοβαρή υπερεκτίμηση. Δεύτερον, διότι μια οποιαδήποτε αύξηση της αιχμής θα ήταν ασύμβατη με τη διατήρηση του χρόνου μέχρι την αιχμή που προηγουμένως αποφασίσθηκε ως ρεαλιστική επιλογή. Τρίτον, και κυριότερον, διότι όπως έχει ήδη ειπωθεί, η επιλογή του συγκεκριμένου Μ.Υ. είναι ήδη μια συντηρητική επιλογή μεταξύ των Μ.Υ. που είχε διαπιστωθεί ότι περιγράφουν την απόκριση της λεκάνης.

4.1.12.2 Υπολογισμός της ενεργού μεγίστης πιθανής βροχής

Μετά από διερεύνηση της κρίσιμης διάρκειας της καταιγίδας σχεδιασμού προέκυψε ότι η κρίσιμη διάρκεια καταιγίδας για την πλημμύρα της εξαιρετικά μεγάλης περιόδου επαναφοράς είναι ίση με $T = 10000$, είναι οι 20 ώρες, διάρκεια για την οποία δεν έχει γίνει υπολογισμός PMP. Όμως, όπως φαίνεται από το παρακάτω σχήμα 4.40, ουσιαστικά τα ίδια αποτελέσματα με την καταιγίδα των 20 ωρών επιφέρει και η καταιγίδα των 18 ωρών.



Σχήμα 4.40: Πλημμυρογράφημα σχεδιασμού μαζί με τα αντίστοιχα υετογράμματα – (Περιφέρεια Θεσσαλίας – Τμήμα υδρολογικών έργων)

Για πρακτικούς λοιπόν λόγους και χωρίς να γίνεται παραχώρηση εις βάρος της ακρίβειας, επελέγη ως κρίσιμη η PMP των 18 ωρών, για την οποία υπάρχουν οι σχετικοί υπολογισμοί.

Για τον υπολογισμό των απωλειών εφαρμόστηκε και εδώ η μέθοδος της SCS, με την τιμή CN = 75 που προσδιορίστηκε προηγουμένως στην ενότητα - Υπολογισμός απωλειών επιφανειακής βροχής.

Η ανωτέρω τιμή του CN βρέθηκε ότι παράγει απώλειες της PMP ανερχόμενες σε 87,9 mm, ή σε ποσοστό 19,3% της PMP. Αυτό το μέγεθος των απωλειών, ως αναμένεται, είναι μεγαλύτερο της T=10000 (87,9 έναντι 81,1) αλλά μικρότερο σαν ποσοστό (19,3% έναντι 28,7%). Επίσης, είναι παραπλήσιο με αυτό που δίνει η επέκταση της εμπειρικής σχέσης των απωλειών, της προηγούμενης ενότητας (Υπολογισμός απωλειών επιφανειακής βροχής) (19,3% έναντι 18,4%). Με αυτές τις παρατηρήσεις, το αποτέλεσμα της SCS θεωρείται αποδεκτό.

Ένα σχετικό θέμα που αντιμετωπίστηκε με προσοχή, ήταν το ενδεχόμενο να συμβεί η PMP μετά από συσσώρευση χιονιού στη λεκάνη. Είναι ευνόητο ότι τότε θα έπρεπε να αυξηθεί σημαντικά ο συντελεστής απορροής της λεκάνης για να συμπεριληφθεί η ταυτόχρονη απορροή από τα χιόνια που θα τήκονται, η PMP. Για τη διερεύνηση του θέματος, εξετάστηκε ως προς την εποχικότητα το δείγμα των ετησίως μεγίστων καταιγίδων που έχει παρουσιασθεί στον παρακάτω πίνακα, ανεξαρτήτως διάρκειας.

Πίνακας 4.36: Ετησίως μέγιστες καταιγίδες λεκάνης Πύλης

Υδρ. Έτος	Ημερομηνία	Διάρκεια καταιγίδας				
		6 h	12 h	18 h	24 h	36 h
1960 - 61	07/11/1960	38,0				
	10/12/1960		52,0	60,4	69,2	83,7
1961 - 62	04/11/1961	72,6	117,5	139,4	153,5	177,1
1962 - 63	15/12/1962	77,7	138,5	164,1	179,5	192,9
1963 - 64	26/10/1963	48,6	85,0	107,8	116,7	
	12/12/1963					157,3
1964 - 65	03/12/1964	42,0	70,1			
	30/11/1964			85,9	107,0	118,0
1965 - 66	27/11/1965	48,3	67,9	88,1	113,2	153,8
1966 - 67	17/11/1966	58,9				124,1

Υδρολογική διερεύνηση φράγματος Πύλης Τρικάλων

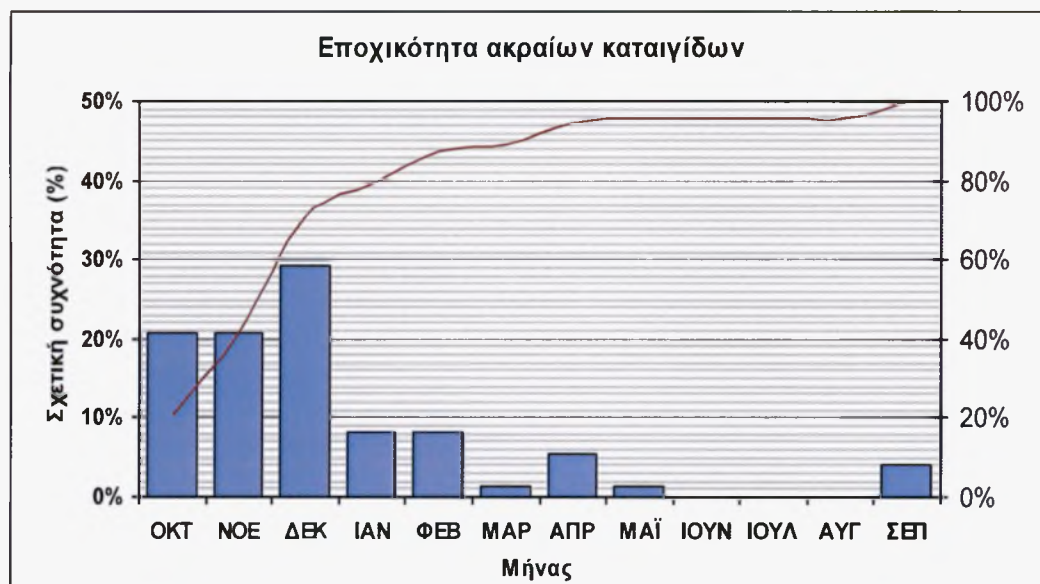
		13/12/1966		76,7			
		05/11/1966			99,2	111,1	
1967	- 68	08/12/1967	44,4				
		06/01/1968		74,0	96,1	102,0	108,3
1968	- 69	13/02/1969	35,5	62,5	84,1	108,9	116,0
1969	- 70	05/01/1970	58,3	82,3	102,1	121,8	169,0
1970	- 71	30/12/1970	76,0	124,5	178,3	215,5	292,1
1971	- 72	22/11/1971	62,6	88,1			
		12/04/1972			116,7	127,7	153,6
1972	- 73	13/10/1972	44,5				
		08/10/1972		62,8	68,7	93,0	104,6
1973	- 74	25/09/1974	61,7				
		26/11/1973		91,3			
		06/02/1974			101,9	108,8	116,4
1974	- 75	21/10/1974	50,8	72,5	91,2	114,1	131,2
1975	- 76	17/12/1975	37,7	62,9	72,8	79,1	79,5
1976	- 77	01/12/1976	53,9	82,1	109,8	124,7	163,4
1977	- 78	10/12/1977	27,5				80,1
		13/02/1978		46,7	67,9	77,0	
1978	- 79	05/01/1979	57,0	81,8			
		13/12/1978			108,6	122,2	124,5
1979	- 80	23/12/1979	51,3	86,2			
		30/12/1979			96,8	112,0	124,1
1980	- 81	21/10/1980	32,9	59,3	79,5	100,2	116,0
1981	- 82	26/10/1981	66,5	94,7	114,2	117,0	
		11/12/1981					142,6
1982	- 83	13/12/1982	43,4				
		14/11/1983		64,7	87,4	104,5	144,1
1983	- 84	27/11/1983	33,5				
		09/01/1984		51,5	69,0	83,1	98,4
1984	- 85	17/04/1985	54,8	84,1	111,8	122,6	137,5
1985	- 86	23/10/1985	48,4	76,7	116,0	131,7	147,3
1986	- 87	10/01/1987	34,6	52,7	70,8	86,6	126,6

Υδρολογική διερεύνηση φράγματος Πύλης Τρικάλων

1987	- 88	07/10/1987	64,6	93,7	104,0	107,2	108,8
1988	- 89	25/02/1989	40,2	66,6	80,7	96,5	141,9
1989	- 90	22/11/1989	47,8	55,0	62,8		
		07/12/1989				67,9	77,6
1990	- 91	10/5/1991		68,4	76,3		
		6/4/1991	41,9			84,5	90,7
1991	- 92	18/4/1992	47,9	86,2	97,8	109,3	133,5
1992	- 93	18/11/1992	65,2	76,3	82,3	82,9	83,2
1993	- 94	11/11/1993	48,0	65,4			
		26/12/1993			80,2	88,0	92,0
1994	- 95	21/10/1994	46,7	88,6	110,3	124,3	150,9
1995	- 96	13/9/1996	72,5	82,3			
		20/2/1996			105,6	127,4	154,6
1996	- 97	11/1/1997	53,4	86,4	130,2	159,2	177,3
1997	- 98	15/10/1997	113,7	121,2	123,0	123,1	
		23/11/1997					124,6
1998	- 99	22/11/1998	76,0	100,6	116,4	126,8	0,0
		4/12/1998	0,0	0,0	0,0	0,0	142,2
1999	- 00	18/10/1999	85,4	105,0	116,3	119,5	119,8
2000	- 01	25/12/2000	36,9				
		05/10/2000		57,3	76,0	83,9	
		30/03/2001					97,6
2001	- 02	23/09/2002	54,8				
		23/12/2001		70,6	90,2	115,1	135,1
2002	- 03	04/02/2003	40,9	63,1	81,8	96,9	104,0
2003	- 04	06/10/2003	88,7				
		23/10/2003		93,6	113,5	117,4	152,7
2004	- 05	16/10/2004	48,3				
		24/12/2004		80,4	102,0	107,8	152,5

Το δείγμα αυτό έχει πλήθος 72 αντί του 45, διότι σε πολλά υδρολογικά έτη είχαν εντοπισθεί δύο, ακόμα και τρεις μεγάλες καταιγίδες που δίνουν μέγιστα ύψη, σε διαφορετικές βέβαια διάρκειες. Το χρονικό διάστημα ενός υδρολογικού έτους χωρίσθηκε

σε δώδεκα κλάσεις μεγέθους μηνός. Στη συνέχεια καταρτίσθηκε το ιστόγραμμα εμφάνισης των καταιγίδων που ακολουθεί.



Σχήμα 4.41: Ιστόγραμμα σχετικής συχνότητας καταιγίδων ανά μήνα - (Περιφέρεια Θεσσαλίας – Τμήμα υδρολογικών έργων)

Όπως φαίνεται, κατά τους τρεις πρώτους μήνες του υδρολογικού έτους, οι οποίοι δεν χαρακτηρίζονται από τη συσσώρευση σημαντικών ποσοτήτων χιονιού στο έδαφος, συμβαίνει το 71% των ετησίως μεγίστων καταιγίδων. Δεδομένου λοιπόν ότι σοβαρή χιονοκάλυψη συμβαίνει εκτός της περιόδου αυτής, γίνεται η υπόθεση να μην προσυζηθεί η PMP με τήξη χιονιού, διότι αυτό θα αποτελούσε υπερβολή.

Μετά από αυτά, υπολογίσθηκαν οι απώλειες κατά τα γνωστά, αφαιρέθηκαν από το υετόγραμμα της ολικής βροχής για να προκύψει το υετόγραμμα της ενεργού βροχής. Στον πίνακα 4.37 φαίνονται οι ωριαίες τεταγμένες τόσο της ολικής όσο και της ενεργού μέγιστης πιθανής βροχής, για διάρκεια καταιγίδας 18 h.

Πίνακας 4.37: Τεταγμένες υετογράμματος PMP της λεκάνης Πύλης

Χρόνος (h)	Ολική βροχή (mm)	Απώλειες (mm)	Ενεργός βροχή (mm)
1	8,9	8,9	0
2	12,1	11,9	0,2
3	14,3	11,2	3,1
4	16,2	9,5	6,7
5	18,1	7,9	10,2
6	20,6	6,8	13,8
7	24,1	6,0	18,1
8	28,8	5,4	23,4
9	35,4	4,9	30,5
10	44,2	4,5	39,7
11	57,5	4,1	53,4
12	56,1	2,8	53,3
13	37,1	1,5	35,6
14	24,7	0,9	23,8
15	17,5	0,6	16,9
16	14,2	0,4	13,8
17	13,3	0,3	13
18	13,5	0,3	13,2
Σύνολο	456,6	87,9	368,7

4.1.12.3 Χρονική κατανομή της μέγιστης πιθανής καταιγίδας

Το συνολικό ύψος της ενεργού PMP προκύπτει από την ολική που υπολογίστηκε στο Κεφάλαιο 4.1.12, μετά την αφαίρεση των απωλειών. Όσον αφορά στη χρονική κατανομή του ύψους βροχής μέσα στη διάρκεια της καταιγίδας, ακολουθήθηκαν η ανάλυση και οι επιλογές που έγιναν στο Κεφάλαιο αυτό σχετικά με τις καταιγίδες σχεδιασμού διαφόρων περιόδων επαναφοράς. Έτσι, επανελήφθη η παραδοχή ότι η κατανομή θα είναι 3^{ου}

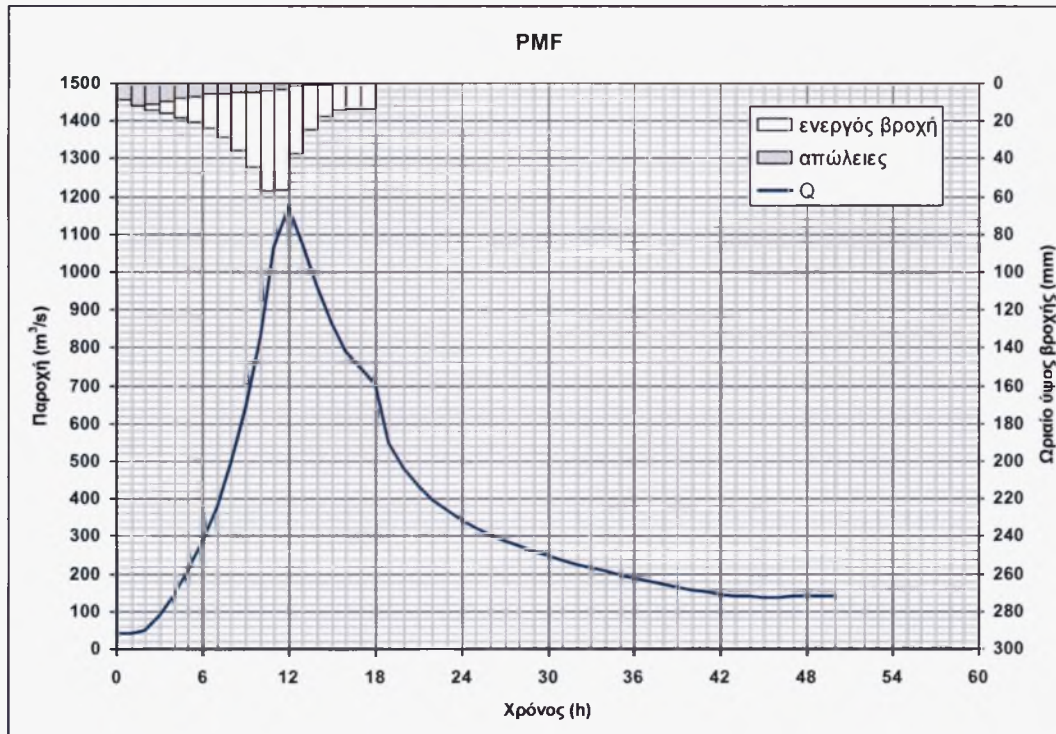
τετάρτου, στη βάση της παρατήρησης ότι η τελευταία παράγει ελαφρώς δυσμενέστερη αιχμή και είναι αρκετά πιθανή στην περιοχή. Κατόπιν αυτού, η ανά ώρα ανάλυση της PMP που εμφανίζεται στον πίνακα 4.36 ακολούθησε την κατανομή 3ου τετάρτου.

4.1.12.4 Μέγιστη Πιθανή Πλημμύρα

Η μέγιστη πιθανή πλημμύρα της λεκάνης της Πύλης προέκυψε με την ίδια διαδικασία που προέκυψαν οι πλημμύρες σχεδιασμού διαφόρων περιόδων, στο Κεφάλαιο 4.1.11. Διαφορά υπάρχει μόνο στο μέγεθος και τον τρόπο υπολογισμού της συνολικής κατακρήμνισης (PMP).

Το υδρογράφημα της βασικής απορροής εκτιμήθηκε και εδώ όπως και για τις πλημμύρες σχεδιασμού διαφόρων περιόδων επαναφοράς. Η βασική απορροή με εναρκτήρια τιμή στα $39 \text{ m}^3/\text{s}$ και με τεταγμένη στην αιχμή περίπου $62 \text{ m}^3/\text{s}$ η οποία αποτελεί ποσοστό περίπου 5,3% της αιχμής, θεωρείται ότι ευρίσκεται προς την πλευρά της ασφαλείας. Με την πρόσθεση της βασικής απορροής στο προϊόν της συνέλιξης της ενεργού βροχής επί το μοναδιαίο υδρογράφημα, προκύπτει το τελικό αποτέλεσμα που είναι το πλημμυρογράφημα της πιθανής μέγιστης πλημμύρας (PMF).

Στο παρακάτω γράφημα 4.42 παρουσιάζονται το πλημμυρογράφημα σχεδιασμού της PMF, μαζί με το αντίστοιχο υετόγραμμα, με αφετηρία του χρόνου την έναρξη της βροχής. Αναλυτικά, οι πλημμυρικές τεταγμένες ανά ώρα παρουσιάζονται στον προηγούμενο πίνακα 4.36.



Σχήμα 4.42: Πλημμυρογράφημα σχεδιασμού της PMF, μαζί με το αντίστοιχο υετόγραμμα - (Περιφέρεια Θεσσαλίας – Τμήμα υδρολογικών έργων).

5 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

5.1 Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS)

Η συμβολή των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ) στην Χωροταξία-Πολεοδομία είναι τεράστια, τόσο στην διαχείριση της υφιστάμενης πληροφορίας, όσο και στον σχεδιασμό και προγραμματισμό.

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, συμβάλουν στην ποιοτική βελτίωση της έρευνας και της άσκησης πολιτικής σε θέματα πολεοδομικού και χωροταξικού σχεδιασμού. Η χρησιμοποίηση ενός τέτοιου συστήματος επιφέρει άμεσα ποιοτικά και ποσοτικά οφέλη, λόγω της έγκαιρης και εύκολης πρόσβασης και επικαιροποίησης του αρχειακού υλικού, στη διαδικασία και στη μεθοδολογία ανάπτυξης του σχεδιασμού, ενώ ταυτόχρονα, διατηρείται το υλικό παρελθόντων ετών που αναφέρονται στην ίδια περιοχή ενδιαφέροντος. Έτσι προσφέρεται στον μελετητή άμεση αξιολόγηση της εξέλιξης των πραγμάτων, με δυνατότητα σύγκρισης και πρόβλεψης. Επιπροσθέτως, καταργούνται χρονοβόρες και επαναλαμβανόμενες σχεδιαστικές εργασίες μειώνοντας το ανάλογο κόστος και τον κίνδυνο απώλειας πολύτιμων στοιχείων.

Μερικά από τα πλεονεκτήματα των ΓΣΠ όσο αφορά τον χωροταξικό σχεδιασμό είναι :

- Τεκμηρίωση.
- Γρήγορη πληροφόρηση.
- Συγκριτική πληροφορία σε σχέση με ποσοτικά και χρονικά μεγέθη.
- Συνάρτηση μεγεθών και σχεδιαστική απεικόνιση.
- Αποθήκευση και ανάκληση σχεδίων και χαρτών.
- Αξιολόγηση και συσχέτιση προτάσεων ανάπτυξης.
- Συστηματική προσέγγιση στη διαχείριση του αστικού περιβάλλοντος.
- Παρακολούθηση πολεοδομικών λειτουργιών και προγραμμάτων ανάπτυξης.

Στο παραπάνω πλαίσιο έγινε προσπάθεια δημιουργίας μιας εφαρμογής, - ανοικτής αρχιτεκτονικής δομής- με σκοπό την βέλτιστη, δυναμική, φιλική και γρήγορη άντληση από τον χρήστη, γεωγραφικών – χωροταξικών & πολεοδομικών πληροφοριών καθώς και στοιχείων τεχνικών και κοινωνικών υποδομών πόλεων, θεματικών χαρτών, σε κάθε χωρικό επίπεδο (Χώρας / Νομού / μέχρι του Οικοδομικού Τετραγώνου) (Καπακλής Δημήτριος – Geovalues GIS).

5.1.1 Εφαρμογή του ArcGIS

Κατά την παρούσα πτυχιακή μελέτη, ελήφθησαν κάποια δεδομένα από το Τμήμα Υδρολογικών Έργων της Περιφέρειας Θεσσαλίας, τα οποία αφορούσαν γεωγραφικούς χάρτες των περιοχών Καλαμπάκας, Καστανέας, Μυρόφυλλου και Μουζακίου που χρησιμοποιήθηκαν για τον χωρικό σχηματισμό στην περιοχή μελέτης. Στα παρακάτω σχήματα φαίνονται οι χάρτες που αναφέραμε:



Σχήμα 5.1: Γεωγραφικός χάρτης περιοχής Καλαμπάκας



Σχήμα 5.2: Γεωγραφικός χάρτης περιοχής Καστανέας



Σχήμα 5.3: Γεωγραφικός χάρτης περιοχής Μυρόφυλλου



Σχήμα 5.4: Γεωγραφικός χάρτης περιοχής Μουζακίου

Στη συνέχεια έγινε χρήση του προγράμματος ArcGIS για την γεω-αναφορά των παραπάνω χαρτών με σκοπό τη δημιουργία ενός ενιαίου χάρτη της περιοχής έρευνας. Μαζί με τα δεδομένα ελήφθησαν από την Περιφέρεια Θεσσαλίας, μας δόθηκε μια σχηματική απεικόνιση της υδρολογικής λεκάνης της περιοχής σε μορφή δεδομένων ArcGIS. Έπειτα, γεωαναφέρθηκε και η εικόνα της υδρολογικής λεκάνης προσαρμόζοντάς την στον τελικό χάρτη (Σχήμα 5.5).



Σχήμα 5.5: Σχηματική απεικόνιση της περιοχής Πύλης Τρικάλων μέσω ArcGIS (Μουτσινάς & Ηλιάδης, 2012)

Στον πίνακα 5.1 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά στοιχεία του υπό μελέτη φράγματος της Πύλης Τρικάλων:

Πίνακας 5.1: Χαρακτηριστικά στοιχεία φράγματος (Περιφέρεια Θεσσαλίας)

Υδρολογικά στοιχεία	Λεκάνη απορροής	131 km ²
	Μέση παροχή λεκάνης (1950-51 έως 1986-87)	5,71 m ³ /sec
	Μέση παροχή λεκάνης (1950-51 έως 1993-94)	5,46 m ³ /sec
Ταμιευτήρας	Ανώτατη στάθμη πλημμύρας (συχνότητας 1:10,000)	337,42 m
	Ανώτατη στάθμη λειτουργίας	335 m
	Κατώτατη στάθμη λειτουργίας	310 m
	Επιφάνεια στην Α.Σ.Λ	2,3 km ²
	Ολικός όγκος στην Α.Σ.Λ	64*10 ⁶ m ³
	Ωφέλιμος όγκος	47*10 ⁶ m ³
	Νεκρός όγκος	17*10 ⁶ m ³
Φράγμα	Τύπος: Με αμμοχάλικα ποταμού και κεντρικό αργιλικό πυρήνα	
	Στέψη φράγματος (υψομ.)	340 m
	Ύψος φράγματος (από την κοίτη)	86 m
	Μήκος στέψης	330 m
	Πλάτος στέψης	10 m
	Ολικός όγκος φράγματος	24*10 ⁶ m ³
Σήραγγα Εκτροπής	Διάμετρος	7,50 m
	Μήκος	398,90 m
	Αιχμή πλημμύρας (συχνότητας 1:100)	548 m ³ /sec
	Παροχετευτικότητα (1:100)	543,37 m ³ /sec

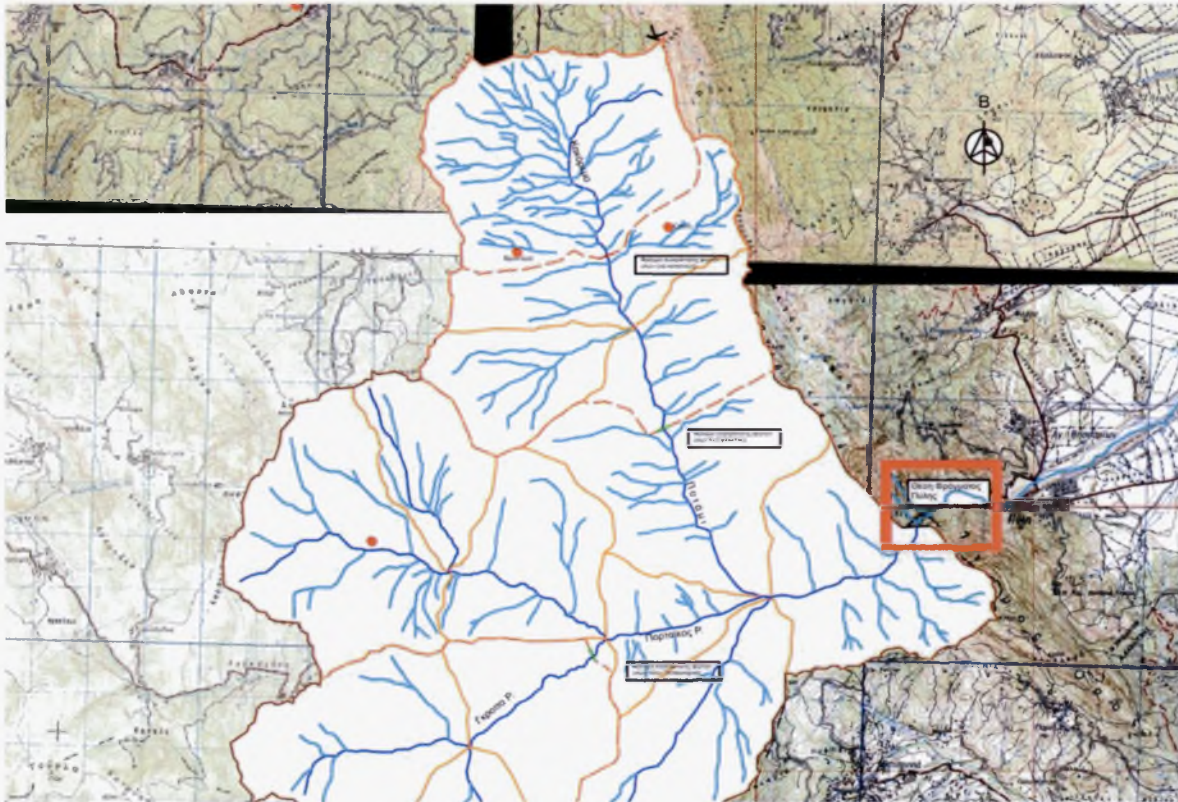
Στον πίνακα 5.2 παρουσιάζονται οι καλλιεργούμενες και αρδευόμενες εκτάσεις στα Δημοτικά Διαμερίσματα τα οποία ίσως να εξυπηρετηθούν από το φράγμα Πύλης:

Πίνακας 5.2: Καλλιεργούμενες – αρδευόμενες εκτάσεις ανά Δημοτικό Διαμέρισμα (Περιφέρεια Θεσσαλίας)

	Καλλιεργούμενες εκτάσεις (στρέμματα)	Αρδευόμενες εκτάσεις (στρέμματα)
Πύλη	4831	3432
Αγ. Βησσαρίωνα	4831	3432
Πιαλεία	2686	1224
Φήκη	7800	6421
Ελευθεροχώρι	3513	2850
Παραπόταμος	3830	3222
Πηγή	8662	7385
Παλαιομονάστηρο	8060	4707
Μουριά	5176	4742
Δροσερό	3672	3268
Γομφοί	9919	7090
Λυγαριά	5189	3920
Φιλύρα	2570	2051
ΣΥΝΟΛΟ	67708	52310

Επιπροσθέτως, ελήφθησαν από την ΔΕΗ πληροφορίες σχετικά με τις μελλοντικές ανάγκες των κατόχων του φράγματος περιοχών για άρδευση, που είναι οι ακόλουθες:

1. Μελλοντικές ανάγκες ύδρευσης Δήμου Πύλης, Γόμφων, Πιαλείων, Μεγ. Καλυβιών, και Τρικκαίων συνολικά 6,000,000 m³ νερού.
2. Δυνατότητα άρδευσης περί τα 80,000 στρέμματα των παραπηνείων αγροκτημάτων με μέσο όρο κατανάλωσης νερού κατά στρέμμα 525 m³ (Μάιος 60 m³, Ιούνιος 135 m³, Ιούλιος 185 m³ και Αύγουστος 145 m³).
3. Όλες οι ανωτέρω ποσότητες νερού θα λαμβάνονται κατόχων του σταθμού παραγωγής ενέργειας, ο οποίος θα κατασκευαστεί στην θέση του φράγματος. (Σχήμα 5.6).



Σχήμα 5.6: Σχηματική απεικόνιση της τοποθεσίας του φράγματος μέσω ArcGIS (Ηλιάδης & Μουτσινάς, 2012)

5.2 Έννοια της Διπλής Αθροιστικής Καμπύλης

Ο έλεγχος συνέπειας ή ομογένειας μιας χρονοσειράς μετρήσεως βροχής αποσκοπεί στον εντοπισμό τεχνητών αλλαγών στις συνθήκες μέτρησης, οι οποίες επηρεάζουν το αποτέλεσμα της μέτρησης. Σε περίπτωση που εντοπιστούν τέτοιες αλλαγές η αποκατάσταση της συνέπειας, γνωστή και ως ανόρθωση, αποσκοπεί στην τροποποίηση των μετρήσεων σε τρόπο ώστε να αρθούν τα αποτελέσματα των αλλαγών των συνθηκών.

Οι πηγές των ασυνεπειών στις σειρές συστηματικών μετρήσεων ενός βροχομετρικού σταθμού είναι πολλές. Ορισμένες είναι επιβεβλημένες και αναπόφευκτες, όπως η αλλαγή του τύπου του μετρητικού οργάνου, σε περίπτωση βλάβης του παλιού ή τεχνολογικής εξέλιξης, αλλαγή της θέσης του βροχομετρικού σταθμού σε περίπτωση που η παλιά θέση αποδείχτηκε προβληματική και η νέα πιο πρόσφορη κτλ.

Άλλες οφείλονται σε επιδράσεις αλλαγής στο περιβάλλον όπως το μέγλωμα ενός δέντρου ή το κτίσιμο ενός κτηρίου κοντά στον σταθμό, επιδράσεις που αν δεν είναι αναστρέψιμες αποτελούν λόγω μετάθεσης του σταθμού.

Τέλος άλλες οφείλονται σε ανθρώπινους παράγοντες όπως στην κακή εκπαίδευση των παρατηρητών, ή στην ελλιπή συντήρηση των σταθμών. Οι περισσότερες από τις ασυνέπειες αναφέρονται σε μακρές περιόδους οπότε συνδυάζονται με συστηματικά σφάλματα μέτρησης χωρίς να είναι σπάνια και η περίπτωση μεμονωμένων σφαλμάτων.

Η πιο διαδεδομένη τεχνική για τον έλεγχο της συνέπειας βροχομετρικών δεδομένων βασίζεται στη διπλή αθροιστική καμπύλη. Πρόκειται για μια εύχρηστη ημιεμπειρική μέθοδο με ατελή στατιστική τεκμηρίωση, η οποία εφαρμόζεται για τα ετήσια ύψη βροχής με γραφικό τρόπο. Διπλή αθροιστική καμπύλη είναι η απεικόνιση, σε διαγράμματα με άξονες κοινής αριθμητικής διαβάθμισης, της σημειοσειράς που προκύπτει από τα διαδοχικά ύψη βροχής δύο σταθμών, αφού τα τελευταία μετατραπούν σε αθροιστικές σειρές. Ειδικότερα ο ένας άξονας, έστω των τετμημένων Σ_x , αναφέρεται στο αθροιστικό ύψος ενός βροχομετρικού σταθμού βάσης ή και μέσου όρου περισσότερων βροχομετρικών σταθμών με διαπιστωμένη συνέπεια μετρήσεων. Ο άλλος άξονας, έστω των τεταγμένων, Σ_y αναφέρεται στο αθροιστικό ύψος του υπό έλεγχο βροχομετρικού σταθμού. Σε περίπτωση που οι μετρήσεις του υπό έλεγχο σταθμού είναι συνεπείς η σειρά των σημείων (Σ_{xi}, Σ_{yi}), όπου ο δείκτης i αναφέρεται στο έτος, θα σχηματίζει μια ευθυγραμμία που περνά από την αρχή των αξόνων. Αυτή η παρατήρηση χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της συνέπειας. Αποκλίσεις από την ευθυγραμμία ερμηνεύονται ως ασυνέπειες μετρήσεων και συγκεκριμένα:

1. Η θλάση στη σημειοσειρά, δηλαδή ο σχηματισμός δυο ευθειών με διαφορετικές κλίσεις m και m' , ερμηνεύονται ως συστηματική ασυνέπεια που καλύπτει τη μία από τις δύο περιόδους διαφορετικών κλίσεων.
2. Το άλμα στη σημειοσειρά, δηλαδή ο σχηματισμός δυο παράλληλων ευθειών, ερμηνεύεται ως μεμονωμένο σφάλμα για το έτος στο οποίο αντιστοιχεί το άλμα. Την ίδια ερμηνεία έχει και η περίπτωση που σχηματίζεται μια ευθεία, η οποία όμως δεν διέρχεται από την αρχή των αξόνων.

Είναι δυνατόν να εμφανίζονται σε μια διπλή αθροιστική καμπύλη περισσότερες της μιας θλάσεις ή άλματα ή συνδυασμός των δυο, πράγμα που ισοδυναμεί με διαφορετικές πηγές σφαλμάτων σε διαφορετικές περιόδους.

Αν εντοπιστούν ασυνέπειες τότε αυτές θα πρέπει να εξηγηθούν και να αρθούν. Η καλύτερη μέθοδος για την εξήγηση συνίσταται στην αναδρομή στα πρωτογενή αρχεία των υπηρεσιών που είναι αρμόδιες για να διαπιστωθεί η αιτία της ασυνέπειας π.χ. αν άλλαξε η θέση του σταθμού, ο παρατηρητής, το όργανο κλπ.

Για την άρση των ασυνεπειών που εμφανίζονται στη διπλή αθροιστική καμπύλη με τη μορφή της θλάσης θα πρέπει πρώτα να επιλεγεί η μία από τις δύο υποπεριόδους, της οποίας τα δεδομένα θα θεωρηθούν ορθά και θα αναχθούν τα δεδομένα της άλλης υποπεριόδου. Συνήθως τα δεδομένα της νεότερης περιόδου θεωρούνται πιο ορθά. Η αναγωγή γίνεται με πολλαπλασιασμό (ή διαίρεση κατά περίπτωση) των ετησίων υψών βροχής με το συντελεστή $\lambda = m/m'$ όπου m είναι η κλίση της νεότερης περιόδου και m' είναι η κλίση της παλιότερης περιόδου. Με αυτό τον τρόπο προκύπτει δείγμα συνεπές για όλη την περίοδο μετρήσεων.

Η μέθοδος διατυπώθηκε παραπάνω με την προϋπόθεση ότι ο ένας από τους δύο σταθμούς, ο σταθμός βάσης έχει συνεπή δεδομένα. Στην πραγματικότητα αυτή η προϋπόθεση δεν μπορεί να τεκμηριωθεί παρά μόνο αν ελεγχθεί η συνέπεια του σταθμού βάσης.

Ευνοϊκές προϋποθέσεις για την εφαρμογή της μεθόδου είναι η κλιματική ομογένεια των βροχομετρικών σταθμών που συγκρίνονται και η ισχυρή συσχέτιση των υψών βροχής τους. Η τήρηση των προϋποθέσεων αυτών ελέγχεται τόσο εμπειρικά όσο και στατιστικά. Ο εμπειρικός έλεγχος συνιστάται στην επιλογή των ζευγών σταθμών που συγκρίνονται, σε τρόπο ώστε να βρίσκονται σε κοντινές αποστάσεις μεταξύ τους και σε παρόμοιες τοπογραφικές και μικροκλιματικές συνθήκες.

Ο στατιστικός έλεγχος γίνεται με βάση το συντελεστή γραμμικής συσχέτισης r μεταξύ των ετήσιων υψών βροχής των δυο σταθμών. Για να είναι στατιστικά σημαντική η συσχέτιση θα πρέπει ο συντελεστής r που υπολογίζεται να είναι μεγαλύτερος από την αντίστοιχη κρίσιμη τιμή ($r=0.7$). Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του r τόσο ισχυρότερη είναι η συσχέτιση των υψών βροχής των δύο σταθμών και αυτό λαμβάνεται υπόψη στην

επιλογή των ζευγών σταθμών που θα συγκριθούν. Πάντως η ύπαρξη ασυνεπειών μειώνει το συντελεστή συσχέτισης. Υπολογισμός του συντελεστή συσχέτισης μετά την αναγωγή αναμένεται να είναι μεγαλύτερος.

Η παραπάνω τεχνική αποσκοπεί βέβαια στον εντοπισμό και την άρση των μετρητικών σφαλμάτων και όχι στην άρση τυχόν ανομοιογενών που οφείλονται σε κλιματικές μεταβολές. Γενικά, αν δύο σταθμοί βρίσκονται σε κλιματικά ομογενή περιοχή, τυχόν κλιματική μεταβολή θα εκδηλώνεται και στους δυο σταθμούς με παρόμοιο τρόπο, οπότε η μέθοδος είναι κατάλληλη, ακόμη και σε αυτό το ενδεχόμενο. Ωστόσο, θα πρέπει να γίνει διάκριση της περίπτωσης που ένας από τους δύο σταθμούς επηρεάζεται από μικροκλιματικές μεταβολές τοπικού χαρακτήρα χωρίς να συμβαίνει το ίδιο με τον άλλον σταθμό. Σε αυτή την περίπτωση η μέθοδος της διπλής αθροιστικής καμπύλης παρέχει τη δυνατότητα ανίχνευσης και επισήμανσης της μικροκλιματικής μεταβολής, αλλά η αναγωγή δεν θα πρέπει να εφαρμοστεί στα δεδομένα του σταθμού. (Παπαμιχαήλ, 2004).

5.2.1 Εφαρμογή της Μεθόδου Διπλής Αθροιστικής Καμπύλης στα Δεδομένα του Prudence

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιούμε τις ιδιότητες της μεθόδου για μηνιαία δεδομένα και για να διορθώσουμε τις υπολογιζόμενες τιμές των μοντέλων, σύμφωνα με τα τοπικά χαρακτηριστικά του μετεωρολογικού σταθμού της περιοχής έρευνας (Ελάτης).

Με την εφαρμογή της προαναφερθείσας μεθόδου αποσκοπούμε στην λήψη μιας πιθανής συσχέτισης μεταξύ παρελθοντικών και μελλοντικών μεγεθών ύψους βροχής όσον αφορά τα δύο σενάρια που μελετούμε μέσω της προσομοίωσης που μας παρέχει το Prudence. Κατόπιν επεξεργασίας των ήδη υπάρχοντων δεδομένων με την μέθοδο της διπλής αθροιστικής καμπύλης παρατηρήθηκε μια γραμμική συσχέτιση μεταξύ τους. Ενδεικτικά, στον πίνακα 5.3 αναγράφονται τα μηνιαία ύψη βροχής (σε mm/day) για τον μήνα Ιούλιο των ετών 1960 έως και 1989 εκ του μετεωρολογικού σταθμού, οι εκτιμήσεις τις οποίες έκανε το σενάριο RCAO, καθώς επίσης και τα δεδομένα που προκύπτουν με την εφαρμογή της μεθόδου. Αναζητώντας την συσχέτιση μεταξύ των δεδομένων αυτών που προέκυψαν δημιουργήσαμε την διπλή αθροιστική καμπύλη, η οποία αποδεικνύεται

πως είναι γραμμική, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5.7. Πιο συγκεκριμένα, αυτή η συσχέτιση εκφράζεται με την εξίσωση

$$y = 0,5107x - 47,659,$$

Όπου :

- y = Αθροιστική σεναρίου (control)
- x = Αθροιστική πραγματικών τιμών μετεωρολογικού σταθμού.

και μάλιστα είναι αρκετά μεγάλη (στατιστικώς σημαντική), καθώς ο δείκτης συσχέτισης τείνει στην μονάδα ($R^2 = 0,9131$).

Πίνακας 5.3 : Ενδεικτική μορφή δεδομένων Μηνιαίου Ύψους Βροχής για το μήνα Ιούλιο (έτη 1960 – 1989). Αναγράφονται οι τιμές του Μετεωρολογικού Σταθμού Ελάτης (Πραγματικές), οι εκτιμήσεις του σεναρίου RCAO (RCAO control) καθώς και οι τιμές που προκύπτουν από την μέθοδο υπολογισμού της Διπλής Αθροιστικής.

ΥΔΡ. ΕΤΟΣ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ	Δ. Α.	Δ. Α.
	ΣΤΑΘΜΟΥ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΩΝ	RCAO
1960-61	49,40	49,40	13,54
1961-62	4,60	54,00	21,30
1962-63	12,30	66,30	23,98
1963-64	26,70	93,00	28,08
1964-65	29,70	122,70	42,45
1965-66	14,00	136,70	56,89
1966-67	113,90	250,60	65,33
1967-68	0,80	251,40	69,60
1968-69	14,60	266,00	70,55
1969-70	52,80	318,80	79,89
1970-71	13,00	331,80	87,59
1971-72	81,40	413,20	95,91
1972-73	24,70	437,90	118,45
1973-74	2,10	440,00	121,45
1974-75	17,10	457,10	124,41
1975-76	42,90	500,00	194,04
1976-77	3,50	503,50	200,62
1977-78	6,70	510,20	206,26
1978-79	49,70	559,90	206,27
1979-80	0,30	560,20	208,90
1980-81	12,80	573,00	220,34
1981-82	8,40	581,40	261,20
1982-83	49,50	630,90	271,94
1983-84	16,00	646,90	314,47
1984-85	17,70	664,60	331,80
1985-86	15,60	680,20	335,46
1986-87	7,80	688,00	335,73
1987-88	3,50	691,50	355,77
1988-89	93,20	784,70	380,87
1989-90	6,10	790,80	394,23



Σχήμα 5.7 : Διπλή Αθροιστική Καμπύλη μηνιαίου ύψους βροχής (mm) Ιουλίου (1960 – 1989), όπως προκύπτει από τα δεδομένα του Πίνακα 5.3.

Εφαρμόζοντας την παραπάνω μέθοδο, αναλόγως προκύπτουν οι εξισώσεις και για τους υπόλοιπους μήνες των ετών της έρευνας, όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.6. Είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη ο εκάστοτε συντελεστής συσχέτισης (R^2) που προκύπτει, καθώς λαμβάνει τον ρόλο του κριτηρίου προσέγγισης των πραγματικών συνθηκών βροχόπτωσης. Ένας συντελεστής που τείνει σημαντικά προς την μονάδα μας επιτρέπει να συμπεράνουμε πως η εξίσωση συσχέτισης των δεδομένων παρέχει αποτελέσματα τα οποία προσεγγίζουν τις πραγματικές τιμές σε μεγαλύτερο βαθμό από κάθε άλλη περίπτωση.

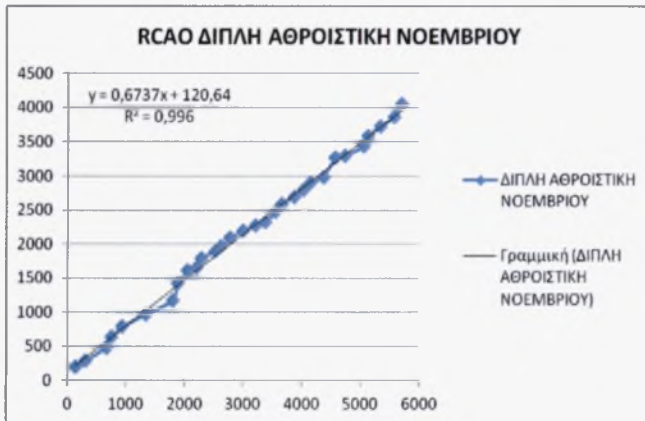
Πίνακας 5.4 : Εξισώσεις των γραμμών τάσεων των διπλών αθροιστικών καμπυλών και οι συντελεστές συσχέτισης του σεναρίου RCAO για τα έτη 1960 – 1989.

ΜΟΝΤΕΛΟ	ΜΗΝΑΣ	f(x)	R ²
RCAO	Ιανουάριος	$y = 0,54x - 23,282$	0,9887
	Φεβρουάριος	$y = 0,4712x - 119,86$	0,9859
	Μάρτιος	$y = 0,662x - 268,61$	0,991
	Απρίλιος	$y = 0,7696x - 42,544$	0,99
	Μάιος	$y = 0,8358x + 82,329$	0,9831
	Ιούνιος	$y = 1,0906x - 94,238$	0,966
	Ιούλιος	$y = 0,5107x - 47,659$	0,9131
	Αύγουστος	$y = 0,8087x - 52,059$	0,9747
	Σεπτέμβριος	$y = 0,6921x - 10,654$	0,9729
	Οκτώβριος	$y = 0,5052x - 51,17$	0,9731
	Νοέμβριος	$y = 0,6737x + 120,64$	0,996
	Δεκέμβριος	$y = 0,4923x + 35,691$	0,9935

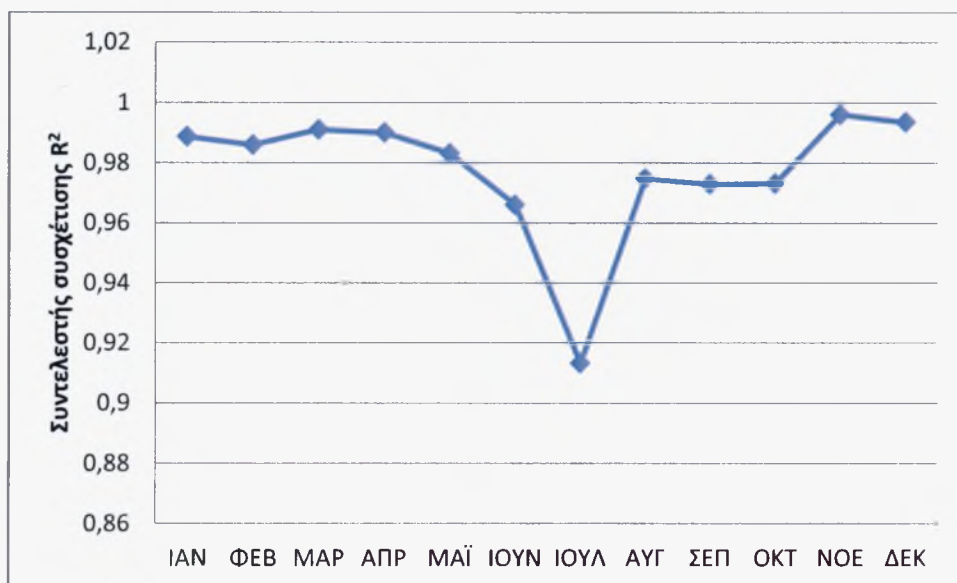
Ομοίως, για το σενάριο RCAO διαμορφώνονται οι αντίστοιχες καμπύλες :







Σχήμα 5.7 - 5.18 : Γραφικές παραστάσεις των αθροιστικών καμπυλών μηνιαίου ύψους βροχόπτωσης (mm) για την περίοδο 1960 – 1990 σύμφωνα με το σενάριο RCAO. Αναφέρονται οι εξισώσεις των καμπυλών καθώς και ο συντελεστής συσχέτισης R^2 .



Σχήμα 5.19: Γραφική παράσταση του συντελεστή συσχέτισης (R^2) ανά μήνα βάσει στοιχείων που προέκυψαν από τα Σχήματα 5.7 – 5.18.

6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Με τη χρήση των παραπάνω μηνιαίων εξισώσεων, που προέκυψαν από την εφαρμογή της διπλής αθροιστικής καμπύλης στα δεδομένα του βροχομετρικού σταθμού της περιοχής (πίνακας 5.4 και σχήματα 5.7 - 5.18), υπολογίστηκαν τα μελλοντικά υδρολογικά δεδομένα μηνιαίων υψών βροχόπτωσης για την περίοδο 2070-2100, τα οποία και παραθέτονται στον πίνακα 6.1.

Ο σταθμός από τον οποίο αντλήθηκαν τα δεδομένα ήταν αυτός της Ελάτης λόγω της εγγύτητάς του στη λεκάνη απορροής του ποταμού Πορταϊκού.

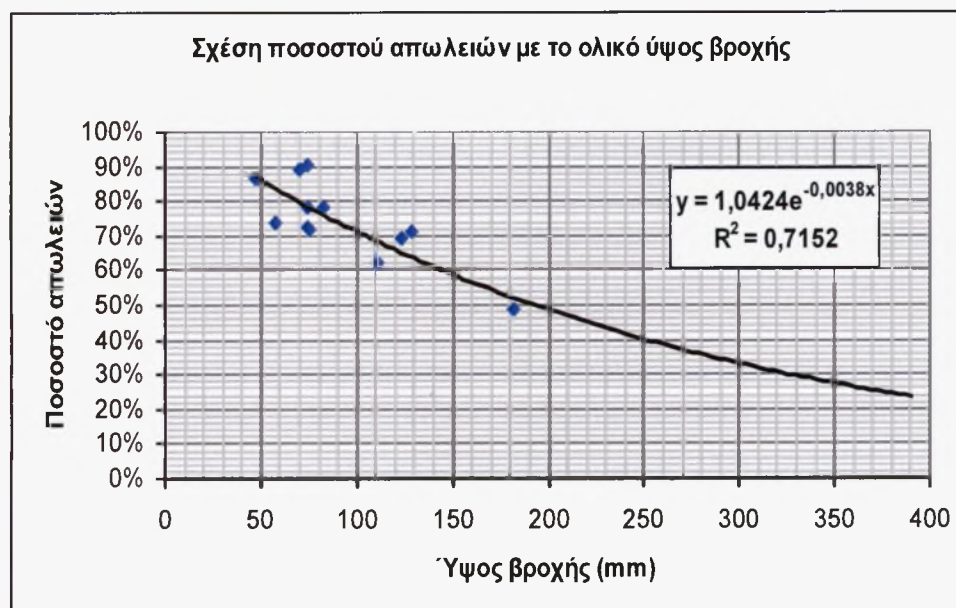
Πίνακας 6.1: Εκτίμηση μελλοντικών μηνιαίων βροχοπτώσεων (mm) κατά τη χρονική περίοδο 2070-2100 κατά RCAO.

ΥΔΡ. ΕΤΟΣ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
2070 - 71	126,1	338,3	725,3	99,5	0,0	107,0	104,3	70,9	15,8	197,6	0,0	158,2
2071 - 72	97,0	133,2	98,4	96,9	14,5	6,1	0,1	8,5	4,9	61,5	374,3	178,4
2072 - 73	60,7	110,1	97,3	151,1	96,4	6,7	0,0	0,0	42,6	126,4	106,3	134,5
2073 - 74	74,6	52,5	117,4	137,4	77,5	56,6	5,2	0,0	97,5	182,3	101,2	322,0
2074 - 75	287,1	326,3	175,3	49,6	106,3	121,4	7,6	3,4	3,1	11,4	136,0	57,0
2075 - 76	58,5	277,8	141,0	275,9	151,0	7,5	21,5	23,5	37,5	58,6	136,7	329,3
2076 - 77	105,5	80,5	170,6	76,9	229,9	0,4	1,0	6,7	29,8	67,9	150,2	131,2
2077 - 78	70,2	162,2	169,5	227,9	254,1	36,0	8,2	12,9	13,8	103,6	93,3	447,0
2078 - 79	185,4	302,4	166,0	195,2	58,3	12,2	0,7	5,6	43,5	122,0	300,0	174,7
2079 - 80	183,1	349,6	57,8	50,3	136,7	27,1	9,6	7,6	12,2	46,8	125,1	187,8
2080 - 81	194,2	70,9	5,1	109,0	65,4	12,7	1,5	6,1	10,5	129,6	337,7	261,9
2081 - 82	379,8	92,0	88,0	24,7	107,3	26,8	0,6	0,0	11,7	60,7	70,1	225,9
2082 - 83	323,2	436,2	262,5	125,2	19,6	9,2	31,7	21,8	79,3	52,8	102,7	28,8
2083 - 84	77,5	71,2	67,1	4,5	72,5	21,6	5,9	9,1	28,7	78,3	116,9	96,9
2084 - 85	88,4	67,4	83,9	215,8	6,0	2,8	22,7	0,3	141,9	57,9	23,2	195,0
2085 - 86	101,2	224,4	387,2	109,4	27,0	3,2	0,3	4,6	72,6	52,4	186,9	50,2
2086 - 87	49,9	133,1	152,5	198,0	39,6	18,4	0,2	4,9	12,9	96,2	102,4	117,4
2087 - 88	123,8	281,6	84,4	132,4	49,5	2,1	8,5	0,3	51,1	115,1	220,0	137,3
2088 - 89	65,3	205,1	187,2	95,3	98,5	18,3	1,7	3,8	19,5	158,1	108,0	146,7
2089 - 90	246,5	161,3	289,3	30,5	65,0	9,9	0,0	0,0	62,3	102,5	64,7	51,5
2090 - 91	92,5	71,5	231,1	15,1	33,7	0,1	0,9	0,1	4,6	29,1	43,8	32,3
2091 - 92	42,3	180,0	187,6	112,2	48,8	33,6	24,4	2,2	57,7	203,8	192,3	137,0
2092 - 93	30,6	235,3	138,9	139,6	105,3	24,5	0,1	2,3	40,3	182,3	93,1	367,8
2093 - 94	45,9	149,7	170,9	72,0	7,6	0,2	2,5	0,0	56,2	137,4	163,8	51,5
2094 - 95	82,3	70,7	37,8	81,5	104,1	10,6	0,0	16,4	44,6	135,8	102,0	115,1
2095 - 96	234,0	231,1	147,1	104,0	108,5	8,3	0,5	0,2	7,2	40,9	41,0	194,1
2096 - 97	307,9	219,1	81,8	85,0	24,6	6,4	12,2	6,9	9,9	218,2	107,1	432,3
2097 - 98	153,9	280,6	14,6	64,8	34,3	11,4	0,0	2,4	26,4	396,9	86,9	389,2
2098 - 99	186,6	257,9	3,5	31,5	31,6	2,3	0,0	19,3	21,3	129,7	54,0	305,8
2099 - 100	192,1	197,8	82,4	46,3	1,7	7,3	7,5	6,0	57,6	354,3	125,4	211,1
ΜΕΣΟΙ ΟΡΟΙ	142,2	192,3	154,0	105,3	72,5	20,4	9,3	8,2	37,2	123,7	128,8	188,9

6.1 Εισροές φράγματος

Όπως είδαμε παραπάνω, τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα που πέφτουν στην λεκάνη απορροής του φράγματος (βροχοπτώσεις), προσφέρουν νερό στην περιοχή το οποίο είτε διηθείται, είτε απορροφάται από την υπάρχουσα βλάστηση, είτε εξατμίζεται απευθείας στην ατμόσφαιρα και καθίσταται μη αξιοποιήσιμο. Ο υπόλοιπος όγκος νερού απορρέει προς το φράγμα, όπου και συγκεντρώνεται ώστε να αξιοποιηθεί είτε για άρδευση είτε για ύδρευση.

Για τον υπολογισμό του τελικού όγκου του νερού που θα εισρεύσει στην τεχνητή λίμνη του φράγματος Πύλης, θα χρησιμοποιηθεί η εξίσωση που δίνεται στο σχήμα 6.1, το οποίο απεικονίζει την σχέση ποσοστού απωλειών με το ολικό ύψος βροχής:



Σχήμα 6.1: Διάγραμμα σχέσης ποσοστού απωλειών και ολικού ύψους βροχής – (Περιφέρεια Θεσσαλίας - τμήμα υδρολογικών έργων)

Επομένως, προκύπτει ότι το ποσό των απωλειών είναι ίσο με:

$$y = 1,0424 * \exp(-0,0038 * x) \quad (6.1)$$

Έτσι, ο τύπος υπολογισμού του συνολικού όγκου νερού, συν τις απώλειες που υφίσταται, διαμορφώνεται ως εξής:

$$V_{H_2O} = [x - 1,0424 * \exp(-0,0038 * x)] * E \quad (6.2)$$

Όπου x = μηνιαίο ύψος βροχής

E = εμβαδόν λεκάνης απορροής ίσο με 131 km^2

Με την εφαρμογή του τύπου 6.2 προκύπτουν τα δεδομένα του πίνακα 6.2:

Πίνακας 6.2 : Όγκος νερού απορροής της λεκάνης συμπεριλαμβανομένων των απωλειών λόγω διήθησης και απορρόφησης, κατά RAO.

ΥΔΡ. ΕΤΟΣ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
2070 - 71	5.852.781	31.543.933	88.719.821	3.727.326	1.060.149	4.289.711	4.081.526	1.893.028	38.084	13.152.394	4.541.139	8.886.321
2071 - 72	3.546.257	6.480.606	3.647.048	3.535.213	25.341	0	0	0	0	1.410.119	36.710.580	10.999.779
2072 - 73	1.371.252	4.527.950	3.566.477	8.170.406	3.504.748	0	0	0	633.229	5.880.359	4.235.479	6.601.946
2073 - 74	2.098.267	1.003.991	5.114.590	6.871.928	2.271.908	1.183.210	0	0	3.581.104	11.428.370	3.850.710	29.243.558
2074 - 75	24.439.093	29.849.468	10.669.912	888.394	4.232.500	5.448.306	0	0	0	2.569	6.735.508	1.200.079
2075 - 76	1.267.003	23.189.152	7.208.123	22.934.516	8.160.271	0	111.275	143.520	472.121	1.272.385	6.799.391	30.275.250
2076 - 77	4.172.059	2.448.593	10.166.023	2.232.405	17.017.414	0	0	0	269.911	1.730.862	8.083.242	6.305.728
2077 - 78	1.852.855	9.293.406	10.047.543	16.768.402	20.070.101	427.666	0	12.523	19.390	4.029.176	3.284.388	47.395.470
2078 - 79	11.775.411	26.530.334	9.682.627	12.872.506	1.260.291	7.943	0	0	663.192	5.499.962	26.202.832	10.605.544
2079 - 80	11.514.414	33.155.672	1.236.036	915.242	6.801.646	212.324	0	0	7.799	782.203	5.769.699	12.037.473
2080 - 81	12.764.944	1.892.577	0	4.440.386	1.599.675	11.429	0	0	0	6.160.245	31.463.657	21.092.364
2081 - 82	37.508.261	3.193.354	2.926.965	164.580	4.313.027	204.740	0	0	4.667	1.367.907	1.849.824	16.512.953
2082 - 83	29.420.194	45.784.485	21.161.194	5.776.890	82.742	0	314.355	115.946	2.376.161	1.017.249	3.963.458	247.784
2083 - 84	2.270.227	1.909.880	1.687.843	0	1.981.227	112.758	0	0	245.401	2.318.361	5.079.443	3.535.351
2084 - 85	2.950.114	1.705.102	2.660.635	15.294.909	0	0	129.364	0	7.285.221	1.241.224	138.552	12.851.597
2085 - 86	3.847.616	16.332.008	38.581.330	4.476.928	210.409	0	0	0	1.988.488	1.001.189	11.942.729	910.845
2086 - 87	900.327	6.471.579	8.310.576	13.193.692	536.824	67.337	0	0	12.551	3.487.050	3.941.839	5.118.973
2087 - 88	5.657.705	23.706.710	2.695.880	6.413.899	884.958	0	0	0	949.131	4.925.170	15.802.276	6.857.751
2088 - 89	1.599.348	14.020.768	11.967.683	3.425.906	3.655.420	65.992	0	0	81.950	8.870.922	4.366.073	7.750.083
2089 - 90	19.093.575	9.194.759	24.742.513	286.019	1.581.640	0	0	0	1.445.646	3.946.998	1.566.786	962.474
2090 - 91	3.231.102	1.923.596	17.158.477	31.549	365.885	0	0	0	0	254.783	673.763	329.118
2091 - 92	623.337	11.179.952	12.013.798	4.694.570	858.780	362.691	160.345	0	1.233.087	13.875.004	12.545.071	6.834.384
2092 - 93	289.050	17.684.340	7.006.299	7.074.465	4.154.682	162.228	0	0	557.506	11.424.973	3.269.956	35.761.133
2093 - 94	750.041	8.033.774	10.199.774	1.953.119	0	0	0	0	1.165.255	6.868.199	9.453.294	963.121
2094 - 95	2.560.545	1.881.706	479.630	2.511.104	4.065.468	0	0	44.252	702.510	6.718.974	3.912.524	4.926.424
2095 - 96	17.521.377	17.165.861	7.780.241	4.060.901	4.402.200	0	0	0	0	578.351	579.780	12.750.310
2096 - 97	27.289.668	15.684.050	2.527.484	2.734.185	162.510	0	7.758	0	0	15.584.356	4.291.652	45.213.560
2097 - 98	8.447.110	23.566.497	26.065	1.569.720	380.986	2.450	0	0	197.978	39.997.802	2.854.077	38.876.207
2098 - 99	11.900.939	20.570.096	0	309.552	312.135	0	0	79.713	107.848	6.173.988	1.069.219	26.994.068
2099 - 100	12.520.154	13.173.806	2.569.330	7.762.490	0	0	0	0	1.227.462	33.829.358	5.790.738	14.734.656
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	8.967.834	14.103.267	10.818.464	5.269.707	3.131.765	418.626	160.154	76.299	842.190	7.161.017	7.692.256	14.225.843

6.2 Απώλειες εξάτμισης από την λίμνη

Παρόλα αυτά, θα ήταν ελλιπές να θεωρηθεί ότι οι αιτίες των απωλειών είναι μόνο δύο (απορρόφηση & διήθηση), παραβλέποντας το φαινόμενο της εξάτμισης από την επιφάνεια της λίμνης, το οποίο μάλιστα έχει μεγάλη ευθύνη για την συνολική έλλειψη νερού παγκοσμίως αφού θεωρείται πως από τα συνολικά κατακρημνίσματα που

πέφτουν στην γη, το 90% αυτών επιστρέφει άμεσα στην ατμόσφαιρα μέσω του φαινομένου της εξάτμισης (<http://www.moa.gov.cy>). Συγκεκριμένα, υπολογίζεται πως η μέση ετήσια εξάτμιση νερού ανά στρέμμα κυμαίνεται περίπου στα 1000 - 1500 mm (σε ύψος νερού) ή αλλιώς περί τα 1 – 1,5 m³ H₂O/στρέμμα. (Δημητρακοπούλου, 2010)

Γενικά λοιπόν, η εκτιμώμενη μέση ετήσια εξάτμιση του νερού από την επιφάνεια της λίμνης του ταμιευτήρα του φράγματος μπορεί να υπολογιστεί ως το γινόμενο της μέσης ετήσιας εξάτμισης νερού ανά στρέμμα (1.000 m³/στρ.) επί την συνολική έκταση της επιφάνειας της λίμνης (2.300 στρέμματα) κάτι που ισούται με 2.300.000 m³ νερού ανά έτος.

Έτσι λοιπόν καθίσταται αναγκαίο να μπορέσουμε να υπολογίσουμε τις μηνιαίες απώλειες σε όγκο νερού εξαιτίας αυτού του φαινομένου. Γι αυτό τον λόγο και υπολογίσαμε πως οι απώλειες του νερού, εξαιτίας της εξάτμισης, θα δίνονται από τον παρακάτω τύπο:

$$A \text{ (m}^3\text{)} = \sigma * 1000 \text{ (m}^3\text{/στρ.)} * E \text{ (στρ.)} \quad (6.3)$$

Όπου: A = απώλειες νερού σε m³,

σ = συντελεστής εξάτμισης ανά μήνα

1000 m³/στρ. = 1000 mm εξάτμισης νερού ετησίως

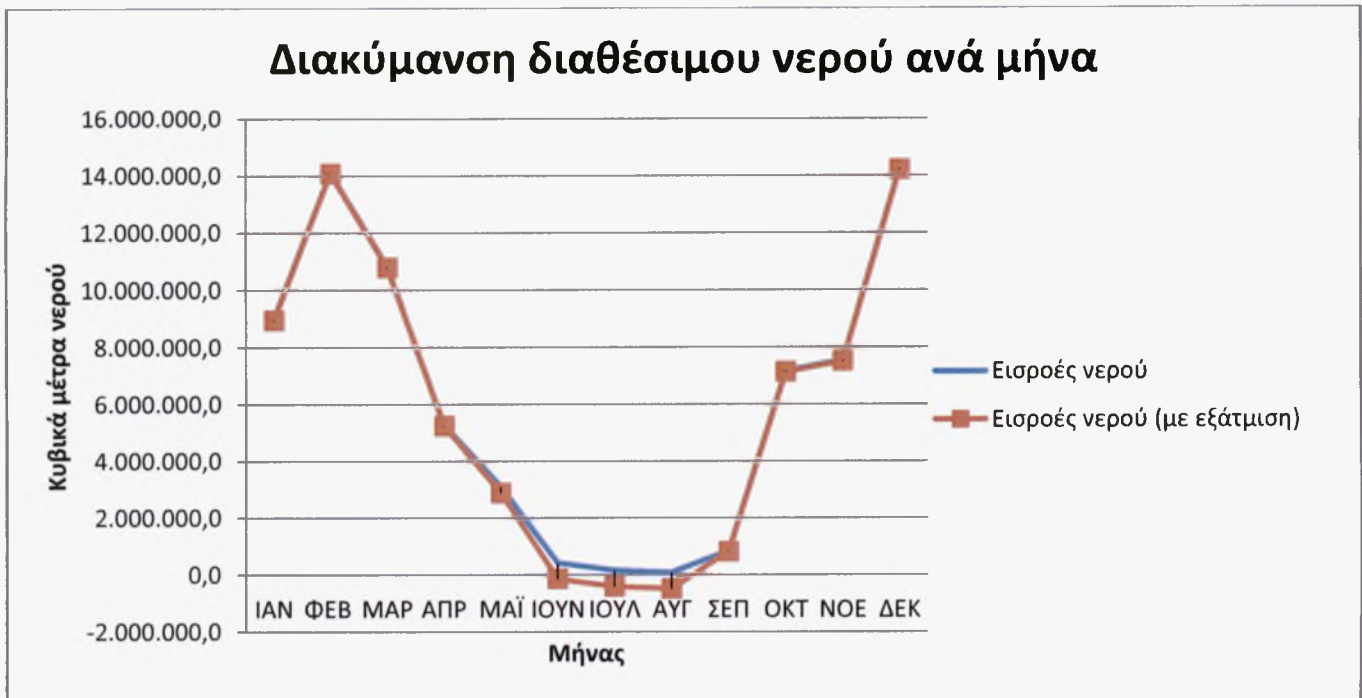
E = έκταση της επιφάνειας της λίμνης του φράγματος σε στρέμματα

Στον τύπο 6.3 λοιπόν καθίσταται δυνατό να υπολογιστούν οι μηνιαίες απώλειες χάρις στον συντελεστή εξάτμισης που εισαγάγουμε και ο οποίος παίρνει τιμές από 0,0187 έως 0,25 (1,87 – 25%) ανάλογα τον μήνα του χρόνου. Αυτή η κατανομή της εξάτμισης μέσα στο έτος γίνεται προσεγγιστικά και με την λογική ότι τους μήνες του καλοκαιριού όπου η ηλιοφάνεια και θερμοκρασία είναι η μέγιστη, θα έχουμε και τους μεγαλύτερους συντελεστές (0,25 ή 25% για Ιούνιο-Ιούλιο-Αύγουστο), ενώ για τον μήνα Μάιο που είναι ο τελευταίος της Άνοιξης θα κυμαίνεται στο 0,1 ή 10%. Για όλους τους υπόλοιπους μήνες του έτους το ποσοστό εκτιμάται συνολικά στο 15% περίπου άρα για τον κάθε ένα από τους 8 μήνες θα κυμαίνεται προσεγγιστικά γύρω στο 1,87%.

Συνεπώς, εφαρμόζοντας τις ανωτέρω παραδοχές, περί εξάτμισης, στα δεδομένα του πίνακα 6.2 λαμβάνονται οι τιμές του πίνακα 6.3 που αφορούν τον μηνιαίο όγκο νερού της τεχνητής λίμνης του φράγματος Πύλης, ενώ στο σχήμα 6.2 φαίνεται η διακύμανση του διαθέσιμου νερού ανά μήνα.

Πίνακας 6.3: Οι τελικές τιμές του απομείναντος νερού στο φράγμα σε (m^3) μετά τον υπολογισμό της εξάτμισης.

ΜΗΝΑΣ	ΜΕΣΟΣ ΜΗΝΙΑΙΟΣ ΟΓΚΟΣ ΝΕΡΟΥ (ΕΙΣΡΟΕΣ) (m^3)	ΑΠΟΜΕΝΩΝ ΟΓΚΟΣ ΝΕΡΟΥ ΕΠΕΙΤΑ ΑΠΟ ΕΞΑΤΜΙΣΗ (m^3)
Ιανουάριος	8.967.834	8.924.709
Φεβρουάριος	14.103.267	14.060.142
Μάρτιος	10.818.464	10.775.339
Απρίλιος	5.269.707	5.226.582
Μάιος	3.131.765	2.901.765
Ιούνιος	418.626	-156.374
Ιούλιος	160.154	-414.846
Αύγουστος	76.299	-498.701
Σεπτέμβριος	842.190	799.065
Οκτώβριος	7.161.017	7.117.892
Νοέμβριος	7.692.256	7.649.131
Δεκέμβριος	14.225.843	14.182.718



Σχήμα 6.2: Διακύμανση των διαθέσιμων m^3 νερού ανά μήνα, με ή χωρίς εξάτμιση

Στο σχήμα 6.2 φαίνεται η διακύμανση των μέσων τιμών των κυβικών του διαθέσιμου νερού ανά μήνα, βάση υπολογισμών που έχουν γίνει με την μέθοδο RCAO για τις μελλοντικές βροχοπτώσεις της περιόδου 2070-2100, με εξάτμιση αλλά και χωρίς. Κατ' αυτόν τον τρόπο γίνεται πιο εύκολα αντιληπτό το πώς επηρεάζει το φαινόμενο της εξάτμισης την διαθεσιμότητα του νερού ανάλογα τον μήνα του έτους που διανύεται. Να διευκρινιστεί εδώ πως οι αρνητικές τιμές που υπολογίστηκαν για τους μήνες του καλοκαιριού (Ιούνιος, Ιούλιος, Αύγουστος) σημαίνουν πως εξαιτίας του φαινομένου της εξάτμισης, θα εξατμιστούν όλες οι ποσότητες του νερού που θα εισρεύσουν στο ταμιευτήρα μας και μάλιστα θα εξατμιστούν και κάποια κυβικά νερού που προϋπήρχαν στο φράγμα, όπως φαίνεται στον πίνακα 6.3.

6.3 Παγκόσμια θέρμανση και αρδευτικές ανάγκες

Ο όρος **παγκόσμια θέρμανση** (*global warming*) δηλώνει μία ειδική περίπτωση κλιματικής μεταβολής και αναφέρεται στην αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας της γης και των ωκεανών. Ο όρος είναι εν γένει ουδέτερος ως προς τα αίτια πρόκλησης της

θέρμανσης του πλανήτη, ωστόσο έχει επικρατήσει να υπονοεί την ανθρώπινη παρέμβαση. Αποδίδεται συχνά με διαφορετικό τρόπο, ως *πλανητική υπέρ-θέρμανση* ή *παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας*, ενώ άλλες φορές ταυτίζεται με το φαινόμενο του θερμοκηπίου που αποτελεί έναν μηχανισμό παγκόσμιας θέρμανσης (Wikipedia.org).

Έτσι λοιπόν, γίνεται ευκόλως αντιληπτό πως είναι ένα φαινόμενο το οποίο μας επηρεάζει όλους άμεσα και έμμεσα και καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τον τρόπο ζωής του ανθρώπου στο μέλλον. Συνεπώς, οι όποιοι υπολογισμοί γίνονται σε μελλοντικά φαινόμενα, όπως ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, θα πρέπει πρώτα να λαμβάνεται σοβαρά υπ' όψιν το φαινόμενο αυτό και οι επιπτώσεις του στην άνοδο της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας.

Συγκεκριμένα, η επίσημη επιστημονική θέση πάνω στις κλιματικές μεταβολές, όπως αυτή εκφράζεται από την Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) του ΟΗΕ, είναι πως η μέση θερμοκρασία του πλανήτη έχει αυξηθεί 0.6 ± 0.2 °C από τα τέλη του 19ου αιώνα, και σύμφωνα με επιστημονικές έρευνες της IPCC, η θερμοκρασία της Γης ενδέχεται να αυξηθεί κατά 1.4 - 5.8 °C εντός της χρονικής περιόδου 1990 και 2100.

Βάση αυτών των νέων δεδομένων, θα πρέπει να προσαρμοστούν αναλόγως και δεδομένα που έχουμε λάβει σχετικά με την λειτουργία του φράγματος και κυρίως για τις ανάγκες σε ύδρευση που θα έχουν οι εξυπηρετούμενες εκτάσεις. Εφόσον λοιπόν θα έχουμε μια αύξηση της τάξης των 1,5-5,8 °C είναι λογικό να αυξηθούν και οι απαιτήσεις των καλλιεργειών σε νερό. Συγκεκριμένα, για την διευκόλυνση των πειραματικών υπολογισμών μας θα υποθέσουμε πως θα υπάρξει μια αύξηση της τάξης των 2 °C και αυτή θα επηρεάσει την μέση κατανάλωση νερού (σε m^3) ανά στρέμμα.

Για να εκτιμήσουμε αυτήν την διαφορά, λαμβάνουμε την μέση εκτιμώμενη κατανάλωση αρδευτικού νερού για την περιοχή μελέτης που μας δίνεται από την Περιφέρεια Θεσσαλίας ($525 m^3/στρ.$) και την αναγάγουμε στα νέα δεδομένα θερμοκρασιών με την βοήθεια της μεθόδου υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής «Penman Monteith». Από παλιότερες μελέτες, έχει προκύψει πως για μια καλλιέργεια τομάτας*, στην περιοχή της Πύλης Τρικάλων, θα χρειαζόντουσαν $574 m^3/στρ.$ νερό (ET_c), τα οποία μετά την αύξηση

της θερμοκρασίας κατά 2 °C, θα μεταβάλλονταν αυξητικά κατά 16,5 m³/στρ. με αποτέλεσμα να αυξάνεται η κατανάλωση στα 590,5 m³/στρ. Συνεπώς, για την περίπτωση μας, εφόσον οι ανάγκες έχουν υπολογιστεί για τα 525 m³/στρ. αναλογικά θα γίνει:

Τα 574 m³/στρ. αυξήθηκαν στα 590,5 m³/στρ.

Τα 525 m³/στρ. θα αυξηθούν στα Χ

$$\Leftrightarrow \chi = 590,5 * 525 / 574 = 540,9 \text{ m}^3/\text{στρ.}$$

Επομένως, οι ανάγκες των καλλιεργειών που εξετάζουμε θα μεταβληθούν και θα φτάσουν περίπου τις τιμές των 540,9 m³/στρ. νερού. Σύμφωνα λοιπόν με αυτήν την μέση κατανάλωση θα γίνουν και οι αντίστοιχοι υπολογισμοί παρακάτω.

**Επιλέχθηκε η καλλιέργεια της τομάτας αφενός μεν καθώς αποτελεί ένα τυπικό παράδειγμα καλοκαιρινής καλλιέργειας, αλλά και ένα παράδειγμα υδροβόρου καλλιέργειας. Συνεπώς οι τιμές που υπολογίστηκαν παραπάνω δύναται να θεωρηθούν ως οι μέγιστες τιμές κατανάλωσης νερού ανά στρέμμα και ανά καλλιέργεια.*

6.4 Εκτίμηση της δυνατής αρδευόμενης έκτασης βάσει του δυναμικού του νερού στο φράγμα

Εφόσον έχουμε υπολογίσει πια τον συνολικό όγκο που εισρέει στο φράγμα καθ' όλη την διάρκεια του έτους, αλλά και τις απώλειες που θα υφίσταται εξαιτίας του φαινομένου της εξάτμισης, τώρα πια είμαστε σε θέση να κάνουμε ένα πλάνο άρδευσης των καλλιεργειών, βάσει των αναγκών τους σε νερό.

6.4.1 Για την περίοδο 2070-2100

Όπως είναι γνωστό το χρονικό διάστημα κατά το οποίο μεγιστοποιούνται οι ανάγκες για άρδευση είναι από τον μήνα Μάιο έως τον Αύγουστο, συνεπώς αυτοί θα είναι οι μήνες που θα μας απασχολήσουν σε αυτή τη διερεύνηση.

Για τον υπολογισμό του όγκου του νερού που θα υπάρχει στο φράγμα κατά την έναρξη της αρδευτικής περιόδου, προσθέτουμε τις μέσες τιμές των όγκων νερού των υπολοίπων μηνών (Σεπτέμβριος-Απρίλιος) από τον πίνακα 6.3.

Έτσι, προκύπτει ότι:

$$\text{Όγκος νερού που απορρέει} = 799.065 + 7.117.892 + 7.649.131 + 14.182.718 + 8.924.709 + 14.060.142 + 10.775.339 + 5.226.582 = \mathbf{68.735.578 \text{ m}^3}$$

Από τα χαρακτηριστικά του φράγματος που έχουμε στην διάθεσή μας προκύπτει ότι ο μέγιστος δυνατός όγκος που μπορεί να συγκεντρωθεί στο φράγμα είναι ίσος με $64.000.000 \text{ m}^3$. Όμως στον ολικό όγκο θα πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν και ο νεκρός όγκος. Έτσι ο ωφέλιμος όγκος του φράγματος προκύπτει από την αφαίρεση του ολικού από τον νεκρό όγκο, η οποία γίνεται ως εξής: “Ολικός όγκος ταμιευτήρα” – “Νεκρός όγκος” = $64.000.000 - 17.000.000 = \mathbf{47.000.000 \text{ m}^3}$

Σύμφωνα με υπολογισμούς της Περιφέρειας Θεσσαλίας $6.000.000 \text{ m}^3$ από το παραπάνω ποσό θα χρησιμοποιούνται για ανάγκες ύδρευσης, επομένως προκύπτει ότι για τις ανάγκες άρδευσης θα είναι διαθέσιμα $41.000.000 \text{ m}^3$ νερού, τα οποία θα κατανεμηθούν αναλόγως τις ανάγκες στους 4 μήνες (Μάιο- Αύγουστο).

Συνεπώς, εφόσον έχουμε εισροές της τάξης των $66 * 10^6 \text{ m}^3 > 64 * 10^6 \text{ m}^3$ τα οποία χωράει το φράγμα, θα έχουμε **πλεόνασμα** νερού (κατά μέσο όρο) για την περίοδο 2070-2100, το οποίο θα αγγίζει περίπου τα $2.000.000 \text{ m}^3$ νερού. Απ' την ποσότητα αυτή, τα $17 * 10^6 \text{ m}^3$ θα αποτελούν τον νεκρό όγκο του φράγματος, ενώ τα $6 * 10^6 \text{ m}^3$ νερού θα

χρησιμοποιηθούν για την ύδρευση των γύρω περιοχών της Πύλης. Τα 41.000.000 m³ που περισσεύουν θα αποτελέσουν τον όγκο κατά την εναρκτήρια περίοδο της άρδευσης, κάτι που σημαίνει πως το φράγμα θα είναι γεμάτο κατά την έναρξη των αρδεύσεων.

Για την κατανομή των αρδεύσεων έχει υπολογιστεί σε υδρολογική μελέτη που έχει εκπονηθεί στο Τμήμα Υδρολογικών Έργων της Περιφέρειας Θεσσαλίας, πως για τον μήνα Μάιο θα καταναλωθούν 60 m³, τον μήνα Ιούνιο 135 m³, τον Ιούλιο -> 185 m³ και τον Αύγουστο -> 145 m³ νερού ανά στρέμμα. Παρόλα αυτά, αυτές οι τιμές ισχύουν όταν η μέση κατανάλωση ανά στρέμμα κυμαίνονταν στα 525 m³/στρ. δεδομένου ότι η κατανάλωση αυτή αυξήθηκε στα 540,9 m³/στρ. θα μεταβληθούν αναλόγως και οι ποσότητες άρδευσης.

Έτσι:

- ✓ Για τον μήνα Μάιο είχαμε 60 m³/στρ. (11,4% του 525) άρα με τα νέα δεδομένα θα γίνουν 61,5 m³/στρ. (11,4% του 540,9)
- ✓ Για τον μήνα Ιούνιο είχαμε 135 m³/στρ. (25,7%) άρα τώρα θα γίνουν 139 m³/στρ.
- ✓ Για τον μήνα Ιούλιο είχαμε 185 m³/στρ. (35,2%) άρα τώρα θα γίνουν 190,3 m³/στρ.
- ✓ Για τον μήνα Αύγουστο είχαμε 145 m³/στρ. (27,6%) άρα τώρα θα γίνουν 149,3 m³/στρ.

Στον παρακάτω πίνακα 6.4 φαίνεται η κατανομή του νερού που θα γίνει για κάθε μήνα χωριστά, μαζί με τις περιβαλλοντικές εισροές (βροχοπτώσεις), συμπεριλαμβανομένων των ποσοτήτων που θα εξατμιστούν, αλλά και εκροές των μηνών εκείνων, (σύμφωνα με τα παραπάνω στοιχεία) οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν για την άρδευση των κατάντη περιοχών. Από αυτά θα προκύψουν και τα στρέμματα που θα μπορούν να καλυφτούν στις γύρω περιοχές, κατάντη του φράγματος, υπολογιζόμενα απ' το σύνολο του υπάρχοντος νερού διά την μέση κατανάλωση ανά στρέμμα.

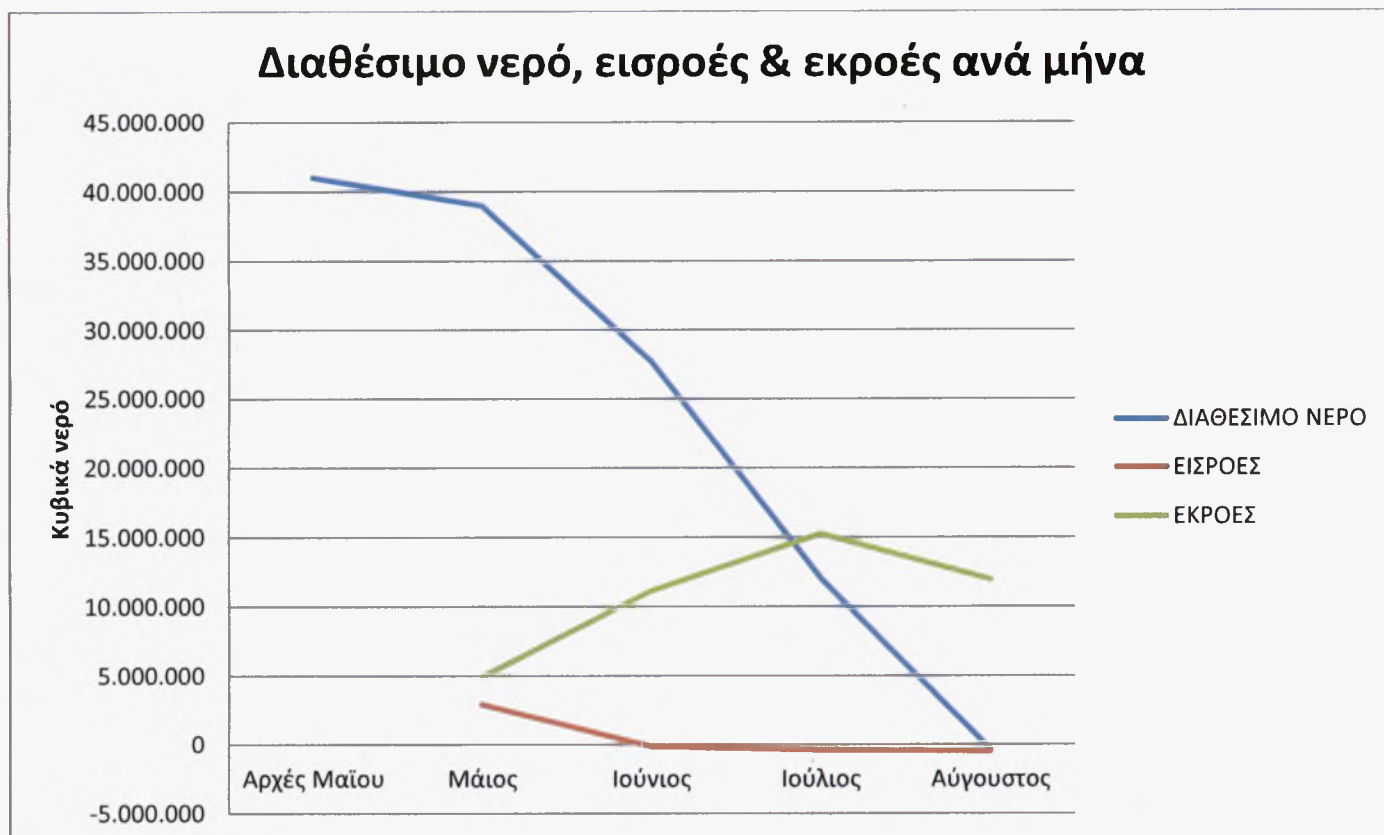
Πίνακας 6.4: Υδατικό ισοζύγιο φράγματος κατά μήνα, και καλυπτόμενα στρέμματα για την περίοδο 2070-2100.

ΜΗΝΑΣ	ΥΠΑΡΧΟΝ ΝΕΡΟ (m ³)	ΕΙΣΡΟΕΣ (m ³)	ΕΚΡΟΕΣ (m ³)	ΑΡΔΕΥΤΙΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ (m ³ /στρ.)	ΣΤΡΕΜΜΑΤΑ (km ²)
Αρχές Μαΐου	41.000.000				75.799,6
Μάιος	38.981.765	2.901.765	4.920.000	61,5	
Ιούνιος	27.705.391	-156.374	11.120.000	139	
Ιούλιος	12.066.545	-414.846	15.224.000	190,3	
Αύγουστος	-376.156	-498.701	11.944.000	149,3	

Στον πίνακα 6.4 δίνεται το υδατικό ισοζύγιο του φράγματος κατά μήνα, οι αντίστοιχες αρδευτικές ανάγκες των καλλιεργειών, καθώς και τα στρέμματα που έχουν την δυνατότητα να αρδευτούν στην αρχή της περιόδου. Από αυτά τα δεδομένα, λοιπόν, προκύπτει αρχικά ότι στις αρχές Μαΐου θα έχουμε την μέγιστη χωρητικότητα σε νερό (41.000.000 m³). Στην συνέχεια, κατά την διάρκεια του μήνα, θα έχουμε αρχικά εισροές (λόγω βροχοπτώσεων) της τάξης των 2.901.765 m³ νερού αλλά και εκροές 4.920.000 m³ τα οποία προορίζονται για την άρδευση 80.000 στρεμμάτων (με κατανάλωση 61,5 m³/στρ.). Συνεπώς θα περισσέψουν 38.981.765 m³ νερό. Αντίστοιχα, το ίδιο γίνεται και τους υπόλοιπους μήνες μέχρι να φτάσουμε στον μήνα Αύγουστο, όταν και τελειώνει η κύρια αρδευτική περίοδος, όπου και παρατηρείται μια έλλειψη νερού της τάξης των 376.156 m³. Αυτό συμβαίνει καθώς κατά την διάρκεια των μηνών Ιουνίου-Αυγούστου παρατηρείται πως η εξάτμιση εκείνης της περιόδου θα είναι τόσο μεγάλη ώστε όχι μόνο θα εξαφανίσει όλες τις εισροές απ' τα κατακρημνίσματα, αλλά θα επιφέρει και μείωση στον συνολικό όγκο νερού που υπάρχει ήδη συγκεντρωμένο στο φράγμα.

Όπως είναι φυσιολογικό, οι μέγιστες ανάγκες προκύπτουν τον μήνα Ιούλιο, κατά την διάρκεια του οποίου ξεπερνούν τα 15 εκατομμύρια κυβικά νερού.

Το σχήμα 6.3 απεικονίζει την γραμμική εξίσωση μεταξύ διαθέσιμου (υπάρχοντος) νερού στο φράγμα, εισροών και εκροών κατά τους μήνες Μάιο-Αύγουστο.



Σχήμα 6.3: Η καμπύλη του διαθέσιμου νερού στο φράγμα, συναρτήσεως των εισροών και εκροών του κάθε μήνα άρδευσης.

6.4.2 Σενάριο Α': Μηδενική βροχοπτώση τους καλοκαιρινούς μήνες

Όπως είδαμε παραπάνω, με την βοήθεια του προγράμματος RCAO μπορέσαμε να προβλέψουμε τις βροχοπτώσεις που θα πέσουν κατά την διάρκεια των ετών 2070-2100 βάσει των ήδη καταγεγραμμένων, ώστε να είμαστε σε θέση να εκτιμήσουμε πόσο νερό μπορεί να συγκεντρωθεί στο φράγμα το οποίο είναι σχεδιασμένο να κατασκευαστεί στην περιοχή. Έτσι λοιπόν, υπολογίστηκαν οι συνολικές καλλιεργητικές εκτάσεις που μπορούν να αρδευτούν, βάση αυτών των ποσοτήτων νερού σε συνάρτηση των αναγκών τους ανά μήνα.

Από τα δεδομένα που εξήχθησαν, προέκυψε πως το φράγμα, κατά μέσο όρο, θα συγκεντρώνει την μέγιστη δυνατή ποσότητα για την οποία είναι σχεδιασμένο, δηλαδή 64.000.000 m³ νερού, και ότι θα είμαστε σε θέση να ικανοποιήσουμε τις απαιτήσεις άρδευσης της περιόδου 2070-2100, κατά ένα μεγάλο ποσοστό.

Παρόλα αυτά, καθώς οι κλιματικές αλλαγές είναι σε μεγάλο βαθμό απρόβλεπτες, θεωρούμε ότι θα πρέπει να είμαστε προετοιμασμένοι και για τα χειρότερα πιθανά σενάρια. Είναι εύκολο να παρατηρήσει κάποιος κοιτώντας τα μέσα ύψη βροχών ανά έτη, για το διάστημα 2070 – 2100, πως οι βροχοπτώσεις σε μερικούς μήνες (ιδιαίτερα τους θερινούς) είναι αμελητέες έως μηδενικές.

Συνεπώς, θα ήταν λογικό να πάρουμε ως υπόθεση ένα ακραίο σενάριο κατά το οποίο υπάρξει λειψυδρία κατά την διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών της περιόδου 2070-2100, δηλαδή, το νερό που θα πέσει να είναι αμελητέας ποσότητας. Κάτι τέτοιο θα μηδένιζε τις εισροές του φράγματος για τους μήνες Μάιο-Αύγουστο, οπότε θα έπρεπε να βασιστούμε στις αρχικές συγκεντρώσεις νερού που θα υπάρχουν στο φράγμα για να μπορέσουμε να καλύψουμε τις ανάγκες των γύρω περιοχών σε νερό. Το σενάριο αυτό λοιπόν, εγείρει τα εξής ερωτήματα:

- ✓ Μπορεί να είναι αποδοτικό το φράγμα υπό αυτές τις συνθήκες;
- ✓ Γίνεται να καλυφθούν οι αρδευτικές ανάγκες των 80.000 στρεμμάτων γης;
- ✓ Θα έχουμε έλλειψη ή πλεόνασμα νερού στο τέλος του καλοκαιριού;

Στον πίνακα 6.5 φαίνεται ξεκάθαρα πως εφόσον υπάρξει λειψυδρία στους μήνες Μάιο – Αύγουστο για κάποια χρονιά της περιόδου 2070-2100, τότε το υδατικό δυναμικό του φράγματος μειώνεται ραγδαία, με αποτέλεσμα τον μήνα Αύγουστο (τέλος αρδευτικής περιόδου) να μην επαρκεί το νερό για την κάλυψη των αναγκών και να παρουσιάζεται έλλειψη της τάξης των 4.163.000 κυβικών νερού. Αυτό σημαίνει πως θα μπορούμε να αρδεύσουμε μόνο κατά τους 3 πρώτους μήνες, ενώ στον τελευταίο θα πρέπει να βρεθούν διαφορετικές πηγές νερού συνολικής παροχής άνω των 4 εκ. κυβικών. Επίσης, εξαιτίας του φαινομένου της εξάτμισης σε συνδυασμό με την λειψυδρία, θα οδηγήσει στην εξάτμιση αρκετά μεγάλων ποσοτήτων απ' το απόθεμα της λίμνης, οι οποίες θα πλησιάσουν τα 2.000.000 m³ νερού.

Πίνακας 6.5: Υδατικό ισοζύγιο φράγματος και καλυπτόμενα στρέμματα σε περίπτωση καλοκαιρινών λειψυδριών, για την περίοδο 2070-2100.

ΜΗΝΑΣ	ΥΠΑΡΧΟΝ ΝΕΡΟ (m ³)	ΕΙΣΡΟΕΣ (m ³)	ΕΚΡΟΕΣ (m ³)	ΑΡΔΕΥΤΙΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ (m ³ /στρ.)	ΣΤΡΕΜΜΑΤΑ (km ²)
Αρχές Μαΐου	41.000.000				75.799,6
Μάιος	35.850.000	-230.000	4.920.000	61,5	
Ιούνιος	24.155.000	-575.000	11.120.000	139	
Ιούλιος	8.356.000	-575.000	15.224.000	190,3	
Αύγουστος	-4.163.000	-575.000	11.944.000	149,3	

Το παρακάτω σχεδιάγραμμα 6.4 απεικονίζει την γραμμική μεταβολή μεταξύ εκροών και διαθέσιμου νερού στο φράγμα:



Σχήμα 6.4: Η καμπύλη του διαθέσιμου νερού στο φράγμα, συναρτήσεως των εισροών και εκροών του κάθε μήνα άρδευσης.

6.4.3 Σενάριο Β': Εκτίμηση υδατικού ισοζυγίου για την περίοδο 1960-1990

Αφού λοιπόν έγιναν οι εκτιμήσεις για την παροχή νερού του φράγματος της περιόδου 2070-2100, θα ήταν ενδιαφέρον να τις συγκρίνουμε με τις παρελθοντικές τιμές της περιόδου 1960-1990 ώστε να παρατηρήσουμε τις όποιες μεταβολές στα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα και κατά συνέπεια στην αποδοτικότητα του φράγματος, δεδομένου ότι θα υπήρχε και την περίοδο εκείνη.

Για τον υπολογισμό λοιπόν των συνολικών ποσοτήτων νερού που θα συγκέντρωνε το φράγμα, θα ληφθούν τα στοιχεία που έχουν οι μετεωρολογικοί σταθμοί της περιοχής και θα γίνει αναγωγή σε εκμεταλλεύσιμο νερό με την βοήθεια του προγράμματος RCAO.

Στον πίνακα 6.6 φαίνονται οι μετρήσεις που λάβαμε απ' τους βροχομετρικούς σταθμούς, όσον αφορά τις μηνιαίες βροχοπτώσεις ανά έτος, για την περίοδο 1960 - 1990.

Πίνακας 6.6: Μετρήσεις βροχόπτωσης (σε mm) απ' τον μετεωρολογικό σταθμό της Ελάτης για όλους τους μήνες από το 1960 μέχρι το 1990.

ΥΔΡ. ΕΤΟΣ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
1960-61	102,3	51,6	146	80,4	39,4	22,2	49,4	14,6	5,7	54,7	142,7	304,3
1961-62	107,7	196,2	380,5	89,4	34,5	35,4	4,6	4,8	186,9	195	169,9	176,4
1962-63	327,9	499,5	154,1	109,8	125,9	31,8	12,3	60,3	16,9	250,3	351,2	349,8
1963-64	102,8	92	155,9	77,9	129,8	49,5	26,7	34,2	105	301,8	90,4	257,8
1964-65	218	196,6	156,3	294,1	172,1	104,8	29,7	13,5	2,5	111,2	183,2	277,8
1965-66	321,3	124,3	193,6	162,3	149,9	120,4	14	28,1	65,2	86,3	396,2	232,5
1966-67	101,8	124,3	95	215,4	99,2	27,9	113,9	16,2	89	187	472,3	256
1967-68	181,1	97,1	92,1	61,3	105,9	61	0,8	35,9	65,9	73,6	84,3	183,7
1968-69	159,9	242,9	194,9	42,9	39,4	31,8	14,6	21,8	92,8	182	163,7	320,1
1969-70	139	166,5	114,1	50,4	82,9	48,7	52,8	10,1	19	18,7	146,2	323
1970-71	179,9	259,1	313,4	44,1	43	24,9	13	39,1	67,1	94,4	85,5	202
1971-72	221,4	163	146,6	275,4	63,9	17,2	81,4	48,4	51,4	93,3	245,9	129,3
1972-73	201,7	195,2	225,2	55,6	52,6	21,2	24,7	83,7	65,1	312,7	99,5	51,8
1973-74	97,2	320,5	143,8	281,3	83,7	32,9	2,1	9,1	123,3	269,8	154,9	208,7
1974-75	40,4	244,4	96,6	86,1	83,4	74,7	17,1	61,8	26,5	284,7	218,6	62,2
1975-76	117,1	236,7	122,6	163,1	50,5	37,7	42,9	49	26,7	125,9	203,9	195,4
1976-77	86,5	60,9	38,2	101,6	33,3	25,9	3,5	22,1	105,5	171,4	165,6	361,8
1977-78	227,8	140,6	119,5	159,6	53,1	18,6	6,7	4,9	187,6	37,6	169,9	251
1978-79	214,5	263	58,5	198	184,6	25,6	49,7	21,3	26,8	97,6	114,5	222
1979-80	215,3	155,5	297,2	114,7	127,1	31,9	0,3	14,9	25,9	315,4	213,2	261,3
1980-81	352,1	203,7	56,3	92,3	91,6	38	12,8	28,1	64,7	364,2	150,9	282,1
1981-82	61	214,1	257	157,2	150	45,5	8,4	26,6	64	151	133,2	367,6
1982-83	51,7	127,2	69,9	28,6	41,2	79,1	49,5	26	27,1	154,6	211,5	212,1
1983-84	155,5	309,6	166,7	217,6	65	22,4	16	58,8	48	101,7	202	290,5
1984-85	243,8	75,8	154,2	177,3	83,4	12,4	17,7	5,4	5,7	8,3	167,1	140,4
1985-86	214,1	317	126,8	72,7	94,4	117	15,6	34,6	49,5	160,7	326,5	145,4
1986-87	331,2	160,9	233,6	106,9	82	32,1	7,8	25,6	2,3	194,6	64,1	139,1
1987-88	109,3	134,8	120,5	75,9	25,5	19,4	3,5	0,5	27,3	189,1	212,9	129,6
1988-89	28,5	129,8	120,2	100,2	91,6	39,9	93,2	3,6	18,8	119,8	233,4	209,6
1989-90	8,1	58,9	19,7	94,7	134,5	4,9	6,1	66,2	39,3	146	131,1	142,6
Αθροισμα	4918,9	5561,7	4569	3786,8	2613,4	1254,8	790,8	869,2	1701,5	4853,4	5704,3	6685,9

Βάση λοιπόν του παραπάνω πίνακα 6.6, και με την χρήση του τύπου 6.2, υπολογίζεται ο όγκος νερού που θα συγκεντρωθεί στη λίμνη του φράγματος, ώστε να εκτιμηθεί η χωρητικότητά του κατά τους μήνες των αρδεύσεων. Ο πίνακας 6.7 απεικονίζει αυτά τα ποσά (σε m³), ανά μήνα, και αποδίδει τις μέσες τιμές τους για την 30ετία, συν τις απώλειες εξαιτίας της εξάτμισης.

Πίνακας 6.7: Κυβικά νερού που απορρέουν στο φράγμα, συναρτήσει της βροχόπτωσης και των απωλειών λόγω διήθησης, απορρόφησης αλλά και εξάτμισης.

ΥΔΡ. ΕΤΟΣ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
1960-61	3.931.219	967.995	7.678.465	2.443.749	529.285	121.940	880.176	26.504	0	1.098.049	7.363.720	26.789.087
1961-62	4.341.231	12.990.252	37.607.401	3.019.701	387.229	0	0	0	0	12.853.057	10.091.963	10.786.207
1962-63	30.075.148	55.213.184	8.470.700	4.505.027	5.837.831	0	8.380	1.351.298	49.677	19.585.720	33.381.131	33.180.981
1963-64	3.968.497	3.195.458	8.650.444	2.292.954	6.180.269	884.086	0	0	4.134.193	26.445.227	3.086.813	20.554.694
1964-65	15.556.524	13.036.083	8.690.565	25.391.743	10.325.228	4.119.018	0	0	0	4.615.552	11.528.446	23.191.636
1965-66	29.149.268	5.699.487	12.693.564	9.300.026	8.056.475	0	21.286	232.538	1.591.717	2.815.568	39.897.156	17.334.610
1966-67	3.894.083	5.699.487	3.403.323	15.243.436	3.703.274	0	0	0	2.993.027	11.950.065	51.154.183	20.321.097
1967-68	11.297.527	3.552.008	3.202.300	1.398.955	4.202.758	1.384.582	0	425.758	1.627.465	2.043.237	2.687.051	11.583.646
1968-69	9.054.537	18.641.256	12.841.645	642.938	529.285	317.644	0	0	3.250.362	11.396.309	9.444.260	28.981.475
1969-70	7.016.524	9.734.980	4.847.831	919.629	2.598.593	853.023	0	0	75.189	71.292	7.697.692	29.387.267
1970-71	11.166.249	20.723.805	0	684.199	646.332	168.671	0	0	0	3.361.320	2.763.860	13.659.564
1971-72	15.968.651	9.372.049	7.736.198	22.871.385	1.526.251	53.068	0	841.503	959.857	3.284.872	19.022.718	6.135.957
1972-73	13.624.696	12.875.892	16.432.805	1.137.173	1.009.147	0	164.983	2.648.988	1.586.639	27.950.658	3.725.093	976.164
1973-74	3.559.153	29.037.387	7.468.108	0	2.648.988	345.239	0	0	5.613.663	22.128.057	8.550.424	14.445.139
1974-75	560.733	18.831.740	3.516.372	2.802.604	0	0	51.929	0	199.464	24.117.766	15.629.032	1.442.467
1975-76	5.092.781	17.859.284	5.553.882	9.382.353	923.617	0	0	0	203.474	5.837.831	13.881.012	12.898.739
1976-77	2.828.558	1.379.805	492.639	3.879.268	355.531	187.648	0	0	4.172.229	10.250.815	9.641.209	34.902.164
1977-78	16.752.490	7.165.915	5.292.097	9.024.010	1.030.010	0	0	0	12.017.074	474.764	10.091.963	19.675.667
1978-79	15.135.484	21.233.119	1.267.361	13.196.877	11.683.219	181.861	0	0	205.492	3.587.791	4.880.219	16.041.692
1979-80	15.231.431	8.610.387	25.814.836	4.896.445	5.942.412	0	0	0	187.648	28.325.976	14.979.942	21.010.748
1980-81	33.509.893	13.857.651	1.168.023	3.216.002	3.168.151	0	0	0	0	35.247.864	8.154.436	23.767.864
1981-82	1.384.582	15.087.576	20.450.793	8.781.074	8.066.252	733.800	0	0	1.531.244	8.164.255	6.484.735	35.738.393
1982-83	972.076	5.951.159	1.838.341	243.338	586.483	2.364.827	0	0	211.600	8.520.497	14.777.242	14.848.692
1983-84	8.610.387	27.520.894	9.755.859	15.508.239	0	0	0	1.281.185	826.252	3.886.672	13.659.564	24.902.217
1984-85	18.755.487	2.169.460	8.480.652	10.883.523	2.630.042	0	58.909	0	0	0	9.797.663	7.147.179
1985-86	15.087.576	28.548.819	5.916.201	1.992.539	3.361.320	0	0	0	0	9.136.117	29.878.330	7.620.867
1986-87	30.539.944	9.156.551	17.471.622	4.279.467	2.542.386	0	0	0	0	12.807.425	1.536.244	7.025.828
1987-88	4.465.810	6.629.890	5.376.014	2.175.275	179.949	80.515	0	0	215.717	12.185.110	14.944.114	6.162.530
1988-89	241.160	6.180.269	5.350.785	3.776.203	3.168.151	0	3.277.958	0	72.582	5.317.219	17.446.689	14.551.646
1989-90	0	1.285.808	84.608	3.382.295	0	0	0	0	526.185	7.678.465	6.296.037	7.354.256
ΜΕΣΗΤΙΜΗ	11.059.057	13.073.588	8.585.114	6.242.348	3.060.616	393.197	148.787	226.926	1.408.358	20.827.818	13.415.765	17.080.616
ΜΕ ΕΞΑΤΜΙΣΗ	11.016.047	13.030.578	8.542.104	6.199.338	2.830.616	-161.803	-426.213	-348.074	1.365.348	10.794.908	13.372.755	17.037.606

Ο συνολικός όγκος του νερού που θα συγκεντρωνόταν μέσα στη λίμνη του φράγματος, εκφράζεται με το άθροισμα όλων των μέσων τιμών των μηνών, εκτός του Μαΐου-Αυγούστου. Δηλαδή υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{Κυβικά νερού που θα εισρεύσουν} = 1.365.348 + 10.794.908 + 13.372.755 + 17.037.606 + 11.016.047 + 13.030.578 + 8.542.104 + 6.199.338 = \mathbf{81.358.685 \text{ m}^3 \text{ νερό.}}$$

Όπως θα δούμε και στον πίνακα 6.8 παρακάτω, παρατηρείται πως και για την 30ετία 1960-1990, οι μέσες τιμές του απορρέοντος νερού, που εισρέουν στη λίμνη,

υποδεικνύουν την υπερπλήρωση του φράγματος σε νερό αφού η μέγιστη χωρητικότητα του είναι 64 εκ. m³ ενώ τελικά θα συγκεντρώνονταν πάνω από 81 εκ. m³. Αυτή η ποσότητα, βάση της μέσης κατανάλωσης ανά στρέμμα (525 m³/στρ.), υπολογίζεται πως θα κάλυπτε γύρω στα 78.000 στρέμματα τα οποία απαιτούν άρδευση. Συγκεκριμένα, τους μήνες Μάιο, Ιούνιο, Ιούλιο, και Αύγουστο, όταν και μεγιστοποιούνται οι ανάγκες για άρδευση, θα είχαμε το υδατικό ισοζύγιο όπως φαίνεται στο πίνακα 6.8:

Πίνακας 6.8: Υδατικό ισοζύγιο φράγματος και καλυπτόμενα στρέμματα κατά την περίοδο 1960-1990 για τους αρδευτικούς μήνες.

ΜΗΝΑΣ	ΥΠΑΡΧΟΝ ΝΕΡΟ (m ³)	ΕΙΣΡΟΕΣ (m ³)	ΕΚΡΟΕΣ (m ³)	ΑΡΔΕΥΤΙΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ (m ³ /στρ.)	ΣΤΡΕΜΜΑΤΑ (km ³)
Αρχές Μαΐου	41.000.000				78.095
Μάιος	39.030.616	2.830.615	4.800.000	60	
Ιούνιος	28.048.813	-181.802	10.800.000	135	
Ιούλιος	12.822.600	-426.212	14.800.000	185	
Αύγουστος	874.526	-348.074	11.600.000	145	

Παρακάτω δίνεται το σχήμα 6.5, το οποίο απεικονίζει τις μεταβολές του ισοζυγίου στο νερό του φράγματος κατά τους 4 μήνες άρδευσης:



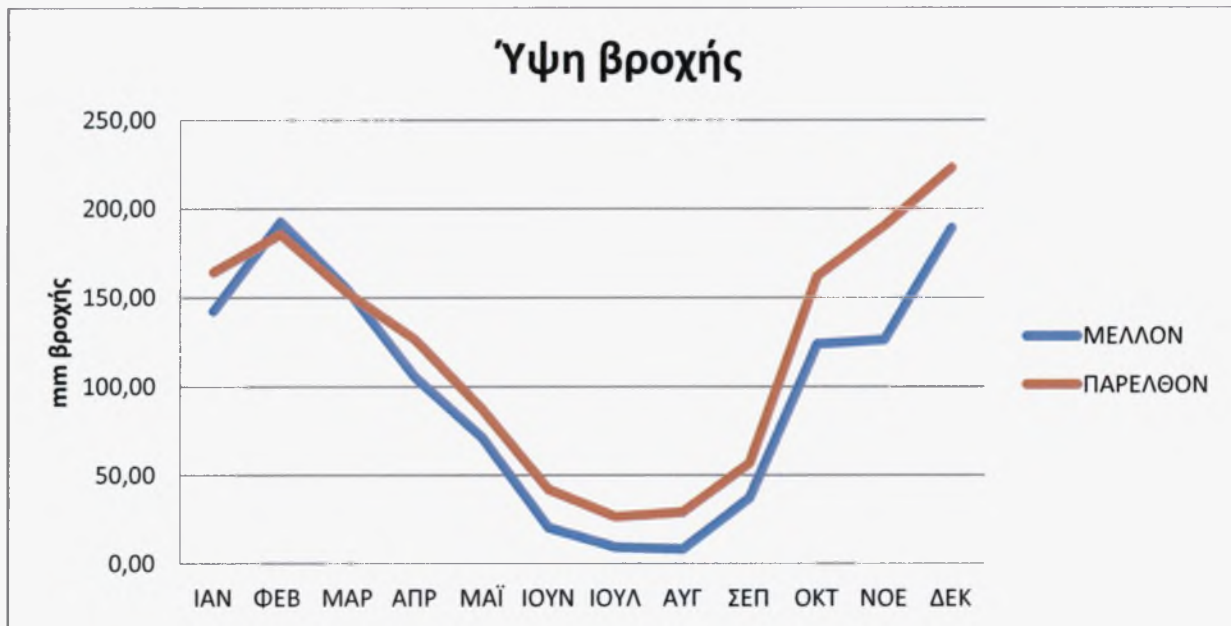
Σχήμα 6.5: Σχηματική απεικόνιση του διαθέσιμου, προς άρδευση, νερού συναρτήσει των εισροών και εκροών για τους 4 μήνες άρδευσης.

Συνεπώς, παρατηρούμε πως για την περίοδο 1960-1990 οι μέσες τιμές των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, άρα και του απορρέοντος νερού, ήταν επαρκείς και με το παραπάνω για την πλήρωση του φράγματος (εάν υπήρχε από τότε) και θα αρκούσαν για την κάλυψη των 80.000 στρεμμάτων που προβλέπεται. Συγκεκριμένα, παρά το φαινόμενο της εξάτμισης, το οποίο θα επηρεάσει πάλι αισθητά τις εισροές νερού (οδηγώντας σε εξάτμιση όγκου νερού που προϋπήρχε στο φράγμα), θα υπήρχε ένα πλεόνασμα στο τέλος του καλοκαιριού της τάξης των 875.000 m³, ενώ οι μέγιστες καταναλώσεις παρατηρούνται πάλι τον μήνα Ιούλιο, όταν και ξεπερνούν τα 14,5 εκ. m³ νερό.

6.4.4 Σύγκριση παρελθόν-μέλλον

Σε αυτήν την παράγραφο, θα επιχειρήσουμε να συγκρίνουμε τα παρελθοντικά δεδομένα που έχουμε στην διάθεσή μας, με τα μελλοντικά, τα οποία και εκτιμήσαμε με την βοήθεια του μοντέλου RCAO του προγράμματος Prudence. Αυτό που μας ενδιαφέρει να συγκρίνουμε είναι αφενός τα ύψη βροχής σε συνδυασμό με τα κυβικά του απορρέοντος, στο φράγμα, νερού αλλά και αφετέρου τα αρδευόμενα στρέμματα τα οποία μπορούσαμε και θα μπορούμε να καλύψουμε με αυτά τα δεδομένα.

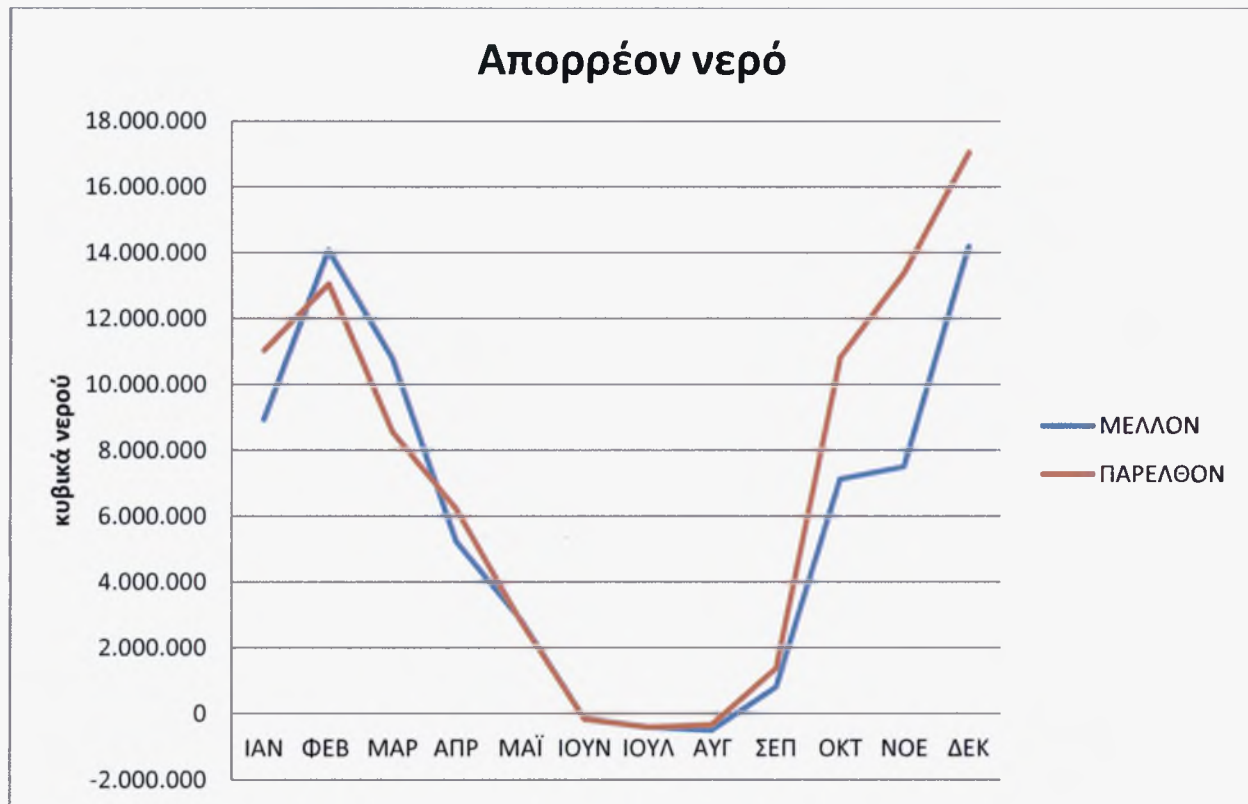
Όσον αφορά το ύψος βροχής προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα 6.6:



Σχήμα 6.6: Καμπύλες υψών βροχής (σε mm) για το παρελθόν (1960-1990) και το μέλλον (2070-2100) στην γύρω περιοχή της Πύλης Τρικάλων.

Στο σχήμα 6.6, όπως είναι φυσικό, παρατηρείται μια γενική μείωση στα ύψη βροχής για την περίοδο 2070–2100 σε σύγκριση με την περίοδο 1960-1990, με εξαίρεση ίσως τους μήνες Φεβρουάριο και Μάρτιο κατά την διάρκεια των οποίων τα μέσα ύψη βροχόπτωσης είναι απειροελάχιστα αυξημένα.

Όσον αφορά το απορρέον νερό:



Σχήμα 6.7: Καμπύλες απορρέοντος νερού στο φράγμα για το παρελθόν (1960-1990) και το μέλλον (2070-2100).

Στο σχήμα 6.7 λοιπόν, μπορούμε να συγκρίνουμε το απορρέον νερό και να παρατηρήσουμε πως σε αντίθεση με τα αποτελέσματα του σχήματος 6.6, εδώ οι μέσες τιμές των μηνών, σε απορρέον νερό, για την περίοδο 1960 – 1990 έχουν μικρότερες διαφορές από εκείνες της περιόδου 2070-2100 κατά την διάρκεια των αρδευτικών μηνών. Αυτό συμβαίνει διότι είναι πιθανό στο μέλλον να έχουμε μεγαλύτερη συχνότητα των ραγδαίων καιρικών φαινομένων, κάτι που θα σημαίνει περισσότερο κατακρημνισμένο νερό ανά πιο αραιά χρονικά διαστήματα. Κατά την διάρκεια των υπόλοιπων μηνών, οι διαφορές είναι εμφανείς και λογικές εξαιτίας των κλιματικών αλλαγών και επακόλουθη μείωση των βροχοπτώσεων.

Να σημειωθεί εδώ πως παρατηρούνται αρνητικές τιμές ακριβώς επειδή κατά την διάρκεια των θερινών μηνών το φαινόμενο της εξάτμισης είναι πολύ έντονο, κάτι που σε συνδυασμό με τις χαμηλές βροχοπτώσεις οδηγεί σε περαιτέρω εξάτμιση ποσοτήτων νερού που είχαν ήδη αποθηκευτεί στο φράγμα από προηγούμενα κατακρημνίσματα.

Για τα στρέμματα που μπορούν να αρδευτούν, προκύπτει πως, εξαιτίας της αύξησης της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας κατά 2°C θα αυξηθεί αντίστοιχα και η μέση κατανάλωση μιας καλλιέργειας σε νερό. Έτσι λοιπόν, η αύξηση της μέσης κατανάλωσης ανά στρέμμα κατά 3%, είναι υπεύθυνες για την μείωση που παρατηρείται στις καλυπτόμενες αρδευτικά εκτάσεις, παρόλο που η αρχική ποσότητα του διαθέσιμου νερού θα είναι η ίδια (πληρότητα φράγματος). Συνεπώς το συνολικό νερό (41.000.000 m³) θα κάλυπτε 78.095 στρέμματα στο παρελθόν, δεδομένου ότι υπήρχε φράγμα, ενώ στο μέλλον θα μειωθεί στα 75.799 στρέμματα. Η μείωση αυτή ισοδυναμεί με 2.296 στρέμματα ή με 3% περίπου. Αυτό φαίνεται ξεκάθαρα και στον παρακάτω πίνακα 6.9.

Πίνακας 6.9: Πλήθος αρδευόμενων στρεμμάτων συναρτήσει αρχικού διαθέσιμου όγκου νερού, και μέσης κατανάλωσης.

Χρονική περίοδος	Αρχική ποσότητα διαθέσιμου νερού	Μέση κατανάλωση/στρέμμα	Στρέμματα
Παρελθόν(1960-1990)	41.000.000 m ³	525 m ³	78.095
Μέλλον (2070-2100)	41.000.000 m ³	540,9 m ³	75.799

Επίσης, μία άλλη παράμετρος την οποία μπορούμε να εξετάσουμε, είναι η συνολική ποσότητα του διαθέσιμου ύδατος, το οποίο θα καταλήξει στο φράγμα και θα χρησιμοποιηθεί για άρδευση, μέσα στους 4 αρδευτικούς μήνες. Αυτή η ποσότητα, υπολογίζεται σαν άθροισμα της αρχικής ποσότητας διαθέσιμου νερού στο φράγμα συν τις εισροές απ' τις βροχοπτώσεις του Ιουνίου-Ιουλίου-Αυγούστου, συμπεριλαμβανομένων των εξατμίσεων που υφίστανται. Βάσει λοιπόν αυτής της ποσότητας υπολογίζονται και τα αντίστοιχα συνολικά στρέμματα που είναι δυνατό να αρδύσουμε, αναλόγως της μέσης κατανάλωσης ανά στρέμμα, όπως δόθηκε παραπάνω. Στον πίνακα 6.10 λοιπόν, φαίνεται ακριβώς αυτή η αντιπαράθεση των τιμών που προέκυψαν για το παρελθόν και το μέλλον και γίνονται οι ανάλογες συγκρίσεις.

Πίνακας 6.10: Σύγκριση συνολικού διαθέσιμου νερού από τις εισροές των καλοκαιρινών μηνών, ανά χρονική περίοδο, και τα στρέμματα που δύναται να καλύψουν.

Χρονική Περίοδος	Συνολικές ατμοσφαιρικές εισροές (m ³)	Δυνατή αρδευόμενη έκταση (στρ.)
Παρελθόν (1960-1990)	42.874.526	81.665
Μέλλον (2070-2100)	42.831.844	79.186

Από το παραπάνω πίνακα 6.10 φαίνεται ξεκάθαρα ότι αναμένεται να υπάρχει μια ελάχιστη μείωση των υδατικών εισροών την περίοδο 2070-2100 κατά 43.000 και μια μείωση στις αντίστοιχες αρδευόμενες στρεμματικές εκτάσεις της τάξης του 3% ή περίπου 2.500 στρεμμάτων. Το πρώτο φαινόμενο, δηλαδή της μικρής μείωσης των συνολικών υδατικών εισροών στο φράγμα, παρόλο που είναι αμελητέας διαφοράς, φαντάζει λογικό εξαιτίας της ολοένα και αυξανόμενης τάσης της θερμοκρασίας της Γης και κατά συνέπεια των ξηρασιών. Παρόλα αυτά, ενώ δεν παρατηρείται σημαντική αλλαγή στην συνολική ποσότητα νερού που θα εισρέει στο φράγμα, εντοπίζεται μια σχετικά σημαντική μείωση των στρεμμάτων που μπορούν να αρδευτούν, και αυτό γιατί κυρίαρχο παράγοντα αποτελεί η αύξηση της μέσης κατανάλωσης νερού ανά στρέμμα από 525 σε 540,9 m³/στρ.

7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην μελέτη αυτή εκπονήθηκε έρευνα πάνω στην αποτελεσματικότητα της λειτουργίας του φράγματος που πρόκειται να κατασκευαστεί στην Πύλη Τρικάλων, για την χρονική περίοδο 2070-2100. Τα αποτελέσματα που εξαγάγαμε ήταν θετικά όσον αφορά την λειτουργικότητα και αξιοποίηση του φράγματος. Αρχικά αποδείχτηκε πως κατά μέσο όρο, το φράγμα θα έχει πληρότητα σε νερό κατά την έναρξη των αρδευτικών περιόδων (αρχές Μαΐου), δηλαδή θα περιέχει 47.000.000 m³ νερό, εκ των οποίων τα 6 εκ. m³ θα προορίζονταν για ύδρευση και τα υπόλοιπα 41 εκ. m³ για την άρδευση τουλάχιστον 75.000 στρεμμάτων. Το μόνο αρνητικό της πρόβλεψης αυτής είναι πως τον στον τελευταίο μήνα των αρδεύσεων (Αύγουστο) θα υπάρχει ένα υδατικό έλλειμμα της τάξης των 376.000 m³ (πίνακας 6.4), το οποίο όμως είναι σχετικά χαμηλό συνεπώς δεν επηρεάζει έντονα την λειτουργικότητα του φράγματος, το οποίο δύναται να καλύψει επαρκώς, στο μεγαλύτερο ποσοστό τους, τις απαραίτητες αρδευόμενες εκτάσεις.

Στην συνέχεια, για ερευνητικούς λόγους επιλέξαμε να υποθέσουμε και να εκτιμήσουμε τελικά δύο ακόμη υποθετικά σενάρια.

Στο 1^ο σενάριο, υποθέσαμε κάτι ακραίο ώστε να αξιολογήσουμε την λειτουργικότητα του φράγματος σε δυσμενείς υδατικές συνθήκες. Όταν ελήφθησαν τα δεδομένα απ' την εφαρμογή του μοντέλου RCAO διαπιστώθηκε πως, ανά έτη, μερικοί μήνες (ιδιαίτερα θερινοί) παρουσίαζαν αμελητέες βροχοπτώσεις. Συνεπώς, συμπεριλήφθη στο πείραμά και το σενάριο της λειψυδρίας κατά την διάρκεια των αρδευτικών μηνών. Έτσι, κρατώντας τα ίδια αρχικά δεδομένα με πριν, αλλά μηδενίζοντας τις εισροές και εκτελώντας τους ίδιους υπολογισμούς διαπιστώθηκε ότι η λειτουργία του φράγματος δεν θα ήταν 100% αποδοτική, και αυτό γιατί παρουσιάστηκε ένα υδατικό έλλειμμα τον μήνα Αύγουστο της τάξης των 4.163.000 m³ (πίνακας 6.5). Δηλαδή, ενώ το φράγμα θα μπορούσε να υποστηρίξει τους 3 πρώτους αρδευτικούς μήνες με επιτυχία, η έλλειψη βροχοπτώσεων θα αποβεί μοιραίος παράγοντας. Παρόλα αυτά, μόνο απ' το γεγονός ότι το φράγμα αποδείχθηκε πλήρως λειτουργικό στο μεγαλύτερο διάστημα των αρδεύσεων είναι πολύ σημαντικό και ενδεικτικό της αναγκαιότητας κατασκευής ενός τέτοιου έργου.

Στο 2^ο και τελευταίο σενάριο, εξετάσαμε την αποδοτικότητα του φράγματος για την χρονική περίοδο 1960-1990, δεδομένου ότι θα είχε κατασκευαστεί τότε. Αφού ελήφθησαν όλα τα απαραίτητα στοιχεία (πίνακας 6.6) προχωρήσαμε εκ νέου σε υπολογισμούς, και από τον πίνακα 6.7 αλλά και τον πίνακα 6.8 εξήχθησαν τα αποτελέσματα ότι το φράγμα θα ήταν ακόμη πιο λειτουργικό και αποδοτικό την περίοδο εκείνη, απ' ότι θα είναι στο μέλλον. Αυτό προκύπτει απ' το γεγονός πως όχι μόνο θα καλύπτονταν όλες οι απαιτούμενες ανάγκες σε νερό, αλλά επίσης θα υπήρχε και πλεόνασμα της τάξης των 875.000 m³ (πίνακας 6.8).

Επιπλέον, δόθηκε η δυνατότητα να γίνει και μια σύγκριση με τις μελλοντικές προβλέψεις. Αρχικά, από τον πίνακα 6.9, μπορεί να παρατηρήσει κάποιος πως η διαφορά στην μέση κατανάλωση σε νερό επηρεάζει άμεσα την συνολική αρδευόμενη έκταση που δύναται να καλύψει το φράγμα. Αυτό εξηγείται από το φαινόμενο της παγκόσμιας θέρμανσης. Η παγκόσμια αύξηση της μέσης θερμοκρασίας κατά 2^οC θα επιφέρει αύξηση της μέσης εξατμισοδιαπνοής μιας καλλιέργειας συνεπώς και την αύξηση σε κατανάλωση νερού από τα φυτά, κάτι που θα οδηγήσει σε επιπλέον αρδευτικές απαιτήσεις και ανάγκες. Συγκεκριμένα, οι συνολικά αρδευόμενες εκτάσεις μειώθηκαν κατά 3.000 στρέμματα περίπου, το οποίο ισοδυναμεί με το 3% (όση είναι και η αύξηση στην κατανάλωση). Επιπροσθέτως, επιχειρήθηκε να συγκριθούν και η συχνότητα αλλά και οι ποσότητες των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, ώστε να εντοπιστούν τυχόν αλλαγές αλλά και πως αυτές επιδρούν στην αποτελεσματικότητα του φράγματος. Από τα σχήματα 6.6 και 6.7 αλλά και από τον πίνακα 6.10 προκύπτει πως αν και η γενική τάση είναι να παρατηρούνται μειώσεις στην βροχόπτωση τους θερινούς μήνες, αυτό δεν συμβαίνει στην περίπτωση μας καθώς το μοντέλο του RCAO δεν προέβλεψε ουσιαστικές μεταβολές στην συνολική ποσότητα του απορρέοντος νερού στην λίμνη του φράγματος. Συγκεκριμένα, μια σημαντική μείωση εντοπίζεται κατά την διάρκεια των τελευταίων μηνών (Οκτ-Δεκ), ενώ τους πρώτους μήνες κάθε έτους (Φεβ-Μαρ) έχουμε μια μικρή αύξηση. Στην διάρκεια των υπολοίπων (Μαρ-Σεπ) οι διαφορές είναι σχεδόν αμελητέες.

Κατά τα άλλα στο παραπάνω σχήμα 6.6 παρατηρείται μια μείωση στα μέσα ύψη βροχής (ανά μήνα) του μέλλοντος σε σύγκριση με αυτά του παρελθόντος, κάτι που είναι λογικό

εξαιτίας της παγκόσμιας θέρμανσης του πλανήτη που προκαλεί μια συνεχόμενη τάση για αύξηση της μέσης θερμοκρασίας και κατά συνέπεια των επικείμενων αρδεύσεων. Στο Σχήμα 6.6 λοιπόν, διαφαίνεται ξεκάθαρα η πτωτική τάση των βροχοπτώσεων ιδιαίτερα κατά τους ανοιξιάτικους μήνες (Απρίλιος και μετά), μέχρι και τους χειμερινούς (Δεκέμβριος). Εξάιρεση αποτελούν οι πρώτοι μήνες του έτους (Ιαν-Μαρ) κατά τους οποίους παρατηρείται μικρή αύξηση.

Εκ κατακλείδι, τα συμπεράσματα της μελέτης είναι τα εξής. Αρχικά, θα έχουμε πλήρωση κατά μέσο όρο για όλες τις χρονιές της περιόδου 2070-2100 κάτι που είναι πολύ σημαντικό και ισοδυναμεί με την κάλυψη 75.800 στρεμμάτων γης, περίπου. Ακόμη, δυνάμεθα να παρατηρήσουμε ότι οι βροχοπτώσεις αποτελούν ζωτικές εισροές στη λίμνη του φράγματος, ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες, ώστε να επιτύχουμε τα επιθυμητά αποτελέσματα που είναι η κάλυψη σχεδόν και των 80.000 στρεμμάτων. Τέλος, τόσο η παγκόσμια θέρμανση του πλανήτη, όσο και η ραγδαιοποίηση των καιρικών φαινομένων ανά τον κόσμο, συντελούν στην αύξηση της εξατμισοδιαπνοής και των αναγκών των φυτών σε νερό (από 525 m³/στρ. σε 540,9 m³/στρ.) αλλά και στην τελική εξισορρόπηση της συνολικής ποσότητας νερού που θα συγκεντρωθεί στο φράγμα κατά τους θερινούς μήνες.

8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

8.1 Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

- Chow, V.T., Maidment, D.R. and Mays, L.W., (1988) - Applied hydrology - Mc-Graw-Hill, 572 pp.
- Cox Nicolas (2007) - Kinds and problems of geomorphological explanation – Geomorphology – Volume 88 – July 2007
- Denman et al (2007) - Climate with care - *New Scientist*, Volume 193, Issue 2596, 24 March 2007, Page 27 - Piers Forster, Richard Somerville, Nathan Bindoff, Jens Christensen, Ken Denman, Gabi Hegerl, Bruce Hewitson, Eystein Jansen, Philip Jones, Peter Lemke, Gerald Meehl, Jonathan Overpeck, V. Ramaswamy, David Randall, Thomas Stocker, Kevin Trenberth, Hervé Le Treut, Jürgen Willebrand, Richard Wood, Francis Zwiers, *et al*
- Dunne T. & Leopold L. (1978) – Water in Environmental Planning – Publisher W. H. Freeman – 15 August 1978
- Giorgi F. and Mearns L. (1990) – Approaches to the simulation of regional climate change – Reviews of Geophysics – Volume 29, Issue 2
- Gregory K. J. & Walling D. E. (1983) – Drainage Basin Form and Process – London 1983
- Horton R.E (1945) – Erosional characteristics of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology – Bull Geol. Soc. America 1945
- IPCC AR4 WG2 (2007) - Parry, M.L.; Canziani, O.F.; Palutikof, J.P.; van der Linden, P.J.; and Hanson, C.E., ed. - Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability - Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change - Cambridge University Press
- Knisel W.G and J. R. Williams (1995) – Hydrology components of CREAMS and GLEAMS models – In: Computer Models of Watershed Hydrology – Editor: V.J. Singh
- Kulkarni A. A., Aggarwal S. P. & Das K. K., (2004) – Estimation of surface runoff using Rainfall – Runoff Modeling Of Warasgaon Dam Catchment – Indian Institute of Remote Sensing

- Linsley R. K. et al (1988) – Hydrology for engineers: SI metric edition – Pub. McGraw-Hill – London 1988
- Mckenzie (1970-1972) – Active tectonics of the Mediterranean Region – Geophysical Journal of the Royal Astronomic Society – Volume 30, Issue 2
- Mearns L. et al (2001) – Geophysical Research Letters – Volume 28, Issue 17 – September 2001
- Mimikou, M.A. et al (2005) - Water resources in Greece: Present and Future - Global NEST Journal. 7 (3)
- Mosley P.M., and A.I. McKerchar, 1993, Streamflow. In D.R. Maidment (Ed.), Handbook of Hydrology (p. 8.1), McGraw-Hill, Inc.
- Mountrakis D. et al (2006) - Geometry and structural revolution of the Mesohellenic Trough – Department of Geology – Aristotle University
- Papastamatiou and Mougias (1986) – The earthquake of April 30 1954 in Sophades – Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society – Volume 87, Issue 3
- Papazachos (1999) – Rupture zones in the Aegean Region – Tectonophysics – Volume 308 – July 1999
- Papazachos, B. C. and Comninakis, P. E.: 1971, Geophysical and tectonic features of the Aegean arc, *J. Geophys. Res.* **76**, 8517–8533.
- Pilgrim, D. H., and Ian Cordery (1993) - Flood runoff - chap. 9 of Maidment - DR, ed. - Handbook of hydrology
- Ritchie T. Joe (1972) – Water Resource Research - Volume 8, Issue 5 - American Geophysical Union – October 1972
- SCS (1972) - (Soil Conservation Service) - National Engineering Handbook - Section 4 - U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C.
- Sherman (1932) – The hydrograph of surface runoff resulting from a relatively short, intense rain, called a unit storm
- Sobhani, G., (1976) - A review of selected watershed design method for possible adoption to Iranian Conditions. Thesis presented to Utah State University at Logan, Utah in partial fulfillment of the Requirement for the Degree of Master of Science.

- Thornthwaite C. W. & Mather J. R. (1957) – Instructions and Tables for Computing Potential Evapotranspiration and the Water Balance – Climatology vol. 10, no 3 – New Jersey 1957
- Thornwaite C.W. (1948) – A new and improved classification of climates – Geographic Review 38(1)
- Turk L. (1961) – Evaluation des besoins en eau d' irrigation, evapotranspiration potentielle, formule climatique simplifiée et mise en jour – Annuel Agronomie 12
- Wilson E. M., (1977) – ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ – Salford University of England – Εκδόσεις Γκιούρδας

8.2 Ελληνική Βιβλιογραφία

- Αδρεαδάκης Ανδρέας (2012) – Διαχείριση Λυμάτων Μικρών Οικισμών – Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας & Κλιματικής Αλλαγής – Αθήνα, Απρίλιος 2012
- Ακριώτη Μαρία (2009) – Διπλωματική Εργασία: Κλιματική Αλλαγή - Πειραιάς, Οκτώβριος 2009
- Αναστασιάδης Στ., (2010) – Διδακτορική διατριβή: Εκτίμηση υδρολογικών Παραμέτρων με την Χρήση Ευφύων Συστημάτων & Προτύπων Ασαφούς Λογικής – Πανεπιστήμιο Αιγαίου – Τμήμα στατιστικής και χρηματοοικονομικών μαθηματικών
- Ασχονίτης et al (2006) – Θέματα και απαντήσεις Γεωπονίας – Γεωργική Υδραυλική – Εκδόσεις Γκιούρδα – Ιανουάριος 2010
- Β. Μπέλλος, (2006) – Σημειώσεις υδρολογίας - Απορροές - Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης
- Βαφειάδης Μ., (2012) – Έλεγχος και αποκατάσταση της σειράς των ομογενών δεδομένων με τη βοήθεια της διπλής αθροιστικής καμπύλης – Αριστοτέλειο Παν/μιο Θεσ/νίκης, Τμήμα πολιτικών μηχανικών
- Βερεσόγλου Δημήτριος (2002) – Οικολογία – Εκδόσεις Έλλα – Φεβρουάριος 2002
- Βουτυράκης Μανώλης (2005) - Πρακτικά συνεδρίου: Αειφόρος ανάπτυξη και νερό, Κρήτη, Μάρτιος 2005

- Γάκη & Μπάνου (2004) - Πτυχιακή Διατριβή: Εκτίμηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του συστήματος διάθεσης και επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων λυμάτων του Δήμου Χερσονήσου – Τμήμα Φυτικών πόρων και Περιβάλλοντος
- Γκούμας Κ. (2006) – Οι αρδεύσεις στη Θεσσαλική Πεδιάδα: Επιπτώσεις στα υπόγεια και επιφανειακά νερά, Πρακτικά ημερίδας: «Υδατικοί Πόροι και Γεωργία» - Ελληνική Υδροτεχνική Ένωση - Θεσσαλονίκη, Ιανουάριος 2006
- Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας τομ. XXXVI, 2004. Πρακτικά 10ου Διεθνούς Συνεδρίου, Θεσ/νίκη. Βρουχάκης Ι., Βουβαλίδης Κ., Σφέικος Α., Μαργώνη Σ, Απρίλιος 2004
- Δημητρακοπούλου Στυλιανή (2010) – Διπλωματική εργασία: Διερεύνηση δυνατότητας δημιουργίας λιμνών στις περιοχές των ορυχείων Μεγαλόπολης κατά την μεταλιγνιτική περίοδο – Αθήνα, Οκτώβριος 2010.
- Δημητροπούλου (2008) - Ποιοτική εκτίμηση της σχέσης κατολισθήσεων και βροχοπτώσεων στην βόρεια Πελοπόννησο – Παν/μιο Πάτρας
- Επίσημη εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων: Οδηγία 2000/60, τεύχος 327/1 – Οκτώβριος 2000
- Ευθυμιάτος Ι. Γ. & Δαούτης Ι.Σ. - Μεθοδολογία βέλτιστου σχεδιασμού φραγμάτων και εφαρμογή στο φράγμα Νεοχωρίτη του Ν. Τρικάλων - Εταιρεία Υδροσύστημα Ε.Π.Ε.
- Ζορμπά Δήμητρα (2008) – Υδρολογική διερεύνηση της λεκάνης του ποταμού Ανθεμούντα με χρήση GIS – Εργαστήριο Γενικής & Γεωργικής υδραυλικής & Βελτιώσεων – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης – Θεσσαλονίκη 2008
- Καραλή Μάχη (2000) – Παρεμβάσεις σε ρέματα – Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών – Αθήνα 2000
- Κατσαπρακάκης Αλ. Δημήτρης, (2010) – Υδροδυναμικές μηχανές – Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας – ΤΕΙ Κρήτης – Ηράκλειο 2010
- Κουγιουμτζίδου Κ., (2011) – Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία: Εφαρμογή της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ, για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας, στο Υδατικό Διαμέρισμα της Θεσσαλίας

- Κούκη Α., (2004) - Διπλωματική εργασία: Προστασία και διαχείριση των Υδατικών Πόρων και η ισχύουσα νομοθεσία στην Ελλάδα – Πανεπιστήμιο Αιγαίου – Τμήμα περιβάλλοντος- Μυτιλήνη, Οκτώβριος 2004
- Κουσούρης Θ. (1998) – Μονογραφίες Θαλάσσιων επιστημών, τεύχος Ι – Αθήνα 1998
- Κουτσογιάννης & Ξανθόπουλος (1999) – Τεχνική Υδρολογία - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 1999
- Κουτσογιάννης Δ. & Ξανθόπουλος Θ, (1997) - Τεχνική Υδρολογία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
- Κυριακού Μαρίνα (2007) – Διπλωματική εργασία: Διαχείριση υδατικών πόρων: Η κατανάλωση νερού για οικιακή χρήση στην πόλη της Λεμεσού - Αθήνα, Ιούνιος 2007
- Κωνσταντίνος Β. Παπαζάχος & Δημήτριος Γ. Παναγιωτόπουλος - Ενεργός τεκτονική της Θεσσαλίας και σεισμικότητα της Καρδίτσας - Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Γεωφυσικής
- Λέκκας Θ. (1996) – Περιβαλλοντική μηχανική Γ, διαχείριση υδατικών πόρων – Μυτιλήνη 1996
- Μακρόπουλος Χρήστος (2011) – Τεχνολογικά συστήματα υδατικών πόρων – Τομέας υδατικών πόρων & περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο 2011
- Μαμάσης Ν., (2006) - Κατακρημνίσματα και χωρική μεταβλητότητά τους - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο - Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων
- Μαμάσης Νίκος (2007) – Εισαγωγή στη Γεωστατιστική – Εργαστήριο Υδρολογίας & Αξιοποίησης Υδατικών πόρων – Αθήνα 2007
- Μελέτη του Υπουργείου Γεωργίας: Δ/ση Γεωλογίας-Υδρολογίας: Υδατικό δυναμικό Ελλάδας, τεύχος 20 – Μάρτιος 2004
- Μιμίκου (2004) – Σημειώσεις μεταπτυχιακού μαθήματος: Υδατικό περιβάλλον και Ανάπτυξη, Αθήνα 2004
- Μιμίκου Μαρία (1994) – Τεχνολογία Υδατικών Πόρων – Εκδόσεις Παπασωτηρίου – Αθήνα 1994

- Μουτσικόπουλος Σπυρίδων (2012) - Διερεύνηση Της Επίδρασης Των Κλιματικών Αλλαγών Στο Ύψος Της Βροχής Στην Υδρολογική Λεκάνη Του Φράγματος Της Πύλης Τρικάλων – Εργαστήριο Υδραυλικής – Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας – Βόλος 2012
- Μπότσης Δ., (2007) - Διπλωματική εργασία: Προσομοίωση της απορροής στις ορεινές υδρολογικές λεκάνες – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
- Μπρουζούκης Ε.Δ (2012) - Χρήση Των Παγκόσμιων Κλιματικών Μοντέλων Ως Πηγή Δεδομένων Για Την Παράμετρο Του Ύψους Βροχής Σε Μελλοντικά Υδρολογικά Σενάρια Και Προσαρμογή Τους Στην Ελληνική Πραγματικότητα – Εργαστήριο Υδραυλικής – Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας- Βόλος, 2012
- Π. Παναγιωτίδης et al., (Ν. Σύμπουρα Σ. Ρεϊζοπούλου Σ. Ορφανίδης) – Ελληνικό Κέντρο Θαλάσσιων ερευνών (ΕΛΚΕΘΕ) & Εθνικό Ινστιτούτο Αγροτικής Έρευνας (ΕΘΙΑΓΕ)
- Π. Παναγιωτίδης, - Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Ελληνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών
- Παπαγεωργίου Στ., (2006) – Μεταπτυχιακή διατριβή: Μελέτη της τύχης της ζιζανιοκτόνου ουσίας Πεντιμεθαλίνης (Pentimethalin) σε εδαφικούς και υδάτινους αποδέκτες – Πολυτεχνική Σχολή Χημικών Μηχανικών, Ιούλιος 2006
- Παπαμιχαήλ Δ. (2004) – Τεχνική Υδρολογία επιφανειακών υδάτων - Εκδόσεις Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη 2004
- Στουρνάρας Γ., (2011) – Επιτροπή μελέτης επιπτώσεων κλιματικών αλλαγών: Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στα επιφανειακά και υπόγεια υδατικά στρώματα του Ελλαδικού Χώρου - Τράπεζα της Ελλάδος, Αθήνα, Ιούνιος 2011
- Τζέμος Αθανάσιος (2005) – Εισαγωγή στη Γεωφυσική – Τμήμα Φυσικής – Αθήνα 2005
- Τσακίρης Γ. και Γ. Μπαλούτσος (1995) – Στοιχεία Γεωμορφολογίας – Υδατικοί Πόροι: Ι – Τεχνική υδρολογία - Αθήνα
- Χρυσίκου Ελένη (2011) - Μεταπτυχιακή διατριβή: Τεχνητός εμπλουτισμός υπόγειων υδροφόρων με επεξεργασμένα λύματα – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

- Ψωμάς Αλέξανδρος (2012) – Επιστήμη & Τεχνολογία Υδατικών Πόρων – Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Αθήνα 2012

8.3 Internet

<http://www.ellinikietairia.gr/media/pdf/Migiros.pdf>

<http://itia.ntua.gr/getfile/115/2/documents/1999EngHydroChap1.pdf>

<http://www.thessalia.gov.gr/contents.asp?id=233>

http://www.ypan.gr/fysikoi_poro/emne_yd.htm

http://www.stefanossakkas.gr/arthra_provoli.asp?id=30

<http://hydrogis.geology.upatras.gr/HYD/APPOROH.PDF>

<http://www.tovima.gr/default.asp?pid=46&ct=34&artid=110797&dt=12/11/2000>

[http://news.kathimerini.gr/4dcgi/w_articles_ell_2_19/04/01_I7064356=I7064356=%7C01&01-0401!cod190401\\$32005.html](http://news.kathimerini.gr/4dcgi/w_articles_ell_2_19/04/01_I7064356=I7064356=%7C01&01-0401!cod190401$32005.html)

<http://7gym-laris.lar.sch.gr/ergasies/ydor%20diaxeirisi.htm>

http://www.moa.gov.cy/moa/wdd/Wdd.nsf/resources_gr/resources_gr?OpenDocument

http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9D%CE%BF%CE%BC%CF%8C%CF%82_%CE%A4%CF%81%CE%B9%CE%BA%CE%AC%CE%BB%CF%89%CE%BD

http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CE%B1%CE%B3%CE%BA%CF%8C%CF%83%CE%BC%CE%B9%CE%B1_%CE%B8%CE%AD%CF%81%CE%BC%CE%B1%CE%BD%CF%83%CE%B7



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000118582