



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»**

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΥ
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΙΑΙΩΝ
ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ ΜΕΣΩ ΑΝΑΛΥΣΗΣ
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΕΠΕΙΣΟΔΙΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ ΣΤΗΝ
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΛΕΚΑΝΗ ΛΥΚΟΡΕΜΑΤΟΣ ΡΑΦΗΝΑΣ**

Μαθιουδάκη Μαρίνα

**ΔΠΜΣ
«Επιστήμη
&
Τεχνολογία
Υδατικών
Πόρων»**

**Αθήνα, Μάρτιος 2012
Επιβλέπων: Νικόλαος Μαμάσης, Λέκτορας ΕΜΠ**

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με το πέρας της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας είναι προσωπική μου ανάγκη να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλλαν στην ολοκλήρωση του εν λόγω εγχειρήματος.

Καταρχήν θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα μου κ. Νίκο Μαμάση που συναίνεσε στην ανάθεση του θέματος. Η αρχική συζήτηση μαζί του υπήρξε αρκετά κατατοπιστική στο να διαλευκάνω τα ενδιαφέροντά μου και να προβώ στην επιλογή του θέματος της εργασίας μου. Τον ευχαριστώ γενικά για τη συνεργασία καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας.

Ό,τι και να αναφέρω για τον κ. Ευστρατιάδη Ανδρέα θα είναι λίγο. Τον ευχαριστώ από καρδιάς αρχικά για το ότι υπήρξε ενθουσιώδης εμπνευστής του θέματος της εργασίας μου και για το ότι καθ' όλη τη διάρκεια της παραμονής μας στο «Ελληνικό Ινστιτούτο Υδρολογίας» οι συμβουλές και η βοήθειά του υπήρξαν πολύτιμες.

Ευχαριστώ τις συμφοιτήτριες και φίλες μου Παγάνα Βάσω και Τουτζιάρη Μάγδα για την ευχάριστη παραμονή και συνεργασία που είχαμε κατά τη διάρκεια αυτών των έξι μηνών στο γραφείο του δευτέρου όροφου.

Θα ήθελα γενικώς να απευθύνω ένα ευχαριστώ στους υποψήφιους διδάκτορες, τους διδάσκοντες και τους υπόλοιπους συνεργάτες, τους οποίους όλον αυτόν τον καιρό συναναστραφήκαμε, όχι μόνο για την όποια βοήθεια μας παρείχαν κατά τη διάρκεια της παραμονής μας στο γραφείο του δευτέρου ορόφου αλλά και για το μεράκι και την αγάπη για έρευνα που τους διακρίνει, κάτι που αποτέλεσε για μας παράδειγμα και έμπνευση.

Πάνω από όλους, ευχαριστώ την οικογένειά μου και τους φίλους μου για την ηθική υποστήριξη που μου παρείχαν όλο αυτό το διαστήματος. Συγκεκριμένα ευχαριστώ τη θεία μου Μαριέττα και όλη την οικογένειά της και δικιά μου πια, τον πατέρα μου Ματθαίο, τη μητέρα μου Γεωργία, τις αδελφές μου Μαρία και Ιωάννα και φυσικά τη γιαγιά Μαρίνα για το ότι όλα αυτά τα χρόνια ανέχονται τα επιστημονικά μου καπρίτσια και με αφήνουν να σπουδάζω ακόμα!

Μαθιουδάκη Μαρίνα

Μάρτιος 2012

Πίνακας περιεχομένων

Ευχαριστίες.....	i
Περιεχόμενα.....	ii
Περίληψη	v
Extended Abstract	vii
Introduction	vii
Hydrologic design according to the theory of unit hydrograph	vii
Study area	viii
Methology	ix
Conclusion.....	xii
1 Εισαγωγή	1
1.1 Αντικείμενο εργασίας.....	1
1.2 Διάρθρωση εργασίας	2
2 Υδρολογικός σχεδιασμός σύμφωνα με τη θεωρία του μοναδιαίου υδρογραφήματος.....	5
2.1 Παρουσίαση ενός απλού πλημμυρικού επεισοδίου	5
2.2 Υπολογισμός ενεργού βροχής	7
2.3 Μοναδιαία υδρογραφήματα	9
2.3.1 Θεωρητικό πλαίσιο	9
2.3.2 Μοναδιαίο Υδρογράφημα κατά Snyder	10
2.3.3 Μέθοδος Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας	13
2.3.4 Τριγωνικό Μοναδιαίο Υδρογράφημα του SCS	14
2.3.5 Το λείο Μοναδιαίο Υδρογράφημα του SCS.....	15

3 Περιοχή μελέτης.....	17
3.1 Γενικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής Ραφήνας	17
3.2 Γενικά χαρακτηριστικά της υπολεκάνης Λυκορέματος Ραφήνας.....	18
3.3 Αποτελέσματα συναφών ερευνών στην περιοχή της Πειραματικής λεκάνης	22
4 Συλλογή στοιχείων και πρωτογενής επεξεργασία	25
4.1 Υδρομετρικοί και βροχομετρικοί σταθμοί	25
4.2 Επιλογή χαρακτηριστικών επεισοδίων	26
4.3 Εκτίμηση επιφανειακών καταιγίδων	27
4.3.1 Υπολογισμός συντελεστών Thiessen ευρύτερης λεκάνης	33
4.3.2 Υπολογισμός των συντελεστών Thiessen στις λεκάνες ανάντη των σταθμών Λυκόρεμα και Ντράφι	34
4.4 Υπολογισμός χρόνου συρροής κατά Giandotti.....	37
4.4.1 Ο χρόνος συγκέντρωσης κατά Giandotti.....	37
4.3.2 Υπολογισμός των σχετικών μεγεθών για τον υπολογισμό του χρόνου συγκέντρωσης κατά Giandotti στην περιοχή μελέτης	37
4.5 Υπολογισμός αριθμού καμπύλης απορροής (Curve Number, CN).....	39
5 Επεξεργασία επεισοδίων.....	47
5.1 Εισαγωγή.....	47
5.2 Μεθοδολογία που ακολουθήθηκε	48
5.2.1 Χρονική συσχέτιση παρατηρημένων υδρογραφημάτων με υετογράμματα	48
5.2.2 Διαχωρισμός επιφανειακής απορροής	48
5.2.3 Εκτίμηση καθαρής βροχής	49
5.2.4 Το παραμετρικό μοναδιαίο υδρογράφημα.....	50
5.2.5 Διατύπωση προβλήματος βελτιστοποίησης παραμέτρων	53
5.3 Αναλυτική διερεύνηση επεισοδίων.....	54
5.3.1 Λεκάνη απορροής ανάντη του σταθμού στο Ντράφι	54

5.3.2 Λεκάνη απορροής ανάντη του σταθμού στο Λυκόρεμα	87
6 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα και σχολιασμός.....	123
6.1 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι	123
6.1.1 Αποτελέσματα διαδικασίας βελτιστοποίησης με εφαρμογή του εμπειρικού μοναδιαίου υδρογραφήματος	123
6.1.2 Συγκριτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της βελτιστοποίησης με άλλες μεθόδους	133
6.1.3 Αξιολόγηση αλλαγής χρονικού βήματος χρονοσειρών	136
6.2 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα	139
6.2.1 Αποτελέσματα διαδικασίας βελτιστοποίησης με εφαρμογή του εμπειρικού μοναδιαίου υδρογραφήματος	139
6.2.2 Συγκριτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της βελτιστοποίησης με άλλες μεθόδους	147
7 Συμπεράσματα	151
7.1 Σύνοψη και συμπεράσματα	151
5.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	153
Βιβλιογραφία	157
Παράρτημα.....	159

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση μεθόδων υδρολογικού σχεδιασμού που βασίζεται στην επεξεργασία ιστορικών πλημμυρικών γεγονότων στην πειραματική λεκάνη της Ραφήνας. Αρχικά έγινε συλλογή δεδομένων βροχής και απορροής από δύο υδρομετρικούς και τέσσερις βροχομετρικούς σταθμούς στην περιοχή μελέτης και διάκριση επεισοδίων πλημμύρας βάση των μεγαλύτερων μέσων ημερησίων παροχών που έχουν παρατηρηθεί. Για κάθε επεισόδιο από τα δεδομένα βροχής έγινε αρχικά απομόνωση των συνολικών ελλειμμάτων με σκοπό την εκτίμηση του ποσού της βροχής που μετατρέπεται σε απορροή, δηλαδή της ενεργού βροχής. Για τον υπολογισμό της ενεργού βροχής χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος εκτίμησης συνολικών ελλειμμάτων SCS με παραμέτρους τον αριθμό καμπύλης απορροής CN και τον λόγο $a = h_{a0}/S$ όπου h_{a0} είναι το αρχικό έλλειμα και S η δυνητικά μέγιστη κατακράτηση, που εκτιμάται συναρτήσει του CN. Για τον μετασχηματισμό της βροχής σε απορροή έγινε εφαρμογή της θεωρίας του μοναδιαίου υδρογραφήματος σύμφωνα με την οποία το προσομοιωμένο πλημμυρογράφημα άμεσης απορροής της λεκάνης προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό του ενεργού υετογράμματος με ένα συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα. Στα πλαίσια της εργασίας έγινε χρήση υφιστάμενων συνθετικών μοναδιαίων υδρογραφημάτων και ενός παραμετρικού εμπειρικού μοναδιαίου υδρογραφήματος.

Από το συνδυασμό του κάθε μοναδιαίου υδρογραφήματος με το ενεργό υετόγραμμα προέκυψε ένα προσομοιωμένο πλημμυρογράφημα άμεσης απορροής το οποίο συγκρίνεται με το παρατηρημένο. Για κάθε επεισόδιο έγινε αρχικά διαχωρισμός της βασικής ροής από το ολικό παρατηρημένο πλημμυρογράφημα. Για το σκοπό αυτό η αρχή της άμεσης απορροής θεωρήθηκε το σημείο όπου η ολική απορροή αυξάνει απότομα και το τέλος της άμεσης απορροής θεωρήθηκε ότι συμβαίνει σε χρόνο ίσο με τον χρόνο συγκέντρωσης μετά τη λήξη της ενεργού βροχής. Η λήξη της ενεργού βροχής θεωρήθηκε ότι ταυτίζεται με τη λήξη της ολικής βροχής.

Μετά τη χρήση των συνθετικών μοναδιαίων υδρογραφημάτων του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας και της μεθόδου Snyder με ένα υετόγραμμα ενεργού βροχής με τιμές των παραμέτρων α και CN όπως προτείνονται από τη βιβλιογραφία και τη διαπίστωση ότι το προσομοιωμένο πλημμυρογράφημα που προκύπτει απέχει πολύ από το παρατηρημένο πλημμυρογράφημα για κάθε επεισόδιο έγινε εφαρμογή ενός εμπειρικού μοναδιαίου υδρογραφήματος, το οποίο διαθέτει έναν γραμμικό ανοδικό κλάδο, με χρόνο ανόδου $t_p = \beta * t_c + d/2$, έναν καθοδικό κλάδο λογαριθμικής μορφής και χρόνο βάσης ίσο με $t_b = t_c + d$ (όπου d είναι η διάρκεια βροχής, t_c ο χρόνος συγκέντρωσης της λεκάνης και β παράμετρος). Για κάθε επεισόδιο έγινε βελτιστοποίηση των παραμέτρων α και CN της μεθόδου SCS και της παραμέτρου β του εμπειρικού μοναδιαίου υδρογραφήματος με στόχο το προσομοιωμένο πλημμυρογράφημα να προσεγγίζει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο το παρατηρημένο. Επίσης πραγματοποιήθηκε μία επιπλέον διερεύνηση των μελετούμενων παραμέτρων με άλλα χαρακτηριστικά μεγέθη των ιστορικών πλημμυρών προκειμένου να αποτυπωθεί η πραγματικότητα τέτοιων μεγεθών που υπεισέχονται στον υδρολογικό σχεδιασμό.

EXTENDED ABSTRACT

INTRODUCTION

The subject of this postgraduate thesis is the investigation of parameters that present in existing methods of hydrologic design through the process of historical time series of discharge and rainfall. These parameters are used to compute the effective rainfall hyetograph and an empirical unit hydrograph that will be presented below.

Specifically, data have been collected from meteorological and flow measurement stations in the area of southeast Mesogaia region of the prefecture of Attiki. Through the correlation of these data, the parameters for the computation of the effective rainfall and the development of the unit hydrograph will be optimised.

HYDROLOGIC DESIGN ACCORDING TO THE THEORY OF THE UNIT HYDROGRAPH

The most reliable method of hydrologic design is the application of the theory of the unit hydrograph. The unit hydrograph is the unit pulse response function of a linear hydrologic system. It is defined as a direct run off hydrograph from usually 10 mm of excess rainfall generated uniformly over the drainage area for an effective duration D (Chow et al, 1988). According to this method, rainfalls of duration D with multiple intensity cause multiple discharge respectively. Also, the principle of stability is valid in the application of the theory of the unit hydrograph. That means that when a rainfall process of duration D ends, a new independent starts, which produces a new hydrograph. As a result, the hydrographs which are produced in this way are being overlapped and the final hydrograph has as ordinates, the sum of the ordinates of the overlapped hydrographs.

The unit hydrograph is a feature of the basin, which refers to, particularly important. Once the unit hydrograph is determined, it may be applied to find the direct runoff hydrograph, using the selected excess rainfall hyetograph. Unit hydrographs can be developed using various procedures such as the Snyder method, the method according to the British Institute of Hydrology, the triangular unit Hydrograph

according to Soil Conservation Service, the SCS dimensionless hydrograph and others.

For the estimation of the effective rainfall hyetograph, the most realistic method is the one according to Soil Conservation Service.

STUDY AREA

The study area is the X-Basin, which is located in the southern Athens area. It is a subbasin of the basin of Rafina Stream and it covers an area of 15,2 km². The northern part with outlet to the position Lykorema station has been studied independently by the whole basin with outlet to the position Drafi station.

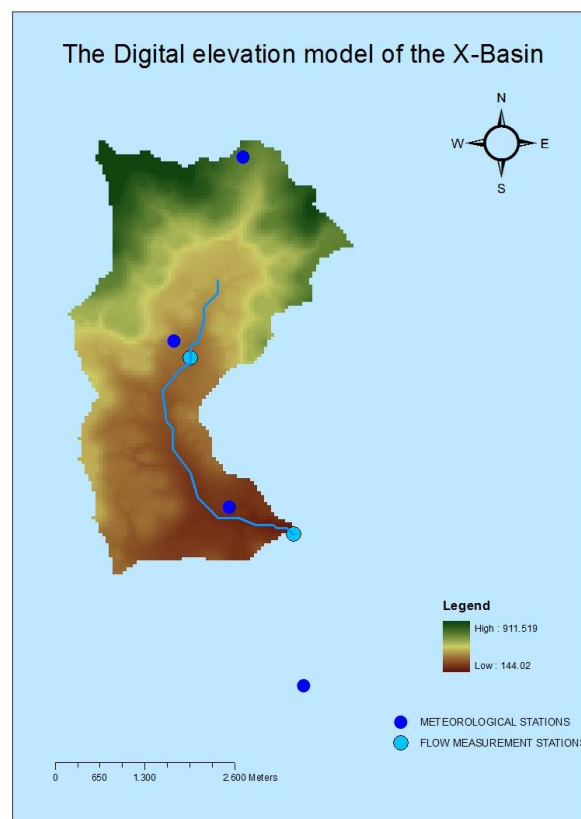


Figure 1 The digital elevation model of the study area including the positions of meteorological and flow measurement stations

The raingauge data have been collected from the hydrometeorological stations, which are located in Mpala, Agios Nikolaos, Drafi and Pikermi. The discharge data have been collected from the flowmeasurements stations which are located in

Lykorema and Drafi. Finally, 15 flood events were chosen for the basin upstream Drafi and 20 flood events for the basin upstream Lykorema.

METHODOLOGY

The aim of the procedure is to estimate for every rainfall event the optimized value of the parameters a and CN , which are used for the calculation of the effective rainfall, and the parameter b , which is used for the development of an empirical unit hydrograph.

Every flood event has been selected according to the maximum mean daily discharge from the corresponding time series of discharge in Drafi and Lykorema. During the day of the flood and also one day before and two days after the flood event, raingauge and discharge data have been recorded from every station that operated these dates. It should be mentioned that the time step of the raingauge and discharge data is 10 minutes. Then, the point raingauge data have been transferred to surface data, using the method of Thiessen polygons. Using the SCS method for the calculation of the effective rainfall, the effective rainfall ends when the total rainfall ends. The direct runoff ends after the end of the total rainfall, as long as the time concentration lasts. The time, when the direct runoff starts, is obvious at the hydrograph. Particularly, it is when the chart's gradient of the streamflow grows sharply. During the flood it is supposed that, the baseflow has a linear form, so it is easy to compute the amount of baseflow, which will be separated from the streamflow. The calculation of the effective rainfall and the empirical unit hydrograph are necessary, for the development of the simulated hydrograph.

The empirical unit hydrograph, which is developed through this study, has an upward linear sector and a downward logarithmic sector. This hydrograph has an upward linear sector with peak time:

$$t_p = b \times t_c + \frac{D}{2} \quad (1)$$

Where, b is a parameter lower than one, which will be optimized, t_c the time of concentration of the basin which is calculated according to Giandotti formula, D the duration of the rainfall

For the base time is applied the equation:

$$t_{base} = t_c + D \quad (2)$$

In this equation the definition of the time of concentration is reflected. Time concentration is defined as the time from the end of the rainfall excess till the end of the direct runoff.

The downward sector has the following form:

$$Q(t) = Q_p - k \times \ln(1 + t - t_p) \quad (3)$$

where :

Q_p the peak discharge m^3/s , k a parameter which is calculated according to the equation :

$$k = \frac{Q_p}{\ln(1 + t_{base} - t_p)} \quad (4)$$

The equation for the calculation of the peak discharge comes from the equation of the unit flood volume with the shape area of the unit hydrograph:

$$Q_p = \frac{10^4 \times A}{\frac{t_p}{2} - 1 - \frac{t_b - t_p}{\ln(t_b - t_p + 1)}} \quad (5)$$

The empirical hydrograph has the following form:

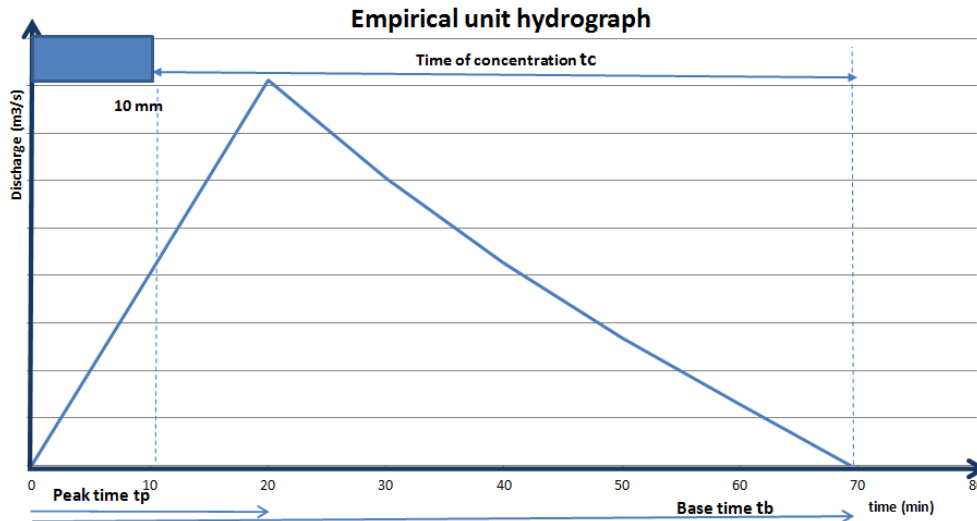


Figure 2 The empirical unit hydrograph

Using the above unit hydrograph, in combination with the excess hietograph, the simulated hydrograph is being developed.

Following, the error function is formed, which is going to be used in the optimization procedure:

$$f = SSE + 1000 \times [V_h - V_Q]^2 + 10 \times [\max Q_{obs} - \max Q_{sim}]^2 \quad (6)$$

where: $SSE = \sum_{i=1}^n (Q_e(i) - Q_{sim}(i))^2$ where i each time step, V_h the total amount of excess rainfall calculated in mm , V_Q the total amount of direct runoff calculated in mm , $\max Q_{obs}$ the maximum value of discharge in the hydrograph of observed direct runoff, $\max Q_{sim}$ the maximum value of discharge in the hydrograph of simulated direct runoff.

Firstly, the theory of the unit hydrograph will be applied using the Snyder method and the unit hydrograph according to the British Institute of Hydrology. Each one will be combined with an excess hietograph. This hietograph is calculated according to SCS method by setting the value 0,2 for the parameter a and the proper value for the parameter CN, so that V_h is equated with V_Q .

CONCLUSION

The initial aim of the present study is to investigate the values of the parameters a , CN , b for the basins upstream Drafi and Lykorema.

For the basin upstream Drafi the value of the parameter CN is varied from 40 to 50 and the value of the parameter a is varied from 0 to 0,02 for most flood events.

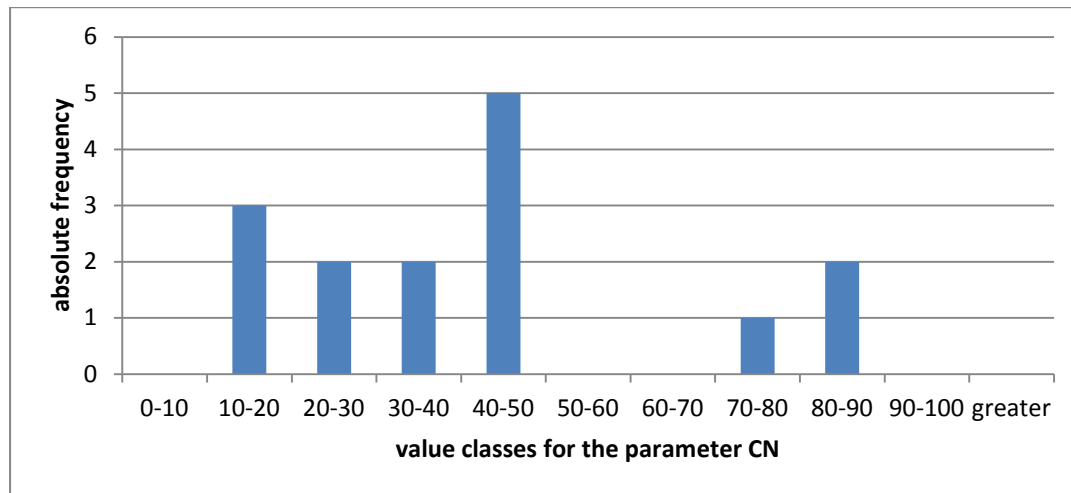


Figure 3 Empirical probability distribution for the parameter CN for the basin upstream Drafi

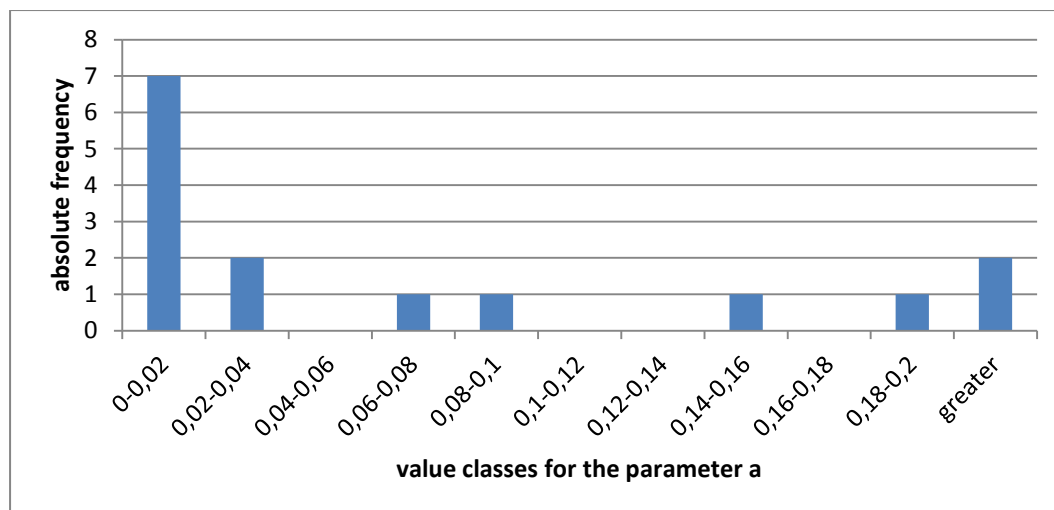


Figure 4 Empirical probability distribution for the parameter a for the basin upstream Drafi

However, it is observed that there is a correlation with the observed peak discharge for both parameters. This observation indicates that basically parameter CN

probably does not have a stable value which is characteristic of the basin. Probably, the value of the parameter CN varies similarly to the peak discharge.

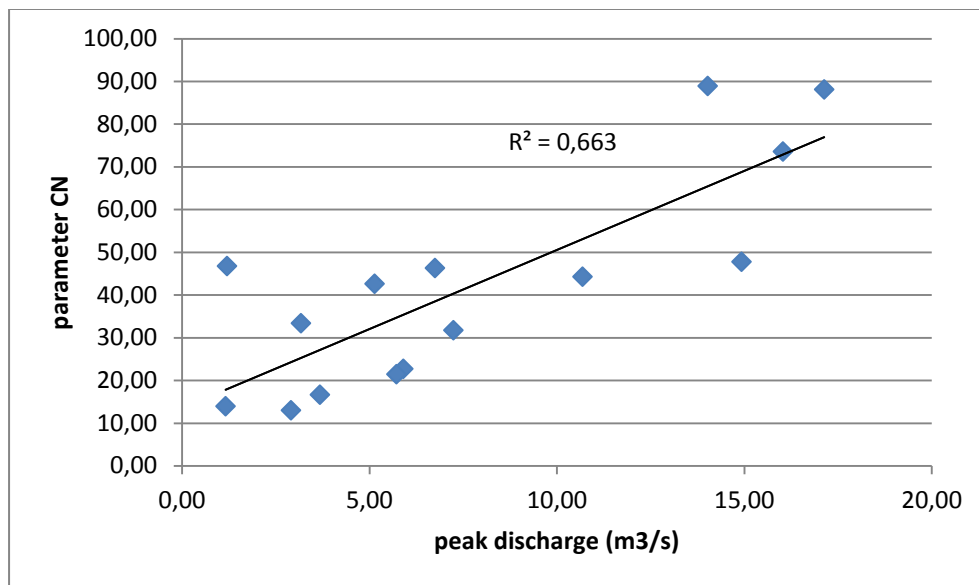


Figure 5 Chart of peak discharge- parameter CN for the basin upstream Drafi

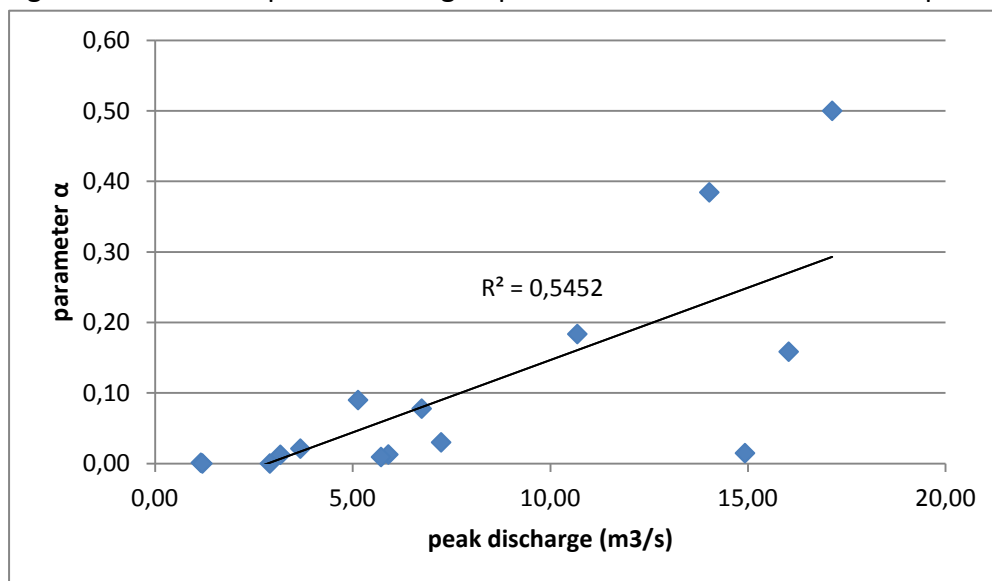


Figure 6 Chart of peak discharge - values of parameter a for the basin upstream Drafi

For the parameter b the range which represents the basin upstream Drafi is 0,3-0,35 after the correction of the time concentration.

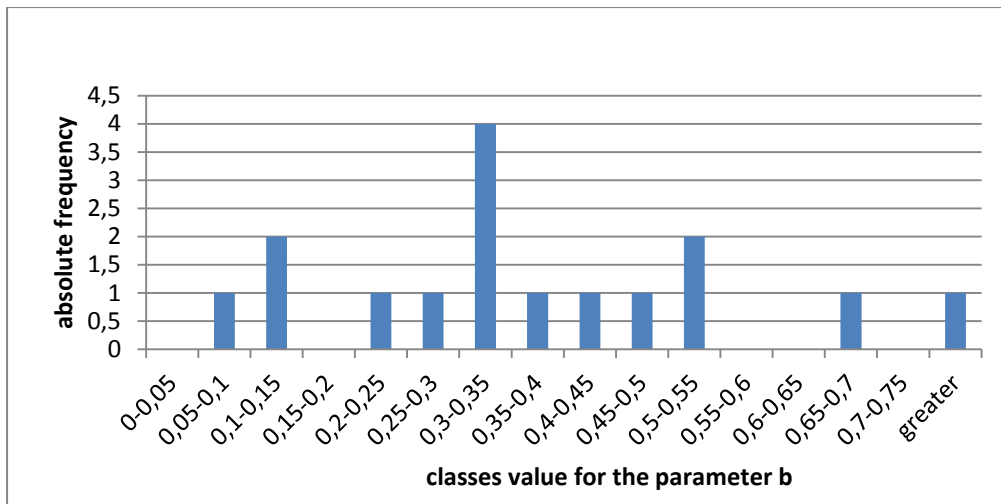


Figure 7 Empirical probability distribution for the corrected parameter b for the basin upstream Drafi

As it has been mentioned, the parameter b is presented to the development of the unit hydrograph. Thus, the unit hydrograph, which represents the basin upstream Drafi, has the following form:

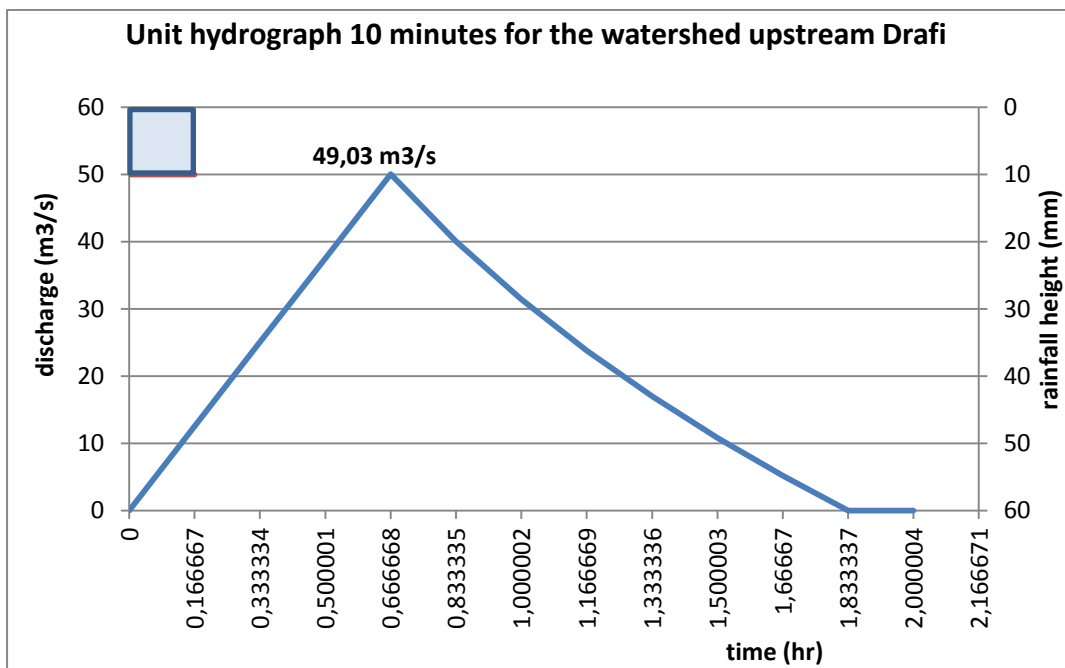


Figure 8 The unit hydrograph for a rain duration 10 minutes for the basin upstream Drafi

It should be mentioned that this hydrograph refers to the time concentration that is calculated using the empirical formula Giandotti. Nevertheless, through an

additional investigation it is observed that time concentration does not have a stable value but it depends on the peak discharge in an inversely proportional way.

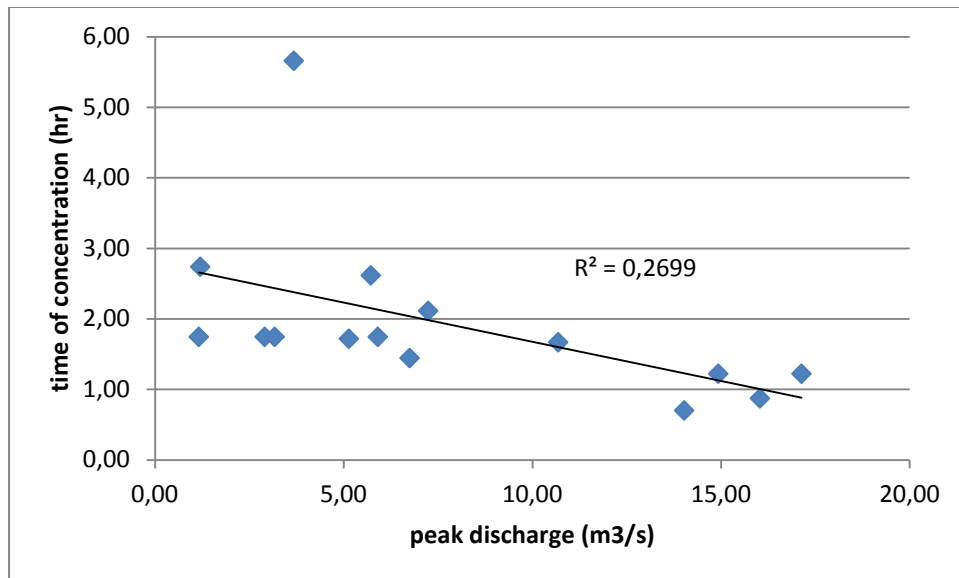


Figure 9 Chart of peak discharge - time of concentration for the basin upstream Drafi
 For the basin upstream Lykorema, which is a subbasin of the entire X-basin, the value of the parameter CN at most flood events vary from 10 to 20 and the value of the parameter a vary from 0 to 0,02.

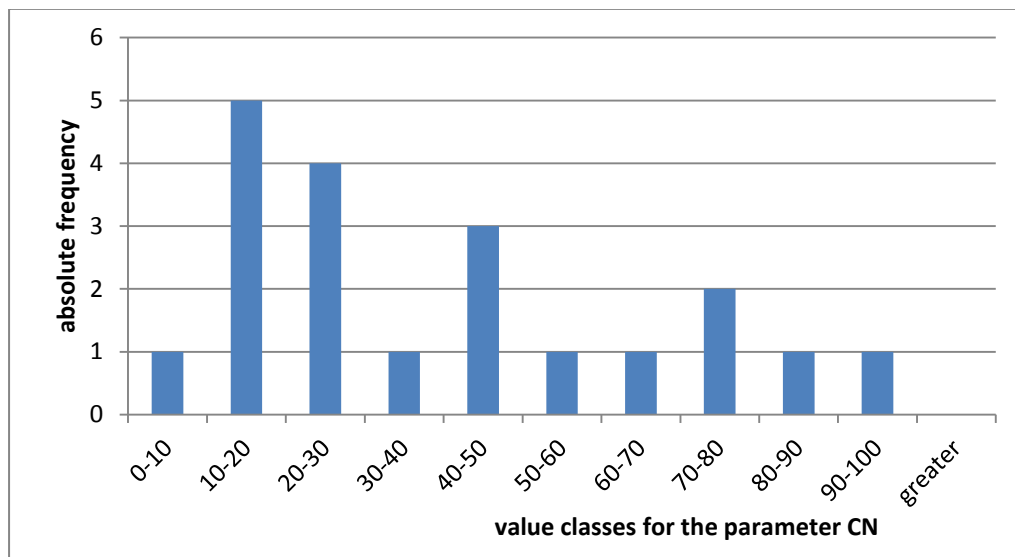


Figure 10 Empirical probability distribution for the parameter CN for the basin upstream Lykorema

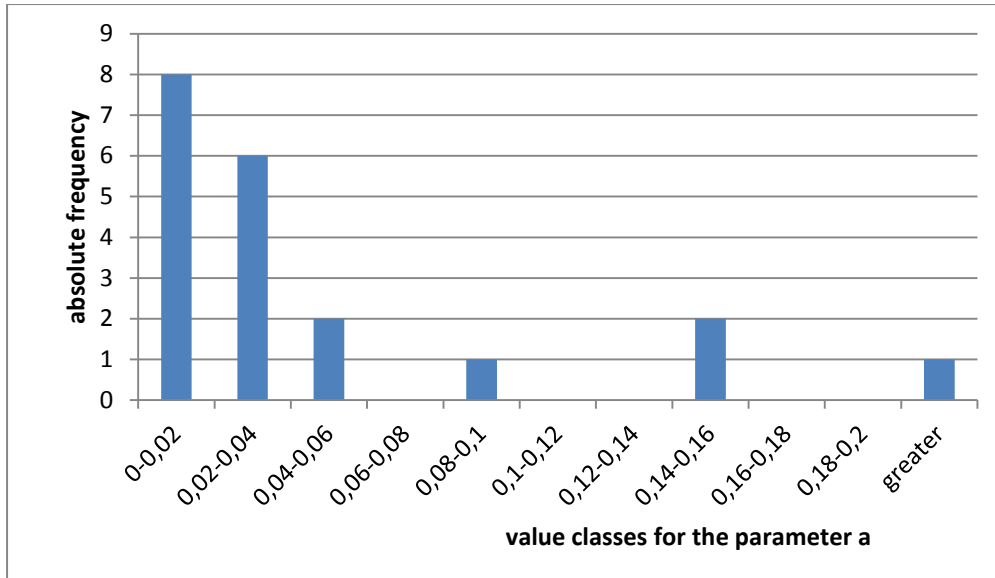


Figure 11 Empirical probability distribution for the parameter a for the basin upstream Lykorema

For this basin, it is observed that the parameter CN has a corresponding correlation with the peak discharge, as the basin upstream Drafi.

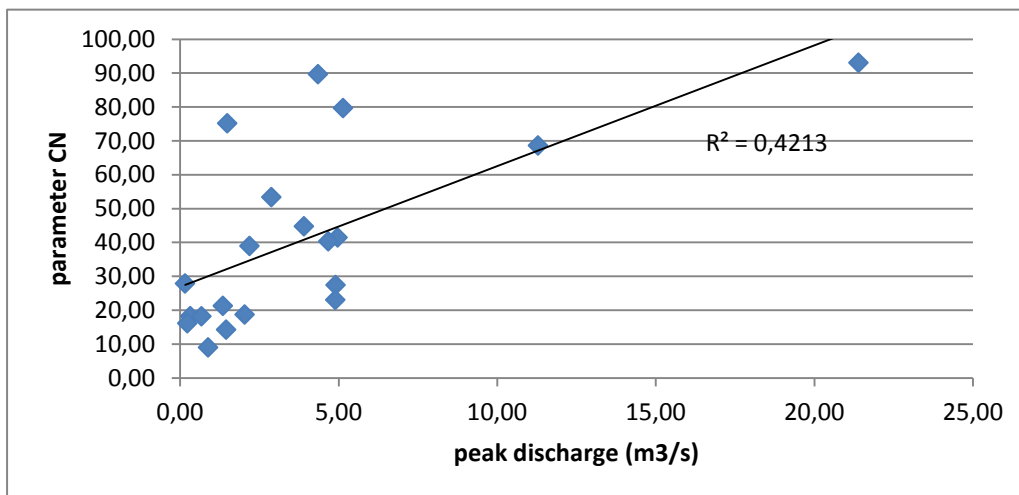


Figure 12 Chart of peak discharge-parameter CN for the basin upstream Lykorema

A corresponding correlation for the parameter a has not been found. The value of the parameter b, at most flood events, varies from 0,35 to 0,40 after the correction of time concentration.

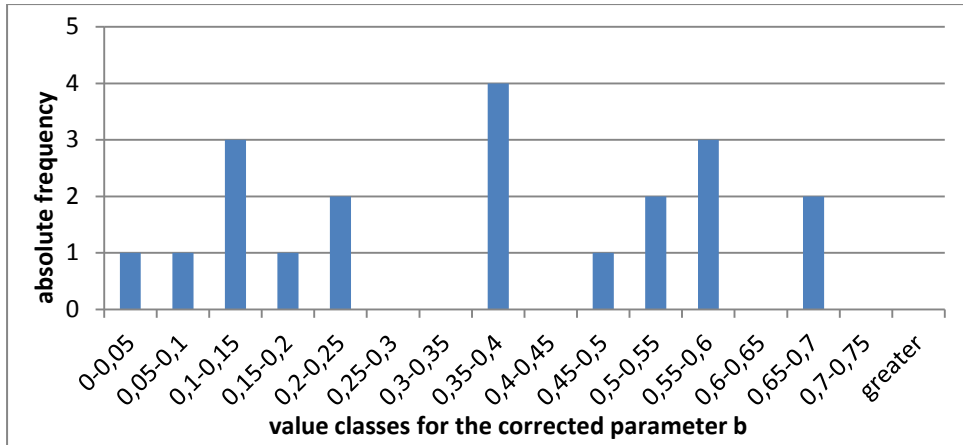


Figure 13 Empirical probability distribution for the corrected parameter b for the basin upstream Lykorema

Thus, the following empirical unit hydrograph is occurred:

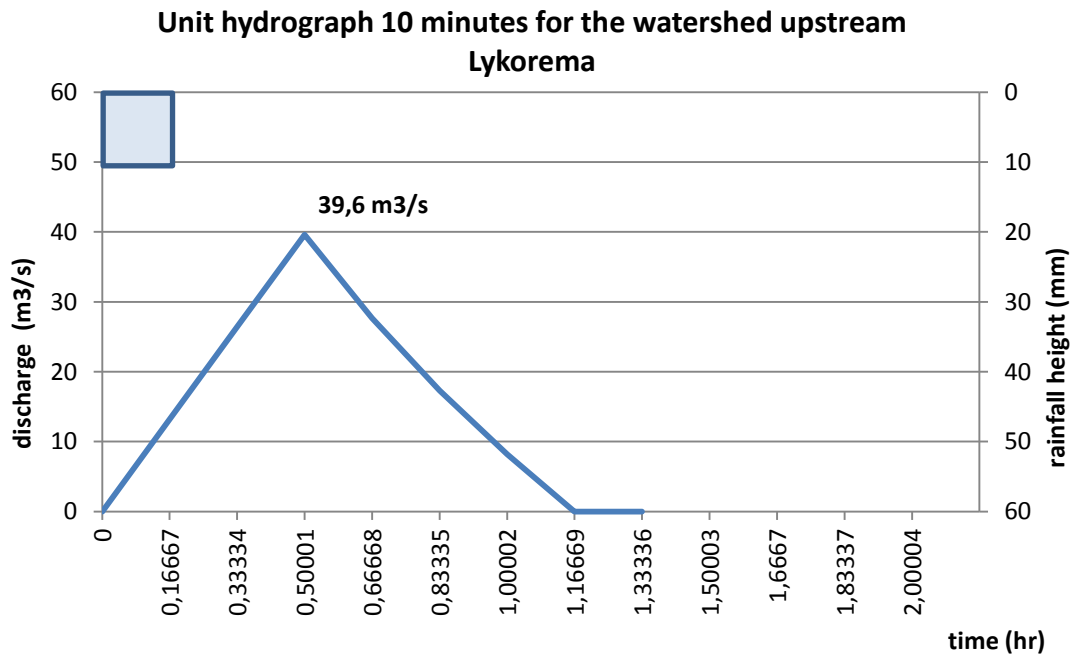


Figure 14 The unit hydrograph for a rain duration 10 minutes for the basin upstream Lykorema

This hydrograph refers to the time concentration, which is calculated using the empirical formula Giandotti. Nevertheless, through an additional investigation it is observed that time concentration does not have a stable value but it depends on the peak discharge in an inversely proportional way.

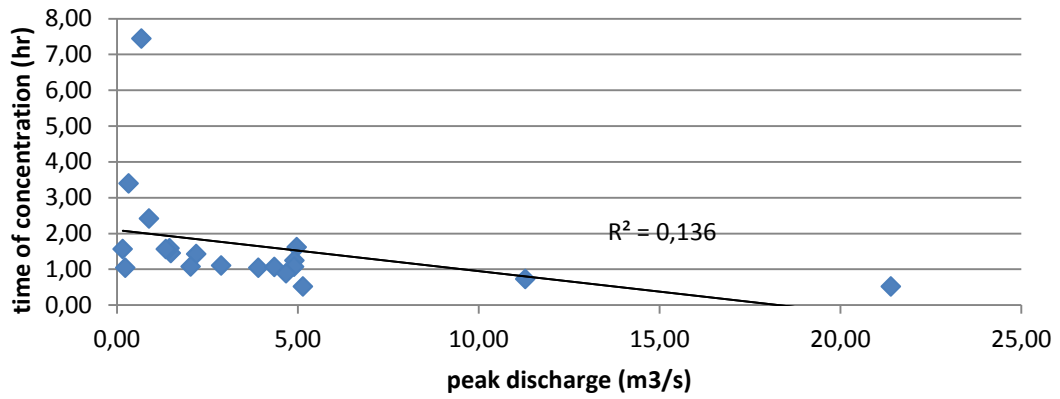


Figure 15 Chart of peak discharge-time concentration for the basin upstream Lykorema

This observation about the time concentration and the parameter CN is particularly significant since these parameters contribute to the hydrologic design through the unit hydrograph and the excess hyetograph.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Αντικείμενο εργασίας

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση μεθόδων υδρολογικού σχεδιασμού που βασίζεται στην επεξεργασία ιστορικών πλημμυρικών γεγονότων στην πειραματική λεκάνη Λυκορέματος Ραφήνας. Για το σκοπό αυτό, έγινε συλλογή στοιχείων από δύο υδρομετρικούς και τέσσερις βροχομετρικούς σταθμούς της περιοχής της Ραφήνας Αττικής και εξονυχιστική ανάλυση επιλεγμένων επεισοδίων. Για κάθε επεισόδιο, διαχωρίστηκαν το ενεργό από το ολικό υετόγραμμα, καθώς και η άμεση απορροή από το ολικό υδρογράφημα. Για τον μετασχηματισμό της ενεργού βροχόπτωσης σε πλημμυρική απορροή, εφαρμόστηκαν υφιστάμενες βιβλιογραφικές μέθοδοι που βασίζονται στη χρήση συνθετικών μοναδιαίων υδρογραφημάτων (ΣΜΥ), καθώς και μια απλή παραμετρική μέθοδος που εκτιμά το ΣΜΥ της λεκάνης συναρτήσει του χρόνου συγκέντρωσης.

Σε όλες τις περιπτώσεις, για την εξαγωγή της ενεργού βροχόπτωσης εφαρμόστηκε η μέθοδος του Soil Conservation Service με παραμέτρους τον αριθμό καμπύλης απορροής CN και τον λόγο $a = h_{a0}/S$ όπου h_{a0} είναι το αρχικό έλλειμα και S η δυνητικά μέγιστη κατακράτηση, που εκτιμάται συναρτήσει του CN. Αρχικά, η τιμή της παραμέτρου a τέθηκε ίση με 20%, όπως προτείνεται από τη βιβλιογραφία, ενώ η τιμή του CN υπολογίστηκε αναλυτικά, έτσι ώστε ο συνολικός όγκος της ενεργού βροχόπτωσης να ταυτίζεται με τον όγκο της πλημμύρας.

Το υετόγραμμα που προέκυψε πολλαπλασιάστηκε με το μοναδιαίο υδρογράφημα διάρκειας βροχής 10 min, που περιγράφει την απόκριση της λεκάνης σε μία ομοιόμορφη βροχή ύψους 10 mm. Εξετάστηκαν τρεις μέθοδοι υπολογισμού του ΣΜΥ των δύο λεκανών. Οι δύο πρώτες είναι η μέθοδος του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας και η μέθοδος Snyder, που έχουν εφαρμοστεί σε πληθώρα μελετών αντιπλημμυρικών έργων στην Ελλάδα και διεθνώς. Η τρίτη μέθοδος βασίζεται στην διαμόρφωση ενός εμπειρικού παραμετρικού ΣΜΥ που περιγράφεται από έναν

γραμμικό ανοδικό κλάδο, με χρόνο ανόδου $t_p = \beta * t_c + d/2$ (όπου d είναι η διάρκεια βροχής, t_c ο χρόνος συγκέντρωσης της λεκάνης και β παράμετρος), και έναν καθοδικό κλάδο λογαριθμικής μορφής. Με βάση τον ορισμό του χρόνου συγκέντρωσης, ο χρόνος βάσης του ΣΜΥ είναι εξ ορισμού ίσος με $t_b = t_c + d$.

Για κάθε επεισόδιο, έγινε συνολική βελτιστοποίηση των τιμών των παραμέτρων που αναφέρονται στην εξαγωγή της ενεργού βροχόπτωσης και την κατάρτιση του μοναδιαίου υδρογραφήματος των λεκανών απορροής ανάντη των υδρομετρικών σταθμών (CN, a , β).

Στόχος της βελτιστοποίησης είναι το προσομοιωμένο πλημμυρογράφημα να προσεγγίζει κατά τον καλύτερο δυνατό τρόπο το παρατηρημένο πλημμυρογράφημα και ειδικά την αιχμή του.

Στα πλαίσια της εργασίας συγκρίθηκαν οι διάφορες προσεγγίσεις, με κριτήριο την αναπαραγωγή των ιστορικών πλημμυρογραφημάτων, και έγιναν συσχετίσεις των τιμών των βελτιστοποιημένων παραμέτρων με χαρακτηριστικά μεγέθη, όπως η παροχή αιχμής. Από τις αναλύσεις προέκυψαν εξαιρετικά ενδιαφέροντα συμπεράσματα, που καταδεικνύουν ότι πολλές από τις εφαρμοζόμενες πρακτικές στον υδρολογικό σχεδιασμό, οι οποίες βασίζονται στην εφαρμογή τυπικών βιβλιογραφικών προσεγγίσεων, είναι εντελώς ακατάλληλες και απαιτούν ευρύτερη αναθεώρηση.

1.2 Διάρθρωση εργασίας

Η εργασία περιέχει το Κεφάλαιο 1 που είναι το παρόν εισαγωγικό κεφάλαιο και άλλα πέντε κεφάλαια και ένα παράρτημα.

Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται οι μεθοδολογίες υδρολογικού σχεδιασμού, που για δεδομένο υετόγραμμα εκτιμούν την ωφέλιμη βροχή και το μετασχηματισμό της σε απορροή μέσω της θεωρίας του μοναδιαίου υδρογραφήματος. Επίσης παρουσιάζονται διάφορες μέθοδοι κατασκευής συνθετικών μοναδιαίων υδρογραφημάτων.

Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται η περιοχή μελέτης που είναι η πειραματική λεκάνη Λυκορέματος Ραφήνας.

Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από τους βροχομετρικούς και υδρομετρικούς σταθμούς και η πρωτογενής επεξεργασία τους.

Στο Κεφάλαιο 5 γίνεται η ανάλυση των επιλεγμένων πλημμυρογραφήματων και η εκτίμηση των παραμέτρων σχεδιασμού μέσω βελτιστοποίησης.

Στο Κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται τα συμπεράσματα των αναλύσεων της και διατυπώνονται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα στο αντικείμενο της υδρολογίας πλημμυρών.

Τέλος, στο παράρτημα απεικονίζονται για κάθε επεισόδιο τα προσομοιωμένα πλημμυρογραφήματα με χρήση των παραμέτρων που προέκυψαν από την τελική βελτιστοποίηση.

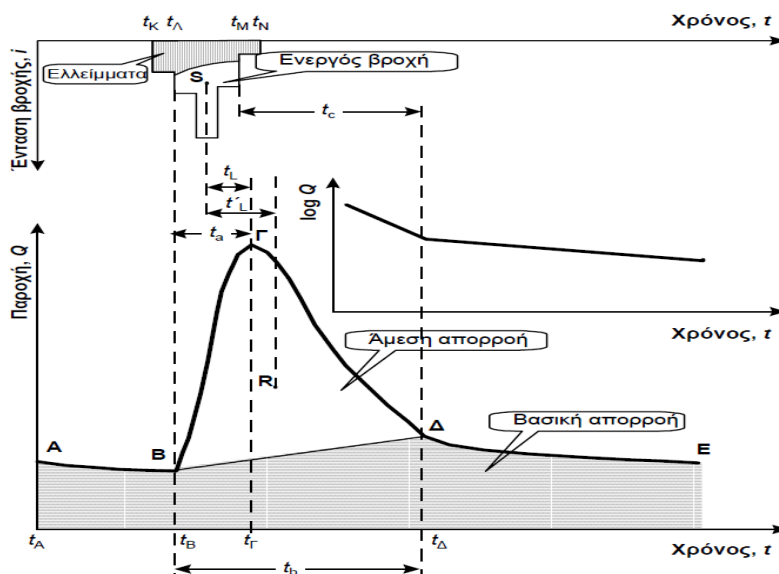
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΘΕΩΡΙΑ ΤΟΥ ΜΟΝΑΔΙΑΙΟΥ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ

Για τη δημιουργία υδρογραφημάτων που περιγράφουν την απόκριση μιας λεκάνης σε ένα δεδομένο επεισόδιο βροχής (υετογράμμα) υπάρχουν δυο κατηγορίες υδρολογικών μεθόδων. Η πρώτη συνίσταται στο σχηματισμό ενός υδρογραφήματος συγκεκριμένου σχήματος, με παροχή αιχμής που προκύπτει εφαρμόζοντας την ορθολογική ή άλλη ανάλογη μέθοδο. Η δεύτερη και πιο αξιόπιστη μέθοδος είναι η εφαρμογή της θεωρίας του μοναδιαίου υδρογραφήματος. Σε κάθε περίπτωση, προηγείται η κατάρτιση του ενεργού υετογράμματος, το οποίο περιγράφει το τμήμα της βροχής που μετατρέπεται σε απορροή.

2.1 Παρουσίαση ενός απλού πλημμυρικού επεισοδίου

Αρχικά θα παρουσιαστεί ένα τυπικό πλημμυρικό επεισόδιο με το αντίστοιχο σύντομο και απλής δομής επεισόδιο βροχής. Το υδρογράφημα όπως και το υετογράφημα της βροχής που προκάλεσε την πλημμύρα παρουσιάζονται στο Γράφημα 2.1 :



Γράφημα 2.1 Σκαρίφημα τυπικού πλυμμυρικού υδρογραφήματος και το αντίστοιχο υετογράφημα. Διαχωρισμός των συνιστωσών του υδρογραφήματος και χαρακτηριστικοί χρόνοι (Πηγή : Κουτσογιάννης & Ξανθόπουλος, 1999).

Για να υπολογιστεί η άμεση απορροή ζητούμενο αποτελεί ο προσδιορισμός των σημείων Β και Δ που αποτελούν τα σημεία έναρξης και λήξης της άμεσης απορροής. Το σημείο Β είναι το σημείο που η παροχή του υδατορεύματος αρχίζει να αυξάνεται με έντονο ρυθμό. Επίσης όπως παρατηρούμε και στο υετογράφημα είναι το σημείο έναρξης της ενεργού βροχόπτωσης, η οποία διαρκεί το πολύ μέχρι και την αιχμή της πλημμύρας. Ο χρόνος t_T , που είναι ο χρόνος που η παροχή φτάνει τη μέγιστη τιμή της, για σχετικώς σύντομα και απλής δομής επεισόδια βροχής συνήθως έπεται της λήξης της ενεργού βροχής (όπως ισχύει και στο παραπάνω σχήμα), ενώ για μεγαλύτερης διάρκειας και απλής δομής επεισόδια μπορεί να ταυτίζεται με το χρόνο λήξης της ενεργού βροχής (Κουτσογιάννης & Ξανθόπουλος, 1999). Από τη λήξη της ενεργού βροχής μέχρι και τη λήξη της άμεσης απορροής μεσολαβεί ένα χρονικό διάστημα που καλείται χρόνος συγκέντρωσης της λεκάνης, t_c . Ο θεωρητικός ορισμός του είναι ο χρόνος που χρειάζεται μία σταγόνα νερού να φτάσει στην έξοδο της λεκάνης, ξεκινώντας από το υδραυλικά πιο απομακρυσμένο σημείο της λεκάνης. Ο χρόνος αυτός υπολογίζεται, κατά κανόνα, από ημιεμπειρικές σχέσεις, ως συνάρτηση χαρακτηριστικών γεωμορφολογικών ιδιοτήτων της λεκάνης (έκταση, μήκος υδρογραφικού δικτύου, κλίσεις, κλπ).

Ανακεφαλαιωτικά, τα χαρακτηριστικά χρονικά μεγέθη του υδρογραφήματος είναι ο χρόνος ανόδου $t_a = t_T - t_B$ και ο χρόνος βάσης $t_b = t_\Delta - t_B$. Ο τελευταίος καλείται και διάρκεια πλημμύρας για τον οποίο ισχύει επίσης $t_b = (t_M - t_L) + t_c$. Άλλο χαρακτηριστικό χρονικό μέγεθος είναι ο χρόνος υστέρησης t_L που, όπως έχει ήδη προαναφερθεί, είναι το διάστημα από το κέντρο βάρους του ενεργού υετογραφήματος μέχρι την αιχμή του πλημμυρογραφήματος. Μετά τον προσδιορισμό των σημείων Β και Δ είναι δυνατή η απομόνωση της βασικής ροής από το ολικό πλημμυρογράφημα. Θεωρούμε ότι η βασική ροή κατά τη διάρκεια της πλημμύρας μεταβάλλεται γραμμικά. Έτσι, με δεδομένα τα σημεία Β και Δ μπορούμε να προσδιορίσουμε την ευθεία της βασικής ροής και στη συνέχεια να την αφαιρέσουμε από την ολική απορροή, ώστε να παραμείνει η άμεση απορροή.

Να σημειωθεί ότι από την βιβλιογραφία προτείνονται επιπλέον οι εξής τρόποι προσδιορισμού του σημείου Δ:

- Ο τρόπος μεταβολής της βασικής ροής θεωρείται γραμμικός με δεδομένο ρυθμό μεταβολής, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα το σημείο Δ να είναι το σημείο τομής αυτής της ευθείας με δεδομένη κλίση με το ολικό πλημμυρογράφημα.
- Απεικονίζουμε το λογάριθμο της παροχής συναρτήσει του χρόνου και το σημείο Δ προσδιορίζεται ως το σημείο έντονης αλλαγής κλίσης της καμπύλης $\log Q - t$. Συγκεκριμένα σε μία απλή περίπτωση επεισοδίου αναμένεται το τμήμα της καμπύλης $\log Q - t$ που συνιστά τη βασική ροή να είναι ένας γραμμικός κλάδος με κλίση μικρότερη από το τμήμα της καμπύλης $\log Q - t$ μετά την αιχμή της πλημμύρας που δίνει άμεση απορροή.

2.2 Υπολογισμός ενεργού βροχής

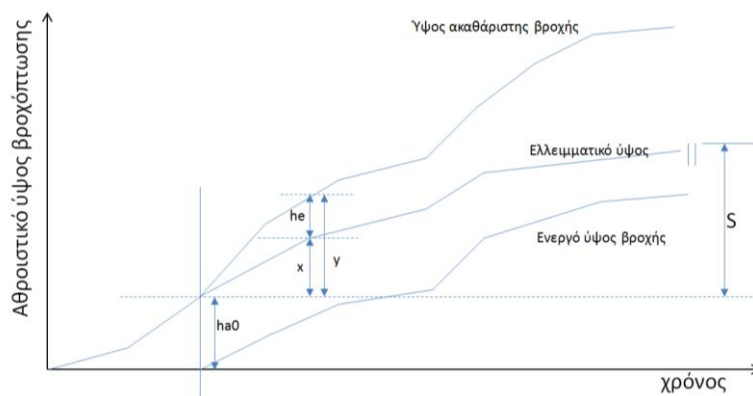
Το τμήμα της βροχής που μετατρέπεται σε απορροή ονομάζεται ενεργός βροχόπτωση. Η υπόλοιπη βροχή συνιστά τις υδρολογικές απώλειες, που είναι η κατακράτηση και η διήθηση. Οι συνήθειες για τον υδρολογικό σχεδιασμό μέθοδοι προσδιορισμού των συνολικών ελλειμμάτων είναι εμπειρικοί και δεν εντρυφούν στις επιμέρους συνιστώσες των υδρολογικών ελλειμμάτων και τους μηχανισμούς που τις διέπουν. Μια ευρέως διαδεδομένη και αξιόπιστη προσέγγιση είναι η μέθοδος του Soil Conservation Service των ΗΠΑ ή μέθοδος SCS (1972). Η παραπάνω μέθοδος βασίζεται στις εξής παραδοχές :

- Από τη στιγμή που ξεκινάει η βροχόπτωση για ένα αρχικό χρονικό διάστημα όλη η βροχή γίνεται έλλειμμα, h_{a0} .
- Πέραν του αρχικού ελλείμματος το επιπλέον συνολικό έλλειμμα που εμφανίζεται δεν μπορεί να ξεπεράσει την τιμή S , γνωστή ως δυνητικά μέγιστη κατακράτηση.
- Σε κάθε χρονική στιγμή μετά το χρονικό διάστημα του αρχικού ελλείμματος οι λόγοι του ενεργού ύψους βροχής προς το συνολικό ύψος h μείον το αρχικό έλλειμμα h_{a0} και του ελλειμματικού ύψους $h - h_{a0}$ μείον το αρχικό έλλειμμα h_{a0} προς τη δυνητικά μέγιστη κατακράτηση S είναι ίσοι. Αυτή η αναλογία

καταλήγει στη σχέση που κάθε χρονική στιγμή δίνει το αθροιστικό ύψος ενεργού βροχής :

$$h_e = \begin{cases} 0 & h \leq h_{a0} \\ \frac{(h-h_{a0})^2}{h-h_{a0}+S} & h > h_{a0} \end{cases} \quad (2.1)$$

Αυτή η αναλογία αποτυπώνεται και στο Γράφημα 2.2 όπου μία χρονική στιγμή μετά το πέρας του αρχικού ελλείμματος σημειώνονται κατά αθροιστικό τρόπο το ενεργό ύψος h_e , η ποσότητα y που είναι το ακαθάριστο ύψος μείον το αρχικό έλλειμμα και η ποσότητα x που είναι το ελλειμματικό ύψος μείον το αρχικό έλλειμμα.



Γράφημα 2.2 Διαγραμματική αποτύπωση της μεθόδου SCS (Προέλευση : Κουτσογιάννης & Ξανθόπουλος (1999) μετά από προσαρμογή).

Για τον υπολογισμό του αρχικού ελλείμματος υιοθετείται η σχέση $h_{a0} = a \times S$, όπου a αδιάστατη παράμετρος. Για την παράμετρο a με βάση δεδομένα παρατηρήσεων, δεδομένα παρατηρήσεων προτείνεται ως βέλτιστη η τιμή $a=0,2$. Για τον υπολογισμό της παραμέτρου S υπάρχουν οι εξής δυνατότητες:

Εφόσον γνωρίζουμε το ολικό ύψος της επιφανειακής απορροής, το οποίο εξ ορισμού ισούται με το ολικό ύψος της ενεργού βροχής, και θεωρώντας $a=0,2$ προκύπτει η εξίσωση:

$$0,04 \times S^2 - S \times (0,4 \times h + 0,8 \times h_e) + h \times (h - h_e) = 0$$

από την οποία τελικώς προκύπτει η σχέση (Κουτσογιάννης & Ξανθόπουλος, 1999):

$$S = 5 \times h + 10 \times h_e - 10 \times \sqrt{h_e \times (h_e + 1, 25 \times h)} \quad (2.2)$$

Σε περίπτωση που δεν διαθέτουμε δεδομένα απορροής (όπως προφανώς ισχύει στον υδρολογικό σχεδιασμό) ώστε να γνωρίζουμε το ολικό ύψος ενεργού βροχής υπάρχει η δυνατότητα εκτίμησης του S μέσω μιας χαρακτηριστικής παραμέτρου της λεκάνης, γνωστής ως αριθμός καμπύλης απορροής CN (Curve Number). Τα δύο μεγέθη συνδέονται με την εμπειρική σχέση (Κουτσογιάννης & Ξανθόπουλος, 1999):

$$S [mm] = 254 \times \left(\frac{100}{CN} - 1 \right) \quad (2.3)$$

Η παράμετρος CN έχει εύρος τιμών από 0 έως 100 και η τιμή της εξαρτάται από τον εδαφικό τύπο, τις χρήσεις γης της περιοχής μελέτης και τις προηγούμενες συνθήκες υγρασίας. Ο τρόπος υπολογισμού της εν λόγω παραμέτρου με βάση χάρτες χρήσεων γης και γεωλογίας παρουσιάζονται αναλυτικά στην ενότητα 4.3.

2.3 Μοναδιαία υδρογραφήματα

2.3.1 Θεωρητικό πλαίσιο

Μοναδιαίο υδρογράφημα διάρκειας D καλείται μία συνάρτηση $U_D(t)$ που δίνει την παροχή στην έξοδο της λεκάνης σε χρόνο t μετά από καθαρή βροχόπτωση ίσης διάρκειας και μοναδιαίου ύψους, συνήθως 10 mm, ομοιόμορφα κατανεμημένης στο χώρο και το χρόνο. Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο η λεκάνη αντιμετωπίζεται ως ένα γραμμικό σύστημα. Αυτό σημαίνει ότι η έξοδος του συστήματος, εν προκειμένω η απορροή της λεκάνης, συνδέεται με την είσοδο του συστήματος, εν προκειμένω η βροχόπτωση με μια γραμμική διαφορική εξίσωση με σταθερούς συντελεστές (Κουτσογιάννης, 2011). Σαν αποτέλεσμα, βροχές διάρκειας D πολλαπλάσιας έντασης προκαλούν αντίστοιχα πολλαπλάσια παροχή. Επιπλέον σύμφωνα με τη θεωρία του μοναδιαίου υδρογραφήματος ισχύει η αρχή της σταθερότητας για βροχοπτώσεις πολλαπλάσιας του D διάρκειας. Θεωρείται ότι όταν τελειώνει μία περίοδο βροχής διάρκειας D , αρχίζει μία νέα ανεξάρτητη από την προηγούμενη που με την έναρξη της νέας περιόδου παράγει το δικό της υδρογράφημα. Τα υδρογραφήματα που προκύπτουν με αυτόν τον τρόπο παρουσιάζουν αλληλεπικαλύψεις και το τελικό

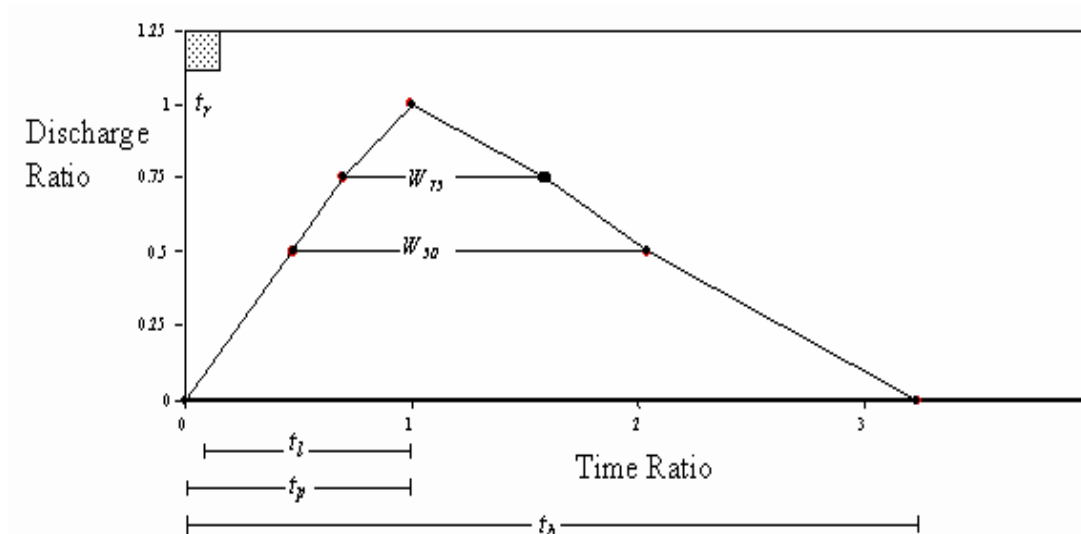
αποτέλεσμα είναι το άθροισμα των τεταγμένων των υδρογραφημάτων (Βαφειάδης, 2004).

Το μοναδιαίο υδρογράφημα αποτελεί χαρακτηριστική ιδιότητα κάθε λεκάνης που είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς με δεδομένη την ωφέλιμη βροχόπτωση είναι δυνατός ο υπολογισμός της πλημμυρικής απορροής. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι υπολογισμού του μοναδιαίου υδρογραφήματος. Όταν υπάρχουν δεδομένα βροχής και απορροής λύνουμε το αντίστροφο πρόβλημα και υπολογίζουμε το μοναδιαίο υδρογράφημα. Όταν δεν έχουμε τέτοια δεδομένα, το μοναδιαίο υδρογράφημα καταρτίζεται συνθετικά βάσει χαρακτηριστικών μεγεθών της λεκάνης απορροής.

Στη συνέχεια παρουσιάζουμε τις πιο διαδεδομένες μεθόδους κατασκευής του συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος (ΣΜΥ) μιας λεκάνης.

2.3.2 Μοναδιαίο Υδρογράφημα κατά Snyder

Το μοναδιαίο υδρογράφημα κατά Snyder έχει την μορφή που απεικονίζεται στο Γράφημα 2.3 :



Γράφημα 2.3 Γενική μορφή μοναδιαίου υδρογραφήματος κατά Snyder (Πηγή : Ramirez (2000) μετά από επεξεργασία Γκιόκας (2009))

Το υδρογράφημα που προκύπτει ισχύει για χρονική διάρκεια βροχής $t_r = \frac{t_1}{5,5}$ (2.4)

Οι συνιστώσες του είναι οι εξής:

$$t_l = C_1 \times C_t \times (L \times L_c)^{0.3} \quad (2.5)$$

$$Q_p = \frac{C_2 \times C_p \times A}{t_l} \quad (2.6)$$

$$T_{base} = 3 + \frac{t_l}{8} \quad (2.7)$$

Όπου :

t_l : ο χρόνος ανόδου τις φαίνεται στο σχήμα

C_1 : 0,75 (συντελεστής για μετατροπές μονάδων)

L : το μήκος του κυρίου υδατορεύματος από το πιο απομακρυσμένο σημείο τις λεκάνης μέχρι την έξοδο σε km

L_c : το μήκος του κυρίου υδατορεύματος από το πλησιέστερο σημείο στο κέντρο βάρους τις λεκάνης μέχρι την έξοδο σε km

Q_p : παροχή αιχμής σε m³/s

C_2 : 2,75 (συντελεστής για μετατροπές μονάδων)

A : το εμβαδόν τις λεκάνης απορροής σε km²

T_{base} : η χρονική βάση του υδρογραφήματος σε ημέρες

C_t , C_p : παράμετροι του υδρογραφήματος

Οι Wright-McLaughlin Engineers (1969), βάσει μετρήσεων στην περιοχή του Denver των ΗΠΑ, συσχέτισαν τις τιμές των παραμέτρων του συνθετικού υδρογραφήματος του Snyder με ένα απλό χαρακτηριστικό μέγεθος τις λεκάνης απορροής, που είναι το ποσοστό τις αδιαπέρατης επιφάνειας, I , και προτείνουν τις σχέσεις υπολογισμού (U.S. Army Corps of Engineers, 1997, pp. 142, 152, Κουτσογιάννης κ.ά., 2003):

$$C_t = 7.81 I^{-0.78}, C_p = 0.89 C_t^{0.46} \quad (2.8)$$

Αν το ζητούμενο ΣΜΥ έχει διάρκεια $tr' > tr$ τότε ο χρόνος υστέρησης διορθώνεται με τη σχέση:

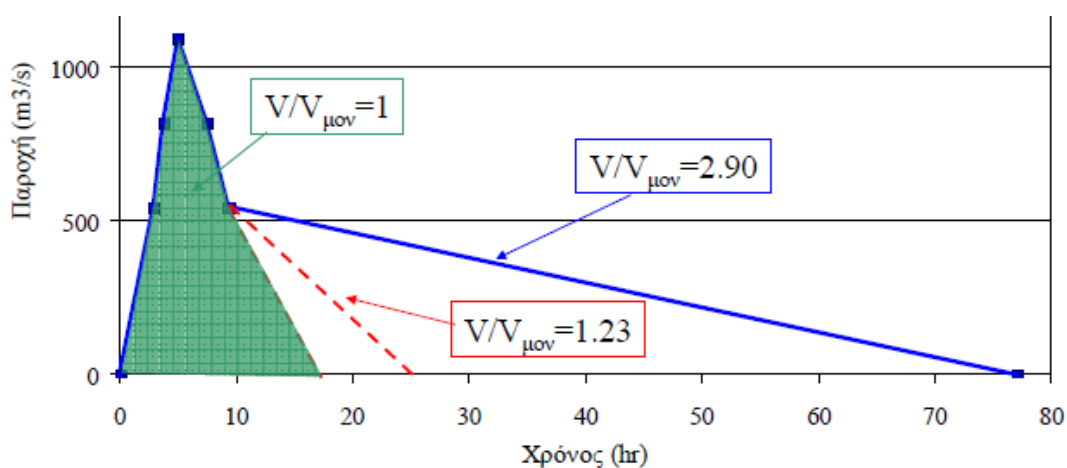
$$t'_l = t_l + 0,25 \times (t'_r - t_r) \quad (2.9)$$

Η διορθωμένη τιμή του χρόνου υστέρησης πρέπει να αντικατασταθεί στις προηγούμενες εξισώσεις για να υπολογιστούν οι διορθωμένες τιμές της παροχής αιχμής και του χρόνου βάσης του υδρογραφήματος. Με τις διορθωμένες τιμές μπορούν πλέον να υπολογιστούν τα πλάτη W50 και W75 με τις ακόλουθες εξισώσεις (Γκιόκας, 2009):

$$w_{50} = 2,143 \times \left(\frac{q_p}{A}\right)^{-1,08} \quad (2.10)$$

$$w_{50} = 1,225 \times \left(\frac{q_p}{A}\right)^{-1,08} \quad (2.11)$$

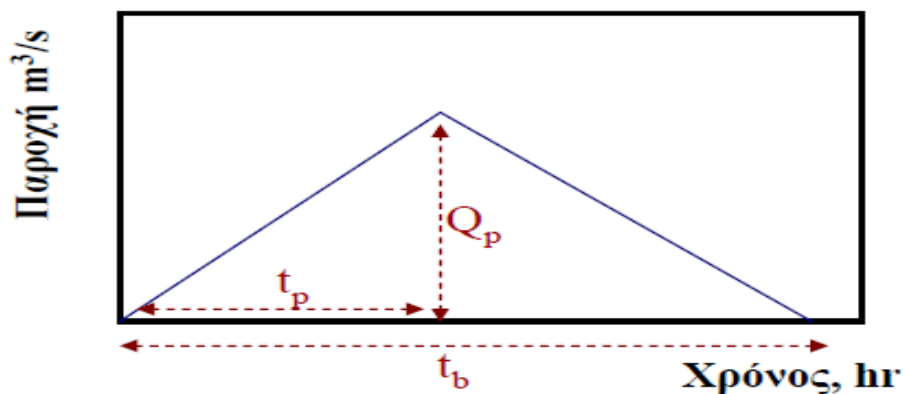
Ωστόσο με χρήση των παραπάνω τιμών προκύπτει ένα υδρογράφημα που έχει όγκο διαφορετικό της τιμής ορισμού $V_0 = h_0 \cdot A$ ($h_0 = 10$ mm). Έτσι πρέπει να γίνει διόρθωση του χρόνου βάσης ώστε ο όγκος πλημμύρας που προκύπτει να ισούται με τον μοναδιαίο όγκο V_0 . Η διόρθωση περιγράφεται στο Γράφημα 2.4 :



Γράφημα 2.4 Μορφή μοναδιαίου υδρογραφήματος κατά Snyder με έμφαση στη διόρθωση του χρόνου βάσης (Πηγή : Μαμάσης, 2009)

2.3.3 Μέθοδος Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας

Η εν λόγω μέθοδος προτείνει ένα τριγωνικό συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα της μορφής για διάρκεια βροχής 1 hr (Μαμάσης, 2009):



Γράφημα 2.5 Τριγωνικό μοναδιαίο υδρογράφημα που εφαρμόζεται από το Βρετανικό Ινστιτούτο Υδρολογίας (Πηγή : Μαμάσης, 2009)

Οι παράμετροι του μοναδιαίου υδρογραφήματος είναι ο χρόνος ανόδου t_p σε hr, ο χρόνος βάσης t_b σε hr και η πλημμύρα αιχμής Q_p σε m^3/s . Οι τύποι που δίνουν τα παραπάνω μεγέθη είναι :

$$t_p = \frac{46,6 \times L^{0,14}}{S_{0,1L-0,85L}^{0,38} \times (1 + URBAN)^{1,99} \times RMSD^{0,4}} \quad (2.12)$$

$$t_b = 2,52 \times t_p \quad (2.13)$$

$$Q_p = \frac{20}{3,6} \times \frac{A}{t_b} \quad (2.14)$$

Όπου :

L : το μήκος του βασικού υδατορέμματος σε km

URBAN : η αναλογία αστικών περιοχών στη λεκάνη απορροής

RMSD : το ύψος 24-ωρης βροχής σε mm που αντιστοιχεί σε περίοδο επαναφοράς 5 έτη

A : η έκταση της λεκάνης απορροής σε km^2

S : η μέση κλίση του υδατορεύματος μεταξύ των σημείων στο 10% του υδατορεύματος και στο 85% του υδατορεύματος.

Για να βρεθεί η συγκεκριμένη κλίση υπολογίστηκαν τα υψόμετρα στα συγκεκριμένα

σημεία και υπολογίστηκε η κλίση ως εξής : $S = \frac{H_{0,1L} - H_{0,85L}}{0,75 \times L}$ με H σε m και L σε Km.

Ο τύπος υπολογισμού της πλημμύρας αιχμής προέκυψε από τη βασική σχέση που ισχύει στα μοναδιαία υδρογράφηματα ότι ο πλημμυρικός όγκος, εν προκειμένω (έκταση λεκάνης *10 mm) είναι ίσος με το εμβαδόν του πλημμυρογραφήματος, εν προκειμένω το εμβαδόν του τριγώνου.

Οι παραπάνω σχέσεις αφορούν σε διάρκεια βροχής 1 ώρα. Σε περίπτωση που το δοθέν υετόγραμμα έχει διαφορετικό χρονικό βήμα το μοναδιαίο υδρογράφημα πρέπει να υποστεί αναγωγή. Ισχύει ότι η χρονική βάση t_b του μοναδιαίου υδρογραφήματος για διάρκεια βροχής x λεπτά ($x < 60$ λεπτά) είναι κατά $(60-x)$ λεπτά μικρότερη από το t_b που έχει προκύψει με τους παραπάνω τύπους. Με τον νέο χρόνο βάσης που έχω τροποποιώ τον χρόνο ανόδου σύμφωνα με τη σχέση 2.13 και την πλημμυρική αιχμή σύμφωνα με τη σχέση 2.14 και έχω το μοναδιαίο υδρογράφημα για διάρκεια βροχής x λεπτά.

Γενικώς να σημειωθεί ότι σαν μέθοδος εφαρμόζεται όταν η διάρκεια βροχής είναι μικρότερη του χρόνου συγκέντρωσης της λεκάνης.

2.3.4 Τριγωνικό μοναδιαίο υδρογράφημα του SCS

Πρόκειται για ένα μοναδιαίο υδρογράφημα τριγωνικής μορφής για το οποίο ισχύουν οι εξής σχέσεις:

$$t_a = D/2 + t_L \quad (2.15)$$

$$t_L = 0,6 \times t_c \quad (2.16)$$

$$t_k = 5/3 \times t_a \quad (2.17)$$

$$Q_p = 0,75 \times C \times i \times A \quad (2.18)$$

Όπου t_a ο χρόνος ανόδου, t_k ο χρόνος καθόδου, t_c ο χρόνος συγκέντρωσης, D η διάρκεια βροχής, Q_p η παροχή αιχμής, C ο συντελεστής απορροής, i η ολική ένταση

βροχής και A η επιφάνεια της λεκάνης απορροής. Το εν λόγω υδρογράφημα είναι κατάλληλο για μικρής κλίμακας λεκάνες (Κουτσογιάννης, 2011). Να σημειωθεί ότι η σχέση 2.15 έχει προκύψει από την εξίσωση του μοναδιαίου πλημμυρικού όγκου με το εμβαδόν του τριγωνικού πλημμυρογραφήματος για χρόνο καθόδου όπως η σχέση 2.14.

2.3.5 Το λείο μοναδιαίο υδρογράφημα του SCS

Το εν λόγω υδρογράφημα διατηρεί τις ίδιες τιμές για τις παραμέτρους t_a και Q_p . Ωστόσο πρόκειται για ένα μοναδιαίο υδρογράφημα κωδωνοειδούς σχήματος, οι τεταγμένες του οποίου μπορούν να υπολογιστούν με βάση τον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 2.1 Υπολογισμός των τετμημένων στο λείο μοναδιαίο υδρογράφημα του SCS (Πηγή : Κουτσογιάννης, 2011)

Χρόνος t/ta	Παροχή Q/Qp	Χρόνος t/ta	Παροχή Q/Qp	Χρόνος t/ta	Παροχή Q/Qp
0	0	0,9	0,97	2	0,32
0,1	0,015	1	1	2,2	0,24
0,2	0,075	1,1	0,98	2,4	0,18
0,3	0,16	1,2	0,92	2,6	0,13
0,4	0,28	1,3	0,84	2,8	0,098
0,5	0,43	1,4	0,75	3,5	0,036
0,6	0,6	1,5	0,65	4	0,018
0,7	0,77	1,6	0,57	4,5	0,009
0,8	0,89	1,8	0,43	5	0,004

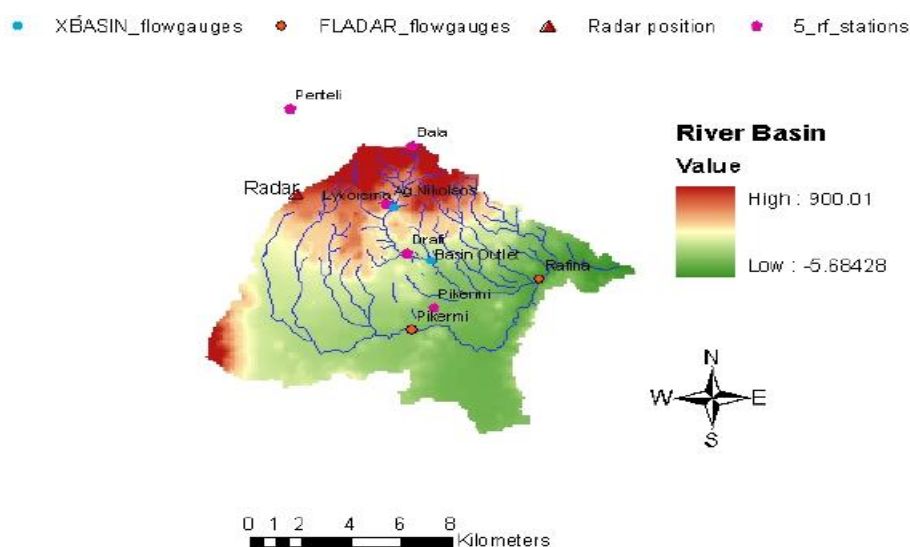
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η περιοχή μελέτης τοποθετείται στην ανατολική Αττική και αποτελεί τμήμα της λεκάνης απορροής του ρέματος Ραφήνα που καλύπτει έκταση 127.17 km^2 . Γεωγραφικά εκτείνεται από την ανατολική πλευρά του όρους του Υμηττού μέχρι την ακτογραμμή του Ευβοϊκού κόλπου. Η λεκάνη απορροής που εξετάζουμε είναι μία υπολεκάνη συνολικής έκτασης $15,2 \text{ km}^2$, η οποία διαιρείται σε βόρειο και νότιο τμήμα (στο σχήμα 3.4 φαίνεται το τμήμα της ευρύτερης λεκάνης που μελετάμε) και στο σύνολό της καλείται πειραματική λεκάνη Λυκορέματος Ραφήνα επειδή τα τελευταία δέκα χρόνια η περιοχή αποτελεί χώρο έρευνας του Εργαστηρίου Υδρολογίας και Διαχείρισης υδατικών πόρων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Διοικητικά, το βόρειο τμήμα ανήκει στον δήμο Πεντέλης και το νότιο στο δήμο Πικέρμι. Μελετήθηκαν ξεχωριστά το βόρειο τμήμα της πειραματικής λεκάνης και ολόκληρη η πειραματική λεκάνη.

3.1 Γενικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής Ραφήνας

Η λεκάνη απορροής του ρέματος Ραφήνα παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.1.



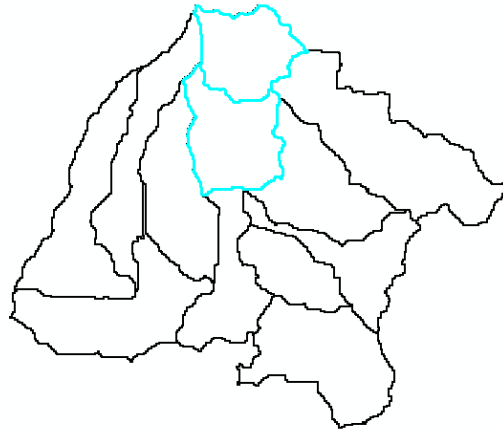
Σχήμα 3.1 Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους της λεκάνη απορροής Ραφήνας όπου διακρίνονται επίσης οι τοποθεσίες του ραντάρ, των βροχομετρικών και υδρομετρικών σταθμών (Πηγή : *Parathanasiou et al, 2009*)

Τα τελευταία 30 χρόνια η εν λόγω περιοχή υφίσταται συνεχή αστικοποίηση ενώ σε πολλές περιπτώσεις ο αστικός ιστός διαμορφώνεται δίχως κάποιον σχεδιασμό. Βάση δημογραφικών δεδομένων ο πληθυσμός σε διάφορες περιοχές σημειώνει σημαντική άνοδο. Συγκεκριμένα μεταξύ των χρόνων 1971 και 2001 στο Πικέρμι ο πληθυσμός έχει αυξηθεί κατά 419,36 %, στο Ντράφι κατά 79,27 % και στη Ραφήνα κατά 38,30 %. Επιπλέον μεγάλης κλίμακας δημόσια έργα όπως το αεροδρόμιο στα Σπάτα και η Αττική Οδός κατασκευάστηκαν στην περιοχή γεγονός που προκάλεσε περαιτέρω κατασκευαστική δραστηριότητα στον ιδιωτικό τομέα. Ωστόσο η αστικοποίηση που σημειώθηκε δεν είναι η μόνη αιτία αλλαγής χρήσεων γης της περιοχής. Τα τελευταία 15 χρόνια μεγάλες πυρκαγιές ήταν η αιτία μετατροπής ιδιαίτερος στο βόρειο τμήμα μεγάλων δασικών εκτάσεων σε καμμένη γη. Τέτοιες περιοχές γίνονται ευάλωτες σε διάβρωση ενώ οι περιοχές κοντά στο ποτάμι γίνονται ευάλωτες σε πλημμύρες.

Επιπλέον, όπως φαίνεται και από το Σχήμα 3.1 στην περιοχή λειτουργούν τέσσερις υδρομετρικοί σταθμοί δύο εκ των οποίων ανήκουν στην πειραματική λεκάνη, πέντε βροχομετρικοί σταθμοί τρεις εκ των οποίων βρίσκονται στην πειραματική λεκάνη και ένα ραντάρ καταγραφής βροχόπτωσης. Να σημειωθεί ότι στην παρούσα εργασία θα χρησιμοποιηθούν δεδομένα παροχής από τους δύο υδρομετρικούς σταθμούς που ανήκουν στην πειραματική λεκάνη και δεδομένα βροχής από τους τρεις βροχομετρικούς σταθμούς που ανήκουν στην πειραματική λεκάνη και από τον βροχομετρικό σταθμό στο Πικέρμι που δεν ανήκει στην πειραματική λεκάνη. Παραπάνω στοιχεία για τη θέση και λειτουργία των σταθμών παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 4.

3.2 Γενικά χαρακτηριστικά της υπολεκάνης Λυκορέματος Ραφήνας

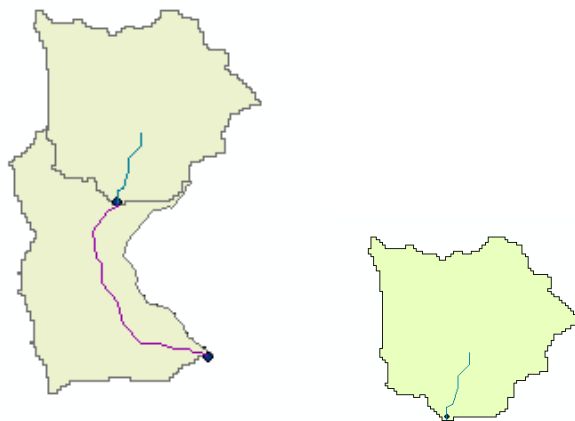
Η σχέση της ευρύτερης λεκάνης απορροής με την περιοχή μελέτης παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.2.



Σχήμα 3.2 Οι υπολεκάνες απορροής της ευρύτερης λεκάνης Ραφήνας όπως διαμορφώνονται από το πρόγραμμα Hec-GeoHms (Παγάνια , 2012)

Να σημειωθεί ότι οι λεκάνες απορροής που μελετάμε απομονώθηκαν με χρήση του λογισμικού HEC-HMS στο οποίο σαν δεδομένο εισόδου είχαμε το ψηφιακό μοντέλο εδάφους ανάλυσης 50×50 (Παγάνια, 2012) για την ευρύτερη λεκάνη απορροής.

Η μορφή των λεκανών απορροής που μελετήθηκαν παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.3.

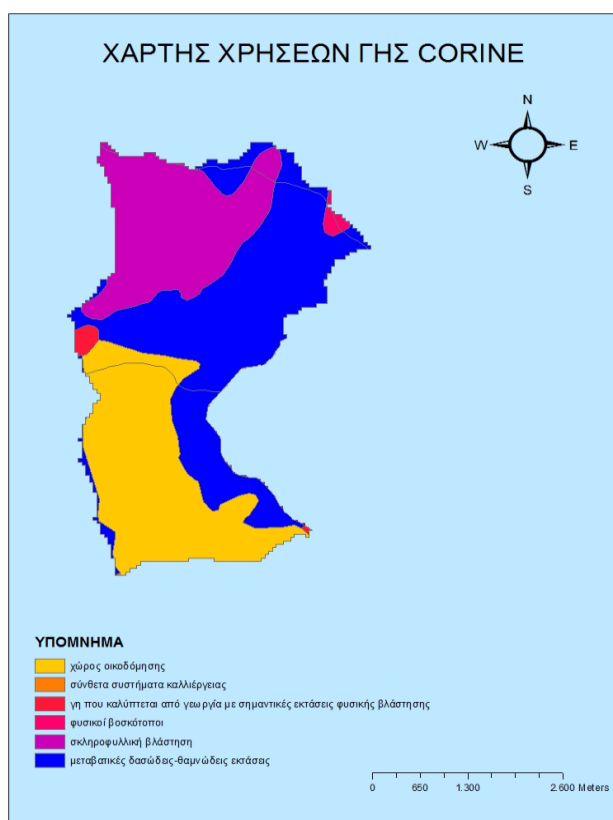


Σχήμα 3.3 Λεκάνες απορροής που μελετήθηκαν. Παρουσιάζεται ξεχωριστά και το βόρειο τμήμα της πειραματικής λεκάνης

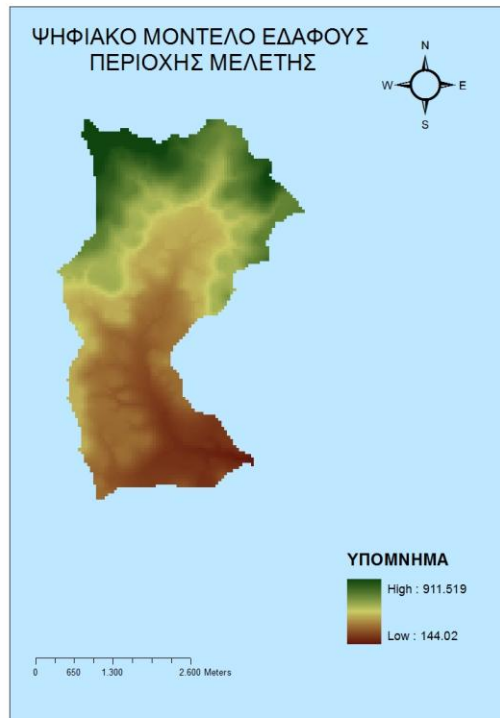
Στο σχήμα 3.3 παρουσιάζονται οι λεκάνες απορροής ανάντη των υδρομετρικών σταθμών Ντράφι και Λυκόρεμα, η θέση των οποίων είναι επίσης εμφανής. Να

σημειωθεί ότι ο βορειότερος σταθμός είναι το Λυκόρεμα με ανάντη λεκάνη απορροής έκτασης 7,91 km² και ο νοτιότερος το Ντράφι με ανάντη λεκάνη απορροής 7,91 + 7,26 = 15,17 km².

Στη συνέχεια παρουσιάζονται μέσα από χάρτες στοιχεία για την περιοχή μελέτης που αφορούν στο τοπογραφικό ανάγλυφο, σε χρήσεις γης και στη διαπερατότητα των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής. Το συμπέρασμα που προκύπτει από τους παρακάτω χάρτες είναι ότι πρόκειται για μία περιοχή με μέσο υψόμετρο 430 μ., ελάχιστο υψόμετρο 144 μ. και μέγιστο υψόμετρο 911 μ.. Από το χάρτη χρήσεων γης παρατηρούμε ότι το νότιο τμήμα έχει υποστεί αστική ανάπτυξη και από τον γεωλογικό χάρτη παρατηρούμε ότι το βόρειο τμήμα της λεκάνης χαρακτηρίζεται κυρίως από αδιαπέρατους γεωλογικούς σχηματισμούς.



Σχήμα 3.4 Χάρτης χρήσεων γης περιοχής μελέτης



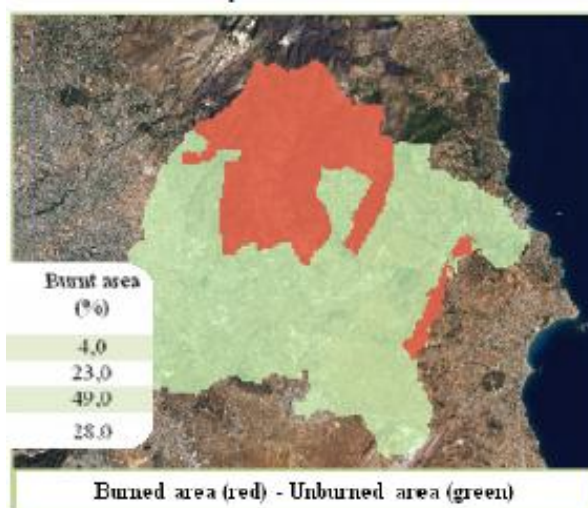
Σχήμα 3.5 Τοπογραφικό ανάγλυφο περιοχής μελέτης



Σχήμα 3.6 Γεωλογικός χάρτης όπου εμφανίζεται η περατότητα των γεωλογικών σχηματισμών

3.3 Αποτελέσματα συναφών ερευνών στην περιοχή της Πειραματικής λεκάνης

Ενδιαφέρον και άμεση συσχέτιση με το αντικείμενο της παρούσας εργασίας αποτελούν αποτελέσματα σχετικής μελέτης (Alonistioti et al, 2011) για την επιρροή γεγονότων πυρκαγιάς σε παραμέτρους του υδρολογικού σχεδιασμού. Συγκεκριμένα μελετήθηκε η επιρροή πυρκαγιάς στις παραμέτρους CN, αρχικό έλλειμμα και χρόνος υστέρησης μετά από γεγονότα πυρκαγιάς που σημειώθηκαν στην περιοχή τον Αύγουστο του 2009. Το τμήμα της περιοχής που επηρεάστηκε από την πυρκαγιά παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα από το οποίο φαίνεται ότι η πειραματική λεκάνη που μελετάμε ανήκει σε αυτό.

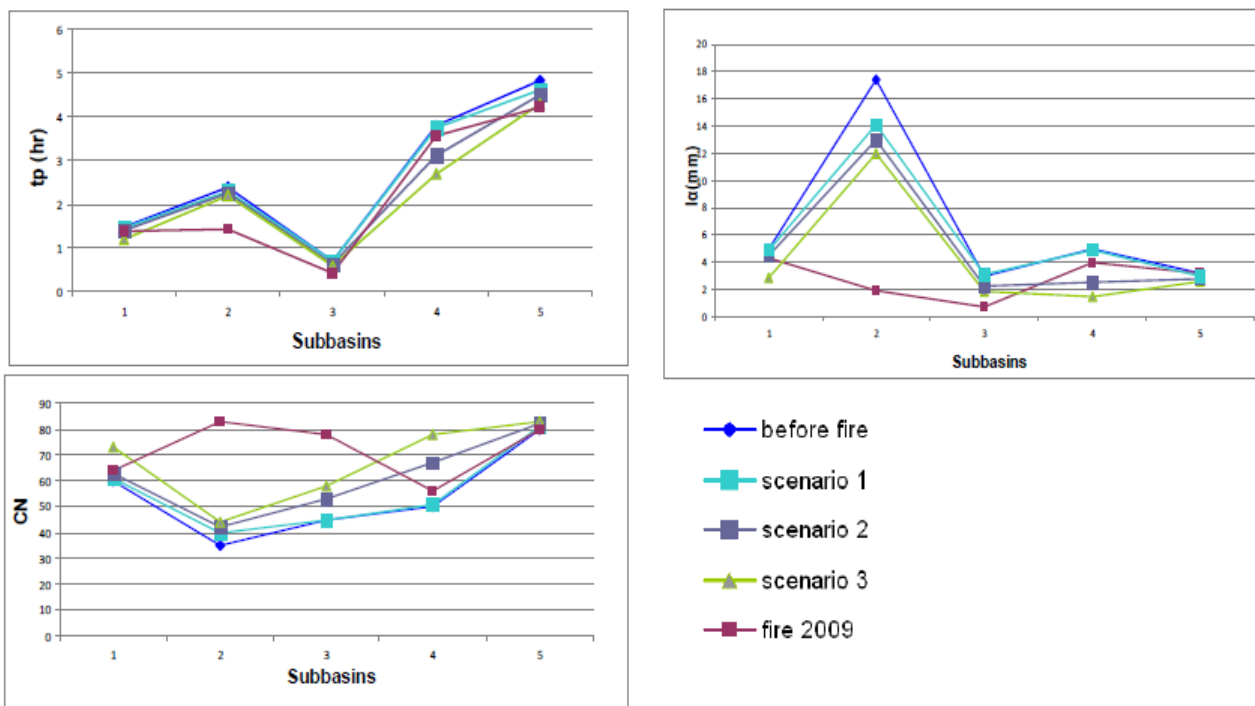


Σχήμα 3.7 Έκταση περιοχής καμμένων εκτάσεων από τη λεκάνη απορροής Ραφήνας από την πυρκαγιά τον αύγουστο 2009 (Πηγή : Alonistioti et al, 2011)

Η πυρκαγιά επηρέασε το 28 % της λεκάνης απορροής, το 20,2 % δασικών εκτάσεων, το 5 % αστικών περιοχών και 2,4 % καλλιεργήσιμων εκτάσεων. Το αποτέλεσμα της δημιουργίας καμμένης γης στις παραμέτρους που προαναφέραμε συνοψίζεται στο παρακάτω σχήμα όπου φαίνεται η επιμέρους αλλαγή σε κάθε υπολεκάνη της ευρύτερης λεκάνης απορροής Ραφήνας. Να σημειωθεί ότι οι υπολεκάνες 2 και 3 συνιστούν την πειραματική λεκάνη που εξετάζουμε.



Σχήμα 3.8 Οι 5 υπολεκάνες της λεκάνης απορροής Ραφήνας όπως προσδιορίστηκαν από το πρόγραμμα Hec-Hms (Πηγή : Alonistioti et al, 2011)



Σχήμα 3.5 Διαγραμματική απεικόνιση μετά από 3 σενάρια πυρκαγιάς και το πραγματικό γεγονός πυρκαγιάς το 2009 της αλλαγής των CN, αρχικού ελλείμματος και χρόνου υστέρησης σε κάθε μία από τις πέντε υπολεκάνες (Πηγή : Alonistioti et al, 2011)

Η παραπάνω λοιπόν μελέτη καταλήγει ότι μετά την πυρκαγιά του 2009 σημειώθηκε άνοδος στην τιμή του CN, γεγονός εύλογο καθότι με την εκδήλωση πυρκαγιάς αναμένεται αύξηση της αδιαπερατότητας του εδάφους. Επόμενη είναι η μείωση στην τιμή του αρχικού ελλείμματος καθώς αυτό είναι αντιστρόφως ανάλογο της τιμής CN με διατήρηση της ίδιας με πριν την πυρκαγιά τιμής της παραμέτρου $a=h_{a0}/S$. Τέλος σημειώνεται μείωση του χρόνου συγκέντρωσης της λεκάνης

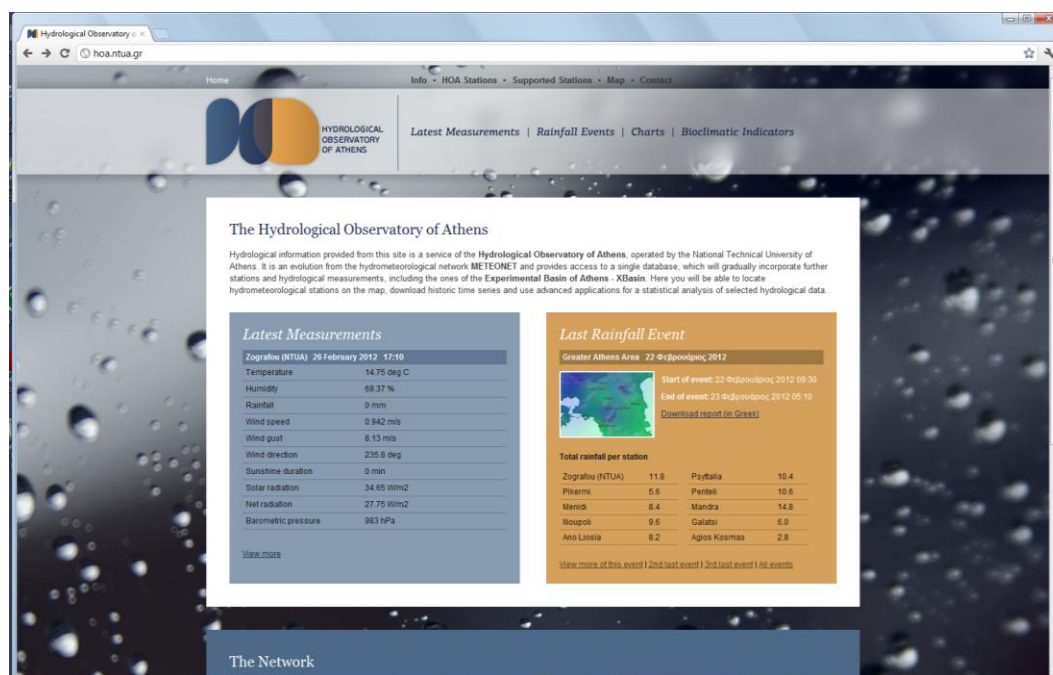
απορροής, γεγονός επίσης εύλογο καθώς σε μία απογυμνωμένη από δέντρα έκταση το νερό φτάνει πιο γρήγορα στην έξοδο της λεκάνης. Αυτές οι αλλαγές εντείνονται στις περιοχές των καμένων εκτάσεων, ήτοι και της πειραματικής λεκάνης. Συγκεκριμένα από τα παραπάνω διαγράμματα για τις υπολεκάνες 2 και 3 οι τιμές της παραμέτρου CN μετά την πυρκαγιά είναι $CN_{sub2} = 82$ και $CN_{sub3} = 78$ αντίστοιχα ενώ πριν την πυρκαγιά υπολογίστηκαν σε $CN_{sub2} = 35$ και $CN_{sub3} = 45$ αντίστοιχα. Επομένως η δυνητικά μέγιστη κατακράτηση S για μετά την πυρκαγιά υπολογίζεται σε $S_{sub2} = 55,75mm$ και $S_{sub3} = 71,64mm$ αντίστοιχα, οπότε η τιμή της παραμέτρου α που προκύπτει για $I_{aSub2} = 2mm$ και $I_{aSub3} = 1mm$ είναι $a_{sub2} = 0,036$ και $a_{sub3} = 0,014$ αντίστοιχα. Να σημειωθεί ότι σύμφωνα με τη μελέτη αυτή η ίδια τιμή της παραμέτρου α για κάθε λεκάνη είναι που ίσχυε και πριν την πυρκαγιά. Επίσης αξιοσημείωτο είναι ότι στην τιμή $a = 0,014$ για το σύνολο της πειραματικής λεκάνης και στην τιμή $a = 0,037$ για την βόρεια υπολεκάνη καταλήγει διαφορετική έρευνα (Baltas et al, 2007). Μετά από επεξεργασία των αποτελεσμάτων της εν λόγω έρευνας (Baltas et al, 2007) προέκυψε επιπλέον ότι η τιμή της παραμέτρου CN εκτιμήθηκε σε $CN_{πειραματ.λεκ.} = 41,86$ για το σύνολο της πειραματικής λεκάνης και $CN_{northSub} = 23,76$. Να επισημανθεί ότι η συγκεκριμένη μελέτη έλαβε χώρα το 2007, ήτοι πριν την εκδήλωση της πυρκαγιάς του 2009.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΠΡΩΤΟΓΕΝΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

4.1 Υδρομετρικοί και βροχομετρικοί σταθμοί

Τα στοιχεία συλλέχθηκαν από την ιστοσελίδα του υδρολογικού παρατηρητηρίου Αθήνας (Hydrological Observatory of Athens με ηλεκτρονική διεύθυνση <http://hoa.ntua.gr>), και περιλαμβάνουν δεδομένα βροχής δεκαλέπτου (σε mm) και παροχής δεκαλέπτου (σε m³/s) από αντίστοιχες χρονοσειρές των επιλεγμένων σταθμών.



Σχήμα 4.1 Η ιστοσελίδα του υδρολογικού παρατηρητηρίου Αθήνας για τη συλλογή δεδομένων παροχής και βροχής από τους σταθμούς ενδιαφέροντος

Τα δεδομένα παροχής συλλέχθηκαν από τους υδρομετρικούς σταθμούς:

- Ντράφι (Station Drafi-discharge, XBasin) με γεωγραφικές συντεταγμένες $X=493442.65$ και $Y=4207862.66$ και περίοδο λειτουργίας από 19/01/2003 έως 4/01/2010

- Λυκόρεμα (Station Lykorema, XBasin) με γεωγραφικές συντεταγμένες $X=491974.48$ και $\Psi=4210420.64$ και περίοδο λειτουργίας από 13/01/2005 έως 19/10/2010

Ο σταθμός Ντράφι στις 4/01/2010 σταμάτησε να λειτουργεί λόγω φυσικής καταστροφής. Ο σταθμός σήμερα επαναλειτουργεί σε διαφορετική θέση λίγα μέτρα κατάντη. Η λεκάνη που εξετάστηκε έχει σημείο εξόδου την παλιά θέση του σταθμού.

Τα δεδομένα βροχής συλλέχθηκαν από τους μετεωρολογικούς σταθμούς:

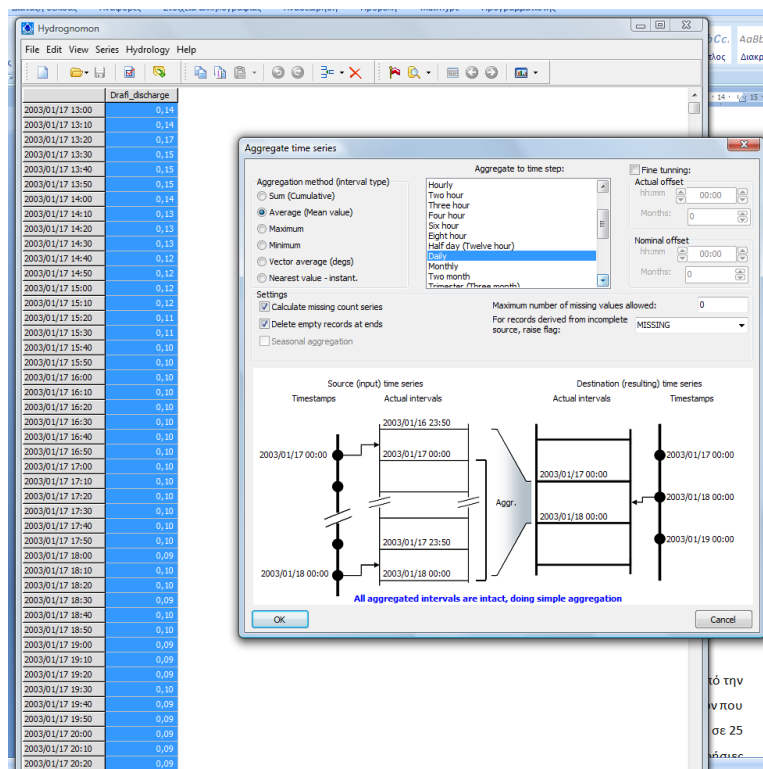
- Ντράφι (Station Drafí, XBasin) με γεωγραφικές συντεταγμένες $X=492504.76$ και $\Psi=4208256.15$ και περίοδο λειτουργίας από 12/12/2003 έως 08/05/2009
- Άγιος Νικόλαος (Ag.Nikolaos, XBasin) με γεωγραφικές συντεταγμένες $X=491695.78$ και $\Psi=4210665.46$ και περίοδο λειτουργίας από 19/10/2003 έως 26/07/2011
- Μπάλα-Πεντέλη (Penteli - Diavasi Mpalas, Xbasin) με γεωγραφικές συντεταγμένες $X=492698.31$ και $\Psi=4213335.07$ και περίοδο λειτουργίας από 10/12/2003 έως 26/07/2011
- Πικέρμι (Pikermi) με γεωγραφικές συντεταγμένες $X=493583.15$ και $\Psi=4205666.35$ και περίοδο λειτουργίας από 21/12/2005 έως 28/10/2011

Οι πρωτογενείς επεξεργασίες περιλαμβάνουν: α) την επιλογή των επεισοδίων πλημμύρας για την κάθε λεκάνη β) την εκτίμηση της επιφανειακής βροχόπτωσης για κάθε επεισόδιο, και γ) τον υπολογισμό του χρόνου συγκέντρωσης και της παραμέτρου CN των δύο λεκανών.

4.2 Επιλογή χαρακτηριστικών πλημμυρικών επεισοδίων

Η επιλογή των επεισοδίων πλημμύρας με σκοπό την επεξεργασία των δεδομένων έγινε με βάση τις μεγαλύτερες μέσες ημερήσιες παροχές από τις χρονοσειρές παροχών των περιόδων λειτουργίας των δύο σταθμών. Η επεξεργασία επομένως των παραπάνω δεδομένων αφορά σε ένα χρονικό διάστημα όσο είναι αυτό της λειτουργίας των δύο σταθμών που δεν είναι μεγαλύτερο από μία δεκαετία. Όπως

προαναφέρθηκε τα δεδομένα παροχής διατίθενται σε χρονικό βήμα δεκαλέπτου. Με το λογισμικό **Hydrognomon** έγινε αρχικά η λήψη αυτών των δεδομένων και στη συνέχεια από την εργαλειοθήκη *Series > Aggregation* και την επιλογή *aggregate to time step > daily* και *aggregation method > Average* έγινε η παρουσίαση των δεδομένων παροχής σε χρονικό βήμα ημέρας για όλη την περίοδο λειτουργίας του κάθε σταθμού.



Σχήμα 4.2 Το λογισμικό Hydrognomon για την παρουσίαση των δεδομένων παροχής και την εξαγωγή των μέσων ημερησίων παροχών από τη χρονοσειρά παροχής δεκαλέπτου

Στόχος ήταν η επιλογή 25 περίπου επεισοδίων και από τους δύο σταθμούς. Από την εργαλειοθήκη *View > Set Filter* υπάρχει η δυνατότητα παρουσίασης δεδομένων που είναι μεγαλύτερες από μία τιμή που εμείς ορίζουμε. Με δοκιμές καταλήγουμε συνολικά και για τους δύο σταθμούς σε 25 ημερομηνίες κατά τις οποίες σημειώθηκαν οι μεγαλύτερες μέσες ημερήσιες παροχές. Έτσι, για χρονικό διάστημα που περιλαμβάνει τη μέρα της πλημμύρας, δύο μέρες πριν και μία μέρα μετά έγινε η συλλογή δεδομένων παροχής δεκαλέπτου και ακολουθεί η συλλογή δεδομένων βροχής ανάλογα με την περίοδο λειτουργίας των μετεωρολογικών σταθμών.

Από την παραπάνω επεξεργασία καταλήξαμε για τη λεκάνη απορροής ανάντη του σταθμού Ντράφι σε 15 επεισόδια πλημμύρας και για τη λεκάνη απορροής ανάντη του σταθμού Λυκορέματος σε 20 επεισόδια πλημμύρας, τα οποία παρουσιάζονται στους Πίνακες 4.1 και 4.2 .

Πίνακας 4.1 επεισόδια πλημμύρας που εξετάζονται στη λεκάνη απορροής ανάντη στο σταθμό στο Ντράφι

α/α	ημερομηνία	μέση ημερήσια παροχή (m³/s)
1	11/1/2004	1,41
2	19/12/2004	1,34
3	22/1/2004	1,3
4	1/2/2005	0,48
5	1/11/2006	2,29
6	2/12/2009	0,19
7	4/2/2005	0,93
8	4/11/2009	0,61
9	10/12/2007	0,58
10	11/10/2006	0,90
11	12/12/2009	2,05
12	17/1/2005	1,86
13	17/10/2009	0,66
14	23/3/2007	0,62
15	25/10/2009	0,58

Πίνακας 4.2 Επεισόδια πλημμύρας που εξετάζονται στη λεκάνη απορροής ανάντη στο σταθμό στο Λυκόρεμα

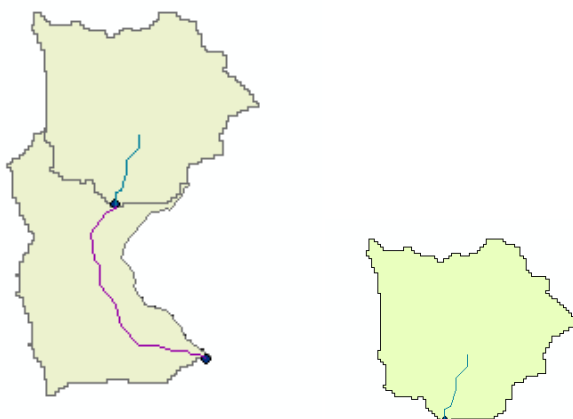
α/α	ημερομηνία	μέση ημερήσια παροχή (m³/s)
1	6/2/2006	0,5
2	6/12/2009	0,24
3	7/2/2010	0,49
4	11/2/2010	0,24
5	21/1/2005	0,21
6	21/5/2010	0,39
7	23/1/2010	0,39
8	24/11/2005	0,65
9	1/2/2005	0,15
10	1/11/2006	0,50
11	2/12/2009	0,30

Πίνακας 4.2 (συνέχεια) Επεισόδια πλημμύρας που εξετάζονται στη λεκάνη απορροής ανάντη στο σταθμό στο Λυκόρεμα

12	4/2/2005	0,22
13	4/11/2009	0,25
14	10/12/2007	0,16
15	11/10/2006	0,24
16	12/12/2009	0,92
17	17/1/2005	0,37
18	17/10/2009	0,41
19	23/3/2007	0,18
20	25/10/2009	0,31

4.3 Εκτίμηση επιφανειακών καταιγίδων

Για την επιφανειακή ολοκλήρωση των σημειακών βροχοπτώσεων (στη χρονική κλίμακα του κάθε επεισοδίου πλημμύρας) εφαρμόστηκε η μέθοδος άμεσης ολοκλήρωσης Thiessen στην αντίστοιχη λεκάνη απορροής. Οι λεκάνες απορροής που μελετήθηκαν έχουν σαν σημείο εξόδου της θέση της υδρομέτρησης. Έτσι ορίστηκαν δύο λεκάνες απορροής όπως έχει παρουσιαστεί στο κεφάλαιο 3 και εμφανίζονται στο Σχήμα 4.3.



Σχήμα 4.3 Λεκάνες απορροής ανάντη των σταθμών Ντράφι και Λυκόρεμα

Όπως προαναφέρθηκε η επιφανειακή ολοκλήρωση των σημειακών βροχοπτώσεων θα γίνει με τη μέθοδο Thiessen. Η μέθοδος αυτή ανήκει στην κατηγορία των

μεθόδων άμεσης ολοκλήρωσης. Σε τέτοιες μεθόδους η τελική μέση επιφανειακή βροχόπτωση υπολογίζεται σαν γραμμικός συνδυασμός των σημειακών βροχοπτώσεων των σταθμών που βρίσκονται μέσα (ή και πολύ κοντά) στη λεκάνη με βάση τη σχέση:

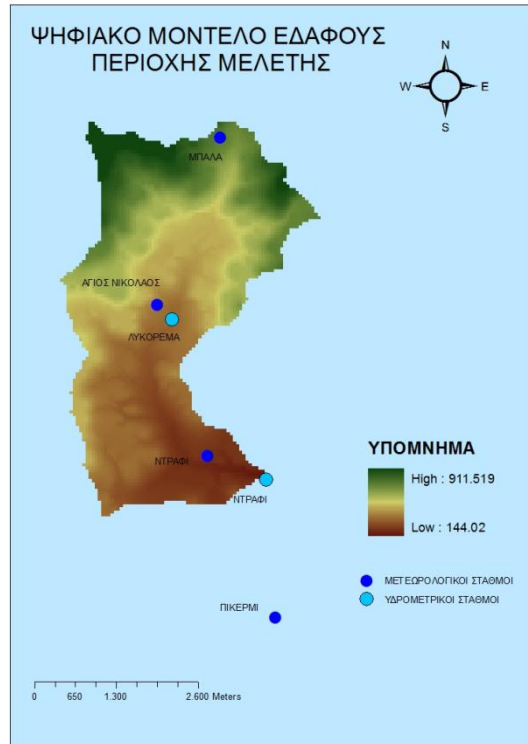
$$h_s = \sum_{i=1}^k w_i h_i \quad (4.1)$$

όπου h_s το επιφανειακό ύψος βροχής, h_i ($i= 1, \dots, K$) τα σημειακά ύψη για τους k σταθμούς της λεκάνης, και w_i ο συντελεστής βάρους για το σταθμό με αριθμό i . Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι για τον υπολογισμό των συντελεστών βάρους των σταθμών. Σύμφωνα με τη μέθοδο Thiessen η συνολική επιφάνεια S χωρίζεται σε ζώνες επιρροής S_i , μία για κάθε σταθμό έτσι ώστε $\sum S_i = S$. Ο συντελεστής βάρους είναι:

$$w_i = \frac{S_i}{S} \quad (4.2)$$

Οι ζώνες επιρροής προσδιορίζονται έτσι ώστε κάθε σημείο της ζώνης του σταθμού i να απέχει λιγότερο από το σταθμό i συγκριτικά με τους υπόλοιπους. Με βάση αυτό οι ζώνες επιρροής των σταθμών έχουν την μορφή πολυγώνων με πλευρές τις μεσοκαθέτους των ευθυγράμμων τμημάτων που συνδέουν τους γειτονικούς σταθμούς. Οι εκτιμήσεις της μεθόδου είναι τόσο καλύτερες όσο πιο πυκνό είναι το δίκτυο των βροχομετρικών σταθμών και όσο μεγαλύτερη είναι η χρονική κλίμακα μελέτης. Γενικώς παρά την παλαιότητά της η μέθοδος λόγω της απλότητας της χαρακτηρίζεται εύχρηστη και αξιόπιστη (Κουτσογιάννης & Ξανθόπουλος, 1999).

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται το ψηφιακό μοντέλο εδάφους των λεκανών απορροής που εξετάζουμε με το δίκτυο των μετεωρολογικών σταθμών. Όπως φαίνεται ο σταθμός Πικέρμι δεν ανήκει στις λεκάνες που εξετάζουμε ωστόσο όπως θα φανεί παρακάτω έχει πολύγωνο επιρροής Thiessen.

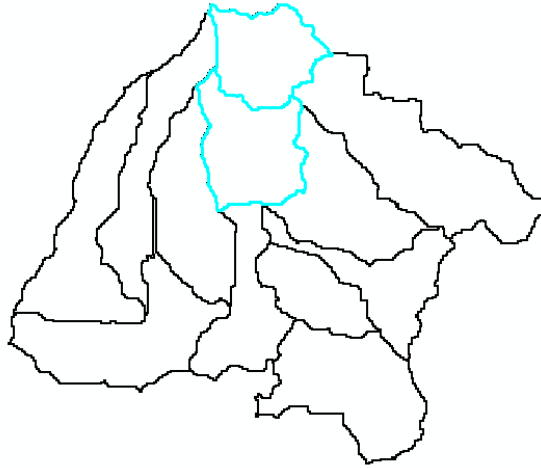


Σχήμα 4.4 Λεκάνες απορροής και δίκτυο μετεωρολογικών σταθμών

Οι περίοδοι λειτουργίας των υδρομετρικών σταθμών με τις περιόδους λειτουργίας των υδρομετρικών σταθμών δεν ταυτίζονται. Σε πρώτο στάδιο έγινε συσχέτιση των περιόδων λειτουργίας όλων των σταθμών προκειμένου για όλα τα γεγονότα πλημμύρας να προκύψουν όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί ταυτόχρονης λειτουργίας των μετεωρολογικών σταθμών και να υπολογιστούν οι αντίστοιχοι συντελεστές Thiessen. Έτσι προέκυψαν οι παρακάτω συνδυασμοί:

- 1) Από 19/10/2003 έως 12/12/2003 έχω βροχές μόνο στον σταθμό Αγ. Νικόλαο
- 2) Από 12/12/2003 έως 21/12/2005 έχω βροχές σε Ντράφι, Αγ. Νικόλαο, Μπάλα
- 3) Από 21/12/2005 έως 08/05/2009 έχω βροχές σε Ντράφι, Αγ. Νικόλαο, Μπάλα, Πικέρμι
- 4) Από 08/05/2009 έως 26/07/2011 έχω βροχές σε Αγ. Νικόλαο, Μπάλα, Πικέρμι
- 5) Από 26/07/2011 έως σήμερα έχω βροχές μόνο σε Πικέρμι

Ο υπολογισμός των συντελεστών Thiessen έγινε σε περιβάλλον GIS. Τα αρχικά δεδομένα είναι το ψηφιακό μοντέλο εδάφους της ευρύτερης περιοχής. Η ευρύτερη λεκάνη απορροής με χρήση του προγράμματος Hec-GeoHms χωρίστηκε σε 12 υπολεκάνες, 2 εκ των οποίων είναι οι λεκάνες που μελετάμε. Η ευρύτερη λεκάνη απορροής με τις 12 υπολεκάνες όπως και με τις λεκάνες μελέτης μας παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 4.5 Οι υπολεκάνες απορροής της ευρύτερης λεκάνης Ραφήνας όπως διαμορφώνονται από το πρόγραμμα Hec-GeoHms

Οι λεκάνες Ντράφι και Λυκόρεμα με την εντολή Export απομονώνονται από την ευρύτερη λεκάνη και διατίθενται σε διανυσματική μορφή (μορφή shapefile).

Τα πολύγωνα Thiessen για τους παραπάνω συνδυασμούς κατασκευάστηκαν για την ευρύτερη λεκάνη και στη συνέχεια έγινε διανυσματική άθροιση με τα παραπάνω αρχεία shapefile των λεκανών.

4.3.1 Χάραξη πολυγώνων Thiessen ευρύτερης λεκάνης

Αρχικά δημιουργείται ένα βοηθητικό grid mask της ευρύτερης περιοχής. Η μάσκα μπορεί να προκύψει από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους με την επιλογή:

Spatial Analyst > Reclassify

Input raster : dem (της ευρύτερης περιοχής)

Reclass field : value

Στον πίνακα που παρουσιάζεται τίθεται στη στήλη new values την τιμή 0 σε κάθε προτεινόμενη κατηγορία υψομέτρων. Στο πεδίο output raster δίνεται το όνομα του βοηθητικού grid mask.

Στη συνέχεια ακολουθεί ορισμός παραμέτρων με την επιλογή :

Spatial Analyst > Options

Στο παράθυρο που εμφανίζεται ορίζονται στην καρτέλα General ως working directory ο χώρος εργασίας που βρίσκονται τα αρχικά δεδομένα και ως analysis mask η μάσκα της ευρύτερης περιοχής που δημιουργήσα. Στην καρτέλα Extent ορίζονται ως analysis extent same as layer 'το όνομα της μάσκας που δημιουργήθηκε' και ως analysis cell size same as layer 'το όνομα της μάσκας που δημιουργήθηκε'.

Ακολουθεί ο υπολογισμός κανάβου πολυγώνων Thiessen. Σε αυτό το στάδιο είναι απαραίτητη η δημιουργία ενός αρχείου excel με τις συντεταγμένες των μετεωρολογικών σταθμών και η μεταφορά του (μέσω του Add X,Y data) στο GIS για κάθε περίπτωση σύγχρονης λειτουργίας των σταθμών. Ακολουθούν οι εξής επιλογές:

Spatial Analyst > Distance > Allocation

Στο παράθυρο που εμφανίζεται ορίζονται τα εξής :

Assign to : το κάθε ένα αρχείο με τις συντεταγμένες των σταθμών

Output cell size : Default

Output raster : το όνομα του αρχείου για τον κάνναβο του κάθε συνδυασμού των πολυγώνων Thiessen. Το αρχείο αυτό είναι σε raster δομή.

Ο υπολογισμός των συντελεστών γίνεται στο Attribute Table του καννάβου των πολυγώνων Thiessen με τις εξής επιλογές (Μαμάσης, 2011):

Open Attribute Table > Count > Statistics > Sum

Add New Field > Name : syntelestes Thiessen > Type : Float > Precision : 16 > Scale : 3

Επιλέγεται το καινούργιο πεδίο > Field Calculator > [Count]/[Sum]

Με αυτόν τον τρόπο υπολογίζονται οι συντελεστές Thiessen για τις ζώνες επιρροής των μετεωρολογικών σταθμών στην ευρύτερη περιοχή για κάθε περίπτωση σύγχρονης λειτουργίας των σταθμών.

4.3.2 Υπολογισμός των συντελεστών Thiessen στις λεκάνες ανάντη των σταθμών Λυκόρεμα και Ντράφι

Ακολουθεί η διανυσματική άθροιση των διαφορετικών αρχείων για κάθε περίπτωση λειτουργίας των σταθμών με το αρχείο των λεκανών (που είναι σε διανυσματική μορφή) ανάντη του Λυκορέματος και του Ντράφι. Όπως έχει προαναφερθεί το αρχείο με τα πολύγωνα Thiessen είναι σε raster δομή. Για να γίνει η διανυσματική άθροιση είναι απαραίτητη η μετατροπή του σε διανυσματική μορφή με την εντολή : Spatial Analyst > Convert > Raster to Features. Έτσι προκύπτουν οι ακόλουθοι συντελεστές Thiessen για τους συνδυασμούς λειτουργίας των μετεωρολογικών σταθμών που έχουν προαναφερθεί :

- Συνδυασμός 2 (Λειτουργούν οι σταθμοί σε Άγιο Νικόλαο, Μπάλα, Ντράφι)

Για τη λεκάνη ανάντη του σταθμού **Λυκόρεμα** οι συντελεστές Thiessen έχουν για κάθε σταθμό :

- Μπάλα : 0,541879
- Άγιο Νικόλαο : 0,458181



Σχήμα 4.6 Ζώνες επιρροής των σταθμών Μπάλα και Άγιο Νικόλαο στη λεκάνη
ανάντη του σταθμού Λυκόρεμα

Για τη λεκάνη ανάντη του σταθμού στο **Ντράφι** οι συντελεστές Thiessen έχουν για
κάθε σταθμό :

- Μπάλα : 0,2826
- Άγιο Νικόλαο : 0,455
- Ντράφι : 0,2624



Σχήμα 4.7 Ζώνες επιρροής των σταθμών Μπάλα, Άγιο Νικόλαο και Ντράφι στη
λεκάνη ανάντη του σταθμού Ντράφι

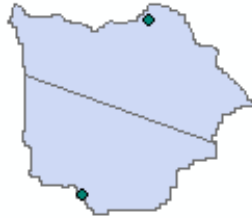
- Συνδυασμός 3 (Λειτουργούν οι σταθμοί σε Μπάλα, Ντράφι, Άγιο Νικόλαο,
Πικέρμι)

Προκύπτουν οι ίδιες ζώνες επιρροής για κάθε σταθμό άρα και οι ίδιοι συντελεστές
Thiessen καθότι κατά τα φαινόμενα ο σταθμός στο Πικέρμι δεν επηρεάζει την
επιφανειακή βροχόπτωση στην εν λόγω λεκάνη.

- Συνδυασμός 4 (Λειτουργούν οι σταθμοί σε Άγιο Νικόλαο, Μπάλα, Πικέρμι)

Για τη λεκάνη ανάντη του σταθμού **Λυκόρεμα** οι συντελεστές Thiessen έχουν για κάθε σταθμό :

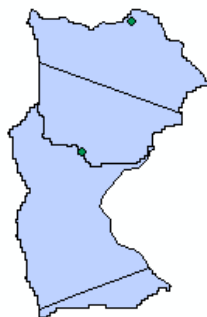
- Μπάλα : 0,541879
- Άγιο Νικόλαο : 0,458181



Σχήμα 4.8 Ζώνες επιρροής των σταθμών Μπάλα και Άγιο Νικόλαο στη λεκάνη ανάντη του σταθμού Λυκόρεμα

Για τη λεκάνη ανάντη του σταθμού στο **Ντράφι** οι συντελεστές Thiessen έχουν για κάθε σταθμό :

- Μπάλα : 0,2826
- Άγιο Νικόλαο : 0,6498
- Πικέρμι : 0,0676



Σχήμα 4.9 Ζώνες επιρροής των σταθμών Μπάλα, Άγιο Νικόλαο, Πικέρμι

4.4 Υπολογισμός χρόνου συγκέντρωσης κατά Giandotti

4.4.1 Ο χρόνος συγκέντρωσης κατά Giandotti

Ο χρόνος συγκέντρωσης υπολογίζεται διότι πρόκειται να χρησιμοποιηθεί κατά την χάραξη του μοναδιαίου υδρογραφήματος και κατά το διαχωρισμό της βασικής ροής από την ολική απορροή. Ο θεωρητικός ορισμός του χρόνου συγκέντρωσης είναι ο χρόνος που χρειάζεται μια σταγόνα νερού να φτάσει στην έξοδο της λεκάνης ξεκινώντας από το υδραυλικά πιο απομακρυσμένο σημείο της λεκάνης. Για τον υπολογισμό του χρόνου συγκέντρωσης χρησιμοποιείται η εξίσωση Giandotti. Πρόκειται για μια εμπειρική φόρμουλα υπολογισμού του χρόνου συγκέντρωσης, που βασίστηκε σε επεξεργασία υδρολογικών δεδομένων σε λεκάνες της Ιταλίας, και χρησιμοποιείται ευρέως σε μελέτες υδρολογικού σχεδιασμού.

Η εξίσωση υπολογισμού του χρόνου συγκέντρωσης κατά Giandotti είναι :

$$t_c = \frac{4 \times A^{0.5} + 1,5 \times L}{0,8 \times \Delta H^{0.5}} \quad (4.3)$$

Όπου,

T_c (hr) = ο χρόνος συγκέντρωσης

A (km^2) = έκταση λεκάνης

L (Km) = μήκος κύριου υδατορέματος

ΔH (m) = διαφορά μέσου υψόμετρου λεκάνης από το υψόμετρο στην έξοδο

Κάνει εφαρμογή του επιπλέον ορισμού ότι χρόνος συγκέντρωσης είναι ο χρόνος από την λήξη της βροχής μέχρι το σημείο καμπής του ολικού πλημμυρογραφήματος (Grimaldi κ.α., 2012), το οποίο θεωρείται και το σημείο λήξης της πλημμυρικής απορροής ώστε να διακριθεί από την βασική. Με βάση αυτό έγινε και ο διαχωρισμός της βασικής απορροής από την πλημμυρική όπως θα παρουσιαστεί στο κεφάλαιο 5 καθότι θεωρήσαμε ότι ο χρόνος που υπολογίσαμε από την εξίσωση Giandotti είναι ο χρόνος από τη λήξη της ενεργού βροχής μέχρι τη λήξη της πλημμύρας.

Η μέθοδος Giandotti δίνει συγκριτικά με άλλες γνωστές μεθόδους π.χ. Kirprich μεγαλύτερους χρόνους συγκέντρωσης (Daniil et al., 2005). Από την ανάλυση υδρολογικών δεδομένων σε ένα μεγάλο αριθμό λεκανών απορροής της Κύπρου προέκυψε ότι η εξίσωση Giandotti είναι μακράν η πλέον αντιπροσωπευτική σε σύγκριση με άλλες εμπειρικές σχέσεις (Γαλιούνα, 2011).

4.3.2 Υπολογισμός των σχετικών μεγεθών για τον υπολογισμό του χρόνου συγκέντρωσης κατά Giandotti στην περιοχή μελέτης

Για τον υπολογισμό του L :

Από την επεξεργασία του ψηφιακού μοντέλου εδάφους με τη βοήθεια εργαλείων ΣΓΠ προέκυψε το υδρογραφικό δίκτυο σε διανυσματική μορφή για την ευρύτερη λεκάνη απορροής. Το υδρογραφικό δίκτυο των λεκανών ανάντη του Λυκορέματος και του Ντράφι προέκυψε από διανυσματική άθροιση των αντίστοιχων λεκανών με το αρχείο των ποταμών της ευρύτερης λεκάνης. Το μήκος του κυρίου υδατορέματος υπολογίζεται με το εργαλείο Measure του ArcMap.

Για τον υπολογισμό του μέσου υψομέτρου :

Το μέσο υψόμετρο προκύπτει από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους της κάθε λεκάνης. Το αρχικό δεδομένο, ωστόσο, είναι το ψηφιακό μοντέλο εδάφους της ευρύτερης λεκάνης. Για να προκύψει το ψηφιακό μοντέλο εδάφους της κάθε υπολεκάνης που μελετάμε προστίθεται το ψηφιακό μοντέλο εδάφους της ευρύτερης περιοχής με το raster αρχείο της κάθε λεκάνης. Αυτό προκύπτει από την μετατροπή του διανυσματικού αρχείου της κάθε λεκάνης σε raster δομή μέσα από την εντολή Spatial Analyst > Convert > Feature to Raster. Στη συνέχεια χρησιμοποιώντας το ψηφιακό μοντέλο εδάφους κάθε λεκάνης με την εντολή Spatial Analyst > Zonal Statistics υπολογίζω το μέσο υψόμετρο κάθε λεκάνης.

Για τον υπολογισμό του υψομέτρου στην έξοδο :

Το σημείο εξόδου κάθε λεκάνης εντοπίζεται από το υδρογραφικό δίκτυο. Με ενεργοποιημένο το εργαλείο Identify και με αριστερό κλικ στο σημείο εξόδου εμφανίζεται ένα παράθυρο διαλόγου. Αυτό με ενεργοποιημένο το ψηφιακό

μοντέλο εδάφους της συγκεκριμένης λεκάνης δίνει την τιμή υψόμετρου του φατνίου – σημείο εξόδου της λεκάνης.

Προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα:

	έκταση (km ²)	μήκος L (km)	Υψόμετρο H έξοδος (m)	υψόμετρο H μέσο (m)	Tc (hr)
λεκάνη απορροής Ντράφι	7,26	3,9	148,3	430,3	1,74
λεκάνη απορροής Λυκορέματος	7,91	1,3	293,5	544,9	1,05

4.3 Υπολογισμός αριθμού καμπύλης απορροής (CN)

Ο βασικός αριθμός καμπύλης απορροής υπολογίστηκε για να γίνει η σύγκριση με τον αριθμό CN που προκύπτει κατά την βελτιστοποίηση των παραμέτρων της μεθόδου SCS.

Η παράμετρος S, γνωστή και ως δυνητικά μέγιστη κατακράτηση, που υπεισέρχεται στον υπολογισμό της ενεργού βροχής με τη μέθοδο SCS συνδέεται με την παράμετρο CN με τη σχέση: $S \text{ (mm)} = 254 \cdot (100/\text{CN} - 1)$.

Για τον ολοκληρωμένο υπολογισμό του αριθμού CN απαιτούνται δεδομένα χρήσεων γης και δεδομένα αναφορικά με την προηγούμενη εδαφική υγρασία της λεκάνης, γεγονός που προκύπτει από τη χρονική απόσταση της υπό μελέτης καταιγίδας από προηγούμενες.

Καταρχήν έχουν οριστεί τρεις τύποι προηγούμενων συνθηκών υγρασίας, ήτοι:

- Τύπος I : Ξηρές συνθήκες. Αντιστοιχούν σε συνθήκες που η βροχόπτωση των προηγούμενων 5 ημερών είναι μικρότερη από 13 mm (ή 35 mm για περιοχή με φυτοκάλυψη σε συνθήκες ανάπτυξης)
- Τύπος II : Μέσες συνθήκες. Αντιστοιχούν στην περίπτωση που η βροχόπτωση των προηγούμενων 5 ημερών είναι μεταξύ 13 και 38 mm (ή μεταξύ 35 και 53 mm για περιοχή με φυτοκάλυψη σε συνθήκες ανάπτυξης)
- Τύπος III : Υγρές συνθήκες. Αντιστοιχούν στην περίπτωση που η βροχόπτωση των προηγούμενων 5 ημερών είναι μεγαλύτερη από 38 mm

(ή μεγαλύτερη από 53 mm για περιοχή με φυτοκάλυψη σε συνθήκες ανάπτυξης)

Για τις συνθήκες υγρασίας τύπου II για κάθε εδαφικό τύπο ανάλογο της διαπερατότητας και για διάφορες χρήσεις γης έχουν οριστεί όρια στις τιμές του CN. Οπότε για τον υπολογισμό του CN χρησιμοποιούνται ο γεωλογικός χάρτης όπου τα εδάφη είναι κατεταγμένα ανάλογα με τη διαπερατότητα τους σε τέσσερις ομάδες και ο χάρτης χρήσεων γης Corine. Ο υπολογισμός του CN θα γίνει σε περιβάλλον ArcGis.

Οι τέσσερις κατηγορίες εδαφών ανάλογα με τη διαπερατότητά τους είναι οι εξής :

- Ομάδα Α : εδάφη με μεγάλους βαθμούς διήθησης
- Ομάδα Β : εδάφη με μέσους ρυθμούς διήθησης
- Ομάδα C : εδάφη με μικρούς ρυθμούς διήθησης
- Ομάδα D : εδάφη με πολύ μικρούς ρυθμούς διήθησης

Στο γεωλογικό χάρτη που χρησιμοποιήθηκε υπήρξε αντίστοιχη κατηγοριοποίηση των εδαφών ανάλογα με τη διαπερατότητά τους.

Οι χρήσεις γης για τις οποίες υπάρχει συσχέτιση με τύπους εδαφών και οριοθέτηση τιμών CN είναι οι ακόλουθες :

Πίνακας 4.3 Κατηγορίες χρήσεων γης

Κατηγορία	1	2	3	4	5
Περιγραφή χρήσης γης	Καλλιεργημένες εκτάσεις	Λιβάδια	Δάση	Αστικές περιοχές	Δρόμοι

Οπότε αρχικά έγινε αντιστοίχιση των χρήσεων γης Corine με αυτές τις πέντε κατηγορίες. Αυτό γίνεται σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα :

Πίνακας 4.4 Κατηγοριοποίηση χρήσεων γης Corine-επίπεδο 3 σύμφωνα με τις πέντε κατηγορίες για την εξαγωγή του CN

Corine – Επίπεδο 3	Περιγραφή εδάφους
1.1.1 Συνεχής αστική οικοδόμηση	Αστική περιοχή
1.1.2 Διακεκομμένη αστική οικοδόμηση	Αστική περιοχή
1.2.1 Βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες	Δρόμοι
1.2.2 Οδικά και Σιδηροδρομικά δίκτυα και γειτνιάζουσα γη	Δρόμοι
1.2.3 Ζώνες λιμένων	Δρόμοι
1.2.4 Ζώνες αεροδρομίων	Δρόμοι
1.3.1 Χώροι εξόρυξης ορυκτών	Αστική περιοχή
1.3.2 Χώροι απόρριψης απορριμάτων	Αστική περιοχή
1.3.3 Χώροι οικοδόμησης	Αστική περιοχή
1.4.1 Περιοχές αστικού πρασίνου	Αστική περιοχή
1.4.2 Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής	Αστική περιοχή
2.1.1 Μη αρδεύσιμη-αρόσιμη γη	Καλλιεργημένες εκτάσεις
2.1.2 Μόνιμα αρδευόμενη γη	Καλλιεργημένες εκτάσεις
2.1.3 Ορυζώνες	Καλλιεργημένες εκτάσεις
2.2.1 Αμπελώνες	Καλλιεργημένες εκτάσεις
2.2.2 Οπωροφόρα δέντρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς	Καλλιεργημένες εκτάσεις
2.2.3 Ελαιώνες	Καλλιεργημένες εκτάσεις
2.3.1 Λιβάδια	Λιβάδια
2.4.1 Ετήσιες καλλιέργειες που συνοδεύονται με μόνιμες καλλιέργειες	Καλλιεργημένες εκτάσεις
2.4.2 Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	Καλλιεργημένες εκτάσεις
2.4.3 Γη που καλύπτεται κυρίως από γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης	Καλλιεργημένες εκτάσεις

Πίνακας 4.4 (Συνέχεια) Κατηγοριοποίηση χρήσεων γης Corine-επίπεδο 3 σύμφωνα με τις πέντε κατηγορίες για την εξαγωγή του CN

2.4.4 Γεωργο-δασικές περιοχές	Καλλιεργημένες εκτάσεις
3.1.1 Δάσος πλατύφυλλων	Δάση
3.1.2 Δάσος κωνοφόρων	Δάση
3.1.3 Μικτό δάσος	Δάση
3.2.1 Φυσικοί βοσκότοποι	Λιβάδια
3.2.2 Δάση και χερσότοποι	Λιβάδια
3.2.3 Σκληροφυλλική βλάστηση	Λιβάδια
3.2.4 Μεταβατικές δασώδεις-θαμνώδεις εκτάσεις	Λιβάδια
3.3.1 Παραλίες, αμμόλοφοι, αμμουδιές	Λιβάδια
3.3.2 Απογυμνωμένοι βράχοι	Λιβάδια
3.3.3 Εκτάσεις με αραιή βλάστηση	Λιβάδια
3.3.4 Αποτεφρωμένες εκτάσεις	Λιβάδια
3.3.5 Παγετώνες και αιώνιο χιόνι	Λιβάδια
4.1.1 Βάλτοι στην ενδοχώρα	Δάση
4.1.2 Τυρφώνες	Δάση
4.2.1 Παραθαλάσσιοι βάλτοι	Δάση
4.2.2 Αλυκές	Δάση
4.2.3 Παλλιροϊκά επίπεδα	Δάση
5.1.1 Ροές υδάτων	Δάση
5.1.2 Συλλογές υδάτων	Δάση
5.2.1 Παράκτιες λιμνοθάλασσες	Δάση
5.2.2 Εκβολές ποταμών	Δάση
5.2.3 Θάλασσα και ωκεανός	Δάση

Στο χάρτη Corine της κάθε λεκάνης από τον πίνακα ιδιοτήτων (Attribute Table) εντοπίζω τη στήλη με την κατηγοριοποίηση κατά Corine. Από την επιλογή Options > Select by Attributes διαλέγω κάποια χρήση γης κατά Corine π.χ. 1.1.1, κάνω apply

και στη νέα στήλη που έχω δημιουργήσει για τις πέντε κατηγορίες χρήσεων γης ενεργοποιώ το Field Calculator και τη θέτω να ισούται με κάποια από τις πέντε παραπάνω χρήσεις γης (στη συγκεκριμένη περίπτωση = 4). Αντίστοιχα κάνω την αντιστοίχιση όλων των χρήσεων γης Corine με τις πέντε παραπάνω κατηγορίες.

Ακολουθεί η σύμπτυξη των χαρτών Corine με τον γεωλογικό χάρτη. Αυτό γίνεται με την εντολή Intersect. Μετά για κάθε χρήση γης και κάθε εδαφικό τύπο ορίζεται ένας αριθμός CN. Αυτό γίνεται σύμφωνα με τον πίνακα :

Πίνακας 4.5 Όρια τιμών CN για συγκεκριμένο τύπο εδάφους και χρήση γης

Περιγραφή εδάφους	Τύπος εδάφους			
	A	B	C	D
1. Καλλιεργημένες εκτάσεις	62-72	71-81	78-88	81-91
2. Λιβάδια	30-68	58-79	71-86	78-89
3. Δάση	25-45	55-66	70-77	77-83
4. Αστικές περιοχές	51-77	68-85	79-90	84-92
5. Δρόμοι	72-98	82-98	87-98	89-98

Τελικώς οι τιμές CN που επιλέχθηκαν ουσιαστικά είναι ο μέσος όρος των παραπάνω ορίων και συγκεκριμένα ακολουθούν τις τιμές του παρακάτω πίνακα :

Πίνακας 4.6 Τιμές CN για συγκεκριμένο τύπο εδάφους και χρήση γης

Περιγραφή εδάφους	Τύπος εδάφους			
	A	B	C	D
1. Καλλιεργημένες εκτάσεις	67	76	83	86
2. Λιβάδια	49	69	79	84
3. Δάση	35	61	74	80
4. Αστικές περιοχές	64	77	85	88
5. Δρόμοι	85	90	93	94

Η απόδοση των τιμών CN γίνεται ως εξής: Καταρχήν στο νέο συμπτυγμένο χάρτη γίνεται στον πίνακα ιδιοτήτων (Attribute Table) προσθήκη νέου πεδίου με το όνομα CN. Στη συνέχεια με την επιλογή Options > Select by Attribute διαλέγω κάποιον τύπο εδάφους και κάποια χρήση γης π.χ. 'τύπος εδάφους=A' and 'χρήση γης'=1 και στην στήλη CN θέτω την αντίστοιχη τιμή CN, στο συγκεκριμένο παράδειγμα CN=67. Στη συνέχεια εφαρμόζουμε την εντολή dissolve για να ενωθούν τα πεδία με τις ίδιες τιμές CN. Έτσι για κάθε τιμή CN έχουμε και την αντίστοιχη έκταση στη λεκάνη S_i όπου ισχύει αυτή η τιμή. Έπειτα δημιουργούμε ένα πεδίο με το ποσοστό έκτασης p_i για κάθε τιμή CN_i στη λεκάνη και εύκολα το τελικό CN:

$$CN_{\text{τελικό}} = p_i \times CN_i \quad (4.4)$$

Για τη λεκάνη ανάντη του σταθμού στο Λυκόρεμα ο αριθμός CN ισούται με 75,55. Όπως προαναφέραμε αυτό αντιστοιχεί σε συνθήκες υγρασίας τύπου II. Μπορούμε ωστόσο μέσω των παρακάτω σχέσεων να ανάγουμε το CN στους άλλους τύπους υγρασίας:

$$CN_I = \frac{0,42 \times CN_{II}}{1 - 0,0058 \times CN_{II}} \quad (4.4)$$

$$CN_{III} = \frac{2,3 \times CN_{II}}{1 + 0,013 \times CN_{II}} \quad (4.5)$$

Για τη λεκάνη ανάντη του Λυκορέματος προκύπτουν CN_I=56,5 και CN_{III}=87,7.

Για τη λεκάνη ανάντη του Ντράφι προκύπτουν CN_{II}=77,39 , CN_I=58,97 και CN_{III}=88,72.

Οι τιμές CN που προκύπτουν και για τις δύο λεκάνες είναι πολύ υψηλές. Για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα ένα μεγάλο τμήμα της αποτελείται από έναν αδιαπέρατο σχηματισμό σύμφωνα με τον γεωλογικό χάρτη, γεγονός αποδίδει υψηλές τιμές CN σύμφωνα με τον Πίνακα 4.5. Για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι η τιμή που προέκυψε ήταν μεγαλύτερη. Αυτό εξηγείται από τον χάρτη χρήσεων γης όπου το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής φαίνεται αστικό. Ωστόσο επειδή δεν πρόκειται για έντονα αστικοποιημένο τμήμα θεωρήθηκε σκόπιμο να

γίνει μία επιπλέον διερεύνηση και η τιμή CN για αυτό το τμήμα να ληφθεί η μικρότερη δυνατή. Έτσι για την εν λόγω λεκάνη το τελικό CN που προέκυψε είναι περίπου 73. Να σημειωθεί ωστόσο ότι από τον Πίνακα 4.6 οι τιμές CN για μέσης και υψηλής περατότητας σχηματισμούς είναι ούτως η άλλως πολύ υψηλές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΠΕΙΣΟΔΙΩΝ

5.1 Εισαγωγή

Στόχος της διαδικασίας είναι η αξιολόγηση εναλλακτικών μεθοδολογιών υδρολογικού σχεδιασμού, που βασίζονται στη χρήση συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος (ΣΜΥ), με κριτήριο την ρεαλιστική αναπαραγωγή των παρατηρημένων επεισοδίων πλημμυρών.

Στα παρατηρημένα υδρογραφήματα έγινε διαχωρισμός της επιφανειακής συνιστώσας της απορροής, με την οποία έγιναν οι συγκρίσεις με τα προσομοιωμένα υδρογραφήματα.

Για τον υπολογισμό των προσομοιωμένων υδρογραφημάτων έγινε, σε πρώτη φάση η απομόνωση της ενεργού βροχής από την ολική ακαθάριστη (δηλαδή το παρατηρημένο υετόγραμμα), με το μοντέλο της SCS. Στη συνέχεια έγινε ο μετασχηματισμός της ενεργού βροχής σε επιφανειακή απορροή με τη χρήση διαφορετικών ΣΜΥ. Αρχικά, εφαρμόστηκαν τα συνθετικά μοναδιαία υδρογραφήματα που προκύπτουν με τη μέθοδο του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας και τη μέθοδο Snyder. Επειδή η αναπαραγωγή των παρατηρημένων επεισοδίων πλημμυρών δεν ήταν ικανοποιητική, εξετάστηκε και η εφαρμογή ενός εμπειρικού παραμετρικού ΣΜΥ, το οποίο αποτελεί πρωτότυπο στοιχείο της παρούσας έρευνας.

Προκειμένου να επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή προσαρμογή στα παρατηρημένα επεισόδια, οι παράμετροι των διαφόρων μοντέλων (SCS, ΣΜΥ) εκτιμήθηκαν και μέσω βελτιστοποίησης. Από τη διεξοδική ανάλυση όλων των επεισοδίων στις δύο λεκάνες, προέκυψαν ενδιαφέροντα συμπεράσματα, τα οποία παρουσιάζονται στο τέλος του κεφαλαίου.

5.2 Μεθοδολογία που ακολουθήθηκε

5.2.1 Χρονική συσχέτιση παρατηρημένων υδρογραφημάτων με υετογράμματα

Κάθε επεισόδιο πλημμύρας επιλέχθηκε βάσει των μεγαλύτερων μέσων ημερήσιων παροχών που παρουσιάζονται στις χρονοσειρές παροχών στις θέσεις Ντράφι και Λυκόρεμα. Για την ημερομηνία κάθε επεισοδίου και για μία μέρα πριν και δύο μέρες μετά έγινε καταγραφή της χρονοσειράς παροχών και βροχοπτώσεων για όσους σταθμούς λειτουργούσαν τις συγκεκριμένες ημερομηνίες. Να σημειωθεί ότι το χρονικό βήμα των δεδομένων παροχής και βροχής είναι τα δέκα λεπτά. Στη συνέχεια έγινε επιφανειακή αναγωγή των σημειακών βροχοπτώσεων με χρήση της μεθόδου άμεσης ολοκλήρωσης Thiessen. Ανάλογα με το ποιοι σταθμοί λειτουργούσαν τη συγκεκριμένη ημερομηνία έγινε χρήση των αντίστοιχων συντελεστών όπως παρουσιάζονται αναλυτικά στο εδάφιο 4.1.2. Από το χρονοδιάγραμμα της ακαθάριστης βροχόπτωσης για το διάστημα των τεσσάρων ημερών έγινε απομόνωση τέτοιας χρονοσειράς βροχής έτσι ώστε κάθε επεισόδιο βροχής ανεξαρτήτως μεγέθους να απέχει χρονικά από το προηγούμενο και το επόμενο τουλάχιστον πέντε ώρες. Με τον τρόπο αυτό προσδιορίστηκε η χρονική διάρκεια της ακαθάριστης βροχής.

5.2.2 Διαχωρισμός επιφανειακής απορροής

Ο διαχωρισμός της επιφανειακής από τη συνολική απορροή αποτελεί κομβική συνιστώσα της όλης μεθοδολογίας. Ως γνωστόν, ο καθαρός όγκος της πλημμύρας ταυτίζεται με το κομμάτι της βροχής που μετατρέπεται σε πλημμυρική απορροή με βάση το οποίο εκτιμώνται οι παράμετροι της μεθόδου SCS. Αν και σε απλά επεισόδια η διαδικασία διαχωρισμού είναι αρκετά εύκολη με βάση τη γραφική μέθοδο που αναφέρθηκε συνοπτικά στο κεφάλαιο 2, στην περίπτωση επεισοδίων σύνθετης δομής όπως συμβαίνει στην πραγματικότητα, ο παραπάνω διαχωρισμός δεν είναι εφαρμόσιμος καθώς είναι πολύ ασαφής η θέση του σημείου καμπής του ολικού πλημμυρογραφήματος.

Στις προκαταρκτικές αναλύσεις εξετάστηκαν πολλές εμπειρικές προσεγγίσεις για τον διαχωρισμό της επιφανειακής απορροής, που δεν κατέληξαν σε ικανοποιητικά

αποτελέσματα. Τελικά αναπτύχθηκε μία μέθοδος που βασίστηκε στον ορισμό του χρόνου συγκέντρωσης. Η μέθοδος αυτή είναι απλή στην εφαρμογή της αλλά και συνεπής με τη φυσική ερμηνεία του φαινομένου.

Η βασική παραδοχή είναι ότι η λήξη της ενεργού βροχής ταυτίζεται με τη γνωστή από τα δεδομένα λήξη της ακαθάριστης βροχής. Αυτό συμβαίνει διότι η μέθοδος SCS δίνει τιμές, έστω και μικρές, για την ενεργό βροχή μέχρι το σημείο που λήγει η ακαθάριστη βροχή. Επιπλέον, ο χρόνος συγκέντρωσης κατά Giandotti ορίζεται ως το χρονικό διάστημα μεταξύ της λήξη της ενεργού βροχόπτωσης και της λήξης της επιφανειακής απορροής. Με βάση τον ορισμό αυτό, η επιφανειακή απορροή συνεχίζεται από τη λήξη της ενεργού βροχόπτωσης και για διάστημα ίσο με το χρόνος συγκέντρωσης, οπότε πραγματοποιείται η καμπή του υδρογραφήματος, και συνεπώς όλη η απορροή οφείλεται στην εκφόρτιση της βασικής ροής (στην πραγματικότητα, αυτό που περιγράφεται ως βασική ροή περιλαμβάνει και τμήμα της υποδερμικής ροής).

Η χρονική στιγμή που ξεκινάει η άμεση απορροή είναι γενικώς εμφανής σε όλες τις χρονοσειρές παροχής, καθώς είναι τότε που μεγαλώνει απότομα η κλίση στο υδρογράφημα. Με τον τρόπο αυτό προσδιορίζεται η χρονική διάρκεια της πλημμυρικής επιφανειακής απορροής. Στο εν λόγω χρονικό διάστημα η βασική απορροή θεωρείται, απλοποιητικά, ότι ακολουθεί τη γραμμή που ενώνει τα σημεία έναρξης και λήξης της άμεσης απορροής. Για κάθε χρονική στιγμή κατά τη διάρκεια της πλημμύρας προσδιορίζονται οι τιμές της βασικής απορροής και αφαιρούνται από τη συνολική τιμή απορροής, ώστε να προκύψει η επιφανειακή απορροή.

5.2.3 Εκτίμηση καθαρής βροχής

Για τον υπολογισμό του προσομοιωμένου πλημμυρογραφήματος είναι απαραίτητος ο υπολογισμός της ενεργού βροχής και του συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος. Σε κάθε χρονική στιγμή, στο ολικό ύψος βροχής εφαρμόζεται η μέθοδος SCS, οπότε προκύπτει το ενεργό υετόγραμμα.

Αρχικά, για την εφαρμογή της μεθόδου τέθηκαν οι τιμές τη παραμέτρου CN που προκύπτουν με βάση τον όγκο του πλημμυρογραφήματος (εξίσωση 2.2), και η τιμή

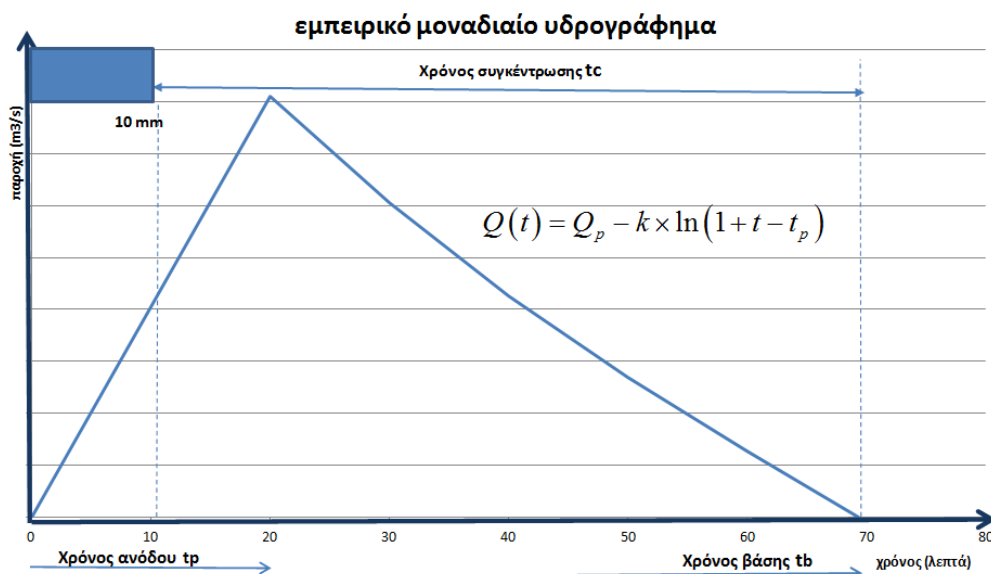
$a = 0,2$ που προτείνεται από την βιβλιογραφία, για την εκτίμηση του αρχικού ελλείμματος. Προφανώς, δεν έχει νόημα η χρήση των τιμών σχεδιασμού που προκύπτουν με βάση τα γεωλογικά χαρακτηριστικά και τις χρήσεις γης της λεκάνης, καθώς σε μια τέτοια περίπτωση ο όγκος της ενεργού βροχής που θα προέκυπτε από το μοντέλο της SCS δεν θα ταυτιζόταν με τον παρατηρημένο πλημμυρικό όγκο.

Επειδή με την παραπάνω προσέγγιση προέκυψαν υδρογραφήματα πολύ διαφορετικά από τα παρατηρημένα, αναζητήθηκαν νέες τιμές των παραμέτρων a και CN , οι οποίες προσδιορίστηκαν μέσω βελτιστοποίησης, όπως εξηγείται στη συνέχεια (βλέπε εδάφιο 5.2.5).

5.2.4 Το παραμετρικό μοναδιαίο υδρογράφημα

Στα πλαίσια της εργασίας, αναπτύχθηκε ένα εμπειρικό παραμετρικό μοναδιαίο υδρογράφημα, ως εναλλακτικό των τυπικών ΣΜΥ που εφαρμόζονται στο υδρολογικό σχεδιασμό (μέθοδοι Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας και Snyder). Το εμπειρικό ΣΜΥ αναφέρεται σε διάρκεια βροχής 10 λεπτών, όση και η χρονική ευκρίνεια των υδρολογικών δεδομένων της περιοχής μελέτης.

Το παραμετρικό ΣΜΥ περιγράφεται από έναν γραμμικό ανοδικό κλάδο και έναν λογαριθμικό καθοδικό, όπως φαίνεται στο Γράφημα 5.1.



Γράφημα 5.1 Το εμπειρικό παραμετρικό μοναδιαίο υδρογράφημα.

Ο χρόνος ανόδου δίνεται από την σχέση:

$$t_p = \beta \times t_c + \frac{D}{2} \quad (5.1)$$

όπου :

t_c ο χρόνος συγκέντρωσης της λεκάνης απορροής, όπως υπολογίστηκε από τον τύπο του Giandotti

β η μοναδική παράμετρος του μοντέλου, που είναι μικρότερη της μονάδας, καθώς δεν έχει φυσικό νόημα η εμφάνιση της αιχμής του ΣΜΥ μετά την πάροδο του χρόνου συγκέντρωσης

D η διάρκεια βροχής, που στην προκειμένη περίπτωση λαμβάνεται ίση με 10 min

Να σημειωθεί ότι, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η μέθοδος SCS προτείνει για βροχές διάρκειας $D < t_c$ την παραπάνω σχέση με $\beta = 0,6$. Ο όρος $0,6 \times t_c$ καλείται χρόνος υστέρησης και εκφράζει την απόσταση από το κέντρο βάρους του ενεργού υετογραφήματος μέχρι την αιχμή του πλημμυρογραφήματος. Στην παρούσα εργασία, η τιμή της παραμέτρου β εκτιμάται μέσω βελτιστοποίησης, με βάση τα παρατηρημένα πλημμυρογραφήματα και υετογράμματα.

$$\text{Για τον χρόνο βάσης λαμβάνεται : } t_{base} = t_c + D \quad (5.2)$$

Αυτή η σχέση αποτελεί συνεπή εφαρμογή του ορισμού του χρόνου συγκέντρωσης, που είναι ο χρόνος από την λήξη της ενεργού βροχής μέχρι τη λήξη της πλημμύρας.

Ο καθοδικός κλάδος περιγράφεται από τη λογαριθμική σχέση :

$$Q(t) = Q_p - k \times \ln(1 + t - t_p) \quad (5.3)$$

όπου Q_p η παροχή αιχμής σε m^3/s , που υπολογίζεται με βάση τον όγκο του ΣΜΥ και την έκταση της λεκάνης, και k συντελεστής που δίνεται από τη σχέση:

$$k = \frac{Q_p}{\ln(1 + t_{base} - t_p)} \quad (5.4)$$

Η επιλογή της μαθηματικής έκφρασης (5.3), αντί μιας πιο απλής έκφρασης, π.χ. γραμμικής, βασίζεται στην υπόθεση ότι η ροή που παράγεται μετά την αιχμή της πλημμύρας περιγράφεται από το υδραυλικό ανάλογο της πλευρικής εκφόρτισης ενός γραμμικού ταμιευτήρα. Συγκεκριμένα, θεωρούμε μια σχέση εκφόρτισης μορφής: $dS/dt = -k \cdot S$, όπου η παροχή είναι ανάλογη της αποθηκευμένη υγρασίας S και ενός συντελεστή στείρευσης k . Η επίλυση της διαφορικής εξίσωσης δίνει μια σχέση αρνητικής εκθετικής μορφής, η οποία ωστόσο τείνει ασυμπτωτικά στο μηδέν. Επειδή με τον τρόπο αυτό δεν είναι δυνατός ο προσδιορισμός του χρόνου λήξης της πλημμύρας, επιλέχθηκε μια πρακτικά ισοδύναμη σχέση, που βασίζεται στη λογαριθμική αντί την εκθετική εξίσωση.

Για τον υπολογισμό της παροχής αιχμής υπολογίστηκε το εμβαδόν του μοναδιαίου υδρογραφήματος και εξισώθηκε με τον μοναδιαίο όγκο πλημμύρας, ήτοι ύψος μοναδιαίας βροχής * έκταση λεκάνης. Καταλήγουμε στην ακόλουθη σειρά εξισώσεων :

$$\int_0^{t_p} Q(t) dt + \int_{t_p}^{t_b} Q(t) dt = 10 \times 10^{-3} \times A \times 10^6$$

$$\frac{1}{2} \times Q_p \times t_p + \int_{t_p}^{t_b} (Q_p - k \times \ln(1+t-t_p)) dt = 10^4 \times A$$

$$\frac{1}{2} \times Q_p \times t_p + Q_p \times (t_b - t_p) + (-k) \times \int_{t_p}^{t_b} \frac{\partial(t+1-t_p)}{\partial t} \times \ln(1+t-t_p) dt = 10^4 \times A$$

$$\frac{1}{2} \times Q_p \times t_p + Q_p \times (t_b - t_p) + (-k) \times \left((t+1-t_p) \times \ln(t+1-t_p) - (t+1-t_p) \right) \Big|_{t_p}^{t_b} = 10^4 \times A$$

$$Q_p \left(t_b - \frac{1}{2} \times t_p \right) = 10^4 \times A + k \times \left((t_b + 1 - t_p) \times \ln(t_b + 1 - t_p) - (t_b + 1 - t_p) + 1 \right)$$

Και με αντικατάσταση της σχέσης 5.4 προκύπτει :

$$Q_p = \frac{10^4 \times A}{\frac{t_p}{2} - 1 - \frac{t_b - t_p}{\ln(t_b - t_p + 1)}} \quad (5.5)$$

5.2.5 Διατύπωση προβλήματος βελτιστοποίησης παραμέτρων

Η εφαρμογή του εμπειρικού ΣΜΥ έγινε θεωρώντας τις δύο παραμέτρους της μεθόδου SCS και την παράμετρο που συνδέεται με το χρόνο ανόδου ως μεταβλητές ελέγχου ενός προβλήματος βαθμονόμησης (μη γραμμικής βελτιστοποίησης). Για την προσαρμογή των προσομοιωμένων υδρογραφήματων στα παρατηρημένα διαμορφώθηκε η σύνθετη συνάρτηση σφάλματος:

$$f = SSE + \lambda_1 \times [V_h - V_Q]^2 + \lambda_2 \times [\max Q_{obs} - \max Q_{sim}]^2 \quad (5.6)$$

Όπου :

$$SSE = \sum_{i=1}^n (Q_{obs}(i) - Q_{sim}(i))^2 \text{ το αθροιστικό τετραγωνικό σφάλμα (sum square error)}$$

$Q_{obs}(i)$ η παρατηρημένη παροχή το χρονικό βήμα i

$Q_{sim}(i)$ η προσομοιωμένη παροχή το χρονικό βήμα i

V_h το αθροιστικό ύψος της ενεργού βροχής

V_Q ο πλημμυρικός όγκος

$\max Q_{obs}$ η παροχή αιχμής του παρατηρημένου καθαρού υδρογραφήματος

$\max Q_{sim}$ η παροχή αιχμής του προσομοιωμένου υδρογραφήματος επιφανειακής απορροής, όπως προκύπτει με εφαρμογή του μοναδιαίου υδρογραφήματος

λ_1, λ_2 συντελεστές βάρους

Οι στόχοι της βελτιστοποίησης που αποτυπώνονται στη συνάρτηση σφάλματος είναι: α) οι τιμές του προσομοιωμένου πλημμυρογραφήματος να είναι όσο πιο κοντά στις παρατηρήσεις, β) ο πλημμυρικός όγκος να είναι ίσος με το συνολικό ύψος της ενεργού βροχής, που εκτιμάται με τη μέθοδο SCS, και γ) να αναπαράγεται η παρατηρημένη παροχή αιχμής. Το δεύτερο κριτήριο τίθεται για να τηρείται ο φυσικός περιορισμός του προβλήματος (διατήρηση μάζας) οπότε δίνεται μεγάλος

συντελεστής βάρους, ενώ το τρίτο κριτήριο τίθεται για να δώσει έμφαση στην παροχή αιχμής που είναι το βασικό μέγεθος υδρολογικού σχεδιασμού.

Να σημειωθεί ότι η επιλογή των τιμών έγινε μετά από διερεύνηση, προκειμένου να επιτυγχάνεται ένας ικανοποιητικός συμβιβασμός των παραπάνω στόχων. Μεγαλύτερη τιμή συντελεστή λ_2 είχε σαν αποτέλεσμα οι βελτιστοποιημένες τιμές που προέκυψαν να δίνουν όγκο V_h αρκετά διαφοροποιημένο από τον όγκο V_Q , κάτι που δεν είναι φυσικώς συνεπές. Τελικά, καταλήξαμε στις τιμές $\lambda_1=1000$ και $\lambda_2=10$.

Για τη βελτιστοποίηση χρησιμοποιήθηκε ο επιλυτής του Excel και ειδικότερα ο αλγόριθμος γενικευμένης μειωμένης κλίσης (Generalized Reduced Gradient ή GRG2), που ανέπτυξαν ο Leon Lasdon του Πανεπιστημίου του Texas, στο Austin και ο Alan Waren του Πανεπιστημίου του Cleveland.

5.3 Αναλυτική διερεύνηση επεισοδίων

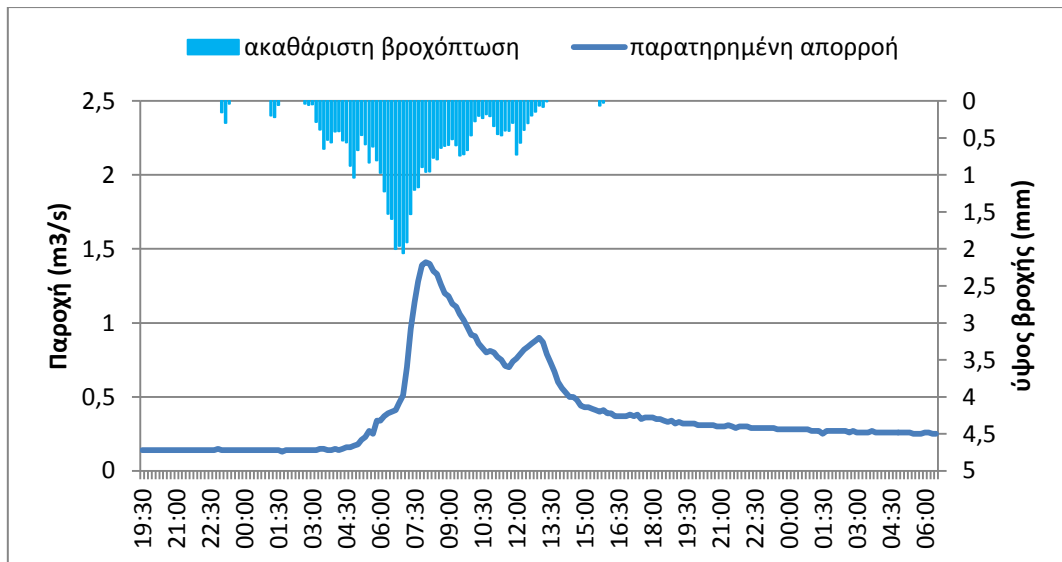
Σε πρώτο στάδιο θα παρουσιαστούν αναλυτικά τέσσερα επεισόδια για κάθε λεκάνη από το δείγμα των επεισοδίων που έχουν μελετηθεί σε κάθε σταθμό. Τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα από τα υπόλοιπα επεισόδια θα παρουσιαστούν πιο συνοπτικά σε επόμενη ενότητα.

5.3.1 Λεκάνη απορροής ανάντη του σταθμού στο Ντράφι

Ο χρόνος συγκέντρωσης της λεκάνης απορροής ανάντη του σταθμού Ντράφι υπολογίστηκε 110 λεπτά. Όπως προαναφέραμε πρόκειται για τα χρονικά διάστημα που θα μεσολαβήσει από τη λήξη της ενεργού βροχής μέχρι τη λήξη της άμεσης απορροής.

1) Πλημμύρα στις 01/02/2005

- Υδρογράφημα επιφανειακής απορροής και χρονοδιάγραμμα μέσης επιφανειακής βροχόπτωσης



Γράφημα 5.2 Χρονοδιάγραμμα ακαθάριστης επιφανειακής βροχόπτωσης και ολικής απορροής για την πλημμύρα στις 01/02/2005 για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι

Από το παραπάνω γράφημα προκύπτουν οι εξής χρόνοι :

έναρξη επιφανειακής βροχόπτωσης	30/1/05 23:00
λήξη επιφανειακής βροχόπτωσης	31/1/05 13:20
έναρξη άμεσης απορροής	31/1/05 4:50
λήξη άμεσης απορροής	31/1/05 15:10

και τα εξής δεδομένα :

όγκος άμεσης απορροής (mm)	1,13
ύψος επιφανειακής βροχόπτωσης (mm)	44,32
συντελεστής απορροής (%)	2,55
μέγιστη παρατηρούμενη απορροή (m³/s)	1,16

- **Εφαρμογή της μεθόδου του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας**

Οι παράμετροι του μοναδιαίου υδρογραφήματος που χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή του προσομοιωμένου πλημμυρογραφήματος θα παρουσιαστούν αναλυτικά μόνο στο εν λόγω επεισόδιο καθώς για τα υπόλοιπα επεισόδια της ίδιας λεκάνης διατηρούνται ίδιες οι τιμές. Προέκυψαν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά :

Πίνακας 5.1 Χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής ανάντη στο σταθμό Ντράφι για την εξαγωγή του μοναδιαίου υδρογραφήματος σύμφωνα με το Βρετανικό Ινστιτούτο Υδρολογίας

Μήκος κύριου υδατορέμματος (Km)	5,23
URBAN	0,00
Υψόμετρο στο 10% του μήκους (m)	339,30
Υψόμετρο στο 85% του μήκους (m)	168,94
Μέση κλίση υδατορεύματος (m/km)	43,47
RMSD (mm)	70,00
Έκταση λεκάνης απορροής (Km ²)	15,17
χρόνος ανόδου για MY 1 ώρας (hr)	2,56
χρόνος βάσης για MY 1 ώρας (hr)	6,45
χρόνος ανόδου για MY 10 λεπτών (hr)	2,23
χρόνος βάσης για MY 10 λεπτών (hr)	5,62
Παροχή αιχμής (m ³ /sec) για MY 10 λεπτών	14,87

Με βάση τις παραπάνω τιμές χρόνου ανόδου, χρόνου βάσης και παροχής αιχμής προέκυψε το ακόλουθο γράφημα για το μοναδιαίο υδρογράφημα 10 λεπτών σύμφωνα με τη μέθοδο του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας :



Γράφημα 5.3 Μοναδιαίο υδρογράφημα για διάρκεια βροχής δέκα λεπτά σύμφωνα με τις αρχές του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο σταθμό Ντράφι

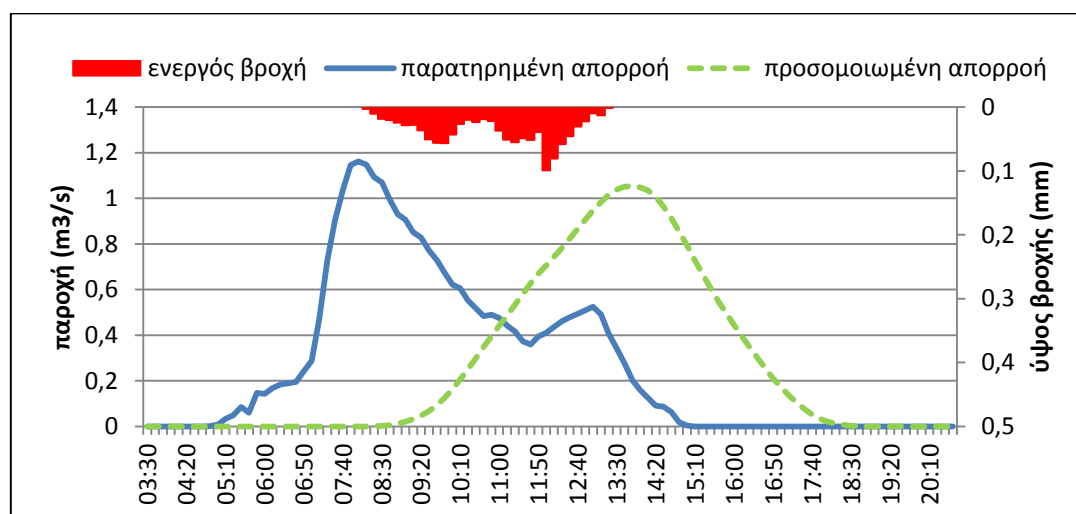
Σε αυτή τη μέθοδο εφαρμόστηκε το μοναδιαίο υδρογράφημα του γραφήματος 5.3 και οι τιμές των παραμέτρων της μεθόδου SCS :

CN	62,41
a	0,20

Από την εφαρμογή της μεθόδου του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας προέκυψε η παρακάτω τιμή στη συνάρτηση σφάλματος με επιμέρους τιμές των συντελεστών της συνάρτησης σφάλματος :

V_h (mm)	1,13
V_Q (mm)	1,13
SSE	26,33
V_Q από MY (mm)	1,13
f	26,45
Qobs max (m ³ /s)	1,16
Qsim max (m ³ /s)	1,05

Και το παρακάτω γράφημα:



Γράφημα 5.4 Παρατηρημένο και προσομοιωμένο πλημμυρογράφημα σύμφωνα με το Βρετανικό Ινστιτούτο Υδρολογίας για $\alpha=0,2$ και $CN=62,41$ για την πλημμύρα στις 01/02/2005 για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι

- **Εφαρμογή της μεθόδου Snyder**

Οι παράμετροι του μοναδιαίου υδρογραφήματος που χρησιμοποιήθηκε θα παρουσιαστούν αναλυτικά μόνο στο εν λόγω επεισόδιο καθώς για τα υπόλοιπα επεισόδια της ίδιας λεκάνης διατηρούνται ίδιες οι τιμές. Προέκυψαν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά :

Πίνακας 5.2 Χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής ανάντη στο Ντράφι για την εξαγωγή του μοναδιαίου υδρογραφήματος σύμφωνα με τη μέθοδο Snyder

μήκος κύριου υδατορεύματος (Km)	5,23
μήκος κύριου υδατορεύματος από το πλησιέστερο στο κέντρο βάρους σημείο μέχρι την έξοδο(km)	2,52
έκταση λεκάνης (Km ²)	15,17
C _p	0,60
C _t	0,43
ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΔΙΑΠΕΡΑΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (ΤΥΠΟΣ ΕΔΑΦΟΥΣ Α1)	41,45
χρόνος ανόδου (hr)	0,70

διορθωμένος χρόνος ανόδου (hr)	0,71
Παροχή αιχμής (m3/sec)	37,55
T base (days)	3,08
Διορθωμένος χρόνος βάσης (hr)	2,82
W50 (hr)	0,81
W75 (hr)	0,46

Με βάση τις παραπάνω παραμέτρους προέκυψε το παρακάτω μοναδιαίο υδρογράφημα :



Γράφημα 5.5 Μοναδιαίο υδρογράφημα για διάρκεια βροχής δέκα λεπτά σύμφωνα με τη μέθοδο Snyder για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι

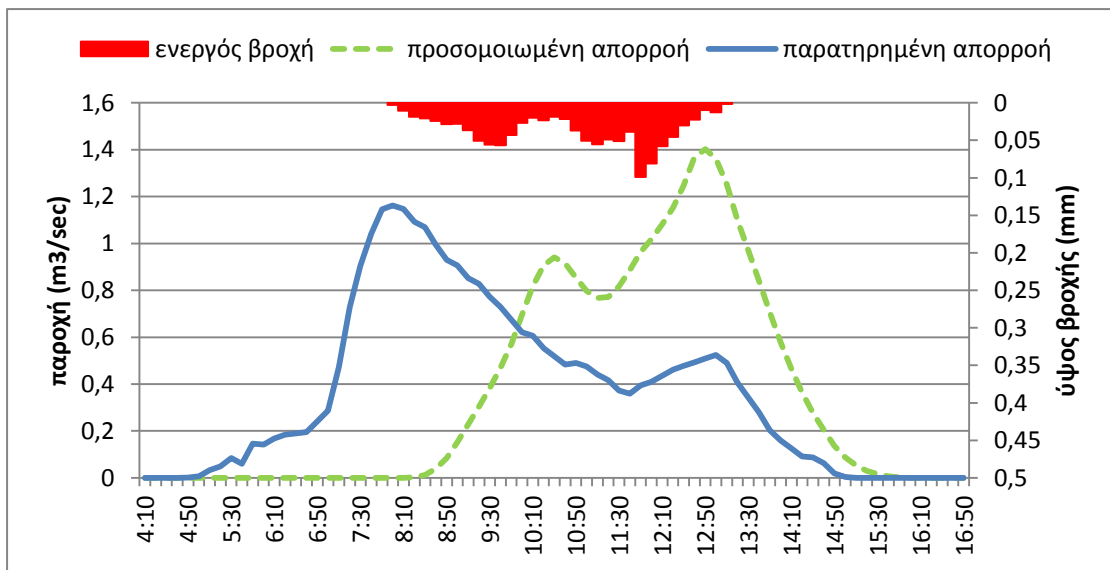
Σε αυτή τη μέθοδο εφαρμόστηκε το μοναδιαίο υδρογράφημα του γραφήματος 5.5 και οι τιμές των παραμέτρων της μεθόδου SCS :

CN	62,41
a	0,20

Από την εφαρμογή της μεθόδου προέκυψε η παρακάτω τιμή στη συνάρτηση σφάλματος με επιμέρους τιμές των συντελεστών της:

V_h (mm)	1,13
V_Q (mm)	1,13
SSE	20,75
f	21,33
Qobs max (m ³ /s)	1,16
Qsim max (m ³ /s)	1,40

Και το αντίστοιχο γράφημα :



Γράφημα 5.6 Παρατηρημένο και προσομοιωμένο πλημμυρογράφημα σύμφωνα με τη μέθοδο Snyder για $\alpha=0,2$ και $CN=62,41$ για την πλημμύρα στις 01/02/2005 για την λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι

- Εφαρμογή του εμπειρικού μοναδιαίου υδρογραφήματος

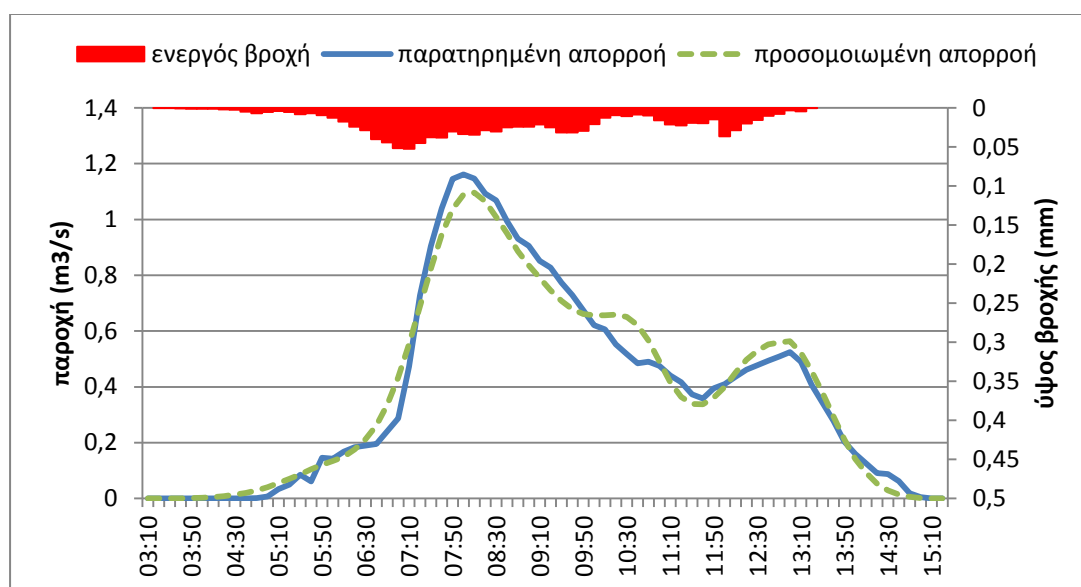
Από τη βελτιστοποίηση προέκυψαν οι τιμές των παραμέτρων :

CN	13,95
a	0,00
β	0,53

Με συνάρτηση σφάλματος και επιμέρους τιμές των συντελεστών της συνάρτησης σφάλματος :

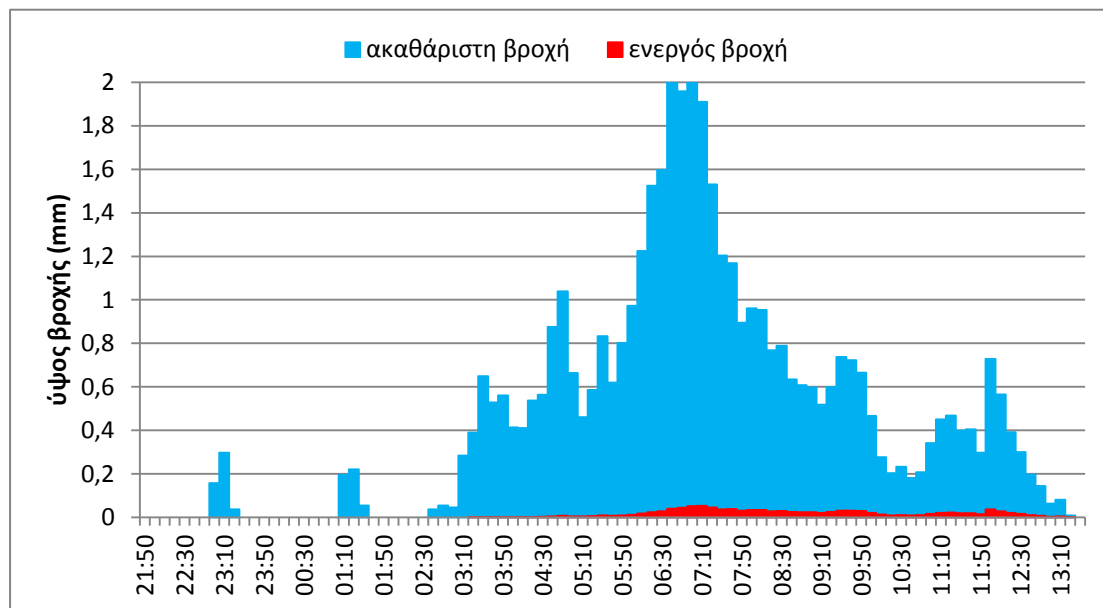
f	0,25
V _h (mm)	1,13
V _q (mm)	1,13
SSE	0,20
V _q (sim) (mm)	1,13
Qsim max (m ³ /s)	1,10
Qe max (m ³ /s)	1,16

Τα παραπάνω αποτελέσματα αποτυπώνονται στο παρακάτω γράφημα παρατηρημένου και προσομοιωμένου πλημμυρογραφήματος :



Γράφημα 5.7 Παρατηρημένο και προσομοιωμένο πλημμυρογράφημα σύμφωνα με το εμπειρικό μοναδιαίο υδρογράφημα για $\alpha=0,0$ και $CN=13,95$ για την πλημμύρα στις 01/02/2005 για την λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι

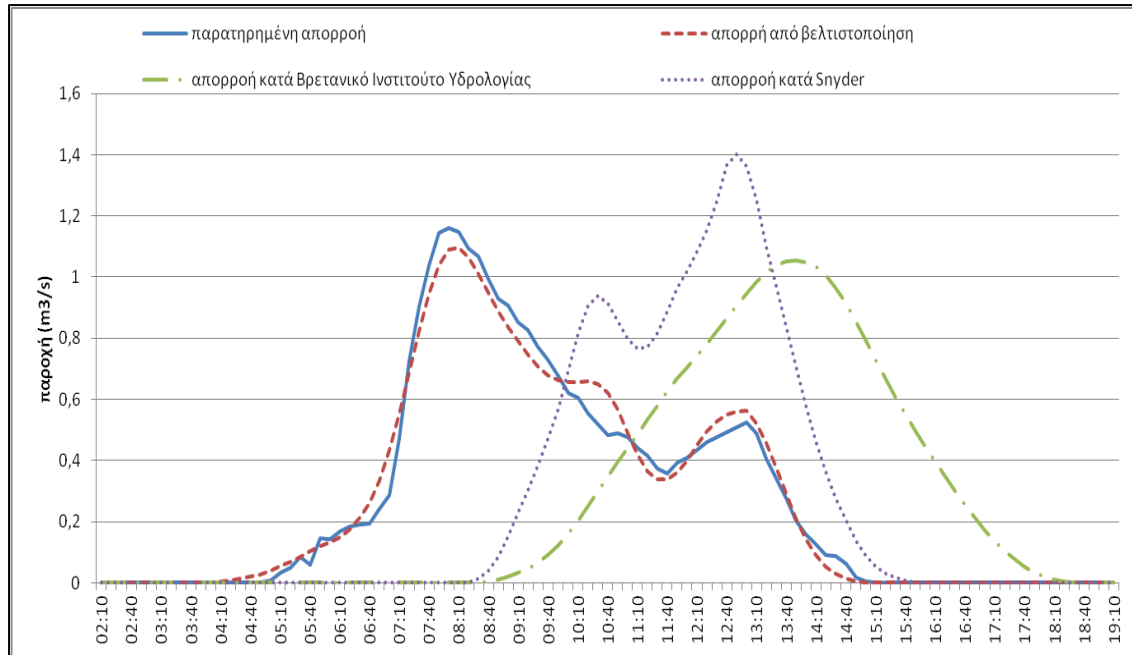
Και στο παρακάτω γράφημα ενεργού και ακαθάριστης βροχόπτωσης:



Γράφημα 5.8 Υετόγραμμα ακαθάριστης και ενεργού βροχής για $\alpha=0,0$ και $CN=13,95$ για την πλημμύρα στις 01/02/2005 για την λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι

- **Σχόλια** : η διαδικασία της βελτιστοποίησης προσεγγίζει πολύ ικανοποιητικά την εξέλιξη του φαινομένου. Η προσομοίωση είναι ικανοποιητική και για τις δύο αιχμές. Αυτό προέκυψε διότι το ενεργό υετογράφημα ακολουθεί την πραγματική εξέλιξη της βροχής. Το υετογράφημα της ακαθάριστης βροχής χαρακτηρίζεται από δύο αιχμές, η πρώτη μεγάλη και η επόμενη μικρή, οι οποίες δίνουν αντίστοιχα δύο αντίστοιχες αιχμές στο πλημμυρογράφημα. Ίδια μορφή έχει και το υετογράφημα ενεργού βροχής όπως προκύπτει από τη μέθοδο SCS. Παρατηρείται ότι με την αλλαγή της τιμής της παραμέτρου β η τιμή της συνάρτησης σφάλματος δεν τροποποιείται ουσιαστικά και ότι διαθέτει ιδιαίτερη ευαισθησία στις αλλαγές των παραμέτρων α , CN .

- Συγκριτική αξιολόγηση των τριών μεθόδων:

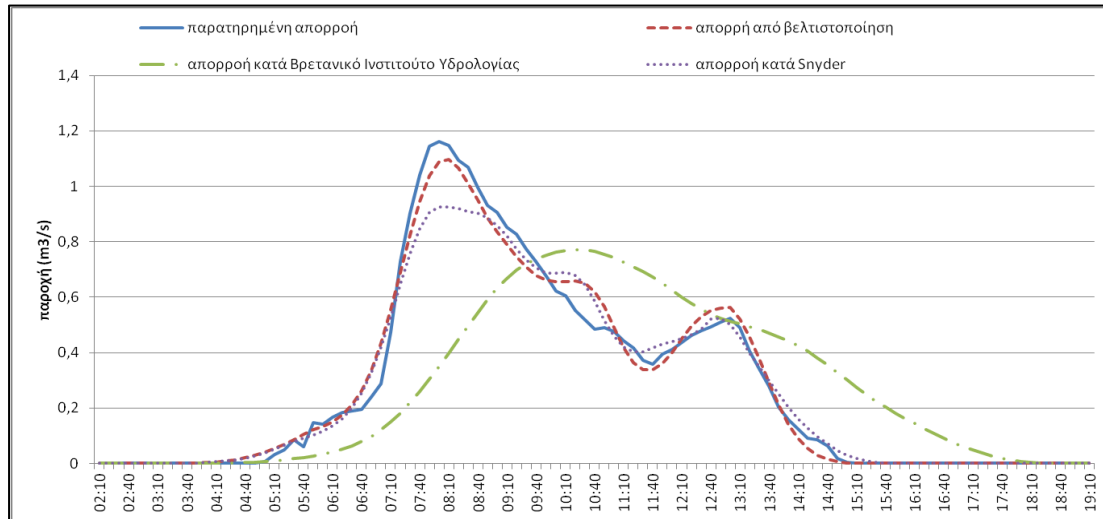


Γράφημα 5.9 Συγκριτική αξιολόγηση των μεθόδων του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας, της μεθόδου Snyder και του εμπειρικού μοναδιαίου υδρογραφήματος για διαφορετικές τιμές α και CN για την πλημμύρα στις 01/02/2005 για την λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι

Από το παραπάνω γράφημα και παρατηρώντας τις τιμές της συνάρτησης σφάλματος προκύπτει ότι η καλύτερη προσομοίωση γίνεται με χρήση του εμπειρικού μοναδιαίου υδρογραφήματος και χρήση των βελτιστοποιημένων τιμών των παραμέτρων της μεθόδου SCS. Όλες ωστόσο οι μέθοδοι προσεγγίζουν την παρατηρημένη παροχή αιχμής με τη διαφορά ότι οι μέθοδοι του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας και του Snyder την τοποθετούν ετεροχρονικά από τη στιγμή που παρατηρείται. Αυτό προκύπτει επειδή η τιμή $\alpha=0,2$ και $CN=62$ δίνουν ένα υψηλό αρχικό έλλειμμα και έτσι η απορροή στην προσομοίωση που προτείνουν οι δύο μέθοδοι καθυστερεί.

Για την σύγκριση λοιπόν των μοναδιαίων γραφημάτων παρατίθεται η τιμή της συνάρτησης σφάλματος στις τρεις περιπτώσεις για ίδιες τιμές στα α και CN που προκύπτουν από τη βελτιστοποίηση όπως και ένα γράφημα με τα τρία προσομοιωμένα υδρογραφήματα.

f από βελτιστοποίηση	0,25
f κατά Βρετανικό Ινστιτούτο Υδρολογίας	7,9
f κατά Snyder	0,98

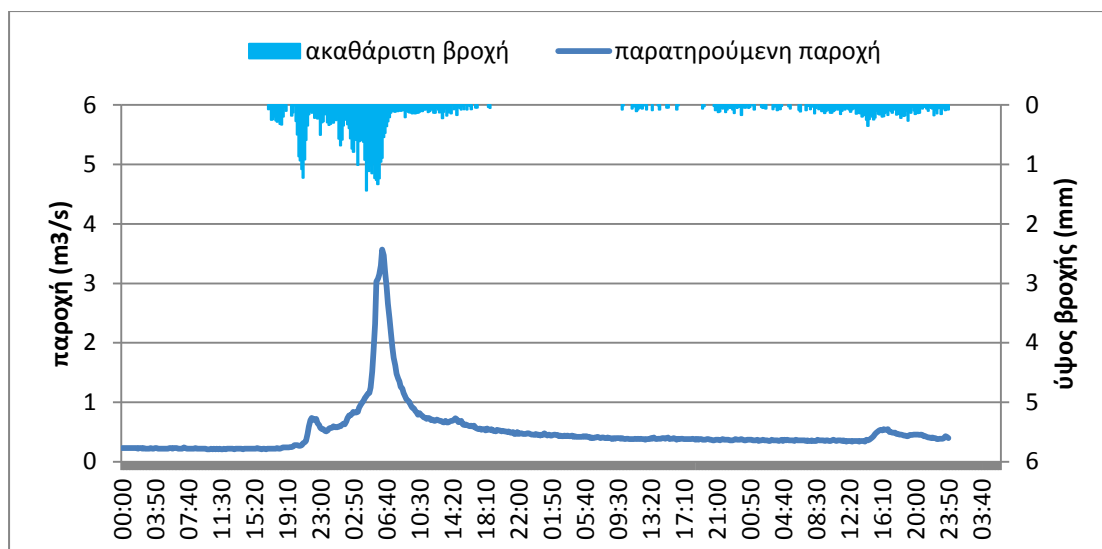


Γράφημα 5.10 Συγκριτική αξιολόγηση των μεθόδων του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας, της μεθόδου Snyder και του εμπειρικού μοναδιαίου υδρογραφήματος για ίδιες τιμές α και CN για την πλημμύρα στις 01/02/2005 για την λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι

Από την παραπάνω σύγκριση προκύπτει ότι το εμπειρικό συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα προσομοιώνει πολύ καλύτερα την παρατηρούμενη απορροή από τη μέθοδο του Βρετανικού Ινστιτούτου και επίσης καλύτερα από τη μέθοδο του Snyder.

2) Πλημμύρα στις 04/02/2005

- Υδρογράφημα επιφανειακής απορροής και χρονοδιάγραμμα μέσης επιφανειακής βροχόπτωσης



Γράφημα 5.11 Πλημμυρογράφημα ολικής απορροής και υετόγραμμα ακαθάριστης μέσης επιφανειακής βροχής για την πλημμύρα στις 04/02/2005 για τη λεκάνη απορροής ανάντι στο Ντράφι

Από το παραπάνω γράφημα προκύπτουν οι εξής χρόνοι :

έναρξη επιφανειακής βροχόπτωσης	2/2/05 17:00
λήξη επιφανειακής βροχόπτωσης	3/2/05 17:10
έναρξη άμεσης απορροής	2/2/05 21:00
λήξη άμεσης απορροής	3/2/05 19:00

και τα εξής δεδομένα :

όγκος άμεσης απορροής (mm)	2,93
ύψος επιφανειακής βροχόπτωσης (mm)	46,27
συντελεστής απορροής (%)	6,32
μέγιστη παρατηρούμενη απορροή (m ³ /s)	3,1725

- **Εφαρμογή της μεθόδου του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας**

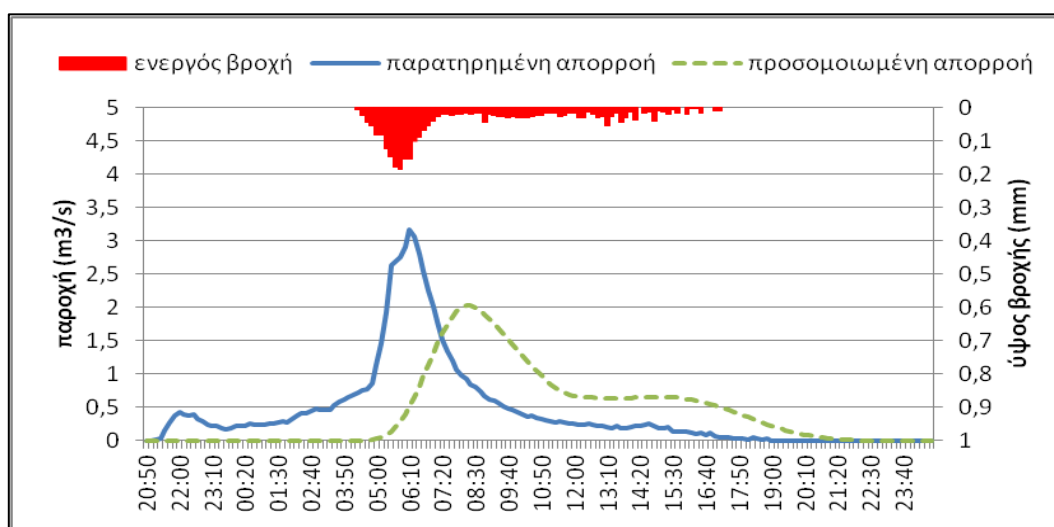
Σε αυτή τη μέθοδο εφαρμόστηκε το μοναδιαίο υδρογράφημα του γραφήματος 5.3 και οι τιμές των παραμέτρων της μεθόδου SCS :

CN	66,61
a	0,20

Από την εφαρμογή της μεθόδου του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας προέκυψε η παρακάτω τιμή στη συνάρτηση σφάλματος με επιμέρους τιμές των συντελεστών της συνάρτησης σφάλματος :

f	103,49
V _h (mm)	2,92
V _Q (mm)	2,93
SSE	90,28
V _Q sim sum (mm)	2,92
Qobs max (m ³ /s)	3,17
Qsim max (m ³ /s)	2,02

Και το παρακάτω γράφημα:



Γράφημα 5.12 Πλημμυρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής σύμφωνα με τη μέθοδο του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας για $\alpha=0,2$ και $CN=66,61$ για την πλημμύρα στις 04/02/2005 για τη λεκάνη απορροής ανάντι στο Ντράφι

- **Εφαρμογή της μεθόδου Snyder**

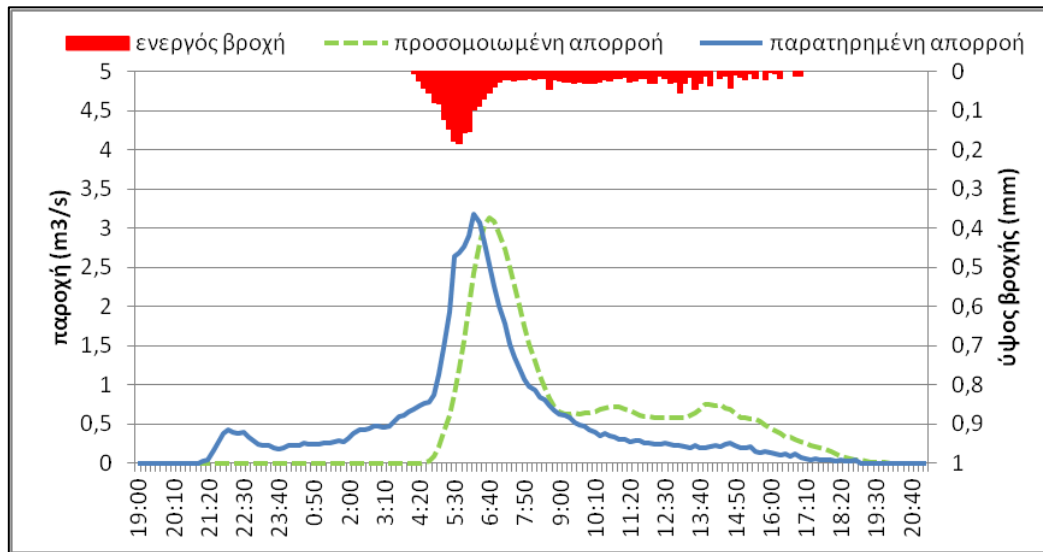
Σε αυτή τη μέθοδο εφαρμόστηκε το μοναδιαίο υδρογράφημα του γραφήματος 5.5 και οι τιμές των παραμέτρων της μεθόδου SCS :

CN	66,61
a	0,20

Από την εφαρμογή της μεθόδου προέκυψε η παρακάτω τιμή στη συνάρτηση σφάλματος με επιμέρους τιμές των συντελεστών της:

V_h (mm)	2,92
V_Q (mm)	2,93
SSE	32,36
f	32,38
$Q_{obs\ max}$ (m ³ /s)	3,17
$Q_{sim\ max}$ (m ³ /s)	3,13

Και το αντίστοιχο γράφημα :



Γράφημα 5.13 Πλημμυρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής σύμφωνα με τη μέθοδο Snyder για $\alpha=0,2$ και $CN=66,61$ για την πλημμύρα στις 04/02/2005 για τη λεκάνη απορροής ανάντι στο Ντράφι

- **Εφαρμογή του εμπειρικού μοναδιαίου υδρογραφήματος**

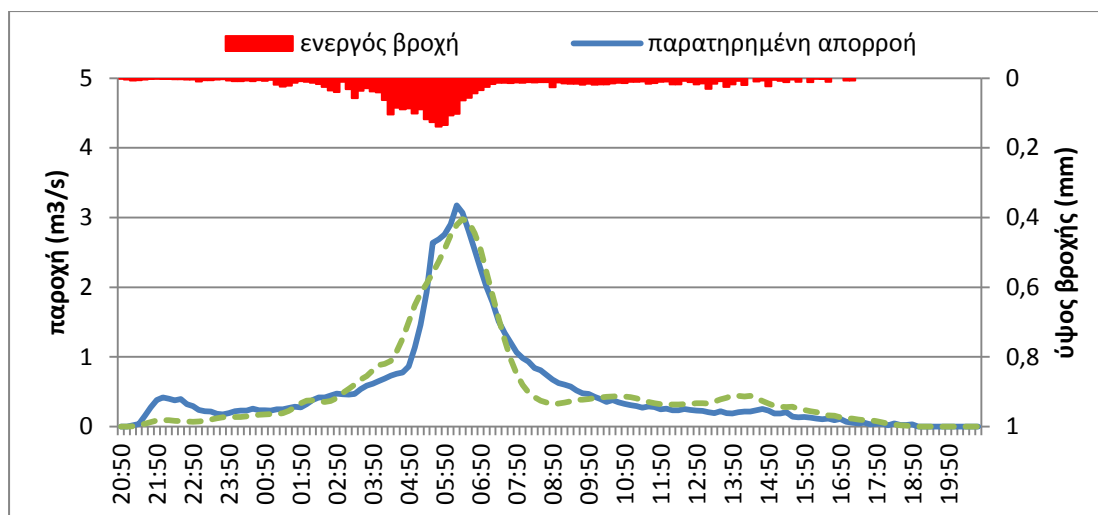
Από τη **βελτιστοποίηση** προέκυψαν οι τιμές των παραμέτρων :

CN	33,39
a	0,01
β	0,33

Με επιμέρους τιμές των συντελεστών της συνάρτησης σφάλματος :

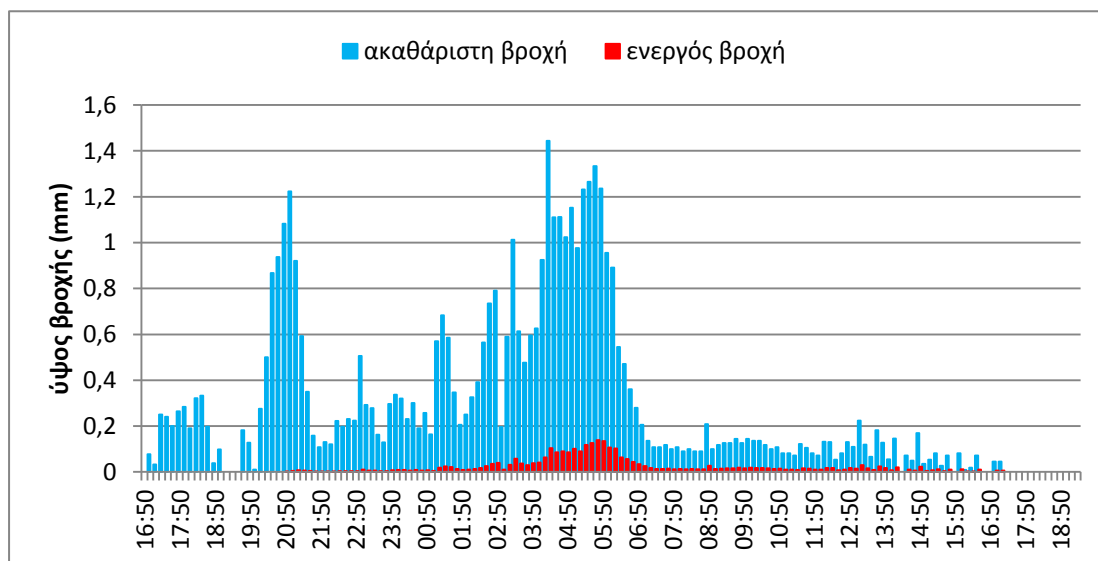
f	5,41946
Vh (mm)	2,926384
V _Q (mm)	2,925496
SSE	5,043361
V _Q sim (mm)	2,938082
Qobs max (m ³ /s)	3,1725
Qsim max (m ³ /s)	2,978771

Τα παραπάνω αποτελέσματα αποτυπώνονται στο παρακάτω γράφημα παρατηρημένου και προσομοιωμένου πλημμυρογραφήματος :



Γράφημα 5.14 Πλημμυρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής σύμφωνα με το εμπειρικό μοναδιαίο υδρογράφημα για $\alpha=0,01$ και $CN=33,39$ για την πλημμύρα στις 04/02/2005 για τη λεκάνη απορροής ανάντι στο Ντράφι

Και στο παρακάτω γράφημα ενεργού και ακαθάριστης βροχόπτωσης:

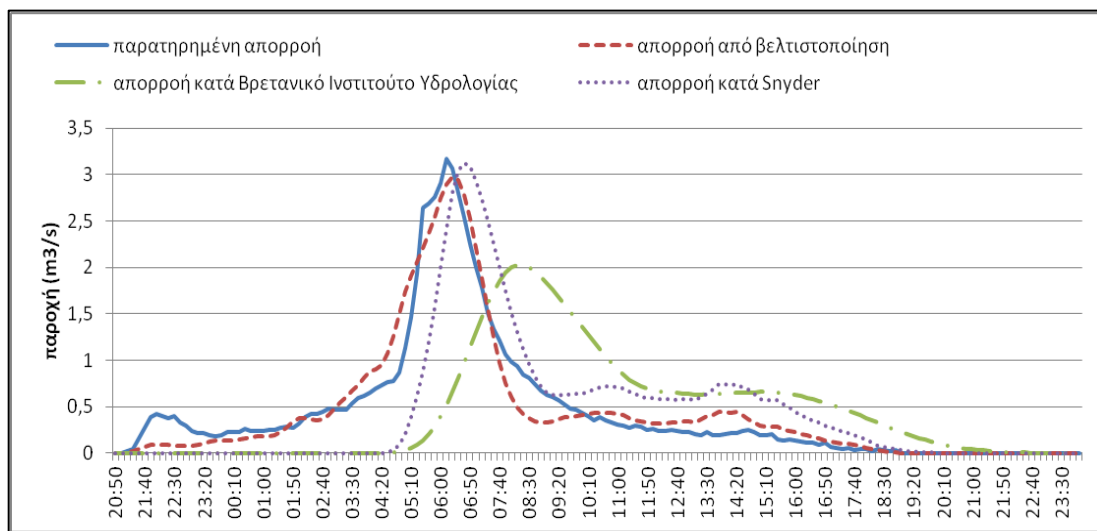


Γράφημα 5.15 Υετόγραμμα ακαθάριστης και ενεργού βροχής για $\alpha=0,01$ και $CN=33,39$ για την πλημμύρα στις 04/02/2005 για τη λεκάνη απορροής ανάντι στο Ντράφι

- **Σχόλια** : η διαδικασία της βελτιστοποίησης προσεγγίζει πολύ ικανοποιητικά την εξέλιξη του φαινομένου. Η προσομοίωση προσεγγίζει ικανοποιητικά την μεγάλη πλημμυρική αιχμή. Ωστόσο η πρώτη μικρή

αιχμή που παρατηρείται λόγω μίας τοπικής αιχμής στο υετόγραμμα ακαθάριστης βροχής δεν προβλέπεται από την προσομοίωση. Αυτό συμβαίνει διότι αυτό το κομμάτι της βροχής έχει μετατραπεί από την μέθοδο SCS σε αρχικό έλλειμμα. Στη συνέχεια όμως το υετογράφημα ενεργού βροχής έχει την ίδια μορφή με το υετόγραμμα της ακαθάριστης βροχής και έτσι η πλημμυρικά απορροή προσεγγίζεται ικανοποιητικά. Παρατηρείται ότι με την αλλαγή της τιμής της παραμέτρου α_1 η τιμή της συνάρτησης σφάλματος δεν τροποποιείται ουσιαστικά και ότι διαθέτει ιδιαίτερη ευαισθησία στις αλλαγές των παραμέτρων α , CN.

- **Συγκριτική αξιολόγηση των τριών μεθόδων:**

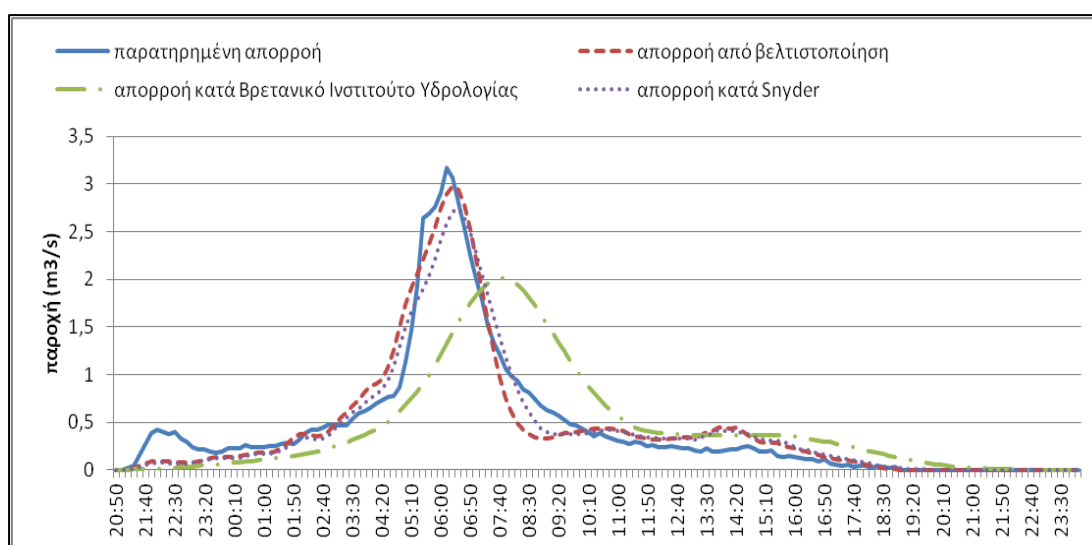


Γράφημα 5.16 Συγκριτική αξιολόγηση των μεθόδων του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας, της μεθόδου Snyder και του εμπειρικού μοναδιαίου υδρογραφήματος για διαφορετικές τιμές α και CN για την πλημμύρα στις 04/02/2005 για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι

Από το παραπάνω γράφημα και παρατηρώντας τις τιμές της συνάρτησης σφάλματος προκύπτει ότι η καλύτερη προσομοίωση γίνεται με χρήση του εμπειρικού μοναδιαίου υδρογραφήματος και χρήση των βελτιστοποιημένων τιμών των παραμέτρων της μεθόδου SCS. Είναι αξιοσημείωτο ότι η μέθοδος Snyder προσεγγίζει ικανοποιητικά την αιχμή. Ωστόσο οι τιμές $\alpha=0,2$ και $CN=62$ είναι αρκετά υψηλές οπότε το αρχικό έλλειμμα που δημιουργείται είναι αρκετά μεγάλο και έτσι η απορροή στην προσομοίωση που προτείνουν οι δύο μέθοδοι καθυστερεί.

Για την σύγκριση λοιπόν των μοναδιαίων γραφημάτων παρατίθεται η τιμή της συνάρτησης σφάλματος στις τρεις περιπτώσεις για ίδιες τιμές στα α και CN όπως και ένα γράφημα με τα τρία προσομοιωμένα υδρογραφήματα.

f από βελτιστοποίηση	5,41
f κατά Βρετανικό Ινστιτούτο Υδρολογίας	51,4
f κατά Snyder	6,99

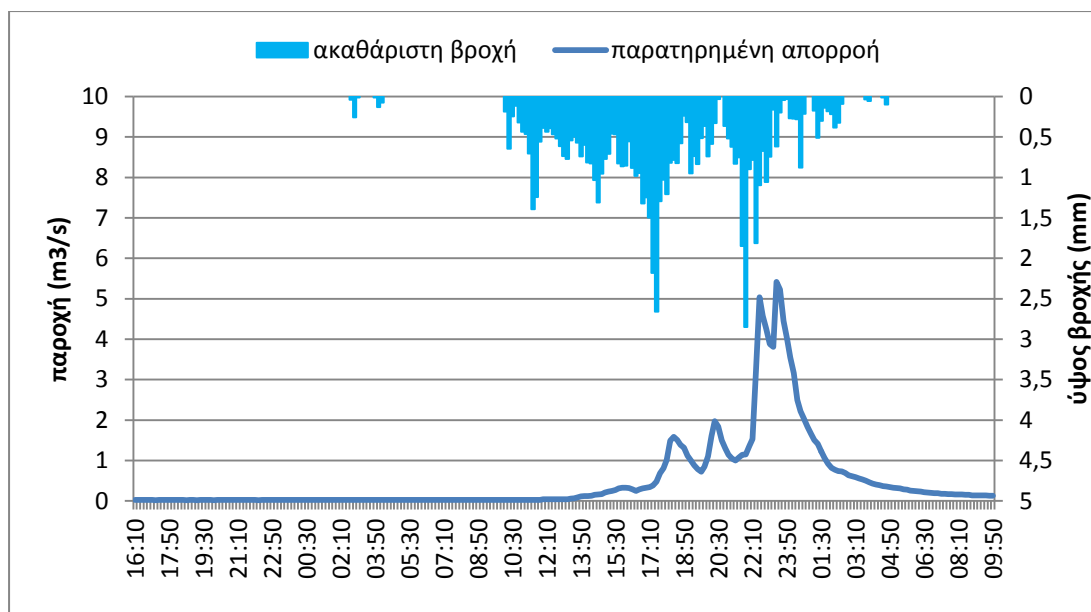


Γράφημα 5.17 Συγκριτική αξιολόγηση των μεθόδων του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας, της μεθόδου Snyder και του εμπειρικού μοναδιαίου υδρογραφήματος για ίδιες τιμές α και CN για την πλημμύρα στις 04/02/2005 για την λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι

Από την παραπάνω σύγκριση προκύπτει ότι το εμπειρικό συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα προσομοιώνει πολύ καλύτερα την παρατηρούμενη απορροή από τη μέθοδο του Βρετανικού Ινστιτούτου και επίσης καλύτερα αλλά σε μικρότερο βαθμό από τη μέθοδο του Snyder.

3) Πλημμύρα στις 23/03/2007

- Υδρογράφημα επιφανειακής απορροής και χρονοδιάγραμμα μέσης επιφανειακής βροχόπτωσης



Γράφημα 5.18 Πλημμυρογράφημα ολικής απορροής και υετόγραμμα ακαθάριστης βροχής για την πλημμύρα στις 23/03/2007 για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι

Από το παραπάνω γράφημα προκύπτουν οι εξής χρόνοι :

έναρξη επιφανειακής βροχόπτωσης	22/3/07 4:10
λήξη επιφανειακής βροχόπτωσης	23/3/07 2:30
έναρξη άμεσης απορροής	22/3/07 13:30
λήξη άμεσης απορροής	23/3/07 4:20

και τα εξής δεδομένα :

όγκος άμεσης απορροής (mm)	3,76
ύψος επιφανειακής βροχόπτωσης (mm)	68,66
συντελεστής απορροής (%)	5,48
μέγιστη παρατηρούμενη απορροή (m ³ /s)	5,14

- **Εφαρμογή της μεθόδου του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας**

Σε αυτή τη μέθοδο εφαρμόστηκε το μοναδιαίο υδρογράφημα του γραφήματος 5.3 και οι τιμές των παραμέτρων της μεθόδου SCS :

CN	56,27
a	0,20

Από την εφαρμογή της μεθόδου του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας προέκυψε η παρακάτω τιμή στη συνάρτηση σφάλματος με επιμέρους τιμές των συντελεστών της συνάρτησης σφάλματος :

f	193,79
Vh (mm)	3,76
V _Q (mm)	3,76
SSE	151,67
V _Q sim (mm)	3,76
Qobs max (m ³ /s)	5,14
Qsim max (m ³ /s)	3,09

Και το παρακάτω γράφημα:



Γράφημα 5.19 Πλημμυρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής σύμφωνα με το μοναδιαίο υδρογράφημα του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας για $\alpha=0,2$ και $CN=56,27$ για την πλημμύρα στις 23/03/2007 για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι

- Εφαρμογή της μεθόδου Snyder

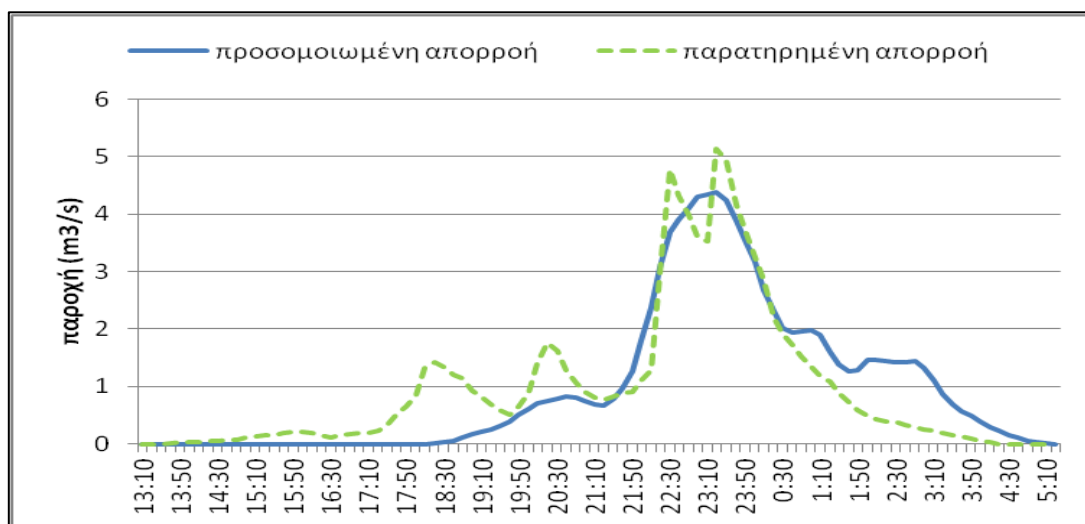
Σε αυτή τη μέθοδο εφαρμόστηκε το μοναδιαίο υδρογράφημα του γραφήματος 5.5 και οι τιμές των παραμέτρων της μεθόδου SCS :

CN	56,27
a	0,20

Από την εφαρμογή της μεθόδου προέκυψε η παρακάτω τιμή στη συνάρτηση σφάλματος με επιμέρους τιμές των συντελεστών της:

f	37,47
V_h (mm)	3,76
V_Q (mm)	3,76
SSE	31,63
$Q_{obs\ max}$ (m ³ /s)	5,14

Και το αντίστοιχο γράφημα :



Γράφημα 5.20 Πλημμυρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής σύμφωνα με το μοναδιαίο υδρογράφημα της μεθόδου Snyder για $\alpha=0,2$ και $CN=56,27$ για την πλημμύρα στις 23/03/2007 για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι

- Εφαρμογή του εμπειρικού μοναδιαίου υδρογραφήματος

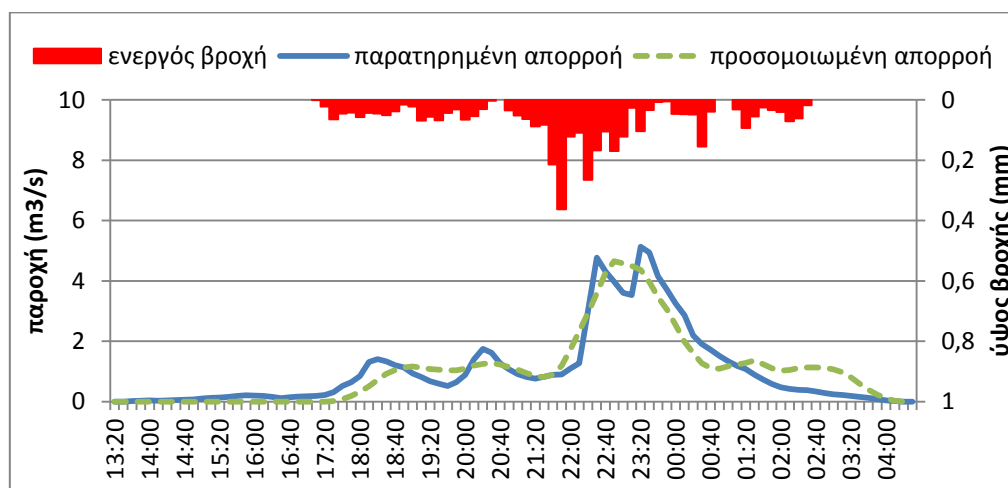
Από τη βελτιστοποίηση προέκυψαν οι τιμές των παραμέτρων :

CN	42,62
a	0,09
β	0,53

Με επιμέρους τιμές των συντελεστών της συνάρτησης σφάλματος :

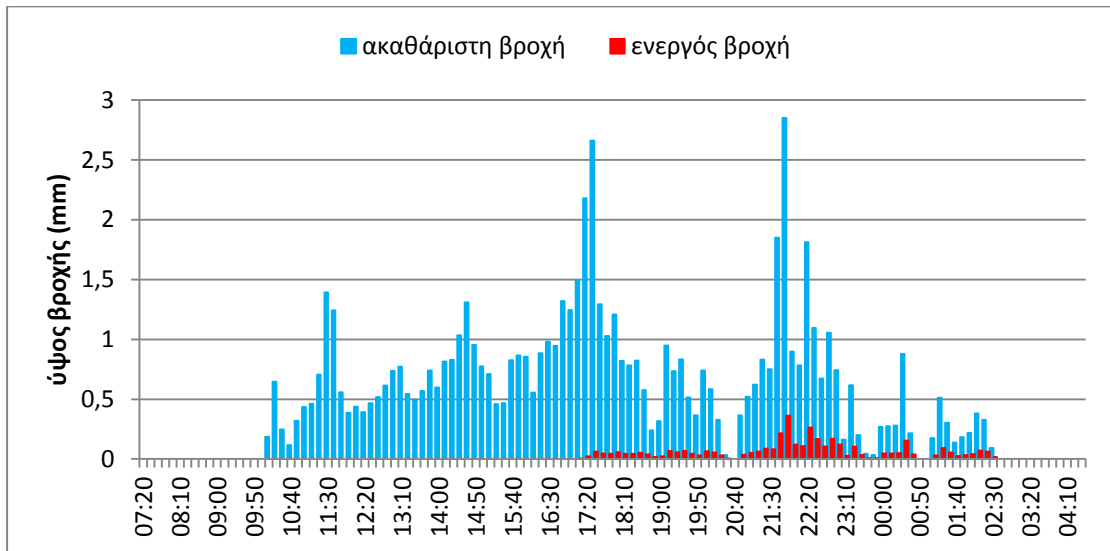
f	22,71
Vh (mm)	3,77
V _α (mm)	3,76
SSE	20,32
V _α sim (mm)	3,79
Qobs max (m ³ /s)	5,14
Qsim max (m ³ /s)	4,65

Τα παραπάνω αποτελέσματα αποτυπώνονται στο παρακάτω γράφημα:



Γράφημα 5.21 Πλημμυρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής σύμφωνα με το εμπειρικό μοναδιαίο υδρογράφημα για $\alpha=0,09$ και $CN=42,62$ για την πλημμύρα στις 23/03/2007 για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι

Και στο παρακάτω γράφημα ενεργού και ακαθάριστης βροχόπτωσης:

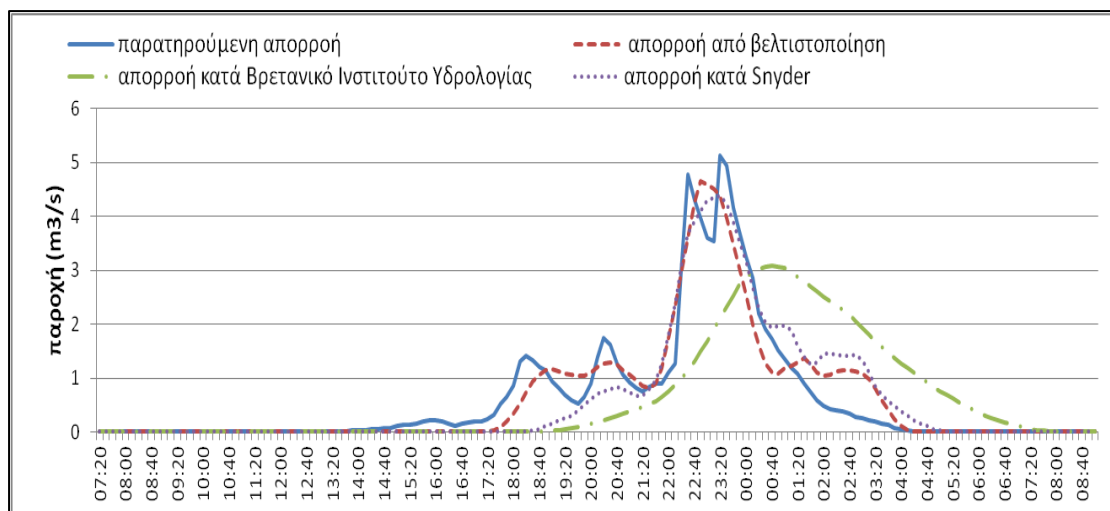


Γράφημα 5.22 Υετόγραμμα ακαθάριστης και ενεργού βροχής για την πλημμύρα στις 23/03/2007 για $\alpha=0,09$ και $CN=42,62$ για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι

- **Σχόλια** : η διαδικασία της βελτιστοποίησης προσεγγίζει πολύ ικανοποιητικά την εξέλιξη του φαινομένου. Η προσομοίωση προσεγγίζει ικανοποιητικά την μεγάλη πλημμυρική αιχμή. Ωστόσο στην πραγματικότητα παρατηρούνται δύο αιχμές όπου η μία μετά από μία μικρή μείωση της παροχής διαδέχεται την πρώτη. Αυτό προκύπτει διότι στο υετόγραμμα της ακαθάριστης βροχής δημιουργείται μία απότομη μείωση της βροχής περί τις 22.00 στις 22/03/2007. Στο υετογράφημα της ενεργού συμβαίνει αυτή η μείωση αλλά δεν είναι τόσο απότομη ώστε να δημιουργήσει δύο αιχμές.

Παρατηρείται επίσης ότι με την αλλαγή της τιμής της παραμέτρου α_1 η τιμή της συνάρτησης σφάλματος δεν τροποποιείται ουσιαστικά και ότι διαθέτει ιδιαίτερη ευαισθησία στις αλλαγές των παραμέτρων α , CN .

- Συγκριτική αξιολόγηση των τριών μεθόδων:

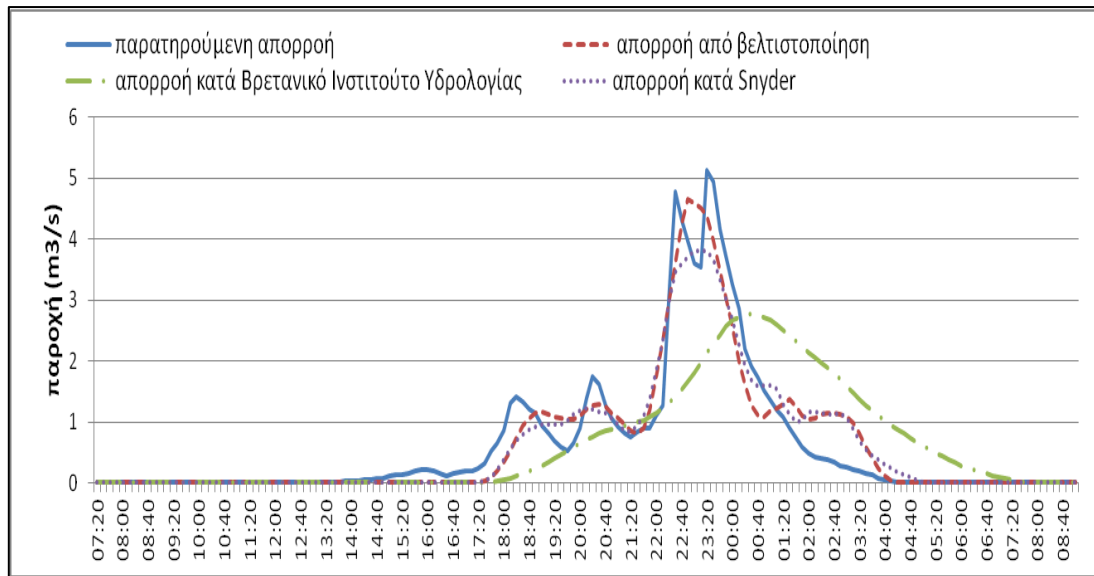


Γράφημα 5.23 Συγκριτική αξιολόγηση των μεθόδων του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας, της μεθόδου Snyder και του εμπειρικού μοναδιαίου υδρογραφήματος για διαφορετικές τιμές α και CN για την πλημμύρα στις 23/03/2007 για τη λεκάνη απορροής ανάντι στο Ντράφι

Από το παραπάνω γράφημα και παρατηρώντας τις τιμές της συνάρτησης σφάλματος προκύπτει ότι η καλύτερη προσομοίωση γίνεται με χρήση του εμπειρικού μοναδιαίου υδρογραφήματος και χρήση των βελτιστοποιημένων τιμών των παραμέτρων της μεθόδου SCS. Είναι αξιοσημείωτο ότι η μέθοδος Snyder προσεγγίζει ικανοποιητικά την αιχμή και την γενικότερη μορφή του παρατηρημένου υδρογραφήματος.

Για την σύγκριση λοιπόν των μοναδιαίων γραφημάτων παρατίθεται η τιμή της συνάρτησης σφάλματος στις τρεις περιπτώσεις για ίδιες τιμές στα α και CN όπως και ένα γράφημα με τα τρία προσομοιωμένα υδρογραφήματα.

f από βελτιστοποίηση	22,71
f κατά Βρετανικό Ινστιτούτο Υδρολογίας	166,72
f κατά Snyder	37,35

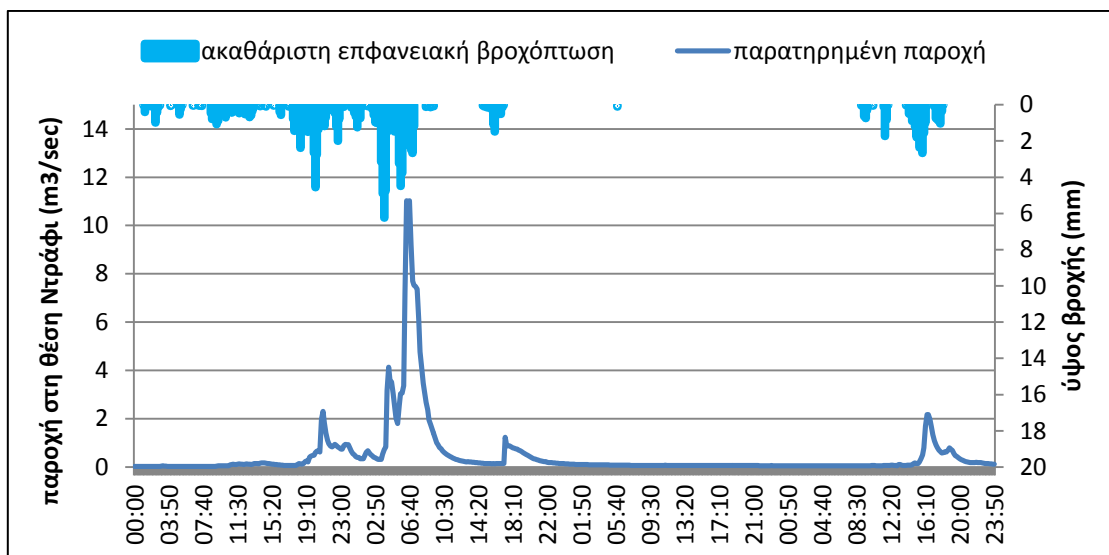


Γράφημα 5.24 Συγκριτική αξιολόγηση των μεθόδων του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας, της μεθόδου Snyder και του εμπειρικού μοναδιαίου υδρογραφήματος για ίδιες τιμές α και CN για την πλημμύρα στις 23/03/2007 για τη λεκάνη απορροής ανάντι στο Ντράφι

Από την παραπάνω σύγκριση προκύπτει ότι το εμπειρικό συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα προσομοιώνει πολύ καλύτερα την παρατηρούμενη απορροή από τη μέθοδο του Βρετανικού Ινστιτούτου και επίσης καλύτερα αλλά σε μικρότερο βαθμό από τη μέθοδο του Snyder.

4) Πλημμύρα στις 19/12/2004

- Υδρογράφημα επιφανειακής απορροής και χρονοδιάγραμμα μέσης επιφανειακής βροχόπτωσης



Γράφημα 5.25 Πλημμυρογράφημα ολικής απορροής και υετόγραμμα ακαθάριστης βροχής για την πλημμύρα στις 19/12/2004 για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι

Από το παραπάνω γράφημα προκύπτουν οι εξής χρόνοι :

έναρξη επιφανειακής βροχόπτωσης	18/12/04 1:00
λήξη επιφανειακής βροχόπτωσης	19/12/04 9:20
έναρξη άμεσης απορροής	18/12/04 18:10
λήξη άμεσης απορροής	19/12/04 11:10

Και τα εξής δεδομένα :

όγκος άμεσης απορροής (mm)	6,62
ύψος επιφανειακής βροχόπτωσης (mm)	108,04
συντελεστής απορροής (%)	6

- Εφαρμογή της μεθόδου του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας

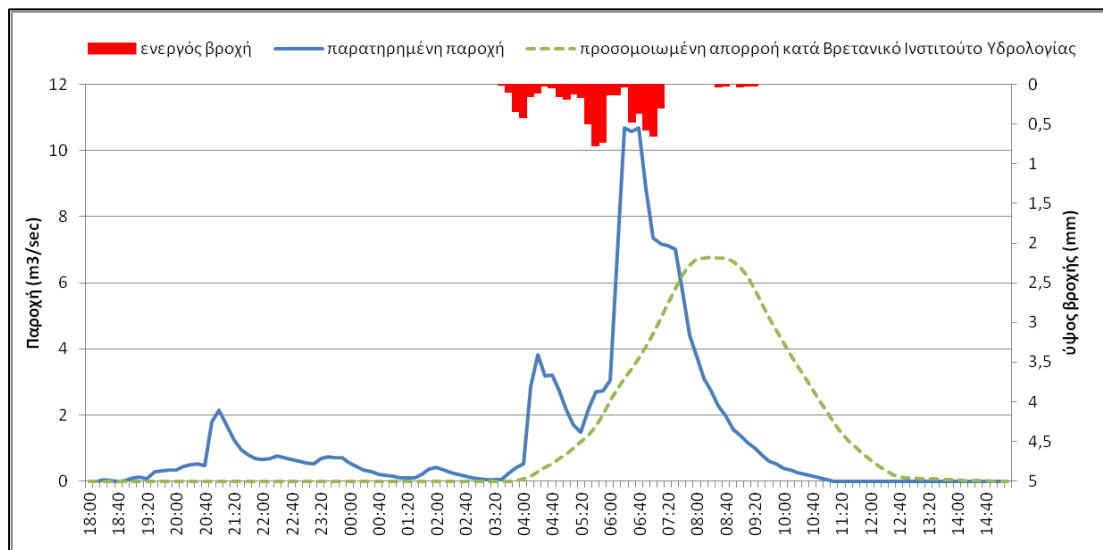
Σε αυτή τη μέθοδο εφαρμόστηκε το μοναδιαίο υδρογράφημα του γραφήματος 5.3 και οι τιμές των παραμέτρων της μεθόδου SCS :

CN	45,83
a	0,20

Από την εφαρμογή της μεθόδου του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας προέκυψε η παρακάτω τιμή στη συνάρτηση σφάλματος με επιμέρους τιμές των συντελεστών της συνάρτησης σφάλματος :

f	748,17
V _h (mm)	6,61
V _Q (mm)	6,62
SSE	594,52
V _Q sim (mm)	6,61
Qobs max (m ³ /sec)	10,68
Qsim max (m ³ /sec)	6,76

Και το παρακάτω γράφημα:



Γράφημα 5.26 Πλημμυρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής σύμφωνα με το μοναδιαίο υδρογράφημα του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας για $\alpha=0,2$ και $CN=45,83$ για την πλημμύρα στις 19/12/2004 για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι

- Εφαρμογή της μεθόδου Snyder

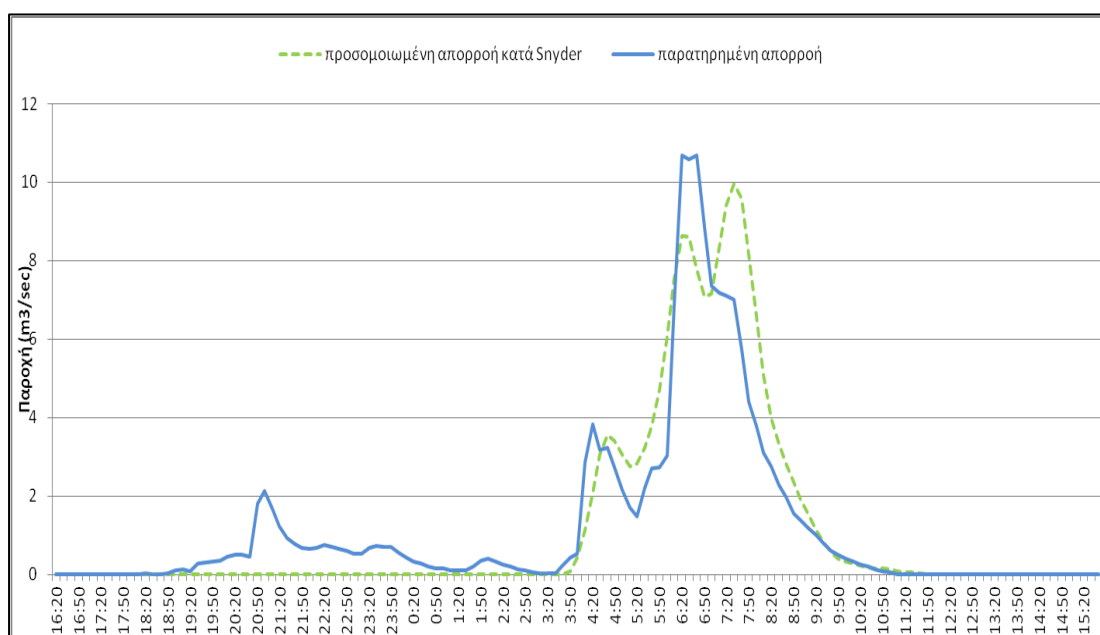
Σε αυτή τη μέθοδο εφαρμόστηκε το μοναδιαίο υδρογράφημα του γραφήματος 5.5 και οι τιμές των παραμέτρων της μεθόδου SCS :

CN	45,83
a	0,20

Από την εφαρμογή της μεθόδου προέκυψε η παρακάτω τιμή στη συνάρτηση σφάλματος με επιμέρους τιμές των συντελεστών της:

f	134,09
Vh (mm)	6,61
V _Q (mm)	6,62
SSE	128,78
Q _{obs} max (m ³ /sec)	10,68
Q _{sim} max (m ³ /sec)	9,96

Και το αντίστοιχο γράφημα :



Γράφημα 5.27 Πλημμυρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής σύμφωνα με το μοναδιαίο υδρογράφημα της μεθόδου Snyder για $\alpha=0,2$ και $CN=45,83$ για την πλημμύρα στις 19/12/2004 για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι

- **Εφαρμογή του εμπειρικού μοναδιαίου υδρογραφήματος**

Από τη **βελτιστοποίηση** προέκυψαν οι τιμές των παραμέτρων :

CN	19,4
a	0,02
β	0,43

Να σημειωθεί ότι οι τιμές της βελτιστοποίησης που προέκυψαν αρχικά ήταν οι εξής:

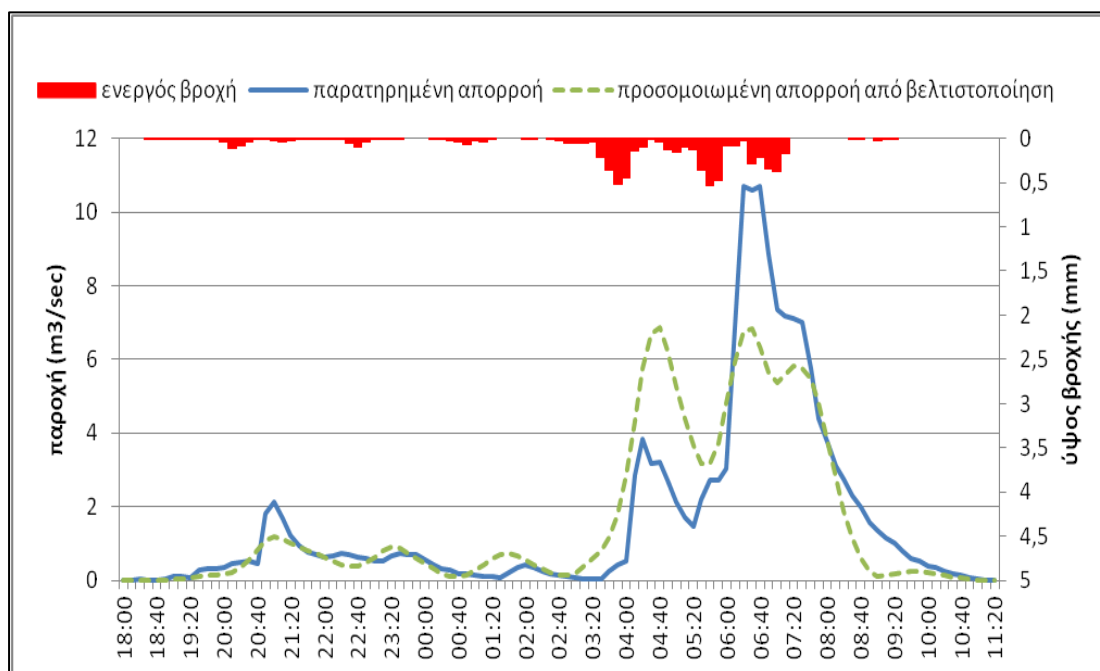
CN	44,27
a	0,18
β	0,39

Ωστόσο έγινε χειροκίνητα αλλαγή στις τιμές των παραμέτρων προκειμένου να προσομοιωθεί το αρχικό κομμάτι της απορροής καθώς οι παραπάνω τιμές δίνουν ένα αρκετά μεγάλο αρχικό έλλειμμα, κάτι που δεν ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα της λεκάνης.

Με συνάρτηση σφάλματος και επιμέρους τιμές των συντελεστών της συνάρτησης σφάλματος :

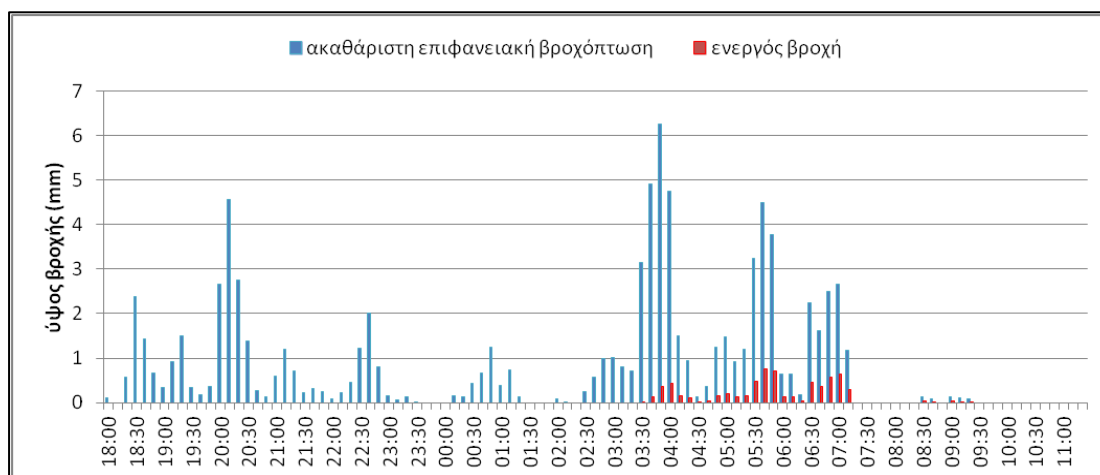
f	296,36
Vh (mm)	6,62
V _q (mm)	6,62
SSE	161,65
V _q sim (mm)	6,64
Qsim max (m ³ /sec)	7,01
Qe max (m ³ /sec)	10,68

Τα παραπάνω αποτελέσματα αποτυπώνονται στο παρακάτω γράφημα παρατηρημένου και προσομοιωμένου πλημμυρογραφήματος :



Γράφημα 5.28 Πλημμυρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής σύμφωνα με το εμπειρικό μοναδιαίο υδρογράφημα για $\alpha=0,02$ και $CN=19,4$ για την πλημμύρα στις 19/12/2004 για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι

Και στο παρακάτω γράφημα ενεργού και ακαθάριστης βροχόπτωσης:



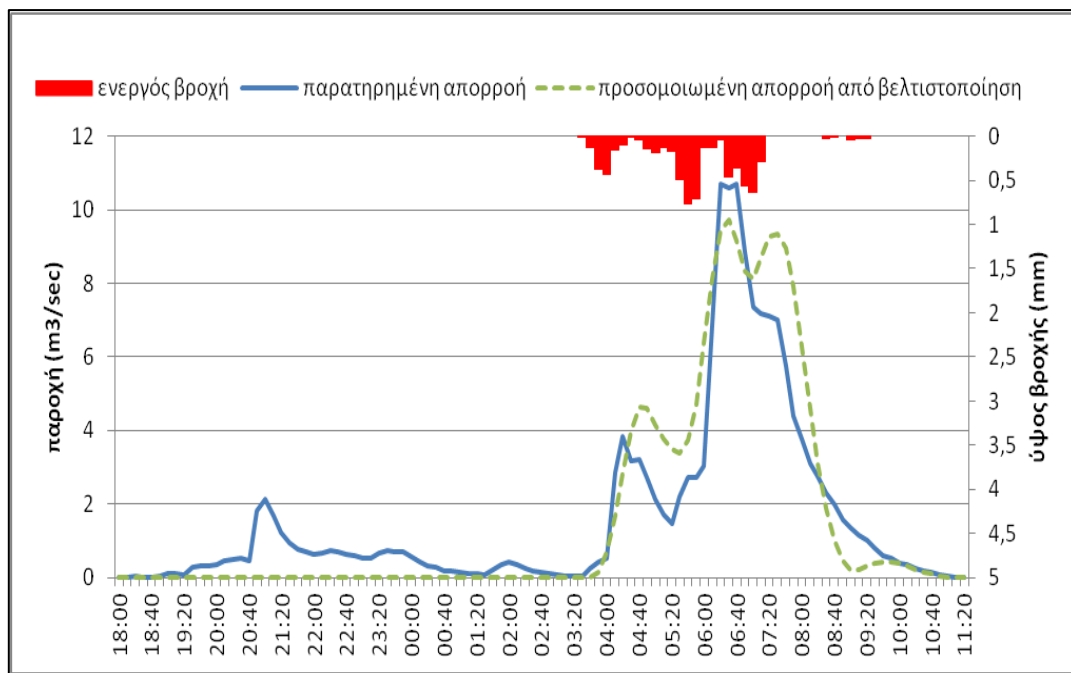
Γράφημα 5.29 Υετόγραμμα ακαθάριστης και ενεργού βροχής για $\alpha=0,02$ και $CN=19,4$ για την πλημμύρα στις 19/12/2004 για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι

- **Σχόλια**

Η διαδικασία της βελτιστοποίησης προσεγγίζει ικανοποιητικά την αρχική εξέλιξη του φαινομένου, ενώ στη συνέχεια η πρώτη προσομοιωμένη αιχμή είναι μεγαλύτερη από την παρατηρούμενη και η επόμενη προσομοιωμένη αιχμή μικρότερη από την παρατηρούμενη σαν αποτέλεσμα του υετογραφήματος που έχει προκύψει. Αυτό προκύπτει διότι με η τιμή CN που έχει επιλεγεί είναι κατάλληλη για το πρώτο κομμάτι της απορροής, μεγάλη για το ενδιάμεσο και μικρή για το τελευταίο κομμάτι της απορροής. Αυτή η κατάσταση είναι εύλογη καθώς με την εξέλιξη του φαινομένου της βροχής είναι επόμενο η τιμή CN να αυξάνει. Ωστόσο στην εφαρμογή της μεθόδου χρησιμοποιείται μία ενιαία τιμή CN και a .

Παρατηρείται ότι με την αλλαγή της τιμής της παραμέτρου a_1 η τιμή της συνάρτησης σφάλματος δεν τροποποιείται ουσιαστικά και ότι διαθέτει ιδιαίτερη ευαισθησία στις αλλαγές των παραμέτρων a , CN.

Έχει ενδιαφέρον να εξεταστεί και η αρχική λύση της βελτιστοποίησης. Αυτό προκύπτει διότι με την εφαρμογή των προτεινόμενων από την βιβλιογραφία τιμών $\alpha=0,2$ και $CN=45,83$ που προσεγγίζουν και τις τιμές της βελτιστοποίησης $\alpha=0,18$ και $CN=44,27$ η εξέλιξη του φαινομένου μετά το πρώτο κομμάτι της απορροής προσεγγίζεται καλύτερα. Με αυτές τις τιμές προκύπτει η ακόλουθο γράφημα παρατηρημένου και προσομοιωμένου πλημμυρογραφήματος :

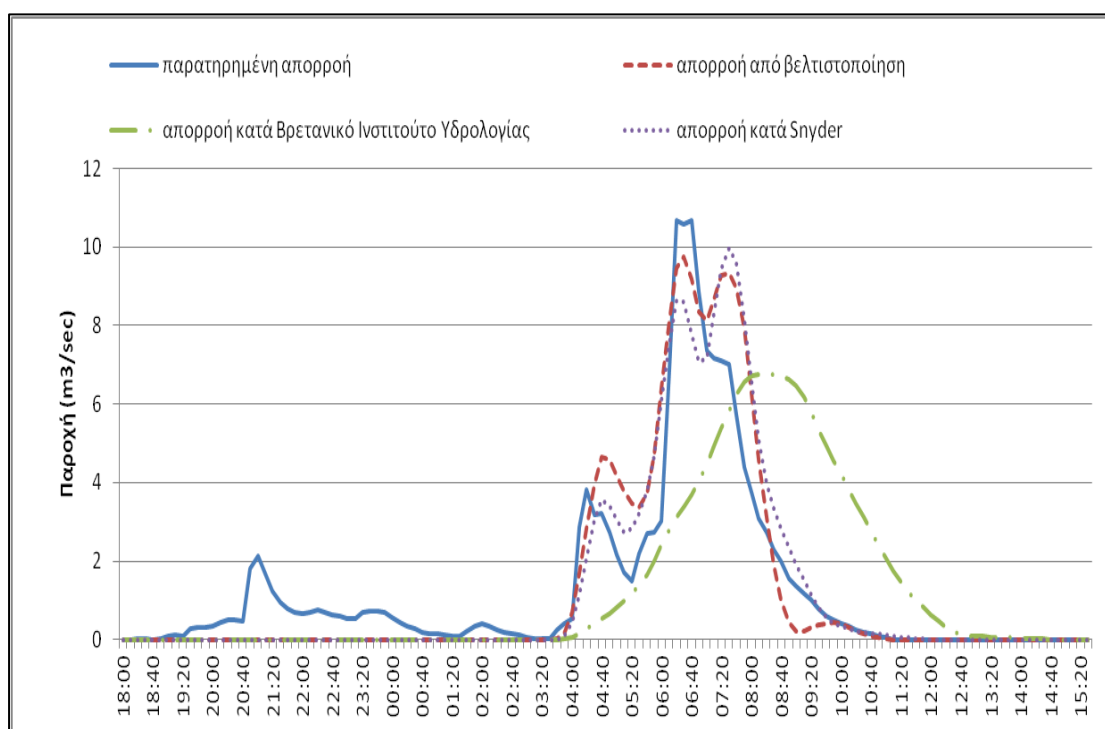


Γράφημα 5.30 Πλημμυρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής σύμφωνα με το εμπειρικό μοναδιαίο υδρογράφημα για $\alpha=0,18$ και $CN=44,27$ για την πλημμύρα στις 19/12/2004 για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι

Το συμπέρασμα είναι ότι όντως το φαινόμενο με αυτές τις τιμές στην ενδιάμεση και τελική φάση της εξέλιξής του προσεγγίζεται καλύτερα. Επειδή σε κάθε περίπτωση στόχος είναι η προσέγγιση των μεγάλων παροχών επιλέγονται για το εν λόγω επεισόδιο οι τιμές:

CN	44,27
a	0,18
β	0,39

- Συγκριτική αξιολόγηση των τριών μεθόδων:



Γράφημα 5.31 Συγκριτική αξιολόγηση των μεθόδων του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας, της μεθόδου Snyder και του εμπειρικού μοναδιαίου υδρογραφήματος για ίδιες τιμές α και CN για την πλημμύρα στις 19/12/2004 για τη λεκάνη απορροής ανάντι στο Ντράφι

Στο παραπάνω γράφημα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για κάθε μία μέθοδο χρησιμοποιώντας σαν τιμές των παραμέτρων α και CN αυτές που προτείνει η βελτιστοποίηση. Επίσης προκύπτουν οι παρακάτω τιμές στην συνάρτηση σφάλματος για κάθε μέθοδο:

f από βελτιστοποίηση	125,88
f κατά Βρετανικό Ινστιτούτο Υδρολογίας	732,38
f κατά Snyder	133,15

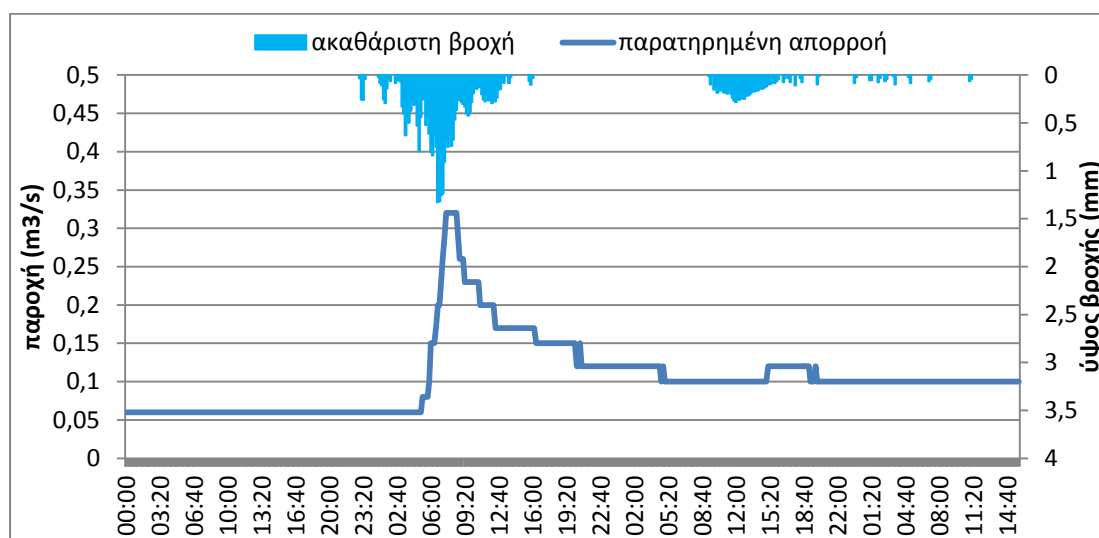
Από την παραπάνω σύγκριση προκύπτει ότι το εμπειρικό μοναδιαίο υδρογράφημα προσομοιώνει πολύ καλύτερα την παρατηρούμενη απορροή από τη μέθοδο του Βρετανικού Ινστιτούτου και επίσης καλύτερα αλλά σε μικρότερο βαθμό από τη μέθοδο του Snyder.

5.3.2 Λεκάνη απορροής ανάντη του σταθμού στο Λυκόρεμα

Η λεκάνη απορροής ανάντη του σταθμού στο Λυκόρεμα έχει χρόνο συγκέντρωσης 70 λεπτά. Πρόκειται για το χρονικό διάστημα που θα μεσολαβήσει από τη λήξη της ενεργού βροχής μέχρι τη λήξη της άμεσης απορροής.

1) Πλημμύρα στις 31/01/2005

- Υδρογράφημα επιφανειακής απορροής και χρονοδιάγραμμα μέσης επιφανειακής βροχόπτωσης



Γράφημα 5.32 Πλημμυρογράφημα ολικής απορροής και υετόγραμμα ακαθάριστης βροχής για την πλημμύρα στις 31/01/2005 για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα

Από το παραπάνω γράφημα προκύπτουν οι εξής χρόνοι :

έναρξη επιφανειακής βροχόπτωσης	30/1/05 23:00
λήξη επιφανειακής βροχόπτωσης	31/1/05 16:00
έναρξη άμεσης απορροής	31/1/05 5:40
λήξη άμεσης απορροής	31/1/05 17:10

Να σημειωθεί ότι από το παραπάνω υετόγραμμα προκύπτουν δύο επεισόδια βροχής. Ωστόσο λαμβάνεται υπόψιν το πρώτο καθότι το δεύτερο ξεκινάει στις 9:00

στις 1/2/2005 οπότε μπορεί να θεωρηθεί ανεξάρτητο από το προηγούμενο καθότι απέχει χρονικά δεκαεπτά ώρες.

Επίσης προκύπτουν τα εξής δεδομένα :

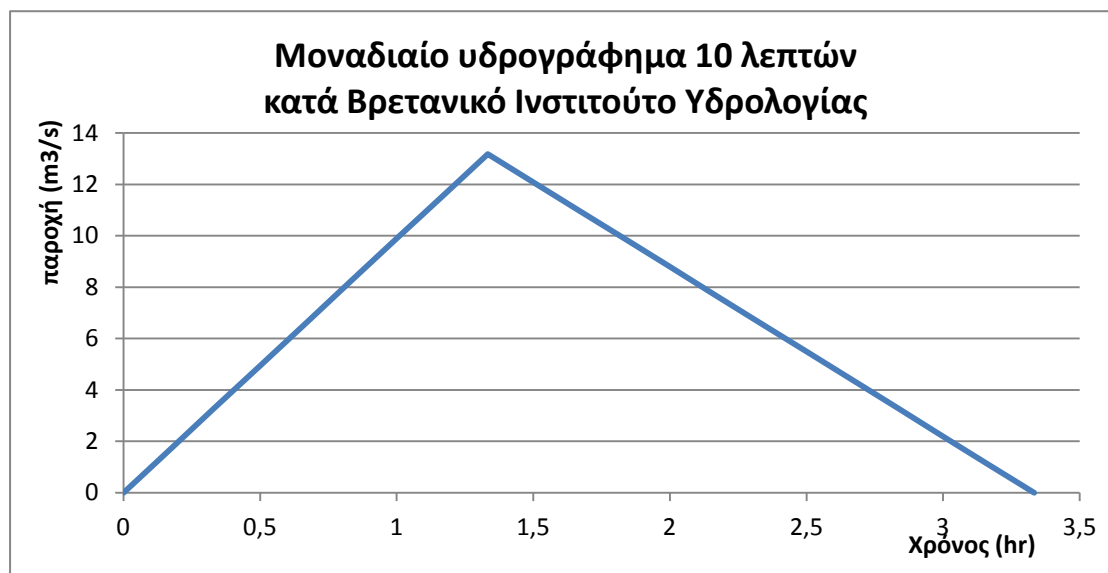
όγκος άμεσης απορροής (mm)	0,46
ύψος επιφανειακής βροχόπτωσης (mm)	29,53
συντελεστής απορροής (%)	1,56
μέγιστη παρατηρούμενη απορροή (m ³ /s)	0,23

- **Εφαρμογή της μεθόδου του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας**

Οι παράμετροι του μοναδιαίου υδρογραφήματος που χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή του προσομοιωμένου πλημμυρογραφήματος θα παρουσιαστούν αναλυτικά μόνο στο εν λόγω επεισόδιο καθώς για τα υπόλοιπα επεισόδια της ίδιας λεκάνης διατηρούνται ίδιες οι τιμές. Προέκυψαν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά :

Μήκος κύριου υδατορέμματος (Km)	1,34
URBAN	0,00
Υψόμετρο στο 10% του μήκους (m)	375,65
Υψόμετρο στο 85% του μήκους (m)	296,25
Μέση κλίση υδατορεύματος (m/km)	79,25
RMSD (mm)	70,00
Έκταση λεκάνης απορροής (Km ²)	7,91
χρόνος ανόδου για MY 1 ώρας (hr)	1,68
χρόνος βάσης για MY 1 ώρας (hr)	4,24
χρόνος ανόδου για MY 10 λεπτών (hr)	1,35
χρόνος βάσης για MY 10 λεπτών (hr)	3,41
Παροχή αιχμής (m ³ /sec) για MY 10 λεπτών	13,19

Με βάση τις παραπάνω τιμές χρόνου ανόδου, χρόνου βάσης και παροχής αιχμής προέκυψε το ακόλουθο γράφημα για το μοναδιαίο υδρογράφημα 10 λεπτών σύμφωνα με τη μέθοδο του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας :



Γράφημα 5.33 Μοναδιαίο υδρογράφημα για διάρκεια βροχής δέκα λεπτών σύμφωνα με τη μέθοδο του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα

Για την εξαγωγή του ενεργού υετογράμματος χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω τιμές όπως προτείνονται από τη βιβλιογραφία:

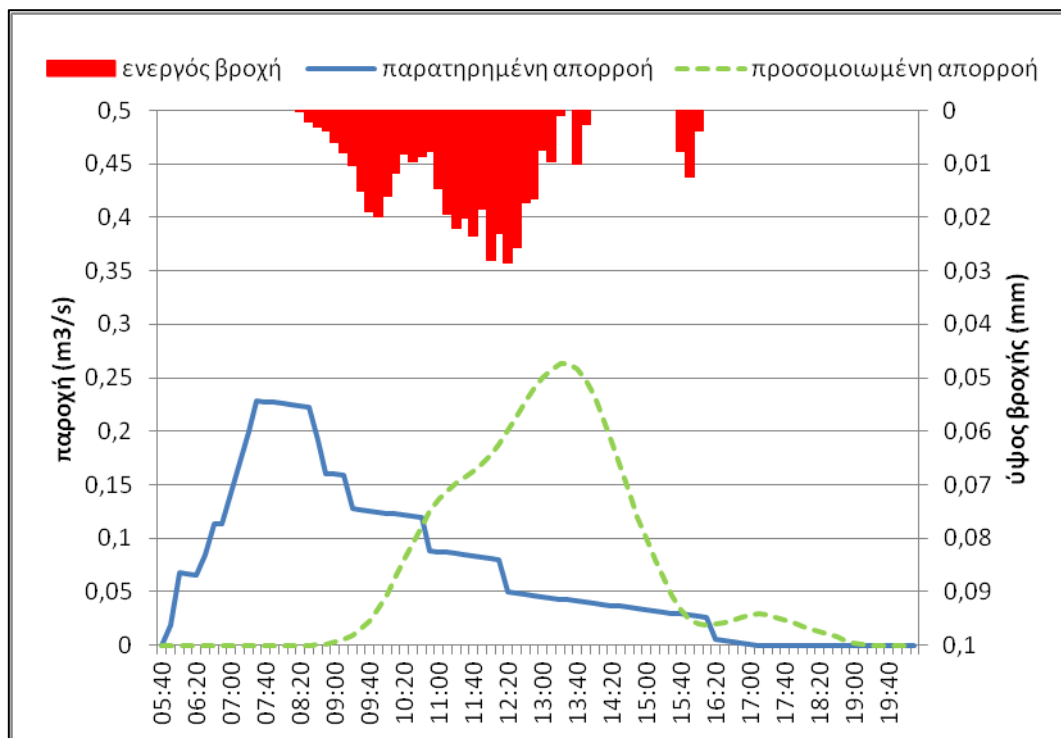
CN	69,66
a	0,20

Από την εφαρμογή της μεθόδου του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας προέκυψε η παρακάτω τιμή στη συνάρτηση σφάλματος με επιμέρους τιμές των συντελεστών της συνάρτησης σφάλματος :

f	1,356436
V _h (mm)	0,463919
V _α (mm)	0,464455
SSE	1,207897

V_Q sim (mm)	0,463919
Q_{obs} max (m ³ /s)	0,229
Q_{sim} max (m ³ /s)	0,26754

Και το παρακάτω γράφημα:



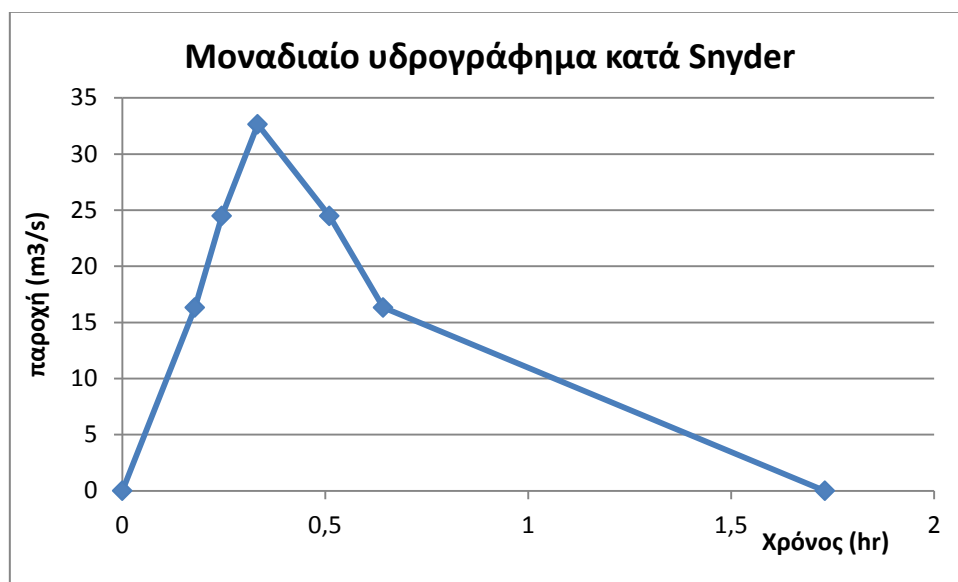
Γράφημα 5.34 Πλημμυρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής σύμφωνα με το μοναδιαίο υδρογράφημα του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας για $\alpha=0,20$ και $CN=69,66$ για την πλημμύρα στις 31/1/2005 για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα

- **Εφαρμογή της μεθόδου Snyder**

Οι παράμετροι του μοναδιαίου υδρογραφήματος που χρησιμοποιήθηκε θα παρουσιαστούν αναλυτικά μόνο στο εν λόγω επεισόδιο καθώς για τα υπόλοιπα επεισόδια της ίδιας λεκάνης διατηρούνται ίδιες οι τιμές. Προέκυψαν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά :

μήκος κύριου υδατορεύματος (Km)	1,34
μήκος κύριου υδατορεύματος από το πλησιέστερο στο κέντρο βάρους σημείο μέχρι την έξοδο(km)	1,34
έκταση λεκάνης (Km ²)	7,91
Cp	0,50
Ct	0,28
ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΔΙΑΠΕΡΑΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (ΤΥΠΟΣ ΕΔΑΦΟΥΣ Α1)	73,00
χρόνος ανόδου (hr)	0,25
διορθωμένος χρόνος ανόδου (hr)	0,28
Παροχή αιχμής (m ³ /sec)	32,64
T base (days)	3,04
διορθωμένος χρόνος βάσης (hr)	1,731
W50 (hr)	0,46
W75 (hr)	0,27

Με βάση τις παραπάνω παραμέτρους προέκυψε το παρακάτω μοναδιαίο υδρογράφημα :



Γράφημα 5.35 Μοναδιαίο υδρογράφημα για διάρκεια βροχής δέκα λεπτών σύμφωνα με τη μέθοδο Snyder για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα

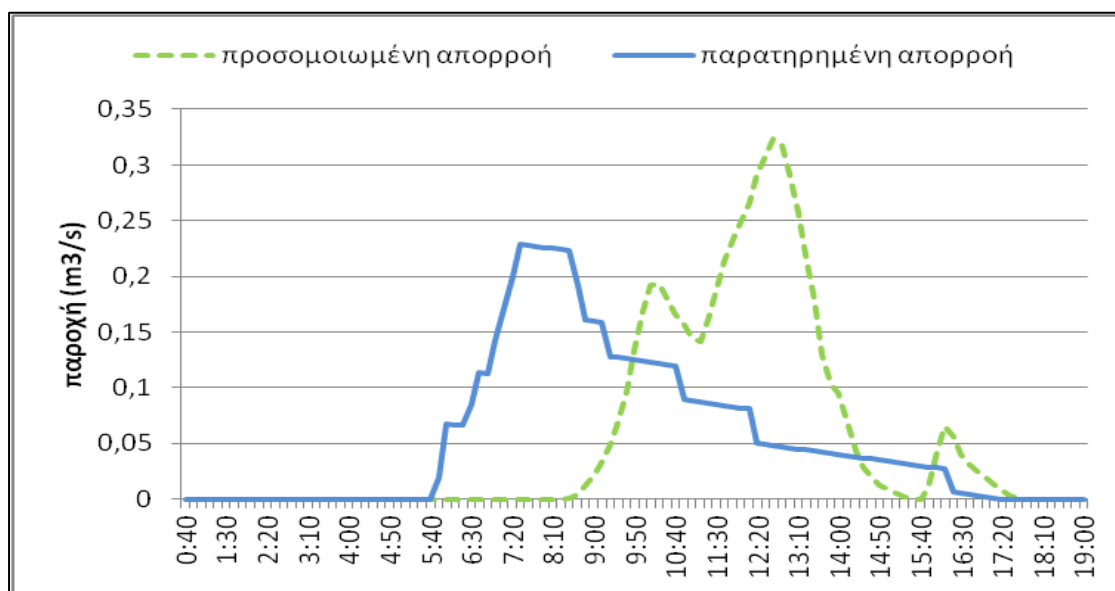
Σε αυτή τη μέθοδο εφαρμόστηκε το μοναδιαίο υδρογράφημα του παραπάνω γραφήματος και οι τιμές των παραμέτρων της μεθόδου SCS :

CN	69,66
a	0,20

Από την εφαρμογή της μεθόδου προέκυψε η παρακάτω τιμή στη συνάρτηση σφάλματος με επιμέρους τιμές των συντελεστών της:

f	1,295642
Vh (mm)	0,463919
V _α (mm)	0,464455
SSE	1,204039
Qobs max (m ³ /s)	0,229
Qsim max (m ³ /s)	0,324559

Και το αντίστοιχο γράφημα :



Γράφημα 5.36 Πλημμυρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής σύμφωνα με τη μέθοδο Snyder για $\alpha=0,20$ και $CN=69,66$ για την πλημμύρα στις 31/1/2005 για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα

- Εφαρμογή του εμπειρικού μοναδιαίου υδρογραφήματος

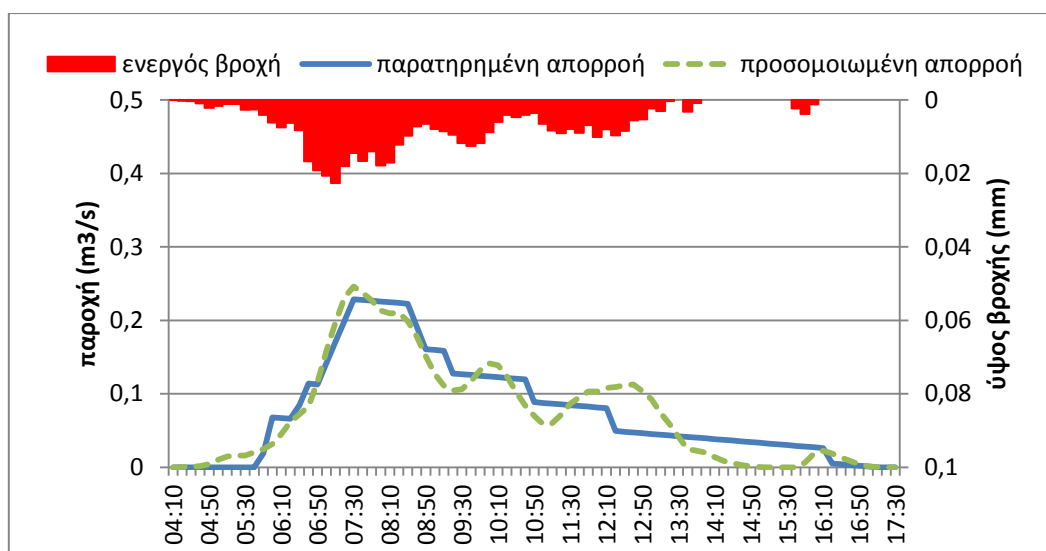
Από τη βελτιστοποίηση προέκυψαν οι τιμές των παραμέτρων :

CN2	16,16
a	0,004
β	0,15

Με συνάρτηση σφάλματος και επιμέρους τιμές των συντελεστών της συνάρτησης σφάλματος :

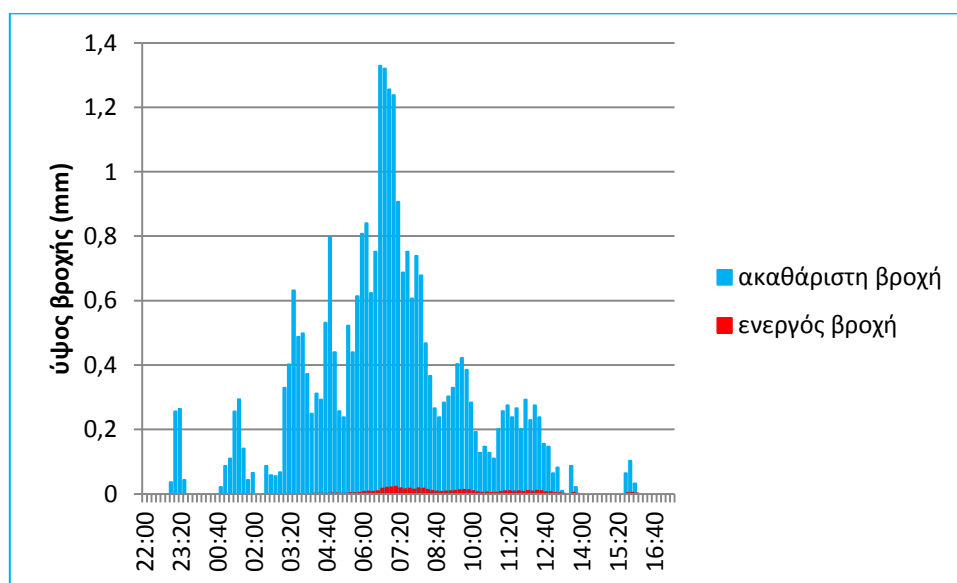
f	0,051166
Vh (mm)	0,461661
V _q (mm)	0,461801
SSE	0,048145
Q _{obs} max (m ³ /s)	0,228841
Q _{sim} max (m ³ /s)	0,246165

Τα παραπάνω αποτελέσματα αποτυπώνονται στο παρακάτω γράφημα παρατηρημένου και προσομοιωμένου πλημμυρογραφήματος :



Γράφημα 5.37 Πλημμυρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής με εφαρμογή του εμπειρικού μοναδιαίου υδρογραφήματος για $\alpha=0,004$ και $CN=16,16$ για την πλημμύρα στις 31/1/2005 για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα

Και στο παρακάτω γράφημα ενεργού και ακαθάριστης βροχόπτωσης:



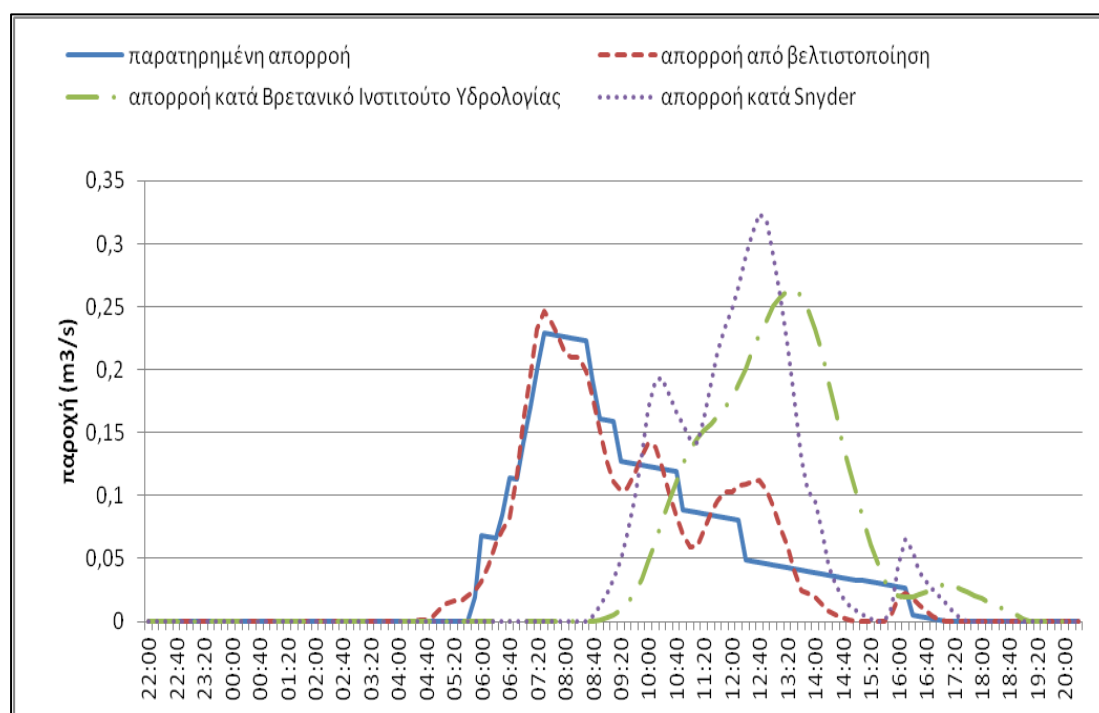
Γράφημα 5.38 Υετόγραμμα ακαθάριστης και ενεργού βροχής για $\alpha=0,04$ και $CN=16,16$ για την πλημμύρα στις 31/1/2005 για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα

- **Σχόλια**

Η διαδικασία της βελτιστοποίησης προσεγγίζει πολύ ικανοποιητικά την εξέλιξη του φαινομένου. Πρόκειται για ένα περιστατικό πλημμύρας με μικρό συνολικό ύψος ενεργού βροχής και κατά συνέπεια μικρή παρατηρούμενη παροχή αιχμής. Ο συντελεστής απορροής είναι αρκετά χαμηλός.

Παρατηρείται ότι με την αλλαγή της τιμής της παραμέτρου a_1 η τιμή της συνάρτησης σφάλματος δεν τροποποιείται ουσιαστικά.

Συγκριτική αξιολόγηση των τριών μεθόδων:

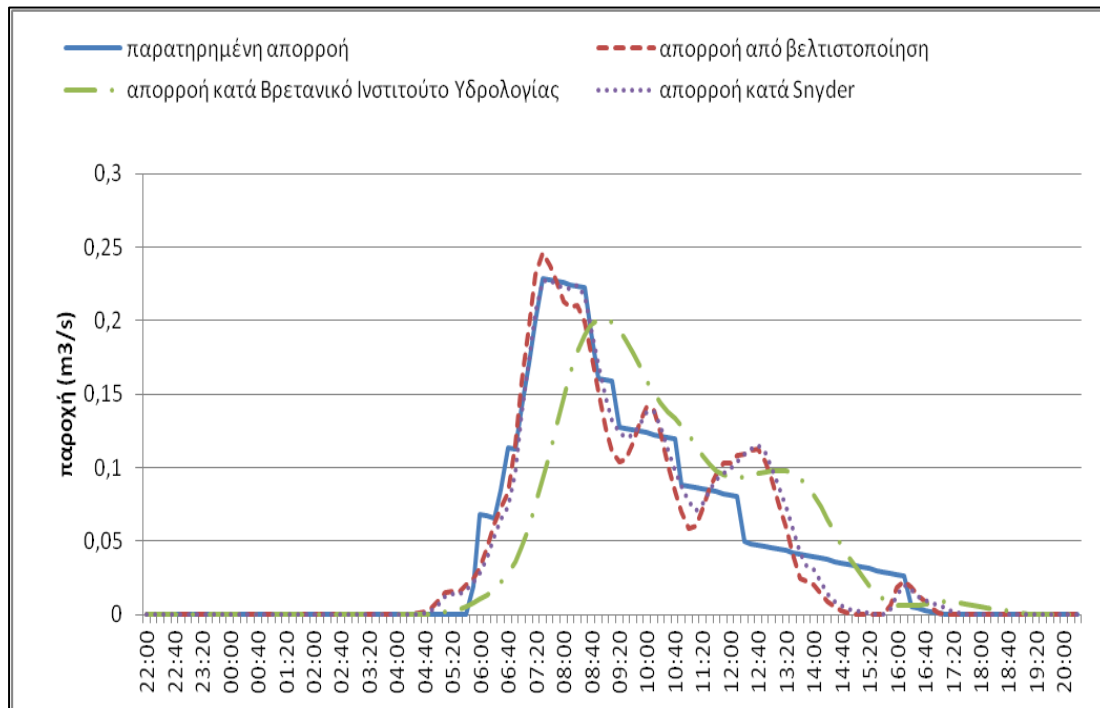


Γράφημα 5.39 Συγκριτική αξιολόγηση των μεθόδων του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας, της μεθόδου Snyder και του εμπειρικού μοναδιαίου υδρογραφήματος για διαφορετικές τιμές α και CN για την πλημμύρα στις 31/01/2005 για τη λεκάνη απορροής ανάντι στο Λυκόρεμα

Από το παραπάνω γράφημα και παρατηρώντας τις τιμές της συνάρτησης σφάλματος προκύπτει ότι η καλύτερη προσομοίωση γίνεται με χρήση του εμπειρικού μοναδιαίου υδρογραφήματος και χρήση των βελτιστοποιημένων τιμών των παραμέτρων της μεθόδου SCS. Όλες ωστόσο οι μέθοδοι προσεγγίζουν την παρατηρημένη παροχή αιχμής με τη διαφορά ότι οι μέθοδοι του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας και του Snyder την τοποθετούν ετεροχρονικά από τη στιγμή που παρατηρείται. Αυτό προκύπτει επειδή η τιμή $\alpha=0,2$ και $CN=62$ δίνουν ένα υψηλό αρχικό έλλειμμα και έτσι η απορροή στην προσομοίωση που προτείνουν οι δύο μέθοδοι καθυστερεί.

Για την σύγκριση λοιπόν των μοναδιαίων γραφημάτων παρατίθεται η τιμή της συνάρτησης σφάλματος στις τρεις περιπτώσεις για ίδιες τιμές στα α και CN όπως και ένα γράφημα με τα τρία προσομοιωμένα υδρογραφήματα.

f από βελτιστοποίηση	0,05
f κατά Βρετανικό Ινστιτούτο Υδρολογίας	0,21
f κατά Snyder	0,05

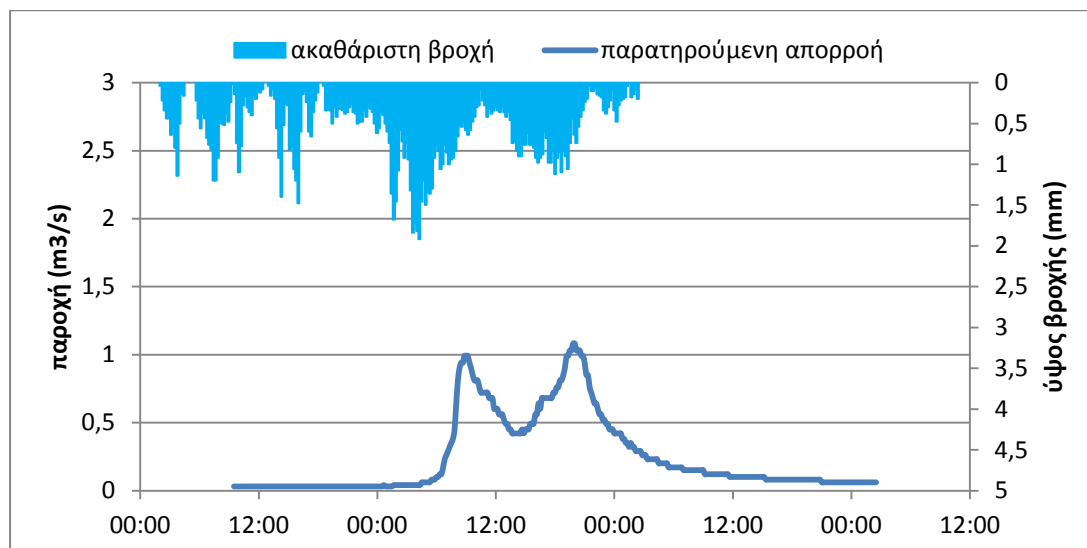


Γράφημα 5.40 Συγκριτική αξιολόγηση των μεθόδων του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας, της μεθόδου Snyder και του εμπειρικού μοναδιαίου υδρογραφήματος για ίδιες τιμές α και CN για την πλημμύρα στις 31/01/2005 για τη λεκάνη απορροής ανάντι στο Λυκόρεμα

Από την παραπάνω σύγκριση προκύπτει ότι το εμπειρικό μοναδιαίο υδρογράφημα προσομοιώνει πολύ καλύτερα την παρατηρούμενη απορροή από τη μέθοδο του Βρετανικού Ινστιτούτου και εξίσου καλά με τη μέθοδο Snyder.

2) Πλημμύρα στις 01/11/2006

- Υδρογράφημα επιφανειακής απορροής και χρονοδιάγραμμα μέσης επιφανειακής βροχόπτωσης



Γράφημα 5.41 Πλημμυρογράφημα ολικής απορροής και υετόγραμμα ακαθάριστης βροχής για την πλημμύρα στις 1/11/2006 για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα

Από το παραπάνω γράφημα προκύπτουν οι εξής χρόνοι :

έναρξη επιφανειακής βροχόπτωσης	30/10/2006 11:00
λήξη επιφανειακής βροχόπτωσης	1/11/2006 00:30
έναρξη άμεσης απορροής	31/10/2006 04:20
λήξη άμεσης απορροής	1/11/2006 01:40

και τα εξής δεδομένα :

όγκος άμεσης απορροής (mm)	3,74
ύψος επιφανειακής βροχόπτωσης (mm)	124,40
συντελεστής απορροής (%)	3,01
μέγιστη παρατηρούμενη απορροή (m ³ /s)	0,88

- **Εφαρμογή της μεθόδου του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας**

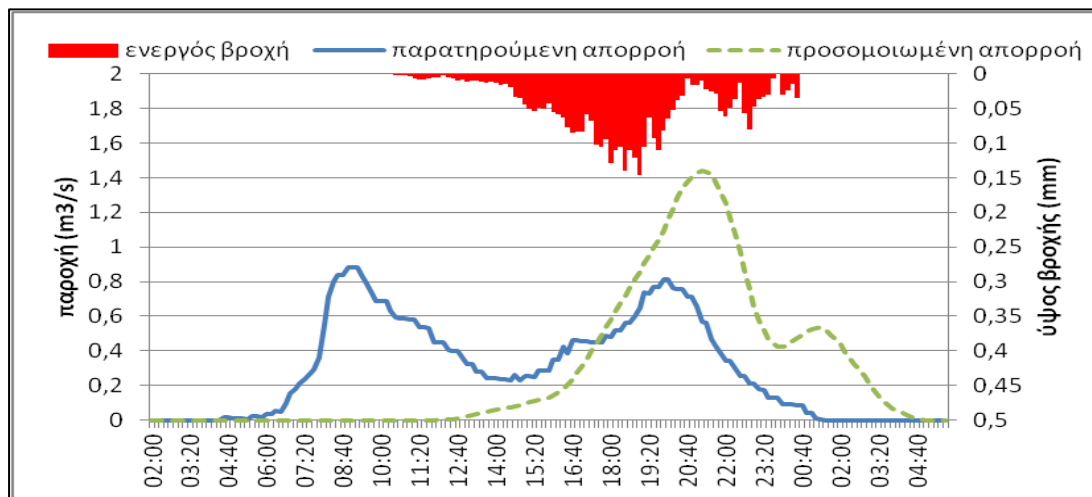
Σε αυτή τη μέθοδο εφαρμόστηκε το μοναδιαίο υδρογράφημα του γραφήματος 5.33 και οι τιμές των παραμέτρων της μεθόδου SCS :

CN	37,95
a	0,20

Από την εφαρμογή της μεθόδου του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας προέκυψε η παρακάτω τιμή στη συνάρτηση σφάλματος με επιμέρους τιμές των συντελεστών της συνάρτησης σφάλματος :

f	59,13082
Vh (mm)	3,740859
V _Q (mm)	3,740859
SSE	28,52995
V _{Q sim} (mm)	3,740859
Qobs max (m ³ /s)	0,884609
Qsim max (m ³ /s)	1,43779

Και το παρακάτω γράφημα:



Γράφημα 5.42 Πλημμυρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής σύμφωνα με το μοναδιαίο υδρογράφημα του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας για $\alpha=0,2$ και $CN=37,95$ για την πλημμύρα στις 1/11/2006 για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα

- Εφαρμογή της μεθόδου Snyder

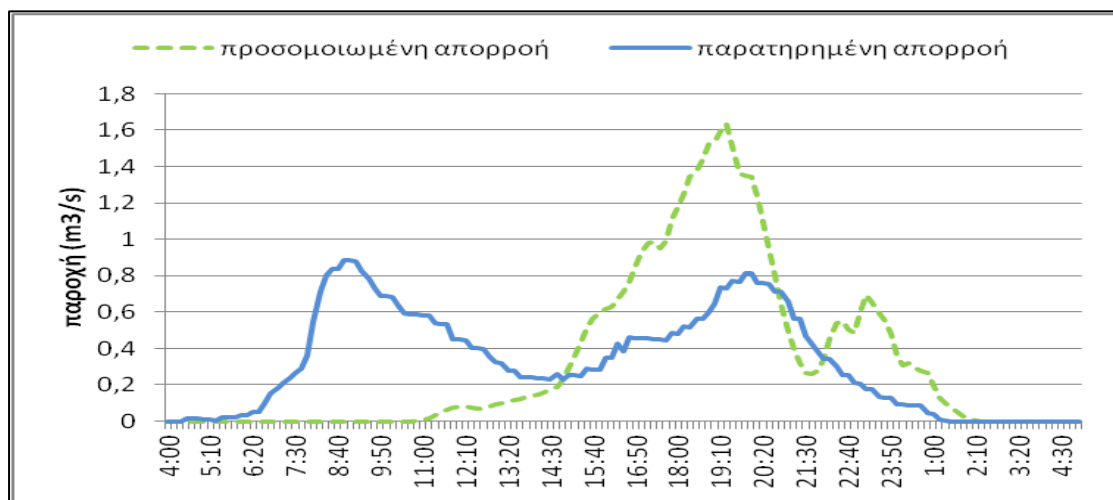
Σε αυτή τη μέθοδο εφαρμόστηκε το μοναδιαίο υδρογράφημα του γραφήματος 5.35 και οι τιμές των παραμέτρων της μεθόδου SCS :

CN	37,95
a	0,20

Από την εφαρμογή της μεθόδου προέκυψε η παρακάτω τιμή στη συνάρτηση σφάλματος με επιμέρους τιμές των συντελεστών της:

f	31,74799
Vh (mm)	3,740859
V _Q (mm)	3,740859
SSE	25,49178
Q _{obs} max (m ³ /s)	0,842
Q _{sim} max (m ³ /s)	1,632962

Και το αντίστοιχο γράφημα :



Γράφημα 5.43 Πλημμυρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής σύμφωνα με το μοναδιαίο υδρογράφημα Snyder για $\alpha=0,2$ και $CN=37,95$ για την πλημμύρα στις 1/11/2006 για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα

- Εφαρμογή του εμπειρικού μοναδιαίου υδρογραφήματος

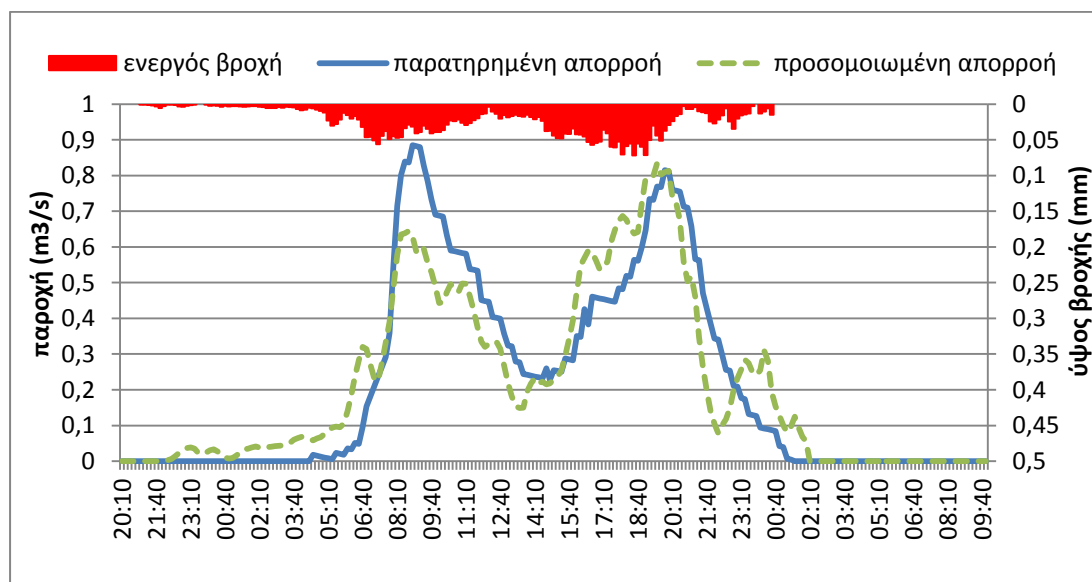
Από τη βελτιστοποίηση προέκυψαν οι τιμές των παραμέτρων :

CN2	9,04
a	0,01
a1'	0,88

Με συνάρτηση σφάλματος και επιμέρους τιμές των συντελεστών της συνάρτησης σφάλματος :

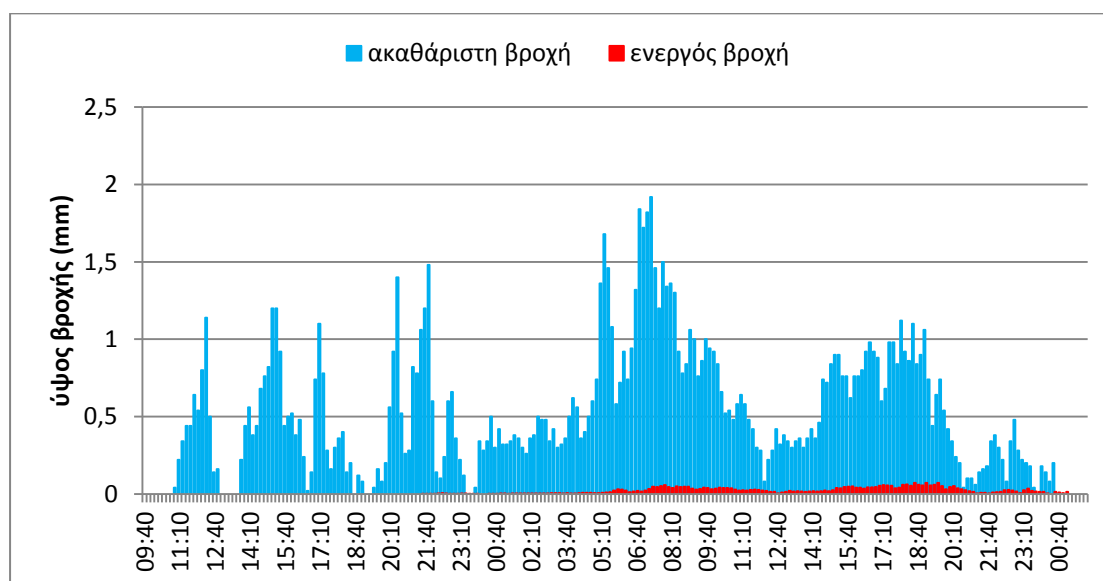
f	2,469393
Vh (mm)	3,741464
V _Q (mm)	3,740859
SSE	2,444495
V _{Q sim} (mm)	3,755241
Qobs max (m3/s)	0,884609
Qsim max (m3/s)	0,835079

Τα παραπάνω αποτελέσματα αποτυπώνονται στο παρακάτω γράφημα παρατηρημένου και προσομοιωμένου πλημμυρογραφήματος :



Γράφημα 5.44 Πλημμυρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής σύμφωνα με το εμπειρικό μοναδιαίο υδρογράφημα για $\alpha=0,2$ και $CN=9,04$ για την πλημμύρα στις 1/11/2006 για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα

Και στο παρακάτω γράφημα ενεργού και ακαθάριστης βροχόπτωσης:

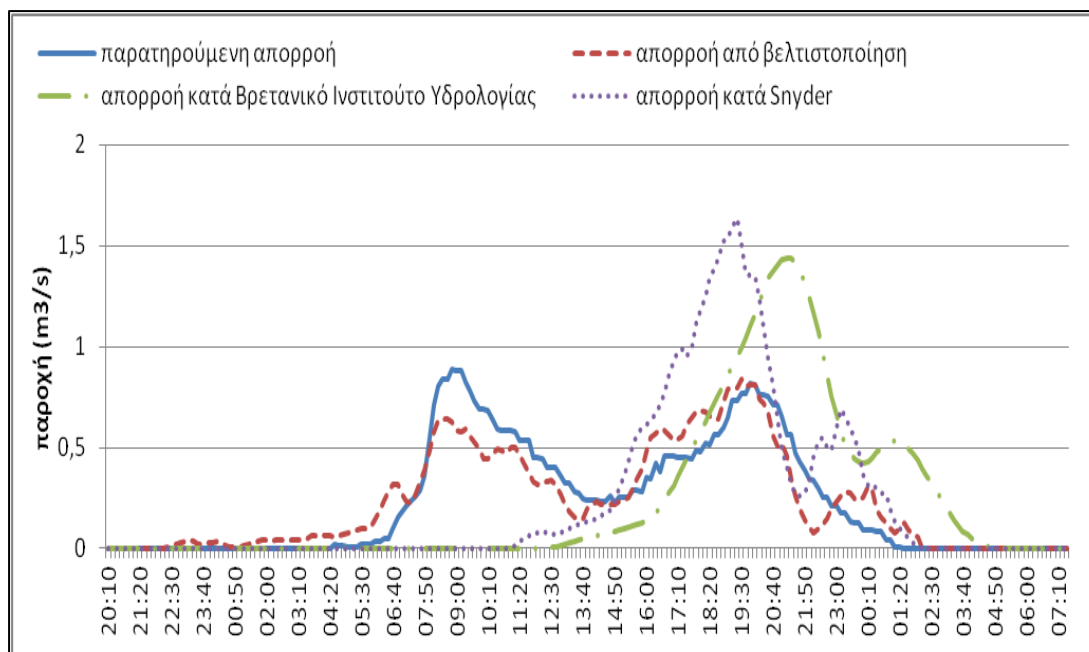


Γράφημα 5.45 υετόγραμμα ακαθάριστης και ενεργού βροχής για $\alpha=0,2$ και $CN=9,04$ για την πλημμύρα στις 1/11/2006 για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα

- **Σχόλια** : η διαδικασία της βελτιστοποίησης προσεγγίζει πολύ ικανοποιητικά την εξέλιξη του φαινομένου. Η προσομοίωση προσεγγίζει ικανοποιητικά την δεύτερη αιχμή ενώ υποεκτιμά την πρώτη.

Παρατηρείται επίσης ότι με την αλλαγή της τιμής της παραμέτρου a_1 η τιμή της συνάρτησης σφάλματος δεν τροποποιείται ουσιαστικά και ότι διαθέτει ιδιαίτερη ευαισθησία στις αλλαγές των παραμέτρων a , CN .

- Συγκριτική αξιολόγηση των τριών μεθόδων:

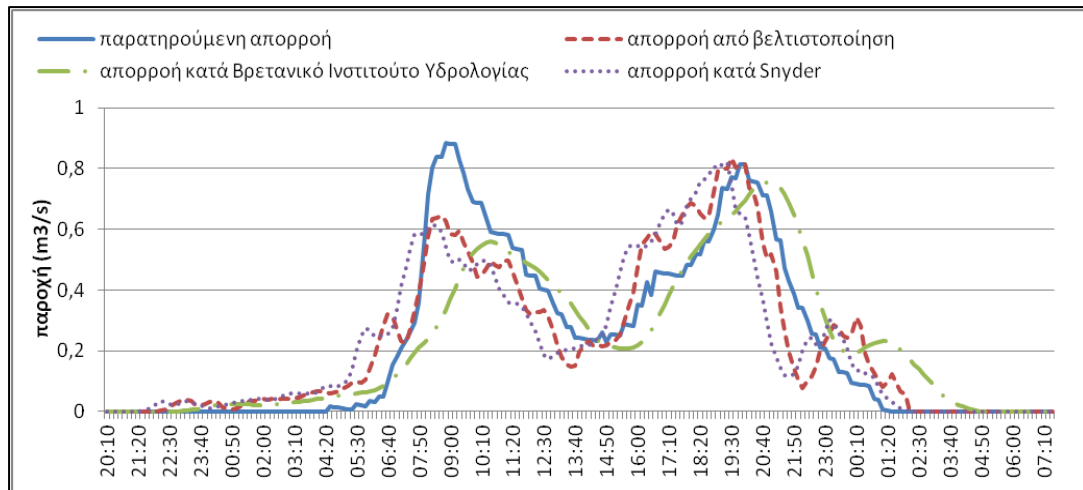


Γράφημα 5.46 Συγκριτική αξιολόγηση των μεθόδων του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας, της μεθόδου Snyder και του εμπειρικού μοναδιαίου υδρογραφήματος για διαφορετικές τιμές α και CN για την πλημμύρα στις 01/11/2006 για τη λεκάνη απορροής ανάντι στο Λυκόρεμα

Από το παραπάνω γράφημα και παρατηρώντας τις τιμές της συνάρτησης σφάλματος προκύπτει ότι η καλύτερη προσομοίωση γίνεται με χρήση του εμπειρικού μοναδιαίου υδρογραφήματος και χρήση των βελτιστοποιημένων τιμών των παραμέτρων της μεθόδου SCS. Ωστόσο οι επιλεγείσες τιμές των παραμέτρων της μεθόδου SCS δημιουργούν ένα μεγάλο αρχικό έλλειμμα με αποτέλεσμα το αρχικό κομμάτι της απορροής να χάνεται και κατά συνέπεια προκειμένου να εξισωθούν οι όγκοι πλημμύρας και ενεργού βροχής η δεύτερη αιχμή υπερεκτιμάται.

Για την σύγκριση λοιπόν των μοναδιαίων γραφημάτων παρατίθεται η τιμή της συνάρτησης σφάλματος στις τρεις περιπτώσεις για ίδιες τιμές στα α και CN όπως και ένα γράφημα με τα τρία προσομοιωμένα υδρογραφήματα.

f από βελτιστοποίηση	2,47
f κατά Βρετανικό Ινστιτούτο Υδρολογίας	5,61
f κατά Snyder	4,8

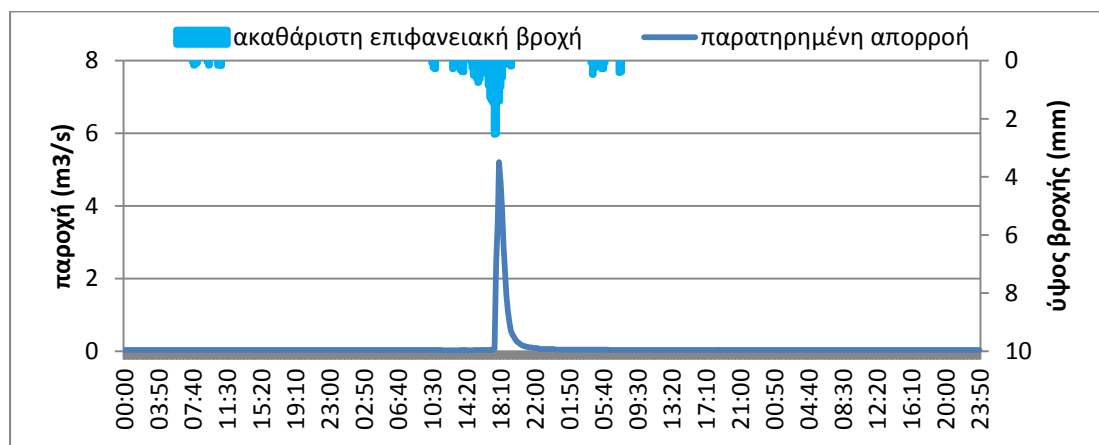


Γράφημα 5.47 Συγκριτική αξιολόγηση των μεθόδων του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας, της μεθόδου Snyder και του εμπειρικού μοναδιαίου υδρογραφήματος για ίδιες τιμές α και CN για την πλημμύρα στις 01/11/2006 για τη λεκάνη απορροής ανάντι στο Λυκόρεμα

Από την παραπάνω σύγκριση προκύπτει ότι το εμπειρικό μοναδιαίο υδρογράφημα προσομοιώνει καλύτερα την παρατηρούμενη απορροή συγκριτικά με τις άλλες μεθόδους ωστόσο η διαφορά στη συνάρτηση σφάλματος είναι αρκετά μικρή.

3) Πλημμύρα στις 4/11/2009

- Υδρογράφημα επιφανειακής απορροής και χρονοδιάγραμμα μέσης επιφανειακής βροχόπτωσης



Γράφημα 5.48 Πλημμυρογράφημα ολικής απορροής και υετόγραμμα ακαθάριστης μέσης επιφανειακής βροχής για την πλημμύρα στις 4/11/2009 για τη λεκάνη απορροής ανάντι στο Λυκόρεμα

Από το παραπάνω γράφημα προκύπτουν οι εξής χρόνοι :

έναρξη επιφανειακής βροχόπτωσης	3/11/09 10:30
λήξη επιφανειακής βροχόπτωσης	3/11/09 19:20
έναρξη άμεσης απορροής	3/11/09 17:10
λήξη άμεσης απορροής	3/11/09 20:30

και τα εξής δεδομένα :

όγκος άμεσης απορροής (mm)	22,20
ύψος επιφανειακής βροχόπτωσης (mm)	2,17
συντελεστής απορροής (%)	9,79
μέγιστη παρατηρούμενη απορροή (m ³ /s)	5,14

- **Εφαρμογή της μεθόδου του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας**

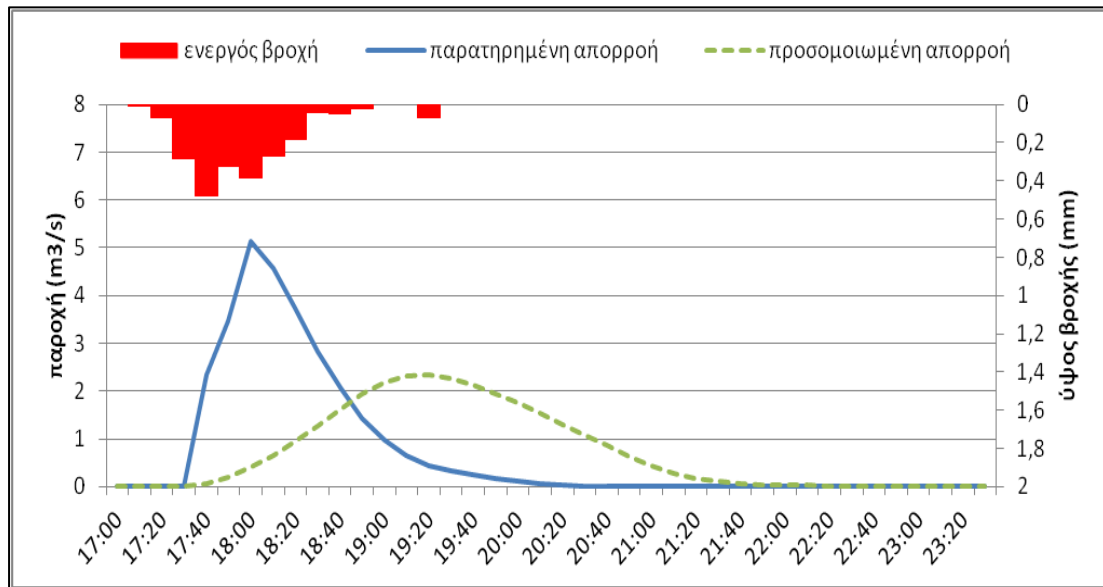
Σε αυτή τη μέθοδο εφαρμόστηκε το μοναδιαίο υδρογράφημα του γραφήματος 5.33 και οι τιμές των παραμέτρων της μεθόδου SCS :

CN	82,98
a	0,20

Από την εφαρμογή της μεθόδου του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας προέκυψε η παρακάτω τιμή στη συνάρτηση σφάλματος με επιμέρους τιμές των συντελεστών της συνάρτησης σφάλματος :

f	170,32
Vh(mm)	2,17
V _Q (mm)	2,17
SSE	91,76
Qobs max (m ³ /s)	5,14
Qsim max (m ³ /s)	2,34

Και το παρακάτω γράφημα:



Γράφημα 5.49 Πλημμυρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής σύμφωνα με το μοναδιαίο υδρογράφημα του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας για $\alpha=0,2$ και $CN=82,98$ για την πλημμύρα στις 4/11/2009 για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα

- **Εφαρμογή της μεθόδου Snyder**

Σε αυτή τη μέθοδο εφαρμόστηκε το μοναδιαίο υδρογράφημα του γραφήματος και οι τιμές των παραμέτρων της μεθόδου SCS :

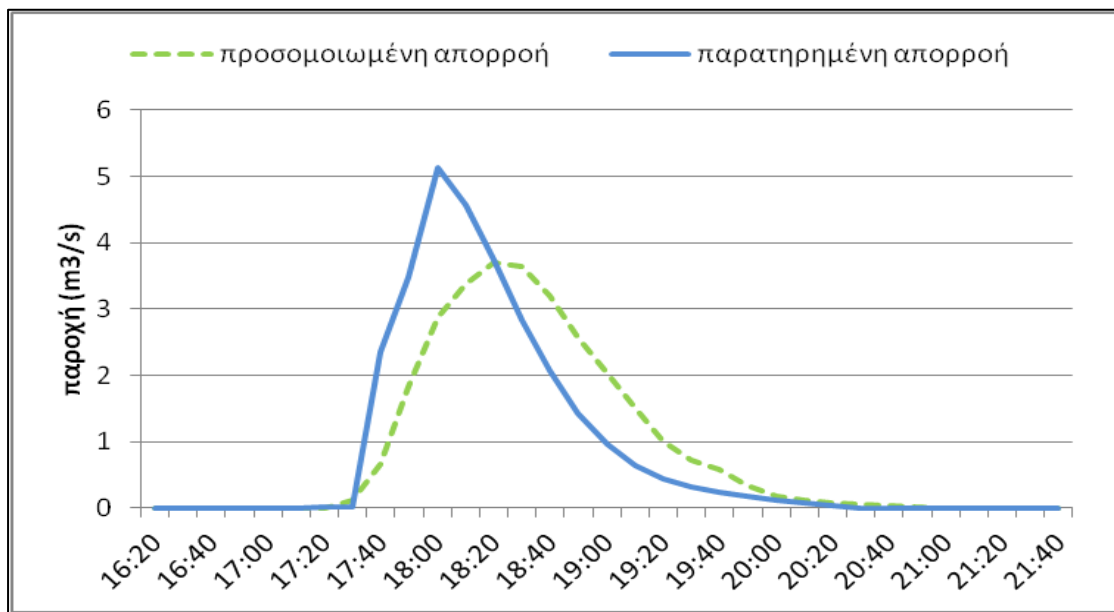
CN	82,98
a	0,20

Από την εφαρμογή της μεθόδου προέκυψε η παρακάτω τιμή στη συνάρτηση σφάλματος με επιμέρους τιμές των συντελεστών της:

f	38,86
Vh (mm)	2,17
V _Q (mm)	2,17
SSE	17,91
Qobs max (m ³ /s)	5,14

Qsim max(m ³ /s)	3,69
-----------------------------	------

Και το αντίστοιχο γράφημα :



Γράφημα 5.50 Πλημμυρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής σύμφωνα με το μοναδιαίο υδρογράφημα Snyder για $\alpha=0,2$ και $CN=82,98$ για την πλημμύρα στις 4/11/2009 για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα

- Εφαρμογή του εμπειρικού μοναδιαίου υδρογραφήματος

Από τη βελτιστοποίηση προέκυψαν οι τιμές των παραμέτρων :

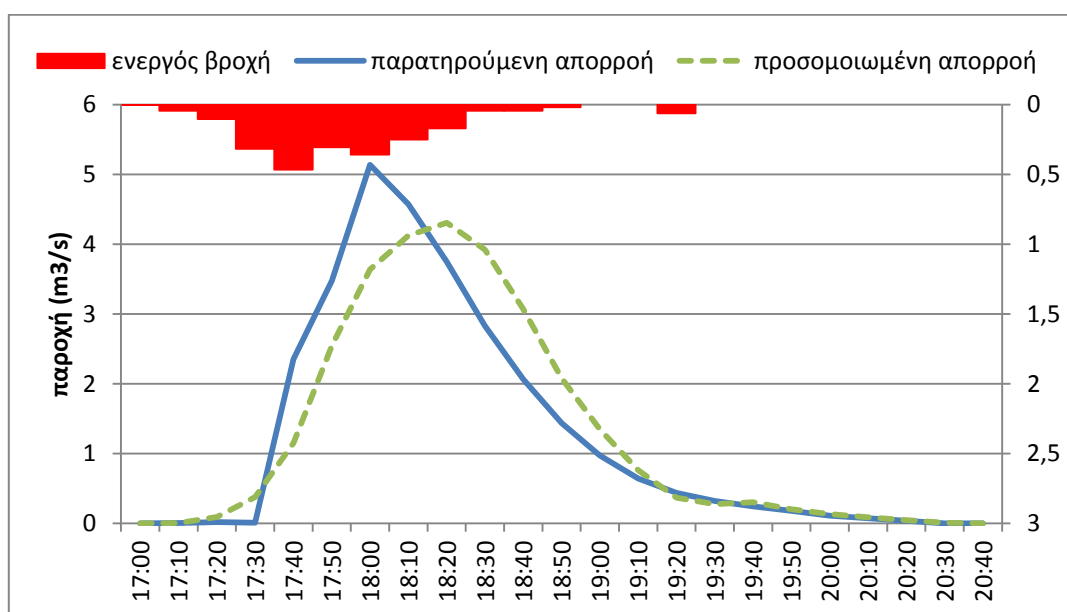
CN	79,7
a	0,14
β	0,23

Με συνάρτηση σφάλματος και επιμέρους τιμές των συντελεστών της συνάρτησης σφάλματος :

f	14,89
Vh (mm)	2,17
V _q (mm)	2,17
SSE	8,00

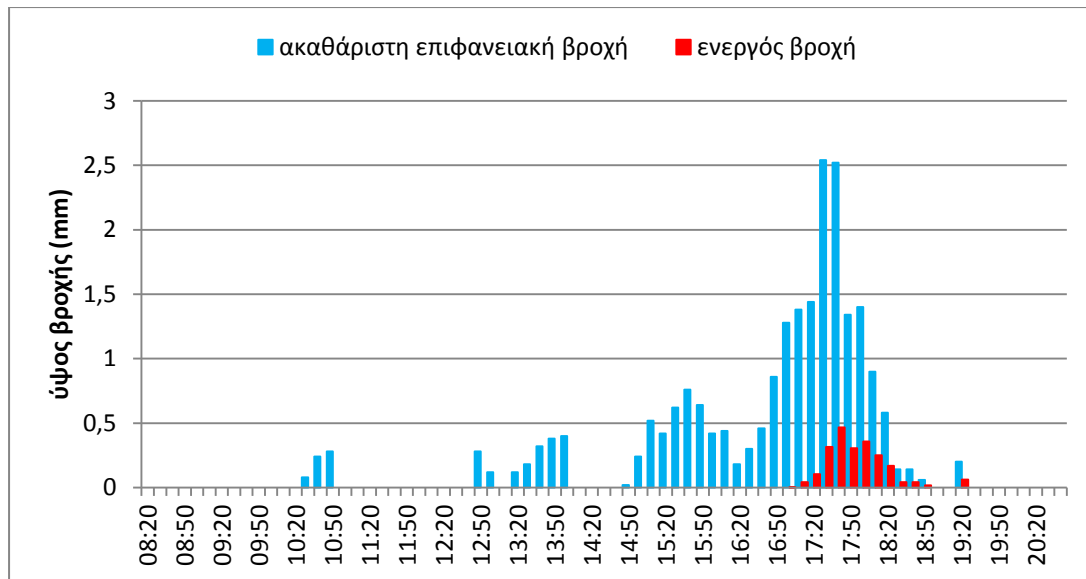
Qobs max (m ³ /s)	5,14
Qsim max (m ³ /s)	4,31

Τα παραπάνω αποτελέσματα αποτυπώνονται στο παρακάτω γράφημα παρατηρημένου και προσομοιωμένου πλημμυρογράφηματος :



Γράφημα 5.51 Πλημμυρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής σύμφωνα με το εμπειρικό μοναδιαίο υδρογράφημα για $\alpha=0,14$ και $CN=79,7$ για την πλημμύρα στις 4/11/2009 για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα

Και στο παρακάτω γράφημα ενεργού και ακαθάριστης βροχόπτωσης:



Γράφημα 5.52 Υετόγραμμα ακαθάριστης επιφανειακής και ενεργού βροχής για $\alpha=0,14$ και $CN=79,7$ για την πλημμύρα στις 4/11/2009 για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα

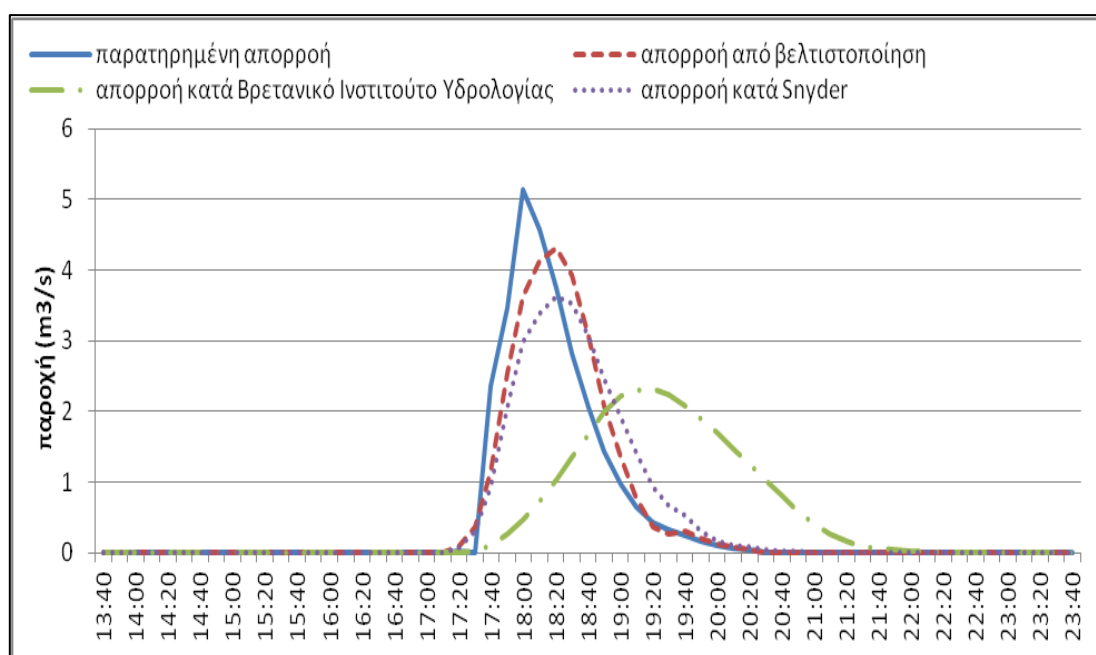
- **Σχόλια**

Η διαδικασία της βελτιστοποίησης προσεγγίζει ικανοποιητικά την αιχμή του παρατηρημένου υδρογραφήματος. Ωστόσο εντοπίζεται ένας ετεροχρονισμός που οφείλεται στη μορφή του ενεργού υετογράμματος. Η άμεση απορροή ξεκινάει με την έναρξη της ενεργού βροχής και σημειώνει την αιχμή της στο τέλος της ενεργού βροχής ή μετά το τέλος της ενεργού βροχής. Με αυτά τα δεδομένα είναι συμβατό το προσομοιωμένο πλημμυρογράφημα όχι όμως και το παρατηρημένο. Επίσης η ενεργός βροχή ακολουθεί τη μορφή του αρχικού υετογράμματος στο οποίο ο χρόνος λήξης του επεισοδίου είναι είκοσι λεπτά μετά την αιχμή της πλημμύρας, όση είναι και η χρονική απόκλιση των αιχμών του παρατηρημένου με το προσομοιωμένο πλημμυρογράφημα. Ωστόσο η βελτιστοποίηση θεωρείται ικανοποιητική δεδομένου ότι η αιχμή προσεγγίζεται εύλογα και παρά το ότι πρόκειται για μία σχετικά μεγάλη αιχμή σε σχέση με αυτές που παρατηρήθηκαν από τη χρονοσειρά των παροχών. Επίσης η μορφή του προσομοιωμένου προσεγγίζει ικανοποιητικά τη μορφή του παρατηρημένου πλημμυρογραφήματος ως προς τις κλίσεις των κλάδων ανόδου και καθόδου.

- **Συγκριτική αξιολόγηση των τριών μεθόδων:**

Για την σύγκριση λοιπόν των μοναδιαίων γραφημάτων παρατίθεται η τιμή της συνάρτησης σφάλματος στις τρεις περιπτώσεις για ίδιες τιμές στα α και CN όπως και ένα γράφημα με τα τρία προσομοιωμένα υδρογραφήματα.

f από βελτιστοποίηση	14,54
f κατά Βρετανικό Ινστιτούτο Υδρολογίας	167,45
f κατά Snyder	38,86

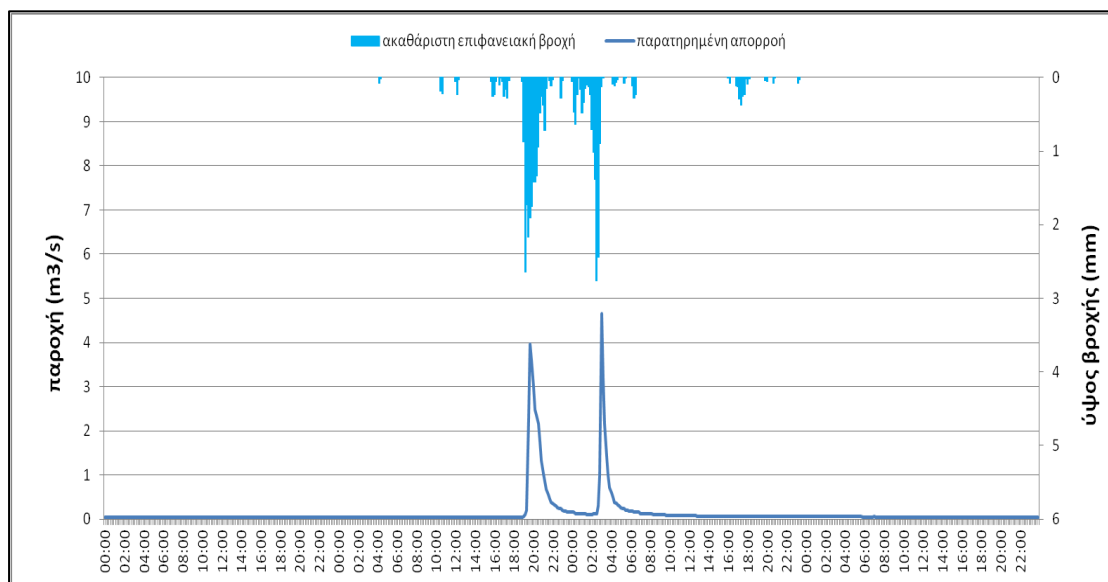


Γράφημα 5.53 Συγκριτική αξιολόγηση των μεθόδων του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας, της μεθόδου Snyder και του εμπειρικού μοναδιαίου υδρογραφήματος για ίδιες τιμές α και CN για την πλημμύρα στις 04/11/2009 για τη λεκάνη απορροής ανάντι στο Λυκόρεμα

Από την παραπάνω σύγκριση προκύπτει ότι το εμπειρικό μοναδιαίο υδρογράφημα προσομοιώνει καλύτερα την παρατηρούμενη απορροή συγκριτικά με τις άλλες μεθόδους ωστόσο η διαφορά στη συνάρτηση σφάλματος είναι αρκετά μικρή.

4) Πλημμύρα στις 6/12/2009

- Υδρογράφημα επιφανειακής απορροής και χρονοδιάγραμμα μέσης επιφανειακής βροχόπτωσης



Γράφημα 5.54 Πλημμυρογράφημα ολικής παρατηρημένης απορροής και υετόγραμμα ακαθάριστης μέσης επιφανειακής βροχόπτωσης για την πλημμύρα στις 6/12/2009 για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα

Από το παραπάνω γράφημα προκύπτουν οι εξής χρόνοι :

έναρξη επιφανειακής βροχόπτωσης	5/12/09 10:20
λήξη επιφανειακής βροχόπτωσης	6/12/09 6:20
έναρξη άμεσης απορροής	5/12/09 19:10
λήξη άμεσης απορροής	6/12/09 8:00

και τα εξής δεδομένα :

όγκος άμεσης απορροής (mm)	3,39
ύψος επιφανειακής βροχόπτωσης (mm)	21,04
συντελεστής απορροής (%)	16,09
μέγιστη παρατηρούμενη απορροή (m3/s)	4,55

- Εφαρμογή της μεθόδου του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας

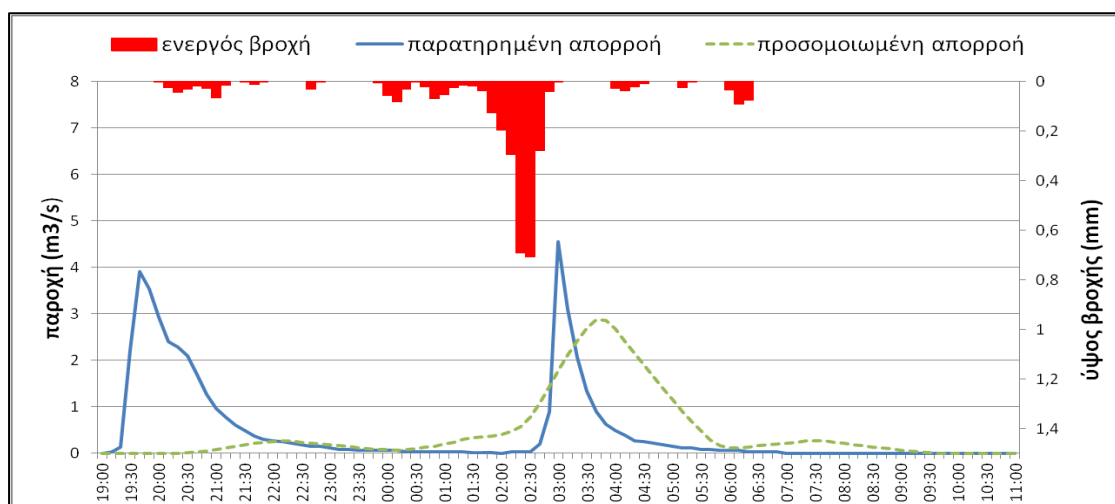
Σε αυτή τη μέθοδο εφαρμόστηκε το μοναδιαίο υδρογράφημα του γραφήματος 5.33 και οι τιμές των παραμέτρων της μεθόδου SCS :

CN	75,92
a	0,20

Από την εφαρμογή της μεθόδου του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας προέκυψε η παρακάτω τιμή στη συνάρτηση σφάλματος με επιμέρους τιμές των συντελεστών της συνάρτησης σφάλματος :

f	150,16
Vh (mm)	3,38
V _Q (mm)	3,39
SSE	121,70
Q _{obs} max (m ³ /s)	4,55
Q _{sim} max (m ³ /s)	2,87

Και το παρακάτω γράφημα:



Γράφημα 5.55 Πλημμυρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής σύμφωνα με το μοναδιαίο υδρογράφημα του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας για $\alpha=0,2$ και $CN=75,92$ για την πλημμύρα στις 6/12/2009 για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα

- Εφαρμογή της μεθόδου Snyder

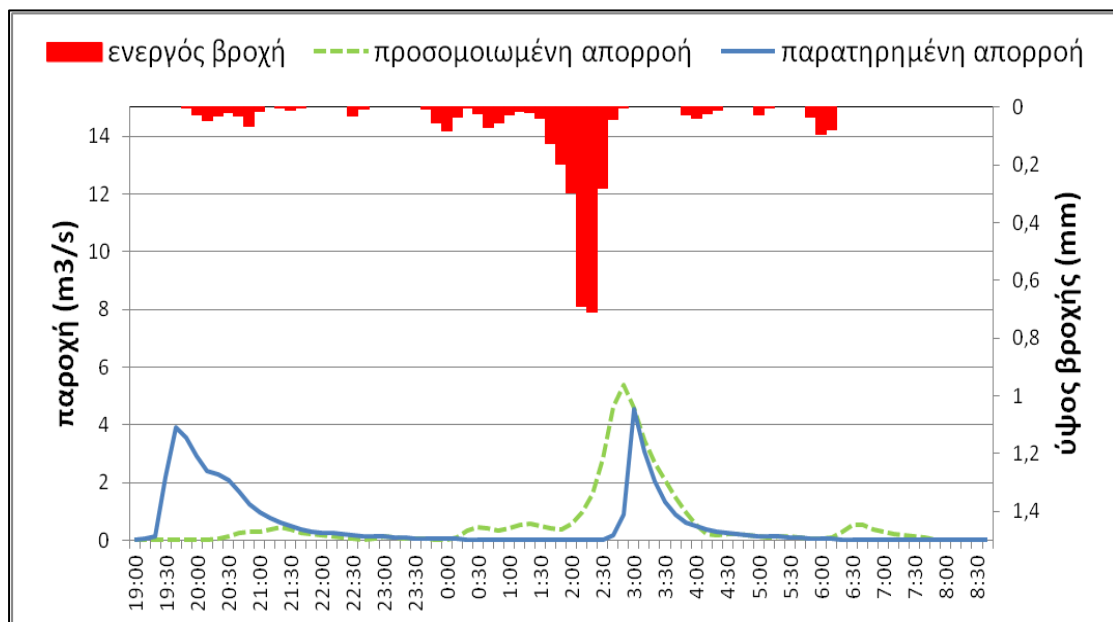
Σε αυτή τη μέθοδο εφαρμόστηκε το μοναδιαίο υδρογράφημα του γραφήματος και οι τιμές των παραμέτρων της μεθόδου SCS :

CN	75,92
a	0,20

Από την εφαρμογή της μεθόδου προέκυψε η παρακάτω τιμή στη συνάρτηση σφάλματος με επιμέρους τιμές των συντελεστών της:

f	137,70
Vh (mm)	3,39
V _α (mm)	3,39
SSE	115,58
Qobs max (m ³ /s)	3,91
Qsim max (m ³ /s)	5,39

Και το αντίστοιχο γράφημα :



Γράφημα 5.46 Πλημμυρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής σύμφωνα με το μοναδιαίο υδρογράφημα Snyder για $\alpha=0,2$ και $CN=75,92$ για την πλημμύρα στις 6/12/2009 για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα

- Εφαρμογή του εμπειρικού μοναδιαίου υδρογραφήματος

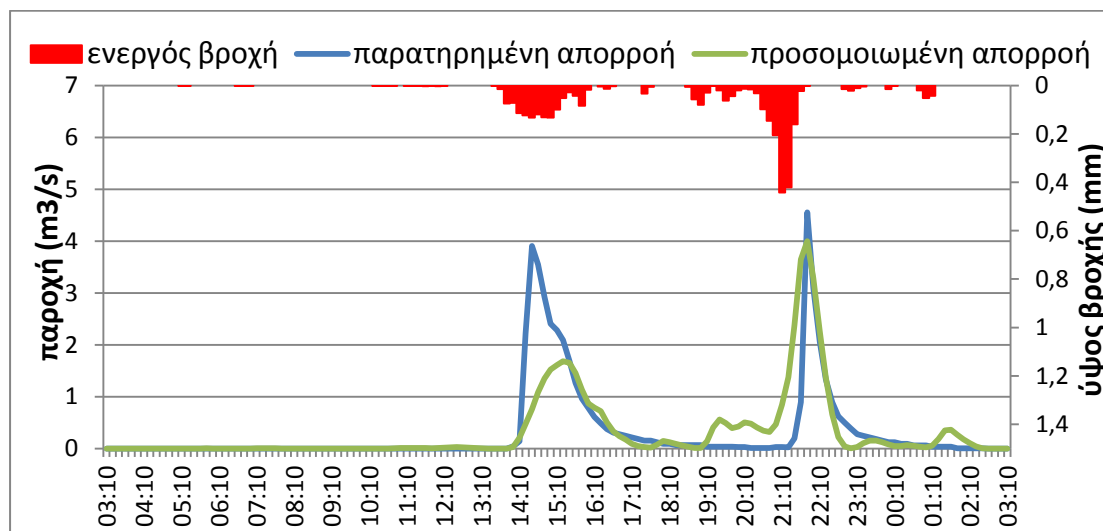
Από τη βελτιστοποίηση προέκυψαν οι τιμές των παραμέτρων :

CN	44,79
a	0
β	0,24

Με συνάρτηση σφάλματος και επιμέρους τιμές των συντελεστών της συνάρτησης σφάλματος :

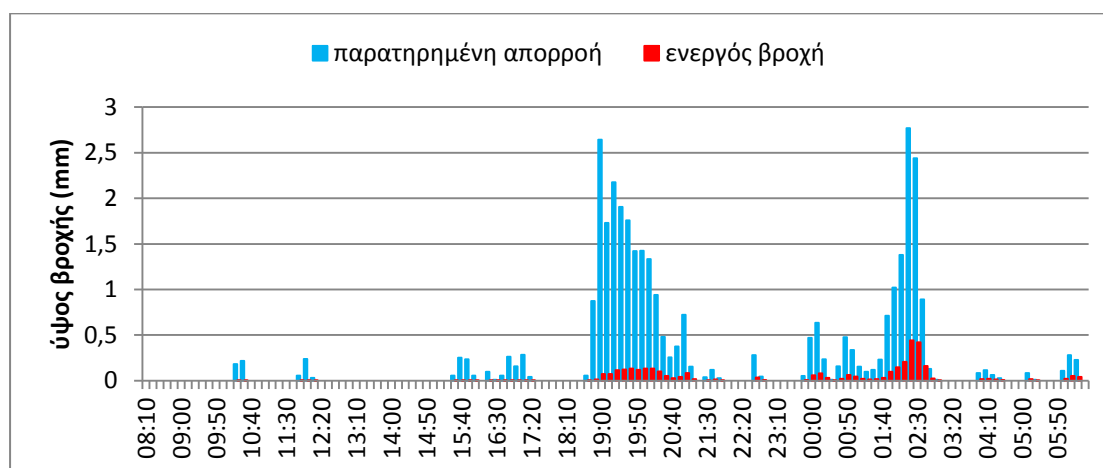
f	44,40
Vh (mm)	3,39
V _q (mm)	3,39
SSE	41,32
Qobs max (m ³ /s)	4,55
Qsim max (m ³ /s)	4,00

Τα παραπάνω αποτελέσματα αποτυπώνονται στο παρακάτω γράφημα παρατηρημένου και προσομοιωμένου πλημμυρογραφήματος :



Γράφημα 5.47 Πλημμυρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής σύμφωνα με το εμπειρικό μοναδιαίο υδρογράφημα για $\alpha=0,0$ και $CN=44,79$ για την πλημμύρα στις 6/12/2009 για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα

Και στο παρακάτω γράφημα ενεργού και ακαθάριστης βροχόπτωσης:

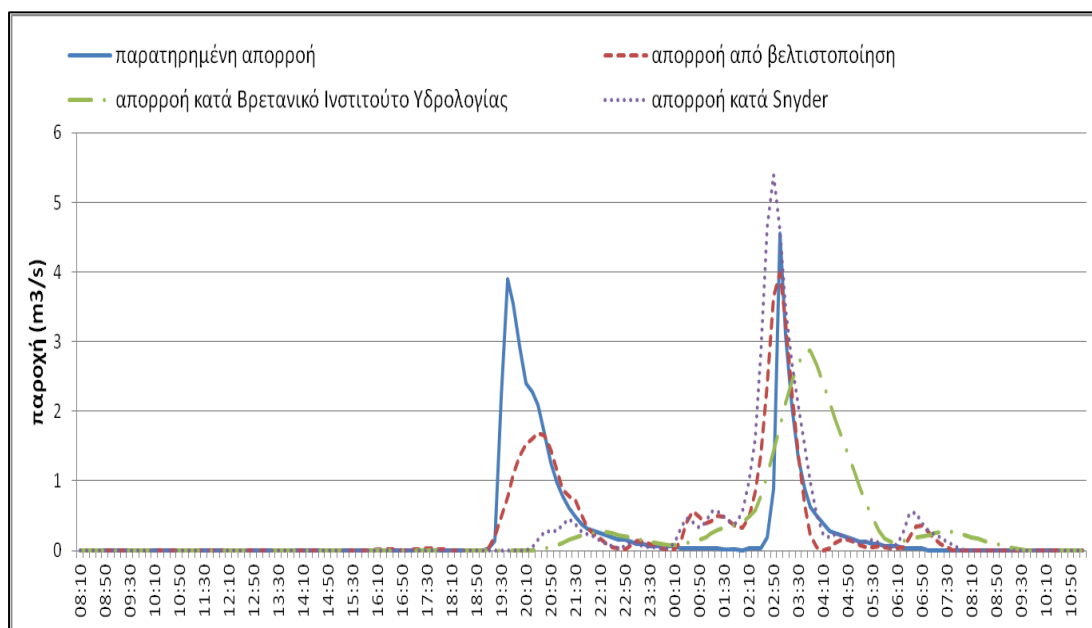


Γράφημα 5.48 Υετόγραμμα ακαθάριστης και ενεργού βροχής για $\alpha=0,0$ και $CN=44,79$ για την πλημμύρα στις 6/12/2009 για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα

- **Σχόλια**

Η διαδικασία της βελτιστοποίησης προσεγγίζει ικανοποιητικά την δεύτερη-μεγάλη αιχμή του παρατηρημένου υδρογραφήματος. Την πρώτη αιχμή την υποεκτιμάει. Γενικώς έχουμε μία λεκάνη με μικρό συντελεστή απορροής άρα και μεγάλα ελλείμματα. Αυτό οδηγεί στην εξαγωγή χαμηλής τιμής στην παράμετρο CN που είναι μία παράμετρος που είναι ανάλογη της αδιαπερατότητας του εδάφους. Η βέλτιστη τιμή που επιλέχθηκε είναι μικρή για την πρώτη φάση του επεισοδίου, μεγάλη για την ενδιάμεση φάση του επεισοδίου και κατάλληλη για την τελευταία φάση. Η επιλογή ενιαίου CN είχε σαν αποτέλεσμα αυτήν την αστοχία στην προσομοίωση. Ωστόσο πρόκειται για την καλύτερη δυνατή λύση καθώς το ενδεχόμενο διάσπασης των επεισοδίων και επιλογής αρχικά μεγαλύτερου CN από το επιλεγέν και στη συνέχεια η επιλογή του τωρινού CN που είναι μικρότερο, οδηγεί σε άτοπο καθώς το CN με την εξέλιξη της βροχόπτωσης αυξάνει καθώς το έδαφος υφίσταται κορεσμό και η αδιαπερατότητα αυξάνει.

Συγκριτική αξιολόγηση των τριών μεθόδων:

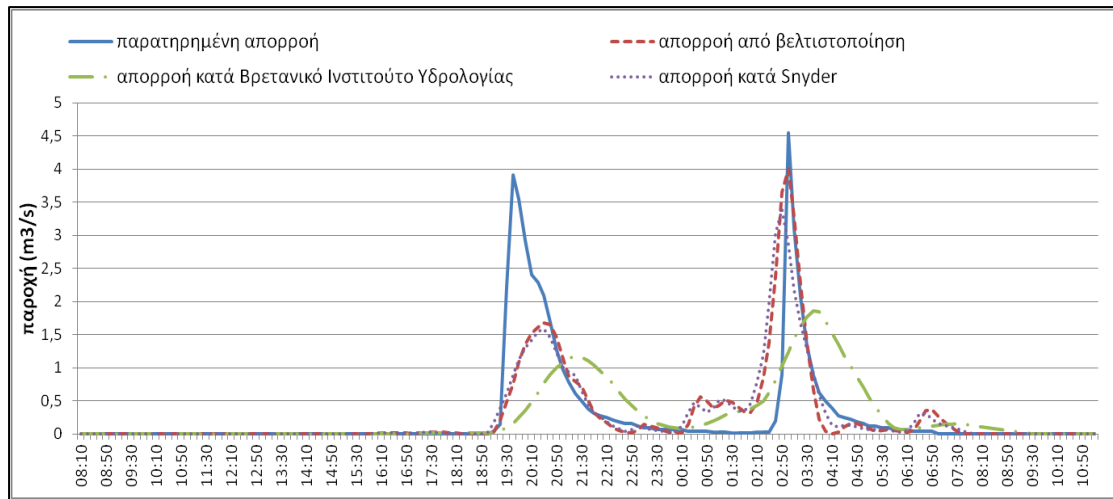


Γράφημα 5.49 Συγκριτική αξιολόγηση των μεθόδων του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας, της μεθόδου Snyder και του εμπειρικού μοναδιαίου υδρογραφήματος για διαφορετικές τιμές α και CN για την πλημμύρα στις 06/12/2009 για τη λεκάνη απορροής ανάντι στο Λυκόρεμα

Από το παραπάνω γράφημα και παρατηρώντας τις τιμές της συνάρτησης σφάλματος προκύπτει ότι η καλύτερη προσομοίωση γίνεται με χρήση του εμπειρικού μοναδιαίου υδρογραφήματος και χρήση των βελτιστοποιημένων τιμών των παραμέτρων της μεθόδου SCS. Οι άλλες μέθοδοι υπερεκτιμούν το αρχικό έλλειμμα της απορροής και είτε υπερεκτιμούν την παροχή αιχμής είτε την υποεκτιμούν.

Για την σύγκριση λοιπόν των μοναδιαίων γραφημάτων παρατίθεται η τιμή της συνάρτησης σφάλματος στις τρεις περιπτώσεις για ίδιες τιμές στα α και CN όπως και ένα γράφημα με τα τρία προσομοιωμένα υδρογραφήματα.

f από βελτιστοποίηση	44,40
f κατά Βρετανικό Ινστιτούτο Υδρολογίας	163,42
f κατά Snyder	50,94

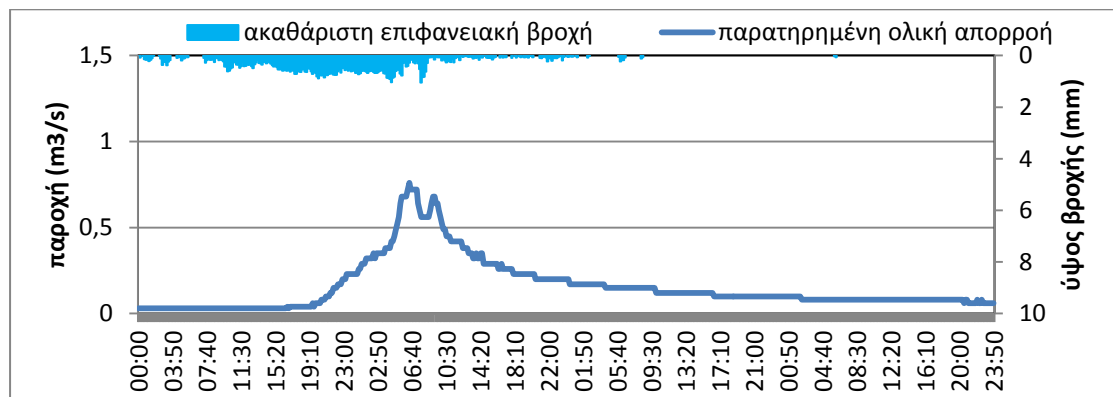


Γράφημα 5.50 Συγκριτική αξιολόγηση των μεθόδων του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας, της μεθόδου Snyder και του εμπειρικού μοναδιαίου υδρογραφήματος για ίδιες τιμές α και CN για την πλημμύρα στις 06/12/2009 για τη λεκάνη απορροής ανάντι στο Λυκόρεμα

Από την παραπάνω σύγκριση προκύπτει ότι το εμπειρικό συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα προσομοιώνει πολύ καλύτερα την παρατηρούμενη απορροή από τη μέθοδο του Βρετανικού Ινστιτούτου και επίσης καλύτερα αλλά σε μικρότερο βαθμό από τη μέθοδο του Snyder.

5) Πλημμύρα 17/01/2005

- Υδρογράφημα επιφανειακής απορροής και χρονοδιάγραμμα μέσης επιφανειακής βροχόπτωσης



Γράφημα 5.51 Πλημμυρογράφημα ολικής απορροής και υετόγραμμα ακαθάριστης μέσης επιφανειακής βροχής για την πλημμύρα στις 17/01/2005 για τη λεκάνη απορροής ανάντι στο Λυκόρεμα

Από το παραπάνω γράφημα προκύπτουν οι εξής χρόνοι :

έναρξη επιφανειακής βροχόπτωσης	16/1/05 0:00
λήξη επιφανειακής βροχόπτωσης	18/1/05 1:10
έναρξη άμεσης απορροής	16/1/05 19:40
λήξη άμεσης απορροής	18/1/05 2:20

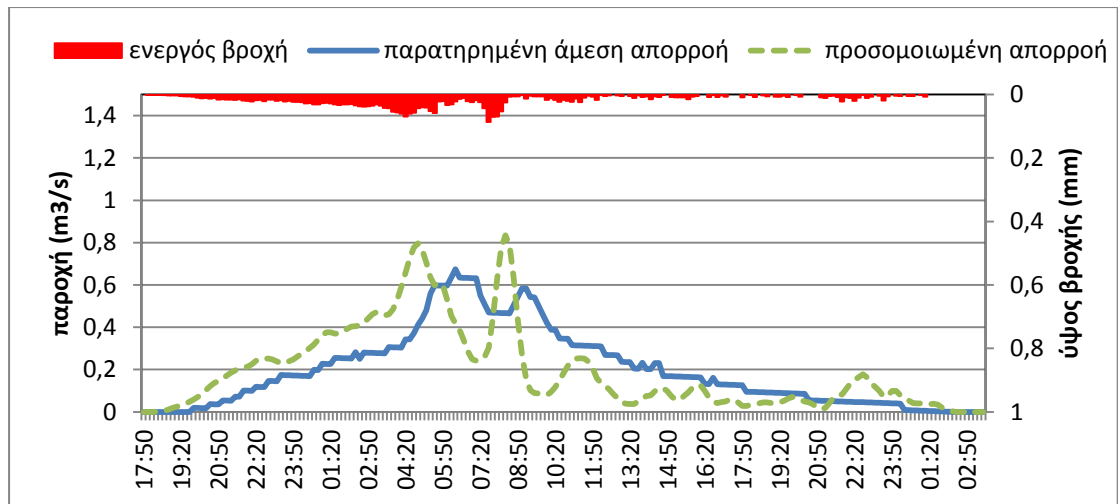
και τα εξής δεδομένα :

όγκος άμεσης απορροής (mm)	3,04
ύψος επιφανειακής βροχόπτωσης (mm)	88,43
συντελεστής απορροής (%)	3,44
μέγιστη παρατηρούμενη απορροή (m ³ /s)	0,67

Για το συγκεκριμένο επεισόδιο θα παρουσιαστεί μόνο το αποτέλεσμα της διαδικασίας της βελτιστοποίησης προκειμένου να παρουσιαστεί ένα ζήτημα που προέκυψε και ο τρόπος που επιλέχθηκε να αντιμετωπιστεί. Η διαδικασία της βελτιστοποίησης κατέληξε στις παρακάτω τιμές για τις παραμέτρους:

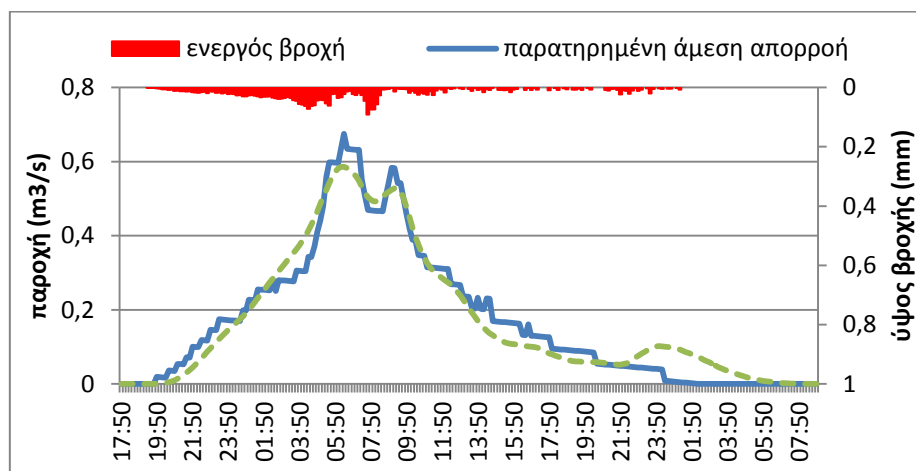
CN	18,22
a	0,02
β	0,33

Αυτό το αποτέλεσμα αποτυπώνεται στο παρακάτω γράφημα:



Γράφημα 5.52 Πλημμυρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής σύμφωνα με το εμπειρικό μοναδιαίο υδρογράφημα για την πλημμύρα στις 17/01/2005 για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα

Από την προσομοίωση που έγινε αντιλαμβανόμαστε ότι η αιχμή σημειώθηκε νωρίτερα από το αναμενόμενο, γεγονός που υποδηλώνει ότι η επιλογή του χρόνου συγκέντρωσης δεν ήταν επιτυχής και ο χρόνος συγκέντρωσης που εκφράζει τη λεκάνη για το συγκεκριμένο επεισόδιο είναι αρκετά μεγαλύτερος. Όπως με βελτιστοποίηση και του χρόνου καθόδου κατά τρόπο που αναπτύσσεται στο εδάφιο 5.4.1 προκύπτει το παρακάτω αποτέλεσμα:



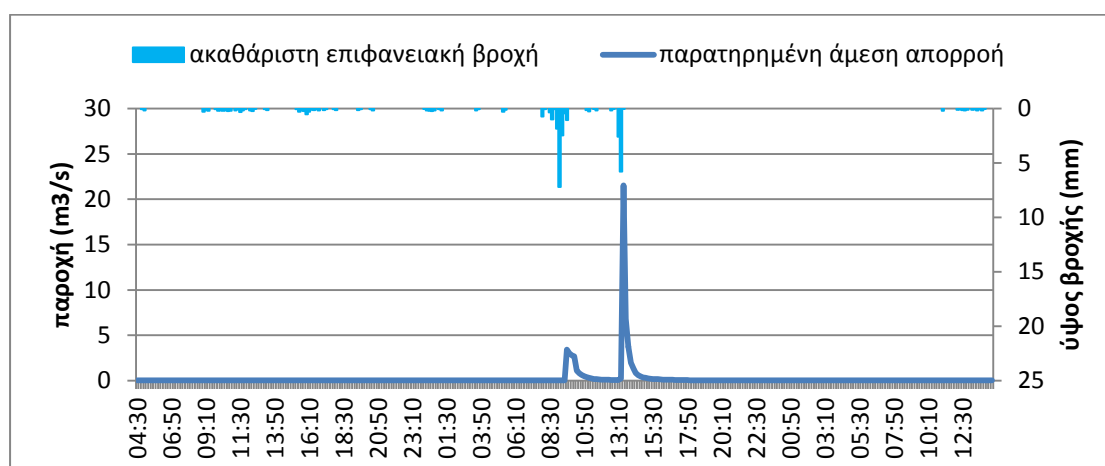
Γράφημα 5.53 Πλημμυρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής σύμφωνα με το εμπειρικό μοναδιαίο υδρογράφημα για την πλημμύρα στις 17/01/2005 για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα με διορθωμένο το χρόνο συγκέντρωσης

Με παραμέτρους:

CN	20,56
a	0,03
Νέος χρόνος συγκέντρωσης (hr)	7,45
β'	0,21

Πρόκειται για ένα πλημμυρικό γεγονός μικρής πλημμυρικής αιχμής με μεγάλη διάρκεια, γεγονός που έδωσε μεγάλο χρόνο συγκέντρωσης. Ακολουθεί ένα επεισόδιο με μεγάλη πλημμυρική αιχμή ώστε να δούμε ποια τιμή χρόνου συγκέντρωσης ταιριάζει περισσότερο.

6) πλημμύρα 17/10/2009



Γράφημα 5.54 Πλημμυρογράφημα ολικής απορροής και υετόγραμμα ακαθάριστης μέσης επιφανειακής βροχής για την πλημμύρα στις 17/10/2009 για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα

Από το παραπάνω γράφημα προκύπτουν οι εξής χρόνοι :

έναρξη επιφανειακής βροχόπτωσης	16/10/09 1:00
λήξη επιφανειακής βροχόπτωσης	16/10/09 13:30
έναρξη άμεσης απορροής	16/10/09 9:30
λήξη άμεσης απορροής	16/10/09 14:40

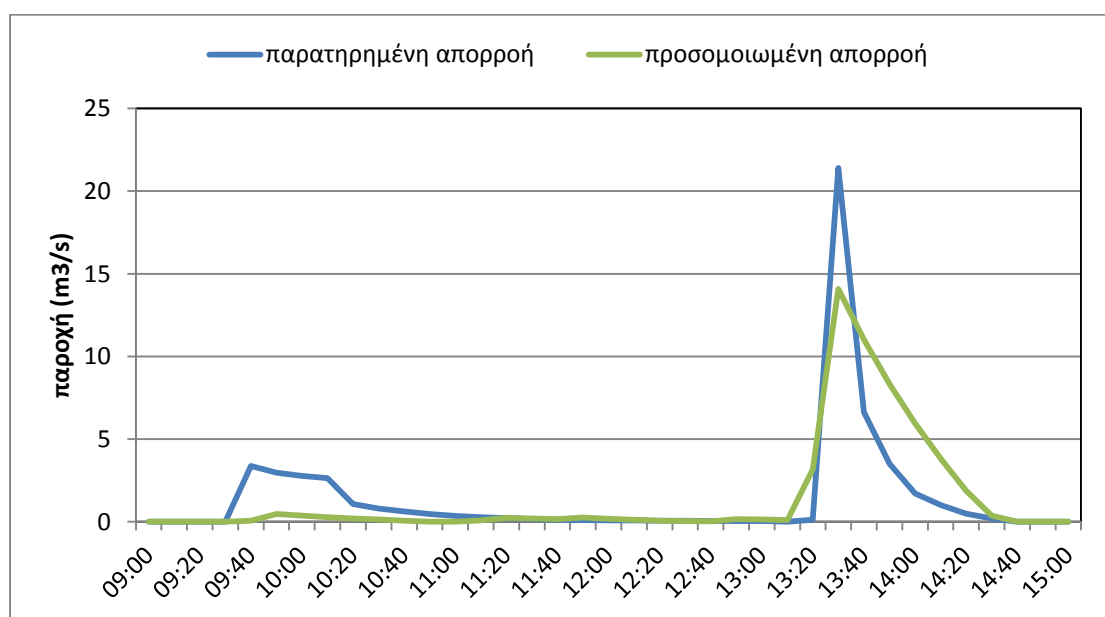
και τα εξής δεδομένα :

όγκος άμεσης απορροής (mm)	3,90
ύψος επιφανειακής βροχόπτωσης (mm)	25,04
συντελεστής απορροής (%)	15,56
μέγιστη παρατηρούμενη απορροή (m ³ /s)	21,39

Η διαδικασία της βελτιστοποίησης κατέληξε στο εξής αποτέλεσμα:

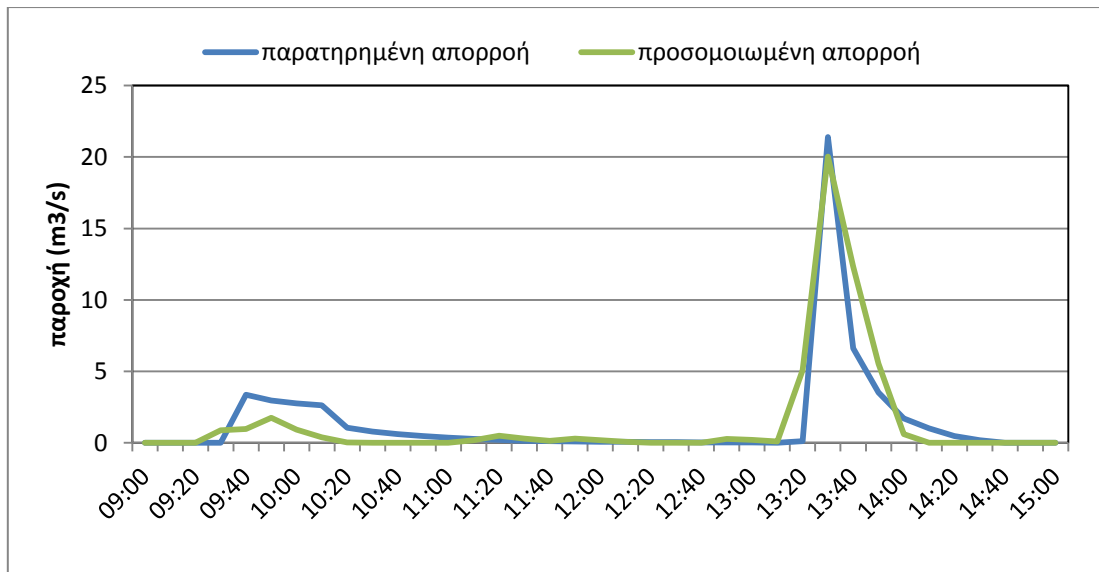
CN	93,08
α	0,75
β	0,08

που αποτυπώνεται στο παρακάτω γράφημα:



Γράφημα 5.55 Πλημμυρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής σύμφωνα με το εμπειρικό μοναδιαίο υδρογράφημα για την πλημμύρα στις 17/10/2009 για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα

Από το αποτέλεσμα της προσομοίωσης είναι εμφανές ότι ο χρόνος συγκέντρωσης που επιλέχθηκε είναι αρκετά μεγάλος οπότε με τη διόρθωση που έγινε καταλήξαμε στο παρακάτω αποτέλεσμα:



Γράφημα 5.56 Πλημμυρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής σύμφωνα με το εμπειρικό μοναδιαίο υδρογράφημα για την πλημμύρα στις 17/10/2009 για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα με διορθωμένο τον χρόνο συγκέντρωσης

Με παραμέτρους:

CN	89,83
α	0,43
β	0,07
Νέος χρόνος συγκέντρωσης (hr)	0,52

Καταλήξαμε λοιπόν σε ένα πολύ καλύτερο αποτέλεσμα μειώνοντας τον χρόνο συγκέντρωσης σε ένα γεγονός πλημμύρας με μία από τις μεγαλύτερες παρατηρούμενες πλημμυρικές αιχμές του δείγματος των επεισοδίων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ

6.1 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι

6.1.1 Αποτελέσματα διαδικασίας βελτιστοποίησης με εφαρμογή του εμπειρικού μοναδιαίου υδρογραφήματος

Στον Πίνακα 6.1 παρουσιάζονται για κάθε επεισόδιο πλημμύρας τα αποτελέσματα της βελτιστοποίησης των παραμέτρων α , β και CN, καθώς και τα χαρακτηριστικά μεγέθη για το κάθε επεισόδιο (μέγιστη παρατηρημένη παροχή, ύψος ακαθάριστης βροχής, συνολικό ενεργό ύψος, συντελεστής απορροής).

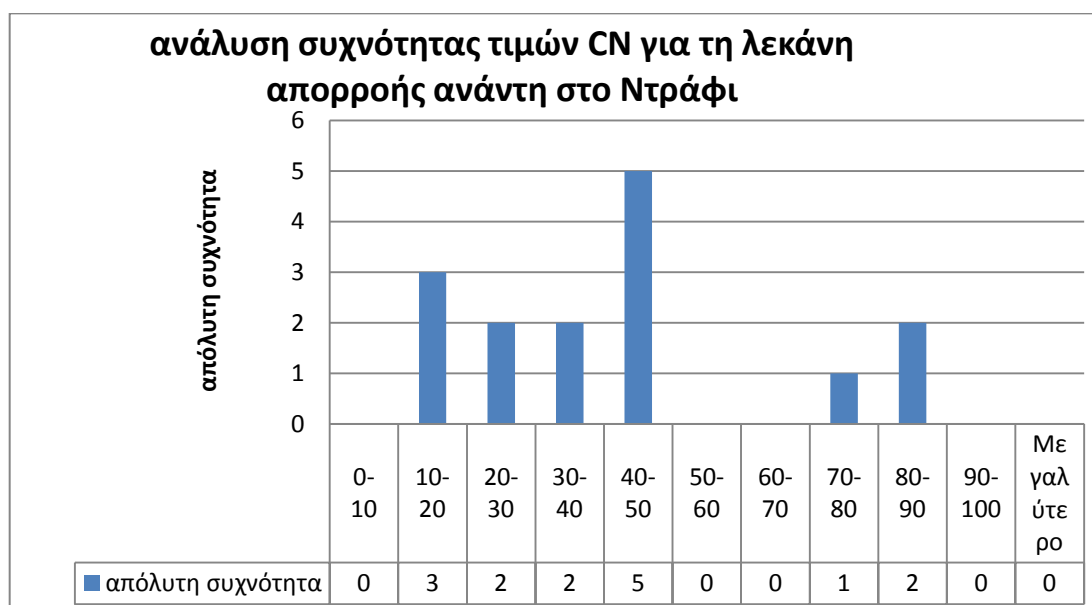
Μια πρώτη παρατήρηση είναι ότι οι τιμές συντελεστή απορροής που προκύπτουν είναι για κάθε επεισόδιο αρκετά μικρές γεγονός που καταδεικνύει ότι πρόκειται για μία λεκάνη που το ύψος της απορροής σε σχέση με το ύψος της βροχής είναι αρκετά μικρό. Αυτό το συμπέρασμα έρχεται σε αντίθεση με την τιμή CN = 73, που προκύπτει από την επεξεργασία του γεωλογικού χάρτη και του χάρτη χρήσεων γης.

Για τις παραμέτρους α και CN της μεθόδου SCS οι μέσες βέλτιστες τιμές που προκύπτουν είναι CN = 42 και $\alpha = 0,10$. Ωστόσο, επειδή η τυπική απόκλιση του δείγματος τιμών που προκύπτει είναι ιδιαίτερα υψηλή, εξετάζεται η πιθανή συσχέτιση των παραπάνω παραμέτρων με την παροχή αιχμής. Επιπλέον, γίνεται ανάλυση συχνότητας, ώστε αντί της μέσης τιμής να προταθεί ως πλέον αντιπροσωπευτική εκείνη με τη μεγαλύτερη συχνότητα.

Εκ των προτέρων πρέπει να σημειωθεί ότι το δείγμα τιμών που έχουμε είναι μικρό οπότε τα αποτελέσματα μόνο ενδεικτικά μπορούν να θεωρηθούν.

Πίνακας 6.1 Αποτελέσματα βελτιστοποίησης για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι

α/α	Ημερομηνία	Μέγιστη παρατηρημένη παροχή (m ³ /s)	CN	a	β	Συνάρτηση σφάλματος	Αθροιστικό ύψος βροχής (mm)	Αθροιστικό ύψος επιφανειακής απορροής (mm)	Συντελεστής απορροής (%)	Αρχικό έλλειμμα (mm)
1	11/1/2004	2,91	13,00	0,00	0,33	70,36	108,96	6,56	6,02	0,00
2	19/12/2004	10,68	44,27	0,18	0,39	125,88	108,04	6,62	6,12	58,68
3	22/1/2004	5,90	22,71	0,01	0,33	37,21	78,03	4,87	6,25	11,06
4	1/2/2005	1,16	13,95	0,00	0,53	0,25	44,32	1,13	2,55	1,69
5	1/11/2006	5,72	21,45	0,01	1,00	128,34	120,27	11,96	9,95	8,60
6	2/12/2009	1,20	46,76	0,00	0,28	6,59	16,60	0,91	5,49	0,00
7	4/2/2005	3,17	33,39	0,01	0,33	5,42	46,27	2,93	6,32	6,27
8	4/11/2009	14,02	88,92	0,38	0,34	353,54	23,05	2,77	12,01	12,17
9	10/12/2007	6,75	46,30	0,08	0,24	41,17	51,24	2,49	4,85	22,92
10	11/10/2006	7,24	31,74	0,03	0,08	28,29	63,71	3,77	5,92	16,39
11	12/12/2009	14,93	47,77	0,01	0,05	729,44	61,36	9,79	15,96	4,08
12	17/1/2005	3,68	16,64	0,02	0,78	29,42	150,14	10,89	7,26	26,87
13	17/10/2009	17,13	88,10	0,50	0,33	194,52	41,81	2,98	7,12	17,15
14	23/3/2007	5,14	42,62	0,09	0,53	22,82	68,66	3,76	5,48	30,78
15	25/10/2009	16,03	73,57	0,16	0,33	224,14	32,61	2,97	9,10	14,46
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ			42,08	0,10	0,39				7,36	15,41
ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ			24,85	0,15	0,24				3,27	15,24



Γράφημα 6.1 Διάγραμμα εμπειρικής κατανομής συχνότητας των τιμών της παραμέτρου CN για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι

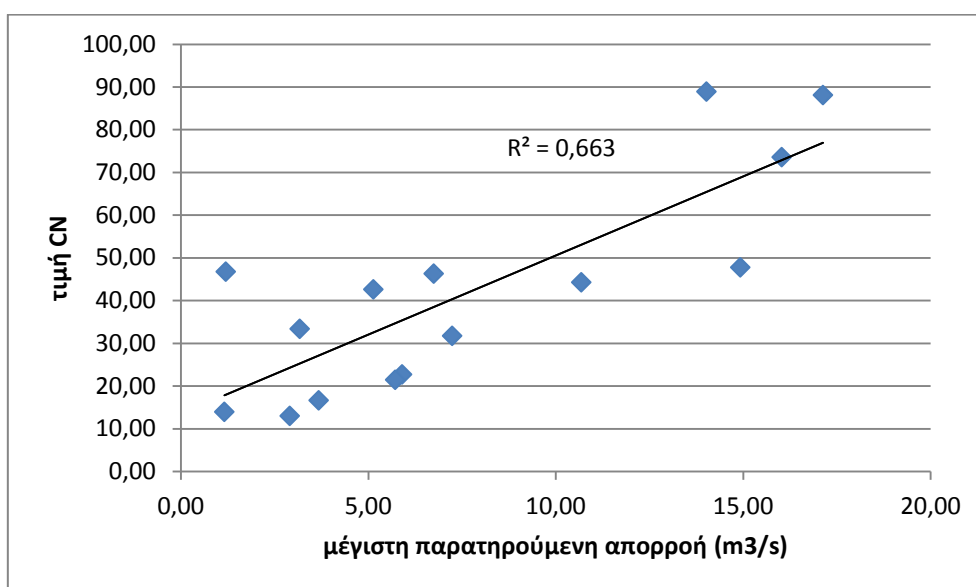
Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει ότι στα περισσότερα επεισόδια η τιμή CN κυμαίνεται από 40 έως 50 ενώ γενικώς οι περισσότερες τιμές που εντοπίζονται είναι κάτω από την τιμή 50. Να σημειωθεί ωστόσο ότι σε κάποια λίγα επεισόδια η παράμετρος CN λαμβάνει μεγάλες τιμές.



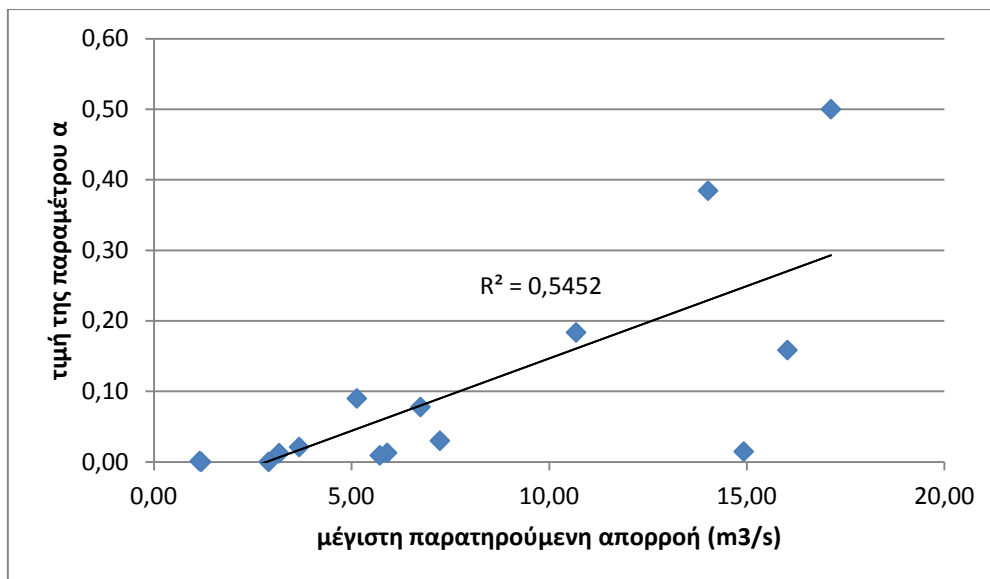
Γράφημα 6.2 Διάγραμμα εμπειρικής κατανομής συχνότητας των τιμών της παραμέτρου α για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει ότι για την εν λόγω λεκάνη τα περισσότερα επεισόδια δίνουν τιμή για το α από 0 έως 0,02. Αυτή η κλάση τιμών είναι πιο αντιπροσωπευτική για τη λεκάνη καθώς σημειώνει τη μεγαλύτερη παρατηρούμενη συχνότητα σε σχέση με τη μέση τιμή που είναι 0,10. Η μέση τιμή προέκυψε από το γεγονός ότι υπήρξαν στο δείγμα των επεισοδίων κάποιες τιμές α αρκετά υψηλές που ανέβασαν το μέσο όρο χωρίς ωστόσο να σημαίνει ότι παρατηρήθηκε στα περισσότερα επεισόδια. Γενικώς υπάρχει μία συγκέντρωση τιμών κάτω από 0,1.

Οι παρουσία υψηλών τιμών σε κάποια λίγα επεισόδια τόσο για την παράμετρο CN όσο και για την παράμετρο α δίνει το έναυσμα για διερεύνηση πιθανής συσχέτισης αυτών με τη μέγιστη παρατηρούμενη απορροή.



Γράφημα 6.3 Διάγραμμα μέγιστης παρατηρούμενης απορροής- αριθμού καμπύλης απορροής CN για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι

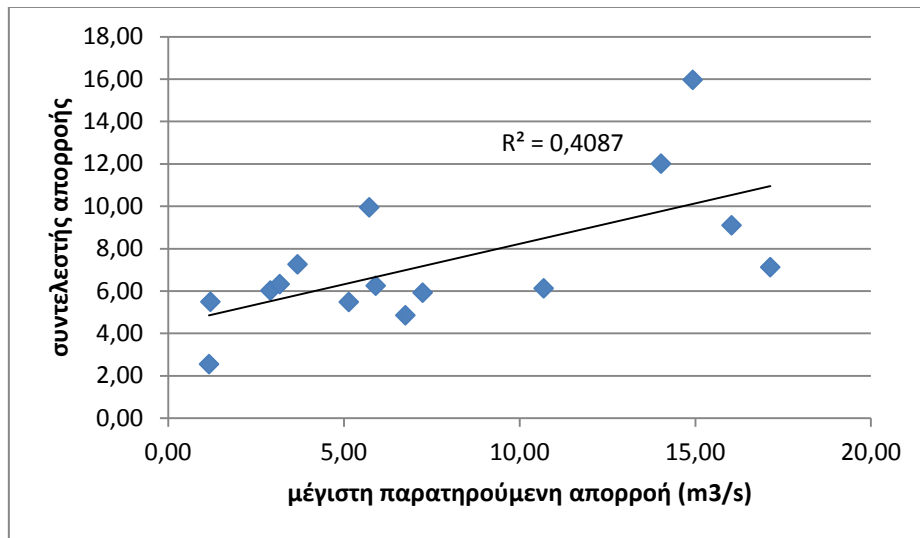


Γράφημα 6.4 Διάγραμμα μέγιστης παρατηρούμενης απορροής- αριθμού α για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι

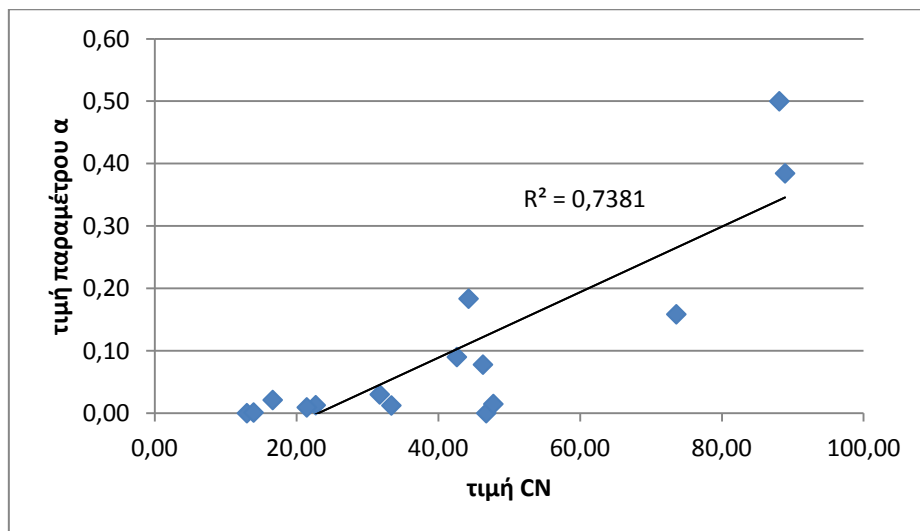
Από τα παραπάνω γραφήματα προκύπτει ότι οι παράμετροι CN και α αυξάνουν με την αύξηση της μέγιστη παρατηρούμενης παροχής. Αυτό το συμπέρασμα είναι πολύ σημαντικό καθώς οδηγεί στο ότι οι τιμές αυτών των παραμέτρων δεν είναι σταθερές και χαρακτηριστικές της μορφολογίας των λεκανών απορροής αλλά οι τιμές τους έχουν δυναμικό χαρακτήρα και πρέπει να υπόκεινται σε μία πιθανοτική θεώρηση ανάλογα με το μέγεθος της πλημμύρας. Ένα τέτοιο δεδομένο οδηγεί στο συμπέρασμα ότι για μεγάλες πλημμύρες που βάση τέτοιων γίνεται ο υδρολογικός σχεδιασμός απαιτείται η λήψη μεγάλων τιμών CN και α.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι σε μεγάλες πλημμύρες πιθανόν το έδαφος να συμπεριφέρεται ως λιγότερο περατό, κάτι που είναι εύλογο. Επίσης παρατηρείται ότι σε τέτοια γεγονότα ο συντελεστής απορροής είναι επίσης υψηλότερος (γράφημα 5.61). Όσον αφορά την αύξηση του α με την αύξηση της μέγιστης παρατηρούμενης απορροής πιθανόν να οφείλεται στο ότι το αρχικό έλλειμμα του εδάφους δεν υπόκεινται σε εξάρτηση από το μέγεθος της πλημμύρας οπότε καθώς το CN αυξάνει, το S μειώνεται οπότε προκειμένου να διατηρηθεί το αρχικό έλλειμμα σταθερό το α πρέπει να αυξηθεί. Αυτό πιθανόν να προκύπτει από τα παρακάτω διαγράμματα όπου φαίνεται ότι το αρχικό έλλειμμα δεν εξαρτάται από την μέγιστη παρατηρούμενη απορροή και επίσης ότι το α αυξάνει με την αύξηση του CN.

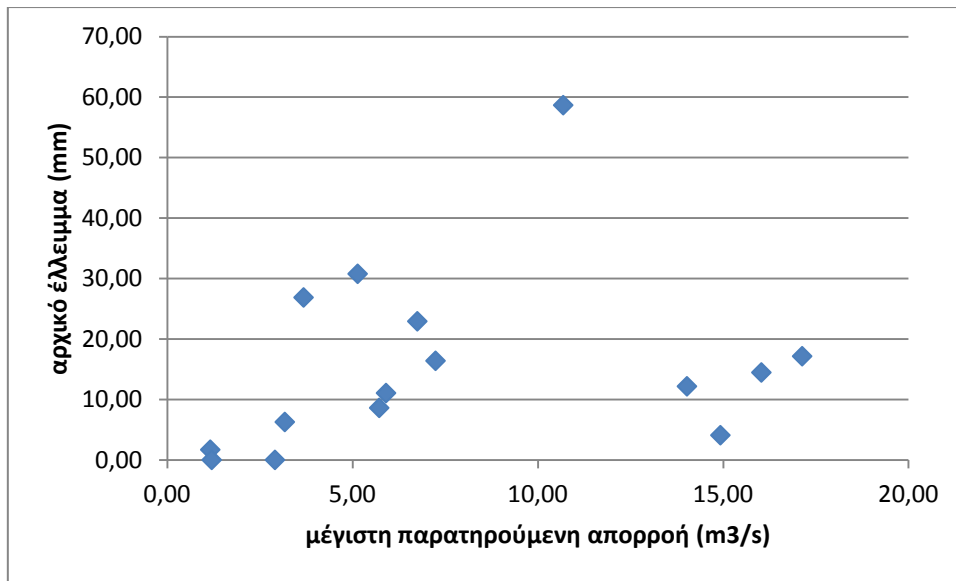
Συγκεκριμένα φαίνεται ότι υπάρχει μία συγκέντρωση τιμών για το αρχικό έλλειμμα κάτω από 20 mm.



Γράφημα 6.5 Διάγραμμα μέγιστης παρατηρούμενης απορροής-συντελεστή απορροή για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι



Γράφημα 6.6 Διάγραμμα παραμέτρου α – CN για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι



Γράφημα 6.7 Διάγραμμα μέγιστης παρατηρούμενης απορροής- αρχικού ελλείμματος για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι

Ακολουθεί η παρουσίαση των αποτελεσμάτων για την παράμετρο β που όπως έχει προαναφερθεί υπεισέρχεται στο χρόνο ανόδου του μοναδιαίου υδρογραφήματος σύμφωνα με τη σχέση 5.1.



Γράφημα 6.8 Διάγραμμα εμπειρικής κατανομής συχνότητας των τιμών της παραμέτρου α για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι

Από τον πίνακα των αποτελεσμάτων προκύπτει μία μέση τιμή 0,39 για την παράμετρο β και από την ανάλυση συχνότητας προκύπτει ότι στα περισσότερα

επεισόδια η τιμή της παραμέτρου β κυμάνθηκε από 0,3 έως 0,35. Επίσης υπάρχει μία συγκέντρωση τιμών από 0,2 έως 0,4, ενώ δεν φαίνεται να υπάρχει κάποια συσχέτιση με τη μέγιστη παρατηρούμενη απορροή. Ωστόσο από τη διαδικασία της βελτιστοποίησης προέκυψαν κάποια επεισόδια για τα οποία δημιουργήθηκε η σκέψη ότι ο χρόνος συγκέντρωσης κατά Giandotti που λήφθηκε δεν ήταν κατάλληλος και επηρέαζε έτσι το μοναδιαίο υδρογράφημα. Για το λόγο αυτό έγινε επιπλέον μία διαδικασία βελτιστοποίησης όπου για τις τιμές α και CN που προέκυψαν, έγινε βελτιστοποίηση στην παράμετρο β και σε μία επιπλέον παράμετρο γ που υπεισέρχεται στο χρόνο βάσης ως εξής:

$$t_b = \gamma \times t_c + D \quad (5.7)$$

Έτσι προέκυψαν διαφορετικοί χρόνοι ανόδου t_p' και βάσης t_b' με την νέα διαδικασία με τις παραμέτρους β και γ . Αυτό ωστόσο που ουσιαστικά τροποποιήθηκε είναι ο χρόνος συγκέντρωσης, ο οποίος ισχύει για β' και $\gamma'=1$. Έτσι για το χρόνο βάσης προκύπτει:

$$\gamma \times t_c + D = 1 \times t_c' + D$$

$$t_c' = \gamma \times t_c$$

και από τον ορισμό του χρόνου ανόδου:

$$t_p' = \beta' \times t_c' + D/2$$

$$\beta' = (t_p' - D/2) / t_c'$$

Προέκυψαν οι παρακάτω διορθωμένες τιμές β' και T_c' . Να σημειωθεί ότι ο χρόνος συγκέντρωσης κατά Giandotti για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι προέκυψε 1,74 hr.

Πίνακας 6.2 Διορθωμένες τιμές της παραμέτρου β και του χρόνου συγκέντρωσης για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι

α/α	Διορθωμένος χρόνος συγκέντρωσης	Διορθωμένη παράμετρος β	Τιμή συνάρτησης σφάλματος
1	1,74	0,33	70,36
2	1,67	0,41	123,15
3	1,74	0,33	37,31
4	1,74	0,53	0,25
5	2,61	0,33	150,50
6	2,74	0,20	6,60
7	1,74	0,33	5,42
8	0,70	0,83	82,26
9	1,44	0,29	37,24
10	2,11	0,12	17,69
11	1,22	0,07	624,49
12	5,66	0,13	9,88
13	1,22	0,48	156,10
14	1,72	0,53	22,68
15	0,87	0,67	115,75
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	1,93	0,37	

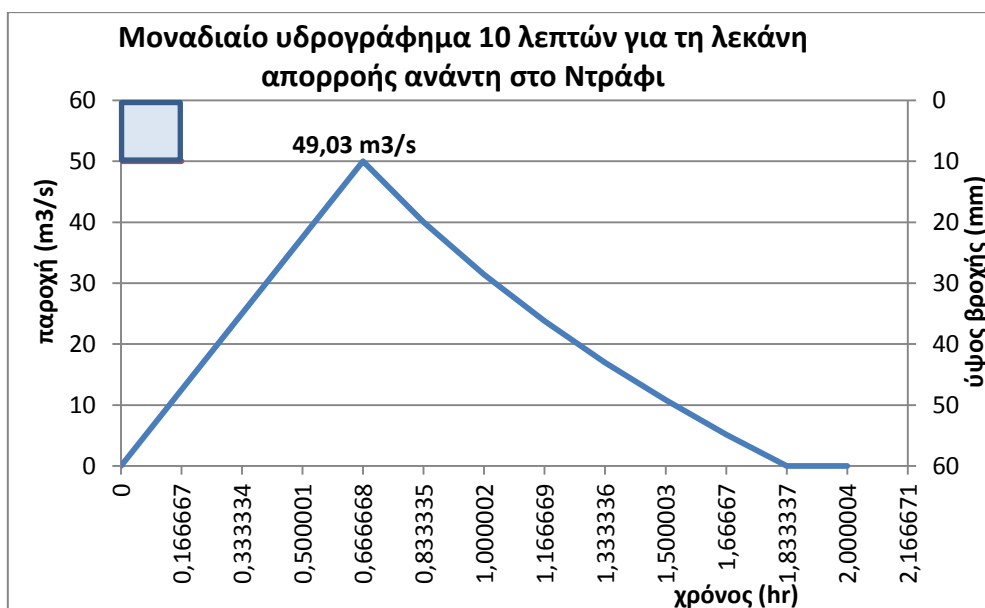
Από τα παραπάνω αποτελέσματα προκύπτει ότι η μέση τιμή της παραμέτρου β δεν διαφοροποιείται πολύ από την προηγούμενη διαδικασία ενώ η μέση τιμή του χρόνου συγκέντρωσης πλησιάζει την επιλεγείσα τιμή 1,74. Ακολουθεί η ανάλυση συχνότητας για την παράμετρο β .



Γράφημα 6.9 Διάγραμμα εμπειρικής κατανομής συχνότητας των τιμών της διορθωμένης παραμέτρου β για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι

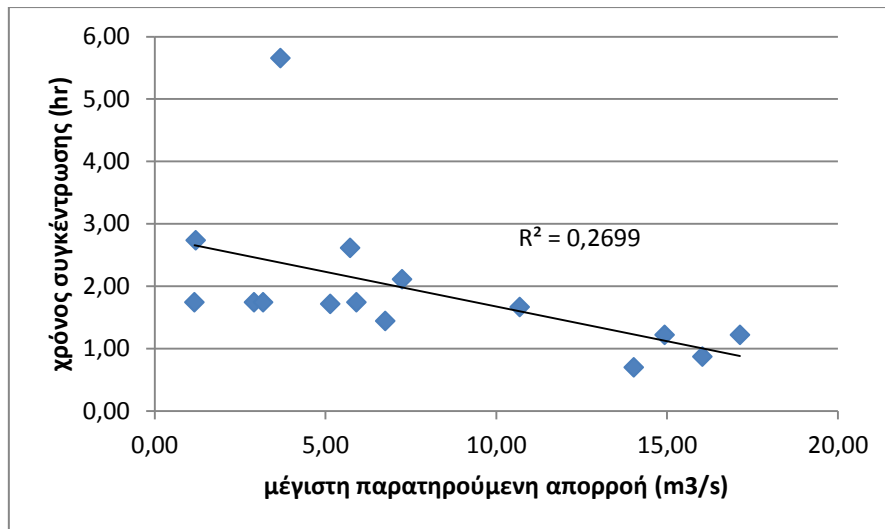
Από το παραπάνω γράφημα προκύπτει μία μεγαλύτερη διασπορά των τιμών, ωστόσο σημειώνεται συγκέντρωση τιμών μεταξύ 0,2 και 0,55 ενώ στα περισσότερα επεισόδια η τιμή της παραμέτρου β κυμαίνεται από 0,3 έως 0,35.

Τελικώς, το εμπειρικό παραμετρικό μοναδιαίο στο οποίο καταλήξαμε για τη συγκεκριμένη λεκάνη για $\beta=0,35$ και για χρόνο συγκέντρωσης όπως προκύπτει από την εξίσωση Giandotti είναι :



Γράφημα 6.10 Το εμπειρικό παραμετρικό μοναδιαίο υδρογράφημα για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι για διάρκεια βροχής 10 λεπτά

Λόγω της μεγάλης διακύμανσης που προέκυψε για το χρόνο συγκέντρωσης διερευνήθηκε πιθανή συσχέτιση του χρόνου συγκέντρωσης με την μέγιστη παρατηρούμενη απορροή.



Γράφημα 6.11 Διάγραμμα μέγιστης παρατηρούμενης απορροής-χρόνου συγκέντρωσης για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι

Από την παραπάνω διερεύνηση προέκυψε ότι με την αύξηση των πλημμυρικών αιχμών ο χρόνος συγκέντρωσης φθίνει. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι δεν πρόκειται για ένα μέγεθος που έχει για κάθε λεκάνη σταθερή τιμή αλλά η τιμή διαφοροποιείται από το μέγεθος της πλημμύρας. Οπότε σε μία διαδικασία σχεδιασμού αυτό πρέπει να ληφθεί υπόψιν.

5.4.2 Συγκριτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της βελτιστοποίησης με άλλες μεθόδους

Στον πίνακα 5.3 παρουσιάζονται οι τιμές της συνάρτησης σφάλματος από την εφαρμογή του μοναδιαίου υδρογραφήματος όπως προτείνεται από το Βρετανικό Ινστιτούτο Υδρολογίας και από τη μέθοδο Snyder, τα οποία εφαρμόζονται κάθENA ξεχωριστά σε ένα υετόγραμμα της μεθόδου SCS για $\alpha=0,2$ και S όπως προκύπτει από τη σχέση:

$$S = 5 \times h + 10 \times h_e - 10 \times \sqrt{h_e \times (h_e + 1,25 \times h)} \quad (\text{σχέση 2.2})$$

α/α	ημερομηνία	CN*	a	τιμή συνάρτησης σφάλματος μέθοδος Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας	μέθοδος Snyder	CN**	a**	τιμή συνάρτησης σφάλματος εμπειρικό μοναδιαίο υδρογράφημα
1	11/1/2004	45,37	0,2	340,46	317,11	13,00	0,00	70,36
2	19/12/2004	45,83	0,2	748,17	134,09	44,27	0,18	125,88
3	22/1/2004	54,10	0,2	364,42	263,99	22,71	0,01	37,21
4	1/2/2005	62,41	0,2	26,45	21,33	13,95	0,00	0,25
5	1/11/2006	47,53	0,2	596,92	424,08	21,45	0,01	128,34
6	2/12/2009	84,19	0,2	18,15	43,22	46,76	0,00	6,59
7	4/2/2005	66,62	0,2	103,47	32,38	33,39	0,01	5,42
8	4/11/2009	83,71	0,2	1554,99	632,69	88,92	0,38	353,54
9	10/12/2007	62,49	0,2	403,03	322,67	46,30	0,08	41,17
10	11/10/2006	58,41	0,2	601,47	125,27	31,74	0,03	28,29
11	12/12/2009	69,08	0,2	2749,14	3671,86	47,77	0,01	729,44
12	17/1/2005	39,17	0,2	278,28	360,62	16,64	0,02	29,42
13	17/10/2009	79,31	0,2	2597,54	1227,77	88,10	0,50	194,52
14	23/3/2007	56,28	0,2	193,66	37,38	42,62	0,09	22,82
15	25/10/2009	73,29	0,2	2581,08	1857,55	73,57	0,16	224,14

Πίνακας 6.3 Αποτελέσματα από την εφαρμογή των μοναδιαίων υδρογραφημάτων κατά Βρετανικό Ινστιτούτο Υδρολογίας, Snyder και του εμπειρικού μοναδιαίου υδρογραφήματος για διαφορετικές τιμές α και CN για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι

* το CN που προκύπτει από τη σχέση $S [mm] = 254 \times \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$ για $S = 5 \times h + 10 \times h_e - 10 \times \sqrt{h_e \times (h_e + 1, 25 \times h)}$

** τα CN και α που προκύπτουν από τη διαδικασία της βελτιστοποίησης

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή των τριών μοναδιαίων υδρογραφημάτων σε ένα υετόγραμμα με τις ίδιες τιμές a και CN , εκείνες που προκύπτουν από τη βελτιστοποίηση.

Πίνακας 6.4 Αποτελέσματα από την εφαρμογή των μοναδιαίων υδρογραφημάτων κατά Βρετανικό Ινστιτούτο Υδρολογίας, Snyder και του εμπειρικού μοναδιαίου υδρογράφηματος για ίδιες τιμές a και CN για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι

α/α	ημερομηνία	CN	a	τιμή συνάρτησης σφάλματος	μέθοδος Snyder	εμπειρικό μοναδιαίο υδρογράφημα
				μέθοδος Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας		
1	11/1/2004	13,00	0,00	108,40	83,65	70,36
2	19/12/2004	44,27	0,18	732,38	133,15	125,88
3	22/1/2004	22,71	0,01	206,76	67,43	37,21
4	1/2/2005	13,95	0,00	8,29	0,97	0,25
5	1/11/2006	21,45	0,01	200,51	165,27	128,34
6	2/12/2009	46,76	0,00	11,92	10,75	6,59
7	4/2/2005	33,39	0,01	52,06	6,82	5,42
8	4/11/2009	88,92	0,38	1578,14	625,17	353,54
9	10/12/2007	46,30	0,08	360,26	370,56	41,17
10	11/10/2006	31,74	0,03	525,33	49,01	28,29
11	12/12/2009	47,77	0,01	2132,92	4706,03	729,44
12	17/1/2005	16,64	0,02	42,75	21,76	29,42
13	17/10/2009	88,10	0,50	2539,65	1036,01	194,52
14	23/3/2007	42,62	0,09	166,72	37,35	22,82
15	25/10/2009	73,57	0,16	2458,40	1622,72	224,14

Από τον πίνακα 5.3 προκύπτει το συμπέρασμα ότι από την εφαρμογή της μεθόδου SCS με τιμές παραμέτρων αυτές που αναφέρθηκαν και των μοναδιαίων υδρογραφημάτων κατά Snyder και Βρετανικό Ινστιτούτο Υδρολογίας προκύπτει σφάλμα σε κάθε επεισόδιο αρκετά μεγαλύτερο από την εφαρμογή του εμπειρικού μοναδιαίου υδρογραφήματος και των βελτιστοποιημένων τιμών των παραμέτρων της SCS. Ωστόσο προκειμένου να γίνει η σύγκριση των τριών μοναδιαίων υδρογραφημάτων έγινε εφαρμογή αυτών στο ίδιο υετόγραμμα, εκείνο που προκύπτει με τις βελτιστοποιημένες παραμέτρους της SCS, και τα αποτελέσματα των τιμών της συνάρτησης σφάλματος παρουσιάζονται στον πίνακα 5.4. Από τον πίνακα προκύπτει ότι με την εφαρμογή των βελτιστοποιημένων παραμέτρων της μεθόδου SCS σε κάθε επεισόδιο το σφάλμα μειώθηκε αρκετά με εφαρμογή των μοναδιαίων υδρογραφημάτων κατά Snyder και Βρετανικό Ινστιτούτο Υδρολογίας, αλλά εξακολουθεί να είναι μεγαλύτερο από το σφάλμα που προκύπτει με εφαρμογή του εμπειρικού μοναδιαίου υδρογραφήματος. Το συμπέρασμα είναι λοιπόν ότι η προσομοίωση της απορροής βελτιώνεται κατά πολύ από την βελτιστοποίηση των παραμέτρων της μεθόδου SCS και αρκετά από τη χρήση του εμπειρικού μοναδιαίου υδρογραφήματος.

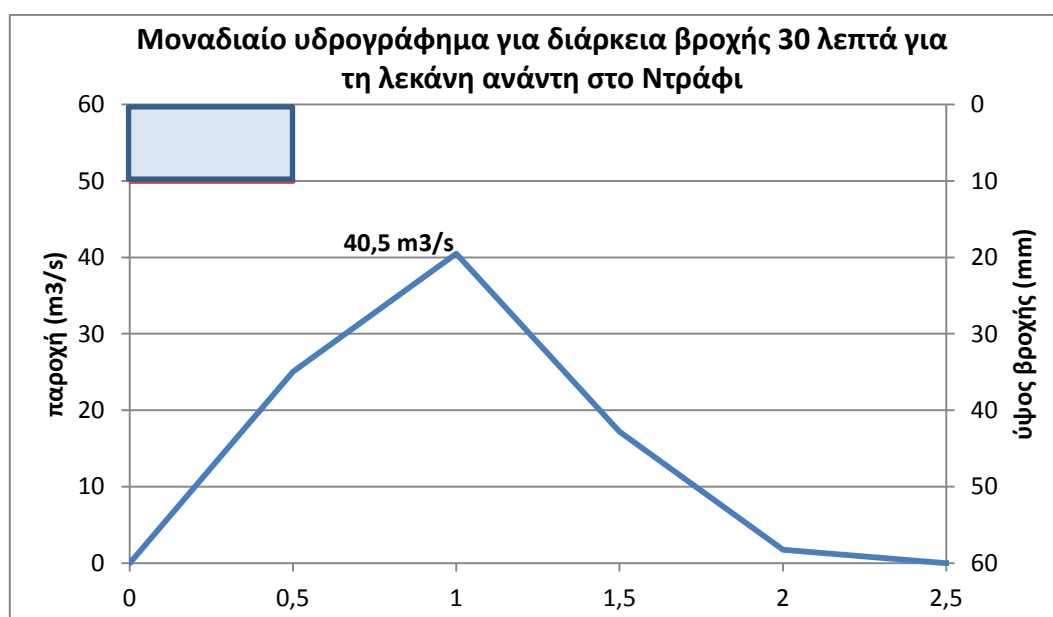
5.4.3 Αξιολόγηση αλλαγής χρονικού βήματος χρονοσειρών

Στον πίνακα 5.5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα στην συνάρτηση σφάλματος με εφαρμογή των παραμέτρων α , β , CN που έχουν προκύψει από τη βελτιστοποίηση χωρίς την τροποποίηση του χρόνου συγκέντρωσης (στήλη f1), από τις βελτιστοποιημένες παραμέτρους α , CN ενώ για β έχει τεθεί η τιμή 0,35 (στήλη f2) και από την εφαρμογή της τιμής 0,35 για την παράμετρο β χρησιμοποιώντας χρονοσειρές βροχής και παροχής χρονικού βήματος 30 λεπτά. Στόχος αυτής της ανάλυσης είναι να παρατηρηθεί πόσο αλλάζει η προσομοίωση με αλλαγή του χρονικού βήματος των χρονοσειρών όπως και να δούμε πόσο ευαίσθητη είναι η συνάρτηση σφάλματος στην αλλαγή της παραμέτρου β . Το συμπέρασμα που προκύπτει παρατηρώντας τον πίνακα 5.5 και συγκρίνοντας τη στήλη f1 και f2 είναι ότι με την αλλαγή της τιμής για την παράμετρο β στις περισσότερες περιπτώσεις το σφάλμα δεν τροποποιείται έντονα, οπότε συμπεραίνουμε ότι η τιμή $\beta=0,35$ είναι ικανοποιητική για κάθε περίπτωση επεισοδίου. Συγκρίνοντας τη στήλη f2 με τη

στήλη f3 παρατηρούμε ότι το σφάλμα μειώνεται αρκετά οπότε η προσομοίωση βελτιώνεται αρκετά. Ένα τέτοιο συμπέρασμα είναι αναμενόμενο με την έννοια ότι η απαίτηση να προσομοιώσουμε ένα γεγονός ικανοποιείται καλύτερα όσο μεγαλύτερα είναι τα χρονικά περιθώρια που θέτουμε.

Για την παραπάνω αξιολόγηση υπήρξε απαραίτητη η κατάρτιση του εμπειρικού μοναδιαίου υδρογράφηματος με τη μεθοδολογία που έχει παρουσιαστεί για $\beta=0,35$ και για διάρκεια βροχής 0,5 hr. Το μοναδιαίο υδρογράφημα για διάρκεια βροχής 10 λεπτά, βάση του οποίου θα γίνει το μοναδιαίο υδρογράφημα για διάρκεια 30 λεπτά, έχει την ακόλουθη μορφή του γραφήματος 6.10.

Με τη δημιουργία της καμπύλης S των 10 λεπτών και τις κατάλληλες χρονικές μετατοπίσεις προέκυψε το ακόλουθο μοναδιαίο υδρογράφημα:



Γράφημα 6.12 Εμπειρικό μοναδιαίο υδρογράφημα για διάρκεια βροχής 30 λεπτά για $\beta=0,35$ για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι

Πίνακας 6.5 Αποτελέσματα προσομοίωσης με χρήση διαφορετικού χρονικού βήματος στις χρονοσειρές και εφαρμογή ίδιας τιμής της παραμέτρου β

α/α	ημερομηνία	χρονικό βήμα 10 λεπτά				χρονικό βήμα 30 λεπτά	
		β	f1	β	f2	β μέσο	f3
1	11/1/2004	0,33	70,36	0,35	70,45	0,35	34,03
2	19/12/2004	0,39	125,88	0,35	126,52	0,35	54,99
3	22/1/2004	0,33	37,21	0,35	39,34	0,35	21,69
4	1/2/2005	0,53	0,25	0,35	0,46	0,35	0,08
5	1/11/2006	1,00	128,34	0,35	184,26	0,35	65,76
6	4/2/2005	0,28	5,42	0,35	5,49	0,35	1,81
7	4/11/2009	0,33	353,54	0,35	368,28	0,35	105,33
8	10/12/2007	0,34	41,17	0,35	41,98	0,35	10,49
9	11/10/2006	0,24	28,29	0,35	31,14	0,35	36,00
10	12/12/2009	0,08	729,44	0,35	787,16	0,35	356,62
11	17/1/2005	0,05	29,42	0,35	42,20	0,35	11,56
12	17/10/2009	0,78	194,52	0,35	156,86	0,35	51,62
13	23/3/2007	0,33	22,82	0,35	29,40	0,35	5,90
14	25/10/2009	0,53	224,14	0,35	345,85	0,35	145,16

6.2 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα

6.2.1 Αποτελέσματα διαδικασίας βελτιστοποίησης με εφαρμογή του εμπειρικού μοναδιαίου υδρογραφήματος

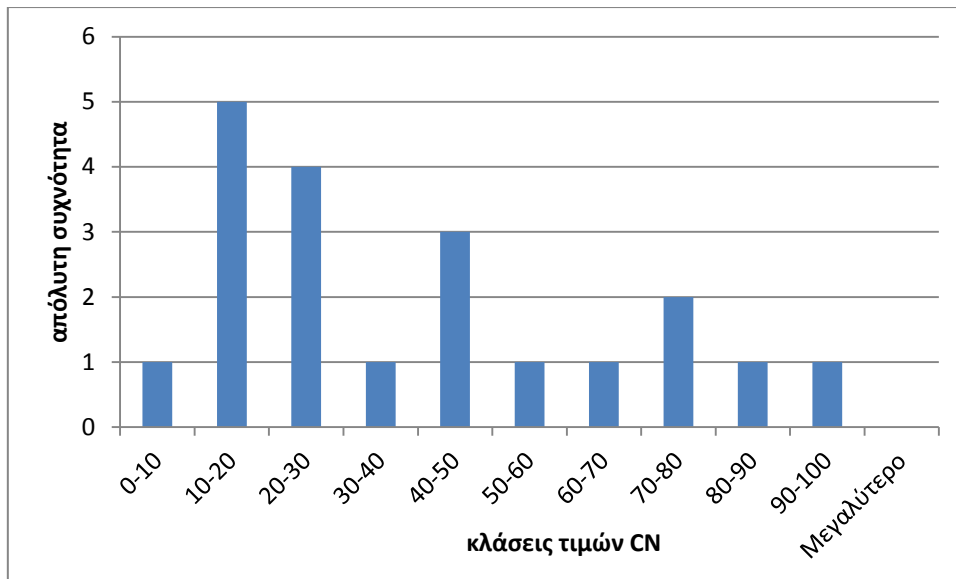
Στον πίνακα 5.6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τη βελτιστοποίηση των παραμέτρων α , β και CN για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα. Το αποτέλεσμα της προσομοίωσης αποτυπώνεται στην τιμή της συνάρτησης σφάλματος. Σε πρώτο στάδιο για την διαδικασία της βελτιστοποίησης ακολουθήθηκε η μεθοδολογία που έχει παρουσιαστεί στην αρχή του κεφαλαίου. Από τον πίνακα προκύπτει:

$$CN_{\text{μέση τιμή}}=40,99$$

$$\alpha_{\text{μέση τιμή}}=0,07$$

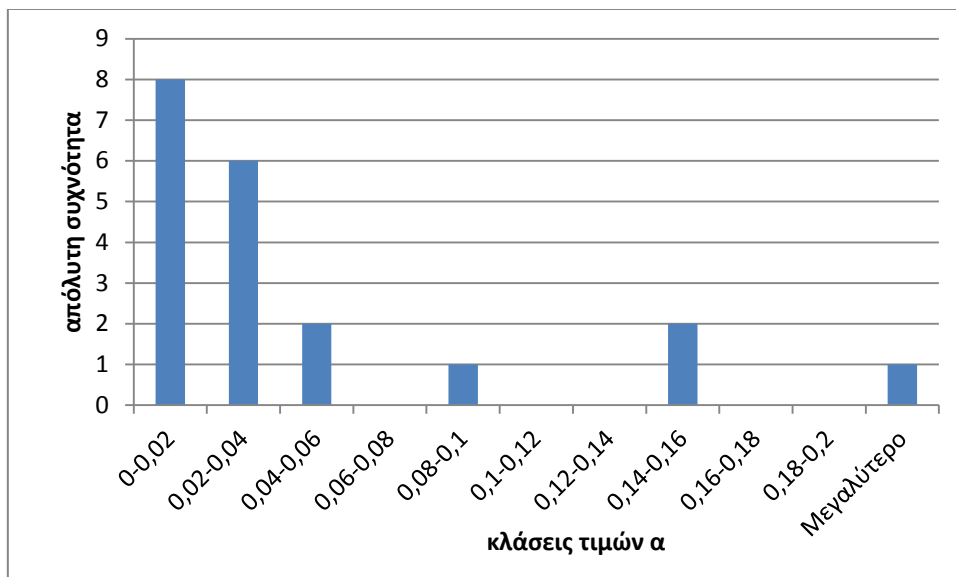
$$\beta_{\text{μέση τιμή}}=0,40$$

Επίσης ο μέσος συντελεστής απορροής προκύπτει 6,63 μία τιμή που υποδηλώνει τι πρόκειται για μία λεκάνη απορροής που από τη βροχή που πέφτει απορρέει ένα μικρό ποσοστό, μία κατάσταση που παρατηρήθηκε και στη λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι. Θα ακολουθηθεί η ίδια διαδικασία με το Ντράφι προκειμένου να δούμε αν υπάρχει κάποια συσχέτιση αυτών των παραμέτρων με τη μέγιστη παρατηρούμενη απορροή και επίσης θα γίνει ανάλυση συχνότητας για την κάθε παράμετρο ώστε να καταλήξουμε σε μία αντιπροσωπευτική τιμή.



Γράφημα 6.13 Εμπειρική κατανομή συχνότητας για την παράμετρο CN για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα

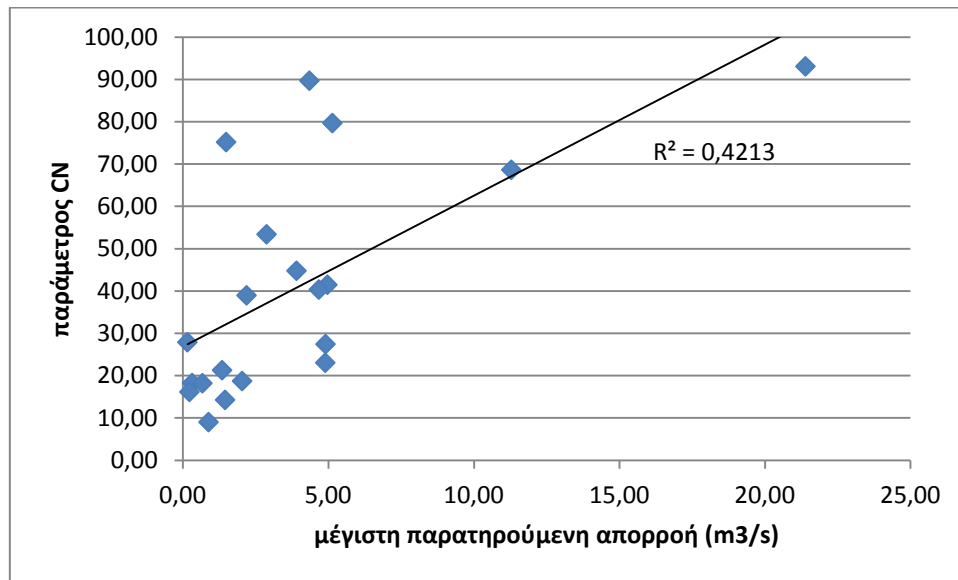
Από το παραπάνω γράφημα προκύπτει ότι υπάρχει μία συγκέντρωση τιμών σε χαμηλά επίπεδα με τα περισσότερα επεισόδια να δίνουν CN μεταξύ των τιμών 10 με 20.



Γράφημα 6.14 Εμπειρική κατανομή συχνότητας για την παράμετρο α για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι η κλάση τιμών με τη μεγαλύτερη παρατηρούμενη συχνότητα για την παράμετρο α είναι 0 έως 0,02 ενώ γενικώς στα περισσότερα επεισόδια παρατηρούνται τιμές κάτω από 0,06.

Ακολουθεί η διερεύνηση της συσχέτισης αυτών των παραμέτρων με τη μέγιστη παρατηρούμενη απορροή.

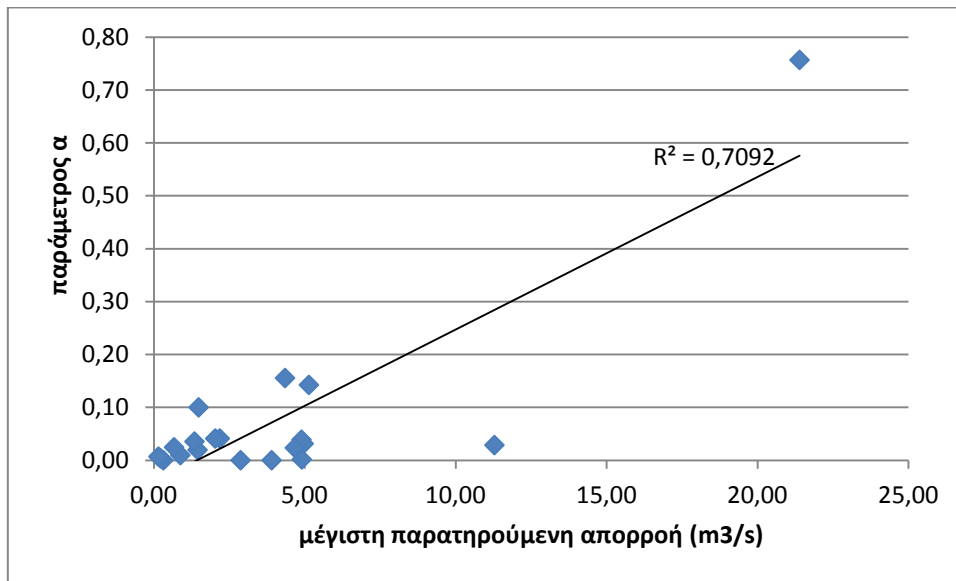


Γράφημα 6.15 Διάγραμμα μέγιστης παρατηρούμενης απορροής – παραμέτρου CN για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα

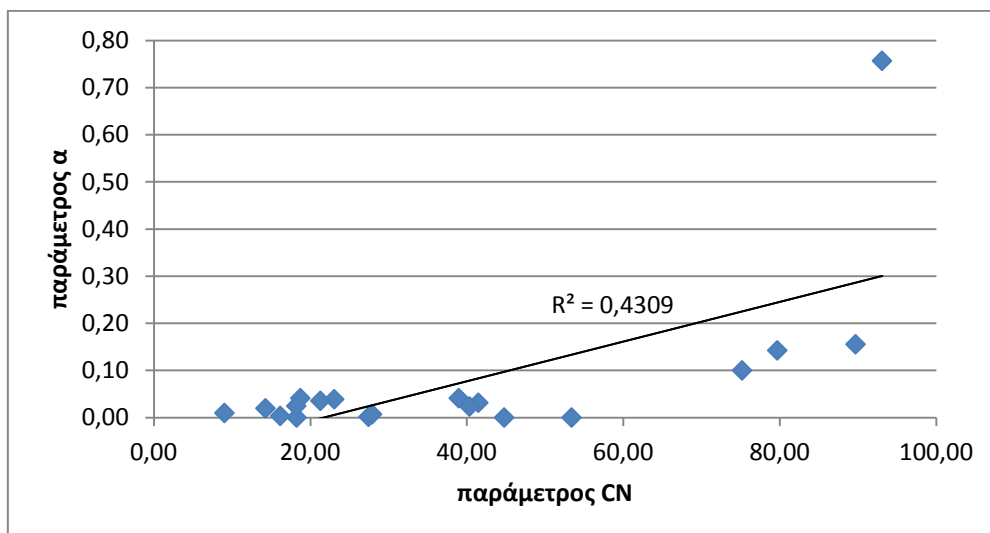
Πίνακας 6.6 Αποτελέσματα βελτιστοποίησης για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα

α/α	ημερομηνία	μέγιστη παρατηρούμενη παροχή (m ³ /s)	CN	a	β	τιμή της συνάρτησης σφάλματος	αθροιστικό ύψος ακαθάριστης βροχής P (mm)	αθροιστικό ύψος άμεσης απορροής Qe (mm)	συντελεστής απορροής c
1	6/2/2006	4,97	41,49	0,03	0,65	20,25	49,83	3,76	7,55
2	6/12/2009	3,91	44,79	0,00	0,24	44,40	21,04	3,39	16,09
3	7/2/2010	4,35	89,71	0,16	0,48	4,48	11,36	1,29	11,32
4	11/2/2010	1,49	75,20	0,10	0,20	4,55	15,27	0,52	3,42
5	21/1/2005	0,32	18,26	0,00	0,99	2,66	30,62	0,80	2,62
6	21/5/2010	4,91	27,46	0,00	0,56	42,64	47,66	3,02	6,33
7	23/1/2010	2,19	38,99	0,04	0,24	8,03	53,44	3,17	5,93
8	24/11/2005	4,90	23,07	0,04	0,56	14,74	95,23	4,27	4,48
9	1/2/2005	0,23	16,16	0,00	0,15	0,05	29,53	0,46	1,56
10	1/11/2006	0,88	9,04	0,01	0,88	2,47	124,40	3,74	3,01
11	2/12/2009	2,88	53,41	0,00	0,01	22,81	25,81	2,70	10,44
12	4/2/2005	0,16	27,91	0,01	0,29	0,09	25,50	0,65	2,55
13	4/11/2009	5,14	79,70	0,14	0,24	14,89	22,20	2,17	9,79
14	10/12/2007	1,45	14,28	0,02	0,72	4,21	73,80	1,23	1,67
15	11/10/2006	2,04	18,74	0,04	0,72	1,11	78,54	0,97	1,24
16	12/12/2009	4,67	40,35	0,02	0,08	34,82	66,20	7,60	11,49
17	17/1/2005	0,67	18,22	0,02	0,32	5,22	88,43	3,04	3,44
18	17/10/2009	21,39	93,09	0,76	0,08	217,38	25,04	3,90	15,56
19	23/3/2007	1,35	21,31	0,04	0,24	1,18	72,75	1,59	2,19
20	25/10/2009	11,29	68,65	0,03	0,40	99,01	22,20	2,65	11,93
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ			40,99	0,07	0,40				6,63
ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ			26,79	0,17	0,28				4,81

Από το γράφημα 5.71 προκύπτει ότι υπάρχει γραμμική συσχέτιση των παραμέτρων CN και μέγιστης παρατηρούμενης απορροής και συγκεκριμένα με την αύξηση του CN παρατηρείται αύξηση της μέγιστης παρατηρούμενης απορροής, συμπέρασμα το οποίο παρατηρήθηκε και στην λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι. Σε χαμηλές τιμές παροχής παρατηρείται μία συγκέντρωση τιμών CN σε χαμηλά επίπεδα ενώ με την αύξηση των μεγίστων οι τιμές CN διασπείρονται και σε υψηλότερες τιμές.



Γράφημα 6.16 Διάγραμμα μέγιστης παρατηρούμενης απορροής- παραμέτρου α για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα



Γράφημα 6.17 Διάγραμμα παραμέτρου CN- παραμέτρου α για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα

Από το γράφημα 5.72 δεν μπορούμε να συμπεράνουμε ασφαλώς ότι υπάρχει κάποια γραμμική συσχέτιση μέγιστης παρατηρούμενης απορροής και της παραμέτρου α . Οι περισσότερες τιμές α και μέγιστης παρατηρούμενης απορροής είναι χαμηλές και έτσι σε μεγαλύτερες τιμές μέγιστης απορροής δεν έχουμε εικόνα που κυμαίνεται η παράμετρος α . στο γράφημα 6.3 η τιμή $R^2=0,7$ δεν είναι δηλωτική καλής συσχέτισης καθότι από το γράφημα είναι εμφανές ότι έχει προκύψει λόγω μίας πολύ μεγάλης τιμής στο δείγμα της παραμέτρου α . Όσο για τη σχέση α με CN είναι λίγες οι περιπτώσεις μεγάλου CN και μεγάλου α ώστε να ειπωθεί ότι παρατηρείται μία γραμμική αναλογική συσχέτιση όπως είδαμε στην περίπτωση της λεκάνης απορροής ανάντη στο Ντράφι.



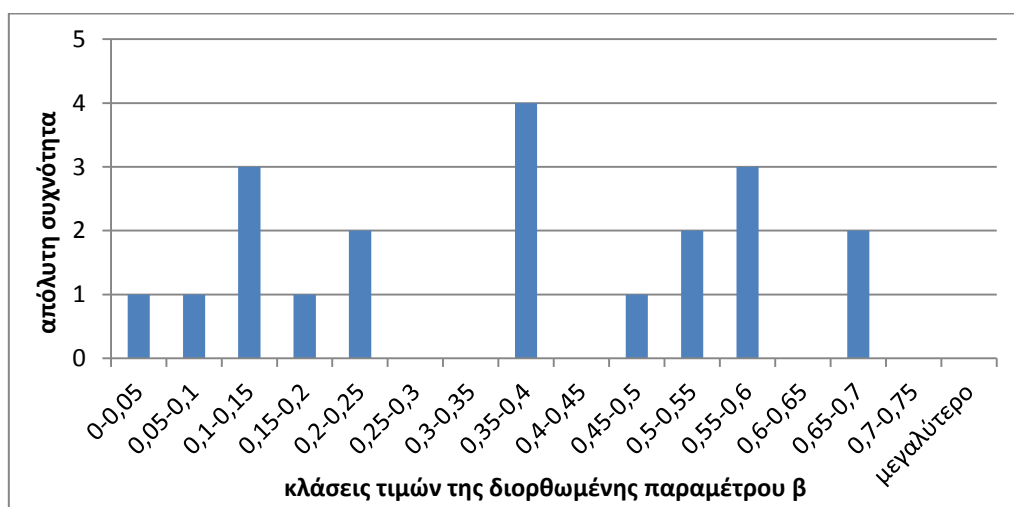
Γράφημα 6.18 Εμπειρική κατανομή συχνότητας για την παράμετρο β για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα

Από το παραπάνω γράφημα προκύπτει ότι το εύρος διακύμανσης με τη μεγαλύτερη συχνότητα είναι 0,2 έως 0,25, ενώ γενικώς παρατηρούμε ότι στα περισσότερα επεισόδια οι τιμές της παραμέτρου β είναι κάτω από 0,4. Επίσης όπως και στην λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι από τη μορφή των προσομοιωμένων υδρογραφημάτων δημιουργήθηκε η υπόνοια ότι ο χρόνος συγκέντρωσης που επιλέχθηκε για την εν λόγω λεκάνη δεν είναι ο κατάλληλος. Να σημειωθεί ότι ο χρόνος συγκέντρωσης κατά Giandotti που προέκυψε για τη συγκεκριμένη λεκάνη είναι 1,05 hr. Για το λόγο αυτό με τον ίδιο τρόπο που παρουσιάστηκε στη λεκάνη

απορροής ανάντη στο Ντράφι έγινε τροποποίηση της παραμέτρου β για τον νέο χρόνο συγκέντρωσης. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

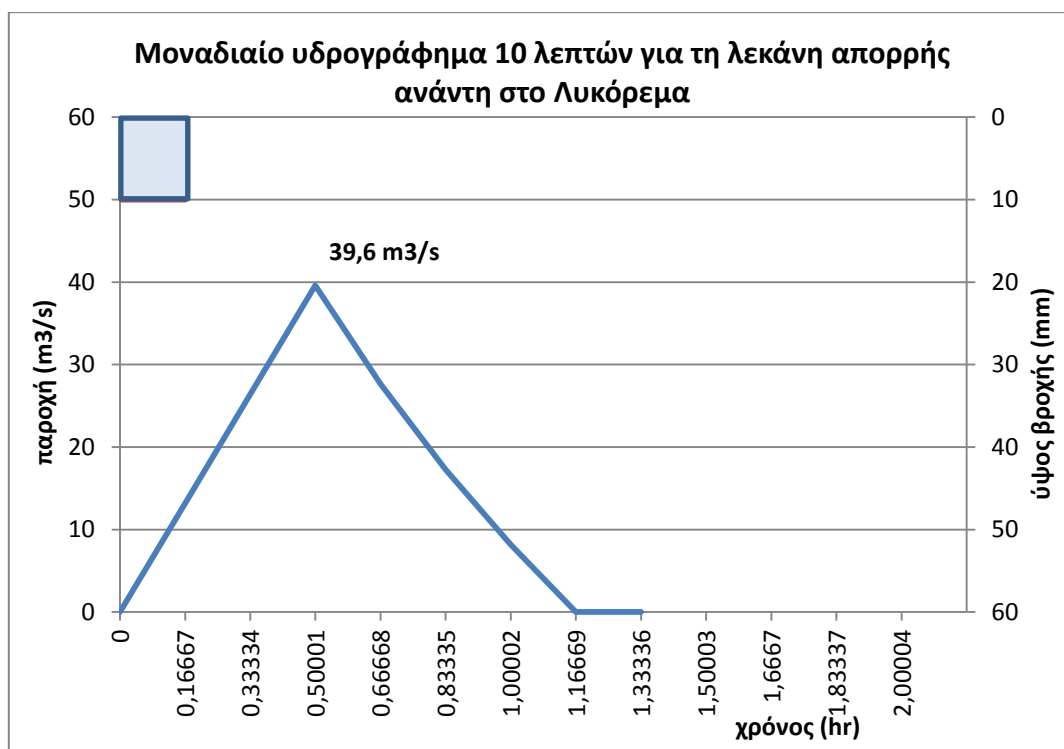
Πίνακας 6.7 Διορθωμένες τιμές της παραμέτρου β και του χρόνου συγκέντρωσης για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα

α/α	Διορθωμένος χρόνος συγκέντρωσης	Διορθωμένη παράμετρος β	Τιμή συνάρτησης σφάλματος
1	1,62	0,36	11,35
2	1,05	0,24	44,40
3	1,07	0,37	2,67
4	1,45	0,52	0,67
5	3,40	0,56	0,59
6	1,25	0,37	31,45
7	1,43	0,17	7,47
8	1,07	0,54	14,65
9	1,05	0,15	0,05
10	2,42	0,38	1,86
11	1,11	0,01	22,73
12	1,57	0,13	0,08
13	0,52	0,48	2,40
14	1,59	0,68	3,84
15	1,08	0,69	0,71
16	0,89	0,09	34,42
17	7,45	0,21	0,47
18	0,52	0,14	86,53
19	1,57	0,59	2,09
20	0,73	0,57	68,98
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	1,64	0,36	



Γράφημα 6.19 Εμπειρική κατανομή πιθανότητας για την διορθωμένη παράμετρο β για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα

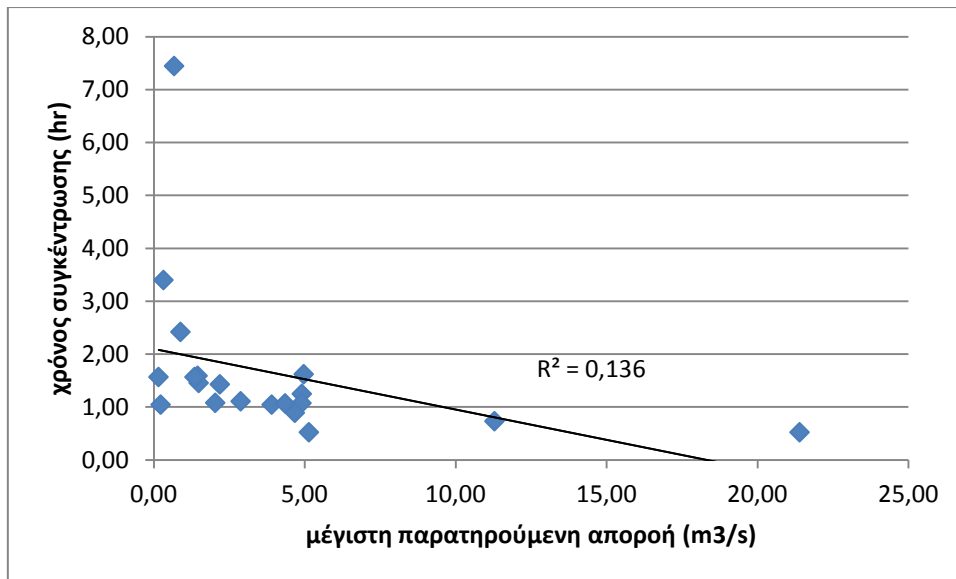
Από τον Πίνακα 6.7 προκύπτει ότι η μέση τιμή της παραμέτρου από 0,40 γίνεται 0,36, ενώ ο χρόνος συγκέντρωσης σημειώνει μία αύξηση κατά 30 περίπου λεπτά. Στο Γράφημα 6.19 παρουσιάζεται η κατανομή συχνότητας της διορθωμένης παραμέτρου β . Έτσι καταλήξαμε στο ακόλουθο εμπειρικό μοναδιαίο υδρογράφημα για $\beta=0,35$ και για χρόνο συγκέντρωσης όπως προκύπτει από την εξίσωση Giandotti:



Γράφημα 6.20 Το εμπειρικό παραμετρικό μοναδιαίο υδρογράφημα για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα

Από την παραπάνω κατανομή προκύπτει ότι στα περισσότερα επεισόδια για τη λεκάνη ανάντη στο Λυκόρεμα οι τιμές της παραμέτρου κυμαίνονται από 0,35 έως 0,4. Ωστόσο από τη μορφή της κατανομής φαίνεται να υπάρχει μεγάλη διασπορά τιμών καθότι και σε χαμηλά και σε υψηλά επίπεδα τιμών παρατηρούνται αρκετές περιπτώσεις.

Τέλος, έχει ενδιαφέρον να δούμε και για την εν λόγω λεκάνη τη σχέση μέγιστης παρατηρούμενης απορροής και χρόνου συγκέντρωσης.



Γράφημα 6.21 Διάγραμμα μέγιστης παρατηρούμενης αποροής-χρόνου συγκέντρωσης για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα

Παρατηρούμε ότι και για τη λεκάνη ανάντη στο Λυκόρεμα καταλήγουμε στο ίδιο συμπέρασμα αναφορικά με τη σχέση χρόνου συγκέντρωσης και μέγιστης παρατηρούμενης αποροής. Από το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται με την αύξηση των πλημμυρικών αιχμών να μειώνεται ο χρόνος συγκέντρωσης.

Γενικώς ωστόσο πρέπει να σημειωθεί ότι στο δείγμα τιμών πλημμυρικών αιχμών δεν υπάρχουν πολλές μεγάλες τιμές καθότι οι περισσότερες τιμές κυμαίνονται κάτω από 5 m³/s. Έτσι και για τα προηγούμενα μεγέθη που διερευνήσαμε τη συσχέτισή τους με την πλημμυρική αιχμή για τη λεκάνη ανάντη στο Λυκόρεμα μάλλον δεν μπορούμε να καταλήξουμε σε ένα ασφαλές συμπέρασμα. Στην περίπτωση του χρόνου συγκέντρωσης ωστόσο διαφαίνεται να υπάρχει μία αντιστρόφως ανάλογη σχέση ακόμα και για την περιοχή τιμών μέγιστης παροχής κάτω από 5 m³/s.

6.6.2 Συγκριτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της βελτιστοποίησης με άλλες μεθόδους

Στον πίνακα 5.8 παρουσιάζονται οι τιμές της συνάρτησης σφάλματος από την εφαρμογή του μοναδιαίου υδρογραφήματος όπως προτείνεται από το Βρετανικό Ινστιτούτο Υδρολογίας και από τη μέθοδο Snyder, τα οποία εφαρμόζονται κάθετα ξεχωριστά σε ένα υετόγραμμα της μεθόδου SCS για $\alpha=0,2$ και S όπως προκύπτει από τη σχέση:

$$S = 5 \times h + 10 \times h_e - 10 \times \sqrt{h_e \times (h_e + 1,25 \times h)} \quad (\text{σχέση 2.2})$$

Πίνακας 6.8 Αποτελέσματα από την εφαρμογή των μοναδιαίων υδρογραφημάτων κατά Βρετανικό Ινστιτούτο Υδρολογίας, Snyder και του εμπειρικού μοναδιαίου υδρογραφήματος για διαφορετικές τιμές α και CN για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι

α/α	ημερομηνία	CN*	a	τιμή συνάρτησης σφάλματος	μέθοδος Snyder	CN**	a**	τιμή συνάρτησης σφάλματος
				μέθοδος Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας				εμπειρικό μοναδιαίο υδρογράφημα
1	6/2/2006	66,29	0,2	110,14	122,94	41,49	0,03	20,25
2	6/12/2009	75,99	0,2	150,17	137,70	44,79	0,00	44,40
3	7/2/2010	91,03	0,2	126,11	111,49	89,71	0,16	4,48
4	11/2/2010	83,67	0,2	79,18	7,02	75,20	0,10	4,55
5	21/1/2005	70,73	0,2	3,34	98,31	18,26	0,00	0,59
6	21/5/2010	65,96	0,2	104,95	78,53	27,46	0,00	42,64
7	23/1/2010	59,37	0,2	36,58	199,43	38,99	0,04	8,03
8	24/11/2005	46,74	0,2	347,69	62,97	23,07	0,04	14,74
9	1/2/2005	69,65	0,2	1,35	1,30	16,16	0,00	0,05
10	1/11/2006	37,95	0,2	59,13	31,75	9,04	0,01	2,47
11	2/12/2009	81,16	0,2	68,97	72,33	53,41	0,00	22,81
12	4/2/2005	74,27	0,2	0,69	0,65	27,91	0,01	0,09
13	4/11/2009	82,98	0,2	170,32	38,86	79,70	0,14	14,89
14	10/12/2007	48,10	0,2	12,03	53,82	14,28	0,02	3,84
15	11/10/2006	45,50	0,2	26,07	15,45	18,74	0,04	1,11
16	12/12/2009	63,67	0,2	261,50	334,44	40,35	0,02	34,82
17	17/1/2005	46,98	0,2	2,96	23,80	20,56	0,03	0,47
18	17/10/2009	84,40	0,2	3654,39	898,46	93,09	0,76	217,38
19	23/3/2007	49,59	0,2	14,07	14,91	18,02	0,03	2,60
20	25/10/2009	84,17	0,2	2832,00	6852,19	68,65	0,03	99,01

* το CN που προκύπτει από τη σχέση $S[mm] = 254 \times \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$ για

$$S = 5 \times h + 10 \times h_e - 10 \times \sqrt{h_e \times (h_e + 1,25 \times h)}$$

** τα CN και α που προκύπτουν από τη διαδικασία της βελτιστοποίησης

Στον Πίνακα 6.9 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή των τριών μοναδιαίων υδρογραφημάτων σε ένα υετόγραμμα με τις ίδιες τιμές a και CN , εκείνες που προκύπτουν από τη βελτιστοποίηση.

Πίνακας 6.9 Αποτελέσματα από την εφαρμογή των μοναδιαίων υδρογραφημάτων κατά Βρετανικό Ινστιτούτο Υδρολογίας, Snyder και του εμπειρικού μοναδιαίου υδρογραφήματος για ίδιες τιμές a και CN για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα

α/α	ημερομηνία	CN*	a	τιμή συνάρτησης σφάλματος μέθοδος Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας	μέθοδος Snyder	εμπειρικό μοναδιαίο υδρογράφημα
1	6/2/2006	41,49	0,03	78,55	114,37	20,25
2	6/12/2009	44,79	0,00	163,42	50,94	44,40
3	7/2/2010	89,71	0,16	798,77	754,12	4,48
4	11/2/2010	75,20	0,10	82,84	10,60	4,55
5	21/1/2005	18,26	0,00	0,72	7,96	0,59
6	21/5/2010	27,46	0,00	66,62	59,86	42,64
7	23/1/2010	38,99	0,04	26,55	43,46	8,03
8	24/11/2005	23,07	0,04	299,69	21,40	14,74
9	1/2/2005	16,16	0,00	0,22	0,05	0,05
10	1/11/2006	9,04	0,01	5,61	4,80	2,47
11	2/12/2009	53,41	0,00	68,68	26,98	22,81
12	4/2/2005	27,91	0,01	0,12	0,08	0,09
13	4/11/2009	79,70	0,14	168,04	37,75	14,89
14	10/12/2007	14,28	0,02	6,57	8,07	3,84
15	11/10/2006	18,74	0,04	21,33	6,74	1,11
16	12/12/2009	40,35	0,02	135,95	92,19	34,82
17	17/1/2005	20,56	0,03	1,31	9,69	0,47
18	17/10/2009	93,09	0,76	3504,60	743,40	217,38
19	23/3/2007	18,02	0,03	8,60	7,86	2,60
20	25/10/2009	68,65	0,03	1517,08	1724,21	99,01

Τα συμπεράσματα για την εν λόγω λεκάνη είναι αντίστοιχα με εκείνα για τη λεκάνη ανάντη στο Ντράφι. Εφαρμόζοντας τις τιμές των παραμέτρων της μεθόδου SCS όπως προτείνονται από τη βιβλιογραφία και παρουσιάζονται στον πίνακα 5.8 σε συνδυασμό με τη χρήση των συνθετικών μοναδιαίων υδρογραφημάτων κατά Snyder και Βρετανικό Ινστιτούτο Υδρολογίας το σφάλμα που προκύπτει είναι

αρκετά μεγαλύτερο από την περίπτωση που εφαρμόζουμε τις βελτιστοποιημένες τιμές για τις παραμέτρους της μεθόδου SCS και το εμπειρικό μοναδιαίο υδρογράφημα. Για την πιο δίκαιη σύγκριση των τριών υδρογραφημάτων απομονώνουμε το σφάλμα που προκύπτει από την εφαρμογή των βιβλιογραφικών τιμών των παραμέτρων της μεθόδου SCS με το να εφαρμόζουμε και στις τρεις περιπτώσεις τις τιμές των α και CN που προκύπτουν από τη βελτιστοποίηση και συγκρίνουμε το σφάλμα που προκύπτει από τα τρία μοναδιαία υδρογραφήματα. Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης διαδικασίας παρουσιάζονται στον πίνακα 5.9. Το συμπέρασμα είναι ότι σχεδόν σε κάθε περίπτωση το σφάλμα που προκύπτει από την εφαρμογή του εμπειρικού μοναδιαίου υδρογραφήματος είναι μικρότερο από τη χρήση των άλλων συνθετικών μοναδιαίων υδρογραφημάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

7.1 Σύνοψη και συμπεράσματα

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας πραγματοποιήθηκε εκτενής ανάλυση ενός πλήθους πλημμυρικών επεισοδίων στην πειραματική λεκάνη της Πεντέλης, ανάντη των υδρομετρικών σταθμών στις θέσεις Ντράφι και Λυκόρεμα, με χρήση υφιστάμενων και νέων μεθοδολογιών. Η ανάλυση περιλάμβανε μια σειρά προκαταρκτικών εργασιών, για την επιλογή των επεισοδίων, την αντιστοίχιση των υετογραφήματων, και τον διαχωρισμό της επιφανειακής απορροής από το συνολικό πλημυρογράφημα, με βάση τη θεωρητική ερμηνεία του χρόνου συγκέντρωσης κατά Giandotti.

Κεντρικός στόχος ήταν η διερεύνηση οι τιμές των βέλτιστων παραμέτρων α και CN της μεθόδου SCS οι οποίες σχετίζονται με την εκτίμηση της ενεργού βροχής, και της παραμέτρου β η οποία εισάγεται στην εκτίμηση του χρόνου ανόδου του εμπειρικού μοναδιαίου υδρογραφήματος που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της εργασίας. Η βαθμονόμηση των παραμέτρων βασίστηκε σε μια σύνθετη συνάρτηση σφάλματος, η οποία περιλαμβάνει τρία κριτήρια, για την όσο το δυνατό καλύτερη προσαρμογή των προσομοιωμένων πλημυρογραφήματων στα παρατηρημένα, με συνεπή τήρηση των φυσικών περιορισμών του προβλήματος

Για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι, στα περισσότερα επεισόδια, η τιμή CN κυμάνθηκε από 40 έως 50 και η τιμή α από 0 έως 0,02. Να σημειωθεί ότι συναφής έρευνα (Baltas et al, 2007) κατέληξε για τη συγκεκριμένη λεκάνη σε CN=41,86 και $\alpha=0,014$. Γενικά, παρατηρείται έντονη μεταβλητότητα των τιμών των παραμέτρων, αλλά και σημαντική απόκλιση από τις τιμές που προτείνονται από τη βιβλιογραφία, οι οποίες φαίνεται να υπερεκτιμώνται σημαντικά. Συγκεκριμένα, ο αριθμός καμπύλης απορροής που υπολογίζεται από τους χάρτες γεωλογίας και χρήσεων γης ανέρχεται σε 73, ενώ και για την παράμετρο α , που σχετίζεται με το αρχικό έλλειμμα, στη βιβλιογραφία προτείνεται η τιμή 0.20.

Οι δύο παράμετροι παρουσιάζουν καλή συσχέτιση με την παρατηρημένη παροχή αιχμής. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει ότι είναι ανώφελο να θεωρήσουμε ότι οι συγκεκριμένες παράμετροι λαμβάνουν μία συγκεκριμένη τιμή, η οποία μπορεί να εκτιμηθεί από τα χαρακτηριστικά της λεκάνης. Η αλήθεια είναι τόσο το CN όσο και το ποσοστό α πρέπει να αντιμετωπιστούν ως μεταβλητές και όχι ως παράμετροι. Από τη διερεύνηση που έγινε προκύπτει ότι οι τιμές των παραμέτρων διαφοροποιούνται ανάλογα με το μέγεθος της πλημμύρας (ειδικότερα, με την πλημμυρική αιχμή).

Όσον αφορά στην παράμετρο β του εμπειρικού ΣΜΥ, το εύρος τιμών στο οποίο καταλήξαμε μετά τη διόρθωση του χρόνου συγκέντρωσης είναι 0,30-0,35, που είναι μικρότερη από την τιμή που προτείνει η βιβλιογραφία ($\beta = 0.60$). Όπως έχουμε αναφέρει, πρόκειται για παράμετρο που υπεισέρχεται στη διαμόρφωση του χρόνου ανόδου του συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος. Η μικρή τιμή του β υποδηλώνει ταχύτερη απόκριση της λεκάνης, το οποίο είναι πιο δυσμενές στον υδρολογικό σχεδιασμό σε σχέση με μια πιο ήπια απόκριση.

Σημειώνεται ότι το συγκεκριμένο υδρογράφημα αφορά σε χρόνο συγκέντρωσης που έχει προκύψει από την εμπειρική σχέση του Giandotti. Ωστόσο, από επόμενη διερεύνηση που έγινε καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι ούτε ο χρόνος συγκέντρωσης δεν αποτελεί παράμετρο με σταθερή τιμή, αλλά επίσης εξαρτάται από το μέγεθος της πλημμυρικής αιχμής, κατά τρόπο αντιστρόφως ανάλογο. Αυτή η παρατήρηση είναι εξαιρετικά σημαντική, και επιβεβαιώνει πρόσφατες έρευνες σε πειραματικές λεκάνες του εξωτερικού (Grimaldi et al., 2012).

Για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα, η οποία, όπως έχει προαναφερθεί, αποτελεί τμήμα της λεκάνης απορροής ανάντη στο Ντράφι, στα περισσότερα επεισόδια η τιμή της παραμέτρου CN κυμάνθηκε από 10 έως 20 και η τιμή της παραμέτρου α από 0 έως 0,02. Να σημειωθεί ότι συναφής έρευνα (Baltas et al, 2007) κατέληξε για τη συγκεκριμένη λεκάνη σε CN=23,76 και $\alpha=0,037$. Ωστόσο οι προτεινόμενες από τη βιβλιογραφία τιμές και για αυτήν την λεκάνη είναι υπερεκτιμημένες ($\alpha=0,2$ και CN = 75,55 σύμφωνα με τους χάρτες γεωλογίας και χρήσεων γης).

Επιπλέον διερεύνηση οδήγησε σε συσχέτιση μεταξύ CN και πλημμυρικής αιχμής. Αντίστοιχη συσχέτιση για την παράμετρο α δεν βρέθηκε στη συγκεκριμένη λεκάνη. Ωστόσο το δείγμα των επεισοδίων δεν είχε πολλές περιπτώσεις μεγάλων αιχμών ώστε να μπορέσουμε να καταλήξουμε σε ένα πιο ασφαλές συμπέρασμα για τη σχέση της πλημμυρικής αιχμής με άλλα μεγέθη.

Για την παράμετρο β στα περισσότερα επεισόδια η τιμή κυμάνθηκε από 0,35 έως 0,40, μετά τη διόρθωση του χρόνου συγκέντρωσης. Σε ίδιο περίπου εύρος τιμών καταλήξαμε για τη λεκάνη ανάντη στο Ντράφι. Πρόκειται για ένα αναμενόμενο συμπέρασμα καθότι η λεκάνη ανάντη στο Λυκόρεμα είναι τμήμα της ευρύτερης πειραματικής λεκάνης (περίπου καλύπτει το 50 % της συνολικής έκτασης).

Το μοναδιαίο υδρογράφημα της λεκάνης ανάντη στο Λυκόρεμα, στο οποίο καταλήξαμε, αφορά επίσης σε χρόνο συγκέντρωσης από την εξίσωση Giandotti. Ωστόσο από διερεύνηση του χρόνου συγκέντρωσης προέκυψε και για την εν λόγω λεκάνη συσχέτιση με την πλημμυρική αιχμή του κάθε επεισοδίου κατά τρόπο αντιστρόφως ανάλογο. Επομένως πρόκειται για ένα μέγεθος του οποίου η τιμή είναι αντιστρόφως ανάλογη της παροχής αιχμής, γεγονός σημαντικό καθώς όπως παρατηρούμε ο χρόνος συγκέντρωσης υπεισέρχεται στην κατάρτιση του μοναδιαίου υδρογραφήματος που αποτελεί τη βάση για τη διαμόρφωση της πλημμύρας σχεδιασμού. Αντίστοιχα είναι σημαντική και η εξάρτηση της παραμέτρου CN και πιθανώς της παραμέτρου α από το μέγεθος πλημμυρικής αιχμής, καθώς οι συγκεκριμένες παράμετροι συμμετέχουν στη διαμόρφωση της βροχής σχεδιασμού.

7.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Στον υδρολογικό σχεδιασμό εισέρχονται διάφορες παράμετροι, η εκτίμηση των οποίων βασίζεται στην άκριτη εφαρμογή των τυπικών μεθόδων υπολογισμού της βιβλιογραφίας ή των τυπικών τιμών αναφοράς. Σε πολλές περιπτώσεις, οι συγκεκριμένες μέθοδοι έχουν προκύψει από έρευνες σε περιοχές με διαφορετικά γεωμορφολογικά, κλιματικά και υδρολογικά χαρακτηριστικά.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η θεωρητική τιμή της παραμέτρου CN. Στην περιοχή μελέτης οι τιμές CN που εκτιμήθηκαν από την επεξεργασία χαρτών γεωλογίας και χρήσεων γης είναι πιο υψηλές από τη μέση τιμή που προέκυψε από την ανάλυση των πλημμυρογραφημάτων. Ένας λόγος είναι ότι στους πίνακες που δίνεται η διακύμανση του CN για την κάθε κατηγορία τύπου εδάφους και χρήσης γης δεν υπάρχει αντιστοιχία με τα πετρώματα της λεκάνης (σχιστόλιθοι έντονα διακλασμένοι, ασβεστόλιθοι) και οι τιμές που προτείνονται είναι αρκετά υψηλές. Μια πρόταση για περαιτέρω έρευνα είναι η επέκταση των διαβαθμίσεων των πινάκων της παραμέτρου CN, ώστε να περιλαμβάνονται και άλλες ποικιλίες τύπων εδάφους, ιδιαίτερα αυτές που απαντώνται κατά κόρον στον ελληνικό χώρο.

Βασικό συμπέρασμα της παρούσας εργασίας είναι ότι η παράμετρος CN και ο χρόνος συγκέντρωσης T_c παρουσιάζουν έντονη μεταβλητότητα και δεν πρέπει να αντιμετωπίζονται σαν παράμετροι σταθερής τιμής αλλά σαν μεγέθη με τιμή που διαφοροποιείται ανάλογα τις συνθήκες. Πράγματι, η μέγιστη εδαφική κατακράτηση S που σχετίζεται άμεσα με την παράμετρο CN εξαρτάται κατά προφανή τρόπο από τις αρχικές συνθήκες υγρασίας. Επίσης, ο χρόνος συγκέντρωσης που εξαρτάται από την ταχύτητα ροής του νερού, σε περιπτώσεις μεγάλων παροχών μειώνεται αφού η ταχύτητα νερού αυξάνει, όπως προκύπτει από βασικές υδραυλικές σχέσεις. Στα πλαίσια της εργασίας διαπιστώθηκε ότι υπάρχει συσχέτιση του αριθμού καμπύλης απορροής CN και του χρόνου συγκέντρωσης με την παροχή αιχμής. Προφανώς ο μικρός αριθμός των επεισοδίων δεν επιτρέπει την διατύπωση κάποιας συγκεκριμένης μαθηματικής σχέσης. Το πρόβλημα αυτό πρέπει να διερευνηθεί σε βάθος καθώς πρόκειται για δύο μεγέθη εξαιρετικά κρίσιμα στον υδρολογικό σχεδιασμό. Στην πραγματικότητα τα μεγέθη αυτά πρέπει να αντιμετωπιστούν με στοχαστικές προσεγγίσεις. Εναλλακτικά προτείνεται είναι να δημιουργηθεί μία σχέση που να συνδέει τα μεγέθη CN και T_c με την περίοδο επαναφοράς που επιλέγεται στο σχεδιασμό.

Επίσης, προτείνεται να διερευνηθεί η σχέση του ρυθμού βροχής, όπως προκύπτει από το υετόγραμμα ολικής βροχής, με την προκαλούμενη παροχή αιχμής. Ζήτημα αποτελεί κατά πόσον αυτός ο ρυθμός διατηρείται κατά τον μετασχηματισμό της ολικής βροχής σε ενεργό με τα υπάρχοντα μοντέλα και κατά πόσον μια μικρή

διαφοροποίηση στο καθαρό υετόγραμμα επηρεάζει το προσομοιωμένο (μέσω του ΣΜΥ) πλημμυρογράφημα. Γενικά παρατηρήθηκε ότι η μέθοδος SCS (με τις βελτιστοποιημένες παραμέτρους) περιγράφει ικανοποιητικά τα ομαλά επεισόδια, ενώ σε πιο σύνθετης δομής πλημμύρες λόγω της έντονης μη γραμμικότητας του φαινομένου η μέθοδος παρουσιάζει αδυναμίες.

Από την παραπάνω εργασία αναδεικνύεται η σημασία της καταγραφής δεδομένων, καθώς αυτά περιγράφουν καλύτερα από κάθε μεθοδολογία την υδρολογική συμπεριφορά μιας λεκάνης. Αυτό που προτείνεται είναι τα παραπάνω συμπεράσματα αρχικά να επαληθευτούν μέσα από τη λήψη ενός μεγαλύτερου δείγματος επεισοδίων. Γενικότερα, είναι αναγκαίο να δημιουργηθούν και σε άλλες περιοχές πειραματικές λεκάνες, για τη συστηματική καταγραφή των υδρολογικών δεδομένων με στόχο την ανάπτυξη πιο συνεπών με τις ελληνικές συνθήκες μοντέλων υδρολογικού σχεδιασμού.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Βαφειάδης, Μ., *Σημειώσεις «Υδρογραφήματα»*, ΤΥΤΠ-ΑΠΘ, 2004.
- Γαλιούνα, Ε., *Διερεύνηση εμπειρικών σχέσεων για την εκτίμηση των πλημμυρικών αιχμών στην Κύπρο*, Μεταπτυχιακή εργασία, 169 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Φεβρουάριος 2011.
- Γκιόκας, Ε. Α., *Κατάρτιση μεθοδολογικού σχεδίου για την εκπόνηση χαρτών πλημμύρας- Εφαρμογή στο Νομό Αρκαδίας*, Μεταπτυχιακή εργασία, 114 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Οκτώβριος 2009.
- Κουτσογιάννης, Δ., και Θ. Ξανθόπουλος, *Τεχνική Υδρολογία*, Έκδοση 3, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1999.
- Κουτσογιάννης, Δ., *Σχεδιασμός Αστικών Δικτύων Αποχέτευσης*, Έκδοση 4, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2011.
- Κουτσογιάννης, Δ., Ν. Μαμάσης, και Α. Ευστρατιάδης, *Υδρολογική μελέτη λεκάνης Σπερχειού*, Αθήνα, 2003.
- Μαμάσης, Ν., *Σημειώσεις μαθήματος «Πλημμύρες και Αντιπλημμυρικά Έργα»*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2011.
- Μαμάσης, Ν., *Σημειώσεις μαθήματος «Πλημμύρες και Αντιπλημμυρικά Έργα»*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2009.
- Παγάνα, Β., *Κατάρτιση χαρτών πλημμύρας στην περιοχή της Ραφήνας*, Αθήνα, 2012.
- Alonistioti, D., C. Papathanasiou, A. Kasela, C. Makropoulos, and M. Mimikou, *Assessing the impact of forest fires on the hydrological response of urban catchments: The case of the eastern Attica region*, *Proceedings of the 12th International Conference on Environmental Science and Technology*, Rhodes, 2011.
- Baltas, E.A., N.A. Dervos and M.A. Mimikou, *Technical Note: Determination of the SCS initial abstraction ratio in an experimental watershed in Greece*, *Hydrology and Earth System Sciences*, 11, 1825–1829, 2007.
- Chow, V. T., D. R. Maidment, and L. W. Mays, *Applied Hydrology*, McGraw-Hill International Editions, Civil Engineering Series, 1988.
- Grimaldi, S., A. Petroseli, F. Tauro and M. Porfiri, *Time of concentration: A paradox in modern hydrology*, *Hydrological Sciences Journal*, 57(2), 217-228, 2012.

Papathanasiou, C., E. Safiolea, C. Makropoulos and M. Mimikou, The fladar project and its contribution to the implementation of the EU of the Flood Directive 2007/60, *Proceedings of the 11th International Conference on Environmental Science and Technology*, Chania, A1098-A1107, 2009.

Ramírez, J. Prediction and Modeling of Flood Hydrology and Hydraulics, *Inland Flood Hazards: Human, Riparian and Aquatic Communities*, Eds. Ellen Wohl, Chapter 11 Cambridge University Press, 2000.

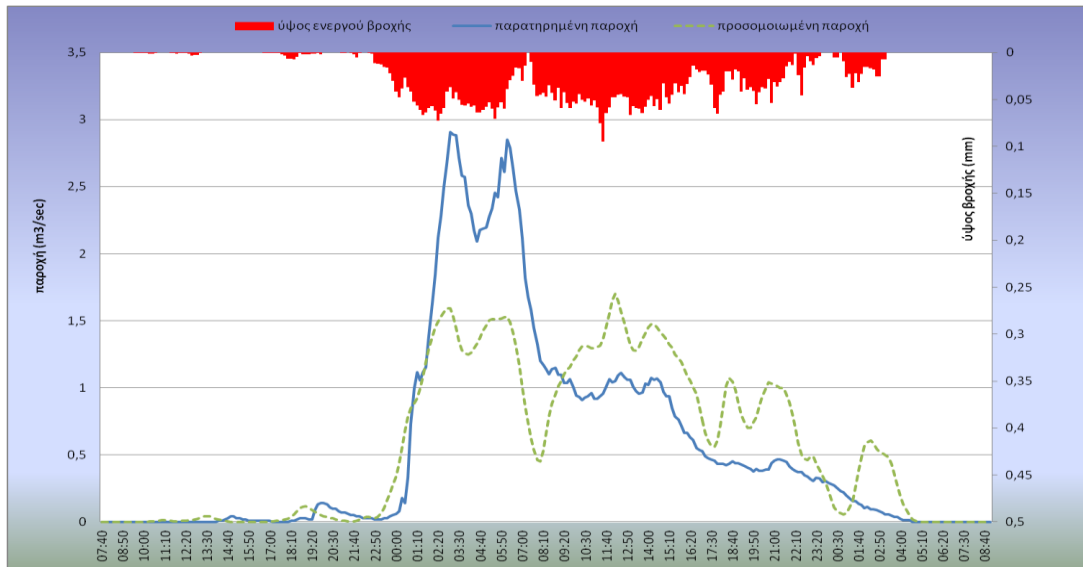
U.S. Army Corps of Engineers, Flood-Runoff Analysis, Technical Engineering and Design Studies, No. 19, ASCE, 1997.

Wright-McLaughlin Engineers, Urban Storm Drainage Criteria Manual, Denver Region Council of Governments, Denver, Colorado, 1969.

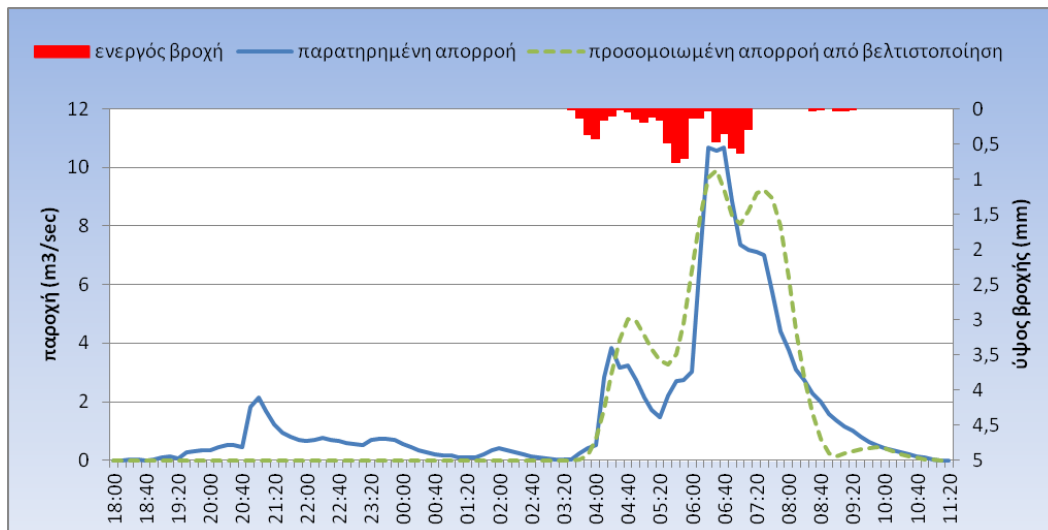
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Σημείωση: Στο εν λόγω παράρτημα παρουσιάζονται για κάθε λεκάνη και για κάθε επεισόδιο τα αποτελέσματα της προσομοίωσης με εφαρμογή του εμπειρικού μοναδιαίου υδρογραφήματος, με διορθωμένο τον χρόνο βάσης, και χρήση των βελτιστοποιημένων τιμών για την μέθοδο SCS.

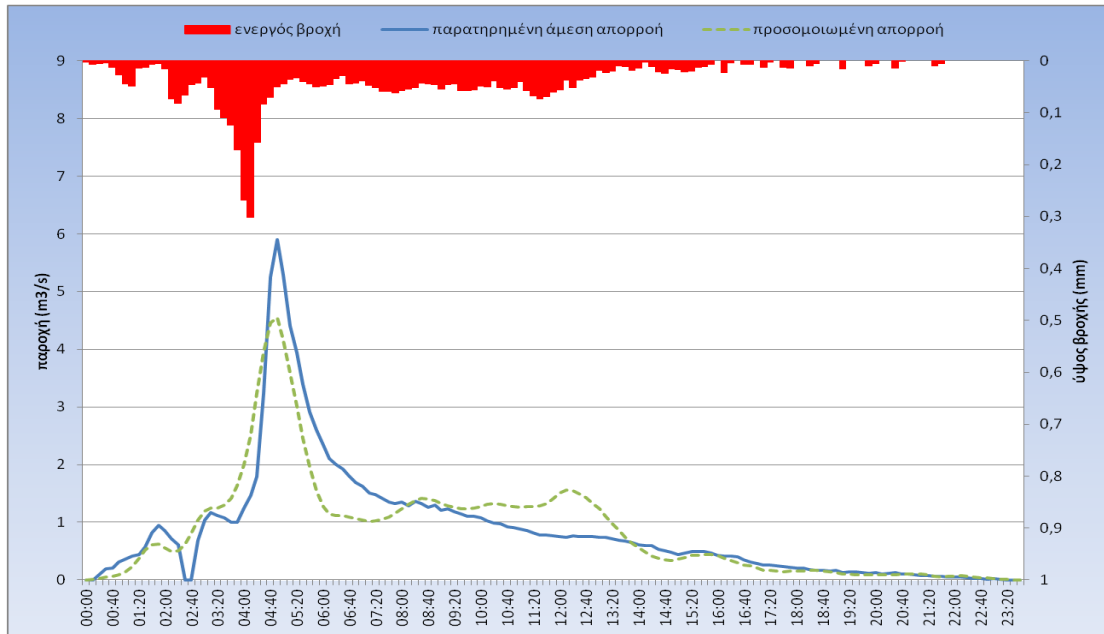
- **ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΑΝΑΝΤΗ ΣΤΟ ΝΤΡΑΦΙ**



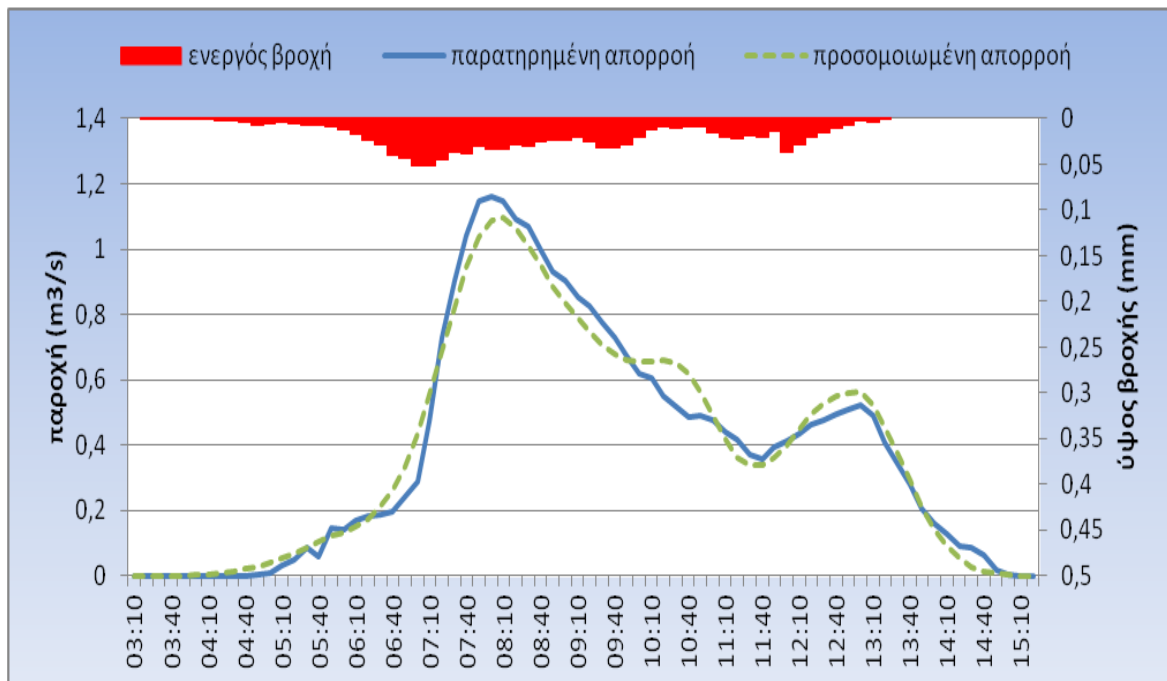
Γράφημα Π-1 Υδρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής και υετόγραμμα ενεργού βροχής για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι στις 11/01/2004



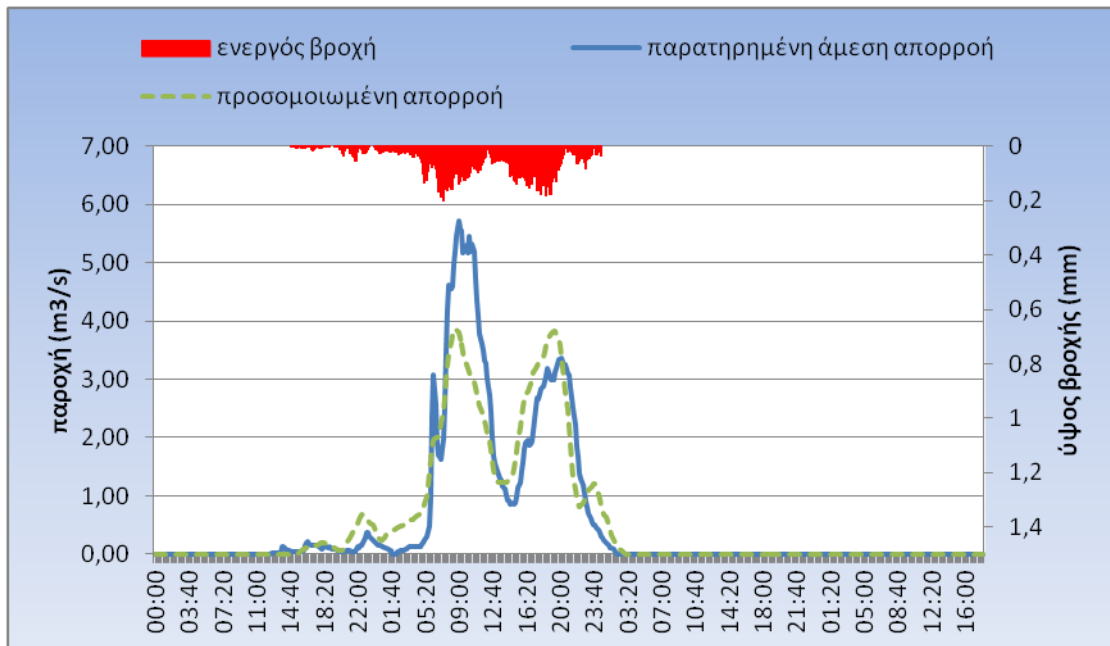
Γράφημα Π-2 Υδρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής και υετόγραμμα ενεργού βροχής για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι στις 19/12/2004



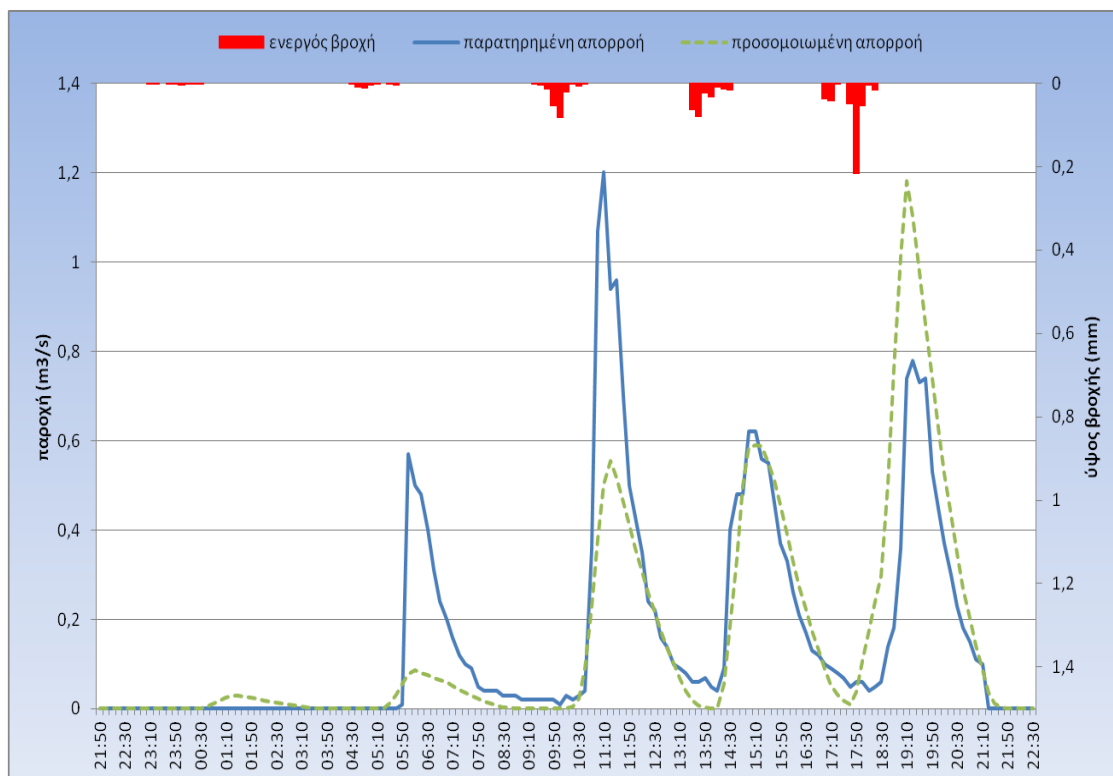
Γράφημα Π-3 Υδρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής και υετόγραμμα ενεργού βροχής για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι στις 22/01/2004



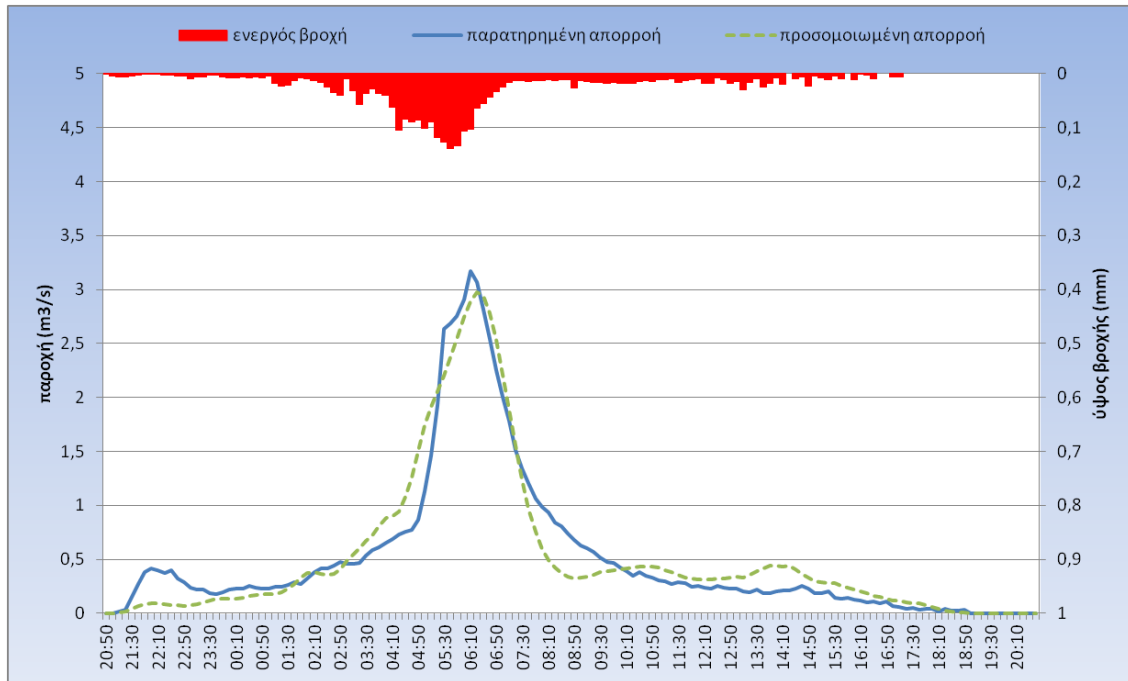
Γράφημα Π-4 Υδρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής και υετόγραμμα ενεργού βροχής για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι στις 01/02/2005



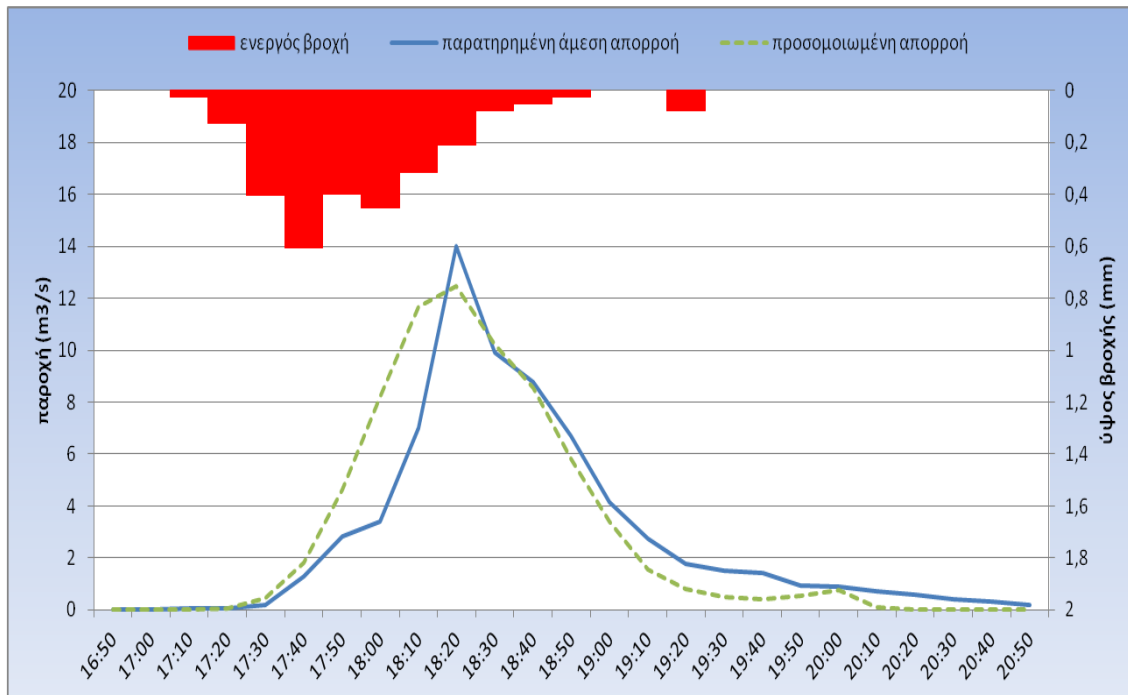
Γράφημα Π-5 Υδρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής και υετόγραμμα ενεργού βροχής για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι στις 01/11/2006



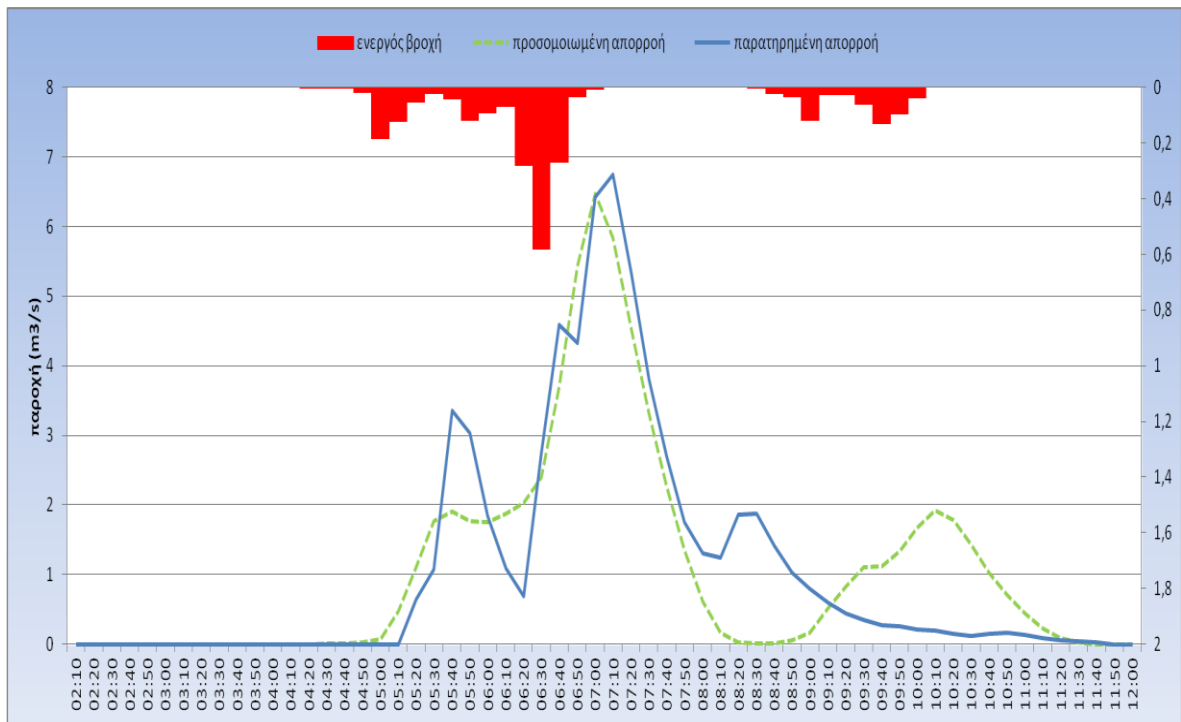
Γράφημα Π-6 Υδρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής και υετόγραμμα ενεργού βροχής για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι στις 02/12/2009



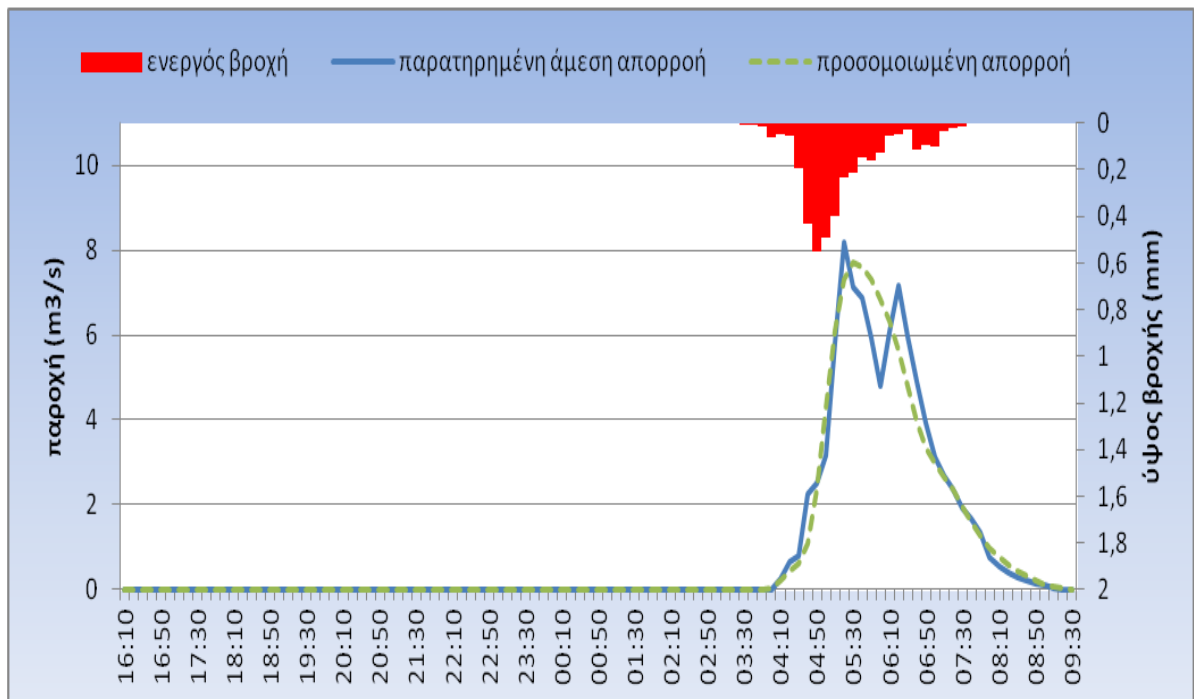
Γράφημα Π-7 Υδρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής και υετόγραμμα ενεργού βροχής για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι στις 04/02/2005



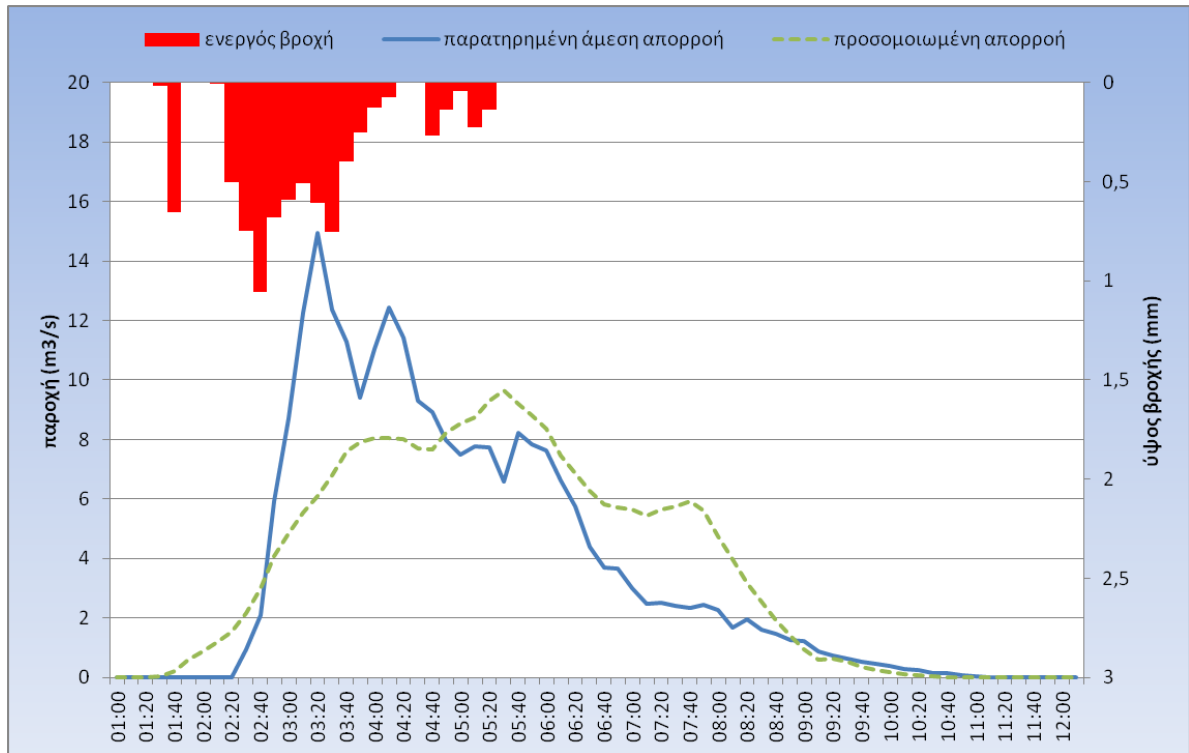
Γράφημα Π-8 Υδρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής και υετόγραμμα ενεργού βροχής για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι στις 04/11/2009



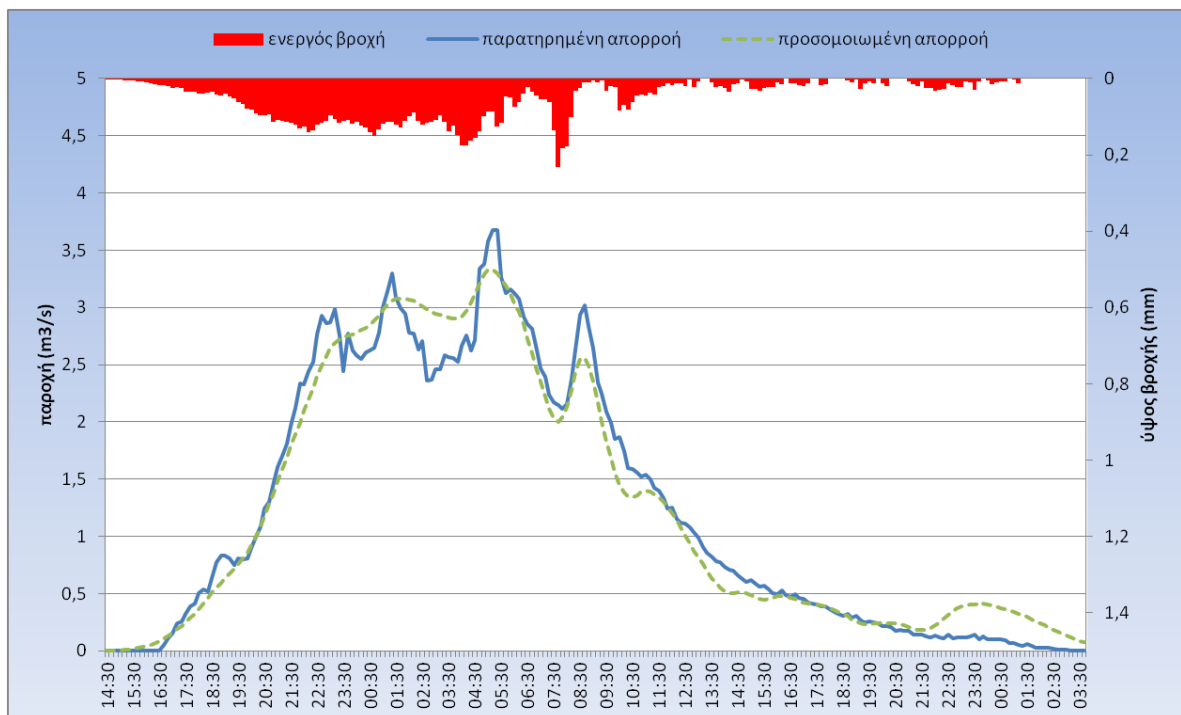
Γράφημα Π-9 Υδρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής και υετόγραμμα ενεργού βροχής για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι στις 10/12/2007



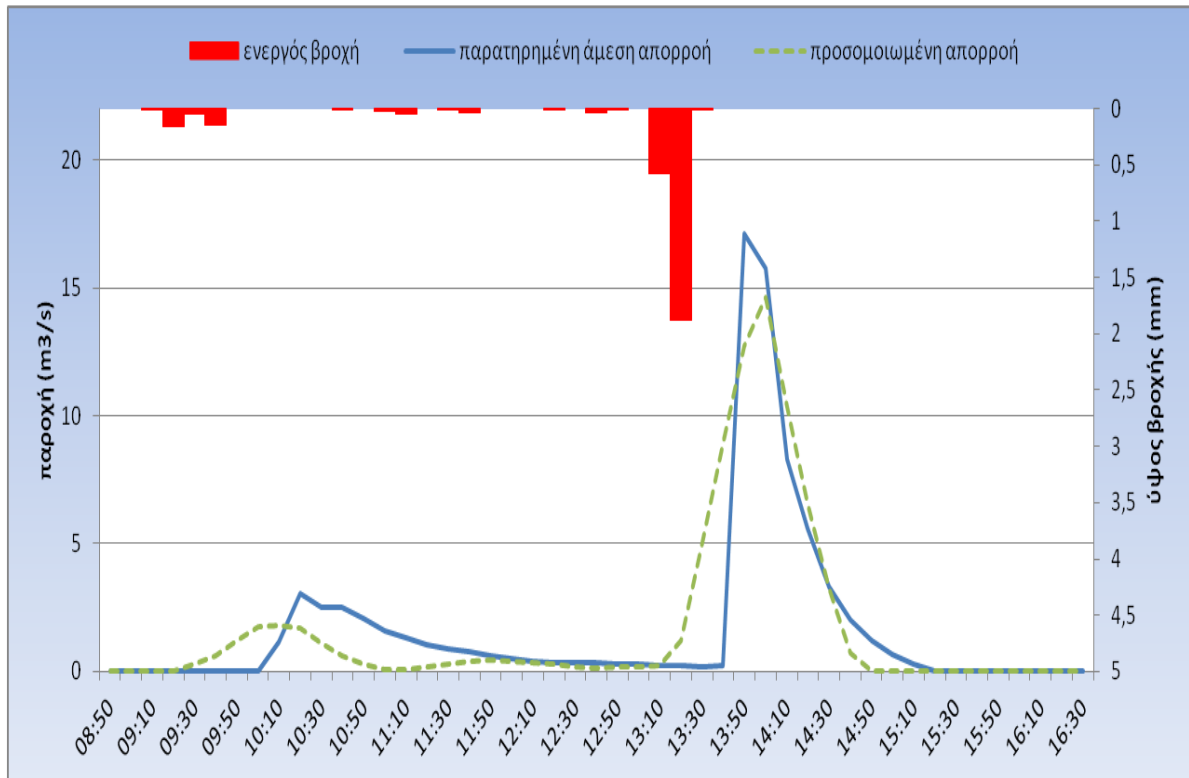
Γράφημα Π-10 Υδρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής και υετόγραμμα ενεργού βροχής για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι στις 11/10/2006



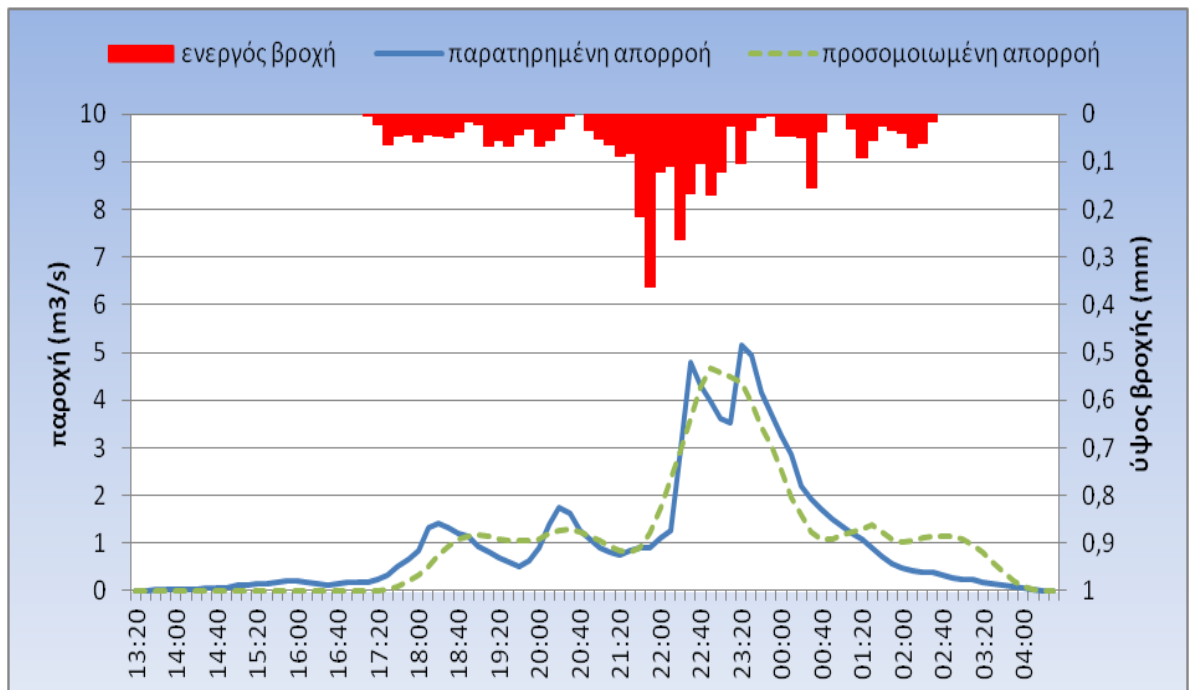
Γράφημα Π-11 Υδρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής και υετόγραμμα ενεργού βροχής για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι στις 12/12/2009



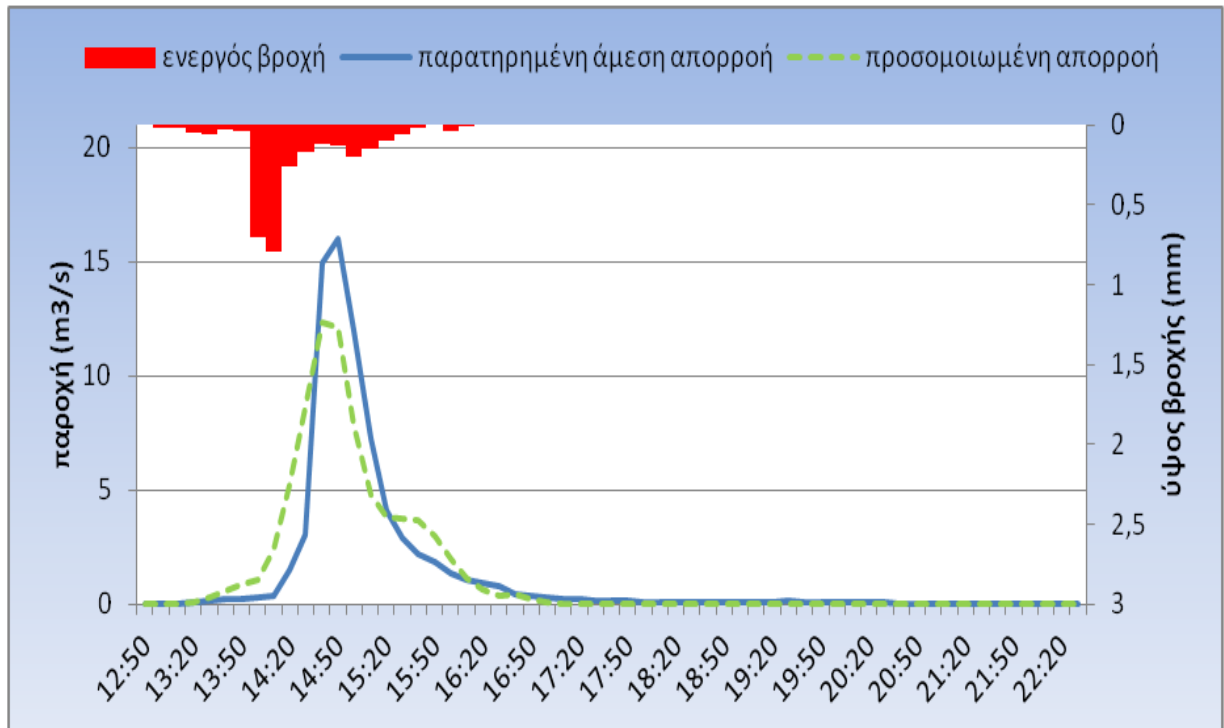
Γράφημα Π-12 Υδρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής και υετόγραμμα ενεργού βροχής για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι στις 17/01/2005



Γράφημα Π-13 Υδρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής και υετόγραμμα ενεργού βροχής για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι στις 17/10/2009

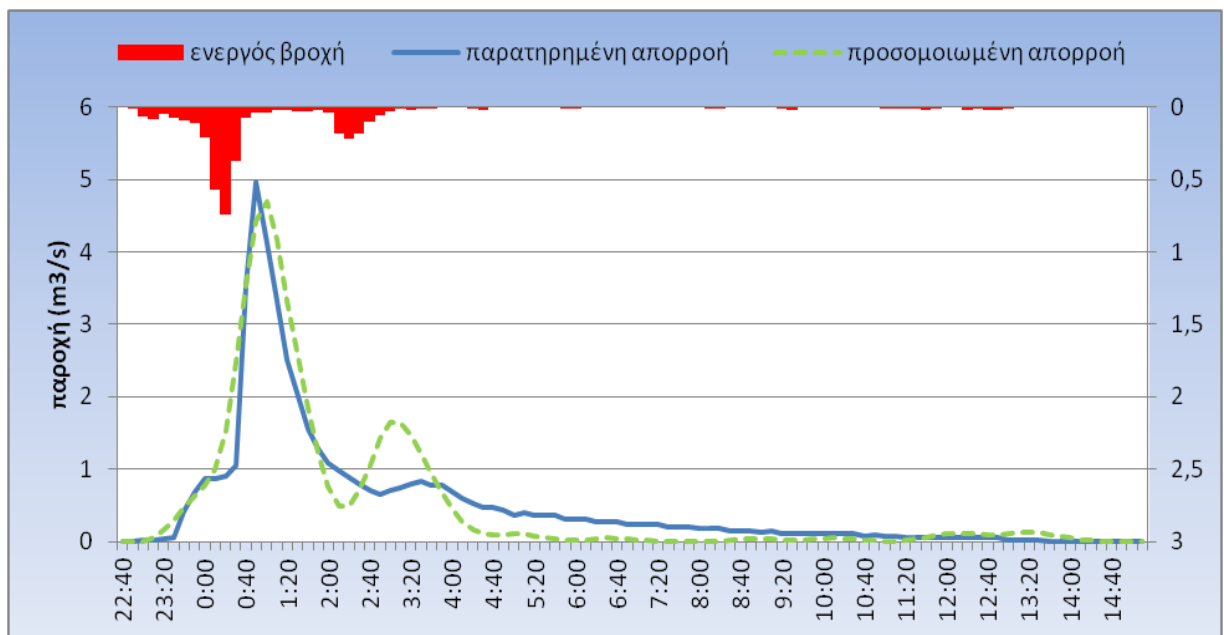


Γράφημα Π-14 Υδρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής και υετόγραμμα ενεργού βροχής για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι στις 23/03/2007

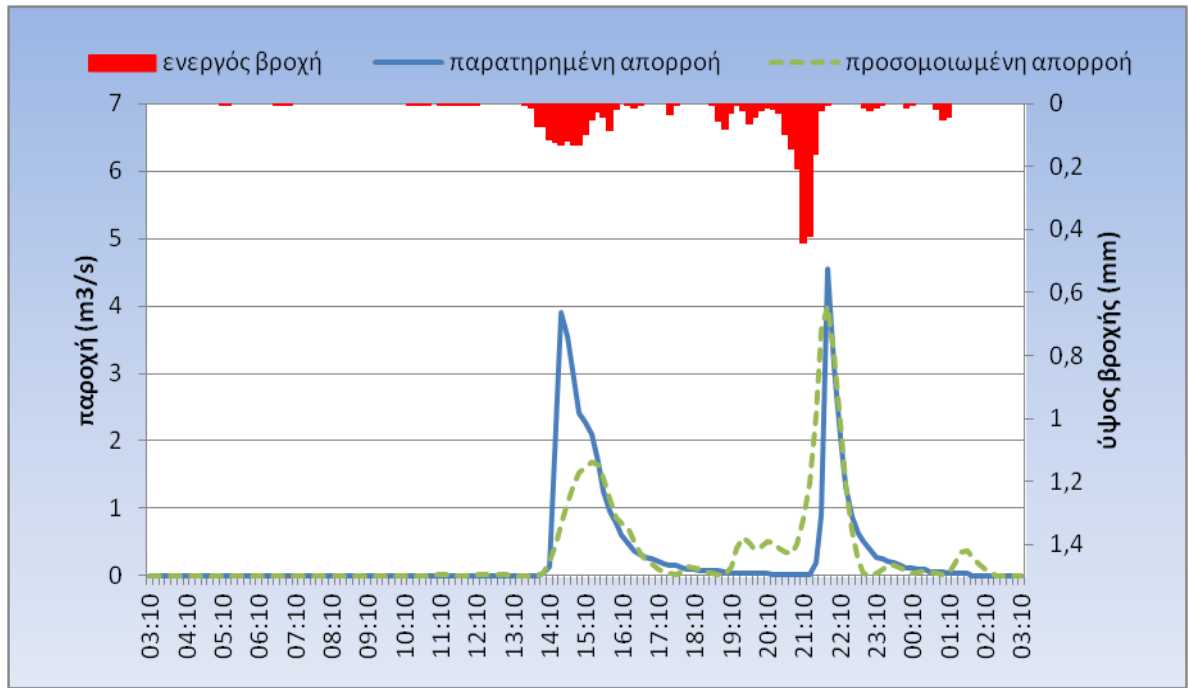


Γράφημα Π-15 Υδρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής και υετόγραμμα ενεργού βροχής για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Ντράφι στις 25/10/2009

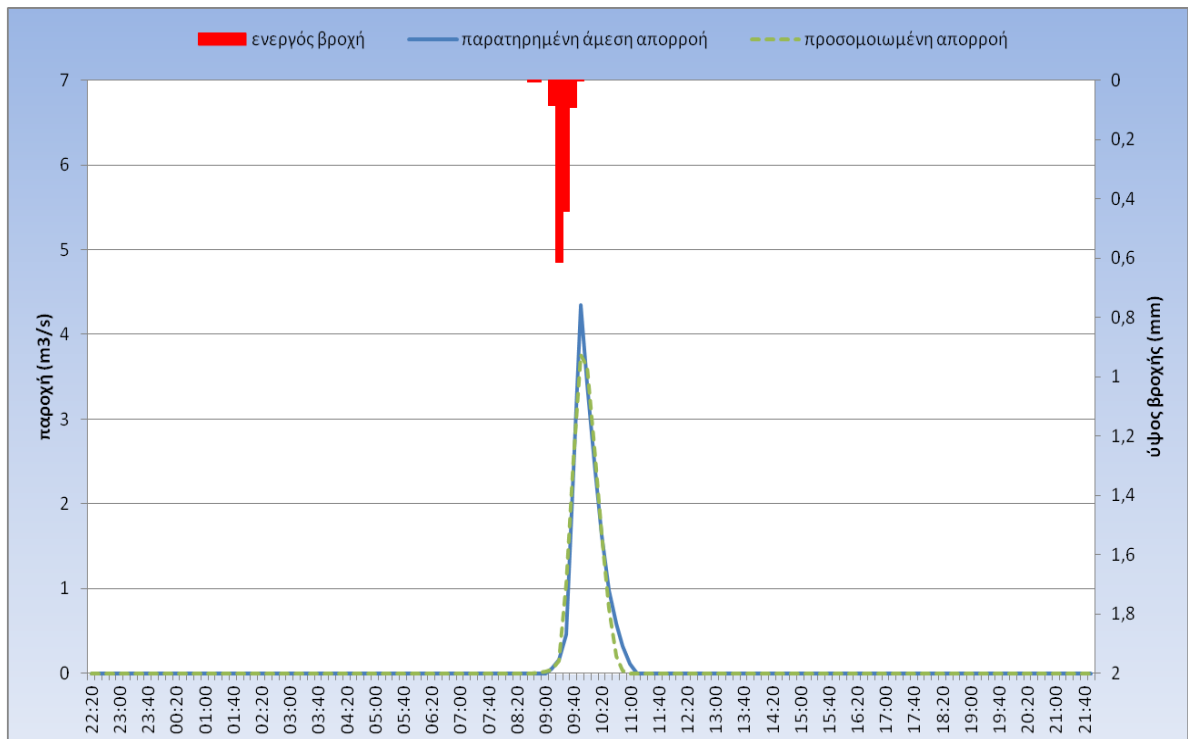
• **ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΑΝΑΝΤΗ ΣΤΟ ΛΥΚΟΡΕΜΑ**



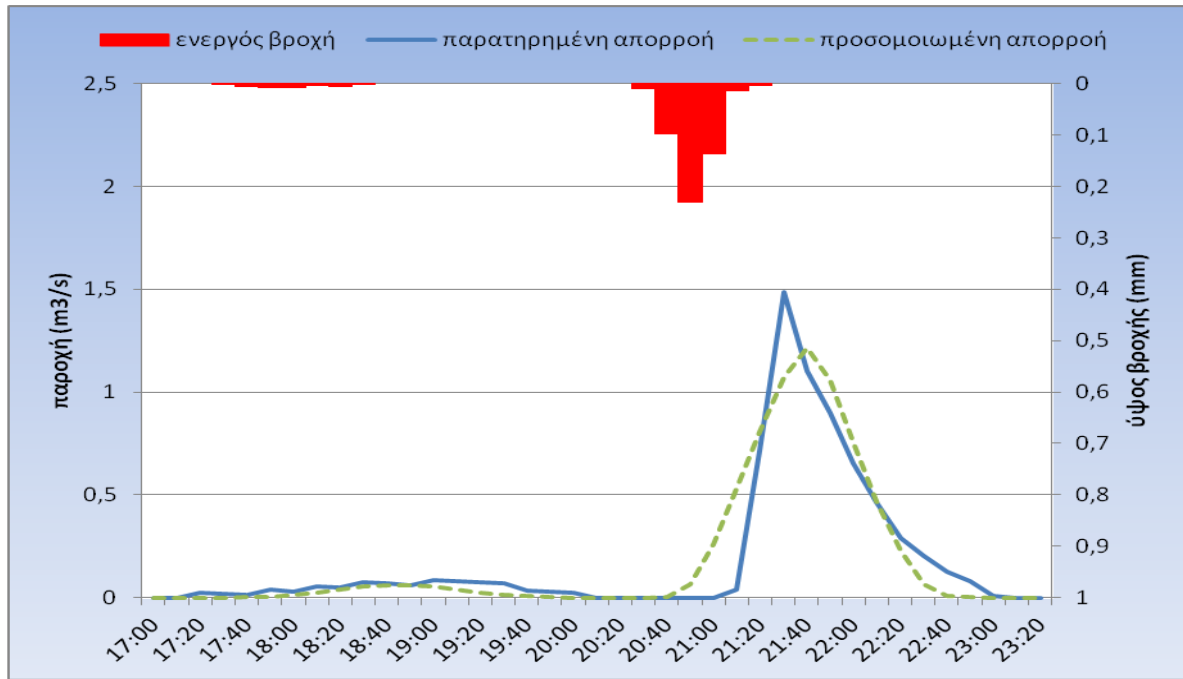
Γράφημα Π-16 Υδρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής και υετόγραμμα ενεργού βροχής για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα στις 06/02/2006



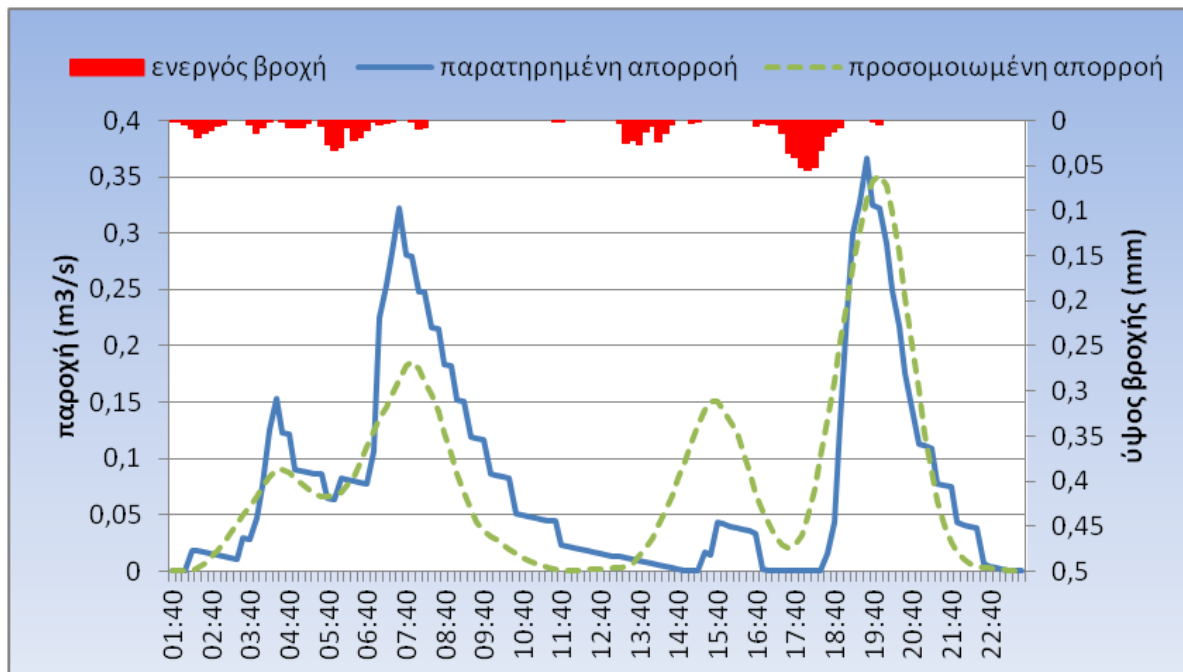
Γράφημα Π-17 Υδρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής και υετόγραμμα ενεργού βροχής για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα στις 06/12/2009



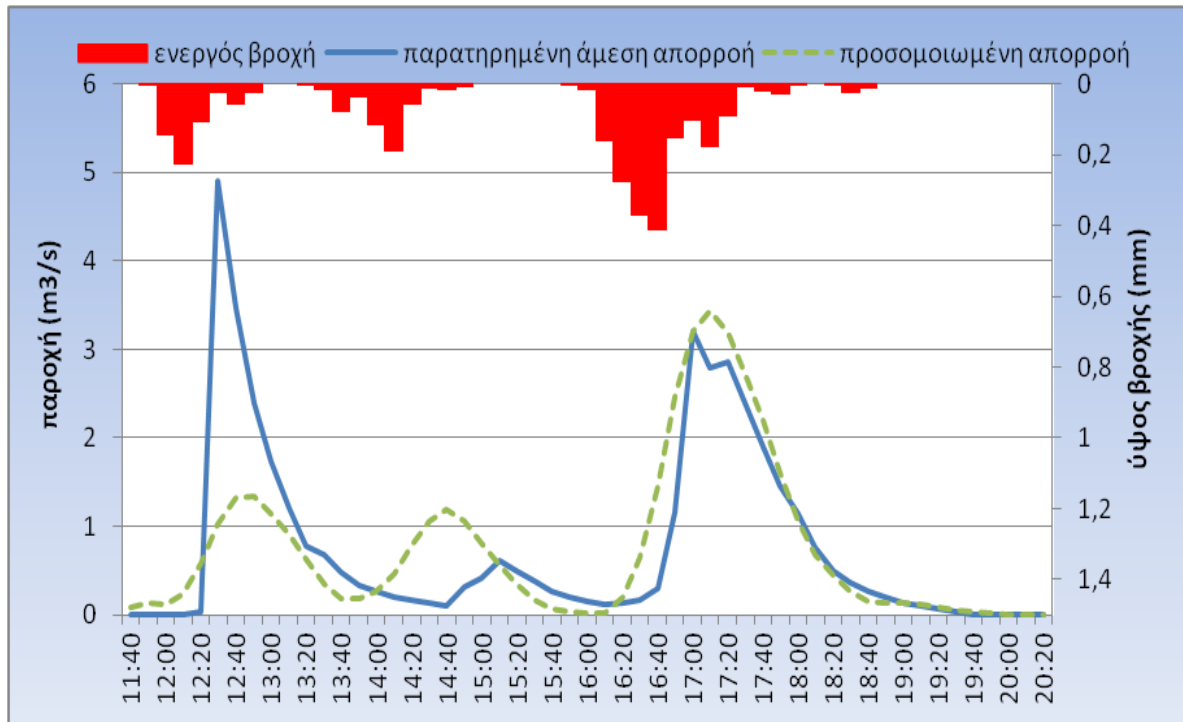
Γράφημα Π-18 Υδρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής και υετόγραμμα ενεργού βροχής για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα στις 07/02/2010



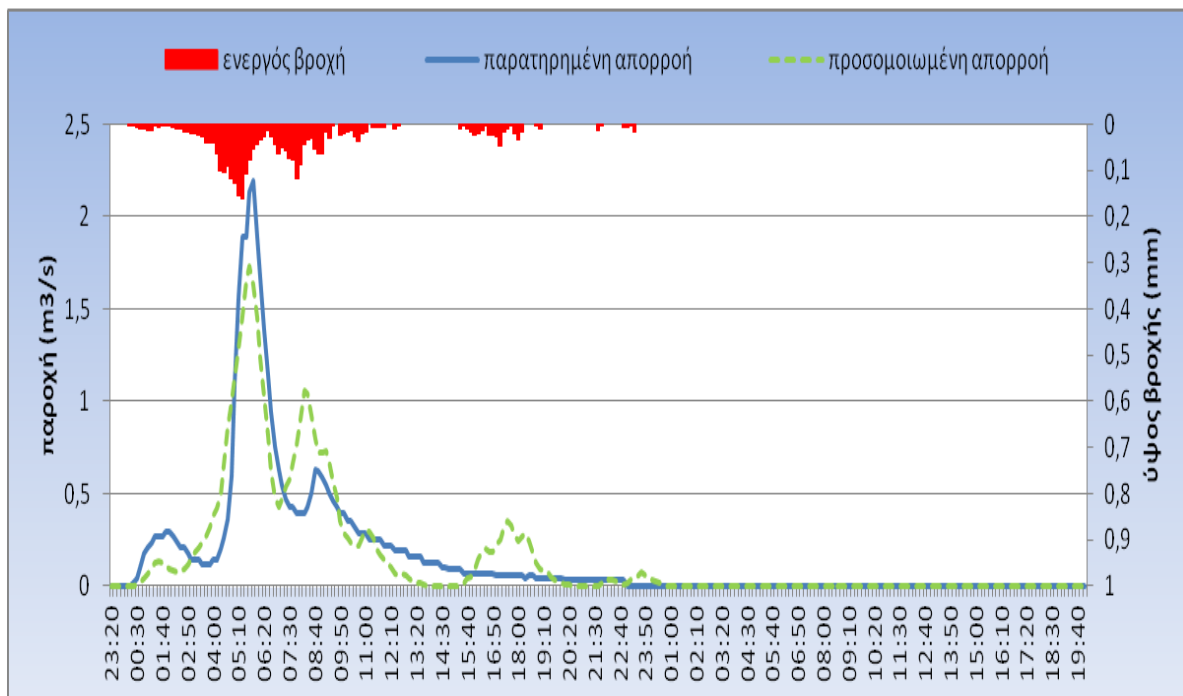
Γράφημα Π-19 Υδρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής και υετόγραμμα ενεργού βροχής για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα στις 11/02/2010



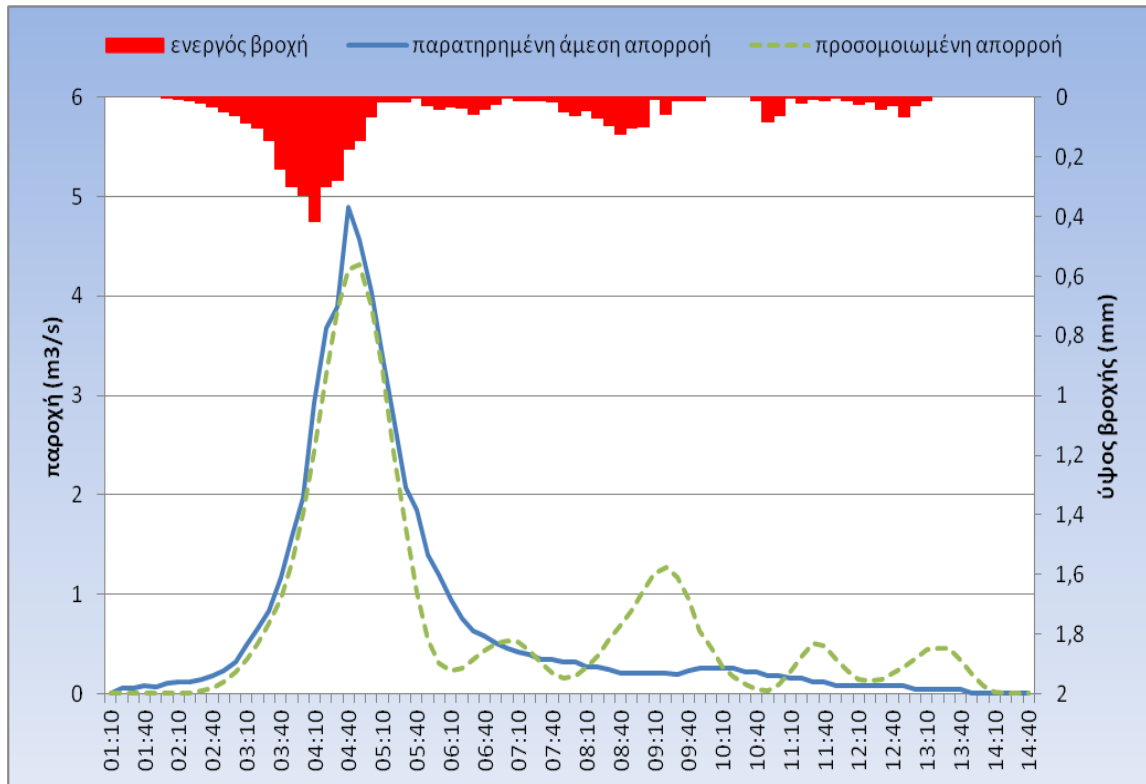
Γράφημα Π-20 Υδρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής και υετόγραμμα ενεργού βροχής για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα στις 21/01/2005



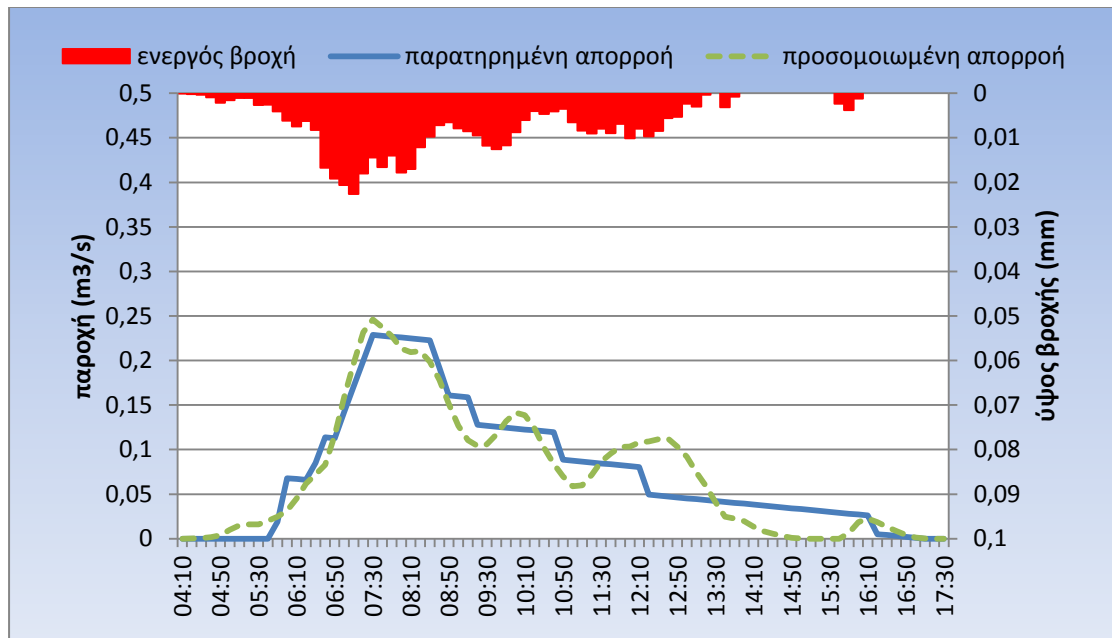
Γράφημα Π-21 Υδρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής και υετόγραμμα ενεργού βροχής για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα στις 21/05/2010



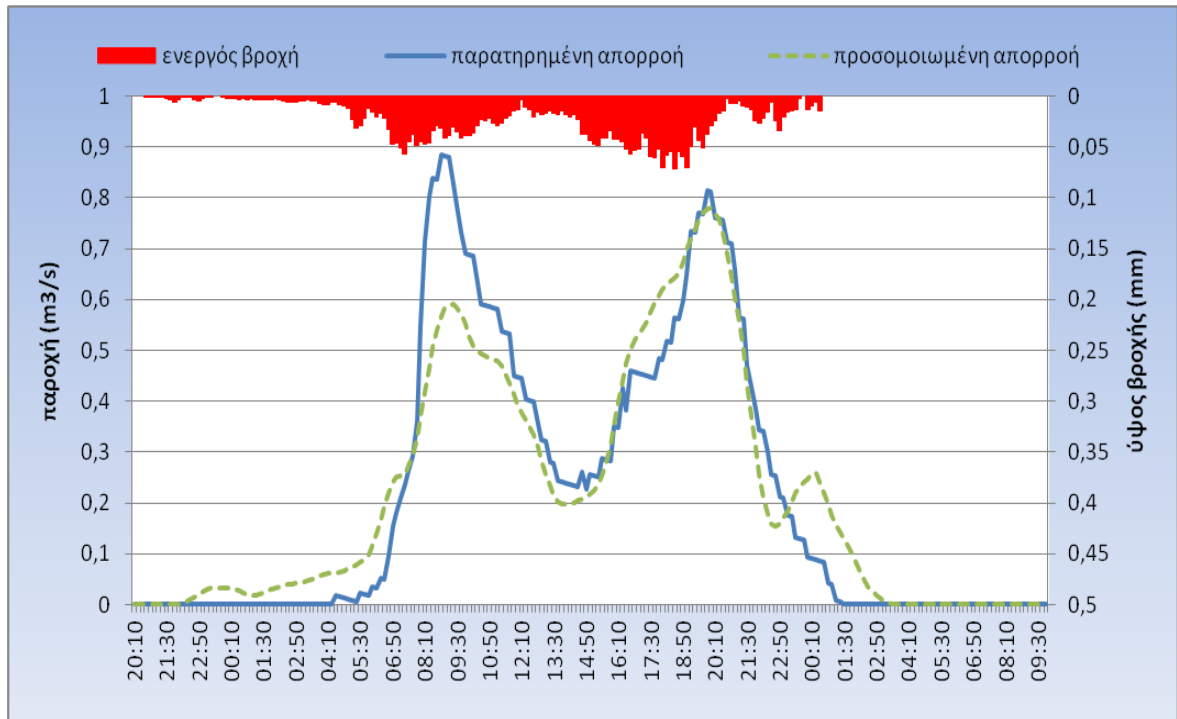
Γράφημα Π-22 Υδρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής και υετόγραμμα ενεργού βροχής για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα στις 23/01/2010



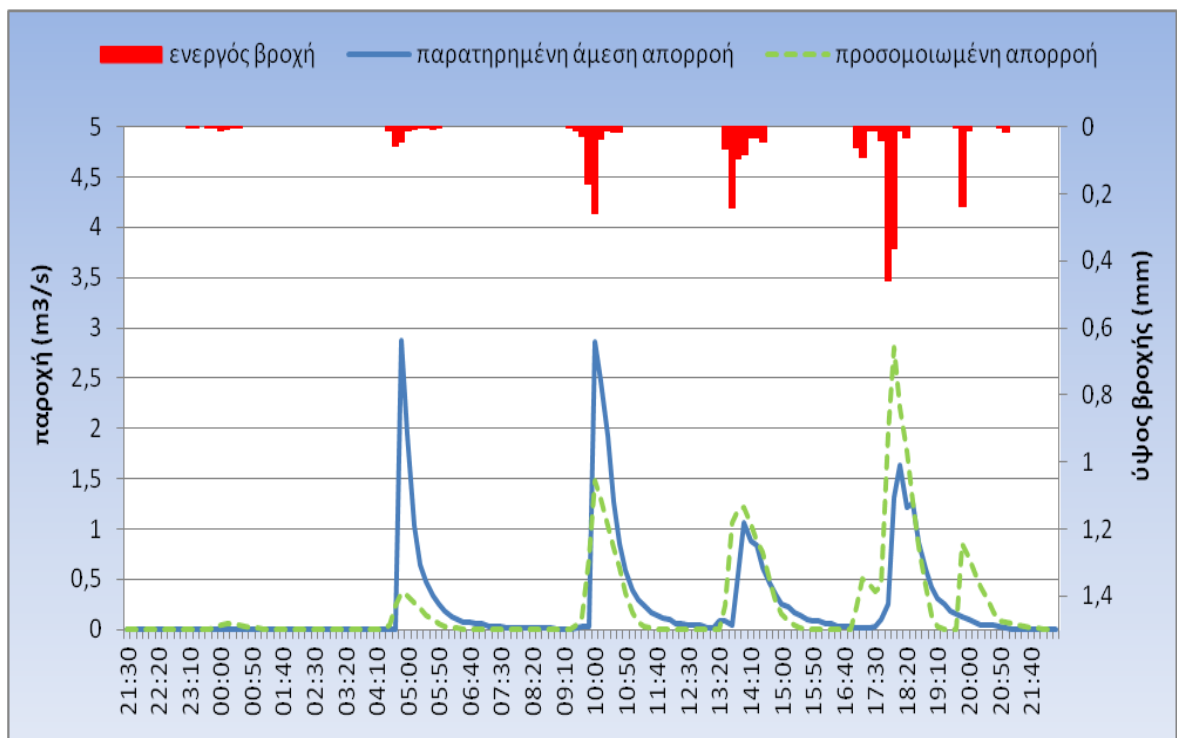
Γράφημα Π-23 Υδρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής και υετόγραμμα ενεργού βροχής για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα στις 24/11/2005



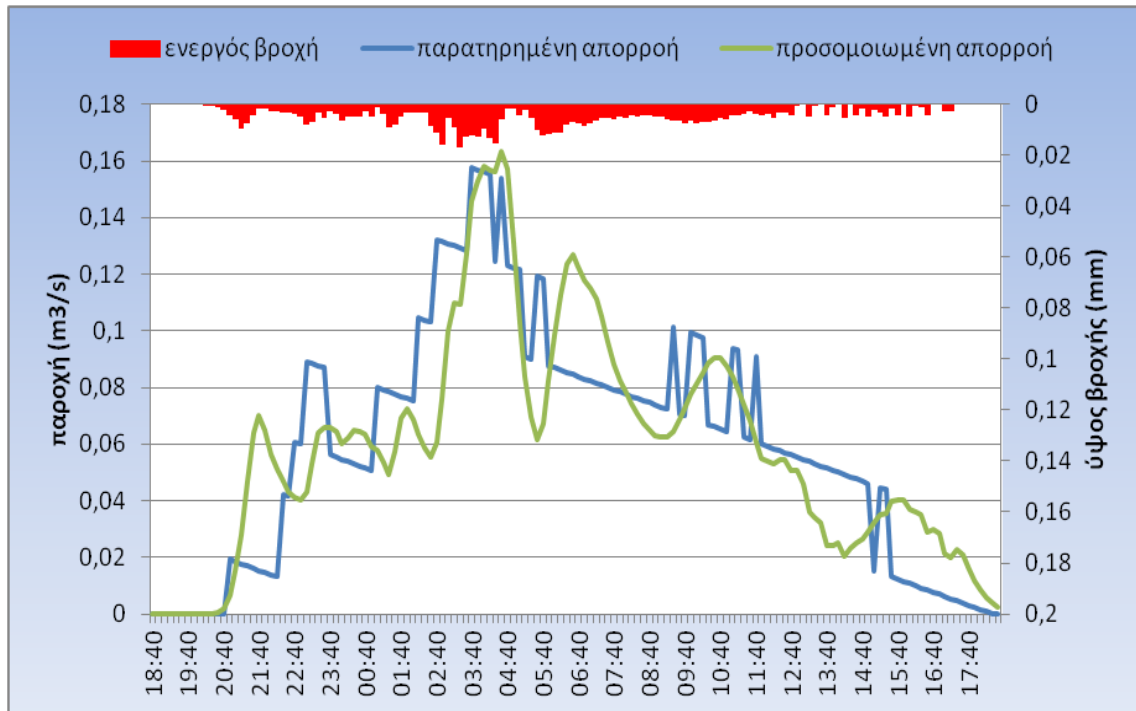
Γράφημα Π-24 Υδρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής και υετόγραμμα ενεργού βροχής για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα στις 01/02/2005



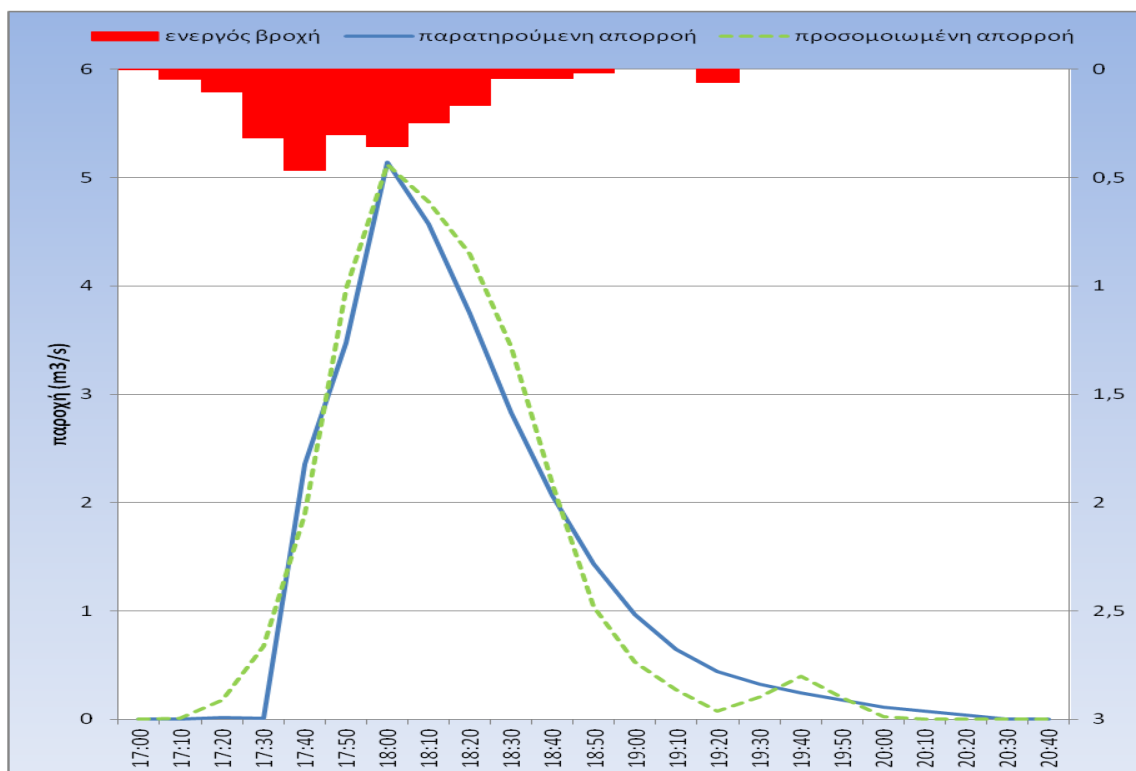
Γράφημα Π-25 Υδρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής και υετόγραμμα ενεργού βροχής για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα στις 01/11/2006



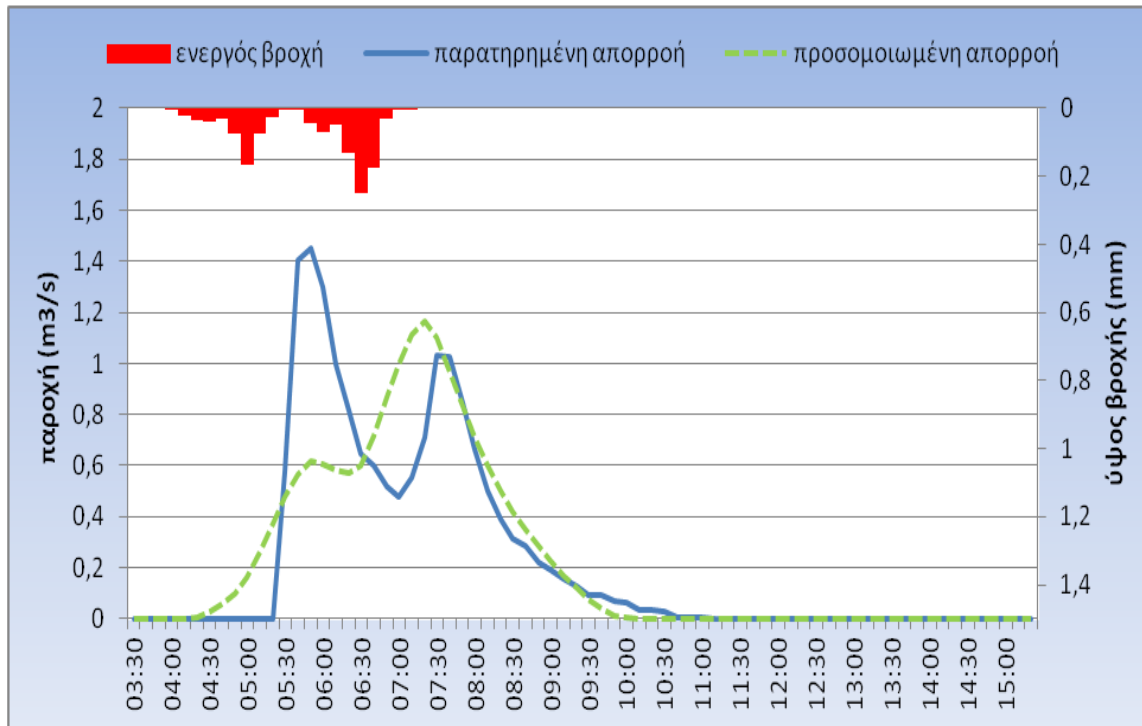
Γράφημα Π-26 Υδρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής και υετόγραμμα ενεργού βροχής για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα στις 02/12/2009



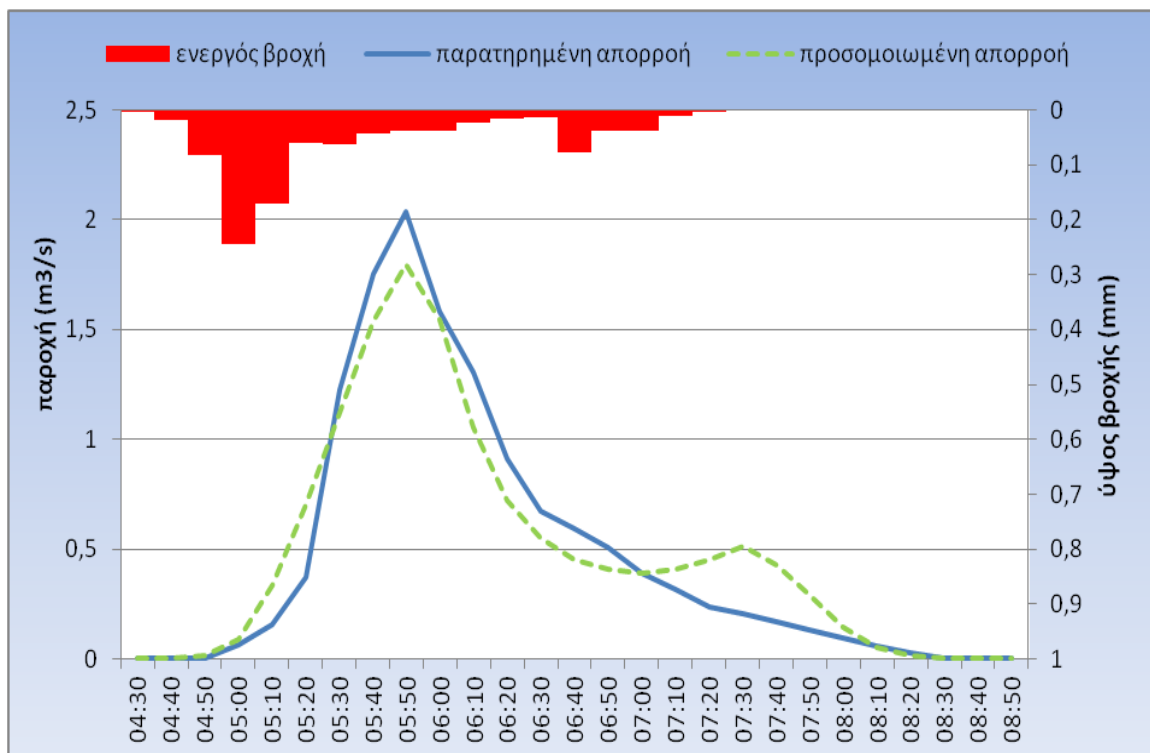
Γράφημα Π-27 Υδρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής και υετόγραμμα ενεργού βροχής για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα στις 04/02/2005



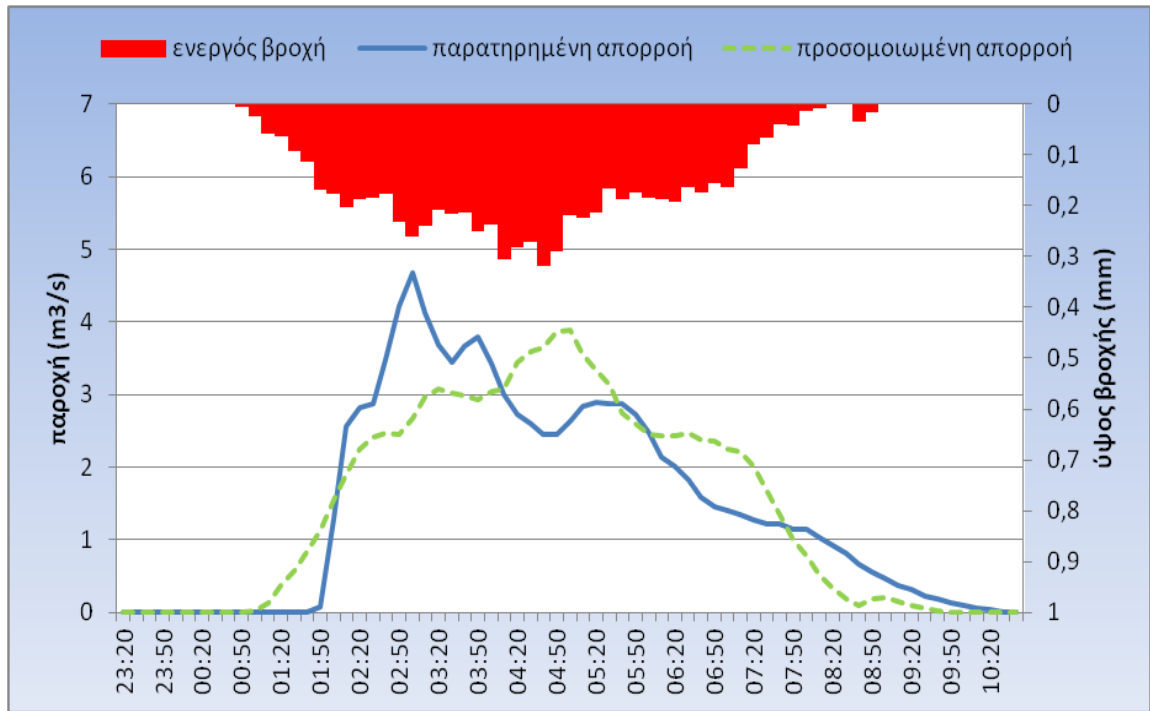
Γράφημα Π-28 Υδρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής και υετόγραμμα ενεργού βροχής για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα στις 04/11/2009



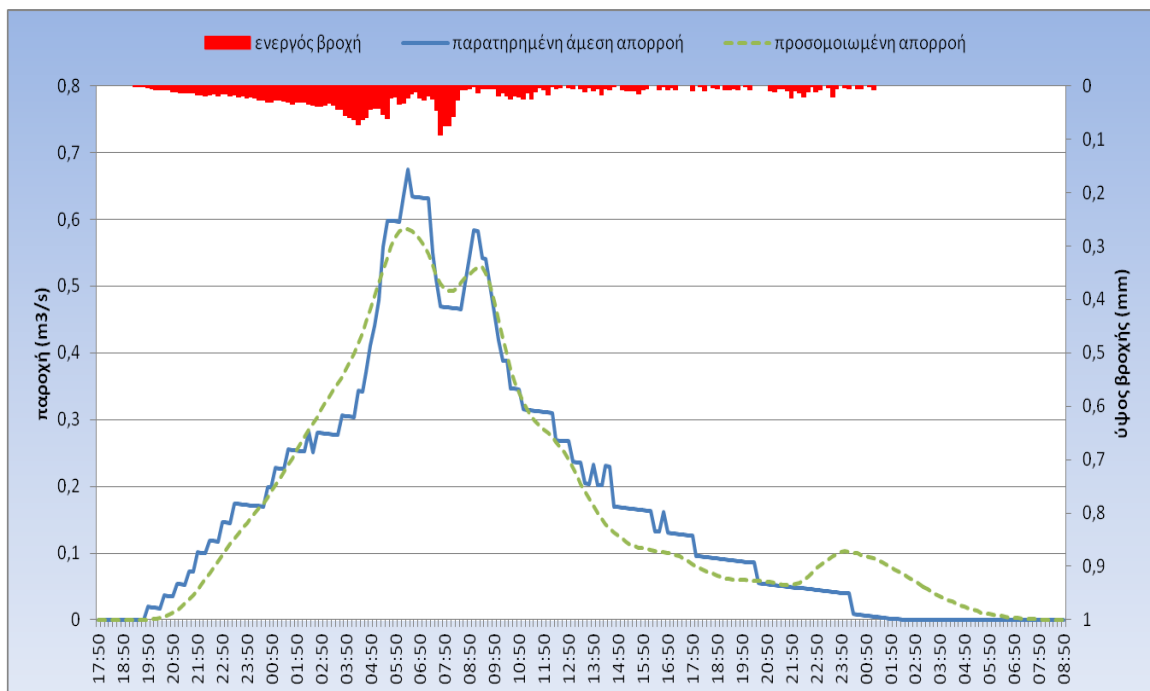
Γράφημα Π-29 Υδρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής και υετόγραμμα ενεργού βροχής για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα στις 10/12/2007



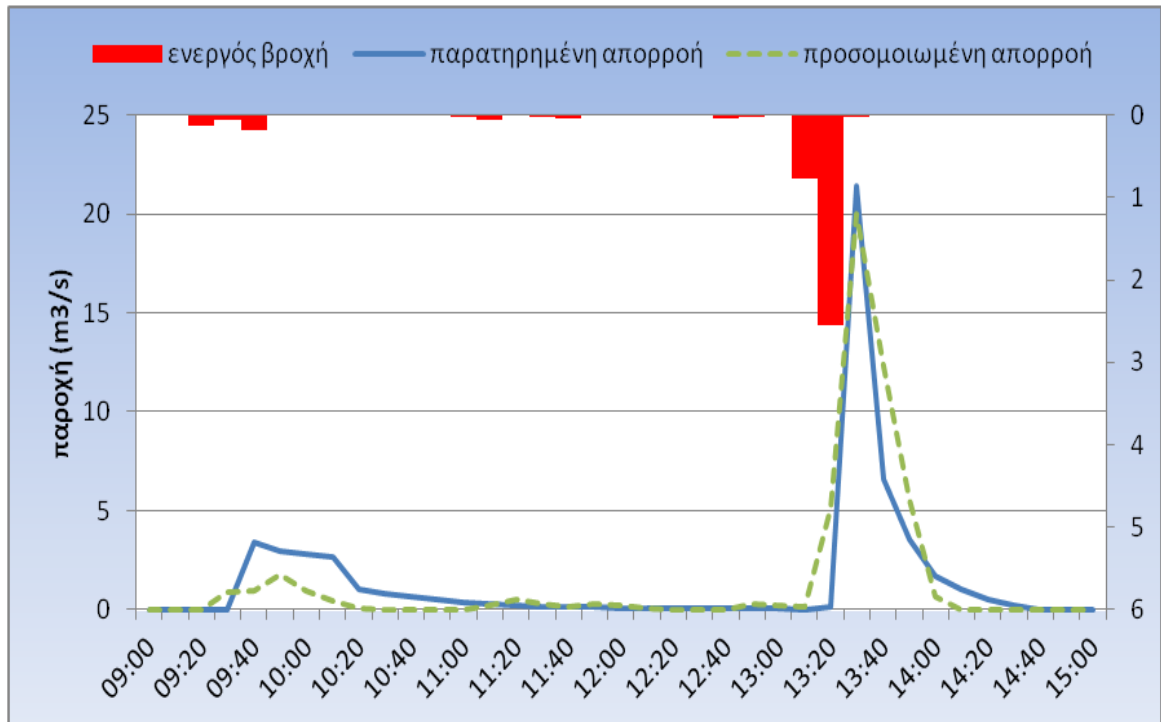
Γράφημα Π-30 Υδρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής και υετόγραμμα ενεργού βροχής για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα στις 11/10/2006



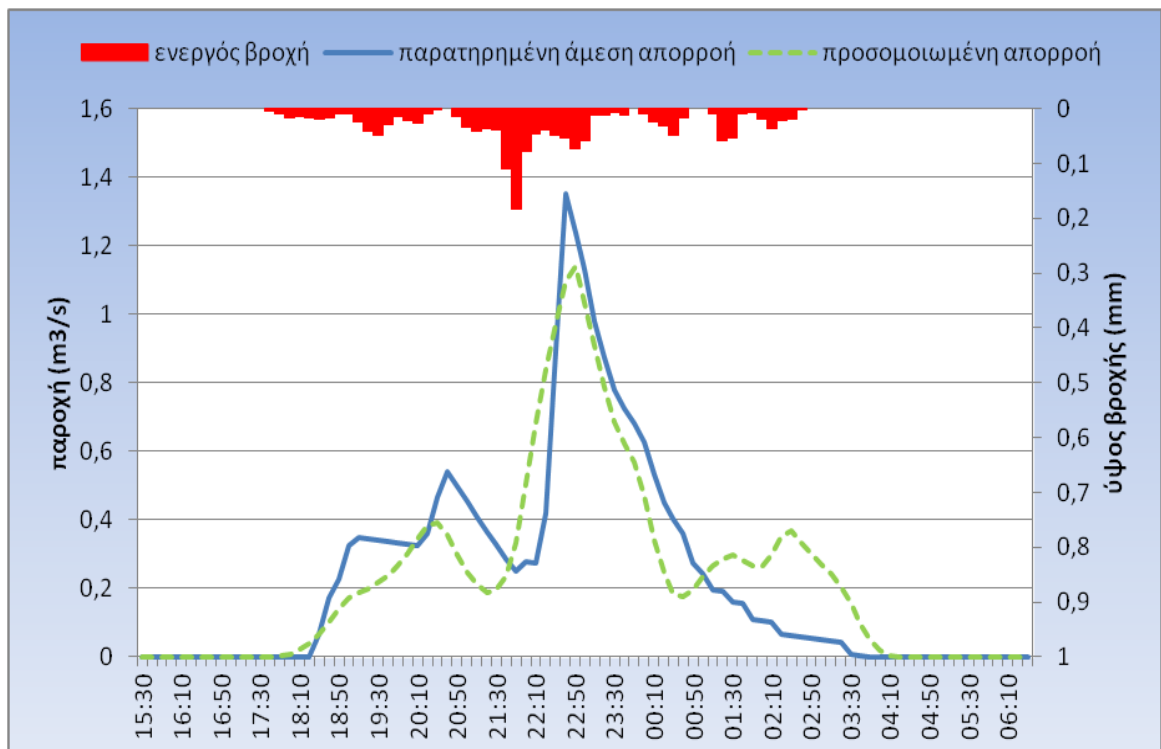
Γράφημα Π-31 Υδρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής και υετόγραμμα ενεργού βροχής για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα στις 12/12/2009



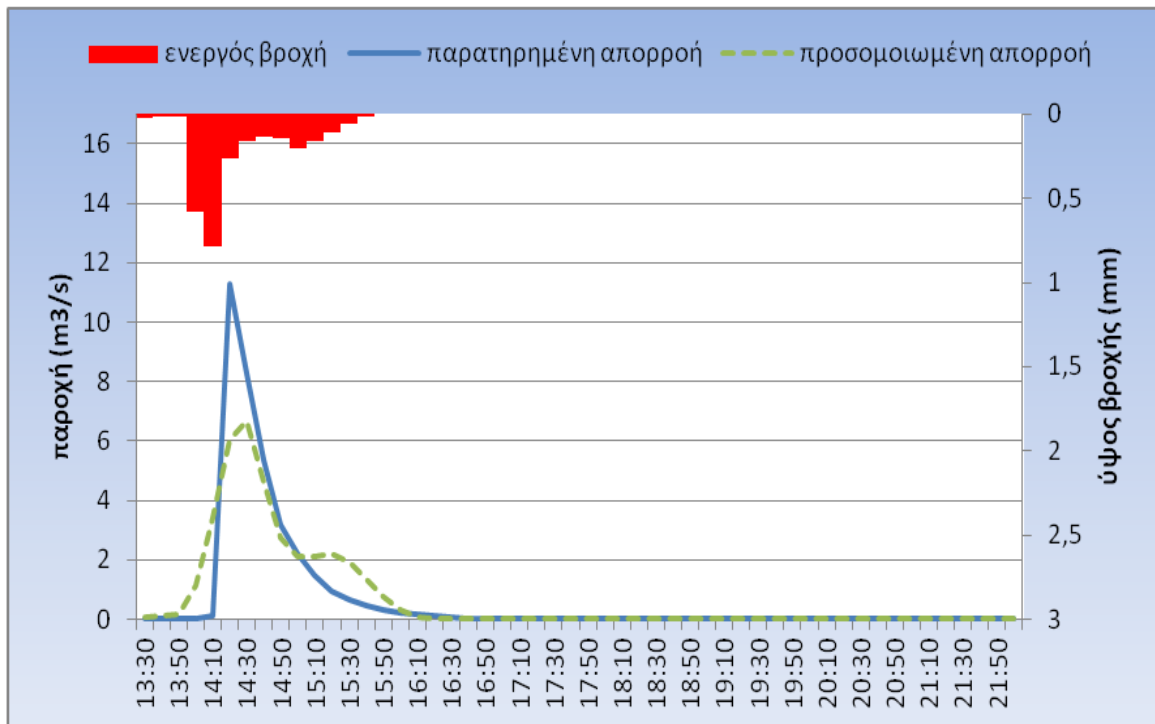
Γράφημα Π-32 Υδρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής και υετόγραμμα ενεργού βροχής για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα στις 17/01/2005



Γράφημα Π-33 Υδρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής και υετόγραμμα ενεργού βροχής για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα στις 17/10/2009



Γράφημα Π-34 Υδρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής και υετόγραμμα ενεργού βροχής για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα στις 23/03/2007



Γράφημα Π-35 Υδρογράφημα παρατηρημένης άμεσης απορροής και προσομοιωμένης απορροής και υετόγραμμα ενεργού βροχής για τη λεκάνη απορροής ανάντη στο Λυκόρεμα στις 25/10/2009

