

## Χρήση των Μεθόδων SCS και Sierra Nevada για τον Προσδιορισμό του Υδρογραφήματος της Βροχόπτωσης της 7<sup>ης</sup>/12/2002 στο Χειμάρο «Γεραμπίνη» Ζαγοράς

**Ο. Καραδήμος<sup>1</sup>, Μ. Σαπουντζής<sup>2</sup>, Α. Ψιλοβίκος<sup>1</sup>**

1. Παν. Θεσσαλίας, Τμ. Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος,  
38446 (Φυτόκο) Νέα Ιωνία Μαγνησίας

2. Α.Π.Θ., Σχολή Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος,  
Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων, Τθ 268, 54124 Θεσσαλονίκη

### Περίληψη

Στις 7 Δεκεμβρίου του 2002, μία έντονα ισχυρή βροχόπτωση έπληξε το βορειοανατολικό τμήμα του Νομού Μαγνησίας. Αποτέλεσμα ήταν η εμφάνιση εντόνων και καταστροφικών πλημμυρικών φαινομένων στην ευρύτερη περιοχή της Ζαγοράς. Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η εκτίμηση της υδρολογικής συμπεριφοράς, κατά τη διάρκεια του φαινομένου, της λεκάνης απορροής του χειμάρρου «Γεραμπίνη», Ζαγοράς του Β.Α. Πηλίου με τη χρήση της μεθόδου της Soil Conservation Service και της Sierra Nevada. Από τη σύγκριση των πλημμυρογραφημάτων που κατασκευάστηκαν και για τις δύο μεθόδους, προκύπτει ότι α) η διάρκεια της πλημμύρας ήταν σχεδόν η ίδια, β) το υδρογράφημα της μεθόδου της SCS εμφανίζει μια σημαντική υστέρηση ως προς την επίτευξη της μέγιστης τιμής της παροχής και γ) οι μέγιστες τιμές της υδατοπαροχής που υπολογίζονται είναι μεγαλύτερες στη μέθοδο της Sierra Nevada.

## The Use of SCS and Sierra Nevada Methods for the Determination of the Hydrograph of the 7<sup>th</sup> December 2002 Rainfall in the Watershed of Torrent “Gerampini” Zagora, Greece

**O. Karadimos<sup>1</sup>, M. Sapountzis<sup>2</sup>, A. Psilovikos<sup>1</sup>**

1. University of Thessaly, Dept of Agriculture, Ichthyology and Aquatic Environment,  
Fitoco 38446, Nea Ionia Magnesias, Greece

2. Institute of Mountainous Water Management and Control, Faculty of Forestry and  
Natural Environment, A.U.TH., P.O. Box: 268, 54124, Thessaloniki, Greece

### Abstract

On 7-9 December 2002 excessive rainfall of high intensity fell over in the area of North-eastern Pelion that resulted in catastrophic floods. The aim of this paper is the quantifi-

cation of the hydrologic response of the watershed “Gerampini” Zagoras by using the Soil Conservation Service (SCS) method and Sierra Nevada also. For this purpose, the flood hydrograph is estimated by using the Sierra Nevada's and SCS dimensionless unit hydrograph procedure. The comparison of the two methods resulted that the flood duration was approximately the same for both methods. The hydrograph obtained by SCS method showed a significant lag comparing with the hydrograph obtained by Sierra Nevada method. Moreover, the  $Q_s$  value of Sierra Nevada method is higher than the SCS one and is better to be used in the design of antiflooding control works.

## 1. Εισαγωγή

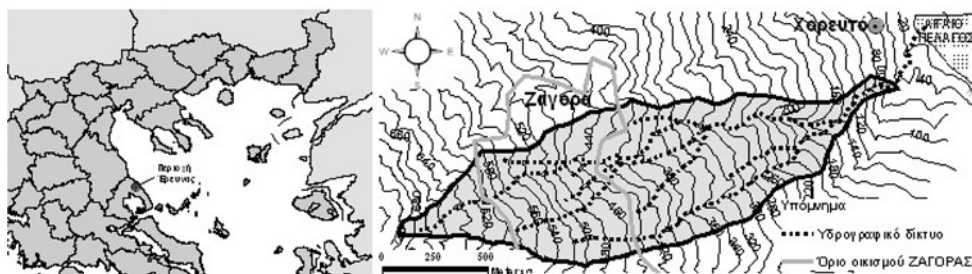
Η εκτίμηση της απορροής μιας βροχόπτωσης σε μία λεκάνη απορροής γίνεται συνήθως με την εφαρμογή του μοναδιαίου υδρογραφήματος (Στεφανίδης 1995, Stefanidis, 1995, Μπαλουτσός κ.ά., 2000, Κωτούλας, 2001). Ιδιαίτερα σε μικρές λεκάνες απορροής για τις οποίες δεν υπάρχουν στοιχεία υδρομετρήσεων, η απορροϊκή βροχόπτωση εκτιμάται με την κατασκευή συνθετικών μοναδιαίων υδρογραφημάτων (Shaw, 1993, Βουζαράς, 1994, Παπαμιχαήλ κ.α., 1995).

Στην παρούσα εργασία επιδιώκεται ο προσδιορισμός του υδρογραφήματος της έντονης βροχόπτωσης της 7<sup>ης</sup>-9<sup>ης</sup> Δεκεμβρίου 2002 στο χείμαρρο «Γεραμπίνη» Ζαγοράς με τη χρήση των μεθόδων, Soil Conservation Service (SCS) και Sierra Nevada.

### 1.1. Περιγραφή της υδρολογικής λεκάνης

Ο χείμαρρος «Γεραμπίνη» εντοπίζεται στο Β.Α. τμήμα του Πηλίου, στην ευρύτερη περιοχή της Ζαγοράς. Ο οικισμός της Ζαγοράς καταλαμβάνει ένα σημαντικό τμήμα της λεκάνης απορροής του ρεύματος, ενώ στις εκβολές του αναπτύσσεται η κοινότητα του Χορευτού (σχήμα 1). Η λεκάνη απορροής έχει έκταση 1,06 km<sup>2</sup> και επίμηκες σχήμα. Το υψόμετρό της κυμαίνεται από 44 έως 720 m, και το μέσο σταθμισμένο υψόμετρό της είναι 399 m. Πρόκειται για λεκάνη απορροής των ημιορεινών περιοχών με μέση κλίση επιφανείας 33,3%. Το μήκος της κεντρικής κοίτης είναι 2,91 km με απότομες κλίσεις (μέση κλίση ίση με 25,2%). Γενικά για τον χείμαρρο «Γεραμπίνη» Ζαγοράς ισχύουν τα εξής (Σαπουντζής κ.α., 2006): δέχεται σημαντικά σε ύψος κατακρημνίσματα, στο χώρο της λεκάνης απορροής του επικρατούν έντονες κλίσεις, η παρουσία της δασικής βλάστησης είναι περιορισμένη (60% δενδροκομικές καλλιέργειες) και εδράζεται σε ένα σχετικά ευπαθές σχιστολιθικό υπόβαθρο.

Για τη σταθεροποίηση των ασταθών εδαφών και τον περιορισμό της στερεομεταφορικής δράσης του ρεύματος έχουν κατασκευαστεί από τη Δασική Υπηρεσία συνολικά 20 φράγματα βαθμίδωσης της κοίτης. Η ολοκλήρωση των έργων αυτών πραγματοποιήθηκε το 1999. Τα φράγματα αυτά, μέχρι σήμερα, έχουν συγκρατήσει 14300 m<sup>3</sup> φερτών υλικών (Σαπουντζής κ.α., 2006).



**Σχήμα 1.** Η θέση της περιοχής έρευνας και το υδρογραφικό δίκτυο στη λεκάνη απορροής του χειμάρρου «Γεραμπίνη» Ζαγοράς.

## 2. Υλικά και μέθοδοι

Για την επίτευξη του σκοπού της έρευνας συγκεντρώθηκαν το μετεωρολογικά στοιχεία της περιοχής και αναλύθηκε το συγκεκριμένο επεισόδιο βροχόπτωσης. Με την εφαρμογή της μεθόδου του απορροϊκού συντελεστή της SCS προσδιορίστηκε το απορροϊκό ύψος βροχόπτωσης. Στη συνέχεια κατασκευάστηκαν τα συνθετικά μοναδιαία υδρογραφήματα με τη χρήση των μεθόδων, SCS και Sierra Nevada. Με τη βοήθεια αυτών και της ενεργούς βροχής κατασκευάστηκαν τα υδρογραφήματα που εκφράζουν τον τρόπο εκδήλωσης του φαινομένου.

### 2.1. Μετεωρολογικά στοιχεία

Στην περιοχή έρευνας λειτουργεί ο σταθμός της Ζαγοράς (480m), ο οποίος εποπτεύεται από το Κέντρο Προστασίας Φυτών Βόλου. Ο σταθμός αυτός κατέγραφε τις βροχοπτώσεις με βροχογράφο για μία 12ετία (1975-1986) και στη συνέχεια αντικαταστάθηκε με αυτόματο τηλεμετρικό σταθμό. Στον πίνακα 1 δίνονται τα μετεωρολογικά στοιχεία του σταθμού από τα οποία προκύπτει ότι η περιοχή δέχεται αξιοσημείωτα μηνιαία ύψη βροχής σχεδόν στο σύνολο του έτους.

Στις 4 και 5 Νοεμβρίου του 1986 κατέπεσαν στην περιοχή 888 mm βροχής. Η βροχόπτωση αυτή συνοδεύτηκε από έντονα καταστροφικά πλημμυρικά φαινόμενα (Ράπτης, 1987, Τσακίρης, 1995, Βουζαράς, 1996, Παπαμιχαήλ, 2001). Τον Οκτώβριο του 1994 μέσα σε 5 ημέρες κατέπεσαν 693mm δημιουργώντας επίσης μεγάλης έκτασης πλημμυρικά φαινόμενα (Δαλέζιος, κ.α., 1995, Βουζαράς, 1996). Από την περίοδο εγκατάστασης του τηλεμετρικού σταθμού (1998) μέχρι σήμερα έχουν καταγραφεί επίσης σημαντικές βροχοπτώσεις συνοδευόμενες από πλημμυρικά φαινόμενα (Σαπουντζής κ.α., 2006).

**Πίνακας 1. Μέση μηνιαία βροχόπτωση και θερμοκρασία αέρα στο Μ/Σ Ζαγοράς**

Μέση μηνιαία βροχόπτωση (mm)												
I	Φ	M	A	M	I	I	A	Σ	O	N	Δ	Έτος
201	313	132	112	75	42	32	51	82	241	292	250	1823
Μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα (°C)												
I	Φ	M	A	M	I	I	A	Σ	O	N	Δ	Έτος
4,8	5,2	7,8	11,6	16,0	19,7	20,8	20,0	17,4	13,1	9,2	6,7	12,7

### 2.1.1. Χαρακτηριστικά της βροχόπτωσης στις 7 Δεκεμβρίου 2002

Στις 7, 8 και 9 Δεκεμβρίου 2002 σημειώθηκαν έντονα πλημμυρικά φαινόμενα στην ευρύτερη περιοχή του Β.Α. Πηλίου τα οποία προκάλεσαν ανυπολόγιστες ζημιές, όπως προκύπτει και από τα τοπικά δημοσιεύματα. Η βροχόπτωση άρχισε τις πρωινές ώρες της 7/12 με μικρή ένταση. Στη συνέχεια όμως παρατηρήθηκε μεγάλη αύξηση της έντασης και για αρκετές ώρες, η οποία δημιούργησε δύο μέγιστα. Το συνολικό ύψος βροχής ανήλθε σε 308 mm με διάρκεια 60 ώρες, το μέγιστο ύψος βροχής 24ώρου σε 254 mm και η μέγιστη ωριαία ένταση καταγράφηκε στις 12:00 της 7<sup>ης</sup> Δεκεμβρίου και ανήλθε σε 34 mm. Η ωριαία κατανομή της βροχόπτωσης παρουσιάζεται στο σχήμα 2.

### 2.2. Απώλειες βροχόπτωσης

H S.C.S. (1972) περιγράφει την σχέση όγκου βροχής- απορροής με την μορφή:

$$Q = \frac{(P - I)^2}{(P - I) + S} \quad \text{για } P > I \quad (2.1)$$

Q : ο όγκος απορροής,

P : ο όγκος της βροχόπτωσης

I : αρχική συγκράτηση υγρασίας (I = 0,2 S)

S : η μέγιστη ικανότητα συγκράτησης υγρασίας του εδάφους ή αποθηκευτικότητα και για την ισοδύναμη απορροϊκή βροχόπτωση (Pe):

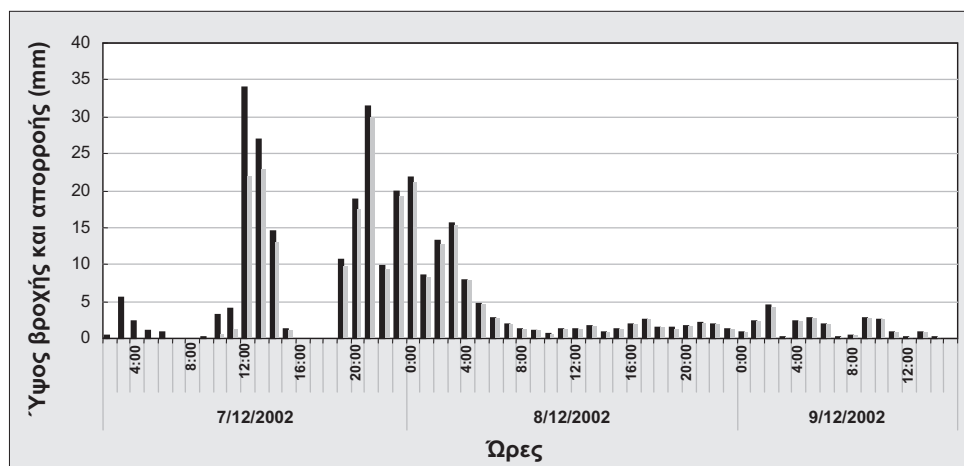
Q απορροϊκός όγκος ↔ Pe ισοδύναμη απορροϊκή βροχή:

$$Pe = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S} \quad (2.2)$$

Η μέγιστη δυνατή αποθηκευτικότητα του εδάφους (S) δίνεται από τη σχέση:

$$S = \left( \frac{25400}{CN} \right) - 254 \quad (2.3)$$

CN: ο απορροϊκός συντελεστής (runoff Curve Number) ο οποίος καθορίζεται από τα εδαφικά και φυσικά χαρακτηριστικά της λεκάνης



Σχήμα 2. Κατανομή ωριαίου ύψους βροχής και απορροής της 7-9 Δεκ. 2002

Ο δείκτης CN εκφράζει ουσιαστικά τις συνολικές απώλειες της βροχόπτωσης και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του περισσεύματος βροχής από μια δεδομένη βροχόπτωση, δηλαδή της επιφανειακής απορροής (Τσακίρης, 1995). Για τον προσδιορισμό του CN της υπό μελέτη λεκάνης κατασκευάστηκε ο χάρτης χρήσεων γης με τη βοήθεια του ορθοφωτοχάρτη της περιοχής και παρατηρήσεις υπαίθρου και ο εδαφολογικός χάρτης σε συνδυασμό με τη λήψη τριών εδαφοτομών σε αντιπροσωπευτικές θέσεις ως προς το είδος βλάστησης και τις επικρατούσες κλίσεις.

### 2.3. Συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα

Η μέθοδος του συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος για την εκτίμηση της πλημμυρικής απορροής από επεισόδιο βροχής σε λεκάνες που δεν διαθέτουν υδρομετρικά δεδομένα (Linsley et al., 1975, Chow et al., 1988, Βουζαράς, 1994, Μπαλούτσος κ.α., 2000, Στάθης και Σαπουντζής, 2003, Daniil et al., 2005, Χρυσάνθου και Θεοδωρακόπουλος, 2006). Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιείται το αδιάστατο μοναδιαίο υδρογράφημα της SCS (1972) και αυτό της Sierra Nevada, όπως δίνεται στο Design of Small Dams (USDI, 1987).

### 2.3.1. Συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα SCS

Η μέθοδος αναπτύχθηκε και χρησιμοποιείται από το Αμερικάνικο Υπουργείο Γεωργίας (SCS, 1972, Παπαμιχαήλ, 2001). Σύμφωνα με αυτή μπορούμε να κατασκευάσουμε το συνθετικό υδρογράφημα απορροϊκής βροχόπτωσης ίσης με τη μονάδα (1cm) οποιασδήποτε διάρκειας. Επειδή τα δεδομένα της βροχής που ερευνάται είναι ωριαίας κατανομής, το συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα κατασκευάστηκε για βροχή διάρκειας 1 ώρας. Τα βήματα που ακολουθούνται είναι τα εξής:

- Προσδιορίζεται ο χρόνος ανόδου  $t_A$  (ώρες) από τη σχέση:

$$t_A = \frac{t_N}{2} + t_L \quad (2.4)$$

$t_N$ : διάρκεια της μοναδιαίας βροχόπτωσης (ώρες)

$t_L$ : ο χρόνος υστέρησης ή επιβράδυνσης στη λεκάνη απορροής, δηλαδή η χρονική διαφορά μεταξύ του κέντρου βάρους των κατακρημνισμάτων και της αιχμής της απορροής (ώρες).

- Ο χρόνος υστέρησης προσδιορίζεται σύμφωνα με τη μέθοδο Snyder (Παπαμιχαήλ 2001):

$$t_L = C_1 * (L * L_{ca})^{0,3} \quad (2.5)$$

$L$ : μήκος κ. κοίτης από το στόμιο της λεκάνης μέχρι και τις πηγές του (km).

$L_{ca}$ : απόσταση από το στόμιο της λεκάνης μέχρι το σημείο του κεντρικού ρεύματος που αντιστοιχεί στο κέντρο βάρους της λεκάνης (km).

$C_1 = 1,36$  (για απότομες κλίσεις).

Υπολογίζεται η απορροή αιχμής από τη σχέση:

$$Q_s = 2,08 \frac{F_E * h_N}{t_A} \quad (2.6)$$

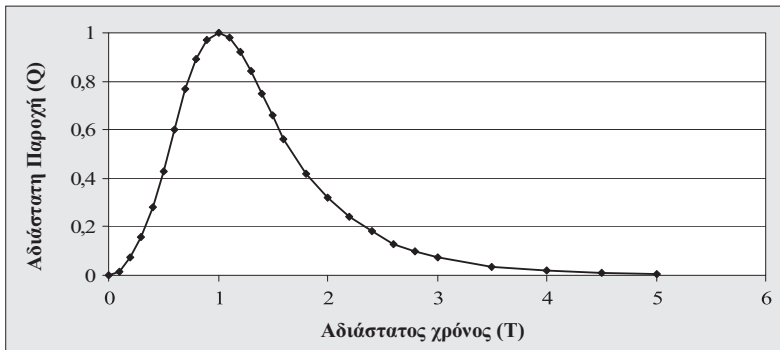
$Q_s$ : απορροή αιχμής του μοναδιαίου υδρογραφήματος ( $m^3/s$ ).

$F_E$ : επιφάνεια της λεκάνης απορροής ( $km^2$ ).

$h_N$ : απορροϊκό ύψος βροχής (1cm).

$t_A$ : περίοδος ανόδου (ώρες).

Από τα δεδομένα των  $Q_s$  και  $t_A$  και με την βοήθεια του αδιάστατου μοναδιαίου υδρογραφήματος της SCS (σχήμα 3) μπορεί να κατασκευαστεί το συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα απορροϊκής βροχόπτωσης διάρκειας 1 ώρας.



Σχήμα 3. Αδιάστατο μοναδιαίο υδρογράφημα της SCS.

### 2.3.2. Συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα Sierra Nevada

Στο σχήμα 4 δίνεται το αδιάστατο μοναδιαίο υδρογράφημα της Sierra Nevada (USDI 1987). Ο αδιάστατος χρόνος (T) εκφράζεται ως ποσοστό του χρόνου υστέρησης ( $L_g$ ) και της ημιδιάρκειας της μοναδιαίας βροχόπτωσης ( $D/2$ ). Η αδιάστατη παροχή (q) εκφράζεται σε συνάρτηση του χρόνου υστέρησης ( $L_g$ ), της ημιδιάρκειας της μοναδιαίας βροχόπτωσης ( $D/2$ ) καθώς και του απορροϊκού όγκου (V) που προέρχεται από τη μοναδιαία απορροϊκή βροχόπτωση (1 mm) στο σύνολο της λεκάνης. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή ο χρόνος υστέρησης (ώρες) υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$L_g = 0,5541 \left( \frac{L L_c}{\sqrt{S}} \right)^{0,33} \quad (2.7)$$

$L_g$  : χρόνος υστέρησης του συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος (ώρες)

L : μήκος μέγιστης διαδρομής της κεντρικής κοίτης (km)

$L_c$  : μήκος της κεντρικής κοίτης από την έξοδο της λεκάνης μέχρι την προβολή του κέντρου βάρους της λεκάνης (km) [ $L_c=1,5$  km]

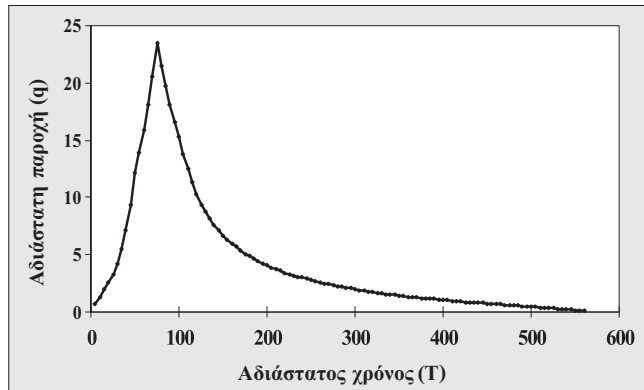
S : κλίση κεντρικής κοίτης (ως εφαπτομένη γωνίας).

Η διάρκεια της μοναδιαίας βροχόπτωσης για την οποία κατασκευάζεται το συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα δίνεται από τη σχέση:

$$D = \frac{L_g}{5,50} \text{ (ώρες)} \quad (2.8)$$

Επομένως η συγκεκριμένη μέθοδος επιτρέπει την κατασκευή μοναδιαίου υδρογραφήματος ορισμένης χρονικής διάρκειας βροχής.

Για τον υπολογισμό του συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος (1 mm) ακολουθείται η εξής διαδικασία:



**Σχήμα 4.** Αδιάστατο μοναδιαίο υδρογράφημα της Sierra Nevada.

Η τετμημένη του συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος (χρόνος) υπολογίζεται από τη σχέση:

$$t_m = \frac{T}{100} \cdot \left( Lg + \frac{D}{2} \right) \quad (2.9)$$

όπου:  $t_m$  : χρόνος του συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος (ώρες)

$T$  : παίρνεται από πίνακα (USDI, 1987)

$Lg$ : χρόνος υστέρησης συνθετικού του μοναδιαίου υδρογραφήματος (ώρες)

$D$  : διάρκεια της μοναδιαίας βροχόπτωσης (ώρες).

Η τεταγμένη του συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος (παροχή) απορροϊκής βροχόπτωσης 1 mm υπολογίζεται από τη σχέση:

$$Q = 0,01157 \cdot \left( \frac{A \cdot q}{Lg + \frac{D}{2}} \right) \quad (2.10)$$

όπου:  $Q$  : παροχή του συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος ( $m^3/sec$ )

$A$  : έκταση της λεκάνης απορροής ( $km^2$ )

$q$  : αδιάστατη παροχή, λαμβάνεται από πίνακα.

Ακολουθεί ο προσδιορισμός του πλημμυρογραφήματος με τη χρήση του ωριαίου απορροϊκού ύψους βροχόπτωσης.



### 3. Αποτελέσματα

#### 3.1. Απορροϊκή βροχόπτωση

Για τον υπολογισμό της απορροϊκής βροχόπτωσης ή περίσσειμα βροχόπτωσης ή ενεργός βροχόπτωση ήταν απαραίτητος ο προσδιορισμός του απορροϊκού συντελεστή ή αριθμός καμπύλης (CN). Με βάση τη φυτοκάλυψη και το είδος των εδαφών (Luvisols, μετρίως βαθιά πηλώδη εδάφη) εκτιμήθηκε ο συντελεστής, για προηγούμενη υγρασιακή κατάσταση τύπου II, ίσος με  $CN_{II}=73$ . Η αποθηκευτικότητα S βρέθηκε ίση με 94 mm και οι αρχική απώλειες 18,8mm (σχέση (2.3)). Για τις συνθήκες των πλημμυρικών απορροών η εκτίμηση της αποθήκευσης S γίνεται με την βοήθεια του απορροϊκού συντελεστή που αντιστοιχεί σε υγρασιακή κατάσταση τύπου III και υπολογίζεται ως συνάρτηση του  $CN_{II}$  με τη σχέση (Παπαμιχαήλ, 2001):

$$CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0,4036 + 0,0059 CN_{II}} = 87,5$$

Λόγω αυτού του γεγονότος ήταν αναγκαίο να επανεκτιμηθεί η αποθηκευτική ικανότητα του εδάφους για προηγούμενη υγρασιακή κατάσταση τύπου III με βάση το  $CN_{III}$ . Η αποθήκευση S επανεκτιμήθηκε σε 36,3 mm και η αρχική συγκράτηση υγρασίας σε  $I=7,26$  mm. Με τη βοήθεια των μεγεθών αυτών και τις σχέσεις (2.1) και (2.2) υπολογίστηκε η ωριαία απορροϊκή βροχόπτωση. Από τα 308,6 mm της συνολικής βροχόπτωσης απέρρευσαν τελικά 269 mm. Η ωριαία κατανομή του απορροϊκού ύψους βροχής δίνεται στο Σχήμα 2.

#### 3.2. Υπολογισμός υδρογραφημάτων

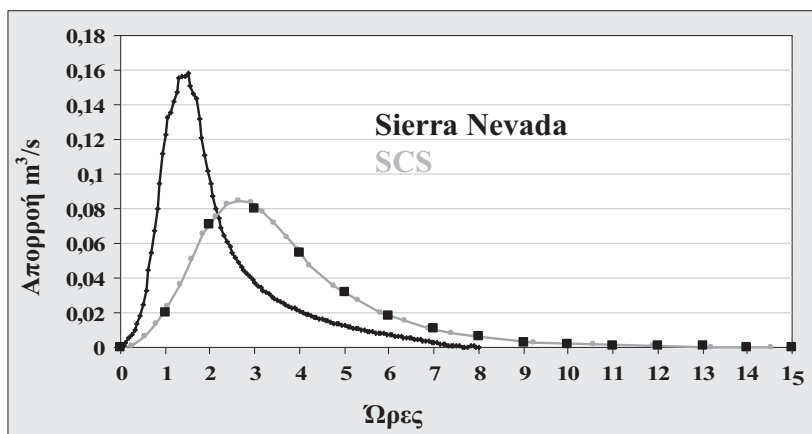
##### Μέθοδος SCS

Στον πίνακα 2 δίνονται τα δεδομένα που προέκυψαν από την εφαρμογή των σχέσεων προσδιορισμού του χρόνου ανόδου και της μέγιστης τιμής της αιχμής της μοναδιαίας απορροϊκής βροχόπτωσης. Από τα δεδομένα των  $Q_s$  και  $t_A$  και με την βοήθεια των

**Πίνακας 2.** Βασικές παράμετροι του μοναδιαίου υδρογραφήματος της SCS

Χρόνος υστέρησης	$t_L$	2,1424 h
Χρόνος ανόδου	$t_A$	2,6424 h
Χρόνος καθόδου	$t_R$	4,4128 h
Μέγιστη αιχμή απορροής	$Q_s$	0,83439 m
Διάρκεια απορροϊκής βροχής	$t_N$	1 h
Απορροϊκό ύψος βροχής	$h_N$	1 cm

αδιάστατων τιμών του χρόνου και της παροχής του αδιάστατου υδρογραφήματος της SCS κατασκευάστηκε το συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα διάρκειας 1 ώρας και απορροϊκού ύψους βροχόπτωσης 1 mm που δίνεται στο σχήμα 5.



Σχήμα 5. Συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα διάρκειας 1 ώρας

### Μέθοδος Sierra Nevada

Από την εφαρμογή των σχέσεων (2.7) και (2.8) για τον χείμαρρο «Γεραμπίνη» προέκυψε:  $L_g = 1,14727$  ώρες και  $D = 0,2$  ώρες, και με την εφαρμογή των εξισώσεων (2.9) και (2.10) δηλαδή της τεταμένης και της τεταγμένης του μοναδιαίου υδρογραφήματος διάρκειας 0,2 ώρες οι παρακάτω γραμμικές σχέσεις:

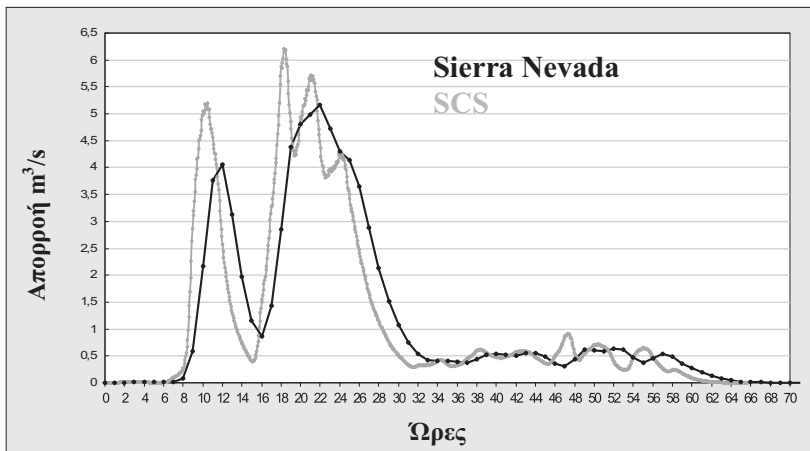
Χρόνος του συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος:

$$t_m = 0,0125127 T$$

και αντίστοιχη απορροή του συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος:

$$Q_m = 0,009833 Q$$

Με βάση τα παραπάνω υπολογίζεται το συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα διάρκειας  $D = 0,2$  ώρες. Ακολούθησε η σύνθεση 5 μοναδιαίων υδρογραφημάτων διάρκειας 0,2 ωρών μετατοπισμένων χρονικά κατά 0,2 ώρες. Το αποτέλεσμα της εργασίας αυτής δίνεται στο σχήμα 5. Λαμβάνοντας υπόψη τα συνθετικά μοναδιαία υδρογραφήματα των δύο μεθόδων καθώς και την ωριαία κατανομή της απορροϊκής βροχής, κατασκευάστηκαν τα υδρογραφήματα της πλημμύρας (σχήμα 6).



Σχήμα 6. Το υδρογράφημα της πλημμύρας της λεκάνης απορροής.

#### 4. Συζήτηση - συμπεράσματα

Ο χείμαρρος «Γεραμπίνη» Ζαγοράς χαρακτηρίζεται από εμφάνιση εντόνων κλίσεων τόσο στην κοίτη όσο και στη λεκάνη απορροής του γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα την ταχεία απαγωγή του νερού μετά από έντονες βροχοπτώσεις. Η εν λόγω περιοχή χαρακτηρίζεται από την εμφάνιση συχνών και αξιοσημείωτων σε μέγεθος βροχοπτώσεων γεγονός που χρήζει ιδιαίτερης έρευνας.

Στο πλαίσιο αυτού του προβληματισμού έγινε και η ανάλυση της βροχόπτωσης της 7<sup>ης</sup> Δεκεμβρίου 2002. Από την ανάλυση της βροχής προκύπτει ότι εμφάνισε σημαντική ραγδαιότητα και διάρκεια. Εντάσεις του μεγέθους των 34 mm/h παρατηρούνται σχετικά συχνά στην περιοχή και δεν χαρακτηρίζονται ως ακραίες. Για τον προσδιορισμό της σχέσης βροχής- απορροής χρησιμοποιήθηκαν δύο γνωστές μέθοδοι, η μέθοδος της S.C.S και η μέθοδος της Sierra Nevada (USDI, 1987). Από την εφαρμογή των μεθόδων αυτών προκύπτει ότι η μέγιστη υδατοπαροχή κυμάνθηκε από 5,15 m<sup>3</sup>/s (SCS) έως 6,2 m<sup>3</sup>/s (Sierra Nevada), ο συνολικός όγκος του νερού που απέρρευσε από 286000 m<sup>3</sup> και 291500 m<sup>3</sup> αντίστοιχα και η συνολική διάρκεια του φαινομένου της απορροής διήρκησε 65 έως 70 ώρες (σχήμα 6).

Συγκρίνοντας τα δύο υδρογραφήματα προκύπτει ότι το υδρογράφημα της μεθόδου SCS εμφανίζει μία σημαντική υστέρηση επίτευξης των δύο μεγίστων τιμών της παροχής (2ώρες και 4ώρες αντίστοιχα) σε σχέση με αυτό της περιοχής Sierra Nevada. Τα μεγέθη των παροχών αιχμής που εκτιμήθηκαν με τις δύο μεθόδους δεν παρουσιάζουν σημαντική διαφορά. Καθοριστικό ρόλο για το γεγονός αυτό αποτελεί το μικρό μέγεθος της λεκάνης απορροής. Η διαπίστωση αυτή μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι

και οι δύο μέθοδοι μπορούν να εφαρμοσθούν με σχετικά καλά αποτελέσματα σε λεκανές απορροής με μικρό μέγεθος όταν δε διαθέτουμε υδρομετρήσεις. Από την σύγκριση των δύο συνθετικών μοναδιαίων υδρογραφημάτων (σχήμα 5) προκύπτει ότι η μέθοδος της Sierra Nevada δίνει το μέγιστο ( $0,16\text{m}^3/\text{s}$ ) από την πρώτη μέχρι και την δεύτερη ώρα από την έναρξη της απορροής. Αντίθετα στη μέθοδο SCS η μέγιστη τιμή της αιχμής ( $0,08\text{m}^3/\text{s}$ ), που είναι ίση με το 50% παρουσιάζει μια σημαντική υστέρηση επίτευξης και επιτυγχάνεται μεταξύ δεύτερης και τρίτης ώρας. Επίσης το «πλάτος»- διάρκεια της μέσης απορροής, (2ώρες Sierra Nevada και 3,5ώρες SCS) διαφέρει σημαντικά στις δύο μεθόδους. Η μεγάλη διάρκεια κίνησης της μέσης απορροής στην SCS καθώς και η κατανομή της βροχόπτωσης αιτιολογεί και το γεγονός ότι τα δύο πλημμυρογραφήματα δεν διαφέρουν σημαντικά παρόλο που προέρχονται από μοναδιαία που διαφέρουν σημαντικά.

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι η χρήση της μεθόδου της Sierra Nevada ενδείκνυται στις περιπτώσεις των μικρών λεκανών απορροής με ισχυρές κλίσεις ειδικά για την περίπτωση του σχεδιασμού των κατάλληλων υδρονομικών έργων, ώστε οι απαιτούμενοι υδραυλικοί υπολογισμοί να βρίσκονται στην πλευρά της ασφάλειας.

## Ευχαριστίες

Η παρούσα έρευνα υποστηρίχθηκε από το πρόγραμμα: ΕΠΕΑΕΚ- Πυθαγόρας II.

## Βιβλιογραφία

1. Βουζαράς, Α., 1994. *Η σχέση βροχής – απορροής της SCS με ελληνικά πειραματικά δεδομένα*. Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα, 5(4): 52-64.
2. Βουζαράς, Α., 1996. *Βροχές- χρήσης γης- Χειμαρρικά φαινόμενα και το Μέλλον του Ανατολικού Πηλίου*. Πρακτικά 2<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου «Εγγειοβελτιωτικά Έργα- Διαχείριση Υδατικών Πόρων-Εκμηχάνιση Γεωργίας», ΓΕΩΤΕΕ, Λάρισα, Τόμος Β, σελ. 1228- 1242.
3. Chow, V.T., Maidment, D.R. and Mays, L.W., 1988. *Applied Hydrology*. Mc Graw International Editions, 572pp.
4. Δαλέζιος, Ν., Τσινταράκης, Α. και Ζάρπας, Κ., 1995. *Ποσοτικά χαρακτηριστικά πλημμύρας Οκτωβρίου 1994 στη Θεσσαλία*. Πρακτικά 2<sup>ου</sup> Εθν. Συνεδρίου της ΕΕΔΥΠ 12-13/1/1995, Αθήνα, σελ. 183-191.
5. Daniil, E., Michas, S. and Lazaridis, L., 2005. *Hydrological modeling for the determination of design discharges in ungauged basins*. Global Nest Journal, 7(3): 296-305.
6. Κωτούλας, Δ., 2001. *Ορεινή Υδρονομική. Τα ρέοντα Ύδατα*. Θεσ/νίκη, σελ. 681.
7. Linsley, R, Max, K. and Joseph, P., 1975. *Hydrology for Engineers*. (2nd. edition), 482pp.

8. Μπαλούτσος, Γ., Κουτσογιάννης, Δ., Οικονόμου, Α. και Καλλίρης, Π., 2000. *Διερεύνηση της απόκρισης της λεκάνης απορροής Ξηριά Κορίνθου στην καταιγίδα της 11-13 Ιανουαρίου 1997 με τη μέθοδο SCS*. Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα, 11(1): 77-90.
9. Παπαμιχαήλ, Δ., 2001. *Τεχνική Υδρολογία Επιφανειακών Υδάτων*. Εκδόσεις Γιαχούδη – Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη, σελ. 394.
10. Παπαμιχαήλ, Δ., Μπαμπατζιμόπουλος, Χ., Κωτσόπουλος, Σ., Γεωργίου, Π. και Τερζίδης, Γ., 1995. *Διερεύνηση των σχέσεων βροχής – απορροής της λεκάνης της Αλωπίας με τη βοήθεια του HEC-1*. Πρακτικά 2<sup>ου</sup> Εθνικού Συνεδρίου της ΕΕΔΥΠ 12-13/1/1995, Αθήνα, σελ. 57-64.
11. Παπαμιχαήλ, Δ., Γεωργίου, Π. και Καραμούζης, Δ., 2001. *Εκτίμηση των πλημμυρογραφημάτων της ραγδαίας βροχόπτωσης της 7-8 Οκτωβρίου 2000 στην περιοχή της Μεγάλης Παναγίας της Χαλκιδικής*. Υδροτεχνικά, 11: 47-60.
12. Ράπτης, Σ., 1987. *Μελέτη κατασκευής φραγμάτων στο χειμάρρο «Γεραμπίνη» της κοινότητας Ζαγοράς Πηλίου*. Διεύθυνση Δασών Μαγνησίας.
13. Σαπουντζής, Μ., Παπαθανασίου Θ. και Μυρωνίδης, Δ., 2006. *Προσδιορισμός της υποβάθμισης της λεκάνης απορροής του ρεύματος «Γεραμπίνη» Ζαγοράς*. Πρακτικά 10<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου της ΕΥΕ, σελ. 135-142.
14. SCS (Soil Conservation Service), 1972. *National Engineering Handbook*, Section 4, U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C.
15. Shaw, E., 1993. *Hydrology in practice*. Chapman and Hall (2nd edition), 539pp.
16. Στάθης, Δ. και Σαπουντζής, Μ., 2003. *Διερεύνηση της σχέσης βροχής-απορροής της λεκάνης του χειμαρρικού ρεύματος «Πετρένια» Γοματίου Ν. Χαλκιδικής στην καταιγίδα της 7-9 Οκτωβρίου 2000*. Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα, 13(1), σειρά II.
17. Στεφανίδης, Π., 1995. *Διερεύνηση αιτιών και μηχανισμών λειτουργίας πλημμυρικών φαινομένων στον Ελλαδικό χώρο*. Πρακτικά διεθνούς συμποσίου με θέμα "Προστασία και Περιβαλλοντική Διαχείριση των Ρευμάτων" ΥΠΕΧΩΔΕ, Αθήνα, σελ. 139-140.
18. Stefanidis, P., 1995. *The cause and the mechanism of the debris flow in Brasna and Asprovalta, North Greece*. Scientific Conference with Participation of Foreign Specialists "90 Years of soil Erosion Control in Bulgaria", Sofia, pp. 30-36.
19. Τσακίρης, Γ., 1995. *Τεχνική Υδρολογία*. Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.
20. US Department of the Interior (USDI) Bureau of Reclamation, 1987. *Design of Small Dams* (3rd edition), US Government Printing Office.
21. Χρυσάνθου, Β. και Θεοδωρακόπουλος, Ε., 2006. *Υπολογισμός υδρογραφήματος και στερεογραφήματος μιας πλημμύρας*. Υδροτεχνικά, 11: 91-106.