

Διερεύνηση της απόκρισης της λεκάνης απορροής Ξηριά Κορίνθου στην καταιγίδα της 11-13 Ιανουαρίου 1997 με τη μέθοδο SCS

Γ. Μπαλούτσος¹, Δ. Κουτσογιάννης², Α. Οικονόμου¹, Π. Καλλίρης³

Περίληψη

Στις 11-13/1/1997 η λεκάνη απορροής του χειμάρρου Ξηριά Κορίνθου, αλλά και η ευρύτερη περιοχή, επλήγησαν από ισχυρή καταιγίδα που προξένησε έντονα πλημμυρικά φαινόμενα στην πόλη με υλικές καταστροφές και ανθρώπινα θύματα. Οι καταστροφές αποδόθηκαν τόσο στην ισχυρή βροχόπτωση και την αντίστοιχη απορροή, όσο και στις ανθρώπινες παρεμβάσεις στο χώρο δράσης του χειμάρρου. Όμως η έλλειψη σταθμών μετρησης υδρομετεωρολογικών παραμέτρων στη λεκάνη, δημιούργησε δυσχέρειες στην ποσοτικοποίηση της υδρολογικής της απόκρισης. Το κενό αυτό εξετάζεται στην εργασία με τη διερεύνηση της απόκρισης της λεκάνης στην καταιγίδα με τη μέθοδο SCS και από την ανάλυση προέκυψαν τα ακόλουθα: Το ύψος βροχής στη λεκάνη κυμάνθηκε από 123-358mm (σταθμικό ύψος 201mm) και η περίοδος επαναφοράς της στην κεντρική ζώνη της λεκάνης ήταν της τάξης των 1000 ετών για διάρκεια 24 ωρών, αλλά αρκετά μικρότερη για μικρότερες διάρκειες. Η παροχή αιχμής στο στόμιο της λεκάνης ξεπέρασε τα 600m³/s, τιμή που αντιστοιχεί σε περίοδο επαναφοράς της τάξης των 100 ετών και ο συντελεστής πλημμυρικής απορροής ξεπέρασε το 55%. Με βάση τα φυσικά και υδρολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης και τα συμπεράσματα της μελέτης, προτείνοντα μέτρα και έργα ελάφρυνσης των επιπτώσεων από παρόμοια γεγονότα στο μέλλον.

Λέξεις κλειδιά: Ισχυρές βροχοπτώσεις, πλημμύρες, καταστροφές, Κόρινθος, Μέθοδος SCS.

Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια σε παγκόσμια κλίμακα οι επιπτώσεις των ακραίων φυσικών φαινομένων, καθώς και οι πληγέντες από αυτά, αυξάνονται συνεχώς (Bryant, 1993· Alexander, 1993· Chapman, 1994· United Nations, 1994). Η αυξηση σύμως αυτή φαίνεται πως έρχεται σε αντίθεση με τους στόχους της δεκαετίας ελάφρυνσης των επιπτώσεων από τα παραπάνω φαινόμενα που καθιερώθηκε από τον ΟΗΕ και τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (WMO) την 1η Ιανουαρίου 1990. Πιο συγκεκριμένα, σήμερα εκτιμάται πως τη δεκαετία που διανύουμε οι επιπτώσεις από τα παραπάνω φαινόμενα σε παγκόσμια κλίμακα έχουν τετραπλασιασθεί σε σχέση με εκείνες της δεκαετίας του 1960 και ο αριθμός των πληγέντων αυξάνει κατά 6% ετησίως μετά το 1960 (Boule, 1997). Κατά συνέπεια η επίτευξη των στόχων τόσο του δεκαετούς προγράμματος του ΟΗΕ, όσο και του παγκόσμιου συνεδρίου για τα ακραία φυσικά φαινόμενα που έγινε στην Yokohama της Ιαπωνίας το Μάιο του 1994 για “έναν ασφαλέστερο 21ο αιώνα”, φαίνεται να μην πραγματοποιείται.

Αναλυτικότερα, οι κυριότερες αιτίες αύξησης των επιπτώσεων των ακραίων καιρικών φαινομένων, καθώς και του αριθμού των πληγέντων, είναι η ταχεία αύξηση του πληθυσμού και οι αθροίσες παρεμβάσεις του στο φυσικό περιβάλλον. Τα παραπάνω έχουν αποτέλεσμα και τη μείωση της αντοχής του ανθρώπου στα φαινόμενα που αναφέρθηκαν. Ειδικότερα στο όνομα της ανάπτυξης, εκτεταμένες περιοχές τόσο στη χώρα μας όσο και αλλού (Κωτούλας, 1978· Μπαλούτσος, 1994· Στεφανίδης, 1995· Σακκάς και συν., 1995) αστικοποιούνται και βιομηχανοποιούνται, οι κοίτες των ρεμάτων και ποταμών μειώνονται σημαντικά ή κλείνουν τελείως και η φυσική βλάστηση για διάφορους λόγους υποβαθμίζεται ή καταστρέφεται και μάλιστα σε περιοχές επιρρεπείς στην εκδήλωση τέτοιων φαινομένων. Βέβαια, η ανάπτυξη πρέπει να έχει πάντοτε το χαρακτήρα της “βιώσιμης” για το καλό των σημερινών και επερχόμενων γενεών. Στην πραγματικότητα όμως οι διαχειριστές των

¹ ΕΘΙΑΓΕ, Ινστιτούτο Δασικών Ερευνών Αθηνών, Τέρμα Αλκανάρος, Πλάσια, 115 28, Αθήνα (τηλ. 7793142, fax: 7784602)

² ΕΜΠ, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων, Ηρώων Πολυτεχνείου 5, 157 80 Ζωγράφου.

³ Δασαρχείο Κορίνθου.

επιπτώσεων των ακραίων καιρικών φαινομένων συχνά δε λαμβάνουν υπόψη τα γενικότερα σχέδια για “βιώσιμη” ανάπτυξη των περιοχών τους και επί πλέον οι σχεδιαστές της “βιώσιμης” ανάπτυξης, συχνά δε θεωρούν την αύξηση του κινδύνου από τα παραπάνω φαινόμενα, ως μέρος του σχεδιασμού τους (Boule, 1997). Αποτέλεσμα όλων αυτών των “παραλείψεων” είναι, όπως αναφέρθηκε, η διατάραξη της φυσικής ισορροπίας εκτεταμένων περιοχών, η μείωση της αντοχής του ανθρώπου σε περίπτωση εκδήλωσης τέτοιων φαινομένων και η επιβεβαίωση της ρήσης του Hegel που διατυπώθηκε εδώ και 200 χρόνια πως “δε διδασκόμαστε από εμπειρίες του παρελθόντος” (Chapman, 1994).

Επισημαίνεται ακόμα πως οι επιπτώσεις από καιρικά φαινόμενα είναι ιδιαίτερα δυσμενείς όταν το μέγεθός τους ξεπερνάει κάθε προηγούμενο ρευμό. Στην κατηγορία αυτή υπάγονται κυρίως οι πλημμύρες που δημιουργούνται από ύψη βροχής που δεν είχαν παρατηρηθεί τα προηγούμενα χρόνια. Τέτοια ύψη βροχής έχουν καταγραφεί στο παρελθόν σε πολλές χώρες ανά τον κόσμο (Hershfield, 1961; Shaw, 1983; Mutreja, 1986; Jones 1997), αλλά και στην Ελλάδα. Οι τιμές τους πιθανόν να βρίσκονται στα όρια του εύρους της φυσικής μεταβλητότητας του κλίματος των περιοχών που εκδηλώνονται. Ως παραδείγματα τέτοιων γεγονότων στη χώρα μας τα τελευταία χρόνια αναφέρονται οι βροχές στο Λεωνίδιο Αρκαδίας το Νοέμβριο του 1990 (220 mm σε 24 ώρες· EMY, προσωπική επικοινωνία), στην Ξάνθη (30.11.1996 έως 1.12.1996, 300 mm σε 24 ώρες· Μπέλλος, 1997) και στο Βέλο Κορινθίας την 11-13 Ιανουαρίου 1997 (294 mm σε 24 ώρες και 358 mm σε 43 ώρες· δεδομένα EMY).

Όλες οι παραπάνω βροχοπτώσεις προκάλεσαν εκτεταμένες υλικές καταστροφές και ανθρώπινα θύματα. Όμως το αποκορύφωμα των καταστροφών ήταν στην Κόρινθο αφού ο χείμαρρος Ξηριάς που πλημμύρισε διασχίζει την πόλη. Βέβαια πλημμύρες μικρότερης έντασης από τη συγκεκριμένη περίπτωση συνέβησαν και πολαιότερα τόσο στην Κόρινθο (1972, 1990), όσο και στην ευρύτερη περιοχή της βόρειας Πελοποννήσου, όπου εκτός από το ύψος των βροχοπτώσεων, αυτές ευνοούνται από τις υδρολογικές ιδιότητες των εδαφών, καθώς και τη διέλευση των χειμάρρων δια μέσου κατοικημένων περιοχών με πολλαπλές αρνητικές παρεμβάσεις στη διαδομή τους.

Τα αίτια της τελευταίας πλημμύρας της Κορίνθου, καθώς και τα χαρακτηριστικά του επεισοδίου βροχής που την προξένησε, εξετάστηκαν από προηγούμενους ερευνητές και τεχνικούς (Επιτροπή Νομαρχίας Κορίνθου, 1997· Οικονόμου και Μιγκάρδου, 1997). Με την παρούσα εργασία επιχειρείται επιτλέον η ποσοτικοποίηση της υδρολογικής απόκρισης της λεκάνης στην καταγίδα της 11-13.1.97 με τη μέθοδο SCS και η συμβολή στη λήψη των αναγκαίων μέτρων και έργων για την ελάφρυνση των επιπτώσεων από παρόμοια φαινόμενα στο μέλλον.

Σύντομη περιγραφή της μεθόδου SCS

Η μέθοδος του “Αριθμού Καμπύλης Απορροής” (Runoff Curve Number) της Υπηρεσίας Διατήρησης των Εδαφών (Soil Conservation Service-SCS-) του Υπουργείου Γεωργίας των ΗΠΑ είναι μία από τις μακροβιότερες για την εκτίμηση της πλημμυρικής (επιφανειακής) απορροής από επεισόδια βροχής σε λεκάνες χωρίς υδρομετρήσεις. Αρχικά αναπτύχθηκε από τον Mockus και τους συνεργάτες του γύρω στα 1947 (SCS, 1973) και έτυχε ευρείας εφαρμογής στην Αμερική μετά τα μέσα της δεκαετίας του 1950 (Boughton, 1989). Κριτήριο για την ανάπτυξη της μεθόδου ήταν η χρήση δεδομένων βροχής και επιτλέον εδαφικών και βλαστικών χαρακτηριστικών των λεκανών, τα οποία είναι συνήθως διαθέσιμα σε ευρεία κλίμακα.

Λεπτομέρειες για τα στάδια ανάπτυξης της μεθόδου δίνονται από την υπηρεσία που αναφέρθηκε (SCS, 1972) και στην παρούσα εργασία επισημαίνονται περιληπτικά τα παρακάτω:

Η ενεργός βροχόπτωση που μετατρέπεται σε πλημμυρική απορροή Q εκτιμάται από τη σχέση:

$$Q = \frac{(P-I)^2}{(P-I+S)} \text{ για } P > I \quad (1)$$

όπου P το αθροιστικό ύψος βροχής της λεκάνης, I το αρχικό έλλειμμα (initial abstraction) και S παράμετρος γνωστή ως δυνητική μέγιστη κατακράτηση (potential maximum retention). Συχνά για απλοποίηση λαμβάνεται $I = 0.2 S$. Τα μεγέθη Q , P , I και S εκφράζονται στις ίδιες μονάδες που εδώ έχουν ληφθεί ως mm.

Η παράμετρος S των λεκανών απορροής κυμαίνεται εντός ευρέων ορίων και εξαρτάται από τις χρήσεις γης - φυτοκάλυψης και επιτλέον από την υγρασία και τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους. Εφόσον δεν υπάρχουν μετρήσεις απορροής, η παράμετρος S εκτιμάται μέσω μιας άλλης χαρακτηριστικής παραμέτρου που

εκφράζει το υδρολογικό σύμπλοκο εδάφους-φυτοκάλυψης, γνωστής ως αριθμού καμπύλης απορροής (ή απλώς αριθμού καμπύλης – Curve Number, CN), δια της σχέσης:

$$S = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right) \text{ (σε mm)} \quad (2)$$

Ο αριθμός καμπύλης CN λαμβάνει τιμές που κυμαίνονται από 0-100 και εκτιμώνται με τη χρήση πινάκων που περιέχουν τα υδρολογικά και φυσικά χαρακτηριστικά των λεκανών και την υγρασιακή κατάσταση του εδάφους πριν την έναρξη του υπό μελέτη επεισοδίου βροχής. Ειδικότερα η παράμετρος CN εκτιμάται από πίνακες για μέσες υγρασιακές συνθήκες της λεκάνης (AMC II) και, ανάλογα με τη βροχή των πέντε προηγουμένων ημερών, μπορεί να μετατραπεί σε ξηρές (AMC I) ή υγρές (AMC III) συνθήκες.

Μετά την επιλογή της κατάλληλης τιμής CN υπολογίζεται η παράμετρος S της λεκάνης και στη συνέχεια η ενεργός βροχόπτωση που με κατάλληλη μέθοδο, όπως π.χ. του μοναδιαίου υδρογραφήματος, μετασχηματίζεται σε πλημμυρική απορροή. Η εφαρμογή της μεθόδου SCS στην λεκάνη Ξηριά Κορίνθου αναλύεται παρακάτω.

Εφαρμογή

Περιοχή μελέτης

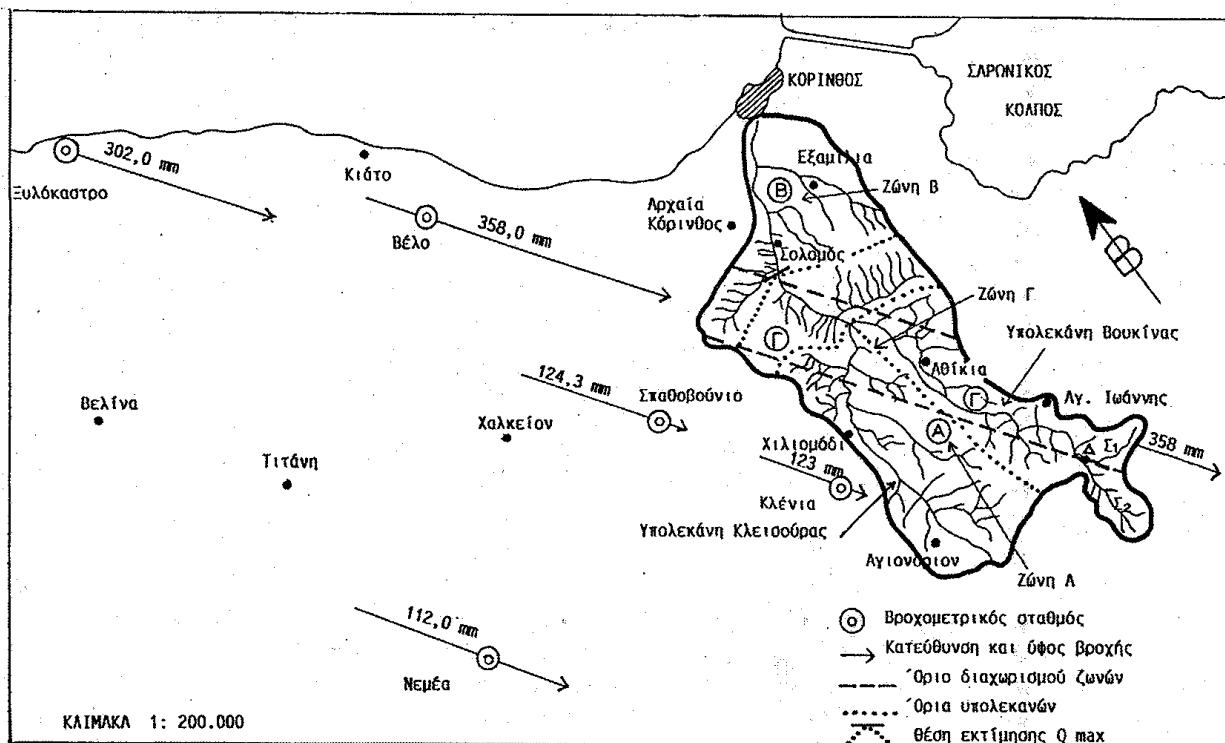
Η λεκάνη απορροής του χειμάρρου Ξηριά εκτείνεται νότια της πόλης της Κορίνθου (Σχήμα 1) και η έκτασή της, με σημείο εξόδου (στόμιο) την τομή του ρέματος με τη σιδηροδρομική γραμμή Αθηνών - Πελοποννήσου, στα δυτικά της πόλης, ανέρχεται σε 169 km². Έχει σχήμα τραπεζοειδές και το υψόμετρο κυμαίνεται από 40-1137 m. Οι κλίσεις της δεν είναι ομοιόμορφες και ειδικότερα το χαμηλότερο 1/3 της έκτασης προς την πόλη είναι σχεδόν οριζόντιο με μέση κλίση της κοίτης του χειμάρρου 0,5%. Στο επόμενο τρίτο οι κλίσεις αυξάνουν βαθμιαία, αλλά σε ελάχιστες θέσεις ξεπερνούν το 10%. Η μέση κλίση της κοίτης του χειμάρρου στη ζώνη αυτή είναι 2,3%. Τέλος στο τελευταίο τρίτο της έκτασης οι κλίσεις των πλαγιών κυμαίνονται από 15-25% και σε ορισμένες μόνο θέσεις φθάνουν ή ξεπερνούν το 35%. Η μέση κλίση της κοίτης του ρέματος στην τελευταία ζώνη είναι 6,8%.

Από γεωλογική άποψη η λεκάνη καλύπτεται από σκληρούς ασβεστόλιθους, τριτογενείς αποθέσεις, αλλούβια και κολλούβια ασβεστολίθων (Πίνακας I). Ειδικότερα οι σκληροί ασβεστόλιθοι εκτείνονται στο νοτιότερο τμήμα της λεκάνης. Είναι πετρώματα διαπερατά και τα εδάφη που σχηματίζονται από αυτά, με χημική κυρίως αποσάθρωση, είναι αργιλώδη έως αργιλοπηλώδη και περιορίζονται σε σχισμές και θύλακες (Οικονόμου και Νάκος, 1992). Έτσι περιορίζεται και η διαπερατότητα των ασβεστολίθων. Επισημαίνεται ακόμα πως το βάθος των παραπάνω εδαφών κυμαίνεται από 5-30 cm (βραχώδη έως αβαθή) και η ταχύτητα διήθησης του νερού σ' αυτά λόγω της υφής τους, είναι περιορισμένη.

Οι τριτογενείς αποθέσεις διαχρίνονται σε ερυθρά αργιλομιγή άμμο και μάργες. Από τις κατηγορίες αυτές η πρώτη εκτείνεται N και NA της πόλης Κορίνθου, έχει βάθος 5-10 m (Χάρτης ΙΓΜΕ, 1972) και αποσαθρούμενη δημιουργεί αιμιλάδη και αιμιλοπηλώδη εδάφη. Οι μάργες, σε αντίθεση με την προηγούμενη κατηγορία, είναι αδιαπέρατος γεωλογικός σχηματισμός και καταλαμβάνουν τις υπόλοιπες πεδινές περιοχές της λεκάνης. Τα αλλούβια σχηματίζουν εδάφη με υφή που εξαρτάται από την προέλευση των υλικών απόθεσης και τα κολλούβια ασβεστολίθων βαθιά εδάφη με μεγάλη ταχύτητα διήθησης του νερού.

Πίνακας I. Κατηγορία μητρικού υλικού εδάφους της λεκάνης.

Κατηγορίες μητρικού υλικού	Έκταση (km ²)	Ποσοστό (%)
Σκληρός ασβεστόλιθος	69.680	41.23
Τριτογενείς αποθέσεις Ερυθρά αργιλομιγής άμμος	8.108	4.80
αποθέσεις Μάργες	74.894	44.32
Αλλούβια	13.255	7.84
Κολλούβια ασβεστολίθων	3.063	1.81
ΣΥΝΟΛΟ	169.00	100.00



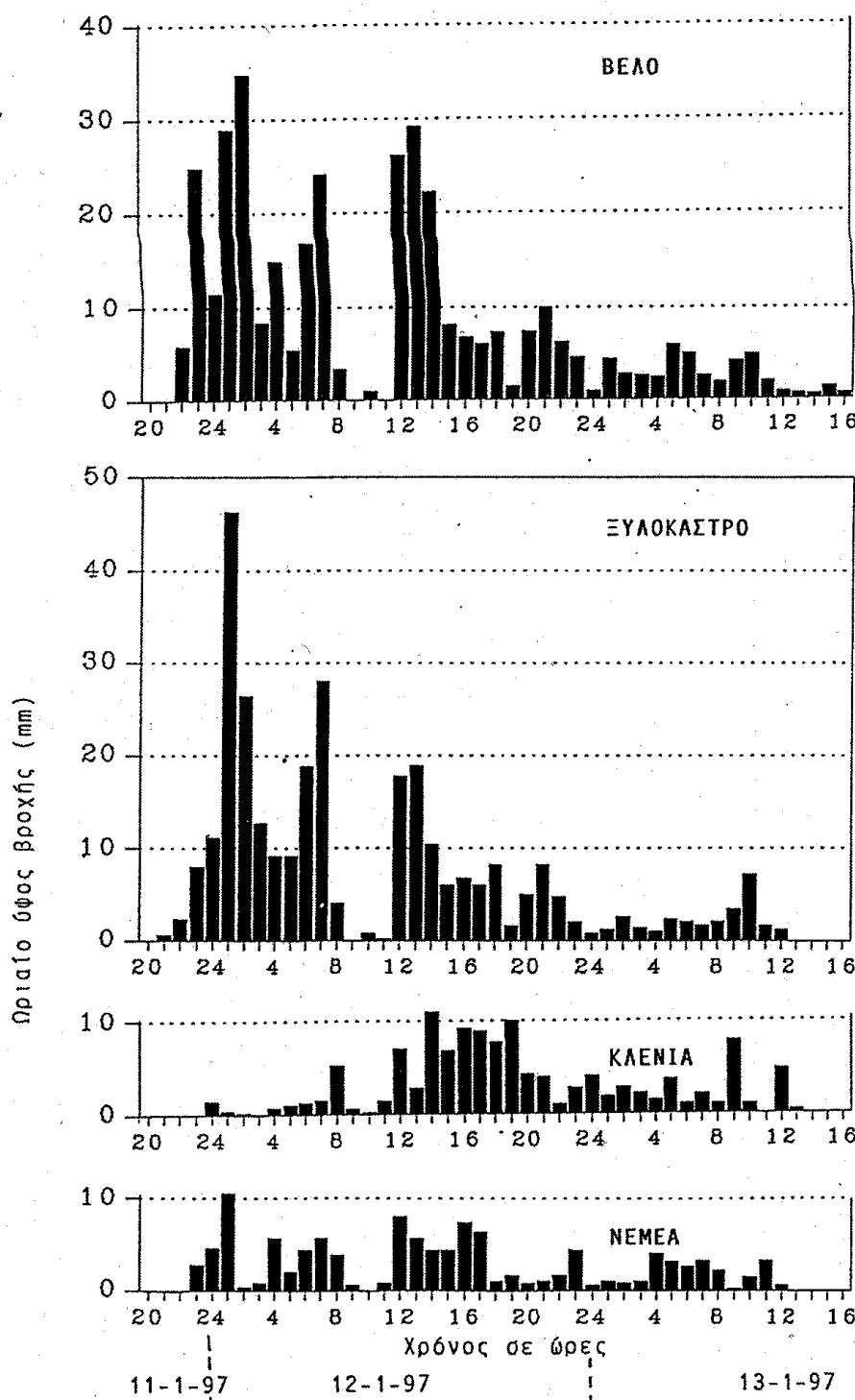
Σχήμα 1. Θέση και υδρολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής.

Το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης είναι δενδρώδους μορφής, έχει μέση πυκνότητα $1,386 \text{ km/km}^2$ και το συνολικό μήκος της κεντρικής κοίτης ανέρχεται σε 32,5 km. Επιπλέον η κεντρική κοίτη, σε απόσταση 12,5 km από το στόμιο της λεκάνης διακλαδίζεται και σχηματίζει προς τα δεξιά την υπολεκάνη του Βουκίνου, έκτασης $48,513 \text{ km}^2$ και προς τα αριστερά την υπολεκάνη της Κλεισούρας, έκτασης $53,363 \text{ km}^2$ (Σχήμα 1). Άλλο ιδιαίτερο γνώρισμα της κεντρικής κοίτης του χειμάρρου και κυρίως του τελευταίου τρίτου προς την πόλη, είναι οι έντονες ανθρώπινες παρεμβάσεις υπό μορφή γεωργικών καλλιεργειών. Αυτό είχε αποτέλεσμα το μερικό ή ολικό μπάζωμα της κοίτης.

Οι χρήσεις γης της λεκάνης και ειδικότερα η φυτοκάλυψη (Πίνακας II) δε θεωρούνται θετικές από άποψη υδρολογικής προστασίας της. Και τούτο γιατί η Χαλέπιος πεύκη που ασκεί σημαντική υδρολογική προστασία, καταλαμβάνει μόνο το 9% της συνολικής έκτασης της περιοχής μελέτης. Επιπλέον τα αειφυλλα πλατύφυλλα (22%) που αποτελούνται κυρίως από πουρνάρι, αποκλίνουν σημαντικά από τις κανονικές συνθήκες πυκνότητας λόγω της υπερβόσκησης και είναι έντονα διασπασμένα. Οι υπόλοιπες μορφές φυτοκάλυψης (υποβαθμισμένη Χαλέπιος πεύκη και αειφυλλα πλατύφυλλα, χορτολιβαδικές εκτάσεις και γεωργικές καλλιέργειες) λόγω των ανθρωπογενών παρεμβάσεων και των βιολογικών τους χαρακτηριστικών, ασκούν ακόμα μικρότερη υδρολογική προστασία στη λεκάνη σε σχέση με τις προηγούμενες. Πιο συγκεκριμένα, σημαντικό μέρος από τις

Πίνακας II. Κατηγορίες χρήσεων γης - φυτοκάλυψης της λεκάνης

Χρήση γης - Φυτοκάλυψη	Έκταση (km^2)	Ποσοστό (%)
Δάσος Χαλεπίου πεύκης	15.130	8.95
Υποβαθμισμένο δάσος Χαλεπίου πεύκης	16.735	9.90
Δάσος αειφυλλων πλατυφύλλων	37.096	21.95
Υποβαθμισμένο δάσος αειφυλλων πλατυφύλλων	8.559	5.07
Γεωργικές καλλιέργειες	81.838	48.42
Χορτολιβαδικές εκτάσεις και φρύγανα	7.150	4.23
Οικισμοί	2.492	1.48
ΣΥΝΟΛΟ	169.00	100.00



Σχήμα 2. Κατανομή ωριαίου ύψους βροχής των πλησιέστερων στη λεκάνη σταθμών.

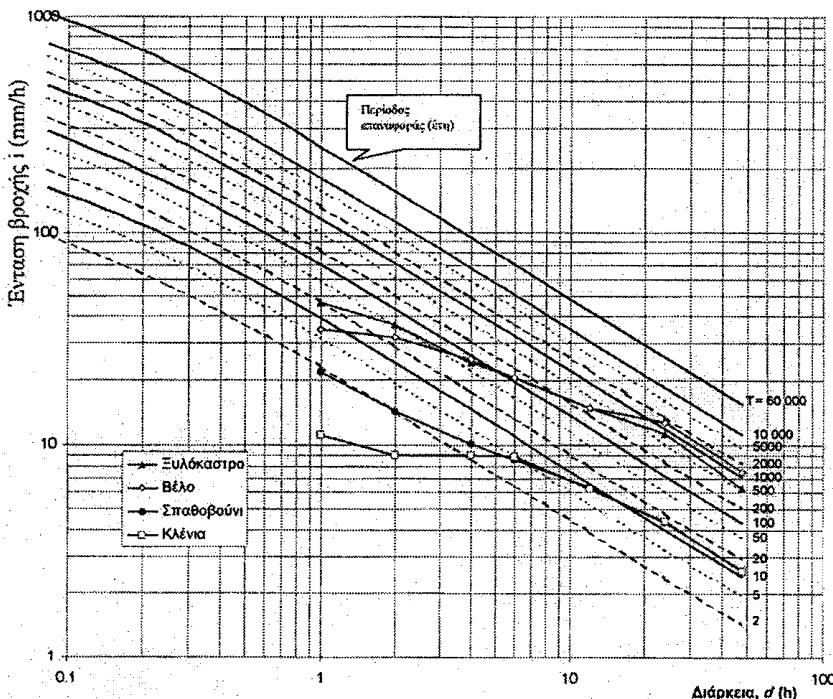
σμένοι με βροχογράφο και οι υπόλοιποι είναι αυτόματοι.

Το ύψος βροχής σ' αυτούς από την 21:00 ώρα της 11-01-1997 έως και την 16:00 της 13/01/1997 ανήλθε σε 358, 124, 123, 112 και 302 mm αντίστοιχα. Στο Σχήμα 2 απεικονίζεται η ωριαία κατανομή της βροχής στους 4

γεωργικές καλλιέργειες, που καταλαμβάνουν το 50% περίπου της λεκάνης, στερούνται προστατεύτικής βλάστησης κατά τη χειμερινή περίοδο που η περιοχή δέχεται το κύριο μέρος των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων. Όμως διευκολύνεται εδώ, πως η μειωμένη υδρολογική προσπαθεία της βλάστησης στις ορεινές γεωργικές περιοχές, αντισταθμίζεται εν μέρει από την ύπαρξη βαθμίδων από ξηρολιθοδομή. Αυτές κατασκευάσθηκαν από τους κατοίκους σε παλαιότερες εποχές για τη βελτίωση των συνθηκών καλλιέργειας.

Χαρακτηριστικά του επεισοδίου βροχής της 11-13 Ιανουαρίου 1997

Την 10/1/1997 η ΕΜΥ είχε εκδώσει έκτακτο δελτίο πρόγνωσης της ισχυρής βροχόπτωσης που δέχθηκε η Κορινθία και άλλες περιοχές της χώρας από 11-13/1/1997. Η λεκάνη απορροής του Ξηριά δύμας στερείται βροχομετρικών σταθμών και αναγκαστικά τα χαρακτηριστικά του επεισοδίου εξετάσθηκαν από τις καταγραφές των σταθμών Βέλουν, Σπαθοβουνίου, Κλένιας, Νεμέας και Συλοκάστρου που βρίσκονται δυτικά της Κορίνθου και σε απόσταση 5 έως 35 km περίπου από το κέντρο της λεκάνης (Σχήμα 1). Από τους παραπάνω σταθμούς οι τρεις πρώτοι είναι εφοδια-



Σχήμα 3. Μέγιστες εντάσεις του επεισοδίου βροχής για διάρκειες 1-48 ώρες των σταθμών της περιοχής και σύγκρισή τους με τις όμβριες καμπύλες της περιοχής (Κουτσογιάννης, 1998).

Η καταιγίδα γενικά μετακινήθηκε από ΒΔ προς ΝΑ και αυτό διαπιστώθηκε τόσο από το μικρότερο ύψος βροχής των σταθμών Σπαθοβουνίου, Κλένιας και Νεμέας, δύο και από τα ίχνη της έντονης επιφανειακής απορροής που παρατηρήθηκαν στην λεκάνη μετά από επιτόπιες επισκέψεις και βιντεοσκόπηση αυτής από ελικόπτερο. Τα ίχνη ήταν ιδιαίτερα έντονα στον ασβεστολιθικό σχηματισμό μεταξύ Αγίου Ιωάννου και Αθικίων και αυτό φανερώνει πως εκεί βρισκόταν το κέντρο της καταιγίδας. Η έλλειψη σώματος ιχνών στην ευρυτερη περιοχή των Εξαμιλίων, αποδίδεται στην μη δημιουργία επιφανειακής απορροής λόγω του μικρότερου ύψους και των εντάσεων της βροχής (προσωπική επικοινωνία με τεχνικούς της Κορίνθου). Η εξήγηση αυτή ισχύει και για την έλλειψη ιχνών επιφανειακής απορροής της υπολεκάνης Κλεισούρας, αφού από τους σταθμούς Κλένιας και Σπαθοβουνίου διαπιστώθηκε πως η περιοχή δέχθηκε πολύ μικρότερο ύψος βροχής.

Επισημαίνεται ακόμα πως το ύψος βροχής των 358 mm που καταγράφηκε στο Βέλο ξεπέφασε κατά πολύ κάθε προηγούμενη καταγραμμένη τιμή της ίδιας διάρκειας (43 ώρες) στην περιοχή. Η τιμή αυτή αντιπροσωπεύει το 85% του μέσου ετήσιου ύψους βροχής της Κορίνθου και επομένως θεωρείται ιδιαίτερα σημαντικό να αναφερθούν και ορισμένα χαρακτηριστικά της που διαπιστώθηκαν από την ανάλυση της τανίας καταγραφής, η οποία είχε ωριαίο διάστημα καταγραφής 1,5 cm. Πιο συγκεκριμένα, η καταιγίδα τις πρώτες 11 ώρες από την έναρξη αποφόρτισε 178,7 mm και στη συνέχεια πρακτικά σταμάτησε, όπως αναφέρθηκε, από την 08:00 έως και την 11:15 ώρα. Οι εντάσεις της στο διάστημα των 11 ώρων ήταν ιδιαίτερα υψηλές για τις Ελληνικές κλιματικές συνθήκες και έφθασαν μέχρι 118 και 122 mm/h για 5 και 3 λεπτά αντίστοιχα. Μετά την προσωρινή αυτή διακοπή η καταιγίδα συνεχίσθηκε με μεγαλύτερη ένταση αφού σε διάστημα λιγότερο από τρεις (3) ώρες αποφόρτισε άλλα 77,4 mm, εκ των οποίων τα 25 έπεσαν σε χρόνο 25 λεπτών (ένταση 60 mm/h). Γενικά σε διάστημα 24 ωρών από την αρχή αποφόρτισε 294 mm και τις υπόλοιπες 19 ώρες άλλα 64 mm. Η περίοδος επαναφοράς του 24ώρου ύψους βροχής των 294 mm βροχής του σταθμού Βέλου, αλλά και των άλλων γειτονιών, εκτιμήθηκε με τη χρήση των όμβριων καμπυλών της περιοχής που συντάχθηκαν δια συνδυασμού των δεδομένων 21 και 26 ετών των σταθμών της Κορίνθου και του Σπαθοβουνίου αντίστοιχα (Κουτσογιάννης, 1998). Έτσι, από το Σχήμα 3 διαπιστώνεται πως για το Βέλο η περίοδος επαναφοράς του 24ώρου ύψους βροχής, ήταν της τάξεως των 1000 ετών. Παρόμοια ήταν επίσης και η περίοδος επαναφοράς των 258.6 mm που

σταθμούς και διαπιστώνεται ότι τα μέγιστα ωριαία ύψη στο Βέλο και το Ξυλόκαστρο ανήλθαν σε 34,7 και 46,2 mm αντίστοιχα. Διαπιστώνεται ακόμα πως η καταιγίδα παρουσίασε μεγάλη γεωγραφική μεταβλητότητα και οι εντάσεις της ήταν σχεδόν τριπλάσιες στη ζώνη Ξυλοκάστρου-Βέλου, σε σχέση με την ενδότερη περιοχή. Χαρακτηριστικό ιδιαίτερης σημασίας ήταν επίσης και η μείωση των εντάσεων ή η πλήρης διακοπή της βροχής για ορισμένο χρονικό διάστημα από 08:00 έως 11:15 της 12/1/97 και κυρίως στους σταθμούς Βέλου και Ξυλοκάστρου. Το γεγονός αυτό ίσως ελάφρυνε την έκταση των ζημιών στην Κόρινθο, δίνοντας έτσι το χρόνο στη λεκάνη και την κοίτη του χειμάρρου να αποφορίσουν ένα μέρος της απορροής τους.

καταγράφηκαν στο σταθμό Ξυλοκάστρου. Σε αντίθεση όμως με τους παραπάνω σταθμούς, το 24ωρο ύψος βροχής των 81.4 και 78.9 mm στην Κλένια και το Σπαθοβούνι αντίστοιχα, είχε περίοδο επαναφοράς της τάξης των 10 ετών περίπου. Αυτό δείχνει την έντονη γεωγραφική μεταβλητότητα του επεισοδίου βροχής. Εξάλλου, στο συγκεκριμένο επεισόδιο βροχής, όσο μικραίνει η διάρκεια, μικραίνει αντίστοιχα και η περίοδος επαναφοράς και, έτσι, για διάρκεια 1 ώρας η περίοδος επαναφοράς είναι της τάξης των 10 ετών για το Βέλο και το Ξυλόκαστρο και μικρότερη των 2 ετών για το Σπαθοβούνι και την Κλένια.

Εκτίμηση του μέσου ύψους βροχής της λεκάνης

Η παρουσίαση των διαδικασιών εκτίμησης του μέσου ύψους βροχής της λεκάνης από το επεισόδιο θεωρήθηκε αναγκαία, αφού και οι πέντε σταθμοί ήταν, όπως αναφέρθηκε, εκτός της λεκάνης και επιπλέον το ύψος που κατέγραψαν κυμάνθηκε έντονα, από 112 έως 358 mm. Ειδικότερα για την εκτίμηση λήφθηκε υπόψη πως το κεντρικό τμήμα της λεκάνης με κατεύθυνση από ΒΔ προς ΝΑ (Σχήμα 1) δέχθηκε πολύ μεγαλύτερο ύψος βροχής από τα δύο άλλα τμήματα εκατέρωθεν αυτού και με την ίδια κατεύθυνση. Και τούτο γιατί το τμήμα αυτό δρέθηκε στην πορεία της καταιγίδας που κατέγραψε ο σταθμός Βέλου, το ύψος της οποίας ανήλθε σε 358 mm. Ειδικότερα τα ίχνη της καταιγίδας στον ορεινό ασβεστολιθικό σχηματισμό μεταξύ των κοινοτήτων Αγίου Ιωάννου και Αθηκίων ήταν τόσο έντονα, ώστε να επιβεβαιώνεται πως η περιοχή αυτή δέχθηκε παρόμοιο ύψος βροχής με εκείνο του σταθμού Βέλου. Πιο συγκεκριμένα, το έδαφος είχε αυλακωθεί παντού και ευμεγέθεις τοίχοι από ξηρολιθοδομή που είχαν κατασκευασθεί παλαιά, ίσως τα χρόνια της Τουρκοκρατίας, κατέρρευσαν. Επιπλέον το ύψος της στάθμης στην κεντρική κοίτη του χειμάρρου, η οποία είχε περιορισθεί σημαντικά από την ανάπτυξη βλάστησης (πουρναριού), εκτιμήθηκε στα 2.0-2.5 m.

Ακόμα επισημαίνεται πως το πιο απομακρυσμένο τμήμα της κοίτης του χειμάρρου στο οποίο δημιουργήθηκε έντονη απορροή ήταν το Σ1 (Σχήμα 1), που βρίσκεται ΝΑ της κοινότητας Αγίου Ιωάννου μετά την τελευταία μεγάλη διακλάδωση (Δ) του δικτύου. Το γεγονός αυτό αποτελεί ισχυρή ένδειξη των ορίων των νοτίων περιοχών της λεκάνης που δέχθηκαν πολύ υψηλό ύψος βροχής, αφού το παρακείμενο τμήμα του χειμάρρου Σ2, παρέμεινε απόλυτα αδρανές.

Σε αντίθεση με τα παραπάνω, στα δύο ακραία τμήματα της λεκάνης γύρω από τους οικισμούς Αγιονορίου - Χιλιομοδίου και Κορίνθου - Αρχαίας Κορίνθου, αντίστοιχα, δεν παρατηρήθηκαν, όπως αναφέρθηκε, ίχνη επιφανειακής απορροής και γενικά ισχυρής βροχής. Επομένως είναι εύλογο να υποστηριχθεί πως οι περιοχές αυτές δέχθηκαν μικρότερο ύψος βροχής από το ενδιάμεσο τμήμα της λεκάνης. Η άποψη αυτή υποστηρίζεται και από την αδρανή έως ελάχιστη απόκριση της υπολεκάνης Κλεισούρας στην καταιγίδα, καθώς και την άποψη των τεχνικών της Κορίνθου πως η ευρύτερη περιοχή της πόλης δέχθηκε μικρότερο ύψος βροχής από την ορεινή ζώνη. Εξάλλου είναι γνωστό πως το απόγευμα της 12/1/1997, όταν η Κορίνθος δέχθηκε το μεγιστούσιο πλημμυρικής απορροής από τη λεκάνη, η βροχή εκεί είχε πρακτικά σταματήσει.

Σύμφωνα με τις παραπάνω εκτιμήσεις και διαπιστώσεις και με βάση την κατεύθυνση της καταιγίδας, τις θέσεις των βροχομετρικών σταθμών, την απόκριση της υπολεκάνης Κλεισούρας και τις θέσεις απόσβεσης των ιχνών επιφανειακής απορροής, η λεκάνη διαιρέθηκε στις ζώνες Α, Β και Γ (Σχήμα 1) και έγινε δεκτό ότι οι δύο πρώτες (συνολικής έκτασης 112.7 km²) δέχθηκαν παρόμοιο ύψος βροχής με εκείνο του σταθμού Κλένιας (123 mm) και η τρίτη (έκτασης 56.3 km²) δέχθηκε ύψος βροχής παρόμοιο με εκείνο του σταθμού Βέλου (358 mm). Μετά την παραπάνω διαιρέση, το σταθμικό ύψος βροχής, που υπολογίσθηκε από τους σταθμούς που αναφέρθηκαν σε 201 mm, θεωρήθηκε το πλησιέστερο προς το πραγματικό ύψος που δέχθηκε η λεκάνη κατά τη συγκεκριμένη καταιγίδα. Τονίζεται όμως, ότι η παραπάνω ανάλυση αποτελεί μια εικασία, στηριγμένη πάντως σε παρατηρήσεις πεδίου και εύλογες παραδοχές. Η έλλειψη βροχογραφικού εξοπλισμού μέσα στη λεκάνη αλλά και η απουσία πιο σύγχρονου εξοπλισμού (ραντάρ), δεν επιτρέπουν την αξιόπιστη εκτίμηση της χωροχρονικής κατανομής της βροχόπτωσης στη λεκάνη.

Αποτελέσματα

Η πλημμυρική απορροή και η μέγιστη παροχή εκτιμήθηκαν τόσο στο στόμιο της λεκάνης όσο και σε διατομή της κεντρικής κοίτης του χειμάρρου που απέχει 9,0 km περίπου από το στόμιο αυτό (Σχήμα 1). Η δεύτερη θέση επιλέχθηκε επειδή σ' αυτή εκτιμήθηκε η μέγιστη παροχή και με τον τύπο του Manning με βάση τα επιτόπια ίχνη της πλημμύρας, και επομένως ήταν δυνατή η σύγκριση των τιμών από τις δύο μεθόδους.

Πιο συγκεκριμένα, τα φυσικά και υδρολογικά χαρακτηριστικά των πετρωμάτων και εδαφών της λεκάνης για την εκτίμηση των παραπάνω παραμέτρων στο στόμιο της, καθώς και οι μορφές χρήσεων γης - φυτοκάλυψης, που είναι απαραίτητα στοιχεία για την επιλογή που αντιπροσωπεύτικού CN, ελήφθησαν από χάρτες ταξινόμησης και χαρτογράφησης γαιών του Υπουργείου Γεωργίας (φύλλα Κόρινθος και Ναύπλιο). Για την καλύτερη επιλογή του CN ανά σύμπλοκο εδάφους - φυτοκαλύμματος, στον Πίνακα III οι παραπάνω πληροφορίες παρουσιάζονται ανά μικρότερες μονάδες επιφάνειας - γαιοενότητες - που διαφέρουν ως προς ένα φυσικό χαρακτηριστικό. Στον ίδιο Πίνακα περιλαμβάνεται επίσης και ο σταθμικός μέσος όρος των αρχικών απωλειών βροχής της λεκάνης για υγρασιακές συνθήκες (AMC) κατηγορίας I, που εκτιμήθηκε από τα φυσικά χαρακτηριστικά της.

Για κάθε γαιοενότητα επιλέχθηκε η εφαρμοστέα τιμή του CN και η εκτίμηση του σταθμικού μέσου όρου που ανήλθε σε 77,2 αποτέλεσε τον CN για ολόκληρη την έκταση της λεκάνης. Η αποδοχή ή μη του παραπάνω CN στην εκτίμηση της πλημμυρικής απορροής, εξετάσθηκε σύμφωνα με τις υγρασιακές συνθήκες της λεκάνης πριν την έναρξη του επεισοδίου, αφού η παραπάνω τιμή ισχύει για υγρασιακές συνθήκες (AMC) κατηγορίας II (Πίνακας IV). Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε η μέση τιμή της βροχής των σταθμών Κλένιας και Βέλου για τις 5 και 30 προηγούμενες ημέρες. Ειδικότερα στη δεύτερη περίπτωση οι αρχικές υγρασιακές συνθήκες ή ο Δείκτης Προηγούμενης Κατακρήμνισης (ΔΠΚ) εκτιμήθηκε από την εξίσωση:

$$\Delta\text{PK} = P_0 + P_1 K + P_2 K^2 + P_3 K^3 + \dots + P_n K^n \quad (3)$$

όπου P_0 το ύψος βροχής των 24 ωρών πριν την έναρξη του επεισοδίου, P_1, P_2, P_3 , κτλ. το ύψος βροχής μία, δύο, τρεις κτλ. ημέρες πριν το 24ωρο που αναφέρθηκε, και K σταθερά που εξαρτάται από τον τύπο του εδάφους και κυμαίνεται από 0,8-0,95 (Weyman, 1974; Mosley, 1979).

Η τιμή του ΔΠΚ για 5 και 30 ημέρες εκτιμήθηκε σε 16,6 και 13,9 mm αντίστοιχα και κατά συνέπεια η λεκάνη από άποψη αρχικής υγρασιακής κατάστασης κατατάχτηκε, σύμφωνα με το εύρος των τιμών του Πίνακα IV, οριακά στην κατηγορία II. Η ενεργός βροχόπτωση (ύψος πλημμυρικής απορροής) για τη συγκεκριμένη κατηγορία υπολογίσθηκε σε 132,6 mm (Πίνακας V) και αντιπροσωπεύει το 66% του μέσου ύψους

Πίνακας IV. Όρια βροχής για την εκτίμηση της προηγούμενης υγρασιακής κατάστασης της λεκάνης

Κατηγορία προηγούμενης υγρασιακής κατάστασης	Βροχή πέντε προηγούμενων ημερών (mm)	
	Χειμερινή Περίοδος	Βλαστητική περίοδος
I (Ξηρή)	< 13	< 36
II (Μέση)	13 - 28	36 - 53
III (Υγρή)	> 28	> 53

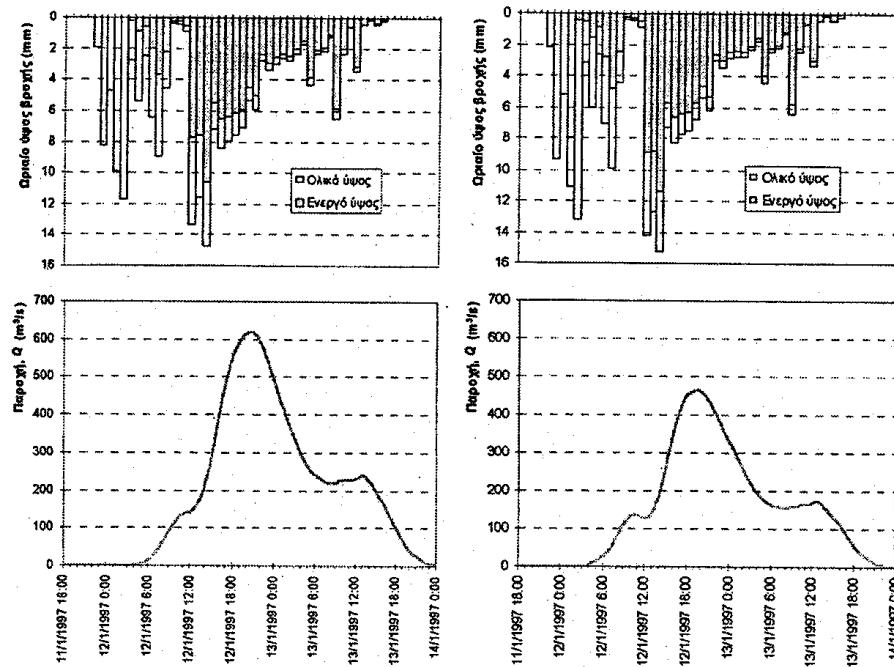
Πίνακας V. Εκτίμηση πλημμυρικής απορροής

A/A	Κατηγορία αρχικής βροχής λεκάνης	Σταθμικό ύψος βροχής λεκάνης (mm)	Σταθμικό CN	Παράμετρος λεκάνης S (mm)	Αρχικές απώλειες I (mm)	Πλημμυρική απορροή Q (mm)	Ποσοστό επί της βροχής (%)
A	Στο στόμιο της λεκάνης						
A1	II	201.0	77.2	75.0	15.0*	132.6	66.0
A2	II	201.0	77.2	75.0	35.0**	114.3	56.9
B	Στην υπολεκάνη						
B1	II	211.4	78.1	71.2	14.2*	145.0	68.6
B2	II	211.4	78.1	71.2	30.0**	130.4	61.7

* Εκτίμηση αρχικών απωλειών με τη μέθοδο SCS

** Εκτίμηση αρχικών απωλειών από τα φυσικά χαρακτηριστικά της λεκάνης

Πίνακας III. Εκτίμηση CN από τα φυσικά και υδρολογικά χρονικοτελεστικά πηγές



Σχήμα 4. Υετογράφημα και υδρογράφημα λεκάνης απορροής στο στόμιο της λεκάνης (αριστερά) και σε διατομή 9 km νοτιότερα (δεξιά).

δικαιολογηθούν με τα χαρακτηριστικά της λεκάνης που αναφέρθηκαν. Ετοι οι αρχικές απώλειες επανεκτιμήθηκαν με βάση τα φυσικά της χαρακτηριστικά τουλάχιστον σε 35 mm για την κατηγορία I είχαν εκτιμηθεί σε 51 mm (Πίνακας III). Το ύψος πλημμυρικής απορροής με την παραπάνω ποσότητα αρχικών απώλειών βροχής επανεκτιμήθηκε σε 114,3 mm και αντιπροσωπεύει το 56,9% του μέσου ύψους βροχής της λεκάνης (Πίνακας V).

Στο Σχήμα 4 απεικονίζεται το σταθμικό υετογράφημα της λεκάνης που εκτιμήθηκε από τους σταθμούς Βέλου και Κλένιας, καθώς και το υδρογράφημα της πλημμυρικής απορροής των 114,3 mm, με παροχή αιχμής 618,5 m³/sec. Το τελευταίο υπολογίστηκε με τη χοήση συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος της λεκάνης (Κουτσογιάννης, 1998), το οποίο καταρτίστηκε με τη μέθοδο του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας (Sutcliffe, 1978) και επαληθεύθηκε με τη μέθοδο Snyder. Η βασική απορροή της λεκάνης κατά τη διάρκεια του υδρογραφήματος θεωρήθηκε αμελητέα, αφού η παροχή του χειμάρρου κατά την επίσκεψη της 15-1-1997, ήταν μικρότερη από 10 L/s. Με βάση στοιχεία που δίνονται στη μελέτη του Κουτσογιάννη (1998), η περίοδος επαναφοράς της παραπάνω παροχής αιχμής εκτιμήθηκε σε 100 χρόνια περίπου. Από το υδρογράφημα του Σχήματος 4 η αιχμή της πλημμύρας φαίνεται να εκδηλώνεται περί την 20η ώρα της 12-1-1997. Αυτό δύναται να μην ταυτίζεται απόλυτα με τον πραγματικό χρόνο αιχμής, αφού η πρώτη ποσότητα πλημμυρικής απορροής σύμφωνα με πληροφορίες άρχισε να κατακλύζει την πόλη της Κορίνθου μετά την 14η ώρα της 12-1-1997. Η αναντιστοιχία αυτή θα πρέπει να αποδοθεί στη μεγάλη χωροχρονική μεταβλητότητα του υπόψη επεισοδίου βροχής και στις απλοποιητικές παραδοχές που έγιναν εξαιτίας της ελλιπούς γνώσης αυτής της μεταβλητότητας: για παράδειγμα, στους υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκε ένα μέσο υετογράφημα για το σύνολο της λεκάνης, παρόλο που αναμφίβολα υπήρξε διαφοροποίηση σε διάφορες υποπεριοχές, ενώ και αυτό το μέσο υετογράφημα καταρτίστηκε με βάση παραδοχές, λόγω της απουσίας δεδομένων μέσα στη λεκάνη.

Με τη διαδικασία που προαναφέρθηκε εκτιμήθηκε η πλημμυρική απορροή και της υπολεκάνης, έκτασης 119 km², ανάντη της διατομής εκτίμησης της μέγιστης παροχής (Σχήμα 1) με τον τύπο του Manning. Το ύψος πλημμυρικής απορροής εκτιμήθηκε σε 130,4 mm (Πίνακας V) και η παροχή αιχμής σε 466 m³/sec. Στο Σχήμα 4 απεικονίζεται το υετογράφημα της υπολεκάνης και το υδρογράφημα στη συγκεκριμένη διατομή. Η μεγαλύτερη τιμή του ύψους πλημμυρικής απορροής, σε σχέση με εκείνο της συνολικής έκτασης της λεκάνης, αποδύ-

βροχής της λεκάνης.

Το μέγεθος του παραπάνω ύψους πλημμυρικής απορροής δύναται (και παρά τα 201 mm βροχής που δέχθηκε η λεκάνη) θεωρήθηκε υπερεκτιμημένο, σύμφωνα με τα φυσικά χαρακτηριστικά της και την κατάταξη οριακά στην κατηγορία II. Η αιτία για την υπερεκτίμηση αναζητήθηκε στο μέγεθος των αρχικών απώλειών βροχής της λεκάνης, αφού ο CN είχε επιλεγεί μετά από λεπτομερή εξέταση όλων των φυσικών και υδρολογικών χαρακτηριστικών κάθε γαιοενότητας. Πιο συγκεκριμένα, οι αρχικές απώλειες βροχής που σύμφωνα με τη μέθοδο της SCS υπολογίσθηκαν σε 15 mm ($I = 0,2 \text{ S}$), ήταν δύσκολο να

θηκε στο μεγαλύτερο ύψος βροχής που δέχθηκε σημαντικό μέρος της υπολεκάνης. Στη συγκεκριμένη διατομή, από τα γεωμετρικά στοιχεία της, την κλίση του πυθμένα, την τραχύτητα της κοίτης και τα ίχνη της πλημμυρικής αιχμής, τα οποία μετρήθηκαν επί τόπου, εκτιμήθηκε από τον τύπο του Manning, ότι η παροχή αιχμής ήταν περίπου $Q_{\max} = 400 \text{ m}^3/\text{s}$. Έτσι, η παροχή αιχμής που εκτιμήθηκε με τη μέθοδο της SCS είναι μεγαλύτερη κατά $66 \text{ m}^3/\text{s}$ από την αντίστοιχη που υπολογίστηκε με τον τύπο του Manning. Η διαφορά αυτή θεωρήθηκε αποδεκτή και αποδόθηκε στις εγγενείς αδυναμίες και των δύο μεθόδων και τα ελλιπή δεδομένα.

Στη συγκεκριμένη πλημμύρα, σημαντικό ήταν και το πρόβλημα των λεπτόκοκκων φερτών υλικών που κάλυψαν την πόλη της Κορίνθου με στρώμα σημαντικού πάχους. Τα υλικά αυτά, όπως διαπιστώθηκε από τα χαρακτηριστικά τους, αποσπάσθηκαν κυρίως από την κοίτη του χειμάρρου και την πεδινή περιοχή νοτιότερα της κοινότητας Σολωμού, όπου επικρατούν οι μάργες. Η έλλειψη υλικών μεγάλων διαστάσεων από το ορεινό τμήμα της λεκάνης όπου επικρατεί ο ασβεστόλιθος, οφείλεται στην απόθεσή τους στη ζώνη νότια των Αθηνών, όπου η κλίση της κοίτης του χειμάρρου μειώνεται σημαντικά.

Συζήτηση και συμπεράσματα

Από την αρχή του κεφαλαίου αυτού επισημαίνεται πως το πλημμύρισμα της πεδινής κυρίως περιοχής κάθε υδατορέματος είναι χαρακτηριστικό της φυσιολογικής συμπεριφοράς του και λαμβάνει χώρα κατά τη διάρκεια ακραίων καιρικών φαινομένων που απορρέουν από τη φυσική μεταβλητότητα του καιρού. Ο χειμάρρος Εηριάς Κορίνθου δεν εξαιρείται από τον κανόνα και η πλημμυρική συμπεριφορά του κατά το παρελθόν διατιστώνται από τις μεγάλες διατομές της κοίτης του σε σχέση με την παροχή κανονικών περιόδων, τις αλλεπάλληλες στρώσεις φερτών υλών στα πρανή, καθώς και τις μετατοπίσεις της κοίτης στην πεδινή περιοχή νότια των Αθηνών.

Η τελευταία πλημμύρα της 11-13/1/97 ήταν οπωσδήποτε μία από τις μεγαλύτερες που δημιουργήθηκαν στην περιοχή και οι επιπτώσεις της έλαβαν δραματικές διαστάσεις και εξαιτίας των ανθρώπινων παρεμβάσεων στο χώρο δράσης του χειμάρρου. Όμως η βροχή που δημιούργησε την πλημμύρα είχε μεγάλη γεωγραφική μεταβλητότητα στη λεκάνη και το συνολικό ύψος κατά τη διάρκεια των 43 ωρών κυμάνθηκε γεωγραφικά από 123 μέχρι 358 mm. Το μεγαλύτερο ύψος δέχθηκε η κεντρική ζώνη της λεκάνης κατά μήκος των τελευταίων 2/3 της κοίτης του χειμάρρου.

Η υγρασιακή κατάσταση του εδάφους της λεκάνης κατά την έναρξη της καταγίδας δεν ήταν ιδιαίτερα ευνοϊκή για τη δημιουργία πλημμύρας, αφού οι δείκτες κατακρήμνισης των 5 και 30 προηγούμενων ημερών εκτιμήθηκαν μόνο σε 16,6 και 13,9 mm αντίστοιχα. Με βάση τις τιμές αυτές, η λεκάνη από άποψη αρχικής υγρασιακής κατάστασης κατατάχθηκε οριακά στην κατηγορία II (AMC II) και με σταθμική τιμή του CN έστη με 77,2, η δυνητική μέγιστη κατακράτηση και το ύψος πλημμυρικής απορροής εκτιμήθηκαν σε 75 mm και 114,3 mm αντίστοιχα, η δε παροχή αιχμής σε $618,5 \text{ m}^3/\text{s}$ (ή ανά μονάδα επιφάνειας $3,66 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$).

Οι παραπάνω υψηλές τιμές της απορροής και παροχής της λεκάνης αποδόθηκαν στο μεγάλο ύψος βροχής που δέχθηκε (σταθμικός μέσος όρος 201 mm), καθώς και στις ανθρώπινες παρεμβάσεις στο χώρο δράσης του χειμάρρου. Η περίοδος επαναφοράς της παροχής αιχμής εκτιμήθηκε σε 100 έτη περίπου (Κουτσογιάννης, 1998) ενώ η περίοδος επαναφοράς της σημειακής βροχόπτωσης στο Βέλο και το Ξυλόκαστρο (κατά παραδοχή και στο μεσαίο τμήμα της λεκάνης) ήταν της τάξης των 1000 ετών για διάρκεια 24 ωρών, αλλά αρκετά μικρότερη για μικρότερες διάρκειες.

Επισημαίνεται ακόμα πως αποκλίσεις των υπολογισμένων μεγεθών από τα πραγματικά, αν και είναι δύσκολο να επιβεβαιωθούν, απορρέουν από τις δυσκολίες ακριβούς ποσοτικοποίησης των διαφόρων παραμέτρων της μεθόδου που εφαρμόσθηκε. Υποστηρίζεται όμως, πως η λεπτομερής εξέταση όλων των χαρακτηριστικών της βροχής και του συμπλόκου εδάφους - φυτοκάλυψης της λεκάνης, συνηγορεί στην προσέγγιση των πραγματικών και εκτιμημένων τιμών των παραμέτρων. Άλλωστε και η διαφορά κατά 16% μεταξύ της παροχής που εκτιμήθηκε με τη μέθοδο της SCS και του Manning σε διατομή του χειμάρρου 9 km περίπου ανάντη του στομίου του, επιβεβαιώνει τον παραπάνω ισχυρισμό.

Προτάσεις για την ελάφρυνση των επιπτώσεων από μελλοντικές πλημμύρες

Αναφέρθηκε προηγουμένως πως το πλημμύρισμα της πεδινής περιοχής κάθε υδατορέματος είναι χαρακτηριστικό της φυσιολογικής του συμπεριφοράς και η λειτουργία του Εηριά Κορίνθου δεν εξαιρείται από τον

κανόνα. Επομένως θα πλημμυρίσει και πάλι στο μέλλον, όπως πλημμύρισε τόσες φορές στο παρελθόν. Όμως, η αλήθεια αυτή, αν και ανέκαθεν γνωστή, δεν συνέβαλε στη λήψη των απαραίτητων μέτρων για την ελάφρυνση των επιπτώσεων από την τελευταία πλημμύρα. Παρά την κινητοποίηση για τη λήψη αντιπλημμυρικών μέτρων που συνήθως παρατηρείται μετά το πέρας κάθε πλημμύρας, συχνά ακολουθεί αδράνεια και στασιμότητα. Όμως, και οι αυξημένες ανθρώπινες παρεμβάσεις στις παραχειμάρριες ζώνες του, συνέτειναν σημαντικότατα στην επιδείνωση των επιπτώσεων από την τελευταία πλημμύρα.

Για την εξομάλυνση του φαύλου κύκλου πλημμυρών του χειμάρρου και ανθρώπινων παρεμβάσεων, πρέπει να ληφθεί υπόψη πως ο κίνδυνος πλημμύρας είναι εγγενής και ποτέ δεν θα εκλείψει. Όμως, το αν ο κίνδυνος αυτός μετατραπεί σε κατάστροφή των περιουσιών των κατοίκων, ή και των ιδίων, θα εξαιρηθεί από τη λήψη ή όχι αντιπλημμυρικών μέτρων (κατασκευαστικών ή μη) στη λεκάνη απορροής, καθώς και από την επάρκεια των μέτρων. Με βάση την παραπάνω αρχή, τα φυσικά και υδρολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης, τους μηχανισμούς δημιουργίας απορροής και παραγωγής, μεταφοράς και απόθεσης φερτών υλών σ' αυτή, καθώς και τα συμπεράσματα της μελέτης, επισημαίνονται τα ακόλουθα:

- η πρόστασία και συντήρηση των βαθμίδων·
- η αποφυγή καλλιεργειών στην κοίτη του χειμάρρου·
- η εξέταση της δυνατότητας ρύθμισης της βοσκής με σκοπό την επέκταση της φυσικής βλάστησης·
- η εντατικοποίηση των μέτρων προστασίας της βλάστησης από πυρκαγιές και
- η κατασκευή αναβαθμών στην κοίτη του χειμάρρου για τη συγκράτηση χυρίων υλικών μεγάλων διαστάσεων.

Ιδιαίτερη σημασία δίνεται όμως στο τμήμα της λεκάνης που καλύπτεται από μάργες, αφού εκεί ευνοείται η δημιουργία επιφανειακής απορροής και στη συνέχεια η διάβρωση και παραγωγή φερτών υλών που καταλήγουν σύντομα στην κοίτη του χειμάρρου. Τα φαινόμενα αυτά επιδεινώνονται ιδιαίτερα τη χειμερινή περίοδο λόγω έλλειψης καλλιεργειών και φυλλώματος των φυλλοβόλων δέντρων. Οι προηγούμενες υδρολογικές διεργασίες συντελούν με τη σειρά τους στην ταχεία αύξηση της απορροής και παροχής του χειμάρρου, καθώς και των φερτών υλών, που εκπόσιος από τις καλλιεργειες, προέρχονται και από τη διάβρωση της κοίτης του χειμάρρου. Για το τμήμα αυτό, λόγω των ιδιαιτεροτήτων του προτείνεται:

- άροση των καλλιεργειών κατά τις χωροσταθμικές καμπύλες·
- εξέταση της δυνατότητας κατασκευής βαθμίδων στη χαμηλότερη πλευρά κεκλιμένων καλλιεργούμενων πλαγιών και απαγόρευση της καλλιεργειας πλαγιών με ισχυρή κλίση·
- εξέταση της δυνατότητας επαύξησης των καλλιεργειών με αείφυλλα οπωροφόρα δέντρα (π.χ. εσπεριδοειδή και ελιές)·
- δημιουργία πυκνής ζώνης αειφύλλων πλατυφύλλων κατά μήκος και εκατέρωθεν της κοίτης του χειμάρρου για τη μείωση της επιφανειακής απορροής από τις μάργες και χυρίως για τη συγκράτηση και απόθεση των φερτών υλών·
- αυστηρή απαγόρευση των καλλιεργειών στην κοίτη του χειμάρρου·
- έλεγχος της παροχετευτικής ικανότητας των γεφυρών·
- πιθανή κατασκευή φραγμάτων συγκράτησης των φερτών υλικών, μετά από ειδική μελέτη της περιοχής
- έργα προστασίας της κοίτης και των πρανών του χειμάρρου.

Εκτός των προτάσεων που αναφέρθηκαν, προτείνονται και τα παρακάτω μέτρα για την αύξηση της ανθεκτικότητας των κατοίκων σε ενδεχόμενη πλημμύρα:

- ενημέρωση των κατοίκων, που παρεμβαίνουν με γεωργικές και οικιστικές δραστηριότητες στο πλημμυρικό πεδίο του χειμάρρου, για τις οδυνηρές συνέπειες σε περίπτωση ισχυρών βροχοπτώσεων·
- καθορισμός ζωνών δράσης του χειμάρρου, καλλιεργειών και εγκατάστασης οικισμών σε σχέση με την κοίτη πλημμυρών·
- εγκατάσταση βροχομετρικού δικτύου στη λεκάνη·
- πιθανή εγκατάσταση συστήματος προειδοποίησης πλημμυρών για τη λήψη έκτακτων μέτρων.

Όλες οι προηγούμενες προτάσεις αποβλέπουν στην ελάφρυνση των πλημμυρικών επιπτώσεων από τη λεκάνη απορροής ανάντη του στομίου στα όρια της πόλης. Όμως, για την αποτελεσματική αντιμετώπιση των πλημμυρών επιβάλλεται να κατασκευαστούν έργα με επαρκή διοχετευτική ικανότητα και στο οικιστικό τμήμα της λεκάνης απορροής. Κατά συνέπεια οι προτάσεις αυτές θα πρέπει να συνδυασθούν με εκείνες που προτάθηκαν από λεπτομερείς τεχνικές μελέτες άλλων επιστημόνων (π.χ. Λαζαρίδης, 1998· Τεχνική Επιτροπή Κορίνθου, 1997).

Ευχαριστίες

Εκφράζονται θερμές ευχαριστίες στην Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, Τμήμα Υδρολογίας και στο Περιφερειακό Κέντρο Προστασίας Φυτών Πάτρας, για τη χορήγηση των δεδομένων βροχής από 11-13/1/97 των σταθμών που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη.

Investigation of the hydrologic response of the Xerias torrent watershed to the rainstorm of January 1997 using the SCS method

G. Baloutsos¹, D. Koutsoyiannis², A Economou¹ and P. Kalliris³

Summary

On January 11-13, 1997, an unusual rainstorm hit the Xerias torrent watershed and the wider area of Corinth, Greece. The storm caused a devastating flood in the town of Corinth with severe damage and human losses. The damage was attributed to heavy rainfall and runoff and also to human interference in the channel of the torrent and in the floodplain.

Quantification of the hydrologic response of the watershed and determination of suitable measures for mitigating flood impacts from similar events in the future was a difficult task due to lack of hydrometeorological data. This problem is faced here by investigating the hydrologic response of the watershed by using the SCS method. The analysis has shown that the rainfall in the watershed ranged from 123 to 358 mm (weighted mean 201 mm). The return period of it for 24 hours duration in the central part of the watershed, was 1000 years, but much lower for shorter durations. The peak discharge in the outlet of the watershed exceeded 600m³/s (return period 100 years) and the flood streamflow reached 57% of the weighted mean value of the rainfall. With respect to physical and hydrological characteristics of the watershed and the conclusions drawn, measures are proposed and discussed for mitigating the flood impacts from similar events in the future.

Key words: Heavy rains, Floods, Flood losses, Corinth, SCS method.

Βιβλιογραφία

- Alexander, D., 1993. Natural disasters. UCL Press, pp. 632.
- Boughton, W.C., 1989. A review of the USDA SCS curve number method. Aust. J. Soil Res., Vol. 27, pp: 511-523.
- Boule, Ph., 1997. Disaster reduction and sustainable development: Complex relationships - people - centred approaches. Stop Disasters, United Nations, No 31 - I, pp: 3-4.
- Bryant, E.A., 1993. Natural hazards. Cambridge University Press, pp.294.
- Chapman, P., 1994. Natural hazards. Oxford University Press, pp.174.
- Hershfield, D.M., 1961. Estimating the probable maximum precipitation. Proc. ASCE, J. Hydraul. Div., 87 (HY5). pp: 99-106.
- Jones, J.A.A., 1997. Global hydrology. Logman Singapore Publishers Ltd., pp.399.
- Moutreja, K.N., 1986. Applied hydrology. Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi, pp.958.

¹ National Agricultural Research Foundation, Forest Research Institute, Athens, Greece.

² National Technical University, Department of Water Resources, Faculty of Civil Engineering, Athens, Greece.

³ Forest Service, Corinth, Greece.

- Mosley, M.P., 1979. Stream flow generation in a forested watershed, New Zealand. *Water Resour. Res.*, 15(4): 795-806.
- Shaw, E. M., 1983. *Hydrology in practice*. Van Nostrand Reinhold Co. Ltd., UK, pp.569.
- Soil Conservation service (SCS), 1972. *National Engineering Handbook*, Washington, D.S., Section 4, Hydrology.
- Soil Conservation service (SCS), 1973. A method for estimating volume and rate of runoff in small watersheds. SCS - TR - 149, Kent, K.M., pp.63.
- Sutcliffe J.V., Methods of Flood Estimation, 1978. *A Guide to Flood Studies Report*, Report No 49, Institute of Hydrology, UK.
- United Nations, 1994. *Disasters around the world - A global and regional view*. World Conference on Natural Disaster Reduction, Yokohama, Japan, May 1994, Information Paper No 4, pp.87.
- Weyman, D.R., 1974. Runoff process, contributing area and streamflow in a small upland catchment. *Inst. Brit. Geograph.*, Special Publication No 69, pp.33-43.
- Κουτσογιάννης, Δ., 1998. Οριστική μελέτη αποχέτευσης Κορίνθου. Μελέτη Χειμάρρου Εηριά, Υδρολογική Μελέτη Πλημμυρών, σελ.40.
- Κωτούλας, Δ., 1978. Οι πλημμύρες στο λεκανοπέδιο της Αττικής κάτω από το πρόσμα του χειμαρρικού προβλήματος των μεγάλων αστικών κέντρων του τόπου μας. Ανακ. αριθ. 2 του Εργαστηρίου Διευθετήσεως Ορεινών Υδάτων της Γ. και Δ.. Σχολής Α.Π.Θ., σελ. 23.
- Λαζαρίδης, Λ., 1998. Οριστική μελέτη αποχέτευσης Κορίνθου. Μελέτη Χειμάρρου Εηριά.
- Μπαλούτσος, Γ., 1994. Ο παράλογος κύκλος των πλημμυρών. Περιοδ. Η Φύση, αριθ. 65, σελ. 18-21.
- Μπέλλος, Κ., 1997. Πλημμύρες στον ποταμό Κόσυνθο. Υδροθέματα, ΕΕΔΥΠ, ISSN 1105-7599, Τευχ. 1, σελ. 4-6.
- Νομαρχία Κορίνθου, 1997. Πορισματική έκθεση της επιτροπής διερεύνησης αιτιών καταστροφής από την πλημμύρα της 12-1-1997, Κόρινθος, σελ.5.
- Οικονόμου, Γ. και Αν. Μιγκάρδου, 1997. Ανάλυση του επεισοδίου ραγδαίας βροχής που έπληξε στις 12/1/97 την περιοχή Κορινθίας. Υδροθέματα, ΕΕΔΥΠ, ISSN 1105-7599, Τευχ. 1, σελ.7.
- Οικονόμου Αν. και Γ. Νάκος, 1992. Ταξινόμηση, χαρτογράφηση και αξιολόγηση γαιών: Περιφέρεια Πελοποννήσου. ΕΘΙΑΓΕ, Ι.Μ.Δ.ΟΙ. και Τ.Δ.Π., Αθήνα, σελ.31.
- Σακκάς, Γ., Κ. Μπέλλος και Β. Χρυσάνθου, 1995. Ολοκληρωμένη αντιμετώπιση του πλημμυρικού προβλήματος. Πρακτικά 2^{ου} Εθνικού Συνεδρίου της ΕΕΔΥΠ με θέμα "Ολοκληρωμένες Επεμβάσεις για τη Μείωση του Κινδύνου από τις Πλημμύρες", Αθήνα, σελ. 79-93.
- Στεφανίδης, Π., 1995. Διερεύνηση αιτιών και μηχανισμών λειτουργίας πλημμυρικών φαινομένων στον Ελλαδικό χώρο. Πρακτικά διεθνούς συμποσίου με θέμα "Προστασία και Περιβαλλοντική Διαχείριση των Ρεμάτων", ΥΠΕΧΩΔΕ, Αθήνα, σελ. 139-140.