

Ο ρόλος των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών του υδρογραφικού δικτύου του Σαρανταπόταμου στον πλημμυρικό κίνδυνο του Θριάσιου Πεδίου

Ζύγουρα Α.¹, Καρύμπαλης Ε.¹ και Χαλκιάς Χ.¹

¹ Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, 17671, Αθήνα, Ελλάδα, karymbalis@hua.gr, xalkias@hua.gr

Geomorphological characteristics of Sarantapotamos drainage network as causative factor of flooding in Thriassion Plain (Attica, Greece)

Abstract

This paper investigates the natural (geomorphological) factors responsible for flooding events in the environmentally fragile urbanized and economically developing broader area of Thriassion plain, located in west Attica, Greece. The study focuses on the Sarantapotamos River drainage network which drains an area of 812.95 km² and is one of the main watercourses of the plain. A catalogue of the most severe flood events that affected the study area over the past 50 years is presented including 24 and/or 48 hour rainfall records from the nearest meteorological station. For the purposes of the study a spatial database for the drainage network and its corresponding basin has been organized and implemented utilizing ESRI's ArcGIS10 software. The quantitative morphometric characteristics of Sarantapotamos river drainage basin (number of channels per stream order, channels' length, and drainage basins' area) were measured and analyzed. The hierarchical drainage by stream order was investigated and the longitudinal profiles, as well as the stream power diagrams of the main stream and its major tributary, were constructed and analyzed. Among the most important natural flood causes are extreme rainfall and the geomorphological characteristics of the drainage network. The quantitative geomorphological analysis showed that these features include high bifurcation, stream length and basin area ratio values especially between the 4th and the 5th order streams as well as irregularities in the number of channels that drain directly into streams of higher order. An additional reason for intense discharges along the lower

reaches of the main channel is the relatively high slope of the streams at the upper parts of the main watercourses and the gentler slopes at their lower reaches. A crucial flood factor is also intense urbanization and human interference, along the channels of Thriassion Plain without integrated flood defense measures at the broader catchments' area and especially at their mountainous parts.

Λέξεις Κλειδιά: πλημμυρικός κίνδυνος, Θριάσιο πεδίο, ποσοτική γεωμορφολογία

Keywords: flood hazard, Thriassion Plain, quantitative geomorphology

Εισαγωγή

Οι ποτάμιες πλημμύρες αποτελούν ένα συνήθη φυσικό κίνδυνο με αρνητικές κοινωνικο-οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις τόσο σε τοπική, όσο και σε περιφερειακή κλίμακα. Ακραίες πλημμυρικές παροχές, οι οποίες συνήθως προκαλούνται από έντονες καταιγίδες, μπορεί να προκαλέσουν απώλειες ανθρώπινων ζωών και σημαντικές υλικές ζημιές σε κτίρια, υποδομές και καλλιέργειες καθώς και την υποβάθμιση περιβαλλοντικά σημαντικών εκτάσεων.

Ο όρος «Μεσογειακή λεκάνη απορροής» περιλαμβάνει μια μεγάλη ποικιλία υπο-περιβαλλόντων που συχνά χαρακτηρίζονται από σύνθετες κλιματικές συνθήκες, ένα ιδιαίτερα έντονο τεκτονικό καθεστώς και μια ποικιλία γεωμορφολογικών διεργασιών (Camarasa Belmonte και Segura Beltran 2001). Οι αιφνίδιες ποτάμιες πλημμύρες στις λεκάνες απορροής περίξ της Μεσογείου είναι το αποτέλεσμα ατμοσφαιρικών διαταραχών, που συνοδεύονται από ραγδαίες βροχοπτώσεις, με μεγάλα ύψη βροχής σε σύντομο χρονικό διάστημα. Στην Ελλάδα οι ποτάμιες πλημμύρες σχετίζονται με ακραίες τιμές βροχόπτωσης που πολλές φορές ξεπερνούν το 50% των ετήσιων τιμών που δέχεται η εκάστοτε λεκάνη απορροής. Σχετίζονται πρωτογενώς με ατμοσφαιρικά φαινόμενα συνοπτικής και μέσης κλίμακας. Ειδικότερα, τα βαρομετρικά χαμηλά μεσαίων γεωγραφικών πλατών που συνοδεύονται από θερμά και ψυχρά μέτωπα μπορεί να οδηγήσουν στην ανάπτυξη καταιγιδοφόρων νεφών (σωρειτομελανίες,

cumulonimbus) (Karymbalis et al. 2012). Τα συγκεκριμένα συστήματα συνοπτικής κλίμακας εμφανίζονται στον ελλαδικό χώρο τις μεταβατικές εποχές καθώς και την χειμερινή περίοδο του έτους. Την θερμή περίοδο του έτους πλημμυρικά φαινόμενα μπορεί να προκληθούν από θερμικές καταιγίδες κατακορύφου ανάπτυξης, κυρίως στις ηπειρωτικές περιοχές της χώρας (Wallace και Hobbs 2006; Ahrens 2006).

Σημαντικό ρόλο στην εκδήλωση πλημμύρων παίζουν και τα ιδιαίτερα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά των υδρογραφικών δικτύων και των αντίστοιχων λεκανών απορροής. Αιφνίδιες πλημμύρες αρκετά συχνά χαρακτηρίζουν υδρογραφικά δίκτυα με χειμαρρικό χαρακτήρα που έχουν διαμορφώσει επιμήκεις λεκάνες απορροής μεγάλης μορφολογικής κλίσης (Καρύμπαλης κ.α. 2014). Πολλές έρευνες έχουν ως αντικείμενο τη διερεύνηση της σχέσης μεταξύ της «υδρολογικής απόκρισης» των λεκανών απορροής και των φυσικογεωγραφικών - γεωμορφολογικών τους χαρακτηριστικών τόσο διεθνώς (μεταξύ άλλων Garbrecht et al., 1988; Post και Jakeman 1996, 1999, Runge και Nguimalet 2005), όσο και στην Ελλάδα (Καρύμπαλης κ.α. 2005; Μαρουκιάν κ.α. 2005; Καρύμπαλης κ.α. 2007; Karymbalis et al. 2011, 2012). Στην προσπάθεια εκτίμησης του πλημμυρικού δυναμικού των λεκανών απορροής η γεωμορφολογική ανάλυση περιλαμβάνει την επινόηση μορφομετρικών δεικτών που ποσοτικοποιούν σημαντικές φυσιογραφικές ιδιότητες. Οι παράμετροι αυτές (όπως η μορφολογική κλίση των κοιτών, η υδρογραφική πυκνότητα -το μήκος δηλαδή των κοιτών ανά μονάδα επιφάνειας της λεκάνης-, η υδρογραφική συχνότητα - που είναι ο αριθμός των ρευμάτων ανά μονάδα επιφάνειας -, η τάξη του δικτύου που προκύπτει από την αρίθμηση των κλάδων του (κατά Strahler 1957), οι λόγοι διακλάδωσης και η διαδοχική κατά τάξη απορροή) συσχετίζονται αρκετά ισχυρά με την πλημμυρική παροχή.

Εκτός από την συνοπτική κατάσταση της ατμόσφαιρας και τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά των υδρογραφικών δικτύων και των αντίστοιχων λεκανών απορροής, οι ανθρωπογενείς επεμβάσεις στις κοίτες και τον ευρύτερο χώρο των υδρολογικών λεκανών αρκετά συχνά ενισχύουν την ένταση των πλημμυρικών φαινομένων.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η καταγραφή των πλημμυρικών επεισοδίων που έχουν πλήξει την περιοχή του κάτω ρου του Σαρανταπόταμου (Θριάσιο Πεδίο) κατά τη διάρκεια

της τελευταίας πενηκονταετίας και η διερεύνηση των φυσικών - γεωμορφολογικών αιτιών που ευθύνονται για την εκδήλωσή τους.

Περιοχή μελέτης

Το Θριάσιο πεδίο βρίσκεται στη δυτική Αττική και είναι το αρχαίο όνομα της παράκτιας πεδιάδας της Ελευσίνας. Οριοθετείται από το όρος Πατέρας στα δυτικά, την Πάρνηθα στα βόρεια και το Ποικίλο όρος ή όρος Αιγάλεω στα νοτιοανατολικά ενώ νότια βρέχεται από τον κόλπο της Ελευσίνας.

Η περιοχή φιλοξενεί τις μεγαλύτερες βιομηχανικές μονάδες της Αττικής όπως διυλιστήρια, μεταλλουργικές βιομηχανίες (με σημαντικότερη τη Χαλυβουργική), εργοστάσια, ναυπηγεία καθώς και τον χώρο υγειονομικής ταφής των απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) όλης της Αττικής που βρίσκεται στην περιοχή των Άνω Λιοσίων. Τα τελευταία χρόνια έχουν πραγματοποιηθεί στην περιοχή μεγάλα αναπτυξιακά και συγκοινωνιακά έργα όπως η Αττική Οδός που συνδέει τα Μεσόγεια με την Ελευσίνα και παραδόθηκε στο κοινό το 2003, η δυτική περιφερειακή οδός Αιγάλεω, η παλαιά σιδηροδρομική γραμμή του ΟΣΕ, που συνδέει την Αθήνα με την Κόρινθο και διέρχεται από το Θριάσιο πεδίο και η επέκταση των εγκαταστάσεων του ΟΣΕ με τη νέα Σιδηροδρομική Γραμμή Πελοποννήσου και τον εμπορευματικό σταθμό, ο μεγάλος άξονας της εθνικής οδού Αθηνών - Πατρών (παλιός και νέος), η οδός Ασπροπύργου (ΝΑΤΟ), το μεγάλο στρατιωτικό αεροδρόμιο της Ελευσίνας ενώ σχεδιάζεται η κατασκευή του Διεθνούς Εμπορευματικού Κέντρου Αθήνας (ΔΕΚΑ) στη Μαγούλα. Μέσα σε λίγες δεκαετίες η περιοχή του Θριάσιου πεδίου άλλαξε πρόσωπο καθώς οι παλαιότερα αγροτικές περιοχές μετατράπηκαν σε βιομηχανικές και αστικές. Η έντονη παρουσία των βιομηχανικών χρήσεων, η αστικοποίηση και οι υπόλοιπες αλλαγές υποβάθμισαν περιβαλλοντικά στην ευρύτερη περιοχή ενώ αύξησαν σημαντικά τον πλημμυρικό κίνδυνο. Η εξέλιξη της οικιστικής και βιομηχανικής δραστηριότητας δεν ακολούθησε κατάλληλα δίκτυα υποδομής όπως αντιπλημμυρικά έργα και έργα συλλογής ομβρίων υδάτων. Έτσι, η πυκνότητα δόμησης της περιοχής σε συνδυασμό με το στενό παραλιακό μέτωπο της Ελευσίνας εντείνει το πρόβλημα

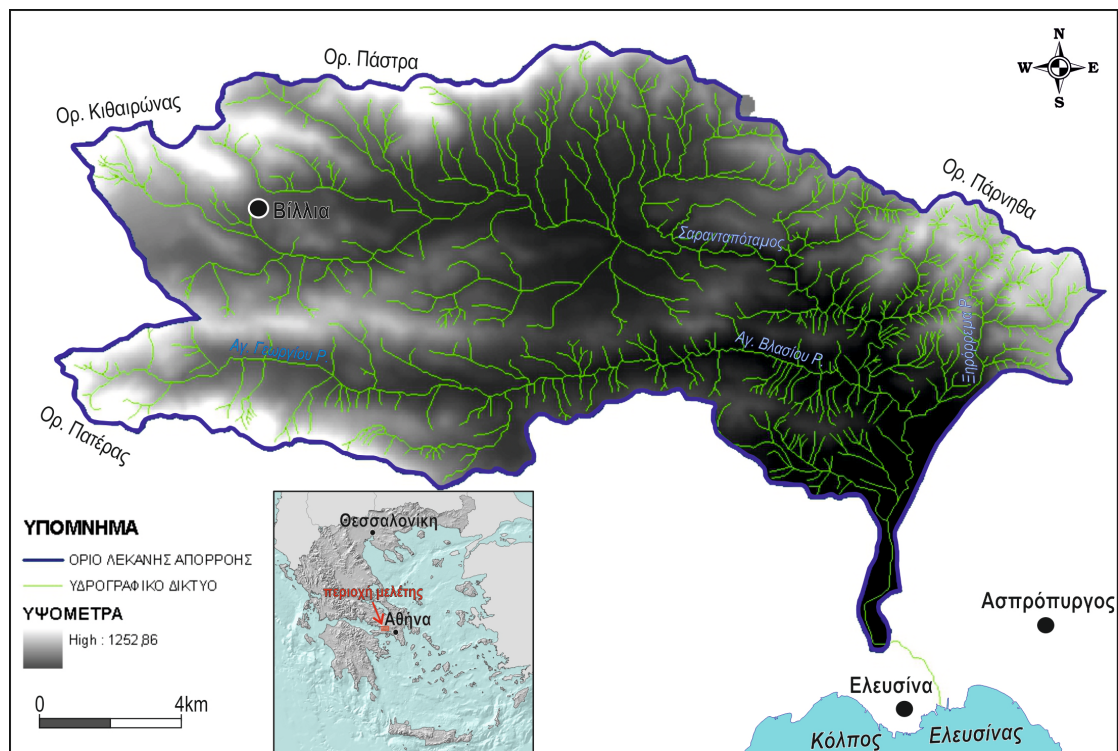
της ασφαλούς παροχέτευσης προς τη θάλασσα των ομβρίων απορροών και αυξάνει σημαντικά τον πλημμυρικό κίνδυνο, καθώς τα έργα αντιπλημμυρικής προστασίας είναι αποσπασματικά και αφορούν κυρίως οικιστικές και βιομηχανικές περιοχές (Mavrakis et al. 2004).

Τα υδρογραφικά δίκτυα που αποσταγγίζουν τους μεγάλης μορφολογικής κλίσης περιβάλλοντες ορεινούς όγκους και καταλήγουν στο Θριάσιο πεδίο είναι εξαιρετικά πλούσια. Τα πιο σημαντικά ρέματα που διαρέουν το πεδίο είναι ο χείμαρρος Σούρες ή Αγίας Αικατερίνης, το ρέμα Διυλιστηρίων, το ρέμα Μαύρης Ώρας, το ρέμα της Γιαννούλας ή Αγ. Γεωργίου, ο Σαρανταπόταμος, και το ρέμα Αγ. Ιωάννη. Οι χείμαρροι αυτοί συγκεντρώνουν τις απορροές των ορεινών όγκων και αφού διασχίσουν το Θριάσιο πεδίο καταλήγουν στην παραλία Ασπροπύργου - Ελευσίνας.

Ο Σαρανταπόταμος είναι το μεγαλύτερο ποτάμι της περιοχής του Θριάσιου πεδίου με κεντρική κοίτη συνολικού μήκους 31,5 km (Εικ. 1). Έχει διαμορφώσει μια επιμήκη, εκτεταμένη, λεκάνη απορροής έκτασης 245,03 km² και διεύθυνσης μέγιστου άξονα Δ-Α που οριοθετείται βόρεια από το όρος Πάστρα (1016 m), βορειοδυτικά από το όρος Κιθαιρώνας (1408m), νοτιοδυτικά από τα όρος Πατέρας (955m), ανατολικά από το όρος Πάρνηθα (1413m) και νότια από τους λόφους Ράχη Σωτήρος (432 m) και Κορυφή (384 m). Η κεντρική κοίτη του Σαρανταπόταμου ξεκινά τη διαδρομή της από τον Κιθαιρώνα, βορειοδυτικά των Βίλιων, και ρέοντας από τα δυτικά προς τα ανατολικά δέχεται το σύνολο της επιφανειακής απορροήζτων νότιων κλιτύων του ορεινού όγκου Πάστρα και της δυτικής απόληξης της Πάρνηθας. Διέρχεται βόρεια της Οινόης, στο ύψος του εργοστασίου Τιτάν, συμβάλλει με το ρέμα Αγίου Βλασίου, που αποτελεί και τον κυρίως παραπόταμό του, ενώ λίγο ανατολικότερα συμβάλλει με άλλον ένα σημαντικό παραπόταμο, το Ξηρόρεμα. Από το σημείο αυτό κάμπτεται προς νότο και περνώντας δυτικά από το αεροδρόμιο της Ελευσίνας, διέρχεται βόρεια της πόλης τα Ελευσίνας την οποία περιβάλλει από βορρά και στη συνέχεια ανατολικά μέχρι να εκβάλλει στον κόλπο της Ελευσίνας, δυτικά του εργοστασίου της Χαλυβουργικής.

Το υδρογραφικό δίκτυο του Σαρανταπόταμου ανήκει στο σύνθετο τύπο. Το ανατολικό του τμήμα, που αποστραγγίζει τις δυτικές πλαγιές της Πάρνηθας, είναι αρκετά πυκνό και ανήκει

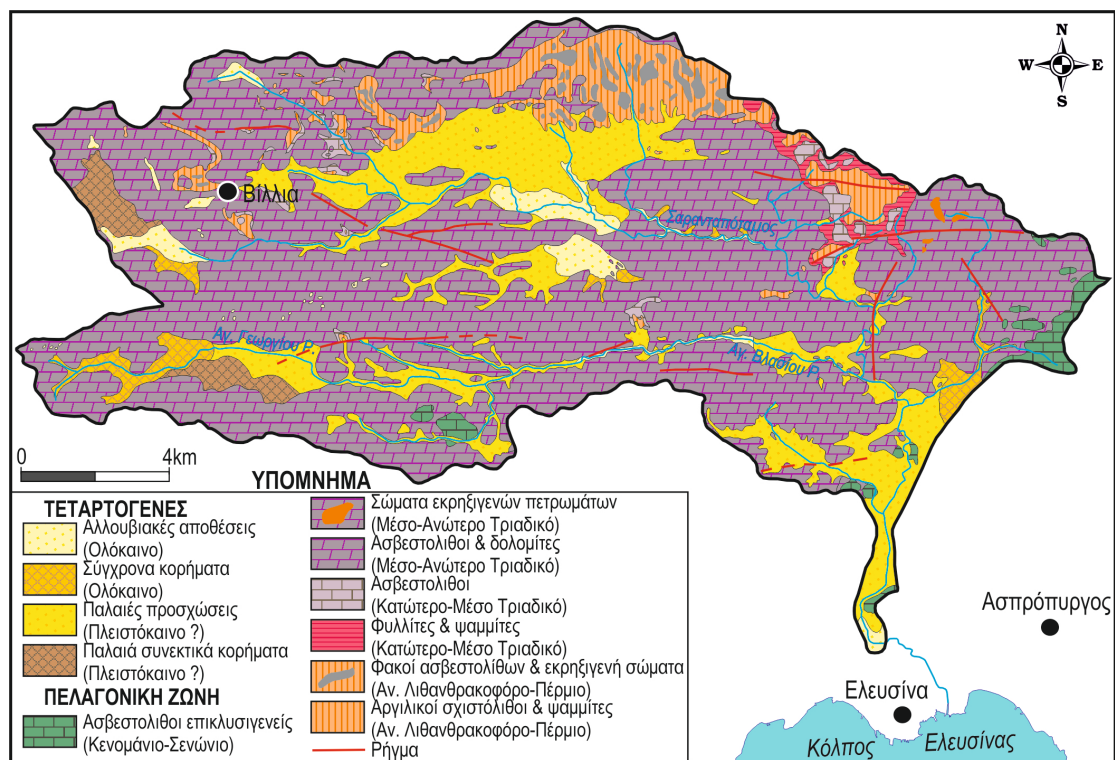
στο δενδριτικό τύπο με πολλούς μικρούς κλάδους να συμβάλουν μεταξύ τους με διάφορες οξείες γωνίες. Το ανατολικό τμήμα του δικτύου είναι σχετικά αραιό και μπορεί να θεωρηθεί ότι προσεγγίζει τον ορθογώνιο ή κλιμακωτό τύπο καθώς αρκετοί κλάδοι, μεγάλου σχετικά μήκους και μικρής τάξης, συμβάλλουν με τις δύο κεντρικές κοίτες (αυτές του Σαρανταπόταμου και του Αγ. Βλασίου) με σχεδόν ορθές γωνίες (Εικ. 1). Την κλιμακωτή μορφή προσδίδει στο δίκτυο το ρέμα του Αγ. Βλασίου, η κεντρική κοίτη του οποίου πιθανά έχει επηρεαστεί από ρήγμα διεύθυνσης Α-Δ. Η μεγάλη υπολεκάνη του ρέματος αυτού αποστραγγίζεται λίγο πριν την έξοδο της κεντρική κοίτης του ποταμού στο Θριάσιο πεδίο.



Εικόνα 1. Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους της λεκάνης απορροής και υδρογραφικό δίκτυο του Σαρανταπόταμου.

Η λεκάνη απορροής καταλαμβάνεται από Απλικά πετρώματα και σχηματισμούς του Τεταρτογενούς (Εικ. 2). Οι Απλικοί σχηματισμοί ανήκουν στην Πελαγονική ζώνη. Αποτελούνται από αργιλικούς σχιστόλιθους με φακούς ασβεστολίθων και εκρηξιγενών

πετρωμάτων ηλικίας Ανώτερου Λιθανθρακοφόρου – Περμίου, που εντοπίζονται στο βόρειο τμήμα της λεκάνης, φυλλίτες και ψαμμίτες ηλικίας Κατώτερου – Μέσου Τριαδικού που καταλαμβάνουν μικρή έκταση στο βορειοανατολικό τμήμα της λεκάνης (Κατσικάτσος κ.α. 1986; Δούνας, 1971). Η μεγαλύτερη έκταση της περιοχής μελέτης καταλαμβάνεται από ασβεστόλιθους, δολομίτες και δολομιτικούς ασβεστόλιθους Τριαδικής ηλικίας ενώ περιορισμένη έκταση στο ανατολικό και το νότιο τμήμα της λεκάνης δομείται από επικλυσιογενείς ασβεστόλιθους ηλικίας Κενομάνιου - Σενώνιου. Οι σχηματισμοί του Τεταρτογενούς περιλαμβάνουν παλαιές (πιθανά Πλειστοκαινικές) και πρόσφατες (Ολοκαινικές) χαλαρές χειμάρριες αποθέσεις κατά μήκος των κοιτών των κεντρικών κλάδων του δικτύου αλλά και στην περιοχή του Θριάσιου πεδίου. Τέλος στα μεγάλης μορφολογικής κλίσης πρανή αναπτύσσονται παλαιά συνεκτικά κορήματα αλλά και σύγχρονα χαλαρά κορήματα και κώνοι κορημάτων.



Εικόνα 2. Απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης της λεκάνης απορροής του Σαρανταπόταμου (βασισμένος στα φύλλα των γεωλογικών χαρτών του ΙΓΜΕ κλίμακας 1:50.000, Κατσικάτσος κ.α. 1986; Δούνας, 1971).

Το κλίμα της περιοχής χαρακτηρίζεται ως μεσογειακό με κύρια χαρακτηριστικά το ξηρό θερμό καλοκαίρι και τον ήπιο και βροχερό χειμώνα. Ενδεικτικά των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων της περιοχής μελέτης είναι το μέσο ετήσιο ύψος βροχής των σταθμών Ελευσίνας και Αστεροσκοπείου Αθηνών που για τα τελευταία πενήντα έτη ανέρχεται σε 384,8 mm και 389,4 mm αντίστοιχα. Οι μέρες βροχής ετησίως κυμαίνονται από 50 έως 100. Η χιονόπτωση στις παράκτιες περιοχές είναι σπάνια ενώ αυξάνεται στα υψηλότερα σημεία της λεκάνης. Η μέση ετήσια θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 17° C και 19° C ανάλογα με το υψόμετρο και την απόσταση από τη θάλασσα.

Τα προβλήματα που κατά καιρούς δημιουργούν οι πλημμυρικές παροχές του Σαρανταπόταμου είναι οξύτατα τόσο για την πόλη της Ελευσίνας, όσο και για και τις βιομηχανικές εγκαταστάσεις και το κοινωνικό δίκτυο της ευρύτερης περιοχής του Θριάσιου πεδίου. Τα τελευταία χρόνια η κοίτη του ποταμού στο τμήμα πριν τις εκβολές του στον κόλπο της Ελευσίνας, έχει διαπλατυνθεί για να διευκολύνεται η απορροή καθώς σε περιπτώσεις έντονης βροχόπτωσης συγκεντρώνει μεγάλες ποσότητες νερού.

Μεθοδολογία

Για τους σκοπούς της εργασίας έγινε συλλογή και αξιολόγηση πληροφοριών σχετικά με τις καταγεγραμμένες πλημμύρες που σημειώθηκαν στην ευρύτερη περιοχή του Θριάσιου πεδίου κατά τη διάρκεια των τελευταίων 50 ετών (Πίν. 1). Για τις ημερομηνίες εκδήλωσης των σημαντικότερων, μετά το 1961, πλημμυρών συλλέχθηκαν και επεξεργάστηκαν τα ύψη βροχής 24ώρου ή 48ώρου που καταγράφηκαν στον μετεωρολογικό σταθμό της ΕΜΥ στην Ελευσίνα.

Για τη διερεύνηση του ρόλου της οργάνωσης του υδρογραφικού δικτύου του Σαρανταπόταμου στην εκδήλωση πλημμυρών στην περιοχή του κάτω ρου του, εκτιμήθηκαν και αξιολογήθηκαν τα ποσοτικά γεωμορφολογικά και μορφομετρικά χαρακτηριστικά τόσο του δικτύου, όσο και της λεκάνης απορροής του. Δημιουργήθηκε και οργανώθηκε μια ψηφιακή βάση δεδομένων σε περιβάλλον Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών από

αναλογικούς τοπογραφικούς χάρτες κλίμακας 1:50.000 της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού που καλύπτουν την περιοχή μελέτης. Οι αναλογικοί χάρτες γεωαναφέρθηκαν σε κοινό σύστημα συντεταγμένων (ΕΓΣΑ87) και ακολούθησε η ψηφιοποίηση των στοιχείων και η οργάνωσή τους σε θεματικά επίπεδα. Τα κύρια αυτά θεματικά επίπεδα περιλαμβάνουν τις ισοϋψείς καμπύλες (ανά 20 m), τα υψομετρικά σημεία, τους κλάδους του υδρογραφικού δικτύου ανά τάξη και τις λεκάνες απορροής ανά τάξη. Η επεξεργασία των θεματικών αυτών επιπέδων στο περιβάλλον των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών οδήγησε σε δευτερογενή θεματικά επίπεδα όπως το Τρισδιάστατο Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους της λεκάνης απορροής καθώς και χάρτες κλίσεων, διεύθυνσης της ροής, συγκέντρωσης της επιφανειακής απορροής – αθροιστικής συσσώρευσης, μήκους της ροής κ.α.

Το υδρογραφικό δίκτυο προέκυψε με αυτόματη διαδικασία υδρολογικής ανάλυσης από το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους της λεκάνης. Έγινε επαναταξινόμηση επιπέδου συσσώρευσης έτσι ώστε να προσεγγίζει το υδρογραφικό δίκτυο των τοπογραφικών χαρτών κλίμακας 1:50.000. Στη συνέχεια το αριθμήθηκε σύμφωνα με το σύστημα Strahler (1957), οριοθετήθηκαν οι επιμέρους λεκάνες απορροής και πραγματοποιήθηκε η ποσοτική γεωμορφολογική του ανάλυση. Αξιοποιώντας τις δυνατότητες του λογισμικού GIS Arc Map μετρήθηκαν τα μήκη των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου καθώς και τα εμβαδά των αντίστοιχων λεκανών απορροής. Εκτιμήθηκαν οι λόγοι διακλάδωσης του δικτύου (που είναι ο λόγος του αριθμού των ρευμάτων μιας τάξης προς τον αριθμό των ρευμάτων της αμέσως ανώτερης) καθώς και οι λόγοι μήκους κοίτης και εμβαδού λεκανών και διερευνήθηκε η διαδοχική κατά τάξη απορροή με σκοπό την αναζήτηση ανωμαλιών στην οργάνωση του υδρογραφικού δικτύου (Garbrecht et al. 1988). Υπολογίστηκε δηλαδή ο συνολικός αριθμός κλάδων, το συνολικό μήκος τους καθώς και το συνολικό εμβαδόν των λεκανών απορροής κάθε τάξης που απορρέουν σε κλάδους μεγαλύτερης τάξης χωρίς να παρεμβάλλονται ενδιάμεσης τάξης κλάδοι. Οι ανωμαλίες αυτές αποτελούν πιθανή αιτία αύξησης της παροχής στις κεντρικές κοίτες του δικτύου σε περιπτώσεις έντονης βροχόπτωσης.

Επιπλέον κατασκευάστηκαν οι επιμήκεις τομές των δύο κεντρικών κοιτών του υδρογραφικού δικτύου και υπολογιστήκαν οι μορφολογικές τους κλίσεις. Για τους δύο αυτούς κλάδους

εκτιμήθηκε η ενέργεια του χειμάρρου (stream power) και σχεδιάστηκαν τα αντίστοιχα διαγράμματα. Η ενέργεια του χειμάρρου (σε Watt) υπολογίστηκε από τη σχέση:

$$\Omega = \gamma * Q * s$$

όπου γ είναι το ειδικό βάρος του νερού (9810 N.m^{-3}), Q η παροχή (σε m^3/s) και s η ενεργός κλίση (m/m).

Η ενεργός κλίση (s) υπολογίστηκε σε επιλεγμένα σημεία κατά μήκος του ποταμού από το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους αξιοποιώντας τις δυνατότητες του λογισμικού ArcGIS. Στη συνέχεια με τη χρήση του χάρτη αθροιστικής συσσώρευσης (flow accumulation) καθώς και του ημερήσιου ύψους βροχής εκτιμήθηκε η παροχή (Q). Η παροχή υπολογίστηκε από τη σχέση:

$$Q = E * h/t$$

όπου E είναι το εμβαδόν, h το ημερήσιο ύψος βροχής και t ο χρόνος ένα 24ωρο.

Δεδομένου ότι δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα υδρομετρήσεων 24ωρου για την υδρολογική λεκάνη του Σαρανταπόταμου, η παροχή εκτιμήθηκε κάνοντας την παραδοχή ενιαίας βροχόπτωσης ύψους 30 mm σε χρονικό διάστημα ενός 24ωρου.

Αποτελέσματα

Ιστορικό πλημμυρών του Θριάσιου Πεδίου

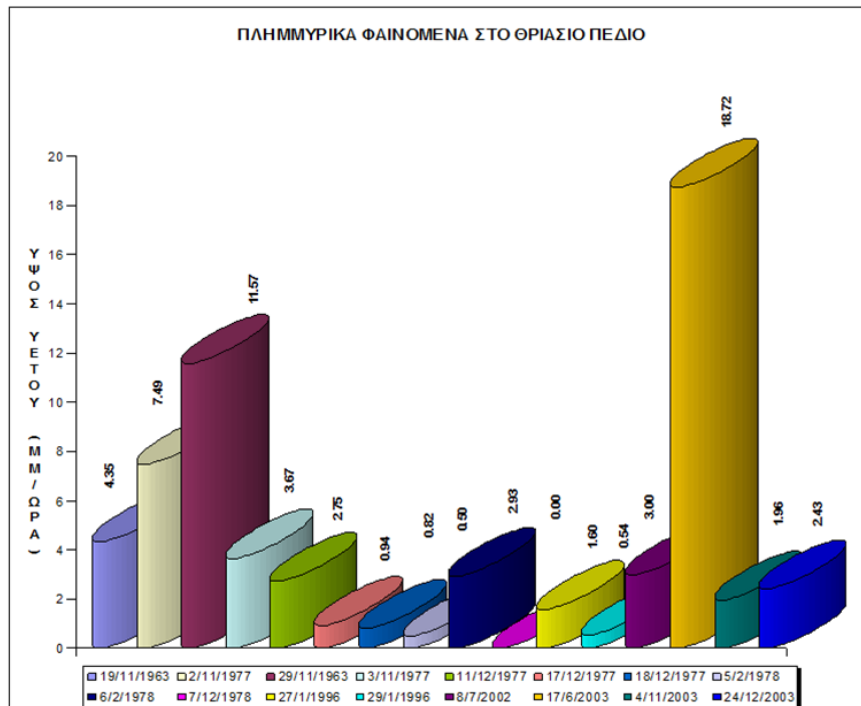
Υπάρχουν αναφορές για πλημμύρες που προκάλεσαν ανθρώπινα θύματα στο Θριάσιο πεδίο κατά τη Ρωμαϊκή περίοδο. Αυτό σημαίνει ότι πέραν των ανθρωπογενών επεμβάσεων, που υπήρξαν ιδιαίτερα έντονες τις τελευταίες δεκαετίες, η περιοχή είναι επιδεκτική στον πλημμυρικό κίνδυνο και εξαιτίας των φυσικογεωγραφικών της χαρακτηριστικών και κυρίως της οργάνωσης των υδρογραφικών δικτύων. Ο Πίνακας 1 περιλαμβάνει τις ημερομηνίες των σημαντικότερων πλημμυρών που έλαβαν χώρα στην ευρύτερη περιοχή του Θριάσιου πεδίου από το 1961 έως σήμερα, τα ύψη βροχής 24ώρου ή 48ώρου που καταγράφηκαν στον μετεωρολογικό σταθμό της ΕΜΥ στην Ελευσίνα καθώς και τον αριθμό των ανθρώπινων

θυμάτων, όπου υπήρχαν. Η αναζήτηση του ιστορικού των πλημμυρών της περιοχής μελέτης έγινε στο διαδίκτυο και τα αρχεία του ημερήσιου τύπου.

Ακραίες πλημμυρικές παροχές του Σαρανταπόταμου που έπληξαν την περιοχή του Θριάσιου πεδίου προκαλώντας ανθρώπινα θύματα σημειώθηκαν τα έτη 1961, 1963, 1977, 1978 και 1996 (Πιν. 1). Η πλημμύρα που έλαβε χώρα στις 2-3 Νοεμβρίου 1977 ήταν η πλέον καταστροφική αφού προκάλεσε το θάνατο 20 ανθρώπων. Για το 48ωρο αυτό το βροχόμετρο του μετεωρολογικού σταθμού της Ελευσίνας κατέγραψε 101,5 mm βροχής, ύψος που αντιστοιχεί σχεδόν στο διπλάσιο της μέσης βροχής του Νοεμβρίου και στο ένα τέταρτο της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης. Από τον Πίνακα 1 και την Εικόνα 3 γίνεται φανερό ότι τα ακραία πλημμυρικά επεισόδια στο Θριάσιο πεδίο σχετίζονται με ακραίες τιμές βροχόπτωσης. Εντούτοις υπήρξαν και περιπτώσεις πλημμυρών (όπως αυτή της 27ης Ιανουαρίου 1996) που δεν σχετίζονται με ακραίες βροχοπτώσεις που προκάλεσαν όμως ανθρώπινα θύματα και υλικές ζημιές. Σημαντικό αίτιο μετατροπής του Θριάσιου πεδίου σε λίμνη είναι οι ανθρωπογενείς επεμβάσεις στον κάτω ρου της κοίτης του Σαρανταπόταμου. Το ποτάμι υπερχείλισε διότι η διέξοδος προς τη θάλασσα ανακόπτεται λόγω του τείχους της περίφραξης της Χαλυβουργικής. Αρκετά συχνά (τουλάχιστον επτά φορές τα τελευταία 40 έτη) η εθνική οδός Αθηνών - Κορίνθου, στο ύψος της Χαλυβουργικής κατακλύστηκε από τα νερά του ποταμού αφού ο μαντρότοιχος του εργοστασίου ανακόπτει την πορεία των νερών της κοίτης προς τη θάλασσα, με αποτέλεσμα να διακόπτεται η κυκλοφορία των οχημάτων για πολλές ώρες. Οι πλημμύρες εξαιτίας των ανθρωπογενών επεμβάσεων στην περιοχή έχουν κατά καιρούς προκαλέσει σοβαρές ζημιές σε επιχειρήσεις και κατοικίες στη γύρω από την κοίτη του ποταμού περιοχή.

Πίνακας 1. Πλημμύρες που έπληξαν την ευρύτερη περιοχή του Θριάσιου πεδίου τα τελευταία 50 χρόνια. Κάποια από τα πλημμυρικά αυτά επεισόδια ενδέχεται να μη σχετίζονται άμεσα με τον Σαρανταπόταμο. Τα δεδομένα βροχόπτωσης είναι από τον μετεωρολογικό σταθμό της ΕΜΥ στην Ελευσίνα.

Ημερομηνία	Ύψος νετού (mm)	Διάρκεια βροχόπτωσης (min)	Ύψος νετού ανά ώρα (mm/h)	Παρατηρήσεις
7/11/1961				40 θύματα σε περιοχές της Αττικής μεταξύ των οποίων και στο Θριάσιο πεδίο
19/11/1963	25.00	345	4.35	1 θύμα στην περιοχή Μπλόκου - Πυρκάλ
29/11/1963	56.90	295	11.57	
2/11/1977	90.50	725	7.49	20 θύματα στην περιοχή του Ασπρόπυργου
3/11/1977	11.00	180	3.67	Εκτεταμένη πλημμύρα στην περιοχή του Ασπρόπυργου
11/12/1977	27.00	590	2.75	16 θύματα
17/12/1977	16.50	1055	0.94	
18/12/1977	13.80	1005	0.82	
5/2/1978	2.70	325	0.50	
6/2/1978	26.40	540	2.93	2 θύματα
7/12/1978	0.00	30	0.00	
27/1/1996	17.30	650	1.60	2 θύματα στην περιοχή Ελευσίνας, Μάνδρας, Μαγούλας.
29/1/1996	0.90	100	0.54	Εκτεταμένη πλημμύρα στην περιοχή Ελευσίνας, Μάνδρας, Μαγούλας
8/7/2002	4.50	90	3.00	
17/6/2003	39.00	125	18.72	
4/11/2003	31.00	950	1.96	
24/12/2003	35.90	885	2.43	



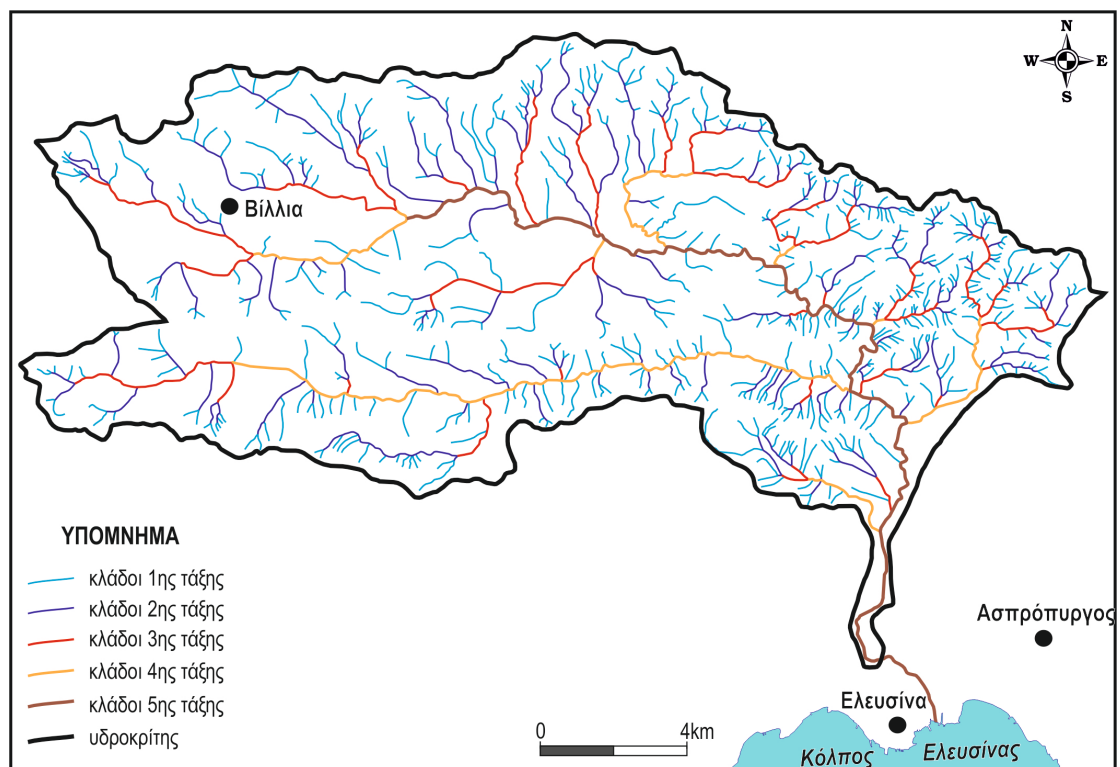
Εικόνα 3. Διάγραμμα ύψους υετού (mm) ανά ώρα για κάθε ημερομηνία πλημμυρικών φαινομένων των τελευταίων 50 ετών στο Θριάσιο Πεδίο (τα δεδομένα είναι από το μετεωρολογικό σταθμό Ελευσίνας της Ε.Μ.Υ.).

Ο ρόλος των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών

Μια από τις κύριες αιτίες για την πλημμυρική απόκριση μιας λεκάνης απορροής είναι το σχήμα της, τα χαρακτηριστικά του υδρογραφικού δικτύου και των κοιτών που ενδέχεται να αυξήσουν τον ρυθμό ροής του νερού της βροχοπτώσης (Bell 2002). Σε υδρογραφικά δίκτυα, όπου οι μεγάλοι παραπόταμοι συμβάλλουν με την κεντρική κοίτη στον κάτω ρου της, συνήθως χαρακτηρίζονται από μεγάλες πλημμυρικές παροχές στο κατώτερο τμήμα της λεκάνης. Επιπλέον η υψηλή υδρογραφική πυκνότητα προκαλεί αντίστοιχη αύξηση της παροχής στους παραπόταμους με αποτέλεσμα την συσσώρευση μεγάλων ποσοτήτων νερού στις συμβολές με την κεντρική κοίτη όπου συχνά είναι αδύνατο να παροχετευτούν.

Η ποσοτική γεωμορφολογική ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου του Σαρανταπόταμου έδειξε σχετικά υψηλό μέσο λόγο διακλάδωσης των κλάδων (5,3) καθώς και αρκετά υψηλούς μέσους λόγους αθροιστικού μήκους κοιτών (6,5) και εμβαδού λεκανών (6,5) (Εικ.4, Πίν.2).

Εξαιρετικά υψηλές τιμές έχουν οι λόγοι μεταξύ των κλάδων 4^{ης} και 5^{ης} τάξης με το λόγο αθροιστικού μήκους κοιτών να φθάνει την τιμή 12,2 και τους λόγους εμβαδού και διακλάδωσης να είναι 11,9 και 9,0 αντίστοιχα. Οι υψηλοί αυτοί λόγοι υποδηλώνουν ότι 7 κλάδοι 4^{ης} τάξης απορρέουν άμεσα στον μοναδικό κλάδο 5^{ης} τάξης, που αντιστοιχεί στην κεντρική κοίτη του Σαρανταπόταμου, χωρίς να δημιουργούν νέους κλάδους 5^{ης}.



Εικόνα 4. Αρίθμηση του υδρογραφικού δικτύου του Σαρανταπόταμου (σύμφωνα με το σύστημα του Strahler (1957).

Πίνακας 2. Σχέση μεταξύ του πλήθους των κλάδων, μέσου αθροιστικού μήκους κλάδων (σε km) και εμβαδού λεκανών απορροής (σε km²) ανά τάξη για το υδρογραφικό δίκτυο του Σαρανταπόταμου.

Τάξη	Πλήθος κλάδων	Λόγος διακλάδωσης	Μέσος λόγος	Μήκος κλάδων (km)	Λόγος μήκους	Μέσος λόγος μήκους	Εμβαδόν λεκάνης (km ²)	Λόγος εμβαδού	Μέσος λόγος εμβαδού
1	587			0,45			0,19		
2	143	4,1		2,09	4,6		0,88	4,6	
3	33	4,3	5,3	9,56	4,6	6,5	4,40	5,0	6,5
4	9	3,7		43,16	4,5		20,65	4,7	
5	1	9,0		526,13	12,2		245,03	11,9	

Οι συμβολές τουλάχιστον των πέντε από τους επτά αυτούς κλάδους με την κεντρική κοίτη του Σαρανταπόταμου εντοπίζονται στον κάτω ρου του ποταμού περίπου 4 km, 7 km, 8,5 km, 11 km και 16 km πριν την είσοδό του στην πεδινή περιοχή του Θριάσιου. Έτσι κατά τη διάρκεια ακραίων βροχοπτώσεων, η επιφανειακή απορροή μιας μεγάλης έκτασης προστίθεται άμεσα στην παροχή της κεντρικής 5^{ης} τάξης κοίτης του Σαρανταπόταμου σε μικρή απόσταση από την είσοδο του ποταμού στο Θριάσιο πεδίο.

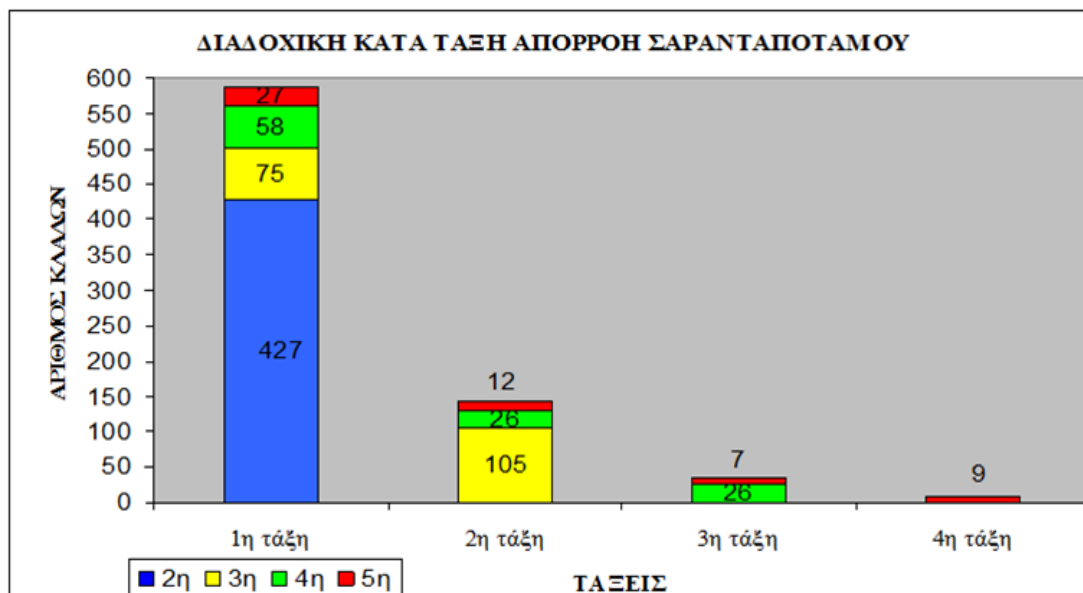
Στον Πίνακα.3 φαίνεται η διαδοχική κατά τάξη απορροή του υδρογραφικού δικτύου, δηλαδή ο αριθμός των κλάδων, το μήκος των κοιτών και το αντίστοιχο εμβαδόν των λεκανών απορροής για κάθε τάξη, που απορρέουν άμεσα σε μεγαλύτερης τάξης κλάδους.

Πίνακας 3. Διαδοχική κατά τάξη απορροή του υδρογραφικού δικτύου του Σαρανταπόταμου.

Τάξη	Αριθμός κλάδων	%	Μήκος κλάδων (km)	%	Εμβαδόν λεκανών (km ²)	%
1 ^η σε3 ^η	75	12,8	34,89	13,1	12,8	11,5
1 ^η σε4 ^η	58	9,9	41,37	15,5	17,11	15,3
1 ^η σε5 ^η	27	4,6	17,1	6,4	5,88	5,3
2 ^η σε 4 ^η	26	18,2	51,87	17,4	21,57	17,2
2 ^η σε 5 ^η	12	8,4	31,60	10,6	12,77	10,2
3 ^η σε 5 ^η	7	21,2	57,66	18,3	22,59	15,6

Οι ανωμαλίες αυτές εντοπίζονται στους κλάδους πρώτης τάξης που απορρέουν απευθείας σε κλάδους τρίτης, τέταρτης και πέμπτης τάξης, στους κλάδους δεύτερης τάξης, που απορρέουν

απευθείας σε κλάδους τέταρτης και πέμπτης τάξης και τέλος στους κλάδους τρίτης που απορρέουν στην κεντρική κοίτη πέμπτης τάξης (Εικ. 5).



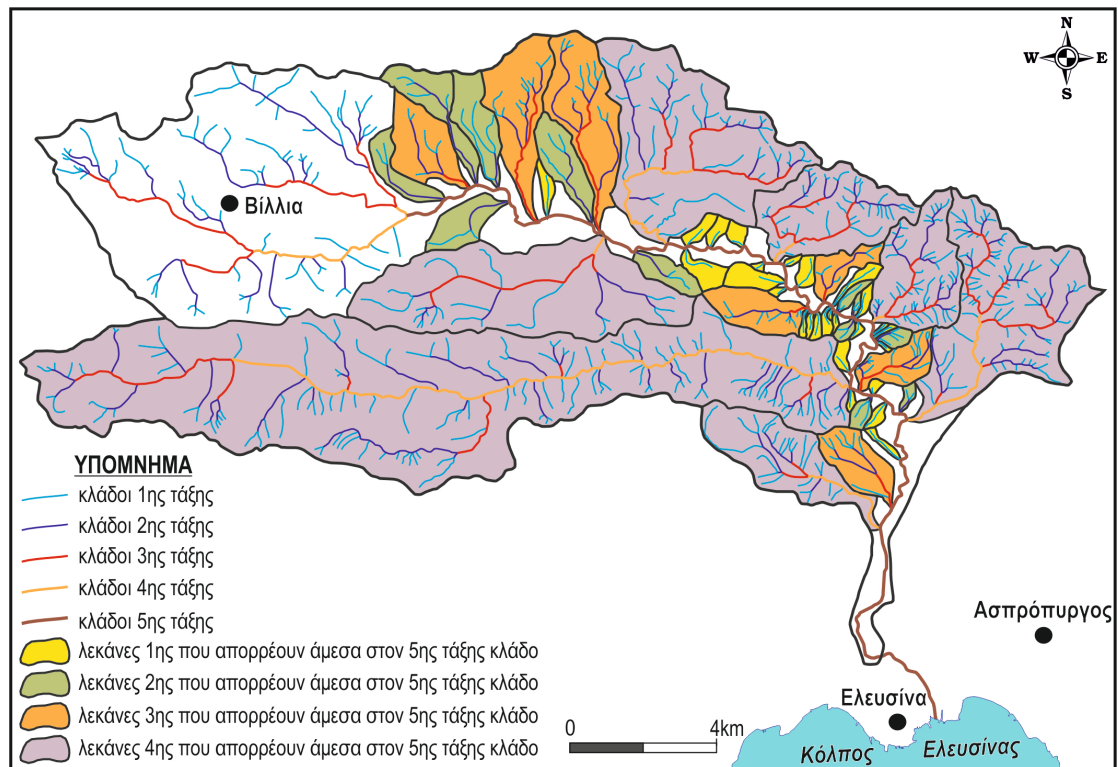
Εικόνα 5. Διαγραμματική απεικόνιση της διαδοχικής κατά τάξη απορροής του Σαρανταπόταμου.

Συγκεκριμένα για τους κλάδους 1^{ης} τάξης διαπιστώνεται ότι 160 κλάδοι, που αντιστοιχούν στο 27,3 % του συνόλου των κλάδων της τάξης αυτής, απορρέουν άμεσα σε μεγαλύτερης τάξης κοίτες (75 σε 3^{ης}, 58 σε 4^{ης} και 27 στον 5^{ης} τάξης κλάδο). Τα αντίστοιχα ποσοστά των μηκών και εμβαδών των λεκανών απορροής της τάξης αυτής είναι αρκετά υψηλά φθάνοντας το 35,0 % και 32,1 %. Οι συμβολές αυτές εντοπίζονται στο βόρειο, βορειοανατολικό και νότιο τμήμα της λεκάνης απορροής και συγκεκριμένα στους χείμαρρους Κόρτση, Ζάσταρι και Μεγάλο Κατερίνι, στο δυτικό τμήμα της λεκάνης στον 4^{ης} τάξης χείμαρρο Αγ. Βλασίου και στον χείμαρρο Κριαρόρρεμα και τέλος στο βόρειο τμήμα της λεκάνης απορροής στο χείμαρρο Κάστιζας.

Σημαντικές ανωμαλίες παρατηρούνται και στη 2^η τάξη όπου το 19 % του πλήθους των κλάδων (που αντιστοιχεί στο 18,2 % του συνολικού μήκους των κοιτών της τάξης αυτής και αποστραγγίζουν το 17,2 % της αντίστοιχης συνολικής έκτασης των λεκανών απορροής)

απορρέει άμεσα σε κλάδους 4^{ης} τάξης. Οι ανωμαλίες αυτές εντοπίζονται στο νότιο τμήμα της λεκάνης απορροής κυρίως στο χείμαρρο Αγ. Βλασίου που είναι τέταρτης τάξης στο δυτικό τμήμα της λεκάνης απορροής στο χείμαρρο Κριαρόρρεμα και στο βόρειο τμήμα της λεκάνης απορροής στο χείμαρρο Κάστιζας. Επιπλέον το 8,4 % του αριθμού των κλάδων 2^{ης} τάξης (που αντιστοιχεί στο 10,6 % και 10,2 % του συνολικού μήκους κοιτών και συνολικού εμβαδού λεκανών της τάξης αυτής) συμβάλει με την κεντρική κοίτη του Σαρανταπόταμου. Οι συμβολές των 2^{ης} τάξης κλάδων με τις μεγαλύτερης έκτασης λεκάνες εντοπίζονται στον άνω του της κεντρικής κοίτης ενώ κλάδοι με μικρότερης έκτασης λεκάνες συμβάλουν στον κάτω του του ποταμού πριν την είσοδό του στο Θριάσιο.

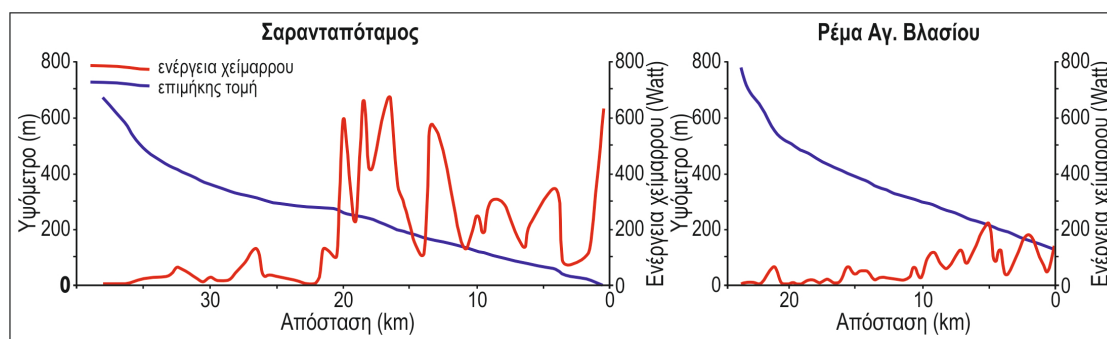
Η μεγαλύτερη όμως διαταραχή στη διαδοχική κατά τάξη απορροή του υδρογραφικού δικτύου εντοπίζεται στους κλάδους τρίτης τάξης που απορρέουν άμεσα στον κύριο κλάδο πέμπτης τάξης. Επτά (7) κλάδοι τρίτης τάξης, ήτοι το 21 % των ρεμάτων της τάξης αυτής, συνολικού μήκους 57,66 km, που αντιστοιχεί στο 18,3 % του μήκους των κλάδων της συγκεκριμένης τάξης, απορρέουν άμεσα στην κεντρική κοίτη πέμπτης τάξης (Εικ. 6). Οι κλάδοι αυτοί αποστραγγίζουν έκταση συνολικού εμβαδού 22,59 km², που αντιστοιχεί στο 15,6 % της έκτασης των λεκανών τρίτης τάξης και εντοπίζονται τόσο στον άνω ρου της κοίτης του Σαρανταπόταμου (μεταξύ των οποίων είναι τα ρέματα Τζάλας και Νταρδίσι), όσο και στον κάτω ρου, βόρεια του Θριάσιου (όπως το ρέμα Βίλιζα). Συνεπώς κατά τη διάρκεια ακραίων βροχοπτώσεων, τα νερά που προκύπτουν από την επιφανειακή αποστράγγιση μιας μεγάλης έκτασης που φθάνει τα 22,59 km² προστίθεται άμεσα στην απορροή της κεντρικής 5^{ης} τάξης κοίτης του Σαρανταπόταμου ενισχύοντας την παροχή του.



Εικόνα 6. Ανωμαλίες στη διαδοχική κατά τάξη απορροή του υδρογραφικού δικτύου του Σαρανταπόταμου. Φαίνονται οι λεκάνες κλάδων 1^{ης}, 2^{ης}, 3^{ης} και 4^{ης} τάξης που απορρέουν άμεσα στην κεντρική 5^{ης} τάξης κοίτη του ποταμού.

Η επιμήκης τομή της κεντρικής κοίτης του Σαρανταπόταμου δείχνει ότι μπορεί να διααιρεθεί σε πέντε τμήματα ανάλογα με τη μέση κλίση της κοίτης του. Το κατώτερο τμήμα της τεχνητής κοίτης παράκαμψης της πόλης της Ελευσίνας έχει κλίση 0,40 % και παρουσιάζει τη μέγιστη πλημμυρική επικινδυνότητα. Το αμέσως επόμενο τμήμα αφορά τη διαδρομή του ποταμού στις αποθέσεις του Θριάσιου πεδίου. Στο τμήμα αυτό η κοίτη είναι εγκλιβωτισμένη και έχει μέση κλίση 1,13 %. Στο επόμενο τμήμα μήκους περίπου 9,5 km η μέση κλίση της κοίτης φθάνει το 1,90 % και είναι ανάλογη με τη μέση κλίση του ρέματος Αγ. Βλασίου. Το τέταρτο τμήμα έχει ελαφρώς μικρότερη μέση κλίση από τα τμήματα του κάτω ρου (1,05%) ενώ το ανώτερο, ορεινό κομμάτι, έχει κλίση 4,2% (Εικ. 7). Η ενέργεια της κοίτης του κεντρικού κλάδου του Σαρανταπόταμου παρουσιάζει σημαντικές αυξομειώσεις σε όλο της το μήκος. Οι αυξημένες τιμές ενέργειας σε ορισμένα σημεία της διαδρομής του ποταμού

οφείλονται στην αύξηση της παροχής που προκαλείται από τη συμβολή ρεμάτων με τον κεντρικό κλάδο. Έτσι 32 km, ανάντη των εκβολών η αύξηση της ενέργειας του ποταμού οφείλεται στην αύξηση της παροχής λόγω της συμβολής με το ρέμα τέταρτης τάξης Κριαρόρεμα. Αύξηση της παροχής και της ενέργειας του ποταμού επίσης παρατηρείται σε αποστάσεις 26 km και 21 km από την εκβολή της κεντρικής κοίτης η οποία οφείλεται στη συμβολή με το ρέμα δεύτερης τάξης Χώνη, και με το τέταρτης τάξης ρέμα Στέρνα Οικονόμου αντίστοιχα. Κάτι ανάλογο συμβαίνει και 16 km όπου ο Σαρανταπόταμος δέχεται τα νερά των τέταρτης τάξης ρεμάτων Ζάσταρσι και Κόρτση. Για την αυξημένης τιμής της ενέργειας στα τμήματα 19,5 km, 18 km, 16,5 km και 13 km ανάντη των εκβολών ευθύνεται η μεγάλη τοπικά αύξηση της κλίσης της κοίτης. Τέλος στον κάτω ρου του ποταμού (σε απόσταση 3,5 km) η αύξηση της ενέργειας του ποταμού αποδίδεται αφενός στη συμβολή με το ρέμα τέταρτης τάξης Μεγάλο Κατερίνι και αφετέρου στην παρουσία σημείου κάμψης που οφείλεται σε λιθολογικά αίτια.



Εικόνα 7. Επιμήκεις τομές της κοίτης και διαγράμματα ενέργειας χειμάρρου για τα ρέματα Σαρανταπόταμου και Αγίου Βλασίου.

Η επιμήκης τομή του ρέματος Αγ. Βλασίου δείχνει ότι ο χειμάρρος περιλαμβάνει ένα κατώτερο τμήμα μήκους περίπου 20,5 km με μέση κλίση κοίτης 1,87 % και ένα ορεινό με μέση κλίση 9,0 %. Συνεπώς σε περίπτωση έντονης βροχόπτωσης ο χρόνος συρροής, λόγω της μεγάλης κλίσης στα ορεινά, είναι μικρός με αποτέλεσμα την άφιξη μεγάλων ποσοτήτων

νερού στο χαμηλό πεδινό τμήμα της κεντρικής κοίτης, όπου η παροχέτευσή του γίνεται με δυσκολία. Το συνδυαστικό διάγραμμα της Εικόνας 7 για το ρέμα του Αγ. Βλασίου δείχνει αύξηση της ενέργειας του χείμαρρου σε συγκεκριμένα τμήματα της διαδρομής του για την οποία ευθύνεται η συμβολή παραποτάμων με την κεντρική κοίτη του ρέματος. Τα τμήματα αυτά εντοπίζονται 21 km και 10,5 km ανάντη της συμβολής του ρέματος με την κεντρική κοίτη του Σαρανταπόταμου και είναι περιοχές όπου συμβάλουν δύο κλάδοι δεύτερης τάξης και το τρίτης τάξης Λυκόρρεμα με τον κλάδο του Αγ. Βλασίου.

Οι έντονες - απότομες - μεταβολές των μορφολογικών κλίσεων του ανάγλυφου προκαλούν τη μείωση της ταχύτητας της επιφανειακής απορροής στις περιοχές ήπιων κλίσεων με αποτέλεσμα σε περιπτώσεις έντονων βροχοπτώσεων, την συσσώρευση σε μικρό χρονικό διάστημα μεγάλου όγκου νερού όπου η κεντρική κοίτη αδυνατεί να παροχετεύσει.

Συμπεράσματα

Το Θριάσιο πεδίο αποτελεί μια περιοχή υψηλής επικινδυνότητας στον πλημμυρικό κίνδυνο όπως αποδεικνύουν τα 12 μεγάλης έντασης πλημμυρικά επεισόδια που έχουν σημειωθεί την τελευταία πενήνταετία. Σημαντικό μερίδιο ευθύνης για τις πλημμύρες του Θριάσιου έχει ο Σαρανταπόταμος, ένα από τα μεγαλύτερα ποτάμια που διαρέει την πεδινή αυτή έκταση.

Η ποσοτική γεωμορφολογική ανάλυση της λεκάνης απορροής του ποταμού οδήγησε στη διαπίστωση ότι σημαντικό ρόλο στην αυξημένη συχνότητα αλλά και τη δριμύτητα των πλημμυρών παίζουν τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά που σχετίζονται με την οργάνωση του υδρογραφικού δικτύου. Τα χαρακτηριστικά αυτά περιλαμβάνουν τις εξαιρετικά υψηλές τιμές του λόγου διακλάδωσης (9,0), εμβαδού λεκανών (11,9) και ιδίως αθροιστικού μήκους κοιτών (12,2) μεταξύ των κλάδων 4^{ης} και 5^{ης} τάξης καθώς και τις ανωμαλίες στη διαδοχική κατά τάξη απορροή. Διαπιστώθηκε ότι το 27,3 % του πλήθους των κλάδων 1^{ης} τάξης (που αντιστοιχούν στο 35,0 % του συνολικού τους μήκους και αποστραγγίζουν το 32,1 % της έκτασης των λεκανών απορροής τους) απορρέουν άμεσα σε μεγαλύτερης τάξης κοίτες ενώ για τη 2^η τάξη το 19 % του πλήθους των κλάδων (που αντιστοιχεί στο 18,2 % του συνολικού μήκους των κοιτών της τάξης αυτής και αποστραγγίζουν το 17,2 % της αντίστοιχης

συνολικής έκτασης των λεκανών απορροής) απορρέει άμεσα σε κλάδους 4^{ης} τάξης. Σημαντικές ανωμαλίες εντοπίστηκαν και στους κλάδους 3^{ης} τάξης που απορρέουν άμεσα στην 5^{ης} τάξης κεντρική κοίτη του Σαρανταπόταμου. Το 21,0 % του συνολικού αριθμού των 3^{ης} τάξης κλάδων (που αντιστοιχούν στο 18,3% του συνολικού τους μήκους και αποστραγγίζουν το 15,6 % της έκτασης των λεκανών απορροής τους) απορρέουν άμεσα στον κλάδο 5^{ης} τάξης. Οι συμβολές αυτές εντοπίζονται τόσο στον άνω ρου του Σαρανταπόταμου, όσο και στον κάτω ρου του, βόρεια του Θριάσιου πεδίου, αυξάνοντας την παροχή της κοίτης του σε περιπτώσεις ακραίων βροχοπτώσεων με την επιφανειακή απορροή που προέρχεται από την αποστράγγιση έκτασης συνολικού εμβαδού 22,59 km².

Άλλη φυσική αιτία πλημμυρών αποτελούν οι σχετικά μεγάλες μορφολογικές κλίσεις τόσο της κεντρικής κοίτης του Σαρανταπόταμου, όσο κυρίως της κοίτης του κυριότερου παραποτάμου του (ρέμα Αγ. Βλασίου) στα ορεινά τους τμήματα. Οι μεγάλες κλίσεις (που φθάνουν το 9,0 %) συντελούν στην αύξηση της ταχύτητας της επιφανειακής απορροής και στη μείωση του χρόνου άφιξης και συσσώρευσης του νερού στην κεντρική κοίτη του χείμαρρου, η οποία έχοντας μικρότερη κλίση αδυνατεί να παροχετεύσει το συνολικό όγκο της επιφανειακής απορροής. Τη μέγιστη πλημμυρική επικινδυνότητα παρουσιάζει το τμήμα του ποταμού στο δελταϊκό του ριπίδιο, όπου η μέση κλίση της κοίτης φθάνει το 0,4 % και έχει διευθετηθεί τεχνητά για να παρακάμψει την πόλη της Ελευσίνας.

Η ανάλυση έδειξε ότι οι εκτεταμένες καταστροφές στον κάτω ρου του χείμαρρου οφείλονται ως επί το πλείστον σε φυσικές αιτίες που σχετίζονται με την οργάνωση του υδρογραφικού δικτύου. Οι ανεξέλεγκτες άμεσες ανθρώπινες επεμβάσεις στην περιοχή του Θριάσιου πεδίου, όπου μέσα σε μερικές δεκαετίες οι αγροτικές περιοχές μετατράπηκαν σε βιομηχανικές και αστικές αφορούν τις περιοχές δυτικά της κοίτης και δεν ανήκουν στην υδρολογική λεκάνη του Σαρανταπόταμου. Οι ανθρώπινες επεμβάσεις που σχετίζονται άμεσα με το ποτάμι εντοπίζονται ανατολικά της κοίτης και είναι ελάχιστες (στρατιωτικός χώρος, αεροδρόμιο).

Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσση

- Ahrens C.D., 2006. *Meteorology Today*, Brooks Cole, 8th edition, 264-265.
- Bell F.G., 2002. *Geological Hazards. Their assessment, avoidance and mitigation*, Taylor & Francis e-Library, 631p.
- Camarasa Belmonte A.M. and Segura Beltrán F., 2001. Flood events in Mediterranean ephemeral streams (ramblas) in Valencia region, Spain. *Catena*, 45 (3), 229-249.
- Garbrecht J. and Shen H.W., 1988. The physical framework of the dependence between channel flow hydrographs and drainage network morphometry. *Hydrological Processes*, 2, 337-355.
- Karymbalis E., Chalkias C., Ferentinou M. and Maistrali A., 2011. Flood hazard evaluation in small catchments based on quantitative geomorphology and GIS modeling: The case of Diakoniaris torrent (W. Peloponnese, Greece) In: N. Lambrakis, G. Stournaras and K. Katsanou (eds): *Advances in the Research of Aquatic Environment, Environmental Earth Sciences*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 137-145.
- Karymbalis E., Katsafados P., Chalkias C. and Gaki-Papanastassiou K., 2012. An integrated study for the evaluation of natural and anthropogenic causes of flooding in small catchments based on geomorphological and meteorological data and modeling techniques: The case of the Xerias torrent (Corinth, Greece). *Zeitschrift für Geomorphologie*, 56 (1), 045-067.
- Mavrakis A., Theoharatos G., Asimakopoulos D., Christides A., 2004. Distribution of the Trace Metals in Sediments of Eleusis Gulf. *Mediterranean Marine Science*, 5/1, 151-158.
- Post D.A. and Jakeman A.J., 1996. Relationships between catchment attributes and hydrological response characteristics in small Australian mountain catchments. *Hydrological Processes*, 10 (6), 877-892.
- Post D.A. and Jakeman A.J., 1999. Predicting the daily streamflow of ungauged catchments in SE Australia by regionalizing the parameters of a lumped conceptual rainfall-runoff model. *Ecol. Modell.*, 123, 91-104.
- Runge J. and Nguimalet C.R., 2005. Physiogeographic features of the Oubangui catchment and environmental trends reflected in discharge and floods at Bangui 1911-1999, Central African Republic. *Geomorphology*, 70 (3-4 Spec. Iss.), 311-324.
- Strahler A., 1957. Quantitative analysis of watershed Geomorphology. *Am. Geophys. Union Trans.*, 38 (6), 913-920.
- Wallace J.M. and Hobbs P.V., 2006. *Atmospheric Science. An Introductory Survey*. Academic Press, Elsevier, 363p.

Ελληνική

- Δούνας Α., 1971. Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος κλίμακας 1:50.000, φύλλο Ερυθραί. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών.
- Καρύμπαλης Ε., Γάκη-Παπαναστασίου, Κ. και Μαρουκιάν Χ., 2005. Η συμβολή των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών του υδρογραφικού δικτύου του Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας και οι ανθρωπογενείς παρεμβάσεις στην εκδήλωση πλημμύρων. Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, XXXVIII, 171-181.
- Καρύμπαλης Ε., Γάκη-Παπαναστασίου Κ. και Μαρουκιάν Χ., 2007. Ποιος ευθύνεται για τα πλημμυρικά επεισόδια στο νομό Αττικής, η φύση ή ο άνθρωπος; Οι περιπτώσεις των λεκανών του Κηφισού ποταμού και του Μεγάλου Ρέματος της Ραφήνας. Στο: Το αύριο εν κινδύνω – φυσικές και τεχνολογικές καταστροφές στην Ευρώπη και την Ελλάδα. Κ. Σαπουντζάκη (επιμ.), εκδόσεις Gutenberg, 287-309.
- Καρύμπαλης Ε., Κατσαφάδος Π., Καλογερόπουλος Κ. και Καραλής Σ.Θ., 2014. Εκτίμηση πλημμυρικού κινδύνου σε μικρές χειμαρρικές λεκάνες. Στο: Η γεωγραφία του παράκτιου και νησιωτικού χώρου. Ε. Καρύμπαλης, Α. Παπαδόπουλος και Χ. Χαλκιάς (επιμ.), εκδόσεις Σταμούλη, 199-240.

- Κατσικάτσος Γ., Μέττος Α., Βοδακης Μ., και Δούνας Α., 1986. Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος κλίμακας 1:50.000, φύλλο Αθήναι – Ελευσίς. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών.
- Μαρουκιάν Χ., Τσερμέγκα Ε., Γάκη-Παπαναστασίου Κ. και Καρύμπαλης Ε., 2005. Ο ρόλος των μορφομετρικών παραμέτρων και των ανθρωπογενών επεμβάσεων στην εκδήλωση πλημμυρών στον κάτω ρου του Κηφισού ποταμού (Λεκανοπέδιο Αττικής). Πρακτικά 7^{ου} Πανελλήνιου Υδρογεωλογικού Συνεδρίου, Ι, 289-299.