

ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΣΤΗΝ ΑΤΤΙΚΗ (ΑΣΤΙΚΟ ΚΑΙ ΠΕΡΙΑΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ)

Παπαζώη Βασιλική^{1*}, Νάστος Παναγιώτης¹, Φιλάνδρας Κώστας²

¹Τοπογράφος Msc, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Εργαστήριο Κλιματολογίας και Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστημιούπολη, 157 84 Αθήνα, Τηλ. 210 7274191, E-mail: arlenagr@yahoo.gr

¹Αναπληρωτής Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Εργαστήριο Κλιματολογίας και Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστημιούπολη, 157 84 Αθήνα, Τηλ. 210 7274191, E-mail: nastos@geol.uoa.gr

²Ερευνητής Β', Κέντρο Ερέυνης Φυσικής της Ατμόσφαιρας και Κλιματολογίας, Ακαδημία Αθηνών, 3ης Σεπτεμβρίου 131, 112 51 Αθήνα, Τηλ. 210 8832048, E-mail: philandras@academyofathens.gr

Περίληψη:

Τα φαινόμενα έντονων βροχοπτώσεων που συνδυάζονται πολλές φορές με πλημμυρικά φαινόμενα στην Αττική παρουσιάζουν ιδιαίτερο επιστημονικό ενδιαφέρον, επειδή προκαλούν κοινωνικο-οικονομικές επιπτώσεις ακόμη και απώλειες ανθρώπινων ζωών. Η ευρύτερη περιοχή των Αθηνών (αστική περιοχή) και ο Μαραθώνας (περιαστική περιοχή) επιλέχθηκαν ως περιοχές μελέτης λόγω της αυξημένης συχνότητας πλημμυρών τα τελευταία χρόνια. Παρά το γεγονός ότι η μέση ετήσια βροχόπτωση στην ευρύτερη περιοχή των Αθηνών παραμένει σταθερή, ο αριθμός ημερών βροχής (>1mm) εμφανίζει πτωτική τάση, ιδιαίτερα από τα μέσα της δεκαετίας του 1980, με αποτέλεσμα την αύξηση της ραγδαιότητας της βροχής (mm/day).

Τα κυριότερα υδρογραφικά δίκτυα του Λεκανοπεδίου των Αθηνών είναι του Κηφισού και του Ιλισού ποταμού. Η υδρολογική λεκάνη του Μαραθώνα είναι σημαντικά μικρότερη και περιλαμβάνει το υδρογραφικό δίκτυο του ποταμού Χάραδρου ή Οινόη που καταλήγει στον όρμο του Μαραθώνα. Στην μελέτη της λεκάνης του Κηφισού εξετάστηκαν οι χρονοσειρές της ημερήσιας βροχόπτωσης από 7 βροχομετρικούς σταθμούς (Ελληνικό, Ελευσίνα, Φιλαδέλφεια, Σπάτα, Πειραιάς, Τατόι και Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών) σε σχέση με τις ημερομηνίες πλημμυρών για ένα διάστημα πάνω από 30 έτη. Μελετήθηκαν οι μεταβολές της αστικής ανάπτυξης στις τοποθεσίες που πλημμύρισαν με την βοήθεια δορυφορικών εικόνων LANDSAT. Για την λεκάνη του Μαραθώνα, χρησιμοποιήθηκαν τα βροχομετρικά δεδομένα από τον σταθμό του Φράγματος του Μαραθώνα και εξετάστηκε η επίδραση των δασικών πυρκαγιών του Πεντελικού όρους στις πλημμύρες. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικές εικόνες LANDSAT για την διερεύνηση μεταβολών στις χρήσεις γης. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι η ανθρώπινη δραστηριότητα (έντονη αστικοποίηση/πυρκαγιές) σε συνδυασμό με την αυξημένη ραγδαιότητα των βροχοπτώσεων ευθύνονται σε μεγάλο βαθμό για τα επαναλαμβανόμενα πλημμυρικά φαινόμενα, είτε αυτά εμφανίζονται σε αστικές είτε σε περιαστικές περιοχές.

STUDY OF FLOOD EVENTS IN ATTICA (URBAN AND RURAL ENVIRONMENT)

Papazoi Vasiliki^{1*}, Nastos Panagiotis¹ and Philandras Contantine²

¹Land surveyor Msc, University of Athens, Faculty of Geology & Geoenvironment, Laboratory of Climatology & atmospheric Environment, Panepistimiopolis, 157 84 Athens, Tel. 210 7274191, E-mail: arlenagr@yahoo.gr

¹Associate Professor, University of Athens, Faculty of Geology & Geoenvironment, Laboratory of Climatology & atmospheric Environment, Panepistimiopolis, 157 84 Athens, Tel. 210 7274191, E-mail: nastos@geol.uoa.gr

²Researcher B', Research Center for Atmospheric Physics and Climatology, Academy of Athens, 3rd September Str 131, 112 51 Athens, Tel. 210 8832048, E-mail: philandras@academyofathens.gr

Abstract:

The intense rainfall phenomena and flooding events in Attica, Greece are of particular scientific interest, because they are associated with socio-economic consequences and even with human losses. The wider Athens area (urban area) and Marathon area (suburban area) were chosen as study areas, because of the increased frequency of floods in the recent years. Despite the fact that, the mean annual rainfall in the wider Athens area does not present any trend, the number of rain days (>1mm) appear a decreasing trend, especially from the middle of 1980s', resulting in increase of the rain intensity (mm/day).

The hydrographic networks in the Athens basin concern the ones of Kifissos and Ilissos. The Marathon basin is relatively smaller, containing the hydrographic network of the Charadros river, that ends at Marathon bay. Regarding the Athens basin, the rainfall time series at 7 meteorological stations (Helliniko, Elefsina, Philadelphia, Spata, Piraeus, Tatoi and National Observatory of Athens) were examined, with respect to the flood events over a period of 30 years. The urban development and expansion of the areas associated with flooding events was studied over a period of 10 years, using LANDSAT satellite images. For the Marathon basin, the rainfall time series recorded at the Marathon Dam meteorological station were used, as well as the forest fires at Penteli mountain and the related floodings were taken into consideration. Besides, the changes in land use were analyzed using LANDSAT satellite images, over a 10 year period.

The findings of the analysis showed that the human activity (intense urbanization/forest fires) combined with the increased rain intensity are mainly associated with the frequent flood events, either in urban or rural areas.

Λέξεις κλειδιά: Πλημμύρες, Landsat satellite images, Αθήνα, Μαραθώνας

Key words: Floods, Landsat satellite images, Athens, Marathon,

1. Εισαγωγή

Τα ακραία γεγονότα βροχής, με μερικές εξαιρέσεις, συνδέονται με τους κυκλώνες καθώς ο υγρός Μεσογειακός αέρας ανέρχεται στις προσήνεμες πλευρές των οροσειρών, που περιβάλλουν τη λεκάνη της Μεσογείου. Ένας μικρός αριθμός ξαφνικών τοπικών πλημμυρών έχει συνδεθεί με τα έντονα τοπικά κύτταρα κατακόρυφης ανάπτυξης. Ένα γεγονός πολύ ισχυρής βροχής ορίζεται εδώ ως η ημέρα με βροχόπτωση μεγαλύτερη από 60 mm/ημέρα σε οποιοδήποτε σημείο μιας "εδαφικής μονάδας". Στην Ελλάδα το 92% των βροχοπτώσεων κατά τη διάρκεια της υγρής περιόδου (Οκτώβριο-Μάρτιος) παράγεται από τους κυκλωνικούς τύπους κυκλοφορίας (Maheras and Anagnostopoulou 2003), ενώ, κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου τα έντονα επεισόδια βροχόπτωσης και χαλαζιού συνδέονται με την θερμική αστάθεια.

Η πιο μακροχρόνια διαθέσιμη χρονοσειρά βροχόπτωσης στην Ελλάδα είναι αυτή που έχει καταγραφεί στο Εθνικό Αστεροσκοπείο της Αθήνας. Σύμφωνα με μια πρόσφατη μελέτη (Nastos and Zerefos, 2007), η ετήσια βροχόπτωση δεν εμφανίζει στατιστικά σημαντική τάση ($p=0.24$) στην περίοδο 1891-2004. Αφ' ετέρου, η χρονοσειρά των ημερών βροχής παρουσιάζει μικρή αρνητική τάση, που δεν είναι στατιστικά σημαντική ($p=0.47$), κατά τη διάρκεια της εξεταζόμενης περιόδου. Εντούτοις, αυτή η τάση γίνεται στατιστικά σημαντική ($p=0.03$) κατά τη διάρκεια των τελευταίων τριάντα επτά ετών (1968-2004). Η απουσία μιας σημαντικής τάσης στην ετήσια βροχόπτωση και της αρνητικής τάσης στις ημέρες βροχής, ειδικά στις τελευταίες τρεις δεκαετίες, μπορεί να υποδεικνύει μια αύξηση στην ακραία καθημερινή βροχόπτωση. Επίσης οι Philandras et al. (2010) έδειξαν ότι η ένταση της βροχής (mm/h) στην Αθήνα (Εθνικό αστεροσκοπείο Αθηνών) παρουσιάζει στατιστικά σημαντικές (95% ε.ε.) αυξητικές τάσεις, που ξεκινούν από το 1990 για το φθινόπωρο και τον χειμώνα, και γίνονται πιο έντονες μέσα στην τελευταία δεκαετία, ενώ οι αυξητικές τάσεις ξεκινούν νωρίτερα (1980) όσον αφορά την άνοιξη και το καλοκαίρι. Παρόμοια χρονική μεταβλητότητα εμφανίζεται πάνω από το βορειοανατολικό τμήμα των Ηνωμένων Πολιτειών, όπου κατά τη διάρκεια των τελευταίων 30 ετών (που εμφανίζεται η αύξηση της πολύ έντονης βροχόπτωσης) παρατηρήθηκε μια μείωση στον αριθμό ημερών βροχής (Groisman et al. 2005). Επιπλέον, σε διάφορες περιοχές όπως η Νότια Αφρική, η Σιβηρία, η ανατολική Μεσόγειος, το κεντρικό Μεξικό, και η βόρεια Ιαπωνία, οι ημέρες βροχής εμφανίζονται λιγότερο συχνά και παρατηρείται μόνο μια αύξηση στη πολύ έντονη βροχόπτωση, ενώ η συνολική βροχόπτωση ή/και η συχνότητα των ημερών με ένα αξιόλογο ποσό βροχόπτωσης δεν αλλάζουν ή/και μειώνονται (Easterling et al. 2000, Alpert et al. 2002, Fauchereau et al. 2003, Groisman et al. 2005).

Τις τελευταίες δεκαετίες έχει παρατηρηθεί αύξηση της ραγδιότητας και της συχνότητας των πλημμυρικών φαινομένων στην Αττική, με ιδιαίτερες επιπτώσεις τόσο στο αστικό όσο και στο περιαστικό περιβάλλον της υδρολογικής λεκάνης του Κηφισού και της υδρολογικής λεκάνης του Μαραθώνα. Η μελέτη αυτών των πλημμυρικών φαινομένων και η διερεύνηση των αιτίων που τις προκάλεσαν αποτελεί αντικείμενο της παρούσας εργασίας.

2. Δεδομένα και Ανάλυση

Στην εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκαν ημερήσια βροχομετρικά δεδομένα, που προέρχονται από επτά μετεωρολογικούς σταθμούς της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (Ελληνικό, Ελευσίνα, Φιλαδέλφεια, Σπάτα, Πειραιάς, Τατόι), από ένα βροχομετρικό σταθμό της Εταιρείας Ύδρευσης Αθηνών και Πειραιώς (Φράγμα Μαραθώνα) και από τον μετεωρολογικό σταθμό του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (Θησείο). Οι σταθμοί παρουσιάζουν καλή χωρική κατανομή στο λεκανοπέδιο της Αττικής, καλύπτοντας τόσο τις αστικές όσο και περιαστικές περιοχές, στις οποίες έχουν παρατηρηθεί πλημμυρικά φαινόμενα τα τελευταία χρόνια. Τα χαρακτηριστικά των μετεωρολογικών σταθμών (γεωγραφικές συντεταγμένες, υψόμετρο και περίοδο λειτουργίας) παρουσιάζονται στον Πίνακα 1. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν διάφορα μορφολογικά χαρακτηριστικά των εξεταζόμενων περιοχών, καθώς και δορυφορικές εικόνες LANDSAT για την παρακολούθηση των μεταβολών των χρήσεων γης. Για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκαν τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Arc GIS).

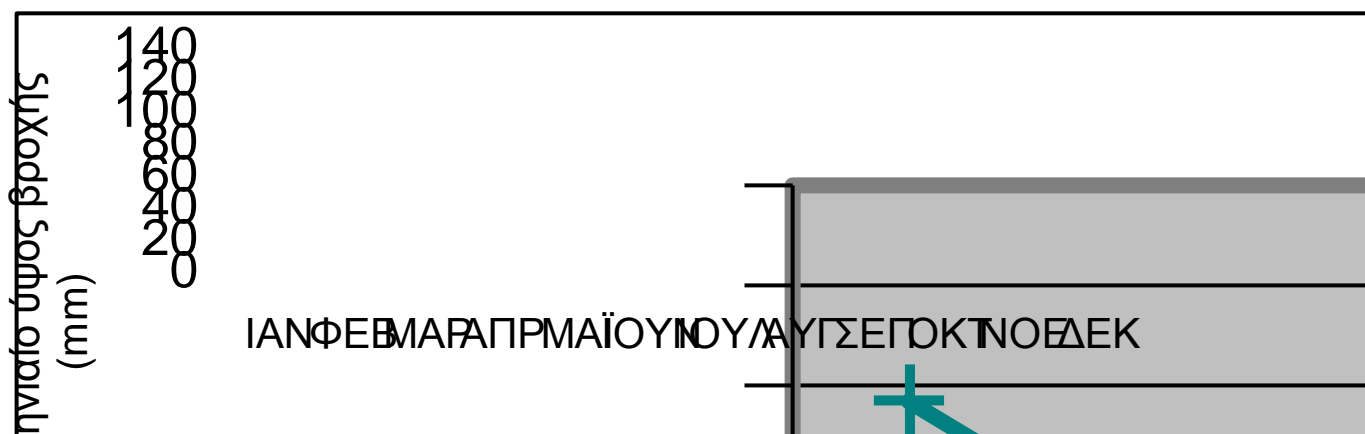
Όσον αφορά τις περιοχές μελέτης, επιλέχθηκαν η ευρύτερη περιοχή των Αθηνών (αστική περιοχή) και η περιοχή του Μαραθώνα (περιαστική περιοχή). Η ευρύτερη περιοχή των Αθηνών (Λεκάνη απορροής Κηφισού) επιλέχθηκε διότι η μελέτη πλημμυρικών φαινομένων παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον λόγω των επιπτώσεων τόσο σε οικονομικό όσο και σε κοινωνικό επίπεδο εξαιτίας της έντονης αστικοποίησης και της επακόλουθης συνέπειας της υδρομόνωσης της περιοχής. Η περιοχή του Μαραθώνα εμφανίζει αυξημένη τρωτότητα λόγω των επαναλαμβανόμενων δασικών πυρκαγιών του Πεντελικού Όρους τα τελευταία χρόνια, οι οποίες συμβάλλουν έντονα στην αύξηση του πλημμυρικού κινδύνου.

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά των βροχομετρικών σταθμών που χρησιμοποιήθηκαν για τις περιοχές μελέτης

Βροχομετρικοί σταθμοί	Χρονική περίοδος	Περιοχή μελέτης	Είδος τιμών	Γεωγραφικές Συντεταγμένες (λ, φ)	Υψόμετρο σταθμού (m)
Ελληνικό	1970-2005	Λεκάνη Κηφισού	Ημερήσιες	23° 43' 37° 53'	10
Ελευσίνα	1970-2005	Λεκάνη Κηφισού	Ημερήσιες	23° 33' 38° 03'	30
Φιλαδέλφεια	1970-2005	Λεκάνη Κηφισού	Ημερήσιες	23° 44' 38° 02'	436
Σπάτα	1982-2003	Λεκάνη Κηφισού	Ημερήσιες	23° 55' 37° 58'	130
Πειραιάς	1970-2003	Λεκάνη Κηφισού	Ημερήσιες	23° 38' 37° 57'	3
Τατόι	1970-2005	Λεκάνη Κηφισού	Ημερήσιες	23° 47' 38° 06'	237
Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών	1891-2004	Λεκάνη Κηφισού	Ημερήσιες	23° 43' 37° 58'	107
Φράγμα Μαραθώνα	1932-2005	Λεκάνη Μαραθώνα	Μηνιαίες	23° 54' 38° 10'	240

Στο Σχήμα 1 παρουσιάζονται οι ενδοετήσιες μεταβολές της βροχής για τους εξεταζόμενους σταθμούς. Οι κυμάνσεις της βροχής είναι απλές με μέγιστα τους χειμερινούς μήνες και ελάχιστα

τους θερινούς, χαρακτηριστικό του μεσογειακού κλίματος. Οι χειμερινές βροχοπτώσεις είναι μεγαλύτερες στη περιοχή του Μαραθώνα σε σχέση με την ευρύτερη περιοχή των Αθηνών.



Σχήμα 1. Ενδοετήσια μεταβολή της μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης για κάθε ένα από τους εξεταζόμενους σταθμούς.

Από την σύγκριση της ημερήσιας βροχόπτωσης με τις αντίστοιχες ημερομηνίες των σημαντικότερων πλημμυρών περιστατικών κατά τα έτη 1970 – 2005 προκύπτει ο Πίνακας 2, όπου οι ημερομηνίες των πλημμυρών σχετίζονται με υψηλές τιμές ύψους βροχής σε τουλάχιστον έναν από τους εξεταζόμενους βροχομετρικούς σταθμούς.

Πίνακας 2. Περιστατικά πλημμυρών στην λεκάνη του Κηφισού σε σχέση με το μέγιστο ύψος βροχής

Ημερομηνία πλημμύρας	Μέγιστο ύψος βροχής (mm)	Περιοχή πλημμύρας
31/10/1972	71.7 (Ελευσίνα)	Κέντρο Αθήνας – Νότια προάστια
2/11/1977	67.0 (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών) 61.0 (Ν. Φιλαδέλφεια) 50.4 (Ελληνικό, 3/11/1977)	Νίκαια, Κορυδαλλός, Αιγάλεω, Μπουρνάζι, Μοσχάτο, Κερατσίνι, Καμίνια, Χαϊδάρι, Καλλιθέα, Περιστέρι, Γκύζη, Καισαριανή, Ιλίσια, Αχαρνών
10/12/1977	111.0 (Τατόι)	Χαλάνδρι, Αγία Παρασκευή, Άγιοι Ανάργυροι, Ν. Φιλαδέλφεια
27/10/1980	46.7 (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών) 90.1 (Ν. Φιλαδέλφεια) 96.6 (Τατόι) 46.8 (Ελληνικό) 46.2 (Πειραιάς) 56.3 (Ελευσίνα)	Χολαργός, Αγία Παρασκευή, Χαλάνδρι, Φιλοθέη, Ψυχικό, Ν. Λιόσια, Καματερό, Λ. Μεσογείων, Κηφισίας, Βουλιαγμένης
10/12/1988	33.8 (Ελευσίνα)	Πειραιάς, Καλλιθέα, Φάληρο, Μοσχάτο
20-22/11/1993	202.0 (Μαραθώνας, 11/1993, Μηνιαίο ύψος) 39.7 (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, 20/11/1993) 40.7 (Ν. Φιλαδέλφεια, 20/11/1993) 29.0 (Τατόι, 22/11/1993) 79.6 (Ελληνικό, 21/11/1993) 32.2 (Ελευσίνα, 21/11/1993) 52.9 (Σπάτα, 21/11/1993)	Νότια προάστια, Βούλα, Γλυφάδα
29/1/1994	62.5 (Τατόι) 59.3 (Πειραιάς)	Άνω Λιόσια
12/1/1997	41.5 (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών) 67.1 (Σπάτα)	Περιστέρι, Ν. Λιόσια, Ρέντης Μοσχάτο, Κολοκυνθού, γέφυρα Καλλιρρόης,

19/11/2000	51.9 (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών) 34.8 (Ν. Φιλαδέλφεια) 41.0 (Ελληνικό) 44.5 (Πειραιάς) 28.9 (Ελευσίνα)	Χαϊδάρι, Περιστερί, Αιγάλεω, Ίλιον, Καματερό, Αγ. Βαρβάρα, Θρακομακεδόνες, Ν. Χαλκηδόνα, Ανθούπολη, Κηπούπολη, Πετρούπολη, Μεταμόρφωση, Μενίδι, Ταύρος, Ρέντης Πειραιάς, Νίκαια, Αμφιάλη, Ν. Σμύρνη
8/7/2002	91.0 (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών)	Μοσχάτο, Φάληρο, Ρέντης Κολωνός, Βοτανικός, Αμπελόκηποι.
3/9/2002	59.7 (Φιλαδέλφεια) 63.9 (Τατόι)	Μοσχάτο, Φάληρο, Ρέντης
7/11/2002	62.6 (Πειραιάς) 57.0 (Ελευσίνα)	Μοσχάτο, Φάληρο, Ρέντης
4/12/2002	58.2 (Σπάτα)	Καλλιθέα, Φάληρο

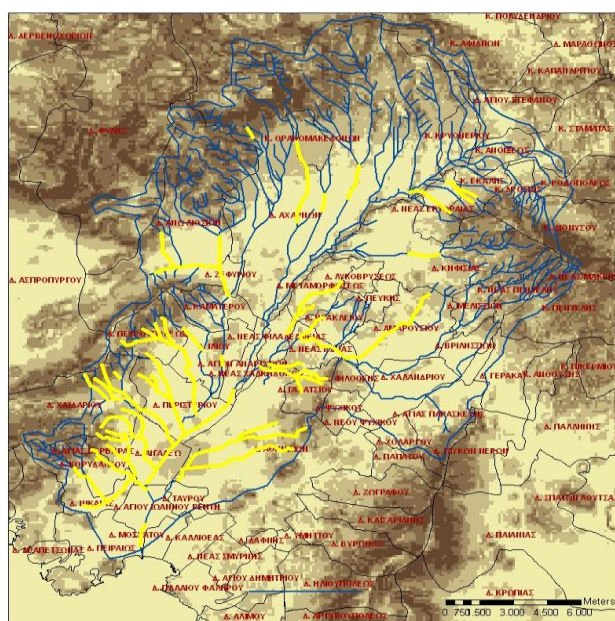
3. Αποτελέσματα και Συζήτηση

3.1 Ανθρωπογενείς παρεμβάσεις και περιστατικά πλημμυρών στην υδρολογική λεκάνη του Κηφισού

Ο Κηφισός είναι ο βασικότερος υδατικός αποδέκτης του λεκανοπεδίου Αττικής. Διασχίζει το λεκανοπέδιο Αττικής, και μαζί με τον Ιλισό εκβάλλει στο Δέλτα Φαλήρου. Η λεκάνη απορροής του μαζί με τον Ιλισό ορίζεται από τα όρη Αιγάλεω, Πάρνηθα, Πεντέλη και Υμηττό και έχει έκταση 374 km². Το υδρογραφικό δίκτυο των παραπάνω ποταμών έχει αλλοιωθεί σημαντικά από έργα αποχετεύσεων και διευθετήσεων των

ρεμάτων, αλλά και από την έντονη οικοδομική δραστηριότητα και αστικοποίηση που αυξάνεται συστηματικά. Η έντονη αστικοποίηση πραγματοποιήθηκε σε συνδυασμό με τις πυρκαγιές, που μετέτρεψαν δασικές εκτάσεις, που βρίσκονταν στις λεκάνες απορροής, σε περιοχές με πολύ υψηλή δόμηση, με αντικαταστάσεις φυσικών κοιτών από δομημένες εκτάσεις ή και οδικούς άξονες. Όλες οι παραπάνω ενέργειες είχαν σαν αποτέλεσμα την τροποποίηση της φυσικής απορροής και την αύξηση των πλημμυρικών φαινομένων. (Μαρουκιάν κ. ά., 2005).

Η απρογραμμάτιστη ανάπτυξη του πολεοδομικού συγκροτήματος της Αθήνας, η αύξηση της επιφάνειας δόμησης στην λεκάνη από 11,6 km² (3.1 %) σε 222.9 km² (59.5%) κατά το διάστημα 1878–2004 καθώς και τα περίπου 113 km μήκους κοιτών (19.32%), που έχουν καλυφθεί ή αντικατασταθεί από υπόγεια ροή (ρέματα Νίκαιας, Κορυδαλλού,



Χάρτης Μορφολογικών Κλίσεων της Λεκάνης Κηφισού και τμήματα του υδρογραφικού δικτύου που έχουν υποστεί τεχνικές παρεμβάσεις

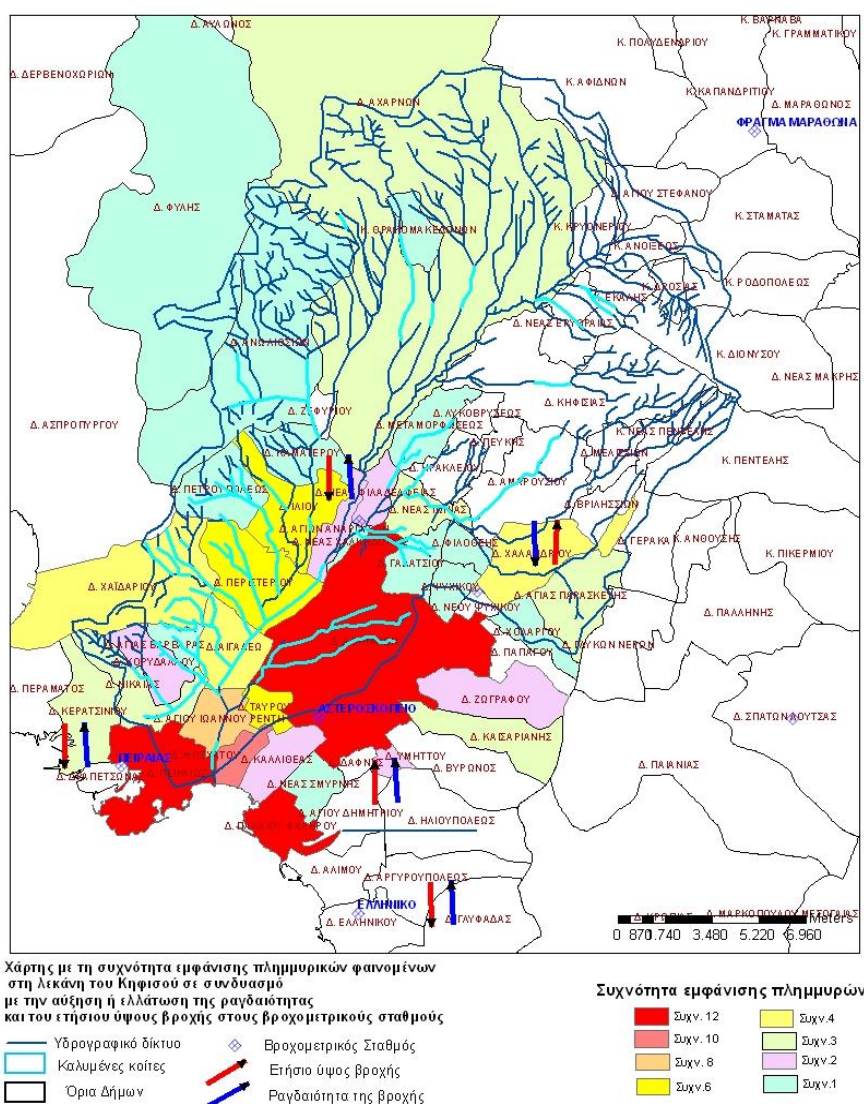
— Υδρογραφικό δίκτυο
— Καλυμμένες κοιτές
— Όρια Δήμων

Μορφολογικές κλίσεις (%)
0 - 3
3,1 - 8
8,1 - 15
15,1 - 25
25,1 - 68

Σχήμα 2. Χάρτης μορφολογικών κλίσεων και τεχνικών παρεμβάσεων (οι τεχνικές παρεμβάσεις προέρχονται από Μαρουκιάν κ.ά., 2005)

Περιστερίου, Ιλισού, Ποδονίφτη, κοίτη του Κηφισού στο Ρέντη και στο Μοσχάτο κ.α.), είναι τα αίτια της συχνής εμφάνισης πλημμυρών στη λεκάνη απορροής όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.

Στο Σχήμα 3 εμφανίζονται οι περιοχές που είχαν την μεγαλύτερη συχνότητα πλημμυρών κατά το χρονικό διάστημα μελέτης των 30 ετών στην λεκάνη απορροής του Κηφισού, έχοντας λάβει υπόψη την ραγδιότητα της βροχής, την ετήσια βροχόπτωση καθώς επίσης και τις ανθρώπινες παρεμβάσεις.



Σχήμα 3. Χάρτης συχνότητας εμφάνισης πλημμυρικών φαινομένων.

Όπως φαίνεται στο χάρτη οι περιοχές που εμφάνισαν τα περισσότερα πλημμυρικά περιστατικά, και απεικονίζονται με το κόκκινο, ροζ και μπλε χρώμα (Δήμοι Αθηναίων, Πειραιώς, Π. Φαλήρου, Καλλιθέας, Αιγάλεω, Κερατσινίου κτλ), παρουσιάζουν τα εξής χαρακτηριστικά:

- Καλυμμένες ή μπαζωμένες κοίτες υδρογραφικού δικτύου (γαλάζιο χρώμα).
- Αύξηση της ραγδιαιότητας σε όλους τους βροχομετρικούς σταθμούς που περιβάλλουν τους Δήμους αυτούς (μπλέ βέλος).
- Αύξηση του ετήσιου ύψους βροχής στους βροχομετρικούς σταθμούς Ελληνικό, Αστεροσκοπείο και Τατόι (κόκκινο βέλος), που βρίσκονται πλησίον Δήμων Αθηναίων, Παλαιού Φαλήρου και Χαλανδρίου, που αντιμετώπισαν πολλά πλημμυρικά περιστατικά.

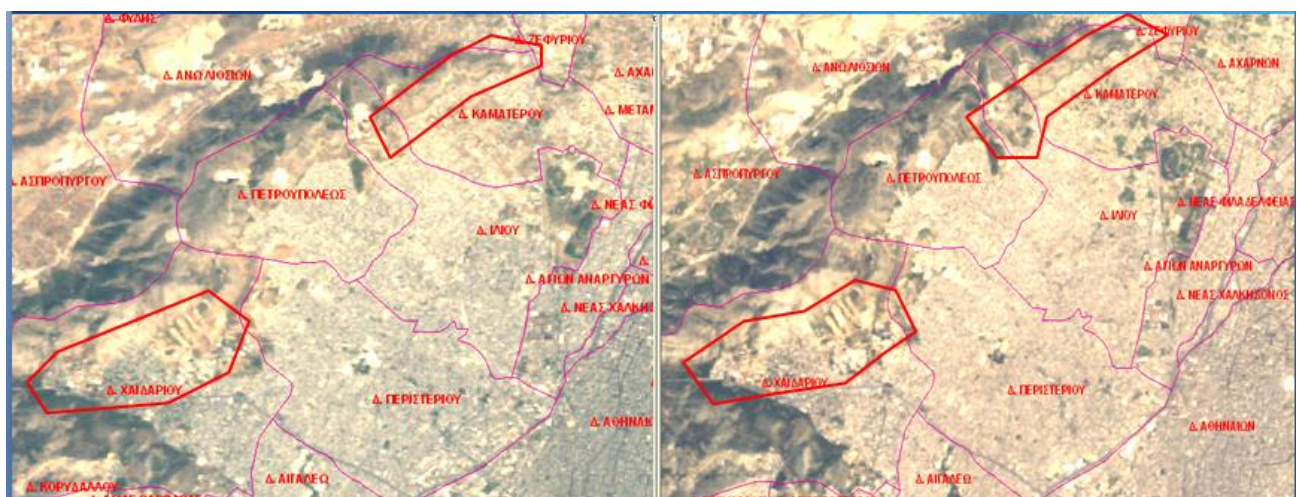
Επομένως συμπεραίνουμε ότι, οι παραπάνω λόγοι, μαζί με την παρουσία ήπιου ανάγλυφου στο κέντρο της λεκάνης, τις έντονες κλίσεις από τους γύρω ορεινούς όγκους (μεγάλη ορμή του νερού), την πυκνοκατοίκηση και την κακή πολεοδομία και τις υποδομές του αποχετευτικού συστήματος είναι αίτια συχνής εμφάνισης πλημμυρών για το εξεταζόμενο χρονικό διάστημα.

Για τα δύο πιο έντονα φαινόμενα πλημμυρών όπως προκύπτει και από τον Πίνακα 1α, (20-22/11/1993 Νότια Προάστια: Βούλα–Γλυφάδα και 19/11/2000 Δυτικά Προάστια, Πειραιάς), που συνδυάστηκαν με τις υψηλότερες τιμές βροχόπτωσης και ραγδιαιότητας, όπως αυτές κατεγράφησαν σε όλους σχεδόν του εξεταζόμενους βροχομετρικούς σταθμούς, έγινε σύγκριση δορυφορικών εικόνων LANDSAT για τα έτη 1991 και 2001 για την διαπίστωση ανθρωπογενών παρεμβάσεων στις περιοχές αυτές.



Σχήμα 4. Δορυφορικές εικόνες LANDSAT 4-5TM και LANDSAT 7, για το 1991 (αριστερά) και το 2001 (δεξιά), για την ευρύτερη περιοχή των Νοτίων Προαστίων (Πηγή: USGS).

Στα Σχήματα 4 και 5 φαίνονται οι μεγάλες παρεμβάσεις στο φυσικό περιβάλλον για το κάθε πλημμυρικό περιστατικό αντίστοιχα. Είναι εμφανής η έντονη αστικοποίηση μέσα σε μια περίπου δεκαετία (1991-2001), με άμεση συνέπεια την περαιτέρω υδρομόνωση της περιοχής και σαν φυσικό επακόλουθο την αύξηση της επιφανειακής απορροής.



Σχήμα 5. Δορυφορικές εικόνες LANDSAT 4-5TM και LANDSAT 7, για το 1991 (αριστερά) και το 2001 (δεξιά), για την ευρύτερη περιοχή των Δυτικών Προαστίων (Πηγή: USGS).

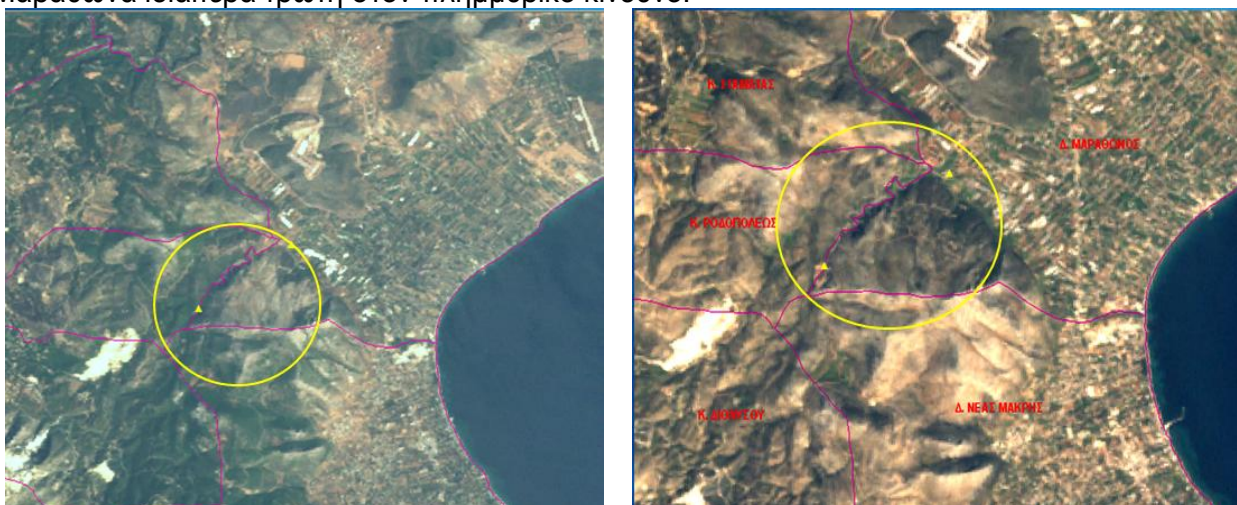
3.2 Ανθρωπογενείς παρεμβάσεις στην υδρολογική λεκάνη του Μαραθώνα

Η πεδιάδα του Μαραθώνα αποτελεί σήμερα την πιο τρωτή περιοχή της ΒΑ Αττικής, που πλήττεται από πλημμυρικά φαινόμενα. Τα τελευταία χρόνια οι πλημμύρες είναι ένα φαινόμενο που επαναλαμβάνεται πολύ συχνά στην περιοχή. Εκτός από τις βροχοπτώσεις, οι επαναλαμβανόμενες πυρκαγιές στο Πεντελικό όρος, που έχουν απογυμνώσει τις ανατολικές πλαγιές του, συντελούν στην αύξηση της ορμητικότητας των χειμάρρων και στην αδυναμία παροχέτευσης του νερού, με αποτέλεσμα την εκδήλωση πλημμυρών. Η συσχέτιση των πλημμυρών και των πυρκαγιών που προηγήθηκαν φαίνεται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3. Ιστορικό πλημμυρών στην λεκάνη του Μαραθώνα, (Πηγές: ΥΠΕΧΩΔΕ, Νομαρχία Ανατολικής Αττικής, ΕΥΔΑΠ, Δασαρχείο Καπτανδριτίου).

Πλημμύρες στην περιοχή του Δήμου Μαραθώνα	Μέγιστο ύψος βροχής	Ημερομηνίες εκδήλωσης πυρκαγιών
12-13/11/1998	163 mm (11/1998)	Είχαν προηγηθεί πυρκαγιές στις 5/9/1992 13/7/1993 4/7/1998
20/11/1998		
23/11/1998		
18/4/1999	45 mm (4/1999)	Είχε προηγηθεί πυρκαγιά στις 7/7/2000
27/4/1999		
3-4-5/11/ 2001	290 mm (11/2001)	Δεν είχε προηγηθεί κάποια πρόσφατη πυρκαγιά
24-26 /1/ 2003	83 mm (1/2003)	
24–26 /11/ 2005	357mm (11/2005)	

Τα μεγαλύτερα πλημμυρικά προβλήματα εμφανίζονται στις θέσεις “Βρανάς” και “Ραπεντώσα”, περιοχές που έχουν απογυμνωθεί από πυρκαγιές όπως φαίνεται στις δορυφορικές εικόνες LANDSAT για τα έτη 1991 και 2001, (Σχήμα 6). Είναι φανερή η παρατηρούμενη αποψίλωση λόγω των πυρκαγιών, που είχαν προηγηθεί, η οποία σε συνδυασμό με τις απότομες μορφολογικές κλίσεις του ανατολικού τμήματος του Πεντελικού όρους, καθιστούν την ευρύτερη περιοχή του Μαραθώνα ιδιαίτερα τρωτή στον πλημμυρικό κίνδυνο.



Σχήμα 6. Δορυφορικές εικόνες LANDSAT 4-5TM και LANDSAT 7, για το 1991 (αριστερά) και το 2001 (δεξιά), για την ευρύτερη περιοχή του Μαραθώνα, (Πηγή: USGS).

4. Συμπεράσματα

Από την ως τώρα ανάλυση των περιοχών μελέτης γίνεται σαφές ότι η επέμβαση του ανθρώπου στο φυσικό περιβάλλον έχει οδηγήσει στην πλήρη υποβάθμιση του με αποτέλεσμα να εμφανίζονται τακτικά έντονα πλημμυρικά φαινόμενα.

Όσον αφορά την λεκάνη του Κηφισού, οι τεχνικές παρεμβάσεις στο υδρογραφικό δίκτυο, η αύξηση της ραγδιότητας της βροχής και η δόμηση σε περιοχές με μεγάλες μορφολογικές κλίσεις ευθύνονται για τα πλημμυρικά επεισόδια. Οι τρόποι αντιμετώπισης αφορούν την διευθέτηση των κοιτών εντός του αστικού ιστού, την κατασκευή οχυρωματικών έργων στους ποταμούς που παρουσιάζουν κίνδυνο υπερχειλίσας από την αύξηση των ακραίων υψών βροχής, που παρατηρήθηκαν τα τελευταία χρόνια και την απομάκρυνση αυθαίρετων κτισμάτων και μπαζωμάτων στις κοίτες των ποταμών. Επίσης, επιβάλλεται καθαρισμός των αγωγών των

όμβριων υδάτων, για τον περιορισμό της αυξημένης επιφανειακής απορροής λόγω της ραγδιότητας των βροχοπτώσεων και τέλος, περιορισμός της δόμησης σε περιοχές με μεγάλες μορφολογικές κλίσεις και αυτών περιοχών.

Για την περιαστική περιοχή του Μαραθώνα, οι αιτίες που ευθύνονται για τα πλημμυρικά επεισόδια είναι οι μεγάλες μορφολογικές κλίσεις των ανατολικών πλαγιών του Πεντελικού όρους, οι επαναλαμβανόμενες πυρκαγιές με επακόλουθη την δραματική μείωση των δασικών εκτάσεων στους ορεινούς όγκους, τα ημιτελή τεχνικά έργα και οι επιχωματώσεις ρεμάτων στο Φράγμα της Ραπεντώσας και στον οικισμό Βρανά. Επίσης στο σημείο αυτό θα έπρεπε να επισημανθεί η ανάγκη διευθέτησης της κοίτης του ποταμού Οινόη.

Βιβλιογραφία

- Μαρουκιάν, Χ., Τσερμέγκα, Ε., Γάκη-Παπαναστασίου, Κ., Καρύμπαλης, Ε., 2005: *Ο ρόλος των μορφομετρικών παραμέτρων και των ανθρωπογενών επεμβάσεων στην εκδήλωση πλημμυρών στον κάτω ρου του Κηφισού ποταμού (Λεκανοπέδιο Αττικής)*, 7th Hellenic Hydrogeological Conference, Αθήνα 2005.
- Alpert, P., Ben-Gai, T., Baharad, A., Benjamini, Y., Yekutieli, D., Colacino, M., Diodato, L., Homar, V., Ramis, C., Romero, R., Michaelides, S., Manes, A., 2002: The paradoxical increase of Mediterranean extreme daily rainfall in spite of decrease in total values. *Geophysical Research Letters*, **29**, 10. 1029/2001GL013554.
- Easterling, D.R., Evans, J.L., Groisman, P.Ya., Karl, T.R., Kunkel, K.E., Ambenje, P., 2000: Observed variability and trends in extreme climate events: A brief review. *Bulletin of American Meteorological Society*, **81**, 417-425.
- Fauchereau, N., Trzaska, S., Rouault, M., and Richard, Y., 2003: Rainfall variability and changes in Southern Africa during the 20th century in the global warming context. *Natural Hazards*, **29**, 139-154.
- Groisman, P.Ya., Knight, R.W., Easterling, D.R., Karl, T.R., Hegerl, G.C., 2005: Trends in intense precipitation in the climate record. *Journal of Climate*, **18**(9), 1326-1350.
- Groisman, P.Ya., Knight, R.W., Easterling, D.R., Karl, T.R., Hegerl, G.C., 2005: Trends in intense precipitation in the climate record. *Journal of Climate*, **18**(9), 1326-1350.
- Maheras, P., Anagnostopoulou, Chr., 2003: *Circulation Types and their Influence on the Interannual variability and precipitation changes in Greece, Mediterranean Climate-Variability ad Trends*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 215-239.
- Nastos, P.T., Zerefos, C.S., 2007: On extreme daily precipitation totals at Athens, Greece. *Advances in Geosciences*, **10**, 59-66.
- Philandras, C. M., Nastos, P. T., Paliatsos, A. G., Repapis, C. C., 2010: Study of the rain intensity in Athens and Thessaloniki, Greece. *Advances in Geosciences*, **23**, 37-45.